บทที่ 1
บทนำ

ถั่วเหลืองเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญในการบริโภคและใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และอุ ตสาหกรรมน้ำมันพืช ซึ่งผลผลิตที่ได้ภายในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงทำให้มีการนำเข้าถั่วเหลืองในรูปของเมล็ดและกากถั่วเหลือง คิดเป็นมูลค่าไม่น้อยกว่า 66,425 ล้านบาทต่อปี ซึ่งมีสาเหตุจากการลดลงของพื้นที่เพาะปลูกจากเดิม 3.01 ล้านไร่ ในปี พ.ศ. 2532 เหลือเพียง 0.58 ล้านไร่ ในปี พ.ศ. 2555 (สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร , 2555) จึงทำให้ผลผลิตเฉลี่ยลดลงจาก 0.63 ล้านตัน เหลือเพียง 0.15 ล้านตัน ซึ่งจังหวัดเชียงใหม่ เป็นจังหวัดที่มีการเพาะปลูกถั่วเหลืองมากที่สุดในประเทศ โดยเฉพาะในเขตอำเภอแม่ริม และอำเภอแม่แตง ซึ่งเป็น พื้นที่ปลูกข้าวนาปีสูงที่สุดและเดิมมีการปลูกถั่วเหลืองหลังนา แต่ปัจจุบัน พบว่าเกษตรกรเลือกที่จะปลูกพืชชนิดอื่นแทน เช่น ข้าวนาปรัง และข้าวโพ ดเลี้ยงสัตว์เนื่องจาก ได้ราคาตอบแทนสูงกว่า แต่เกษตรกรกลับต้องลงทุนในการจัดการผลิตพืชทั้งสองสูงกว่าการปลูกถั่วเหลืองหลังนา โดยมากกว่า 60% ของต้นทุนการผลิตดังกล่าวเกษตรกรมักจะใช้ไปกับการใช้ปุ๋ยเคมี หากนำวิธีการปลูกถั่วเหลืองหลังนามาส่งเสริมให้เกษตรกรหันมาผลิต เพิ่มมากขึ้นน่าจะสามารถลดต้นทุนการผลิต โดยวิธีการดังกล่าวไม่ได้ทำให้ผลผลิตของถั่วเหลืองลดลงแต่อย่างใด รวมทั้งเป็นแนวทางที่จะอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมจากการลดการใช้ปุ๋ยเคมี และสามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อฟื้นฟูสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ถูกทำให้เสื่อมลงจากการใช้ปุ๋ย เคมีในปริมาณที่สูงและต่อเนื่องเป็นเวลานาน เช่นที่ Giller (2001) ได้กล่าวถึงข้อได้เปรียบในการปลูกพืชหลายชนิดเพื่อทดแทนการทำไร่เลื่อนลอยในประเทศเขตร้อนหรือกึ่งร้อนจะช่วยสร้างความยั่งยืนและลดปัญหาการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินโดยใช้พืชกลุ่มที่มีศักยภาพในการตรึงไ นโตรเจนเข้ามาจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดินในระบบการปลูกพืชของเขตร้อน

ข้อดีของถั่วเหลืองเป็นพืชที่สามารถใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนในอากาศผ่านกระบวนการตรึงที่เกิดจากการอาศัยร่วมกันของเชื้อแบคทีเรียไรโซเบียมและต้นถั่ว สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศเฉลี่ย 15-25 กก.N /ไร่/ปี บางสายพันธุ์มีศักยภาพในการตรึงไนโตรเจนได้สูงถึง 50 กก.N /ไร่/ปี เทียบเท่ากับปุ๋ยยูเรีย 2 กระสอบ (800-1,000 บาท/กระสอบ) นั้นหมายความว่าถั่วเหลืองสามารถเจริญเติบโตได้หลังจากการปลูกข้าวนาปีโดยไม่ต้องเติมปุ๋ยเคมีเพิ่มเติม ซึ่งมีรายงานวิจัยที่ได้ศึกษาระบุว่าประสิทธิภาพของการตรึงไนโตรเจนจะลดลงหากมีการใส่ปุ๋ยเคมีให้กับถั่วเหลืองหลังนา ดังนั้นถั่วเหลืองสามารถใช้ธาตุอาหารต่างๆที่เหลือตกค้างจากการผลิตข้าวนาปี ไม่ว่าจะเป็นการผลิตในรูปแบบระบบเกษตรมาตรฐาน (GAP) ที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีโดยทั่วไปเช่น สูตร 46-0-

0, 15-15-15 และ 13-13-21 ในอัตรา 25-50 กก./ไร่ หรือการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เช่น ปุ๋ยมูลวัว ปุ๋ยมูลไก่ ปุ๋ยมูลสุกร และปุ๋ยหมัก ซึ่งคิดเป็นปริมาณของธาตุไนโตรเจน 20-25 กก.N/ไร่ รวมทั้งการใช้แหนแดงในการผลิตข้าว ซึ่งสามารถให้ธาตุไนโตรเจนได้สูงถึง 30-35 กก.N/ไร่ ปริมาณของธาตุไนโตรเจนดังกล่าวน่าจะเพียงพอต่อการผลิตถั่วเหลืองหลังนา โดยในปัจจุบันมีการหันมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์ประเภทต่างๆในการทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มมากขึ้น การวิเคราะห์ถึงศักยภาพของการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองหลังนาจากการปลูกข้าวนาปีโดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ จะสามารถใช้เป็นข้อมูลยืนยันเพื่อชี้ให้เห็นถึงข้อดีและประสิทธิภาพของถั่วเหลืองในการใช้ธาตุไนโตรเจนจากอากาศให้เกิดประโยชน์สูงที่สุด รวมทั้งแนวโน้มการลดการใช้ปุ๋ยเคมีและสามารถส่งเสริมภูมิปัญญาดั้งเดิมที่เกษตรกรเลือกปลูกถั่วเหลืองหลังนาเพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินและยังสามา รถนำผลผลิตที่ได้ของถั่วเหลืองมาเพิ่มเติมจากรายได้ของการปลูกข้าวซึ่งเป็นพืชหลัก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณ ไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงทั้งหมด ของถั่วเหลืองหลังนาที่ได้รับผลกระทบจากปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่เหลือจากแปลงข้าวนาปี

2. เพื่อศึกษาสัดส่วนของปริมาณยูริไอด์ อะมิโน และไนเตรท โดยอาศัยค่าดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงจากตอรากถั่วในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาผลตกค้างของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับแหนแดงในข้าวนาปีต่อถั่วเหลือง โดยมีขอบเขตของการศึกษาในพื้นที่ของเกษตรกร ตำบลแม่แรม อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อหาปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงทั้งหมดของถั่วเหลืองหลังนาที่ได้รับผลกระทบ จากปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่เหลือจากแปลงข้าวนาปี และศึกษาสัดส่วนของปริมาณยูริไอด์ อะมิโน และไนเตรท เพื่อหาค่าดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงจากตอรากถั่วในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ได้ทราบถึงข้อมูลเบื้องต้นของปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงของถั่วเหลืองหลัง การปลูกข้าวนาปีด้วยระบบเกษตรอินทรีย์ จากน้ำเลี้ยงที่ได้จากตอรากถั่วเหลืองที่ปลูกด้วยระบบเกษตรอินทรีย์

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

การตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลือง

ข้อดีของ การศึกษาเกี่ยวกับการตรึงไนโตรเจนของพืชตระกูลถั่ว เป็นที่ยอมรับ มาหลายศตวรรษแล้ว เริ่มจากเกษต รกรชาวจีน ชาวกรีก และชาวโรมัน ได้สังเกต จาก พืชที่ปลูกตามหลังพืชตระกูลถั่วมักจะมีผลผลิตสูงเท่าๆกับการใส่ปุ๋ยคอก และได้มีนักวิทยาศาสตร์ทำการทดลองเพื่อหาข้อสนับสนุนข้อสังเกตดังกล่าว ซึ่งพบว่าสาเหตุที่พืชตระกูลถั่วมีไนโตรเจนในปริมาณสูงนั้น เนื่องมาจากการตรึงไนโ ตรเจนร่วมกันระหว่างพืชตระกูลถั่วกับจุลินทรีย์ในดิน ปัจจุบันประเทศต่างๆทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างมาก จนกระทั่งมีการเปิดเป็นสาขาวิชาใหม่ขึ้น คือ สาขาชีววิทยาของไร โซเบียม (Rhizobiology) (สมศักดิ์, 2541)

กระบวนการตรึงไนโตรเจนเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรไนโตรเจน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปของก๊าซไนโตรเจน (N_2) จากบรรยากาศ ซึ่งมีอยู่ถึง 78% หรืออากาศที่อยู่ในดินและในน้ำ ให้อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen) โดยอาศัยเอนไซม์ไนโตรจีเนส (Nitrogenase enzyme) ที่มีความสามารถกระตุ้นการลดออกซิเจนของก๊าซไนโตรเ จน (N_2) และเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียม (NH_4) ได้ (Zhang and Smith, 2002) การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนดังกล่าวนี้เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของพืชตระกู ลถั่วกับแบคทีเรีย สกุลไร โซเบียม ที่อาศัยอยู่ในปมรากถั่ว (สมศักดิ์, 2541) ซึ่งเรียกว่ากระบวนการตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ (Biological Nitrogen Fixation) เป็นกระบวนการที่ได้ให้ความสำคัญโดยเฉพาะการประยุกต์ใช้ในด้านการเกษตร มีการประเมินว่าการตรึงไนโตรเจนของพืชตระกูลถั่ว สามารถตรึงไนโตรเจนได้ 80 ล้านตัน/ปี (หนึ่ง, 2554) ซึ่งการทำงานดังกล่าวต้องอาศัยจุลินทรีย์กลุ่มที่มีความสามารถในการตรึ งไนโตรเจนได้ จากงานวิจัยของ Burns and Hardy (1975) ได้ศึกษาการตรึงไนโตรเจนในพื้นที่การเกษตรที่มีการปลูกพืชตระกูลถั่ว พบปริมาณการตรึงไนโตรเจน 140 กก./เฮกตาร์/ปี และในพื้นที่ที่ปลูกข้าว 30 กก./เฮกตาร์/ปี จากงานวิจัยของ นันทกร (2529) ได้วัดการตรึงไนโตรเจนในสภ าพไร่นาของถั่วเหลือง พบไนโตรเจนที่ตรึงได้ 10-28 กก./ไร่/ปี จากงานวิจัยของอเมริกาเหนือพบว่าการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองที่วัดโดยวิธี ^{15}N ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 43-152 กก./เฮกตาร์ (Johnson et al., 1975; Ham and Caldwell, 1978; Deibert et al., 1979; LaRue and Patterson, 1981) การตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองจากการคาดการณ์ว่าถั่วเหลืองตรึงไนโตรเจน 50-60% ของไนโตรเจนทั้งหมดของโลกโดยมีความสมดุลเป็นกลางที่อยู่ใกล้กับไนโตรเจนในดิน เนื่องจากไนโตรเจนส่วนใหญ่ติดออกไปใน

เมล็ด (Herridge et al., 2008; Salvagiotti et al., 2008) อย่างไรก็ตามการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองมีความแตกต่างกันอย่างมากต่อผลของ การจัดการดิน สภาพแวดล้อม และปัจจัยของระบบนิเวศ (Singh, 2010)

สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่สังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกที่ได้จากการตรึงส่วนใหญ่จะเป็นกรดอะมิโน อย่างไรก็ตามสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของ Ureide สำหรับถั่วเหลือง ซึ่งประกอบไปด้วย Allantoin, Allantoic acid (McClure and Israel, 1979; Thomas and Schrader, 1981; Peoples et al., 1989; Millor and Werner, 1990) บางชนิดอาจอยู่ในรูปของเอไมด์ (Amide) อัสปาระจิน (Asparagine) และกลูตามิน (Glutamine) เช่นถั่วลิสง เป็นต้น (Peoples et al., 1989)

จุลินทรีย์ดินที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ แบ่งตามลักษณะความสัมพันธ์ของกระบวนการตรึงไนโตรเจนกับพืชได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มที่ตรึงไนโตรเจนได้ต่อเมื่ออาศัยรวมกับพืช (Symbiotic nitrogen fixation) เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ โดยต้องอาศัยสิ่งมีชีวิตอื่นแบบพึ่งพาอาศัยกัน พืชเป็นแหล่งให้อาหารและพลังงานต่อจุลินทรีย์ ส่วนจุลินทรีย์สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศเปลี่ยนเป็นสารประกอบไนโตรเจนซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่นเชื้ อไรโซเบียมกับพืชตระกูลถั่ว, สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินกับแหนแดง และแอคติโนมัยซีสกับสนปฏิพัทธ์

2. กลุ่มที่ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ (Free living nitrogen fixation) เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้แบบอิสระ โดยไม่ต้องอาศัยสิ่งมีชีวิต เช่น *Azotobacter, Bcijerinckia* ฯลฯ

3. กลุ่มที่ตรึงไนโตรเจนแบบสัมพันธ์กับพืช (Associative nitrogen fixation) จุลินทรีย์เหล่านี้พบมากบริเวณรอบๆรากพืช (Rhizosphere) โดยจะอาศัยอาหารและพลังงานจากพืชหรือสารที่ขับออกมาจากรากพืช (Root exudates) ส่วนพืชจะได้รับประโยชน์จากการต รึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์เหล่านี้ เช่น *Azospirillum* กับพืชตระกูลหญ้า (Dobereiner and Day, 1976; Patriqiun et al., 1983.)

วิธีการประเมินการตรึงไนโตรเจน

การประเมินการตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพของพืชตระกูลถั่วนั้น มีหลายวิธีแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียต่างๆกัน ไป (Burris, 1974; Bremner, 1977; Knowles, 1981; Chalk, 1985; Danso, 1986; Danso et al., 1993; Hardarson and Danso, 1993) เช่น การวิเคราะห์สัดส่วนของสารประกอบยูริไอด์ในน้ำเลี้ยงของตัวอย่างพืช (Ureide เทคนิค) วิธีการใช้ไอโซโธป ^{15}N และ Acetylene Reduction Assay สำหรับวิธี Acetylene Reduction Assay จะวัดการทำงานของปฏิกิริยาของเอนไซม์ในช่วงเวลาที่วัดเท่านั้น อาจให้ข้อมูลที่ไม่ถูกต้องตามสภาพความเป็นจริง นอกจากนี้อาจมีผลมาจากการเก็บตัวอย่างปมจากดินได้ไม่หมด (Peoples et al., 1989) หรือเกิดการเป็นพิษจาก Acetylene ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระภายในปม มีผลต่อเอนไซม์ไนโตรจีเนส (Witty and Mincihin, 1988) ส่วนวิธีการใช้ไอโซโธป ^{15}N ได้กลายเป็นทางเลือกสำหรับพืชตระกูลถั่วที่กำลังเจริญเติบโตในสภาพไร่นา (Unkovich and Pate, 2000) ซึ่งมีข้อดีคือสามารถวัดการตรึงไนโตรเจนที่สะสมได้ตั้งแต่ปลูกจนเก็บเกี่ยวผลผลิต (Ledgard and Peoples, 1988) แต่จะมีข้อจำกัด คือเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์มีราคาแพงมาก อีกทั้งต้องควบคุมปัจจัยหลายอย่างเพื่อไม่ให้เกิดข้อผิดพลาด (Witty, 1983) สำหรับการใช้ Ureide เทคนิค สามารถวิเคราะห์ได้จากน้ำหล่อเลี้ยงลำต้นที่ได้จากการซึมออกจากตอถั่ว (Root-bleeding xylem sap) การสกัดจากเนื้อเยื่อ (Extraction from shoot axes) หรือการดูดออกจากต้นด้วยปั๊มลม (Vacuum-extracted xylem sap) ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย และมีราคาถูกกว่าสองวิธีที่กล่าวมาข้างต้น และสามารถแยกไนโตรเจนในถั่วได้ว่ามาจากดินหรืออากาศ ส่วนข้อจำกัดอาจใช้ไม่ได้กับถั่วที่ไม่ลำเลียงยูริไอด์ออกจากปม (Ledgard and Peoples, 1988) จากงานวิจัยล่าสุดที่ทำการศึกษาโดย Schweiger et al. (2012)ได้ศึกษาวิธีการวัดตรึงไนโตรเจนโดยใช้วิธี Natural abundance (NA) ซึ่งเป็นวิธีการใหม่ล่าสุดที่นักวิทยาศาสตร์คิดค้นขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม คือทำการปลูกถั่วเหลืองในสภาพไร่นาเปรียบเทียบกับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพที่ควบคุมไม่ให้เกิดปมที่รากถั่ว และทำการวิเคราะห์ ไนโตรเจนในต้นถั่วดังกล่าว พบว่าการวัดการตรึงไนโตรเจนโดยวิธี Natural abundance (NA) จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อการตรึงไนโตรเจนอยู่ในช่วง 40-50% เท่านั้น ซึ่งวิธี Natural abundance (NA) เป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ แต่ยังไม่เป็นที่ยอมรับกันมากนัก

การวิเคราะห์สัดส่วนของสารประกอบยูริไอด์ในน้ำเลี้ยงของถั่วเหลือง (Ureide เทคนิค)

ข้อดีข้อหนึ่งของการปลูกถั่วมีผลสืบเนื่องมาจากการที่ถั่วสามารถตรึงไนโตรเจน (N_2) จากอากาศให้อยู่ในรูปสารประกอบที่พืชชนิดอื่นนำไปใช้ได้ในปริมาณสูง การตรึงไนโตรเจนจากอากาศนั้น หลังจากที่ก๊าซไนโตรเจนถูกเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย โดยเอนไซม์ไนโตรจีเนสแล้วจะรวมกับอินทรียสารเป็นกรดอะมิโน และสารประกอบอื่นๆที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ แล้วส่งไปส่วนต่างๆ ของพืช

น้ำหล่อเลี้ยงลำต้น (Xylem sap) เป็นตัวนำสารประกอบไนโตรเจนจากรากไปสู่ส่วนต่างๆของต้นพืช ในถั่วการลำเลียงนี้เริ่มจาก 2 จุดคือ

1. ไนโตรเจนที่ตรึงได้จากอากาศ จะถูกลำเลียงส่งจากปม
2. ไนโตรเจนที่พืชดูดขึ้นมาทางรากในรูปสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนได้แก่ แอมโมเนียมและไนเตรท มาจากดิน

ถ้าเราสามารถแยกสารประกอบไนโตรเจนที่มาจาก ทั้งสองแหล่ง ออกจากกันได้ย่อมเป็นแนวทางที่จะนำไปสู่การประเมินอัตราส่วนไนโตรเจนที่ตรึงได้จากอากาศ

ไนโตรเจนที่รากดูดขึ้นมาจากดินและปุ๋ย ซึ่งอยู่ในรูปไนเตรท และแอมโมเนียม ในพื้นที่ที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่ ขบวนการ Nitrification ทำให้เกิดการเปลี่ยน ของแอมโนเนียไปเป็นไนเตรทอย่างรวดเร็ว ดังนั้น โดยทั่วไปรูป ของสารประกอบไนโตรเจนที่มีค วามสำคัญที่สุดแก่การเจริญเติบโตขอ งพืชในสภาพไร่นา คือไนเตรท ในกรณีนี้ไนเตรทที่รากดูดจะถูกลำเลียงเข้าสู่ระบบท่อ Xylem ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ไนเตรท หรือในรูปของสารประกอบอินทรีย์ซึ่งเป็นผลของ Nitrate Reduction ที่เกิดขึ้นในราก เช่น กรดอะมิโน (Asparagine) ในระบบการเพาะปลูกที่มีสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยต่อขบวนการ Nitrate Reduction เช่น ในการปลูกถั่วในนาตามหลังข้าว ในดินกรดจัด หรือดินที่มีอัตราส่วน C:N สูง ไนโตรเจนส่วนใหญ่จะถูกดูดในรูปแอมโมเนียม แต่เนื่องจากแอมโมเนียมมีปฏิกิริยา เป็นพิษต่อเซลล์สูง แอมโมเนียได้เ ปลี่ยนเป็นไนเตรท โดยการนำเข้าสู่การสังเคราะห์สารอินทรีย์โดยเฉพาะกรดอะมิโน ก่อนจะมีการลำเลียงขึ้นสู่ต้น (เบญจวรรณ , 2532)

ในน้ำหล่อเลี้ยงลำต้นที่อยู่ในระบบท่อ Xylem ของถั่วที่ได้ไนโตรเจนโดยการตรึงจากอากาศ จะมีสารประกอบไนโตรเจนที่พบคือ Asparagine, Glutamine, Aspartic acid, 4-methylene glutamine และกรดอะมิโนอื่นๆ ต่อมามีผู้ค้นพบว่าสารประกอบอินทรีย์ที่ถูกลำเลียงออกจากปมและกลายเป็นองค์ประกอบของน้ำหล่อเลี้ยงลำต้น มีอยู่ 2 ชนิดที่มีความสำคัญเด่นชัดในการลำเลียงไนโตรเจนจากปมสู่ลำต้นและใบ ถั่วเมืองร้อนส่วนใหญ่ไนโตรเ จนที่ตรึงได้จะถูกลำเลียง

ขนส่งออกจากปมในรูปของยูริไอด์ (Ureide) ซึ่งจะประกอบไปด้วย อะลันโทอิน (Allantoin) และกรดอะลันโทอิก (Allantoic acid) สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนดังกล่าวเป็นสารที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากสารประกอบอินทรีย์ที่ตรึงได้ ทำให้ปริมาณหรืออัตราส่วนข องยูริไอด์ที่เกิดขึ้นนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของถั่วและสภาพ ของสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการเกิด ปมหรือปริมาณยูริไอด์ที่วัดได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำหล่อเลี้ยงลำต้น เป็นการบ่งชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการตรึงไนโตรเจนของถั่วและไรโซเบียมในสายพันธุ์ที่เกี่ยวข้อง Peoples et al. (1989) กล่าวว่าในน้ำหล่อเลี้ยงลำต้นของถั่วเหลืองมียูริไอด์ (Ureide) เป็นองค์ประกอบหลัก ในการลำเลียงไนโตรเจนในรูปของยูริไอด์ ขบวนการ Nitrate Reductase มีบทบาทน้อยมาก ไนเตรทที่รากดูดมาจากดินส่งเข้าท่อ Xylem ในถั่วที่ได้ไนโตรเจนจากการตรึงเพียงอย่างเดียว ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของยูริไอด์เป็นส่วนใหญ่และไนเตรทเป็นส่วนน้อย ขณะเดียวกันถ้าถั่วดูดไนโตรเจนจากดินมาก การตรึงไนโตรเจนจากอากาศก็จะน้อยลง สารประกอบไนโตรเจนในรูปของยูริไอด์จะลดลง ปัจจัยสภาพแวดล้อมไม่มีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสารประกอบไนโตรเจนในรูปยูริไอด์ในน้ำหล่อเลี้ยงลำต้นต่อการตรึงไนโตรเจน

การวิเคราะห์ยูริไอด์เป็นเพียงดัชนีที่บ่งถึงระดับการตรึงไนโตรเจนเท่า นั้น แต่มิได้ใช้ในการวัดปริมาณไนโตรเจนที่ถั่วตรึงได้ แต่เมื่อนำมา หาความสัมพันธ์มาตรฐานระหว่างองค์ประกอบน้ำหล่อเลี้ยงลำต้นแล ะการตรึงไนโตรเจน ที่ได้สร้างขึ้นจากถั่วที่ปลูกในเรือนกระจกมาใช้วัดปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้ตลอดฤดูปลูกในสภาพไร่นา ก็พบว่าได้ค่าใกล้เคียงกับวิธี ^{15}N (Herride et al., 1996)

ข้อดีและข้อจำกัดของการวิเคราะห์น้ำหล่อเลี้ยงลำต้น

เนื่องจากการวิเคราะห์หายูริไ อด์ กรดอะมิโน และไนเตรท สามารถทำได้โดยง่ายและรวดเร็ว โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมือราคาแพง และสามารถบ่งบอกปริมาณการตรึงไนโตรเจนโดยไม่จำเป็นต้องขุดปมออกมา นอกจากนี้ Norhayti et al. (1988) กล่าวว่าการวิเคราะห์น้ำหล่อเลี้ยงลำต้นอาจใช้ได้ดีในกรณีที่ต้นถั่วเลื้อยพันกัน เช่นถั่วคลุมดินหรือถั่วอาหารสัตว์

นอกจากสายพันธุ์ของถั่วจะแตกต่างกันในการขนส่งลำเลียงไนโตรเจนแล้ว จำเป็นต้องคำนึงถึงระยะเวลาในการดูดน้ำหล่อเลี้ยงลำต้นเพื่อมาวิเคราะห์ด้วย เพราะความผิดพลาดอาจจะทำให้ค่ายูริไอด์สัมพัทธ์ที่ได้ผิดไป ดังนั้นควรอย่างยิ่งที่จะเก็บน้ำหล่อเลี้ยงลำต้นทันทีหลังทำการตัดต้นถั่วเหลือง นอกจากนี้การวิเคราะห์สารประกอบไนโตรเจนในวิธีนี้ข้อมูลที่ได้เป็นการบ่งถึงการตรึงไนโตรเจนในช่วงการวัดแต่ละครั้งเท่านั้น จึงจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างหลายครั้งต่ออายุถั่ว

ปัจจัยที่มีอิทธิผลต่อการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลือง

ปัจจัยที่มีอิทธิผลต่อการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลือง อาจมีอยู่หลายปัจจัยด้วยกัน นับตั้งแต่ สายพันธุ์ของถั่ว สายพันธุ์ของไรโซเบียม การแก่งแย่งกันระหว่างสายพันธุ์ต่างๆของไรโซเบียม ตลอดจนสภาพแวดล้อมต่างๆ (Johnson et al., 1965; Roberson et al., 1981; Chandler et al., 1982) ซึ่งมีความสำคัญมากน้อยแตกต่างกันไป

สายพันธุ์ของถั่วเหลือง การเพิ่มประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนสามารถทำได้ 2 แนวทาง ได้แก่ การปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองให้มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนให้สูงขึ้น และการทำให้ต้นถั่วเหลืองสมบูรณ์ที่ สุด (Peoples et al., 1995) การตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกันการตรึงไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบจนกระทั่งออกดอก มนกฤตย์ (2538) วัดการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองสี่สายพันธุ์ โดยวัดที่ระยะ V6 และ R6 พบว่า ถั่วเหลืองแต่ละสายพันธุ์มีการตรึงไนโตรเจนแตกต่างกัน

สายพันธุ์ของไรโซเบียม พืชตระกูลถั่วบางชนิดต้องการไรโซเบียมอย่างเฉพาะเจาะจงมากในการตรึงไนโตรเจน และสายพันธุ์ของไรโซเบียมบางสายพันธุ์อาจจะมีความทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ บางสายพันธุ์อาจจะไม่มีความทนทาน (Beck and Vangnai, 1985)

อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิ แสง ก๊าซชนิดต่างๆ น้ำ ความเป็นกรด-ด่างของดินและน้ำ สิ่งมีชีวิตในดิน ธาตุอาหารและการจัดการในระบบการปลูกพืช เป็นต้น

อุณหภูมิ ไม่ว่าจะภายในดินหรืออุณหภูมิเหนือดินล้วนมีความสำคัญต่อการตรึงไนโตรเจนทั้งสิ้น อุณหภูมิมีผลในด้านของการเข้าสู่ปมและตำแหน่งของการเกิดปม การเจริญของปม และอุณหภูมิยังมีผลต่อเอนไซม์ไนโตรจีเนส ซึ่งถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นหรือต่ำจนเกินไปจะมีผลต่อกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ กิจกรรมของเอนไซม์จะหยุดชะงัก ส่วนใหญ่ไรโซเบียมต่างสายพันธุ์ต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมต่างกันในสภาพธรรมชาติ โดยทั่วไปแล้วมักจะใช้ ไรโซเบียมที่อยู่ตามธรรมชาตินั้นๆ

ความเป็นกรด-ด่างของดินและน้ำ (pH) โดยทั่วไปเกิดขึ้นได้ระหว่าง pH 5-8 จะเป็นช่วงที่เหมาะสมในการตรึงไนโตรเจนร่วมกัน ระหว่างไรโซเบียมกับพืชตระกูลถั่ว ถ้าดินมีความเป็นกรดจะมีผลในด้านของความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารบางชนิดต่ำลงหรือเป็นพิษ ดินเป็นกรดความเป็นประโยชน์ของ โมลิบดินัมลดลง ซึ่งโมลิบดินัมเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ไนโตรจีเนส และอาจจะละลายธาตุอาหารบางตัวออกมาจนเป็นพิษต่อไรโซเบียมและถั่วเหลืองได้

แสง อาจมีอิทธิพลต่ อคาร์โบไฮเดรท และไนโตรเจน (C:N ratio) ปมที่มีการตรึงไนโตรเจนอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องมีอัตราส่วนของคาร์โบไฮเดรท และไนโตรเจนที่เหมาะสม

น้ำ มีความสำคัญมากสำหรับการตรึงไนโตรเจนถ้าน้ำในดินมีไม่เพียงพอจะทำให้การตรึงไนโตรเจนเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ และปมจะหลุดร่วง

ก๊าซชนิดต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการตรึงไนโตรเจน ได้แก่ ไนโตรเจน (N_2) ไฮโดรเจน (H_2) ออกซิเจน (O_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อะเซทิลีน (C_2H_2) และเอทิลีน (C_2H_4) เช่นการตรึงไนโตรเจนจะเป็นไปได้ดีนั้น จะขึ้นอยู่กับการแพร่กระจายของไนโตรเจนจากบรรยากาศเข้าไปสู่ปม ส่วนก๊าซไฮโดรเจนมีผลต่อการตรึงไนโตรเจนคือ เป็นแหล่งของอิเล็กตรอนในกระบวนการให้พลังงาน (ATP) และยังทำหน้าที่ปกป้องเอนไซม์ N_2 ase จากก๊าซออกซิเจน โดยเฉพาะถ้ามีออกซิเจนในปมมากเกินไป

ธาตุอาหารพืช ในดินแต่ละชนิดมีธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ในดินที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง การตรึงไนโตรเจนจากอากาศจะลดลง ในกรณีของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม จะมีผลต่อผลผลิตของถั่วเหลือง ส่วนธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม (กำมะถัน แคลเซียม โมลิบดินัม เหล็ก) มีผลต่อกระบวนการตรึงไนโตรเจน (สมศักดิ์, 2541)

นอกจากปัจจัยที่มี อิทธิพลโดยตรงจากกระบวนการตรึงไนโตรเจนแล้วยังมีปัจจัยทางอ้อมอื่นๆที่อาจจะมีส่วนกระทบกระเทือนต่อกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆต่อการตรึงไนโตรเจนที่เป็นกิจกรรมร่วมกันระหว่างพืชตระกูลถั่วกับแบคทีเรียสกุลไรโซเบียม

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

ธาตุอาหารต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง มีอยู่ 17 ชนิด เหมือนพืชชนิดอื่นทั่วๆไป คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของชีวมวลหรือ น้ำหนักแห้งของพืชชนิดต่างๆธาตุทั้งสามนี้พืชได้มาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และออกซิเจนในบรรยากาศ ส่วนธาตุอาหารที่เหลืออีก 14 ธาตุนั้น ถือว่าเป็นธาตุอาหารที่สำคัญอย่างยิ่ง ได้แก่ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) กำมะถัน (S) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โมลิดินัม (Mo) โบรอน (B) คลอรีน (Cl) และนิเกิล (Ni) นักปฐพีบางท่านนับโคบอลท์ (Co) เป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อกิจกรรมของพืชวงศ์ถั่วมีรายงานว่าโคบอลท์ (Co) นั้นทำให้การตรึงไนโตรเจนของ *Bradyrhizobium japonicum* เกิดในอัตราที่สูงขึ้น (จีราภรณ์, 2554) สำหรับไนโตรเจนพืชตระกูลถั่วได้มาจากอนินทรีย์ไนโตรเจน และการตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยแบคทีเรียสกุลไรโซเบียมที่อาศัยอยู่ร่วมกัน ส่วนธาตุอื่นๆส่วนใหญ่มักได้มาจากดิน สมศักดิ์ (2541) กล่าวว่าความต้องการธาตุ

อาหารของพืชตระกูลถั่วนั้นเป็นเรื่องที่ซับซ้อนมากเมื่อเปรียบเทียบกับพืชอื่นๆ เพราะเป็น เรื่องที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตสองชนิด คือพืชตระกูลถั่วและแบคทีเรีย

ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic Fertilizer) ปุ๋ยที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือการย่อยสลายของอินทรีย์สารต่างๆเป็นอินทรียสารที่ให้ธาตุอาหารพืช และช่วยปรับปรุงสมบัติของดินทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์มี 3 ประเภท คือ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด (ยงยุทธ และคณะ, 2551) ลักษณะของปุ๋ยอินทรีย์มีทั้ง ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม แต่มีอยู่ในปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี จึงต้องใช้ในปริมาณมาก และสม่ำเสมอทุ กฤดูปลูกหรือทุกปี มีคุณสมบัติทำให้ดินร่วนซุย อนุภาคดินมีการจับตัว ทำให้โครงสร้างดินดีขึ้น มีการระบายน้ำและอากาศดี ช่วยเพิ่มการดูดซับน้ำและธาตุอาหารอย่างสม่ำเสมอ ช่วยปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้เหมาะสม และรักษาระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปมาก

ในปัจจุบันเกษตรอินทรีย์เป็นการเกษตรที่นิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมนุษย์หันมาใส่ใจกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น แต่ปุ๋ยอินทรีย์มีข้อจำกัดคือจะใช้เวลานานในการปรับปรุงโครงสร้างดินแต่หากมีการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง ในอนาคตการทำการเกษตรแบบใช้ปุ๋ยอินทรี ย์จะกลายเป็นการทำการเกษตรที่ยั่งยืน

ปุ๋ยพืชสด

ปุ๋ยพืชสด (Green manures) หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากการไถกลบเศษพืชในขณะที่พืชยังเขียวอยู่ อาจได้จากเศษซากพืชที่หลงเหลือหลังการเก็บเกี่ยวหรือได้จากการปลูกพืชให้เจริญจนถึงระยะที่เหมาะสม (ระยะออกดอก) แล้วทำการไถก ลบลงในดิน พืชที่นิยมปลูกเพื่อทำเป็นปุ๋ยพืชสดได้แก่ พืชตระกูลถั่ว (Leguminous green manure crops) เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนค่อนข้างมาก และมีจุลินทรีย์ไรโซเบียมอาศัยอยู่ในปมรากถั่ว ทำให้สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้กับพืชตระกูลถั่วได้ กรมวิชาการเกษตร (2548) รายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในวัสดุอินทรีย์ เช่น ในฟางข้าวพบปริมาณไนโตรเจน 0.87%N ฟอสฟอรัส 0.14%P และโพแทสเซียม 1.05%K เช่นเดียวกับ อำพรรณ (2551) รายงานผลการ วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในต้นถั่วเขียวพบว่ามีปริมาณไนโตรเจน 1.5-2.0%N ฟอสฟอรัส 0.3-0.5%P และโพแทสเซียม 3.0-3.5%K

นอกจากพืชตระกูลถั่วแล้วยังมีพืชชนิดอื่นที่ใช้เป็นปุ๋ยพืชสด ได้แก่ พืชตระกูลหญ้า เช่น Ryegrass และ Barley หรือพืชตระกูลน้ำ เช่น ผักตบชวา , จอก และแหนแดง เป็นต้น แหนแดง (Azolla) เป็นปุ๋ยพืชสดสำหรับนาข้าว ซึ่งชาวนาในทวีปเอเชียรู้จักใ ช้มานานแล้ว ประยูร และคณะ (2531) ทำการ รวบรวม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแหนแดงในนาข้าวร่วมกับการเลี้ยงปลา พบว่า มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตข้าวใกล้เคียงกับการเลี้ยงปลาในนาข้าว โดยใช้ปุ๋ยเคมีตามปกติและยังให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว ส่วนใหญ่แหนแดงนิยมปลูกในดินน้ำขัง นอกจากใช้เป็นปุ๋ยพืชสดแล้วยังใช้แหนแดงในการควบคุมวัชพืช ในโพรงใบของแหนแดงจะมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิด *Anabaena azollae* อาศัยอยู่ในลักษณะพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน สาหร่ายชนิดนี้มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ ทำให้แ หนแดงมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 2-5% ต่อน้ำหนักแห้งของแหนแดง เหมาะสำหรับใช้เป็นแหล่งของปุ๋ยพืชสด (Andrea et al., 2004) การใส่ในนาหลังจากไถดะแล้วหว่านแหนแดงตารางเมตรละ 0.3-0.4 กิโลกรัมปล่อยให้เต็มพื้นที่จึงไถแปรและคราด แหนแดงจะเริ่มสลายตัวใน 7-8 วันหลังจา กคราดกลบ ภาย หลังการสลายตัวของแหนแดง ข้าวสามารถดูดไนโตรเจนที่ ปลดปล่อยออกมา 33-69% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการใส่ ช่วงเวลาที่ใส่ ปริมาณแหนแดงที่มีในนา และวิธีการคราดกลบ (ยง ยุทธ และคณะ, 2551)

ปุ๋ยมูลสัตว์

ปุ๋ยมูลสัตว์ (Animal manures) เป็นปุ๋ยที่ได้จา กสิ่งปฏิกูลของสัตว์หรือสิ่งขับถ่ายของสัตว์ เรียกอีกอย่างว่า ปุ๋ยคอก หรือ ปุ๋ยมูลสัตว์ ได้แก่ มูลไก่ มูลวัว มูลกระบือ เป็นต้น แหล่งของปุ๋ยมูลสัตว์ที่สำคัญ คือ การปศุสัตว์และอุตสาหกรรมปศุสัตว์ การสะสมตามธรรมชาติ เช่น มูลค้างคาว และมูลนก ปุ๋ยมูลสัตว์ประกอบไปด้ วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของแข็ง ได้จากอุจจาระสัตว์ซึ่งเป็นซากพืชและสัตว์ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายในระบบย่อยอาหารของสัตว์ และส่วนที่เป็นของเหลว คือ ปัสสาวะซึ่งประกอบไปด้วยเกลือและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ยงยุทธ และคณะ (2551) กล่าวว่าผลการวิเคราะห์ธาตุอาห ารหลักในมูลสัตว์พบว่า มีไนโตรเจน 2-5%N ฟอสฟอรัส 0.5-2%P และโพแทสเซียม 1-3%K ส่วนจุลธาตุบางธาตุ เช่น เหล็กและสังกะสีจะมีสูง ขณะที่อำพรรณ (2551) รายงานว่า ปริมาณธาตุอาหารในมูลโคพบว่า มีปริมาณไนโตรเจน 0.8-1.2%N ฟอสฟอรัส 0.5-0.9%P และโพแทสเซียม 0.5-3.7%K Brady and Weil (2002) ทำการวิเคราะห์ความเข้นข้นของธาตุอาหารในมูลโคนม พบว่ามีปริมาณ ไนโตรเจน 2.4%N ฟอสฟอรัส 0.7%P

โพแทสเซียม 2.1%K และกำมะถัน 0.3%S ในปุ๋ยชนิดนี้ปริมาณของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์จะมากน้อยขึ้นกับสิ่งที่สัตว์เหล่านั้นกินเข้าไป (จีราภรณ์, 2554)

ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก (Composts) ในการเพราะปลูกโดยทั่วไปเกษตรกรมักจะเก็บเกี่ยวผลผลิตซึ่งมีคุณค่าทางเศรษฐกิจเป็นลำดับแรก ส่วนซากพืชที่เหลืออาจนำมาใช้ได้หลายลักษณะ เช่นการทำเป็นปุ๋ยหมัก ซึ่งปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยที่ได้จากสารประกอบอินทรีย์ที่ผ่านการหมักให้เกิดการย่อย สลายตัวผุพัง การย่อยสลายจะเกิดขึ้นมากน้อยขึ้นกับวัสดุที่นำมาหมัก ระยะเวลาและกรรมวิธีที่ใช้หมัก รวมถึงความต้องการของผู้ใช้ ปุ๋ยหมักส่วนมากจะหมักให้เศษซากพืชและสัตว์เปื่อยจนเป็นสีคล้ำ แต่หากจะนำไปใช้ในพืชล้มลุกอาจต้องหมักจนมีลักษณะเป็นผงละเอียด การผลิตปุ๋ยหมั กนิยมนำวัสดุอินทรีย์ชนิดต่างๆมากองรวมกัน และอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย ปัจจุบันอาจใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายลงในกองปุ๋ยเพื่อเร่งกระบวนการย่อยสลาย และอาจเพิ่มปุ๋ยเคมี เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหาร กรมพัฒนาที่ดิน (2541) ทำการ วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมักจากฟางข้าวร่วมกับมูลไก่ พบว่ามีปริมาณไนโตรเจน 1.07% ฟอสฟอรัส 0.46%P โพแทสเซียม 0.94%K ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักร่วมกับกระดูกป่นและมูลโคจะมีปริมาณธาตุอาหารอยู่ 2.33% ไนโตรเจน 1.78% ฟอสฟอรัส และ 0.48% โพแทสเซียม

ข้อดี ของปุ๋ยอินทรีย์

1. ปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของดิน เช่น การเพิ่ม CEC ของดิน ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน และการปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

2. ปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน เช่น การเกิดเม็ดดิน ความโปร่ง ความร่วนซุย ความสามารถในการอุ้มน้ำ

3. ปรับปรุงคุณสมบัติทางชีวภาพของดิน เป็นแหล่งพลังงาน และสารอาหารของจุลินทรีย์ ทำให้มีการหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน ธาตุอาหารบางตัวอาจอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ กิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆจะไปปลดปล่อยให้ธาตุอาหารในดินอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากขึ้น และพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้

4. ปุ๋ยอินทรีย์อยู่ในดินได้นานและค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารพืชอย่างช้า ๆ จึงมีโอกาสสูญเสีย น้อยกว่าปุ๋ยเคมี

5. เมื่อใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี จะส่งเ สริมปุ๋ยเคมีให้เป็นประโยชน์แก่พืชอย่างมีประสิทธิภาพ มีธาตุอาหารรองหรือธาตุอาหารเสริมอยู่เกือบครบถ้วนตามความต้องการของพืช

6. ปุ๋ยอินทรีย์ โดยเฉพาะจากปุ๋ยคอก เป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนและกำมะถันแก่ดิน นอกจากนี้ยังให้ ธาตุอื่นๆอีกด้วย

การปลูกพืชแบบหมุนเวียน

ระบบการปลูกพืชหมุนเวียน (Crop rotation) เป็นระบบที่ใช้กันมานานตั้งแต่สมัยโบราณ ปลูกพืชแบบหมุนเวียนเป็นเทคโนโลยีหลักที่ทำให้การผลิตพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ประสบความสำเร็จ การปลูกพืชหมุนเวียน (Crop rotation) เป็นระบบการเกษตรกรรมที่ใช้การปลูกพืชหลายชนิดที่ต่างชนิดกันในบริเวณเดียวกันตามลำดับของฤดูเพื่อให้ได้ประโยชน์หลายอย่าง เพื่อป้องกันการสะสมของเชื้อโรค (Pathogens) หรือศัตรูพืช (Pest) ที่มักจะเกิดขึ้นถ้าปลูกพืชชนิดเดียวต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน โดยใช้พืชหลายชนิดในการเพาะปลูก ซึ่งประกอบไปด้วยพืชทำเงิน (Cash crop) และพืชแทรก (Break crops) ปลูกต่อเนื่องในพื้นที่เดียวกัน (ยงยุทธ และคณะ , 2551) การปลูกถั่วเหลืองหลังการปลูกข้าวถือว่าเป็นการปลูกพืชหมุนเวียนแบบสร้างสรรค์ (Constructive crop rotation) คือการปลูกพืชหมุนเวียนที่พืชชนิดแรกนำธาตุอาหารไปใช้แล้วยังรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2548) สามารถปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน นอกจากนี้ผลผลิตของพืชแทรกยังสามารถจำหน่ายได้ และลดภาระในการจัดหาปุ๋ยจากภายนอกมาบำรุงดินอีกด้วย การปลูกพืชหมุนเวียนที่ทำกันมามักจะเป็นการปลูก พืชที่ช่วยสร้างเสริมไนโตรเจนให้พืชที่ปลูกในฤดูถัดไป

ประวัติความเป็นมาของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองจัดอยู่ใน Family Fabaceae (Leguminosae), subfamily Papilionoideae วงศ์ Phaseoleae สกุล *Glycine* มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine max* (L.) Merrill แต่เดิมมีชื่อวิทยาศาสตร์ที่รู้จักกันดีคือ *Glycine soja* และ *Soja max* ขณะเดียวกัน Ricker and Morse ได้เสนอหลักฐานทางอนุกรมวิธานว่า ถั่วเหลืองน่าจะได้รับการตั้งชื่อเป็น *Glycine max* (L.) Merrill ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก (อภิพรรณ, 2546) ส่วนชื่อสามัญ ก็เรียกต่างกันไป เช่น Soja bean, Chinese pea, Manchurian bean และ Soybean ซึ่ง Soybean เป็นชื่อที่ยอมรับกันมากที่สุด ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจที่เหมาะสำหรับปลูกสลับกับการปลูกข้าว (อัจฉรา และคณะ, 2547) Purseglove(1968) ; Cuzin (1976) และ Werner and Newton (2005) ได้รายงานว่าถั่วเหลืองมีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศจีน พบหลักฐานมีการเพาะปลูกตั้งแต่ 5,000 ปีมาแล้ว ซึ่งถูกค้นพบครั้งแรกในบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีน บริเวณหุบเขาแม่น้ำเหลือง ประมาณเส้นรุ้งที่ 35 องศาเหนือ เช่นเดียวกับ ข้าวสาลีและข้าวฟ่าง เพราะว่าอารยธรรมของจีนได้ถือกำเนิดที่นั่น นอกจากนี้พบการจารึกครั้งแรกเกี่ยวกับถั่วเหลือง เมื่อ 2,295 ปีก่อนพุทธกาล ที่หุบเขาแม่น้ำเหลือง ต่อมาถั่วเหลืองจึงได้แพร่กระจายมายังทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และแพร่กระจายไปทั่วโลก ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการอพยพของประชาชนจีน (Hymowitz, 1970; Wang, 1985; Chang, 1989)

สำหรับประเทศไทยไม่มีหลักฐานแน่ชัดว่าถั่วเหลืองแพร่กระจายมาอย่างไร และเมื่อใด แต่สันนิษฐานกันว่าชาวจีนนำเข้ามา เพื่อเพาะปลูกใช้สำหรับเป็นอาหาร (อภิพรรณ, 2546) ปัจจุบันถั่วเหลืองได้กลายเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ แต่ไม่สามารถผลิตให้เพียงพอต่อความต้องก ารใช้ภายในประเทศ เนื่องจากอัตราการขยายตัวของการใช้ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ภายในประเทศในอุตสาหกรรมต่างๆ เพิ่มสูงมากขึ้น เนื่องจากเมล็ดถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีนประมาณ 40% น้ำมัน 20% (Bilyeu et al., 2010) ดังนั้นถั่วเหลืองจึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ใช้เป็นอาหารทั้งในรูปของการบริโภคโดยตรงหรือแปรรูปเป็นอาหารต่าง ๆ หรือใช้ในอุตสาหกรรมสกัดน้ำ มันและอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ เช่นกากถั่วเหลืองยังใช้เป็นแหล่งโปรตีนสำหรับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ นอกจากนี้แล้วการปลูกถั่วเหลืองยังช่วยบำรุงดินอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากมีไรโซเบียมอาศัยอยู่ในปมที่ราก ทำให้สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้

ถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60 ได้จากการคัดเลือกแบบต้นต่อต้น (Single seed descent, SSD) จากการผสมระหว่างพันธุ์ Williams x สจ.4 เมื่อปี 2518 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ จำนวน 22 คู่ผสม คัดเลือกรุ่นลูกโดยวิธีสืบประวัติเพื่อหาสายพันธุ์ที่ให้ ผลผลิตสูงทนทานต่อโรคที่

สำคัญ ซึ่งกรมวิชาการเกษตรพิจารณาเป็นพันธุ์รับรองวันที่ 30 กันยายน 2530 (กรมวิชาการเกษตร , 2552)

ลักษณะเด่น

1. ให้ผลผลิตสูงเฉลี่ย 280-350 กิโลกรัมต่อไร่
2. มีความทนทานต่อโรคราสนิม โรค ใบจุดนูน และโรคราน้ำค้างดีกว่าพันธุ์ สจ .4 และสจ.5
3. สามารถปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมได้กว้าง เหมาะสำหรับใช้เป็นพันธุ์ปลูกทุกสภาพท้องถิ่น

ลักษณะประจำพันธุ์

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ โคนต้นอ่อนสีเขียวอ่อน ดอกสีขาว ขนสีน้ำตาล เปลือกหุ้มเมล็ดแห้งสีเหลือง ตาเมล็ดแก่สีน้ำ ตาล เมล็ดแก่รูปร่างค่อนข้างกลม ใบสีเขียวเข้ม ลักษณะลำต้นไม่ทอดยอด แตกกิ่งน้อย ขึ้นอยู่กับระยะปลูกและจำนวนต้นต่อไร่
2. ลักษณะทางการเกษตร ผลผลิตเฉลี่ย 280-350 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวนฝักต่อต้น 50 ฝัก จำนวนเมล็ดต่อฝัก ประมาณ 2-3 เมล็ด น้ำหนัก 100 เมล็ด หนัก 15 กรัม ความสูง 40-64 เซนติเมตร จำนวนข้อ 12 ข้อ จำนวนกิ่งน้อย อายุออกดอก 35 วัน อายุเก็บเกี่ยว 90-100 วัน

ข้อควรระวัง

1. ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 อ่อนแอต่อสภาพดินที่มีความชื้นสูงหรือมีน้ำขัง การปลูกในฤดูแล้งในเขตชลประทาน ไม่ควรให้น้ำขังหรือในฤดูฝนควรระบายน้ำ ออกจากแปลงก่อนปลูก
2. เมล็ดพันธุ์เสื่อมสภาพเร็วถ้าเก็บในสภาพอุณหภูมิห้อง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วเหลือง

ราก ระบบรากเป็นแบบรากแก้ว (Tap Root System) ประกอบด้วย รากแก้ว (Primary Root หรือ Tap Root) ที่เจริญมาจากแรดิเคิล (Radicle) มีรากแขนง (Secondary Root หรือ Lateral Root) เจริญออกจากรากแก้ว บริเวณรากมีปม (Nodule) เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของพืชตระกูลถั่วกับแบคทีเรีย สกุลไรโซเบียม (*Rhizobium japonicum*) เข้าไปอาศัยอยู่ (Singh, 2010)

ลำต้น ตั้งตรงเป็นพุ่ม ความสูงประมาณ 50-75 เซนติเมตร ระยะต้นอ่อน ลำต้นประกอบด้วย ส่วนที่อยู่ใต้ใบเลี้ยง (Hypocotyl) ใบเลี้ยง (Cotyledon) และส่วนที่อยู่เหนือใบเลี้ยง (Epicotyl) และมีขนอ่อน (Pubescence หรือ Trichome หรือ Hair) ปกคลุมอยู่ทั่วไป ยกเว้นใบเลี้ยงและกลีบดอก

ใบ ระยะต้นอ่อนมีใบเลี้ยง (Cotyledon หรือ Seed Leaf) ต่อมาจึงกำเนิดใบจริงคู่แรกซึ่งเป็นใบเดี่ยว (Unifoliate Leaf) หลังจากนั้นจึงปรากฏใบประกอบ แบบ Trifoliolate มี 3 ใบย่อย คือ ใบย่อยด้านปลาย (Terminal Leaflet) 1 ใบ และใบย่อยด้านข้าง (Lateral Leaflet) 2 ใบ ที่โคนของก้านใบประกอบ (Petiole) มีหูใบ (Stipule) 2 อัน ส่วนโคนของก้านใบย่อย (Petiolule) มีหูใบย่อย (Stipel) 1 อัน แกนของก้านใบประกอบระหว่างรอยต่อของก้านใบย่อยด้านปลายและก้านใบย่อยด้านข้าง เรียกว่า Rachis (รังสฤษดิ์, 2541)

ช่อดอกและดอก ช่อดอกมีการเรียงตัวเป็นแบบพัด (Raceme) ดอกมีลักษณะเฉพาะเรียกว่า Papilionaceous Flower ประกอบด้วยกลีบเลี้ยง (Sepal) มีส่วนฐานเชื่อมติดกัน (Calyx Tube) กลีบดอก (Petal) 5 กลีบ ได้แก่ กลีบขนาดใหญ่ (Banner หรือ Standard) 1 กลีบ กลีบขนาดกลางที่อยู่ด้านข้าง (Wing) 2 กลีบ และกลีบขนาดเล็ก (Keel) 2 กลีบ เกสรตัวผู้ (Stamen) เป็นแบบ Diadelphous คือมี 9 อันที่ก้านเกสรตัวผู้ (Filament) เชื่อมติดกัน (United Stamen หรือ Fused Stamen) และอีก 1 อัน ที่แยกเป็นอิสระ (Free Stamen หรือ Separated Stamen) เกสรตัวเมีย (Pistil) ประกอบด้วย ยอดเกสรตัวเมีย (Stigma) ก้านชูเกสรตัวเมีย (Style) และรังไข่ (Ovary) เป็นแบบ Unicarpellate มีไข่จำนวน 3-5 ใบ (Ovule) ที่โคนของก้านดอก (Pedicel) มี Prophyll 2 อัน ซึ่งต่อมากลายเป็น Bracteole ส่วนโคนของก้านช่อดอก (Peduncle) มี Prophyll 2 อัน ซึ่งต่อมากลายเป็น Bract

ผลและเมล็ด ผลเป็นแบบ Legume เรียกทั่วไปว่าฝัก (Pod) เมล็ดมีรูปร่างกลม รี หรือรูปไข่ ประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ด (Seed Coat หรือ Testa) รอยแผลหรือเปลือกตา (Hilum หรือ Seed Scar) มีรูเล็กๆ (Micropyle) เกิดจากเนื้อเยื่อ Integument ของรังไข่ ที่ปลายอีกข้างหนึ่งของรอยแผล มีร่องเล็กๆ (Raphe) ที่เกิดจากการเกาะของ Integument กับผนังรังไข่ ใบเลี้ยง (Cotyledon

หรือ Lateral Divergence) และแกนต้นอ่อน (Primary Axis หรือ Embryonic Axis) ประกอบด้วยส่วนของพลูมูล (Plumule) และแกนของ Hypocotyl-Radicle Axis ซึ่งอยู่บริเวณด้านเดียวกับ Micropyle (อัจฉรา และคณะ, 2547)

การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง เริ่มตั้งแต่เมล็ดงอก จนกระทั่งเก็บเกี่ยว สามารถแบ่งการเจริญเติบโตออกเป็น 2 ระยะใหญ่ๆ ดังนี้

1. ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative growth stages, V-stage) เริ่มตั้งแต่ระยะต้นอ่อนโผล่ พ้นดิน โดยมีใบเลี้ยง ใบจริงคู่แรก และใบประกอบ จะเกิดขึ้นบนข้อของลำต้น ถือเอาลำดับของข้อเป็นตัวกำหนดระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น ซึ่งจะพิจารณาจากการนับข้อบนลำต้นหลัก (Main Stem) ที่ปรากฏใบคลี่กางออกเต็มที่

2. ระยะการเจริญพันธุ์ (Reproductive growth stages, R -stage) เริ่มตั้งแต่ถั่วเหลืองเริ่มออกดอก การสร้างฝัก และการสร้างเมล็ด จนถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาและเก็บเกี่ยว

ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น(Vegetative growth stages, V-stage) ประกอบด้วย

VE- ระยะโผล่พ้นดิน (Emergence) มีลักษณะโดยทั่วไปคือ ใบเลี้ยงเพิ่งโผล่และอยู่เหนือผิวดิน

VC- ระยะใบจริงคู่แรก (Unifoliate leaf) เริ่มคลี่กางและขอบใบประกอบไม่แตะกัน

V1- ระยะข้อที่ 1 (First Node) มีลักษณะโดยทั่วไปคือ ใบจริงคู่แรกคลี่กางใบเต็มที่ในข้อที่ 1

V2- ระยะข้อที่ 2 (Second Node) มีลักษณะโดยทั่วไปคือใบประกอบ (Trifoliate leaf) ชุดที่ 1 คลี่กางออกในข้อที่ 2

V3- ระยะข้อที่ 3 (Third Node) มีลักษณะโดยทั่วไปคือ ใบประกอบ (Trifoliate leaf) ชุดที่ 2 คลี่กางออกในข้อที่ 3

Vn- ระยะข้อที่ n (n-Node) มีลักษณะโดยทั่วไปคือ (n) เท่ากับจำนวนข้อบนลำต้นที่มีใบประกอบคลี่กางออกเต็มที่ (Fehr and Caviness, 1979)

ระยะการเจริญพันธุ์

ระยะการเจริญพันธุ์ (Reproductive growth stages, R -stage) ประกอบด้วย

R1- เริ่มออกดอก (Beginning bloom) มีลักษณะโดยทั่วไปคือ มีการปรากฏดอกแรกบานบนต้น

R2- ออกดอกเต็มที่ (Full bloom) มีลักษณะโดยทั่วไปคือ มีดอกบานที่ข้อใดข้อหนึ่งบนข้อบนสุดสองข้อที่มีใบคลี่กางเต็มที่

R3- เริ่มติดฝัก (Beginning pod) มีลักษณะโดยทั่วไปคือ ฝักยาวขนาด 5 มิลลิเมตร ปรากฏขึ้นที่ข้อใดข้อหนึ่งบนข้อบนสุด 4 ข้อ บนลำต้นที่มีใบกางเต็มที่

R4- ติดฝักเต็มที่ (Full pod) มีลักษณะโดยทั่วไปคือ ฝักยาวขนาด 2 เซนติเมตร ปรากฏขึ้นที่ข้อใดข้อหนึ่งบนข้อบนสุด 4 ข้อ บนลำต้นที่มีใบกางเต็มที่

R5- เริ่มติดเมล็ด (Beginning seed) มีลักษณะโดยทั่วไปคือ เมล็ดยาวขนาด 3 มิลลิเมตร ในฝักที่ติดอยู่ในข้อใดข้อหนึ่งบนข้อบนสุด 4 ข้อ บนลำต้นที่มีใบกางเต็มที่

R6- เมล็ดพัฒนาเต็มที่ (Full seed) มีลักษณะคือ ฝักซึ่งมีเมล็ดสีเขียวเจริญเติบโตจนเต็มช่องว่างของฝัก ปรากฏให้เห็นในข้อใดข้อหนึ่ง 4 ข้อ บนสุดของลำต้นที่มีใบกางเต็มที่

R7- เริ่มสุกแก่ (Beginning maturity) มีลักษณะโดยทั่วไปคือ ฝักใดฝักหนึ่งบนลำต้นที่เริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล

R8- สุกแก่เต็มที่ (Full maturity) มีลักษณะโดยทั่วไปคือ 95% ของฝักที่เปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล (Fehr and Caviness, 1979)

การเลือกพื้นที่และระยะเวลาที่เหมาะสมในการเพาะปลูก

ถั่วเหลืองสามารถปลูกได้ในดินเกือบทุกชนิดที่มีการระบายน้ำได้ดี ตั้งแต่ดินร่วนปนทรายจนกระทั่งดินเหนียวที่มีความอุดมสมบูรณ์พอควร ความเป็นกรด-ด่างของดินประมาณ 5.5 - 6.5 (วิวัฒน์ไชย, 2543) ถั่วเหลืองไม่ชอบดินทรายจัด สภาพดินที่เป็นเกลือหรือกรดจัด ดินที่เหมาะสมคือดินร่วน ดินร่วนเหนียว พื้นที่ที่เป็นดินกรดก่อนจะปลูกถั่วเหลืองคว รใส่ปูนขาวตามค่าวิเคราะห์ดินเพื่อปรับระดับความเป็นกรด -ด่างของดินให้เหมาะสมก่อนทำการเพาะปลูก ในฤดูฝน

ต้องทำการระบายน้ำ เพราะถั่วเหลืองไม่ชอบน้ำขัง ส่วนในฤดูแล้งต้องเลือกพื้นที่ที่มีน้ำเพียงพอตลอดระยะเวลาการปลูก การปลูกถั่วเหลืองหลังนาจะปลูกไดเร็วหรือชาขึ้นอยูกับระยะเวลาการเก็บเกี่ยวข้าว และน้ำชลประทาน ชวงระยะเวลาที่เหมาะสม คือช่วงเดือนธันวาคม แต ถาปลูกไมทัน ไมควรปลูกเกินเดือนมกราคม เพราะจะมีป ญหาโรคและแมลง ขณะเดียวกัน สภาพอากาศที่ร้อนจัดทำให้ดอกร่วง ไม ติดฝัก ทำให ผลผลิตคุณภาพต่ำ สิ่งจำเป นมากที่ต องทำในการเตรียมดินปลูกถั่วเหลือง โดยเฉพาะอย างยิ่งในดินเหนียวคือ การทำร องระบายน้ำ หรือยกร องปลูกถั่วเหลืองซึ่งการทำร องระบายน้ำจะช วยให น้ำซึมทั่วแปลงได อย่างรวดเร็วสม่ำเสมอ ป องกันน้ำขังแฉะ ซึ่งเป นสาเหตุให เมล็ดถั่วเหลืองเน าก อนงอก หรือต นถั่วเหลืองชะงักการเจริญเติบโตหรือเน่าตาย โดยขุด ร่องให กวางประมาณ 30 ซม. แนบชิดคันนาทุกดานและผานกลางแปลงนา

การปลูกถั่วเหลืองหลังนา แยกการเตรียมดินออก เป็น 2 แบบ คือการเตรียมดินปกติ ไถพรวนหลังจากการเก็บเกี่ยวข้ าวแล้ว ไถดินให ลึกประมาณ 15-20 ซม. ตากดินทิ้งไว้ 1-2 สัปดาห์ ปล่อยให้น้ำท่วมแปลงระบายน้ำออกตากหน้ าดินไว 1-2 วัน ไถพรวนก่ อนปลูก ซึ่งเป็นวิธีดั้งเดิมของเกษตรกรในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง (สมชาย, 2543) อีกแบบคือ การปลูกถั่วเหลืองโดยไม่ไถเตรียมดิน ส่วนใหญ่พบมากในเขตภาคเหนือตอนบน สำหรับการปลูกถั่วเหลืองหลังนา โดยไม่มีการเตรียมแปลงควรระวังในเรื่องของร่องน้ำสำหรับการให้น้ำของถั่วเหลืองและระบายน้ำส่วนเกินออกจากพื้นที่ปลูก โดยหลังจากการเก็บเกี่ยว ข้าวเกษตรกรรวบรวมฟางข้าวจากการเกี่ยวและนวดแล้ว มีวิธีการปฏิบัติ 2 วิธีคือ แบบเผาฟาง โดยการตัดตอซังข าว แล วนำฟางข าวจากการฝาดเมล็ดข้าวออกแล้วมาเกลี่ยคลุมดินให ทั่วแปลงแล วเผาฟาง ซึ่งการเผาฟ างมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายเชื้อโรคที่อาศัยอยู่ในดิน ช่วยในการกำจัดวัชพืชที่หลงเหลือในนา นอกจากนี้เถ้าจากฟางยังใช้เป็นวัสดุกลบหลุมปลูกได้อย่างดี (พิมพร, 2542) ส่วนการเตรียมแปลงอีกวิธีหนึ่ งคือแบบไมเผาฟาง โดยการตัดตอซังข้าวให สั้นกอนปลูกขั้นตอนการปฏิบัติต อไป หลังจากนั้นปล อยน้ำเข้าท วมแปลงประมาณครึ่งวันระบายน้ำออกตากหน้าดินไว 1-2 วัน เพื่อให้ดินมีความชื้นที่เหมาะสมก่อนการปลูก ซึ่งวิธีการเตรียมแปลง แบบไม เผาฟาง สามารถใช้เศษฟางที่เหลือจากก ารเก็บเกี่ยวข้าวมาใช้ในการคลุมแปลงเพื่อเป็นการประหยัดน้ำในการเพาะปลูก ซึ่งฟางที่คลุมดินจะลดการคลายระเหยของน้ำหรือเป็นการประหยัดเวลาในการให้น้ำ ทำให้จำนวนครั้งของการให้น้ำลดลง ลดการปะทะของแสงกับดินซึ่งจะเกิดการงอกของวัชพืช แล้วยังเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน อีกด้วย เนื่องจากการย่อยสลายของฟางข้าวที่คลุมดิน (รัตนา, 2540; เธียรชัย, 2542) จากการสำรวจแหล่งเพาะปลูก ถั่วเหลืองของอำเภอแม่ริม อำเภอพร้าว อำเภอสันทราย ที่ปลูกในเขตชลประทาน จากงานวิจัยชลูด (2534) พบว่าทั้ง 3 เขตอำเภอ สามารถปลูกถั่วเหลืองได้โดยไม่ต้องมีการไ ถพรวนดิน ซึ่งสามารถทำได้โดยเผาฟางและไม่เผาฟางแต่ต้องมีการจัดการน้ำให้เหมาะสมในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่และระยะเวลาการศึกษา

การเลือกแปลงทดลอง ในสภาพพื้นที่สำหรับปลูกข้าว ในฤดูนาปี และทำการปลูกถั่วเหลืองในฤดูหลังนา ซึ่งมีการจัดการแบบเกษตรอินทรีย์มาอย่างต่อเนื่องของเกษตรกร ตำบลแม่แรม อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ระยะเวลาในการศึกษา 2 ปี เริ่มตั้งแต่เดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนมีนาคม 2556 ทำการศึกษาผลตกค้างของปุ๋ยอินทรีย์ที่เหลือจากการผลิตข้าวนาปีหลังจากนั้นจึงทำการปลูกถั่วเหลืองหลังการทำนา เพื่อประเมินการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 และทำการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการอาคารปฏิบัติการทางดินและปุ๋ยขั้นสูง คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ลักษณะของสภาพพื้นที่ที่ทำการทดลอง ส่วนใหญ่เป็นหน่วยผสมของตะกอนหรือดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อน (Alluvial complex poorly drained (AC-pd)) เกิดจากการสะสมของตะกอนแม่น้ำ เนื้อดินเป็นดินร่วน หรือดินเหนียวปนทราย (Silty clay loam) การระบายน้ำค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ของดินปานกลางถึงต่ำ มักจะมีน้ำท่วมขังในฤดูฝน (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2548)

วิธีการทดลอง

แผนการทดลองและสิ่งทดลอง

ทำการวางแผนทดลองแบบสุ่มลงในบล็อคอย่างสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ในการปลูกข้าวนาปีที่มีการจัดการ ดินโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ประกอบด้วยสิ่งทดลอง 8 ตำรับดังนี้

1. ตำรับควบคุม (Control) แปลงที่ไม่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทุกประเภท
2. แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอก(AM) 1,000 กก./ไร่ (มูลโค)
3. แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก (CP) 1,000 กก./ไร่ (คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้)
4. แปลงที่ผ่านการใส่แหนแดง(AZ) 2,000 กก./ไร่

5. แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอก 500 กก./ไร่ : ปุ๋ยหมัก 500 กก./ไร่ (AM+CP)

6. แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอก 500 กก./ไร่ : แหนแดง 2,000 กก./ไร่ (AM+AZ)

7. แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก 500 กก./ไร่ : แหนแดง 2,000 กก./ไร่ (CP+AZ)

8. แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอก 500 กก./ไร่ : ปุ๋ยหมัก 500 กก./ไร่ : แหนแดง 2,000 กก./ไร่ (AM+CP+AZ)

การเตรียมแปลง

การปลูกข้าวในแปลงทดลอง ที่มีขนาด 4 x 4 เมตร โดยใช้ระยะปลูก 25 x 25 เซนติเมตร เตรียมดินโดยการไถดะและไถคราด โดยมีการใส่ปุ๋ยตามตำรับทดลองดังนี้

1. ตำรับควบคุม (Control) ไม่มีการเติมปุ๋ยทุกชนิด

2. ตำรับปุ๋ยคอก 1,000 กก./ไร่ (มูลโค) โดยหว่านมูลโคในอัตรา 10 กก./แปลง ก่อนการไถดะ 1 สัปดาห์

3. ตำรับปุ๋ยหมัก 1,000 กก./ไร่ (คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมการเกษตร) โดยหว่านปุ๋ยหมักในอัตรา 10 กก./แปลงก่อนการไถดะ 1 สัปดาห์

4. ตำรับแหนแดง 2,000 กก./ไร่ ใส่พร้อมกับการเตรียมดิน โดยใช้แหนแดงที่ขยายแล้วจากแปลงพักบริเวณเดียวกันในอัตรา 15 กก./แปลงใส่พร้อมกับการ ไถดะก่อนการปักดำ และใส่แหนแดงเพิ่มในระยะก่อนข้าวตั้งท้องประมาณ 1 สัปดาห์ในอัตรา 5 กก./แปลง

5. ตำรับปุ๋ยคอก 500 กก./ไร่ : ปุ๋ยหมัก 500 กก./ไร่ โดยหว่านมูลโคในอัตรา 5 กก./แปลงและปุ๋ยหมักในอัตรา 5 กก./แปลง ก่อนการไถดะ 1 สัปดาห์

6. ตำรับปุ๋ยคอก 500 กก./ไร่ : แหนแดง 2,000 กก./ไร่ โดยหว่านมูลโคในอัตรา 5 กก./แปลง ก่อนการไถดะ 1 สัปดาห์ ส่วนแหนแดงใช้ แหนแดงที่ขยายแล้วจากแปลงพักบริเวณเดียวกันในอัตรา 15 กก./แปลง ใส่พร้อมกับการไถดะก่อนการปักดำ และ ใส่แหนแดงเพิ่ม ในระยะก่อนข้าวตั้งท้องประมาณ 1 สัปดาห์ในอัตรา 5 กก./แปลง

7. ตำรับปุ๋ยหมัก 500 กก./ไร่ : แหนแดง 2,000 กก./ไร่ โดยหว่านปุ๋ยหมักในอัตรา 5 กก./แปลง ก่อนการไถดะ 1 สัปดาห์ ส่วนแหนแดงใช้ แหนแดงที่ขยายแล้วจากแปลงพักบริเวณเดียวกันในอัตรา 15 กก./แปลง ใส่พร้อมกับการไถดะก่อนการปักดำ และใส่แหน แดงเพิ่มในระยะก่อนข้าวตั้งท้องประมาณ 1 สัปดาห์ในอัตรา 5 กก./แปลง

8. ตำรับปุ๋ยคอก 500 กก./ไร่ : ปุ๋ยหมัก 500 : แหนแดง 2,000 กก./ไร่ โดยหว่านมูลโคในอัตรา 5 กก./แปลง และปุ๋ยหมักในอัตรา 5 กก./แปลง ก่อนการไถดะ 1 สัปดาห์ ส่วนแหน

แดงใช้แหนแดงที่ขยายแล้วจากแปลงพักบริเวณเดียวกันในอัตรา 15 กก./แปลง ใส่พร้อมกับการไถดะก่อนการปักดำ และ ใส่แหนแดงเพิ่มในระยะก่อนข้าวตั้งท้องประมาณ 1 สัปดาห์ในอัตรา 5 กก./แปลง

การปลูกถั่วเหลืองหลังนา ทำการปลูกถั่วเหลืองหลัง จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตของข้าว ซึ่งมีระยะปลูก 25 x 25 เซนติเมตร เว้นข้างแปลง 50 เซนติเมตร โดยทำการตัดตอซังข าวให้สั้น จากนั้นนำฟางขาวจากการฝาดเมล็ดข้าวออก นำมาเกลี่ยคลุมดินให ทั่วแปลงแล้วเผา เตรียมดินโดยใช้ไม้ปลายแหลมเจาะดินชิดบริเวณตอซังข้าวเดิมให้เป็นหลุม แล้วหยอดเมล็ดถั่วเหลืองลงหลุม การเจาะดินให้เป็นหลุมควรจะลึก 3-5 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างแถวของตอซังเป็นเกณฑ์ในการแทงหลุมและใช้ระยะ หว่างระหว่างหลุม 25 x 25 เซนติเมตร ใช้ถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60 จากศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ปลูกโดยการหยอดเมล็ด 3 เมล็ด /หลุม ระบายน้ำเข้าพอให้ดินเปียกชุ่ม แล้วระบายน้ำออกทันที ประมาณ 5-7 วัน ถั่วจะเริ่มงอก การจัดการดิน ในการทดลอง ครั้งนี้จะไม่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์หรือวัสดุอื่นลงไปอีกหลังการเก็บเกี่ยวข้าวนาปี และไม่มีการคลุกเชื้อไรโซเบียมเพิ่มทุกตำรับการทดลอง ตลอดการทดลองมีการให้น้ำ และกำจัดวัชพืชตามความเหมา ะสม การจัดการด้านแมลงศัตรูพืช ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ชีวภาพ MMO สูตร 5 (*Beauveria bassiana*) ที่ผลิตโดยสถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ฉีดพ่นเพื่อกำจัดแมลงศัตรูพืช

การเก็บตัวอย่างพืช

เก็บตัวอย่างต้นถั่วเหลืองที่มีการเจริญเ ติบโตทางลำต้น ที่ระยะ V4, R2, R4 และ R6 (Fehr and Caviness, 1977)

การเก็บตัวอย่างน้ำหล่อเลี้ยงลำต้นและลำต้นเหนือดิน

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำหล่อเลี้ยงลำต้น (Xylem sap) และลำต้นเหนือดิน โดยเก็บตัวอย่างแปลงละ 10 ต้น มีวิธีการเก็บตัวอย่างดังนี้ ทำการสุ่มต้นถั่ว เหลืองในแปลงทดลอง หลังจากนั้นใช้ใบมีดหรือกรรไกรตัด ทำการตัดลำต้นถั่วเหลืองส่วนเหนือดินถัดจากข้อแรกลงไป ใช้สายยาง (ซิลิคอนหรือลาเทกซ์) ที่มีขนาดพอดีกับต้นตอที่ถูกตัด สวมสายยางใส่ในต้นตอถั่วในแต่ละแปลง และเก็บรวบรวมน้ำหล่อเลี้ยงลำต้น (Xylem sap) ที่อยู่ในสาย ยาง โดยใช้กระบอกฉีดยาขนาด 1 มิลลิเมตร ที่ทำด้วยพลาสติก และมีเข็มฉีดยาเสียบอยู่ดูดน้ำหล่อเลี้ยงลำต้นที่ไหลออกมาตามแรงดันของราก ขึ้นมาเก็บไว้ในหลอดแก้ว ภายในระยะเวลาอย่างช้าสุดหลังการตัดต้นถั่วเหลือง 30 นาที

หลังจากเก็บตัวอย่างน้ำหล่อเลี้ยงลำต้นแล้ว ใส่ Ethanol 95% ลงในตัวอย่างน้ำหล่อเลี้ยงลำต้นประมาณ 1:1 เพื่อทำการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพของตัวอย่างน้ำหล่อเลี้ยงลำต้นและเก็บหลอดแก้วที่มีตัวอย่างน้ำหล่อเลี้ยงลำต้นในกระติกน้ำแข็ง ในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง หลังจากนั้นจึงนำมาเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สัดส่วนของ Ureide-N, Nitrate-N, Amino-N ด้วยวิธีของ (Peoples et al., 1989)

การเก็บตัวอย่างลำต้นส่วนเหนือดิน

ในส่วนของลำต้นเหนือดินที่ถูกตัด ทำการล้างให้สะอาด ชะด้วยน้ำกลั่น แล้วอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่าง มาชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน จากนั้นนำ มาบดให้ละเอียด เก็บใส่ถุงกระดาษเก็บตัวอย่างไว้ในโถดูดความชื้น เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชโดยวิธี micro-kjeldahl (Bergersen et al., 1988)

การเก็บตัวอย่างปมรากถั่ว

ขุดรากถั่วเหลืองในแต่ละตำรับทดลองและแต่ละซ้ำ โดยใช้พลั่วขุด ดินบริเวณรอบทรงพุ่มของถั่วเหลือง อย่างระมัดระวัง โดยให้มีความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร นำไปล้างดิน ที่ติดบริเวณรากออกด้วยน้ำสะอาด โดยใช้น้ำชะดินและใช้ตาข่ายรองรับตะกอนดิน เพื่อป้องกันปมที่หลุดจากรากระหว่างก ารล้าง จากนั้น แกะปมออกจากราก นำปมที่ได้มา อบด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำมาชั่งหาน้ำหนักแห้งของปม

การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูก ในพื้นที่ แปลงถั่วเหลือง ที่ระดับความลึก 0 – 25 ซม. เก็บตัวอย่างดินแบบรวม (Composite sample) ทำให้แห้งโดยตากไว้ในที่ร่ม (air - dried) นำไปบดและผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 0.5 และ 2.0 มม. นำดินมาวิเคราะห์ทางเคมี

การวิเคราะห์ดินและพืช

การวิเคราะห์ดินทางเคมี

ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โดยชั่งดิน 10 กรัมต่อน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร (1:1) คนให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 5 นาที คนให้เข้ากัน 5 นาที ทำซ้ำกัน 2 ครั้ง ครั้งที่ 3 ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที แล้ววัดค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้เครื่องมือ pH – meter (Wayne, 1980)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Soil organic mater) นำมาวิเคราะห์โดยวิธี Walkley and Black (1947) และ FAO (2008) โดยชั่งดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 1 กรัม เทลงในขวดชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 10 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆให้เข้ากันและเติม H_2SO_4 เข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที (ในตู้ดูดควัน) เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร หยดน้ำยาอินดิเคเตอร์ 3-4 หยด โดยมี O-phenantholine เป็น indicator แล้วไตเตรตด้วย 0.5 N Ferrous sulphate จนเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดงบันทึกค่าปริมาตรของ $FeSO_4$ ที่ใช้ไป เพื่อนำมาคำนวณหาค่าที่แท้จริง

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (Extractable Phosphorous) โดยวิธี BrayII ชั่งตัวอย่างดินหนัก 2.5 กรัม ใส่ในหลอดเซนติฟิวส์ สกัดด้วยน้ำยา BrayII จำนวน 25 มิลลิลิตร ปิดฝาให้มิดชิด เขย่านาน 1 นาที นำเข้าเครื่องเซนติฟิวส์ให้ดินตกตะกอน แล้วกรองสารละลายที่ได้ไปพัฒนาสีน้ำเงินแกรมฟ้าด้วย ascorbic acid ตามวิธีการของ Watanabe and Olsen (1962) และ FAO (2008) แล้วนำไปอ่านปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง Spectrophotometer

ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (Extractable Potassium, Calcium, Magnesium) สกัดตัวอย่างดิน 5 กรัม ใส่ในหลอดเซนติฟิวส์ สกัดด้วยสารละลาย 1 N NH_4OAc, pH 7 จำนวน 25 มิลลิลิตร ปิดฝาให้มิดชิด เขย่าเป็นเวลา 30 นาที นำเข้าเครื่องเซนติฟิวส์ให้ดินตกตะกอน กรองสารละลายที่ได้ไปอ่านค่าด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Wayne, 1980) เติม Lanthanum oxide ในการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียม

ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และคอปเปอร์ โดยชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA จำนวน 25 มิลลิลิตร เขย่านาน 2 ชั่วโมง หลังขบวนการตกตะกอนนำสารละลายที่สกัดได้ไปอ่านค่าด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Wayne, 1980)

การวิเคราะห์พืช

Total Nitrogen ทำการย่อยตัวอย่าง พืช โดยวิธีของ Kjeldahl Method เติม Potassium Sulphate-catalyst mixture เป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา ลงไปในหลอดแก้วสำหรับย่อยที่มีตัวอย่างพืช เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น แล้วย่อยสลายที่อุณหภูมิไม่ควรเกิน 400 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 3-5 ชั่วโมง จากนั้นนำมากลั่น โดยการจับก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้น แล้ว นำไปไตเตรตด้วย 0.05 N HCl (นงลักษณ์, 2548)

การประเมินปริมาณและเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ได้จากการตรึง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของไนโตรเจนในน้ำหล่อเลี้ยงลำต้น คำนวน Relative ureide index (RUI) ดัชนียูรีไอด์สัมพัทธ์ในรูปของสารประกอบยูริไอด์ (Peoples et al., 1989)

$$\text{ดัชนียูรีไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยง (\%)RUI} = \left[\frac{4 \text{ X Ureide*}}{(4 \text{ X Ureide*} + \text{Amino*} + \text{Nitrate*})} \right] * 100$$

* หน่วย mmoles

ไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ (Nitrogen derived from air, Ndaf) สามารถประเมินได้จากสมการที่เสนอแนะโดย (Herridge and Peoples, 1990)

ที่ระยะ Vegetative	x = 1.56 (y-7.7)	(V1-V5)
ที่ระยะออกดอก	y = 4.8 + 0.83 x	(R1-R2)
ที่ระยะติดฝัก	y = 21.3 + 0.67 x	(R3-R6)

เมื่อ x คือ %RUI

y คือ %Ndaf

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน ทางสถิติ (Analysis of Variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มลงในบล็อคอย่างสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) เมื่อพบความแตกต่างกันในทางสถิติจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธีจัดกลุ่มของสิ่งทดลอง (Duncan's New Multiple Range Test, DMRT)

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการทดลอง

คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูกถั่วเหลืองการทดลองในปีที่ 1

การศึกษาปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงทั้งหมดของถั่วเหลืองหลังนาที่ได้รับผลกระทบจากปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่เหลือจากแปลงข้าวนาปี ในพื้นที่ของเกษตรกร ในอำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งทำการทดลองเป็นระยะเวลา 2 ปี โดยวางแผนการเก็บตัวอย่างดิน ก่อนปลูกถั่วเหลืองที่ระดับความลึก 0-25 ซม. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนทำการทดลองปลูกถั่วเหลือง การทดลองในปีแรกพบว่ามีค่าความเป็นกรด- ด่างเฉลี่ย 7.11 โดยตำรับควบคุมมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุดคือ 7.25 ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอก เพียงอย่างเดียว ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยคอกและแหนแดง ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง ซึ่งมีค่าความเป็นกรด- ด่างเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.09-7.13 โดยที่ตำรับที่ผ่านกการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดงมีค่าความเป็นกรด- ด่างต่ำที่สุดคือ 7.00 ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุใน ดินพบว่า ในตำรับที่มีการใส่อินทรียวัตถุลงไปส่งผลให้มีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่าตำรับควบคุม ซึ่งตำรับที่มีการใส่ ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยคอก และแหนแดง มีผลทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าตำรับทดลองอื่นๆคือ 3.26% รองลงมาคือตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียวคือ 3.12% ขณะที่ในตำรับควบคุมมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำที่สุดคือ 2.48% ซึ่งมีความแตกต่างกันในทางสถิติกับทุกตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 99% ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุโดยรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 2.99% ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินก่อนการทดลองในปีที่ 1 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 64 mgP kg^{-1} ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียวส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินมีค่ามากที่สุดคือ 71 mgP kg^{-1} รองลงมาคือตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 3 ชนิดร่วมกัน ส่วนในตำรับควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินน้อยที่สุดคือ 55 mgP kg^{-1} โดยมีความแตกต่างในทางสถิติกับอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตาราง 1 สำหรับปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินมีค่าเฉลี่ยคือ 106 mgK kg^{-1} แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสามชนิดรวมกัน(ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง) มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินมีค่าสูงที่สุดคือ 118 mgK kg^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลอง ในตำรับควบคุม ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 92 mgK kg^{-1}ปริมาณแคลเซียมและ

แมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน จากผลการทดลองในปีแรกพบว่ามีค่ าเฉลี่ยอยู่ที่ 2,945 mgCa kg^{-1} และ 176 mgMg kg^{-1} ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดมาจากตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 3 ชนิดร่วมกันคือ 3,043 mgCa kg^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติทุกตำรับทดลอง ส่วนปริมาณ แมกนีเซียม ที่สกัดได้ในดิน จากแปลงที่ ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว มีป ริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน สูงที่สุดคือ 200 mgMg kg^{-1} ซึ่งปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ ในดินต่ำที่สุดพบในแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดงเท่ากับ 2,857 mgCa kg^{-1} และปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน ที่มีค่าต่ำที่สุดพบใน แปลงของตำรับควบคุมคือ 157 mgMg kg^{-1} สำหรับปริมาณธาตุอาหารเสริม (เหล็ก, แมงกานีส, ทองแดง และสังกะสี) ของดินก่อนทำการทดลองในปีแรกพบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดิน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 92.31 mgFe kg^{-1} ซึ่งมีปริมาณเหล็กอยู่ในปริมาณที่สูงเนื่องจากทำการทดลองหลังจากก ารปลูกข้าว ทำให้เหล็กที่ละลายน้ำมีการสะสมอยู่ค่อนข้างสูง ซึ่งปริมาณ เหล็ก ที่สกัดได้ในดิน จากตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดงมีค่าสูงที่สุดคือ 97 mgFe kg^{-1} ส่วนตำรับควบคุมและตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินน้อยกว่าตำรับอื่นๆคือ 87 mgFe kg^{-1} แต่ไม่มีความแต กต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลอง ปริมาณแมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ที่สกัดได้ในดิน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47.41 mgMn kg^{-1}, 2.06 mgCu kg^{-1}, 8.53 mgZn kg^{-1} ตามลำดับ ปริมาณแมงกานีส ที่สกัดได้ในดิน จากแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดงมีปริมาณสูงที่สุดคือ 53 mgMn kg^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ ส่วนปริมาณ ทองแดง ที่สกัดได้ในดิน จากแปลงที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียวมีปริมาณสูงที่สุดคือ 2.35 mgCu kg^{-1} และไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลอง ขณะเดียวกันตำรับควบคุมซึ่งมีปริมาณ แมงกานีสและ ทองแดงที่สกัดได้ในดินน้อยที่สุดคือ 44 mgMn kg^{-1} และ 1.65 mgCu kg^{-1} ขณะที่ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินจากแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดงมีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้สูงที่สุดคือ 9.9 mgZn kg^{-1} โดยที่ตำรับควบคุมยั งคงมีปริมาณสังกะสี ที่สกัดได้ในดิน น้อยที่สุดคือ 6.7 mgZn kg^{-1} ซึ่งทุกตำรับทดลองมี ความแตกต่างในทางสถิติอย่างเด่นชัด ($P<0.01$) ตาราง 1

ตาราง 1 ผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูกถั่วเหลืองการทดลองในปีที่ 1 (พ.ศ. 2555) อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

Treatment	pH	OM (%)	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
			(mg kg^{-1})							
Control (No Fertilizer)	7.25^{a}	2.48^{c}	55^{d}	92	2,894	157^{c}	87	44	1.65	6.7^{d}
Animal Manure (AM)	7.19^{ab}	3.12^{ab}	71^{a}	105	2,871	200^{a}	87	45	2.08	7.8^{cd}
Compost Fertilizer (CP)	7.06^{bc}	3.02^{ab}	62^{bcd}	105	2,994	160^{c}	92	47	2.03	8.6^{abc}
Azolla (AZ)	7.01^{bc}	2.99^{ab}	60^{cd}	112	3,023	177^{abc}	93	48	2.35	8.5^{abc}
AM+CP	7.12^{abc}	3.06^{ab}	65^{bc}	113	2,885	180^{abc}	90	44	2.05	7.9^{bcd}
AM+AZ	7.00^{c}	2.96^{b}	62^{bcd}	101	2,996	172^{bc}	96	51	2.03	9.5^{a}
CP+AZ	7.09^{abc}	3.05^{ab}	66^{abc}	106	2,857	174^{bc}	96	49	2.15	9.9^{a}
AM+CP+AZ	7.13^{abc}	3.26^{a}	70^{ab}	118	3,043	189^{ab}	97	53	2.15	9.4^{ab}
Grand Mean	7.11	2.99	63.47	106.16	2,945	176.03	92.31	47.41	2.06	8.53
CV (%)	1.77	4.57	9.16	13.49	5.36	9.56	11.30	10.78	12.20	9.07
F-test	*	**	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	**

หมายเหตุ Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD *=0.05 and **=0.01

ns= Nonsignificant

คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูกถั่วเหลืองการทดลองในปีที่ 2

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนทำการทดลองในปีที่ 2 พ.ศ. 2556 พบว่าดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 6.75 ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจากการทดลองในปีแรก โดยตำรับควบคุมมีค่าความ เป็นกรด-ด่างสูงที่สุดคือ 6.95 ส่วนตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดง มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุดคือ 6.51 ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก แหนแดงเพียงอย่างเดียว และตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 3 ชนิดร่วมกัน ($P<0.01$) ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนการทดลองในปีที่ 2 นี้อยู่ในระดับที่เป็นกรด-กลาง ขณะที่ปริมาณอินทรียวัตถุในดินในตำรับที่มีการใส่อินทรียวัตถุลงไปส่งผลให้มีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่าตำรับควบคุม ยกเว้นแปลงที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียว ในอัตรา 2,000 kg rai^{-1} มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำที่สุดคือ 2.54% ซึ่งมีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 99% ซึ่งตำรับที่มีการใส่ ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยคอก และแหนแดง และตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมัก มีผลทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุดคือ 3.53% รองลงมาคือตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดงคือ 3.33% ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุโดยรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 3.18% ซึ่งการทดลองในปีที่ 2 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินโดยรวมมีปริมาณสูงกว่าการทดลองในปีแรก ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินก่อนการทดลองพบว่าปริมาณฟอส ฟอรัสที่สกัดได้ในดินมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 34 mgP kg^{-1} ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียวส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินมีค่ามากที่สุดเช่นเดียวกับการทดลองในปีแรกคือ 39 mgP kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมัก และปุ๋ยอินทรีย์ 3 ชนิดร่วมกัน มีปริมาณฟอสฟอรัสรองลงมา ส่วนในตำรับควบคุมยังคงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินน้อยที่สุดคือ 27 mgP kg^{-1} สำหรับปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินของการทดลองในปีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยคือ 102.91 mgK kg^{-1} แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่าง เดียว มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินมีค่าสูงที่สุดคือ 121 mgK kg^{-1} ขณะที่ตำรับควบคุมมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 81 mgK kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลอง ($P<0.05$) ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินพบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3,604 mgCa kg^{-1} และ 180 mgMg kg^{-1} ตามลำดับ ซึ่ง ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดิน สูงที่สุดมาจากตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดคือ 4,206 mgCa kg^{-1} ส่วนปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน จากแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว มีป ริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน สูงที่สุดคือ 205 mgMg kg^{-1} ขณะที่ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียม ที่สกัดได้ในดิน ที่มีค่าต่ำที่สุดพบในแปลงของตำรับควบคุมคือ 2,663 mgCa kg^{-1} และ 151 mgMg kg^{-1} ตามลำดับ สำหรับปริมาณธาตุอาหารเสริม (เหล็ก, แมงกานีส,

ทองแดง และสังกะสี) ของดินก่อนทำ การทดลองในปีที่ 2 พบว่า ปริมาณเหล็ก ที่สกัดได้ในดิน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 99.09 mgFe kg^{-1} ซึ่งปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินจากตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดงมีค่าสูงที่สุดคือ 126 mgFe kg^{-1} ส่วนตำรับควบคุมมีผลทำให้ป ริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินน้อยกว่าตำรับอื่นๆคือ 74 mgFe kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลอง อย่างเด่นชัด ($P<0.01$) ปริมาณแมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ที่สกัดได้ในดิน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 39.04 mgMn kg^{-1}, 1.11 mgCu kg^{-1}, 3.52 mgZn kg^{-1} ตามลำดับ ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดิน จากแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว แหนแดงเพียงอย่างเดียว และแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดงมีปริมาณสูงที่สุดคือ 41 mgMn kg^{-1} ส่วนปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดิน จากแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียวมีปริมาณสูงที่สุดคือ 1.22 mgCu kg^{-1} ขณะที่ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินจากแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยคอกมีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้สูงที่สุดคือ 4.0 mgZn kg^{-1} โดยที่ตำรับควบคุมยังคงมีป ริมาณแมงกานีส ทองแดงและ สังกะสี ที่สกัดได้ในดิน น้อยที่สุดคือ 33 mgMn kg^{-1}, 1.05 mgCu kg^{-1} และ 3.1 mgZn kg^{-1} ตาราง 2 จากภาพรวมของการศึ กษาคุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลองในปีที่ 1 และปีที่ 2 พบว่า ค่าความเป็นกรด- ด่าง ปริมาณฟอสฟอรัส แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีที่สกัดได้ในดิน จากปีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าการทดลองในปีที่ 2 แต่ปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินจากการทดลองใน ปีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าการทดลองจากปีที่ 1 (ตาราง 2)

ผลตกค้างของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่เหลือจากการปลูกข้าวนาปีจากทดลองในครั้งนี้มีปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนการปลูกถั่วเหลือง อยู่ในเกณฑ์ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เมื่อเทียบกับระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินและธา ตุอาหารพืชสำหรับถั่วเหลืองที่กล่าวโดย สุวพันธ์และสายใจ (2542) ขณะเดียวกันงานทดลองในครั้งนี้ยังสอดคล้องกับงานทดลองของ สุวพันธ์และคณะ (2541) ที่ปลูกถั่วเหลืองหลังนาโดยใช้ผลตกค้างของธาตุอาหารในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวนาปี จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินก่ อนปลูกถั่วเหลือง พบว่ าสอดคล้องกับงาน ทดลองในครั้งนี้ ขณะเดียวกันสุวพันธ์และคณะ (2541) กล่าวไว้ว่าปุ๋ยที่ใช้กับการปลูกข้าวอาจเพียงพอต่อการปลูกถั่วเหลืองหลังนา

ตาราง 2 ผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่อ คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูกถั่ วเหลืองการทดลองในปีที่ 2 (พ.ศ. 2556) อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

Treatment	pH	OM (%)	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
			(mg kg^{-1})							
Control (No Fertilizer)	6.95^{a}	2.96^{bc}	27	81^{c}	2,663^{b}	151	74^{d}	33^{b}	1.05	3.1
Animal Manure (AM)	6.80^{abc}	3.25^{ab}	39	121^{a}	3,677^{a}	205	116^{ab}	41^{a}	1.22	3.9
Compost Fertilizer (CP)	6.69^{abc}	3.07^{ab}	37	96^{bc}	3,569^{a}	175	89^{cd}	37^{ab}	1.16	3.0
Azolla (AZ)	6.66^{abc}	2.54^{c}	32	109^{ab}	3,803^{a}	173	113^{abc}	41^{a}	1.08	3.6
AM+CP	6.89^{ab}	3.53^{a}	37	112^{ab}	3,710^{a}	182	91^{cd}	40^{a}	1.07	4.0
AM+AZ	6.51^{c}	3.21^{ab}	30	105^{ab}	3,624^{a}	181	126^{a}	39^{a}	1.10	3.6
CP+AZ	6.89^{ab}	3.33^{ab}	36	94^{bc}	3,584^{a}	191	94^{bcd}	41^{a}	1.06	3.6
AM+CP+AZ	6.60^{bc}	3.53^{a}	37	106^{ab}	4,206^{a}	187	92^{cd}	40^{a}	1.18	3.4
Grand Mean	6.75	3.18	34.28	102.91	3,604.40	180.38	99.09	39.04	1.11	3.53
CV (%)	2.25	7.75	16.22	12.59	11.57	11.19	12.29	7.64	10.19	14.59
F-test	**	**	ns	*	**	ns	**	**	ns	ns

หมายเหตุ Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD *=0.05 and **=0.01

ns= Nonsignificant

น้ำหนักแห้งของปมรากถั่ว

ทำการศึกษาเก็บข้อมูลการสะสมน้ำหนักแห้งของปมถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ทำการเก็บข้อมูลในแต่ละระยะการเจริญเติบโต (V4, R2, R4 และ R6) โดยทำการทดลอง 2 ปีคือ ปี พ.ศ.2555 และ 2556 พบว่าการทดลองในปีแรก (พ.ศ. 2555) การสะสมน้ำหนักแห้ง ของปมถั่วเหลืองในระยะ V4 (ระยะที่ต้นถั่วเหลืองจะมีข้อ 4 ข้อบนต้น ใบจริงที่ 3 คลี่กางออกในข้อที่ 4) น้ำหนักแห้งของปมรากถั่วเฉลี่ยอยู่ที่ 77.3 mg $plant^{-1}$ โดยแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกันแหนแดง มีการสะสมน้ำหนักแห้งของปมสูงที่สุดคือ 104.3 mg $plant^{-1}$ รองลงมาคือแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมัก (92.8 mg $plant^{-1}$) ส่วนในแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดง แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว และแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดงไม่มีความแตกต่างในทางสถิติแต่อย่างใด ($P<0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยการสะสมน้ำหนักแห้งของปมคือ 84.0, 82.0 และ 76.3 mg $plant^{-1}$ ตามลำดับ สำหรับการสะสมน้ำหนักแห้งของปมในแปลงควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยทุกชนิด) ส่งผลให้มีน้ำหนักแห้งของปมต่ำที่สุดคือ 57.5 mg $plant^{-1}$ แต่ไม่มีความแตกต่างจากแปลงที่ผ่านการใช้แหนแดงในอัตรา 2,000 kg rai^{-1} และปุ๋ยหมัก 1,000 kg rai^{-1} แต่มีความแตกต่างในทางสถิติกับตำรับอื่นที่ความเชื่อมั่น 95% สำหรับน้ำหนักแห้งของปมรากถั่วในระยะ R2 (Full bloom-ออกดอกเต็มที่) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 118.2 mg $plant^{-1}$ ซึ่งพบว่าในตำรับที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียว มีปริมาณน้ำหนักแห้งของปมสูงที่สุดคือ 125.5 mg $plant^{-1}$ โดยมีความแตกต่างในทางสถิติกับตำรับควบคุมอย่างเด่นชัด ($P<0.01$) แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดง แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมัก และแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวแต่อย่างใด โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 124.3, 124.0, 122.5, 121.3, 120.8 และ 120.0 mg $plant^{-1}$ ตามลำดับ ส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งของปมถั่วเหลืองในระยะ R4 (Full pod-ติดฝักเต็มที่) นั้นมีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักปมทุกตำรับทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 206.3 mg $plant^{-1}$ โดยถั่วเหลืองจากแปลงที่ผ่านการใส่อินทรียวัตถุตั้งแต่สองประเภทขึ้นไปร่วมกันมีผลทำให้น้ำหนักปมสูงกว่าแปลงถั่วเหลืองที่ได้รับการใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก หรือแหนแดงเพียงอย่างเดียว โดยแปลงถั่วเหลืองที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดงมีผลต่อการสะสมน้ำหนักแห้งของปมถั่วสูงที่สุดในระยะนี้คือ 235.0 mg $plant^{-1}$ ขณะที่ตำรับควบคุมมีการสะสมน้ำหนักแห้งของปมถั่วเหลืองต่ำที่สุดคือ 168.0 mg $plant^{-1}$ แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($P<0.01$) ส่วนน้ำหนักแห้งของปมรากถั่วในระยะ R6 (Full seed-เมล็ดพัฒนาเต็มที่) พบว่าปมถั่วเหลืองมีค่าเฉลี่ยลดลง 12.6 % โดย

แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่ว มกับแหนแดงมีผลทำให้น้ำหนักปมถั่วเหลืองสูงที่สุดคือ 211.5 mg plant^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง และ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสามชนิดร่วมกันแต่อย่างใด ส่วนตำรับควบคุมยังคงทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งของปมถั่วเหลืองค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเหมือนกับระยะอื่นๆที่ผ่านมาคือ 142.8 mg plant^{-1} ($P<0.05$) ตาราง 3

ตาราง 3 ผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่อการ สะสมน้ำหนักแห้ง ของปมถั่วเหลือง ที่เจริญเติบโตระยะต่างๆ ในการทดลองปีที่ 1 (พ.ศ. 2555) อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ (mg plant^{-1})

Treatment	STAGES			
	V4	R2	R4	R6
Control (No Fertilizer)	57.50^{d}	87.00^{b}	168.00^{c}	142.75^{d}
Animal Manure (AM)	82.00^{c}	121.25^{a}	169.25^{c}	145.25^{d}
Compost Fertilizer (CP)	61.75^{d}	120.00^{a}	169.25^{c}	145.75^{d}
Azolla (AZ)	60.00^{d}	125.50^{a}	212.75^{b}	177.50^{c}
AM+CP	92.75^{b}	120.75^{a}	231.00^{a}	199.50^{b}
AM+AZ	84.00^{c}	122.50^{a}	235.00^{a}	211.50^{a}
CP+AZ	104.25^{a}	124.00^{a}	233.75^{a}	211.25^{a}
AM+CP+AZ	76.25^{c}	124.25^{a}	231.75^{a}	211.00^{a}
Grand Mean	77.31	118.16	206.34	180.56
CV (%)	7.02	3.59	2.27	4.02
F-test	*	**	**	*

หมายเหตุ Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD *=0.05, **=0.01 and ns= Nonsignificant

การสะสมน้ำหนักแห้งของปมถั่วเหลืองรุ่นที่ 2 ในปี พ.ศ. 2556 นั้นพบว่าน้ำหนักปมของถั่วเหลืองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 87.8-212.9 mg plant^{-1} ตั้งแต่ระยะ V4-R6 โดยการสะสมน้ำหนักแห้งของปมถั่วในระยะ V4 นั้น มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเมื่อถั่วเหลืองแปลงดังกล่าวผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง คือ 101.75 mg plant^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งจากตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยคอกและแหนแดง การใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมัก หรือการ

ใส่แหนแดงในอัตรา 2,000 kg rai^{-1} แต่อย่างใด โดยมีค่าเฉลี่ย 101.5, 100.3 และ 95.3 mg plant^{-1} ตามลำดับ ซึ่งตำรับควบคุมมีผลทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งของปมต่ำที่สุดคือ 53.8 mg plant^{-1}อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) ในส่วนของการสะสมน้ำหนักแห้งของปมถั่วเหลืองในระยะ R2 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง คือ 169.0 mg plant^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับแปลงที่ผ่านก ารใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยค อก และ การใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดงแต่อย่างใด ($P<0.01$) โดยน้ำหนักปมถั่วเหลืองจากแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียวมีการสะสมน้ำหนักแห้งของปมต่ำกว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ย อินทรีย์ ร่วมกันเล็กน้อยคือ 123.8 และ 125.0 mg plant^{-1} ตามลำดับ ตำรับควบคุมมีน้ำ หนักแห้งของปมต่ำที่สุดคือ 87.3 mg plant^{-1} สำหรับระยะ R4 นั้นจะพบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งของปมถั่วเหลืองสูงกว่าระยะอื่น เช่นเดียวกับข้อมูลในปีพ .ศ. 2555 โดยมีค่าเฉลี่ยในระยะนี้สูงกว่าเล็กน้อยคือ 212.9 mg plant^{-1} โดยการสะสมน้ำหนักแห้งของปมถั่วเหลืองที่ตรวจสอบไ ด้ในระยะนี้จะมีปริมาณสูงเมื่อถั่วเหลืองผ่านการจัดการด้วยปุ๋ยอินทรีย์ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป เช่นแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดงมีผลทำให้น้ำหนักแห้งของปมถั่วเหลืองในระยะ R4 นี้สูงที่สุดคือ 244.0 mg plant^{-1} แม้จะไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง หรือปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดงแต่อย่างใด ซึ่งแปลงถั่วเหลืองที่ผ่านการใส่ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และ แหนแดงเพียงอย่างเดียวมีการสะสมน้ำหนักแห้งของปมต่ำกว่า แปลงที่ผ่านปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกัน เล็กน้อยคือ 192.3, 198.5 และ 215.5 mg plant^{-1} ตามลำดับ ในระยะ R6 การสะสมน้ำหนักแห้งของปมถั่ว เหลืองลดลงในทุกตำรับ โดยมีค่าเฉลี่ยเหลือเพียง 180.5 mg plant^{-1} ซึ่งน้ำหนักแห้งของปมถั่วลดลงจากระยะ R4 ถึง 15.2 % โดยตำรับควบคุมยังคงส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งของปมถั่วเหลืองที่ปลูกหลังนาต่ำกว่าตำรับอื่นๆ เหมือนระยะการ เจริญเติบโตอื่นๆ เฉลี่ย 133.0 mg plant^{-1} ($P<0.01$) ขณะที่น้ำหนักแห้งของปมถั่วเหลืองจากแปลงที่ได้รับการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง มีน้ำหนักปมในระยะ R6 นี้สูงที่สุดคือ 195.5 mg plant^{-1} แม้จะไม่มีความแตกต่างกับตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแ หนแดง ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง และปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียวแต่อย่างใด โดยมีค่าเฉลี่ย 193.8, 193.5 และ 180.8 mg plant^{-1} ตามลำดับ (ตาราง 4)

ตาราง 4 ผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่อการ สะสมน้ำหนักแห้ง ของปมถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตระยะต่างๆ ในการทดลองปีที่ 2 (พ.ศ. 2556) อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ (mg plant^{-1})

Treatment	STAGES			
	V4	R2	R4	R6
Control (No Fertilizer)	53.75^{c}	87.25^{c}	153.25^{e}	133.00^{b}
Animal Manure (AM)	80.25^{b}	125.00^{b}	198.50^{cd}	180.75^{a}
Compost Fertilizer (CP)	81.00^{b}	123.75^{b}	192.25^{d}	178.25^{a}
Azolla (AZ)	95.25^{ab}	148.00^{ab}	215.50^{bc}	180.00^{a}
AM+CP	100.25^{a}	157.75^{a}	226.00^{ab}	189.50^{a}
AM+AZ	89.50^{ab}	160.75^{a}	244.00^{a}	193.75^{a}
CP+AZ	101.75^{a}	146.25^{ab}	236.50^{ab}	193.50^{a}
AM+CP+AZ	101.50^{a}	169.00^{a}	237.25^{ab}	195.50^{a}
Grand Mean	87.78	139.72	212.91	180.53
CV (%)	8.97	9.35	15.40	5.65
F-test	**	**	**	**

หมายเหตุ Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD *=0.05, **=0.01 and ns= Nonsignificant

ดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงตอรากถั่ว

จากการศึกษาผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่อการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 หลังนา อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการศึกษาในส่วนของดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ (Relative ureide index, RUI (%)) หรือสัดส่วนของไนโตรเจนในรูปของสารประกอบยูริ ไอด์ (Allantoin, Allantoic acid) เทียบกับไนโตรเจนทั้งหมดที่วิเคร าะห์ได้ในน้ำเลี้ยงจากตอราก จากการทดลองในปีแรก (พ.ศ.2555) พบว่าในระยะ V4 ปริมาณของดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 61.42% ในแปลงถั่วเหลืองที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง แต่ไม่มีความแตกต่าง กันในทางสถิติกับแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่ว มกับปุ๋ยหมัก แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดง และแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว โดยมีค่าเฉลี่ย

คือ 58.86%, 55.61% และ 56.04% ตามลำดับ ($P<0.01$) ส่วนดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยง จากตอรากถั่วเหลืองในแปลงควบคุมมีปริมาณต่ำที่สุดคือ 37.58% ($P<0.01$) สำหรับดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงจากตอรากถั่วเหลืองในระยะ R2 พบว่าดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยง จากแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง มีปริมาณดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงสูงที่สุด คือ 86.58% ซึ่งมีความแตกต่างในทางสถิติกับตำรับควบคุม อย่างเด่นชัด ($P<0.01$) แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับแปลงที่ผ่านการใส่แหนแดงอย่างเดียว แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมั ก และแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดงแต่อย่างใด โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 86.23%, 86.16%, 85.13%, 84.72%, 84.48% และ 84.28% ตามลำดับ ในส่วนของตำรับควบคุมมีปริมาณดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยง ต่ำที่สุดเท่ากับ 77.23% ส่วนในระยะ R4 ผลการศึกษาปริมาณดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับระยะ V4 และ R2 โดยในแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับ แหนแดง ส่งผลให้มีปริมาณดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงสูงที่สุดคือ 82.34% แม้จะไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับ ดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยง ที่ได้มาจากแปลงที่ปุ๋ยอินทรีย์ทุกชนิด ขณะที่ตำรับควบคุมมีปริมาณดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงต่ำที่สุดคือ 60.82% ซึ่งมีความแตกต่างกันในทางสถิติกั บทุกตำรับทดลองอย่างเด่นชัด ($P<0.05$) ส่วนที่ระยะ R6 พบว่าในตำรับที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียว ในอัตรา 2,000 kg rai^{-1} ส่งผลให้มีปริมาณดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงสูงที่สุด คือ 75.91% ซึ่งไม่มีความแตกต่าง ในทางสถิติกับตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง และ ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ย คอกร่วมกับแหนแดง (67.33% และ 65.69%) ส่วนในแปลงควบคุมมีปริมาณดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงต่ำที่สุดคือ 44.39% ($P<0.05$) ซึ่งสารประกอบยูริ ไอด์เป็นไนโตรเจนที่ได้จากการตรึง ในอากาศ จากการวิเคราะห์ดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ในน้ำเลี้ยงจากตอรากถั่ว ในปีแรกที่ระยะ V4, R2, R4 และ R6 แสดงให้เห็นว่าดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นในระยะ V4 ถึง R2 เป็นระยะที่ถั่วเหลืองเจริญเติบโตถึงติดดอก และเริ่มลดลงในระยะ R4 ถึง R6 เป็นระยะที่ถั่วเหลืองเริ่มสร้างเมล็ดถึงเมล็ดเต็มฝัก ตาราง 5

ตาราง 5 ผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่อดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์จากน้ำเลี้ยงตอรากถั่ว (Relative ureide index, RUI (%)) ที่เจริญเติบโตระยะต่างๆ ในการทดลองปีที่ 1 (พ.ศ. 2555) อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

Treatment	STAGES			
	V4	R2	R4	R6
Control (No Fertilizer)	37.58^{d}	77.23^{b}	60.82^{c}	44.39^{d}
Animal Manure (AM)	56.04^{ab}	85.13^{a}	72.78^{b}	63.10^{bc}
Compost Fertilizer (CP)	43.52^{cd}	86.16^{a}	77.64^{ab}	53.28^{cd}
Azolla (AZ)	44.67^{cd}	86.23^{a}	82.08^{a}	75.91^{a}
AM+CP	58.86^{a}	84.48^{a}	81.21^{a}	63.47^{bc}
AM+AZ	55.61^{ab}	84.28^{a}	78.62^{ab}	65.69^{ab}
CP+AZ	61.42^{a}	86.58^{a}	82.34^{a}	63.99^{bc}
AM+CP+AZ	48.73^{bc}	84.72^{a}	79.97^{a}	67.33^{ab}
Grand Mean	50.80	84.35	76.93	62.14
CV (%)	8.39	1.51	3.44	7.36
F-test	**	**	*	*

หมายเหตุ Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD *=0.05, **=0.01 and ns= Nonsignificant

ปริมาณของดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงจากตอรากถั่วในปีที่ 2 (พ.ศ. 2556) มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าในปีแรกอย่างเห็นได้ชัด โดยปริมาณของดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงในปีที่ 2 ที่ทำการเก็บตัวอย่างในระยะ V4 (ระยะข้อที่ 4) มีปริมาณของดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงจากตอรากถั่วเฉลี่ยอยู่ที่ 49.23% ซึ่งตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดงมีปริมาณ ของดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงจากตอรากถั่วสูงที่สุดคือ 59.59% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับตำรับที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียว ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง และตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยคอก (54.41%, 54.16% และ 52.31%) ส่วนตำรับควบคุมมีปริมาณของดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ ยงต่ำที่สุดคือ 39.28% และมีความแตกต่าง กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) สำหรับปริมาณของดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงจากตอรากถั่วในระยะ R2 มีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นของปริมาณ ดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ ยงในทุกตำรับ ทดลองมีค่าเฉลี่ย

อยู่ที่ 81.13% โดยตำรับที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียว มีปริมาณของดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงมากที่สุดคือ 88.65% ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว , ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแห นแดง และ ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดง (88.93%, 84.25% และ 82.98% ตามลำดับ) ส่วนในตำรับควบคุม (แปลงที่ไม่มีการใส่อินทรียวัตถุทุกชนิด) มีปริมาณ ของดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ ยงจากตอรากถั่วน้อยที่สุดคือ 66.00% ซึ่งมีความแตกต่างกันในทางสถิติกับทุกตำ รับทดลองอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) ที่ระยะ R4 ปริมาณของดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ ยงจากตอรากถั่วในตำรับที่ผ่านการใส่แหนแดง เพียงอย่างเดียวในอัตรา 2,000 kg rai^{-1} มีปริมาณของดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงมากที่สุดคือ 87.62% ซึ่งมีความแตกต่างกันในทาง สถิติกับทุกตำรับทดลอง ($P<0.01$) ขณะที่ปริมาณ ของดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเ ลี้ยงในแปลงที่ผ่านการใส่ ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง มีปริมาณ ของดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเ ลี้ยงรองลงมาคือ 85.14% โดยไม่มีความแตกต่างในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่ วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมัก ส่วนในตำรับควบคุมมีปริมาณ ของดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเ ลี้ยงต่ำที่สุดคือ 76.48% ซึ่งมีความแตกต่างในทางสถิติกับ ตำรับอื่นที่ความเชื่อมั่น 99% สำหรับปริมาณ ของดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงระยะ R6 พบว่าในตำรับที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียวส่งผลให้มีปริมาณ ของดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเ ลี้ยงสูงที่สุดคือ 59.80% ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลอง ยกเว้นในตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวและตำรับควบคุม รองลงมาคือแปลงที่ผ่านก าร ใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว ปุ๋ยอินทรีย์ 3 ชนิดร่วมกัน ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดง ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ย หมัก และปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง (57.25%, 55,97%, 54.35% และ 53.31% ตามลำดับ) ส่วนปริมาณของดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเ ลี้ยงต่ำที่สุดอยู่ที่ 43.93% (ตำรับควบคุม) จากการวิเคราะห์ปริมาณดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์ในน้ำเลี้ยงจากตอรากถั่ว ในปี 2 มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับการทดลองในปีแรก ซึ่งจะสังเกตได้ว่าดัชนียูริ ไอด์สัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นในระยะ V4 ถึง R2 และเริ่มลดลงในระยะ R4 ถึง R6 ดังตาราง 6

ตาราง 6 ผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้าง จากปุ๋ยอินทรีย์ต่อ ดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์จากน้ำเลี้ยงตอรากถั่ว (Relative ureide index, RUI (%)) ที่เจริญเติบโตระยะต่างๆ ในการทดลองปีที่ 2 (พ.ศ. 2556) อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

Treatment	STAGES			
	V4	R2	R4	R6
Animal Manure (AM)	47.43^{bcd}	81.39^{bc}	78.92^{bc}	57.25^{a}
Compost Fertilizer (CP)	43.57^{cd}	86.93^{ab}	79.38^{bc}	48.13^{bc}
Azolla (AZ)	54.41^{ab}	88.65^{a}	87.62^{a}	59.80^{a}
AM+CP	52.31^{abc}	78.84^{c}	83.18^{ab}	54.35^{ab}
AM+AZ	43.09^{cd}	82.98^{abc}	79.58^{bc}	55.54^{ab}
CP+AZ	59.59^{a}	80.03^{c}	85.41^{a}	53.31^{ab}
AM+CP+AZ	54.16^{ab}	84.25^{abc}	83.77^{ab}	55.94^{ab}
Grand Mean	49.23	81.13	81.79	53.53
CV (%)	9.61	4.41	3.13	10.09
F-test	**	**	**	*

หมายเหตุ Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD *=0.05, **=0.01 and ns= Nonsignificant

การสะสมของน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน

จากผลการศึกษา น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิ น โดยทำการเก็บข้อมูลกา รสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินในถั่วเหลือง หลังนาแต่ละระยะการเจริญเติบโต (V4, R2, R4 และ R6) การทดลองในปีแรก (พ.ศ. 2555) พบว่ามีการเพิ่มขึ้น ของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน ตามระยะเวลาในการเจริญเติบโต ซึ่งมีค่าเฉลี่ยจากระยะ V4-R6 คือ 166-314 kg rai^{-1} การสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินในระยะ V4 พบว่าแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง ทำให้น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินสูงที่สุด คือ 186 kg rai^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง แปลงที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียว และแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมัก คือ 183, 180 และ 174 kg rai^{-1}ตามลำดับ ขณะที่ตำรับควบคุมมีการสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินต่ำที่สุดคือ 117 kg rai^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างในทางสถิติกับตำรับ

ทดลองอื่นที่ความเชื่อมั่น 95% ส่วนที่ระยะ R2 แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแด ง ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินสูงที่สุด คือ 240 kg rai^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่าง กันในทางสถิติกับแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง โดยมีการสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินอยู่ที่ 237 kg rai^{-1} ขณะที่ตำรับควบคุมพบการสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิ นน้อยที่สุดคือ 173 kg rai^{-1} โดยมีความแตกต่างกันในทางสถิติกับตำรับทดลองอื่นๆ ($P<0.05$) ขณะที่ระยะ R4 การสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินมีค่าเฉลี่ยคือ 251 kg rai^{-1} โดยแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง และแปลงที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินสูง กว่าตำรับการทดลองอื่นๆ (271, 267 และ 265 kg rai^{-1}ตามลำดับ) และมีความแตกต่างกันในทางสถิติกับตำรับอื่นๆ ($P<0.05$) ซึ่งการสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน ของตำรับควบคุมที่ระยะ R4 ส่งผลให้มีน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินต่ำที่สุดคือ 225 kg rai^{-1} เช่นเดียวกับการสะสมของน้ำหนัก แห้งส่วนเหนือดิน จากระยะ V4 และ R2 ส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินที่ระยะ R6 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ในแปลงที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียว ทำให้การสะสมของน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินมากกว่าตำรับอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือ 380 kg rai^{-1}การสะสมของน้ำหนักแห้งที่สูงรองลงมาคือแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว ส่วนตำรับที่มีการสะสมของน้ำหนักแห้งน้อยที่ สุดคือแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดง คือ 281 kg rai^{-1}แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว แสดงในตาราง 7

ตาราง 7 ผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่อการสะสมของน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินที่เจริญเติบโตระยะต่างๆ ในการทดลองปีที่ 1 (พ.ศ. 2555) อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ (kg rai^{-1})

Treatment	STAGES			
	V4	R2	R4	R6
Control (No Fertilizer)	117^{d}	173^{e}	225^{c}	309^{c}
Animal Manure (AM)	156^{c}	196^{d}	251^{b}	352^{b}
Compost Fertilizer (CP)	167^{bc}	216^{c}	242^{b}	294^{cde}
Azolla (AZ)	180^{ab}	229^{b}	265^{a}	380^{a}
AM+CP	174^{ab}	215^{c}	251^{b}	308^{c}
AM+AZ	166^{bc}	202^{d}	240^{b}	281^{e}
CP+AZ	186^{a}	240^{a}	267^{a}	298^{cd}
AM+CP+AZ	183^{a}	237^{ab}	271^{a}	291de
Grand Mean	165.97	213.31	251.22	313.97
CV (%)	5.81	3.18	3.12	3.31
F-test	*	*	*	*

หมายเหตุ Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD *=0.05, **=0.01 and ns= Nonsignificant

การสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิ นจากผลการทดลองในปีที่ 2 พ.ศ. 2556 นั้นพบว่าการสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิ นของถั่วเหลืองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 105-410 kg rai^{-1} ตั้งแต่ระยะ V4-R6 โดยการสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิ นในระยะ V4 นั้น มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเมื่อถั่วเหลืองแปลงดังกล่าวผ่านการใส่ปุ๋ย คอกร่วมกับแหนแดง คือ 120 kg rai^{-1} รองลงมาคือตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมัก การใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ย หมักและแหนแดง และการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดงในทางสถิติแต่อย่างใด โดยมีค่าเฉลี่ย 114, 110 และ 109 kg rai^{-1} ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตั้งแต่ 2 ชนิดร่วมกันขึ้นไปมีผลทำให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงกว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เดี ยวๆ ส่วน ตำรับควบคุมมีผลทำให้ การสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิ นต่ำที่สุดคือ 88 kg rai^{-1} ในส่วนของการสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินที่ระยะ R2 (Full bloom-ออกดอกเต็มที่) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 144 kg rai^{-1} ซึ่งพบว่าในตำรับที่ผ่านการ

ใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักมีปริมาณน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงที่สุดคือ 185 kg rai^{-1} โดยไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลอง ขณะที่ปริมาณน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินรองลงมาคือแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง แปลงที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียว แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดง และแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 155, 150, 144, 143 และ 142 kg rai^{-1} ตามลำดับ ส่วนการสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิ นในระยะ R4 (Full pod-ติดฝักเต็มที่) นั้นมีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน ทุกตำรับทดลองมีค่าเฉลี่ ยอยู่ที่ 181 kg rai^{-1} โดยถั่วเหลืองจากแปลงที่ผ่านการใส่อินทรียวัตถุตั้งแต่สองประเภทขึ้น ไปร่วมกันมีผลทำให้ การสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิ นสูงกว่าแปลงถั่วเหลืองที่ได้รับการใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว สำหรับแปลงถั่วเหลืองที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดงมีผลต่อการสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงที่สุดคือ 199 kg rai^{-1} ขณะที่ตำรับควบคุมมีการสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของต้นถั่วเหลืองต่ำที่สุดคือ 142 kg rai^{-1} ซึ่งตำรับควบคุมมีความแตกต่างจากตำรับที่ ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทุกชนิดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ส่วนการสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิ นที่ระยะ R6 (Full seed-เมล็ดพัฒนาเต็มที่) พบว่าแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดงยังคงมีการสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงที่สุด (445 kg rai^{-1}) เช่นเดียวกับที่ระยะ R4 ที่ผ่านมา ส่วนการสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิ นในแปลงที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียว ที่ระยะ R6 มีน้ำหนักรองลงมาจากแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง คือ 443 kg rai^{-1} ส่วนตำรับควบคุมยังคงทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิ นมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเหมือนกับระยะอื่นๆที่ผ่านมาคือ 306 kg rai^{-1} ทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ (ตาราง 8) จากการศึกษาการสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินในระยะเวลา 2 ปี พบว่าที่ระยะ V4, R2 และ R4 ของการทดลองในปีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของการสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินน้อยกว่าการทดลองในปีแรกอย่างเด่นชัด แต่ขณะที่ระยะ R6 พบว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินในปีที่ 2 สูงกว่าในปีแรกเล็กน้อย

ตาราง 8 ผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ ต่อการสะสมของน้ำหนักแห้งของส่ว น เหนือดินที่เจริญเติบโตระยะต่างๆ ในการทดลองปีที่ 2 (พ.ศ. 2556) อำเภอแม่ริม จังหวัด เชียงใหม่ (kg rai^{-1})

Treatment	STAGES			
	V4	R2	R4	R6
Control (No Fertilizer)	88	128	142^{b}	306
Animal Manure (AM)	99	133	174^{ab}	411
Compost Fertilizer (CP)	97	142	173^{ab}	383
Azolla (AZ)	99	144	184^{a}	443
AM+CP	114	185	189^{a}	428
AM+AZ	120	143	194^{a}	436
CP+AZ	109	155	196^{a}	426
AM+CP+AZ	110	150	199^{a}	445
Grand Mean	105	144	181	410
CV (%)	14.40	20.66	12.75	14.99
F-test	ns	ns	*	ns

หมายเหตุ Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD *=0.05, **=0.01 and ns= Nonsignificant

การสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนที่อยู่เหนือดิน

จากผลการศึกษาในส่วนของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดิน ของถั่วเหลืองหลังนาในรุ่นแรก (พ.ศ. 2555) พบว่าอัตราส่วนของการดูดใช้ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตาม ระยะการเจริญเติบโต ที่ระยะ V4 การสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของต้นถั่วเหลืองในส่วนเหนือดิน แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง ให้ปริมาณการสะสมของไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินสูงที่สุด คือ 6.67 kgN rai^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับแปลงที่ผ่าน การใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง (6.39 kgN rai^{-1}) และแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยแหนแดงเพียงอย่างเดียว (6.38 kgN rai^{-1}) ส่วนตำรับควบคุมมีการสะสม ไนโตรเจนทั้งหมด ในส่วนเหนือดิน ต่ำที่สุดเท่ากับ 3.68 kgN rai^{-1} ขณะที่ระยะ R2 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วน เหนือดิน ของแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ย

คอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง ให้ปริมาณการสะสมของไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินสูงที่สุดเช่นเดียวกับในระยะ V4 คือ 7.47 kgN rai^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง (7.46 kgN rai^{-1}) และแปลงที่ผ่านการใส่แหนแดงเ พียงอย่างเดียว (7.33 kgN rai^{-1}) แต่กลับมีความแตกต่างกันในทางสถิติกับตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีการสะสมไนโตรเจนทั้งหมด ในส่วนเหนือดิน ต่ำที่สุดคือ 4.61 kgN rai^{-1}($P<0.05$) สำหรับการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดิน ที่ระยะ R4 แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วม กับปุ๋ยหมักและแหนแดงก็มีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินสูงที่สุดเช่นเดียวกับระยะการเจริญเติบโตอื่นๆที่ผ่านมาโดยมีค่าเฉลี่ย 9.90 kgN rai^{-1} และมีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลองที่ความเชื่อมั่น 95% โดยในตำรับควบคุมแปลงที่ไม่มีการเติมปุ๋ยทุกชนิ ดพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินต่ำที่สุด คือ 5.77 kgN rai^{-1}($P<0.05$) ขณะที่ระยะ R6 กลับพบว่าในแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยแหนแดงเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินสูงที่สุดคือ 13.60 kgN rai^{-1} ส่วนตำรับที่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดขอ งส่วนเหนือดิน รองลงมาคือ แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกในอัตรา 1,000 kg rai^{-1} คือ 12.74 kgN rai^{-1} สำหรับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินต่ำที่สุด ยังคงพบใน ตำรับควบคุม โดยมีปริมาณไนโตรเจนเพียง 7.61 kgN rai^{-1}อย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทางสถิติ ดังตาราง 9

ตาราง 9 ผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่อการสะสมของ ไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนเหนือดิน ที่เจริญเติบโตระยะต่างๆ ในการทดลองปีที่ 1 (พ.ศ. 2555) อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ (kgN rai^{-1})

Treatment	STAGES			
	V4	R2	R4	R6
Control (No Fertilizer)	3.68^{d}	4.61^{c}	5.77^{e}	7.61^{d}
Animal Manure (AM)	5.67^{c}	6.76^{b}	8.12^{d}	12.74^{a}
Compost Fertilizer (CP)	5.65^{c}	6.77^{b}	8.03^{d}	10.01^{bc}
Azolla (AZ)	6.38^{ab}	7.33^{a}	8.83^{bc}	13.60^{a}
AM+CP	5.96^{bc}	6.69^{b}	8.41^{cd}	10.56^{b}
AM+AZ	5.93^{bc}	6.45^{b}	8.85^{bc}	9.64^{c}
CP+AZ	6.39^{ab}	7.46^{a}	9.21^{b}	10.04^{bc}
AM+CP+AZ	6.67^{a}	7.47^{a}	9.90^{a}	10.86^{b}
Grand Mean	5.79	6.69	8.39	10.63
CV (%)	7.44	5.14	4.94	5.84
F-test	*	*	*	*

หมายเหตุ Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD *=0.05, **=0.01 and ns= Nonsignificant

การสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนที่อยู่เหนือดินจากผลการศึกษาในปีที่ 2 พ.ศ. 2556 พบว่าที่ระยะ V4 การสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของต้นถั่วเหลืองใน ส่วนเหนือดิน แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดง ให้ปริมาณการสะสมของไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินสูงที่สุด คือ 4.51 kgN rai^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ย คอกร่วมกับปุ๋ยหมัก แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ย หมักร่วมกับแหนแดง และ แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับ ปุ๋ยหมักและแหนแดง โดยมีค่าเฉลี่ย 4.38, 3.87 และ 3.77 kgN rai^{-1} ตามลำดับ สำหรับไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนที่อยู่เหนือดินในแปลงควบคุมในระยะ V4 มีการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินต่ำที่สุดคือ 2.65 kgN rai^{-1}($P<0.05$) ขณะที่ระยะ R2 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินเฉลี่ยอยู่ที่ 4.35 kgN rai^{-1} โดยแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดงส่งผลให้ปริมาณการสะสมของไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินสูงที่สุดคือ 4.94 kgN rai^{-1} ขณะที่แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอก

ร่วมกับปุ๋ยหมักมีปริมาณการสะสมของไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดิน รองลงมาคือ 4.82 kgN rai^{-1} ตำรับควบคุมมีการสะสม ไนโตรเจนทั้งหมด ในส่วนเหนือดิน ต่ำที่สุดคือ 3.52 kgN rai^{-1}ซึ่งมีความแตกต่างใน ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) สำหรับการสะสม ไนโตรเจนทั้งหมด ในส่วนเหนือดิน ที่ระยะ R4 แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดงมีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินสูงที่สุ ดคือ 6.12 kgN rai^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลอง ในตำรับควบคุมแปลงที่ไม่มีการเติมปุ๋ยทุกชนิดพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินต่ำที่สุด คือ 4.43 kgN rai^{-1} ขณะที่ระยะ R6 เป็นระยะที่เมล็ดถั่วเหลืองมีการพัฒนาเต็มที่จึงส่งผลให้มีการสะสมของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดิน เฉลี่ยสูงกว่าระยะอื่นๆ คือ 12.44 kgN rai^{-1} ซึ่งในระยะนี้การสะสมของไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจากระยะ R4 โดยในแปลงที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนื อดินสูงที่สุดคือ 14.64 kgN rai^{-1} ส่วนแปลงที่ผ่าน การใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแห นแดงให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินรองลงมาคือ 13.23 kgN rai^{-1} ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินต่ำที่ สุดคือตำรับควบคุม (แปลงที่ไม่มีการเติมปุ๋ยทุกชนิด) 9.84 kgN rai^{-1} จากผลการศึกษาปริมาณ การสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนที่อยู่เหนือดิ นในระยะเวลา 2 ปี พบว่าค่าช่วงของการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนที่อยู่เหนือดิ นของปีแรกมีปริมาณเฉลี่ยตลอดการเก็บข้อมูลคือ 5.79-10.63 kgN rai^{-1} ส่วนการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนที่อยู่เหนือดินของปีที่ 2 อยู่ในช่วง 3.66-12.44 kgN rai^{-1} แสดงในตาราง 10

ตาราง 10 ผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่อการสะสมของ ไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนเหนือดิน ที่เจริญเติบโตระยะต่างๆ ในการทดลองปีที่ 2 (พ.ศ. 2556) อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ (kgN rai^{-1})

Treatment	STAGES			
	V4	**R2**	**R4**	**R6**
Control (No Fertilizer)	2.65^{d}	3.52^{c}	4.43	9.84
Animal Manure (AM)	3.24^{cd}	3.99^{bc}	5.75	12.51
Compost Fertilizer (CP)	3.42^{bcd}	4.28^{ab}	5.55	11.51
Azolla (AZ)	3.46^{bcd}	4.20^{abc}	5.73	14.64
AM+CP	4.38^{ab}	4.82^{a}	6.08	12.66
AM+AZ	4.51^{a}	4.65^{ab}	6.09	13.23
CP+AZ	3.87^{abc}	4.94^{a}	5.97	12.04
AM+CP+AZ	3.77^{abc}	4.44^{ab}	6.12	13.12
Grand Mean	3.66	4.35	5.71	12.44
CV (%)	18.15	11.83	18.63	14.74
F-test	*	*	ns	ns

หมายเหตุ Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD *=0.05, **=0.01 and ns= Nonsignificant

การตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลือง

จากการประเมินปริมาณการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยอาศัยดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ในรูปของสารประกอบยูริไอด์ที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำเลี้ยงโดยตรง โดยอาศัยสมการที่เสนอแนะโดย (Heridge and Peoples, 1990) ในการประเมินไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ (Nitrogen derived from air, Ndaf) การทดลองในปีแรกพบว่าปริมาณการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลือง หลังนามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.20 kgN rai^{-1} โดยแปลงที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียวส่งผลให้มีปริมาณการตรึงไนโตรเจนจากอ ากาศสูงที่สุด คือ 8.63 kgN rai^{-1} ส่วนแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว มีปริมาณการตรึงไนโตรเจนรองลงมา คือ 7.58 kgN rai^{-1} และมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ในทางสถิติ ($P<0.05$) ขณะที่ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกั บปุ๋ยหมัก ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง ตำรับ ที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดง การตรึงไนโตรเจนในตำรับการทดลองต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติคือ 6.70, 6.41, 6.62 และ 5.84 kgN rai^{-1} ตามลำดับ ซึ่งในส่วนของตำรับควบคุมมีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนน้อยที่สุด คือ 2.80 kgN rai^{-1} และมีความแตกต่างกันในทางสถิติกับทุกตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แสดงดังตาราง 11

การประเมินไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ การทดลองในปีที่ 2 (พ.ศ. 2556) ปริมาณการตรึงไนโตรเจนของถั่วเ หลือง หลังนาที่มีการให้ปุ๋ยอินทรีย์ที่แตกต่างกัน พบว่าการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.80 kgN rai^{-1} พบว่าในตำรับที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียวส่งผลให้มีปริมาณการตรึงไนโตรเจนจากอากาศสูงที่สุดคือ 14.18 kgN rai^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างใน ทางสถิติกับตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยคอกและแหนแดง ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดง ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมัก ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว และตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง (12.79, 12.75, 12.31, 11.76 และ 11.45 kgN rai^{-1} ตามลำดับ) สำหรับปริมาณการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลือง หลังนาในตำรับควบคุมมีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจน ต่ำที่สุด คือ 8.50 kgN rai^{-1} โดยไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) ตาราง 11 การศึกษาปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรึง ที่ทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 2 ปี พบว่าการตรึงไนโตรเจนจากอากาศในปีแรกมีปริมาณน้อยกว่าการตรึงไนโตรเจน ปีที่ 2 อย่างเด่นชัด เนื่องจากการทดลองในปีที่ 2 พบปัญหาด้านวัชพืชจึงมีการควบคุมวัชพืชโดยการคลุมดินด้วยฟางข้าว

ตาราง 11 ผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ (kgN rai^{-1})

Treatment	Fixed N	
	Crop 1	**Crop 2**
Control (No Fertilizer)	2.80^{e}	8.50^{c}
Animal Manure (AM)	7.58^{b}	11.76^{abc}
Compost Fertilizer (CP)	5.03^{d}	10.64^{bc}
Azolla (AZ)	8.63^{a}	14.18^{a}
AM+CP	6.62^{c}	12.31^{ab}
AM+AZ	5.84^{cd}	12.75^{ab}
CP+AZ	6.70^{c}	11.45^{abc}
AM+CP+AZ	6.41^{c}	12.79^{ab}
Grand Mean	6.20	11.80
CV (%)	9.64	13.91
F-test	*	**

หมายเหตุ Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD *=0.05, **=0.01 and ns= Nonsignificant

ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน

จากการประเมินประสิทธิภาพของการตรึงไนโตรเจน ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าการศึกษาในปีแรก โดยภาพรวมแล้วมีปริมาณการตรึงไนโตรเจนจากอากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 57.41% แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดงมีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนจากอากาศดีที่สุดคือ 67.0% รองลงมาพบในตำรับที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียวในอัตรา 2,000 kg rai^{-1} เท่ากับ 63.5% การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทุกชนิดส่งผลให้มีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนจากอากาศเกิน 50% ขณะเดียวกันตำรับควบคุมมีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนจากอากาศต่ำที่สุดคือ 36.8%

ขณะที่การศึกษาในปีที่ 2 พบว่ามีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนจากอากาศดีกว่าปีแรกอย่างเห็นได้ชัด ทุกตำรับทดลองมีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนเกือบ 100% โดยมีค่าเฉลี่ย

อยู่ที่ 94.5% ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกัน ทั้งสามชนิด (ปุ๋ยคอกร่ วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดง) มีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนจากอากาศสูงที่สุดเท่ากับ 97.5% รองลงมาคือตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมัก ตำรับที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียว และปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดง (97.2%, 96.9% และ 96.4% ตามลำดับ) ส่วนตำรับควบคุมมีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนจากอากาศต่ำที่สุดคือ 86.4%

ตาราง 12 ผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

Treatment	**N-Fixing efficiency (% of tatal N uptake at R6 stage)**	
	Crop 1	**Crop 2**
Control (No Fertilizer)	36.8 %	86.4 %
Animal Manure (AM)	59.5 %	94.1 %
Compost Fertilizer (CP)	50.2 %	92.4 %
Azolla (AZ)	63.5 %	96.9 %
AM+CP	62.7 %	97.2 %
AM+AZ	60.6 %	96.4 %
CP+AZ	67.0 %	95.1 %
AM+CP+AZ	59.0 %	97.5 %
Grand Mean	57.41 %	94.5 %

ผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

จากผลการศึกษาผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้า งจากปุ๋ยอินทรีย์ต่อการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 หลังนา พบว่าผลผลิตของถั่วเหลือง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 203.13 kg rai^{-1} โดยแปลงที่ผ่านการใส่ ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและ แหนแดงส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุดคือ 234 kg rai^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทา งสถิติกับแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับแหนแดง แปลงที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างดียว แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอก (มูลโค) เพียงอย่างเดียว แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมัก แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับแหนแดง แปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว คือ 219, 213, 207, 201, 198 และ 196 kg rai^{-1} ตามลำดับ ($P<0.01$) ขณะที่ในแปลงควบคุม (ไม่มีการใส่ปุ๋ยทุ กชนิด) มีปริมาณผลผลิตต่ำที่สุด คือ 157 kg rai^{-1} ตาราง 13

ขณะที่ผลผลิตของถั่วเหลืองในปีที่ 2 มีปริมาณต่ำกว่าปีแรกอย่างเด่นชัด เนื่องจากการศึกษาในปีที่ 2 ประสบปัญหาโรคและแมลงรบกวน ร่วมทั้งสภาพภูมิอากาศที่ไม่คงที่ ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตที่ได้ในปีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 188.16 kg rai^{-1} ซึ่งแปลงที่ผ่านการใส่ ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดงส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด คือ 201 kg rai^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) ยกเว้นตำรับควบคุม ซึ่งมีผลผลิตของถั่วเหลืองต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 170 kg rai^{-1} จากการศึกษาในปีที่ 2 พบว่าในตำรับที่มีการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียว หรือก ารใส่แหนแดงร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นๆ มีผลทำให้มีผลผลิตสูงกว่าแป ลงอื่นๆ จากการศึกษาทั้ง 2 ปี ซึ่งปริมาณของธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่เหลือจากการปลูกข้าวนาปีที่ปลูกเป็นพืชหลัก ส่งผลให้ถั่วเหลืองที่เป็นพืชรองสามารถเจริญเติบโตจนกระทั่งให้ผลผลิตอีกด้วย ตาราง 13

ตาราง 13 ผลของปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจา กปุ๋ยอินทรีย์ต่อผลผลิตของถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60 อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ (kg rai^{-1})

Treatment	Yield	
	Crop 1	**Crop 2**
Control (No Fertilizer)	157[b]	170[b]
Animal Manure (AM)	207[a]	190[a]
Compost Fertilizer (CP)	196[ab]	188[ab]
Azolla (AZ)	213[a]	192[a]
AM+CP	201[a]	182[ab]
AM+AZ	198[ab]	188[ab]
CP+AZ	219[a]	194[a]
AM+CP+AZ	234[a]	201[a]
Grand Mean	203.13	188.16
CV (%)	10.61	5.02
F-test	**	**

หมายเหตุ Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD *=0.05, **=0.01 and ns= Nonsignificant

วิจารณ์ผลการทดลอง

โดยภาพรวมแล้วผลจากการศึกษาการสะสมน้ำหนักแห้งของปมรากถั่วเหลืองที่ระยะออกดอกเฉลี่ยพบว่า มีการสะสมของน้ำหนักแห้งปมรากถั่วสูงถึง 118 และ 140 mg plant^{-1} ในปี พ.ศ. 2555 และ 2556 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกันงานทดลองของ Shutsrirung et al. (2002) ที่ปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 หลังนา โดยใช้เชื้อไรโซเบียมที่อยู่ในธรรมชาติ ทำการศึกษาในเขตอำเภอหางดง ขณะที่การสะสมน้ำหนักแห้งของปมจากงานทดลองครั้งนี้สูงกว่าการสะสมน้ำหนักแห้งจากงานทดลองของ จริยา (2551) ที่ทำการศึกษาการสะสมน้ำ หนักปมแห้งของถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์นัมเบอร์ 75 โดยมีการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ และไม่มีการ คลุกเชื้อไรโซเบียม ในเขตอำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ ขณะที่การสะสมน้ำหนักแห้งของปมจากการทดสอบถั่วเหลืองสองสายพันธุ์ในเมือง Legon ประเทศแอฟริกา ในปี ค.ศ. 1999 และ 2000 พบว่ามีการสะสมน้ำหนักปมหลังการเพาะปลูก 45 วัน จากแปลงที่ไม่มีการคลุกเชื้ออยู่ที่ 40 mg plant^{-1} (Kumaka and Ofori, 2004) ขณะที่การสะสมน้ำหนัก ปมแห้งของถั่วเหลือง สายพันธุ์ Aldana เขตภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศโปแลนด์ ตอบสนองต่อการจัดการแปลงที่มีการคลุมดินแ ละได้คลุกเชื้อไรโซเบียมในถั่วเหลืองสายพันธุ์ดังกล่าวสูงในระยะ R4 ถึง 350 mg plant^{-1}(Siczek and Lipiec, 2011) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการคลุกเชื้อไรโซเบียมมีผลทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งของปมรากถั่วสูงกว่าการไม่คลุกเชื้อไรโซเบียมโดยการเกิดปมและปริมาณของปมจะผันแปรไปตามส ภาพพื้นที่ทดลอง (Loureiro et al., 2001; Fening and Danso, 2002) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการตอบสนองของการใส่เชื้อไรโซเบียมกับถั่วชนิดอื่นๆ เช่น ถั่วแดงหลวง (Da-Silva et al., 1993) ถั่ว *Leucaena leucocephala* (Kenneth, 1994) ที่จะมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนั กแห้งของปมถั่วในแต่ละระยะการเจริญเติบโต นอกจากนี้โดยทั่วไปแล้วจำนวนปมและน้ำหนักแห้งของปมจะลดลงหากมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปในดินตอนปลูกถั่ว (Loureiro et al., 2001; Hungria et al., 2001; Gan et al., 2003) หากพิจารณาถึงปริมาณปมของถั่วเหลืองในงานทดลองนี้จะพบว่ าทุกตำรับที่ได้รับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในการผลิตข้าวมีผลทำให้ค่าความเป็นกรดด่างในปีการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 6.75 ซึ่งจะต่ำกว่าค่า pH ในปีการทดลองที่ 1 เล็กน้อย ดัง นั้นการเกิดปมของถั่วเหลืองในปีที่ 2 จึงสูงกว่า การทดลองในปีแรก นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับการรายงาน ของ Bordeleau and Prevost (1994) ที่กล่าวว่าหากปริมาณเชื้อไรโซเบียมในธรรมชาติในดินมีเพียงพอ ประกอบกับมีสภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างดี และไม่มีความเป็นกรดจัดหรือค่า pH ต่ำกว่า 5.5 พืชตระกูลถั่วมักจะไม่มีปัญหาต่อการสร้างปมแม้จะไม่มีการใส่เชื้อไรโซเบียมเพิ่มเติมก็ตาม ดังนั้นจะเห็นว่าดินในแปลงทดลองเขตอำเภอแม่ริมที่ได้ทำการทดลองครั้งนี้น่าจะมีปริมาณเชื้อไรโซเบียมในระดับที่ค่อนข้างสูง หนึ่ง (2554) ได้รวบรวม

ข้อมูลเกี่ยวกับเชื้อไรโซเบียม *Bradyrhizobium japonicum* ว่ามีความสามารถต่อการเกษตรที่มีสภาพน้ำขังได้ดี กว่าไรโซเบียมสายพันธุ์อื่น รวมทั้งตอบสนองต่อการใช้ประโยชน์ของฟอสเฟตที่อยู่ในดิน เพื่อเป็นข้อกำหนดของเอนไซม์ NodA ที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนและการสร้างปม ทั้งนี้จะเห็นได้ชัดเจนว่าผลวิเคราะห์ดินก่อนการปลูกถั่วเหลืองในปีที่ 1 นั้นมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงกว่าปีที่ 2 จึงทำให้น้ำหนักแห้งของปมถั่วสูงตามไปด้วย โดยในระยะ V4 จะเห็นความแตกต่างของน้ำหนักปมอย่างเด่นชัด เมื่อมีการเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุอาหารที่อยู่ในดินก่อนปลูก หากแต่ในระยะต่อมาอาจไม่พบความแตกต่างของตำรับทดลอง ทั้งนี้เป็นเพราะว่าผลของธาตุอาหา รที่ตกค้างของปุ๋ยอินทรีย์ที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์จะตอบสนองต่อถั่วเหลืองในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโตเท่านั้น

ในส่วนของการสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินจากการทดลองในปีที่ 2 โดยในระยะ R4 พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 182 kg rai^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ สุป ราณี (2554) ที่ทำการศึกษาการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินของถั่วพุ่มดำที่ระยะ R3.5 จากแปลงทดลองของศูนย์โครงการหลวงแม่สะป๊อกซึ่งมีการสะสมน้ำหนักแห้งคือ 183 kg rai^{-1} และจากงานทดลองในครั้งนี้ ตำรับที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สามชนิดร่ วมกันส่งผลให้มีการสะสมของน้ำ หนักแห้งในส่วนเหนือดินสูงถึง 445 kg rai^{-1} ที่ระยะ R6 จากการทดลองในปีที่ 2 (พ.ศ. 2556) ซึ่งการทดลองในครั้งนี้สอดคล้องกับงานทดลองของ Shutsrirung et al. (2002) ที่ปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 หลังนา ในเขตอำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ และมีการสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงกว่างานทดลองของ นงค์นภา และคณะ (2552) เล็กน้อย โดยนงค์นภา และคณะ (2552) ทำการทดลองใช้น้ำสกัดชีวภาพจากหนอนตายหยากเป็นปุ๋ยในการผลิตถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ทำการทดลองในโรงเรือนโดยใช้ชุดดินลพบุรี ขณะที่ Kumaka and Ofori (2004) รายงานว่าการสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการคลุกเชื้อไรโซเบียมนอกจากนี้ Schweiger et al. (2012) ซึ่งทำการทดสอบการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองที่ปลูกในยุโรปตอนกลางพบว่าการใส่เชื้อไรโซเบียมมีผลทำให้น้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินสูงกว่าการไ ม่คลุกเชื้อไรโซเบียม ขณะที่ Bekere and Hailemariam (2012) และ Bekere et al. (2013) ทำการทดลองเกี่ยวกับการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการตรึงไนโตรเจน และการใส่ปูนเพื่อยกระดับ pH ของดินร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนของถั่วเหลืองพันธุ์ Clark 63K โดยทำการทดลองใน Western Ethiopia และ South Western Ethiopia ซึ่งพบว่าการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส และการเติมปูนในอัตรา 46 kg ha^{-1} ร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 57.5 kg ha^{-1} ส่งผลให้มีการสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงกว่าการไม่ใส่เชื้อไรโซเบียมและไม่เติมปุ๋ยเช่นเดียวกับงานทดลองที่ผ่านๆมา อย่างไรก็ตามการสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

ตามระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง รวมทั้งปริมาณธาตุอาหารและสภาพแวดล้อมอีกด้วย ซึ่งงานทดลองในครั้งนี้แม้จะไม่มีการเติมปุ๋ยเคมี แต่จะเห็นจากการวิเคราะห์ดินได้ว่าตำรับที่ทำการใส่อินทรียวัตถุจะมีปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างในดินสูงว่าตำรับควบคุม (ตาราง 1 และ 2) จึงส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงกว่าการไม่ได้ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกข้าว อย่างไรก็ตามการสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินจากงานทดลองปีที่ 2 โดยเฉพาะ R4 และ R4 นั้น มีค่าเฉลี่ยโดยภาพรวมต่ำกว่าการทดลองในปีแรกนั้นทั้งนี้เป็นปัญหาที่เกิดจากการเข้าทำลายโดยโรคและแมลงทำให้มีการตัดส่วนยอดของต้นถั่วทิ้ง ซึ่งอาจส่งผลต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินโดยตรง รวมทั้งผลทางอ้อมที่เกิดจากพื้นที่ใบ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ต้นพืชสังเคราะห์แสงอาจมีผลข้างเคียงต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินในทั้งสองระยะดังกล่าวด้วยเช่นกัน

การตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 การตรึงไนโตรเจนจากอากาศต้องอาศัยจุลินทรีย์กลุ่มที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนได้ ซึ่งจากงานทดลองในครั้งนี้ปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงทั้งหมดของถั่วเหลืองหลังนาที่ได้รับผลกระทบจากปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่เหลือจากแปลงข้าวนาปี โดยเชื้อไรโซเบียมที่อาศัยอยู่ในดินตามธรรมชาติในแปลงทดลองในครั้งนี้ พบว่าการตรึงไนโตรเจนในตำรับที่ผ่านการใส่แหนแดงในอัตรา 2,000 kg rai^{-1} มีผลทำให้มีการตรึงไนโตรเจนสูงถึง 8.63 kg rai^{-1} ในปีแรก และเพิ่มขึ้นเกือบสองเท่าในปีที่ 2 พ.ศ. 2556 ซึ่งตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ถึง 14.18 kg rai^{-1} ซึ่งงานทดลองในครั้งนี้มีการตรึงไนโตรเจนน้อยกว่างานทดลองของ เฉลิมพล และ มนกฤตย์ (2539) ที่ทำการศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลือง 4 พันธุ์ พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปสามารถตรึงไนโตรเจนได้สูงสุด 19.9 kg rai^{-1} ซึ่งสูงกว่าถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 สท1 และ มช- 001 ซึ่งจะเห็นได้เด่นชัดว่าอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อการตรึงไนโตรเจนและการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีผลทำให้ปริมาณของยูริไอด์สัมพัทธ์ (%RUI) ลดลง ขณะที่นันทกร (2529) ได้ทำการวัดการตรึงไนโตรเจนในสภาพไร่นาของถั่วเหลือง พบไนโตรเจนที่ตรึงได้อยู่ในช่วง 10-28 kg rai^{-1} นอกจากนี้งานวิจัยของอเมริกาเหนือพบว่าการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองที่วัดโดยวิธี ^{15}N ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 43-152 kg ha^{-1} (Johnson et al., 1975; Ham and Caldwell, 1978; Deibert et al., 1979; LaRue and Patterson, 1981) ส่วนงานทดลองของ Smil (1999) เปรียบเทียบการประเมินการตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลืองซึ่งการตรึงไนโตรเจนจากงานทดลองของ Smil (1999) อยู่ในช่วง 60-100 kgN ha^{-1} การตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองจากการคาดการณ์พบว่าถั่วเหลืองตรึงไนโตรเจน 50-60% ของไนโตรเจนทั้งหมดของโลกโดยมีความสมดุลเป็นกลางที่อยู่ใกล้กับไนโตรเจนในดิน เนื่องจากไนโตรเจนส่วนใหญ่ติดออกไปในเมล็ด (Herridge et al., 2008; Salvagiotti et al., 2008) อย่างไรก็ตามการตรึงไนโตรเจนของถั่ว

เหลืองมีความแตกต่างกันอย่างมากต่อผลของ การจัดการดิน สภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นของดิน ความเป็นกรด- ด่าง และอุณหภูมิในดิ น รวมถึง ปัจจัยของระบบนิเวศ น์ ประสิทธิภาพของเชื้อไร โซเบียมที่อาศัยอยู่ในดินธรรมชาติ ซึ่งการตรึงไนโตรเจนจะสูงที่สุดระหว่างการเจริญที่ระยะ R3-R5 และลดลงในระยะ R5-R7 (Parker and Harris, 1977; Zapata et al., 1987; Soares Novo et al., 1999; Purcell et al., 2004) ขณะที่ Peoples et al. (1995) กล่าวว่าถ้าถั่วเหลืองเจริญเติบโตภายใต้การ ชลประทานที่ดีจะส่งผลให้ถั่วเหลืองสามารถตรึงไนโตรเจนได้สูงถึง 175 kgN ha^{-1} และถ้ามีการคลุก เชื้อไรโซเบียมลงไปด้วยจะเพิ่มขึ้นถึง 40 kgN ha^{-1} ขณะที่ King and Purcell (2005) ได้ทำการ ทดลองปลูกถั่วเหลือง 2 พันธุ์คือ Jackson และ KS4895 โดยคลุกเชื้อไรโซเบียม และมีการเพิ่มปุ๋ย Mn ลงไปในดิน จะทำให้เกิดการกระตุ้นการทำงานของยูริไอด์และอะมิโนในตัวอย่างใบและปมถั่ว แล้วยังเพิ่มประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนให้สูงขึ้น สำหรับงานทดลองปลูกถั่วเหลืองหลังนาครั้ง นี้จะพบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในทุกตำรับทดลองในการปลูกข้าวมีผลตกค้างของธาตุอาหารต่างๆที่ เหลือจากการที่ข้าวนำไปใช้ในระดับปานกลางแม้จะส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินไม่สูงมาก นัก แต่จะเห็นชัดเจนว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริม อยู่ ในระดับที่น่าจะไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษ หรือมีผลต่อการยับยั้งการทำงานของปมถั่วเหลือง ซึ่ง อาจจะมีผลต่อการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ โดยจะพบว่า ปริมาณ Mn ไม่เกิน 100 mg/kg ขณะที่ ปริมาณฟอสฟอรัส และ แคลเซียมที่สกัดได้ในการทดลองครั้งนี้ทั้ง 2 ปี อยู่ในระดับที่เพียงพ อต่อ การสร้างปมและการตรึงไนโตรเจนของพืชตระกลูถั่ว (Bordeleau and Prevost., 1994) นอกจากนี้ การจัดการแปลงโดยทั่วไปก็มีผลต่อการตรึงไนโตรเจนเช่นกัน จากรายงานการผลิตถั่วเหลืองใน หลายพื้นที่ของแอฟริกาใต้ มีการรวบรวมข้อมูลไว้ว่า การไม่ไถพรวนในดินที่มีปริมาณอินทรีย วัตถุ และความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นการงอกของถั่ว และต้นถั่วสามารถใช้ผลตก ค้างของ ธาตุอาหารจากการผลิตพืชในฤดูก่อนหน้าได้ดีขึ้น รวมทั้งยั งสามารถเพิ่มระดับปริมาณอินทรีย วัตถุ และธาตุอาหารอื่นๆได้มากขึ้นอีกด้วย (Derpsch et al., 1991) ซึ่งเป็นรายงานที่สอ ดคล้องกับงาน ทดลองครั้งนี้ นอกจากนี้ในศตวรรตที่ 20 ยังมีนักวิทยาศาสตร์อีกหลายท่านที่ สรุปรวมงานทดลอง เกี่ยวกับการปลูกถั่วเหลืองในประเทศสหรัฐอเมริกาและบราซิล ที่ไม่มีการไถพรวนและทำการคลุม หน้าดินด้วยวัสดุต่างๆ นอกจากจะทำให้ผลผลิต และคุณภาพของดินดีขึ้นแล้วยังมี ผลต่อปริมาณเชื้อ โรเบียมตามธรรมชาติทั้งในแง่ น้ำหนักปม จำนวนปม และการตรึงไนโตรเจนที่เพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย (Ferreira et al., 2000; Hungria, 2000; Hungria and Vargas, 2000) ดังนั้นการปลูกถั่วเหลืองสาย พันธ์เชียงใหม่ 60 ในปีที่ 2 ที่มีการคลุมดินด้วยฟางข้าวซึ่งตา มจุดประสงค์เพื่อลดปัญหาด้านวัชพืช จึงส่งผลทางอ้อมต่อการตรึงไนโตรเจนที่ได้จากอากาศสูงขึ้นเกือบสองเท่าของการทดลองในปีแรก จากรายงาน Glendinning (1999) อ้างว่าการที่ใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมต่อการเกิดปมและ

การตรึงไนโตรเจน พบว่าเมื่อมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเ ซียมในดินที่สูงขึ้นจะทำให้การเกิดปมและการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองสูงกว่าตำรับควบคุม ซึ่งพบว่าในการทดลองปลูกถั่วเหลืองหลังนาโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินที่เหลือจากการปลูกข้าวนาปีสูงกว่าแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เช่นกัน จึงส่งผลทำให้น้ำหนักปมและการตรึงไนโตรเจนของการทดลองครั้งนี้ในแปลงของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวสูงกว่าตำรับควบคุม ซึ่งงานทดลองส่วนมากศึกษาในเรื่องของการตอบสนองของปุ๋ยเคมีร่วมกับการคลุกเชื้อไรโซเบียม สำหรับ Oberson et al. (2007) ได้ทดสอบปลูกถั่วเหลือ งด้วยระบบอินทรีย์และการเพาะปลูกแบบดั้งเดิม (Conventional technique) ในเมือง Basel ประเทศสวิตเซอ ร์แลนด์ พบว่าการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองจากงานทดลองของ Oberson et al. (2007) มีค่าเฉลี่ยของระดับการตรึงไนโตรเจนสูงถึง 100 kgN ha^{-1} ซึ่งสูงกว่างานทดลองในครั้งนี้ จากงานทดลองการใช้อินทรีย วัตถุประเภทต่างๆจะพบว่ามีค่า C:N ratio น้อยกว่า 24:1 ซึ่งน้อยกว่างานทดลองอื่นๆ (Kourik, 1986; Brady and Weil, 2002) โดยค่า C:N ratio มักเป็นปัจจัยที่ช่วยทำให้การย่อยสลายอินทรียวัตถุเกิดความสมดุลจากการทำงานของจุลินทรีย์ดินผ่านกระบวน การ Mineralization (Fog, 1988; Brady and Weil, 2002) นอกจากนี้ยังพบว่าองค์ประกอบของโลหะหนักที่ตรวจสอบได้จากปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆเช่นมูลวัว เศษหญ้าแห้ง ปุ๋ยหมัก และแหนแดง จะมีปริมาณความเข้มข้นของ Cd, Zn, Ni, Fe, Mo และ Cr อยู่ในระดับที่สูง (Sele et al., 1988; Parnes, 1990; Zahran et al., 2007) ซึ่งในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากงานทดลองในครั้งนี้อาจมีปริม าณโลหะหนักเหล่านี้ เหลืออยู่บ้างหลังการเก็บเกี่ยวข้าวสอดคล้องกับรายงานของ Bertand and Wolf (1967); Cammack (1995) และ Werner and Newton (2005) ที่ได้รายงานไว้ว่าผลตก ค้างของโลหะหนักเช่น Fe, Mo และ Ni สามารถกระตุ้นการทำงานของปมถั่ว การสร้างปมของถั่ว การตรึงไนโตรเจน และผลผลิตของเมล็ด นอกจากนี้โดยทั่วไปแล้วแหนแดงจะสามารถย่อยสลายได้ในระยะเวลา 8 สัปดาห์ ซึ่งอาจจะทำให้มีการปลดปล่อยไนโตรเจนที่อยู่ในตัวของแหนแดงสะสมมากในดินตรงกับช่วงเวลาก่อนการปลูกถั่วเหลืองพอดี ผลดังกล่าวอาจมีส่วนต่อค่า C:N raito ในดินโดยจะพบว่าเมื่อมีการใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยหมักและแหนแดงอาจส่งผลให้ไนโตรเจนที่ย่อยสลายจากแหนแดงถูกดึงมาใช้ในกระบวนการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ดังกล่าว จึงทำให้ค่า C:N raito ในตำรับที่ผ่านการใช้แหนแดงเพียงอย่างเดียวแคบกว่าในตำรับอื่น ส่งผลทำให้ไนโตรเจนในดินลดลงอย่างรวดเร็วเป็นการกระตุ้นให้เชื้อไรโซเบียมมีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ได้ดีกว่าตำรับอื่นๆ สอดคล้องกับ พรพรรณ และคณะ (2552) ทำการศึกษาการใช้ไรโซเบียมร่วมกับปุ๋ยเ คมีและปุ๋ยอินทรีย์ในการผลิตถั่วเหลืองโปรตีนสูง ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ พบว่าการใช้เชื้อไรโซเบียมร่วมกับปุ๋ยหมักในอัตรา 3,000 kg rai^{-1} ทำให้ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนลดลง รวมทั้ง น้ำหนักปม จำนวนปม และน้ำหนักต้นแห้ง ที่ระยะ

45 วันหลังปลูก โดยไม่มีความแตก ต่างกันในทางสถิติกับตำรับที่มีการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับปุ๋ยเคมี พบว่าการตรึงไนโตรเจนจะลดลงเมื่อมีการใส่เชื้อไรโซเบียมร่วมกับปุ๋ยเคมี (12-24-12) ในอัตรา 25 kg rai^{-1} ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปุ๋ยหมักที่ทำใช้ในการทำลองในครั้งนี้ ใช้ในอัตราที่สูงถึง 3,000 kg rai^{-1} จึงไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ ซึ่งการใส่ปุ๋ยหมัก ในงานทดลองของ พรพรรณ และคณะ (2552) สูงกว่างานทดลองในปี พ.ศ. 2555-2556 ถึง 3 เท่า นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของการตรึงไนโตรเจนของปีที่ 2 อาจเป็นผลจากการคลุมหน้าดินที่ทำให้การตรึงไนโตรเจนสูงขึ้นไม่ว่าจะเป็นปริมาณความชื้นที่สูงกว่าปีแรก คล้ายกับงานทดลองของ Pietsch et al. (2009) ที่ได้ทดสอบระยะเวลาการคลุมดินต่อผลผลิตและการตรึงไนโตรเจนของถั่ว Lucerne ที่ปลูกในภาคตะวันออกของประเทศออสเตรีย พบว่าการคลุมหน้าดิน 2 สัปดาห์ ก่อนและหลังทำการปลูกถั่ว มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน ไนโตรเจนที่ได้จาการตรึงสูงกว่าวิธีดั้งเดิมทั้งสองปีการทดลอง

ขณะที่ค่าดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ที่ระยะต่างๆ ของการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองอินทรีย์ที่ปลูกหลังนา มีปริมาณยูริไอด์สัมพัทธ์จากน้ำเลี้ยงตอรากถั่วจากการทดลองทั้งสองปีอยู่ในช่วงตั้งแต่ 37-88% ซึ่งจากการทดลองในปีที่ 1 จะมีปริมาณยูริไอด์สัมพัทธ์จากน้ำเลี้ยงตอรากถั่วโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับ การทดลองในปีที่ 2 ซึ่งปริมาณยูริไอด์สัมพัทธ์จากน้ำเลี้ยงตอรากถั่วที่ระยะ R2 มีปริมาณสูงที่สุดทั้ง 2 ปี ซึ่งอยู่ในช่วง 66-88% ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณยูริไอด์สัมพัทธ์ที่ระยะ R2 จากงานทดลองของ Shutsrirung et al. (2002) ที่ปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 หลังนา โดยใช้เชื้อไรโซเบียมที่อยู่ในธรรมชาติ ทำการศึกษาในเขตอำเภอหางดง ขณะเดียวกันงานทดลองในครั้งนี้มีปริมาณยูริไอด์สัมพัทธ์จากน้ำเลี้ยงตอรากถั่วเฉลี่ยสูงกว่างานทดลองขอ งจริยา (2551) ที่ทำการศึกษาถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์นัมเบอร์ 75 โดยมีการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ และไม่มีการคลุกเชื้อไรโซเบียม ในเขตอำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ และสูงกว่างานทดลองของ Gan et al. (2003) ที่ทำการทดลองในเมือง Hubei ประเทศจีน โดยคลุกเชื้อไรโซเบียม ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีที่ระยะเจริญพันธุ์ (Reproductive stages) ที่ทำการทดลองในถั่วเหลืองสามพันธุ์คือ Wuyin 9, You 91-19 และ Jufeng พบว่าทุกตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีส่งผลให้มีปริมาณยูริไอด์สัมพัทธ์จากน้ำเลี้ยงตอรากถั่วต่ำกว่างานทดลองในครั้งนี้ แม้ว่า Gan et al. (2003) จะรายงานผลของปริมาณยูริไอด์ที่ระยะ R6.5 กลับมีปริมาณยูริไอด์สัมพัทธ์จากน้ำเลี้ยงตอรากถั่วสูงกว่างานทดลองที่ทำการศึกษาครั้งนี้เล็กน้อย อย่างไรก็ตามการที่ใส่ปุ๋ยเคมีลงไปในดินที่ระยะเจริญพันธุ์ (Reproductive stages) อาจส่งผลในด้านของการสะสมปริมาณขอ งน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี เพราะปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปในดินมีผลต่อการดูดใช้ของธาตุอาหารโดยตรง สำหรับปริมาณยูริไอด์สัมพัทธ์จากน้ำเลี้ยงตอรากถั่วจากงานทดลองในครั้งนี้มีปริมาณเพิ่มขึ้นที่ระยะ V4-R2 และเริ่มลดลงในระยะ R4 ซึ่งสอดคล้องกับงาน ทดลองของ Herridge and Peoples (2002) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการตรึงไนโตรเจนใน

ถั่วเหลืองและถั่วชนิดอื่นในประเทศออสเตรียซึ่งพบว่า ปริมาณยูริไอด์สัมพัทธ์จากน้ำเลี้ยงตอรากถั่วจะเพิ่มขึ้น จาก 12% ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (V stages) จนถึง 77% ในระยะ R3.5 และค่อยๆลดลงในระยะ R6.5 หรือบางครั้งจะเริ่มลดลงเมื่อถั่วเริ่มมีการผลิตเมล็ดผันแปรตามสภาพอากาศและสายพันธุ์ (Herridge and Peoples., 1990; Herridge et al., 1996; Herridge and Peoples., 2002) นอกจากนี้ Tajima et al. (2004) ได้รวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาปริมาณยูริไ อด์สัมพัทธ์ที่ได้จากปมถั่วชนิดต่างๆมีปริมาณยูริไอด์สัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ที่ 60-75 % ที่ระยะเริ่มติด ดอก และ Herridge and Peoples (2002) ได้กล่าวว่าในพื้นที่ๆมีไนโตรเจนในดินสูงจะมีผลทำให้ปริมาณยูริไอด์สัมพัทธ์ลดลง 10-50% ขณะเดียวกัน Peoples et al. (1989) กล่าวว่าไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของยูริไอด์เป็นส่วนใหญ่และไนเตรทเป็นส่วนน้อย ขณะเดียวกันถ้าถั่วดูดไนโตรเจนจากดินมาก การตรึงไนโตรเจนจากอากาศก็จะน้อยลง สารประกอบไนโตรเจนในรูปของยูริไอด์จะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Pate et al. (1980) ที่รายงานว่าปริมาณแอมโมเนียมและไนเตร ทในดินมีความเข้มข้นสูงจะส่งผลทำให้ปริมาณยูริไอด์ลดลง รวมทั้งการเคลื่อนที่ของยูริไอด์ช้าลงด้วย แม้ว่างานทดลองครั้งนี้จะไม่ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทและแอมโมเนียมในดิน ซึ่งมีรายงา นไว้เพียงผลของเปอร์เซนต์อินทรีย วัตถุเท่านั้นแต่ก็พอจะมองเห็น ถึงแนวโน้มว่าหา กมีปริมาณอินทรีย วัตถุน้อยก็จะมีผลทำให้ปริมาณยูริไอด์สัมพัทธ์และการตรึงไนโตรเจน ที่สูงกว่าแปลงทดลองที่มีอินทรีย วัตถุสูง อย่างไรก็ตาม Doyle et al. (1997) และ Brown and Walsh (1994) เคยกล่าวไว้ว่า การเพิ่มขึ้นของยูริไอด์สัมพัทธ์จะแปรผันตรงกับปริมาณของปมรากถั่ วโดยเฉพาะถั่วในเขตร้อนหรือกึ่งร้อนเช่น ถั่วเหลืองและ ถั่วแดง โดยมีปัจจัยเกี่ยวกับปริมาณน้ำมาเป็นข้อกำหนด รวมทั้งปริมาณอากาศในดิน เช่น ออกซินเจน เป็นต้น ซึ่งในการทดลองในครั้งนี้แม้ว่าในปีที่ 2 จะมีการจัดการคลุมหน้าดินด้วยฟางข้าวทำให้มีปริมาณความชื้นในดินสูงกว่าแต่ก็ไม่ได้ทำให้ปริมาณยูริไอด์สัมพัทธ์จากน้ำเลี้ยงตอรากถั่วเพิ่มขึ้นจากงานทดลองในปีแรก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของถั่วเหลือง และมีค่าสูงกว่าตำรับควบคุมจึงทำให้ปริมาณยูริไอด์สัมพัทธ์จากน้ำเลี้ยงตอรากถั่วของตำรับที่ผ่านการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆสูงกว่าอย่างมีนัย

ในส่วนของการสะสมไนโตรเจนในส่วนเหนือดิน พบว่าการสะสมของไนโตรเจนในส่วนเหนือดินสูงขึ้นตามระยะการเจริญเติบโต ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าการทดลองในปีแรกตำรับที่ผ่านก ารใส่ปุ๋ยคอกในอัตรา 1,000 kg rai^{-1} และการทดลองในปีที่ 2 การใส่แหนแดงในอัตรา 2,000 kg rai^{-1} ส่งผลให้มีการสะสมของไนโตรเจนส่วนเหนือดินสูงที่สุด และมีความสอดคล้องกับงานทดลองของ Shutsrirung et al. (2002) ที่ปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 หลังนาทำการศึกษาในเข ตอำเภอหางดง โดยใช้เชื้อไรโซเบียมที่อยู่ในธรรมชาติ ขณะเดียวกันยังพบว่า

สอดคล้องกับตำรับควบคุม (ไม่มีการใส่ปุ๋ย) ของงานทดลองของ จีราภรณ์ (2540) ทำการศึกษาการใส่เชื้อไรโซเบียมและปุ๋ยไนโตรเจนต่อการสะสมไนโตรเจนในส่วนเหนือดินของถั่วแดงหลวง ณ สถานีเกษตรหลวงปางดะ ซึ่ งการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปในดินมีผลทำให้การสะสมไนโตรเจนในส่วนเหนือดินสูงกว่าตำรับที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ขณะที่งานทดลองของ สุปราณี (2554) ที่ทำการศึกษาการสะสมไนโตรเจนในส่วนเหนือดินของถั่วพุ่มดำที่ระยะ R3.5 โดยมีการใส่เชื้อแบคทีเรียปมรากถั่วที่ทำการศึกษาในแ ปลงทดลองของศูนย์โครงการหลวงหนองหอย ซึ่งมีการสะสมไนโตรเจนในตำรับควบคุมคือ 6.32 kgN rai^{-1} ซึ่งมีค่าสูงกว่าในตำรับควบคุมของการทดลองในครั้งนี้ Siczek and Lipiec (2011) ทำการทดลองใน Poland โดยศึกษาในถั่วเหลืองพันธุ์ Aldana ซึ่งจัดการแปลงโดยการคลุมแปลงกับไม่มีกา รคลุมแปลงพบว่าการคลุมแปลงมีผลทำให้การสะสมไนโตรเจนในส่วนเหนือดินต่ำกว่าแปลงที่มีการจัดการแบบไม่มีการคลุมแปลงปลูก โดยทั่วไปแล้วปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนเหนือดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ (Herridge et al., 1996; Purcell et al., 2004; Schweiger et al., 2012)

จาก การประเมินประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองทั้งสองปีการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของการทดลองในปีที่สอง สูงกว่าในปีแรกอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความสามารถในการทำงานของเชื้อไรโซเบียมร่วมกับถั่วเหลืองซึ่งสามารถวัดได้จากปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงของปีการทดลองที่ 2 สูงกว่าปีการทดลองที่ 1 โดยไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงในปีที่ 2 นั้นเป็นไนโตรเจนที่มาจากอากาศมากกว่า 90% ตรวจพบในแปลงที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทุกประเภท ซึ่งประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนดังกล่าวสูงกว่าการทดลองในปีที่ 1 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตำรับควบคุม ที่เพิ่มขึ้นจาก 36.8% เป็น 86.4% รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการตรึงในตำรับอื่นๆที่มีไม่น้อยกว่า 30% อาจเป็นผลจากปริมาณอินทรีย วัตถุที่เพิ่มขึ้นทุกตำรับทดลองรวมทั้งปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างในดินก่อนการทดลองในปีที่ 2 ยังคงเพียงพอต่อการเกิดปม การเข้ารา ก และปริมาณเชื้อไรโซเบียม นอกจากนี้อาจเป็นผลทางอ้อมของแบคทีเรีย Endphytic บางกลุ่มที่มีความสามารถทำงานและเข้าจับตัวกับรากพืชอาศัย เช่น ข้าว (หนึ่ง , 2554) สมมุติฐานดังกล่าวอาจส่งผลทำให้บริเวณรอบรากข้าวมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งกลุ่ ม Endophytic และกลุ่มแบคที่เรียที่ต้องการออกซิเจนสูงกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นจึงส่งผลทำให้การทำงานของแบคทีเรียและไรโซเบียมเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในการทดลองปีที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่ามีการสะสมของปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่าในปีการทดลองที่ 1 อย่างไรก็ตามผลของธาตุอาหารที่ตกค้างจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ มีผลทำให้ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองมากกว่าตำรับควบคุมโดยเฉพาะตำรับที่มีการใช้แหนแดง และการใช้แหนแดงร่วมกับปุ๋ยคอ กหรือปุ๋ยหมัก ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในการทดลองปีที่ 2 เป็นผลจากการสะสมของปริมา ณ

อินทรียวัตถุที่สูงขึ้น (ตาราง 2) รวมทั้งอาจเกิดจากผลที่มีการคลุมหน้าดินในปีที่ 2 ทำให้มีระดับความชื้นสูงกว่าในปีแรก แล้วยังส่งผลทำให้การทำงานของเชื้อไรโซเบียมร่วมกับปมรากถั่วเหลืองสูงขึ้น ประกอบกับการทดลองในครั้งนี้ไม่มีการไถพรวนดินก่อนการปลูกถั่วเหลือง ทำ ให้บริเวณรอบรากข้าวอาจจะมีปริมาณเชื้อไรโซเบียมเหมาะสมต่อการเข้ารากถั่วเหลือง

ในส่วนของผลผลิตถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ทั้งสองปีการทดลองมีปริมาณผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 203 kg rai^{-1} (ปีที่ 1) และ 188 kg rai^{-1}(ปีที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของนิวัตินน์ (2542) ที่ทำการปลูกถั่วเหลืองในเขตอำเภอแม่ริม ในแปลงที่มีการระบายน้ำดี และแปลงที่มีการระบายน้ำเลว โดยใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีค่าเฉลี่ยผลผลิตอยู่ที่ 325 และ 205 kg rai^{-1} ตามลำดับ โดยงานทดลองครั้งนี้จะมีผลผลิตใกล้เคียงกับแปลงที่มีการระบายน้ำเลว ซึ่งเป็นชุดดิน Alluvial complex เช่นกัน ขณะที่สมพร (2552) ศึกษาเรื่องสาธิตการใช้น้ำชลประทานที่มีต่อผลผลิตถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60ในเขตพื้นที่ของกลุ่มเกษตรกรผู้ใช้น้ำ โดยทำการศึกษาในเขตอำเภอแม่ริม ซึ่งปลูกถั่วเหลืองในระบบเคมี พบว่ามีผลผลิตสูงถึง 376 kg rai^{-1} อาจเป็นผลมาจากการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันทำให้มีค่าผลผลิตสูงกว่างานทดลองครั้งนี้ รวมทั้งการจัดการน้ำ โรคและแมลง และความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ไม่ได้รายงานไว้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

การศึกษาปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงทั้งหมดของถั่วเหลืองหลังนาที่ ได้รับผลกระทบจากปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่เหลือจากแปลงข้าวนาปี โดยทำการทดลอง 2 ปี (พ.ศ. 255-2556) สรุปการทดลองดังนี้

1. แปลงที่ผ่าน การใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียวในอัตรา 2,000 kg rai^{-1} ทำให้ไนโตรเจนที่ได้จากการตรึง สูงกว่าการ จักการด้วยปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นๆ โดยมีปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงจากอากาศถึง 8.63 kg rai^{-1} ในปีที่ 1 และ 14.18 kg rai^{-1} ในปีที่ 2 โดยในปีที่ 2 ตำรับที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรึง จากอากาศเพิ่มขึ้นถึง 64.3%

2. ประสิทธิ ภาพการตรึงไนโตรเจนจากอากาศของถั่วเหลืองในปีการทดลองที่ 2 สูงกว่าปีการทดลองที่ 1 การใส่แหนแดง หรือการใส่แหนแดงร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ประเภทต่างๆมีผลทำให้ประสิทธิภาพการตรึง ไนโตรเจน ของถั่วเหลืองสูงกว่าตำรับควบคุมและการใช้ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว

3. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทุกชนิดมีผลทำให้ปริมาณดัชนียูริไอด์สัมพันธ์มากกว่าแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยแปลงที่ผ่านการใส่แหนแดงมีผลทำให้ ปริมาณดัชนียูริไอด์สัมพันธ์ในระยะ R2-R6 สูงกว่าแปลงอื่นๆ

4. ปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างจากการใช้ปุ๋ยอินท รีย์มีผลทำให้ การสะสมน้ำหนักแห้งของปมรากถั่วในปีการทดลองที่ 2 น้อยกว่าการทดลองในปีที่ 1 โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทุกชนิดมีผลทำให้การสะสมของน้ำหนักแห้งของปมรากถั่วมีน้ำหนักมากกว่าแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ โดยน้ำหนักปมจะลดลงเมื่อระยะ R6 ไม่น้อยกว่า 88% จากการทดลองปีที่ 1 และ 85% จากการทดลองในปีที่ 2

5. แปลงที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกันทั้งสามชนิด มีผลทำให้ ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในส่วนเหนือดิน จากการทดลองปีที่ 1 สูงที่สุดถึง 10.86 kgN rai^{-1} ที่ระยะ R6 ส่วนในการทดลองปีที่ 2 พบว่าแปลงที่ผ่านการใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียวทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในส่วนเหนือดินสูงที่สุดคือ 14.64 kgN rai^{-1}

6. การสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน จากการศึกษาทั้ง 2 ปี พบว่าในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมีผลทำให้การสะสมของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงกว่า

ทุกตำรับทดลองใน ระยะ V4-R4 แต่ที่ระยะ R6 การใส่แหนแดงเพียงอย่างเดียวจะมีผลทำให้การสะสมของน้ำหนักต้นส่วนเหนือดินสูงที่สุดทั้ง 2 ปีที่ทำการศึกษา

7. ผลผลิตของถั่วเหลืองหลังนา จากแปลงที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูงกว่าตำรับควบคุมทั้งสองปีการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาที่ดิน. 2541. **การจัดการดินและพืชเพื่อปรับปรุงดินอินทรียวัตถุต่ำ**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 123 น.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **วัสดุอินทรีย์และปุ๋ยคอกในพื้นที่ทำการเกษตร**. กรุงเทพฯ: เอกสารวิชาการลำดับที่ 19/2548 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 237 น.

_____. 2552. **ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://it.doa.go.th/vichakan/news.php?newsid=34 (24 กรกฎาคม 2555).

จริยา ฉัตรคำ. 2551. **ผลของเชื้อแบรดี้ไรโซเบียม ความลึกของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและการจัดการปุ๋ยต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต แล ะการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองฝักสด** . วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 90 น.

จีราภรณ์ อินทสาร . 2540. **การวัดการตรึงไนโตรเจนของถั่วแดงหลวงโดยการวิเคราะห์ยูริไอด์ในตัวอย่างลำต้นแห้ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 136 น.

_____. 2554. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. เชียงใหม่: คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 288 น.

เฉลิมพล แซมเพชร และ มนกฤตย์ บุญยฤทธิ์ . 2539. อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนที่มีต่อการ เจริญเติบโต ผลผลิตและการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลือง. น. 185-195 ใน **รายงานการประชุมวิชาการถั่วเหลืองแห่งชาติ ครั้งที่ 6.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชลูด ธารัตถพันธุ์. 2534. การจัดการดินในแหล่งปลูกถั่วเหลือง . น. 25-99. ใน **เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มผลผลิตถั่วเหลือง .** ในวันที่ 5-9 สิงหาคม 2534 ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่.

เธียรชัย อารยางค์กูร . 2542. การคลุมฟางข้าวในการปลูกถั่วเหลือง . น. 32-34**.** ใน **เอกสารวิชาการผลิตถั่วเหลืองที่ถูกต้องและเหมาะสม.** ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.

นงค์นภา เกลี้ยงเกลา ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ ละอองดาว แสงหล้า และ สมพจน์ กรรณนุช . 2552. การใช้น้ำสกัดชีวภาพหนอนตายหยากเป็นปุ๋ยสำหรับการผลิตถั่วเหลือง . **วารสาร การจัดการสิ่งแวดล้อม** 5 (2): 56-73

นงลักษณ์ ปุระณะพงษ์ . 2548. **คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช** . เชียงใหม่: ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 286 น.

นันทกร บุญเกิด. 2529. **คู่มือการใช้ไรโซเบียม**. กรุงเทพฯ: อรุณการพิมพ์. 55 น.

นิวัตินˆ หิรัญบูรณะ. 2542. **รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการพัฒนาต้นแบบการปรังปรุงประสิทธิภาพการผลิตถั่วเหลือง ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน.** เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 43 น.

เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม . 2532. **คู่มือวิจัยภาคสนาม วิธีวัดการตรึงไนโตรเจนในถั่ว .** เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 98 น.

ประยูร สวัสดี สมพร ชุนห์ลือชานนท์ นันทกร บุญเกิด จิรยุทธ ต้นวีนุกูล ณรงค์ แก้ว วรรณรัตน์ ชำนาญ ดอกสมบูรณ์ และวิสันต์ มีสวัสดิ์ . 2531. **การใช้ประโยชน์จากแหนแดงในการทำนาควบคู่กับการเลี้ยงปลา**. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร. 323 น.

พรพรรณ สุทธิแย้ม อัจฉรา นันทกิจ ศิริลักษณ์ จิตรอักษร จิติมา ยถาภานนท์ และ สมชาย ผอบเหล็ก. 2552. **การใช้เชื้อไรโซเบียมร่วมกั บปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในการผลิตถั่วเหลืองโปรตีนสูง.** รายงานผลการวิจัย ประจำปี 2552 ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ . เชียงใหม่: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 19 น.

พิมพร โชติญาณวงษ์ . 2542. **เทคโนโลยีการปลูกถั่วเหลือง .** เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรการปลูกพืชไร่ในเขตชลประทาน . ในวันที่ 21-22 ธันวาคม 2542 ณ สถานีทดลองพืชไร่พิษณุโลก. พิษณุโลก**:** สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. 283 น.

มนกฤตย์ บุญยฤทธิ์. 2538. **การตรึงไนโตรเจนและการสะสมไนโตรเจนในถั่วเหลืองในแต่ละระดับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและความหนาแน่นของต้นปลูก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 136 น.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 547 น.

ยงยุทธ โอสถสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 519 น.

รังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ. 2541. ถั่วเหลือง. น.73-78 ใน **พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัตนา เศวตาสัย. 2540. **การปลูกถั่วเหลืองในฤดูแลงหลังการทำนา**. กองสงเสริมพืชไรนา [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/plant/rice/ peanut2.pdf (28 กรกฎาคม 2555).

วิวัฒน์ไชย จันทน์สุคนธ์. 2543. **พืชอุตสาหกรรม.**กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์อักษรไทย. 98 น.

สมชาย บุญประดับ และ ศุภชัย แก้วมีชัย. 2543. **ถั่วเหลืองในเขตชลประทาน.** กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 177 น.

สมพร กันธวงค์. 2552. **สาธิตการใช้น้ำชลประทานที่มีต่อผลผลิตถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในเขตพื้นที่ของกลุ่มเกษตรกรผู้ใช้น้ำ ชลประทาน เขตโครงการส่งน้ำ และบำรุงรักษาแม่แตง.** เชียงใหม่: สถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 1 (แม่แตง) จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ. กรมชลประทาน. 24 น.

สมศักดิ์ วังใน. 2541. **การตรึงไนโตรเจน ไรโซเบียม-พืชตระกูลถั่ว**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 252 น.

สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร. 2555. **ยุทธศาสตร์ถั่วเหลืองปี 2553-2556**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http:// www.agriman.doae.go.th/home/news/Year%202012/034_ Soybean.pdf. (20 กรกฎาคม 2555).

สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน . 2548. **มหัศจรรย์พันธุ์ดิน .** กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 137 น.

สุปราณี จี้มูล. 2554. **การประเมินการแข่งขันของเชื้อแบคทีเรียปมรากถั่วที่ใช้คลุกเมล็ดสำหรับการปลูกถั่วพุ่มเป็นปุ๋ยพืชสดบนพื้นที่สูงโดยเทคนิคทางอณูชีววิทยา .** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 90 น.

สุวพันธ์ รัตนะรัต นงลักษณ์ วิบูลสุข และ สายใจ สุชาติกุล. 2541. **สถานะความอุดมสมบูรณ์ของดินและการใช้ธาตุอาหารพืชของถั่วเหลืองที่ปลูกในเขตชลประทานภาคเหนือตอนล่าง .** นนทบุรี: รายงานการประชุมวิชาการถั่วเหลืองแห่งชาติครั้งที่ 7 วันที่ 25-27 สิงหาคม 2541 ณ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 490 น.

สุวพันธ์ รัตนะรัต และ สายใจ สุชาติกุล . 2542. ดินและปุ๋ยสำหรับปลูกถั่วเหลืองและถั่วลิสงในฤดูแล้งเขตชลประทาน. น. 166-198. ใน **เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรการปลูกพืชไร่ในเขตชลประทาน .** วันที่ 21-22 ธันวาคม 2542 ณ สถานีทดลองพืชไร่พิษณุโลก จ.พิษณุโลก.

หนึ่ง เตียอำรุง. 2554. **แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 252 น.

อภิพรรณ พุกภักดี. 2546. **ถั่วเหลืองพืชทองของไทย.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 264 น.

อัจฉรา อุทโยภาศ ศรีสมร พิทักษ์ และศรีสุข พูนผลกุล. 2547. **ถั่วเหลือง.** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เพิ่มทรัพย์การพิมพ์. 102 น.

อำพรรณ พรมศิริ. 2551. **การอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง เทคโนโลยีการผลิตพืช แบบประหยัดปุ๋ยโดยการใช้ประโยชน์จากการวิเคราะห์คุณภาพดิน .** เชียงใหม่ : ภาควิชาปฐพีและอนุรักษ์ศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 40 น.

Andrea, M., D.E. Macale and P.L.G. Vlex. 2004. The Role of *Azolla* Cover in Improving the Nitrogen Use Efficiency of Lowland Rice. **Plant and Soil**. 263: 311-321.

Beck, D.P. and S. Vangnai. 1985. Perfermance of Rhizobia Under Adverse Conditions, pp. 141-146. In G.J. Bleir, D.A. Ivory and T.R. Evans (Eds.). **Forages in Southeast Asia and South Pacific Agriculture.** Proceedings of an International Workshop.19-23 August,1985. Cisarua, Indonesia.

Bekere, W. and A. Hailemariam. 2012. Influences of Inoculation Methods and Phosphorus Levels on Nitrogen Fixation Attributes and Yield of Soybean (*Glycine max* L.) at Haru, Western Ethiopia. **American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology** 2 (2): 45-55.

Bekere, W., T. Kebede and J. Dawud. 2013. Growth and Nodulation Response of Soybean (*Glycine max* L.) to Lime, *Bradyrhizobium japonicum* and Nitrogen Fertilizer in Acid Soil at Melko, South Western Ethiopia. **International Journal of Soil Science** 8(1) : 25-31.

Bertand, D. and D. Wolf. 1967. Nickel in Plant Growth and Metabolism. **Bot.Rev.,** 40: 395-452.

Bilyeu, K. D., M. B. Ratnaparkhe. and C. Kole. 2010. **Genetics, Genomics and Breeding of soybean**. British Channel Islands: Edenbridge Ltd. 362 p.

Bordeleau, L.M. and D. Prevost. 1994. Nodulation and Nitrogen Fixation in Extream Environments. **Plant and Soil**. 161: 115-125.

Brady, N.C. and R.R. Weil. 2002. **The Nature and Properties of Soils**. New Jersey: Prentice Hall. 881 p.

Bremner, J. M. 1977. Use of Nitrogen-Tracer Techniques for Research on Nitrogen Fixation. pp. 335-352. In A. Ayanaba and P. J. Dart (eds.), **Biological nitrogen fixing farming systems of the tropics.** Chichester, U.K.: Wiley and Sons.

Brown, S. M. and K. B. Walsh. 1994. Anatomy of The Legume Nodule Cortex with Respect to Nodule Permeability. **Australian J. Plant Physiol.**, 21: 49-68.

Burris, R. H. 1974. Methodology. pp. 9-33. In A. Quispel (Ed.). **The biology of nitrogen fixation**. Amsterdam, The Netherlands: North-Holland Publishing Co.

Burns, R. C., and R.W. Hardy. 1975. Nitrogen Fixation in Bacteria and Higher Plants. **Mol. Biol. Biochem. Biophys.** 21: 1-189.

Cammack, R. 1995. Splitting Molecular Hydrogen. **Nature** 373: 556-557.

Cataldo D.A., M. Haroon, L.E. Schrader and V.L. Youngs. 1975**.** Rapid Colormetric Determination of Nitrate in Plant Tissues by Nitration of Salicylic Acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 6: 71-80.

Chalk, P. M. 1985. Estimation of N_2 Fixation by Isotope Dilution: An Appraisal of Techniques Involving ^{15}N Enrichment and Their Application. **Soil Biol. Biochem**: 17: 389-410.

Chandler, M.R., R.A. Date and R.J. Roughley. 1982. Infection and Root-nodule Development on Stylosanthes Species by Rhizobium. **J. Exp. Bot.** 3: 47-57.

Chang, R.Z. 1989. Studies on the Origin of Cultivated Soybean. **Oil Crop of China** 1, 1-6.

Cuzin, V.F. 1976. Soviet Great Encyclopedia. pp. 281-351. In **The Soybean: Botany, Production and Uses**. UK: AMA Pataset Ltd. 494 p.

Danso, S. K. A. 1986**.** Estimation of N_2-fixation by Isotope Dilution: An Appraisal of Techniques Involving ^{15}N Enrichment and Their Application. **Soil Biol. Biochem**: 18: 243-244.

Danso, S. K. A., G. Hardarson. and F. Zapata. 1993. Misconceptions and Practical Problems in the Use of ^{15}N Soil Enrichment Techniques for Estimating N_2 Fixation. **Plant Soil:** 152: 25-52.

Deibert, E. J., M. Bijeriego and R. A. Olson. 1979. Utilization of ^{15}N Fertilizer by Nodulating and Nonnodulating Soybean Isolines. **Agron. J.** 71: 717-723.

Derpsch, R., C. H. Roth, N. Sidiras, and U. Kopke. 1991. **Controle Da Erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de Cobertura do Solo, Plantio Direto e Preparo Conservacionista Do Solo (Sonderpublikationder GTZ, 245).** Eschborn, Germany: GTZ. 245 p.

De Silva, P.M., S.M. Tsai and R. Bonetti. 1993. Response to Inoculation and N Fertilization for Increased Yield and Biological Nitrogen Fixation of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant and Soil.** 157: 123-130.

Dobereiner, J. and J.M. Day. 1976. Associative Symbiotic In Tropical Grasses: Characterization of Micro-organisms and Dinitrogen Fixing Sites. pp. 518-538. In W.E. Newton and C.J. Nyman (eds.) **Proceedings of the First Intemational Symposium on Nitrogen Fixation.** Washington: Washington State University Press.

Doyle, J., J. Doyle, J. Ballenger, E. Dickson, T. Kajita and H. Ohashi. 1977. A phylogeny of the Chloroplast Gene rbcL in the Leguminosae: Taxonomic Correlations and Insights into the Evolution of Nodulation. **Am J Bot.** 84(4): 541-551.

FAO. 2008. **FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin**. Rome, Italy: FAO. 220 p.

Fehr, W.R. and C.E. Caviness. 1979. **Stages of Soybean Development**. USA: Iowa State University. 80 p.

Fening, J.O. and S.K.A. Danso. 2002. Variation in Symbiotic Effectiveness of Cowpea Bradyrhizobia Indigenous to Ghanaian Soil. **Appl. Soil Ecol.,** 21: 23-9.

Ferreira, M. C., D. S. Andrade, L. M. de O. Chueire, S. M. Takemura and M. Hungria. 2000. Effects of Tillage Method and Crop Rotation on the Population Sizes and Diversity of Bradyrhizobia Nodulating Soybean. **Soil Biol. Biochem.,** 32: 627-637.

Fog,K. 1988. The Effect of Added Nitrogen on the Rate of Decomposition of Organic Matter. **Biolog. Rev. Camb.Philos.Soc.,** 63: 433-462.

Gan, Y., I. Stulen. H.V. Keulen and P.J.C. Kuiper. 2003. Effect of N Fertilizer Top-dressing at Various Reproductive Stages on Growth, N_2 Fixation and Yield of Three Soybean (*Glycine max*(L.) Merr.) genotypes. **Field Crops Research.,** 80: 147-155.

Giller, K.E. 2001. **Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems**. 2nd ed. Wallingford: CABI, 423 p.

Glendinning, J.S. 1999. **Australian Soil Fertility Manual.** Australia: Fertilizer Industry Federation Australia,Inc. 126 p.

Ham, G. E. and A. C. Caldwell. 1978. Fertilizer Placement Effects on Soybean Yield, N_2 Fixation, and $_{32}P$ Uptake. **Agron. J.** 70: 779-783.

Hardarson, G., and S. K. Danso. 1993. Methods for Measuring Biological Nitrogen Fixation in Grain Legumes. **Plant Soil,** 152: 19-23.

Herridge, D.F. 1984. Effect of Nitrate and Plant Development on the Abundance of Nitrogenous Solutes in Root-bleeding and Vacuum-extracted Exudates of Soybean**. Crop Sci.** 24: 173-179.

Herridge, D.F. and M. B. Peoples, 1990. Uride Assay for Measuring Nitrogen Fixation by Nodulated Soybean Calibrated by ^{15}N Methods. **Plant Physiol.** 93: 495-503

Herridge, D.F. and M. B. Peoples. 2002. Timing of Xylem Sampling for Ureide Analysis of Nitrogen Fixation. **Plant Soil** 238: 57-67.

Herridge, D.F., B. Palmer., D.P. Nurhayti and M. B. Peoples. 1996. Evaluation of the Xylem Ureide Method for Measuring N_2 Fixation in Six Tree Legume Species. **Sol Biol. Biochem.** 28(3): 281-289.

Herridge, D.F., M. B. Peoples and R.M. Boddey. 2008. Global Inputs of Biological Nitrogen Fixation in Agricultural System. **Plant and Soil** 311: 1-18.

Hungria, M. 2000. **Características Biológicas em Solos Manejados sob Plantio Direto: M. Veiga (Coord.), Memorias de la V Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Agricultura Conservacionista [CD ROM].** Florianópolis,Brazil: EPAGRI/FAO.

Hungria, M. and M. A. T.Vargas. 2000. Environmental Factors Affecting N_2 Fixation in Grain Legumes in the Tropics, with an Emphasis on Brazil. **Field Crops Res.,** 65: 151-164.

Hungria, M., R. J. Campo, and I. C. Mendes. 2001. **Fixação Biológica do Nitrogênio na Cultura da Soja (Circular Técnica, 13).** Londrina, Brazil: Embrapa Soja/Embrapa Cerrados. 48 p.

Hymowitz, T. 1970. On the Domestication of the Soybean. **Economic Botany** 23: 408-421.

Johnson, H.W., U.M. Means and C.R. Weber. 1965. Competition for Nodule Sites Between Strains of *Rhizobium japonicum* Applied as Inoculum and Strains in Soil. **Agron. J.** 57: 179-185.

Johnson, J. W., Welch, L. F. and L.T. Kurtz. 1975. Environmental Implications of Nitrogen Fixation by Soybeans. **J. Environ. Qual.,** 4: 303-306.

Kenneth, G.M. 1994. **Selection and Management of Nitrogen-Fixation Trees.** Bangkok, Thailand: Craftsman Press, Ltd., 272 p.

King, C.A. and L.C. Purcell. 2005. Inhibition of N_2 Fixation In Soybean Is Associated with Elevated Ureide and Amino acid. **Plant Physiology.** 137: 1389-1396.

Knowles, R. 1981. The Measurement of Nitrogen Fixation. pp. 327-333. In A. H. Gibson and W. E. Newton (eds.), **Current perspectives in nitrogen fixation**. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Press.

Kourik, R. 1986. **Designing and Maintaining Your Edible Landscarpe Natually.** California: Matamorphic Press. 357 p.

Kumaga, F.K. and K. Ofori. 2004. Response of Soybean *(Glycine max* (L.) Merrill) to Bradyrhizobia Inoculation and Phosphorus Application. **International Journal of Agriculture&Biology.** 6(2): 324-327.

LaRue, T. A., and T.G. Patterson. 1981. How much Nitrogen do Legumes Fix? **Adv. Agron.**, 34: 15-38.

Ledgard, S.F., and M.B. Peoples. 1988. Measurement of Nitrogen Fixation in the Field. pp. 351-367. In Wilson, J.R., ed., **Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems**. Wallingford, UK: C.A.B. International.

Loureiro, M.F., E.M. Santos, M. Hungria and R.J. Campo. 2001. **Efeito da Reinoculação e da Adubação Nitrogenada no Rendimento da Soja em Mato Grosso (Comunicado Técnico, 74)**. Londrina, Brazil: Embrapa Soja. 125 p.

McClure, P.R. and D.W. Israel. 1979. Transport of Nitrogen in the Xylem of Soybean Plants. **Plant Physiology** 64: 411-416.

Millor, R.B. and D. Werner. 1990. Legume Nodule Biochemistry and Function. pp. 111-130. In **"Milecular Biology of Symbiotic Nitrogen Fixation"**. Boca Raton, FL: CRC Press. 269 p.

Norhayti, M., S. M. Noor, K. Chong, A.W. Faizah, D.F. Herridge, M.B. Peoples and F.J Bergersen. 1988. Adaptation of Methods for Evaluating N_2 Fixation in Food Legumes and Legume Cover Crops. **Plant and Soil:** 108: 143-150.

Oberson, A., S. Nanzer., C. Bosshard., D. Dubois., P. Mäder and E. Frossard. 2007. Symbiotic N_2 Fixation by Soybean in Organic and Conventional Cropping Systems Estimated by ^{15}N Natural Abundance. **Plant Soil** 290: 69-83.

Parker, M.B. and H.B. Harris. 1977. Yield and Leaf Nitrogen of Nodulating and Non-nodulating Soybeans as Affected by Nitrogen and Molybdenum. **Agron. J.** 69: 551–554.

Parnes, R. 1990. **Fertile soil: A grower's Guide to Inorganic and Organic Fertilizers**. California: University of California Davis. 210 p.

Partriquin, D.G., J. Dobereiner and D.K. Jain 1983. Site and Process off Associative Between Diazotrophs and Grasses. **Can. J. Microbiol**. 29: 900-912.

Pate, J.S., C.A. Atkins, S.T. White, R.M. Rainbird and K.C. Woo. 1980. Nitrogen Nutrition and Xylem Transport of Nitrogen in Ureide-producing Grain Legumes. **Plant Physiol.** 65:961-965.

Peoples, M.B., A.W. Faizah, B. Rerkasem, and D.F. Herridge. 1989. **Methods for Evaluating Nitrogen Fixation by Nodulated Legumes in the Field**. Canberra, Australia: ACIAR Monograph. No. 11. 76 p.

Peoples, M.B., J.K. Ladha and D.F. Herridge. 1995. Enhancing Legumes N_2 Fixation Through Plant and Soil Management. **Plant and Soil**: 174: 83-101.

Peoples, M.B., R.R. Gault, B. Lean, J.D. Sykes and J. Brockwell. 1995. Nitrogen Fixation by Soybean in Commercial Irrigated Crop of Central and Southern New South Wales. **Soil Biol. Biochem**., 27: 553-561.

Pietsch, G., R. Hrbek, D. Laubhann and J. K. Friedel. 2009. Effect of mulching dates modified for nature conservation on the yield and nitrogen fixation of green manure lucerne crops. **Agron. Sustain. Dev.** 29: 353-362.

Purcell, L.C., R. Serraj., R. T. Sinclair and A. De. 2004. Soybean N_2 Fixation Estimates, Ureide Concentration, and Yield Responses to Drought. **Crop Sci.** 44: 484-492.

Purseglove, J.W. 1968. **Tropical Crop: Dicotyledons I.** London: Longmans Green and Co.Ltd. 332 p.

Roberson, J.G., P. Lyttleton and C.E. Pankhurst. 1981. **Preinfection and Infection Processes in the Legume *Rhizobium* Symbiosis**. Current Perspective in Nitrogen Fixation, Proceegings of the Forth International Symposium on Nitrogen Fixation. 1-5 December 1980. Australian Academy of Science. Canberra. Cali, Colombia: Centro Inthenacional de Agricultura Tropical (CIAT). 77 p.

Salvagiotti, F., K.G. Cassman, J.E. Specht, D.T. Waliers, A. Weiss and A. Dobermann. 2008. Nitrogen Uptake, Fixation and Reponse to Fertilizer N in Soybean: A Review. **Field Crops Research** 108: 1-13.

Schweiger, P., M. Hofera., W. Hartl., W. Wanek and J. Vollmann. 2012. N_2 Fixation by Organically Grown Soybean in Central Europe: Method of Quantification and Agronomic Effects. **Europ. Agron. J**. 41: 11–17.

Sela, M., E. Tel-Or., E. Fritz and A. Huttermann. 1988. Localization and Toxic Effects of Cadmium, Copper, and Uranium in Azolla. **Plant Physiol**. 88: 30-36.

Shutsrirung, A., P. Sutigoolabud., C Santasup., K. Senoo., S. Tajima., M. Hisamatsu and A. Bhromsiri. 2002. Symbioc Efficiency and Compatibility of Native Rhizobia in Northern Thailand with Different Soybean Cultivars. **Soil Sci.Plant Nutr**., 48 (4): 491-499.

Siczek, A. and J. Lipiec. 2011. Soybean Nodulation and Nitrogen Fixation in Reponse to Soil Compaction and Surface Straw Mulching. **Soil & Tillage Research**. 114: 50-56.

Singh. G. 2010. **The Soybean: Botany, Production and Uses**. UK: AMA Pataset Ltd. 494 p.

Smil, V. 1999. Nitrogen in Crop Production: An Account of Global Flows. **Global Biogeochem Cycles** 13: 647-662.

Soares Novo, M.C., R.T. Tanaka, H.A.A. Mascarenhas, N. Bortoletto, P.B. Gallo, J.C.V.N. Alves Pereira and A.A. Teixeira Vargas. 1999. Nitrogênio e Potassio na Fixação Simbiotica de N_2 por Soja Cultivada no Inverno. **Scientia Agricola** 56 (1): 143–156.

Tajima , S., M. Nomura and H. Kouchi. 2004. Ureide Biosynthesis in Legume Nodules. **Front Biosci.** 9: 1374-1381.

Thomas, R.J. and L.E. Schrader. 1981. Assimilation of Ureides in Shoot Tissues of Soybeans. **Plant Physiology** 67: 973-976.

Unkovich, M. J., and J. S. Pate. 2000. An Appraisal of Recent Field Measurements of Symbiotic N_2 Fixation by Annual Legumes. **Field Crops Res** 65: 211-228.

Walkley, A. and I.A. Black, 1947. Chromic acid Titration Method for Determination of Soil Organic Matter. **Soil. Sci**. **Amer. Proc**. 63: 257.

Wang, L.Z. 1985. The Origin Evolution and Distribution of Soybean. **Soybean Science**. 1: 1-6.

Watanabe, F.S. and S. R. Olsen. 1962. Calorimetric Determination of Phosphorus in Water Extracts of Soil. **Soil Sci.** 93: 183-188.

Wayne E. S. 1980. **Handbook on Reference Methods for Soil Testing**. Conncil on soil testing and plant Analysis Ed. Athens: University of Georgia. 130 p.

Werner.D. and W.E. Newton. 2005. **Nitrogen Fixation in Agriculture, Forestry, Ecology, and the Environment**. The Netherland: Springe. 347 p.

Witty, J.F. 1983. Estimating N_2-fixation in the Field Using ^{15}N-labelled Fertilizer: Some Problems and Solutions Soil Biol. **Biochem.** 15: 631-639.

Witty, J.F. and F.R. Minchin 1988. Measurement of Nitrogen Fixation by the Acetylene Reduction Assay; Myths and Mysteries. pp. 331-344. In Beck, D.P., and Materon, L.A., ed., **Nitrogen fixation by legumes in mediterranean agriculture**. Dordrecht, Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers.

Yemm E.W. and E.C. Cocking. 1955. The Determination of Amino Acids with Ninhydrin. **Analyst** 80: 209-213.

Young E.G. and C.F. Conway. 1942. On the Estimation of Allantoin by the Rimini-Schryver Reaction. **Journal of Biological Chemistry** 142: 839-853.

Zahran, H.H., A.H. Abo-Ellil and E.A. Al Sherif. 2007. Propagation, Taxonomy and Ecophysiological Characteristics of the Azolla-anabaena Symbiosis in Freshwater Habitats of Beni-suef Governorate (Egypt). **Egyptian Journal of Biology**. 9: 1-12.

Zapata, F., S.K.A. Danso, G. Hardarson and M. Fried. 1987. Time Course of Nitrogen Fixation in Field-grown Soybean Using Nitrogen-15 Methodology. **Agron. J.** 79 : 172–176.

Zhang F. and D.L. Smith 2002. Interorganismal Signling in Suboptimum Environments: The Legume-Rhizobia Symbiosis. **Advances in Agronomy**, 76: 125-161.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์สารประกอบไนโตรเจนในน้ำหล่อเลี้ยงลำต้น

การวิเคราะห์สารประกอบไนโตรเจนในน้ำหล่อเลี้ยงลำต้น

(UREIDES, NITRATE, AMINO ACID)

UREIDES

Reagents

1. Sodium hydroxide (0.5 N) 20 g/lit NaOH
2. Hydrochloric acid (0.65 N) 65 ml/lit conc. HCl
3. Phenyldrazine hydrochloride (0.33%) 0.33 g/100 ml H_2O, prepared daily
4. Potassium ferricyanide (1.67%) 1.67 g/100 ml H_2O, prepared daily
5. Concentrated hydrochloric acid (10 N) 416 ml/500 ml H_2O.
6. Ureides standard (1 mM) 39.53 mg allantoin/250 ml H_2O.
7. Use 0.50 mM allantoin as internal standard.

Procedure

1. Pipette 0.5 ml hot water extracts or 0.05/0.1 ml xylem exudates samples into test and dilution to 2.5 ml with distilled water. Include water blanks (*2) and internal standard. (*2) with each batch. Internal standard is 2.5ml of 0.05 mM allantoin.
2. Add 0.5 ml of 0.5 N sodium hydroxide
3. Place tubes in a boiling water bath for 8-10 minutes
4. Remove and add 0.5 ml of 0.65 N HCl plus 0.5 ml phynylhydrazine solution to each tube.
5. Shake the tube and place in a boiling water bath for exactly 2 minutes.
6. Remove from boiling water bath and immediately plunge tubes into an ice bath (80% ethanol, chilled to 0^{o}C) and leave for 15 minutes.
7. Remove from ice bath and add 2ml of 10 N HCl (also chilled to 0^{o}C) and 0.5ml Potassium ferricyanide to each tube.
8. Mix contents well.

9. Leave at room temperature for 10 mintes and measure O.D. at 520 nm on a Spectrophometer.

There is some background noise with extracts of plant parts. For shoot axes, subtract 1.7 µ mol ureides/g dry wt; for root subtract 1.0 µ mol. (Young and Conway, 1942)

Standard

Ureides standard (1 mM) 39.53 mg allantoin/250 ml H_2O. Use 0.50 mM allantoin as internal standard.

Allantoin stock by distilled water as follow

- 1 ml in 100 ml distilled water (10 nmole/ml), use 2.5 ml = 25 nmole
- 2 ml in 100 ml distilled water (20 nmole/ml), use 2.5 ml = 50 nmole
- 3 ml in 100 ml distilled water (30 nmole/ml), use 2.5 ml = 75 nmole
- 5 ml in 100 ml distilled water (50 nmole/ml), use 2.5 ml = 125 nmole
- 10 ml in 100 ml distilled water (100 nmole/ml), use 2.5 ml = 250 nmole

*** Take distilled water 2.5 ml as blank with standard everytime

NITRATE

Reagents

1. Salicylic acid in (C) Sulphuric acid (5% W/V) 5 g in 100 ml Conc.H_2SO_4
2. Sodium hydroxide (2 N) 80 g/lit NaOH
3. Nitrate standard (25 mM) 632 mg KNO_3/250 ml H_2O. Use 2.5 mM as internal standard. (Cataldo et al., 1975)

Procedure

1. Pipette 0.05 ml xylem exudates samples into test tubes. Include water blanks (*2) and internal standard. (*2) with each batch. Internal standard is 0.05ml of 2.5 mM Nitrate.
2. Add 0.2 ml Salicylic acid in (C) H_2SO_4
3. Mix well until solution clears and room temperature for 20 minutes.
4. Add 4.75 ml of 2 N NaOH (to raise pH above 12.0), cool to room temperature.
5. Read O.D. at 410 nm on a Spectrophometer.

Standard

Nitrate standard (23 mM) 632 mg KNO_3/250 ml H_2O. Use 2.5 mM as internal standard.

KNO_3 stock by distilled water as follow

- 1 ml in 10 ml distilled water (2.5 nmole/ml), use 0.05 ml =0.125 micromole
- 2 ml in 10 ml distilled water (5 nmole/ml), use 0.05 ml = 0.25 micromole
- 4 ml in 10 ml distilled water (10 nmole/ml), use 0.05 ml = 0.5 micromole
- 6 ml in 10 ml distilled water (15 nmole/ml), use 0.05 ml = 0.75 micromole
- 8 ml in 10 ml distilled water (20 nmole/ml), use 0.05 ml = 1 micromole

*** Take distilled water 0.05 ml as blank with standard everytime

AMINO ACID

Reagents

1. Ninhydrin reagent. Store in a dark bottle at 4^oC.
   1.1 4.79 g (Merck) Ninhydrin
   1.2 167 mg ascorbic acid in 16 ml H_2O
   1.3 500 ml methoxyet
2. Citrate Buffer

2.1 67.2 g Citric acid

2.2 25.6 g NaOH

2.3 400 ml H_2O

3. Ethanol (60% V/V) 600 ml ETOH-400 ml H_2O

4. Asparagine standard (1 mM) 37.5 mg/250 ml, Use 0.2 mM as internal standard. (Yemm and Cocking, 1955; Herridge, 1984)

Procedure

1. Pipette 0.05/0.10 ml xylem exudates samples into test tubes and dilute to 1.0 ml with distilled water.
2. Add 0.5 ml citrate buffer.
3. Add 1.2 ml ninhydrin reagent.
4. Place in boiling water both for 20 min.
5. Remove, add 3.0 ml 60% ethanol
6. Cool to room temperature
7. Read O.D. at 570 nm on a Spectrophometer.

Standard

Asparagine standard (1 mM) 37.5 mg/250 ml, Use 0.2 mM as internal standard. Asparagine stock by distilled water as follow

- 0.1 ml in 10 ml distilled water (25 nmole/ml), use 0.05 ml = 12.5 nmole
- 0.2 ml in 10 ml distilled water (50 nmole/ml), use 0.05 ml = 25 nmole
- 0.4 ml in 10 ml distilled water (100 nmole/ml), use 0.05 ml = 50 nmole
- 1.0 ml in 10 ml distilled water (250 nmole/ml), use 0.05 ml = 125 nmole
- 2.0 ml in 10 ml distilled water 500 nmole/ml), use 0.05 ml = 250 nmole

*** Take distilled water 0.5 ml as blank with standard everytime

ภาคผนวก ข

ตารางผนวก

ตารางผนวก 1 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักแห้งของปมรากถั่ว ที่ระยะต่างๆ (V4, R2, R4 และ R6) ของการทดลองในปีที่ 1 พ.ศ. 2555

Source	DF	น้ำหนักแห้งของปมรากถั่ว			
		V4	R2	R4	R6
Treatments	7	1123.55	648.281	4050.78	4046.84
Replications	3	36.71	43.031	79.11	183.21
Error	21	29.42	17.960	21.92	52.78

ตารางผนวก 2 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักแห้งของปม รากถั่ว ที่ระยะต่างๆ (V4, R2, R4 และ R6) ของการทดลองในปีที่ 2 พ.ศ. 2556

Source	DF	น้ำหนักแห้งของปมรากถั่ว			
		V4	R2	R4	R6
Treatments	7	1046.82	2834.67	3707.07	1664.10
Replications	3	39.61	75.78	190.78	183.78
Error	21	62.04	170.78	132.14	104.19

ตารางผนวก 3 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของ ดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงจากตอรากถั่วที่ระยะต่างๆ (V4, R2, R4 และ R6) ของการทดลองในปีที่ 1 พ.ศ. 2555

Source	DF	ดัชนียูรีไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงตอรากถั่ว			
		V4	R2	R4	R6
Treatments	7	284.534	36.1566	207.771	359.301
Replications	3	34.301	6.0147	8.387	0.748
Error	21	18.162	1.6323	7.012	20.943

ตารางผนวก 4 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของ ดัชนียูริไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงจากตอรากถั่วที่ระยะต่างๆ (V4, R2, R4 และ R6) ของการทดลองในปีที่ 2 พ.ศ. 2556

Source	DF	ดัชนียูรีไอด์สัมพัทธ์ของน้ำเลี้ยงตอรากถั่ว			
		V4	R2	R4	R6
Treatments	7	194.329	193.652	57.1049	105.679
Replications	3	8.719	12.831	8.2344	5.360
Error	21	22.369	11.303	6.5664	29.155

ตารางผนวก 5 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของ การสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินที่ระยะต่างๆ (V4, R2, R4 และ R6) ของการทดลองในปีที่ 1 พ.ศ. 2555

Source	DF	การสะสมของน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน			
		V4	R2	R4	R6
Treatments	7	1963.89	2031.55	982.460	4631.10
Replications	3	28.88	96.21	53.531	42.28
Error	21	93.08	46.07	61.603	108.11

ตารางผนวก 6 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางส ถิติของการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินที่ระยะต่างๆ (V4, R2, R4 และ R6) ของการทดลองในปีที่ 2 พ.ศ. 2556

Source	DF	การสะสมของน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน			
		V4	R2	R4	R6
Treatments	7	438.603	425.411	1357.42	8658.84
Replications	3	100.198	100.375	950.61	2949.54
Error	21	226.150	885.851	533.19	3769.59

ตารางผนวก 7 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของ การสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนที่อยู่เหนือดิน (V4, R2, R4 และ R6) ของการทดลองในปีที่ 1 พ.ศ. 2555

Source	**DF**	การสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนที่อยู่เหนือดิน			
		V4	R2	R4	R6
Treatments	7	3.42614	3.44001	5.9602	13.7953
Replications	3	0.04171	0.09633	0.60155	0.2742
Error	21	0.18538	0.11840	0.17139	0.3856

ตารางผนวก 8 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของ การสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนที่อยู่เหนือดิน (V4, R2, R4 และ R6) ของการทดลองในปีที่ 2 พ.ศ. 2556

Source	**DF**	การสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนที่อยู่เหนือดิน			
		V4	R2	R4	R6
Treatments	7	1.49260	0.86376	1.24412	7.88917
Replications	3	0.51311	0.10909	1.09827	1.87769
Error	21	0.44181	0.26513	1.13275	3.36175

ตารางผนวก 9 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของก ปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงของถั่วเหลือง จากการทดลองในปีที่ 1 และปีที่ 2

Source	**DF**	การตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลือง	
		ปีที่ 1	ปีที่ 2
Treatments	7	12.1509	15.8591
Replications	3	0.6260	1.0419
Error	21	0.3576	2.6756

ตารางผนวก 10 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติทางเคมีของดิน (ค่าความเป็นกรด-ด่าง) ก่อนทำการทดลอง ปลูกถั่วเหลือง ในปีที่ 1 พ.ศ. 2555 และปีที่ 2 พ.ศ. 2556

Source	DF	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	
		ปีที่ 1	ปีที่ 2
Treatments	7	0.02591	0.09578
Replications	3	0.09498	0.03359
Error	21	0.01589	0.02296

ตารางผนวก 11 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติทางเคมีของดิน (ปริมาณอินทรียวัตถุ) ก่อนทำการทดลอง ปลูกถั่วเหลือง ในปีที่ 1 พ.ศ. 2555 และปีที่ 2 พ.ศ. 2556

Source	DF	ปริมาณอินทรียวัตถุ	
		ปีที่ 1	ปีที่ 2
Treatments	7	0.20558	0.41999
Replications	3	0.03656	0.00934
Error	21	0.01867	0.06061

ตารางผนวก 12 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติทางเคมีของดิน (ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้) ก่อนทำการทดลอง ปลูกถั่วเหลือง ในปีที่ 1 พ.ศ. 2555 และปีที่ 2 พ.ศ. 2556

Source	DF	ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้	
		ปีที่ 1	ปีที่ 2
Treatments	7	112.674	73.9598
Replications	3	75.615	7.7813
Error	21	33.829	30.9241

ตารางผนวก 13 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณ สมบัติทางเคมีของดิน (ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้) ก่อนทำการทดลอง ปลูกถั่วเหลือง ในปีที่ 1 พ.ศ. 2555 และปีที่ 2 พ.ศ.2556

Source	DF	ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้	
		ปีที่ 1	ปีที่ 2
Treatments	7	253.424	609.067
Replications	3	168.365	16.615
Error	21	205.198	167.781

ตารางผนวก 14 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติทางเคมีของดิน (ปริมาณแคล เซียมที่สกัดได้) ก่อนทำการทดลอง ปลูกถั่วเหลือง ในปีที่ 1 พ.ศ. 2555 และปีที่ 2 พ.ศ. 2556

Source	DF	ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้	
		ปีที่ 1	ปีที่ 2
Treatments	7	22,820	747,087
Replications	3	123,473	87,650
Error	21	24,967	173,860

ตารางผนวก 15 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติทางเคมีของดิน (ปริมาณแมกนี เซียมที่สกัดได้) ก่อนทำการทดลอง ปลูกถั่วเหลือง ในปีที่ 1 พ.ศ. 2555 และปีที่ 2 พ.ศ. 2556

Source	DF	ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้	
		ปีที่ 1	ปีที่ 2
Treatments	7	772.317	985.571
Replications	3	231.198	39.583
Error	21	283.388	407.512

ตารางผนวก 16 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติทางเคมีของดิน (ปริมาณเหล็กที่สกัดได้) ก่อนทำการท ดลองปลูกถั่วเหลือง ในปีที่ 1 พ.ศ. 2555 และปีที่ 2 พ.ศ. 2556

Source	DF	ปริมาณเหล็กที่สกัดได้	
		ปีที่ 1	ปีที่ 2
Treatments	7	58.696	1227.64
Replications	3	870.208	41.61
Error	21	108.732	148.21

ตารางผนวก 17 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทา งสถิติของคุณสมบัติทางเคมีของดิน (ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้) ก่อนทำการทดลอง ปลูกถั่วเหลือง ในปีที่ 1 พ.ศ. 2555 และปีที่ 2 พ.ศ. 2556

Source	DF	ปริมาแมงกานีสที่สกัดได้	
		ปีที่ 1	ปีที่ 2
Treatments	7	40.9241	33.3418
Replications	3	95.4479	7.7582
Error	21	26.1384	8.9060

ตารางผนวก 18 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติทางเคมีของดิน (ปริมาณทองแดงที่สกัดได้) ก่อนทำการทดลองปลูกถั่วเหลืองในปีที่ 1 พ.ศ. 2555 และปีที่ 2 พ.ศ. 2556

Source	DF	ปริมาทองแดงที่สกัดได้	
		ปีที่ 1	ปีที่ 2
Treatments	7	0.15496	0.01569
Replications	3	0.46865	0.01614
Error	21	0.06317	0.01289

ตารางผนวก 19 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติทางเคมีของดิน (ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้) ก่อนทำการทดลอง ปลูกถั่วเหลือง ในปีที่ 1 พ.ศ. 2555 และปีที่ 2 พ.ศ. 2556

Source	DF	ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้	
		ปีที่ 1	ปีที่ 2
Treatments	7	4.51571	0.53426
Replications	3	1.13417	0.09856
Error	21	0.59750	0.26455

ตารางผนวก 20 ค่า Mean Square ของการวิเคราะห์ทางสถิติของผลผลิตถั่วเหลือง ก่อนทำการทดลองในปีที่ 1 พ.ศ. 2555 และปีที่ 2 พ.ศ. 2556

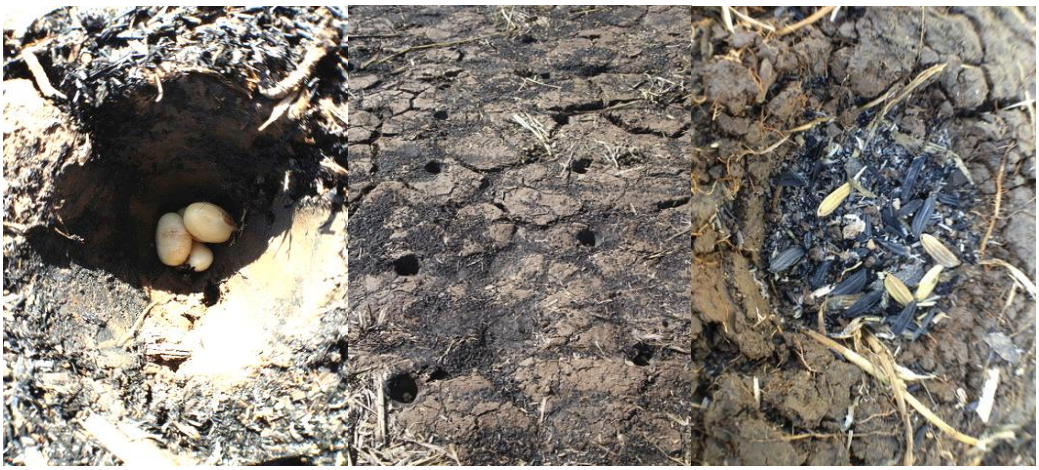
Source	DF	ผลผลิต	
		ปีที่ 1	ปีที่ 2
Treatments	7	2000.07	334.191
Replications	3	227.08	315.502
Error	21	464.56	89.378

ภาคผนวก ค

ภาพการทดลอง

ภาพผนวก 1 แปลงทดลองก่อนทำการปลูกถั่วเหลือง

ภาพผนวก 2 แปลงทดลองปลูกถั่วเหลือง



ภาพผนวก 3 การหยอดเมล็ดถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60

ภาพผนวก 4 การงอกของเมล็ดถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60

ภาพผนวก 5 การเจริญเติบโตทางลำต้นของถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60

ภาพผนวก 6 ลักษณะดอกของถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60

ภาพผนวก 7 ลักษณะการติดฝักของถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60

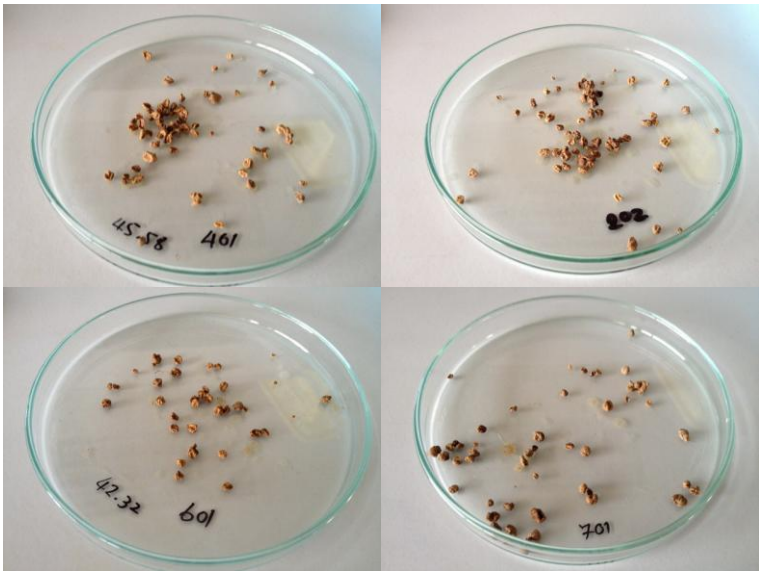
ภาพผนวก 8 ลักษณะของปมถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60

ภาพผนวก 9 แมลงศัตรูพืชที่พบในแปลง

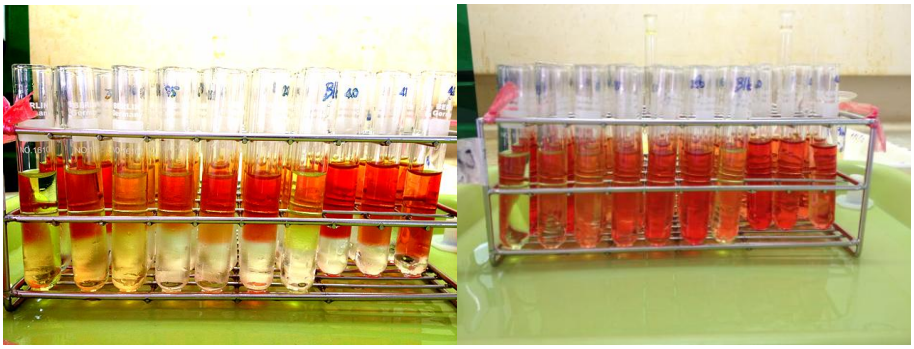
ภาพผนวก 10 การเก็บตัวอย่างน้ำหล่อเลี้ยงลำต้น (Xylem sap) และลำต้นเหนือดิน

ภาพผนวก 11 การเก็บตัวอย่างพืช

ภาพผนวก 12 ลักษณะเมล็ดที่เริ่มสุกแก่



ภาพผนวก 13 ลักษณะปมแห้งของถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60



ภาพผนวก 14 การวิเคราะห์หายูริไอด์จากน้ำเลี้ยงตอรากถั่ว

ภาพผนวก 15 การวิเคราะห์หาปริมาณอะมิโนจากน้ำเลี้ยงตอรากถั่ว

ภาพผนวก 16 การวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทจากน้ำเลี้ยงตอรากถั่ว

ภาพผนวก 17 อ่างควบคุมอุณหภูมิ

ภาพผนวก 18 การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนจากตัวอย่างพืช

ภาคผนวก ง
ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวณัฐธิดา เหลืองเมฆา
เกิดเมื่อ	4 กันยายน 2531
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2549 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสิงห์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี
	พ.ศ. 2553 ปริญญาตรี สาขาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่