บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ลีโอนาร์ไดต์

ลีโอนาร์ไดต์ (leonardite) เป็นถ่านหินอันดับต่ำที่ผ่านกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) ในอัตราสูงและไม่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เกิดจากการย่อยสลายผุพังเป็นเวลานานนับพันล้านปีของซากพืชและซากสัตว์ มักพบลีโอนาร์ไดต์เกิดทับถมร่วมกับแหล่งแร่ลิกไนต์เกือบทุกแหล่ง ลีโอนาร์ไดต์จึงเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการทำเหมืองแร่ลิกไนต์ที่มีปริมาณมหาศาล (Young and Frost, 1963; Tanaka *et al*., 1996) ลีโอนาร์ไดต์ยังถูกนิยามว่าเป็นชั้นดินปนถ่านหินที่ถูกออกซิไดซ์ตามธรรมชาติมีลักษณะนุ่มไม่แข็งตัวมีสีน้ำตาลอ่อนถึงดำปกติพบอยู่ในแหล่งถ่านหินที่มีความลึกไม่มากประกอบด้วยกรดฮิวมิกและกรดอินทรีย์อื่นๆ (Dailey, 1999) กระบวนการเกิดลีโอนาร์ไดต์ตามธรรมชาติที่แน่นอนยังไม่ทราบแน่ชัด แต่มีการสันนิษฐานว่าได้ก่อตัวขึ้นในระหว่างกระบวนการการเกิดถ่านหิน (Caolification) โดยเฉพาะถ่านหินลิกไนต์ (lignite) ซึ่งมีการย่อยสลายและออกซิเดชัน (decomposition and oxidation) เกิดร่วมด้วย หรืออาจเกิดจากการผุพังตามธรรมชาติ (weathering and oxidation) ของกลุ่มชั้นหินแข็งของถ่านหิน พีทลิกไนต์และซับบิทูมนัส (Sub–bituminous) ที่ถูกยกตัวให้โผล่ใกล้ผิวหรือเหนือดินเมื่อสัมผัสอากาศจึงถูกออกซิไดซ์โดยอากาศตามธรรมชาติ ซึ่งข้อสันนิษฐานดังกล่าวนี้ได้รับการสนับสนุนจากผลการวิเคราะห์ทางเคมีเปรียบเทียบกันโดยที่ลีโอนาร์ไดต์มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบถึง 30 – 35% ส่วนลิกไนต์มี 25 – 30% (วิวัฒน์ และคณะ, 2552; Yongs and Frost, 1963)

แหล่งลีโอนาร์ไดต์ขนาดใหญ่สามารถพบได้ในแหล่งเหมืองแร่ถ่านหินลิกไนต์ประเทศสหรัฐอเมริกา ในมลรัฐดาโกตาเหนือ, ดาโกตาใต้, ยูท่าห์, นิวเม็กซิโก, เท็กซัส และไวโอมิงรวมทั้งบริทริชโคลัมเบียประเทศแคนาดา สำหรับลีโอนาร์ไดต์ในประเทศไทยในขณะนี้มีรายงานว่าพบปะปนอยู่กับแอ่งถ่านหินลิกไนต์แม่เมาะ ที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีพื้นที่ประมาณ 38 ตารางกิโลเมตร มีส่วนกว้างสุด 4.0 กิโลเมตร และส่วนยาวสุด 9.5 กิโลเมตรปริมาณถ่านหินลิกไนต์สำรองทางธรณีวิทยามีประมาณ 1,139 ล้านตัน อยู่ในการดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ลีโอนาร์ไดต์ในแหล่งดังกล่าวซึ่งมีการค้นพบและเผยแพร่ในปี พ.ศ. 2549 พบว่ามีปริมาณสำรองของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มูลดินปนถ่านหินในบ่อเหมืองทิศตะวันตกเฉียงใต้และทางทิศเหนือมีปริมาณมูลดินปนถ่านหินประมาณ 1 – 2 ล้านตันส่วนในบ่อเหมืองทิศตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ยังไม่มีการขุดเจาะ แต่มีแผนเปิดหน้าเหมืองในอนาคต และอยู่ระหว่างการประเมินปริมาณสำรอง คาดว่ามีปริมาณสำรองรวมทั้งหมด (speculative reserves) 2 ล้านตัน (วิวัฒน์และคณะ, 2552; Jackson, 1993: Pertuit *et al*., 2001)

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของลีโอนาร์ไดต์ จากการศึกษาของ Robert (1997) ที่สกัดลีโอนาร์ไดต์ด้วยสารละลายโซเดียมออกซาเลต พบว่าในสารละลายของลีโอนาร์ไดต์ที่สกัดได้ประกอบด้วยคาร์บอน (C) 48.60%, ไฮโดรเจน (H) 3.31%, ไนโตรเจน (N) 1.03%, กำมะถัน (S) 2.11%, ออกซิเจน (O) 23.73% และเถ้าถ่าน (ash) 21.22% ส่วนธาตุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบหลักของกากลีโอนาร์ไดต์ที่เหลือมีคาร์บอน (C) 40.46%,ไฮโดรเจน (H) 3.90%, ไนโตรเจน (N) 0.60%, กำมะถัน (S) 0.64%, ออกซิเจน (O) 24.68% และเถ้าถ่าน (ash) 29.71% สำหรับงานทดลองของ Conxita *et al.*(2005) ที่ศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของลีโอนาร์ไดต์พบว่ามีกรดฮิวมิก (HA) 79%, คาร์บอน (C) 55.2%, ไฮโดรเจน (H) 3.4%, ไนโตรเจน (N) 0.8%, กำมะถัน (S) 2.4%, ออกซิเจน (O) 38.1%, CEC 2.87 meq g^{-1}, -COOH groups 3.12 meq g^{-1} และ -OH groups 2.07 meq g^{-1} ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Robert (1997) สำหรับการศึกษาของ Olivella *et al.* (2002) ที่ทำการศึกษาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอินทรียวัตถุในสารฮิวมิกประกอบด้วยคาร์บอน (C) 47.8%, ไฮโดรเจน (H) 3.0%, ไนโตรเจน (N) 0.8%, กำมะถัน (S) 2.4% และออกซิเจน (O) 38.1% ตามลำดับ ส่วนการศึกษาของ Pertuit *et al.* (2001) ที่ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของลีโอนาร์ไดต์จากแหล่งเหมืองแร่ถ่านหิน นิวเม็กซิโก พบว่า ลีโอนาร์ไดต์มีค่า pH 4.18, อินทรียวัตถุ (OM) 27.53%, ไนโตรเจน (total N) 1.30%, ฟอสฟอรัส (total P_2O_5) 0.008%, แคลเซียม (total Ca) 0.79%, แม็กนีเซียม (total Mg) 0.13% ตามลำดับ

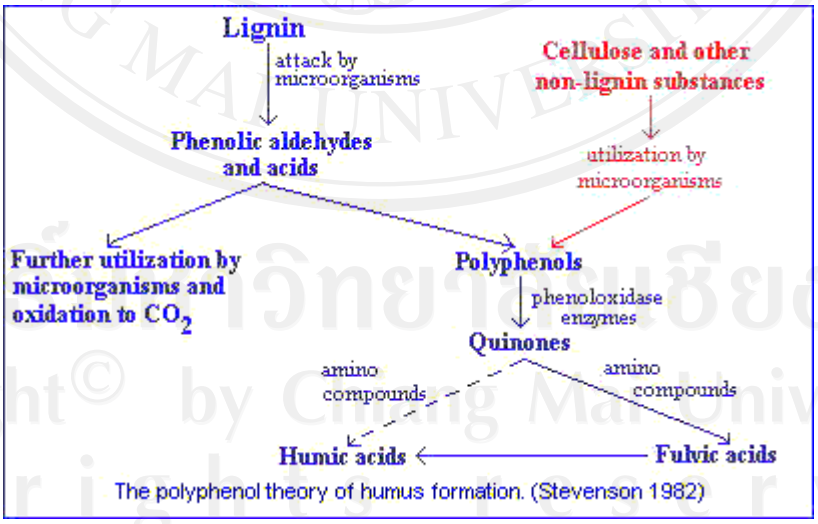
ลีโอนาร์ไดต์เป็นวัสดุอินทรีย์ธรรมชาติที่มีกรดฮิวมิกเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงจึงได้มีการนำไปใช้ในการเกษตร ลีโอนาร์ไดต์มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฮิวมัส (humus) โดยเฉพาะ สารฮิวมิก (humic substances) ซึ่งประกอบด้วย กรดฟูลวิก (fulvic acid) กรดฮิวมิก (humic acid) และฮิวมิน (humin) (Schnitzer and Khan, 1972) สารประกอบทั้ง 3 ชนิดนี้มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันในการควบคุมคุณสมบัติของดิน เช่น สามารถดูดยึดและแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดี (ไพบูลย์, 2544) สารประกอบฮิวมิกส่วนใหญ่ซึ่งเป็นโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชั่นคาร์บอกซิล - ไฮดรอกซิล และคาร์บอนิล ขนาดใหญ่รวมทั้งสารประกอบทางเคมีอื่นๆ จึงมีความสามารถในการดูดซับประจุบวกได้สูง (Conxita *et al,*. 2005) จากผลงานวิจัยที่พบว่า ลีโอนาร์ไดต์ มีปริมาณกรดฮิวมิก (humic acid) สูงมาก (Akinremi *et al*., 2000) จึงมีการนำเอาลีโอนาร์ไดต์มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรด้านการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Kalaitzidis *et al*., 2003) แต่เนื่องด้วยคุณสมบัติทางเคมีบางประการของลีโอนาร์ไดต์ที่ถึงแม้จะมีสารฮิวมิก (humic substances) และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อินทรียวัตถุสูงมาก แต่ความเป็นกรดด่าง (pH) ต่ำ (pH 4.24) (Ece *et al*., 2007) และปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าต่ำมาก (ประมาณ 0.004% P) (Perpuit *et al.,* 2001) เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมัก (ประมาณ 0.37%) (จักรพันธ์, 2555)

2.2 สารฮิวมิก

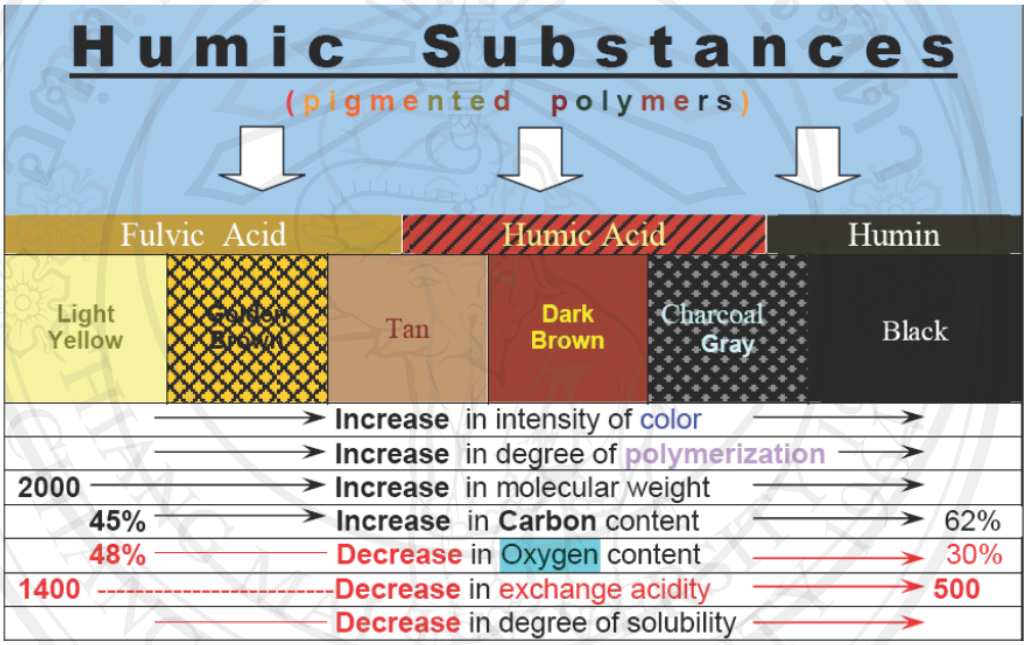
สารฮิวมิก (humic substances) เกิดโดยกระบวนการที่เรียกว่าฮิวมิฟิเคชัน (Humification) เป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สลับซับซ้อน โดยประกอบด้วยกระบวนการหลายขั้นตอนและหลากหลายวิถี (pathway) (ภาพที่ 2.1) โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Stevenson, 1982) สารฮิวมิก เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่พบอยู่ในฮิวมัส สามารถสกัดออกมาได้โดยวิธีทางเคมี โดยสารฮิวมิก สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ฮิวมิน (humin), กรดฮิวมิก (humic acid) และกรดฟลูวิก (fulvic acid) (Arunya *et al*., 2009) องค์ประกอบและโครงสร้างของสารฮิวมิกนอกจากจะสลับซับซ้อนมากแล้วยังผันแปรได้มากน้อยขึ้นกับแหล่งที่มาและองค์ประกอบเดิมของอินทรียวัตถุ อายุและขั้นตอนของการย่อยสลายตลอดจนสภาพแวดล้อมและจุลินทรีย์ในดินที่เกี่ยวข้อง โมเลกุลของสารฮิวมิกมีความสลับซับซ้อนมากโครงสร้างไม่เป็นผลึกและไม่มีรูปแบบที่แน่นอน (amorphous) ถึงแม้จะมีการศึกษากันมามากกว่าศตวรรษแล้วก็ตามแต่ก็ยังไม่สามารถหาสูตรและโครงสร้างโมเลกุลที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากในแต่ละโมเลกุลของสารฮิวมิกดูจะไม่มีเหมือนกันเลยทีเดียวและบ่อยครั้งแบบจำลองที่เสนอโดยนักวิทยาศาสตร์แต่ละท่านผันแปรแตกต่างกันมากทั้งนี้ขึ้นกับวิธีในการศึกษาและวิธีวิเคราะห์ (วิวัฒน์ และคณะ, 2552)



ภาพที่ 2.1 กระบวนการเกิดสารฮิวมิก (Stevenson, 1982)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

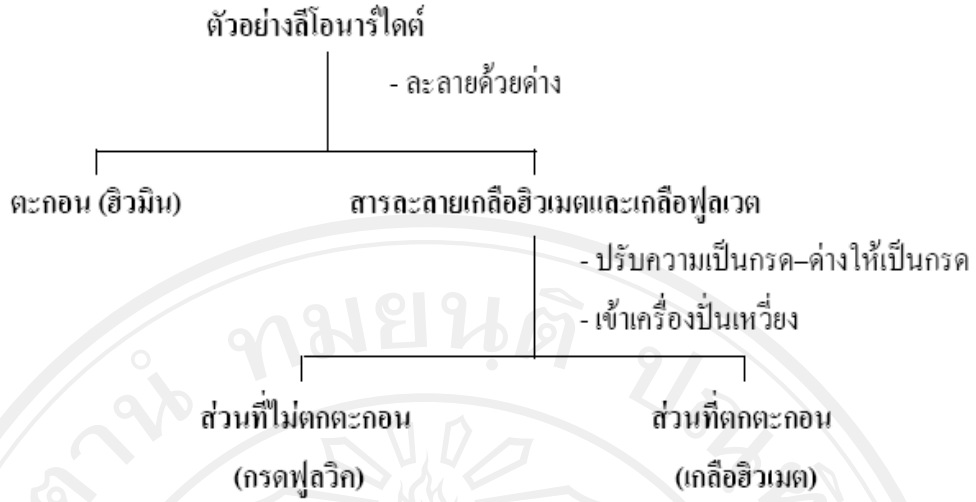
สารฮิวมิกประกอบด้วยกลุ่มของสารอินทรีย์ประเภทที่มีมวลโมเลกุลสูงหรือค่อนข้างสูงทั้งนี้เกิดจากการแปรสภาพและสังเคราะห์รวมตัวกันขึ้นมาใหม่ของสารที่ไม่ใช่ฮิวมิก (non-humicsubstances) โครงสร้างโมเลกุลของสารฮิวมิกเป็นแบบอสัณฐานไม่มีรูปร่างที่แน่นอน มีหลายสี เช่น สีเหลือง สีน้ำตาล จนถึงน้ำตาลดำ เป็นสารคอลลอยด์ที่มีอนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 – 10 นาโนเมตร ซึ่งมีสมบัติทางเคมีดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.2 สารฮิวมิกจัดว่าเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของอินทรียวัตถุที่สะสมตกค้างอยู่ในดินซึ่งมีอิทธิพลสำคัญต่อสมบัติทั้งทางกายภาพเคมีและชีวเคมีของดิน (วิวัฒน์และคณะ, 2552)



ภาพที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีของสารฮิวมิก (Stevenson, 1982)

สารฮิวมิกละลายน้ำได้น้อยมาก แต่บางส่วนละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดและด่าง ถ้าอาศัยความสามารถในการละลายได้ในสารละลายดังกล่าวเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท (ภาพที่ 2.3) คือ 1) กรดฮิวมิก (humic acid) ซึ่งละลายในสารละลายด่างเจือจางและเมื่อนำสารละลายด่างที่สกัดได้นั้นมาตกตะกอนด้วยกรดจะได้ตะกอนของกรดฮิวมิก 2) กรดฟุลวิก (fulvic acid) สามารถละลายได้ทั้งในกรดและด่าง 3) ฮิวมิน (humin) คือสารฮิวมิกซึ่งไม่สามารถสกัดได้ด้วยสารละลายด่างเจือจางและกรดมีสีคล้ำดำหรือน้ำตาลเข้ม (Schnitzer and Khan, 1972)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

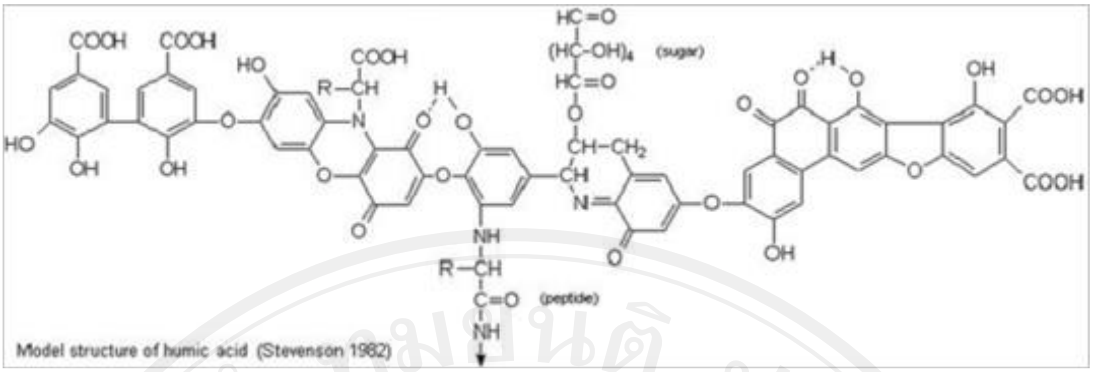


ภาพที่ 2.3 แบบโครงสร้างการแยกสารฮิวมิก (วิวัฒน์ และคณะ, 2552)

2.2.1 กรดฮิวมิก

กรดฮิวมิกเป็นกรดอินทรีย์สีเข้มที่ตกตะกอน ซึ่งได้จากการเติมกรดลงในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินด้วยด่างเจือจาง จนสารละลายนั้นมี pH 1-2 (พจนานุกรมปฐพีวิทยา, 2551) ซึ่งกรดฮิวมิกเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นโพลีฟีนอล (polyphenol) ที่เสถียรแต่สลับซับซ้อน (ภาพที่ 4) เกิดจากการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ในดินพบได้ในพีทลิกไนต์และแร่ลิโอนาไดต์ เป็นต้น กรดฮิวมิกมีส่วนประกอบของหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) หมู่ฟีนอล (phenolic group) หมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) หมู่แอลกอฮอล์ (alcoholic hydroxyl group) และหมู่ฟังก์ชันอื่นๆ มีขนาดโมเลกุลค่อนข้างใหญ่ โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 10,000 จนถึง 100,000 สารประกอบพวกนี้มักรวมตัวขึ้นมาโดยกระบวนการ condensation ของสารประกอบต่างๆ ที่หลากหลาย ทำให้มีลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลผันแปรไปได้มากไม่ค่อยซ้ำแบบกัน (ปฐพีวิทยา, 2544) กรดฮิวมิกสามารถละลายได้ในสารละลายด่างแต่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ กรดฮิวมิกมีองค์ประกอบของคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ไฮโดรเจน (H) กำมะถัน (S) ไนโตรเจน (N) และธาตุอื่นๆอีกเล็กน้อย (ไพบูลย์, 2546) ถ้าหากไม่รวมซัลเฟอร์ (S) ด้วยแล้ว สูตรเอมพิริคัล (empirical formula) โดยเฉลี่ยของกรดฮิวมิกอาจเขียนได้เป็น $C_{10}H_{12}O_5N$ โดยอัตราส่วนของ C:N จะอยู่ในช่วง 10-12:1 ซึ่งค่อนข้างคงที่สำหรับองค์ประกอบของฮิวมัสในดิน (Steelink, 1985)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.4 แบบโครงสร้างจำลองของกรดฮิวมิก (Stevenson, 1982)

ในปัจจุบันพื้นที่ที่ใช้ในการเกษตรกรรมมีความอุดมสมบูรณ์น้อยลง เนื่องจากเกษตรกรใช้เพาะปลูกพืชเพียงชนิดเดียวต่อเนื่องเป็นเวลายาวนานและมีการใช้ปุ๋ยเคมีมากเกินความจำเป็น ด้วยเหตุนี้เกษตรกรจึงจำเป็นต้องหาสารอินทรีย์มาปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อให้ดินสามารถอุ้มน้ำได้ดี และมีระดับอินทรียวัตถุในปริมาณที่พอเหมาะ ตลอดจนช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีให้น้อยลงเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้น ทวีลักษณ์และกฤตย์ (2548) รายงานว่า กรดฮิวมิกจะช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพดินได้โดยทำให้โครงสร้างของดินอุ้มน้ำและระบายอากาศได้ดี ในดินเหนียวซึ่งมีอนุภาคของดินเล็กและมีความละเอียดสูง จะมีประจุบวกและประจุลบอยู่อย่างหนาแน่นทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวสูงจึงส่งผลให้ดินมีความหนาแน่นมาก ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อระบบรากของพืชที่จะดูดซึมน้ำและธาตุอาหาร กรดฮิวมิกสามารถปรับปรุงดินที่มีความเป็นดินเหนียวสูงเนื่องจากในโครงสร้างโมเลกุลของกรดฮิวมิกมีหมู่คาร์บอกซิลซึ่งจะไปสร้างพันธะกับอนุภาคประจุบวกในดินที่มีความเป็นดินเหนียวสูงและทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างประจุบวกและประจุลบออกจากกัน ทำให้ดินมีความโปร่งขึ้น ส่งผลให้น้ำและอากาศหมุนเวียนถ่ายเทได้ดีขึ้น นอกจากนั้นกรดฮิวมิกสามารถป้องกันไม่ให้น้ำระเหยไปจากดิน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญยิ่งสำหรับดินที่มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวต่ำ ดินทราย และดินในพื้นที่แห้งแล้งที่ไม่สามารถจะดูดซับน้ำไว้ได้ เมื่อดินที่มีลักษณะดังกล่าวมีน้ำผ่านเข้ามา ประจุบวกที่กรดฮิวมิกได้ดูดซับไว้จะสร้างพันธะกับประจุลบของน้ำคือออกซิเจนส่วนประจุบวกที่เหลืออยู่ในน้ำคือไฮโดรเจนนั้นก็จะสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับอะตอมของออกซิเจนในน้ำโมเลกุลอื่นๆต่อๆไป ทำให้น้ำระเหยออกจากดินน้อยลงหรือสามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้นนั่นเอง ส่วนสมบัติทางเคมีของกรดฮิวมิกจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารเพื่อที่จะปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นให้แก่พืชเพื่อที่จะได้นำสารเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ในด้านการเจริญเติบโตการออกดอกออกผล กล่าวคือกรดฮิวมิกสามารถยึดประจุบวกของจุลธาตุภายใต้สภาวะหนึ่งและจะปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้น เมื่อสภาวะเปลี่ยนไปด้วยคุณสมบัตินี้เมื่อกรดฮิวมิกเคลื่อนที่เข้าไปใกล้บริเวณรากของพืชซึ่งระบบรากพืชจะมีประจุลบ พวกจุลธาตุเหล่านั้นก็จะถูกปล่อยจากโมเลกุลของกรดฮิวมิกเข้าไปสู่ระบบรากพืช ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากรดฮิวมิกมีความสำคัญอย่างมากในการเป็นสื่อกลางการลำเลียง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ธาตุอาหารจากดินไปสู่รากพืช ด้วยเหตุผลที่ว่า ลีโอนาร์ไดต์มีปริมาณกรดฮิวมิกอยู่ในปริมาณที่สูงมาก กรดฮิวมิกมีคุณสมบัติที่ช่วยทำให้ดินร่วนซุย อุ้มน้ำได้ดีขึ้น ดูดซับธาตุอาหารอาหารที่มีประจุบวกได้มากขึ้น ส่งผลต่อโครงสร้างทางกายภาพของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงมีงานวิจัยในต่างประเทศที่มีการนำลีโอนาร์ไดต์ไปใช้กับพืช โดยพบว่า ลีโอนาร์ไดต์มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการดูดใช้ธาตุอาหาร N, P และ K ในข้าวโพดที่ปลูกในดินร่วนปนทราย (loamy sand) แต่ไม่มีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นของข้าวโพดในดินเหนียว (Duplessis and Mackenzie, 1983) มีรายงานสนับสนุนว่า การใส่ลีโอนาร์ไดต์มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของ sweet clover (Safaya and Wali, 1979) การใส่ลีโอนาร์ไดต์ในการปลูกมะเขือเทศช่วยให้ผลผลิตมะเขือเทศเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวสาลี (Wallace and Wallace, 1986) โดยที่อัตราการใส่ ลีโอนาร์ไดต์ไม่มีผลต่อปริมาณการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวสาลีและพืชจำพวกถั่ว แต่มีผลต่อปริมาณการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของพืช canola เนื่องจาก ลีโอนาร์ไดต์สนับสนุนการดูดใช้ธาตุอาหาร N, P, K และ S ใน canola (Akinremi *et al.*, 2000)

จากรายงานผลการวิจัยข้างต้นที่พบว่ากรดฮิวมิกมีผลดีต่อสมบัติดินหลายด้าน ในต่างประเทศจึงมีการสกัดกรดฮิวมิกจากวัสดุอินทรีย์ธรรมชาติรวมทั้งลีโอนาร์ไดต์สำหรับการผลิตกรดฮิวมิกในประเทศไทยนั้นส่วนมากสกัดจากวัสดุชีวภาพหรือดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างมาก สภาพน้ำขังหรือสภาพชื้น และบริเวณพรุหรือหนองบึง แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อการใช้ในประเทศซึ่งปัจจุบันประเทศไทยยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศอยู่ โดยส่วนใหญ่จะนำเข้ามากที่สุดจากประเทศสหรัฐอเมริกา รองลงมาคือซาอุดิอาระเบียและเกาหลีใต้ ตามลำดับ (นิรนาม, 2544) ทำให้ราคากรดฮิวมิกสูง นอกจากนี้เทคโนโลยีการสกัดกรดฮิวมิกในประเทศไทย ยังอยู่ในระหว่างการพัฒนาและมีต้นทุนการผลิตสูง ดังนั้นเกษตรกรรายย่อยส่วนใหญ่จึงไม่สามารถใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูงได้ แนวทางที่จะทำให้เกษตรกรได้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีกรดฮิวมิกสูง โดยมีราคาไม่สูงเกินไปคือการนำลีโอนาร์ไดต์ผสมกับปุ๋ยหมัก ซึ่งนอกจากจะทำให้เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักแล้วยังช่วยเพิ่มปริมาณกรดฮิวมิกอีกด้วย

2.3 ปุ๋ยหมักและการปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมัก

ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2550 ได้ให้คำจำกัดความของปุ๋ยไว้ว่า “ปุ๋ย” หมายความว่า สารอินทรีย์ อินทรียสังเคราะห์ อนินทรีย์ หรือจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารพืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใด หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช (พระราชบัญญัติปุ๋ย, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.1 มาตรฐานปุ๋ยหมัก

ปัจจุบัน มีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงบำรุงดิน ตลอดจนมีการนำเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินเพิ่มคุณค่าของธาตุอาหารพืช ทำให้มีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการควบคุมมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเป็นการรักษาผลประโยชน์ของเกษตรกร โดยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาดส่วนมากมักจะพบปัญหาคุณสมบัติทางเคมี เช่น อินทรียวัตถุ , %total N, %total P, %total K และ ดัชนีความงอกของเมล็ด germination index (GI) ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน (ตารางที่ 2.1) โดยมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548 ระบุรายละเอียดคุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ไว้ว่า ค่าปริมาณอินทรียวัตถุต้องไม่น้อยกว่า 30%โดยน้ำหนัก, total N ไม่น้อยกว่า 1 % โดยน้ำหนัก, total P ไม่น้อยกว่า 0.5 % โดยน้ำหนัก, total K ไม่น้อยกว่า 0.5 % โดยน้ำหนัก และดัชนีความงอกของเมล็ด (GI) มากกว่า 80% และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน (เกรด 2) ระบุไว้ว่า ค่าปริมาณอินทรียวัตถุ ต้องไม่น้อยกว่า 20%โดยน้ำหนัก, total N ไม่น้อยกว่า 1 % โดยน้ำหนัก, total P ไม่น้อยกว่า 0.5 % โดยน้ำหนัก, total K ไม่น้อยกว่า 0.5 % โดยน้ำหนัก และดัชนีการงอกของเมล็ด (GI) มากกว่า 80% (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) นอกจากนั้นมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ของประเทศฟิลิปปินส์ ค.ศ. 2012 ระบุให้ ค่าปริมาณอินทรียวัตถุ ต้องไม่น้อยกว่า 20%โดยน้ำหนัก, total N, total P และ total K รวมกันได้อยู่ในช่วง 5-7 % โดยน้ำหนัก และไม่ได้กำหนดค่าดัชนีการงอกของเมล็ด (GI) แต่กำหนดสีของปุ๋ยอินทรีย์แทนโดยให้อยู่ในช่วงสีน้ำตาลถึงสีดำ ลักษณะของเนื้อปุ๋ยอินทรีย์ร่วนซุย และไม่มีกลิ่น

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด

ปุ๋ยหมัก	pH	EC ($mS\ cm^{-1}$)	%OM	%total N	C/N ratio	%total P_2O_5	%total K_2O	%Ca	%Mg	%GI
B	7.69	0.19	0.00	0.33	0.00	0.49	8.98	15.57	4.08	65.80
To	7.65	0.03	0.12	0.04	1.75	0.07	8.35	45.74	0.61	79.90
Te	7.49	0.09	8.24	0.46	10.39	1.00	9.13	8.61	0.65	79.40

B = ปุ๋ยหมักตรา B, To = ปุ๋ยหมักตรา To, Te = ปุ๋ยหมักตรา Te

GI = germination index

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2 การปรับปรับคุณภาพปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำวัสดุอินทรีย์จากพืช และมูลสัตว์ที่เหลือใช้ทางการเกษตร และจากชุมชนมาผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ บด ร่อน และผ่านกรรมวิธีการหมักอย่างสมบูรณ์ จนแปรสภาพจากเดิม ซึ่งกระบวนการหมักเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์บางชนิดภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งจะย่อยสลายสารอินทรีย์จนกลายเป็นปุ๋ยที่มีลักษณะนุ่ม ยุ่ย ขาดออกจากกันได้ง่าย มีอุณหภูมิไม่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ซึ่งเหมาะสมที่จะใส่บำรุงดินเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ช่วยให้ดินร่วนซุย และอุ้มน้ำได้มากขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ถึงแม้ว่าปุ๋ยหมักจะมีทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ แต่ปริมาณธาตุอาหารหลักมีน้อย และใช้ระยะเวลาในการผลิตค่อนข้างนาน ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ โดยการใช้วัสดุที่มีคุณภาพสูงมาเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมัก ตลอดจนการใช้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์เพื่อเพิ่มคุณภาพในการย่อยสลายและละลายธาตุอาหารพืชออกมาให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) และแนวทางใหม่ในการเพิ่มปริมาณฮิวมัสในปุ๋ยหมักโดยใช้วัสดุผสมที่มีสารฮิวมิกสูง เช่น ลีโอนาร์ไดต์

2.3.2.1 การใช้วัสดุเพื่อเพิ่มธาตุอาหาร

การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักโดยการใช้วัสดุที่มีคุณภาพสูงที่เมื่อเกิดการย่อยสลายแล้วให้ธาตุอาหารพืชสูง ทำให้ปุ๋ยหมักมีคุณภาพสูงขึ้นด้วย เช่น หินฟอสเฟต และมูลค้างคาว ที่มีฟอสฟอรัส (total P_2O_5) 15-17% และ 12-15% ตามลำดับ กากถั่วเหลือง, ปลาป่น และเลือดแห้ง ที่มีไนโตรเจน (total N) 7-10%, 9-10% และ 8-13% ตามลำดับ ขี้เถ้าไม้ยาง และเปลือกเมล็ดกาแฟที่มีโพแทสเซียม (total K) 13.48% และ 6.22% ตามลำดับ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) อรวรรณ (2554) ได้ทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวที่มีการย่อยสลายสมบูรณ์แล้วโดยการเติม โดโลไมต์ (dolomite 5 %) หินฟอสเฟต (5% total P) แร่โพแทชเฟลด์สปาร์ (2.5% total K) และแหนแดง 0.83 % เติมแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Azotobacter* sp., *Azospirillum* sp. และ *Beijerinckia* sp. เชื้อราย่อยสลายฟอสเฟต 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Azotobacter* sp. และ *Penicillium* sp. และแบคทีเรียย่อยสลายโพแทชเฟลด์สปาร์ 1 สายพันธุ์ ได้แก่ *Bacillus* sp. ลงไปในปุ๋ยหมักแล้วหมักต่อเป็นระยะเวลาอีก 1 เดือนและนำไปทดลองกับการเพาะกล้าคะน้าฮ่องกง ผลการศึกษาพบว่า การใส่เชื้อจุลินทรีย์ลงไปในปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวส่งผลให้น้ำหนักต้นสด น้ำหนักรากสด น้ำหนักต้นแห้งและน้ำหนักรากแห้งมีค่าน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ลีโอนาร์ไดต์กับโดโลไมต์และเติมหินฟอสเฟตกับโพแทชเฟลด์สปาร์ลงไปในปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว ซึ่งส่งผลบวกต่อการเจริญเติบโตของกล้าคะน้าฮ่องกงทั้งน้ำหนักต้นสดและน้ำหนักรากแห้งได้เพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาของ Melero *et al*. (2005) พบว่าการทำการเกษตรแบบอินทรีย์โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ทำให้ดินระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ปลูกถั่วและแตงโม มีค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่าการปลูกพืชโดยการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมี เนื่องจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพมีผลต่อการปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้ดีขึ้น

2.3.2.2 การใช้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์

หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์หรือเรียกว่า ปุ๋ยชีวภาพ หรือปุ๋ยจุลินทรีย์ สามารถนำมาใช้ปรับปรุงดินทางชีวภาพ กายภาพ ชีวเคมี และการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ตลอดจนการปลดปล่อยธาตุอาหารจากพืช จากอินทรียสารหรือจาก อนินทรียวัตถุ (ออมทรัพย์, 2542) เนื่องจากปุ๋ยหมักมีปริมาณธาตุอาหารหลักต่ำดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อนำมาเพิ่มคุณภาพปุ๋ยหมักโดยการใช้วัสดุที่มีคุณภาพสูง เช่น หินแร่ฟอสเฟต และแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ใส่ลงไปในปุ๋ยหมักร่วมกับการใช้จุลินทรีย์บางชนิด ซึ่งทำให้สามารถเพิ่มค่าการละลายธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมของหินแร่ฟอสเฟตและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ที่ผสมเพิ่มลงในปุ๋ยหมักได้ โดยได้ทำการทดลองเตรียมปุ๋ยหมักจากเปลือกข้าวผสมกับปุ๋ยคอก และหัวเชื้อจุลินทรีย์ตัวเร่ง (พด.1)ในอัตราส่วนของวัสดุ 1,000 กิโลกรัม : 200 กิโลกรัม : 200 กรัม ตามลำดับ และเมื่อปุ๋ยหมักย่อยสลายจนสมบูรณ์แล้วนำปุ๋ยหมักจำนวน 1,000 กิโลกรัม มาผสมกับหินฟอสเฟต (16% total P) จำนวน 200 กิโลกรัม และแร่เฟลด์สปาร์ (6.75% total K) จำนวน 100 กิโลกรัม ร่วมด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ดังนี้ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Azotobacter* sp., *Azospirillum* sp. และ *Beijerinckia*sp. เชื้อราย่อยสลายฟอสเฟต 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Azotobacter* sp. และ *Peniccillium* sp. และแบคทีเรียย่อยสลายโพแทชเฟลด์สปาร์ 1 สายพันธุ์ ได้แก่ *Bacillus* sp. โดยให้มีหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นแบคทีเรีย 10^7 และเชื้อรา 10^6 เซลล์ต่อกรัมปุ๋ย ผลการทดลองพบว่าปุ๋ยหมักที่ได้ทำการปรับปรุงมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้าในอัตราที่ใส่ 2.0 ตันต่อไร่ให้ผลผลิตสูงที่สุดและการใส่ปุ๋ยหมักที่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพในอัตรา 2.5 ตันต่อไร่ให้ผลผลิตถั่วฝักยาวและข้าวโพดหวานสูงที่สุด (สมศักดิ์, 2549) จากรายงานของ Banik และ Dey (1982) พบว่า *Aspergillus candidus* สามารถละลาย $Ca_3(PO_4)_2$ 15 mg และ insoluble-P 297.0 µg P โดยเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถผลิตกรดอินทรีย์ที่สำคัญ คือ oxalic และ tartaric acid ออกมาละลายฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ สำหรับจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียมบางชนิด เช่น *Aspergillus niger และ Bacillus circulans* สามารถย่อยสลายโครงสร้างของแร่เฟลด์สปาร์, ไมกา ปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาได้ โดยรายงานของ Martin (1961) พบว่าจุลินทรีย์ *Aspergillus niger* สามารถผลิตกรดอินทรีย์พวก carbonic, nitric, sulfuric และกรดอินทรีย์อื่นๆ ซึ่งสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาจากแร่ซิลิเกตได้ จากรายงานของ Hebei Academy of Science (1996) พบว่าจุลินทรีย์สามารถย่อยแร่ pegmatolite ให้โพแทสเซียมในรูป K_2O ได้ 27% และย่อยสลายแร่ mica ได้ K_2O ถึง 31.3% อีกทั้งสามารถเพิ่มผลผลิตให้กับผักและผลไม้ได้ 23-38%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2.3 แนวทางใหม่ในการเพิ่มปริมาณฮิวมัสในปุ๋ยหมัก

แนวทางใหม่ในการปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักทำได้โดยการใช้ลีโอนาร์ไดต์เป็นส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยหมัก ด้วยเหตุผลที่ว่า ลีโอนาร์ไดต์ มีปริมาณกรดฮิวมิก (humic acid) สูงมาก (Akinremi *et al*., 2000) จึงมีการนำเอาลีโอนาร์ไดต์มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Kalaitzidis et al., 2003) อรวรรณและคณะ (2549) รายงานเกี่ยวกับการใช้เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักพบว่าเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (16-20-0 อัตรา 40 กก./ไร่ และ 46-0-0 อัตรา 15 กก./ไร่) ส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจาก 350 เป็น 661 กก./ไร่ และอินทรียวัตถุในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การผสมเถ้าลอยกับมูลวัว อัตรา 1:1 ร่วมกับมูลไส้เดือนดิน บ่มไว้ 50 วันทำให้แอมโมเนียมและไนเตรต ที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น (Basu *et al*.,2009) รายงานดังกล่าวเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าการนำเอาเถ้าถ่านหินที่มีประโยชน์ทางการเกษตรลักษณะคล้ายกับลีโอนาร์ไดต์มาใช้ร่วมกันกับวัสดุอินทรีย์ เพื่อใช้ประโยชน์ต่อภาคเกษตรกรรม สำหรับการนำเอาลีโอนาร์ไดต์มาใช้ร่วมกับวัสดุอินทรีย์ จักรพันธ์ (2555) พบว่าการบ่มลีโอนาร์ไดต์ 40% ร่วมกับปุ๋ยหมัก (pH 6.90) สามารถเพิ่ม %humic acid สูงสุดถึง 58.06 % แต่ค่า pH จะลดลง (pH 4.57) เมื่อปริมาณลีโอนาร์ไดต์เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นอุปสรรคกับการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรโดยตรง เนื่องจาก คุณสมบัติทางเคมีบางประการของลีโอนาร์ไดต์ที่ถึงแม้จะมีสารฮิวมิก (humic substances) และอินทรียวัตถุสูงมาก แต่ความเป็นกรดด่าง (pH) ต่ำ (pH 4.24) (Ece *et al*., 2007) และปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าต่ำมาก (ประมาณ 0.004% P) (Perpuit *et al*., 2001) เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักที่มีปริมาณฟอสฟอรัส 0.37% (จักรพันธ์, 2555) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการใช้ลีโอนาร์ไดต์ต่อวัสดุปลูกอัตรา 1:2 (v/v) เกิดความเป็นพิษต่อพืชเนื่องจากความเป็นกรด (Perpuit *et al*., 2001) อย่างไรก็ตามการการนำเอา ลีโอนาร์ไดต์มาใช้ทางการเกษตรต้องคำนึงถึงธาตุโลหะหนักด้วย แต่จากการรายงานของ Alfredo *et al.* (2005) ที่ทำการศึกษาธาตุโลหะหนักในลีโอนาร์ไดต์ พบว่ามีธาตุอาร์เซนิค (As) 34.9 mg kg^{-1}, แคดเมียม (Cd) 0.83 mg kg^{-1}และตะกั่ว (Pb) 22.0 mg kg^{-1} ซึ่งมีค่าน้อยมากและอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรที่กำหนดให้มีธาตุอาร์เซนิค (As) ไม่เกิน 50.0 mg kg^{-1}, แคดเมียม (Cd) ไม่เกิน 5.0 mg kg^{-1}และตะกั่ว (Pb) ไม่เกิน 500 mg kg^{-1} (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

จากรายงานที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ชี้ให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมัก โดยการเพิ่มสารฮิวมิกด้วยการใช้วัสดุอินทรีย์ที่มีกรดฮิวมิกสูงเป็นองค์ประกอบ เช่น ลีโอนาไดต์ ใส่ลงไปในปุ๋ยหมักจะช่วยเพิ่มแหล่งของธาตุอาหาร นอกจากนี้การใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่ช่วยละลายธาตุอาหารทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามในด้านดังกล่าวก็ยังนับว่ามี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การศึกษาวิจัยค่อนข้างน้อย และส่วนมากเป็นการศึกษาเกี่ยวกับเถ้าลอยของลิกไนต์ที่นำมาเป็นส่วนผสมในการปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมัก แต่ได้มีการศึกษาวิจัยที่ได้นำเอาเฉพาะลีโอนาร์ไดต์มาทดลองใช้กับพืช และการทดลองใช้ humic acid และ/หรือ fulvic acid มาทดสอบผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นการศึกษาที่ค่อนข้างใหม่ เช่นการทดลองของ Ali *et al.*, 2007 ใช้ลีโอนาร์ไดต์กับถั่วแดงพันธุ์เลื้อย (*Phaseolus vulgaris* L.) และพบว่าการใส่ลีโอนาร์ไดต์ในอัตรา 10 และ 20 Mg ha^{-1} ร่วมกับปุ๋ย N และ P ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของฝักและความยาวของฝักถั่ว จากรายงานของ Jonh *et al*., (1998) ลีโอนาร์ไดต์ในรัฐเท็กซัส ไวโอมิง นิวเม็กซิโก นอร์ทดาโกต้า ไอดาโฮ และฟอริดา มีปริมาณกรดฮิวมิกที่มีอยู่ในช่วง 30-60% ซึ่งกรดฮิวมิกมีประโยชน์ในการช่วยให้รากถั่ว broad bean (*Vicia faba* L.) มีการเจริญเติบโตที่แผ่ขยายออกอย่างมากมายมากกว่ารากถั่วที่ไม่ได้รับกรดฮิวมิก (Akinci *et al*., 2009) และกรดฮิวมิกยังส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารต่างๆ โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่สะสมอยู่ในใบและต้นของ avocado (Phanuphong and Gregory, 2003) เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved