บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบของพรรณไม้ที่มีต่อดินที่เกิดจากการย่อยสลายของซากใบไม้มีการศึกษากันบ้าง ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในต่างประเทศ ซึ่งเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายของซากใบไม้ในป่าธรรมชาติ สำหรับประเทศไทยมีการศึกษากันน้อย โดยเฉพาะในประเด็นที่เกี่ยวกับการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ข้อจำกัดของการศึกษาในภาคสนามก็คือ ไม่สามารถควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลายๆ อย่างที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินที่เกิดจากการย่อยสลายของซากใบไม้ ในที่นี้จะทำการทบทวนทฤษฎีเป็นอันดับแรกและตรวจสอบเอกสารการศึกษาภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ

2.1 ซากใบไม้ (Leaf Litter)

ในระบบนิเวศป่าไม้นั้นซากอินทรีย์ที่ร่วงหล่น (litter fall) โดยเฉพาะซากพืช ที่ร่วงหล่นลงสู่พื้นป่าเป็นแหล่งสำคัญของอินทรียสารและธาตุอาหารในดิน ปริมาณและคุณภาพของซากอินทรีย์ที่ร่วงหล่นจะมีบทบาทอย่างมากต่อสังคมจุลินทรีย์ ทั้งที่เกี่ยวข้องกับจำนวนประชากร ความหลากหลายของชนิด กิจกรรมและลักษณะทางสรีรวิทยา ซึ่งจะส่งผลต่อการย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในซากอินทรีย์ที่ร่วงหล่นในระหว่างการย่อยสลาย องค์ประกอบทางเคมีในซากอินทรีย์ที่ร่วงหล่นจะมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณการสะสมของฮิวมัสในดิน

การตรวจสอบทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับซากพืชในด้านต่างๆ ได้จากเอกสารของ Mason (1976) Berg & McClaugherty (2003) และ Swift *et al.* (1979) องค์ประกอบทางเคมีและการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดินได้จากหนังสือ Stevenson (1994)

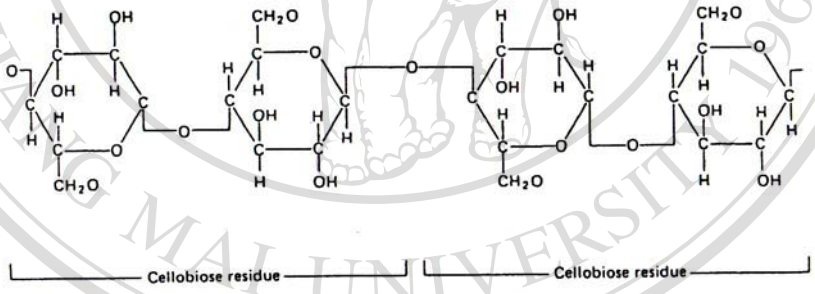
2.1.1. องค์ประกอบอินทรีย์เคมี

Berg & McClaugherty (2003) อธิบายว่าองค์ประกอบอินทรีย์ประกอบด้วยลิกนินเป็นสารโพลิเมอร์ที่ซับซ้อนที่ดูดยึดกันไว้โดย aromatic rings ในขณะเดียวกัน คาร์โบไฮเดรตก็เป็นสารโพลิเมอร์อีกแบบหนึ่งที่รวมกับลิกนินเกิดเป็นเส้นใยของพืช องค์ประกอบส่วนใหญ่ของเนื้อเยื่อพืช

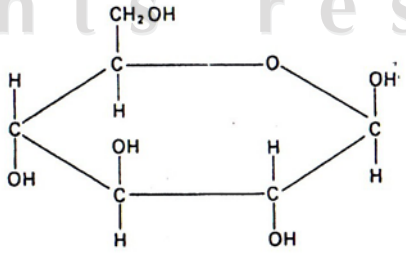
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก็คือ คาร์โบไฮเดรตต่างๆ โดยเฉพาะเซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) สำหรับเซลลูโลสนั้นเป็นส่วนประกอบที่มีมากที่สุดซึ่งประกอบด้วยกลูโคส (glucose) เชื่อมต่อกันด้วย beta-1-4 bonds เป็นลูกโซ่ของโมเลกุลยาวกลายเป็นเส้นใย เซลลูโลสอาจเป็นส่วนประกอบ litter อยู่ในช่วง 10-50% โดยน้ำหนัก

เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบโครงสร้างหลักของเซลล์พืช (Mason, 1976) อาจมีถึง 90% ของใยฝ้าย และ 50-60% ในส่วนที่เป็นเนื้อไม้ น้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสแตกต่างกันมาก โดยพบว่าเซลลูโลสของไม้ Spruce มีน้ำหนักโมเลกุลถึง 220,000 ในขณะที่เซลลูโลสในใยฝ้ายมีน้ำหนัก 330,000 โมเลกุลเหล่านี้ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (glucose) 1,400 ถึง 10,000 โมเลกุลของเซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นลักษณะเป็นเส้นยาว (thread-like structure) และเชื่อมต่อกันเป็นหลายเซลล์ย่อย (micells) จำนวนถึง 60 โมเลกุล เซลล์ย่อยดูดยึดกันโดยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen-bonding) ระหว่างกลุ่มของไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) กับโมเลกุลของน้ำที่ถูกดูดยึดไว้โดยเซลลูโลส พันธะที่มีจำนวนมากดังกล่าวจะทำให้เซลล์ย่อยมีความเสถียร (stable) โมเลกุลของเซลลูโลสมีโครงสร้าง ดังนี้



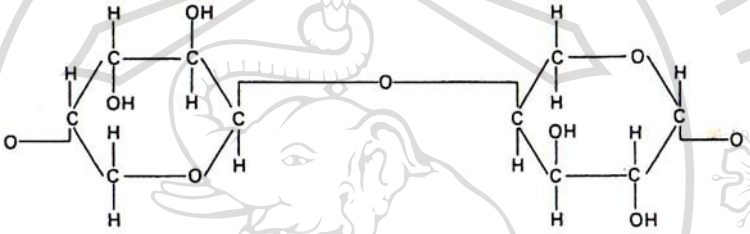
cellobiose จะเชื่อมต่อกันเป็นโซ่ยาวโดยพันธะ glycosidic ในระยะแรกของการสลายตัวของเซลลูโลสโดยมีเอนไซม์มาเกี่ยวข้องจะทำให้เซลลูโลสมีลักษณะเป็นเส้นยาว ขั้นต่อไปเอนไซม์ 1,4,β-gluconase จะละลายในน้ำทำให้เซลลูโลสแตกตัวออกเป็นโมเลกุลของ cellobiose ซึ่งจะละลายในน้ำโดยมี β-glucosidase เป็นตัวช่วย ทำให้เกิดเป็นน้ำตาลกลูโคส ดังรูป



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เฮมิเซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลอื่นๆ ที่นอกเหนือจากกลูโคส เกิดเป็นเส้นใยของโมเลกุลเป็นไฟเบอร์ ชื่อที่เรียกกันได้จากชนิดน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบ เช่น mannan, galactan, arabinan ซากของพืชแต่ละชนิดมีสัดส่วนของเฮมิเซลลูโลสที่แตกต่างกัน สัดส่วนของเฮมิเซลลูโลสต่อเซลลูโลสมีค่าระหว่าง 0.7-1.2 พันธุ์ไม้ใบกว้างจะมีสัดส่วนที่สูงกว่าไม้ตระกูลสน ปริมาณของเฮมิเซลลูโลสมีอยู่ 30-40% ของไฟเบอร์

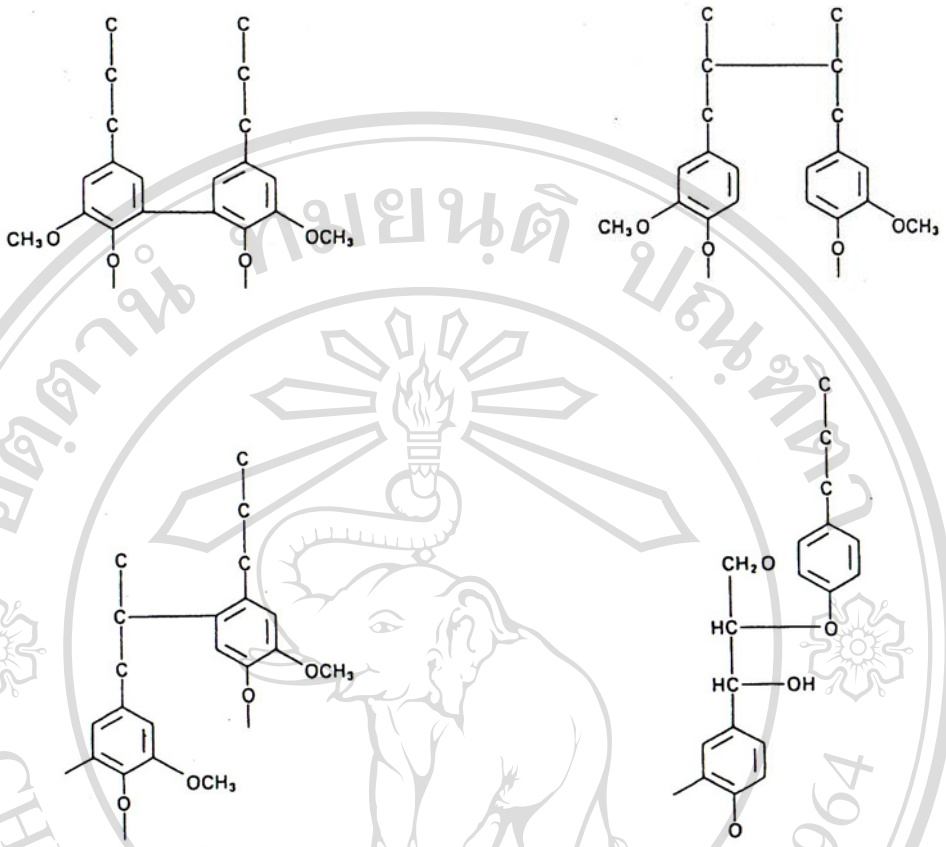
เฮมิเซลลูโลสมีอยู่ในปริมาณที่น้อยกว่าเซลลูโลส ตัวอย่างเช่น มีค่า 12% ในใบสน และ 10-30% ในเนื้อไม้ ประกอบด้วยโพลิแซคคาไรด์ (polysaccaride) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ที่มี grabinose, galactose, mannose, xylose และ uronic acid เชื่อมต่อกัน ตัวอย่างของโครงสร้าง arabin มีดังนี้



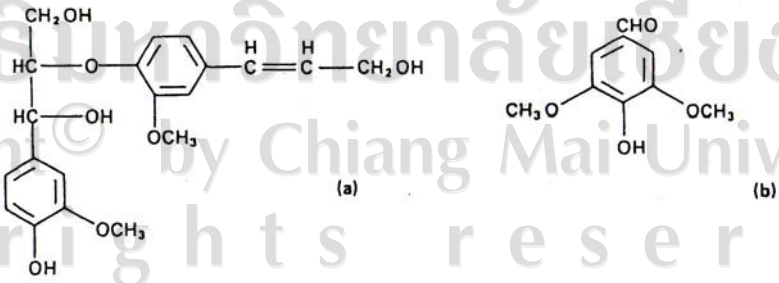
เฮมิเซลลูโลสมีลักษณะแตกต่างจากเซลลูโลสตรงที่กลุ่มของ CH_2O นั้นถูกแทนที่โดยอะตอมของไฮโดรเจน เฮมิเซลลูโลสชนิดอื่นๆ มีโครงสร้างที่แตกต่างกันมากและเอนไซม์ที่มีผลต่อกระบวนการไฮโดรไลซิสของเฮมิเซลลูโลสมีความหลากหลายมากและยังเป็นที่ไม่รู้จักกัน

ลิกนินมักจะมีปริมาณ 15-40% ของซากพืช แต่พืชบางชนิดอาจมีค่าต่ำถึง 4% บางชนิดอาจสูงถึง 50% ในเนื้อไม้อาจมีค่าประมาณ 20-30% องค์ประกอบของลิกนินมีความผันแปรและมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่าเซลลูโลสหรือเฮโมเซลลูโลสอย่างมาก (Berg & McClaugherty, 2003 และ Mason, 1976) ลิกนินของพืชแต่ละชนิดก็มีองค์ประกอบที่แตกต่างกันอย่างมาก ประเภทของลิกนินในไม้ใบกว้างแตกต่างจากไม้ตระกูลสน ไม้ใบกว้างมีลิกนินแบบ stringyl type และ guaiacyl type ในสัดส่วนที่ผันแปรไปตามชนิดพันธุ์ไม้ ขณะที่ไม้สนมีลิกนินแบบ guaiacyl type เป็นส่วนใหญ่ ปริมาณลิกนินของพันธุ์ไม้ใบกว้างมักจะต่ำกว่าพันธุ์ไม้ตระกูลสน พันธุ์ไม้ใบกว้างมักจะมี sinapyl alcohol units ซึ่งแต่ละหน่วยมี 2 methoxyl groups ถ้าหาก methoxyl groups อยู่ในตำแหน่ง para position บน benzyl alcohol subunit แทนที่จะเป็น hydroxyl group โมเลกุลของลิกนินก็จะถูกเชื้อราย่อยสลายได้ง่าย ลิกนินเกิดจาก phenyl propane เป็นส่วนใหญ่ เช่น coniferyl alcohol ซึ่งประกอบด้วย benzene ring ที่มีหนึ่ง hydroxyl group และหนึ่งหรือสอง methoxy groups หน่วยของ phenyl popane จะเชื่อมต่อกันด้วยอีเทอร์ (ethereal lingkage) และพันธะคาร์บอน พันธะระหว่างคาร์บอนจะมีความทนทานต่อการสลายตัวทางเคมีดังตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



การเชื่อมต่อกันดังกล่าวนี้อาจพบในลิกนินเช่นกัน การย่อยสลายลิกนินโดยจุลินทรีย์ เช่น white-rot fungi จะส่งผลทำให้ methoxy group หายไปและเกิดการแยกตัวตรง ethereal lingkage ทำให้ลิกนินมีการสลายตัวบางส่วนและปลดปล่อยสารประกอบที่สามารถละลายในน้ำ ตัวอย่างของสารประกอบดังกล่าว ได้แก่ guaiacylglycerol-β-coniferyl Ether (a) และ syringaldehyde (b)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน่วยของ guaiacylglycerol จะถูกเปลี่ยนเป็น vanillin หรือ vanillic acid ปะปนกับสารประกอบอื่นๆ สารประกอบสุดท้ายที่สามารถละลายน้ำได้ก็จะถูกสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในดินนำไปใช้ อย่างไรก็ตามความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและการย่อยสลายทางชีวเคมีของลิกนินยังไม่สมบูรณ์

ซากพืชประกอบด้วยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ บางส่วนของกรดอะมิโน น้ำตาล fatty acids และ phenolic substances สำหรับสารประกอบเชิงซ้อนของ fatty acids และ phenolic substances ก็พบในซากพืชเหมือนกัน ในการพยายามแยกกลุ่มของซากพืชอาจแยกเป็น 2 กลุ่ม คือ สารที่ละลายในน้ำและสารที่ละลายในแอลกอฮอลล์ หรืออะซิโตน cutin และ suberin เป็นสารที่ทนทานต่อการย่อยสลายมาก สารเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมามากขึ้นเมื่อระยะเวลาของการย่อยสลายผ่านไป สาร cutin จะพบตามผิวใบ ส่วน suberin นั้นพบตามเปลือกและราก สารทั้งสองนี้เป็นโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วย hydroxyl- และ epoxyl-alkonic acids

2.1.2 ธาตุอาหารในซากพืชที่ร่วงหล่นใหม่ๆ

Berg & McClaugherty (2003) ได้ให้ทฤษฎีเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของซากใบไม้ ซึ่งสามารถอธิบายโดยสังเขป ดังต่อไปนี้

(1) ลักษณะทั่วไป

ธาตุอาหารในซากพืชที่ร่วงหล่นใหม่ๆ ขึ้นอยู่กับส่วนของพืชที่ตายลง ธาตุอาหารอย่างเช่นไนโตรเจนจะเป็นองค์ประกอบหลายส่วน ได้แก่ เยื่อหุ้มผนังเซลล์ เอนไซม์ในเซลล์ เป็นโครงสร้างของโปรตีนหรือกรดนิวคลีอิค (nucleic acids) ในใบไม้ที่มีชีวิตไนโตรเจนส่วนใหญ่จะเป็นองค์ประกอบใน ribulose biphosphate carboxylase หรือ oxygenase (rubisco) เมื่อใบเริ่มตายองค์ประกอบนี้จะเริ่มสลายตัวไปบ้างบางส่วน ก่อนที่ใบจะตายธาตุอาหารส่วนหนึ่งจะถูกเคลื่อนย้ายเข้าไปสะสมตามกิ่งและลำต้น ซึ่งอาจต้องใช้ระยะเวลาหลายสัปดาห์ในการเคลื่อนย้าย โดยทั่วไปซากใบไม้ที่ร่วงหล่นใหม่ๆ จะมีไนโตรเจนผันแปรระหว่าง 0.2-3.0% ในซากพืชที่เป็นกิ่งไม้อาจมีค่าต่ำเพียง 0.02% ฟอสฟอรัสก็พบใน nucleic acids และซัลเฟอร์ก็พบในโปรตีนเหมือนกัน เมื่อซากพืชถูกย่อยสลายธาตุอาหารต่างๆ จะถูกปลดปล่อยออกมา

(2) การดูดธาตุอาหารกลับของพืช (Nutrient Resorption)

พันธุ์ไม้หลายสกุล เช่น ไม้ตระกูลสน (pine) ที่ขึ้นในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จะมีการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากใบสู่กิ่งและลำต้นก่อนที่ใบจะร่วงไป ซึ่งเป็นกลไกในการอนุรักษ์ธาตุอาหารไว้ในพืช แต่สำหรับไม้ตระกูลถั่วอาจมีการเคลื่อนย้ายกลับไม่มาก ต้นไม้ยังมีการเคลื่อนย้ายสารอื่นๆ ที่นอกเหนือจากธาตุอาหารเข้าสู่กิ่งและลำต้น ได้แก่ solube C ในรูปของน้ำตาลและ phenolics ซึ่งจะทำให้น้ำหนักของใบลดลงไป ซึ่งก็จะทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารบางชนิดที่ถูกเคลื่อนย้ายเข้าไปในปริมาณน้อยเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้ธาตุอาหารชนิดที่ถูกเคลื่อนย้ายเข้าไปมากมีความเข้มข้นน้อยลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษากับไม้ European beech (Staaf, 1982) อ้างโดย Berg & McClaugherty (2003) พบว่าปริมาณธาตุอาหารในใบไม้ที่มีสีเขียวมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนย้ายกลับของธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนจะถูกเคลื่อนย้ายกลับมากถ้าใบไม้มีธาตุไนโตรเจนมาก ธาตุอื่นๆ ก็ให้ผลคล้ายคลึงกับไนโตรเจน แต่สำหรับธาตุแคลเซียมแล้วกลับพบว่ามีการเคลื่อนย้ายกลับน้อย ธาตุ N, P, K และ S ในใบไม้ที่ร่วงหล่นลงใหม่ๆ มีความเข้มข้นน้อยกว่าในใบที่มีชีวิตก่อนที่จะร่วงหล่น แต่ธาตุ Ca, Mg และ Mn กลับมีค่าที่เพิ่มขึ้นในกรณีของไม้ Scots pine, lodgepole pine, silver birch และ trembling aspen พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนลดลงประมาณ 1/3 ของใบที่มีชีวิตก่อนที่ใบจะร่วงหล่นลงสู่ดิน

2.1.3 การย่อยสลายของซากใบไม้

เมื่อซากใบไม้ร่วงหล่นลงสู่พื้นดินแล้วปล่อยทิ้งไว้จะถูกกัดย่อยทำลายโดยสัตว์ในดิน เช่น มด ปลวก หรือไส้เดือน หรือพืชพวก saprophytes เช่น เห็ดหลายชนิดซึ่งอาศัยพลังงานจากการย่อยสลายทำลายเศษซากใบไม้เหล่านี้ เมื่อมวลชีวภาพของใบไม้มีขนาดเล็กลงมากขึ้น จุลินทรีย์ดินจะเข้ามามีบทบาทในการทำหน้าที่ย่อยสลายแทน

ส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต จะถูกย่อยสลายก่อน พวกเชื้อราและแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ได้ก็จะมีความว่องไวต่อการย่อยพวกโปรตีน แป้ง และเซลลูโลส ผลที่ได้จากขบวนการย่อยสลายของใบไม้ก็คือ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งกรดหรือก๊าซอื่นๆ ที่ตามมาด้วยแต่มีปริมาณน้อย เช่น NH_3, H_2S, SO_2 กรดอินทรีย์และสารประกอบบางชนิดที่ถูกออกซิไดส์ ยังไม่หมด รวมทั้งการขยายจำนวนเนื้อหนังของจุลินทรีย์ที่เข้าย่อยสลายในขบวนการย่อยสลายที่ต่อเนื่องนั้น จุลินทรีย์อีกหลายชนิดจะเข้าย่อยสลายจุลินทรีย์กลุ่มแรกรวมทั้งกรดอินทรีย์บางชนิดที่เกิดขึ้นมาในช่วงแรก พวกโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งประกอบด้วย cellulose, hemicellulose และ lignin จะถูกย่อยสลายไปอย่างช้าๆ ในระหว่างที่ย่อยสลาย เกิดการรวมตัวกันของ phenolic และ lignin ที่สลายตัว และทำปฏิกิริยาทางเคมีร่วมกับธาตุอาหารต่างๆ ส่งผลให้เกิดการสะสมสารประกอบในรูปใหม่ๆ ขึ้น ซึ่งแอคทิโนมัยซีตส์และเชื้อราจะมีบทบาทสำคัญในขบวนการนี้

การสลายตัวของซากใบไม้นั้นเป็นการเพิ่มเติมอินทรียวัตถุไปในดิน ซึ่งพืชพรรณก็เป็นปัจจัยผันแปรหนึ่งที่ทำให้ดินแต่ละชนิดมีปริมาณอินทรียวัตถุแตกต่างกัน

อินทรียวัตถุแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ (Stevenson, 1994) คือ

(1) พวกที่ไม่ใช่สารฮิวมัส (Non humic substances) ได้แก่ สารประกอบที่เป็นส่วนประกอบหลักของพืชชั้นสูง สัตว์และจุลินทรีย์ทั่วๆ ไป อันได้แก่พวก protein, carbohydrates, lignins, waxes, resins, pigments, tannins และสารประกอบบางชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบเหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ ส่วนที่เหลือจากการใช้โดยจุลินทรีย์รวมกับส่วนที่เป็นของจุลินทรีย์เองก็จะตกค้างอยู่ในดิน และทำหน้าที่เป็นแหล่งของสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ฮิวมัสต่อไป โดยปกติแล้วสารที่ตกค้างอยู่ในดินเหล่านี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ผ่านขบวนการ polymerization มาแล้ว หรือทำการรวมตัวกันก่อเกิดเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น ซึ่งจะมีการสลายตัวต่อไปได้อีกแต่ด้วยอัตราที่ต่ำมาก

(2) พวกที่เป็นฮิวมัสแท้ (Humic substances) ปกติจะหมายถึงสารพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง และเป็นกรดที่มีสีเหลือง น้ำตาลหรือดำซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้อีก 3 ชนิด คือ 1) Fulvic acids เป็นพวกที่ละลายได้ในกรดและด่าง เป็นพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุด 2) Humic acid เป็นพวกที่ละลายได้ในด่างแต่ไม่ละลายในกรด เป็นพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง และ 3) Humin เป็นพวกที่ไม่ละลายทั้งในกรดและด่าง เป็นพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่สุด

2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการสลายตัวของซากใบไม้

อัตราความเร็วของการสลายตัวถูกควบคุมโดยปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ธรรมชาติของสารประกอบอินทรีย์ในพืช อัตราส่วนระหว่างอินทรียคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด (C:N ratio) ของเศษพืช สภาพแวดล้อมของการสลายตัว เช่น การถ่ายเทอากาศ ระดับความชื้น อุณหภูมิและความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

2.2.1 สารประกอบอินทรีย์ในใบไม้

โดยทั่วไปพืชประกอบด้วยน้ำ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ส่วนประกอบที่เป็นน้ำมี 50-95% ขึ้นอยู่กับธรรมชาติและอายุของพืชชนิดนั้นๆ พืชสีเขียวที่ยังสดอยู่มีน้ำเป็นส่วนประกอบโดยเฉลี่ย 75% ส่วนที่ไม่ใช่น้ำเมื่อวิเคราะห์ดูปรากฏว่าเป็นคาร์บอน 11% ออกซิเจน 10% ไฮโดรเจน 2% และเถ้า (ash) 2% (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

อินทรียสารในพืชแบ่งเป็น 6 ชนิดใหญ่ๆ คือ (1) เซลลูโลส เป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดในพืชชั้นสูง มีประมาณ 15-60% (2) เฮมิเซลลูโลส มีประมาณ 10-30% (3) ลิกนิน พบได้มากในพืชที่มีอายุมาก โดยจะแทรกอยู่ตามผนังเซลล์ของพืช มีประมาณ 5-30% (4) ส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้ โดยส่วนใหญ่จะเป็นองค์ประกอบในไซโตพลาสซึม ซึ่งจะอยู่ในรูปน้ำตาล กรดอะมิโน และ aliphatic acids ส่วนนี้มีประมาณ 5-30% (5) ส่วนที่ละลายได้ในอีเทอร์และแอลกอฮอล์ ได้แก่ ส่วนของน้ำมัน (fats oils) สารพวกขี้ผึ้ง (waxes) ยางไม้ (resins) วัตถุสี (pigments) และ (6) โปรตีน เป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แหล่งของไนโตรเจนและกำมะถันในพืช มีประมาณ 1-13% ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืช โดยสารประกอบทั้ง 6 นี้ เปลี่ยนแปลงตามอายุขัยของพืชและชนิดของพืช (ศุภมาศ, 2529)

Semwal *et al*. (2003) พบว่า เศษซากของพันธุ์ไม้ที่มีวัตถุประสงค์ต่างๆ 6 ชนิด ได้แก่ *Alnus nepalensis*, *Albizzia lebbek*, *Boehmeria rugulosa*, *Dalbergia sissoo*, *Ficus glomerata* และ *F. roxburghii* ใน central Himalaya ประเทศอินเดีย มีความแตกต่างเกี่ยวกับสมบัติทางเคมีของเศษซากพันธุ์ไม้ที่เห็นได้ชัดเจนมากที่สุด คือ ความเข้มข้นของ polyphenol และไนโตรเจน สำหรับพันธุ์ไม้ *A. lebbek*, *A. nepalensis* และ *D. sissoo* แสดงให้เห็นว่ามีความเข้มข้นของไนโตรเจน (2.2-2.6%) สูงกว่า แต่มีความเข้มข้นของ polyphenol (3.2-4.7%) ต่ำกว่าพันธุ์ไม้ *B. rugulosa*, *F. glomerata* และ *F. roxburghii* (0.96-1.97% N และ 5.68-11.64% polyphenol)

2.2.2 อัตราส่วนระหว่างอินทรียคาร์บอนกับไนโตรเจนทั้งหมด (C:N ratio) ของพืช

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นั้น นอกจากจะย่อยสลายเพื่อให้ได้พลังงานไปใช้แล้ว จุลินทรีย์ก็นำเอาธาตุจากสารอินทรีย์เหล่านั้นไปใช้สร้างสารประกอบต่างๆ ของเซลล์ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์บอนซึ่งต้องนำมาใช้สังเคราะห์สารประกอบที่เป็นโครงสร้างหลักของเซลล์ กับไนโตรเจน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีน กรดอะมิโนหรือกรดนิวคลีอิก ที่มีอยู่เป็นปริมาณมากในเซลล์จุลินทรีย์ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนอยู่ในสารอินทรีย์หรือที่เรียกว่า C:N ratio จึงมักเป็นปัจจัยที่บ่งชี้ว่า ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้นจะมีไนโตรเจนเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์และทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่

อัตราส่วน C:N ratio ที่จัดว่าเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์อยู่ในช่วงประมาณ 20/1 ถึง 30/1 ถ้าเศษพืชมี C:N ratio สูงหรือกว้างกว่า 30/1 ขึ้นไป แม้ว่าจะมีคาร์บอนให้ใช้ในการเจริญเติบโตมาก แต่ก็มีไนโตรเจนอย่างจำกัดทำให้ไม่สามารถย่อยสลายเศษพืชได้รวดเร็วเท่าที่ควร เมื่อคลุกเคล้าเศษพืชเหล่านั้นลงไปในดิน จุลินทรีย์ก็มักไปดึงเอาไนโตรเจนในดิน เช่น NH_4^+ หรือ NO_3^- ไปใช้ การที่จุลินทรีย์ดินนำเอาสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนไปใช้สร้างเป็นองค์ประกอบของเซลล์แบบนี้เรียกว่า กระบวนการ immobilization เป็นการทำให้ไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบต่อพืชในดินลดปริมาณลงจนอาจทำให้พืชเกิดการขาดธาตุไนโตรเจนได้

ในทางตรงกันข้ามหากเศษพืชมีธาตุไนโตรเจนอยู่มาก เช่น พวกพืชตระกูลถั่ว ซึ่งมักมี C/N แคบหรือต่ำกว่า 20/1 ก็จะมีไนโตรเจนเหลือปลดปล่อยออกมาสู่สภาพแวดล้อมในรูปของ NH_4^+ โดยกระบวนการ mineralization

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทั่วไปแล้วประมาณ 2/3 ของสารอินทรียคาร์บอน จะถูกออกซิไดส์ให้เป็น CO_2 ในกระบวนการสร้างพลังงานของจุลินทรีย์ ที่เหลืออีกประมาณ 1/3 ส่วน จึงเป็นส่วนที่นำไปใช้สร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ค่า C:N ratio ของเศษพืชจึงลดลงไปเรื่อย ๆ ความสัมพันธ์ระหว่าง C:N ratio กับ immobilization และ mineralization ของไนโตรเจนในดินเป็นดังนี้ 1) ในช่วงที่ค่า C:N ratio ยังสูงกว่า 30/1 อัตราการ immobilization ของไนโตรเจนจะสูงกว่า mineralization เนื่องจากไนโตรเจนที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์มีไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ 2) ในช่วงระหว่าง 30/1-20/1 กระบวนการทั้งสองจะเกิดขึ้นได้ใกล้เคียงกัน และ 3) เมื่อค่า C:N ratio ลดต่ำลงไปอีก immobilization จะลดต่ำกว่า mineralization ทำให้มีสารประกอบไนโตรเจนเหลือปลดปล่อยออกมาสู่ดินต่อจากนั้น ค่า C:N ratio จะยังลดลงไปเรื่อย ๆ ตามอัตราการสลายตัวของเศษพืช แล้วค่อนข้างคงที่อยู่ที่ค่า C:N ratio ประมาณ 12/1-10/1 ซึ่งเป็นค่า C:N ratio ของเซลล์จุลินทรีย์และอินทรียวัตถุในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

2.2.3 สภาพแวดล้อม

(1) การระบายอากาศของดิน

สภาพการระบายอากาศของดินมีผลกระทบต่อกิจกรรมการย่อยสลายเศษพืชของจุลินทรีย์โดยตรง ในสภาพที่มี O_2 การย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้รวดเร็ว และสมบูรณ์กว่า ส่วนใหญ่จะสลายตัวจนกลายเป็น CO_2 จุลินทรีย์พวกแบคทีเรียที่ต้องการอากาศ เชื้อรา และแอคทีโนไมซีท เป็นจุลินทรีย์กลุ่มหลักในการทำให้เกิดการแปรสภาพแบบนี้ เมื่อการระบายอากาศดี อัตราการสลายตัวของสารอินทรีย์จะรวดเร็วและมีระดับอินทรียวัตถุเหลืออยู่ในดินค่อนข้างต่ำ ตรงกันข้ามหากดินอยู่ในสภาพขาดอากาศหรือมีน้ำท่วมขัง อัตราการสลายตัวจะลดลงอย่างมากและเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ สารที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวมักเป็นกรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์และสารอื่นๆ อีกหลายชนิด เช่น amine, mercaptan, aldehyde, ketone และเกิดแก๊สต่าง ๆ มากมาย เช่น CO_2, H_2S, H_2 หรือแม้แต่ CH_4 จุลินทรีย์กลุ่มหลักที่ทำให้เกิดการแปรสภาพของสารอินทรีย์แบบนี้คือ แบคทีเรียพวกที่ไม่ต้องการอากาศ (anaerobic bacteria) ส่วนเชื้อราและแอคทิโนไมซีท จะชะงักการเจริญเติบโตเมื่อดินขาดออกซิเจน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) ความชื้นดิน

ระดับความชื้นที่พอเหมาะต่อการย่อยสลายอยู่ที่ค่าศักย์น้ำ (water potential) ประมาณ -0.01 ถึง -0.05 MPa (megapascal) อัตราการสลายตัวมักลดลงอย่างรวดเร็ว หากมีความชื้นมากขึ้นเกินกว่าที่ค่า -0.01 MPa ไปจนถึงสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (0 MPa) เนื่องจากเกิดการขาดออกซิเจน แต่หากความชื้นของดินค่อยๆ ต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม อัตราการสลายตัวจะค่อยๆ ลดลงตามลำดับแต่ทั้งนี้

จะขึ้นอยู่กับความสามารถทนสภาพแห้งแล้งของกลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง และอัตราการทำงานของ extracellular enzyme ในสภาพที่ความชื้นในดินค่อนข้างต่ำ จุลินทรีย์ที่มีบทบาทมากในการย่อยสลายอินทรียวัตถุมักเป็นเชื้อรา และแอกทีโนไมซีท เพราะส่วนใหญ่มีความทนทานต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีกว่าแบคทีเรีย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ความชื้นมีผลโดยอ้อมต่อการเคลื่อนย้ายถ่ายเทอากาศ โดยทั่วไปพบว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการเน่าสลายของซากพืชจะเกิดขึ้นมากที่สุดที่ 60-80% ของความสามารถในการอุ้มน้ำได้ของดิน (ศุภมาศ, 2529)

(3) อุณหภูมิในดิน

อุณหภูมิมีผลควบคุมทั้งกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินโดยตรง อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งอัตราการสลายตัวของสารอินทรีย์ได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอุณหภูมิ 25-35 ºซ ซึ่งจัดเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยทั่วไป ในสภาพห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 20-30 ºซ อัตราการสลายตัวของฮิวมัสต่อวันจะมีค่าประมาณ 5-50 มก. ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อ 1 กก. ของดิน สำหรับในสภาพสนามนั้นอาจมีค่าได้ 0.5-10 กรัม/ตร.ม./วัน ซึ่งค่าแก๊สที่เกิดขึ้นนี้ รวมไปถึงที่ได้จากการหายใจของรากและสัตว์ในดิน นอกจากนั้นค่าที่ได้นี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของดิน ปริมาณน้ำในดิน เวลาในการเก็บตัวอย่าง และฤดูกาล (ศุภมาศ, 2529)

(4) ปฏิกิริยาดิน

ปฏิกิริยาดิน (pH) มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน ไม่เพียงแต่มีผลต่อการเจริญเติบโตและเอนไซม์ของแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีทเท่านั้นแต่ยังเป็นตัวกำหนดชนิดของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในวงจรคาร์บอนในแต่ละแห่ง โดยทั่วไปการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาพดินเป็นกลาง สำหรับดินที่เป็นกรดจัดหรือด่างจัดมักมีผลยับยั้งการสลายตัวอย่างมาก

ทนงศักดิ์ (2546) ได้ศึกษาการย่อยสลายของใบไม้สนสามใบในห้องปฏิบัติการ พบว่า ใบสนทำให้ดินเป็นกรดจัดโดยเฉพาะในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการย่อยสลาย ต่อจากนั้นระดับความเป็นกรดจะลดลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อระดับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่างๆ

จากการศึกษาของสุนทร (2544) พบว่า ผลการย่อยสลายของใบสนสามใบและใบพลวงทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด แต่ใบสน ทำให้ดินเป็นกรดมากกว่า ขณะที่ใบกระถินยักษ์ทำให้ดินเป็นด่างมาก ซึ่งส่งผลต่อ ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการย่อยสลายของใบไม้

เกษสุดา และคณะ (2548) ศึกษาอัตราการย่อยสลายของใบไม้ 11 ชนิด ใช้วิธี Litter bag method พบว่า อัตราการย่อยสลายของใบส้านสูงที่สุด คือ 0.190 กรัม/วัน รองลงมาคือ ใบหนามคอง เหมือดโลด ส้มโมง รักใหญ่ ติ้วเกลี้ยง เหียง แดง พลวง มะม่วงหัวแมงวัน และเต็ง ซึ่งมีอัตราการย่อยสลายเท่ากับ 0.127 0.124 0.110 0.104 0.098 0.069 0.035 0.032 0.023 และ 0.021 กรัม/วัน ตามลำดับ ส่วนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรียวัตถุ กระทำโดยเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่โครงการ 6 แห่ง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอินทรียวัตถุ ทุกๆ 4 เดือน พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินแต่ละแห่งในช่วงปี 2545-2547 ไม่มีความแตกต่างกันที่เห็นได้ชัดตามระยะที่เพิ่มขึ้น

วิลาวัณย์ และคณะ (2542) ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในส่วนของใบและซากใบในแปลงปลูกผสมระหว่างไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส และไม้กระถินณรงค์ ในพื้นที่ 2 แห่ง คือ สถานีทดลองปลูกพรรณไม้ปากท่อ อำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี และสวนป่าลาดกระทิง อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า ปริมาณ N และ P ในส่วนของใบแก่ใกล้ร่วง และซากพืชลดลงจากปริมาณที่พบในใบสดมาก อันเนื่องมาจากกลไกของต้นไม้ในการดึงธาตุอาหารเหล่านี้กลับสู่ระบบ ปริมาณของ N และ P ในส่วนของซากใบที่จะกลับคืนสู่ระบบหมุนเวียนธาตุอาหารของไม้ทั้ง 2 ชนิด ที่อายุ 18 เดือน มีค่าระหว่าง 3.47-11.68 และ 8.65-12.35 กิโลกรัม/เฮกแตร์ สำหรับธาตุ N ในพื้นที่สถานีทดลองปลูกพรรณไม้ปากท่อ และสวนป่าลาดกระทิงตามลำดับ และ 0.10-0.26 และ 0.42-0.59 กิโลกรัม/เฮกแตร์ สำหรับธาตุ P ในพื้นที่สถานีทดลองปลูกพรรณไม้ปากท่อ และสวนป่าลาดกระทิงตามลำดับ

Adulprasertsuk *et al*. (1997) อ้างโดย ปัทมา (2547) ได้ศึกษาอัตราการสลายตัวของซากใบไม้ที่ร่วงหล่น 5 ชนิด คือ จามจุรี (*Samanea saman*) กระบก (*Irvingia malayana*) เต็ง (*Shorea obtusa*) แดง (*Xylia Xylocarpa*) และพลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*) ในสภาพพื้นที่ทำไร่ ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวต่อปี (k) มีค่าเท่ากับ 4.27, 1.62, 4.27, 4.63 และ 2.58 ตามลำดับ

Laode *et al.* (2004) ศึกษาเกี่ยวกับการย่อยสลายของซากใบไม้ของพันธุ์ไม้ยืนต้นดั้งเดิม 4 ชนิด ได้แก่ *Castanopsis sieboldii*, *Schima wallichii*, *Elaeocarpus japonicus* และ *Daphniphyllum teijsmannii* โดยใช้วิธี litterbag technique ตรวจสอบเป็นรายเดือนเป็นระยะเวลา 12 เดือน ในป่าใบกว้างที่เขียวตลอดปีในเขตร้อนชื้นบนเกาะโอกินาวา (Okinawa Island) ประเทศญี่ปุ่น พบว่าค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวต่อปี (k) มีค่า 1.19 ± 0.19 สำหรับ *D. teijsmannii*, 1.09 ± 0.09 สำหรับ *C.*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

sieboldii, 0.94 ± 0.05 สำหรับ *E. japonicus* และ 0.66 ± 0.05 (S.E.) yr^{-1} สำหรับ *S. wallichii* ค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวใน *S. wallichii* ต่ำกว่าพันธุ์ไม้อีก 3 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.01) ไนโตรเจนที่ยังเหลืออยู่ใน *C. sieboldii, E. japonicus* และ *D. teijsmannii* แสดงให้เห็น 3 ระยะ คือ การชะล้าง (leaching) การได้รับสุทธิ (net gain) และ การสูญเสียสุทธิ (net loss) ขณะที่ *S. wallichii* แสดงให้เห็น 2 ระยะ ซึ่งไม่มีระยะ การสูญเสียสุทธิ (net loss) ในใบของ *D. teijsmannii* ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนแรกเริ่มสูงที่สุด (0.97%) แสดงให้เห็นถึงค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวที่สูงที่สุด สำหรับค่า C/N ratio ที่ปรับแก้แล้วอยู่ในช่วง 31 (สำหรับ *D. teijsmannii*) ถึง 33 (สำหรับ *C. sieboldii*)

Ryunosuke *et al.* (2007) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบผลิตผลของเศษซากพืชที่ร่วงหล่น และการสลายตัวของซากใบไม้ ระหว่าง สวนป่า black locust (พันธุ์ไม้ต่างประเทศ) และป่าโอ๊ค (พันธุ์ไม้พื้นเมือง) ใกล้เมืองยูนาน ประเทศจีน พบว่าอัตราการสลายตัวของใบไม้ black locust สูงกว่าใบไม้โอ๊ค เนื่องจากองค์ประกอบของไนโตรเจนในใบของ black locust มีค่าที่สูงกว่า ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการหมุนเวียนของธาตุไนโตรเจนของไม้ black locust ดีกว่าและเร็วกว่าไม้โอ๊ค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved