บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

1. รายละเอียดเกี่ยวกับผักตบชวา
2. รายละเอียดเกี่ยวกับการทำปุ๋ยหมักจากพืช
3. รายละเอียดเกี่ยวกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก
4. รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รายละเอียดเกี่ยวกับผักตบชวา

ผักตบชวา (water hyacinth) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* (Mart.) เป็นพืชในแฟมิลี Pontederiaceae เป็นพืชพื้นเมืองในแถบอเมริกาใต้ มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศบราซิล พบว่ามีการแพร่กระจายอยู่ทั่วโลกในแถบที่มีอากาศร้อนในชั่วระยะเวลาไม่ถึง 100 ปี ในปี 2424 ชาวฮอลแลนด์ที่ปกครองประเทศอินโดนีเซียได้นำผักตบชวาจากประเทศยุโรปเข้ามาปลูกในประเทศอินโดนีเซียในสวนพฤกษาศาสตร์แห่งชาติที่เมืองโบเกอร์ จากนั้นไม่นานก็แพร่ไปตามแหล่งน้ำต่างๆอย่างรวดเร็ว และเนื่องจากมีดอกสีฟ้าเป็นช่อตั้งสวยงามคล้ายดอกฮายาซิน (hyacinth) คำว่า water hyacinth จึงเป็นชื่อสามัญภาษาอังกฤษของผักตบชวา สำหรับประเทศไทยได้นำผักตบชวาจากประเทศอินโดนีเซียเข้ามาปลูกในวังสระปทุมในปี 2444 ในสมัยรัชกาลที่ 5 แต่ภายหลังน้ำท่วม ผักตบชวาได้หลุดลอยไปสู่ลำคลองภายนอกแล้วเริ่มระบาดไปตามแหล่งน้ำต่าง ๆ อย่างรวดเร็ว

ในทางพฤกษศาสตร์ผักตบชวาจัดอยู่ในกลุ่มพืชมีดอก (angiospermae) คือสืบพันธุ์โดยการผลิตไข่และเชื้อตัวผู้ในระบบดอก นอกจากนี้ยังจัดอยู่ในหมู่พืชใบเลี้ยงเดี่ยวลักษณะของทรงต้นประกอบด้วยกลุ่มของใบเรียงกันเป็นกระจุก ทรงต้นมีใบตั้งแต่สองใบขึ้นไป เชื่อมติดต่อกันโดยมีการไหล (stolon) ซึ่งเป็นลำต้นทอดไปตามผิวน้ำ แต่ละต้นของผักตบชวามีไหลแตกออกไปได้หลายต้นและจะเจริญขึ้นเป็นต้นใหม่

1. ส่วนประกอบของผักตบชวา

1.1 ใบ เป็นแบบใบเดี่ยว (simple leaf) ประกอบด้วยแผ่นใบ (blade) และก้านใบ (petiole) แผ่นใบมีลักษณะคล้ายรูปไต (reniform) หรือคล้ายรูปหัวใจ (cordate) ระบบเส้นใบ (venation) ซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและอาหารเป็นแบบเส้นใบขนาน ก้านใบมีลักษณะเรียบ อวบน้ำ ใบมีรูปร่างค่อนข้างกลมและเป็นมัน ก้านใบจะพองออกและภายในมีช่องว่างให้อากาศบรรจุอยู่ได้มากมาย (ภาพที่ 1) เหมาะสำหรับลอยน้ำ ถ้าในสภาพที่กอขึ้นหนาแน่นเกินไป แสงแดดไม่พอหรืออุณหภูมิสูงเกินไป ลักษณะการโป่งพองของก้านใบจะไม่เด่นชัดนัก

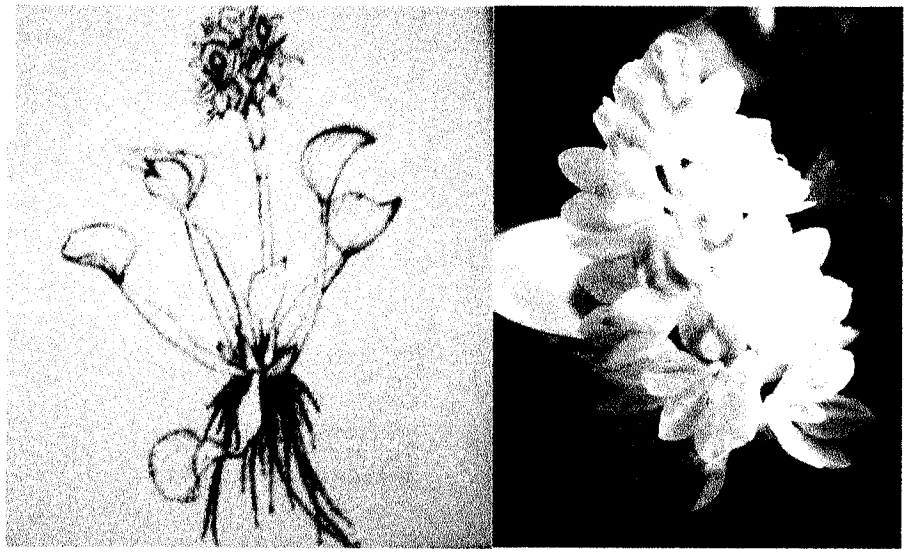
1.2 ดอก มีดอกสีฟ้า ออกดอกเป็นช่อไม่มีก้านดอก (spike) ในช่วงหนึ่ง ๆ จะมีจำนวนดอกแตกต่างกันไป ประมาณ 4-5 ดอก จนถึง 60 ดอก ช่อดอกจะเกิดบริเวณกลางต้น ดอกมักจะบานพร้อมกันหมดทั้งช่อ ดอกจะบานเพียง 1 วัน แต่ละดอกประกอบด้วยกลีบดอก (perianth) 6 กลีบ มีเกสรตัวผู้ (stamen) 6 อัน ก้านชูเกสรตัวผู้ยาว 3 อันและสั้น 3 อัน อับเกสรตัวผู้ (anther) มีสีเหลืองส่วนเกสรตัวเมีย (pistil) มีส่วนตรงปลายเรียกว่าซิกมา (sigma) มีสีม่วงอยู่บนก้าน (style) ต่อมาจากรังไข่ (ovary) ซึ่งอยู่เหนือกลีบดอก (superior ovary) โคนกลีบจะเชื่อมติดกันเป็นท่อยาวประมาณ 1.5-1.75 ซม. กลีบดอกที่ใหญ่ที่สุดยาวประมาณ 3-3.5 ซม. รังไข่ 1 อันมี 3 ห้อง รังไข่นี้เมื่อได้รับการผสมแล้วจะเจริญขึ้นเป็นผล แต่ตามปกติแล้วในสภาพแวดล้อมในประเทศไทย มักไม่ค่อยพบว่ามีการผสมของดอกผักตบชวา จึงไม่ค่อยพบเมล็ด (seed) ผักตบชวาในธรรมชาติมากนัก

1.3 ลำต้นมีความสูงไม่แน่นอน มีขนาดตั้งแต่ 10 ซม. ขึ้นไป

1.4 รากของผักตบชวาเป็นแบบรากฝอย (fibrous root) คือ มีรากย่อย ๆ เป็นกระจุก ส่วนของรากและลำต้นยึดอยู่กับดินหรือเป็นแบบรากลอย แต่บางสภาวะพบว่าในที่น้ำแห้งก็สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้และมีส่วนของรากยึดกับดินหรือโคลน รากจะแตกสาขาย่อยแน่นมากจากแกนแต่ละรากจะมีรากแขนงเฉลี่ย 70 รากต่อเซนติเมตร (ชาญชัย มณีดุลย์, 2528)

2. การขยายพันธุ์ของผักตบชวา

ปกติการขยายพันธุ์ของผักตบชวาจะไม่เกิดขึ้นโดยเมล็ด ยกเว้นในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม โดยที่วิธีการขยายพันธุ์ของผักตบชวาที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ การแตกไหลแล้วกลายเป็นลำต้นติดอยู่กับต้นแม่เป็นจำนวนมากจนเกิดเป็นกอใหญ่ ซึ่งการผสมเกสรเป็นแบบผสมตัวเอง ดอกที่ได้รับการผสมติดจะเริ่มเหี่ยวโค้งสู่พื้นน้ำและการสุกบ่มของเมล็ดจะเกิดอยู่ในระดับใต้น้ำ ในช่อหนึ่ง ๆ อาจมีเมล็ดตั้งแต่ 3-452 เมล็ด เมื่อเมล็ดเริ่มแก่งอกเป็นต้นกล้าจะสังเกตได้เมื่อเริ่มแตกใบอ่อนแบบลอยน้ำซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 40 วันหลังจากเมล็ดเริ่มงอก (ชาญชัย มณีดุลย์, 2528)



ภาพที่ 1 ลักษณะของผักตบชวา (USDA Forest Service, 2000)

นุชนารถ พจมานพิมล (2524 อ้างอิงจาก ประดิษฐา อินทรโฆษิต และทวีศักดิ์ ศักดิ์นิมิตร, 2522) ได้ศึกษาการขยายพันธุ์ของผักตบชวาพบว่า ผักตบชวา 1 ต้นสามารถขยายพันธุ์โดยการแตกไหล ได้ต้นใหม่ 77 ต้นภายในเวลา 42 วัน และจะโตเต็มที่ในเวลา 105 วัน และพบว่าเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาเนื่องจากผักตบชวา 1 ต้นจะให้เมล็ดประมาณ 5,000 เมล็ด และเมล็ดนี้จะมีชีวิตอยู่ได้ 15 ปี (นุชนารถ พจมานพิมล, 2524 อ้างอิงจาก ศุภจิต มโนพิโมกข์, 2524) สำหรับกรมควบคุมมลพิษ(2542) กล่าวว่า ผักตบชวาจะเพิ่มปริมาณมวลชีวภาพเป็นสองเท่าภายในเวลา 10 วัน นอกจากนี้ในพื้นที่ 1 ไร่ผักตบชวาสามารถสร้างปริมาณมวลชีวภาพ (น้ำหนักแห้ง) ได้ถึง 24 ตันต่อปี ผลผลิตมวลชีวภาพอยู่ระหว่าง 7-17 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ต่อปี โดยครึ่งหนึ่งจะเป็นมวลชีวภาพที่ได้ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม

การทดลองที่รัฐหลุยเซียน่าในสหรัฐอเมริกา ปรากฏว่าผักตบชวาเพียง 10 ต้นที่ปลูกในสภาพโดดเดี่ยวเป็นจุดๆ สามารถแตกหน่อเป็นต้นใหม่จำนวน 1,610 ต้นในเวลา 3 เดือน แต่ในกรณีที่ประเทศซูดานซึ่งมีอากาศร้อนกว่าที่รัฐหลุยเซียน่าและดินคุณภาพไม่ดี ผักตบชวา 2 ต้นแตกหน่อใหม่ได้เพียง 130 ต้นในเวลาเท่ากัน จากการศึกษาทางด้านสรีรวิทยาพบว่าพืชชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการสร้างอาหารโดยขบวนการสังเคราะห์แสงได้เป็นอย่างดี ซึ่งถ้าสภาพแวดล้อมเอื้ออำนวยจะสังเคราะห์อาหารได้คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 7.4 - 22.0 กรัม/ตารางเมตร/วัน และเพิ่มจำนวนต้นเป็น 2 เท่าตัวภายในเวลา 14 วัน (ชาญชัย มณีดุลย์, 2528) ทั้งนี้กรมควบคุมมลพิษ (2542) กล่าวว่าแพของผักตบชวาซึ่งมีอายุประมาณ 8 ปี ผลิตใบสดได้ประมาณไร่ละ 250 ตัน และยังมีการศึกษาการ

แพร่พันธุ์โดยการตัดเป็นชิ้น ๆ ได้แก่ ใช้ทั้งต้น ใช้ลำต้นซึ่งผ่าทางยาวเป็น 2 ซีก ใช้ลำต้นเดิมแต่ตัดยอดออก 1 เซนติเมตร ใช้ลำต้นเดิมแต่ตัดยอดออก 1 เซนติเมตรแล้วมาตัดเป็น 2 ท่อนอีกครั้ง ผลปรากฏว่าในทุกกรณีสามารถแตกหน่อใหม่ได้ ดังนั้นการกำจัดผักตบชวาโดยการนำไปหั่นสับโดยไม่ผึ่งแดดให้เน่านั้นไม่อาจทำให้ผักตบชวาหมดไปได้

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวา

กรมควบคุมมลพิษ (2542) กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวาไว้ดังนี้

3.1 อุณหภูมิ มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวา จะเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีอุณหภูมิประมาณ 27 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 4.4 องศาเซลเซียส จะมีการเจริญเติบโตและเพิ่มมวลชีวภาพได้น้อยมาก

3.2 แสงสว่าง ถ้าผักตบชวาได้รับแสงสว่างต่ำกว่า 1,300 ลักซ์ จะตายหรือแห้ง แต่เมื่อความเข้มแสงสว่างอยู่ระหว่าง 1,300-5,000 ลักซ์ จึงจะสามารถสร้างใบที่ยาวเรียวได้ และที่ความเข้มของแสงสว่างมากกว่า 5,000 ลักซ์ จึงจะสามารถสร้างใบที่มีทุ่นลอย นอกจากนี้การออกดอกของผักตบชวาจะเกิดเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงก่อนฤดูฝนและช่วงหลังฤดูฝน ซึ่งความเข้มแสงขนาด 2,200 ลักซ์ จะช่วยให้เซลล์แปรรูปเป็นเซลล์ดอกได้เร็วขึ้นด้วย

3.3 ความหนาแน่น ที่เหมาะสมจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดในช่วง 15-35 กิโลกรัมน้ำหนักสดต่อตารางเมตร กำลังผลิตของผักตบชวามีความหนาแน่นสูงสุด 40.58 กิโลกรัมน้ำหนักสดต่อตารางเมตร ถ้าปล่อยให้คงอยู่ต่อไปจะมีบางส่วนเริ่มตาย ความหนาแน่นลดลงเรื่อย ๆ จนเหลือเพียง 17.11 กิโลกรัมน้ำหนักสดต่อตารางเมตรในเวลา 60 วัน

3.4 ปริมาณธาตุอาหารพืชน้ำ จะมีอัตราเจริญเติบโตสูงสุดในน้ำที่มีความเข้มข้นไนโตรเจน ทั้งหมด 28 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัสทั้งหมด 7.7 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นอัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส 3.6 : 1 ในน้ำที่มีไนโตรเจนในรูปของ NH_4 และ NO_3 ที่มีความเข้มข้นเท่ากันประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีกำลังผลิตมวลชีวภาพสูงสุด

3.5 ความเค็มของน้ำ ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่เจริญได้ดีในน้ำจืดและไม่สามารถปรับตัวให้เจริญในน้ำเค็มได้ นอกจากน้ำกร่อยอ่อน ๆ เท่านั้น ผักตบชวาจะหยุดการเจริญเติบโตและจะตายในน้ำกร่อยที่มีปริมาณเกลือละลายตั้งแต่ 2 กรัมต่อลิตรขึ้นไป

3.6 สภาพน้ำที่มีความเป็นกรดด่าง (pH) ในช่วง 4.5-10 ก็ยังสามารถเจริญเติบโตได้ดี แต่ถ้าค่าความเป็นกรดด่างลดลงถึง 4.2 การเจริญเติบโตจะลดลง จากการตรวจการแบ่งเซลล์ขยายตัวของเซลล์ในรากพืชชนิดนี้พบว่า ที่ pH เท่ากับ 5 การขยายตัวและแบ่งเซลล์มีอัตราเป็น 2 เท่าของพวกที่ปลูกที่สภาพ pH เท่ากับ 3.5

3.7 ปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ แบคทีเรียในกลุ่ม *Azotobacter chroococcum* ที่ขึ้นอาศัยตามใบทั้งภายในใบและผิวใบ ซึ่งจะช่วยในการตรึงไนโตรเจนและเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยให้ผักตบชวาเจริญเติบโตได้รวดเร็ว

ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ระบาดของผักตบชวาในพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่าง

จากการดำเนินโครงการวิจัยเชิงปฏิบัติการ การควบคุมผักตบชวาในลุ่มน้ำเจ้าพระยาและท่าจีนบริเวณพื้นที่วิกฤต ซึ่งจัดทำโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เสนอต่อกรมควบคุมมลพิษ พบว่าพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างสำหรับการวิจัยครั้งนี้นั้นมีปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวาจนส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม แบ่งออกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่

1. ลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ เนื่องจากลักษณะลุ่มน้ำเจ้าพระยาและท่าจีนบริเวณตอนกลางและตอนล่างเป็นที่ราบลุ่มต่ำเชื่อมติดต่อกันไม่มีของเขตลุ่มน้ำ บริเวณลุ่มน้ำท่าจีนตอนกลางในเขตอำเภอบางปลาม้า อำเภอสองพี่น้อง และอำเภอบางเลน เป็นที่ราบลุ่มต่ำมีน้ำขังในดูตลอดปี ในช่วงฤดูฝนจะมีน้ำท่วมเกือบทุกปีทำให้เป็นแหล่งแพร่ระบาดของผักตบชวา บริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนล่างตั้งแต่หน้าที่ว่าการอำเภอนครชัยศรีเป็นต้นไปจนถึงปากแม่น้ำ ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้น- น้ำลงของน้ำทะเล ทำให้ผักตบชวาถูกพัดพาลงสู่อ่าวไทยได้น้อยมาก มีปริมาณสะสมในแม่น้ำท่าจีนตอนล่างค่อนข้างมาก ในช่วงฤดูแล้งและช่วงฤดูฝนจะมีการระบายน้ำจากคูคลองในลุ่มน้ำเจ้าพระยาฝั่งตะวันตกลงสู่แม่น้ำท่าจีน ผักตบชวาที่สะสมอยู่ในช่วงฤดูแล้งถูกพัดพาลงสู่แม่น้ำท่าจีนเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีผักตบชวาแพร่ระบาดและสะสมอยู่ในแม่น้ำท่าจีนมากทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

2. ระบบนิเวศของลุ่มน้ำบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาและท่าจีนบริเวณตอนกลางและตอนล่างเป็นที่ราบลุ่มขนาดใหญ่มีพื้นที่รวมกันทั้งหมดประมาณ 10.6 ล้านไร่ โดยประมาณ 7.5 ล้านไร่ อยู่ในเขตโครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ ในที่นี้เป็นพื้นที่นาปีประมาณ 6.0 ล้านไร่ ส่วนในฤดูแล้งมีการทำนาปรังประมาณ 2.8-3.3 ล้านไร่ นอกจากนี้บริเวณพื้นที่เขตปริมณฑลยังมีการปลูกพืชผัก ไม้ผล และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วย พื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาและท่าจีนบริเวณตอนกลางและตอนล่างเป็นแหล่งที่ตั้งของชุมชนต่าง ๆ มีประชากรอาศัยอยู่ประมาณ 10 ล้านคน ซึ่งไม่รวมแรงงานชั่วคราวที่เคลื่อนย้ายเข้ามาทำงานในกรุงเทพฯ โดยมีชุมชนขนาดใหญ่ระดับจังหวัดส่วนใหญ่จะตั้งอยู่บริเวณริมน้ำ นอกจากนี้ลุ่มน้ำเจ้าพระยาและท่าจีนบริเวณจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี สมุทรปราการ นครปฐม และสมุทรสาคร ดังนั้นจึงทำให้น้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาและท่าจีนมีความสกปรกมาก เนื่องจากน้ำทิ้งทางการเกษตร น้ำทิ้งจากชุมชน และน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม ปริมาณธาตุอาหารพืชที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่าง ๆ เป็นสาเหตุสำคัญที่

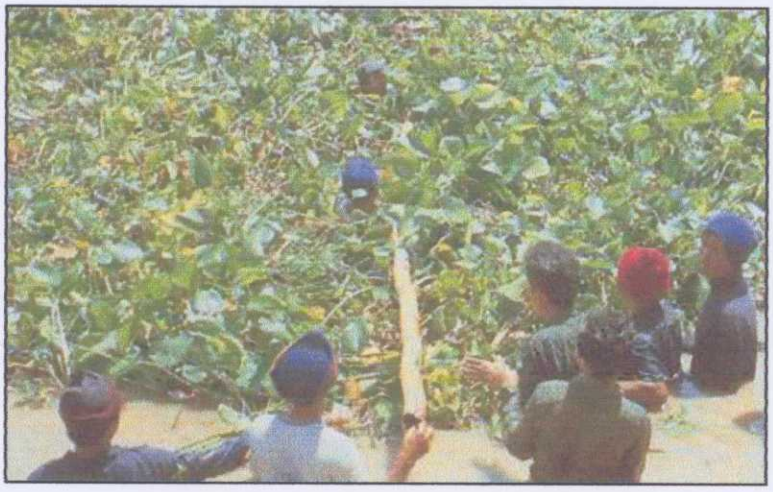
ทำให้ผักตบชวาเจริญเติบโตและแพร่ระบาดรวดเร็ว ปกคลุมผิวดินจนเกิดภาวะวิกฤตในแม่น้ำและคูคลองเชื่อมต่อในเขตลุ่มน้ำเจ้าพระยาและท่าจีนบริเวณตอนกลางและตอนล่าง

3. ลักษณะคุณภาพน้ำที่ได้จากการศึกษาลักษณะคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาและท่าจีนบริเวณตอนกลางและตอนล่างในช่วงปี 2538-2541 พบว่า แม่น้ำท่าจีนมีความสกปรกในรูป BOD ค่อนข้างสูงโดยเฉพาะบริเวณท้ายน้ำที่มีชุมชนอาศัยอยู่หนาแน่น เช่น บริเวณท้ายเมืองสุพรรณบุรี บริเวณท้ายน้ำของอำเภอบางเลน สำหรับปริมาณธาตุอาหารพืชซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผักตบชวาเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและมีการแพร่ระบาดมากในแม่น้ำ มีสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากน้ำทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ น้ำทิ้งจากนาข้าว น้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทั้งบ่อปลาและนากุ้ง น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่สำคัญคือน้ำทิ้งที่เกิดจากการหมักของฟางข้าวในไร่นาที่เหลือทิ้งจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเน่าเสียในแม่น้ำและคูคลองในเขตอำเภอบางปลาม้า อำเภอสองพี่น้อง และอำเภอบางเลน ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

ดังนั้นผักตบชวาซึ่งเป็นวัชพืชน้ำที่สร้างปัญหาให้แก่แหล่งน้ำในประเทศต่าง ๆ กว่า 50 ประเทศ ทั้งในเขตร้อนและกึ่งร้อนทั่วโลก (กรมควบคุมมลพิษ, 2542) เนื่องจากในแหล่งน้ำที่มีผักตบชวาขึ้นเป็นจำนวนมากจะทำให้มีอัตราการระเหยของน้ำเพิ่มขึ้น น้ำจึงแห้งเร็วกว่าบริเวณที่ไม่มีผักตบชวา โดยการระเหยน้ำจากแหล่งน้ำที่มีผักตบชวาเร็วกว่าผิวน้ำปกติ 1.3-6 เท่า สำหรับเขตชลประทานจะมีปัญหาเกี่ยวกับการอุดตัน ถ่ายเทน้ำได้ไม่สะดวก ถ้าเป็นแหล่งประมง ผักตบชวาจะเป็นตัวกีดขวางการใช้อุปกรณ์การประมง นอกจากนั้น ต้นและใบจะทำให้เกิดร่มเงาทึบ ขัดขวางแสงแดดส่องถึงผิวน้ำ ยังผลให้มีการเปลี่ยนแปลงทางสภาวะแวดล้อมในผิวน้ำ ส่งผลกระทบต่อการเจริญขยายพันธุ์ของแพลงค์ตอนที่เป็นอาหารของปลา ในบางพื้นที่ที่มีปริมาณไม่หนาแน่นมากนักก็พบว่าเป็นแหล่งแพร่พันธุ์ของโรคเท้าช้าง และพวกพาหะเชื้อไข้สมองอักเสบ (ชาญชัย มณีดุลย์, 2528)

วิธีการควบคุมผักตบชวา

เนื่องจากผักตบชวาแพร่ขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว จึงส่งผลกระทบต่าง ๆ ตั้งแต่อดีตจนปัจจุบันนี้ จึงได้มีพระบรมราชโองการในพระบาทสมเด็จพระปรเมนทรมหาวชิราวุธ พระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว ให้ตราพระราชบัญญัติสำหรับกำจัดผักตบชวา พ.ศ. 2456 โดยให้ถือเป็นหน้าที่ที่ต้องกำจัดผักตบชวาที่ขึ้นอยู่ในที่ของผู้นั้น หากไม่กระทำตามจะถือเป็นความผิดต้องระวางโทษปรับ หรือ จำคุก หรือทั้งจำทั้งปรับ ทั้งนี้วิธีการควบคุมผักตบชวาโดยทั่วไปมีอยู่ 4 วิธีหลัก ๆ คือ การใช้แรงงานคนในการขุดลอก การใช้เครื่องจักรกล การใช้สารเคมีปราบศัตรูพืช และการใช้วิธีการทางชีวภาพ



ภาพที่ 2 แสดงการใช้แรงงานคนในการกำจัดผักตบชวา

ภาพที่ 3 แสดงการใช้เครื่องจักรกลในการกำจัดผักตบชวา

การกำจัดด้วยการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชน้ำ เช่น การใช้ 2,4-D (2,4 chlorophenoxy acetic acid) ซึ่งแนะนำให้ใช้ 320–1,440 กรัม/ไร่ โดยพ่นตรงใบ นอกจากนี้กลุ่มงานวิทยาการวัชพืช กองพฤษศาสตร์และวัชพืช กรมวิชาการเกษตร (2538) ยังกล่าวถึงสารกำจัดผักตบชวาชนิดอื่นอีก ได้แก่ พาราควอต (paraquat) 150-300 กรัม/ไร่ หรือใช้ไกลโฟเซต (glyphosate) 150-640 กรัม/ไร่ แต่ว่าการใช้สารเคมีพ่นนั้นถึงแม้ผักตบชวาจะเน่าตาย แต่เศษพืชที่เน่าตายจะทำให้น้ำเน่า ปริมาณออกซิเจนในน้ำก็ลดลงซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการตายของสัตว์น้ำ ทั้งนี้ไม่นับสาเหตุที่สัตว์น้ำตายเพราะฤทธิ์ยาอีกด้วย สำหรับวิธีทางชีวภาพ ได้แก่ การใช้ตัวหนอนของแมลงที่มีชื่อว่า

Cactoblastis tactorum ซึ่งชอบไชชอนกินเนื้อตะบองเพชรเสมา รวมทั้งการใช้ปลา Grasscraf แต่ก็ชอบกินวัชพืชน้ำชนิดอื่นมากกว่าผักตบชวาถ้าหากมีวัชพืชอื่น ๆ อยู่ด้วย ซึ่ง Charudattan (1986) เสนอผลการศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมผักตบชวาโดยการผสมผสานกันทั้งจุลินทรีย์ คือ *Cercospora rodmanii* สารเคมีและแมลง จึงจะทำให้การควบคุมผักตบชวาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีการคิดค้นวิธีการกำจัดรูปแบบอื่นอีก เช่น การใช้แสงเลเซอร์ เป็นต้น

การกำหนดวิธีการควบคุมผักตบชวาในลุ่มน้ำเจ้าพระยาและท่าจีนบริเวณพื้นที่วิกฤต

ตามที่โครงการวิจัยเชิงปฏิบัติการ การควบคุมผักตบชวาในลุ่มน้ำเจ้าพระยาและท่าจีนบริเวณพื้นที่วิกฤต ซึ่งจัดทำโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เสนอต่อกรมควบคุมมลพิษ ได้กำหนดวิธีการควบคุมผักตบชวาในพื้นที่ดังกล่าวซึ่งรวมทั้งจุดเก็บตัวอย่างเพื่อทำวิทยานิพนธ์ในเล่มนี้ด้วย (บริเวณวัดสัมปทวน อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม) กล่าวถึงการควบคุมดังกล่าวประกอบด้วย 4 แผนงานคือ

1. แผนงานการควบคุมการแพร่ระบาดของผักตบชวา

เป็นการดำเนินการเก็บและกำจัดผักตบชวา การขุดลอกคลอง ติดตั้งเครื่องเก็บผักตบชวาบริเวณจุดสกัดที่กำหนดไว้ โดยเน้นการใช้เครื่องเก็บผักตบชวาระบบโซ่พาลำเลียงแบบติดตั้งริมฝั่ง

2. แผนงานควบคุมคุณภาพน้ำในแม่น้ำและคูคลองเชื่อมต่อ

เนื่องจากสาเหตุของการปนเปื้อนไนเตรตและฟอสเฟตในน้ำทิ้งทางการเกษตรและน้ำทิ้งชุมชนซึ่งเป็นการควบคุมปริมาณธาตุอาหารของผักตบชวาด้วยการลดปริมาณน้ำทิ้งและลดปริมาณการปนเปื้อนของธาตุอาหารพืชดังกล่าวโดยติดตั้งเครื่องเติมออกซิเจน ลดการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีทางการเกษตร การรวบรวมและบำบัดน้ำทิ้งชุมชนให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

3. แผนงานส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากผักตบชวา

เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากผักตบชวาที่เก็บได้จากจุดสกัดที่กำหนดไว้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ โดยการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ ปุ๋ยพืชสด ผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรม ทำงานหัตถกรรม ทำวัสดุสำหรับเพาะเห็ดฟาง ทำเป็นแท่งเพาะชำหรือกระถางเพาะชำ

4. แผนงานประชาสัมพันธ์และรณรงค์เก็บกำจัดผักตบชวา

โดยการให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการกำจัดและควบคุมปริมาณของผักตบชวาด้วยการเก็บและนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆในเชิงเศรษฐกิจ

การใช้ประโยชน์จากผักตบชวา

ดังได้กล่าวแล้วว่าผักตบชวานั้นเจริญเติบโตและแพร่ขยายพันธุ์ได้รวดเร็วมาก ดังนั้นการนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์จึงน่าที่จะเป็นวิธีการควบคุมการแพร่กระจายได้ดี ด้วยการนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ ใช้เพาะเห็ดฟาง ทำเครื่องใช้ ทำกระดาษหมักทำแก๊สหุงต้ม

การใช้เป็นอาหารสัตว์ และทำปุ๋ยหมัก เป็นต้น โดยจะกล่าวรายละเอียดเพิ่มเติมเฉพาะการใช้เป็นอาหารสัตว์และการหมักทำปุ๋ยเท่านั้น

1. การใช้เป็นอาหารสัตว์

สำหรับการใช้เป็นอาหารสัตว์นั้น มีงานวิจัยของวารุณี พานิชผล และพูลศรี ศุกระรุจิ (2540) กลุ่มงานวิเคราะห์อาหารสัตว์ กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ ซึ่งได้สุ่มเก็บตัวอย่างผักตบชวามาวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร พบว่าต้นสด (ใบรวมกับก้าน) มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่สูงถึง 90% โปรตีน 1% เถ้า 1.4% และเยื่อใย (NDF) 5.2% แต่เมื่อนำไปตากให้แห้งจะให้คุณภาพอาหารที่สูงขึ้น โดยที่ส่วนใบจะมีโปรตีนสูงถึง 16.8% มี NDF 50% แต่ก้านใบมีโปรตีนเพียง 6.5% และ NDF 51.6% รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของผักตบชวา (วารุณี พานิชผล และพูลศรี ศุกระรุจิ, 2540)

ตัวอย่าง	Dry mater	% on dry basis							
	(%)	Protein	Cellulose	ADF	NDF	Hemicellulose	Lignin	Calcium	Phosphorus
ใบ	14.9	16.8	27.2	28.8	50.0	21.2	1.3	2.1	0.5
ก้านใบ	8.10	6.5	35.9	37.5	51.6	14.1	1.3	1.9	0.5
ทั้งต้น	10.0	10.4	32.7	34.2	52.2	18.0	1.3	2.0	0.4

หมายเหตุ - NDF (Neutral Detergent Fiber) คือส่วนประกอบของผนังเซลล์ซึ่งไม่ละลายในสารละลาย detergent ที่เป็นกลาง ประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน คิวติน ซิลิกา เคราติน

- ADF (Acid Detergent Fiber) คือส่วนประกอบของผนังเซลล์ซึ่งไม่ละลายในสารละลาย Detergent ที่เป็นกรด ประกอบด้วยเซลลูโลส และลิกนิน ประมาณ 90% ส่วนที่เหลือ 10% จะเป็นพวกคิวติน เถ้าที่ไม่ละลายในกรด

การที่ผักตบชวาแต่ละส่วนมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน เช่น องค์ประกอบในใบจะสูงกว่าก้านใบ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากใบของพืชมีหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง สร้างอาหาร ดังนั้นจึงมีสารอาหารในรูปต่าง ๆ สะสมอยู่มากกว่าส่วนอื่น

รูปแบบการใช้ผักตบชวาในการเลี้ยงสัตว์ สามารถใช้ได้หลายรูปแบบ และเลี้ยงสัตว์ได้หลายชนิด ได้แก่ การใช้ในรูปพืชสด โดยนำมาหั่นเป็นท่อนสั้น ๆ ผสมรำ ปลายข้าว หรือต้มรวมกับเศษอาหารจากครัวเรือน การใช้ในรูปผักตบชวาแห้ง โดยมีกรรมวิธีการใช้และชนิดของสัตว์ที่นำไปเลี้ยงแตกต่างกันไป เช่น ผสมผักตบชวาแห้งในอาหารผสมปริมาณ 5% สำหรับเลี้ยงไก่กระทง

ในช่วงอายุ 0-8 สัปดาห์ จะทำให้ไก่มีอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณการกินอาหาร อัตราการแลกเนื้อ (อัตราการเปลี่ยนแปลงสารอาหารที่ได้รับไปเป็นเนื้อเยื่อต่าง ๆ เพื่อการเจริญเติบโต) และคุณภาพซากที่ดี (เมื่อสัตว์ตายจะมีลักษณะของเนื้อเรียบสวยงาม ไม่ช้ำเนื่องจากสุขภาพไม่แข็งแรง) นอกจากนี้ยังมีการใช้ในรูปพืชหมัก โดยการหั่นให้เป็นท่อนสั้น ๆ แล้วตากให้เหี่ยวลงเล็กน้อย ให้เหลือความชื้นประมาณ 70% จากนั้นจึงเติมกากน้ำตาล 10% เพื่อให้มีน้ำตาลมากพอสำหรับ Lactic acid bacteria จะใช้สร้างกรด และเติมกรดฟอร์มิค (Formic acid) 0.3% เพื่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดเร็วขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่อยู่ในกระเพาะของสัตว์จะเป็นกลุ่มที่ดำรงชีวิตแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) ซึ่งทำหน้าที่หลักในการย่อยอาหารที่สัตว์กินเข้าไป

2. การใช้ทำเป็นปุ๋ยหมัก

การหมักทำปุ๋ยก็เป็นวิธีการควบคุมปริมาณผักตบชวาวิธีการหนึ่ง อีกทั้งยังได้ใช้ประโยชน์ในทางการเกษตรซึ่งสอดคล้องกับการประกอบอาชีพเกษตรกรรมของประชากรเพื่อลดต้นทุนการผลิตที่ต้องใช้ปุ๋ยเคมีและผลกระทบจากสารเคมีการเกษตร ทั้งนี้เพราะว่าผักตบชวามีระบบรากฝอยเป็นจำนวนมาก สามารถดูดซับเอาอาหารพืชที่ปะปนอยู่กับตะกอนในน้ำและปะปนในน้ำมาไว้ในส่วนต่าง ๆ ของลำต้นและใบ ฉะนั้นการสลายตัวเป็นปุ๋ยหมักก็จะให้ปริมาณธาตุอาหารพืชสูงไปด้วย ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสำหรับใช้ปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี ชีวภาพ และกายภาพของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชในพื้นที่ดินเสื่อมโทรมขาดอินทรียวัตถุและต้นทุนการเก็บต่ำอีกด้วย

ทั้งนี้เอกสารประกอบการบรรยายในการอบรมโครงการใช้ผักตบชวาเป็นอาหารสัตว์ของชาญชัย มณีดุลย์ (2528) กล่าวถึงส่วนประกอบทางเคมีของผักตบชวาไว้ดังนี้คือ ใบผักตบชวามีฟอสฟอรัสและโพแตสเซียมสูง มีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณ 93-96% โปรตีน 5-18% โดยคิดจากน้ำหนักวัตถุแห้ง นอกจากนี้ในเอกสารวิชาการปุ๋ยชีวภาพ กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร (2542) มีรายงานว่า ผักตบชวามีปริมาณธาตุอาหารพืชคือ N – P – K เท่ากับ 1.55 - 0.46 - 0.49 ตามลำดับ ซึ่งพิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ (2540) ได้รายงานค่าวิเคราะห์ทางเคมีของผักตบชวาและปุ๋ยหมักจากผักตบชวาไว้ในคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าวิเคราะห์ทางเคมีของผักตบชวาและปุ๋ยหมักจากผักตบชวา (พิทยากร ลิ่มทอง, และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2540)

ตัวอย่าง	% N	% P_2O_5	% K_2O	% C	C/N	pH
ผักตบชวา	1.27	0.71	4.84	43.56	34	7.80
ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา						
ตัวอย่างที่ 1	0.30	0.20	3.25	-	-	-
ตัวอย่างที่ 2	1.19	0.87	3.06	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่มีข้อมูล

รายละเอียดเกี่ยวกับทำปุ๋ยหมัก

ความหมายของปุ๋ยหมัก

วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ (2541) กล่าวว่าปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำชิ้นส่วนของพืชมาหมักในรูปของการกองซ้อนทับกันบนพื้นดินหรือในหลุม สำหรับพจนานุกรมวิทยาศาสตร์ของวิทย์ เที่ยงบูรณธรรม (2534) ให้ความหมายของปุ๋ยหมักว่า เป็นปุ๋ยที่เกิดขึ้นจากการหมักเศษพืช สัตว์ ให้เน่าเปื่อย สลายตัวโดยการกระทำของจุลินทรีย์ในดิน หรือเป็นการย่อยสลายอินทรียวัตถุโดยกระบวนการทางธรรมชาติโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์เป็นสำคัญ ซึ่งบางท่านก็ให้นิยามว่า เป็นได้ทั้งกระบวนการใช้ออกซิเจน (aerobic process) และไม่ใช้ออกซิเจน(anaerobic process) สำหรับในแถบยุโรปจะเน้นเฉพาะกระบวนการที่ใช้ออกซิเจน (aerobic process) เท่านั้น (Rodrigues, n.d.) และในการศึกษานี้จะเป็นกระบวนการที่ใช้ออกซิเจนด้วยเช่นกัน เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุมดูแล

ความสำคัญของปุ๋ยหมัก

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตร ตามสถิติจำนวนพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทยที่ปรากฏในหนังสือสถานการณ์สิ่งแวดล้อมไทย 2539 โดยมูลนิธิโลกสีเขียว รายงานว่ามีพื้นที่สีเขียว 133 ล้านไร่ ในขณะที่พื้นที่ประเทศไทยทั้งหมด 320.6 ล้านไร่ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า แม้อาชีพเกษตรกรรมไม่ใช่อาชีพที่สร้างความร่ำรวย แต่การเกษตรเป็นพื้นฐานการดำเนินชีวิตและวิถีชีวิตของชาวชนบท และมีการพัฒนาจนเป็นการปลูกพืชเชิงเศรษฐกิจจึงต้องแข่งขันในด้านการเพิ่มผลผลิต สารพิษที่ใช้ในการเกษตรจึงมีการนำเข้าจากซีกโลกตะวันตกจำนวนมาก เช่น ปริมาณการนำเข้าสารพิษกำจัดศัตรูพืชในปี 2531 จำนวน 24,254 ตัน ปี 2536 มีจำนวน 29,696 ตัน สำหรับปี 2541 ประมาณ 3 ล้านตัน และมี

การผลิตในประเทศอีกประมาณ 10 ล้านตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2542) ซึ่งเป็นปริมาณสารอันตรายที่ใช้ในการลดปัญหาการรบกวนของศัตรูพืชและสัตว์ ทั้งประเภทอินทรียสารและอนินทรียสาร นอกจากนี้คุณภาพดินที่ใช้เพาะปลูกพืชก็มีคุณภาพด้อยลง ทั้งนี้โดยทั่วไปดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ของพืชนั้นจะประกอบด้วยองค์ประกอบและสัดส่วนที่เหมาะสมดังนี้คือ อนินทรียวัตถุ 45% อินทรียวัตถุ 5% น้ำ 25% และอากาศ 25% โดยปริมาตร และจากการที่ดินเสื่อมลงนั้น เกษตรกรจึงหันมานิยมใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อปรับปรุงดินซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากมากนัก มูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีจึงมากกว่าหมื่นล้านบาท (กาญจนา, 2543) อีกทั้งในปัจจุบันนี้ปุ๋ยเคมีมีราคาสูงมากขึ้น สืบเนื่องมาจากค่าของเงินบาทที่เปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของเกษตรกรเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก

ทั้งนี้จากการประเมินของฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ และวรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ (2540) พบว่าพื้นที่ที่มีปัญหาดินเสื่อมโทรมประมาณ 224.9 ล้านไร่ หรือคิดเป็น 70.13% ของพื้นที่ทั่วประเทศ และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณอินทรียวัตถุในดินของประเทศไทย พบว่าพื้นที่ที่มีอินทรียวัตถุต่ำกว่า 2% ครอบคลุมพื้นที่ 191 ล้านไร่ หรือคิดเป็น 60% ของพื้นที่ทั้งประเทศ การที่ปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำเนื่องมาจากสาเหตุ 5 ประการคือ

1. สาเหตุจากสภาพดินฟ้าอากาศ เพราะประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนและมรสุม อากาศร้อนและมีฝนตกชุกเป็นสภาพที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ทำให้อินทรียวัตถุสลายตัวจากดินได้อย่างรวดเร็ว

2. เกษตรกรไทยใช้พื้นที่ทำการเพาะปลูกติดต่อกันมาโดยไม่มีการเพิ่มอินทรียวัตถุลงไปเพิ่ม และการไถพรวนแต่ละครั้งก็เป็นการเร่งให้อินทรียวัตถุสลายตัวเร็วขึ้น

3. การหักล้างถางพงและทำลายป่าอยู่ตลอดเวลาจนกระทั่งปุ๋ยธรรมชาติที่เกิดจากการทับถมของใบไม้และใบหญ้าน้อยลงไปทุกที

4. การทำการเกษตรที่ขาดการอนุรักษ์ดินและน้ำซึ่งเป็นสาเหตุให้หน้าดินที่อุดมสมบูรณ์ด้วยแร่ธาตุอาหารพืชและอินทรียวัตถุถูกชะล้างลงสู่แม่น้ำลำคลองตลอดเวลา

5. สภาพของท้องที่ ซึ่งดินที่เกิดขึ้นมาจากหินทรายจะมีคุณลักษณะที่ขาดความอุดมสมบูรณ์โดยธรรมชาติอยู่แล้ว เมื่อสลายตัวเป็นดินก็ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกเท่าที่ควร การให้น้ำและปุ๋ยเคมีจึงมักได้ผลน้อยเนื่องจากสูญหายไปจากดินได้รวดเร็วเพราะไม่มีส่วนยึดเอาไว้ ส่วนดินเหนียวที่ขาดอินทรียวัตถุ ดินก็จะแน่นทึบ ทำให้น้ำไม่สามารถผ่านช่องว่างของเม็ดดินได้และไหลผ่าน หน้าดินไปอย่างรวดเร็ว พาเอาแร่ธาตุอาหารพืชหรือปุ๋ยที่อยู่ผิวหน้าดินไปด้วย

ดังนั้นการใช้ปุ๋ยหมักนอกจากจะเป็นผลดีต่อการปรับปรุงคุณสมบัติของดินทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตพืชแล้ว ยังมีผลตอบแทน

ทางเศรษฐกิจที่ดีอีกด้วย ทั้งนี้จากการประเมินเปรียบเทียบระหว่างการใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมีที่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวในภาคต่าง ๆ ของประเทศ ซึ่งรายจ่ายที่นำมาคำนวณเป็นรายจ่ายที่เกี่ยวข้องกับการใช้ปุ๋ยเคมี และสารเร่งจุลินทรีย์สำหรับปุ๋ยหมักซึ่งประกอบด้วยสารเร่งจุลินทรีย์กับปุ๋ยยูเรีย ดังแสดงในตารางที่ 3 (ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, และวรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, 2540)

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการใส่ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมี ต่อผลผลิตข้าวพันธุ์ กข.7 ที่ จ.เชียงใหม่ (ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, และวรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, 2540)

แปลงทดสอบ	ผลผลิต (กก./ไร่)	ผลผลิตเพิ่ม (%)	รายได้จากผลผลิต (บาท/ไร่)	รายจ่ายค่าปุ๋ยเคมี/สารเร่งจุลินทรีย์ (บาท/ไร่)	รายได้สุทธิ (บาท/ไร่)
ไม่ใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมี	500	-	2,856	-	2,856.00
ใส่ปุ๋ยหมัก 3 ตัน/ไร่	700	25	3,570	153.60	3,416.40
ใส่ปุ๋ยเคมี 30 กก./ไร่	800	42.9	4,080	162.00	3,918.00
ใส่ปุ๋ยหมัก 3 ตัน/ไร่ และปุ๋ยเคมี 15 กก./ไร่	940	67.9	4,794	234.60	4,559.40

หมายเหตุ : ปุ๋ยที่ใช้ในการทดลองสูตร 16-20-0 ราคา กก. ละ 5.40 บาท ราคาสารเร่งจุลินทรีย์ซองละ 39.00 บาท ราคาปุ๋ยยูเรีย กิโลกรัมละ 6.10 บาท ราคาข้าวเปลือกเจ้านาปี 5% กิโลกรัมละ 5.10 บาท ราคาข้าวเหนียว กิโลกรัมละ 5.90 บาท

ในปัจจุบันจึงหันมาทำการเกษตรที่เน้นกระบวนการผลิตแบบธรรมชาติ เช่น การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของธรรมชาติโดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้น ทั้งนี้ประเทศไทยมีศักยภาพในด้านการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เป็นอย่างมากเนื่องจากพืชถือได้ว่าเป็นแหล่งสำคัญที่สุดที่ให้อินทรีย์วัตถุแก่ดินเพราะเป็นสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองได้โดยการสังเคราะห์แสง ทั้งนี้สารประกอบอินทรีย์ในพืชที่พบโดยทั่วไปได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน แป้ง สารประกอบเพคติด อินูลิน ไคติน โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไป

วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักนั้นส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุเหลือใช้ประเภทต่าง ๆ สามารถจำแนกเป็นแหล่งใหญ่ ๆ ได้คือ

1. วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว ต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด ต้นและเปลือกถั่วชนิดต่าง ๆ และเศษต้นอ้อย เป็นต้น

2. วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร ได้แก่ กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล แกลบจากโรงสีข้าว ขี้เลื่อยจากโรงเลื่อยจากการแปรรูปไม้ ขุยมะพร้าวจากโรงงานบางประเภท ไส้ปอและขุยไผ่จากโรงงานผลิตกระดาษ และเศษวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น นอกจากนั้น น้ำทิ้งจากโรงงานบางประเภทก็ยังสามารถใช้ทำปุ๋ยหมักได้โดยใช้แทนน้ำในการรักษาระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมัก เช่น น้ำกากส่าจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตผลชูรส (วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และณวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2541 อ้างอิงจาก พิทยากร ถิ่มทอง, 2536) น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังและน้ำทิ้งจากโรงงานประกอบอาหารและผลไม้กระป๋อง เป็นต้น

3. วัสดุเหลือใช้จากบ้านเรือนซึ่งกรุงเทพมหานครได้นำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์แต่ต้องแยกเอาวัสดุปะปนออกก่อน ได้แก่ เศษแก้ว เศษโลหะและเศษพลาสติก ปัจจุบันกำลังการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของกรุงเทพมหานครไม่สามารถรองรับได้ทันต่อปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้น จึงเหลือขยะอยู่มากมายและเป็นตัวการที่สำคัญที่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นแหล่งก่อกำเนิดพาหะนำโรคมาสู่คน ดังนั้นการทำปุ๋ยหมักโดยใช้เศษขยะจากครัวเรือน รวมทั้งใบไม้ เศษหญ้า และมูลสัตว์เลี้ยงมาเป็นวัสดุทำปุ๋ยหมักนั้น นอกจากจะได้ปุ๋ยหมักไว้ใช้ในครัวเรือนแล้วยังเป็นการช่วยลดมลภาวะอีกด้วย

4. วัชพืช เป็นแนวทางการกำจัดวัชพืชที่เป็นการนำมาใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างดีและยังประหยัดอีกทางหนึ่ง ซึ่งหากกำจัดด้วยการใช้สารเคมีนอกจากต้องลงทุนสูงแล้ว ผลกระทบจากสารตกค้างที่เหลืออยู่ยังส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมด้านอื่น ๆ อีกด้วย

สารประกอบอินทรีย์ที่พบในพืช

สารประกอบที่พบในพืชซึ่งเป็นโครงสร้างส่วนใหญ่ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน แป้ง เป็นต้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. เซลลูโลส (cellulose)

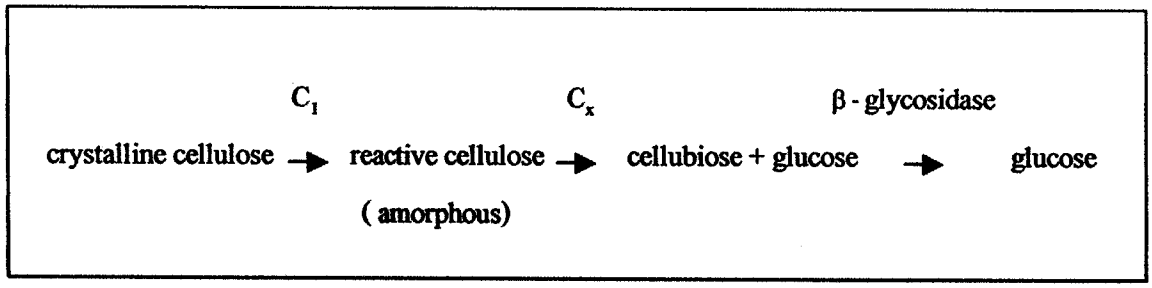
เซลลูโลสเป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดในพืชชั้นสูง โดยมีอยู่ประมาณ 15-60 % ของน้ำหนักแห้ง โดยส่วนใหญ่จะเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์และเส้นใยต่าง ๆ ในพืช โครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลส พบว่าที่ผนังเซลล์ชั้นที่สอง (secondary cell wall) จะเป็นส่วนที่พบเซลลูโลสมากที่สุด และมีปริมาณลดลงในส่วนของ middle lamella โดยที่โครงสร้างของเซลลูโลส ประกอบด้วย

กลูโคสที่เกาะยึดด้วย β-linkage ที่คาร์บอนอะตอมตัวที่ 1 และ4 ของโมเลกุล (β-1,4 glycosidic) เป็นจำนวน 1,400–10,000 โมเลกุล และมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 200,000 – 2,000,000 มีการจัดเรียงตัวของกลูโคสในลักษณะเป็นแท่ง (rod shaped unit) ที่เรียกว่า ไมเซลล์ (micell) โดยที่ไมเซลล์จะจัดเรียงตัวกันมีโครงสร้างใหม่ขึ้นเรียกว่า ไมโครไฟบริล (microfibril) อาจประกอบด้วย 10-20 ไมเซลล์ แต่ละสายของ microfibril จะเชื่อมต่อระหว่างสายที่ขนานกันด้วยพันธะไฮโดรเจน บริเวณที่มีการจัดเรียงตัวของเซลลูโลสอย่างเป็นระเบียบสูง เรียกว่าบริเวณ crystalline จะมีอยู่ประมาณ 50-90% (สวรินทร์ ทั่งจันทร์, 2542 อ้างอิงจาก Fan & Lee, 1983) ส่วนที่มีการจัดเรียงโมเลกุลอย่างไม่เป็นระเบียบเรียกว่า amorphous ซึ่งเป็นบริเวณที่ถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ง่ายกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเอนไซม์สามารถแทรกผ่านได้ง่ายกว่าบริเวณ crystalline และในผนังเซลล์การจัดเรียงตัวนี้จะมีช่องว่างระหว่างกัน เมื่อเนื้อเยื่อแก่ตัวขึ้น ช่องว่างนี้จะมีลิกนินบรรจุอยู่

ในธรรมชาติการย่อยสลายเซลลูโลสจะเกิดการย่อยสลายโดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดรวมกัน ในสภาวะที่มีออกซิเจนผลที่ได้จากการย่อยสลายคือคาร์บอนไดออกไซด์ ฮิวมัส ความร้อน และจุลินทรีย์เซลล์ใหม่ ส่วนในสภาวะไม่มีออกซิเจนผลที่ได้จากการย่อยสลายคือ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน เอทานอล กรดอะซิติค กรดฟอร์มิค กรดซัคซินิค กรดแลคติค โดยการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลสเป็นสำคัญ ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส เป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายพันธะ β-1,4 glycosidic ภายในโมเลกุลเซลลูโลสซึ่งจำเป็นต้องอาศัยเอนไซม์เซลลูเลสที่แตกต่างกันหลายองค์ประกอบเพื่อทำการย่อยสลายเซลลูโลสให้ได้น้ำตาลกลูโคส ซึ่ง Robson and Chambliss (1989) กล่าวว่าระบบเอนไซม์เซลลูเลสประกอบด้วยเอนไซม์ย่อย ๆ อีกอย่างน้อย 3 เอนไซม์ ได้แก่ endocellulase cellobiohydrolase และ β - glycosidase นอกจากนี้ Mulburg, Lee & Forsberg, (1992) กล่าวถึงระบบเอนไซม์เซลลูเลสมี 3 องค์ประกอบคือ C_1-component ซึ่งเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายเซลลูโลสในธรรมชาติให้เป็นโครงสร้างที่ง่ายต่อการย่อยสลาย หรือ reactive cellulose และ C_x-Coponent ซึ่งเกี่ยวข้องกับการย่อยสลาย reactive cellulose และได้ cellobiose องค์ประกอบที่สามคือ β - glycosidase ซึ่งทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลาย cellobiose ให้เป็นหน่วยย่อยคือกลูโคสซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยตรง ดังแสดงเป็นแผนผังกลไกการทำงานในภาพที่ 4

ความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสพบในจุลินทรีย์ทุกกลุ่ม อย่างไรก็ตามกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในกานย่อยสลายเซลลูโลสในธรรมชาติคือรา ซึ่งพบว่ามีหลากหลายชนิด เช่น *Aspergillus* sp., *Chaetomium cellulolyticum*, *C. globosum* , *C. thermophile* ,*Talaromyces emersonii*, *Penicillium funiculosum*, *Fusarium solani*, *Trichoderma* spp., *Agaricus bisporus*,

*Pythium*spp., *Neocallimastix frontails* เป็นต้น(Ilmen, Saloheimo, Onnela, & Penttila, 1997; Markham, & Bazin, 1991)



ภาพที่ 4 แผนผังกลไกการทำงานของระบบเอนไซม์เซลลูเลส (Mulburg, et al., 1992)

2. เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสจะมีอยู่ในพืชประมาณ 10-30 เปอร์เซ็นต์ เป็นโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่ไม่ละลายน้ำ สกัดได้จากพืชโดยใช้การไฮโดรไลซีส (hydrolysis) ด้วยกรดที่ร้อน จะพบว่ามีส่วนของน้ำตาลจำนวนมาก จึงมีการจำแนกโพลีแซคคาไรด์นี้ตามชนิดของน้ำตาลที่มีอยู่มาก เช่น xylan , araban ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาล pentose และยังมี mannan , galactan ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลเฮกโซส (hexose) นอกจากน้ำตาลแล้วยังได้กรดยูโรนิค (uronic acid) สามารถแบ่งเฮมิเซลลูโลสออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1) Homoglycan จะประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) ชนิดเดียว เช่น xylan, mannan และ galactan ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาล xylose, mannose และ galactose ตามลำดับ ซึ่งจะไม่พบ homoglycan ในพืชมากนัก

2) Heteroglycan จะประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) มากกว่า 1 ชนิดหรือมีกรดยูโรนิคด้วย โดยทั่วไปจะพบน้ำตาลได้ 2-4 ชนิด ชื่อของเฮมิเซลลูโลสจึงเป็นชื่อผสมของน้ำตาล โดยที่น้ำตาลชนิดที่มีจำนวนมากที่สุดจะเป็นพยางค์ท้าย เช่น glucomannans, arabinoxylans, arabinogalactans, arabinoglucuronoxylans เป็นต้น ซึ่งพบได้ตามผนังเซลล์ของพืช

เฮมิเซลลูโลสเหล่านี้มีโครงสร้างที่ซับซ้อนพอสมควร โดยอาจมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบได้ตั้งแต่ 50-200 โมเลกุล การจัดเรียงตัวอาจเป็นแบบเส้นตรง คล้ายแบบเซลลูโลส หรืออาจมีแขนและแขนงมากมาย การย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด จุลินทรีย์หลายชนิดโดยเฉพาะรา เช่น *Neocallimastix frontails*, *N. patriciarum*, *Pyromyces communis*, *Piromonas* spp., *Sphaeromonas communis* (Malburg, et al, 1992) เป็นต้น ราเหล่านี้มีความสามารถ

ผลิตเอนไซม์ออกนอกเซลล์ (extracellular hydrolytic enzyme) เพื่อย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสให้เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเพื่อนำเข้าสู่เซลล์

3. ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินจะพบมากในพืชที่มีอายุมาก โดยแทรกอยู่ตามผนังเซลล์ของพืชที่ secondary wall และอาจพบอยู่ในชั้น middle lamella โดยทั่วไปจะรวมอยู่กับโพลีแซคคาไรด์ดังที่ได้กล่าวแล้วในข้างต้น ในไม้เนื้อแข็งจะมีอยู่ประมาณ 20-35% ส่วนในไม้เนื้ออ่อนมีอยู่ประมาณ 10-15% ลิกนินจะละลายได้ในด่าง ดูดซับแสงที่ความยาวคลื่น 280 nm พบว่าลิกนินเป็น modified benzene derivative มีหน่วยย่อยคือ oxyphenylpropanoid ต่อกันด้วยพันธะ C-C และ C-O-C แบบต่าง ๆ มีโครงสร้างเป็นแบบสามมิติ ซับซ้อนและไม่เป็นระเบียบ จากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าประกอบด้วยคาร์บอน 64% ไฮโดรเจน 6% และ methoxyl group (- OCH_3) 14% บทบาทที่สำคัญในพืชคือทำให้เกิดโครงสร้างและความแข็ง โดยทั่วไปการย่อยสลายลิกนินเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจากเซลล์ของรา (extracellular enzyme) เช่น เอนไซม์ประเภทเปอร์ออกซิเดส (peroxidases) และแลคเคส (laccases) ซึ่งเรียกรวมว่า ligninolytic enzymes และมีกลไกการย่อยสลายลิกนินแบบไม่จำเพาะ (nonspecific)

ราที่พบนั้นแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) white-rot fungi เช่น *Fomes* spp., *Polyporus* spp., *Ganoderma* spp., *Inotus* spp., *Bjerkandera* spp., *Plurotus* spp. และ *Xylobolus* spp. เป็นต้น แต่ที่สำคัญคือ *Phanerocheate chrrysosporium* (Odier & Artaud, 1992) (2) brown-rot fungi เช่น *Poria* spp., *Lenzites* spp. และ *Tyromyces* spp. เป็นต้น และ (3) soft-rot fungi เช่น *Chaetomium* spp., *Cephalosporium* spp., *Graphium* spp., *Monodictys* spp. และ *Paecilomyces* spp., เป็นต้น (Buswell, 1991; ศิริโฉม ทุ่งเก้า, 2543)

4. แป้ง (Starch)

แป้งเป็น hexose polymer ที่พบในพืชหลายส่วนด้วยกัน เช่น ที่ใบ ในท่อน้ำ ท่ออาหาร ลำต้น หัว เป็นต้น แป้งในพืชมี 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ amylose ซึ่งพบโดยประมาณ 15-20% ของแป้งทั้งหมด ซึ่งโมเลกุลนั้นจะประกอบด้วยกลูโคส 200-500 โมเลกุล จับกันแบบ α-1,4-glucoside และ amylopectin ซึ่งพบโดยประมาณ 75-85% ของแป้งทั้งหมด มีการจัดเรียงตัวของกลูโคสเช่นเดียวกับ amylose แต่มีแขนงแตกออกด้านข้างแบบ α–1,6-glucosidic linkages (Antranikian, 1992) ทั้งนี้จะพบจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายแป้งได้หลากหลายในกลุ่มของแบคทีเรีย แอคติโนมัยซิส และรา

ในการทำปุ๋ยหมักจากพืช จุลินทรีย์จะย่อยสลายเศษซากพืชให้กลายเป็นโมเลกุลที่สามารถนำไปใช้ในการเจริญได้ สารประกอบที่เกี่ยวข้องในขบวนการทำปุ๋ยหมักจากพืชแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ตามลำดับการย่อยสลาย คือ (1) เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส แป้ง น้ำตาล น้ำมัน ไขมัน (2) โปรตีน

กรดอะมิโน เอไมด์ (3) ลิกนิน แทนนินและอื่น ๆ โดยที่สารประกอบ 2 กลุ่มแรกจะถูกจุลินทรีย์พวกหนึ่งย่อยสลายให้กลายเป็นสารประกอบภายในเซลล์ของจุลินทรีย์เอง และสารประกอบที่เป็นผลพลอยได้จากขบวนการเมตาบอลิซึมจะถูกย่อยต่อไปให้กลายเป็นสารประกอบอะโรมาติก กรดอะมิโน และโปรตีน ซึ่งสารประกอบอะโรมาติกรวมตัวกับกรดอะมิโนและโปรตีนกลายเป็นฮิวมัส ถึงแม้ว่าสารในกลุ่มที่ (3) คือลิกนินและแทนนินนั้นจะเป็นสารประกอบที่สลายตัวยาก แต่ก็มีจุลินทรีย์บางชนิดโดยเฉพาะรา ดังที่ได้กล่าวแล้วในตอนต้น สามารถย่อยสลายให้กลายเป็นลิกนินที่ย่อยสลายได้ง่ายขึ้น (modified lignin) รวมทั้งสารประกอบอะโรมาติก แล้วรวมตัวกับกรดอะมิโนและโปรตีนกลายเป็นฮิวมัสเช่นเดียวกัน ฮิวมัสที่ได้นี้แม้ว่าจะคงทนต่อการสลายตัวแต่ก็สามารถที่จะสลายตัวอย่างช้าๆ กลายเป็นน้ำ ก๊าซแอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งฮิวมัสนี้จะเป็นประโยชน์ต่อพืชในระยะยาว อีกทั้งสารประกอบฮิวมัสยังแสดงคุณสมบัติเป็นประจุลบซึ่งจะช่วยยึดธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวกและยังมีผลให้อนุภาคดินเกาะตัวกัน มีการระบายอากาศดีขึ้นอีกด้วย (ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ และวรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, 2540)

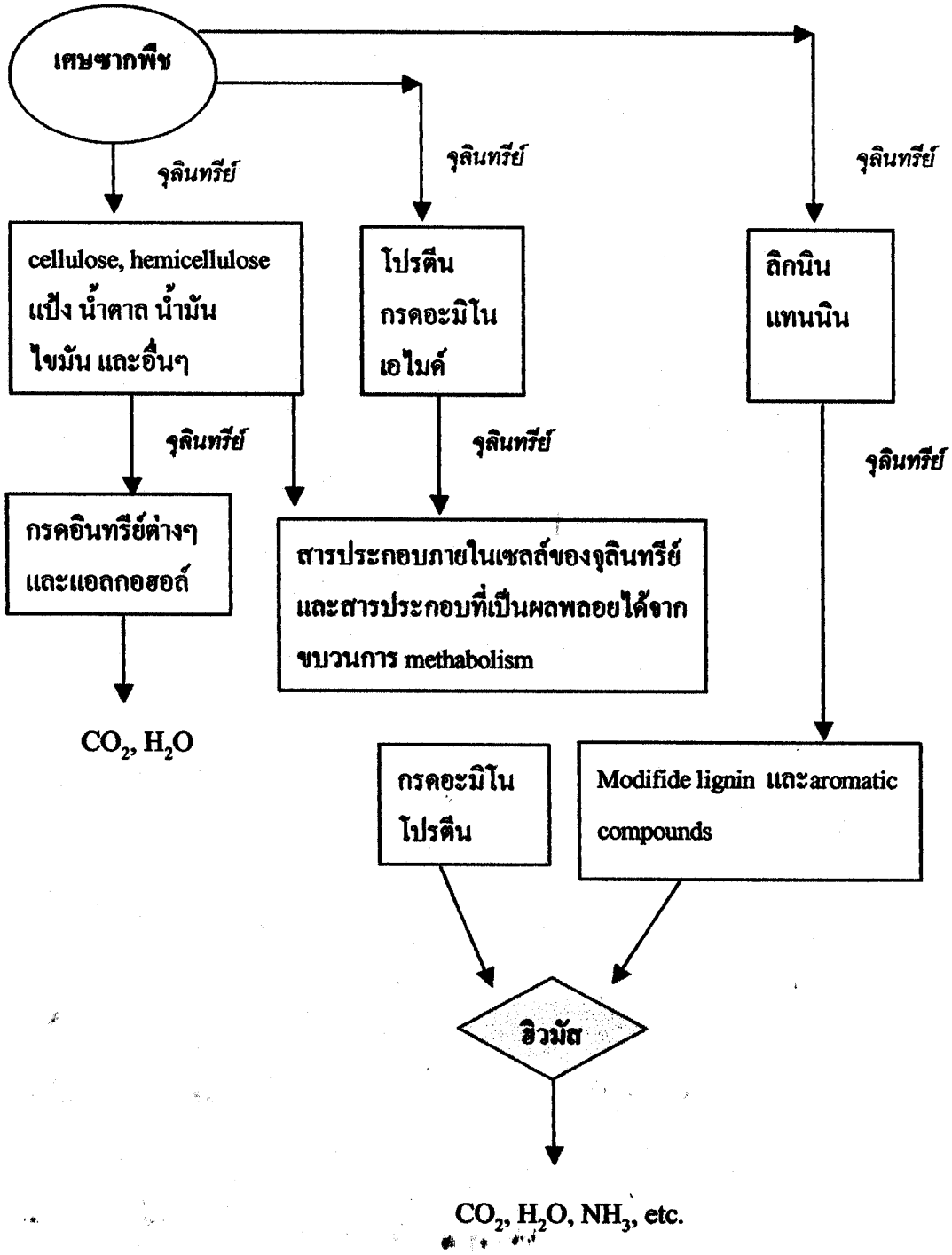
รูปแบบของการหมักปุ๋ย

รูปแบบของการหมักปุ๋ยแบ่งเป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ ได้แก่

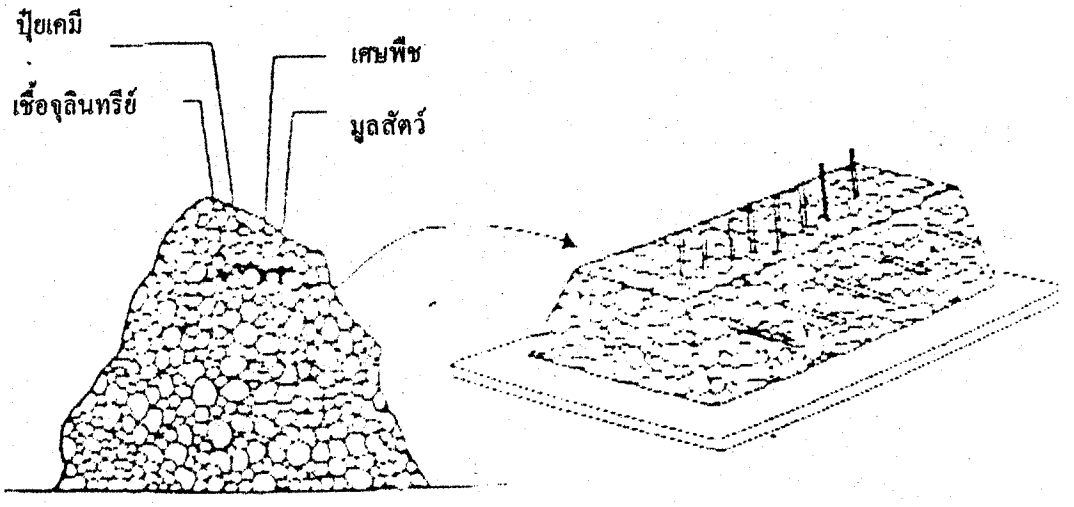
1. การหมักแบบใช้ออกซิเจน (aerobic decomposition)

การหมักแบบใช้ออกซิเจนเป็นการย่อยสลายอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนซึ่งจะให้ผลผลิตสุดท้ายอย่างรวดเร็วและไม่ส่งกลิ่นรบกวนรุนแรง และยังแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

1.1 Windrow composting หรือ Passive method เป็นการหมักโดยใช้ออกซิเจนในอากาศตามธรรมชาติ ซึ่งวิธีนี้คล้ายกับวิธี Chiness Composting (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8, 2542) ได้แก่ การนำเอาวัสดุหมักซึ่งเป็นพวกอินทรียวัตถุที่ย่อยสลายได้นำไปกองไว้บนพื้นและมีการพลิกกลับกองเป็นครั้งคราวเพื่อให้ออกซิเจนแทรกเข้าไปในกองหมักได้มากที่สุด การหมักแบบนี้จึงมักกองไว้เป็นแถวยาว โดยให้มีความกว้าง ความยาวและความสูงพอสมควรที่จะไม่ก่อให้เกิดสภาพไร้อากาศ (anaerobic) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ 13 × 3 × 1.5 เมตร และทำการกลับกองด้วยมือทุก ๆ อาทิตย์ ระยะเวลาของการหมักด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความถี่ของการกลับกอง โดยทั่วไปอยู่ประมาณ 20-40 วัน รวมทั้งมีการพัฒนาระบบการเติมอากาศในลักษณะต่าง ๆ เช่น Chinese covered pile method ที่ใช้ไม้ไผ่เจาะรูปักไว้ในกองเพื่อเพิ่มการระบายอากาศภายในกอง ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 การสลายตัวของซากพืชและการเกิดฮิวมัส (นลินี ว่องมงคลฤทธิ์, 2536)



ภาพที่ 6 การกองปุ๋ยหมักของ Chinese covered pile method (Hoornweg, Thomas, Otten. 1999)

นอกจากนี้ยังมีรูปแบบง่าย ๆ สำหรับ windrow composting หรือการกองปุ๋ยหมักกลางแจ้ง ได้แก่

1) การกองบนพื้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ประหยัดที่สุด ทำได้โดยการนำเศษวัสดุมากองบนพื้นที่ราบ อาจจะเป็นพื้นดินธรรมดาหรือพื้นซีเมนต์ รวมทั้งอาจทำเป็นคอกด้วยก็ได้ ทั้งนี้อาจทำกลางแจ้งหรือในโรงเรือน ซึ่งการกองในโรงเรือนจะช่วยลดการระเหยของน้ำจึงเป็นการประหยัดการรดน้ำแก่กองปุ๋ย อีกทั้งธาตุอาหารบางชนิดจะไม่สูญเสียไปกับการชะล้างของน้ำฝนอีกด้วย

2) การกองในหลุมเพื่อเป็นการรักษาความชื้นและสะดวกต่อการปฏิบัติ สถานที่ควรเป็นที่ดอน น้ำท่วมไม่ถึง ขนาดหลุม 2 × 4 × 1 หรือ 3 × 6 × 1 เมตร และควรมีการระบายน้ำออกจากหลุมด้วย หรือเป็นท่อขนาด 3 × 3 × 3 ฟุต

1.2 High rate composting หรือ **Active method** เป็นการหมักโดยการเร่งอัตราการย่อยสลายโดยใช้เครื่องจักรกลช่วยเพื่อให้ออกซิเจนแทรกเข้าไปสัมผัสกับวัสดุหมักได้ทั่วถึง ทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรียวัตถุได้เร็วขึ้น ซึ่งเป็นวิธีที่นำมาใช้สำหรับโรงงานปุ๋ยหมักที่ทันสมัย โดยทั่วไปวิธีทำจะแตกต่างกันตามแต่วิศวกรผู้ออกแบบ เช่น In-Vessel composting ซึ่งเป็นการหมักในถังโดยมีการออกแบบให้มีการใช้เครื่องจักรเติมอากาศและการพลิกผสมตัวอย่างซึ่งสามารถลดกลิ่นรบกวน และลดระยะเวลาในการหมักให้สั้นลง เป็นต้น (Hoornweg, et al. 1999)

2. การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic decomposition)

การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นการย่อยสลายอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งจะให้ผลผลิตสุดท้ายช้ากว่าและส่งกลิ่นเหม็น อีกทั้งการเปลี่ยนเป็นสารอาหารของพืชน้อยกว่าแบบที่ใช้ออกซิเจน

วิธีการเตรียมกองปุ๋ยหมัก

โดยทั่วไปไม่มีข้อกำหนดที่แน่นอน ขึ้นอยู่กับปัจจัยของวัสดุที่มีอยู่ ได้แก่ วัสดุเศษพืช มูลสัตว์ ปุ๋ยไนโตรเจน และสารตัวเร่ง เป็นต้น ซึ่งวิธีการกองสารมารถเลือกได้ตามความเหมาะสม โดยแบ่งได้ 5 วิธีการดังนี้คือ (วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2540)

1. การกองแบบใช้เศษพืชอย่างเดียว ควรให้มีขนาดกว้างประมาณ 2-3 เมตร สูงประมาณ 1.0-1.5 เมตร ความยาวของกองไม่จำกัด แล้วย่ำกองให้แน่น รดน้ำให้ชุ่ม แล้วปิดทับด้วยดินที่ผิวด้านบนให้หนาประมาณ 1-2 นิ้ว ซึ่งควรเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์เพราะจะมีปริมาณจุลินทรีย์สำหรับย่อยสลายอินทรีย์วัตถุอยู่เป็นจำนวนมาก

2. การกองโดยผสมมูลสัตว์ซึ่งอาจจะใช้อัตราส่วนวัสดุเศษพืชต่อมูลสัตว์ 100 ต่อ 20 (โดยน้ำหนัก) หรือมากกว่านี้ก็ได้ โดยนำเศษวัสดุมากองเป็นชั้นให้กว้างประมาณ 2-3 เมตร สูงประมาณ 30-40 เซนติเมตร ย่ำให้แน่นแล้วรดน้ำให้ชุ่ม จากนั้นจึงนำมูลสัตว์มาโรยที่ผิวหน้าให้ทั่ว แล้วปิดทับด้วยวัสดุอีกชั้นหนึ่ง โดยทำเช่นนี้ประมาณ 3-4 ชั้น

3. การกองปุ๋ยหมักโดยผสมมูลสัตว์และปุ๋ยไนโตรเจน อัตราส่วนของปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้คือ 2.0 กิโลกรัมต่อเศษพืช 1 ตัน โดยสรุปคือ เศษพืช : มูลสัตว์ : ปุ๋ยไนโตรเจน เท่ากับ 100 : 20 : 0.2 ตามลำดับ สำหรับวิธีการกองนั้นเช่นเดียวกับวิธีที่ 2 โดยเมื่อโรยมูลสัตว์ที่ผิวหน้าของเศษพืชแล้วจึงโรยปุ๋ยไนโตรเจน

4. การกองปุ๋ยหมักโดยผสมสารเร่งประเภทจุลินทรีย์ โดยเมื่อโรยมูลสัตว์และปุ๋ยไนโตรเจนที่ผิวหน้าของเศษพืชแล้วจะราดสารละลายของสารเร่งให้ทั่วโดยทำการแบ่งเป็นชั้น ๆ เช่นกัน แต่หากวัสดุมีขนาดเล็กอาจทำการคลุกเคล้าให้เข้ากันโดยไม่ต้องทำเป็นชั้น ๆ แต่จะต้องจัดให้มีการระบายอากาศอย่างเพียงพอต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

5. การกองปุ๋ยหมักโดยวิธีการต่อเชื้อซึ่งจะสามารถนำปุ๋ยหมักที่ทำได้มาใช้เป็นต้นตอเชื้อจุลินทรีย์ โดยมีอัตราส่วนวัสดุเศษพืช 1 ตันผสมกับปุ๋ยหมักที่ได้ 200 กิโลกรัมและปุ๋ยไนโตรเจน 2 กิโลกรัม ทั้งนี้วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ (2540) ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักที่ทำจากฟางข้าวและขี้เลื่อย พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนสูงสุดในช่วง 15 วันแรก ดังนั้นการกองปุ๋ยหมักโดยการต่อเชื้ออาจจะใช้วัสดุจากกองปุ๋ยหมักที่ 15 วันไปเป็นต้นตอเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขบวนการทำปุ๋ยหมัก

การหมักวัสดุเพื่อทำปุ๋ยอาศัยกระบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในวัสดุนั้นเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะจุลินทรีย์พวกที่ต้องการออกซิเจน ซึ่งกระบวนการหมักประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. การย่อยสลายอย่างเข้มข้น (Intensive rotting phase หรือ active stage) ระยะนี้อุณหภูมิของกองหมักจะสูงถึง 45 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ประเภทที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง (mesophilic) หลังจากนั้นกองหมักจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงประมาณ 75 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์ประเภทที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง (thermophilic) และจะทำให้เชื้อโรคที่อยู่ในวัสดุหมักส่วนใหญ่ตายได้ ระยะเวลาของการเกิดกลไกนี้ประมาณ 3-6 สัปดาห์ ขึ้นอยู่กับวิธีการหมักและองค์ประกอบวัสดุหมัก

2. การย่อยสลายขั้นสุดท้าย (Final rotting phase หรือ curing stage) หลังจากการย่อยสลายอย่างเข้มข้นเสร็จสิ้นแล้วอุณหภูมิของสารหมักจะค่อย ๆ ลดลงจนเหลือประมาณ 30 องศาเซลเซียส อินทรีย์สารที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น พวกเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายในขั้นนี้ จะใช้เวลาตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไป

ปัจจัยที่มีผลต่อขบวนการหมักปุ๋ย

1. ลักษณะของเศษวัสดุ (characteristic of plant residue)

วัสดุที่มีขนาดใหญ่ เช่น ตักตบชวา การผสมคลุกเคล้าจะทำได้ไม่ทั่วถึง แต่จะทำให้ภายในกองปุ๋ยหมักมีการระบายอากาศดีกว่า (เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์ และนวลจันทร์ ภาสดา, 2540) ทั้งนี้ สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ (2541) ได้กล่าวถึงขนาดของวัสดุหมักไว้ว่าที่เหมาะสมคือ 2.5-5.0 เซนติเมตร นอกจากนี้การหมักมักจะใช้เศษพืชที่แห้งมากกว่าพืชสด เนื่องจากสะดวกในการกองและควบคุมสภาพแวดล้อมในด้านความชื้นและการระบายอากาศซึ่งจะส่งผลต่อกระบวนการเกิดกลิ่นเหม็นของก๊าซที่ปลดปล่อยจากขบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นในกรณีที่เป็นเศษพืชสด เช่น ผักตบชวา อาจจะนำมาตากแดดประมาณ 2-3 วัน เพื่อให้น้ำระเหยออกจากวัสดุหมัก

2. องค์ประกอบทางเคมีของเศษวัสดุที่นำมาหมัก (composite of residue)

โดยทั่วไปการทำปุ๋ยหมักมักจะพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของเศษวัสดุนั้น ๆ เพราะโครงสร้างของเศษพืชส่วนมากจะไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก แต่สิ่งสำคัญอยู่ที่องค์ประกอบของไนโตรเจนซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดอัตราการย่อยสลาย ซึ่งสารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นสารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งจากการศึกษาองค์ประกอบของเซลล์จุลินทรีย์จะพบธาตุคาร์บอน 50% ไนโตรเจน 5-15% (ดวงพร คันธโชติ, 2545) โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายอินทรียคาร์บอน จนได้โมเลกุลเล็กและนำเข้าเซลล์

เพื่อใช้เป็นแหล่งของพลังงานและสร้างส่วนประกอบของเซลล์ สำหรับสารประกอบไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายและนำไปใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนเพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์ เช่น โปรตีน และกรดนิวคลีอิก เป็นต้น โดยปกติเซลล์ของจุลินทรีย์มีค่า C/N ratio ประมาณ 10-15 ซึ่งหมายความว่าการที่จุลินทรีย์ดูดสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าในเซลล์ 10-15 หน่วย จำเป็นต้องใช้สารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วย จึงทำให้เกิดความสมดุลของสารประกอบทั้งสองในเซลล์ และจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดี (เสียงแจ้ว พิริยะพฤนต์ และนวลจันทร์ ภาสดา, 2540) นอกจากนั้น วัสดุเศษพืชบางชนิดที่มีค่า C/N ratio สูงมาก เนื่องจากมีองค์ประกอบของลิกนิน ค่อนข้างสูงซึ่งทำให้ย่อยสลายได้ยาก ค่า C/N ratio ที่เหมาะสมสำหรับเริ่มหมักคือ 25-35 (สมทิพย์ ด่านธีรวนิช, 2541) แต่ปรัชญา ปัญญาดี, พิทยากร ลิ้มทอง และณวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ (2540) กล่าวถึง C/N ratio ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายมีค่าประมาณ 30-35 และเมื่อลดลงเหลือ ต่ำกว่า 20 แล้วถือว่าสามารถนำปุ๋ยหมักดังกล่าวไปใส่ในดินได้โดยไม่ทำให้พืชเป็นอันตรายและเป็นปุ๋ยคุณภาพดี ทั้งนี้ San Diego Composters (2000) ได้เสนอวัสดุต่าง ๆ ที่มีค่าคาร์บอนและวัสดุที่มีค่าไนโตรเจนปริมาณมากไว้เพื่อเลือกนำมาใช้เป็นวัสดุหมัก ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในวัสดุต่าง ๆ (San Diego Composters ,2000)

Materials High in Carbon	C/N	Materials High in Nitrogen	C/N
Autumn leaves	30-80 :1	Vegetable scraps	15-20 :1
Straw	40-100 :1	Coffee grounds	20 :1
Wood chips or sawdust	100-500 :1	Grass clippings	15-25 :1
Bark	100-130 :1	Manure	5-25 :1
Mixed paper	150-200 :1		
Newspaper or cardboard	560 :1		

3. ความชื้น (Moisture content)

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญของจุลินทรีย์ เนื่องจากปฏิกิริยาในระบบเมตาบอลิซึม (metabolism) ต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์และการปลดปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์ (extracellular enzyme) เพื่อย่อยสารโมเลกุลใหญ่ โดยปกติภายในกองปุ๋ยหมักจะมีอุณหภูมิสูง ทำให้น้ำระเหยออกจากกองปุ๋ยตลอดเวลา ถึงแม้ว่าอินทรียวัตถุจะมีคุณสมบัติที่อุ้มน้ำได้ดีก็ตาม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมน้ำลงในกองปุ๋ยหมักใน

ช่วงเวลาที่เหมาะสมโดยไม่ทำให้ปริมาณความชื้นมากหรือน้อยเกินไป สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ (2541) แนะนำว่าความชื้นที่เหมาะสมก่อนการหมักคือ 55-65% โดยน้ำหนัก เสียงแจ้ว พิริยพฤนต์ และนวลจันทร์ ภาสดา (2540) รายงานว่าระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมักที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายประมาณ 50-60% โดยน้ำหนัก ซึ่งความชื้นที่ต่ำกว่า 40% การย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ แต่ถ้าความชื้นมากเกินกว่า 80% จะทำให้กองปุ๋ยหมักแฉะเกินไป การระบายอากาศไม่ดีจนทำให้เกิดสภาพไร้อากาศ กระบวนการย่อยสลายเกิดได้ช้าเช่นกัน เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเศษพืชส่วนใหญ่เป็นพวกที่ต้องการอากาศหรือออกซิเจนในการดำรงชีวิต

ในสภาพไม่มีอากาศจะเกิดกลิ่นเหม็นภายในกองปุ๋ยหมักซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ระเหยจำพวก มีเทน และไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนและมีผลทำให้เกิดการสูญเสีย ธาตุอาหารจากวัสดุเศษพืชในระหว่างการทำปุ๋ยหมักด้วย เช่น ไนโตรเจนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย เป็นต้น

4. การระบายอากาศ (aeration)

การระบายอากาศในกองปุ๋ยหมักเป็นสิ่งจำเป็นอีกประการหนึ่ง เนื่องจากจุลินทรีย์พวกที่ต้องการอากาศจะใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอน (electron aceptor) ในระบบการหายใจภายในเซลล์ ซึ่งสามารถทำได้โดยการกลับกองปุ๋ยหมัก นอกจากจะเป็นการระบายอากาศแล้วยังช่วยคลุกเคล้าเศษวัสดุให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ การกลับกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสมจะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจากการศึกษาของพิทยากร ลิ่มทอง (2531) สำหรับกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว พบว่าการกลับกองทุก ๆ 10 วันทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 วันแรกของการหมัก นอกจากนี้ยังสามารถทำได้โดยการเติมอากาศเข้าไปในกองปุ๋ยหมักโดยการใช้เครื่องจักรกล ทั้งนี้สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ (2541) กล่าวว่าปริมาณอากาศที่เหมาะสมคืออัตรา 10-30 ลูกบาศก์ฟุตต่อวันต่อปอนด์ของวัสดุหมัก เมื่อพิจารณาเป็นปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักแล้วนั้น โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 15-20% (San Diego Master Composters, n.y.)

5. อุณหภูมิ (Temperature)

หลังจากกองปุ๋ยหมักระหว่าง 2-4 วัน อุณหภูมิภายในจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 50-60 องศาเซลเซียส เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการย่อยสลายและคุณสมบัติการเก็บความร้อนของวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ (เสียงแจ้ว พิริยะพฤนต์ และนวลจันทร์ ภาสดา, 2540) ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ค่อยแพร่กระจายออกจากกองปุ๋ยหมัก อุณหภูมิที่สูงขึ้นดังกล่าวทำให้สภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยเปลี่ยนแปลงไป ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ก็เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญได้แก่

พวกที่ทนต่ออุณหภูมิสูง (thermoduric microorganisms) และพวกที่ชอบอุณหภูมิสูง (thermophilic microorganisms) หลังจากที่อุณหภูมิสูงสุดแล้วจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงระดับที่จุลินทรีย์พวกที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic microorganisms) สามารถเจริญและเพิ่มจำนวนมากขึ้น ระดับของอุณหภูมิในกองปุ๋ยจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของวัสดุหมักและขนาดของกองปุ๋ยหมักด้วย สำหรับชนิดและลักษณะของวัสดุเศษพืชนั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักด้วย โดยวัสดุที่เป็นเส้นขนาดใหญ่ ได้แก่ ฟางข้าว และผักตบชวา จะมีอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงระหว่าง 45-50 องศาเซลเซียส (พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2540) ในกรณีที่มีอุณหภูมิสูงมากเกินไปประมาณ 70 องศาเซลเซียส จะมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ย ทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ลดลง และกิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลงตามไปด้วย อุณหภูมิค่อย ๆ ลดลงถึงระดับที่เหมาะสม จุลินทรีย์ที่เหลือรอดอยู่จะเริ่มกิจกรรมในการย่อยสลายต่อไป

จากการปรับระดับอุณหภูมิให้คงที่ที่ระดับต่าง ๆ กันแล้ววัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาเนื่องจากกระบวนการย่อยสลาย พบว่าที่อุณหภูมิ 57-60 องศาเซลเซียส (ความชื้น 60%) กระบวนการย่อยสลายเกิดได้ดี โดยมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมามาก แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำหรือสูงกว่านี้ คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจะน้อยลง (พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2540) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิดังกล่าวนี้เป็นลักษณะพิเศษที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมัก ทำให้สภาพแวดล้อมและชนิดของจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ที่สำคัญคือความร้อนที่สะสมในกองปุ๋ยหมักเป็นระยะเวลานานนี้ จะมีผลต่อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคกับคนหรือโรคพืชด้วย พบว่าอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักที่ทำจากขยะเทศบาลมีผลโดยตรงที่จะทำลายแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหารของคน สำหรับปุ๋ยหมักที่ทำจากเศษพืชที่เป็นโรคใบไหม้ของข้าวโพด และแอนแทรกโนสของถั่วเหลือง เมื่อตรวจสอบเชื้อโรคเป็นระยะ ๆ พบว่าหลังจากการทำปุ๋ยหมักนาน 30 วัน ตรวจไม่พบเชื้อโรคพืช ปัจจัยที่ส่งผลให้เป็นดังกล่าวคือระดับของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน

6. ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

การใช้วัสดุเศษพืชไม่ค่อยมีปัญหา pH มากนัก เพราะโดยปกติค่า pH ของเศษซากพืชอยู่ในช่วงเป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อย นอกจากนี้สารอินทรียวัตถุมีคุณสมบัติที่เป็นลักษณะของ buffer ที่ดีโดยจะช่วยรักษาระดับ pH ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก

สุภาพร จันรุ่งเรือง และปรัชญา ชัญญาดี (2542) ทดลองผลิตปุ๋ยหมักจากผักตบชวา และใช้ปรับปรุงบำรุงดินเพื่อปลูกพืช พบว่าปุ๋ยหมักจากผักตบชวาจะให้แร่ธาตุอาหารพืชอย่างครบถ้วนต่อการเจริญเติบโต ทำให้ดินทรายยึดตัวกัน ลดการสูญเสียหน้าดิน และช่วยอุ้มน้ำไว้หล่อเลี้ยง

ต้นพืชได้เป็นเวลานาน สำหรับดินเหนียวจัด ปุ๋ยหมักจะช่วยให้ดินร่วนซุย อากาศสามารถถ่ายเทได้สะดวก ดินมีโครงสร้างดีขึ้น รากพืชแผ่กระจายไปหาธาตุอาหารได้ง่ายกว่าเดิม ดังนั้นการนำปุ๋ยหมักไปใช้ประโยชน์จะเป็นหนทางหนึ่งการเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น ทั้งพืชผัก พืชสวน พืชไร่ แปลงตกกล้าข้าว ไม้ดอก ไม้ประดับ ไม้ยืนต้น เป็นต้น โดยการใส่ปุ๋ยปีละประมาณ 1-2 ตันต่อไร่ อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตในด้านค่าใช้จ่ายของปุ๋ยเคมี และช่วยลดมลภาวะในสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดจากเคมีทางการเกษตร

จากผลการสำรวจโดยโครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ ของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่ามีผักตบชวาทั่วประเทศประมาณ 5 ล้านตัน เมื่อผลิตเป็นปุ๋ยหมักจะได้ประมาณ 9.1 แสนตัน เนื่องจากผักตบชวาสด 30 ตันสามารถผลิตปุ๋ยหมักได้ 5.5 ตัน ซึ่งสามารถนำไปใช้ปรับปรุงพื้นดินได้ 9.1 แสนไร่ ปุ๋ยหมักราคา ตันละ 1,000 บาท จากปุ๋ยหมักผักตบชวา 1 ตัน มีธาตุอาหารพืชที่สำคัญ คือ ไนโตรเจน 13% โดยน้ำหนัก ฟอสฟอรัส 7% โดยน้ำหนัก และโพแตสเซียม 2.8% โดยน้ำหนัก เมื่อคิดเทียบเป็นปุ๋ยเคมีจะเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตได้ 60 กิโลกรัม ปุ๋ยทริปเบิลซูเปอร์ฟอสเฟตได้ 15 กิโลกรัม และปุ๋ยโพแตสเซียมคลอไรด์ 46.6 กิโลกรัม (สุภาพร จันรุ่งเรือง และปรัชญา ธัญญาดี, 2542)

นอกจากนี้กรมควบคุมมลพิษ ได้รายงานผลการทดลองผลิตปุ๋ยหมักจากผักตบชวาในโครงการวิจัยเชิงปฏิบัติการ การควบคุมผักตบชวาในลุ่มน้ำเจ้าพระยาและท่าจีนบริเวณพื้นที่วิกฤต โดยการนำผักตบชวาที่ย่อยสับแล้วมากองบนลานซีเมนต์ขนาดกว้าง 2-3 เมตร ยาวประมาณ 50 เมตร และสูงประมาณ 1.5 เมตร คลุมด้วยผ้าพลาสติก ทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือน หลังจากนั้นจึงนำมาบดด้วยเครื่องย่อยสับอีกครั้งหนึ่ง พบว่าสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 1.4-2.5% โดยน้ำหนัก ฟอสฟอรัส 0.4-0.5% โดยน้ำหนัก และโพแตสเซียม 0.4-0.7% โดยน้ำหนัก ขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารพืชในน้ำ และมีค่า C/N ratio ประมาณ 18-22 (กรมควบคุมมลพิษ, 2542) จึงเป็นการผลิตเชิงอุตสาหกรรมที่มีต้นทุนต่ำได้อย่างคุ้มค่าทางด้านเศรษฐกิจ

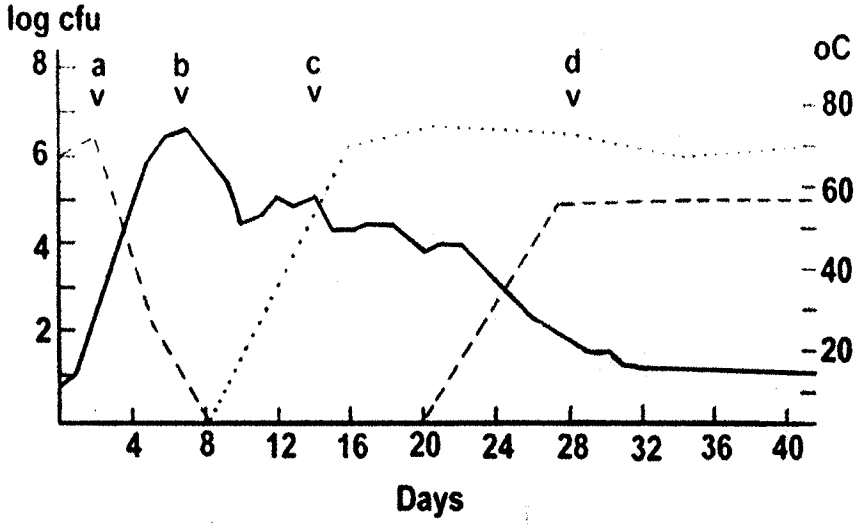
รายละเอียดเกี่ยวกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก

กระบวนการย่อยสลายเศษวัสดุในกองปุ๋ยหมักเกี่ยวข้องโดยตรงกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง จนกระทั่งเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ความร้อน และสารประกอบฮิวมัส เมื่อกระบวนการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์จะได้สารประกอบที่มีความคงสภาพได้นาน ที่เรียกว่าปุ๋ยหมัก (compost) กระบวนการย่อยสลายดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยจุลินทรีย์หลายชนิดประกอบกันและอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งสามารถ

แบ่งได้เป็น 3 ระยะ (พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2540) คือ (1) ระยะอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic phase) ซึ่งเกิดขึ้นใน ช่วงแรกของการย่อยสลายโดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วงประมาณ 30-45 องศาเซลเซียส หรือช่วง 20-45 องศาเซลเซียส (IW Sutherland, 1999) (2) ระยะอุณหภูมิสูง (thermophilic phase) ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงที่มีการย่อยสลายอย่างต่อเนื่อง โดยอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นถึง 45-60 องศาเซลเซียส หรือมากกว่านี้ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมจะต้องไม่ต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่เกิดการย่อยสลายสูงสุดจนทำให้เกิดความร้อนสะสมในกองปุ๋ยหมัก และ (3) ระยะอุณหภูมิลดลง (maturation phase) ซึ่งเป็นช่วงที่อัตราการย่อยสลายลดลงจนกระทั่งอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลง และลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งเป็นระยะที่ใกล้จะเสร็จสิ้นการย่อยสลาย

ในช่วงแรกซึ่งเป็นระยะสั้น ๆ ประมาณ 1-2 วัน กระบวนการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมักจะเกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophile) โดยจะย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ย่อยสลายง่าย หรือสารประกอบที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน เมื่ออุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่า 40 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลางเริ่มลดปริมาณลง เนื่องจากไม่สามารถเจริญและดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาพที่อุณหภูมิสูง ในขณะเดียวกันเชื้อจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงก็จะเริ่มเจริญและเพิ่มปริมาณมากขึ้น และดำเนินกิจกรรมการย่อยสลายได้อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการย่อยสลายสารประกอบที่ย่อยสลายยาก เช่น เซลลูโลส ลิกนิน และไขแลน เป็นต้น เมื่อความร้อนสะสมในกองปุ๋ยหมักมากเกินกว่า 65 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้เชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดตายลง และอัตราการย่อยสลายลดลง อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักก็ลดลงด้วย เมื่ออุณหภูมิลดลงถึงระดับหนึ่งจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูง (thermophile) ก็สามารถเจริญและดำเนินกิจกรรมการย่อยสลายได้อีก อุณหภูมิจึงสูงขึ้นอีก ทั้งนี้ลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักช่วงนี้จะอยู่ประมาณ 45-65 องศาเซลเซียส และค่อนข้างคงที่ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวนี้ จนกระทั่งสภาพ แวดล้อมไม่เหมาะสมหรือวัสดุในกองปุ๋ยหมักถูกย่อยสลายจนใกล้จะสมบูรณ์จะทำให้อุณหภูมิลดลง ดังแสดงในภาพที่ 7

นอกจากนี้ เยาวลักษณ์ จันดาวงศ์ และสิรินทรเทพ เต้าประยูร (2541) กล่าวว่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส และอมายเลส จะสูงในช่วง active stage ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเจริญของจุลินทรีย์สูง โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophile) หรือเป็นระยะอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic phase) และระยะอุณหภูมิสูง (thermophilic phase) ส่วนเซลลูเลสจะมีกิจกรรมสูงในช่วง curing stage ซึ่งเป็นช่วงที่การเจริญของจุลินทรีย์มีน้อยหรือเป็นระยะอุณหภูมิลดลง (maturation phase)



ภาพที่ 7 แสดงลักษณะของกลุ่มจุลินทรีย์ที่พบในระหว่างกระบวนการหมัก a คือระยะที่จุลินทรีย์มีการเจริญอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะกลุ่ม mesophilic (-------) b คือช่วงที่มีอุณหภูมิในกองปุ๋ยสูงที่สุด c คือระยะที่กลุ่ม thermophilic เริ่มมีการเจริญ (.....) และ d คือระยะที่กลุ่ม mesophilic กลับมาเจริญอีกครั้ง โดยที่ _____ แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการหมัก (IW Sutherland, 1999)

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยหมักดังกล่าวข้างต้นเกิดขึ้นอย่างเป็นขั้นตอนตามกิจกรรมของจุลินทรีย์แต่ละกลุ่ม ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. แบคทีเรีย (Bacteria)

จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีขนาดค่อนข้างเล็กแต่มีปริมาณมากที่สุดในกองปุ๋ยหมัก ประมาณ 80-90% ของจุลินทรีย์ที่พบในกองปุ๋ยหมัก ปริมาณไม่แน่นอนโดยผันแปรไปตามสภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก แบคทีเรียค่อนข้างมีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลายและการเกิดความร้อนในกองปุ๋ยหมัก ส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียที่พบอยู่ในดิน อย่างไรก็ตามมีผู้รายงานว่าปริมาณของแบคทีเรียจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยทั่วไปมักจะพบพวก *Pseudomonas* spp., *Achromobacter* spp., *Flavobacterium* spp., *Micrococcus* spp., และ *Bacillus* spp. ซึ่งแบคทีเรียในสกุล *Bacillus* ค่อนข้างจะพบในปริมาณมากกว่าสกุลอื่นๆ โดยเฉพาะพวกที่ชอบอุณหภูมิสูงได้แก่ *B. subtilis* และ *B. stearothermophilus* ซึ่งเป็นพวกที่เจริญได้ดีในช่วง 50-55 องศาเซลเซียส ในบางกรณีอาจจะถึง 65 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบพวกที่เจริญในอุณหภูมิสูง ได้แก่

Thermus aquaticus ซึ่งเจริญในช่วง 40-79 องศาเซลเซียส (พิทยากร ลิ่มทอง และเสียงแจ้ว พิริยพฤนต์, 2540) นอกจากนี้แบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสที่พบได้ทั่วไป ได้แก่ *Cellulomonas*

2. รา (Fungi)

ราเป็นจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการใช้อาหารกว้างมาก เมื่อดูจากกล้องจุลทรรศน์จะเห็นลักษณะเป็นเส้นใยต่อกันและมีสปอร์กระจัดกระจายอยู่ทั่วไป ราเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ (aerobe) ดังนั้นการเจริญจึงต้องมีออกซิเจนอย่างเพียงพอในกองปุ๋ยหมักจะตรวจพบเชื้อราอยู่เสมอ แต่ชนิดและปริมาณจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก ความชื้น และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม การที่อุณหภูมิสูงขึ้นและมีความชื้นสูงเป็นสภาพที่ เหมาะสมกับแบคทีเรียมากกว่ารา จึงมักตรวจพบว่าราจะเจริญอยู่บริเวณผิวนอกของกองปุ๋ยซึ่งมีอุณหภูมิต่ำและความชื้นน้อยกว่า จากการศึกษาในกองปุ๋ยหมักในช่วงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถพบราได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 65 องศาเซลเซียสปริมาณราจะลดลงเป็นอย่างมาก

ราส่วนใหญ่มีความสามารถในการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ได้ดี เนื่องจากราหลายชนิดผลิตเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์ได้หลากหลายชนิด อย่างไรก็ตามปัจจัยต่าง ๆ ของสภาพ แวดล้อมจะเป็นตัวควบคุมและคัดเลือกราที่มีความสามารถในการดำรงกิจกรรมในกองปุ๋ย จากการศึกษาชนิดของราในระยะต่าง ๆ ของการหมักปุ๋ย พบว่าในระยะแรกที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยเพิ่มสูงขึ้นมักจะตรวจพบราพวก *Geotrichum candidum* และ *Aspergillus fumiguatus* และเมื่ออุณหภูมิสูงถึงระดับ 45-55 องศาเซลเซียส มักจะตรวจพบพวก *Cladosporium* spp., *Aspergillus* spp., และ *Mucor* spp. เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้อาจจะพบพวก *Penicilium duponti* (พิทยากร ลิ่มทอง และเสียงแจ้ว พิริยพฤนต์, 2540) นอกจากนี้ thermophilic fungi ที่พบได้ในช่วงอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ซึ่งพบได้ในปุ๋ยหมักจากวัสดุชนิดต่าง ๆ ได้แก่ *Chaetomium thermophile*, *Humicola insolens*, *Humicola lanuginosus*, *Aspergillus fumigatus*, *Mucor pusillus*, *Penicillium duponti* และ *Thermoascus aurantiacus* (พิทยากร ลิ่มทอง และเสียงแจ้ว พิริยพฤนต์, 2540; IW Sutherland, n.y.)

3. แอคติโนมัยซิส (Actinomycetes)

โดยทั่วไปแอคติโนมัยซิสมีอัตราการเจริญช้ากว่าแบคทีเรีย และราจะพบได้น้อยในระยะแรกของการย่อยสลาย แต่จะพบในช่วงท้ายของกระบวนการย่อยสลาย ดังนั้นจึงมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรียวัตถุที่มีความทนทานต่อการย่อยสลายหรือมีโครงสร้างที่ซับซ้อน ได้แก่ เซลลูโลส ลิกนินและไคติน และเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการความชื้นน้อยในการเจริญ และชอบ pH ที่ค่อนข้างเป็นด่าง เจริญได้ไม่ดีเมื่ออยู่ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศไม่เพียงพอ เนื่องจากจุลินทรีย์พวกนี้ต้องการออกซิเจนในการเจริญ โดยที่แอคติโนมัยซิสที่มักพบอยู่เสมอในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่

พวก *Thermoactinomycetes* spp. และ *Thermomonospora* spp. ซึ่งเป็นพวกที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้แอคติโนมัยซิสที่ยังพบได้อีก คือ *Streptomyces* spp. และ *Micropolyspora* spp. (พิทยากร ลิ่มทอง และเสียงแจ้ว พิริยพฤนต์, 2540) โดยที่แอคติโนมัยซีสที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารที่เป็นองค์ประกอบของพืชนั้นแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แอคติโนมัยซีสที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารประกอบบางชนิดที่เป็นองค์ประกอบของพืช (พิทยากร ลิ่มทอง, 2542)

Cellulose	**Hemicelluloses**	**Lignin**	**Starch and Sugars**	**Pectin**
Micromonospora	*Streptomyces*	*Micromonospora*	*Actinoplanes*	*Thermonospora*
Norcardia		*Norcardia*	*Microbiospora*	
Streptomyces		*Streptomyces*	*Streptomyces*	
Streptosporangium			*Streptosporangium*	
Thermonospora				

ประโยชน์ของกิจกรรมจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก

ทั้งนี้ในระหว่างการย่อยสลายวัสดุเศษพืชโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์แบบต้องการอากาศจะมีผลทำให้สภาพแวดล้อมทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ เช่น อุณหภูมิ องค์ประกอบทางเคมีบางประการภายในกองปุ๋ยหมักเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม มีผลต่อเชื้อโรคพืชและศัตรูบางชนิด และการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเศษพืชกับเชื้อก่อโรคพืช สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเร่งอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก

จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญต่อการย่อยสลายเศษพืชในกองปุ๋ยหมักประกอบด้วยจุลินทรีย์ 3 กลุ่มคือ แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซิส ได้แก่ *Bacillus* spp., *Cellulomonas* spp., *Aspergillus* spp., *Trichoderma* spp., *Norcardia* spp. และ *Streptomyces* spp. จุลินทรีย์เหล่านี้จะปลดปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยสลายเศษพืช ซึ่งสารประกอบที่ได้จากการย่อยสลายมีหลายชนิดแตกต่างกันออกไป เช่น กรดอินทรีย์ต่าง ๆ สารเชื่อมทำให้ดินจับตัวเป็นก้อน ร่วนซุย ธาตุอาหาร และฮิวมัส ซึ่งมีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช หากสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์จะทำให้อัตราการย่อยสลายเศษพืชเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว

2. การช่วยยับยั้งหรือทำลายโรคพืชบางชนิดในกองปุ๋ยหมัก

อัตราการย่อยสลายเศษพืชที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการสะสมความร้อนในกองปุ๋ยหมักอย่างต่อเนื่องและยาวนานซึ่งมีผลโดยตรงต่อเชื้อโรคพืชหลายชนิดที่มีอยู่ในกองปุ๋ย นอกจากนี้รา *Aspergillus* spp., *Trichoderma* spp. และแอคติโนมัยซิสพวก *Streptomyces* spp. บางชนิดมีความสามารถในการสร้างสารปฏิชีวนะออกมายับยั้งหรือทำลายเชื้อโรคพืช

3. การช่วยทำลายไข่ของแมลงบางชนิด

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำปุ๋ยหมักซึ่งบางครั้งสูงถึง 60-80 องศาเซลเซียสจะทำลายไข่ของแมลงศัตรูพืชโดยทำให้ไข่ฝ่อ จนกระทั่งไม่สามารถเจริญเติบโตเป็นแมลงต่อได้ และทำลายเมล็ดวัชพืชที่ติดมากับเศษพืชด้วยเช่นกัน

4. การช่วยเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยหมัก

จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักบางชนิด เช่น *Azotobacter* spp. สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศอย่างอิสระ และเปลี่ยนเป็นธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นการเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยหมักและลดการใช้สารเคมีประเภทไนโตรเจน

5. การช่วยลดต้นทุนในการทำปุ๋ยหมักโดยการต่อเชื้อ

จากการใช้สารตัวเร่งในการทำปุ๋ยหมักเป็นการช่วยให้เกษตรกรสามารถทำปุ๋ยหมักได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ซึ่งสามารถจะทำการต่อเชื้อได้ด้วยโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารตัวเร่งทุกครั้ง

จุลินทรีย์บางชนิดที่นำมาใช้เป็นเชื้อเร่งปุ๋ยหมัก

1. แบคทีเรีย

1.1 *Bacillus licheniformis* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก สร้างเอนโดสปอร์ ทนความร้อนได้สูงถึง 50-55 องศาเซลเซียส สามารถเปลี่ยนสารไนเตรตหรือไนไตรท์ให้เป็นแก๊สไนโตรเจน (denitrification) มีคุณสมบัติในการย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี

1.2 *Bacillus thuringiensis* เป็นแบคทีเรียแกรมลบ สร้างเอนโดสปอร์ และหมักน้ำตาลซูโครสให้เป็นกรดได้ และมีความสามารถขับสารพิษที่มีผลต่อตัวอ่อนของแมลงบางชนิดได้ รวมทั้งย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี

1.3 *Bacillus brevis* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก สร้างเอนโดสปอร์ ทนความร้อนได้สูงถึง 60 องศาเซลเซียส สามารถหมักน้ำตาลกลูโคสได้ และย่อยสลายเซลลูโลสได้

1.4 *Eubacterium cellulosolvens* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้แต่ไม่สามารถใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 37-39 องศาเซลเซียส

1.5 *Azotobacter beijerinckii* เป็นแบคทีเรียแกรมลบ สามารถสร้างซีส (cysts) เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 20-35 องศาเซลเซียส เป็นพวกที่สามารถตรึงไนโตรเจนในบรรยากาศให้อยู่ในรูปของแอมโมเนีย และ ย่อยสลายเซลลูโลสได้

1.6 *Nitrobacter* spp. เป็นแบคทีเรียแกรมลบ สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 5-40 องศาเซลเซียส เป็นพวกที่สามารถนำเอาคาร์บอนไดออกไซด์มาเป็นแหล่งคาร์บอนได้ (Carbondioxide fixation) และเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนเตรตหรือไนไตรท์ได้ (nitrification)

1.7 *Pseudomonas alcaligenes* เป็นแบคทีเรียแกรมลบ สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนเตรตหรือไนไตรท์ได้ (nitrification) และย่อยสลายเซลลูโลสได้

1.8 *Escherichia* spp. เป็นแบคทีเรียแกรมลบไม่สร้างสปอร์ สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ เจริญได้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงถึง 45 องศาเซลเซียส เป็นทั้งพวกต้องการและไม่ต้องการอากาศ

2. รา

2.1 *Penicilium hequei* ราชนิดนี้พบทั่วไปในดิน เศษพืชที่เน่าเปื่อยผุพังและในแมลงบางชนิด สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้และเจริญได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 45 องศาเซลเซียส

2.2 *Aspergillus candidus* ราชนิดนี้พบทั่วไปในดิน สร้างเอนไซม์ได้หลายชนิด เช่น เซลลูเลส (cellulase) ไลเปส (lipase) อมายเลส (amylase) เอนไซม์ย่อยโปรตีน (proteolytic enzyme) และเอนไซม์ย่อยเพคติน (pectinolytic enzymes) เป็นราที่สามารถยับยั้งการเจริญของราบางชนิด (strong competitive) นอกจากนี้ยังมีความสามารถสร้างสารปฏิชีวนะที่มีผลไปยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *Xanthomonas compestris* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเน่าดำ (black rot) ของกะหล่ำปลีได้

2.3 *Paecilomyces* spp. ราสกุลนี้พบทั่วไปในดิน สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ เป็นพวกที่ชอบอยู่ในที่อุณหภูมิสูงปานกลางและเจริญได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 25-37 องศาเซลเซียส

2.4 *Fusarium tricinctum* เป็นราที่ชอบอาศัยอยู่ในดิน มีคุณสมบัติในการย่อยสลายเซลลูโลสได้

2.5 *Aspergillus flavipes* ราชนิดนี้พบทั่วไปในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์และในเศษพืชที่เน่าเปื่อยผุพัง เป็นพวกที่ชอบอยู่ในบริเวณที่อุณหภูมิสูง มีการเจริญได้เร็ว สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ และยังทำลายเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคพืชบางชนิดได้

2.6 *Aspergillus oryzae* เป็นพวกซาโปรไฟต์ สามารถสร้าง sclerotia มีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ สร้างเอนไซม์พวกเซลลูเลสและอะมายเลส เจริญได้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง 40 องศาเซลเซียส และในสภาพ pH ระหว่าง 1.6-9.3 ได้

2.7 *Rhizopus* spp. เป็นพวกที่ชอบอยู่ในที่อุณหภูมิสูง มีคุณสมบัติในการย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส สามารถสร้างเอนไซม์อมายเลสและเปคติเนส เช่น *Rhizomucor pusillus* ซึ่งจะพบเห็นโคโลนีสีเทาบนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) ที่ 45 องศาเซลเซียส (IW Sutherland, n.y.)

2.8 ยีสต์ (yeasts) เป็นซาโปรไฟต์ที่พบทั่วไป สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้และชอบอยู่ในที่อุณหภูมิสูง

3. แอคติโนมัยซีส (Actinomyces) และสเตรปโตมัยซีส (*Streptomyces* spp.) เป็นพวกแกรมบวก สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมสามารถสร้างสปอร์ ชอบอยู่ในที่อุณหภูมิสูง

การส่งเสริมให้เกษตรกรทำการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งในระยะแรก ๆ ยังไม่ได้รับความสนใจมากนัก เนื่องจากการทำปุ๋ยหมักต้องใช้เวลานาน เมื่อกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้พัฒนาจุลินทรีย์สำหรับใช้ในการเร่งการผลิตปุ๋ยหมัก โดยเริ่มดำเนินการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับจุลินทรีย์เพื่อใช้เป็นสารเร่งในการทำปุ๋ยหมักตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 โดยอาศัยนักวิชาการเจ้าหน้าที่และเครื่องมือต่างๆ เท่าที่มีอยู่ดำเนินการแยกเชื้อและคัดเลือกจากแหล่งธรรมชาติต่าง ๆ ในประเทศ ซึ่งได้พัฒนาการผลิตสารเร่งประเภทจุลินทรีย์ชื่อ "เชื้อปุ๋ยหมักพัฒนาที่ดิน 1 (พด.1)" ประกอบด้วยจุลินทรีย์จำนวน 12 สายพันธุ์ ได้แก่ เชื้อรา 7 สายพันธุ์ แอคติโนมัยซีส 3 สายพันธุ์ และแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ สามารถลดระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักให้สั้นลง เกษตรกรจึงให้ความสนใจการผลิตปุ๋ยหมักใช้เองเพิ่มมากขึ้น

สำหรับผักตบชวาซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถนำมาผลิตปุ๋ยหมักได้นั้น ดังที่ได้กล่าวถึงองค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวา (ตารางที่ 1) พบว่าส่วนมากจะเป็นพวกโพลีแซคคาไรด์ โดยเฉพาะเซลลูโลส ดังนั้นการย่อยสลายผักตบชวาจุลินทรีย์จึงมีความจำเป็นในการใช้เอนไซม์พื้นฐานหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเอนไซม์เซลลูเลสซึ่งเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ย่อยสลายพันธะ α-1,4 glucosidic linkage ของโพลีแซคคาไรด์

โดยทั่วไปการเร่งให้การย่อยสลายได้เร็วขึ้นและเป็นแบบต่อเนื่องนั้นก็ต่อเมื่อจุลินทรีย์ได้รับปัจจัยทางบวกที่ดี 5 ประการอย่างเหมาะสม คือ (1) ต้องมีแหล่งพลังงาน (energy source) (2) มีตัวรับอิเลคตรอน (electron acceptor) (3) มีแหล่งคาร์บอน (carbon source) (4) มีเกลือแร่ต่าง ๆ (mineral) และ(5) มีสารส่งเสริมการเจริญ (growth factor) ซึ่งเยาวลักษณ์ จันดาวงศ์ และสิรินทรเทพ เต้าประยูร (2541) สรุปองค์ประกอบของแต่ละปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปัจจัยทางบวกที่ควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ (เยาวลักษณ์ จันดาวงศ์ และสิรินทรเทพ เต้าประยูร, 2541)

ปัจจัย	แหล่งที่มา
1. Energy source	organic compounds, inorganic compounds, sunlight
2. Electron acceptor	O_2 , organic compounds, NO_3^- , NO_2^- , N_2O, SO_4^{2-} , CO_2 , Fe^{3+}
3. Carbon source	CO_2 , HCO_3^- , organic compounds
4. Minerals	N, P, K, Mg, S, Fe, Ca, Mn, Zn, Cu, Co, Mo
5. Growth factors	
a. Amino acids	alanin, aspartic acid, glutamic acid, etc.
b. Vitamins	thiamine, biotin, pyridoxine, riboflavin, nicotinic acid, pantothenic acid, p-aminobenzoic acid, folic acid, thioctic acid, B12, etc.
c. Others	purine bases, pyrimidine base, choline, innositol, peptides, etc.

คุณสมบัติของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยที่ผ่านการหมักแล้วควรได้ตามมาตรฐานคุณภาพที่ดีของปุ๋ยหมักโดยโครงการเร่งรัดปรับปรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ กรมพัฒนาที่ดินได้กล่าวถึงหลักเกณฑ์ในการพิจารณาคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่เสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้วและมีคุณภาพอยู่ในมาตรฐานที่ดี เมื่อใส่ลงในดินแล้วไม่อันตรายต่อพืชไว้ดังนี้ (วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2540)

1. อัตราส่วนสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ไม่มากกว่า 20:1
2. N-P-K ไม่ควรต่ำกว่า 0.5-0.5-1.0 % (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ
3. ความชื้นของปุ๋ยหมักไม่ควรมากกว่า 35-40% (โดยน้ำหนัก)
4. ปริมาณอินทรีย์วัตถุประมาณ 25-50% (โดยน้ำหนัก)
5. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 6.0-7.5
6. ไม่ควรมีวัสดุเจือปนอื่น ๆ

รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมบูรณ์ วังศุภชาติ (Wangsuphachat, 1978) ทำการศึกษาการหมักผักตบชวาผสมมูลสัตว์ด้วยวิธีการกองกับพื้น ในอัตราส่วน C/N ratio เริ่มต้นที่ 20, 30 และ 40 และทำการทดลองประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ด้วยการใช้ในแปลงปลูกผัก พบว่าอัตราส่วน C/N ratio เท่ากับ 30 นั้นเป็นอัตราส่วนที่ให้ผลผลิตของพืชผักดีที่สุด

Padilla, Jr. B. H. (1983) ศึกษาการหมักปุ๋ยจากผักตบชวาโดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 3 ชุด ได้แก่

ชุดที่ 1 เปรียบเทียบความสูงของกองปุ๋ยหมักที่มีวัสดุหมักเป็นผักตบชวาเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีขนาดความสูง 1.4 , 1.0 และ 0.6 เมตร และขนาดกว้างของกอง 2.8 เมตร ยาว 3.0 เมตร ความชื้นเริ่มต้น 65% เท่ากันทั้งหมด

ชุดที่ 2 เปรียบเทียบความชื้นเริ่มต้นซึ่งกำหนดเป็นช่วงต่ำ คือ 55%, 65% และ 75% มีวัสดุหมักเป็นผักตบชวาเพียงอย่างเดียว ใช้ขนาดกองที่เหมาะสมตามผลการศึกษาในชุดการทดลองที่ 1 คือ ขนาด 2.8 × 3.0 × 1.4 เมตร

ชุดที่ 3 เปรียบเทียบความชื้นเริ่มต้นซึ่งกำหนดเป็นช่วงสูง คือ 75%, 85% และ 93% มีวัสดุหมักเป็นผักตบชวาเพียงอย่างเดียว และวัสดุหมักเป็นผักตบชวาร่วมกับฟางข้าวในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 (โดยพื้นที่) ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นที่ 75% ใช้ขนาดกองที่เหมาะสมตามผลการศึกษาในชุดการทดลองที่ 1 คือ ขนาด 2.8 × 3.0 × 1.4 เมตร ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดระยะเวลาในการเตรียมความชื้นเริ่มต้น เนื่องจากผักตบชวาสดนั้นมีความชื้นสูง (ประมาณ 90%)

พบว่าการหมักผักตบชวาโดยการกองขนาดต่าง ๆ นั้น ใช้ระยะเวลาในการหมักภายในระยะเวลา 5 สัปดาห์ โดยที่การเปลี่ยนแปลงค่า C/N ratio มีน้อยมากหลังจากสัปดาห์ที่ 3 ไปแล้ว สำหรับกองปุ๋ยขนาดความสูง 1.4 เมตร พบว่ามีการหดตัวของกองปุ๋ยหมักและน้ำหนักที่หายไปมีค่าสูงที่สุด คือ 62% และ 35% ตามลำดับ จึงได้ทำการศึกษาต่อในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ทั้งนี้เมื่อศึกษาถึงค่าความชื้นเริ่มต้นในการหมัก พบว่าค่าความชื้นเริ่มต้นการหมักที่ 75% นั้นมีค่าอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ (degradability) สูงที่สุด คือ 75% โดยคำนวณจาก

(ปริมาณคาร์บอนเริ่มต้น – ปริมาณคาร์บอนสุดท้าย) / ปริมาณคาร์บอนเริ่มต้น

พาลมิซาโน (Palmisano, 1993) ศึกษาการแพร่กระจายและกิจกรรมของ extracellular enzymes รวมทั้งเอนไซม์เซลลูเลสโดยการใช้ cellulose azure สำหรับตัวอย่างที่เก็บจากสถานีฝังกลบมูลฝอยในนิวยอร์ค เนื่องจากองค์ประกอบของมูลฝอยชุมชนพบว่า 40% โดยน้ำหนัก เป็นพวกกระดาษ ซึ่ง ผลการศึกษาพบว่าได้ผลในทางบวกเพียง 2 ตัวอย่างจากทั้งหมด 28 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นจำนวนที่ค่อนข้างน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างที่เก็บมาทำการศึกษานั้นเก็บที่ระดับความลึก

3-23 เมตร แต่ Jones and Grainger (1983) แนะนำว่ากิจกรรมของเซลลูเลสจะเกิดสูงสุดที่ระดับความลึกไม่เกิน 1 เมตร เนื่องจากราเป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทความสำคัญในการย่อยสลายเซลลูโลส และเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ดีในที่ที่มีอากาศ

พิทยากร ลิ่มทอง (2531) ศึกษาถึงอิทธิพลของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสต่อการผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าว โดยดำเนินการแยกราและแอคติโนมัยซีสที่มีความสามารถย่อยสลายเซลลูโลส ซึ่งเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง (50 องศาเซลเซียส) เพื่อเติมลงในกองปุ๋ยหมัก แล้วศึกษา อิทธิพลของจุลินทรีย์ที่คัดเลือกในสภาพเชื้อเดี่ยวและเชื้อผสมต่อการย่อยสลายฟางข้าว โดยทำการหมักในหลุมคอนกรีตขนาด 1.2 × 2.0 × 0.8 เมตร ด้วยการปรับสภาพแวดล้อมที่สำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ C/N ratio ซึ่งถ้าค่า C/N ratio สูงมาก ๆ อัตราการย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้า เนื่องจากประมาณไนโตรเจนมีน้อย จึงเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญของจุลินทรีย์ กิจกรรมการย่อยสลายจึงเกิดช้า ทั้งนี้ฟางข้าวมีค่า C/N ratio เท่ากับ 89 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงมาก เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของฟางข้าวนั้นประกอบด้วยเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นจึงต้องเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้มากขึ้นเพื่อปรับค่า C/N ratio ให้ลดลง โดยการเติมมูลสัตว์ ปุ๋ยยูเรีย เปรียบเทียบกับปุ๋ยสูตร 15-15-15 และศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของฟางข้าวในกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมัก

ผลการศึกษาพบว่าอัตราการเติมยูเรียที่เหมาะสมคือ 1.0% โดยน้ำหนัก และอัตราการเติมมูลสัตว์ที่เหมาะสมคือ 20% โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ผลการศึกษาการใช้จุลินทรีย์ผสมทั้ง 2 ชนิด ร่วมกับการใช้ปุ๋ยยูเรียหรือปุ๋ยสูตรเป็นแหล่งไนโตรเจน และร่วมกับการใส่หรือไม่ใส่มูลสัตว์ พบว่าการใส่ยูเรียหรือปุ๋ยสูตรไม่มีผลแตกต่างกันมากนัก ส่วนการใส่มูลสัตว์ซึ่งเป็นกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่หาได้ง่ายราคาถูกนั้นมีผลช่วยส่งเสริมการย่อยสลายอย่างชัดเจน สำหรับการใช้จุลินทรีย์ผสมชนิดที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย *Aspergillus* sp., *Helicomyces* sp., *Chaetomium*sp. และ *Streptomycetes* sp. ทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากมีความหลากหลายของชนิดจุลินทรีย์มากกว่าเชื้อผสมชนิดที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย *Chaetomium* sp. และ *Streptomycetes* sp. ทำให้กิจกรรมในการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดี

สมศักดิ์ วังใน และภาวนา ลิกขนานนท์ (2538) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าง ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ปริมาณเชื้อรา แอคติโนมัยซีส แบคทีเรีย การลดลงของปริมาตร และการลดลงของ C/N ratio ในช่วงระยะเวลา 0-90 วัน แสดงให้เห็นว่าเชื้อที่เติมลงไป คือ เชื้อ พด. 1 ให้ประสิทธิภาพในการทำให้ฟางข้าวกลายเป็นปุ๋ยหมักได้สูงสุด รองลงไปได้แก่ มูลสัตว์ที่ได้จากสัตว์เคี้ยวเอื้อง จุลินทรีย์ไฮเทค (หรือน้ำหมักจุลินทรีย์) และ EM (effective microorganisms) ตามลำดับ

นวรัตน์ ใจศิล (2539) ศึกษาการลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติหรือ EM (effective microorganisms) ซึ่งประกอบด้วย เชื้อรา ได้แก่ *Trichoderma* sp., *Mucor* sp. และ *Aspergillus* sp. แบคทีเรีย ได้แก่ *Rhodopseudomonas* sp., *Rhodospirillum* sp., *Chromatium* sp. และ *Lactobacillus* sp. แอคติโนมัยซีส ได้แก่ *Streptomyces* sp. และยีสต์ โดยเชื้อเหล่านี้อยู่ในลักษณะเชื้อผสมซึ่งไม่ทราบปริมาณของแต่ละชนิด แต่ในการทดลองได้ใช้ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันคือ EM 250, 5, 1 และ 0.5 มิลลิลิตรต่อมูลฝอย 10 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับที่ไม่เติม EM พบว่าใช้ระยะเวลาหมัก 28 วัน โดยที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติกับวิธีการทดลองที่ใช้ EM อัตราส่วนต่าง ๆ

อานุภาพ แก้วทอง (2541) ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหญ้า เศษใบไม้แห้งและกากตะกอนน้ำเสียด้วยวิธีการกองแบบมีการระบายอากาศ โดยที่กองปุ๋ยมีขนาดประมาณ 1.50 × 1.50 เมตร การระบายอากาศใช้ท่อพีวีซีเจาะรูโดยรอบแล้วเสียบไว้ตลอดกองปุ๋ย รวมทั้งพลิกกองทุก ๆ 14 วัน เปรียบเทียบกับการไม่พลิกกอง ซึ่งตลอดระยะเวลาของการหมักจะเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ C/N ratio แอมโมเนีย ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งระเหยได้ ความชื้น และตรวจวัดอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก ส่วนฟอสฟอรัส โพแตสเซียม ปริมาณโลหะหนัก จะทำการวิเคราะห์เมื่อเริ่มต้นการหมักและสิ้นสุดการหมัก ผลการศึกษาพบว่าการพลิกกองปุ๋ยจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปได้เร็วกว่าการไม่พลิกกอง ธาตุอาหารพืชในรูป N-P-K มีค่าใกล้เคียงมาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) ที่ผ่านมาตรฐานประเทศสหรัฐอเมริกา และกลุ่มประเทศในทวีปยุโรป

ชาติ เจียมไชยศรี และองอาจ เอี่ยมสำอางค์ (2542) ศึกษาเรื่องการใช้ระบบอัดอากาศในการทำปุ๋ยหมักจาก เศษพืชผักร่วมกับตะกอนน้ำทิ้งชุมชน ด้วยการหมักในหลุมคอนกรีตขนาด 1 × 1 × 0.9 เมตร โดยการผสมวัสดุหมักซึ่งเป็นเศษพืชผัก 10 ส่วน (300 กิโลกรัม) กับใบไม้แห้ง 1 ส่วน (30 กิโลกรัม) จากนั้นมีการเติมอากาศในอัตรา 0.2, 0.4 และ 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม และเติมปริมาณตะกอนน้ำทิ้งชุมชนในกองปุ๋ยหมักเป็น 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนักเปียก

จากผลการศึกษาพบว่าการเติมอากาศในอัตรา 0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม มีประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงสุด โดยมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลงเฉลี่ยร้อยละ 47.79 ปริมาณของแข็งระเหยลดลงเฉลี่ยร้อยละ 47.78 ใช้เวลาในการหมัก 26 วัน คุณภาพปุ๋ยหมักมีค่า N-P-K เท่ากับ 1.60-1.39-1.29 ตามลำดับ ส่วนในกรณีของค่าใช้จ่ายในด้านกระแสไฟฟ้าที่ใช้ผลิตอากาศ แต่เมื่อเทียบระยะเวลาในการหมักเมื่อมีการเติมตะกอนน้ำทิ้งแล้ว ไม่แตกต่างกันโดยพิจารณาที่อัตราการเติมอากาศที่เท่ากัน เนื่องจากปริมาณตะกอนน้ำทิ้งยิ่งมากขึ้นก็ยิ่งทำให้ระยะเวลาการหมักนานขึ้น เพราะระยะเวลาในการเข้าสู่ระยะการย่อยสลายเข้มข้น (intensive rotting phase หรือ active stage)

จะนานขึ้นเนื่องจากมีความชื้นอยู่มาก อย่างไรก็ตามการเติมตะกอนน้ำทิ้งทำให้ธาตุอาหารหลักของพืชเพิ่มสูงขึ้นได้

กรมควบคุมมลพิษ (2544) ศึกษาสภาวะการหมักมูลฝอยที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยในถังหมักแบบเติมอากาศ โดยใช้ถังหมักขนาด 1,000 ลิตร ด้วยอัตราส่วนของขยะอินทรีย์ต่อเศษใบไม้แห้ง 1:1 , 2:1 และ 4:1 โดยปริมาตร และกำหนดอัตราการเป่าอากาศ 0.4 และ 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม ตลอดระยะเวลาการหมักจะตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นและค่าความเป็นกรด-ด่าง ส่วนของแข็งระเหย (Volatile solid) และธาตุองค์ประกอบ ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแตสเซียม จะวิเคราะห์ในช่วงเริ่มต้นและสิ้นสุดการหมัก โดยมีระยะเวลาการหมักประมาณ 30-40 วัน พบว่าอัตราส่วนของขยะอินทรีย์ต่อใบไม้แห้ง 1:1 โดยปริมาตร และอัตราการเป่าอากาศ 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม เป็นสภาวะที่เหมาะสม เนื่องจากมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในวัสดุหมักสูงสุดเท่ากับ 77.30%