หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ความเป็นมาของปุ๋ยหมัก

การทำปุ๋ยหมักมีมานานแล้ว โดยปล่อยให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นเอง ตามธรรมชาติ ซึ่งปรากฏว่าต้องใช้ระยะเวลาในการหมักนานประมาณ 8 ถึง 10 เดือน (Howard, 1935) การทำปุ๋ยหมักในต่างประเทศ ได้มีผู้ทำการศึกษาไว้พอสังเขปดังนี้คือ

Beaumont (1920) ได้รายงานว่า ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยที่ใช้ทางกสิกรรมมาเป็นเวลาหลายศตวรรษแล้ว โดยกสิกรชาวโรมันในสมัยโบราณรู้จักนำเอาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ต้นถั่ว ซังข้าวโพด และกิ่งต้นโอ๊ค มาใช้ในการทำปุ๋ยหมัก เช่นเดียวกับชาวมูร์โบราณ ที่ได้ทดลองทำปุ๋ยหมักโดยใช้มูลสัตว์ผสมกับฟางข้าว เศษไม้ และขี้เถ้า

Fowler (1930), Howard (1935) และ Acharya (1939, 1949) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักในประเทศอินเดีย พบว่ามีอยู่ 2 วิธีคือ วิธีที่หมักในที่มีอากาศถ่ายเท (Indore method) และวิธีที่หมักในที่ไม่มีอากาศถ่ายเท (Bangalore method) โดยแต่ละวิธีจะปล่อยให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ วิธีแรกจะใช้ระยะเวลาในการหมักนาน 16 สัปดาห์ ส่วนวิธีหลังจะใช้ระยะเวลาในการหมักนานกว่า คือประมาณ 32 สัปดาห์ จึงจะได้ปุ๋ยหมักตามต้องการ

Howard (1933) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักแบบที่มีอากาศถ่ายเท โดยใช้เศษพืชชนิดต่าง ๆ หมักรวมกับมูลสัตว์ ปูนขาว หรือดิน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเศษพืชต่อมูลสัตว์ในอัตราส่วน 3 ต่อ 4 ทำการหมักในหลุมที่ลึกประมาณ 2 ถึง 3 ฟุต หรือกองกับพื้นให้มีความสูงประมาณ 5 ฟุต ทำการกลับกองปุ๋ยหมักหลังจากหมักได้นาน 42 วัน แล้วทำการกลับกองอีกครั้งหนึ่ง เมื่อหมักได้นาน 84 วัน ก็จะได้ปุ๋ยหมักตามต้องการ

Howard (1933), Jackson และ Wad (1934), Joachim และ Kandiah (1934) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรผสมกับมูลสัตว์ โดยวิธีที่มีอากาศ

ถ่ายเท และได้ให้ข้อเสนอแนะนำการทำปุ๋ยหมัก โดยวิธีนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ 2 ทางคือ ช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช และช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค

Pfeiffer (1943) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักแบบ Bio-Dynamic method โดยนำเอาเศษวัสดุต่าง ๆ เช่น ฟางข้าว ใบไม้ ขี้เลื่อย มาหมักรวมกับมูลสัตว์ โดยกองเป็นชั้น ๆ ในระหว่างชั้นจะมีการเติมปูนขาวสลับกันไป ทำการกองปุ๋ยหมักให้ฐานของกองปุ๋ยกว้างประมาณ 13 ถึง 15 ฟุต ส่วนบนสุดของกองกว้างประมาณ 6 ฟุต และความสูงของกองปุ๋ยหมักประมาณ 6 ฟุต มีการกลับกองปุ๋ยหมักทุก ๆ 3 หรือ 5 เดือน

Scott (1949) เปรียบเทียบการทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าวโดยผสมกับมูลคน, มูลสัตว์ และปุ๋ยวิทยาศาสตร์ จากการทดลองพบว่าปุ๋ยหมักจากฟางข้าวผสมกับมูลสัตว์ และปุ๋ยวิทยาศาสตร์ จะมีปริมาณธาตุไนโตรเจนสูงกว่าปุ๋ยหมักจากฟางข้าวผสมกับมูลคนและปุ๋ยวิทยาศาสตร์

Reuszer (1957) แนะนำว่าการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำ ได้แก่ ฟางข้าว ขี้เลื่อย เป็นต้น ควรมีการเติมสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน เช่น เกลือแอมโมเนียม หรือแคลเซียมไซยานามายด์ ในปริมาณ 1.5 ถึง 3.5 เปอร์เซนต์ แต่โดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 2 เปอร์เซนต์

Scott (1957) ทดลองเปรียบเทียบการทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าว โดยผสมฟางข้าวกับมูลคน หรือมูลสัตว์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่า ในขณะที่กองปุ๋ยหมักมีความร้อนสูงขึ้น วิธีทำปุ๋ยหมักที่อากาศถ่ายเทได้ จะมีการสูญเสียปริมาณไนโตรเจน และอินทรีย์วัตถุมากกว่าการทำปุ๋ยหมักที่อากาศถ่ายเทไม่ได้ และในทำนองเดียวกัน Daji และ Rajagopala (1971) พบว่าการหมักแบบอากาศถ่ายเทได้ จะใช้ระยะเวลาในการหมักสั้นกว่า และมีการสูญเสียปริมาณธาตุอาหารบางชนิดมากกว่าการหมักแบบอากาศถ่ายเทไม่ได้

Cornfield (1958) ศึกษาการย่อยสลายฟางข้าวในถังหมักซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กัน พบว่าน้ำหนักของฟางข้าวที่หายไปเนื่องจากการย่อยสลายฟางข้าวของถังหมักขนาด $2 \times 2\frac{1}{2} \times \frac{1}{6}$ ลูกบาศก์ฟุต ขนาด $3 \times 3 \times 2\frac{1}{2}$ ลูกบาศก์ฟุต และขนาด $6 \times 6 \times 6$ ลูกบาศก์ฟุต มีค่าเท่ากับ 39, 54 และ 59 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ การที่น้ำหนักของฟางข้าวในถังหมักที่มีขนาดใหญ่มีค่าลดลงมากกว่าถังหมักที่มีขนาดเล็ก อาจเนื่องมาจากปริมาณของฟางข้าวในถังหมักที่มีขนาดใหญ่ทำให้เกิดความร้อนซึ่งพอเหมาะในการย่อยสลายฟางข้าว โดยเชื้อจุลินทรีย์

Russell (1961) ได้แนะนำว่า การทำปุ๋ยหมักจะต้องมีการเติมสารไนโตรเจนให้อยู่ในปริมาณเพียงพอที่จะทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการย่อยสลายจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่างของวัสดุที่ใช้ในการหมัก การให้อากาศ และความชื้นในกองหมัก

Malek และคณะ (1961) ศึกษาเกี่ยวกับแบคทีเรียที่อยู่ในกองปุ๋ยหมัก ฟางข้าว พบว่าปริมาณของแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic bacteria) และแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนจะลดลงในขณะที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้น และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกเมื่ออุณหภูมิในกองหมักลดลง ปริมาณแบคทีเรียเหล่านี้จะเป็นปฏิภาคกลับกับแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิสูง (thermophilic bacteria) ที่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในกองหมักสูงขึ้น

Obrist (1966) ศึกษาเปรียบเทียบอัตราการย่อยสลายของฟางข้าว โดยการเพิ่มธาตุอาหารบางชนิดกับการใส่ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายฟางข้าว พบว่าการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์เข้าไปในกองปุ๋ยหมักนั้นไม่มีความจำเป็นมากนัก แต่การเติมธาตุอาหารบางชนิด เช่น แอมโมเนียมไนเตรต แอมโมเนียมซัลเฟต และยูเรีย จะมีความจำเป็นมากต่อกระบวนการย่อยสลายฟางข้าว ทั้งนี้เนื่องจากการย่อยสลายฟางข้าวนั้น จุลินทรีย์จะใช้ธาตุคาร์บอนในฟางข้าวเป็นแหล่งพลังงาน และในขณะเดียวกัน เชื้อจุลินทรีย์จะมีการใช้ธาตุไนโตรเจนในการเจริญเติบโตด้วย ดังนั้นธาตุอาหารไนโตรเจนจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อกระบวนการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์อย่างยิ่ง

Chang (1967) ศึกษานิเวศน์วิทยาของเชื้อราในฟางข้าวหมัก พบว่า ในช่วงแรกของการหมัก จะพบแต่พวกราที่ชอบชื้นอยู่กับซากพืช ซากสัตว์ ต่อมาเมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้นก็จะมีเชื้อราที่ชอบความร้อนเจริญได้ดี จนในที่สุดเมื่ออุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักลดต่ำลง จะพบเชื้อราที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง และอุณหภูมิสูง ๆ เจริญอยู่ได้

Gaur และ Bhardwaj (1971) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าวโดยเติมเชื้อราที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสกับที่ไม่ได้เติมเชื้อราเลย พบว่าเมื่อหมักฟางข้าวไว้เป็นเวลา 90 วัน กองปุ๋ยหมักที่เติมเชื้อรา *Aspergillus* sp. (IF_1), *Aspergillus* sp. (IF_2), *Aspergillus* sp. (RF_2) และ *Penicillium* sp. (RF_2) จะมีผลทำให้ฟางข้าวมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 16.8, 18.9, 14.3 และ 14.8 ตามลำดับ ขณะที่กองปุ๋ยหมักที่ไม่เติมเชื้อราจะมีค่าลดลงเหลือ 20 โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของฟางข้าว

เริ่มต้นเท่ากับ 45.7

Regan และ Jeris (1970) ศึกษาการย่อยสลายของเศษขยะ และเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ตอฝัง พบว่าอัตราการย่อยสลายจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปริมาณเซลลูโลสที่มีอยู่ในวัสดุเหล่านั้น

Golueke (1972) แนะนำการทำปุ๋ยหมักแบบเปิด (open composting) โดยนำเศษพืชมาหมักให้เป็นกองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สูงประมาณ 8 ถึง 10 ฟุต และยาวประมาณ 5 ถึง 6 ฟุต พบว่าการกองปุ๋ยหมักด้วยวิธีนี้สามารถถ่ายเทอากาศได้ดี

Olkowski (1975) แนะนำการทำปุ๋ยหมักแบบชั้น (layer technique) โดยทำการหมักเศษพืชชนิดต่าง ๆ สลับกับวัสดุหรือสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ เช่น เมล็ดฝ้าย (cotton seed) เลือดแห้ง (dried blood) ปัสสาวะ (urine) พบว่าการทำปุ๋ยหมักด้วยวิธีนี้จะได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี

Yadav (1977) ทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าว โดยผสมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลส เช่น *Trichoderma viridae*, *Aspergillus niger*, *Cellulomonas* sp., *Cytophaga* sp. พบว่า หลังจากหมักฟางข้าวไว้เป็นเวลา 120 วัน กองปุ๋ยหมักที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์ลงไปจะมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 16 ถึง 18 ในขณะที่กองปุ๋ยหมักที่ไม่ได้ผสมเชื้อจุลินทรีย์จะมีค่าลดลงเหลือ 47

Golueke (1977) ได้พัฒนาการทำปุ๋ยหมักแบบอากาศถ่ายเทได้ โดยทำให้กองปุ๋ยหมักมีช่องระบายอากาศ พบว่าวิธีนี้จะช่วยให้การทำปุ๋ยหมักใช้ระยะเวลาเร็วขึ้น

Johnson (1980) ศึกษากระบวนการทางชีวเคมีของการย่อยสลายอินทรียวัตถุ พบว่า แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีส จะเป็นตัวการสำคัญที่จะทำให้เกิดการย่อยสลายอินทรียวัตถุ และเมื่อปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 55 องศาเซลเซียส จะพบเชื้อแบคทีเรียมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น

Suzuki และคณะ (1980) ศึกษาการย่อยสลายของฟางข้าวโดยวิธี net bag method ซึ่งทำได้โดยนำเอาฟางข้าวซึ่งอยู่ในถุงไนลอนฝังไว้ในดิน หรือทิ้งไว้บนดิน จากการทดลอง พบว่าในกรณีฝังถุงไนลอนไว้ในดินเป็นเวลา 50 วัน ฟางข้าวจะมีน้ำหนักหายไป 80 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะมีค่าลดลงเหลือ 20 ถึง 30

สำหรับในกรณีที่ไม่ได้ฝังไว้ในดินนั้น พบว่าฟางข้าวจะมีน้ำหนักหายไป 50 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะลดลงเหลือ 20 ถึง 30 หลังจากทิ้งไว้นานถึง 120 วัน และนอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาการย่อยสลายของเศษพืชต่าง ๆ โดยใช้ Core method ซึ่งทำได้โดยนำเอาฟางข้าวใส่ใน plastic core แล้วนำไปฝังไว้ในดิน พบว่าหลังจากฝังไว้เป็นระยะเวลานาน 70 วัน อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเศษพืชจะมีค่าลดลงเหลือ 10

สำหรับการทำปุ๋ยหมักในประเทศไทยนั้น ได้มีผู้ศึกษาไว้พอที่จะรายงานโดยสังเขปดังนี้คือ

พินิจ สุวรรณชฎ (2495) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักโดยใช้สารตัวเร่งซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์เรียกว่า prohumus พบว่า กองปุ๋ยหมักที่ใช้สารตัวเร่งผสมลงไป จะมีการย่อยสลายได้รวดเร็วกว่ากองปุ๋ยหมักที่ไม่ได้ใส่ตัวเร่ง

จรุงจันทน์ ผลชีวิต และคณะ (2504) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าว โดยมีการเติมสารอนินทรีย์ไนโตรเจนลงไป 0.3 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่า หลังจากหมักฟางข้าวไว้นาน 28 วัน ปริมาณคาร์บอนของฟางข้าวจะสูญหายไป 16.9 ถึง 20.5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบกับกองฟางข้าวหมักที่ไม่ได้เติมสารอนินทรีย์ไนโตรเจน พบว่า ฟางข้าวจะถูกย่อยสลายได้เพียง 9 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

ปรีดี ดีรักษา และ ปรัชญา ธัญญาดี (2523) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชต่าง ๆ เช่น ขุยมะพร้าว ขี้เลื่อย โดยใช้สารตัวเร่งอะโกรแมกซ์เข้มข้น ร่วมกับมูลเป็ดและยูเรีย จากการทดลองพบว่า หลังจากหมักขุยมะพร้าวไว้เป็นเวลา 90 วัน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขุยมะพร้าวในกองหมักที่ใส่ตัวเร่ง และไม่ใส่ตัวเร่งจะมีค่าลดลงเหลือ 24 และ 32 ตามลำดับ ในขณะที่ขุยมะพร้าวมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 167 ในทำนองเดียวกัน หลังจากหมักขี้เลื่อยไว้เป็นเวลา 105 วัน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขี้เลื่อยในกองหมักที่ใส่ตัวเร่งและไม่ใส่ตัวเร่ง จะมีค่าลดลงเหลือ 29 และ 47 ตามลำดับ ในขณะที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของขี้เลื่อยเท่ากับ 307

นิพนธ์ ตันติเวทย์ และ ปรีดี ดีรักษา (2523) ใช้สารตัวเร่งอะโกรแมกซ์เจือจางและอะโกรแมกซ์เซลโลสแตต เป็นตัวเร่งในการทำปุ๋ยหมักจากกากอ้อย พบว่า หลังจากหมักกากอ้อยไว้เป็นเวลา 32 วัน กองปุ๋ยหมักที่ใช้ตัวเร่งร่วมกับปุ๋ยเคมี มูลสัตว์ และน้ำตาลปี๊บจะทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของกากอ้อยลดลงเหลือ 20 ถึง 38 ขณะที่กองปุ๋ยหมักที่ไม่ได้ใส่ตัวเร่งมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 133

ปรัชญา ธัญญาดี (2523) ทำปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ต้นมันสำปะหลัง ชี้เลื่อย แกลบ ซังข้าวโพด ตลอดจนพวกเศษวัชพืชต่าง ๆ เช่น ผักตบชวา จอก แหน โดยหมักรวมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยยูเรีย และเชื้อรา *Aspergillus oryzae* Fugita ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่า หลังจากหมักเศษพืชไว้นาน 20 วัน กองปุ๋ยหมักที่เติมเชื้อรา และกองปุ๋ยหมักที่ไม่เติมเชื้อราจะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเศษพืชลดลงเหลือ 16.60 และ 20.74 ตามลำดับ ต่อมา เพลินจิต ทมทิตย์งค์, 2526 ทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าว และผักตบชวา โดยผสมยูเรีย มูลสุกร และเติมเชื้อรา *Aspergillus oryzae* Fugita ในปริมาณต่าง ๆ กัน หลังจากหมักเศษพืชไว้เป็นเวลา 20 วัน กองปุ๋ยหมักที่เติมเชื้อราลงไปจะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 10 ในขณะที่กองปุ๋ยหมักที่ไม่ได้เติมเชื้อราจะมีค่าลดลงเหลือ 20.74

พิทยากร ลิ่มทอง และ ปรัชญา ธัญญาดี (2523) ทำปุ๋ยหมักจากกากอ้อยโดยผสมกับมูลสัตว์ ยูเรีย ทินฟอสเฟต และตัวเร่งอะโกรแมกซ์ ซึ่งแปรผันเป็น 3 ระดับคือ 180, 360 และ 540 กรัม ตามลำดับ พบว่า หลังจากหมักกากอ้อยไว้เป็นเวลา 90 วัน กากอ้อยที่ผสมตัวเร่งในปริมาณ 180, 360 และ 540 กรัม และที่ไม่ผสมตัวเร่งลงไป จะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 26.99, 20.71, 20.49 และ 29.09 ตามลำดับ และในทำนองเดียวกัน ประเทือง ตรีเพชร, 2521 ได้ทำปุ๋ยหมักจากกากอ้อย และขี้เลื่อย โดยใช้ตัวเร่งอะโกรแมกซ์ เซลโลสแตต และอะโกรแมกซ์เข้มข้นหรือเจือจางมาใช้ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน มูลสัตว์ และน้ำตาลปี๊บ หลังจากหมักเศษพืชไว้เป็นเวลา 32 วัน กองหมักที่มีการเติมตัวเร่ง และที่ไม่เติมตัวเร่งจะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 20 และ 133 ตามลำดับ

มะลิวัลย์ เทพพูลผล และคณะ (2523) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา (water hyacinth) โดยหลังจากหมักผักตบชวาไว้เป็นเวลา 8 วัน พบว่า กองหมักที่ใช้ผักตบชวาอย่างเดียวจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 42 องศาเซลเซียส ขณะที่กองหมักที่ใช้ผักตบชวาผสมกับมูลควายจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 50 องศาเซลเซียส แต่เมื่อใช้ผักตบชวาผสมกับฟางข้าว และมูลควาย พบว่าอุณหภูมิในกองหมักจะสูงมากกว่า 80 องศาเซลเซียส และจากการวิเคราะห์หาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักที่ได้ พบว่า หลังจากหมักฟางข้าวไว้เป็นเวลา 35 และ 105 วัน กองปุ๋ยหมักที่ใช้ผักตบชวาจะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 11.0 และ 9.4 ตามลำดับ ส่วนกองปุ๋ยหมักที่ใช้ผักตบชวาผสมกับมูลควาย จะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ลดลงเหลือ 14.1 และ 11.0 ตามลำดับ

นิลิต ปัทมโยธิน (2525) ทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าว โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงขั้น (biodynamic reactor) โดยพิจารณาผลของอัตราการให้อากาศที่มีต่อการย่อยสลายฟางข้าวโดยตัวเร่งอะโกรแมกซ์ ภายในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกบรรจุฟางข้าวไว้ภายใน และให้อากาศไหลผ่านในแนวรัศมี ฟางข้าวที่ใช้มีความชื้นเริ่มต้น 80 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่า เมื่อให้อากาศในอัตรา 22.1×10^{-6} $ม^3$/วินาที/กิโลกรัมฟางข้าว มีค่าความถี่ในการถ่ายเทมวลสูงสุด 21×10^{-5} หน่วยต่อวินาที และมีอัตราการผลิตความร้อนของจุลินทรีย์ต่อหน่วยปริมาตรของฟางข้าวสูงสุดเท่ากับ 4.6 กรัมคาลอรี่/วินาที/$ม^3$ ภายหลังการย่อยสลายฟางข้าวในเครื่องปฏิกรณ์เป็นระยะเวลา 15 วัน ค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของฟางข้าวจะมีค่าลดลงจาก 46 เหลือ 25

สุพจน์ เรืองฤทธินนท์ และคณะ (2525) ทำปุ๋ยหมักจากกากอ้อย โดยผสมกับมูลสุกรแห้งยูเรีย และเติมสารตัวเร่งบี-ล่อง เป็น 4 ระดับคือ 5, 10, 15 และ 20 กรัม ตามลำดับ พบว่าหลังจากหมักกากอ้อยไว้นาน 21 วัน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของกากอ้อยในกลุ่มทดลองซึ่งเติมตัวเร่งในปริมาณ 5, 10, 15 และ 20 กรัม กับกลุ่มควบคุม จะมีค่าลดลงเหลือ 18.19, 12.77, 14.35, 19.77 และ 25.02 ตามลำดับ

สุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2527) ทำปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย ขุยมะพร้าว ยี่เก่าแกลบ แล้วนำมาหมักรวมกับน้ำกากส่า โดยมีการเติมตัวเร่งบางชนิด เช่น ตัวเร่งไบโอนิค

2.2 วิธีการทำปุ๋ยหมัก

Updegraff (1972); Minnich และ Hunt (1979) แบ่งการทำปุ๋ยหมักได้ 2 แบบคือ แบบอากาศถ่ายเทได้ (aerobic composting) และแบบอากาศถ่ายเทไม่ได้ (anaerobic composting)

2.2.1 การทำปุ๋ยหมักแบบอากาศถ่ายเทได้

กระบวนการหมักที่เกิดขึ้น จะเกิดโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ (aerobic microorganism) จึงทำให้ต้องมีการกลับกองอยู่เสมอ การทำปุ๋ยหมักโดยวิธีนี้

อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักจะเริ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางชีวเคมี ในช่วงแรก ๆ ของการหมักจะพบเชื้อราและแบคทีเรียเพิ่มปริมาณมากขึ้น จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเกือบถึงจุดสูงสุด จุลินทรีย์ที่ทนต่อความร้อน (thermoduric microorganism) เช่น แอคติโนมัยซีส์จะเพิ่มปริมาณมากขึ้น และการทำปุ๋ยหมักโดยวิธีนี้ จะใช้ระยะเวลาในการหมักสั้น เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเศษวัสดุเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีผู้พบว่า เมื่อนำเศษวัสดุเหลือทิ้งในเขตเทศบาลมาทำปุ๋ยหมักโดยมีการกลับกองทุก ๆ 5 ถึง 7 วัน จะใช้ระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักเพียง 49 วัน (Stutzenberger และคณะ, 1970) การเติมดินส่วนหรือดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ลงในกองปุ๋ยหมัก จะช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการย่อยสลายเศษวัสดุให้เร็วขึ้น (สุนทร วงศ์สวัสดิ์, 2516) และกองปุ๋ยหมักที่ดีจะต้องรักษาความชื้นให้อยู่ในระดับ 50 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ โดยต้องไม่ชื้นแฉะจนเกินไป (Poincelot, 1972) นอกจากนี้การเติมปุ๋ยไนโตรเจนลงไปในกองปุ๋ยหมักมากเกินไป จะทำให้มีการสูญเสียปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียเกิดขึ้นได้ (Alexander, 1977; Rao, 1977)

2.2.2 การทำปุ๋ยหมักแบบอากาศถ่ายเทไม่ได้

กระบวนการที่เกิดขึ้นจะปลดปล่อยพลังงานในรูปความร้อนออกมาน้อยกว่าการทำปุ๋ยหมักในสภาพอากาศถ่ายเทได้ นอกจากนี้พบว่าสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอนจะไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ในสภาพที่ไม่มีอากาศ การทำปุ๋ยหมักแบบนี้อาจเรียกได้ว่าเป็นกระบวนการเย็น (cold process) เพราะอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก ข้อดีของการทำปุ๋ยหมักวิธีนี้ก็คือ ลดขบวนการอ็อกซิเดชั่นของสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ทำให้ไม่มีการสูญเสียไนโตรเจนในรูปอิสระ และไม่ต้องเสียแรงงานในการกลับกองปุ๋ย เมื่อทำกองปุ๋ยเสร็จก็ปล่อยทิ้งไว้จนได้ปุ๋ยหมักตามต้องการ แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือต้องใช้ระยะเวลาในการหมักนานกว่าการทำปุ๋ยหมักแบบอากาศถ่ายเทได้ และมีกลิ่นไม่ดีเกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ (anaerobic microorganism) ย่อยสลายโปรตีน ทำให้เกิดสารที่มีกลิ่นต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (กลิ่นเหม็นเน่า) อินโดล หรือสเกตโทล (กลิ่นอุจจาระ) เป็นต้น (Updegraff, 1972)

2.3 ระบบนิเวศน์วิทยาของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก

Updegraff (1972) พบว่ากระบวนการที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมักจะเป็นไปอย่างช้า ๆ เริ่มตั้งแต่การที่นำเอาเศษพืชซึ่งเป็นอินทรียวัตถุมากองรวมกัน การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นอย่าง

มีระบบ และเป็นขั้นตอนทางระบบนิเวศน์วิทยาของจุลินทรีย์ ภายหลังจากการกองปุ๋ยหมักเพียงไม่กี่วัน อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่ง 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส โดยในช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิจะพบว่ามีเชื้อราอยู่เป็นจำนวนมาก และมักพบเชื้อราที่ทนต่ออุณหภูมิสูงได้ (thermotolerant fungi) เช่น เชื้อรา *Aspergillus fumigatus* เชื้อราชนิดนี้เจริญได้ดีทั้งอุณหภูมิปานกลาง และอุณหภูมิสูง คือ ตั้งแต่ 20 องศาเซลเซียส ถึง 50 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 30 ถึง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้เชื้อราชนิดนี้เป็นพวกทนอุณหภูมิสูงมากกว่าชอบอุณหภูมิสูง นอกจากนี้เชื้อราชนิดนี้ยังเป็นพวกที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี ดังนั้นในช่วงเวลาดังกล่าวจึงเป็นระยะที่เริ่มกระบวนการย่อยสลายเซลลูโลส เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส พบจุลินทรีย์พวกแอคติโนมัยซีสมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงชนิดของจุลินทรีย์ในช่วงนี้ อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมเชื้อแอคติโนมัยซีสที่พบเสมอ ได้แก่ Thermoactinomyces ซึ่งอยู่ในกลุ่มของ Actinobifoda ในระยะที่แอคติโนมัยซีสปรากฏอยู่นี้ สามารถมองเห็นลักษณะเป็นจุดสีขาวเล็ก ๆ ขึ้นตามวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก จุลินทรีย์เหล่านี้เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และสามารถเจริญได้ถึง 60 ถึง 65 องศาเซลเซียส ในบางครั้งอาจพบว่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักอาจสูงขึ้นถึง 80 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขนาดนี้จะทำให้จุลินทรีย์พวกนี้หยุดการเจริญเติบโต และเมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 65 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่านี้ จุลินทรีย์เหล่านี้ก็จะกลับมีการเพิ่มจำนวนอีกครั้งหนึ่ง นอกจากนี้พบว่าบริเวณภายนอกกองปุ๋ยหมักซึ่งมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำและมีความชื้นน้อย จะพบจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียและเชื้อราที่ชอบอุณหภูมิปานกลางเป็นจำนวนมาก แต่ในบริเวณกลางกองปุ๋ยหมักซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นมากกว่า จะพบจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูง และพวกที่ทนต่ออุณหภูมิสูง ดังนั้นการกลับกองปุ๋ยหรือการช่วยถ่ายเทอากาศจะทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักไม่ร้อนจนเกินไป อุณหภูมิจะสม่ำเสมอทั่วทั้งกอง ซึ่งมีผลช่วยเร่งอัตราการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้ระยะเวลาในการหมักเร็วขึ้นกว่าเดิม

2.4 <u>จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ยหมัก</u> (แสดงในตารางที่ 2.1)

Finstein และ Morris (1975); Minnich และ Hunt (1979) ได้แบ่งชนิดของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ยหมักเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

2.4.1 แบคทีเรีย

แบคทีเรียที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมักส่วนใหญ่เป็นพวก heterotrophic คือใช้อินทรียวัตถุ หรืออินทรียสารเป็นแหล่งพลังงาน แบคทีเรียที่พบในกองปุ๋ยหมักมีหลายจำพวก มีทั้งพวกที่เจริญได้ในอุณหภูมิปานกลาง และอุณหภูมิที่สูง ๆ แบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นพวกที่ต้องการอากาศ (aerobic bacteria) และจะพบอยู่ในทุกช่วงของการทำปุ๋ยหมัก ในช่วงแรกของการหมัก จะพบแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลางก่อน แล้วหลังจากที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้นจะพบแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิสูง (Hayes, 1969) โดยทั่วไปปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดที่พบในกองปุ๋ยหมักมีประมาณ 2.3×10^8 เซล/ปุ๋ยหมัก 1 กรัม สำหรับแบคทีเรียที่มีสปอร์และทนความร้อนได้ดี จะมีประมาณ 3.9×10^4 เซล/ปุ๋ยหมัก 1 กรัม (พิทยากร ลิ่มทอง, 2523) มีผู้พบว่า เมื่ออุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักสูงมากขึ้น ปริมาณของแบคทีเรียส่วนใหญ่จะมีค่าลดลง (Carlyle และ Norman, 1941) แบคทีเรียที่พบในกองปุ๋ยหมักส่วนใหญ่เป็นพวก *Pseudomonas* sp., *Achromobactor* sp., *Flavobacterium* และ *Micrococcus* sp. โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียพวก *Bacillus* sp. จะพบมากกว่าแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ (Anonymous, 1955) แบคทีเรียพวก Bacillus บางสายพันธุ์เป็นพวกที่ชอบอุณหภูมิสูง เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิประมาณ 50 ถึง 55 องศาเซลเซียส ในบางกรณีอาจถึง 65 องศาเซลเซียส แบคทีเรียเหล่านี้ได้แก่ *Bacillus subtilis* และ *B. sterothermophilus* นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียชนิดนี้สามารถสร้างสปอร์เพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงถึง 75 องศาเซลเซียส จะพบแบคทีเรียพวก *Clostridium* sp. เป็นจำนวนมาก (Waksman และคณะ, 1939) นอกจากนี้จะพบแบคทีเรียพวก *Bacillus* sp. และ *Clostridium* sp. ในกองปุ๋ยหมักที่มีอุณหภูมิสูง แล้วยังพบแบคทีเรียชนิดอื่นที่ไม่สร้างสปอร์ และทนต่อความร้อนได้สูง แบคทีเรียชนิดนี้เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 40 ถึง 79 องศาเซลเซียส แต่จะเจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เรียกแบคทีเรียชนิดนี้ว่า *Thermus aquaticus* (พิทยากร ลิ่มทอง, 2523)

2.4.2 รา (Fungi)

เชื้อราที่พบในกองปุ๋ยหมักส่วนใหญ่เป็นพวก saprophyte คือเจริญเติบโตบนซากพืช ซากสัตว์ที่ตายแล้ว และได้พลังงานจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุในซากพืช ซากสัตว์เหล่านั้น ในกองปุ๋ยหมักมักจะตรวจพบเชื้อราอยู่เสมอ แต่ชนิดและปริมาณของเชื้อราที่ตรวจพบ

จะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำเป็นปุ๋ยหมัก ความชื้น และอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก ฯลฯ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้น จะพบแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา (พิทยากร ลิ่มทอง, 2524) นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาชนิดและปริมาณของเชื้อราในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีเชื้อราปรากฏอยู่ได้ แต่เมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงถึง 65 องศาเซลเซียส จะไม่พบเชื้อราเหล่านี้เลย (Waksman, 1940; Eastwood, 1952) แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ก็ยังพบเชื้อราอยู่ได้ในบริเวณรอบนอกของกองปุ๋ยหมัก ซึ่งมีสภาพอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ และมีความชื้นน้อยกว่าในกองปุ๋ยหมัก สำหรับเชื้อราที่ชอบอุณหภูมิสูงส่วนใหญ่จะเป็นพวก *Humicola lanuginosa, Aspergillus fumigatus* ซึ่งเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงประมาณ 50 ถึง 55 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงถึง 65 องศาเซลเซียส จะไม่พบเชื้อราเหล่านี้เลย โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเริ่มสูงขึ้น จะพบเชื้อรา *Geotrichum candidum, Aspergillus fumigatus, Cladosporium* sp. และ *Mucor* sp. เจริญเติบโตได้ดี แต่เมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงกว่านี้ จะพบพวก *Penicillium duponti* เจริญได้ดีกว่า (Klopotek, 1962) นอกจากนี้ยังพบเชื้อราที่ชอบอุณหภูมิสูง และทนต่ออุณหภูมิสูงอีกหลายชนิดด้วยกัน เช่น *mucor pullsillus, Humicola lanuginosa, Sporotrichum thermophile, Malbranchea pulchella* var *sulfarea, Absidia ramosus Aspergillus fumigatus* (Gregory และ Lacey, 1963; Festenstein และคณะ, 1965) เช่นเดียวกับที่มีผู้พบเชื้อรา *Humicola grisea* var *thermoidea Stibella thermophila* และ *Aspergillus fumigatus* ในกองปุ๋ยหมักที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง (Fergus, 1964)

2.4.3 <u>แอคติโนมัยซีส์</u> (Actinomycetes)

โดยทั่วไปแอคติโนมัยซีส์เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญได้ช้ากว่าพวกแบคทีเรียและราเจริญได้ดีในสภาพที่มีอากาศ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญอยู่ระหว่าง 46 ถึง 65 องศาเซลเซียส มักจะพบเชื้อนี้เจริญเป็นกลุ่มบนวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก โดยจะมองเห็นเป็นจุดสีขาว ๆ คล้ายผงปูนขาว ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเห็นได้ในกองปุ๋ยหมักหลังจากอุณหภูมิขึ้นถึงจุดสูงสุด และจากการศึกษาเชื้อแอคติโนมัยซีส์ในกองปุ๋ยหมัก พบว่าเชื้อนี้จะเจริญได้ในช่วงที่อุณหภูมิสูงถึง 65 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินกว่า 75 องศาเซลเซียส พบว่าการเจริญของเชื้อนี้จะลดลง หรือหยุดไปเลย โดยที่ความสามารถในการเจริญได้ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงจะขึ้นอยู่กับชนิดของแอคติโนมัยซีส์เป็นสำคัญ

(Waksman และคณะ, 1939) เชื้อแอคติโนมัยซีส์ที่พบในกองปุ๋ยหมักส่วนใหญ่เป็นพวก *Thermoactinomycetes* sp., *Thermomonospora* sp. และ *Micropolyspora* sp. (Erickson, 1952; Stuzenberger, 1972; Lacey, 1973) นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อ *Streptomyces* sp. ซึ่งเป็น Actinomyces ชนิดหนึ่ง จะเจริญได้ดีเมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักอยู่ในช่วง 40 ถึง 50 องศาเซลเซียส (Lacey, 1973) และจากข้อมูลต่าง ๆ จึงพอสรุปได้ว่าเชื้อแอคติโนมัยซีส์จะมีบทบาทที่สำคัญในการย่อยสลายอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมักในขณะที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของจุลินทรีย์ที่แยกได้จากกองปุ๋ยหมัก

ชนิดของจุลินทรีย์	เอกสารอ้างอิง
Bacteria :	
Azotobacter sp., *Clostridium* sp.	Malek, Moniband, Zayed, 1961
Bacillus subtilis, *B. Sterothermophilus* *Flavobacterium* sp.	
Pseudomonas sp.	
Achromobacter sp., *Bacillus subtilis*, *B. sterothermophilus*	Finstein และ Morris, 1975
Clostridium thermocellum, *Escherichia coli*, *Flavobacterium* sp.	
Pseudomonas sp., *Serratia* sp., *Streptococcus* *Thermus aquaticus*	
Cellulomonas sp., *Cytophaga* sp.	Yadav, 1977
Bacillus coagulans, *B. subtilis*, *Flavobacterium* sp., *Pseudomonas* sp.	Femor และ Wood, 1979
Fungi :	
Alternaria terxis, *Aureobasidium* *pullulans*, *Absidia ramosa*	Chang และ Hudson, 1967
Aspergillus amstelodami, *A. candidus*, *A. fumigatus*, *A. nidulans*	
A. versicolor, *Cladosporium herbarum*, *Mucor pusillus*, *Penicillium* sp.	
A. fumigatus, *Humicola griseus*, *H. lanuginosa*	Hayes และ Lim, 1979
Mucor pusillus, *Torula thermophila*	
A. flavus, *A. fumigatus*, *A. niger*, *A. ustus*	Mahloch, 1972

012007

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ชนิดของจุลินทรีย์	เอกสารอ้างอิง
Fusarium sp., *Scopulariopsis brevicaulis*, *Scopulariopsis* sp.	
Thielavia sepedonium, *Cephalosporium* sp., *Stemphylium* sp.	
Trichoderma viridae, *Mucor* sp., *Curvularia* sp., *Rhizopus* sp.	
Penicillium implicatum, *Pen. lanosum*, *Pen. chrochloron*	
Cladosporium sp., *Alternaria* sp., *Sporotrichum* sp.	
A. niger, *A. terreus*, *Chaetomium abuanse*	Yadav, 1977
Trichoderma viridae, *Myrothecium roridum*	
Chaetomium thermophile, *Humicola grisea*, *Mucor pusillus*	Femor และ Wood, 1979
Actinomyces :	
Streptomyces thermovulgaris, *S. rectus*	Hayes และ Lim, 1979
Thermoactinomyces sp., *Thermomonospora curvata*	Finstein และ Morris, 1975
Micropolyspora sp., *Streptomyces* sp.	
Thermoactinomyces vulgaris, *Streptomyces* sp.	Femor และ Wood, 1979

2.5 องค์ประกอบของเศษพืชที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

เนื่องจากประเทศไทยมีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก เช่น ฟางข้าว ซานอ้อย ซังข้าวโพด เปลือกถั่ว เป็นต้น เศษวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มีองค์ประกอบของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ ฟางข้าวจัดเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สำคัญอย่างหนึ่ง โดยประมาณกันว่า ในปีหนึ่ง ๆ จะมีฟางข้าวในเอเชียเหลืออยู่ประมาณ 561 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็น 90 เปอร์เซนต์ของฟางข้าวทั้งหมดในโลก (ดังแสดงในตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณข้าว และฟางข้าวที่ผลิตได้ในโลก (Han, 1978)

พื้นที่	ข้าว (Rice) (10^4 เมตริกตัน)	ฟางข้าว (Rice straw) (10^4 เมตริกตัน)
โลก	308,700	617.4
เอเชีย	280,833	561.7
สหรัฐอเมริกา	5,176	10.74

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งในทวีปเอเชียที่มีการเพาะปลูกข้าวเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีฟางข้าวเหลืออยู่มาก โดยทั่วไปฟางข้าวสามารถนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์หลายอย่างด้วยกัน เช่น นำมาใช้โดยตรง ได้แก่ การนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง อาหารเลี้ยงสัตว์ หรือนำมาใช้ในทางอ้อมคือ ต้องผ่านกระบวนการแปรรูปทางเคมีหรือทางกายภาพเสียก่อน เช่น นำมาทำเป็นกระดาษ น้ำตาล แอลกอฮอล์ หรือสารเคมีบางชนิด เช่น เฟอร์เฟอรอล (furfural), ไซลิทอล (xylitol), สารประกอบฟีนอลลิค (phenolic compound) เป็นต้น (Han, 1978) แม้ว่าประเทศไทยจะมีโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบอยู่ก็ตาม แต่ปริมาณฟางข้าวที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฟางข้าวทั้งหมดในประเทศ การทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าวจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้ฟางข้าวถูกนำกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์อีกครั้งหนึ่ง

ฟางข้าวมีองค์ประกอบทางด้านเคมีค่อนข้างสลับซับซ้อน ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลลูโลส ประมาณ 36 ถึง 40 เปอร์เซนต์ และมีลิกนินประมาณ 10 ถึง 15 เปอร์เซนต์

(Aronovsky และคณะ, 1943; Muller, 1960; Bacon, 1979) เซลลูโลส์ที่อยู่ในฟางข้าวจะมีโครงสร้างแบบไมเซล (micelle) ประกอบด้วยโพลีเมอร์ (polymer) ของกลูโคส์เชื่อมต่อกันด้วย β 1, 4 glycosidic linkage (Davidson, 1967; Stacey, 1976) ส่วนเฮมิเซลลูโลส์นั้น เป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลเพนโตส์ (pentose sugar) ทำหน้าที่เป็น cement material ที่เชื่อมให้ cellulose micelles และ fibrils อยู่ด้วยกัน เฮมิเซลลูโลส์ส่วนใหญ่เป็นพวกไซแลน (Xylan) ประกอบด้วยโพลีเมอร์ของไซโลส์เชื่อมต่อกันด้วย β 1, 4 Xylosidic linkage (Hampton และคณะ, 1929; Haworth และคณะ, 1934) ทั้งเซลลูโลส์และเฮมิเซลลูโลส์ จัดเป็นส่วนที่ง่ายต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ แต่ลิกนินซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของสารประกอบพวกอะโรเมติกเรียกว่า Phenylpropan unit (Alexander, 1977) ลิกนินจัดเป็นส่วนที่ย่อยสลายยากที่สุด และยังทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้ฟางข้าว รวมทั้งป้องกันการทำลายซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์อื่น ๆ นอกจากนี้ฟางข้าวยังประกอบด้วย โปรตีน ไฟเบอร์ ขี้ผึ้ง น้ำตาล ขี้เถ้า และซิลิกา เป็นต้น (Clawson และคณะ 1970) ซิลิกามีผลทำให้การย่อยสลายเซลลูโลส์เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ การดึงเอาซิลิกาออกก่อนจะทำให้การย่อยสลายฟางข้าวเกิดเร็วขึ้น (Soest และ Jones, 1968) โดยทั่วไปพืชทุกชนิดจะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ และมีอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน (Smithson, 1958) นอกจากนี้พบว่าการย่อยสลายฟางข้าวจะเกิดได้เร็วหรือช้าจะขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของฟางข้าวเป็นสำคัญ

2.6 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทำปุ๋ยหมัก

Kershaw (1968); Finstein และ Morris (1975) พบว่า การทำปุ๋ยหมักจะต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญดังต่อไปนี้

2.6.1 อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน เป็นค่าที่ชี้บอกถึงขั้นตอนของกระบวนการที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมัก และยังเป็นตัวกำหนดว่าควรจะใส่แหล่งไนโตรเจนลงไปเท่าใดจึงจะเหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทั้งนี้เพราะการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์จำต้องใช้สารอาหารเช่นเดียวกับเซลของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ โดยสารอาหารต้องมีอยู่ในปริมาณที่เพียงพอ จึงจะทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ กระบวนการย่อยสลายพวกเซลลูโลส์จะเกิดขึ้นได้ช้าเมื่อมีการขาดไนโตรเจน (Finstein และ Morris, 1975) โดยทั่วไปปริมาณไนโตรเจน

ที่พอเหมาะต่อการสร้างเซลหรือการเจริญเติบโตเมื่อคิดเทียบกับปริมาณคาร์บอน ควรจะมีค่าน้อยกว่า 30 ต่อ 1 ปกติจะอยู่ในช่วงที่กว้าง คือประมาณ 26 ต่อ 1 ถึง 35 ต่อ 1 ในกรณีที่อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่านี้ จุลินทรีย์จะใช้คาร์บอนเป็นแหล่งอาหารอย่างรวดเร็ว ในเวลาเดียวกันก็จำเป็นต้องใช้ไนโตรเจนด้วย แต่เนื่องจากมีไนโตรเจนอยู่เพียงเล็กน้อย จึงทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ไม่ดี และยิ่งอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าสูงมาก ๆ อาจจะทำให้จุลินทรีย์ขาดไนโตรเจนได้ ซึ่งมีผลทำให้การสลายตัวเป็นไปอย่างช้า ๆ หรือมิฉะนั้นจำเป็นต้องมีการนำไนโตรเจนจากดินมาใช้ ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง (สมศักดิ์ วังใน, 2528) การวัดอัตราการย่อยสลายของปุ๋ยหมัก นอกจากจะดูที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแล้ว ยังสามารถดูจากปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ไป (oxygen-uptake) พบว่า ชิ้เลื่อยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง จะมีการใช้ออกซิเจนน้อยกว่าชิ้เลื่อยที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (Galler และ Davey, 1971) ดังนั้น ในการทำปุ๋ยหมักจึงต้องพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุที่นำมาทำเป็นปุ๋ยหมัก เพื่อที่จะได้มีการเติมไนโตรเจนลงไปเพื่อทำให้อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าอยู่ประมาณ 30 ต่อ 1 แล้วจะทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ดี และมีกิจกรรมในการย่อยสลายเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักจะมีค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนแตกต่างกันมาก (ดังแสดงในตารางที่ 2.3) ดังนั้นถ้ามีการใช้วัสดุที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง จะต้องมีการเติมแหล่งไนโตรเจนลงไปในกองหมักด้วยเสมอ แต่ปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ลงไปนี้ ถ้าใส่มากไป (โดยเฉลี่ยแล้วควรต่ำกว่า 26 ต่อ 1) จะทำให้เกิดการสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ คือ ไนโตรเจนส่วนที่เกินพอจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย และถูกปลดปล่อยออกมาจากกองปุ๋ยหมัก ทำให้เกิดกลิ่นแอมโมเนีย (NH_3) เรียกกระบวนการนี้ว่า แอมโมนิฟิเคชั่น (ammonification) แต่บางครั้งแอมโมเนียที่เกิดขึ้นอาจถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) โดยขบวนการ ไนตริฟิเคชั่น (nitrification) ซึ่งช่วยทำให้ปุ๋ยหมักมีคุณภาพดีขึ้นเนื่องจากพืชใช้อนุมูลไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ดีกว่าอนุมูลแอมโมเนียม

2.6.2 <u>ความเป็นกรดเป็นด่าง</u> (pH)

ในกระบวนการหมักจะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ตลอดเวลา ในช่วง 2 ถึง 4 วันแรกของการหมัก ความเป็นกรดเป็นด่างจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในกองปุ๋ยหมักมีการใช้สารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลาย

ได้ง่าย และทำให้เกิดกรดขึ้นมา ซึ่งในช่วงนี้อาจได้กลิ่นของอะซีติก แอซิด (acetic acid) หรือบิวทีริก แอซิด (butyric acid) (Block, 1965) และหลังจากนั้นความเป็นกรดเป็นด่างในกองปุ๋ยหมักก็จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการที่กรดเหล่านั้นระเหยออกไป หรืออาจเกิดจากการที่จุลินทรีย์บางชนิดในกองปุ๋ยหมักสามารถใช้กรดเหล่านี้ได้ การย่อยสลายของจุลินทรีย์จะดำเนิน

ตารางที่ 2.3 แสดงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเศษพืชชนิดต่าง ๆ (ปรัชญา ธัญญาดี, 2526)

ชนิดของเศษพืช	ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	307
ขี้เลื่อยไม้เบญจพรรณ	249
ขุยมะพร้าว	167
แกลบ	152
กากอ้อย	146
ซังข้าวโพด	124
เศษปอกระเจา	115
ฟางข้าว	89
เปลือกถั่วลิสง	75
ต้นข้าวโพด	62
เปลือกมันสำปะหลัง	58
ไส้ปอเทือง	52
ผักตบชวา	36
ต้นหญ้าขน	35

ต่อไปจนกระทั่งถึงขั้นสุดท้ายของการหมัก ซึ่งจะมีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 7.0 ถึง 9.0 (สมศักดิ์ วังใน, 2528) โดยทั่วไปแล้วเศษวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักมักจะมีความเป็นกรดเป็นด่างแตกต่างกัน (Minnich และ Hunt, 1979) แต่ส่วนใหญ่แล้วเศษวัสดุเหล่านี้จะมีความเป็นกรด

เป็นด่างค่อนข้างเป็นกรด คือประมาณ 4.5 ถึง 6.0 (Block, 1965) สำหรับวัสดุบางชนิดที่เป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ตะกอนในน้ำทิ้ง (sewage sludge) และชานอ้อย (bargass) จะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างค่อนข้างสูง เนื่องจากผ่านกรรมวิธีและกระบวนการทางเคมีมาก่อน ดังนั้นเมื่อจะนำเศษวัสดุเหล่านี้ไปใช้ในการทำปุ๋ยหมัก จะต้องทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างลดลงจนค่อนข้างจะเป็นกรดเล็กน้อย ประมาณ 6.5 (Galler และ Davey, 1971) และถ้าไม่มีการปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างในเศษวัสดุที่มีความเป็นกรดเป็นด่างค่อนข้างสูงแล้ว การเพิ่มของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมักจะเป็นไปอย่างช้า ๆ โดยอุณหภูมิสูงสุดจะต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส แต่ถ้ามีการปรับความเป็นกรดเป็นด่างตอนเริ่มต้นให้ใกล้เคียงกับความเป็นกลาง (ความเป็นกรดเป็นด่าง ~ 7) อุณหภูมิในกองอาจจะสูงขึ้นถึง 60 หรือ 70 องศาเซลเซียส สำหรับเศษวัสดุเหลือทิ้งในทางการเกษตรนั้น ไม่จำเป็นต้องมีการปรับความเป็นกรดเป็นด่างเลย เพราะกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์สามารถเกิดขึ้นได้เอง และความเป็นกรดเป็นด่างก็จะถูกควบคุมโดยระบบของกิจกรรมของจุลินทรีย์ธรรมชาติ แต่ในกรณีที่วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จำเป็นต้องทราบความเป็นกรดเป็นด่างในตอนแรกว่าเป็นกรดหรือด่างก่อน เพื่อจะทำการปรับความเป็นกรดเป็นด่างให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการหมักต่อไป

2.6.3 <u>ความชื้น</u> (moisture)

ความชื้นเป็นปัจจัยที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิต และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก ความชื้นที่เหมาะสมในกองปุ๋ยหมักควรจะอยู่ในช่วง 50 ถึง 60 เปอร์เซนต์ (Poincelot, 1972) หรือ 60 ถึง 70 เปอร์เซนต์ (Daji และ Rajagopala, 1971) ความชื้นในช่วงนี้จะทำให้กองปุ๋ยหมักชื้นแต่ไม่แฉะ ในสภาพที่มีความชื้นสูงกว่า 80 เปอร์เซนต์ จะทำให้กองปุ๋ยหมักแฉะเกินไป เกิดสภาพที่ไม่มีอากาศ (anaerobic condition) คืออ็อกซิเจนในอากาศจะแพร่กระจายลงไปในปุ๋ยหมักได้น้อยลง ประกอบกับจุลินทรีย์ที่อยู่ในกองปุ๋ยหมักซึ่งใช้อ็อกซิเจนอยู่ตลอดเวลา เกิดขาดออกซิเจน ทำให้จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว มีผลทำให้กระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุเกิดได้ช้าลง อุณหภูมิในระหว่างการหมักค่อนข้างต่ำ และยังมีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้นด้วย (Daji และ Rajagopala, 1971; Updegraff, 1972) นอกจากนี้พบว่าขนาดของเศษวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักก็มีความสำคัญ ถ้าเศษวัสดุที่ใช้เป็นฟางข้าว หรือเป็นเศษวัสดุที่มีไฟเบอร์เป็นองค์ประกอบ

มาก การให้ความชื้นเริ่มต้นแก่กองหมักอาจจะมีค่าสูงได้ เนื่องจากเศษวัสดุเหล่านี้อมความชื้นได้ดี และสามารถทนต่อสภาพที่มีความชื้นสูงได้ แต่ถ้าเศษวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักมีลักษณะละเอียด ปน การให้ความชื้นเริ่มต้นแก่กองหมักจะต้องไม่สูงมากนัก เพราะถ้าให้ความชื้นมากเกินไป จะทำให้เกิดการจับเป็นก้อน การย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ

2.6.4 อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะเป็นตัวชี้บอกถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้ดี ในช่วงแรกของการหมัก พบว่าอุณหภูมิในกองหมักจะสูงขึ้น เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักกับปริมาณของเชื้อราและแบคทีเรียมักจะมีความสัมพันธ์กัน (Mahloch, 1972; Malek และ Monib, 1969) นั่นย่อมแสดงว่าทั้งเชื้อราและแบคทีเรียต่างก็มีบทบาทที่สำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบของเศษซากพืช โดยทั่วไปอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะคือ ระยะที่อุณหภูมิปานกลาง (mesophilic stage) ระยะนี้เป็นระยะที่อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 40 องศาเซลเซียส ส่วนอีกระยะหนึ่ง เป็นระยะที่มีอุณหภูมิสูงมากกว่า 80 องศาเซลเซียส เรียกว่า ระยะที่มีอุณหภูมิสูง (thermophilic stage) ตามปกติเมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงมาก ๆ (เกิน 80 องศาเซลเซียส) จุลินทรีย์จะตายลง ทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงระดับหนึ่ง จุลินทรีย์ที่ตายไปแต่มีสปอร์ที่ทนต่ออุณหภูมิเหลืออยู่ จะงอกและเจริญเติบโตขึ้นมา สภาพเช่นนี้จะเกิดขึ้นอีกหลายครั้ง จนกระทั่งการย่อยสลายอินทรียวัตถุจะเสร็จสมบูรณ์ นอกจากจุลินทรีย์จะเป็นตัวทำให้เกิดความร้อนในกองปุ๋ยหมักแล้ว ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมักก็เป็นตัวทำให้เกิดความร้อนได้ ซึ่งพบว่าบางครั้งอาจทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 85 ถึง 93 องศาเซลเซียส และนอกจากนี้พบว่าการที่กองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก ๆ นั้น จะมีผลดีในแง่การทำลายเมล็ดวัชพืช ตัวอ่อนของแมลง ตลอดจนทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุในการทำให้เกิดโรค (Daji และ Rajagopala, 1971)

2.6.5 การถ่ายเทอากาศ (aeration)

การถ่ายเทอากาศภายในกองปุ๋ยหมัก มีความสำคัญมาก เพราะนอกจากจะเป็นการลดความร้อนภายในกองปุ๋ยหมักแล้ว ยังเป็นการถ่ายเทอากาศภายในกองปุ๋ยหมักให้ดีขึ้นด้วย ส่วนใหญ่กระบวนการย่อยสลายจะเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ ดังนั้นกองปุ๋ยหมักที่มีการถ่ายเทอากาศได้ดี จะทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดได้รวดเร็ว แต่ถ้ากองปุ๋ยหมักมีการ

ถ่ายเทอากาศได้ไม่ดี พบว่าการย่อยสลายอินทรียวัตถุจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ (Daji และ Rajagopala, 1971) การให้อากาศกับกองปุ๋ยหมักอาจทำได้หลายวิธี เช่น การกลับกองปุ๋ย ซึ่งอาจทำได้ทุก ๆ 5 วัน, 7 วัน หรือ 10 วัน แล้วแต่ความเหมาะสม นอกจากนี้อาจมีการสร้างท่อระบายอากาศให้กับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมในปัจจุบัน เนื่องจากทุ่นแรงและเวลาในการกลับกองปุ๋ย

2.7 ความเป็นมาของการศึกษาจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส (cellulose)

วิธีแยกเชื้อรา (isolation) ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ละวิธีจะมีหลักการคล้ายคลึงกัน วิธีการแยกเชื้อรานี้อาศัยการดัดแปลงมาจากวิธีแยกเชื้อแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสได้ การศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการย่อยสลายเซลลูโลสมีขึ้นครั้งแรกในราวศตวรรษที่ 19 ซึ่งในสมัยนั้นยังไม่มีใครเข้าใจกระบวนการย่อยสลายเซลลูโลสจากธรรมชาติเท่าใดนัก อาจเนื่องมาจากไม่ทราบองค์ประกอบทางเคมีของเซลลูโลส และเฮมิ-เซลลูโลส หลังจากนั้นเป็นต้นมา ความสนใจเกี่ยวกับเรื่องนี้ก็เริ่มมีมากขึ้น

Appel และ Schikhorra (1906); Schaffnit และ Herman (1930) พบว่าเชื้อรา *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Chaetomium* sp., *Humicola* sp., *Cephalosporium* sp. มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี

Krainsky (1914) พบว่าเชื้อแอคติโนมัยซีสก็เหมือนกับเชื้อราชั้นสูงทั่วไป ที่มีบทบาทในการย่อยสลายเซลลูโลส และยังพบอีกว่าราจำพวกเห็ดเป็นตัวการสำคัญในการทำลายพวกไม้ต่าง ๆ

Hubert (1924) และ Schepmann (1926) ศึกษาขั้นตอนของการทำลายไม้โดยเชื้อราพวก Uredinae และ Ustilagineae ซึ่งย่อยสลายพวกแป้งและน้ำตาลก่อน หลังจากนั้นพวก saprophytic fungi เช่น *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. และ *Mucor* sp. จะใช้สารที่เป็นผลของการย่อยสลายในขั้นตอนแรกเป็นอาหาร พร้อมกับมีการย่อยสลายพวก เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และโพลียูโรนายด์ (polyuronides) บางส่วน จนในที่สุดพวก Polyporaceae และ Agaricaceae ซึ่งเป็น wood-destroying fungi จะเข้าย่อยสลายเซลลูโลส และลิกนินพร้อมกัน

นอกจากนี้ได้มีการค้นคว้าถึงอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมสำหรับใช้แยกเชื้อจุลินทรีย์

ที่ย่อยสลายเซลลูโลสที่ได้จากดิน และวัสดุที่ถูกทำลายโดยจุลินทรีย์ พอจะกล่าวโดยสังเขปดังนี้

Iterson (1904) แยกเชื้อราที่ย่อยสลายเซลลูโลสได้โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วยสารละลายเกลือและกระดาษกรอง แล้วศึกษาการย่อยสลายของกระดาษกรองที่เกิดขึ้น เช่นเดียวกับการแยกเชื้อแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลส โดยใช้สารละลายเกลือแร่ซึ่งมีซิลิกาเจล และกระดาษกรองผสมอยู่ด้วย

Hutchinson และ Clayton (1918) แยกเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสจากดินโดยใช้กระดาษกรองจุ่มในสารละลายเกลือแร่ ให้ส่วนหนึ่งอยู่ในสารละลาย อีกส่วนหนึ่งอยู่เหนือสารละลาย หลังจากนั้นนำไปฆ่าเชื้อแล้วจึงเติมดินตัวอย่างลงไป แล้วทำการแยกจุลินทรีย์ที่ขึ้นบนกระดาษกรอง นอกจากนี้อาจทำได้อีกวิธีหนึ่งโดยนำดินตัวอย่างมาทำให้อยู่ในรูปสารละลายแล้ว เทลงบนกระดาษกรองที่อยู่บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วยสารละลายเกลือแร่และวุ้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ ในทำนองเดียวกัน ได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนกระดาษกรอง โดยเติมสารละลายตัวอย่างที่เจือจางลงไปบนกระดาษกรอง (Dubos, 1928)

Han และ Srinivasan (1968) แยกเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส โดยใส่ดินลงในหลอดทดลองที่ภายในบรรจุสารละลายเกลือแร่ ผสมด้วย 0.1 เปอร์เซ็นต์ yeast extract และมีกระดาษกรองจุ่มอยู่ หลังจากที่มีเชื้อขึ้นบนกระดาษกรองแล้ว นำไปทำให้บริสุทธิ์โดย streak บน carboxymethylcellulose และ filter paper agar

นอกจากจะมีการใช้สารละลายเกลือแร่กับกระดาษกรองในการแยกเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสได้แล้ว ยังมีการใช้อาหารวุ้นแข็ง (solid agar) ซึ่งมีเซลลูโลสเป็นแหล่งคาร์บอนในการแยกจุลินทรีย์เหล่านี้ด้วย

Scales (1916) และ McBeth (1961) ใช้อาหารวุ้นเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วยเซลลูโลส (precipitated cellulose) เพื่อศึกษาสรีรวิทยาของเชื้อแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสได้

Sanborn (1927) ใช้ mineral salt cellulose medium ซึ่งเติม China-blue-aurin เป็นตัวบ่งบอกความเป็นกรดด่าง ในตอนแรกอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นสีแดง และสีแดงของ China-blue-aurin จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเมื่อเกิดการย่อยสลายเซลลูโลสขึ้น เพราะการย่อยสลายเซลลูโลสจะทำให้เกิดกรด อาหารเลี้ยงเชื้อจึงเปลี่ยนจากแดงเป็นน้ำเงิน

Stapp และ Borstels (1934) ใช้วิธี enrichment method ในการแยกเชื้อรา และเชื้อแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี โดยนำเอากระดาษกรองวางบนดินชั้นที่นำมาใช้เป็นตัวอย่าง หรืออาจจะใช้ดินตัวอย่างวางบนกระดาษกรองก็ได้ หลังจากนั้นก็นำเอากระดาษที่ปนเปื้อน (contaminate) ด้วยดินมาวางบน cellulose agar สังเกตการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ใน cellulose agar

Aschner (1937) ใช้เยื่อบาง ๆ ของ bacterial cellulose แทนกระดาษกรอง วางบนผิวหน้าของอาหารวุ้น หรือวางบน silicagel minimal salt agar แล้วศึกษาจุลินทรีย์ที่ขึ้นได้บนเยื่อนั้น

Harmsen (1946) นำเอาดินตัวอย่างใส่ในจานเพาะเชื้อ แล้วนำเอากระดาษซึ่งมีขนาดเท่ากับจานเพาะเชื้อวางไว้ข้างบน หลังจากนั้นนำดินมาวางทับไว้บนกระดาษกรองอีกครั้งหนึ่ง ทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง (2 ถึง 3 วัน) แล้วจึงนำเอากระดาษกรองนั้นมาใส่ในน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เขย่าไปเขย่ามาหลาย ๆ ครั้ง แล้วจึงเทลงไปบน cellulose agar สังเกตจุลินทรีย์ที่ขึ้นอยู่บนอาหารเลี้ยงเชื้อ

Hungate (1950) ใช้ ball-milled acid treated cellulose แยกแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ และย่อยสลายเซลลูโลสได้

Warcup (1950) นำดินตัวอย่างใส่ในจานเพาะเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อมาแล้ว เติมอาหารเลี้ยงเชื้อลงไป 8 ถึง 10 มิลลิลิตร ทำการเขย่าเม็ดดินผสมคลุกเคล้ากับอาหารเลี้ยงเชื้ออย่างทั่วถึง หลังจากนั้นหมุนจานเพาะเชื้อจนกระทั่งเม็ดดินกระจายทั่วทั้งจานเพาะเชื้อ นอกจากนี้ยังได้มีการดัดแปลงวิธีการแยกเชื้อราจากดิน โดยใช้ดินผสมกับ Czapek Dox agar ซึ่งมี 0.05 % yeast extract เป็นส่วนประกอบ แล้วปรับความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารให้มีค่าเท่ากับ 4

Siu และ Reese (1953) ใช้เซลลูโลสผง (powder cellulose) ใส่ลงอาหารเลี้ยงเชื้อในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเซลลูโลสผงจะไม่ละลายน้ำ ดังนั้นก่อนที่จะเทลงจานเพาะเชื้อ จะต้องเขย่าให้เซลลูโลสกระจายดีเสียก่อน

Hazra และคณะ (1958) และ Hungate (1950) ใช้ ball-milled cellulose และ acid treated cotton cellulose เป็นแหล่งคาร์บอนในอาหารเลี้ยงเชื้อ

และใช้ chlorodide ของ Zinc ตรวจสอบส่วนใสรอบโคโลนี (clear zone) ที่เกิดขึ้น

Eggins และ Pugh (1962) นำดินตัวอย่างใส่ในจานเพาะเชื้อ แล้วเทอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งมี ball-milled อยู่ลงไปด้วย ทำการเขย่า พอวุ้นแข็งตัวก็จะเห็นอาหารเลี้ยงเชื้อในจานเพาะเชื้อมีสีขุ่นขาวอยู่ทั่วไป ทิ้งไว้ 5 ถึง 7 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำการสังเกตบริเวณใสรอบโคโลนีที่เกิดขึ้น

Stutzenberger และคณะ (1970) ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ cellulose mineral salt agar ซึ่งมีเซลลูโลสผสม หรือกระดาษกรองเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่าสามารถแยกเชื้อจุลินทรีย์ได้ 3 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ *Aspergillus fumigatus*, *Bacillus* sp. และ *Thermoactinomyces* sp.

Hankin และ Anagnostakis (1977) ใช้อาหารวุ้นเลี้ยงเชื้อซึ่งมี carboxymethylcellulose เป็นแหล่งคาร์บอน ศึกษาการผลิตเอนไซม์ carboxymethyl-cellulose จากเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ

Montenecourt และ Eveleigh (1978) ใช้อาหารวุ้นเลี้ยงเชื้อซึ่งมี Oxall กับ phosphon D ผสมกับ acid swollen cellulose เป็นแหล่งคาร์บอน

Someya (1980) ใช้ carboxymethylcellulose ผสมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อแยก cellulytic microorganism