บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ปุ๋ยหมักเป็นที่รู้จักและนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่น สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนจีน ไต้หวัน และมีการนำมาใช้มากขึ้นในประเทศไทย ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุผสมซึ่งประกอบด้วยซากพืชต่างๆ หรือวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เส้นใยปาล์ม ทะลายปาล์มเปล่าจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม กากน้ำตาลจากโรงงานผลิตน้ำตาล น้ำกากส่าจากโรงงงานผลิตสุรา และน้ำนึ่งปลาทูน่าจากโรงงานอาหารทะเล เป็นต้น และอาจจะมีซากสัตว์และมูลสัตว์ร่วมอยู่ด้วย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2531) เมื่อนำมากองรวมกันโดยอาศัยกรรมวิธีการหมักอย่างง่ายๆ และใช้ระยะเวลาเพียงสั้นๆเศษวัสดุเหล่านั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้เน่าเปื่อยสลายตัวเปลี่ยนรูปไปจากเดิม หลังจากนั้นก็สามารถนำเอาปุ๋ยหมักนี้ไปใช้งานได้ (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2531) แต่ปุ๋ยหมักที่ผลิตได้นั้นมักมีธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญของพืช หรือยังมีคุณภาพต่ำ ดังนั้นการศึกษาวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยหมักให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ

กรด 5-อะมิโนลีวูลินิก (5-aminolevulinic acid, ALA) ซึ่งเป็นสารที่มีศักยภาพสูงในการนำไปใช้เป็นสารส่งเสริมการเจริญของพืช สารกำจัดวัชพืชและสารกำจัดแมลง ALA มีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้และไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ และพบว่า ALA ในความเข้มข้นที่ต่ำ (0.06-6 มิลลิโมลต่อลิตร) จะช่วยในการเพิ่มผลผลิตของพืชหลายชนิด เช่น หัวไชเท้า มะเขือเทศ ถั่ว กระเทียม และข้าวโพด (Sasaki *et al*., 1997; Hotta *et al*., 1997) ปัจจุบันการผลิต ALA ในทางการค้าผลิตจากแบคทีเรียสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่สามารถผลิต ALA ได้สูง

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ผลิตได้โดยทดลองผสม ALA ที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสง และทดสอบคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ตรวจเอกสาร

1. ความหมายของปุ๋ยหมักและปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง

ปุ๋ยหมัก คือ ปุ๋ยธรรมชาติชนิดหนึ่งที่เกิดจากการใช้เศษพืชในไร่นา หรือของเหลือใช้ทางเกษตรหรือจากโรงงานอุตสาหกรรมและวัชพืชต่างๆมารวมกับมูลสัตว์และปุ๋ยเคมี พร้อมด้วยสารเร่งจุลินทรีย์ที่ช่วยให้การย่อยสลายเร็วขึ้น หลังจากการหมักแล้วระยะหนึ่งเศษพืชเปื่อยยุ่ยมี

สีน้ำตาลปนดำกลายเป็นอินทรียวัตถุ (ฮิวมัส) นำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ (ธาตรี ลีธีระประเสริฐ, 2532) การทำปุ๋ยหมักอาศัยกระบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อจุลินทรีย์พวกที่ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในวัสดุเศษเหลือ ดังปฏิกิริยาเคมี (1) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน หมักเป็นระยะเวลา 1-2 เดือน สามารถนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดินได้ ส่วนการหมักแบบไร้อากาศ ดังปฏิกิริยาเคมี (2) ซึ่งใช้แบคทีเรียพวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน และใช้ระยะเวลาย่อยสลาย 2-12 เดือนในขณะที่แบบใช้ออกซิเจน ผลผลิตที่ได้จะเปลี่ยนเป็นสารอาหารของพืชน้อยกว่าและยังเกิดก๊าซมีกลิ่นเหม็น เช่น มีเทน แอมโมเนีย เป็นต้น (นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544)

$$\text{complex organics} + O_2 \xrightarrow[\text{aerobic bacteria (7-30 วัน)}]{} CO_2 + H_2O + NO_3 + SO_4^{-2} + \text{less complex organic} + \text{heat} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

$$\text{organics (C, H,O,N, S)} \xrightarrow[\text{anaerobic bacteria (2-12 เดือน)}]{} CH_3COOH + CO_2 + H_2S + NH_3 + CH_4 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

2. วัสดุที่ใช้ในการหมัก

2.1 วัสดุเศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

กรรมวิธีการผลิตน้ำมันปาล์มของโรงงานต่าง ๆ เป็นกระบวนการที่มีความแตกต่างกันออกไป แต่อาจจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือการผลิตแบบไม่ใช้น้ำและแบบใช้น้ำ กระบวนการดังกล่าวก่อให้เกิดวัสดุเศษเหลือจำนวนมาก วัตถุดิบที่เป็นทะลายปาล์มสดจะได้ทะลายปาล์มเปล่า 20-30 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยปาล์ม 11-13 เปอร์เซ็นต์ กะลาผลปาล์ม 3-5 เปอร์เซ็นต์ กากตะกอนจากเครื่องดีแคนเตอร์ 4 เปอร์เซ็นต์ (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, 2542) และน้ำทิ้งปริมาณ 0.87 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด (อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ 2537)

2.2 วัสดุเศษเหลือจากโรงงานผลิตสุรา

การผลิตสุราในประเทศไทยนิยมใช้ปลายข้าวและกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, 2542) สุราจัดเป็นผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์ที่ได้จากการกลั่น ของเหลวส่วนที่เหลือเรียกว่า น้ำกากส่าจัดเป็นวัสดุเศษเหลือของกระบวนการผลิตสุรา อาจเรียกว่าเป็นน้ำเสียที่ต้องบำบัด มีสีน้ำตาลเข้มคล้ายสีคาราเมล ประกอบด้วยสารอินทรีย์ ได้แก่ น้ำตาล และตะกอนพวกเซลล์ยีสต์ที่ตายแล้ว (นพพร ม่วงแก้ว, 2539) จากการวิเคราะห์คุณลักษณะตัวอย่างน้ำกากส่าในโรงงานสุราแห่งหนึ่งจำนวน 10 ครั้ง พบว่าได้ค่าเฉลี่ย ดังนี้ บีโอดี (BOD) 27,850 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี

(COD) 184,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณน้ำตาล 35,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็ง 2,345 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจน 2,700 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 92 องศาเซลเซียส และมีค่าพีเอช 4.4 (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และประกฤติ สุขสวัสดิ์, 2525)

3. จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการทำปุ๋ยหมัก

ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมักเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิด สามารถจัดแบ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการทำปุ๋ยหมักออกได้เป็น 3 กลุ่ม (เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์ และคณะ, 2537) ได้แก่

1) เชื้อรา (fungi) ลักษณะเป็นเส้นใยต่อกันและสปอร์กระจัดกระจายอยู่ทั่วไป ชนิดและปริมาณของเชื้อราจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำการหมัก ความชื้นและอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ที่อุณหภูมิมากกว่า 65 องศาเซลเซียส จะไม่พบเชื้อรา
2) แอคติโนมัยซิส (actinomycetes) ลักษณะเป็นจุดสีขาวๆ คล้ายผงปูนขาว เป็นกลุ่มบนวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ย สามารถเจริญได้ดีขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ประเภทนี้มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยเฉพาะเซลลูโลสในกองปุ๋ยหมัก
3) แบคทีเรีย มักมีปริมาณมากกว่าจุลินทรีย์ประเภทอื่นๆ ซึ่งปริมาณแบคทีเรียขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาใช้ จุลินทรีย์ประเภทนี้สามารถเจริญได้ทั้งมีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน

จุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่มมีบทบาทในการย่อยสลายเศษพืชให้เร็วขึ้น จุลินทรีย์พวกแบคทีเรียจะย่อยสลายได้เร็วที่สุด แต่ถ้าหากเป็นวัสดุที่ย่อยสลายยาก จุลินทรีย์พวกเชื้อราและแอคติโนมัยซิสย่อยสลายได้ดีกว่า และสามารถเชื่อมทำให้ดินจับตัวเป็นก้อนร่วนซุย สามารถผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายเศษพืชในกองปุ๋ยหมัก นอกจากนี้เชื้อแอคติโนมัยซิสบางชนิดสามารถสร้างสารปฏิชีวนะออกมาทำลายเชื้อโรคพืช และการเกิดอุณหภูมิที่สูงในกองปุ๋ยหมักสามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียที่ก่อโรคและทำลายไข่แมลงศัตรูพืชได้ เป็นต้น (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2531)

ตัวอย่างการทำปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรโดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ มีดังนี้

สุพร คุตคะเทพ และเจนวิทย์ กรอบทอง (2544) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือทางอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง ได้แก่ เศษลำไย เศษสับปะรด เศษฟรุตสลัด และเศษขิงดอง นำมาผสมกับใบไม้แห้ง โดยใช้หัวเชื้อปุ๋ยหมักต่างชนิดกัน คือ หัวเชื้อไบโอนิคกับเทอร์โมฟิลิคแบคทีเรีย ผสมวัสดุโดยใช้ถังหมุนที่มีปริมาตร 300 ลิตร ควบคุมความชื้นของอัตราส่วนผสมให้อยู่ที่ 55-65 เปอร์เซ็นต์ ตลอดจนควบคุม C/N ratio ให้มีค่าไม่เกิน25 โดยการเติมปุ๋ยยูเรียเพื่อเพิ่มไนโตรเจนให้กองปุ๋ยหมัก ผลการทดลองพบว่าสามารถทำปุ๋ยหมักได้เป็นอย่างดี ยกเว้นการผสมเศษขิงดองกับใบไม้แห้งที่การหมักไม่สามารถเกิดขึ้นได้ การใช้หัวเชื้อไบโอนิคกับเทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ในการผลิตปุ๋ยหมัก พบว่าใช้ระยะเวลาในการหมักใกล้เคียงกันและ

ไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมีในกองปุ๋ยหมักแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการใช้เทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียช่วยทำให้กองปุ๋ยหมักมีค่าการลดลงของมวลมากกว่าการใช้หัวเชื้อไบโอนิค แต่การใช้หัวเชื้อไบโอนิคจะประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่าการใช้เทอร์โมฟิลิคแบคทีเรีย เนื่องจากการใช้เทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียเป็นหัวเชื้อ ต้องใช้ก๊าซหุงต้มเพื่อปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้น 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อกระตุ้นการทำงานของเทอร์โมฟิลิคแบคทีเรีย

สมศักดิ์ วังใน และคณะ (2539) ศึกษาเปรียบเทียบการใช้อีเอ็ม (EM, effective microorganism) ไฮเทค (Hi-tech, high technology) พด.1 (กรมพัฒนาที่ดินหมายเลข 1 หรือเรียกว่า LDD.1) และมูลสัตว์เคี้ยวเอื้อง เป็นแหล่งของจุลินทรีย์สำหรับผลิตปุ๋ยหมัก โดยใช้ฟางข้าวในเรือนทดลอง และเติมวัสดุเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ (เช่น ปุ๋ยเคมี มูลสัตว์ รำ กากน้ำตาล และดินบด) แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ปริมาณเชื้อรา แอคติโนมัยซิส และแบคทีเรีย รวมทั้งวัดปริมาตรและอัตราส่วนของอินทรีย์คาร์บอนต่ออินทรีย์ไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมักทุกๆ15 วัน พบว่าเชื้อพด.1 เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ สูงสุด ถัดมาเป็นมูลสัตว์เคี้ยวเอื้อง ไฮเทค และอีเอ็ม ตามลำดับ และได้แนะนำว่าการทำปุ๋ยหมักควรใช้ พด.1 หรือมูลสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นตัวเร่ง

ภาวนา ลิกขนานนท์ และสมศักดิ์ วังใน (2539) ทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักที่ผลิตโดยจุลินทรีย์จากแหล่งต่างๆ (อีเอ็ม ไฮเทค พด. 1 และมูลสัตว์เคี้ยวเอื้อง) ต่อการเจริญของพืช โดยใช้ปุ๋ยหมักแต่ละชนิดผสมกับดินชุดโคราชแล้วปลูกผักบุ้ง ผักคะน้า และผักกวางตุ้ง ผสมปุ๋ยหมักแต่ละชนิดกับดินโคราช 5 กิโลกรัม ซึ่งใช้อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักแล้วบรรจุในกระถางทดลองในเรือนทดลอง วัดการเจริญ (ความสูง) และผลผลิต (น้ำหนักสด) ของผักทั้ง 3 ชนิด หลังจากปล่อยให้เจริญเป็นเวลา 1 เดือน พบว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตโดยใช้จุลินทรีย์ อีเอ็ม พด.1 และมูลสัตว์ ทำให้ผลผลิตของผักทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น สำหรับปุ๋ยหมักจากไฮเทค ทำให้ผลผลิตของผักคะน้าและผักกวางตุ้งสูงขึ้น แต่ไม่ทำให้ผลผลิตของผักบุ้งสูงขึ้น

เกษม สร้อยทอง (2535) ทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายของเชื้อราที่มีคุณสมบัติย่อยสลายเซลลูโลสในการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้วัสดุอินทรีย์จากพืช พบว่าเชื้อรา *Chaetomium cuperum* (CC) และ *Chaetomium globosum* (CG) มีคุณสมบัติเป็นเชื้อราที่ย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี จากนั้นผลิตเป็นหัวเชื้อเร่งปุ๋ยหมัก 8 ชนิด จากวัสดุอินทรีย์ผสมตามอัตราส่วนต่างๆ 8 ชนิด (CC1 = *C. cuperum*+ฟางข้าวบดละเอียด, CC2 = *C. cuperum*+ฟางข้าวบดละเอียด+รำข้าว, CC3 = *C. cuperum*+ ฟางข้าวบดละเอียด+รำข้าว + ข้าวโพดป่น, CC4 = *C. cuperum*+ ฟางข้าวบดละเอียด+ รำข้าว+ ขี้เถ้าแกลบ, CG1=*C. globosum*+ฟางข้าวบดละเอียด, CG2= *C. cuperum*+ฟางข้าวบดละเอียด+ รำข้าว, CG3 = *C. cuperu* + ฟางข้าวบดละเอียด+ รำข้าว+ ข้าวโพดป่น และ CG4 = *C. cuperum*+ ฟางข้าวบดละเอียด+ รำข้าว + ขี้เถ้าแกลบ) เชื้อดังกล่าวนำไปทดสอบเร่งการย่อยสลาย

ของฟางข้าว หญ้าขน และจอกในการทำปุ๋ยหมัก พบว่า CG2 และ CG3 สามารถเร่งการย่อยสลายเศษฟางข้าวได้ดีที่สุด และ CC2, CC3, CG2 สามารถเร่งการย่อยจอกได้ดีที่สุด มีระดับการย่อยสลาย 81-100 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 20 วัน ในขณะที่ CC3, CG1 และ CG2 สามารถย่อยสลายหญ้าขนได้ 60 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 20 วัน

4. การทำและการดูแลปุ๋ยหมัก

การทำปุ๋ยหมักมีขั้นตอนดังนี้ (มหรรณพ วงศ์สวัสดิ์, 2536)

1) นำเศษวัสดุ เศษพืช มากองรวมกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วเกลี่ยให้สม่ำเสมอ
2) ทำการรดน้ำให้ชุ่มพร้อมเหยียบให้แน่น และเพิ่มเศษวัสดุลงไปเรื่อยๆจนได้ความสูงประมาณ 1.5 เมตร แล้วเกลี่ยส่วนบนของกองวัสดุให้เรียบสม่ำเสมอกัน
3) นำหัวเชื้อจุลินทรีย์มาผสมน้ำ แล้วเทเชื้อจุลินทรีย์ลงบนกองวัสดุหรืออาจคลุกร่วมกับวัสดุก็ได้
4) โรยด้วยอาหารเสริม หรืออาจผสมกันก่อนในขั้นตอนการผสมเศษวัสดุ
5) ทำการกลบกองปุ๋ยหมักด้วยดินให้มิด ถ้าหากกองปุ๋ยหมักกองในที่โล่งแจ้งให้มีความหนาประมาณ 3-5 เซนติเมตร

การทำปุ๋ยหมักจำเป็นต้องใช้อาหารเสริมเป็นสารตัวเร่งการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ให้มากขึ้นอย่างรวดเร็วโดยใช้ปุ๋ยยูเรียเป็นอาหารเสริม 1-2 กิโลกรัมต่อตัน หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ทำปุ๋ยหมักมีการผลิตและจำหน่ายในท้องตลาด หรือของส่วนราชการ เช่น พ.ด.1 ไบโอนิค เอฟ-60 จะมีน้ำหนักมาตรฐาน 150-250 กรัมต่อซองต่อปุ๋ยหมัก 1 ตัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2531)

การดูแลกองปุ๋ยหมัก มีรายละเอียดดังนี้ (มหรรณพ วงศ์สวัสดิ์, 2536)

1) การให้น้ำแก่กองปุ๋ยหมัก ในระยะ 7-10 วันแรกของการหมัก กองปุ๋ยหมักจะมีความร้อนเพิ่มสูงขึ้นมากแต่ยังไม่ต้องให้น้ำ
2) หลังจาก 10 วัน ความร้อนเพิ่มสูงประมาณ 65-70 องศาเซลเซียส ช่วงนี้จำเป็นต้องให้น้ำเพื่อรักษาความชื้นให้ได้ 50-70 เปอร์เซ็นต์
3) ทำการกลับกองปุ๋ยหมักทุก 4-7 วัน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นมากเพราะจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวเร่งต้องการออกซิเจนในการเจริญ และยังเป็นการช่วยลดอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักได้อีกด้วย

เมื่อมีการดูแลกองปุ๋ยหมักไประยะเวลาหนึ่ง กองปุ๋ยหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น เช่น ชิ้นส่วนของวัสดุจะถูกย่อยสลาย ขนาดจะเล็กลงและเปื่อยยุ่ย กองปุ๋ยหมักจะยุบตัวลงประมาณครึ่งหนึ่ง สีของปุ๋ยหมักจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำ ซึ่งเป็นที่สังเกตได้ว่าปุ๋ยหมักจะใช้ได้ (วิไลลักษณ์ สกุลกรุณา, 2534)

ตัวอย่างการทำปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร มีดังนี้

นภารัตน์ ไวยเจริญ (2544) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักของมูลฝอยจากตลาดสดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยอาศัยออกซิเจนตามธรรมชาติ (windrow composting) ภายใต้เงื่อนไขการทดลองเป็นระยะเวลา 2 เดือน ภายหลังสิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่มีการใช้มูลฝอยจากตลาด (เศษผักและผลไม้ กระดาษ เศษไม้และใบไม้ พลาสติก กระดูก ผ้า และยาง) ร่วมกับกากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้นมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม และธาตุอาหารรอง ได้แก่ แมกนีเซียมอยู่ในช่วง 2.44-3.12 , 8.54-15.94, 2.04-3.70 และ 2.01-4.42 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลองที่มีเฉพาะมูลฝอยจากตลาดสดเพียงอย่างเดียว และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานเกรดปุ๋ยของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม และแมกนีเซียม ในชุดทดลองมีค่าสูงกว่าในปุ๋ยของกรมพัฒนาที่ดิน 1.0, 1.0, 0.5 และ 0.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สุพจน์ แสงประทุม และสุนทร พูนพิพัฒน์ (2527) ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร เช่น ใบไม้ หญ้าขน วัชพืช ฟางข้าว และมูลสัตว์ในเขตลาดกระบัง พบว่าการใช้เชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับมูลโคและไก่ สามารถผลิตปุ๋ยหมัก (ขนาดกอง 1.0x1.0x0.5 เมตร) มาใช้ประโยชน์ได้ภายในระยะเวลา 15 วัน มีปริมาณธาตุอาหารพวกไนโตรเจน 1.77-2.64 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 1.81-4.63 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่าต่ำกว่า 20:1 ในทุกกองปุ๋ยหมัก

Thambirajah and Kuthubutheen (1987) ผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้เส้นใยปาล์มเป็นวัสดุในการหมัก เติมมูลไก่และยูเรีย ความชื้นภายในกองปุ๋ยหมัก 65 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาในการหมัก 8 สัปดาห์ พบว่าอุณหภูมิสูง 60-70 องศาเซลเซียส ใน 3 สัปดาห์แรกของการหมัก และค่อยๆลดลงเหลือ 30-40 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการหมัก ปริมาณเซลลูโลส คาร์บอน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 10 มิลลิกรัมต่อกรัม, 34 เปอร์เซ็นต์ และ 17:1 ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจน ลิกนิน และเถ้าเพิ่มขึ้นเป็น 2.1, 36 และ 22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Thambirajah และคณะ (1995) ผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้ทะลายปาล์มเปล่าเป็นวัสดุในการหมัก เติมมูลแพะ มูลวัว และมูลไก่เป็นตัวเร่ง ตามลำดับ ความชื้น 65 เปอร์เซ็นต์ กลับกองปุ๋ยหมักทุกๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 60 พบว่ากองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยทะลายปาล์มเปล่าผสมมูลแพะ มูลวัว มูลไก่ และชุดควบคุม มีปริมาณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 35:1, 48:1, 47:1 และ 52:1 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมักทุกกองปุ๋ยหมักมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เท่ากับ 14:1, 18:1, 12:1 และ 24:1 ตามลำดับ ซึ่งทุกกองปุ๋ยหมักสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ยกเว้นกองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยทะลายปาล์มเปล่าเพียงอย่างเดียว (ชุดควบคุม) เนื่องจากมีอัตราส่วนระหว่างธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่าสูงกว่า 20:1

Suhaimi and Ong (2001) เปรียบเทียบการผลิตปุ๋ยหมักแบบระบบเปิดและระบบปิด โดยใช้ทะลายปาล์มเปล่า น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และมูลไก่เป็นวัสดุหมัก มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มเท่ากับ 30:1 ควบคุมปริมาณความชื้น 65 เปอร์เซ็นต์ ด้วยใช้น้ำกองปุ๋ยหมักแบบระบบเปิด มีการให้อากาศ 250 ตัน/วัน/ลูกบาศก์เมตร ผ่านท่อด้านล่างของกองปุ๋ยหมัก ด้วยปั๊มอากาศไฟฟ้า สำหรับกองปุ๋ยหมักระบบปิด มีการคลุมกองปุ๋ยหมักด้วยแผ่นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) และมีการให้อากาศเช่นเดียวกับกองปุ๋ยหมักระบบเปิด พบว่ากองปุ๋ยหมักแบบระบบเปิด ใช้ระยะเวลาในการหมักเพียง 50 วัน ซึ่งน้อยกว่าระบบปิด (83 วัน) ทำให้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 15.9:1.0 และมีธาตุอาหารหลักไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียมเท่ากับ 2.34, 0.30 และ 0.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5. ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก

5.1 ชนิดของวัสดุเศษเหลือที่ใช้หมัก

วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักส่วนใหญ่ได้มาจากพืชมากกว่าสัตว์ ซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด เช่น วัสดุเศษเหลือทางการเกษตร โรงงานอุตสาหกรรม หรือพวกเศษขยะมูลฝอยตามอาคารบ้านเรือน โดยธรรมชาติแล้ววัสดุเศษเหลือที่ใช้หมักมักมีการย่อยสลายได้ช้าหรือเร็วแตกต่างกัน ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 พวก คือ วัสดุเศษเหลือที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น พืชตระกูลถั่ว และผักตบชวา ส่วนอีกพวกหนึ่งคือวัสดุเศษเหลือที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น ฟางข้าว กากอ้อย และเส้นใยปาล์ม นอกจากนี้ขนาดของเศษพืชที่นำมาหมักที่มีขนาดใหญ่เกินไป เช่น ต้นหรือใบของข้าวโพด และข้าวฟ่าง เมื่อนำมากองจะทำให้เกิดช่องว่างภายในกองปุ๋ยหมักมาก สูญเสียความชื้นได้ง่าย ทำให้การเจริญและการย่อยสลายของจุลินทรีย์ช้าลง ดังนั้นการทำปุ๋ยหมักควรสับหรือหั่นวัสดุเศษเหลือให้มีชิ้นเล็กๆ เพราะทำให้การหมักสมบูรณ์เร็วขึ้น (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2531) ซึ่งชาติ เจียมไชยศรี (2542 อ้างโดย นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544) กล่าวว่าการตัดหรือบดวัสดุเศษเหลือให้มีขนาดประมาณ 2.3-5.0 เซนติเมตร หรือ 0.5-1.5 นิ้ว จะทำให้วัสดุเศษเหลือสัมผัสกับอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสม นอกจากนี้ Diaz และคณะ (2002) ผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานผลิตน้ำตาล (beet vinasse,V) และไวน์ (grape marc, GM) โดยหั่นวัสดุหมักให้มีขนาด 2.36 เซนติเมตร

Hamoda และคณะ (1998) ศึกษาขนาดของวัสดุเศษเหลือในการทำปุ๋ยหมัก พบว่าวัสดุเศษเหลือที่มีขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 เซนติเมตร มีอัตราการย่อยสลายค่อนข้างใกล้เคียง เมื่อเป็น 2.0, 3.0 และ 4.0 เซนติเมตร พบว่าวัสดุเศษเหลือที่มีขนาด 2.0 เซนติเมตร เมื่อนำไปทำปุ๋ยหมักมีอัตราการย่อยสลายสูงสุด (12 เปอร์เซ็นต์ของสารอินทรีย์ทั้งหมด) เมื่อเทียบวัสดุเศษเหลือที่มีขนาด 3.0 และ 4.0 เซนติเมตร

5.2 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุเศษเหลือที่ใช้หมัก

เป็นค่าที่ใช้เป็นตัวกำหนดระดับการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ คือ มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 และใช้บ่งบอกความยากง่ายต่อการย่อยสลาย ซึ่งการผลิตปุ๋ยหมัก ถ้าจุลินทรีย์ขาดไนโตรเจนหรือไนโตรเจนมีไม่เพียงพอ ทำให้อัตราการย่อยสลายช้าลง ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าถ้าวัสดุเศษเหลือที่ใช้หมักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงอัตราการย่อยสลายช้า ดังนั้นการเติมไนโตรเจนลงไป ทำให้ลดช่วงกว้างของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายมีค่าประมาณ 30-35:1 (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2531) Taiganides (1977 อ้างโดย Thambirajah and Kuthubutheen, 1989) กล่าวว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายคือ 30-50:1 โดย Suhaimi and Ong (2001) ผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายปาล์มเปล่า น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และมูลไก่ ควบคุมอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 30:1 Shi และคณะ (1999) ผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอนของเสีย ควบคุมอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 38:1 และHoyos และคณะ (2002) ผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้วัสดุเศษเหลือจากโรงงานผลิต เจลาตินเป็นวัสดุหมัก พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของกองปุ๋ยหมักมีค่า 30-40:1

Hamoda และคณะ (1998) ผลิตปุ๋ยหมักจากขยะชุมชน เพื่อศึกษาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสม ชุดทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุด แต่ละชุดมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างกัน 15:1, 20:1 และ 30:1 ตามลำดับ ทำการหมัก 15 วัน ในขวดรูปชมพู่ ที่มีการควบคุมอุณหภูมิและการให้อากาศ พบว่าชุดทดลองที่ 3 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 30:1 ซึ่งเป็นชุดทดลองที่เหมาะสมที่สุด โดยทำให้ปริมาณคาร์บอนลดลง 11 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 20:1 และ 15:1 ปริมาณคาร์บอนลดลง 8.7 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5.3 ความชื้น

ความชื้นบ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองปุ๋ย ซึ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญของจุลินทรีย์ ระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมักที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ถ้าระดับความชื้นมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เกิดมีกลิ่นเหม็น เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนเจริญอย่างรวดเร็วและปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมา หากมีระดับความชื้นประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ หรือต่ำกว่า กระบวนการย่อยสลายจะหยุดหรือเกิดขึ้นได้ช้า (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2531) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hamoda และคณะ (1998) รายงานว่าระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย คือ 60 เปอร์เซ็นต์

Liang และคณะ (2003) ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอนชีวภาพ เพื่อศึกษาปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ แบ่งออกเป็น 5 ชุดทดลอง แต่ละชุด

ทดลองมีปริมาณความชื้น 30, 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าชุดทดลองที่มีความชื้น 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์สูงกว่าชุดทดลองที่มีความชื้น 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์

5.4 ออกซิเจน

ออกซิเจนมีความสำคัญต่อจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ เพื่อใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในระบบหายใจทำให้เกิดพลังงาน และจุลินทรีย์จะสร้างเอนไซม์ออกมาเพื่อทำการย่อยสลายวัสดุเศษเหลือได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นหลังจากตั้งกองไประยะหนึ่งแล้วควรมีการกลับกองปุ๋ยหมัก (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2531) จากการทดลองของ Suler and Finstein (1977 อ้างโดย นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544) โดยควบคุมปริมาณออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่ 2.0-25.0 เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจน พบว่าการใช้อากาศที่มีปริมาณออกซิเจน 2.0 เปอร์เซ็นต์ ไหลผ่านกองปุ๋ยหมักทำให้มีอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 8-10 กรัมของCO_2 ต่อ 100 กรัมของปุ๋ยหมัก) ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมคือ 18.0-20.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเพียงพอต่อปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ ทำให้อัตราการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด และพบว่าสภาวะการขาดออกซิเจนทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดได้ช้าและยืดระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักนานขึ้น

Kulcu and Yaldiz (2004) ผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้หญ้า เศษกระดาษ วัสดุเศษเหลือจากการเพาะปลูกมะเขือเทศ และมะเขือยาวเป็นวัตถุดิบในการหมัก ผสมกันในอัตราส่วน 54, 20, 10.6 และ 15.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศในถังหมักโลหะต่อการหมัก (อัตราการไหลของอากาศ 0, 0.1, 0.2, 0.4 และ 0.8 air/นาที/กิโลกรัม ตามลำดับ) ไม่มีการกลับกองปุ๋ยหมัก ระยะเวลาในการหมัก 21 วัน พบว่าถังหมักที่มีอัตราการไหลของอากาศ 0.4 air/นาที/กิโลกรัม มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลงเหลือ 70 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีอัตราการย่อยสลายสูงสุด 17.64 เปอร์เซ็นต์

5.5 อุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงในกองปุ๋ยหมักจะช้าหรือเร็ว ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและชนิดของจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงไป โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในกองปุ๋ยหมักจะอยู่ในช่วง 40-70 องศาเซลเซียส ถ้าหากในกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียสขึ้นไป จุลินทรีย์บางชนิดอาจตายหรือมีการเจริญลดลง นอกจากนี้อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเคมีและควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาชีวเคมี ซึ่งสภาพภูมิอากาศในฤดูร้อนมีผลทำให้เกิดปฏิกริยาการย่อยสลายของวัสดุเศษเหลือได้เร็ว (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2531) ซึ่ง Hassen และคณะ (2001) กล่าวว่าอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส มีผลต่อการย่อยสลายของวัสดุเศษเหลือ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (psychrophilic) และอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic) ไม่สามารถ

เจริญได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นภายในกองปุ๋ยหมักด้วย จึงควรควบคุมอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักให้ต่ำกว่า 60-65 องศาเซลเซียส

Hamoda และคณะ (1998) ศึกษาอุณหภูมิเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการทำปุ๋ยหมักจากขยะชุมชนโดยควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นของการหมักต่างกัน (20, 40 และ 60 องศาเซลเซียส) จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นเหมาะสมต่อการทำปุ๋ยหมัก คือ 40 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการย่อยสลายสูงสุด (12 เปอร์เซ็นต์ของสารอินทรีย์ทั้งหมด) ในวันที่ 12 ของการหมัก ส่วน 20 และ 60 องศาเซลเซียส มีอัตราการย่อยสลายค่อนข้างช้า (4 และ 1.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

5.6 พีเอช

จุลินทรีย์แต่ละชนิดเจริญได้ดีในพีเอชต่างกัน เช่น แบคทีเรียเจริญได้ดีที่พีเอช 6.0-8.0 ส่วนแอคติโนมัยซิสและเชื้อราเจริญได้ดีเมื่อมีสภาพค่อนข้างเป็นกรด (พีเอช 4.0-6.0) ซึ่งพีเอชของกองปุ๋ยหมักควรอยู่ระหว่าง 5.0 –7.5 (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2531) Nakasaki และคณะ (1993 อ้างโดย Kulcu and Yaldiz, 2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพีเอชในอาหารเหลวที่ประกอบโดยโปรตีนและน้ำตาลกลูโคสต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ พบว่าพีเอชที่เหมาะต่อการเจริญเติบอยู่ในช่วง 7.0-8.0 แต่พีเอชที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในอาหารเหลวเท่ากับ 6.0-9.0

Diaz และคณะ (2002) ผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานผลิตน้ำตาล (beet vinasse, V) และไวน์ (grape marc, GM) โดยหั่นวัสดุหมักให้มีขนาด 2.36 เซนติเมตร ผสมวัสดุหมัก 5 กิโลกรัมในอัตราส่วนต่างๆ (GM:V เท่ากับ 10:1, 9:1, 8:2 และ 6:4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ลงในถังขยะพลาสติก ขนาด 35x20x30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่เจาะรูขนาด 1 ตารางเซนติเมตร (100 จุด) บริเวณด้านข้างและด้านล่าง เพื่อใช้ระบายอากาศ นำไปหมักในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 43 วัน จากนั้นนำออกมาหมักที่อุณหภูมิห้องอีก 40 วัน ควบคุมปริมาณความชื้น 55 เปอร์เซ็นต์ และปรับความชื้นด้วยน้ำเมื่อความชื้นลดลง พบว่าทุกอัตราส่วนมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการหมัก (พีเอช เท่ากับ 8-9) และพีเอชค่อยๆลดลง เมื่อสิ้นสุดการหมัก (83 วัน) GM:V เท่ากับ 10:1, 9:1, 8:2 และ 6:4 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพีเอช 7.64, 7.93, 8.14, และ 8.41 ตามลำดับ

Hoyos และคณะ (2002) ผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอน ซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากโรงงานผลิตเจลาติน พบว่าค่าพีเอชของกองปุ๋ยหมักมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจาก 6.8 เป็น 9.5 ในวันที่ 25 ของการหมัก เมื่อสิ้นสุดการหมัก (60 วัน) พีเอชมีค่าลดลง เท่ากับ 9 .0

นอกจากนี้ค่าพีเอชสุดท้ายของกองปุ๋ยหมักอาจมีค่าสูงกว่า 8.0 ซึ่งผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ทะลายปาล์มเปล่าผสมมูลแพะ มูลวัว และมูลไก่เป็นตัวเร่ง และชุดควบคุม มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6.9, 8.0, 7.9 และ 6.5 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมักปุ๋ยหมักทุกกองมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8.5-8.8 (Thambirajah *et al*., 1995)

5.7 ขนาดของกองปุ๋ยหมัก

การทำปุ๋ยหมักควรมีขนาดกองปุ๋ยหมักที่พอเหมาะไม่ควรสูงเกิน 2 เมตร ความยาวไม่เกิน 2-3 เมตร และหากแคบเกินไปทำให้กองปุ๋ยหมักมีความร้อนต่ำกว่าช่วงที่จุลินทรีย์เจริญและทำกิจกรรมได้ เช่นเดียวกับการทำปุ๋ยหมักแบบอุตสาหกรรมแต่มีความยาวไม่จำกัดให้เป็นไปตามความยาวของพื้นที่และความสูงของกองประมาณ 1-2 เมตร (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2531) Suhaimi and Ong (2001) ผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายปาล์มเปล่า น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และมูลไก่ โดยกองปุ๋ยหมักมีความสูง 1.5 เมตร นอกจากนี้ Shi และคณะ (1999) ผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอนของเสียกองปุ๋ยหมักกว้าง 2.4-2.7 เมตร ยาว 9-10 เมตร และสูง 1.2-1.5 เมตร เช่นกัน

6. คุณภาพมาตรฐานของปุ๋ยหมัก

การสังเกตว่าปุ๋ยหมักได้มาตรฐาน (อมรศรี ตุ้ยระพิงค์, 2542) มีข้อสังเกตดังนี้

1) สีของปุ๋ยหมักจะเข้มกว่าเดิม กลายเป็นสีน้ำตาลหรือน้ำตาลปนดำ
2) อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักไม่แตกต่างกับอุณหภูมิของอากาศภายนอก หรือแตกต่างกันน้อยมาก
3) ลักษณะความอ่อนนุ่มของวัสดุปุ๋ยหมัก วัสดุหมักจะยุ่ยขาดออกจากกันได้ง่ายไม่แข็งกระด้าง ความชื้นในกองปุ๋ยหมักประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์
4) ต้นพืชสามารถขึ้นได้บนกองปุ๋ยหมักที่สลายดีแล้ว
5) ค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน ต้องมีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า 20 :1 จึงแสดงว่าปุ๋ยหมักนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้
6) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกองปุ๋ยหมักจะมีค่าความเป็นกรดเล็กน้อยถึงด่างเล็กน้อยประมาณ 6.5-8.0
7) ปุ๋ยหมักที่ดีต้องปราศจากเชื้อโรคทุกชนิดและต้องไม่มีกลิ่น หรือถ้ามีก็เป็นกลิ่นที่ย่อยสลายแล้วคล้ายกลิ่นดิน

7. การเก็บรักษาปุ๋ยหมัก

เก็บปุ๋ยหมักไว้ในขณะที่มีความชื้น 30-40 เปอร์เซ็นต์ สังเกตได้โดยการนำปุ๋ยหมักมากำแล้วบีบให้แน่น จะรู้สึกว่าเย็นและเมื่อคลายมือออกจะมีน้ำติดอยู่ในฝ่ามือเล็กน้อย (มหรรณพ วงศ์สวัสดิ์, 2536) การเก็บรักษาทำดังนี้

1) เก็บปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มมีที่กันแดดและฝนได้ดี
2) เก็บปุ๋ยหมักไว้ในที่ยกพื้น (ไม่ควรวางไว้บนพื้นดิน) สูงจากผิวดินไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้มด ปลวก เข้าไปทำรังอาศัยอยู่ได้

3) เพื่อความสะดวกในการขนย้ายปุ๋ยหมัก ควรบรรจุปุ๋ยหมักลงในกระสอบป่าน กระสอบผ้า กระสอบผ้าพลาสติก หรือภาชนะอื่นที่ความทนทานต่อการขนย้ายได้ดี

4) ถ้าเก็บปุ๋ยหมักไว้เป็นเวลานานหรือมากกว่า 3 เดือนขึ้นไป ควรทำการรมควันเพื่อไล่มดและมอด โดยทำการสุมไฟด้วยเปลือกส้มโอ เปลือกผิวมะกรูดหรือใบพริกชี้ฟ้าทุกระยะ 3 เดือนต่อครั้ง

8. ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก คือ ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อดินและเหมาะสมต่อการเพาะปลูก (วิไลลักษณ์ สกุลกรุณา, 2534) ดังนี้

1) ให้แร่ธาตุแก่พืช โดยเฉพาะอาหารพืชหลักรวมทั้งธาตุอาหารเสริมและปุ๋ยหมักมีอินทรีย์วัตถุ ซึ่งมีธาตุอาหารหลายชนิดทำให้พืชเจริญงอกงามและให้ผลผลิตสูง

2) ช่วยให้ดินมีความสามารถดูดซึมธาตุอาหารพืชได้สูง เนื่องจากอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมักมีความสามารถยึดเหนี่ยวธาตุอาหารไม่ให้ถูกชะล้าง ซึ่งจะช่วยให้ลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชชนิดต่างๆ ไว้ได้อย่างดี

3) ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้น ช่วยส่งเสริมให้อนุภาคของดินจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดีและร่วนซุยมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

4) ช่วยให้จุลินทรีย์ในดินทำงานได้ดีมีปริมาณมากขึ้น เพราะอินทรียวัตถุเป็นอาหารของจุลินทรีย์บางพวก

5) ช่วยรักษาคุณสมบัติความเป็นกรด-ด่างของดิน ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจะมีความต้านทานความเป็นกรดเป็นด่างได้ดี

6) ช่วยแก้ปัญหาโรคพืช เนื่องจากเชื้อโรคพืชส่วนใหญ่ที่อยู่ในดิน เป็นพวกไม่ต้องการอากาศ ชอบอยู่บริเวณที่อับ อากาศชื้นแฉะ แต่ปุ๋ยหมักจะทำให้ดินถ่ายเทอากาศได้ดี จึงเป็นทางหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณเชื้อโรคพืช

7) ช่วยลดการชะล้างพังทลายของดินและลดอัตราการไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน

8) ในด้านเศรษฐกิจช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้บางส่วนทำให้ประหยัดเงินตราต่างประเทศ ในกรณีใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมี ทำให้การใช้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรของเกษตรกรสูงขึ้นเป็นการลดต้นทุนการผลิตทางหนึ่ง

9. การผลิตกรด 5-อะมิโนลีวูลินิก (5-aminolevulinic acid, ALA)

5-aminolevulinic acid (ALA) เป็นกรดอะมิโนที่มี 5 คาร์บอนซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์เตตราไพโรล (tetrapyrrole) เช่น คลอโรฟิลล์ ฮีม (heme) ไฟโคบิริน

ยูบิควิโนน และวิตามินบี 12 ซึ่งมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืช สัตว์ สาหร่าย และแบคทีเรีย (Rebeiz *et al*, 1988; Sasaki *et al*, 2002)

9.1 กระบวนการสังเคราะห์ ALA

กระบวนการสังเคราะห์ ALA มี 2 กระบวนการดังนี้

9.1.1 กระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี (chemical synthesis) ALA สามารถสังเคราะห์โดยกระบวนการทางเคมีได้ แบ่งออกได้เป็น 6 วิธี โดยกระบวนการในการผลิตมีความซับซ้อนมาก ALA สามารถสังเคราะห์ได้จาก levulinic acid, 2- hydroxypyridine, furfural, furfurylamine, tetrahydrofurfurylamine และ succinic acid กระบวนการทางเคมีต้องใช้ต้นทุนสูงและผลผลิตที่ได้น้อยเมื่อเทียบกับกระบวนการทางชีวภาพ (Sasaki *et al.*, 2002)

9.1.2 กระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ (biological synthesis) กระบวนการสังเคราะห์ALA ทางชีวภาพ แบ่งออกเป็น 2 วิถี (pathway) คือ C_4 pathway (Shemin pathway) และ C_5 pathway (Sasaki *et al.*, 2002)

C_4 pathway (The Shemin pathway) พบได้ในเซลล์สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ยีสต์ ราและแบคทีเรีย โดยเฉพาะกลุ่มแบคทีเรียสีม่วงสังเคราะห์แสงที่ไม่ต้องการซัลเฟอร์ (purple non-sulfur photosynthetic group) (Sasaki *et al.*, 1990) โดยเริ่มต้นจาก succinyl CoA ซึ่งเป็นสารตัวกลางในวัฏจักรเครบ ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนไกลซีนได้ α-amino-β-ketoadipic acid ซึ่งเป็นสารที่ไม่เสถียรจึงเปลี่ยนไปเป็นกรด 5-อะมิโนลีวูลินิก (ALA) โดยอาศัยกิจกรรมเอนไซม์ ALA synthetase ร่วมกับ pyridoxal phosphate ซึ่งเป็นโคเฟคเตอร์ โดยขบวนการดังกล่าวต้องอาศัยแสง จากนั้นALA จะเปลี่ยนไปเป็นporphobilinogen (PBG) ซึ่งเป็นสารพวก monopyrrole โดยอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ ALA dehydratase พร้อมกับสูญเสียน้ำออกไป 2 โมเลกุล โดยวิตามินบี 12 ฮีม และคลอโรฟิลล์เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เกิดขึ้นเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ (Gibson *et al.*, 1958)

C_5 pathway พบได้ในสาหร่าย พืช และแบคทีเรียบางชนิด เช่น แบคทีเรียสีม่วง (purple bacteria) และแบคทีเรียสีเขียวที่ต้องการซัลเฟอร์ (green-sulfur bacteria) (Sasikala and Ramana, 1995) ในกระบวนการนี้ ALA สังเคราะห์มาจาก glutamate หรือ α-ketoglutarate (สารตั้งต้น) โดยมีปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน (1) กลูตาเมตจับกับ tRNA โดยมีเอนไซม์ Glu-tRNA synthetase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มี ATP และ Mg^{2+} เป็นโคเฟคเตอร์ (2) Glu-tRNA ถูกเปลี่ยนไปเป็น glutamate 1-semialdehyde (GSA) มีลักษณะเป็นสายตรง หรือเปลี่ยนไปเป็น GSA แบบวงแหวน (hydroxyaminotetrahydropyranone : HAT) (Jordan *et al.*, 1989) โดยเอนไซม์ Glu-tRNA reductase และมีการปล่อย tRNA ออกมา ซึ่ง NADPH เป็นโคเฟคเตอร์สำหรับเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ Glu-tRNA reductase (3) GSA และ/หรือ HAT ถูกเปลี่ยนไปเป็น ALA โดยเอนไซม์ GSA-2, 1-amino mutase หรือ GSA aminotransferase โดยPLP (pyridoxal 5-phosphate) และ PAP (pyridoxamine 5-

phosphate) เป็นโคเฟคเตอร์ ซึ่งพบปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นบริเวณ stroma ของ plastid (Jahn *et al*., 1992)

9.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิต ALA จากแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

9.2.1 แหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน

Sasaki และคณะ (1990) ศึกษาการผลิ ALA จาก *Rhodobacter sphaeroides* โดยใช้กรดไขมันระเหย เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก ซึ่งได้มาจากน้ำหมักมูลสุกรเป็นแหล่งคาร์บอนและหากเติมกรดลีวูลินิกร่วมกับไกลซีน พบว่าสามารถผลิต ALA ได้ถึง 4.2 มิลลิโมล (0.63 กรัมต่อลิตร) นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียใช้กรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกแต่จะไม่ใช้กรดบิวทิริก เนื่องจากเชื้อจะใช้กรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกพร้อมกันภายใต้สภาวะการเจริญมีอากาศ-ไร้แสง หรือไร้อากาศ-มีแสง ทั้งนี้กรดโพรพิโอนิกที่มีอยู่ในน้ำหมักมีบทบาทสำคัญในการผลิต ALA โดยใช้ ในกระบวนการ methylmalonyl CoA pathway (propionic acid → propionyl CoA → methylmalonyl CoA → succinyl CoA → ALA) ซึ่งในการผลิต ALA มีการใช้ สารอาหารจากแหล่งอื่น ๆ เช่น น้ำหมักมูลสุกร เป็นต้น

Tanaka และคณะ (1994) ศึกษาการใช้กรดไขมันระเหยจากการหมักตะกอนของเสีย (sewage sludge) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี คือ ไนโตรเจนทั้งหมด 1,220 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีกรดไขมันระเหย ได้แก่ อะซิเตท 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร โพรพิโอเนต 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร บิวทิเรท 450 มิลลิกรัมต่อลิตร และไอโซบิวทิเรท 400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยหมักตะกอนของเสียเป็นระยะเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสง (5,000 ลักซ์) ร่วมกับการเติมกรดลีวูลินิก 30 มิลลิโมล 3 ครั้ง และไกลซีน 60 มิลลิโมล 1 ครั้ง พบว่าเชื้อ *Rhodobacter sphaeroides* สามารถผลิต ALA ได้สูงถึง 9.2 มิลลิโมล

9.2.2 ความเข้มข้นของกรดลีวูลินิกที่เติม

กรดลีวูลินิกเป็นตัวยับยั้งแบบแข่งขันต่อเอนไซม์ ALA dehydratase (ALAD) โดยมีการเติมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ (Sasaki *et al*., 1995) ทั้งนี้กิจกรรมของเอนไซม์ ALAD จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการรวมของ ALA จำนวน 2 โมเลกุลไปเป็น porphobilinogen ดังนั้นจึงมีการเติมกรดลีวูลินิกลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อเพิ่มการผลิต ALA (Beale, 1970)

Sasaki และคณะ (1993) พบการว่าการเติมกรดลีวูลินิก สามารถยับยั้งเอนไซม์ ALA dehydratase ให้อยู่ในระดับต่ำอย่างต่อเนื่องทำให้การเปลี่ยน ALA ไปเป็นสารประกอบเตตราไพโรลได้น้อย จึงทำให้เชื้อมีการสะสม ALA ภายในเซลล์และมีการหลั่งออกมานอกเซลล์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง และมีการควบคุมพีเอชให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม (พีเอช 6.5) เชื้อสามารถผลิต ALA ได้ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

Sasaki และคณะ (1997) ศึกษาผลของกรดลีวูลินิกต่อกิจกรรมของเอนไซม์ ALAD โดยเลี้ยงเชื้อ *Rhodobacter sphaeroides* สายพันธุ์ IFO 12203 บนอาหารกลูตาเมต-มาเลต ที่มีพีเอชต่างกัน (พีเอช 5.5, 6.5 และ 7.5 ตามลำดับ) พบว่ากรดลีวูลินิก 5 มิลลิโมล สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ ALAD ได้สูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอช 5.5

9.2.3 ความเข้มของแสง

ความเข้มแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการผลิต ALA โดยเชื้อ *Rhodobacter sphaeroides* โดยสามารถผลิต ALA ได้สูงสุดที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ พบว่าที่ระดับความเข้มแสงมากกว่า 5,000 ลักซ์ และน้อยกว่า 1,000 ลักซ์ ทำให้เชื้อมีอัตราการเจริญต่ำและไม่สามารถผลิต ALA ดังนั้นความเข้มแสงที่ 3,000 ลักซ์ มีความเหมาะสมที่สุดในการผลิต ALA จากเชื้อสายพันธุ์นี้ (Sasaki *et al*., 1987)

Sasaki และคณะ (1990) ศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการผลิต ALA จากเชื้อ *Rhodobacter sphaeroides* โดยมีการเติมกรดลีวูลินิก 30 มิลลิโมล และไกลซีน 60 มิลลิโมล พบว่าการผลิต ALA เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเข้มแสงมากกว่า 5,000 ลักซ์ การผลิต ALA กลับไม่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในสภาวะไร้แสง (0 klux) จะไม่มีการผลิต ALA ซึ่งผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการผลิตALA จากเชื้อ *Rhodobacter sphaeroides* ขึ้นอยู่กับความเข้มแสง

9.2.4 พีเอช

Sasaki และคณะ (1993) ศึกษาผลของพีเอชต่อการผลิต ALA โดยเลี้ยงเชื้อ *Rhodobacter sphaeroides* ในอาหารที่มีกรดไขมันระเหยเป็นองค์ประกอบ โดยมีพีเอชเริ่มต้น 6.0, 6.2, 6.5, 6.8, 7.0, 7.5 และ 8.0 พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการผลิต ALA อยู่ในช่วง 6.8-7.0 สามารถผลิตได้สูงถึง 16 มิลลิโมล (2.1 กรัมต่อลิตร) เมื่อผลิต ALA ภายใต้การควบคุมพีเอช (6.8±0.1) โดยมีการเติมกรดลีวูลินิกและไกลซีน และศึกษาการทำงานของเอนไซม์ ALA synthetase (ALAS) และเอนไซม์ ALA dehydratase (ALAD) พบว่าการทำงานของเอนไซม์ ALAS ภายในเซลล์เพิ่มขึ้นหลังจากเติมกรดลีวูลินิก ขณะที่เอนไซม์ ALAD ถูกยับยั้งอย่างรวดเร็วหลังจากเติมกรดลีวูลินิก 30 นาที โดยมีกิจกรรมเหลือเพียง 15 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การทำงานของเอนไซม์ ALAS ที่เพิ่มขึ้น หลังจากมีการเติมกรดลีวูลินิก เนื่องจากเกิดการปลดปล่อยจากกระบวนการยับยั้งแบบย้อนกลับโดยสารประกอบพวกฮีมเพราะกรดลีวูลินิกเป็นตัวยับยั้งแบบแข่งกับเอนไซม์ ALAD ดังนั้นการเกิดสารประกอบฮีมจึงมีน้อยลง

9.2.5 โลหะอิออน

โลหะอิออนชนิดต่างๆ เช่น Fe^{2+}, Cu^{2+}, Ca^{2+}, Co^{2+}, Mg^{2+} และ Zn^{2+} เป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญในการควบคุมการสังเคราะห์เตตราไพโรลของเชื้อ *Rhodobacter sphaeroides* สารประกอบพวกเหล็ก (heme compound) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเอนไซม์ ALAS เช่น การยับยั้งแบบ

ย้อนกลับ (feedback inhibition) หรือการกดดันแบบย้อนกลับ (feedback repression) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม การผลิต ALA ในอาหารเลี้ยงเชื้อต้องประกอบด้วยธาตุโคบอลหรือธาตุเหล็ก (Sasikala *et al*., 1994)

9.3 การประยุกต์ใช้กรด 5-อะมิโนลีวูลินิกเป็นสารส่งเสริมการเจริญ

ALA มีคุณสมบัติเป็นสารส่งเสริมการเจริญที่ดีมาก เมื่อใช้ที่ระดับความเข้มข้น 0.1-1 มิลลิโมล (Sasikala *et al*., 1995) โดย ALA มีผลช่วยในการเจริญและผลผลิตของธัญพืชต่างๆ และผัก เนื่องจากช่วยเพิ่มการสังเคราะห์แสง กระตุ้นการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะที่มีแสงและในสภาวะไร้แสง พบว่ามีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราการหายใจลดลง (Hotta *et al*., 1989)

Sasaki และคณะ (1995) ศึกษาผลของกรดอะมิโนลีวูลินิก (5-Aminolevulinic, ALA) ต่อการเจริญและการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเกลียวทอง โดยการเติม ALA 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (2.7 มิลลิโมล) พบว่า มีการสะสมของไฟโคไซยานินและคลอโรฟิลล์ภายในเซลล์เพิ่มขึ้น

Hotta และคณะ (1989) ศึกษาผลของ ALA ในการส่งเสริมการเจริญของพืชหลายชนิด โดยพ่นสารละลาย ALA ลงบนใบผักกาดที่ระดับความเข้มข้น 0.06, 0.18, 0.6, 1.8 และ 6.0 มิลลิโมลาร์ พบว่าที่ความเข้มข้นของ ALA 0.06-1.8 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของรากเพิ่มขึ้น แต่ที่ความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ มีผลให้ต้นอ่อนได้รับความเสียหาย นอกจากนี้ ALA ที่ความเข้มข้น 0.18 และ 0.6 มิลลิโมลาร์ ช่วยเพิ่มการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะมีแสงและลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะไร้แสง การใช้ ALA ที่ความเข้มข้นต่ำ (0.06 มิลลิโมลาร์) เพิ่มการเจริญและผลผลิตของถั่วแดง ข้าวบาร์เล่ย์ มันฝรั่งและกระเทียมประมาณ 10-60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองชุดควบคุมที่ไม่ได้ใช้สาร ALA

Hotta และคณะ (1997) ศึกษาผลของ ALA ต่อสรีรวิทยาของพืชโดยใช้สารละลาย ALA ที่ระดับความเข้มข้น 0.0006-600 มิลลิโมลาร์ โดยใช้วิธีแช่รากในสารละลายพบว่าที่ความเข้มข้นของ ALA 0.06-6 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้ต้นข้าวมีการเจริญเพิ่มขึ้นในสภาวะมีแสง แต่ไม่มีผลส่งเสริมการเจริญในสภาวะไร้แสง นอกจากนี้เมื่อทดสอบใน pothoslime *(Epipremnum aureus)* พบว่า ที่ความเข้มข้นของ ALA 0.06 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมของคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น

Roy และคณะ (1998) ศึกษาผลของสาร ALA ต่อการเพิ่มน้ำหนักของผลผลิตในถั่วโดยวิธีการแช่เมล็ดในสารละลาย ALA ก่อนการนำไปปลูก พบว่า ALA ทำให้การเจริญเพิ่มขึ้น จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก และน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้น รวมทั้งมีการสะสมของวัตถุแห้ง (dry matter) ในใบ ลำต้น และฝัก รวมทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นด้วย

10. ผักบุ้งจีน

ชื่อสามัญ water convolvulus, water spinach และ swamp cabbage

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Impomoea aquatica* Forsk.

มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อน พบได้ทั่วไปในแอฟริกา และเอเชียเขตร้อนจนถึงมลายาและออสเตรเลีย ในประเทศไทยสามารถปลูกผักบุ้งจีนได้ตลอดปีและปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศ เป็นพืชที่นิยมรับประทานกันมาก มีคุณค่าทางอาหารสูง ประกอบด้วยแร่ธาตุและวิตามินที่จำเป็นแก่ร่างกาย เช่น วิตามินเอ ที่ช่วยรักษาสายตา นอกจากนี้ยังมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามินซี เป็นองค์ประกอบสำคัญอีกด้วย

10.1 การแบ่งจำแนกชนิดของผักบุ้งจีน

10.1.1 การจำแนกผักบุ้งจีนตามขนาดและรูปร่างของใบออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- ชนิดใบแคบ ใบลักษณะเหมือนปลายดอก คือปลายใบแหลมเรียวสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพดินชื้น
- ชนิดใบกว้าง มีรูปร่างคล้ายหัวใจ มีส่วนกว้างและส่วนยาวใกล้เคียงกัน ให้ผลผลิตมากกว่าชนิดใบแคบถึง 2 เท่า

10.1.2 การจำแนกผักบุ้งจีนตามลักษณะสีลำต้นได้เป็น 2 ชนิด คือ

- ลำต้นสีเขียว มีลำต้นขนาดเล็ก เหนียว มักปลูกในที่ดอน
- ลำต้นสีขาว มีลำต้นขนาดใหญ่ และคุณภาพดีกว่าลำต้นสีเขียวนิยมปลูกในที่ลุ่ม

10.2 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

10.2.1. อุณหภูมิและฤดูปลูก ผักบุ้งจีนเป็นพืชเขตร้อน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ในช่วงที่สูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ต้องการช่วงแสงสั้นในการออกดอกและติดผล สำหรับในประเทศไทย ฤดูที่เหมาะสมนั้นมีตลอดปี

10.2.2. ดิน ผักบุ้งจีนเป็นพืชล้มลุกฤดูเดียว สามารถขึ้นได้ดีในดินทุกชนิดที่มีความชื้นพอสมควรแต่จะเจริญได้ดีที่สุดในดินที่ร่วนเหนียว และดินเหนียวที่มีอินทรียวัตถุสูง โดยเฉพาะเมื่อมีน้ำมากผักบุ้งจีนจะเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว แต่ถ้าปริมาณน้ำไม่เพียงพอจะชะงักการเจริญเติบโตและลำต้นแข็งกระด้าง ในสภาพดินดอน ควรเพิ่มอินทรียวัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก หรือเปลือกถั่วลงไปในอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่

10.3 ลักษณะการเจริญเติบโต

ผักบุ้งจีนใช้เวลาในการงอกเพียง 48 ชั่วโมง ระยะแรกของการเจริญเติบโต ลำต้นตั้งตรง หลังจากงอกได้ 5-7 วัน จะมีใบเลี้ยงโผล่ออกมา 2 ใบ มีลักษณะปลายใบเป็นแฉก ไม่เหมือนกับใบจริงเมื่อต้นโต ในระยะสองสัปดาห์แรก มีการเจริญเติบโตทางลำต้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งอายุประมาณ 25-30 วัน สามารถเก็บเกี่ยวได้ (ชุตินันท์ สิริยานนท์ และสราวุธ พัฒนาพานิชกุล, 2531)

10.4 การปลูกผักบุ้งจีน

ปลูกโดยวิธีการหว่านเมล็ดเป็นแถวในแปลงที่เตรียมไว้ใช้เมล็ดประมาณ 300 เมล็ดต่อพื้นที่ 18 ตารางเมตร ใช้ระยะปลูกระหว่างแถวประมาณ 20 เซนติเมตร ทำร่องลึก 1 เซนติเมตร สำหรับหว่านเมล็ดและใช้แกลบผสมปุ๋ยคอกกลบเมล็ดหลังจากหว่านเมล็ดแล้วรดน้ำให้ชุ่มทั้งแปลง วิธีการหว่านเมล็ดเป็นแถว ช่วยทำให้สะดวกในการกำจัดวัชพืชและการใส่ปุ๋ยได้ง่ายขึ้น

10.5 การดูแลรักษา

10.5.1 การใส่ปุ๋ย ผักบุ้งเป็นผักที่อายุเก็บเกี่ยวสั้นหลังจากหว่านแล้ว 10-15 วัน ใช้ปุ๋ยยูเรีย (สูตร 46-0-0) ละลายน้ำในอัตรา 20 กรัมต่อน้ำ 10 ลิตร (2 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 10 ลิตร) รดให้ทั่วแปลง

10.5.2 การให้น้ำ ผักบุ้งเป็นผักที่ชอบดินที่มีความชุ่มชื้นสูง ต้องรดน้ำอย่างสม่ำเสมอวันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็น โดยใช้สปริงเกอร์หรือบัวรดน้ำ

10.5.3 การกำจัดวัชพืช สำหรับผักบุ้งเป็นผักที่โตเร็วการกำจัดวัชพืชเพียง 1 ครั้งโดยใช้จอบขนาดเล็กดายวัชพืชระหว่างแถว หรือในบางฤดูอาจไม่ต้องกำจัดวัชพืชเลย

10.5.4 โรคและแมลง โรคที่สำคัญของผักบุ้งที่พบมีโรคราสนิมขาว ระบาดในฤดูฝน โรคนี้แพร่กระจายได้รวดเร็ว การป้องกันกำจัด เมื่อพบว่าผักบุ้งเป็นโรคราสนิมขาวให้ถอนทำลายและหยุดการปลูกผักบุ้งบริเวณที่มีโรคระบาด 1-2 เดือน สำหรับแมลงศัตรูผักบุ้งไม่พบว่ามีการระบาดรุนแรง (มณีฉัตร นิการพันธุ์, 2544)

11. ต้นหอม

ชื่อสามัญ	Spring onion
ชื่อวิทยาศาสตร์	Allium cepa var. aggregatum

11.1 แหล่งปลูก

11.1.1 สภาพพื้นที่ ปลูกได้แทบทุกที่ อยู่ใกล้แหล่งน้ำสะอาด และสะดวกต่อการนำมาใช้ไม่เป็นแหล่งที่มีน้ำท่วมขังห่างไกลจากแหล่งมลพิษ และการคมนาคมขนส่งสะดวก สามารถนำผลผลิตออกสู่ตลาดได้รวดเร็ว

11.1.2 ลักษณะดิน ปลูกได้ในดินแทบทุกชนิดที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ มีการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศดี มีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 5.8-6.5

11.1.3 สภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20-24 องศาเซลเซียส

11.1.4 แหล่งน้ำ มีแหล่งน้ำสะอาด ปราศจากสารอินทรีย์ และสารอินทรีย์ที่มีพิษปนเปื้อนและแหล่งน้ำพอเพียงสำหรับตลอดฤดูปลูก

11.2 พันธุ์

11.2.1 การเลือกพันธุ์ เลือกหัวพันธุ์ที่อุดมสมบูรณ์ไม่เป็นโรค ให้ผลผลิตสูง มีคุณภาพตรงตามที่ตลาดต้องการ เจริญเติบโตดี เหมาะสมกับสภาพดินฟ้าอากาศที่ปลูก

11.2.2 พันธุ์ที่นิยมปลูก เกษตรกรนิยมแบ่งพันธุ์ตามลักษณะสีของโคนต้นมี 2 กลุ่ม คือ

- พันธุ์เขียว โคนต้นมีเส้นสีเขียวตามยาว ปลูกง่าย โตเร็ว ตลาดมีความต้องการสูง อายุเก็บเกี่ยวหลังปลูกประมาณ 45 วัน

- พันธุ์ขาว โคนต้นไม่มีเส้นสีเขียวตามยาว รูปทรงไม่สวย อายุเก็บเกี่ยวหลังปลูก 50 วัน

11.3 การปลูก

11.3.1 การเตรียมหัวพันธุ์ นำหัวพันธุ์ต้นหอม มาทำความสะอาดตัดรากเก่าและใบแห้งออก และเกาะหัวแยกออกมาเป็นกลีบ อย่าให้มีรอยแผล หรือรอยถลอก เพื่อให้งอกเร็วขึ้น ตัดปลายยอดของหัวออกเล็กน้อย แล้วเก็บไว้ในที่ชื้น ใช้ผ้าเปียกสะอาดคลุมไว้ประมาณ 1-2 วัน พื้นที่ 1 ไร่ ใช้หัวพันธุ์ 60-80 กิโลกรัม

11.3.2 การเตรียมดิน ไถตากดินไว้ประมาณ 7 วัน หว่านปูนขาว แล้วไถพรวนอีก 1-2 ครั้ง ยกแปลงปลูก กว้าง 1 เมตร ความยาวตามพื้นที่โดยให้มีร่องน้ำระหว่างแปลง กว้าง 30 เซนติเมตร ก่อนปลูกหว่านปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายดีแล้วตามความสามารถที่จะหามาใช้ได้ โดยทั่วไปควรใส่อัตรา 2-4 ตันต่อไร่ เพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน

11.3.3 วิธีการปลูก รดน้ำในแปลงก่อนปลูกให้ชุ่มพอเหมาะ ระยะปลูกระหว่างต้น15 เซนติเมตร ปลูกโดยใช้กลีบต้นหอม กดให้ลึกประมาณ 3 ใน 4 ของหัว คลุมด้วยหญ้าแห้งหรือฟางแห้ง แล้วรดน้ำตาม

11.4 การดูแลรักษา

11.4.1 การให้ปุ๋ย ก่อนปลูก ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-10-10 อัตรา 40-50 กิโลกรัมต่อไร่ หว่านให้ทั่วแปลง หลังปลูก 20-25 วัน หว่านปุ๋ยเคมีสูตร 16-10-10 อัตรา 40-50 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ทั่วแปลง

11.4.2 การให้น้ำ ให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ ให้โดยวิธีใดก็ได้ตามความเหมาะสม และให้น้ำทันทีหลังการปลูกและใส่ปุ๋ยทุกครั้ง

11.4.3 โรคของต้นหอม เช่นโรคเหี่ยว ทำให้ใบแก่รอบนอกเป็นสีเหลือง ภายหลังจะเหี่ยวเหลืองทั้งต้น เมื่อถอนต้นหอมจะหลุดจากดินได้ง่าย ป้องกันโดยปรับดินด้วยปูนขาวหรือปุ๋ยคอก ให้มีค่าพีเอชประมาณ 6.5-7.0 (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (เส้นใยปาล์มและกากตะกอนดีแคนเตอร์) โดยศึกษาผลของอัตราส่วนของวัสดุหมักทั้งสองชนิด และผลของแหล่งหัวเชื้อต่อคุณภาพปุ๋ยหมักที่ได้

2. เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของพืช 2 ชนิดคือ ผักบุ้งและต้นหอม และเปรียบเทียบผลกับการใช้ปุ๋ยเคมี

ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักโดยหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุเศษเหลือของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 2 ชนิด โดยการหมักแบบอาหารแข็ง และทำการผลิตกรด 5-อะมิโนลีวูลินิก (ALA) จากแบคทีเรียสังเคราะห์แสงโดยการหมักแบบอาหารเหลว จากนั้นทดสอบคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้โดยผสมและไม่ผสมน้ำหมักที่มี ALA จากแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในการปลูกพืช 2 ชนิด คือ ผักบุ้ง และต้นหอม

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้กรรมวิธีการผลิตปุ๋ยหมักที่ใช้วัสดุเศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (เส้นใยปาล์มและกากตะกอนดีแคนเตอร์) เป็นวัตถุดิบ

2. ได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณสมบัติเป็นสารเร่งการเจริญของพืชผัก จากการเติมสารชีวภาพจากแบคทีเรียสังเคราะห์แสง