บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตปุ๋ยหมัก

1.1 ผลของอัตราส่วนวัสดุหมัก

1.1.1 องค์ประกอบของวัสดุหมัก

การวิเคราะห์องค์ประกอบของเส้นใยปาล์ม กากตะกอนดีแคนเตอร์ ขี้เถ้าจากเส้นใยปาล์ม และน้ำกากส่า ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก (ตารางที่ 1) พบว่าปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจนฟอสฟอรัส และโปตัสเซียมของวัสดุหมักทั้ง 4 แหล่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) แต่ปริมาณฟอสฟอรัสของเส้นใยปาล์มกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ และเส้นใยปาล์มกับน้ำกากส่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) โดยเส้นใยปาล์มมีปริมาณคาร์บอนสูงสุด (53.44 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง) เพราะเส้นใยปาล์มมีลักษณะเป็นเส้นใย ที่ประกอบด้วยลิกโนเซลลูโลส (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) (Thambirajah *et al*., 1989) รองลงมาคือกากตะกอนดีแคนเตอร์ น้ำกากส่า และขี้เถ้าจากเส้นใยปาล์ม (44.69, 3.71 และ 0.96 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) ส่วนปริมาณไนโตรเจนพบว่ากากตะกอนดีแคนเตอร์มีปริมาณไนโตรเจนสูงสุด (2.37 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือเส้นใยปาล์ม น้ำกากส่า และขี้เถ้าจากเส้นใยปาล์ม (0.63, 0.27 และ 0.08 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง) สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสและโปตัสเซียมพบมากที่สุดในขี้เถ้าเส้นใยปาล์ม (0.92 และ 1.93 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง) ซึ่งได้จากการเผาไหม้เส้นใยปาล์ม เพื่อให้ความร้อนแก่หม้อนึ่งปาล์ม จึงทำให้อินทรีย์สารต่างๆในเส้นใยปาล์มถูกทำลายด้วยความร้อน เหลือแร่ธาตุต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัสและโปตัสเซียมในปริมาณมากขึ้น สำหรับน้ำกากส่าซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือของโรงงานกลั่นสุรา จากการวิเคราะห์พบว่ามีปริมาณน้ำตาลและไนโตรเจนเท่ากับ 3.71 และ 0.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (37,1800 และ 2,700 มิลลิกรัมต่อลิตร) ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ของ พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และประกฤติ สุขสวัสดิ์ (2525) ซึ่งพบว่าน้ำกากส่าในโรงงานสุรามีปริมาณน้ำตาล 35,200 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณไนโตรเจน 2,700 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

Table 1 Chemical composition of raw materials for compost making

Raw material	Organic carbon (%C)	Nitrogen (%N)	Phosphorus ($\%P_2O_5$)	Potassium ($\%K_2O$)
Palm press fiber (PPF)	53.44 ± 0.35^{a}	0.63 ± 0.05^{a}	0.20 ± 0.04^{ab}	0.46 ± 0.08^{a}
Decanter cake (DC)	44.69 ± 0.64^{b}	2.37 ± 0.10^{b}	0.28 ± 0.04^{b}	0.85 ± 0.10^{b}
PPF ash /Palm ash	0.96 ± 0.50^{c}	0.08 ± 0.02^{c}	0.92 ± 0.11^{c}	1.93 ± 0.11^{c}
Slop	$3.71\pm0.50^{*d}$	0.27 ± 0.04^{d}	0.13 ± 0.05^{a}	1.74 ± 0.07^{d}

Data were mean values of triplicate determination ± standard deviation

^{abcd} Different superscripts in a row indicated significant differences ($p>0.05$)

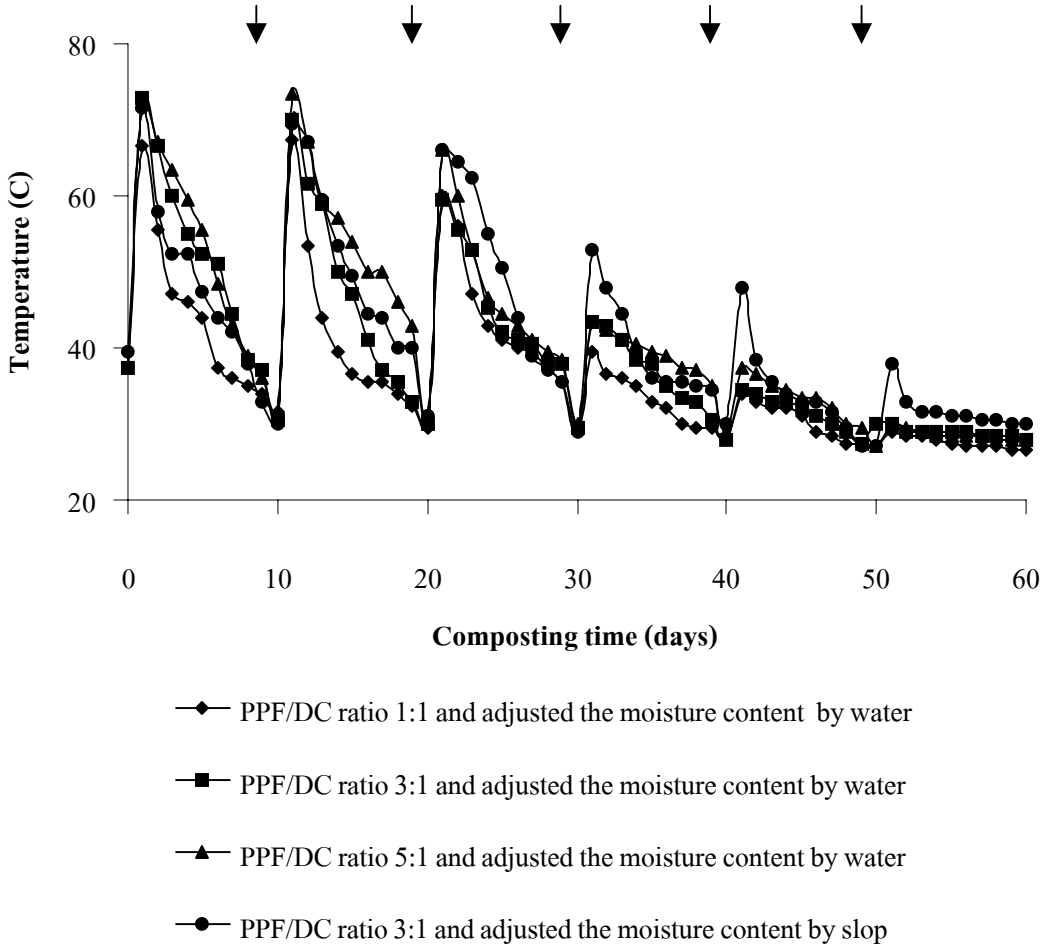
Percentage (%) was based on dry weight

* Analysis in term of sugar

1.1.2 การหมัก

การศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยการนำเส้นใยปาล์มและกากตะกอนดีแคนเตอร์ ผสมกันในอัตราส่วน 1:1, 3:1 และ 5:1 ตามลำดับ โดยเติมหัวเชื้อพด.1 (150 กรัม/น้ำ 20 ลิตร/วัสดุหมัก 1 ตัน) เป็นตัวเร่ง ในกระบะอลูมิเนียมที่บุด้วยลวดตาข่าย เป็นระยะเวลา 60 วัน ผลการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก แสดงดังภาพที่ 2-7

อุณหภูมิ (ภาพที่ 2) อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักทุกกองมีอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 37-40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดในช่วง 60-75 องศาเซลเซียส พบว่าปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 (ปรับความชื้นด้วยน้ำทุกๆ 10 วัน) อุณหภูมิกองปุ๋ยหมักสูงขึ้นประมาณ 66.5 องศาเซลเซียส ในวันที่ 1 ของการหมัก และวันที่ 2-10 ของการหมักอุณหภูมิค่อยๆลดลงเหลือ 55.5, 47, 46, 44, 37.5, 36, 35, 34 และ 31.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ วันที่ 11 กองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงขึ้น (67.5 องศาเซสเซียส) และอุณหภูมิลดลงในวันที่ 14-20 ของการหมัก (53.5, 44, 39.5, 36.5, 35.5, 34, 32.5 และ 29.5 องศาเซสเซียส ตามลำดับ) วันที่ 21 กองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงขึ้นอีกครั้งเป็น 60 องศาเซลเซียส และลดลงในวันที่ 22-30 (56, 47, 43, 41, 40, 39.5, 37, 35.5 และ 29 องศาเซสเซียส ตามลำดับ) วันที่ 31 กองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิ 39.5 องศาเซลเซียส และวันที่ 32-40 มีอุณหภูมิ 36.5, 36, 35, 33, 33, 32, 30, 29.5, 29.5 และ 28 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักวันที่ 41-50 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงมาก (34, 33, 32, 31, 38, 28.5, 27.5, 27 และ 26.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) และหลังการหมักครบ 60 วัน อุณหภูมิของ



ภาพที่ 2 ผลของอัตราส่วนในการผสมเส้นใยปาล์ม (PPF) และกากตะกอนดีแคนเตอร์ (DC) ต่ออุณหภูมิระหว่างการทำปุ๋ยหมัก
(↓) คือ กลับกองปุ๋ยหมักและปรับความชื้นประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์

Fig. 2 Effect of palm press fiber (PPF) and decanter cake (DC) mixture ratios on temperature during composting process
(↓) indicated turning over on the piles and adjusted the moisture content to 50-70%

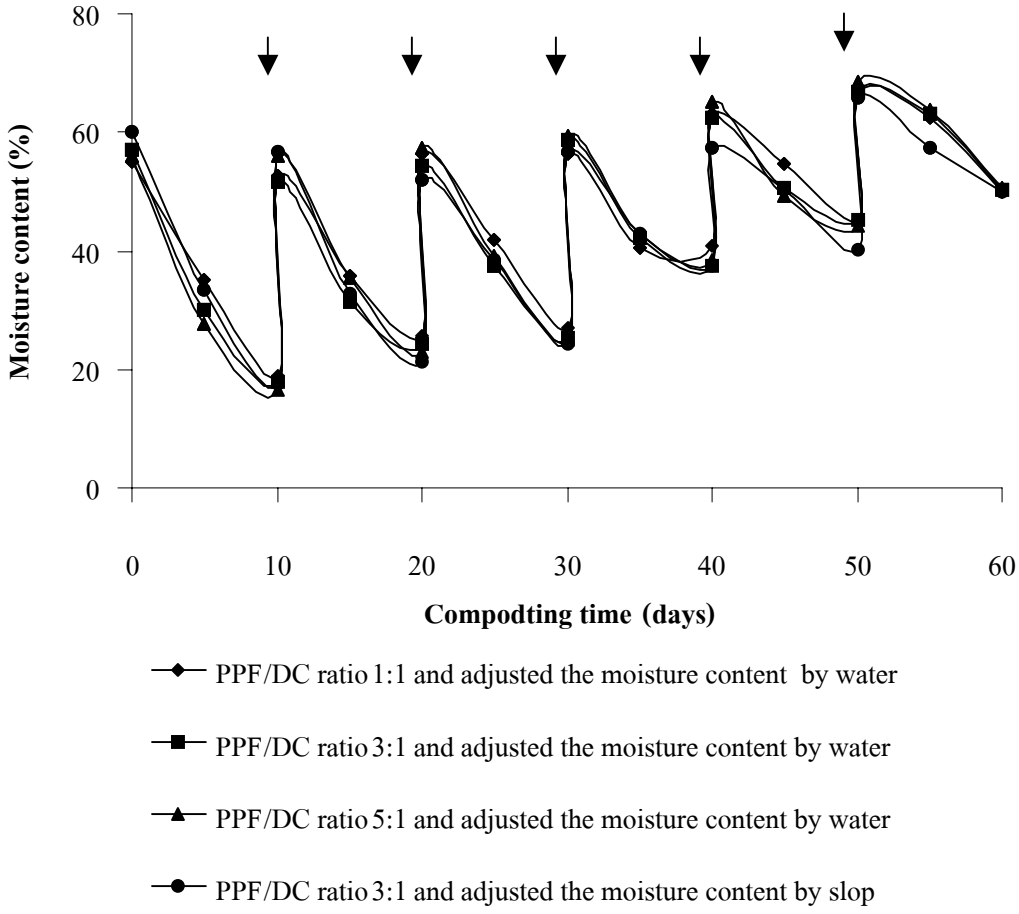
กองปุ๋ยหมักทุกกองมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 26-30 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศภายนอก ปุ๋ยหมักที่ ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 3:1 (ปรับความชื้นด้วยน้ำ), 5:1 (ปรับความชื้นด้วยน้ำ) และ 3:1 (ปรับความชื้นด้วยน้ำกากส่า) อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นสูงและลดลงเหมือนกับอุณหภูมิของปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 (ปรับความชื้นด้วยน้ำ)

จะเห็นว่าอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักทุกกองจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดภายในวันแรกหลังการกลับกองปุ๋ยหมักและปรับความชื้นให้อยู่ในช่วง 50-70 เปอร์เซ็นต์ ทุกๆ10วัน ทั้งนี้เนื่องจากการกลับกองปุ๋ยหมักเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับกองปุ๋ยหมัก เพราะออกซิเจนมีความสำคัญต่อจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศมาก เชื้อจุลินทรีย์ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนหายใจทำให้เกิดพลังงานและจุลินทรีย์จะสร้างเอนไซม์ออกมาเพื่อทำการย่อยสลายวัสดุเศษเหลือได้อย่างประสิทธิภาพ (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2531; Diaz *et al*., 2002) แต่การกลับของปุ๋ยหมักในครั้งที่ 4 และ 5 (วันที่ 40 และ 50 ของการหมัก) พบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากสารอาหารในเส้นใยปาล์มและกากตะตอนดีแคนเตอร์ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เกือบสมบูรณ์ ทำให้ปริมาณความร้อนที่เกิดจากระบวนเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์น้อยมาก อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักลดลง การที่อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นสูงถึง 66 องศาเซลเซียส เนื่องจากหัวเชื้อพด.1 ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายและสูงสุดในเวลา 1 วัน หลังการเติมเชื้อ การทดลองนี้ให้ผลดีกว่าผลจากการศึกษาของ Kulcu and Yaldiz (2004) ซึ่งผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้หญ้า เศษกระดาษ วัสดุเศษเหลือจากการเพาะปลูกมะเขือเทศและมะเขือยาวเป็นวัตถุดิบในการหมัก โดยผสมกันในอัตราส่วน 54, 20, 10.6 และ 15.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และพบว่าทุกๆถังหมักมีอุณหภูมิสูงสุด 50 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกของการหมัก (วันที่ 6 ของการหมัก) และอุณหภูมิค่อยๆลดลงเหลือ 37, 33, 25, 24, 22 และ 20 องศาเซลเซียส ในวันที่ 7-12 ของการหมัก ตามลำดับ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิสูงสุดจากการทดลองนี้ยังต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการหมักทะลายปาล์มเปล่าผสมมูลสัตว์ต่างๆ (75 องศาเซลเซียส) ในเวลา 1 วันหลังการหมัก (Thambirajah *et al*., 1995) และใกล้เคียงกับผลการหมักเส้นใยปาล์มที่เติมยูเรียและมูลสัตว์ (70 องศาเซลเซียส) (Thambirajah and Kuthubutheen, 1989)

ความชื้น ความชื้นมีความสำคัญต่อการเจริญและการทำกิจกรรมต่างๆของเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าวจะเป็นตัวช่วยในการย่อยสลายวัสดุเศษเหลือในการทำปุ๋ยหมัก ความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ (Hamoda *et al*., 1998) ดังนั้นจึงต้องมีการเติมน้ำหรือวัสดุเศษเหลือทางอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น น้ำกากส่า น้ำนึ่งปลาทูน่า เป็นต้น เพื่อปรับความชื้นให้เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้น้ำและน้ำกากส่า (จากโรงงานผลิตสุรา)

จากการทดลอง (ภาพที่ 3) พบว่าในช่วงเริ่มต้นของการหมักทุกกองปุ๋ยหมักมีความชื้นประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ และปรับความชื้นทุกๆ 10 วัน (จำนวน 5 ครั้ง) ซึ่งมีผลให้ความชื้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก ทำให้เกิดความร้อนซึ่งจะระเหยน้ำออกและมีผลให้ปริมาณความชื้นลดลง เช่น กองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน1:1 เมื่อผ่านไป 5 วัน และ 10 วัน กองปุ๋ยหมักมีความชื้นลดลงเหลือ 30.12 เปอร์เซ็นต์ และ18.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อครบ 10 วันปรับความชื้นของกองปุ๋ยหมักครั้งที่ 1 กองปุ๋ยมีความชื้น 52.56 เปอร์เซ็นต์ ผ่านไป 15 และ 20 วัน ปริมาณความชื้นภายในกองปุ๋ยหมักลดลง (32.77 และ 25.64 เปอร์เซ็นต์) ปรับความชื้นครั้งที่ 2 ทำให้กองปุ๋ยหมักมีความชื้น 56.21 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นปริมาณความชื้นลดลง 41.94 และ 26.97 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 25 และ 30 วันของการหมัก ตามลำดับ จากนั้นปรับความชื้นครั้งที่ 3 (56.30 เปอร์เซ็นต์) ผ่านไป 35 และ 40 วัน กองปุ๋ยหมักมีความชื้น 50.65 และ 40.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปรับความชื้นครั้งที่ 4 (63.13 เปอร์เซ็นต์) เมื่อผ่านไป 45 และ 50 วันของการหมัก กองปุ๋ยหมักมีความชื้น 59.79 และ 45.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปรับความชื้น ครั้ง 5 เมื่อครบ 50 วัน (67.3 เปอร์เซ็นต์) ผ่านไป 55 วัน กองปุ๋ยหมักมีความชื้น 60.40 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีความชื้น 49.87 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 3:1 (ปรับความชื้นด้วยน้ำ), 5:1 (ปรับความชื้นด้วยน้ำ) และ 3:1 (ปรับความชื้นด้วยน้ำกากส่า) ปริมาณความชื้นภายในของกองปุ๋ยหมักมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่อง สุดท้ายความชื้นภายในของกองปุ๋ยหมักเท่ากับ 49.87, 50.39, 50.77 และ 50.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วง 40-50 เปอร์เซ็นต์ ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานปุ๋ยหมัก

การที่กองปุ๋ยหมักมีความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการหมัก เนื่องจากกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ต้องการน้ำในการเคลื่อนย้ายสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์เพื่อสร้างเซลล์ใหม่และเพิ่มจำนวนเซลล์ โดยกิจกรรมการย่อยสลายทำให้เกิดความร้อนภายในกองปุ๋ยหมักสามารถวัดได้จากอุณหภูมิที่สูงขึ้น (60-70 องศาเซลเซียส) (Kulcu and Yaldiz, 2004) แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้มีการสูญเสียความชื้นภายในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้น ในช่วงวันที่ 40-60 ของการหมักความชื้นลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากวัสดุหมักถูกย่อยสลายเกือบสมบูรณ์ทำให้กิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ลดลง อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก (30-40 องศาเซลเซียส) ค่อนข้างคงที่ ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆและมีระเหยของน้ำสู่บรรยากาศลดลงด้วยเมื่อสิ้นสุดการหมัก ปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 (ปรับความชื้นด้วยน้ำ), 3:1 (ปรับความชื้นด้วยน้ำ), 5:1 (ปรับความชื้นด้วยน้ำ) และ 3:1 (ปรับความชื้นด้วยน้ำกากส่า) มีปริมาณความชื้นภายในของกองปุ๋ยหมัก 49.87



ภาพที่ 3 ผลของอัตราส่วนเส้นใยปาล์ม (PPF) และกากตะกอนดีแคนเตอร์ (DC) ต่อปริมาณความชื้นระหว่างการทำปุ๋ยหมัก

(↓) คือกลับกองปุ๋ยหมักและปรับความชื้นประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์

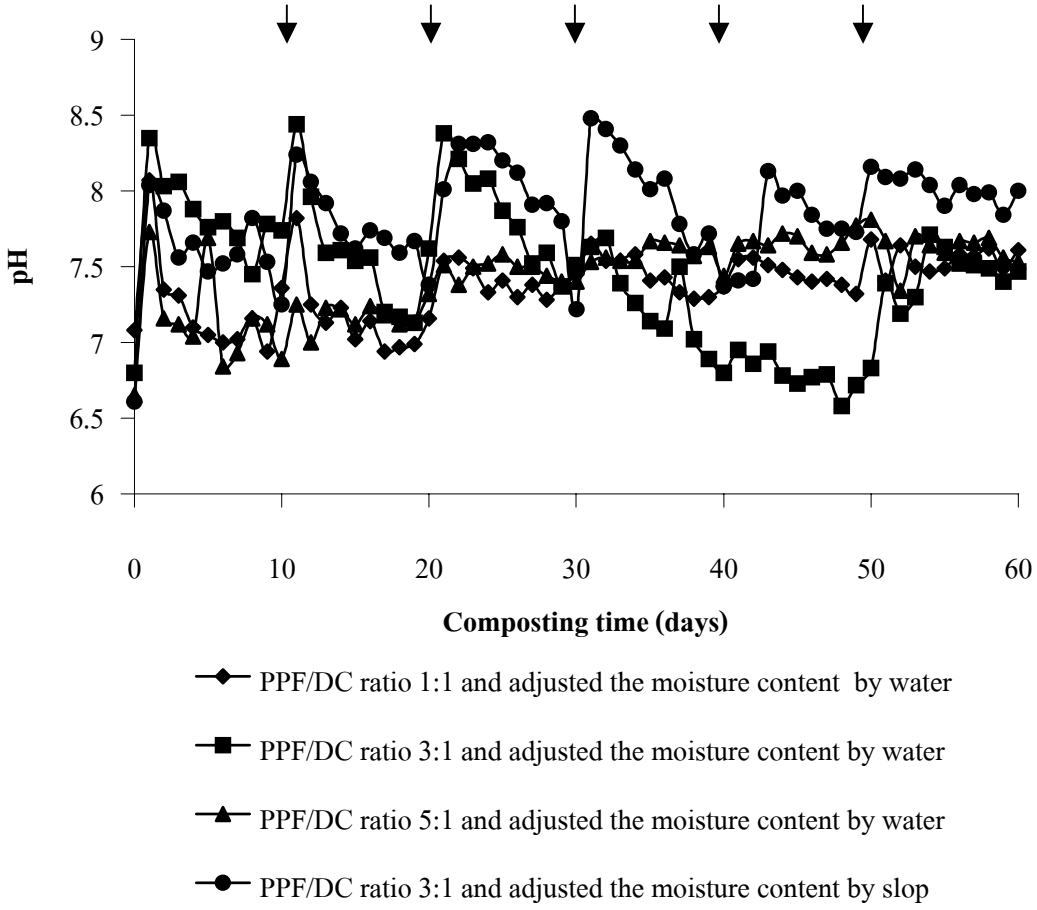
Fig. 3 Effect of palm press fiber (PPF) and decanter cake (DC) mixture ratios on moisture content during composting process

(↓) indicated turning over of the piles and adjusted the moisture content to 50-70 %

50.39, 50.77 และ 50.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งทุกกองปุ๋ยหมักมีความชื้นอยู่ในช่วง 40-50 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าเป็นปุ๋ยหมักที่ผลิตได้มีความชื้นได้มาตรฐาน

พีเอช (ภาพที่ 4) การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชภายในกองปุ๋ยหมักมีความสัมพันธ์กับการเจริญของจุลินทรีย์หรือกิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเกิดขึ้นมากในช่วงพีเอชระหว่าง 6-9 (Nakasaki *et al*., 1993 อ้างโดย Kulcu and Yaldiz, 2004) ในช่วงเริ่มต้นของการหมักพีเอชของกองปุ๋ยหมักมีค่าประมาณ 6.0-8.0 จากนั้นค่าพีเอชมีการแปรผันอยู่ตลอดในช่วง 6.5-8.3 เมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่าปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1, 3:1 และ 5:1 (ปรับความชื้นด้วยน้ำ) มีพีเอช 7.61, 7.46 และ7.53 ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 3:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำกากส่ามีพีเอช 8.0 โดยปุ๋ยหมักที่ดีต้องมีค่ามาตรฐานของพีเอชประมาณ 6.0-8.0 ซึ่งเป็นกรดถึงด่างเล็กน้อย (อมรศรี ตุ้ยระพิงค์, 2542) แสดงว่าทุกกองปุ๋ยหมักมีพีเอชได้มาตรฐาน เช่นเดียวกับการทดลองของ Huang และคณะ (2004) ที่ผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร โดยผสมมูลสุกรและขี้เลื่อยในอัตราส่วน 3:2 และ 4:1 (น้ำหนักสดต่อน้ำหนักสด) มีค่าพีเอชเริ่มต้น 7.9 และ 8.1 ตามลำดับ ควบคุมความชื้นอยู่ในช่วง 60-70 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาในการหมัก 63 วัน พีเอชสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 7.6 และ 8.0 ตามลำดับ

การเพิ่มขึ้นและลดลงของพีเอชนั้นเป็นผลจากกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในสภาวะมีอากาศ (O_2) สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนถูกแปรสภาพเป็นแอมโมเนีย (NH_3) หรือแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) โดยอาศัยกระบวนแอมโมนิฟิเคชั่น (ammonification) และกระบวนการแปรสภาพจากอนินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอินทรีย์ไนโตรเจน (mineralization) ทำให้ค่าพีเอชของกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้น (มีฤทธิ์เป็นด่าง) (Bishop and Godfrey, 1983 อ้างโดย Huang *et al*., 2004) สำหรับค่าพีเอชที่ลดต่ำลง เนื่องจากจุลินทรีย์ nitrifying bacteria แปรสภาพแอมโมเนีย (NH_3) หรือ แอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ไปเป็นไนไตรต์ (NO^-_2) และไนเตรต (NO^-_3) ตามลำดับ โดยอาศัยกระบวนการไนตริฟิเคชั่น (nitrification) และมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนอิออน (H^+) ออกมาซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด (Eklind and Kirchmann, 2000) นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายวัสดุหมัก มีผลทำให้ค่าพีเอช ลดลงอีกด้วย (Kulcu and Yaldiz, 2004) Diaz และคณะ (2002) ทำการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือจากโรงงานผลิตน้ำตาล (beet vinasse, V) และไวน์ (grape marc, GM) โดยผสมวัสดุหมัก 5 กิโลกรัมในและอัตราส่วนต่างๆ (GM:V เท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 และ 60:40 เปอร์เซ็นต์ต่อเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) นำไปหมักในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 43 วัน จากนั้นนำออกมาหมักที่อุณหภูมิห้องอีก 40 วัน ควบคุมปริมาณความชื้น 55 เปอร์เซ็นต์ ปรับความชื้นด้วยน้ำ



ภาพที่ 4 ผลของอัตราส่วนเส้นใยปาล์ม (PPF) และกากตะกอนดีแคนเตอร์ (DC) ต่อค่าพีเอช ระหว่างการทำปุ๋ยหมัก

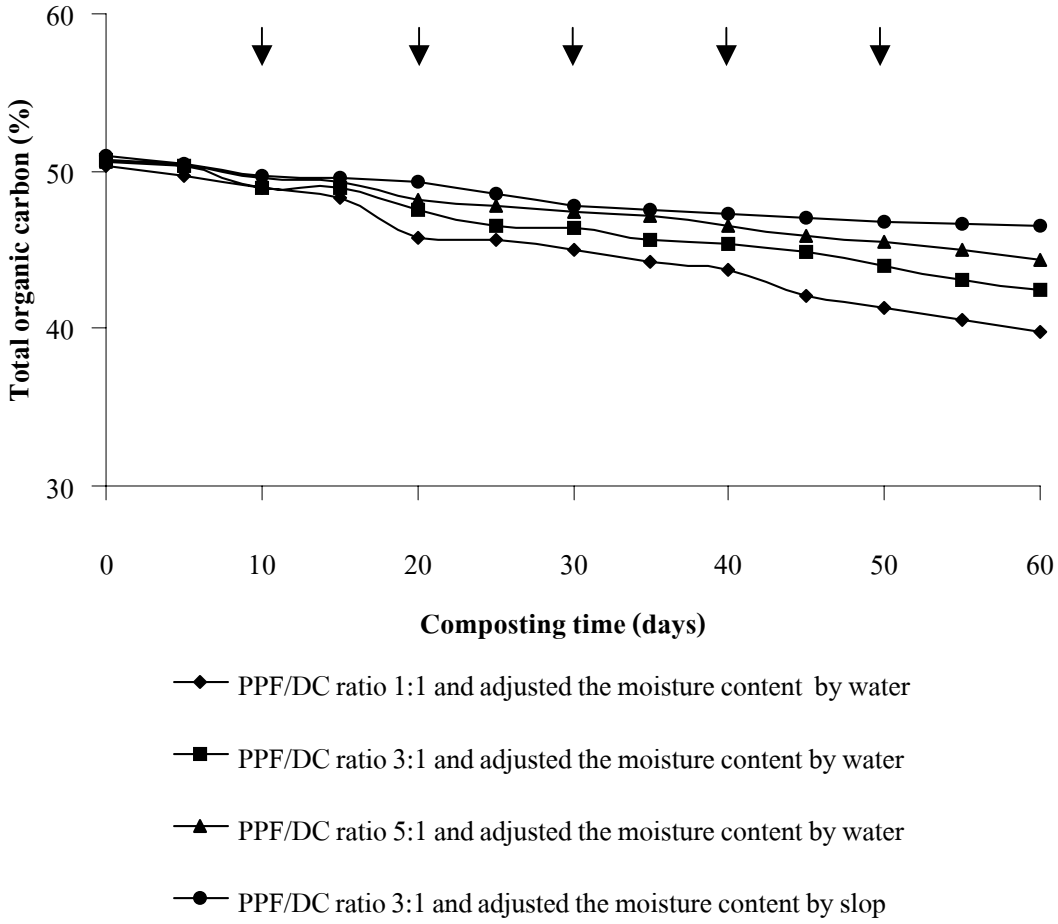
(↓) คือ กลับกองปุ๋ยหมักและปรับความชื้นประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์

Fig. 4 Effect of palm press fiber (PPF) and decanter cake (DC) mixture ratios on pH during composting process

(↓) indicated turning over of the piles and adjusted the moisture content to 50-70%

เมื่อความชื้นลดลง พบว่าทุกอัตราส่วนมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการหมัก (พีเอชเท่ากับ 8.0-9.0) และพีเอชค่อยๆลดลงเมื่อสิ้นสุดการหมัก (83 วัน) GM:V เท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 และ 60:40 เปอร์เซ็นต์ต่อเปอร์เซ็นต์ มีค่าพีเอช 7.64, 7.93, 8.14, และ 8.41 ตามลำดับ และการทดลองของ Thambirajah และคณะ (1995) ที่ผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้ทะลายปาล์มเปล่าวัสดุในการหมัก เติมมูลแพะ มูลวัว และมูลไก่เป็นตัวเร่ง ความชื้น 65 เปอร์เซ็นต์ กลับกองปุ๋ยหมักทุกๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน ปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยทะลายปาล์มเปล่าผสมมูลแพะ มูลวัว มูลไก่ และชุดควบคุมมีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6.9, 8.0, 7.9 และ 6.5 ตามลำดับ จากนั้นพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่อยๆลดลงอย่างช้า เมื่อสิ้นสุดการหมักปุ๋ยหมักทุกกองมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8.5-8.8

ปริมาณคาร์บอน (ภาพที่ 5) กองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1, 3:1 และ 5:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ และปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 3:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำกากส่ามีปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นเท่ากับ 50.38, 50.70, 51.63 และ 50.95 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) หลังการหมัก 60 วัน มีปริมาณคาร์บอนเหลืออยู่เท่ากับ 39.73, 42.49, 44.35 และ 46.50 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) คิดเป็นปริมาณคาร์บอนที่ลดลง เท่ากับ 10.65, 8.21, 7.28 และ 4.45 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และพบว่าเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ ปริมาณคาร์บอนลดลงเร็วที่สุด (21.13 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ เส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 3:1 และ อัตราส่วน 5:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ (16.19 และ 14.10 เปอร์เซ็นต์) ส่วนเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 3:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำกากส่ามีปริมาณคาร์บอนลดลงช้าที่สุด (8.73 เปอร์เซ็นต์) การที่ปุ๋ยหมักในอัตราส่วน 1:1 มีปริมาณคาร์บอนลดลงเร็วที่สุด เนื่องจากมีปริมาณของกากดีแคนเตอร์มากกว่าปุ๋ยหมักกองอื่นๆ โดยมีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 18.89 โดย Thembirajah and Kuthubutheen (1989) กล่าวว่าวัสดุเศษเหลือที่ง่ายต่อการย่อยสลายมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 40 ส่วนเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 3:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำกากส่าทุกๆ 10 วัน มีปริมาณคาร์บอนลดลงช้าที่สุด เนื่องจากน้ำกากส่าประกอบด้วยสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล และตะกอนพวกเซลล์ยีสต์ที่ตายแล้ว (นพพร ม่วงแก้ว, 2539) และจากการวิเคราะห์ พบว่าน้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณน้ำตาล 37,180 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้กองปุ๋ยหมักมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นทุกครั้งหลังการกลับกองปุ๋ยหมักและปรับความชื้น ด้วยน้ำกากส่าทุกๆ 10 วัน ส่งผลให้จุลินทรีย์ใช้น้ำตาลจากน้ำกากส่าเป็นแหล่งคาร์บอนแทนเส้นใยปาล์ม เพราะสามารถนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆของเซลล์ได้ทันที ซึ่งต่างจากเส้นใยปาล์มที่จัดเป็นวัสดุที่ยากต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เนื่องจากมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง (84.95) ซึ่งเป็นไปตามลำดับความยาก



ภาพที่ 5 ผลของอัตราส่วนเส้นใยปาล์ม (PPF) และกากตะกอนดีแคนเตอร์ (DC) ต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนระหว่างการทำปุ๋ยหมัก

(↓) คือกลับกองปุ๋ยหมักและปรับความชื้นประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์

Fig. 5 Effect of palm press fiber (PPF) and decanter cake (DC) mixture ratios on total organic carbon during composting process

(↓) indicated turning over of the piles and adjusted the moisture content to 50-70%

ง่ายในการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ คือย่อยน้ำตาล (ง่ายที่สุด) โปรตีนบางชนิด แป้ง เฮมิเซลลูโลส ไขมัน เซลลูโลส และลิกนิน (ย่อยยากที่สุด) (เกษม สร้อยทอง, 2535)

ปริมาณคาร์บอนภายในกองปุ๋ยหมักมีความสัมพันธ์กับการเจริญของจุลินทรีย์หรือกิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานในการเจริญ ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนของทุกกองปุ๋ยหมักมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Huang และคณะ (2004) ที่ผลิตปุ๋ยหมักจากการผสมมูลสุกรและขี้เลื่อยในอัตราส่วน 3:2 และ 4:1 (น้ำหนักสดต่อน้ำหนักสด) มีปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นเท่ากับ 47 และ 46 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อสิ้นการหมัก (63 วัน) มีปริมาณคาร์บอนลดลงเหลือ 35 และ 30 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่ากองปุ๋ยหมักทั้งสองกอง มีปริมาณคาร์บอนลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมัก และค่อยๆลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงวันที่ 21-60 ของการหมัก จากการทดลองนี้ปริมาณคาร์บอนที่ลดลงมีค่าอยู่ในช่วง 8.73 -21.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Diaz และคณะ (2002) ที่ผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือจากโรงงานผลิตน้ำตาล (beet vinasse, V) และไวน์ (grape marc, GM) หมักในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 43 วัน จากนั้นนำออกมาหมักที่อุณหภูมิห้องอีก 40 วัน ควบคุมปริมาณความชื้น 55 เปอร์เซ็นต์ และปรับความชื้นด้วยน้ำเมื่อความชื้นลดลง โดยใช้ส่วนผสม GM:V เท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 และ 60:40 เปอร์เซ็นต์ต่อเปอร์เซ็นต์ (มีปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นเท่ากับ 85, 84, 80 และ 78 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง) เมื่อสิ้นสุดการหมัก มีปริมาณคาร์บอนลดลง 17.8, 20.2, 16.5 และ13.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รวมทั้งผลการทดลองของ Kulcu and Yaldiz (2004) ที่ผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้หญ้า เศษกระดาษ วัสดุเศษเหลือจากการเพาะปลูกมะเขือเทศ และมะเขือยาวเป็นวัตถุดิบในการหมัก ซึ่งผสมกันในอัตราส่วน 54, 20, 10.6 และ 15.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมัก (21 วัน) ถังหมักที่มีการไหลของอากาศ 0, 0.1, 0.2, 0.4 และ 0.8 l air/นาที/ชั่วโมง มีปริมาณคาร์บอนลดลงเป็น 7.14, 10.71, 11.90, 16.67 และ 14.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

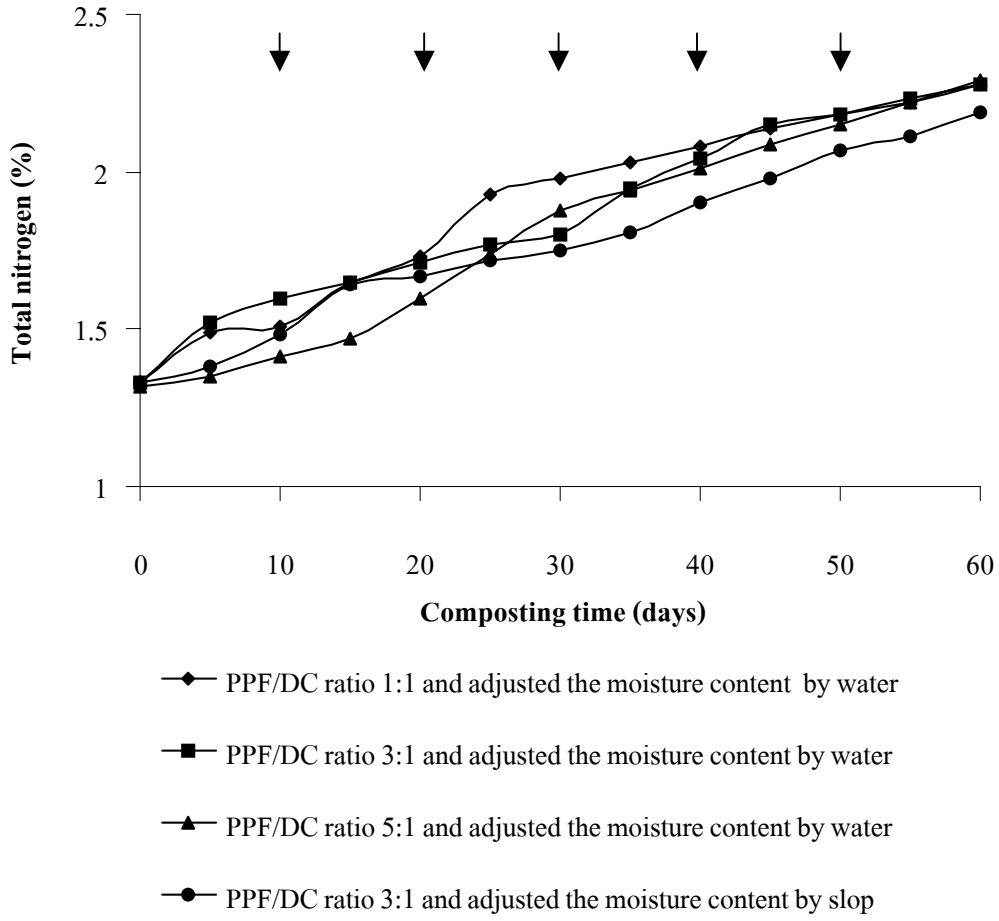
ค่าปริมาณคาร์บอนที่ลดลงจากการทดลองนี้ ยังใกล้เคียงกับผลจากกองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยทะลายปาล์มเปล่าผสมมูลแพะ มูลวัว มูลไก่ และชุดควบคุมที่มีปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นเท่ากับ 46, 49, 43 และ 45 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากนั้นปริมาณคาร์บอนคงเหลือ 40, 38, 30 และ 43 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมัก (ระยะเวลา 60 วัน) ซึ่งพบว่าปริมาณคาร์บอนลดลง 13.04, 22.45, 30.23 และ 4.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Thambirajah *e t al*., 1995) ในขณะที่ใช้เส้นใยปาล์มเป็นวัสดุในการหมัก (250 กิโลกรัม) และเติมมูลสัตว์ (50 กิโลกรัม) และยูเรีย (0.5 กิโลกรัม) เพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจน โดยมีความชื้นเริ่มต้น 65 เปอร์เซ็นต์ กลับกองปุ๋ยหมักทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการหมัก

พบว่ามีปริมาณคาร์บอนลดลง 22.72 เปอร์เซ็นต์ (จาก 44 เป็น 34 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง) (Thambirajah and Kuthubutheen, 1989)

ปริมาณไนโตรเจน (ภาพที่ 6) ปริมาณไนโตรเจนภายในกองปุ๋ยหมักมีความสัมพันธ์กับการ เจริญของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ใช้ไนโตรเจนในการสังเคราะห์โปรตีนเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ กองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1, 3:1 และ 5:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ และที่อัตราส่วน 3:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำกากส่า มีปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 1.33, 1.33, 1.32 และ1.33 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่ามีปริมาณไนโตรเจน 2.28, 2.28, 2.29 และ 2.19 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) จะเห็นได้ว่ากองปุ๋ยหมักทุกกองปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (Ye and Thomas, 2001) การเพิ่มปริมาณของตัวเซลล์ รวมทั้งการตายของจุลินทรีย์ เนื่องจากเซลล์ของจุลินทรีย์มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ (Thambirajah *et al*., 1995)

การผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้ทะลายปาล์มเปล่าเป็นวัสดุในการหมัก เติมมูลแพะ มูลวัว และมูลไก่เป็นตัวเร่ง มีปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 1.4, 1.0, 0.95 และ 0.8 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ความชื้น 65 เปอร์เซ็นต์ กลับกองปุ๋ยหมักทุกๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าเมื่อสิ้นสุดการหมักปุ๋ยหมักทุกกองมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เท่ากับ 2.6, 2.0, 2.2 และ 1.9 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยกองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยทะลายปาล์มเปล่าผสมมูลแพะมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นสูงสุด (Thambirajah *et al*., 1995) ส่วนการใช้เส้นใยปาล์มเป็นวัสดุในการหมัก เติมมูลสัตว์และยูเรีย เพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจน มีความชื้นเริ่มต้น 65 เปอร์เซ็นต์ กลับกองปุ๋ยหมักทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่ามีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 1.3 เป็น 2.3 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง (Thambirajah and Kuthubutheen,1989)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (ภาพที่ 7) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เป็นค่าที่บ่งบอกความยากง่ายของการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งควรอยู่ในช่วงระหว่าง 26-35 หรืออัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่า 40 ปฏิกิริยาการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ทันที (ชาติ เจียมไชยศรี, 2542; Thembirajah and Kuthubutheen, 1989) ซึ่งผลการศึกษาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของกองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1, 3:1 และ 5:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ มีค่าเท่ากับ 37.88, 48.12 และ 56.58 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเติมปุ๋ยยูเรียลงไปเพื่อปรับให้ได้อัตราส่วนใกล้เคียงกันเท่ากับ 37.88, 38.12 และ 38.35 ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยหมักที่มีอัตราส่วนผสม 3:1 และปรับความชื้นด้วยน้ำกากส่ามีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 38.31 เมื่อระยะเวลาในการหมักผ่านไป ปุ๋ยหมักทุกกองมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลง เนื่องจากคาร์บอนในสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายจะให้

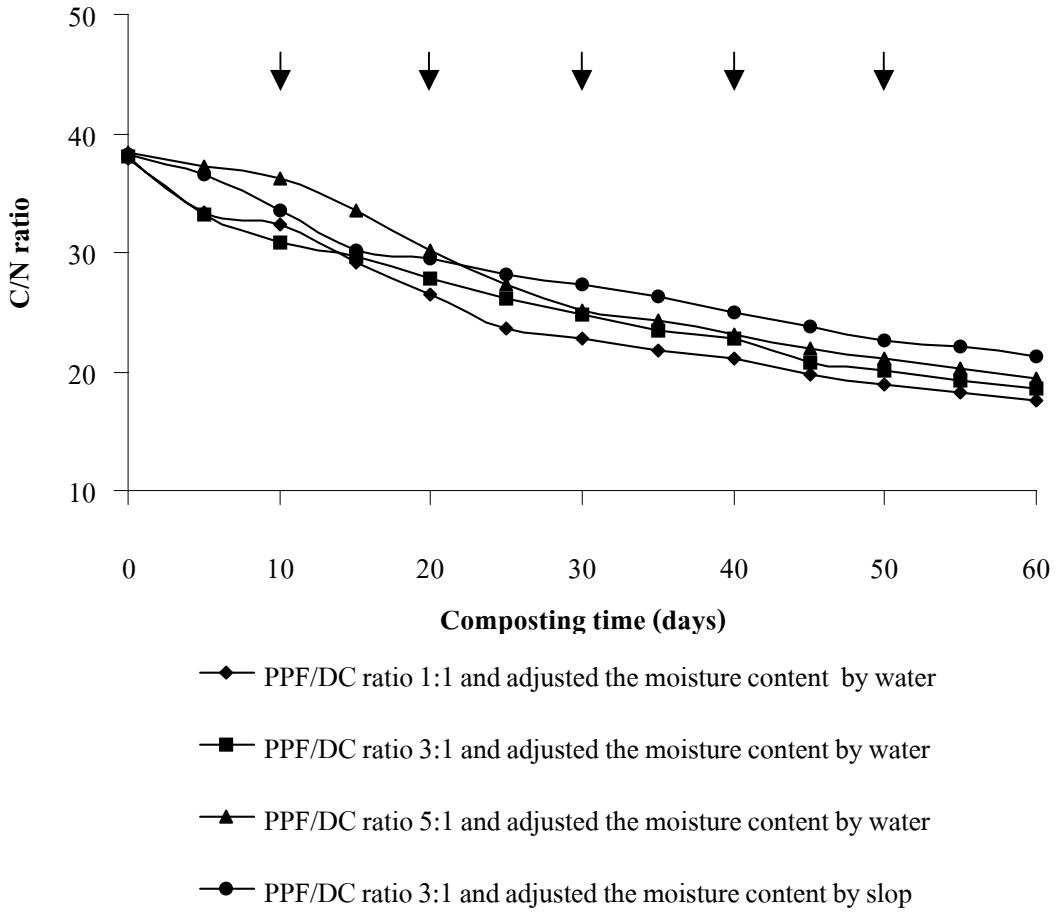


ภาพที่ 6 ผลของอัตราส่วนเส้นใยปาล์ม (PPF) และกากตะกอนดีแคนเตอร์ (DC) ต่อปริมาณไนโตรเจนระหว่างการทำปุ๋ยหมัก

(↓) คือกลับกองปุ๋ยหมักและปรับความชื้นประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์

Fig. 6 Effect of palm press fiber (PPF) and decanter cake (DC) mixture ratios on nitrogen during composting process

(↓) indicated turning over of the piles and adjusted the moisture content to 50-70%



ภาพที่ 7 ผลของผลของอัตราส่วนเส้นใยปาล์ม (PPF) และกากตะกอนดีแคนเตอร์ (DC) ต่ออัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนระหว่างการทำปุ๋ยหมัก
(↓) คือกลับกองปุ๋ยหมักและปรับความชื้นประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์

Fig. 7 Effect of palm press fiber (PPF) and decanter cake (DC) mixture ratios on C/N ratio during composting process
(↓) indicated turning over of the piles and adjusted the moisture content to 50-70%

พลังงานออกมา ทำให้จุลินทรีย์เจริญและเพิ่มจำนวนมากขึ้น และธาตุไนโตรเจนมีความจำเป็นโดยใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ (ชาติ เจียมไชยศรี, 2542) สอดคล้องกับการศึกษาของ Huang และคณะ (2004) โดยผสมมูลสุกรและขี้เลื่อยในอัตราส่วน 3:2 และ 4:1 (น้ำหนักสดต่อน้ำหนักสด) ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักลดลงจาก 30:1 และ 15:1 เป็น 17:1 และ 9:1 ตามลำดับ และผลการทดลองของ Thambirajah และคณะ (1995) ซึ่งศึกษาการทำปุ๋ยหมักที่มีส่วนผสมของทะลายปาล์มเปล่าและทะลายปาล์มเปล่าผสมมูลแพะ มูลวัว และมูลไก่ มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 52:1, 35:1, 48:1 และ 47:1 ตามลำดับ พบว่าเมื่อสิ้นสุดการหมัก (60 วัน) กองปุ๋ยหมักที่มีวัสดุผสมในอัตราส่วนต่างๆมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เท่ากับ 24:1, 14:1, 18:1 และ 12:1 ตามลำดับ (Thambirajah *et al*., 1995)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมัก ยังเป็นค่าบ่งชี้ถึงระยะเวลาที่ปุ๋ยหมักได้มาตรฐานคือ ปุ๋ยหมักที่ดีต้องมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20/1 (อมรศรี ตุ้ยระพิงค์, 2542; Thembirajah *et al*., 1995) หลังการหมัก 45 วัน พบว่ากองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1, 3:1 และ 5:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ และที่อัตราส่วน 3:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำกากส่า มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 19.75, 20.84, 21.94 และ 23.75 ตามลำดับ จัดว่ากองปุ๋ยหมักที่มีอัตราส่วนของวัสดุหมัก 1:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำเท่านั้นที่ได้มาตรฐาน (19.75) ต่อมาเมื่อทำการหมักเป็นระยะเวลา 55 วัน และ 60 วัน ปุ๋ยหมักที่มีอัตราส่วนของวัสดุผสม 3:1 และ 5:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้มาตรฐานคือเท่ากับ 19.32 และ 19.36 ตามลำดับ แต่ปุ๋ยหมักที่มีวัสดุหมักผสมในอัตราส่วน 3:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำกากส่ามีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตเจนเท่ากับ 21.23 สูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ แสดงว่าปุ๋ยหมักมีการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ต้องใช้ระยะเวลาในการหมักนานกว่า 60 วัน จึงสามารถนำปุ๋ยหมักไปใช้ประโยชน์ได้

ปริมาณธาตุอาหารพืช (N-P_2O_5-K_2O) (ตารางที่ 2) ธาตุอาหารหลักสำหรับพืชประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน(N), ธาตุฟอสฟอรัส (P_2O_5) และธาตุโปตัสเซียม (K_2O) โดยธาตุไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโปรตีนและ คลอโรฟิลล์ ซึ่งพืชที่ขาดธาตุไนโตรเจนจะแคระแกร็นและใบมีสีเหลืองซีด ธาตุฟอสฟอรัส มีความสำคัญต่อผลและเมล็ดของพืช สำหรับธาตุโปตัสเซียมมีส่วนช่วยให้พืชต้านทานโรค (นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2543) โดยกรมพัฒนาที่ดินกำหนดค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมักที่ดีควรมีปริมาณ N-P_2O_5-K_2O ไม่ต่ำกว่า 1.0-1.0-0.5 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2 ผลของเส้นใยปาล์มและกากตะกอนดีแคนเตอร์ผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ ต่อปริมาณธาตุอาหารหลักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน

Table. 2 Effect of palm press fiber and decanter cake mixture ratios on nutrient content from palm oil mill wastes after 60 days

Nutrient	Pile A_1	Pile A_2	Pile A_3	Pile A_4
Total nitrogen (%)	2.26 ± 0.12^{a}	2.28 ± 0.08^{a}	2.29 ± 0.06^{a}	2.19 ± 0.04^{a}
Total P_2O_5 (%)	0.86 ± 0.09^{ab}	0.74 ± 0.05^{a}	0.56 ± 0.04^{c}	0.90 ± 0.08^{b}
Total K_2O (%)	1.85 ± 0.11^{ab}	1.71 ± 0.10^{a}	1.98 ± 0.08^{b}	3.00 ± 0.12^{c}

Data are mean values of triplicate determination ± standard deviation

Pile A_1 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 1:1 and adjusted the moisture content by water

Pile A_2 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 3:1 and adjusted the moisture content by water

Pile A_3 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 5:1 and adjusted the moisture content by water

Pile A_4 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 3:1 and adjusted the moisture content by slop

^{abcd} Different superscripts in a row indicate significant differences ($p>0.05$)

Percentage (%) was based on dry weight

กองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1, 3:1 และ 5:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ และปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 3:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำกากส่ามีปริมาณธาตุอาหารพืชเท่ากับ 2.26-0.86-1.85, 2.28-0.44-1.71, 2.29-0.56-1.98 และ 2.19-0.90-3.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยทุกกองปุ๋ยหมักมีค่าไนโตรเจนและโปตัสเซียมตามมาตรฐาน แต่มีฟอสฟอรัสต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน สอดคล้องกับการศึกษาของ สุจิน เกตุสา (2530) ที่ผลิตปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอยจากชุมชน พบว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตได้มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียมเท่ากับ 1.00, 0.77 และ 1.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน

ลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ เนื้อปุ๋ยหมักมีลักษณะร่วน เปื่อยยุ่ย มีสีดำเข้มที่สุด ปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 3:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ เนื้อปุ๋ยหมักมีลักษณะร่วน เปื่อยยุ่ย มีสีดำ ปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 5:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ เนื้อปุ๋ยหมักมีลักษณะร่วน ปานกลาง เปื่อยยุ่ย มีสีน้ำตาลปนดำ ส่วนปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอน

ดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 3:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำกากส่า เนื้อปุ๋ยหมักมีลักษณะหยาบ วัสดุหมักเปื่อยยุ่ยปานกลาง เส้นใยปาล์มมีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆและมีสีน้ำตาลเข้ม

ผลการทดลอง (ตารางที่ 3) พบว่ากองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์อัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ ใช้ระยะเวลาในการหมักน้อยที่สุด (45 วัน) มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 17.53 ความชื้น 48.87 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 7.61 ปุ๋ยหมักที่ได้มีลักษณะร่วน เปื่อยยุ่ย สีดำเข้ม และมีค่า N-P_2O_5-K_2O เท่ากับ 2.26-0.86-1.85 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง อุณหภูมิสูงสุดของกองปุ๋ยหมัก 67.5 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน พบว่ามีอุณหภูมิ 26.5 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก และปุ๋ยหมักที่ผลิตได้มีลักษณะทางเคมีและกายภาพตรงตามมาตรฐานที่กำหนด จึงคัดเลือกสำหรับศึกษาในขั้นตอนต่อไป

1.2 ผลของหัวเชื้อชนิดต่างๆ

ในการศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยการนำเส้นใยปาล์มและกากตะกอนดีแคนเตอร์ผสมกันในอัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่ดีที่สุด (จากการทดลองข้อ1.1.2) โดยใช้หัวเชื้อชนิดต่างๆเป็นตัวเร่ง ได้แก่ หัวเชื้อพด.1 หัวเชื้อเอฟ-60 หัวเชื้ออีเอ็ม และเชื้อราผสมที่ประกอบด้วย *Rhizopus* sp. ST29 และ *Rhizopus* sp. ST4 เปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งไม่มีการเติมหัวเชื้อ ใช้ระยะเวลาในการหมัก 60 วัน ตามที่กำหนดในการทดลอง ผลการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆตามระยะเวลาในการหมักมีดังนี้

อุณหภูมิ (ภาพที่ 8A) การเปลี่ยนของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและชนิดของจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงไป ระดับความสูงของอุณหภูมิจะแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุเศษเหลือที่ใช้ในการหมักและขนาดของกองปุ๋ยหมัก นอกจากนี้อุณหภูมิยังเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาชีวเคมี (ชาติ เจียมไชยศรี, 2542) อุณหภูมิภายในของกองปุ๋ยหมักทุกกองมีอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 37-40 องศาเซลเซียส โดยกองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ เติมหัวเชื้อพด.1 เป็นตัวเร่ง มีอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสูงสุด (วันแรกของการหมัก) คือ 67.5 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ ปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้อเอฟ-60 หัวเชื้ออีเอ็ม เชื้อราผสมที่ประกอบด้วย *Rhizopus* sp. ST29 และ *Rhizopus* sp. ST4 เป็นตัวเร่ง และชุดควบคุม (ไม่เติมหัวเชื้อ) มีอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก 66, 62, 61 และ 53 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมัก (ระยะเวลา 60 วัน) อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักทุกกองมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 26-30 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศภายนอก

ผลการทดลองข้างต้นพบว่าอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักทุกกองมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงหลังการกลับกองปุ๋ยหมัก (ทุกๆ 10 วันมีการกลับกองปุ๋ยหมักและปรับความชื้นเป็น 50-70 เปอร์เซ็นต์)

ตารางที่ 3 ผลของอัตราส่วนของเส้นใยปาล์ม (PPF) และกากตะกอนดีแคนเตอร์ (DC) ต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักจากการบ่มที่อุณหภูมิห้อง (27-28 ^{o}C) เป็นระยะเวลา 60 วัน

Table 3 Effect of palm press fiber (PPF) and decanter cake (DC) mixture ratios on quality of compost after incubation at room temperature (27-28 ^{o}C) for 60 days

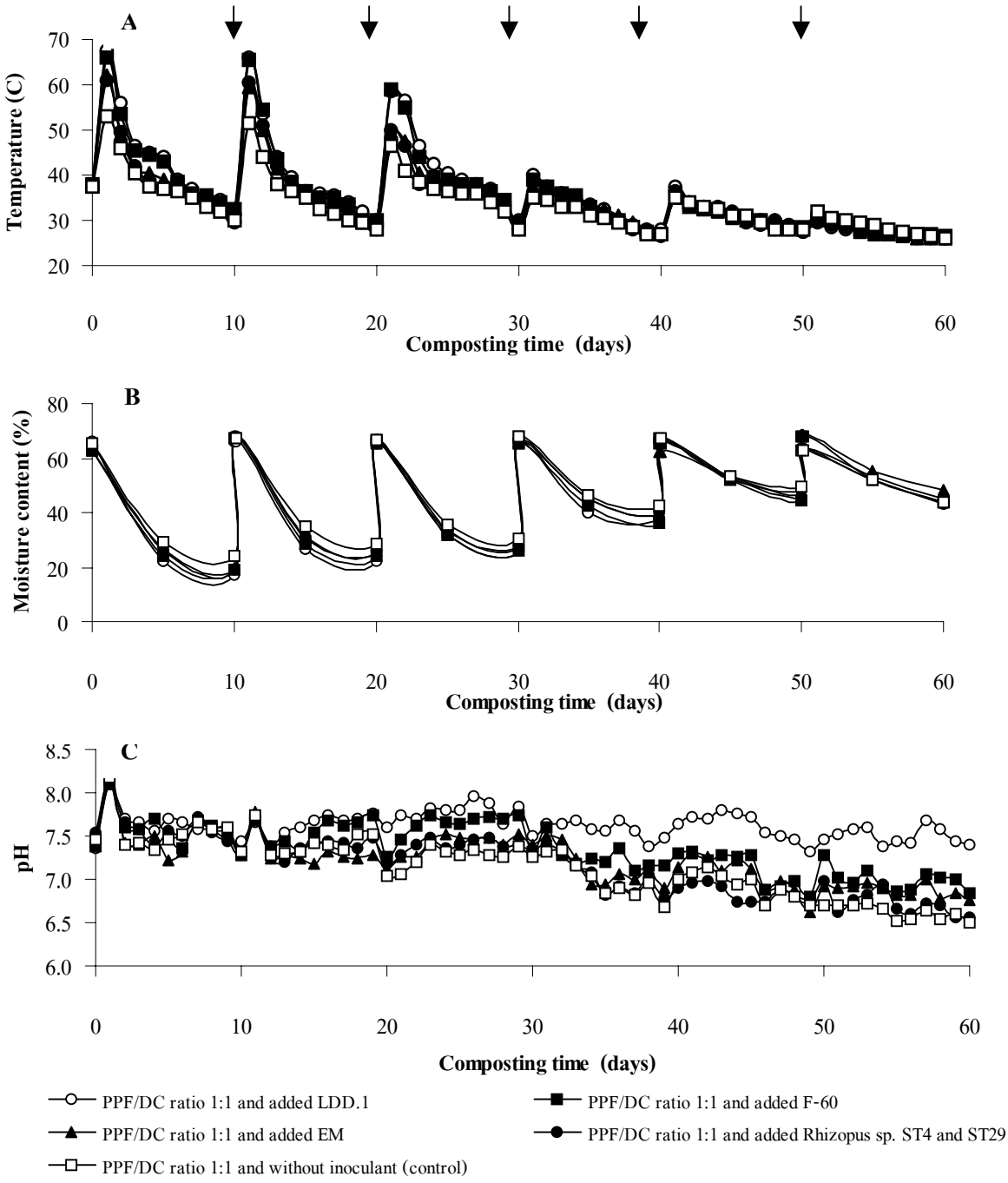
Parameter	Pile A_1	Pile A_2	Pile A_3	Pile A_4
Time of incubation (day)	45	55	60	>60
Total organic carbon (%)	39.73	42.49	44.35	46.50
Total nitrogen (%)	2.28	2.28	2.29	2.19
C/N ratio $_{initial}$	37.88	38.12	38.35	38.31
C/N ratio $_{final}$	17.53	18.32	19.36	21.23
Max. Temperature (^{o}C)	67.5	72	73.5	71.5
pH	7.61	7.47	7.53	8.00
Moisture content (%)	48.87	50.39	50.77	50.26
Total P_2O_5 (%)	0.86	0.44	0.56	0.90
Total K_2O (%)	1.85	1.71	1.98	3.00
Color	Black	Dark brown	Dark brown	Brown

Pile A_1 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 1:1 and adjusted the moisture content by water

Pile A_2 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 3:1 and adjusted the moisture content by water

Pile A_3 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 5:1 and adjusted the moisture content by water

Pile A_4 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 3:1 and adjusted the moisture content by slop



ภาพที่ 8 ผลของหัวเชื้อชนิดต่างๆต่ออุณหภูมิ (A) ความชื้น (B) และพีเอช (C) ระหว่างการทำปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

(↓) คือ กลับกองปุ๋ยหมักและปรับความชื้นประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์

Fig. 8 Effect of inoculum source on temperature (A), moisture content (B) and pH (C) during composting process from palm oil mill wastes

(↓) indicated turning over of the piles and adjusted the moisture content to 50-70%

อย่างไรก็ตาม การกลับของปุ๋ยหมักในครั้งที่ 4 และ 5 (วันที่ 40 และ 50 ของการหมัก) อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากเส้นใยปาล์มและกากตะตอนดีแคนเตอร์ได้ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เกือบสมบูรณ์ ทำให้จุลินทรีย์มีสารอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญ โดยมีจุลินทรีย์บางชนิดเท่านั้นที่สามารถเจริญอยู่ได้ ทำให้อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักลดลงจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศภายนอก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสมศักดิ์ วังใน และคณะ (2539) ที่เปรียบเทียบการใช้หัวเชื้อ อีเอ็ม (EM, effective microorganism) หัวเชื้อไฮเทค (Hi-tech, high technology) หัวเชื้อพด.1 (กรมพัฒนาที่ดินหมายเลข 1 หรือ เรียกว่า LDD.1) และมูลสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นแหล่งของจุลินทรีย์สำหรับผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าวในเรือนทดลอง และเติมวัสดุเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ (เช่น ปุ๋ยเคมี มูลสัตว์ รำ กากน้ำตาล และดินบด) โดยหมักในถังไม้ขนาด 60x60x60 ลูกบาศก์เซนติเมตร บรรจุถังละ15 กิโลกรัม และวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักทุกๆ 15 วัน พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของทุกกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 15 ถึง 30 วันแรกของการหมัก คือเพิ่มขึ้นจาก 33 องศาเซลเซียส เป็น 47.5-54 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้อพด.1 เป็นตัวเร่งมีอุณหภูมิสูงสุด 54.5 องศาเซลเซียส ภายใน 15 วัน รองลงมาคือกองปุ๋ยหมักที่เติมมูลโค หัวเชื้อไฮเทค และหัวเชื้ออีเอ็มเป็นตัวเร่ง ซึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 52.2, 47.3 และ 46 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หลังจากนั้นอุณหภูมิลดลงเรื่อยๆ เมื่อสิ้นสุดการหมัก (90 วัน) อุณหภูมิของทุกกองปุ๋ยหมักอยู่ในช่วง 33.8-34.5 องศาเซลเซียส

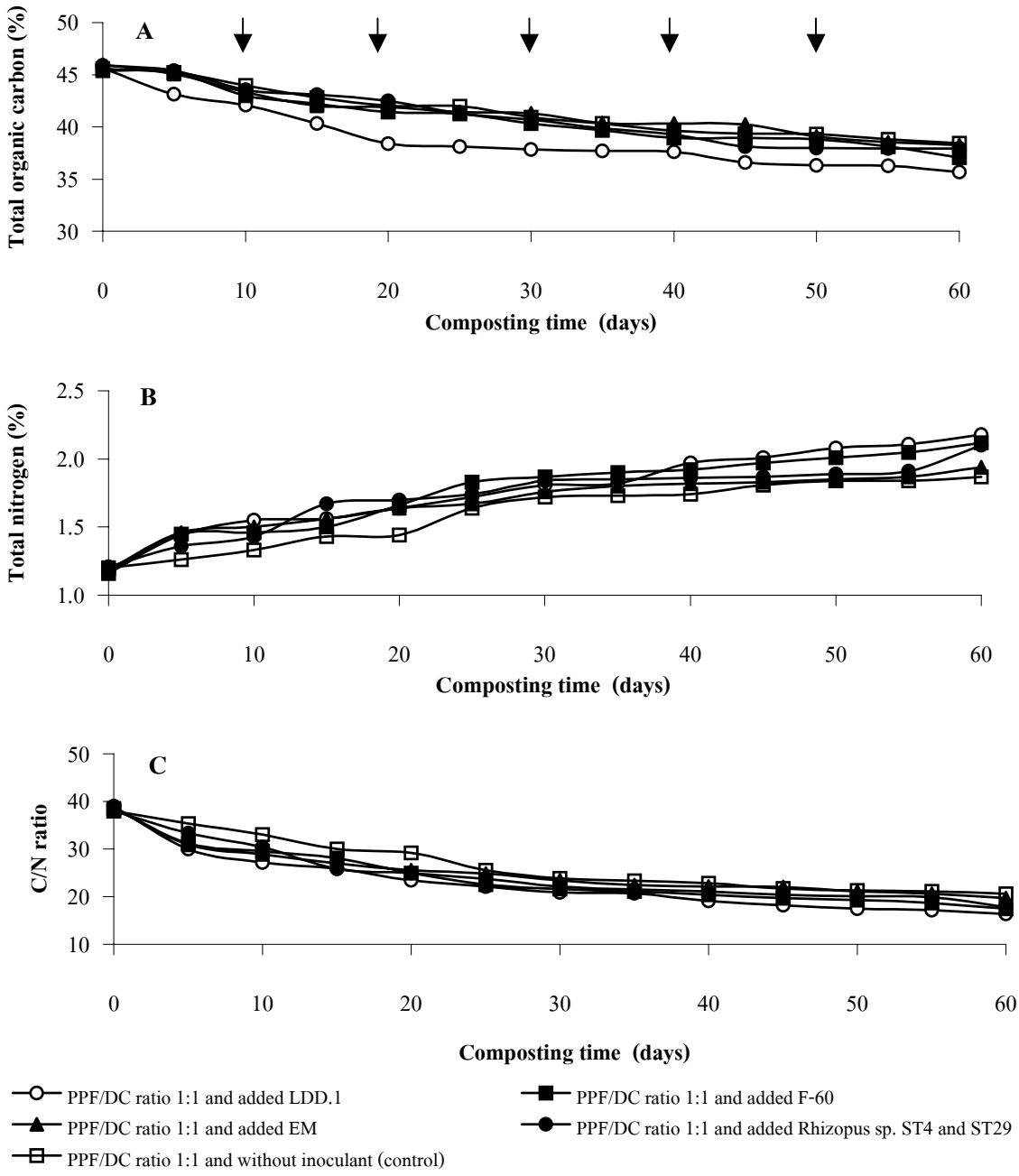
ความชื้น (ภาพที่ 8B) ความชื้นบ่งบอกถึงปริมาณน้ำภายในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญของจุลินทรีย์ ปริมาณความชื้นในกองปุ๋ยหมักที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายมีค่าประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ และมีผลต่อการระบายอากาศ ซึ่งปริมาณความชื้นมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น เช่น H_2S หากความชื้นน้อยเกินไป (30 เปอร์เซ็นต์ หรือต่ำกว่า) กระบวนการย่อยสลายจะหยุดหรือเกิดได้ช้า (ชาติ เจียมไชยศรี, 2542; Hamoda *et al*., 1998) ดังนั้นจึงต้องมีการเติมน้ำเพื่อปรับความชื้นให้เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์

ในช่วงเริ่มต้นของการหมักกองปุ๋ยหมักมีความชื้นประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ และปรับความชื้นทุกๆ 10 วัน ทุกกองปุ๋ยหมักมีความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการหมัก พบว่าปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้อพด.1 มีความชื้นลดลงมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก รองลงมาคือปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้อเอฟ-60 เชื้อราผสม และหัวเชื้ออีเอ็ม ตามลำดับ สำหรับชุดควบคุมมีความชื้นลดลงน้อยที่สุด กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์มีความต้องการน้ำในการเคลื่อนย้ายสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์เพื่อสร้างเซลล์ใหม่และเพิ่มจำนวนเซลล์ กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้เกิดความร้อนภายในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งสามารถวัดได้จากอุณหภูมิที่สูงขึ้น (60-70 องศาเซลเซียส) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้มีการสูญเสียความชื้น

ภายในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้น (Kulcu and Yaldiz, 2004) ปริมาณความชื้นที่ลดลงอย่างต่อเนื่องในกองปุ๋ยหมัก บ่งชี้ถึงการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนของจุลินทรีย์ (Miller and Finsteim, 1985 อ้างโดย Kulcu and Yaldiz, 2004) และในช่วงวันที่ 40-60 ของการหมักพบว่าความชื้นลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากวัสดุหมักถูกย่อยสลายเกือบสมบูรณ์ ทำให้กิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ลดลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก (30-40 องศาเซลเซียส) ค่อนข้างคงที่ ทำให้ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆและมีระเหยของน้ำสู่บรรยากาศลดลงด้วย เมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่าปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้อพด.1 เป็นตัวเร่งมีความชื้น 45.01 เปอร์เซ็นต์ ปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้อเอฟ-60 เป็นตัวเร่งมีความชื้น 43.94 เปอร์เซ็นต์ ปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้ออีเอ็มเป็นตัวเร่งมีความชื้น 48.20 เปอร์เซ็นต์ ปุ๋ยหมักที่เติมเชื้อราผสมที่ประกอบด้วย *Rhizopus* sp. ST29 และ *Rhizopus* sp. ST4 เป็นตัวเร่งมีความชื้น 43.31 เปอร์เซ็นต์ ส่วนชุดควบคุม (ไม่เติมหัวเชื้อ) มีความชื้น 43.98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทุกกองปุ๋ยหมักมีความชื้นอยู่ในช่วง 40-50 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตได้มีความชื้นได้มาตรฐาน

พีเอช (ภาพที่ 8C) ค่าพีเอชเริ่มต้นของกองปุ๋ยหมักควรอยู่ในช่วงที่เป็นกรดอ่อนๆ จนถึงด่างอ่อนๆ คือมีค่าพีเอชประมาณ 5.0-7.5 ซึ่งค่าพีเอชมีความสัมพันธ์กับการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์ เช่นแบคทีเรียเจริญได้ดีในสภาพที่เป็นกรดอ่อนๆจนถึงเป็นกลาง แต่แอคติโนมัยซิสและเชื้อราเจริญได้ดีในสภาพที่เป็นกรด (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2531) โดยช่วงแรกของการหมักพีเอชมีค่าประมาณ 6.0-8.0 จากนั้นค่าพีเอชของทุกกองปุ๋ยหมักมีการแปรผันอยู่ตลอด ซึ่งมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังกลับกองปุ๋ยหมักและลดลงในเวลาต่อมา (พีเอชอยู่ในช่วง 6.5-8.3) เมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่าปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำเติมหัวเชื้อพด.1 หัวเชื้อเอฟ-60 หัวเชื้ออีเอ็ม เชื้อราผสมที่ประกอบด้วย *Rhizopus* sp. ST29 และ *Rhizopus* sp. ST4 เป็นตัวเร่ง และชุดควบคุม มีค่าพีเอชเท่ากับ 7.40, 6.84, 6.77, 6.55 และ 6.51 ตามลำดับ ซึ่งปุ๋ยหมักที่ดีต้องมีค่ามาตรฐานของพีเอชประมาณ 6.0-8.0 เป็นกรดถึงด่างเล็กน้อย (อมรศรี ตุ้ยระพิงค์, 2542) โดยทุกกองปุ๋ยหมักมีพีเอชตรงตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน

ปริมาณคาร์บอน (ภาพที่ 9A) ปริมาณคาร์บอนในสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายจะให้พลังงานออกมา ทำให้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนมากขึ้น (ชาติ เจียมไชยศรี, 2542) โดยกองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำเติมหัวเชื้อพด.1 หัวเชื้อเอฟ-60 หัวเชื้ออีเอ็ม และเชื้อราผสมที่ประกอบด้วย *Rhizopus* sp. ST29 และ *Rhizopus* sp. ST4 เป็นตัวเร่งมีปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับชุดควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 45.62, 45.39, 45.96, 45.91 และ 45.58 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และหลังการหมัก 60 วัน มีปริมาณคาร์บอน



ภาพที่ 9 ผลของหัวเชื้อชนิดต่างๆ ต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (A) ปริมาณไนโตรเจน (B) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C) ระหว่างการทำปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

(↓) คือ กลับกองปุ๋ยหมักและปรับความชื้นประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์

Fig. 9 Effect of inoculum source on organic carbon (A), nitrogen (B) and C/N ratio (C) during composting process from palm oil mill wastes

(↓) indicated turning over of the piles and adjusted the moisture content to 50-70%

เหลืออยู่เท่ากับ 35.68, 37.07, 38.27, 37.91 และ 38.45 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) พบว่าการเติมหัวเชื้อพด.1 เป็นตัวเร่งในการทำปุ๋ยหมักทำให้ปริมาณคาร์บอนลดลงเร็วที่สุด (21.78 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือหัวเชื้อเอฟ-60 หัวเชื้ออีเอ็ม เชื้อราผสมที่ประกอบด้วย *Rhizopus* sp. ST29 และ *Rhizopus* sp. ST4 เป็นตัวเร่ง และชุดควบคุมน้อยที่สุด (18.33, 16.73, 17.43 และ 15.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) เนื่องจากหัวเชื้อ พด.1 เป็นตัวเร่งที่ประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีส และเชื้อรา ที่มีประสิทธิภาพที่ในการย่อยสลายเซลลูโลสได้สูง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546) เมื่อเทียบกับหัวเชื้อเอฟ-60 หัวเชื้ออีเอ็ม เชื้อราผสมที่ประกอบด้วย *Rhizopus* sp. ST29 และ *Rhizopus* sp. ST4 และชุดควบคุม การที่หัวเชื้อเอฟ-60 หัวเชื้ออีเอ็ม และเชื้อราผสม มีการย่อยสลายเซลลูโลสในกองปุ๋ยหมักต่ำกว่าหัวเชื้อพด.1 อาจเนื่องมาจากการผลิตหัวเชื้อดังกล่าวมีวัตถุประสงค์ที่จะรวมเอาจุลินทรีย์อื่นๆ เช่น จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศ จุลินทรีย์ที่สามารถนำคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศมาใช้ได้ จุลินทรีย์ที่ต่อต้านโรคพืช จุลินทรีย์ที่ผลิตสารกระตุ้นการเจริญ เป็นต้น จึงทำให้จุดเน้นที่จะให้มีจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสและสารประกอบอินทรีย์อื่นๆน้อยลง และอาจเนื่องจากมีชนิดของจุลินทรีย์มากเกินไป อาจเป็นผลเสียในแง่ของการแก่งแย่งปัจจัยที่จำเป็นสำหรับการเจริญและสำหรับการมีชีวิตอยู่รอด รวมทั้งการผลิตสารต่อต้านการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิดโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่รวมกัน ทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์ลดลงเนื่องจากถูกต่อต้านหรือยับยั้งการเจริญ (antagonistic effect) เช่น การศึกษาของธงชัย และคณะ (2538) พบว่าเชื้อ *Streptomyces* sp. ที่แยกเชื้อบริสุทธิ์ได้จากผลิตภัณฑ์ของอีเอ็ม สามารถสร้างสารยับยั้งแบคทีเรียพวก *Bacillus cereus* อย่างไรก็ตามหัวเชื้อพด.1 มีปริมาณแอคติโนมัยซีสแบคทีเรีย และเชื้อราที่ย่อยสลายเซลลูโลสอยู่สูง ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าวที่เติมวัสดุเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ (เช่น ปุ๋ยเคมี มูลสัตว์ กากน้ำตาล รำและดินบด) ได้ดีกว่าการใช้มูลสัตว์ หัวเชื้อไฮเทค และหัวเชื้ออีเอ็ม ตามลำดับ (สมศักดิ์ วังใน และคณะ, 2539)

ปริมาณไนโตรเจน (ภาพที่ 9B) ปริมาณไนโตรเจนภายในกองปุ๋ยหมักมีความสัมพันธ์กับการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ใช้ไนโตรเจนในการสังเคราะห์โปรตีนเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ในช่วงเริ่มต้นของการหมัก พบว่ากองปุ๋ยหมักมีปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับชุดควบคุม ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 1.16-1.21 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง เมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่าปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นด้วยด้วยน้ำเติมหัวเชื้อชนิดต่างๆ มีปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับชุดควบคุม (2.18, 2.12, 1.94, 2.10 และ 1.87 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) แต่กองปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้ออีเอ็มมีปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับชุดควบคุม (1.94 และ 1.87 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง) กองปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้อพด.1 หัวเชื้อเอฟ-60 และเชื้อราผสมที่ประกอบด้วย *Rhizopus* sp. ST29 และ *Rhizopus* sp. ST4 เป็นตัวเร่ง

กองปุ๋ยหมักทุกกองปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนแบบใช้ออกซิเจน นอกจากนี้การตายของจุลินทรีย์มีผลทำให้มีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเซลล์ของจุลินทรีย์มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ (Thambirajah *et al*., 1995) สอดคล้องกับการศึกษาของ Huang และคณะ (2004); Thambirajah และคณะ (1995); Thambirajah and Kuthubutheen (1989)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (ภาพที่ 9C) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลาย โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์อยู่ระหว่าง 26-35 และถ้าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับหรือน้อยกว่า 20 ถือว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตได้มีคุณภาพดี สามารถนำปุ๋ยดังกล่าวไปใช้โดยไม่เป็นอันตรายต่อพืช (พิทยากร ลิ่มทอง และคณะ, 2537) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของกองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำเติมหัวเชื้อพด.1 หัวเชื้อเอฟ-60 หัวเชื้ออีเอ็ม เชื้อราผสมที่ประกอบด้วย *Rhizopus* sp. ST29 และ *Rhizopus* sp. ST4 เป็นตัวเร่ง และชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 38.99, 38.46, 38.61, 37.94 และ 37.98 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน ปุ๋ยหมักทุกกองมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลง เนื่องจากปริมาณคาร์บอนในสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ และปริมาณไนโตรเจนมีความจำเป็นโดยใช้สังเคราะห์โปรตีนเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์จะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้น และอินทรีย์คาร์บอนบางส่วนแปรสภาพไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในวัสดุหมักลดลงและเป็นผลให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงด้วย (สมศักดิ์ วังใน และคณะ, 2539; พิทยากร ลิ่มทอง และคณะ, 2537) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Haung *et al*., (2004); Negro *et al*., (1999); Suhaimi and Ong, (2001); Thambirajah *et al*., (1995)

หลังการหมัก 40 วัน พบว่ากองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ เติมหัวเชื้อพด.1 หัวเชื้อเอฟ-60 หัวเชื้ออีเอ็ม เชื้อราผสมที่ประกอบด้วย *Rhizopus* sp. ST29 และ *Rhizopus* sp. ST4 เป็นตัวเร่ง และชุดควบคุมมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) มีค่าเท่ากับ 19.10, 20.38, 22.15, 21.10 และ 22.73 ตามลำดับ โดยกองปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้อพด.1 เป็นตัวเร่งเท่านั้นที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้มาตรฐานคือเท่ากับ 19.10 เมื่อทำการหมักเป็นระยะเวลา 45 วัน กองปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้อเอฟ-60 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้มาตรฐานคือเท่ากับ 19.67 เมื่อทำการหมักเป็นระยะเวลา 55 วัน กองปุ๋ยหมักที่เติมเชื้อราผสมที่ประกอบด้วย *Rhizopus* sp. ST29 และ *Rhizopus* sp. ST4 เป็นตัวเร่ง มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้มาตรฐานคือเท่ากับ 19.73 เมื่อสิ้นสุดการหมัก (60 วัน) ปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้ออีเอ็ม เป็นตัวเร่งมี

ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้มาตรฐานเท่ากับ 19.73 แต่ชุดควบคุมซึ่งไม่มีการเติมหัวเชื้อเป็นตัวเร่งมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 21.23 ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้เล็กน้อย แสดงว่าปุ๋ยหมักมีการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ต้องใช้ระยะเวลาหมักนานกว่า 60 วัน จึงสามารถนำปุ๋ยหมักไปใช้ประโยชน์ได้ สอดคล้องกับการทดลองของสมศักดิ์ วังใน และคณะ (2539) ศึกษาเปรียบเทียบการใช้หัวเชื้ออีเอ็ม หัวเชื้อไฮเทค หัวเชื้อพด.1 และมูลสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นแหล่งของจุลินทรีย์สำหรับผลิตปุ๋ยหมักในเรือนทดลองโดยใช้ฟางข้าว และเติมวัสดุเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ (เช่น ปุ๋ยเคมี มูลสัตว์ รำ กากน้ำตาล และดินบด) มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 91.0 หลังการหมัก 90 วัน พบว่าหัวเชื้อพด.1 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมักลดลงมากที่สุดคือลดลงเหลือ 38.1 รองลงมาได้แก่ มูลสัตว์ หัวเชื้อไฮเทค และหัวเชื้ออีเอ็ม ซึ่งมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 44.3, 47.0 และ 55.2 ตามลำดับ

ปริมาณธาตุอาหารพืช (N-P_2O_5-K_2O) (ตารางที่ 4) ธาตุอาหารพืชของกองปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำเติมหัวเชื้อพด.1 หัวเชื้อเอฟ-60 หัวเชื้ออีเอ็ม เชื้อราผสมที่ประกอบด้วย *Rhizopus* sp. ST29 และ *Rhizopus* sp. ST4 เป็นตัวเร่ง และชุดควบคุม เมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าเท่ากับ 2.18-0.92-1.91, 2.12-0.91-1.56, 1.94-0.73-1.63, 2.13-0.67-1.42 และ 1.87-0.75-1.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทุกกองปุ๋ยหมักมีค่าไนโตรเจนและโปตัสเซียมตามมาตรฐาน แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยหมักกำหนดโดยกรมพัฒนาที่ดิน สอดคล้องกับการศึกษาของ สุจิน เกตุสา (2530) ที่ผลิตปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอยจากชุมชน ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม เท่ากับ 1.00, 0.77 และ 1.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน

ลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ เติมหัวเชื้อพด.1 เป็นตัวเร่ง เนื้อปุ๋ยหมักมีลักษณะร่วน เปื่อยยุ่ย มีสีดำเข้มที่สุด ปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้อเอฟ-60 เป็นตัวเร่ง เนื้อปุ๋ยหมักมีลักษณะร่วน เปื่อยยุ่ย มีสีดำเข้ม ปุ๋ยหมักที่เติม หัวเชื้ออีเอ็มเป็นตัวเร่ง เนื้อปุ๋ยหมักมีลักษณะร่วนปานกลาง เปื่อยยุ่ย มีสีน้ำตาลปนดำ ปุ๋ยหมักที่เติมเชื้อราผสมที่ประกอบด้วย *Rhizopus* sp. ST29 และ *Rhizopus* sp. ST4 เป็นตัวเร่ง เนื้อปุ๋ยหมักมีลักษณะร่วนปานกลาง เปื่อยยุ่ย มีสีน้ำตาลปนดำ ส่วนชุดควบคุม เนื้อปุ๋ยหมักมีลักษณะหยาบ วัสดุหมักเปื่อยยุ่ยปานกลาง เส้นใยปาล์มมีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆและมีสีน้ำตาลเข้ม

ตารางที่ 4 ผลของหัวเชื้อชนิดต่างๆต่อปริมาณธาตุหลักของปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน

Table 4 Effect of inoculum source on nutrient content of compsots from palm oil mill wastes at the end of 60 days fermentation

Nutrient	Pile B_1	Pile B_2	Pile B_3	Pile B_4	Pile B_5 (control)
Total nitrogen (%)	2.18 ± 0.08^{b}	2.12 ± 0.06^{b}	1.96 ± 0.08^{a}	2.13 ± 0.06^{b}	1.87 ± 0.08^{a}
Total P_2O_5 (%)	0.92 ± 0.06^{a}	0.91 ± 0.03^{a}	0.73 ± 0.10^{b}	0.67 ± 0.08^{b}	0.75 ± 0.08^{b}
Total K_2O (%)	1.91 ± 0.08^{a}	1.56 ± 0.08^{b}	1.63 ± 0.06^{b}	1.42 ± 0.08^{c}	1.54 ± 0.08^{b}

Data are mean values of triplicate determination $\pm$ standard deviation

Pile B_1 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 1:1 and added LDD.1

Pile B_2 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 1:1 and added F-60

Pile B_3 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 1:1 and added EM

Pile B_4 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 1:1 and added *Rhizopus* sp. ST4 /RT29

Pile B_5 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 1:1 without inoculant (control)

^{abc} Different superscripts in a row indicate significant differences ($p>0.05$)

Percentage (%) was based on dry weight

การผลิตปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยเส้นใยปาล์มผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์อัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำ และมีการเติมหัวเชื้อชนิดต่างๆ เป็นตัวเร่ง พบว่ากองปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้อ พด.1 (ตารางที่ 5) มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 16.37 ได้มาตรฐานหลังจากการหมักได้ 40 วัน ซึ่งใช้ระยะเวลาในการหมักน้อยที่สุด ความชื้น 45.01 เปอร์เซ็นต์ พีเอชเท่ากับ 7.40 ปุ๋ยหมักมีสีดำ มีความร่วน เปื่อยยุ่ย และมีค่า N-P_2O_5-K_2O เท่ากับ 2.18-0.92-1.91 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง อุณหภูมิสูงสุดของกองปุ๋ยหมัก 67.5 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน พบว่ามีอุณหภูมิ 26.0 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก โดยปุ๋ยหมักที่ผลิตได้มีลักษณะทางเคมีและกายภาพดีตรงตามมาตรฐานที่กำหนด รองลงมาคือ ปุ๋ยหมักที่เติมหัวเชื้อเอฟ-60 เชื้อราผสมที่ประกอบด้วย *Rhizopus* sp. ST29 และ *Rhizopus* sp. ST4 หัวเชื้ออีเอ็ม และชุดควบคุม ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลของหัวเชื้อชนิดต่างๆ ต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักจากการบ่มที่อุณหภูมิห้อง (27-28 ^{o}C) เป็นระยะเวลา 60 วัน

Table 5 Effect of inoculum source on quality of compost after incubation at room temperature (27-28 ^{o}C) for 60 days

Parameter	Pile B_1	Pile B_2	Pile B_3	Pile B_4	Pile B_5 (control)
Time of incubation (day)	40	45	60	55	>60
Total organic carbon (%)	35.68	37.07	38.27	37.91	38.45
Total nitrogen (%)	2.18	2.12	1.94	2.10	1.87
C/N ratio $_{initial}$	38.99	38.46	38.61	37.94	37.98
C/N ratio $_{final}$	16.37	17.49	19.73	19.80	20.56
Max. Temperature (^{o}C)	67.5	66	62	61	53
pH	7.40	6.84	6.77	6.55	6.51
Moisture content (%)	45.01	43.94	48.20	43.31	43.89
Total P_2O_5 (%)	0.92	0.91	0.73	0.67	0.37
Total K_2O (%)	1.91	1.56	1.63	1.42	1.42
Color	Black	Black	Dark brown	Dark brown	Brown

Pile B_1 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 1:1 and added LDD.1

Pile B_2 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 1:1 and added F-60

Pile B_3 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 1:1 and added EM

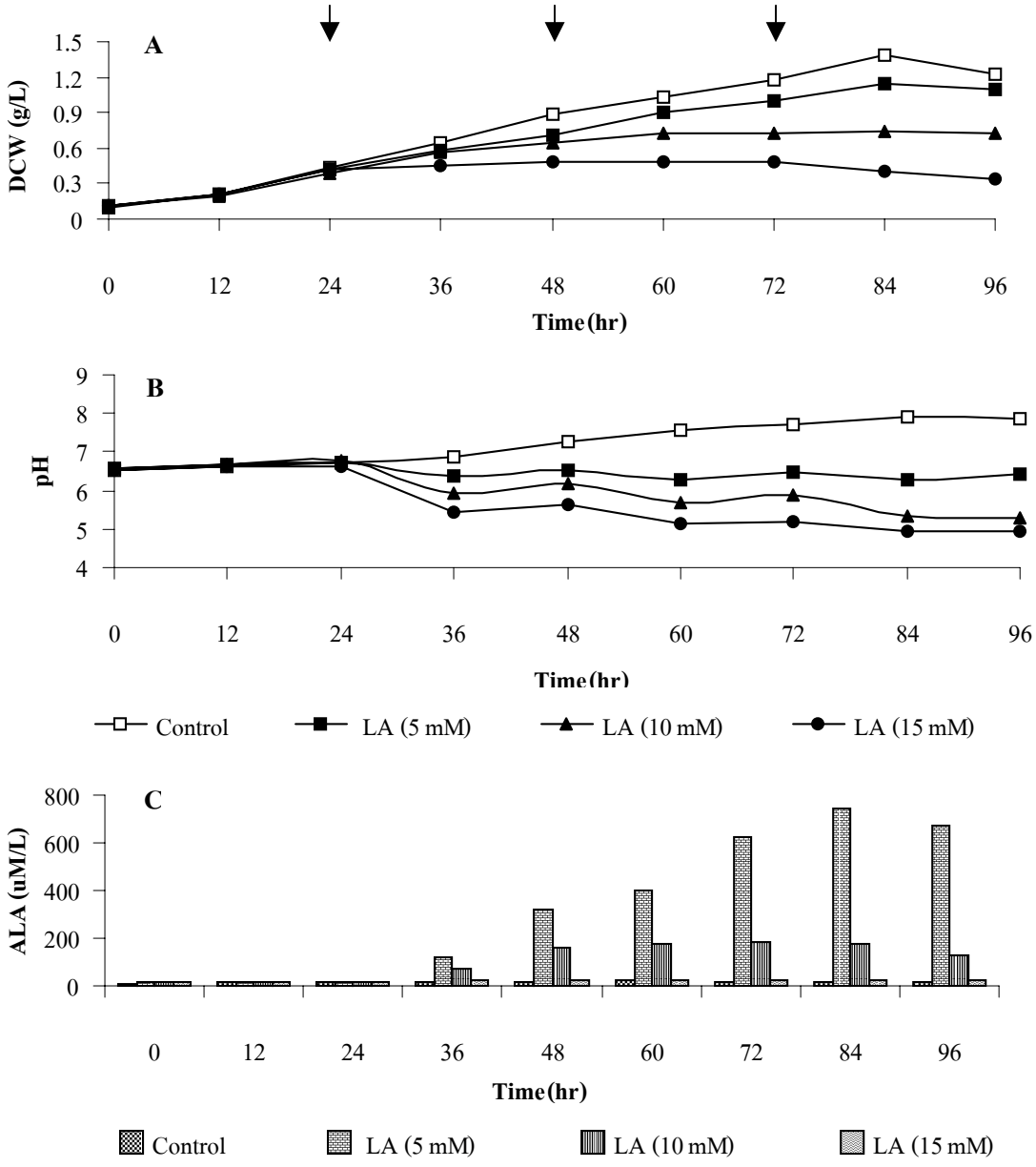
Pile B_4 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 1:1 and added *Rhizopus* sp. ST4 /RT29

Pile B_5 = palm press fiber and decanter cake mixture ratios 1:1 without inoculant (control)

2. ผลความเข้มข้นของกรดลีวูลินิกที่เติมต่อการเจริญและการผลิตกรด 5-อะมิโนลีวูลินิก จาก *Rhodobacter capsulatus* SS3

จากการเลี้ยงเชื้อ *Rhodobacter capsulatus* SS3 ในอาหารกลูตาเมต-มาเลต ที่มีเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ และเติมไกลซีน 10 มิลลิโมลาร์ กรดซัคซินิค 40 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิก 0.5 กรัมต่อลิตร แมกนีเซียมคลอไรด์ 15 มิลลิโมลาร์ และไพริดอกซัลฟอสเฟต 10 ไมโครโมลาร์ ภายใต้สภาวะมีอากาศเล็กน้อย-มีแสง (ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์) อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พีเอชเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 6.5 เติมกรดลีวูลินิกที่ความเข้มข้น 5, 10 และ 15 มิลลิโมลาร์ 3 ครั้ง หลังจาก เลี้ยงเชื้อ 24, 48 และ 72 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่มีการเติมกรดลีวูลินิก) ในถังหมักขนาด 5 ลิตร(ภาพที่ 10A) พบว่าการเติมกรดลีวูลินิกที่ระดับความเข้มข้น 5-15 มิลลิโมลาร์ ให้มวลชีวภาพแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับชุดควบคุม โดยเชื้อมีการเจริญสูงสุดในชุดควบคุม โดยให้มวลชีวภาพเท่ากับ 1.39 กรัมต่อลิตร ที่ 84 ชั่วโมง รองลงมาคือการเติมกรดลีวูลินิกที่ความเข้มข้น 5, 10 และ15 มิลลิโมลาร์ โดยให้มวลชีวภาพ 1.15, 0.74 และ 0.49 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ชุดควบคุม (ไม่มีการเติมกรดลีวูลินิก) เชื้อมีการเจริญดีที่สุด เนื่องจากกรดลีวูลินิกเป็นตัวยับยั้งการสังเคราะห์เตตราไพโรลรวมทั้งไซโตโครมที่ใช้ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ซึ่งมีผลต่อการยับยั้งการสังเคราะห์แสงของเชื้อ จึงทำให้เชื้อมีการเจริญลดลง (Sasaki *et al*., 1987)

จากการควบคุมพีเอชที่6.5 (ภาพที่ 10B) ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมต่อการผลิตกรด 5-อะมิโนลีวูลินิก พบว่าชุดควบคุมพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและคงที่เมื่อสิ้นสุดการหมัก มีค่าพีเอชสูงสุด (pH = 7.90) ที่ 84 ชั่วโมง ส่งผลให้ชุดควบคุมเชื้อมีการเจริญที่ดีและให้มวลชีภาพที่สูงสุด เนื่องจากแบคทีเรีย สังเคราะห์แสงมีค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญในช่วง 6.5-8.0 ซึ่งก่อนการเติมกรดลีวูลินิก 3 ครั้ง ครั้งละ 0, 5, 10 และ 15 มิลลิโมลาร์ ที่ 24, 48 และ 72 ชั่วโมง มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.62-6.76 หลังเติมกรดลีวูลินิก 5 มิลลิโมลาร์ ครั้งที่ 1 ชั่วโมงที่ 24 ของการหมัก พีเอชลดลงเป็น 6.24 ผ่านไป 12 ชั่วโมง พีเอชมีค่า 6.36 และพีเอช 6.52 เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง เติมกรดลีวูลินิกครั้งที่ 2 (48 ชั่วโมง) พบว่าหลังการเติมมีค่าพีเอชลดลงเป็น 6.06 ผ่านไป 12 และ 24 ชั่วโมง มีค่าพีเอชเป็น 6.26 และ 6.48 ตามลำดับ เติมกรดลีวูลินิกครั้งที่ 3 (72 ชั่วโมง) หลังเติมมีค่าพีเอช 5.96 ผ่านไป 12 และ 24 ชั่วโมง มีค่าพีเอชเป็น 6.29 และ 6.41 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากกรดลีวูลินิกที่ความเข้มข้นต่ำ ภายใต้สภาวะมีอากาศเล็กน้อย-มีแสง เชื้อสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนได้ โดยเมตาบอไลท์กรดลีวูลินิกไปเป็นอะซิเตทและโพรพิโอเนต โดยผ่านทางวิถี metylmalonyl-CoA (Okuyama *et al*., 1988; Sasaki *et al*., 1993) พิจารณาได้จากพีเอชในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ลดต่ำลงเมื่อมีการเติมกรดลีวูลินิกและการที่พีเอชเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา แสดงว่าเชื้อมีการ



ภาพที่ 10 ผลของการเจริญ (A) พีเอช (B) และปริมาณกรด 5-อะมิโนลีวูลินิก (C) ต่อระดับความเข้มข้นของกรดลีวูลินิกในการเลี้ยงเชื้อ *Rhodobacter capsulatus* SS3 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ภายใต้สภาวะมีอากาศเล็กน้อย-มีแสง (3,000 ลักซ์) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส
(↓) คือ เติมกรดลีวูลินิก

Fig. 10 Effect of levulinic acid (LA) concentration on growth (A), pH (B) and ALA production (C) from *Rhodobacter capsulatus* SS3 cultivated in a 5 L fermentor under microaerobic-light (3,000 lux condition at 37 ^{o}C
(↓) indicated addition of LA

ใช้กรดลีวูลินิกเป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Sasaki และคณะ (1991); Sasaki และคณะ (1993) และศุภลักษ์ สัตยสมิทสถิต (2545) การเติมกรดลีวูลินิก 3 ครั้ง ครั้งละ 10 มิลลิโมลาร์ หลังเติมกรดลีวูลินิก ครั้งที่ 1 ชั่วโมงที่ 24 ของการหมัก พีเอชลดลงเป็น 5.82 ผ่านไป 12 ชั่วโมง พีเอชมีค่าเท่ากับ 5.94 และพีเอช 6.16 เมื่อผ่านไป 24 ชั่วโมง เติมกรดลีวูลินิกครั้งที่ 2 (48 ชั่วโมง) หลังการเติมพีเอชลดลงเป็น 5.61 ผ่านไป 12 และ 24 ชั่วโมง มีค่าพีเอชเป็น 5.69 และ 5.86 ตามลำดับ เติมกรดครั้งที่ 3 (72 ชั่วโมง) หลังเติมมีค่าพีเอช 5.33 ผ่านไป 12 และ 24 ชั่วโมง มีค่าพีเอชเป็น 5.35 และ 5.31 ตามลำดับ การเติมกรดลีวูลินิก 10 มิลลิโมลาร์ ครั้งที่ 1 เชื้อสามารถใช้กรดลีวูนิลิกเป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญ ทำให้พีเอชเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง แต่การเติมกรดลีวูลินิกครั้งที่ 2 และ 3 ส่งผลให้ค่าพีเอชของอาหารมีฤทธิ์เป็นกรด (pH = 5.31-5.86) เชื้อใช้กรดลีวูลินิกเพื่อการเจริญเพียงเล็กน้อย ปริมาณมวลชีวภาพของเชื้อคงที่ และการเติมกรดกรดลีวูลินิก 15 มิลลิโมลาร์ 3 ครั้ง พบว่าหลังเติมกรดลีวูลินิกครั้งที่ 1 (ที่เวลา 24 ชั่วโมง) มีค่าพีเอชลดลงเป็น 5.32 ผ่านไป 12 ชั่วโมง พีเอชมีค่าเท่ากับ 5.43 และเมื่อผ่านไป 24 ชั่วโมง ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 5.61 เติมกรดลีวูลินิกครั้งที่ 2 (48 ชั่วโมง) หลังการเติมพีเอชลดลงเป็น 5.16 ผ่านไป 12 และ 24 ชั่วโมง มีค่าพีเอชเป็น 5.19 และ 5.24 ตามลำดับ และเติมกรดลีวูลินิกครั้งที่ 3 (72 ชั่วโมง) หลังเติมมีค่าพีเอช 4.80 ผ่านไป 12 และ 24 ชั่วโมง มีค่าพีเอชเป็น 4.92 และ 4.94 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการเติมกรดลีวูลินิก 15 มิลลิโมลาร์ 3 ครั้ง เชื้อไม่สามารถนำกรดลีวูลินิกไปใช้ได้ เนื่องจากการเติมกรดลีวูลินิกลงไปในอาหารมีผลให้พีเอชลดลง (มีฤทธิ์เป็นกรด) เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมภายในเซลล์ เชื้อไม่สามารถเจริญได้ ปริมาณมวลชีวภาพลดลง

การเติมกรดลีวูลินิกที่ความเข้มข้นในช่วง 5-15 มิลลิโมลาร์ มีผลต่อการผลิต ALA ของเชื้อ *Rhodobacter capsulatus* SS3 (ภาพที่ 10C) พบว่าที่ความเข้มข้น 5 และ 10 มิลลิโมลาร์ ส่งผลให้การผลิต ALA แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p> 0.05) กับชุดควบคุม (ไม่เติมกรดลีวูลินิก) ส่วนการเติมกรดลีวูลินิกที่ความเข้มข้น 15 มิลลิโมลาร์ การผลิต ALA ไม่แตกแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p> 0.05) กับชุดควบคุม โดยที่ความเข้มข้น 5, 10 และ 15 มิลลิโมลาร์ และชุดควบคุม เชื้อผลิต ALA ได้เท่ากับ 0.747, 0.184, 0.025 และ 0.021 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้แสดงว่าการเติมกรดลีวูลินิกที่ความเข้มข้น 15 มิลลิโมลาร์ ไม่ส่งเสริมให้การผลิต ALA เพิ่มขึ้น การที่เชื้อมีการผลิต ALA ได้เพียงเล็กน้อยในอาหารที่มีการเติมกรดลีวูลินิกที่ความเข้มข้นสูง (15 มิลลิโมลาร์) เนื่องจากอาหารเลี้ยงเชื้อมีความเป็นกรดสูง (พีเอชต่ำ) จึงเกิดสภาวะไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ ปริมาณมวลชีวภาพลดลง และไม่มีการผลิตรงควัตถุในการสังเคราะห์แสงที่ต้องอาศัย ALA ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่บ่งชี้ว่าทำไม ALA จึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Sasaki และคณะ (1991) ที่เลี้ยงเชื้อ *Rhodobacter sphaeroides* โดยเติม ALA ที่ความเข้มข้นสูง (30 มิลลิโมลาร์) ทำให้การเจริญของเชื้อลดลงและไม่มีการหลั่ง ALA ออกมานอกเซลล์ ส่วนความเข้มข้นต่ำๆ ของ

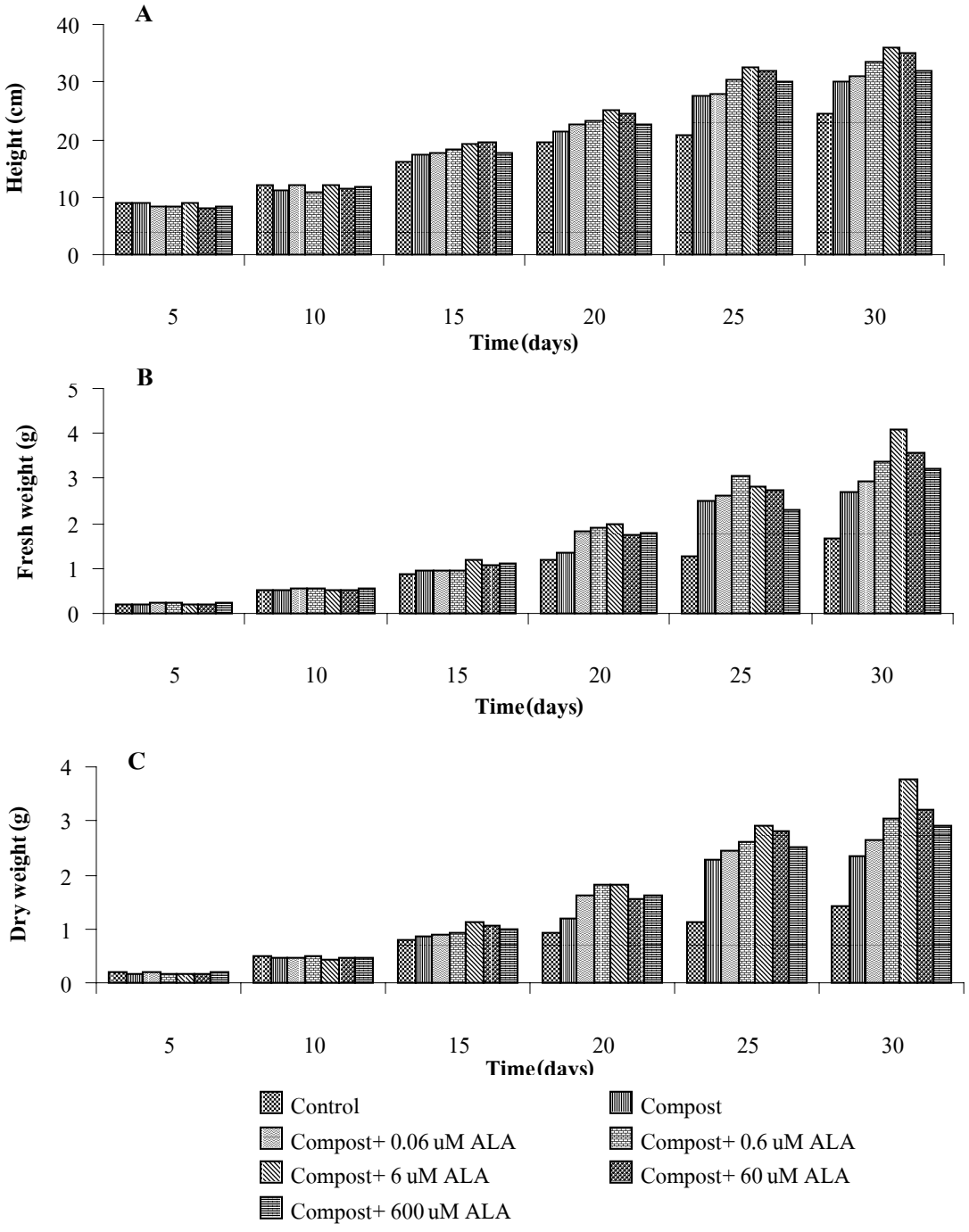
กรดลีวูลินิก (5 มิลลิโมลาร์) เชื้อมีการผลิต ALA ได้ในปริมาณสูง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเชื้อใช้กรดลีวีวูลินิกเป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อการเจริญ และสามารถใช้ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ ALA dehydratase (ALAD) โดยมีการยับยั้งแบบแข่งขัน เนื่องจากเอนไซม์ ALAD ไม่สามารถเปลี่ยนกรด 5-อะมิโนลีวูลินิกไปเป็น porphobilinogen (Sasaki *et al.*, 2002) ดังนั้นจึงทำให้กรด 5-อะมิโนลีวูลินิกมีการสะสมภายในเซลล์มากขึ้น และมีการหลั่งออกมาในอาหารเลี้ยงเชื้ออย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเลี้ยง เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมกรดลีวูลินิก 10 และ 15 มิลลิโมลาร์ สำหรับชุดควบคุมเชื้อมีการเจริญดีและให้ปริมาณมวลชีวภาพที่สูงสุด แต่ปริมาณกรด5-อะมิโนลีวูลินิกที่ผลิตได้ต่ำ (0.021 มิลลิโมลต่อลิตร) เนื่องจากชุดควบคุมไม่มีการเติมกรดลีวูลินิก ซึ่งใช้ในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ ALA dehydratase ทำให้ปริมาณ ALA ที่ผลิตได้ถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบเตตราไพโรล ได้แก่ ฮีม คลอโรฟิลล์ และวิตามินบี 12 เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต

ดังนั้นความเข้มข้นที่เหมาะสมของกรดลีวูลินิกที่เติมคือ 5 มิลลิโมลาร์ ซึ่งให้ค่าพีเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ (6.0-8.0) ปริมาณมวลชีวภาพและกรด 5-อะมิโนลีวูลินิกสูงสุดมีค่า 1.15 กรัมต่อลิตร และ 0.747 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งการทดลองไม่สอดคล้องกับรายงานของ ศุภลักษ์ สัตยสมิทสถิต (2545) ว่าการเลี้ยงเชื้อ *Rhodobacter capsulitus* SS3 ในอาหารกลูตาเมต-มาเลต ที่มีเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สภาวะมีอากาศเล็กน้อย-มีแสง (ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์) เติมกรดลีวูลินิกที่ความเข้มข้น 15 มิลลิโมลาร์ 3 ครั้ง ที่ 24, 48 และ 78 ชั่วโมง เชื้อให้มวลชีวภาพที่ 1.36 กรัมต่อลิตร และปริมาณการผลิต ALA สูง (0.75 มิลลิโมลต่อลิตร) แต่ปริมาณมวลชีวภาพและปริมาณกรด 5-อะมิโนลีวูลินิกที่ผลิตได้มีความสอดคล้องกัน

3. การทดสอบคุณภาพของปุ๋ยหมัก

3.1 ผลของการใช้ปุ๋ยหมักผสม ALA เป็นสารเร่งการเจริญของผักบุ้ง

ศึกษาผลการตอบสนองของผักบุ้งต่อการใช้ปุ๋ยชนิดต่างๆ คือ ปุ๋ยหมักที่มีส่วนผสมของกรด 5-อะมิโนลีวูลินิกที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.06, 0.6, 6, 60, 600 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่เติมปุ๋ย) ซึ่งแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งละ 0.154 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง (กระถางละ 10 ต้น) ครั้งแรกเมื่อต้นกล้าอายุ 10 วัน และครั้งที่ 2 เมื่อต้นกล้าอายุ 20 วัน ใส่ปุ๋ยลงไปที่โคนต้น โดยวัดความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมในผักบุ้งทุกๆ 5 วัน เป็นระยะเวลา 30 วัน (ดัดแปลงจากวิภาวรรณ ไตรรัตนานุกูล, 2544) ผลแสดงในภาพที่ 11A จะเห็นว่าต้นผักบุ้งในกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ระดับความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์ ผักบุ้งมีให้ความสูงเฉลี่ยมากที่สุด (36 เซนติเมตร) รองลงมาคือ ผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 60, 0.6, 600, 0.06, 0 ไมโครโมลาร์ และชุดควบคุม ซึ่งให้ความสูงเฉลี่ย 35, 33.5, 32, 31, 30 และ 24.5 เซนติเมตร ตามลำดับ

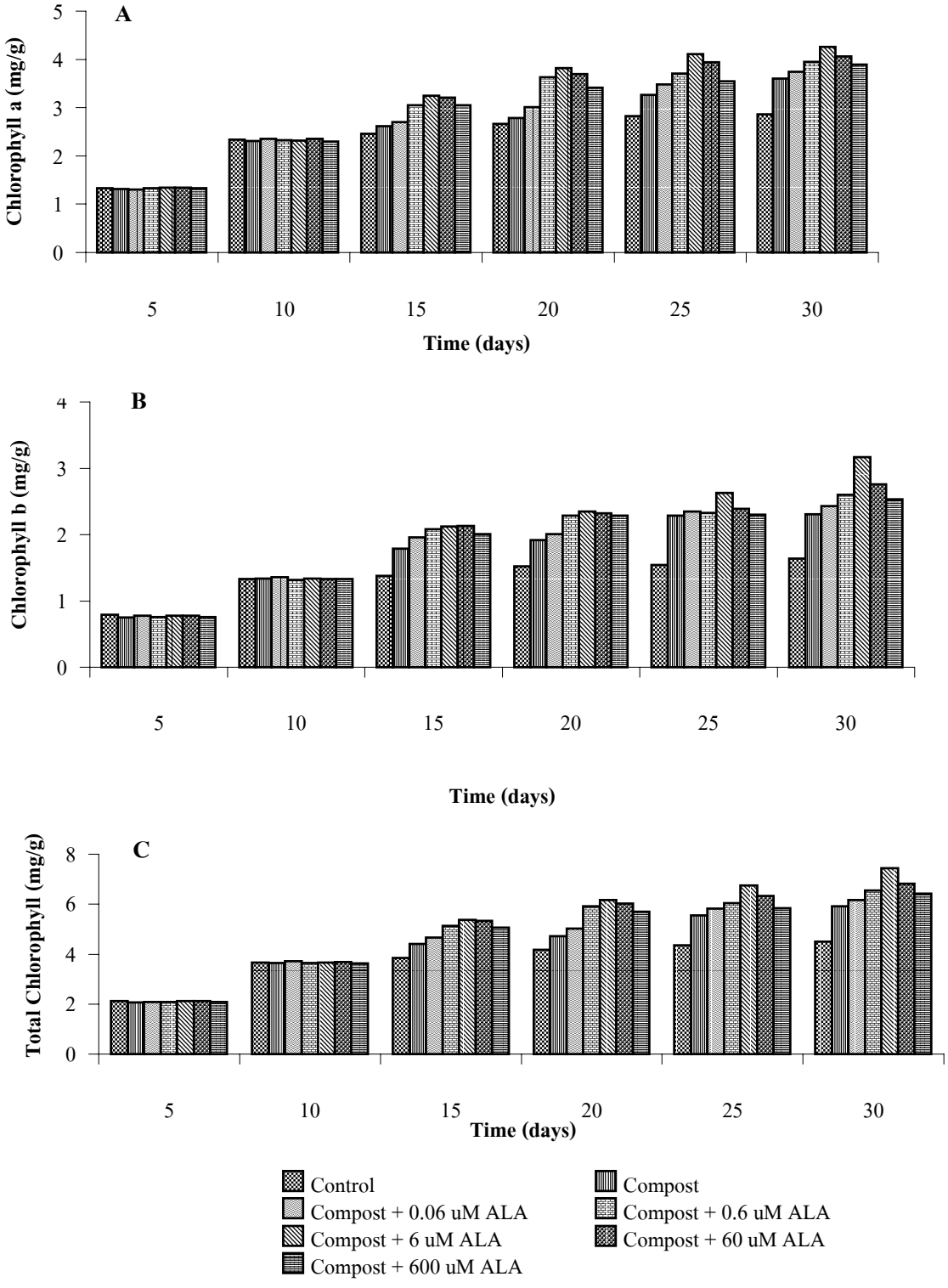


ภาพที่ 11 ผลของปุ๋ยหมักที่ผสม ALA ในความเข้มข้นต่างๆ ต่อต่อความสูง (A) น้ำหนักสด (B) และน้ำหนักแห้ง (C) ของผักบุ้ง (*Impomoea aquatica Forsk.*)

Fig. 11 Effect compost mixed with different concentrations on height (A), fresh weight (B) and dry weight (C) of water spinach (*Impomoea aquatica Forsk.*)

สำหรับน้ำหนักสดของผักบุ้ง (ภาพที่ 11B) พบว่าน้ำหนักสดของผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยชนิดต่างๆ มีความแตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยผักบุ้งของกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์ มีน้ำหนักสดมากที่สุด (4.10 กรัมต่อต้น) รองลงมาคือ ผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 60, 0.6, 600, 0.06, 0 ไมโครโมลาร์ และชุดควบคุมมีน้ำหนักสด เท่ากับ 3.56, 3.37, 3.22, 2.93, 2.69 และ1.68 กรัมต่อต้น ตามลำดับ เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งของผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยชนิดต่างๆ (ภาพที่ 11C) พบว่าผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกับน้ำหนักสด โดยมีน้ำหนักแห้งตามลำดับข้างต้นเท่ากับ 3.77, 3.22, 3.05, 2.91, 2.65, 2.34 และ 1.43 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์ มีการเจริญเติบโตดีที่สุดโดยมีความสูง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงกว่าผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักที่ผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และชุดควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากกรด 5-อะมิโนลีวูลินิกที่เติมลงไปในปุ๋ยหมัก มีคุณสมบัติการเป็นสารเร่งการเจริญของพืช จึงทำให้ผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักที่ผสม ALA มีการเจริญเติบโตดีกว่าผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักที่ไม่มีการผสมALA และชุดควบคุมอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Hotta และคณะ (1997) ศึกษาผลของALA ต่อการเจริญของต้นข้าวโดยการแช่เมล็ดข้าวในสารละลาย พบว่าความเข้มข้นของ ALA ที่ เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.06-6 มิลลิโมลาร์ หากความเข้มข้นสูง จะมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช โดยทำหน้าที่เป็นสาร Laser herbicide กัดกร่อนผนังเซลล์ของพืช และมณีวรรณ สุวรรณสะอาด (2547) ที่ศึกษาผลของความเข้มข้นของ ALA ที่เหมาะสมต่อการเร่งการเจริญเติบโตของคะน้า พบว่าความเข้มข้นของ ALA 6 ไมโครโมลาร์ ให้น้ำหนักแห้ง และความสูงในคะน้าสูงสุด (84 เปอร์เซ็นต์ และ 24.36 เซนติเมตร ตามลำดับ)

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียว ซึ่งเป็นตัวสำคัญในการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์มีหลายชนิด เช่น คลอโรฟิลล์เอ บี และซี แต่คลอโรฟิลล์ในผักบุ้ง เป็นคลอโรฟิลล์ชนิดเอและบีเท่านั้น (ลัดดา เอกสมทราเมษฐ์, 2543) จากการวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมของผักบุ้ง พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอของผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยชนิดต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับชุดควบคุม (ภาพที่ 12A) แต่ผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ความเข้มข้น 600 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ ความเข้มข้น 0.06 และ 0.6 ไมโครโมลาร์ โดยผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงสุด (4.26 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง) รองลงมาคือ ผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ความเข้มข้น60, 0.6, 600, 0.06 ไมโครโมลาร์ และปุ๋ยหมักไม่ผสมALA มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ 4.06, 3.95, 3.85, 3.74 และ 3.60 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ และชุดควบคุมซึ่งเป็นผักบุ้ง



ภาพที่ 12 ผลของปุ๋ยหมักที่ผสม ALA ในความเข้มข้นต่างๆ ต่อปริมาณ คลอโรฟิลล์เอ (A) คลอโรฟิลล์บี (B) และคลอโรฟิลล์รวม (C) ของผักบุ้ง (*Impomoea aquatica Forsk.*)

Fig. 12 Effect compost mixed with different concentrations on chlorophyll *a* (A), chlorophyll *b* (B) and total chlorophyll (C) of water spinach (*Impomoea aquatica Forsk.*)

กลุ่มที่ไม่ได้รับปุ๋ยพบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์เอน้อยสุด (2.86 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง) ปริมาณคลอโรฟิลล์บีของผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยชนิดต่างๆแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) กับชุดควบคุม (ภาพที่ 12B) แต่ผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ความเข้มข้น 0.6 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) กับผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ความเข้มข้น 600 ไมโครโมลาร์ โดยผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีสูงสุด (3.17 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง) รองลงมาคือ ผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ความเข้มข้น 60, 0.6, 600, 0.06 ไมโครโมลาร์ และปุ๋ยหมักไม่ผสม ALA มีปริมาณคลอโรฟิลล์บี 2.76, 2.60, 2.53, 2.43, และ 2.31 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ และชุดควบคุมมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีน้อยสุด (1.64 มิลลิกรัมต่อกรัม ตัวอย่าง)

เมื่อพิจารณาปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยชนิดต่างๆ (ภาพที่ 12C) พบว่าให้ผลไปในทำนองเดียวกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี คือ ผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมสูงสุด (7.43 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง) สอดคล้องกับการศึกษาของมณีวรรณ สุวรรณสะอาด (2547) ศึกษาผลของความเข้มข้น ALA ที่เหมาะสมต่อการเร่งการเจริญเติบโตของคะน้า พบว่า ALA ความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์ ให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมในคะน้าสูงสุด (5.10, 3.35 และ 8.45 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง) รองลงมาคือ ผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ความเข้มข้น 60, 0.6, 600, 0.06 ไมโครโมลาร์, ปุ๋ยหมักไม่ผสมALA และชุดควบคุม ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม 6.82, 6.55, 6.42, 6.17, 5.91 และ 4.50 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยชนิดต่างๆแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) กับชุดควบคุม พบว่าผักบุ้งมีการสะสมปริมาณของคลอโรฟิลล์เอภายในเซลล์สูงกว่าคลอโรฟิลล์บี เนื่องจากคลอโรฟิลล์เอ พบในระบบแสงหนึ่ง (PS I) และระบบแสงสอง (PS II) (ระบบแสง คือ หน่วยที่ทำหน้าที่เดี่ยวกับการสังเคราะห์แสง) ทั้งในกลุ่มปฏิกิริยาศูนย์กลาง (P_{700} และ P_{680}) และกลุ่มที่ทำหน้าที่เก็บเกี่ยวแสงหนึ่ง (light harvesting complex, LHC I) และ LHC II แต่คลอโรฟิลล์บี พบในกลุ่มของ LHC I และ LHC II ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเท่านั้น โดยคลอโรฟิลล์เอ จัดเป็นรงควัตถุสังเคราะห์แสงขั้นต้นสามารถดูดแสงได้ด้วยตัวเอง และให้อิเล็กตรอนแก่ตัวรับอิเล็กตรอนโดยทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมิคัล (photochemical) ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยาศูนย์กลาง ส่วนคลอโรฟิลล์บีจัดเป็นรงควัตถุสังเคราะห์แสงขั้นสอง (รงควัตถุประกอบ) ซึ่งทำหน้าที่ดูดพลังงานรังสีจากแสงแล้วส่งต่อไปให้คลอโรฟิลล์เอ เนื่องจากไม่สามารถให้อิเล็กตรอนแก่ตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆได้ (ลัดดา เอกสมทราเมษฐ์, 2543) เป็นเหตุให้ในพืชมีการสะสมปริมาณของคลอโรฟิลล์เอมากว่าคลอโรฟิลล์บี

เมื่อเปรียบเทียบผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆและชุดควบคุม (ไม่เติมปุ๋ย) พบว่าผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวและชุดควบคุม เนื่องจากกรด 5-อะมิโนลีวูลินิกเป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่พบในสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์เตตราไพโรล เช่น คลอโรฟิลล์ (Dawson *et al*., 1987; Sasaki *et al*., 2002) ส่งผลให้ผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA มีปริมาณการสะสมของคลอโรฟิลล์ภายในเซลล์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมสะสมภายในเซลล์สูงสุด (4.31, 2.98 และ 7.29 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง) ทำให้ผักบุ้งกลุ่มนี้เจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มอื่นๆ เนื่องจากผักบุ้งกลุ่มที่มีการสะสมปริมาณของคลอโรฟิลล์ภายในเซลล์สูง ส่งผลให้เกิดกระบวนการการสังเคราะห์แสง โดยคลอโรฟิลล์ทำหน้าที่ดูดแสงและถ่ายทอดอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ ในกระบวนการสังเคราะห์แสงแบบใช้แสง ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช สอดคล้องกับการทดลองของ Sasaki และคณะ (1995) ที่ศึกษาผลของกรด 5-อะมิโนลีวูลินิก (ALA) ต่อการเจริญและการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย *Spirulina platensis* NIES-39 โดยเติม ALA 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (2.98 มิลลิโมลาร์) ลงในอาหาร พบว่าหลังเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 3 วัน สาหร่ายมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ ไฟโคไซยานิน และแคโรทีนอยด์ภายในเซลล์เพิ่มขึ้น (10.80, 148 และ 3.91 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลล์ ตามลำดับ)

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบผักบุ้งของกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์ ซึ่งเป็นกลุ่มที่เจริญเติบโตดีที่สุด โดยให้ความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมสูงสุด (36 เซนติเมตร, 4.10 กรัมต่อต้น, 3.77 กรัมต่อต้น, 4.31, 2.98 และ 7.29 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ) กับผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (ตารางที่ 6) พบว่าผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยเคมี มีการเจริญเติบโตดีกว่าผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์ โดยให้ความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมสูงสุด (50 เซนติเมตร, 12.96 กรัมต่อต้น, 10.85 กรัมต่อต้น, 8.32, 4.99 และ13.31 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ) ซึ่งคิดเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นเทียบกับผักบุ้งกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์ เท่ากับ 38.89, 216.09, 187.80, 95.30, 49.30 และ 79.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองอย่างครบถ้วน พืชสามารถดูดซึมและนำไปใช้ได้ง่าย ทำให้ได้ผลผลิตที่ดี แต่ปุ๋ยหมักที่ผสมALA มีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่เพียงพอต่อผักบุ้งเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ถึงแม้ว่ากรด 5-อะมิโนลีวูลินิกมี

ตารางที่ 6 ผลของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 6 uM ต่อความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม ของผักบุ้ง (*Impomoea aquatica Forsk.*)

Table 6 Effect of chemical fertilizer and compost mixed with 6 uM ALA on height, fresh weight, dry weight, chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and total chlorophyll of water spinach (*Impomoea aquatica Forsk.*)

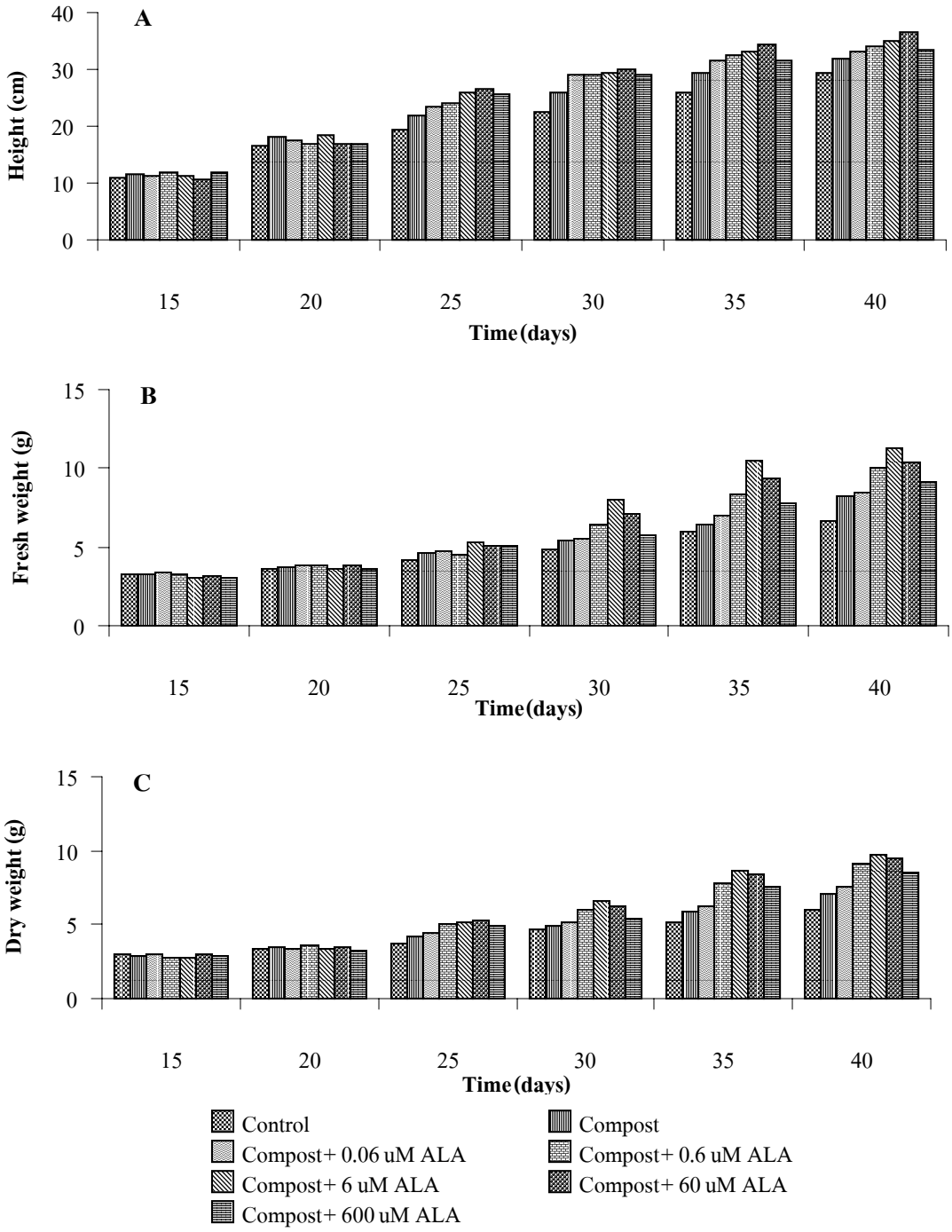
Parameter	Control	Compost + 6 uM ALA	% increasing of factor compared with control	Chemical fertilizer (15-15-15)	% increasing of factor compared with Control	% increasing of factor compared with Compost + 6 uM ALA
Height (cm)	24.50	36.00	46.93	50.00	104.08	38.89
Fresh weight (g)	1.68	4.10	144.04	12.96	671.42	216.09
Dry weight (g)	1.43	3.77	184.61	10.85	658.74	187.80
Chlorophyll *a* (mg/L)	2.86	4.26	49.47	8.32	190.91	95.30
Chlorophyll *b* (mg/L)	1.64	3.17	93.29	4.99	204.22	49.19
Total chlorophyll (mg/L)	4.50	7.43	65.11	13.31	195.78	79.14

คุณสมบัติเป็นสารเร่งการเจริญของพืช ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของสมชัย สว่างจันทร์ และคณะ (2539) ซึ่งพบว่าผักคะน้าที่ใช้มูลสุกรและน้ำจากคอกสุกรที่ผ่านการบำบัดด้วยอีเอ็มเป็นปุ๋ยเปรียบเทียบกับการปุ๋ยเคมี พบว่าผักคะน้าที่ได้รับปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตสูงสุด แต่ไม่สอดคล้องกับการทดลองของภาวนา ลิกขนานนท์ และ สมศักดิ์ วังใน (2539) ซึ่งพบว่าผักบุ้งกลุ่มที่ปลูกด้วยดินโคราช (เป็นดินทราย) ผสมกับปุ๋ยหมัก(ผลิตจากฟางข้าว) ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก มีการเจริญของเติบโตและมีผลผลิตดีกว่าผักบุ้งที่ปลูกด้วยดินโคราชผสมปุ๋ยเคมี (สูตร 16-16-16) ในอัตราส่วน 1.5:1 โดยน้ำหนักและชุดควบคุม (ดินโคราช) มีความสูงเท่ากับ 34.3, 26.0 และ 24.4 เซนติเมตร และน้ำหนักสด 82.22, 35.3 และ 22.0 กรัมต่อตัวอย่าง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่ใช้ปลูก ปริมาณของปุ๋ยหมักที่เติมและความแตกต่างของสูตรปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลอง จึงทำให้ผลการทดลองไม่สอดคล้องกัน

3.2 ผลของการใช้ปุ๋ยหมักผสม ALA เป็นสารเร่งการเจริญของต้นหอม

ศึกษาผลการตอบสนองของต้นหอมต่อการใช้ปุ๋ยชนิดต่างๆ คือ ปุ๋ยหมักที่มีส่วนผสมของกรด 5-อะมิโนลีวูลินิกที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.06, 0.6, 6, 60, 600 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่เติมปุ๋ย) ซึ่งแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งละ 0.154 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง ครั้งแรกเมื่อต้นหอมอายุ 20 วัน และครั้งที่ 2 เมื่อต้นหอมอายุ 40 วัน ใส่ปุ๋ยลงไปที่โคนต้น โดยวัดความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม ในผักบุ้งทุกๆ 5 วัน เป็นระยะเวลา 40 วันพบว่าความสูงของต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (ภาพที่ 13A) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) กับชุดควบคุม โดยต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 60 ไมโครโมลาร์ ให้ความสูงมากที่สุด (36.5เซนติเมตร) รองลงมาคือ ต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 6, 600, 0.6, 0.06 ไมโครโมลาร์, ปุ๋ยหมักไม่ผสม ALA และชุดควบคุม (ให้ความสูงเฉลี่ย 35, 34.5, 34, 33.25, 32 และ 29.5 เซนติเมตร ตามลำดับ)

สำหรับน้ำหนักสดของต้นหอมที่ได้รับปุ๋ยชนิดต่างๆ (ภาพที่ 13B) พบว่าต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 60 ไมโครโมลาร์ มีน้ำหนักสดสูงสุด (11.28 กรัมต่อต้น) รองลงมา คือ ต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ (10.39 กรัมต่อต้น) ถัดลงมาคือ ต้นหอมกลุ่มที่ได้ปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 600, 0.6, 0.06 ไมโครโมลาร์, ปุ๋ยหมักไม่ผสมALA และชุดควบคุม โดยมีน้ำหนักสดเท่ากับ 10.03, 9.10, 8.51, 8.28 และ 6.63 กรัมต่อต้น ตามลำดับ เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งของต้นหอมที่ได้รับปุ๋ยชนิดต่างๆ (ภาพที่ 13C) พบว่าให้ผลไปในทำนองเดียวกับน้ำหนักสด คือ ต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 60 ไมโครโมลาร์ มีน้ำหนักแห้งสูงสุด (9.78 กรัมต่อต้น) รองลงมา



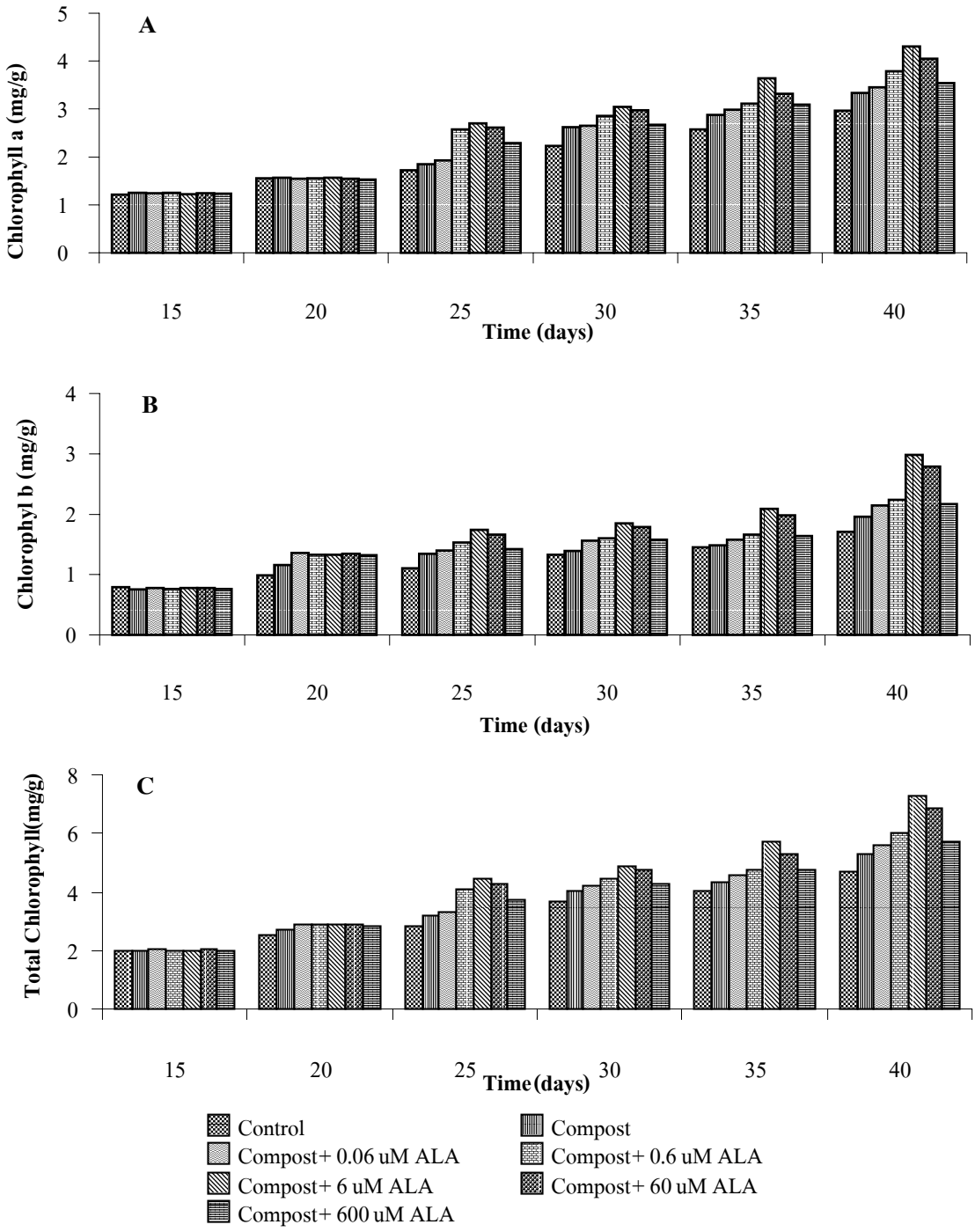
ภาพที่ 13 ผลของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักที่ผสม ALA ในความเข้มข้นต่างๆ ต่อความสูง (A) น้ำหนักสด (B) และน้ำหนักแห้ง (C) ของต้นหอม (*Allium cepa* var. *aggregatum)*

Fig. 13 Effect compost mixed with different concentrations on height (A), fresh weight (B) and dry weight (C) of spring onion (*Allium cepa* var. *aggregatum)*

คือ ต้นหอมกลุ่มที่ได้ปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 6, 600, 0.6, 0.06 ไมโครโมลาร์, ปุ๋ยหมักไม่ผสม ALA และชุดควบคุมมีน้ำหนักสดเท่ากับ 9.46, 9.15, 8.49, 7.58, 7.12 และ 6.04 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 60 ไมโครโมลาร์ มีการเจริญเติบโตดีสุดโดยให้ความสูง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงกว่าต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักที่ผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และชุดควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากกรด 5-อะมิโนลีวูลินิกที่เติมลงไปในปุ๋ยหมักมีผลช่วยในการเจริญและผลผลิตของธัญพืชต่างๆและผัก เนื่องจากช่วยเพิ่มการสังเคราะห์แสง กระตุ้นการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะที่มีแสงและในสภาวะไร้แสง (Hotta *et al*., 1989) จึงทำให้ต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักที่ผสม ALA มีการเจริญเติบโตดีกว่าต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักที่ไม่มีการผสมALA และชุดควบคุม

ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สะสมภายในเซลล์ เป็นตัวสำคัญในการสังเคราะห์แสง ซึ่งคลอโรฟิลล์มีหลายชนิด เช่น คลอโรฟิลล์เอ บี และซี แต่ละชนิดมีโครงสร้างและสมบัติแตกต่างกันจึงทำให้การดูดกลืนแสงที่ช่วงต่างๆแตกต่างกัน เช่น คลอโรฟิลล์เอ ดูดแสงช่วงคลื่นที่เหมาะสมคือ 420 และ 663 นาโนเมตร คลอโรฟิลล์บี ดูดแสงช่วงคลื่นที่เหมาะสมที่ 460 และ 645 นาโนเมตร ส่วนคลอโรฟิลล์ซี ดูดแสงได้มากที่ช่วงคลื่น 445 และ 625 นาโนเมตร โดยคลอโรฟิลล์ที่พบในต้นหอม มีเฉพาะคลอโรฟิลล์ชนิดเอและบีเท่านั้น (ลัดดา เอกสมทราเมษฐ์, 2543) ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมของต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยชนิดต่างๆ (ภาพที่ 14) ที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับชุดควบคุม ยกเว้นปริมาณคลอโรฟิลล์บีของต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 0.06 กับ 0.6 ไมโครโมลาร์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 60 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บีและคลอโรฟิลล์รวมสูงสุด (4.31, 2.98 และ7.29 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ) รองลงมาคือ ต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ความเข้มข้น 6, 600 ,0.6, 0.06 ไมโครโมลาร์ และปุ๋ยหมักไม่ผสม ALA มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ 4.05, 3.79, 3.54, 3.45 และ 3.34 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ปริมาณคลอโรฟิลล์บี 2.78, 2.24, 2.17, 2.14 และ1.96 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม 6.84, 6.03, 5.71, 5.57 และ 5.30 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ สำหรับชุดควบคุมซึ่งเป็นต้นหอมกลุ่มที่ไม่ได้รับปุ๋ย พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ต่ำที่สุด (2.96, 1.71 และ 4.67 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ)

เมื่อเปรียบเทียบต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักผสมALAที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และชุดควบคุม พบว่าต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวและชุดควบคุม



ภาพที่ 14 ผลของปุ๋ยหมักที่ผสม ALA ในความเข้มข้นต่างๆ ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (A) คลอโรฟิลล์บี (B) และคลอโรฟิลล์รวม (C) ของต้นหอม (*Allium cepa* var. *aggregatum)*

Fig. 14 Effect of compost mixed with different concentrations on chlorophyll *a* (A), chlorophyll *b* (B) and total chlorophyll (C) of spring onion (*Allium cepa* var. *aggregatum)*

เนื่องจากกรด5-อะมิโนลีวูลิเป็นสารตั้งต้นที่จำเป็นสำหรับการ สังเคราะห์คลอโรฟิลล์ (Dawson *et al*., 1987; Sasaki *et al*., 2002) ส่งผลให้ต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA มีปริมาณการสะสมของคลอโรฟิลล์ภายในเซลล์เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 60 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมสะสมภายในเซลล์สูงสุด (4.31, 2.98 และ 7.29 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง) ทำให้ต้นหอมกลุ่มนี้เจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มอื่นๆ เนื่องจากต้นหอมกลุ่มที่มีการสะสมปริมาณของคลอโรฟิลล์ภายในเซลล์สูง ส่งผลให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยคลอโรฟิลล์ทำหน้าที่ดูดแสงและถ่ายทอดอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ ในกระบวนการสังเคราะห์แสงแบบใช้แสง ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช สอดคล้องกับการทดลองของ Hotta และคณะ (1997); Sasaki และคณะ (1995); มณีวรรณ สุวรรณสะอาด (2547)

แต่เมื่อเปรียบเทียบต้นหอมของกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 60 ไมโครโมลาร์ กับต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (ตารางที่ 7) พบว่าต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยเคมีมีการเจริญเติบโตดีกว่าต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 60 ไมโครโมลาร์ โดยให้ความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม เท่ากับ 39.5 เซนติเมตร, 14.98 กรัมต่อต้น, 13.98 กรัมต่อต้น, 6.46, 3.36 และ 9.82 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นเทียบกับต้นหอมกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 60 ไมโครโมลาร์เท่ากับ 8.22, 32.80, 41.72, 49.88, 12.75 และ 34.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยเคมีมีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองอย่างครบถ้วน แต่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักที่มีผสม ALA มีธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นหอม ถึงแม้ว่ามีการเติมกรด 5-อะมิโนลีวูลินิกที่มีคุณสมบัติเป็นสารเร่งการเจริญของพืชก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของสมชัย สว่างจันทร์ และคณะ (2539) พบว่าผักคะน้าที่ใช้มูลสุกรและน้ำจากคอกสุกรที่ผ่านการบำบัดด้วยอีเอ็มเป็นปุ๋ยเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมี พบว่าผักคะน้าที่ได้รับปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตสูงสุด และสอดคล้องกับรายงานของภาวนา ลิกขนานนท์ และสมศักดิ์ วังใน (2539) ซึ่งพบว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตโดยใช้หัวเชื้ออีเอ็ม หัวเชื้อพด.1 และมูลสัตว์ เพิ่มผลผลิตของผักทั้ง 3 ชนิด (ผักบุ้ง ผักคะน้า และผักกวางตุ้ง) สำหรับปุ๋ยหมักจากไฮเทค เพิ่มผลผลิตของผักคะน้าและผักกวางตุ้งสูงขึ้น แต่ไม่ทำให้ผลผลิตของผักบุ้งสูงขึ้น

ถึงแม้ว่าการใช้ปุ๋ยหมักผสม ALA ในผักบุ้งและต้นหอมมีผลผลิตด้อยกว่าปุ๋ยเคมี แต่ปุ๋ยหมักมีประโยชน์ต่อดินและเหมาะสมต่อการเพาะปลูก คือ (1) ช่วยทำให้ดินมีความสามารถดูดซึมธาตุอาหารพืชได้สูง เนื่องจากอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักมีความสามารถยึดเหนี่ยวธาตุอาหารไม่ให้ถูกชะล้าง (2) ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้น โดยส่งเสริมให้อนุภาคของ

ตารางที่ 7 ผลของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักผสม ALA ที่ระดับความเข้มข้น 60 uM ต่อความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม ของต้นหอม (*Allium cepa* var. *aggregatum)*

Table. 7 Effect of chemical fertilizer and compost mixed with 60 uM ALA on height, fresh weight, dry weight, chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and total chlorophyll of spring onion (*Allium cepa* var. *aggregatum)*

Parameter	Control	Compost + 60 uM ALA	% increasing of factor compared with control	Chemical fertilizer (1515-15)	% increasing of factor compared with Control	% increasing of factor compared with Compost + 60 uM ALA
Height (cm)	29.50	36.50	23.73	39.50	33.90	8.22
Fresh weight (g)	6.63	11.28	70.13	14.98	125.94	32.80
Dry weight (g)	6.04	9.78	61.92	13.86	129.47	41.72
Chlorophyll *a* (mg/L)	2.96	4.31	45.61	6.46	118.47	49.88
Chlorophyll *b* (mg/L)	1.71	2.98	74.27	3.36	96.49	12.88
Total chlorophyll (mg/L)	4.67	7.29	56.10	9.82	110.27	34.71

ดินจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดี ร่วนซุย และมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก (3) ช่วยทำให้จุลินทรีย์ในดินทำงานได้ดีขึ้นและมีปริมาณมากขึ้น (4) ช่วยรักษาคุณสมบัติการเป็นกรดเป็นด่างของดิน ซึ่งดินที่มีอินทรียวัตถุสูงจะมีคุณสมบัติต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างได้ดี (5) ช่วยลดปัญหาโรคพืช เนื่องจากเชื้อโรคส่วนใหญ่ในดิน เป็นพวกที่ไม่ต้องการอากาศ ชอบอยู่ในที่อับและอากาศชื้นแฉะ แต่ปุ๋ยหมักทำให้ดินถ่ายเทอากาศได้ดีขึ้น จึงเป็นทางหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณโรคพืช ซึ่งปุ๋ยเคมี มีราคาค่อนข้างแพงเมื่อเทียบกับปุ๋ยหมักที่นำวัสดุเศษเหลือจากธรรมชาติมาผลิต นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันนานๆส่งผลกระทบต่อคุณภาพของดินที่ให้ผลผลิตต่ำ ดังนั้นจึงควรหันมาใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมี แทนการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว