เนื้อหาวิจัย

1. ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

น้ำยางสดที่รวบรวมมาจากสวนยาง มีสมบัติค่อนข้างแปรปรวน มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 25-45% สิ่งเจือปนและน้ำอยู่ปริมาณสูง ดังนั้นเพื่อทำให้มีสมบัติที่สม่ำเสมอและประหยัดในการขนส่ง จึงมีการแปรรูปน้ำยางสดเป็นน้ำยางข้น 60% ซึ่งการผลิตส่วนใหญ่จะใช้เครื่องปั่นความเร็วสูง (centrifugation) เพื่อแยกน้ำและสารเจือปนอื่นๆ ที่ละลายอยู่ในส่วนของน้ำออกไป ของเสียที่ได้ออกมาในรูปของแข็ง เรียกว่า "sludge" หรือ "กากขี้แป้ง" มีประมาณ 1-2% โดยน้ำหนักของน้ำยางสดที่นำมาผลิต และน้ำยางสดที่ใช้เพื่อผลิตเป็นน้ำยางข้นของแต่ละโรงงานมีปริมาณอยู่ในช่วง 39.91-157.56 ตันต่อวัน ทำให้มีของเสียในรูปกากขี้แป้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นประมาณ 0.39-1.58 ตันต่อวัน (วันชัย, 2540) สำหรับกระบวนการผลิตน้ำยางข้น โดยทั่วไปมีการเติม Diammonium hydrogen phosphate ทำให้อนุมูลโลหะแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางเกิดปฏิกิริยาเป็นแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต (Magnesium ammonium phosphate) ตกตะกอนลงก้นถังหลังทิ้งไว้ข้ามคืน ทำให้กากขี้แป้ง มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ นอกจากนี้ในกากขี้แป้งมีสิ่งเจือปนของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ได้แก่ อนุภาคยางที่จับตัว สารพวกแป้ง ฝุ่นไขมัน โปรตีน สารประกอบไนโตรเจน อนุมูลของโลหะ เป็นต้น (เสาวนีย์ และคณะ, 2547) มีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่สำคัญของพืช คือ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม ซึ่งเป็นธาตุโลหะสำคัญ สามารถใช้เป็นประโยชน์ในด้านการเกษตร แต่ปัจจุบันของเสียในรูปกากขี้แป้งที่เกิดขึ้นในโรงงานที่ผลิตน้ำยางข้นไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่จะกำจัดทิ้งไปโดยการนำไปถมที่ ถมถนน หรือเผาทิ้ง ซึ่งถือว่าไม่เหมาะสม และก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม หากนำกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์ จะเป็นการลดมลภาวะและเพิ่มมูลค่าของกากขี้แป้งได้ โดยการนำกากขี้แป้งซึ่งมีธาตุอาหารหลักที่สำคัญของพืชบางชนิดมาแปรสภาพด้วยการผสมกับกากอินทรีย์ พวกมูลสัตว์ รำข้าว หรือขี้เลื่อย ร่วมกับการใช้จุลินทรีย์กลุ่มที่มีประสิทธิภาพ (EM) หมักในสภาวะที่เหมาะสม แล้วใช้เป็นสารบำรุงดิน ซึ่งจะช่วยปรับสภาพดินที่เสื่อมสภาพให้มีความอุดมสมบูรณ์กลับคืนมา และรักษาสภาพดินให้คงความอุดมสมบูรณ์ ตามแนวเศรษฐกิจพอเพียง สร้างสิ่งประดิษฐ์ใหม่ เพิ่มมูลค่าของเสียที่ต้องการกำจัดทิ้ง ให้คุณประโยชน์ต่อเศรษฐกิจของประเทศ สามารถใช้แทนปุ๋ยเคมีทางการค้าที่จำหน่ายในท้องตลาดซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาการแปรสภาพกากขี้แป้งน้ำยางข้นโดยการหมักด้วยจุลินทรีย์

2.2 เพื่อศึกษาการนำกากขี้แป้งที่แปรสภาพมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

3. ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

การนำกากขี้แป้งที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษและเส้นใย ได้มีการศึกษาเพื่อนำมาใช้เป็นสารตัวเติม ในการผลิตเม็ดไฟเบอร์เทอร์โมพลาสติก พวกสไตรีนบิวทาไดอีนโคพอลิเมอร์ (Vinypal, 1967) พบว่าสามารถนำมาหล่อแบบพิมพ์ได้ สำหรับ Rene (1983) ได้ใช้กากขี้แป้งที่ตกตะกอนอยู่ตรงก้นภาชนะซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมน้ำยางสังเคราะห์และยางธรรมชาติ มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุหีบห่อ (packaging based on industrial wastes) นอกจากนี้ได้มีการศึกษาใช้กากที่เป็นของเสียจากสีที่ใช้กับยานยนต์มาใช้เป็นส่วนผสมสารตัวเติมในยางมะตอย (Gonzalez *et al*, 1998) ต่อมา มีการนำกากขี้แป้งมาใช้เป็นสารตัวเติมในส่วนผสมยางมะตอย (Ratnasamy, 2002) โดยการนำมาผสมกับผงหิน กรวด ทราย และเซลลูโลส (ไฟเบอร์ของพวกน้ำมันปาล์ม)

เสาวนีย์ และคณะ (2548) ได้ทดลองนำกากขี้แป้งที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มาใช้เป็นสารตัวเติมในน้ำยางธรรมชาติและซีเมนต์ โดยแปรปริมาณของกากขี้แป้งที่ระดับต่างๆ และศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางฟิกส์ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกากขี้แป้ง ทำให้การเซ็ทตัวและการหดตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความต้านทานต่อแรงกดมีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้กากขี้แป้งมาเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยแปรปริมาณกากขี้แป้งที่ระดับ 20-60 phr พบว่า ยางวัลคาไนซ์มีสมบัติทางฟิสิกส์ไม่ดี หลังการบ่มเร่งยาง สมบัติจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก

มีการศึกษาสมบัติของกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น พบว่าสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารปรับสภาพดินได้ โดยปี 2543 วราศรี ได้วิเคราะห์ธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ N, P, K, Mg และ Zn พบว่าธาตุอาหาร N, P ในรูป P_2O_5, K ในรูป K_2O, Mg, Zn มีปริมาณอยู่ในช่วง 2.06-2.14, 19.6-21.6, 1.8-2.1, 5.31-7.56, 1.01-0.51 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ได้นำกากขี้แป้งมาปรับสภาพดินหรือทำเป็นปุ๋ยแห้ง มี สามารถปลูกหญ้านวลน้อยให้เจริญเติบโตได้ดี ช่วยทำให้ดินมีค่า pH เป็นกลาง และพบว่ากากขี้แป้งมีสภาพไม่คงตัวสามารถถูกชะล้างได้ง่าย

เสาวนีย์ และคณะ (2547) พบว่ากากขี้แป้งมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของสารอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของต้นไม้ ประกอบด้วยธาตุ N, P, K, Mg, Zn และ Ca สามารถละลายน้ำได้ค่อนข้างต่ำ ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นปุ๋ยโดยตรง สามารถนำกากขี้แป้งมาย่อยสลายด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นเป็นแนวทางเตรียมปุ๋ยเหลวได้ ธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดในกากขี้แป้งแห้ง 3 อันดับแรก คือ P, Mg, และ N มีปริมาณ 14.69%, 12.24% และ 3.31% ตามลำดับ ธาตุที่มีอยู่ในกากขี้แป้งสามารถละลายในน้ำได้มากที่สุด 3 อันดับแรก คือ Mg, N และ K มีปริมาณ 3.90%, 0.26% และ 0.25% ตามลำดับ

ปุ๋ยเคมี ใช้ติดต่อกันเป็นเวลานาน จะทำให้สภาพดินเสื่อมโทรม ผลผลิตที่ได้ไม่เพิ่มขึ้นและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทำให้สมบัติทางกายภาพทางเคมีของดินดีขึ้นและทำให้ผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้น (Yaduvanshi, 2003) จึงมีการใช้วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ เพื่อใช้ปลูกพืชทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี โดย Courtney and Mullen (2008) ได้นำกาก

อินทรีย์เหลือใช้จากการเกษตรประเภทเห็ด มาทำเป็นปุ๋ยหมัก แล้วนำมาปลูกข้าวบาร์เลย์ พบว่าข้าวบาร์เลย์ มีการเจริญเติบโตดี อินทรียวัตถุและปริมาณธาตุอาหารในดินมีค่าเพิ่มขึ้น

อุไรวรรณ (2545) ได้ใช้กากตะกอนของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลเป็นปุ๋ยอินทรีย์ และใช้เป็นสารปรับปรุงดินในเหมืองแร่ร้าง โดยใช้ดินผสม4 กิโลกรัม ผสมขุยมะพร้าว 15% กากตะกอนของเสีย 1% สามารถปลูกข้าวโพดหวานได้ผลดีที่สุด พบว่าดินมีค่า pH ลดลง ค่าการนำไฟฟ้า ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพิ่มขึ้น และไนโตรเจนมีปริมาณการปลดปล่อยออกมามากที่สุดในสัปดาห์แรกของการหมัก

วลัยพร (2547)ได้นำกากขี้แป้งของเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น มาใช้ประโยชน์ร่วมกับกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง เพื่อทำเป็นวัสดุบำรุงดินสำหรับการเกษตรกรรม พบว่ากากขี้แป้งสามารถใช้ปลูกพืชกระถาง ผักกาดหอม มะเขือเทศ และข้าวได้ โดยใช้อัตราส่วนผสมดิน : กากขี้แป้ง : กากตะกอน = 1:3:1 พบว่าสามารถใช้ปลูกพืชได้ดีเช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยเคมี ธาตุอาหารในดินหลังการปลูกมีไนโตรเจนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,119.0-1,132.5 mg/kg ฟอสฟอรัสมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 297.6-310.9 mg/kg และโพแทสเซียมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 366.0-384.5 mg/kg ไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืช และพบว่ามีสังกะสีในดินอยู่ในช่วง 0.4-1.6 mg/kg ซึ่งเป็นปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร (ไม่เกิน 280-300 mg/kg)

วิภาพรรณ (2550) ได้วิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหาร N, P ในรูป P_2O_5 , K ในรูป K_2O ในกากขี้แป้งอินทรีย์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น พบว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.01-2.26, 26.31-46.79 และ 0.55-0.72 ในกากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำร้อยละ 3.54-5.24, 3.16-4.27, 0.21-0.30 ในกากน้ำมันปาล์ม (ดีแคนเตอร์) ร้อยละ 1.01-1.33, 0.30-0.7 และ 0.53-0.10 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ นำกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น กากอินทรีย์จากการแปรรูปสัตว์น้ำและน้ำมันปาล์ม ผสมร่วมกับเส้นใยปาล์มและเศษกระดาษสำนักงานอย่างละร้อยละ 20 พบว่าสามารถปลูกหญ้านวลน้อยได้ดี

การเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เช่น การเติมมูลไก่ ขี้เลื่อย และรำข้าว ทำให้สมบัติทางกายภาพทางเคมีของดินดีขึ้น โดยการเติมมูลไก่ และรำข้าวซึ่งเป็นสารที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงทำให้พืชสามารถได้รับไนโตรเจนอย่างเพียงพอ ส่วนขี้เลื่อยเป็นแหล่งที่มีคาร์บอนสูงอยู่ในดินได้นานและมีการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชอย่างช้าๆ (กรมปศุสัตว์, 2550) แต่การใช้อินทรียวัตถุเหล่านี้จะเห็นผลช้าและยังไม่เพียงพอสำหรับการเจริญของพืช จึงได้มีการประยุกต์นำจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) มาใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และอนินทรีย์ในการเกษตร เพื่อเพิ่มธาตุอาหารและช่วยให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารจากแหล่งธาตุอาหารให้กับพืชได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

EM **(effective microorganisms)** เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ประกอบด้วยจุลินทรีย์หลัก 5 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์พวกเชื้อราที่มีเส้นใย จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง จุลินทรีย์ที่ใช้หมัก จุลินทรีย์พวกตรึงไนโตรเจนและจุลินทรีย์ผลิตกรดแลกติก

Terou Higa (2006) แห่งมหาวิทยาลัยริวกิว โอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น ได้ใช้เทคนิคทางชีวภาพ โดยได้รวบรวมจุลินทรีย์กลุ่มที่มีประสิทธิภาพ (Effective microorganisms) ซึ่งมีทั้งจุลินทรีย์ต้องการอากาศ (Aerobic bacteria) และจุลินทรีย์ไม่ต้องการอากาศ (Anaerobic bacteria) โดยแบ่งเป็น 5 กลุ่ม คือ เชื้อรา จุลินทรีย์หมัก จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน และ จุลินทรีย์ผลิตกรดแลคติก โดยจุลินทรีย์ที่นำมาใช้จะเรียกว่าหัวเชื้อ ใช้สำหรับย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ มีกากน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ หลังการหมักและย่อยสลายสารอินทรีย์ จะพบสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมน เอนไซม์ สามารถใช้เป็นปุ๋ยน้ำชีวภาพได้ ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ในปี 1999 ที่ญี่ปุ่นมีการจดสิทธิบัตร (JP 11304284) โดย Kenro ได้ออกแบบเพื่อหมักกากขี้แป้งด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพที่ความคุมอุณหภูมิด้วยไอน้ำ ใช้เป็นปุ๋ย ในปีเดียวกันมีการค้นพบและจดสิทธิบัตรในจีน (CN 1225351) เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยี โดย Guilan ได้ผลิตปุ๋ยจากสารอินทรีย์และอนินทรีย์โดยการใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ มีการรายงานจากองค์การวิจัยการใช้เทคโนโลยีของ EM ในกลุ่มประเทศตะวันออกกลางและเอเชียกลาง (EM Research Organization, 2003-a) ว่า การย่อยสลายกากน้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum sludge)โดยใช้ EM เทคโนโลยี พบว่าพิษของโลหะถูกขจัดไป แล้วนำมาใช้ปลูกพืชทางเกษตร เช่น หัวหอมในปากีสถาน (EM Research Organization, 2003-b) มีการคิดค้น และจดสิทธิบัตร (EA5716) โดย Abduazizov ได้ใช้จุลินทรีย์ผสมเพื่อทำปุ๋ยในระดับอุตสาหกรรม ด้วยการหมักในระบบที่ใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ มีสารอาหารที่ให้พลังงาน คือ แป้งข้าวสาลี 10-15, รำ 10-15, เกลือของสารโลหะ 1.5-3.0, น้ำตาล 10-15 และน้ำผึ้ง 10-12 กรัม/ลิตร สำหรับ Khaliq และคณะ (2006) ได้ศึกษาการใช้สารอาหารชนิดอินทรีย์ และ อนินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ กลุ่มที่มีประสิทธิภาพ ใช้เป็นปุ๋ยในการปลูกฝ้าย พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของฝ้ายได้ดี

กากขี้แป้งเหลือทิ้งจากเบนทอไนต์ มีการนำมาใช้ถมที่หรือกองทิ้งไว้ให้ย่อยสลายเอง พบว่ามีกลิ่นเหม็น ทำให้เกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อม และสุขภาพของชุมชน รวมทั้งขี้แป้งจะติดไฟง่าย ดังนั้น กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2550) ได้ใช้จุลินทรีย์สารเร่ง พด 1 ในการหมักขี้แป้งจากกากเหลือทิ้งเบนทอไนต์ ผสมแกลบดิบ เถ้าแกลบ มูลสัตว์แห้ง และปูนโดโลไมต์ ใช้เป็นส่วนผสมในดินทราย เพื่อปรับปรุงดินทรายเสื่อมโทรม ให้สามารถใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดิน แก้ปัญหากากเหลือทิ้ง และช่วยรักษาสภาพแวดล้อม ทำนองเดียวกันกากขี้แป้งที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นส่วนใหญ่จะกำจัดทิ้งไปโดยการเผาหรือใช้ถมที่ มีกลิ่นเหม็นจากสารที่เจือปน และอาจเกิดการบูดเน่ามีหนอนขึ้น จึงสร้างปัญหาทำลายบรรยากาศ

EM สามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ทำให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพและสามารถกลิ่นเหม็นจากน้ำสียลดลงได้ กนัฐยาและอุบล (2549) ได้ใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ย่อยสลายกากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้นในจังหวัดปัตตานีและสงขลา พบว่าหลังจากย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ เป็นเวลา 14 วัน ปริมาณของแข็งในกากขี้แป้งมีค่าลดลง

มีโรงงานรับซื้อยางพาราได้นำเทคโนโลยี EM มาใช้ในกระบวนการแช่ยาง ล้างยาง บำบัดน้ำเสีย พบว่าสามารถช่วยลดกลิ่นในโรงงานได้ (อีเอ็ม คิวเซ, 2546)

จรัญ (2542) ได้ศึกษาใช้ EM ในสวนยางพารา และเปรียบเทียบผลผลิตน้ำยางพาราที่ใช้ปุ๋ยหมัก EM กับปุ๋ยเคมี พบว่าภายในระยะเวลา 1 ปี ต้นยางที่ได้รับ EM ให้ผลผลิตน้ำยางพาราสูงกว่า [1] และได้วิเคราะห์ทางผลการลงทุน พบว่าการใช้ EM มีราคาต้นทุนลดลงมากกว่า คือการใช้ EM มีราคาทุน 2240 บาทต่อตัน และการใช้ปุ๋ยเคมีจะมีต้นทุน 8000 บาทต่อตัน

มีรายงาน EM สามารถนำไปใช้ในการปรับกลิ่นได้โดยโรงงานรับซื้อยางพาราได้นำเทคโนโลยี EM มาใช้ในกระบวนการแช่ยาง ล้างยาง บำบัดน้ำเสีย พบว่าสามารถช่วยลดกลิ่นในโรงงานได้ (บริษัท อี เอ็ม คิว เซ, 2546) หากสามารถปรับลดกลิ่น และนำมาหมักด้วย จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) เพิ่มอาหารพวกจุลินทรีย์ มูลสัตว์แห้ง รำข้าว หรือขี้เลื่อย ทำให้ส่วนผสมที่หมักได้มีปริมาณมากขึ้น สามารถนำอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมมาใช้เป็นสารปรับสภาพดินหรือบำรุงต้นไม้ ใช้เป็นสารบำรุงดิน หรือปุ๋ยแห้ง (โบกาฉิมูลสัตว์) จะเป็นการนำแปรสภาพกากขี้ที่ไม่มีประโยชน์ให้นำมาใช้ทางด้านการเกษตรได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะนำกากขี้แป้งมาแปรสภาพให้มีคุณประโยชน์ โดยวิธีการเพิ่มสารอาหารลงในการขี้แป้งด้วยวิธีการหมักกากขี้แป้งด้วยจุลินทรีย์ กลุ่มที่มีประสิทธิภาพ (Effective microorganisms) เพิ่มอาหารพวกจุลินทรีย์ มูลสัตว์แห้ง รำข้าว หรือขี้เลื่อย แล้ววิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุอาหารที่มีอยู่และเปรียบเทียบกับสารธาตุอาหารที่มีอยู่เดิม รวมถึงการทดลองนำมาใช้ทางการเกษตร

4. วิธีการ

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของกากอินทรีย์ที่ใช้ร่วมกับกากขี้แป้ง

การเก็บตัวอย่างกากขี้แป้งจากตัวแทนโรงงานน้ำยางข้น 3 แห่ง ในเขตพื้นที่จังหวัดปัตตานีและสงขลาโดยเก็บตัวอย่างจากจุดที่เกิดกากขี้แป้ง คือ ถังพักน้ำยางและถังปั่นน้ำยาง ขี้เลื่อยไม้ยางพารา รำข้าว และมูลสัตว์เก็บตัวอย่างจากฟาร์มสัตว์เขตท้องถิ่นภาคใต้ นำตัวอย่างมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพและเคมีตามวิธีการของ AOAC (1990) และ APHA (1992) พารามิเตอร์ที่ศึกษาและวิธีการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 1

---

[1] ต้นยางที่ใช้ EM ให้น้ำยาง 288 กิโลกรัม/20 ไร่/วัน ส่วนต้นยางที่ได้รับปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตน้ำยางพารา 180 กิโลกรัม/20 ไร่/วัน

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ศึกษาและวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
1. Solid Content	Gravimetric method
2. Volatile Solid	Gravimetric method
3. pH	pH meter
4. Density	Weight / Volume
5. Total Nitrogen (N)	Kjeldahl method
6. Phosphorus ในรูปของ P_2O_5	Spectrophotometer molybdovanadophosphate method
7. Potassium ในรูปของ K_2O	Atomic absorption spectrophotometer
8. Magnesium (Mg)	Atomic absorption spectrophotometer
9. Zinc (Zn)	Atomic absorption spectrophotometer

หมายเหตุ รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก 1-2

2 การเตรียมจุลินทรีย์ (EM) ขยายส่วน

นำหัวเชื้อจุลินทรีย์ (EM) มาขยายส่วนผสมกากน้ำตาลและน้ำ ใช้สัดส่วน EM : กากน้ำตาล : น้ำ = 1:1:20 โดยน้ำหนัก ในภาชนะปิด เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ตรวจวัดค่าพีเอช การนำไฟฟ้า และอุณหภูมิ

3. ศึกษากลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของ EM

วิเคราะห์กลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบ EM โดยตรวจสอบรูปพรรณสัณฐาน (Morphology) ชนิด และจำนวนของจุลินทรีย์ โดยวิธีเขย่าจานอาหาร (pour plate) เลี้ยงเชื้อบนอาหาร NA สำหรับแบคทีเรีย และ อาหาร PDA สำหรับยีสต์ และเชื้อรา ดูรายละเอียดการวิเคราะห์ในภาคผนวก 3

4. ศึกษาการปรับลดกลิ่นเหม็นที่รบกวนจากตัวอย่างของกากขี้แป้ง

4.1 ปรับค่าพีเอชของตัวอย่างกากขี้แป้งด้วย 5% กรดอะซิติก ให้มีพีเอชประมาณ 5-6

4.2 ผสมกากขี้แป้ง กับ EM ขยายส่วนในภาชนะปิด ใช้อัตราส่วนกากขี้แป้ง : EM ดังนี้ 3:1, 2:1, 1:1, 1:1.5, 1:2 (ทดลอง 2 ซ้ำ) เป็นเวลา 2 สัปดาห์

4.3 วัดค่า พีเอช ค่าการนำไฟฟ้าของกากขี้แป้ง ทุกวัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์

4.4 เก็บตัวอย่างกากขี้แป้งผสม EM ขยายส่วน เพื่อทดสอบกลิ่นด้วยวิธีการดมกลิ่น

หมายเหตุ ใช้ผู้ทดสอบ 40 คน เพื่อให้คะแนนในการดมกลิ่น ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ตามแบบสอบถาม (ภาคผนวก 4)

5. ศึกษาการแปรสภาพกากขี้แป้งโดยการหมัก ด้วยจุลินทรีย์

5.1 ปรับค่าพีเอชของตัวอย่างกากขี้แป้งด้วย 5% กรดอะซิติก ให้มีพีเอชประมาณ 5-6

5.2 หมักกากขี้แป้งกับ EM ขยายส่วนและกากอินทรีย์ คือ มูลไก่ ขี้เลื่อยและรำข้าว (อัตราส่วน 1:1:1 โดยปริมาตร) คลุกให้เข้ากัน ใช้อัตราส่วนกากขี้แป้ง (S): กากอินทรีย์ (O): EM คือ 3:1:1, 3:2:1,

4:1:1, 4:2:1, 4:3:1 โดยปริมาตร ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีความชื้นเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ประมาณ 50-60% (ดังภาคผนวก 5) (Gajalakshmi and Abbasi, 2008) หมัก 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 แบบไร้อากาศในถุงพลาสติก กวนหรือเขย่าส่วนผสมในภาชนะทุกวัน

แบบที่ 2 แบบมีอากาศบรรจุในกระสอบวางบนพื้นไม้ คลุกเคล้าด้วยการกวนทุกวัน

5.3 เตรียมชุดทดลองกลุ่มควบคุม โดยใช้น้ำกลั่นแทนจุลินทรีย์ EM ใช้อัตราส่วนและสภาวะเดียวกันชุดการทดลองของกลุ่มตัวอย่าง ข้อที่ 5.2

5.4 ตรวจวัดค่าพีเอช การนำไฟฟ้า และอุณหภูมิของตัวอย่างหมัก เป็นเวลา 24 วัน เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการหมัก

5.5 ตรวจสอบสมบัติกากขี้แป้งที่แปรสภาพ

วิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา โดยตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ โดยวิธี pour plate

วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารตามวิธีการของ AOAC (1990) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

6. ศึกษาการใช้ประโยชน์กากขี้แป้งที่แปรสภาพ เป็นสารบำรุงดินในการปลูกพืช

6.1 ใช้อัตราส่วนของกากขี้แป้ง: กากอินทรีย์ผสม : EM ขยายส่วน คือ 3:1:1, 3:2:1, 4:1:1, 4:2:1 และ 4:3:1 โดยปริมาตรในระบบเปิดเป็นสารบำรุงดินปลูกต้นทานตะวัน ด้วยการนำมาผสมกับดิน[2] ทำการทดลอง 3 อัตราส่วน คือ สารบำรุงดินต่อดินเท่ากับ 1:2, 1:3 และ 1:4 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ต้นทานตะวันมีการรอดชีวิตร้อยละ 95-100 (ภาคผนวก 6) โดยให้มีปริมาตรรวมเท่ากับ 2 ลิตร

6.2 ปลูกต้นทานตะวัน *Heliaths annus* L.พันธุ์ Sun-smile ชุดการทดลองละ 10 ต้น เปรียบเทียบผลการปลูกกับกลุ่มควบคุม คือ ที่ใส่ปุ๋ยเคมี * และ กลุ่มควบคุมที่ใช้ดินทราย

<u>หมายเหตุ</u> เติม ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่โดยใส่รองพื้นก่อนปลูกและ

เติม ปุ๋ยยูเรีย 25 กิโลกรัม ต่อไร่ เมื่อต้นทานตะวันอายุได้ 30 วัน

- ติดตามการเจริญเติบโตทุกๆ 10 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน

- ติดตามการเจริญเติบโต โดยวัดความสูงต้นห่างจากดิน 1 เซนติเมตร วัดขนาดของลำต้น (เส้นรอบวง) ตรงตำแหน่งเหนือข้อแรก (บริเวณที่ใบเลี้ยงหลุดออก) ของแต่ละต้น และวัดจำนวนใบ

- ตรวจสอบน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ของต้นทานตะวันหลังจากเก็บเกี่ยวในวันที่ 60

6.3 วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินและก่อนและหลังการทดลองและในต้นทานตะวันหลังจากเก็บเกี่ยวในวันที่ 60 โดยวิเคราะห์ธาตุอาหาร ดังนี้

- Total Kjeldahl Nitrogen
- Total Phosphorus
- Total Potassium
- Magnesium และ Zinc

---

[2] วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ตามวิธีการของ AOAC (1990) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

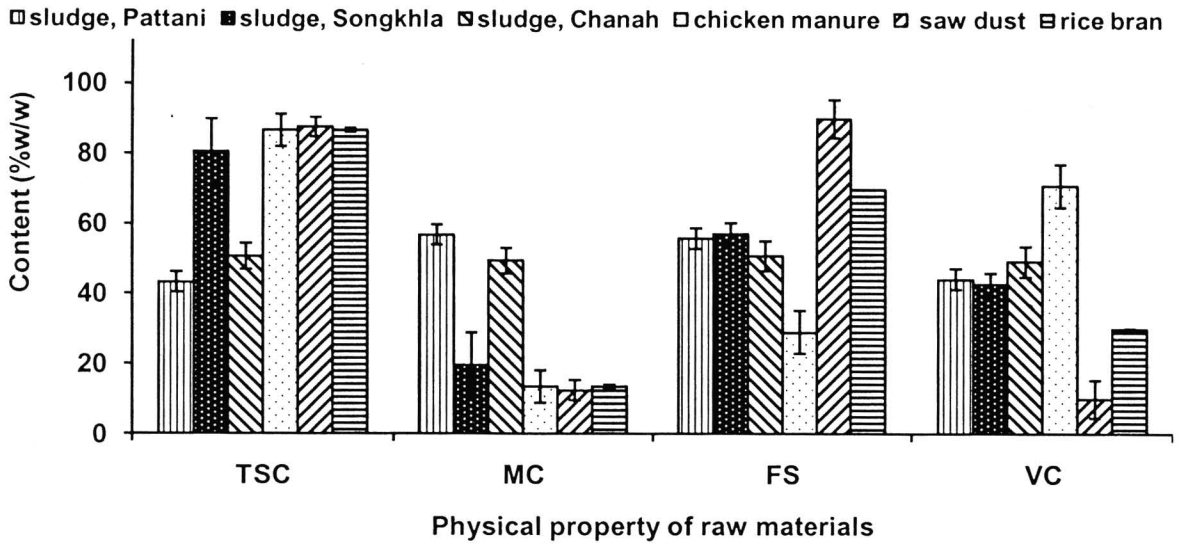
5. ผลการวิจัย

5.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกากขี้แป้งและกากอินทรีย์

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีเบื้องต้นของตัวอย่างกากขี้แป้งจากตัวแทนโรงงานน้ำยางข้น 3 โรงงาน คือ บริษัทถาวรอุตสาหกรรมจำกัด จังหวัดสงขลา บริษัทจะนะอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจำกัด จังหวัดสงขลา และบริษัทปัตตานีอุตสาหกรรมจำกัด จังหวัดปัตตานี เปรียบเทียบกับสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของกากอินทรีย์เหลือใช้ทางการเกษตร 3 ชนิด คือ มูลไก่ ขี้เลื่อย และ รำข้าว โดยทำการวัดค่าพีเอช (pH) ความหนาแน่น ความชื้น (MC) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC) ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (VC) และปริมาณของแข็งที่คงอยู่ (FS) ดังแสดงตารางที่ 2 และรูปที่ 1

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีเบื้องต้นของตัวอย่างกากขี้แป้งและกากอินทรีย์

ตัวอย่าง	พีเอช (pH)	ความหนาแน่น (g/mL)	ของแข็งทั้งหมด (%)	ความชื้น (%)	ของแข็งที่ระเหยได้ (%)	ของแข็งที่คงอยู่ (%)
กากขี้แป้ง (S)						
จ. ปัตตานี	9.36 ± 0.07	1.02 ± 0.01	43.23± 2.84	56.77±2.84	44.20 ± 2.96	55.80 ± 2.96
จ. สงขลา	7.27 ± 0.05	1.10 ± 0.02	80.40 ± 9.27	19.60±9.27	42.81 ± 3.09	57.19 ± 3.09
อ. จะนะ	9.63 ± 0.13	1.26 ± 0.01	50.59 ± 3.66	49.41±3.66	50.76 ± 4.33	49.24 ± 4.33
กากอินทรีย์						
มูลไก่ (CM)	5.58 ± 0.04	1.25 ± 0.02	86.55 ± 4.70	13.45±4.70	90.01 ± 5.43	9.99 ± 5.43
ขี้เลื่อย (saw dust)	5.82 ± 0.04	0.95 ± 0.06	87.53± 2.83	12.47±2.83	71.01 ± 6.14	28.99 ± 6.14
รำข้าว (rice bran)	6.26 ± 0.03	1.12 ± 0.01	86.51± 0.57	13.41 ± 0.57	30.11 ± 0.01	69.89 ± 0.01



รูปที่ 1 สมบัติทางกายภาพของกากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆ และกากอินทรีย์ 3 ชนิด

5.1.1 ค่าพีเอช

ค่าพีเอชของกากขี้แป้งอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างเป็นกลางและเป็นเบส (pH=7.27-9.63) เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตน้ำยางข้นมีการเติมแอมโมเนียลงไปในน้ำยางเพื่อรักษาความเสถียรของน้ำยาง หลังทำการปั่นเหวี่ยงกากขี้แป้งที่แยกตัวออกมา กากขี้แป้งที่ได้จึงมีสภาพเป็นเบส แต่แอมโมเนียที่เติมลงไปสามารถระเหยออกได้ ทำให้มีพีเอชลดลงจนกระทั่งค่อนข้างเป็นกลาง ส่วนมูลไก่ ขี้เลื่อย และรำข้าวมีค่าพีเอชในช่วงที่เป็นกรดอ่อน มีค่าพีเอชเท่ากับ 5.82, 5.58 และ 6.26 ตามลำดับ

5.1.2 ความหนาแน่น

น้ำยางสดโดยทั่วไปมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.975-0.980 g/mL อนุภาคยางมีความหนาแน่น 0.92 g/mL (เสาวนีย์, 2543) เมื่อทำการเซนตริฟิวส์ด้วยความเร็ว 2000 รอบ/นาที ทำให้สามารถแยกส่วนของอนุภาคยาง เซรุ่มและกากขี้แป้งแยกออกจากกัน จะเห็นว่าความหนาแน่นของกากขี้แป้งจาก 3 โรงงานมีค่าอยู่ในช่วง 1.02-1.26 g/mL ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำยาง เช่น เรซิน โลหะหนัก แป้ง โปรตีน ไขมัน และสารเคมีที่เติมลงไปก่อนนำน้ำยางมาผลิตเป็นน้ำยางข้น เช่น NH_3, TMTD, ZnO และ DAHP เมื่อทำการเซนตริฟิวส์ส่วนประกอบของกากขี้แป้งจะมีลักษณะเป็นโคลนตมสีเหลืองขาวหรือสีขาวอมเทา ซึ่งเป็นสารพวกแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และขี้เถ้า ทำให้กากขี้แป้งมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำยางประมาณ 12-12.5% ส่วนมูลไก่ และรำข้าว มีความหนาแน่น 1.25 และ 1.12 g/mL ตามลำดับ ซึ่งมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับกากขี้แป้ง สำหรับขี้เลื่อยจากต้นยางพารา มีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ มีค่าเท่ากับ 0.95 g/mL เนื่องจากต้นยางพารามีองค์ประกอบที่สำคัญส่วนใหญ่ คือ คาร์บอน ส่วนธาตุอาหารชนิดอื่นมีปริมาณน้อยมาก

5.1.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมดและความชื้น

กากขี้แป้งมีของแข็งทั้งหมด (TSC) อยู่ในช่วงร้อยละ 43.23-80.40 และความชื้น (MC) มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 19.60-56.77 ของแข็งส่วนใหญ่ประกอบด้วยฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการเติม DAHP เพื่อตกตะกอนไอออนแมกนีเซียมในน้ำยาง ดังสมการ

$$Mg^{++} + NH_3 + HPO_4^{=} \longrightarrow MgNH_4PO_4 \downarrow$$

องค์ประกอบอื่นที่มีในกากขี้แป้งแป้ง ได้แก่ โปรตีน และไขมัน มีความชื้นค่อนข้างสูง เนื่องจากตัวอย่างกากขี้แป้งที่นำมาวิเคราะห์เป็นกากขี้แป้งสดที่ได้จากกระบวนการผลิตในโรงงาน มีน้ำและแอมโมเนียเจือปนอยู่ปริมาณค่อนข้างสูง ส่งผลให้มีความชื้นสูง โดยพบว่ากากขี้แป้งจากปัตตานีและจะนะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำ และความชื้นสูง (ร้อยละ 43.23-50.59, 56.77-49.41 ตามลำดับ) ซึ่งกนัฐยาและอุบล (2549) และ วิภาพรรณ (2550) ได้ศึกษาพบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมด มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 58.5-56.1 และ 35.83-36.82 ตามลำดับ เนื่องจากโรงงานที่ผลิตมีเทคนิคการเก็บกากขี้แป้งออกมาจากระบบการผลิตที่ต่างกัน ส่งผลให้ของแข็งทั้งหมด ในกากขี้แป้งมีปริมาณแตกต่างกัน ส่วนมูลไก่ ขี้เลื่อย และรำข้าวเป็นตัวอย่างแห้ง มีสารอินทรีย์ของแข็งทั้งหมด และความชื้นปริมาณค่อนข้างใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 86.51-87.53, 12.47-13.49 โดยน้ำหนักตามลำดับ ความชื้นมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 15 สำหรับของแข็งทั้งหมดสามารถแบ่งออกเป็นปริมาณของแข็งที่ระเหยได้และของแข็งที่คงอยู่

5.1.4 ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ และของแข็งที่ระเหยได้

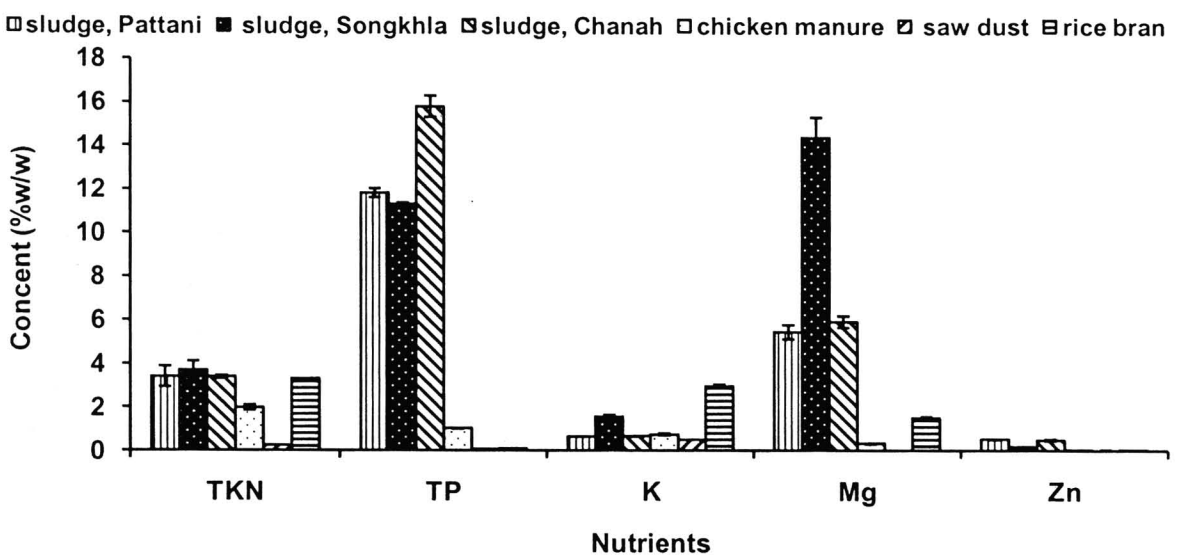
ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ (FS) ในกากขี้แป้งส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารพวกขี้เถ้า คาร์บอนและโลหะหนักที่เหลือจากการเผาที่อุณหภูมิ $550 \pm 50^{\circ}C$ ส่วนของแข็งที่ระเหยได้ (VC) เป็นสารอินทรีย์อื่นที่เจือปนอยู่จะเกิดการระเหยออกไป ในมูลไก่ พบว่าปริมาณของแข็งที่คงอยู่มีปริมาณน้อยที่สุด เนื่องจากองค์ประกอบของมูลไก่ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ ส่วนขี้เลื่อยมีปริมาณของแข็งที่คงอยู่ต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 10 และของแข็งที่ระเหยได้ มีปริมาณสูงสุด คือ ร้อยละ 90 เนื่องจากขี้เลื่อยประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน หลังการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง จะกลายเป็นขี้เถ้า จึงมีของแข็งที่คงอยู่ปริมาณต่ำ

5.1.5 ปริมาณธาตุอาหาร

กากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆและกากอินทรีย์ 3 ชนิด คือ มูลไก่ (CM) ขี้เลื่อย (saw dust) และ รำข้าว (rice bran) นำมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสี และแมกนีเซียม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 2

ตารางที่ 3 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสี และแมกนีเซียม

ตัวอย่าง	ปริมาณธาตุอาหาร (%โดยน้ำหนัก)				
	ไนโตรเจน (TKN)	ฟอสฟอรัส (TP)	โพแทสเซียม (K)	แมกนีเซียม (Mg)	สังกะสี (Zn)
ากขี้แป้ง (S)					
ปัตตานี	3.40 ± 0.47	11.81 ± 0.21	0.64 ± 0.01	5.44 ± 0.34	0.51 ± 0.03
สงขลา	3.71 ± 0.40	11.32 ± 0.05	1.56 ± 0.08	14.34 ± 0.95	0.16 ± 0.01
. จะนะ	3.38 ± 0.07	15.79 ± 0.50	0.67 ± 0.01	5.91 ± 0.26	0.48 ± 0.05
ากอินทรีย์					
ลไก่ (CM)	1.98 ± 0.11	1.02 ± 0.01	0.73 ± 0.04	0.30 ± 0.01	0.023± 0.001
เลื่อย (saw dust)	0.21 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.49 ± 0.01	0.002 ± 0.001	0.004 ± 0.001
าข้าว (rice bran)	3.30 ± 0.01	0.09 ± 0.01	2.96 ± 0.10	1.49 ± 0.09	0.020 ± 0.001



รูปที่ 2 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสีและแมกนีเซียม ของตัวอย่างกากขี้แป้งจากแหล่งต่างๆและกากอินทรีย์ 3 ชนิด

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุอาหารในกากขี้แป้งโรงงานน้ำยางข้นจาก 3 โรงงาน ในเขตจังหวัดปัตตานีและจังหวัดสงขลา พบว่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียม มีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยตัวอย่างกากขี้แป้งมีฟอสฟอรัสทั้งหมดในปริมาณสูง คืออยู่ในช่วงร้อยละ 11.31-15.79 ซึ่งฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ได้มาจากการเติม DAHP (diammonium hydrogen phosphate) เพื่อตกตะกอนโลหะแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางสด ซึ่งได้จากต้นยางพาราก่อนที่จะนำมาผลิตเป็นน้ำยางข้น

ไนโตรเจนทั้งหมดในกากขี้แป้งมีปริมาณไม่แตกต่างกัน (ร้อยละ 3.40-3.70) ซึ่งธาตุไนโตรเจนจะเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำยาง รวมทั้งส่วนของแอมโมเนียที่รวมตัวกับแมกนีเซียม ซึ่งอยู่ในรูปตะกอนช่วงที่เติมสารตกตะกอนโลหะอิออนในน้ำยาง (DAHP)

โพแทสเซียมทั้งหมดจะเป็นองค์ประกอบของธาตุอาหารในดิน ซึ่งส่วนของรากจากต้นยางพาราดูดซึมมาเลี้ยงลำต้นมีมากเพียงพอ เหลืออยู่ในส่วนของน้ำยางหลังการเซนตริฟิวจ์ และธาตุโพแทสเซียมสามารถละลายน้ำออกไปด้วย จึงมีปริมาณค่อนข้างต่ำ (ร้อยละ 0.64–1.56)

ธาตุแมกนีเซียมของกากขี้แป้งในจังหวัดสงขลา มีปริมาณสูงกว่ากากขี้แป้งจากจังหวัดปัตตานี แมกนีเซียมในกากขี้แป้งมีปริมาณสูงร้อยละ 5.43-14.34 ส่วนสังกะสีในกากขี้แป้งจากจังหวัดปัตตานี มีปริมาณสูงกว่ากากขี้แป้งจากจังหวัดสงขลา เนื่องจากแหล่งที่มาของน้ำยางและกระบวนการผลิตน้ำยางข้นของแต่ละโรงงานมีกระบวนการที่แตกต่างกัน โดยสังกะสีในน้ำยางมาจากสารประกอบสังกะสี เช่น ZnO ที่เติมลงไปในน้ำยางเพื่อรักษาน้ำยาง แม้จะเติมในปริมาณน้อย (<0.02%) นอกจากนี้สังกะสีจะเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด (Teilnugutom, 2005) ที่มีอยู่ในเซลล์พืช ดังนั้นหลัง จากการเซ็นตริฟิวจ์ จึงพบสังกะสีในกากขี้แป้งในช่วงร้อยละ 0.16-0.50 ไอออนของสังกะสีที่มีอยู่ในน้ำยาง ทำให้อนุภาคยางจับตัว รวมทั้งสิ่งเจือปนที่เป็นของแข็งอื่นจะถูกแยกตัวลงสู่ก้นภาชนะจึงทำให้มีองค์ประกอบต่างๆ ตกตะกอนอยู่ร่วมกับกากขี้แป้ง

ปริมาณธาตุอาหารในกากขี้แป้งน้ำยางข้นจากเขตจังหวัดปัตตานีและสงขลา จะเห็นว่ามีปริมาณค่อนข้างสอดคล้องอยู่ในช่วงเดียวกับธาตุอาหารในกากขี้แป้งน้ำยางข้นที่ศึกษาโดยวิภาพรรณ และวราศรี วิภาพรรณ (2550) พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียม มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 1.01-2.26, 26.31-46.79 และ 0.55-0.72 ส่วน วราศรี (2543) พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมดโพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสีในกากขี้แป้ง มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 2.06-2.14, 19.6-21.6, 1.8-2.1, 5.31-7.56, 1.01-0.51 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารจะขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำยางสด และกระบวนการผลิตน้ำยางข้นในแต่ละโรงงาน

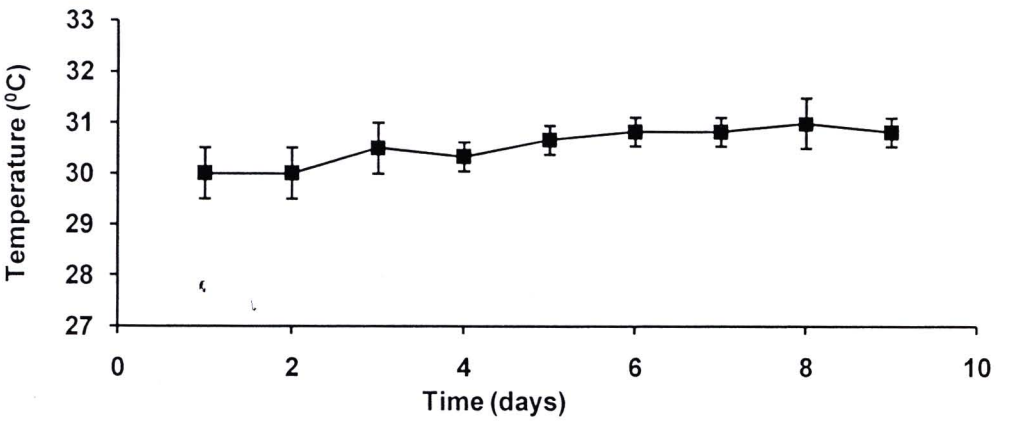
สำหรับกากอินทรีย์ 3 ชนิด คือ มูลไก่ ขี้เลื่อย และรำข้าว พบว่า รำข้าว มีธาตุอาหารปริมาณสูงที่สุด คือ ไนโตรเจนและโพแทสเซียม (มีค่าร้อยละ 3.33 และ 2.96) รองลงมา คือ มูลไก่ (มีปริมาณร้อยละ 1.98 และ 0.74) และขี้เลื่อย (มีปริมาณร้อยละ 0.21 และ 0.49) ตามลำดับ สำหรับมูลไก่มีปริมาณฟอสฟอรัส (ร้อยละ 1.01) และสังกะสี (ร้อยละ 0.023) สูงกว่ารำข้าวและขี้เลื่อย หากเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในกากขี้แป้ง กับกากอินทรีย์ทั้งสามชนิด พบว่า กากขี้แป้งมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และสังกะสี สูงกว่า มูลไก่ ขี้เลื่อย และ รำข้าว ส่วนรำข้าว มีธาตุโพแทสเซียมปริมาณมากกว่ากากขี้แป้ง ดังนั้นการเติมมูลไก่ ขี้เลื่อย และรำข้าว ลงในกากขี้แป้งหมัก จึงเป็นการเสริมธาตุอาหารที่จำเป็นในการแปรสภาพกากขี้แป้ง เพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินสำหรับการเจริญเติบโตของพืช

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

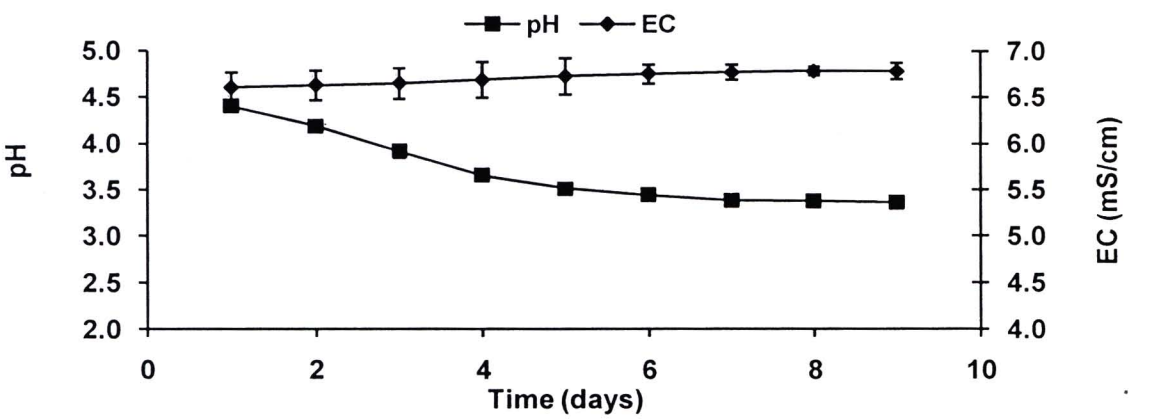
5.2 จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM)

5.2.1 จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพขยายส่วน

หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) นำมาขยายส่วนโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ EM ผสมกับกากน้ำตาลและน้ำในอัตราส่วน 1:1:20 ใส่ในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท ตรวจวัดค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ทุกวันเป็นเวลา 9 วัน ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4



รูปที่ 3 อุณหภูมิของ EM ขยายส่วนที่เวลาต่างๆ



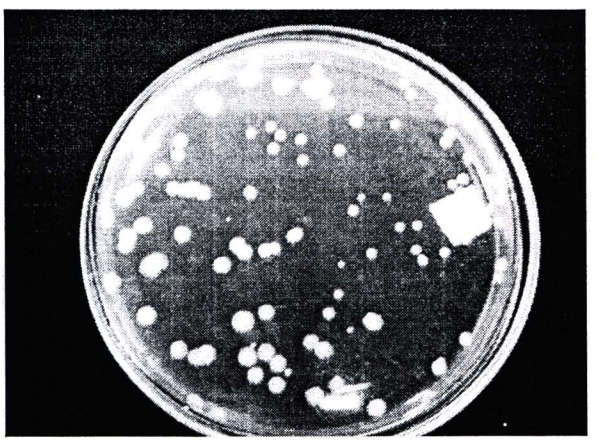
รูปที่ 4 ค่าพีเอช และการนำไฟฟ้า (EC) ของ EM ขยายส่วนที่เวลาต่างๆ

จากรูปที่ 3-4 แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลา 9 วันของการขยายส่วนหัวเชื้อ EM พบว่า สารละลาย EM ที่ขยายส่วนมีช่วงอุณหภูมิ และการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนพีเอชมีค่าลดลง เนื่องจากในช่วงเวลาของการขยายส่วนเชื้อจุลินทรีย์ EM มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น มีการใช้สารอาหารและปล่อยกรดอินทรีย์จากกระบวนการเมทาบอลิซึมออกมา ทำให้มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น พีเอชเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจาก 4.4 เป็น 3.4 และมีคงที่ในวันที่ 7 แสดงว่าการเจริญของจุลินทรีย์ EM เริ่มคงที่ด้วย โดยค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช คือ เมื่อค่าพีเอชลดลง (เป็นกรดมากขึ้น) ความสามารถในการแตกตัวเป็นไอออนจะเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

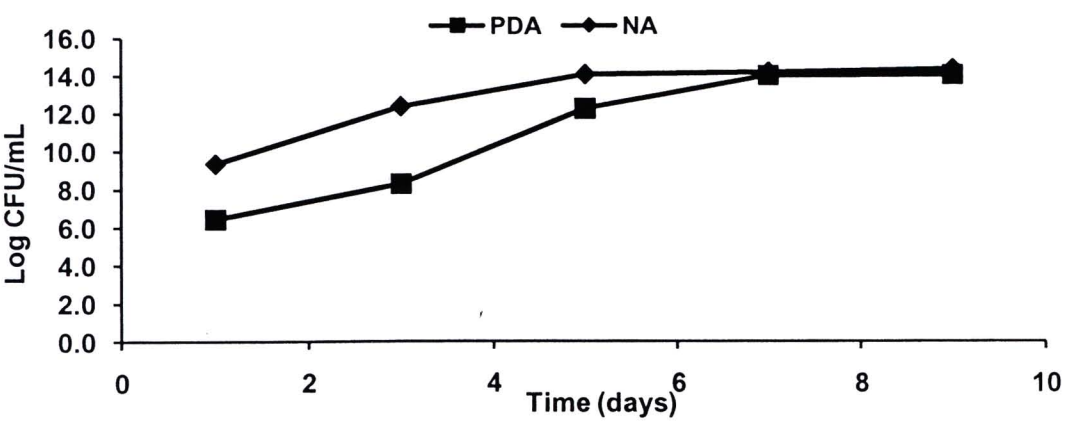
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 13 ธ.ค. 2555
เลขทะเบียน 246702
เลขเรียกหนังสือ

5.2.2 อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ EM

หัวเชื้อจุลินทรีย์ EM ผสมกับกากน้ำตาล และน้ำ อัตราส่วน 1:1:20 นำมาขยายส่วนเป็นเวลา 1 อาทิตย์ เก็บตัวอย่างมาศึกษาอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ ในอาหารเลี้ยงเชื้อสองชนิด คือ Nutrient agar (NA) และ Potato dextrose agar (PDA) โดยวิธี Viable plate count ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตด้วยการเขย่าจาน (pour plate) ให้โคโลนีมีความเจือจางที่ระดับระหว่าง 30-300 โคโลนี โดยแบคทีเรียจะเลี้ยงบนอาหาร Nutrient agar (NA) ส่วนยีสต์ และเชื้อรา เลี้ยงบนอาหาร Potato dextrose agar (PDA) ลักษณะเชื้อโคโลนีที่อยู่บนจานเพาะเชื้อ ดังแสดงในรูปที่ 5 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์จุลินทรีย์ต่อมิลลิลิตรของ EM ขยายส่วน ในรูป log Colony Forming Unit (จำนวนโคโลนีที่นับได้ในจานอาหาร, CFU/mL) ต่อเวลา ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 5 ตัวอย่างลักษณะโคโคนีเดี่ยวของจุลินทรีย์ EM

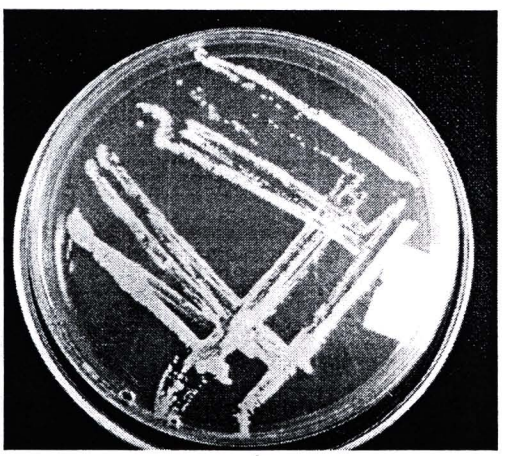


รูปที่ 6 จำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน (log CFU/mL) ในอาหาร PDA และ NA ที่เวลาต่างๆ

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่า ในช่วงเริ่มต้นจำนวนจุลินทรีย์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในอาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองชนิด คือ Nutrient agar (NA) และ Potato dextrose agar (PDA) ช่วงวันที่ 1-6 พบว่าจำนวนแบคทีเรียบนอาหาร Nutrient agar (NA) มีปริมาณมากกว่าจำนวนยีสต์ และเชื้อราที่เลี้ยงบนอาหาร Potato dextrose agar (PDA) เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียมีความสามารถในการแบ่งเซลล์ได้รวดเร็วกว่ายีสต์ และเชื้อรา และจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารที่เลี้ยงเริ่มมีปริมาณคงที่และค่อนข้างใกล้เคียงกันในวันที่ 7 แสดงว่าจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน เป็นเวลา 7 วันมีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เริ่มคงที่เหมาะกับการนำไปใช้งาน คือ ใช้หมักกากขี้แป้ง และกากอินทรีย์ ต่อไป

5.2.3 การแยกเชื้อจุลินทรีย์ให้เป็นเชื้อเดี่ยว

คัดเลือกโคโลนีเดี่ยว (pure culture) ที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยวิธีการขีดเชื้อที่คัดเลือกบนจานอาหาร (streak plate) สองชนิด คือ เชื้อแบคทีเรียใช้อาหาร NA ส่วนเชื้อยีสต์และเชื้อราใช้อาหาร PDA เพื่อให้ได้โคโลนีเดี่ยวๆ สำหรับนำไปตรวจสอบรูปร่างของจุลินทรีย์ต่อไป ตัวอย่างของ Streak plate ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การคัดแยกโคโลนีเดี่ยวโดยวิธีการ Streak plate

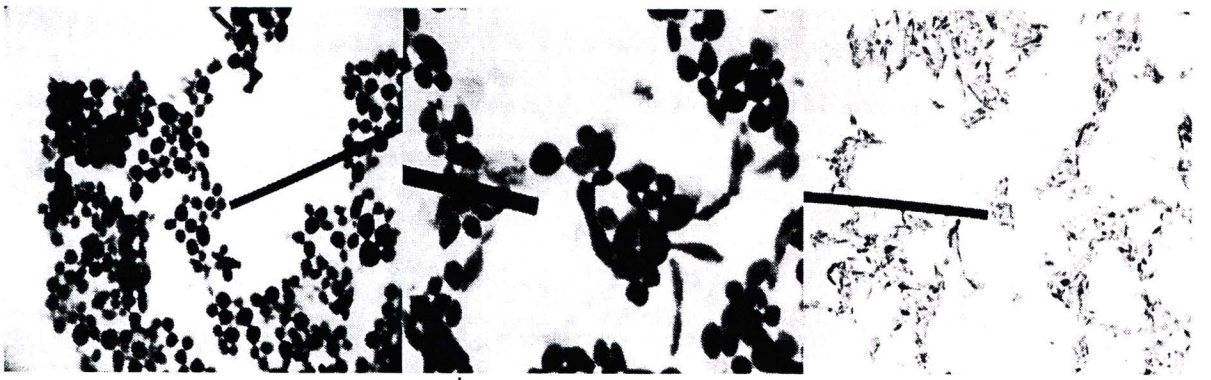
รูปร่างจุลินทรีย์ที่ได้จากโคโลนีเดี่ยว (pure culture)

ตรวจสอบชนิดจุลินทรีย์ของโคโลนีเดี่ยวที่ได้จากการคัดแยกตัวอย่าง EM ขยายส่วน โดยตรวจดูจากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายต่างๆ และศึกษารูปร่างแบคทีเรียโดยการย้อมสีแบบแกรม (Gram staining) พบว่า แบคทีเรียแกรมบวกจะย้อมติดสีม่วงของคริสตัลไวโอเลต แบคทีเรียแกรมลบย้อมติดสีแดงของสีซาฟรานิน สำหรับลักษณะและรูปร่างของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่คัดแยกได้จากการเลี้ยงเชื้อบนอาหาร PDA ดังตารางที่ 4 และรูปที่ 8-10 พบว่า ประกอบด้วยเชื้อ ยีสต์ แบคทีเรียรูปแท่ง แกรมลบ และเชื้อราชนิดต่างๆ ซึ่งในส่วนของเชื้อราไม่ต้องทำการ Streak เนื่องจากสามารถแยกชนิดของเชื้อราออกจากกันได้อย่างชัดเจนโดยดูจากสีและสปอร์ของเชื้อรา

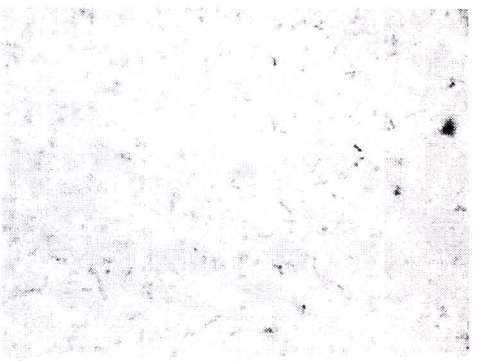
ตารางที่ 4 ลักษณะและรูปร่างจุลินทรีย์ที่ได้จากการ Streak บนอาหาร PDA

โคโลนี (ที่คัดเลือก)	**โคโลนี (ที่ได้จากการ Streak)**	**ลักษณะ (จากกล้องจุลทรรศน์)**
1. โคโลนีสีขาว ขอบขรุขระ	โคโลนีสีขาว ขอบขรุขระ	ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดง-ม่วง
2. โคโลนีแผ่ลาม ขาวขุ่น	โคโลนีสีขาวขุ่น	รูปแท่ง สีแดง
3. โคโลนีสีเหลืองขุ่น	โคโลนีสีขาว	ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดง-ม่วง
	โคโลนีสีเหลืองอ่อน	ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดง-ม่วง
4. โคโลนีสีขาวขุ่น กลม ขอบเรียบ	โคโลนีสีขาวขุ่น กลม ขอบเรียบ	ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดง-ม่วง
5. โคโลนีสีน้ำตาล ขุ่น	โคโลนีสีน้ำตาล ขุ่น	ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดง-ม่วง
6. โคโลนีสีเหลืองขุ่น กลม	โคโลนีสีเหลืองขุ่น กลม	รูปแท่ง สีแดง
7. โคโลนีสีขาวขุ่น กลม	โคโลนีสีขาวขุ่น กลม	ยีสต์ ลักษณะเรียว ติดสีแดง-ม่วง
8. โคโลนีแผ่ลาม สีขาวขุ่น	โคโลนีสีขาวขุ่น	รูปแท่ง สีแดง
9. โคโลนีสีขาวขุ่น ขอบเรียบ	โคโลนีสีขาวขุ่น ขอบเรียบ	ยีสต์ ลักษณะเรียว ติดสีม่วง
10. โคโลนีสีขาวขุ่น	โคโลนีสีขาวขุ่น	ยีสต์ ลักษณะเรียว ติดสีม่วง
11. โคโลนีสีเหลือง	โคโลนีสีเหลือง	รูปแท่งต่อกันเป็นสาย สีแดง
12. โคโลนีสีเหลือง	โคโลนีสีเหลือง	รูปแท่งต่อกันเป็นสาย สีแดง
13. ราสีดำ สปอร์สีดำ	*	เส้นใยสีดำ สปอร์สีดำ
14. ราสีดำ สปอร์สีเขียว	*	สปอร์สีดำ ตรงกลางสีเขียว
15. ราสีเหลือง สปอร์สีดำ	*	ลักษณะรี ด้านในประกอบด้วยเซลล์ขนาดเล็ก
16. ราสีขาว	*	เส้นใยสีขาว สปอร์สีดำ
17. ราสีขาว ตรงกลางสีน้ำตาล	*	เส้นใยสีขาว สปอร์ขนาดเล็ก
18. ราสีน้ำตาล	*	เส้นใยสีขาว สปอร์สีน้ำตาล

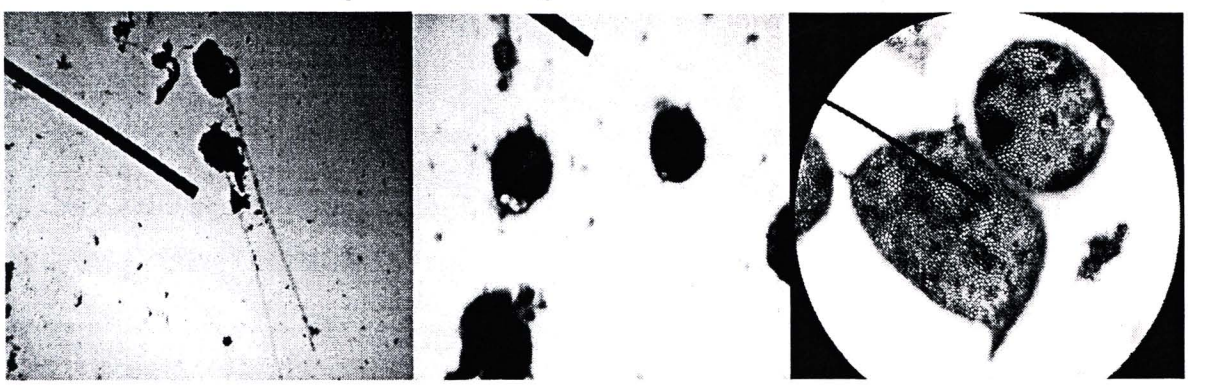
หมายเหตุ * จุลินทรีย์กลุ่มเชื้อราไม่ได้ทำการ Streak



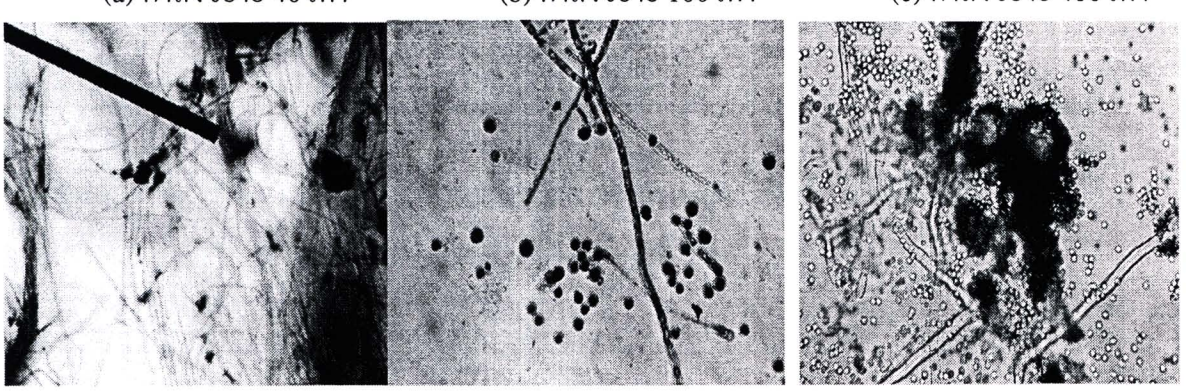
รูปที่ 8 ยีสต์ (กำลังขยาย 400 เท่า)



รูปที่ 9 แบคทีเรีย รูปแท่ง แกรมลบ (กำลังขยาย 1000 เท่า)



(a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 100 เท่า (c) กำลังขยาย 400 เท่า



(d) กำลังขยาย 400 เท่า (e) กำลังขยาย 400 เท่า (f) กำลังขยาย 400 เท่า

รูปที่ 10 เชื้อราที่ได้จากโคโลนีที่คัดเลือก (a) ราสีดำ สปอร์สีดำ (b) ราสีดำ สปอร์สีเขียว (c) ราสีเหลือง สปอร์สีดำ (d) ราสีขาว (e) ราสีขาว ตรงกลางสีน้ำตาล และ (f) ราสีน้ำตาล

การคัดแยกจุลินทรีย์ที่เลี้ยงบนอาหาร NA ซึ่งเป็นอาหารที่เหมาะสำหรับแบคทีเรีย แล้วนำมาส่องกล้องจุลทรรศน์ ตรวจพบลักษณะรูปร่างของจุลินทรีย์ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 11 โดยสามารถแบบกลุ่มจุลินทรีย์ได้ 4 ลักษณะ คือ

(1) แบคทีเรียรูปกลม (Coccus) แกรมบวก (รูปที่ 11 a)

(2) แบคทีเรียรูปกลม (Coccus) แกรมลบ (รูปที่ 11 b)

(3) แบคทีเรียรูปแท่งต่อกัน (Bacillus) แกรมบวก (รูปที่ 11 c) และ

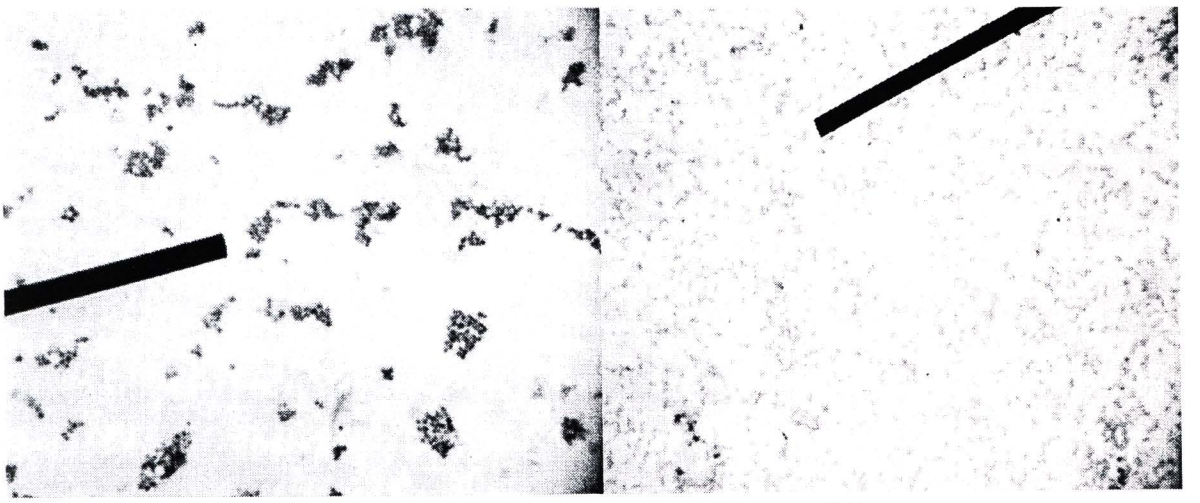
(4) แบคทีเรียรูปแท่งต่อกัน แกรมลบ (รูปที่ 11 d)

สำหรับโคโลนีที่ 1, 2 และ 3 ที่ทำการคัดเลือก เมื่อนำมาทำการ Streak ไม่สามารถแยกเป็นโคโลนีเดี่ยวได้ จึงไม่สามารถทำการศึกษารูปร่างจากกล้องจุลทรรศน์

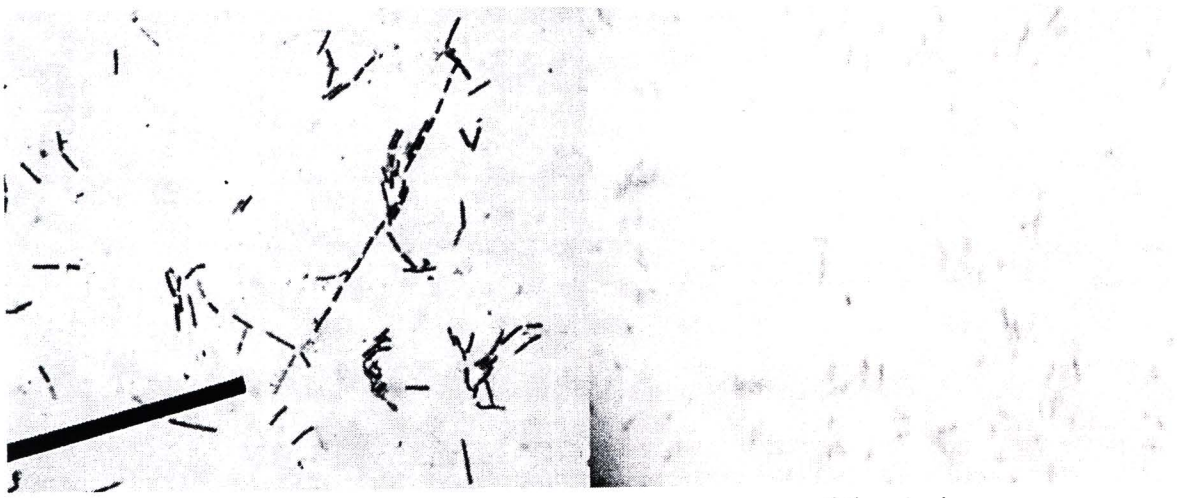
ตารางที่ 5 ลักษณะ และรูปร่างจุลินทรีย์ที่ได้จากการ Streak บนอาหาร NA

โคโลนี (ที่คัดเลือก)	**โคโลนี (ที่ได้จากการ Streak)**	**ลักษณะ (จากกล้องจุลทรรศน์)**
1. โคโลนีแผ่ลาม สีเหลือง	โคโลนีแผ่ลาม สีเหลือง	*
2. โคโลนีแผ่ลาม ขาวขุ่น	โคโลนีแผ่ลาม ขาวขุ่น	*
3. โคโลนีแผ่ลาม ขาวขุ่น	โคโลนีแผ่ลาม ขาวขุ่น	*
4. โคโลนีแผ่ลาม ขาวขุ่น	โคโลนีสีขาวขุ่น ขอบเรียบ	แบคทีเรียรูปกลม ย้อมติดสีแดง
5. โคโลนีแผ่ลาม ขาวขุ่น	โคโลนีสีขาวขุ่น	แบคทีเรียรูปแท่ง ติดสีแดง
6. โคโลนีแผ่ลาม ขาวขุ่น	โคโลนีสีขาวขุ่น	แบคทีเรียรูปแท่ง ติดสีแดง
7. โคโลนีสีเหลืองขุ่น ขอบเรียบ	โคโลนีสีเหลืองขุ่น ขอบเรียบ	แบคทีเรียรูปแท่งต่อกัน ติดสีม่วง
8. โคโลนีสีส้ม ขุ่น ขอบเรียบ	โคโลนีสีส้ม ขุ่น ขอบเรียบ	แบคทีเรียรูปกลม ย้อมติดสีม่วง
9. โคโลนีสีแดง ขุ่น ขอบเรียบ	โคโลนีสีแดง ขุ่น ขอบเรียบ	แบคทีเรียรูปแท่งต่อกัน ติดสีม่วง
10. โคโลนีสีขาวขุ่น กลม ขอบเรียบ	โคโลนีสีขาวขุ่น กลม ขอบเรียบ	แบคทีเรียรูปกลม ย้อมติดสีม่วง
11. โคโลนีแผ่ลามสีเหลืองขุ่น	โคโลนีสีเหลืองขุ่น	แบคทีเรียรูปแท่ง ติดสีแดง

<u>หมายเหตุ</u> * โคโลนีที่ 1, 2 และ 3 ที่ทำการคัดเลือกไม่สามารถแยกเป็นโคโลนีเดี่ยวได้
จึงไม่ได้ทำการศึกษารูปร่างจากกล้องจุลทรรศน์



(a) แบคทีเรีย Coccus แกรมบวก (b) แบคทีเรีย Coccus แกรมลบ



(c) แบคทีเรียรูปแท่ง แกรมบวก d) แบคทีเรียรูปแท่ง แกรมลบ

รูปที่ 11 เชื้อแบคทีเรียชนิดต่างๆ จากการ Streak บนอาหาร NA (กำลังขยาย 1000 เท่า)

จากรูปที่ 11 แสดงให้เห็นลักษณะของจุลินทรีย์ที่ได้จากการ Streak ในอาหาร NA ประกอบด้วย แบคทีเรีย ชนิดกลม (Coccus) แกรมบวก, Coccus แกรมลบ, แบคทีเรียรูปแท่งแกรมบวก และรูปแท่ง แกรมลบ สอดคล้องกับการศึกษาของ Khalij *et al* (2006) ซึ่งได้มีการรายงานว่าจุลินทรีย์กลุ่มหลักๆใน EM ประกอบด้วย กลุ่มจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตกรดแลกติก และยีสต์ ส่วนเชื้อรา และแอคทีโนไมซีสต์ มีปริมาณน้อย สำหรับจุลินทรีย์ที่ได้จากการขีดเชื้อบนจานอาหาร (Streak) บนอาหาร PDA ประกอบด้วย ยีสต์ แบคทีเรียชนิดแท่ง แกรมลบ และเชื้อราชนิดต่างๆ

5.3 การปรับกลิ่นกากขี้แป้งโดยใช้ EM ขยายส่วน

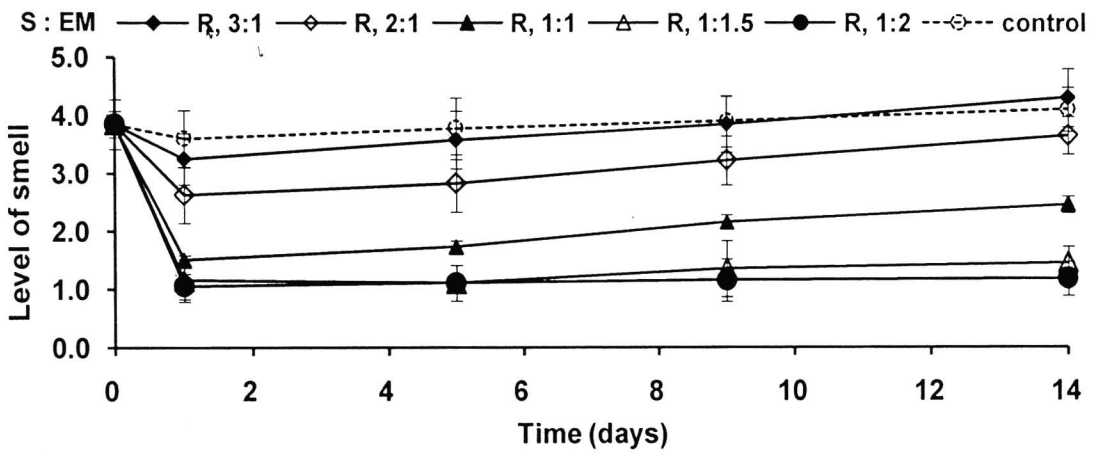
5.3.1 ผลการปรับกลิ่น

ปรับกลิ่นกากขี้แป้งด้วย EM ขยายส่วน ซึ่งประกอบด้วยกากขี้แป้ง (S) : EM ขยายส่วน คือ 3:1, 2:1, 1:1, 1:1.5 และ 1:2 v/v รวมทั้งมีกลุ่มควบคุม ซึ่งไม่มีการเติม EM หลังการผสม EM ขยายส่วนสัดส่วนต่างๆ ทดสอบด้วยประสาทสัมผัส คือการดมกลิ่น ใช้ผู้ทดสอบ 40 คน ด้วยการตอบแบบสอบถาม (แสดงในภาคผนวก ก) โดยกำหนดให้มีระดับกลิ่นดังนี้

ระดับ 1 มีกลิ่นน้อยมาก ระดับ 2 มีกลิ่นน้อย ระดับ 3 มีกลิ่นปานกลาง

ระดับ 4 มีกลิ่นแรง ระดับ 5 มีกลิ่นแรงมาก

ผลการทดสอบกลิ่นของกากขี้แป้ง ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ระดับกลิ่นของกากขี้แป้งหลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วนที่เวลาต่างๆ

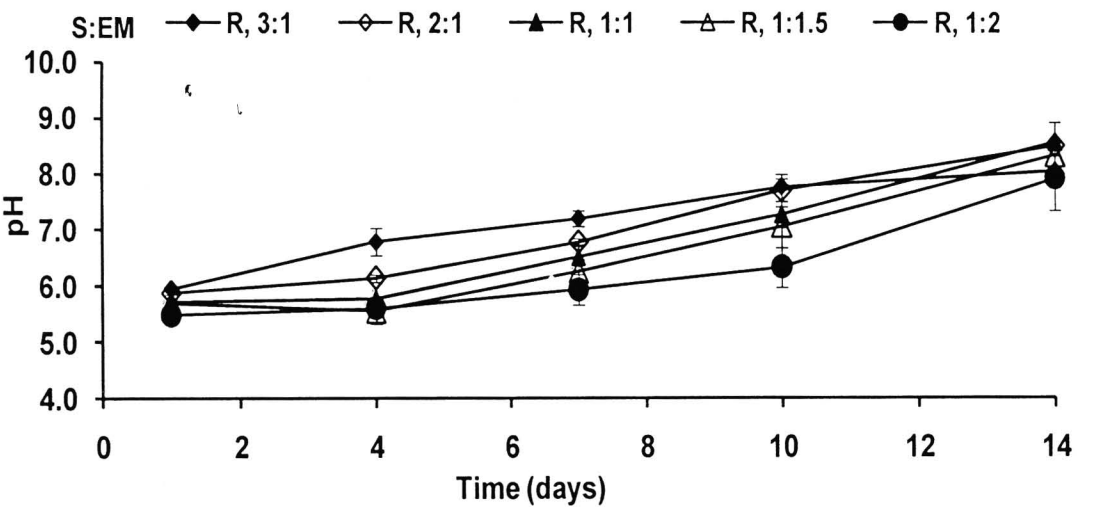
รูปที่ 12 แสดงให้เห็นว่ากลิ่นของกากขี้แป้งหลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน มีระดับความแรงลดลงอย่างมาก โดยในวันที่ 1 ของการปรับกลิ่นด้วยหัวเชื้อ EM ให้ผลดี ระดับกลิ่นลดลงมากที่สุดทุกชุดการทดลอง และกลิ่นจะคงที่ในวันที่ 5 ของการทดลอง เมื่อเวลาผ่านไปจะมีระดับกลิ่นเพิ่มขึ้น ยกเว้นระดับกลิ่นของชุดที่ปรับกลิ่นโดยใช้อัตราส่วนกากขี้แป้ง : EM ขยายส่วน เท่ากับ 1:2 และ 1:1.5 ซึ่งมีกลิ่นไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนระดับกลิ่นของกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเติม EM มีกลิ่นที่ค่อนข้างรุนแรงตลอด 2 สัปดาห์ของการตรวจสอบระดับกลิ่น สำหรับการปรับกลิ่นด้วยการใช้กากขี้แป้ง : EM ขยายส่วน เท่ากับ 3:1, 2:1, 1:1 , 1:1.5 และ 1:2 โดยปริมาตร พบว่าระดับกลิ่นเฉลี่ยในวันที่ 1 เท่ากับ 3.2, 2.6, 1.5, 1.1 และ 1.0 ตามลำดับ ส่วนชุดควบคุมมีค่าระดับกลิ่นเท่ากับ 3.6 แสดงว่าการเติมจุลินทรีย์ EM สามารถช่วยให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ทำให้ไม่มีกลิ่นเหม็น แต่ในกลุ่มที่ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์การย่อยสลายไม่สมบูรณ์ มี

แอมโมเนีย ก๊าซไข่เน่า หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น และเมื่อเวลาผ่านไป ก๊าซที่สะสมเพิ่มปริมาณมากขึ้น ทำให้ระดับกลิ่นเพิ่มขึ้นด้วย

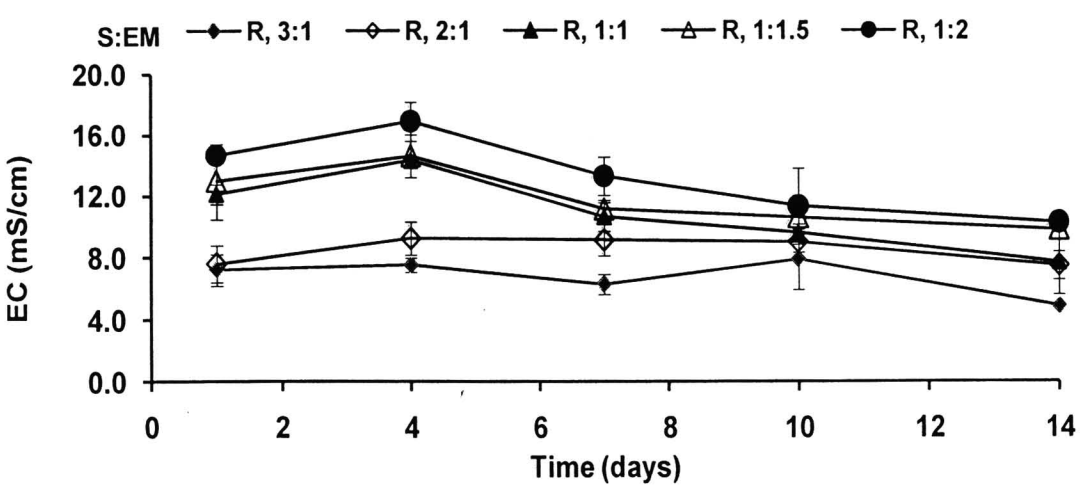
กากขี้แป้ง : EM ระดับต่างๆ มีระดับกลิ่นจากน้อยไปมาก ดังนี้ 1:2 < 1:1.5 < 1:1 < 2:1 < 3:1 แสดงว่า จุลินทรีย์ EM สามารถนำมาใช้ในการปรับกลิ่นกากขี้แป้งให้ลดลงได้

5.3.2 ค่าพีเอชและการนำไฟฟ้าของกากขี้แป้งหลังการปรับกลิ่น

กากขี้แป้งหลังปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วนสัดส่วนต่างๆ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ มีค่าพีเอช และค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในรูปที่ 13 -14 ตามลำดับ



รูปที่ 13 ค่าพีเอชของตัวอย่างกากขี้แป้ง หลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน



รูปที่ 14 การนำไฟฟ้า (EC) ของตัวอย่างกากขี้แป้งหลังการปรับกลิ่นกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน

จากรูปที่ 13 กากขี้แป้งหลังปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน พบว่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาและปริมาณสัดส่วนของกากขี้แป้ง โดยชุดที่มีสัดส่วนกากขี้แป้งสูงจะมีค่าพีเอชสูงกว่าชุดที่มีกากขี้แป้งต่ำกว่า หรือเรียงลำดับสัดส่วนกากขี้แป้งต่อ EM ขยายส่วนได้ดังนี้ 3:1 > 2:1 > 1:1 > 1:1.5 > 1:2 เมื่อระยะเวลาในการปรับกลิ่นนานขึ้น พีเอชมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าพีเอชมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ EM จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในกากขี้แป้งและปล่อยสารที่มีความเป็นเบสออกมาทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้น โดยการย่อยสลายอินทรียวัตถุด้วยจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นได้มากในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 6-9 (ภาณุพงศ์, 2548)

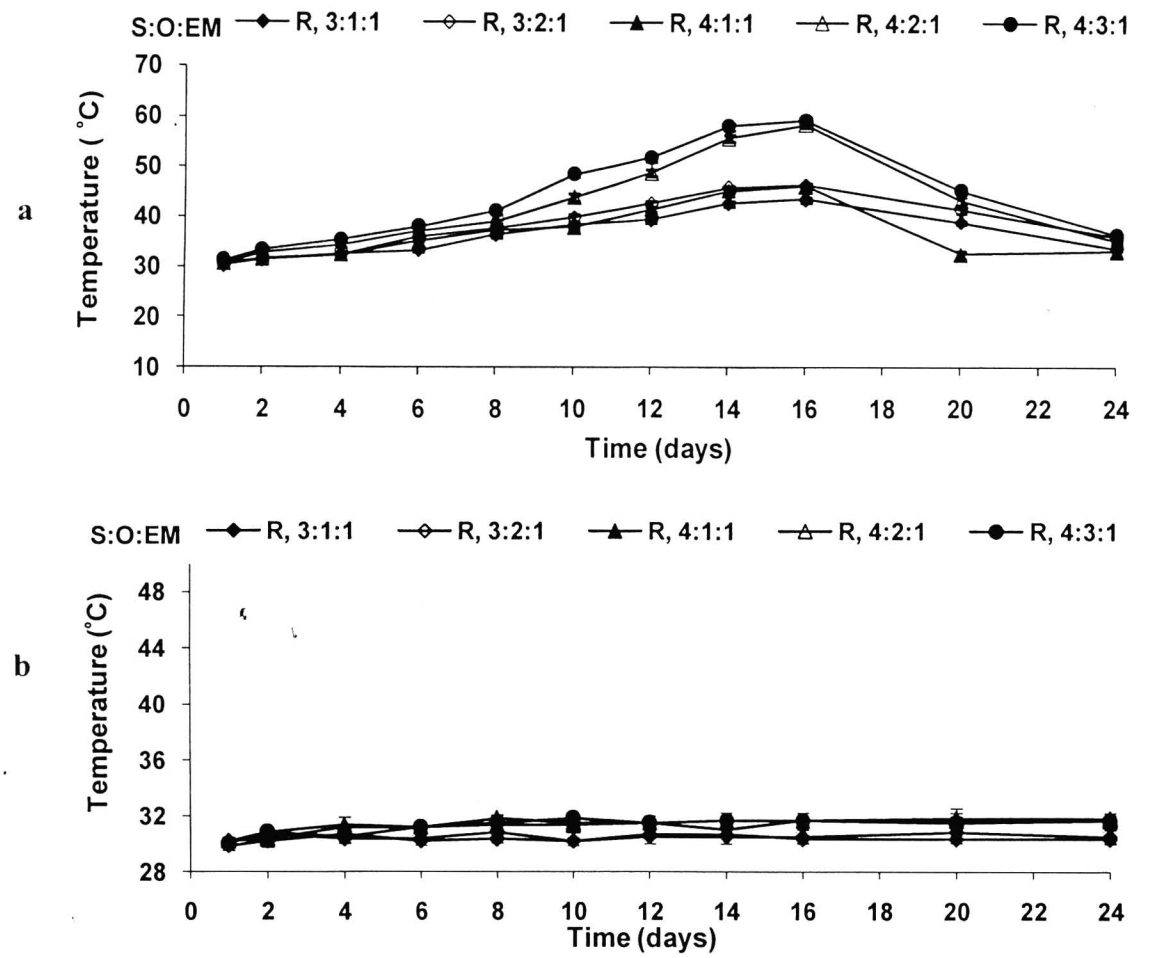
จากรูปที่ 14 การนำไฟฟ้าของกากขี้แป้งปรับกลิ่นด้วยจุลินทรีย์ EM ขยายส่วนสัดส่วนต่างๆ ใน 4 วันแรกของช่วงการเก็บไว้ในการปรับกลิ่น พบว่ากากขี้แป้งมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ต่อจากนั้นการนำไฟฟ้าจะมีค่าลดลง เนื่องจาก จุลินทรีย์ EM ขยายส่วนที่นำมาปรับกลิ่นเริ่มต้นมีค่าพีเอชเป็นกรด (pH=3.4) ส่วนกากขี้แป้งมีสภาพค่อนข้างเป็นกลาง เมื่อจุลินทรีย์ เกิดการย่อยสลายกากขี้แป้งในช่วงเริ่มต้น มีอิออนของเบสเกิดขึ้น ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรก หลังจากวันที่ 4 ค่าการนำไฟฟ้าจะลดต่ำลง เนื่องจาก จุลินทรีย์ เกิดการย่อยสลายกากขี้แป้งเพิ่มขึ้น ทำให้ธาตุอาหารหรือสารเพิ่มความเสถียรที่มีอยู่ในกากขี้แป้งสูญเสียสภาพตกตะกอน ธาตุอาหารที่มีในกากขี้แป้งสามารถละลายได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด แต่จะตกตะกอนเมื่อมีสภาพเป็นเบส (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าจึงมีค่าลดลง โดยสัดส่วนที่มีการขี้แป้งปริมาณมาก มีค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่า หรือเรียงลำดับสัดส่วนกากขี้แป้งต่อ EM ขยายส่วนได้ดังนี้ 3:1 < 2:1 < 1:1 < 1:1.5 < 1:2 โดยปริมาตร

5.4 การแปรสภาพกากขี้แป้งโดยการหมักด้วย EM ขยายส่วน

การแปรสภาพกากขี้แป้งด้วยการหมักด้วย EM ขยายส่วน โดยเลือกอัตราส่วนกากขี้แป้ง : กากอินทรีย์ผสม : EM ขยายส่วน เท่ากับ 3:1:1, 3:2:1, 4:1:1, 4:2:1 และ 4:3:1 เนื่องจากอัตราส่วนทั้งหมดนี้มีส่วนผสมที่สามารถคลุกเคล้ากันได้ดี ไม่แห้งหรือเปียกจนเกินไป มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 (ดูภาคผนวก 5) หากอัตราส่วนผสมมีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 50 จะส่งผลให้ความสามารถทำงานของจุลินทรีย์ลดลง แต่ถ้ามีความชื้นมากกว่าร้อยละ 60 จะมีผลให้ออกซิเจนเคลื่อนที่เข้ามาในระบบได้ยาก ทำให้กลายเป็นการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Das and Keener, 1997)

5.4.1 อุณหภูมิระหว่างหมัก

กากขี้แป้งที่นำมาแปรสภาพ มีอัตราส่วนโดยปริมาตรของกากขี้แป้ง (S) : กากอินทรีย์ผสม (O) : EM ขยายส่วน จำนวน 5 ชุด คือ 3:1:1, 3:2:1, 4:1:1, 4:2:1 และ 4:3:1 ทำการหมัก 2 ระบบ คือ แบบมีอากาศ (Aerobic system) บรรจุในกระสอบ คลุกเคล้าให้เข้ากันโดยการกวน และแบบไร้อากาศ (Anaerobic system) บรรจุในถุงพลาสติก ในระหว่างที่หมักจะทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ พีเอช และการนำไฟฟ้า ตั้งแต่เริ่มหมักจนกระทั่งกระบวนการหมักสิ้นสุดลง ดังแสดงในรูปที่ 15 ส่วนกลุ่มควบคุม ใช้น้ำแทน EM ขยายส่วน ดังแสดงในรูปที่ 16



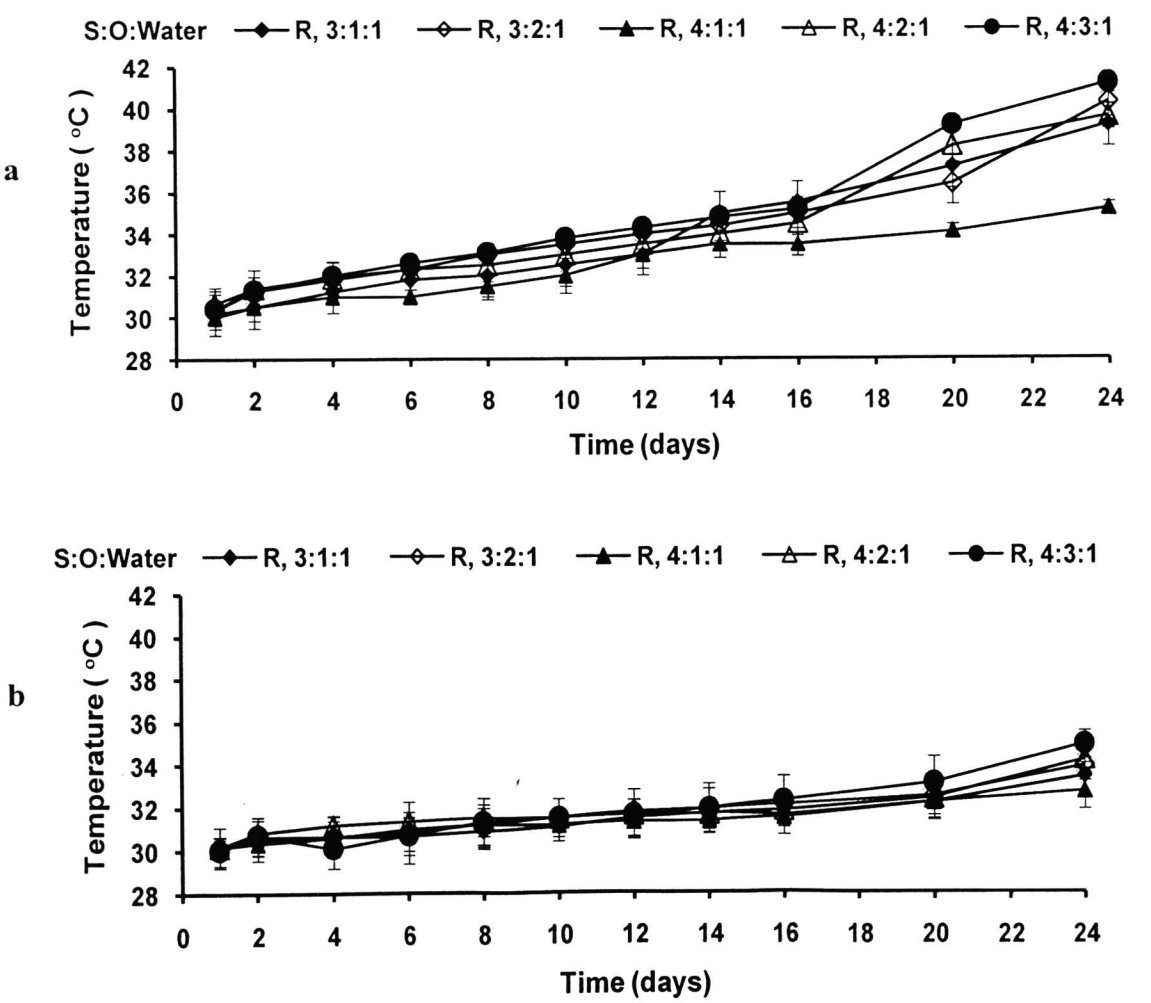
รูปที่ 15 อุณหภูมิของกากขี้แป้งแปรสภาพหมักด้วยจุลินทรีย์ EM ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)

จากรูปที่ 15 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมักเพื่อแปรสภาพกากขี้แป้งได้เกิดขึ้นในระบบเปิด อุณหภูมิของการหมักมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 30.1-59.3 °C อัตราส่วนของกากขี้แป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วนเท่ากับ 4:3:1 มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมากที่สุด รูปที่ 15 (a) หากส่วนผสมของกากอินทรีย์มีปริมาณเพิ่มขึ้น กระบวนการหมักจะเกิดได้ดีขึ้น อุณหภูมิในระหว่างการหมักมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น ส่วนในระบบปิด อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อยู่ในช่วง 29.83-31.67 °C เนื่องจากระบบปิดเป็นการหมักที่ไม่ใช้อากาศ (Anaerobic system) จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศไม่สามารถเจริญเติบโตและย่อยสลายสารอาหารได้ ทำให้อุณหภูมิของการหมักเปลี่ยนแปลงไปน้อย ดังรูปที่ 15 (b) นอกจากนี้การใช้จุลินทรีย์ EM มีประสิทธิภาพย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าน้ำ โดยว่าอุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ไม่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 15 (a) อุณหภูมิของการหมักสามารถแบ่งกระบวนการหมักได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรก ระหว่างวันที่ 1-8 อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ (Mesophilic phase) ช่วงที่ 2 ระหว่างวันที่ 9-16 อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Thermophilic phase) และช่วงที่ 3 ระหว่างวันที่ 17-24 อุณหภูมิของการหมักเริ่มลดลง (Cooling phase) โดยช่วงแรกที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นช้าๆ กระบวนการหมักได้เริ่มต้นขึ้น โดยจุลินทรีย์

ลดลง (Cooling phase) โดยช่วงแรกที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นช้าๆ กระบวนการหมักได้เริ่มต้นขึ้น โดยจุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรีย ยีสต์ และราที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (mesophilic microorganisms) จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายก่อน เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน โปรตีน หลังจากนั้นจะเป็นช่วงที่ 2 มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่หมักเกิดขึ้นมากที่สุด อุณหภูมิของการหมักจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีช่วงอุณหภูมิระหว่าง 40-60 °C ซึ่งเหมาะสมต่อการหมัก (De Bertoldi *et al*, 1983) จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูง (Thermophilic microorganisms) จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์พวกไขมัน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ส่วนอุณหภูมิของหมักที่มากกว่า 55 °C จะทำให้จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคตายได้ แต่จุลินทรีย์ที่ทนอุณหภูมิสูง (Thermophilic bacteria) สามารถเจริญได้ หากอุณหภูมิการหมักสูงมากถึง 63 °C การทำงานของจุลินทรีย์จะลดลงอย่างรวดเร็ว (Miller, 1992) ในช่วงที่ 3 ของการหมัก อุณหภูมิของการหมักจะลดต่ำลง จะเป็นช่วงที่การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์สิ้นสุดลง อุณหภูมิของการหมักเริ่มลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ (Bernal *et al*, 2009)

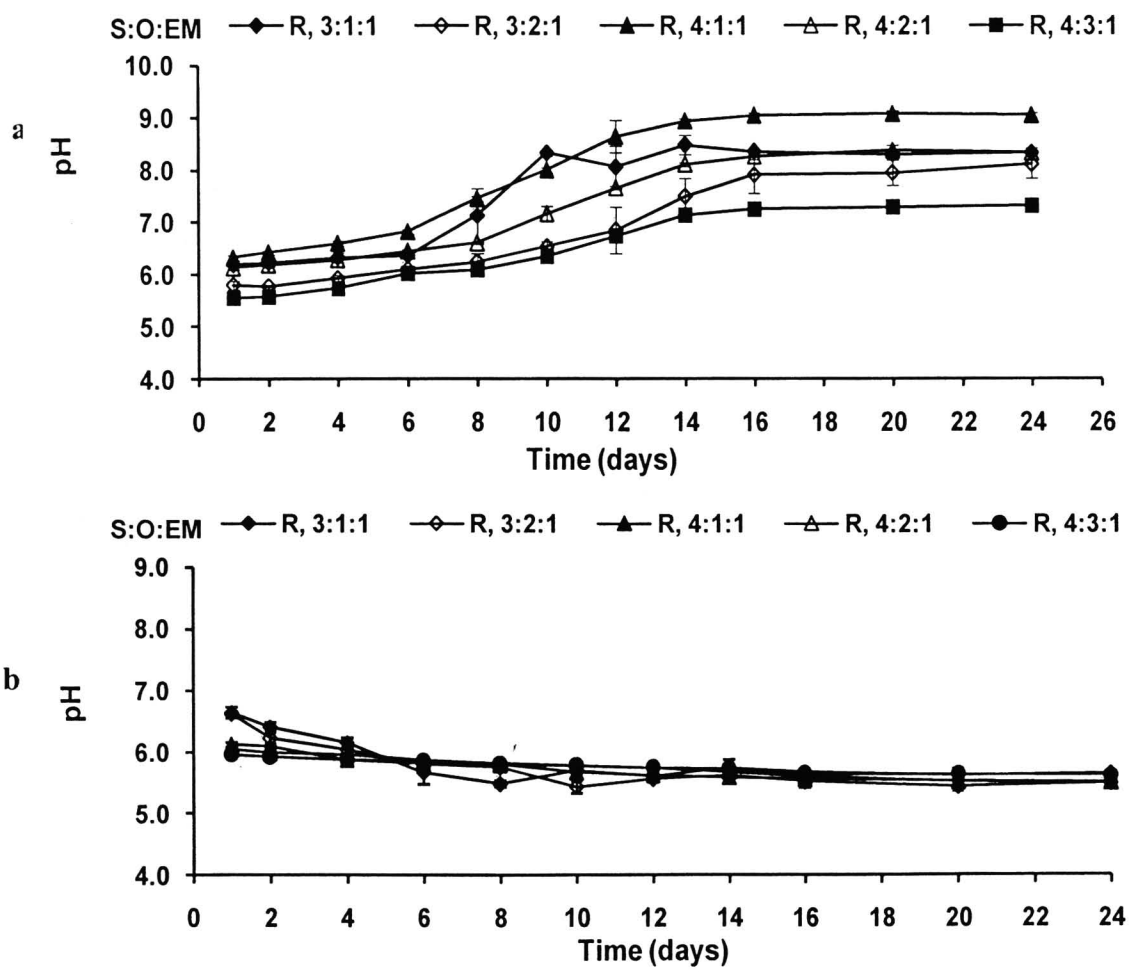
ส่วนรูปที่ 16 กลุ่มควบคุมหมักโดยใช้น้ำแทน EM จะเห็นว่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงน้อย แสดงว่ากระบวนการหมักเกิดขึ้นน้อย



รูปที่ 16 อุณหภูมิของกลุ่มควบคุมหมักด้วยน้ำ ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)

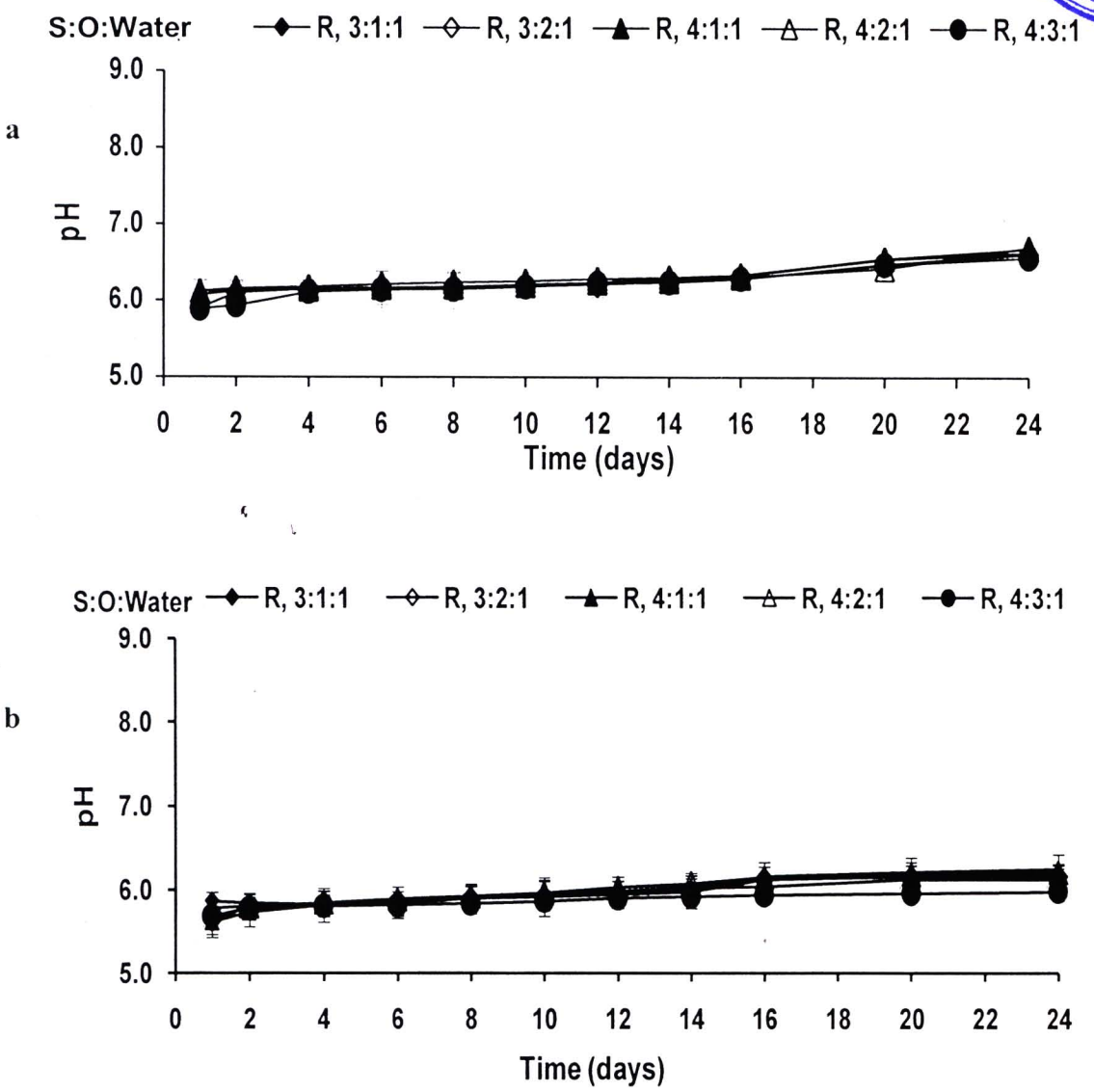
5.4.2 ค่าพีเอชระหว่างการหมัก

กากขี้แป้งแปรสภาพด้วยการหมัก ในระบบเปิดและระบบปิด ค่าพีเอชที่เปลี่ยนไปดังรูปที่ 17 การหมักในระบบปิดมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อย มีค่าพีเอช 6.7-5.4 ในขณะที่พีเอชของระบบเปิดมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก โดยเฉลี่ยของทุกชุดการทดลองมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.6-9.0 ในช่วงวันที่ 1-6 จะเห็นว่าค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 8-14 โดยค่าพีเอชของชุดการทดลองที่ใช้กากขี้แป้ง: กากอินทรีย์ผสม : EM ขยายส่วน 4:1:1 มีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชสูงที่สุด รองลงมาคือ 3:1:1, 4:2:1, 3:2:1, และ 4:3:1 ตามลำดับ ส่วนชุดควบคุมที่ใช้น้ำแทนจุลินทรีย์ EM พบว่าทั้งในระบบเปิดและระบบปิดมีแนวโน้มของค่าพีเอชใกล้เคียงกัน ช่วงแรกวันที่ 1-16 พีเอชมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยระบบเปิดและระบบปิดมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.9-6.7 และ 5.7 – 6.2 ตามลำดับ ดังรูปที่ 18 แสดงว่าจุลินทรีย์ EM ขยายส่วนสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าในระบบที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามค่าพีเอชไม่ใช่พารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ว่าเกิดขึ้นมากหรือน้อย แต่ค่าพีเอชมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนีย ซึ่งการเปลี่ยนของไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียจะมีค่ามากขึ้นที่ค่าพีเอช >7.5 (Mari *et al*, 2005) โดยพีเอชที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ อยู่ในช่วง 6.7–9.0 (De Bertoldi *et al*, 1983)



รูปที่ 17 ค่าพีเอชของกากขี้แป้งแปรสภาพหมักด้วยจุลินทรีย์ EM ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 18 ค่าพีเอชของกลุ่มควบคุม หมักด้วยน้ำในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)

5.4.3 ค่านำไฟฟ้าระหว่างการหมัก

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ระหว่างการหมักที่ระยะเวลาต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 19-20

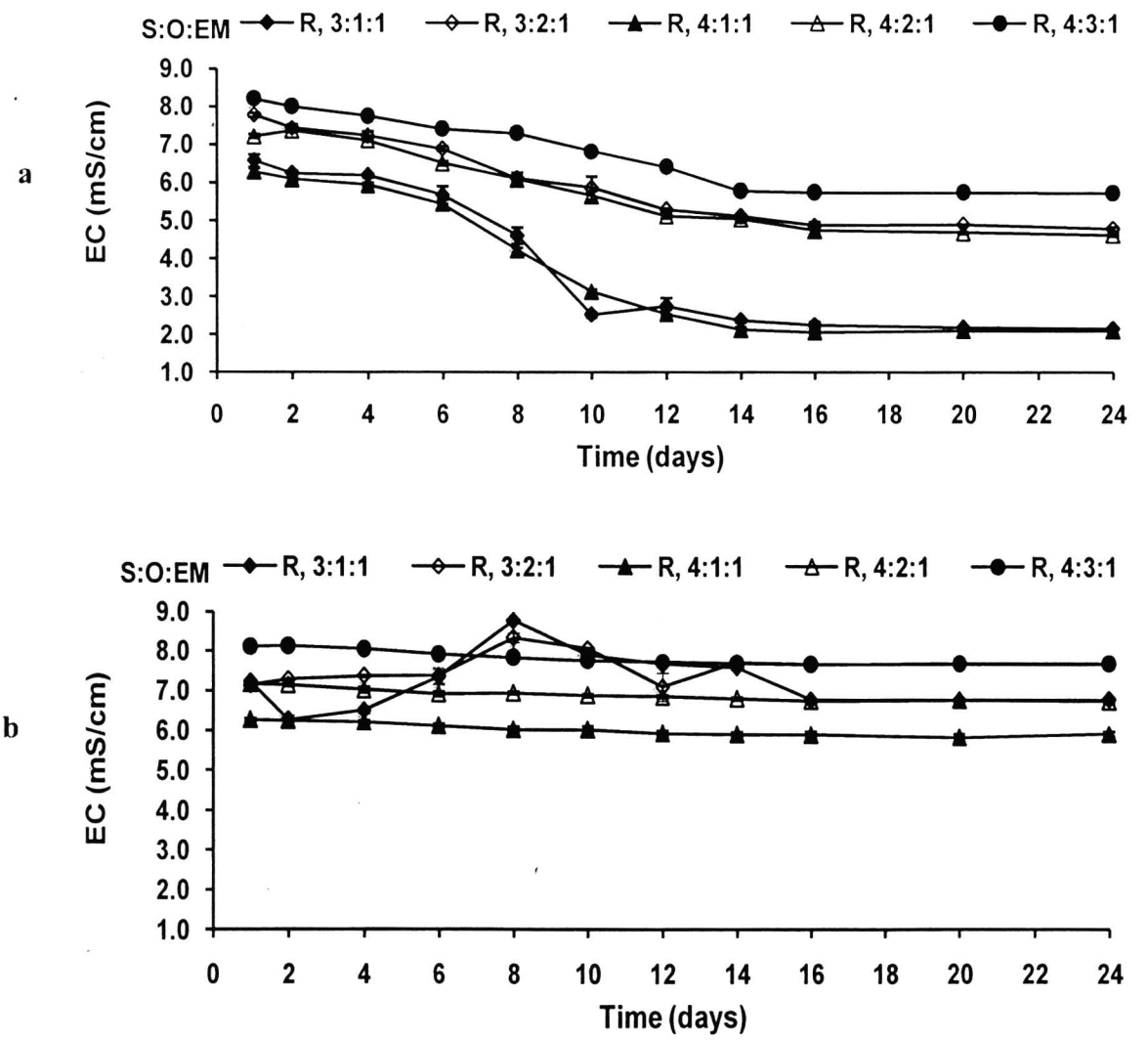
จากรูปที่ 19 (a) กากขี้แป้งแปรสภาพหมักด้วยจุลินทรีย์ EM มีค่าการนำไฟฟ้าลดลง ในช่วงเวลาเดียวกันกากขี้แป้งที่หมักจะมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น (รูปที่ 17 a) แสดงว่าในช่วงของการหมักที่มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นมีธาตุอาหารบางอย่างในกากขี้แป้งถูกย่อยสลาย ให้สารที่มีอิออนลบ ในขณะที่จุลินทรีย์ EM ที่ใช้ในการหมักมีค่าพีเอชเป็นกรด (หัวข้อ 4.2.1) ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าจึงมีค่าลดลงในช่วงของการหมัก

ในระบบเปิด ค่าการนำไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 8.2 -2.2 mS/cm รูปที่ 19 (a) หลังการหมัก (วันที่ 24) จะเห็นว่าการนำไฟฟ้ามีค่าอยู่ในช่วง 2.2-5.7 mS/cm แต่โดยทั่วไปช่วงการนำไฟฟ้าที่

เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมีค่าอยู่ในช่วง 1.5-3.0 mS/cm (Benoit, 1992) ดังนั้นในขั้นตอนการปลูกพืชจึงต้องลดค่าการนำไฟฟ้าด้วยการนำมาผสมกับดิน เพื่อให้มีค่าการนำไฟฟ้าลดน้อยลงจนเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

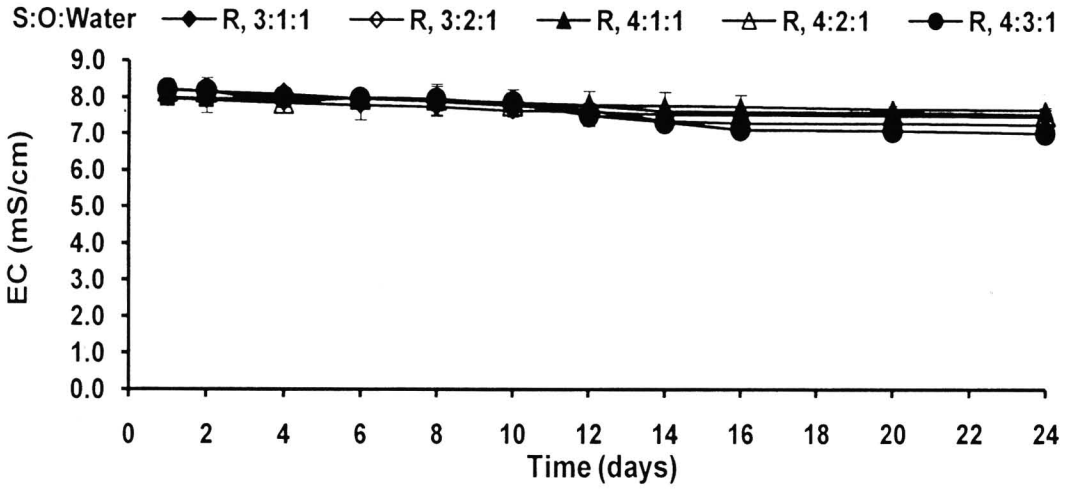
ในระบบปิด การนำไฟฟ้ามีค่าลดลงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 8.1- 5.9 mS/cm ดังรูปที่ 19 (b) ยกเว้นชุดการทดลองที่ใช้กากขี้แป้ง กากอินทรีย์ และ EM ขยายส่วน ในอัตราส่วน 3:1:1 และ 3:2:1 การนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 4-8 ต่อจากนั้นการนำไฟฟ้ามีค่าลดลง เนื่องจากช่วงตรวจวัดการนำไฟฟ้ามีอากาศเข้าไปในชุดการทดลองนี้ ทำให้กระบวนการหมักเกิดขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าจึงเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น หลังจากการย่อยสลายหยุดลง การนำไฟฟ้าจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง

ส่วนการใช้น้ำแทนจุลินทรีย์ EM ในการหมักทั้งระบบเปิดและระบบปิด ดังรูปที่ 20 พบว่าการนำไฟฟ้ามีค่าอยู่ระหว่าง 7.0-8.2 และ 7.7-8.2 mS/cm ตามลำดับ จะเห็นว่าการนำไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงว่า การใช้น้ำแทนจุลินทรีย์ EM ไม่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระหว่างการหมัก

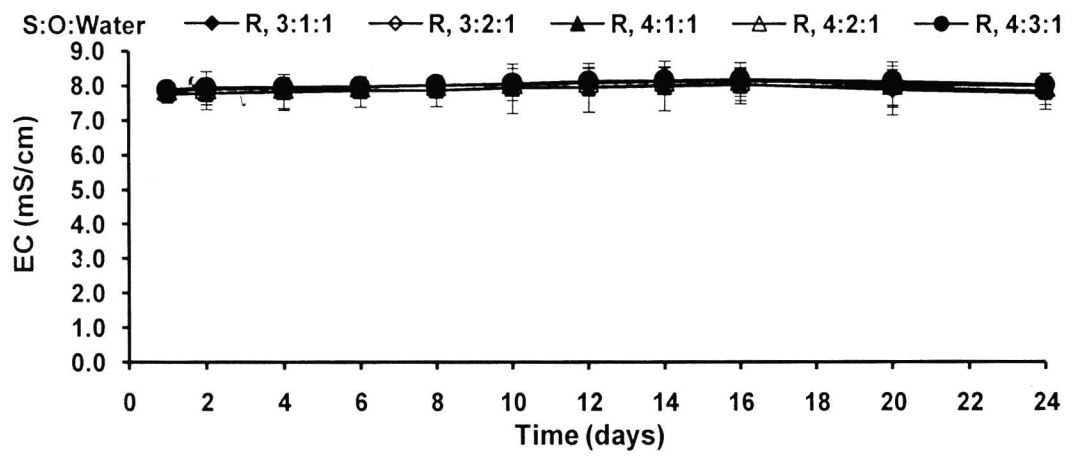


รูปที่ 19 ค่าการนำไฟฟ้าของกากขี้แป้งแปรสภาพหมักด้วยจุลินทรีย์ EM ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)

a



b



รูปที่ 20 ค่าการนำไฟฟ้าของกลุ่มควบคุมหมักด้วยน้ำ ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)

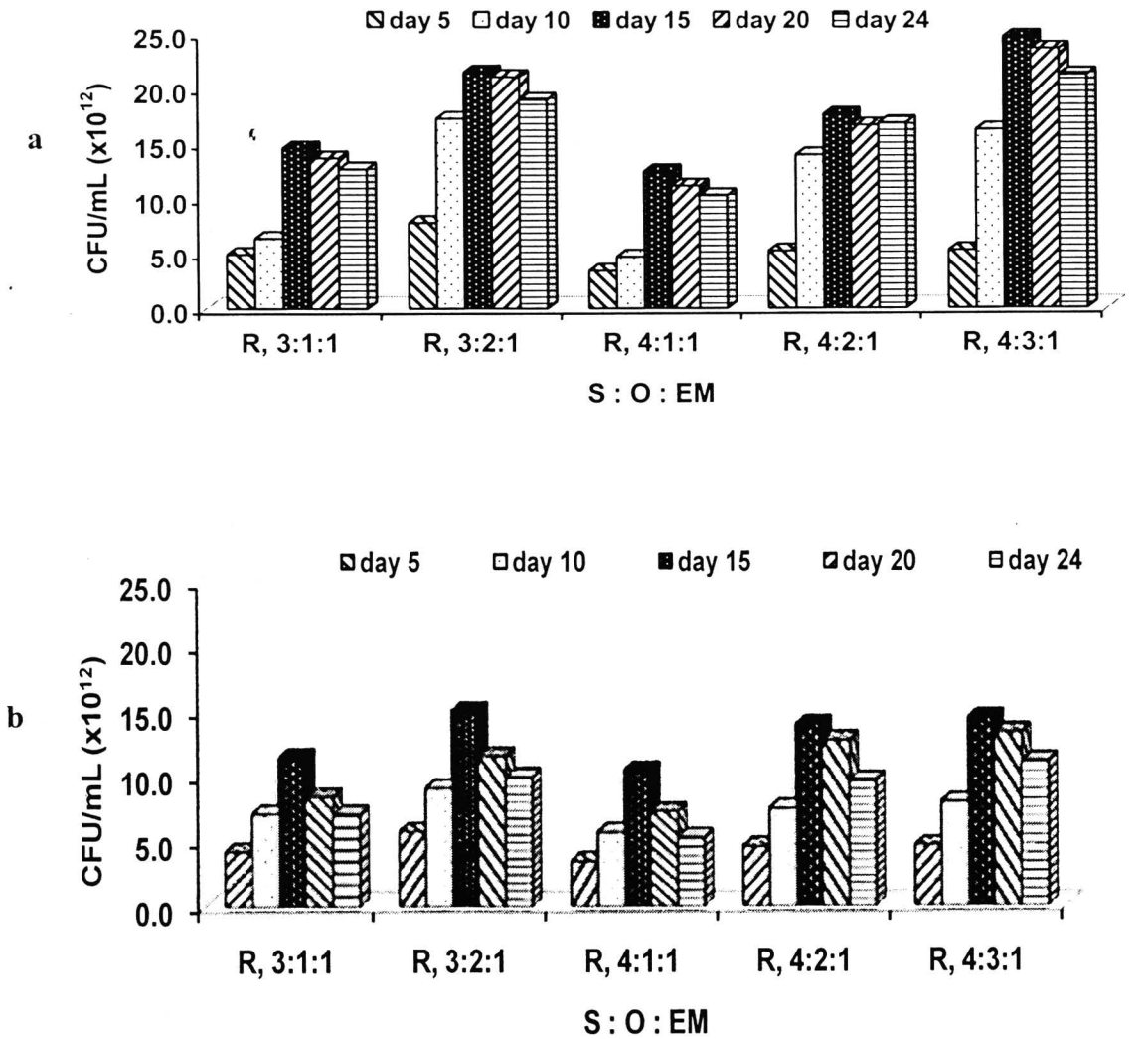
5.4.4 จำนวนจุลินทรีย์ระหว่างการหมัก

กากขี้แป้งแปรสภาพด้วยการหมักในระบบเปิดและระบบปิดที่ระยะเวลาต่างๆ จำนวนจุลินทรีย์ระหว่างการหมัก มีปริมาณดังแสดงในรูปที่ 21-24 (ภาคผนวก 3)

จากรูปที่ 21 จำนวนจุลินทรีย์ในระบบเปิดจากกระบวนการหมักที่ระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 24 วัน พบว่าแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรามีจำนวนเพิ่มขึ้นในช่วง 15 วันแรกของการหมัก ต่อจากนั้นจำนวนจุลินทรีย์จะมีปริมาณลดลงเล็กน้อยทุกสัดส่วนของการหมัก จำนวนแบคทีเรียเลี้ยงบนอาหาร NA พบว่ามีอยู่ในช่วง 3.4 -24.8 $x10^{12}$ CFU/mL ส่วนจำนวนยีสต์ และราที่เลี้ยงบนอาหาร PDA มีอยู่ในช่วง 3.5-14.5 $x10^{12}$ CFU/mL จะเห็นว่า จำนวนแบคทีเรียมีการเจริญเติบโตมากกว่ายีสต์และรา เนื่องจากช่วงเวลาของการเจริญเติบโต และแบ่งเซลล์ของแบคทีเรียรวดเร็วกว่ายีสต์และรา (Bernal *et al*, 2009)

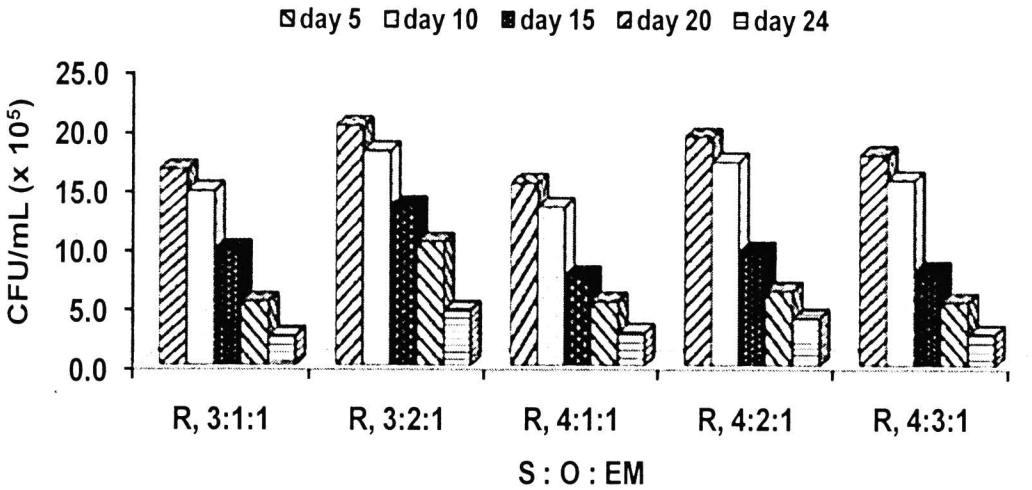
รูปที่ 22 จะเห็นว่าจำนวนจุลินทรีย์ในระบบปิดมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาหมัก จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ดีในระบบปิด จำนวนแบคทีเรีย (เลี้ยงบนอาหาร NA) มีปริมาณ 2.7-20.2 $x10^5$ CFU/mL ส่วนยีสต์ และรา (เลี้ยงบนอาหาร NA) มีปริมาณ 2.3-18.8 $x10^5$ CFU/mL จะเห็นว่าแบคทีเรีย มีจำนวนมากกว่ายีสต์และรา แต่หากว่าความชื้นช่วงที่หมักต่ำกว่า 35% จะพบเชื้อรามีจำนวนมากกว่าแบคทีเรีย

เมื่อวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ จะพบว่าในระบบเปิด การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ EM เกิดขึ้นได้ดี โดยการย่อยสลายเกิดขึ้นได้มากที่สุดในวันที่ 15 ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาที่อุณหภูมิและค่าพีเอช เปลี่ยนแปลงสูงสุด โดยช่วงแรกจุลินทรีย์จะย่อยกากอินทรีย์ที่สลายตัวง่ายก่อน (Wu *et al*, 2005) ต่อจากนั้นจึงย่อยสลายกากขี้แป้ง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก พบว่าลักษณะทางกายภาพของกากขี้แป้ง มีการเปลี่ยนแปลงไปคือ ของแข็งที่คงอยู่มีค่าลดลง ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากมี การย่อยของจุลินทรีย์ สำหรับในระบบปิด กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้น้อย เนื่องจากจุลินทรีย์มี จำนวนลดลง ค่าอุณหภูมิ พีเอช และการนำไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

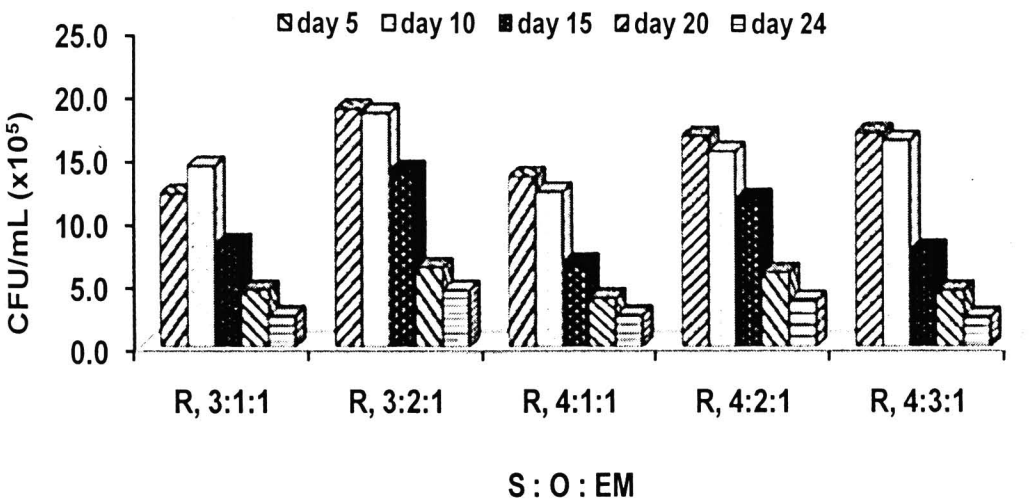


รูปที่ 21 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดระหว่างการหมักในระบบเปิด (a) อาหาร NA และ (b) อาหาร PDA

a



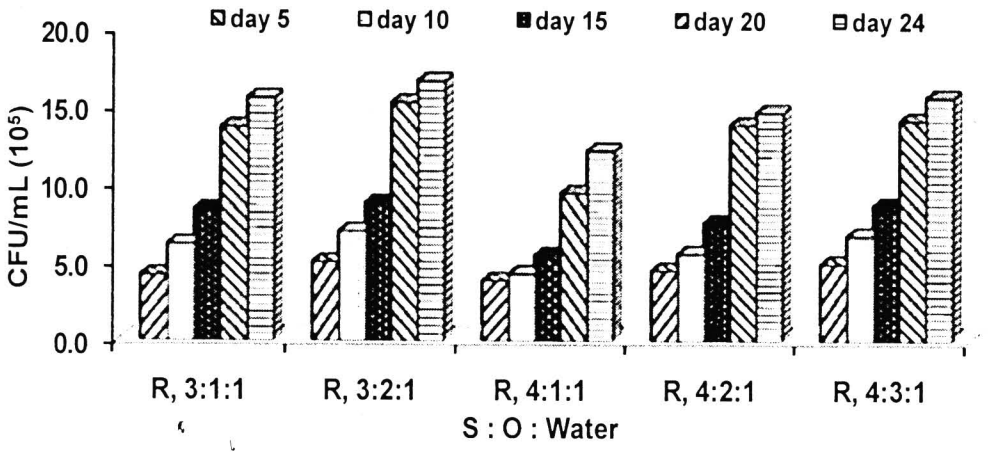
b



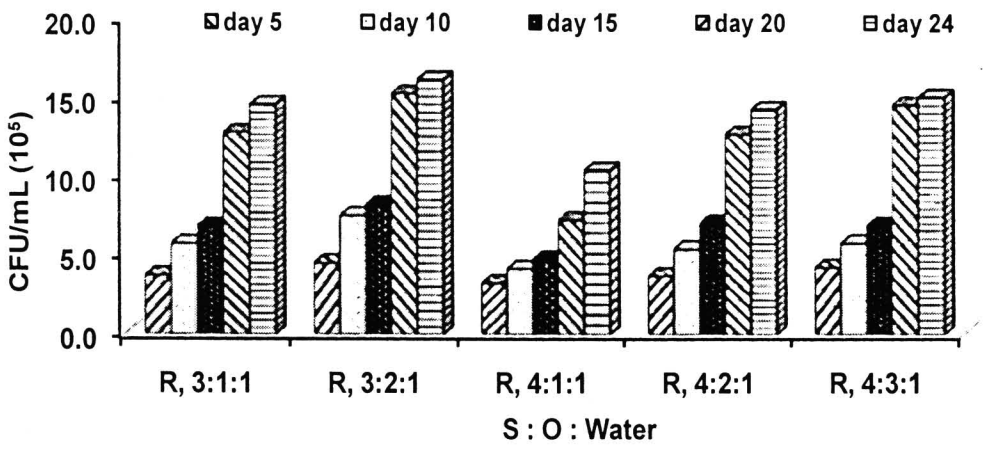
รูปที่ 22 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในระหว่างการหมักในระบบปิด (a) อาหาร NA และ (b) อาหาร PDA

สำหรับรูปที่ 23-24 แสดงจำนวนจุลินทรีย์ที่หมักโดยใช้น้ำแทนจุลินทรีย์ EM เพื่อใช้เป็นกลุ่มควบคุมสำหรับเทียบกับการใช้จุลินทรีย์EM จะเห็นว่าจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตามระยะเวลา และมีอัตราการเพิ่มช้ากว่าการใช้ จุลินทรีย์ EM ในระบบเปิด (รูปที่ 23) แบคทีเรีย ยีสต์ และรา ที่มีอยู่ในอาหาร NA และ PDA มีจำนวนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาหมัก โดยมีจำนวนแบคทีเรียในช่วง 3.8-16.7 $x10^5$ CFU/mL เชื้อยีสต์ และรา มีจำนวนอยู่ในช่วง 3.2-16.2 $x10^5$ CFU/mL ส่วนในระบบปิด (รูปที่ 24) จำนวนจุลินทรีย์จะลดลงตลอดระยะเวลาการหมัก โดยแบคทีเรียมีจำนวนอยู่ในช่วง 2.2-4-4 $x10^5$ CFU/mL ส่วนยีสต์และรา มีอยู่ในช่วง 2.1-4.4 $x10^5$ CFU/mL

a

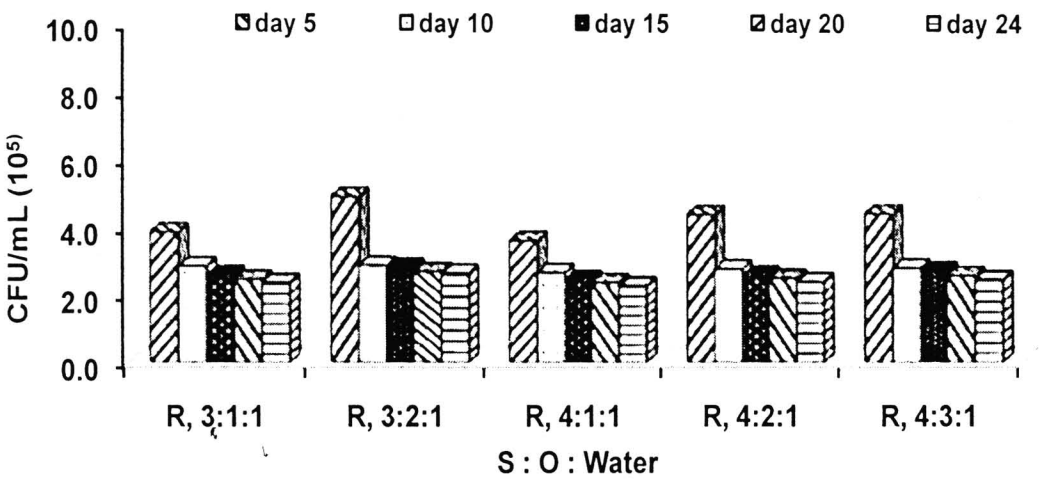


b

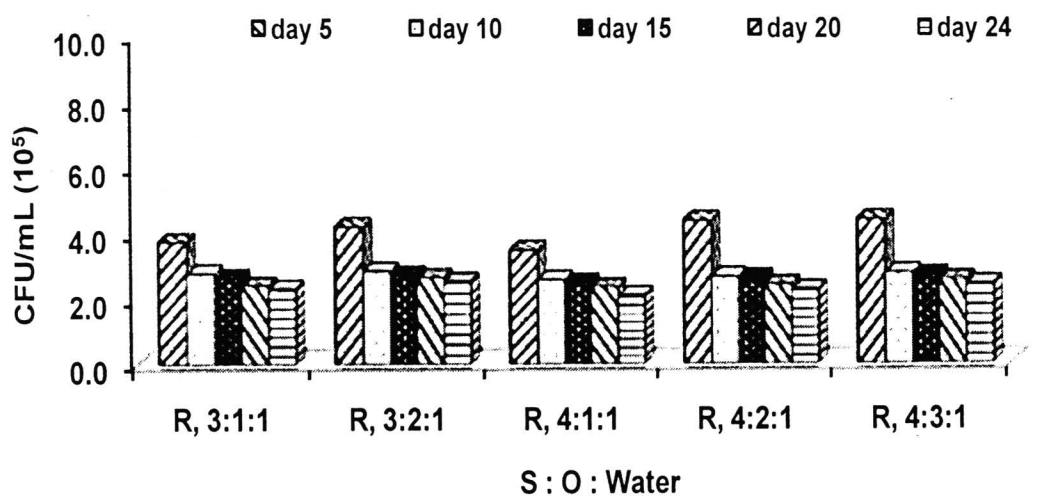


รูปที่ 23 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกลุ่มควบคุมในระบบเปิด (a) อาหาร NA และ (b) อาหาร PDA

a



b



รูปที่ 24 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกลุ่มควบคุมในระบบปิด (a) อาหาร NA และ (b) อาหาร PDA

5.4.5 ธาตุอาหารก่อนและหลังการหมัก

สารบำรุงดินจำนวน 5 ชุด ประกอบด้วยอัตราส่วนของกากขี้แป้ง: กากอินทรีย์ผสม : EM ขยาย ส่วน เท่ากับ 3:1:1, 3:2:1, 4:1:1, 4:2:1 และ 4:3:1 วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารก่อนทำการหมัก พบว่าธาตุอาหารหลักไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ3.26-3.36, 5.12-7.80 และ 0.27-0.47 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ส่วนธาตุอาหารรอง แมกนีเซียม และสังกะสี มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 3.60-3.95 และ 0.11-0.26 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังรูปที่ 25-26

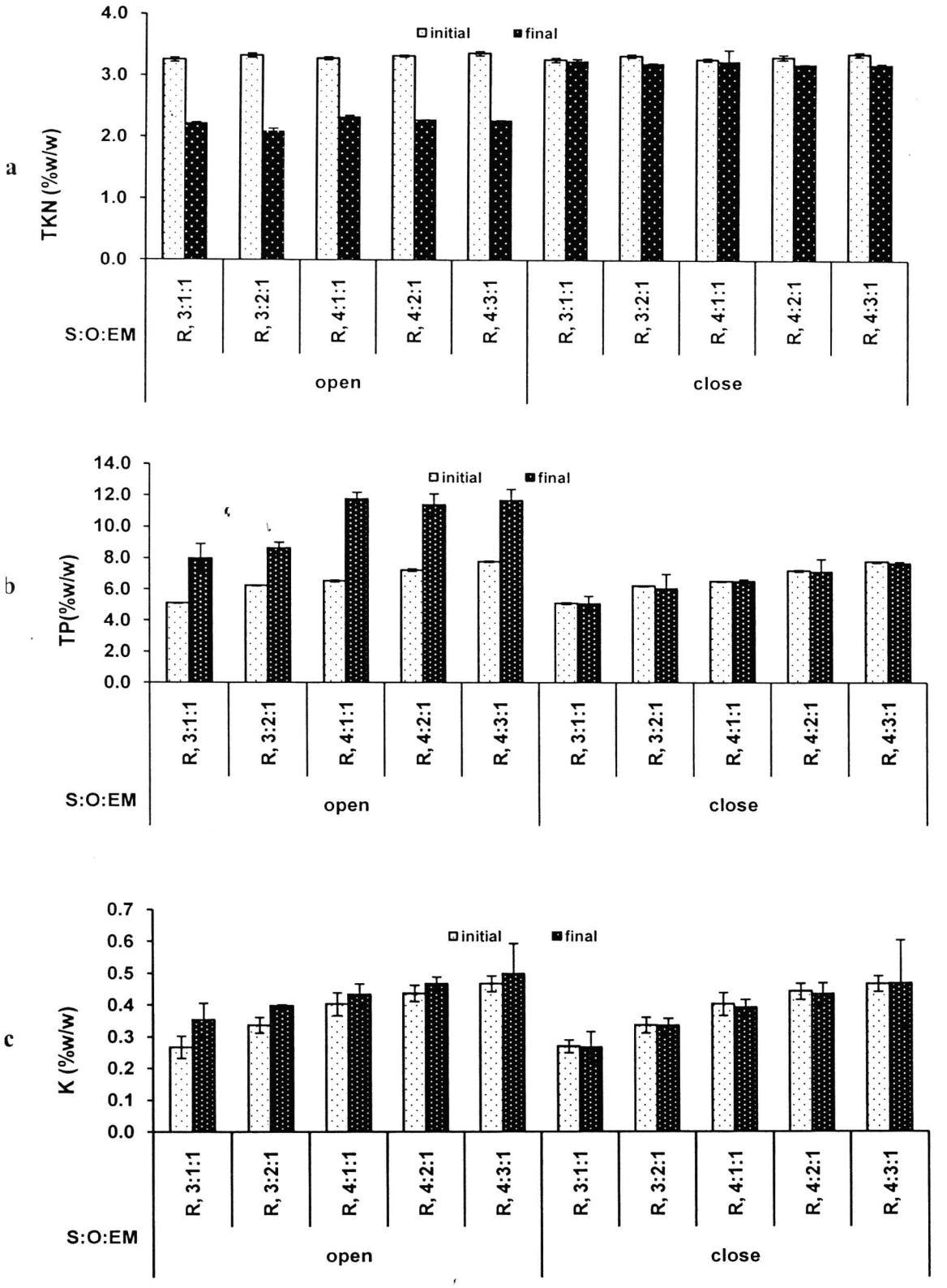
จากรูปที่ 25 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลัก หลังจากหมักกากขี้แป้งเป็นเวลา 24 วัน ในระบบเปิด พบว่าไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียม มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.1-2.3, 7.9-11.7 และ 0.3-0.5 ตามลำดับ

ไนโตรเจนทั้งหมด มีปริมาณลดลงร้อยละ 28.7-32.3 เนื่องจากสารอินทรียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ในขั้นตอนของการหมักแบบที่มีอากาศ (ระบบเปิด) ช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้น (Thermophilic phase) จะมีความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนมากที่สุด กรณีที่พีเอชมีค่ามากกว่า 7.5 และมีอุณหภูมิสูง กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nirification) จะเกิดค่อนข้างน้อย เนื่องจากกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์เกิดขึ้นน้อย ทำให้แอมโมเนียมไอออนอยู่ในรูปของแอมโมเนีย และระเหยออกสู่บรรยากาศ ดังนั้นความเข้มข้นของไนโตรเจนจึงมีค่าลดลง (Tiquia, 2002)

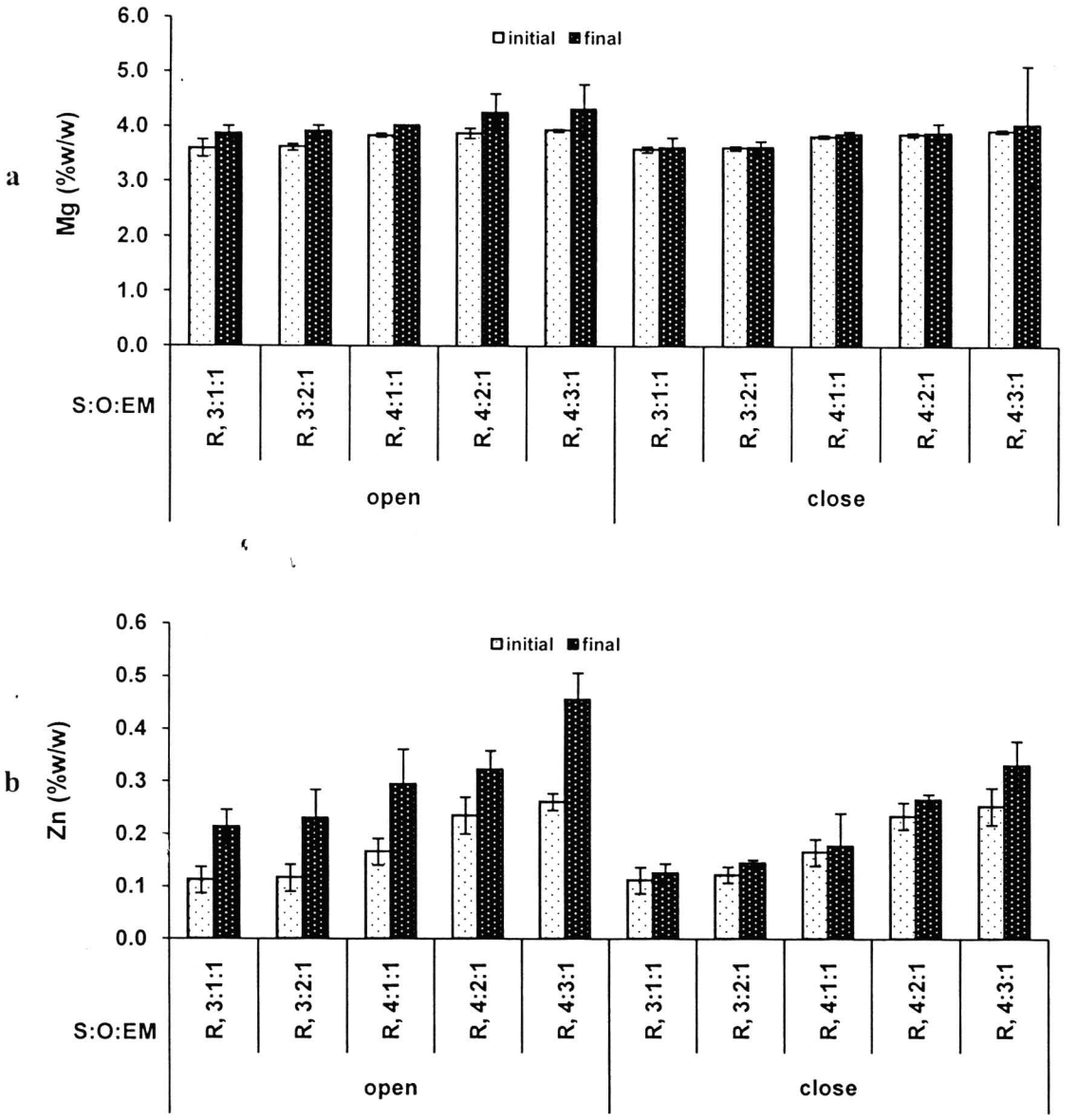
ฟอสฟอรัสทั้งหมดและโพแทสเซียมมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 38.3-73.9 และ 5.8-30.4 เนื่องจากในระหว่างการหมัก อินทรียวัตถุจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ ทำให้ธาตุอาหารต่างๆ ที่จับตัวกันแน่นหรือแตกตัวได้ยากถูกเปลี่ยนเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลง นอกจากนี้สารอินทรีย์ประเภทคาร์บอนจะมีปริมาณลดลงด้วย โดยการลดลงของอินทรียวัตถุตรวจสอบได้จากน้ำหนักแห้งที่ลดลง (Garrison *et al*, 2001) และผลจากน้ำหนักแห้งที่ลดลงระหว่างการหมัก ทำให้ความเข้มข้นของธาตุต่างๆ มีค่าเพิ่มขึ้น

ส่วนธาตุอาหารรอง ได้แก่ แมกนีเซียม และสังกะสี ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 4.9-9.6 และ 34.9-97.8 ตามลำดับ (รูปที่ 26) หลังจากหมักกากขี้แป้งในระบบเปิด จะเห็นว่าปริมาณธาตุอาหารมีความเข้มข้นค่อนข้างสูง ดังนั้นการนำกากขี้แป้งที่แปรสภาพมาใช้ประโยชน์เป็นสารบำรุงดิน จะต้องนำสารบำรุงดินมาเจือจางด้วยการผสมดินก่อน จึงนำมาทดลองปลูกต้นทานตะวันต่อไป

ส่วนระบบปิด หลังจากหมักกากขี้แป้งเป็นเวลา 24 วัน ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง มีปริมาณเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 25 ปริมาณธาตุอาหารหลักของการหมักชุดต่างๆ ก่อนการหมัก และหลังการหมัก 24 วัน (a) ไนโตรเจนทั้งหมด (b) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (c) โพแทสเซียม



รูปที่ 26 ธาตุอาหารรองก่อนการหมัก และหลังการหมัก 24 วัน (a) แมกนีเซียม และ (b) สังกะสี

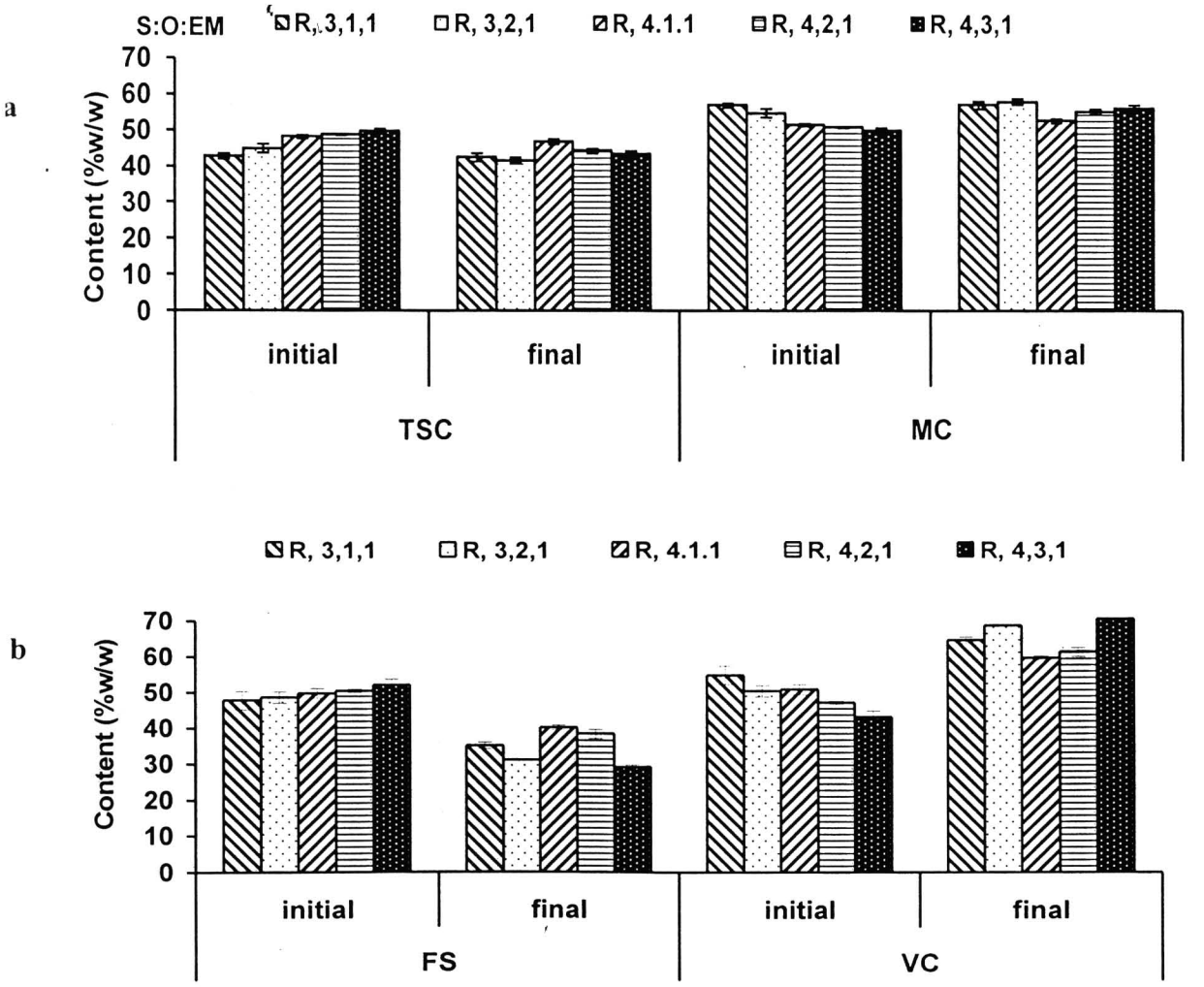
5.4.6 สมบัติทางกายภาพก่อนและหลังการหมัก

กากขี้แป้งแปรสภาพเป็นสารบำรุงดินจำนวน 5 ชุด ประกอบด้วยอัตราส่วนของกากขี้แป้ง: กากอินทรีย์ผสม : EM ขยายส่วน เท่ากับ 3:1:1, 3:2:1, 4:1:1, 4:2:1 และ 4:3:1 ก่อนทำการหมัก พบว่าของแข็งทั้งหมด ความชื้น ของแข็งที่ระเหยได้ และของแข็งที่คงอยู่ มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 42.8-49.8, 50.2-57.2, 47.8-52.1 และ 43.2-54.8 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ หลังหมักกากขี้แป้งในระบบเปิด และระบบปิดเป็นเวลา 24 วัน พบว่าสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 27-28

รูปที่ 27 แสดงสมบัติทางกายภาพหลังการหมักในระบบเปิดเป็นเวลา 24 วัน พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งที่ระเหย มีค่าลดลงช่วงร้อยละ 0.4-12.5 และ 19.1-43.8 โดยน้ำหนัก ส่วน

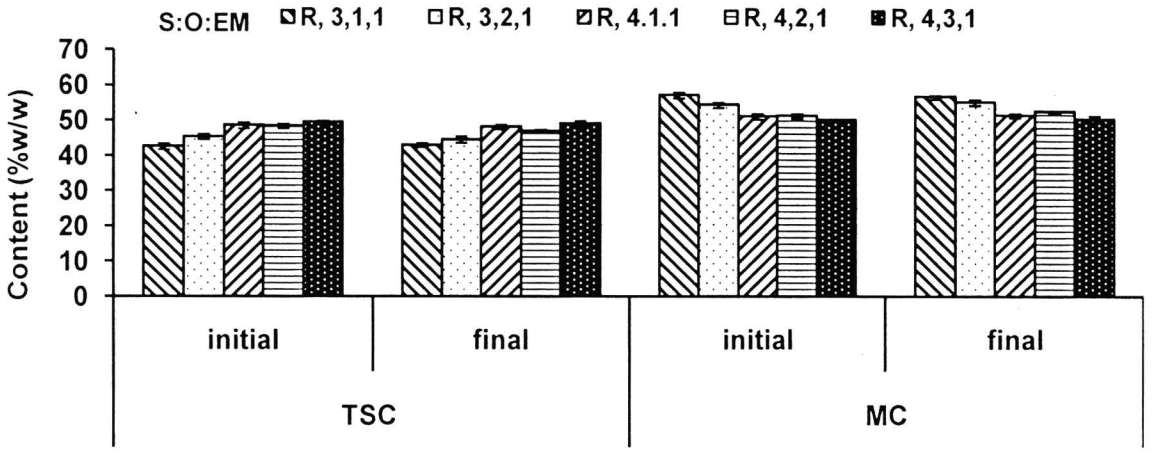
ความชื้นและของแข็งที่คงอยู่ มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 0.3-12.5 และ 18.9-47.7 โดยน้ำหนักตามลำดับ เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในช่วงระหว่างการหมัก โดยจุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนที่มีสายโซ่โมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นคาร์บอนที่ขนาดโมเลกุลเล็กลง สามารถระเหยได้ง่าย ทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง และของแข็งที่ระเหยได้มีค่าเพิ่มมากขึ้น (Bernal *et al*, 2009)

สำหรับสมบัติทางกายภาพหลังการหมักในระบบปิดเป็นเวลา 24 วัน(รูปที่ 28) พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ความชื้น ของแข็งที่ระเหยได้ และของแข็งที่คงอยู่ มีค่ามีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากอยู่ในช่วงร้อยละ 0.8-2.6, 0.8-2.4, 0.8-4.1 และ 0.7-4.3 ตามลำดับ เนื่องจากในระหว่างการหมักเป็นเวลา 24 วัน กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นน้อย ทำนองเดียวกับจุลินทรีย์ซึ่งมีจำนวนลดลง (หัวข้อ 5.4.4) ดังนั้นการหมักในระบบเปิดจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสม สำหรับใช้เตรียมกากขี้แป้งแปรสภาพด้วยจุลินทรีย์ EM เพื่อใช้เป็นสารบำรุงดินต่อไป

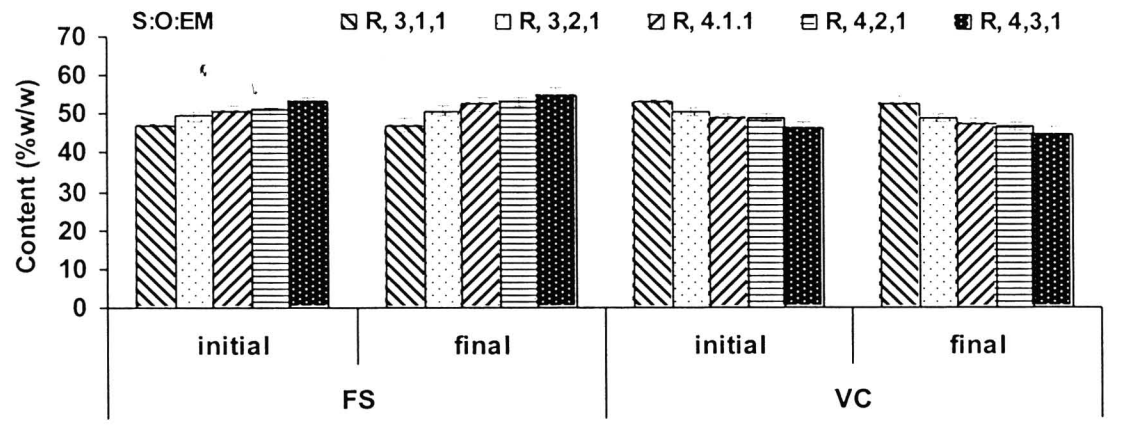


รูปที่ 27 สมบัติทางกายภาพก่อนและหลังการหมัก (a) ของแข็งทั้งหมด (TSC) และ ความชื้น (MC) (b) ของแข็งที่ระเหยได้ (VC) และของแข็งที่คงอยู่ (FS) ในระบบเปิด

a



b



รูปที่ 28 สมบัติทางกายภาพก่อนและหลังการหมัก (a) ของแข็งทั้งหมด (TSC) และ ความชื้น (MC) (b) ของแข็งที่ระเหยได้ (VC) และของแข็งที่คงอยู่ (FS) ในระบบปิด

5.5 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

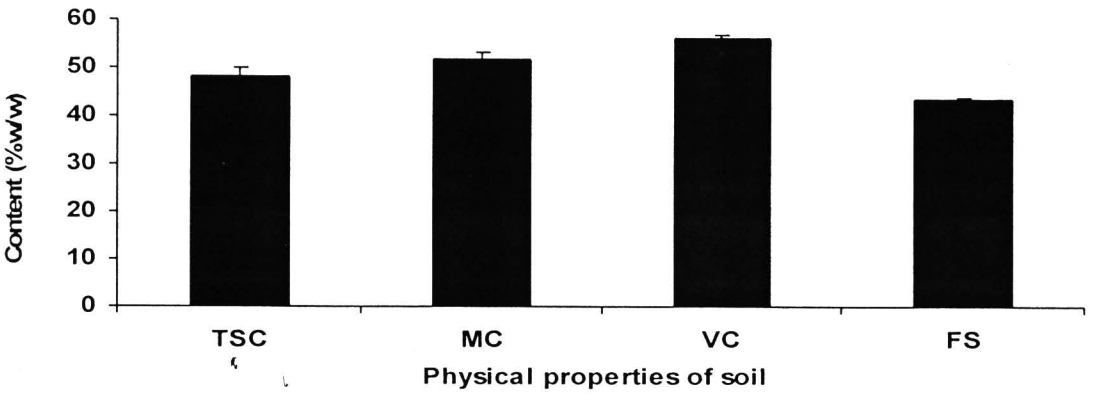
ดินที่นำมาใช้ผสมกับกากขี้แป้งที่แปรสภาพเป็นสารบำรุงดิน มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 29-30

จากรูปที่ 29 จะเห็นว่าสมบัติทางกายภาพของดินที่ใช้ผสมสารบำรุงดินมีค่าพีเอช 6.84 ± 0.07 ความหนาแน่น 1.12 ± 0.01 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ความชื้น ของแข็งที่ระเหยได้ และของแข็งที่คงอยู่ มีร้อยละ 48.3 ± 1.6, 51.7 ± 1.6, 56.4 ± 0.6 และ 43.6 ± 0.6 โดยน้ำหนัก

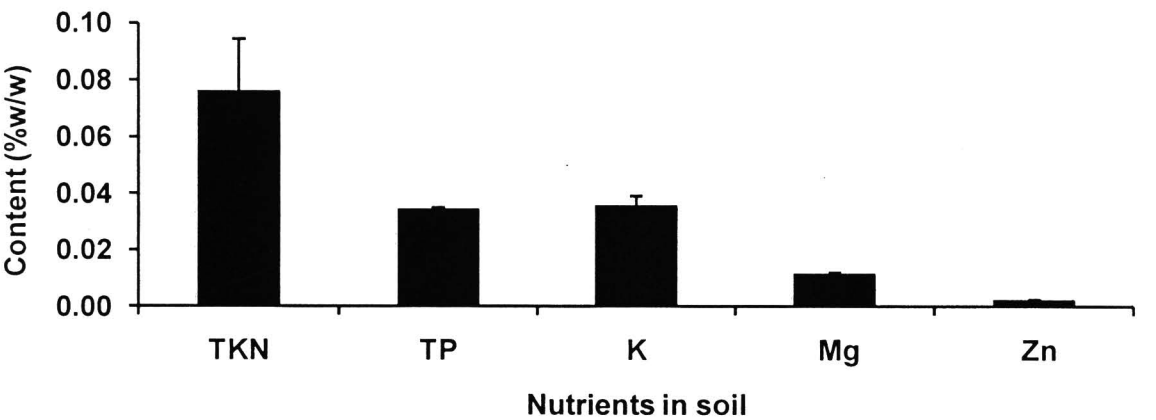
รูปที่ 30 แสดงสมบัติทางเคมีของดิน พบว่าธาตุอาหารต่างๆ ในดินมีปริมาณค่อนข้างน้อย โดยไนโตรเจนทั้งหมด มีปริมาณสูงสุด รองลงมาคือ ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี ดังนี้ 0.076±0.018, 0.034±0.001, 0.035±0.004, 0.011±0.001 และ 0.002±0.001 ร้อยละโดยน้ำหนักตามลำดับ หากเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารของดินและกากขี้แป้งที่แปรสภาพซึ่งจะใช้เป็นสารบำรุงดิน (อัตราส่วนที่ผ่านการหมักแล้ว) พบว่ากากขี้แป้งที่แปรสภาพแล้ว มีปริมาณธาตุอาหารมากกว่าดินค่อนข้างมาก คือ ธาตุอาหารหลักไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม มีปริมาณสูงกว่าในดิน

ประมาณ 25 เท่า 275 เท่า และ 10 เท่า ส่วนธาตุอาหารรอง แมกนีเซียม และสังกะสี มีปริมาณสูงกว่าในดินประมาณ 200 เท่า

ดังนั้น การนำสารบำรุงดินไปใช้ในการปลูกต้นทานตะวันจึงต้องปรับสัดส่วนของดินและสารบำรุงดินให้เหมาะสมก่อนนำไปปลูกพืช ดังแสดงในหัวข้อ 5.6



รูปที่ 29 สมบัติของแข็งทั้งหมด (TSC) ความชื้น (MC) ของแข็งที่ระเหยได้ (VC) และของแข็งที่คงอยู่ (FS) ของดิน



รูปที่ 30 ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ในดิน

5.6 อัตราส่วนของสารบำรุงดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกต้นทานตะวัน

กากขี้แป้งที่แปรสภาพแล้ว ซึ่งจะนำมาใช้เป็นสารบำรุงดิน (SA) เตรียมจากอัตราส่วนผสมระหว่างกากขี้แป้ง กากอินทรีย์ และ EM ขยายส่วน หมักในระบบเปิดเป็นเวลา 24 วัน มีจำนวน 5 ชุด (คือ 3:1:1, 3:2:1, 4:1:1, 4:2:1 และ 4:3:1) นำมาผสมกับดิน โดยใช้สารบำรุงดิน (SA) : ดิน (Soil) เท่ากับ 1:2, 1:3 และ 1:4 โดยปริมาตร อัตราส่วนนี้สามารถนำมาปลูกต้นทานตะวัน ซึ่งมีโอกาสรอดชีวิตได้ร้อยละ 80-100 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก 6) โดยเตรียมดินผสมสารบำรุงดินให้มีปริมาตรรวมเท่ากับ 2 ลิตร จากนั้นนำต้นกล้าต้นทานตะวัน *Heliaths annus* L. พันธุ์ Sun-smile มาปลูกชุดการทดลองละ 10 ต้น ทำนองเดียวกันปลูกต้นกล้าต้นทานตะวันด้วยดินกลุ่มควบคุม ซึ่งประกอบด้วย 3 ชุด คือ

- กลุ่ม positive control (Pos) หมายถึง ใส่ปุ๋ยเคมี [3]

- กลุ่ม negative control (Neg) หมายถึง ใช้ดินทรายสำหรับปลูก และ

- กลุ่มควบคุม (Con) หมายถึง ใช้ดินปกติ

ติดตามการเจริญเติบโตทุกๆ 10 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน ด้วยการตรวจสอบ คือ วัดความสูงของต้น ด้วยการเริ่มวัดตรงตำแหน่งที่ระยะห่างจากดิน 1 เซนติเมตร ขนาดลำต้น (หรือเส้นรอบวง) วัดตรงตำแหน่งเหนือข้อแรก (ตรงตำแหน่งที่ใบเลี้ยงหลุดออก) และนับจำนวนใบ

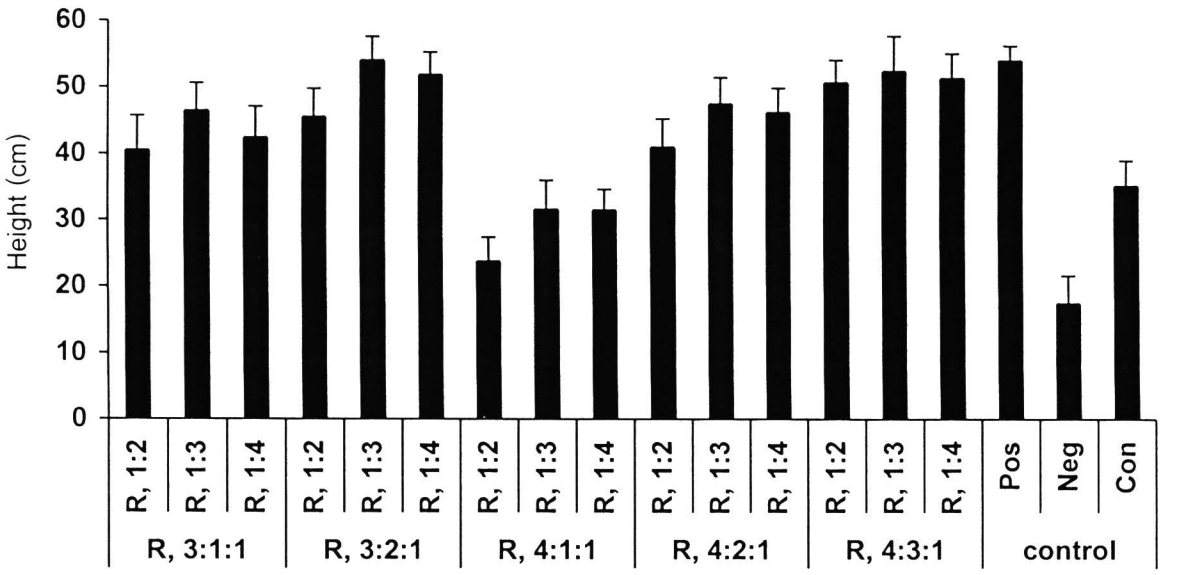
จากรูปที่ 31-33 จะเห็นว่าต้นทานตะวันมีความสูง ขนาดลำต้น และจำนวนใบเพิ่มขึ้นทุกชุดการทดลองตามระยะเวลาปลูก แสดงว่าต้นทานตะวันสามารถเจริญเติบโตได้ทุกชุดการทดลอง ซึ่งชุดการทดลองที่ใช้ กากขี้แป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน เท่ากับ 4:3:1 เป็นสารบำรุงดินนำมาผสมดินโดยใช้อัตราส่วนผสมระหว่างสารบำรุงดิน : ดิน เท่ากับ 1:3 และ 1:4 พบว่าสามารถปลูกต้นทานตะวัน มีความสูง ขนาดลำต้น และจำนวนใบมากที่สุด รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ใช้ กากขี้แป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน เท่ากับ 3:2:1 เป็นสารบำรุงดิน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารบำรุงดิน : ดิน เท่ากับ 1:3 และ 1:4 พบว่าต้นทานตะวันมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับกลุ่มที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี (Pos) ทางการค้า นอกจากนี้พบว่าทุกชุดการทดลองมีความสูง ขนาดลำต้น และจำนวนใบ มากกว่ากลุ่มที่ปลูกด้วยทราย (Neg) และเจริญเติบโตมากกว่าชุดควบคุมที่ปลูกในดินอย่างเดียว (Con) ยกเว้น ชุดการทดลองที่ใช้กากขี้แป้ง : กากอินทรีย์ : EM x เท่ากับ 4:1:1 พบว่าต้นทานตะวันมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด

จากรูปที่ 34-35 จะเห็นว่าต้นทานตะวันหลังการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาปลูก 60 วัน มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งแตกต่างกัน โดยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นทานตะวันมีแนวโน้มสามารถแสดงถึงการเจริญเติบโตของต้นทานตะวันได้ทำนองเดียวกัน ชุดการทดลองที่ใช้อัตราส่วนกากขี้แป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน เท่ากับ 4:3:1 เป็นสารบำรุงดิน และใช้อัตราส่วนผสมระหว่างสารบำรุงดิน : ดิน เท่ากับ 1:3 พบว่าต้นทานตะวันมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงสุด รองลงมาคือ อัตราส่วนกากขี้แป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน เท่ากับ 3:2:1 และใช้อัตราส่วนระหว่างสารบำรุงดิน : ดิน เท่ากับ 1:3 สำหรับน้ำหนักสดและแห้งของต้นทานตะวันมีน้ำหนักสูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมี เนื่องจากชุดการทดลองทั้งสอง (กากขี้แป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน เท่ากับ 4:3:1 และ 3:2:1 ผสมกับดิน 1 : 3 มีจำนวนจุลินทรีย์ในขั้นตอนการหมักมากที่สุดดังรูปที่ 21 (หัวข้อ 5.4.4) ส่งผลให้ต้นทานตะวันมีการเจริญเติบโตดี สอดคล้องกับการทดลองของ Wu *et al* (2005) ซึ่งระบุว่าจุลินทรีย์มีส่วนช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน ทำให้ดินมีความร่วนซุย รากพืชสามารถดูดสารพวกแร่ธาตุต่างๆในดินเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้ง่ายขึ้น ทำให้ในระบบปลูกที่มีจำนวนจุลินทรีย์มากพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าในระบบปลูกที่มีจำนวนจุลินทรีย์น้อย ซึ่งให้ผลสอดคล้อยกับจรัญ (2542) ที่พบว่าต้นยางที่ได้รับ EM ให้

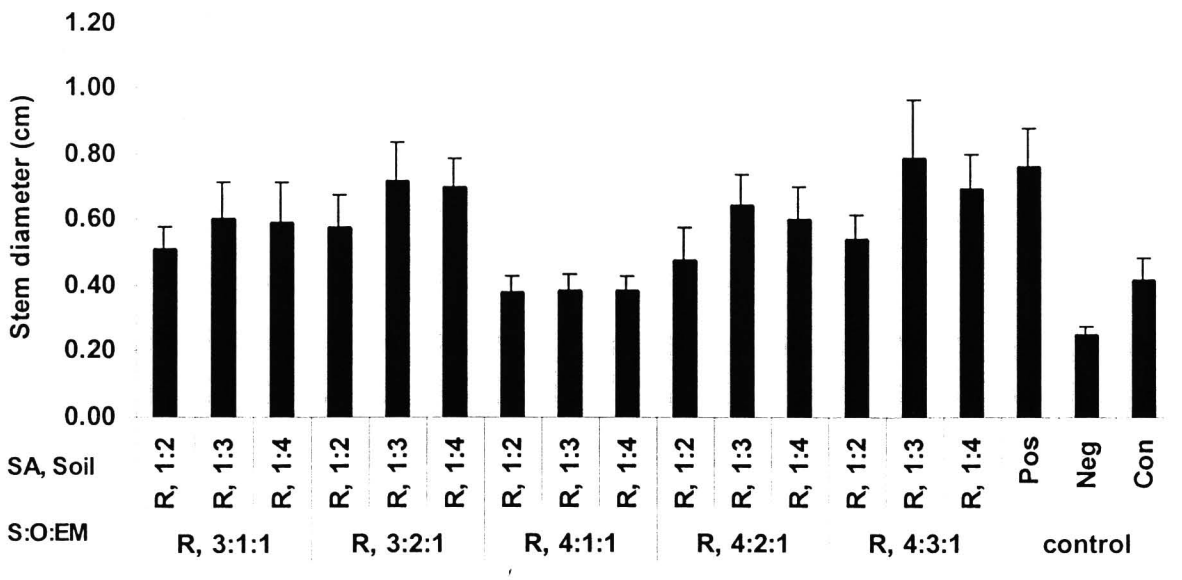
---

[3] ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ใส่รองพื้นก่อนปลูก 6 กรัมต่อต้น (0.06 กิโลกรัม ต่อพื้นที่ 2.4 ตารางเมตร) และใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) หลังปลูก 30 วัน 3.75 กรัมต่อต้น (0.0375 กิโลกรัม ต่อพื้นที่ 2.4 ตารางเมตร)

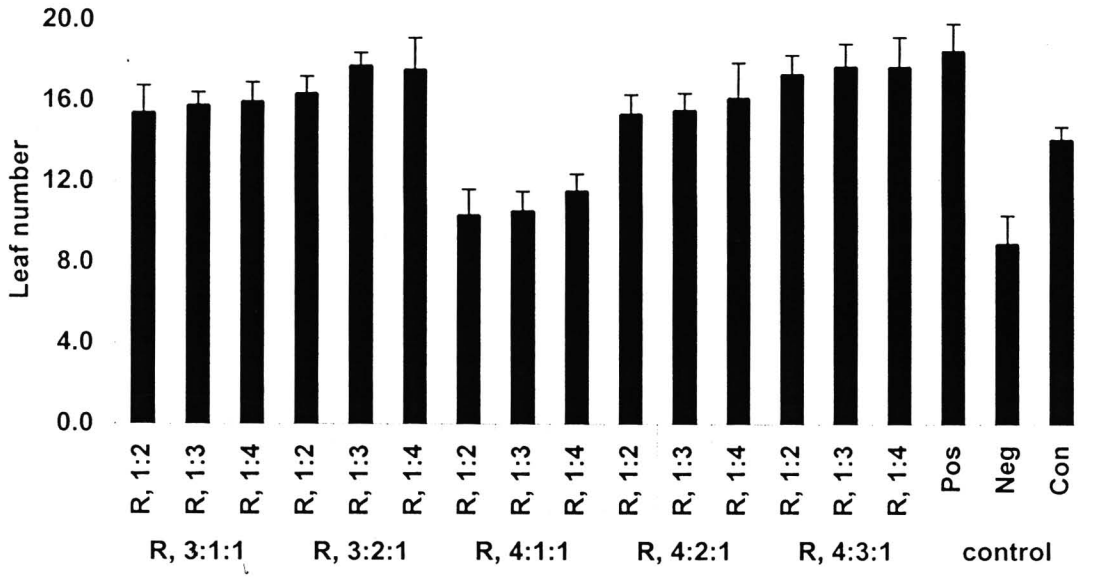
น้ำยางสูงกว่าต้นยางที่ได้รับปุ๋ยเคมี และสภาพของสวนยางมีหน้าดินร่วนซุย ส่วน Khaliq *et al.* (2006) พบว่า การใช้สารอินทรีย์ร่วมกับ EM และการใช้ NPK ร่วมกับ EM และสารอินทรีย์ทำให้ผลผลิตฝ้ายเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยเคมี



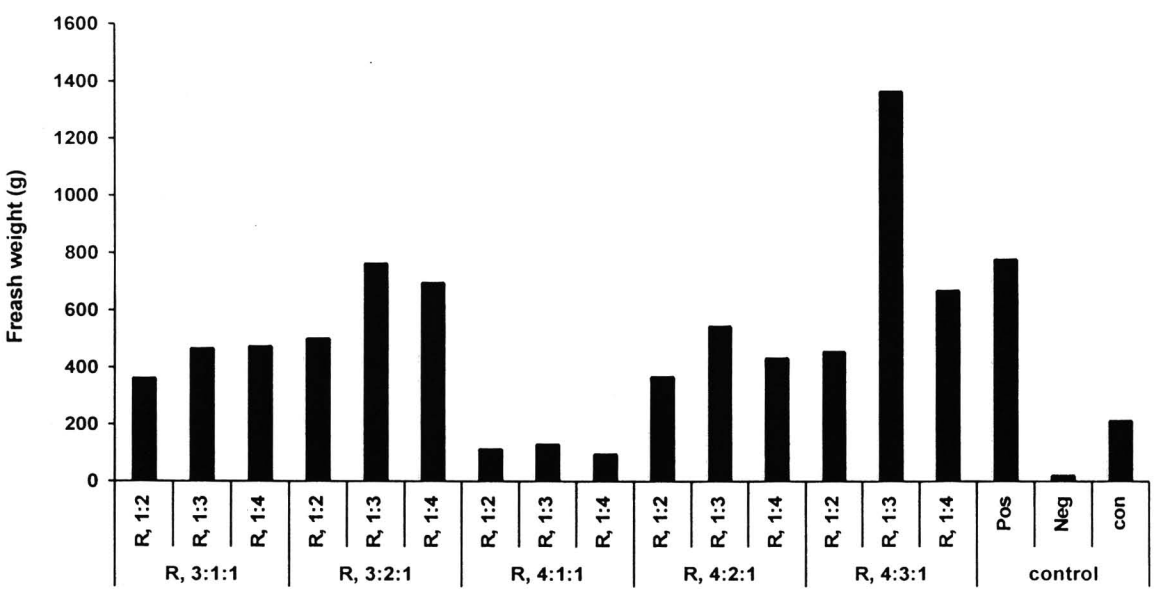
รูปที่ 31 ความสูงของต้นทานตะวันที่ปลูกในดิน 5 ชุดทดลองที่ระยะเวลา 60 วัน



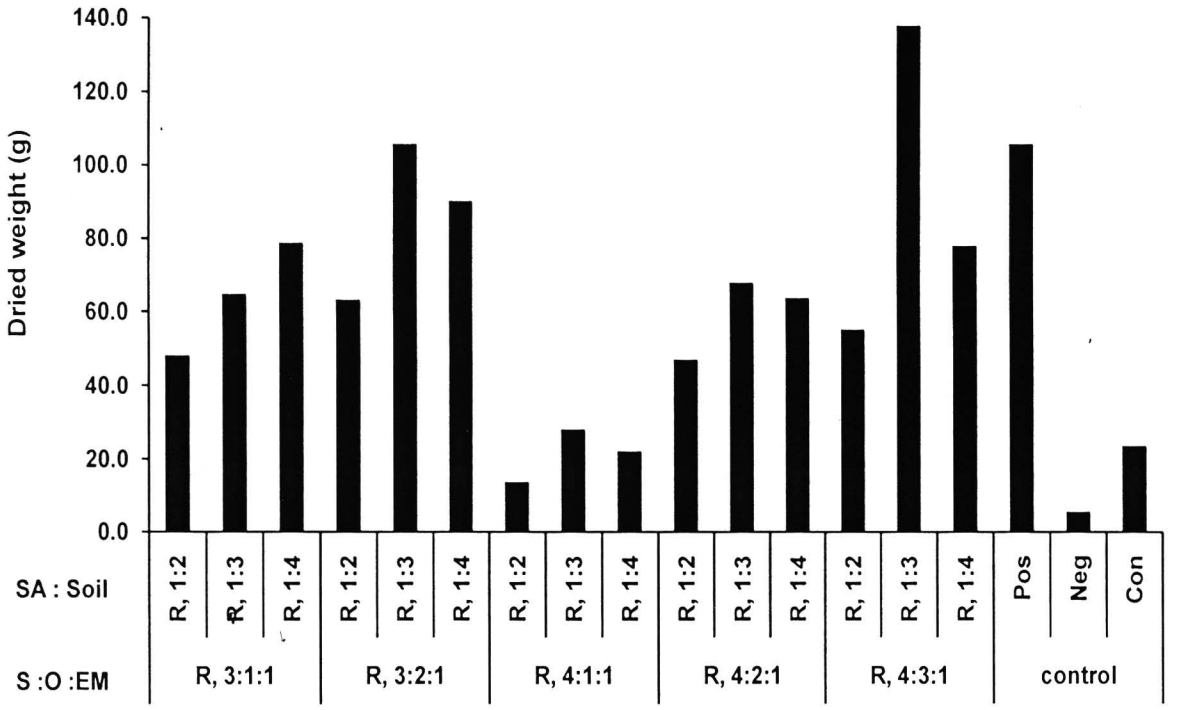
รูปที่ 32 ขนาด (เส้นรอบวง) ต้นทานตะวันที่ปลูกในดิน 5 ชุดทดลองที่ระยะเวลา 60 วัน



รูปที่ 33 จำนวนใบของต้นทานตะวันที่ปลูกในดิน 5 ชุดทดลองที่ระยะเวลา 60 วัน



รูปที่ 34 น้ำหนักสดของต้นทานตะวันที่ระยะเวลา 60 วัน



รูปที่ 35 น้ำหนักแห้งของต้นทานตะวันที่ระยะเวลา 60 วัน

5.7 ปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนและหลังการปลูกต้นทานตะวัน

ดินที่ใช้ปลูกต้นทานตะวัน ประกอบด้วยสารบำรุงดินจำนวน 5 ชุด ผสมดิน 3 อัตราส่วน คือ 1:2, 1:3 และ 1:4 วิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี ก่อนและหลังปลูกต้นทานตะวัน พบว่าธาตุอาหารในดินมีปริมาณลดลง โดยไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียม มีค่าลดลงมากกว่าแมกนีเซียม และสังกะสี เนื่องจาก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการใช้ในปริมาณสูง (Jones, 1979)

จากรูปที่ 36 ธาตุอาหารหลักไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมในดิน 5 ชุดการทดลองซึ่งผสมสารบำรุงดิน เริ่มต้นปลูกพบว่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีปริมาณร้อยละอยู่ในช่วง 0.56-0.86, 1.72-3.63 และ 0.09-0.15 หลังจากปลูกต้นทานตะวันเป็นเวลา 60 วัน ไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในดินมีค่าลดลงมากที่สุดในช่วงร้อยละ 74.7-90.6 เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต นอกจากนี้ไนโตรเจนบางส่วนจะถูกเปลี่ยนจากแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เป็นแอมโมเนีย ซึ่งสามารถระเหยออกไปสู่บรรยากาศได้ ทำให้ไนโตรเจนส่วนหนึ่งหายไป ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนมีค่าลดลงไป สำหรับฟอสฟอรัสทั้งหมด มีปริมาณลดลงร้อยละ 25.7-41.3 ซึ่งเป็นปริมาณที่ลดลงไม่มากนัก เนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสที่ทำการวิเคราะห์เป็นปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณของฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ อยู่ในรูป $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-} (Mohanty *et al*, 2006) ส่วนโพแทสเซียมสามารถละลายน้ำมีปริมาณลดลงในช่วงร้อยละ 17.3-62.7 เนื่องจากเป็นธาตุ

อาหารที่มีความสำคัญในการสร้างและการเคลื่อนย้ายอาหารพวกแป้งและน้ำตาลไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเติบโต และส่งไปเก็บไว้เป็นเสบียงที่หัวหรือที่ลำต้น (Soumaré *et al.*, 2002)

สำหรับธาตุอาหารรองได้แก่ แมกนีเซียม และสังกะสี เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ช่วงเริ่มปลูกต้นทานตะวัน โดยใช้สารบำรุงดินจำนวน 5 ชุด ผสมดิน 3 อัตราส่วน คือ 1:2 , 1:3 และ 1:4 ดังแสดงในรูปที่ 37 พบว่า ธาตุอาหารแมกนีเซียม และสังกะสี มีปริมาณร้อยละอยู่ในช่วง 0.29-0.48 และ 0.06-0.10 ตามลำดับ และหลังปลูกต้นทานตะวันเป็นเวลา 60 วัน พบว่าแมกนีเซียมและสังกะสีมีปริมาณลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 29.2-80.2 และ 27.5-77 ตามลำดับ

จากรูปที่ 36-37 จะเห็นว่าชุดการทดลองที่ใช้อัตราส่วนระหว่าง กากขี้แป้ง :กากอินทรีย์ :EM ขยายส่วน เท่ากับ 4:3:1 เป็นสารบำรุงดิน มีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองทุกชนิดปริมาณลดลงมากที่สุด กล่าวคือ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี มีปริมาณลดลงร้อยละ 96.3, 27.7, 62.8, 80.3 และ 77.0 ส่วนชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีพบว่า ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี มีปริมาณลดลงร้อยละ 89.6, 31.2, 34.9, 60.2 และ 89.4 ตามลำดับ แสดงว่าธาตุอาหารในดินชุดทดลองจำนวนหนึ่ง (ปริมาณที่ลดลงไป) ถูกใช้ไปในการเจริญเติบโตระหว่างการปลูกต้นทานตะวัน และมีปริมาณที่ถูกใช้ไปใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมี

5.8 ปริมาณธาตุอาหารในต้นทานตะวัน

วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี ในต้นทานตะวันหลังจากการปลูกที่ 60 ในดินที่ใช้สารบำรุงดินจำนวน 5 ชุด ผสมดิน 3 อัตราส่วน คือ 1:2 , 1:3, 1:4 และดินกลุ่มควบคุมที่ใส่ปุ๋ยเคมี ดังแสดงในรูปที่ 38-39 พบว่า

ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญของพืช โดยทั่วไปพืชต้องการไนโตรเจนปริมาณร้อยละ 1-2.5 โดยน้ำหนัก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) สำหรับต้นทานตะวันที่ปลูก 60 วัน ในดิน 5 ชุดทดลอง และดินกลุ่มควบคุมที่ใส่ปุ๋ยเคมี ตรวจพบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.94-1.29 และ 1.37 ตามลำดับ (รูปที่ 38) โดยธาตุไนโตรเจนที่ตรวจพบ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบหลายชนิดในต้นทานตะวัน ได้แก่ โปรตีน และ คลอโรฟิลล์ เป็นต้น (จำเป็น, 2547) เมื่อต้นทานตะวันได้รับปริมาณไนโตรเจนปริมาณพอเพียง จะสามารถเจริญเติบโตได้ดี ใบมีขนาดใหญ่และมีสีเขียวเข้ม นอกจากนี้ Putnam (1990) ได้พบว่าปริมาณของธาตุไนโตรเจน มีผลต่อการสร้างเมล็ดในต้นทานตะวันด้วย

ฟอสฟอรัส เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์หลายชนิดในพืช เช่น กรดนิวคลีอิก ฟอสโฟไลปิด โปรตีน และเป็นองค์ประกอบของ ATP *[4] (Jones, 1979) พืชสามารถนำไปใช้ได้อยู่ในรูป $H_2PO_4^-$

---

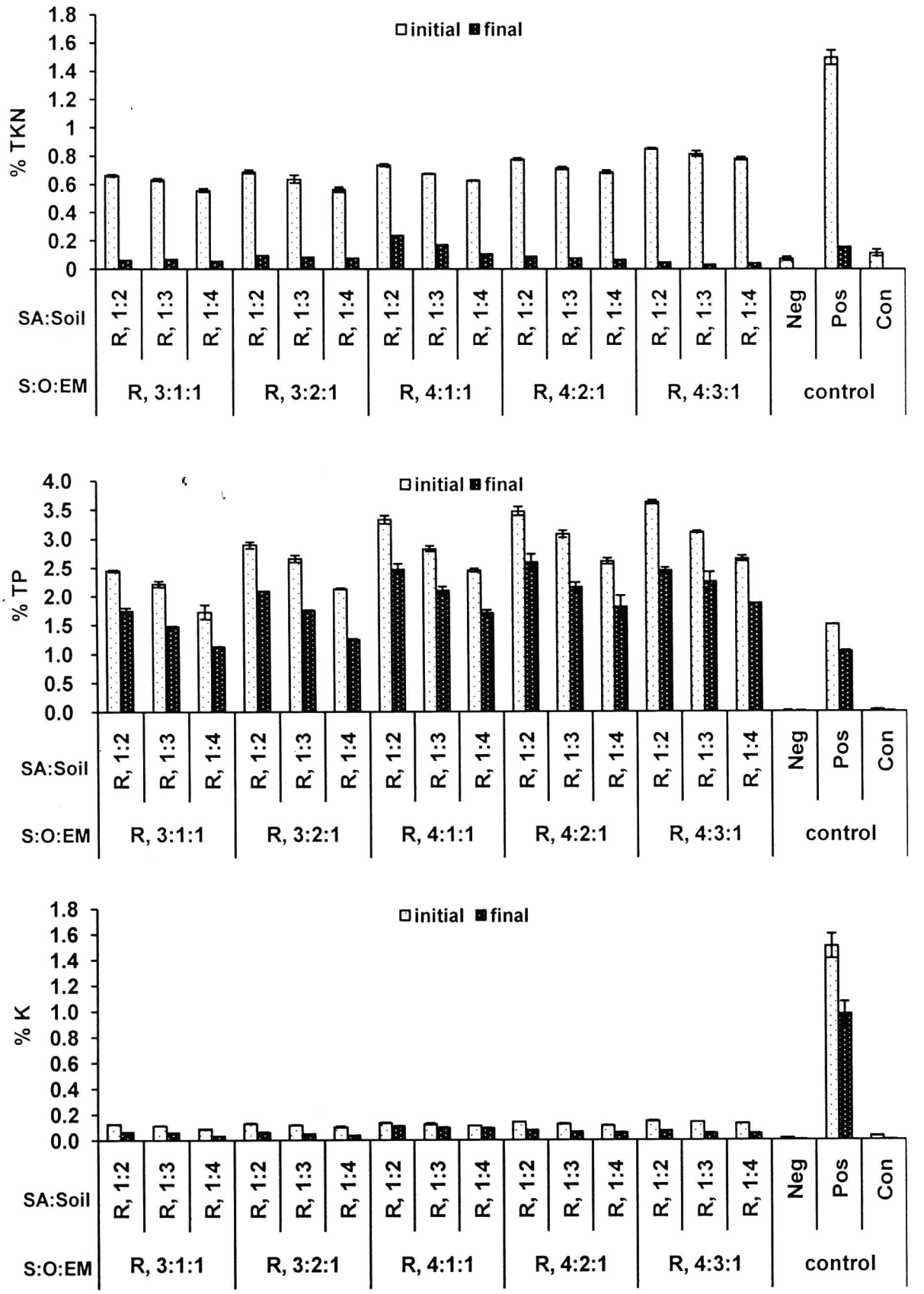
[4] หมายเหตุ * ATP (adenosine triphosphate) หมายถึง พลังงานที่ได้จากการเมทาบอลิซึม หรือการหายใจ

และ HPO_4^{2-} โดยทั่วไปพืชมีความต้องการฟอสฟอรัสร้อยละ 0.3–0.5 โดยน้ำหนัก สำหรับต้นทานตะวันหลังการปลูกที่ 60 ในดิน 5 ชุดทดลอง และดินกลุ่มควบคุมที่ใส่ปุ๋ยเคมี ตรวจพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.61-1.28 และ 0.76 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 38 โดยฟอสฟอรัสที่ตรวจพบมีปริมาณมากเกินพอ ทำหน้าที่ช่วยในการเจริญของต้นอ่อน มีผลต่อการออกดอกของต้นทานตะวัน และการเติบโตของเมล็ด (Thompson and Troeh, 1978)

ธาตุโพแทสเซียม ที่ตรวจพบในต้นทานตะวัน ที่ปลูก 60 วัน ในดิน 5 ชุดทดลอง มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 0.14-0.20 ส่วนดินกลุ่มควบคุมที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 0.27 ดังแสดงในรูปที่ 38 แสดงว่า ธาตุโพแทสเซียมที่มีอยู่ในดิน ส่วนของต้นทานตะวันได้ถูกน้ำไปใช้และเก็บสะสมไว้ที่ลำต้นในปริมาณต่ำน้อยกว่าร้อยละ 0.3 ซึ่งโดยทั่วไปธาตุโพแทสเซียมที่พบในพืช มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 0.2-3.5 (ศรีสม, 2544) เนื่องจากธาตุโพแทสเซียมมีความสำคัญต่อการสร้างและการเคลื่อนย้ายอาหารประเภทแป้งและน้ำตาล เพื่อนำไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเจริญเติบโตของต้นทานตะวัน ส่วนของธาตุโพแทสเซียมที่เหลือจะส่งไปเก็บไว้ที่หัว หรือลำต้น

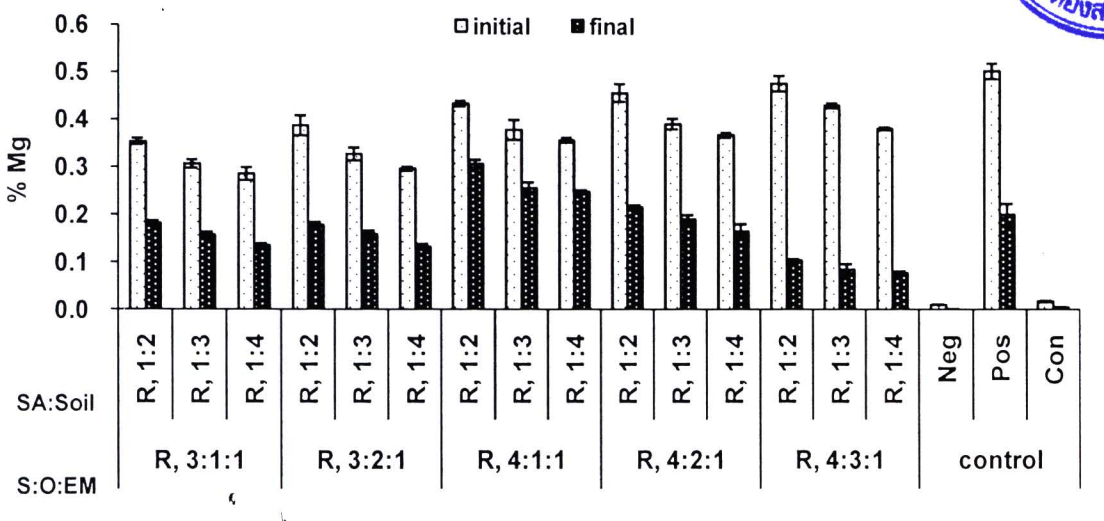
ธาตุแมกนีเซียม และสังกะสี ซึ่งตรวจพบในต้นทานตะวัน ที่ปลูก 60 วัน ในดิน 5 ชุดทดลอง มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 0.12-0.33 และ 0.02-0.06 ตามลำดับ ส่วนดินกลุ่มควบคุมที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีปริมาณร้อยละ 0.31, 0.12 ตามลำดับ ดังรูปที่ 39 จะเห็นว่าธาตุแมกนีเซียมและสังกะสีที่ปลูกในดิน 5 ชุดทดลองมีปริมาณค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตามธาตุแมกนีเซียมและสังกะสีเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการน้อย (ธาตุอาหารรอง) พืชโดยทั่วไปต้องการธาตุแมกนีเซียมร้อยละ 0.15-0.35 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) ส่วนสังกะสี EPA (Environmental Protection Agency) ได้กำหนดให้กากตะกอนที่จะนำไปใช้ในการเกษตรกรรมได้ ต้องมีปริมาณสังกะสีต่ำกว่า 7500 ส่วนในล้านส่วน หรือร้อยละ 0.75 (Brady and Weil, 2002) ซึ่งสารบำรุงดินที่ใช้ในการปลูกต้นทานตะวันมีปริมาณน้อยกว่าที่ EPA กำหนด จึงสามารถนำไปใช้ได้

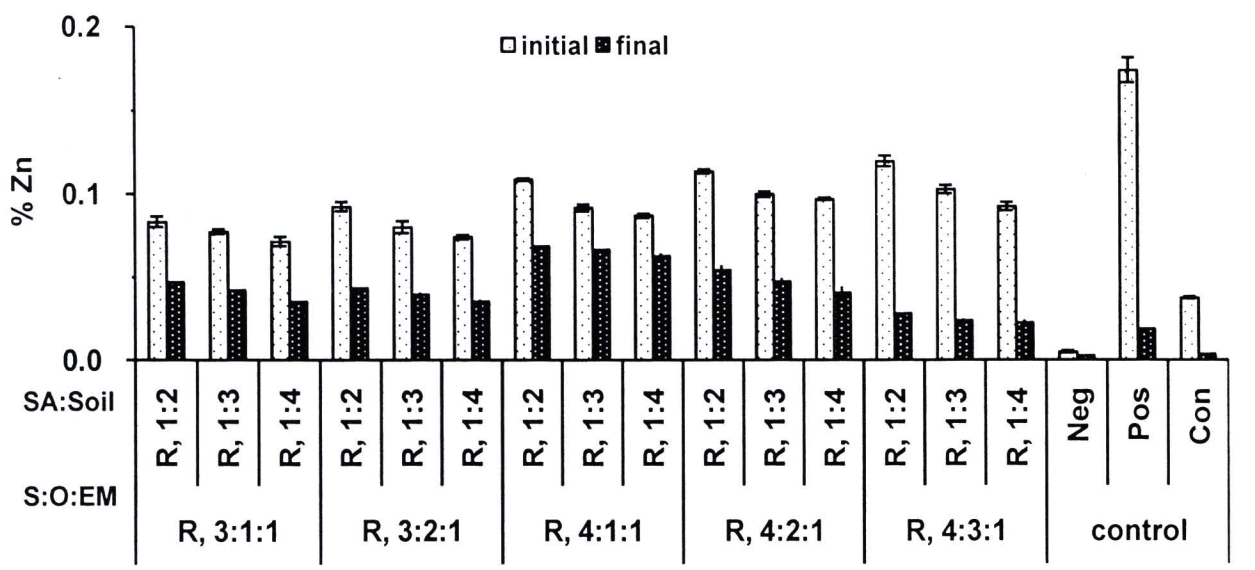
จะเห็นว่า ต้นทานตะวัน ซึ่งปลูก 60 วัน ในดินที่ประกอบด้วย กากขี้แป้งแปรสภาพ (กากขี้แป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน = 4:3:1) ในรูปของสารบำรุงดิน ผสมกับดินในสัดส่วน 1 : 3 พบว่าต้นทานตะวันที่ปลูกมีธาตุอาหาร TKN, TP, K, Mg และ Zn ปริมาณร้อยละ 1.23±0.02, 1.08±0.06, 0.20±0.01, 0.33±0.01 และ 0.06±0.01 ส่วนธาตุอาหารที่ตรวจพบในต้นทานตะวันซึ่งปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีปริมาณร้อยละ 1.37±0.05, 0.76±0.14, 0.27±0.01, 0.31±0.04 และ 0.12±0.01 ตามลำดับ จะเห็นว่าธาตุอาหารที่ตรวจพบในต้นทานตะวันที่ปลูกในดินทั้งสองสภาวะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า กากขี้แป้งแปรสภาพ (กากขี้แป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน = 4:3:1) นำมาใช้ในรูปของสารบำรุงดินผสมกับดิน ด้วยสัดส่วนผสม 1 : 3 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด สามารถนำไปใช้ในการปลูกต้นทานตะวันแทนการใช้ปุ๋ยเคมีได้



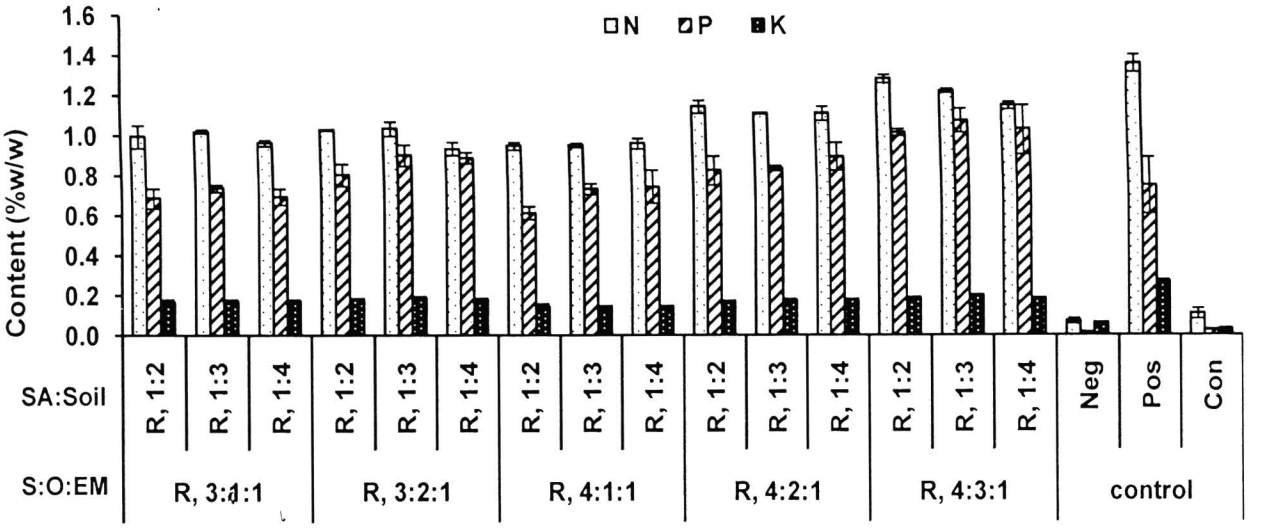
รูปที่ 36 ปริมาณธาตุอาหารหลักก่อน และหลังการปลูกในดิน (60 วัน) ที่เติมสารบำรุงดิน อัตราส่วนต่างๆ (a) ไนโตรเจนทั้งหมด (b) ฟอสฟอรัสทั้งหมด และ (c) โพแทสเซียม

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

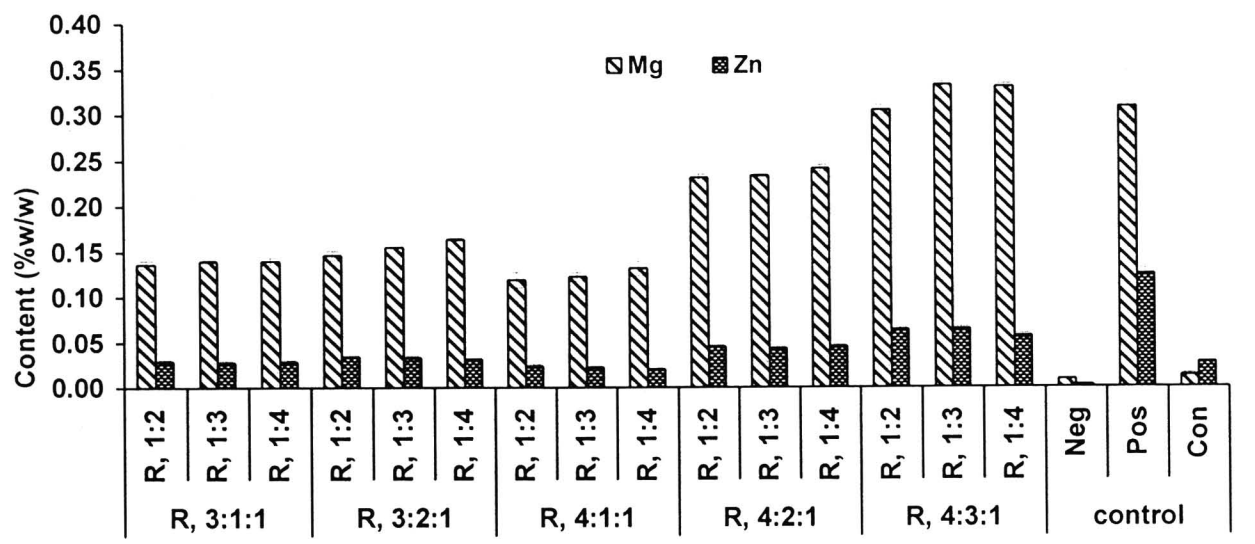




รูปที่ 37 ปริมาณธาตุอาหารก่อน และหลังการปลูกในดิน (60 วัน) ที่เติมสารบำรุงดิน อัตราส่วนต่างๆ (a) แมกนีเซียม และ (b) สังกะสี



รูปที่ 38 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียม ในต้นทานตะวัน หลังการปลูก 60 วัน



รูปที่ 39 ปริมาณแมกนีเซียมและสังกะสีในต้นทานตะวันหลังการปลูก 60 วัน

5.9 วิเคราะห์ราคาต้นทุน และความเป็นไปได้เชิงธุรกิจ

การใช้กากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาแปรสภาพ ด้วยการผสมร่วมกับกากอินทรีย์ คือ มูลไก่ ขี้เลื่อย และรำข้าว หมักร่วมกับจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน แล้วนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารบำรุงดิน ปลูกพืชทางเกษตร ได้แก่ ต้นทานตะวัน เป็นต้น โดยเลือกอัตราส่วนสารบำรุงดินที่ทำให้ต้นทานตะวันมีการเจริญเติบโตสูงสุด คือ อัตราส่วนของกากขี้แป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน เท่ากับ 4:3:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด

ในการเตรียมจะต้องนำกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มาปรับค่าความเป็นกรดก่อนให้มีค่าพีเอช 5-6 เตรียมโดยใช้กากขี้แป้งซึ่งเป็นของเสียจากโรงงาน 4 ลิตร (4.08 กิโลกรัม) ต่อจากนั้นจึงนำกากขี้แป้งนี้มาผสมกับกับกากอินทรีย์ และจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน

ราคาต้นทุนวัตถุดิบที่มีจำหน่ายทางการค้าที่ต้องใช้ในการแปรสภาพกากขี้แป้ง คือ

หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ราคา 90 บาท/ลิตร, กากน้ำตาล ราคา 15 บาท/กิโลกรัม

น้ำส้มสายชู ราคา 10 บาท/ขวด/0.75 ลิตร, มูลไก่ ราคา 1 บาท/กิโลกรัม

รำข้าว ราคา 8 บาท/กิโลกรัม ขี้เลื่อย ราคา 2 บาท/กิโลกรัม

คำนวณราคาต้นทุนวัตถุดิบ *

ใช้กากขี้แป้งเป็นของเสียที่ได้จากโรงงานน้ำยางข้น 4 ลิตร (4.08 กิโลกรัม) เป็นเงิน 0 บาท

ใช้น้ำส้มสายชู 150 ลบ.ซม.	เป็นเงิน	2	บาท
ใช้มูลไก่ 1 ลิตร (1.25 กิโลกรัม)**	เป็นเงิน	1.25	บาท
ใช้ขี้เลื่อย 1 ลิตร (0.95 กิโลกรัม)**	เป็นเงิน	1.90	บาท
ใช้รำข้าว 1 ลิตร (1.12 กิโลกรัม)**	เป็นเงิน	8.96	บาท
ใช้ EM ขยายส่วน 1 ลิตร **	เป็นเงิน	4.80	บาท

รวมน้ำหนักที่หมัก(4.08+1.25+0.95+1.12+1+0.15) = 8.55 กิโลกรัม

หลังหมักเสร็จ อบให้แห้ง น้ำหนักหายไป 60% มีน้ำหนัก = 3.42 กิโลกรัม

คิดเป็นราคาต้นทุนของวัตถุดิบต่อน้ำหนักสุทธิของสารบำรุงดิน = (2+1.25+1.90+8.96+4.8) /3.42

= **5.52** บาท ต่อ กิโลกรัม

<u>หมายเหตุ</u>

* ไม่คิดค่าแรงในการเตรียม

** มูลไก่ :ขี้เลื่อย:รำข้าว = 1:1:1 โดยปริมาตร คิดเป็นน้ำหนักที่ใช้ 1.25: 0.95:1.12 กิโลกรัม

(มีความหนาแน่น = 1.25: 0.95:1.12 กรัมต่อลูกบาศ์เซนติเมตร)

*** EM ขยายส่วน ประกอบด้วย EM : กากน้ำตาล : น้ำ = 1:1:20 โดยน้ำหนัก

วิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงธุรกิจ

กากขี้แป้งน้ำยางข้น เป็นของเสียจากโรงงานที่ไม่มีมูลค่า นำมาแปรสภาพด้วยการผสมกับกากอินทรีย์ และจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน แล้วใช้ประโยชน์ด้านการเกษตร เป็นสารบำรุงดิน ปลูกต้นทานตะวันพืช ได้ผลดีเช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

ปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15 ตรวจสอบราคาจำหน่ายในท้องตลาด 1,000 บาท ต่อกระสอบ (หรือ 20 บาท ต่อกิโลกรัม) ส่วนผลิตภัณฑ์สารบำรุงดินที่ผลิตจากกากขี้แป้งน้ำยางข้นรวมกับส่วมผสมกากอินทรีย์และจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน มีราคาต้นทุนเท่ากับ 5.52 บาท ต่อกิโลกรัม

ดังนั้นจึงเห็นว่าการผลิตภัณฑ์สารบำรุงดินจากกากขี้แป้งน้ำยางข้น สามารถเพิ่มมูลค่าของเสียที่ต้องกำจัดทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น และลดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จะให้ความคุ้มค่าในเชิงธุรกิจ สามารถนำไปผลิตได้จริงเพื่อจำหน่ายในเชิงธุรกิจต่อไป

6. สรุปผลการวิจัย

การแปรสภาพกากขี้แป้งโดยใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ร่วมกับกากอินทรีย์วัตถุ คือ มูลสัตว์ ขี้เลื่อย และรำข้าว พบว่ากากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ธาตุอาหารที่พบมากที่สุด คือ P รองลงมา คือ ธาตุ Mg , N, K และ Zn สำหรับกากอินทรีย์พวก มูลไก่ รำข้าว และขี้เลื่อย มีปริมาณธาตุอาหารน้อย และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การแปรสภาพกากขี้แป้ง ด้วยจุลินทรีย์ EM ที่อัตราส่วนระหว่าง กากขี้แป้ง: กากอินทรีย์ผสม : EM ขยายส่วนเท่ากับ 4:3:1 โดยปริมาตร หมักในระบบเปิด เป็นเวลา 24 วัน สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารบำรุงดิน ทำให้ต้นทานตะวันเจริญเติบโตได้ผลผลิตดีเช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยเคมี โดยมีสัดส่วนผสมสารบำรุงดินต่อดิน เท่ากับ 1 ต่อ:3 ส่วน การนำมาหมักแปรสภาพร่วมกับกากอินทรีย์ทางเกษตรหลังจากทำให้แห้ง สามารถนำมาจำหน่ายในเชิงการค้า ใช้เป็นสารบำรุงดินได้ เป็นการเพิ่มมูลค่าของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และลดปัญหาขยะที่เป็นปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมได้

7. ข้อเสนอแนะ

7.1. ศึกษาเพิ่มเติมถึงการนำกากขี้แป้งมาแปรสภาพแล้วมาใช้ปลูกพืชชนิดต่างๆ กัน และสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำมาใช้ผสมดินต่างชนิดกัน

7.2 ศึกษาเพิ่มเติมความจำเป็นต้องมีการตรวจสอบสัดส่วนผสมของการนำมาใช้งานด้านการเกษตรก่อนทุกครั้ง หรือจัดทำมาตรฐานสัดส่วนที่จะนำมาใช้งานปลูกพืชต่างชนิดกัน

7.3 วิจัยเพิ่มเติมถึงความแปรปรวนของสารอาหารในกากขี้แป้งที่ช่วงฤดูกาลที่แตกต่างกัน และสัดส่วนที่เหมาะสมในการหมักร่วมกับสารกากอินทรีย์ชนิดอื่น

7.4 วิจัยเพิ่มเติมการใช้กากอินทรีย์ชนิดอื่นเป็นส่วนผสมหมักร่วมกับกากขี้แป้ง เพื่อใช้เป็นสารบำรุงดิน