การใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดิน ด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

Utilization of Extracted Juice from Vermicompost to Replace Chemical Fertilizer for Soiless Culture with Hydroponic System

ปริศนา คล้ายทอง

Prissana Klaythong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University
2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการ ปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

ผู้เขียน นางสาวปริศนา คล้ายทอง

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

……..

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

……

(ดร.วัสสา คงนคร)

คณะกรรมการสอบ

……ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ สุวรรณโณ)

……...กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)

……...กรรมการ

(ดร.วัสสา คงนคร)

…….....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญ งามผ่องใส)

…….....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลินดา อริยเดช)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

……

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอแสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

ลงชื่อ……..……
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ……..……
(นางสาวปริศนา คล้ายทอง)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อนและไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นางสาวปริศนา คล้ายทอง)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

ผู้เขียน นางสาวปริศนา คล้ายทอง

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ ได้ศึกษา ลักษณะของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มีการผลิตเชิงพานิชย์ การทดลองถึง การละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และการทำเสถียร ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้สภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ โดยศึกษาถึง ลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์ ใช้น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อใช้เป็นธาตุอาหารทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic และมีการทดลองใช้โดยปลูกด้วยต้นผักกาดหอม ผลการศึกษา พบว่าปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตแบบพาณิชย์ มีค่า VS, ash, TN, P_2O_5 และ K_2O เฉลี่ยเท่ากับ 43.24%, 56.76%, 1.13%, 1.77% และ 0.58 % น้ำหนักแห้งตามลำดับ มีค่าโลหะหนักในรูป As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg และ Zn เฉลี่ยเท่ากับ 1.68 mg/kg, 0.19 mg/kg, 5.13 mg/kg, 23.72 mg/kg, 3.06 mg/kg, <0.001 mg/kg และ 81.87 mg/kg น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อนำมาละลายด้วยน้ำ พบว่าสามารถละลายได้ดีในช่วงเวลา 20 นาทีแรก และการละลายจะเริ่มคงที่เมื่อ 60 นาที แต่ยังคงเหลือกากส่วนที่ไม่ละลายสูง สารละลายที่ได้เมื่อใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 250 กรัมแห้งต่อน้ำ 1 ลิตร พบว่ามีสารอาหารในเทอม TKN, TP, และ TK เข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 21.56 , 22.42 และ 755 mg/l ตามลำดับ และมีค่าโลหะหนักที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยน้ำ แต่ยังมีสารอินทรีย์อยู่และยังตรวจพบว่ามีเชื้อแบคทีเรียในเทอมของ total plate count เท่ากับ 2.2 X 10^5 CPU/ml และมีค่า germination index เท่ากับ 84% เมื่อทำการเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ด้วยการเติมอากาศและไม่เติมอากาศ พบว่าการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศจะให้ผลที่ดีกว่าแบบไม่เติมอากาศ ดังนั้นเมื่อนำไปใช้ ควรใช้ระยะที่ทำเสถียร น้ำหมักตามอัตราส่วนดังกล่าวในภาวะมีการเติมอากาศไม่น้อยกว่า 5-10 วัน นอกจากนี้ผลจากการทดลองใช้น้ำหมักและ น้ำที่ละลาย จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic โดยทดลองปลูกกับผักกาดหอม พบว่าชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมี ให้ผลในด้านการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่สูงที่สุดในด้านความสูง จำนวนใบ น้ำหนักเปียก น้ำหนักแห้ง VS TKN และ P รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ภายใต้การทำเสถียรในสภาวะ

เติมอากาศที่ 10 วัน ที่ความเข้มข้น 50% แสดงให้เห็นว่าน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีศักยภาพมากพอในการใช้เป็นธาตุอาหารทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic และผลจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่ามีความคุ้มทุน

Thesis Title Utilization of extracted juice from vermicompost to replace chemical fertilizer for soiless culture with hydroponic system

Author Miss Prissana Klaythong

Major Program Environmental Management

Academic Year 2013

ABSTRACT

This study was conducted to determine the characteristics of commercial vermicompost, the experiment on the dissolubility of vermicompost and the bio-stabilization of extracted juice from vermicompost under aerobic and anaerobic conditions via investigation of the physical, chemical and biological characteristics of the extracted juice. This study was aimed to use extracted juice from vermicompost to replace chemical fertilizers for soilless culture with hydropronic system by tested with the lettuce. The study results were as following. The commercial vermicomposts were determined to consist of VS, ash, TN, P_2O_5 and K_2O with the average values of 43.24%, 56.76%, 1.13%, 1.77% and 0.58 % dry weight, respectively. They contained of heavy metals in terms of As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg and Zn with the average values of 1.68 mg/kg, 0.19 mg/kg, 5.13 mg/kg, 23.72 mg/kg, 3.06 mg/kg, <0.001mg/kg and 81.87 mg/kg dry weight, respectively. When vermicomposts were dissolved with water, it was found that vermicomposts could be well dissolved with water at the first 20 minutes and the solubility was stable after 60 minutes. However, the large volume of un-dissolved residues was remained. The solution obtained from using of 250 g (dry wt.) of vermicompost dissolved with 1 liter of water, contained the highest concentrations of TKN, TP, and TK of 21.56 mg/l, 22.42 mg/l and 755 mg/l, respectively. The concentrations of heavy metals in the solution were determined to be lower than the liquid fertilizer standard, while the organic matter was observed to be remained. In addition, bacteria in terms of total plate count and germination index were determined to be 2.2 X 10^5 CPU/ml and 84%. The study of the stabilization of the vermicompost extracted juice with aerobic condition was found to give the better results than the stabilization under anaerobic condition. It also found that stabilization time during 5-10 days of extracted juice from vermicompost via aeration will be recommended. In addition, from the results obtained when used the solution and

extracted juice from vermicompost to grow lettuce with hydroponic system, it was found that the experimental set using chemical fertilizers gave the best growth results, in particular in terms of height, weights (both wet and dry weight), numbers of leaves, VS, TKN and P contained. While, the second best results was found in the experimental set using 50% extracted juice from vermicompost stabilized at 10 days with aerobic condition. This implied that the extracted juice from vermicompost gave the sufficient potential to use for replace chemical fertilizers for soiless culture with hydroponic system. It is also found that it is economically obtained.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพประกอบ	(15)
บทที่	
1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	42
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	42
2 วิธีดำเนินการวิจัย	43
ขอบเขตและกรอบแนวคิดการวิจัย	43
วัสดุและอุปกรณ์การวิจัย	43
วิธีการดำเนินการวิจัย	45
3 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	57
ลักษณะปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการศึกษา	57
ผลการศึกษาของลักษณะการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน	59
ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	72
ผลการทดลองการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำสกัดที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกผักกาดหอมด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์	95
บทวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	131

สารบัญ

หน้า

4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 137
สรุปผล 137
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม 140
เอกสารอ้างอิง 141
ภาคผนวก ก 147
ภาคผนวก ข 149
ประวัติผู้เขียน 151

รายการตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	ชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งชนิดต่างๆในประเทศไทย	7
ตารางที่ 2	ปริมาณธาตุอาหารพืชของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่างๆ	8
ตารางที่ 3	ปริมาณแร่ธาตุอาหารหลักของพืชที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์โดยใช้ไส้เดือนดิน	9
ตารางที่ 4	ปริมาณธาตุอาหารพืชที่ผ่านและไม่ผ่านการย่อยของไส้เดือนดินจากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ต่างๆ	9
ตารางที่ 5	ปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้จากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ต่างๆของไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Pheretima peguana* และ *Eisenia foetida*	10
ตารางที่ 6	คุณลักษณะทางกายภาพและ เคมี ของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน	11
ตารางที่ 7	ปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีในน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ได้จากการใช้ไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Pheretima peguana* ย่อยสลายขยะอินทรีย์	12
ตารางที่ 8	ลักษณะทางเคมีของน้ำหมักมูลไส้เดือนดินจากแหล่งการผลิตเชิงพานิชย์	13
ตารางที่ 9	ลักษณะน้ำหมักชีวภาพจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้ภาวะมีอากาศและไม่มีอากาศในช่วง 20 วัน	14
ตารางที่ 10	ปุ๋ยบางชนิดที่ใช้ในสารละลายเพื่อให้ธาตุอาหารหลัก	27
ตารางที่ 11	สูตรมาตรฐานของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์	28
ตารางที่ 12	คุณภาพของน้ำที่สามารถนำมาปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์	30
ตารางที่ 13	ช่วงค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของผักและผลไม้บางชนิด	31
ตารางที่ 14	ค่า EC ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆ	33
ตารางที่ 15	ลักษณะอาการผิดปกติที่พบในพืชที่ขาดธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต	37
ตารางที่ 16	ดัชนีการเก็บเกี่ยวของพืชแต่ละชนิด	40

รายการตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 17	รายละเอียดชุดการทดสอบศักยภาพของการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน/น้ำจากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์	51
ตารางที่ 18	วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน สารละลายที่ได้ และตัวอย่างผักกาดหอม	54
ตารางที่ 19	เปรียบเทียบผลการศึกษาคุณลักษณะของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน	58
ตารางที่ 20	สมการแสดงอัตราการละลายที่เกิดขึ้นของแต่ละชุดทดลองในช่วง 20 นาทีแรกของการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน	65
ตารางที่ 21	สมการแสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการละลายและค่าความเข้มข้นของ TDS TDVS และ SCOD ในสารละลายที่ 60 นาทีกับอัตราส่วนของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการละลายด้วยน้ำ	66
ตารางที่ 22	เปรียบเทียบผลการศึกษาลักษณะของน้ำสกัดที่ได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินกับมาตรฐานปุ๋ยน้ำและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน	68
ตารางที่ 23	ปริมาณส่วนของเหลวที่แยกได้และส่วนของกากที่เหลือที่ไม่สามารถละลายได้ที่การละลาย 60 นาที	69
ตารางที่ 24	ปริมาณโลหะหนักของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศในช่วงหลังการทำเสถียรผ่านไป 10 วัน	88
ตารางที่ 25	ผลการทดสอบค่าที (t – test) ระหว่างร้อยละของค่า germination index ของการทดสอบการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินของภายใต้สภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	91
ตารางที่ 26	ปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ในสารละลายธาตุอาหารในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในแต่ละรอบขณะทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic	106

รายการตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 27	ปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในแต่ละรอบขณะทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic	107
ตารางที่ 28	ปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในแต่ละรอบขณะทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic	108
ตารางที่ 29	ปริมาณโลหะหนักในสารละลายธาตุอาหารที่ผสมรวม 5 รอบในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย และผสมรวม 5 รอบในช่วงสิ้นสุดการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย ในขณะทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic	109
ตารางที่ 30	สรุปลักษณะการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ทดลองปลูกในระบบ Hydroponic	117
ตารางที่ 31	ความสูงเฉลี่ยและอัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงของผักกาดหอมตลอดช่วงระยะเวลาของการปลูกในระบบ hydroponic	118
ตารางที่ 32	จำนวนใบเฉลี่ยและอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบของผักกาดหอมของผักกาดหอมตลอดช่วงระยะเวลาของการปลูกในระบบ hydroponic	119
ตารางที่ 33	ปริมาณน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ของแข็งระเหยได้ และปริมาณเถ้าของผักกาดหอมที่ปลูกในสาระลายปุ๋ยสูตรต่างๆ ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบไฮโดรโปนิกส์	121
ตารางที่ 34	ปริมาณโลหะหนักในผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ hydroponic	127
ตารางที่ 35	ผลการศึกษาในด้านสภาวะที่ใช้ทดลอง และลักษณะการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในขณะทดลองปลูกด้วยระบบ hydroponic	128
ตารางที่ 36	เปรียบเทียบผลสรุปของการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	134

รายการภาพประกอบ

หน้า

ภาพที่ 1	เทคนิคการปลูกพืชไร้ดินแบบต่างๆ	18
ภาพที่ 2	การปลูกแบบให้รากลอยอยู่ในอากาศ	19
ภาพที่ 3	การปลูกในวัสดุปลูกโดยใช้แรงโน้มถ่วง	21
ภาพที่ 4	การปลูกในวัสดุปลูกโดยใช้ระบบควบคุมเวลา	21
ภาพที่ 5	การให้สารละลายโดยการหยด	22
ภาพที่ 6	การปลูกแบบสารละลายไม่หมุนเวียน ไม่เติมอากาศ	24
ภาพที่ 7	การปลูกแบบสารละลายไม่หมุนเวียน เติมอากาศ	24
ภาพที่ 8	การปลูกพืชแบบให้สารละลายไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ	26
ภาพที่ 9	กรอบแนวคิดการวิจัย	44
ภาพที่ 10	ตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการศึกษา	46
ภาพที่ 11	การทดสอบการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน	48
ภาพที่ 12	ชุดการทดลองการหมักภายใต้สภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	49
ภาพที่ 13	ปุ๋ยเคมีและสารละลายที่ได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน	50
ภาพที่ 14	วัสดุ/ อุปกรณ์ในการเพาะกล้าผักกาดหอม	52
ภาพที่ 15	ชุดทดลองการปลูกพืชไร้ดินแบบสารละลายไม่หมุนเวียน	56
ภาพที่ 16	การเปลี่ยนแปลงของค่า pH และ conductivity ในสารละลายที่ได้ตามระยะเวลาการละลาย 120 นาที	61
ภาพที่ 17	การเปลี่ยนแปลงของค่า SS และ VSS ในของเหลวที่ได้ขณะทดลองการละลายในช่วง 0-120 นาที	62
ภาพที่ 18	การเปลี่ยนแปลงของค่า TDS และ TDVS ในสารละลายที่ได้เมื่อทดลองการละลาย 0-120 นาที	63
ภาพที่ 19	ค่า SCOD ในสารละลายที่ได้เมื่อทดลองการละลายในช่วง 0-120 นาที	63
ภาพที่ 20	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการละลายในช่วง 20 นาที และอัตราส่วนของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการละลาย	65

รายการภาพประกอบ

หน้า

ภาพที่ 21	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของ TDS TDVS และSCOD เมื่อละลายที่ 60 นาทีกับอัตราปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่ใช้ในการละลาย	66
ภาพที่ 22	สัดส่วนร้อยละของกากที่เหลือจากการละลายและปริมาณของเหลวที่แยกได้ในแต่ละอัตราการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำที่ศึกษา	70
ภาพที่ 23	ผลการวิเคราะห์สมดุลมวลของมวลสารต่างๆ ในสารละลายและกากที่เหลือที่ไม่ละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน	71
ภาพที่ 24	สัดส่วนของมวลสารต่างๆ จากกากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ถ่ายโอนมวลสู่การละลายที่ได้ และคงอยู่ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน	72
ภาพที่ 25	ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	74
ภาพที่ 26	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	75
ภาพที่ 27	การเปลี่ยนแปลงสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	76
ภาพที่ 28	การเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	77
ภาพที่ 29	การเปลี่ยนแปลง SS ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	80
ภาพที่ 30	การเปลี่ยนแปลง VSS ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	80
ภาพที่ 31	การเปลี่ยนแปลง TDS ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	81
ภาพที่ 32	การเปลี่ยนแปลง TDVS ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	81
ภาพที่ 33	การเปลี่ยนแปลง SCOD ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	82

รายการภาพประกอบ

หน้า

ภาพที่ 34	ปริมาณ TKN ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	84
ภาพที่ 35	ปริมาณ NH_3-N ที่เกิดขึ้นของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	85
ภาพที่ 36	ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะมีอากาศและไม่เติมอากาศ	86
ภาพที่ 37	ปริมาณโพแทสเซียมของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	87
ภาพที่ 38	การเปรียบเทียบ germination index ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	89
ภาพที่ 39	ประมวลสรุปสภาวะที่เกิดขึ้นในการทดลองทำเสถียรหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้สภาวะการเติมอากาศและไม่เติมอากาศ	92
ภาพที่ 40	อุณหภูมิของอากาศและสารละลายที่ใช้ปลูกผักกาดหอมในระหว่างการทดลอง	96
ภาพที่ 41	การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของสารละลายที่ใช้ปลูกผักกาดหอมในระหว่างการทดลอง	98
ภาพที่ 42	การเปลี่ยนแปลงของ conductivity ในสารละลายที่ใช้ปลูกผักกาดหอมในระหว่างการทดลอง	101
ภาพที่ 43	การเปลี่ยนแปลงของ SCOD ในสารละลายที่ใช้ปลูกผักกาดหอมในระหว่างการทดลอง	103
ภาพที่ 44	การเจริญเติบโตของผักกาดหอมในช่วงเริ่มต้นปลูกในระบบ hydroponic (อายุ 12 วันตั้งแต่การเริ่มเพาะเมล็ด)	111
ภาพที่ 45	การเจริญเติบโตของผักกาดหอมหลังปลูก 7 วัน ในระบบ hydroponic (อายุ 19 วันตั้งแต่การเริ่มเพาะเมล็ด)	112

รายการภาพประกอบ

หน้า

ภาพที่ 46	การเจริญเติบโตของผักกาดหอมหลังปลูก 14 วัน ในระบบ hydroponic (อายุ 26 วันตั้งแต่การเริ่มเพาะเมล็ด)	113
ภาพที่ 47	การเจริญเติบโตของผักกาดหอมหลังปลูก 21 วัน ในระบบ hydroponic (อายุ 33 วันตั้งแต่การเริ่มเพาะเมล็ด)	114
ภาพที่ 48	การเจริญเติบโตของผักกาดหอมหลังปลูก 28 วัน ในระบบ hydroponic (อายุ 40 วันตั้งแต่การเริ่มเพาะเมล็ด)	115
ภาพที่ 49	การเจริญเติบโตของผักกาดหอมหลังปลูก 33 วัน ในระบบ hydroponic (อายุ 45 วันตั้งแต่การเริ่มเพาะเมล็ด)	116
ภาพที่ 50	ปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ของผักกาดหอมในช่วงเริ่มปลูก และหลังปลูก 33 วัน ด้วยระบบ hydroponic	123
ภาพที่ 51	ปริมาณฟอสฟอรัสในผักกาดหอมในช่วงเริ่มปลูกและหลังปลูก 33 วัน ด้วยระบบ hydroponic	124
ภาพที่ 52	ปริมาณโพแทสเซียมในผักกาดหอมในช่วงเริ่มปลูกและหลังปลูก 33 วัน ด้วยระบบ hydroponic	126

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัจจุบันกระแสรักสุขภาพของผู้บริโภคได้เพิ่มมากขึ้นพร้อมๆกับความต้องการบริโภคพืช ปลอดสารพิษหรือไร้สารพิษ ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเกษตรมีการพัฒนาไปในด้านการเกษตรอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น กรมวิชาการเกษตร (2555) ระบุว่าเกษตรอินทรีย์ เป็นระบบการผลิตที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อมรักษาสมดุลของธรรมชาติและความหลากหลายทางชีวภาพโดยมีระบบการจัดการนิเวศวิทยาที่คล้ายคลึงกับธรรมชาติและหลีกเลี่ยงการใช้สาร เคมีสังเคราะห์ เน้นการใช้อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และ ปุ๋ยชีวภาพในการปรับปรุงบำรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ เพื่อให้ต้นพืชมีความแข็งแรงสามารถต้านทานโรคและแมลงด้วยตนเอง ให้ความสำคัญกับความยั่งยืนของสุขภาพดิน ระบบนิเวศ และผู้คน เกษตรอินทรีย์พึ่งพาอาศัยกระบวนการทางนิเวศวิทยา ความหลากหลายทางชีวภาพ และวงจรธรรมชาติ ที่มีลักษณะเฉพาะของแต่ละพื้นที่ ในปัจจุบันเกษตรอินทรีย์เป็นทางเลือกที่เข้ามามีบทบาทในการแก้ไข ฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมที่เสื่อมโทรมลงจากการเกษตรแบบใหม่ โดยจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่ทำให้การเกษตรมีความยั่งยืนขึ้น อนึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้มีการพัฒนามากขึ้น โดยปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินก็จัดได้ว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีการผลิตอย่างแพร่หลายและอยู่ในประเภทปุ๋ยอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดชนิดหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์ทั่วๆ ไป (อานัฐ ตันโช, 2550) ซึ่งจากกระแสรักสุขภาพที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผู้บริโภคได้หันมาสนใจในเรื่องการรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพกันมากขึ้น ผักปลอดสารพิษหรือไร้สารพิษจึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ซึ่งการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่ได้รับความสนใจจากผู้บริโภค แต่ในทางปฏิบัติแล้วการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์จะมีการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูก ซึ่งอาจส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของผู้บริโภคได้ ทั้งนี้หากมีการใช้ปุ๋ยเคมีที่น้อยลงหรือมีการผลิตไปในด้านเกษตรอินทรีย์ที่มากขึ้น ก็จะเป็นส่วนหนึ่งที่สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลงได้ ซึ่งจากกระแสดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชไร้ดินโดยมุ่งหวังในการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ เพื่อลดการใช้หรือการทดแทนปุ๋ยเคมีให้น้อยลง อนึ่งในทางปฏิบัติแล้วกรรมวิธีในการทำน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะ ดำเนินการโดยการละลายปุ๋ยหมักมูล

ไส้เดือนดินด้วยน้ำก่อน ต่อจากนั้นเข้าสู่การหมัก โดยสามารถดำเนินการได้ทั้ง ในรูปของการ หมักโดยการ เติม อากาศ และการหมักแบบไ ม่เติม อากาศ ทั้งนี้เป้าหมายเพื่อทำให้น้ำหมักที่ได้มีความเสถียรมากขึ้นก่อนนำไปใช้งาน

ดังนั้นการศึกษาวิจัย เรื่องการใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ ให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ในการดำเนินการวิจัยจึงต้องมีการศึกษาตั้งแต่คุณสมบัติของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ความสามารถในการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน การทำเสถียร โดยการหมักของน้ำสกัดที่ได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของน้ำสกัดที่ได้ และการทดสอบในด้านการใช้เป็นปุ๋ยเพื่อทดแทนปุ๋ยเคมี ตลอดจนการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในระบบ การปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ ไฮโดรโปนิกส์ โดยมีเป้าหมายเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในระบบปลูกดังกล่าว องค์ความรู้นี้จะช่วยให้เกิดการใช้ประโยชน์ของของเสีย และเพิ่มมูลค่าจากการใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น และยังเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ ไฮโดรโปนิกส์ที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะเป็นแนวทางในการ ก่อให้เกิด การเกษตรอินทรีย์ที่ยั่งยืน ภายใต้หลักการจัดการสิ่งแวดล้อม

การตรวจเอกสาร

1. เกษตรอินทรีย์

ศุภชัย หล่อโลหการ และคณะ (2550) กล่าวว่า ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาไปในทางด้านเกษตรธรรมชาติหรือเกษตรอินทรีย์มากขึ้น ซึ่งภาครัฐได้เข้ามาส่งเสริมเกี่ยวกับเกษตรอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ได้ประกาศในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 (2545-2549) ซึ่งในส่วนของ “ยุทธศาสตร์การเพิ่มสมรรถนะและขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ ” โดยกำหนดแนวทางการพัฒนา “การปรับโครงสร้างการผลิตและการค้าให้ดำเนินไปในทิศทางเดียวกัน เพื่อเสริมสร้างความเข้มแข็งพึ่งพาตนเองและสร้างภูมิคุ้มกันของระบบเศรษฐกิจโดยรวม” โดยการสร้างสมดุลระหว่างการผลิตกับการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้แก่

1) ส่งเสริมกระบวนการพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืนโดยให้เกษตรกรเรียนรู้จากประสบการณ์ของเกษตรกรและกลุ่มเกษตรกร และได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐในหลายรูปแบบ

2) ขยายการพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืนเพื่อสร้างดุลยภาพของการใช้ ทรัพยากรธรรมชาติ และเสริมสร้างขีดความสามารถการเพิ่มผลผลิต เพื่อให้การเกษตรยั่งยืนอยู่รอดได้ในเชิงพานิชย์

3) สร้างระบบเครือข่ายให้สามารถเชื่อมโยงการเกษตรแบบยั่งยืนและระบบเศรษฐกิจชุมชน พร้อมทั้งพิจารณาจัดทำมาตรฐานการผลิตคุณภาพสินค้าเกษตรแบบยั่งยืน ควบคู่ไปกับการรณรงค์ประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ความรู้แก่ผู้ผลิตและผู้บริโภคให้ตระหนักในเรื่องคุณภาพของสินค้าเกษตรปลอดสารพิษ

4) สร้างความรู้และความเข้าใจให้แก่เกษตรกรเพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีการเกษตร เพื่อส่งเสริมการเกษตรปลอดสารพิษให้แพร่หลายพร้อมทั้งเร่งรัดการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อทดแทนสารเคมีการเกษตรและให้มีการขยายผลในเชิงพานิชย์อย่างกว้างขวาง

วิธีการในการดำเนินการทางด้านเกษตรธรรมชาตินอกจากจะไม่มีการใช้สารเคมีใดๆ แต่มีการใช้อินทรีย์สารมาทดแทนไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยต่างๆ เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยพืชสด ในปัจจุบันนี้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินก็ถือได้ว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ดีที่สุดชนิดหนึ่งและไม่มีสารเคมีใดๆ ซึ่งถือได้ว่าจัดเป็นปุ๋ยที่อยู่ในทางด้านการเกษตรธรรมชาติอีกรูปแบบหนึ่ง

2. ผลิตภัณฑ์จากการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดชนิดหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์ทั่วๆ ไป ซึ่งในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะได้ผลผลิตอยู่ 3 ชนิด คือ ตัวไส้เดือนดินที่ขยายจำนวนเพิ่มขึ้น ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน

2.1 ไส้เดือนดินที่ขยายเพิ่มขึ้น

ไส้เดือนดินจัดอยู่ในอาณาจักรสัตว์ (Kingdom : Animalia) ศักดิ์แอนนิลิดา (Phylum : Annelida) ชั้นโอลิโกคีตา (Class : Oligochaeta) อันดับโอพิสโธโพรา (Order : Opisthopora) (อาณัฐ ตันโช, 2549) ซึ่งชนิดของไส้เดือนดินมีอยู่ทั้งหมด 8,000 ชนิด โดยที่ 3,000-3,500 ชนิดอาศัยอยู่ในดิน จำนวนที่เหลืออาศัยอยู่ในน้ำ หรือลำไส้ของสัตว์ โดยไส้เดือนจะจัดอยู่ในสัตว์ประเภทเลือดเย็น จำพวกไม่มีกระดูกสันหลัง และไม่มีอวัยวะที่ยื่นออกมานอกลำตัว การผสมพันธุ์ของไส้เดือนสามารถผสมพันธุ์ได้เมื่ออายุ 2-3 เดือน และจะเจริญเต็มวัยประมาณ 12 เดือน ซึ่งเมื่อมีสภาวะที่เหมาะสมไส้เดือน 1 คู่ จะสามารถผสมพันธุ์ได้ลูกมากถึง 150 ตัว ในระยะเวลา 12 เดือน (พันธมิตร มะลิสุวรรณ และผุสดี สายชนะพันธ์, 2546) ไส้เดือนดินเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ปริมาณองค์ประกอบของอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นและมีความสำคัญในกระบวนการย่อยสลายของเสียอินทรียวัตถุในดิน (Christian, *et al*., 2003) ซึ่งปัจจุบันสายพันธุ์ไส้เดือนดินที่ใช้ในกระบวนการ

ผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในต่างประเทศ เช่น *Eisenia fetida* (tiger worm) *Eisenia andrei* (red tiger worm) *Eudrilus eugeniae* (African night-crawler) *Dendrobaena veneta*, *Perionyx excavatus* และ *Lumbricus rubellus* (red worm) และสำหรับประเทศไทยไส้เดือนที่สามารถย่อยสลายขยะและแพร่พันธุ์ได้ดีเช่นกัน นิยมใช้ไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Pheretima peguana* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่อยู่ในมูลวัว ที่ชาวบ้านเรียกว่า ขี้ตาแร่ (อานัฐ ตันโช และศุภธิดา อ่ำทอง, 2550)

2.2 ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (vermicompost)

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (vermicompost) หมายถึง เศษซากพืชอินทรียวัตถุต่างๆ รวมทั้งดินและจุลินทรีย์ที่ไส้เดือนดินกินเข้าไปแล้วผ่านกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุเหล่านั้นภายในลำไส้ของไส้เดือนดิน แล้วจึงขับถ่ายเป็นมูลออกมาทางรูทวาร ซึ่งมูลที่ได้จะมีลักษณะเป็นเม็ดสีดำ มีธาตุอาหารพืชอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ในปริมาณที่สูงและมีจุลินทรีย์จำนวนมาก ซึ่งในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้ไส้เดือนดิน ขยะอินทรีย์ที่ไส้เดือนดินกินเข้าไป และผ่านการย่อยสลายในลำไส้แล้วขับถ่ายออกมา มูลไส้เดือนดินที่ได้เรียกว่า “ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน”

ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพในลำดับสุดท้ายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้จากกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์ชนิดต่างๆ จะมีลักษณะคล้ายกับแหล่งของขยะอินทรีย์ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการเลี้ยงไส้เดือนดิน อย่างไรก็ตาม ผลผลิตขั้นสุดท้ายของการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมักจะได้วัสดุที่มีลักษณะดีเยี่ยม คือจะเป็นเม็ดร่วนละเอียด มีสีดำออกน้ำตาล โปร่งเบา มีความพรุนระบายน้ำและอากาศได้ดีมาก มีความจุความชื้นสูงและมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงมาก ซึ่งผลจากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ที่ไส้เดือนดินดูดกินเข้าไปภายในลำไส้ และด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้และน้ำย่อยของไส้เดือนดินจะช่วยให้ธาตุอาหารหลายๆชนิดที่อยู่ในเศษอินทรียวัตถุเหล่านั้นถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ เช่น เปลี่ยนไนโตรเจนให้อยู่ในรูปไนเตรทหรือแอมโมเนียม ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์หลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อดิน รวมทั้ง สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในลำไส้ของไส้เดือนดินด้วย และนอกจากนี้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินยังมีความสำคัญ และประโยชน์ที่สามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

- ส่งเสริมการเกิดเม็ดดิน
- เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุแก่ดิน
- เพิ่มช่องว่างในดินให้การระบายน้ำและอากาศดียิ่งขึ้น
- ส่งเสริมความพรุนของผิวหน้าดิน ลดการจับตัวเป็นแผ่นแข็งของหน้าดิน

- ช่วยให้ระบบรากพืชสามารถแพร่กระจายตัวในดินได้กว้าง

- เพิ่มขีดความสามารถในการดูดซับน้ำในดิน ทำให้ดินชุ่มชื้น

- เพิ่มธาตุอาหารพืชให้แก่ดินโดยตรง และเป็นแหล่งอาหารของสัตว์และจุลินทรีย์ดิน

- เพิ่มศักยภาพการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน

- ช่วยลดความเป็นพิษของธาตุอาหารพืชบางชนิดที่มีปริมาณมากเกินไป เช่น อลูมินัม และแมงกานีส เนื่องจาก ปุ๋ยหมักจะช่วยดูดยึดธาตุทั้ง 2 ไว้บางส่วน

- ช่วยเพิ่มความต้านทานในการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด- ด่าง (buffer capacity) ทำให้การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไม่เร็วเกินไปจนเป็นอันตรายต่อพืช

- ช่วยควบคุมปริมาณไส้เดือนฝอยในดิน เนื่องจากการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์ที่สามารถขับสารพวกอัลคาลอยด์และกรดไขมันที่เป็นพิษต่อไส้เดือนฝอยได้เพิ่มขึ้น (อานัฐ ตันโช, 2549)

อานัฐ ตันโช (2549) ทำการศึกษาเศษอินทรียวัตถุชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน โดยจะมีคุณสมบัติในการย่อยสลายแตกต่างกัน โดยมูลสัตว์เคี้ยวเอื้องต่างๆ มูลสุกร มูลไก่ หรือมูลสัตว์ปีกชนิดอื่นๆ เศษผักเหลือทิ้งจากโรงงานคัดบรรจุ เศษอาหารจากโรงอาหาร เป็นเศษวัสดุที่ย่อยสลายได้ง่ายและรวดเร็ว แต่เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรบางชนิด เช่น เศษฟางข้าว ซังข้าวโพด เศษเหลือทิ้งจากก้อนเพาะเห็ด เศษหญ้าแห้ง เศษใบไม้แห้งจากสวนผลไม้ เศษเปลือกไม้จากโรงงานผลิตกระดาษ จัดว่าเป็นวัสดุที่ย่อยสลายยากต้องใช้เวลายาวนานกว่าจะเปื่อยยุ่ยพอที่ไส้เดือนดินจะทำการย่อยสลายได้หมด ดังนั้นการคัดเลือกอินทรียวัตถุเพื่อนำมาย่อยสลายด้วยไส้เดือนดินก็เป็นสิ่งที่ไม่ควรมองข้าม เศษขยะอินทรีย์ชนิดต่างๆที่สามารถนำมาให้ไส้เดือนดินย่อยสลายได้ ประกอบด้วย

มูลวัว – มูลควาย มูลวัว หรือมูลควาย เป็นสิ่งที่สามารถนำมาใช้เลี้ยงไส้เดือนดินให้เจริญเติบโตได้ง่ายที่สุด ซึ่งมักจะมีส่วนประกอบที่เหมาะสมในการนำมาใช้เลี้ยงไส้เดือนดินปะปนอยู่ เนื่องจากมูลวัวหรือมูลควายจะมีลักษณะเป็นก้อนที่ไม่อยู่ในรูปของโคลนเหลวเหมือนอย่างมูลสุกร ทำให้สามารถนำมาใช้เลี้ยงไส้เดือนดินได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการใดๆ และสามารถหาได้ง่ายมาก เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการเลี้ยงสัตว์จำพวก วัว ควาย ไว้ใช้งานในไร่ นา ดังนั้นจึงมีมูลวัวควายที่สามารถเก็บได้มาจากคอกเป็นประจำทุกวัน

มูลม้า มูลม้าเป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เลี้ยงไส้เดือนดินได้อย่างดีเยี่ยม แต่มูลม้าส่วนมากจะเป็นก้อนแข็งและค่อนข้างแห้ง ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เลี้ยงไส้เดือนดิน จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมก่อน เช่น การ

แช่น้ำหรือการหมักให้มีความชื้นเพิ่มขึ้นทำให้ยุ่ย ไม่จับตัวเป็นก้อนแข็ง โรงเลี้ยงม้า คอกม้า หรือฟาร์มเลี้ยงม้า ที่มีมูลม้าเป็นจำนวนมาก สามารถนำมาใช้เลี้ยงไส้เดือนดินได้เป็นอย่างดี

ของเสียจากสุกร ของเสียจากสุกร เช่น มูล ปัสสาวะ เศษอาหารต่างๆที่อยู่ภายในคอกสุกร ส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบของแอมโมเนียและเกลืออนินทรีย์อยู่สูงยังไม่อยู่ในสภาพที่เหมาะสมในการนำไปใช้เลี้ยงไส้เดือนดิน สำหรับของเสียดังกล่าวอยู่ในสภาพที่เป็นกากก็สามารถนำมาผ่านกระบวนการหมักเพื่อลดแอมโมเนียและเกลืออนินทรีย์ได้เลย แต่ถ้าของเสียเหล่านั้นมีลักษณะเป็นโคลนเหลวจำเป็นต้องแยกเอาน้ำออกไปบางส่วนให้เหลือแต่กากด้วยเครื่องแยก วิธีการตกตะกอนของกาก หรือปล่อยให้น้ำระเหยออกไปบางส่วนแล้วจึงนำมาหมักและใช้เลี้ยงไส้เดือนดินต่อไป

ของเสียจากสัตว์ปีก มูลไก่หรือมูลสัตว์ปีกที่ใหม่จะมีส่วนประกอบของแอมโมเนียและเกลืออนินทรีย์ในปริมาณที่สูงซึ่งอาจทำอันตรายต่อไส้เดือนดินได้ หากนำไปใช้ทันทีโดยไม่ผ่านกระบวนการทำให้เหมาะสมก่อน แต่หากนำมูลสัตว์ปีกเหล่านี้มาหมักหรือแช่น้ำทิ้งไว้ หรือเก็บไว้เป็นเวลานานเมื่อนำมาใช้เลี้ยงไส้เดือนดินก็ส่งผลให้ไส้เดือนดินเจริญเติบโตได้ดีและได้ปุ๋ยหมักที่มีธาตุอาหารสูงได้

เศษขยะหรือของเสียจากชุมชน ของเสียจากชุมชน ประกอบด้วย หญ้าที่ตัดจากสนามหญ้า เศษใบไม้ เศษอาหารเหลือทิ้งจากโรงอาหาร ร้านค้าและภัตตาคารต่างๆ เศษผักจากตลาดหรือโรงคัดบรรจุ ทั้งหมดนี้เป็นสิ่งที่สามารถนำมาเลี้ยงไส้เดือนดินเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินได้ดีมาก

เศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตมันฝรั่ง เศษเหลือทิ้งจากมันฝรั่งเป็นของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตมันฝรั่ง ซึ่งส่วนมากจะเป็นเศษเปลือกมันฝรั่ง ซึ่งเป็นวัสดุที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาใช้เลี้ยงไส้เดือนดิน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเพิ่มความชื้นและการหมักก่อนนำมาใช้

เศษเหลือทิ้งจากการผลิตกาแฟ เศษเหลือทิ้งจากการผลิตกาแฟ โดยเฉพาะเปลือกเมล็ดกาแฟ ลักษณะจะมีรสหวานและเน่าสลายได้ง่าย จึงสามารถนำมาให้ไส้เดือนดินย่อยสลายผลิตเป็นปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินค่อนข้างได้ผลดี ซึ่งประเทศเม็กซิโกเป็นประเทศหนึ่งที่มีการนำเปลือกกาแฟดังกล่าวมาใช้ผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในประเทศไทยโครงการส่งเสริมให้เกษตรกรชา วไทยภูเขาในพื้นที่สูงของจังหวัดเชียงรายในโครงการทดสอบพันธุ์กาแฟอาราบิก้า ของบริษัท เนสเล่ย์ ร่วมกับโครงการพัฒนาดอยตุง ก็ได้มีการนำเศษเปลือกกาแฟที่เหลือจากกระบวนการผลิตกาแฟมาเลี้ยงไส้เดือนดินเพื่อผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน พบว่าได้ผลดีเช่นเดียวกัน

เศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ ในโรงงานผลิตกระดาษ สิ่งที่ไม่ใช้ในกระบวนการทำกระดาษอย่างเปลือกไม้ที่ได้จากการใช้เครื่องแยก และกากที่ได้จากน้ำล้างในโรงพิมพ์ที่ตกตะกอน ซึ่งเศษเหลือทิ้งทั้ง 2 ชนิดนี้ สามารถนำมาใช้เลี้ยงไส้เดือนดินได้

เศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์หรือสุรา ของเสียที่ได้จากโรงกลั่นสุราหรือโรงหมักเบียร์เหล่านี้ สามารถนำมาใช้เลี้ยงไส้เดือนดินได้เลยโดยไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการใดๆ ซึ่งไส้เดือนจะสามารถเจริญและแพร่พันธุ์ได้รวดเร็วมากในการใช้ของเสียจากการผลิตสุราหรือเบียร์ในการเลี้ยงไส้เดือนดิน

เศษเหลือทิ้งจากการผลิตเห็ด เศษเหลือทิ้งจากการผลิตเห็ด เช่น เศษฟาง เศษขี้เลื่อย สามารถนำมาใช้เลี้ยงไส้เดือนดินได้ แต่วัสดุเหล่านี้จะย่อยสลายได้ช้าและมีความชื้นต่ำ ดังนั้นในการนำมาใช้เลี้ยงไส้เดือนดินควรเพิ่มความชื้นและผสมกับวัสดุชนิดอื่นที่เน่าสลายได้ง่ายอย่างเศษวัชพืชสด และการบดให้เป็นชิ้นเล็กก็จะสามารถช่วยให้ไส้เดือนดินย่อยสลายได้เร็วขึ้น

การคัดเลือกอินทรีย์วัตถุในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจึงเป็นสิ่งที่ไม่ควรมองข้าม เนื่องจากเศษอินทรีย์วัสดุต่างๆ จะมีคุณสมบัติในการย่อยสลายที่แตกต่างกัน ซึ่งเศษอินทรียวัตถุชนิดต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน แสดงดังตารางที่ 1 และมีปริมาณธาตุอาหารพืชของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งชนิดต่างๆในประเทศไทย

ชนิดของวัสดุเหลือทิ้ง	ปริมาณ (1,000 ตัน/ปี)
ฟางข้าง	43,000
ซังข้าวโพด	1,000
เศษต้นถั่วต่างๆ	500
เศษต้นอ้อย	2,000
เศษพืชชนิดอื่นๆ	1,000
กากอ้อย	6,000
ขี้เลื่อย	30
ขุยมะพร้าว	30
แกลบ	5,000
ขยะเทศบาล (ในเขต กทม. และเมืองหลัก)	3,000
ผักตบชวา	1,000
มูลสัตว์ต่างๆ	65,000

ที่มา : วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ (2540)

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุอาหารพืชของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่างๆ

ชนิดวัสดุ	ปริมาณธาตุอาหารพืช (%)						pH
	N	P	K	Ca	Mg	S	
ขี้เลื่อย	0.20	-	0.20	-	-	-	-
เปลือกกาแฟ	0.93	0.15	6.22	-	-	-	6.10
กากถั่วเหลือง	7.00	1.20	1.50	0.40	0.30	0.20	6.60
ฟางข้าว	0.94	0.20	1.70	1.85	0.47	0.06	8.50
เปลือกมันสำปะหลัง	0.59	0.19	0.77	-	-	-	4.50
รำข้าว	9.50	0.47	10.90	0.06	-	-	7.60
ซังข้าวโพด	1.78	0.25	1.53	-	-	-	6.90
เศษต้นข้าวโพด	0.53	1.15	2.21	-	-	-	8.20
ผักตบชวา	1.27	0.71	4.84	-	-	-	7.90
เปลือกสับปะรด	1.79	0.85	5.46	-	-	-	7.60
มูลโค (ใหม่)	1.95	1.76	0.43	1.81	0.56	0.07	10.40
มูลโค (เก่า)	1.73	0.49	0.30	0.55	0.22	0.05	8.70
มูลกระบือ (เก่า)	1.82	1.92	0.12	2.06	0.74	0.52	8.70
มูลไก่เนื้อ (ใหม่)	2.65	2.69	1.85	2.18	0.51	0.18	8.10
มูลไก่เนื้อ (เก่า)	2.09	6.07	0.42	11.30	0.86	0.68	8.20
มูลไก่ไข่	2.28	5.91	3.02	12.10	1.07	0.67	7.50
มูลเป็ด	1.04	1.98	0.56	-	-	-	8.20
มูลสุกร (เก่า)	2.83	6.25	0.11	8.11	2.42	0.14	6.90

ที่มา : อานัฐ ตันโช (2549)

ในปัจจุบันการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อการค้ามักจะพบปัญหาในทางด้านความแปรปรวนของปริมาณธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมักไส้เดือนดินในแต่ละที่ผลิตได้ เนื่องจากในการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในแต่ละครั้งจะมีส่วนผสมของขยะอินทรีย์ที่แตกต่างกันออกไป เพราะมีการใช้แหล่งวัตถุดิบหรือขยะอินทรีย์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นคุณภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้จึงมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ก็คือสิ่งที่ขับถ่ายจากตัวไส้เดือนดิน ซึ่งมูลไส้เดือนดินก็คือกากอินทรีย์ที่อาจมีความเสถียรระดับหนึ่งเท่านั้น รวมทั้งมีจุลินทรีย์ต่างๆ รวมอยู่ด้วย เมื่อพิจารณาการนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินไปเพื่อใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช เช่น การปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์จึงอาจมีความจำเป็นในการทำเสถียรสารละลายที่เตรียมจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินก่อนการนำไปใช้งาน ทั้งนี้ปริมาณแร่ธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักมูล

ไส้เดือนดินที่ได้จากการย่อยสลายของเสียโดยไส้เดือนดิน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3, 4 และตารางที่ 5

ตารางที่ 3 ปริมาณแร่ธาตุอาหารหลักของพืชที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์โดยใช้ไส้เดือนดิน

ประเภทของขยะอินทรีย์	ส่วนประกอบของธาตุอาหาร (% มวลแห้ง)					
	N	P	K	Ca	Mg	Mn
ของเสียที่แยกได้จากการเลี้ยงสัตว์ประเภทเคี้ยวเอื้อง	2.20	0.40	0.90	1.20	0.25	0.02
ของเสียที่แยกได้จากการเลี้ยงสุกร	2.60	1.70	1.40	3.40	0.55	0.03
มูลวัวผสมเศษฟาง	2.50	0.50	2.50	1.55	0.30	0.05
มูลสุกรผสมเศษฟาง	3.00	1.60	2.40	4.00	0.60	0.05
มูลเป็ดผสมเศษฟาง	2.60	2.90	1.70	9.50	1.00	0.10
มูลไก่ผสมขี้เลื่อย	1.80	2.70	2.10	4.80	0.70	0.08
วัสดุปลูกพืชทางการค้า	1.80	0.21	0.48	0.94	2.20	0.02

ที่มา : อาณัฐ ตันโช (2549)

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุอาหารพืชที่ผ่านและไม่ผ่านการย่อยของไส้เดือนดิน จากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ต่างๆ

ขยะอินทรีย์	ไนเตรท (NO_3^-) (ppm)	% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	% ที่สามารถแลกเปลี่ยนได้		
			K	Ca	Mg
ของเสียที่ได้จากการเลี้ยงวัว*	8.8	0.11	0.19	0.35	0.05
ของเสียที่ได้จากการเลี้ยงวัว**	259.4	0.18	0.41	0.59	0.08
ของเสียที่ได้จากการเลี้ยงสุกร*	31.6	1.05	1.49	1.56	0.45
ของเสียที่ได้จากการเลี้ยงสุกร**	110.3	1.64	1.76	2.27	0.72
วัสดุเหลือใช้จากการผลิตมันฝรั่ง*	74.6	0.19	1.94	0.91	0.24
วัสดุเหลือใช้จากการผลิตมันฝรั่ง**	1,428.0	0.22	3.09	1.37	0.34

** ผ่านกระบวนการย่อยโดยใช้ไส้เดือนดิน * ไม่ผ่านการย่อยโดยไส้เดือนดิน

ที่มา : อาณัฐ ตันโช (2549)

ตารางที่ 5 ปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้จากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ต่างๆ ของไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Pheretima peguana* และ *Eisenia foetida*

ชนิดขยะอินทรีย์	pH	EC	ปริมาณธาตุอาหาร (%)				
		uS/cm	N	P	K	Ca	Mg
1.ไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Pheretima peguana*							
เศษอาหาร	6.6	1,200	0.277	0.051	0.234	0.203	0.062
เศษผัก	6.8	1,300	0.383	0.152	0.403	0.317	0.122
เศษผลไม้	6.6	1,800	0.375	0.116	0.345	0.088	0.037
มูลวัว	7.0	3,800	1.185	0.759	1.306	1.511	0.501
2.ไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eisenia foetida*							
เศษอาหาร	6.3	2,500	0.864	0.301	0.635	0.875	0.875
เศษผัก	6.7	2,400	0.767	0.264	0.526	0.782	0.782
เศษผลไม้	6.8	2,300	0.718	0.377	0.659	1.282	1.282
มูลวัว	6.7	2,300	1.217	0.613	0.743	1.832	1.832

ที่มา : อาณัฐ ตันโช (2548)

อรอนงค์ โพธิ์แป้น (2552) ได้ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน จากแหล่งผลิต 3 แหล่ง พบว่าตัวอย่าง ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือ นดินมีค่า % ความชื้น เฉลี่ยเท่ากับ 45.48% มีค่าความหนาแน่น เฉลี่ยเท่ากับ 476.34 kg/m^3 มีค่า % Ash เฉลี่ยเท่ากับ 51.06% มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 7.93 มีค่า conductivity เฉลี่ยเท่ากับ 2.22 mS/cm มีค่า C/N เฉลี่ยเท่ากับ 8.18 มีค่า TN ในช่วง 1.39-2.19% (wet weight) มีค่า P_2O_5 ในช่วง 3.78-5.21% (wet weight) และมีค่า K_2O ในช่วง 0.40-0.48% (wet weight) อีกทั้งมีปริมาณโลหะหนัก ของ As, Cd, Cr, Cu, Pb และ Hg ปนเปื้อนที่ต่ำกว่าค่า มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่ประกาศโดยกรมวิชาการเกษตรในปี 2548 และทั้ง 3 แหล่งผลิตพบว่ามีขนาดของปุ๋ยน้อยกว่า 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร ซึ่งข้อมูลแสดงได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณลักษณะทางกายภาพและ เคมี ของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ตัวอย่าง			ค่าเฉลี่ย	S.D.
	ฟาร์ม 1	ฟาร์ม 2	ฟาร์ม 3		
คุณลักษณะทางกายภาพ					
สี	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาลอมดำ	น้ำตาลเข้ม	-	-
ความชื้น (%)	27.13	49.76	59.56	45.48	16.33
ความหนาแน่น (kg/m^3)	579.20	445.20	404.61	476.34	89.68
Ash (%)	63.87	47.05	42.25	51.06	11.35
ขนาดปุ๋ย (mm)	<12.5 x 12.5	<12.5 x 12.5	<12.5 x 12.5	<12.5 x 12.5	-
คุณลักษณะทางเคมี					
pH	8.17	7.87	7.75	7.93	0.22
EC (mS/cm)	2.14	2.50	2.03	2.22	0.25
C/N	8.01	6.81	9.70	8.18	1.45
TN (%, wet weight)	1.69	2.19	1.39	1.76	0.40
P_2O_5 (%, wet weight)	4.26	5.21	3.78	4.42	0.73
K_2O (%, wet weight)	-	0.48	0.40	0.44	0.06
Cd (mg/kg, wet weight)	0.18	0.07	0.06	0.10	0.07
Cr (mg/kg, wet weight)	2.99	1.50	1.41	1.97	0.89
Cu (mg/kg, wet weight)	23.17	7.66	7.19	12.67	9.09
Pb (mg/kg, wet weight)	1.31	1.42	1.33	1.35	0.06
As (mg/kg, wet weight)	2.57	0.78	0.73	1.36	1.05
Mg (mg/kg, wet weight)	1,308	1,038	974	1,107	177.0
Zn (mg/kg, wet weight)	62.45	34.09	31.99	42.83	17.00
Ca (mg/kg, wet weight)	17,347	3,067	2,878	7,764	8,297
Na (mg/kg, wet weight)	5.68	12.41	6.04	8.04	3.78
Hg* (mg/kg, wet weight)	<0.442	<0.442	<0.442	<0.442	-

หมายเหตุ * ต่ำกว่าค่า detection limit (0.442 mg/kg)

ที่มา : อรอนงค์ โพธิ์แป้น (2552)

2.3 น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน

น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน หมายถึง น้ำที่ได้จากกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ซึ่งเป็นน้ำที่ได้จากการเน่าสลายของเศษขยะอินทรีย์ที่ใช้เป็นอาหารของไส้เดือนดินซึ่งเป็นน้ำในเซลล์ของพืชผัก ผลไม้ และเศษอาหารต่างๆ หรือน้ำที่ได้จากวัสดุที่นำมาใช้ให้ไส้เดือนดินกำจัด โดยน้ำหมักที่ได้จะมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลดำ คล้ายน้ำโคล่า ไม่มีกลิ่นเหม็น มีส่วนประกอบของธาตุอาหารพืช ฮอร์โมนพืช และจุลินทรีย์หลายชนิด

การประยุกต์สำหรับการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน มีการนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการพัฒนาในด้านสุขภาพของพืช การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร และการเพิ่มคุณภาพทางโภชนาการของพืช (Germaley, et al., 2001) สำหรับกรรมวิธีในการเตรียมน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน สามารถเตรียมได้สองวิธี คือ ใช้วิธีการในการเติมอากาศและไม่เติมอากาศ ซึ่งในระหว่างการเตรียมน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการไม่เติมอากาศนั้นจะให้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ต่ำ ในขณะที่การเตรียมด้วยการเติมอากาศนั้นจะให้ออกซิเจนในปริมาณที่สูง (Ingham, 2005) และการรายงานของ Scott, *et al*., (2006) ระบุถึงประโยชน์ของการปรับเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินด้วยการให้อากาศอย่างต่อเนื่อง ซึ่งไม่น้อยกว่า 12-24 ชั่วโมง ทำให้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้มีความเสถียร และมีคุณภาพดี และดีกว่าการทำเสถียรด้วยการไม่เติมอากาศ ทั้งนี้ปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีในน้ำหมักมูลไส้เดือนดินที่มาจากการย่อยสลายของเสียโดยไส้เดือนดิน สามารถแสดงดังตาราง ที่ 7 และตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีในน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ได้จากการใช้ไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Pheretima peguana* ย่อยสลายขยะอินทรีย์

ชนิดขยะอินทรีย์	ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน						
	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	EC (uS/cm)	pH
มูลวัวนม	0.006	1.75	5,100	1,332	300	10,800	8.6
เปลือกแตงโม	0.004	0.25	5.41	1,212	76	11,250	8.8
กากมะพร้าว	0.001	1.25	850	1,268	40	2,250	5.9
เปลือกแตงโมผสมกับกากมะพร้าว	0.002	0.75	6,500	1,324	88	12,700	8.9
เปลือกแตงโมผสมกับมูลวัวนม	0.003	1.50	6,080	1,568	224	14,250	8.8
เปลือกแตงโมผสมกับมูลวัวนมและกากมะพร้าว	0.007	0.25	5,070	1,728	240	11,000	8.6

ที่มา : นิรันดร์ หิรัญสุข (2547)

ตารางที่ 8 ลักษณะทางเคมีของน้ำหมักมูลไส้เดือนดินจากแหล่งการผลิตเชิงพานิชย์

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ตัวอย่าง			ค่าเฉลี่ย	S.D.
	ฟาร์ม 1	ฟาร์ม 2	ฟาร์ม 3		
pH	7.72	7.84	7.94	7.83	0.11
SS (mg/l)	15	895	150	353	473.92
TN (mg/l)	4.22	4.83	3.38	4.14	0.73
P_2O_5 (mg/l)	1,571	1,799	1,427	1,599	187.52
K_2O (mg/l)	395	1,738	710	948	702.39
Cd (mg/l)	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
Cr (mg/l)	0.020	0.021	0.020	0.020	0.001
Cu (mg/l)	0.027	0.030	0.018	0.025	0.006
Pb (mg/l)	0.010	0.005	0.010	0.008	0.003
As (mg/l)	0.015	0.003	0.011	0.010	0.006
Mg (mg/l)	28.52	94.02	63.07	61.87	32.77
Zn (mg/l)	0.84	0.38	0.83	0.68	0.26
Hg* (mg/l)	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	-
COD (mg/l)	2,464	4,224	7,392	4,693	2,497.30
BOD (mg/l)	792	823	1,753	1,123	546.14

หมายเหตุ * ต่ำกว่าค่า detection limit (0.442 mg/kg)

ที่มา : อรอนงค์ โพธิ์แป้น (2552)

นอกจากนี้การศึกษาของ อรอนงค์ โพธิ์แป้น (2552) พบว่า คุณลักษณะของ น้ำหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำการทดลองภายใต้ภาวะมีอากาศและไม่มีอากาศ ที่มีการใช้ตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจำนวน 300 กรัม ผสมในน้ำ 1.5 ลิตร โดยการทดลองในชุดตัวอย่างที่ไม่เติมอากาศจะเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดฝา ส่วนการทดลองในชุดตัวอย่างที่เติมอากาศจะมีการเติมอากาศโดยใช้ air pump ซึ่งใช้ระยะเวลาในการหมัก 20 วัน ผลการศึกษาพบว่า มีค่าคุณลักษณะของ น้ำหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำการทดลองมีค่า pH ค่อนข้างเป็นด่างเล็กน้อย มีค่า SS ภายใต้ภาวะมีอากาศและไม่มีอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 10,107 mg/l และ 9,301 mg/l มีค่าเฉลี่ย SCOD ภายใต้ภาวะมีอากาศ และไม่มีอากาศเท่ากับ 766.97 mg/l และ 754.40 mg/l และมีค่าเฉลี่ยของ การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ (germination index) ภายใต้ภาวะมีอากาศ และไม่มีอากาศเท่ากับ 74.48% และ 71.59% ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลคุณลักษณะน้ำหมัก มูลไส้เดือ นดินภายใต้ภาวะมีอากาศและไม่มีอากาศ ในช่วง 20 วัน แสดงได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ลักษณะน้ำหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้ภาวะมีอากาศและไม่มีอากาศในการทดลองช่วง 20 วัน

ตัวอย่าง	วันที่	pH	SS (mg/l)	SCOD (mg/l)	Germination index (%)
ให้อากาศ	**0**	7.91	7,280	302	79.74
	1	7.86	6,940	604	83.80
	3	7.94	9,440	830	47.68
	5	7.78	17,020	679	66.19
	15	8.20	17,970	905	79.87
	20	8.25	18,610	1,282	89.57
	ค่าเฉลี่ย	7.99	10,107	766.97	74.48
	S.D.	4,516	9,449	588.77	42.32
ไม่ให้อากาศ	**0**	7.90	7,030	302	83.17
	1	7.82	8,520	1,056	78.09
	3	7.80	7,890	754	63.81
	5	7.73	15,020	754	63.88
	15	7.64	8,280	754	65.39
	20	7.76	9,070	905	75.17
	ค่าเฉลี่ย	7.78	9,301	754.40	71.59
	S.D.	4,156	4,704	445.19	34.60

ที่มา : อรอนงค์ โพธิ์แป้น (2552)

3. การใช้ประโยชน์ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน

3.1 การใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเป็นส่วนผสมของวัสดุปลูกและวัสดุเพาะกล้าพืช

ในการนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมาใช้เป็นวัสดุปลูก ควรจะนำมาผสมกับวัสดุปลูกชนิดอื่นๆ ก่อน เนื่องจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินประกอบด้วยอินทรียวัตถุเป็นส่วนใหญ่และมีอนุภาคของดินอยู่น้อย ดังนั้นในการนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้มาผสมกับวัสดุปลูกชนิดอื่นๆจะได้ผลดีกว่าและสิ้นเปลืองน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพียงอย่างเดียว ซึ่งในการปลูกพืชสวนประดับสามารถนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมาเจือจางได้หลายระดับ เช่น ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตได้จากวัสดุที่เป็นมูลสุกรผสมกับมูลวัวในอัตราส่วน 50:50 การนำมาใช้จะใช้ 5:10 % ของส่วนผสมในวัสดุปลูกพืช (อาณัฐ ตันโช, 2549)

Reddy (1988) ได้ศึกษาการใ ช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้ภายหลังจากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ของไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Pheretima alerandai* ทำให้ต้นแพงพวยและต้นข้าวมีจำนวนดอกเพิ่มขึ้น

Ferrira and Cruz (1992) ได้รายงานว่า การใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตจากขยะอินทรีย์ในเทศบาลลงไปในแปลงปลูกข้าวโพด โดยใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีในปริมาณที่ต่ำ จะทำให้ได้ผลผลิตข้าวโพดดีมาก

Kale et al. , (1982) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในนาข้าวจะช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินได้

Buchanan et al. , (1988) รายงานว่า ในการเปรียบเทียบ ส่วนประกอบของธาตุอาหารพืช ในวัสดุปลูกทางการค้าที่ผสมปุ๋ยอินทรีย์กับปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินพบว่า ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้มีปริมาณแร่ธาตุอาหารมากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้จากกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้ไส้เดือนดินกับปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักด้วยวิธีดั้งเดิมกับธาตุอาหารเสริมพืชที่ผลิตจำหน่ายทางการค้า พบว่าปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีส่วนประกอบธาตุอาหารสูงกว่าและสามารถส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่า

Edwards and Burrows (1988) ได้ทดลองนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมาใช้เป็นวัสดุปลูกและวัสดุเพาะกล้าพืชหลายชนิด เช่น มะเขือม่วง กะหล่ำ พริก แตงกวา ผักสลัด แรดดิช และมะเขือเทศ จำพวกไม้ดอก เช่น อะลิซั่ม (alyssum) แอนเทอร์รินั่ม (antirrhinum) แอสเตอร์ (aster) ดอกระฆัง (campanula) ดาวเรืองฝรั่งเศส (french marigold) โพลิแอนทัส (polyanthus) ซัสเวีย (salvia) และสวีทพี โดยใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพียงอย่างเดียว และใช้ผสมกับวัสดุปลูกชนิดอื่นๆ เช่น ผสมปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินกับพีท เปลือกไม้หรือดินร่วน ในอัตรา 3:1 หรือ 1:1 แล้วนำมาทดลองปลูกพืชเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกทางการค้า พบว่าพืชที่ปลูกในวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะงอกและเจริญเติบโตได้ดีกว่าวัสดุปลูกทางการค้าทั่วไป ซึ่งในการนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมาใช้เป็นวัสดุเพาะกล้า พบว่าเมล็ดสามารถงอกได้รวดเร็วกว่าวัสดุเพาะทางการค้าชนิดอื่นๆ โดยจากการทดลองเพาะ เมล็ดถั่ว ผักสลัด ข้าวสาลี กะหล่ำ มะเขือเทศ และแรดดิช พบว่าการงอกของต้นกล้ามะเขือเทศ กะหล่ำ และแร ดดิช ที่เพาะในวัสดุเพาะกล้าที่เป็นปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะได้ผลค่อนข้างดีและมีอัตราการงอกดีกว่าเมล็ดที่เพาะในวัสดุเพาะกล้าทางการค้า และในการนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตจากมูลสัตว์ มาใช้เป็นวัสดุเพาะกล้าโดยอัดเป็น “บล็อก” พบว่า ต้นกล้าที่เพาะในบล็อกที่มีส่วนผสมของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน ดิน มีขนาดกล้าที่โตและเจริญเติบโตได้เร็วกว่ากล้าที่เพาะในบล็อกเพาะกล้าที่ทำจากวัสดุการค้าทั่วไป

3.2 การใช้น้ำหมักมูลไส้เดือนดินในการปลูกพืช

Atiyeh, *et al*., (2002) ได้ศึกษาอิทธิพลของการใช้ กรด humic ที่ได้จากกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มาจากการย่อยสลายของเสียอินทรีย์โดยไส้เดือนดิน ซึ่งแบ่งการทดสอบเป็นสองชุดการทดลอง โดยการทดลองชุดแรก สกัดกรด humic จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตมาจากมูลหมู และทดสอบโดยการปลูกมะเขือเทศ และชุดการทดลองที่ 2 สกัดกรด humic จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้จากมูลหมู และของเสียประเภทอาหาร และนำมาผสมกัน และทดสอบกับเมล็ดแตงกวาเพื่อดูการเจริญเติบโต ซึ่งการทดลองทั้งสองชุดการทดลอง พบว่าการเจริญเติบโตของมะเขือเทศและแตงกวาไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งพืชมีการเจริญเติบโตที่ดีที่มีการให้กรด humic ที่ 50-500 mg/kg ซึ่งกรด humic ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชเร็วขึ้น

Scott, *et al*., (2006) ได้ทดลองโดยการใช้ น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน โดยใช้มูลไส้เดือนดินที่ผลิตจากมูลสัตว์ประเภทวัวควายโดยจัดลำดับความเข้มข้นต่างๆ กัน (ตั้งแต่ 0.5-10%) นำมาทดลองกับเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเพื่อสังเกตการงอกของเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโต พืชที่ใช้ทดลองทั้งหมดประกอบด้วย กลุ่มควบคุม (ใช้น้ำธรรมดา) และกลุ่มทดลอง (ใช้น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน) ในการบำรุง การเพาะเลี้ยงกระทำบนแปลงเพาะปลอดดินเป็นสารสำเร็จรูป สูตร Metro Mix 360 ทุกแปลงทดสอบจะใช้น้ำ หมักมูลไส้เดือนดินในระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ความเข้มข้นต่ำสุดคือ 0.5% ก็ยังมีการงอกและการเจริญเติบโตของเมล็ดพันธุ์พืชได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม มีการใช้น้ำหมักมูลไส้เดือนดินในถาดเพาะเลี้ยงตั้งแต่เริ่มปลูก เมื่อปรากฏใบจึงใช้พ่นทางใบอาทิตย์ละ 2 ครั้งเป็นเวลา 8 อาทิตย์ ซึ่งผลที่ได้พบว่า การใช้ อัตราที่ต่ำจะช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืช แต่ถ้าใช้ในอัตราที่สูงสามารถยับยั้งการเจริญของพืชได้ และน้ำหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตโดยการพ่นอากาศ (อย่างต่อเนื่อง) จะมีความเสถียรและประสิทธิภาพมากกว่าชนิดที่ไม่พ่นอากาศ

Tejada, *et al*., (2007) ได้ศึกษาการใช้น้ำหมักมูลไส้เดือนดินที่มีการใช้มูลวัว และของเสียประเภทอาหารในฟาร์มปศุสัตว์ในการผลิต ผสมร่วมกับธาตุอาหารสำเร็จรูป Hewitt โดยใช้ความเข้มข้นที่ 1 ml : 500 ml มาทดสอบโดยการปลูกมะเขือเทศ ผลที่ได้ พบว่า สารละลายสำเร็จรูปที่มีการผสมกับปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากมูลวัวและของเสียประเภทอาหารในฟาร์มปศุสัตว์ ทำให้มะเขือเทศมีลักษณะทางด้านกายภาพ และเคมีที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเนื่องมาจากกรด humic ที่มีในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินทำให้พืชมีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สูงขึ้น จึงทำให้พืชสังเคราะห์แสงได้ดีขึ้นซึ่งทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดี และส่งผลให้คุณภาพของผลผลิตเพิ่มขึ้น

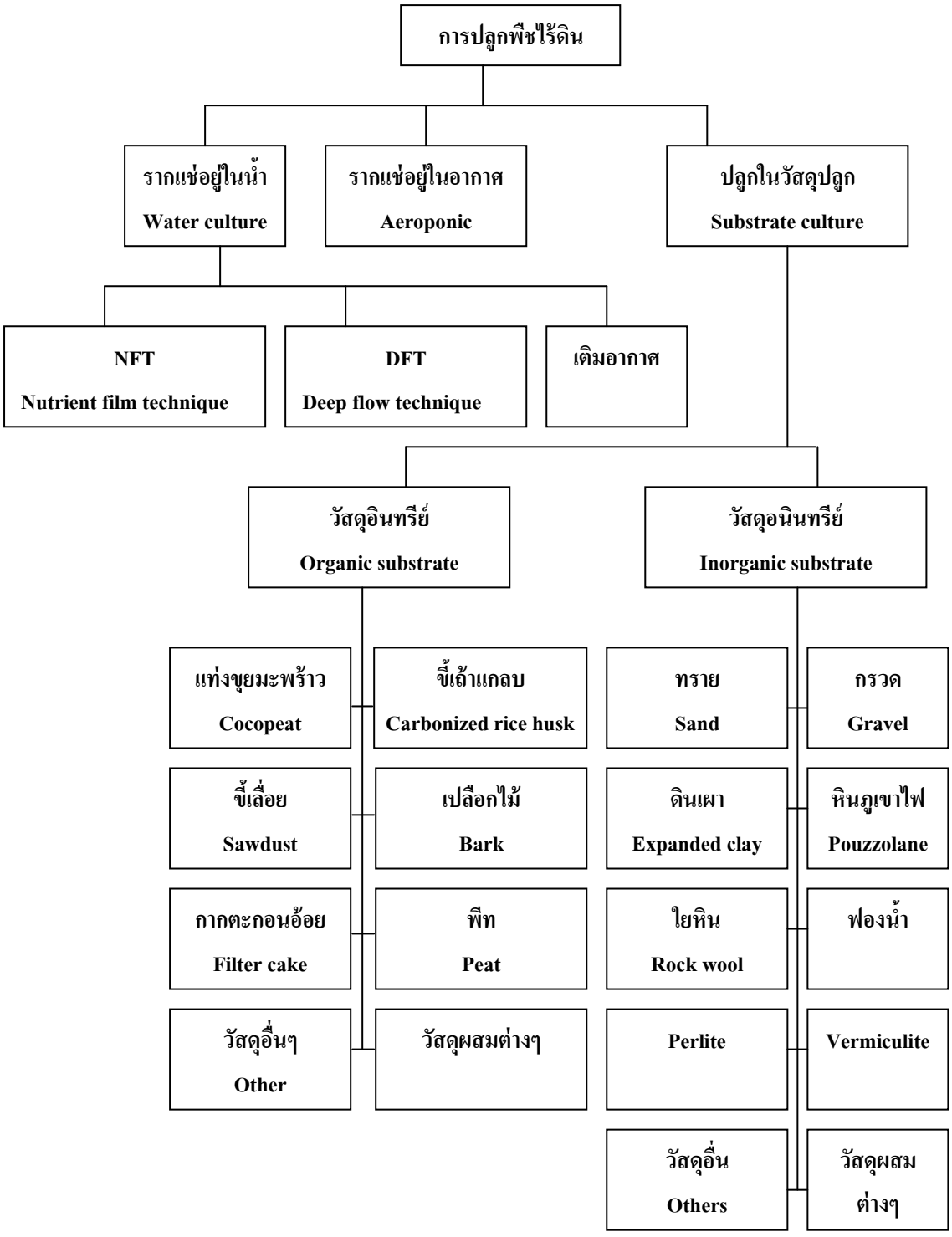
Federico, *et al*., (2007) ได้ศึกษาการใช้น้ำหมักมูลไส้เดือนดินในการเพาะปลูกข้าวฟ่าง ผลการศึกษาพบว่า น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินประกอบไปด้วยธาตุอาหารจำนวนมาก และสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยเหลวได้แต่ต้องมีการเจือจางก่อนเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดกับพืชลงได้ โดยคุณลักษณะของน้ำหมักมูลไส้เดือนดินที่ทดสอบ พบว่า มี pH, conductivity, K^+, NO_3^-, PO_4^{3-} มีค่าเท่ากับ 7.8, 2.16 dS/m, 834 mg/l, 247 mg/l, 168 mg/l และมีดัชนีการงอกที่ 65% ซึ่งน้ำหมักมูลไส้เดือนดินสามารถใช้เป็นปุ๋ยน้ำสำหรับการเพาะปลูกข้าวฟ่างได้ โดยการทำให้เจือจางและผสมกับธาตุอาหาร N P K ซึ่งผลที่ได้ พบว่า น้ำหมักจากมูลไส้เดือนดินมีผลในการกระตุ้นทำให้พืชมีการเจริญเติบโตแต่ปุ๋ยที่มีการผสมธาตุอาหาร N P K จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตสูงสุด

Rajbir, *et al*., (2010) ได้ศึกษาการใช้น้ำที่สกัดได้จากปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่ผลิตมาจากมูลวัว ของเสียประเภทผัก และน้ำที่สกัดได้จากการปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตจากมูลวัวและของเสียประเภทผักมาผสมกัน ในอัตราส่วน 1:2 ซึ่งใช้ในการปลูกสตรอเบอร์รี่โดยใช้ในอัตราส่วน 2 ml : 1 L เป็นปุ๋ยฉีดพ่นทางใบ ผลที่ได้พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบ องค์ประกอบแห้งของต้นพืช และการเพิ่มขึ้นของผลผลิตที่ได้ ซึ่งน้ำที่สกัดได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นปุ๋ยโดยการฉีดพ่นทางใบในการปลูกสตรอเบอร์รี่

4. การปลูกพืชไร้ดิน

การปลูกพืชไร้ดิน หมายถึง วิธีการปลูกพืชโดยให้พืชได้รับสารอาหารหรือสารละลายธาตุอาหารที่พืชต้องการทางราก พืชที่ปลูกจะอยู่บนวัสดุปลูกหรือไม่มีวัสดุปลูกก็ได้ ข้อดีของการปลูกพืชด้วยวิธีนี้ คือ สามารถปลูกพืชได้บนพื้นที่จำกัด พื้นที่ที่มีดินไม่เหมาะต่อการปลูกพืชได้อย่างต่อเนื่อง ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพที่ดี การควบคุมโรคและแมลงทำได้ง่ายและสะดวก เป็นการใช้น้ำและปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ก่อนที่จะเลือกใช้วิธีนี้จึงต้องศึกษาถึงความเหมาะสม ความเป็นไปได้ ความคุ้มค่าในการลงทุนเสียก่อนเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการดำเนินการ (ถวิล สุขวงษ์, 2546)

ทฤษฎีและข้อปฏิบัติของการปลูกพืช ไร้ดินมีพื้นฐานมาจากวิทยาศาสตร์หลายแขนงวิชาที่เกี่ยวข้องโดยตรงก็คือ เรื่องของน้ำกับธาตุอาหารพืช ซึ่งเป็นพื้นฐานส่วนหนึ่งในวิชาสรีรวิทยาพืช เรื่องของปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ประกอบด้วยแสง อุณหภูมิและความชื้นที่มีส่วนร่วมในการกำหนดอัตราการเจริญเติบโตของพืช การเพาะปลูกพืชแบบไร้ดินเป็นศาสตร์ที่มีจุดมุ่งหมายเฉพาะในการผลิตพืชทางการเกษตรสมัยใหม่ให้มีคุณภาพและปลอดสารพิษ (นภดล เรียบเลิศหิรัญ, 2550) ซึ่งในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบต่างๆ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เทคนิคการปลูกพืชไร้ดินแบบต่างๆ

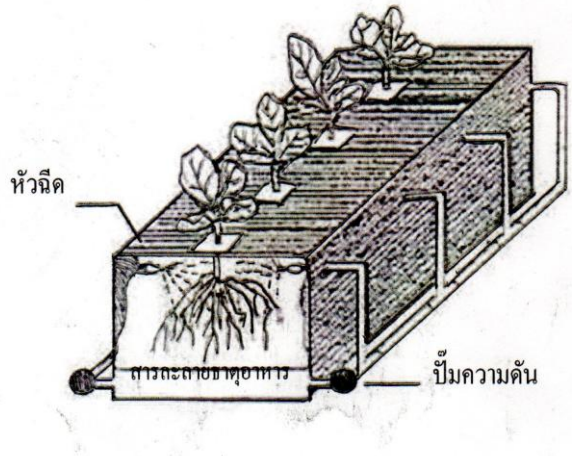
ที่มา: อิทธิสุนทร นันทกิจ (2538)

4.1 รูปแบบการปลูกพืชไร้ดิน

ปัจจุบันการปลูกพืชไร้ดินนั้นมีอยู่มากมายหลายระบบ เนื่องจากมีการพัฒนากันมาเป็นเวลานาน ให้เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของประเทศต่างๆ อย่างไรก็ตามระบบต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมีพื้นฐานมาจากระบบหลักๆ ตามลักษณะการให้สารละลายธาตุอาหารแก่บริเวณรอบๆ รากพืช 3 ระบบ ตามลักษณะการให้สารละลายธาตุอาหารกับรากพืช (ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์, 2534) ได้แก่

4.1.1 แบบปลูกให้รากลอยอยู่กลางอากาศ (aeroponics)

การปลูกพืชพืชไร้ดินแบบแบบให้รากลอยอยู่กลางอากาศ เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร ส่วนรากของพืชจะแขวนห้อยกลางอากาศลอยอยู่ภายในกล่องหรือตู้ที่เป็นห้องมืด (ภาพที่ 2) จากนั้นจึงเติมธาตุอาหารแก่รากพืชด้วยการใช้ปั๊มอัดผ่านหัวฉีด ฉีดพ่นสารละลายให้เป็นฝอยละเอียด เป็นระยะๆ ตามช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อให้รากคงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง ร้อยละ 95-100 ข้อดีของระบบนี้คือ รากพืชไม่ขาดออกซิเจนและจะเจริญเติบโตได้เต็มที่ แต่จะมีข้อเสียคือตู้ปลูกมักมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก และต้องลงทุนค่าวัสดุอุปกรณ์ค่อนข้างสูง จึงมักใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาทางสรีระวิทยาของพืชหรือใช้ระบบขนาดเล็กเพื่อปลูกพืชเป็นงานอดิเรกมากกว่าที่จะใช้ในเชิงพาณิชย์ (ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์, 2534)



ภาพที่ 2 การปลูกแบบให้รากลอยอยู่ในอากาศ
ที่มา: ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์ (2534)

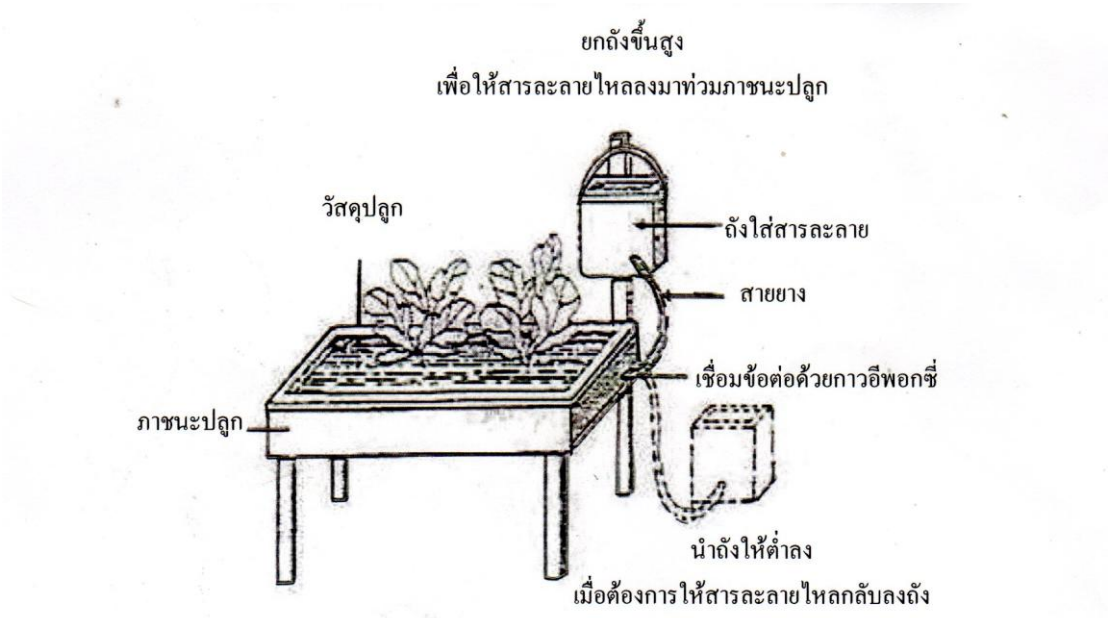
4.1.2 แบบปลูกในวัสดุปลูก (substrate culture)

เป็นการปลูกพืชลงบนวัสดุปลูกชนิดต่างๆ เช่น แผ่นฟองน้ำ ทราย กรวด ขี้เลื่อย แกลบ ขุยมะพร้าว แทนดิน โดยพืชสามารถเจริญเติบโตบนวัสดุปลูกจากการได้รับสารละลายธาตุอาหารที่พืชต้องการจากทางรากพืช โดยจะเป็นการปลูกพืชไร้ดิน ในลักษณะที่คล้ายกับการปลูกพืชบนดินมากที่สุด แต่ใช้วัสดุปลูกอื่นแทนดิน เพื่อให้รากพยุงลำต้นอยู่ได้ การปลูกในวัสดุปลูกปริมาณของวัสดุปลูกจะน้อยกว่าดินมาก คือรากพืชจะมีพื้นที่ในการหาน้ำและอาหารไม่เกิน 5 ลิตรต่อต้น ดังนั้นการจัดการเกี่ยวกับน้ำและธาตุอาหารจะต้องดูแลเป็นพิเศษ ต้องควบคุมปริมาณน้ำในวัสดุปลูกให้เหมาะสม โดยนอกจากใช้วัสดุปลูกที่มีการระบายน้ำดี อุ้มน้ำได้น้อย มีอัตราส่วนระหว่างน้ำและอากาศที่เหมาะสมแล้ว ยังต้องควบคุมการให้สารละลาย ต้องระวังไม่ปล่อยให้วัสดุปลูกแห้งจนไม่มีความชื้นเหลืออยู่ เพราะถ้าแห้งถึงระดับหนึ่งรากอาจไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ ทำให้เกิดความเสียหายได้ วิธีที่เหมาะสมคือ ให้ครั้งละน้อยๆ แต่ให้บ่อยๆ เหตุนี้เองระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติจึงเป็นสิ่งจำเป็น สูตรและความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารจะต้องเหมาะสมกับชนิดพืช ช่วงการเจริญเติบโต และสภาพภูมิอากาศ การปลูกด้วยระบบนี้อาจจำแนกย่อยได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

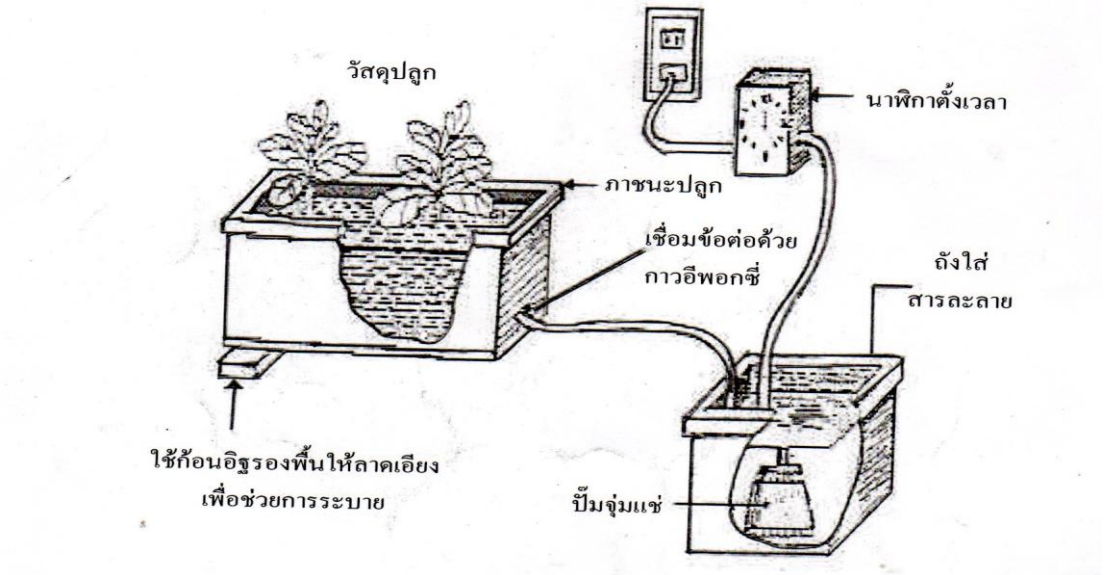
1) ให้สารละลายท่วมภาชนะปลูก เริ่มหลังจากการย้ายกล้าลงปลูกใหม่ในภาชนะปลูกถาวรที่มีวัสดุปลูกตามที่จัดเตรียมไว้ โดยภาชนะนี้มีท่อสำหรับให้สารละลายไหลเข้าไปในภาชนะให้ท่วมวัสดุปลูกไม่น้อยกว่าวันละ 2 ครั้ง คือเช้า และเย็น ในฤดูร้อนอาจต้องเพิ่มเป็น วันละ 3-4 ครั้ง ในครั้งหนึ่งๆ จะปล่อยสารละลายแช่ขังรากพืชไว้นานประมาณ 0.5-1 ชั่วโมง จากนั้นจึงปล่อยสารละลายให้ไหลกลับออกมาเก็บไว้ในถังเพื่อใช้ต่อไป เทคนิคการปล่อยสารละลายไหลเข้าท่วมวัสดุปลูก และระบายกลับออกมานั้น สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

- ใช้แรงโน้มถ่วง วิธีการคือ นำสารละลายใส่ลงในถังพลาสติก มีท่อต่อเชื่อมกับภาชนะปลูก เมื่อจะให้สารละลายท่วมภาชนะปลูกก็ยกถังนำมาแขวนให้สูงกว่าระดับภาชนะปลูก แรงดึงดูดของโลกจะพาให้สารละลายไหลมาท่วมภาชนะและเมื่อต้องการระบายกลับออกมาก็ยกถังให้ต่ำกว่าระดับภาชนะปลูก (ภาพที่ 3)

- ใช้ระบบควบคุมเวลา วางตำแหน่งถังสารละลายให้อยู่ต่ำกว่าระดับภาชนะปลูก ภายในถังมีปั๊มเล็กๆ สำหรับการส่งจ่ายสารละลายไปแช่ขังในภาชนะปลูก และมีนาฬิกาตั้งเวลาคอยควบคุมระบบการทำงานให้ไหลเข้าและไหลกลับตามเวลาเป็นช่วง (ภาพที่ 4) (ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์, 2534)

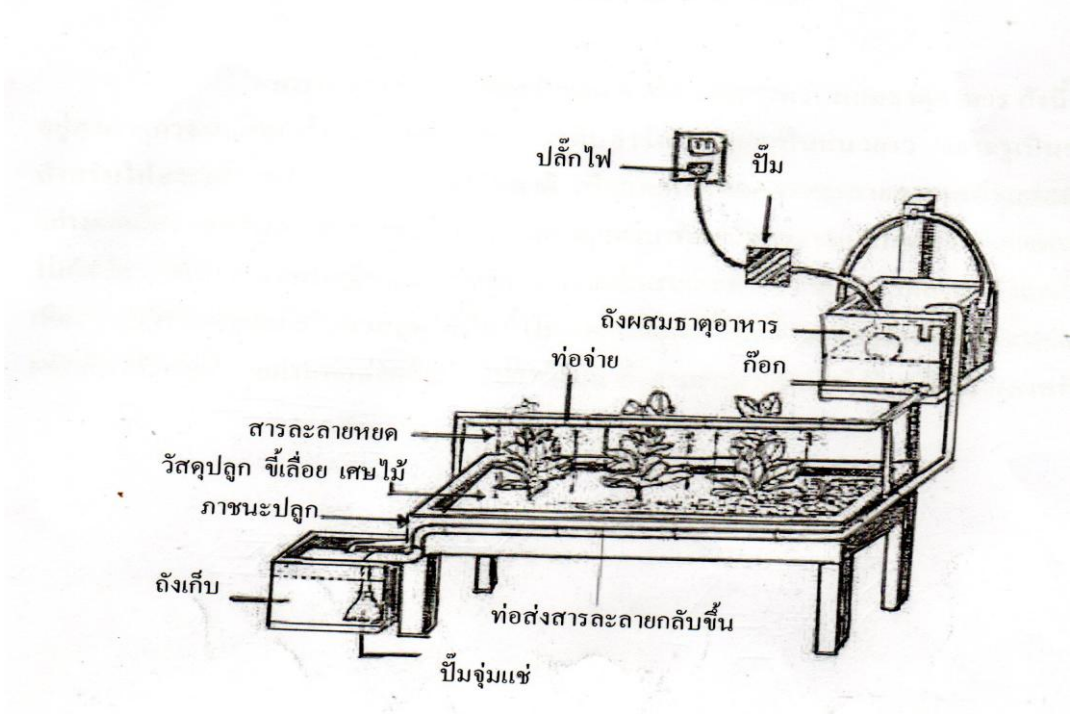


ภาพที่ 3 การปลูกในวัสดุปลูกโดยใช้แรงโน้มถ่วง
ที่มา: ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์ (2534)



ภาพที่ 4 การปลูกในวัสดุปลูกโดยใช้ระบบควบคุมเวลา
ที่มา: ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์ (2534)

2) การให้สารละลายโดยการหยด จะต้องมีถังสำหรับผสมธาตุอาหาร ถังนี้จะต้องอยู่สูงกว่าภาชนะปลูกเล็กน้อย ต่อท่อลงมาระดับต่ำโดยวางท่อเป็นแนวยาว เจาะรูเป็นระยะๆ สำหรับให้สารละลายไหลลงมาตามธรรมชาติ เพื่อจ่ายหรือหยดสารละลายลงรากพืชแต่ละต้นได้อย่างต่อเนื่อง จากนั้นสารละลายจะซึมผ่านวัสดุปลูกลงมาทีละน้อยสู่รางปลูก และไหลลงมารวมกันในถังเก็บ การทำงานจะต่อเนื่องในลักษณะนี้ โดยเมื่อสารละลายจากถังบนลดลงจนถึงระดับหนึ่งเพียงพอให้ สวิตท์ลูกลอยไปควบคุมให้ปั๊มน้ำในถังเก็บสะสมสารละลายที่อยู่ด้านล่างทำงาน และจะผลักดันให้สารละลายผ่านท่อส่งกลับคืนไปยังถังบน ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก (ภาพที่ 5) (ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์, 2534)



ภาพที่ 5 การให้สารละลายโดยการหยด
ที่มา: ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์ (2534)

4.1.3 การปลูกพืชไร้ดิน แบบปลูกในสารละลายธาตุอาหาร (liquid culture หรือ hydroponic)

เป็นการปลูกพืช ไร้ดินที่ ใช้ได้ดีในที่ที่มีแดดจัด มาจากคำ 2 คำในภาษากรีก คือ “hydors” หมายถึง น้ำ และ “ponos” หมายถึง งาน หรือความหมายรวมอีกนัยหนึ่ง คือ “water-working” ซึ่ง หมายถึง การทำงานของน้ำ (สารละลายธาตุอาหาร) ผ่านรากพืชโดยตรง (อารักษ์ ธีรอำพน, 2544) ซึ่งการปลูกพืชไร้ดินในสารละลายจัดเป็นระบบปลูกพืชที่เรียกว่าไฮโดรโปนิกส์อย่าง

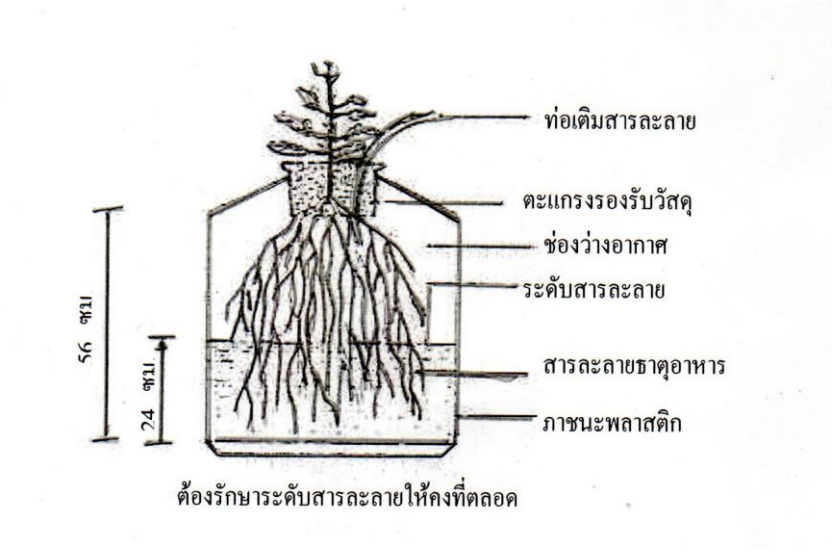
แท้จริง ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก โดยจะมีหลักการที่สำคัญ คือ ให้ธาตุอาหารพืชในรูปของสารละลาย ให้รากพืชจุ่มลงในสารละลายธาตุอาหารโดยตรง และค้ำจุนลำต้นพืชไว้เพื่อการทรงตัวของต้นพืช (อาณัฐ ตันโช, 2552)

การปลูกพืชไร้ดิน แบบปลูกในสารละลายธาตุอาหาร วิธีการหลักคือการนำรากพืชจุ่มลงในสารละลายโดยตรง รากพืชไม่มีการเกาะยึดกับวัสดุใดๆ ยังสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ ดังนั้นจึงมักใช้การยึดเหนี่ยวในส่วนของลำต้นไว้แทนเป็นการรองรับรากของต้นพืชเพื่อการทรงตัว หลักการนำรากพืชจุ่มในสารละลายและข้อสังเกตในการปลูกพืชในน้ำ คือ ปกติถ้านำต้นพืชที่ขึ้นอยู่บนดินมาวางแช่น้ำ ในระยะแรกต้นพืชจะยังสามารถเจริญงอกงามต่อไปได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งกลับพบว่า ต้นพืชที่เจริญต่อไปนั้นกลับแสดงอาการเหี่ยวเฉา โดยสาเหตุมาจากเมื่อรากพืชแช่อยู่ในน้ำนานๆ จะเกิดการขาดออกซิเจนจึงทำให้พืชเฉาตาย ดังนั้นการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารจึงต้องมีหลักและเทคนิควิธีการที่แตกต่างจากวิธีอื่น คือต้องพัฒนารากพืชในต้นเดียวกันนั้นให้สามารถทำงานได้ 2 หน้าที่พร้อมๆ กัน คือ รากดูดออกซิเจน (oxygen roots) และ รากดูดน้ำและธาตุอาหาร (water nutrient roots) การจะทำให้รากพืชทำงานได้ทั้ง 2 หน้าที่นั้น ต้องพยายามให้ส่วนหนึ่งของรากพืชสัมผัสกับอากาศได้โดยตรงบริเวณโคนราก (ส่วนนี้ต้องให้มีช่องว่างของอากาศไว้สำหรับให้ รากหายใจเอาออกซิเจนเข้าไป และอีกส่วนหนึ่งตรงปลายรากจุ่มแช่อยู่ในสารละลาย) ซึ่งหลักการคือ รากส่วนที่มีหน้าที่ดูดน้ำและอาหารสามารถพัฒนาเป็นรากดูดอากาศได้ แต่รากดูดอากาศจะไม่สามารถเปลี่ยนเป็นรากดูดน้ำและแร่ธาตุได้ ดังนั้นจึงต้องไม่เติมสารละลายท่วมรากส่วนที่ทำหน้าที่ดูดอากาศ เพราะพืชจะไม่สามารถดูดออกซิเจนและตายได้ในที่สุด ด้วยหลักการดังกล่าวต้นพืชจึงสามารถจุ่มแช่อยู่ในสารละลายได้โดยไม่เน่าตาย และไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการเติมอากาศกับพืชบางชนิด ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงระดับของสารละลาย ให้มีความเหมาะสมกับความยาวของรากพืชในแต่ละช่วงอายุของพืชด้วย หรืออาจใช้เครื่องปั๊มอากาศช่วยเติมออกซิเจนให้แก่รากพืช และสำหรับระบบการให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืชนั้น (ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์, 2534) ซึ่งแบ่งเป็น 2 วิธี คือ

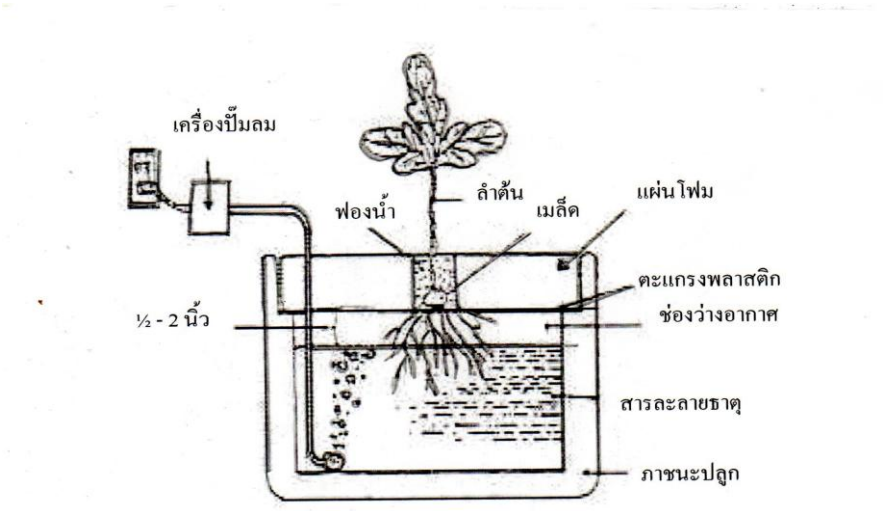
1) แบบสารละลายไม่หมุนเวียน (non-circulating system) สามารถทำได้โดยเตรียมภาชนะปลูกที่ไม่มีรอยรั่วซึม นำสารละลายที่เตรียมไว้เติมลงในระดับที่พอเหมาะ แล้วนำตะแกรงหรือแผ่นโฟมเจาะรูวางทาบที่ปากภาชนะเพื่อช่วยพยุงต้นให้ทรงตัวอยู่ได้ หลังจากนั้นนำต้นกล้าที่เพาะบนฟองน้ำมาสอดเข้าในรูโฟม วิธีนี้ยังเป็นการช่วยปกป้องมิให้แสงสว่างสอดส่องลงมาในสารละลายได้ นอกจากนี้สิ่งสำคัญอีกอย่างที่ต้องคำนึงถึงคือ การเว้นช่องว่างระหว่างพื้นผิวสารละลายกับแผ่นโฟมเพื่อเป็นพื้นที่ให้ออกซิเจนแก่รากพืช (ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์, 2534) การปลูกแบบสารละลายไม่หมุนเวียนนี้ยังจำแนกย่อยได้เป็น 2 วิธี คือ

- แบบไม่เติมอากาศ (ภาพที่ 6)

- แบบเติมอากาศ โดยใช้ปั๊มลมให้ออกซิเจน เป็นวิธีที่เหมาะสำหรับผู้เริ่มทดลองหรือปลูกเป็นงานอดิเรก เพราะใช้ต้นทุนต่ำ ติดตั้งง่าย สามารถใช้งานได้เร็วและสามารถควบคุมโรคที่มาจากการไหลเวียนของน้ำได้ง่าย (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 6 การปลูกแบบสารละลายไม่หมุนเวียน ไม่เติมอากาศ
ที่มา: ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์ (2534)

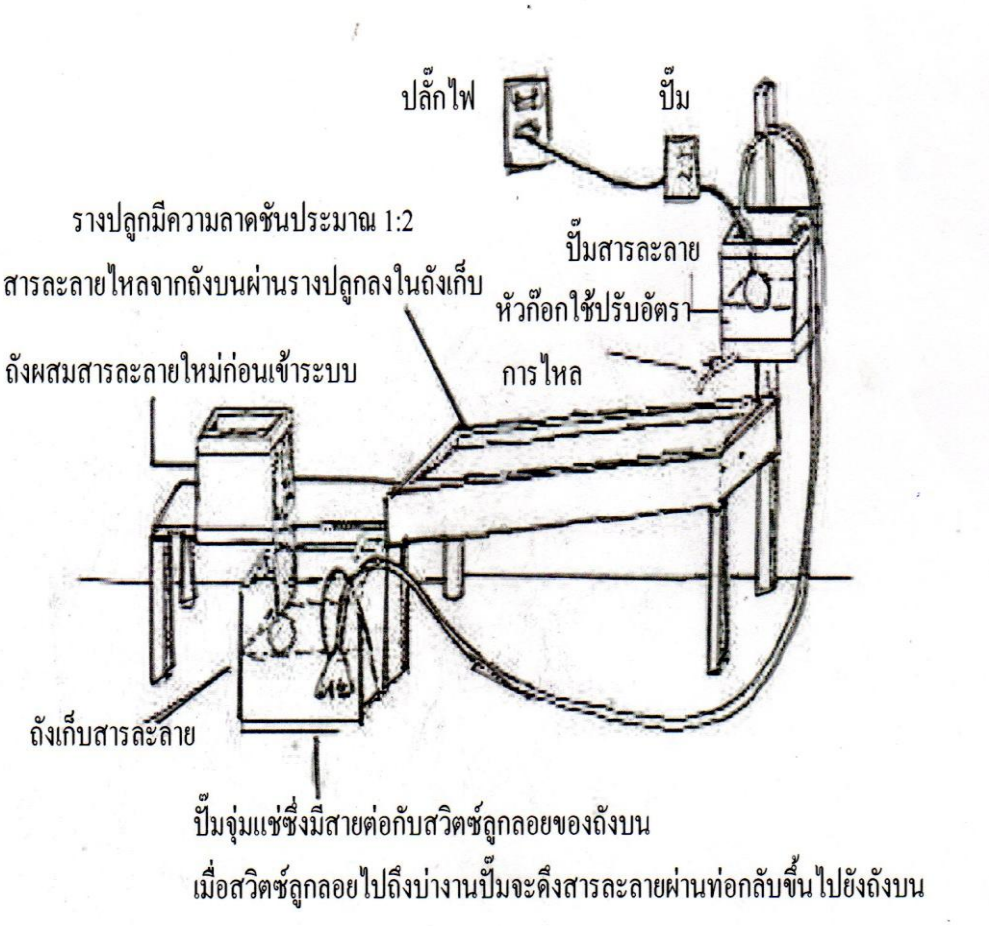


ภาพที่ 7 การปลูกแบบสารละลายไม่หมุนเวียน เติมอากาศ
ที่มา: ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์ (2534)

2) แบบสารละลายหมุนเวียน (circulating system) ระบบนี้มีจุดสำคัญ คือ การใช้ปั๊มในการผลักดันให้สารละลายมีการไหลเวียนดีขึ้น ข้อดีของระบบนี้คือ นอกจากจะมีการเพิ่มออกซิเจนให้รากพืชโดยตรงแล้ว ยังเป็นการช่วยให้สารละลายเกิดการเคลื่อนไหวช่วยไม่ให้ธาตุอาหารตกตะกอน ทำให้ต้นพืชได้รับอาหารเต็มที่ เป็นระบบที่ใช้แพร่หลายในเชิงพาณิชย์ สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 วิธี คือ

- การให้สารละลายไหลผ่านรากพืชอย่างต่อเนื่อง (nutrient flow technique, NFT) มีวิธีการเหมือนการปลูกพืชแช่ในลำธารเล็กๆ มีน้ำตื้นๆ ที่ระดับความลึกเพียง 5-10 เซนติเมตรไหลช้าๆ ผ่านรากพืชสม่ำเสมอ

- การให้สารละลายผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ (nutrient film technique, NFT) เป็นการปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลาย โดยตรง โดยสารละลายจะไหลเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ในลำรางปลูกพืชกว้างตั้งแต่ 5-35 เซนติเมตร ขึ้นกับชนิดของพืชที่ปลูก ลำรางสูงประมาณ 5 เซนติเมตร ความยาวของรางตั้งแต่ 5-20 เมตร แต่โดยทั่วไปไม่ควรเกิน 10 เมตร เพราะจะทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนระหว่างหัวและท้ายรางได้ รางอาจทำจากแผ่นพลาสติกสองหน้าขาวและดำ หนา 80-200 ไมครอน หรือจาก PVC ขึ้นรูปเป็นรางสำเร็จรูป หรือทำจากโลหะ เช่น สังกะสี หรือ อลูมิเนียม บุภายในด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารละลาย ต้นพืชจะลอยอยู่ในลำรางได้โดยใช้วัสดุห่อหุ้มต้นหรือให้รากพืชเกาะยึดกับวัสดุรองรับรากที่สามารถดูดซับน้ำได้ รางปลูกจะถูกปรับให้ลาดเทประมาณร้อยละ 2 สารละลายจะถูกปั๊มสูบน้ำจากถังเก็บสารละลาย แล้วปล่อยเป็นฟิล์มบางๆ ผ่านรากพืชด้วยความเร็วประมาณ 2 ลิตรต่อนาที เพื่อให้รากพืชได้รับออกซิเจนเพียงพอ ที่ปลายอีกด้านหนึ่งของลำรางจะมีรางน้ำรองรับสารละลายธาตุอาหารที่ใช้แล้ว ไปรวมที่ถังเพื่อดูดกลับมาใช้ใหม่ ระบบ nutrient film technique หรือ NFT มีข้อดีหลายอย่าง เช่น ไม่จำเป็นต้องมีเครื่องควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ เนื่องจากมีการให้น้ำแก่พืชตลอดเวลา ระบบการให้สารละลายแก่พืชไม่ยุ่งยาก ป้องกันกำจัดโรคพืชในสารละลายได้ง่าย เป็นระบบที่มีการใช้น้ำและธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ไม่มีวัสดุปลูกที่ต้องกำจัด สามารถปลูกพืชต่อเนื่องได้ตลอดปีไม่ต้องเสียเวลาเตรียมระบบปลูก อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญที่สุดโดยเฉพาะในแถบร้อน คือ การสะสมความร้อนของสารละลายในเวลากลางวัน โดยขณะที่อุณหภูมิสูงทำให้ออกซิเจนละลายได้น้อยลงในสารละลาย ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของรากพืช นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบครั้งแรกค่อนข้างสูงมาก อีกทั้งต้องใช้น้ำที่มีสิ่งเจือปนอยู่น้อย เพราะถ้ามีสิ่งเจือปนมากจะเกิดการสะสมประจุบางตัวทำให้ต้องเปลี่ยนสารละลายบ่อย ลักษณะการปลูกพืชแบบนี้แสดงดัง ภาพที่ 8 (ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์, 2534)



ภาพที่ 8 การปลูกพืชแบบให้สารละลายไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ
ที่มา: ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์ (2534)

4.2 สารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

สารละลายธาตุอาหารนับเป็นหัวใจสำคัญของการปลูกพืชไร้ดิน เพราะพืชจะได้รับธาตุอาหารต่างๆ จากสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งผู้ปลูกเตรียมขึ้นจากการนำปุ๋ยหรือสารเคมีมาละลายน้ำ จึงสามารถกำหนดปริมาณธาตุอาหารให้เป็นไปตามที่พืชต้องการได้ ซึ่งการเตรียมสารละลายธาตุอาหารรายละเอียด ดังต่อไปนี้

4.2.1 ชนิดของปุ๋ยหรือสารเคมีที่ใช้ในสารละลายธาตุอาหาร

ปุ๋ยหรือสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชจะต้องเป็นสารที่ละลายน้ำได้หมด (ตารางที่ 10) บางธาตุก็ต้องใช้สารเคมีโดยเฉพาะจุลธาตุ ซึ่ง จะมีราคาที่ค่อนข้างแพง แต่ธาตุเหล่านี้จะใช้ในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนั้นในปุ๋ยบางชนิดที่ให้ธาตุอาหารหลักยังมีจุลธาตุบางตัวปนอยู่ด้วย จึงไม่จำเป็นต้องเติมจุลธาตุเหล่านั้นอีก

ตารางที่ 10 ปุ๋ยบางชนิดที่ใช้ในสารละลายเพื่อให้ธาตุอาหารหลัก

ชนิดของปุ๋ย	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	ธาตุอื่นที่มีอยู่
แอมโมเนียมซัลเฟต	20			กำมะถัน 28 %
แอมโมเนียมไนเตรท	34			
แอมโมเนียมซัลเฟต ไนเตรท	26			แคลเซียมออกไซด์ 14%
แอมโมเนียมคลอไรด์	26			
ยูเรีย	46			
แคลเซียมไนเตรท	10-20			แคลเซียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 28%
โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต	12	61		
ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต	21	53		
แอมโมเนียมฟอสเฟต				
แอมโมฟอส เอ	11	48		
แอมโมฟอส บี	16	20		
โพแทสเซียมไนเตรท	14		44	
โพแทสเซียมแอมโมเนียมไนเตรท	16		28	
โพแทสเซียมออโธฟอสเฟต		32-53	30-50	
โพแทสเซียมเมธาฟอสเฟต		60	40	
โซเดียมโพแทสเซียมไนเตรท	15		15	
ไนโตรฟอสก้า	10-16.5	11-30	12-26.5	
ซุปเปอร์ฟอสเฟต				
ซิงเกิ้ล		15-20		
ดับเบิ้ล		36-42		
ทริปเปิ้ล		45-50		ยิบซั่ม 50% และ เหล็ก อลูมิเนียม ซิลิกา กำมะถัน และฟลูออรีน

ที่มา: ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์ (2534)

ตารางที่ 10 ปุ๋ยบางชนิดที่ใช้ในสารละลายเพื่อให้ธาตุอาหารหลัก (ต่อ)

ชนิดของปุ๋ย	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	ธาตุอื่นที่มีอยู่
แคลเซียมเมธาฟอสเฟต		65		ฟลูออรีนเล็กน้อย
โมโนแคลเซียมฟอสเฟต		48-55		
โพแทสเซียมแมกนีเซียมซัลเฟต			48-53	แมกนีเซียมซัลเฟตไม่ต่ำกว่า 25% และคลอรีนเล็กน้อย
โพแทสเซียมซัลเฟต			42-48	กำมะถัน และคลอรีนเล็กน้อย
โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต		52.2	34.6	
โพแทสเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต			20	แมกนีเซียมประมาณ 20%
โพแทสเซียมซิลิเกต			25	

ที่มา: ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์ (2534)

4.2.2 สูตรของสารละลายธาตุอาหาร ในการปลูกพืชไม่ใช้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

ปัจจุบันสารละลายธาตุอาหารมีอยู่หลายสูตรขึ้นกับชนิดพืชที่ปลูก ฤดูปลูก แสง อุณหภูมิขณะที่ปลูก สถานที่ปลูก ตลอดจนวัตถุประสงค์ของการปลูก การปลูกพืชเป็นการค้าจะต้องปลูกในปริมาณมากเพื่อให้มีผลกำไร จำเป็นที่จะต้องเลือกใช้สูตรที่เหมาะสมและมีความเข้มข้นของธาตุอาหารน้อยที่สุดเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มผลกำไร เพราะต้นทุนค่าสารละลายเป็นค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในการดำเนินการ เนื่องจากต้องใช้จ่ายอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาปลูก ซึ่งต่างจากค่าวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งเป็นการลงทุนเพียงครั้งเดียวแต่ใช้ได้เป็นเวลานาน สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชที่เป็นสูตรมาตรฐานและมักถูกดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับพืชต่างๆ มีอยู่หลายสูตร เช่น Knop's 1865, Sach's 1860, Shive's และ Hoagland's ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สูตรมาตรฐานของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์

ชนิดสารเคมี	ธาตุที่พืชได้รับ	รูปของธาตุที่พืชได้รับ	ปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ (กรัม/ลิตร)			
			Knop	Sach	Shive	Hoagland
โพแทสเซียมไนเตรท	K, N	K^+, NO_3^-	0.20	1.00		0.51
โพแทสเซียมไดไฮโดรฟอสเฟต	K, P	K^+, PO_4^{3-}	0.20		0.31	0.14
แคลเซียมฟอสเฟต	Ca, P	Ca^{2+}, PO_4^{3-}		0.50		

ที่มา: Hewitt E.S. (1975)

ตารางที่ 11 สูตรมาตรฐานของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ (ต่อ)

ชนิดสารเคมี	ธาตุที่พืชได้รับ	รูปของธาตุที่พืชได้รับ	ปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ (กรัม/ลิตร)			
			Knop	Sach	Shive	Hoagland
แคลเซียมไนเตรท	Ca, N	Ca^{2+}, NO_3^-	0.80		1.06	1.18
แคลเซียมซัลเฟต	Ca, S	Ca^{2+}, SO_4^{2-}		0.50		
แมกนีเซียมซัลเฟต	Mg, S	Mg^{2+}, SO_4^{2-}	0.20	0.50	0.55	0.49
แอมโมเนียมซัลเฟต	N, S	NH_4^+, SO_4^{2-}			0.09	
โซเดียมคลอไรด์	Na, Cl	Na^+, Cl^-		0.25		
เฟอรัสซัลเฟต	Fe, S	Fe^{2+}, SO_4^{2-}		Trace	0.005	
เฟอรัสฟอสเฟต	Fe, P	Fe^{2+}, PO_4^{3-}	trace			
Fe-EDTA	Fe					0.005

ที่มา: Hewitt E.S. (1975)

4.3 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชในการปลูกพืชไม่ใช้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

4.3.1 หลักการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช

พืชแต่ละชนิดจะใช้ปริมาณธาตุอาหารพืชในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ดังนั้นในการเตรียมสารละลายจึงได้กำหนดสูตรสารละลายมาตรฐานขึ้นมาเป็นสูตรสำหรับการปลูกพืชในแต่ละกลุ่มที่มีปริมาณความต้องการธาตุอาหารที่ใกล้เคียงกัน เช่น สารละลายธาตุอาหารสำหรับผักกินใบ และสารละลายสำหรับผักกินผล เป็นต้น โดยเตรียมในรูปสารละลายเข้มข้น (สต๊อค) ก่อนแล้วในการนำมาใช้จะนำมาเจือจางน้ำให้มีค่าการนำไฟฟ้า (EC) และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดต่อไป (อาณัฐ ตันโช, 2552)

4.3.2 คุณภาพของน้ำที่ใช้เตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช

น้ำที่ใช้เตรียมสารละลายเป็นปัจจัยพื้นฐานในการกำหนดการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์ มีผลต่อการเลือกพืชปลูก ระบบปลูก และวิธีจัดการธาตุอาหารพืช คุณภาพของน้ำจึงเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องคำนึงถึง โดยทั่วไปถ้าน้ำสะอาดพอที่มนุษย์หรือสัตว์สามารถดื่มได้ก็ถือว่าเป็นน้ำที่สามารถนำมาใช้เตรียมสารละลายสำหรับปลูกพืชได้ โดยทั่วไปน้ำที่เหมาะสมที่จะนำมาเตรียมสารละลายได้ควรมีปริมาณธาตุต่างๆ ที่แสดงได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 คุณภาพของน้ำที่สามารถนำมาปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์

ธาตุและอนุมูลที่เจือปนในน้ำ		น้ำหนักโมเลกุล	ค่าสูงสุดของธาตุที่สามารถมีอยู่ในน้ำได้	
			มิลลิโมล/ลิตร	มิลลิกรัม/ลิตร
โซเดียม	Na^{+}	23.0	0.5	11.5
คลอไรด์	Cl^{-}	35.5	1.0	35.5
แคลเซียม	Ca^{++}	40.1	2.0	80.2
แมกนีเซียม	Mg^{++}	24.3	0.5	12.2
ซัลเฟต	SO_4^{++}	96.1	0.5	48.1
ไบคาร์บอเนต	HCO_3^{-}	61.0	4.0	244.0
เหล็ก	Fe^{++}	55.9	0.5	28.0
แมงกานีส	Mn^{++}	54.9	10.0	549.0
ทองแดง	Cu^{++}	63.5	1.0	63.5
สังกะสี	Zn^{++}	65.4	5.0	327.0
โบรอน	B^{+++}	10.8	25.0	270.0
ฟลูออไรด์	F^{-}	19.0	25.5	475.0
ค่าการนำไฟฟ้า	EC		0.5mS/cm 25° C	
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	pH		5.5-6	

ที่มา: อิทธิสุนทร นันทกิจ (2538)

4.3.3 วิธีการเตรียมสต๊อคสารละลายธาตุอาหารพืชเข้มข้น

1) แม่ปุ๋ยที่เลือกใช้ตามสูตรที่ได้คำนวณไว้ต้องชั่งให้มีความแม่นยำมาก (บวกลบไม่เกิน 5%) มักใช้เครื่องชั่งระดับกรัมกับธาตุอาหารเสริม และใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดระดับร้อยกรัมสำหรับการเตรียมธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง

2) เตรียมถังที่จะใช้เตรียมสารละลายเข้มข้น (ถังสารละลายสต๊อค A และถังสารละลายสต๊อค B) แล้วเติมน้ำลงในถังเท่ากับปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะใช้ในการเตรียมสารละลายเข้มข้น (น้ำที่ใช้ควรมีความเป็นกรด -ด่าง (pH) อยู่ที่ระหว่าง 5-8 และค่าการนำไฟฟ้า (EC) น้อยกว่า 5 mS/cm)

3) เทแม่ปุ๋ยที่ใช้เตรียมสารละลายครั้งละชนิดในถังน้ำ แล้วคนให้ละลายจนหมดแล้วจึงใส่แม่ปุ๋ยตัวต่อไปทำเช่นนี้จนครบทุกแม่ปุ๋ย โดยแยกเป็นสารละลายเข้มข้นสต๊อค A และ B (ในการผสมสารละลายเข้มข้นให้สารละลายธาตุอาหารหลักก่อน แล้วจึงตามด้วยธาตุอาหารรองหรือธาตุอาหารเสริม และธาตุเหล็กควรใส่เป็นตัวสุดท้าย) (อาณัฐ ตันโช, 2552)

4.3.4 การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC)

ในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ ธาตุอาหารที่พืชต้องนำไปใช้จะอยู่ในรูปของสารละลายเช่นเดียวกับการให้ทางระบบดิน ซึ่งการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชจะต้องมีความรู้ของพืช แต่ละชนิดที่ปลูก และนอกจากนี้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชนั้นควรจะต้องคำนึงคือค่า pH และค่า EC ด้วย ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญสำหรับการปลูก พืชแบบไฮโดรโปนิกส์ เพราะเป็นการวัด ของธาตุอาหาร ในสารละลาย (nutrient solution) ที่ต้องเตรียมไว้ก่อนปลูกและระหว่างการปลูกให้มีค่าที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด การรักษาหรือควบคุมความเป็นกรด -ด่าง และค่าการนำไฟฟ้าในสารละลายธาตุอาหารนี้เพื่อให้พืชสามารถดูดใช้ปุ๋ยหรือสารอาหารพืชได้ดี และเพื่อให้ปริมาณสารอาหารแก่พืชตามที่ต้องการ

1) การรักษาหรือควบคุม pH ค่า pH ของสารละลายธาตุอาหาร มีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของพืชในด้านความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในสารละลาย โดยทั่วไป สารละลายควรมี pH อยู่ในช่วง 5.5 – 6.5 จะเป็นช่วงที่เหมาะสม คือ ธาตุอาหารอยู่ในรูปที่พืชใช้ได้มากที่สุด ซึ่งหาก pH ของสารละลายต่ำกว่า 4 จะเป็นอันตรายต่อรากพืช และถ้า pH สูงกว่า 7 ติดต่อกันนาน 2-3 วัน จะทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัส เหล็ก และแมงกานีส ผิดปกติ พืชแต่ละชนิดมีความต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH เฉพาะ ซึ่งจะทำให้พืชนั้นๆ เจริญเติบโตได้ดีที่สุด ถ้าพืชได้รับสารอาหารที่มีช่วงค่า pH เกินกว่าช่วงเฉพาะนั้นๆ ก็จะทำให้พืชเจริญเติบโตช้าหรือเป็นผลให้พืชอาจตายได้ (อาณัฐ ตันโช, 2552) ช่วงค่า pH ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืชแสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของผักและผลไม้บางชนิด

ชื่อพืชผล	ค่า pH
หน่อไม้ฝรั่ง (asparagus)	6.0 - 6.8
ถั่วเหลือง (bean common)	6.0
ถั่วแระ (broad bean)	6.0 - 6.5
บรอคโคลี่ (broccoli)	6.0 - 6.8
กะหล่ำปลี (cabbage)	6.5 - 7.0
พริกขี้หนูและพริกชี้ฟ้า (capsicum)	6.0 - 6.5
แครอท (carrots)	6.5
กะหล่ำดอก (cauliflower)	6.5 - 7.0
ผักเซลเลอรี่ (ไม้ตระกูลคื่นฉ่ายดอกใช้รับประทานได้)	6.5

ที่มา : เหมือนชนก บุญยเกียรติ (2551)

ตารางที่ 13 ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของผักและผลไม้บางชนิด (ต่อ)

ชื่อพืชผล	ค่า pH
แตงกวา (cucumber)	5.5
มะเขือขาวหรือม่วง (eggplant)	6.0
กระเทียม (garlic)	6.0
ผักกาดหอม (lettuces)	6.0 - 7.0
หัวหอม (onions)	6.0 - 6.7
ผักฉ่อย (pak choi)	7.0
ถั่วชนิดเล็ก เช่น ถั่วลันเตา (pea)	6.0 - 7.0
มันฝรั่ง (potatoes)	5.0 - 6.0
ข้าวโพดหวาน (sweet corns)	6.0
มะเขือเทศ (tomatoes)	6.0 - 6.5
ผักซูคินี่ (zucchini)	6.0
สับปะรด (pineapple)	5.5 - 6.0
สตรอเบอรี่ (strawberries)	6.0
แตงโม (watermelon)	5.8

ที่มา : เหมือนชนก บุญยเกียรติ (2551)

การปรับเพื่อลดหรือเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างนั้น สามารถทำได้โดยเติมสารลงไปในสารละลายธาตุอาหารพืช เช่น

- การปรับเพื่อลดค่าความเป็นกรด -ด่าง โดยการเติมสารใดสารหนึ่งต่อไปนี้ ลงไปในสารละลายธาตุอาหารพืช เช่น sulfuric acid (H_2SO_4) หรือ nitric acid (HNO_3) หรือ hydrochloric acid (HCl) หรือ acetic acid

- การปรับเพื่อเพิ่มค่าความเป็นกรด -ด่าง ให้สูงขึ้น ทำโดยการเติมสารใดสารหนึ่งต่อไปนี้ลงไปในสารละลายธาตุอาหารพืช เช่น potassium hydroxide (KOH) หรือ sodium hydroxide (NaOH) หรือ sodium bicarbonate หรือ bicarbonate of soda ($NaHCO_3$) (ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์ และคณะ, 2548)

2) การควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) คือ ค่าที่บ่งบอกความเข้มข้นของสารละลายมีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อเซนติเมตร (mmho/cm) หรือ มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) ถ้าค่า EC สูงแสดงว่าสารละลายมีความเข้มข้นสูง คือมีธาตุอาหารละลายอยู่มาก ค่า EC ของสารละลายในระบบไฮโดรโพนิกส์ สำหรับผักใบ เช่น ผักสลัด ผักกาด คะน้า กวางตุ้ง ฮ่องเต้ ขึ้นฉ่าย เป็นต้น สามารถใช้ค่า EC ที่ระดับเดียวกันได้ ส่วนในผักกินผล เช่น มะเขือเทศ พริกหวาน แตงกวา เมลอน เป็นต้น การปรับค่า EC จะแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดพืชและระยะการเจริญเติบโต โดยเฉพาะผักกินผลที่ต้องทำให้มีความหวาน เช่น เมลอน และแคนตาลูป จะต้องมีการปรับค่า EC หลายระดับเพื่อเพิ่มความหวานของผล (อาณัฐ ตันโช, 2552) ซึ่งค่า EC ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่า EC ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆ

ชื่อพืชผล	ค่า EC (mS/cm)
หน่อไม้ฝรั่ง (asparagus)	1.4 - 1.8
ถั่วเหลือง (bean common)	2.0 - 4.0
ถั่วแระ (broad bean)	1.8 - 2.2
บรอคโคลี่ (broccoli)	2.8 - 3.5
กะหล่ำปลี (cabbage)	2.5 - 3.0
พริกขี้หนูและพริกชี้ฟ้า (capsicum)	2.0 - 2.5
แครอท (carrots)	1.5 - 2.0
กะหล่ำดอก (cauliflower)	1.5 - 2.0
ผักเซลเลอรี่ (ไม้ตระกูลคื่นฉ่ายดอกใช้รับประทานได้)	2.0 - 2.5
แตงกวา (cucumber)	2.0 - 2.5
มะเขือขาวหรือม่วง (eggplant)	2.5 - 3.5
กระเทียม (garlic)	1.4 - 1.8
ผักกาดหอม (lettuces)	1.0 - 1.5
หัวหอม (onions)	1.4 - 1.8
ผักฉ่อย (pak choi)	1.5 - 2.0
ถั่วชนิดเล็ก เช่น ถั่วลันเตา (pea)	1.0 - 1.8
มันฝรั่ง (potatoes)	2.0 - 2.5

ที่มา : เหมือนชนก บุญยเกียรติ (2551)

ตารางที่ 14 ค่า EC ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆ (ต่อ)

ชื่อพืชผล	ค่า EC (mS/cm)
ข้าวโพดหวาน (sweet corns)	1.5 - 2.5
มะเขือเทศ (tomatoes)	2.0 - 5.0
สับปะรด (pineapple)	2.0 - 2.5
สตรอเบอรี่ (strawberries)	2.0 - 2.5
แตงโม (watermelon)	1.8 - 2.5
เบญจมาศ (chrysanthemum)	1.8 - 2.5
มินท์ (mint , พืชจำพวกสะระแหน่)	2.0 - 2.5
ผักชี (parsley)	1.0 - 1.8

ที่มา : เหมือนชนก บุญยเกียรติ (2551)

การปรับเพื่อเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าในสารละลายธาตุอาหารพืชนั้น สามารถทำได้โดยเติมสต็อคสารละลายธาตุอาหารที่เตรียมไว้ลงในถังเก็บสารละลายในระบบปลูก ค่า EC ของสารละลายในระบบก็จะเพิ่มขึ้นมากน้อยตามปริมาณสารละลายธาตุอาหารที่ใส่ลงไป เช่น เมื่อเริ่มให้สารละลายกับพืชในระบบปลูก พืชจะเริ่มดูดธาตุอาหารไปใช้ ซึ่งในการดูดธาตุอาหารพืชจะดูดพร้อมกับน้ำที่ให้ ทำให้เมื่อเวลาผ่านไปน้ำในระบบจะลดลงทำให้ต้องเติมน้ำเพิ่ม ซึ่งในการเติมน้ำแต่ละครั้งส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าในถังสารละลายมีค่าลดต่ำลง จำเป็นต้องเติมสารละลายธาตุอาหารเข้มข้น (สต็อค A และ B) ลงไปเพื่อเพิ่มค่าการนำไฟฟ้า ในการเติมจะค่อยๆ เติมสต็อค A และ B อย่างละ 100 ml ก่อน พร้อมกับวัดค่าการนำไฟฟ้าพร้อมกันไปจนกระทั่งได้ค่าการนำไฟฟ้าที่ต้องการจึงหยุดเติมสต็อคปุ๋ย

ในระยะย้ายกล้าใหม่จะปรับให้มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 1.0 และจะค่อยๆ ปรับค่าการนำไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้นเป็น 1.3 ในสัปดาห์ต่อไปและปรับให้ค่าการนำไฟฟ้าเป็น 1.5 เมื่อพืชเจริญเต็มที่แล้วในสัปดาห์ที่ 3-5 (ตามระยะการเติบโตของพืช) (อาณัฐ ตันโช, 2552)

5. ธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารที่พืชต้องการในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต มีทั้งหมด 16 ธาตุ ซึ่ง 3 ธาตุ คือคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ได้จากน้ำและอากาศ และอีก 13 ธาตุ ได้จากการดูดกินผ่านทางราก ทั้ง 13 ธาตุแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามปริมาณที่พืชต้องการ คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการ

เป็นปริมาณมาก หรือธาตุอาหารมหัพภาค (macronutrient elements) และธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณน้อย หรือธาตุอาหารจุลภาค (micronutrient elements)

5.1 ธาตุอาหารมหัพภาค (macronutrient elements)

ธาตุอาหารมหัพภาค คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเต็มวัยสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ส่วนคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนนั้น แม้จะใช้ในปริมาณมากแต่เนื่องจากพืชได้รับมาในรูปของน้ำและแก๊ส คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน จึงไม่ได้รวมอยู่ในกลุ่มนี้ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2546) ซึ่งธาตุอาหารหลักที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ

ไนโตรเจน (N) พืชสามารถดูดกินไนโตรเจนได้ทั้งในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และไนเตรทไอออน (NO_3^-) ซึ่งไนโตรเจนส่วนใหญ่ในสารละลายธาตุอาหารพืชจะอยู่ในรูปไนเตรทไอออนเพราะถ้ามีแอมโมเนียมไอออนมากจะเป็นอันตรายต่อพืชได้ สารเคมีที่ให้ไนเตรทไอออน คือ แคลเซียมไอออน และโปแตสเซียมไนเตรท นอกจากนี้ยังอาจได้จากกรดดินประสิว (HNO_3^-) ที่ใช้ในการปรับความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหารพืช

ฟอสฟอรัส (P) ในการปลูกพืชไร้ดิน พืชต้องการธาตุฟอสฟอรัสไม่มากเท่ากับไนโตรเจนและโปแตสเซียม ประกอบกับไม่มีปัญหาในเรื่อง การนำไปใช้ประโยชน์ของพืชของฟอสฟอรัสในดิน พืชจึงได้รับฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอ รูปของฟอสฟอรัสที่พืชสามารถดูดกินได้คือ mono-hydrogen phosphate ion (HPO_4^{-2}) ส่วนจะอยู่ในรูปใดมากกว่ากันขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายในขณะนั้น

โปแตสเซียม (K) รูปของโปแตสเซียมที่พืชดูดกินได้ คือ potassium ion (K^+) โปแตสเซียมที่มีมากเกินพอ จะไปรบกวนการดูดกินแคลเซียมและแมกนีเซียม สารเคมีที่ให้โปแตสเซียม คือ potassium nitrate และ potassium phosphate

แคลเซียม (Ca) รูปของแคลเซียมที่พืชดูดกินได้คือ calcium ion (Ca^{+2}) แหล่ง Ca^{+2} ที่ดีที่สุด คือ calcium nitrate เนื่องจากละลายง่าย ราคาไม่แพงและยังให้ธาตุไนโตรเจนด้วย แคลเซียมที่มีมากในสารละลายธาตุอาหารพืช จะไปรบกวนการดูดกินโปแตสเซียมและแมกนีเซียม ในน้ำตามธรรมชาติจะมีแคลเซียมอยู่ปริมาณหนึ่ง การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชจึงควรคิดแคลเซียมในน้ำด้วยจะได้ไม่เกิดปัญหาในการมีแคลเซียมมากเกินไป

แมกนีเซียม (Mg) รูปของแมกนีเซียมที่พืชดูดกินได้คือ magnesium ion (Mg^{+2}) สารเคมีที่ให้แมกนีเซียมคือ magnesium sulfate ($MgSO_4$) ในน้ำธรรมชาติจะมีแมกนีเซียมอยู่ด้วย

ฉะนั้นในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชจึงควรคำนึงถึงด้วย แมกนีเซียมที่มีมากเกิน ไปในสารละลายจะไปรบกวนการดูดกินธาตุโปแตสเซียมและแคลเซียม

กำมะถัน (S) รูปของกำมะถันที่พืชสามารถดูดกินได้ คือ sulfate ion (SO_4^{-2}) พบว่าไม่ค่อยมีปัญหาการขาดกำมะถันในระบบการปลูกพืชไร้ดิน เพราะพืชต้องการกำมะถันในปริมาณน้อย และจะได้รับจากสารเคมีพวกเกลือซัลเฟตของ K, Mg, Fe, Cu, Mn และ Zn เป็นต้น (ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์ และคณะ, 2548)

5.2 ธาตุอาหารจุลภาคหรือจุลธาตุอาหาร (micronutrient elements)

ธาตุอาหารจุลภาคหรือจุลธาตุอาหาร คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเต็มวัยต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ โบรอน คลอรีน ทองแดง เหล็ก แมงกานีส โมลิบดินัม สังกะสี และนิกเกิล (ยงยุทธ โอสถสภา , 2546) ซึ่งธาตุอาหารรองที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ

โบรอน (B) การแสดงอาการขาดธาตุโบรอนของพืชพบเห็นได้ยากเนื่องจากพืช ต้องการในปริมาณน้อย ซึ่งในน้ำธรรมชาติก็มีโบรอนอยู่ด้วย สารเคมีที่ให้ borate ion (BO_3^{-3}) ซึ่งพืชสามารถดูดกินได้คือ boric acid (H_3BO_3)

สังกะสี (Zn) รูปที่พืชสามารถดูดกินได้คือ zinc ion (Zn^{+2}) ซึ่งได้จาก zinc sulfate ($ZnSO_4$) หรือ zinc chloride ($ZnCl_2$)

ทองแดง (Cu) สารเคมีที่ให้ copper ion (Cu^{+2}) คือ copper sulfate ($CuSO_4$) หรือ copper chloride ($CuCl_2$)

เหล็ก (Fe) พืชดูดกินในรูป Fe^{+2} หรือ Fe^{+3} สารเคมีที่ให้ธาตุเหล็กที่มีราคาถูกที่สุด คือ ferrous sulfate ($FeSO_4$) ซึ่งละลายน้ำได้ง่าย แต่ก็จะตกเป็นตะกอนได้เร็ว จึงต้องควบคุมสภาพความเป็นกรด ด่างของสารละลาย เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ โดยการใช้เหล็กในรูปคีเลต (Fe-chelate) ซึ่งเป็นสารเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างเหล็กและสารคีเลต ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ เหล็กคีเลต เป็นสารประกอบเชิงซ้อน สามารถคงตัวอยู่ในรูปสารละลายธาตุอาหารพืชและพืชดูดกินได้ เหล็กคีเลตที่นิยมใช้กันอยู่ในรูปของ EDTA หรือ EDDHA

แมงกานีส (Mn) มีลักษณะเหมือนกับเหล็กคือ ความเป็นประโยชน์ของแมงกานีสจะถูกควบคุมโดยความเป็นกรด-ด่าง ถ้าสารละลายธาตุอาหารพืชมีลักษณะด่าง ความเป็นประโยชน์ของแมงกานีสจะลดลง manganese ion (Mn^{+2}) ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถดูดกินได้ จะได้จากสารเคมี manganese sulfate ($MnSO_4$) หรือ manganese chloride ($MnCl_2$)

โมลิบดินัม (Mo) รูปที่พืชสามารถดูดกินได้คือ molybdate ion (MoO_4^{-2}) ซึ่งได้จากสาร sodium molybdate หรือ ammonium molybdate

คลอรีน (Cl) ในน้ำจะมีคลอรีนในรูปของคลอไรด์ (chloride ion (Cl^-) ซึ่งเป็นรูปที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์เจือปนอยู่ด้วย จากการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชจะได้คลอไรด์จากสารเคมี potassium chloride รวมทั้งจากจุลธาตุบางธาตุที่อยู่ในรูปของสารประกอบคลอไรด์ ถ้าสารละลายมี Cl^- มากเกินพอ จะไปมีผลยับยั้งการดูดกิน anions ตัวอื่น เช่น nitrate (NO^{3-}) และซัลเฟต (SO_4^{-2}) (ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์ และคณะ , 2548) ซึ่งการขาดธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตจะทำให้พืชแสดงอาการผิดปกติต่างๆ ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ลักษณะอาการผิดปกติที่พบในพืชที่ขาดธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต

ธาตุที่ขาด	ลักษณะอาการ
กลุ่มของธาตุที่แสดงอาการครั้งแรกที่ใบแก่ (ธาตุที่เคลื่อนที่ได้)	
ไนโตรเจน (N)	ใบแก่มีสีเหลืองปนส้ม โดยเริ่มจากปลายใบก่อน เมื่อขาดรุนแรงขึ้นใบแก่จะแห้งตาย
ฟอสฟอรัส (P)	ใบล่างและลำต้นมีสีแดงอมม่วง
โพแทสเซียม (K)	ใบล่างมีสีเหลืองโดยเริ่มจากขอบใบก่อน หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลลุกลามเข้าสู่กลางใบ
แมกนีเซียม (Mg)	เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบของใบแก่จะมีสีเหลือง แต่เส้นใบเป็นสีเขียวปกติ
โมลิบดินัม (Mo)	ใบแก่มีสีเหลืองบางครั้งมีจุดสีน้ำตาลไหม้บนใบ
กลุ่มของธาตุที่แสดงอาการครั้งแรกที่ใบอ่อน (ธาตุที่เคลื่อนที่ไม่ได้)	
แคลเซียม (Ca)	ใบอ่อนบิดเบี้ยว ม้วนงอ ยอดหงิก ใบไม่สามารถคลี่ได้เต็มที่
กำมะถัน (S)	ใบอ่อนหรือใบบนมีสีเหลืองทั้งใบ
เหล็ก (Fe)	ใบอ่อนที่ยังโตไม่เต็มที่มีสีเหลืองระหว่างเส้นใบ
แมงกานีส (Mn)	ใบอ่อนที่โตเต็มที่มีสีเหลืองระหว่างเส้นใบ และมีจุดสีน้ำตาลบนใบ
สังกะสี (Zn)	ใบอ่อนเกิดแถบสีเหลืองทั้งสองข้างของเส้นกลางใบ จากปลายใบลามเข้าสู่กลางใบ เส้นกลางใบยังเขียว ใบมีขนาดเล็ก
ทองแดง (Cu)	ปลายใบอ่อนมีสีซีดหรือขาว
โบรอน (B)	ใบย่น หนาผิดปกติและเปราะ ม้วนงอหรือขาดวิ่น
คลอรีน (Cl)	ปลายใบแห้ง ใบเหลือง

ที่มา: สุมิตรา ขันตยาลงกต (2542)

6. ผักกาดหอม

ผักกาดหอม เป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูล *COMPOSITAE* มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียและยุโรป เป็นผักที่ใช้บริโภคส่วนใบ และจัดได้ว่าเป็นผักจำพวกสลัดที่มีคุณค่าทางอาหารสูง นิยมบริโภคกันแพร่หลายที่สุดในบรรดาผักสลัดด้วยกัน นอกจากนี้ผักกาดหอมยังมีคุณสมบัติในการเป็นยาอีกด้วย ความต้องการผักกาดหอมมีอยู่ตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงเทศกาลต่างๆ จึงนับได้ว่าผักกาดหอมเป็นผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง (สุนทร เรืองเกษม, 2540 และ ศรานนท์ เจริญสุข, 2549)

6.1 พันธุ์ผักกาดหอม

แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะ ดังนี้

6.1.1 ผักกาดหอมห่อ (head lettuce) เป็นผักกาดที่ใบห่อเป็นหัว ซึ่งเกิดจากการที่ใบเรียงซ้อนกันหนามาก ผักกาดหอมห่อนี้แบ่งออกเป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ

1) ชนิดห่อหัวแน่น (crisp head) ได้แก่ พันธุ์ เกรทเลค (great lake), นิวยอร์ค (new york), อิมพีเรียล (imperial), โปรกรีสส์ (progress) เป็นต้น

2) ชนิดห่อหัวไม่แน่น (butter head) ได้แก่ พันธุ์บิ๊ก บอสตัน (big boston), ไวท์ บอสตัน (white boston)

3) ชนิดห่อหัวหลวมค่อนข้างยาว แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ พันธุ์ที่มีหัวขนาดใหญ่ ได้แก่ พันธุ์ปารีส ไวท์ (paris white), ไวท์ ฮีท (white heart) เป็นต้น และพันธุ์ที่มีหัวขนาดเล็ก ได้แก่ พันธุ์ลิทเติ้ล เจม (little gem)

6.1.2 ผักกาดหอมใบ (leaf lettuce) เป็นผักกาดหอมที่ใบไม่ห่อเป็นหัว นิยมปลูกกันทั่วไปในประเทศไทย ใบจะกว้างใหญ่และหยิก เจริญออกไปทางด้านบนและด้านข้าง ไม่ห่อเป็นหัว ต้นเป็นพุ่มเตี้ย แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) ชนิดที่มีสีเขียวทั้งต้น ได้แก่ พันธุ์ grand rapids, simpsons curled, boston curled และ slobott เป็นต้น

2) ชนิดที่มีสีน้ำตาลทั้งต้น ได้แก่ พันธ์ prize head เป็นต้น

6.1.3. ผักกาดหอมต้น (stem lettuce) เป็นผักกาดหอมที่ปลูกเพื่อใช้ลำต้นรับประทานเท่านั้น มีลักษณะลำต้นอวบ ลำต้นสูง ใบจะเกิดขึ้นต่อๆ กันไปจนถึงยอดหรือช่อดอก ใบจะมีลักษณะคล้ายผักกาดหอมใบ แต่ใบจะเล็ก หนาและสีเข้มกว่า มีทั้งชนิดกลมและยาว ไม่ห่อหัว โดยทั่วไปไม่ค่อยนิยมปลูกกัน ได้แก่ พันธุ์ celtute (ศรานนท์ เจริญสุข, 2549)

6.2 โรคและแมลงศัตรูของผักกาดหอม

6.2.1. โรคเน่าเละ

สาเหตุเกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Erwinia sp.* อาการจะเริ่มจากแผลรอยช้ำเล็กๆ เป็นจุดฉ่ำน้ำ ต่อมาแผลจะขยายตัว เนื้อเยื่อของพืชส่วนนั้นจะอ่อนยุบตัวลงและเน่าอย่างรวดเร็ว มีเมือกเยิ้ม มีกลิ่นแรงมาก หลังจากนั้นผักจะเน่ายุบตายไปทั้งต้น

การป้องกันกำจัด ใช้สารเคมีปฏิชีวนะ เช่น อะกริมัยซิน อัตรา 10-20 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร พ่นทุกๆ 7 วัน และเก็บเกี่ยวโดยใช้มีดคมๆ ตัดให้ขาดเพียงครั้งเดียว เพื่อไม่ให้เกิดรอยแผลช้ำ หลังจากการเก็บเกี่ยวควรผึ่งผักไว้ในที่โปร่ง อากาศถ่ายเทได้ดี เพื่อให้แผลตรงรอยตัดแห้ง และทาปูนแดงที่แผลด้วย ส่วนการบรรจุภาชนะต้องระวังอย่าให้เกิดการเบียด ซึ่งจะทำให้เกิดแผลช้ำหรือฉีกขาด (ศรานนท์ เจริญสุข, 2549)

6.2.2. โรคใบจุดของผักกาดหอม

สาเหตุเกิดจากเชื้อรา *Cercospora longissima* อาการมักพบที่ใบแก่และใบล่างของต้น โดยเริ่มแรกจะเกิดเป็นจุดเล็กๆ สีน้ำตาลโดยเริ่มจากขอบใบ แล้วต่อมาแผลจะขยายสู่ส่วนกลางของใบ ขอบแผลมีสีน้ำตาลเข้ม ส่วนกลางของแผลจะแห้งและเป็นจุดสีฟางข้าวทำให้ดูคล้ายตากบ เมื่อแผลลุกลามมารวมกันมากๆ จะทำให้เกิดอาการใบไหม้ทั้งใบ

การป้องกันกำจัด ควรกำจัดวัชพืชในแปลงปลูกอยู่เสมอ และเก็บใบหรือส่วนที่เป็นโรคไปเผาทำลาย และใช้สารเคมีดังต่อไปนี้ ฉีดพ่นให้ทั่วต้น 5-7 วัน เช่น เบนโนมิล 50% อัตรา 6 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร, แมนโคเซ็บ 80% อัตรา 30 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร คาร์เบนดาซิม อัตรา 10 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร มาเน็บ อัตรา 30 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (ศรานนท์ เจริญสุข, 2549)

6.2.3 เพลี้ยอ่อน

เพลี้ยอ่อน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lipaphis erysimi* แพร่พันธุ์ได้โดยไม่ต้องผสมพันธุ์ ตัวอ่อนเมื่อออกจากตัวเต็มวัยเพศเมียใหม่ๆ จะมีขนาดเล็กมากจนมองไม่เห็น ลำตัวมีสีเหลืองอ่อน ตาสีดำ ขาทั้ง 3 คู่สีเหลืองอ่อน หนวดสั้น ระยะตัวอ่อนมีอายุประมาณ 5-6 วัน จึงพัฒนาเป็นตัวเต็มวัย ซึ่งจะมีทั้งแบบมีปีกและไม่มีปีก ระยะตัวเต็มวัยมีชีวิตอยู่ได้ประมาณ 6-18 วัน ทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของเพลี้ยอ่อนจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืชทั้งส่วนยอด ใบอ่อน ใบแก่ และช่อดอก ทำให้ยอดและใบหงิกงอ และต่อมาพืชก็จะเหี่ยว ใบที่ถูกทำลายจะมีสีเหลืองและร่วงหล่น ลำต้นจะแคระแกร็น ถ้ากินช่อดอกจะทำให้ดอกร่วงหล่นหลุดไปจากต้น และทำให้ผลผลิตลดลง

การป้องกันกำจัด เมื่อพบเพลี้ยอ่อนเข้าทำลายควรใช้สารฆ่าแมลงมาลาไธออน พ่น 2 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 7 วัน หลังจากนั้นให้ทำการพ่นเป็นครั้งคราว สารเคมีชนิดนี้มีอันตรายน้อยต่อผู้บริโภค (ศรานนท์ เจริญสุข, 2549)

6.2.4 หนอนคืบกะหล่ำ

หนอนคืบกะหล่ำ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Trichoplusia ni.* ตัวเต็มวัยเป็นผีเสื้อขนาดกลาง กางปีกเต็มที่ยาว 3 เซนติเมตร สีเทาดำ กลางปีกคู่หน้ามีจุดสีขาวข้างละ 1 จุด แม่ผีเสื้อจะวางไข่ที่ใต้ใบ ไข่มีอายุ 3 วัน จึงฟักออกเป็นตัวหนอน หนอนในระยะนี้จะมีสีใส ต่อมาจะมีสีเข้มข้นเมื่อโตเต็มที่สีจะซีดลง มีสีขาวพาดยาว อายุหนอนประมาณ 2 สัปดาห์จึงเข้าดักแด้ ดักแด้จะอยู่ใต้ใบคลุมด้วยใยบางๆ สีขาว ในระยะแรกจะมีสีเขียวอ่อน ต่อมามีบางส่วนเป็นสีน้ำตาล มีขนาดยาวเกือบ 2 เซนติเมตร อายุดักแด้ประมาณ 1 สัปดาห์ จึงเข้าระยะตัวเต็มวัย ตัวเต็มวัยจะมีชีวิตอยู่ได้ประมาณ 1 สัปดาห์ หนอนคืบกะหล่ำจะเข้าทำลายผักกาดหอมในระยะที่เป็นตัวหนอน โดยจะกัดกินเนื้อใบจนขาดและมักจะเหลือเส้นใบไว้ หนอนชนิดนี้เมื่อเกิดระบาดแล้วจะแพร่กระจายไปอย่างรวดเร็วมาก

การป้องกันกำจัด ควรตรวจดูไข่หรือตัวหนอนในระยะต้นๆ หากพบให้ใช้สารฆ่าแมลงฉีดพ่น เช่น แลนเนท เป็นต้น หากใช้ในขณะที่หนอนยังมีขนาดเล็กจะได้ผลดี หากการระบาดมีอยู่ตลอดเวลาควรพ่นสารกำจัดแมลงดังกล่าวทุกๆ 5-7 วันต่อครั้ง (ศรานนท์ เจริญสุข, 2549)

ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตผักสามารถเก็บได้ตามขนาดที่เหมาะต่อการบริโภคซึ่งจะพิจารณาตามอายุเก็บเกี่ยวจากดัชนี ดังตารางที่ 16 โดยก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต 4- 5 วัน จะต้องงดการเติมสารละลายธาตุอาหารแต่ให้ มีการเติมน้ำเปล่าแทน เพื่อเป็นการลดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งในการปลูกพืชไร้ดินแต่ละพื้นที่อาจมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งอายุการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับชนิดของพืชแต่ละชนิด

ตารางที่ 16 ดัชนีการเก็บเกี่ยวของพืชแต่ละชนิด

ชนิดพืช	ดัชนีการเก็บเกี่ยว	
	ระยะเวลา	ดัชนีอื่นๆ
กระเจี๊ยบเขียว	3-5 วันหลังดอกบาน	กลีบเลี้ยงยังไม่ร่วง ฝักตรง ความยาวฝัก 6-9 cm รูปทรงห้าเหลี่ยมสีเข้มสม่ำเสมอ
กระเทียม	70-140 วันหลังปลูก	ใบเริ่มแห้ง คอนิ่ม
กะหล่ำดอก	50-125 วันหลังปลูก	ดอกแน่น สีขาวนวล ไม่เหลือง
กะหล่ำปลี	60-120 วันหลังปลูก	หัวแน่น
ข้าวโพดฝักอ่อน	42-60 วันหลังปลูก	สังเกตความยาวของใบ ความแน่นของฝัก
ข้าวโพดหวาน	64-95 วันหลังปลูก	ความชื้น 70-75% ระยะน้ำนม
คื่นฉ่าย	90-125 วันหลังปลูก	-
คะน้า	45-55 วันหลังปลูก	ใบออกนวล

ที่มา : จริงแท้ ศิริพานิช (2538)

ตารางที่ 16 ดัชนีการเก็บเกี่ยวของพืชแต่ละชนิด (ต่อ)

ชนิดพืช	ดัชนีการเก็บเกี่ยว	
	ระยะเวลา	ดัชนีอื่นๆ
แคนตาลูป	85-110 วันหลังปลูก	9-10% มีร่องรอบหัว
แครอท	50-95 วันหลังปลูก	เส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า ¾ นิ้ว และขนาดไม่ใหญ่เกินไป
แตงกวา	30-40 วันหลังปลูก	ผิวผลยังไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง
แตงไทย	42-46 วันหลังดอกบาน	-
แตงโม	22-30 วันหลังผสมเกสร	มือเกาะ แห้ง เคาะฟังเสียง
ถั่วแขก	12-14 วันหลังดอกบาน	สีเขียวอ่อน ฝักยังไม่พอง หรือมีรอยดอก
ถั่วฝักยาว	7-10 วันหลังดอกบาน	เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6-0.7 cm ฝักยังไม่พอง
ถั่วแระญี่ปุ่น	62-72 วันหลังปลูก	ฝักเต่ง ไม่ลีบ สีของฝักยังไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง
ถั่วลันเตา	5-7 วันหลังดอกบาน	ฝักอ่อนนุ่ม กรอบ ไม่พอง เมล็ดเริ่มเกิดและยังผอมลีบ
บล็อกโคลี่	55-78 วันหลังปลูก	ดอกแน่น และยังไม่บาน กลีบดอกยังไม่มีสีเหลือง
บวบเหลี่ยม	40-60 วันหลังปลูก	ปลายผลยังไม่พองออก
ปวยเหล็ง	40-60 วันหลังปลูก	-
ผักกาดขาว	40-45 วันหลังปลูก	-
ผักกาดขาวปลี	60-80 วันหลังปลูก	หัวแน่น
ผักกาดเขียวกวางตุ้ง	55-78 วันหลังปลูก	-
ผักกาดเขียวปลี	35-40 วันหลังปลูก	หัวแน่น
ผักกาดหอม	40-50 วันหลังปลูก	ต้นสูงประมาณ 20-25 cm และยังอ่อนอยู่
ผักกาดหอมห่อ	70-85 วันหลังปลูก	หัวแน่น รูปร่างค่อนข้างกลม
ผักกาดหัว	50-70 วันหลังปลูก	-
ผักบุ้งจีน	25-30 วันหลังปลูก	สูงประมาณ 30 วัน
ผักบุ้งไทย	30-40 วันหลังปลูก	-
พริกขี้หนู	55-78 วันหลังปลูก	สีเขียวเข้ม เริ่มออกสี
พริกชี้ฟ้า	60-90 วันหลังปลูก	สีเขียวเข้ม เริ่มออกสี
พริกยักษ์ พริกหวาน	70-95 วันหลังปลูก	สีเขียวเข้ม เริ่มออกสี
ฟักทอง	60-80 วันหลังปลูก	-
มะเขือเทศ	100-120 วันหลังปลูก	เมล็ดหลบคมมีดหรือเมื่อผ่าเริ่มเปลี่ยนสีที่ก้นผล
มะระ	60-90 วันหลังปลูก	-
มันเทศ	55-78 วันหลังปลูก	-

ที่มา : จริงแท้ ศิริพานิช (2538)

ตารางที่ 16 ดัชนีการเก็บเกี่ยวของพืชแต่ละชนิด (ต่อ)

ชนิดพืช	ดัชนีการเก็บเกี่ยว	
	ระยะเวลา	ดัชนีอื่นๆ
มันฝรั่ง	55-78 วันหลังปลูก	-
หน่อไม้ฝรั่ง / หน่อขาว	55-78 วันหลังปลูก	หน่อยาว 12-16 cm
/ หน่อเขียว	55-78 วันหลังปลูก	หน่อยาว 12-23 cm
หอมแดง	55-78 วันหลังปลูก	ใบเริ่มแห้ง คอนิ่ม
หอมแบ่ง	55-78 วันหลังปลูก	-

ที่มา : จริงแท้ ศิริพานิช (2538)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาถึงลักษณะของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ความสามารถในการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรทั้งในสภาวะมีอากาศและไร้อากาศ

2) เพื่อศึกษาถึงผลของการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน เพื่อเป็นธาตุอาหารในการทดแทนปุ๋ยเคมีในระบบการปลูกพืชไร้ดินโดยทดสอบกับผักกาดหอม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการทำเสถียรภายใต้สภาวะมีอากาศและไม่มีอากาศ อันสามารถใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาเพื่อใช้ประโยชน์ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อไป

2) ทราบผลของการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในการเป็นธาตุอาหารทดแทนปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดิน

3) เป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินให้กับกลุ่มผู้ผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

4) เพิ่มทางเลือกในการตัดสินใจเพื่อลดต้นทุนในการปลูกพืชไร้ดินทางการค้าให้กับเกษตรผู้ที่มีการปลูกพืชไร้ดิน

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

ขอบเขตและกรอบแนวคิดการวิจัย

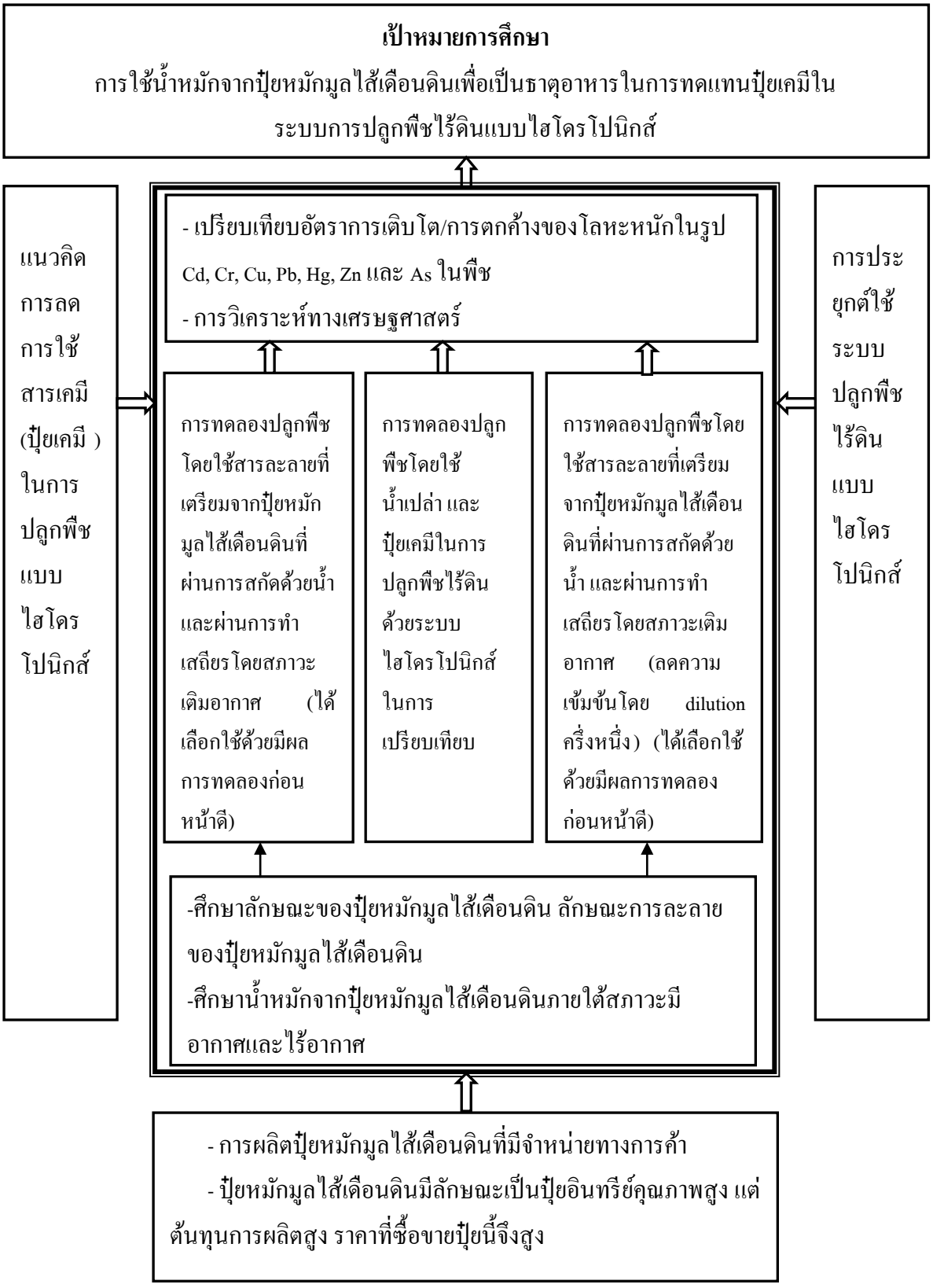
ขอบเขตการวิจัยประกอบด้วยการศึกษาลักษณะของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มีการผลิตเชิงพานิชย์ การศึกษาถึงศักยภาพในการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อใช้ในการเตรียมสารละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรภายใต้สภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ รวมถึงการศึกษาทดลองถึงผลของการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน เพื่อเป็นธาตุอาหารในการทดแทนปุ๋ยเคมีในระบบการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยทดสอบกับผักกาดหอม อีกทั้งได้ทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งกรอบแนวคิดในการวิจัย แสดงดังภาพที่ 9

วัสดุและอุปกรณ์การวิจัย

1. วัสดุ

วัสดุที่ใช้ ได้แก่

- ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน บริษัททีพี กรีน ฟาร์ม จังหวัดนครปฐม (A) โครงการหลวง (B) และธีธัช ฟาร์ม กรุงเทพมหานคร (C)
- เมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม
- ฟองน้ำสำหรับเพาะเมล็ด
- อาหารเลี้ยงเชื้อ
- กระดาษกรองเบอร์ 1
- กระดาษกรอง GF/C
- กระดาษฟอร์ย
- แผ่นโฟมสำหรับใช้ในชุดปลูกไฮโดรโปนิกส์
- ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์
- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ TN, TP (as P_2O_5), TK (as K_2O), COD และโลหะหนักในรูป Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, As, Zn



ภาพที่ 9 กรอบแนวคิดการวิจัย

2. อุปกรณ์ของชุดทดลองและการเก็บตัวอย่าง

- ถังพลาสติก
- ขวดพลาสติกใส่ตัวอย่าง
- ถุงพลาสติก
- กล่องเอนกประสงค์
- air pump
- สายยางและหัวทราย

3. เครื่องมือและเครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์

3.1 เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์

- เครื่อง pH meter
- เครื่องชั่งสารเคมี
- ชุดกลั่นแอมโมเนีย
- ชุดกรองตัวอย่าง
- เตาไฟฟ้า (hot plate)
- เครื่อง spectrophotometer
- ตู้อบ (oven)
- dessicator
- เตาเผา (furnace)
- ชุดย่อยไนโตรเจน
- เตาย่อยตัวอย่าง
- เครื่องกวนแม่เหล็ก (magnetic stirrer)
- ตู้ดูดควัน (hood)
- thermometer
- เครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า (conductivity meter)
- ตู้บ่มเชื้อ (incubator)
- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ COD
- อุปกรณ์เลี้ยงเชื้อ
- เครื่องอังไอน้ำ (water bath)
- เครื่องเขย่าสารละลาย (shaker)
- จานเพาะเชื้อเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร
- ตู้เขี่ยเชื้อ (laminar air flow)

3.2 เครื่องแก้ว/ อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์

- ปากคีบ (forcep)
- ถ้วยกระเบื้อง (evaporating dish)
- ขวดสีชา
- แท่งแก้ว (stirring rod)
- บิวเรต (buret)
- ปิเปต (pipet)
- หลอดย่อยตัวอย่าง
- ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask)
- บีกเกอร์ (beaker)
- ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask)
- ถาดอะลูมิเนียม
- อุปกรณ์เครื่องแก้วที่จำเป็นอื่นๆ

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาลักษณะทางกายภาพ และเคมีของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

นำตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่มีการผลิตเชิงพานิชย์ จากบริษัท ทีพี กรีน ฟาร์ม (A) ตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินของโครงการหลวง (B) และตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน

ดินจากบริษัทธีธัช ฟาร์ม (C) มาใช้ในการศึกษา ซึ่งตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการศึกษาแสดงได้ดังภาพที่ 10 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ ดังนี้ density, moisture content (MC), pH, volatile solids content (VS), ash, conductivity, TN, TP (as P_2O_5), TK (as K_2O) และโลหะหนักในรูป Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn และ As พร้อมกับการทดสอบการย่อยสลายที่เสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ย โดยวิเคราะห์ด้วยวิธีการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด (germination index) ทั้งนี้วิธีการวิเคราะห์เป็นไปตามวิธีที่ระบุใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, and WEF, 2005) วิธี Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990) และวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร , 2551) สำหรับการวิเคราะห์ค่าการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของ ปุ๋ยนั้นใช้วิธีการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด (germination index) ซึ่งใช้เมล็ดพืชที่ทดสอบ คือ เมล็ดผักกวางตุ้ง ที่มีค่าอัตราการงอกมากกว่า 99% โดยการทดสอบใช้ตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำกลั่นที่สกัดที่อัตราส่วน 1:10 ตามวิธีที่ระบุโดยกรมวิชาการเกษตร (2551) ข้อมูลที่ได้นำมารายงานผลโดยการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่ประกาศโดย กรมวิชาการเกษตร ปี 2548 รวมทั้งการเปรียบเทียบกับข้อมูลคุณลักษณะปุ๋ยหมักที่เคยมีการรายงานไว้

ภาพที่ 10 ตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการศึกษา

2. การศึกษาลักษณะการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการสกัดด้วยน้ำ

แม้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ และมีความสามารถละลายได้ระดับหนึ่ง แต่ยังมีสารประกอบและแร่ธาตุที่ไม่สามารถละลายน้ำได้อยู่ด้วย เช่น สารจากวัสดุเศษเหลือที่ใช้เลี้ยงไส้เดือนดินหรือวัสดุที่เป็นส่วนของดินที่ใช้สร้างเป็นฐานในการเลี้ยงไส้เดือนดิน การใช้เพื่อนำเอาปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินไปใช้งานกับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ จำเป็นต้องทำให้เกิดการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินก่อนเพื่อเอาส่วนที่เป็นสารละลายที่ได้ไปใช้งาน การศึกษาเพื่อให้

ได้ข้อมูลของความสามารถในการละลายและลักษณะของสารละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจึงได้ศึกษาในประเด็นนี้ขึ้น การศึกษาดำเนินการโดยนำตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมาทดสอบการละลายด้วยน้ำกลั่น โดยใช้อัตราส่วนของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำกลั่นที่ 15g/200ml 30g/200ml และ 50g/200ml (อัตราส่วนที่ใช้คิดจากน้ำหนักกรัมแห้ง) ทำการละลายที่ระยะเวลา 0, 20, 40, 60 และ 120 นาที ณ. อุณหภูมิห้อง ของเหลวที่ได้จากการละลาย (กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C) นำไปวิเคราะห์ค่า total dissolved solids (TDS), total dissolved volatile solids (TDVS), SCOD และของเหลวทั้งหมดที่ได้ (ซึ่งยังไม่ได้กรองด้วย GF/C) นำไปวิเคราะห์หาค่า pH, conductivity, suspended solids (SS) และ volatile suspended solids (VSS) และทำการเก็บข้อมูลของปริมาณกากตะกอนคงเหลือที่ไม่สามารถละลายได้ และข้อมูลของปริมาณของเหลวที่แยกได้จากการทดลองละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินกับน้ำของแต่ละการทดลอง ทั้งนี้ได้ทำการทดลองการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่อัตราการผสม 60 g/200 ml และ 70 g/200 ml (น้ำหนักกรัมแห้ง) เพิ่มด้วย เพื่อดูถึงความสามารถในการละลายที่อิ่มตัวเมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน โดยศึกษาเฉพาะค่า SCOD และ TDS ตลอดจนปริมาณของเหลวที่แยกได้

อนึ่งการทดลองได้มีการนำตัวอย่างของเหลวที่แยกได้หลังการละลายที่ 60 นาที (กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C) ในอัตราส่วนปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำกลั่นที่ 50g/200ml (คิดเป็นอัตราส่วน 250 กรัมแห้ง/ลิตร ซึ่งให้ค่า SCOD และ TDS สูงสุด เมื่อการละลายเริ่มอิ่มตัว รวมทั้งให้สัดส่วนของปริมาณสารละลายที่ได้มาไม่น้อยกว่ากึ่งหนึ่งของน้ำที่ใช้ในการละลาย) ตลอดจนการนำตัวอย่างน้ำหมักมูลไส้เดือนดินของโครงการหลวง ที่มีจำหน่ายในเชิงพานิชย์ ไปวิเคราะห์ค่า TKN, TP, TK, แบคทีเรียทั้งหมด (total plate count), การย่อยสลายที่เสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ย โดยวิเคราะห์ด้วยวิธีการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด (germination index) ดังรายละเอียดการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และเคมีของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ในการทดลองก่อนหน้า และโลหะหนักในรูป Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn และ As ทั้งนี้วิธีการวิเคราะห์ เป็นไปตามวิธีที่ระบุใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, and WEF, 2005) และวิธี Association of Official Analytical Chemists 15th Edition (AOAC, 1990) และวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2551) ข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณหาค่าอัตราการละลาย ความสัมพันธ์ของอัตราการละลายและอัตราส่วนผสมที่ใช้ โดยใช้เทคนิค correlation analysis และใช้การวิเคราะห์สมดุลมวลของสารของแข็ง/ปริมาณโลหะหนัก และธาตุอาหารพืช N, P, K ที่เกิดขึ้นในขณะทำการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเตรียมสารละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและใช้ในการทดลองปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ต่อไป ซึ่งการศึกษาลักษณะการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินแสดงได้ดังภาพที่ 11

ภาพที่ 11 การทดสอบการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

3. การศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรด้วยภาวะที่มีอากาศและไร้อากาศ

การศึกษาลักษณะทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมีของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการทำเสถียรด้วยภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ ชุดการทดลองแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ การทดลองการทำเสถียรโดยเติมอากาศ และแบบไม่เติมอากาศ โดยการทดลองทั้ง 2 ชุดการทดลองได้ใช้อัตราส่วนปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน : น้ำที่เป็นอัตราส่วนเดียวกับการศึกษาในขั้นตอนการทดสอบการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินด้วยน้ำในการทดลองก่อนหน้า โดยมีการใช้ตัวอย่างของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจำนวน 1,200 g, 1,800 g และ 3,000 g (ใช้ตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยน้ำหนักเปียกแต่คิดน้ำหนักที่ใช้ในฐานของน้ำหนักแห้ง) ผสมน้ำ 12 ลิตร (ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วน 100 g, 150 g และ 250 g ต่อน้ำ 1 ลิตร) โดยอัตราส่วนที่ใช้ทดลองนี้คำนึงถึงค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ได้ซึ่งครอบคลุมในช่วง organic loading ที่ใช้ในการหมักในช่วงต่ำถึงสูง โดยพิจารณาปรับใช้ตามผลการศึกษาของอรอนงค์ โพธิ์แป้น (2552)

ชุดการทดลองที่เติมอากาศได้ใช้ air pump ขนาด 60 วัตต์ (อัตราการให้อากาศ 70 ลิตร/นาที) ในการเป่าพ่นอากาศลงในน้ำตัวอย่างที่ทดสอบ ส่วนชุดการทดลองที่ไม่เติมอากาศได้ใส่ในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด โดยทั้งสองชุดการทดลองตั้งในที่ร่ม ดังแสดงในภาพที่ 12 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมีของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการทำเสถียรด้วยภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ ใช้ระยะเวลาทดลองรวม 25 วัน และทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 0, 1, 3, 5, 10, 20 และ 25 วันที่ได้ทำการทดลอง จากนั้นนำตัวอย่างของเหลวทั้งแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศมาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ดังนี้ suspended solids (SS), SCOD, total dissolved solids (TDS), total dissolved volatile solids (TDVS), volatile suspended solids (VSS), pH, conductivity, temperature และการย่อยสลายที่เสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ย (germination index) ด้วยวิธีการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด (germination index) ดังรายละเอียด การศึกษา

ลักษณะทางกายภาพ และเคมีของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในการทดลองก่อนหน้า ดังรายละเอียดการทดลองและนำตัวอย่างในวันที่ 0, 5, 10 และ 15 ในรูป total solution มาวิเคราะห์หาค่า total nitrogen (TKN), NH_3-N, total phosphorus (TP as P), total potassium (TK) และการวิเคราะห์ total plate count (TPC) โดยบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยตัวอย่างวันที่ให้ค่าการย่อยสลายที่เสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ย (germination index) ดีที่สุดนำไปวิเคราะห์หาโลหะหนักในรูป Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn และ As ซึ่งข้อมูลที่ศึกษาได้นี้ได้นำไปพิจารณาในการเตรียมสารละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อใช้ในการทดสอบการปลูกพืชกับระบบไฮโดรโปนิกส์ในขั้นตอนต่อไป ทั้งนี้การทดสอบตัวอย่างใช้การวิเคราะห์ตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, and WEF, 2005) และวิธี Association of Official Analytical Chemists 15th Edition (AOAC, 1990) และวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2551)

ภาพที่ 12 ชุดการทดลองการหมักภายใต้สภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

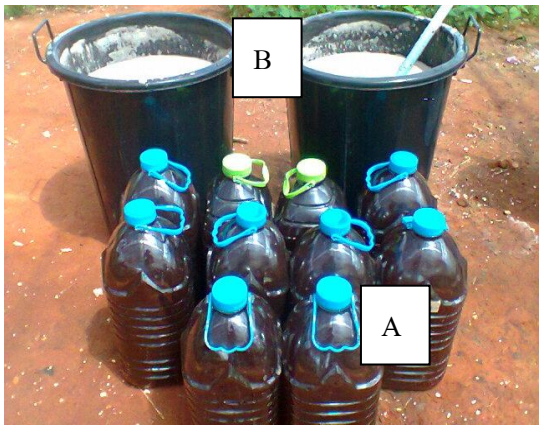
4. การทดสอบศักยภาพของการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินโดยการทดสอบกับผักกาดหอม

4.1 การเตรียมสารละลายที่ใช้เป็นธาตุอาหารในการทดสอบการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์

ดำเนินการโดยใช้สารละลายที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการละลายที่ 60 นาที และน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการทำเสถียรเป็นระยะเวลา 10 วัน ในสภาวะเติมอากาศ (ซึ่งเป็นชุดที่ดีที่สุดจากการทดสอบการละลายและการทดสอบการทำเสถียร

โดยสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศที่ได้จากการศึกษาในข้อ 2 และ 3) มาทดลองโดยการปลูกพืชไร้ดินในระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ โดยในการนำสารละลายที่ได้จากการละลายและการทำเสถียรด้วยสภาวะมีอากาศของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินไปใช้งานจะผ่านการกรองด้วยตะแกรงตาข่ายเพื่อกรองเอากากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ออกก่อนในเบื้องต้น จากนั้นทำการกรองซ้ำด้วยผ้าขาวบาง เพื่อให้ได้ซึ่งส่วนที่เป็นของเหลวจากสารละลายที่เตรียมได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อไปใช้งาน ซึ่งในการทดลองมีการเปรียบเทียบกับ 1) การใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งเป็นวิธีการปลูกแบบโฮโดรโปนิกส์พื้นฐาน (ใช้สารละลายปุ๋ยเคมีสำหรับการปลูกผักสลัดที่เป็นสูตรทางการค้าซึ่งได้รับอภินันทนาการจากบริษัทเวสโก้ เคมี ประเทศไทย จำกัด โดยใช้เป็นชุดควบคุม) 2) การใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศเป็นระยะเวลา 10 วัน และสารละลายที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ระยะเวลาการสกัด 60 นาทีที่ความเข้มข้น 100% 3) การใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศเป็นระยะเวลา 10 วันและสารละลายที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ระยะเวลาการสกัด 60 นาที โดยใช้ความเข้มข้นที่ 50% (หรือใช้ผสมกับน้ำ 1:1) และ 4) การใช้น้ำเปล่าซึ่งเป็นชุดควบคุม ในการเปรียบเทียบ โดยใช้สารละลายในแต่ละชุดการทดสอบที่มีการปลูกแต่ละกระบะอย่างละ 7 ลิตร ซึ่งรายละเอียดของชุดการทดลองปลูกพืชไร้ดินแสดงได้ดังตารางที่ 17 ซึ่งปุ๋ยเคมีและสารละลายที่ได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินแสดงได้ดังภาพที่ 13

ก) ปุ๋ยเคมีและถังสำหรับการเตรียมสารละลายปุ๋ย



ข) น้ำหมักที่เตรียมได้จากการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน (A) และน้ำที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ระยะเวลาการสกัด 60 นาที (B)

ภาพที่ 13 ปุ๋ยเคมีและสารละลายที่ได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

ตารางที่ 17 รายละเอียดชุดการทดสอบศักยภาพของการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน /น้ำจากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน เพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

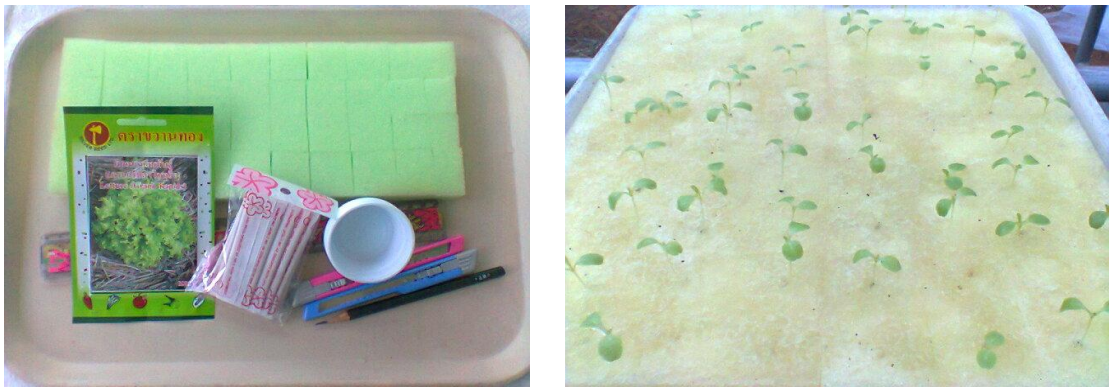
ชุดการทดลอง	สารละลายของชุดการทดลองที่ศึกษา	รายละเอียดของธาตุอาหารที่มีอยู่
Control 1	น้ำเปล่า	-
Control 2	ปุ๋ยเคมี	ใช้ตามสูตรผสมที่ใช้ในการทำ hydroponic ต่อการปลูกผักกาดหอม (บริษัทเวสโก้เคมี ประเทศไทย จำกัด มีค่า NO_3^--N = 250 mg/l, TP = 60 mg/l, TK = 304 mg/l ค่าจากการคำนวณ)
Test 1	สารละลายที่เตรียมได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (ละลายที่ 60 นาที) ที่ความเข้มข้น 100%	ใช้สารละลายที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที (มีค่า TKN = 14.81 mg/l, TP = 58 mg/l, TK = 349 mg/l)
Test 2	น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (ทำเสถียรภายใต้สภาวะเติมอากาศ 10 วัน) ที่ความเข้มข้น 100%	ใช้สารละลายที่หมักได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน โดยผ่านการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ (มีค่า TKN = 31.12 mg/l, TP = 50 mg/l, TK = 371 mg/l)
Test 3	สารละลายที่เตรียมได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (ละลายที่ 60 นาที) ที่ความเข้มข้น 50%	ใช้สารละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที (มีค่า TKN = 7.76 mg/l, TP = 23 mg/l, TK = 124 mg/l)
Test 4	น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (ทำเสถียรภายใต้สภาวะเติมอากาศ 10 วัน) ที่ความเข้มข้น 50%	ใช้สารละลายที่หมักได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน โดยผ่านการหมักในสภาวะเติมอากาศ (มีค่า TKN = 15.44 mg/l, TP = 17 mg/l, TK = 139 mg/l)

หมายเหตุ : - TKN = Org-N + NH_3-N

- TN = TKN + NO_2^--N + NO_3^--N (การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้วิเคราะห์ในรูป NO_2^--N หรือ NO_3^--N)
- ชุดการทดลอง Test 1-Test 4 ใช้อัตราส่วนปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำที่ 250 กรัม/ลิตร (น้ำหนักกรัมแห้ง) ในการเตรียมการละลายและการทำเสถียรตั้งต้น
- การทดลองจะใช้สภาพแวดล้อมที่เหมือนกัน ทั้งนี้มีการวัดค่า pH และ EC ในทุก 3 วันของการทดลอง โดยการทดลองจะมีการปรับค่า pH เริ่มต้นให้มีค่าเป็นกลาง

4.2 การเพาะต้นกล้าผักกาดหอม

การศึกษาใช้พืชในการทดสอบคือ ผักกาดหอม พันธุ์แกรนด์ แรปปิด (Grand Rapid) (สาเหตุที่เลือกผักกาดหอมเพราะเป็นผักที่ใช้ระยะเวลาปลูกไม่นาน และเป็นที่นิยมในการบริโภค อีกทั้ง ผักกาดหอม พันธุ์แกรนด์ แรปปิด เป็นผักที่สามารถทนต่ออากาศร้อนได้ดีกว่าพันธุ์อื่นๆ)โดยทำการเพาะเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม ลงในรอยกรีดของแผ่นฟองน้ำที่ทำการตัดเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 1×1×1 นิ้ว ซึ่งผ่านการแช่น้ำไว้จนชุ่มแล้ววางอยู่ในถาดเพาะ จากนั้นหยอดเมล็ดผักกาดหอมลงตามร่องรอยกรีดบนแผ่นฟองน้ำ ทำการรักษาความชื้นของผักกาดหอมอย่างสม่ำเสมอโดยการฉีดพรมน้ำบนผิวหน้าแผ่นฟองน้ำ โดยระวังไม่ให้แฉะ เมื่อเมล็ดเริ่มงอกประมาณ 2-3 วัน จึงนำไปไว้ในโรงเรือนเพาะให้ได้รับแสงแดดอ่อนๆ เมื่อต้นกล้าผักกาดหอมมีอายุครบ 2 สัปดาห์ (ต้นกล้ามีใบจริงประมาณ 2 ใบ) จึงทำการย้ายต้นกล้าผักกาดหอมที่เตรียมไว้ลงสู่กระบะปลูกของแต่ละชุดการทดลอง โดยการสอดก้อนฟองน้ำที่มีต้นกล้าผักกาดหอมยึดเกาะอยู่ลงในหลุมเพาะและวางลงในช่องโฟมที่เจาะไว้ซึ่งขนาดพอดีกับหลุมเพาะ ทั้งนี้ขนาดโฟมที่ใช้จะเท่ากับขนาดหน้าตัดของกระบะปลูกที่ใช้ในชุดการทดลอง โดยใช้จำนวนต้นผักกาดหอม 11 ต้น/กระบะ ซึ่งวัสดุ/อุปกรณ์ในการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมแสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 วัสดุ/ อุปกรณ์ในการเพาะกล้าผักกาดหอม

4.3 การทดสอบปลูกผักกาดหอมในระบบไฮโดรโปนิกส์

การทดสอบปลูกผักกาดหอมแบบไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ใช้วิธีการปลูกแบบสารละลายไม่หมุนเวียน เนื่องจากวิธีการปลูกจะทำได้ง่าย และไม่ต้องยุ่งยากในการใช้ระบบน้ำหมุนเวียนประจำสำหรับการใช้งาน โดยมีการเปลี่ยนถ่ายสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ใหม่ของการปลูกในทุก 7 วัน ใช้สารละลายปุ๋ยในการปลูกกระบะละ 7 ลิตร ซึ่งหลังการย้ายต้นกล้าผักกาดหอมลงปลูกในสารละลายธาตุอาหารของแต่ละกระบะปลูก ได้ให้ออกซิเจนแก่สารละลายธาตุอาหารใน

แต่ละกระบะปลูก ใช้ระยะเวลาการในการให้อากาศรวม 10 ชั่วโมง (เฉพาะตอนกลางวัน) โดยอาศัยปั๊มลมให้อากาศ ขนาด 120 วัตต์ (อัตราการให้อากาศ 100 ลิตร/นาที) ต่อสายย่อยจากปั๊มลมให้อากาศแยกใส่กระบะปลูก กระบะละ 1 เส้น ปลายสายแต่ละเส้นต่อด้วยหัวทราย ซึ่งทำหน้าที่ในการกระจายอากาศ (เนื่องจากสภาพอากาศที่ร้อนอาจส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนที่อาจจะไม่เพียงพอต่อพืชได้ จึงมีการเติมอากาศโดยใช้ปั๊มลมให้อากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้กับรากพืช แต่ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานที่ให้กับระบบปลูกได้ใช้การให้อากาศเฉพาะในช่วงกลางวันเท่านั้น)

อนึ่งการทดลองในการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินใช้ระยะเวลาในการทดลอง 33 วัน (ระยะเวลาที่ทดลองปลูกในระบบ hydroponic) ซึ่งการทดลองแต่ละชุดทดลองทำ 3 ซ้ำ การทดลองในขั้นนี้มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมที่เหมือนกันโดยทดลองปลูกในโรงเรือนปิดของพื้นที่ทดลองการเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี การศึกษามีการวัดค่า pH, temperature และ conductivity ในสารละลายเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายแต่ละรอบและที่ใช้ปลูกทุก 3 วัน และมีการเก็บตัวอย่างสารละลายธาตุอาหารในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในแต่ละรอบที่ใช้ปลูก (กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C) มาวิเคราะห์ TKN, TP และ TK มีการเก็บตัวอย่างของสารละลายธาตุอาหารในช่วงเริ่มต้นและสิ้นสุดของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายแต่ละรอบ มาวิเคราะห์ SCOD และสารละลายธาตุอาหารในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายแต่ละรอบมาผสมตามสัดส่วนต่อปริมาตรที่เท่ากัน และสารละลายธาตุอาหารในช่วงสิ้นสุดของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายแต่ละรอบมาผสมตามสัดส่วนต่อปริมาตรที่เท่ากัน (กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C) มาทดสอบค่าโลหะหนักในรูป Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn และ As และทุกช่วง 7 วันของการทดลอง เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตทางด้านกายภาพของผักกาดหอมโดยวัดความสูงและจำนวนใบที่เกิดขึ้น (โดยเลือกนับจำนวนใบเฉพาะใบที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 1 เซนติเมตร) และตัวอย่างพืชก่อนการปลูกในระบบ hydroponic และหลังการปลูกในระบบ hydroponic ที่ 33 วัน นำมาชั่งน้ำหนักเปียกและแห้ง รวมทั้งทดสอบค่า moisture content (%MC), volatile solid contents (VS), ash, TKN, TP, TK และตัวอย่างหลังปลูก 33 วัน นำไปวิเคราะห์โลหะหนักในรูป Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn และ As ทั้งนี้การทดสอบตัวอย่างใช้การวิเคราะห์ตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, and WEF, 2005) และวิธี Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990) และวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2551) อนึ่งวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมดแสดงในตารางที่ 18 และชุดทดลองในการปลูกพืชไร้ดินแบบสารละลายไม่หมุนเวียน แสดงได้ดังภาพที่ 15

ตารางที่ 18 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน สารละลายที่ได้ และตัวอย่างผักกาดหอม

ตัวอย่าง	พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (การทดลองศึกษาลักษณะปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน)	density	ชั่งน้ำหนักในภาชนะที่ทราบปริมาตรและคำนวณ**
	moisture content (% MC)	gravimetric method*
	pH	pH meter (อัตราส่วนปุ๋ย : น้ำ = 1 : 2)***
	conductivity (EC)	conductivity meter (อัตราส่วนปุ๋ย : น้ำ = 1 : 2)***
	volatile solid contents (VS)	gravimetric method *
	ash	gravimetric method *
	germination index (GI)	germination index***
	total nitrogen (TN)	kjeldahl method***
	total phosphorus (as P_2O_5)	spectrophotometric molybdovanado-phosphate method*
	total potassium (TK)	inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES) **
	Cd, Cr, Cu, Pb, As, Zn, Hg	inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES) **
น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน/น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักมูลไส้เดือนดินของโครงการหลวง (การทดลองการละลายและทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน)	pH	pH meter ***
	conductivity (EC)	conductivity meter ***
	suspended solids (SS)	gravimetric method**
	volatile suspended solids (VSS)	gravimetric method *
	total dissolved solids (TDS)	gravimetric method**
	total dissolved volatile solids (TDVS)	gravimetric method *
	soluble chemical oxygen demand (SCOD)	close reflux method**
	germination index (GI)	germination index***
	total plate count (TPC)	total standard plate count (ที่ 25 °C)**
	NH_3-N	titrimetric method**
	TKN	macro kjeldahl method**
	total phosphorus (as P)	vanadomolybdophosphoric acid colorimetric method**
	total potassium (TK)	inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES) **
	Cd, Cr, Cu, Pb, As, Zn, Hg	inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES) **

ตารางที่ 18 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน สารละลายที่ได้ และตัวอย่างผักกาดหอม (ต่อ)

ตัวอย่าง	พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
สารละลายธาตุอาหาร และผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ hydroponic (การศึกษาเพื่อทดลองใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และสารละลายที่ได้เพื่อปลูกผักกาดหอม)	moisture content (% MC)	gravimetric method*
	volatile solid contents (VS)	gravimetric method *
	Ash	gravimetric method *
	pH	pH meter ***
	conductivity (EC)	conductivity meter ***
	soluble chemical oxygen demand (SCOD)	close reflux method**
	total nitrogen (TKN)	macro kjeldahl method**
	total phosphorus (as P)	vanadomolybdophosphoric acid colorimetric method**
	total potassium (TK)	inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES) **
	Cd, Cr, Cu, Pb, As, Zn, Hg	inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES) **

หมายเหตุ : * เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ของ Association of Official Analytical Chemists 15th Edition (AOAC, 1990)

**เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ ของ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (APHA, AWWA, and WEF, 2005)

***เป็นไปตามการวิเคราะห์ของ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2551) กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

- พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ TK, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn และ As จะทำการย่อยตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และศูนย์เครื่องมือกลางของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี และส่งไปวิเคราะห์ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ภาพที่ 15 ชุดทดลองการปลูกพืชไร้ดินแบบสารละลายไม่หมุนเวียน

5. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ผลการทดลองสรุปถึงศักยภาพของการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน/น้ำจากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อทดแทนการใช้สารเคมีในการปลูกพืชไร้ดินแบบไฮโดรโปนิกส์ และข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ถึงค่าใช้จ่ายจากการศึกษาเพื่อเตรียมน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน/น้ำจากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ซึ่งสามารถคำนวณเป็นมูลค่าของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน /น้ำจากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการทดแทนปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดิน โดยข้อมูลเหล่านี้นำมาสู่การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

6. การวิเคราะห์และแปลผล

ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์และแปลผลโดยใช้ค่าสถิติ max, min และ SD และใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ เช่น ใช้เทคนิค correlation analysis, t-test analysis

บทที่ 3

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษาวิจัยเรื่อง "การใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์" ได้มีการดำเนินการตั้งแต่การศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ความสามารถในการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน การทำเสถียรของน้ำหมักที่ได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน คุณลักษณะทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของน้ำสกัด/น้ำหมักที่ได้ และการทดสอบในด้านการใช้เป็นปุ๋ยเพื่อทดแทนปุ๋ยเคมี ตลอดจนการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งรายละเอียดของผลการศึกษาแสดงได้ดังต่อไปนี้

ลักษณะปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการศึกษา

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการทดลองเป็นตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มีการผลิตเชิงพานิชย์ ซึ่งเป็น ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ของบริษัท ทีพี กรีน ฟาร์ม จังหวัดนครปฐม , บริษัท ธีธัช ฟาร์ม และปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินของโครงการหลวง ผลจากการวิเคราะห์พบว่า ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้มีลักษณะสีเป็นสีน้ำตาลปนดำ ปะปนด้วยเม็ดทรายเล็กน้อย มีความโปร่งเบา และร่วนซุย มีความชื้นอยู่ ในช่วง 28.73-56.25 % (เฉลี่ย 41.10 %) มีค่าความหนาแน่น อยู่ในช่วง 572.08-718.67 kg/m^3 (เฉลี่ย 624.40 kg/m^3) ดังแสดงในตารางที่ 19 ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของอาณัฐ ตันโช (2549) ที่ระบุว่าลักษณะโครงสร้างทางกายภาพในลำดับสุดท้ายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมักจะได้วัสดุที่มีลักษณะดีเยี่ยม นั่นคือจะเป็นเม็ดร่วนละเอียด มีสีดำออกน้ำตาล โปร่งเบา มีความพรุนระบายน้ำและอากาศได้ดีมาก และมีความชื้นที่สูง

ในด้านของลักษณะทางเคมี พบว่าปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือนดินมีค่า pH ที่เป็นกลาง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 7.01-7.78 (เฉลี่ย 7.37) มีค่า conductivity อยู่ในช่วง 1.69-2.44 dS/m (เฉลี่ย 1.95 dS/m) มีค่า VS อยู่ในช่วง 39.23-48.98% น้ำหนักแห้ง (เฉลี่ย 43.24% น้ำหนักแห้ง) มีค่า ash อยู่ในช่วง 51.02-60.77% น้ำหนักแห้ง (เฉลี่ย 56.76 % น้ำหนักแห้ง) มีค่า TN, TP (as P_2O_5) และ TK (as K_2O) อยู่ในช่วง 0.45-1.54% น้ำหนักแห้ง (เฉลี่ย 1.13% น้ำหนักแห้ง), 0.55-2.71% น้ำหนักแห้ง (เฉลี่ย 1.77% น้ำหนักแห้ง), และ 0.51-0.62 % (เฉลี่ย 0.58 % น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ มีค่าโลหะหนักในรูป As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, และ Zn อยู่ในช่วง 1.27-2.09 mg/kg (เฉลี่ย 1.68 mg/kg), 0.17-0.21 mg/kg (เฉลี่ย 0.19 mg/kg), 3.82-6.45 mg/kg (เฉลี่ย 5.13 mg/kg), 9.23-38.20 mg/kg (เฉลี่ย 23.72 mg/kg),

2.09-4.02 mg/kg (เฉลี่ย 3.06 mg/kg), <0.001 mg/kg และ 81.87 mg/kg น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 19)

สำหรับลักษณะการทดสอบการย่อยสลายที่เสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ย (germination index) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามคู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2551) ผลที่ได้พบว่ามีค่า germination index เท่ากับ 81.49-89.40% (เฉลี่ย 84.57 %) ซึ่งการเปรียบเทียบค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ต่อหน่วยน้ำหนักเปียก ที่ประกาศโดย กรมวิชาการเกษตร ปี 2548 พบว่าคุณสมบัติของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในด้าน pH, conductivity, germination index และโลหะหนักของตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตในเชิงพานิชย์ที่ทำการศึกษาทั้งหมดเป็นไปตาม มาตรฐานปุ๋ยหมักอินทรีย์ ปี 2548 ของไทย และมีคุณสมบัติในด้าน TP (as P_2O_5) ของตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ศึกษาโดยส่วนใหญ่ที่เป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยหมักอินทรีย์ ปี 2548 สำหรับคุณสมบัติในด้าน TN และ TK (as K_2O) ของตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ศึกษาทั้งหมด และค่าความชื้นของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ศึกษาโดยส่วนใหญ่ ไม่เป็นไปตาม มาตรฐานปุ๋ยหมักอินทรีย์ ปี 2548 ของไทย (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ทั้งนี้คุณสมบัติของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ศึกษามีผลที่ใกล้เคียงกับรายงานการวิจัยที่ผ่านมาที่ได้ศึกษาถึงลักษณะของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เป็นการผลิตเชิงการค้า

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบผลการศึกษาคุณลักษณะของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

พารามิเตอร์	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ปี 2548 [a]	ตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (A)	ตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (B)	ตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (C)	ผลการศึกษาที่เคยมีรายงาน[b]
ลักษณะทางกายภาพ					
ความหนาแน่น (kg/m^3)*	-	572.08	718.67	582.46	404.61-579.20
สี	-	สีน้ำตาลปนดำปะปนด้วยเม็ดทรายเล็กน้อย	สีน้ำตาลเข้มปนดำ	สีน้ำตาลเข้มปนดำ	สีน้ำตาลถึงน้ำตาลอมดำ
กลิ่น	-	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	-
ความชื้น (%)	≤ 35%	56.25	28.73	38.33	27.13-59.56
ลักษณะทางเคมี					
pH	5.5–8.5	7.01	7.3	7.78	7.75-8.17
Conductivity (dS/m)	≤ 6	1.76	2.44	1.69	2.03-2.50
VS (% dry weight)	-	48.98	41.52	39.23	36.13-57.75

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบผลการศึกษาคุณลักษณะของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (ต่อ)

พารามิเตอร์	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ปี 2548 [a]	ตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (A)	ตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (B)	ตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (C)	ผลการศึกษาที่เคยมีรายงาน[b]
Ash (% dry weight)	-	51.02	58.48	60.77	42.25-63.87
Total N (%)*	$\geq$ 1 %	0.68	0.32	0.86	1.39-2.19
Total P_2O_5 (%)*	$\geq$ 0.5 %	1.19	0.39	1.26	3.78-5.21
Total K_2O (%)*	$\geq$ 0.5 %	0.27	0.43	0.31	0.40-0.48
As (mg/kg)*	$\leq$ 50	0.56	1.49	ND***	0.73-2.57
Cd (mg/kg)*	$\leq$ 5	0.09	0.12	ND***	0.06-0.18
Cr (mg/kg)*	$\leq$ 300	1.67	4.60	ND***	1.41-2.99
Cu (mg/kg)*	$\leq$ 500	16.71	6.58	ND***	7.19-23.17
Pb (mg/kg)*	$\leq$ 500	1.76	1.49	ND***	1.31-1.42
Zn (mg/kg)*	-	35.82	-	ND***	31.99-62.45
Hg (mg/kg)*	$\leq$ 2	<0.001**	<0.001**	ND***	<0.442****
germination index (%)	$\geq$ 80%	89.40	81.49	82.81	76.6-78.5

หมายเหตุ *: เป็นหน่วยต่อน้ำหนักเปียก

**ต่ำกว่าค่า detection limit (0.001 mg/kg ต่อน้ำหนักเปียก)

*** not determine (ไม่ได้ทำการวิเคราะห์)

****ต่ำกว่าค่า detection limit (0.442 mg/kg ต่อน้ำหนักเปียก)

-: ไม่ปรากฏข้อมูล

a: มาตรฐานปุ๋ยหมักอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2548)

b: ผลการศึกษาของ อรอนงค์ โพธิ์แป้น (2552)

ผลการศึกษาของลักษณะการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

ผลการศึกษาลักษณะการละลายของ ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ทดสอบการละลายด้วยน้ำกลั่น (อัตราส่วนปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำกลั่นที่ 15g/200ml 30g/200ml และ 50g/200ml (น้ำหนักกรัมแห้ง)) ของช่วงระยะเวลาในการทดสอบ 2 ชั่วโมง พบการเปลี่ยนแปลงของ ค่า TDS, TDVS, SCOD, pH, conductivity, SS, และ VSS และผลของค่า SCOD, TDS และปริมาณของสารละลายที่แยกได้ของการทดสอบความสามารถในการละลายที่อิ่มตัว เมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (อัตราส่วนปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำกลั่นที่ 60 g/200 ml และ 70 g/200 ml (น้ำหนัก

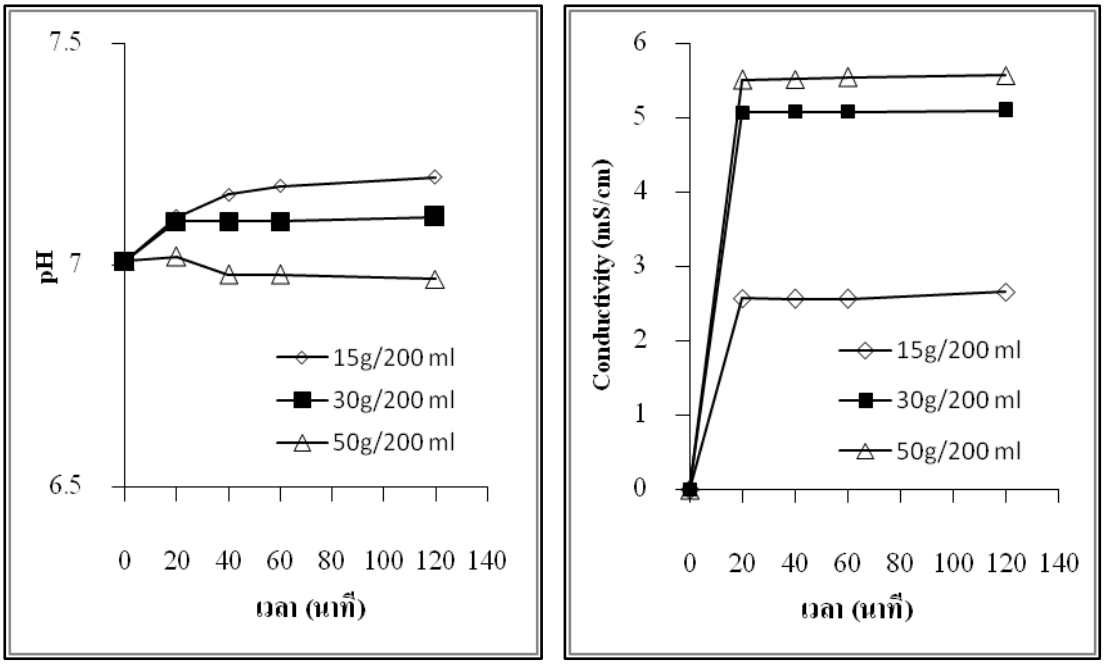
กรัมแห้ง)) ตลอดจนข้อมูลของกากตะกอนที่ไม่สามารถละลายได้ และค่า TKN, TP, TK, total plate count, germination index และโลหะหนักในรูป Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn และ As ของตัวอย่างของเหลวที่แยกได้หลังจากการละลายที่ 60 นาที ซึ่งให้ค่า SCOD และ TDS สูงสุดเมื่อการละลายเริ่มอิ่มตัว และให้สัดส่วนของปริมาณสารละลายที่ได้ไม่น้อยกว่ากึ่งหนึ่งของน้ำกลั่นที่ใช้ ผลที่ได้จากการศึกษา แสดงได้ดังนี้

1. ลักษณะของสารละลายที่เกิดขึ้น

1.1 ค่า pH และ conductivity

ค่า pH และ conductivity ที่เกิดขึ้นในช่วง 2 ชั่วโมง เมื่อละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในน้ำกลั่นของ 3 ชุดการทดลอง (อัตราส่วน 15g/200ml 30g/200ml และ 50g/200ml) แสดงดังภาพที่ 16 ผลการทดลองพบว่าแต่ละชุดการทดลองที่ใช้ในอัตราส่วนของ 15g/200ml และ 30g/200ml ให้ค่า pH ในสารละลายที่เพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการละลายที่เพิ่มขึ้น (pH น้ำกลั่นที่ใช้ในการละลาย เท่ากับ 7.01) ยกเว้นชุดการทดลองที่ใช้อัตราส่วนผสม 50g/200ml พบว่าเมื่อใช้เวลาในการละลายที่นานขึ้นค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (pH อยู่ในช่วง 6.97-7.02) และพบว่าการใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มากขึ้นในการละลายกับน้ำทำให้ได้ค่า pH ที่มีแนวโน้มที่น้อยลง อนึ่งค่า pH ในสารละลายที่ได้ แสดงให้เห็นว่าสารที่ละลายออกจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH ในของเหลวที่ได้จากการละลาย โดยเมื่อใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มากขึ้นจะมีผลให้ได้ค่า pH ในของเหลวที่ละลายได้ที่ต่ำลง แสดงให้เห็นว่าการละลายออกของมวลสารจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ทำให้ได้ตัวถูกทำละลายที่มีคุณสมบัติที่มีอิทธิพลต่อการแตกตัวของ H^+ และ OH^- โดยมีค่า H^+ มากขึ้นจึงมีผลให้ค่า pH ต่ำลง

สำหรับค่า conductivity จะให้ผลตรงกันข้ามกับ pH โดยพบว่า เมื่อใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มากขึ้นจะทำให้ค่า conductivity ในของเหลวละลายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่า conductivity ที่เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ ได้บ่งชี้ให้เห็นถึง ปริมาณของตัวถูกละลายที่ละลายได้ที่มากขึ้นในน้ำ และเมื่อพิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของทั้ง pH และ conductivity ในแต่ละช่วงเวลา พบว่ามีรูปแบบเหมือนกันคือจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของค่าดังกล่าวในสารละลายในช่วง 20 นาทีแรกของการละลาย และหลังจากเวลาการละลาย 20-60 นาที ค่า pH และ conductivity ของแต่ละชุดการทดลองจะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงน้อยมาก

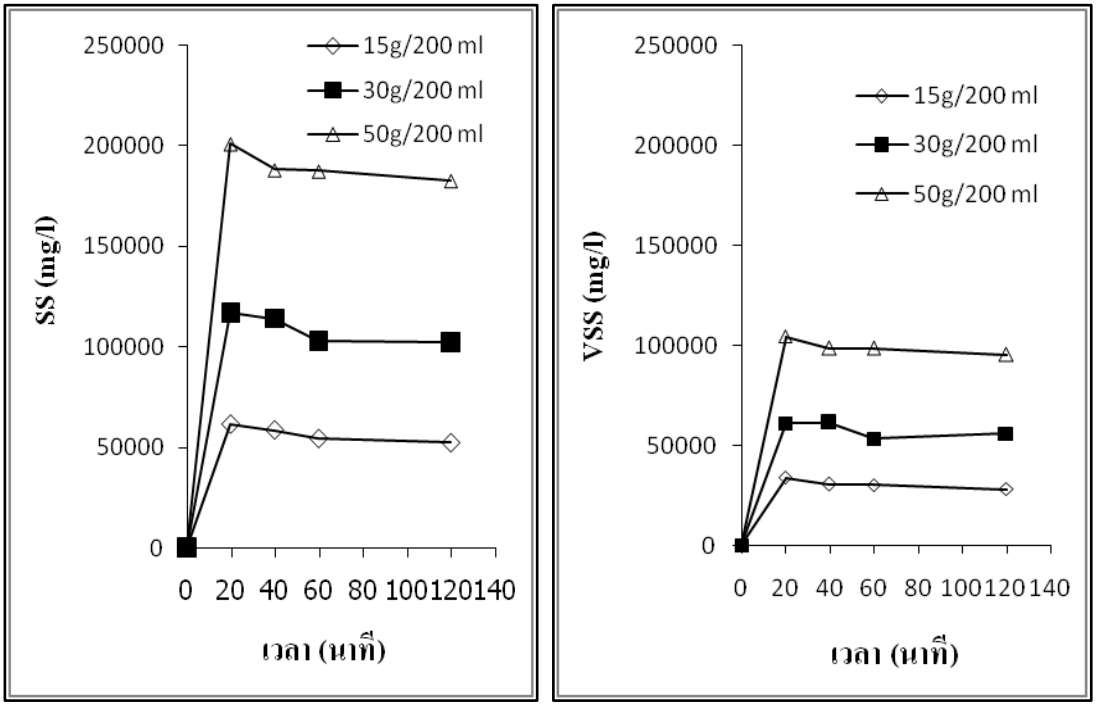


ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH และ conductivity ในสารละลายที่ได้ตามระยะเวลาการละลาย 120 นาที

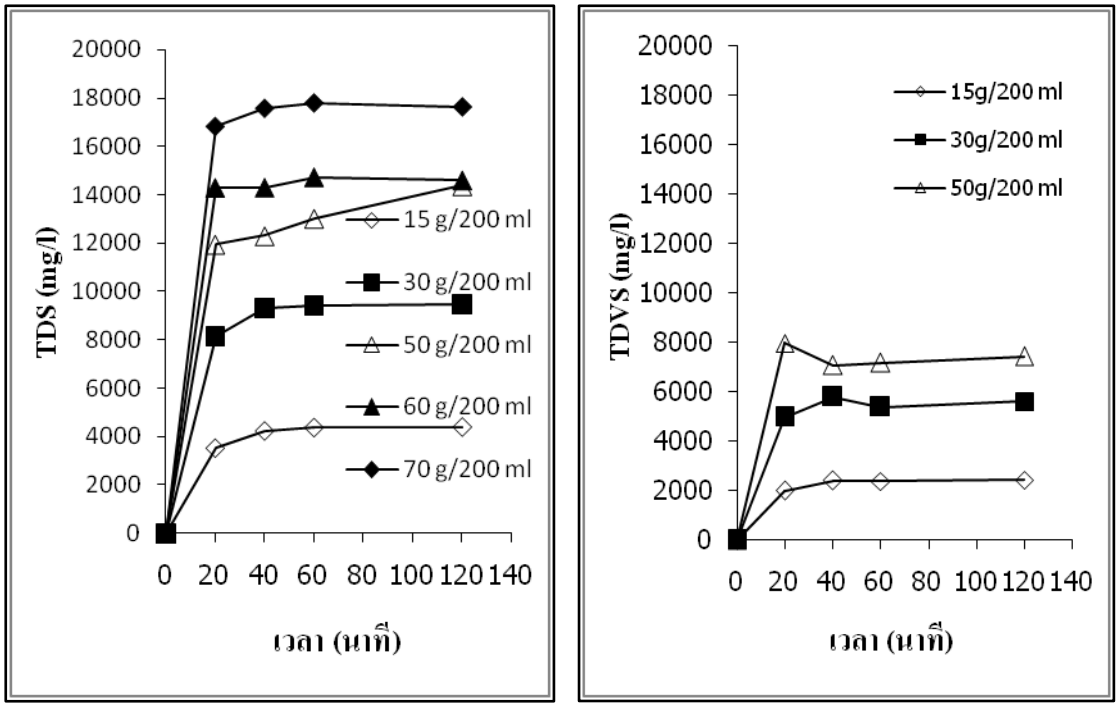
1.2 ค่า SS, VSS, TDS, TDVS และ SCOD

ผลการศึกษาลักษณะการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า SS และ VSS ในของเหลวที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ดังภาพที่ 17 และการเปลี่ยนแปลงของค่า TDS, TDVS และ SCOD ดังภาพที่ 18-19 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทุกชุดการทดลองเมื่อทำการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินด้วยเวลานานขึ้น สารละลายที่ได้จะมีค่า TDS, TDVS และ SCOD ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 20 นาทีแรกของการละลาย หลังจากนั้นในช่วงหลังการละลาย 20-60 นาที พบว่า ค่า TDS, TDVS และ SCOD เริ่มคงที่ ซึ่งต่างจากค่า SS และ VSS โดยในช่วงแรกของการละลาย น้ำที่ใช้ในการละลายยังไม่มี SS และ VSS แต่เมื่อเริ่มเติมปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และปล่อยให้เกิดการละลาย พบว่าค่า SS และ VSS จะมีค่าลดลงตามเวลาที่ละลาย และจะมีค่าคงที่หลังการละลายในช่วง 20-60 นาที ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่ามีของแข็งและสารอินทรีย์ที่ละลายได้ออกจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินสู่น้ำที่ใช้เป็นตัวทำละลาย และรูปแบบการละลายให้ผลเหมือนกัน โดยเมื่อใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมากขึ้น ค่า TDS, TDVS และ SCOD ในสารละลายยิ่งมีค่ามากขึ้น อนึ่งเมื่อพิจารณาจากค่า SS และ VSS ในตัวอย่างของเหลวพบว่า มี ค่า SS อยู่ในช่วง 52,300-62,800 mg/l, 102,300-120,700 mg/l และ 182,700-223,700 mg/l ของชุดการทดลอง 15g/200ml 30g/200ml

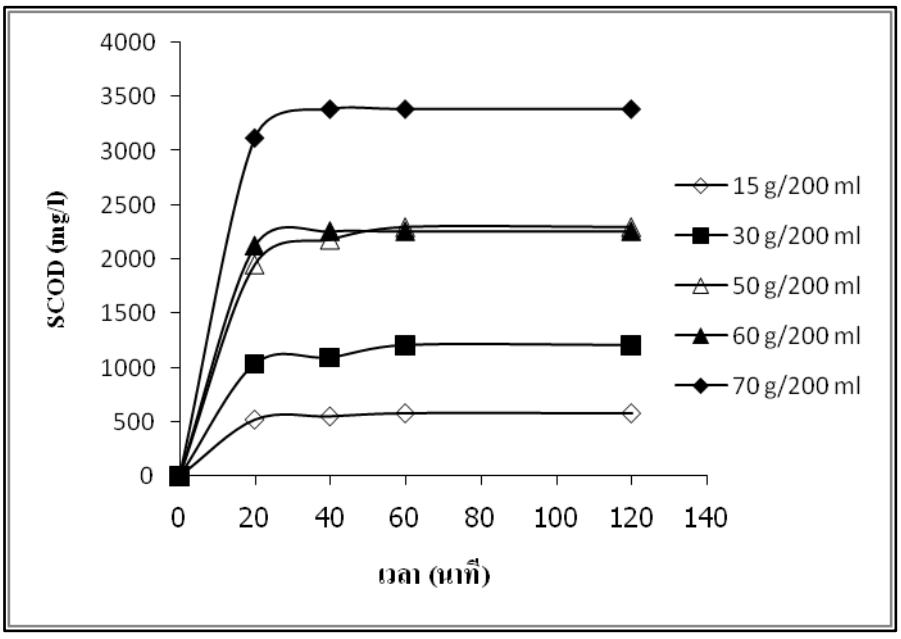
และ 50g/200ml ตามลำดับ และมีค่า VSS อยู่ในช่วง 28,100-33,900 mg/l, 53,300-61,800 mg/l และ 95,300-117,000 mg/l ของชุดการทดลอง 15g/200ml 30g/200ml และ 50g/200ml ตามลำดับ ซึ่งตะกอนของแข็งแขวนลอยจะประกอบด้วยสารแขวนลอยที่ระเหยได้เฉลี่ยประมาณ 53% และสำหรับค่า TDS และ TDVS พบว่ามีค่า TDS อยู่ในช่วง 3,190-4,440 mg/l, 7,870-9,490 mg/l และ 11,670-14,440 mg/l ของชุดการทดลอง 15g/200ml 30g/200ml และ 50g/200ml ตามลำดับ มีค่า TDVS อยู่ในช่วง 1,800-2,420 mg/l, 4,050-5,800 mg/l และ 7,070-7,970 mg/l ของชุดการทดลอง 15g/200ml 30g/200ml และ 50g/200ml ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าสัดส่วนของ TDVS ใน TDS ของทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57 % ซึ่งสัดส่วนนี้มีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัดส่วนของ VSS ใน SS และค่าของแข็งระเหยได้ที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ทดสอบการละลาย (VS เท่ากับ 49%) ซึ่งข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าสารของแข็งที่ละลายออกจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินนั้น เป็นส่วนที่เป็นสารของแข็งที่ระเหยได้ ประมาณกว่าร้อยละ 50 ซึ่งก็คือกลุ่มสารอินทรีย์นั้นเอง



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงของค่า SS และ VSS ในของเหลวที่ได้ขณะทดลองการละลายในช่วง 0-120 นาที



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงของค่า TDS และ TDVS ในสารละลายที่ได้เมื่อทดลองการละลายในช่วง 0-120 นาที



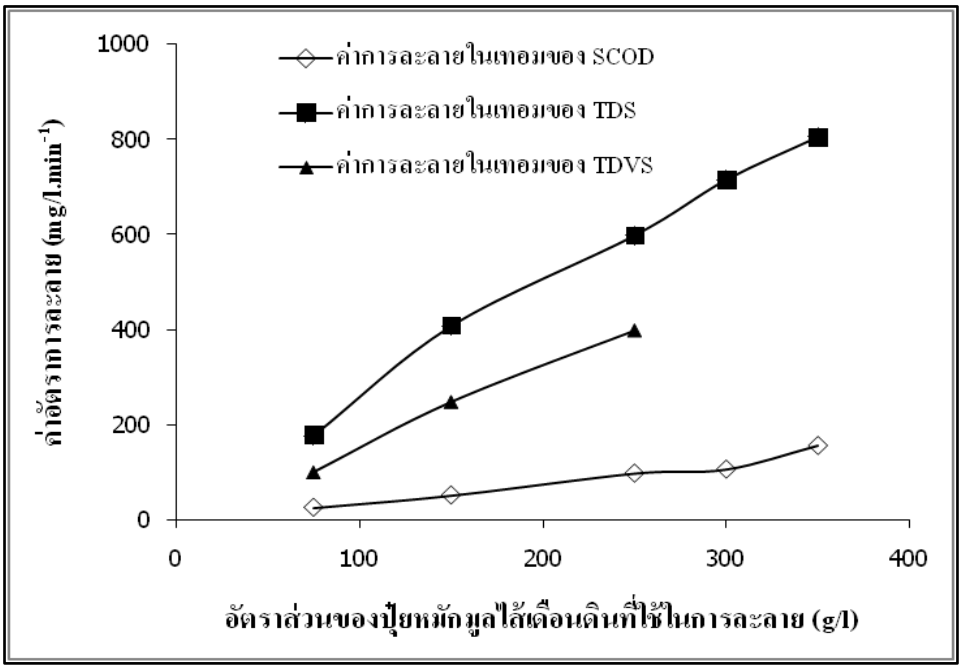
ภาพที่ 19 ค่า SCOD ในสารละลายที่ได้เมื่อทดลองการละลายในช่วง 0-120 นาที

2. อัตราการละลายในเทอมของ SCOD, TDS, TDVS

เมื่อพิจารณาถึงการอิ่มตัวของการละลายเมื่อใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มากขึ้น พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ 60g/200ml และ 70g/200ml ยังสามารถทำให้สารละลายที่ได้มีค่า SCOD, TDS และ TDVS ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่มีการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่น้อยกว่า และพบว่าเมื่อใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มากขึ้นค่า SCOD, TDS และ TDVS จะเริ่มคงที่โดยใช้เวลาการละลายประมาณ 20 นาที อย่างไรก็ตามทุกชุดการทดลองพบว่ามีการละลายออกในเทอมของ SCOD, TDS และ TDVS ที่รวดเร็วในช่วง 20 นาทีแรกของการละลาย เมื่อทำการหาค่าอัตราการละลายในเทอมของ SCOD, TDS และ TDVS โดยพิจารณาในช่วง 20 นาทีแรก (เนื่องจากเป็นช่วงระยะเวลาที่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินสามารถเกิดการละลายออกของมวลสารได้อย่างรวดเร็ว) ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าอัตราการละลายมาใช้พิจารณาเปรียบเทียบกันในเชิงปริมาณที่ชัดเจนขึ้นได้ การศึกษาใช้การ fitting curve โดยใช้ สมการคณิตศาสตร์ที่เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น ตรง คือ $Y = aX$ โดยที่ Y คือ ค่าความเข้มข้นของ SCOD, TDS และ TDVS ที่ละลายในสารละลายที่ได้ ซึ่งมีหน่วยเป็น มก./ล. a คือ ค่าอัตราการละลาย มีหน่วยเป็น $(mg/l).นาที^{-1}$ และ X คือ ระยะเวลาของการละลายมีหน่วยเป็นนาที ทั้งนี้พิจารณาในช่วง 20 นาทีของการละลาย พบว่าแต่ละชุดการทดลองมีรูปแบบสมการของการละลายและค่าอัตราการละลายดังแสดงในตารางที่ 20 และเมื่อนำค่าอัตราการละลายของแต่ละชุดทดลองที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับแต่ละอัตราการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ละลายในน้ำ พบความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพที่ 20 และมีรูปสมการทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์ที่เป็นสมการเส้นตรงดังแสดงในตารางที่ 21 อนึ่งพบว่าทุกการทดลองจะให้ค่า SCOD, TDS และ TDVS ในสารละลายหลังการละลายที่ 20 นาทีที่เริ่มคงที่ ซึ่งเมื่อนำค่าความเข้มข้นของสารละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่วิเคราะห์ในเทอมของ SCOD, TDS และ TDVS ที่ 60 นาที (การละลายอิ่มตัว) มาหาความสัมพันธ์กับแต่ละอัตราส่วนของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการละลายด้วยน้ำ พบความสัมพันธ์ดังภาพที่ 21 และสามารถแสดงรูปสมการทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์ที่เป็นสมการเส้นตรง ดังแสดงในตารางที่ 21 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นของส่วนที่ละลายได้ในเทอมของ SCOD, TDS และ TDVS ที่จุดอิ่มตัว ก็คือค่าความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถพบได้นั้นจะแปรผันตรงกับอัตราส่วนของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการละลายด้วยน้ำ

ตารางที่ 20 สมการแสดงอัตราการละลายที่เกิดขึ้นของแต่ละชุดทดลองในช่วง 20 นาทีแรกของการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

ชุดการทดลอง	ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำที่ใช้ละลาย (g/l)	สมการแสดงอัตราการละลายออกในเทอมของ SCOD TDS และ TDVS		
		SCOD	**TDS**	**TDVS**
1	**75 (15g/200ml)**	Y = 25.9X	Y = 178 X	Y = 100X
2	**150 (30g/200ml)**	Y = 51.8X	Y = 409X	Y = 248X
3	**250 (50g/200ml)**	Y = 97.9X	Y = 599X	Y =398.5X
4	**300 (60g/200ml)**	Y = 106.3X	Y = 717X	-
5	**350 (70g/200ml)**	Y = 156.2X	Y = 842X	-

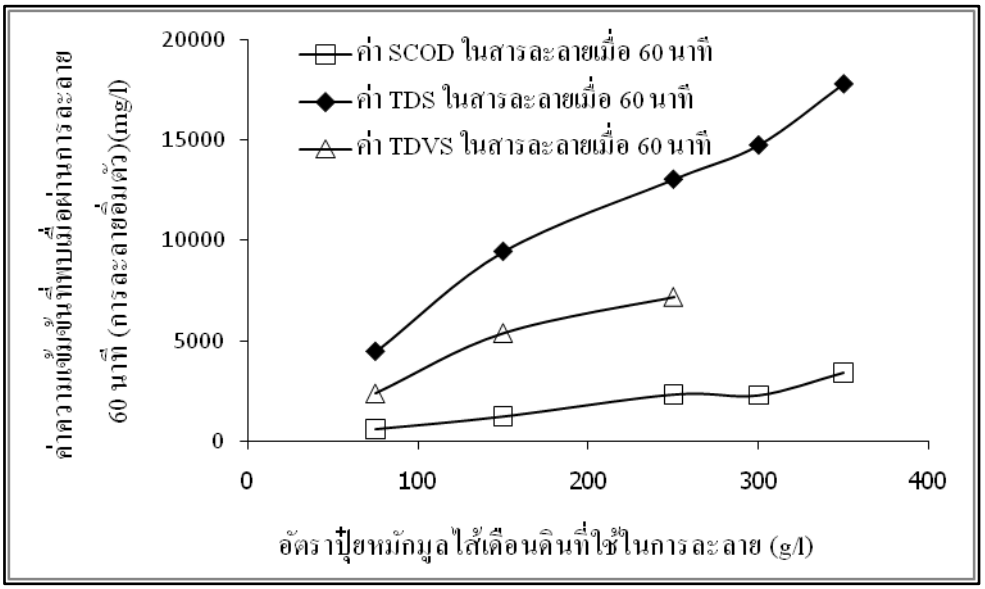


ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการละลายในช่วง 20 นาที และอัตราส่วนของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการละลาย

ตารางที่ 21 สมการแสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการละลายและค่าความเข้มข้นของ TDS TDVS และ SCOD ในสารละลายที่ 60 นาทีกับอัตราส่วนของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการละลายด้วยน้ำ

ความสัมพันธ์	รูปสมการแสดงความสัมพันธ์	R^2
1. ค่าอัตรา การละลายกับอัตราส่วนของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการละลายด้วยน้ำ	Y = aX+b	
	1. TDS : Y=2.332X +24.18	0.99
	2. TDVS : Y=0.16924X-20.33	0.99
	3. SCOD : Y=0.443X -12.17	0.96
	(Y : ค่าอัตราการละลาย (mg/l.min^{-1}), X : อัตราปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ใช้ (g/l))	
2. ค่าความเข้มข้นของ TDS TDVS และ SCOD ในสารละลายที่ 60 นาทีกับอัตราส่วนของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการละลายด้วยน้ำ	Y = aX+b	
	1. TDS : Y=45.81X+1580	0.98
	2. TDVS : Y=26.97X+705.9	0.95
	3. SCOD : Y=9.470X-183.8	0.95
	(Y : ค่าความเข้มข้นที่ 60 นาที (mg/l), X : อัตราปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ใช้ (g/l))	

หมายเหตุ : เงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษา : ในช่วง 60 นาทีของการละลาย อัตราส่วนปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (น้ำหนักแห้ง) 15g, 30g, 50g, 60g และ 70g ต่อน้ำ 200 ml



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของ TDS TDVS และSCOD เมื่อละลายที่ 60 นาที กับอัตราปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่ใช้ในการละลาย

3. ลักษณะของเหลวที่สกัดได้ในเทอมของธาตุอาหารและโลหะหนัก

ผลการศึกษาของตัวอย่างสารละลายที่ได้จากการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ 250 กรัมแห้งต่อน้ำ 1 ลิตร (50g/200ml) ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่ให้ปริมาณส่วนของเหลวที่แยกได้หลังจากการละลายที่ 60 นาที เพียง 50% (ข้อมูลจะกล่าวในหัวข้อต่อไป) โดยการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรทางเคมี และชีวภาพเพิ่มในเทอม TKN, TP (as P_2O_5), TK (as K_2O), total plate count, germination index และโลหะหนักในรูป Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn และ As ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 22 โดยพบว่าของเหลวที่ได้นอกจากมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่สูง (SCOD เท่ากับ 2,302 mg/l) ยังมีสารอาหารในเทอมของ TKN, TP (as P_2O_5) และ TK (as K_2O) ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 21.56 mg/l, 52.67 mg/l และ 910.94 mg/l ตามลำดับ และมีค่า germination index เท่ากับ 84% อีกทั้งมีค่าโลหะหนักอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก แต่ทั้งนี้ยังพบว่าน้ำสกัดที่ได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินยังมีเชื้อแบคทีเรียในเทอมของ total plate count ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.2×10^5 CFU/ml หากพิจารณาถึงสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินย่อมทำให้เกิดผลกระทบจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของอรอนงค์ โพธิ์แป้น (2552) ที่ได้ทำการศึกษาตัวอย่างน้ำหมักมูลไส้เดือนดินโดยพบว่ามีค่า BOD อยู่ในช่วง 792-1,753 mg/l ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำสกัดที่ได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินยังคงมีสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่สูงที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการทดแทนปุ๋ยเคมีในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบไฮโดรโปนิกส์ได้ ดังนั้นในแง่ของการนำไปใช้จึงควรมีการศึกษาถึงผลกระทบในด้านสารอินทรีย์เพิ่มเติมก่อน โดยการพิจารณาให้มีการผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มเติมเพื่อทำให้น้ำสกัดที่ได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีความเสถียรมากขึ้นก่อนการนำไปใช้งาน นอกจากนี้ผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำหมักมูลไส้เดือนดินของโครงการหลวงเพิ่มเติม (ซึ่งมีขายในท้องตลาด) ที่ศึกษาพบว่าน้ำที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ศึกษาในครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบผลกับน้ำสกัดที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้ พบว่ามีค่า TKN, P_2O_5, โลหะหนักในรูป As, Cd และ Cu รวมถึงค่า TPC ที่น้อยกว่าน้ำหมักมูลไส้เดือนดินของโครงการหลวง ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบผลการศึกษาลักษณะของน้ำสกัดที่ได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินกับมาตรฐานปุ๋ยน้ำและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	เกณฑ์กรณีขอจดทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์เหลว[A]	ตัวอย่างน้ำสกัดที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ศึกษาในครั้งนี้	ตัวอย่างน้ำหมักมูลไส้เดือนดินของโครงการหลวงที่ศึกษาในครั้งนี้	ตัวอย่างน้ำหมักมูลไส้เดือนดินที่เคยมีรายงาน[B]
TKN (mg/l)	>5,000*	21.56	78.77	3.38-4.83
P_2O_5 (mg/l)	>5,000	52.67	246	1,427-1,799
K_2O (mg/l)	>5,000	910.94	299.29	395-1,738
As (mg/l)	-	0.026	0.14	0.003-0.015
Cd (mg/l)	-	0.001	0.01	0.001-0.002
Cr (mg/l)	-	0.052	0.02	0.020-0.021
Cu (mg/l)	-	0.047	0.11	0.018-0.030
Pb (mg/l)	-	<0.01	<0.01	0.005-0.010
Hg (mg/l)	-	<0.001	-	<0.050
Zn (mg/l)	-	0.225	-	0.38-0.84
total plate count (CPU/ml)	-	2.2×10^5	2.37×10^7	6.07×10^6-2.18×10^7
germination index (%)	-	84	70	45.50-78.37
SCOD (mg/l)	-	2,302	-	2,464-7,392
BOD (mg/l)	-	-	-	792-1,793

หมายเหตุ : * ค่า TN (mg/l)

A: เกณฑ์กรณีขอจดทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่เป็นของเหลวที่ประกาศโดยกรมวิชาการเกษตรปี พ.ศ. 2551

B: ผลการศึกษาน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยอรอนงค์ โพธิ์แป้น (2552)

4. ผลการศึกษาของปริมาณกากคงเหลือหลังการละลายและปริมาณของเหลวที่สกัดได้

ผลจากการศึกษาในการเก็บข้อมูลของกากที่ไม่สามารถละลายได้และปริมาณส่วนของเหลวที่แยกได้จากการละลาย (แยกโดยการทิ้งให้ตกตะกอนหลังจากการละลายที่ 60 นาที) ได้ผลดังตารางที่ 23 โดยพบว่ามีส่วนของกากที่ไม่สามารถละลายได้ในปริมาณที่สูง ซึ่งมีกากตะกอนที่คงเหลือจากการละลายกว่าร้อยละ 89.67-97.99 ของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ (คิดจากปริมาณน้ำหนักแห้งของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินคงเหลือที่ไม่สามารถละลายได้จากการใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในการทดลองการละลายด้วยน้ำในเริ่มต้น) สำหรับในด้านปริมาณส่วน

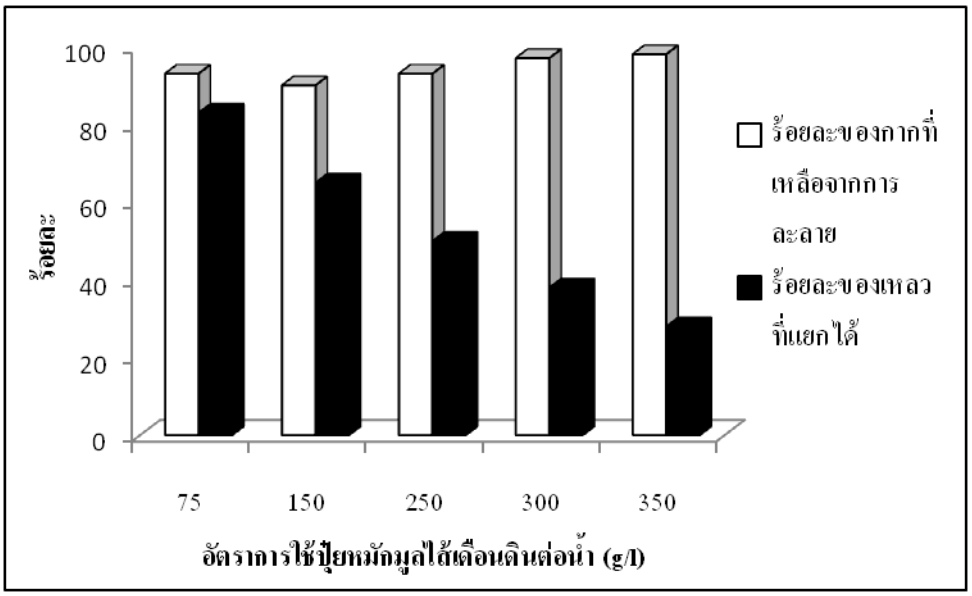
ของเหลวที่แยกได้ พบว่ามีปริมาณส่วนของเหลวที่แยกได้อยู่ที่ร้อยละ 27.5-82.5 ของปริมาณน้ำที่ใช้ โดยเมื่อมีการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มากขึ้น ปริมาณน้ำที่แยกได้จะน้อยลงตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงสัดส่วนร้อยละของกากที่เหลือจากการละลายและปริมาณของเหลวที่แยกได้ในแต่ละอัตราการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำ ดังภาพที่ 22 ซึ่งเมื่อใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ 250 กรัมแห้งต่อน้ำ 1 ลิตร พบว่าจะได้ปริมาณส่วนของเหลวที่แยกได้หลังจากการละลายที่ 60 นาที เพียง 50% เท่านั้น ทั้งนี้แม้การใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ได้สารอินทรีย์ที่ละลายในสารละลายได้มากขึ้น (SCOD, TDS ที่เพิ่มขึ้น) แต่ด้วยข้อมูลของกากที่คงเหลือจากการละลายที่สูงบ่งบอกถึงในการใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ทำให้ร้อยละของปริมาณของเหลวที่แยกได้สูงขึ้นไปด้วย ทั้งนี้เพราะปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีความพรุน และสามารถดูดซับหรือกักเก็บน้ำได้สูง

ตารางที่ 23 ปริมาณส่วนของเหลวที่แยกได้และส่วนของกากที่เหลือที่ไม่สามารถละลายได้ที่การละลาย 60 นาที

อัตราการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินละลายกับน้ำ (g/l)*	ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้เริ่มต้น (g) dry basis	กากตะกอนที่เหลือที่ไม่สามารถละลายได้ (g) dry basis	ปริมาณส่วนของเหลวที่แยกได้ (ml)	ร้อยละของกากที่เหลือจากการละลาย	ร้อยละของเหลวที่แยกได้**
75 (15g/200ml)	75.00	69.65	825	92.87	82.5
150 (30g/200ml)	150.05	134.55	650	89.67	65
250 (50g/200ml)	250.06	231.7	500	92.68	50
300 (60g/200ml)	300.00	291.45	375	97.15	37.5
350 (70g/200ml)	350.00	342.95	275	97.99	27.5

หมายเหตุ : * น้ำหนักกรัมแห้ง

** คำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้เทียบกับการละลายที่ 1000 ml

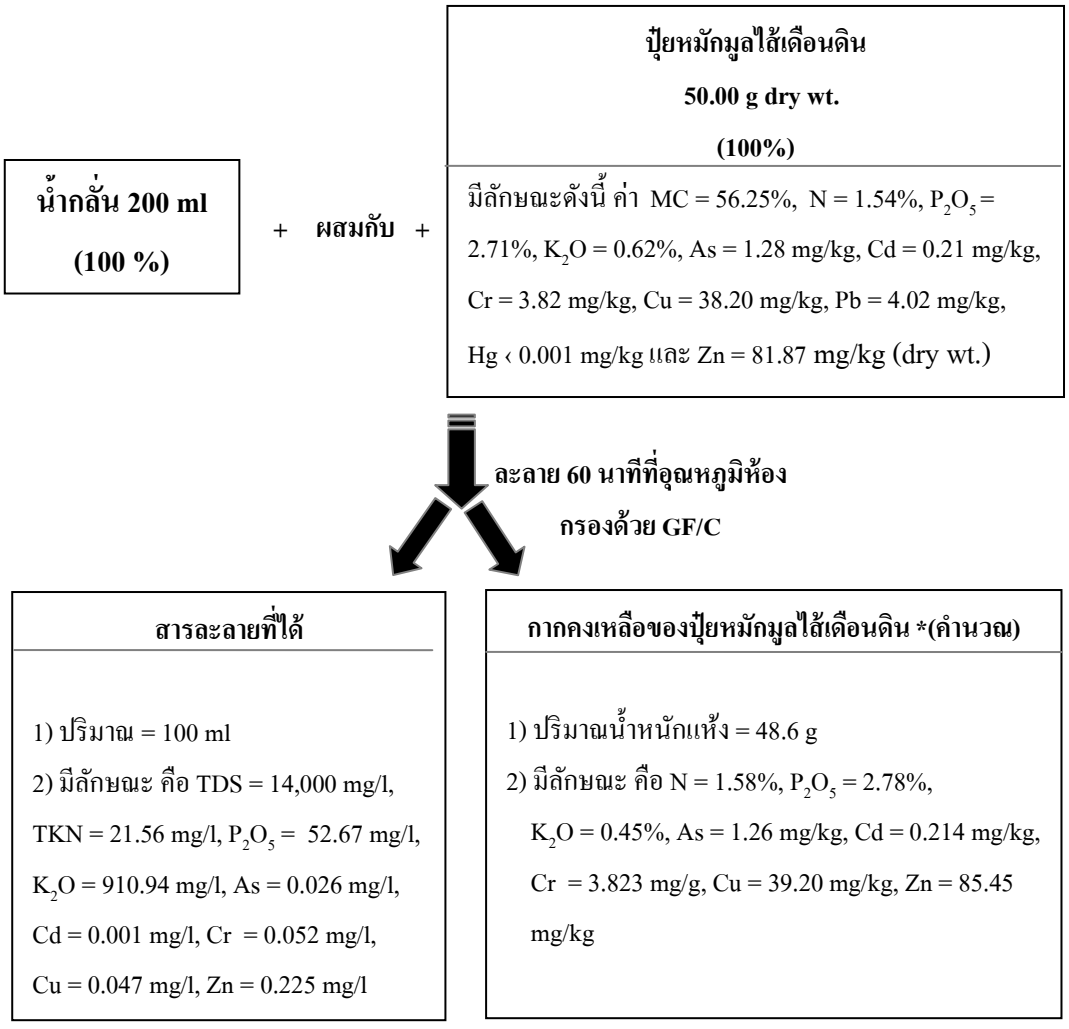


ภาพที่ 22 สัดส่วนร้อยละของกากที่เหลือจากการละลายและปริมาณของเหลวที่แยกได้ในแต่ละอัตราการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำที่ศึกษา

5. ผลการวิเคราะห์สมดุลมวลที่เกิดขึ้นในขณะทำการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินกับน้ำ

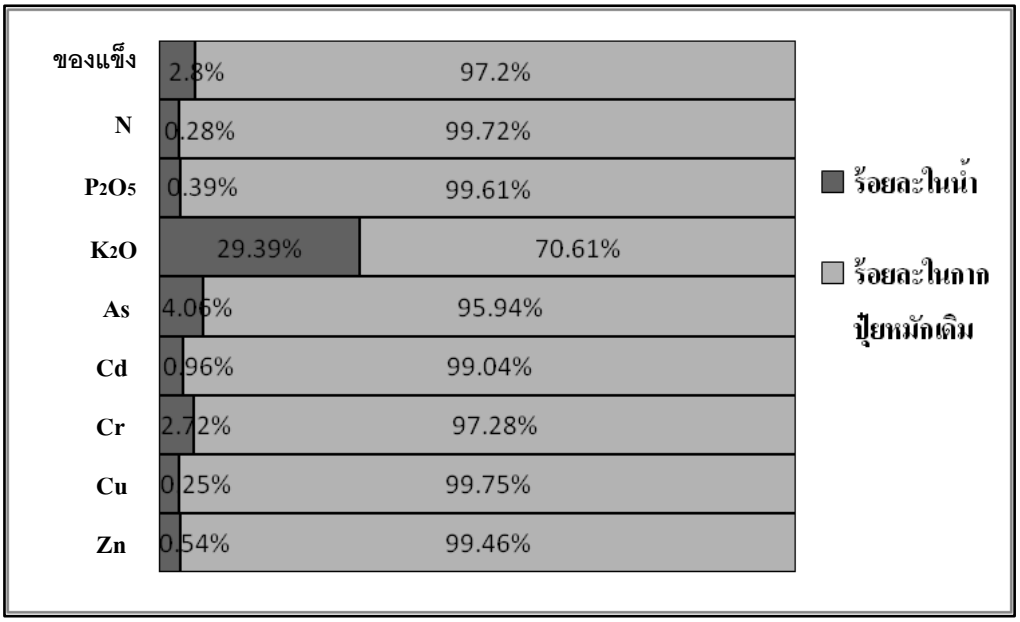
เมื่อนำผลการทดลองที่ได้จากชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินละลายกับน้ำกลั่นที่ 50g/200ml (อัตราส่วน 250g/l) ที่ 60 นาที เพื่อคำนวณถึงการปรากฏของมวลสารต่างๆ ในส่วนของเหลวที่ได้จากการละลาย และในกากที่เหลือที่ไม่ละลาย รวมทั้งปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำละลาย ซึ่งนำไปสู่การวิเคราะห์สมดุลมวลที่เกิดขึ้นพบข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 23 ซึ่งพบว่าเมื่อใช้ปริมาณน้ำในการทำละลาย ทำให้ได้ส่วนของเหลวที่สามารถแยกได้ 50% ของปริมาณน้ำที่ใช้ไปทั้งหมด โดยปริมาณน้ำส่วนที่เหลือจะถูกดูดซับไว้ในกากคงเหลือที่ไม่ละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินซึ่งคิดเป็น 50% ของปริมาณน้ำที่ใช้ไป และพบว่า มวลสารต่างๆ ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเมื่อละลายในน้ำจะมีการถ่ายโอนมวลสารจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินสู่น้ำโดยการละลาย ดังแสดงสัดส่วนของมวลสารของ N, P_2O_5, K_2O, ของแข็ง, และโลหะหนักในรูป As, Cu, Cr, Zn และ Pb ในภาพที่ 23 ซึ่งจะเห็นว่าจากการละลายสารอาหารในรูป N, P_2O_5, K_2O นั้น K_2O จะมีการละลายออกจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมากที่สุดคิดเป็น 29.39% รองลงมา คือ P_2O_5 และ N คิดเป็น 0.39% และ 0.28% ตามลำดับ สำหรับของแข็งพบว่ามีสัดส่วนเพียง 2.8% ที่ละลายได้ในน้ำ ส่วนโลหะหนักทั้ง 5 ดังกล่าวมีสัดส่วนที่ละลายในน้ำได้ระหว่าง 0.25%-4.06% โดย As จะละลายออกได้มากที่สุด รองลงมาคือ Cr (ภาพที่ 23) หรือคิดเป็นสัดส่วนของมวลสารต่างๆ จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

ที่ถ่ายโอนมวลสู่สารละลายที่ได้ และคงอยู่ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ดังสัดส่วนที่แสดงในภาพที่ 24 ทั้งนี้เมื่อพิจารณามวลสารแต่ละประเภทในส่วนของเหลวที่สกัดได้กับส่วนของกากที่เหลือที่ไม่ละลาย พบว่าปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีสัดส่วนของมวลสารอาหารแต่ละประเภทที่อยู่ในส่วนของเหลวที่น้อยกว่ามวลสารอาหารแต่ละประเภทที่คงเหลืออยู่ในกากที่ไม่สามารถละลายได้ แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมาละลายด้วยน้ำ กากคงเหลือที่ไม่สามารถละลายได้ยังคงมีมวลของสารอาหารแต่ละประเภทในสัดส่วนที่สูง ซึ่งยังคงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้อีกโดยการทำการสกัดซ้ำอีกครั้ง หรือนำไปใช้ประโยชน์โดยการเป็นปุ๋ย อีกทั้งยังสามารถใช้เพื่อทดแทนดินปลูกหรือใช้เป็นส่วนผสมของดินปลูกในการเพาะพันธุ์ไม้กระถางได้อีกด้วย



.

ภาพที่ 23 ผลการวิเคราะห์สมดุลมวลของมวลสารต่างๆ ในสารละลายและกากที่เหลือที่ไม่ละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (คำนวณภายใต้เงื่อนไข TN = TKN)



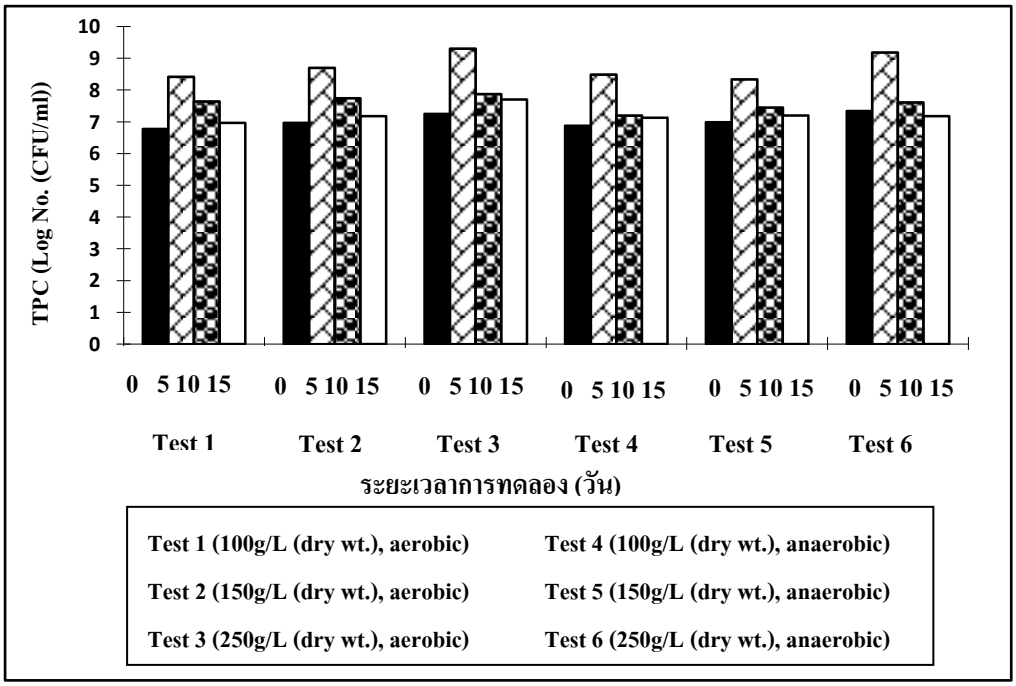
ภาพที่ 24 สัดส่วนของมวลสารต่างๆ จากกากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ถ่ายโอนมวลสู่การละลายที่ได้ และคงอยู่ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

การนำน้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินไปใช้ประโยชน์เพื่อการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์นั้นอาจมีความจำเป็นในการทำเสถียรสารละลายที่เตรียมจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินก่อนนำไปใช้งานเพื่อทดแทนสารละลายปุ๋ยในการปลูกพืชไร้ดิน เนื่องด้วยปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่อาจมีความเสถียรระดับหนึ่งเท่านั้น อีกทั้งมีจุลินทรีย์ต่างๆ รวมอยู่ด้วย ซึ่งการนำน้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินไปใช้ประโยชน์เพื่อทดแทนสารละลายปุ๋ยโดยตรงในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ จึงอาจจะมีผลกระทบจากสารอินทรีย์/ อนินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการละลายออกของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินได้ ผลจากศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการทำเสถียรด้วยสภาวะเติมอากาศ และไม่เติมอากาศ แสดงได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาทางชีวภาพในเทอมของปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total Plate Count)

ผลการศึกษาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการทดลองทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้สภาวะเติมอากาศ (ชุดการทดลอง Test 1, Test 2 และ Test 3) และสภาวะไม่เติมอากาศ (ชุดการทดลอง Test 4, Test 5 และ Test 6) ที่อัตราส่วนปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน/น้ำของแต่ละกลุ่มที่ทดลองใน 3 ช่วง ความเข้มข้น คือ 100g/l, 150g/l และ 250 g/l (dry wt.) จากการทำเสถียรของวันที่ 0, 5 10 และ 15 แสดงดังภาพที่ 25 ซึ่งในการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินพบปริมาณเชื้อแบคทีเรียในเทอมของ Total Plate Count ของทั้ง 6 ชุดการทดลองที่แตกต่างกันไปตามปริมาณของอัตราส่วนปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ โดยชุดการทดลองในสภาวะเติมอากาศมีปริมาณ TPC อยู่ในช่วง 5.90×10^{6}-6.94×10^{7} CFU/ml, 9.4×10^{6}-5.02×10^{8} CFU/ml และ 1.79×10^{6}-2.05×10^{9} CFU/ml ของชุดการทดลอง Test 1, Test 2 และ Test 3 ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลองในสภาวะไม่เติมอากาศมีปริมาณ TPC อยู่ในช่วง 7.6×10^{6}-1.61×10^{8} CFU/ml, 9.85×10^{6}-2.21×10^{8} CFU/ml และ 2.21×10^{7}-1.55×10^{9}CFU/ml ของชุดการทดลอง Test 4, Test 5 และ Test 6 ตามลำดับ โดยจำนวน TPC จะพบมากขึ้นเมื่อการทำเสถียรมีการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มากขึ้น ทั้งนี้พบว่าการทดลองทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ จะเห็นได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในทุกชุดการทดลองในช่วงการทดลอง 15 วัน โดยพบว่าจะมีเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงหลังทำการเสถียร 5 วัน หลังจากนั้นปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดจะลดลง ซึ่งแสดงถึงการเจริญเติบโตและการตายของแบคทีเรียที่เกิดขึ้น โดยระยะเวลาในการทำเสถียรในช่วง 5 วันแรก แบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว โดยมีการใช้สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเป็นแหล่งอาหารเพื่อการเจริญเติบโต ทั้งนี้มีผลสอดคล้องกับข้อมูลด้าน SS และ VSS (ภาพที่ 29-30) ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 5 วันแรก ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณ TPC ในการทำเสถียรภายใต้การเติมอากาศและไม่เติมอากาศไม่แตกต่างกันมากนัก



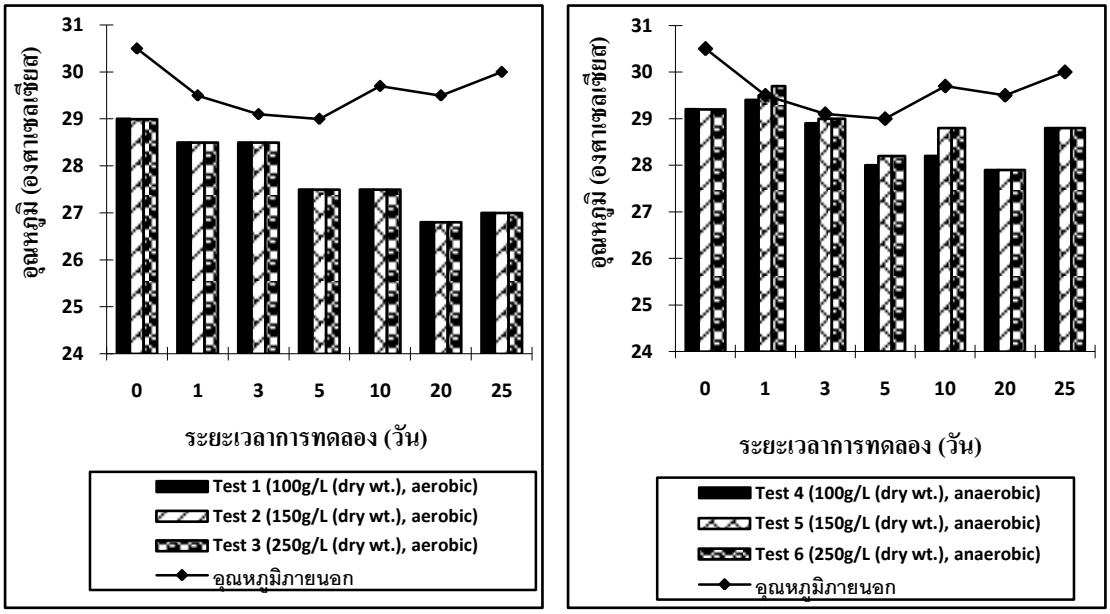
ภาพที่ 25 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

2. ผลการศึกษาทางกายภาพ

2.1 อุณหภูมิ

จากการศึกษาการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ (ชุดการทดลอง Test 1, Test 2 และ Test 3) และสภาวะไม่เติมอากาศ (ชุดการทดลอง Test 4, Test 5 และ Test 6) ภายใต้การทดลองที่มีอุณหภูมิของอากาศภายนอกอยู่ในช่วง 29.1-30.5 องศาเซลเซียส (เฉลี่ย 29.61±0.52 องศาเซลเซียส) พบว่าชุดการทดลองในสภาวะเติมอากาศส่วนใหญ่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.8-29.0 องศาเซลเซียส (เฉลี่ย 27.83±0.80 องศาเซลเซียส) ส่วนชุดการทดลองในสภาวะไม่เติมอากาศมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 27.9-29.7 องศาเซลเซียส (เฉลี่ย 28.7±0.56 องศาเซลเซียส) โดยอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของชุดการทดลองทั้งในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศมีการแปรผันไปตามอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอก ซึ่งชุดการทดลองในสภาวะไม่เติมอากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงกว่าชุดการทดลองในสภาวะมีอากาศเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นผลมาจากภาชนะถังพลาสติกที่ใช้เป็นชุดอุปกรณ์ในการทดลอง ซึ่งการทดลองในสภาวะไร้อากาศมีการปิดฝาของถังภาชนะ จึงเป็นผลให้มีแนวโน้มของอุณหภูมิที่สูงกว่าชุดการทดลองในสภาวะเติมอากาศที่มีการให้อากาศโดยการใช้ air pump จึงทำให้เกิดการระบายความร้อนของมวลน้ำได้ดีกว่า อนึ่งอุณหภูมิที่

พบในทั้งชุดการทดลองที่มีสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศอากาศ พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันตลอดระยะเวลาในการทดลอง ซึ่งทุกชุดการทดลองมีอุณหภูมิในช่วง mesophiles (อุณหภูมิ 20-40 องศาเซลเซียส) ดังรายละเอียดในภาพที่ 26

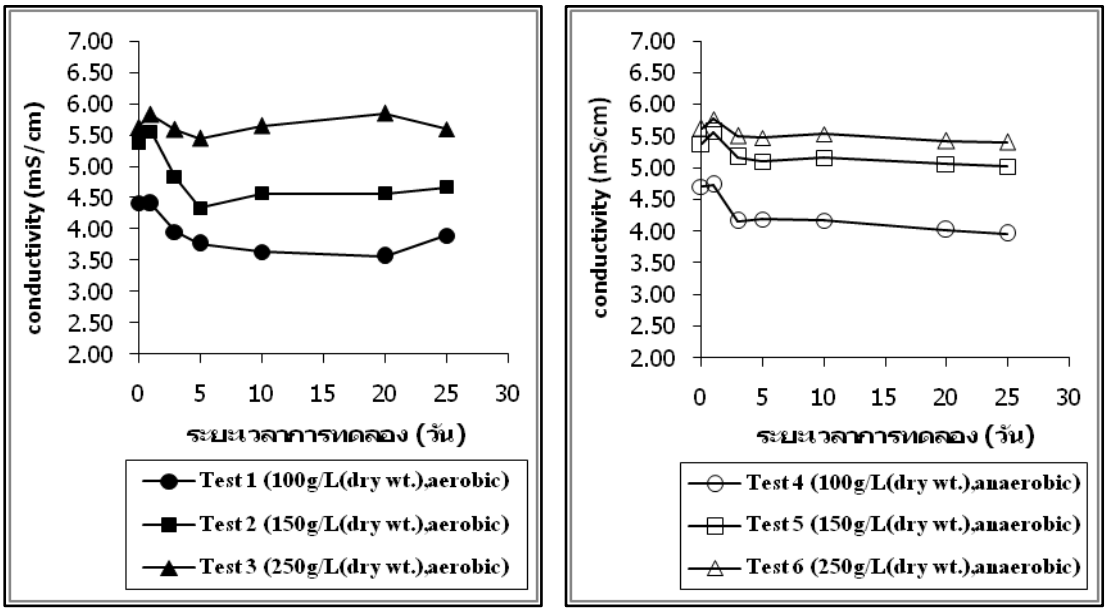


ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

2.2 ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาการทดลองทำเสถียร 25 วัน ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้สภาวะเติมอากาศ (ชุดการทดลอง Test 1, Test 2 และ Test 3) และสภาวะไม่เติมอากาศ (ชุดการทดลอง Test 4, Test 5 และ Test 6) แสดงดังภาพที่ 27 ผลจากการศึกษาพบว่า ในช่วงเริ่มต้นของการทำเสถียรมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 4.42, 5.37, 5.64, 4.7, 5.38 และ 5.2 mS/cm ตามลำดับ และในวันที่ 1 ของการทำเสถียรภายใต้สภาวะเติมอากาศ พบว่ามีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้น และลดลงในช่วง 3-5 วันของการทดลองจากนั้นเริ่มคงที่ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 3.56-5.85 mS/cm ส่วนการทดลองภายใต้สภาวะไม่เติมอากาศพบว่าในช่วงวันที่ 1 ของการทดลอง ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มสูงขึ้น และลดลงหลังจากวันที่ 3 ของการทดลอง จากนั้นเริ่มคงที่ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 3.66-5.77 mS/cm การที่ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงที่ทำเสถียรไป 1 วัน เนื่องจากเกิดการละลายออกของสารอินทรีย์/สารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในขณะทำเสถียรในช่วงแรก ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบการละลายของปุ๋ย

หมักมูลไส้เดือนดินก่อนหน้านี้พบว่าปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเมื่อเกิดการละลายจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าที่เริ่มคงที่หลังจากการละลายที่ 20-60 นาที แต่เมื่อนำมาทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ กลับพบการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในวันที่ 1 ของการทดลอง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปฏิกริยาการละลายที่เกิดขึ้นจากการละลายออกของสารอินทรีย์/สารอนินทรีย์ที่เป็นตัวถูกละลายได้ยากที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน จึงต้องใช้ระยะเวลาการละลายนานกว่า เป็นผลให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าในช่วงวันที่ 1 ของการทำเสถียรจึงมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น สำหรับการที่ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ (Petric and Selimbasic, 2008) ซึ่งเมื่อระยะเวลาการทำเสถียรผ่านไปสารอินทรีย์มีการถูกย่อยสลายที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าที่ลดลง และเริ่มคงที่ ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับค่า TDS และ TDVS (ภาพที่ 31, 32) พบแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นและลดลงในทิศทางเดียวกัน โดยมีการเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 1 ของการทำเสถียร และลดลงในช่วงหลังวันที่ 1-5 วันของการทำเสถียร และหลังจากนั้นมีแนวโน้มเริ่มคงที่ ซึ่งแสดงถึงการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของแบคทีเรีย มีผลต่อการลดลงของสารอินทรีย์/อนินทรีย์ที่ละลายได้ที่มีการละลายออกจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินไปสู่น้ำหมักที่ได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ซึ่งการลดลงของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เกิดขึ้นส่งผลให้น้ำหมักที่ได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีความเสถียรมากขึ้น

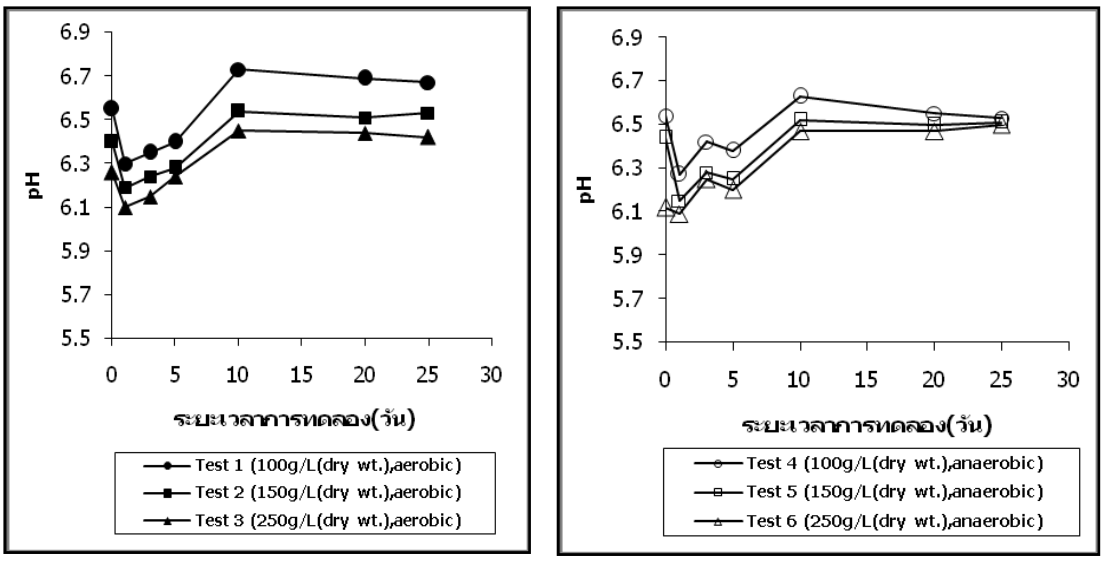


ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

3. ผลการศึกษาทางเคมี

3.1 pH

ค่า pH ที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาทดลอง 25 วัน ในการทดลองทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ (ชุดการทดลอง Test 1, Test 2 และ Test 3) และสภาวะไม่เติมอากาศ (ชุดการทดลอง Test 4, Test 5 และ Test 6) แสดงดังภาพที่ 28 ผลจากการศึกษาพบว่าตลอดระยะเวลาในการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่า pH อยู่ในช่วง 6.10-6.73 โดยค่า pH ที่เกิดขึ้นมีค่าที่ลดลงในช่วง 5 วันแรกของการทดลอง และหลังจากนั้น pH มีค่าสูงขึ้นและเริ่มคงที่หลังจากวันที่ 10 ที่ทดลอง ซึ่งการลดลงของค่า pH ในช่วง 5 วันแรกของการทดลองในสภาวะมีอากาศ อาจเป็นผลมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนนั้นมีกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์เพื่อที่จะผลิตพลังงานไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ และ เพื่อการสร้างเซลล์ใหม่ ซึ่งจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมาเป็นผลทำให้ pH มีค่าที่ลดลงอีกด้วย เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาเป็นตัวนำทำให้เกิดสภาวะกรด (Paul and Clark, 1996) และหลังจากวันที่ 5 ของการทดลองทำเสถียรค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและเริ่มคงที่หลังจากวันที่ 10 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชัน หรือไนโตรเจนมิเนอแรไลเซชัน (ammonification หรือ nitrogen mineralization) โดยเป็นปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียมไอออนหรือแอมโมเนีย ส่งผลให้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้มีแนวโน้มของค่า pH ที่สูงขึ้น



ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

สำหรับชุดการทดลองในสภาวะไม่เติมอากาศมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH อยู่ในช่วง 6.09-6.63 โดยในช่วง 5 วันแรกที่ทดลอง pH มีค่าลดลง หลังจากนั้น pH มีค่าสูงขึ้นและเริ่มคงที่หลังจากวันที่ 10 ของการทดลอง ซึ่งการลดลงของค่า pH ในช่วง 5 วันแรกของการทดลองในสภาวะไม่เติมอากาศอาจเป็นผลมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการทางชีวเคมีในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อที่จะผลิตพลังงานไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ และเพื่อการสร้างเซลล์ใหม่เป็นผลทำให้ pH มีค่าลดลง ทั้งนี้ผลจากปฏิกิริยาการเกิดกรด (acidogenesis) โดยอาศัยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรดเป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารโมเลกุลขนาดเล็ก (น้ำตาล กรดอะมิโน และไขมัน) ด้วยกระบวนการหมัก (fermentation) ซึ่งได้ผลผลิตส่วนใหญ่คือ กรดอินทรีย์ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดเป็นผลให้ pH มีแนวโน้มที่ลดลง (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2548) และหลังจากวันที่ 5 ของการทดลองค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มคงที่หลังจากวันที่ 10 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชัน หรือไนโตรเจนมิเนอแรไลเซชัน (ammonification หรือ nitrogen mineralization) โดยเป็นปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียมไอออนหรือแอมโมเนียโดยแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจน เป็นผลให้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้มีแนวโน้มของค่า pH ที่สูงขึ้น

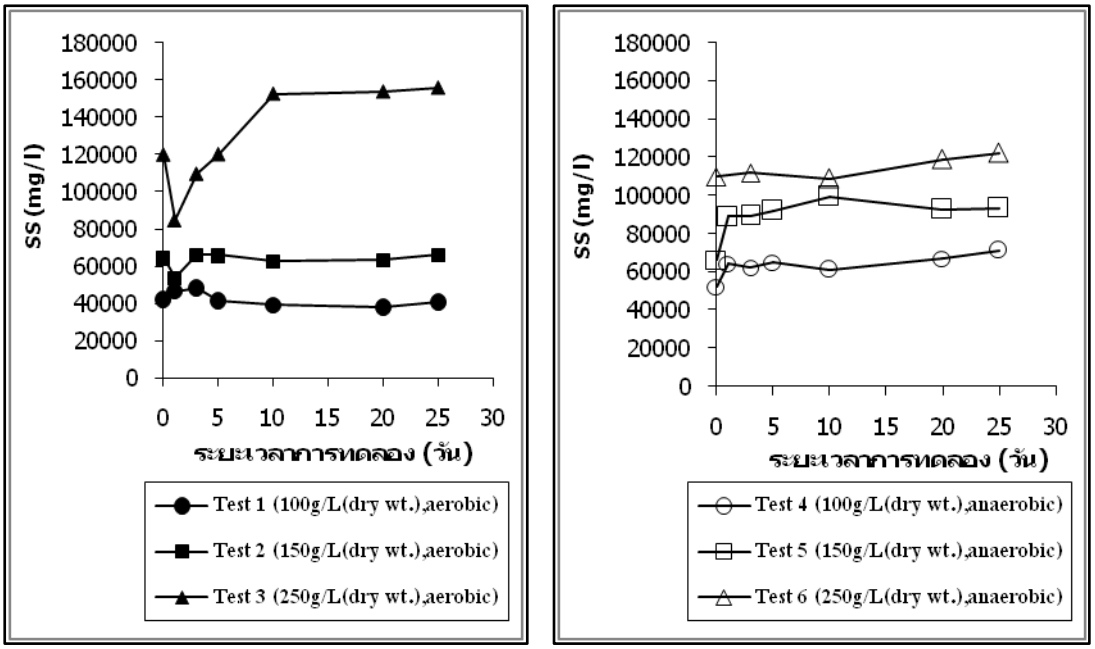
ทั้งนี้ผลจากการทดลองการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินพบว่า การทดลองภายใต้สภาวะเติมอากาศให้ค่า pH ที่สูงกว่าการทดลองภายใต้สภาวะไม่เติมอากาศ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากในสภาวะการย่อยสลายแบบไร้อากาศเมื่อเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์จะทำให้ได้ by product ในรูปกรดอินทรีย์ระเหย (volatile fatty acid) เช่น acetic acid, lactic acid, formic acid เป็นต้น ซึ่งเป็นตัวนำให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจึงทำให้ pH ที่เกิดขึ้นของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีความเป็นกรดที่สูงกว่าการย่อยสลายแบบใช้อากาศ (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2548)

3.2 SS VSS TDS TDVS และ SCOD

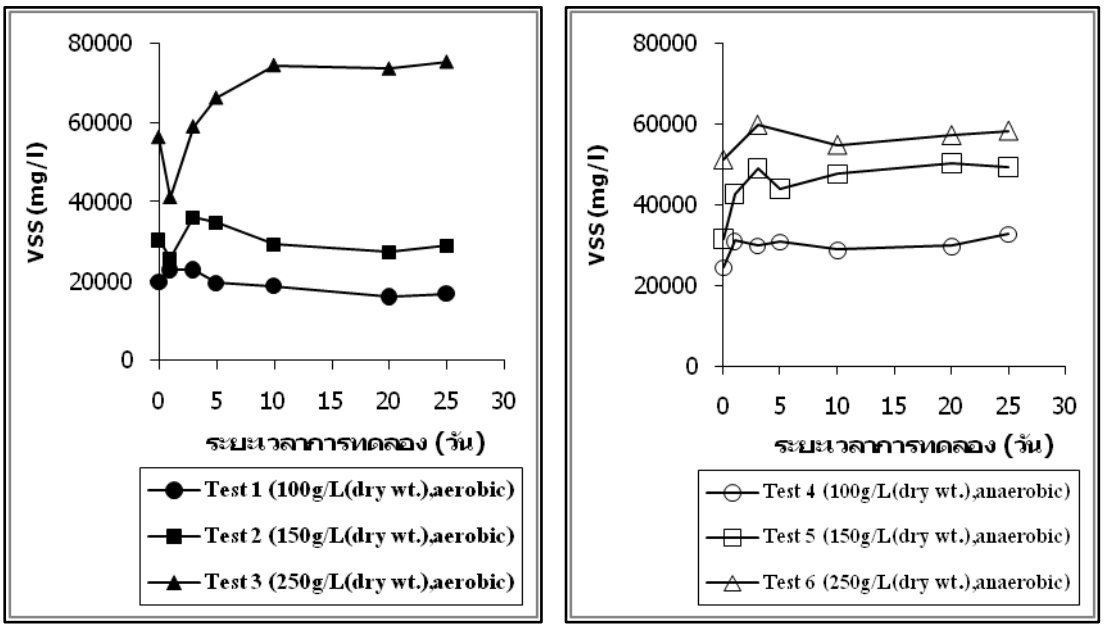
การเปลี่ยนแปลงของค่า SS และ VSS ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ แสดงดังภาพที่ 29-30 การเปลี่ยนแปลงของค่า TDS และ TDVS ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ แสดงดังภาพที่ 31-32 และการเปลี่ยนแปลงของค่า SCOD ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ แสดงดังภาพที่ 33

ผลจากการศึกษาพบว่าภายใต้สภาวะเติมอากาศในช่วง 1 วันหลังจากทำเสถียร ค่า SS และ VSS มีค่าที่ลดลง และหลังจาก 1-5 วันของการทดลอง ค่า SS และ VSS มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นมีแนวโน้มเริ่มคงที่ ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับข้อมูลจากค่า SCOD พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 1 หลังการทำเสถียรและมีการลดลงในช่วง 1-5 วันของการทดลอง และหลังจากนั้นจะพบค่า SCOD ค่อนข้างคงที่/มีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก ซึ่งจะพบได้ชัดเมื่อใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มากขึ้น ซึ่งข้อมูลมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า TDS และ TDVS ที่มีค่าที่เพิ่มขึ้นในวันที่ 1 ของการทำเสถียร และหลังจากนั้นจะมีแนวโน้มการลดลงและคงที่ โดยเฉพาะในชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มีปริมาณ 100-150g/ น้ำ 1 ลิตร ซึ่งแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า SS และ VSS จะสูงที่สุดในช่วงหลัง 1-5 วันของการทำเสถียร และหลังจากนั้นมีการคงอยู่ของค่า SS และ VSS ที่เริ่มคงที่ แสดงให้เห็นว่าในสภาวะการเติมอากาศแบคทีเรียมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วในช่วงหลังวันที่ 1-5 ของการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับค่าแบคทีเรียทั้งหมดที่ศึกษาที่กล่าวมาก่อนหน้า อนึ่งในช่วงวันที่ 1 ของการทำเสถียรจะเห็นว่าค่า SS ลดลง และ SCOD และ TDS สูงขึ้น รวมทั้งค่าการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้น อาจมีผลมาจากการกวนในระบบจากที่มีการเติมอากาศทำให้เกิดการละลายออกของมวลสารจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินได้มากขึ้น

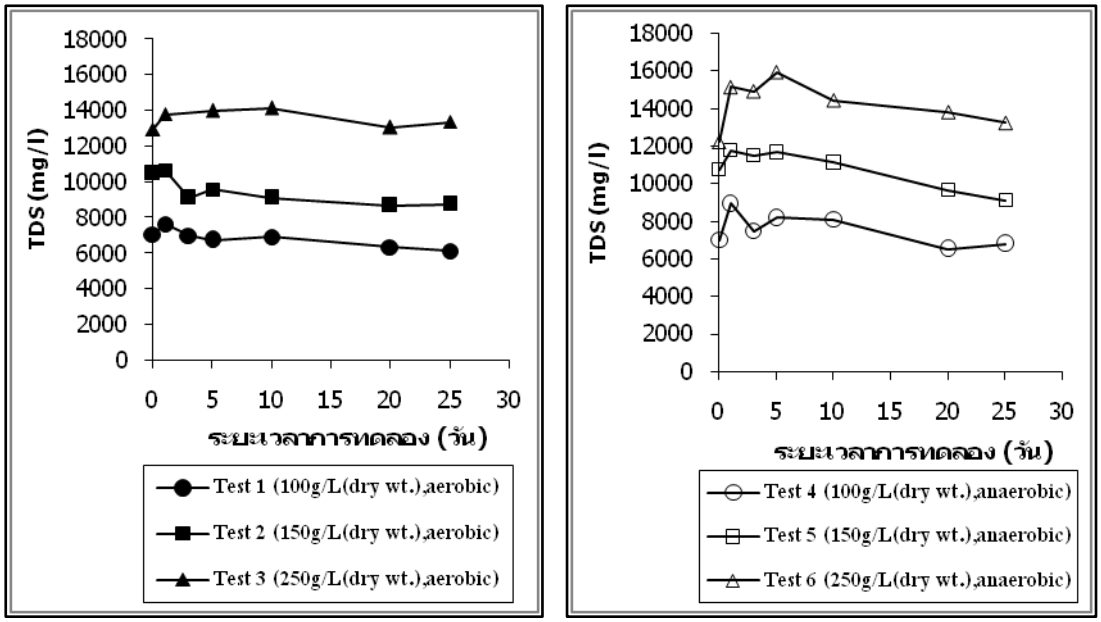
ส่วนสภาวะไม่เติมอากาศพบว่า ค่า SS มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงไม่มากตลอดช่วงการทำเสถียรในช่วง 25 วันของการทดลอง แต่ค่า VSS มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 5 วันแรกของการทดลองจากนั้นค่อนข้างคงที่ แสดงถึงมีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในช่วง 1-5 วันของการทดลองซึ่งสอดคล้องกับค่า TPC ที่ศึกษา และหลังจากนั้นค่อนข้างคงที่ และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่า TDS TDVS และ SCOD ของชุดการทดลองในสภาวะไม่เติมอากาศพบว่ามีค่าที่เพิ่มขึ้นในวันที่ 1-5 ของการหมัก และหลังจากนั้นลดลงหรือมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีผลจากทั้งการย่อยสลายและการละลายออกของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน โดยเฉพาะในช่วงแรกๆ ของการทำเสถียร ทั้งนี้ค่าความเข้มข้นของค่า TDS TDVS และ SCOD ของชุดการทดลองในสภาวะไม่เติมอากาศพบว่ามีค่าที่สูงกว่าชุดการทดลองในสภาวะเติมอากาศ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองในสภาวะเติมอากาศมีสภาวะการย่อยสลายทางชีวภาพที่รวดเร็วกว่าชุดการทดลองในสภาวะไม่เติมอากาศ จึงทำให้พบค่าความเข้มข้น TDS, TDVS และ SCOD ในชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศมีค่าสูงกว่าระบบเติมอากาศ



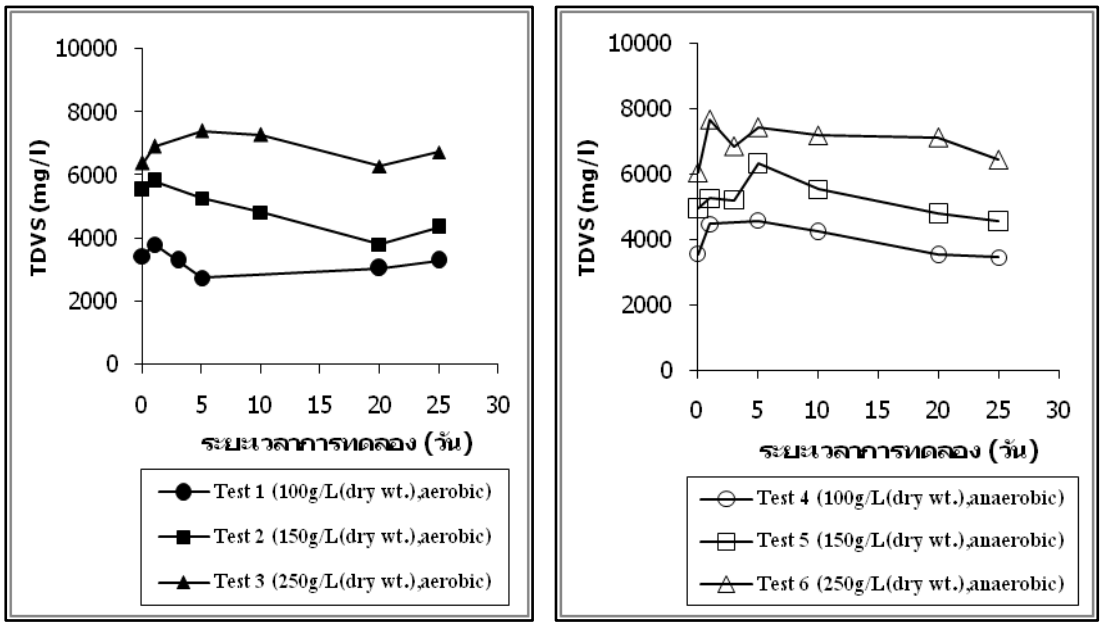
ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลง SS ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ



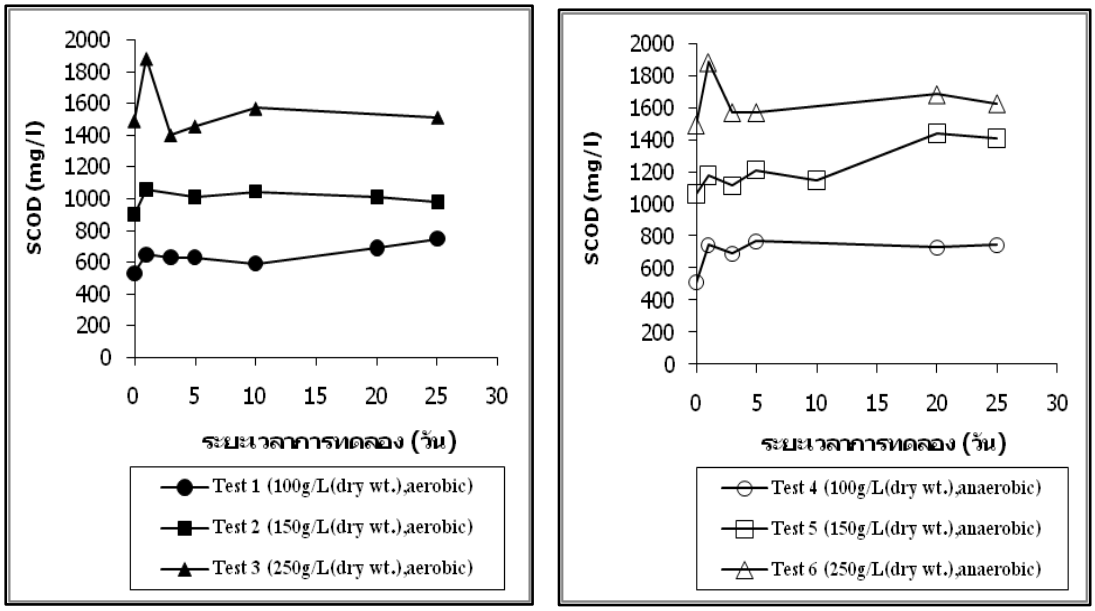
ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลง VSS ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ



ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลง TDS ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ



ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลง TDVS ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ



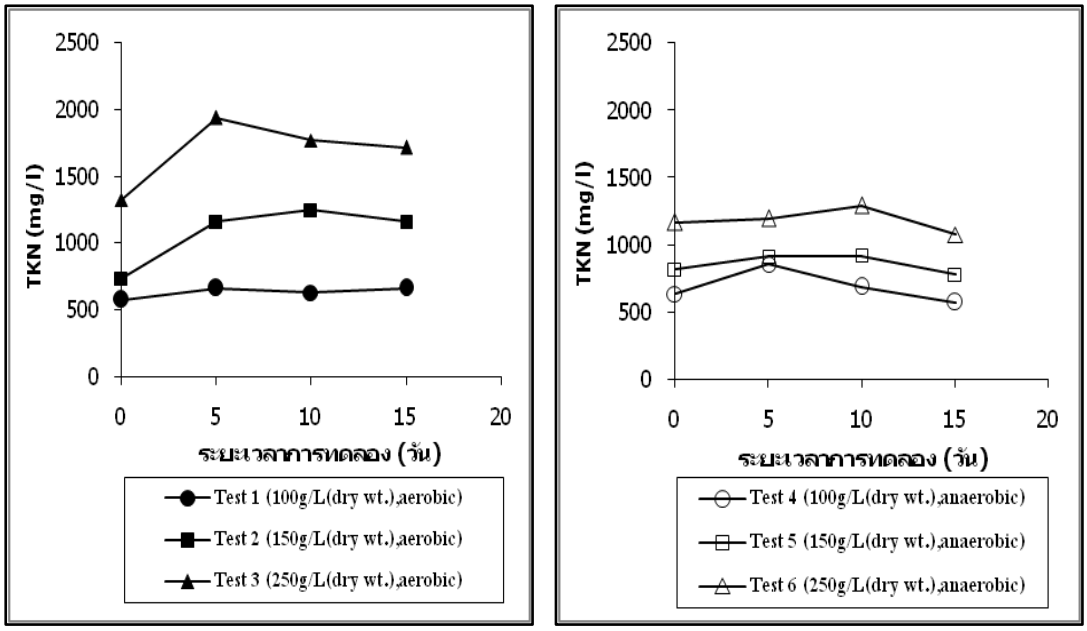
ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลง SCOD ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

อนึ่งจากผลจากการศึกษาซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงวันแรกของการทำเสถียรในสภาวะมีอากาศและไร้อากาศเป็นช่วงที่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการหมักเกิดการละลายออกของมวลสารที่เกิดขึ้น เช่น สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของการทดสอบการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในเบื้องต้นจะพบว่าการละลายออกของมวลสารอินทรีย์/อนินทรีย์ที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะเริ่มคงที่ในระยะเวลา 60 นาทีของการละลาย แต่เมื่อเข้าสู่สภาวะการทำเสถียรที่เกิดขึ้นอาจมีการละลายออกของสารอินทรีย์/อนินทรีย์ที่เกิดขึ้นที่เป็นในส่วนของตัวที่ละลายได้ยาก ซึ่งเมื่อระยะเวลาในการทำเสถียรเพิ่มขึ้นอาจทำให้สารอินทรีย์/อนินทรีย์ตัวที่ละลายยากอาจมีการละลายออกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า SCOD TDS และ TDVS มีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงวันแรกของการทำเสถียร ทั้งนี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการละลายของสารอินทรีย์/อนินทรีย์ที่เป็นส่วนของตัวที่ละลายได้ยากอาจมีการเกิดขึ้นพร้อมๆ กับปฏิกิริยาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์จากแบคทีเรีย โดยมีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เกิดขึ้นที่ใช้สารอินทรีย์ที่มีอยู่เป็นแหล่งอาหารเพื่อการเจริญเติบโต โดยสอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกับการทำลายสารอินทรีย์ ดังรายงานของ สันทัด สิริอนันต์ไพบูลย์ (2549) ซึ่งระบุการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมีความสัมพันธ์กับสารอินทรีย์ที่ถูกใช้ไป ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ลดลง และปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้นใหม่ โดยการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับการใช้หรือการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทั้งนี้แสดงผลการศึกษาได้จากค่า

TDS, TDVS และ SCOD ที่ลดลงในช่วงระยะเวลา 5 วันของการทำเสถียร ประกอบกับปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (TPC) ที่เพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาดังกล่าว บ่งบอกถึงสภาวะของการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพที่เกิดขึ้นได้ดี ซึ่งส่งผลให้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้มีความเสถียรมากขึ้น

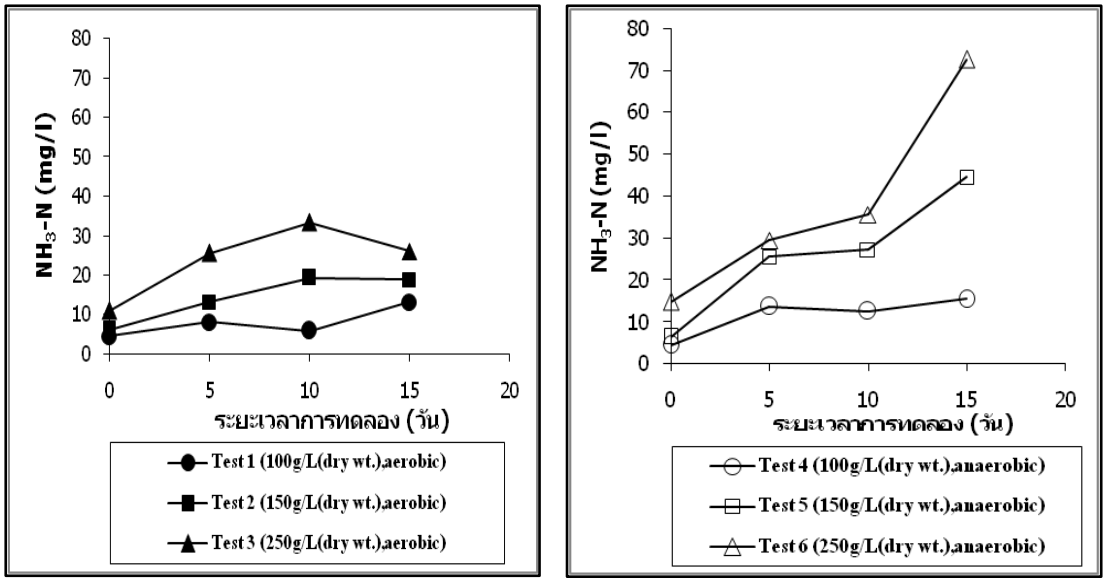
3.3 ปริมาณไนโตรเจน

การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในการทดลองทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินของ 6 ชุดการทดลองในภายใต้สภาวะเติมอากาศ (ชุดการทดลอง Test 1, Test 2 และ Test 3) และสภาวะไม่เติมอากาศ (ชุดการทดลอง Test 4, Test 5 และ Test 6) แสดงดัง ภาพที่ 34 ผลการศึกษาในนำตัวอย่างน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศเพื่อวิเคราะห์ค่าไนโตรเจนทั้งหมดในรูปของ TKN และ NH_3-N โดยใช้ตัวอย่างที่เป็น total solution ของวันที่ 0, 5, 10 และ 15 ของการทดลองการทำเสถียร พบว่าในสภาวะเติมอากาศมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) อยู่ในช่วง 574-660 mg/l, 732-1,248 mg/l และ 1,323-1,939 mg/l ของชุดการทดลอง Test 1 Test 2 และ Test 3 ตามลำดับ ส่วนชุดทดลองแบบไม่เติมอากาศมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) อยู่ในช่วง 635-853 mg/l 813-918 mg/l และ 1,073-1,292 mg/l ของชุดการทดลอง Test 4 Test 5 และ Test 6 ตามลำดับ หากพิจารณาจากค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาในการทดลองพบว่าทุกการทดลองมีค่าเฉลี่ยของ TKN ชุดการทดลองในสภาวะเติมอากาศเท่ากับ 630±41 mg/l 1,075±232 mg/l และ 1,687±260 mg/l ของชุดการทดลอง Test 1 Test 2 และ Test 3 ส่วนชุดการทดลองในสภาวะไม่เติมอากาศมีค่าเฉลี่ยของ TKN เท่ากับ 686±121 mg/l 855±70 mg/l และ 1,181±90 mg/l ของชุดการทดลอง Test 4 Test 5 และ Test 6 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองทั้งเติมอากาศและไม่เติมอากาศที่มีการใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่สูงขึ้นจะให้ปริมาณ TKN ที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในชุดการทดลองแบบมีอากาศโดยเฉพาะที่มีการใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน : น้ำ ที่ 250g/l (น้ำหนักกรัมแห้ง) ให้ค่า TKN ในลักษณะที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทำเสถียรที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วง 1-10 วันแรกของการทดลอง ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณ TKN ในช่วง 5-10 วันของการทดลองเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตและมีการเพิ่มจำนวนของเซลล์แบคทีเรียที่เกิดขึ้นรวดเร็วและหลังจากนั้นมีการตายของแบคทีเรีย แล้วทำให้เกิดการย่อยสลายตัวเองจึงมีผลทำให้ค่า TKN มีแนวโน้มที่ลดลงในช่วงหลังวันที่ 10 ที่ทดลอง นอกจากนี้จะมีปัจจัยมาจากค่า NH_3-N ด้วยเช่นกัน ดังจะได้กล่าวถึงต่อไป



ภาพที่ 34 ปริมาณ TKN ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

เมื่อพิจารณาค่า NH_3-N ในการทดลองการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ พบว่าการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศมีปริมาณ NH_3-N ที่สูงเพิ่มขึ้นในช่วง 5-10 วัน ของการทดลอง และหลังจากนั้นมีแนวโน้มเริ่มคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ส่วนการทำเสถียรในสภาวะไม่เติมอากาศมีการเพิ่มขึ้นของ NH_3-N ที่สูงต่อเนื่องในช่วง 5-15 วัน ของการทดลอง ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน หรือไนโตรเจนมิเนอแรไลเซชัน (ammonification หรือ nitrogen mineralization) ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียมไอออนหรือแอมโมเนีย (Paul and Clark, 1996) อนึ่งพบว่าชุดการทดลองแบบสภาวะไม่เติมอากาศมีค่า NH_3-N ที่สูงกว่าชุดการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 35 ทั้งนี้เมื่อเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว NH_3-N ในระบบแบบไม่เติมอากาศจะเกิดการสะสมอยู่ในระบบ เพราะไม่มีออกซิเจนในการ oxidation เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนรูป NH_3-N เป็น NO_2^-/NO_3^- ต่อไปได้เหมือนกับ NH_3-N ที่ถูกออกซิเจนในระบบที่มีการเติมอากาศให้เปลี่ยนรูปไปเป็น NO_2^-/NO_3^- จึงทำให้ NH_3-N มีค่าความเข้มข้นในระบบที่ต่ำกว่าในระบบไม่เติมอากาศ อนึ่งค่า NH_3-N ที่สูงขึ้น และมีความเข้มข้นที่สูงมากเกินไป เมื่อนำไปปลูกพืชอาจมีผลต่อการเกิดพิษต่อต้นไม้ได้เช่นกัน

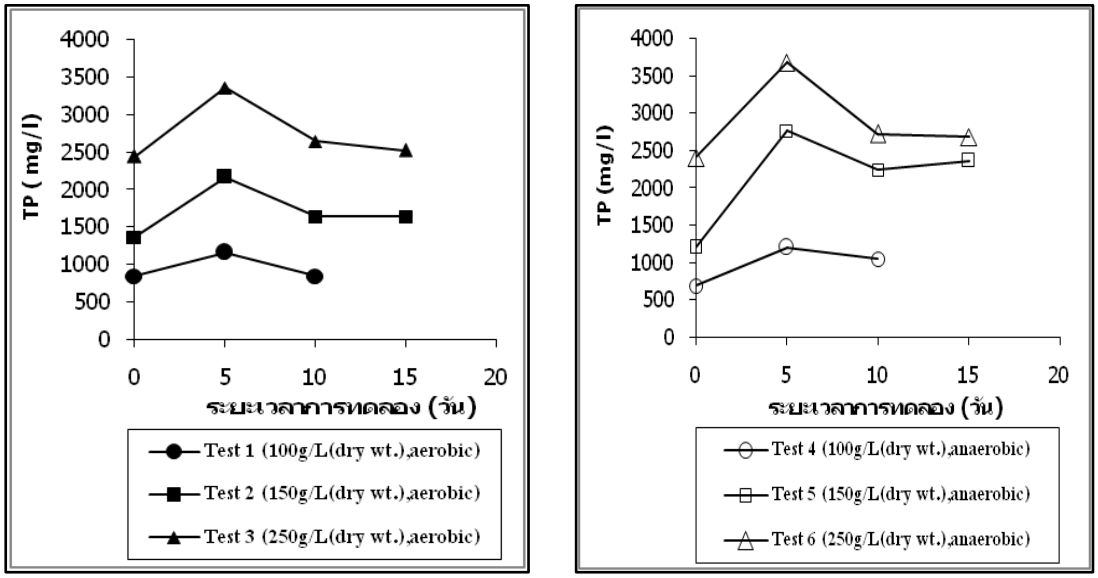


ภาพที่ 35 ปริมาณ NH_3-N ที่เกิดขึ้นของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

3.4. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)

ฟอสฟอรัสจัดเป็นธาตุที่มีความจำเป็นในสิ่งมีชีวิต อีกทั้งสำคัญต่อจุลินทรีย์ในการสร้างสารประกอบที่ให้พลังงานแก่จุลินทรีย์ เช่น การสร้างสารที่ให้พลังงาน ATP (adenosine triphosphate) ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ ซึ่งมีความสำคัญในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (ดวงพร คันธโชติ , 2545) ผลการวิเคราะห์ค่าฟอสฟอรัสในการนำตัวอย่างน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ โดยใช้ตัวอย่างที่เป็น total solution ของวันที่ 0, 5, 10 และ 15 ของการทดลองการทำเสถียร พบว่าช่วงเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 840-1,240 mg/l (เฉลี่ย 1,020±210 mg/l), 1,360-2,160 mg/l (เฉลี่ย 1,700±334 mg/l) และ 2,440-3,360 mg/l (เฉลี่ย 2,740±421 mg/l) ของชุดการทดลอง Test 1, Test 2 และ Test 3 ตามลำดับ สำหรับชุดการทดลองในสภาวะไม่เติมอากาศพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 680-1,200 mg/l (1,030±245 mg/l), 1,200-2,760 mg/l (เฉลี่ย 2,140±665 mg/l) และ 2,400-3,680 mg/l (เฉลี่ย 2,870±558 mg/l) ของชุดการทดลอง Test 4, Test 5 และ Test 6 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 36 ซึ่งชุดการทดลองที่มีการใช้อัตราส่วนปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มากที่สุดจะมีปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองที่มากที่สุดด้วย ในทางกลับกันชุดการทดลองที่มีการใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่น้อยก็จะมีปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองที่

น้อยเช่นกัน ซึ่งหากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้สภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสในเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลองที่เป็นลักษณะเดียวกัน โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นในช่วง 5 วันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นมีการลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากระยะเวลาในการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในช่วง 5 วัน มีการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของของแบคทีเรียที่เกิดขึ้น ดังข้อมูลที่สนับสนุนจากค่า SS, VSS และปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดที่มีการเพิ่มสูงขึ้นในช่วงระยะเวลาดังกล่าว ซึ่งบ่งชี้ว่าระยะเวลาที่ผ่านการทำเสถียร 5 วัน เป็นระยะเวลาที่แบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามผลจากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะการเติมอากาศและไม่เติมอากาศ สามารถอธิบายแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นที่มากน้อยที่แตกต่างกันไปตามปริมาณการใช้อัตราส่วนปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ เนื่องด้วยการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่อยู่ในรูป total solution

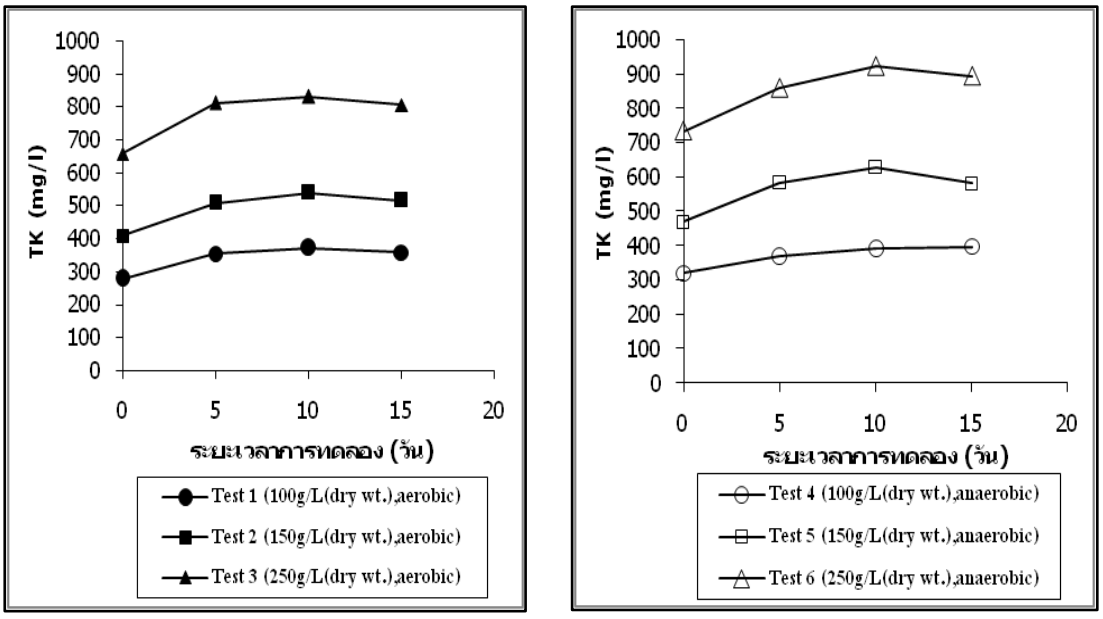


ภาพที่ 36 ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะมีอากาศและไม่เติมอากาศ

3.5 ปริมาณโพแทสเซียม (TK)

ผลจากการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมที่เปลี่ยนแปลงตามแต่ละช่วงเวลาของการทำเสถียรของ 6 ชุดการทดลอง ภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ (ชุดการทดลอง Test 1, Test 2 และ Test 3) และสภาวะไม่เติมอากาศ (ชุดการทดลอง Test 4, Test 5 และ Test 6) การศึกษาได้นำ

ตัวอย่างน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศมาวิเคราะห์ค่าโพแทสเซียม (TK) โดยใช้ตัวอย่างที่เป็น total solution ของวันที่ 0, 5, 10 และ 15 ของการทดลองการทำเสถียร แสดงดังภาพที่ 37 โดยพบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมของการทดลองทั้ง 6 ชุดการทดลองอยู่ในช่วง 227-371 mg/l (เฉลี่ย 340±42.39 mg/l), 408-539 mg/l (เฉลี่ย 492±57.46 mg/l), 658-831 mg/l (เฉลี่ย 776±79.73 mg/l) ของชุดการทดลอง Test 1, Test 2 และ Test 3 ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลองในสภาวะไม่เติมอากาศมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 321-398 mg/l (เฉลี่ย 371±35.34 mg/l), 472-630 mg/l (เฉลี่ย 568±67.34 mg/l) และ 734-923 mg/l (เฉลี่ย 852±83.11 mg/l) ของชุดการทดลอง Test 4, Test 5 และ Test 6 อย่างไรก็ตามหากพิจารณาในส่วนของสภาวะการทำเสถียรที่แตกต่างกันพบการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่มีแนวโน้มเดียวกันซึ่งจะเพิ่มขึ้นในช่วง 5-10 วันของการทดลอง และหลังจากนั้นจะมีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อย/คงที่ ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะการเติมอากาศและไม่เติมอากาศ สามารถอธิบายแนวโน้มของปริมาณโพแทสเซียมที่เกิดขึ้นที่แตกต่างกันไปตามปริมาณการใช้ในแต่ละอัตราส่วนของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ เนื่องการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เกิดขึ้นได้มีการวิเคราะห์ตัวอย่างที่อยู่ในรูป total solution



ภาพที่ 37 ปริมาณโพแทสเซียมของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

3.6 ปริมาณโลหะหนัก

โลหะหนักจัดเป็นจุลธาตุอาหารหรือธาตุอาหารเสริม หากพบในปริมาณน้อยจะก่อให้เกิดประโยชน์ในการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งในการทดสอบการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้สภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศของตัวอย่างที่เป็น total solution ได้มีการพิจารณาในการใช้ตัวอย่างของชุดทดลองการหมักวันที่ 10 ของการทดลอง ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ให้ค่า germination index ดีที่สุด โดยนำไปวิเคราะห์โลหะหนักในรูป Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn และ As ซึ่งผลที่ได้พบว่ามีปริมาณโลหะหนัก ดังแสดงในตารางที่ 24 ซึ่งพบว่าน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีค่าโลหะหนักอยู่ในปริมาณที่น้อย และเมื่อมีการใช้เนื้อของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมากขึ้นจะทำให้ตรวจพบปริมาณโลหะหนักมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 24 ปริมาณโลหะหนักของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศในช่วงหลังการทำเสถียรผ่านไป 10 วัน

ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)	ค่าโลหะหนักจากปุ๋ยเริ่มต้น (mg/kg dry wt.)	ชุดการทดลองแบบเติมอากาศ			ชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศ		
		Test 1 (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน: น้ำ, 100g/L)	Test 2 (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน: น้ำ, 150g/L)	Test 3 (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน: น้ำ, 250g/L)	Test 4 (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน: น้ำ, 100g/L)	Test 5 (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน: น้ำ, 150g/L)	Test 6 (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน: น้ำ, 250g/L)
Cd	0.21	<0.001*	0.02	0.030	<0.001*	0.020	0.040
Cr	3.82	0.397	0.677	0.927	0.437	0.827	1.257
Cu	38.20	2.8	5.19	7.09	2.96	6.93	9.05
Pb	4.02	0.38	0.63	0.89	0.38	0.92	1.15
Hg	<0.001*	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**
Zn	81.87	7.76	14.51	19.02	8.14	18.7	24.99
As	1.28	0.09	0.31	0.47	0.1	0.53	0.6

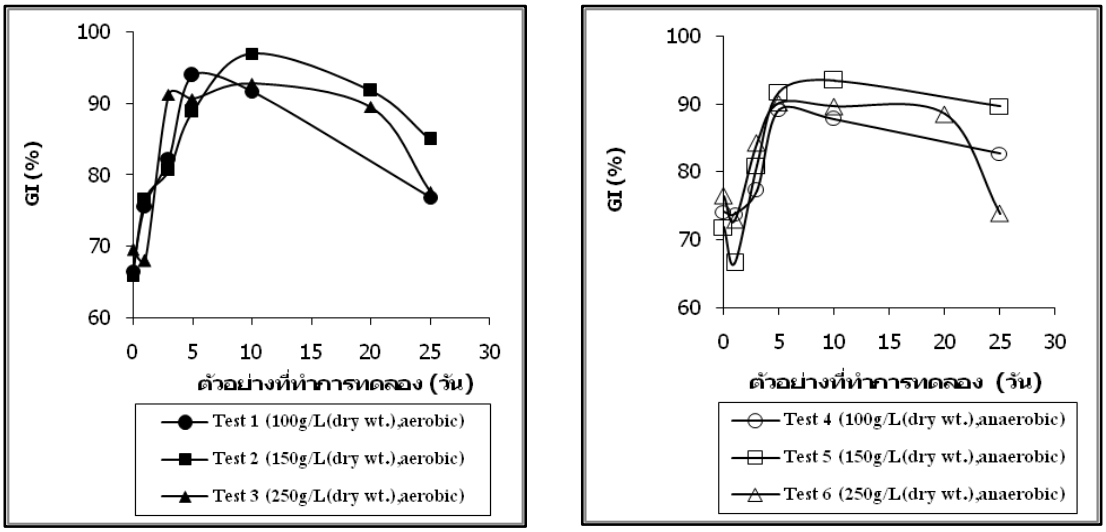
หมายเหตุ : * ต่ำกว่าค่า detection limit (0.001 mg/kg)

** ต่ำกว่าค่า detection limit (0.001 mg/l)

โลหะหนักส่งตรวจวิเคราะห์ที่ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

4. ผลการทดสอบการย่อยสลายที่เสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ย (germination index)

การทดสอบการย่อยสลายที่เสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยได้มีการทดสอบโดยทำการวัดในเทอมของค่าดัชนีการงอกของเมล็ด (germination index) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถวัดสารพิษที่เป็นพิษต่อพืชได้โดยตรง เช่น แอมโมเนีย และกรดอินทรีย์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย หรือปุ๋ยหมักที่มีการย่อยสลายไม่เสร็จสมบูรณ์ที่ตกค้างอยู่ในปุ๋ยโดยตรง (กรมวิชาการเกษตร , 2551) โดยผลจากการทดสอบพบว่าการทดลองทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้สภาวะเติมอากาศมีค่า germination index ตลอดระยะเวลาการทดลองอยู่ในช่วง 66.54-96.27%, 65.92-96.86% และ 69.53-92.75% ของชุดการทดสอบ Test 1, Test 2 และ Test 3 ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลองภายใต้สภาวะไม่เติมอากาศ germination index อยู่ในช่วง 67.97-92.75%, 78.78-89.16% และ 72.89-90.10% ของชุดการทดลอง Test 4, Test 5 และ Test 6 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 38



ภาพที่ 38 การเปรียบเทียบ germination index ของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

ทั้งนี้ผลจากการศึกษาพบว่าค่า germination index สำหรับชุดการทดสอบในสภาวะเติมอากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในชุดการทดสอบ Test 1 และ Test 2 ส่วนชุดการทดสอบ Test 3 ซึ่งเป็นชุดที่มีการใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินสูงที่สุดให้ผล germination index ที่ลดลงในช่วงวันที่ 1 ของการทำเสถียร หลังจากนั้นทุกชุดการทดสอบมีแนวโน้มของค่า germination index ที่เพิ่มสูงขึ้นและสูงสุดในช่วง 5-10 วันของการทำเสถียร และหลังจากวันที่ 10 มีค่า germination index ที่ลดลงอีกครั้ง ทั้งนี้การลดลงของค่า germination index ในช่วงวันที่ 1 ของการทำเสถียรที่เกิดขึ้นอาจเป็นผลมาจากการละลายออกของมวลสารอินทรีย์/อนินทรีย์จากปุ๋ยหมักมูล

ไส้เดือนดินที่เกิดขึ้น ซึ่งการใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการละลายออกของมวลสารต่างๆ ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ในช่วงวันที่ 1 ที่มีการละลายออกของมวลสารต่างๆ ยังคงมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของแบคทีเรีย ดังข้อมูลของค่า pH ที่ลดลงในช่วงวันแรกของการทำเสถียร จึงอาจเป็นผลให้มีความเป็นพิษที่เกิดขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการงอกของเมล็ดพืชที่ใช้ทดสอบทำให้ค่า germination index ที่ได้จากการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีค่าลดลง

สำหรับชุดการทดสอบในสภาวะไม่เติมอากาศ พบว่าทุกชุดการทดสอบให้ค่า germination index ที่ลดลงในช่วงวันที่ 1 ของการทำเสถียร หลังจากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและสูงสุดในช่วง 5-10 วัน ของการทำเสถียร และหลังจากนั้นมีแนวโน้มที่ลดลงอีกครั้ง ทั้งนี้การลดลงของ germination index ในช่วงวันที่ 1 มีสาเหตุดังกล่าวมาข้างต้น คือระบบยังคงมีการละลายออกของมวลสารอินทรีย์/อนินทรีย์ต่างๆ อีกทั้งมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในสภาวะไม่เติมอากาศ ทำให้ได้ผลผลิตส่วนใหญ่ที่เป็น กรดอินทรีย์ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด ดังข้อมูลของค่า pH ที่มีค่าลดลง ทำให้เป็นผลให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชจึงทำให้ค่า germination index ที่ลดลง

อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของค่า germination index ในช่วงหลังวันที่ 1-10 ของทั้ง 2 ชุดการทดลองอาจเป็นผลมาจากมีกระบวนการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นโดยแบคทีเรีย (ดังมีค่า TPC ที่พบว่ามีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วง 5 วันแรกของการทำเสถียร และลดลงหลังจากนั้น ประกอบกับข้อมูลของค่า pH ที่มีแนวโน้มลดลงและเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 1-5 วัน แสดงถึงกระบวนการในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกิจกรรมของแบคทีเรียที่เกิดขึ้น) โดยการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมีการใช้มวลสารอินทรีย์ต่างๆ เป็นแหล่งอาหารเพื่อการเจริญเติบโต และหลังจากนั้นมีการลดลง ส่งผลให้มวลสารอินทรีย์/อนินทรีย์ต่างๆ มีการย่อยสลายไปในระดับหนึ่ง ซึ่งช่วยลดผลกระทบจากมวลสารอินทรีย์ที่มีการละลายออกจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินลง ทำให้ความเป็นพิษที่อาจเกิดขึ้นจากมวลสารอินทรีย์/อนินทรีย์ต่างๆ ที่มีการละลายออกลดน้อยลง จึงทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่า germination index ในช่วง 1-10 วันของการทำเสถียร แต่เมื่อปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดน้อยลง จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียอาจตายลงทำให้เกิดสารอินทรีย์/สารอนินทรีย์ที่เป็นพิษต่อการเติบโตของพืชได้ เพราะเป็นสารที่ยังไม่มีความเสถียรมากพอ ทำให้ค่า germination index ลดลงช่วง 20-25 วันของการทำปฏิกิริยา นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากค่า pH และค่าของ NH_3-N ที่เกิดขึ้นพบว่ามีค่า pH ที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วง 10-25 วันของการทดลอง (ดังภาพที่ 28) และพบว่ามีปริมาณของ NH_3-N ที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว (ดังภาพที่ 35) ทั้งนี้ปริมาณของแอมโมเนียที่เกิดเพิ่มมากขึ้น และมีการสะสมอยู่ในระบบอาจส่งผลให้มีความเป็นพิษต่อดัชนีการงอกของเมล็ดพืชที่ทดสอบโดยตรงจึงทำให้ค่า germination index ที่ได้มีค่าที่ลดต่ำลงอีกครั้ง

จากข้อมูลผลการศึกษาค่า germination index ของการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้สภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า germination index ที่ได้ภายใต้สภาวะการทำเสถียรที่แตกต่างกัน ด้วยการทดสอบค่าสถิติ t–test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งนี้ก่อนทำการทดสอบค่า t-test ได้ทดสอบค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย germination index ที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศที่พบก่อนว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ ด้วยการทดสอบค่า F-test จากนั้นจึงทำการทดสอบค่าทางสถิติ t-test ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบแสดงดังตารางที่ 25 กล่าวคือค่าเฉลี่ยของค่า germination index ของการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้หากพิจารณาในด้านการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้น การทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศจะให้ผลดีกว่าแบบไม่เติมอากาศ อีกทั้งในด้านปริมาณ NH_3-N ที่เกิดขึ้นพบว่าไม่มีการสะสมของ NH_3-N ที่สูงเหมือนการทำเสถียรในสภาวะไม่เติมอากาศ ทั้งนี้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มีปริมาณ NH_3-N ในความเข้มข้นที่สูง อาจมีผลกระทบต่อการนำไปใช้ในการเป็นธาตุอาหารในการปลูกพืชได้ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาสอดคล้องกับ Scott, *et al*., (2006) ที่ระบุถึงการปรับเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินด้วยการให้อากาศอย่างต่อเนื่อง ที่ไม่น้อยกว่า 12-24 ชั่วโมง ทำให้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้มีความเสถียรและมีคุณภาพดีกว่าการทำเสถียรด้วยการไม่เติมอากาศ

ตารางที่ 25 ผลการทดสอบค่า t – test ระหว่างร้อยละของค่า germination index ในการทดสอบการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้สภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

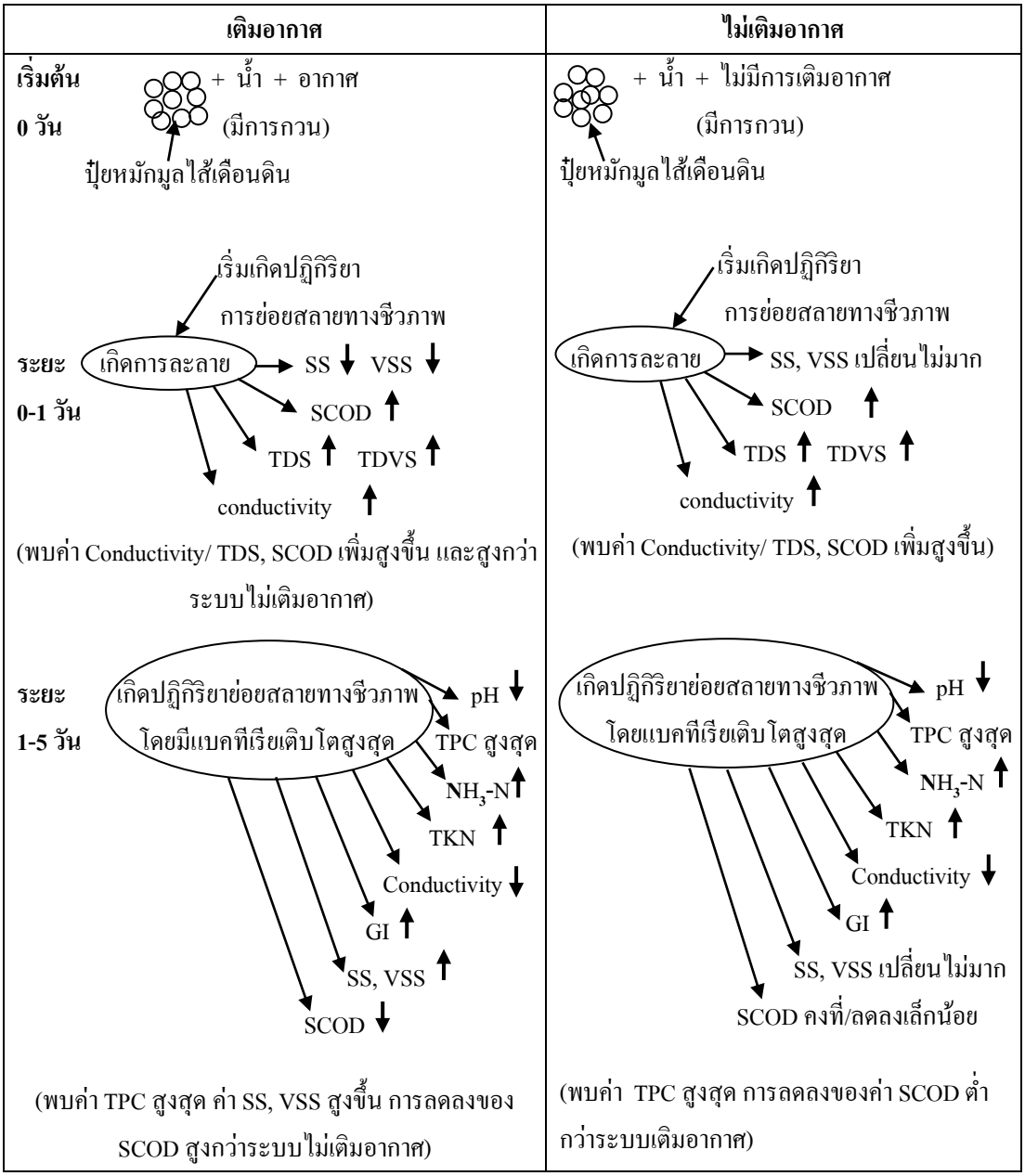
ชุดการทดลองที่เปรียบเทียบ	ค่า F ที่คำนวณ	ค่า t ที่คำนวณ	ค่า t จากตาราง	การแปลผล
Test 1 (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน:น้ำ, 100g/L เติมอากาศ) **และ Test 4** (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน:น้ำ, 100g/L ไม่เติมอากาศ)	2.327	0.071	1.812	ค่าเฉลี่ยของสองชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน
Test 2 (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน:น้ำ, 150g/L เติมอากาศ) **และTest 5** (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน:น้ำ, 150g/L ไม่เติมอากาศ)	0.853	0.210	2.228	ค่าเฉลี่ยของสองชุดการทดลองไม่แตกต่าง
Test 3 (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน:น้ำ, 250g/L เติมอากาศ) **และ Test 6** (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน:น้ำ, 250g/L ไม่เติมอากาศ)	1.994	0.100	2.178	ค่าเฉลี่ยของสองชุดการทดลองไม่แตกต่าง

หมายเหตุ : ทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (ระดับนัยสำคัญที่ 0.05)

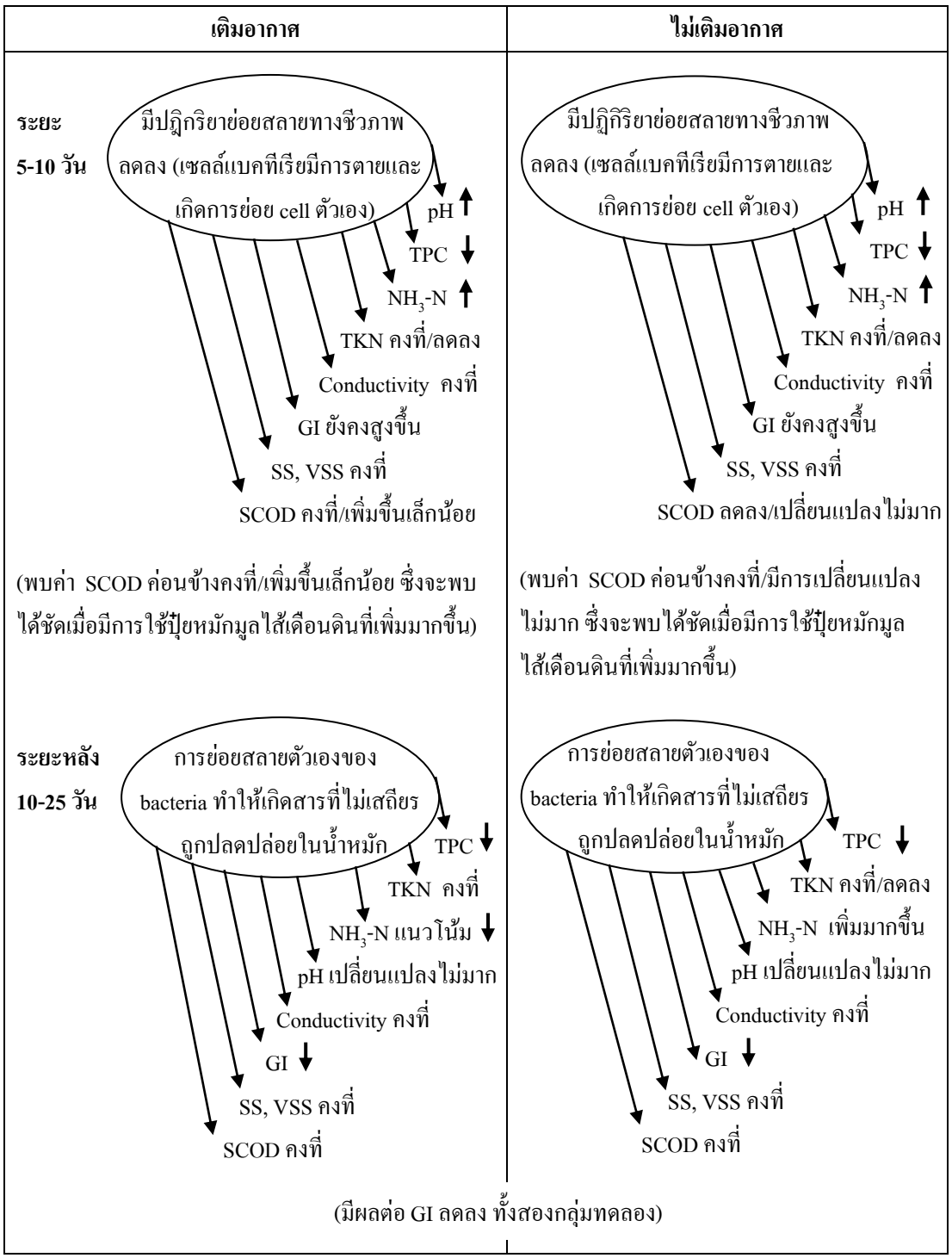
โดยจะยอมรับ H_0 เมื่อค่า t ที่คำนวณได้ < ค่า t ที่เปิดจากตาราง

5. ประมวลสรุปสภาวะที่เกิดขึ้นในการทดลองทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้สภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

ผลจากการทดลองการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้สภาวะการเติมอากาศและไม่เติมอากาศสามารถประมวลสรุปเพื่ออธิบายสภาวะที่เกิดขึ้นได้ดังแสดงเป็นผังภาพในภาพที่ 39



ภาพที่ 39 ประมวลสรุปสภาวะที่เกิดขึ้นในการทดลองทำเสถียรหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้สภาวะการเติมอากาศและไม่เติมอากาศ



ภาพที่ 39 ประมวลสรุปสภาวะที่เกิดขึ้นในการทดลองทำเสถียรหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ภายใต้สภาวะการเติมอากาศและไม่เติมอากาศ (ต่อ)

ผลจากการทดลองโดยนำปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือ นดินมาทำเสถียรภายใต้สภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศเป็นเวลา 25 วัน ข้อมูลที่ได้พบว่าระยะเวลาในการทำเสถียร และวิธีการในการทำเสถียรด้วยวิธีการเติมอากาศและไม่เติมอากาศจะมีผลต่อคุณภาพของน้ำหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้ อนึ่งแม้ว่าค่า germination index ที่พบเมื่อมีการเปรียบเทียบความต่างของสภาวะการทำเสถียรโดยการทดสอบค่าทางสถิติแล้วพบว่า มีค่า germination index ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แต่หากพิจารณาในด้านองค์ประกอบอื่นๆ จะพบว่าการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศมีสภาวะการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ดีกว่าในสภาวะไม่เติมอากาศ ตลอดจนมีค่า NH_3-N ที่สะสมในระบบที่ต่ำกว่าการทำเสถียรในสภาวะไม่เติมอากาศ ซึ่งจะไม่ส่งผลในแง่ลบในการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการปลูกพืช ทั้งนี้ในการเตรียมน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดก่อนการนำไปใช้งานควรทำเสถียรในสภาวะการเติมอากาศ และใช้อัตราส่วนปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน : น้ำ ที่ 250 กรัมแห้ง ต่อน้ำ 1 ลิตร เนื่องจากจะให้ปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช (N, P, K) ที่สูง และต้องมีการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในระยะเวลาที่ไม่น้อยกว่า 5-10 วัน เพื่อเป็นการทำเสถียรสารอินทรีย์ต่างๆ อันจะทำให้ลดปัญหาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่จะเกิดขึ้นเมื่อนำไปใช้งาน และจากผลการทดลองพบว่าช่วงเวลาดังกล่าวทำให้มีค่า germination index สูงที่สุด ซึ่งจะทำให้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้มีความเสถียรมากขึ้น ไม่ส่งผลกระทบต่อการนำไปใช้ในการใช้เป็นธาตุอาหารทดแทนสำหรับปลูกพืช

อนึ่งจากผลการศึกษาในขั้นตอนการทดสอบการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และการทดสอบการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้สภาวะการเติมอากาศและไม่เติมอากาศ พบว่าชุดการทดลองในการทดสอบการละลายที่ใช้อัตราส่วนของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำ ที่ 250 กรัมแห้ง ต่อน้ำ 1 ลิตร ที่ระยะเวลา 60 นาที จะทำให้การละลายมีค่าคงที่ มวลสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะมีการละลายสู่น้ำที่ใช้ในการละลาย ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความเข้มข้นของปริมาณธาตุอาหาร (N, P และ K) สูงสุด และชุดการทดลองน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ใช้อัตราส่วนของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำ ที่ 250 กรัมแห้ง ต่อน้ำ 1 ลิตร ที่มีการทำเสถียรภายใต้สภาวะเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 10 วัน เป็นชุดการทดลองที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นธาตุอาหารทดแทนในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic การศึกษาจึงได้มีการเลือกใช้น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ในระยะเวลาการละลายที่ 60 นาที และน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ทำเสถียรภายใต้สภาวะเติมอากาศ ที่ระยะเวลา 10 วัน ตามอัตราส่วนการทดสอบที่กล่าวในเบื้องต้นมาใช้ในทดสอบปลูกผักกาดหอมโดยเทียบเคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี ดังจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

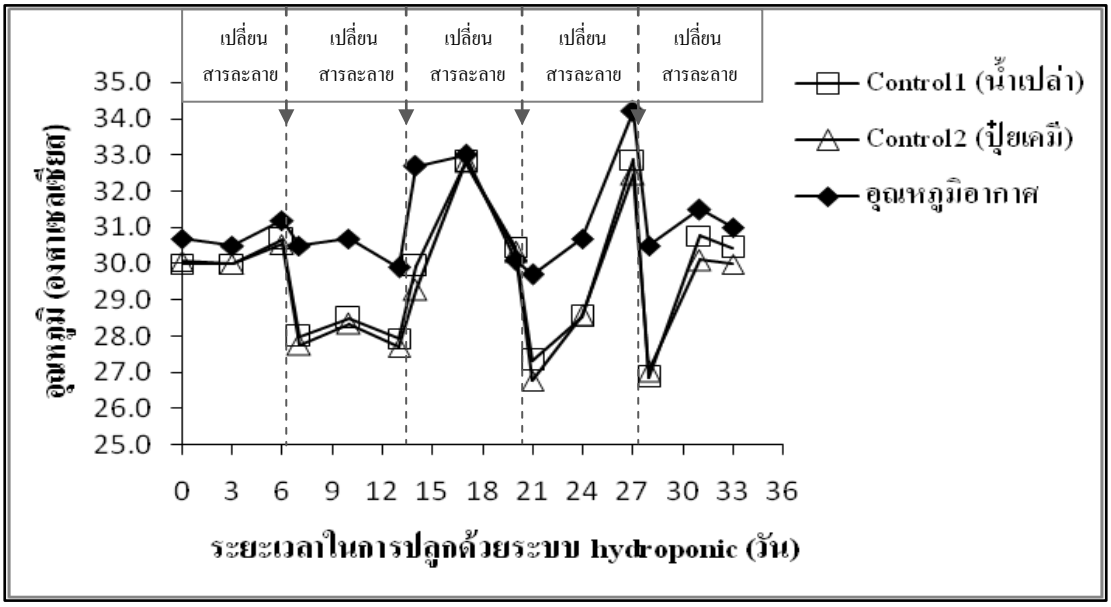
ผลการทดลองการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำสกัดที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกผักกาดหอมด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

1. สภาพสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในระหว่างการทดลอง

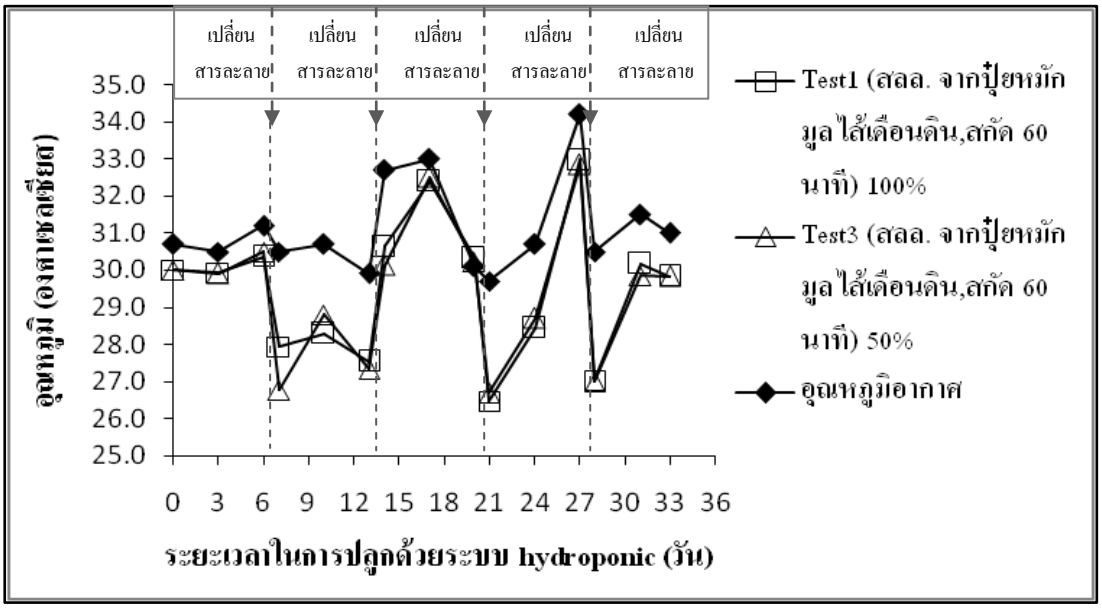
1.1 อุณหภูมิของอากาศและสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ปลูกในระหว่างการทดลอง

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งอุณหภูมิมีผลโดยตรงกับการดูดน้ำและธาตุอาหาร การสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ การคายน้ำ และกิจกรรมของเอนไซม์ต่างๆ ดังนั้นอัตราการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโดยตรง โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับพืชโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 15-40 องศาเซลเซียส (อภิชาต ศรีสะอาด และอัมพา คำวงษา, 2553) อนึ่งปัญหาของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทย คือสภาพอากาศร้อนที่ส่งผลให้สารละลายมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้รากพืชได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ โดยทั่วไปรากพืชจะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส แต่ถ้าคำนึงถึงปริมาณออกซิเจนในสารละลายแล้ว สารละลายควรมีอุณหภูมิอยู่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีปริมาณออกซิเจนในสารละลายที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชโดยทั่วไป (ดิเรก ทองอร่าม, 2546) สำหรับผลจากการทดสอบการปลูกผักกาดหอมโดยใช้สารละลายจากน้ำหมักและน้ำที่ละลายได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินพบว่ามีอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิของสารละลายที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาในการปลูกที่แสดงได้ดังภาพที่ 40 โดยผลจากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในเวลากลางวัน (ทำการวัดอุณหภูมิรอบวันในช่วง 15.30-17.30 น.) ตลอดระยะเวลาในการทดลองปลูกผักกาดหอม ตั้งแต่หลังย้ายกล้าไปปลูกจนถึง 33 วันของการทดสอบปลูกมีค่าอยู่ในช่วง 29.9-34.2 องศาเซลเซียส คิดเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดระยะเวลาในการทดลองที่ 31.1±1.25 องศาเซลเซียส ทั้งนี้พบว่าอุณหภูมิของสารละลายในชุดการทดสอบ Control 1 (น้ำเปล่า), Control 2 (ปุ๋ยเคมี), Test 1 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%), Test 2 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 100%), Test 3 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%) และ Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%) มีการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดระยะเวลาในการทดสอบปลูกผักกาดหอม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.7±1.77, 29.5±1.76, 29.5±1.83, 29.5±1.66, 29.4±1.84 และ 29.5±1.87 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้การรายงานของ ฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพ (2548) ระบุว่าอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมของผักกาดหอมในการปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ควรอยู่ระหว่าง 18-22 องศาเซลเซียส โดยผลจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองมีค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าความเหมาะสมของอุณหภูมิในการปลูกผักกาดหอม ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นมี

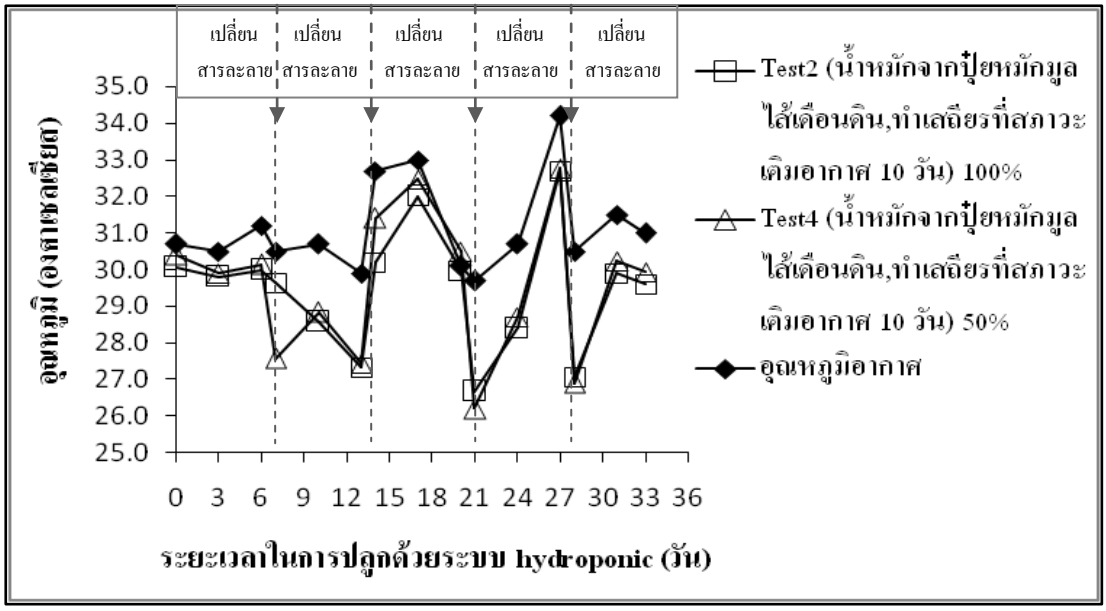
อิทธิพลต่อปริมาณออกซิเจนในเขตรากพืช ถ้าอุณหภูมิสูงรากพืชต้องการออกซิเจนสูงมากขึ้นด้วย นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงยังทำให้พืชมีคายน้ำที่มากขึ้น อาจจะเกิดการเหี่ยวเฉากับผักกาดหอมได้อีกด้วย (บุญลือ เอี่ยวพานิช, 2548)



ก) ผลอุณหภูมิในน้ำและสารละลายของชุดควบคุม (น้ำเปล่าและปุ๋ยเคมี)



ข. ผลอุณหภูมิในน้ำและอากาศของชุดทดลอง Test 1 และ Test 3 (ที่ใช้น้ำที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 60 นาที ที่ความเข้มข้น 100% และ 50%



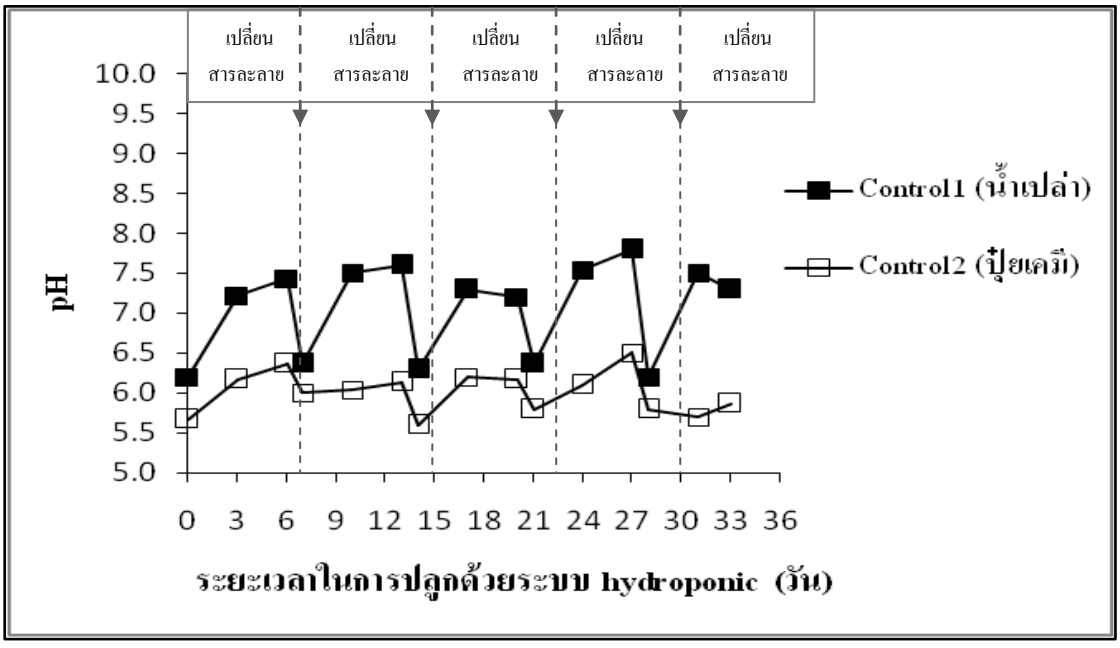
ค. ผลอุณหภูมิในน้ำและอากาศของชุดทดลอง Test 2 และ Test 4 (ที่ใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ถูกทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน ที่ความเข้มข้น 100% และ 50%

ภาพที่ 40 อุณหภูมิของอากาศและสารละลายที่ใช้ปลูกผักกาดหอมในระหว่างการทดลอง

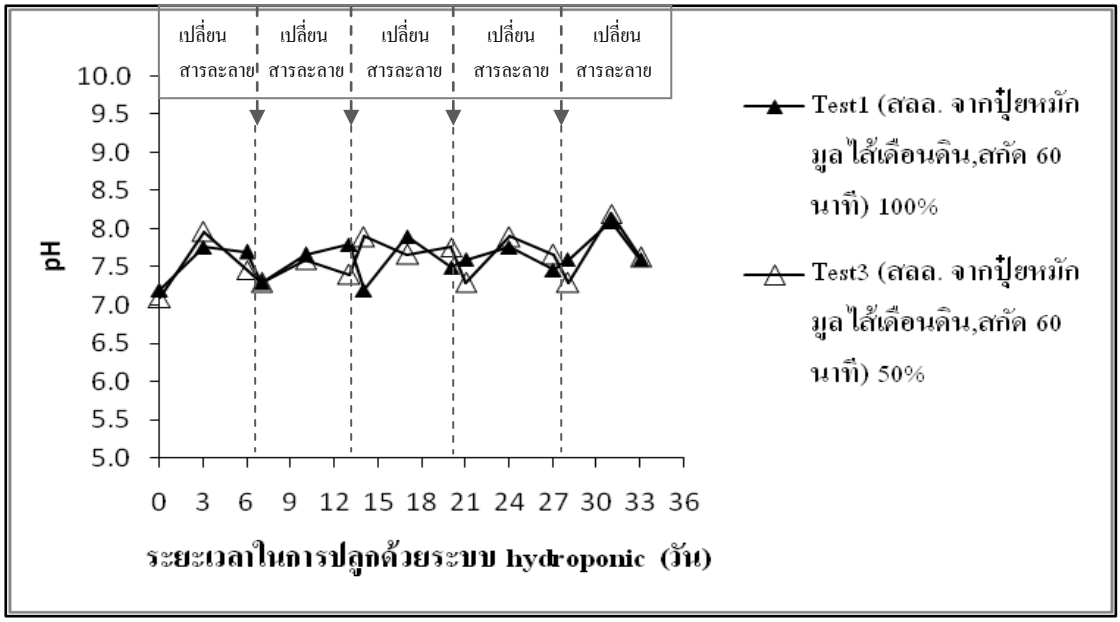
1.2 ค่าความเป็น กรด-ด่าง ของสารละลายธาตุอาหารในขณะทดลองปลูก

ค่าความเป็นกรด -ด่าง (pH) ในสารละลายที่ใช้ปลูก เป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงความสามารถของรากพืชที่จะดูดแร่ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในสารละลายได้ ปกติควรรักษาค่า pH ที่ 5.5-6.5 เพราะเป็นค่าหรือช่วงที่ธาตุอาหารพืชต่างๆ สามารถคงรูปในสารละลายที่พืชนำไปใช้ได้ดี (บุญลือ เอี๋ยวพานิช, 2548) แต่ผลการทดลองพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของ pH ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองตลอดการเปลี่ยนสารละลายปุ๋ยในทุกสัปดาห์ของการปลูกดังแสดงในภาพที่ 41 โดยค่า pH เฉลี่ยของสารละลายที่ใช้เป็นปุ๋ยของชุดการทดลอง Control 1 (น้ำเปล่า), Control 2 (ปุ๋ยเคมี), Test 1 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%), Test 2 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 100%), Test 3 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%) และ Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%) มีค่าอยู่ในช่วง 6.0-7.9 (เฉลี่ย 7.05±0.59), 5.5-6.5 (เฉลี่ย 6.00±0.26), 7.1-8.2 (เฉลี่ย 7.61±0.27), 7.0-8.4 (เฉลี่ย 7.77±0.32), 7.1-8.2 (เฉลี่ย 7.61±0.30) และ 7.2-8.5 (เฉลี่ย 7.60±0.34) ตามลำดับ จะเห็นว่ามีเพียงชุดการทดสอบ Control 2 ซึ่งใช้ปุ๋ยเคมี ที่มีค่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ สำหรับชุดการทดสอบที่มีการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูล

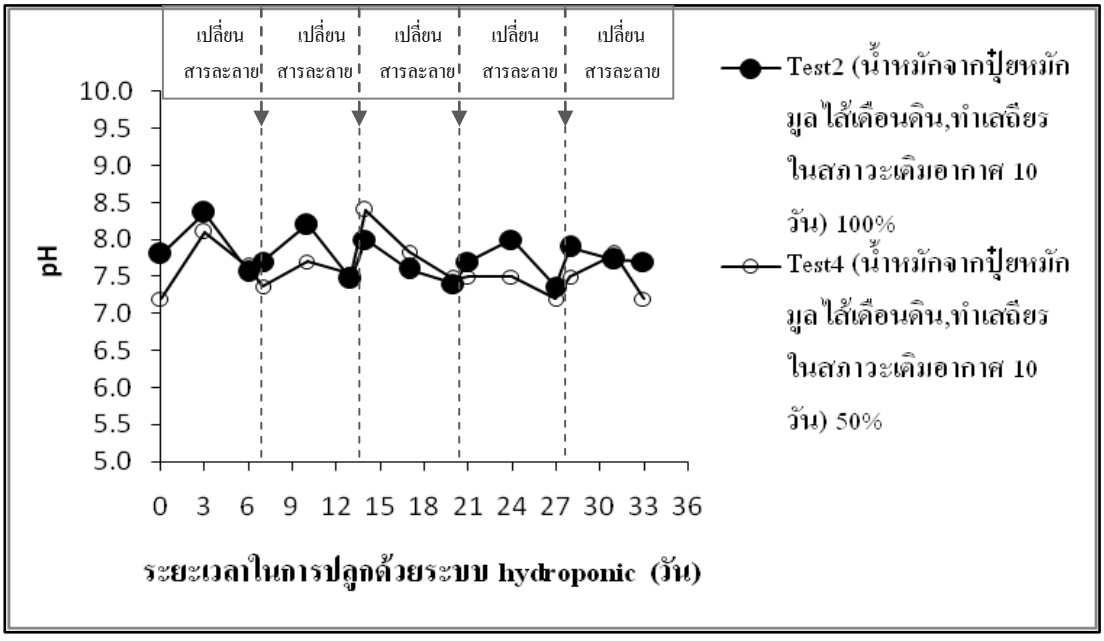
ไส้เดือนดินและน้ำสกัดที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของ pH อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ในชุดควบคุมทั้ง 2 ชุด (ใช้น้ำเปล่าและปุ๋ยเคมี) พบว่าหลังจากเติมสารละลายให้กับระบบปลูก ค่า pH จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 6 วันที่ปลูก แต่แตกต่างจากชุดการทดลองที่ใช้สารละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ซึ่งจะมีแนวโน้มสูงขึ้นใน 3 วันแรก หลังจากนั้นมีแนวโน้มของ pH ต่ำลง การเปลี่ยนแปลงของค่า pH จะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของ $[H^+]$ ในสารละลาย โดยในระหว่างการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร ค่า pH ในสารละลายธาตุอาหารมีการเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากการที่รากพืชดูดธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหารที่มีประจุลบ หรือแอนไอออน (anions) เช่น ไนเตรท (NO_3^-), ซัลเฟต (SO_4^{2-}), ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) แล้วจะปลดปล่อยไฮโดรเจน (H^+) และการที่รากพืชดูดธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหารที่มีประจุบวก หรือแคตไอออน (cations) เช่น แคลเซียม (Ca^{2+}), แมกนีเซียม (Mg^{2+}), โปแตสเซียม (K^+), แอมโมเนียม (NH_4^+) จะปลดปล่อยไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) สู่สารละลายธาตุอาหาร (ดิเรก ทองอร่าม, 2546 และ บุญลือ เอี่ยวพานิช, 2548)



ก) ผล pH ในสารละลายของชุดควบคุม (น้ำเปล่าและปุ๋ยเคมี)



ข. ผล pH ในชุดทดลอง Test 1 และ Test 3 (ที่ใช้น้ำที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 60 นาที ที่ความเข้มข้น 100% และ 50%)



ค. ผล pH ในชุดทดลอง Test 2 และ Test 4 (ที่ใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ถูกทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน ที่ความเข้มข้น 100% และ 50%)

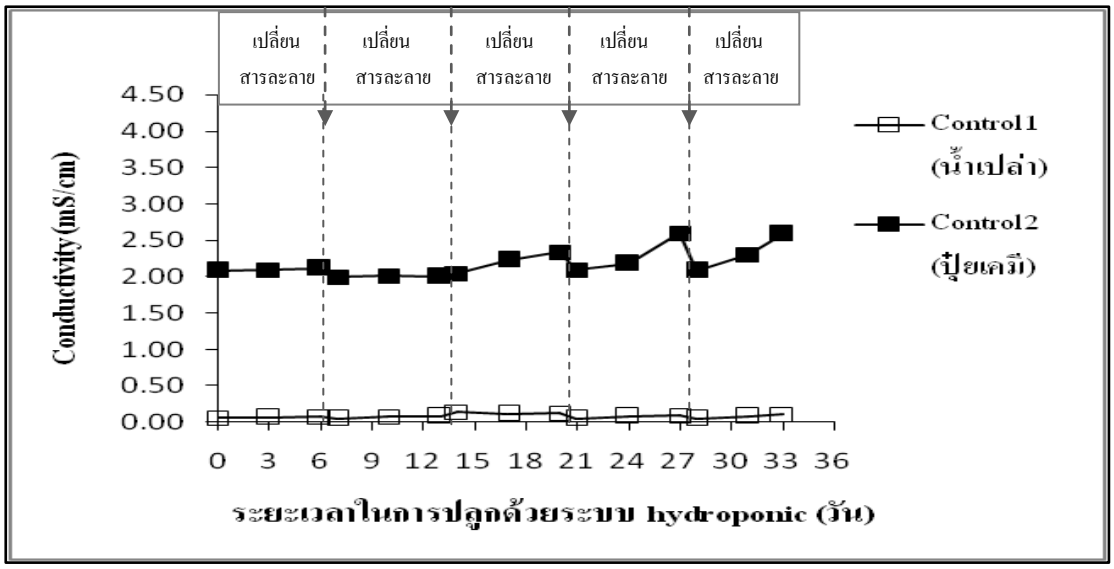
ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของสารละลายที่ใช้ปลูกผักกาดหอมในระหว่างการทดลอง

1.3 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารในขณะทดลองปลูก

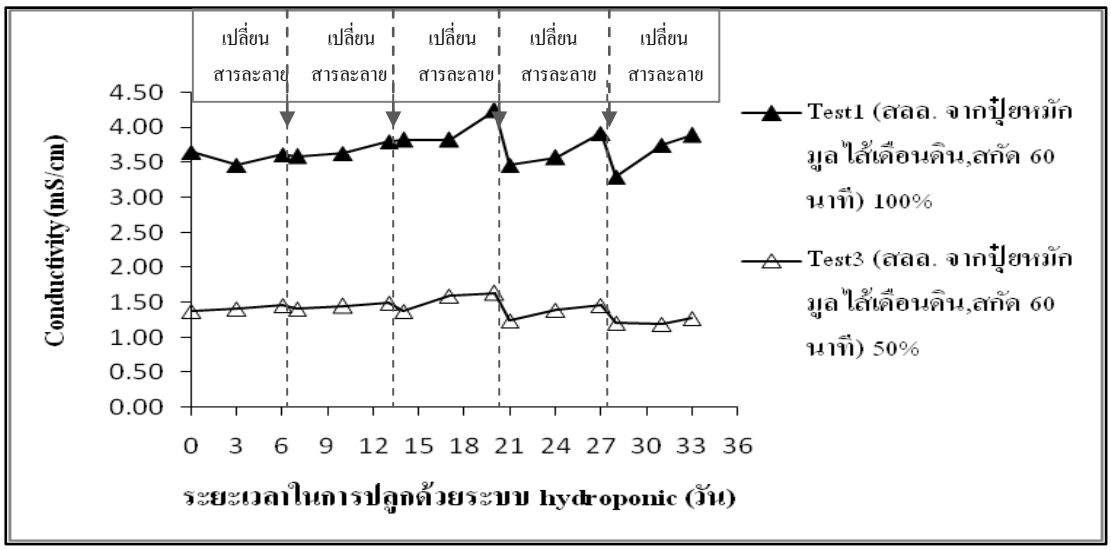
ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (electrical conductivity; EC) หมายถึง ความสามารถของสารละลายที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เนื่องจากปุ๋ยที่ละลายในน้ำแตกตัวเป็นไอออน ทำให้น้ำสามารถนำไฟฟ้าได้ (ดิเรก ทองอร่าม, 2546) ซึ่งผลการทดลองพบว่า ค่า EC เฉลี่ยของสารละลายที่ใช้เป็นปุ๋ยในชุดการทดสอบ Test 1 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%) มีค่าสูงที่สุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.44-4.58 mS/cm รองลงมาคือชุด Test 2 (ใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 100%), Control 2 (ปุ๋ยเคมี), Test 3 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%), Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%) และ Control 1 (น้ำเปล่า) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 2.55-3.54 mS/cm 1.99-2.60 mS/cm, 0.77-1.69 mS/cm, 0.96-1.25 mS/cm, และ 0.05-0.16 mS/cm ตามลำดับ ซึ่งค่า EC ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชแบบ hydroponic ส่วนใหญ่นั้นควรอยู่ในช่วง 1.5-3.0 mS/cm (Benoit, 1992) และสำหรับผักสลัดโดยทั่วไปมีค่า EC ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.5-2.5 mS/cm (ดิเรก ทองอร่าม, 2546) ซึ่งจากผลการทดลองปลูกผักกาดหอมในระบบ hydroponic หากพิจารณาในช่วงค่า EC ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของการปลูกผักสลัดนั้น พบว่าชุดการทดสอบ Control 2, Test 3 และ Test 4 มีค่า EC อยู่ในช่วงที่เหมาะสม แต่สำหรับชุดการทดสอบ Test 1 และ Test 2 มีค่า EC ที่สูงกว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักสลัด และสูงมากกว่าช่วงค่า EC ที่เหมาะสมสำหรับปลูกพืชโดยส่วนใหญ่ ซึ่งการปลูกพืชที่ใช้สารละลายที่มีค่า EC ที่สูงมากๆ พืชอาจจะชะงักการเติบโตหรือตายได้ และผลจากการปลูกผักกาดหอมในครั้งนี้ได้แสดงอาการของใบล่างสุดของต้นผักกาดหอมมีการเหี่ยวและแห้ง โดยต้นผักกาดหอมจะไม่เติบโตเท่าที่ควร โดยจะพบลักษณะอาการการชะงักการเจริญเติบโตหลังจากการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในช่วง 1-3 วันแรกของการเปลี่ยนสารละลายปุ๋ย ซึ่งพบรุนแรงในชุดการทดสอบ Test 1 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสารละลายปุ๋ยที่มาจากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่นำมาทำการปลูกโดยไม่ได้ผ่านการทำเสถียร จึงยังคงมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์/อนินทรีย์ที่มีการละลายออกจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินอยู่ในปริมาณที่สูง ส่งผลให้มีค่า EC สูง และเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์/อนินทรีย์โดยแบคทีเรีย ซึ่งอาจมีผลต่อการเติบโตของผักกาดหอมด้วย

นอกจากนี้ค่า EC จะแตกต่างกันตามความเข้มข้นของแสง กล่าวคือ ถ้าแสงมีความเข้มข้นมาก พืชจะต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นน้อยลง นั่นคือ พืชจะมีการดูดน้ำมากกว่าแร่ธาตุอาหาร ทั้งนี้การทดสอบการปลูกในครั้งนี้ไม่ได้ทำการวัดความเข้มแสงแต่หากทำการวัดเฉพาะอุณหภูมิในสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งหากนำข้อมูลในด้านอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารมาประกอบการพิจารณาจะเห็นว่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองมีค่าอุณหภูมิที่สูง

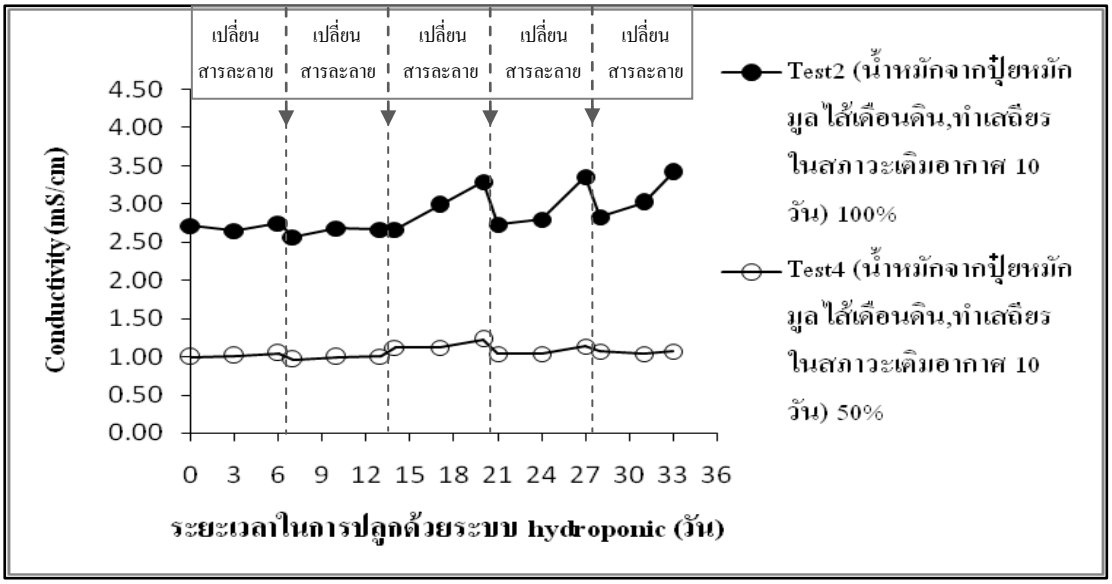
กว่าความเหมาะสมของอุณหภูมิในการปลูกผักกาดหอม ทั้งนี้ในสภาพอากาศร้อนสูง แสงแดดจ้า หรือมีความเข้มของแสงมาก พืชจะต้องการสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยลง ทำให้พืชมีการดูดน้ำมากกว่าธาตุอาหาร ในขณะที่แสงแดดน้อย หรือมีเมฆมาก พืชจะมีแนวโน้มที่จะดูดธาตุอาหารมากกว่าน้ำ ซึ่งทำให้ผลจากการทดสอบ มีค่า EC ที่วัดได้มีการแปรปรวนตลอดระยะเวลาในช่วงปลูก โดยผลการทดลองพบการเปลี่ยนแปลงของ conductivity ที่เกิดขึ้นในขณะการทดลองดังแสดงในภาพที่ 42



ก) ผล conductivity ในสารละลายของชุดควบคุม (น้ำเปล่าและปุ๋ยเคมี)



ข. ผล conductivity ในชุดทดลอง Test 1 และ Test 3 (ที่ใช้น้ำที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 60 นาที ที่ความเข้มข้น 100% และ 50%)



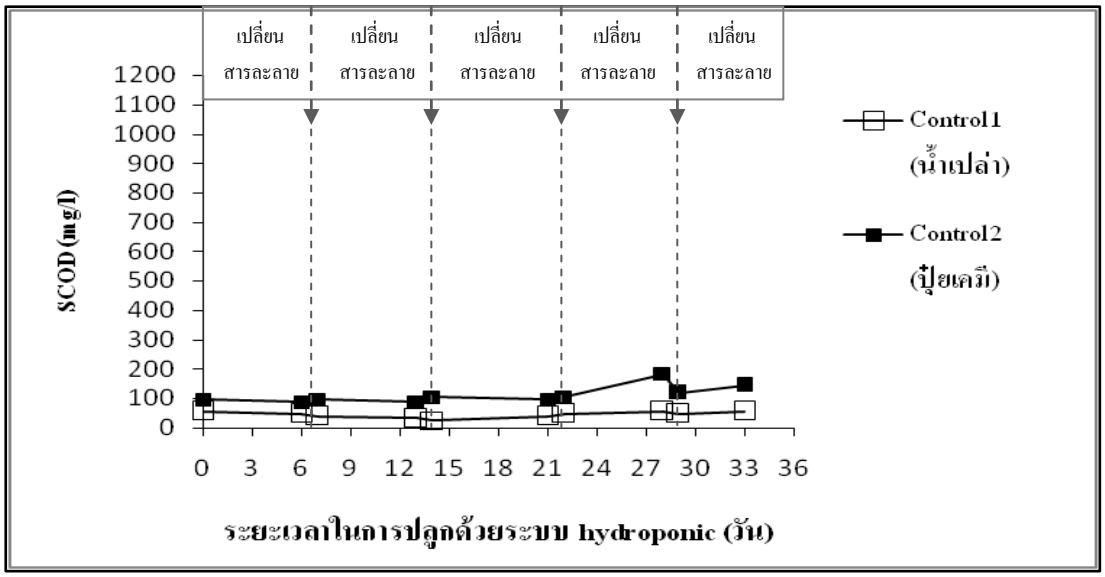
ค. ผล conductivity ในชุดทดลอง Test 2 และ Test 4 (ที่ใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ถูกทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน ที่ความเข้มข้น 100% และ 50%)

ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงของ conductivity ในสารละลายที่ใช้ปลูกผักกาดหอมในระหว่างการทดลอง

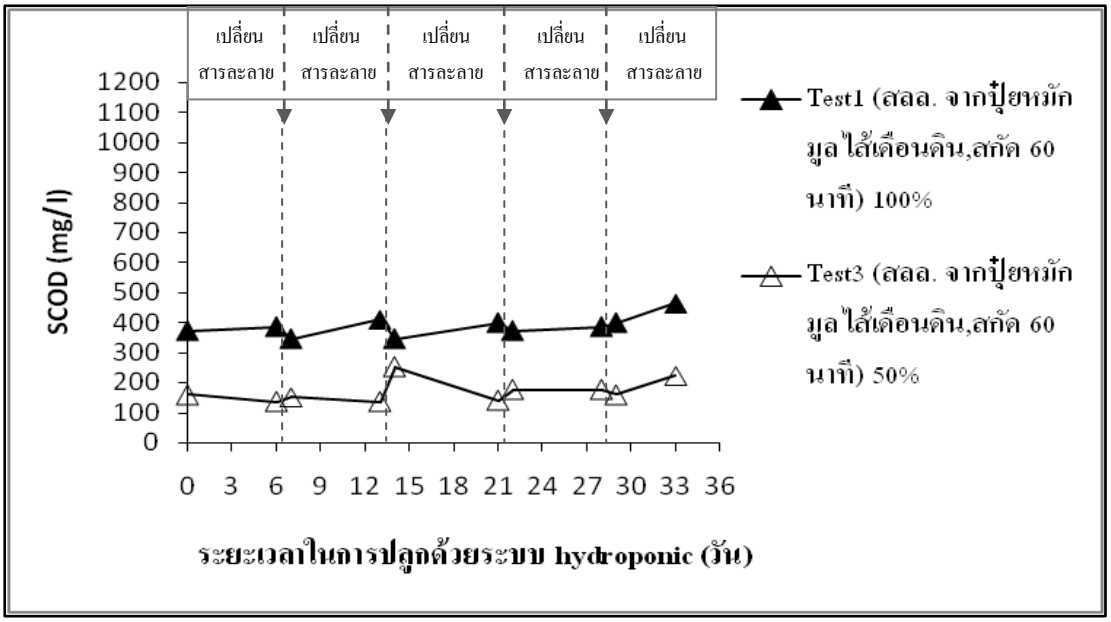
1.4 SCOD ของสารละลายธาตุอาหารในขณะทดลองปลูก

ผลการทดลองการปลูกผักกาดหอมในระบบ hydroponic พบว่ามีค่า SCOD ในช่วงเริ่มต้นและสิ้นสุด ของแต่ละครั้งในการเปลี่ยนถ่ายสารละลายธาตุอาหารตลอดระยะเวลาในการปลูกผักกาดหอม แสดงดังภาพที่ 43 พบว่าชุดการทดลอง Test 2 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 100%) มีค่า SCOD สูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 859 mg/l รองลงมาคือชุด Test 1 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%), Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%), Test 3 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%), Control 2 (ปุ๋ยเคมี) และ Control 1 (น้ำเปล่า) ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดช่วงการทดลองเท่ากับ 387 mg/l, 303 mg/l, 171 mg/l, 112 mg/l และ 45 mg/l ตามลำดับ จะเห็นว่าในชุด Control 1 (น้ำเปล่า) และ Control 2 (ปุ๋ยเคมี) พบค่า SCOD ที่มีแนวโน้มต่ำลงเล็กน้อยในช่วง 6 วันของการปลูก หลังจากการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในแต่ละครั้ง สำหรับชุดการทดลองที่ใช้สารละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ความเข้มข้น 100% จะพบการเปลี่ยนแปลงของค่า SCOD ที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่

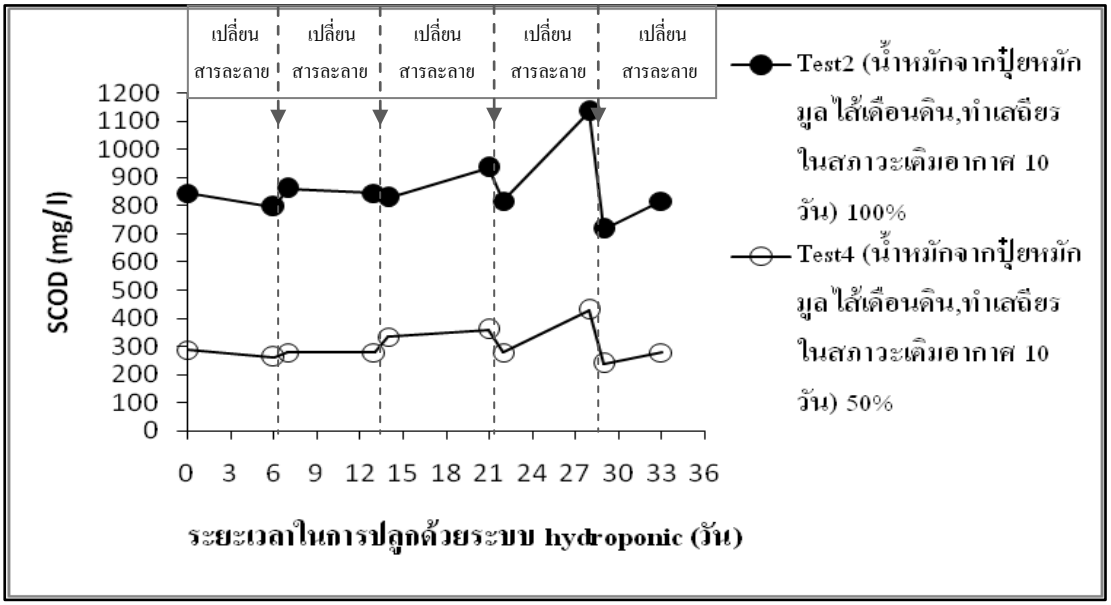
ในชุดการทดลองที่มีการใช้ในความเข้มข้น 50% พบแนวโน้มค่า SCOD ที่มีแนวโน้มต่ำลงเล็กน้อยในช่วง 6 วัน ของการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย ตลอดระยะเวลาของการปลูก 21 วัน และหลังจากนั้นพบแนวโน้มของค่า SCOD ที่เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย โดยผลจากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ปลูก พบลักษณะที่สอดคล้องกันโดยชุดควบคุมทั้ง 2 (ใช้น้ำเปล่าและปุ๋ยเคมี) มีลักษณะความขุ่น และสารแขวนลอยที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วง 6 วัน ของการปลูก ส่วนชุดการทดลองที่มีการใช้สารละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ความเข้มข้น 100% พบลักษณะของความขุ่น และมีสารแขวนลอยที่เพิ่มสูงขึ้นในแต่ละรอบของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายตลอดระยะเวลาของการปลูก (ผลจากการสังเกตในขณะการทดลอง) และในชุดการทดลองที่มีการใช้ในความเข้มข้น 50% มีลักษณะความขุ่น และสารแขวนลอยที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในแต่ละรอบของการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย ทั้งนี้การลดลงของค่า SCOD ที่เกิดขึ้นอาจเป็นผลมาจากปฏิกริยาการย่อยสลายทางชีวภาพจากกิจกรรมของแบคทีเรีย โดยการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (ความขุ่น สารแขวนลอยที่เพิ่มสูงขึ้น) มีการใช้สารอินทรีย์เพื่อการเจริญเติบโต ส่งผลให้ค่า SCOD มีค่าลดลง และสำหรับการเพิ่มขึ้นของค่า SCOD ที่เกิดขึ้น อาจเป็นผลมาจากปฏิกริยาการย่อยสลายทางชีวภาพที่ลดลง โดยเซลล์แบคทีเรียมีการตาย และเกิดการย่อยเซลล์ตัวเอง และมีการชะออกของสารอินทรีย์จากเซลล์ของแบคทีเรียที่ตายเหล่านั้น ส่งผลให้ค่า SCOD เพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่า SCOD ที่เกิดขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษาของอรอนงค์ โพธิ์แป้น (2552) โดยค่า SCOD จะลดลงจากการที่จุลินทรีย์นำสารอินทรีย์ไปใช้และ SCOD เพิ่มขึ้นเกิดจากการชะออกของสารอินทรีย์จากเซลล์จุลินทรีย์ที่ตาย



ก) ผล SCOD ในน้ำและสารละลายของชุดควบคุม (น้ำเปล่าและปุ๋ยเคมี)



ข. ผล SCOD ในชุดทดลอง Test 1 และ Test 3 (ที่ใช้น้ำที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 60 นาที ที่ความเข้มข้น 100% และ 50%)



ค. ผล SCOD ในชุดทดลอง Test 2 และ Test 4 (ที่ใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ถูกทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน ที่ความเข้มข้น 100% และ 50%)

ภาพที่ 43 การเปลี่ยนแปลงของ SCOD ในสารละลายที่ใช้ปลูกผักกาดหอมในระหว่างการทดลอง

2. สารละลายธาตุอาหารในขณะทดลองปลูกผักกาดหอมในระบบ hydroponic

2.1 ปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ของสารละลายธาตุอาหารในขณะทดลองปลูก

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจน (TKN) ในสารละลายธาตุอาหาร (กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C) ในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในแต่ละรอบตลอดระยะเวลาในการทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic ดังแสดงในตารางที่ 26 ซึ่งพบว่าชุดการทดลอง Control 1 (น้ำเปล่า), Control 2 (ปุ๋ยเคมี), Test 1 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%), Test 2 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 100%), Test 3 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%) และ Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%) มีค่าปริมาณไนโตรเจน (TKN) อยู่ในช่วง 0.99-1.57 mg/l, 31.39-43.40 mg/l, 13.97-17.75 mg/l, 29.61-38.40 mg/l, 4.30-10.42 mg/l และ 10.54-17.77 mg/l ตามลำดับ อนึ่งค่า TKN ของชุดควบคุม 2 จะพบว่ามีค่าต่ำกว่า TN ตามสูตรที่กำหนด (TN = 200 mg/l) ทั้งนี้ด้วยปุ๋ยเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่มีรูป N ในเทอมของ NO_3^--N ซึ่งอยู่ในรูป N ที่พืชสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี

การรายงานของ Jones (1997) ระบุว่าปริมาณไนโตรเจนที่มีค่าเท่ากับ 200 mg/l เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอมในระบบ hydroponic ทั้งนี้การวิเคราะห์ไนโตรเจนของสารละลายธาตุอาหารที่ทำการวิเคราะห์ในครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ในรูป TKN (ซึ่งไม่รวมค่า NO_3^--N) จึงเป็นผลให้ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ของแต่ละชุดการทดลองมีค่าน้อยกว่าค่าความเหมาะสมของไนโตรเจนที่ใช้ปลูกผักกาดหอม ซึ่งหากพิจารณาไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรงจะอยู่ในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-) (โสระยา ร่วมรังษี, 2544) ทั้งนี้หากทำการคำนวณปริมาณไนโตรเจนของชุด Control 2 (ปุ๋ยเคมี) ตามสูตรปุ๋ยเคมี และปริมาณที่ใช้ในการเป็นสารละลายธาตุอาหาร (ตามสูตรปุ๋ยเคมีในการปลูกผักสลัดที่แสดงในภาคผนวก ก) พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนในรูป NO_3^--N ที่คำนวณได้เท่ากับ 250 mg/l เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเหมาะสมของไนโตรเจนที่ใช้ปลูกผักกาดหอมในระบบ hydroponic พบว่าเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนที่สูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ และสูงกว่าค่าความเหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอม ทั้งนี้ผลจากการทดลองหากพิจารณาความสำคัญของไนโตรเจนในการเจริญเติบโตของผักกาดหอม จากการรายงานของอภิชาต ศรีสะอาด และอัมพา คำวงษา (2553) พบว่าไนโตรเจนมีส่วนสำคัญในการเพิ่มคุณภาพเพราะเป็นตัวทำให้ผักมีลักษณะอวบน้ำ พืชผักที่รับประทานต้นหรือใบจึงมีความต้องการไนโตรเจนที่สูง เพื่อให้ต้นและใบมีความกรอบมีกากหรือเส้นใยน้อย ซึ่งพืชที่ได้รับไนโตรเจน

เพียงพอจะเจริญเติบโตดี และมีใบสีเขียวเข้ม ซึ่งสอดคล้องกับผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในชุดการทดลอง Control 2 (ปุ๋ยเคมี) ที่มีการเจริญเติบโตที่ดี ดังข้อมูลที่จะกล่าวในลำดับต่อไป

ตารางที่ 26 ปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ในสารละลายธาตุอาหารในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในแต่ละรอบขณะทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic

ชุดการทดลอง	รายละเอียด	TKN (mg/l)				
		1 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
Control 1	น้ำเปล่า	0.99	1.12	1.57	1.41	1.24
Control 2	ปุ๋ยเคมี	43.40	35.78	31.39	32.30	38.92
Test 1	น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%	13.02	11.97	17.75	14.11	17.21
Test 2	น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 100%	28.74	36.67	32.26	38.40	29.61
Test 3	น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%	5.60	4.30	10.42	10.42	8.07
Test 4	น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%	15.61	16.81	17.77	16.45	10.54

2.2 ปริมาณฟอสฟอรัสของสารละลายธาตุอาหารในขณะทดลองปลูก

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหาร (กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C) ในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในแต่ละรอบขณะทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic พบว่ามีความเข้มข้นของปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 27 โดยชุดการทดลอง Control 2 (ปุ๋ยเคมี) มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 51.96-56.38 mg/l รองลงมาคือชุดการทดลอง Test 1 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%), Test 2 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 100%), Test 3 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%) และ Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%) มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 18.35-32.50 mg/l, 17.91-27.86 mg/l, 8.18-12.60 mg/l และ 5.53-9.51 mg/l ตามลำดับ

การรายงานของ Jones (1997) ในด้านปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในการปลูกด้วยระบบ hydroponic นั้น ระบุว่าควรมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส เท่ากับ 50 mg/l ทั้งนี้การคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสของชุด Control 2

(ปุ๋ยเคมี) ตามสูตรปุ๋ยเคมี และปริมาณที่ใช้ในการเป็นสารละลายธาตุอาหาร (ตามสูตรปุ๋ยเคมีในการปลูกผักสลัดที่แสดงในภาคผนวก ก) พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัส ที่คำนวณได้เท่ากับ 60 mg/l เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเหมาะสมของปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ปลูกผักกาดหอมในระบบ hydroponic พบว่า มีเพียงชุดการทดลอง Control 2 ที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอยู่ในช่วงความต้องการในการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ทั้งนี้ฟอสฟอรัสมีหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายเทพลังงานและในแง่ของการเจริญเติบโตของพืช ฟอสฟอรัสทำให้การแบ่งเซลล์และการพัฒนาของส่วนที่เจริญเติบโตของพืช (ยอดและราก) เป็นไปได้ดี ซึ่งสำหรับพืชผักโดยเฉพาะระยะแรกๆ ของการเจริญเติบโต ฟอสฟอรัสทำให้พืชตั้งตัวได้เร็ว อีกทั้งยังมีส่วนทำให้พืชผักเก็บเกี่ยวได้เร็ว และมีรสชาติดีขึ้นด้วย (อภิชาต ศรีสะอาด และอัมพา คำวงษา, 2553)

ตารางที่ 27 ปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในแต่ละรอบขณะทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic

ชุดการทดลอง	รายละเอียด	P (mg/l)				
		1 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
Control 1	น้ำเปล่า	0.44	0.66	0.44	1.11	0.66
Control 2	ปุ๋ยเคมี	56.38	54.83	51.96	55.05	54.39
Test 1	น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%	32.06	32.50	25.43	18.35	19.24
Test 2	น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 100%	23.22	17.91	18.13	22.33	27.86
Test 3	น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%	12.60	11.94	9.07	8.18	8.84
Test 4	น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%	7.96	5.53	5.97	8.40	9.51

2.3 ปริมาณโพแทสเซียมของสารละลายธาตุอาหารในขณะทดลองปลูก

โพแทสเซียมมีหน้าที่สำคัญทั้งในเชิงสรีรวิทยาและชีวเคมี เช่น การเติบโตของเนื้อเยื่อเจริญ กระบวนการสังเคราะห์แสง การเคลื่อนย้ายอาหารต่างๆ เป็นต้น (Muckle, 1995) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหาร (กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C) ในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในแต่ละรอบขณะทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic พบความเข้มข้นของปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 28 โดยชุดการทดลอง Test 2 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ

10 วัน เข้มข้น 100%) มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงที่สุด มีค่าอยู่ในช่วง 336-427 mg/l รองลงมาคือชุดการทดลอง Test 1 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%), Control 2 (ปุ๋ยเคมี), Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%), Test 3 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%) ซึ่งมีค่าปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 272-419 mg/l, 161-266 mg/l, 104-204 mg/l และ 84-158 mg/l ตามลำดับ

การรายงานของ Jones (1997) ในด้านปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในการปลูกด้วยระบบ hydroponic นั้น ระบุว่าควรมีความเข้มข้นของโพแทสเซียม เท่ากับ 300 mg/l ทั้งนี้การคำนวณปริมาณโพแทสเซียมของชุด Control 2 (ปุ๋ยเคมี) ตามสูตรปุ๋ยเคมี และปริมาณที่ใช้ในการเป็นสารละลายธาตุอาหาร (ตามสูตรปุ๋ยเคมีในการปลูกผักสลัดที่แสดงในภาคผนวก ก) พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมที่คำนวณได้เท่ากับ 304 mg/l เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเหมาะสมของปริมาณโพแทสเซียมที่ใช้ปลูกผักกาดหอมในระบบ hydroponic พบว่าชุดการทดลอง Control 2 มีปริมาณโพแทสเซียมที่อยู่ในช่วงความต้องการในการเจริญเติบโตของผักกาดหอม และชุดการทดลอง Test 1, Test 2 (มีการใช้น้ำที่ละลายได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนและน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ความเข้มข้น 100%) ส่วนใหญ่มีปริมาณโพแทสเซียมที่อยู่ในระดับค่าความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ส่วนชุดการทดลอง Test 3, Test 4 (มีการใช้น้ำที่ละลายได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนและน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ความเข้มข้น 50%) มีปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าความต้องการในการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

ตารางที่ 28 ปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในแต่ละรอบขณะทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic

ชุดการทดลอง	รายละเอียด	K (mg/l)				
		1 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
Control 1	น้ำเปล่า	2	1	1	2	2
Control 2	ปุ๋ยเคมี	161	266	189	212	226
Test 1	น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%	326	309	353	419	272
Test 2	น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 100%	336	362	357	427	375
Test 3	น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%	158	141	145	84	91
Test 4	น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%	125	111	204	150	104

2.4 ปริมาณโลหะหนักในสารละลายธาตุอาหารในขณะทดลองปลูก

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในรูป Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn และ As ของสารละลายธาตุอาหาร (กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C) ในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายแต่ละรอบผสมรวม 5 รอบ มาผสมตามสัดส่วนต่อปริมาตรที่เท่ากัน และสารละลายธาตุอาหารในช่วงสิ้นสุดของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายแต่ละรอบผสมรวม 5 รอบ มาผสมตามสัดส่วนต่อปริมาตรที่เท่ากัน ในขณะทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic ตลอดระยะเวลาในการปลูก 33 วัน พบว่าสารละลายธาตุอาหารในการทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic ของชุดการทดลองที่ใช้สารละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ความเข้มข้น 100% และ 50% พบว่า มีค่าโลหะหนักในรูป Cd, Cr, Cu, Pb, Hg และ As ที่น้อยกว่าชุดการทดลอง Control 2 ที่มีการใช้ปุ๋ยเคมี แต่จะมีค่า Zn ของแต่ละชุดทดลองที่สูงกว่าชุดการทดลอง Control 2 (ปุ๋ยเคมี) ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในเบื้องต้นมีปริมาณโลหะหนักในรูป Zn สูงกว่าโลหะหนักในรูปอื่นๆ แต่ยังถือได้ว่ามีปริมาณโลหะหนักอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งไม่แตกต่างจากปริมาณโลหะหนักในการทดสอบการละลายและการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในเบื้องต้น ซึ่งปริมาณโลหะหนักในสารละลายธาตุอาหารในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย และในช่วงสิ้นสุดการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย ในขณะทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic แสดงดังตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ปริมาณโลหะหนักในสารละลายธาตุอาหารที่ผสมรวม 5 รอบในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย และผสมรวม 5 รอบในช่วงสิ้นสุดการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย ในขณะทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic

ชุดการทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)						
	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Zn	As
สารละลายก่อนปลูก							
Control 1	<0.001*	0.001	0.09	0.004	<0.001*	0.003	0.374
Control 2	0.001	0.009	1.921	0.014	<0.001*	0.016	3.858
Test 1	0.001	0.004	0.037	0.006	<0.001*	0.023	0.301
Test 2	0.001	0.003	0.057	0.005	<0.001*	0.027	0.222
Test 3	0.001	0.002	0.014	0.003	<0.001*	0.014	0.176
Test 4	0.001	0.002	0.031	0.004	<0.001*	0.026	0.206

ตารางที่ 29 ปริมาณโลหะหนักในสารละลายธาตุอาหารที่ผสมรวม 5 รอบในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย และผสมรวม 5 รอบในช่วงสิ้นสุดการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย ในขณะทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)						
	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Zn	As
สารละลายหลังปลูก							
Control 1	<0.001*	0.002	0.003	0.003	<0.001*	<0.001	0.105
Control 2	0.001	0.004	1.287	0.013	<0.001*	0.036	1.281
Test 1	0.001	0.002	0.043	0.005	<0.001*	0.017	0.180
Test 2	0.001	0.005	0.082	0.008	<0.001*	0.042	0.257
Test 3	0.001	0.002	0.026	0.008	<0.001*	0.007	0.170
Test 4	0.001	0.002	0.032	0.006	<0.001*	0.006	0.193

หมายเหตุ : * ต่ำกว่าค่า detection limit (0.001 mg/l)

Control 1 น้ำเปล่า Control 2 ปุ๋ยเคมี

Test 1 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%

Test 2 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 100%

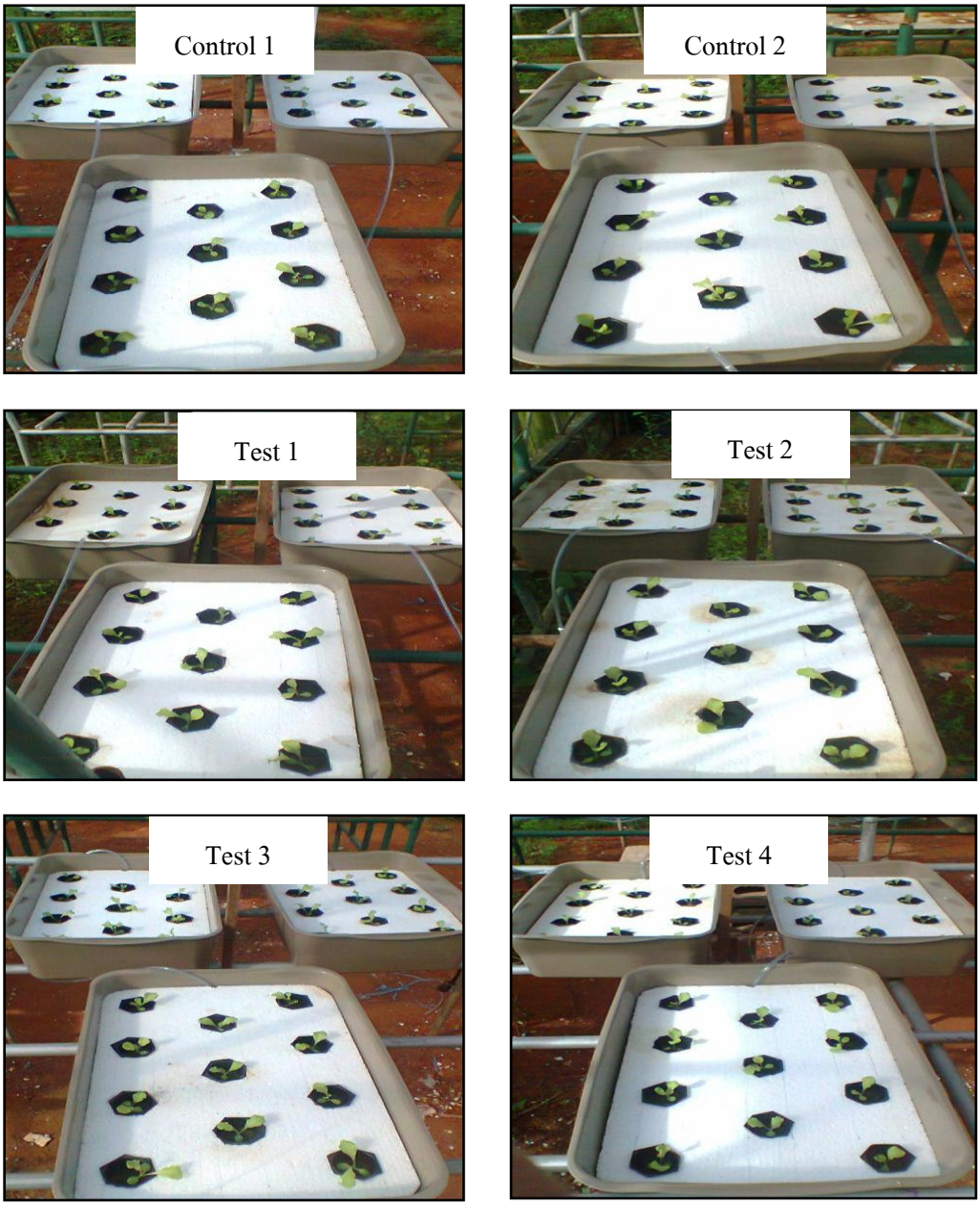
Test 3 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%

Test 4 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%

3. การเจริญเติบโตของผักกาดหอม

3.1 ลักษณะการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ทดสอบปลูกในระบบ hydroponic

จากการทดสอบการปลูกผักกาดหอมในระบบ hydroponic นั้น เมื่อระยะเวลาในการทดสอบผ่านไป 1, 7, 14, 21, 28 และ 33 วัน พบการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ดังแสดงในภาพที่ 44-49 และสามารถสรุปลักษณะการเจริญเติบโตที่เกิดขึ้นดังแสดงในตารางที่ 30



ภาพที่ 44 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมในช่วงเริ่มต้นปลูกในระบบ hydroponic (อายุ12 วัน ตั้งแต่การเริ่มเพาะเมล็ด)

โดยที่ Control 1 น้ำเปล่า

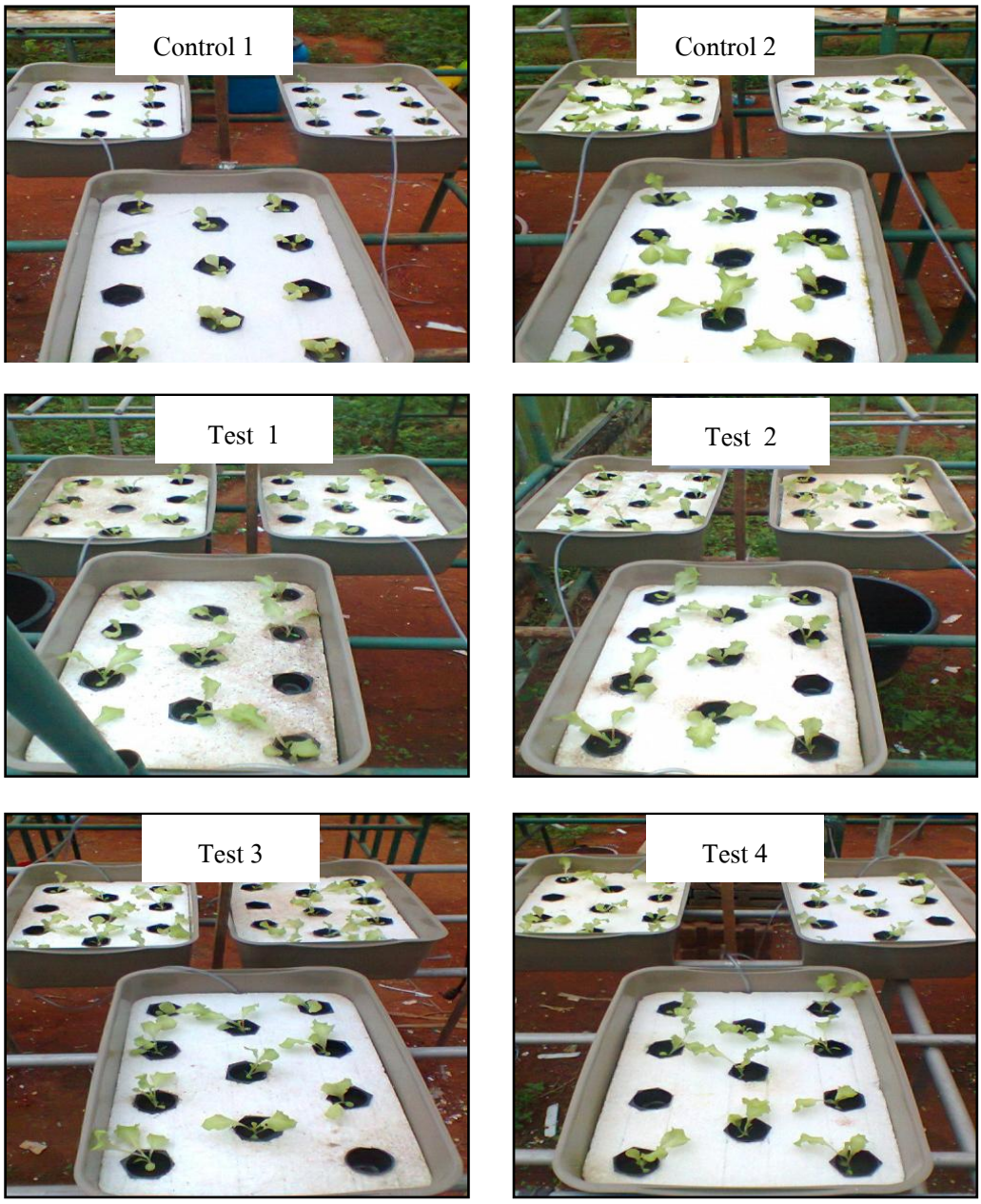
Control 2 ปุ๋ยเคมี

Test 1 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 100%

Test 2 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100%

Test 3 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ความเข้มข้น 50%

Test 4 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%



ภาพที่ 45 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมหลังปลูก 7 วัน ในระบบ hydroponic (อายุ 19 วันตั้งแต่การเริ่มเพาะเมล็ด)

โดยที่ Control 1 น้ำเปล่า

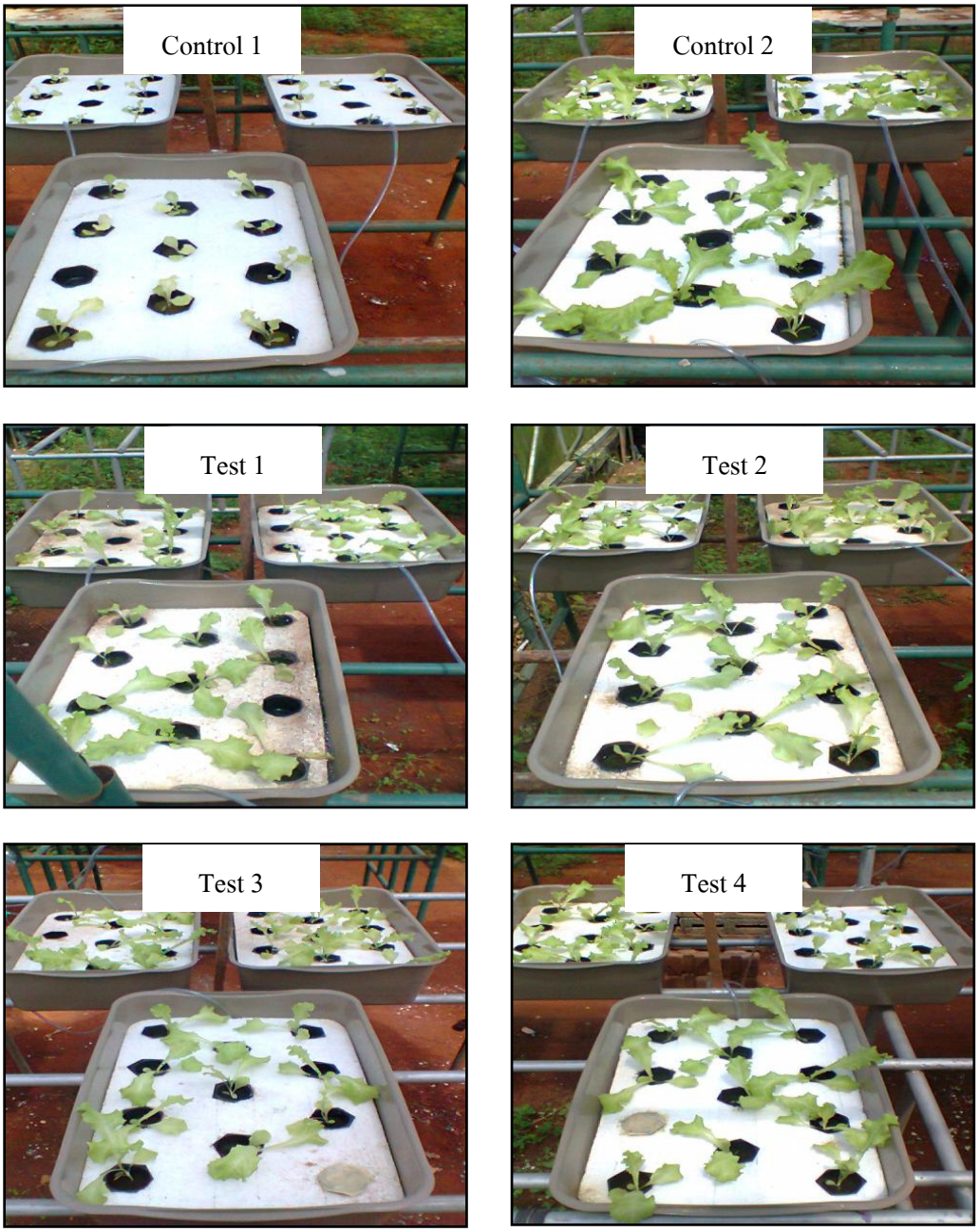
Control 2 ปุ๋ยเคมี

Test 1 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 100%

Test 2 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100%

Test 3 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ความเข้มข้น 50%

Test 4 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%



ภาพที่ 46 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมหลังปลูก 14 วัน ในระบบ hydroponic (อายุ 26 วันตั้งแต่การเริ่มเพาะเมล็ด)

โดยที่ Control 1 น้ำเปล่า

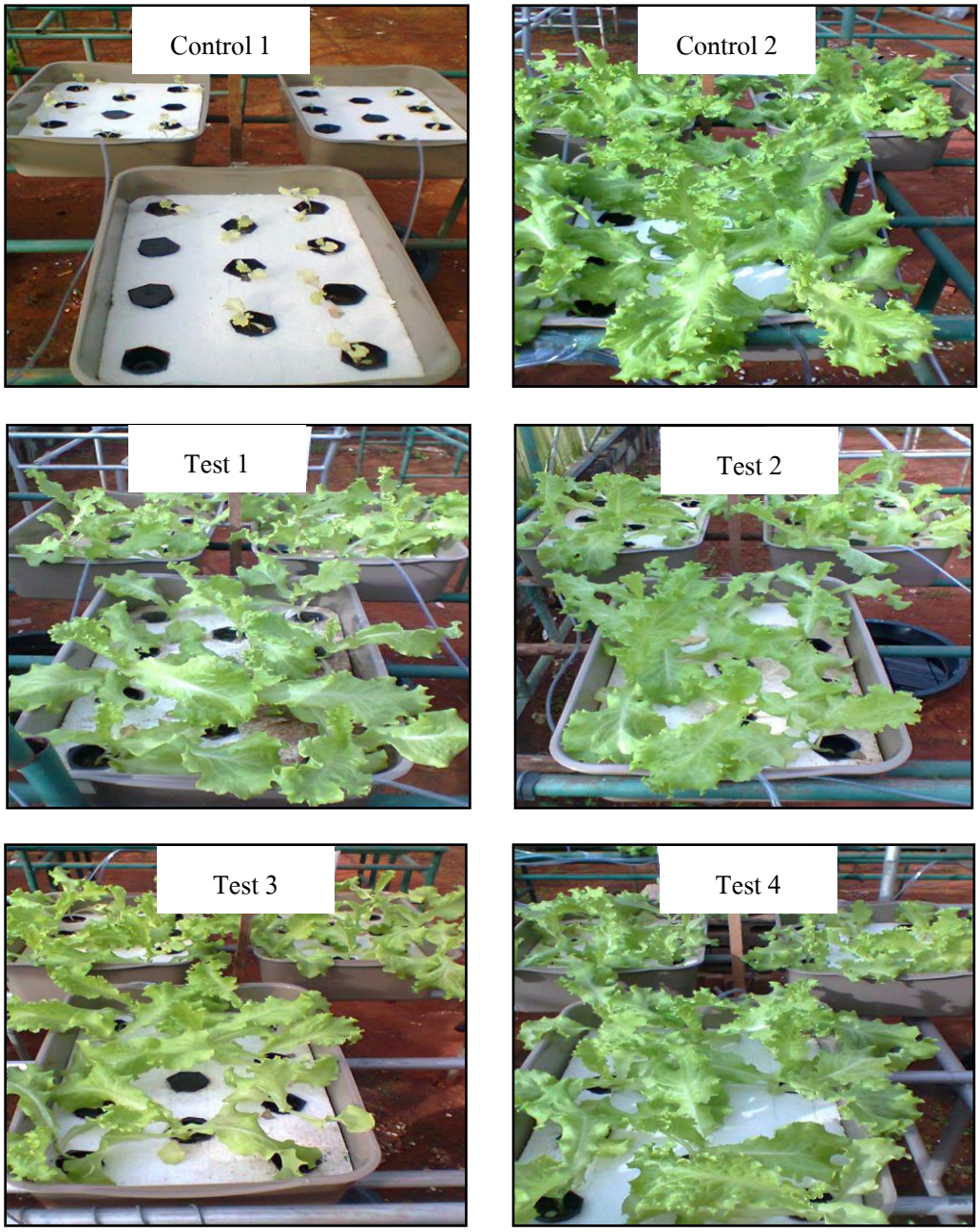
Control 2 ปุ๋ยเคมี

Test 1 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 100%

Test 2 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100%

Test 3 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ความเข้มข้น 50%

Test 4 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%



ภาพที่ 47 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมหลังปลูก 21 วัน ในระบบ hydroponic (อายุ 33 วันตั้งแต่การเริ่มเพาะเมล็ด)

โดยที่ Control 1 น้ำเปล่า

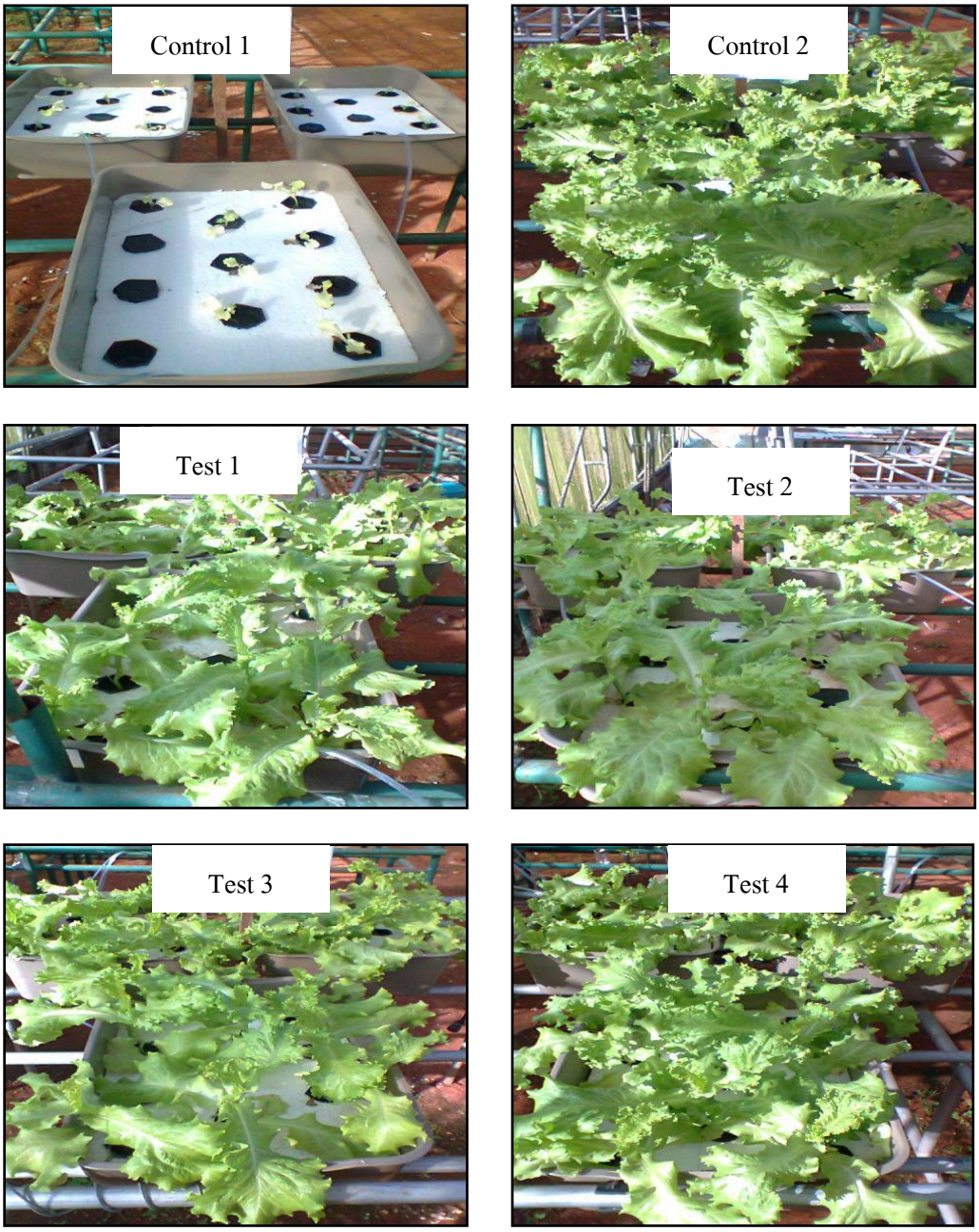
Control 2 ปุ๋ยเคมี

Test 1 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 100%

Test 2 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100%

Test 3 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ความเข้มข้น 50%

Test 4 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%



ภาพที่ 48 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมหลังปลูก 28 วัน ในระบบ hydroponic (อายุ 40 วันตั้งแต่การเริ่มเพาะเมล็ด)

โดยที่ Control 1 น้ำเปล่า

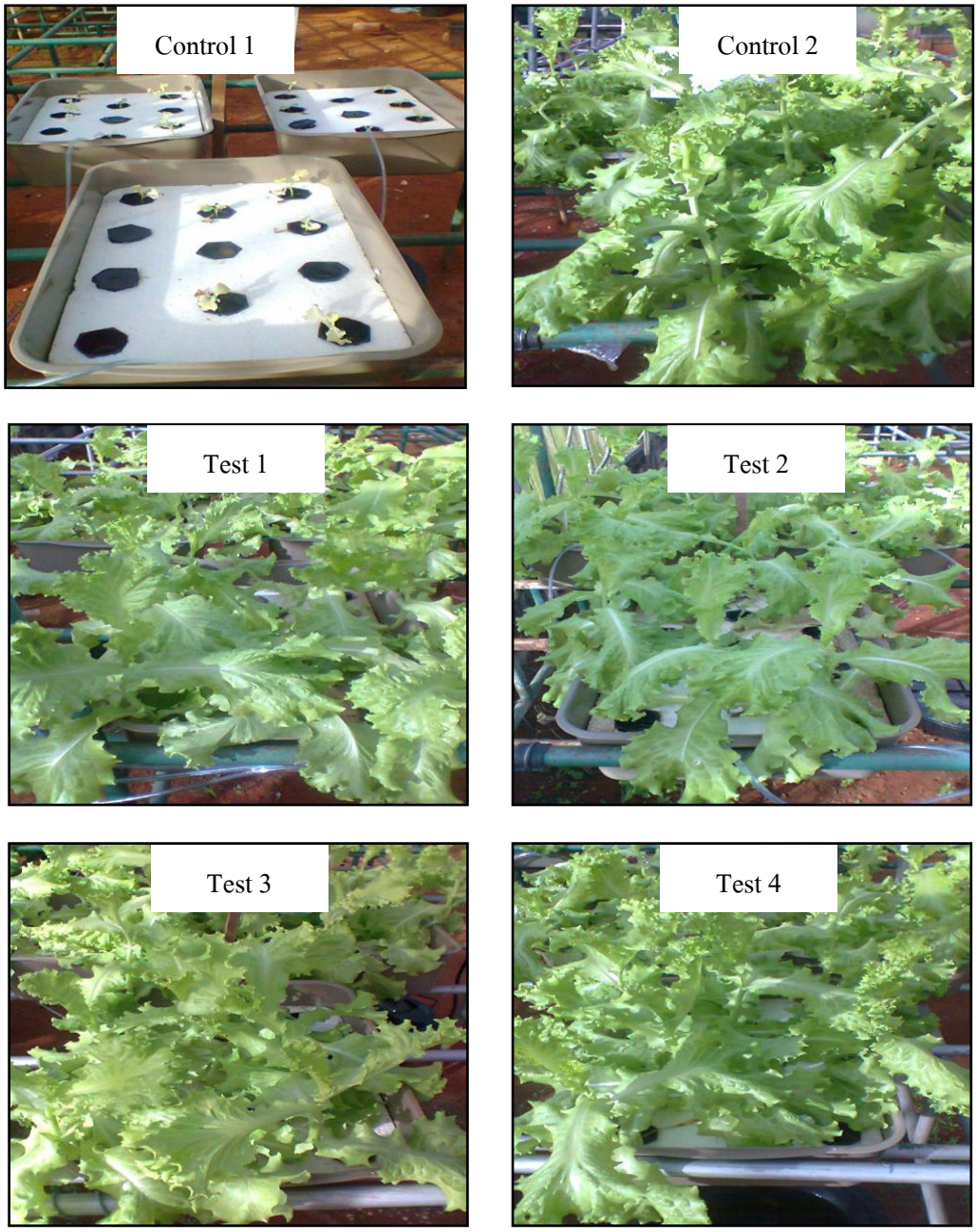
Control 2 ปุ๋ยเคมี

Test 1 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 100%

Test 2 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100%

Test 3 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ความเข้มข้น 50%

Test 4 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%



ภาพที่ 49 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมหลังปลูก 33 วัน ในระบบ hydroponic (อายุ 45 วันตั้งแต่การเริ่มเพาะเมล็ด)

โดยที่ Control 1 น้ำเปล่า

Control 2 ปุ๋ยเคมี

Test 1 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 100%

Test 2 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100%

Test 3 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ความเข้มข้น 50%

Test 4 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%

ตารางที่ 30 สรุปลักษณะการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ทดลองปลูกในระบบ hydroponic

ชุดการทดลอง	ลักษณะการเจริญเติบโต
Control 1 (น้ำเปล่า)	ผักกาดหอมไม่มีการเจริญเติบโต จะมีเฉพาะการเจริญเติบโตในด้านความสูงที่เริ่มมีความสูงที่สูงขึ้นในช่วง 7 วันแรกของการปลูกในระบบ hydroponic หลังจากนั้นในช่วง 7-21 วันมีความสูงที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยลักษณะของผักกาดหอมที่พบจะมีลำต้น แคระเกร็น ใบสีเหลืองซีด
Control 2 (ปุ๋ยเคมี)	พบการเจริญเติบโตของผักกาดหอมทั้งในด้านความสูง ใบ โดยจะมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการปลูก และการเจริญเติบโตสูงสุดในช่วง 14-28 วัน ลักษณะใบสีเขียวเข้ม
Test 1 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 100%)	การเจริญเติบโตของผักกาดหอมบางส่วนที่มีลักษณะชะงักการเจริญเติบโต (ใบล่างสุดของผักกาดหอม แสดงอาการเฉา และต้นพืชจะมีการเหี่ยว หลังจากนั้นมีการฟื้นตัวแต่การเจริญเติบโตจะด้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ) โดยจะพบผักกาดหอมที่มีใบของผักกาดหอมเหี่ยวเฉาลงหลังจากการเปลี่ยนสารละลายน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในระยะ 1-3 วันของการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย แต่สำหรับการเจริญเติบโตโดยภาพรวม พบว่ามีการเจริญเติบโตที่สูงสุดในช่วง 14-33 วันของการทดสอบการปลูก ลักษณะใบสีเขียวสด แต่สีอ่อนกว่าชุดทดลอง Control 2 และ Test 2
Test 2 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100%)	พบการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่สูงสุดในช่วง 14-33 วันของการทดสอบการปลูก ทั้งนี้ยังคงพบลักษณะการชะงักการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่เกิดขึ้นหลังจากการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในช่วง 1-3 วัน แต่จะพบน้อยกว่าชุด Test 1 (ใบล่างสุดของผักกาดหอม แสดงอาการเฉา และต้นพืชจะมีการเหี่ยว หลังจากนั้นมีการฟื้นตัว) ลักษณะสีของใบจะมีสีเขียวสดมากกว่าชุดทดลอง Test 1, Test 3 และ Test 4 แต่สีใบอ่อนกว่าชุด Control 2
Test 3 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 50%)	พบการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่สูงสุดในช่วง 14-33 วันของการทดสอบการปลูก ลักษณะใบสีเขียวสด แต่สีใบอ่อนกว่าชุด Test 4
Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%)	พบการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่สูงสุดในช่วง 14-33 วันของการทดสอบการปลูก ลักษณะใบสีเขียวสด แต่สีใบอ่อนกว่าชุด Control 2, Test 2 และ Test 1 แต่สีเข้มกว่าชุด Test 3

3.2 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมในด้านความสูงที่ทดสอบปลูกในระบบ hydroponic

ผลการวัดความสูงของผักกาดหอมที่เกิดขึ้นในตลอดช่วงระยะเวลาของการปลูกในระบบ hydroponic พบความสูงเฉลี่ยและอัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงเฉลี่ยต่อวัน แสดงดังตารางที่ 31 โดยพบว่า ชุดการทดสอบที่ให้ผลดีที่สุดในด้านการเพิ่มขึ้นของความสูงคือ ชุดการทดสอบ Control 2 (ปุ๋ยเคมี) ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดสอบ 33 วัน คือ 0.75 cm/ต้น/วัน และชุดการทดสอบที่ให้ผลดีรองลงมา คือ ชุดการทดสอบ Test 3 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 50%), Test 4 (น้ำหมักจากมูลไส้เดือนดิน ผ่านการทำเสถียรด้วยสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%), Test 2 (น้ำหมักจากมูลไส้เดือนดิน ผ่านการทำเสถียรด้วยสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100%), Test 1 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 100%) และ control 1 (น้ำเปล่า) ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดสอบ 33 วัน คือ 0.57 cm/ต้น/วัน, 0.52 cm/ต้น/วัน, 0.51 cm/ต้น/วัน, 0.47 cm/ต้น/วัน และ 0.03 cm/ต้น/วัน ตามลำดับ

ตารางที่ 31 ความสูงเฉลี่ยและอัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงของผักกาดหอมตลอดช่วงระยะเวลาของการปลูกในระบบ hydroponic

ชุดการทดลอง	ความสูงเริ่มต้น (cm/ต้น)	ความสูงเฉลี่ยตามระยะเวลาที่ปลูกในระบบ hydroponic (cm/ต้น) ± SD					อัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงเฉลี่ย (cm/ต้น/วัน)
	1 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	33 วัน	ช่วง 1-33 วัน
Control 1	3.6±0.41	4.1±0.42	4.3±0.44	4.3±0.47	4.4±0.54	4.4±0.56	0.03
Control 2	3.7±0.54	5.2±0.73	6.4±1.31	12.5±1.51	25.5±2.68	28.5±2.81	0.75
Test 1	3.5±0.43	5.1±0.85	5.4±0.84	9.2±1.59	15.1±3.04	19.2±2.95	0.47
Test 2	3.9±0.66	5.4±0.83	5.8±0.59	10.9±1.36	15.6±1.96	20.7±2.78	0.51
Test 3	3.9±0.42	5.1±0.54	5.5±0.68	10.7±1.30	17.0±1.85	22.7±1.92	0.57
Test 4	3.6±0.56	4.7±0.82	5.2±0.82	9.3±1.28	15.8±1.83	20.8±1.90	0.52

หมายเหตุ : Control 1 น้ำเปล่า Control 2 ปุ๋ยเคมี

Test 1 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 100%

Test 2 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100%

Test 3 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ความเข้มข้น 50%

Test 4 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%

3.3 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมในด้านจำนวนใบที่ทดสอบปลูกในระบบ hydroponic

ผลจากการทดสอบการนับจำนวนใบของผักกาดหอมที่เกิดขึ้นในตลอดช่วงระยะเวลาของการปลูกในระบบ hydroponic พบจำนวนใบเฉลี่ยและอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบเฉลี่ยต่อวัน แสดงดังตารางที่ 32 โดยพบว่าชุดการทดสอบที่ให้ผลดีที่สุดในด้านการเพิ่มขึ้นจำนวนใบ คือ ชุดการทดสอบ Control 2 (ปุ๋ยเคมี) ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดสอบ 33 วัน คือ 0.30 ใบ/ต้น/วัน และชุดการทดสอบที่ให้ผลดีรองลงมา คือ ชุดการทดสอบ Test 3 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 50%), Test 4 (น้ำหมักจากมูลไส้เดือนดิน ผ่านการทำเสถียรด้วยสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%), Test 1 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 100%), Test 2 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ผ่านการทำเสถียรด้วยสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100%), และ control 1 (น้ำเปล่า) ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดสอบ 33 วัน คือ 0.21 ใบ/ต้น/วัน, 0.20 ใบ/ต้น/วัน, 0.19 ใบ/ต้น/วัน, 0.18 ใบ/ต้น/วัน และ 0.03 ใบ/ต้น/วัน ตามลำดับ และจะเห็นได้ว่าผลของการเจริญเติบโตในด้านจำนวนใบให้ผลที่คล้ายคลึงกับประเด็นความสูงที่ศึกษา

ตารางที่ 32 จำนวนใบเฉลี่ยและอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบของผักกาดหอมตลอดช่วงระยะเวลาของการปลูกในระบบ hydroponic

ชุดการทดลอง	จำนวนใบเริ่มต้น (ใบ/ต้น)	จำนวนใบเฉลี่ยตามระยะเวลาที่ปลูกในระบบ hydroponic (ใบ/ต้น) ± SD					อัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น/วัน)
	1 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	33 วัน	ช่วง 1-33
Control 1	2.00±0.00	2.76±0.44	3.07±0.78	3.04±0.75	2.95±0.69	2.95±0.69	0.03
Control 2	2.00±0.00	3.39±0.50	6.07±0.73	7.00±0.98	11.52±1.54	11.95±1.36	0.30
Test 1	2.00±0.00	3.03±0.39	4.41±1.12	5.75±0.90	7.90±1.55	8.29±1.27	0.19
Test 2	2.00±0.00	3.12±0.33	4.81±0.74	5.75±0.61	7.62±1.24	7.90±1.22	0.18
Test 3	2.00±0.00	3.06±0.24	5.30±0.72	5.75±0.44	8.62±1.24	8.86±1.06	0.21
Test 4	2.00±0.00	3.00±0.00	5.26±0.76	5.92±0.72	8.43±1.43	8.62±1.24	0.20

หมายเหตุ : Control 1 น้ำเปล่า Control 2 ปุ๋ยเคมี

Test 1 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 100%

Test 2 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100%

Test 3 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ความเข้มข้น 50%

Test 4 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%

3.4 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมในด้านน้ำหนักที่ทดสอบปลูกในระบบ hydroponic

เมื่อนำผักกาดหอมในการทดสอบก่อนปลูกและหลังปลูก ซึ่งเป็นระยะเวลาในการทดสอบปลูกวันที่ 1 ก่อนการทดสอบ และ 33 วัน หลังการทดสอบ มาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (%MC) ปริมาณน้ำหนักสด ปริมาณน้ำหนักแห้ง ปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) และปริมาณเถ้า ซึ่งผลจากการศึกษาแสดงข้อมูลได้ดังตารางที่ 33 ส่วนรายละเอียดของการศึกษาสามารถแสดงได้ดังนี้ คือ

3.4.1 ปริมาณความชื้น

ผลจากการศึกษาในด้านปริมาณความชื้นของผักกาดหอมที่ทดลองปลูกในระบบ พบว่า ผักกาดหอมก่อนการปลูกในระบบ hydroponic มีปริมาณความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 94.30 และหลังจากการทดลอง 33 วัน พบว่าผักกาดหอมมีความชื้นของแต่ละชุดการทดลองอยู่ในช่วงร้อยละ 93.92-95.66 ซึ่งผลจากการศึกษาสอดคล้องกับการรายงานของ สมภพ ฐิตะวสันต์ (2537) ซึ่งระบุว่าพืชผักหลายชนิดมีน้ำประกอบอยู่ไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับผักกาดหอมนั้นมีน้ำประกอบอยู่ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์

3.4.2 ปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง

ผลจากการศึกษาในด้านปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมในการทดสอบด้วยระบบ hydroponic ในด้านของน้ำหนักสดพบว่าชุดการทดลอง Control 2 มีปริมาณน้ำหนักสดภายหลังสิ้นสุดการทดลองสูงที่สุดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.10 กรัม/ต้น ซึ่งคิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดต่อวันเท่ากับ 1.73 กรัม/ต้น/วัน รองลงมาคือ ชุด Test 2, Test 3, Test 4 และ Test 1 ซึ่งมีปริมาณน้ำหนักสดภายหลังสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 29.26, 28.16, 27.19 และ 22.42 กรัม/ต้น และจัดได้ว่ามีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดที่ใกล้เคียงกัน โดยคิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดต่อวันเท่ากับ 0.88, 0.85, 0.82 และ 0.68 กรัม/ต้น/วัน ตามลำดับ และในชุด control 1 ให้ผลต่ำสุด

สำหรับในด้านของน้ำหนักแห้ง พบว่ามีน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นหลังจากสิ้นสุดระยะเวลาในการปลูก โดยก่อนปลูกพบว่ามีค่าน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมอยู่ที่ 0.004 g/ต้น และหลังจากสิ้นสุดระยะเวลาการทดลอง พบว่าชุดการทดลอง Control 2 มีปริมาณน้ำหนักแห้งภายหลังสิ้นสุดการทดลองสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.41 กรัม/ต้น หรือคิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งต่อวันเท่ากับ 0.073 กรัม/ต้น/วัน รองลงมาคือชุดการทดลอง Test 4, Test 1, Test 2 และ Test 3 ซึ่งคิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 0.044, 0.041, 0.041 และ 0.038 กรัม/ต้น/วัน ตามลำดับ

3.4.3 ปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) และปริมาณเถ้า

ผลการทดสอบปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ของผักกาดหอมในช่วงก่อนปลูกและหลังปลูกในการปลูกด้วยระบบ hydroponic พบว่าผักกาดหอมในช่วงก่อนปลูกมีปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) เท่ากับ 71.89 % และหลังจากสิ้นสุดการทดลอง พบว่ามีปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ของแต่ละชุดการทดลองอยู่ในช่วง 72.97-83.46% โดยชุดการทดสอบ control 2 มีปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 83.46% รองลงมาคือชุดการทดลอง Test 4, Test 2, Test 3, Test 1 และ Control 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 79.80%, 78.69%, 78.19%, 78.02% และ 72.97% น้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งตรงกันข้ามกับปริมาณเถ้าที่มีแนวโน้มตรงกันข้ามกับของแข็งระเหยได้ (VS) โดยในช่วงก่อนการปลูกมีปริมาณเถ้าเท่ากับ 28.11% และหลังจากสิ้นสุดระยะเวลาในการปลูกมีปริมาณเถ้าในชุด Control 1 สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 27.03 และรองลงมาคือ Test 1, Test 3, Test 2, Test 4 และ Control 2 โดยมีค่าเท่ากับ 21.98%, 21.81%, 21.31%, 20.20% และ 16.54% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ อนึ่งสำหรับการเปรียบเทียบและอภิปรายผลการเจริญเติบโตจะได้มีการนำผลการศึกษาอื่นๆ มาเพื่ออภิปรายผลซึ่งจะได้กล่าวดังต่อไป

ตารางที่ 33 ปริมาณน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ของแข็งระเหยได้ และปริมาณเถ้าของผักกาดหอมที่ปลูกในสาระลายปุ๋ยสูตรต่างๆ ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบไฮโดรโปนิกส์

ชุดการทดสอบ	%MC	นน. สด เฉลี่ย (g/ต้น)	นน. แห้ง เฉลี่ย (g/ต้น)	ปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS, %)	ปริมาณเถ้า (%)	อัตราการเพิ่มของ นน. สด (g/ต้น/วัน)	อัตราการเพิ่มของ นน. แห้ง (g/ต้น/วัน)
พืชก่อนปลูก (1 วัน)	94.30	0.062	0.004	71.89	28.11	-	-
พืชหลังปลูก (33 วัน)							
Control 1	94.12	3.84±0.24	0.03±0.00	72.97	27.03	0.12	0.001
Control 2	95.66	57.10±0.29	2.41±0.47	83.46	16.54	1.73	0.073
Test 1	93.92	22.42±0.97	1.37±0.13	78.02	21.98	0.68	0.041
Test 2	95.44	29.26±1.66	1.34±0.40	78.69	21.31	0.88	0.041
Test 3	95.58	28.16±1.75	1.24±0.15	78.19	21.81	0.85	0.038
Test 4	94.56	27.19±0.57	1.46±0.29	79.80	20.20	0.82	0.044

หมายเหตุ : Control 1 น้ำเปล่า Control 2 ปุ๋ยเคมี

Test 1 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 100%

Test 2 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100%

Test 3 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ความเข้มข้น 50%

Test 4 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%

4. ปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักในผักกาดหอมที่ทดสอบปลูกในระบบ hydroponic

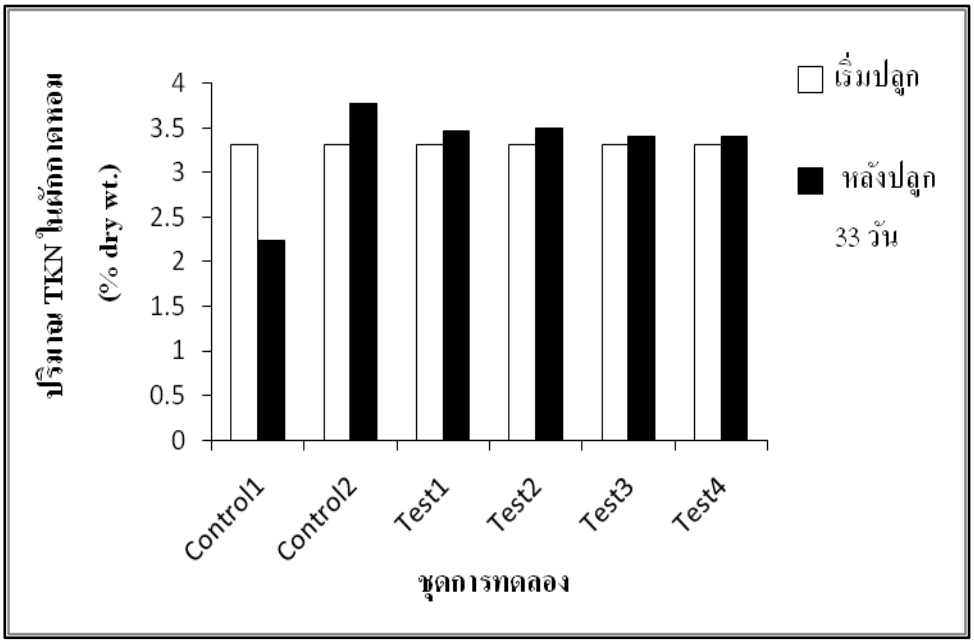
ผลจากการเก็บตัวอย่างพืชก่อนปลูก/หลังปลูก (33 วัน) มาทดสอบหา TKN, TP, TK และโลหะหนักในรูป Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn และ As ได้ผลดังแสดง คือ

4.1 ปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ของผักกาดหอม

ไนโตรเจนจัดได้ว่าเป็นธาตุที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับพืช พืชทุกชนิดมีความต้องการธาตุนี้ในปริมาณที่สูงเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ amino acids, amides, purine, pyrimidines, protein และ coenzymes อื่นๆ (เฉลิมพล แซมเพชร , 2542) ผลจากการศึกษาพบว่า ปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ของผักกาดหอมก่อนปลูกในระบบ hydroponic มีค่าเท่ากับ 3.31 % น้ำหนักแห้ง และหลังจากสิ้นสุดระยะเวลาการปลูกในระบบ hydroponic 33 วัน พบปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ของผักกาดหอมในชุดการทดลอง Control 2 (ปุ๋ยเคมี) สูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.77% น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือชุดการทดลอง Test 2 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 100%), Test 1 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%), Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%), Test 3 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%) และ Control 1 (น้ำเปล่า) โดยมีค่าเท่ากับ 3.50%, 3.46%, 3.40%, 3.40% และ 2.24% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยพบว่าชุดการทดลอง Control 1 ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่ใช้น้ำเปล่าเป็นชุดเปรียบเทียบในการทดลองปลูก ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ที่น้อยที่สุด และในชุดการทดลองนี้พบผักกาดหอมแสดงอาการใบซีดเหลือง โดยเริ่มแสดงอาการจากใบแก่ก่อน ซึ่งทำให้ใบเริ่มเหี่ยวเฉาลง ซึ่งต้นพืชจะมีอาการแคระแกรน และเติบโตช้า ทั้งนี้การรายงานของเฉลิมพล แซมเพชร (2542) ระบุว่าพืชจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบโดยเฉลี่ย 2-4 % (น้ำหนักแห้ง) หรืออาจสูงถึง 6% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแก่อ่อนและชนิดของพืช โดยการขาดไนโตรเจนจะทำให้จำกัดการแบ่งและขยายตัวของเซลล์ พืชที่ขาดไนโตรเจนจะมีผลทำให้เจริญเติบโตช้า แคระแกรน ใบมีสีเหลือง เพราะว่าการขาดไนโตรเจนมีผลไปยับยั้งการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ทำให้ใบแก่ร่วงหล่น เร็วยิ่งขึ้นทำให้ช่วงเวลามีอายุของใบสั้นลง ซึ่งมีผลกระทบต่อการสะสมน้ำหนักของเมล็ดหรือผลผลิตในที่สุด

อย่างไรก็ตามในการปลูกพืชไร้ดินแบบไฮโดรโปนิกส์ส่วนใหญ่จะมีการใช้ปุ๋ยเคมีที่ให้ธาตุไนโตรเจน ในรูป NO_3^--N เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช ทำให้มีโอกาสที่พืชผักจะมีการสะสมไนเตรทในปริมาณที่สูง ซึ่งสารไนเตรทเมื่อเข้าสู่ร่างกายเป็นสาเหตุของโรค Methemoglobinemia ของเด็กทารก และยังอาจเปลี่ยนแปลงเป็นไนโทรซามีน (nitrosamine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้ แม้ว่าไนเตรทจะมีการสลายตัวได้เมื่อพืชได้รับแสงแดดเต็มที่ โดยการ

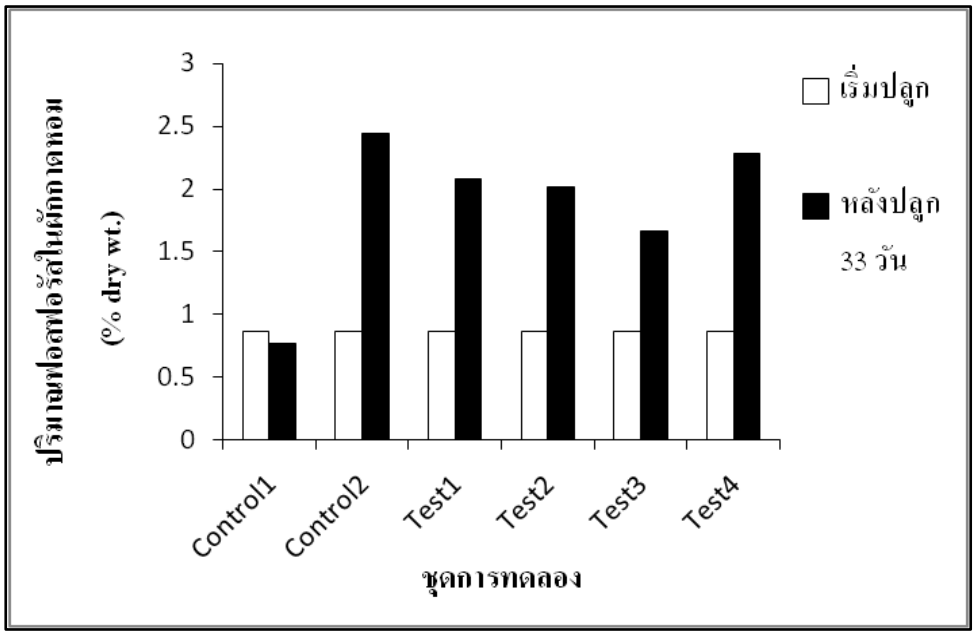
สังเคราะห์แสงของพืชทำให้ปริมาณการสะสมไนเตรทของพืชลดลง (อภิชาต ศรีสะอาด และอัมพา คำวงษา, 2553) แต่ทั้งนี้หากพิจารณาปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ของผักกาดหอมที่ปลูกโดยการใช้น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน พบว่าแม้ค่าความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้เป็นสารละลายในการปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic นั้นมีค่าความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ที่ต่ำ และต่ำกว่าค่า TN ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารละลายในการปลูกผักกาดหอม (ดังข้อมูลตารางที่ 26) แต่ยังคงมีศักยภาพที่ทำให้ผักกาดหอมสามารถเจริญเติบโตได้ อีกทั้งมีค่าปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ในผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ hydroponic ที่มีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนักกับผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ hydroponic โดยการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งการผลิตพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic ที่เป็นไปในด้านเกษตรธรรมชาติ หรือเกษตรอินทรีย์จะเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถสร้างพืช ผัก ที่ปลอดสารพิษได้อย่างแท้จริง โดยปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ที่เกิดขึ้นของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ hydroponic แสดงดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 ปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ของผักกาดหอมในช่วงเริ่มปลูกและหลังปลูก 33 วัน ด้วยระบบ hydroponic

4.2 ปริมาณฟอสฟอรัสในผักกาดหอม

ฟอสฟอรัสเป็นอีกธาตุหนึ่งที่พืชมีความต้องการในปริมาณที่สูง เช่นเดียวกับไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญที่เกี่ยวข้องกับพลังงานในพืช เช่น เป็นองค์ประกอบของ ADP และ ATP (adenosine di-and triphosphate), NAD, NADHP และยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับหน่วยของพันธุกรรม (DNA และ RNA) รวมทั้งเนื้อเยื่อของเซลล์ (phospholipids) (เฉลิมพล แซมเพชร , 2542) ผลจากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในผักกาดหอม แสดงดังภาพที่ 51 โดยพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสของผักกาดหอมก่อนปลูกในระบบ hydroponic มีค่าเท่ากับ 0.87% น้ำหนักแห้ง และหลังจากสิ้นสุดระยะเวลาการปลูกในระบบ hydroponic 33 วัน พบปริมาณฟอสฟอรัสของผักกาดหอมในชุดการทดลอง Control 2 (ปุ๋ยเคมี) สูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.44% น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือชุดการทดลอง Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%), Test 1 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%), Test 2 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 100%), Test 3 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%) และ Control 1 (น้ำเปล่า) โดยมีค่าเท่ากับ 2.28%, 2.09%, 2.01%, 1.67% และ 0.77% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

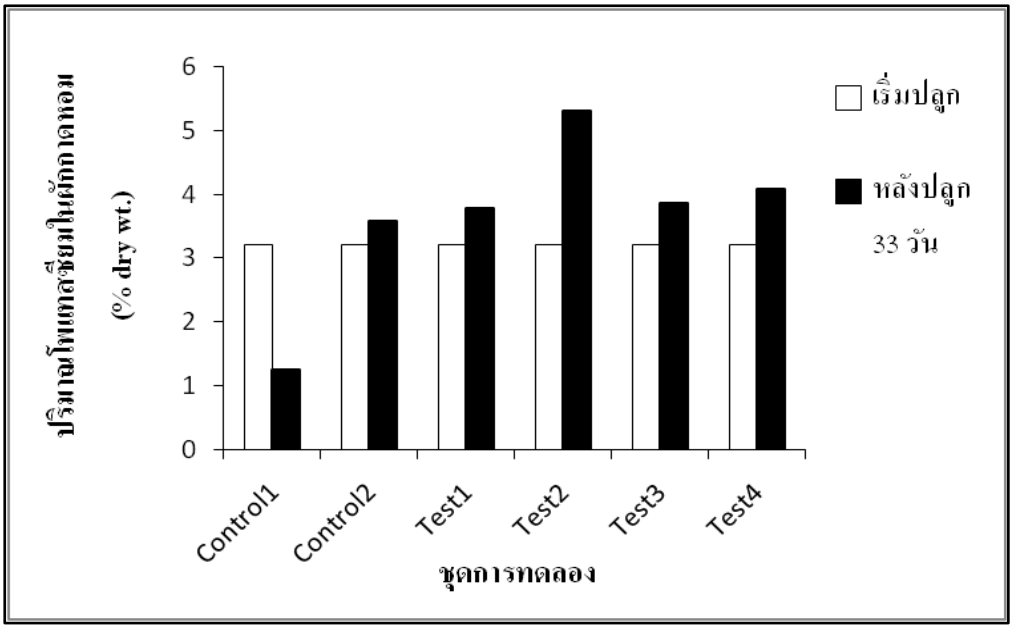


ภาพที่ 51 ปริมาณฟอสฟอรัสในผักกาดหอมในช่วงเริ่มปลูกและหลังปลูก 33 วัน ด้วยระบบ hydroponic

4.3 ปริมาณโพแทสเซียมในผักกาดหอม

โพแทสเซียมไม่ได้เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ในพืช แต่มีหน้าที่เกี่ยวกับการทำงานด้านสรีระวิทยาของพืช เป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต และการเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลในพืช อีกทั้งยังควบคุมการปิดเปิดของปากใบ และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ โดยในพืชผักรับประทานต้นและใบมีความต้องการโพแทสเซียมไม่น้อยกว่าไนโตรเจน เพราะเป็นธาตุที่ช่วยส่งเสริมคุณภาพ เช่น ผักกาดต่างๆ ที่รับประทานใบ ถ้าได้รับโพแทสเซียมเพียงพอจะไม่เฉาง่ายเมื่อตัดส่งตลาด จึงสดอยู่ได้นาน (อภิชาต ศรีสะอาด และอัมพา คำวงษา, 2553) ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมที่เกิดขึ้นในผักกาดหอม ดังแสดงในภาพที่ 52 โดยปริมาณโพแทสเซียมของผักกาดหอมก่อนปลูกในระบบ hydroponic มีค่าเท่ากับ 3.21% น้ำหนักแห้ง และหลังจากสิ้นสุดระยะเวลาการปลูกในระบบ hydroponic 33 วัน พบปริมาณโพแทสเซียมของผักกาดหอมในชุดการทดลอง Test 2 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 100%) สูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.31% น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือชุดการทดลอง Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%), Test 3 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%), Test 1 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%), Control 2 (ปุ๋ยเคมี) และ Control 1 (น้ำเปล่า) โดยมีค่าเท่ากับ 4.08%, 3.87%, 3.78%, 3.58% และ 1.26% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้พบปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่สูงในชุดที่มีการใช้น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ 60 นาที และน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน ความเข้มข้น 50% และ 100% ที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่สูงกว่าชุด Control 2 (ปุ๋ยเคมี)

ผลการศึกษาที่ได้ในครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลของปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ปลูกผักกาดหอมแบบ hydroponic (ดังข้อมูลแสดงในตาราง 35) และข้อมูลจากการรายงานของ Muckle (1995) ซึ่งระบุว่าปกติพืชจะไม่ดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมจนเกินความจำเป็น จึงไม่ค่อยพบอาการที่เกิดจากความเป็นพิษเนื่องจากธาตุโพแทสเซียม ทั้งนี้แสดงถึงการดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมของพืช นั่นคือแม้ว่าสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลองปลูกจะมีความเข้มข้นของปริมาณโพแทสเซียมที่สูง ก็ไม่ได้หมายความว่าพืชจะนำไปใช้ได้ทั้งหมด และในกรณีเดียวกันแม้ว่าชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของปริมาณโพแทสเซียมที่ต่ำ แต่พืชก็สามารถเจริญเติบโตได้ ดังข้อมูลที่สนับสนุนของค่าปริมาณโพแทสเซียมในชุดการทดลอง Test 3 และ Test 4 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน ที่ความเข้มข้น 50%) เปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ ส่วนใหญ่พบว่าแนวโน้มของปริมาณโพแทสเซียมในผักกาดหอมที่ปลูกไม่ได้แตกต่างกันมากนัก



ภาพที่ 52 ปริมาณโพแทสเซียมในผักกาดหอมในช่วงเริ่มปลูกและหลังปลูก 33 วัน ด้วยระบบ hydroponic

4.4 ปริมาณโลหะหนัก

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักกาดหอมที่ทดลองปลูกด้วยระบบ hydroponic ของชุดการทดลอง Control 1 (น้ำเปล่า), Control 2 (ปุ๋ยเคมี), Test 1 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 100%), Test 2 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 100%), Test 3 (น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 50%) และ Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศ 10 วัน เข้มข้น 50%) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปริมาณโลหะหนักตกค้างที่อนุญาตสูงสุดในผักสด ของมาตรฐานแห่งชาติสาธารณรัฐประชาชนจีน (2003) พบว่ามีปริมาณโลหะหนักในรูป Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn และ As ที่ผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐาน และมีปริมาณของโลหะหนักที่น้อยมาก ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 34

ตารางที่ 34 ปริมาณโลหะหนักในผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ hydroponic

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg wet wt.)						
	Cd	**Cr**	**Cu**	**Pb**	**Hg**	**Zn**	**As**
มาตรฐานโลหะหนัก*	0.2	0.5	10	0.1	0.01	20	0.5
พืชหลังปลูก							
Control 1	<0.001*	<0.002**	0.194	0.026	<0.001*	3.303	<0.02***
Control 2	0.006	0.002	0.568	0.069	<0.001*	4.791	<0.02***
Test 1	0.010	0.013	0.266	0.008	<0.001*	3.370	<0.02***
Test 2	0.010	0.005	0.421	0.071	<0.001*	7.238	<0.02***
Test 3	0.006	0.018	0.254	0.052	<0.001*	3.436	<0.02***
Test 4	0.006	<0.002**	0.278	0.015	<0.001*	3.348	<0.02***
ตัวอย่าง	**ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg dry wt.)**						
	Cd	**Cr**	**Cu**	**Pb**	**Hg**	**Zn**	**As**
พืชหลังปลูก							
Control 1	<0.017	<0.034	3.299	0.442	<0.017	56.173	<0.034
Control 2	0.138	0.046	13.088	1.590	<0.023	110.392	<0.046
Test 1	0.164	0.214	4.375	0.132	<0.016	55.428	<0.033
Test 2	0.152	0.076	6.418	0.108	<0.015	110.335	<0.030
Test 3	0.136	0.407	5.747	1.176	<0.023	77.738	<0.045
Test 4	0.110	<0.037	5.110	0.276	<0.018	61.544	<0.037

หมายเหตุ

*มาตรฐานโลหะหนักตกค้างที่อนุญาตสูงสุด (โดยน้ำหนักเปียก) ของมาตรฐานแห่งชาติสาธารณรัฐประชาชนจีน (2003)

* ต่ำกว่าค่า detection limit ของการวิเคราะห์ Hg และ Cd ที่ 0.001 mg/kg น้ำหนักเปียก

** ต่ำกว่าค่า detection limit ของการวิเคราะห์ Cr ที่ 0.002 mg/kg น้ำหนักเปียก

*** ต่ำกว่าค่า detection limit ของการวิเคราะห์ As ที่ 0.02 mg/kg น้ำหนักเปียก

Control 1 น้ำเปล่า

Control 2 ปุ๋ยเคมี

Test 1 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 100%

Test 2 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100%

Test 3 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ความเข้มข้น 50%

Test 4 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%

5. ประมวลสรุปผลการศึกษาการเติบโตและลักษณะของผักกาดหอมที่ได้

จากการศึกษาการเจริญเติบโตและลักษณะของผักกาดหอมที่ได้ในด้านของ ความสูง ใบ น้ำหนัก VS ash รวมทั้งความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร TKN, P, K ที่ใช้ในขณะทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic สามารถสรุปผลของข้อมูลที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 35

ตารางที่ 35 ผลการศึกษาในด้านสภาวะที่ใช้ทดลอง และลักษณะการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในขณะทดลองปลูกด้วยระบบ hydroponic

ชุดทดลอง	**สภาวะที่ใช้ทดลอง (ช่วง (mean))**				
	TKN (mg/l)	**P (mg/l)**	**K (mg/l)**	**EC (mS/cm)**	**pH**
Control 1	0.99-1.57 (1.27)	0.44-1.11 (0.66)	1.00-2.00 (1.60)	0.05-0.16 (0.09)	6-7.9 (7.05)
Control 2	31.79-43 (40)	51.96-56.38 (54.52)	161-266 (210.80)	1.99-2.60 (2.18)	5.5-6.5 (6.00)
Test 1	11.97-17.21 (14.81)	18.35-32.5 (25.52)	309-419 (335.80)	2.44-4.58 (3.40)	7.1-8.2 (7.61)
Test 2	19.61-38.4 (31.14)	17.91-27.86 (21.89)	336-427 (371.40)	2.55-3.54 (2.88)	7-8.4 (7.77)
Test 3	4.3-10.42 (7.76)	8.18-12.6 (10.13)	84-158 (123.80)	0.77-1.69 (1.30)	7.1-8.2 (7.61)
Test 4	10.54-17.77 (15.44)	5.53-9.51 (7.47)	104-204 (138.80)	0.96-1.25 (1.06)	7.2-8.5 (7.60)
พารามิเตอร์	**ผลการศึกษาของผักกาดหอมที่ได้** **ดีที่สุด** **แย่สุด**				
ความสูง	Control 2 > Test 3 > Test 4 > Test 2 > Test 1				
จำนวนใบ	Control 2 > Test 3 > Test 4 > Test 1 > Test 2				
น.น. เปียก	Control 2 > Test 2 > Test 3 > Test 4 > Test 1				
น.น. แห้ง	Control 2 > Test 4 > Test 1 > Test 2 > Test 3				
VS	Control 2 > Test 4 > Test 2 > Test 3 > Test 1				
TKN	Control 2 > Test 2 > Test 1 > Test 4 > Test 3				
P	Control 2 > Test 4 > Test 1 > Test 2 > Test 3				
K	Test 2 > Test 4 > Test 3 > Test 1 > Control 2				

หมายเหตุ Control 1 น้ำเปล่า Control 2 ปุ๋ยเคมี

Test 1 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ 60 นาที ความเข้มข้น 100%

Test 2 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100%

Test 3 น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ความเข้มข้น 50%

Test 4 น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%

จากการประมวลสรุปผลการศึกษาพบว่า Control 2 (ปุ๋ยเคมี) ให้ผลการศึกษาที่ดีที่สุดทั้งในประเด็นด้านของความสูง จำนวนใบ น้ำหนักเปียก น้ำหนักแห้ง VS TKN และ P และชุดที่ให้ผลดีรองลงมาคือ Test 4 โดยให้ผลที่ดีในด้านน้ำหนักแห้ง VS, P และ K และมีความสูง จำนวนใบรองเป็นอันดับ 3 สำหรับ Test 2 มีน้ำหนักเปียก TKN ที่สูง และ VS รองเป็นอันดับ 2 แต่มีจำนวนใบและความสูงที่ต่ำ ส่วน Test 3 ให้ผลในด้านความสูง จำนวนใบสูงสุด และมีน้ำหนักเปียกและ K รองเป็นอันดับ 2 แต่มีน้ำหนักแห้ง TKN และ P ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้หากพิจารณาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสำหรับการปลูกผักกาดหอมแบบ hydroponic นั้น ควรมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.5-6.5 (บุญลือ เอี๋ยวพานิช, 2548) และค่า EC ในช่วง 0.5-2.5 mS/cm (ดิเรก ทองอร่าม, 2546) สำหรับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในการปลูกด้วยระบบ hydroponic นั้นควรมี TN เท่ากับ 200 mg/l, P เท่ากับ 50 mg/l และ K เท่ากับ 300 mg/l (Jones, 1997) ซึ่งหากพิจารณาสภาพแวดล้อมในการปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic ในด้าน pH, EC และความเข้มข้นของธาตุอาหารในรูป TKN, P และ K ในสารละลายที่ใช้ในขณะทดลองปลูกนั้นพบว่าชุดการทดลอง Control 2 มีสภาพสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของผักกาดหอมมากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นในด้านของความเข้มข้นของธาตุอาหาร และที่สำคัญที่ถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดใช้แร่ธาตุอาหารของพืช คือค่า pH และ EC ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของผักกาดหอม จึงเป็นผลให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมในชุด Control 2 (ปุ๋ยเคมี) จึงมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด แต่แตกต่างจากชุดการทดลอง Test 1 และ Test 2 (มีการใช้น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ 60 นาที และน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในการทำเสถียรแบบเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 100 %) ที่มีปัจจัยในด้าน pH และ EC ที่สูงกว่าความเหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic ซึ่งหากเปรียบเทียบในชุด Test 3 และ Test 4 (มีการใช้น้ำที่ละลายจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ 60 นาที และน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในการทำเสถียรแบบเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50 %) ที่มีค่า pH ที่สูง แต่ยังคงมีช่วงค่า EC ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอมแบบ hydroponic โดยในชุดทดลอง Test 4 ที่มีค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สูงกว่าชุดทดลอง Test 3 จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในชุด Test 4 มีความสามารถในการเจริญเติบโตที่ดีรองลงมา ทั้งนี้จึงสรุปได้ว่า Control 2 ให้ผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ดีที่สุดของทุกด้าน รองลงมาคือ Test 4 ที่ให้ผลดีที่สุดในประเด็นความสูง ใบ น้ำหนักแห้ง VS P และ K ส่วนชุด Test 3 และ Test 2 ให้ผลดีรองลงมา ตามลำดับ

อนึ่งเมื่อพิจารณาในด้านศักยภาพของการใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมาใช้ประโยชน์ในการเป็นธาตุอาหารเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี

ในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ได้ กล่าวคือชุดการทดลองที่มีการใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ความเข้มข้นของการใช้ที่ 50% พบการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ให้ผลดีกว่าการใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ความเข้มข้น 100% กล่าวคือการใช้น้ำสกัดและน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ความเข้มข้น 100% มีการแสดงอาการการชะงักการเจริญเติบโตของผักกาดหอม (ใบล่างสุดของผักกาดหอม แสดงอาการเฉา และต้นพืชจะมีการเหี่ยว หลังจากนั้นมีการฟื้นตัว โดยจะพบผักกาดหอมที่มีใบของผักกาดหอมเหี่ยวเฉาลงในระยะ 1-3 วันของการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย ดังรายละเอียดในตารางที่ 30) โดยจะเห็นได้ชัดในชุดการทดลองที่มีการใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่ความเข้มข้น 100% ที่ใช้น้ำที่ละลายได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในการปลูกพืชไร้ดินที่ยังไม่ได้ผ่านการทำเสถียรก่อนการใช้ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการยังคงมีมวลสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งมีผลให้เกิดปฏิกริยาการย่อยสลายทางชีวภาพได้ จึงส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่เกิดขึ้น

ทั้งนี้การใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการทำเสถียรด้วยสภาวะการเติมอากาศ ที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50% จะช่วยลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพลงได้ ซึ่งแสดงได้จากการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในชุดการทดลอง Test 4 ที่ให้ผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ดีรองลงมาจากชุด Control 2 (ปุ๋ยเคมี) จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น หากพิจารณาเปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ทดลองปลูกในระบบ hydroponic ของชุดการทดลอง Control 2 (ปุ๋ยเคมี) และชุดการทดลองที่มีการใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน นั้นจะเห็นว่าแม้ชุดการทดลอง Control 2 จะเป็นชุดการทดลองที่ให้ผลดีที่สุดในด้านการเจริญเติบโตของผักกาดหอม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลอง Test 4 ที่ให้ผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ดีรองลงมา แสดงให้เห็นว่าน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการทำเสถียรด้วยสภาวะเติมอากาศ ที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50% นั้นมีศักยภาพที่สามารถใช้เป็นสารละลายปุ๋ยเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic ได้ อีกทั้งหากพิจารณาในแง่การผลิตพืชอินทรีย์ที่มีการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมาใช้ประโยชน์ในการเป็นธาตุอาหารทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในระบบการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic จะสามารถสร้างทางเลือกเพื่อการบริโภคพืชปลอดสารพิษภายใต้การผลิตพืชอินทรีย์ที่คำนึงถึงสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมที่มากขึ้น กล่าวคือในด้านกระบวนการในการผลิตผักปลอดสารพิษโดยการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic มีปัจจัยหลักเบื้องต้นของการปลูกพืช คือ สารละลายธาตุอาหาร โดยมีการใช้ปุ๋ยเคมีสูตรต่างๆ สำหรับเป็นธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตของ

พืชที่แตกต่างกันไปตามความต้องการ และชนิดของพืชนั้นๆ โดยมีการให้ธาตุอาหารในรูปสารละลาย ที่สามารถเร่งการเจริญเติบโตของพืชได้ ทั้งนี้จึงมีโอกาสที่พืชจะมีการสะสมธาตุอาหารเหล่านั้น เช่น การสะสมไนเตรทในพืชผัก ซึ่งอาจส่งผลต่อผู้บริโภคได้ นอกจากนี้สารละลายธาตุอาหารที่เหลือทิ้งจากการปลูกพืชไร้ดินนั้น หากมีการกำจัดไม่ถูกวิธี หรือการทิ้งที่ไม่ถูกต้องจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น เช่น หากมีการปล่อยทิ้งลงพื้นดิน ส่งผลต่อดินที่เสื่อมโทรมลง และหากมีการชะล้างลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน ตลอดจนการลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ทำให้มีการปนเปื้อนของธาตุอาหารเหลือทิ้งที่กำจัดไม่ถูกวิธีลงสู่แหล่งน้ำได้ ทั้งนี้การนำน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมาใช้ประโยชน์เพื่อการเป็นธาตุอาหารทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic จึงเป็นการเพิ่มทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถสร้างผักอินทรีย์ที่ปลอดสารพิษตกค้างและปลอดภัยต่อผู้บริโภค ตลอดจนสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้ลดน้อยลงได้

บทวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

1. ระบบที่ใช้ในการคิดวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบ

จากผลการทดลองการใช้น้ำสกัด/น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน เพื่อเป็นธาตุอาหารทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic พบว่าชุดการทดลอง Control 2 (ปุ๋ยเคมี) และชุดการทดลอง Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%) เป็นชุดการทดลองที่ให้ผลดีที่สุดและดีรองลงมาในด้านการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูก ซึ่งในการ วิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนที่เกิดขึ้นจึงใช้ ชุดการทดลอง ดังกล่าวในการคำนวณเพื่อประเมินถึงค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนที่ได้ โดยจะเน้นการประเมินและคำนวณในเบื้องต้นที่คำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สามารถวิเคราะห์ได้เท่านั้น

อนึ่งวิธีการในการทดลองปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic ที่มีการใช้สารละลายธาตุอาหารในชุดการทดลอง Control 2 (ปุ๋ยเคมี) จะใช้ตามสูตรปุ๋ยเคมีสำหรับการปลูกผักสลัดที่มีขายในเชิงการค้า สำหรับการปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ hydroponic ที่มีการใช้เป็นสารละลายธาตุอาหารในชุดการทดลอง Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50%) จะใช้วิธีการนำเอาส่วนของสารละลายที่ได้ที่ผ่านการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศเป็นระยะเวลา 10 วัน ในอัตราส่วนการทำเสถียรปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำที่ 250 กรัม/ลิตร (น้ำหนักแห้ง) (เนื่องจากผลการทดลองในขั้นตอนการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน พบว่าการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศจะทำให้น้ำหมักจากปุ๋ย

หมักมูลไส้เดือนดินที่ได้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการทำเสถียรในสภาวะไม่เติมอากาศ และหลังจากการทำเสถียร 10 วัน จะทำให้ได้ค่า germination index ที่สูงที่สุด โดยอัตราส่วนที่ 250 กรัม/ลิตร (น้ำหนักแห้ง) จะให้ค่าความเข้มข้นของสารอาหารในเทอมของ N, P และ K ที่สูง ซึ่งเหมาะในการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการเป็นธาตุอาหารทดแทนในการปลูกพืชไร้ดิน) ทั้งนี้ส่วนของเหลวที่แยกได้คิดเป็น 50% ของน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการทำเสถียรน้ำหมักฯ และในการนำน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินไปใช้ประโยชน์เพื่อการเป็นธาตุอาหารในการปลูกพืชไร้ดิน จะใช้ส่วนของเหลวที่ได้ที่ความเข้มข้น 50% สำหรับส่วนของกากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เหลือจากการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เกิดขึ้นจะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ อีก เช่น ใช้ในการเป็นหัวเชื้อเพื่อทำการสกัดซ้ำ หรือสามารถใช้ประโยชน์ต่อเพื่อการจำหน่ายเป็นปุ๋ย/วัสดุในการเพาะกล้า

2. เงื่อนไขการคิดคำนวณในระบบและเงื่อนไขด้านค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง

2.1 เงื่อนไขการคิดคำนวณในระบบปลูกที่ใช้

- ระบบการปลูกพืชไร้ดินที่ใช้ในการทดสอบปลูกผักกาดหอมจะใช้ระบบปลูกแบบสารละลายไม่หมุนเวียน ที่มีการใช้สารละลายปุ๋ยใส่ในกระบะปลูก มีการใช้ air pump ในการให้อากาศเฉพาะช่วงกลางวันเป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง ทั้งนี้เพื่อให้การคิดวิเคราะห์ในการประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนของการปลูกพืชไร้ดินเป็นไปในเชิงพานิชย์ที่มากขึ้น จึงนำระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ Deep Water Technique (DWT) มาใช้ในการคิดคำนวณ โดยจะเป็นระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบสารละลายไม่หมุนเวียน แต่ใช้ระบบการปลูกที่เป็นโต๊ะปลูกขนาดประมาณ 2.65*1.75 เมตร ปริมาณสารละลายปุ๋ยที่ใช้/โต๊ะปลูก ประมาณ 557 ลิตร ซึ่งสามารถปลูกผักกาดหอมได้ประมาณ 267 ต้น/โต๊ะปลูก มีการให้อากาศโดยการใช้ air pump ขนาด 45 วัตต์ (ให้อากาศเฉพาะในช่วงกลางวันของการปลูก เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง) ซึ่งจัดเป็นระบบการปลูกพืชไร้ดินที่มีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลของระบบนี้มาใช้ในการคิดคำนวณเพื่อเปรียบเทียบ

2.2 เงื่อนไขด้านค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง

- ค่าเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม 25 บาท/ถุง
- ค่าปุ๋ยเคมีสำหรับการปลูกพืชไร้ดิน 2,000 บาท/ชุด (เตรียมได้ stock A และ stock B อย่างละ 10 ลิตร อัตราส่วนการใช้ stock ปุ๋ย A, B : น้ำ 1 : 100 v/v)
- ราคาปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 30 บาท/กิโลกรัม (%MC ของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน เท่ากับ 38.33%)

- น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน เตรียมจากการทำเสถียรในสภาวะการเติมอากาศ โดยการใช้ air pump ขนาด 120 วัตต์ ทำเสถียรเป็นระยะเวลา 10 วัน ใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินทั้งหมด 226 กิโลกรัมเปียก ต่อน้ำ 557 ลิตร
- การใช้ประโยชน์ของกากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เหลือ จากการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน จะคงเหลือกากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในปริมาณที่สูง ผลจากการวิเคราะห์สมดุลมวลในการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เกิดขึ้น พบกากคงเหลือที่ไม่สามารถละลายได้ยังคงมีมวลของสารอาหารประเภทต่างๆ ในสัดส่วนที่สูง และมีสัดส่วนของแข็ง 2.8% ที่ละลายได้ในน้ำ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อโดยการเป็นปุ๋ย/เป็นวัสดุปลูกสำหรับการเพาะพันธุ์ไม้กระถาง หรือนำไปทำการสกัดซ้ำ ทั้งนี้หากคิดการใช้ประโยชน์กากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เหลือเพื่อการเป็นปุ๋ย/วัสดุในการเพาะปลูก จะมีปริมาณกากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่คงเหลือประมาณ 219 กิโลกรัม ซึ่งสามารถคิดในราคาขายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินได้ในราคากิโลกรัมละ 30 บาท
- ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า คิดจาก ค่าพลังงานไฟฟ้า (หน่วย/ยูนิต) * อัตราค่าไฟต่อหน่วย ซึ่งอัตราค่าไฟต่อหน่วย คิดจากอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่เกิน 150 หน่วย/เดือน โดยค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในการให้อากาศในระบบปลูกพืชไร้ดิน จะใช้ air pump ขนาด 45 วัตต์ ให้อากาศในช่วงระยะเวลากลางวันของการปลูกรวม 10 ชั่วโมง/วัน ใช้ข้อมูลการคำนวณในหน่วยที่ 0-15 ซึ่งมีค่าพลังงานไฟฟ้า 1.8632 บาท/หน่วย และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าจากการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ใช้ข้อมูลการคำนวณในหน่วยที่ 26-35 ซึ่งมีค่าพลังงานไฟฟ้า 2.7549 บาท/หน่วย ในการคำนวณจะรวมค่าบริการต่อเดือน ซึ่งมีค่า 8.19 บาท/เดือน และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2556) ทั้งนี้ค่าไฟฟ้าที่คำนวณยังไม่รวมค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) ฉะนั้นค่าพลังงานไฟฟ้าจากการให้อากาศในระบบปลูกพืชไร้ดิน จึงเท่ากับ 29.61 บาท และค่าพลังงานไฟฟ้าจากการทำเสถียรน้ำหมักฯ จึงเท่ากับ 84.90 บาท
- ค่าใช้จ่ายด้านการใช้น้ำ คิดจากอัตราขั้นต่ำของการใช้น้ำประปา สำหรับ ธุรกิจขนาดเล็กที่มีปริมาณการใช้น้ำประปาอยู่ในช่วง 0-10 ลบ.ม./เดือน ซึ่งมีราคาค่าน้ำประปาเท่ากับ 16 บาท/หน่วย ในการคำนวณรวมค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% (การประปาส่วนภูมิภาค , 2556) ดังนั้นค่าใช้จ่ายจากการใช้น้ำประปา จึงเท่ากับ 10.14 บาท
- ผลผลิตผักกาดหอมที่ได้ ชุดการทดลองปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตผักกาดหอม เท่ากับ 57.10 g/ต้น ซึ่งคิดเป็น 15.25 กก.นน. สด/crop และชุดการทดลองการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินให้ผลผลิตผักกาดหอม เท่ากับ 27.19 g/ต้น ซึ่งคิดเป็น 7.26 กก.นน. สด/crop

2.3 ผลสรุปของการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

ผลการศึกษาในการใช้ปุ๋ยเคมีและน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในการเป็นธาตุอาหารเพื่อปลูกผักกาดหอมในระบบ hydroponic สามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนที่เกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 36

ตารางที่ 36 เปรียบเทียบผลสรุปของการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

รายละเอียด	การใช้ปุ๋ยเคมี	การใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน
1) ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง		
1.1 ค่าเมล็ดพันธุ์	25	25
1.2 ค่าปุ๋ยที่ใช้		
- ค่าใช้จ่ายจากการซื้อปุ๋ย (บาท)	1,114	6,780
- การใช้ประโยชน์จากกากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้รับ (บาท)	-	6,570
รวมค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยทั้งหมด (บาท)	1,114	210
1.3 ค่าไฟฟ้า		
- จากการเติมอากาศในการทำเสถียรน้ำหมัก	-	84.90
- จากการเติมอากาศในระบบปลูก	29.61	29.61
รวมค่าไฟฟ้าทั้งหมด	29.61	114.51
1.4 ค่าน้ำ	10.14	10.14
1.5 ผลผลิต		
- ผลผลิตที่ได้รับ (กก.นน. สด/crop)	15.25	7.26
- ราคาซื้อขาย (บาท/กก.)	109	150
รวมรายได้จากการขายผลผลิตที่ได้รับ (บาท)	1,662	1,089
รวมต้นทุนทั้งหมด	1,179	360
2) ผลตอบแทนที่ได้รับ		
-จากการไม่ใช้ประโยชน์จากกาก	483	-
-จากการใช้ประโยชน์จากกาก	-	729

หมายเหตุ -การคำนวณไม่ได้รวมถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดจาก ค่าแรง และค่าใช้จ่ายอื่นๆ

-รายได้จากการขายผักกาดหอมคิดจาก ราคาผักกาดหอมปลอดสารพิษที่ปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ที่วางจำหน่ายในห้างสรรพสินค้า กิโลกรัมละ 109 บาท และราคาผักกาดหอม (ผักอินทรีย์) ที่วางจำหน่ายในห้างสรรพสินค้า แพ็คบรรจุภัณฑ์ 100g/ถุง/ต้น ในราคา 15 บาท คิดเป็นราคาต่อกิโลกรัม เท่ากับ 150 บาท/กิโลกรัม

ผลจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic มีความคุ้มทุนในด้านผลตอบแทนที่ได้รับ ซึ่งหากพิจารณาผลตอบแทนที่ได้ต่อผลผลิตที่ได้รับจะพบว่า การใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินให้ผลตอบแทนต่อผลผลิตผักกาดหอมที่ได้คิดเป็น 100.41 บาท/กิโลกรัมของผักกาดหอม ส่วนชุดที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีให้ผลตอบแทนต่อผลผลิตผักกาดหอมที่ได้รับคิดเป็น 31.67 บาท/กิโลกรัมของผักกาดหอม ซึ่งการนำน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินไปใช้ประโยชน์เพื่อการเป็นธาตุอาหารทดแทนปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic จัดได้ว่าเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีในการปลูกพืชไร้ดินเพื่อการผลิตผักอินทรีย์ที่ปลอดสารพิษ กล่าวคือ การปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic เป็นการปลูกพืชที่ไม่มีการใช้สารเคมีใดๆ ไม่ว่าจะเป็นสารกำจัดศัตรูพืช หรือแม้กระทั่งปุ๋ยเคมีที่จัดได้ว่าเป็นปัจจัยหลักในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic ทั้งนี้ผลผลิตที่ได้จึงไม่มีสารเคมีตกค้าง ไม่มีการสะสมของธาตุอาหารในพืช ซึ่งเป็นผักอินทรีย์ที่ปลอดสารพิษอย่างแท้จริง จึงเป็นการเพิ่มอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจการบริโภคผักปลอดสารพิษเพื่อสุขภาพ

อนึ่งหากพิจารณาในด้านปัจจัยหลักที่สำคัญสำหรับการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic นั่นคือ ปุ๋ยเคมี ทั้งนี้ปุ๋ยเคมีจัดได้ว่ามีการซื้อขายในราคาที่แพง ทำให้ในการผลิตพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic จึงมีต้นทุนที่สูง อีกทั้งยังต้องอาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นหลัก หากมีการผลิตพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic ที่มีการคำนึงถึงประสิทธิภาพในการผลิตที่ควบคู่ไปกับผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้น การใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการสร้างและพัฒนาระบบการปลูกพืชไร้ดินที่มีการคำนึงถึงการผลิตพืชไร้ดินที่เป็นไปตามแบบเกษตรอินทรีย์ที่มากขึ้น สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการเกษตรให้ลดน้อยลงได้ และมีศักยภาพเพียงพอในการใช้เป็นธาตุอาหารทดแทนในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic ซึ่งสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีให้ลดน้อยลง ส่งผลต่อระบบเศรษฐกิจที่ช่วยลดมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศที่น้อยลง แต่ยังคงสามารถผลิตพืชผักที่มีประสิทธิภาพได้ ตลอดจนมีความปลอดภัยและยั่งยืนมากขึ้น อีกทั้งการนำน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินไปใช้ประโยชน์เพื่อการเป็นธาตุอาหารทดแทนปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินยังเป็นการเพิ่มมูลค่าจากการใช้ประโยชน์ของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงได้จากการใช้ประโยชน์ของกากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เหลือจากขั้นตอนการทำเสถียรฯ ในการนำไปใช้เพื่อการเป็นปุ๋ย/วัสดุในการเพาะปลูก และยังสามารถนำไปใช้เพื่อการสกัดซ้ำได้อีก ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีศักยภาพมากพอและมีความคุ้มค่าและคุ้มทุนในการนำไปใช้ประโยชน์ในระบบการปลูกพืชไร้ดิน อีกทั้งยังมีศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากกากของเสียที่เป็นกากปุ๋ยหมัก

มูลไส้เดือนดินที่เกิดขึ้นที่ยังคงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ซ้ำได้อีก ซึ่งการนำน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินไปใช้ประโยชน์เพื่อการเป็นธาตุอาหารทดแทนปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินจัดได้ว่าเป็นการผลิตพืชแบบไร้ดินด้วยระบบ hydroponic ที่คำนึงถึงความปลอดภัยของสุขภาพ สภาพสิ่งแวดล้อม ตลอดจนการใช้ประโยชน์ของเสียที่มีความคุ้มค่า คุ้มทุน และยั่งยืนมากขึ้น

บทที่ 4

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผล

1. ลักษณะปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการศึกษา

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มีการผลิตในเชิงพานิชย์ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ มีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกัน โดยมี สีของปุ๋ย เป็นสีน้ำตาลปนดำ มีความโปร่ง เบา และร่วนซุย มีความชื้นเฉลี่ย 41.10 % มีค่าความหนาแน่น เฉลี่ย 624.40 kg/m^3 มีค่า pH ที่เป็นกลาง ซึ่งมี ค่าเฉลี่ย 7.37 มีค่า conductivity, VS, ash, TN, TP (as P_2O_5) และ TK (as K_2O) เฉลี่ย 1.95 dS/m, 43.24%, 56.76 %, 1.13%, 1.77% และ 0.58 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ มีค่าโลหะหนักในรูป As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, และ Zn เฉลี่ย 1.68 mg/kg, 0.19 mg/kg, 5.13 mg/kg, 23.72 mg/kg, 3.06 mg/kg, <0.001 mg/kg และ 81.87 mg/kg น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่า germination index เฉลี่ยเท่ากับ 84.57 % ซึ่งคุณสมบัติของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในด้าน pH, conductivity, germination index และโลหะหนักของตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ศึกษาทั้งหมดเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยหมักอินทรีย์ ปี 2548 ของไทย สำหรับค่า TN และ TK (K_2O) พบว่ามีค่าไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐานดังกล่าว แต่ TP (as P_2O_5) พบว่ามีบางตัวอย่างเป็นไปตามมาตรฐาน และมีผลที่ใกล้เคียงกับรายงานการวิจัยที่ได้ศึกษาถึงลักษณะของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตเป็นเชิงการค้าที่ผ่านมา

2. ลักษณะการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ศึกษา

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินสามารถละลายน้ำได้ ดีในช่วง 20 นาทีแรกของการละลาย และหลังจากเวลาการละลาย 20-60 นาที การละลายจะคงที่ และยังคงเหลือกากส่วนที่ไม่สามารถละลายได้ในปริมาณที่สูง ซึ่งการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ 250 กรัมแห้งละลายในน้ำ 1 ลิตร จะทำให้ได้ปริมาณของเหลวที่ละลายได้ประมาณ 50% ของน้ำที่ใช้ทำละลาย และสารละลายที่ได้พบว่ามีสารอินทรีย์ในเทอม SCOD สูง (SCOD เท่ากับ 2,302 mg/l) และมีสารอาหารในเทอมของ TKN, TP (as P_2O_5) และ TK (as K_2O) ที่มีความเข้มข้นกว่า 21.56 mg/l, 52.67 mg/l และ 910.94 mg/l ตามลำดับ มีค่า germination index เท่ากับ 84% ทั้งนี้พบเชื้อแบคทีเรียในเทอมของ total plate count ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.2×10^5 CFU/ml อีกทั้งมีโลหะหนักในปริมาณน้อยมาก และการใช้อัตราส่วน ปุ๋ยหมัก

มูลไส้เดือนดินที่ละลายกับน้ำกลั่นที่ 250 กรัมแห้ง/น้ำ 1 ลิตร ที่ระยะเวลาในการละลาย 60 นาที พบการปรากฏของมวลสารต่างๆ ในรูป N, P_2O_5 และ K_2O โดยพบว่า K_2O จะมีการละลายออกจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมากที่สุด คิดเป็น 29.39% รองลงมาคือ P_2O_5 และ N คิดเป็น 0.39% และ 0.28% ตามลำดับ สำหรับของแข็งพบว่ามีสัดส่วนเพียง 2.8% ที่ละลายได้ในน้ำ ส่วนโลหะหนักในรูป As, Cu, Cr, Zn และ Pb มีสัดส่วนที่ละลายในน้ำได้ระหว่าง 0.54%-4.06% โดย As จะละลายออกได้มากที่สุด รองลงมาคือ Cr

3. ลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินภายใต้การทำเสถียรในสภาวะมีอากาศและไร้อากาศ

น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ทำเสถียรในสภาวะการเติมอากาศและไม่เติมอากาศ มีลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในช่วงวันแรกของการทำเสถียรที่เริ่มมีปฏิกริยาการย่อยสลายทางชีวภาพ ที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการละลายออกของมวลสารอินทรีย์/อนินทรีย์ที่ละลายได้ยากที่มีการละลายออกจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการทำเสถียร ทำให้มีค่า Conductivity, TDS, TDVS และ SCOD ที่สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงหลังจากนั้นมี ลักษณะทางชีวภาพในเทอมของปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (total plate count) ที่เพิ่มขึ้นและสูงสุดในช่วงการทำเสถียร 5 วัน จากนั้นปริมาณแบคทีเรียจะลดลง ซึ่งทำให้มีค่า SS และ VSS ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงที่สุดในช่วง 1-5 วันแรกของการทำเสถียร หลังจากนั้นมีการคงอยู่ของค่า SS และ VSS ที่เริ่มคงที่ ในขณะที่ค่า Conductivity, TDS, TDVS และ SCOD มีค่าที่ลดลง และหลังจากนั้นมีค่าคงที่/เปลี่ยนแปลงไม่มาก โดยระยะเวลาในการทำเสถียรในช่วง 5 วันแรก แบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว โดยพบได้ชัดในชุดการทดลองที่มีการใช้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มากขึ้น ซึ่งชุดการทดลองในสภาวะเติมอากาศมีสภาวะการย่อยสลายทางชีวภาพที่รวดเร็วกว่าชุดการทดลองในสภาวะไม่เติมอากาศ โดยมีการลดลงของค่า Conductivity, TDS, TDVS และ SCOD ในชุดการทดลองของสภาวะเติมอากาศที่มีการลดลงของค่าดังกล่าวที่สูงกว่าชุดการทดลองในสภาวะไม่เติมอากาศ ซึ่ง ระยะเวลาในการทำเสถียร และวิธีการทำเสถียรด้วยวิธีการเติมอากาศและไม่เติมอากาศมีผลต่อคุณภาพของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้ ซึ่งการทำเสถียรในสภาวะเติมอากาศมีสภาวะการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ดีกว่าในสภาวะไม่เติมอากาศ ตลอดจนมีค่า NH_3-N ที่สะสมในระบบที่ต่ำกว่าการทำเสถียรในสภาวะไม่เติมอากาศ โดยในการทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ก่อนการนำไปใช้ประโยชน์ในงานทางด้านเกษตร หรือการใช้เพื่อเป็นธาตุอาหารทดแทนสำหรับการปลูกพืช ควร ทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในสภาวะเติม

อากาศ และควรใช้อัตราส่วนปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำ ที่อัตราส่วน 250 กรัมแห้งต่อน้ำ 1 ลิตร ซึ่งจะให้ปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ในรูป TKN, P และ K ที่สูง และควรทำเสถียรน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินด้วยสภาวะการเติมอากาศ ในระยะเวลาที่ไม่น้อยกว่า 5-10 วัน จะทำให้มีค่า germination index สูงที่สุด ซึ่งจะไม่ส่งผลในแง่ลบต่อพืชในการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการเป็นธาตุอาหารทดแทนสำหรับการปลูกพืช

4. การใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำสกัดที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

4.1 ผลทางเทคนิค

การใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำสกัดที่ได้จากการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในการปลูกผักกาดหอมแบบไร้ดินด้วยระบบ hydroponic ตลอดระยะเวลา ในการปลูก 33 วัน โดยเทียบเคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี มีการเจริญเติบโตของผักกาดหอมใน ชุดการทดลอง Control 2 (ปุ๋ยเคมี) ที่มีการเจริญเติบโตของผักกาดหอมทางด้านกายภาพทั้งในประเด็นด้านของความสูง จำนวนใบ น้ำหนักเปียก น้ำหนักแห้ง VS TKN และ P ที่ดีและสูงสุด และชุดการทดลอง Test 4 (น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในการทำเสถียรแบบเติมอากาศที่ 10 วัน ความเข้มข้น 50 %) ให้ผลที่ดีในด้านน้ำหนักแห้ง VS, P, K, ความสูง และจำนวนใบ ที่รองลงมา ซึ่งการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ได้สามารถสรุปได้ว่าน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน มีศักยภาพเพียงพอที่สามารถใช้เป็นสารละลาย ธาตุอาหาร เพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic ได้ อีกทั้งการนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมาใช้ประโยชน์ในระบบการปลูกพืชไร้ดิน จะเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการปลูกพืชไร้ดินที่สามารถผลิตผักอินทรีย์ปลอดสารพิษที่คำนึงถึงสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่มากขึ้น

4.2 ผลจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ผลจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้ น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อการเป็นธาตุอาหารทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี ในการปลูกผักกาดหอมแบบไร้ดินด้วยระบบ hydroponic พบการประเมินด้านค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนที่ได้ต่อผลผลิตที่ได้รับในการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ให้ผลตอบแทนต่อผลผลิตผักกาดหอมที่ได้คิดเป็น 100.41 บาท/กิโลกรัมของผักกาดหอม ส่วนชุดที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีให้ผลตอบแทนต่อผลผลิตผักกาดหอมที่ได้รับคิดเป็น 31.67 บาท/กิโลกรัมของผักกาดหอม ซึ่งการนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมาใช้ประโยชน์ในระบบ

การปลูกพืชไร้ดินพบว่ามีความคุ้มค่าและคุ้มทุนในการดำเนินการ ทั้งยังเป็นการสร้างมูลค่าในการใช้ประโยชน์ของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เพิ่มมากขึ้นด้วย

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

- การศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะของน้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มาจากการสกัดกากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการสกัดมาแล้ว

-การศึกษาคุณลักษณะของกากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผ่านการสกัดแล้ว และการนำไปใช้ประโยชน์ต่อโดยการเป็นปุ๋ย

- การศึกษาในด้านการใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อการทดสอบปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ nutrient film technique หรือ NFT เพื่อลดการใช้ปริมาณปุ๋ยลง

-การศึกษาทดลองในการใช้น้ำสกัดทางชีวภาพชนิดอื่นๆ เพื่อการปลูกพืชไร้ดิน

-การศึกษาเพิ่มเติมของ การใช้น้ำหมักจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อการทดสอบปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบ hydroponic โดยให้มีการวิเคราะห์ที่ครอบครุมในด้านปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในรูป NO_3^--N

เอกสารอ้างอิง

การประปาส่วนภูมิภาค . 2556. อัตราค่าน้ำประปาส่วนภูมิภาค . (ออนไลน์) สืบค้นจาก : http://www.pwa.co.th/contents/service/tableprice (20 กุมภาพันธ์ 2557)

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค . 2556. การคิดค่าไฟฟ้าประเภทต่างๆ . (ออนไลน์) สืบค้นจาก : http://www.mea.or.th/aboutelectric/index.php?tid=1&mid=280&pid=116&ctForm=form11 (20 กุมภาพันธ์ 2557)

กรมวิชาการเกษตร . 2548. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548. ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 122 ตอนพิเศษ 109ง.

กรมวิชาการเกษตร. 2551. คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ . กรุงเทพฯ. ควิกปริ๊นท์ ออฟเซ็ท.

กรมวิชาการเกษตร . 2555. เกษตรอินทรีย์ผลดีต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม . (ออนไลน์) สืบค้นจาก: http://research.rae.mju.ac.th/raebase/index.php/knowledge/2010/120-biotech (20 กุมภาพันธ์ 2557)

จริงแท้ ศิริพานิชย์ . 2538. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน. คณะเกษตร. วิทยาเขตกาแพงแสน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม.

เฉลิมพล แซมเพชร. 2542. สารอาหารพืช. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่.

ดิเรก ทองอร่าม. 2546. การปลูกพืชไม่ใช้ดิน. หลักการจัดการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. ราชบุรี. ธรรมรักษ์การถพิมพ์.

ดวงพร คันธโชติ. 2545. นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. โอเดียนสโตร์.

ถวิล สุขวงษ์. 2546. การปลูกพืชไม่ใช้ดิน. กรุงเทพฯ. พี เอ็น เค การพิมพ์.

ถวัลย์ พัฒนเสถียร์พงศ์ .2534. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน, (ออนไลน์) สืบค้นจาก: http://www.puibuatip.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538732125&Ntype=16 (28 กันยายน 2552).

นิรันดร์ หิรัญสุข. 2547. ศักยภาพจากไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Pheretima peguana* ในการย่อยสลายขยะอินทรีย์ และการผลิตปุ๋ยหมักในสภาพเลียนแบบธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.

นภดล เรียบเลิศหิรัญ . 2550. การปลูกพืชไร้ดิน . ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. สุวีริยาสาส์น.

บุญลือ เอี่ยวพานิช. 2548. เอกสารประกอบการเรียนการผลิตพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics for Crop Production) คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต.

ฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพ . 2548. เทคโนโลยีการปลูกพืชไร้ดิน . ฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

พันธมิตร มะลิสุวรรณและผุสดี สายชนะพันธ์ . 2546. การทำธุรกิจฟาร์มไส้เดือน . กรุงเทพฯ. ศรีสยามพริ้นท์แอนด์แพคก์.

มนูญ ศิรินุพงศ์. 2544. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสู่การปฏิบัติในประเทศไทย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. เจริญรัฐการพิมพ์.

มาตรฐานแห่งชาติสาธารณรัฐประชาชนจีน . 2003. ปริมาณโลหะตกค้างในอาหารที่อนุญาตสูงสุด . คู่มือสถาบันอาหารแห่งชาติ . (ออนไลน์) สืบค้นจาก : http://iiu.oie.go.th/food/Food%20Document%20Library/China_HeavyMetal.pdf (20 กุมภาพันธ์ 2557).

ยงยุทธ โอสถสภา .2546. ธาตุอาหารพืช ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์, สยาม สินสวัสดิ์, ศิริธรรม สิงโต และประธาน โพธิสวัสดิ์. 2548.เทคโนโลยีการปลูกพืชไร้ดิน (Soilless Culture). ฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และ ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. 2540. การผลิตปุ๋ยหมักแบบนาไร่. ในกลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้. คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ (หน้า 14-28)

ศรานนท์ เจริญสุข. 2549. ผักสวนครัว. กรุงเทพฯ. เพชรกะรัต.

ศุภชัย หล่อโลหการ , อรรถพล นุ่มหอม , วีณา ศรีสวัสดิ์ , พรทิพย์ ศิริสุนทราลักษณ์ , คุณาวุฒิ บุญญานพคุณ และ Imran A. 2550. ธุรกิจเกษตรอินทรีย์ . พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย.

สุนทร เรืองเกษม. 2540. ผักกินใบ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. ซีเอ็ด.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ . 2548. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย . พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ . สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุมิตรา ขันตยาลงกต. 2542. ลักษณะอาการผิดปกติเบื้องต้นที่พบทั่วไปในพืชที่ขาดธาตุอาหารที่จำเป็นต่อ การเจริญเติบโต . (ออนไลน์) สืบค้นจาก : http://www.doae.go.th/Library/tml/detail /hydroponic/hydro_3.htm (28 กันยายน 2552).

สันทัด สิริอนันต์ไพบูลย์. 2549. ระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ท้อป.

สมภพ ชิตะวสันต์. 2537. หลักการผลิตผัก. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์รั้วเขียว.

โสระยา ร่วมรังษี. 2544. การผลิตพืชสวนแบบไม่ใช้ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. โอเดียนสโตร์.

เหมือนชนก บุญยเกียรติ. 2551. ค่า pH และ EC ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆ (ออนไลน์) สืบค้นจาก :http://student.psu.ac.th/StudAffairs/carrey/c47/ career_november.htm (9 เมษายน 2553).

อภิชาต ศรีสะอาด และอัมพา คำวงษา. 2553. แนวทางการผลิตและลงทุนผักไฮโดรโปนิกส์เพื่อทำเงิน. นาคา อินเตอร์มีเดีย.

อานัฐ ตันโช. 2548. เทคนิคการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ปทุมธานี

อาณัฐ ตันโช . 2549. ไส้เดือนดิน . พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: Trio Advertising & Media Co.,Ltd.

อาณัฐ ตันโช. 2550. ไส้เดือนดิน. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ปทุมธานี.

อานัฐ ตันโช และศุภธิดา อ่ำทอง. 2550. มาใช้ไส้เดือนกำจัดขยะกันเถอะ (ออนไลน์) สืบค้นจาก: http://www.agric-prod.mju.ac.th/soil/research16.htm (28 พฤษภาคม 2553).

อาณัฐ ตันโช. 2552. คู่มือการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (ไฮโดรโพนิกส์). พิมพ์ครั้งที่ 3. เชียงใหม่: Trio Advertising & Media Co.,Ltd.

อารักษ์ ธีรอำพน .2544. เอกสารวิชาการเรื่องการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครราชสีมา. โชคเจริญมาร์เก็ตกิ้ง.

อิทธิสุนทร นันทกิจ .2538. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน . ภาควิชาปฐพีวิทยา . คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อรอนงค์ โพธิ์แป้น . 2552. คุณลักษณะทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมีของผลิตที่เกิดขึ้นตลอดการผลิต ทั้งในรูปของแข็งและของเหลวจากการทำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน . โครงงานนักศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต หลักสูตร เทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรร ม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemists. 15th Ed., U.S.A: AOAC, Inc.

APHA, AWWA, and WEF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 15th ed. New York : American Public Health Association.

Atiyeh R.M., Lee S., Edwards C. A., Arancon N. Q. and Metzger J. D. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth.

Benoit F. 1992. Practical Guide for Sample Soilless Culture Technigues. European Vegetable Research & Development Center. Belgium.

Buchanan M. A., Russell E. and Block S. D. 1988. Chemical characterization and nitrogen mineralization potentials of vermicompost derived from deffering organic wastes. In Earthworms in Environmental and Waste Mangement. SPB Acad. Publ. The Netherland. pp. 231-239

Christian F., George G. B., Eric B., Pierre D. and Sergey S. C. 2003. Charles Darwin, earthworms and the natural sciences: various lessons from past to future.

Edwards C. A. and Burrows I. 1988. The potential of earthworm composts as plant growth media. in Earthworms in Environmental and Waste Management. SPB Acad. Publ. The Netherland. pp. 211-220

Federico A., Roberto C., Rosales R., Archila M., Oliva L., Guillen C. and Luc D. 2007. Formulation of a liquid fertilizer for sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) using vermicompost leachate.

Ferrera M. E. and Cruz M. C. P. D. 1992. Effects of a compost from municipal wastes digested by earthworms on the dry matter production of maize and on soil properties. Cientifica. 20. pp. 217-227

Germaley A. V., Nadporozhskaya M. A., Popov A. I., Chertov O. G., Kovsh N. V and Gromova O. A. 2001. non-root nutrition with vermicompost extracts as the way of ecological optimization. Plant nutrition: food security and applied research. Springer Netherlands, Hannover, Germany. pp. 862-863

Hewitt E.S. 1975. Plant Mineral Nutrition, English Universities Press, London, pp. 95 - 122.

Ingham E. R. 2005. The Compost Tea Brewing Manual; Latest Methods and Research. Soil Food Web Inc Corvallis, OR.

Jones J. B. 1997. Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower. Florida. St. Lucie Press.

Kale R. D., Bano K. and Krishnamoorthy R. V. 1982. Potential of *Perionyx excavatus* for utilizing organic wastes. Pedobiologia, 23. pp. 419-425

Muckle M. E. 1995. Basic Hydroponic : For the do-it-yourselfer. British Columbia. Grower Press Inc. 200 pp.

Paul E. A. and Clask F. E. 1996. Soil Microbiology and Biochemistry. 2nd ed. Academic Press, San Diego.

Petric I. and Selimbasic V. 2008. Composting of poultry manure and wheat straw in a closed reactor : optimum mixture ratio and revolution of parameters Bioderation.

Rajbir S., Gupta R.K., Patil R.T., Sharma R.R., Asrey R., Kumar A. and Jangra K.K. 2010. Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (Fragaria × ananassa Duch.)

Reddy M. V. 1988. The effect of casts of *Pheretima alexandri* on the growth of *Vinca rosea* and *Oryza sativa*, in Earthworms in Environmental and Waste Management. SPB Bakker, The Netherland. pp. 241-248

Scott G., Clive E. and Norman A. 2006. Effect of vermicompost teas on plant growth and disease. Soil Ecology Laboratory, Ohio State University, Columbus, USA. http://www.wormdigest.org/content/ view/311/2/ (accessed May 28, 2010).

Tejada M., Gonzalez J.L., Hernandez M.T. and Garcia C. 2007. Agricultural use of leachates obtained from two different vermicomposting processes.

ภาคผนวก ก

ตารางผนวก 1 สูตรปุ๋ยสำหรับปลูกผักสลัดในระบบการปลูกพืชไร้ดิน

สูตรผักสลัด 5 NFT อัตรา 1:100

(Revise : Feb, 2012)

EC 1.0-1.8 pH 5.2-6.5

สูตรปุ๋ย	ปริมาณ
Stock A 10 ลิตร	
1. แคลเซียมไนเตรท (15-0-0)	1,150 g
2. ลิบเฟอร์ เอสพี (Fe-EDDHA 6%)	30 g
3. ลิเบรล เหล็ก โล (Fe-EDTA 13.2%)	30 g
Stock B 10 ลิตร	
1. โปแตสเซียมไนเตรต (13-0-46)	600 g
2. แมกนีเซียมซัลเฟต	500 g
3. โมโนโปแตสเซียมฟอสเฟต (0-52-34)	265 g
4. นิค-สเปรย์	50 g
5. ลิเบรล แมงกานีส (Mn-EDTA 13%)	10 g

ที่มา : บริษัท เวสโก้ เคมี ประเทศไทย จำกัด

ภาคผนวก ข

ลักษณะการละลายได้ของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

Dissolubility Characteristic of Vermicompost

ปริศนา คล้ายทอง[1*] สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์[2] และวัสสา คงนคร[3]

[1]นักศึกษาปริญญาโท คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, [2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี, [3]อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

บทนำและวัตถุประสงค์

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงที่มีการปนเปื้อนด้วยโลหะหนักที่น้อยแต่มีราคาที่สูงกว่าปุ๋ยหมักอินทรีย์ ทั่วๆ ไป ดังนั้นการใช้ประโยชน์จึงเหมาะสำหรับเกษตรอินทรีย์ที่ผลิตพืชผักที่มีมูลค่าสูง เช่น การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ เป็นต้น ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มีขายตามท้องตลาดนั้น พบว่าประกอบด้วยส่วนที่เป็นมูลไส้เดือนดินและเศษวัสดุที่ใช้เป็นพื้นเลี้ยงไส้เดือนดิน ในกรณีที่มีแนวคิดที่ใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีในระบบปลูกพืชไร้ดินแบบไฮโดรโปนิกส์ จึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาถึงความสามารถในการละลายได้ของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของสารละลายที่ได้ รายงานนี้ได้แสดงถึงผลของความสามารถในการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและลักษณะของสารละลายที่ได้ดังกล่าว

วิธีการศึกษา

- ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และเคมีของตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มีการผลิตเชิงพาณิชย์

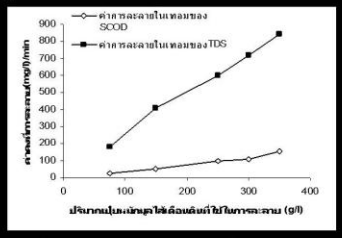
- การทดลองการละลายปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของสารละลายที่ได้ โดยนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมาละลายกับน้ำกลั่นที่อัตราส่วน 15 g/200 ml 30 g/200 ml และ 50 g/200 ml (น้ำหนักกรัมแห้ง) ทำการละลายที่ระยะเวลา 0, 20, 40, 60 และ 120 นาที ณ. อุณหภูมิห้อง ของเหลวที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่า TDS, TDVS, SCOD, pH, conductivity, SS, และ VSS และนำตัวอย่างสารละลายที่ได้ซึ่งให้ค่า SCOD และ TDS สูงสุดเมื่อการละลายเริ่มอิ่มตัว รวมทั้งให้สัดส่วนของปริมาณสารละลายที่ได้มาไม่น้อยกว่ากึ่งหนึ่งของน้ำกลั่นที่ใช้ ไปวิเคราะห์ค่า TN, TP, TK, total plate count, germination index และโลหะหนักในรูป As, Cd, Cr, Cu, Pb และ Hg อนึ่งได้ทำการทดลองเพิ่มที่อัตราส่วน 60g/200 ml และ 70g/200 ml โดยวิเคราะห์เฉพาะค่า SCOD และ TDS เพื่อดูความสามารถในการละลายที่อิ่มตัว โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามวิธีของ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater และวิธีของ Association of Official Analytical Chemists พร้อมทดสอบค่า germination index ตามวิธีที่ระบุโดยกรมวิชาการเกษตร

ผลการศึกษา

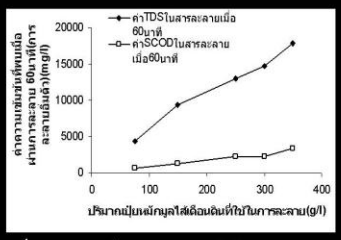
ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตแบบพาณิชย์ มีค่า VS, ash, TN, P_2O_5 และ K_2O เท่ากับ 49.98, 51.02, 1.54, 2.71 และ 0.62 % น้ำหนักแห้งตามลำดับ มีกลุ่มโลหะหนักในรูป As, Cd, Cr, Cu, Pb และ Hg เท่ากับ 1.27, 0.21, 3.81, 38.20, 4.02, และ <0.44 mg/kg น้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อนำมาละลายด้วยน้ำ พบว่าสามารถละลายได้ดีในช่วงเวลา 20 นาทีแรก โดยพิจารณาจากค่า TDS, TDVS และ SCOD ที่เพิ่มขึ้น และค่า SS และ VSS ที่ลดลง และการละลายจะคงที่เมื่อ 60 นาที ซึ่งความสามารถในการละลายของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินแสดงได้ดังตารางที่ 1, 2 และรูปที่ 1, 2 โดยมีลักษณะของสารละลายที่ได้เมื่อใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 250 กรัมแห้งต่อน้ำ 1 ลิตร ซึ่งเป็นชุดทดลองที่ให้ปริมาณส่วนของเหลวที่แยกได้หลังจากการละลายที่ 60 นาที เพียง 50% ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 สมการแสดงอัตราการละลายที่เกิดขึ้นในช่วง 20 นาทีแรกของการละลาย

ชุดการทดลอง	ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อน้ำที่ใช้ละลาย (g/l)	สมการแสดงอัตราการละลายออกในเทอมของSCOD และTDS	
		SCOD	TDS
1	75	Y = 25.9X	Y = 178 X
2	150	Y = 51.8X	Y = 409X
3	250	Y = 97.9X	Y = 599X
4	300	Y = 106.3X	Y = 717X
5	350	Y = 156.2X	Y = 842X



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่การละลายและปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของ SCOD และ TDS สูงสุดเมื่อละลายที่ 60 นาทีกับปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่ใช้

ตารางที่ 2 สมการแสดงค่าความสัมพันธ์ต่างๆ

ความสัมพันธ์	รูปสมการแสดงความสัมพันธ์	R^2
1. ค่าคงที่การละลายกับอัตราการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ละลายในน้ำ	1. TDS : Y=2.332 X +24.481 2. SCOD : Y=0.4434 X -12.154 (Y : ค่าคงที่การละลาย, X : ปริมาณปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ใช้)	0.99 0.96
2. ค่าความเข้มข้นของ TDS และ SCOD ที่ 60 นาทีในสารละลายกับอัตราส่วนของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการละลายด้วยน้ำ	1. TDS : Y= 45.85 X +1581.5 2. SCOD : Y=9.4705 X -183.86 (Y : ค่าความเข้มข้นสูงสุด, X : ปริมาณปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ใช้)	0.98 0.95

ตารางที่ 3 ลักษณะทางชีวภาพและเคมีของสารละลายที่ได้

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้	พารามิเตอร์	ค่าที่ได้
TN (mg/l)	21.56	Cu (mg/l)	0.047
TP (mg/l)	22.42	Pb (mg/l)	<0.44
TK (mg/l)	755.96	Hg (mg/l)	<0.44
As (mg/l)	0.026	total plate count (CPU/ml)	2.2×10^5
Cd (mg/l)	0.001	germination index (%)	84
Cr (mg/l)	0.052		

สรุป

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินสามารถละลายน้ำได้ดี และหลังจากการละลายที่ 60 นาที การละลายจะคงที่ และยังคงเหลือกากส่วนที่ไม่สามารถละลายได้สูง สารละลายที่ได้พบว่ามีสารอินทรีย์ในเทอม TN, TP, TK, SCOD และแบคทีเรียอยู่ แต่มีโลหะหนักปริมาณน้อยมาก ดังนั้นสามารถใช้น้ำที่สกัดจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินไปใช้ในการทดแทนปุ๋ยเคมีในระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ได้ หากคำนึงถึงปริมาณธาตุอาหารพืชที่มี แต่อาจมีผลกระทบจากอินทรีย์สารที่ยังปนเปื้อน จึงควรมีการศึกษาถึงผลกระทบในด้านอินทรีย์สารเพิ่มเติมก่อน และพบว่าการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ 250 กรัมแห้งละลายในน้ำ 1 ลิตร จะทำให้ได้ปริมาณของเหลวที่ละลายได้ประมาณ 50% ของน้ำที่ใช้ทำละลาย

Acknowledgement

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย และวิทยาลัยชุมชนสุราษฎร์ธานี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการนำเสนอผลงานวิชาการ