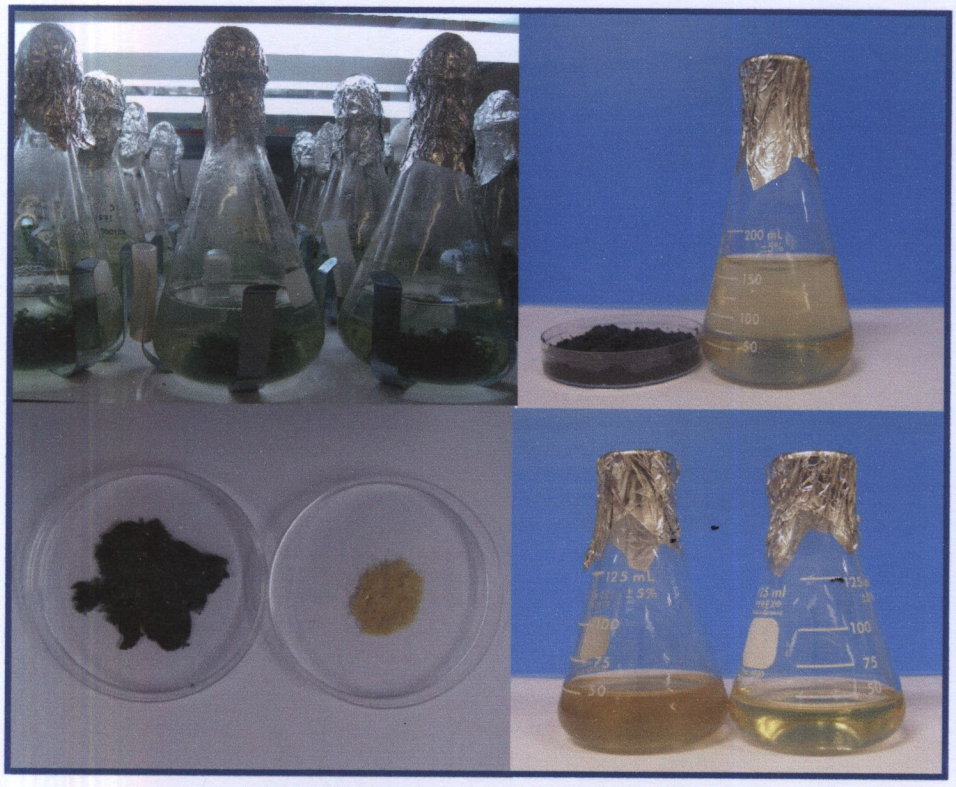
16 เม.ย. 2550

วว.

รายงานฉบับสมบูรณ์ ปีที่ 1

วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายเพื่อการฟื้นฟูสภาพดิน และการผลิตพืชอย่างยั่งยืน



สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

รายงานฉบับสมบูรณ์ ปีที่ 1

วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายเพื่อการฟื้นฟูสภาพดิน และการผลิตพืชอย่างยั่งยืน

จัดทำโดย

อาภารัตน์ มหาขันธ์
นารินทร์ จันทร์สว่าง
วัชรี กัลยาลัง
โสภาพรรณ สัญญาณเสนาะ
สุพรรษา ขันธโสภา

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญรูป	ง
กิตติกรรมประกาศ	ช
Abstract	1
บทคัดย่อ	2
1. บทนำ	3
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	4
3. ผลการวิจัย	14
4. สรุปผลการทดลอง	72
5. เอกสารอ้างอิง	73

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้ของสาหร่ายทั้ง 60 สายพันธุ์ 18

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโต การผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ และการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก 21

ตารางที่ 3 จำนวนตาข้างของต้นดาวเรืองหลังจากได้รับสารสกัดจากสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก 7 วัน 21

ตารางที่ 4 ความสูงต้นถั่วเขียวหลังจากได้รับสารสกัดจากสาหร่ายเป็นเวลา 12 วัน 22

ตารางที่ 5 ผลของสารสกัดจากสาหร่ายต่อการเปลี่ยนสีของใบถั่วเขียว 23

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc* sp. TISTR 8290 24

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc muscorum* TISTR 8871 25

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc* sp. TISTR 8873 26

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc muscorum* TISTR 9054 27

ตารางที่ 10 คุณสมบัติทางด้านเคมี, กายภาพและธาตุอาหารพืชในดินของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้และดินสวนจากลำตะคองก่อนนำไปศึกษาสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่าย 29

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุในดินทดสอบที่เติมชีวมวลสดและที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย 33

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบกิจกรรมจุลินทรีย์ในดินทดสอบที่เติมชีวมวลสดและที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย 38

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบจำนวนเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่มีขนาด 0.2-2.0 มิลลิเมตรในดินทดสอบที่เป็นชีวมวลสดและที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย 44

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบความหนาแน่นรวมของดินทดสอบที่เติมชีวมวลสดและที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย 55

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบความหนาแน่นของอนุภาคดินทดสอบที่เติมชีวมวลสดและที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย 59

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบความพรุนรวมทั้งหมดของดินทดสอบที่เติมชีวมวลสดและที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย 63

ตารางที่ 17 จำนวนสาหร่ายที่รอดชีวิตหลังการเก็บรักษาด้วยเทคนิค cryopreservation 67

ตารางที่ 18 การอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์ปุ๋ยเม็ด 67

ตารางที่ 19 การอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์ปุ๋ยผง 68

ตารางที่ 20 การอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์สาหร่ายตากแห้ง 68

ตารางที่ 21 การอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้ง 69

ตารางที่ 22 การอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์สาหร่ายสดในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ 69

ตารางที่ 23 ความสูงของต้นข้าวที่อายุต่างๆ ภายหลังจากใส่สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก 70

ตารางที่ 24 ความสูงของคะน้าที่อายุต่างๆ ภายหลังจากใส่สาหร่าย *Nostoc* sp. ทั้ง 4 สายพันธุ์ 71

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 คลังเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่าย ศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) 15

รูปที่ 2 การเพาะเลี้ยงสายพันธุ์สาหร่ายในอาหารเหลวในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร 15

รูปที่ 3 เซลล์สาหร่าย (ซ้าย) และอาหารเพาะเลี้ยง (ขวา) นำไปสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ 16

รูปที่ 4 เซลล์สาหร่าย (ซ้าย) และอาหารเพาะเลี้ยง (ขวา) หลังจากที่นำไประเหิดแห้งแล้ว 16

รูปที่ 5 พอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดจากเซลล์สาหร่าย (ซ้าย) และสกัดจากอาหารเพาะเลี้ยง (ขวา) 16

รูปที่ 6 ปริมาณอินทรียวัตถุ (%) ของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ 34

รูปที่ 7 ปริมาณอินทรียวัตถุ (%) ของดินสวนจากลำตะคอง 34

รูปที่ 8 กิจกรรมจุลินทรีย์ของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้โดยวัดเป็นปริมาณ CO_2 ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน (มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม) 39

รูปที่ 9 กิจกรรมจุลินทรีย์ ของดินสวนจากลำตะคองโดยวัดเป็นปริมาณ CO_2 ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน (มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม) 39

รูปที่ 10 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290 45

รูปที่ 11 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 45

รูปที่ 12 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 46

รูปที่ 13 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินทุ่งนาจากกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8873 46

รูปที่ 14 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290 47

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 15 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 47

รูปที่ 16 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 48

รูปที่ 17 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8873 48

รูปที่ 18 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290 49

รูปที่ 19 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 49

รูปที่ 20 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 50

รูปที่ 21 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8873 50

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 22 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290 51

รูปที่ 23 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 51

รูปที่ 24 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 52

รูปที่ 25 น้ำหนักของเม็คดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8873 52

รูปที่ 26 ความหนาแน่นรวมของดินของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ 56

รูปที่ 27 ความหนาแน่นรวมของดินของดินนาจากลำตะคอง 56

รูปที่ 28 ความหนาแน่นของอนุภาคดินของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ 60

รูปที่ 29 ความหนาแน่นของอนุภาคดินของดินนาจากจากลำตะคอง 60

รูปที่ 30 ความพรุนรวมของดินของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ 64

รูปที่ 31 ความพรุนรวมของดินของดินนาจากลำตะคอง 64

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย (โครงการ BRT) (สกว.-ศช.) ในการสนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณส่วนวิจัยกายภาพดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ในความอนุเคราะห์เครื่องมือและห้องปฏิบัติการในการดำเนินงานวิจัยมา ณ โอกาสนี้

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF ALGAL PRODUCT FOR RESTORATION OF SOIL AND SUSTAINABLE PRODUCTION OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Aparat Mahakhant, Narin Chansawang, Watcharee Kunyalung, Sophapan Sunyunsanoa and Suphansa Khantasopa

Abstract

The four algal strains, *Nostoc* sp. TISTR 8290, *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871 and *Nostoc* sp. TISTR 8873 were selected as potential strains base on their rapid growth and high total polysaccharide production. The efficiency of soil conditioner from these algae was studied in comparison between the addition of algal biomass (AB) and extracellular polysaccharide (EPS). The findings indicated that addition of EPS produces a faster and higher increase in microbial activities, total porosity, water-stable aggregate and decrease bulk density than addition of AB. *Nostoc muscorum* TISTR 9054 delivered the best result in either with the addition of AB or EPS. These results showed statistical significant difference ($p \leq 0.05$) to the controlled group in terms of organic matter, microbial activity, bulk density and total porosity of Lam Takhong soil, organic matter and microbial activity of Thung Gula Ronghai soil. The survival of algae in developed soil conditioner products (granular, powder, sun-dried cell, hot oven-dried cells, in cluding fresh cells in aluminium foil bag) could be detected up to the level of 10^6-10^7 cells per gram or per millilitre after storage for 1-2 months. The preliminary in pot experiment pointed out that addition of AB in sand could promote growth of rice and Chinese Kale.

วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายเพื่อการฟื้นฟูสภาพดินและการผลิตพืชอย่างยั่งยืน

อาภารัตน์ มหาขันธ์, นารินทร์ จันทร์สว่าง, วัชรี กัลยาลัง, โสภาพรรณ สัญญาณเสนาะ และ สุพรรษา ขันธโสภา

บทคัดย่อ

คัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่มีศักยภาพในการผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์เพื่อนำไปใช้ปรับโครงสร้างดิน โดยพิจารณาจากปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่แต่ละสายพันธุ์ผลิตได้ 4 สายพันธุ์ คือ *Nostoc* sp. TISTR 8290 *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 เมื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับโครงสร้างดินจากสาหร่ายระหว่างชีวมวลสดและพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกสู่ภายนอกเซลล์สาหร่ายในห้องปฏิบัติการ พบว่าการเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกสู่ภายนอกเซลล์ลงไปในดินจะช่วยฟื้นฟูโครงสร้างดินได้มากกว่าการเติมชีวมวลสดของสาหร่าย โดยพิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมจุลินทรีย์ ความพรุนทั้งหมดของดิน ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ และการลดลงของความหนาแน่นรวมของดิน สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 ให้ผลดีทั้งที่เติมชีวมวลและสารพอลิแซ็กคาไรด์ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม ($p \leq 0.05$) ด้านปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ ในดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ และกิจกรรมจุลินทรีย์ ในดินสวนจากลำตะคอง ปริมาณอินทรียวัตถุ กิจกรรมจุลินทรีย์ ความหนาแน่นรวมของดิน และความพรุนทั้งหมดของดิน การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเม็ด แบบผงโดยผสมกับวัสดุรองรับ หรือในรูปแบบเซลล์สาหร่ายตากแห้งหรืออบแห้ง ตลอดจนแบบเก็บเซลล์สดในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ พบว่าสาหร่ายยังคงความมีชีวิตรอดในระดับ 10^6-10^7 เซลล์ต่อกรัมหรือต่อมิลลิลิตร ถึงบัดนี้เป็นเวลา 1-2 เดือน ผลทดสอบระดับกระถางเบื้องต้น พบว่า การเติมชีวมวลสาหร่ายในทรายช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวและคะน้า

1. บทนำ

กว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ถือครองการเกษตรของประเทศ มีสภาพความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื่องจากมีอินทรียวัตถุน้อยกว่าร้อยละ 1.5 ชี้ให้เห็นว่าทรัพยากรดินซึ่งเป็นฐานทรัพยากรในการผลิตอยู่ในสภาพเสื่อมโทรม เนื่องมาจากการสูญเสียโครงสร้างดิน ซึ่งมีผลกระทบทั้งโดยทางตรงและโดยอ้อมต่อการเจริญเติบโตของพืช ในบรรดาปัจจัยส่งเสริมการเกิดโครงสร้างดินโดยธรรมชาตินั้น การผลิตอินทรียวัตถุพวกสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) โดยจุลินทรีย์ดินโดยเฉพาะกลุ่มสาหร่ายเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดต่อการสร้างเม็ดดิน ความเสถียรของเม็ดดินและโครงสร้างของดิน เนื่องจากสาหร่ายนอกจากจะสร้างเมือกหุ้มเซลล์ (mucilaginous sheath) ซึ่งเป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์แล้ว ยังสามารถหลั่งสารพอลิแซ็กคาไรด์สู่ภายนอกเซลล์ เป็นตัวส่งเสริมความเสถียรของเม็ดดินและปรับปรุงโครงสร้างของดิน

ศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ในฐานะหน่วยงานที่มีการรวบรวมและเก็บรักษาสายพันธุ์จุลสาหร่าย (microalgae) จากแหล่งต่างๆ ทั่วประเทศ ซึ่งกว่า 200 สายพันธุ์ได้มาจากการดำเนินโครงการสำรวจและเก็บรวบรวมสายพันธุ์สาหร่ายจากแหล่งต่างๆ ในธรรมชาติ ซึ่งสนับสนุนโดยโครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย (โครงการ BRT สกว.-ศช.) ได้ทำการศึกษาเบื้องต้น พบว่า สาหร่ายสกุล *Nostoc* ซึ่งเป็นสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่ตรึงไนโตรเจนได้หลายสายพันธุ์สามารถผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกมาภายนอกเซลล์ได้ในปริมาณมาก จึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาพัฒนาใช้ในการปรับปรุงโครงสร้างดินได้ทั้งในลักษณะของเซลล์ที่มีชีวิตหรือเฉพาะสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตขึ้น

เพื่อก่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรชีวภาพสาหร่าย ศจล. วว. จึงได้ร่วมมือกับบริษัท อัลโกเทค จำกัด พัฒนาโครงการ "วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายเพื่อการฟื้นฟูสภาพดินและการผลิตพืชอย่างยั่งยืน" โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ปุ๋ยชีวภาพ/สารปรับโครงสร้างดิน เพื่อใช้ในการฟื้นฟูสภาพดินและการผลิตทางการเกษตรอย่างยั่งยืน โดยโครงการได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการ BRT มีระยะเวลาในการดำเนินงานทั้งสิ้น 3 ปี รายงานฉบับนี้เป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ปีที่ 1 ซึ่งเป็นผลการดำเนินโครงการระหว่าง เดือน สิงหาคม 2549 – กันยายน 2550

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่มีศักยภาพในการผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์

2.1.1 การเพาะเลี้ยงเซลล์สาหร่ายในอาหารเหลว

ตัวอย่างสาหร่ายที่ศึกษานำมาจากคลังเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่าย ศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จำนวน 60 สายพันธุ์ จาก 2 สกุลที่พบว่ามีการสร้างเมือก ได้แก่ *Nostoc* จำนวน 51 สายพันธุ์ และ *Anabaena* จำนวน 9 สายพันธุ์

นำเซลล์สาหร่าย สกุล *Nostoc* และ *Anabaena* ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้รวมทั้งหมด 87 สายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 10 กรัม (น้ำหนักสด) เพาะเลี้ยงในอาหารที่ปราศจากแหล่งไนโตรเจน สูตร BGA (Antarikanonda *et al.* 1980) โดยเลี้ยงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตรอาหาร 200 มิลลิลิตร บนเครื่องเขย่าความเร็ว 100 รอบต่อนาที บ่มภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ (cool-white fluorescent) ที่ความเข้มแสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำเป็นเวลา 21 วัน (ระยะ stationary phase) แล้วนำมาสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์จากเซลล์สาหร่ายและอาหารเพาะเลี้ยง

2.1.2 การสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์

แยกเซลล์สาหร่ายออกจากอาหารเพาะเลี้ยงโดยการนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge, Sorvall รุ่น SS-33) ที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที ล้างเซลล์ให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น นำไปชั่งน้ำหนักสดและจดบันทึกไว้ ส่วนอาหารเพาะเลี้ยงนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman (GF/C) อีกครั้งแล้วนำมาลดปริมาตรลงด้วยเครื่องระเหยแห้งแบบลดความดัน (Evaporator, Buchi รุ่น R-124) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้เหลือปริมาตรประมาณ 5 มิลลิลิตร แล้วนำไประเหิดแห้งด้วยเครื่อง Freeze dryer (Edwards รุ่น EF 03) ต่อจากนั้นนำอาหารเพาะเลี้ยงที่แห้ง ไปสกัดด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำร้อน 100 มิลลิลิตรต่อกรัมของอาหารเพาะเลี้ยงแห้ง ทำการสกัดซ้ำ 2 ครั้ง โดยใช้เวลาในการสกัด 3 และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ กวนตลอดเวลาที่สกัดแล้วกรองสารละลายผ่านกระดาษกรอง GF/C นำสารละลายที่ได้จากทั้งการสกัดจากเซลล์สาหร่ายแห้งและอาหารเพาะเลี้ยงแห้งมาหาปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยวิธี Phenol-sulfuric acid (Dubois *et al.* 1956) โดยใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นสารมาตรฐาน (Chen *et al.* 2003) เพื่อแสดงปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่สาหร่ายผลิตขึ้น

2.1.3 การคัดเลือกสายพันธุ์

เลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่มีศักยภาพในการผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์เพื่อใช้ปรับโครงสร้างดิน โดยพิจารณาจากปริมาณชีวมวลสดของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นและปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์จากทั้งเซลล์สาหร่ายและอาหารเพาะเลี้ยงที่แต่ละสายพันธุ์ผลิตได้ โดยคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่าย 3-5 สายพันธุ์ที่ให้ผลดีที่สุด

2.2 การศึกษาการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกด้วยวิธีอะเซทิลีนรีดักชัน

(Acetylene reduction assay) (Hardy *et al.* 1973)

นำสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกมาเพาะเลี้ยงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ที่มีอาหารสูตร BGA 200 มิลลิลิตร เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็ว 100 รอบต่อนาที ภายใต้ความเข้มแสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางต่อวินาที เพาะเลี้ยงนาน 21 วัน จากนั้นเก็บเซลล์สาหร่ายกรองผ่านตาข่ายกรองแพลงค์ตอน (plankton net) ขนาด 108 ไมครอน ล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 2 ครั้ง ชั่งเซลล์สาหร่าย 0.1 กรัม ลงในขวดทดลอง ปริมาตร 40 มิลลิลิตรที่มีอาหารสูตร BGA เตรียมใหม่ 10 มิลลิลิตร ปิดขวดด้วยจุกยางให้แน่น ดูดอากาศภายในหลอดออก 10 เปอร์เซ็นต์ แล้วเติม 10 เปอร์เซ็นต์ แก๊สอะเซทิลีน (acetylene) ลงในขวด ปิดฝาและพันรอบปากขวดด้วยพาราฟิล์ม นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส ที่มีความเข้มแสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางต่อวินาที พร้อมทั้งเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นใช้กระบอกสุญญากาศ (syringe) ปริมาตร 1 มิลลิลิตรดูดแก๊สขึ้นมาแล้ว ฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatography (Shimadzu รุ่น GC14) ที่มีตัวตรวจวัดเป็น Flame Ionization Detector (FID) ใช้คอลัมน์ชนิด Porapack Q (Mesh 60/80) โดยมีสภาวะ ดังนี้ อุณหภูมิคอลัมน์ 75 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่หัวฉีด 100 องศาเซลเซียส ไนโตรเจนเป็นแก๊สพา (carrier gas) โดยประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายใช้วิธีการตรวจวัดทางอ้อม แก๊สที่ต้องการวิเคราะห์เป็นเอทิลีน ซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ไนโตรจีเนส ที่จะเปลี่ยนแก๊สอะเซทิลีนให้เป็นแก๊สเอทิลีน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การคำนวณ

$$\text{ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนของสาหร่าย} = \frac{10^3 \times B \times V}{2200 \times Std. \times A \times 22.4}$$

ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนของสาหร่าย มีหน่วยเป็นไมโครโมลของเอทิลีน (C_2H_4) ต่อกรัมสาหร่ายสดต่อชั่วโมง เมื่อใช้เอทิลีนมาตรฐานที่มีปริมาตรเป็น 2,200 มิลลิลิตร และ 1 โมลของ

แก๊สที่ STP (Standard Temperature and Pressure, 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ) มีค่าเท่ากับ 22.4 ลิตร

B = พื้นที่ใต้กราฟของสาหร่ายตัวอย่าง

V = ปริมาณของขวดที่ใช้เก็บตัวอย่างเป็นมิลลิลิตร

Std. = พื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยของแก๊สอะเซทิลีนมาตรฐาน

A = เวลาที่ใช้ในการรีดิวซ์แก๊สอะเซทิลีนเป็นชั่วโมง

2.3 การศึกษาการผลิตสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจากสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก

2.3.1 การศึกษาการผลิตออกซิน (Auxin)

1) การสกัดออกซิน (Gregory and Jeremy 2000)

เก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก (เพาะเลี้ยงตามข้อ 2.2) แล้วนำเซลล์สาหร่ายแช่แข็งในไนโตรเจนเหลวทันที นำเซลล์สาหร่ายในสภาพแข็งมาบดด้วยโกร่งบดยา (mortar and pestle) ที่แช่อยู่ในน้ำแข็ง เติมด้วยสารละลายเมทานอล 80% ปริมาตร 9 มิลลิลิตรต่อกรัมสาหร่าย (น้ำหนักสด) และนำไปปั่นเหวี่ยงใช้ความเร็ว 24,000 รอบต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำสารละลายใสไปเจือจางเพื่อให้ได้เมทานอลความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ และนำไปทดสอบทางชีววิธี (bioassay)

2) การทดสอบออกซินทางชีววิธี (พงษ์นาถ 2549)

ทดสอบโดยวิธีการข่มของตายอด (apical dominace) ใช้ต้นดาวเรือง อายุประมาณ 24 วัน เด็ดยอดที่ใบคู่แรกออก หยดสารสกัดปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงบนฟองน้ำที่ตัดเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 1x1x1 เซนติเมตร นำไปวางบนยอดดาวเรืองที่เด็ดยอดแล้วเป็นเวลา 7 วัน เปรียบเทียบการแตกของตาข้างกับต้นที่เด็ดยอดแต่ไม่ให้สารสกัด ถ้าต้นที่ให้สารสกัดตาข้างไม่เจริญแสดงว่าสารสกัดจากสาหร่ายมีออกซินเป็นองค์ประกอบ

2.3.2 จิบเบอเรลลิน (Gibberellin)

1) การสกัดจิบเบอเรลลิน (Gregory and Jeremy 2000)

เก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก (เพาะเลี้ยงตามข้อ 2.2) นำเซลล์สาหร่ายแช่แข็ง (-20 องศาเซลเซียส) แล้วทำให้แห้งโดยการระเหิด (freeze-dried) แช่ตัวอย่างในสารละลายเมทานอล:น้ำ อัตราส่วน 4:1 (โดยปริมาตร) 10 มิลลิลิตรต่อกรัมสาหร่าย (น้ำหนักสด) ปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บไว้ในที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง กรองด้วย C_{18} cartridge นำไประเหยแห้งแบบลดความดันที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตรต่อกรัม (น้ำหนักสด) แล้วนำไปทดสอบทางชีววิธี

2) **การทดสอบจิบเบอเรลลินทางชีววิธี** (พงษ์นาถ 2549)

ทดสอบโดยวัดการยืดยาวของลำต้น(internodes elongation) ถั่วเขียว เพาะเมล็ดถั่วเขียวลงดินที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที ในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร กระถางละ 1 ต้น หลังจากมีใบจริง 1 คู่ ให้สารสกัดจากสาหร่ายที่ต้นถั่วครั้งละ 1 มิลลิลิตร ทุก 3 วันเป็นเวลา 30 วัน เปรียบเทียบกับต้นถั่วที่ไม่ได้รับสารสกัด ถ้าต้นถั่วที่ได้รับสารสกัดแสดงอาการยืดยาวมากกว่าต้นถั่วที่ไม่ได้รับสารแสดงว่ามีสารสกัดมีจิบเบอเรลลินเป็นองค์ประกอบ

2.3.3 ไซโตไคนิน (Cytokinins)

1) **การสกัดไซโตไคนิน** (Gregory and Jeremy 2000)

เก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก (เพาะเลี้ยงตามข้อ 2.2) แล้วนำเซลล์สาหร่ายแช่ไว้ในสารละลาย Bieleski ที่ประกอบด้วย เมทานอล:น้ำ:กรดอะซิติก ในอัตราส่วน 70:30:3 (โดยปริมาตร) 10 มิลลิลิตรต่อกรัมสาหร่าย (น้ำหนักสด) ที่มีอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน แล้วนำตัวอย่างมาบดด้วยโกร่งบดยา แล้วปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันในสารละลาย Bieleski แยกสารละลายใสโดยปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,500 รอบต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แยกสารละลายใสออกแล้วเติมด้วย เมทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ 5 มิลลิลิตรต่อกรัม (น้ำหนักสด) เก็บสารละลายใสไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำไปปั่นเหวี่ยงใช้ความเร็ว 6,500 รอบต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 30 นาที นำสารละลายใสไประเหยแห้งแบบลดความดันจนได้ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตรต่อกรัม (น้ำหนักสด) แล้วนำไปทดสอบทางชีววิธี

2) **การทดสอบไซโตไคนินทางชีววิธี** (พงษ์นาถ 2549)

ทดสอบโดยดูจากการเสื่อมชราของใบพืช นำใบถั่วเขียวที่อายุ 14 วัน ทำความสะอาดใบโดยล้างด้วยน้ำกลั่น นำไปไว้ในจานเลี้ยงเชื้อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร หยดสารสกัดลงบนใบ 0.5 มิลลิลิตร ทุก 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับใบที่ไม่ได้รับสารสกัด ใบที่ได้รับไซโตไคนินจะแสดงอาการเหลืองช้ากว่าใบที่ไม่ได้รับไซโตไคนิน

2.4 การศึกษาชนิดอาหารที่เหมาะสม (optimal medium) ในการผลิตชีวมวลสาหร่ายนอสตอคสายพันธุ์คัดเลือกในระดับห้องปฏิบัติการ

2.4.1 การเตรียมหัวเชื้อ

เตรียมหัวเชื้อ (inoculum) โดยนำสาหร่ายนอสตอคสายพันธุ์คัดเลือก มาขยายปริมาณการผลิตในถังเพาะเลี้ยง (carboy, Nalgene) ที่บรรจุอาหาร BGA (ใช้สารเคมี analytical grade ของ Fluka, Sigma และ Merck) ปริมาตร 10 ลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงไฟฟลูออเรสเซนต์ (cool-white fluorescent) ที่ระดับความเข้มแสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตร

ต่อวินาที ตลอด 24 ชั่วโมง ระหว่างการเพาะเลี้ยงพ่นอากาศผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 30 วันก่อนทำการเก็บเกี่ยวด้วยตาข่ายกรองแพลงก์ตอนขนาดตา 108 ไมครอน ล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อก่อนนำไปใช้เป็นหัวเชื้อในการทดลอง

2.4.2 การศึกษาสูตรอาหารเหลวที่เหมาะสมสำหรับสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก

ทำการศึกษาสูตรอาหารเหลวที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกในระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 4 สูตร คือ Allen (Allen 1952), BGA (Antarikanonda *et al.* 1980), BG-11 (Stainer and Bazize 1971) และ Bold's basal (Vonshak 1986) โดยใช้สาหร่ายเริ่มต้น 2.00±0.10 กรัมน้ำหนักสดในอาหารเลี้ยงสาหร่ายปริมาตร 250 มิลลิลิตร ตั้งบนเครื่องเขย่าความเร็ว 100 รอบต่อนาที บ่มที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส ภายใต้ความเข้มแสง 60 ไมโครไอ-สไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที เป็นเวลา 30 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วัดอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่ผ่านการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 0 15 วัน และ 30 วัน โดยนำสาหร่ายมาทำการปั่นเหวี่ยง ด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge, Hettich Zentrifugen รุ่น Universal 16) ด้วยความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ทำการล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ 2 ครั้ง นำไประเหยแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Edward Freeze-Dryer รุ่น Super Modulyo) และนำมาชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งวิเคราะห์ (analytical balance, Satorius รุ่น LA 230S) โดยคิดน้ำหนักแห้งเป็นมิลลิกรัม

2.5 การทดสอบประสิทธิภาพในการปรับโครงสร้างดินของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก

2.5.1 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารเหลว

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกในอาหารเหลวจำนวน 2 ชุด

ชุดที่ 1 เพาะเลี้ยงเพื่อเก็บเซลล์ของสาหร่ายที่ยังมีชีวิตอยู่

ชุดที่ 2 เพาะเลี้ยงเพื่อนำมาสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์

2.5.1.1 ชุดที่ 1 เพาะเลี้ยงเพื่อเก็บเซลล์ของสาหร่ายที่ยังมีชีวิตอยู่

นำเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกมาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว โดยเลี้ยงในถังเพาะเลี้ยงในอัตราส่วนเซลล์สาหร่าย 12 กรัม (น้ำหนักสด) ต่ออาหารเพาะเลี้ยง 1,000 มิลลิลิตร (Zulpa *et al.* 1997) บ่มภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ (cool-white fluorescent) ที่ความเข้มแสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งพ่นอากาศผสมคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ด้วยอัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บเซลล์สาหร่ายใน

ระยะ exponential phase แยกตัวเซลล์ออกจากอาหารเพาะเลี้ยงโดยการนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge, Sorvall รุ่น SS-33) ที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที

2.5.1.2 ชุดที่ 2 เพาะเลี้ยงเพื่อนำมาสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์

นำเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกมาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว โดยเลี้ยงในถังเพาะเลี้ยงในอัตราส่วนเซลล์สาหร่าย 30 กรัม (น้ำหนักสด) ต่ออาหารเพาะเลี้ยง 1,000 มิลลิลิตร (Zulpa *et al.* 1997) บ่มภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ (cool-white fluorescent) ที่ความเข้มแสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งพ่นอากาศผสมคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ในอาหารเพาะเลี้ยง ในระยะ stationary phase โดยการนำอาหารเพาะเลี้ยงที่สาหร่ายหลั่งสารพอลิแซ็กคาไรด์ออกมาไปลดปริมาตรลงด้วยเครื่องระเหยแห้งแบบลดความดัน (Buchi รุ่น R-124) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้ปริมาตรสุดท้ายของอาหารเพาะเลี้ยงลดลง 5 เท่าจากอาหารเพาะเลี้ยงเดิม

2.5.2 การเตรียมตัวอย่างดิน

ดินที่เก็บมาทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่ายโดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมชีวมวลสดและการเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย มี 2 ชนิด ได้แก่ ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ จังหวัดร้อยเอ็ด และดินสวนจากสถานีวิจัยลำตะคอง วว. จังหวัดนครราชสีมา นำตัวอย่างดินไปกรองผ่านตะแกรงร่อนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรู ขนาด 2 มิลลิเมตร

2.5.3 การทดสอบประสิทธิภาพการปรับโครงสร้างดิน

แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการปรับโครงสร้างดิน ได้แก่ ชุดที่ 1 เติมชีวมวลสด และชุดที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกสู่นอกเซลล์สาหร่าย

2.5.3.1 ชุดการทดลองที่ 1 เติมชีวมวลสดของสาหร่าย

ตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ทั้ง 2 ชนิด ตัวอย่างละ 250 กรัมใส่ลงในกล่องพลาสติกขนาด 13x13x4.5 เซนติเมตร จำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ทำให้ชุ่มด้วยน้ำกลั่น เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกแต่ละสายพันธุ์ในปริมาณ 10 กรัม (น้ำหนักสด) เกลี่ยให้ทั่วผิวหน้าดิน โดยกล่องควบคุมไม่เติมสาหร่าย (Zulpa *et al.* 1997) นำกล่องไปตั้งไว้ใต้แสงสว่างที่ความ

เข้มข้น 60 ไมโคร ไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที และที่อุณหภูมิ 28 ±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 เดือน ควบคุมความชื้นโดยการปิดฝากล่องพลาสติก

2.5.3.2 ชุดการทดลองที่ 2 เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดมาจากสาหร่าย

ตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ทั้ง 2 ชนิด ตัวอย่างละ250 กรัมใส่ลงในกล่องพลาสติกขนาด 13x13x4.5 เซนติเมตร จำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ทำให้ชุ่มด้วยน้ำกลั่น นำสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดมาจากสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกแต่ละสายพันธุ์ในปริมาณ 32 มิลลิลิตร ผสมกับดิน ต่อจากนั้นนำกล่องไปตั้งไว้ในที่มืด (Zulpa *et al.* 1997) ที่อุณหภูมิ 28 ±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 เดือน ควบคุมความชื้นโดยการปิดฝากล่องพลาสติก

2.5.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

2.5.4.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมี กายภาพ และธาตุอาหารพืชในดิน

เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติทางด้านเคมี กายภาพ และธาตุอาหารพืชในดินก่อนที่จะนำไปทดสอบประสิทธิภาพการปรับโครงสร้างของดินเพราะคุณสมบัติดังกล่าวนี้จะมีผลต่อปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง คุณสมบัติของดินที่ทำการวิเคราะห์ มีดังนี้

1) คุณสมบัติทางด้านเคมี ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter), ความเป็นกรด – ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity-EC) และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity-CEC)
2) ทางด้านกายภาพ ได้แก่ เนื้อดิน (Soil texture) ประกอบด้วยร้อยละของทราย (Sand) ทรายแป้ง (Silt) และดินเหนียว (Clay)
3) ธาตุอาหารพืชในดิน ได้แก่ ไนโตรเจน (Nitrogen), ฟอสฟอรัส (Phosphorus) โพแทสเซียม (Potassium) แคลเซียม (Calcium) แมกนีเซียม (Magnesium) กำมะถัน (Sulphur) คลอรีน (Chloride) และโซเดียม (Sodium)

2.5.4.2 วิเคราะห์ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงในดินตัวอย่าง

เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของแต่ละชุดการทดลองที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดิน ซึ่งทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดินก่อนการทดลอง และในวันสิ้นสุดของการทดลอง ใน 6 ด้าน ได้แก่

1) ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter) โดยวิธี Walkley and Black (ทัศนีย์ และคณะ 2537)
2) กิจกรรมของจุลินทรีย์ (Microbial activities) โดยวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน (Carbon dioxide evolution) (ธงชัย 2535)
3) ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) โดยวิธี Core Method (Blake and Hartge 1986a)
4) ความหนาแน่นอนุภาคของดิน (Particle density) โดยวิธี Pycnometer method (Blake and Hartge 1986b)
5) ความพรุนรวมทั้งหมดของดิน (Total porosity) (Culley 1993)
6) ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ (Water-stable aggregate) โดยวิธี Wet sifting (Grieve 1979)

2.5.5 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

การศึกษาถึงอิทธิพลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่าย ระหว่างชีวมวลสดและพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกมานอกเซลล์สาหร่ายในดิน 2 ชนิด คือ ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ จังหวัดร้อยเอ็ด และดินสวนจากสถานีวิจัยลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมาโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized experimental design-CRD) และทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองของแต่ละชุดการทดลอง โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.6 การเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่ายระยะยาวและการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์

2.6.1. การเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่ายคัดเลือกในระยะยาวด้วยเทคนิค Cryopreservation

เป็นการเก็บรักษาเพื่อการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนเพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งคุณลักษณะและคุณสมบัติทางพันธุกรรม ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Watanabe and Sawaguchi (1995) โดยนำตัวอย่างสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกที่อยู่ในระยะ stationary phase ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ใน cryo tube (Corning Co., Ltd.) ขนาด 1.5 มิลลิลิตร เติมสารป้องกันความเย็นไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethy sulfoxide, DMSO) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ($1x10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) (อัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร) ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายของ DMSO เท่ากับ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ และให้ได้ความหนาแน่นของเซลล์ประมาณ $1x10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ให้ความเย็น 1 ขั้นตอน โดย

นำสารละลายสาหร่ายที่ได้ไปแช่แข็งโดยตรงที่อุณหภูมิ -85 องศาเซลเซียสในตู้แช่แข็ง (SANYO รุ่น MDF-U5086WBT)

ทดสอบการมีชีวิตรอดของสาหร่ายหลังจากเก็บรักษาเซลล์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และที่ 1 และ 2 เดือน ตามลำดับ โดยนำ cryo tube ไปอุ่นในอ่างน้ำ (Waterbath, Techne, รุ่น TE-8J) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้ละลายอย่างสมบูรณ์ ถ่ายเชื้อสาหร่ายลงในหลอดทดลองที่บรรจุอาหารสูตร BGA ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส ภายใต้ความเข้มแสง 60 ไมโครไอน์สไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที สังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ดูข้อ 2.6.3)

2.6.2. การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์สารปรับโครงสร้างดิน

2.6.2.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์แบบเม็ด

เตรียมตัวอย่างสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกที่อยู่ในระยะ stationary phase ผสมกับวัสดุรองรับ (filler) (วัสดุรองรับนี้พัฒนาขึ้นโดย วว. ร่วมกับบริษัทอัลโกเทคเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพ "อัลจินัว" ซึ่งได้รับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์แล้ว) ปั้นเป็นเม็ดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-6 มิลลิเมตร โดยมีความหนาแน่นสุดท้ายของเซลล์ประมาณ $1x10^6$ เซลล์ต่อกรัม บรรจุในถุงพลาสติกใสเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในที่ร่ม ทดสอบการรอดชีวิตของสาหร่ายหลังการปั้นเป็นปุ๋ยเม็ดทันที และที่1 และ 2 เดือน โดยการชั่งปุ๋ยเม็ดที่บดละเอียดจำนวน 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่เติมอาหารสูตร BGA ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (10^0) ทำการเจือจางที่ 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}และ10^{-6} นำไปบ่มในสภาวะดังกล่าวข้างต้น สังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ดูข้อ 2.6.3)

2.6.2.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์แบบผง

เตรียมตัวอย่างสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกที่อยู่ในระยะ stationary phase ผสมกับวัสดุรองรับ (ดูข้อ 2.6.2.1) ความหนาแน่นสุดท้ายของเซลล์ประมาณ $1x10^6$ เซลล์ต่อกรัม บรรจุในถุงพลาสติกใสเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในที่ร่ม ทดสอบการรอดชีวิตของสาหร่ายหลังการผสมกับวัสดุรองรับทันที และที่1 และ 2 เดือน โดยการชั่งปุ๋ยผงจำนวน 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่เติมอาหารสูตร BGA ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (10^0) ทำการเจือจางที่ 10^{-1} 10^{-2} $10^{-3}10^{-4}10^{-5}$ และ10^{-6} นำไปบ่มในสภาวะดังกล่าวข้างต้น สังเกตการเจริญเติบโตเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ดูข้อ 2.6.3)

2.6.2.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์สาหร่ายตากแห้ง

เตรียมตัวอย่างสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกที่อยู่ในระยะ stationary phase ใส่ในถาดพลาสติกชนิดหลุม (multi wellplate) ชนิด 12 หลุมต่อถาด (เส้นผ่าศูนย์กลางหลุมเท่ากับ 2.2 เซนติเมตร) ปริมาตรบรรจุเท่ากับ 6 มิลลิลิตร) ความหนาแน่นของเซลล์ประมาณ $5x10^7$ เซลล์ต่อหนึ่งหลุม นำไปตากแดดจนแห้งสนิท ปิดฝาและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในที่ร่ม ทดสอบการรอดชีวิตของสาหร่ายหลังการตากแห้งทันที และที่ 1 เดือน โดยการถ่ายเชื้อสาหร่ายลงในหลอดทดลองที่บรรจุอาหารสูตร BGA ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 28 ± 1 องศาเซลเซียส ภายใต้ความเข้มแสง 60 ไมโครไอน์สไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที สังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ดูข้อ 2.6.3)

2.6.2.4 การพัฒนาผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้ง

เตรียมตัวอย่างสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกที่อยู่ในระยะ stationary phase ใส่ในจานพลาสติกชนิดหลุม (multi wellplate) ความหนาแน่นของเซลล์ประมาณ $5x10^7$ เซลล์ต่อหนึ่งหลุม นำไปอบแห้งในตู้อบ (Hot air oven, Memmert รุ่น UNB 500) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเซลล์สาหร่ายแห้งสนิทและเก็บรักษาในจานพลาสติกชนิดหลุมมีฝาปิดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทดสอบการรอดชีวิตของสาหร่ายหลังการอบแห้งทันที และที่1 เดือน โดยการถ่ายเชื้อสาหร่ายลงในหลอดทดลองที่บรรจุอาหารสูตร BGA ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 28 ± 1 องศาเซลเซียส ภายใต้ความเข้มแสง 60 ไมโครไอน์สไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที สังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ดูข้อ 2.6.3)

2.6.2.5 การพัฒนาผลิตภัณฑ์สาหร่ายสดในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์

เตรียมตัวอย่างสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกที่อยู่ในระยะ stationary phase ผสมเข้ากับอาหารที่มีวุ้น BGA ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ปริมาณ 100 มิลลิลิตร บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ความหนาแน่นของเซลล์ประมาณ $5x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึก (Champ รุ่น PFS-300) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในที่ร่ม ทดสอบการรอดชีวิตของสาหร่ายหลังการเก็บรักษาทันที และที่ 1 เดือน โดยถ่ายเชื้อสาหร่ายลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตรที่บรรจุอาหารสูตร BGA ปริมาตร 15 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 28 ± 1 องศาเซลเซียส ภายใต้ความเข้มแสง 60 ไมโครไอน์สไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที สังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ดูข้อ 2.6.3)

2.6.3. การตรวจสอบการมีชีวิตรอดของสาหร่าย

ทำการนับจำนวนสาหร่ายที่มีชีวิตรอดทั้งหมดสายพันธุ์ละ 3 ซ้ำ เปรียบเทียบกับจำนวนเซลล์เริ่มต้นในการเก็บรักษาหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์หัวกลับ (inverted microscope, Olympus, รุ่น CK2) และสไลด์นับเซลล์ (counting chamber) แบบ Sedgwick-Rafter จะสุ่มนับอย่างน้อยที่สุด 50 ช่อง คำนวณกลับมาเป็นจำนวนเซลล์ต่อปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วคำนวณความเข้มข้นของเซลล์ทั้งหมดโดยคูณกลับด้วยค่าของการเจือจาง (หากเซลล์สาหร่ายนั้นมีความหนาแน่นสูงและถูกเจือจางก่อนนำมานับจำนวนเซลล์) ทำให้ทราบถึงความหนาแน่นของเซลล์เป็นจำนวนเซลล์ต่อปริมาตรน้ำ 1 มิลลิลิตร (อาภารัตน์ 2542)

2.7 การทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าวและคะน้า

เตรียมทรายที่นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที ปริมาณ 200 กรัม ผสมกับสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกแต่ละสายพันธุ์ ปริมาณ 20 กรัม น้ำหนักสด (ปั่นเหวี่ยงที่ 8,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที) ใส่กระถางพลาสติกขนาด 4 นิ้ว ปลูกข้าว (พันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่นและแช่น้ำกลั่น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง) และคะน้า กระถางละ 5 เมล็ด จากนั้นให้น้ำกระถางละ 100 มิลลิลิตร ทุก 7 วัน วัดความสูงของต้นข้าวและคะน้าที่ 7 14 และ 21 วัน เปรียบเทียบกับกระถางที่ไม่ใส่สาหร่าย ทำการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่มีศักยภาพในการผลิตพอลิแซ็กคาไรด์เพื่อนำไปใช้ปรับโครงสร้างดิน

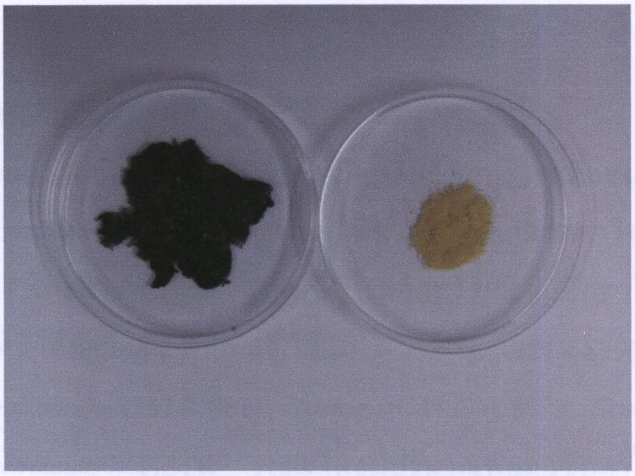
ทำการคัดเลือกจากสายพันธุ์สาหร่ายจากทั้งหมด 60 สายพันธุ์ แบ่งเป็นสาหร่ายสกุล *Nostoc* จำนวน 51 สายพันธุ์ และสกุล *Anabaena* จำนวน 9 สายพันธุ์ ที่เก็บรักษา ณ คลังเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่าย ศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) (รูปที่ 1) โดยนำสาหร่ายมาสายพันธุ์ละ 10 กรัม (น้ำหนักสด) มาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวที่ปราศจากแหล่งไนโตรเจน สูตร BGA เป็นเวลา 21 วัน โดยเลี้ยงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตรอาหาร 200 มิลลิลิตร บนเครื่องเขย่า บ่มภายใต้แสงไฟฟลูออเรสเซนต์ (cool-white fluorescent) ที่ความเข้มแสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส (รูปที่ 2) สาหร่ายทั้งหมดมีคุณสมบัติในการปล่อยพอลิแซ็กคาไรด์ออกนอกเซลล์ จึงทำการเก็บทั้งเซลล์สาหร่ายและอาหารเพาะเลี้ยง (รูปที่ 3) โดยเซลล์สาหร่ายนำไประเหิดแห้งส่วนอาหารเพาะเลี้ยง

นำไปลดปริมาตรลงและนำไประเหิดแห้ง (รูปที่ 4) แล้วจึงนำมาสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์ โดยใช้น้ำร้อนเป็นตัวทำละลาย (รูปที่ 5) ต่อจากนั้นนำสารละลายทั้ง 2 ไปหาปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยวิธี Phenol-sulfuric acid (Dubois *et al.* 1956) โดยใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นสารมาตรฐาน (Chen *et al.* 2003) เพื่อแสดงปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่สาหร่ายผลิตขึ้น โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในการตรวจวัด

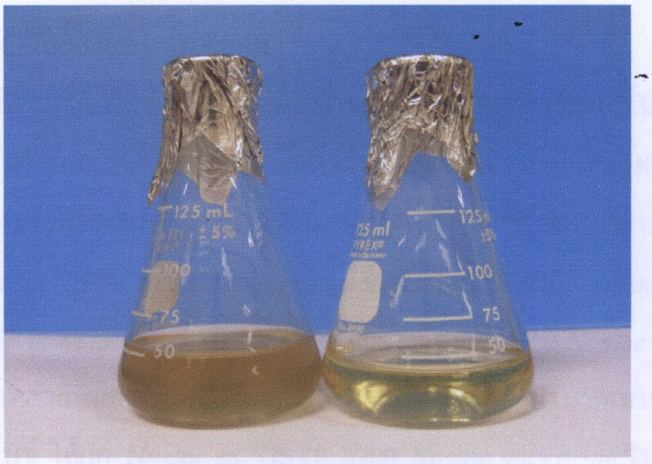
รูปที่ 1 คลังเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่าย ศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

รูปที่ 2 การเพาะเลี้ยงสายพันธุ์สาหร่ายในอาหารเหลวในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร

รูปที่ 3 เซลล์สาหร่าย (ซ้าย) และอาหารเพาะเลี้ยง (ขวา) นำไปสกัดพอลิแซ็กคาไรด์



รูปที่ 4 เซลล์สาหร่าย (ซ้าย) และอาหารเพาะเลี้ยง (ขวา) หลังจากที่นำไประเหิดแห้งแล้ว



รูปที่ 5 พอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดจากเซลล์สาหร่าย (ซ้าย) และสกัดจากอาหารเพาะเลี้ยง (ขวา)

3.1.1 ปริมาณชีวมวลสดของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้น

จากการทดลองนำสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 10 กรัม (น้ำหนักสด) เพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร BGA เป็นเวลา 21 วัน โดยเลี้ยงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตรอาหาร 200 มิลลิลิตรบนเครื่องเขย่า บ่มภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ (cool - white fluorescent) ที่ความเข้มแสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายที่แตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ (ตารางที่ 1)โดยสาหร่ายสายพันธุ์ที่มีการเพิ่มปริมาณชีวมวลสดที่สูงกว่าชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัดมีอยู่ 6 สายพันธุ์ได้แก่ *Nostoc* sp. TISTR 8873 *Anabaena anomala* TISTR 9001 *Nostoc* sp. TISTR 8290 *Nostoc paludosum* TISTR 8879 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 โดยมีปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มเท่ากับ 33.08± 1.56 31.18 ± 0.86 29.07±1.13 24.72±1.81 16.06±1.61 และ 14.63±1.39 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

3.1.2 ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้

เมื่อนำสาหร่ายทั้ง 60 สายพันธุ์มาสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งจากเซลล์สาหร่ายและอาหารเพาะเลี้ยง พบว่าสาหร่ายในแต่ละสายพันธุ์ให้ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่แตกต่างกัน แสดงผลดังตารางที่ 1 โดยสายพันธุ์สาหร่ายที่มีการผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่มีปริมาณมากกว่าชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัดมีอยู่ 6 สายพันธุ์ ได้แก่ *Nostoc* sp. TISTR 8290, *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8873 *Nostoc* sp. TISTR 9092 และ *Nostoc microscopicum* TISTR 9136 โดยมีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมผลิตได้ คือ 124.86±2.74 120.10±2.56 117.94±3.65 114.92±3.00 111.69±4.03 และ 106.48±3.26 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

3.1.3 ผลการคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่าย

การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายเพื่อนำมาปรับโครงสร้างของดินโดยพิจารณาจากปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่แต่ละสายพันธุ์ผลิตได้ (ตารางที่ 1) จะเห็นว่าสายพันธุ์สาหร่ายที่มีการเพิ่มปริมาณชีวมวลสดที่สูงกว่าชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัดมีอยู่ 6 สายพันธุ์ ได้แก่ *Nostoc* sp. TISTR 8873 *Anabaena anomala* TISTR 9001 *Nostoc* sp. TISTR 8290 *Nostoc paludosum* TISTR 8879 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 ส่วนสายพันธุ์สาหร่ายที่มีการผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่มีปริมาณมากกว่าชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัดมีอยู่ 6 สายพันธุ์ ได้แก่ *Nostoc* sp. TISTR 8290 *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8873 *Nostoc* sp. TISTR 9092 และ *Nostoc*

microscopicum TISTR 9136 เมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่แต่ละสายพันธุ์ผลิตได้ จะได้สายพันธุ์สาหร่ายคัดเลือกจำนวน 4 สายพันธุ์เพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการปรับโครงสร้างของดิน คือ *Nostoc* sp. TISTR 8290 *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873

ตารางที่ 1 ปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้ของสาหร่ายทั้ง 60 สายพันธุ์

ลำดับที่	สาหร่าย	ปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้น[1] (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส[1,2] (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)		
			เซลล์สาหร่าย	อาหารเพาะเลี้ยง	รวม
1.	*Nostoc* sp. TISTR 8290	29.07±1.13	42.13± 2.20	82.73±3.20	124.86± 2.74
2.	*Nostoc muscorum* TISTR 9054	14.63±1.39	58.67± 3.39	61.43±2.27	120.10±2.56
3.	*Nostoc muscorum* TISTR 8871	16.06±1.61	56.92± 3.21	61.02±3.78	117.94 ±3.65
4.	*Nostoc* sp. TISTR 8873	33.08± 1.56	55.17± 3.03	59.75±3.59	114.92±3.00
5.	*Nostoc* sp. TISTR 9092	8.34 ± 0.83	55.83±4.63	55.86±4.12	111.69 ±4.03
6.	*Nostoc microscopicum* TISTR 9136	4.91 ± 0.50	36.07±3.80	70.41±3.39	106.48±3.26
7.	*Nostoc paludosum* TISTR 9074	4.95 ± 0.82	27.98±4.22	75.99±3.94	103.97± 3.85
8.	*Nostoc paludosum* TISTR 8278	6.56±1.18	59.75±4.71	43.99±3.91	103.74 ±3.29
9.	*Nostoc microscopicum* TISTR 8279	4.96±0.14	49.98±3.73	51.69±2.96	101.67± 2.48
10.	*Nostoc* sp. TISTR 9122	6.19±0.56	36.05±2.47	62.52±3.01	98.57±2.78
11.	*Nostoc paludosum* TISTR 8962	6.19± 0.14	58.50±3.02	29.10±2.50	87.60± 2.86
12.	*Anabaena anomala* TISTR 9001	31.18 ± 0.86	17.99±3.73	64.76±3.09	82.75± 2.23
13.	*Nostoc piscinale* TISTR 9125	6.18 ± 0.88	42.40±4.18	39.13±2.64	81.53± 3.05
14.	*Nostoc commune* TISTR 8870	6.20 ±0.82	25.54±3.67	54.90±4.47	80.44±3.31
15.	*Nostoc calcicola* TISTR 8422	9.90 ± 0.49	38.40±1.93	39.60±3.48	78.00±2.54
16.	*Nostoc* sp. TISTR 8961	4.91 ± 0.55	18.88±2.39	52.42±2.80	71.30± 2.89
17.	*Nostoc piscinale* TISTR 8423	4.79± 0.37	23.57±1.19	46.07±2.04	69.64±2.31
18.	*Nostoc maculiform* TISTR 9103	6.69 ±1.77	30.89±2.22	36.56±2.97	67.45±3.15
19.	*Nostoc commune* TISTR 9104	6.47± 0.82	20.92±1.78	45.98±1.86	66.90±1.92
20.	*Nostoc ellipsosporum* TISTR 8403	9.36 ± 1.26	22.17±2.13	40.98±3.04	63.15± 3.18
21.	*Nostoc paludosum* TISTR 8879	24.72±1.81	28.52±3.65	30.38±3.09	58.90± 2.77
22.	*Nostoc punctiformes* TISTR 8167	9.94 ± 0.43	11.94±1.76	40.12±2.72	52.06±1.39
23.	*Nostoc* sp. TISTR 8419	5.46 ± 0.55	30.90±2.65	16.41±1.98	47.31±2.07

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับที่	สาหร่าย	ปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้น[1] (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส[1,2] (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)		
			เซลล์สาหร่าย	อาหารเพาะเลี้ยง	รวม
24.	*Nostoc microscopicum* TISTR 8886	4.96±0.87	18.39±2.56	23.25±2.78	41.64±2.61
25.	*Anabaena* sp. TISTR 8076	10.06 ± 0.63	14.25±1.76	21.88±2.09	36.13±1.73
26.	*Nostoc* sp. TISTR 9149	13.38±1.68	15.33±1.52	20.79±1.68	36.12±1.89
27.	*Nostoc muscorum* TISTR 8164	6.29 ± 0.95	10.76±1.78	23.24±1.83	34.00±2.18
28.	*Anabaena variabilis* TISTR 8404	24.46±1.65	14.44±2.01	19.34±0.98	33.78±1.87
29.	*Nostoc muscorum* TISTR 9052	8.99±0.98	14.09±1.59	18.89±1.22	32.98±1.68
30.	*Nostoc* sp. TISTR 9067	12.35± 1.08	12.02±2.03	18.57±2.27	30.59±2.16
31.	*Nostoc piscinale* TISTR 9077	8.65±1.25	12.62±2.78	16.64±2.65	29.26±3.01
32.	*Nostoc piscinale* TISTR 9047	6.83±2.03	13.40±1.35	15.27±1.78	28.67±1.65
33.	*Nostoc muscorum* TISTR 9049	8.21±1.33	20.18±1.29	7.37±1.85	27.55±1.45
34.	*Anabaena variabilis* TISTR 9171	5.26±0.69	12.62±1.58	14.66±1.99	27.28±1.65
35.	*Nostoc muscorum* TISTR 9007	4.86 ± 0.88	12.85±2.61	13.63±2.39	26.48±2.75
36.	*Nostoc paludosum* TISTR 8880	9.86±1.18	12.26±1.29	13.87±1.59	26.14±1.36
37.	*Nostoc paludosum* TISTR 8882	12.69±0.98	10.02±1.21	15.72±1.98	25.74±1.71
38.	*Nostoc paludosum* TISTR 8881	8.63±1.32	9.10±2.31	16.07±1.68	25.17±2.23
39.	*Nostoc paludosum* TISTR 8165	10.59±1.05	11.28±0.87	13.48±1.06	24.76±0.98
40.	*Nostoc punctiformes* TISTR 8175	10.11 ± 1.02	18.46±2.17	4.33±3.26	22.79±2.42
41.	*Nostoc piscinale* TISTR 8180	8.54±0.58	11.07±1.82	11.23±0.78	22.29±1.34
42.	*Nostoc commune* TISTR 8160	4.07 ± 0.85	11.41±0.97	9.71±1.09	21.12±0.60
43.	*Nostoc* sp. TISTR 9101	5.61±0.63	12.36±1.12	8.73±1.28	21.09±1.46
44.	*Nostoc* sp. TISTR 8177	7.69±1.65	11.18±1.94	9.41±1.72	20.59±2.01
45.	*Nostoc muscorum* TISTR 8173	11.91±0.96	12.57±1.91	7.88±1.26	20.45±1.41
46.	*Nostoc microscopicum* TISTR 8172	4.56±1.14	11.63±0.82	8.55±0.98	20.18±1.12
47.	*Anabaena siamensis* TISTR 8435	7.42±1.28	9.03±1.63	10.15±2.14	19.18±1.78
48.	*Nostoc calcicola* TISTR 9003	3.85±2.13	8.41±2.12	10.73±2.32	19.14±1.98
49.	*Nostoc microscopicum* TISTR 8885	4.03±1.08	12.91±1.57	5.47±1.87	18.37±1.74
50.	*Anabaena variabilis* TISTR 9172	6.48±0.97	11.46±1.43	6.07±1.65	17.53±1.58
51.	*Anabaena turulosa* TISTR 8014	8.41±2.14	10.57±1.54	6.64±1.28	17.22±1.46
52.	*Nostoc* sp. TISTR 8409	7.58±0.95	9.99±1.89	6.38±2.14	16.37±2.06

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับที่	สาหร่าย	ปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้น[1] (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส[1,2] (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)		
			เซลล์สาหร่าย	อาหารเพาะเลี้ยง	รวม
53.	*Nostoc* sp. TISTR 9102	10.68±0.75	10.92±2.17	5.39±1.64	16.31±2.13
54.	*Nostoc piscinale* TISTR 8874	11.12±0.47	10.36±2.04	5.64±2.54	16.00±2.15
55.	*Anabaena ambigua* TISTR 8001	13.61±2.14	12.57±0.96	3.42±0.68	15.99±0.92
56.	*Nostoc calcicola* TISTR 9126	9.78±0.36	10.99±2.38	3.91±1.34	14.90±2.01
57.	*Nostoc entophylum* TISTR 8161	12.33±1.12	9.41±2.61	4.67±1.57	14.08±2.31
58.	*Anabaena* sp. TISTR 8901	11.20±0.64	8.57±1.91	4.88±1.26	13.45±2.11
59.	*Nostoc paludosum* TISTR 9011	5.13±2.01	9.87±1.06	2.10±1.72	11.97±1.78
60.	*Nostoc* sp. TISTR 8178	4.52±1.64	7.40±1.10	3.07±2.22	10.47±1.78

[1]ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ [2] ปริมาณน้ำตาลกลูโคสใช้เป็นสารมาตรฐานเพื่อบอกถึงปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สาหร่ายผลิตได้

3.2 การศึกษาการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก

เมื่อนำสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกทั้ง 4 สายพันธุ์ มาศึกษาการตรึงไนโตรเจน พบว่า *Nostoc* sp. TISTR 8290 มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนสูงสุด รองลงไป คือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8873 และ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 โดยสามารถตรึงไนโตรเจนได้ 1,155±71.75 925.56±55.02 868.67±88.29 และ 864.97±83.49 ไมโครโมลเอทิลีนต่อกรัมสาหร่ายแห้งต่อชั่วโมง ตามลำดับ การเจริญเติบโต (ปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้น) การผลิตพอลิแซ็กคาไรด์รวม และการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก แสดงในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าในการศึกษานี้ *Nostoc* sp. TISTR 8290 เป็นสาหร่ายที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดทั้งในแง่การเจริญเติบโตการผลิตพอลิแซ็กคาไรด์รวม และการตรึงไนโตรเจน

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโต การผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ และการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก

สายพันธุ์สาหร่าย	ปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้น[1] (กรัมต่อลิตร)	พอลิแซ็กคาไรด์รวม[1] (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน[1] (ไมโครโมลเอทิลีนต่อกรัมสาหร่ายแห้งต่อชั่วโมง)
Nostoc sp. TISTR 8290	29.07±1.13	124.86±2.74	1,155.00±71.75
Nostoc muscorum TISTR 8871	16.06±1.61	117.94±1.65	925.56±55.02
Nostoc sp. TISTR 8873	33.08±1.56	114.92±2.00	868.67±88.29
Nostoc muscorum TISTR 9054	14.63±1.39	120.10±2.56	864.97±83.49

[1]ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

3.3 ผลการสกัดและทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจากสาหร่าย

3.3.1 ผลการทดสอบการผลิตฮอร์โมนออกซินจากสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก

ผลการทดสอบเปรียบเทียบในต้นดาวเรืองที่ได้รับสารสกัดจากสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์กับชุดควบคุม พบว่า จำนวนตาข้างของต้นดาวเรืองพบมากที่สุดในชุดควบคุม มีจำนวน 10.50±1.29 รองลงมาได้แก่ จำนวนตาข้างของต้นดาวเรืองที่ได้รับสารสกัดจาก *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีจำนวนตาข้างที่ไม่แตกต่างกันที่ 9.75±0.96 และ 9.75±1.71 ตามลำดับ และต้นดาวเรืองที่ได้รับสารสกัดจาก *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีจำนวนตาข้างเท่ากันที่ 9.50±1.29 และ 9.50±0.58 ตามลำดับ เมื่อนำผลการทดลองทั้งหมดไปหาความแตกต่างทางสถิติ พบว่า จำนวนตาข้างของต้นดาวเรืองในทุกการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 จำนวนตาข้างของต้นดาวเรืองหลังจากได้รับสารสกัดจากสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก 7 วัน

สายพันธุ์สาหร่าย	จำนวนตาข้างของต้นดาวเรือง
ชุดควบคุม[1]	10.50±1.29[2]
Nostoc muscorum TISTR 8871	9.75±0.96
Nostoc muscorum TISTR 9054	9.75±1.71
Nostoc sp. TISTR 8873	9.50±0.58
Nostoc sp. TISTR 8290	9.50±1.29
ค่าสถิติ ($p \leq 0.05$)	NS[3]

[1]ชุดควบคุมไม่ได้รับสารสกัดจากสาหร่าย [2]ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 4 ซ้ำ [3]NS = Not significant, ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.3.2 ผลทดสอบการผลิตฮอร์โมนจิบเบอเรลลินจากสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก

ผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบความสูงของต้นถั่วเขียวในชุดควบคุมและที่ให้สารสกัดจากสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่า ความสูงของต้นถั่วเขียวสูงที่สุดในชุดควบคุมและที่ได้รับสารสกัดจาก *Nostoc muscorum* TISTR 9054 โดยมีความสูง 16.75±0.96 และ 16.75±2.06 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมา ได้แก่ ต้นถั่วเขียวที่ได้รับสารสกัดจาก *Nostoc* sp. TISTR 8873 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc* sp. TISTR 8290 โดยต้นถั่วเขียวมีความสูง 16.50±1.29 16.25±1.71 และ 15.75±0.96 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งผลทั้งหมดนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ความสูงต้นถั่วเขียวหลังจากได้รับสารสกัดจากสาหร่ายเป็นเวลา 12 วัน

สายพันธุ์สาหร่าย	ความสูงต้นถั่วเขียว (เซนติเมตร)
ชุดควบคุม[1]	16.75±0.96[2]
Nostoc muscorum TISTR 8871	16.25±1.71
Nostoc muscorum TISTR 9054	16.75±2.06
Nostoc sp. TISTR 8873	16.50±1.29
Nostoc sp. TISTR 8290	15.75±0.96
ค่าสถิติ ($p \leq 0.05$)	NS[3]

[1]ชุดควบคุมไม่ได้รับสารสกัดจากสาหร่าย [2]ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 4 ซ้ำ [3]NS = Not significant, ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.3.3 ผลทดสอบการผลิตฮอร์โมนไซโตไคนินจากสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก

การทดสอบการเปลี่ยนสีของใบถั่วเขียวในชุดควบคุมและใบที่ได้รับสารสกัดจากสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ เป็นเวลา 10 วัน พบว่า สีของใบถั่วเขียวที่ได้รับสารสกัดจากสาหร่ายในแต่ละสายพันธุ์ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใบของถั่วเขียวมีระดับสีตั้งแต่ 6.75 ถึง 8.00 ในขณะที่ใบของถั่วเขียวที่ได้รับสารสกัดจาก *Nostoc muscorum* TISTR 9054 แสดงอาการเหลืองน้อยที่สุด โดยมีระดับสีที่ 6.75±1.26 (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ผลของสารสกัดจากสาหร่ายต่อการเปลี่ยนสีของใบถั่วเขียว

สายพันธุ์สาหร่าย	คะแนนสีของใบถั่วเขียว[1]
ชุดควบคุม[2]	7.75±0.96[3]
Nostoc muscorum TISTR 8871	8.00±0.82
Nostoc sp. TISTR 8873	7.50±1.29
Nostoc sp. TISTR 8290	7.00±0.82
Nostoc muscorum TISTR 9054	6.75±1.26
ค่าสถิติ ($p \leq 0.05$)	NS[4]

[1]การให้คะแนนสีของใบถั่วเขียวด้วยตา ให้คะแนนระหว่าง 0-10 โดยที่

0 หมายถึง ใบมีสีเขียวเข้มทั้งแผ่นใบ (เขียว 100% ของพื้นที่ใบ)

10 หมายถึง ใบมีสีเหลืองทั้งแผ่นใบ (เหลือง 100% ของพื้นที่ใบ)

[2]ชุดควบคุมไม่ใช้สารสกัดจากสาหร่าย [3]ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 4 ซ้ำ [4]NS = Not significant ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.4 การศึกษาชนิดอาหารที่เหมาะสมในการผลิตชีวมวลสาหร่ายนอสตอคสายพันธุ์คัดเลือกในระดับห้องปฏิบัติการ

3.4.1 ผลการศึกษาสูตรอาหารเหลวที่เหมาะสมสำหรับสาหร่าย *Nostoc* sp. TISTR 8290

ผลการศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc* sp. TISTR 8290 ในระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 4 สูตร คือ Allen BGA $BG\text{-}11_0$ และ Bold basal พบว่า สูตรอาหารเหลว $BG\text{-}11_0$ ส่งเสริมให้สาหร่าย *Nostoc* sp. TISTR 8290 เจริญเติบโตได้ดีที่สุด โดยให้ผลผลิตเฉลี่ยหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 15 และ 30 วันเท่ากับ 138.43±6.61 และ 158.40±14.76 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง คิดเป็น 2.98 และ 3.41 เท่า ของน้ำหนักแห้งเมื่อเริ่มต้นการทดลอง ตามลำดับ รองลงไป คือ สูตรอาหารเหลว BGA โดยให้ผลผลิตเฉลี่ยหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 15 และ 30 วัน เท่ากับ 135.37±37.73 และ 149.07±1.88 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง คิดเป็น 2.92 และ 3.21 เท่า ของน้ำหนักแห้งเริ่มต้นการทดลอง แต่เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติพบว่า สูตรอาหารเลี้ยงสาหร่ายทั้งสอง รวมทั้งสูตรอาหาร Allen ให้ค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc* sp. TISTR 8290

สูตรอาหาร	เพาะเลี้ยง 15 วัน		เพาะเลี้ยง 30 วัน	
	น้ำหนักแห้ง (มก.) [1,2]	จำนวนเท่า	น้ำหนักแห้ง (มก.)	จำนวนเท่า
1. Allen	130.63±6.27^{ab}	2.82	142.17±10.15^{a}	3.06
2. BGA	135.37±37.73^{a}	2.92	149.07±1.88^{a}	3.21
3. $BG\text{-}11_0$	138.43±6.61^{a}	2.98	158.40±14.76^{a}	3.41
4. Bold basal	92.33±17.70^{b}	1.99	115.67±51.36^{b}	2.49

[1]ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ของน้ำหนักแห้งของสาหร่ายจำนวน 3 ซ้ำ โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตามหลังเหมือนกันในแนวตั้ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan' s multiple range test

[2]ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งของสาหร่ายเริ่มต้นที่ 46.40±0.82 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง

3.4.2 การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc muscorum* TISTR 8871

ผลการศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc muscorum* TISTR 8871ในระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 4 สูตร คือ Allen BGA BG-11_0 และ Bold basal พบว่า สูตรอาหาร BGA ส่งเสริมให้สาหร่าย *Nostoc muscorum* TISTR 8871 เจริญเติบโตได้ดีที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบกับสูตรอาหารอื่นๆ โดยให้ผลผลิตเฉลี่ยหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 15 และ 30 วันเท่ากับ 91.60±4.40 และ 144.80±28.72 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง คิดเป็น 2.00 และ 3.15 เท่า ของน้ำหนักแห้งเริ่มต้นการทดลอง ตามลำดับ รองลงไปคือ สูตรอาหารเหลว BG-11_0 โดยให้ผลผลิตเฉลี่ยหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 15 และ 30 วันเท่ากับ 90.63±9.54 และ 137.13±36.23 มิลลิกรัม น้ำหนักแห้ง คิดเป็น 1.97 และ 2.99 เท่า ของน้ำหนักแห้งเริ่มต้นการทดลอง แต่เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติพบว่า สูตรอาหารเลี้ยงสาหร่าย BGA, BG-11_0 และ Allen ให้ค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc muscorum* TISTR 8871

สูตรอาหาร	เพาะเลี้ยง 15 วัน		เพาะเลี้ยง 30 วัน	
	น้ำหนักแห้ง (มก.) [1,2]	จำนวนเท่า	น้ำหนักแห้ง (มก.)	จำนวนเท่า
1. Allen	86.53±5.39^{a}	1.89	127.63±7.54^{ab}	2.78
2. BGA	91.60±4.40^{a}	2.00	144.80±28.72^{a}	3.15
3. BG-11_0	90.63±9.54^{a}	1.97	137.13±36.23^{ab}	2.99
4. Bold basal	69.93±5.48^{b}	1.52	92.23±9.80^{b}	2.01

[1]ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ของน้ำหนักแห้งของสาหร่ายจำนวน 3 ซ้ำ โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตามหลังเหมือนกันในแนวตั้ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan' s multiple range test

[2]ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งของสาหร่ายเริ่มต้นที่ 45.90±4.71 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง

3.4.3 การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc* sp. TISTR 8873

ผลการศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc* sp. TISTR 8873 ในระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 4 สูตร คือ Allen BGA BG-11_0 และ Bold basal พบว่า สูตรอาหาร BG-11_0ส่งเสริมให้สาหร่าย *Nostoc* sp. TISTR 8873 เจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับสูตรอาหารอื่นๆ โดยให้ผลผลิตเฉลี่ยหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 15 และ 30 วันเท่ากับ 116.23±8.17 และ 178.50±18.99 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง คิดเป็น 2.12 และ 3.25 เท่า ของน้ำหนักแห้งเริ่มต้นการทดลอง ตามลำดับ รองลงไปคือ สูตรอาหารเหลว Allen โดยให้ผลผลิตเฉลี่ยหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 15 และ 30 วันเท่ากับ 110.83±2.73 และ 177.73±20.83 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง คิดเป็น 2.02 และ 3.24 เท่า ของน้ำหนักแห้งเริ่มต้นการทดลอง แต่เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติที่ระยะเวลา 15 วัน พบว่า สูตรอาหารเลี้ยงสาหร่าย BG-11_0 BGA และ Allen ให้ค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)ในขณะที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรอาหาร Bold basal ส่วนที่ระยะเวลา 30 วัน พบว่า สูตรอาหารเลี้ยงสาหร่าย Allen และ BG-11_0 ให้ค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรอาหาร BGA และ Bold basal (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc* sp. TISTR 8873

สูตรอาหาร	เพาะเลี้ยง 15 วัน		เพาะเลี้ยง 30 วัน	
	น้ำหนักแห้ง (มก.)[1,2]	จำนวนเท่า	น้ำหนักแห้ง (มก.)	จำนวนเท่า
1. Allen	110.83±2.73[a]	2.02	177.73±20.83[a]	3.24
2. BGA	99.97±12.59[a]	1.82	114.57±17.62[b]	2.09
3. BG-11_0	116.23±8.17[a]	2.12	178.50±18.99[a]	3.25
4. Bold basal	81.73±4.16[b]	1.49	106.63±15.90[b]	1.94

[1]ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ของน้ำหนักแห้งของสาหร่ายจำนวน 3 ซ้ำ โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตามหลังเหมือนกันในแนวตั้ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan' s multiple range test

[2]ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งของสาหร่ายเริ่มต้นที่ 54.93± 3.13 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง

3.4.4 การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc muscorum* TISTR 9054

ผลการศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc muscorum* TISTR 9054 ในระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 4 สูตร คือ Allen BGA BG-11_0 และ Bold basal พบว่า สูตรอาหาร BG-11_0ส่งเสริมให้สาหร่าย *Nostoc muscorum* TISTR 9054 เจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับสูตรอาหารอื่นๆ โดยให้ผลผลิตเฉลี่ยหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 15 และ 30 วัน เท่ากับ 45.37±15.62 และ 65.90±20.41 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง คิดเป็น 1.94 และ 2.82 เท่า ของน้ำหนักแห้งเริ่มต้นการทดลอง ตามลำดับ รองลงไปคือ สูตรอาหารเหลว Allen โดยให้ผลผลิตเฉลี่ยหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 15 และ 30 วันเท่ากับ 35.33±4.31 และ 59.30±16.03 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง คิดเป็น 1.51 และ 2.53 เท่า ของน้ำหนักแห้งเริ่มต้นการทดลอง แต่เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติที่ระยะเวลา 15 วัน พบว่า สูตรอาหารเลี้ยงสาหร่าย BG-11_0 BGA และ Allen ให้ค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในขณะที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรอาหาร Bold basal ส่วนที่ระยะเวลา 30 วัน พบว่า สูตรอาหารเลี้ยงสาหร่าย BG-11_0 และ Allen ให้ค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรอาหาร BGA และ Bold basal (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc muscorum* TISTR 9054

สูตรอาหาร	เพาะเลี้ยง 15 วัน		เพาะเลี้ยง 30 วัน	
	น้ำหนักแห้ง (มก.) [1,2]	จำนวนเท่า	น้ำหนักแห้ง (มก.)	จำนวนเท่า
1. Allen	35.33±4.31[a]	1.51	59.30±16.03[a]	2.53
2. BGA	40.77±2.48[a]	1.74	56.00±10.68[b]	2.39
3. BG-11_0	45.37±15.62[a]	1.94	65.90±20.41[a]	2.82
4. Bold basal	37.13±7.82[b]	1.59	28.60±6.05[b]	1.22

[1]ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ของน้ำหนักแห้งของสาหร่ายจำนวน 3 ซ้ำ โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตามหลังเหมือนกันในแนวตั้ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan' s multiple range test

[2]ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งของสาหร่ายเริ่มต้นที่ 23.37±1.88 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง

จากผลการทดลองทั้งหมดจะเห็นได้ว่า สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอาหารเหลวที่ไม่เติมไนโตรเจนสูตร BGA และ $BG\text{-}11_0$ และที่เติมไนโตรเจนสูตร Allen ดังนั้นจึงจะพิจารณาใช้อาหารทั้งสามสูตรเป็นพื้นฐานในการเพาะเลี้ยงระดับขยายกลางแจ้งเชิงพาณิชย์ในการทดลองขั้นต่อไปในปีที่ 2

3.5 การทดสอบประสิทธิภาพในการปรับโครงสร้างดินของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก

3.5.1 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติของดินก่อนทำการทดลอง

เก็บตัวอย่างดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ จังหวัดร้อยเอ็ดและดินสวนจากสถานีวิจัยลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา แล้วนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมี กายภาพและธาตุอาหารพืชในดิน โดยพบว่า ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้และดินสวนจากลำตะคองทั้ง 2 ชนิด มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้เป็นดินกรดที่มีปริมาณธาตุอาหารพืชต่ำมาก และต่ำกว่าดินสวนจากลำตะคองในทุกรายการยกเว้นคลอรีน เมื่อพิจารณาจากปริมาณอินทรียวัตถุในดินแล้ว ดินนาทุ่งกุลาร้องไห้จัดเป็นดินที่มีสภาพเสื่อมโทรมมาก เนื่องจากมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 คุณสมบัติทางด้านเคมี, กายภาพและธาตุอาหารพืชในดินของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ และดินสวนจากลำตะคองก่อนนำไปศึกษาสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่าย

คุณสมบัติดิน	ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้	ดินสวนจากลำตะคอง
คุณสมบัติทางด้านเคมี		
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	1.10	2.34
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	4.8	7.6
ค่าการนำไฟฟ้า (mmho/cm) (Electrical Conductivity - EC)	0.048	0.104
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (me-100g) (Cation Exchange Capacity - CEC)	3.1	10.9
คุณสมบัติทางด้านกายภาพ		
เนื้อดิน (soil texture)	ดินร่วนปนทราย (sandy loam)	ดินร่วนปนทราย (sandy loam)
ทราย (sand) (%)	59.6	53.6
ทรายแป้ง (silt) (%)	32.2	28.2
ดินเหนียว (clay) (%)	8.2	18.2
ธาตุอาหารพืชในดิน		
ไนโตรเจน (Nitrogen) (%)	0.027	0.109
ฟอสฟอรัส (Phosphorus) (ppm)	9.0	653.0
โพแทสเซียม (Potassium) (ppm)	47.0	334.0
แคลเซียม (Calcium) (ppm)	129.0	1921.0
แมกนีเซียม (Magnesium) (ppm)	29.0	382.0
กำมะถัน (Sulphur) (ppm)	7.0	trace
คลอรีน (Chloride) (ppm)	106.5	53.3
โซเดียม (Sodium) (ppm)	96.0	202.0

3.5.2 ผลทดสอบประสิทธิภาพการปรับโครงสร้างของดิน

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่ายระหว่างชีวมวลสดและพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกสู่ภายนอกเซลล์สาหร่าย ศึกษาในดิน 2 ชนิด คือ ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ และดินสวนจากลำตะคอง นำมาศึกษาในสาหร่ายคัดเลือก 4 สายพันธุ์ที่พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณชีวมวลอย่างรวดเร็วและผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์ในปริมาณสูง คือ *Nostoc* sp. TISTR 8290 *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ

Nostoc sp. TISTR 8873 โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดที่ 1 ชุดเติมชีวมวลสด และชุดที่ 2 ชุดเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกสู่ภายนอกเซลล์สาหร่าย ทำการทดลองเป็นเวลา 2 เดือน พบว่าทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีค่าของปัจจัยต่างๆ ทั้ง 6 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ กิจกรรมจุลินทรีย์ ความหนาแน่นรวมของดิน ความหนาแน่นอนุภาคของดิน ความพรุนทั้งหมดของดิน และความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ ซึ่งให้ผลที่แตกต่างกัน ดังนี้

3.5.1.1 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter)

1) ชุดการทดลองที่ 1 ชุดเติมชีวมวลสดของสาหร่าย

1.1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด คือ 1.45±0.06 เปอร์เซ็นต์รองลงมา คือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณอินทรียวัตถุ 1.39±0.02 1.37±0.11 และ 1.29±0.03 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณอินทรียวัตถุ 1.17±0.05 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น 23.93 18.80 15.38 และ 10.26 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 11 และรูปที่ 6) เมื่อนำไปเปรียบเทียบค่าทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

1.2) ดินสวนจากลำตะคอง

ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด คือ 3.35±0.10 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณอินทรียวัตถุ 3.08±0.06 3.04±0.08 และ 2.84±0.92 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณอินทรียวัตถุ 2.40±0.02 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น 39.58 28.33 26.67 และ 18.33 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 11 และรูปที่ 7) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุของกล่องดินที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

2) ชุดการทดลองที่ 2 ชุดเติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย

2.1) ดินนาทุ่งกุลาร้องไห้

ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด คือ 1.36±0.03 เปอร์เซ็นต์รองลงมา คือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณอินทรียวัตถุ 1.28±0.04 1.25±0.04 และ 1.22±0.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณอินทรียวัตถุ 1.12±0.03 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น 21.43 14.29 11.61 และ 8.93 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 11 รูปที่ 6) เมื่อนำไปเปรียบเทียบค่าทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุของกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc* sp. TISTR 8290 มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

2.2) ดินสวนจากลำตะคอง

ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด คือ 3.22±0.03 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณอินทรียวัตถุ 2.97±0.09 2.68±0.45 และ 2.65±0.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณอินทรียวัตถุ 2.36±0.01 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น 36.44 25.85 13.56 และ 12.29 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 11 รูปที่ 7) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุของกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองจะพบว่าชุดการทดลองทั้ง 2 มีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Zulpa *et al.* (1997) ทำการทดลองโดยการเติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* ลงไปบนผิวหน้าดินและนำไปตั้งไว้ภายใต้แสงสว่างที่ความเข้มข้น 45 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที และที่อุณหภูมิ 25 ±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานถึง 12 เดือน พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่ากลุ่มควบคุม 11 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การทดลองนี้ปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่ากลุ่มควบคุม 12-36 เปอร์เซ็นต์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากชีวมวลสดของสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ที่เติมลงไป จะมีบางส่วนที่ตายลงและเกิดการย่อยสลายไปและบางส่วนที่มีชีวิตเหลืออยู่และมีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนต่อไป ซึ่งทั้งสองส่วนนี้มีส่วนที่ช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน (Zulpa *et al.* 1997) จะเห็นว่าการทดลองนี้มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นมากกว่าการทดลองของ Zulpa *et al.* (1997) ทั้งๆ ที่ใช้เวลาในการทดลองสั้นกว่า (2 เดือน) รวมถึงมีการใช้สาหร่ายชนิดเดียวกันด้วย (*Nostoc muscorum*) แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายสายพันธุ์ที่คัดเลือกได้จากการศึกษาครั้งนี้มีศักยภาพในการเจริญเติบโตและมีประสิทธิภาพการผลิตพอลิแซ็กคาไรด์สูงกว่าสายพันธุ์ที่ Zulpa และคณะใช้ในการทดลอง

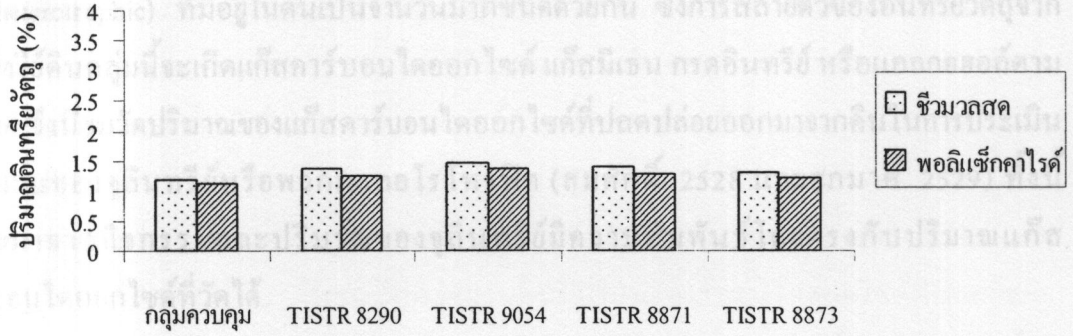
สำหรับชุดที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ลงไปในดินทั้ง 2 ชนิด พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุจะเพิ่มขึ้นจากกลุ่มควบคุมที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ลงไปในดินโดยตรงนอกจากนี้ยังมีพอลิเมอร์ที่ผลิตโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่อาศัยอยู่ในดินอีกด้วย ซึ่งสารเหล่านี้มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Zulpa *et al.* 1997) และจากผลการทดลองจะพบว่าการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุของดินในชุดการทดลองที่ 1 เติมชีวมวลสดของสาหร่าย จะมากกว่าชุดการทดลองที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ในชุดการทดลองที่ 1 มีเซลล์ของสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ซึ่งมีพอลิแซ็กคาไรด์ห่อหุ้มรวมอยู่ด้วยซึ่งมีทั้งส่วนที่ตายลงและย่อยสลายไปกลายเป็นอินทรียวัตถุ และส่วนที่มีชีวิตเหลืออยู่ซึ่งเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนต่อไป นอกจากนี้ยังมีสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่แต่ละสายพันธุ์ที่ยังคงมีชีวิตผลิตออกมาอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุของชุดการทดลองที่ 1 มากกว่าชุดการทดลองที่ 2

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุในดินทดสอบที่เติมชีวมวลสดและที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย

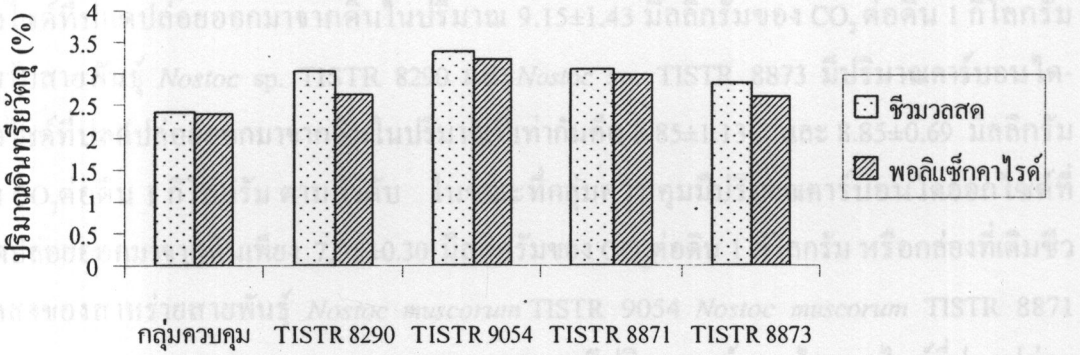
สายพันธุ์สาหร่าย	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)							
	ชุดที่ 1 เติมชีวมวลสด				ชุดที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย			
	ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากสัตหีบ		ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากสัตหีบ	
	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง
Nostoc sp.		1.37±0.11*		3.04±0.08*		1.25±0.04*		2.68±0.45
TISTR 8290		(15.38%)		(26.67%)		(11.61%)		(13.56%)
N.muscorum		1.45±0.06*		3.35±0.10*		1.36±0.03*		3.22±0.03*
TISTR 9054	1.17±0.05	(23.93%)	2.40±0.02	(39.58%)	1.12±0.03	(21.43%)	2.36±0.01	(36.44%)
N.muscorum		1.39±0.02*		3.08±0.06*		1.28±0.04*		2.97±0.09*
TISTR 8871		(18.80%)		(28.33%)		(14.29%)		(25.85%)
Nostoc sp.		1.29±0.03*		2.84±0.92*		1.22±0.04		2.65±0.34
TISTR 8873		(10.26%)		(18.33%)		(8.93%)		(12.29%)

*เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

ตัวเลขในวงเล็บ : แทนการเพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม



รูปที่ 6 ปริมาณอินทรียวัตถุ (%) ของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้



รูปที่ 7 ปริมาณอินทรียวัตถุ (%) ของดินสวนจากลำตะคอง

3.5.1.2 กิจกรรมจุลินทรีย์ (Microbial activity)

จุลินทรีย์กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของอินทรียวัตถุ ได้แก่ พวกเฮเทอโรโทรฟิค (heterotrophic) ที่มีอยู่ในดินเป็นจำนวนมากชนิดด้วยกัน ซึ่งการสลายตัวของอินทรียวัตถุจากจุลินทรีย์ดินกลุ่มนี้จะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเธน กรดอินทรีย์ หรือแอลกอฮอล์ตามออกมา จึงนิยมวัดปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินในการประเมินกิจกรรมของจุลินทรีย์หรือพวกเฮเทอโรโทรฟิค (สมศักดิ์ 2528 และศุภมาศ 2529) ทั้งนี้เนื่องมาจากกิจกรรมและปริมาณของจุลินทรีย์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้

1) ชุดการทดลองที่ 1 ชุดเติมชีวมวล

1.1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินสูงที่สุด คือ 9.60±0.26 มิลลิกรัมของ CO_2ต่อดิน 1 กิโลกรัม รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินในปริมาณ 9.15±1.43 มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม สำหรับสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ*Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินในปริมาณที่เท่ากันคือ 8.85±1.13 และ 8.85±0.69 มิลลิกรัมของ CO_2ต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพียง 7.05±0.30 มิลลิกรัมของ CO_2ต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพิ่มขึ้น 36.17 31.91 25.53 และ 25.53 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 12 และรูปที่ 8) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 และ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

1.2) ดินสวนจากลำตะคอง

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมเช่นเดียวกับดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ โดยสาหร่ายกล่องที่เติมชีวมวลสดของสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากดินสูงที่สุด คือ 20.97±0.54 มิลลิกรัมของ CO_2ต่อดิน 1 กิโลกรัม รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินในปริมาณ 20.28±1.37 18.30±0.94 และ 16.90±0.25 มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพียง 12.25±0.21 มิลลิกรัมของ CO_2ต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพิ่มขึ้น 71.18 65.55 49.39 และ 37.96 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 12 และรูปที่ 9) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

2) ชุดการทดลองที่ 2 ชุดเติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย

2.1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องดินที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากดินสูงที่สุด คือ 8.85±0.65 มิลลิกรัมของ CO_2ต่อดิน 1 กิโลกรัม รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินในปริมาณ 8.10±1.05 7.50±0.79 และ 7.20±0.69 มิลลิกรัมของ CO_2ต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพียง 5.70±0.54 มิลลิกรัมของ CO_2ต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือกล่องดินที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพิ่มขึ้น 55.26 42.11 31.58 และ 26.32 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 12 และรูปที่ 8) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่

0.05 พบว่า กิจกรรมจุลินทรีย์ของกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

2.2) ดินสวนจากลำตะคอง

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมเช่นเดียวกับดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ โดยกล่องดินที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากดินสูงที่สุด คือ 23.15±0.71 มิลลิกรัมของ CO_2ต่อดิน 1 กิโลกรัม รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินในปริมาณ 21.50±1.40 17.62±0.67 และ 16.29±0.50 มิลลิกรัมของ CO_2ต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน 11.50±0.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือกล่องดินที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพิ่มขึ้น 101.30 86.96 53.22 และ 41.65 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 12 รูปที่ 9) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่า กิจกรรมจุลินทรีย์ของกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองทั้ง 2 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีกิจกรรมของจุลินทรีย์สูงกว่าชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Zulpa *et al.* (1997) ที่ชุดการทดลองที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ลงไปในดินแล้วบ่มไว้เป็นเวลา 6 เดือน จะมีกิจกรรมจุลินทรีย์เพิ่มมากกว่ากลุ่มทดลองถึง 366 เปอร์เซ็นต์และเพิ่มมากกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 ซึ่งมีกิจกรรมจุลินทรีย์เพิ่มมากกว่ากลุ่มทดลอง 72.89 เปอร์เซ็นต์ (โดยวัดเป็นปริมาณ NH_4 ที่เกิดขึ้นโดยวิธี arginine ammonification) การที่ชุดการทดลองที่ 2 มีกิจกรรมจุลินทรีย์มากกว่าชุดการทดลองที่ 1 อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ที่เติมลงไปในดินส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำตาล ซึ่งมีถึง 11 ชนิด ได้แก่ กลูโคส (glucose) กาแลคโตส (galactose) แมนโนส (mannose) ไรโบส (ribose) ไซโลส (xylose) อะราบิโนส (arabinose) ฟูโคส (fucose) แรมโนส (rhamnose) กรดกลูคิวโรนิค (glucuronic acid) และกรดกาแลคทิวโรนิค (galacturonic acid) (นารินทร์ 2547) ซึ่งน้ำตาลเหล่านี้จะถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน นอกจากนี้น้ำตาล สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณของ

แบคทีเรียได้ดี (สมศักดิ์ 2528) จึงทำให้กิจกรรมจุลินทรีย์ของชุดการทดลองที่ 2 มากกว่าชุดการทดลองที่ 1

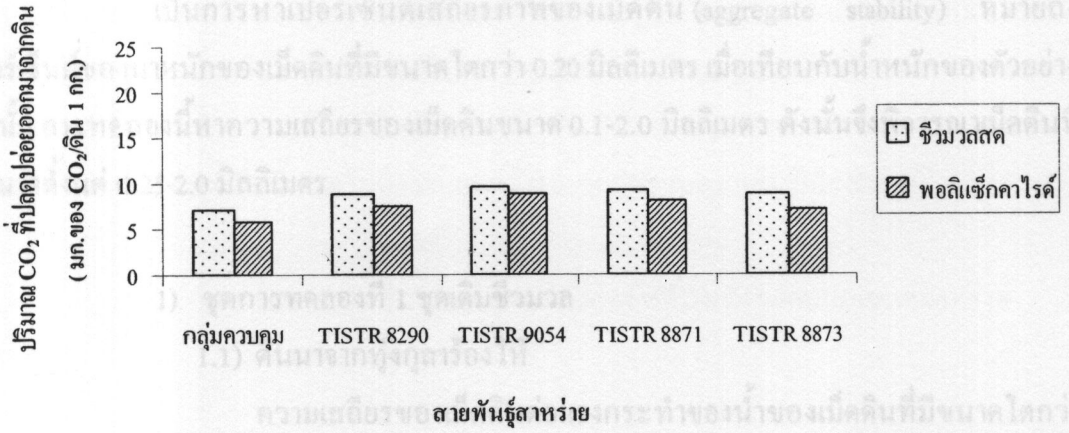
จากการทดลองจะเห็นว่า การทดลองของ Zulpa *et al.* (1997) มีการเพิ่มของกิจกรรมจุลินทรีย์มากกว่าการทดลองนี้ ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์ที่ต่างกัน คือ Zulpa *et al.* (1997) ใช้วิธี arginine ammonification ซึ่งเป็นการหาปริมาณ NH_4- N ที่เกิดขึ้นในดิน ซึ่ง NH_4- N จะถูกปลดปล่อยออกมาจากอินทรียวัตถุ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินและจะสะสมอยู่ในดินซึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ ในอัตราที่สม่ำเสมอโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา 2549) ซึ่งการทดลองของ Zulpa และคณะ มีการสะสมอยู่ในดินเป็นเวลานาน ถึง 12 เดือน แต่การทดลองนี้วัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ด้วยวัดเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน และเป็นการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในวันที่ 60 ว่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุมหรือไม่ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้กิจกรรมจุลินทรีย์ของการทดลองนี้มีค่าน้อยกว่ากิจกรรมจุลินทรีย์ของการทดลองของ Zulpa *et al.* (1997)

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบกิจกรรมจุลินทรีย์ในดินทดสอบที่เติมชีวมวลสดและที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย

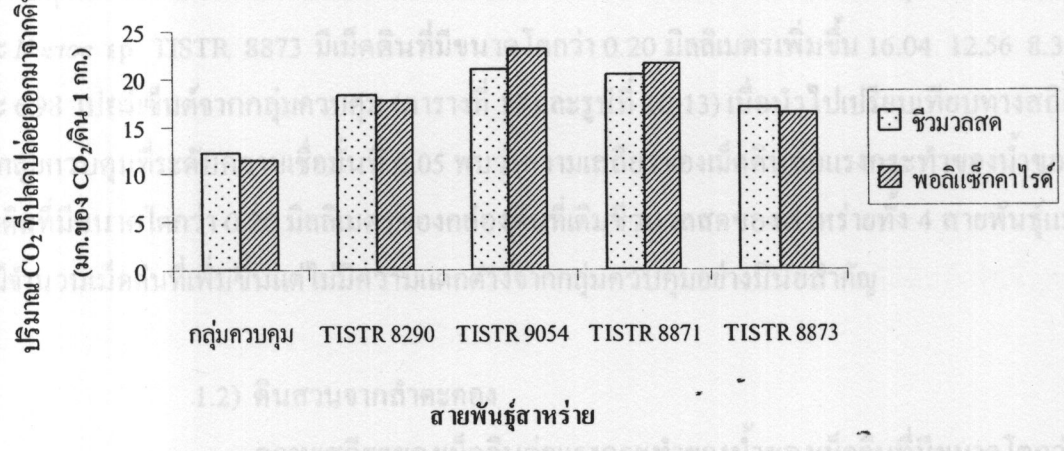
สายพันธุ์สาหร่าย	กิจกรรมจุลินทรีย์ (มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม)							
	ชุดที่ 1 เติมชีวมวลสด				ชุดที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย			
	ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง		ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง	
	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง
Nostoc sp.		8.85±1.13*		18.30±0.94*		7.50±0.79*		17.62±0.67*
TISTR 8290		(25.53%)		(49.39%)		(31.58%)		(53.22%)
N.muscorum		9.60±0.26*		20.97±0.54*		8.85±0.65*		23.15±0.71*
TISTR 9054	7.05±0.30	(36.17%)	12.25±0.21	(71.18%)	5.70±0.54	(55.26%)	11.50±0.53	(101.30%)
N.muscorum		9.15±1.43*		20.28±1.37*		8.10±1.05*		21.50±1.40*
TISTR 8871		(31.91%)		(65.55%)		(42.11%)		(86.96%)
Nostoc sp.		8.85±0.69*		16.90±0.25*		7.20±0.69*		16.29±0.50
TISTR 8873		(25.53%)		(37.96%)		(26.32%)		(41.65%)

*เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

ตัวเลขในวงเล็บ : แทนการเพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม



รูปที่ 8 กิจกรรมจุลินทรีย์ของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้โดยวัดเป็นปริมาณ CO_2 ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน (มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม)



รูปที่ 9 กิจกรรมจุลินทรีย์ ของดินสวนจากลำตะคองโดยวัดเป็นปริมาณ CO_2 ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน (มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม)

3.5.1.3 ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ (Water-stable aggregates)

เป็นการหาเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดิน (aggregate stability) หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับน้ำหนักของตัวอย่างดินนั้น การทดลองนี้หาความเสถียรของเม็ดดินขนาด 0.1-2.0 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงพิจารณาเม็ดดินที่มีขนาดตั้งแต่ 0.25-2.0 มิลลิเมตร

1) ชุดการทดลองที่ 1 ชุดเติมชีวมวล

1.1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีจำนวนของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรเพิ่มมากที่สุด คือ 5.40±0.23 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรจำนวน 5.23±0.99 5.04±0.14 และ 4.97±0.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรจำนวน 4.65±0.58 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรเพิ่มขึ้น 16.04 12.56 8.30 และ 6.98 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 13 และรูปที่ 10-13) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรของกล่องดินที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์แม้จะมีจำนวนเม็ดดินที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

1.2) ดินสวนจากลำตะคอง

ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีจำนวนของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรเพิ่มมากที่สุด คือ 28.95±3.13 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรจำนวน 28.15±5.29 27.72±3.73 และ 27.50±0.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรจำนวน 24.93±1.69 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290

และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรเพิ่มขึ้น 16.13 12.92 11.19 และ 10.31 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 13 และรูปที่ 14-17) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรของกล่องดินที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ แม้จะมีจำนวนเม็ดดินที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

2) ชุดการทดลองที่ 2 ชุดเติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย

2.1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีจำนวนของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรเพิ่มมากที่สุด คือ 7.40±0.20 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ*Nostoc* sp. TISTR 8873 มีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรจำนวน 6.27±1.83 6.17±1.93 และ 6.13±2.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรจำนวน 4.76±0.71 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรเพิ่มขึ้น 55.46 31.72 29.62 และ 28.78 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 13 และรูปที่ 18-21) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรของกล่องดินที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์แม้จะมีจำนวนเม็ดดินที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

2.2) ดินสวนจากลำตะคอง

ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีจำนวนของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรเพิ่มมากที่สุด คือ 37.51±4.38 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ*Nostoc* sp. TISTR 8873 มีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรจำนวน 30.16±2.80 28.97±8.76 และ 28.21±4.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรจำนวน 21.33 ±1.22 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติม

พอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรเพิ่มขึ้น 75.86 41.40 35.82 และ 32.26 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 13 และรูปที่ 22-25) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรของกล่องดินที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 และ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองจะพบว่าชุดการทดลองทั้ง 2 มีการเพิ่มความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตร ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเติมทั้งชีวมวลสดของสาหร่ายและการเติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายลงไปในดินเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุซึ่งจะส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในดิน ซึ่งจะมีพฤติกรรมย่อยสลายพวกอินทรียวัตถุ จะเกิดเป็นสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นสารเชื่อม (cementing agent) และฮิวมัส (humus) ซึ่งมีสมบัติเป็นสารเชื่อมเช่นกัน ทั้งสารอินทรีย์และฮิวมัสนี้มีประสิทธิภาพสูงในการเกาะยึดหรือรวมตัวกับอนุภาคต่างๆในดิน โดยพันธะเคมี (chemical bond) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา 2548) นอกจากนี้สารพอลิแซ็กคาไรด์ที่แต่ละสายพันธุ์ผลิตขึ้นมีความหนืดเหนียวมาก โดยเฉพาะสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 และ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 ซึ่งความเหนียวนี้จะทำให้ดินเกาะยึดกันกลายเป็นเม็ดดินเพิ่มขึ้น และจากผลการทดลองจะพบว่า ชุดการทดลองที่ 2 มีการสร้างเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรและมีความเสถียรต่อแรงกระทำของน้ำมากกว่าชุดการทดลองที่ 1 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการทดลองชุดที่ 2 มีกิจกรรมจุลินทรีย์สูงกว่าจากหัวข้อ 3.2 ซึ่งจะส่งเสริมการสร้างสารเชื่อมอนุภาคดิน และนอกจากนี้การเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายมีความหนืดเหนียว ซึ่งความเหนียวนี้จะช่วยให้ดินเกาะยึดกันกลายเป็นเม็ดดินได้มากขึ้น แต่จากผลการทดลองจะเห็นว่ามีเพียงชุดการทดลองที่ 2 การเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายในดินสวนจากลำตะคอง กล่องที่ใส่สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 และ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 เท่านั้นที่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 นอกนั้นไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมเลย ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเวลาที่ใช้ในการทดลองเป็นระยะเวลาสั้นๆ เพียง 2 เดือน ในขณะที่การปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้นนั้นกระทำได้ยากและต้องใช้เวลานาน (ดุสิต 2535) นอกจากนี้ในขั้นตอนการวิเคราะห์เม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำต้องใช้แรงกระทำของน้ำมาทดสอบซึ่งพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่อาจจะถูกแยกออกมาจากอนุภาคของดินเนื่องจากแรงกระทำของน้ำ (Oades 1984) จึงทำให้อนุภาคของดินไม่ยึดติดกันและลักษณะของเนื้อดินทั้ง 2 ชนิดที่เป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ซึ่งเป็นดินเนื้อหยาบ

อนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มขนาดทราย (sand) คือ ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้มีอนุภาคขนาดทราย 59.6 เปอร์เซ็นต์ และดินสวนจากลำตะคองมีอนุภาคขนาดทราย 53.6 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้อนุภาคดิน ร่วน ไม่เกาะกันเป็นเม็ดดิน ถ้าไม่มีอนุภาคกลุ่มขนาดอื่นๆ อยู่ด้วยจะปรากฏตัวเป็นอนุภาคเดี่ยว มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยเป็นอนุภาคดินที่ไม่มีประจุ ซึ่งลักษณะดินเช่นนี้มักเป็นดินที่ไม่มีโครงสร้าง หรืออาจมีบ้างที่มีโครงสร้างแต่ก็จะเป็นโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง ซึ่งเมื่อถูกไถพรวนหรือแรงปะทะของน้ำก็กลายเป็นไม่มีโครงสร้าง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา 2548) และจากการที่มีอนุภาคดินอยู่ในกลุ่มขนาดดินเหนียว (clay) ที่น้อยมาก คือ ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้มีอนุภาคขนาดดินเหนียว 8.2 เปอร์เซ็นต์ และดินสวนจากลำตะคองมีอนุภาคขนาดดินเหนียว 18.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกลุ่มอนุภาคดินขนาดดินเหนียวเองมีคุณสมบัติในการแสดงตนเป็นสารเชื่อมอนุภาคดินทั้งที่มีประจุและไม่มีประจุให้เชื่อม ทั้งนี้เพราะอนุภาคขนาดดินเหนียวนั้นมีขนาดเล็ก จึงมีผิวสัมผัสมาก สามารถเกาะติดอนุภาคดินเหนียวด้วยกันได้ดีผ่านการเชื่อมยึดของสะพานแคตไอออน (cation bridge) โดยอนุภาคดินเหนียวที่มีประจุลบ 2 อนุภาคต่างดูดยึดแคตไอออนชนิดวาเลนซีสูงที่อยู่ตรงกลาง นอกจากนี้อนุภาคดินเหนียวสามารถเกาะยึดอย่างแน่นหนากับอนุภาคทรายแป้งหรือทรายที่ไม่มีประจุได้โดยใช้พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) กลุ่มขนาดดินเหนียวมีขนาดเล็กและมีรูปร่างเป็นแผ่นบางทั้งยังมีพื้นที่ผิวภายในอีกด้วยทำให้มีพื้นที่ผิวสูงมาก ขณะเดียวกันกลุ่มขนาดดินเหนียวยังมีประจุไฟฟ้าที่ผิวอนุภาค เป็นตัวเชื่อมให้อนุภาคที่หยาบกว่าเกาะยึดกันเป็นเม็ดดิน (soil aggregate) เกิดเป็นโครงสร้างของดิน (เมื่อดินมีดินเหนียวเป็นองค์ประกอบมากขึ้น ดินเหนียวซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมทำให้อนุภาคที่ใหญ่กว่าดินเหนียวจับตัวกันเป็นเม็ดดิน เกิดภาวะที่เป็นโครงสร้างขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา 2548) นอกจากนี้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity - CEC) ก็ยังมีความสัมพันธ์กับการจับตัวกันเป็นเม็ดดิน คือ ดินที่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงหมายความว่าดินมีประจุลบที่ผิวอนุภาคดินมากทำให้ความสามารถในการเกาะยึดกันระหว่างประจุก็จะสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อความมากน้อยในการเกาะยึดกันของอนุภาคดินดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้และดินสวนจากลำตะคองมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 3.1 และ 10.9 me-100g ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ดินสวนจากลำตะคองมีการสร้างเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่มีขนาดโตกว่า 0.2 มิลลิเมตรมากกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

การทดลองของ Zulpa *et al.* 1997 พบว่าชุดการทดลองที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายซึ่งทำการทดลองเป็นเวลานานถึง 12 เดือน จะเพิ่มจำนวนของเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า 250 ไมโครเมตร (0.25 มิลลิเมตร) มากกว่ากลุ่มควบคุม 66 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งทำการทดลองเป็นเวลา 6 เดือนจะเพิ่มจำนวนของเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า 250 ไมโครเมตรมากกว่ากลุ่มควบคุม

12 เท่า ซึ่งให้ผลดีกว่าการทดลองในครั้งนี้ที่เป็นเช่นนี้ เป็นเพราะระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองของ Zulpa *et al.* (1997) ที่มากกว่า และ ลักษณะเนื้อดินของ Zulpa *et al.* (1997) นำมาทดลองเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) ซึ่งเป็นดินเนื้อละเอียดเมื่อตรวจสอบกับไดอะแกรมสามเหลี่ยมแจงประเภทเนื้อดิน (soil textural triangle) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา 2548) พบว่าดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) มีอนุภาคขนาดดินเหนียวถึง 25-40 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมากกว่าดินที่นำมาทดลองในครั้งนี้

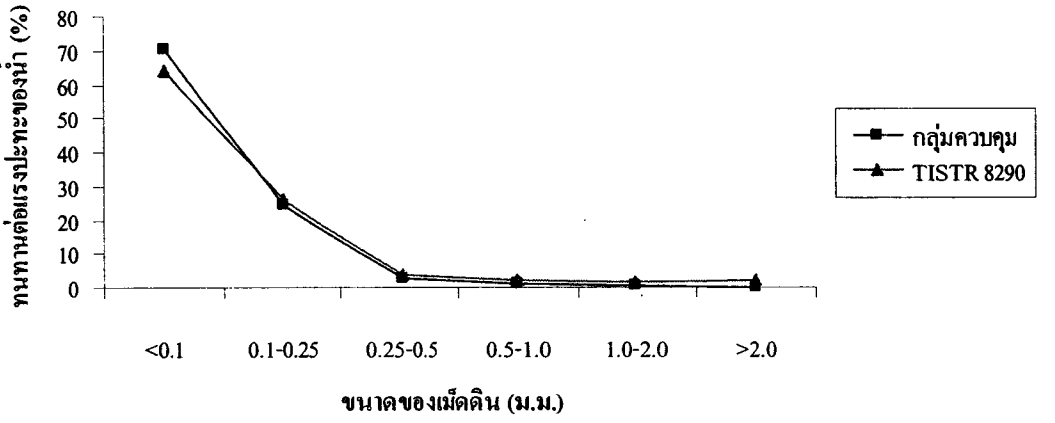
Falchini *et al.* 1996 ทำทดลองผลของ *Nostoc* ที่มีต่อโครงสร้างและความเสถียรของอนุภาคดินเหนียว โดยการเติมสาหร่าย *Nostoc* สายพันธุ์ AfS49 และ KaS35 ลงบนดินที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วนำไปตั้งไว้ใต้แสงที่ความเข้มข้น 18 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน ควบคุมระดับความชื้นให้คงที่โดยการเติมน้ำกลั่น ก็พบว่าการแตกกระจายของอนุภาคดินขนาดเล็กลดน้อยลงในดินที่เติมด้วยสาหร่าย *Nostoc* สายพันธุ์ KaS35 แต่กลับเพิ่มขึ้นในดินที่เติมด้วยสาหร่าย *Nostoc* สายพันธุ์ AfS49 จากการที่การแตกกระจายของอนุภาคดินขนาดเล็กลดน้อยลงในดินที่เติมด้วยสาหร่าย *Nostoc* สายพันธุ์ KaS35 ซึ่งสัมพันธ์กับการแพร่กระจายบนพื้นผิวดินซึ่งจะเคลือบอนุภาคดินโดยเยื่อเมือกในขณะที่สายพันธุ์ AfS49 ไม่มีเยื่อเมือกที่ห่อหุ้มสาหร่าย (mucilaginous sheath) ห่อหุ้มไว้ จึงเป็นสาเหตุของการลดลงของการแตกกระจายของเม็ดดินเนื่องจากการกระทำของน้ำ แสดงว่าเยื่อเมือกที่ห่อหุ้มสาหร่ายไว้นี้มีความสำคัญต่อการเกาะยึดกันของเม็ดดิน ซึ่งจะสอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบจำนวนเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่มีขนาด 0.2-2.0 มิลลิเมตรในดินทดสอบที่เป็นชีวมวลสดและที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย

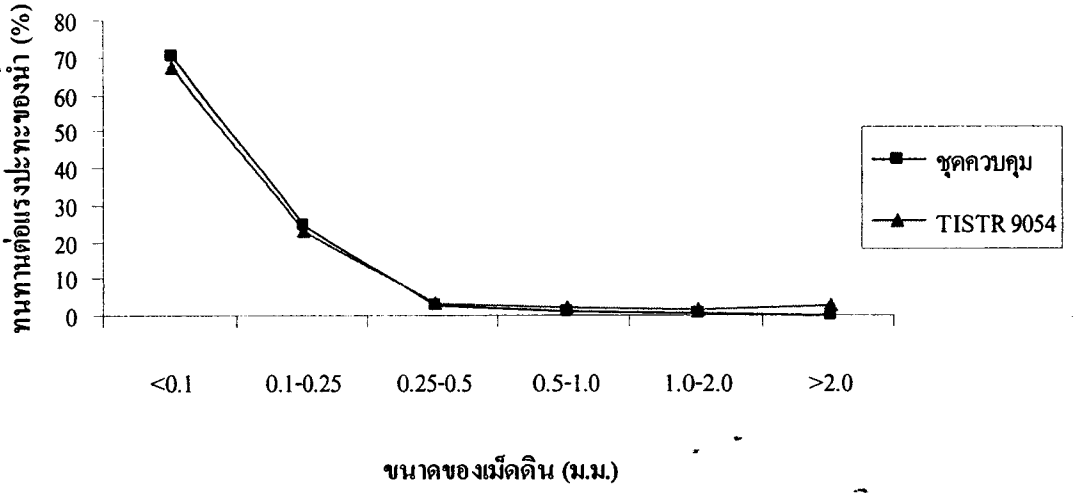
สายพันธุ์สาหร่าย	จำนวนเม็ดดินที่เสถียร (%)							
	ชุดที่ 1 เติมชีวมวลสด				ชุดที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย			
	ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง		ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง	
	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง
Nostoc sp.		5.04±0.14		27.72±3.73		6.17±1.93		28.97±8.76
TISTR 8290		(8.30%)		(11.19%)		(29.62%)		(35.82%)
N.muscorum		5.40±0.23		28.95±3.13		7.40±0.20		37.51±4.38*
TISTR 9054	4.65±0.58	(16.04%)	24.93±1.69	(16.13%)	4.76±0.71	(55.46%)	21.33±1.22	(75.86%)
N.muscorum		5.23±0.99		28.15±5.29		6.27±1.83		30.16±2.80*
TISTR 8871		(12.56%)		(12.92%)		(31.72%)		(41.40%)
Nostoc sp.		4.97±0.48		27.50±0.80		6.13±2.08		28.21±4.27
TISTR 8873		(6.98%)		(10.31%)		(28.78%)		(32.26%)

*เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

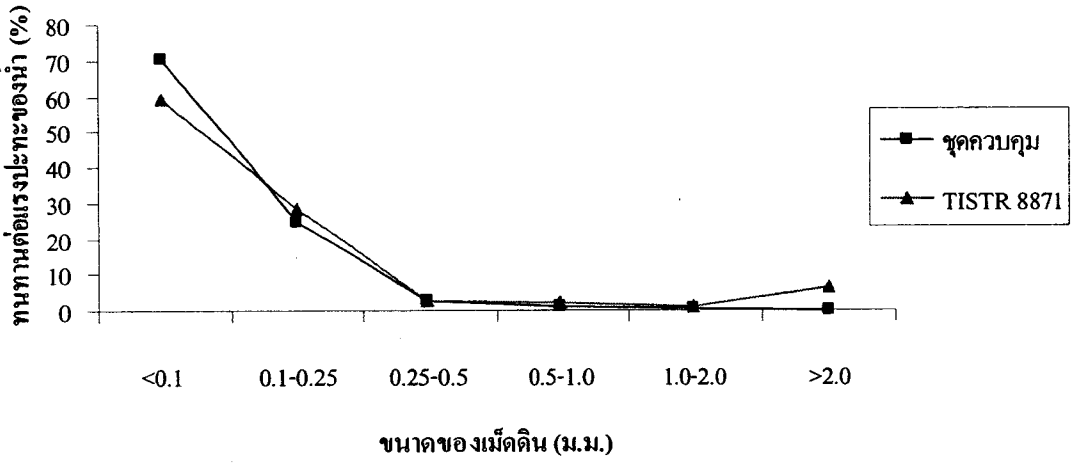
ตัวเลขในวงเล็บ : แทนการเพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม



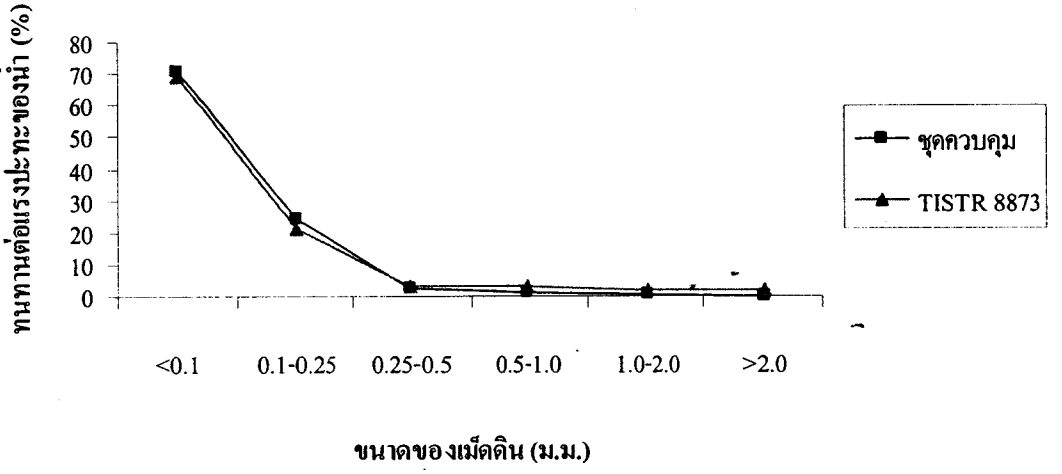
รูปที่ 10 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290



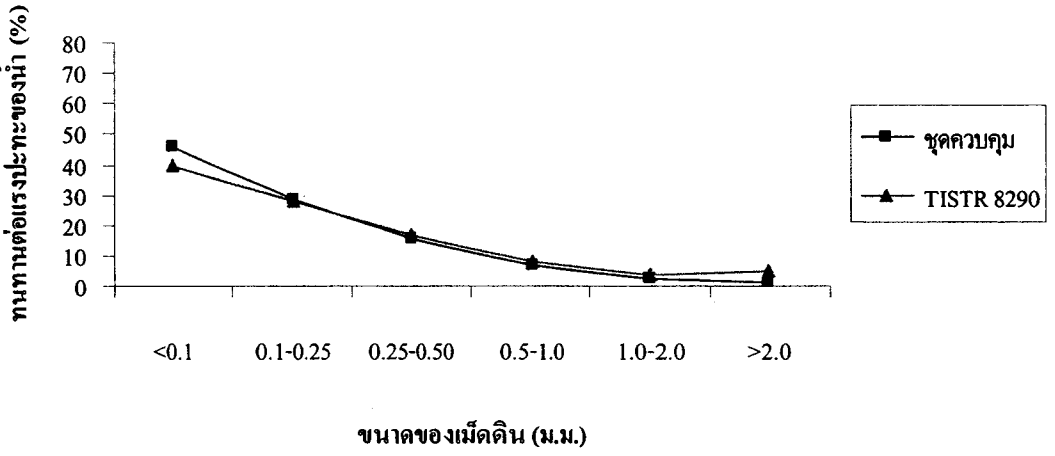
รูปที่ 11 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054



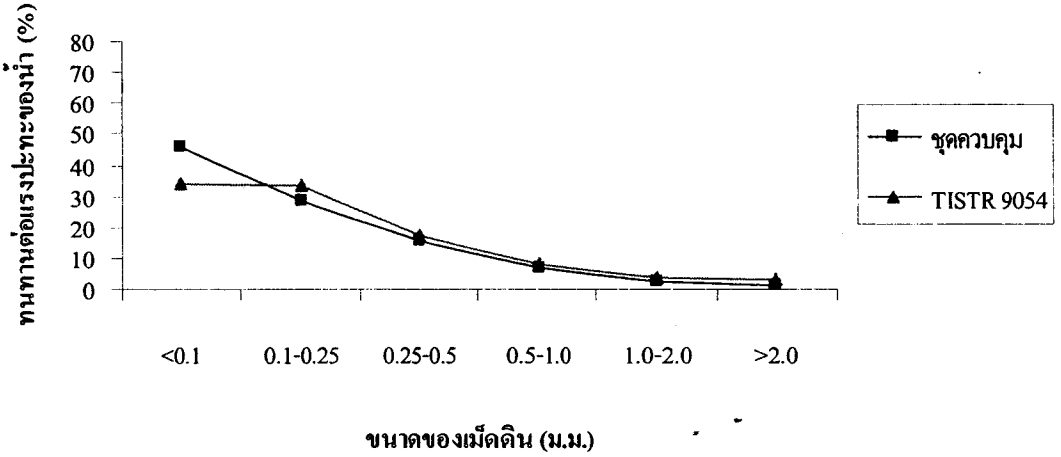
รูปที่ 12 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 8871



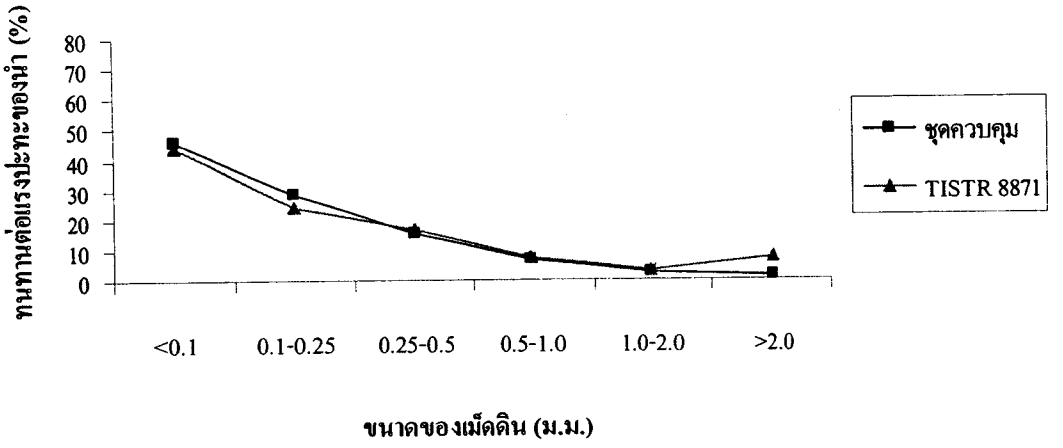
รูปที่ 13 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินทุ่งนาจากกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8873



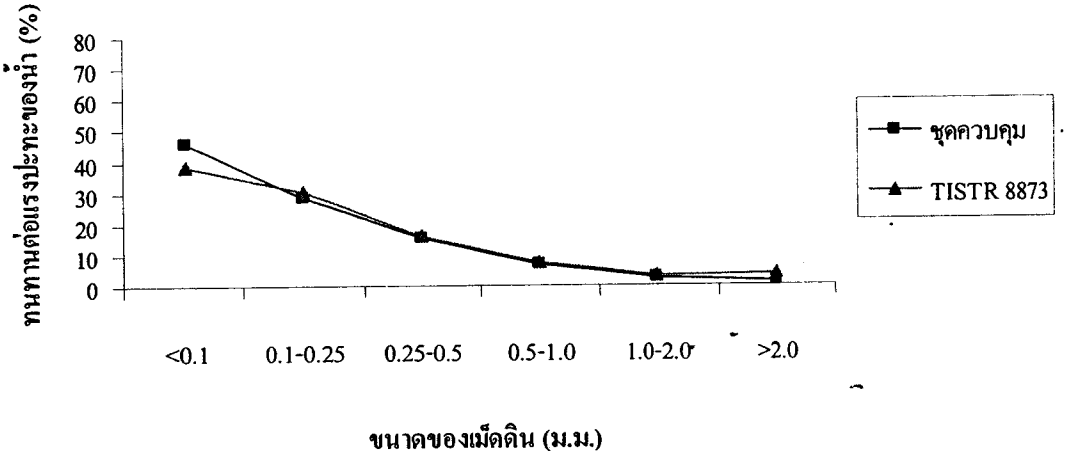
รูปที่ 14 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290



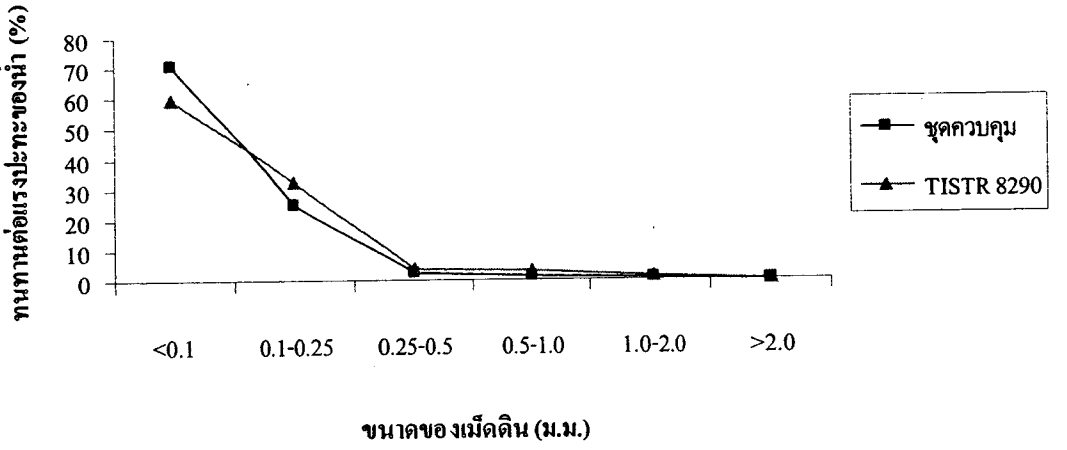
รูปที่ 15 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054



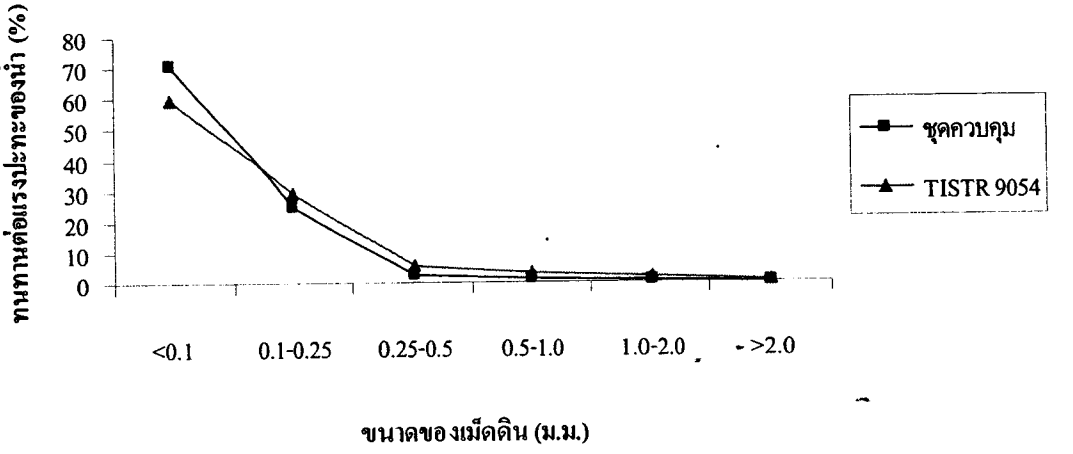
รูปที่ 16 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 8871



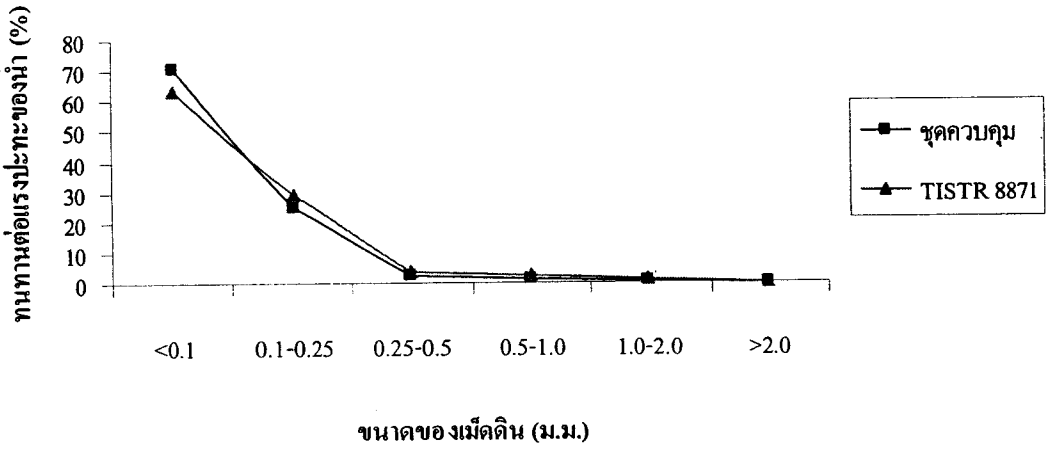
รูปที่ 17 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8873



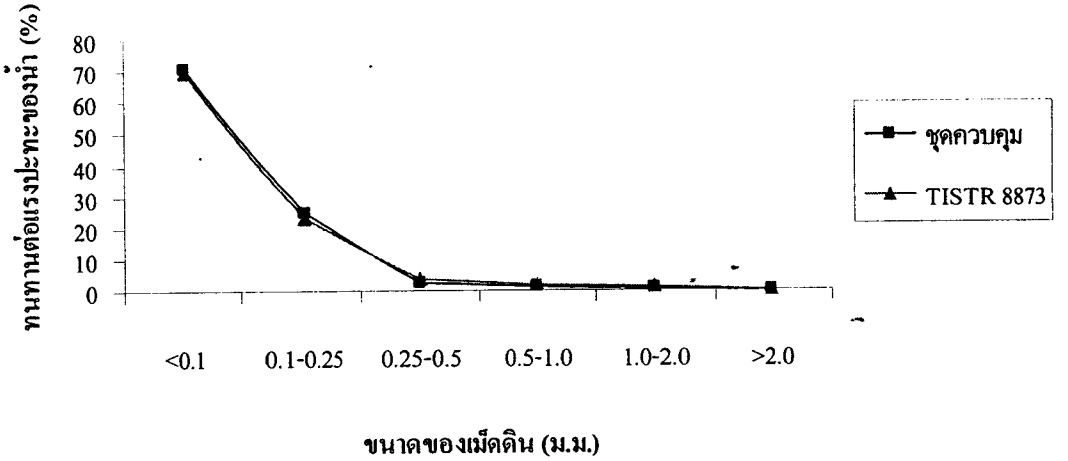
รูปที่ 18 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290



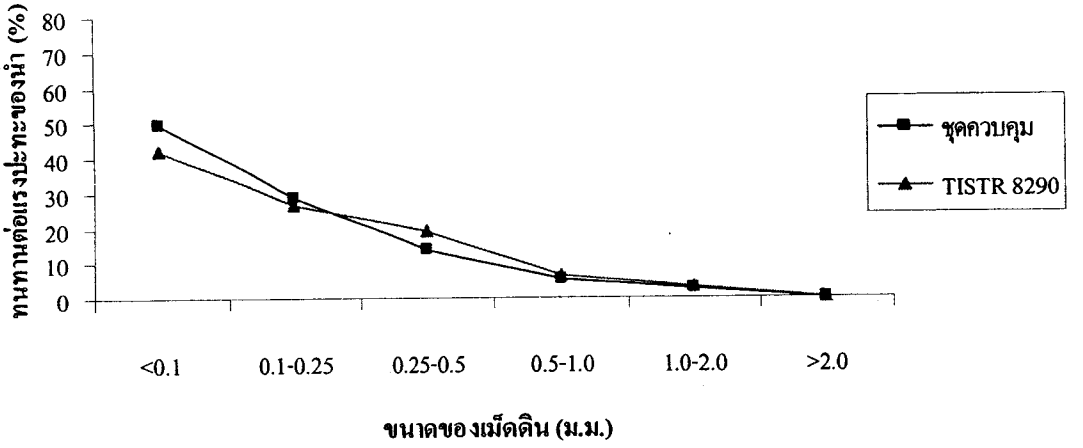
รูปที่ 19 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054



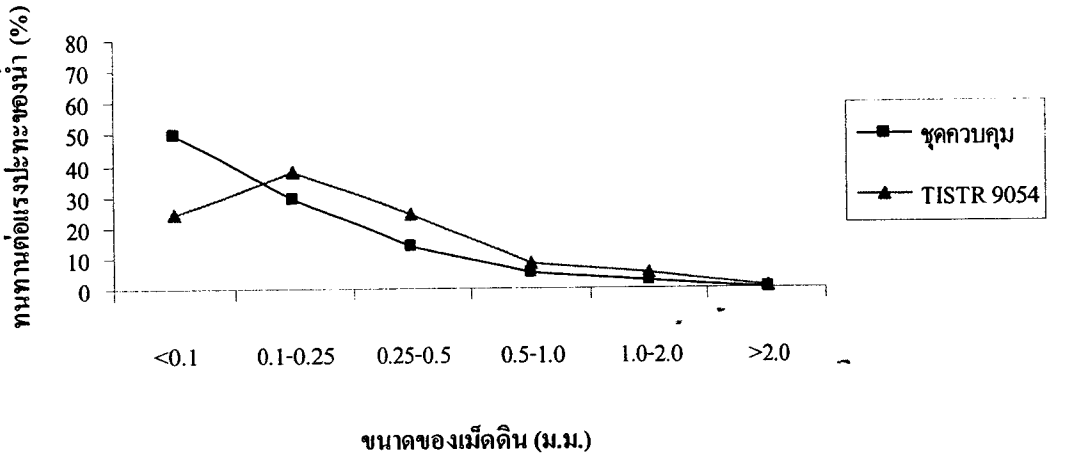
รูปที่ 20 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 8871



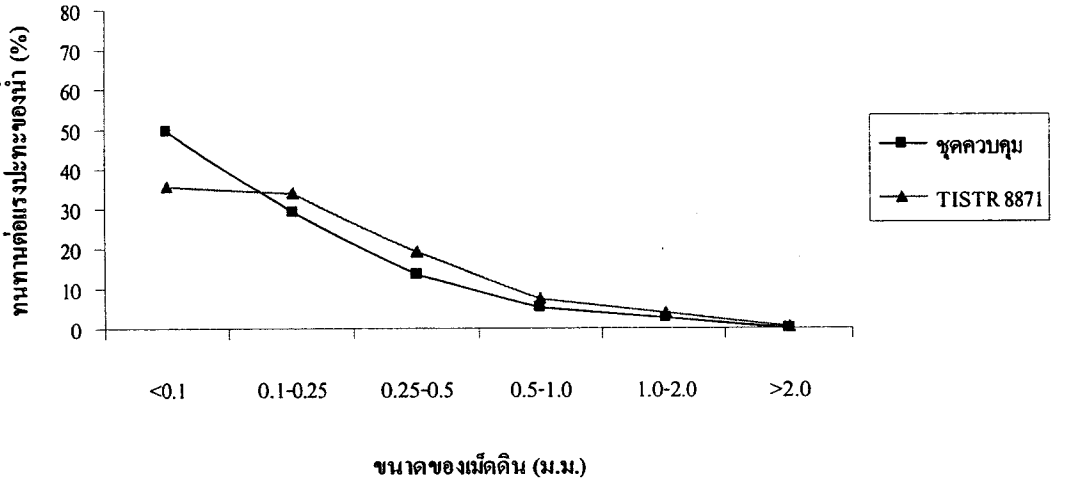
รูปที่ 21 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8873



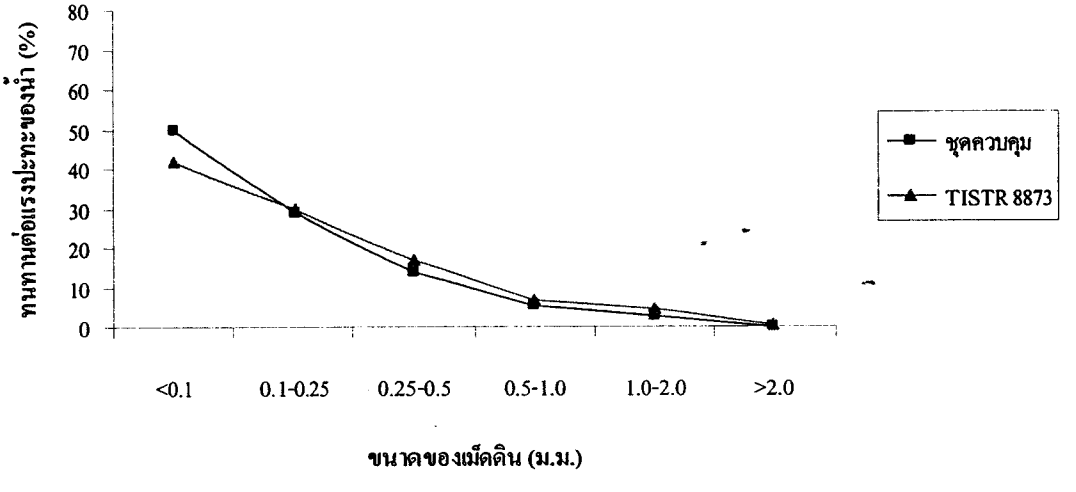
รูปที่ 22 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290



รูปที่ 23 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054



รูปที่ 24 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 8871



รูปที่ 25 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8873

3.5.1.4 ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density)

1) ชุดการทดลองที่ 1 ชุดเติมชีวมวล

1.1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ความหนาแน่นรวมของดินแต่ละกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีความหนาแน่นรวมของดินน้อยที่สุด คือ 1.53±0.01 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดิน 1.54±0.02 1.55±0.03 และ 1.59±0.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นรวมของดิน 1.65±0.11 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดินลดลง 7.27 6.67 6.06 และ 3.64 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 14 และรูปที่ 26) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นรวมของดินของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์แม้จะมีค่าลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

1.2) ดินสวนจากลำตะคอง

ความหนาแน่นรวมของดินแต่ละกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และมีค่าความหนาแน่นรวมของดินแต่ละกล่องใกล้เคียงกันมากเหมือนดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 และ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 มีความหนาแน่นรวมของดินเท่ากันและน้อยที่สุด คือ 1.50±0.04 และ 1.50±0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และสำหรับกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดินเท่ากัน คือ 1.52±0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นรวมของดิน 1.64±0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดินลดลง 8.54 8.54 7.32 และ 7.32 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 14 และรูปที่ 27) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นรวมของดินของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

2) ชุดการทดลองที่ 2 ชุดเติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย

2.1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และมีค่าความหนาแน่นรวมของดินใกล้เคียงกันมาก โดยกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 และ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 มีความหนาแน่นรวมของดินน้อยที่สุด คือ 1.55±0.02 และ 1.55±0.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รองลงมาคือ *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดิน 1.56±0.06 และ 1.58±0.07 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นรวมของดิน 1.68±0.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดินลดลง 7.74 7.74 7.14 และ 5.95 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 14 และรูปที่ 26) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นรวมของดินของกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์แม้จะมีค่าลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

2.2) ดินสวนจากลำตะคอง

ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และมีค่าความหนาแน่นรวมของดินใกล้เคียงกันมาก โดยกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีความหนาแน่นรวมของดินน้อยที่สุด คือ 1.47±0.06 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดิน 1.50±0.04 1.51±0.66 และ 1.52±0.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นรวมของดิน 1.68±0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดินลดลง 12.50 10.71 10.12 และ 9.52 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 14 และรูปที่ 27) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นรวมของดินของกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

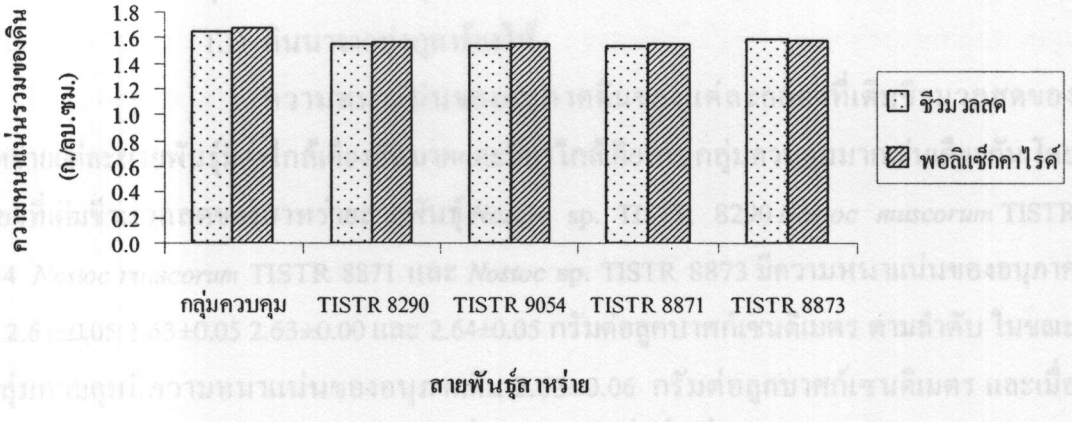
จากผลการทดลองจะพบว่าความหนาแน่นรวมของดินทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าลดลง ที่เป็นเช่นนี้เป็นผลต่อเนื่องมาจากการสร้างเม็ดดินที่มีความเสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่เพิ่มมากขึ้น การเกาะยึดกันของอนุภาคดินทำให้ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าลดลง ซึ่งความหนาแน่นรวมของดินเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการเชื่อมยึดและการจัดเรียงของอนุภาคดินและของเม็ดดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา 2523) จากผลการทดลองของความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ (Water-stable aggregates) (หัวข้อ 3.5.1.3) ซึ่งพบว่าเม็ดดินมีการเกาะยึดกันกลายเป็นเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าลดลง และพบว่าความหนาแน่นรวมของดินในชุดการทดลองที่ 2 จะมีค่าลดลงมากกว่าการทดลองชุดที่ 1 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในชุดการทดลองที่ 2 มีการสร้างเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่มากกว่าการทดลองชุดที่ 1

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบความหนาแน่นรวมของดินทดสอบที่เติมชีวมวลสดและที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย

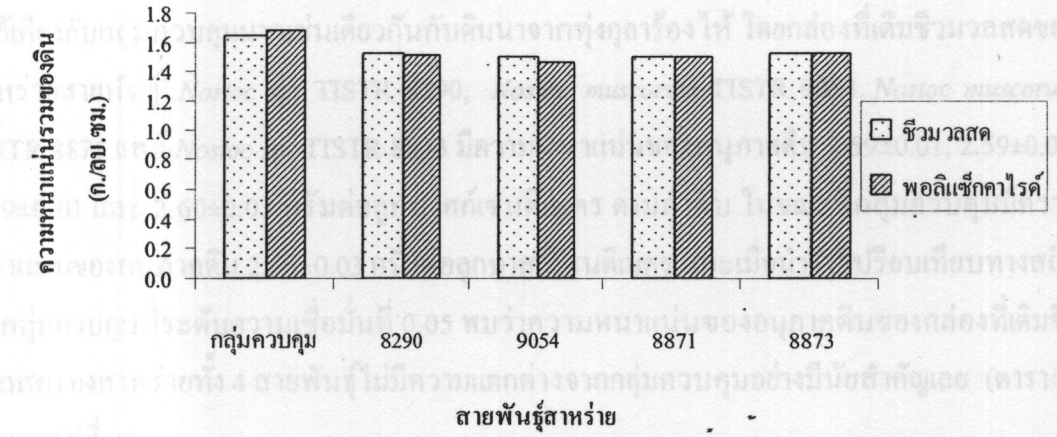
สายพันธุ์สาหร่าย	ความหนาแน่นรวมของดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)							
	ชุดที่ 1 เติมชีวมวลสด				ชุดที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย			
	ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง		ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง	
	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง
Nostoc sp.		1.55±0.03		1.52±0.05*		1.56±0.06		1.51±0.06*
TISTR 8290		(6.06%)		(7.32%)		(7.14%)		(10.12%)
N.muscorum		1.53±0.01		1.50±0.04*		1.55±0.02		1.47±0.06*
TISTR 9054	1.65±0.11	(7.27%)	1.64±0.05	(8.54%)	1.68±0.04	(7.74%)	1.68±0.05	(12.50%)
N.muscorum		1.54±0.02		1.50±0.05*		1.55±0.03		1.50±0.04*
TISTR 8871		(6.67%)		(8.54%)		(7.74%)		(10.71%)
Nostoc sp.		1.59±0.03		1.52±0.05*		1.58±0.07		1.52±0.03*
TISTR 8873		(3.64%)		(7.32%)		(5.95%)		(9.52%)

*เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

ตัวเลขในวงเล็บ : แทนการเพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม



รูปที่ 26 ความหนาแน่นรวมของดินของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้



รูปที่ 27 ความหนาแน่นรวมของดินของดินนาจากลำตะคอง

3.5.1.5 ความหนาแน่นของอนุภาคดิน (Particle density)

1) ชุดการทดลองที่ 1 ชุดเติมชีวมวล

1.1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ความหนาแน่นของอนุภาคดินของแต่ละกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์มีค่าใกล้เคียงกันมากและมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมมากเช่นเดียวกัน โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290 *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นของอนุภาคดิน 2.63±0.05 2.63±0.05 2.63±0.00 และ 2.64±0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นของอนุภาคดิน 2.63±0.06 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นของอนุภาคดินของกล่องที่ใส่ชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญเลย (ตารางที่ 15 และรูปที่ 28)

1.2) ดินสวนจากลำตะคอง

ความหนาแน่นของอนุภาคดินแต่ละกล่องมีค่าใกล้เคียงกันมากและมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมมากเช่นเดียวกันกับดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290, *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นของอนุภาคดิน 2.59±0.01, 2.59±0.01, 2.59±0.01 และ 2.60±0.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นของอนุภาคดิน 2.60±0.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นของอนุภาคดินของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญเลย (ตารางที่ 15 และรูปที่ 29)

2) ชุดการทดลองที่ 2 ชุดเติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย

2.1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ความหนาแน่นอนุภาคของดินแต่ละกล่องมีค่าใกล้เคียงกันมากและมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมมากเช่นเดียวกัน โดยกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290, *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นของอนุภาคดิน 2.64±0.06, 2.64±0.05, 2.63±0.00 และ 2.63±0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความ

หนาแน่นของอนุภาคดิน 2.64±0.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นอนุภาคของดินของกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญเลย (ตารางที่ 15 และรูปที่ 28)

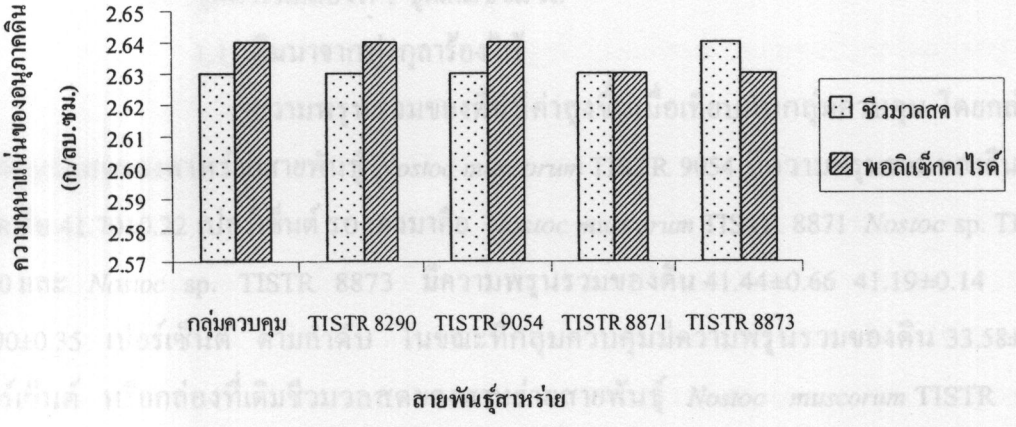
2.2) ดินสวนจากลำตะคอง

ความหนาแน่นอนุภาคของดินแต่ละกล่องมีค่าใกล้เคียงกันมากและมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมมากเช่นเดียวกันกับดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ โดยกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290, *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นของอนุภาคดิน 2.59±0.01, 2.59±0.01, 2.58±0.03 และ 2.59±0.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นของอนุภาคดิน 2.60±0.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นอนุภาคของดินของกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญเลย (ตารางที่ 15 และรูปที่ 29)

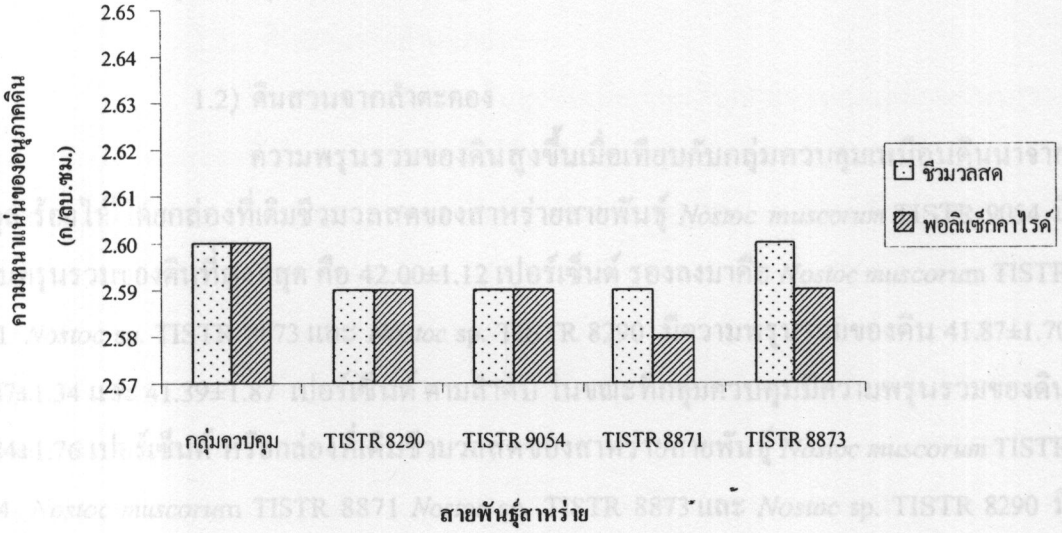
จากผลการทดลองจะเห็นความหนาแน่นอนุภาคของดินทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ความหนาแน่นอนุภาคของดินโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของส่วนที่เป็นของแข็งในดิน ได้แก่ ส่วนประกอบทางแร่ของดิน ซึ่งมีความหนาแน่นอนุภาคต่างกันและความหนาแน่นของแร่มักคงที่หรือใช้เวลานานมากในการสลายตัวหรือเปลี่ยนแปลง ผลกระทบที่เกิดจากอินทรียวัตถุโดยปกติจึงน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดจากส่วนประกอบทางแร่ นอกจากนี้ขนาดและลักษณะของการจัดเรียงและการเชื่อมยึดของทั้งอนุภาคของดินและเม็ดดินไม่มีผลกระทบต่อความหนาแน่นของอนุภาคของดินแต่อย่างใด ดินส่วนมากมักมีความหนาแน่นอนุภาคของดินประมาณ 2.6-2.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งนับว่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบความหนาแน่นของอนุภาคดินทดสอบที่เติมชีวมวลสดและที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย

สายพันธุ์สาหร่าย	ความหนาแน่นของอนุภาคดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)							
	ชุดที่ 1 เติมชีวมวลสด				ชุดที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย			
	ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง		ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง	
	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง
Nostoc sp. TISTR 8290		2.63±0.05		2.59±0.01		2.64±0.06		2.59±0.01
N.muscorum TISTR 9054	2.63±0.06	2.63±0.05	2.60±0.03	2.59±0.01	2.64±0.03	2.64±0.05	2.60±0.03	2.59±0.01
N.muscorum TISTR 8871		2.63±0.00		2.59±0.01		2.63±0.00		2.58±0.03
Nostoc sp. TISTR 8873		2.64±0.05		2.60±0.03		2.63±0.05		2.59±0.04



รูปที่ 28 ความหนาแน่นของอนุภาคดินของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้



รูปที่ 29 ความหนาแน่นของอนุภาคดินของดินนาจากจากลำตะคอง

3.5.1.6 ความพรุนรวมของดิน (Total porosity)

1) ชุดการทดลองที่ 1 ชุดเติมชีวมวล

1.1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ความพรุนรวมของดินมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีความพรุนรวมของดินที่สูงที่สุด คือ 41.70±0.22 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความพรุนรวมของดิน 41.44±0.66 41.19±0.14 และ 39.90±0.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความพรุนรวมของดิน 33.58±3.03 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความพรุนรวมของดินเพิ่มขึ้น 11.56 10.86 10.19 และ 6.74 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 16 และรูปที่ 30) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความพรุนรวมของดินของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์แม้จะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

1.2) ดินสวนจากลำตะคอง

ความพรุนรวมของดินสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมเหมือนดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีความพรุนรวมของดินที่สูงที่สุด คือ 42.00±1.12 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8873 และ *Nostoc* sp. TISTR 8290 มีความพรุนรวมของดิน 41.87±1.70 41.47±1.34 และ 41.39±1.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความพรุนรวมของดิน 36.84±1.76 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8873 และ *Nostoc* sp. TISTR 8290 มีความพรุนรวมของดินเพิ่มขึ้น 14.01 13.65 12.57 และ 12.35 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 16 รูปที่ 31) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความพรุนรวมของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

2) ชุดการทดลองที่ 2 ชุดเติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย

1.1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ความพรุนรวมของดินสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีความพรุนรวมของดินสูงที่สุด คือ 41.17±1.10 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความพรุนรวมของดิน 41.06±1.14 40.76±1.32 และ 40.54±1.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความพรุนรวมของดิน 36.36±2.76 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความพรุนรวมของดินเพิ่มขึ้น 13.23 12.93 12.10 และ 11.50 เปอร์เซ็นต์ จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 16 และรูปที่ 30) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความพรุนรวมของดินของกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์แม้จะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

1.2) ดินสวนจากลำตะคอง

ความพรุนรวมของดินสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมเหมือนดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ โดยกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีความพรุนรวมของดินที่สูงที่สุด คือ 43.20±1.85 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความพรุนรวมของดิน 42.03±0.61 41.63±1.94 และ 41.51±1.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความพรุนรวมของดิน 35.41±1.58 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 และ มีความพรุนรวมของดินเพิ่มขึ้น 22.00 18.70 17.57 และ 17.23 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 16 และรูปที่ 31) เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความพรุนรวมของกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองจะพบว่าความพรุนรวมทั้งหมดของดินทั้ง 2 ชุดการทดลองจะเพิ่มขึ้น แม้ในกรณีของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ทั้ง 2 ชุดการทดลองจะมีความพรุนรวมทั้งหมดของดินเพิ่มขึ้นแต่ก็ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มควบคุมเลย ความ

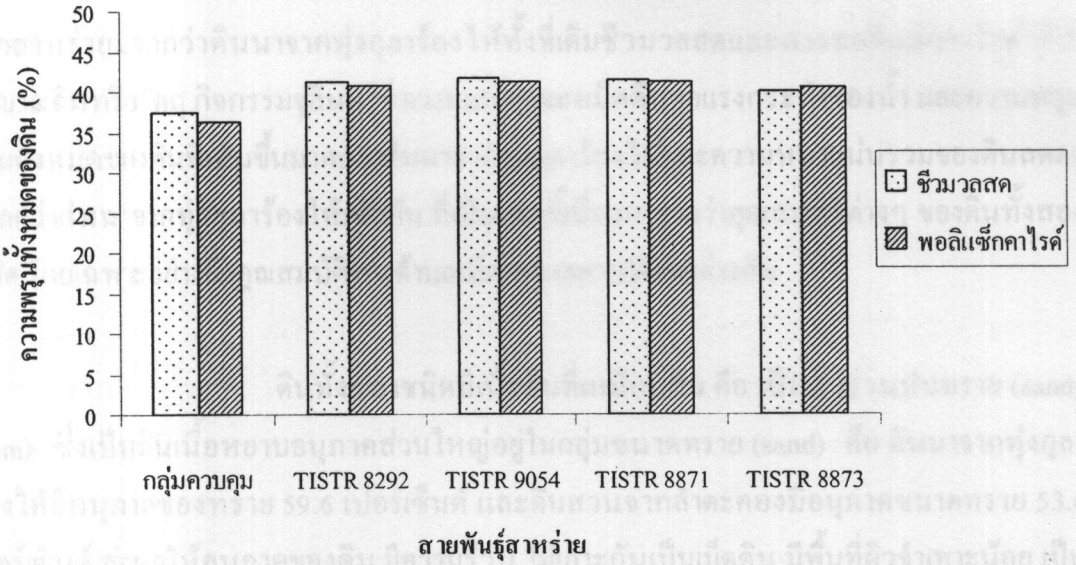
พรุนรวมทั้งหมดของดินที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดเป็นเม็ดดินที่มากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง ซึ่งจะส่งผลทำให้ความพรุนทั้งหมดของดินเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมกับความพรุนรวมของดินนั้นจะมีผลตรงกันข้าม กล่าวคือ ดินใดที่มีความหนาแน่นรวมต่ำลง ก็ย่อมจะทำให้ความพรุนรวมของดินนั้นยิ่งเพิ่มขึ้น (เกษมศรี 2536) เมื่ออนุภาคดินจับตัวเป็นเม็ดดินทำให้มีโพรงหรือช่องว่างในดินเกิดขึ้น ช่องว่างที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องของอนุภาคกลุ่มดินเป็นตัวช่วยให้มีการระบายของน้ำและอากาศในโครงสร้างดีขึ้น (กองปฐพีวิทยา 2536) จากผลการทดลองจะพบว่าความพรุนรวมทั้งหมดของดินในชุดการทดลองที่ 2 จะมากกว่าชุดการทดลองที่ 1 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในชุดการทดลองที่ 2 อนุภาคของดินมีการจับตัวกันเป็นเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่ที่มากกว่าส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าลดลงมากกว่า และทำให้ความพรุนรวมทั้งหมดของดินเพิ่มขึ้นมากกว่า

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบความพรุนรวมทั้งหมดของดินทดสอบที่เติมชีวมวลสดและที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย

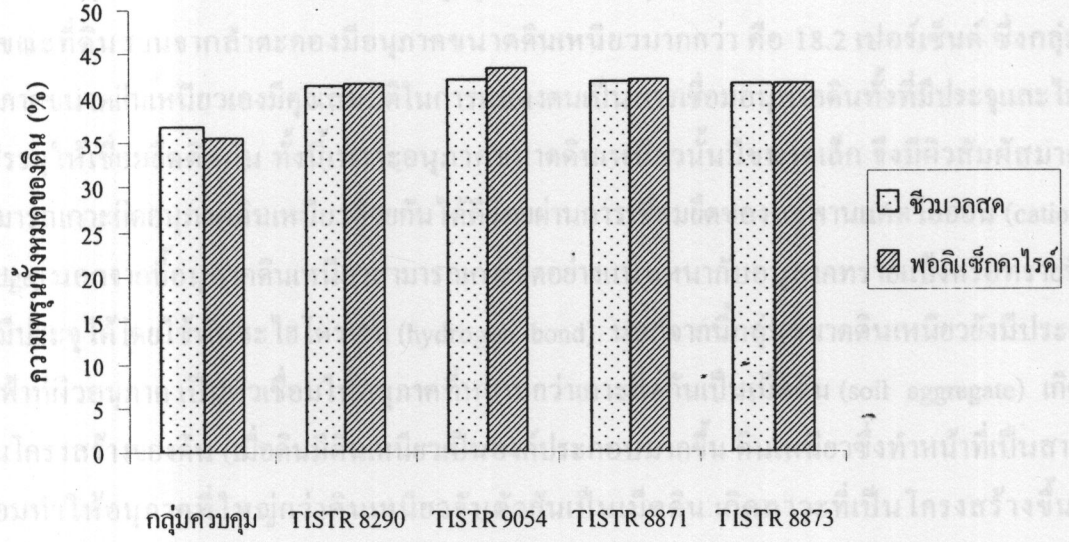
สายพันธุ์สาหร่าย	ความพรุนรวมทั้งหมดของดิน (%)							
	ชุดที่ 1 เติมชีวมวลสด				ชุดที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย			
	ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง		ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง	
	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง
Nostoc sp.		41.19±0.14		41.39±1.87*		40.76±1.32		41.63±1.94*
TISTR 8290		(10.19%)		(12.35%)		(12.10%)		(17.57%)
N.muscorum		41.70±0.22		42.00±1.12*		41.17±1.10		43.20±1.85*
TISTR 9054	37.38±3.03	(11.56%)	36.84±1.76	(14.01%)	36.36±2.76	(13.23%)	35.41±1.58	(22.00%)
N.muscorum		41.44±0.66		41.87±1.70*		41.06±1.14		42.03±0.61*
TISTR 8871		(10.86%)		(13.65%)		(12.93%)		(18.70%)
Nostoc sp.		39.90±0.35		41.47±1.34*		40.54±1.56		41.51±1.06*
TISTR 8873		(6.74%)		(12.57%)		(11.50%)		(17.23%)

*เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

ตัวเลขในวงเล็บ : แทนการเพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม



รูปที่ 30 ความพรุนรวมของดินของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้



รูปที่ 31 ความพรุนรวมของดินของดินนาจากลำตะคอง

จากผลการทดลองของดินทั้งสองชนิด ในภาพรวมพบว่า เมื่อมีการเติมชีวมวลหรือพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายแล้ว ดินสวนจากลำตะคองจะมีการปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่ายมากกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ทั้งที่เติมชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุ กิจกรรมจุลินทรีย์ ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ และความพรุนรวมทั้งหมดของดินที่เพิ่มขึ้นมากกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้และความหนาแน่นรวมของดินลดลงมากกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้เช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากว่าคุณสมบัติต่างๆ ของดินทั้งสองชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน

ดินทั้งสองชนิดมีเนื้อดินที่เหมือนกัน คือ เป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ซึ่งเป็นดินเนื้อหยาบอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มขนาดทราย (sand) คือ ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้มีอนุภาคของทราย 59.6 เปอร์เซ็นต์ และดินสวนจากลำตะคองมีอนุภาคขนาดทราย 53.6 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้อนุภาคของดิน มีความร่วน ไม่เกาะกันเป็นเม็ดดิน มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย เป็นอนุภาคดินที่ไม่มีประจุ ซึ่งลักษณะดินเช่นนี้มักเป็นดินที่ไม่มีโครงสร้างหรืออาจมีบ้างที่มีโครงสร้างแต่ก็จะเป็นโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง ซึ่งเมื่อถูกไถพรวนหรือแรงปะทะของน้ำก็กลายเป็นไม่มีโครงสร้าง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา 2548) และจากการที่มีอนุภาคดินอยู่ในกลุ่มขนาดดินเหนียว (clay) ที่น้อยมาก คือ ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้มีอนุภาคขนาดดินเหนียว 8.2 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ดินสวนจากลำตะคองมีอนุภาคขนาดดินเหนียวมากกว่า คือ 18.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวเองมีคุณสมบัติในการแสดงตนเป็นสารเชื่อมอนุภาคดินทั้งที่มีประจุและไม่มีประจุให้เชื่อมยึดติดกัน ทั้งนี้เพราะอนุภาคขนาดดินเหนียวนั้นมีขนาดเล็ก จึงมีผิวสัมผัสมากสามารถเกาะติดอนุภาคดินเหนียวด้วยกันได้ดีโดยผ่านการเชื่อมยึดของสะพานแคตไอออน (cation bridge) นอกจากนี้อนุภาคดินเหนียวสามารถเกาะยึดอย่างแน่นหนากับอนุภาคทรายแป้งหรือทรายที่ไม่มีประจุได้โดยใช้พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) นอกจากนี้กลุ่มขนาดดินเหนียวยังมีประจุไฟฟ้าที่ผิวอนุภาค เป็นตัวเชื่อมให้อนุภาคที่หยาบกว่าเกาะยึดกันเป็นเม็ดดิน (soil aggregate) เกิดเป็นโครงสร้างของดิน (เมื่อดินมีดินเหนียวเป็นองค์ประกอบมากขึ้น ดินเหนียวซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมทำให้อนุภาคที่ใหญ่กว่าดินเหนียวจับตัวกันเป็นเม็ดดิน เกิดภาวะที่เป็นโครงสร้างขึ้น) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา 2548)

นอกจากนี้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity – CEC) ก็ยังมีความสัมพันธ์กับการจับตัวกันเป็นเม็ดดิน คือ ดินที่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงนั่นหมายความว่าดินมีประจุลบที่ผิวอนุภาคดินมากความสามารถในการเกาะยึดกันระหว่างประจุก็จะสูง ซึ่งจะส่งผลต่อความมากน้อยในการเกาะยึด

กันของอนุภาคดิน ซึ่งความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนนี้มีอิทธิพลต่อความร่วนซุย ความเหนียวของดิน การเกาะกลุ่มของคอลลอยด์ และการสร้างเม็ดดินด้วย (ไพบูลย์ 2528) ซึ่งดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้และดินสวนจากลำตะคองมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 3.1 และ 10.9 me-100 g ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ดินสวนจากลำตะคองมีการสร้างเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่มีขนาดโตกว่า 0.2 มิลลิเมตร มากกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีความสำคัญต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน เพราะกิจกรรมจุลินทรีย์ดินส่วนใหญ่จะมีกิจกรรมสูงหรือทำงานเต็มประสิทธิภาพเมื่อปฏิกิริยาดินใกล้ๆ เป็นกลาง เมื่อดินเป็นกรดจะทำงานได้ช้าลงตามลำดับ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา 2548) ซึ่งดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ 4.8 จัดว่ามีความเป็นกรดจัดมาก (very strongly acid) และสำหรับดินสวนจากลำตะคองมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ 7.6 จัดว่ามีความเป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา 2548) นอกจากนี้ในดินสวนจากลำตะคองยังมีอินทรียวัตถุในดินซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ดินในปริมาณที่สูงกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ ซึ่งส่งผลให้ดินสวนจากลำตะคองมีกิจกรรมจุลินทรีย์ที่สูงกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

จากองค์ประกอบเนื้อดินของดินสวนลำตะคองที่มีกลุ่มอนุภาคดินขนาดดินเหนียวที่สูงกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ และมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่สูงกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ ทั้งยังมีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะสมต่อการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์และปริมาณอินทรียวัตถุที่มากกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ จึงทำให้ดินสวนจากลำตะคองเมื่อได้รับการปรับปรุงโครงสร้างของดินจากทั้งชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายจึงมีโครงสร้างของดินดีขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและสูงกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ที่ได้รับการปรับปรุงโครงสร้างของดินอย่างเดียวกับดินสวนจากลำตะคอง

3.6 ผลการเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่ายระยะยาวและการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์

3.6.1 ผลการเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่ายระยะยาวด้วยเทคนิค Cryopreservation

จากการศึกษาการรอดชีวิตของสาหร่ายที่เก็บรักษาด้วยเทคนิค Cryopreservation พบว่า *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 สามารถมีชีวิตรอด $1.0x10^5$ เซลล์ ส่วน *Nostoc* sp.TISTR 8873 และ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 สามารถมีชีวิตรอด $4.9x10^4$ เซลล์ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 จำนวนสาหร่ายที่รอดชีวิตหลังการเก็บรักษาด้วยเทคนิค cryopreservation

สายพันธุ์สาหร่าย*	จำนวนสาหร่ายที่รอดชีวิต (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)					
	24 ชั่วโมง		1 เดือน		2 เดือน	
	5%DM	10%DM	5%DM	10%DM	5%DM	10%DM
Nostoc sp. TISTR 8290	$1.2x10^5$	$1.2x10^5$	$1.1x10^5$	$1.0x10^5$	$1.0x10^5$	$1.0x10^5$
Nostoc sp. TISTR 8873	$1.3x10^5$	$1.3x10^5$	$1.1x10^5$	$1.0x10^5$	$4.9x10^4$	$4.9x10^4$
Nostoc muscorum TISTR 8871	$1.2x10^5$	$1.2x10^5$	$1.2x10^5$	$1.1x10^5$	$1.0x10^5$	$1.0x10^5$
Nostoc muscorum TISTR 9054	$1.0x10^5$	$1.0x10^5$	$1.0x10^5$	$1.0x10^5$	$4.8x10^4$	$4.9x10^4$

*ปริมาณเซลล์เริ่มต้นประมาณ $1x10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร

3.6.2 การศึกษาการอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์ปุ๋ยเม็ด

พบว่าสาหร่ายทุกสายพันธุ์สามารถมีชีวิตรอดประมาณ 1.0×10^6 เซลล์ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงเล็กน้อย (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 การอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์ปุ๋ยเม็ด

สายพันธุ์สาหร่าย[1]	จำนวนสาหร่ายที่รอดชีวิต (เซลล์ต่อกรัม) และ (ความชื้น)		
	ทันที	1 เดือน	2 เดือน
Nostoc sp. TISTR 8290	1.0×10^6 (12.5)[2]	1.0×10^6 (11.5)	1.0×10^6 (11.0)
Nostoc sp. TISTR 8873	1.0×10^6 (12.5)	1.0×10^6 (11.5)	1.0×10^6 (11.0)
Nostoc muscorum TISTR 8871	1.0×10^6 (12.5)	1.0×10^6 (11.5)	1.0×10^6 (11.0)
Nostoc muscorum TISTR 9054	1.0×10^6 (15.0)	1.0×10^6 (13.5)	1.0×10^6 (12.4)

[1]ปริมาณเซลล์เริ่มต้นประมาณ $1x10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร

[2]ตัวเลขในวงเล็บ : แทนเปอร์เซ็นต์ความชื้น

3.6.3 การศึกษาการอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์ปุ๋ยผง

พบว่าสาหร่ายทุกสายพันธุ์สามารถมีชีวิตรอดประมาณ 1.0×10^6 เซลล์ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน (ตารางที่ 19)

ตารางที่ 19 การอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์ปุ๋ยผง

สายพันธุ์สาหร่าย[1]	จำนวนสาหร่ายที่รอดชีวิต (เซลล์ต่อกรัม) และ (ความชื้น)		
	ทันที	1 เดือน	2 เดือน
Nostoc sp. TISTR 8290	1.0×10^6 (12.5)[2]	1.0×10^6 (11.5)	1.0×10^6 (10.5)
Nostoc sp. TISTR 8873	1.0×10^6 (12.5)	1.0×10^6 (11.5)	1.0×10^6 (10.5)
Nostoc muscorum TISTR 8871	1.0×10^6 (12.5)	1.0×10^6 (11.5)	1.0×10^6 (10.4)
Nostoc muscorum TISTR 9054	1.0×10^6 (15.0)	1.0×10^6 (13.5)	1.0×10^6 (11.5)

[1]ปริมาณเซลล์เริ่มต้นประมาณ $1x10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร

[2]ตัวเลขในวงเล็บ : แทนเปอร์เซ็นต์ความชื้น

3.6.4 การศึกษาการอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์สาหร่ายตากแห้ง

พบว่า *Nostoc muscorum* TISTR 8871 สามารถมีชีวิตรอด $5.3x10^7$ เซลล์ รองลงมา คือ *Nostoc* sp. TISTR 8290 มีชีวิตรอด $5.1x10^7$ ส่วน *Nostoc* sp. TISTR 8873 และ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 สามารถมีชีวิตรอด 5.0×10^7 เซลล์ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 การอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์สาหร่ายตากแห้ง

สายพันธุ์สาหร่าย[1]	จำนวนสาหร่ายที่รอดชีวิต (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	
	ทันที	1 เดือน
Nostoc sp. TISTR 8290	$5.3x10^7$	$5.1x10^7$
Nostoc sp. TISTR 8873	$5.5x10^7$	$5.0x10^7$
Nostoc muscorum TISTR 8871	$5.5x10^7$	$5.3x10^7$
Nostoc muscorum TISTR 9054	$5.0x10^7$	$5.0x10^7$

[1]ปริมาณเซลล์เริ่มต้นประมาณ $5x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร

3.6.5 การศึกษาการอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้ง

พบว่า *Nostoc* sp. TISTR 8290 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 สามารถมีชีวิตรอด $5.1x10^7$เซลล์ ส่วน *Nostoc* sp. TISTR 8873 สามารถมีชีวิตรอด 5.0×10^7 เซลล์ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 การอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้ง

สายพันธุ์สาหร่าย[1]	จำนวนสาหร่ายที่รอดชีวิต (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	
	ทันที	1 เดือน
Nostoc sp. TISTR 8290	$5.2x10^7$	$5.1x10^7$
Nostoc sp. TISTR 8873	$5.3x10^7$	$5.0x10^7$
Nostoc muscorum TISTR 8871	$5.2x10^7$	$5.1x10^7$
Nostoc muscorum TISTR 9054	$5.1x10^7$	$5.1x10^7$

[1]ปริมาณเซลล์เริ่มต้นประมาณ $5x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร

3.6.6 การศึกษาการอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์สาหร่ายสดในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์

พบว่า *Nostoc* sp. TISTR 8290 สามารถมีชีวิตรอดสูงสุดเท่ากับ 4.2 $x10^6$ เซลล์ รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 สามารถมีชีวิตรอดเท่ากับ 4.1 $x10^6$ เซลล์ และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีชีวิตรอดต่ำสุดเท่ากับ 3.8 $x10^6$ เซลล์ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 การอยู่รอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์สาหร่ายสดในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์

สายพันธุ์สาหร่าย[1]	จำนวนสาหร่ายที่พบ (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	
	ทันที	1 เดือน
Nostoc sp. TISTR 8290	$5.1x10^7$	$4.2x10^6$
Nostoc sp. TISTR 8873	$5.0x10^7$	$3.8x10^6$
Nostoc muscorum TISTR 8871	$5.0x10^7$	$3.9x10^6$
Nostoc muscorum TISTR 9054	$5.2x10^7$	$4.1x10^6$

[1]ปริมาณเซลล์เริ่มต้นประมาณ $5x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ผลการทดลองพบว่า สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกมีความเหมาะสมต่อการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ทั้งในรูปแบบเม็ดหรือผง ซึ่งยังคงความมีชีวิตรอด ($\geq 10^5$ เซลล์ต่อกรัม) และมีความชื้น (%) เป็นไปตามข้อกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยชีวภาพของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ อย่างไรก็ตาม การผลิตผลิตภัณฑ์แบบเม็ดมีความเหมาะสมต่อสภาพการใช้งานของเกษตรกรมากกว่าแบบผง แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นวัสดุรองรับและค่าใช้จ่ายในการขนส่งแล้ว ผลิตภัณฑ์สาหร่ายแห้งที่มีการนำไปแช่น้ำก่อนฉีดพ่นจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านการผลิต (ลด

ค่าใช้จ่ายในส่วนของวัสดุรองรับ) และพลังงานในการขนส่งมากกว่า ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์สาหร่ายในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นสิ่งที่ควรพิจารณาเช่นกัน เพราะมีความสะดวกต่อการใช้งานกว่าสาหร่ายแห้งในขณะที่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตและการขนส่งได้เช่นกัน ทั้งนี้จะทำการตรวจสอบการมีชีวิตรอดของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาอย่างน้อย 6 เดือน

3.7 การทดสอบผลของสาหร่ายต่อการเจริญเติบโตของข้าวและคะน้า

3.7.1 ผลของสาหร่ายต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว

การเจริญเติบโตของต้นข้าวที่ปลูกในทรายไม่ผสมสาหร่าย (ชุดควบคุม) และผสมสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก พบว่า ที่อายุ 7 14 และ 21 วัน ต้นข้าวในชุดควบคุมมีความสูงน้อยที่สุด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับความสูงของต้นข้าวที่ปลูกในทรายผสมสาหร่ายทุกสายพันธุ์ (ตารางที่ 23)

ตารางที่ 23 ความสูงของต้นข้าวที่อายุต่างๆ ภายหลังจากใส่สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก

สายพันธุ์สาหร่าย	ความสูงต้นข้าวที่อายุต่างๆ (เซนติเมตร)		
	7 วัน	14 วัน	21 วัน
ชุดควบคุม[1]	4.82±0.97a[3]	21.51±2.28b	26.51±5.13a
Nostoc sp. TISTR 8290	8.92±0.64c	17.28±1.04ab	33.06±2.43b
Nostoc mucorum TISTR 9054	8.32±0.42bc	24.08±1.08b	36.16±1.47b
Nostoc mucorum TISTR8871	8.25±0.81bc	24.05±4.66b	35.20±2.04b
Nostoc sp. TISTR 8873	7.55±0.90b	21.78±4.24b	34.38±2.91b
ค่าสถิติ ($p \leq 0.05$)	*[4]	*	*

[1]ชุดควบคุมไม่ใส่สาหร่าย [2]ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น [3]ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรตามหลังเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test [4]ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.7.2 ผลของสาหร่ายต่อการเจริญเติบโตของคะน้า

การเจริญเติบโตของคะน้าที่ปลูกในทรายไม่ผสมสาหร่าย (ชุดควบคุม) และผสมสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก พบว่า ที่อายุ 7 วัน คะน้าในชุดควบคุม มีความสูงน้อยที่สุด ที่ 1.75±0.22 เซนติเมตร ซึ่งมีแนวโน้มแตกต่างกับความสูงของคะน้าที่ปลูกในทรายผสมสาหร่ายทุกสายพันธุ์ โดยที่ความสูงของคะน้าที่ปลูกในทรายผสมสาหร่าย *Nostoc muscorum* sp. TISTR 8871 มีความสูงมากที่สุด ที่ 4.21±0.32 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกับคะน้าที่ปลูกในทรายอย่างเดียว ในขณะที่อายุ 14 และ 21 วัน ความสูงของคะน้าในชุดควบคุม มีค่าน้อยที่สุดที่ 3.74±0.29 เซนติเมตร และ 3.73±0.51 เซนติเมตร ตามลำดับ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคะน้าที่ปลูกในทรายผสมสาหร่าย *Nostoc* sp. TISTR 8290 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 *Nostoc* sp. TISTR 8873 และ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 โดยที่ความสูงของคะน้าที่ปลูกในทรายผสมสาหร่าย *Nostoc muscorum* TISTR 8871 มีความสูงมากที่สุด ที่ 6.32±0.54 เซนติเมตร ที่อายุ 14 วัน และอายุ 21 วัน ความสูงของคะน้าที่ปลูกในทรายผสมสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มากกว่าความสูงของคะน้าในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 24)

ตารางที่ 24 ความสูงของคะน้าที่อายุต่างๆ ภายหลังจากใส่สาหร่าย *Nostoc* sp. ทั้ง 4 สายพันธุ์

สายพันธุ์สาหร่าย	ความสูงคะน้าที่อายุต่างๆ (เซนติเมตร)		
	7 วัน	14 วัน	21 วัน
ชุดควบคุม[1]	1.75[2]±0.22a[3]	3.74±0.29a	3.73±0.51a
Nostoc sp. TISTR 8290	3.13±0.39ab	5.14±0.58b	7.58±1.37b
Nostoc mucorum TISTR 9054	3.60±0.30ab	5.32±0.75b	6.86±0.38b
Nostoc mucorum TISTR8871	4.21±0.32b	6.32±0.54c	6.86±0.17b
Nostoc sp. TISTR 8873	3.36±0.74ab	5.44±0.93b	6.70±0.27b
ค่าสถิติ ($p \leq 0.05$)	*[4]	*	*

[1]ชุดควบคุมไม่ใส่สาหร่าย [2]ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ [3]ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรตามหลังเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test [4]ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4. สรุปผลการทดลอง

4.1 คัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่มีศักยภาพในการผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์เพื่อนำไปใช้ปรับโครงสร้างของดิน โดยพิจารณาจากปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่แต่ละสายพันธุ์ผลิตได้ จำนวน 4 สายพันธุ์ คือ *Nostoc* sp. TISTR 8290 *Nostoc muscorum* TISTR 9054 *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 โดยมีชีวมวลเพิ่มขึ้น 29.07 14.63 16.06 และ 33.08 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีการผลิตพอลิแซ็กคาไรด์รวม 127.86 120.10 117.94 และ 114.92 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และสามารถตรึงไนโตรเจนได้ 1,155.00 864.97 925.56 และ 868.67 ไมโครโมลเอทิลีนต่อกรัมแห้งสาหร่ายต่อชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่พบว่า สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกดังกล่าวสามารถผลิตสารเร่งการเจริญเติบโตของพืชได้

4.2 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่ายระหว่างชีวมวลสดและพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกสู่ภายนอกเซลล์สาหร่าย พบว่าการเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกสู่ภายนอกเซลล์ลงไปในดินจะช่วยฟื้นฟูโครงสร้างของดินได้มากกว่าการเติมชีวมวลสดของสาหร่าย โดยพิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมจุลินทรีย์ (Microbial activities) ความพรุนทั้งหมดของดิน (total porosity) และเม็ดดินที่มีความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ (Water-stable aggregate) และการลดลงของความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density)

สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 จะให้ผลดีทั้งที่เติมชีวมวลและสารพอลิแซ็กคาไรด์ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม ($p \leq 0.05$) ด้านปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ในดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ และกิจกรรมจุลินทรีย์ ในดินสวนจากลำตะคอง ปริมาณอินทรียวัตถุ กิจกรรมจุลินทรีย์ ความหนาแน่นรวมของดิน และความพรุนทั้งหมดของดิน

4.3 มีแนวโน้มว่าสามารถเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่ายคัดเลือกในระยะยาวได้ด้วยเทคนิค cryopreservation โดยใช้ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ ความเข้มข้น 5-10% เป็นสารรักษาสภาพเซลล์

4.4 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเม็ด แบบผงโดยการผสมกับวัสดุรองรับ หรือในรูปแบบเซลล์สาหร่ายตากแห้งหรืออบแห้ง ตลอดจนแบบเก็บเซลล์สดในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ พบว่าสาหร่ายยังคงความมีชีวิตรอดถึงบัดนี้เป็นเวลา 1-2 เดือน

4.5 การทดสอบระดับกระถางเบื้องต้น พบว่า การเติมชีวมวลสาหร่ายในดินช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวและคะน้าได้

5. เอกสารอ้างอิง

กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2536. เอกสารวิชาการความรู้ทั่วไปเรื่อง ดิน. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ

เกษมศรี ซับซ้อน. 2536. ปฐพีวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 2. ศูนย์ฝึกอบรมวิศวกรรมเกษตร ลำพูน กองวิทยาลัยเกษตรกรรม กรมอาชีวศึกษา

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2523. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2549. คู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้นและวิทยาศาสตร์ทางดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุขและสุรเดช จินตกานนท์. 2537. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการ การวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ดุสิต มานะจุติ. 2535. ปฐพีวิทยาทั่วไป. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธงชัย มาลา. 2535. ปุ๋ยชีวภาพเพื่อการเกษตร. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

นารินทร์ จันทร์สว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย "สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). วิทยานิพนธ์สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พงษ์นาถ นาถวรนันต์. 2549. สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม. 2528. เคมีของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2529. จุลชีววิทยาของดินเพื่อผลิตผลทางการเกษตร. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ วังใน. 2528. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, กรุงเทพฯ.

อาภารัตน์ มหาขันธ์. 2542. การเก็บตัวอย่าง การจัดจำแนก และการนับจำนวนเซลล์สาหร่ายที่ผลิตสารพิษในน้ำจืด. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. เอกสารประกอบการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ. หน้า 4-5.

Allen, M.B. 1952. The cultivation of Myxophyceae. *Arch. Microbiol.* 17: 34-5.

Antarikanonda, P., Berndt, H. and Mayer, F. 1980. Hydrogen:a new inhibitor of photosynthesis in the blue – green alga (Cyanobacterium) *Anabaena* sp. TA.1. *J.Archive Microbial.*145: 1-10.

Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986a. Bulk density. In A. Klute (ed). Methodes of Soil Analysis. Part I. zd ed., American Society of Agronomy. Inc., Medison, Wisconsin, USA.

Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986b. Particle density. In A. Klute (ed). Methodes of Soil Analysis. Part I. zd ed., American Society of Agronomy. Inc., Medison, Wisconsin, USA.

Chen, L., Li, D. and Liu, Y. 2003. Salt tolerance of Microcoleus vaginatus Gom., a cyanobacterium isolate from desert algal crust, was enhanced by exogenous carbohydrates. *J. Arid Environments*. 55: 645-656.

Culley, J.L.B. 1993. Density and compressibility. Soil Sampling and Methods of Analysis, Carter, M.R. (Ed.). pp. 529-662.

Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers,P.A. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28:350-356

Falchini L., E. Sparvoli., L. Tomaselli. 1996. Effect of Nostoc (Cyanobacteria) inoculation on the structure and stability of clay soils. *Biol Fertil Soils.* 23: 346-352.

Gregory A.T. and Jeremy A.R. 2000. Plant Hormone Protocols. New Jersey. Humana Press Inc.

Grieve, I.C. 1979. Soil aggregate stability test for the geomorphlogist. *Br. Geomorph. Res. Gr.* 25: 1-28.

Hardy, R.W., Burns, R.C. and Holsten, R.D. 1973. Application of the acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation. *Soil Biol. Biochem.* 5: 47-81.

Oades JM. 1984. Soil organic matter and structural stability: Mechanism and implications for management. *Plant and Soil.* 76: 319-337

Stainer, R.Y. and Bazize, G. 1971. Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chlorococcales). *J. Bact. Review*. 35: 171-205.

Vonshak, A. 1986. Laboratory Techniques for the cultivation of microalgae. CRC Handbook of Microalgal Mass Culture. Richmond, A. (ed.) pp. 129.

Watanabe, M.M. and Sawaguchi, T. 1995. Cryopreservation of a water-bloom forming cyanopbacterium, *Microcystis aeruginosa* f. *aeruginosa*. *Phycological Research*. 43: 111-116.

Zulpa de Caire, G., Storni de Cano, M. Zaccaro de Mule, M.C. Palma, R.M. and Colombo, K. 1997. Exopolysaccharide of *Nostoc muscorum* (Cyanobacteria) in the aggregation of soil particle. *Journal of Applied Phycology*. 9: 249-253.