วิทยานิพนธ์

การศึกษาคุณสมบัติสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่าย

STUDY ON PROPERTIES OF SOIL CONDITIONER FROM ALGAE

นางสาวสุพรรษา ขันธโสภา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550

RECEIVED
BY อารีน DATE 15/8/51
T 649003

วิทยานิพนธ์

การศึกษาคุณสมบัติสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่าย

STUDY ON PROPERTIES OF SOIL CONDITIONER FROM ALGAE

นางสาวสุพรรษา ขันธโสภา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2550

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม — **สาขา**

วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม — **ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาคุณสมบัติสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่าย

Study on Properties of Soil Conditioner from Algae

นามผู้วิจัย นางสาวสุพรรษา ขันธโสภา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ ....

(รองศาสตราจารย์สุขุม เร้าใจ, D.Agri.)

กรรมการ ....

(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, Ph.D.)

กรรมการ ....

(อาจารย์อาภารัตน์ มหาขันธ์, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา ....

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 31 **เดือน** ตุลาคม **พ.ศ.** 2550

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาคุณสมบัติสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่าย

Study on Properties of Soil Conditioner from Algae

โดย

นางสาวสุพรรษา ขันธโสภา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2550

สุพรรษา ขันธโสภา 2550: การศึกษาคุณสมบัติสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่าย ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์สุขุม เร้าใจ, D.Agri. 125 หน้า

การศึกษาคุณสมบัติสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่ายทำการศึกษาถึงอิทธิพลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่าย ระหว่างชีวมวลสดและพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย ศึกษาในดิน 2 ชนิด คือ ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ จ.ร้อยเอ็ด และดินสวนจากลำตะคอง จ.นครราชสีมา นำมาศึกษากับสาหร่าย 4 สายพันธุ์ที่คัดเลือกแล้วว่า สามารถผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์ได้ในปริมาณสูง และเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ได้แก่ *Nostoc* sp. TISTR 8290, *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ชุดเติมชีวมวลสด ในอัตรา 10 กรัมต่อดิน 250 กรัม นำไปตั้งไว้ได้แสงสว่างที่ความเข้มแสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที และที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส และชุดที่ 2 ชุดเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ ในอัตรา 32 มิลลิลิตรต่อดิน 250 กรัมนำกล่องไปตั้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส โดยทั้ง 2 ชุด ทำการทดลองเป็นเวลา 2 เดือน จากนั้นนำมาวิเคราะห์ผล และนำค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยไปเทียบกับกลุ่มควบคุมโดยเปรียบเทียบทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่ายระหว่างชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกสู่ภายนอกเซลล์สาหร่าย พบว่าการเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ลงไปในดินจะช่วยฟื้นฟูโครงสร้างของดินได้มากกว่าการเติมชีวมวลสดของสาหร่าย โดยพิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมจุลินทรีย์ (microbial activities) ความพรุนรวมของดิน (total porosity) เม็ดดินที่มีความเสถียรต่อแรงกระทำของน้ำ (water-stable aggregate) และการลดลงของความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density)

สาหร่ายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 จะให้ผลดีทั้งโดยการเติมชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม ($p \leq 0.05$) ในปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ ในดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ และกิจกรรมจุลินทรีย์ ในดินสวนจากลำตะคอง ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ กิจกรรมจุลินทรีย์ ความหนาแน่นรวมของดิน และความพรุนรวมของดิน

สุพรรษา ขันธโสภา ______________________ ______________________ 29 / 10 / 50

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Suphansa Khantasopa 2007: Study on Properties of Soil Conditioner from Algae. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Associate Professor Sukhoom Rowchai, D.Agri. 125 pages.

The Study on properties of soil conditioner from algae was performed to verify the efficiency of soil conditioner from algae and to compare the additional effect of algal biomass (AB) and extracellular polysaccharide (EPS) in two types of soil, the paddy soil of Thung Gula Ronghai in Roi Et province and the garden soil of Lam Takhong Research Station in Nakhon Ratchasima province. The four *Nostoc* strains (TISTR 8290, 8871, 8873 and 9054) whice were previously screened and selected as potential strains base on their rapid growth and high EPS production were applied in the experiment. The experiments were conducted using Completely Randomized Experimental Design (CRD) with 3 replication in each treatment. The tests were done in plastic boxes (13 x 13 x 4.5 cm) containing 250 g of soil. For the AB model, 10 g of fresh AB were spread over the soil surface and kept under cool-white fluorescent lamps at the light intensity of 60 $\mu E/m^2/S$. In the case of EPS model, 32 ml of EPS were spread over the soil surface and kept in dark. All the test boxes were covered with plastic lids to control soil moisture and were incubated at $28\pm1\,^{o}C$ for 2 months.

Result of experiments indicated that addition of extracellular polysaccharide (EPS) could produce a faster and higher increment of microbial activities, total porosity, water-stable aggregate and the decrease bulk density than by the addition of algal biomass (AB).

Nostoc muscorum TISTR 9054 was the algae that showed the best result in either the addition of AB or EPS. It is effects were different with the controlled group significantly ($p\leq0.05$) in terms of organic matter and microbial activity in both types of soil including one more factor, the bulk density and total porosity, in Lam Takhong Research Station soil.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี เพราะได้รับความกรุณาจากดร.อาภารัตน์ มหาขันธ์ กรรมการวิชารองที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการดำเนินการวิจัย จัดหาแหล่งเงินทุนสำหรับการวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดียิ่ง รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุม เร้าใจ ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ กรรมการวิชาเอก และดร. ศุภิฌา ธนะจิตต์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาแนะแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์ทั้งในแง่ทฤษฎีและการปฏิบัติที่มีคุณค่า ตั้งแต่เริ่มแรกจนสำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ผลงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย ซึ่งร่วมจัดตั้งโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ รหัสโครงการ BRT T_649003 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ

ขอขอบพระคุณศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยและส่วนวิจัยกายภาพดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและห้องปฏิบัติการเพื่อการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณดรุณี ชัยโรจน์ และคุณจิราวุฒิ เวียงวงษ์งาม จากส่วนวิจัยกายภาพดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน คุณสมชาย กรีฑาภิรมย์ จากภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และพี่ๆ จากศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัย อำนวยความสะดวกและช่วยประสานงานในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

ขอกราบขอบพระคุณเป็นพิเศษแด่ นายศรีนคร และนางสุนิตย์ ขันธโสภา ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัยทุกด้าน รวมทั้งรอคอยความสำเร็จของผู้วิจัยอย่างตั้งใจ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ผู้วิจัยมีกำลังกาย กำลังใจที่มั่นคงในการศึกษาค้นคว้า ทำให้สามารถทำวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยความภูมิใจยิ่ง และขอบคุณเพื่อนทุกคนที่คอยเห็นอกเห็นใจ คอยเข้าใจและให้กำลังใจผู้วิจัยเรื่อยมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาคุณแด่บิดามารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุพรรษา ขันธโสภา

ตุลาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	36
อุปกรณ์	36
สารเคมี	39
วิธีการ	40
ผลและวิจารณ์	50
สรุปและข้อเสนอแนะ	93
สรุป	93
ข้อเสนอแนะ	95
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	97
ภาคผนวก	105
ภาคผนวก ก อาหารเลี้ยงเชื้อ	106
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์	108
ภาคผนวก ค ค่าการวิเคราะห์ของปัจจัยต่างๆ ของดินตัวอย่าง	118
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	125

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	หลักเกณฑ์ในการกำหนดชั้นโครงสร้าง (structural class) ของดิน	11
2	หลักเกณฑ์ในการกำหนดระดับการสร้างตัวของโครงสร้าง (structure grade) ของดิน	11
3	องค์ประกอบของสารพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งแยกออกมาจากดินต่าง	22
4	รายชื่อและแหล่งที่เก็บตัวอย่างของสาหร่ายที่นำมาทดลอง	37
5	ปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้ของสาหร่ายทั้ง 60 สายพันธุ์	52
6	สมบัติบางประการของดินที่นำมาศึกษาก่อนใส่ชีวมวลสดของสาหร่ายและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย	56

ตารางผนวกที่		
ค 1	ค่าวิเคราะห์หาปริมาณอินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์) ในดินตัวอย่าง	119
ค 2	ค่าวิเคราะห์หากิจกรรมจุลินทรีย์โดยวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน (มิลลิกรัมของ CO_2ต่อดิน 1 กิโลกรัม) ในดินตัวอย่าง	120
ค 3	ค่าวิเคราะห์หาจำนวนเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่มีขนาด 0.2-2.0 มิลลิเมตร (เปอร์เซ็นต์)ในดินตัวอย่าง	121
ค 4	ค่าวิเคราะห์หาความหนาแน่นรวมของดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร)ในดินตัวอย่าง	122
ค 5	ค่าวิเคราะห์หาความหนาแน่นของอนุภาคดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร)ในดินตัวอย่าง	123
ค 6	ค่าวิเคราะห์หาความพรุนรวมทั้งหมดของดิน (เปอร์เซ็นต์)ในดินตัวอย่าง	124

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ตู้เก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่าย จากคลังเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่าย ศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)	41
2	การเพาะเลี้ยงสายพันธุ์สาหร่ายในอาหารเหลวในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร	42
3	เซลล์สาหร่ายสด (ก) และอาหารเพาะเลี้ยง (ข) ที่นำไปสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์	42
4	เซลล์สาหร่าย (ก) และอาหารเพาะเลี้ยง (ข) หลังจากที่นำไประเหิดแห้งแล้ว	42
5	สารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดจากเซลล์สาหร่าย (ก) และสกัดจากอาหารเพาะเลี้ยง (ข)	43
6	เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลกลูโคส	43
7	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกในอาหารเหลวในขวดคาร์บอย สำหรับการเพาะเลี้ยงเพื่อเก็บเซลล์ของสาหร่ายที่มีชีวิต และสำหรับเพาะเลี้ยงเพื่อนำมาสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์	45
8	กล่องทดลองที่ตั้งไว้ใต้แสงสว่างที่ความเข้มแสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 28 ±1 องศาเซลเซียส สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เติมชีวมวลสดของสาหร่าย	46
9	กล่องทดลองที่ตั้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิ 28 ±1 องศาเซลเซียส สำหรับชุดการทดลองที่ 2 เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดมาจากสาหร่าย	47
10	เปรียบเทียบระหว่างกล่องควบคุม (ซ้าย) และกล่องที่เติมด้วยสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกทั้ง 4 สายพันธุ์ (ขวา) ในดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ เป็นเวลา 2 เดือน	58
11	เปรียบเทียบระหว่างกล่องควบคุม (ซ้าย) และกล่องที่เติมด้วยสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกทั้ง 4 สายพันธุ์ (ขวา) ในดินสวนจากลำตะคอง เป็นเวลา 2 เดือน	59
12	เปรียบเทียบระหว่างกล่องควบคุมและกล่องที่เติมด้วยสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกทั้ง 4 สายพันธุ์ เป็นเวลา 2 เดือน ในดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
13	เปรียบเทียบระหว่างกล่องควบคุมและกล่องที่เติมด้วยสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกทั้ง 4 สายพันธุ์ เป็นเวลา 2 เดือน ในดินสวนจากลำตะคอง	61
14	ปริมาณอินทรียวัตถุของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ (ก) และดินสวนจากลำตะคอง (ข)	65
15	กิจกรรมจุลินทรีย์ของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ (ก) และดินสวนจากลำตะคอง (ข) โดยวัดเป็นปริมาณ CO_2 ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน	70
16	น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก บ่มใต้แสง เป็นเวลา 2 เดือน	75
17	น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก บ่มใต้แสง เป็นเวลา 2 เดือน	76
18	น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก บ่มในที่มืด เป็นเวลา 2 เดือน	77
19	น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก บ่มในที่มืด เป็นเวลา 2 เดือน	78
20	ความหนาแน่นรวมของดินของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ (ก) และดินสวนจากลำตะคอง (ข)	82
21	ความหนาแน่นของอนุภาคดินของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ (ก) และดินสวนจากลำตะคอง (ข)	88

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	ความพรุนรวมของดินของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ (ก) และดินสวนจากลำตะคอง (ข)	90
ภาพผนวกที่		
ข 1	กราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส	110

การศึกษาคุณสมบัติสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่าย

Study on Properties of Soil Conditioner from Algae

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยทรัพยากรต่างๆ เช่น ทรัพยากรดิน ทรัพยากรน้ำ ทรัพยากรป่าไม้ ฯลฯ ในอดีตทรัพยากรเหล่านี้ล้วนเอื้อต่อการดำรงชีวิตและการประกอบอาชีพของประชากรในประเทศแทบทั้งสิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาชีพเกษตรกรรม ซึ่งถือว่าเป็นอาชีพหลักทั้งในอดีตและปัจจุบัน เนื่องจากมีทรัพยากรดินที่อุดมสมบูรณ์เต็มไปด้วยธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองมากมายเพียงพอต่อความต้องการของพืชควบคู่กันกับลักษณะทางกายภาพของดินที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืชเช่นกัน และหนึ่งในสมบัติทางกายภาพของดินที่มีความสำคัญทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก ก็คือ โครงสร้างของดิน

ในปัจจุบันพบว่าโครงสร้างของดินถูกทำลายลงไปมาก สาเหตุหลักเนื่องมาจากการทำการเกษตรที่ผิดหลักวิชาการและขาดการบำรุงรักษาดิน ส่งผลให้ดินมีการอุ้มน้ำที่ไม่ดีเก็บรักษาความชื้นไว้ไม่ได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการอัดตัวอย่างแน่นทึบของดินทำให้ดินมีสภาพการระบายน้ำและอากาศที่ไม่ดีและยังเป็นอุปสรรคต่อการชอนไชหรือการแผ่กระจายของส่วนที่อยู่ใต้ผิวดินของพืช ปัจจัยดังกล่าวนี้ก่อให้เกิดปัญหาต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องเร่งแก้ไขเป็นการด่วน

การแก้ไขปัญหาการเสื่อมสภาพโครงสร้างของดินในปัจจุบันมีการใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์ในการปรับปรุงโครงสร้างของดิน ถึงแม้ว่าสารเหล่านี้จะให้ผลดีมากในการปรับปรุงโครงสร้างของดิน แต่ก็ยังไม่ปรากฏว่าได้มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากราคาที่แพงเกินไป ผลดีที่จะได้รับจากการใส่สารเหล่านี้ จึงไม่คุ้มกับต้นทุนในการนำสารเหล่านี้มาใช้ในที่ดินเพื่อการเกษตร อย่างไรก็ตามการศึกษาพบว่าการผลิตสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์โดยจุลินทรีย์ดินเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดต่อการสร้างเม็ดดิน ความเสถียรของเม็ดดินและโครงสร้างของดิน ตัวอย่างเช่น การใช้สาหร่ายที่สามารถหลั่งสารเหนียวกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ออกสู่ภายนอกเซลล์ (extracellular polysaccharide) เป็นตัวส่งเสริมความเสถียรของเม็ดดินและปรับปรุงโครงสร้างของดินช่วยให้อนุภาคของดินรวมตัว

กันเป็นก้อนดินที่มีความเสถียร (soil aggregate stability) ทนต่อแรงขัดสีหรือแรงปะทะประเภทต่างๆ โดยเฉพาะแรงปะทะของเม็ดฝนทำให้ถูกเซาะและพัดพาไปที่อื่นได้ยาก จากการศึกษาพบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิด เช่น *Nostoc* และ *Anabaena* สามารถผลิตสารเหนียวออกมาเป็นจำนวนมากทั้งยังสามารถเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วภายหลังจากใส่สาหร่ายให้แก่ดินแล้ว อีกทั้งทนต่อความแห้งแล้ง อุณหภูมิสูง ความเป็นกรด-ด่างของดิน ความร้อนและรังสีอัลตราไวโอเลตได้เป็นอย่างดี ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้เหมาะสมที่นำมาพัฒนาใช้ในการปรับโครงสร้างของดินได้ทั้งในลักษณะของเซลล์ที่มีชีวิตหรือเฉพาะสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สาหร่ายผลิตขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่มีศักยภาพในการผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเปรียบเทียบระหว่างการใช้เซลล์สาหร่ายที่มีชีวิตกับสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายในการฟื้นฟูโครงสร้างของดิน

การตรวจเอกสาร

1. ดิน (Soil)

1.1 ความหมายของดิน

ดิน คือ เทหวัตถุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติรวมกันขึ้นเป็นชั้น (profile) จากส่วนผสมของแร่ธาตุต่างๆ ที่สลายตัวเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยกับอินทรียวัตถุที่เน่าเปื่อยผุพังอยู่รวมกันเป็นชั้นบางๆ ห่อหุ้มผิวโลกและเมื่อมีอากาศและน้ำเป็นปริมาณที่เหมาะสมแล้วจะช่วยค้ำจุนพร้อมทั้งช่วยในการยังชีพและการเจริญเติบโตของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

1.2 ส่วนประกอบของดิน (soil component)

ดินที่เห็นอยู่นี้สามารถแบ่งส่วนประกอบออกตามความสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชได้เป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1.2.1 อนุภาคแข็ง (solid particles) มีหน้าที่ประกอบกันเป็นโครงร่างของมวลดิน อนุภาคแข็งมี 2 ประเภท คือ

1) อนินทรียวัตถุ (mineral matter) เป็นส่วนที่เกิดจากชิ้นเล็กชิ้นน้อยของแร่และหินต่างๆ ที่สลายตัวโดยทางเคมี ทางฟิสิกส์ และทางชีวเคมี

2) อินทรียวัตถุ (organic matter) ได้แก่ส่วนที่เกิดจากการเน่าเปื่อยผุพังหรือการสลายตัวของเศษเหลือของพืชและสัตว์ที่ทับถมกันอยู่บนดิน

1.2.2 น้ำในดิน (soil water) น้ำที่อยู่ในดินนั้นได้มาจากฝนหรือน้ำชลประทาน เมื่อดินได้รับน้ำ น้ำจะแทรกซึมไล่ที่อากาศออกจากช่องแล้วน้ำจะไปปรากฏอยู่แทน พบอยู่ในช่องระหว่างเม็ดดิน (aggregate) หรืออนุภาคดิน (particle) ที่เรียกช่องหรือที่ว่างนี้ว่า pore space น้ำในดินจะมีตัวละลาย (solutes) ชนิดต่างๆ และสารแขวนลอยปะปนอยู่เสมอ สารเหล่านี้มีตั้งแต่ขนาดใหญ่ เช่น คอลลอยด์ อาทิ อนุภาคดินเหนียว ออกไซด์ หรือไฮดรอกไซด์ของเหล็ก และอะลูมินัม หรือฮิวมัส

ไปจนถึงสารละลายจริง (true solution) พวกโมเลกุลหรือไอออน นอกจากนี้น้ำในดินยังมีอากาศซึ่งละลายปะปนอยู่ด้วย

1.2.3 อากาศในดิน (soil air) ตราบใดที่มวลดินไม่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ (unsaturated soil) จะปรากฏว่ามีช่องบรรจุอากาศอยู่ในดินเสมอ สัดส่วนของอากาศในดินจะเป็นปฏิภาคโดยกลับกับสัดส่วนของน้ำ หรือระดับความชื้น อากาศในดินมีองค์ประกอบคล้ายกับอากาศในบรรยากาศ คือ ประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ แต่อากาศในดินมักมีสัดส่วนของก๊าซออกซิเจนที่ต่ำกว่า และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าในบรรยากาศ ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมการหายใจของสิ่งมีชีวิตในดินและการย่อยสลายอินทรียสารของจุลินทรีย์ดิน ในกิจกรรมเหล่านี้สิ่งมีชีวิตจะใช้ก๊าซออกซิเจนและผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1.2.4 สิ่งมีชีวิตในดิน (living organisms) ในช่องว่างระหว่างอนุภาคแข็ง นอกจากจะบรรจุน้ำและอากาศแล้ว ยังมีสิ่งมีชีวิตในระดับต่างๆ อาศัยอยู่ด้วย อาทิ จุลินทรีย์ดินพวก เห็ด รา แบคทีเรีย และแอคทิโนมัยซีท จำพวกสัตว์ที่อยู่อาศัยในดิน เช่น แมลงต่างๆ ไส้เดือน จนถึงหนูและตุ่น และที่สำคัญคือ รากพืชที่แทรกตัวชอนไชทั่วไปในดินเพื่อแสวงหาน้ำ และธาตุอาหารเพื่อใช้ในการเติบโตของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

1.3 หน้าที่ของแต่ละส่วนของดิน

แต่ละส่วนของดินมีหน้าที่ต่อการเจริญเติบโตของพืชและสิ่งมีชีวิตในดินแตกต่างกัน ดังนี้ คือ

1.3.1 อนุภาคแข็ง (solid particles)

1) อนินทรียวัตถุ (mineral matter)

1.1) เป็นแหล่งกำเนิดของธาตุอาหารพืช และเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์

1.2) เป็นส่วนที่ควบคุมเนื้อดิน (soil texture)

1.3) ส่วนของอนุภาคดินเหนียว (clay fraction) เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการเกิดกระบวนการทางเคมีต่างๆ ในดิน

2) อินทรียวัตถุ (organic matter)

2.1) เป็นแหล่งกำเนิดธาตุอาหารของพืชและของจุลินทรีย์ดินโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน

2.2) ให้พลังงานแก่จุลินทรีย์ดิน

2.3) ควบคุมสมบัติทางกายภาพสมบูรณ์ของดิน (soil tilth) เช่น โครงสร้างของดิน

2.4) ความร่วนซุย การระบายน้ำและการแลกเปลี่ยนอากาศของดิน

1.3.2 น้ำในดิน (soil water)

1) ให้น้ำแก่พืช

2) ช่วยในการละลายธาตุอาหารต่างๆ ในดิน และในการดูดและขนย้ายอาหารพืช

1.3.3 อากาศในดิน (soil air)

1) ให้ออกซิเจนแก่รากพืชและจุลินทรีย์ในการหายใจ

2) ให้คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเมื่อรวมกับน้ำจะให้กรดคาร์บอนิค เป็นกรดที่มีความสำคัญยิ่งในกระบวนการทางเคมีในดินและยังเป็นแหล่งให้คาร์บอนแก่จุลินทรีย์บางชนิดในดินด้วย

3) ให้ก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเป็นแหล่งของไนโตรเจนแก่จุลินทรีย์บางชนิด

1.3.4 สิ่งมีชีวิตในดิน (living organisms) อาจแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ พืช สัตว์ และจุลินทรีย์

1) พืชมีบทบาทเป็นผู้ผลิตปฐมภูมิ (primary producer) ทำหน้าที่สังเคราะห์สารอินทรีย์จากคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้พลังงานจากแสงแดด เป็นแหล่งอาหารสะสมที่สำคัญของธาตุอาหารพืชหลายชนิด ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและกำมะถัน นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลโดยตรงต่อสมบัติต่างๆ ของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหยั่งรากลึกลงไปในดิน จะก่อให้เกิดผลกระทบมากมายจากการแทรกตัวของราก การดูดและการคายน้ำ การปลดปล่อยสารอินทรีย์ออกจากราก ฯลฯ ล้วนก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในดินหลายประการ เช่น การเกิดโครงสร้างของดิน การเกิดช่องว่างจากการไชชอนของราก การเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศ ฯลฯ

2) สัตว์มีบทบาทเป็นผู้บริโภค (consumer) บทบาทหลักของสัตว์ในดินส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการขุดคุ้ยเพื่อหาอาหารหรือเป็นที่อยู่และบทบาทที่เกี่ยวข้องกับการกินอาหารอื่นๆ กิจกรรมเหล่านี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินได้มากทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมี ตัวอย่างเช่นทำให้เกิดช่องว่างจำนวนมากในดินที่ส่งผลทำให้ดินมีอัตราการซาบซึมน้ำสูง มีการถ่ายเทอากาศดี มีการเคลื่อนย้ายและคลุกเคล้าอินทรียวัตถุจากผิวดินลงไปในดิน ฯลฯ

3) จุลินทรีย์มีบทบาทเป็นผู้ย่อยสลาย (decomposer) ช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลับมาเป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งสารอาหารในรูปนี้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จุลินทรีย์บางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนได้ซึ่งกระบวนการนี้ช่วยเพิ่มไนโตรเจนในรูปที่พืชสามารถใช้ได้ลงสู่ดินนอกจากนี้ยังมีบทบาทในการส่งเสริมการเกิดโครงสร้างของดิน เพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดิน ฯลฯ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

1.4 ความสำคัญของดิน

1.4.1 ดินเป็นแหล่งผลิตปัจจัยทั้ง 4 ของมนุษย์ ได้แก่ อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย และยารักษาโรค ซึ่งอาจได้มาจากดินทั้งทางตรงและทางอ้อม

1.4.2 ดินเป็นเครื่องกรองที่มีชีวิต จึงมีผู้ใช้กำจัดของเสียทั้งของแข็งและของเหลว แล้วกักไม่ให้สารมลพิษ (pollutant) ตลอดจนเชื้อโรคลงไปปนเปื้อนน้ำใต้ดิน

1.4.3 ดินทำหน้าที่เป็นที่เกาะยึด (anchorage) ของรากพืช เพื่อยึดลำต้นให้แน่น ไม่ให้ล้มเอียงเป็นที่เก็บน้ำแก่พืช ให้อากาศแก่รากพืชในการหายใจ และให้ธาตุอาหารแก่พืชเพื่อการเจริญเติบโต ทนทานต่อโรค แมลง และภัยธรรมชาติ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

1.5 โครงสร้างของดิน (soil structure)

1.5.1 ความหมายของโครงสร้างของดิน

อนุภาคของดินส่วนมากมิได้อยู่โดดเดี่ยว แต่เชื่อมยึดกับอนุภาคข้างเคียงโดยอิทธิพลของสารเชื่อม (cementing agent) กลายเป็นอนุภาคซ้อนหรืออนุภาคทุติยภูมิ ซึ่งนิยมเรียกว่า เม็ดดิน (soil aggregate) ลักษณะของการจัดเรียงและการเชื่อมยึดกันของอนุภาคเดี่ยวของดินเป็นเม็ดดิน และลักษณะของการเชื่อมยึดกันของเม็ดดินเหล่านั้น คือสิ่งที่เรียกว่า โครงสร้างของดิน (soil structure) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2530)

1.5.2 ประเภทของโครงสร้างของดิน

ดินชนิดต่างๆ อาจจำแนกโดยใช้โครงสร้างเป็นเกณฑ์ ได้ 3 จำพวก คือ

1) จำพวกที่ไม่มีโครงสร้าง คือ ดินที่อนุภาคอยู่อย่างโดดเดี่ยวไม่เชื่อมยึดกันหรืออยู่ในลักษณะที่อนุภาคเชื่อมยึดกันแต่เกิดเป็นเม็ดดินที่มีรูปร่างต่างๆ กันไม่แน่นอน ดินพวกนี้ได้แก่

1.1) ลักษณะเป็นอนุภาคเดี่ยว (single grain) ได้แก่ ดินเนื้อหยาบประเภทดินทราย (sandy soil) ในธรรมชาติอนุภาคทรายล้วน จับตัวกันน้อยมาก เนื่องจากขาดปัจจัยส่งเสริมการเชื่อมยึดด้วยสารเชื่อม (cementing agent) อนุภาคดินเหล่านี้จึงมักมีลักษณะร่วนเป็นอนุภาคเดี่ยว ทำให้ความสามารถในการซาบซึมน้ำของดินดีจนถึงดีเกินไป

1.2) ลักษณะเป็นก้อนทึบ (massive) ได้แก่ ดินเนื้อละเอียด เช่น ดินนาที่ผ่านการทำเทือกหรือย่ำกวน (puddle) มาก่อน หรือดินเนื้อปานกลางบางประเภท ดินเหล่านี้มีปัจจัย

ส่งเสริมให้อนุภาคดินเชื่อมยึดติดกัน แต่ไม่มีปัจจัยก่อให้เกิดการแตกแยกเป็นเม็ดๆ ทำให้อนุภาคยึดติดกันเป็นพืด มีผลทำให้ดินในหน้าตัดมีสภาพให้ซึมได้ต่ำ.

2) จำพวกที่มีโครงสร้าง นิยมจำแนกโครงสร้างเป็นประเภท (type) ต่างๆ โดยใช้รูปทรงของหน่วยโครงสร้างเป็นเกณฑ์ และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1) โครงสร้างแบบทรงกลม (spheroidal structure) เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะรูปร่างคล้ายทรงกลมและมีอยู่ 2 แบบคือ ทรงกลมที่มีขนาดไล่เลี่ยกันและมีความพรุนมาก เรียกว่า crumb และทรงกลมที่มีขนาดที่แตกต่างกันและมีความพรุนน้อย เรียกว่า granular โครงสร้างทั้งสองแบบนี้ถือว่าเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด เพราะว่ามีความร่วนซุยและมีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศที่ดี โครงสร้างประเภทนี้มักพบในดินชั้นบนที่ทำการเพาะปลูกมาแล้วและเป็นดินที่มีอินทรียวัตถุสูง

2.2) โครงสร้างของดินแบบกล่องสี่เหลี่ยม (blocky structure) คือโครงสร้างของดินที่มีลักษณะคล้ายกับลูกบาศก์ โดยมีความกว้าง และหนาใกล้เคียงกัน แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ ก้อนเหลี่ยม (angular blocky) ซึ่งเป็นพวกที่มีมุมเหลี่ยมชัดเจน และก้อนกึ่งเหลี่ยม (subangular blocky) คือพวกที่มุมเหลี่ยมมนหรือไม่ชัดเจน โครงสร้างประเภทนี้มักจะพบในดินชั้นล่างของดินป่าหรือดินทุ่งหญ้า

2.3) โครงสร้างแบบแท่ง (prism-like structure) คือโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายแท่งที่มีความสูงมากกว่าความยาวและความกว้างมากแบ่งออกได้เป็น 2 แบบด้วยกัน คือ แท่งปลายเหลี่ยม (prismatic) คือที่ปลายยอดหรือส่วนบนเรียบมีลักษณะคล้ายแท่งปริซึม และแท่งปลายมน (columnar) โดยที่ตอนบนหรือส่วนยอดมีลักษณะกลมมน โครงสร้างประเภทนี้มักพบในดินชั้นล่างในเขตแห้งแล้งหรือกึ่งแห้งแล้ง

2.4) โครงสร้างแบบแผ่น (plate-like structure) คือโครงสร้างของดินที่มีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายจาน ซึ่งมีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ เป็นแผ่นบางมาก (laminar) และเป็นแผ่นค่อนข้างหนา (platy) โครงสร้างประเภทนี้พบทั้งดินบนและดินล่าง ถือว่าเป็นโครงสร้างที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะว่าน้ำซึมผ่านได้ช้าและการถ่ายเทอากาศไม่ดี (ดุสิต, 2535)

ในการอธิบายโครงสร้างของดินนั้น นอกจากจะระบุประเภท (type) ของโครงสร้างตามหลักเกณฑ์ดังที่ได้กล่าวแล้วนี้ ยังนิยมระบุชั้น (class) และระดับการสร้างตัว (grade) ของโครงสร้างอีกด้วย ชั้น(class) ของโครงสร้างของดิน หมายถึง ขนาดของส่วนใหญ่ของหน่วยโครงสร้างของดิน ซึ่งมีหลักเกณฑ์ในการกำหนดดังรายละเอียดในตารางที่ 1 ระดับการสร้างตัว (grade) ของโครงสร้างของดิน หมายถึง ความเด่นชัดของโครงสร้างของดินขณะที่ปรากฏตัวตามที่เป็นจริงในหน้าตัดดินในธรรมชาติหรือในหน้าตัดด้านใดด้านหนึ่งของก้อนดินที่แยกออกมาจากหน้าตัดดินในธรรมชาติ หลักเกณฑ์ในการกำหนดระดับการสร้างตัวของโครงสร้างของดิน ปรากฏในตารางที่ 2

3) จำพวกที่โครงสร้างถูกทำลาย หมายถึง การที่โครงสร้างถูกทำลายโดยสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากการใช้ที่ดิน เช่น สภาวะของดินในนาลุ่มภายหลังการเตรียมดินก่อนที่จะปลูกข้าว ซึ่งโดยทั่วไปจะพบว่าดินได้รับการรบกวนจากการไถ คราด และการปฏิบัติอื่นๆ จนดินนั้นเหลวเละเป็นเลนหรือตม ทำให้โครงสร้างของดินถูกทำลาย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

ตารางที่ 1 หลักเกณฑ์ในการกำหนดชั้นโครงสร้าง (structural class) ของดิน

ชื่อชั้นโครงสร้าง*	ประเภทโครงสร้าง			
	Plate-like (ความหนา, มม.)	Prism-like (ความยาวของด้านที่ยาวที่สุด, มม.)	Block-like (ความยาวของแต่ละด้าน, มม.)	Spheroidal (เส้นผ่านศูนย์กลาง, มม.)
ละเอียดมาก (very fine)	<1	<10	<5	<1
ละเอียด (fine)	1-2	10-20	5-10	1-2
ปานกลาง (medium)	2-5	20-50	10-20	2-5
หยาบ (coarse)	5-10	50-100	20-50	5-10
หยาบมาก (very coarse)	>10	>100	>50	>10

หมายเหตุ * สำหรับโครงสร้างประเภท Plate-like ให้ใช้คำว่า "บาง (thin)" แทนคำว่า "ละเอียด (fine)" และใช้คำว่า "หนา (thick)" แทนคำว่า "หยาบ (coarse)"

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2541)

ตารางที่ 2 หลักเกณฑ์ในการกำหนดระดับการสร้างตัวของโครงสร้าง (structural grade) ของดิน

ระดับการสร้างตัว	คำอธิบาย
ไม่มีโครงสร้าง (structureless)	อนุภาคไม่เกาะยึดกันเป็นหน่วยโครงสร้าง หรือเกาะยึดกันแต่ไม่อาจกำหนดประเภทโครงสร้างได้ เพราะเม็ดดินมีรูปทรงมากมายหลายอย่าง
สร้างตัวเล็กน้อย (weak)	แทบจะสังเกตจากหน้าตัดดินในธรรมชาติไม่ได้ว่ามีหน่วยโครงสร้าง เมื่อแงะดินออกมาจากหน้าตัดในธรรมชาติ จะได้หน่วยโครงสร้างที่ยังไม่แตกบ้าง ผสมอยู่กับอนุภาคเดี่ยวมากมายที่มาจากการแตกหักของหน่วยโครงสร้างส่วนใหญ่
สร้างตัวปานกลาง (moderate)	พอสังเกตจากหน้าตัดดินในธรรมชาติได้ว่ามีหน่วยโครงสร้าง เมื่อแงะดินออกมาจากหน้าตัดในธรรมชาติ จะได้หน่วยโครงสร้างที่ยังไม่แตกตัวมากมาย ผสมอยู่กับอนุภาคเดี่ยวจำนวนเล็กน้อยที่มาจากการแตกหักของหน่วยโครงสร้างส่วนน้อย
สร้างตัวชัดเจน (strong)	สังเกตจากหน้าตัดดินในธรรมชาติได้อย่างชัดเจนว่ามีหน่วยโครงสร้าง เมื่อแงะดินออกมาจากหน้าตัดในธรรมชาติ จะได้หน่วยโครงสร้างที่ยังไม่แตกเกือบทั้งหมด จำนวนหน่วยโครงสร้างที่แตกหักเนื่องจากการแงะจะน้อยมาก

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2541)

1.5.3 ความสำคัญของโครงสร้างของดินต่อการผลิตพืช (importance of soil structure to crop production)

1) ผลกระทบโดยตรง

ผลกระทบโดยตรงนั้นส่วนใหญ่เป็นผลกระทบในด้านการขัดขวางมิให้การไชชอนหรือการแผ่กระจายของส่วนต่างๆ ของพืชในขณะที่อยู่ในดินเป็นไปตามปกติ เช่น เมื่ออนุภาคของดินในบริเวณผิวดินเชื่อมยึดกันเป็นชั้นบางๆ ที่แข็งแกร่ง (crust) ต้นกล้าที่งอกออกจากเมล็ดที่ปลูกไว้ในดินนั้นๆ ย่อมโผล่พ้นผิวดินได้ยาก บางต้นจึงอาจตายไปในที่สุดในขณะที่ยังอยู่ใต้ผิวดิน และต้นที่สามารถแทงทะลุผิวดินขึ้นมาได้ก็มักมีลำต้นที่หงิกงอหรือมีลักษณะที่ไม่พึงประสงค์อื่นๆ ถ้าชั้นดินที่แน่นทึบอยู่ลึกลงไปใน root zone ของพืช อาจเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า root strangulation ขึ้น กล่าวคือ รากแก้วของพืชตรงส่วนที่เป็นชั้นดินที่แน่นทึบนั้นเจริญไม่ได้เต็มที่ตามปกติ จึงเล็กและเรียวกว่าส่วนอื่นๆ ของรากแก้วนั้นๆ เมื่อเป็นเช่นนี้ การลำเลียงน้ำและอาหารขึ้นสู่ส่วนที่อยู่เหนือดินของพืชย่อมถูกกำจัดโดยส่วนที่เล็กและเรียวของรากแก้วนี้ พืชจึงย่อมไม่อาจเติบโตตามปกติได้อย่างเต็มที่และอาจตายได้ในที่สุด ในบางกรณี ชั้นดินที่แน่นทึบที่อยู่ลึกลงไปในดิน root zone ของพืชอาจทำให้รากแก้วแตกแขนงมากมายตรงส่วนที่เหนือชั้นดินที่แน่นทึบแทนที่จะแทงทะลุตรงลงไปตามปกติ

2) ผลกระทบโดยอ้อม

ผลกระทบโดยอ้อมที่โครงสร้างของดินมีต่อการเติบโตของพืชนั้น ส่วนใหญ่เป็นผลกระทบในด้านการเคลื่อนที่ของน้ำและการถ่ายเทอากาศของดิน เพราะทั้งปริมาณขนาด และความเชื่อมโยงถึงกันและกันของช่อง (pore) ในระหว่างอนุภาคของดิน ตลอดจนความเสถียร (stability) ของสิ่งเหล่านี้จะเป็นเท่าใดย่อมขึ้นอยู่กับลักษณะการเชื่อมยึดกันทั้งระหว่างอนุภาคของดินและระหว่างเม็ดดินเป็นสำคัญ ดังนั้น ความจุอากาศ ความจุในการดูดยึดน้ำและความสะดวกในการเคลื่อนที่ของน้ำและก๊าซชนิดต่างๆ เข้าไปในดินและภายในดิน ตลอดจนความทนทานของดินต่อการกัดเซาะของน้ำไหลบ่า และของลมจึงขึ้นอยู่กับโครงสร้างของดินเป็นอย่างมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2530)

1.5.4 การเกิดโครงสร้างของดิน (formation of soil structure)

การเกิดโครงสร้างประกอบด้วยกระบวนการ 2 ขั้นตอน คือ

1) การเกาะกลุ่มของอนุภาคเดี่ยวเป็นกลุ่มก้อนอย่างหลวมๆ (loose aggregates) กระบวนการภายในดินที่ทำให้เกิดการเกาะกลุ่มแบบหลวมๆ นี้ ได้แก่

1.1) กรณีดินมีความชื้นสูง เนื้อดินมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่มาก และสารละลายดินประกอบด้วยแคตไอออนที่มีวาเลนซีสูง (multivalent cation) เช่น Ca^{2+} และ Mg^{2+} เป็นต้น อนุภาคดินมีโอกาสจับกลุ่มกัน (flocculation) ด้วยอิทธิพลของไอออนเหล่านี้ เนื่องจากการลดความเข้มของประจุลบของอนุภาคดินเหนียว

1.2) การเปียกและแห้งของดิน เนื่องจากดินจะขยายปริมาตรเมื่อได้รับน้ำ และจะหดปริมาตรเมื่อสูญเสียน้ำ ขณะที่ดินขยายปริมาตร อนุภาคเดี่ยวถูกผลักให้แยกตัวออกจากกัน แต่ในขณะที่ดินหด ปริมาตรอนุภาคดินจะถูกดึงกลับเข้าหากันเป็นส่วนๆ ถ้ากระบวนการขยายและหดปริมาตรเกิดสลับกันเป็นเวลานานๆ พบว่า อนุภาคดินจะเกาะกลุ่มกันหลวมๆ ได้

1.3) พฤติกรรมของรากพืช การไชชอนกระจายของรากลงในดินจะผลักดันอนุภาคดินโดยรอบออกไปด้านข้าง และการดูดน้ำของรากจะทำให้มวลดินรอบข้างหดปริมาตรลง และแยกตัวออกจากมวลดินรอบนอก กลายเป็นกลุ่มก้อนดินที่มีลักษณะเป็นเม็ดรอบราก พฤติกรรมพันกันยุ่ง (tangle) ของรากโดยเฉพาะพืชตระกูลหญ้า จะแยกมวลดินออกเป็นเม็ดๆ ได้ นอกจากนี้รากที่มีชีวิตยังขับสารเหนียวที่มีสมบัติเหมือนกาวออกมาเชื่อมอนุภาคดินด้วย

1.4) สัตว์ที่อยู่อาศัยในดินหลายชนิดมีพฤติกรรมต่อดินคล้ายกับรากพืช เช่น ไส้เดือน การเคลื่อนที่ของไส้เดือนลงไปในดินจะผลักอนุภาคโดยรอบออกไปด้านข้าง ไส้เดือนยังกลืนดินเข้าไปในร่างกายและถ่ายมูลที่มีลักษณะเป็นเม็ดดินเล็กๆ ที่เกาะตัวกันหลวมๆ รูที่ไส้เดือนทำไว้ในหน้าตัดดินยังใช้เป็นทางระบายน้ำและถ่ายเทอากาศของดินด้วย

1.5) พฤติกรรมของจุลินทรีย์ดิน รากที่งอกและแผ่กระจุกใยรา (mycelium) กระจายไปในมวลดิน พบว่า มีลักษณะพันกันยุ่ง ทำให้อนุภาคดินเกาะกลุ่มเป็นเม็ดได้คล้ายกับกรณีของรากพืช จุลินทรีย์ดินพวกแบคทีเรียและรา ยังมีพฤติกรรมย่อยสลายซากพืช เพื่อใช้เป็นพลังงาน และเกิดผลพลอยได้เป็นสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นสารเชื่อม (cementing agent) รวมทั้งผลสุดท้ายเป็นฮิวมัส (humus) ซึ่งมีสมบัติเป็นสารเชื่อมเช่นกัน

2) การเชื่อมยึดอนุภาคดินที่เกาะกลุ่มกันหลวมๆ เป็นเม็ดดินที่ถาวร (cementation) การเชื่อมอนุภาคดินกระทำโดยสารเชื่อม ซึ่งมีหลายประเภทต่อไปนี้

2.1) สารอินทรีย์ และฮิวมัส ที่ได้จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน สามารถยึดเกาะโดยพันธะเคมี (chemical bond) กับอนุภาคดิน โดยเฉพาะอนุภาคดินเหนียว ทำให้อนุภาคเหล่านี้เกาะตัวกันแน่นหนาได้ ดังนั้นเรามักพบว่า ดินที่มีอินทรียวัตถุมากมักจะมีโครงสร้างดีและเม็ดดินค่อนข้างคงทนต่อการสลาย

2.2) ออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัม ในดินที่มีสารประกอบดังกล่าวอยู่มาก เช่น ดินสีแดงมักจะมีโครงสร้างและเม็ดดินมีความคงทนต่อการสลาย ออกไซด์บางชนิดมีประจุเป็นบวก จึงสามารถเกาะยึดกับอนุภาคดินที่มีประจุลบได้ด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ ออกไซด์บางชนิดไม่มีประจุ แต่สามารถตกตะกอนเปลี่ยนสภาพจากละลายน้ำได้ (soluble) เป็นสารที่ไม่ละลาย (insoluble) ตรงจุดสัมผัสของอนุภาค ทำให้อนุภาคถูกเชื่อมติดกัน หรืออาจแผ่เคลือบกลุ่มก้อนของอนุภาคโดยรอบ และแห้งตัวเป็นสารไม่ละลายน้ำได้

2.3) อนุภาคดินเหนียวโดยตัวมันเองแสดงตนเป็นสารเชื่อมได้ ทั้งนี้เพราะอนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็ก มีพื้นที่สัมผัสมาก สามารถเกาะติดอนุภาคดินเหนียวด้วยกันได้ดีโดยผ่านการเชื่อมยึดของสะพานแคตไอออน (cation bridge) โดยอนุภาคดินเหนียวที่มีประจุลบ 2 อนุภาคต่างดูดยึดแคตไอออนชนิดวาเลนซีสูงที่อยู่ตรงกลาง นอกจากนี้อนุภาคดินเหนียวสามารถเกาะยึดอย่างแน่นหนากับอนุภาคทรายแป้งหรือทรายที่ไม่มีประจุได้โดยใช้พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) หรือโดยอิทธิพลของสารอินทรีย์

โดยทั่วไปดินที่มีอินทรียวัตถุ ดินเหนียว และออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัมมาก จะเป็นดินที่มีโครงสร้าง และเม็ดดินมีความคงทนต่อการแยกสลาย เนื่องจากกิจกรรมการเกษตร เช่น การไถพรวน และการกระทบกระเทือนโดยน้ำฝน หรือน้ำชลประทาน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

1.5.5 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับภาวะโครงสร้างของดิน

ดินหนึ่ง ๆ โดยเฉพาะดินในการเกษตรจะมีโครงสร้างดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยอีกหลายประการ ได้แก่ เนื้อดิน อินทรียวัตถุ ชนิดของไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน การไถพรวนเป็นต้น

1) เนื้อดิน ดินเนื้อหยาบ (มีดินที่มีอนุภาคขนาดดินเหนียวน้อยกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคขนาดดินทรายและอนุภาคขนาดดินทรายร่วน) มักเป็นดินไม่มีโครงสร้างแบบเม็ดเดี่ยว อาจมีบ้างที่มีโครงสร้างแต่ก็จะเป็นโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง ซึ่งเมื่อถูกไถพรวนหรือแรงปะทะของน้ำก็กลายเป็นไม่มีโครงสร้าง เมื่อดินมีอนุภาคขนาดดินเหนียวเป็นองค์ประกอบมากขึ้น ดินเหนียวซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมทำให้อนุภาคที่ใหญ่กว่าดินเหนียวจับตัวกันเป็นเม็ดดิน เกิดภาวะที่เป็นโครงสร้างขึ้น ดินเนื้อปานกลางและเนื้อละเอียดจึงมักมีโครงสร้าง ดินที่มีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวระหว่าง 12-35 เปอร์เซ็นต์ มักเป็นดินที่มีโครงสร้างเหมาะสมกับการเพาะปลูกมากที่สุด

ดินที่มีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ อาจจะเป็นดินที่มีโครงสร้างดีหรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ดินเหนียว เช่น ดินที่มีแร่ดินเหนียวที่ยืดหดตัวสูง เช่น แร่ในกลุ่มสเมกไทต์ จะทำให้ดินสามารถแตกระแหงเป็นร่องขนาดใหญ่เมื่อดินแห้ง (ดิน Grumusols หรือ Vertisols และอาจพบโครงสร้างแบบกล่องขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก ซึ่งจัดว่าเป็นโครงสร้างที่ไม่เหมาะสมกับการเพาะปลูก เพราะเมื่อเปียกมักแน่นทึบ น้ำซึมผ่านได้ยาก การถ่ายเทอากาศไม่ดี และแข็งมากเมื่อแห้ง ดินเหนียวสีแดง สีน้ำตาลแดง หรือสีน้ำตาลที่พบบนที่ดอน (ดิน Red-Brown Earths, Redish-Brown Lateritic Soils, Brown Forest Soils) จะประกอบด้วยแร่ดินเหนียวชนิดไม่ยืดหดขยายตัว ได้แก่ แร่ดินเหนียวในกลุ่มเคโอลิไนต์ร่วมกับการมีออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมอยู่มาก มักเป็นดินที่โครงสร้างดีทั้งในแง่ของการมีโครงสร้างและในแง่ของการเพาะปลูกพืชคือมีเม็ดดินขนาดพอเหมาะและทนทานต่อแรงปะทะของน้ำ แต่ดินประเภทนี้บางส่วนก็มีปัญหาความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการดูดยึดน้ำ

2) อินทรียวัตถุ อินทรียวัตถุมีส่วนส่งเสริมให้ดินมีโครงสร้างดีขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะโครงสร้างประเภทที่พึงประสงค์ในการเกษตร คือประเภททรงกลมและคล้ายกล่อง อินทรียวัตถุเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์และสัตว์ในดิน เมื่อมีอาหารมากจุลินทรีย์และสัตว์ในดินเหล่านี้ก็จะเจริญเติบโตและมีกิจกรรมส่งเสริมให้อนุภาคดินรวมตัวเป็นเม็ดดินมากขึ้น ขณะเดียวกันอินทรียวัตถุที่อยู่ในรูปของขุยอินทรีย์ก็ยังเป็นสารเชื่อมที่ดี ช่วยให้เม็ดดินแข็งแรงและทนทานต่อแรงปะทะของน้ำ ปฏิกิริยาระหว่างขุยอินทรีย์กับอนุภาคดินเหนียวเป็นปฏิกิริยาสำคัญที่ก่อให้เกิดการเชื่อมยึดของอนุภาคทรายแป้งและทรายเป็นเม็ดดิน ดินชั้นบนที่มีอินทรียวัตถุสูงและไม่ถูกรบกวนมากนัก เช่น ดินภายในทรงพุ่มของต้นไม้ผลที่ได้รับอินทรียวัตถุอยู่เป็นประจำมักมีโครงสร้างแบบทรงกลม ในสภาพที่มีอินทรียวัตถุสูงเช่นนี้ อินทรียวัตถุไม่เพียงแต่เป็นสารเชื่อมเท่านั้น หากแต่ยังทำให้ภายในเม็ดดินโปร่งเป็นเม็ดดินแบบเม็ดกลมพรุนอีกด้วย

3) ไอออนที่ถูกดูดยึดในดิน แคตไอออนบวกที่ถูกดูดยึดในดิน (absorbed cations) โดยทั่วไปประกอบด้วย Ca^{2+} Mg^{2+} K^{+} และ Na^{+} ไอออนที่มีวาเลนซีมากกว่าหนึ่งคือ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ส่งเสริมการเกิดเม็ดดินและการมีโครงสร้างที่ดีของดิน ขณะที่ไอออนที่มีวาเลนซีหนึ่งโดยเฉพาะ Na^{+} ส่งเสริมการแตกกระจายของเม็ดดิน ดินที่มี Na^{+} อยู่มากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ของไอออนบวกที่ถูกดูดยึดไว้ทั้งหมดของดิน จัดเป็นดินโซดิก (sodic soil) ซึ่งมีโครงสร้างไม่ดี หรือไม่มีโครงสร้างแบบแน่นทึบ ดังเห็นได้จากดินในนาเกลือหรือตามป่าชายเลน ดินที่มี Ca^{2+} และ Mg^{2+} มากส่วนใหญ่มักมีโครงสร้างดี อย่างไรก็ตามการที่ดินที่มีไอออนที่ถูกดูดยึดส่วนใหญ่เป็น Ca^{2+} และ Mg^{2+} แล้วมีโครงสร้างดี ก็มิใช่ว่าการมีโครงสร้างดีนั้นเป็นผลโดยตรงทั้ง 100 เปอร์เซ็นต์ การมี Ca^{2+} และ Mg^{2+} ในดินมากพอมีส่วนทำให้ดินมีฤทธิ์เป็นกลาง เหมาะสมกับความต้องการของพืช จุลินทรีย์และสัตว์ในดิน ซึ่งมีผลต่อเนื่องให้พืช จุลินทรีย์ และสัตว์ในดินเจริญเติบโตและส่งเสริมการเกิดโครงสร้างของดินอีกด้วย

1.5.6 การประเมินโครงสร้างของดิน

การประเมินโครงสร้างของดินเป็นสิ่งที่สำคัญและนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้หลายด้าน คือ การพังทลายของดิน การแทรกซึมของน้ำในดิน และการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น การประเมินโครงสร้างของดินแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ การประเมินเชิงคุณภาพและการประเมินเชิงปริมาณ

1) การประเมินเชิงคุณภาพ (qualitative evaluation)

การประเมินโครงสร้างแบบเชิงคุณภาพ คือ การประเมินที่บอกถึง ชนิดของโครงสร้าง (type) ขนาดของโครงสร้าง (size) และความชัดเจนของโครงสร้าง (grade) ซึ่งเป็นการประเมินโครงสร้างของดินในทัศนะของการเกษตร โดยจะบอกให้ทราบว่าดินนั้นมีโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชมากน้อยขนาดไหน เช่น โครงสร้างที่พึงประสงค์ คือโครงสร้างที่มีรูปร่างทรงกลมที่มีขนาด 0.25-5.0 มิลลิเมตร และต้องมีความคงทนต่อแรงขัดสีหรือแรงปะทะต่างๆ โดยเฉพาะแรงปะทะของเม็ดฝน เป็นต้น

2) การประเมินเชิงปริมาณ (quantitative evaluation)

เป็นการประเมินโครงสร้างของดินที่ละเอียดและบอกถึงความคงทนของโครงสร้างได้ดี วิธีประเมินเชิงปริมาณที่สำคัญ คือ การวิเคราะห์เม็ดดิน (aggregate analysis) ซึ่งเป็นการวัดเปอร์เซ็นต์ความคงทนของเม็ดดิน ประกอบด้วยวิธีการใหญ่ๆ 4 วิธีคือ Wet Sieving Dry Sieving Elutriation และ Sedimentation (คุสิต, 2535)

1.5.7 การเสื่อมโทรมของโครงสร้างของดิน

ดินทุกชนิดเมื่ออยู่ในสภาพป่าหรือทุ่งหญ้าธรรมชาติมักจะมีภาวะโครงสร้างดีที่สุด แต่เมื่อป่าหรือทุ่งหญ้าถูกเปลี่ยนสภาพมาเป็นพื้นที่เกษตรกรรม โครงสร้างของดินจะเริ่มเสื่อมโทรมลงทันที สาเหตุที่ทำให้โครงสร้างของดินเสื่อมโทรมมีหลายประการ

1) อุณหภูมิของดินที่สูงขึ้น เนื่องจากแสงแดดส่องถึงผิวดินโดยตรง ทำให้อินทรียวัตถุสลายตัวได้เร็วขึ้น ปริมาณอินทรียวัตถุในดินลดลง การเผาเศษเหลือของพืชนอกจากเป็นการทำลายอินทรียวัตถุแล้วยังมีผลเสียต่อโครงสร้างที่ผิวดินโดยตรงเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการเผา

2) เม็ดฝนมีโอกาสกระทบผิวดินโดยตรง ทำให้เม็ดดินที่ไม่ทนต่อแรงปะทะของน้ำแตกกระจาย นอกจากนี้อนุภาคดินที่แตกออกจากเม็ดดินเหล่านี้ยังไหลไปกับน้ำและซึมลงไปอุดช่องว่างระหว่างอนุภาคในดินชั้นล่างด้วย

3) การเขตกรรม (cultivation) วัตถุประสงค์ประการหนึ่งของการเขตกรรมคือการทำให้ดินมีภาวะเหมือนกับมีโครงสร้างที่ดีในแง่ของการจัดการดินเพื่อการเพาะปลูก คือ มีการแทรกซึมน้ำสูง การถ่ายเทอากาศดีเป็นต้น การไถพรวนทั้งเมื่อดินชื้นและแห้งเกินไปทำให้เม็ดดินแตก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เครื่องมือที่มีความเร็วสูง เช่น จอบหมุน (rotary hoe) นอกจากนี้การไถพรวนซึ่งทำให้การถ่ายเทอากาศของดินดีขึ้นยังทำให้อินทรียวัตถุในดินสลายตัวเร็วขึ้นด้วย น้ำหนักของเครื่องมือเขตกรรมที่กดลงบนดินทำให้ดินใต้ชั้นไถพรวนแน่นทึบขึ้น การไถพรวนดินของเกษตรกรในประเทศกำลังพัฒนาทั่วไปมักไถด้วยไถกะทะ (disk plow) หรือจอบหมุนด้วยความลึก 3 - 4 นิ้วเท่านั้น เมื่อกระทำติดต่อกันเป็นเวลาหลายปีทำให้มีโอกาสเกิดชั้นดานใต้ชั้นพรวนใกล้ผิวดิน

4) ปริมาณอินทรียวัตถุที่ดินเคยได้รับน้อยลงเนื่องจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตไปจากพื้นที่ พร้อมกับการเผาทำลายเศษเหลือของพืชในพื้นที่

5) การใส่ปุ๋ย ปูน ยาป้องกันกำจัดศัตรูพืชอาจทำให้สภาพแวดล้อมของดินเปลี่ยนแปลงซึ่งมีผลให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินลดลง มีการทดลองพบว่าเบนซินเฮกซาคลอไรด์ ออลดริน ลินเดน เฮบตาคลอร์และดีดีที ล้วนมีผลให้แบคทีเรียไรโซเบียมสร้างปมที่รากพืชตระกูลถั่วได้น้อยลง

6) การเกิดการกร่อนดิน การกร่อนดินทำให้ดินสูญเสียดินบนซึ่งโดยทั่วไปมีโครงสร้างดีกว่าดินล่าง

มีรายงานมากมายในต่างประเทศที่แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของดินเสื่อมโทรมลงอย่างมากเมื่อดินถูกใช้ในการเกษตร เช่น เมื่อดินอยู่ในสภาพทุ่งหญ้าธรรมชาตินั้นสัดส่วนของอนุภาคที่จับกลุ่มกันเป็นเม็ดดิน (aggregation percentage) ขนาดตั้งแต่ 2 มิลลิเมตรลงมามีเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะที่ความลึกประมาณ 3 นิ้วแรกจากผิวดิน แต่เมื่อดินถูกใช้ในการเกษตรติดต่อกันสัดส่วนของอนุภาคที่จับตัวกันเป็นเม็ดดินลดลงเหลือประมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ตลอดความลึก 6 นิ้ว นั่นคือเม็ดดินถูกทำลายเกือบหมด หลังจากที่ปล่อยให้ดินอยู่ในสภาพทุ่งหญ้า 5 ปี และ 10 ปี สัดส่วนของอนุภาคดินที่จับกลุ่มกันเป็นอนุภาคดินเพิ่มขึ้นตามลำดับ (มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2550)

1.5.8 การจัดการเกี่ยวกับโครงสร้างของดิน

โครงสร้างของดินมีความสำคัญมาก ดังนั้นการจัดการหรือการปรับปรุงโครงสร้างของดินให้เหมาะสมจึงมีความจำเป็น การปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้นนั้นกระทำได้ยากและต้องใช้เวลานาน หรืออาจใช้เวลาสั้นลงแต่ต้องลงทุนที่สูงมาก แต่อย่างไรก็ตามวิธีการจัดการเพื่อปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น โดยใช้เวลามากหน่อยก็สามารถกระทำได้หลายวิธีคือ

1) โดยใช้ระบบการปลูกพืช (cropping systems) การเลือกระบบการปลูกพืชที่ดีจะช่วยทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดีขึ้น เช่น การปลูกพืชพวกตระกูลหญ้าและตระกูลถั่ว พวกหญ้าเป็นพืชที่มีรากมากทำให้เกิดเม็ดดินได้ดีขึ้นและยังช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินด้วย สำหรับพืชตระกูลถั่วเมื่อไถกลบลงในดินก็จะสลายตัวเป็นอินทรียวัตถุ ซึ่งก็จะช่วยทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดีขึ้น ดังนั้นการจัดระบบการปลูกพืชที่ดีโดยการปลูกหญ้าหรือพืชตระกูลถั่วสลับกับพืชเศรษฐกิจต่างๆ ก็จะเป็นการช่วยให้ดินมีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช

2) โดยการเพิ่มสารอินทรีย์ต่างๆ ลงไปในดิน (manuring) ได้แก่ การเพิ่มสารอินทรีย์พวกปุ๋ยคอกและปุ๋ยพืชสดต่างๆ สารอินทรีย์เหล่านี้จะช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใส่พวกสารอินทรีย์จะต้องใส่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง

3) การใช้สารปรับปรุงโครงสร้าง (soil conditioners) หมายถึงการใส่สารใดๆ ก็ตามลงไปในดิน เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น สารเหล่านี้ก็ได้แก่พวกเศษวัสดุต่างๆ เช่น เศษเหลือของพืช ขี้เลื่อย หรือแกลบ เป็นต้น

ผลการวิจัยเกี่ยวกับโครงสร้างของดินได้ชี้ให้เห็นว่า สารเคมีบางชนิดสามารถทำให้อนุภาคดินเชื่อมยึดกันเป็นเม็ดดินที่เสถียรได้ดีขึ้นเมื่อคลุกเคล้าสารนั้นลงไปในดิน สารเคมีเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์ (synthetic organic polymers) สารอินทรีย์สังเคราะห์เป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่สามารถทำให้เกิดเม็ดดินที่เสถียรได้ดีมาก ตัวอย่างของสารจำพวกนี้ที่ได้ผ่านการทดสอบและพบว่าให้ผลดีในการเพิ่มเม็ดดินที่เสถียรหรือเพิ่มความเสถียรของเม็ดดิน ได้แก่

3.1) สาร PAM มีชื่อการค้าว่า "syaram" เป็นสารประกอบอินทรีย์พอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลของโมโนเมอร์ (monomer) ต่อกันเป็นเส้นยาว คุณสมบัติโดยๆ ทั่วไปเป็นสารละลายน้ำได้ดีและมีความสามารถในการเชื่อมอนุภาคแร่ดินเหนียวเข้าด้วยกัน หรือทำให้อนุภาคแร่ดินเหนียวในเม็ดดินจับด้วยแรงที่มีความเสถียรสูงสุดยิ่งขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้เม็ดดิน (aggregates) มีความต้านทานต่อการกระแทกของฝนหรือน้ำชลประทานที่ตกลงมากระทบมากยิ่งขึ้น และเพิ่มการแทรกซึมน้ำในดินได้ดี

3.2) Krilium ซึ่งเป็นชื่อการค้าของเกลือโซเดียมของ hydrolyzed polyacrylonitrile และนิยมเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า HPAN

3.3) MCS ซึ่งเป็นสารผสมระหว่าง dimethydichlorosilane และ methyl trichlorosilane

3.4) PVA (polyvinyl alcohol-nonionic polymer)

3.5) VAMA (vinyl acetate-maleic acid copolymer)

แม้ว่าสารเหล่านี้จะให้ผลดีมากในการปรับปรุงโครงสร้างของดิน ก็ยังไม่ปรากฏว่าได้มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากราคาแพงเกินไป ผลดีที่จะได้รับจากการใส่สารเหล่านี้ โดยปกติจึงไม่คุ้มกับต้นทุนที่จะต้องใช้ในการนำสารเหล่านั้นมาใช้ในการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตร (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2523 และ คุสิต, 2535)

1.5.9 สารปรับปรุงโครงสร้างของดินจากจุลินทรีย์ดิน

ในบรรดาปัจจัยส่งเสริมการเกิดโครงสร้างของดินโดยธรรมชาติทั้งหลายนั้น การผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) โดยจุลินทรีย์ดินเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดต่อการสร้างเม็ดดิน ความเสถียรของเม็ดดินและโครงสร้างของดิน (Falchini *et al.*, 1996) นอกจากการผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์แล้วจุลินทรีย์ดินหลายชนิดยังมีบทบาทสำคัญในการทำให้อินทรียวัตถุในดินสลายตัวจนได้สารที่มีความเหนียวขึ้นมา ซึ่งสารเหนียวที่ได้จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุและการผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์ดังกล่าวนี้ จะมีส่วนสำคัญในการเพิ่มสารเชื่อมยึดอนุภาคดินขึ้นในดินนั้น

(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2530) สารพอลิแซ็กคาไรด์ในดินนอกจากจะได้จากการผลิตของจุลินทรีย์ดินหลายชนิดแล้ว ยังมีรายงานจาก Keefer *et al.*.(1966) รายงานว่า น้ำตาลกลูโคสและคาร์โบไฮเดรตในพืชหลายชนิดจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ในดินอย่างรวดเร็ว

1) คุณสมบัติของสารพอลิแซ็กคาไรด์

การดูดซับช่วงแสงอินฟาเรด การทำกราฟไตเตรชันและการวัดความหนืดของสารพอลิแซ็กคาไรด์ในดิน พบว่าสารพอลิแซ็กคาไรด์ในดินมีคุณสมบัติดังนี้

1.1) มีกลุ่มที่ว่องไวทางเคมีที่สำคัญ คือ อะมิโนกัวนิดิโน คาร์บอกซิล และโลหะคีเลต

1.2) มีโมเลกุลของสารต่างๆ ที่ก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้

1.3) มีอำนาจดูดยึดทางไฟฟ้าทั้งที่ไม่เป็นไอออนและเป็นไอออนซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารที่นำไฟฟ้าได้เพราะมีกลุ่มคาร์บอกซิลหลายชนิดปนกัน น้ำหนักโมเลกุลของสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทำให้บริสุทธิ์แล้วจะมีประมาณ 10,000-45,000 (ไพบูลย์, 2528)

2) การเกาะยึดของสารพอลิแซ็กคาไรด์กับอนุภาคของดินขึ้นอยู่กับ

2.1) การที่โครงสร้างของสารพอลิแซ็กคาไรด์มีลักษณะเป็นเส้นตรงและยาวจึงทำให้เป็นสะพานเชื่อมยึดระหว่างสารพอลิแซ็กคาไรด์กับอนุภาคของดิน

2.2) มีสมบัติการยึดหยุ่นซึ่งจะส่งผลให้มีตำแหน่งในการยึดเกาะกันด้วยแรงวัลเดอร์วาล (van der Waal's forces) มากมายและมีประสิทธิภาพมาก

2.3) มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups- OH) จำนวนมากซึ่งจะทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจน

2.4) มีหมู่ที่แสดงความเป็นกรดอยู่ อย่างเช่น หมู่คาร์บอกซิล (carboxylgroup-COOH) ทำให้เกิดการเกาะยึดกับประจุโดยผ่าน divalent (2+) และ trivalent (3+) ในตำแหน่งแลกเปลี่ยนประจุบนอนุภาคดินเหนียวหรือการดูดยึดประจุลบบนตำแหน่งประจุบวกของอนุภาคดินเหนียว (Greenland, 1965; Harris *et al.*, 1966; Martin *et al.*, 1955; Ruehrwem and Ward, 1952) นอกจากนี้การมีหมู่ฟอสโฟริก แอซิด (phosohoric acid groups) ที่เชื่อมระหว่างภายนอกโมเลกุลและภายในโมเลกุลก็มีความสำคัญมากเช่นกัน (Levesque, 1969)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของสารพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งแยกออกมาจากดินต่างๆ

Factor	British soil	Scottish soil	Indiana soil
Equivalent weight	1185	1000	1945
Nitrogen (%)	0.34	1.6	0.34
Methoxyl (%)	0	2.0	2.4
Reducing sugar (%)	80	-	-
Uronic anhydride (%)	15.8	20.1	9.1
Amino sugars (%)	0	0	Trace
Component sugar as % of total			
Glucose	20.8	36.0	21.2
Galactose	20.0	0	16.2
Mannose	21.9	0	18.5
Arabinose	11.7	29.8	10.4
Xylose	23.6	10.3	12.6
Ribose	1.5	4.5	Trace
Rhammose	0	11.0	14.2
Fucose	0	0.7	0
Unknown	0	7.0	6.6

ที่มา: ไพบูลย์ (2528)

3) องค์ประกอบของสารพอลิแซ็กคาไรด์

สารพอลิแซ็กคาไรด์ที่แยกออกมาจากดิน มักจะตรวจพบว่ามีน้ำตาลอยู่อย่างน้อย 10 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย กลูโคส (glucose) กาแลกโตส (galactose) แมนโนส (mannose) อะราบิโนส (arabinose) ไซโรส (xylose) ฟูโคส (fucose) ไรโบส (ribose) แรมโนส (rhamnose) กรดกลูคิวโรนิค (glucuronic acid) กรดกาแลกทิวโรนิค (galacturonic acid) กลูโคซามีน(glucosamine) และกาแลคโตซามีน (galactosamine) (Martin, 1971) นอกจากนี้ ไพบูลย์ (2528) ได้อธิบายองค์ประกอบของสารพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งแยกออกมาจากดินต่างๆ ดังตารางที่ 3

องค์ประกอบของสารสารพอลิแซ็กคาไรด์ในดินมีบทบาทที่สำคัญต่อดินในทางเกษตรมากทั้งในแง่ของความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ความเสถียรของโครงสร้างของดิน การเป็นประโยชน์ได้ของไนโตรเจน การใช้คาร์บอนให้เป็นประโยชน์ของจุลินทรีย์ดินและการทำให้เกิดคีเลชันกับโลหะในดิน (ไพบูลย์, 2528)

สารเมือกเหนียวหรือสารสารพอลิแซ็กคาไรด์นอกจากจะผลิตโดยแบคทีเรีย รา และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ แล้วยังมีสาหร่ายขนาดเล็กอีกหลายชนิดที่สามารถผลิตสารเหนียวหรือสารพอลิแซ็กคาไรด์และมีความสำคัญต่อความเสถียรของเม็ดดินซึ่งมีผู้ศึกษาอยู่ในเอกสารต่างๆ (Metting, 1981) เช่น การใช้สาหร่ายที่สามารถหลั่งสารเหนียวสู่ภายนอกเซลล์ (extracellular mucilage) เป็นตัวส่งเสริมความเสถียรของเม็ดดินและปรับปรุงโครงสร้างของดิน (Lewin, 1977) ซึ่งมีทั้งสาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน บางสายพันธุ์ที่สามารถผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์หลั่งออกมานอกเซลล์ (extracellular polysaccharide) จำนวนมาก ซึ่งมีลักษณะเป็นสารเมือกเหนียวหรือคล้ายวุ้นซึ่งจะตรึงอยู่ที่ผิวหน้าของดิน สารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์นี้มีองค์ประกอบทางด้านเคมีมากมาย ได้แก่ องค์ประกอบของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ที่พบในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีทั้งหมด 10 ชนิด คือ น้ำตาลกลุ่มเฮกโซส (hexose) ได้แก่ กลูโคส (glucose) กาแลคโตส (galactose) และแมนโนส (mannose) น้ำตาลกลุ่มเพนโตส (pentose) ได้แก่ ไรโบส (ribose) ไซโลส (xylose) และอะราบิโนส (arabinose) น้ำตาลกลุ่มดีออกซีเฮกโซส (deoxyhexose) ได้แก่ ฟูโคส (fucose) และแรมโนส (rhamnose) น้ำตาลกลุ่มกรดเฮกโซส (acid-hexose) ได้แก่ กรดกลูคิวโรนิค (glucuronic acid) และกรดกาแลคทิวโรนิค (galacturonic acid) การศึกษาของ Hill *et al.* (1994) ได้ศึกษา *Nostoc commune* โดยนำมาผึ่งให้แห้ง ศึกษาลักษณะทางด้านชีวเคมีและโครงสร้างสารพวก glycan ซึ่งอยู่ที่ชีทและปลดปล่อยออกมา องค์ประกอบ

ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแคลเซียม/ซิลิกา เมื่อนำไปทำให้บริสุทธิ์พบว่าประกอบด้วยกลูโคส เอน-อะซีติลกลูโคซามีน (N-acetylglucosamine) กลูโคซามีน แมนโนส (glucosamine mannose) และกาแลคโตซามีน (galactosamine) ในอัตรา 3.1: 1.4: 1: 0.1: 0.06 ตามลำดับ และในส่วนที่ละลายได้ในไขมันประกอบด้วยทรีฮาโลส (trehalose) และซูโครส นอกจากนี้ยังพบว่ามีหมู่ซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ กลุ่มฟอสเฟตจะพบในพอลิเมอร์ที่ได้จากแบคทีเรีย และในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ปล่อยสารพอลิแซ็กคาไรด์ออกนอกเซลล์แล้วละลายน้ำได้จึงเป็นที่น่าสนใจเนื่องจากมีความสำคัญทางด้านการเกิดการสมานตะกอน (flocculating) ของอนุภาคดิน (Bar-or and Shilo, 1987) สารอินทรีย์กลุ่มไพรูวิล และอะซีติล จะพบบ่อย ขณะที่กลุ่มซัคซินิล พบเฉพาะในแคบซูลพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ได้จากน้ำพุร้อน (Gloaguen *et al.*, 1996) การที่มีสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์เป็นองค์ประกอบ ทำให้สารพอลิแซ็กคาไรด์มีความซับซ้อนหลากหลาย สารพอลิแซ็กคาไรด์ยังมีความเข้มของประจุสูง เช่น กรดยูโรนิค ซัลเฟตหรือฟอสเฟต ไพรูวิล คีตัล สามารถจับยึดกับอนุภาคอื่นๆ ได้ นอกจากนี้ยังสามารถจับกับอนุภาคของน้ำ จึงเกิดความหนืดขึ้น (Phlips *et al.*, 1989)

Bar-Or and Shilo (1987) ศึกษา *Phormidium* J-1 พบว่ามีสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่น้ำตาลเป็นองค์ประกอบสังเคราะห์ sulfate heteropolysaccharide ชื่อว่า emulcyan ซึ่งมีกรดไขมันและโปรตีนเป็นองค์ประกอบด้วย โดยระดับของ hydrophobic แปรผันกับโมเลกุลขนาดใหญ่ ต่อมาในปี 1988 และ 1989 ได้ศึกษา *Phormidium* J-1 และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เจริญเติบโตแบบยึดเกาะผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์ปล่อยออกนอกเซลล์พบว่ามีส่วนร่วมในการจับตัวของอนุภาคดิน (co-flocculation) เกิดเป็นเม็ดดินได้ดียิ่งขึ้น

Veela and Vaidya (1978) ได้ศึกษา สารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตออกนอกเซลล์ของ *Anabaena flos-aquae* ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ และสารที่ผลิตออกนอกเซลล์ที่ผลิตโดย *Nostoc linckia* f. *muscurum* เป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำ (water-soluble polysaccharide) ประกอบด้วย กาแลคโตส (galactose) กลูโคส (glucose) อะราบิโนส (arabinose) ไซโรส (xylose) แรมโนส (rhamnose) และ กรดยูโรนิค (uronic acids) ซึ่ง กรดยูโรนิคนี้จะส่งผลต่อความเสถียรของเม็ดดินโดยเป็นสะพานประจุบวก (cation bridge) ยึดเหนี่ยวอนุภาคดินซึ่งมีประจุลบเข้าด้วยกัน สารเหนียวทั้งหมดดังกล่าวนี้จะเริ่มต้นสร้างในระยะต้นของระยะ stationary phase ของการเจริญเติบโต คือ จะเห็นได้ชัดเจนจากการสร้างเยื่อเมือก (sheath) หรือแคบซูลาร์ โปรทิโอไกลแคน (capsular proteoglycans) (Flaibani *et al.*, 1989)

Nostoc muscorum ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria) สามารถผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์ออกสู่ภายนอกเซลล์ (extracellular polysaccharide) เป็นตัวปรับโครงสร้างของดินให้เม็ดดินเกาะกันเป็นกลุ่มดินที่มีความเสถียรสูงขึ้น จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าการเติมชีวมวลของ *Nostoc muscorum* และสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตสู่ภายนอกเซลล์ลงไปในดินแล้วนำไปทดสอบในเรือนกระจก พบว่าทั้ง 2 การทดลองสามารถเพิ่มการสร้างเม็ดดินที่มีความเสถียร แต่การเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตสู่ภายนอกเซลล์จะสามารถสร้างเม็ดดินที่มีความเสถียรได้มากกว่าและเร็วกว่าการเติมชีวมวลสดลงไป ดังนี้ มีการเพิ่ม soluble C ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ กิจกรรมจุลินทรีย์ถึง 366 เปอร์เซ็นต์ (3.5 เท่า) และเม็ดดินมีขนาดใหญ่กว่า 250 ไมโครเมตรซึ่งมีความเสถียรต่อแรงกระทำของน้ำมีจำนวนเพิ่มขึ้นถึง 12 เท่า จากกลุ่มควบคุมและขนาดเม็ดดินที่เล็กกว่า 2 ไมโครเมตรมีจำนวนลดลง 85 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การเติมชีวมวลของ *Nostoc muscorum* สามารถเพิ่มอินทรียวัตถุ 11 เปอร์เซ็นต์ soluble C 66 เปอร์เซ็นต์ และกิจกรรมจุลินทรีย์เพียง 73 เปอร์เซ็นต์ เม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 250 ไมโครเมตรซึ่งมีความเสถียรต่อแรงกระทำของน้ำมีจำนวนเพิ่มขึ้น 66 เปอร์เซ็นต์ และขนาดเม็ดดินที่เล็กกว่า 2 ไมโครเมตรมีจำนวนลดลง 91 เปอร์เซ็นต์ จากกลุ่มควบคุม (Zulpa *et al.*, 1997)

Gupta (1981) ทดลองโดยใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Anabaena Nostoc* และ *Scytonema* ปรับโครงสร้างของดินโดยใส่ลงไปในดินที่เป็นด่าง มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 9 พบว่าทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลงเป็น 7-6 ได้ Roychoudhury (1979) กล่าวว่าสาหร่ายมีอิทธิพลต่อการจับตัวกันเป็นก้อนของเม็ดดิน ซึ่งเมื่อเม็ดดินจับตัวกันเป็นก้อน จะมีผลต่ออัตราการซึมของน้ำ การถ่ายเทอากาศและอุณหภูมิที่ดีขึ้น การทดลองกับดินชนิดต่างๆ โดยการใส่สาหร่ายลงไป พบว่าดินประเภทดินร่วนปนทราย (sandy loam) จะมีการจับตัวกันเป็นก้อนเพิ่มขึ้น 85 เปอร์เซ็นต์ ดินร่วน (loam) 130 เปอร์เซ็นต์ และดินร่วนปนทรายแป้ง (silty clay loam) เพิ่มการจับตัวกันสูงขึ้น 160 เปอร์เซ็นต์ Echlin (1966) อ้างงานของนักวิทยาศาสตร์หลายคน เช่น Singh ได้ทำการทดลองโดยใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินใส่ลงในดินและช่วยทำให้ปริมาณของไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มอินทรียวัตถุและความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ทำให้ดินที่เคยไร้ประโยชน์ปลูกพืชได้ Booth ทำการทดลองที่รัฐ Kansas, Oklahoma และ Texas ปรากฏว่าการใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหุ้มดินจะช่วยยึดเม็ดดินเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากและลดการชะล้างลงได้

ลักษณะส่วนใหญ่ที่น่าสนใจของสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ปล่อยออกนอกเซลล์แล้วละลายน้ำได้ คือ ความหนืดของสารละลาย ความสามารถเกิดรูปเจลที่มีความยืดหยุ่นได้ดี มีอิมัลชันที่เสถียร มีโครงสร้างและองค์ประกอบมวลโมเลกุลที่สูง (Shepherd *et al.*, 1995) ลักษณะที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนความหนืดของสารละลาย คือ สมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพของพอลิเมอร์ที่มีเปปไทด์มากมาย (polypeptide moiety) หรือส่วนที่ไม่ใช่แซ็กคาไรด์ เช่น สารอินทรีย์ (กลุ่มอะซีติล ไพรูวิล ซัคซินิล) หรือสารอนินทรีย์ (กลุ่มซัลเฟต หรือฟอสเฟต) (นารินทร์, 2547)

การศึกษาเบื้องต้นจากศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) พบว่า สาหร่าย *Nostoc* บางสายพันธุ์สามารถผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกมาภายนอกเซลล์ (extrapolysaccharide) ได้ในปริมาณมาก สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สายพันธุ์ *Oscillatoria prolifica Nostoc commune* และ *Nostoc muscorum* ถูกนำมาใช้ในพื้นที่การเกษตรเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์และเพื่อปรับโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น อาจเนื่องมาจากสารพอลิเมอร์ที่ผลิตออกมานอกเซลล์ที่สำคัญคือสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ พบว่าดินมีความเสถียรต่อแรงกระทำของน้ำสูงขึ้น (Bailey *et al.*, 1973)

ตัวอย่างของสาหร่ายและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีความเหมาะสมในการใช้ผลิตสารปรับปรุงโครงสร้างของดิน ได้แก่ *Anbaenopsis* (Shainbergy and Bar-Or, 1990) *Microcoleus* (Singh, 1950) *Scytonema Aurosila Anabaena Nostoc* และ *Tolypotrix* (Roychaudhury *et al.*, 1980)

2. สาหร่าย (Algae)

2.1 ความหมายของสาหร่าย

สาหร่าย เป็นสิ่งมีชีวิตคล้ายพืช คือ มีรงควัตถุคลอโรฟิลล์ช่วยในการสังเคราะห์แสง สามารถเปลี่ยนสารอนินทรีย์ให้เป็นสารอินทรีย์ ผลพลอยได้จากกระบวนการนี้ คือการปลดปล่อยออกซิเจนให้แก่สิ่งแวดล้อม ทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตในระบบห่วงโซ่อาหาร แต่มีวิวัฒนาการต่ำกว่าพืชมากเนื่องจากไม่มีเอมบริโอ ไม่มีระบบท่อลำเลียง ไม่มีราก ลำต้น ใบที่แท้จริง มีรูปร่างลักษณะหลายแบบด้วยกัน อาจมีเซลล์เดียวและมีขนาดเล็กมากต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ (microscopic

organism) หรืออยู่ร่วมกันเป็นกลุ่มเซลล์ หรือเป็นเส้น และอาจมีขนาดใหญ่มากมองดูคล้ายมีราก ลำต้น และใบ ซึ่งรวมเรียกว่า ทัลลัส (thallus) สาหร่ายสามารถเจริญได้ทุกแห่งที่มีความชื้นและสภาพทางกายภาพ เคมี ที่มีความเหมาะสม ซึ่งส่วนมากเจริญได้ดีในน้ำทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม มีน้อยชนิดมากที่พบตามผิวของหินหรือเปลือกไม้ (โฉมยง, 2550)

2.2 สาหร่ายในดิน

สาหร่ายในดินที่พบมากได้แก่พวก สาหร่ายสีเขียว (green algae) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) สาหร่ายสีเขียวแกมเหลือง (yellow -green algae) และไดอะตอม (diatoms) ตามลักษณะที่แท้จริงแล้วสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสมควรจัดจำแนกเป็นแบคทีเรียที่เรียกว่า cyanobacteria แต่เนื่องจากมีบทบาทหลายประการที่คล้ายสาหร่ายจึงจัดไว้ในกลุ่มของสาหร่าย

สาหร่ายเหล่านี้ดำรงชีพโดยการสังเคราะห์แสง (photoautotroph) จึงมีบทบาทมากในบริเวณผิวดินหรือในน้ำบนผิวดินที่มีแสงพอเพียง เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง เช่น ในนาข้าวที่มีน้ำขัง สาหร่ายที่เจริญเติบโตในดินส่วนใหญ่เป็นพวกเซลล์เดียวหรือเป็นเส้นขนาดเล็กเท่านั้น ปริมาณที่พบในดินชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 10^3-10^6 เซลล์ต่อดินแห้ง 1 กรัม ในเขตร้อนชื้นมักพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในปริมาณกว่าและมีความสำคัญในระบบนิเวศมากกว่าสาหร่ายชนิดอื่นๆ

2.3 บทบาทสำคัญของสาหร่ายในดิน

2.3.1 เพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน (accumulation of organic matter) จากลักษณะพิเศษของสาหร่ายที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ จึงทำให้สาหร่ายสามารถสร้างอินทรียวัตถุจากอนินทรียสาร เช่น เปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีผลให้ปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้น

2.3.2 ช่วยในการสลายตัวของหิน (weathering of rocks) การเจริญของสาหร่ายบนโขดหิน ภูเขาโล้น หรือตามซอกหินจะทำให้เกิดการสลายตัวของหินในที่สุด ทั้งนี้ก็โดยฤทธิ์ของกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ซึ่งอาจจะเกิดจากการหายใจของสาหร่ายซึ่งจะคายก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ออกมา หรืออาจจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการสลายตัวของสาหร่ายในดินโดยกิจกรรมของแบคทีเรียและรา

2.3.3 ให้ออกซิเจนแก่พืชที่ปลูกในสภาพน้ำขัง (liberation of oxygen) กระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายในนาน้ำขัง จะให้ออกซิเจนแก่รากข้าว ซึ่งเจริญในสภาพน้ำขัง (waterlogged conditions)

2.3.4 ตรึงไนโตรเจนจากอากาศ (nitrogen fixation) สาหร่ายพวกสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิด เช่น *Nostoc Anabaena Gloeothece* สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจน จากบรรยากาศได้ซึ่งจะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินและเป็นที่น่าสังเกตว่าในแถบเอเชียอาคเนย์ได้มีการทำนาติดต่อกันหลายศตวรรษโดยไม่ใส่ปุ๋ยแต่ผลผลิตของข้าวก็ค่อนข้างจะสูงและสม่ำเสมอเป็นส่วนมากซึ่งก็เป็นผลมาจากการตรึงไนโตรเจนโดยพวกสาหร่ายนั่นเอง การตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายอาจจะเกิดขึ้นได้ทั้งในสภาพที่สาหร่ายเจริญอยู่อย่างอิสระ (free living) หรือเจริญอยู่ร่วมกับพืชบางชนิด (symbiotic)

2.3.5 ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินและป้องกันการพังทะลายของดิน (contribution to soil structure and erosion control) สาหร่ายที่เจริญอยู่รวมกันมากๆ บนผิวดิน (surface bloom) จะช่วยยึดอนุภาคของดินเข้าด้วยกัน ทำให้ดินมีความทนทานต่อการไหลบ่าของน้ำและจะช่วยป้องกันและลดอัตราการพังทลายของดินได้ ทั้งนี้พบว่าสาหร่ายในดินมักมีความสามารถสร้างสารพอลิแซ็กคาไรด์ออกมานอกเซลล์ (extracellular polysaccharides) ได้มาก ช่วยเสริมสร้างการเกิดเม็ดดินที่คงทนได้ดีทำให้ดินมีโครงสร้างดีขึ้น ระบายน้ำและอากาศได้ดีขึ้น (วิทยา, 2526; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ศุภมาศ, 2529)

2.4 สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue - green algae)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน อยู่ในดิวิชัน Cyanophyta หรือ Cyanochloronta (Bold and Wynne,1978) มีชื่อสามัญว่า cyanophytes หรือ cyanobacteria (Carr and Whitten, 1973)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นพืชชั้นต่ำที่เรียกว่า โปรคาริโอต (procaryote) ซึ่งจัดรวมอยู่ในพวกเดียวกับแบคทีเรีย แต่มีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไป คือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมี

คลอโรฟิลล์ เอ จึงสามารถสังเคราะห์แสงได้ และมีออกซิเจนซึ่งเกิดขึ้นจากการสังเคราะห์แสงด้วย ซึ่งคุณสมบัตินี้จะไม่พบในพวกแบคทีเรีย สาหร่ายกลุ่มนี้ไม่มีการสืบพันธุ์แบบมีเพศ บางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนได้ เปลี่ยนสีของเซลล์ได้ สามารถขึ้นอยู่ได้ทั่วทุกแห่งในโลก เช่น ตามชั้นของดิน หิน ไม้ น้ำจืด ทะเล น้ำพุร้อน นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอาจขึ้นรวมอยู่กับสิ่งมีชีวิตอื่นได้ทั้งพืชและสัตว์ (ลัดดา, 2542)

จากการศึกษาซากดึกดำบรรพ์ (fossil) และหลักฐานอื่นๆ ประกอบ อาจกล่าวได้ว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นสิ่งมีชีวิตพวกแรกที่เกิดขึ้นในโลกและเป็นตัวผลิตออกซิเจนให้แก่บรรยากาศ (Bold and Wynne, 1978)

2.4.1 ลักษณะทั่วไป

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีลักษณะและคุณสมบัติหลายประการที่แตกต่างไปจากสาหร่ายพวกอื่นๆ อาทิเช่น รงควัตถุไม่ได้อยู่ในพลาสติด (plastid) แต่กระจายอยู่ทั่วไปในไซโตพลาสซึม ยังไม่มีนิวเคลียสที่แท้จริง ไม่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ เปลี่ยนสีได้ สามารถเคลื่อนไหวได้โดยไม่ใช้หนวดหรือแฟลกเจลลา เป็นต้น (กาญจนภาชน์, 2527)

2.4.2 ลักษณะที่สำคัญ มีดังนี้

1) สารสีสำหรับการสังเคราะห์แสง (photosynthetic pigments) ประกอบด้วย

1.1) คลอโรฟิลล์ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ

1.2) แคโรทีนอยด์ ประเภท แคโรทีน ได้แก่ เบตา-แคโรทีน (β-carotene) ส่วน แซนโทฟิลล์ หลายชนิด ได้แก่ มิโซแซนทิน (myxoxanthin) มิโซแซนโทฟิลล์ (myxoxanthophyll) ออสซิลลาแซนทิน ซีอาแซนทิน (zeaxanthin) ลูเทอีน (lutein) ฟลาวิซิน (flavicin) อะฟานิโซฟิลล์ (aphanizophyll) และ อะฟานิซิน (aphanicin)

1.3) ไฟโคบิโลโปรตีน ได้แก่ ซี-ไฟโคไซยานิน (c-phycocyanin) ซี-อัลโลไฟโคไซยานิน (c-allophycocyanin) และซีไฟโคอิริทริน (c-phycoerythrin)

2) ผนังเซลล์ ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินแบ่งออกเป็น 2 ชั้น มีองค์ประกอบที่สำคัญคล้ายคลึงกับที่พบในผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบ (gram negative) ที่เรียกว่า มิวโคเพบไทด์ (mucopeptide) ส่วนรอบนอกผนังเซลล์มักจะเป็นเมือกใสๆ ที่เรียกว่า ชีท (sheath) ซึ่งเป็นสารเมือก (mucilaginous substances) หุ้มอยู่โดยรอบ มีความหนาบางต่างๆ กัน อาจมีสีหรือไม่มีสี หรือแบ่งออกเป็นชั้นๆ และประกอบด้วยกรดเพคติค (pectic acid) และมิวโคพอลิแซ็กคาไรด์ (mucopolysaccharides)

พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) ผนังเซลล์ของสาหร่าย และอาหารสะสมประกอบด้วยสารจำพวกพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นส่วนใหญ่ ผนังเซลล์ของพอลิแซ็กคาไรด์เป็นสารจำพวกเพกติน (pectin) กรดยูโรนิก (uronic acid) กลูแคน (glucan) ไซเลน (xylan) แมนแนน (mannan) และแกแลกแตน (galactan)

การที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีชีทหุ้มอยู่ภายนอกเช่นนี้ จึงทำให้สามารถขึ้นได้ในที่แห้งแล้งได้ เพราะสามารถดูดซึมและอุ้มน้ำได้ดี

3) หนวด สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทุกชนิด ทั้งเซลล์ปกติและเซลล์สืบพันธุ์ไม่มีหนวด (flagella) ชนิดที่เคลื่อนที่ได้จะเป็นการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไหล (gliding movement)

4) ผลผลิตของการสังเคราะห์แสง (photosynthetic product) เป็นสารพวกแป้งชนิดหนึ่ง คือ แป้งไซยาโนไฟเซียน (cyanophycean starch) ลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไป เรียกว่า ไซยาโนไฟซินแกรนูล (cyanophycin granule) แป้งไซยาโนไฟเซียนนี้แตกต่างจากแป้งชนิดอื่น คือ เมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีนจะได้สีน้ำตาลปนแดงแทนที่จะได้สีน้ำเงิน

5) ลักษณะพิเศษประจำดิวิชัน คือ เป็นสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำจำพวก โปรแคริโอต (procaryote) ซึ่งแตกต่างจากพืชชั้นสูงจำพวก ยูแคริโอต (eucaryote) ได้แก่ สารสีไม่ได้อยู่ในพลาสติด แต่กระจายอยู่ทั่วไปในไซโตพลาสซึม ไม่มีนิวเคลียสที่แท้จริง และไม่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศซึ่งการสืบพันธุ์ที่พบ ได้แก่ การแบ่งเซลล์ และการสร้างสปอร์

6) เฮเทอโรซิสต์ (heterocyst) เป็นเซลล์พิเศษที่พบในเซลล์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เป็นเส้นสายบางชนิดเท่านั้น เฮเทอโรซิสต์ที่มีลักษณะแตกต่างจากเซลล์ธรรมดาตรงที่มีผนังเซลล์หนา และภายในเซลล์มีลักษณะใสเป็นสีเหลืองจางๆ เนื่องจากขาดรงควัตถุสังเคราะห์แสงเหลือเฉพาะแต่พวกแคโรทีน การเกิดเฮเทอโรซิสต์เกิดขึ้นโดยเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในสายจะสะสมอาหารไว้มากทำให้เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น เซลล์ซึ่งเดิมเป็นรูปเหลี่ยมจะกลมขึ้น หลังจากนั้นไซโตพลาสซึมจะไหลผ่านรูเล็กๆ ที่ผนังเซลล์ไปยังเซลล์ข้างเคียง ทำให้สีซีดลง และมีแกรนูล (granule) มาเล็กๆ ปิดรูไว้ เรียกว่า โพลาร์นอตซ์ (polar notch) ตำแหน่งที่เกิดเฮเทอโรซิสต์มี 2 ตำแหน่ง คือ เกิดอยู่ระหว่างเซลล์ภายในเส้นสาย เรียกว่า intercalary heterocyst และเกิดตรงปลายข้างใดข้างหนึ่งของเส้นสายหรือทั้ง 2 ข้าง เรียกว่า terminal heterocyst

เฮเทอโรซิสต์เป็นจุดอ่อนที่ทำให้เกิดการขาดท่อนแต่ละท่อนที่ขาดออกมานี้เรียกฮอร์โมโกน (hormogone) ซึ่งแต่ละท่อนนี้สามารถเจริญเติบโตและแบ่งเซลล์ให้เส้นสายที่ยาวออกไป นอกจากนี้เฮเทอโรซิสต์มีหน้าที่ที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือช่วยในการสร้างสปอร์ทั้งนี้เนื่องจากพบว่า เซลล์ที่สร้างสปอร์หรืออะคินีต (akinete) มักอยู่ติดกับเฮเทอโรซิสต์และได้รับการถ่ายทอดอาหารมาจากเฮเทอโรซิสต์

7) การตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation) สิ่งมีชีวิตบางอย่าง สามารถเจริญเติบโตได้ในธรรมชาติ หรือในห้องทดลอง โดยไม่ต้องมีไนโตรเจนในรูปของสารประกอบ เช่น ไนเตรต แอมโมเนียม หรือ กรดอะมิโนอยู่ด้วย สิ่งมีชีวิตเหล่านี้สามารถใช้ก๊าซไนโตรเจนได้โดยตรง จึงเรียกว่าเป็น “nitrogen fixer”

การตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินนี้มักเกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจน (aerobic condition) นอกจาก *Synechococcus* 3 สายพันธุ์ ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic condition)

ผลที่ได้จากการตรึงไนโตรเจน คือ แอมโมเนียม ซึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นกรดอะมิโน เช่น กรดแอสพาติก กรดกลูตามิก หรืออะลานีน เมื่อปริมาณของแอมโมเนียมในอาหารที่ใช้เลี้ยงเพิ่มสูงขึ้น การเกิดเฮเทอโรซิสต์จะลดลง แต่ถ้าปริมาณของไนเตรตเพิ่มขึ้น จะไม่ลดการเกิดเฮเทอโรซิสต์

การตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เกิดขึ้นได้ทั้งในภาวะที่อยู่เป็นอิสระหรือในภาวะที่อยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่น เช่น *Anabaena azollae* ที่อยู่ในแหนแดง สาหร่ายที่ตรึงไนโตรเจนได้นี้มีการแพร่กระจายกว้างขวางทั้งในดิน ในน้ำจืด และในทะเล โดยเฉพาะในเขตร้อนพบได้ทั่วไป และพบเกือบตลอดปี แต่จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในช่วงฤดูฝน การตรึงไนโตรเจนให้แก่ดิน มีส่วนช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินเป็นอย่างมาก ดินที่ไม่สามารถปลูกพืชได้ หากสามารถกักเก็บน้ำไว้ และปล่อยให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเกิดในช่วงฤดูฝน จะสามารถปลูกพืชได้ในฤดูต่อมา นอกจากนั้นยังช่วยให้การอุ้มน้ำของดินดีขึ้นด้วย

8) การเปลี่ยนสี (chromatic adaptation) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีความสามารถในการเปลี่ยนสีได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสง และความเข้มของแสงที่ได้รับ สาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเปลี่ยนสี คือ การขาดไนโตรเจนซึ่งถือว่าเป็นการขาดธาตุอาหารมีผลทำให้สีซีดลง หรือเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

9) แหล่งที่อยู่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถขึ้นอยู่ได้ทั่วทุกหนทุกแห่งในโลก ไม่ว่าในเขตร้อนหรือเขตหนาว ในน้ำจืด น้ำทะเล น้ำพุร้อน หรือบนบกที่แห้งแล้ง หรือแม้แต่บนยอดเขาสูงๆ ชอบขึ้นอยู่ในน้ำที่เป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อย ในน้ำ pH 4-5 จะไม่พบสาหร่ายพวกนี้อยู่เลย (กาญจนภาชน์, 2527; ลัดดา, 2542)

2.5 ลักษณะของสาหร่ายที่ทำการศึกษา

2.5.1 ลักษณะของ *Anabaena*

Anabaena ทรัยโคม (trichome) มักเกิดเดี่ยวๆ มีชีท (sheath) หุ้ม เส้นสายมีลักษณะตรงหรือม้วนงอเป็นวงหรือบิดเป็นเกลียว ชีท (sheath) ที่หุ้มทรัยโคม (trichome) ไม่หนาและไม่รวมตัวเป็นรูปร่างต่างๆ เซลล์มีลักษณะแบบถังเบียร์ (barrel-shaped) ตรงกลางป่อง หรือเป็นรูปสี่เหลี่ยม สร้างเฮเทอโรซิสต์ และอะคินีต (akinete) ตรงปลายหรือภายในเส้นสาย สกุล *Anabaena* มีอยู่หลายชนิด บางชนิดก็อยู่เดี่ยวๆ บางชนิดก็อยู่แบบเป็นกลุ่มใหญ่มีรูปร่างของกลุ่มไม่จำกัด สาหร่ายสกุลนี้เป็นแพลงก์ตอนในน้ำจืด ไม่คอยพบบนดิน มักทำให้เกิดการบลูมเป็นครั้งคราว บางชนิดผลิตสารพิษที่เรียกว่า อะนาท็อกซิน ซึ่งเป็นสารพิษประเภทนิวโรท็อกซิน (neurotoxin) มีพิษต่อระบบประสาท (กาญจนภาชน์, 2527; อักษร, 2527; ลัดดา, 2542)

2.5.2 ลักษณะของ *Nostoc*

Nostoc ทรัยโคม (trichome) มักขดงอไปมา อยู่รวมกันเป็นกลุ่มจำนวนมากจนมีลักษณะเป็นก้อน โดยฝังตัวอยู่ในชีท (sheath) ซึ่งมีลักษณะเป็นวุ้นหนา บางชนิดเหนียว และมีรูปร่างลักษณะต่างๆ อาจเป็นก้อน หรือเป็นเส้นเหมือนเส้นผม เซลล์มีลักษณะกลม หรือค่อนข้างกลม เฮเทอโรซิสต์และอะคินีตอยู่ติดกันหรือใกล้เคียงกัน ขึ้นอยู่บนดินหรือก้อนหินหรือตามหน้าผาชื้นๆ บางชนิดนำมารับประทานได้ ทางภาคใต้เรียกว่า ผักผม คนจีนนิยมนำมาชงน้ำร้อนดื่มคล้ายน้ำชา (กาญจนภาชน์, 2527 ; อักษร, 2527)

2.6 การผลิตพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

การสังเคราะห์สารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ปล่อยออกนอกเซลล์ของเซลล์แบคทีเรียโดยทั่วไปแล้วเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมโดยตรง (Dudman, 1977) ดังนั้นหน้าที่หลักในการสร้างแคปซูล (capsule) หรือ การรักษาสภาพเซลล์ของแบคทีเรียจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง การสังเคราะห์พอลิแซ็กคาไรด์ที่ปล่อยออกนอกเซลล์ของจุลินทรีย์รวมทั้งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน มีบทบาทสำคัญในการป้องกันเซลล์จากความเครียดในสิ่งแวดล้อมและจากสภาวะที่เป็นภัยอื่นๆ

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ได้ สารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตขึ้นแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ เก็บไว้ภายในเซลล์ (storage) นำไปใช้ในการห่อหุ้มเซลล์ (cell envelope) และปล่อยออกนอกเซลล์ (exocellular polysaccharide) (Painter, 1983) ซึ่งพอลิแซ็กคาไรด์ที่ปล่อยออกนอกเซลล์นี้พบว่ามีส่วนร่วมในการจับตัวของอนุภาคดิน (co-flocculation) เกิดเป็นเม็ดดินได้ดียิ่งขึ้น (Bar-or and Shilo, 1987)

2.7 ประโยชน์ของสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตออกนอกเซลล์ (extracellular polysaccharide)

1) เป็นตัวยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคบางชนิด (Bloor and England, 1989)

2) สามารถลดระดับคอเรสเตอรอลในหนูทดลอง (Hori *et al.*, 1994)

3) ยับยั้งการเกิดเนื้องอก (Takenaka *et al.*, 1997)

4) สามารถใช้เป็น chelating agent ในการดึงโลหะหนักออกมาจากน้ำ เพื่อเป็นการลดปัญหามลพิษ (Bender *et al.*, 1994; Gloaguen *et al.*, 1996)

5) พอลิเมอร์นี้มี hydrophobic groups, hydrophilic group ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจของนักวิทยาศาสตร์ในการนำมาทำเป็น emulsifying agents (Neu *et al.*, 1992; Shepherd *et al.*, 1995)

6) ยับยั้งเชื้อไวรัส (Hasui *et al.*, 1995 และ Witvrouw and De Clercq, 1997)

7) อุตสาหกรรมกาว (Arad, 1999)

8) เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (Arad, 1999)

9) เป็นสารปรับโครงสร้างของดินทำให้เม็ดดินมีความเสถียรมากขึ้น (Zulpa *et al.*, 1997)

2.8 ความเหมาะสมของการนำชีวมวลสดหรือสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมาเป็นสารปรับปรุงโครงสร้างของดิน

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเจริญเติบโตได้ในทะเลทราย ซึ่งมีความแห้งแล้ง มีการเปลี่ยนแปลงในเรื่องของอุณหภูมิ ความเป็นด่าง ความเค็ม และแสงแดดที่เกิดขึ้นในรอบวันอยู่เสมอ (Painter, 1993; Mazor *et al.*, 1996) สาหร่ายเหล่านี้ก็ยังสามารถผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์ออกมานอกเซลล์ได้ในปริมาณมาก (De Philippis *et al.*, 1998) มีการศึกษามากมายที่แสดงให้เห็นว่าบทบาทหน้าที่ของสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกมานอกเซลล์จะคอยป้องกันเซลล์จากสิ่งแวดล้อมรอบๆ จากภาวะแห้งแล้ง ต่อต้านแบคทีเรียหรือพวกโปรโตซัวที่จะคอยกินสาหร่ายเป็นอาหาร และที่สำคัญสารโปรติโอไกลแคนที่อยู่ในสารเมือกจะดูดซับความชื้นโดยตรงจากอากาศช่วยในการรักษาความชื้นเอาไว้ ซึ่งสารเหล่านี้ยังช่วยในการสร้างเม็ดดินอีกด้วย (De Philippis *et al.*, 1998 และ Painter, 1993)

ในขณะเดียวกันมีรายงานว่าตัวอย่างแห้งของ *Nostoc commune* สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ภายหลังจากการเก็บรักษาไว้ในเฮอบาเรียมได้ถึง 107 ปี (Painter, 1993) และเยื่อเมือก (sheath) หรือ แคปซูลาร์โปรทิโอไกลแคน (capsular proteoglycans) ช่วยให้เซลล์มีชีวิตอยู่รอดได้ถึงแม้จะอยู่ในภาวะที่แห้งแล้ง เพราะว่าช่วยปกป้องเซลล์จากกลไกการทำลายต่างๆ ทนต่อความแห้งแล้ง อุณหภูมิสูง ความเป็นกรด-ด่างของดิน ความร้อน ฯลฯ นอกจากนี้ยังมีรายงานไว้ว่ามีความทนทานต่อรังสีอัลตราไวโอเลตได้เป็นอย่างดีซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้เหมาะสมสามารถนำมาพัฒนาใช้ในการเป็นสารปรับปรุงโครงสร้างของดินได้ทั้งในลักษณะของเซลล์ที่มีชีวิตหรือเฉพาะสารพอลิแซกคาไรด์ที่ผลิตขึ้น

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยการสังเคราะห์แสงจะให้ผลผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ในปริมาณที่ต่ำกว่าจุลินทรีย์ขนาดเล็กที่ผลิตพอลิเมอร์ชีวภาพ เช่น *Xanthomonas campestris* สามารถผลิต xanthan gum ได้ 7-10 กรัมสารพอลิแซ็กคาไรด์ต่อลิตรต่อวัน แต่สาหร่ายมีข้อได้เปรียบบางประการทางเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม คือ ประการแรกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถนำสารตั้งต้นกลับมาใช้ใหม่และสารตั้งต้นมีราคาถูก เนื่องจากสาหร่ายสังเคราะห์แสงได้และหลายสายพันธุ์ที่ตรึงไนโตรเจนได้ ประการที่สอง สาหร่ายหลายๆ สายพันธุ์สามารถเจริญเติบโตในน้ำกร่อยหรือน้ำเสียได้ ประการที่สาม มีความเป็นไปได้ที่จะใช้แหล่งคาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม ประการสุดท้าย ได้สารประกอบที่มากกว่าหนึ่งชนิด เป็นผลผลิตที่หลากหลายเกิดขึ้นในสาหร่ายขนาดเล็ก (Thepenier *et al*, 1988) และที่สำคัญสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายมีความหนืดและมีองค์ประกอบทางด้านเคมีมากมายซึ่งจะช่วยเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ส่งเสริมกิจกรรมของเอนไซม์ และช่วยปรับโครงสร้างของดิน (Zaccaro, 2000)

อย่างไรก็ตามความสำเร็จของการใช้สาหร่ายเป็นสารปรับโครงสร้างของดินนั้นจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสาหร่ายที่เตรียมในรูปหัวเชื้อ (inocolum) นั้นสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ในพื้นที่การเกษตรและมีความสามารถในการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วภายหลังจากใส่สาหร่ายให้แก่ดินแล้ว และในการผลิตนั้นต้องใช้สาหร่ายหลายชนิด (mixture of algae) ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของดินและสภาพแวดล้อมในพื้นที่

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ของ Sorvall รุ่น SS-33
2. เครื่องระเหยแห้งแบบลดความดัน (Rotary Evaporater ของ Buchi รุ่น R-124
3. เครื่องแห้งแข็ง (Freezed drier) ของ Edwards รุ่น EF 03
4. หม้อนึ่งความดันไอ ของ Tomy รุ่น SS-325
5. ตู้ปลอดเชื้อ (Vertical Lamina Air Flow cabinet) Faster ของ Bioharzard รุ่น BHA 36 M
6. ตู้อบเครื่องแก้ว ของ Heraeus รุ่น 5060 EK
7. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ของ Mettler Toledo รุ่น MP 225
8. เครื่องชั่งแบบละเอียด ของ Sartorius รุ่น LA 230 S
9. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ของ Hewlett Packard รุ่น 8453
10. เครื่องวัดความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ (wet sifting)
11. โถระเหยแห้งสุญญากาศ ของ BEL-ART
12. กล้องจุลทรรศน์ ของ Olympus รุ่น BH-2
13. เครื่องเขย่า (Shecker)
14. เตาต้ม (hot plate)
15. ถังคาร์บอย (carboy) สำหรับเลี้ยงสาหร่ายขนาดความจุ 10 ลิตร ของ Nalgene
16. จานเพาะเลี้ยงพลาสติกขนาด 90 x 90 มิลลิเมตร ของ Sterilin
17. ตาข่ายกรองแพลงก์ตอน (plankton net) ขนาด 108 ไมโครเมตร
18. ตะแกรงร่อนดิน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 2 มิลลิเมตร
19. กล่องพลาสติกใส ขนาด ขนาด 13x13x4.5 เซนติเมตร
20. เครื่องแก้วและอุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ ขวดรูปชมพู่ ขวดวัดปริมาตร กระดาษกรอง Whatman (เบอร์ GF/C) ผ้าก๊อซ กระดาษอะลูมิเนียม หลอดปั่นเหวี่ยง บีกเกอร์ ปิเปต กระบอกตวง หลอดทดลอง แท่งแก้วคน กรวยกรอง ช้อนตักสาร จุกยาง moisture can เข็มเขี่ยเชื้อ กระบอกเก็บตัวอย่างดิน
21. สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 60 สายพันธุ์ (ตารางที่ 4) จากศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.)สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

ตารางที่ 4 รายชื่อและแหล่งที่เก็บตัวอย่างของสาหร่ายที่นำมาทดลอง

ลำดับที่	ชื่อวิทยาศาสตร์	แหล่งที่เก็บตัวอย่าง
1.	*Nostoc commune* TISTR 8160	ผิวหน้าดิน, ปทุมธานี
2.	*Nostoc commune* TISTR 8870	-
3.	*Nostoc commune* TISTR 9104	-
4.	*Nostoc entophylum* TISTR 8161	ผิวหน้าดิน, ตราด.
5.	*Nostoc muscorum* TISTR 8164	ผิวหน้าดิน, กรุงเทพฯ
6.	*Nostoc muscorum* TISTR 8871	ผิวหน้าดิน, อยุธยา
7.	*Nostoc muscorum* TISTR 8173	ผิวหน้าดิน, อุตรดิตถ์
8.	*Nostoc muscorum* TISTR 9007	ผิวดินใต้น้ำผิวน้ำดินนา, อยุธยา
9.	*Nostoc muscorum* TISTR 9049	ผิวหน้าดิน, อ่างทอง
10.	*Nostoc muscorum* TISTR 9052	ผิวหน้าดิน, อยุธยา
11.	*Nostoc muscorum* TISTR 9054	ผิวดินแห้ง, อ่างทอง
12.	*Nostoc paludosum* TISTR 8165	ผิวหน้าดิน, สุพรรณบุรี
13.	*Nostoc paludosum* TISTR 8879	ผิวหน้าดิน, สุพรรณบุรี
14.	*Nostoc paludosum* TISTR 8880	ผิวหน้าดิน, สุพรรณบุรี
15.	*Nostoc paludosum* TISTR 8881	ผิวหน้าดิน, สุพรรณบุรี
16.	*Nostoc paludosum* TISTR 8882	ผิวหน้าดิน, สุพรรณบุรี
17.	*Nostoc paludosum* TISTR 8278	เสาปูนซีเมนต์, กรุงเทพฯ
18.	*Nostoc paludosum* TISTR 8962	-
19.	*Nostoc paludosum* TISTR 9011	ผิวดินใต้น้ำผิวน้ำดินนา, อยุธยา
20.	*Nostoc paludosum* TISTR 9074	ผิวหน้าดิน, สุพรรณบุรี
21.	*Nostoc punctiformes* TISTR 8167	ผิวหน้าดิน, นครปฐม
22.	*Nostoc punctiformes* TISTR 8175	เสาปูนซีเมนต์, กรุงเทพฯ
23.	*Nostoc microscopicum* TISTR 8172	ผิวหน้าดิน, จันทบุรี
24.	*Nostoc microscopicum* TISTR 8885	ผิวหน้าดิน, จันทบุรี

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อวิทยาศาสตร์	แหล่งที่เก็บตัวอย่าง
25.	*Nostoc microscopicum* TISTR 8886	ผิวหน้าดิน, จันทบุรี
26.	*Nostoc microscopicum* TISTR 8279	เสาปูนซีเมนต์, กรุงเทพฯ
27.	*Nostoc microscopicum* TISTR 9136	-
28.	*Nostoc sp.* TISTR 8177	ผิวหน้าดิน, ชัยนาท
29.	*Nostoc sp.* TISTR 8178	ผิวหน้าดิน, กรุงเทพฯ
30.	*Nostoc sp.* TISTR 8290	ผิวหน้าดิน, กรุงเทพฯ
31.	*Nostoc sp.* TISTR 8409	ผิวหน้าดิน, นครพนม
32.	*Nostoc sp.* TISTR 8419	-
33.	*Nostoc sp.* TISTR 8873	ผิวน้ำ, อ่างทอง
34.	*Nostoc sp.* TISTR 8961	-
35.	*Nostoc sp.* TISTR 9067	ผิวหน้าดิน, อ่างทอง
36.	*Nostoc sp.* TISTR 9092	ดินนา, ชลบุรี
37.	*Nostoc sp.* TISTR 9101	ผิวหน้าดิน, นครราชสีมา
38.	*Nostoc sp.* TISTR 9102	ผิวหน้าดิน, นครราชสีมา
39.	*Nostoc sp.* TISTR 9122	ผิวหน้าดิน, สระบุรี
40.	*Nostoc sp.* TISTR 9149	ผิวหน้าดิน, นครปฐม
41.	*Nostoc piscinale* TISTR 8180	กำแพงปูนซีเมนต์, กรุงเทพฯ
42.	*Nostoc piscinale* TISTR 8423	-
43.	*Nostoc piscinale* TISTR 8874	ผิวหน้าดิน, นครราชสีมา
44.	*Nostoc piscinale* TISTR 9047	ผิวหน้าดิน, อ่างทอง
45.	*Nostoc piscinale* TISTR 9077	ผิวน้ำ, อ่างทอง
46.	*Nostoc piscinale* TISTR 9125	-
47.	*Nostoc ellipsosporum* TISTR 8403	ผิวหน้าดิน, หนองคาย
48.	*Nostoc calcicola* TISTR 8422	-
49.	*Nostoc calcicola* TISTR 9003	ผิวนา, อยุธยา
50.	*Nostoc calcicola* TISTR 9126	ผิวหน้าดิน, สุพรรณบุรี
51.	*Nostoc maculiform* TISTR 9103	-

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อวิทยาศาสตร์	แหล่งที่เก็บตัวอย่าง
52.	*Anabaena ambigua* TISTR 8001	ผิวหน้าดิน, ปทุมธานี
53.	*Anabaena turulosa* TISTR 8014	ผิวหน้าดิน, ปทุมธานี
54.	*Anabaena sp.* TISTR 8076	ผิวหน้าดิน, ปทุมธานี
55.	*Anabaena sp.* TISTR 8901	-
56.	*Anabaena variabilis* TISTR 8404	ผิวหน้าดิน, สกลนคร
57.	*Anabaena variabilis* TISTR 9171	ผิวหน้าดิน, ชัยนาท
58.	*Anabaena variabilis* TISTR 9172	ผิวหน้าดิน, ชัยนาท
59.	*Anabaena siamensis* TISTR 8435	-
60.	*Anabaena anomala* TISTR 9001	ผิวดิน, ปทุมธานี

สารเคมี

1. โซเดียมไนเตรต ($NaNO_3$ - Sodium nitrate)
2. แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$ - Magnesium sulfate heptahydrate)
3. แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$ - Calcium chloride dihydrate)
4. กรดซิตริก (Citric acid)
5. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3 - Sodium carbonate)
6. ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ - di-Potassium hydrogen phosphate trihydrate)
7. เอททิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติก แอซิด ไอออนโซเดียม ซอลท์ (Fe-EDTA - Ethylene diaminetetraacetic acid iron (III) sodium salt)
8. กรดบอริก (H_3BO_3 - Boric acid)
9. แมงกานีสคลอไรด์ ($MnCl_2 \cdot 4H_2O$ - Manganous chloride)
10. ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ - Zinc sulfate heptahydrate)
11. โซเดียมโมลิบเดต ($Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ - Sodium molybdate dihydrate)
12. คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$ - Copper (II) sulphate pentahydrate)
13. โคบอลต์ไนเตรต ($Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ - Cobalt (II) nitrate hexahydrate)

14. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl - Sodium chloride)
15. ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต(K_2HPO_4-di-Potassium hydrogenophosphate)
16. แมงกานีส ซัลเฟตไดไฮเดรต($MnSO_4 \cdot 2H_2O$ - Manganese (II) sulphate dihydrate)
17. โคบอลต์คลอไรด์ ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$ - Cobalt chloride hexahydrate)
18. เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – Ferrous sulfate heptahydrate)
19. เอททิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกเอซิด (EDTA - Ethylene diamine tetraacetic acid)
20. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4 - Sulfuric acid)
21. กลูโคส D (-) Glucose anhydrous
22. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$ - Potassiumdicromate)
23. Ferroin indicator (O-phenanthrolineferrous complex)
24. เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$ - Ferroussulphate)
25. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH - Sodiumhydroxide)
26. แบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$- Bariumchloride)
27. ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein)
28. กรดไฮโดรคลอริก (HCl- Hydrochloric acid)
29. น้ำกลั่น (Distill water)

วิธีการ

1. การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่มีศักยภาพในการผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์

1.1 การเพาะเลี้ยงเซลล์สาหร่ายในอาหารเหลว

ตัวอย่างสาหร่ายที่ศึกษานำมาจากคลังเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่าย ศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ภาพที่ 1 จำนวน 60 สายพันธุ์ จาก 2 สกุลได้แก่ *Nostoc* จำนวน 51 สายพันธุ์และ *Anabaena* จำนวน 9 สายพันธุ์ (ตารางที่ 4)

นำเซลล์สาหร่าย สกุล *Nostoc* และ *Anabaena* ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้รวมทั้งหมด 60 สายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 10 กรัม (น้ำหนักสด) เพาะเลี้ยงในอาหารที่ปราศจากแหล่งไนโตรเจน สูตร BGA (Antarikanonda, 1980) โดยเลี้ยงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตรอาหาร 200 มิลลิลิตร บนเครื่องเขย่า บ่มภายใต้แสงฟลูออเรสเซ็นต์ (cool-white fluorescent) ที่ความเข้ม

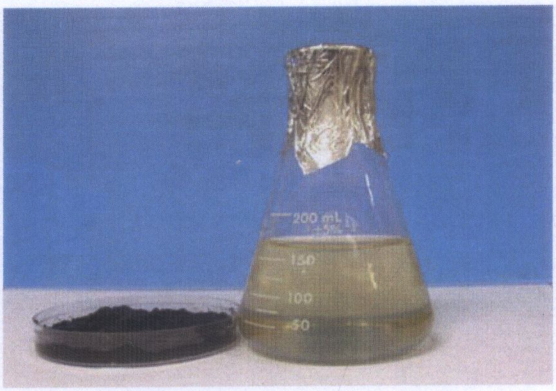
แสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำเป็นเวลา 21 วัน (ระยะ stationary phase) ภาพที่ 2 แล้วนำมาสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์จากเซลล์สาหร่ายและอาหารเพาะเลี้ยง

1.2 การสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์

แยกเซลล์สาหร่ายออกจากอาหารเพาะเลี้ยงโดยการนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge, Sorvall รุ่น SS-33) ที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที ล้างเซลล์ให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น นำไปชั่งน้ำหนักสดและจดบันทึกไว้ ส่วนอาหารเพาะเลี้ยงนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman (GF/C) อีกครั้ง ภาพที่ 3 แล้วนำมาลดปริมาตรลงด้วยเครื่องระเหยแห้งแบบลดความดัน (Buchi รุ่น R-124) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้เหลือปริมาตรประมาณ 5 มิลลิลิตร แล้วนำเซลล์สาหร่ายและอาหารเพาะเลี้ยงไประเหิดแห้งด้วยเครื่อง freeze drier (Edwards รุ่น EF 03) ภาพที่ 4 ต่อจากนั้นนำไปสกัดด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสโดยใช้น้ำร้อน 100 มิลลิลิตรต่อกรัมของเซลล์สาหร่ายแห้งและอาหารเพาะเลี้ยงแห้ง ทำการสกัดซ้ำ 2 ครั้ง โดยใช้เวลาในการสกัด 3 และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ กวนตลอดเวลาที่สกัดแล้วกรองสารละลายผ่านกระดาษกรอง GF/C ภาพที่ 5 นำสารละลายที่ได้จากทั้งการสกัดจากเซลล์สาหร่ายแห้งและอาหารเพาะเลี้ยงแห้งมาหาปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยวิธี Phenol-sulfuric acid (Dubois *et al*., 1956) โดยใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นสารมาตรฐาน เพื่อแสดงปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่สาหร่ายผลิตขึ้น โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในการตรวจวัด ภาพที่ 6

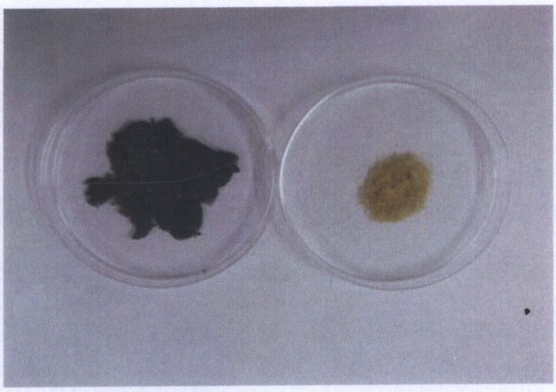
ภาพที่ 1 ตู้เก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่าย จากคลังเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่าย ศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

ภาพที่ 2 การเพาะเลี้ยงสายพันธุ์สาหร่ายในอาหารเหลวในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร



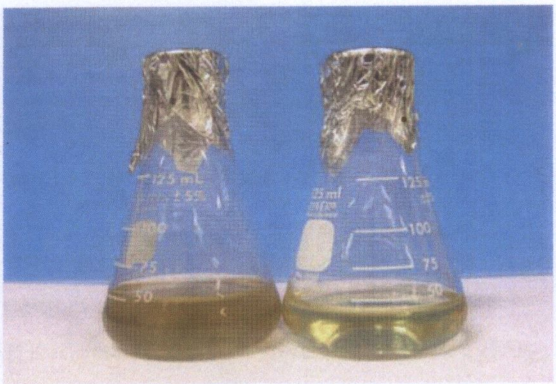
(ก) (ข)

ภาพที่ 3 เซลล์สาหร่ายสด (ก) และอาหารเพาะเลี้ยง (ข) ที่นำไปสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์



(ก) (ข)

ภาพที่ 4 เซลล์สาหร่าย (ก) และอาหารเพาะเลี้ยง (ข) หลังจากที่นำไประเหิดแห้งแล้ว



(ก) (ข)

ภาพที่ 5 สารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดจากเซลล์สาหร่าย (ก) และสกัดจากอาหารเพาะเลี้ยง (ข)

ภาพที่ 6 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลกลูโคส (Dubois *et al.*, 1956)

1.3 การคัดเลือกสายพันธุ์

เลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่มีศักยภาพในการผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์เพื่อใช้ปรับโครงสร้างของดิน โดยพิจารณาจากปริมาณชีวมวลสดของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นและปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์จากทั้งเซลล์สาหร่ายและอาหารเพาะเลี้ยงที่แต่ละสายพันธุ์ผลิตได้ โดยคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่าย 4 สายพันธุ์ที่ให้ผลดีที่สุด

2. การผลิตชีวมวล

2.1 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารเหลว ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกในอาหารเหลวจำนวน 2 ชุด

1) ชุดที่ 1 เพาะเลี้ยงเพื่อเก็บเซลล์ของสาหร่ายที่ยังมีชีวิตอยู่

นำเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกที่มีประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับโครงสร้างของดินมาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว โดยเลี้ยงในขวดคาร์บอยในอัตราส่วนเซลล์สาหร่าย 12 กรัม (น้ำหนักสด) ต่ออาหารเพาะเลี้ยง 1,000 มิลลิลิตร (Zulpa *et al.*, 1997) บ่มภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ (cool-white fluorescent) ที่ความเข้มแสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งพ่นอากาศผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ด้วยอัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที ภาพที่ 7 เก็บเซลล์สาหร่ายในระยะ exponential phase แยกตัวเซลล์ออกจากอาหารเพาะเลี้ยงโดยการนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge, Sorvall รุ่น SS-33) ที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที

2) ชุดที่ 2 เพาะเลี้ยงเพื่อนำมาสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์

นำเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกที่มีประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับโครงสร้างของดินมาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว โดยเลี้ยงในขวดคาร์บอยในอัตราส่วนเซลล์สาหร่าย 30 กรัม (น้ำหนักสด) ต่ออาหารเพาะเลี้ยง 1,000 มิลลิลิตร (Zulpa *et al.*, 1997) บ่มภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ (cool-white fluorescent) ที่ความเข้มแสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งพ่นอากาศผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ด้วยอัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที ภาพที่ 7 ทำการสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ในอาหารเพาะเลี้ยง ในระยะ stationary phase โดยการนำอาหารเพาะเลี้ยงที่สาหร่ายหลั่งสารพอลิแซ็กคาไรด์ออกมาไปลดปริมาตรลงด้วยเครื่องระเหยแห้งแบบลดความดัน (Buchi รุ่น R-124) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้ปริมาตรสุดท้ายของอาหารเพาะเลี้ยงลดลง 5 เท่าจากอาหารเพาะเลี้ยงเดิม

ภาพที่ 7 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกในอาหารเหลวในขวดคาร์บอย สำหรับการเพาะเลี้ยงเพื่อเก็บเซลล์ของสาหร่ายที่มีชีวิต และสำหรับเพาะเลี้ยงเพื่อนำมาสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์

3. การเตรียมตัวอย่างดิน

ดินที่เก็บมาทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่ายโดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมชีวมวลสดและการเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย มี 2 ชนิด ได้แก่ ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ จังหวัดร้อยเอ็ด และดินสวนจากสถานีวิจัยลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา นำตัวอย่างดินไปกรองผ่านตะแกรงร่อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 2 มิลลิเมตร

4. การทดสอบประสิทธิภาพการปรับโครงสร้างของดิน

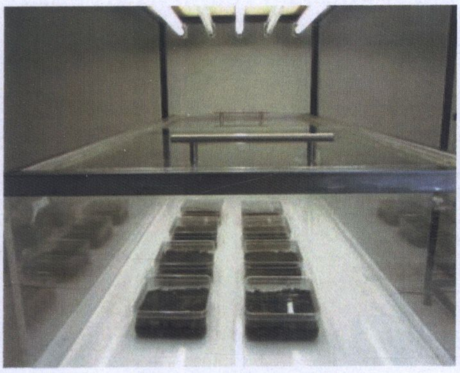
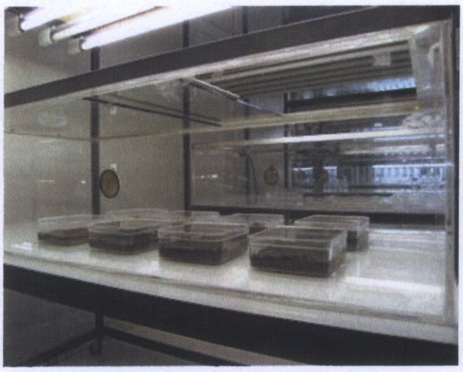
แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลองเพื่อดูประสิทธิภาพการปรับโครงสร้างของดิน ได้แก่

4.1 ชุดการทดลองที่เติมชีวมวลสดของสาหร่าย

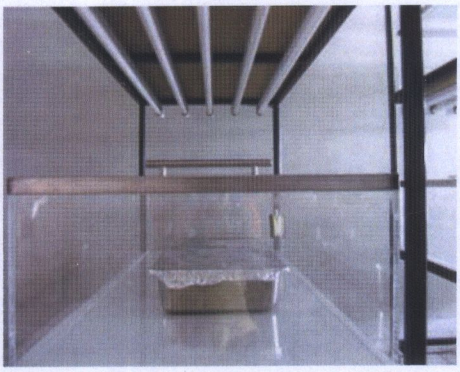
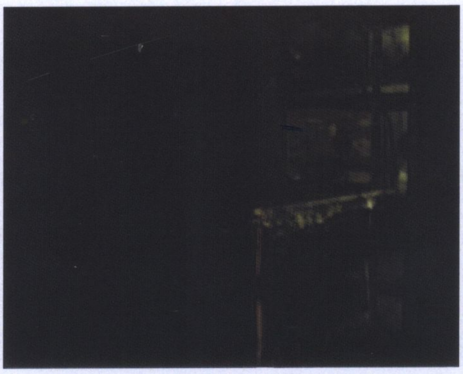
ตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ทั้ง 2 ชนิด ตัวอย่างละ 250 กรัมใส่ลงในกล่องพลาสติกขนาด 13x13x4.5 เซนติเมตร จำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำทำให้ชุ่มด้วยน้ำกลั่น นำชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกแต่ละสายพันธุ์ในปริมาณ 10 กรัมโรยลงไปที่ผิวหน้าดิน และมีกล่องควบคุมโดยไม่โรยด้วยสาหร่ายจำนวน 3 กล่อง นำกล่องไปตั้งไว้ใต้แสงสว่างที่ความเข้มข้น 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที และที่อุณหภูมิ 28 ±1 องศาเซลเซียส (Zulpa *et al.*, 1997) เป็นเวลา 2 เดือน ควบคุมความชื้นโดยการปิดฝากล่องพลาสติก ภาพที่ 8

4.2 ชุดการทดลองที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดมาจากสาหร่าย

ตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ทั้ง 2 ชนิด ตัวอย่างละ250 กรัมใส่ลงในกล่องพลาสติกขนาด 13 x 13 x 4.5 เซนติเมตร จำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ทำให้ชุ่มด้วยน้ำกลั่น นำสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดมาจากสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือกแต่ละสายพันธุ์ในปริมาณ 32 มิลลิลิตรผสมกับดิน ต่อจากนั้นนำกล่องไปตั้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิ 28 ±1 องศาเซลเซียส (Zulpa *et al.*, 1997) เป็นเวลา 2 เดือน ควบคุมความชื้นโดยการปิดฝากล่องพลาสติก ภาพที่ 9

ภาพที่ 8 กล่องทดลองที่ตั้งไว้ใต้แสงสว่างที่ความเข้มแสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 28 ±1 องศาเซลเซียส สำหรับชุดการทดลองที่ 1 เติมชีวมวลสดของสาหร่าย

ภาพที่ 9 กล่องทดลองที่ตั้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิ 28 ±1 องศาเซลเซียส สำหรับชุดการทดลองที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดมาจากสาหร่าย

5. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

5.1 วิเคราะห์สมบัติกายภาพ เคมี และธาตุอาหารพืชในดิน

เพื่อให้ทราบถึงสมบัติกายภาพ เคมี และธาตุอาหารพืชในดินก่อนที่จะนำไปทดสอบประสิทธิภาพการปรับโครงสร้างของดินเพราะสมบัติดังกล่าวนี้จะมีผลต่อปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง คุณสมบัติของดินที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่

1) สมบัติกายภาพของดิน ได้แก่ เนื้อดิน (soil texture) ประกอบด้วย ร้อยละของขนาดอนุภาคทราย (sand) ขนาดอนุภาคทรายแป้ง (silt) และขนาดอนุภาคดินเหนียว (clay)

2) สมบัติเคมีของดิน ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ค่าปฏิกิริยาดิน (pH)ค่าการนำไฟฟ้า(Electrical Conductivity-EC) และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity-CEC)

3) ธาตุอาหารพืชในดิน ได้แก่ ไนโตรเจน (nitrogen) ฟอสฟอรัส (phosphorus) โพแทสเซียม (potassium) แคลเซียม (calcium) แมกนีเซียม (magnesium) กำมะถัน (sulphur) คลอรีน (chloride) และโซเดียม (sodium)

5.2 วิเคราะห์ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงในดินตัวอย่าง

เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของแต่ละชุดการทดลองที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดิน จึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงในดินตัวอย่าง ดังนี้

1) ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) โดยวิธี Walkley and Black (Nelson and Sommers, 1996)

2) กิจกรรมของจุลินทรีย์ (microbial activities) โดยวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน (Carbon dioxide evolution) (ธงชัย, 2535)

3) ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ (water-stable aggregate) โดยวิธี Wet sifting (Grieve, 1979)

4) ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) โดยวิธี Core Method (Blake and Hartge, 1986a)

5) ความหนาแน่นอนุภาคของดิน (particle density) โดยวิธี Pycnometer method (Blake and Hartge, 1986b)

6) ความพรุนรวมทั้งหมดของดิน (total porosity) (Culley, 1993)

6. การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

การศึกษาถึงอิทธิพลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่าย ระหว่างชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย ศึกษาในดิน 2 ชนิด คือ ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ จังหวัดร้อยเอ็ด และดินสวนจากลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized experimental design-CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยข้อมูลระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองของ

แต่ละชุดการทดลองด้วยวิธี T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS version 11 เพื่อเสนอเป็นผลการศึกษาต่อไป

7. สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

ทำการทดลอง ณ ศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี และ ส่วนวิจัยกายภาพดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน

8. ระยะเวลาการศึกษา

ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2549 ถึง มิถุนายน 2550

ผลและวิจารณ์

1. ผลการคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่มีศักยภาพในการผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์เพื่อนำไปใช้ปรับโครงสร้างของดิน

1.1 ปริมาณชีวมวลสดของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้น

จากการทดลองนำสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 10 กรัม (น้ำหนักสด) เพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร BGA เป็นเวลา 21 วัน โดยเลี้ยงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตรอาหาร 200 มิลลิลิตรบนเครื่องเขย่า บ่มภายใต้แสงฟลูออเรสเซ็นต์ (cool - white fluorescent) ที่ความเข้มแสง 60 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายที่แตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ ดังตารางที่ 5 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 โดยมีปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่ม 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

1.2 ปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้

เมื่อนำสาหร่ายทั้ง 60 สายพันธุ์มาสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งจากเซลล์สาหร่ายและอาหารเพาะเลี้ยง พบว่าสาหร่ายในแต่ละสายพันธุ์ให้ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่แตกต่างกัน ตารางที่ 5 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 โดยมีปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์รวมผลิตได้ 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

1.3 การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่าย

การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายเพื่อนำมาปรับโครงสร้างของดินโดยพิจารณาจากปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่แต่ละสายพันธุ์ผลิตได้ จากข้อที่ 1.1 และตารางที่ 5 จะเห็นว่าสายพันธุ์สาหร่ายที่มีการเพิ่มปริมาณชีวมวลสดที่สูงกว่าชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัดมีอยู่ 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 และจาก 1.1 และตารางที่ 5 จะเห็นว่าสายพันธุ์สาหร่ายที่มีการผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่มีปริมาณมากกว่าชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัดมีอยู่ 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 จะได้สายพันธุ์สาหร่ายคัดเลือกออกมาจำนวน 4 สายพันธุ์เพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการปรับโครงสร้างของดิน คือ *Nostoc sp.* TISTR 8290, *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc sp.* TISTR 8873

ตารางที่ 5 ปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้ของสาหร่ายทั้ง 60 สายพันธุ์

ลำดับที่	สาหร่าย	ปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส* (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

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลำดับที่	สาหร่าย	ปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส* (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)		
			เซลล์สาหร่าย	อาหารเพาะเลี้ยง	รวม
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
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

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลำดับที่	สาหร่าย	ปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส* (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)		
			เซลล์สาหร่าย	อาหารเพาะเลี้ยง	รวม
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

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลำดับที่	สาหร่าย	ปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส* (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)		
			เซลล์สาหร่าย	อาหารเพาะเลี้ยง	รวม
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
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

หมายเหตุ * ปริมาณน้ำตาลกลูโคสใช้เป็นสารมาตรฐานเพื่อบอกถึงปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สาหร่ายผลิตได้

2. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ จังหวัดร้อยเอ็ดและดินสวนจากสถานีวิจัยลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา แล้วนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และธาตุอาหารพืชในดิน ได้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สมบัติบางประการของดินที่นำมาศึกษาก่อนใส่ชีวมวลสดของสาหร่ายและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย

คุณสมบัติดิน	ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้	ดินสวนจากลำตะคอง
คุณสมบัติทางด้านกายภาพ		
1. 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
คุณสมบัติทางด้านเคมี		
1. ค่าปฏิกิริยาดิน (pH)	4.8	7.6
2. ค่าการนำไฟฟ้า (mmho/cm) (Electrical Conductivity - EC)	0.048	0.104
3. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (me-100g) (Cation Exchange Capacity - CEC)	3.1	10.9
ธาตุอาหารพืชในดิน		
1. ไนโตรเจน (Nitrogen) (%)	0.027	0.109
2. ฟอสฟอรัส (Phosphorus) (ppm)	9.0	653.0
3. โพแทสเซียม (Potassium) (ppm)	47.0	334.0
4. แคลเซียม (Calcium) (ppm)	129.0	1921.0
5. แมกนีเซียม (Magnesium) (ppm)	29.0	382.0
6. กำมะถัน (Sulphur) (ppm)	7.0	trace
7. คลอรีน (Chloride) (ppm)	106.5	53.3
8. โซเดียม (Sodium) (ppm)	96.0	202.0

จากตารางที่ 6 จะพบว่าดินทั้ง 2 ชนิดมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) โดยดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้มีปริมาณอนุภาคขนาดดินทราย 59.6 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอนุภาคขนาดดินทรายแป้ง 32.2 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว 8.2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับดินสวนจากลำตะคองมีปริมาณอนุภาคขนาดดินทราย 53.6 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอนุภาคขนาดดินทรายแป้ง 28.2 เปอร์เซ็นต์และปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว 18.2 เปอร์เซ็นต์ จากเนื้อดินที่เป็นดินร่วนปนทรายซึ่งจัดอยู่ในประเภทกลุ่มดินเนื้อหยาบ (coarse-textured soils) ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยเป็นอนุภาคดินที่ไม่มีประจุ ซึ่งลักษณะดินเช่นนี้มักเป็นดินที่ไม่มีโครงสร้างหรืออาจมีบ้างที่มีโครงสร้างแต่ก็จะเป็นโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง ซึ่งเมื่อถูกไถพรวนหรือแรงปะทะของน้ำก็กลายเป็นไม่มีโครงสร้าง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ค่าปฏิกิริยาดินพบว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้มีความเป็นกรดจัดมาก (very strongly acid) (pH=4.8) สำหรับดินสวนจากลำตะคองจัดว่ามีความเป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline) (pH=7.6) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity - EC) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้และดินสวนจากลำตะคองมีค่าการนำไฟฟ้า 0.048 และ 0.104 mmho/cm ตามลำดับ

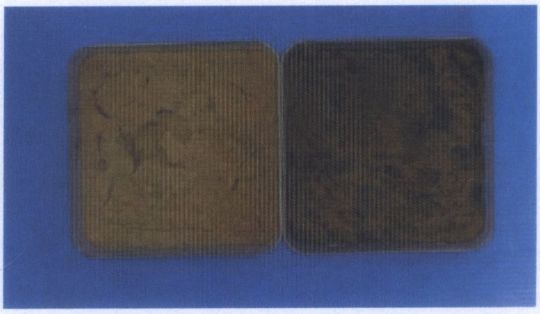
ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation Exchange Capacity - CEC) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้และดินสวนจากลำตะคองมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 3.1 และ 10.9 me-100 g ตามลำดับ ซึ่งค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนนี้มีอิทธิพลต่อความร่วนซุย ความเหนียวของดิน การเกาะกลุ่มของคอลลอยด์ และการสร้างเม็ดดินด้วย (ไพบูลย์, 2528)

ธาตุอาหารพืชในดินจากตารางจะพบว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้มีปริมาณธาตุอาหารพืชในดิน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมน้อยกว่าดินสวนจากลำตะคอง แต่สำหรับกำมะถัน และคลอรีนมีปริมาณมากกว่า

3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการปรับโครงสร้างของดิน

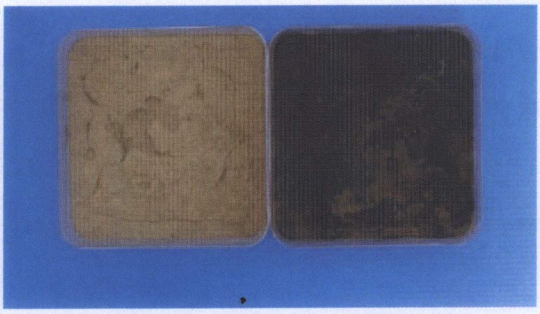
การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่ายระหว่างชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย ศึกษาในดิน 2 ชนิด คือ ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ และดินสวนจากลำตะคอง นำมาศึกษาในสาหร่ายคัดเลือก 4 สายพันธุ์ที่พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณชีวมวลอย่างรวดเร็วและผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์ในปริมาณสูง 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 ภาพที่ 10-13 พบว่าทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีค่าของปัจจัยต่างๆ ทั้ง 6 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ กิจกรรมจุลินทรีย์ ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ ความหนาแน่นรวมของดิน ความหนาแน่นของอนุภาคดิน และความพรุนรวมของดิน ซึ่งให้ผลที่แตกต่างกัน ดังนี้

(ก)



(ข)

(ค)



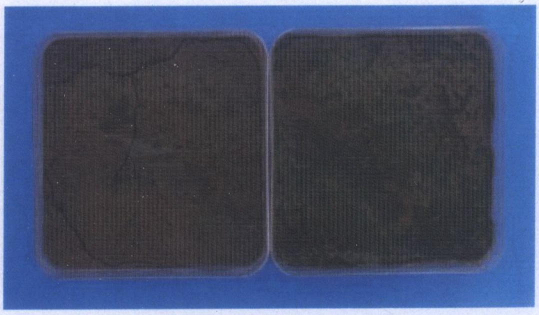
(ง)

ภาพที่ 10 เปรียบเทียบระหว่างกล่องควบคุม (ซ้าย) และกล่องที่เติมด้วยสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก (ขวา) ได้แก่ สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290 (ก), *Nostoc muscorum* TISTR 9054 (ข), *Nostoc muscorum* TISTR 8871 (ค) และ *Nostoc sp.* TISTR 8873 (ง) ในดินนา

จากทุ่งกุลาร้องไห้ เป็นเวลา 2 เดือน (พบว่ากล่องควบคุมจะแห้งและเกิดการแตกระแหงที่หน้าผิวดิน แต่กล่องที่เติมด้วยสาหร่ายจะไม่มีการแตกระแหงที่หน้าผิวดินเพราะสาหร่ายช่วยรักษาความชื้นให้ดิน)

(ก)

(ข)

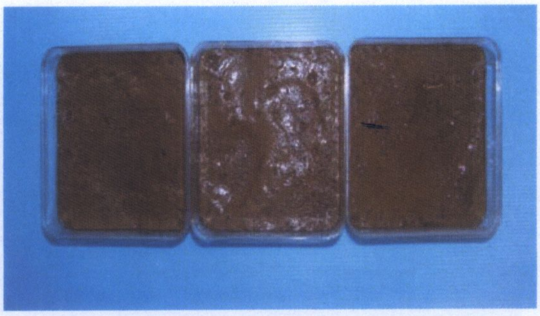


(ค)

(ง)

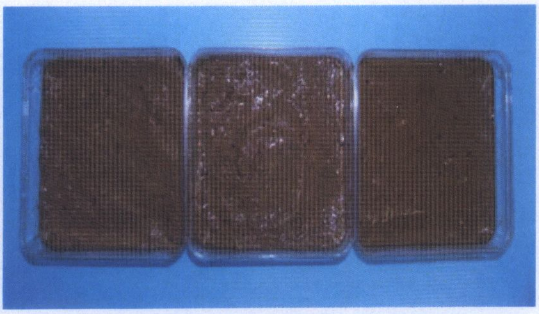
ภาพที่ 11 เปรียบเทียบระหว่างกล่องควบคุม (ซ้าย) และกล่องที่เติมด้วยสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก (ขวา) ได้แก่ สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290 (ก), *Nostoc muscorum* TISTR 9054 (ข), *Nostoc muscorum* TISTR 8871 (ค) และ *Nostoc sp.* TISTR 8873 (ง) ในดินสวนจากลำตะคอง เป็นเวลา 2 เดือน (พบว่ากล่องควบคุมจะแห้งและเกิดการแตกระแหงที่หน้าผิวดิน แต่กล่องที่เติมด้วยสาหร่ายจะไม่มีการแตกระแหงที่หน้าผิวดินเพราะสาหร่ายช่วยรักษาความชื้นให้ดิน)

(ก)



(ข)

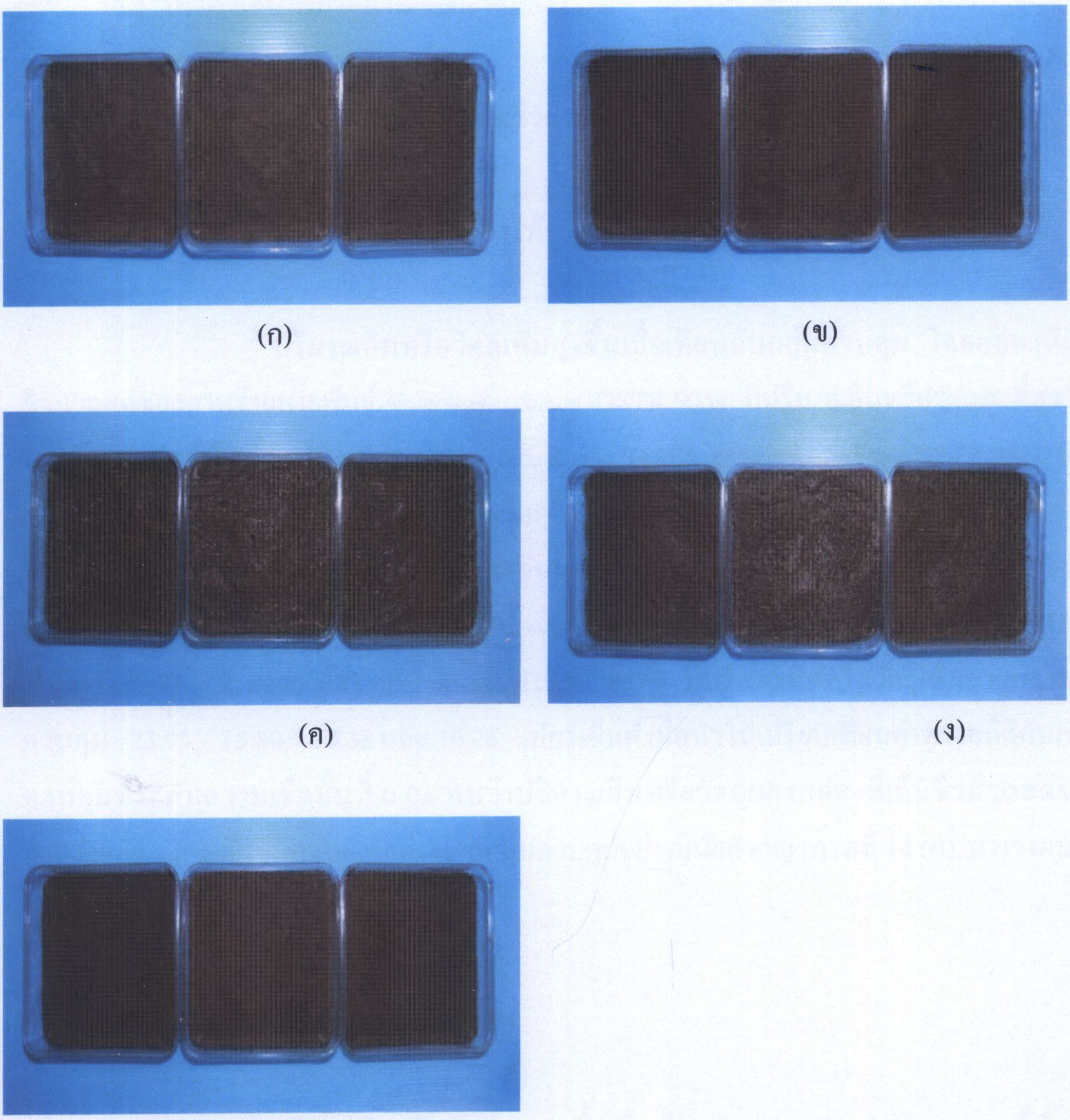
(ค)



(ง)

(จ)

ภาพที่ 12 เปรียบเทียบระหว่างกล่องควบคุม (ก) และกล่องที่เติมด้วยสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก ได้แก่ สารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายจากสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290 (ข), *Nostoc muscorum* TISTR 9054 (ค), *Nostoc muscorum* TISTR 8871 (ง) และ *Nostoc sp.* TISTR 8873 (จ) ในดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ เป็นเวลา 2 เดือน (พบว่ากล่องควบคุมหน้าผิวดินจะแห้ง แต่กล่องที่เติมด้วยสารพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายที่หน้าผิวดินจะมีความชุ่มชื้น)



ภาพที่ 13 เปรียบเทียบระหว่างกล่องควบคุม (ก) และกล่องที่เติมด้วยสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก ได้แก่สารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายจากสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290 (ข), *Nostoc muscorum* TISTR 9054 (ค), *Nostoc muscorum* TISTR 8871 (ง) และ *Nostoc sp.* TISTR 8873 (จ) ในดินสวนจากลำตะคอง เป็นเวลา 2 เดือน (พบว่ากล่องควบคุมหน้าผิวดินจะแห้ง แต่กล่องที่เติมด้วยสารพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายที่หน้าผิวดินจะมีความชุ่มชื้น)

3.1 ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter)

3.1.1 ชุดการทดลองที่ 1 ชุดเติมชีวมวลสดของสาหร่าย

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 มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม 23.93, 18.80, 15.38 และ 10.26 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบค่าทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 14 (ก), ตารางผนวกที่ ค 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 มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม 39.58, 28.33, 26.67 และ 18.33 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุของกล่องดินที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 14 (ข), ตารางผนวกที่ ค 1)

3.1.2 ชุดการทดลองที่ 2 ชุดเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย

1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

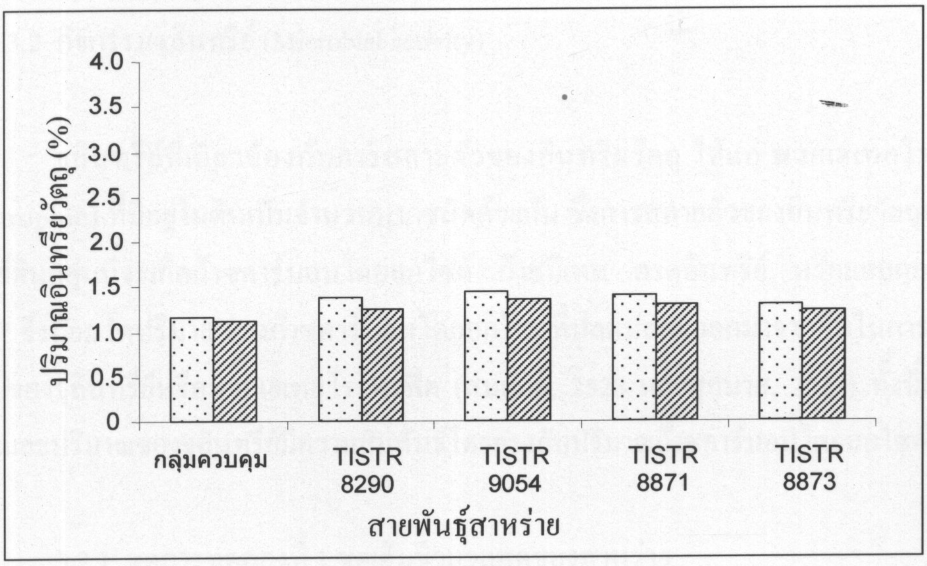
ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด คือ 1.36±0.03 เปอร์เซ็นต์รองลงมา คือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณอินทรียวัตถุ 1.28±0.04, 1.25±0.04 และ 1.22±0.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณอินทรียวัตถุ 1.12±0.03 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม 21.43, 14.29, 11.61 และ 8.93 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบค่าทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุของกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscoru*m TISTR 8871 และ *Nostoc* sp. TISTR 8290 มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 14 (ก), ตารางผนวกที่ ค 1)

2) ดินสวนจากลำตะคอง

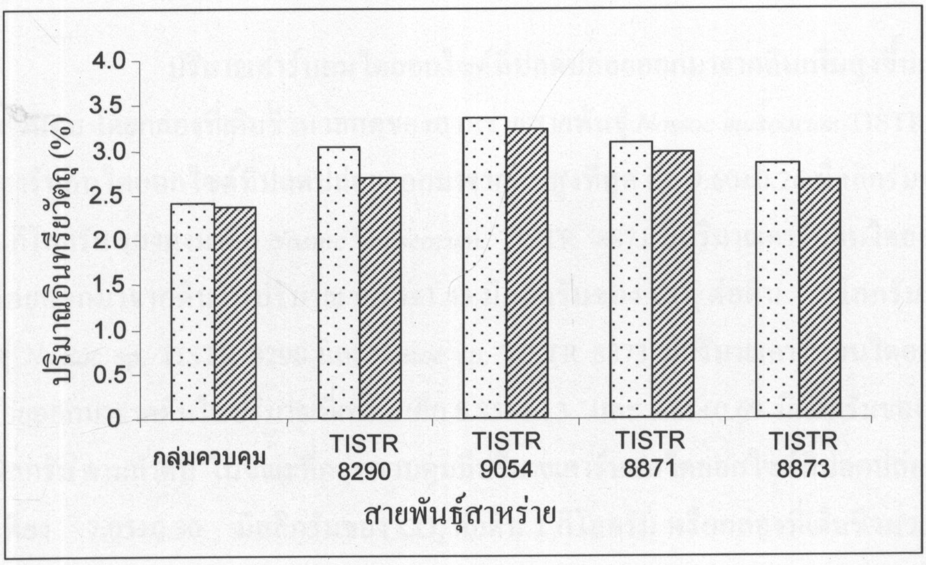
ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด คือ 3.22±0.03 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณอินทรียวัตถุ 2.97±0.09, 2.68±0.45 และ 2.65±0.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณอินทรียวัตถุ 2.36±0.01 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม 36.44, 25.85, 13.56 และ 12.29 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุของกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc*

muscorum TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871 มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 14 (ข), ตารางผนวกที่ ค 1)

จากผลการทดลองจะพบว่าชุดการทดลองทั้ง 2 มีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Zulpa *et al.* (1997) ทำการทดลองโดยการเติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* หว่านลงไปบนผิวหน้าดินและนำไปตั้งไว้ภายใต้แสงสว่างที่ความเข้มข้น 45 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที และที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานถึง 12 เดือน พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม 11 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การทดลองนี้ปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่ากลุ่มควบคุม 12-36 เปอร์เซ็นต์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากชีวมวลสดของสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ที่เติมลงไป จะมีบางส่วนที่ตายลงและเกิดการย่อยสลายไปและบางส่วนที่มีชีวิตเหลืออยู่และมีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนต่อไป ซึ่งมีส่วนที่ช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน จะเห็นว่าการทดลองนี้มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นมากกว่าการทดลองของ Zulpa *et al.* (1997) ทั้งๆ ที่มีการใช้สาหร่ายสายพันธุ์เดียวกันด้วย คือ *Nostoc muscorum* ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองต่างกันถึง 10 เดือน สำหรับชุดที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ลงไปในดินทั้ง 2 ชนิด พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุจะเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุมเนื่องจากการเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ลงไปในดินและนอกจากนี้ยังมีพอลิเมอร์ที่ผลิตโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่อาศัยอยู่ในดินอีกด้วย ซึ่งสารเหล่านี้มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน อย่างไรก็ตามพบว่าการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุของดินในชุดการทดลองที่ 1 เติมชีวมวลสดของสาหร่าย จะมากกว่าชุดการทดลองที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย เนื่องจากในชุดการทดลองที่ 1 มีเซลล์ของสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ซึ่งมีสารพอลิแซ็กคาไรด์ห่อหุ้มรวมอยู่ด้วยซึ่งมีทั้งส่วนที่ตายลงและย่อยสลายไปกลายเป็นอินทรียวัตถุและส่วนที่มีชีวิตเหลืออยู่ซึ่งเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนต่อไปนอกจากนี้ยังมีสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่แต่ละสายพันธุ์ที่ยังคงมีชีวิตผลิตออกมาอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุของชุดการทดลองที่ 1 มากกว่าชุดการทดลองที่ 2



(ก)



(ข)

ชีวมวลสด
สารพอลิแซ็กคาไรด์

ภาพที่ 14 ปริมาณอินทรียวัตถุของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ (ก) และดินสวนจากลำตะคอง (ข)

3.2 กิจกรรมจุลินทรีย์ (Microbial activity)

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของอินทรียวัตถุ ได้แก่ พวกเฮเทอโรโทรฟิค (heterotrophic) ที่มีอยู่ในดินเป็นจำนวนมากชนิดด้วยกัน ซึ่งการสลายตัวของอินทรียวัตถุจาก จุลินทรีย์ดินกลุ่มนี้จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน กรดอินทรีย์ หรือแอลกอฮอล์ตาม ออกมา จึงนิยมวัดปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินในการประเมิน กิจกรรมของจุลินทรีย์หรือพวกเฮเทอโรโทรฟิค (สมศักดิ์, 2528 และศุภมาศ, 2529) ทั้งนี้เนื่องจาก กิจกรรมและปริมาณของจุลินทรีย์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้

3.2.1 ชุดการทดลองที่ 1 ชุดเติมชีวมวลสดของสาหร่าย

1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินสูงที่สุด คือ 9.60±0.26 มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 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_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพียง 7.05±0.30 มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม 36.17, 31.91, 25.53 และ 25.53 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 และ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 15 (ก), ตารางผนวกที่ ค 2)

2) ดินสวนจากลำตะคอง

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมเช่นเดียวกับดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ โดยสาหร่ายกล่องที่เติมชีวมวลสดของสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากดินสูงที่สุด คือ 20.97±0.54 มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 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_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม 71.18, 65.55, 49.39 และ 37.96 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 15 (ข), ตารางผนวกที่ ค 2)

3.2.2 ชุดการทดลองที่ 2 ชุดเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย

1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากดินสูงที่สุด คือ 8.85±0.65 มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 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_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพียง 5.70±0.54 มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือกล่องดินที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871,

Nostoc sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม 55.26, 42.11, 31.58 และ 26.32 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่ากิจกรรมจุลินทรีย์ของกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 15 (ก), ตารางผนวกที่ ค 2)

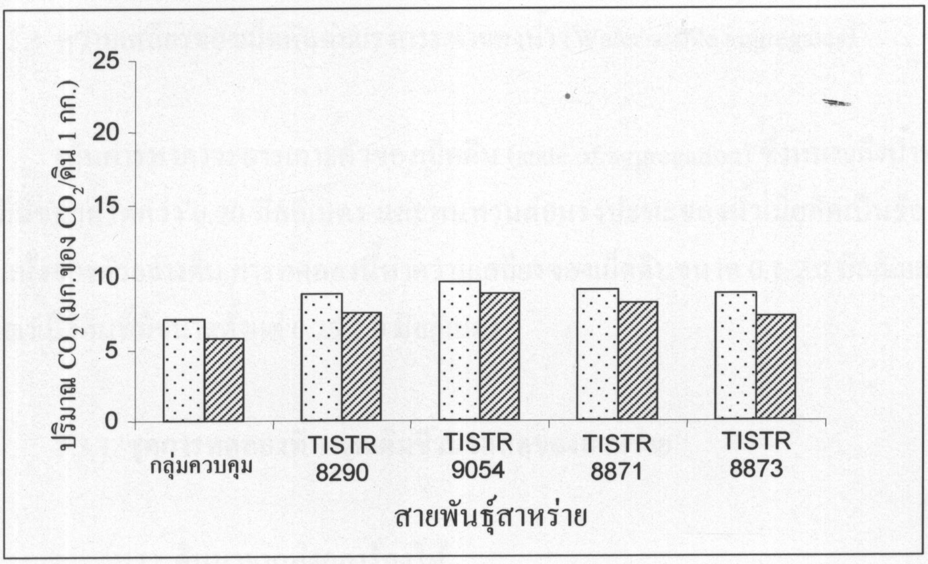
2) ดินสวนจากลำตะคอง

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมเช่นเดียวกับดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ โดยกล่องดินที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากดินสูงที่สุด คือ 23.15±0.71 มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 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_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน 11.50±0.53 มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม 101.30, 86.96, 53.22 และ 41.65 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่ากิจกรรมจุลินทรีย์ของกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 15 (ข), ตารางผนวกที่ ค 2)

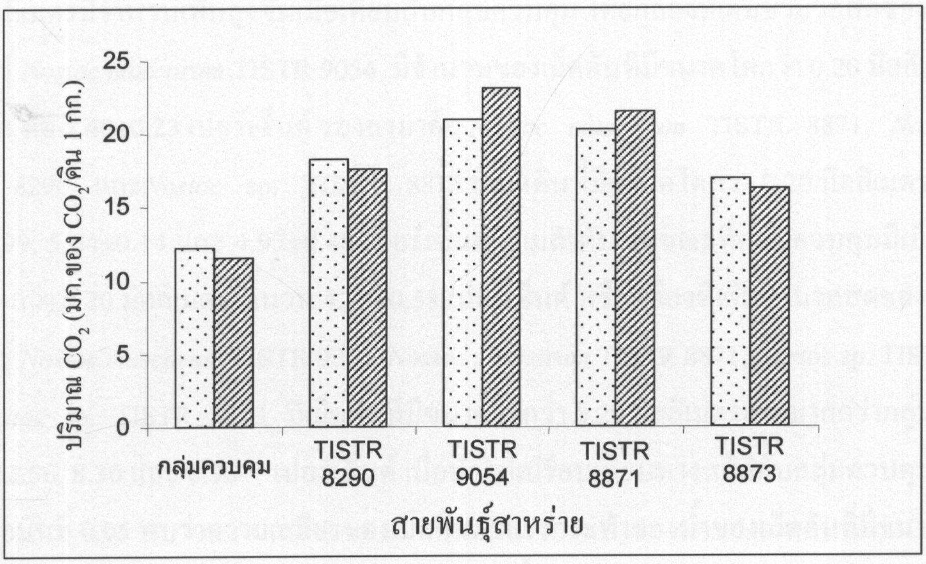
จากผลการทดลองทั้ง 2 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีกิจกรรมของจุลินทรีย์สูงกว่าชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Zulpa *et al.* (1997) ที่ชุดการทดลองที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายลงไปในดินแล้วบ่มไว้เป็นเวลา 6 เดือน จะมีกิจกรรมจุลินทรีย์เพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุมถึง 366 เปอร์เซ็นต์และเพิ่มมากกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 ซึ่งมีกิจกรรมจุลินทรีย์เพิ่มมากกว่ากลุ่มทดลอง 72.89 เปอร์เซ็นต์ (โดยวัดเป็นปริมาณ NH_4 ที่เกิดขึ้น โดยวิธี arginine ammonification) จะเห็นว่าการทดลองของ Zulpa *et al.* (1997) มี

กิจกรรมจุลินทรีย์ที่สูงกว่า ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์ที่ต่างกัน คือ Zulpa *et al.* (1997) ใช้วิธี arginine ammonification เป็นการหาปริมาณ NH_4-· N ที่เกิดขึ้นในดิน ซึ่ง NH_4- N จะถูกปลดปล่อยออกมาจากอินทรียวัตถุโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินและจะสะสมอยู่ในดินซึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ ในอัตราที่สม่ำเสมอโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) แต่การทดลองนี้วัดกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน และเป็นการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในวันที่ 60 ว่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุมหรือไม่ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้กิจกรรมจุลินทรีย์ของการทดลองนี้มีค่าน้อยกว่ากิจกรรมจุลินทรีย์ของการทดลองของ Zulpa *et al.* (1997)

การที่ชุดการทดลองที่ 2 มีกิจกรรมจุลินทรีย์มากกว่าชุดการทดลองที่ 1 เนื่องมาจากองค์ประกอบของสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ที่เติมลงไปในดินส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำตาล 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 สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณของแบคทีเรียได้ดี (สมศักดิ์, 2528) จึงทำให้กิจกรรมจุลินทรีย์ของชุดการทดลองที่ 2 มากกว่าชุดการทดลองที่ 1



(ก)



(ข)

ภาพที่ 15 กิจกรรมจุลินทรีย์ของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ (ก) และดินสวนจากลำตะคอง (ข) โดยวัดเป็นปริมาณ CO_2 ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน

3.3 ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ (Water-stable aggregates)

เป็นการหาภาวะการเกาะตัวของเม็ดดิน (state of aggregation) ซึ่งหมายถึงน้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตร และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งของตัวอย่างดิน การทดลองนี้หาความเสถียรของเม็ดดินขนาด 0.1-2.0 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงพิจารณาเม็ดดินที่มีขนาดตั้งแต่ 0.25-2.0 มิลลิเมตร

3.3.1 ชุดการทดลองที่ 1 ชุดเติมชีวมวลสดของสาหร่าย

1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีจำนวนของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรเพิ่มมากที่สุด คือ 5.40±0.23 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ*Nostoc* sp. TISTR 8873 มีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตร จำนวน 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 มิลลิเมตรเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม 16.04, 12.56, 8.30 และ 6.98 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์แม้จะมีจำนวนเม็ดดินที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 16 , ตารางผนวกที่ ค 3)

2) ดินสวนจากลำตะคอง

ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีจำนวนเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรเพิ่มมาก

ที่สุด 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 มิลลิเมตรเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม 16.13, 12.92, 11.19 และ 10.31 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์แม้จะมีจำนวนเม็ดดินที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 17, ตารางผนวกที่ ค 3)

3.3.2 ชุดการทดลองที่ 2 ชุดเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย

1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีจำนวนเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 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 หรือกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม 55.46, 31.72, 29.62 และ 28.78 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรของกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์แม้จะมีจำนวนเม็ดดินที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 18, ตารางผนวกที่ ค 3)

2) ดินสวนจากลำตะคอง

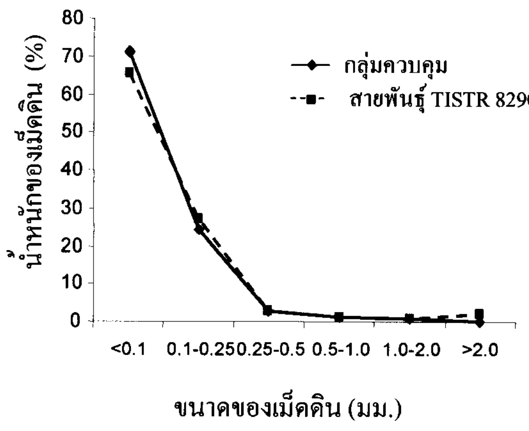
ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีจำนวนเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรเพิ่มมากที่สุด คือ 37.51±4.38 เปอร์เซ็นต์ 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 หรือกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม 75.86, 41.40, 35.82 และ 32.26 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตรของกล่องดินที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 และ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 19, ตารางผนวกที่ ค 3)

จากผลการทดลองจะพบว่าชุดการทดลองทั้ง 2 มีการเพิ่มความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 0.20 มิลลิเมตร ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก การเติมทั้งชีวมวลสดของสาหร่ายและการเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายลงไปในดินเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุซึ่งจะส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในดินซึ่งมีพฤติกรรมย่อยสลายพวกอินทรียวัตถุ เกิดเป็นสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นสารเชื่อม (cementing agent) และได้ฮิวมัส (humus) ซึ่งมีสมบัติเป็นสารเชื่อมเช่นกัน ซึ่งทั้งสารอินทรีย์และฮิวมัสนี้มีประสิทธิภาพสูงในการเกาะยึดหรือรวมตัวกับอนุภาคต่างๆในดิน 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 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก การทดลองชุดที่ 2 มี

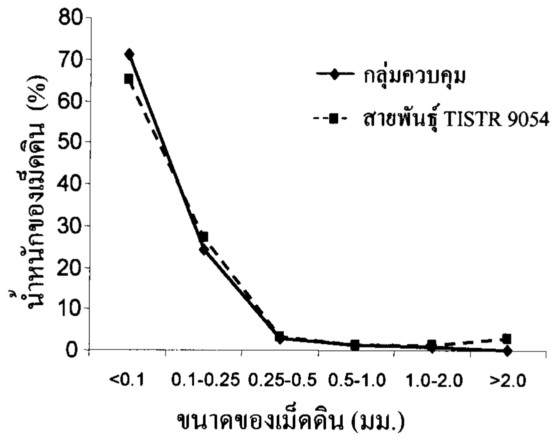
กิจกรรมจุลินทรีย์สูงกว่าจากหัวข้อ 3.2 ซึ่งจะส่งเสริมการสร้างสารเชื่อมอนุภาคดิน และนอกจากนี้การเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายมีความหนืดเหนียว ซึ่งจะช่วยให้ดินเกาะยึดกันกลายเป็นเม็ดดินได้มากขึ้น แต่จากผลการทดลองจะเห็นว่ามีเพียงชุดการทดลองที่ 2 ในดินสวนจากลำตะคอง คือกล่องที่เติมด้วยสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 และ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 เท่านั้นที่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 นอกนั้นไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญเลยที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเวลาที่ใช้ในการทดลองน้อยเกินไปเพราะว่าการปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้นนั้นกระทำได้ยากและต้องใช้เวลานาน (ดุสิต, 2535) และลักษณะของเนื้อดินทั้ง 2 ชนิดที่เป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ซึ่งเป็นดินเนื้อหยาบอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มขนาดทราย (sand) และเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ ส่งผลให้อนุภาคดิน ร่วน ไม่เกาะกันเป็นเม็ดดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ยากต่อการเกาะยึดกันหรือสร้างตัวเป็นเม็ดดินขึ้นมาได้เพียงในระยะเวลาอันสั้น

การทดลองของ Zulpa *et al.* (1997) พบว่าชุดการทดลองที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายซึ่งทำการทดลองถึง 12 เดือน จะเพิ่มจำนวนของเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า 250 ไมโครเมตรมากกว่ากลุ่มควบคุม 66 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายซึ่งทำการทดลองเป็นเวลา 6 เดือนจะเพิ่มจำนวนของเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า 250 ไมโครเมตรมากกว่ากลุ่มควบคุม 12 เท่า ซึ่งให้ผลดีกว่าการทดลองในครั้งนี้ที่เป็นเช่นนี้ อาจเป็นเพราะระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองของ 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 และจากการทดลองของ Falchini *et al* (1996) ทำการทดลองเรื่องผลของ *Nostoc* (Cyanobacteria) ที่มีต่อโครงสร้างและความเสถียรของอนุภาคดินเหนียว ทดลองโดยการเติมสาหร่าย *Nostoc* (Cyanobacteria) สายพันธุ์ AfS49 และ KaS35 ลงบนดินที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วนำไปตั้งไว้ใต้แสงที่ความเข้มข้น 18 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือนควบคุมระดับความชื้นให้คงที่โดยการเติมน้ำกลั่น ก็พบว่าการแตกกระจายของอนุภาคดินขนาดเล็กลดน้อยลงในดินที่เติมด้วยสาหร่าย *Nostoc* (Cyanobacteria) สายพันธุ์ KaS35 แต่กลับเพิ่มขึ้นในดินที่เติมด้วยสาหร่าย *Nostoc* (Cyanobacteria)

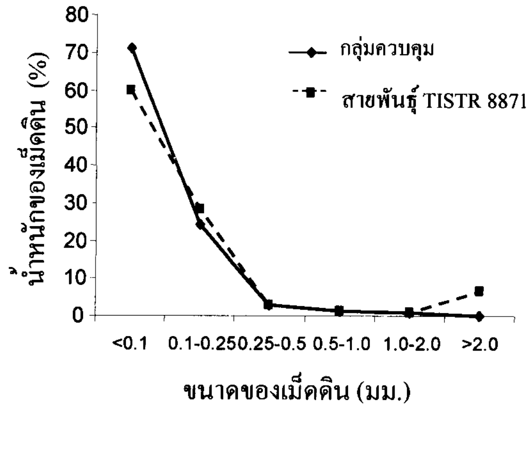
สายพันธุ์ AfS49 จากการที่ การแตกกระจายของอนุภาคดินขนาดเล็กลดน้อยลงในดินที่เติมด้วยสาหร่าย *Nostoc* (Cyanobacteria) สายพันธุ์ KaS35 ซึ่งสัมพันธุ์กับการแพร่กระจายบนพื้นผิวดินซึ่งจะเคลือบอนุภาคดินโดยเยื่อเมือกในขณะที่สายพันธุ์ AfS49 ไม่มีเยื่อเมือกห่อหุ้มไว้ และนี่น่าจะเป็นสาเหตุของการลดลงของการแตกกระจายของเม็ดดินเนื่องจากการกระทำของน้ำ แสดงว่าเยื่อเมือกที่ห่อหุ้มสาหร่ายไว้นี้มีความสำคัญต่อการเกาะยึดกันของเม็ดดิน ซึ่งจะสอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้



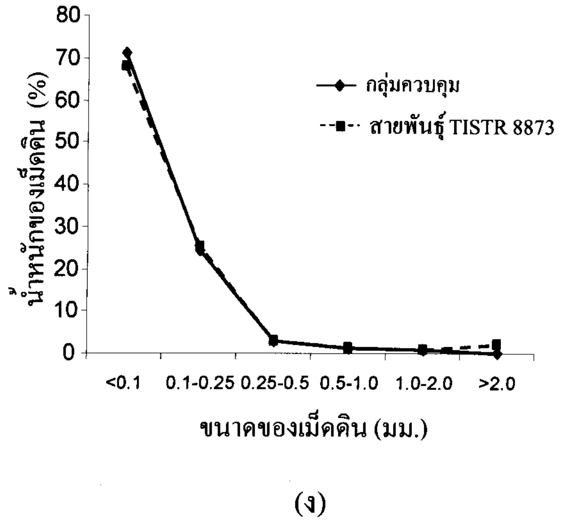
(ก)



(ข)

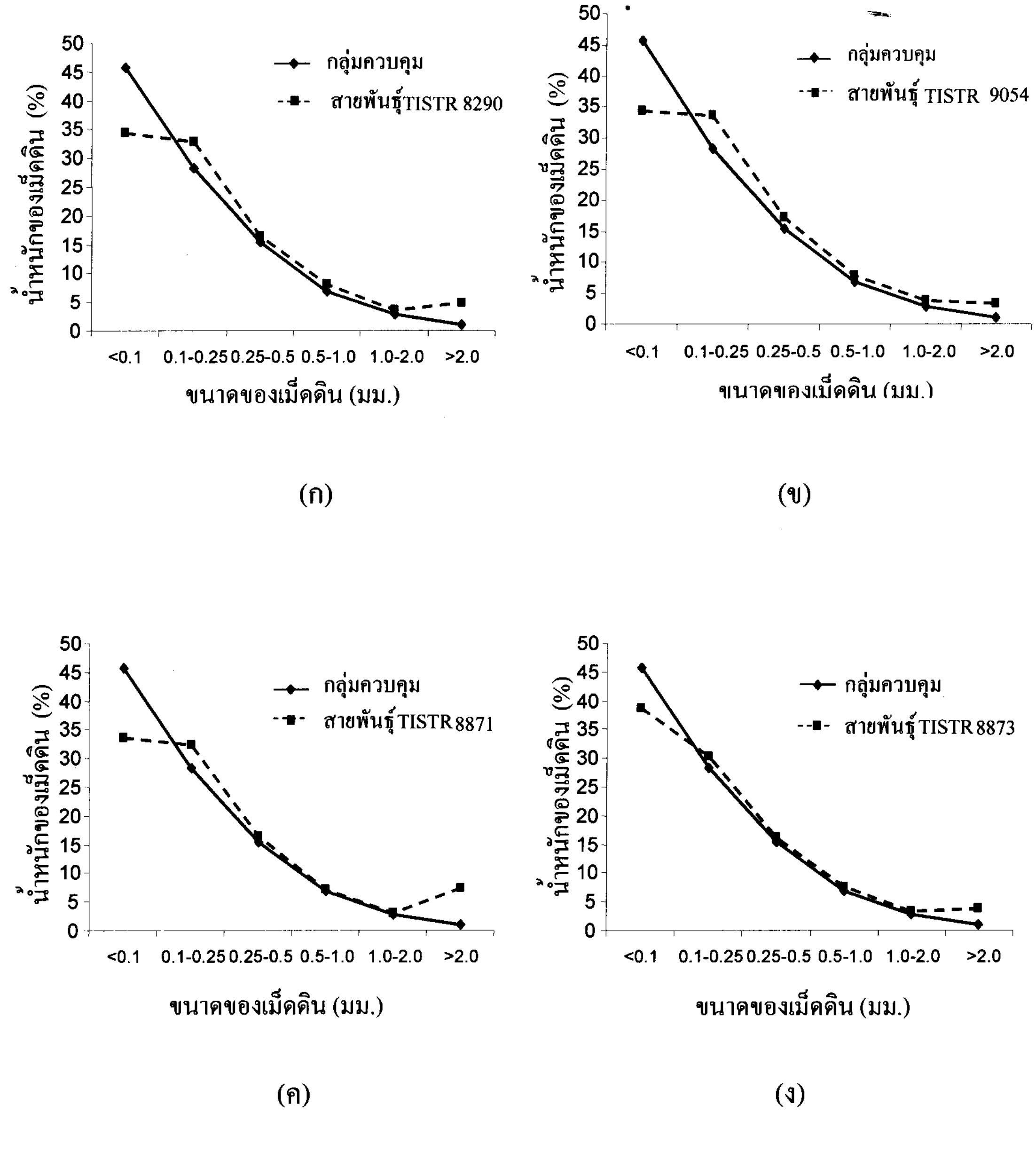


(ค)

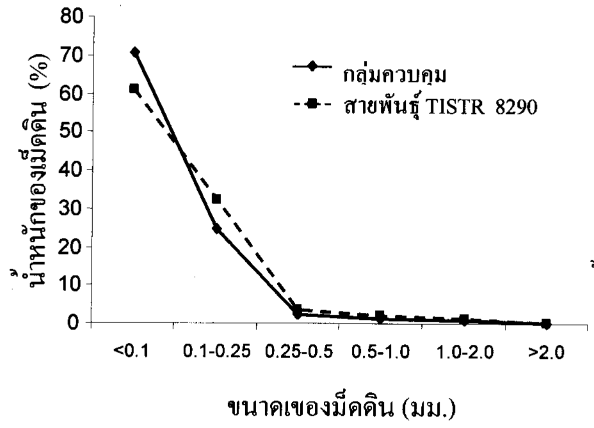


(ง)

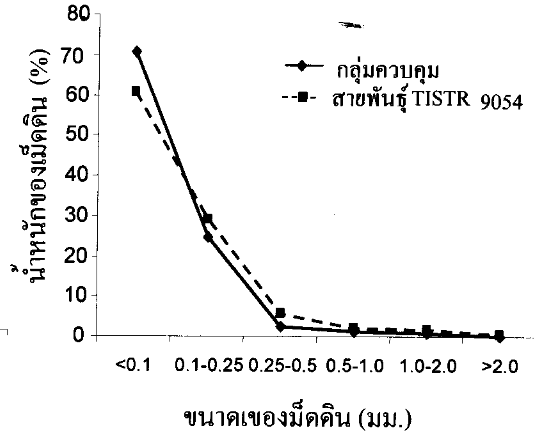
ภาพที่ 16 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก *Nostoc* sp. TISTR 8290 (ก), *Nostoc muscorum.* TISTR 9054 (ข), *Nostoc muscorum* TISTR 8871 (ค) และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 (ง) บ่มไว้ใต้แสง เป็นเวลา 2 เดือน



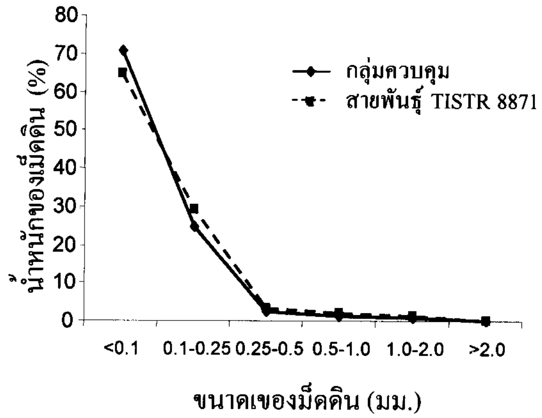
ภาพที่ 17 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆ และทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก *Nostoc* sp. TISTR 8290 (ก), *Nostoc muscorum.* TISTR 9054 (ข), *Nostoc muscorum* TISTR 8871 (ค) และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 (ง) บ่มไว้ใต้แสง เป็นเวลา 2 เดือน



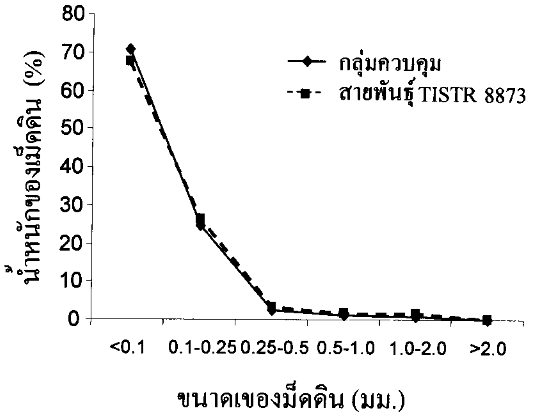
(ก)



(ข)

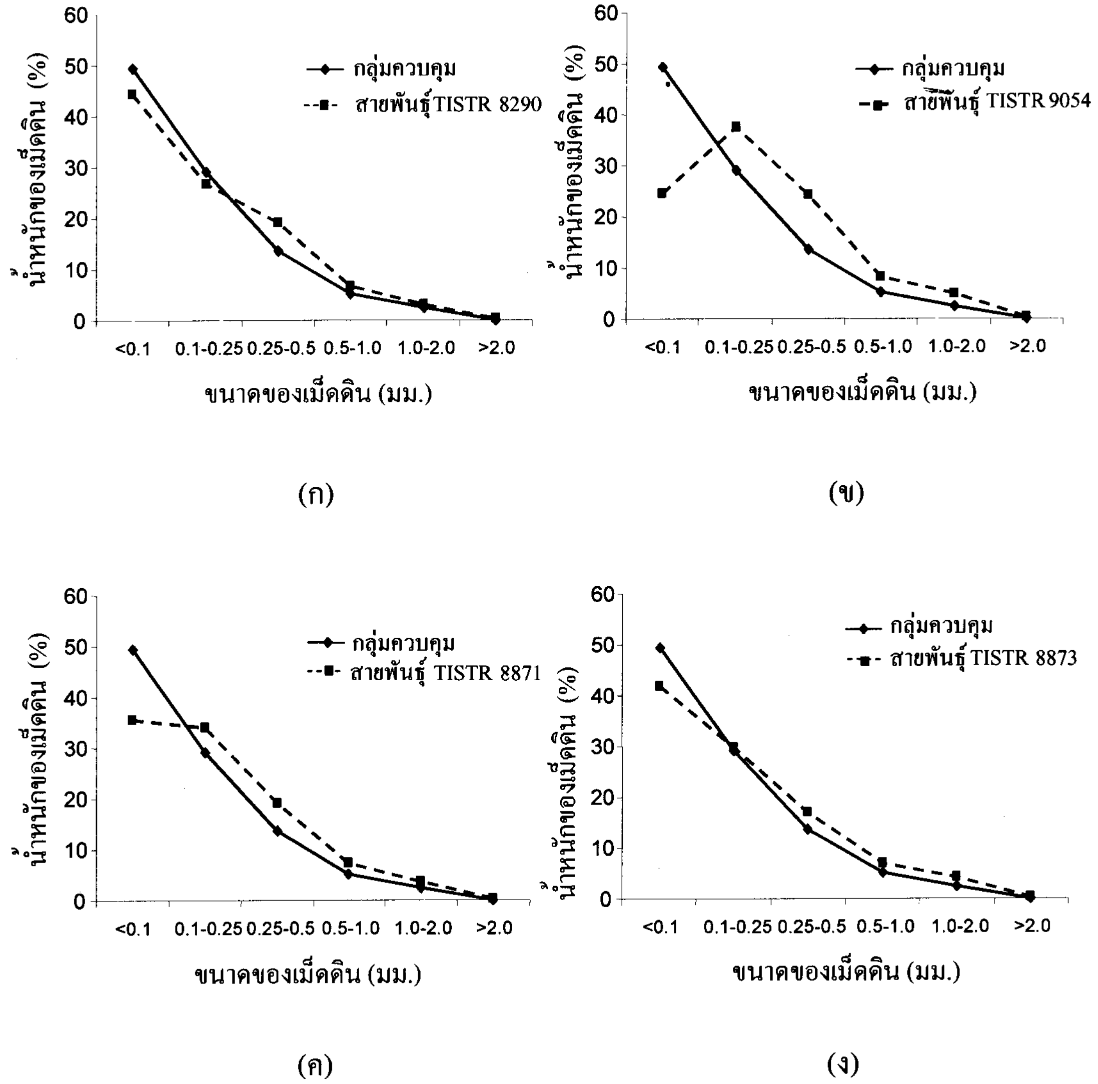


(ค)



(ง)

ภาพที่ 18 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆและทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก *Nostoc* sp. TISTR 8290 (ก), *Nostoc muscorum.* TISTR 9054 (ข), *Nostoc muscorum* TISTR 8871 (ค) และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 (ง) บ่มไว้ในที่มืด เป็นเวลา 2 เดือน



ภาพที่ 19 น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆและทนทานต่อแรงปะทะของน้ำเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของดินสวนจากลำตะคองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์คัดเลือก *Nostoc* sp. TISTR 8290 (ก), *Nostoc muscorum.* TISTR 9054 (ข), *Nostoc muscorum* TISTR 8871 (ค) และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 (ง) บ่มไว้ในที่มืด เป็นเวลา 2 เดือน

3.4 ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density)

3.4.1 ชุดการทดลองที่ 1 ชุดเติมชีวมวลสดของสาหร่าย

1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ความหนาแน่นรวมของดินแต่ละกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีความหนาแน่นรวมของดินน้อยที่สุด คือ 1.53±0.01 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร 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 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นรวมของดิน 1.65±0.11 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร หรือกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดินลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุม 7.27, 6.67, 6.06 และ 3.64 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นรวมของดินของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์แม้จะมีค่าลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 20 (ก), ตารางผนวกที่ ค 4)

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 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร และสำหรับกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดินเท่ากัน คือ 1.52±0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นรวมของดิน 1.64±0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร หรือสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp.

TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดินลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุม 8.54, 8.54, 7.32 และ 7.32 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นรวมของดินของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 20 (ข), ตารางผนวกที่ ค 4)

3.4.2 ชุดการทดลองที่ 2 ชุดเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย

1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

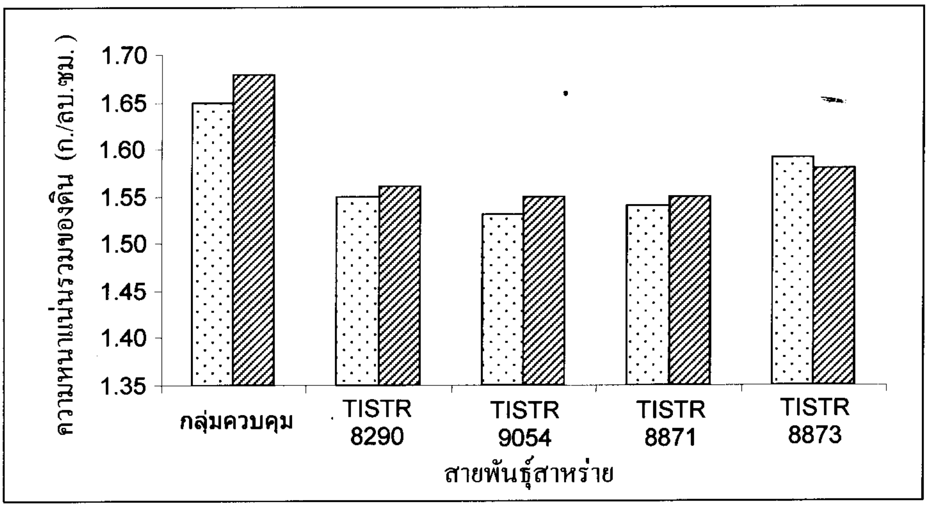
ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และมีค่าความหนาแน่นรวมของดินใกล้เคียงกันมาก โดยกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 และ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 มีความหนาแน่นรวมของดินน้อยที่สุด คือ 1.55±0.02 และ 1.55±0.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร รองลงมาคือ *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดิน 1.56±0.06 และ 1.58±0.07 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นรวมของดิน 1.68±0.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร หรือสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดินลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุม 7.74, 7.74, 7.14 และ 5.95 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นรวมของดินของกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง4 สายพันธุ์แม้จะมีค่าลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 20 (ก), ตารางผนวกที่ ค 4)

2) ดินสวนจากลำตะคอง

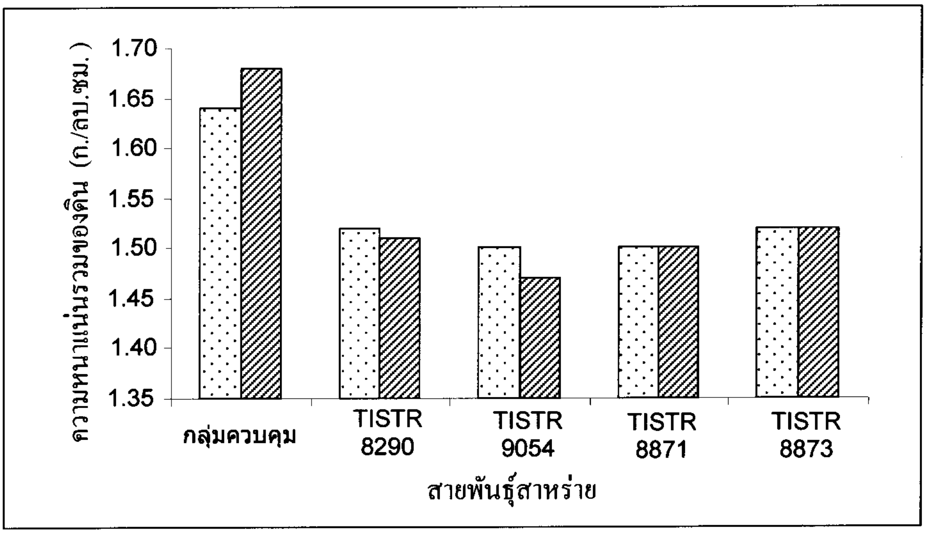
ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และมีค่าความหนาแน่นรวมของดินใกล้เคียงกันมาก โดยกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีความหนาแน่นรวมของดินน้อยที่สุด คือ 1.47±0.06 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดิน 1.50±0.04, 1.51±0.06 และ

1.52±0.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นรวมของดิน 1.68±0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร หรือกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความหนาแน่นรวมของดินลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุม 12.50, 10.71, 10.12 และ 9.52 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นรวมของดินของกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 20 (ข), ตารางผนวกที่ ค 4)

จากผลการทดลองจะพบว่าความหนาแน่นรวมของดินทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าลดลงที่เป็นเช่นนี้เป็นผลต่อเนื่องมาจากการสร้างเม็ดดินที่มีความเสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่เพิ่มมากขึ้นซึ่งการเกาะยึดกันของอนุภาคดินทำให้ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าลดลง ซึ่งความหนาแน่นรวมของดินเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการเชื่อมยึดและการจัดเรียงของอนุภาคดินและของเม็ดดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2523) จากผลการทดลองของความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ (water-stable aggregates) ในหัวข้อ 3.3 ซึ่งพบว่าเม็ดดินมีการเกาะยึดกันกลายเป็นเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าลดลง และพบว่าความหนาแน่นรวมของดินในชุดการทดลองที่ 2 จะมีค่าลดลงมากกว่าการทดลองชุดที่ 1 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในชุดการทดลองที่ 2 มีการสร้างเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่มากกว่าการทดลองชุดที่ 1



(ก)



(ข)

ชีวมวลสด สารพอลิแซ็กคาไรด์

ภาพที่ 20 ความหนาแน่นรวมของดินของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ (ก)
และดินสวนจากลำตะคอง (ข)

3.5 ความหนาแน่นของอนุภาคดิน (Particle density)

3.5.1 ชุดการทดลองที่ 1 ชุดเติมชีวมวลสดของสาหร่าย

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 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นของอนุภาคดิน 2.63±0.06 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร และเมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นของอนุภาคดินของกล่องที่ใส่ชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญเลย (ภาพที่ 21 (ก), ตารางผนวกที่ ค 5)

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 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นของอนุภาคดิน 2.60±0.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร และเมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นของอนุภาคดินของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญเลย (ภาพที่ 21 (ข), ตารางผนวกที่ ค 5)

3.5.2 ชุดการทดลองที่ 2 ชุดเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย

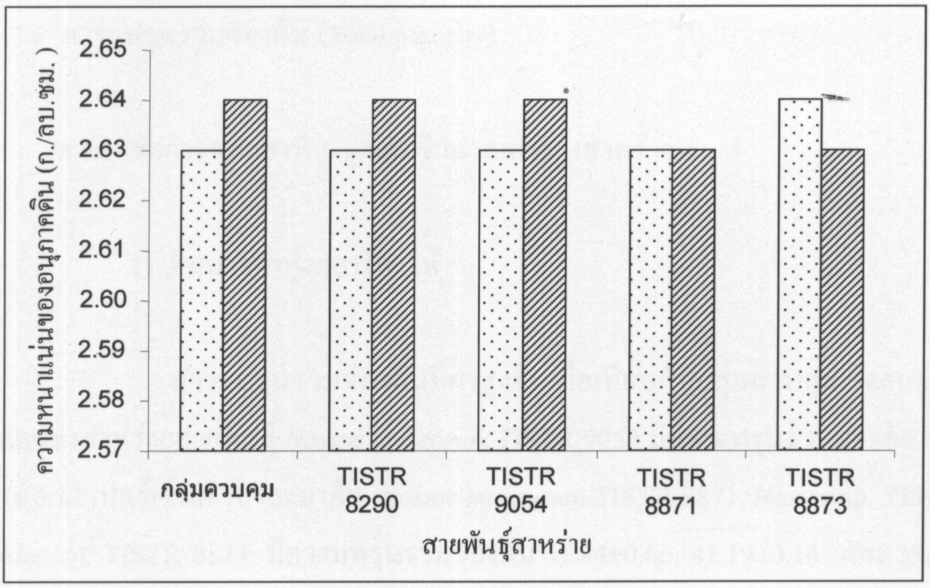
1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

ความหนาแน่นของอนุภาคดินแต่ละกล่องมีค่าใกล้เคียงกันมากและมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมมากเช่นเดียวกัน โดยกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *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 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นของอนุภาคดิน 2.64±0.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร และเมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นของอนุภาคดินของกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญเลย (ภาพที่ 21 (ก), ตารางผนวกที่ ค 5)

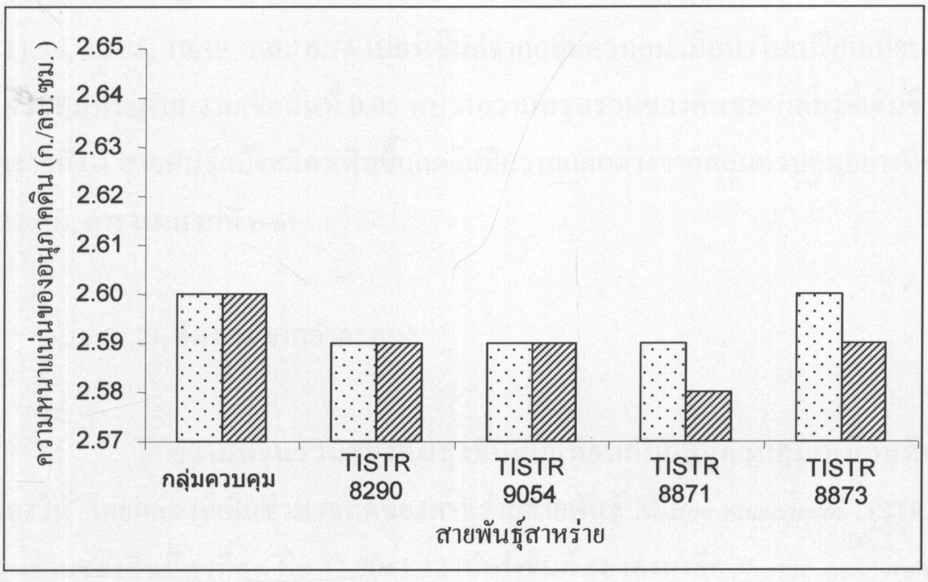
2) ดินสวนจากลำตะคอง

ความหนาแน่นของอนุภาคดินแต่ละกล่องมีค่าใกล้เคียงกันมากและมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมมากเช่นเดียวกันกับดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ โดยกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ *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 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความหนาแน่นของอนุภาคดิน 2.60±0.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร และเมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความหนาแน่นของอนุภาคดินของกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญเลย(ภาพที่ 21 (ข), ตารางผนวกที่ ค 5)

จากผลการทดลองจะพบว่าความหนาแน่นของอนุภาคดินทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ความหนาแน่นของอนุภาคดินโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของส่วนที่เป็นของแข็งในดิน ได้แก่ ส่วนประกอบทางแร่ของดินซึ่งมีความหนาแน่นของอนุภาคต่างกันและความหนาแน่นของแร่มักคงที่หรือใช้เวลานานมากในการสลายตัวหรือเปลี่ยนแปลง ผลกระทบที่เกิดจากอินทรียวัตถุโดยปกติจึงน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดจากส่วนประกอบทางแร่ นอกจากนี้ขนาดและลักษณะของการจัดเรียงและการเชื่อมยึดของทั้งอนุภาคของดินและเม็ดดินไม่มีผลกระทบต่อความหนาแน่นของอนุภาคดินแต่อย่างใด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2519)



(ก)



(ข)

ชีวมวลสด สารพอลิแซ็กคาไรด์

ภาพที่ 21 ความหนาแน่นของอนุภาคดินของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ (ก) และดินสวนจากลำตะคอง (ข)

3.6 ความพรุนรวมของดิน (Total porosity)

3.6.1 ชุดการทดลองที่ 1 ชุดเติมชีวมวลสดของสาหร่าย

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 37.38±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 เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความพรุนรวมของดินของกล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์แม้จะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 22 (ก), ตารางผนวกที่ ค 6)

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 เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความพรุนรวมของ

กล่องที่เติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 22 (ข), ตารางผนวกที่ ค 6)

3.6.2 ชุดการทดลองที่ 2 ชุดเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย

1) ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

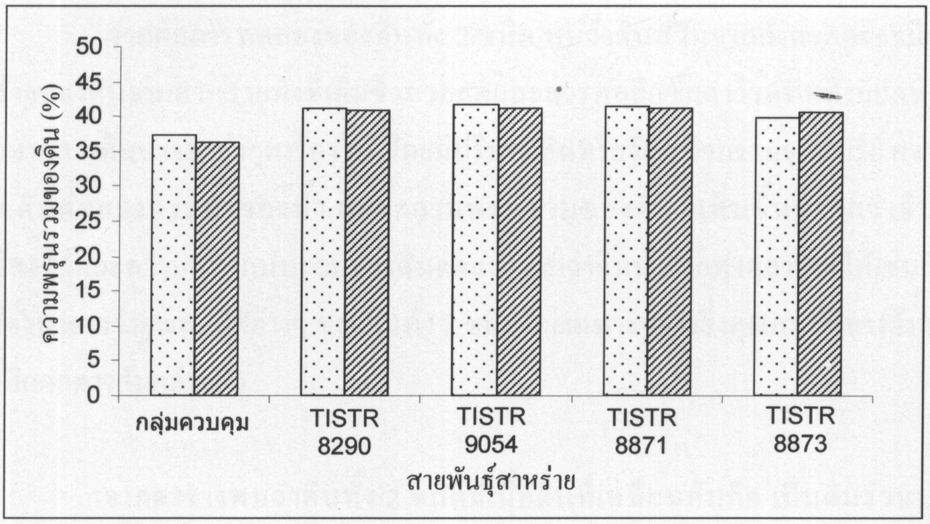
ความพรุนรวมของดินสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีความพรุนรวมของดินสูงที่สุด คือ 41.17±1.10 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความพรุนรวมของดิน 41.06±1.14, 40.76±1.32 และ 40.54±1.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีความพรุนรวมของดิน 36.36±2.76 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *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 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความพรุนรวมของดินของกล่องที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์แม้จะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 22 (ก), ตารางผนวกที่ ค 6)

2) ดินสวนจากลำตะคอง

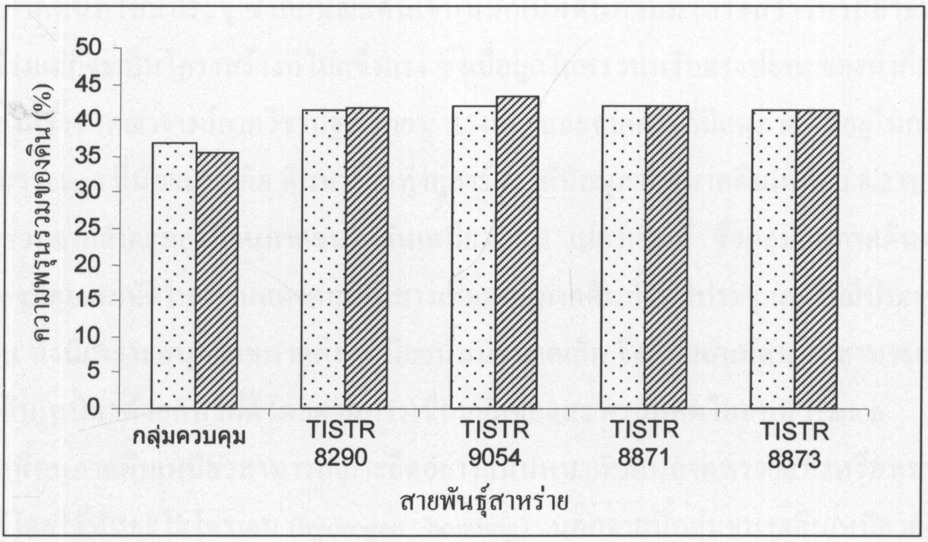
ความพรุนรวมของดินสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมเหมือนดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ โดยกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 มีความพรุนรวมของดินที่สูงที่สุด คือ 43.20±1.85 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *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 หรือกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871, *Nostoc* sp. TISTR 8290 และ *Nostoc* sp. TISTR 8873 มีความพรุนรวมของดินเพิ่มขึ้น 22.00,

18.70, 17.57 และ 17.23 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 พบว่าความพรุนรวมของกล่องที่เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 22 (ข), ตารางผนวกที่ ค 6)

จากผลการทดลองจะพบว่าความพรุนรวมของดินทั้ง 2 ชุดการทดลองจะเพิ่มขึ้น แม้ในกรณีของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ทั้ง 2 ชุดการทดลองจะมีความพรุนรวมของดินเพิ่มขึ้นแต่ก็ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มควบคุมเลย ความพรุนรวมของดินที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดเป็นเม็ดดินที่มากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลงซึ่งจะส่งผลทำให้ความพรุนรวมของดินเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมกับความพรุนรวมของดินนั้นจะมีผลตรงกันข้าม กล่าวคือดินใดที่มีความหนาแน่นรวมต่ำลง ก็ย่อมจะทำให้ความพรุนรวมของดินนั้นยิ่งเพิ่มขึ้น (เกษมศรี, 2536) เมื่ออนุภาคดินจับตัวเป็นเม็ดดินทำให้มีโพรงหรือช่องว่างในดินเกิดขึ้น ช่องว่างที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องของอนุภาคกลุ่มดินเป็นตัวช่วยให้มีการระบายของน้ำและอากาศในโครงสร้างดีขึ้น (กองปฐพีวิทยา, 2536) จากผลการทดลองจะพบว่าความพรุนรวมทั้งหมดของดินในชุดการทดลองที่ 2 จะมากกว่าชุดการทดลองที่ 1 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในชุดการทดลองที่ 2 อนุภาคของดินมีการจับตัวกันเป็นเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่ที่มากกว่าส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าลดลงมากกว่า และทำให้ความพรุนรวมทั้งหมดของดินเพิ่มขึ้นมากกว่า



(ก)



(ข)

ภาพที่ 22 ความพรุนรวมของดินของดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ (ก) และดินสวนจากลำตะคอง (ข)

จากผลการทดลองของดินทั้ง 2 ชนิด พบว่าดินสวนจากลำตะคองจะมีการปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่ายทั้งที่เติมชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายมากกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ โดยมีปริมาณอินทรียวัตถุ กิจกรรมจุลินทรีย์ ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ และความพรุนรวมของดินที่เพิ่มขึ้นมากกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้และความหนาแน่นรวมของดินลดลงมากกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้เช่นกันที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากว่าคุณสมบัติต่างๆ ของดินทั้ง 2 ชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพที่แตกต่างกันกล่าวคือ

จากตารางพบว่าดินทั้ง 2 ชนิดมีเนื้อดินที่เหมือนกันคือ เป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ซึ่งเป็นดินเนื้อหยาบอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มขนาดทราย (sand) คือ ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้มีอนุภาคขนาดทราย 59.6 เปอร์เซ็นต์ และดินสวนจากลำตะคองมีอนุภาคขนาดทราย 53.6 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้อนุภาคของดิน มีความร่วน ไม่เกาะกันเป็นเม็ดดิน มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยเป็นอนุภาคดินที่ไม่มีประจุ ซึ่งลักษณะดินเช่นนี้มักเป็นดินที่ไม่มีโครงสร้างหรืออาจมีบ้างที่มีโครงสร้างแต่ก็จะเป็นโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง ซึ่งเมื่อถูกไถพรวนหรือแรงปะทะของน้ำก็กลายเป็นไม่มีโครงสร้าง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) และจากการที่มีอนุภาคดินอยู่ในกลุ่มขนาดดินเหนียว (clay) ที่น้อยมาก คือ ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้มีอนุภาคขนาดดินเหนียว 8.2 เปอร์เซ็นต์ และดินสวนจากลำตะคองมีอนุภาคขนาดดินเหนียว 18.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกลุ่มอนุภาคดินขนาดดินเหนียวเองมีคุณสมบัติในการแสดงตนเป็นสารเชื่อมอนุภาคดินทั้งที่มีประจุและไม่มีประจุให้เชื่อมยึดติดกัน ทั้งนี้เพราะอนุภาคขนาดดินเหนียวนั้นมีขนาดเล็ก จึงมีผิวสัมผัสมาก สามารถเกาะติดอนุภาคดินเหนียวด้วยกันได้ดีโดยผ่านการเชื่อมยึดของสะพานแคตไอออน (cation bridge) นอกจากนี้อนุภาคดินเหนียวสามารถเกาะยึดอย่างแน่นหนากับอนุภาคทรายแป้งหรือทรายที่ไม่มีประจุได้โดยใช้พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) นอกจากนี้กลุ่มขนาดดินเหนียวยังมีประจุไฟฟ้าที่ผิวอนุภาค เป็นตัวเชื่อมให้อนุภาคที่หยาบกว่าเกาะยึดกันเป็นเม็ดดิน (soil aggregate) เกิดเป็นโครงสร้างของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

นอกจากนี้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation Exchange Capacity - CEC) ก็ยังมีความสัมพันธ์กับการจับตัวกันเป็นเม็ดดิน คือ ดินที่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออออนสูงนั่นหมายความว่าดินมีประจุลบที่ผิวอนุภาคดินมากความสามารถในการเกาะยึดกันระหว่างประจุก็จะสูง ซึ่งจะส่งผลต่อความมากน้อยในการเกาะยึดกันของอนุภาคดิน ซึ่งค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนนี้มีอิทธิพลต่อความร่วนซุย ความเหนียวของดิน

การเกาะกลุ่มของคอลลอยด์ และการสร้างเม็ดดินด้วย (ไพบูลย์, 2528) ซึ่งดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้และดินสวนจากลำตะคองมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 3.1 และ 10.9 me-100 g ตามลำดับ

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 akaline) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) นอกจากนี้ในดินสวนจากลำตะคองยังมีอินทรียวัตถุในดินซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ดินในปริมาณที่สูงกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ ซึ่งส่งผลให้ดินสวนจากลำตะคองมีกิจกรรมจุลินทรีย์ที่สูงกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้

จากลักษณะของคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของดินสวนจากลำตะคองที่มีองค์ประกอบของเนื้อดินที่มีกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน ปริมาณอินทรียวัตถุที่มากกว่าและมีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะสมต่อการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์มากกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ จึงทำให้ดินสวนจากลำตะคองเมื่อได้การปรับปรุงโครงสร้างของดินจากทั้งชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายมีโครงสร้างของดินดีขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและสูงกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ที่ได้รับสารปรับปรุงโครงสร้างของดินอย่างเดียวกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่มีศักยภาพในการผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์เพื่อนำไปใช้ปรับโครงสร้างของดิน

การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายเพื่อนำมาปรับโครงสร้างของดินพิจารณาจากปริมาณชีวมวลสดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่แต่ละสายพันธุ์ผลิตได้ พบว่าสายพันธุ์สาหร่ายที่มีความเหมาะสมเพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการปรับโครงสร้างของดินมีจำนวน 4 สายพันธุ์ จากทั้งหมด 60 สายพันธุ์ คือ *Nostoc sp.* TISTR 8290, *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ *Nostoc sp.* TISTR 8873

2. ประสิทธิภาพในการปรับโครงสร้างของดินระหว่างชีวมวลสดของสาหร่ายและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกสู่ภายนอกเซลล์สาหร่าย

การเติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีผลต่อการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินทั้ง 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับการเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกมานอกเซลล์ สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nostoc muscorum* TISTR 8871 และ Nostoc *sp.* TISTR 8290 มีผลต่อการพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้อย่างมีนัยสำคัญ และสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 และ *Nostoc muscorum* TISTR 8871มีผลต่อการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินสวนจากลำตะคองอย่างมีนัยสำคัญ

การเติมชีวมวลสดของสาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 และ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 มีผลต่อการเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับดินสวนจากลำตะคองพบว่าการเติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีผลต่อการเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ การเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกมานอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์มีผลต่อการเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินทั้ง 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ

การเติมชีวมวลสดของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ในดินทั้ง 2 ชนิด แม้จะมีจำนวนเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำเพิ่มขึ้นแต่ก็ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ การเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกมานอกเซลล์สาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ในดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ แม้จะมีจำนวนเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่เพิ่มขึ้นแต่ก็ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับในดินสวนจากลำตะคองพบว่าการเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกมานอกเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 และ *Nostoc muscorum* TISTR 8871 มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำอย่างมีนัยสำคัญ

การเติมชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ในดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้แม้ว่าจะค่าความหนาแน่นรวมของดินลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ในดินสวนจากลำตะคองการเติมชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกมานอกเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ มีผลต่อความหนาแน่นรวมของดินอย่างมีนัยสำคัญ

การเติมชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ในดินทั้ง 2 ชนิดพบว่าความหนาแน่นของอนุภาคดินไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญเลย

การเติมชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ในดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้แม้ว่าจะค่าความพรุนรวมของดินเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ในดินสวนจากลำตะคองการเติมชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกมานอกเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความพรุนรวมของดินอย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่ายระหว่างชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย พบว่าการเติมสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกสู่ภายนอกเซลล์ลงไปในดินจะช่วยฟื้นฟูโครงสร้างของดินได้มากกว่าการเติมชีวมวลสดของสาหร่าย โดยดูจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมจุลินทรีย์, ความพรุนรวมของดิน และเม็ดดินที่มีความเสถียรต่อแรงกระทำของน้ำ และการลดลงของความหนาแน่นรวมของดิน

สาหร่ายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 จะให้ผลดีทั้งที่เติมชีวมวลและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุมด้านปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ ได้แก่ ในดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ และกิจกรรมจุลินทรีย์ ในดินสวนจากลำตะคอง ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ กิจกรรมจุลินทรีย์ ความหนาแน่นรวมของดิน และความพรุนรวมของดิน

จากผลการทดลองของดินทั้ง 2 ชนิด พบว่าดินสวนจากลำตะคองเมื่อได้รับการปรับปรุงโครงสร้างของดินจากทั้งชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่ายจะมีการปรับโครงสร้างของดินดีขึ้นมากกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ ซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุ กิจกรรมจุลินทรีย์ ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ และความพรุนรวมของดินที่เพิ่มขึ้นมากกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้และความหนาแน่นรวมของดินลดลงมากกว่าดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้เช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

1. ในแหล่งน้ำธรรมชาติยังมีสาหร่ายอีกหลายสายพันธุ์ที่สามารถหลั่งสารพอลิแซ็กคาไรด์ออกมาภายนอกเซลล์ได้ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการเก็บตัวอย่างสาหร่ายจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาศึกษาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านต่างๆ รวมทั้งการนำมาใช้เพื่อเป็นสารปรับโครงสร้างของดินด้วย

2. เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้เป็นการทดลองในเบื้องต้นดำเนินการในห้องปฏิบัติการและดำเนินการเพียงในระยะเวลา 2 เดือน ผลการทดลองที่ได้จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงเบื้องต้นและบอกถึงแนวโน้มที่จะเกิดขึ้น ถ้ามีผู้สนใจที่จะศึกษาในการใช้สาหร่ายเป็นสารปรับโครงสร้างของดินควรมีการทดลองในระดับแปลงทดลองด้วย เพื่อให้สภาวะในการทดลองเป็นสภาวะเดียวกับในพื้นที่เกษตรกรรม

3. สายพันธุ์สาหร่ายที่นำมาทดลองในครั้งนี้ เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ เพื่อเอื้อต่อการเจริญเติบโต จึงทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วและสามารถผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์ออกมาได้ในปริมาณมาก ถ้ามีการนำสายพันธุ์สาหร่ายเหล่านี้ไปใช้ในการปรับโครงสร้างของดิน ควรศึกษาถึงการเพาะเลี้ยงแบบกลางแจ้ง ในระบบบ่อ เพื่อให้เกษตรกรนำไปใช้ได้อย่างสะดวก

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2527. **สาหร่าย.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

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

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

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2519. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

________. 2523. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

________. 2530. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

________. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

________. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

โฉมยง ไชยอุบล. 2550. **อาณาจักรโปรติสตา Kingdom Protista**. แหล่งที่มา: http://coursewares. Mju.ac.th/bi 100/51 htm. 24 สิงหาคม 2550.

ดุสิต มานะจุติ. 2535. **ปฐพีวิทยาทั่วไป.** ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธงชัย มาลา. 2535. **คู่มือปฏิบัติการจุลชีววิทยาของดินเพื่อการเกษตร.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

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

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

มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2550. **การจัดการสมบัติทางฟิกส์ของดิน Management of Soil Physical Properties.** แหล่งที่มา: 1http://coursewares. Mju.ac.th/section 2/sf 313/001 lecture/html/chapter 001.htm, 20 มีนาคม 2550.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2542. **แพลงก์ตอนพืช.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

วิทยา มะเสนา. 2526. **จุลชีววิทยาทางดิน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

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

สมศักดิ์ วังใน. 2528. **จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนา พานิช, กรุงเทพฯ

อักษร ศรีเปล่ง. 2527. **สาหร่าย ตอนที่ 1.** โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

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

Arad (Malis) S. 1999. Polysaccharides of red microalgae. In Cohen Z (ed.). **Chemicals from Microalgae from Microalgae**, Taylor & Francis, London.

Bailey D, A. P. Mazurak and J. R. Rosowski. 1973. Aggregation of soil particles by algae. **J. Phycol.** 9: 99-101

Bar-Or, Y and M. Shilo. 1987. Characterization of macromolecular flocculants produced by *Phormidium* sp. Strain J-1 and by *Anabaenopsis circularis* PCC 6720. **Appl Environ. Microbiol.** 53: 2226-2230.

Bender J., S. Rodriguez-Eaton, UM. Ekanemesang and P. Phillips. 1994. Characterization of metal-binding bioflocculants produced by the cyanobacterial component of mixed microbial mats. **Appl. Environ. Microbiol.** 60: 2311-2315

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.

Bloor, S. and R. R. England. 1989. Antibiotic production by the cyanobacterium *Nostoc muscorum*. J. **Appl. Phycol.** 1: 367-72

Bold, H.C. and M. J. Wynne. 1978. **Introduction to the algae**. Prentice-Hall, Inc., Englewood, California. 706 p.

Carr, N. G. and B. A. Whitten (eds.). 1973. The biology of blue – green algae. **Bot. Monogr.**, 9. Blackwell, Oxford.

Culley, J. L. B. 1993. Density and Compressibility. **Soil Sampling and Methods of Analysis,** M. R. Carter, Ed. 529-662.

De Philippis, R., M. C. Margheri, R. Materassi and M. Vincenzini. 1998. Potential of unicellular cyanobacteria from saline environments as exopolysaccharide producers. **Appl. Envirom. Microbiol.** 64: 1130-1132.

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

Dudman, W.F. 1977. **The role of surface polysaccharides in natural environments**. In: Surface carbohydrates of the prokaryotic cell (Sutherland, I. W., ED.). Academic Press, New York. pp. 357-414. Desikachary, T. V. 1959. **Cyanophyta.** New Delhi: Indian Council of Agricultural Research.

Echlin, P. 1966. The blue-green algae. **Amer. J. Sci.** 214(6): 75-81

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

Flaibani, A., Y. Olsen., and T. J. Painter. 1989. Polysaccharides in desert reclamation: composiyions of exocellular proteoglycan complexes produced by filamentous blue-green and unicellular green edaphic algae. **Carbohydr. Res.** 190: 235-238.

Gloaguen V, K. Morvan and L. Hoffmann. 1996. Metal accumulation by immobilized cyanobacterial mats from a thermal spring. **J. envir. Sci. Health** A31: 2437-2451

Greenland D.J. 1965. Interaction between clays and organic compounds in soil. Part II. Adsorption of soil organic compounds and its effect on soil properties. **Soils Fert**. 28, 415-425.

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

Gupta, J. S. 1981. **Algae**. Oxford & IBH Publishing Co, New Delhi.

Harris R. F., G. Chesters and O. N. Allen. 1966. Dynamics of soil aggregation. **Adv. Agron.** 18, 107-169.

Hasui, M., M. Matsuda, K. Okutani and S. Shigeta. 1995. In vitro antiviral activities of sulfated polysaccharides from marine microalga (*Cochlodinium polykrikoides*) against human immunodeficiency virus and other enveloped viruses. Int. **J. Biol. Macromol.** 17: 293-297.

Hill, D. R., A. Peat and M. Potts. 1994. **Biochemistry and structure of the glycan secreted by desiccation-tolerant *Nostoc commune* (Cyanobacteria) Protoplasma**. 182: 126-148

Hori, K., G. Ishibashi and T. Okita. 1994. Hypocholesterolemic effect of blue-green alga, ishikurage (*Nostoc commune*) in rats fed atherogenic diet. **Plant Foods Hum. Nutr.** 45: 63-70

Keefer, R. F., F. L. Himes and J. L. Mortensen. 1966. Evidence indicatimg the presence of loosely-bound phenolic grouping in soil organic matter extracts. **Soil.Sci. Soc. Amer. Proc.** 30: 415-418.

Levesque M. 1969. Charaterization of model and soil organic matter metal-phosphate complexes. **Can. J. Soil Sci.** 49, 365-373.

Lewin, R. 1977. The use of algae as soil conditioners cantros de Investigation be Baja California Scripps Inst. **Of oceanographic Trans.** 3: 33-35.

Martin J. P. and D. G. Aldrich. 1955. Influence of soil exchangeable cation rations on the aggregating effects of natural and synthetic soil conditioners. **Proc. Soil Sci. Soc. Am.** 19: 50-54.

Mazor, G., G. J. Kidron, A. Vonshak and A. Abeliovich. 1996. Therole of cyanobacterial exopolysaccharides in structuring desert microbial crusts. **FEMS Microbiol. Ecol.** 21: 121-130

Metting, B. 1981. The systematics and ecology of soil algae. **Bot. Rev.** 47: 195-312

Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. **Total carbon, organic carbon, and organic matter**, pp. 961-1010. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods. Agronomy No. 5. SSSA Book Series. Madison, WI.

Neu Tr., T. Dengler, B. Jann, and K. Poralla. 1992. Strutural studies of an emulsion-stabilizing exopolysaccharide produced by an adhesive hydrophobic Rhodococcus strain. **J. gen. Microbiol.** 138: 2531-2537

Painter, T. J. 1983. **Algal polysaccharides.** In: The polysaccharides (Aspinall, G. O.,Ed), Vol. 2 Academic Press New York. pp.195-285.

Painter, T. J. 1993. Review Paper Carbohydrate polymers in desert reclamation: the potential of microalgal biofertilizers. **Carbohydrate Polymers** 20: 77-86

Phlips, E. J., C. Zeman and P. Hansen. 1989. Growth, Photosynthesis, Nitrogen fixation and Carbohydrate production by a unicellular cyanobacterium, *Cynechococus* sp. (Cyanophyta). **J. Appl. Phycol.** 1: 137-145

Roychaudhury, P. 1979. Effect of blue green algae and Azolla application on the aggregation status of the soil. **Current Science.** 48: 454.

Roychaudhury, P., G. Krishnamurti and G. Venkataraman. 1980. Effect of algal inoculation on soil aggregation in rice soils. **Phykos.** 19: 224-227.

Ruehrwein R. A. and D. W. Ward. 1952. Mechanism of clay aggregation by polyelectrolytes. **Soil Sci.** 73: 485-492.

Shainbergy, I. and Y. Bar-Or. 1990. Stabilization of fine-grained soils by a cyanobacteria flocculant. Proc.5th Int. conf. Soc. **Appl. Algology.** L-21.

Shepherd R., J. Rockey, IW. Sutherland and S. Roller. 1995. Novel bioemulsifiers from microorganisms for use in foods. **J. Biotechnol.** 40: 207-217

Singh,R. 1950. **Reclamation of "Tsar" lands in India through blue-green algae.** Nature, London. 165: 325-326.

Takenaka, H.,T. Sumiya and H. Ito. 1997. Effects of hot water extract prepared from Nostoc flagelliforme on macrophage activities in tumer-bearing mice. **Med. Biol.** 135: 231-4 (In Japanese)

Thepenier, C., D. Chaumont and C. Gudin. 1988. **Mass culture of *Porphyridium cruentum*: a multiproduct strategy for the biomass valorization.** *In*: Algal biotechnology (Stadler, T., Mollion, J., Verdus, M. C., Karamanos, Y., Morvan, H. and Christiaen, D., Eds.). Elsevier, London. pp. 413-420.

Veela B. Mehta and B. S. Vaidya. 1978. Cellular and Extracellular Polysaccharides of the Blue green algae *Nostoc*. **Journal of Experimental Botany** vol. 29 No.113 pp.1423-1430.

Witvrouw, M. and E. De Clercq. 1997. Sulfated polysaccharides extracted from sea algae as potential antiviral drugs. **Gen. Pharmacol.** 29: 497-511.

Zaccaro, M. C. 2000. **Plant growth-promoting cyanobacteria**. Buenos Aires, Argentina.

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

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

อาหารเลี้ยงเชื้อ

การเตรียม Stock BGA medium (Antarikanonda, 1980) สำหรับเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ตรึงไนโตรเจนได้ มีส่วนประกอบดังนี้

NaCl	0.070	กรัม
$CaCl_2$	0.080	กรัม
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.380	กรัม
K_2HPO_4	0.600	กรัม
$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 6H_2O$	0.010	กรัม
Titriplex III	0.027	กรัม
H_3BO_3	0.003	กรัม
$MnSO_4 \cdot 2H_2O$	0.002	กรัม
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0.008	กรัม
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.0003	กรัม
$CoCl_2$	0.00002	กรัม
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.00008	กรัม
Deionized water	1000	มิลลิลิตร
pH	7.5	

ละลายส่วนประกอบข้างต้น ผสมกับน้ำกลั่น แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

หมายเหตุ K_2HPO_4 และ Fe-EDTA ใส่หลังจากนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไปแล้วเพราะจะทำให้เกิดการตกตะกอน

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรวม (Total sugar) โดยวิธี Phenol-Sulfuric acid ตามวิธีของ Dubois *et al.* (1956)

1. วิธีการ

1.1 เตรียมสารละลายตัวอย่างให้มีปริมาณน้ำตาลประมาณ 10 ถึง 70 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

1.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดสอบ แล้วเติมสารละลายฟีนอล 5 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.3 เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้น 5 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้กรดซัลฟูริคไหลลงบนผิวของสารละลายในหลอดทดสอบโดยตรงเพื่อให้มีการผสมที่ดีและรวดเร็ว อย่าปล่อยให้กรดซัลฟูริคไหลลงตามข้างหลอด ให้ระวังสารละลายในหลอดร้อน ห้ามเขย่าหลอด

1.4 ตั้งหลอดทิ้งไว้ 10 นาที แล้วเขย่าให้เข้ากัน

1.5 นำไปวางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

1.6 นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวช่วงคลื่น 490 นาโนเมตร สำหรับการวิเคราะห์น้ำตาลเฮกโซส (hexose) และ 480 นาโนเมตร สำหรับการวิเคราะห์น้ำตาลเพนโทส (pentose) และกรดยูโรนิค (uronic) โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank

1.7 สำหรับตัวอย่างเมื่อวัดค่า absorbance แล้วให้นำมาเทียบกับกราฟมาตรฐานตามชนิดของน้ำตาลที่ต้องการจะวิเคราะห์ในตัวอย่าง

2. การเตรียมสารละลายฟีนอล 5 เปอร์เซ็นต์

ชั่งฟีนอล 5 กรัม ใส่ในบิกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 95 กรัม ใช้แท่งแก้วคนให้ละลาย

3. การหาสมการของกราฟมาตรฐาน

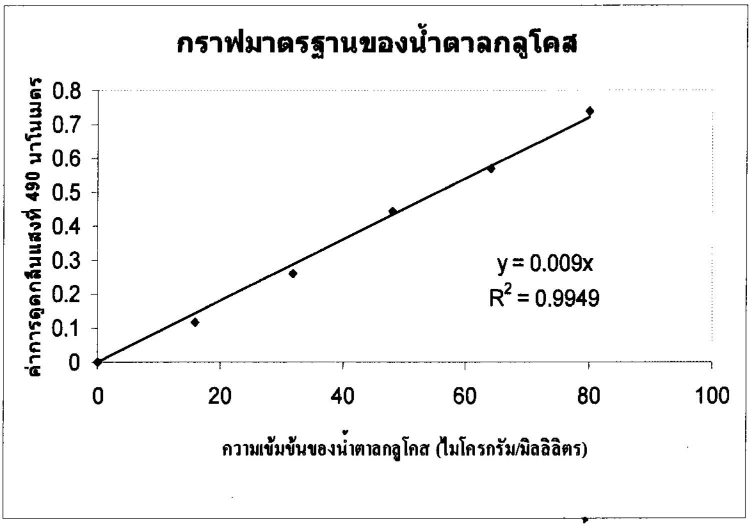
3.1 เตรียมสารละลายน้ำตาลมาตรฐาน stock solution โดยละลายน้ำตาล 0.04 กรัม ในขวดตวงปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงปริมาตร สารละลายน้ำตาลที่ได้นี้จะมีความเข้มข้น 400 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

3.2 เจือจาง stock solution ของสารละลายน้ำตาล ด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นของน้ำตาล 0, 16, 32, 48, 64 และ 80 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

3.3 นำสารละลายน้ำตาลที่เจือจางได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรวมโดยใช้วิธีการที่กล่าวข้างต้น

3.4 นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับค่าความเข้มข้นของน้ำตาลมาคำนวณหาสมการของกราฟมาตรฐานโดยวิธี linear regression

3.5 แทนค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ในสมการของกราฟมาตรฐานจะได้ความเข้มข้นของน้ำตาล



ภาพผนวกที่ ข 1 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส

2. การวิเคราะห์ Oxidizable carbon content หรือปริมาณอินทรียวัตถุ โดยวิธีของ Walkley and Black (Nelson and Sommers, 1996)

1. อุปกรณ์

1.1 เครื่องชั่ง (Analytical balance)
1.2 Volumetric pipet 5 mL
1.3 Erlenmeyer flask 250 mL
1.4 Buret 50 mL
1.5 Cylinder 10 mL และ 20 mL
1.6 Titration base, with bright light source

2. สารเคมี

2.1 Potassium dichromate solution ($K_2Cr_2O_7$) 1.0 N

สารละลาย $K_2Cr_2O_7$ (อบที่ 105 องศาเซลเซียส) 49.04 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เป็นสารละลาย 1 ลิตร ใน Volumetric flask

2.2 Concentrated sulfuric acid (H_2SO_4)

ใช้กรด H_2SO_4 ที่มีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ ถ้าดินในตัวอย่างมีคลอไรด์ (Cl) อยู่มากเติม Ag_2SO_4 ลงไปในกรดอัตรา 15 กรัมต่อกรด H_2SO_4 1 ลิตร

2.3 Ferrous sulfate solution 0.5 N

ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 196.1 กรัม ในน้ำกลั่น เติม Conc. H_2SO_4 อยู่ 15 มิลลิลิตร ทำให้เย็น แล้วทำให้เป็นสารละลาย 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นใน Volumetric flask เก็บสารละลายในขวดสีน้ำตาล (เพื่อกันแสง) และจะต้องปิดจุกให้แน่นเสมอเมื่อเก็บ

2.4 O-phenanthroline ferrous sulfate indicator (0.025 M)

เตรียมสารละลาย O-phenanthroline 1.48 กรัม และ ferrous sulfate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.07 กรัม ในน้ำกลั่น จนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. วิธีการ

3.1 ชั่งตัวอย่างดิน ซึ่งได้บดไว้แล้วอย่างละเอียด (ผ่านตะแกรง 0.5 มิลลิเมตร) 0.5-2.0 กรัม ทั้งนี้แล้วแต่ดินตัวอย่างจะมีอินทรียวัตถุมากหรือน้อย การชั่งดินตัวอย่างควรใช้ Analytical balance บรรจุตัวอย่างที่ชั่งแล้วอย่างละเอียดนี้ ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำยา dichromate 1.0 N ลงไป 5 มิลลิลิตร โดยใช้ pipet ต่อจากนั้นให้ริน Conc. H_2SO_4 ลงไป 10 มิลลิลิตร โดยเร็ว แกว่ง flask ไปรอบๆ เบาๆ เพื่อให้น้ำยากับดินเข้ากันประมาณ 1-2 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 30 นาที

3.2 เติมน้ำกลั่นลงไป 15 มิลลิลิตรและหยด indicator ลงไป 3 หยด ไตเตรท soil suspension ด้วยน้ำยา Ferrous sulfate จนกระทั่งสีของ suspension เปลี่ยนจากเขียวเป็นน้ำตาลปนแดง ถ้าไตเตรทด้วย Ferrous sulfate มากเกินไป ให้เติมน้ำยา dichromate ลงไป 0.5 -1.0 มิลลิลิตร แล้วไตเตรทด้วย Ferrous sulfate อีกครั้งหนึ่ง end point คือจุดที่ indicator เริ่มเปลี่ยนจากเขียวเป็นน้ำตาลปนแดง

3.3 จดปริมาณของน้ำยา dichromate และ Ferrous sulfate ที่ใช้

3.4 วิธีนี้จำเป็นต้องทำ blank และจดปริมาณของ dichromateและ Ferrous sulfate ไว้คำนวณ normality ที่แท้จริงของ Ferrous sulfate แล้วจึงคำนวณหาปริมาณของ dichromate ที่ถูก reduced โดยดินตัวอย่าง

3.5 ในกรณีที่พบว่าน้ำยา dichromate ที่ถูก reduced โดยดินตัวอย่างเป็นปริมาณมากกว่า 4 มิลลิลิตร ขึ้นไป ควรจะทำการวิเคราะห์ใหม่ โดยลดปริมาณดินตัวอย่างให้น้อยลง

4. การคำนวน

$$\% \text{ Organic Carbon} = \frac{(\text{me } K_2Cr_2O_7 - \text{me } FeSO_4)\ 0.003 \times 100 \times 1.33}{\text{Weight of sample in grams}}$$

% อินทรียวัตถุ = % Organic Carbon x 1.72

3. การวิเคราะห์กิจกรรมจุลินทรีย์ (Microbiological activity) โดยวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน (Carbon dioxide evolution) (ธงชัย, 2535)

1. อุปกรณ์
   1.1 ตัวอย่างดิน
   1.2 บีกเกอร์ขนาด 20 มิลลิลิตร
   1.3 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร
   1.4 จุกยาง
   1.5 ปิเปต
   1.6 บิวเรต

2. สารเคมี

   2.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, 1.0 N solution)
   2.2 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl, 0.5 N solution)
   2.3 สารละลายแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$, 50% solution)
   2.4 Phenolphthalein indicator

3. วิธีการ

3.1 ชั่งตัวอย่างดิน 150 กรัมใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตรเติมน้ำลงไปพอให้ดินชื้น

3.2 ใส่ 1.0 N NaOH ปริมาณ 15 มิลลิลิตรลงไปในบีกเกอร์ แล้วนำไปไว้ในขวดรูปชมพู่ที่ใส่ดินไว้ ปิดปากขวดให้แน่นด้วยจุกยาง

3.3 นำขวดรูปชมพู่ดังกล่าวไปบ่มใน incubator ที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 30 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงทำการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทำได้โดยหยด Phenolphthalein indicator 2-3 หยด พร้อมทั้งเติม $BaCl_2$ ปริมาณ 10 มิลลิลิตรลงไปในบีกเกอร์ แล้วไทเทรท (titrate) ด้วย standard 0.5 N HCl บันทึกปริมาตรของ standard 0.5 N HCl ที่ใช้ในการไทเทรท แล้วคำนวณหาน้ำหนักของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากดิน จากสมการข้างล่างนี้

$$X = \frac{22(N_1V_1 - N_2V_2)}{m} \times 1000$$

ซึ่ง X = มวลเป็นมิลลิลิตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นต่อดิน 1 กิโลกรัม

N_1 = ความเข้มข้นเป็น normal ของสารละลาย NaOH ที่ใส่ในบีกเกอร์

V_1 = ปริมาตรเป็นมิลลิลิตรของสารละลาย NaOH

N_2 = ความเข้มข้นเป็น normal ของสารละลาย HCl ที่ใช้ไทเทรต

V_1 = ปริมาตรเป็นมิลลิลิตรของสารละลาย HCl

m = มวลของดินในขวดรูปชมพู่ ขณะที่แห้งสนิท

4. การวิเคราะห์หาความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) โดยวิธีเจาะเก็บตัวอย่างดินโดยกระบอก (Core Method)

1. อุปกรณ์

1.1 กระบอกสำหรับเจาะเก็บตัวอย่างดินเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ลึก 1 เซนติเมตร

1.2 moisture can

1.3 ตู้อบ

1.4 โถระเหยแห้งสูญญากาศ

1.5 เครื่องชั่งแบบละเอียด

2. วิธีการ

2.1 เก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกเจาะตัวอย่างดิน ทำการหาปริมาตรของตัวอย่างดิน (V_b)

2.2 นำตัวอย่างดินนั้นใส่ใน moisture can แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง แล้วนำออกใส่ในโถระเหยแห้งสูญญากาศ จนกระทั่งตัวอย่างเย็น

2.3 นำตัวอย่างดินไปชั่งหาน้ำหนัก (m_s)

2.4 นำมาคำนวณ ดังสมการข้างล่าง

$$D_b = \frac{m_s}{v_b}$$

ซึ่ง D_b = ความหนาแน่นรวมของดิน

m_s = น้ำหนักตัวอย่างดินหลังจากอบจนแห้งสนิทแล้ว

v_b = ปริมาตรของตัวอย่างดิน

5. การวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของอนุภาคดิน (Particle density)

1. อุปกรณ์

1.1 ขวดบอกปริมาตร (Volumetric flask)

1.2 เครื่องชั่งแบบละเอียด

1.3 ตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 2 มิลลิเมตร

1.4 กรวยพลาสติก

1.5 เตาต้ม (hot plate)

1.6 คีมไม้สำหรับหนีบจับหลอดทดลอง (test tube holder)คีมไม้สำหรับหนีบจับหลอดทดลอง (test tube holder)

2. วิธีการ

2.1 ชั่งน้ำหนักของขวดบอกปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร ที่แห้งสะอาด บันทึกน้ำหนักเท่ากับ m_1

2.2 วัดปริมาตรของขวดบอกปริมาตร (Volumetric flask) โดยการเติมน้ำกลั่นให้ถึงขีดบอกปริมาตร เช็ดขวดให้แห้งสนิท ชั่งน้ำหนักให้เท่ากับ m_2

2.3 เทน้ำออกจากขวดบอกปริมาตร (Volumetric flask) ให้เหลือประมาณ 2ใน 3 ของขวด

2.4 เทตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 2 มิลลิเมตร หนัก 25 กรัม (m_3) ผ่านกรวยพลาสติก ลงในขวดบอกปริมาตร (Volumetric flask) ช้าๆ ขณะเดียวกันก็เขย่าขวดเบาๆ ให้อนุภาคดินจมลงในน้ำเพื่อลดฟองอากาศที่อาจติดกับอนุภาคดิน

2.5 ค่อยๆ ฉีดน้ำกลั่นจากขวดฉีดน้ำ ลงตามข้างขวดเพื่อล้างอนุภาคดินให้ลงไปในน้ำให้หมด ปริมาตรน้ำในขั้นตอนนี้ไม่ควรเกินครึ่งขวด เช็ดขวดให้แห้ง

2.6 นำขวดไปวางบนเตาต้ม (hot plate) พร้อมกับใช้คีมไม้สำหรับหนีบจับหลอดทดลอง (test tube holder) จับที่คอขวด เขย่าเป็นครั้งคราวขณะที่อุ่นจนเริ่มมีไอน้ำที่ปากขวด อุ่นต่อไปอีก 3 นาที ยกลง ทั้งนี้เพื่อไล่ฟองอากาศที่แทรกอยู่ระหว่างอนุภาคดินออกให้หมด

2.7 ทำให้ขวดเย็นลง โดยนำขวดไปวางในอ่างที่ใส่น้ำเย็น

2.8 เติมน้ำกลั่นที่ต้มและเย็นลงแล้วลงไปในขวดจนถึงขีดปริมาตร ใช้ผ้าเช็ดน้ำรอบๆ ขวดจนแห้งสนิท ชั่งและบันทึกน้ำหนักไว้เป็น m_4

2.9 นำมาคำนวณหาความหนาแน่นอนภาคของดินดังสมการข้างล่าง

$$D_s = \frac{m_3 d_w}{m_2 + m_3 - m_4} \times 10^{-3} \text{ มก.ม.}^{-3}$$

หมายเหตุ ใช้ค่าความหนาแน่นน้ำ = 1000 มก.ม.$^{-3}$ ในการคำนวณ

6. คำนวณหาความพรุนรวมของดิน

ความพรุนรวมของดินสามารถหาค่าได้จากข้อมูลความหนาแน่นรวมของดิน (D_b) และความหนาแน่นอนุภาคของดิน (D_s) ดังสมการข้างล่างนี้

$$f = \left(1 - \frac{D_b}{D_s}\right) \times 100$$

7. การวิเคราะห์ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ โดยใช้ Wet sifting (Grieve, 1979)

เป็นการวิเคราะห์ความเสถียรของเม็ดดินต่อแรงกระทำของน้ำ โดยใช้ Wet sifting ซึ่ง Wet sifting มีลักษณะเป็นชั้นของตะแกรงเรียงกันเป็นชั้นๆ ชั้นบนสุดมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 2,000 ไมครอน (μm) ชั้นต่อมา 1,000 ไมโครเมตร (μm) 500 ไมโครเมตร (μm) 250 ไมโครเมตร (μm) และ100 ไมโครเมตร (μm) ตามลำดับ นำตัวอย่างดินที่เปียกและเอาส่วนที่ไม่ใช่ดินออกให้หมดใส่ในชั้นบนสุด วาง Wet sifting ไว้ใต้น้ำแล้วตั้งเครื่องเอาไว้ให้ยกขึ้นเหนือน้ำ 8 เซนติเมตรต่อ 1 รอบ โดยตั้งไว้ที่ 15 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ต่อจากนั้นนำตัวอย่างดินที่เหลือในแต่ละชั้นของตะแกรงมาทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำตัวอย่างดินที่เหลือจากแต่ละชั้นตะแกรงมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณของตัวอย่างดินที่ทนต่อแรงกระทำของน้ำ

ภาคผนวก ค.

ค่าการวิเคราะห์ของปัจจัยต่าง ๆ ของดินตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ค 1 ค่าวิเคราะห์หาปริมาณอินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์) ในดินตัวอย่าง

สายพันธ์สาหร่าย	ชุดที่ 1 เติมชีวมวลสด				ชุดที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย			
	ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง		ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง	
	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง
Nostoc sp.	1.17±0.05	1.37±0.11*	2.40±0.02	3.04±0.08*	1.12±0.03	1.25±0.04*	2.36±0.01	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		(23.93%)		(39.58%)		(21.43%)		(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%)

หมายเหตุ * = มีความแตกต่างทางสถิติจากกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

() = ตัวเลขในวงเล็บเป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นจากกลุ่มควบคุมของปริมาณอินทรียวัตถุ

ตารางผนวกที่ ค 2 ค่าวิเคราะห์หากิจกรรมจุลินทรีย์โดยวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน (มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อดิน 1 กิโลกรัม) ในดินตัวอย่าง

สายพันธุ์สาหร่าย	ชุดที่ 1 เติมชีวมวลสด				ชุดที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย			
	ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง		ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง	
	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง
Nostoc sp.	7.05±0.30	8.85±1.13	12.25±0.21	18.30±0.94*	5.70±0.54	7.50±0.79*	11.50±0.53	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		(36.17%)		(71.18%)		(55.26%)		(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%)

หมายเหตุ * = มีความแตกต่างทางสถิติจากกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

() = ตัวเลขในวงเล็บเป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นจากกลุ่มควบคุมของกิจกรรมจุลินทรีย์

ตารางผนวกที่ ค 3 ค่าวิเคราะห์หาจำนวนเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่มีขนาด 0.2-2.0 มิลลิเมตร (เปอร์เซ็นต์)ในดินตัวอย่าง

สายพันธ์สาหร่าย	ชุดที่ 1 เติมชีวมวลสด				ชุดที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย			
	ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง		ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง	
	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง
Nostoc sp.	4.65±0.58	5.04±0.14	24.93±1.69	27.72±3.73	4.76±0.71	6.17±1.93	21.33±1.22	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		(16.04%)		(16.13%)		(55.46%)		(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%)

หมายเหตุ * = มีความแตกต่างทางสถิติจากกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

() = ตัวเลขในวงเล็บเป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นจากกลุ่มควบคุมของจำนวนเม็ดดินที่เสถียรต่อแรงกระทำของน้ำที่มีขนาด 0.2-2.0 มิลลิเมตร

ตารางผนวกที่ ค 4 ค่าวิเคราะห์หาความหนาแน่นรวมของดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร) ในดินตัวอย่าง

สายพันธ์สาหร่าย	ชุดที่ 1 เติมชีวมวลสด				ชุดที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย			
	ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง		ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง	
	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง
Nostoc sp.	1.65±0.11	1.55±0.03	1.64±0.05	1.52±0.05*	1.68±0.04	1.56±0.06	1.68±0.05	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		(7.27%)		(8.54%)		(7.74%)		(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%)

หมายเหตุ * = มีความแตกต่างทางสถิติจากกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

() = ตัวเลขในวงเล็บเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงจากกลุ่มควบคุมของความหนาแน่นรวมของดิน

ตารางผนวกที่ ค 5 ค่าวิเคราะห์หาความหนาแน่นของอนุภาคดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร) ในดินตัวอย่าง

สายพันธ์สาหร่าย	ชุดที่ 1 เติมชีวมวลสด				ชุดที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย			
	ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง		ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง	
	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง
Nostoc sp. TISTR 8290	2.63±0.06	2.63±0.05	2.60±0.03	2.59±0.01	2.64±0.03	2.64±0.06	2.60±0.03	2.59±0.01
N. muscorum TISTR 9054		2.63±0.05		2.59±0.01		2.64±0.05		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

ตารางผนวกที่ ค ๖ ค่าวิเคราะห์หาความพรุนรวมของดิน (เปอร์เซ็นต์)ในดินตัวอย่าง

สายพันธ์สาหร่าย	ชุดที่ 1 เติมชีวมวลสด				ชุดที่ 2 เติมสารพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย			
	ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง		ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้		ดินสวนจากลำตะคอง	
	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง	กลุ่มควบคุม	ชุดทดลอง
Nostoc sp.	37.38±3.03	41.19±0.14	36.84±1.76	41.39±1.87*	36.36±2.76	40.76±1.32	35.41±1.58	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		(11.56%)		(14.01%)		(13.23%)		(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%)

หมายเหตุ * = มีความแตกต่างทางสถิติจากกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

() = ตัวเลขในวงเล็บเป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นจากกลุ่มควบคุมของความความพรุนรวมทั้งหมดของดิน

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุพรรษา ขันธโสภา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	25 ตุลาคม 2523
สถานที่เกิด	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ประมง) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิจัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย ซึ่งร่วมจัดตั้งโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีแห่งชาติ รหัสโครงการ BRT T_649003