



ความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลน
ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย

โดย

นางสาวสิริพร สุตหา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)
สาขาวิชาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลน
ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย

โดย

นางสาวสิริพร สุตหา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)
สาขาวิชาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

DIVERSITY OF CYANOBACTERIA FROM MANGROVE ECOSYSTEMS
IN THE EASTERN PART OF THAILAND

BY

MISS. SIRIPORN SUDHA



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2017

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวสิริพร สุดหา

เรื่อง

ความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลน ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

เมื่อ วันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2561

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมบูรณ์ กীরติประยูร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไตรเทพ วิชัยโกวิทแทน)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเปณญา จิตตพันธ์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เมธี แก้วเนิน)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ดร. มารุต สุขสมจิตร)

คณบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ชคตระการ)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลน ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย
ชื่อผู้เขียน	นางสาวสิริพร สุดหา
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไตรเทพ วิชัยโกวิทเทน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเปัญญา จิตตพันธ์
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

เก็บตัวอย่างสังคมไซยาโนแบคทีเรียบนรากไม้ป่าชายเลน ได้แก่ รากหายใจของต้นแสมขาว (*Avicennia alba* Bl.) รากค้ำยันของต้นโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata* Lam.) รากหัวเข่าของต้นโปรงแดง (*Ceriops tagal* (Perr.) C.B. Rob.) และรากหายใจของต้นแสมทะเล (*Avicennia marina* Forsk.) ในพื้นที่ป่าชายเลนที่กระจายตามแนวชายฝั่งของจังหวัดชลบุรี ตราด และจันทบุรี ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย ดำเนินการระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 โดยนำตัวอย่างรากไม้ทุกชนิดมาชุดตะกอนดินในน้ำทะเลที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ก่อนจะนำมากระจายบนอาหารแข็งสูตร BG-11 ที่เพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไนเตรท (NaNO_3) เป็น 3 กรัมต่อลิตรในน้ำทะเลความเค็ม 20 ppt ทำการบ่มที่อุณหภูมิห้องภายใต้สภาวะแสงธรรมชาติเป็นเวลา 30 วัน จากนั้นย้ายโคโลนีบริสุทธิ์ลงในอาหารเหลวสูตร BG-11 บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้แสง 12 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์และเก็บสายพันธุ์บริสุทธิ์ ศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในเชิงคุณภาพจากอาหารเหลวที่บ่มในอุณหภูมิห้องภายใต้สภาวะแสงธรรมชาติก่อนจะจัดจำแนกในระดับสกุล จากนั้นวิเคราะห์ความคล้ายคลึงกันด้วย Sorensen's similarity เพื่อเปรียบเทียบความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียที่ปรากฏบนพื้นผิวที่อยู่อาศัยและช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน และทำการทดสอบความสัมพันธ์ด้วยสมการถดถอยระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับจำนวนชนิดพันธุ์ พบว่าสังคมไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลนที่จำแนกได้ทั้งหมด 13 วงศ์ 25 สกุล 72 ชนิด ไซยาโนแบคทีเรียเหล่านี้มี 11 สกุล (49 ชนิด) อยู่ในรูปของเส้นสายที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์ (filamentous non-hetercystous form) ในจำนวน 11 สกุล (18 ชนิด)

ปรากฏในรูปของเซลล์เดี่ยวหรือโคโลนี (unicellular or colonial form) และ 3 สกุล (5 ชนิด) อยู่ในรูปของเส้นสายที่มีเฮเทอโรซิสต์ (filamentous heterocystous form) ไชยาโนแบคทีเรียที่พบจำนวนชนิดมากที่สุด 2 สกุล คือ *Oscillatoria* (18 ชนิด) ตามด้วย *Pseudanabaena* (9 ชนิด) เมื่อเปรียบเทียบไชยาโนแบคทีเรียระหว่างพื้นผิวที่อยู่อาศัยพบจำนวนชนิดพันธุ์สูงสุด (20 สกุล 61 ชนิด) บนรากหายใจของแสมขาว ขณะที่รากหายใจของแสมทะเลพบ 17 สกุล 50 ชนิด ตามด้วยรากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ (ชลบุรี) 11 สกุล 28 ชนิด รากค้ำยันโกงกางใบใหญ่ (จันทบุรี) 14 สกุล 22 ชนิด และน้อยที่สุดในรากหัวเข่าของโปรงแดง (11 สกุล 19 ชนิด) นอกจากนี้มีไชยาโนแบคทีเรีย 6 สกุลที่พบได้ทั่วไปบนพื้นผิวยากไม้ทั้ง 5 แหล่ง ได้แก่ *Aphanothece*, *Myxosarcina*, *Pseudanabaena*, *Anabaena*, *Oscillatoria* และ *Phormidium* เมื่อพิจารณาความแปรปรวนของฤดูกาลต่อความหลากหลายไชยาโนแบคทีเรียที่ทำการศึกษาเฉพาะบนรากหายใจของแสมขาว ซึ่งให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ของไชยาโนแบคทีเรียมีจำนวนสูงสุดในฤดูหนาว พ.ศ. 2560 (16 สกุล 47 ชนิด) ตามด้วยฤดูฝน พ.ศ. 2559 (14 สกุล 46 ชนิด) ฤดูหนาว พ.ศ. 2559 (15 สกุล 32 ชนิด) และพบน้อยที่สุดในฤดูร้อน พ.ศ. 2559 (11 สกุล 25 ชนิด) โดยไชยาโนแบคทีเรียทั้ง 22 ชนิด จาก 10 สกุล พบได้ทั่วไปในทุกฤดูกาล เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อความหลากหลายของไชยาโนแบคทีเรียพบว่าทุกปัจจัยมีอิทธิพลต่อจำนวนชนิดพันธุ์ในระดับสูง 71.3-99.4% ยกเว้นความเข้มแสง (22.4%) แต่ทุกปัจจัยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับจำนวนชนิดพันธุ์ และการวิเคราะห์ดัชนีความคล้ายคลึงกันของไชยาโนแบคทีเรียระหว่างพื้นผิวที่อยู่อาศัยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.340 ถึง 0.763 ส่วนสังคมไชยาโนแบคทีเรียตามช่วงฤดูกาลบนรากหายใจของแสมขาว มีค่าความคล้ายคลึงกันระหว่าง 0.561 ถึง 0.839 ดังนั้นความแตกต่างของพื้นผิวที่อยู่อาศัยสอดคล้องกับสภาวะแวดล้อมที่แปรปรวน ซึ่งส่งผลต่อความหลากหลายของไชยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลน

คำสำคัญ: ไชยาโนแบคทีเรีย, ป่าชายเลน, รากหายใจ, รากค้ำยัน, รากหัวเข่า, ประเทศไทย

Thesis Title	DIVERSITY OF CYANOBACTERIA FROM MANGROVE ECOSYSTEMS IN THE EASTERN PART OF THAILAND
Author	Miss. Siriporn Sudha
Degree	Master of Science (Environmental Science)
Department/Faculty/University	Environmental Science Faculty of Science and Technology Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Tritep Vichkovitten, Ph.D.
Thesis Co-Advisor	Assistant Professor Supenya Chittapun, Ph.D.
Academic Year	2017

ABSTRACT

The field sampling for mangrove's root associated cyanobacteria e. g. *Avicennia alba* Bl. pneumatophores, *Rhizophora mucronata* Lam. prop roots, *Ceriops tagal* (Perr.) C.B. Rob. knee roots and *Avicennia marina* (Forsk.) pneumatophores along the coast of Chonburi, Trat and Chanthaburi provinces in the eastern part of Thailand. The research were performed between January 2016 and March 2017. All roots were scrapped for cyanobacteria in sterile sea water prior to spread on solid modified BG-11 medium with additional of 3 g/l⁻¹ NaNO₃ and prepared in 20 ppt of sea water. The cultures were incubated at room temperature under natural light condition for 30 d. A pure colony was then picked up and transferred to liquid BG-11 medium for proliferation at temperature of 25 °C and illumination of 12 hours. The cyanobacterial diversity in qualitative culture at room temperature under natural light condition before identification to, at least, genus level was made. Sorensen's similarity analysis was calculated to compare the diversity of cyanobacteria found with different substrates and sampling periods. Regression analysis was assay relationship between environment factors and the number of species. The total number of identified mangrove-associated cyanobacteria were belonged to 13 families 25 genera 72 species.

Among those cyanobacteria, 11 genera (49 species) were presented in the filamentous non-heterocystous form, 11 genera (18 species) were unicellular or colonial form and 3 genera (5 species) were found in the form of filamentous heterocystous. The two largest number of cyanobacteria taxa were genus *Oscillatoria* (18 species) followed by *Pseudanabaena* (9 species). When comparison between substrates was made, a large number of cyanobacteria (20 genera 61 species) were found associated with *A. alba* pneumatophore, whereas *A. marina* pneumatophore found 17 genera 50 species followed by *R. mucronata* prop root (Chonburi) contained 11 genera 28 species, *R. mucronata* prop root (Chanthaburi) 14 genera 22 species and the least was *C. tagal* knee root (11 genera 19 species). There were 6 genera that commonly isolated from all 5 different root substrates including *Aphanocthece*, *Myxosarcina*, *Anabaena*, *Pseudanabaena*, *Oscillatoria* and *Phormidium*. Seasonal variation on diversity of cyanobacteria was evaluated only from *A. alba* pneumatophore, indicated that the highest number of cyanobacteria were found in cold-dry season (2017) (16 genera, 47 species) followed by rainy season of 2016 (14 genera, 46 species), cold-dry season of 2016 (15 genera, 32 species) and summer of 2016 was found the least (11 genera, 25 species). There were 22 species from 10 genera of cyanobacteria detected in all three seasons. Relationship between environment factors affecting diversity of cyanobacteria found all factors influencing the number of species with highly level 71.3-99.4% except light intensity (22.4%) but all factors were not significantly different between diversity of cyanobacteria. Sorensen's similarity coefficient among substrates varied between 0.340 and 0.763, when comparison between seasonal variation of cyanobacteria associated to pneumatophores of *A. alba* was ranging from 0.561 to 0.839. Therefore, different substrate types in accordance with variation of environmental conditions affect on cyanobacterial diversity in mangrove ecosystems.

Keywords: Cyanobacteria, Knee root, Mangrove, Pneumatophore, Prop root, Thailand

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณา และการชี้แนะที่เป็นประโยชน์จากกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไตรเทพ วิชัยโกวิทเทน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างยิ่งที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา คำแนะนำวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนการช่วยเหลือและสนับสนุนในการนำเสนอผลงานทางวิชาการให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเปัญญา จิตตพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่คอยชี้แนะและให้คำปรึกษาวิธีการดำเนินการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมบูรณ์ กิริติประยูร ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. มารุต สุขสมจิตร กรรมการวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เมธี แก้วเนิน กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้ความกรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการและให้คำปรึกษา คอยช่วยเหลือและแนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ราเมศ จุ้ยจุลเจิม อาจารย์จากมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร และคุณวัชรีย์ กัลยาลัง จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่เสียสละเวลาให้คำปรึกษาและตรวจสอบการจัดจำแนกไขยาโนแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ทุกท่านที่ได้อบรม สั่งสอน ให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบพระคุณทุนบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ได้อนุมัติทุนสนับสนุนเพื่อนำเสนอผลงานวิทยานิพนธ์ในต่างประเทศ

ขอขอบพระคุณบุคลากรจากสถานีวิจัยประมงศรีราชา คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้ออำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลในภาคสนาม

ขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่คอยช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล รวมทั้งผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ สนับสนุน จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้

นางสาวสิริพร สุดหา

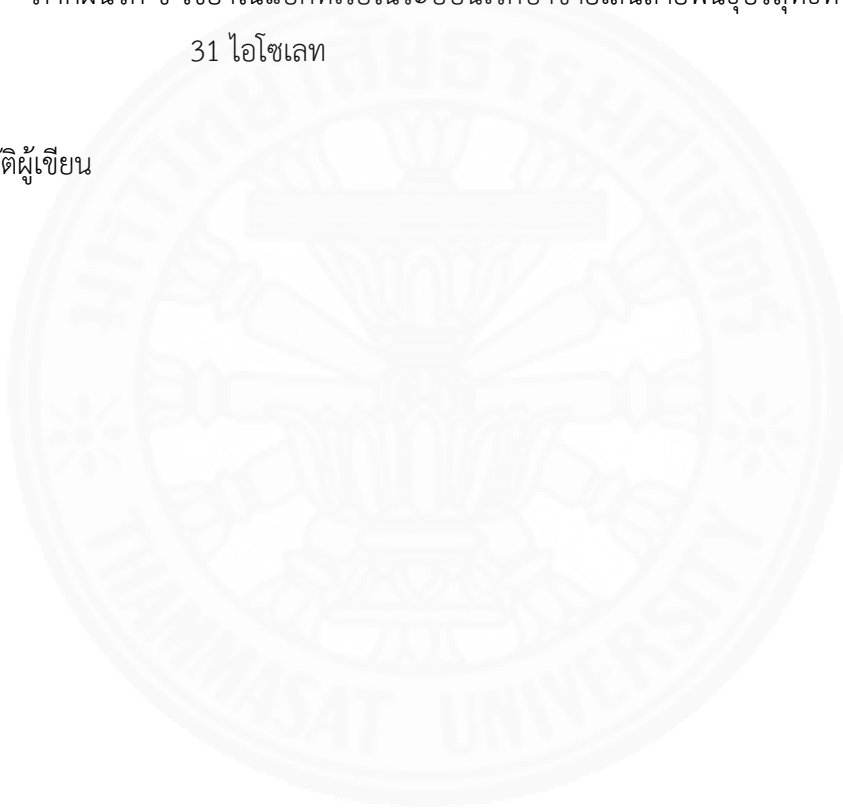
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(11)
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 สมมติฐาน	4
1.3 วัตถุประสงค์	4
1.4 ขอบเขตการศึกษา	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	5
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ไชยาโนแบคทีเรีย หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	7
2.1.1 องค์ประกอบของไชยาโนแบคทีเรีย	9
2.1.2 รูปร่างของไชยาโนแบคทีเรีย	10
2.1.3 การสืบพันธุ์ของไชยาโนแบคทีเรีย	11
2.1.4 การสร้างเซลล์เฮเทอโรซิสต์	11

2.2 การจัดจำแนกหมวดหมู่ไซยาโนแบคทีเรีย	12
2.2.1 Order Chroococcales	12
2.2.2 Order Chamaesiphonales	12
2.2.3 Order Pleurocapsales	12
2.2.4 Order Nostocales	12
2.2.5 Order Stigonematales	13
2.3 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมและแหล่งที่อยู่อาศัยของไซยาโนแบคทีเรีย	13
2.3.1 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย	13
2.3.2 แหล่งที่อยู่อาศัยของไซยาโนแบคทีเรียในประเทศไทย	15
2.4 ระบบนิเวศป่าชายเลน	16
2.5 การศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลนและชายฝั่ง	20
2.6 การนำไซยาโนแบคทีเรียไปใช้ประโยชน์	24
2.7 สภาพพื้นที่ศึกษา	25
2.7.1 พื้นที่ศึกษาจังหวัดชลบุรี	25
2.7.2 พื้นที่ศึกษาจังหวัดตราด	28
2.7.3 พื้นที่ศึกษาจังหวัดจันทบุรี	30
 บทที่ 3 วิธีการวิจัย	 33
3.1 การศึกษาในเชิงพื้นที่ตามแหล่งที่อยู่อาศัย	33
3.1.1 ศูนย์ศึกษาธรรมชาติ และอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดชลบุรี	34
3.1.2 ป่าชายเลนบ้านเป็ดใน จังหวัดตราด	35
3.1.3 ป่าชายเลนบริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี	36
3.2 การศึกษาในเชิงเวลาตามช่วงฤดูกาล	37
3.3 สารเคมีและอุปกรณ์การศึกษา	39
3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง	39
3.3.2 อาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย	39

3.3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกและเพาะเลี้ยงไฮยาโนแบคทีเรีย	39
3.3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ	40
3.4 วิธีการศึกษา	41
3.4.1 การเลือกเก็บตัวอย่าง	41
3.4.2 เตรียมอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงไฮยาโนแบคทีเรีย	41
3.4.3 การคัดแยกไฮยาโนแบคทีเรีย	41
3.4.4 วัดค่าปัจจัยสิ่งแวดล้อม	43
3.4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติ	44
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	45
4.1 ผลการวิจัย	45
4.1.1 ความหลากหลายของไฮยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลน	45
4.1.2 แหล่งที่อยู่อาศัยกับความหลากหลายของไฮยาโนแบคทีเรีย	56
4.1.3 ฤดูกาลกับความหลากหลายของไฮยาโนแบคทีเรีย	57
4.1.4 ความคล้ายคลึงกันของสังคมไฮยาโนแบคทีเรีย	61
4.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับชนิดพันธุ์	63
4.1.6 ไฮยาโนแบคทีเรียสายพันธุ์บริสุทธิ์	68
4.2 อภิปรายผล	70
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	76
5.1 สรุปผลการวิจัย	76
5.2 ข้อเสนอแนะ	77

	(9)
รายการอ้างอิง	78
ภาคผนวก	87
ภาคผนวก ก ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไซยาโนแบคทีเรียทั้ง 72 ชนิด และอีก 2 ชนิดที่เป็น unknown ที่ได้จากป่าชายเลนในจังหวัด ชลบุรี จันทบุรี และตราด ตามภาคตะวันออกของประเทศไทย	88
ภาคผนวก ข ไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลนสายพันธุ์บริสุทธิ์ทั้ง 31 ไอโซเลท	97
ประวัติผู้เขียน	100



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 พื้นที่ป่าชายเลนทั่วโลก เมื่อจำแนกตามรายทวีป	17
2.2 พื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทย เมื่อจำแนกตามรายจังหวัด ทำการสำรวจใน พ.ศ. 2552	18
2.3 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน จำนวนวันฝนตก ปริมาณฝนสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุดและต่ำสุด จังหวัดชลบุรี พ.ศ. 2524-2553	27
2.4 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน จำนวนวันฝนตก ปริมาณฝนสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุดและต่ำสุด จังหวัดตราด พ.ศ. 2524-2553	29
2.5 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน จำนวนวันฝนตก ปริมาณฝนสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุดและต่ำสุด จังหวัดจันทบุรี พ.ศ. 2524-2553	32
4.1 การกระจายของสังคมโซยาโนแบคทีเรียในเชิงพื้นที่และเวลา จากป่าชายเลนใน จังหวัดชลบุรี ตราด และจันทบุรี ตามแนวภาคตะวันออกของประเทศไทย	46
4.2 จำนวนชนิดพันธุ์โซยาโนแบคทีเรียตามรูปแบบที่แตกต่างกัน 3 กลุ่ม	55
4.3 ค่าความคล้ายคลึงของสังคมโซยาโนแบคทีเรียระหว่าง 5 พื้นที่ผิวที่อยู่อาศัยที่แตกต่างกัน	61
4.4 ค่าความคล้ายคลึงของสังคมโซยาโนแบคทีเรียระหว่างส่วนบนและล่างของรากหายใจในไม้กลุ่มผสม	62
4.5 ค่าความคล้ายคลึงกันของสังคมโซยาโนแบคทีเรียระหว่างฤดูกาลที่แตกต่างกัน 3 ฤดูกาล	62
4.6 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลจากฤดูหนาวปี 2559 ถึง ฤดูหนาวปี 2560 ในพื้นที่ป่าชายเลน จังหวัดชลบุรี	63
4.7 ค่าสหสัมพันธ์ของปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับจำนวนชนิดพันธุ์ของโซยาโนแบคทีเรีย	65
4.8 ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับจำนวนชนิดพันธุ์	67
4.9 ข้อมูลสายพันธุ์โซยาโนแบคทีเรียบริสุทธิ์ในระบบนิเวศป่าชายเลน ทางภาคตะวันออกของประเทศไทยทั้ง 31 ไอโซเลท	68

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียที่เป็นเส้นสายและเซลล์เดี่ยว	7
2.2 องค์ประกอบภายในเซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย	9
2.3 การสร้างเซลล์เฮเทอโรซิสต์ของไซยาโนแบคทีเรียในสภาวะที่ขาดธาตุไนโตรเจน	11
2.4 ความหลากหลายของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลน	16
2.5 สายใยอาหารในระบบนิเวศป่าชายเลน	19
2.6 แผนที่และลักษณะทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดชลบุรี	25
2.7 แผนที่และลักษณะทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดตราด	28
2.8 แผนที่และลักษณะทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดจันทบุรี	30
3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรียในพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดชลบุรี ตราด และจันทบุรี ตามแนวชายฝั่งทางภาคตะวันออกของประเทศไทย	33
3.2 พันธุ์ไม้เด่นในป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี	34
3.3 พันธุ์ไม้เด่นในป่าชายเลนจังหวัดตราด	36
3.4 พันธุ์ไม้เด่นในป่าชายเลนจังหวัดจันทบุรี	37
3.5 กราฟค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศย้อนหลังจังหวัดชลบุรี 2558	38
3.6 วิธีการคัดแยกไซยาโนแบคทีเรียและเก็บสายพันธุ์บริสุทธิ์	42
4.1 สัดส่วนชนิดของไซยาโนแบคทีเรียเป็นเปอร์เซ็นต์ในแต่ละอันดับที่พบในระบบนิเวศป่าชายเลน ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย	54
4.2 สัดส่วนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียบนพื้นผิวที่อยู่อาศัยที่แตกต่างกัน ในระบบนิเวศป่าชายเลน ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย	56
4.3 สกุลไซยาโนแบคทีเรียที่พบได้ทั่วไปในทุกพื้นผิวที่อยู่อาศัย	57
4.4 ไซยาโนแบคทีเรียที่มีการจัดจำแนกตามอันดับ (Order) วงศ์ (Family) สกุล (Genus) และชนิด (Species) ตามช่วงฤดูกาลที่แตกต่างกัน	58
4.5 ไซยาโนแบคทีเรียที่พบได้ทั่วไปในทุกฤดูกาล ทั้ง 10 สกุล 22 ชนิด เมื่อศึกษาบนพื้นผิวนกหวายใจของแสมขาว ในป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี	59
4.6 การกระจายของชุดข้อมูลความสัมพันธ์ของปัจจัยสิ่งแวดล้อมและจำนวนชนิดพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรีย	64
4.7 กราฟ scatter diagram ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมและจำนวนชนิดพันธุ์	66

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำเต็ม/คำจำกัดความ
BG-11	Blue-Green 11 เป็นสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้เพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย
°C	หน่วยวัดอุณหภูมิ ในระบบเอสไอ (SI) เรียกว่า องศาเซลเซียส (degrees celsius)
klux	หน่วยความส่องสว่างที่กระทบลงบนวัตถุ เป็น กิโลลักซ์ (kilolux)
NaNO ₃	เป็นสารประกอบไนโตรเจน เรียกว่า โซเดียมไนเตรท (sodium nitrate)
ppt	หน่วยตรวจวัดระดับความเค็มในแหล่งน้ำ เป็น ส่วนในพันส่วน (part per thousand)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue green algae) เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่ถือกำเนิดบนโลกมานานกว่า 3,500 ล้านปี มีความโดดเด่นด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่หลากหลาย โดยรูปแบบที่สามารถพบเห็นได้ตั้งแต่เซลล์เดี่ยวหรือโคโลนี (unicellular or colonial form) ไปจนถึงลักษณะแบบเส้นสาย (filamentous form) สัณฐานวิทยามักจะแปรผันไปตามสภาพแวดล้อมและแหล่งที่อยู่อาศัย (Makhalanyane et al., 2015) ไซยาโนแบคทีเรียเป็นหนึ่งในสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศทั้งการเป็นผู้ผลิตก๊าซออกซิเจนออกสู่ชั้นบรรยากาศโลกในยุคแรกๆ จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Chaurasia, 2015) และความสามารถในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศลงมาใช้ประโยชน์ได้ที่พบในสิ่งมีชีวิตเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้น ไซยาโนแบคทีเรียจึงเป็นแหล่งธาตุอาหารทางธรรมชาติที่สำคัญและถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ปัจจุบันไซยาโนแบคทีเรียได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์ทั้งทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น การเป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ทางด้านสิ่งแวดล้อมในระบบนิเวศทางน้ำที่สำคัญ (Soltani, Khodaei, Alnajjar, Shahsavari & Ashja, 2012) และถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มผลผลิตในนาข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Prasanna, Joshi, Rana, Shivay & Nain, 2012; Singh, Khatta & Ahluwalia, 2014) ไซยาโนแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้มีการดำรงชีพได้ทั้งแบบอิสระและอาศัยอยู่ร่วมกับพืช พบได้ทั่วไปในทุกสภาพแวดล้อมที่มีความชื้น ด้วยลักษณะของเซลล์แบบดั้งเดิมกล่าวคือ มีโครงสร้างเซลล์ที่เรียบง่าย นิวเคลียสไม่มีเยื่อหุ้ม มีรงควัตถุที่ช่วยปกป้องเซลล์จากรังสีแสงอาทิตย์ นอกจากนี้การสร้างเมือกหนาห่อหุ้มเซลล์ไว้ทำให้ไซยาโนแบคทีเรียทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่รุนแรงได้ดี แม้แต่ดินในทะเลทราย บ่อน้ำพุร้อน แหล่งที่มีความเป็นกรดสูง หรือบริเวณที่มีอากาศหนาวเย็น เช่น ในหิมะ ก็สามารถพบการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียเหล่านี้ได้เช่นกัน (ยูวดี พิรพรพิศาล, 2549) ดังนั้นจึงมีรายงานการศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียอย่างมากมายในทุกระบบนิเวศ โดยเฉพาะในแหล่งน้ำจืดและพื้นที่การเกษตร (Skácelová, Barták, Coufalík, Nývlt & Trnková, 2013; Supenya Chittapun & Theppanya Charoenrat, 2015; Vijayan & Ray, 2015) ถึงแม้ว่าไซยาโนแบคทีเรียจะมีคุณสมบัติที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจศึกษาอย่างแพร่หลายในระบบนิเวศบนบก แต่หนึ่งในพื้นที่สำคัญทางด้านเศรษฐกิจของระบบนิเวศชายฝั่งอย่างป่าชายเลนกลับพบข้อมูลพื้นฐาน

ทางด้านความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียอยู่น้อยมาก แม้ว่าการศึกษาความหลากหลายของจุลินทรีย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำอย่างป่าชายเลนจะได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อสำรวจงานวิจัยในหัวข้อไซยาโนแบคทีเรียในป่าชายเลนแล้วพบว่าข้อมูลการศึกษาที่น้อยมากเมื่อเทียบกับจุลินทรีย์ในกลุ่มอื่นๆ (Alvarenga, Rigonato, Branco & Fiore, 2015)

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีความซับซ้อนเชื่อมต่อระหว่างระบบนิเวศบนบกและระบบนิเวศทางทะเล กระจายตัวตามพื้นที่ชายฝั่งในเขตร้อน (tropical) และกึ่งเขตร้อน (subtropical) ของโลก มีสังคมพืชหนาแน่นที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดไหลบ่ามารวมกับน้ำทะเล ซึ่งมักประสบกับสภาพแวดล้อมที่ผันแปรอยู่เสมอ เช่น น้ำขึ้นน้ำลง ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความเข้มแสง และความชื้น (Chen & Twilley, 1999) ไม่ป่าชายเลนจึงต้องปรับตัวตามสภาพแวดล้อมด้วยการเปลี่ยนแปลงลักษณะบางประการทั้งลำต้น ใบ ดอก ผล ตลอดจนระบบรากให้เหมาะสมเพื่อความอยู่รอดและเจริญเติบโตแพร่กระจายพันธุ์ต่อไปได้อย่างต่อเนื่อง เช่น การสร้างแผ่นใบที่มันและหนาเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ การสร้างรากหายใจและรากค้ำยันเพื่อช่วยยึดลำต้นกับพื้นดินเลน การสร้างลักษณะสืบพันธุ์แบบพิเศษ และการปรับตัวในดินเค็มด้วยกลไกการกรองเอาเกลือออกไปด้วยต่อมขับเกลือ (สิทธิโชค จันทร์ยอง, 2552) นอกจากนี้ป่าชายเลนยังเป็นแหล่งเศรษฐกิจโดยเอื้ออำนวยปัจจัยในการดำรงชีพของมนุษย์ (Walters et al., 2008) ทำหน้าที่เสมือนเป็นเขื่อนป้องกันคลื่นจากทะเล เป็นแหล่งดูดซับสิ่งปฏิกูลต่างๆ จากบนบก และมีความสำคัญในฐานะการเป็นแหล่งผลิตสารอินทรีย์ที่คอยสนับสนุนสายใยอาหารให้กับสิ่งมีชีวิตมากมายในท้องทะเล (Rivera-Monroy et al., 1998) อีกทั้งยังเป็นแหล่งที่อยู่ให้กับสรรพสิ่งมีชีวิตทั้งในป่าชายเลนและระบบนิเวศอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งสัตว์น้ำวัยอ่อน สัตว์หน้าดิน จุลินทรีย์ รวมถึงแบคทีเรียและไซยาโนแบคทีเรียที่ต่างก็มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศป่าชายเลนด้วยกันทั้งสิ้น แต่อย่างไรก็ตามป่าชายเลนในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงเป็นประจำทั้งสภาวะความเค็มของน้ำและดินที่ผันแปรไปตามปริมาณน้ำฝนหรือตามกระแส น้ำขึ้นลง ดินที่จมน้ำเป็นเวลานานทำให้มีปริมาณออกซิเจนในดินน้อย และความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในดินตะกอนสูงที่จะเป็นอันตรายต่อเซลล์พืช สภาวะเหล่านี้อาจส่งผลทำให้ป่าชายเลนมีผลผลิตต่ำ ดังนั้นการศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลนจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ นอกจากจะมีบทบาทในการรักษาระบบนิเวศที่ซับซ้อนอย่างป่าชายเลนแล้ว ไซยาโนแบคทีเรียยังมีบทบาทสำคัญโดยเฉพาะการเป็นแหล่งของธาตุอาหารทั้งการตรึงคาร์บอน ไนโตรเจน รวมถึงการสะสมฟอสฟอรัส (Chaurasia, 2015) ที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตในระบบนิเวศป่าชายเลนได้ แต่อย่างไรก็ตามไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลนทั่วโลกถูกละเลยที่จะศึกษาถึงความหลากหลายอย่างมาก (Alvarenga et al., 2015) รวมไปถึงป่าชายเลนในประเทศไทยด้วยจึงจำเป็นที่ต้องมีการศึกษาไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลนให้มากยิ่งขึ้น

ป่าชายเลนในประเทศไทยพบการกระจายได้ตามภาคตะวันออก ภาคกลาง และภาคใต้ ตามแนวชายฝั่งของอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ป่าชายเลนในแต่ละพื้นที่มีนิเวศวิทยาและพันธุ์ไม้ที่แตกต่างกัน ซึ่งโครงสร้างไม้ป่าชายเลนจะแปรผันไปตามลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินตะกอน ความเค็มของน้ำ และการท่วมถึงของน้ำ ทำให้พบการแพร่กระจายของพืชพรรณในลักษณะของการแบ่งเป็นแนวเขต (zonation) ซึ่งจะสามารถอธิบายการตอบสนองของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในแต่ละชนิดได้ตามลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินตะกอนในพื้นที่นั้นๆ ร่วมกับอิทธิพลของสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต (Chen & Twilley, 1999; Gleason, Ewel & Hue, 2003; Lee, Porubsky, Feller, McKee & Joye, 2008; Lovelock et al., 2005; Marchand, Baltzer, Lallier-Vergès & Albéric, 2004) นอกจากนี้ความหลากหลายทางภูมิศาสตร์ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและมีอิทธิพลต่อโครงสร้าง หน้าที่ และความอุดมสมบูรณ์ของป่าชายเลนด้วย (Chen & Twilley, 1999; Clough, Tan, Phuong & Buu, 2000; Lovelock, Feller, McKee & Thompson, 2005; Nga, Tinh, Tam, Scheffer & Roijackers, 2005; Sherman, Fahey & Martinez, 2003) มีการศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในพื้นที่ป่าชายเลนบางภูมิภาคของโลก ที่มีการรายงานว่าประชากรของไซยาโนแบคทีเรียมีความชุกชุมอย่างมากบนรากไม้ป่าชายเลน เช่น Hussain and Khoja (1993) พบความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียสูงถึง 90 ชนิด เมื่อศึกษาบนรากไม้ป่าชายเลนที่ประเทศซาอุดีอาระเบีย ขณะที่ Sakthivel and Kathiresan (2013) ได้รายงานว่ไซยาโนแบคทีเรียบนพื้นผิวรากไม้ป่าชายเลนในประเทศอินเดียพบมากถึง 28 สกุล 68 ชนิด ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้เลือกศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียบนสังคมพืชตามแหล่งที่อยู่ต่างๆ ของรากไม้ป่าชายเลน และได้มุ่งเน้นศึกษาในระบบนิเวศป่าชายเลนที่กระจายตามภาคตะวันออกของประเทศไทย ได้แก่ พื้นที่ศึกษาแห่งที่หนึ่งศูนย์ศึกษารวมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อการท่องเที่ยว จังหวัดชลบุรี โดยมีต้นแสมขาว (*Avicennia alba* Bl.) และต้นโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata* Poir.) ขึ้นกระจายอย่างหนาแน่นในพื้นที่ ซึ่งแสมขาวจัดเป็นไม้เบิกนำพบการเจริญได้ดีในดินเลนอ่อนที่มีน้ำท่วมขังตลอดหรือท่วมขังเป็นครั้งคราว มีการกระจายทางด้านนอกของป่าติดกับชายทะเลและมีรากหายใจ (pneumatophores) รูปคล้ายดินสอด่หนาแน่นบริเวณโคนต้น ถัดเข้าไปคือโกงกางใบใหญ่ มีการเจริญในบริเวณดินเลนอ่อนและลึก มีน้ำทะเลท่วมถึงเป็นเวลานานและมีระบบรากค้ำยันอยู่บริเวณโคนต้น พื้นที่ศึกษาแห่งที่สองศูนย์ศึกษารวมชาติป่าชายเลนอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี มีการกระจายของต้นแสมทะเล (*Avicennia marina* Forsk.) และต้นโกงกางใบใหญ่ เป็นพันธุ์ไม้ที่พบได้มากในพื้นที่ โดยนิเวศวิทยาของแสมทะเลจัดเป็นไม้เบิกนำมักเจริญในดินเลนปนทรายในที่โล่งติดชายทะเล และโกงกางใบใหญ่มีการเจริญในดินเลนที่ดินค่อนข้างเป็นทราย มีน้ำท่วมขังอยู่บ่อยครั้ง และพื้นที่ศึกษาแห่งที่สามป่าชายเลนบ้านเปรี๊ตใน จังหวัดตราด พันธุ์ไม้ส่วนใหญ่เป็นต้นโปรงแดง (*Ceriops tagal* (Perr.) C.B. Rob.)

ขึ้นหนาแน่นบริเวณด้านในของป่าชายเลน มีน้ำท่วมถึงในช่วงน้ำขึ้นเต็มที่ ดินมีการระบายน้ำดี มีรากคล้ายหัวเข่า (knee root) เป็นโคนมีพุ่มขนาดเล็กน้อย (ส่วนส่งเสริมและพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลน, 2556) ดังนั้นไซยาโนแบคทีเรียที่ทำการศึกษานับพันธุ์ไม่เหล่านี้จะเป็นตัวแทนของสังคมไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลน ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญที่จะช่วยเติมเต็มข้อมูลความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลนของประเทศไทย และเพื่อนำทรัพยากรไซยาโนแบคทีเรียไปศึกษาวิจัยเพิ่มเติม ต่อการประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ในอนาคต

1.2 สมมติฐาน

1.2.1 ถ้าแหล่งที่อยู่อาศัยมีผลต่อความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรีย แล้วพื้นผิวรากไม้ที่ต่างกันจะปรากฏสังคมไซยาโนแบคทีเรียที่แตกต่างกัน

1.2.2 ถ้าปัจจัยสิ่งแวดล้อมส่งผลต่อความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรีย แล้วฤดูกาลที่ต่างกันจะส่งผลให้สังคมไซยาโนแบคทีเรียแตกต่างกันด้วย

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 ศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลน ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย

1.3.2 ศึกษาปัจจัยทางด้านสังคมพืชและแหล่งที่อยู่อาศัยที่ต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมไซยาโนแบคทีเรีย

1.3.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับจำนวนชนิดพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรียในแต่ละฤดูกาล

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในเชิงพื้นที่ บนรากไม้ของสังคมพืชที่แตกต่างกันตามแหล่งที่อยู่อาศัยทั้ง 5 แหล่ง ในระบบนิเวศป่าชายเลน 3 พื้นที่ ได้แก่

1.4.1.1 ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อการท่องเที่ยว จังหวัด ชลบุรี เก็บตัวอย่างจากรากหายใจของแสมขาวเพื่อนำมาชุดตะกอนดินและเก็บตะกอนดินที่รากค้ำยัน ของโกงกางใบใหญ่ ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2560

1.4.1.2 ป่าชายเลนบ้านเปร็ดในจังหวัดตราด เก็บตะกอนดินที่รากหัวเข่าของโปรง แดง ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

1.4.1.3 ศูนย์ศึกษาธรรมชาติป่าชายเลนอ่าวคังกระเบน เก็บรากหายใจของแสม ทะเลและตะกอนดินที่รากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560

1.4.2 ศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในเชิงเวลา บริเวณศูนย์ศึกษา ธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อการท่องเที่ยว จังหวัดชลบุรี โดยศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียจากรากหายใจของแสมขาว ทำการเก็บตัวอย่าง 4 ครั้ง ตามช่วงฤดูกาล อ้างอิงจาก ข้อมูลรายเดือนและรายปีของประเทศไทย พ.ศ. 2558 จากกรมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลสถิติ ภูมิอากาศและข้อมูลย้อนหลังค่ามาตรฐานอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553) (กรม อุตุนิยมวิทยา, 2557) ระยะเวลาในการดำเนินงานตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ถึงมกราคม พ.ศ. 2560

1.4.3 การคัดแยกไซยาโนแบคทีเรีย อาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงคือ อาหารเลี้ยงเชื้อ สูตร Blue green 11 ที่ดัดแปลงสูตรโดยเพิ่มความเข้มข้นของ NaNO_3 เป็น 2 เท่า ในอัตราส่วน 3 กรัมต่อลิตร (BG-11) ใช้น้ำทะเลเป็นตัวทำละลายเจือจางที่ระดับความเค็ม 20 ส่วนในพันส่วน (ppt) ดำเนินการโดยใช้เทคนิค spread plate ที่ระดับการเจือจางที่ 10^{-2} และ 10^{-3} และทำการศึกษา ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไซยาโนแบคทีเรียภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อนำไปจำแนกในระดับสกุล (Genus) และเก็บเป็นสายพันธุ์บริสุทธิ์

1.4.4 เตรียมการและดำเนินการศึกษาที่ห้องปฏิบัติการ B101, B103, B503 และ C206 อาคารบรรยายรวม 5 สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ และห้องปฏิบัติการ 208 อาคารบรรยายรวม 3 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ รังสิต

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 การศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรีย ทำให้ทราบถึงการปรากฏของ สังกะยมไซยาโนแบคทีเรียที่กระจายบนแหล่งที่อยู่ต่างกัน รวมถึงทราบการเปลี่ยนแปลงของสังกะยมไซยา

โนแบคทีเรียตามช่วงฤดูกาล ซึ่งข้อมูลที่ได้จะช่วยเติมเต็มข้อมูลพื้นฐานความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลนของประเทศไทย

1.5.2 ทราบถึงความคล้ายคลึงกันของสังคมไซยาโนแบคทีเรียที่ปรากฏและกระจายอยู่ทั่วไปตามพื้นผิวน้ำป่าชายเลนและฤดูกาลต่างๆ อาจใช้บ่งบอกความคล้ายกันของสภาพแวดล้อมที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันได้ และเป็นแนวทางในการค้นหาไซยาโนแบคทีเรียชนิดเดียวกันจากที่อยู่อาศัยที่มีความคล้ายคลึงกัน นอกจากนี้ทำให้ทราบถึงความต้องการทางนิเวศวิทยาตามสภาพแวดล้อมและแหล่งที่อยู่อาศัยต่อการปรากฏของไซยาโนแบคทีเรีย ซึ่งจะเป็แนวทางในการสร้างสภาวะที่เหมาะสมที่จะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรียได้

1.5.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อจำนวนชนิดพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรียจะสามารถบอกถึงระดับความสัมพันธ์และอิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อการปรากฏของไซยาโนแบคทีเรียได้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรีย

1.5.4 สายพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียบริสุทธิ์ สามารถนำไปวิจัยเพิ่มเติมถึงศักยภาพ เพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไชยาโนแบคทีเรีย หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน



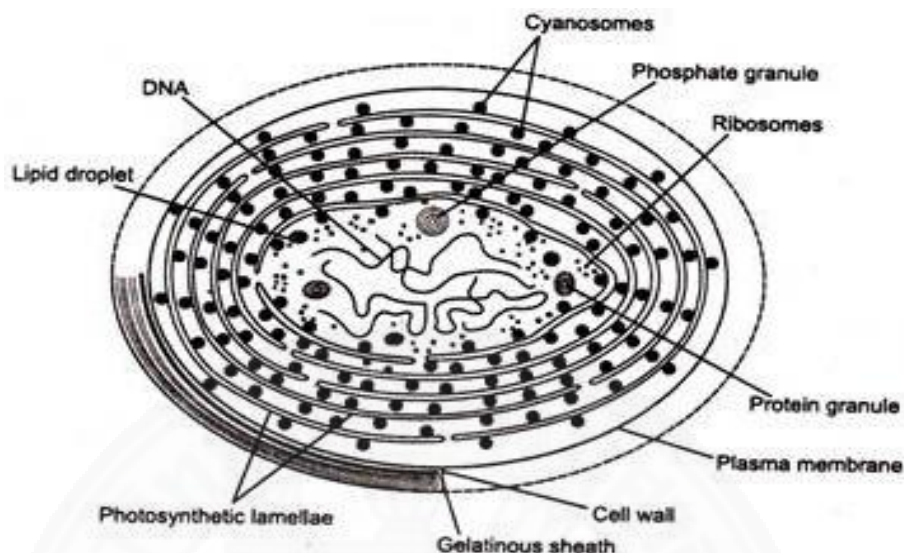
ภาพที่ 2.1 ลักษณะเซลล์ไชยาโนแบคทีเรียที่เป็นเส้นสายและเซลล์เดี่ยว

ไชยาโนแบคทีเรียหรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Cyanobacteria or Blue-green algae) (ภาพที่ 2.1) จัดอยู่ใน Division Cyanophyta เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวในกลุ่มโพรคาริโอต พวกมันมีความคล้ายคลึงกับสาหร่ายในกลุ่มยูคาริโอต ทั้งลักษณะทางสัณฐานและนิเวศวิทยา แต่ด้วยโครงสร้างของนิวเคลียสคือไม่มีเยื่อหุ้มคล้ายคลึงกับแบคทีเรีย จึงทำให้สารพันธุกรรมล่องลอยกระจายตัวภายในไซโตพลาซึม และไม่มีเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์ ไม่มีคลอโรพลาสต์ที่ชัดเจน มีเพียงไทลาคอยด์กระจายตัวอิสระทั่วไปภายในเซลล์หรือบริเวณโดยรอบ ด้วยลักษณะข้างต้นไชยาโนแบคทีเรียจึงถูกจัดจำแนกไว้ในกลุ่มโพรคาริโอตเช่นเดียวกับแบคทีเรีย ไชยาโนแบคทีเรียบางชนิดมีคุณสมบัติตรึงไนโตรเจนที่มีมากในอากาศได้เช่นเดียวกับแบคทีเรีย โดยเปลี่ยนไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแก๊สมาเป็นสารประกอบที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในเซลล์ แต่อย่างไรก็ตามนักวิชาการทางด้านสาหร่ายได้จัดกลุ่มไชยาโนแบคทีเรียเหล่านี้แยกออกจากแบคทีเรียเพราะไชยาโนแบคทีเรียมีคลอโรฟิลล์เอและมีการปล่อยออกซิเจนออกสู่สิ่งแวดล้อมจากการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งกระบวนการนี้ไม่พบในแบคทีเรีย (ยูดี พีรพรพิศาล, 2549) ด้วยคุณสมบัติการสังเคราะห์ด้วยแสงได้เช่นเดียวกันกับพืชของรงควัตถุในกลุ่มคลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll-a), แคโรทีนอยด์ (carotenoids) และไฟโคบิลิน (phycobilins) ที่เป็นองค์ประกอบ จึงทำให้มองเห็นเซลล์ไชยาโนแบคทีเรียเป็นสีเขียวแกมน้ำเงิน (สุเปญญา จิตตพันธ์, 2559) และภายนอกของเซลล์มีพอลิแซ็กคาไรด์ห่อหุ้มเซลล์ไว้เรียกว่า ซีพ เพื่อ

รักษาความชุ่มชื้นและช่วยปกป้องเซลล์ จึงทำให้เซลล์มีชีวิตอยู่รอดได้ เมื่อตกอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง

ไซยาโนแบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นหนึ่งในสิ่งมีชีวิตที่สามารถเปลี่ยนไนโตรเจนในอากาศให้เข้ามาอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ได้ เช่น ไนเตรท (NO_3) หรือแอมโมเนีย (NH_3) ธาตุอาหารเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพืชจะได้รับเมื่อไซยาโนแบคทีเรียเกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุออกมา ดังนั้นไซยาโนแบคทีเรียจึงถือเป็นแหล่งกักเก็บไนโตรเจนขนาดใหญ่ให้กับระบบนิเวศ ไซยาโนแบคทีเรียมักสามารถดำรงชีพอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นได้ (Symbiotic cyanobacteria) เช่น *Anabaena azollae* กับแห่นแดง, *Nostoc* sp. กับปรอง และ lichen เป็นต้น ซึ่งในทางการเกษตรมักใช้ประโยชน์จากแห่นแดงในการเพิ่มธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน มีผลการวิจัยมากมายที่ชี้ให้เห็นว่าเมื่อปลูกข้าวร่วมกับแห่นแดง จะสามารถเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้ (กมลวรรณ ศรีปลั่ง, สุรางค์รัตน์ พันแสง & พวงผกา แก้วกรม, 2554) และไซยาโนแบคทีเรียพวกที่ดำรงชีพแบบอิสระ (Free-living cyanobacteria) เช่น *Nostoc* sp. และ *Anabaena* sp. เป็นต้น พวกมันสามารถดำรงชีวิตอยู่ในสิ่งแวดล้อมทุกระบบนิเวศ และเพิ่มจำนวนอย่างมากเมื่อได้รับธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโต จนบางครั้งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ เช่น ปรากฏการณ์แพลงก์ตอนบลูม ซึ่งเป็นสาเหตุให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจนและส่งผลให้สัตว์น้ำตายได้ในที่สุด

2.1.1 องค์ประกอบของไซยาโนแบคทีเรีย ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ คือ



ภาพที่ 2.2 องค์ประกอบภายในเซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย. จาก *Structure of Cyanobacteria (Blue Green Algae)*, โดย Bhan, 2016, <http://www.biologydiscussion.com/cytology/structure-of-cyanobacteria-blue-green-algae/>

2.1.1.1 ส่วนที่ปกคลุมภายนอกเซลล์ (Outer cellular covering)

(1) ชั้นเมือกหุ้ม (Mucilaginous layer)

เมือกหุ้มเป็นชั้นปกคลุมผนังเซลล์ด้านนอก มีหน้าที่สำคัญในการปกป้องเซลล์ไม่ให้ได้รับอันตรายจากสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง ในบางกรณีชั้นเมือกหุ้มที่มีลักษณะโดดเด่นอาจถูกนำมาใช้ในการจัดจำแนก (Bhan, 2016)

(2) ผนังเซลล์ (Cell wall)

ผนังเซลล์เป็นชั้นที่ถัดเข้ามาจากชั้นเมือกหุ้มเมื่อมองผ่านกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่าผนังเซลล์มีโครงสร้างที่ซับซ้อน โดยมีโครงสร้าง 2-3 ชั้น ขณะที่ผนังเซลล์ชั้นในจะอยู่ระหว่างผนังเซลล์ชั้นนอกและชั้นพลาสมาเมมเบรน (plasma membrane) องค์ประกอบหลักของผนังเซลล์เป็นพวกพอลิแซ็กคาไรด์และมิวโคเปปไทด์ (Bhan, 2016)

(3) เยื่อหุ้มเซลล์ (Plasma membrane)

เยื่อหุ้มเซลล์หรือพลาสมาเมมเบรนเป็นเยื่อเลือกผ่าน มีทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมการไหลเข้าออกของน้ำ สารอาหาร และไอออนโลหะต่างๆ เป็นตัวแสดงขอบเขตของเซลล์และหุ้มไซโตพลาซึมไว้ ภายในประกอบด้วยสารลิโปโปรตีน (Bhan, 2016)

2.1.1.2 ไซโตพลาซึม (Cytoplasm)

อยู่ถัดเข้ามาจากพลาสมาเมมเบรนเป็นส่วนหนึ่งของโพรโตพลาซึมอยู่รอบนิวเคลียส มีลักษณะเป็นของเหลวที่เขตรอบนอกเป็นชั้นของลามลลา (lamellae) ภายในบรรจุสารกลุ่มพิกเมนต์เอาไว้ ประกอบด้วย chlorophylls, carotenoids, xanthophylls, c-phycoerythrin และ c-phycoyanin ซึ่งสารสีสองชนิดสุดท้ายเป็นสารสีที่พบเฉพาะในไซยาโนแบคทีเรียเท่านั้น (Bhan, 2016)

2.1.1.3 สารนิวคลีอิก (Nucleic material)

สารนิวคลีอิก เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นสายซึ่งประกอบด้วยสารโปรตีนที่เรียกว่า DNA (deoxyribonucleic acid) เป็นสารพันธุกรรมของเซลล์ทำหน้าที่หลักคือ ควบคุมการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม สังเคราะห์โปรตีน และกระบวนการต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต จึงถือว่าเป็นสารประกอบที่มีความสำคัญของสิ่งมีชีวิต

2.1.2 รูปร่างของไซยาโนแบคทีเรีย

เซลล์ไซยาโนแบคทีเรียเมื่อทำการศึกษาก่อนกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยใช้พื้นฐานลักษณะทางสัณฐานวิทยา มีรูปร่างของเซลล์ที่หลากหลายซึ่งจะผันแปรไปตามสภาวะแวดล้อมและแหล่งที่อยู่อาศัย สามารถพบได้ทั้งเซลล์เดี่ยวหรือโคโลนี (single cell or colony) และแบบเส้นสาย (filamentous form) ดังนี้

2.1.2.1 รูปร่างเป็นเซลล์เดี่ยวหรือโคโลนี

รูปร่างเซลล์อาจจะเป็นแบบเซลล์เดี่ยวๆ เช่น *Chroococcus* หรืออาจอยู่รวมกันเป็นโคโลนี เช่น *Merismopedia* ซึ่งรูปร่างของเซลล์มีหลากหลายรูปแบบ ได้แก่ กลม รูปไข่ ทรงกระบอก หรือไข่แบบหัวแหลมท้ายแหลม พวกที่อยู่รวมกันเป็นโคโลนี อาจมองเห็นรูปทรงโคโลนีมีลักษณะกลม แบน เหลี่ยม หรือมีรูปร่างที่แน่นอนก็ได้ (ยวดี พิรพรพิศาล, 2549)

2.1.2.2 รูปร่างเป็นเส้นสาย

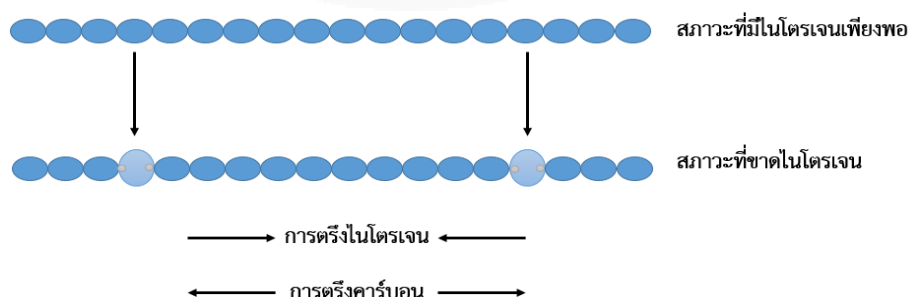
เซลล์หลายเซลล์จะเรียงต่อกันเป็นเส้นสาย เรียกว่า ตรีโคม (trichome) ตรีโคมอาจจะตรงและเรียบ ไม่มีแตกแขนง เช่น ในสกุล *Oscillatoria* และ *Lyngbya* เป็นต้น จัดเป็นกลุ่มที่มีลักษณะเส้นสายแบบง่ายๆ หรือบางชนิดอาจจะมีปลายโค้งงอหรือบิดเกลียว เช่น *Arthrospira* หรือบางชนิดเป็นเส้นสายที่อาจแตกแขนง ซึ่งการแตกแขนงมีทั้งการแตกแขนงแบบแท้จริง เช่น *Mastigocladus* และแตกแขนงไม่แท้จริง เช่น *Borzinema* เป็นต้น (ยวดี พิรพรพิศาล, 2549)

2.1.3 การสืบพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรีย

การสืบพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรียพบเฉพาะแบบไม่อาศัยเพศเท่านั้น ได้แก่ พวกที่มีเซลล์เดียวมักมีการสืบพันธุ์แบบแบ่งตัวจาก 1 เป็น 2 (binary fission) ภายในซีทหุ้ม เมื่อแบ่งหลายๆ เซลล์ จะดูเหมือนเป็นโคโลนี แต่เมื่อซีทแตกออกเซลล์ภายในจะกระจัดกระจายเป็นแต่ละเซลล์ ในพวกที่เป็นเส้นสายอาจเกิดการขาดหรือแตกหักออกเป็นสายใหม่ (fragmentation) แต่ละท่อนที่หลุดออกมา เรียก โฮโมโกเนียม (homogonium) แล้วแต่ละท่อนจะสามารถเจริญเป็นตรัยโคมใหม่ได้ต่อไป หรือการสร้างโฮโมโกเนียมเทียม เป็นโฮโมโกเนียมที่ผิดปกติไปจากธรรมดา มีผนังเซลล์หนา ขนาดใหญ่กว่าเซลล์ปกติ และมีเมือกหุ้มหนา เมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม โฮโมโกเนียมเทียมนี้ก็จะหลุดออกไปและสร้างเซลล์ใหม่พร้อมทั้งเฮเทอโรซิสต์ขึ้นมากลายเป็นเส้นสายใหม่สามารถพบในสกุล *Westiella*, *Fisherella* เป็นต้น และยังมีลักษณะการสืบพันธุ์แบบสร้างสปอร์ ได้แก่ การเกิดเอนโดสปอร์ มักพบใน *Dermocarpa* การเกิดเอกโซสปอร์ พบใน *Chamaesiphon* และการเกิดแนนโนไซท์ ได้แก่ *Gloeocapsa* และ *Microcystis* เป็นต้น (ยวดี พิรพรพิศาล, 2549)

2.1.4 การสร้างเซลล์เฮเทอโรซิสต์

การสร้างเฮเทอโรซิสต์ (Heterocyst) ของไซยาโนแบคทีเรียมักเกิดขึ้นในสภาวะที่ไซยาโนแบคทีเรียขาดแคลนไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียและไนเตรท โดยเกิดขึ้นจากเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในเส้นสายมีขนาดใหญ่ขึ้น รูปร่างกลมรี สีจาง ผนังหนา และมองเห็นโนดูลบริเวณรอยต่อของเซลล์ ซึ่งลักษณะของเซลล์ที่ผนังหนาขึ้นเพื่อป้องกันไม่ให้ก๊าซออกซิเจนจากภายนอกเข้าสู่เซลล์ จะเป็นการรักษาสภาพเซลล์ให้อยู่สภาวะไร้ออกซิเจนและเอนไซม์ไนโตรจีเนสจะสามารถทำงานได้ (สุเปญญา จิตตพันธ์, 2559) แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าบางชนิดที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์ก็สามารถตรึงไนโตรเจนได้ ดังนั้นหน้าที่ของเฮเทอโรซิสต์ที่ชัดเจนคือ บริเวณเฮเทอโรซิสต์จะเป็นจุดที่ทำให้เซลล์ขาดออกจากกันเป็นสายสั้นๆ และสามารถเติบโตต่อไปเป็นสายใหม่ๆ ได้ (ยวดี พิรพรพิศาล, 2549)



ภาพที่ 2.3 การสร้างเซลล์เฮเทอโรซิสต์ของไซยาโนแบคทีเรียในสภาวะที่ขาดธาตุไนโตรเจน. ดัดแปลงจาก *เทคโนโลยีชีวภาพสำหรับอาหารและแพลงก์ตอน*, โดย สุเปญญา จิตตพันธ์, 2559, ปทุมธานี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

2.2 การจัดจำแนกหมวดหมู่ไซยาโนแบคทีเรีย (Classification)

ไซยาโนแบคทีเรียถูกจัดไว้ใน Division: Cyanophyta, Class: Cyanophyceae มีการจำแนกหมวดหมู่ไซยาโนแบคทีเรียหลายระบบ ในที่นี้จะยึดตามหลักเกณฑ์การจำแนกของ Desikachary (1959); Castenholz and Waterbury (1989); ฐานข้อมูลออนไลน์ Algae Base (M. D. Guiry & Guiry, 2018) และยูดี พีรพรพิศาล (2549) อ้างถึงใน Anagnostidis and Komarek (1988); Castenholz & Waterbury (1989); Komarek and Anagnostidis (1989); Komarek and Anagnostidis (1999); Komarek (2003) ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 5 อันดับที่สำคัญ โดยมีลำดับการจัดหมวดหมู่ดังนี้

2.2.1 Order Chroococcales

ไซยาโนแบคทีเรียในอันดับนี้เป็นพวกที่มีเซลล์เดี่ยว (unicellular) โดยอาจจะดำรงชีวิตอยู่แบบเดี่ยวๆ หรือเป็นโคโลนี (colony) ไม่มีความแตกต่างระหว่างส่วนฐานและส่วนปลาย มีลักษณะการสืบพันธุ์ด้วยวิธีการแบ่งเซลล์ ไม่มีการสร้างเอคโซสปอร์ เช่น *Synechocystis*, *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Merismopedia*, *Chroococcus* และ *Gloeocapsa* เป็นต้น

2.2.2 Order Chamaesiphonales

ไซยาโนแบคทีเรียในอันดับนี้มีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยว เกาะอยู่กับวัตถุต่างๆ โดยทั่วไปแบ่งส่วนออกเป็นส่วนฐานและส่วนยอด สืบพันธุ์โดยการสร้างเอนโดสปอร์หรือเอคโซสปอร์ เช่น *Chamaesiphon*, *Dermocarpa*, *Stichosiphon* และ *Chroococciopsis* เป็นต้น

2.2.3 Order Pleurocapsales

ไซยาโนแบคทีเรียในอันดับนี้มีลักษณะคล้ายกลุ่มเส้นสายแต่ไม่ชัดเจน หรือมีโครงสร้างคล้ายเซลล์เดี่ยว แต่บางครั้งอาจคล้ายทลัสส์ ประกอบด้วยส่วนฐานที่เป็นแผ่นแบน (prostrate) ส่วนที่เป็นเส้นสายไม่มีความแตกต่างภายในตรัยโคม (trichome) ไม่พบการสร้างไฮโมโกเนียม ไม่มีเฮเทอโรซิสต์ สืบพันธุ์โดยการสร้างเอนโดสปอร์ เช่น *Myxosarcina*, *Hyella*, *Hydrococcus* และ *Xenococcus* เป็นต้น

2.2.4 Order Nostocales

ไซยาโนแบคทีเรียในอันดับนี้มีลักษณะเป็นเส้นสาย ไม่แตกแขนงหรือมีการแตกแขนงไม่แท้จริง (false branching) มีซีทหุ้มหนาหรือบางแล้วแต่ชนิด เซลล์มีรูปร่างกลมหรือเหลี่ยม เล็กน้อยแล้วป้องกันกลางเซลล์ บางชนิดเป็นแบบทรงกระบอก มีการสร้างอะคิเน็ต (akinetete) และมีเฮเทอโรซิสต์ซึ่งสามารถงอกเป็นเส้นสายใหม่ได้ เช่น *Lyngbya*, *Trichodesmium*, *Oscillatoria*, *Arthrospira*, *Pseudanabaena*, *Phormidium*, *Nostoc* และ *Anabaena* เป็นต้น

2.2.5 Order Stigonematales

ไซยาโนแบคทีเรียในอันดับนี้เป็นเส้นสายที่แตกแขนงได้หลายแบบมีทั้งแตกแขนงแท้จริงและไม่แท้จริง และแต่ละแบบจะมีการแตกแขนงหลายทิศทาง เซลล์ที่ประกอบด้วยเส้นสายนั้น อาจประกอบด้วยเซลล์แถวเดียว สองแถว หรือมากกว่า แตกแขนงที่แตกออกไปมักเป็นเซลล์แถวเดียว หรืออาจมีมากกว่าหนึ่งแถวก็ได้ ซีทที่หุ้มมักมีสีเหลือง หรือน้ำตาล มีการสร้างเฮเทอโรซิสต์ ซึ่งอาจมีโพลารโนดูลถึง 3 อัน สืบพันธุ์โดยการสร้างโฮโมโกเนียม แล้วขาดออกเป็นท่อนๆ ไม่พบว่ามีการสร้างอะคินีท ไซยาโนแบคทีเรียในอันดับนี้เช่น *Mastigocladus*, *Nostochopsis*, *Brachytrichia*, *Stigonema*, *Fischerella* และ *Westiellopsis* เป็นต้น

2.3 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมและแหล่งที่อยู่อาศัยของไซยาโนแบคทีเรีย

2.3.1 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย

ไซยาโนแบคทีเรียนับว่าเป็นสิ่งมีชีวิตที่โบราณที่สุดในบรรดาสิ่งมีชีวิตที่มีคลอโรฟิลล์ สามารถอยู่รอดในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรงของโลกได้ ด้วยลักษณะบางประการที่ช่วยรักษาความชุ่มชื้นภายในเซลล์โดยการสร้างเมือกหนาหุ้มเซลล์ นอกจากนี้จะรักษาความชื้นแล้วยังเป็นฉนวนกันความร้อนและความเย็นให้กับเซลล์ได้อีกด้วย ลักษณะที่ค่อนข้างโบราณนี้จึงทำให้มันสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั่วทุกหนแห่งในโลก แต่อย่างไรก็ตามไซยาโนแบคทีเรียในแต่ละแหล่งที่อยู่อาศัยจะมีลักษณะทางสัณฐานที่แตกต่างกันไปบ้างตามอิทธิพลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ ดังนี้

2.3.1.1 อุณหภูมิ (temperature)

เป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ไซยาโนแบคทีเรียในป่าชายเลนมักได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินตะกอนซึ่งโดยปกติแล้วอุณหภูมิดินตะกอนจะแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิอากาศขึ้นอยู่กับฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ เป็นต้น โดยอุณหภูมิอากาศจะมีผลต่อการหายใจของเซลล์ เมื่ออุณหภูมิต่ำจะทำให้เซลล์หายใจช้าลง และจะหายใจสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิที่สูง และอุณหภูมิดินจะเกี่ยวข้องกับการสะสมสารอาหารและการดูดซึมธาตุอาหารภายในเซลล์ด้วย

2.3.1.2 ความเข้มแสง (light intensity)

แสงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืช ภายในเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรียจะบรรจุสารสีคลอโรฟิลล์ไว้รับแสงรวมถึงสารสีอื่นๆ ด้วย เช่น ไฟโคบิลิโปรตีน ซึ่งประกอบด้วย อัลโลไฟโคไซยานิน และไฟโคไซยานิน เป็นต้น สารสีเหล่านี้จะรับ

สเปกตรัมที่แสงสีเขียว สีเหลือง และสีส้ม (500-650 nm) ไชยาโนแบคทีเรียจะใช้สารสีในกลุ่มไฟโคบิลิโปรตีนร่วมกับคลอโรฟิลล์ เอ ในการรับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ (Chorus & Bartram, 1999)

2.3.1.3 ปริมาณธาตุอาหาร (nutrient)

ธาตุอาหารเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ผลิตขั้นต้นในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งไซยาโนแบคทีเรียดำรงชีวิตด้วยการสังเคราะห์ด้วยแสง และธาตุอาหารที่สำคัญได้แก่ ฟอสฟอรัส (phosphorus) ไนโตรเจน (nitrogen) และคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide) จะถูกมาใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของไซยาโนแบคทีเรีย (สุเปญญา จิตตพันธ์, 2559)

2.3.1.4 ความเค็ม (salinity)

เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออน มีผลต่อการแตกตัวของไอออนต่อการสูญเสียน้ำภายในเซลล์ (สุเปญญา จิตตพันธ์, 2559) หากมีช่วงความเค็มที่ไม่เหมาะสมจะเป็นปัญหาสำคัญต่อการเจริญของสิ่งมีชีวิตได้ อาจมีผลให้เซลล์ไม่สามารถตรึงคาร์บอนได้ หากมีการสูญเสียน้ำ (ทวิพร แก้วเนรมิตร และ นุชนาถ วุฒิประดิษฐกุล, 2557) โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตในป่าชายเลนจะได้รับผลกระทบในภาวะเครียดจากความเค็ม จึงทำให้สิ่งมีชีวิตในพื้นที่ที่มีความเค็มสูงต้องมีการปรับกลไกภายในเซลล์เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ เช่น การขับเกลือออกทางใบ การสะสมน้ำเลี้ยงที่มีความเค็มได้มากบริเวณใบที่มีลักษณะอวบน้ำ หรือการเก็บสะสมเกลือไว้ในใบหรือเปลือกไม้เมื่อใบและเปลือกไม้หล่นเกลือก็ถูกกำจัดทิ้งไป เป็นต้น (พิพิธภัณฑสถานธรรมชาติวิทยา, 2553) ซึ่งไซยาโนแบคทีเรียในป่าชายเลนที่อาศัยอยู่ภายใต้สภาวะความเค็มสูงในป่าชายเลน เมื่อเซลล์สัมผัสกับแรงดันออสโมติกและความเข้มข้นของไอออนิกที่เพิ่มขึ้น จะทำให้เซลล์มีการสูญเสียน้ำภายในเซลล์และทำให้ไอออนไหลเข้ามาในไซโตพลาซึมมากขึ้น เซลล์ไซยาโนแบคทีเรียจึงมีกระบวนการสะสมโมเลกุลสารอินทรีย์ (โพรลีน บีเทน น้ำตาล และกรดไขมัน) เพื่อไม่ให้เซลล์เป็นพิษและเพิ่มประสิทธิภาพกลไกการแลกเปลี่ยนไอออนจากข้างในเซลล์ออกนอกเซลล์ (ไพธิธรณ์ ครรชิตานุรักษ์, 2556 อ้างถึงใน วิจิตพล มีแก้ว, ญัฐพล ชันธปราบ และ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ, 2553; Reed & Stewart, 1985) และ Aran Incharoensakdi et al. (2008) ได้ค้นพบว่า *Aphanothece halophytica* อาศัยโปรตีนที่ชื่อว่าโซเดียม โปรตอน แอนติพอร์เตอร์ และ โซเดียม-เอทีพีเอส เป็นกลไกในการขับโซเดียมออกนอกเซลล์ เพื่อให้สามารถอยู่รอดได้ภายใต้สภาวะความเค็มและความเป็นต่างสูงของสิ่งแวดล้อมภายนอกเซลล์ได้

2.3.1.5 ค่าพีเอช (pH)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำมีผลต่อการแตกตัวของไอออนต่างๆ มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในดิน มีส่วนควบคุมกิจกรรมต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตในน้ำ รวมทั้งมีผลต่อการปลดปล่อยธาตุต่างๆ ที่จะเข้าสู่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตอีกด้วย ช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมกับ

สิ่งมีชีวิตมีค่าอยู่ในช่วง 6-8 (คณิน ศรีรัตน์, จาริษา สุขศรี และ จุฑาทิพย์ หงสกุล, 2555 อ้างถึงใน นันทนา คชเสนี, 2539) ขณะที่ Ahmed, Shafique, Burhan and Siddique (2016) ได้รายงานว่ายูไซยาโนแบคทีเรียสามารถเจริญได้ดีที่สุดในดินที่เป็นอัลคาไลน์ (alkaline)

2.3.1.6 น้ำขึ้นน้ำลง (tides)

เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในบริเวณชายฝั่ง สิ่งมีชีวิตจะถูกน้ำทะเลท่วมขังในช่วงเวลาน้ำขึ้นและจะไหลพ้นน้ำในช่วงเวลาน้ำลง ดังนั้นไซยาโนแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตในพื้นที่ป่าชายเลนจะต้องพบกับสภาพจมอยู่ใต้น้ำในขณะน้ำขึ้นและจะแห้งเมื่อน้ำทะเลลงเช่นกัน ซึ่งในแต่ละวันการขึ้นลงของน้ำไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงมีสิ่งมีชีวิตที่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมมากเท่านั้นที่จะสามารถอยู่รอดในระบบนิเวศป่าชายเลนได้

2.3.1.7 ฤดูกาล (season)

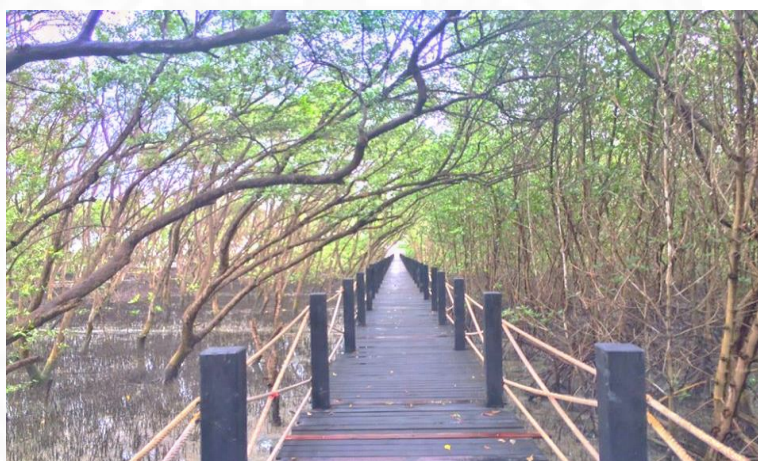
การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลหรือสภาพอากาศ มีผลต่ออุณหภูมิ น้ำ ออกซิเจนละลายน้ำ และการผสมกันของมวลน้ำ (สุเปญญา จิตตพันธ์, 2559) ทำให้ปริมาณธาตุอาหารในแต่ละฤดูกาลมีความผันแปร และทำให้สิ่งมีชีวิตตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละฤดูกาลที่แตกต่างกัน

2.3.2 แหล่งที่อยู่อาศัยของไซยาโนแบคทีเรียในประเทศไทย

ไซยาโนแบคทีเรียเป็นกลุ่มของสาหร่ายที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดถึง 7,500 ชนิดหรือมากกว่านี้ การค้นพบส่วนใหญ่เป็นไซยาโนแบคทีเรียในแหล่งน้ำจืดหรือพบได้บ้างในน้ำทะเลและน้ำกร่อย (ยุวดี พิรพรพิศาล, 2549) สามารถเจริญได้ในแหล่งน้ำทุกที่และมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหากอยู่ในพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์ด้วยแร่ธาตุและอากาศอบอุ่น ปัจจุบันมีนักวิจัยสนใจศึกษาถึงความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศที่หลากหลาย โดยเฉพาะในแหล่งน้ำจืดและพื้นที่ทางการเกษตร เช่น โชคชัย วนภู (2551) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างไซยาโนแบคทีเรียกับแพลงก์ตอนเพื่อใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน ในนาข้าวอินทรีย์ และ Supenya Chittapun and Theppanya Charoenrat (2015) ที่ได้คัดแยกและศึกษาไซยาโนแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนในพื้นที่เกษตรอินทรีย์ จังหวัดฉะเชิงเทรา นอกจากนี้ในบางสภาวะแวดล้อมที่มีความรุนแรง เช่น น้ำพุร้อน หิมะ หรือพื้นที่ที่มีกรดสูงก็จะสามารถพบการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียได้เช่นกัน ดังเช่น ในประเทศไทย ยุวดี พิรพรพิศาล (2554) ได้เลือกศึกษาไซยาโนแบคทีเรียจากน้ำพุร้อนบางแห่ง ในช่วงอุณหภูมิ 40-75 องศาเซลเซียส ซึ่งไซยาโนแบคทีเรียเหล่านี้มีโครงสร้างที่เรียกว่า ซีท ทำให้สามารถทนทานต่อความร้อนได้ดี และยังได้ศึกษาไซยาโนแบคทีเรียในแหล่งน้ำจืด บางส่วนในน้ำกร่อย ในแหล่งน้ำนิ่งตั้งแต่แหล่งน้ำเล็กๆ ไปจนถึงอ่างเก็บน้ำของเขื่อนขนาดใหญ่ และในบางที่ของทะเลสาบ แหล่งน้ำไหล ลำธารจนถึงแม่น้ำขนาดใหญ่ จัดจำแนกตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากกล้อง

จุลทรรศน์ (ยูวดี พิรพรพิศาล, 2556) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในประเทศไทยมีรายงานการสำรวจความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศน้ำจืดอย่างมากมาย แต่พื้นที่เศรษฐกิจของระบบนิเวศชายฝั่งโดยเฉพาะป่าชายเลนยังพบว่ามีการศึกษาที่น้อยมาก ซึ่งพบการสำรวจเพียงบริเวณปากแม่น้ำหรือพื้นที่ตามแนวชายฝั่ง และวิธีการศึกษาส่วนใหญ่จะมีการศึกษาในบริเวณมวน้ำทะเลโดยใช้ถุงกรองแพลงก์ตอน เช่นรายงานของ ขวัญเรือน ปิ่นแก้ว และ อมรรัตน์ ชมรุ่ง (2539) ที่ศึกษาแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์จากชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก และวาสนา อากรรรัตน์, วุฒิชัย อ่อนเอี่ยม และ ลิขิต ชูจิต (2555) ที่ได้ศึกษาแพลงก์ตอนพืชบริเวณชายฝั่งอ่าวประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

2.4 ระบบนิเวศป่าชายเลน



ภาพที่ 2.4 ความหลากหลายของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลน

ป่าชายเลน (Mangroves) เป็นระบบนิเวศที่มีความซับซ้อนเป็นป่าที่มีการเชื่อมต่อระหว่างระบบนิเวศทางทะเลและแผ่นดินกระจายตัวในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนของโลก ส่วนใหญ่จะพบตามชายฝั่งด้านกำบังลม เป็นพันธุ์ไม้ไม่ผลัดใบเขียวตลอดทั้งปีประกอบด้วยพันธุ์ไม้หลากหลายชนิด โดยเฉพาะสังคัมไม้ในกลุ่มโกงกาง (*Rhizophora* sp.) และไม้แสม (*Avicennia* sp.) (ภาพที่ 2.4) ที่เจริญเติบโตในพื้นที่ระดับน้ำทะเลปานกลางและน้ำทะเลท่วมสูงสุด ป่าชายเลนจึงเป็นสังคัมพืชที่อยู่ในสภาวะที่มีน้ำขังน้ำล้นอยู่ตลอดเวลา เมื่อน้ำขึ้นสิ่งมีชีวิตจะจมอยู่ใต้น้ำและจะไหลพาพันน้ำในช่วงน้ำลง หากเกิดน้ำหลากหรือช่วงฝนตกหนักพันธุ์ไม้ป่าชายเลนจะสัมผัสกับน้ำซึ่งเกือบเป็นน้ำจืดเนื่องจากเป็นน้ำฝนที่ถูกพัดพาจากแผ่นดิน การขึ้นลงของกระแสน้ำในระหว่างวัน ทำให้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยความเค็มของน้ำจะเป็นตัวเปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่สุด เนื่องจาก

ความเค็มจะมีอิทธิพลอย่างมากผลต่อสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้กระแสน้ำยังส่งผลกระทบต่อป่าชายเลนในด้านอื่นๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ปริมาณธาตุอาหาร และระดับออกซิเจนในน้ำและดินทั้งหมดนี้ชี้ให้เห็นว่าป่าชายเลนเป็นสังคมพืชที่มีลักษณะพิเศษที่ไม่พบในป่าอื่น การที่ต้องเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมตลอดเวลาทำให้ไม้ป่าชายเลนมีการปรับตัวและเปลี่ยนแปลงลักษณะบางประการเพื่อความอยู่รอดที่เห็นได้ชัด คือ การมีรากค้ำจุนและรากหายใจ เนื่องจากดินเลนในป่าชายเลนเป็นดินเลนอ่อน และบริเวณใต้พื้นผิวเลนมีอากาศไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องสร้างโครงสร้างของรากขึ้นมาเพื่อโผล่พื้นดิน ใช้ในการหายใจและได้รับออกซิเจนจากอากาศ ไม้ไม้จะมีลักษณะพิเศษคือ มีต่อมขับเกลือ ใบอวบน้ำ แผ่นใบเป็นมัน และมีปากใบ เป็นต้น (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และ รุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554)

การสำรวจสถานะของป่าชายเลนทั่วโลกของ FAO ในปี 2007 มีพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมดประมาณ 95,193,750 ไร่ จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าทวีปเอเชียและโอเชียเนียมีพื้นที่ป่าชายเลนมากที่สุด รองลงมาคือทวีปอเมริกาและแอฟริกา ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1

พื้นที่ป่าชายเลนทั่วโลก เมื่อจำแนกตามรายทวีป

ลำดับ	ทวีป	พื้นที่ (ล้านไร่)
1	เอเชียและโอเชียเนีย	48,937,500
2	อเมริกา	26,506,250
3	แอฟริกา	19,750,000
รวม		95,193,750

หมายเหตุ. จาก *The world's mangroves 1980-2005*, โดย FAO, 2007, Italy: Rome.

ส่วนพื้นที่ป่าชายเลนในภูมิภาคอาเซียน เมื่อทำการสำรวจใน พ.ศ. 2552 ประเทศอินโดนีเซียมีพื้นที่ป่าชายเลนมากที่สุดประมาณ 19 ล้านไร่ และในประเทศไทยมีพื้นที่ป่าชายเลนมากเป็นอันดับ 6 มีพื้นที่ป่าชายเลนประมาณ 1.5 ล้านไร่ (1,525,060 ไร่) ซึ่งป่าชายเลนในประเทศไทยขึ้นกระจายตามชายฝั่งทะเลทางภาคตะวันออก ภาคกลาง และภาคใต้ รวม 24 จังหวัด โดยจังหวัดที่มีพื้นที่ป่าชายเลนมากที่สุด คือ จังหวัดพังงา รองลงมาคือ จังหวัดสตูล และพัทลุงมีพื้นที่ป่าชายเลนน้อยที่สุด ดังตารางแสดงที่ 2.2 (ส่วนส่งเสริมและพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลน, 2556 อ้างถึงใน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2552) ส่วนความยาวชายฝั่งทะเลทั้งประเทศมีประมาณ 2,667 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 24 จังหวัด ซึ่งฝั่งอ่าวไทยจะเริ่มจากจังหวัดตราดในภาคตะวันออกตลอด

แนวชายฝั่งถึงภาคใต้จังหวัดนราธิวาส มีความยาว 1,653 กิโลเมตร และทางด้านชายฝั่งทะเลอันดามัน ตั้งแต่จังหวัดระนองจนถึงจังหวัดสตูล ชายแดนติดประเทศมาเลเซีย มีความยาว 1,014 กิโลเมตร ตลอดความยาวของชายฝั่งมีทรัพยากรป่าชายเลนขึ้นอยู่อย่างหนาแน่นกระจายตามภูมิภาคต่างๆ เช่น อ่าว ปากแม่น้ำ เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน จะมีเนื้อที่ป่าชายเลนมากที่สุด (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2552)

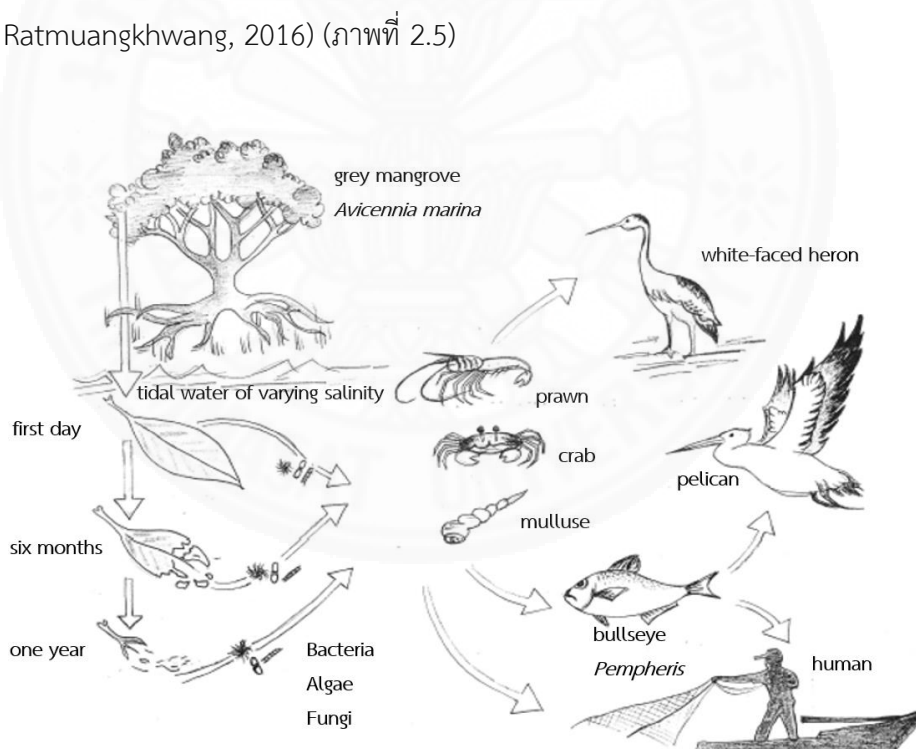
ตารางที่ 2.2

พื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทย เมื่อจำแนกตามรายจังหวัด ทำการสำรวจใน พ.ศ. 2552

จังหวัด	พื้นที่ (ไร่)	จังหวัด	พื้นที่ (ไร่)
สมุทรปราการ	12,524.17	ชุมพร	32,240.11
กรุงเทพมหานคร	3,351.79	สุราษฎร์ธานี	46,574.20
สมุทรสาคร	25,257.22	นครศรีธรรมราช	73,549.60
สมุทรสงคราม	14,272.75	พัทลุง	399.98
เพชรบุรี	18,568.75	สงขลา	7,991.95
ประจวบคีรีขันธ์	1,708.58	ปัตตานี	21,993.68
รวมภาคกลาง	75,683.26	นราธิวาส	184.49
ตราด	61,974.19	รวมภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย	182,934.01
จันทบุรี	75,428.91	ระนอง	154,448.34
ระยอง	11,283.57	พังงา	275,316.68
ชลบุรี	5,554.41	ภูเก็ต	12,327.42
ฉะเชิงเทรา	7,309.34	กระบี่	218,185.74
รวมภาคตะวันออก	161,550.42	ตรัง	220,975.74
		สตูล	223,638.95
		รวมภาคใต้ฝั่งอันดามัน	1,104,892.87
		รวมทั้งประเทศ	1,525,060.56

หมายเหตุ. จาก *คู่มือความรู้เรื่องป่าชายเลน*, โดย ส่วนส่งเสริมและพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลน สำนักงานอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556, กรุงเทพฯ: พลอยมีเดีย.

ระบบนิเวศป่าชายเลน ประกอบไปด้วยสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิตซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างกันอย่างซับซ้อน สิ่งเหล่านี้เป็นส่วนประกอบที่มีบทบาทร่วมกัน เชื่อมโยงกันในลักษณะของการหมุนเวียนธาตุอาหารและการถ่ายทอดพลังงาน กล่าวคือ เมื่อผู้ผลิต ได้แก่ พันธุ์ไม้ป่าชายเลน เจริญเติบโตจากการสังเคราะห์ด้วยแสง ส่วนประกอบต่างๆ ของต้นไม้ โดยเฉพาะใบไม้ กิ่งไม้และเศษไม้ จะร่วงหล่นทับถมลงในน้ำและดิน จากนั้นจะถูกย่อยสลายโดยผู้ย่อยสลาย ให้กลายเป็นอินทรีย์วัตถุ นอกจากกลุ่มพืชแล้ว แพลงก์ตอนพืชและไซยาโนแบคทีเรียถูกจัดเป็นผู้ผลิตขั้นต้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้เช่นเดียวกับกับพืช เมื่อตายตัวลงไปก็จะกลายเป็นแร่ธาตุอาหารของผู้บริโภคขั้นต้น ซึ่งธาตุอาหารบางตัว เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส จะถูกดูดซึมกลับไปใช้โดยพันธุ์ไม้ป่าชายเลน และพวกกินสารอินทรีย์จะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและกลายเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญให้แก่ผู้บริโภคลำดับถัดไปซึ่งได้แก่ สัตว์น้ำขนาดเล็กชนิดต่าง ๆ เช่น ลูกกุ้ง ลูกปู ลูกปลา เป็นต้น สัตว์น้ำวัยอ่อนจะเจริญเติบโตขึ้นและกลายเป็นอาหารของนกที่มีขนาดใหญ่กว่า และในขั้นสุดท้ายพวกสัตว์น้ำขนาดใหญ่จะกลายมาเป็นอาหารของมนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคอันดับสุดท้าย (Sahat Ratmuangkhwang, 2016) (ภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.5 สายใยอาหารในระบบนิเวศป่าชายเลน. ดัดแปลงจากจาก *Mangrove forest management guidelines*, โดย FAO, 1994, <http://www.fao.org/forestry/mangrove/3648/>

2.5 การศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลนและชายฝั่ง

ไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศที่มีความเค็มสูงอย่างป่าชายเลนมีบทบาทสำคัญในการเป็นผู้ผลิตของห่วงโซ่อาหารและเป็นแหล่งของธาตุอาหารทางธรรมชาติขนาดใหญ่ของระบบนิเวศชายฝั่งซึ่งสามารถพบกระจายของไซยาโนแบคทีเรียได้ทั่วไปบนแหล่งที่อยู่อาศัยที่หลากหลาย ได้แก่ พวกที่ยึดเกาะอยู่บนพีช โขดหิน โคลน บนสัตว์ เป็นต้น เรียกไซยาโนแบคทีเรียในกลุ่มนี้ว่า Benthic Cyanobacteria และพวกที่ล่องลอยตามกระแสน้ำและมวลน้ำ เรียกว่า Planktonic Cyanobacteria จากการสำรวจของ Alvarenga et al. (2015) ได้รวบรวมงานวิจัยที่เคยศึกษาถึงความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลนในบางภูมิภาคทั่วโลก ได้แก่ บราซิล อียิปต์ อินเดีย เม็กซิโก โมแซมบิควิค ซาอุดีอาระเบีย แอฟริกาใต้ และแทนซาเนีย โดยแบ่งตามทวีปต่างๆ ดังนี้

ในทวีปอเมริกา เมื่อช่วงศตวรรษที่ 19 Branco, Sant' Anna, Azevedo and Sormus (1996; 1997) ได้มีการศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียทางตอนใต้ของบราซิล บนพื้นฐานลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยพบสังคมไซยาโนแบคทีเรียทั้งหมด 14 และ 25 ชนิด ในอันดับ Chroococcales และ Oscillatoriales ตามลำดับ และปีต่อมา Branco et al. (2003) ทำการศึกษาต่อในบริเวณชายฝั่งทางตะวันออกเฉียงเหนือของบราซิล พบ 17 ชนิด โดยไซยาโนแบคทีเรียที่พบมีความโดดเด่นในสมาชิกของ Oscillatoriales และการสำรวจส่วนใหญ่ไม่พบไซยาโนแบคทีเรียที่มีเฮเทอโรซิสต์ แต่รายงานของ Rigonato et al. (2012, 2013) ที่ศึกษาบริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ของบราซิล พบสมาชิกของ Nostocales ซึ่งในกลุ่มที่มีเฮเทอโรซิสต์ เมื่อศึกษาด้วยวิธี 16s rDNA sequences โดยความแปรปรวนของชนิดที่พบอาจเป็นผลมาจากความแตกต่างของวิธีการที่เลือกศึกษา

ในเม็กซิโก Toledo, Bashan and Soeldner (1995) ได้ศึกษาสังคมไซยาโนแบคทีเรียบนพื้นผิวน้ำในบึงน้ำจืด เมื่อทำการวิเคราะห์บริเวณส่วนล่างของรากที่ใกล้กับดินตะกอน พบไซยาโนแบคทีเรียในกลุ่มเส้นสายแบบไม่มีเฮเทอโรซิสต์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสกุลของ *Oscillatoria* sp. และ *Lyngbya* sp. บริเวณส่วนกลางของรากพบกลุ่มที่เป็นเส้นสายที่มีซิพหุ้มหนา ได้แก่ *Microcoleus* sp. และส่วนบนของรากพบไซยาโนแบคทีเรียในกลุ่มที่เป็นเซลล์เดี่ยวหรือโคโลนี ได้แก่ *Aphanothece* sp. แต่อย่างไรก็ตามรายงานของ Phillips, Lambert, Granger and Steinke (1996) ที่ศึกษาในแอฟริกาใต้ ไม่พบสังคมไซยาโนแบคทีเรียที่จำเพาะบนรากน้ำจืดของแสมทะเล นอกจากนี้แล้ว Toledo et al. (1995) ยังได้รายงานถึงความสามารถตรึงไนโตรเจนของไซยาโนแบคทีเรีย พบว่ามีอัตราการตรึงไนโตรเจนต่ำในช่วงฤดูหนาวและมีอัตราสูงสุดในช่วงกลางฤดูร้อน ซึ่งสอดคล้องกับ Mann and Steinke (1993) ที่ทำการศึกษการตรึงไนโตรเจนของไซยาโนแบคทีเรีย

บนผิวน้ำตะกอนในแอฟริกาใต้ พบอัตราการตรึงไนโตรเจนสูงสุดในช่วงกลางฤดูร้อนเช่นกัน โดยไซยาโนแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนได้ทั้งหมดเป็นกลุ่มของเส้นสายที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์

นอกจากนี้ Pérez-Estrada, León-Tejera and Serviere-Zaragoza (2012) ได้ศึกษาไซยาโนแบคทีเรียและสาหร่ายขนาดใหญ่ จากป่าชายเลนที่มีสภาวะแวดล้อมรุนแรง บริเวณชายฝั่งตะวันออกของบาจาแคลิฟอร์เนียร์ เพนินซูล่า บนรากหายใจของไม้แสม รากอากาศของโกงกางและภายในช่องน้ำขึ้นน้ำลง ในเดือนพฤษภาคม 2005 ถึงพฤษภาคม 2006 จากการศึกษาพบไซยาโนแบคทีเรียทั้งหมด 21 ชนิด โดยรากหายใจของไม้แสมพบการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียอยู่ทั้งหมด 21 ชนิด ประกอบด้วยอันดับ Chroococcales อยู่ 10 ชนิด อันดับ Oscillatoriales 10 ชนิด และอันดับ Nostocales 1 ชนิด ตามลำดับ และในรากอากาศ พบไซยาโนแบคทีเรียทั้งหมด 2 ชนิด และช่องน้ำขึ้นน้ำลงพบไซยาโนแบคทีเรีย 2 ชนิด โดยทั้งสามแหล่งที่อยู่อาศัยมีชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียที่พบได้ทั่วไป (common speceies) ได้แก่ *Lyngbya* sp., *Vaucheria* sp., *Boodleopsis pusilla*, *Rhizoclonium riparium* และ *Bostrychia radicans* เมื่อวิเคราะห์ความมากมายของชนิดพันธุ์พบจำนวนสูงสุดในเดือนพฤศจิกายน

ในทวีปแอฟริกา Lambert, Steinke and Naidoo (1989) ได้ศึกษาสังคมของไซยาโนแบคทีเรียในป่าชายเลนทั้งหมด 19 แห่ง บนพื้นผิวที่อยู่อาศัยทั้ง 6 แห่ง ได้แก่ รากหายใจของแสมทะเล, ลำต้นและรากค้ำยันของโกงกาง, ลำต้น รากหัวเข่า และรากค้ำยันของโกงกางหัวสุม, โคนต้นของโปรงแดง, โคลน และโคลดหิน พบไซยาโนแบคทีเรียทั้งหมด 27 ชนิด โดยพบการกระจายของชนิด *Microcoleus chthonoplastes* มากที่สุด และได้รายงานอีกว่าไซยาโนแบคทีเรียที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์ (non-heterocystous cyanobacteria) พบการแพร่กระจายมากกว่าไซยาโนแบคทีเรียที่มีเฮเทอโรซิสต์ (heterocystous cyanobacteria) นอกจากนี้บนรากหายใจแสมทะเล ยังพบว่าเป็นแหล่งที่อยู่ให้กับไซยาโนแบคทีเรียมากถึง 85% รองลงมาเป็นรากหัวเข่า 48% เป็นต้น

ในโมแซมเบิร์ก Silva (1991) ได้ศึกษาไซยาโนแบคทีเรียบน *Avicennia marina* และ *Ceriops tagal* ทำการจำแนกไซยาโนแบคทีเรียได้ 13 และ 4 ชนิด ตามลำดับ และในการศึกษามีเพียง *Chamaecalyx leibleiniae* เท่านั้น ที่พบการเจริญบนต้นไม้ทั้งสอง

ในแทนซาเนียร์ Lugomela, Bergman and Waterbury (2001) ได้รายงานความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรีย พบประชากรของไซยาโนแบคทีเรียในกลุ่มเซลล์เดี่ยว (unicellular) กลุ่มเส้นสายที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์ (non-heterocysted) และกลุ่มเส้นสายที่มีเฮเทอโรซิสต์ (heterocysted) โดยพบสมาชิกในสกุล *Rivularia* บนรากหายใจสูงสุด ภายหลัง Lugomela and Bergman (2002) ได้ทดสอบ acetylene reduction rates บนรากหายใจ พบว่ามีกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนที่สูงพร้อมพบการเจริญของสายพันธุ์ *Rivularia* sp. ร่วมด้วย ต่อมา Kyaruzi,

Kyewalyanga and Muruke (2003) พบไซยาโนแบคทีเรีย 10 สกุล ในป่าชายเลนใกล้กับเมืองแซนชิบาร์ของแทนซาเนีย โดย 8 ใน 10 สกุล ปรากฏในรูปของเส้นสายที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์ และได้รายงานว่าอัตราการตรึงไนโตรเจนจะสูงในช่วงเวลากลางคืนและต่ำในช่วงกลางวัน

ในอียิปต์ Potts (1979,1980) พบประชากรของไซยาโนแบคทีเรียในกลุ่มที่มีเฮเทอโรซิสต์และไม่มีเฮเทอโรซิสต์กระจายตัวอย่างอุดมสมบูรณ์ในพื้นที่ป่าชายเลนตามแนวชายฝั่ง โดยเฉพาะในสมาชิกของ Rivulariacerea ที่พบกิจกรรมของไนโตรจีเนสในกระบวนการตรึงไนโตรเจนซึ่งสัมพันธ์กันกับความเข้มข้น ประชากรของไซยาโนแบคทีเรียเหล่านี้มีนัยสำคัญในการนำไนโตรเจนเข้าสู่ระบบนิเวศทั้งหมด ส่วนสมาชิกที่มีความโดดเด่นในระบบนิเวศนี้เป็นกลุ่มที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์ เช่น *Hydrocoleus* sp., *Hyella balani*, *Lyngbya aestuarii*, *Phormidium* sp. และ *Schizothrix* sp. นอกจากนี้ยังได้รายงานอีกว่าไซยาโนแบคทีเรียมักมีจำเพาะต่อส่วนต่างๆ บนรากหายใจของแสมทะเล เช่น *Scytonema* sp. พบในส่วนบนของราก, *Calothrix* sp. พบในส่วนกลาง และ *Kyrthuthrix maculans* กับ *Rivularia* sp. พบในส่วนล่างของราก

ในทวีปเอเชีย Ramachandran and Venugopalan (1987) ในประเทศอินเดีย ได้รายงานว่าพบการตรึงไนโตรเจนของไซยาโนแบคทีเรีย ในกลุ่ม planktonic ได้แก่ *Anabaena*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Phormidium* และ *Trichodesmium* กลุ่ม benthic ได้แก่ *Calothrix*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Phormidium* และ *Spirulina* และกลุ่ม epiphytic ได้แก่ *Aphanocapsa*, *Oscillatoria*, *Lyngbya* และ *Stigonema* บริเวณมวลน้ำของพื้นที่ป่าชายเลน ต่อมา Nedumaran, Thillairajasekar and Perumal (2008) ได้ศึกษาองค์ประกอบของไซยาโนแบคทีเรียในพื้นที่ป่าชายเลนสองแห่งของประเทศอินเดียตามฤดูกาลที่ผันแปร พบไซยาโนแบคทีเรียจำนวนมากในช่วงฤดูมรสุม และรายงานว่าแสมทะเลเป็นที่อยู่ให้กับสังคมไซยาโนแบคทีเรียมากที่สุด 23 ชนิด เมื่อเทียบกับแหล่งที่อยู่อื่น นอกจากนี้ Silambarasan, Ramanathan and Kathiresan (2012) ได้รายงานการสำรวจพบไซยาโนแบคทีเรียในป่าชายเลนทางตะวันออกเฉียงใต้ของอินเดียเช่นกัน โดยพบทั้งหมด 39 ชนิด ส่วนใหญ่พบสมาชิกของ Oscillatoriacean ในจำนวนมากที่สุด และในเวลาใกล้เคียงกัน Sakthivel and Kathiresan (2012) ได้ศึกษาถึงกิจกรรมการดูดซับไนโตรเจนของไซยาโนแบคทีเรียในพื้นที่ป่าชายเลนบนชายฝั่งทางตะวันออกเฉียงใต้ของอินเดีย พบว่า *Oscillatoria cortiana*, *O. salina*, *O. willei*, *Phormidium tenue*, *P. fragile*, *Synechocystis salina* และ *Spirulina subsalsa* สามารถต่อต้านเชื้อแบคทีเรียและฟังไจ รวมถึงเชื้อก่อโรคในพืชและในสัตว์ได้ และ Sakthivel and Kathiresan (2013) ได้ทำการศึกษาถึงความหลากหลายของสปีชีส์ไซยาโนแบคทีเรียอีกครั้ง ในพื้นที่ป่าชายเลน 3 แห่ง โดยพบทั้งหมด 68 ชนิด ซึ่งสมาชิกที่โดดเด่นเป็นของ Oscillatoriacean

ในซาอูดีอาระเบีย Hussain and Khoja (1993) พบความอุดมสมบูรณ์ของไซยาโนแบคทีเรียในป่าชายเลนโดยพบจำนวนสูงสุดใน *Scytonema* sp. รองลงมาคือ *Microcoleus chthonoplastes* เมื่อทำการศึกษาใน microbial mat บริเวณผิวน้ำตะกอนภายในป่าชายเลน โดยพื้นที่ดังกล่าวเป็นป่าชายเลนที่มีความโดดเด่นแสมทะเล ซึ่งสามารถระบุชนิดไซยาโนแบคทีเรียได้ทั้งหมดถึง 90 ชนิด

ส่วนในประเทศไทยความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในป่าชายเลนยังมีการศึกษาไม่มากนัก เช่น วิชญา กันบัว (2541) ได้ศึกษาความหลากหลายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนพืชในป่าชายเลน อำเภอสีเกา จังหวัดตรัง ระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2539 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2540 เก็บตัวอย่างขณะน้ำกำลังขึ้นและขณะน้ำขึ้นสูงสุด จากการศึกษาพบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 3 ตรีชั้น 5 คลาส 62 สกุล โดยพบกลุ่มไซยาโนแบคทีเรียเพียง 3 สกุลเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบการรายงานถึงความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศชายฝั่ง เช่น จิตรา ตีระเมธี (2552) ที่ได้ศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนทะเลบริเวณหาดนางรอง เกาะกระเช้ และหมู่เกาะจวง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2552 พบไซยาโนแบคทีเรีย 3 ชนิด ได้แก่ *Oscillatoria erythraea*, *O. thiebautii* และ *Richelia intracellularis* วาสนา อากรรัตน์ และคณะ (2555) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำ และแพลงก์ตอนพืชบริเวณชายฝั่งอ่าวประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ใน พ.ศ. 2551-2552 ตามฤดูกาลในรอบปี ทำการเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนด้วยถ่วงกรองแพลงก์ตอน และบันทึกข้อมูลคุณภาพน้ำ ได้แก่ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และเก็บตัวอย่างน้ำทะเลบางส่วนมาวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรต ออร์โธฟอสเฟต ซิลิเกต และคลอโรฟิลล์ เอ ผลการศึกษาพบแพลงก์ตอนพืชจำนวน 57 สกุล 3 ตรีชั้น โดยตรีชั้น Cyanophyta พบ 2 สกุล คือ *Oscillatoria* และ *Richelia* ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชบริเวณชายฝั่งอ่าวประจวบคีรีขันธ์ พบว่า แพลงก์ตอนพืชมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณซิลิเกต และมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณไนโตรเจน ต่อมา จิรพร เจริญวัฒนาพร (2555) ได้ศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งหญ้าทะเล บริเวณเกาะยาวใหญ่ จังหวัดพังงา ในเดือนมกราคมและเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2548 จำแนกถึงระดับสกุลด้วยกล้องจุลทรรศน์ ผลการศึกษาพบแพลงก์ตอนพืช 4 คลาส ได้แก่ Cyanophyceae, Bacillariophyceae, Dinophyceae และ Dictyochophyceae รวม 57 สกุล ซึ่งสมาชิกในกลุ่ม Cyanophyceae พบ 4 สกุล และรายงานของ เบ็ญจมาศ จันทร์ภา ไพบุลย์กิจกุล, ลภัสลดา ไกรสินธุ์, ศศิพา นิยมพลี และ ชลิ ไพบุลย์กิจกุล (2558) ได้ศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชบริเวณบ้านบางสระแก้ว อำเภอบางสะพาน จังหวัด

จันทบุรี โดยเริ่มศึกษาในเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2551 ถึง เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2552 พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 63 สกุล โดย พบ Cyanophyta เพียง 3 สกุล

2.6 การนำไซยาโนแบคทีเรียไปใช้ประโยชน์

สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ และ บงกช บุญบุรพงษ์ (2555) ได้รายงานถึงความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศที่หลากหลาย เช่น น้ำพุร้อน นาเกลือ นาข้าว แหล่งน้ำเสีย และบริเวณที่ใช้สำหรับการเดินทางขนส่งทางน้ำ เป็นต้น และพบว่าไซยาโนแบคทีเรียส่วนมากจัดอยู่ในกลุ่ม *Anabaena* sp. และ *Nostoc* sp. ซึ่งมีหลายหน่วยงานที่ได้ทำการศึกษาวิจัยและมีการเก็บรวบรวมสายพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรียไว้หลากหลายชนิด และมีการนำไซยาโนแบคทีเรียมาใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้าน ได้แก่

1) ด้านเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ได้นำไซยาโนแบคทีเรียมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียและเพิ่มปริมาณออกซิเจน เช่น *Calothrix marchica* และ *Gloeocapsa gelatinosa* รวมไปถึงการบำบัดตะกั่วออกจากสิ่งแวดล้อมและการกำจัดน้ำมันเครื่อง (Suneerat Raungsomboon, Amnat Chidthaisong, Boosya Bunnang, Duangrat Inthorn & Narumon Harveya, 2006)

2) ด้านอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากไซยาโนแบคทีเรียบางชนิดเช่น *Anabaena siamensis* และ *Arthrospira* sp. มีโปรตีนและรงควัตถุกลุ่มไฟโคไซยานิน แคโรทีน และคลอโรฟิลล์ เป็นองค์ประกอบที่สามารถนำมาทำเป็นสีผสมอาหาร และอาหารเสริมสำหรับผู้บริโภคได้ ในประเทศไทยมีการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรียหลายแห่ง รวมถึงการท่องเที่ยวเชิงเกษตร และในระดับอุตสาหกรรม

3) ด้านการแพทย์ พบว่าไซยาโนแบคทีเรียสามารถผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ เช่น *Tolypothrix tenuis*, *Anabaena variabilis* และ *Cylindrospermum* sp. (Malathi et al. 2014) นอกจากนี้ *Arthrospira* sp. ได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตสารต้านอนุมูลอิสระไฟโคไซยานินและแคโรทีน (Asghari, Fazilati, Latifi, Salavati & Choopani, 2016)

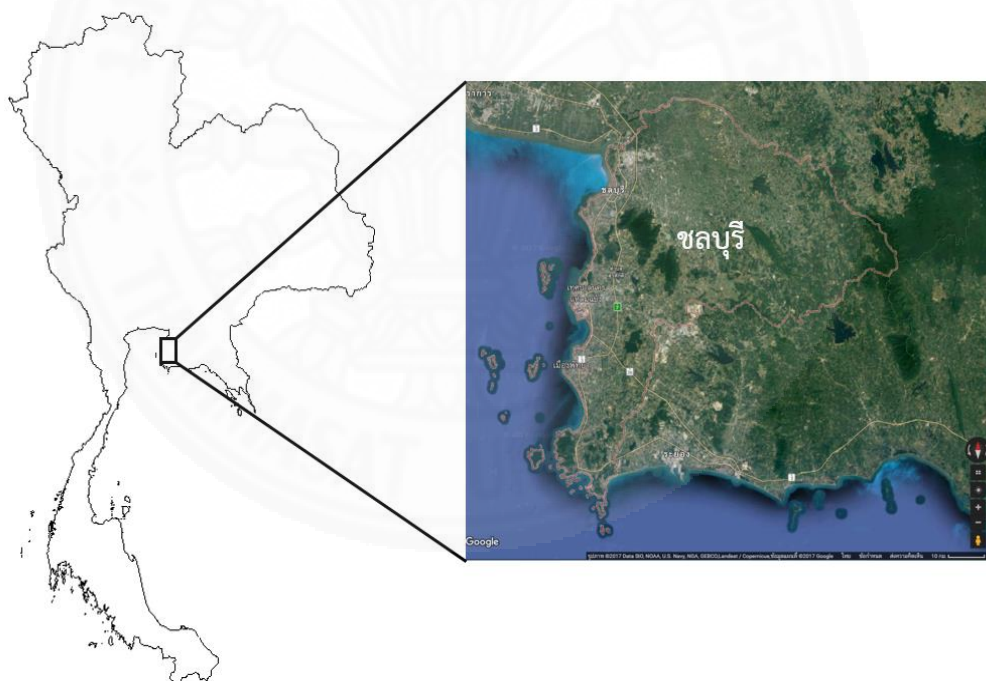
4) ด้านการเกษตร ปัจจุบันไซยาโนแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่นิยมนำมาใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ เนื่องจากมีความสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และยังมีกรวิจัยโดยใช้ไซยาโนแบคทีเรียเป็นต้นแบบกลไกในพืชชั้นสูง ในการนำพืชเศรษฐกิจไปปลูกในพื้นที่ที่มีความเค็มสูง

5) ด้านการวิจัย เนื่องจากไซยาโนแบคทีเรียมีความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้เช่นเดียวกับพืช จึงมีนักวิจัยได้ศึกษากลไกบางชนิด เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงพืชต่อไป

6) แหล่งพลังงานทดแทน จากศักยภาพการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วกว่าพืชชั้นสูงและเป็นแหล่งชีวโมเลกุลที่ดีทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนจากกระบวนการเมทาบอลิซึม เช่น การผลิตไบโอเอทานอล (bioethanol) การผลิตไบโอดีเซล (biodiesel) และการผลิตไบโอไฮโดรเจน (biohydrogen)

2.7. สภาพพื้นที่ศึกษา

2.7.1 พื้นที่ศึกษาจังหวัดชลบุรี



ภาพที่ 2.6 แผนที่และลักษณะทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดชลบุรี. โดย

<https://www.google.co.th/maps/place/ชลบุรี>

ชลบุรี เป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของประเทศไทย บริเวณริมฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทย (ภาพที่ 2.6) มีเนื้อที่ทั้งจังหวัดประมาณ 4,363 ตารางกิโลเมตร ลักษณะภูมิประเทศ มีการผสมผสานกัน 5 แบบ ทั้งที่ราบลูกคลื่นและเนินเขา ที่ราบชายฝั่งทะเล ที่ราบลุ่มแม่น้ำบางปะกง พื้นที่สูงชันและภูเขา รวมถึงเกาะน้อยใหญ่อีกมากมาย จังหวัดชลบุรีมีพื้นที่ชายฝั่งทะเลยาวถึง 160 กิโลเมตร ภูเขา คดโค้ง และมีหินผามากมาย หลายแห่งถูกพัฒนาเป็นท่าจอดเรือ และมีเกาะสำคัญๆ ไม่น้อยกว่า 46 เกาะ โดยเกาะเหล่านี้ทำหน้าที่สำคัญเป็นกำบังช่วยป้องกันคลื่นลมทำให้ชลบุรีไม่ค่อยมีคลื่นขนาดใหญ่ต่างจากระยอง จันทบุรี และตราดที่มักมีคลื่นลูกใหญ่กว่า

ลักษณะภูมิอากาศ จังหวัดชลบุรีมีลักษณะอากาศแบบมรสุมเขตร้อน โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมที่พัดเวียนประจำฤดูกาล 2 ชนิด คือมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ ที่พัดปกคลุมในช่วงฤดูฝนประมาณเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม และได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดปกคลุมในช่วงฤดูหนาวระหว่างเดือนตุลาคมถึงกุมภาพันธ์ ส่งผลให้จังหวัดชลบุรีมีฤดูกาลที่แตกต่างกัน 3 ฤดู โดยอ้างอิงข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา ประกอบกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศค่ามาตรฐาน 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553) ที่แสดงในตารางที่ 2.3 ดังนี้

1. ฤดูร้อน เป็นช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มตั้งแต่ประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม อากาศไม่ร้อนมากนัก เนื่องจากมีลมทะเลช่วยบรรเทาความร้อน แต่คลื่นลมค่อนข้างแรงในช่วงบ่ายและเย็น
2. ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม เป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทย โดยนำพาความชื้นจากทะเลอันดามันพัดผ่านอ่าวไทยเข้าสู่ภาคตะวันออก ฝนตกชุกในเดือนสิงหาคม กันยายน และตุลาคม
3. ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ เป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทย แต่เนื่องจากชลบุรีมีชายฝั่งทะเลทำให้อากาศไม่หนาวเย็นมากนัก อากาศปลอดโปร่งและมีแดดตลอดวัน (ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2560)

ตารางที่ 2.3

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน จำนวนวันฝนตก ปริมาณฝนสูงสุด และอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด จังหวัด
ชลบุรี พ.ศ. 2524-2553

สถานี ชลบุรี	ระดับของสถานี (ความสูงของเครื่องบิน เมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง)												
สถานีดัชนี 48459	ความสูงของบารอมิเตอร์ เมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง												
ละติจูด 13 22 N	ความสูงของเทอร์โมมิเตอร์เหนือพื้นดิน												
ลองจิจูด 100 59 E	ความสูงของกังหันลมเหนือพื้นดิน												
	ความสูงของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน												
	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ประจำ ปี
อุณหภูมิ (เซลเซียส)													
ค่าเฉลี่ย	26.9	28.1	29.2	30.2	29.8	29.6	29.2	29.0	28.3	27.9	27.6	26.5	28.5
ค่าเฉลี่ยสูงสุด	32.6	33.2	34.2	35.2	34.2	33.7	33.2	33.0	32.6	32.7	32.8	32.4	33.3
ค่าเฉลี่ยต่ำสุด	22.1	24.0	25.5	26.6	26.4	26.3	26.1	25.8	25.1	24.5	23.3	21.6	24.8
ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)													
ค่าเฉลี่ย	9.9	14.3	47.5	74.1	175.3	147.7	140.6	154.1	268.9	208.9	48.8	5.5	1295.6
ค่าเฉลี่ยวันฝนตก	1.4	2.2	4.8	7.5	14.5	14.9	14.8	16.7	19.9	16.4	5.3	1.0	119.4
ค่าสูงสุดรายวัน	34.0	52.6	83.9	79.3	98.6	163.4	150.0	136.5	186.2	107.2	80.8	29.3	186.2

หมายเหตุ. จาก สภาพภูมิประเทศทั่วไป สถิติภูมิอากาศและข้อมูลย้อนหลังค่ามาตรฐานอุณหภูมิและ
ปริมาณน้ำฝน 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553) จังหวัดชลบุรี, โดย กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557,
<http://climate.tmd.go.th/site/index>

จากสถิติปริมาณน้ำฝนย้อนหลังระหว่างปี พ.ศ. 2524-2553 (ตารางที่ 2.3) มี
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,295.6 มิลลิเมตร ในขณะที่จำนวนวันฝนตกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 119.4 วัน และมี
ปริมาณฝนตกสูงสุดประจำวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 186.2 มิลลิเมตร จากสถิติปริมาณน้ำฝนในช่วง 30 ปี
พบว่าน้ำฝนมีปริมาณต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคมจนถึงมกราคม และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จาก
เดือนมกราคมไปจนถึงเดือนเมษายน และมีอัตราการเพิ่มสูงมากขึ้นเรื่อยๆ โดยมีค่าสูงสุดในเดือน
กันยายน จากนั้นจึงมีแนวโน้มลดลงในอัตราที่ค่อนข้างสูงไปจนถึงเดือนธันวาคม ดังนั้น ฤดูฝนจะอยู่
ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนสูง (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557)

ในส่วนอุณหภูมีย้อนหลังระหว่างปี พ.ศ. 2524-2553 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.5 องศา
เซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดอยู่ที่ 24.8 และ 33.3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากสถิติจะ
เห็นได้ว่ามีอุณหภูมิสูงสุดในเดือนเมษายน จากนั้นมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนต่ำสุดในช่วงเดือน
มกราคม ดังนั้นตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคมเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงจึงนับว่าเป็นช่วงของ

ฤดูร้อน และระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์มีอุณหภูมิที่ต่ำจึงเป็นช่วงของฤดูหนาว (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557)

2.7.2 พื้นที่ศึกษาจังหวัดตราด



ภาพที่ 2.7 แผนที่และลักษณะทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดตราด. โดย <https://www.google.co.th/maps/place/ตราด>

จังหวัดตราด ตั้งอยู่ภาคตะวันออกของประเทศไทย (ภาพที่ 2.7) มีเนื้อที่ประมาณ 2,819 ตารางกิโลเมตร ลักษณะภูมิประเทศ ประกอบด้วยเทือกเขาสูงทางด้านตะวันออก ส่วนทางใต้เป็นบริเวณหมู่เกาะต่างๆ สภาพภูมิประเทศแบ่งออกเป็นที่ราบลุ่มน้ำ ราบบริเวณภูเขา ที่สูงบริเวณภูเขา และที่ราบชายฝั่งทะเล ซึ่งเป็นบริเวณที่มีพื้นที่ป่าชายเลนหนาแน่นและเป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจำนวนมาก

ลักษณะภูมิอากาศ อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมที่พัดเวียนประจำฤดูกาล 2 ชนิด คือ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดปกคลุมในช่วงฤดูหนาวประมาณช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ และมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ที่พัดปกคลุมในช่วงฤดูฝนประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม แต่ด้วยลักษณะภูมิประเทศที่มีชายฝั่งทะเลทำให้จังหวัดตราดมีอากาศไม่หนาวเย็นมากนัก แต่จะได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันออกเฉียงใต้จากอ่าวไทยอย่างเต็มที่ จึงส่งผลให้จังหวัดตราดมีฝนตกชุกตลอดทั้งปี เมื่อพิจารณาตามฤดูกาลสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

(1) ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ เป็นช่วงมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ พัดพาเอาความเย็นและแห้งจากประเทศจีนเข้ามาปกคลุมที่ประเทศไทย แต่เนื่องจากตราดมีละติจูดที่ต่ำและมีพื้นที่ติดชายฝั่งทะเลมักจะได้รับอิทธิพลจากลมทะเล ทำให้อากาศไม่หนาวเย็นมากนัก

(2) ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม อากาศจะร้อนมากขึ้นแต่จะได้รับอิทธิพลจากกระแสลมของทะเล ทำให้อากาศไม่ร้อนอบอ้าวมากนัก

(3) ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม เป็นช่วงที่มีมรสุม ตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทย ซึ่งจะนำเอาความชื้นจากทะเลอันดามันพัดผ่านอ่าวไทยเข้าสู่ภาคตะวันออก ทำให้อากาศชุ่มชื้นและมีฝนตกชุก ซึ่งจังหวัดตราดเป็นจังหวัดที่มีฝนตกชุกตลอดทั้งปี จังหวัดหนึ่งของประเทศไทย (ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2560)

ตารางที่ 2.4

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน จำนวนวันฝนตก ปริมาณฝนสูงสุด และอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด จังหวัดตราด พ.ศ. 2524-2553

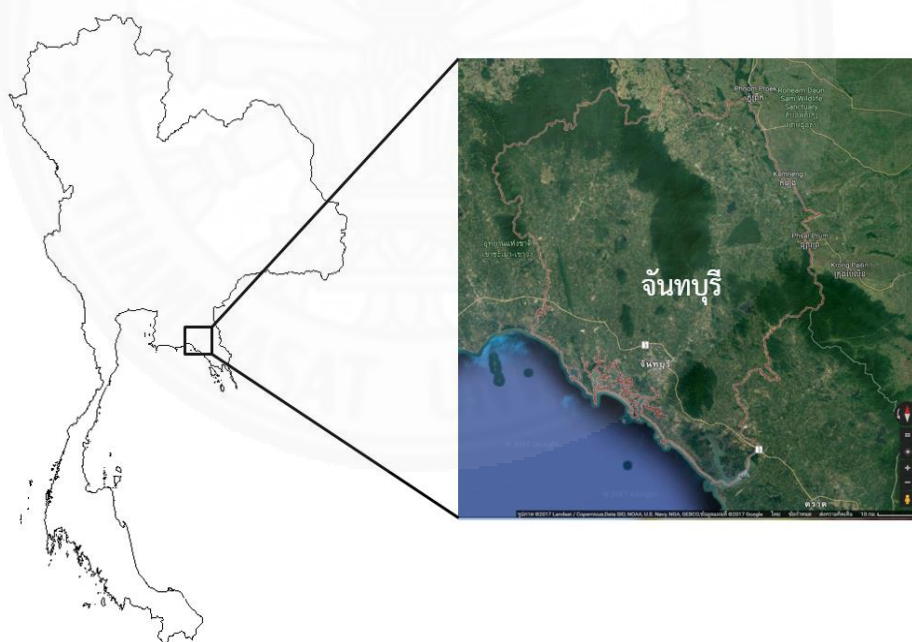
	จังหวัดตราด												ประ จําปี
	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	
สถานี คลองใหญ่	ระดับของสถานี (ความสูงของเครื่องบิน เมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง)												2 เมตร
สถานีดัชนี 48501	ความสูงของบารอมิเตอร์ เมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง												4 เมตร
ละติจูด 11 46 N	ความสูงของเทอร์โมมิเตอร์เหนือพื้นดิน												1.25 เมตร
ลองจิจูด 102 53 E	ความสูงของกังหันลมเหนือพื้นดิน												11.00 เมตร
	ความสูงของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน												1.00 เมตร
อุณหภูมิ (เซลเซียส)													
ค่าเฉลี่ย	26.5	27.2	27.9	28.5	28.2	27.4	27.0	27.0	26.9	26.8	27.3	26.8	27.3
ค่าเฉลี่ยสูงสุด	31.5	31.7	32.4	32.2	32.6	31.3	30.7	30.5	30.9	31.5	32.2	31.7	31.7
ค่าเฉลี่ยต่ำสุด	21.8	23.0	24.0	24.6	24.7	24.1	23.9	24.0	23.8	23.4	23.2	22.1	23.6
ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)													
ค่าเฉลี่ย	37.2	86.0	115.3	185.4	426.7	829.0	971.6	1040.4	681.0	377.4	73.6	21.3	4845.8
ค่าเฉลี่ยวันฝนตก	4.4	7.2	10.8	14.4	22.2	25.5	26.3	27.5	24.6	21.1	9.1	2.9	196.0
ค่าสูงสุดรายวัน	89.9	114.2	85.1	99.8	174.7	223.7	445.3	395.7	338.9	435.6	112.7	50.3	445.3

หมายเหตุ. จาก *สภาพภูมิประเทศทั่วไป สถิติภูมิอากาศและข้อมูลย้อนหลังค่ามาตรฐานอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553) จังหวัดตราด*, โดย กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557, <http://climate.tmd.go.th/site/index>

จากสถิติปริมาณน้ำฝนย้อนหลังระหว่างปี พ.ศ. 2524-2553 (ตารางที่ 2.4) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,845.8 มิลลิเมตร ในขณะที่จำนวนวันฝนตกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 196.0 วัน และมีปริมาณฝนตกสูงสุดประจำวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 445.3 มิลลิเมตร จากสถิติปริมาณน้ำฝนในช่วง 30 ปี พบว่าน้ำฝนมีปริมาณต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคมจนถึงเดือนมกราคม และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตั้งแต่เดือนมกราคมและมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่าปริมาณน้ำฝนสูงสุดในเดือนสิงหาคม จากนั้นจึงมีแนวโน้มลดลงในอัตราที่ค่อนข้างสูงไปจนถึงเดือนธันวาคม (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557)

ในส่วนอุณหภูมิย้อนหลังระหว่างปี พ.ศ. 2524-2553 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.3 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดอยู่ที่ 23.6 และ 31.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากสถิติจะเห็นได้ว่ามีอุณหภูมิสูงสุดในเดือนพฤษภาคม จากนั้นมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนถึงช่วงเดือนตุลาคม และมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยในเดือนพฤศจิกายน ก่อนที่จะลดต่ำลงไปจนถึงเดือนมกราคม (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557)

2.7.3 พื้นที่ศึกษาจังหวัดจันทบุรี



ภาพที่ 2.8 แผนที่และลักษณะทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดจันทบุรี. โดย

<https://www.google.co.th/maps/place/จันทบุรี>

จังหวัดจันทบุรีเป็นจังหวัดในภาคตะวันออก ตั้งอยู่ชายฝั่งทะเลด้านทิศตะวันออกของอ่าวไทย (ภาพที่ 2.8) มีเนื้อที่ประมาณ 6,338 ตารางกิโลเมตร ลักษณะภูมิประเทศ มีสภาพโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น ป่าไม้ ภูเขา และเนินสูง ทางด้านเหนือและตะวันออกของจังหวัดเป็นเขตป่าสงวน เขตอุทยานแห่งชาติ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าและพื้นที่การเกษตร ส่วนทางตอนกลางของจังหวัดเป็นพื้นที่แหล่งน้ำที่ใช้ทำสวนผลไม้ นอกจากนี้ยังมีพื้นที่บริเวณที่ราบชายฝั่ง เป็นที่ราบชายฝั่งทะเลสลัดด้วยเนินเขาและป่าชายเลน

ลักษณะภูมิอากาศทั่วไป จังหวัดจันทบุรีอยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุมที่พัดเวียนประจำฤดูกาล 2 ชนิด คือ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดปกคลุมในช่วงฤดูหนาวตั้งแต่ประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งจะนำความเย็นมาสู่จังหวัด และมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดปกคลุมในช่วงฤดูฝนประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม จากลักษณะภูมิประเทศที่มีชายฝั่งทะเลและมีเทือกเขาอยู่ใกล้ทะเลด้านที่เปิดรับมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากอ่าวไทยอย่างเต็มที่จึงทำให้ฝนตกมากตามแนวภูเขาและชายฝั่งทะเล เมื่อพิจารณาตามลักษณะลมฟ้าอากาศของประเทศไทย สามารถแบ่งฤดูกาลของจังหวัดจันทบุรีออกเป็น 3 ฤดูดังนี้

(1) ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทย ซึ่งพัดพาเอามวลอากาศเย็นและแห้งจากประเทศจีนเข้ามาปกคลุมประเทศไทย แต่เนื่องจากจังหวัดจันทบุรีอยู่ใน ละติจูดที่ต่ำและมีพื้นที่ติดบริเวณชายฝั่งทะเลซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมทะเลทำให้อากาศไม่หนาวเย็นมากนัก

(2) ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม เมื่อเปลี่ยนเข้าสู่ฤดูร้อนอากาศจะร้อนขึ้นแต่ได้รับกระแสลมจากทะเล ทำให้อากาศไม่ร้อนอบอ้าวมากนัก

(3) ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม เป็นระยะที่มีมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทย ซึ่งจะนำความชื้นจากทะเลอันดามันพัดผ่านอ่าวไทยเข้าสู่ภาคตะวันออก ทำให้อากาศจะชุ่มชื้นและมีฝนตกชุกทั่วไป และจังหวัดจันทบุรีนับเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีฝนมากจังหวัดหนึ่งของประเทศไทย (ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2560) ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน จำนวนวันฝนตก ปริมาณฝนสูงสุด และอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด จังหวัด
จันทบุรี พ.ศ. 2524-2553

สถานี จันทบุรี	ระดับของสถานี (ความสูงของเครื่องบิน เมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง)												3 เมตร
สถานีดัชนี 48480	ความสูงของบารอมิเตอร์ เมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง												4 เมตร
ละติจูด 12 37 N	ความสูงของเทอร์โมมิเตอร์เหนือพื้นดิน												1.25 เมตร
ลองจิจูด 102 06 E	ความสูงของกังหันลมเหนือพื้นดิน												12.00 เมตร
	ความสูงของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน												1.00 เมตร
	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ประจำปี
อุณหภูมิ (เซลเซียส)													
ค่าเฉลี่ย	26.4	27.3	28.1	28.7	28.3	27.9	27.6	27.5	27.2	27.0	26.9	26.0	27.4
ค่าเฉลี่ยสูงสุด	32.6	32.7	33.1	33.9	32.8	31.8	31.3	31.2	31.4	32.0	32.1	31.8	32.2
ค่าเฉลี่ยต่ำสุด	21.5	23.0	24.0	24.8	25.1	25.1	24.8	24.9	24.4	23.9	23.1	21.5	23.8
ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)													
ค่าเฉลี่ย	18.7	36.4	71.9	125.2	392.5	512.6	483.2	497.2	497.6	297.6	54.5	6.8	2994.2
ค่าเฉลี่ยวันฝนตก	1.9	3.6	6.7	10.8	22.0	24.4	24.1	25.1	24.8	18.4	5.9	1.3	169.0
ค่าสูงสุดรายวัน	113.8	88.5	88.9	122.3	135.0	221.8	199.4	177.0	195.9	273.0	105.4	22.3	273.0

หมายเหตุ. จาก *สภาพภูมิประเทศทั่วไป สถิติภูมิอากาศและข้อมูลย้อนหลังค่ามาตรฐานอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553) จังหวัดจันทบุรี*, โดย กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557, <http://climate.tmd.go.th/site/index>

จากสถิติปริมาณน้ำฝนย้อนหลังระหว่างปี พ.ศ. 2524-2553 (ตารางที่ 2.5) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,994.2 มิลลิเมตร ในขณะที่จำนวนวันฝนตกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 169.0 วัน และมีปริมาณฝนตกสูงสุดประจำวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 273.0 มิลลิเมตร จากสถิติปริมาณน้ำฝนในช่วง 30 ปี พบว่าน้ำฝนมีปริมาณต่ำสุดในช่วงเดือนพฤศจิกายนจนถึงมีนาคม และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมาก ตั้งแต่เดือนเมษายนไปจนถึงเดือนตุลาคม โดยมีค่าปริมาณน้ำฝนสูงสุดในเดือนมิถุนายน จากนั้นจึงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยไปจนถึงเดือนตุลาคม และมีอัตราการลดลงอย่างมากในเดือนพฤศจิกายน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557)

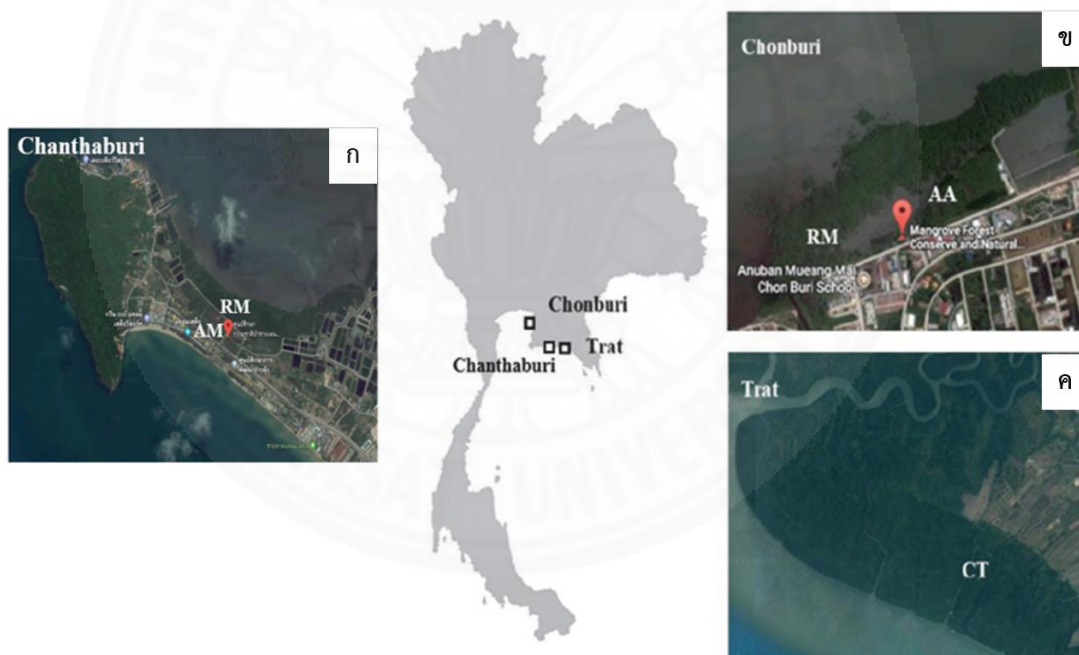
ในส่วนของอุณหภูมีย้อนหลังระหว่างปี พ.ศ. 2524-2553 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.4 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดอยู่ที่ 23.8 และ 32.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากสถิติจะเห็นได้ว่ามีอุณหภูมิสูงสุดในเดือนเมษายน จากนั้นมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย ก่อนที่จะเพิ่มสูงขึ้นในเดือนมกราคมเป็นต้นไป (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 การศึกษาในเชิงพื้นที่ตามแหล่งที่อยู่อาศัย

ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรียในพื้นที่ป่าชายเลน 3 แห่งใน 5 พื้นที่ที่ อยู่อาศัย ได้แก่ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดชลบุรี เลือกเก็บตัวอย่างจากรากไม้ป่าชายเลนของต้นแสมขาวและโกงกางใบใหญ่ ป่าชายเลนบ้านเป็ดใน จังหวัดตราด เก็บตัวอย่างจากรากไม้ของต้นโปรงแดง และป่าชายเลนบริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติป่า ชายเลนอ่าวคู้กระเบน จังหวัดจันทบุรี เลือกเก็บตัวอย่างจากรากต้นแสมทะเลและโกงกางใบใหญ่ (ภาพที่ 3.1) โดยมีรายละเอียดของพื้นที่ศึกษาดังนี้



ภาพที่ 3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรียในพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดชลบุรี ตราด และ จันทบุรี ตามแนวชายฝั่งทางภาคตะวันออกของประเทศไทย โดยภาพ ก คือป่าชายเลนจังหวัดจันทบุรี AM (*Avicennia marina*) เป็นจุดเก็บตัวอย่างจากรากต้นแสมทะเล และ RM (*Rhizophora mucronata*) เป็นจุดเก็บตัวอย่างจากรากต้นโกงกางใบใหญ่, ภาพ ข คือป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี โดย AA (*Avicennia alba*) แสดงถึงจุดเก็บตัวอย่างของต้นแสมขาว และ RM เป็นจุดเก็บตัวอย่างของต้นโกงกางใบใหญ่, และภาพ ค คือป่าชายเลนจังหวัดตราด โดย CT แสดงถึงจุดเก็บตัวอย่างของต้นโปรงแดง (*Ceriops tagal*), โดย <https://www.google.co.th/maps/place/>

3.1.1 ศูนย์ศึกษาธรรมชาติ และอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัด ชลบุรี

ตั้งอยู่ในพื้นที่หมู่ 3 ตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี เป็นลักษณะของป่าชายเลนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีเนื้อที่ 300 ไร่ มีเส้นทางเดินธรรมชาติและสะพานไม้ยาว 2,300 เมตร เป็นป่าชายเลนใกล้กับเขตชุมชนในเมือง มีการกระจายของสองพันธุ์ไม้เด่นได้แก่ ต้นแสมขาว (*Avicennia alba*) และต้นโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) ในการศึกษาวิจัยได้เลือกเก็บตัวอย่างสังคมนาโนแบคทีเรียจากรากหายใจของต้นแสมขาว และตะกอนดินที่รากค้ำยันของต้นโกงกางใบใหญ่ ซึ่งลักษณะทางนิเวศวิทยาของต้นแสมขาว เป็นไม้เบิกนำในพื้นที่ พบได้ทั่วไปตามริมแม่น้ำหรือใกล้ชายฝั่งในพื้นที่ป่าชายเลนเขตนอกสุดติดทะเล หรือบางครั้งเรียกว่าป่าชายเลนเขตเลนงอกใหม่ มีน้ำท่วมขังอยู่ตลอดหรือขังเป็นครั้งคราว เป็นไม้ชายเลนที่เติบโตเร็ว ทนต่อน้ำท่วมขังและแห้งแล้งได้ดี และถัดเข้าไปเป็นไม้โกงกางใบใหญ่ ในทางนิเวศวิทยามักขึ้นอยู่บริเวณชิตติดแม่น้ำ ชอบขึ้นในดินเลนอ่อนและลึก พบได้ทั่วไปตามริมชายฝั่งทะเลที่มีน้ำเค็มท่วมถึงเป็นระยะเวลาานาน (ภาพที่ 3.2)



ภาพที่ 3.2 พันธุ์ไม้เด่นในป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี โดยภาพ ก คือต้นแสมขาว (*A. alba*), ข คือรากหายใจของต้นแสมขาว



ภาพที่ 3.2 (ต่อ) พันธุ์ไม้เด่นในป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี ภาพ ค คือต้นโกงกางใบใหญ่ (*R. mucronata*), ง คือการเก็บตะกอนดินที่รากค้ำยันของต้นโกงกางใบใหญ่

3.1.2 ป่าชายเลนบ้านเปรี๊ตใน จังหวัดตราด

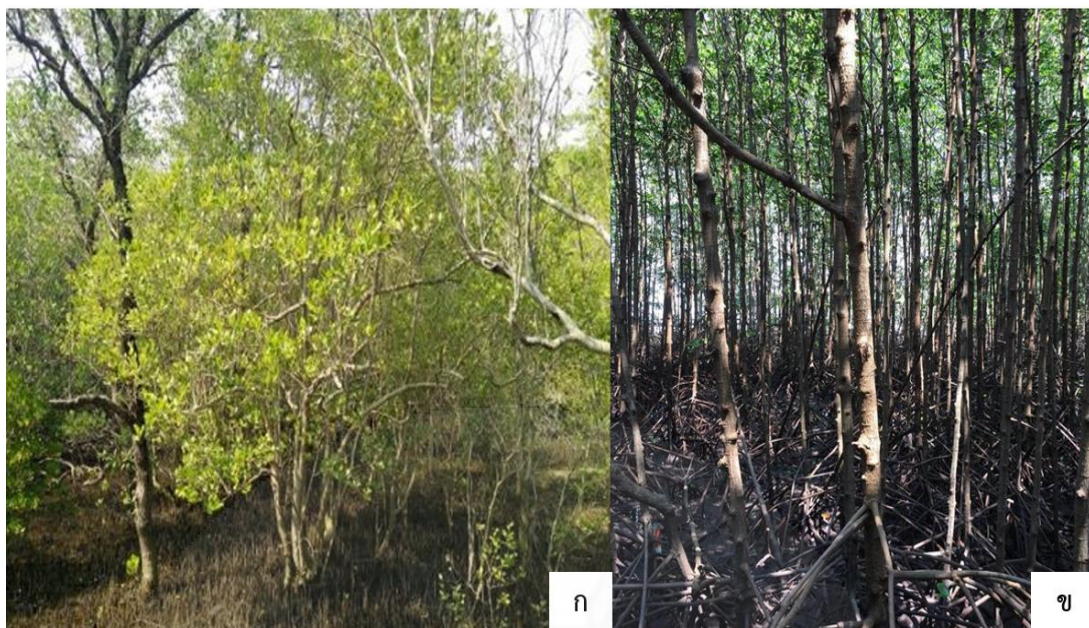
ตั้งอยู่บริเวณหมู่บ้านเปรี๊ตใน ตำบลห้วงน้ำขาว อำเภอเมือง จังหวัดตราด เป็นป่าชายเลนที่มีความอุดมสมบูรณ์เป็นอันดับสองของประเทศไทย มีเนื้อที่ประมาณ 12,000 ไร่ มีเส้นทางศึกษาธรรมชาติเป็นระยะทาง 1,823 เมตร และเป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางชนิดพันธุ์มากที่สุด ป่าชายเลนบริเวณที่ติดกับป่าบกด้านในส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ไม้ในสกุลโปรงแดง (*Ceriops taga*) (ภาพที่ 3.3) และหนาแน่นบริเวณด้านในของป่า มีนิเวศวิทยาที่มักเจริญในบริเวณดินที่มีความแน่นมันคง มีการท่วมขังของน้ำเฉพาะในช่วงที่มีน้ำขึ้นเต็มที่ (spring tide) ทำให้พื้นที่ภายในมีลักษณะเป็นที่ดอนและแห้ง ลักษณะทางเคมีของดินจึงมีความเค็มที่ค่อนข้างสูงเนื่องจากการระเหยของน้ำทะเล (Chen & Twilley, 1999; Lovelock et al., 2005)



ภาพที่ 3.3 พันธุ์ไม้เด่นในป่าชายเลนจังหวัดตราด โดยภาพ ก คือต้นโปรงแดง (*C. tagal*), ข คือการเก็บตะกอนดินที่รากหัวเข่าของโปรงแดง

3.1.3 ป่าชายเลนบริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

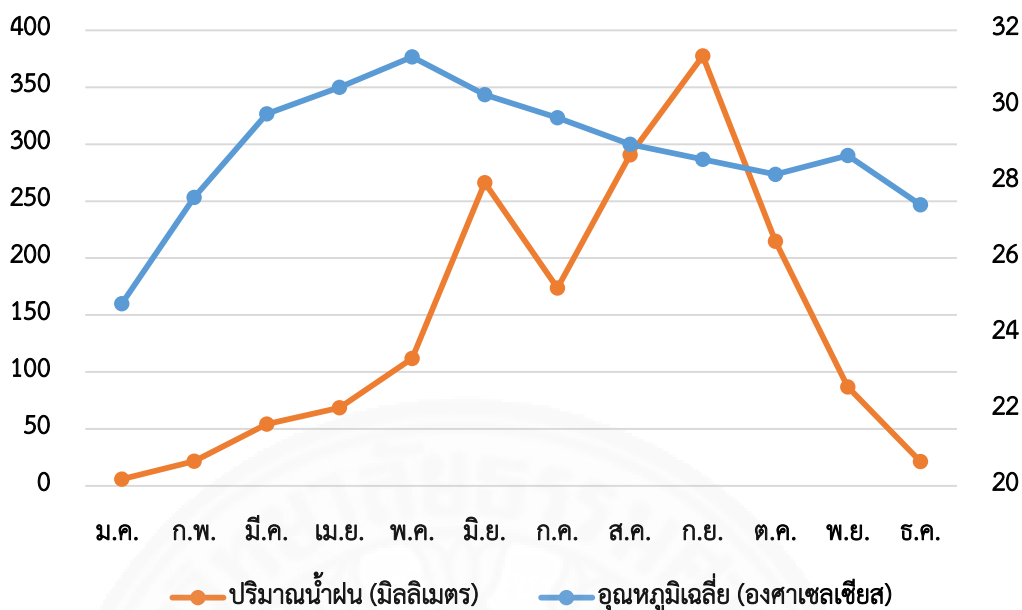
ตั้งอยู่ที่ตำบลคลองขุด อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี เป็นป่าชายเลนที่มีการดำเนินกิจกรรมผสมผสานระหว่างป่าไม้และการประมง มีเส้นทางศึกษาธรรมชาติเป็นระยะทาง 1,600 เมตร มีสะพานไม้ระแนงทอดยาวเข้าไปในดงป่าชายเลน มีพันธุ์ไม้เบิกนำ ได้แก่ ต้นแสมทะเล (*Avicennia marina*) ที่ขึ้นมาก่อนพืชชนิดอื่น จนเกิดการสะสมตะกอนดินเลนที่เหมาะสมกับการเจริญของไม้โกงกางที่จะขึ้นตามมา ปัจจุบันพันธุ์ไม้ส่วนใหญ่เป็นไม้ในตระกูลโกงกาง ซึ่งในการวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียบนพื้นผิวของรากหายใจแสมทะเล ในทางนิเวศวิทยามักเจริญในบริเวณดินโคลงติดกับชายฝั่งทะเล พื้นที่ดินเลนงอกใหม่หรือดินเลนปนทรายที่มีน้ำท่วมถึง และต้นโกงกางใบใหญ่ พบการเจริญในบริเวณที่มีดินเลนปนทรายและมีน้ำท่วมขังอยู่บ่อยครั้ง (ภาพที่ 3.4)



ภาพที่ 3.4 พันธุ์ไม้เด่นในป่าชายเลนจังหวัดจันทบุรี โดยภาพ ก คือต้นแสมทะเล (*A. marina*), ข คือ ต้นโกงกางใบใหญ่ (*R. mucronata*)

3.2 การศึกษาในเชิงเวลาตามช่วงฤดูกาล

ทำการศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรีย โดยเลือกเก็บตัวอย่างจากรากหายใจของแสมขาว บริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อการท่องเที่ยว จังหวัดชลบุรี โดยใช้เกณฑ์การแบ่งฤดูกาลตามข้อมูลอุณหภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝน อ้างอิงข้อมูลรายเดือนและรายปีของประเทศไทย พ.ศ. 2558 และข้อมูลสถิติภูมิอากาศและข้อมูลย้อนหลังค่ามาตรฐานอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557) ดังแสดงในภาพที่ 3.5 และ ตารางที่ 2.3 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.5 กราฟวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศรายเดือนย้อนหลัง จังหวัดชลบุรี พ.ศ. 2558 (ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2559)

1. ฤดูร้อน จากข้อมูลสภาพภูมิอากาศใน พ.ศ. 2558 ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม โดยตั้งแต่ปลายเดือนกุมภาพันธ์เป็นต้นไปอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างชัดเจนและมีอากาศร้อนในช่วงกลางวัน ในระยะนี้ดวงอาทิตย์ได้โคจรส่องแสงมาตั้งฉากกับประเทศพอดีทำให้อากาศร้อนอบอ้าว ขณะที่เดือนมีนาคมถึงพฤษภาคมมีห่อมความกดอากาศต่ำเนื่องจากความร้อนปกคลุมในประเทศไทยตอนบนเป็นระยะๆ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนพฤษภาคมสูงกว่าค่าปกติ (27.6-31.3 °C) สอดคล้องกับข้อมูลสถิติภูมิอากาศย้อนหลัง 30 ปี (2524-2553) (ตารางที่ 2.3) ที่แสดงให้เห็นว่าในเดือนเมษายนและพฤษภาคมเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงในทุกๆ ปี จึงได้กำหนดการเก็บตัวอย่างช่วงฤดูร้อนในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559

2. ฤดูฝน จากข้อมูลสภาพภูมิอากาศใน พ.ศ. 2558 ตั้งแต่ปลายเดือนพฤษภาคมได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดปกคลุมทะเลอันดามันและอ่าวไทยและเริ่มเข้าสู่ฤดูฝนเป็นต้นมา ช่วงกลางเดือนกันยายนได้รับอิทธิพลจากพายุโซนร้อนทำให้มีฝนตกหนาแน่น โดยปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในเดือนกันยายนสูงกว่าค่าปกติ (112-377.5 มิลลิเมตร) ขณะที่ข้อมูลสถิติภูมิอากาศย้อนหลัง 30 ปี (2524-2553) มีปริมาณน้ำฝนสูงสุดในเดือนกันยายน จึงได้เลือกเก็บตัวอย่างช่วงฤดูฝนในเดือนกันยายน พ.ศ. 2559

3. ฤดูหนาว เป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดเข้ามาสู่ไทย อากาศโดยทั่วไปค่อนข้างเย็น โดยปลายปี พ.ศ. 2558 ในเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคมมีอุณหภูมิลดต่ำลงเรื่อยๆ สอดคล้องกับสถิติข้อมูลย้อนหลัง 30 ปี (2524-2553) ที่แสดงให้เห็นว่าในเดือนธันวาคมและมกราคมมีอุณหภูมิต่ำสุด จึงได้เลือกเก็บตัวอย่างช่วงฤดูหนาวในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 และมกราคม พ.ศ. 2560

3.3 สารเคมีและอุปกรณ์การศึกษา

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

- 1) ถุงพลาสติก
- 2) กรรไกร
- 3) ปากกาเคมี
- 4) กล้องโพร้ม
- 5) น้ำแข็ง

3.3.2 อาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย

อาหารเลี้ยงเชื้อ Blue green 11 (BG-11) ในการศึกษาจะใช้สูตรที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งในสูตรปกติมีความเข้มข้นของโซเดียมไนเตรท (NaNO_3) 1.5 กรัมต่อลิตร ตามวิธีของ สุเปัญญา จิตตพันธ์ (2559) อ้างถึงใน Andersen (2005) แต่ในการศึกษาได้ปรับใช้เพื่อให้เหมาะสมกับงานวิจัย จึงได้ดัดแปลงสูตรโดยเพิ่มความเข้มข้นของ NaNO_3 เป็นสองเท่า (3 กรัมต่อลิตร)

3.3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกและเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย

- 1) จานแก้วเพาะเชื้อ (petri dish)
- 2) หลอดทดลอง
- 3) เข็มเขี่ย
- 4) ตะเกียงแอลกอฮอล์
- 5) ปีกเกอร์
- 6) แปรงขนนุ่ม
- 7) น้ำทะเลที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ
- 8) เครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง (centrifuge)
- 9) ไมโครปิเปต (micropipet) ขนาด 1000 ไมโครลิตร
- 10) แท่งแก้ว spreader

- 11) แผ่นพาราฟิล์ม
- 12) ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
- 13) ชั้นเพาะเลี้ยงไฮยาโนแบคทีเรีย
- 14) ชุดบดตัวอย่างเซลล์ (grinder)
- 15) กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบพร้อมอุปกรณ์ถ่ายภาพ

3.3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ

- 1) ตู้อบอุณหภูมิสูง (hot air oven)
- 2) หม้อนึ่งอัดไอน้ำ (autoclave)
- 3) เครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง (centrifuge)
- 4) เครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH meter)
- 5) เครื่องวัดค่าความเค็ม (salinity refractometer)
- 6) เครื่องวัดปริมาณแสง (lux meter)
- 7) 99.8% methanol
- 8) 70% ethanol
- 9) กระจกตวง (measuring cylinder)
- 10) แท่งแก้วคนสาร
- 11) ซ้อนตักสาร
- 12) สำลี
- 13) ที่วางหลอดทดลอง

3.4 วิธีการศึกษา

3.4.1 การเลือกเก็บตัวอย่าง

1) เก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียจากตะกอนดินที่ รากหายใจของแสมขาวและแสมทะเล ชนิดพันธุ์ไม้ละ 3 แปลง เลือกวิธีการเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม โดยใช้ กรรไกรตัดบริเวณโคนรากจากพื้นผิวดิน ให้ความยาวรากประมาณ 10 เซนติเมตร

2) เก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรียจากตะกอนดินที่รากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ และรากหัวเข้าของโปรงแดง ชนิดพันธุ์ไม้ละ 3 แปลง เลือกเก็บตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่ม โดยใช้กรรไกร ขุดตะกอนดินบริเวณพื้นผิวดิน ใต้ตะกอนดินที่รากประมาณ 10 กรัม

3) นำตัวอย่างทั้งหมดเก็บใส่ถุงซิปลาสติกห่อเก็บไว้ในกล่องโฟมที่มีความเย็น ระหว่างขนส่งกลับไปศึกษาต่อในห้องปฏิบัติการ

3.4.2 เตรียมอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย

ใช้อาหารสูตร BG-11 เพิ่มความเข้มข้นของ NaNO_3 เป็น 2 เท่า (3 กรัมต่อลิตร) เตรียมทั้งแบบอาหารเหลวและอาหารแข็ง อาหารเหลวเทใส่ในขวดรูปชมพู่ปริมาตรอาหาร 50 มิลลิลิตร ส่วนอาหารแข็งจะเตรียมใส่จานเพาะเชื้อปริมาตรอาหาร 15 มิลลิลิตร

3.4.3 การคัดแยกไซยาโนแบคทีเรีย

3.4.3.1 การคัดแยกเพื่อเก็บสายพันธุ์บริสุทธิ์

(1) ในห้องปฏิบัติการ นำรากหายใจของไม้แสมมาล้างด้วยน้ำจืด โดยให้น้ำไหลผ่านรากประมาณ 1-2 นาที เพื่อชะล้างตะกอนรอบๆ ราก ตามวิธีของ Pérez-Estrada et al. (2012)

(2) นำรากหายใจที่ผ่านการชะล้างมาตัดแบ่งโดยใช้กรรไกรตัดแยก ส่วนบนและส่วนล่างของรากที่มีความยาวส่วนละประมาณ 5 เซนติเมตร เพื่อทำการศึกษาสังคมไซยาโนแบคทีเรียที่จำเพาะต่อส่วนราก จากนั้นใช้แปรงขนนุ่มขูดตะกอนดินรอบๆ ราก จะได้เป็นตะกอนดิน เช่นเดียวกับรากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่และรากหัวเข้าของโปรงแดง

(3) ตะกอนดินที่ได้จากรากไม้ทุกชนิด นำมาเจือจางกับน้ำทะเลที่ความเค็ม 20 ppt (ที่ผ่านการนิ่งฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave แล้ว) ที่ระดับการเจือจาง 10^{-2} และ 10^{-3}

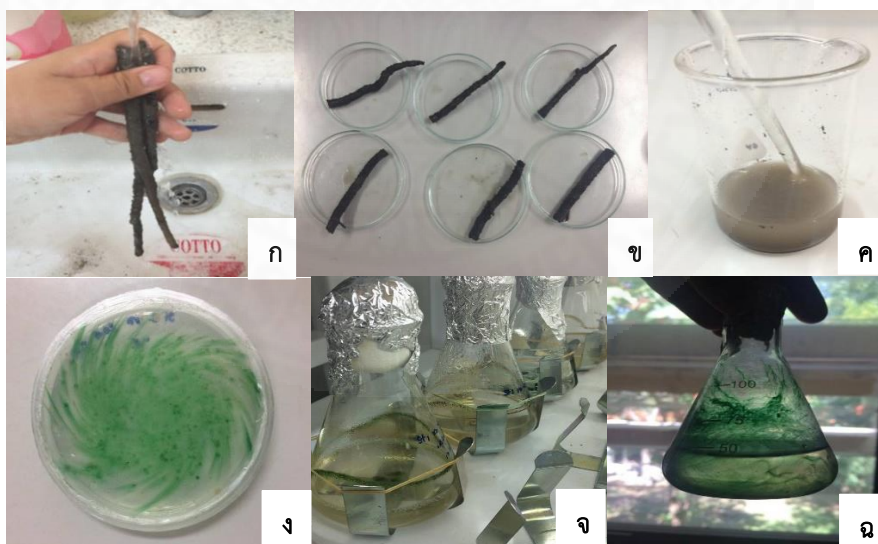
(4) จากนั้นดูดตัวอย่างสารละลายที่ทำการเจือจางแล้วปริมาตร 200 ไมโครลิตรลงบนอาหารแข็ง ทำการกระจายบนอาหารแข็งด้วยแท่งแก้ว spreader ด้วยเทคนิค spread plate พร้อมทั้งหุ้มขอบจานเพาะเชื้อด้วยแผ่นพาราฟิล์มเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ตาม

วิธีของสุเปญญา จิตตพันธ์ (2559) ทุกขั้นตอนต้องทำด้วยวิธีการปลอดเชื้อ (aseptic technique) และบ่มในอุณหภูมิห้องภายใต้สภาวะแสงธรรมชาติเป็นเวลา 1 เดือน

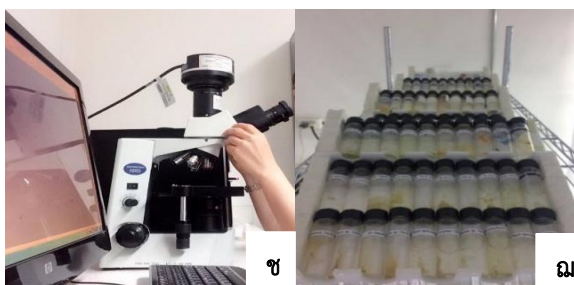
(5) เมื่อสังเกตเห็นการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียบนอาหารแข็ง ให้เลือกโคโลนีไซยาโนแบคทีเรียแต่ละไอโซเลท ถ่ายลงในอาหารเหลวที่เตรียมไว้ในขวดรูปชมพู่เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ จากนั้นเพาะเลี้ยงในห้องที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้แสง 12 ชั่วโมง เขย่าด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาเพาะเลี้ยงประมาณ 1 เดือน

(6) สังเกตการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในอาหารเหลว หากสายพันธุ์ที่ได้ยังไม่มีควมบริสุทธิ์ ให้นำเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียมาบดด้วยชุดบดตัวอย่างเซลล์ (tissue grinder) จากนั้นเจือจางกับน้ำทะเลที่ระดับความเข้มข้นเดิม ก่อนที่จะนำมา spread plate บนอาหารแข็ง เพาะเลี้ยงอีกครั้งและทำซ้ำจนแน่ใจว่าได้สายพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียที่บริสุทธิ์

(7) เมื่อได้สายพันธุ์บริสุทธิ์แล้ว ให้ทำการเก็บสายพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียแต่ละไอโซเลทลงในหลอดแก้ว (vial) ขนาด 20 มิลลิลิตร ที่บรรจุอาหารเหลวสูตร BG-11 โดยมี NaNO_3 1.5 กรัมต่อลิตร ด้วยปริมาตรอาหาร 12 มิลลิลิตร เก็บไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3.6 วิธีการคัดแยกไซยาโนแบคทีเรียและเก็บสายพันธุ์บริสุทธิ์ โดยภาพ ก: การชะล้างรากหายใจด้วยน้ำจืด, ข: การตัดแบ่งรากหายใจเป็นส่วนบนและล่าง, ค: ตะกอนดินจากพื้นผิวรากไม้, ง: ไซยาโนแบคทีเรียที่เจริญบนอาหารแข็ง, จ: เพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรียในอาหารเหลวที่บ่มในอุณหภูมิ 25 °C ให้แสง 12 ชั่วโมงและเขย่าด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที, ฉ: ไซยาโนแบคทีเรียที่เจริญในอาหารเหลวที่ทำการบ่มในอุณหภูมิห้องภายใต้สภาวะแสงธรรมชาติ



ภาพที่ 3.6 (ต่อ) วิธีการคัดแยกไซยาโนแบคทีเรียและเก็บสายพันธุ์บริสุทธิ์ ข: การวินิจฉัยไซยาโนแบคทีเรียจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง, ฅ: การเก็บสายพันธุ์บริสุทธิ์ในหลอดแก้ว

3.4.3.2 การศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรีย

(1) นำสารละลายในระดับความเจือจางที่ 10^{-1} จากขั้นตอนที่ 3.4.3.1 มาผสมกับอาหารเหลวสูตร BG-11 ปริมาตรอาหาร 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ พร้อมกับเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นบ่มในอุณหภูมิต้องภายใต้สภาวะแสงจากธรรมชาติ เป็นระยะเวลา 1 เดือน

(2) เมื่อสังเกตเห็นการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียให้นำมาส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่มีเลนส์ประกอบพร้อมอุปกรณ์การถ่ายภาพ เพื่อทำการจำแนกตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาและระบุอย่างน้อยในระดับสกุลตามเกณฑ์ของ Desikachary (1959), Castenholz and Waterbury (1989), ฐานข้อมูลออนไลน์ Algae base (M. D. Guiry & Guiry, 2018) และ ยวดี พิรพรพิศาล (2549)

3.4.4 วัดค่าปัจจัยสิ่งแวดล้อม

การวัดค่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมจะปฏิบัติขณะอยู่ในภาคสนาม โดยได้เลือกเก็บค่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมตามช่วงฤดูกาล เฉพาะในพื้นที่ศูนย์ศึกษาและอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อการท่องเที่ยวจังหวัดชลบุรี ประกอบด้วยอุณหภูมิ (temperature) ของดินและอากาศ โดยใช้เครื่องวัดเทอร์มิเตอร์ ความเข้มแสง (light intensity) โดยใช้เครื่องวัดปริมาณแสง ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำในดินตะกอน โดยใช้เครื่องวัด pH meter และค่าความเค็มของน้ำในดินตะกอน โดยใช้เครื่อง Salinity refractometer

3.4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติ

3.4.5.1 วิเคราะห์ความคล้ายคลึงของสังคมไชยาโนแบคทีเรีย

เพื่อทำการเปรียบเทียบสังคมไชยาโนแบคทีเรียที่ปรากฏบนพื้นที่สองแห่ง โดยใช้ข้อมูลความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไชยาโนแบคทีเรีย ทำการวิเคราะห์ในทุกพื้นที่ผิวดรากไม้และตามฤดูกาล ด้วยดัชนี Sorensen's similarity coefficient (Krebs, 1999)

$$S_s = \frac{2A}{2A + B + C}$$

โดย S_s คือ สัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงของ Sorensen (Sorensen's Similarity Coefficient)

A คือ จำนวนชนิดที่พบได้ทั้งในพื้นที่ 1 และ 2

B คือ จำนวนชนิดที่พบได้เฉพาะพื้นที่ 1

C คือ จำนวนชนิดที่พบได้เฉพาะพื้นที่ 2

3.4.5.2 หาความสัมพันธ์ของปัจจัยสิ่งแวดล้อมและชนิดพันธุ์ของไชยาโนแบคทีเรีย

เพื่อต้องการทราบอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินตะกอน ความเข้มแสง ความเค็ม และความเป็นกรด-ด่าง ต่อการปรากฏจำนวนชนิดพันธุ์ของไชยาโนแบคทีเรียในป่าชายเลน ด้วยการทำนายตัวแปร 2 ตัว โดยใช้ Regression analysis ด้วยโปรแกรม minitab 14

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิจัย

จากการสำรวจความหลากหลายและเก็บรวบรวมชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลน ตามแนวชายฝั่งทางภาคตะวันออกของประเทศไทย ได้แก่ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อการท่องเที่ยว จังหวัดชลบุรี ศูนย์ศึกษาธรรมชาติป่าชายเลนอ่าวคู้กระเบน จังหวัดจันทบุรี และป่าชายเลนบ้านเปรี๊ตใน จังหวัดตราด ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 ผลการศึกษามีดังนี้

4.1.1 ความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลน

จากการสำรวจความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลน โดยการเก็บตัวอย่างบนพื้นผิวน้ำที่ป่าชายเลนที่แตกต่างกัน 5 แหล่งได้แก่ รากหายใจของแสมขารากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ที่ป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี รากหายใจของแสมทะเล รากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ที่ป่าชายเลนจังหวัดจันทบุรี และรากหัวเข่าของโปรงแดงที่ป่าชายเลนจังหวัดตราด พบความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียที่สามารถจำแนกได้ทั้งหมด 7 อันดับ (order) 13 วงศ์ (family) 25 สกุล (genus) 72 ชนิด (species) และ 2 ชนิดที่ยังไม่ทราบ (unknown) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และการบรรยายลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไซยาโนแบคทีเรียในภาคผนวก ก

เมื่อพิจารณาจำนวนชนิดพันธุ์เป็นเปอร์เซ็นต์ที่จำแนกในแต่ละอันดับ พบว่าอันดับ Nostocales (3 วงศ์, 10 สกุล, 46 ชนิด; 64%) มีจำนวนชนิดมากที่สุด รองลงมาคือ Chroococcales (2 วงศ์, 7 สกุล, 12 ชนิด; 17%), Synechococcales (2 วงศ์, 2 สกุล, 4 ชนิด; 6%), Oscillatoriales (2 วงศ์, 2 สกุล, 4 ชนิด; 5%), Pleurocapsales (1 วงศ์, 1 สกุล, 3 ชนิด; 4%), Chamaesiphonales (2 วงศ์, 2 สกุล, 2 ชนิด; 3%) และ Stigonematales (1 วงศ์, 1 สกุล, 1 ชนิด; 1%) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 นอกจากนี้ในจำนวน 25 สกุล 72 ชนิดที่พบประกอบด้วยสกุลเด่นที่มีจำนวนชนิดมากที่สุด คือ สกุล *Oscillatoria* 18 ชนิด รองลงมาคือสกุล *Pseudanabaena* 9 ชนิด ซึ่งในสองสกุลเด่นนี้เป็นสมาชิกในอันดับ Nostocales

ตารางที่ 4.1

การกระจายของสังคมนาโนแบคทีเรียในเชิงพื้นที่และเวลา จากป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี ตราด และจันทบุรี ตามแนวภาคตะวันออกของประเทศไทย (✓; ปรากฏ, -; ไม่ปรากฏ)

Cyanobacteria Species	Sampling sites												
	Chonburi						Trat		Chanthaburi				
	<i>A. alba</i>						<i>R. mu</i>	<i>Cerio</i>	<i>A. marina</i>		<i>R. mu</i>		
	Jan. 16	May 16		Sep. 16		Jan. 17		Jan. 17	Mar. 16	Mar. 17		Mar. 17	
	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom			Top	Bottom			
Order Chamaesiphonales													
Family Chamaesiphonaceae	- <i>Chamaesiphon</i> sp.01	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓
Family Dermocarpaceae	- <i>Dermocarpa</i> sp.01	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
Order Chroococcales													
Family Chroococcaceae	- <i>Aphanocapsa</i> sp.01	✓	-	-	✓	-	-	✓	-	✓	✓	✓	✓
	- <i>Aphanocapsa</i> sp.02	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	✓	✓	-
	- <i>Aphanocapsa</i> sp.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓
	- <i>Aphanocethece</i> sp.01	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	- <i>Chroococcus minor</i> (Kütz) Nag.	✓	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-
	- <i>Chroococcus turgidus</i> (Kütz) Nag.	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓	✓	-

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

การกระจายของสังคมนาโนแบคทีเรียในเชิงพื้นที่และเวลา จากป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี ตราด และจันทบุรี ตามแนวภาคตะวันออกของประเทศไทย (✓; ปรากฏ, -; ไม่ปรากฏ)

Cyanobacteria		Sampling sites											
		Chonburi						Trat		Chanthaburi			
		Jan. 16		May 16		Sep. 16		Jan. 17		R. mu	Cerio	A. marina	
Species		Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Jan. 17	Mar. 16	Top	Bottom	Mar. 17	
Family Chroococcaceae	- <i>Chroococcus</i> sp.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓
	- <i>Gloeocapsa crepidinum</i>	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-
	Thuret												
	- <i>Gloeocapsa</i> sp.01	-	✓	✓	-	-	-	-	✓	-	-	-	-
	- <i>Synechococcus aeruginosus</i> Näg.	-	-	-	✓	-	-	-	-	✓	✓	-	-
	- <i>Synechocystis pevalekii</i> Ercegovic.	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-
Family Cyanobacteriaceae	- <i>Cyanobacterium</i> sp.01	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓
Order Nostocales													
Family Nostocaceae	- <i>Anabaena</i> sp.01	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
	- <i>Anabaena</i> sp.02	✓	-	-	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	-	-
	- <i>Anabaena</i> sp.03	✓	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

การกระจายของสังคมนาโนแบคทีเรียในเชิงพื้นที่และเวลา จากป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี ตราด และจันทบุรี ตามแนวภาคตะวันออกของประเทศไทย (✓; ปรากฏ, -; ไม่ปรากฏ)

Cyanobacteria Species		Sampling sites										
		Chonburi						Trat		Chanthaburi		
		A. alba		R. mu	Cerio	A. marina		R. mu				
Jan. 16	May 16		Sep. 16		Jan. 17		Jan. 17	Mar. 16	Mar. 17		Mar. 17	
	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom			Top	Bottom		
Family Nostocaceae	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	-
- <i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterb												
- <i>Pseudanabaena frigida</i>	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
- <i>Pseudanabaena galaeta</i>	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
- <i>Pseudanabaena</i> sp.01	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
- <i>Pseudanabaena</i> sp.02	✓	-	-	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	-
- <i>Pseudanabaena</i> sp.03	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
- <i>Pseudanabaena</i> sp.04	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	✓
- <i>Pseudanabaena</i> sp.05	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
- <i>Pseudanabaena</i> sp.06	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
Family Oscillatoriaceae	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	✓	-
- <i>Arthrospira gigantea</i>												
Schmidle												

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

การกระจายของสังคมนาโนแบคทีเรียในเชิงพื้นที่และเวลา จากป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี ตราด และจันทบุรี ตามแนวภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (✓; ปรากฏ, -; ไม่ปรากฏ)

Cyanobacteria Species	Sampling sites											
	Chonburi								Trat		Chanthaburi	
	<i>A. alba</i>				<i>R. mu</i>	<i>Cerio</i>	<i>A. marina</i>		<i>R. mu</i>			
	Jan. 16	May 16		Sep. 16		Jan. 17		Jan. 17	Mar. 16	Mar. 17		Mar. 17
	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom			Top	Bottom		
Family Oscillatoriaceae												
- <i>Arthrospira subsalsa</i> Oerst. ex Gomont	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	-
- <i>Arthrospira</i> sp.01	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-
- <i>Lyngbya</i> sp.01	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-
- <i>Lyngbya</i> sp.02	-	-	-	✓	-	✓	✓	-	-	✓	-	-
- <i>Lyngbya</i> sp.03	-	-	-	✓	-	✓	✓	✓	-	-	-	-
- <i>Lyngbya</i> sp.04	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-
- <i>Oscillatoria curviceps</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-
- <i>Oscillatoria limosa</i> Ag ex Gomont	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	-
- <i>Oscillatoria margaritifera</i> (Kütz) Gomont	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
- <i>Oscillatoria princeps</i> Vaucher ex Gomont	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	-

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

การกระจายของสังคมนาโนแบคทีเรียในเชิงพื้นที่และเวลา จากป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี ตราด และจันทบุรี ตามแนวภาคตะวันออกของประเทศไทย (✓; ปรากฏ, -; ไม่ปรากฏ)

Cyanobacteria Species	Sampling sites											
	Chonburi								Trat		Chanthaburi	
	<i>A. alba</i>				<i>R. mu</i>	<i>Cerio</i>	<i>A. marina</i>		<i>R. mu</i>			
	Jan. 16	May 16		Sep. 16		Jan. 17		Jan. 17	Mar. 16	Mar. 17		Mar. 17
		Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom			Top	Bottom	
Family Oscillatoriaceae												
- <i>Oscillatoria rubescens</i> DC ex Gomont	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-
- <i>Oscillatoria tenuis</i> Ag. ex Gomont	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	✓	-
- <i>Oscillatoria</i> sp.01	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-
- <i>Oscillatoria</i> sp.02	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	-	-	-	-
- <i>Oscillatoria</i> sp.03	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	-
- <i>Oscillatoria</i> sp.04	-	✓	✓	-	✓	✓	-	-	-	✓	✓	-
- <i>Oscillatoria</i> sp.05	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-
- <i>Oscillatoria</i> sp.06	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
- <i>Oscillatoria</i> sp.07	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓
- <i>Oscillatoria</i> sp.08	-	-	-	-	✓	-	-	✓	-	-	-	-
- <i>Oscillatoria</i> sp.09	-	-	-	✓	-	-	✓	-	-	-	✓	-
- <i>Oscillatoria</i> sp.10	-	-	-	-	✓	-	-	✓	-	-	✓	-

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

การกระจายของสังคมนาโนแบคทีเรียในเชิงพื้นที่และเวลา จากป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี ตราด และจันทบุรี ตามแนวภาคตะวันออกของประเทศไทย (✓; ปรากฏ, -; ไม่ปรากฏ)

Cyanobacteria Species	Sampling sites											
	Chonburi								Trat		Chanthaburi	
	Jan. 16	May 16		Sep. 16		Jan. 17		Jan. 17	Mar. 16	Mar. 17		Mar. 17
Top		Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top			Bottom		
Family Oscillatoriaceae												
- <i>Oscillatoria</i> sp.11	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	-	-
- <i>Oscillatoria</i> sp.12	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-
- <i>Phormidium mucicola</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-
Hub.												
- <i>Phormidium</i> sp.01	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	-
- <i>Phormidium</i> sp.02	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
- <i>Phormidium</i> sp.03	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
- <i>Shizothrix</i> sp.01	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
- <i>Symploca cartilaginea</i>	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	✓
(Mont.) Gomont												
- <i>Trichodesmium</i>	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-
<i>contortum</i> (Wille ex O.Kirchner)												
- <i>Trichodesmium</i> sp.01	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

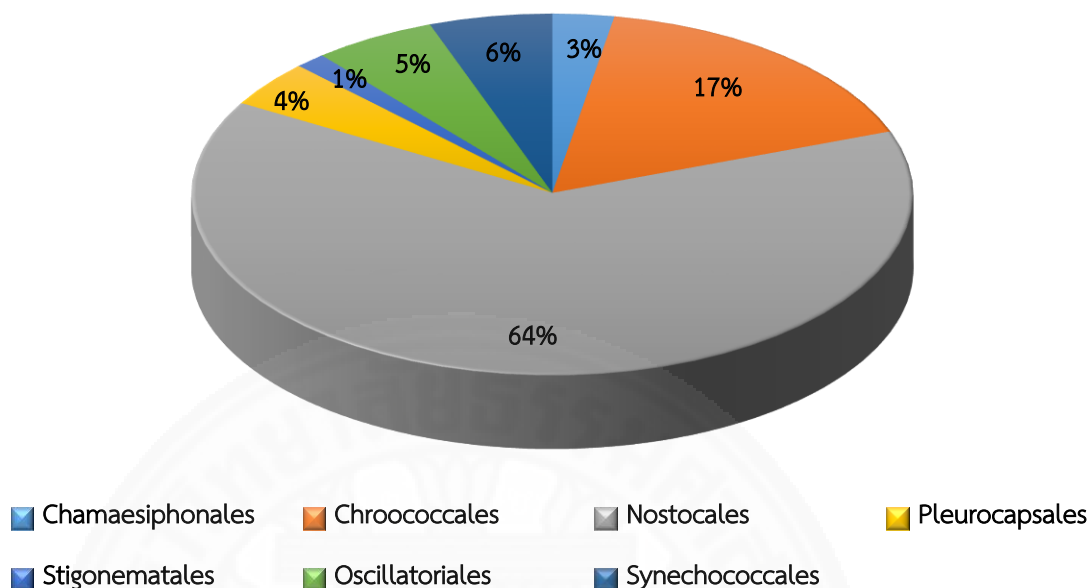
การกระจายของสังคมนาโนแบคทีเรียในเชิงพื้นที่และเวลา จากป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี ตราด และจันทบุรี ตามแนวภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (✓; ปรากฏ, -; ไม่ปรากฏ)

Cyanobacteria Species		Sampling sites											
		Chonburi						Trat		Chanthaburi			
		Jan. 16	May 16		Sep. 16		Jan. 17		Jan. 17 17	Mar. 16	Mar. 17		Mar. 17
	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom			Top	Bottom			
Family Rivulariaceae	- <i>Calothrix</i> sp.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-
Order Pleurocapsales													
Family Pleurocapsaceae	- <i>Myxosarcina burmensis</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Skuja												
	- <i>Myxosarcina</i> sp.01	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
	- <i>Myxosarcina</i> sp.02	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-
Order Stigonematales													
Family Mastigocladaceae	- <i>Mastigocladus</i> sp.01	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-
Order Oscillatoriales													
Family Coleofasciculaceae	- <i>Geitlerinema amphibium</i>	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	-	-	✓
	(C. Agardh ex Gomont)												
	- <i>Geitlerinema</i> sp.01	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓	-
	- <i>Geitlerinema</i> sp.02	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	-	-	-	-
Family Gomontiellaceae	- <i>Komvophoron</i> sp.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

การกระจายของสังคมไซยาโนแบคทีเรียในเชิงพื้นที่และเวลา จากป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี ตราด และจันทบุรี ตามแนวภาคตะวันออกของประเทศไทย (✓; ปรากฏ, -; ไม่ปรากฏ)

Cyanobacteria		Sampling sites											
		Chonburi						Trat		Chanthaburi			
		A. alba		R. mu		Cerio		A. marina		R. mu			
Species		Jan. 16	May 16		Sep. 16		Jan. 17		Jan. 17	Mar. 16	Mar. 17		Mar. 17
			Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	17	16	Top	Bottom	17
Order Synechococcales													
Family Coelosphaeriaceae	- <i>Coelomoron</i> sp.01	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-
Family Leptolyngbyaceae	- <i>Leptolyngbya</i> sp.01	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
	- <i>Leptolyngbya</i> sp.02	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	✓	-	✓
	- <i>Leptolyngbya</i> sp.03	✓	-	-	-	-	✓	-	-	✓	✓	✓	-
หมายเหตุ.	<i>A. alba</i>	หมายถึง รากของต้นแสมขาว (<i>Avicennia alba</i>)											
	<i>R. mu</i>	หมายถึง รากของต้นโกงกางใบใหญ่ (<i>Rhizophora mucronata</i>)											
	<i>A. marina</i>	หมายถึง รากของต้นแสมทะเล (<i>Avicennia marina</i>)											
	<i>Cerio</i>	หมายถึง รากของต้นโปรงแดง (<i>Ceriops tagal</i>)											
	Top	หมายถึง ส่วนบนของราก											
	Bottom	หมายถึง ส่วนล่างของราก											



ภาพที่ 4.1 สัดส่วนชนิดของไซยาโนแบคทีเรียเป็นเปอร์เซ็นต์ในแต่ละอันดับที่พบในระบบนิเวศป่าชายเลน ทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทย

รูปร่างของไซยาโนแบคทีเรียเมื่อจำแนกตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ปรากฏในระบบนิเวศป่าชายเลนทั้ง 3 แห่ง พบลักษณะที่แตกต่างกัน 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเส้นสายที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์ (filamentous non-heterocystous form) พบมากที่สุดถึง 11 สกุล 49 ชนิด โดยลักษณะทั่วไปประกอบไปด้วยเซลล์เรียงต่อกันเป็นเส้นสายที่เรียกว่า ตรัยโคม (trichome) แต่ละเซลล์มีรูปร่างที่หลากหลาย ได้แก่ เซลล์รูปทรงกระบอก รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปทรงกลม ทรงถึงเปียร์ หรือรูปร่างไม่แน่นอน เป็นต้น บางชนิดพบการสร้างซีทหุ้มหนา เช่น *Lyngbya* หรือบางชนิดไม่พบการสร้างซีทหรืออาจสร้างซีทในบางสภาวะอย่างเช่น *Oscillatoria* เป็นต้น รองลงมาคือ กลุ่มเซลล์เดี่ยวหรือโคโลนี (unicellular or colonial form) พบ 11 สกุล 18 ชนิด ส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นทรงกลม (coccioid form) พบทั้งที่เป็นเซลล์เดี่ยวและอยู่กันเป็นกลุ่มแบบโคโลนี (colonies) ที่มีเมือกหุ้มอยู่ มีการแบ่งตัวจาก 1 เป็น 2 หรือจาก 2 เป็น 3 ไปเรื่อยๆ แล้วแต่ชนิด ตัวอย่างในกลุ่มนี้ เช่น *Myxosarcina* ที่มีการแบ่งเซลล์ในแนวระนาบแต่เซลล์จะไม่หลุดแยกออกจากกันจะอยู่ในชั้นเมือกหุ้ม และพบน้อยที่สุดในกลุ่มเส้นสายที่มีเฮเทอโรซิสต์ (filamentous heterocystous form) พบเพียง 3 สกุล 5 ชนิด เป็นกลุ่มที่มีรูปแบบคล้ายกับกลุ่มเส้นสายที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์ แต่มีการสร้างเซลล์ลักษณะพิเศษเมื่อไซยาโน

แบคทีเรียอยู่ในสภาวะที่ขาดแคลนไนโตรเจน เพื่อใช้ตรึงไนโตรเจนจากอากาศ ซึ่งจำนวนชนิดพันธุ์ในแต่ละกลุ่มดังแสดงในตารางที่ 4.2

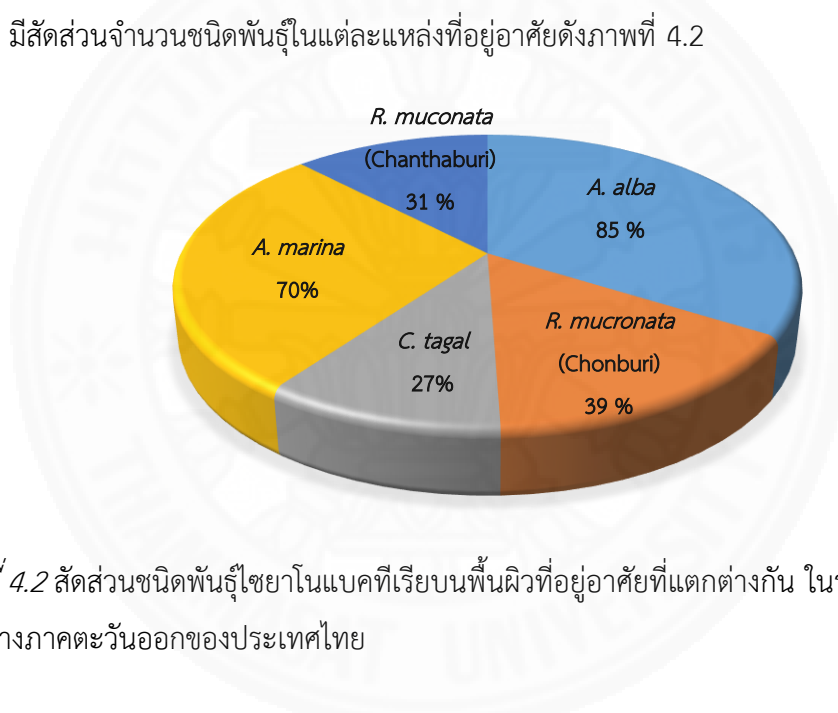
ตารางที่ 4.2

จำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียตามรูปแบบที่แตกต่างกัน 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเส้นสายที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์ (Filamentous non-heterocystous form) กลุ่มเซลล์เดี่ยวหรือโคโลนี (Unicellular or colonial form) และกลุ่มเส้นสายที่มีเฮเทอโรซิสต์ (Filamentous heterocystous form) ที่ค้นพบในระบบนิเวศป่าชายเลน ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย

Unicellular or colonial form	Number Species	Filamentous			
		non-heterocystous	Number Species	heterocystous	Number Species
<i>Synechocystis</i>	1	<i>Geitlerinema</i>	3	<i>Anabaena</i>	3
<i>Gloeocapsa</i>	2	<i>Leptolyngbya</i>	3	<i>Mastigocladus</i>	1
<i>Chroococcus</i>	3	<i>Arthrospira</i>	3	<i>Calothrix</i>	1
<i>Synechococcus</i>	1	<i>Lyngbya</i>	4		
<i>Aphanocapsa</i>	3	<i>Oscillatoria</i>	18		
<i>Aphanothece</i>	1	<i>Phormidium</i>	4		
<i>Chamaesiphon</i>	1	<i>Pseudanabaena</i>	9		
<i>Dermocarpa</i>	1	<i>Shizotrix</i>	1		
<i>Coelomoron</i>	1	<i>Trichodesmium</i>	2		
<i>Myxosarcina</i>	3	<i>Symploca</i>	1		
<i>Cyanobacterium</i>	1	<i>Komvoporon</i>	1		
Total of species	18		49		5

4.1.2 แหล่งที่อยู่อาศัยกับความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรีย

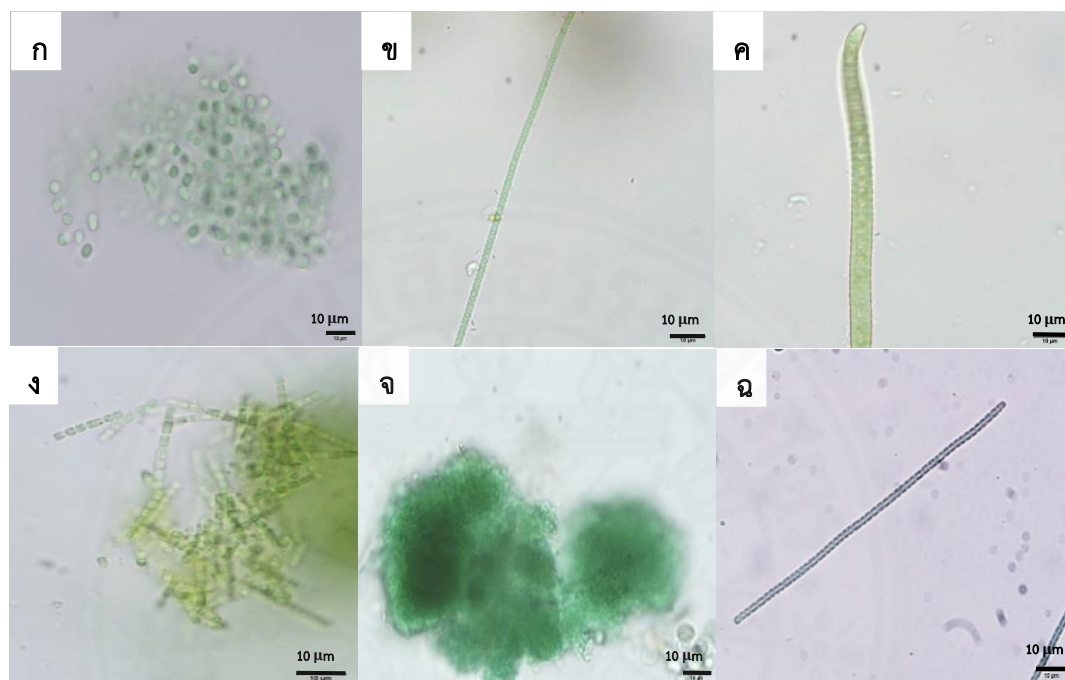
จากการศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียระหว่างพื้นผิวแหล่งที่อยู่อาศัยทั้ง 5 แหล่ง ได้แก่ รากหายใจของแสมขาว รากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ บริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อการท่องเที่ยวจังหวัดชลบุรี รากหัวเข่าของโปรงแดงที่ป่าชายเลนบ้านเปรี๊ตในจังหวัดตราด รากหายใจของแสมทะเลและรากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่บริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติป่าชายเลนอ่าวคุ้งกระเบนจังหวัดจันทบุรี ตามลำดับ พบสังคมไซยาโนแบคทีเรียมากที่สุดในการหายใจของแสมขาว 20 สกุล 61 ชนิด (85%) รองลงมาคือรากหายใจของแสมทะเล พบ 17 สกุล 50 ชนิด (70%) รากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ (ชลบุรี) 11 สกุล 28 ชนิด (39%) รากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ (จันทบุรี) 14 สกุล 22 ชนิด (31%) และรากหัวเข่าของโปรงแดง 11 สกุล 19 ชนิด (27%) มีสัดส่วนจำนวนชนิดพันธุ์ในแต่ละแหล่งที่อยู่อาศัยดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 สัดส่วนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียบนพื้นผิวที่อยู่อาศัยที่แตกต่างกัน ในระบบนิเวศป่าชายเลน ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย

เมื่อพิจารณาสังคมไซยาโนแบคทีเรียที่พบเฉพาะพื้นผิวยากไม้ป่าชายเลน พบว่าไซยาโนแบคทีเรีย 9 ชนิด พบได้เฉพาะบนรากหายใจแสมขาว ได้แก่ *Chroococcus minor*, *Synechocystis pevalekii*, *Shizothrix* sp. 01, *Lyngbya* sp. 04, *Trichodesmium* sp. 01, *Oscillatoria margaritifera*, *Oscillatoria* sp.02, *Oscillatoria* sp.05 และ *Geitlerinema* sp.02 รากหายใจของแสมทะเล พบ 4 ชนิด ได้แก่ *Oscillatoria curviceps*, *O. rubescens*, *Calothrix* sp.01 และ *Komvophoron* sp.01 รากหัวเข่าของโปรงแดง พบ 3 ชนิด ได้แก่ *Gloeocapsa crepidinum*, *Mastigocladus* sp.01 และ *Coelomoron* sp.01 ขณะที่รากค้ำยันของต้นโกงกางใบใหญ่ (ชลบุรี) พบเพียง *Trichodesmium contortum* และไม่ปรากฏสังคมไซยาโนแบคทีเรียที่พบเฉพาะบนรากค้ำยันของต้นโกงกางใบใหญ่ (จันทบุรี) อย่างไรก็ตามไซยาโนแบคทีเรียที่สามารถพบการ

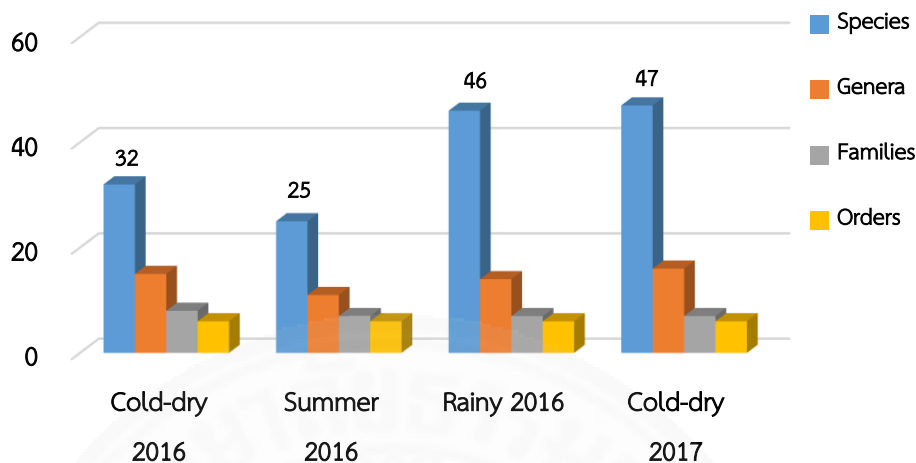
กระจายได้ทั่วไป (common species) ในทุกพื้นผิวที่อยู่อาศัย พบ 6 สกุลด้วยกัน ได้แก่ *Aphanocethece*, *Anabaena*, *Pseudanabaena*, *Oscillatoria*, *Phormidium* และ *Myxosarcina* (ภาพที่ 4.3)



ภาพที่ 4.3 สกุลไซยาโนแบคทีเรียที่พบได้ทั่วไปในทุกพื้นผิวที่อยู่อาศัย ก: *Aphanocethece*, ข: *Anabaena*, ค: *Oscillatoria*, ง: *Phormidium*, จ: *Myxosarcina* และ ฉ: *Pseudanabaena*

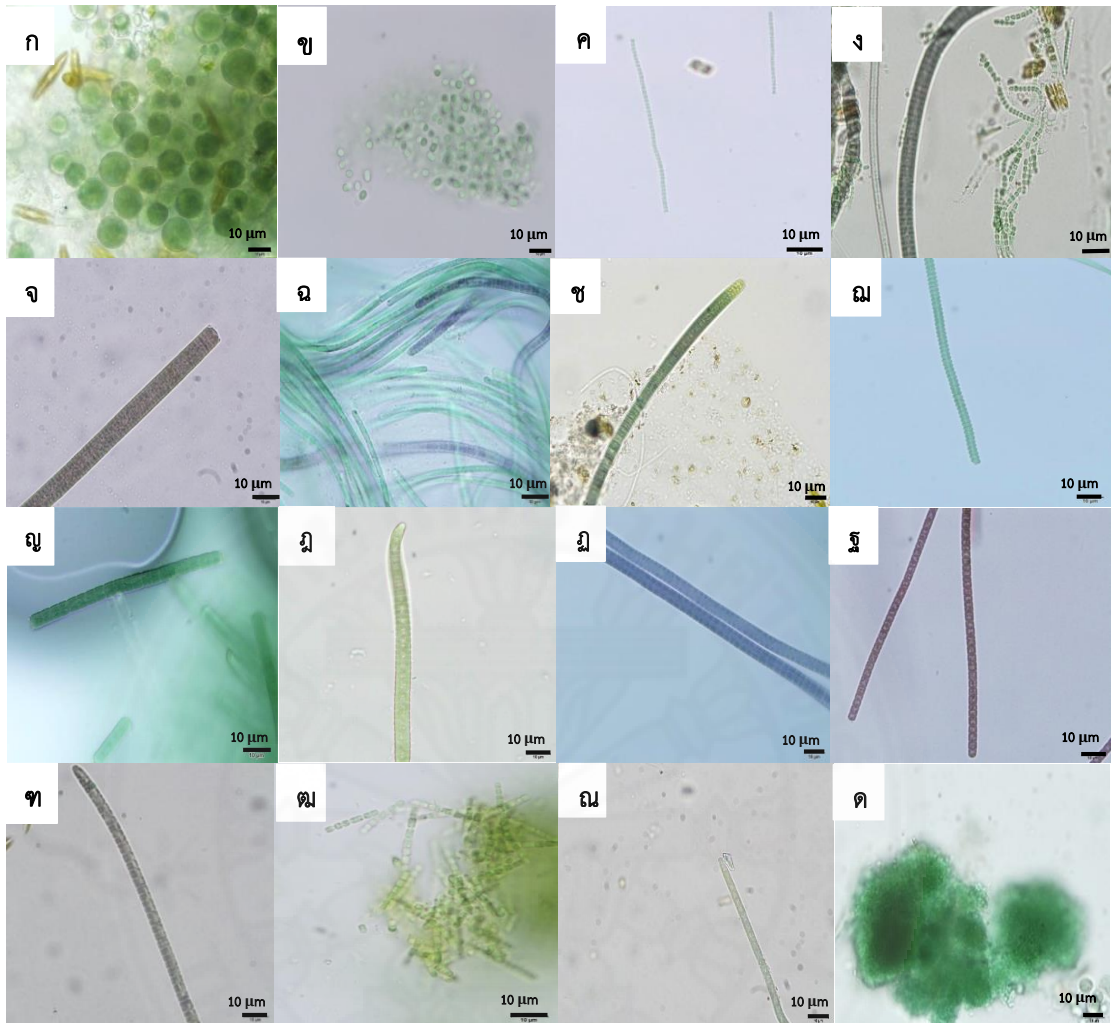
4.1.3 ฤดูกาลกับความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรีย

การศึกษาฤดูกาลที่มีผลต่อความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรีย ตามช่วงฤดูกาลที่แตกต่างกัน 3 ฤดู ทำการศึกษาใน 4 ช่วง ได้แก่ ฤดูหนาว พ.ศ. 2559 ฤดูร้อน พ.ศ. 2559 ฤดูฝน พ.ศ. 2559 และฤดูหนาว พ.ศ. 2560 โดยเก็บตัวอย่างบนพื้นผิวยางไม้แสมขาว ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อการท่องเที่ยว จังหวัดชลบุรี ผลการศึกษาพบว่าสังคมไซยาโนแบคทีเรียที่ปรากฏทั้งหมดมี 61 ชนิด 20 สกุล โดยในฤดูหนาว พ.ศ. 2560 พบไซยาโนแบคทีเรียมากที่สุดคือ 16 สกุล 47 ชนิด ซึ่งใกล้เคียงกับฤดูฝน พ.ศ. 2559 ที่พบ 14 สกุล 46 ชนิด ตามด้วยฤดูหนาว พ.ศ. 2559 พบ 15 สกุล 32 ชนิด และฤดูร้อน 11 สกุล 25 ชนิด ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4)

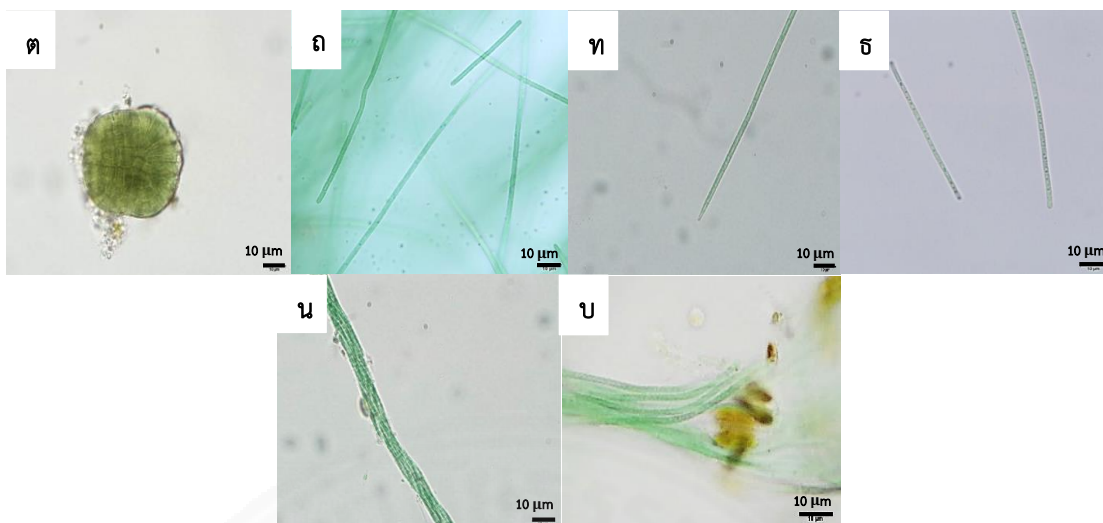


ภาพที่ 4.4 ไชยาโนแบคทีเรียที่มีการจัดจำแนกตามอันดับ (Order) วงศ์ (Family) สกุล (Genus) และ ชนิด (Species) ตามช่วงฤดูกาลที่แตกต่างกัน 4 ช่วง ได้แก่ ฤดูหนาว 2559, ฤดูร้อน 2559, ฤดูฝน 2559 และฤดูหนาว 2560 โดยเก็บตัวอย่างบนพื้นผิวน้ำบริเวณชายหาดของแสมขาว ในพื้นที่ป่าชายเลน จังหวัดชลบุรี

เมื่อพิจารณาชนิดพันธุ์ไชยาโนแบคทีเรียที่พบเฉพาะฤดูกาล โดยพบว่า *Chamaesiphon* sp. 01, *Aphanocapsa* sp. 02, *Synechocystis pevalekii*, *Chroococcus minor*, *C. turgidus*, *Anabaena* sp.03, *Pseudanabaena galaeta*, *Arthrospira* sp.01, *Lyngbya* sp.04, *Symploca cartilaginea*, *Trichodesmium* sp.01 และ *Leptolyngbya* sp.03 ไชยาโนแบคทีเรียทั้ง 12 ชนิดนี้ พบเฉพาะในฤดูหนาว ขณะที่ไชยาโนแบคทีเรียอีก 5 ชนิด ได้แก่ *Synechococcus aeruginosus*, *Oscillatoria margaritifera*, *Oscillatoria* sp.05, *Oscillatoria* sp. 08 และ *Oscillatoria* sp.10 เป็นชนิดที่พบเฉพาะฤดูฝน และอีก 3 ชนิดที่พบเพียงในฤดูร้อน ได้แก่ *Gloeocapsa* sp.01, *Oscillatoria* sp.12 และ *Myxosarcina* sp.02 อย่างไรก็ตามไชยาโนแบคทีเรียที่สามารถพบได้ในทุกฤดูกาลมีจำนวน 10 สกุล 22 ชนิด ได้แก่ *Dermocarpa* sp.01, *Aphanocthece* sp. 01, *Pseudanabaena* sp. 03, *Pseudanabaena* sp. 05, *Shizothrix* sp. 01, *Arthrospira subsalsa*, *Oscillatoria princeps*, *Oscillatoria* sp.01, *Oscillatoria* sp.02, *Oscillatoria* sp.03, *Oscillatoria* sp. 04, *Oscillatoria* sp. 06, *Oscillatoria* sp. 11, *Phormidium mucicola*, *Phormidium* sp. 03, *Myxosarcina burmensis*, *Myxosarcina* sp. 01, *Geitlerinema amphibium*, *Geitlerinema* sp. 01, *Geitlerinema* sp. 02, *Leptolyngbya* sp. 01 และ *Leptolyngbya* sp.02 (ภาพที่ 4.5)



ภาพที่ 4.5 ไซยาโนแบคทีเรียที่พบได้ทั่วไปในทุกฤดูกาล ทั้ง 10 สกุล 22 ชนิด เมื่อศึกษาบนพื้นผิวน้ำรากหายใจของแสมขาว ในป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี ก: *Dermocarpa* sp.01, ข: *Aphanothece* sp.01, ค: *Pseudanabaena* sp.03, ง: *Pseudanabaena* sp.05, จ: *Shizothrix* sp.01, ฉ: *Arthrospira subsalsa*, ช: *Oscillatoria princeps*, ฉ: *Oscillatoria* sp.01, ญ: *Oscillatoria* sp.02, ฎ: *Oscillatoria* sp.03, ฏ: *Oscillatoria* sp.04, ฐ: *Oscillatoria* sp.06, ท: *Oscillatoria* sp.11, ฒ: *Phormidium mucicola*, ณ: *Phormidium* sp.03, ด: *Myxosarcina burmensis*



ภาพที่ 4.5 (ต่อ) ไชยาโนแบคทีเรียที่พบได้ทั่วไปในทุกฤดูกาล ทั้ง 10 สกูล 22 ชนิด เมื่อศึกษาบนพื้นผิวรากหายใจของแสมขาว ในป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี ต: *Myxosarcina* sp.01, ถ: *Geitlerinema amphibium*, ท: *Geitlerinema* sp.01, ฐ: *Geitlerinema* sp.02, น: *Leptolyngbya* sp.01 และ บ: *Leptolyngbya* sp.02

นอกจากนี้สังคมนาโนแบคทีเรียที่พบเฉพาะส่วนบนและส่วนล่างของรากหายใจของแสมขาวและแสมทะเล โดยพบว่าสังคมนาโนแบคทีเรีย 8 ชนิด ได้แก่ *Aphanocapsa* sp.03, *Chroococcus minor*, *Oscillatoria curviceps*, *Oscillatoria rubescens*, *Oscillatoria* sp.08, *Oscillatoria* sp.10, *Calothrix* sp.01 และ *Komvophoron* sp.01 พบการปรากฏเฉพาะส่วนล่างของรากหายใจ และมีเพียง 3 ชนิดเท่านั้นที่พบเฉพาะส่วนบนของรากหายใจ ได้แก่ *Lyngbya* sp.04, *Oscillatoria margaritifera* และ *Symploca cartilaginea* อย่างไรก็ตามไซยาโนแบคทีเรียที่พบการกระจายได้ทั่วไปทั้งส่วนบนและส่วนล่างของรากพบมากถึง 54 ชนิด นอกจากนี้ไซยาโนแบคทีเรียอีก 7 ชนิด ได้แก่ *Chamaesiphon* sp., *Gloeocapsa crepidinum*, *Trichodesmium contortum*, *Trichodesmium* sp.01, *Anabaena* sp.03, *Mastigocladus* sp.01 และ *Coelomoron* sp.01 เป็นชนิดที่ไม่ปรากฏบนรากหายใจของไม้แสม แต่สามารถพบได้บนพื้นผิวของรากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่และรากหัวเข้าของโปรงแดง

4.1.4 ความคล้ายคลึงกันของสังคมไซยาโนแบคทีเรีย

ผลการวิเคราะห์ความคล้ายคลึงกันของสังคมไซยาโนแบคทีเรียที่ปรากฏบนพื้นผิว รากไม้ป่าชายเลนตามแหล่งที่อยู่อาศัยและตามช่วงฤดูกาลที่แตกต่างกัน โดยใช้ Sorensen's similarity coefficient ผลการเปรียบเทียบระหว่างพื้นผิวที่อยู่อาศัย พบว่ารากหายใจของแสมขาว และรากหายใจของแสมทะเล มีค่าความคล้ายคลึงกันของชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียสูงสุดที่ 0.763 รองลงมาคือ รากหายใจของแสมขาวและรากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ (ชลบุรี) มีความคล้ายคลึงกันของชนิดพันธุ์ที่ 0.640 ขณะที่รากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ (ชลบุรี) และรากหัวเข้าของโปรงแดงมีค่าความคล้ายคลึงกันของชนิดพันธุ์ต่ำสุดที่ 0.340 ดังตารางที่ 4.3 นอกจากนี้สังคมไซยาโนแบคทีเรียทั้ง ส่วนบนและส่วนล่างของรากหายใจแสมขาว มีค่าความคล้ายคลึงกันของชนิดพันธุ์อยู่ระหว่าง 0.805-0.913 ตลอดทั้ง 3 ฤดูกาล ในขณะที่รากหายใจของแสมทะเลมีค่าความคล้ายคลึงกันทั้งส่วนบนและส่วนล่างที่ 0.795 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3

ค่าความคล้ายคลึงกันของสังคมไซยาโนแบคทีเรียระหว่าง 5 พื้นผิวที่อยู่อาศัยที่แตกต่างกัน ได้แก่ รากหายใจของแสมขาว (*A. alba*), รากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ (*R. mucronata*) (ชลบุรี), รากหัวเข้าของโปรงแดง (*C. tagal*), รากหายใจของแสมทะเล (*A. marina*) และรากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ (จันทบุรี)

Similarity	<i>A.</i>	<i>R. mucronata</i>	<i>R. mucronata</i>		
	<i>alba</i>	(Chonburi)	<i>C. tagal</i>	<i>A. marina</i>	(Chanthaburi)
<i>A. alba</i>	-	0.640	0.424	0.763	0.464
<i>R. mucronata</i> (Chonburi)	0.640	-	0.340	0.564	0.440
<i>C. tagal</i>	0.424	0.340	-	0.406	0.390
<i>A. marina</i>	0.763	0.564	0.406	-	0.479
<i>R. mucronata</i> (Chanthaburi)	0.464	0.440	0.390	0.479	-

ตารางที่ 4.4

ค่าความคล้ายคลึงของสังคมไซยาโนแบคทีเรียระหว่างส่วนบนและล่างของรากหายใจในไม้กลุ่มแสม ได้แก่ แสมขาว (*A. alba*) และแสมทะเล (*A. marina*)

<i>A. alba</i>			<i>A. marina</i>
Summer (Top-Bottom)	Rainy (Top-Bottom)	Cold-dry (Top-Bottom)	(Top-Bottom)
0.913	0.805	0.854	0.795

เมื่อวิเคราะห์ความคล้ายคลึงกันของสังคมไซยาโนแบคทีเรียตามช่วงฤดูกาล พบว่าค่าความคล้ายคลึงกันของชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 0.561-0.839 โดยค่าความคล้ายคลึงกันมีค่าสูงสุดในฤดูฝน พ.ศ. 2559 กับฤดูหนาว พ.ศ. 2560 (0.839) และค่าความคล้ายคลึงกันในฤดูร้อน พ.ศ. 2559 กับฤดูหนาว พ.ศ. 2559 พบว่ามีค่าต่ำสุด (0.561) ซึ่งใกล้เคียงกับฤดูร้อน พ.ศ. 2559 และฤดูหนาว พ.ศ. 2560 (0.600) ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5

ค่าความคล้ายคลึงกันของสังคมไซยาโนแบคทีเรียระหว่างฤดูกาลที่แตกต่างกัน 3 ฤดูกาล จากการเก็บตัวอย่างใน 4 ช่วงเวลา ตั้งแต่ฤดูหนาว พ.ศ. 2559 ถึงฤดูหนาว พ.ศ. 2560

ฤดูกาล	ฤดูหนาว 2559	ฤดูร้อน 2559	ฤดูฝน 2559	ฤดูหนาว 2560
ฤดูหนาว 2559	-	0.561	0.667	0.658
ฤดูร้อน 2559	0.561	-	0.620	0.600
ฤดูฝน 2559	0.667	0.620	-	0.839
ฤดูหนาว 2560	0.658	0.600	0.839	-

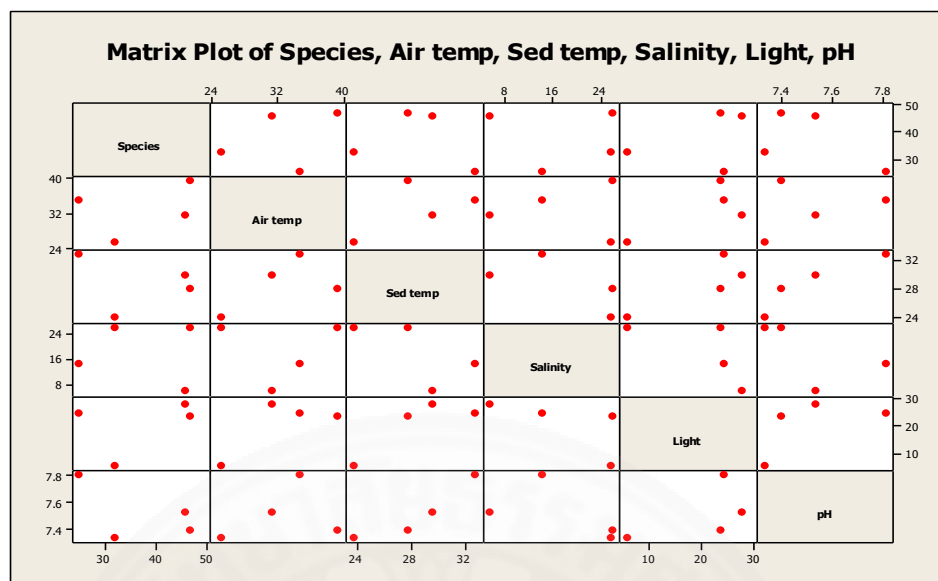
4.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับจำนวนชนิดพันธุ์

จากการตรวจวัดค่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายในพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดชลบุรี ได้แก่ อุณหภูมิดินตะกอน อุณหภูมิอากาศ ความเค็ม ความเข้มแสง และความเป็นกรด-ด่าง จากการเก็บตัวอย่างใน 4 ช่วงเวลาตามฤดูกาล ได้แก่ ฤดูหนาว พ.ศ. 2559 ฤดูร้อน พ.ศ. 2559 ฤดูฝน พ.ศ. 2559 และฤดูหนาว พ.ศ. 2560 พบว่าอุณหภูมิอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 25.03-34.62 °C ขณะที่อุณหภูมิดินตะกอนอยู่ในช่วง 23.74-32.82 °C ทั้งอุณหภูมิดินตะกอนและอากาศมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูร้อน พ.ศ. 2559 และต่ำในฤดูหนาวทั้งสองปี ความเข้มแสงในทุกฤดูกาลพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 5.68-27.77 klux ซึ่งค่าความเข้มแสงสูงสุดพบในฤดูฝน พ.ศ. 2559 และต่ำสุดในฤดูหนาว พ.ศ. 2559 ขณะที่ฤดูหนาว พ.ศ. 2560 มีค่าความเข้มแสงสูงถึง 23.53 klux เมื่อพิจารณาค่าความเค็มของน้ำในดินตะกอนพบว่ามีค่าที่แตกต่างกันชัดเจนซึ่งอยู่ระหว่าง 5.50-26.00 ppt โดยค่าความเค็มต่ำสุดพบในฤดูฝน พ.ศ. 2559 และค่าสูงสุดพบในฤดูหนาวทั้งสองปี แต่เมื่อตรวจวัดค่า pH พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยทั้ง 3 ฤดูกาล โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.33-7.81 ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลจากฤดูหนาวปี 2559 ถึง ฤดูหนาวปี 2560 ในพื้นที่ป่าชายเลน จังหวัดชลบุรี ได้แก่ ปัจจัยอุณหภูมิอากาศ (air temperature) อุณหภูมิดินตะกอน (sediment temperature) ความเค็ม (salinity) ความเข้มแสง (light intensity) และความเป็นกรด-ด่าง (pH)

Sampling periods	Parameters				
	Temp Air (°C)	Temp Sed (°C)	Sal (‰)	Light (klux)	pH
Cold-dry 16	25.03	23.74	25.75	5.68	7.33
Summer 16	34.62	32.82	14.33	24.20	7.81
Rainy 16	31.30	29.67	5.50	27.77	7.53
Cold-dry 17	29.33	27.84	26.00	23.53	7.39



ภาพที่ 4.6 การกระจายของชุดข้อมูลความสัมพันธ์ของปัจจัยสิ่งแวดล้อมและจำนวนชนิดพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรีย

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมซึ่งประกอบไปด้วยอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินตะกอน ความเค็ม ความเข้มข้น และความเป็นกรด-ด่าง กับชนิดพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรีย ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ระหว่างคู่ตัวแปร จากแผนภาพการกระจายในรูปของ Matrix plot ดังภาพที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าการกระจายมีแนวโน้มที่ไม่ได้สัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง ซึ่งความสัมพันธ์กันส่วนใหญ่จะปรากฏในรูปแบบอื่น แต่อย่างไรก็ตามบางคู่ความสัมพันธ์นั้นคือ อุณหภูมิดินตะกอนกับอุณหภูมิอากาศกลับพบว่ามีแนวโน้มความสัมพันธ์กัน ถึงแม้จะไม่ได้มีรูปแบบความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงก็ตาม

เมื่อพิจารณาระดับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมและจำนวนชนิดพันธุ์ด้วยค่าสหสัมพันธ์ (correlation) ตามตารางที่ 4.7 พบว่าค่าที่ได้ส่วนใหญ่ โดยเฉพาะข้อมูลที่ต้องการคือจำนวนชนิดพันธุ์กับตัวแปรสิ่งแวดล้อม แสดงให้เห็นว่าไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงเลย โดยที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้งสิ้น ซึ่งสอดคล้องกับแผนภาพการกระจายที่ 4.6 และที่น่าสังเกตคือข้อมูลระหว่างปัจจัยค่า pH และอุณหภูมิ พบว่าค่อนข้างมีความสัมพันธ์กัน แม้ว่าจะไม่มีนัยสำคัญก็ตาม

ตารางที่ 4.7

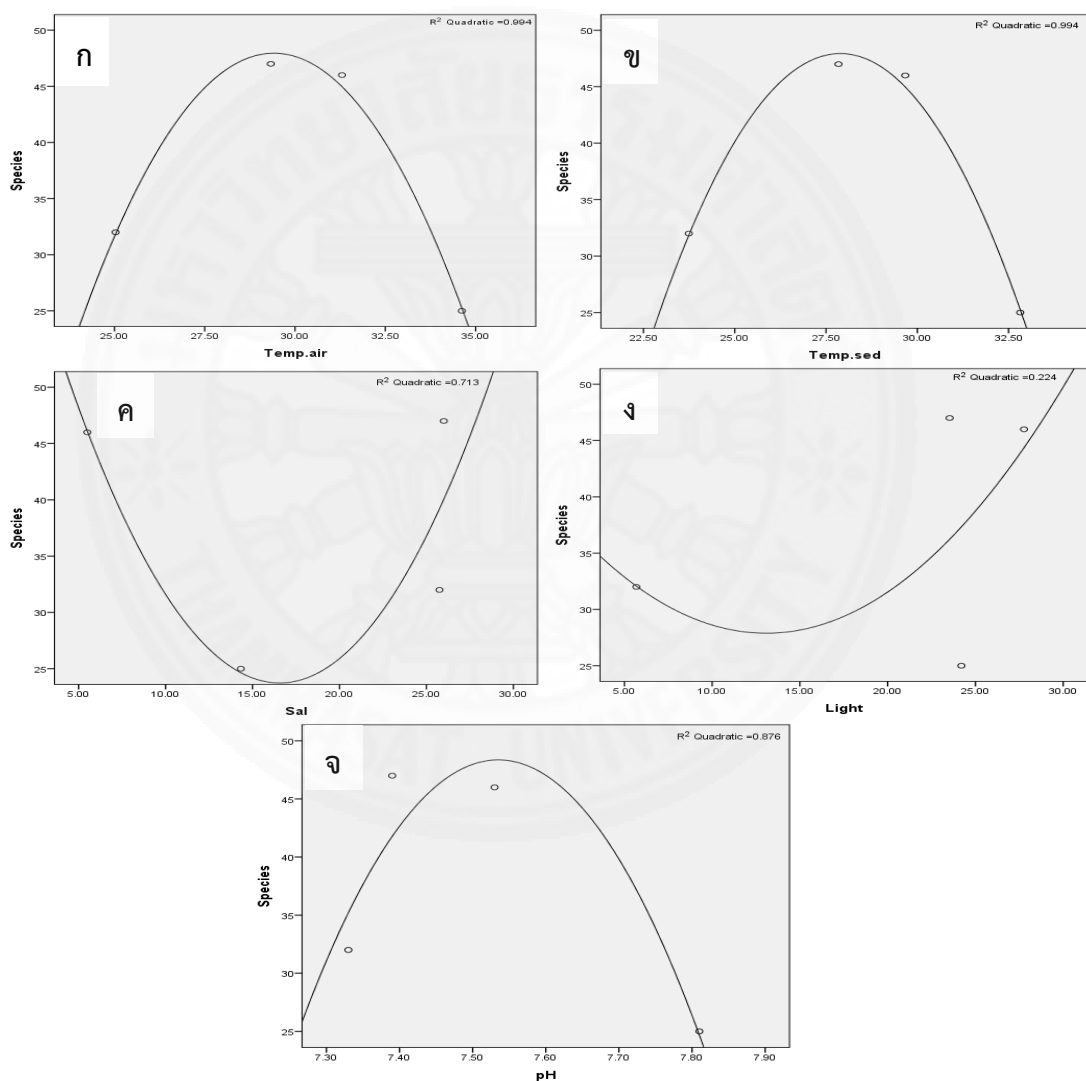
ค่าสหสัมพันธ์ของปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับจำนวนชนิดพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรีย ประกอบด้วยปัจจัย อุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิดินตะกอน, ความเค็ม, ความเข้มแสง, ความเป็นกรด-ด่าง

		Correlations					
		Species	Temp.air	Temp.sed	Sal	Light	pH
Species	Pearson Correlation	1	-.198	-.197	-.084	.392	-.539
	Sig. (2-tailed)		.802	.803	.916	.608	.461
	N	4	4	4	4	4	4
Temp.air	Pearson Correlation	-.198	1	1.000**	-.648	.824	.928
	Sig. (2-tailed)	.802		.000	.352	.176	.072
	N	4	4	4	4	4	4
Temp.sed	Pearson Correlation	-.197	1.000**	1	-.645	.825	.927
	Sig. (2-tailed)	.803	.000		.355	.175	.073
	N	4	4	4	4	4	4
Sal	Pearson Correlation	-.084	-.648	-.645	1	-.663	-.584
	Sig. (2-tailed)	.916	.352	.355		.337	.416
	N	4	4	4	4	4	4
Light	Pearson Correlation	.392	.824	.825	-.663	1	.560
	Sig. (2-tailed)	.608	.176	.175	.337		.440
	N	4	4	4	4	4	4
pH	Pearson Correlation	-.539	.928	.927	-.584	.560	1
	Sig. (2-tailed)	.461	.072	.073	.416	.440	
	N	4	4	4	4	4	4

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

จากกราฟ scatter diagram ดังภาพที่ 4.7 เมื่อทำการวิเคราะห์คู่ปัจจัย สิ่งแวดล้อมกับจำนวนชนิดพันธุ์ จะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ปรากฏส่วนใหญ่มีแนวโน้มความสัมพันธ์กันแบบ เส้นโค้งพาราโบลา โดยภาพ ก-ข คือความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินตะกอนต่อ จำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรีย ที่แสดงให้เห็นว่าในช่วงอุณหภูมิ 23.74-25.03 °C จะปรากฏ จำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียที่ 32 ชนิด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ มีผลทำให้จำนวนชนิดพันธุ์ เพิ่มขึ้นและมีจำนวนชนิดพันธุ์สูงสุดที่ 47 ชนิดที่ระดับอุณหภูมิ 27.84-29.33 °C แต่เมื่ออุณหภูมิที่ ยังเพิ่มสูงขึ้น ตั้งแต่ 32.82 หรือ 34.62 °C ขึ้นไป กลับทำให้แนวโน้มจำนวนชนิดพันธุ์มีทิศทางลดลง อย่างต่อเนื่อง จึงทำให้รูปแบบความสัมพันธ์มีลักษณะเป็นเส้นโค้งพาราโบลา เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยความ เค็มที่มีอิทธิพลต่อจำนวนชนิดพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรีย (ภาพ ค) พบว่าความเค็มที่ระดับ 25-26 ppt ปรากฏจำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียมากกว่า 30 ชนิดขึ้นไป ซึ่งความเค็มที่ระดับ 26 ppt

พบจำนวนชนิดพันธุ์สูงสุด 47 ชนิด แต่อย่างไรก็ตามความเค็มที่ระดับ 5.50 ppt กลับพบจำนวนชนิดพันธุ์ที่สูงเช่นกันโดยปรากฏชนิดพันธุ์สูงถึง 46 ชนิด นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยความเข้มแสงต่อจำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรีย (ภาพ ง) พบว่าในช่วงความเข้มแสงที่ 23.53 และ 27.77 klux มีผลให้จำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียสูงสุด แต่ในขณะเดียวกันความเข้มแสงที่ระดับ 24.20 klux กลับมีจำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียที่ต่ำสุด และความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-ด่างกับจำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรีย (ภาพ จ) พบว่ามีค่า pH ใกล้เคียงกันที่ระดับ 7 แต่จำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียที่พบกลับมีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 4.7 กราฟ scatter diagram ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมและจำนวนชนิดพันธุ์ ก: ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศและจำนวนชนิดพันธุ์, ข: ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิดินตะกอนและจำนวนชนิดพันธุ์, ค: ความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มและจำนวนชนิดพันธุ์, ง: ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและจำนวนชนิดพันธุ์, จ: ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่างและจำนวนชนิดพันธุ์

เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยกับพาราโบล่าเพื่อแสดงถึงแนวโน้มอิทธิพลของตัวแปรสิ่งแวดล้อมกับจำนวนชนิดพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรีย ดังตารางที่ 4.8 โดยวัดจากค่า R-Square (R^2) ของสมการการถดถอย พบว่าอุณหภูมิอากาศมีอิทธิพลต่อจำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียซึ่งมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงถึง 99.4% ซึ่งอุณหภูมิอากาศสามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของจำนวนชนิดพันธุ์ได้สูงเช่นเดียวกับอุณหภูมิดินตะกอน รองลงมาคือความเป็นกรด-ด่าง ที่มีอิทธิพลต่อจำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียในระดับที่ค่อนข้างสูง 87.6% ตามด้วยความเค็มต่อชนิดพันธุ์ 71.3% ขณะที่ความเข้มแสงต่อชนิดพันธุ์มีความสัมพันธ์กันต่ำสุดที่ 22.4% โดยทุกคู่ปัจจัยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยกันทั้งสิ้น แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบความสัมพันธ์กันทั้งหมดนี้อาจยังไม่สามารถยืนยันอิทธิพลของตัวแปรสิ่งแวดล้อมต่างๆ ต่อจำนวนชนิดพันธุ์ได้ทั้งหมด เนื่องจากการศึกษามีชุดข้อมูล (n) จำนวนน้อยมากเท่ากับ 4 ถึงแม้ค่า R^2 จะมีอิทธิพลต่อชนิดพันธุ์ที่สูงก็ตาม

ตารางที่ 4.8

ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับจำนวนชนิดพันธุ์

คู่ตัวแปร	สมการการถดถอย	R-squared (R^2)	P-value
Air temp versus Species	- 677 + 49.3 Air temp - 0.838 x2 air	99.4%	0.076
Sed temp versus Species	- 679 + 52.1 Sed temp - 0.934 x2 sed	99.4%	0.076
Salinity versus Species	73.9 - 6.06 Salinity + 0.183 x2 sal	71.3%	0.536
Light versus Species	41.0 - 2.00 Light + 0.076 x2 light	22.4%	0.881
pH versus Species	- 17732 + 4719 pH - 313 x2 ph	87.6%	0.352

หมายเหตุ. Air temp	หมายถึง อุณหภูมิอากาศ
Sed temp	หมายถึง อุณหภูมิดินตะกอน
Salinity	หมายถึง ความเค็มของน้ำในดินตะกอน
Light	หมายถึง ความเข้มแสง
pH	หมายถึง ความเป็นกรด-ด่าง

4.1.6 ไชยาโนแบคทีเรียสายพันธุ์บริสุทธิ์

จากการคัดแยกสายพันธุ์ไชยาโนแบคทีเรียบริสุทธิ์ในระบบนิเวศป่าชายเลน บริเวณชายฝั่งของภาคตะวันออกของประเทศไทย โดยวิธี spread plate บนอาหารแข็งสูตร BG-11 ที่ช่วงความเค็ม 20 ppt บ่มที่อุณหภูมิห้องภายใต้สภาวะแสงจากธรรมชาติ และเพิ่มจำนวนเซลล์ในอาหารเหลวสูตร BG-11 บ่มในห้องอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ให้แสง 12 ชั่วโมง เขย่าด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที พบว่าสามารถแยกสายพันธุ์บริสุทธิ์ได้ทั้งหมด 31 ไอโซเลต ประกอบด้วย 6 สกุล ได้แก่ *Gloeocapsa* (1 ไอโซเลต), *Leptolyngbya* (2 ไอโซเลต), *Mastigocladus* (1 ไอโซเลต), *Oscillatoria* (5 ไอโซเลต), *Phormidium* (12 ไอโซเลต), *Pseudanabaena* (8 ไอโซเลต) และ Unknown (2 ไอโซเลต) โดยสายพันธุ์บริสุทธิ์ส่วนใหญ่อยู่ในสกุลของ *Phormidium* รองลงมาคือ *Pseudanabaena* ดังแสดงรายละเอียดสายพันธุ์บริสุทธิ์ตามตารางที่ 4.9 และภาพประกอบในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.9

ข้อมูลสายพันธุ์ไชยาโนแบคทีเรียบริสุทธิ์ในระบบนิเวศป่าชายเลน ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย ทั้ง 31 ไอโซเลต

Number	Genus	Collection Code	Station	Substrate
1	<i>Gloeocapsa</i>	TUEV001	Chonburi	<i>A. alba</i>
2	<i>Leptolyngbya</i>	TUEV002	Chanthaburi	<i>A. marina</i>
3	<i>Leptolyngbya</i>	TUEV003	Chonburi	<i>A. alba</i>
4	<i>Mastigocladus</i>	TUEV004	Trat	<i>C. tagal</i>
5	<i>Oscillatoria</i>	TUEV005	Chonburi	<i>A. alba</i>
6	<i>Oscillatoria</i>	TUEV006	Chonburi	<i>A. alba</i>
7	<i>Oscillatoria</i>	TUEV007	Chonburi	<i>A. alba</i>
8	<i>Oscillatoria</i>	TUEV008	Chonburi	<i>A. alba</i>
9	<i>Oscillatoria</i>	TUEV009	Chonburi	<i>A. alba</i>
10	<i>Phormidium</i>	TUEV010	Chonburi	<i>A. alba</i>
11	<i>Phormidium</i>	TUEV011	Chonburi	<i>R. mucronata</i>
12	<i>Phormidium</i>	TUEV012	Chonburi	<i>A. alba</i>
13	<i>Phormidium</i>	TUEV013	Trat	<i>C. tagal</i>
14	<i>Phormidium</i>	TUEV014	Chonburi	<i>A. alba</i>
15	<i>Phormidium</i>	TUEV015	Chonburi	<i>A. alba</i>
16	<i>Phormidium</i>	TUEV016	Chonburi	<i>A. alba</i>

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

ข้อมูลสายพันธุ์เหยาโนแบคทีเรียบริสุทธิ์ในระบบนิเวศป่าชายเลน ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย
ทั้ง 31 ไอโซเลท

Number	Genus	Collection Code	Station	Substrate
17	<i>Phormidium</i>	TUEV017	Chonburi	<i>A. alba</i>
18	<i>Phormidium</i>	TUEV018	Chonburi	<i>A. alba</i>
19	<i>Phormidium</i>	TUEV019	Chonburi	<i>A. alba</i>
20	<i>Phormidium</i>	TUEV020	Chanthaburi	<i>A. marina</i>
21	<i>Phormidium</i>	TUEV021	Chanthaburi	<i>A. marina</i>
22	<i>Pseudanabaena</i>	TUEV022	Chonburi	<i>A. alba</i>
23	<i>Pseudanabaena</i>	TUEV023	Chonburi	<i>A. alba</i>
24	<i>Pseudanabaena</i>	TUEV024	Trat	<i>C. taqal</i>
25	<i>Pseudanabaena</i>	TUEV025	Chonburi	<i>A. alba</i>
26	<i>Pseudanabaena</i>	TUEV026	Chanthaburi	<i>A. marina</i>
27	<i>Pseudanabaena</i>	TUEV027	Trat	<i>C. taqal</i>
28	<i>Pseudanabaena</i>	TUEV028	Chanthaburi	<i>A. marina</i>
29	<i>Pseudanabaena</i>	TUEV029	Chonburi	<i>R. mucronata</i>
30	Unknown1	TUEV030	Chanthaburi	<i>R. mucronata</i>
31	Unknown2	TUEV031	Chonburi	<i>A. alba</i>

4.2 อภิปรายผล

ป่าชายเลนเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีลักษณะเฉพาะที่เอื้อต่อการอาศัยอยู่ของไซยาโนแบคทีเรีย ซึ่งในการศึกษานี้พบสังคมไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลน ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยถึง 25 สกุล 72 ชนิด สูงกว่ารายงานที่มีการค้นพบไซยาโนแบคทีเรียในพื้นที่ป่าชายเลนและตามแนวชายฝั่งทะเลหลายแห่งของประเทศไทย เช่น ป่าชายเลน อำเภอสีเกา จังหวัดตรัง พบไซยาโนแบคทีเรียเพียง 3 สกุล จากมวลน้ำขณะน้ำกำลังขึ้นและน้ำขึ้นสูงสุด (วิชญา กันบัว, 2541) และบริเวณชายฝั่งของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พบ 2 สกุล เมื่อทำการเก็บตัวอย่างจากน้ำทะเล (วาสนา อารรัตน์ และคณะ, 2555) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวิธีการศึกษาที่แตกต่างกันซึ่งการเลือกเก็บตัวอย่างบนพื้นผิวน้ำป่าชายเลนยังไม่พบการรายงานในประเทศไทย ขณะที่การศึกษาด้วยวิธีนี้สามารถพบได้ทั่วไปตามเมืองต่างๆ ทั่วโลกที่ชี้ให้เห็นว่ารากไม้ป่าชายเลนมักเป็นแหล่งที่อยู่ให้กับสังคมไซยาโนแบคทีเรียมากมาย (Hussain & Khoja, 1993; Sakthivel & Kathiresan, 2013) อย่างไรก็ตามสังคมไซยาโนแบคทีเรียที่ปรากฏบนพื้นผิวน้ำเป็นจำนวนมากสามารถพบการกระจายได้ทั่วไปตามแหล่งที่อยู่อาศัยต่างๆ ในพื้นที่ป่าชายเลน เช่น ผิวน้ำดินตะกอน โขดหิน และมวลน้ำ เป็นต้น (Alvarenga et al., 2015) Sakthivel and Kathiresan (2013) ได้กล่าวว่าสภาวะความเค็มในป่าชายเลนมีความเหมาะสมต่อการปรากฏของไซยาโนแบคทีเรียทนเค็มและปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรียได้เป็นอย่างดี แม้ว่าเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลนต้องเผชิญกับความแห้งเมื่อน้ำลงและจมอยู่ใต้น้ำขณะน้ำขึ้นในสภาพที่ความเค็มผันแปรอยู่ตลอดเวลา แต่ไซยาโนแบคทีเรียก็มีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมด้วยลักษณะการอยู่อาศัยแบบเกาะกลุ่มรวมกันและการผลิตเมือกหุ้มเซลล์ที่ช่วยให้เซลล์สามารถดำรงชีพอยู่ได้ แม้ในสภาวะแวดล้อมรุนแรง ในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าไซยาโนแบคทีเรียมีความโดดเด่นอย่างมากในระบบนิเวศป่าชายเลน ซึ่งนับเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีบทบาทสำคัญในการค้าจุนระบบนิเวศ โดยเฉพาะการเป็นผู้ผลิตเบื้องต้นของห่วงโซ่อาหารที่คอยสนับสนุนและเอื้ออำนวยสิ่งมีชีวิตในป่าชายเลนจนทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์และความชุ่มชื้นของสัตว์น้ำวัยอ่อน

ไซยาโนแบคทีเรียที่พบในระบบนิเวศป่าชายเลนทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ส่วนใหญ่ถูกจัดอยู่ในรูปของเส้นสายที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์ (filamentous non-heterocystous) ซึ่งพบจำนวนมากที่สุด ตามด้วยกลุ่มของเซลล์เดี่ยวหรือโคโลนี (unicellular or colonial) และกลุ่มเส้นสายที่มีเฮเทอโรซิสต์ (filamentous heterocystous) ตามลำดับ โดยงานวิจัยที่เคยศึกษาก่อนหน้านี้ได้รายงานว่าในระบบนิเวศที่มีความเค็มสูง จะปรากฏชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียในรูปของเส้นสายที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้มากในสิ่งแวดล้อมที่มีความเค็ม

(Sakthivel & Kathiresan, 2013; Thajuddin & Subramanian, 1992; Toledo et al., 1995) ขณะที่รูปแบบของเส้นสายที่มีเฮเทอโรซิสต์นั้นเป็นกลุ่มเฉพาะที่มีการตอบสนองต่อสภาวะไร้ออกซิเจนและปริมาณธาตุอาหาร (Sakthivel & Kathiresan, 2013) หากพิจารณาตามโครงสร้างและหน้าที่ของป่ายาเลนแล้ว จะพบว่าป่ายาเลนมีระบบรากที่ช่วยกั้นกรองและดูดซับสิ่งปฏิภูลต่างๆ ที่ถูกปลดปล่อยจากบนบกกลงไปสู่ชายทะเลโดยตรง อีกทั้งการพัดพาเอาธาตุอาหารเข้ามาในช่วงน้ำขึ้นน้ำลงทำให้ดินตะกอนในป่ายาเลนเป็นดินที่มีปริมาณสารอินทรีย์และไนเตรทสูง จึงพบไซยาโนแบคทีเรียในกลุ่มที่มีเฮเทอโรซิสต์ได้น้อยเนื่องจากปริมาณธาตุอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตเพียงพอทำให้ไซยาโนแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์มีความโดดเด่นขึ้นมาในระบบนิเวศแห่งนี้ และ Pramanik, Mukherjee and Ghosh (2011) อธิบายถึงกระบวนการเมทาบอลิซึมของเซลล์ระหว่างที่มีการปรับตัวกับสภาวะแวดล้อมโดยรอบที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (ความเค็ม ความแปรปรวนของน้ำ และอุณหภูมิ) กับการสร้างเฮเทอโรซิสต์หรือกระบวนการตรึงไนโตรเจน เป็นไปได้ว่ากระบวนการทั้งหมดนี้หากเกิดในช่วงเวลาเดียวกันจำเป็นต้องใช้พลังงานอย่างสูง จึงไม่ค่อยปรากฏไซยาโนแบคทีเรียในรูปที่มีเฮเทอโรซิสต์มากนัก ทำให้ไม่มีการกล่าวอ้างถึงความโดดเด่นในระบบนิเวศที่มีความเค็มนี้เลย แม้ว่าเฮเทอโรซิสต์จะเป็นเซลล์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ แต่การตรึงไนโตรเจนไม่ได้ถูกกำหนดมาจากเซลล์เฮเทอโรซิสต์ไซยาโนแบคทีเรียเพียงอย่างเดียว ขณะที่ลักษณะเส้นสายบางชนิดที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์หรือเซลล์เดี่ยวก็มีความสามารถที่จะตรึงไนโตรเจนจากอากาศผ่านกลไกทางเลือกต่างๆ ได้เช่นกันจากกิจกรรมเอนไซม์ไนโตรจีเนส (nitrogenase activity) เป็นต้น (Lambert et al., 1989)

การปรากฏของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่ายาเลนมีความสัมพันธ์กับพื้นผิวที่อยู่อาศัย (Lambert et al., 1989) โดยในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ารากหายใจของแสมขาว พบสังคมของไซยาโนแบคทีเรียมากที่สุดถึง 85% ขณะที่รากหายใจของแสมทะเลพบ 70% รากค้ำยันของต้นโกงกางใบใหญ่ (ชลบุรี) 39% รากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ (จันทบุรี) 31% และรากหัวเข่าของโปรงแดงพบไซยาโนแบคทีเรียน้อยที่สุดที่ 27% สอดคล้องกับงานวิจัยที่เคยศึกษามาก่อนที่รายงานว่าชนิดพื้นผิวที่อยู่อาศัยส่งผลต่อความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรีย (Lambert et al., 1989; Pérez-Estrada et al., 2012) เมื่อพิจารณาลักษณะของรากไม้ป่ายาเลนตามแหล่งที่อยู่อาศัยแล้ว จะพบว่าบทบาทของรากอากาศนอกจากจะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนในดินตะกอนที่มีสภาวะไร้ออกซิเจนแล้ว ยังช่วยพยุงและค้ำยันลำต้นในเขตน้ำขึ้นน้ำลง ทำให้รากเหล่านี้สามารถจมอยู่ใต้น้ำได้ ขณะเดียวกันสิ่งมีชีวิตในทะเลทั้งขนาดเล็กใหญ่ที่ถูกพัดพามาตามน้ำบางชนิดยึดเกาะกับรากและอาศัยบนพื้นผิวรากเป็นจำนวนมาก จากหลักฐานทางนิเวศวิทยาของไม้แสมและไม้โกงกาง พบการเจริญในเขตน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณชายฝั่งทะเล มีการปรับเปลี่ยนระบบรากให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมที่

อยู่อาศัย ทำให้พันธุ์ไม่เหล่านี้อาจดำรงชีพอยู่ภายใต้สภาวะน้ำท่วมขังเป็นประจำได้ จึงมักเป็นแหล่งที่อยู่ให้กับพวกจุลินทรีย์รวมถึงสาหร่ายไซยาโนแบคทีเรียอย่างมากมาย โอกาสที่จะพบไซยาโนแบคทีเรียบนพื้นผิวรากหายใจและรากค้ำยันจึงมากกว่ารากหัวเข่าของโปรงแดงที่มักจะเจริญในเขตดินดอนแห้ง มีการท่วมขังของน้ำเฉพาะช่วงน้ำขึ้นเต็มที่ แต่อย่างไรก็ตามพื้นผิวที่อยู่อาศัยเหล่านี้มีความเหมาะสมที่จะเป็นแหล่งที่อยู่ให้กับสาหร่ายไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลนได้ดี จากการศึกษาข้างต้นหากพิจารณาความอุดมสมบูรณ์ของชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียทั้งหมดแล้วพบว่าไซยาโนแบคทีเรียมีจำนวนสูงสุดในรากหายใจของแสมขาวที่เก็บจากป่าชายเลนจังหวัดชลบุรีและมีการรวบรวมชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียตลอดทุกช่วงฤดูกาลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2560 จึงมีโอกาที่จะปรากฏสาหร่ายไซยาโนแบคทีเรียมากกว่าบนพื้นผิวของรากหายใจแสมทะเล รากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ และรากหัวเข่าของโปรงแดงที่มีการเก็บตัวอย่างเพียงในช่วงระยะเวลาอันสั้น แต่เมื่อเปรียบเทียบการกระจายในช่วงเวลาเดียวกันในปี พ.ศ. 2560 จากตัวอย่างรากไม้ทุกชนิดทั้ง 5 แหล่งที่อยู่อาศัย จะพบสาหร่ายไซยาโนแบคทีเรียบนรากหายใจของแสมทะเล (70%) มากกว่ารากไม้อื่นๆ รองลงมาคือรากหายใจของแสมขาว (66%), รากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ที่ชลบุรี (39%), รากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ที่จันทบุรี (31%) และพบสาหร่ายไซยาโนแบคทีเรีน้อยที่สุด (27%) บนรากหัวเข่าของโปรงแดง พ.ศ. 2559 ตามลำดับ ซึ่งในการศึกษานี้สอดคล้องกับ Pérez-Estrada et al. (2012) ที่ได้รายงานว่ารากป่าชายเลนในเขตร้อนทางแปซิฟิกพบว่ารากหายใจและรากอากาศมักเป็นที่อยู่ให้กับจุลินทรีย์มากกว่า 50% และยังคงสอดคล้องกับการรายงานตามเมืองต่างๆ ทั่วโลกที่พบว่ารากหายใจของแสมทะเลมักเป็นแหล่งที่อยู่ให้กับประชากรของไซยาโนแบคทีเรียมากที่สุด (Hussain & Khoja, 1993; Lambert et al., 1989; Nedumaran et al., 2008) จากการสำรวจความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียจะพบความโดดเด่นในสกุล *Oscillatoria* ที่มีจำนวนชนิดพันธุ์มากถึง 18 ชนิด และมีรายงานมากมายที่แสดงให้เห็นว่า *Oscillatoria* มีความโดดเด่นอย่างมากในระบบนิเวศป่าชายเลนทั่วโลก (Ahmed et al., 2016; Branco et al., 2003; Sakthivel & Kathiresan, 2013) ขณะที่ไซยาโนแบคทีเรียทั้งหมด 6 สกุล ได้แก่ *Anabaena*, *Aphanocethece*, *Oscillatoria*, *Pseudanabaena*, *Phormidium* และ *Myxosarcina* เป็นสกุลที่สามารถพบได้ทั่วไป (common species) บนพื้นผิวที่อยู่อาศัยทุกชนิด แสดงให้เห็นว่าไซยาโนแบคทีเรียเหล่านี้สามารถปรับตัวตามแหล่งที่อยู่อาศัยในช่วงกว้างได้เป็นอย่างดี และมีรายงานที่พบไซยาโนแบคทีเรียเหล่านี้ได้ตามแหล่งที่อยู่อาศัยอื่นๆ อีกด้วย เช่น Perez-Estrada et al. (2012) พบการกระจายของ *Pseudanabaena*, *Oscillatoria* และ *Phormidium* บนรากหายใจของไม้แสม รากค้ำยัน และลำคลองขนาดเล็กภายในป่าชายเลนของประเทศเม็กซิโก และ Sakthivel and Kathiresan (2013) พบ *Anabaena* และ *Myxosarcina* กระจายอยู่ทั่วไปในป่าชายเลน 3 แห่งของประเทศอินเดีย นอกจากนี้

ไซยาโนแบคทีเรียทั้ง 22 ชนิด ใน 10 สกุล (*Dermocarpa*, *Aphanocethe*, *Pseudanabaena*, *Myxosarcina*, *Arthrospira*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Shizothrix*, *Geitlerinema*, *Leptolyngbya*) พบการกระจายในทุกฤดูกาลที่ทำการศึกษาซึ่งแสดงให้เห็นว่าไซยาโนแบคทีเรียเหล่านี้สามารถปรับตัวตามปัจจัยแวดล้อมทั้งทางกายภาพและเคมีของดินตะกอนที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาได้ดี โดย Thajuddin and Subramanian (1992) รายงานว่าสมาชิกในสกุล *Oscillatoria* และ *Phormidium* สามารถทนทานต่อสภาวะของอุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด-ด่าง ที่รุนแรงได้ทุกฤดูกาล ขณะที่ *Arthrospira* และ *Oscillatoria* สามารถเจริญเติบโตในพื้นที่ดินที่เป็นกรดและด่างสูงได้ดี (Ahmed et al., 2016 อ้างถึงใน Nayak & Parsana, 2003)

เมื่อเปรียบเทียบตามช่วงฤดูกาลพบว่าสังคมไซยาโนแบคทีเรียมีจำนวนชนิดพันธุ์สูงสุดในฤดูหนาว พ.ศ. 2560 (16 สกุล 47 ชนิด) รองลงมาได้แก่ฤดูฝน พ.ศ. 2559 (14 สกุล 46 ชนิด) และมีจำนวนชนิดพันธุ์ต่ำที่สุดในฤดูร้อน พ.ศ. 2559 (11 สกุล 25 ชนิด) ฤดูกาลต่างๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรียซึ่งมีปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิดินตะกอน อุณหภูมิอากาศ ความเค็ม ความชื้นแสง และความเป็นกรด-ด่าง เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมเหล่านี้พบว่าอุณหภูมิอากาศและดินตะกอนมีค่าสูงสุดในฤดูร้อนและต่ำในฤดูหนาว แต่จำนวนชนิดพันธุ์ที่พบกลับมีจำนวนสูงสุดในฤดูหนาว (47 ชนิด) และจำนวนชนิดพันธุ์ต่ำสุดในฤดูร้อน (25 ชนิด) สังเกตเห็นได้ว่าอุณหภูมิตั้งแต่ 23 °C ขึ้นไป มีผลให้จำนวนชนิดพันธุ์เพิ่มขึ้นและมีจำนวนชนิดพันธุ์สูงสุดที่ 47 ชนิด ที่ช่วงอุณหภูมิ 27-29 °C เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ 32 °C ขึ้นไป กลับมีผลให้จำนวนชนิดพันธุ์ลดลง ขณะที่ค่า R-Square (R^2) ของสมการการถดถอยอยู่ที่ 99.4% โดย Richard, Robert and Zohary (1987) ได้รายงานช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรียอยู่ที่ 25 °C หรือมากกว่า ความเค็มเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในป่าชายเลนรวมทั้งไซยาโนแบคทีเรียด้วย เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสมการการถดถอยพบว่าความเค็มมีผลต่อจำนวนชนิดไซยาโนแบคทีเรียมากถึง 71.3% ซึ่งไซยาโนแบคทีเรียมีจำนวนสูงสุดในฤดูหนาว พ.ศ. 2560 (47 ชนิด) ที่ระดับความเค็ม 26 ppt ขณะที่ฤดูฝน พ.ศ. 2559 พบจำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียรองลงมาที่ 46 ชนิด โดยมีระดับความเค็มต่ำสุด 5 ppt จะเห็นได้ว่าในช่วงความเค็มที่ต่างกัน แต่พบจำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียที่ใกล้เคียงกัน อาจเป็นเพราะไซยาโนแบคทีเรียในป่าชายเลนมีกลไกการปรับตัวให้สามารถทนทานต่อระดับความเค็มได้ช่วงกว้างตั้งแต่ระดับความเค็มที่ 5 ถึง 26 ppt โดย Bano and Siddiqui (2004) ได้รายงานว่าไซยาโนแบคทีเรีน้ำจืดหลายชนิดสามารถเจริญได้ดีในแหล่งที่มีความเค็มสูงเช่นเดียวกับไซยาโนแบคทีเรีน้ำทะเลที่สามารถเจริญได้ดีเช่นกันในแหล่งน้ำที่มีความเค็มต่ำ แต่อย่างไรก็ตามความเค็มอาจมีความแปรผันอย่างมากในระหว่างแหล่งที่อยู่อาศัยหรืออาจผันแปร

ไปตามน้ำขึ้นน้ำลงและปริมาณน้ำฝน (Pramanik, Sundararaman, Das, Ghosh & Mukherjee, 2011) ความเข้มแสงเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการปรากฏของไซยาโนแบคทีเรียด้วยเช่นกัน ในช่วงความเข้มแสงที่ต่ำอาจมีส่วนทำให้ความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียต่ำไปด้วย อย่างเช่นในฤดูหนาว พ.ศ. 2559 พบว่าความเข้มแสงต่ำกว่าฤดูหนาว พ.ศ. 2560 เป็นผลให้ความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในปี 2560 มีจำนวนชนิดพันธุ์มากกว่า ถึงแม้ว่าอิทธิพลความเข้มแสงจะส่งผลต่อจำนวนชนิดพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรียต่ำที่สุดที่ 22.4% แต่ปัจจัยแสงมีความสำคัญต่อการดำรงอยู่ของไซยาโนแบคทีเรีย เนื่องจากเป็นปัจจัยจำเป็นที่ต้องใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ความเป็นกรด-ด่าง สามารถอธิบายความผันแปรของชนิดพันธุ์และมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงถึง 87.6% โดยที่ Bano and Siddiqui (2004) ได้รายงานว่ไซยาโนแบคทีเรียสามารถเจริญได้ดีใน pH ทุกระดับ (6.5, 7.4, 8.0) และมักเจริญได้ดีเมื่อนำไปเพาะเลี้ยงในสภาวะที่ค่า pH ใกล้เคียงกับธรรมชาติ ซึ่งไซยาโนแบคทีเรียมีกลไกการรักษาระดับสภาวะความเป็นกรด-ด่างในเซลล์ให้คงที่โดยขึ้นอยู่กับที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของพวกมัน จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับจำนวนชนิดพันธุ์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิดินตะกอนและอากาศมีอิทธิพลต่อจำนวนชนิดพันธุ์มากถึง 99.4% ซึ่งสัมพันธ์กันกับค่า R^2 ที่ใกล้เคียงกับนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.076$) ขณะที่ปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ (ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มแสง) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยกันทั้งสิ้น ดังนั้นสมการการวิเคราะห์การถดถอยของอุณหภูมิดินตะกอนและอากาศน่าจะเป็นสมการที่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์คาดการณ์ถึงช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปรากฏของจำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียได้จริง ซึ่งในการศึกษานี้เป็นการนำเสนอที่ชี้ให้เห็นถึงความแปรปรวนของสภาวะแวดล้อมที่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรีย แม้ในสภาพแหล่งที่อยู่อาศัยเดียวกันอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมตามแต่ละช่วงเวลาขึ้นได้หรือสภาวะแวดล้อมมีความผันแปรอยู่ตลอดเวลาตนเอง

ผลการวิเคราะห์ความคล้ายคลึงกันของไซยาโนแบคทีเรียที่ปรากฏบนพื้นผิวรากไม้ป่าชายเลนด้วย Sorensen's similarity coefficient พบว่ารากหายใจของแสมขาวและแสมทะเลมีความคล้ายคลึงกันของสังคมไซยาโนแบคทีเรียสูงสุดที่ 0.763 ขณะที่รากหายใจของแสมขาวและรากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน (ชลบุรี) มีชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียคล้ายคลึงกันรองลงมาคือ 0.640 อาจเป็นเพราะบริเวณของแหล่งที่อยู่อาศัยทั้งสองมีความคล้ายคลึงกันของสภาพแวดล้อม เช่น ได้รับแสง ช่วงอุณหภูมิ และระดับความเค็มในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ส่วนความคล้ายคลึงกันของชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียบนรากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ (ชลบุรี) และรากหัวเข่าของโปรงแดงมีค่าต่ำสุด (0.340) ด้วยนิเวศวิทยาของไม้โกงกางและโปรงแดงที่แตกต่างกัน โดยไม้โกงกางมักเจริญในดินเลนน้ำท่วมถึงเป็นประจำ ขณะที่ไม้โปรงแดงมักเจริญในดินดอนแห้ง มีการท่วม

ถึงของน้ำเฉพาะช่วงที่น้ำขึ้นเต็มที่ ทำให้ลักษณะทางเคมีของดินตะกอนมีความเค็มสูงเนื่องจากการระเหยของน้ำทะเล (Chen & Twilley, 1999; Lovelock et al., 2005) ไม่โปร่งแดงจึงมีความสามารถทนความเค็มของดินได้สูงกว่า ด้วยเหตุนี้สังคัมไซยาโนแบคทีเรียที่ปรากฏในแหล่งที่อยู่ทั้งสองจึงมีความคล้ายคลึงกันต่ำ เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างประชากรของไซยาโนแบคทีเรียตามฤดูกาล พบว่ามีความคล้ายคลึงกันอยู่ระหว่าง 0.561-0.839 โดยไซยาโนแบคทีเรียในฤดูฝน พ.ศ. 2559 กับฤดูหนาว พ.ศ. 2560 มีความคล้ายคลึงกันสูงสุด (0.839) อาจเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมที่ไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนี้ยังได้พิจารณาความคล้ายคลึงกันของสังคัมไซยาโนแบคทีเรียทั้งส่วนบนและล่างของรอกหายใจ พบว่าความคล้ายคลึงกันของทั้งสองส่วนบนรอกหายใจแสมขามีค่าสูงระหว่าง 0.805-0.913 ตลอดทั้ง 3 ฤดูกาล ในขณะที่รอกหายใจของแสมทะเลมีค่าความคล้ายคลึงกันทั้งส่วนบนและล่างค่อนข้างสูงเช่นกันที่ 0.795 เมื่อพิจารณาสังคัมไซยาโนแบคทีเรียที่จำเพาะต่อส่วนของรอกหายใจ พบว่าส่วนบนของรอกพบกลุ่มของเส้นสายที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์ (*Lyngbya* sp.04, *Oscillatoria margaritifera*, *Symploca cartilaginea*) ขณะที่ส่วนล่างของรอกพบสังคัมไซยาโนแบคทีเรียในทุกกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเซลล์เดี่ยวหรือโคโลนี (*Aphanocapsa* sp.03, *Chroococcus minor*) กลุ่มเส้นสายที่มีเฮเทอโรซิสต์ (*Calothrix* sp.01) และกลุ่มเส้นสายที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์ (*Oscillatoria curviceps*, *Oscillatoria rubescens*, *Oscillatoria* sp.08, *Oscillatoria* sp.10, *Komvophoron* sp.01) ทั้งนี้ Toledo et al. (1995) ได้รายงานว่าโดยธรรมชาติแล้ว ไซยาโนแบคทีเรียที่อาศัยบนพื้นผิ্বরอกมักผสมผสานกันระหว่างกลุ่มเซลล์เดี่ยว โคโลนี กลุ่มเส้นสายทั้งที่มีเฮเทอโรซิสต์และไม่มีเฮเทอโรซิสต์ อย่างไรก็ตาม Tika, Siti, and Rida (2014) ได้กล่าวว่าความแตกต่างของสภาวะแวดล้อมและพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ใช้ศึกษา มีผลให้จุลินทรีย์บนรอกหายใจตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมต่างกัน ทำให้ชนิดไซยาโนแบคทีเรียที่จำเพาะต่อรอกปรากฏแตกต่างกันด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลน ตามแนวภาคตะวันออกของประเทศไทย โดยเก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรียที่อาศัยบนพื้นผิวรากไม้ป่าชายเลน ทั้ง 5 แหล่ง คือ รากหายใจของแสมขาวและรากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ที่ป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี รากหายใจของแสมทะเลและรากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ที่ป่าชายเลนจังหวัดจันทบุรี และรากหัวเข่าของโปรงแดงที่ป่าชายเลนจังหวัดตราด พบไซยาโนแบคทีเรียทั้งหมด 25 สกุล 72 ชนิด โดยสังคมไซยาโนแบคทีเรียส่วนใหญ่พบความโดดเด่นในกลุ่มเส้นสายที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์มากถึง 49 ชนิด กลุ่มเซลล์เดี่ยวหรือโคโลนีพบ 18 ชนิด และพบน้อยที่สุดในกลุ่มเส้นสายที่มีเฮเทอโรซิสต์เพียง 5 ชนิด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เคยรายงานบนพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนตามภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก (Sakthivel & Kathiresan, 2013; Thajuddin & Subramanian, 1992; Toledo et al., 1995) ขณะที่ไซยาโนแบคทีเรียสกุล *Oscillatoria* พบจำนวนชนิดมากที่สุด 18 ชนิด และมีรายงานการพบสกุลนี้ได้ทั่วไปในระบบนิเวศป่าชายเลนอื่นๆ อีกด้วย (Ahmed, Shafique, Burhan & Siddique, 2016; Branco et al., 2003; Sakthivel & Kathiresan, 2013)

เมื่อพิจารณาสังคมไซยาโนแบคทีเรียตามแหล่งที่อยู่อาศัยพบว่ารากหายใจของแสมขาวมีจำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียมากที่สุด (61 ชนิด) ขณะที่รากหายใจของแสมทะเลพบจำนวนชนิดพันธุ์รองลงมาคือ 50 ชนิด ตามด้วยรากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ที่ชลบุรี 28 ชนิด รากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ที่จันทบุรี 22 ชนิด และพบจำนวนชนิดไซยาโนแบคทีเรียบนรากหัวเข่าของโปรงแดงน้อยที่สุด 19 ชนิด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวที่อยู่อาศัยมีผลให้เกิดความแตกต่างของจำนวนชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรีย นอกจากนี้โครงสร้างของสังคมไซยาโนแบคทีเรียที่จำเพาะต่อส่วนของรากหายใจไม้แสม พบว่าบริเวณส่วนบนของรากพบไซยาโนแบคทีเรีย 3 ชนิด ในกลุ่มเส้นสายที่ไม่มีเฮเทอโรซิสต์ และส่วนล่างของรากพบไซยาโนแบคทีเรีย 8 ชนิด ในกลุ่มเซลล์เดี่ยว กลุ่มเส้นสายที่มีและไม่มีเฮเทอโรซิสต์ แต่อย่างไรก็ตามไซยาโนแบคทีเรียส่วนใหญ่มีการกระจายได้ทั่วไปทั้งส่วนบนและส่วนล่างของราก

เมื่อพิจารณาการปรากฏของชนิดพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียตามช่วงฤดูกาล พบว่าฤดูหนาวให้จำนวนชนิดพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรียสูงสุด (16 สกุล 47 ชนิด) ตามด้วยฤดูฝน (14 สกุล 46 ชนิด) และฤดูร้อนต่ำสุด (11 สกุล 25 ชนิด) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมและความ

หลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียชี้ให้เห็นว่าในทุกปัจจัยแวดล้อมมีอิทธิพลต่อความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระดับสูง (71.3-99.4%) ยกเว้นความเข้มข้น (22.4%) แต่อย่างไรก็ตามในทุกปัจจัยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับจำนวนชนิดพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรีย

เมื่อวิเคราะห์ความคล้ายคลึงกันของสังคมไซยาโนแบคทีเรียพบว่ารากหายใจของแสมขาวและรากหายใจของแสมทะเลมีชนิดพันธุ์คล้ายคลึงกันสูงสุด (0.763) ในขณะที่ไซยาโนแบคทีเรียบนรากค้ำยันของโกงกางใบใหญ่ (ชลบุรี) กับรากหัวเข่าของโปรงแดงมีความคล้ายคลึงกันต่ำสุด (0.340) และความคล้ายคลึงตามช่วงฤดูกาลพบว่าฤดูฝน พ.ศ. 2559 กับฤดูหนาว พ.ศ. 2560 มีชนิดพันธุ์คล้ายคลึงกันสูงสุด (0.839) และฤดูร้อน พ.ศ. 2559 กับ ฤดูหนาว พ.ศ. 2559 มีชนิดพันธุ์คล้ายกันต่ำสุด

ในการนำเสนอข้อมูลเหล่านี้ได้มุ่งเน้นศึกษาไปที่ความแตกต่างของพื้นผิวที่อยู่อาศัย ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดความหลากหลายของสังคมไซยาโนแบคทีเรีย รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลที่ชี้ให้เห็นว่าอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดความแตกต่างของไซยาโนแบคทีเรียด้วยเช่นกัน ดังนั้นความแปรปรวนของสภาวะแวดล้อมตามช่วงฤดูกาลและชนิดของพื้นผิวแหล่งที่อยู่ต่างกัน จึงมีบทบาทสำคัญต่อความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยสิ่งแวดล้อม หากเพิ่มความถี่ในการเก็บข้อมูลมากขึ้น จะทำให้ทราบถึงช่วงปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรียยิ่งขึ้น ข้อมูลสภาวะแวดล้อมเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรียที่ได้ระบบนิเวศป่าชายเลน
2. ควรเพิ่มการเก็บตัวอย่างเชิงปริมาณ โดยคิดเป็นจำนวนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของสังคมไซยาโนแบคทีเรียที่ผันแปรไปตามสภาพแวดล้อมและแหล่งที่อยู่อาศัย ซึ่งจะสามารถรายงานเปรียบเทียบเป็นดัชนีความหลากหลายในแต่ละพื้นที่ได้
3. การศึกษาความหลากหลายของสังคมไซยาโนแบคทีเรียตามช่วงฤดูกาล ควรมีการทำการศึกษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของไซยาโนแบคทีเรียที่ชัดเจนมากขึ้น

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

Andersen, R. A. (2005). *Algal Culturing Techniques*. USA: Elsevier Academic Press.

Desikachary, T. V. (1959). *Cyanophyta*. India: New Delhi.

Krebs, C. J. (1999). *Ecological Methodology, 2nd edition*. California: Benjamin/Cummings.

ยุวดี พิรพรพิศาล. (2549). *สาหร่ายวิทยา*. เชียงใหม่: โชตนาพริ้นท์.

ยุวดี พิรพรพิศาล. (2556). *สาหร่ายน้ำจืดในประเทศไทย*. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุเปัญญา จิตตพันธ์. (2559). *เทคโนโลยีชีวภาพสาหร่ายและแพลงก์ตอน*. ปทุมธานี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และ รุ่งสุริยา บัวสาลี. (2554). *ป่าชายเลน: นิเวศวิทยาและพรรณไม้*. กรุงเทพฯ: มูลนิธิกระต่ายในดวงจันทร์.

บทความวารสาร

Ahmed, Y. Z., Shafique, S., Burhan, Z-U-N., & Siddique, P. J. A. (2016). Seasonal abundance of six dominate filamentous cyanobacterial species in microbial mats from mangrove backwaters in Sandspit Pakistan. *Pak. J. Bot.*, 48(4), 1715-1722.

Alvarenga, D. O., Rigonato, J., Branco, L. H. Z., & Fiore, M. F. (2015). Cyanobacteria in mangrove ecosystems. *Biodiversity and Conservation*, 24, 799-817. DOI: 10.1007/s10531-015-0871-2

Anagnostidis, K., & Komarek, J. (1988). Modern Approach to the Classification System of Cyanobacteria 3. Oscillatoriales. *Arch. Hydrobiol. SToppl*, 50(53), 327-472.

Asghari, A., Fazilati, M., Latifi, A. M., Salavati, H., & Choopani, A. (2016). Antioxidant Properties of Spirulina. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 3(1), 345-351.

- Bano, A., & Siddiqui, P. J. A. (2004). Characterization of five marine cyanobacteria species with respect to their pH and salinity requirement. *Pak. J. Bot.*, *36*(1), 133-143.
- Branco, L. H. Z., Sant' Anna, C. L., Azevedo, M. T. P., & Sormus, L. (1996). Cyanophyte flora from Cardoso Island mangroves, São Paulo State, Brazil. 1. Chroococcales. *Algological Studies*, *80*, 99-111.
- Branco, L. H. Z., Sant' Anna, C. L., Azevedo, M. T. P., & Sormus, L. (1997). Cyanophyte flora from Cardoso Island mangroves, São Paulo State, Brazil. 2. Oscillatoriales. *Algological Studies*, *84*, 39-52.
- Branco, L. H. Z., Moura, A. N., Silva, A. C., & Bittencourt-Oliveira, M. C. (2003). Biodiversidade e considerações biogeográficas das Cyanobacteria de uma área de manguezal do estado de Pernambuco, Brasil. *Acta Bot Bras*, *17*, 585-596.
- Castenholz, R. W., & Waterbury, J. B. (1989). Group I. Cyanobacteria. In *Bergey's manual of systematic bacteriology*, *3*, 1710-1728.
- Chaurasia, A. (2015). Cyanobacterial biodiversity and associated ecosystem services: introduction to the special issue. *Biodivers Conserv*, *24*(4), 707-710. DOI: 10.1007/s10531-015-0908-6
- Chen, R., & Twilley, R. R. (1999). Patterns of mangrove forest structure and soil nutrient dynamics along the Shark River Estuary, Florida. *Estuaries*, *22*(4), 955-970.
- Clough, B., Tan, D. T., Phuong, D. X., & Buu, D. C. (2000). Canopy leaf area index and litter fall in stands of the mangrove *Rhizophora muculata* of different age in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquatic Botany*, *66*(4), 311-320.
- FAO. (2007). The world's mangrove 1980-2005. *FAO Paper*, *153*, Rome.
- Gleason, S. M., Ewel, K. C., & Hue, N. (2003). Soil redox conditions and plant-soil relationships in a micronesian mangrove forest. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *56*(5-6), 1065-1074.
- Hussain, M. I., & Khoja, T. M. (1993). Intertidal and subtidal blue-green algal mats of open and mangrove areas in the Farasan Archipelago (Saudi Arabia), Red Sea. *Bot Mar*, *36*, 377-388.

- Komarek, J., & Anagnostidis, K. (1989). Modern Approach to the Classification System of Cyanobacteria 4. Nostocales. *Arch Hydrobiol Algal Stud*, 56, 247-345.
- Komarek, J., & Anagnostidis, K. (1999). Cyanoprokaryota. *Arch Gustav Fischer*, 1-548.
- Komarek, J. (2003). Coccoid and Colonial Cyanobacteria. In Wehr., J.D. and Sheath, R.F. (eds.), *Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification*. Academic press. California, 59-116.
- Kyaruzi, J. J., Kyewalyanga, M. S., & Muruke, M. H. S. (2003). Cyanobacteria composition and impact of seasonality on their in situ nitrogen fixation rate in a mangrove ecosystem adjacent to Zanzibar town. *West Indian Ocean J Mar Sci*, 2(1), 35-44.
- Lambert, G., Steinke, T. D., & Naidoo, Y. (1989). Algae associated with mangroves in southern African estuaries: Cyanophyceae. *South African Journal of Botany*, 55(5), 476-491.
- Lee, R. Y., Porubsky, W. P., Feller, I. C., McKee, K. L., & Joye, S. B. (2008). Porewater biogeochemistry and soil metabolism in dwarf red mangrove habitats (Twin Cays, Belize). *Biogeochemistry*, 87(2), 181-198.
- Lovelock, C. E., Feller, I. C., McKee, K. L., & Thompson, R. (2005). Variation in mangrove forest structure and sediment characteristics in Bocas del Toro, Panama. *Caribbean Journal of Science*, 41(3), 456-464.
- Lugomela, C., Bergman, B., & Waterbury, J. (2001). Cyanobacterial diversity and nitrogen fixation in coastal areas around Zanzibar, Tanzania. *Arch Hydrobiol SToppl Algal Stud*, 103, 95-115.
- Lugomela, C., & Bergman, B. (2002). Biological N₂-fixation on mangrove pneumatophores: preliminary observations and perspectives. *Ambio*, 31(7-8), 612-613.
- Makhalanyane, T. P., Valverde, A., Velázquez, D., Gunnigle, E., Van Goethem, M. W., Quesada, A., & Cowan, D. A. (2015). Ecology and biogeochemistry of cyanobacteria in soils, permafrost, aquatic and cryptic polar habitats. *Biodiversity and Conservation*, 24(4), 819-840.

- Mann, F. D., & Steinke, T. D. (1993). Biological nitrogen-fixation (acetylene reduction) associated with blue-green algal (cyanobacterial) communities in the Beachwood Mangrove Nature Reserve: II. Seasonal variation in acetylene reduction activity. *S Af J Bot*, *59*(1), 1–8.
- Marchand, C., Baltzer, F., Lallier-Vergès, E., & Albéric, P. (2004). Pore-water chemistry in mangrove sediments: relationship with species composition and developmental stages (French Guiana). *Marine Geology*, *208*(2-5), 361-381.
- Nedumaran, T., Thillairajasekar, K., & Perumal, P. (2008). Mangrove associated cyanobacteria at Pichavaram, Tamilnadu. *Seaweed Research and Utilization*, *30*, 77-85.
- Nga, B. T., Tinh, H. Q., Tam, D. T., Scheffer, M., & Roijackers, R. (2005). Young mangrove stands produce a large and high quality litter input to aquatic systems. *Wetlands Ecology and Management*, *13*(5), 569-576.
- Perez-Estrada, C. J., Leon-Tejera, H., Serviere-Zaragoza, E. (2012). Cyanobacteria and macroalgae from an arid environment mangrove on the east coast of the Baja California Peninsula. *Botanica Marina*, *55*(2), 187-196. DOI: 10.1515/bot-2012-0501
- Phillips, A., Lambert, G., Granger, J. E., & Steinke, T. D. (1996). Vertical zonation of epiphytic algae associated with *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. pneumatophores at Beachwood Mangroves Nature Reserve, Durban, South Africa. *Bot Mar*, *39*, 167–175.
- Potts, M. (1979). Nitrogen fixation (acetylene reduction) associated with communities of heterocystous and non-heterocystous blue-green algae in mangrove forests of Sinai. *Oecologia*, *39*(3), 359–373.
- Potts, M. (1980). Blue-green algae (Cyanophyta) in marine coastal environments of the Sinai Peninsula; distribution, zonation, stratification and taxonomic diversity. *Phycologia*, *19*(1), 60–73.
- Pramanik, A., Sundararaman, M., Das, S., Ghosh, U., & Mukherjee, J. (2011). Isolation and characterization of cyanobacteria possessing antimicrobial activity from the sundarbans, the world's largest tidal mangrove forest. *Journal of Phycology*, *47*(4), 731-743. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2011.01017.x.

- Prasanna, R., Joshi, M., Rana, A., Shivay, Y. S., & Nain, L. (2012). Influence of co-inoculation of bacteria-cyanobacteria on crop yield and C-N sequestration in soil under rice crop. *World J Microbiol Biotechnol*, *28*(3), 1223-1235. DOI: 10.1007/s11274-011-0926-9
- Ramachandran, S., & Venugopalan, V. K. (1987). Nitrogen fixation by bluegreen algae in Portonovo marine environments. *J Mar Biol Ass India*, *29*, 337-343.
- Richard, D. R., & Zohary, T. (1987). Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, *21*(3), 391-399. DOI: 10.1080/00288330.1987.9516235
- Rigonato, J., Alvarenga, D. O., Andreote, F. D., Dias, A. C. F., Melo, I. S., & Fiore, M. F. (2012). Cyanobacterial diversity in the phyllosphere of a mangrove forest. *FEMS Microbiol Ecol*, *80*(2), 312-322.
- Rigonato, J., Kent, A. D., Alvarenga, D. O., Andreote, F. D., Beirigo, R. M., Vidal-Torrado, R., & Fiore, M. F. (2013). Drivers of cyanobacterial diversity in mangrove soils in south-east Brazil. *Environ Microbiol*, *15*(4), 1103-1114.
- Rivera-Monroy, V. H., Madden, C. J., Day, J. W., Jr., Twilley, R. R., Vera-Herrera, F., & Alvarez-Guillén, H. (1998). Seasonal coTopling of a tropical mangrove forest and an estuarine water column: enhancement of aquatic primary productivity. *Hydrobiologia*, *379*(1-3), 41-53.
- Sakthivel, K., & Kathiresan, K. (2012). Antimicrobial activities of marine cyanobacteria isolated from mangrove environment of south east coast of India. *J Nat Prod*, *5*, 147-156.
- Sakthivel K., & Kathiresan, K. (2013) Cyanobacterial diversity from mangrove sediment of south east coast of India. *Asian J Biodivers*, *4*(1), 190-203.
- Sherman, R. E., Fahey, T. J., & Martinez, P. (2003). Spatial patterns of biomass and aboveground net primary productivity in a mangrove ecosystem in the Dominican Republic. *Ecosystems*, *4*(4), 384-398.
- Silambarasan, G., Ramanathan, T., & Kathiresan, K. (2012). Diversity of marine cyanobacteria from three mangrove environment in Tamil Nadu Coast, south east coast of India. *Curr Res J Biol Sci*, *4*(3), 235-238.

- Singh, H., Khatta, J. S., & Ahluwalia, A. S. (2014). Cyanobacteria and agricultural crops. *Vegetos*, 27(1), 37-44. DOI: 10.5958/j.2229-4473.27.1.008
- Silva, S. M. F. (1991). Cyanophyceae associated with mangrove trees at Inhaca Island, Mozambique. *Bothalia*, 21(2), 143–150.
- Skácelová, K., Barták, M., Coufalík, P., Nývlt, D., & Trnková, K. (2013). Biodiversity of freshwater algae and cyanobacteria on deglaciaded northern part of James Ross Island, Antarctica. A preliminary study. *Czech Polar Reports*, 3(2), 93-106.
- Soltani, N., Khodaei, K., Alnajar, N., Shahsavari, A., & Ashja Ardalan, A. (2012). Cyanobacterial community patterns as water quality Bioindicators. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 11(4), 876-891.
- Suneerat Raungsomboon, Amnat Chidthaisong, Boosya Bunnang, Duangrat Inthorn & Narumon W. Harveya. (2006). Production, composition and Pb²⁺ adsorption characteristics of capsular polysaccharides extracted from a cyanobacterium *Gloeocapsa gelatinosa*. *Water Research*, 40(20), 3759-3766.
- Supenya Chittapun, & Theppanya Charoenrat. (2015). Isolate and growth of N₂-fixing cyanobacteria from organic agricultural areas in Sanamchaikate, Chachoeng-Soa province, Thailand. *Thammasat International Journal of Science and Technology*, 20(2), 27-32.
- Thajuddin, N., & Subramanian, G. (1992). Survey of cyanobacterial flora of the southern east coast of India. *Botanica Marina*, 35(4), 305-311.
- Tika, K. F., Siti, G. S. F., & Rida, O. K. (2014). Epiphytic cyanobacteria on *Avicennia marina* pneumatophore in mangrove ecosystem of Cagar Alamm Pulau Dua (CAPD) Serang, Banten. *Implementation And Education Of Mathematics And Scienc*. 177-182.
- Toledo, G., Bashan, Y., & Soeldner, A. (1995). Cyanobacteria and black mangroves in northwestern Mexico: colonization, and diurnal and seasonal nitrogen fixation on aerial roots. *Canadian Journal of Microbiology*, 41(11), 999-1011.
- Vijayan, D., & Ray, J. G. (2015). Ecology and Diversity of Cyanobacteria in Kuttanadu Paddy Wetlands, Kerala, India. *American Journal of Plant Sciences*, 4(18), 2924-2938.

- Walters, B. B., Rönnbäck, P., Kovacs, J. M., Crona, B., Hussain, S. A., Badola, R., Dahdouh-Guebas, F. (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: a review. *Aquatic Botany*, 89(2), 220-236.
- จิรพร เจริญวัฒนาพร. (2555). ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งหญ้าทะเล บริเวณเกาะยาวใหญ่ จังหวัดพังงา. *ว. วิทย. มช.* 40(1), 111-120.
- ทวีพร แก้วเนรมิตร, และ นุชนาถ วุฒิประดิษฐ์กุล. (2557). ผลของภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตและรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงในข้าวทรานสเจนิคพันธุ์ขาว ดอกมะลิ 105 ที่มีการแสดงออกของยีน OsCaM1-1 เกินปกติ. *Veridian E-Journal Science and Technology*. 1(5), 11-18.
- เบญจมาศ จันทะภา ไพบูลย์กิจกุล, ลภัสลดา ไกรสินธุ์, ศศิพา ฉิมพลี, และ ชลี ไพบูลย์กิจกุล. (2558). ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชบริเวณบ้านบางสระแก้ว อ.แหลมสิงห์ จ.จันทบุรี. *Khon Kaen Agr. J.* 43(1), 568-573.
- วาสนา อากรรัตน์, วุฒิชัย อ่อนเอี่ยม, และ ลิขิต ชูชิต. (2555). ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชบริเวณชายฝั่งอ่าวประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ในรอบปี พ.ศ. 2551-2552. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 17(1), 108-116.
- ส่วนส่งเสริมและพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลน สำนักงานอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2556). คู่มือความรู้เรื่องป่าชายเลน. *พลอยมีเดีย*, 5, 1-76.
- สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ และ บงกช บุญบุรพงษ์. (2555). ศักยภาพของไซยาโนแบคทีเรียในนาคตประเทศไทย. *J. Res. Unit Sci. Technol. Environ. Learning*, 3(2), 149-154.

รายงานการวิจัย

- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2552). *คู่มือความรู้เรื่องป่าชายเลน เฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ ในโอกาสทรงพระชนมพรรษา 72 พรรษา*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์คณะรัฐมนตรีและราชกิจจานุเบกษา.
- กมลวรรณ ศรีปลั่ง, สุรางค์รัตน์ พันแสง, และ พวงผกา แก้วกรม. (2554). *การศึกษาสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของแห่นแดงในท้องถิ่นและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว*. เพชรบูรณ์: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- ขวัญเรือน ปิ่นแก้ว, และ อมรรัตน์ ชมรุ่ง. (2539). *การศึกษาแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์บริสุทธิ์ จากชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก*. ชลบุรี: สถาบันวิจัยทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.

จิตรา ตีระเมธี. (2552). *ความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนทะเลบริเวณหาดนางรอง เกาะจรเข้ม และหมู่เกาะจวง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ.

โชคชัย วนภู. (2551). *การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างไซยาโนแบคทีเรียกับแพลงก์ตอน เพื่อใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน ในนาข้าวอินทรีย์*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ.

Aran Incharoensakdi, Kanjana Wiangnon, Kanteera Soontharmurakkul, Arporn Bualuang, Wuttinun Raksajit, & Piyathida Pongsiri. (2008). *Extrusion of Na⁺ Mediated by a Na⁺-ATPase and a Na⁺/H⁺ antiporter in the Halotolerant Cyanobacterium Aphanothece halophytica*. Bangkok: Chulalongkorn University.

วิทยานิพนธ์

คณิน ศรีรัตน, จาริษา สุขศรี, และ จุฑาทิพย์ หงสกุล. (2555). *การศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำในสระมรกต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

วิชญา กันบัว. (2541). *ความหลากหลายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนพืชในป่าชายเลน อำเภอสัตหีบ จังหวัดตราด*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล.

โพธิธรรณ์ ครรชิตานุกฤษ. (2556). *ผลของความเครียดจากเกลือต่อปริมาณฮีออลและสารออสโมโพรเทคแทนต์ในไซยาโนแบคทีเรีย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, สาขาวิชาชีววิทยา.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

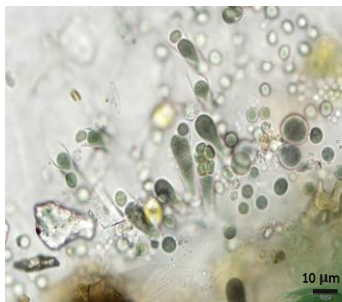
Bhan, P. (2016, July 12). Structure of Cyanobacteria (Blue Green Algae). Retrieved from <http://www.biologydiscussion.com/cytology/structure-of-cyanobacteria-blue-green-algae/36793>

- Chorus, I., & Bartram, J. (1999, January). Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. 1999. Retrieved from http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/
- FAO. (1994, May 16). Mangrove forest management guidelines. สืบค้นจาก <http://www.fao.org/forestry/mangrove/3648/en/>
- Guiry, M. D., & Guiry, G. M. (1996, May). AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Retrieved from <http://www.algaebase.org/copyright/>
- Sahat Ratmuangkhwang. (2016, April). Mangrove. สืบค้นจาก https://www.researchgate.net/publication/301608674_pachaylen_Mangrove
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2557). สภาพภูมิประเทศทั่วไป สถิติภูมิอากาศและข้อมูลย้อนหลัง ค่ามาตรฐานอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553) จังหวัดชลบุรี. สืบค้นจาก <http://climate.tmd.go.th/site/index>
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2557). สภาพภูมิประเทศทั่วไป สถิติภูมิอากาศและข้อมูลย้อนหลังค่ามาตรฐาน อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553) จังหวัดตราด. สืบค้นจาก <http://climate.tmd.go.th/site/index>
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2557). สภาพภูมิประเทศทั่วไป สถิติภูมิอากาศและข้อมูลย้อนหลังค่ามาตรฐาน อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553) จังหวัดจันทบุรี. สืบค้นจาก <http://climate.tmd.go.th/site/index>
- พิพิธภัณฑสถานธรรมชาติวิทยา (13 มกราคม 2553). พืชและการปรับตัวของพืชในป่าชายเลน. สืบค้นจาก http://www.sci.psu.ac.th/chm/biodiversity/mangrove_plant.html
- ยุวดี พิรพรพิศาล. (2554). การบ่งบอกระดับบ่อน้ำจืดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจากน้ำพุร้อน บางแห่งในประเทศไทย. สืบค้นจาก <http://research.trf.or.th/node/470>
- ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. (มิถุนายน 2560). ภูมิอากาศจังหวัดชลบุรี. สืบค้นจาก <http://climate.tmd.go.th/data/province/>
- ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. (มิถุนายน 2560). ภูมิอากาศจังหวัดตราด. สืบค้นจาก <http://climate.tmd.go.th/data/province/>
- ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. (มิถุนายน 2560). ภูมิอากาศจังหวัดจันทบุรี. สืบค้นจาก <http://climate.tmd.go.th/data/province/>
- สิทธิโชค กันย่อง. (10 กรกฎาคม 2552). พันธุ์ไม้ป่าชายเลนและป่าชายหาด. สืบค้นจาก <http://fishtech.rmutsv.ac.th/fishtech/sites/default/files/files/2556/Electronics/>



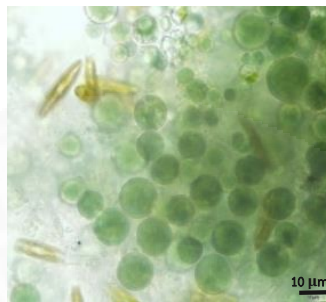
ภาคผนวก ก

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไซยาโนแบคทีเรียทั้ง 72 ชนิด และอีก 2 ชนิด ที่เป็น unknown ที่ได้จากป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี จันทบุรี และตราด ตามภาคตะวันออกของประเทศไทย



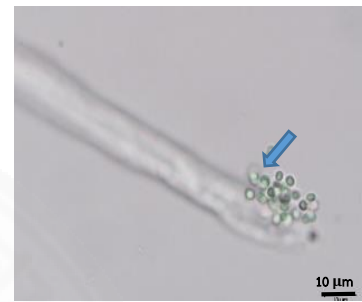
1: *Chamaesiphon* sp.01

เซลล์มีรูปร่างยาวรีเป็นทรงกระบอก ส่วนที่เป็นฐานสำหรับยึดเกาะมักเรียวยาวและแคบ ส่วนปลายจะกว้างออก และมีการแบ่งส่วนปลายของเซลล์และแยกออกจากเซลล์เดิม แต่ยังคงติดกันอยู่



2: *Dermocarpa* sp.01

ประกอบด้วยเซลล์หลายขนาด ตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ ทรงกลม เป็นเซลล์เดี่ยวหรืออยู่เป็นกลุ่ม จัดเรียงไม่แน่นอน สีเขียว น้ำตาล มีซีทหุ้มบาง และ หนาม



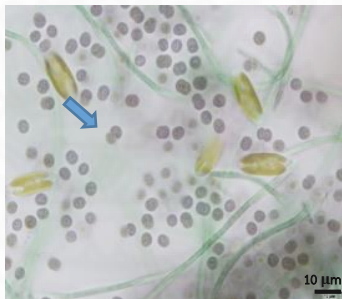
3: *Aphanocapsa* sp.01

เซลล์จะมาอยู่รวมกันเป็นโคโลนี โดยมีสารเมือกหุ้ม แต่เซลล์มักมีรูปร่างกลม หรือทรงกระบอกอยู่คู่กัน รูปร่างโคโลนีไม่แน่นอน ส่วนมากจะกลม โคโลนีที่มีอายุมากจะใหญ่ขึ้น



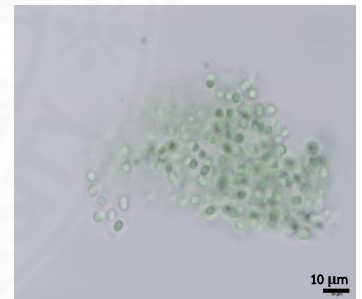
4: *Aphanocapsa* sp.02

เซลล์อยู่รวมกันเป็นโคโลนี โดยมีสารเมือกหุ้มไว้ รูปร่างกลม ขนาดเล็กกว่า *Aphanocapsa* sp.01



5: *Aphanocapsa* sp.03

เซลล์อยู่เป็นคู่กัน กระจายตัวแบบหลวมๆ เป็นกลุ่ม เซลล์มีรูปร่างกลมหรือรูปร่างไม่แน่นอนและมีขนาดใหญ่กว่า *Aphanocapsa* sp.01-02

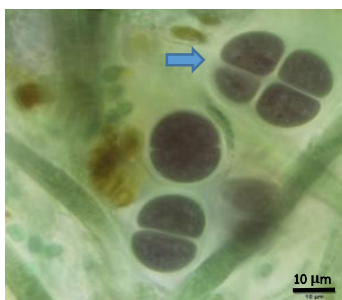


6: *Aphanocapsa* sp.01

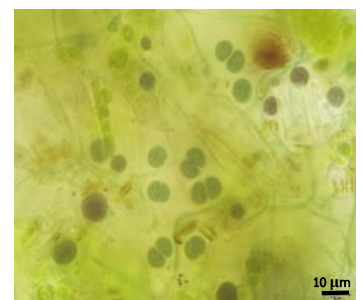
เซลล์จะมาอยู่รวมกันเป็นโคโลนี โดยมีสารเมือกหุ้มคล้าย *Aphanocapsa* เซลล์มีรูปร่างทรงกระบอกมน เป็นท่อนสั้นๆ มีจำนวนมาก ซึ่งโคโลนีหนึ่งๆ รูปร่างโคโลนีจะไม่แน่นอน



7: *Chroococcus minor*

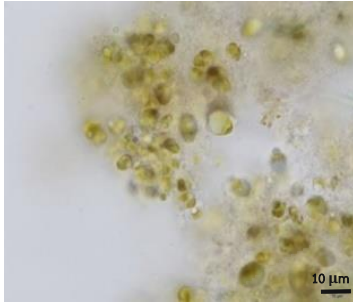


8: *Chroococcus turgidus*



9: *Chroococcus* sp.01

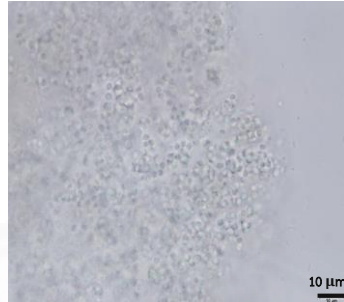
โดยทั่วไปจะอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว แต่มักจะพบเป็นกลุ่มๆ ละ 2-16 เซลล์ เนื่องจากมีการแบ่งตัวแล้วไม่แยกออกจากกัน เพราะมีสารเมือกหนาหุ้มอยู่ เซลล์มีลักษณะกลม รี หรือครึ่งวงกลม



10: *Gloeocapsa crepidinum*

เป็นกลุ่มเซลล์รูปร่างไม่แน่นอน เช่น ทรงกลม และทรงรี เซลล์มีสีเหลืองน้ำตาล มีแก๊สแวนซิลิเคิลภายในเซลล์

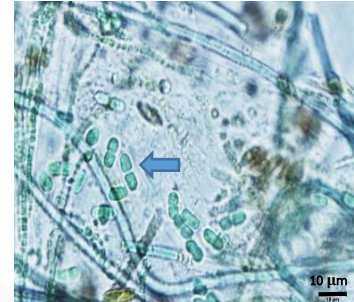
เซลล์รูปร่างกลม รูปกึ่งวงกลม หรือรูปทรงหลายเหลี่ยมปลายมน เกิดการแบ่งเซลล์หลายระนาบ 2-4 เซลล์ โคโลนีค่อนข้างใหญ่ มีเมือกหนาหุ้ม



11: *Gloeocapsa* sp.01

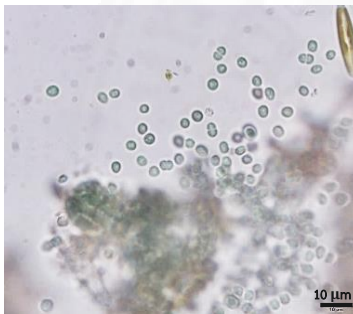
ประกอบด้วยเซลล์รูปร่างกลมขนาดเล็กจำนวนมากเป็นโคโลนีขนาดใหญ่ จัดเรียงกันด้วยจำนวนไม่แน่นอนภายในเมือกหุ้มใส

เซลล์มีรูปร่างกลมหรือค่อนข้างกลม อยู่รวมกันเป็นโคโลนีประมาณสองเซลล์มักอยู่เป็นคู่ๆ มีเมือกหุ้มกลุ่มเซลล์ไว้ คล้าย *Chroococcus turgidus* แต่มีขนาดเซลล์เล็กกว่า



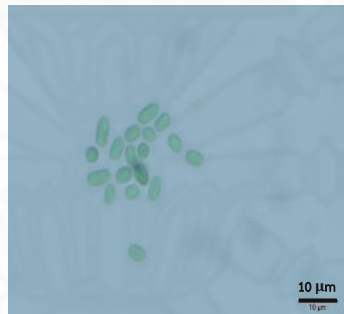
12: *Synechococcus aeruginosus*

เซลล์มีรูปร่างแบบรูปไข่ สีเขียว อยู่เป็นเซลล์เดี่ยวๆ ไม่มีซีทหุ้ม เมื่อแบ่งเซลล์แล้วเซลล์อาจไม่หลุด แต่จะติดกันเป็นคู่



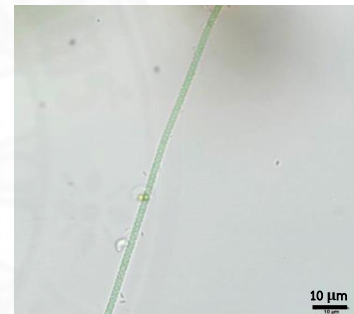
13: *Synechocystis pevalekii*

เซลล์มีรูปร่างกลม หรือรีเล็กน้อย อาจจะอยู่เดี่ยวๆ หรืออยู่เป็นคู่ ไม่มีเมือกหุ้ม ตรงกลางเซลล์จะเห็นเป็นจุดสีเข้มๆ



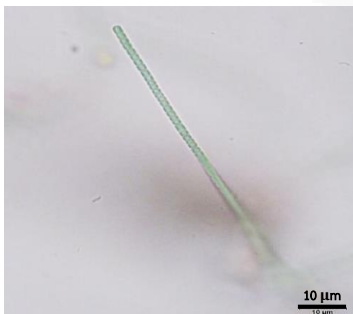
14: *Cyanobacterium* sp.01

เซลล์มีรูปทรงกระบอกเรียวยาว ทรงกลม ทรงไข่ หรือรูปร่างไม่แน่นอน อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม



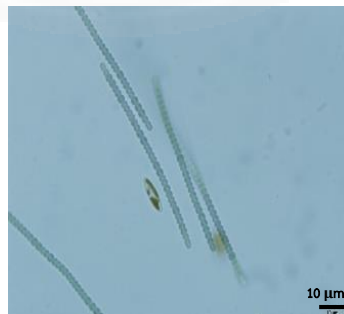
15: *Anabaena* sp.01

เซลล์แต่ละเซลล์มีรูปร่างคล้ายลูกบิด ทรงกลมขนาดเล็ก จัดเรียงกันเป็นเส้นสายซึ่งเรียกว่า ตรัยโคม (trichome) มักอยู่เป็นเดี่ยวๆ ไม่รวมเป็นกลุ่มก้อน เส้นสายตรงหรือโค้งงอเล็กน้อย ซีทที่หุ้มไม่หนา



16: *Anabaena* sp.02

เซลล์แต่ละเซลล์มีรูปร่างคล้ายถังเบียร์ คือ ตรงกลางเซลล์ป่อง ตรัยโคมมักอยู่เป็นเดี่ยวๆ ไม่รวมเป็นกลุ่มก้อน ส่วนมากตรัยโคมมี



17: *Anabaena* sp.03

เซลล์รูปทรงกลม ป่องตรงกลาง คล้ายลูกบิด แต่มีขนาดใหญ่กว่า *Anabaena* sp.01 ตรัยโคมมีลักษณะตรง ซีทที่หุ้มไม่หนา



18: *Pseudanabaena catenata*

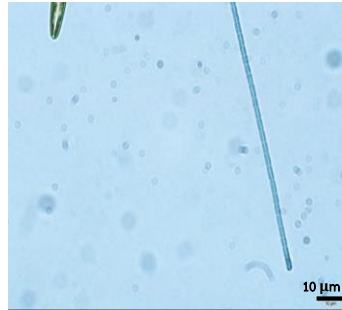
เป็นเส้นสายเดี่ยวๆ ประกอบด้วยเซลล์รูปทรงกระบอกขนาดเล็ก คล้ายสายโซ่ มีรอยคอดเว้าที่ผนังกันเซลล์ชัดเจน ปลายมน มีแก๊สแวนซิลิเคิลตรงกลางเซลล์

ลักษณะเป็นเส้นตรง หรือโค้งเล็กน้อย ซิท ที่หุ้มไม่หนา



19: *Pseudanabaena frigida*

เซลล์เป็นรูปทรงกระบอกปลายมน เซลล์มีความยาวมากกว่าความกว้าง ตรีโคมเดี่ยวๆ เป็นเส้นสายตรง หรือโค้งเล็กน้อย มีการคอดเว้าที่ผนังเซลล์ระหว่างเซลล์เล็กน้อย



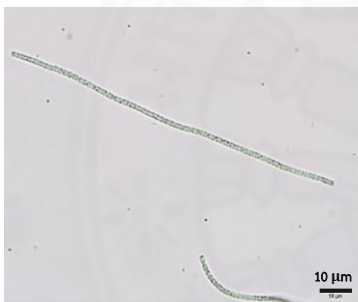
20: *Pseudanabaena galaeta*

เส้นสายแบบเดี่ยวๆ เป็นเซลล์รูปทรงกระบอกยาวปลายมน แก๊สแวกซิเคิลมีลักษณะการจัดเรียงตัวอยู่ตรงกลางของเซลล์ และยาวตลอดเส้นสาย



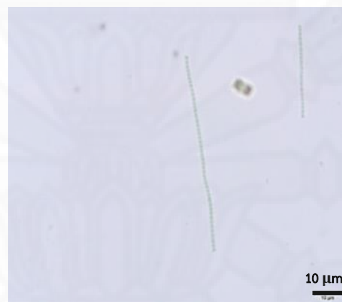
21: *Pseudanabaena* sp.01

เซลล์เป็นรูปปลิงเบียร์ ป่องตรงกลาง แต่ละเซลล์จัดเรียงกันชิด มีขนาดเท่ากันตลอดทั้งเส้นสาย ตรีโคมอยู่เดี่ยวๆ เส้นสายตรงหรือโค้งเล็กน้อย ปลายมน มีการคอดเว้าที่ผนังเซลล์ระหว่างเซลล์ชัดเจน ในแต่ละเซลล์จะสร้างแก๊สแวกซิเคิลตรงกลางเซลล์



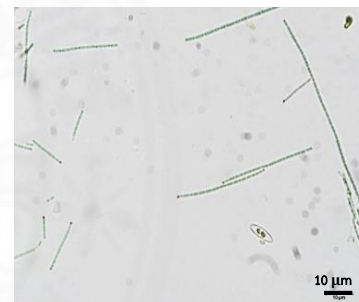
22: *Pseudanabaena* sp.02

เซลล์รูปทรงกระบอกปลายมน มีเม็ดแกรนูลขนาดเล็กตลอดทั้งเส้นสาย เซลล์มีขนาดไม่เท่ากัน และมีการคอดเว้าที่ผนังเซลล์ระหว่างเซลล์ชัดเจน



23: *Pseudanabaena* sp.03

เซลล์มีขนาดเล็ก มีลักษณะเป็นเซลล์สั้นๆ เซลล์ปลายยอดทรงตัด มีระยะห่างระหว่างรอยต่อของเซลล์กับเซลล์มาก ตรีโคมอยู่แบบเดี่ยวๆ ตรง หรือโค้งเล็กน้อย



24: *Pseudanabaena* sp.04

เส้นสายมีขนาดเล็ก เซลล์มีความยาวมากกว่าความกว้างชัดเจน มีลักษณะที่แตกต่างจากชนิดอื่นที่มักจะมีเซลล์ขนาดเล็กสืต่าอยู่ที่ขั้วทั้งสองข้างหรือข้างเดียวของเส้นสาย และมีการคอดเว้าที่ผนังเซลล์ระหว่างเซลล์ชัดเจน



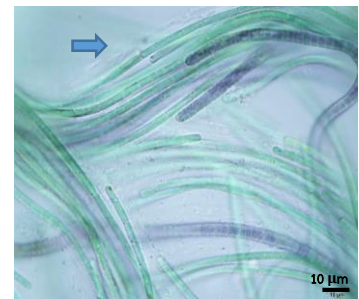
25: *Pseudanabaena* sp.05

เซลล์เป็นรูปปลิงเบียร์ ป่องตรงกลางปลายมน คล้ายกับ *Pseuda-nabaena* sp.01 แต่มีช่องว่างระหว่างรอยต่อของเซลล์กับเซลล์มากกว่า และเป็นเส้นสายสั้นๆ มีการสร้าง



26: *Pseudanabaena* sp.06

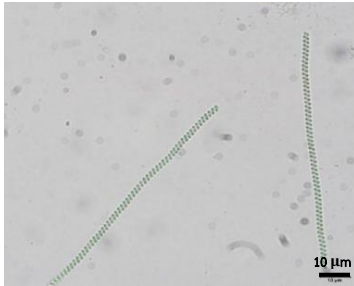
เซลล์เป็นรูปทรงกลมคล้ายปลิงเบียร์ ป่องตรงกลาง คล้ายกับ *Pseuda-nabaena galaeta* แต่ขนาดของเซลล์สั้นกว่า ปลายตรีโคมมีลักษณะที่ต่างออกไป คือ ด้าน



27: *Shizothrix* sp.01

เซลล์รูปทรงกระบอกต่อกันเป็นเส้นสาย อยู่รวมกันเป็นกระจุกหรือเป็นมัด เส้นสายไม่แตกแขนง ปลายเส้นสายกลมมน

แก๊สแวกซีเคิล และขนาดของเซลล์มีขนาดเท่ากันตลอดทั้งเส้นสาย



28: *Arthrospira gigantea* Schmidle

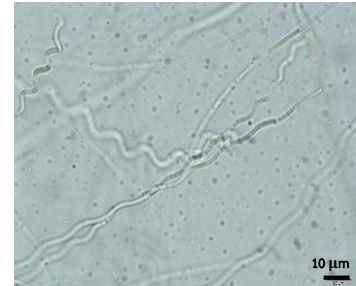
เส้นสายมีลักษณะเป็นเกลียวคล้ายสว่าน เซลล์มีความกว้างเท่ากันตลอดทั้งเส้นสาย ไม่มีซีทหุ้ม มีลักษณะของเกลียวแบบหลวมๆ

หนึ่งจะมีลักษณะเรียวแหลม อีกด้านปลายมน และมีรอยคอดเว้าที่ผนังเซลล์ชัดเจน



29: *Arthrospira subsalsa* Oerst. ex Gomont

เส้นสายมีลักษณะเป็นเกลียวคล้ายสว่าน เซลล์มีความกว้างเท่ากันตลอดทั้งเส้นสาย ไม่มีซีทหุ้ม มีลักษณะของเกลียวที่ถี่มาก และมีขนาดใหญ่กว่า *Arthrospira gigantea*



30: *Arthrospira* sp.01

เป็นเส้นสายประกอบด้วยเซลล์ที่มีความกว้างเท่ากันตลอดเส้นสาย ปลายมน ลักษณะของเส้นสายหยักเป็นคลื่น เกลียวหลวมๆ ไม่มีซีทหุ้ม



31: *Lyngbya* sp.01

เส้นสายเดี่ยวหรือรวมกันเป็นกลุ่ม เซลล์รูปทรงสี่เหลี่ยมจตุรัสหรือทรงกระบอกขนาดเล็ก สีเขียว มีซีทหุ้ม ปลายเรียวมน สร้างแก๊สเคิลตรงกลางเซลล์ มีซีทหุ้มอยู่ และยาวเลยไตรโคม



32: *Lyngbya* sp.02

เป็นเส้นสายขนาดใหญ่กว่าชนิดแรก เซลล์ในไตรโคมจะมีขนาดความกว้างของเซลล์มากกว่าความยาว จึงมองเห็นเป็นป้องถี่ๆ ปลายมน มีซีทหุ้ม ซีทยื่นล้าออกไปจากเซลล์ในไตรโคม



33: *Lyngbya* sp.03

เป็นเส้นสายคล้ายกับ *Lyngbya* sp.02 แต่มีซีทหุ้มที่หนากว่า เซลล์ในไตรโคมจะมีความกว้างของเซลล์มากกว่าความยาว คล้ายป้องถี่ๆ มักมองเห็นซีทยื่นล้าออกไปจากเซลล์ในไตรโคมเสมอ



34: *Lyngbya* sp.04

เป็นเส้นสายที่มีขนาดเล็กกว่า *Lyngbya* sp. ทุกชนิด เซลล์คล้ายป้องถี่ๆ มีซีทหุ้ม และมีการสร้างแก๊สเคิลตรงกลางเซลล์



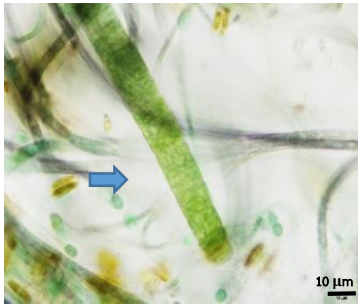
35: *Oscillatoria curviceps*

เซลล์รูปทรงสี่เหลี่ยมจตุรัสอยู่รวมเป็นมัด มีซีทบางหุ้ม มีรอยคอดเว้าระหว่างเซลล์ชัดเจน ปลายเรียวแหลม

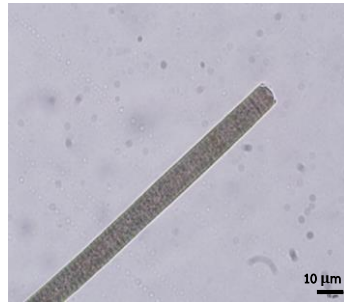


36: *Oscillatoria limosa*

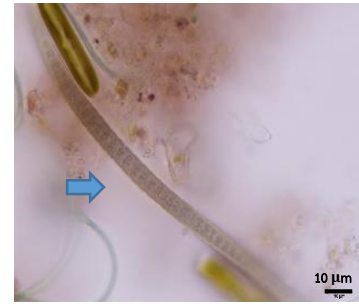
เป็นเส้นสายที่อยู่แบบเดี่ยวๆ มีความกว้างของเซลล์มากกว่าความยาว คล้ายป้องถี่ๆ หรืออาจมองไม่เห็นเซลล์แต่ละเซลล์ มีซีทบางๆ หุ้ม ปลายไตรโคมมน



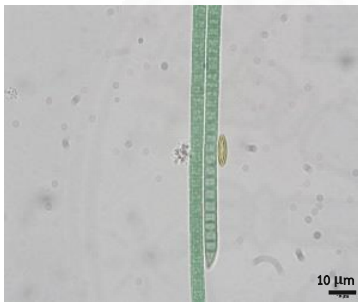
37: *Oscillatoria margaritifera* (Kutz.)
เส้นสายเดี่ยวไม่แตกแขนง ผนังเซลล์ไม่เรียบ ตรีโคมประกอบด้วยเซลล์ที่มีความกว้างของเซลล์มากกว่าความยาว โดยมีความกว้างมากกว่า 10µm สีเขียว ไม่มีซีทหุ้ม ปลายสุดของตรีโคมกลมมนมีสีเหลือง



38: *Oscillatoria princeps* Vaucher ex Gomont
เส้นสายเหยียดตรง ตรีโคมมีซีทบางๆ หุ้ม ไม่มีการสร้างเฮเทอโรซิสต์หรืออะคินีท เซลล์มีความกว้างมากกว่าความยาวคล้ายป้องกันมากหรือไม่สามารถแยกเซลล์แต่ละเซลล์ออกได้ ส่วนปลายเซลล์มีลักษณะกลมมน



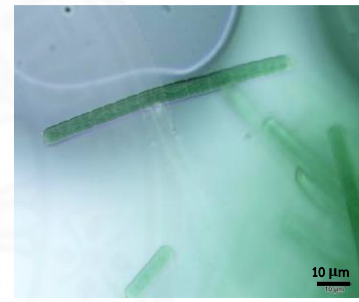
39: *Oscillatoria rubescens* DC ex Gomont
เส้นสายเดี่ยว ไม่แตกแขนง ตรีโคมประกอบด้วยเซลล์ที่มีความกว้างของเซลล์มากกว่าความยาว คล้ายปล้องถี่ๆ สามารถมองเห็นออร์แกเนลล์ภายในเซลล์ ไม่มีซีทหุ้ม ปลายสุดของตรีโคมกลมมน



40: *Oscillatoria tenuis* A. ex Gomont
เป็นเส้นสายที่อยู่เป็นเดี่ยวๆ เซลล์รูปสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาดความยาวของเซลล์ประมาณ 3µm และกว้าง 5 µm ปลายเซลล์เรียวแหลม ไม่พบการสร้างซีทหุ้ม มีแก๊สแวซิเคิลภายในเซลล์ขนาดใหญ่



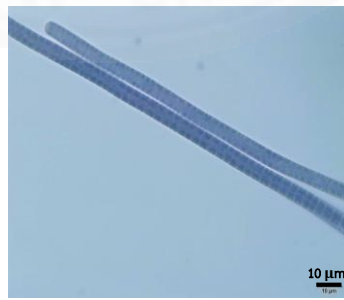
41: *Oscillatoria* sp.01
เส้นสายเดี่ยวๆ ไม่แตกแขนง ตรีโคมประกอบด้วยเซลล์ที่มีความกว้างของเซลล์มากกว่าความยาว คล้ายปล้องถี่ๆ สีเขียวเข้ม มีซีทหุ้มแต่ไม่ยาวเลยตรีโคมเหมือน *Lyngbya* ปลายเซลล์มน ไม่มีรอยคอดระหว่างเซลล์



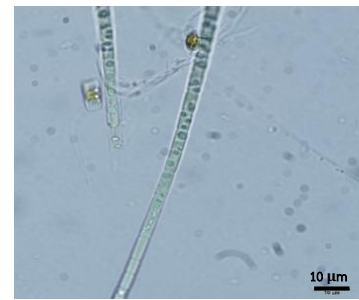
42: *Oscillatoria* sp.02
เป็นเส้นสายที่อาจอยู่เดี่ยวๆ หรืออยู่รวมเป็นกลุ่ม เซลล์มีความกว้างมากกว่าความยาวเล็กน้อย โดยเซลล์มีความกว้าง 5-8 µm ปลายเซลล์มนที่อ้อมและมีรอยคอดระหว่างเซลล์กับเซลล์



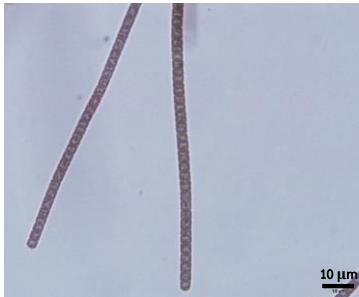
43: *Oscillatoria* sp.03
เส้นสายเหยียดตรง ตรีโคมไม่มีซีทหุ้ม ไม่มีการสร้างเฮเทอโรซิสต์หรืออะคินีท เซลล์มีความกว้างมากกว่าความยาวคล้ายปล้องถี่ๆ แต่ละเซลล์สามารถมองเห็นแก๊สแวซิเคิลบริเวณตรงกลาง ส่วนปลายเซลล์มีลักษณะเรียวแหลม เคลื่อนที่ได้



44: *Oscillatoria* sp.04
เส้นสายเดี่ยวไม่แตกแขนง ผนังเซลล์เรียบ ไม่มีรอยคอดระหว่างเซลล์ ตรีโคมประกอบด้วยเซลล์ที่มีความกว้างของเซลล์มากกว่าความยาว ไม่มีซีทหุ้ม ปลายสุดของตรีโคมกลมมน



45: *Oscillatoria* sp.05
เป็นเส้นสายที่อยู่เป็นเดี่ยวๆ เซลล์รูปทรงกระบอก ขนาดของเซลล์สม่ำเสมอตลอดทั้งสาย มีความกว้างของเซลล์น้อยกว่า 5µm ปลายเซลล์กลมมน ไม่พบซีทหุ้ม และมีรอยคอดที่ผนังกันเซลล์ ภายในเซลล์



46: *Oscillatoria* sp.06

เป็นเส้นสายอยู่แบบเดี่ยวๆ เซลล์มีความกว้างมากกว่าความยาวคล้ายสี่เหลี่ยมจตุรัส หรือผืนผ้า เซลล์มีสีแดง สีเขียว ขนาดของเซลล์สม่ำเสมอตลอดทั้งสาย สร้างแก๊สแวนิเคิล ปลายเซลล์กลมมน ไม่พบการสร้างซีทหุ้ม และมีรอยคอดที่ผนังกันเซลล์



47: *Oscillatoria* sp.07

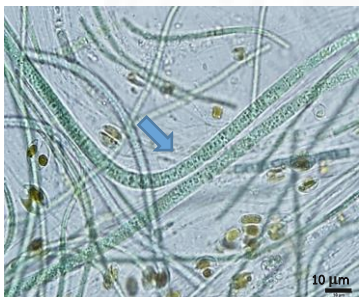
เป็นเส้นสายอยู่แบบเดี่ยวๆ เซลล์มีความกว้างและความยาวใกล้เคียงกัน ขนาดของเซลล์ไม่สม่ำเสมอ ปลายเซลล์มีลักษณะกลมมน และมีรอยคอดเว้าระหว่างเซลล์กับเซลล์ชัดเจน



48: *Oscillatoria* sp.08

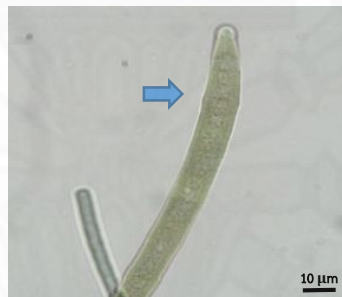
คล้ายมี oil droplets ทรงกลมขนาดใหญ่จำนวนมาก

เป็นเส้นสายอยู่แบบเดี่ยวๆ เซลล์มีความกว้างมากกว่าความยาวคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า เส้นสายมีขนาดใหญ่ ปลายเซลล์เรียวแหลม มีรอยคอดเว้าระหว่างเซลล์กับเซลล์ชัดเจน



49: *Oscillatoria* sp.09

เส้นสายเดี่ยวหรือรวมกันเป็นกลุ่ม ไม่แตกแขนง ตรัยโคมประกอบด้วยเซลล์รูปทรงกระบอกหรือสี่เหลี่ยมจตุรัส ไม่มีรอยคอดเว้าระหว่างผนังเซลล์ เซลล์สีน้ำตาล และเขียว ไม่มีซีทหุ้ม ปลายสุดของตรัยโคมกลมมน สร้างแกรนูลขนาดเล็กภายในเซลล์จำนวนมาก



50: *Oscillatoria* sp.10

เป็นเส้นสายที่อยู่เป็นเดี่ยวๆ เซลล์มีความกว้างมากกว่าความยาว จนอาจมองไม่เห็นเซลล์แต่ละเซลล์ ตรัยโคมมีสี่เหลี่ยมปลายเซลล์ด้านหนึ่งกลมมนอีกด้านจะเรียวแหลม ไม่พบการสร้างซีทหุ้ม ไม่มีรอยคอดเว้าที่ผนังกันเซลล์



51: *Oscillatoria* sp.11

เส้นสายเดี่ยว ไม่แตกแขนง ตรัยโคมประกอบด้วยเซลล์ที่มีความกว้างของเซลล์มากกว่าความยาว คล้าย *Oscillatoria* sp.07 แต่บ่งไม่ถี่มาก เซลล์แต่ละเซลล์เท่ากันตลอดทั้งเส้นสาย ไม่มีซีทหุ้ม ปลายสุดของตรัยโคมเรียวแหลม มีรอยคอดเว้าที่ผนังกันเซลล์



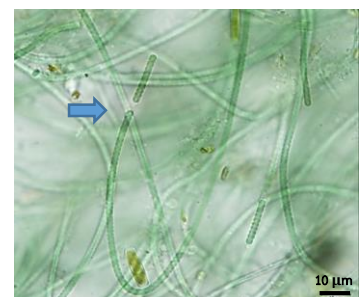
52: *Oscillatoria* sp.12

เส้นสายเดี่ยวไม่แตกแขนง ผนังเซลล์เรียบ ไม่มีรอยคอดระหว่างเซลล์ ตรัยโคมประกอบด้วยเซลล์ที่มีความกว้างของเซลล์มากกว่าความ



53: *Phormidium mucicola*

เส้นสายสั้นหรือยาวอยู่รวมกันเป็นกระจุก ซีทหุ้มตรัยโคมบางเห็นไม่ชัด ปลายเซลล์สุดรูปทรงกรวยหรือกลมมน รูปร่างเซลล์



54: *Phormidium* sp.01

เส้นสายอยู่รวมเป็นกลุ่ม ไม่แตกแขนง เซลล์ทรงกลมขนาดเล็ก มีขนาดของเซลล์เท่ากันตลอดทั้งสาย สร้างแก๊สแวนิเคิล มีซีทบางๆ หุ้ม ปลายยอดมน

ยาว ไม่มีซีทหุ้ม คล้าย *Oscillatoria* sp.04 แต่ปลายเซลล์ยอดเรียวยาวแหลมมากกว่า

ทรงกระบอกสั้น มีรอยคอดที่ผนังกันเซลล์ชัดเจน และสร้างเม็ดแกรนูล



55: *Phormidium* sp.02

เป็นเส้นสาย เซลล์ในทรีย์โคมจะมีขนาดความกว้างของเซลล์เท่ากับ ความยาว เซลล์มีขนาดเล็ก มีซีทหุ้ม มักมองเห็นซีทยื่นล้ำออกไปจากเซลล์ในทรีย์โคมเสมอ



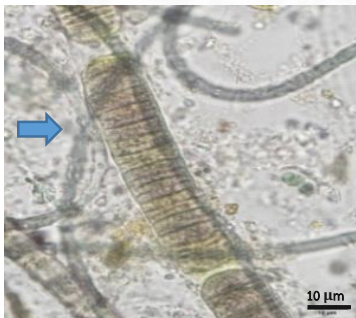
56: *Phormidium* sp.03

เป็นเส้นสายที่อยู่เป็นเดี่ยวๆ เซลล์รูปทรงกระบอก โดยเซลล์มีขนาดความยาวมากกว่าความกว้าง ขนาดของเซลล์สม่ำเสมอตลอดทั้งสาย ปลายเซลล์เรียวและกลมมนตกลงปลายเส้นสาย พบการสร้างซีทหุ้มบางๆ มีรอยคอดที่ผนังกันเซลล์เล็กน้อย



57: *Symploca cartilaginea*

เส้นสายอยู่รวมเป็นกลุ่ม ไม่แตกแขนง เซลล์รูปทรงสี่เหลี่ยมลูกเต๋า มีขนาดเท่ากัน ยกเว้นเซลล์ตรงปลายทรีย์โคม มีขนาดเรียวยาวแหลม มีซีทหุ้มบาง สร้างแก๊สแวนซิเคิลตรงกลางเซลล์ และมีรอยคอดเว้าที่ผนังกันเซลล์



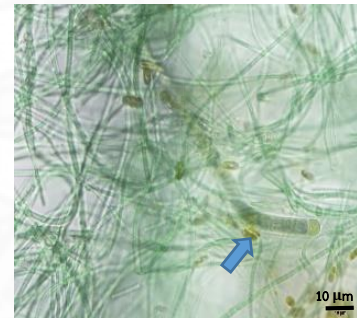
58: *Trichodesmium contortum* (Wille ex O.Kirchner)

เส้นสายขนาดใหญ่ ประกอบด้วยเซลล์ที่มีความกว้างมากกว่า 10µ และมีควมยาวน้อยกว่า คล้ายปอองตี่ๆ มีซีทบางหุ้ม ปลายมน เส้นสายมีรูปร่างไม่แน่นอน



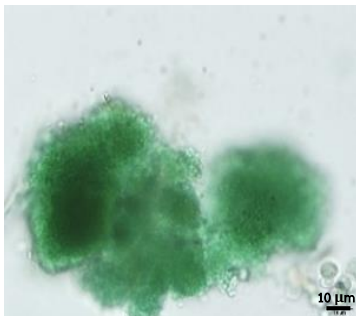
59: *Trichodesmium* sp.01

เส้นสายที่ประกอบด้วยเซลล์เรียงต่อกันเป็นทรีย์โคม รูปทรงบิดเบี้ยวไม่สม่ำเสมอ ทรีย์โคมไม่มีเมือกหุ้ม ไม่มีการสร้างเฮเทอโรซิสต์และอะคินิท เคลื่อนที่ได้



60: *Calothrix* sp.01

ทรีย์โคมอยู่เดี่ยวๆ เป็นเส้นสายที่มีความกว้างของเซลล์ไม่เท่ากันทั้งสาย เซลล์ตรงโคมมีขนาดใหญ่ เรียวเล็กตรงปลาย เซลล์ตรงปลายอาจมนเรียวยาวเล็กเป็นเส้น ไม่แตกแขนงหรือแตกแขนงเทียม มีซีทหุ้ม เฮเทอโรซิสต์ส่วนมากอยู่ปลายสุดของทรีย์โคม



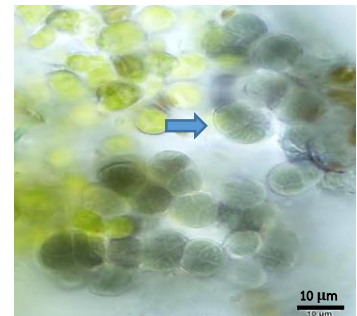
61: *Myxosarcina burmensis*

ประกอบด้วยเซลล์ที่รวมตัวกันอัดแน่นเป็นโคโลนี ไม่มีขอบโคโลนีชัดเจน เซลล์รูปร่าง



62: *Myxosarcina* sp.01

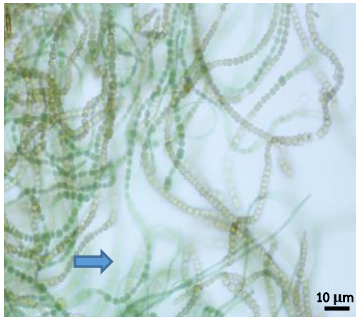
ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ขนาดเล็กจำนวนมาก เซลล์อัดแน่นเป็นโคโลนีโดยมีซีทบางๆ



63: *Myxosarcina* sp.02

เซลล์รูปร่างกลม มีการแบ่งเซลล์หลายรอบ เซลล์อยู่รวมกันจำนวนมากและไม่

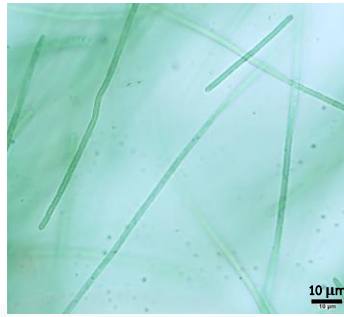
กลมขนาดเล็กจำนวนมากจัดเรียงตัวไม่
แน่นอน ไม่มีซีทหุ้ม สีเขียวแกมน้ำเงิน



64: *Mastigocladus* sp.01

เส้นสายประกอบด้วยเซลล์เรียงแถวเดี่ยวแตก
แขนงรูปตัววี แขนงจะออกมาจากสายเดิม
ทางด้านเดียวมีขนาดสั้น และมีการแตกแขนง
แท้และไม่แท้จริง เฮเทอโรซิสต์ อยู่ภายในเส้น
สายมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ปกติ

หุ้ม สีของเซลล์ได้แก่ สีเขียว สีเขียวแกมน้ำ
เงิน สีเขียวขี้ม้า แบ่งตัวในแนวระนาบ มี
ขอบโคโลนีชัดเจน



65: *Geitlerinema amphibium*

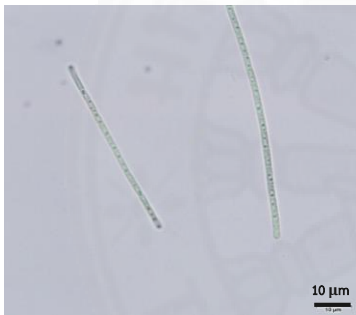
เส้นสายแบบเดี่ยวๆ หรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม
เซลล์รูปทรงกระบอก มีความยาวมากกว่า
ความกว้าง ปลายมน แก๊สแวนซิเคิลมีรูปร่าง
ยาวตามเซลล์ คือเป็นรูปทรงกระบอก

แยกออกจากกัน มีเมือกหุ้ม และมีแก๊สแวนซิ
เคิลภายในเซลล์



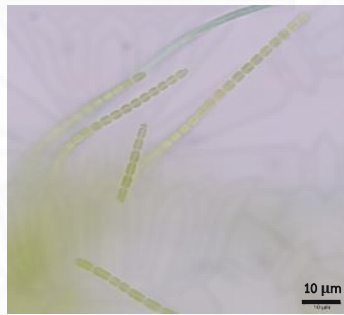
66: *Geitlerinema* sp. 01

เส้นสายเดี่ยวหรือรวมกันเป็นกลุ่ม เซลล์
รูปทรงสี่เหลี่ยมจตุรัสหรือทรงกระบอกเรียง
ต่อกันเป็นเส้นสาย ไม่มีซีทหุ้ม ปลายเรียวย
มน ไม่มีรอยคอดเว้าที่ผนังกันเซลล์ สร้าง
แก๊สแวนซิเคิล



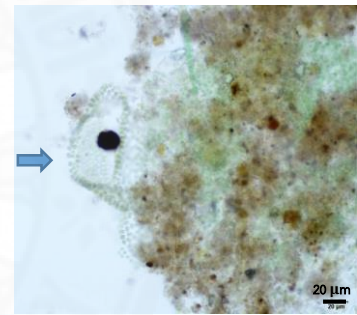
67: *Geitlerinema* sp.02

เซลล์มีรูปร่างทรงกระบอกขนาดเล็กต่อกัน
เป็นเส้นสาย มีแก๊สแวนซิเคิลภายในเซลล์
ชัดเจน ปลายเซลล์มน เส้นสายไม่มีซีทหุ้ม
บางครั้งผนังเซลล์มีการคอดเว้า ภายในเซลล์
พบเม็ดแกรนูล



68: *Komvophoron* sp.01

เซลล์มีลักษณะเป็นทรงกลมถึงเบียร์ ตริย
โคมอยู่เป็นเส้นสายเดี่ยวๆ หรือจับกันเป็น
ก้อนโคโลนีขนาดเล็กที่มีเมือกอยู่ เส้นสาย
ตรงหรือโค้งเล็กน้อย ไม่มีซีทหุ้ม



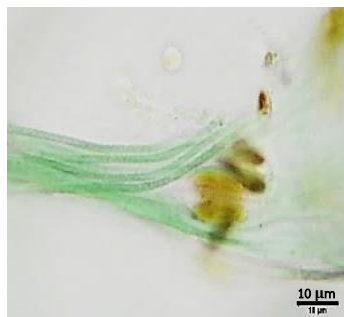
69: *Coelomoron* sp.01

เซลล์มีรูปร่างกลม รี หรือรูปไข่ ขนาดเล็กอยู่
รวมกันในกลุ่มเมือกขนาดใหญ่ อยู่รวมกัน
แน่นหรือแบบหลวมๆ เป็นโคโลนี รูปร่างโค
โลนีกลม ไข่ รูปทรงบิดเบี้ยว หรือตรงกลาง
กลวง มีเซลล์เรียงกันเฉพาะผิวเซลล์ มีสาร
เมือกอยู่รอบกลุ่ม



70: *Leptolyngbya* sp.01

เซลล์รูปทรงกระบอกขนาดเล็กสีเขียวต่อกัน
เป็นเส้นสาย แต่ละเส้นสายอยู่รวมเป็นมัด



71: *Leptolyngbya* sp.02

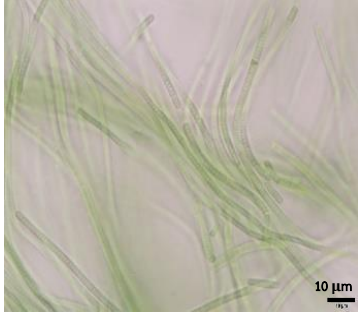
เป็นเส้นสายไม่แตกแขนง มีลักษณะเป็น
เส้นตรงหรือโค้งงอ เซลล์แต่ละเซลล์กลม



72: *Leptolyngbya* sp.03

ประกอบด้วยเส้นสายที่รวมตัวกันเป็นกลุ่ม
แบบหลวมๆ หรือแบบเป็นมัดแน่น เซลล์

แน่น ปลายเส้นสายกลมมน สร้าง แก๊สแวนชี
เซลล์ ตรงกลางเซลล์



73: Unknown01

เซลล์รูปทรงรีแบน สร้างแก๊สแวนชีเซลล์ภายใน
เซลล์ เซลล์เรียงต่อกันเป็นเส้นสายยาว เส้น
สายอยู่รวมกันเป็นกลุ่มแบบหลวมๆ มีซีทหุ้ม
เซลล์ปลายยอดมน

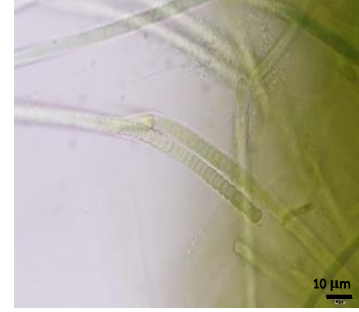
คล้ายลูกปัด สร้างแก๊สแวนชีเซลล์ภายในเซลล์
มองเห็นได้ชัดเจน



74: Unknown02

เส้นสายที่มีรูปร่างป่องตรงกลางคล้าย
กระสวย ประกอบด้วยเซลล์รูปทรงรีแบน
หรือถึงเบียร์ มีขนาดไม่เท่ากันตลอดเส้นสาย
มีซีทหนาหุ้ม

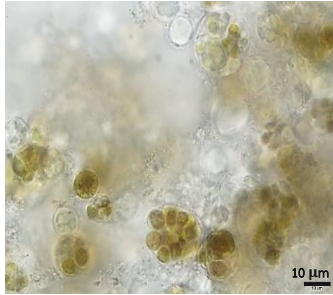
รูปทรงสี่เหลี่ยมจตุรัส ไม่มีรอยคอดเว้าที่
ผนังกันเซลล์ เส้นสายโค้งงอเล็กน้อย



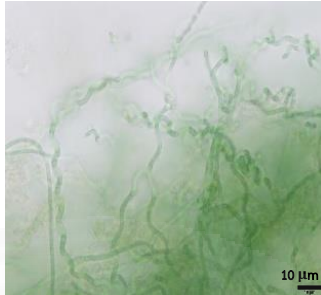
75: Unknown02 (ต่อ)

ภาคผนวก ข

ไซยาโนแบคทีเรียในระบบนิเวศป่าชายเลนสายพันธุ์บริสุทธิ์ทั้ง 31 ไอโซเลท



TUEV001

Gloeocapsa

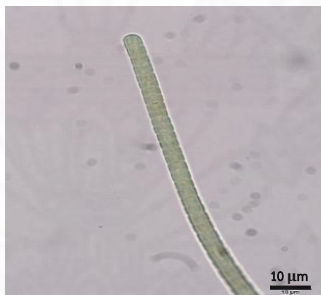
TUEV002

Leptolyngbya

TUEV003

Leptolyngbya

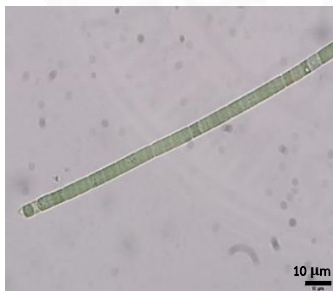
TUEV004

Mastigocladus

TUEV005

Oscillatoria

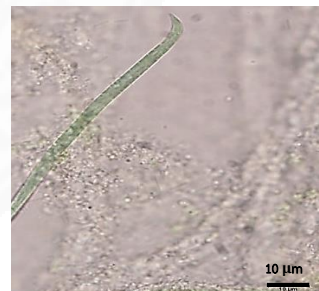
TUEV006

Oscillatoria

TUEV007

Oscillatoria

TUEV008

Oscillatoria

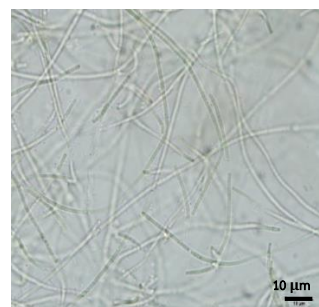
TUEV009

Oscillatoria

TUEV010

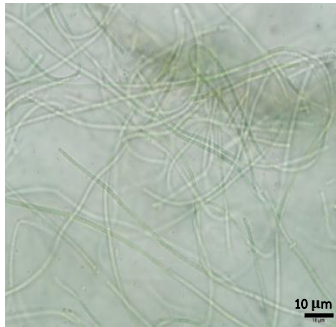
Phormidium

TUEV011

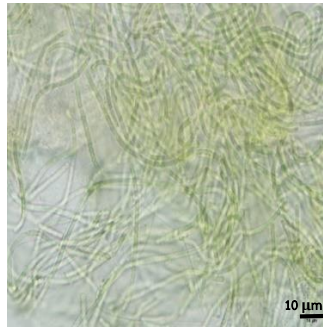
Phormidium mucicola

TUEV012

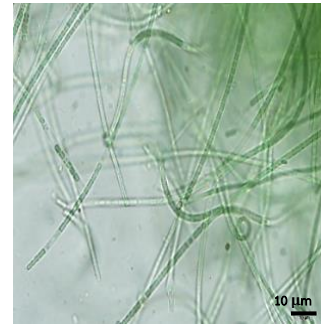
Phormidium



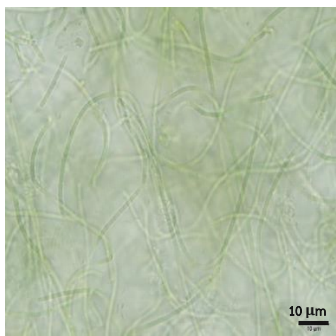
TUEV013

Phormidium

TUEV014

Phormidium

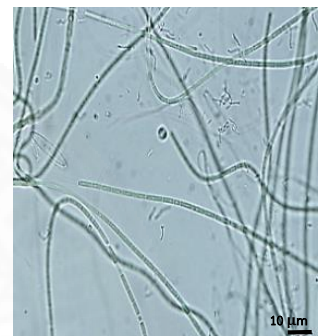
TUEV015

Phormidium

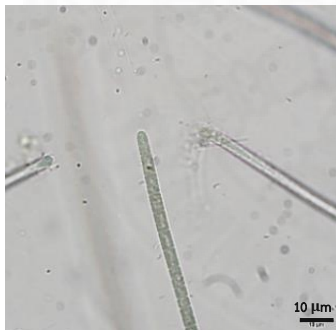
TUEV016

Phormidium

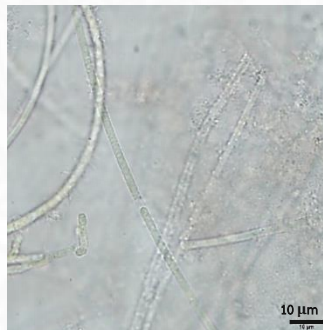
TUEV017

Phormidium

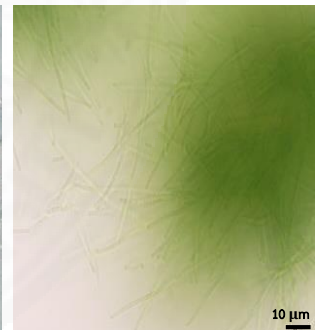
TUEV018

Phormidium

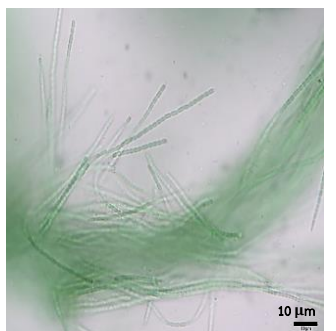
TUEV019

Phormidium

TUEV020

Phormidium

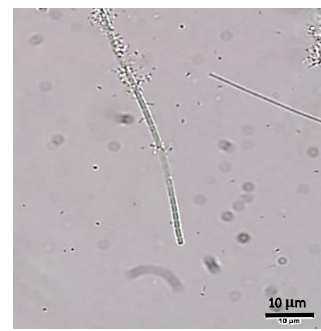
TUEV021

Phormidium

TUEV022

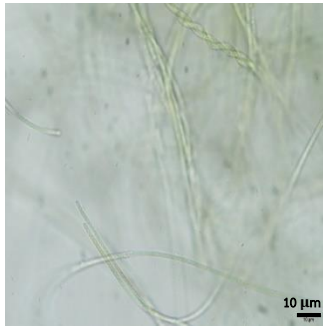
Pseudanabaena

TUEV023

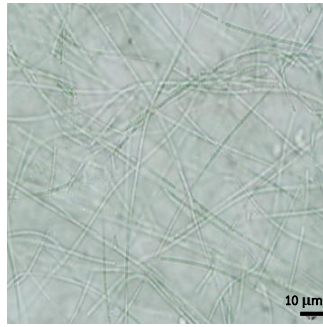
Pseudanabaena

TUEV024

Pseudanabaena



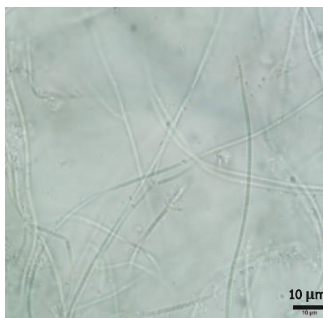
TUEV 025

Pseudanabaena

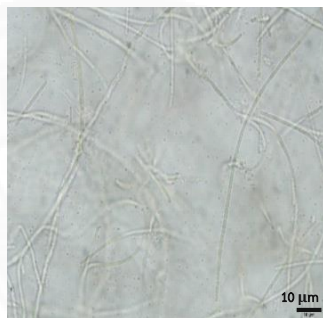
TUEV026

Pseudanabaena

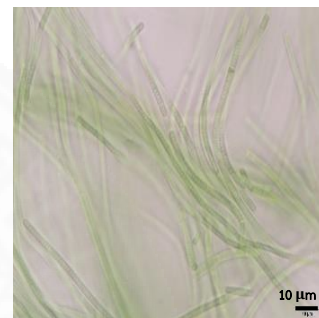
TUEV027

Pseudanabaena

TUEV028

Pseudanabaena

TUEV029

Pseudanabaena

TUEV030

Unknown1



TUEV031

Unknown2

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวสิริพร สุธา
วันเดือนปีเกิด	9 เมษายน 2535
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2556: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ทุนการศึกษา	ปีงบประมาณ 2561: ทุนสนับสนุนการนำเสนอผลงาน ทางวิชาการในต่างประเทศ ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผลงานทางวิชาการ

Siriporn Sudha, Tritep Vichkovitten, & Supenya Chittapun. (2017). Diversity of cyanobacteria from mangrove ecosystems in the eastern part of Thailand. *GMSARN Int. Conf. on Energy Connectivity, Environment, and Development in GMS, 28-30 November 2017*. Danang: Vietnam.

ประสบการณ์ทำงาน	2557: เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพสินค้า แผนกตรวจ เชื้อจุลินทรีย์ บริษัท เยนเนอร์ล ฟู้ด โปรดักส์ จำกัด
-----------------	---