

ผลของแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชต่อการเจริญเติบโต
ของจอกหูหนูและแหนเบ็ดใหญ่ในน้ำ
ที่ปนเปื้อนโซเดียมคลอไรด์

EFFECT OF PLANT GROWTH PROMOTING BACTERIA
ON GROWTH OF *Salvinia calcollata* AND *Spirodela polyrrhiza*
IN SODIUM CHLORIDE-CONTAMINATED WATER

วรารภรณ์ ชูฉาย^{1*} อภิเดช แสงดี² และ ขนิษฐา สมตระกูล³

¹สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์

^{2,3}ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม

Waraporn Chouychai^{1*}, Aphidech Sangdee² and Khanitta Somtrakoon³

¹Biology Programme, Faculty of Science and Technology, Nakhonsawan Rajabhat University,
Nakhonsawan, Thailand 60000

^{2,3}Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University,
Mahasarakham, Thailand 44150

*E-mail: waraporn.c@nsru.ac.th

Received: 2019-01-10

Revised: 2019-03-24

Accepted: 2020-01-22

บทคัดย่อ

ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในน้ำส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และการใช้แบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชในสภาวะดังกล่าวได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบผลของแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช 4 สปีชีส์ ได้แก่ *Paenibacillus* sp. BSR1-1, *Streptomyces* sp. SRF1, *Streptomyces* sp. St1 และ *Streptomyces* sp. St8 ต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ 2 ชนิดคือ จอกหูหนู (*Salvinia calcollata*) และแหนเบ็ดใหญ่ (*Spirodela polyrrhiza*) โดยเติมแบคทีเรียดังกล่าวให้กับพืชที่เจริญในน้ำที่มีโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 0, 0.5 และ 1.0 ก./ล. เป็นเวลา 7 วัน NaCl ไม่มีผลต่อน้ำหนัก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบีในใบของจอกหูหนู เฉพาะ NaCl 1.0 ก./ล. ที่ลดปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลง การเติม *Paenibacillus* sp. BSR1-1 เพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของจอกหูหนูได้ทั้งในสภาวะที่มี

และไม่มี NaCl ส่วนการเติม *Streptomyces* sp. SRF1 ลดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบจอกหูหนูลง การเติมแบคทีเรียทุกชนิดไม่มีผลต่อน้ำหนักของจอกหูหนู NaCl ไม่มีผลต่อน้ำหนักและปริมาณคลอโรฟิลล์ของแห่นเป็ดใหญ่ แต่การเติมแบคทีเรียมีแนวโน้มลดน้ำหนักของแห่นเป็ดใหญ่ลง การเติม *Streptomyces* sp. St8 เพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบแห่นเป็ดใหญ่เฉพาะในสภาวะที่ไม่มี NaCl แต่ *Streptomyces* sp. SRF1 และ *Streptomyces* sp. St1 ลดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบแห่นเป็ดใหญ่เฉพาะในสภาวะที่มี NaCl ดังนั้น เฉพาะ *Paenibacillus* sp. BSR1-1 ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของจอกหูหนูในสภาวะที่มี NaCl ได้ แต่ไม่มีแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของแห่นเป็ดใหญ่ในสภาวะเดียวกัน

คำสำคัญ: จอกหูหนู แห่นเป็ดใหญ่ *Streptomyces* *Paenibacillus*

ABSTRACT

Sodium chloride content in water disrupt plant growth and use of plant growth promoting bacteria is an alternative way to increase plant growth in this condition. The effect of 4 species of plant growth promoting bacteria, that were *Paenibacillus* sp. BSR1-1, *Streptomyces* sp. SRF1, *Streptomyces* sp. St1 and *Streptomyces* sp. St8 on growth of 2 water plants, *Salvinia calcollata* and *Spirodela polyrhiza* were studied. The bacterial were added to water plants that grown in water containing 0, 0.5 and 1.0 ppt Sodium chloride (NaCl) for 7 days. NaCl did not affect to weight, chlorophyll *a* and *b* of *S. calcollata*. Only 1.0 ppt NaCl decreased total chlorophyll in *S. calcollata* leaves significantly *Paenibacillus* sp. BSR1-1 inoculation increased chlorophyll content in *S. calcollata* leaves both in water with and without NaCl. *Streptomyces* sp. SRF1 inoculation decreased chlorophyll content in *S. calcollata* leaves. All bacterial inoculation did not affect to weight of *S. calcollata*. Also, NaCl did not affect to weight and chlorophyll content of *S. polyrhiza* leaves. Bacterial inoculation trended to decrease *S. polyrhiza* weight. *Streptomyces* sp. St8 could increase chlorophyll content of *S. polyrhiza* leaves in water without NaCl only while *Streptomyces* sp. SRF1 and *Streptomyces* sp. St1 decreased chlorophyll content in water containing NaCl. With these reasons, only *Paenibacillus* sp. BSR1-1 could increase *S. calcollata* growth in NaCl-contaminated water but there were no bacterial strains could increase *S. polyrhiza* growth in the same condition.

Keywords: *Salvinia calcollata*; *Spirodela polyrhiza*; *Streptomyces*; *Paenibacillus*

บทนำ

ความเค็มเป็นปัญหาสำคัญต่อการเกษตรและจะทวีความสำคัญมากขึ้นต่อไปในอนาคต น้ำที่มีความเค็มมีสาเหตุมาจากการไหลชะผ่านพื้นที่ดินเค็ม หรือการรุกคืบของน้ำทะเลเข้ามาในแม่น้ำ ในช่วงฤดูแล้ง จนทำให้น้ำในแม่น้ำมีระดับความเค็มเกินมาตรฐาน ซึ่งน้ำสำหรับใช้ในการอุปโภค-บริโภคจะต้องมีความเค็มไม่เกิน 0.25 ก./ล. ส่วนน้ำสำหรับการเกษตรจะต้องมีความเค็มไม่เกิน 2.0 ก./ล. การรุกคืบของน้ำทะเลนี้เกิดทั้งจากการทรุดตัวต่ำลงของพื้นที่ชายฝั่ง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจากภาวะโลกร้อน และปัญหากภัยแล้งทำให้ไม่มีน้ำจืดเพียงพอในการผลักดันมวลน้ำเค็ม และมีแนวโน้มจะทวีความรุนแรงขึ้นในพื้นที่ที่ราบภาคกลางของประเทศไทย (Intaboot & Taesombat, 2014; Sueathung & Wongsas, 2017)

ความเค็มเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้พืชเกิดสภาวะเครียด โดยเป็นทั้งความเครียดที่เกิดจากการขาดน้ำ และความเครียดที่เกิดจากไอออนที่เป็นพิษ ทำให้สร้างสารอนุมูลอิสระและกรดแอบไซซิกมากขึ้น ทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง (Saengsanga, 2014) นอกจากจะส่งผลเสียต่อการเกษตรแล้ว ยังส่งผลเสียต่อการใช้พืชเพื่อการบำบัดสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมด้วย โดยมีรายงานว่าความเค็มทำให้ประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมด้วยพืช (Phytoremediation) ลดลง ตัวอย่างเช่น การสะสมซิลิเนียมจากน้ำทิ้งของพ็อปลาร์ (Poplar) น้อยลงเมื่อน้ำทิ้งมีความเค็มเพิ่มขึ้น (Bañuelos et al., 1999)

การใช้แบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant growth promoting bacteria) เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเมื่อพืชต้องเผชิญความเครียดที่เกิดจากความเค็มได้ ตัวอย่างเช่น การเติมเชื้อ *Bacillus aquimaris* DY-3 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ทนเค็มและสร้างกรดอินโดลอะซีติก (Indoleacetic acid; IAA) ให้กับต้นกล้าข้าวโพดที่เจริญในสารละลายฮอกแลนด์ที่มี NaCl 1% จะทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้ง ปริมาณโปรตีน น้ำตาลที่ละลายได้ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น และมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเอินไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระลดลง (Li & Jiang, 2017) ในทำนองเดียวกัน การเติมเชื้อ *Bacillus subtilis* และ *Pseudomonas fluorescens* ซึ่งสามารถสร้าง IAA และละลายฟอสเฟตได้ให้กับผักกาดหัวที่ปลูกในดินและรดด้วยสารละลาย NaCl 75 – 150 mM พบว่า การเติมเชื้อดังกล่าวช่วยเพิ่มน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง และระดับออกซินและจิบเบอเรลลิน และลดระดับกรดแอบไซซิกในพืช ซึ่งทำให้ผักกาดหัวเจริญเติบโตได้ดีขึ้น (Mohamed & Gomaa, 2012) ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้ศึกษาผลของแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชต่อการเจริญเติบโตของพืชต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชน้ำ 2 ชนิด คือ จอกหูหนูซึ่งเป็นพืชกลุ่มเฟิร์น และ แหนเป็ดใหญ่ซึ่งเป็นพืชมีดอก พืชทั้งสองชนิดนี้เป็นพืชน้ำที่มีศักยภาพในการบำบัดสารมลพิษในน้ำ โดยแหนเป็ดใหญ่มียางงานว่าสะสมสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำได้ (Rahman et al., 2011) ส่วนจอกหูหนูสามารถสะสมทองแดง (Das & Goswami, 2017) และยังสามารถนำใบไปทำถ่านกัมมันต์เพื่อบำบัดสารพิษ

(Baral et al., 2008) ได้ นำพืชทั้งสองชนิดเพาะเลี้ยงในน้ำที่มี NaCl โดยแบคทีเรียกลุ่มสนับสนุนการเจริญของพืชที่ใช้ มีทั้งสายพันธุ์ที่เป็นแอคติโนมัยสีท ได้แก่ *Streptomyces* sp. SRF1, *Streptomyces* sp. St1 และ *Streptomyces* sp. St8 และสายพันธุ์ที่ไม่ใช่แอคติโนมัยสีท ได้แก่ *Paenibacillus* sp. BSR1-1 ประโยชน์ของการศึกษาเพื่อคัดเลือกแบคทีเรียที่เหมาะสมสำหรับการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชน้ำสำหรับการฟื้นฟูคุณภาพเมื่อมีการปนเปื้อนร่วมกับความเค็มในน้ำต่อไป

วิธีการ

การเตรียมหัวเชื้อ

เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ได้แก่ *Paenibacillus* sp. BSR1-1 (คล้ายกับ *P. polymyxa* 97%) *Streptomyces* sp. SRF1 (คล้ายกับ *S. hygroscopicus* 99%) *Streptomyces* sp. St1 (คล้ายกับ *S. niveoruber* 97%) และ *Streptomyces* sp. St8 (คล้ายกับ *S. misionesis* 99%) โดยใช้ข้อมูลจากลำดับเบสบน 16s rDNA

เพาะเลี้ยง *Streptomyces* sp. St1, *Streptomyces* sp. St8 และ *Streptomyces* sp. SRF1 ในอาหารสูตร potato dextrose agar ครึ่งสูตร เป็นเวลา 14 วัน โดยบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C 2 วันแล้วจึงย้ายมาบ่มที่อุณหภูมิห้องอีก 12 วัน จากนั้นเติมสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 0.85% ลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ ให้เข็มเขี่ยปลายห่วงชุดสปอร์ที่อยู่บนผิวหน้าอาหารเพื่อเตรียมเป็นสารละลายสปอร์ ปริมาณสปอร์ของ *Streptomyces* แต่ละสายพันธุ์ที่นับได้บนอาหาร potato dextrose agar ครึ่งสูตร เท่ากับ 10^6 cfu/มล. ในขณะที่แบคทีเรีย *Paenibacillus* sp. BSR1-1 เตรียมโดยเพาะเลี้ยงในอาหาร nutrient broth ปริมาตร 50 มล. บ่มเชื้อในเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที ควบคุมอุณหภูมิเป็น 30°C เป็นเวลา 24 ชม. เก็บเกี่ยวเซลล์โดยนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเซตริฟิวจ์โดยใช้ความเร็ว 8,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเตรียมหัวเชื้อแบคทีเรียให้ได้ปริมาณแบคทีเรียเริ่มต้น 10^6 cfu/มล. ในสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 0.85%

การเตรียมพืชน้ำ

เก็บตัวอย่างจอกหูหนูจากสระน้ำในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อำเภอเมืองนครสวรรค์ และแห่นเปิดใหญ่จากสระน้ำในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์พื้นที่ย่านมัทรี อำเภอพยุหะคีรี จังหวัดนครสวรรค์ นำมาอนุบาลในน้ำประปาที่ปล่อยให้คลอรีนระเหยไปแล้ว 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 7 วัน ก่อนนำมาใช้ในการทดลอง

การวางแผนการทดลอง

เตรียมสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1.0 ก./ล. ในน้ำกลั่น ซึ่งเป็นค่าความเค็มที่สูงกว่าค่าที่เริ่มมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช (0.05 – 0.3 ก./ล.) (Intaboot & Taesombat, 2014) แบ่งใส่ถ้วยพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ถ้วยละ 40 มิลลิลิตร ใส่จอกหูหนู

ลงไปถ้วยละ 1 ต้น โดยแต่ละต้นมีน้ำหนักเฉลี่ย 0.4 กรัม และมีจำนวนข้อต้นละ 4-5 ข้อ ส่วนแหนเปิดใหญ่ เลือกต้นที่มีใบสมบูรณ์ 2-3 ใบ ใส่ลงในถ้วยให้ได้ปริมาณเริ่มต้นโดยเฉลี่ย ถ้วยละ 0.4 กรัม วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD 2 ปัจจัย 3x5 คือ ความเข้มข้นของ NaCl 3 ระดับ และการเติมเชื้อแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญของพืช 5 ระดับ คือ ไม่เติมเชื้อเติมเชื้อ *Streptomyces* sp. SRF1, *Streptomyces* sp. St1, *Streptomyces* sp. St8 และ *Paenibacillus* sp. BSR1-1 เติมน้ำลงในน้ำในรูปของสารละลายสปอร์สำหรับแอกติโนมัยสัทหรือสารละลายเซลล์สำหรับ *Paenibacillus* sp. BSR1-1 โดยเติมน้ำลงไปถ้วยละ 10 มล. เติมน้ำกลั่นลงไป 10 มล. สำหรับทรีทเมนต์ที่ไม่เติมเชื้อแบคทีเรีย ตั้งไว้ให้ได้รับแสงสว่างจากธรรมชาติ สลับถ้วยทั้งสองวันเพื่อลดความลำเอียงจากการได้รับแสงธรรมชาติ เติมน้ำกลั่นเพิ่มหากน้ำในถ้วยระเหยไปให้ระดับน้ำอยู่ในระดับเดิมตลอดการทดลอง หลังจากครบ 7 วัน เก็บผลการทดลองโดยเก็บจอกหูหนูและแหนเปิดใหญ่มาวัดน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และ คลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของพืชตามวิธีของ Huang et al. (2004)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์แสดงด้วยค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ด้วย Two – way ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี LSD's test

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของ NaCl และการเติมแบคทีเรียต่อน้ำหนักของพืช

ปริมาณ NaCl ในน้ำ 0.5-1.0 ก./ล. ไม่มีผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของจอกหูหนู การเติมเชื้อแบคทีเรียทั้ง 4 ชนิด ไม่มีผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของจอกหูหนูเช่นกัน โดยน้ำหนักสดของจอกหูหนูอยู่ระหว่าง 0.45-0.92 ก. และน้ำหนักแห้งอยู่ระหว่าง 0.03-0.08 ก. ทั้งนี้ ไม่พบปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างความเข้มข้นของ NaCl และการเติมเชื้อต่างชนิดกันต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของจอกหูหนู (ตารางที่ 1)

ปริมาณ NaCl ในน้ำ 0.5-1.0 ก./ล. ไม่มีผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของแหนเปิดใหญ่เช่นกัน โดยน้ำหนักสดของแหนเปิดใหญ่อยู่ระหว่าง 0.02-0.13 ก. และน้ำหนักแห้งอยู่ระหว่าง 0.004- 0.012 ก. การเติมเชื้อแบคทีเรียทั้งสี่ชนิดส่งผลให้ทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของแหนเปิดใหญ่ลดลงในน้ำที่ไม่มี NaCl ส่วนในน้ำที่มี NaCl 0.5-1.0 ก./ล. เฉพาะ *Streptomyces* sp. SRF1 และ *Streptomyces* sp. St1 ที่ทำให้น้ำหนักสดลดลง เชื้อ *Streptomyces* ทั้งสามชนิดทำให้น้ำหนักแห้งของแหนเปิดใหญ่ลดลงในน้ำที่มี NaCl 1.0 ก./ล. ทั้งนี้ ไม่พบปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างความเข้มข้นของ NaCl และการเติมเชื้อต่างชนิดกันต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของแหนเปิดใหญ่ (ตารางที่ 1)

ผลของ NaCl และการเติมแบคทีเรียต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ

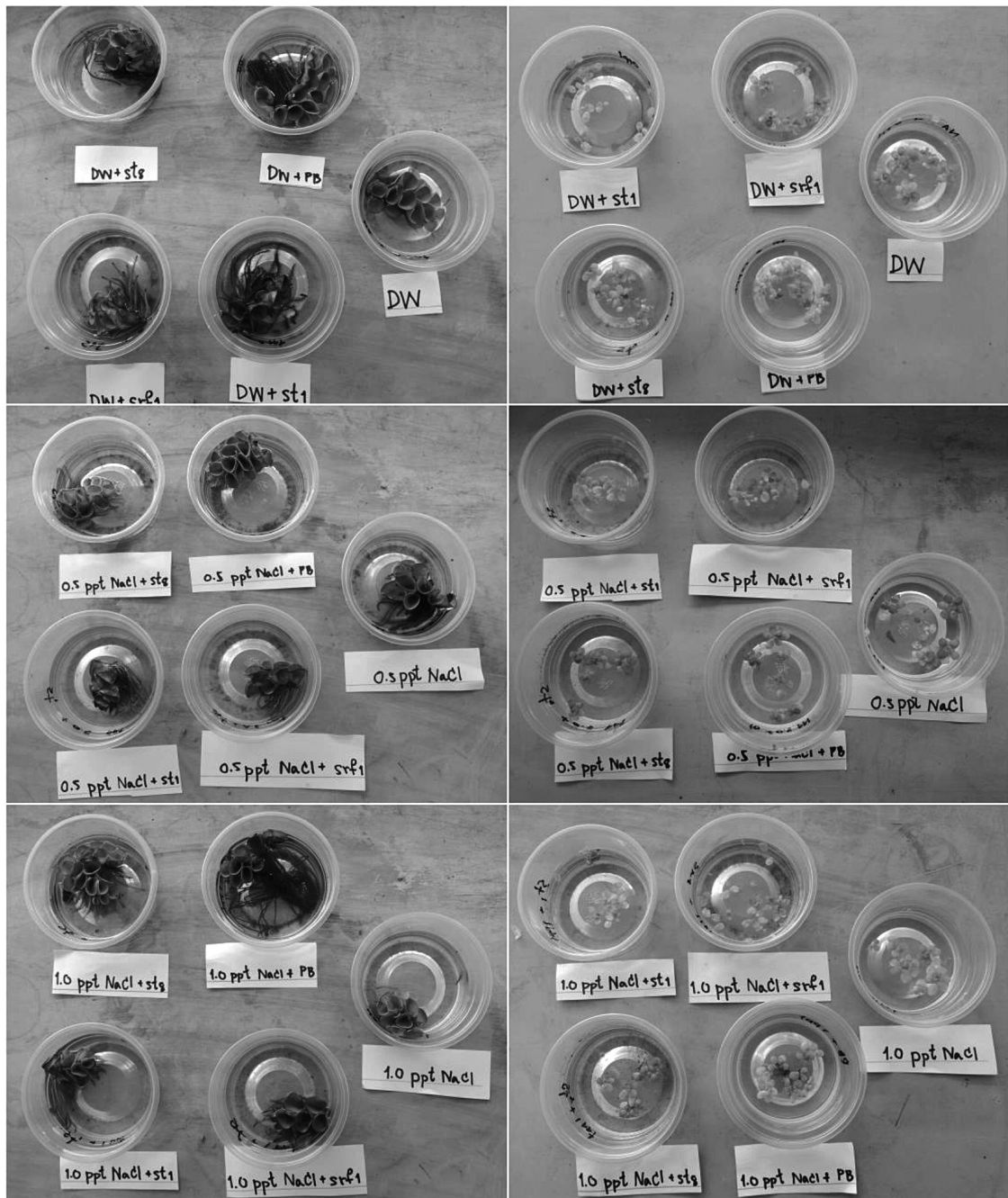
จอกหูหนูสามารถเจริญเติบโตได้ในสารละลาย NaCl จนสิ้นสุดการทดลองโดยมีสีเขียวของใบเป็นปกติ (รูปที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่วัดได้ในใบ ความเข้มข้นของ NaCl 0.5-1.0 ก./ล. ในน้ำไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีในใบจอกหูหนูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เฉพาะความเข้มข้นของ NaCl 1.0 ก./ล. เท่านั้นที่ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของจอกหูหนูลดลง (รูปที่ 2A, 2B และ 2C) เมื่อเปรียบเทียบผลของการเติมเชื้อแบคทีเรียชนิดเดียวกันที่ความเข้มข้นของ NaCl ต่างกัน พบว่า การเติม *Paenibacillus* sp. BSR1-1 ในน้ำที่มี NaCl 1.0 ก./ล. ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของจอกหูหนูลดลง เมื่อเทียบกับต้นที่ได้รับ *Paenibacillus* sp. BSR1-1 ในน้ำที่ไม่มี NaCl ในทำนองเดียวกัน การเติม *Streptomyces* sp. St8 ในน้ำที่มี NaCl 1.0 ก./ล. ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของจอกหูหนูลดลง เมื่อเทียบกับต้นที่ได้รับ *Streptomyces* sp. St8 ในน้ำที่ไม่มี NaCl เช่นเดียวกัน (รูปที่ 2)

เมื่อเปรียบเทียบผลของเชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิดต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบที่ความเข้มข้นของ NaCl เท่ากัน พบว่า ในสภาวะที่ไม่มี NaCl มีเฉพาะ *Paenibacillus* sp. BSR1-1 เท่านั้นที่กระตุ้นให้ใบจอกหูหนูมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับเชื้อ ในขณะที่ *Streptomyces* sp. SRF1 ให้ผลในทางตรงกันข้ามคือทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับเชื้อ ส่วน *Streptomyces* sp. St1 และ *Streptomyces* sp. St8 ไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบจอกหูหนู

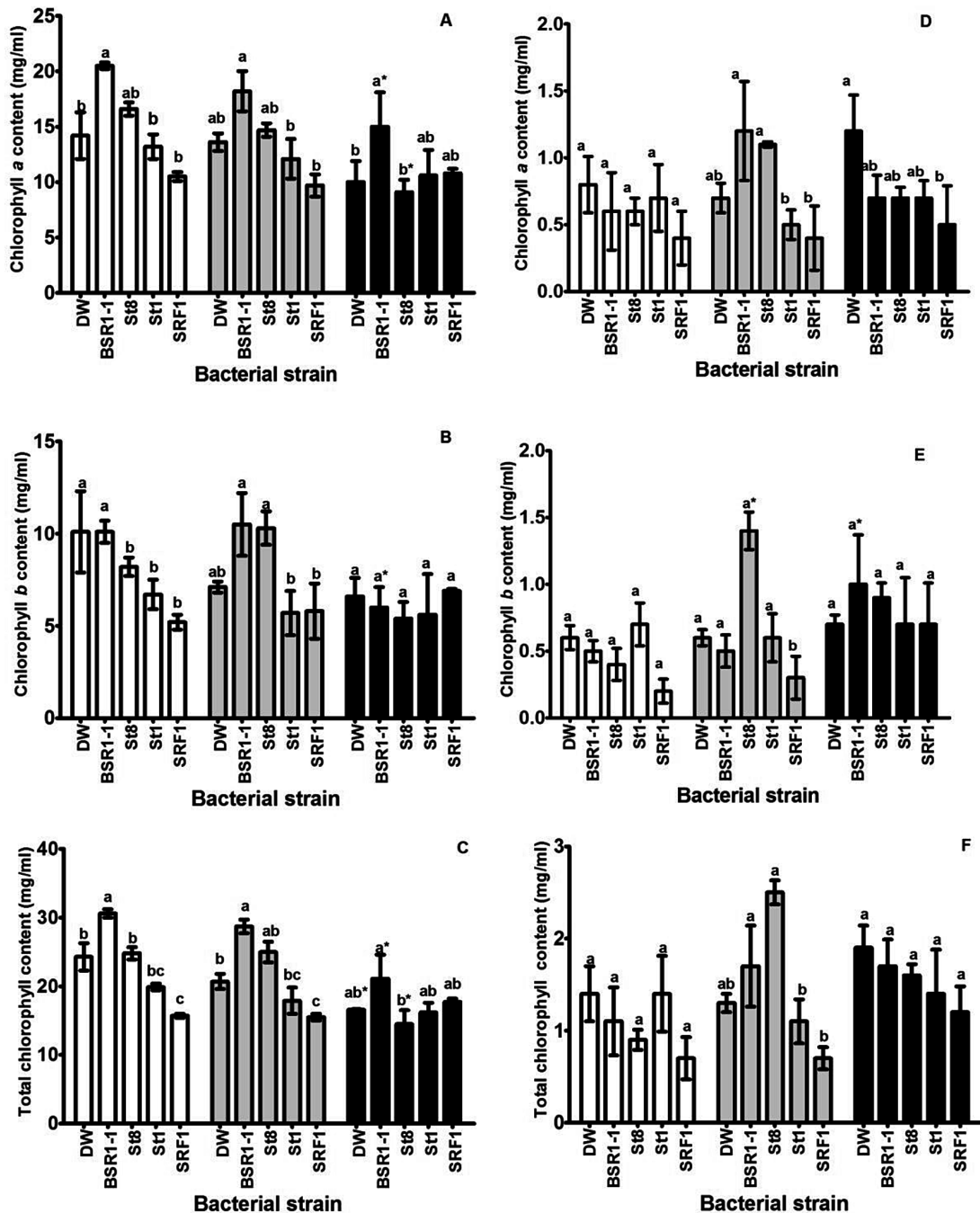
ตารางที่ 1 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชน้ำในน้ำที่มี NaCl ความเข้มข้นต่างกัน ทั้งที่เติมและไม่เติมแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เป็นเวลา 7 วัน

NaCl	จอกหูหนู		แห่นเป็ดใหญ่	
	น้ำหนักสด (ก.)	น้ำหนักแห้ง (ก.)	น้ำหนักสด (ก.)	น้ำหนักแห้ง (ก.)
0 ก./ล.				
ไม่เติมเชื้อ	0.67 ± 0.09a	0.05 ± 0.007a	0.13 ± 0.008a	0.012 ± 0.001a
<i>Streptomyces</i> sp. SRF1	0.76 ± 0.08a	0.06 ± 0.007a	0.02 ± 0.006c	0.004 ± 0.000c
<i>Streptomyces</i> sp. St1	0.54 ± 0.16a	0.05 ± 0.015a	0.03 ± 0.006c	0.004 ± 0.000c
<i>Streptomyces</i> sp. St8	0.76 ± 0.03a	0.08 ± 0.003a	0.09 ± 0.017b	0.009 ± 0.001b
<i>Paenibacillus</i> sp. BSR1-1	0.65 ± 0.13a	0.07 ± 0.014a	0.05 ± 0.015c	0.007 ± 0.001b
0.5 ก./ล.				
ไม่เติมเชื้อ	0.61 ± 0.13a	0.06 ± 0.013a	0.07 ± 0.009a	0.010 ± 0.002a
<i>Streptomyces</i> sp. SRF1	0.48 ± 0.14a	0.04 ± 0.012a	0.03 ± 0.014b	0.004 ± 0.001b
<i>Streptomyces</i> sp. St1	0.54 ± 0.05a	0.04 ± 0.004a	0.02 ± 0.003b	0.003 ± 0.001b
<i>Streptomyces</i> sp. St8	0.66 ± 0.12a	0.06 ± 0.010a	0.08 ± 0.007a	0.009 ± 0.001a
<i>Paenibacillus</i> sp. BSR1-1	0.64 ± 0.07a	0.04 ± 0.005a	0.08 ± 0.013a	0.008 ± 0.001a
1.0 ก./ล.				
ไม่เติมเชื้อ	0.45 ± 0.01a	0.03 ± 0.001a	0.08 ± 0.014a	0.008 ± 0.001a
<i>Streptomyces</i> sp. SRF1	0.45 ± 0.02a	0.04 ± 0.001a	0.03 ± 0.003b	0.004 ± 0.000b
<i>Streptomyces</i> sp. St1	0.64 ± 0.25a	0.06 ± 0.026a	0.04 ± 0.012b	0.004 ± 0.000b
<i>Streptomyces</i> sp. St8	0.92 ± 0.07a	0.08 ± 0.006a	0.09 ± 0.018a	0.006 ± 0.000b
<i>Paenibacillus</i> sp. BSR1-1	0.62 ± 0.06a	0.07 ± 0.007a	0.06 ± 0.021ab	0.007 ± 0.002ab
NaCl	ns	ns	ns	ns
Bacteria	ns	ns	**	**
NaCl x Bacteria	ns	ns	ns	ns

*อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างการเติมเชื้อแบคทีเรียต่างชนิดกันที่ความเข้มข้นของ NaCl เท่ากัน ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระดับของปัจจัย ** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระดับของปัจจัย



รูปที่ 1 การเจริญเติบโตของจอกหูหนู (ซ้าย) และแหวนเป็ดใหญ่ (ขวา) ในน้ำที่มี NaCl 0-1.0 ก./ล. เมื่อเติมและไม่เติมเชื้อแบคทีเรียเป็นเวลา 7 วัน; ตัวย่อ: DW = น้ำกลั่น, srf1 = *Streptomyces* sp. SRF1, st1 = *Streptomyces* sp. St1, st8 = *Streptomyces* sp. St8, PB = *Paenibacillus* sp. BSR1-1



รูปที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของจอกหูหนู (A-C) และเห็ดเปิดใหญ่ (D-F) ในน้ำที่มี NaCl 0- 1.0 ก./ล. เมื่อเติมและไม่เติมเชื้อแบคทีเรียเป็นเวลา 7 วัน; สัญลักษณ์: □ NaCl 0 ก./ล.; ■ NaCl 0.5 ก./ล.; ■ NaCl 1.0 ก./ล.; DW = น้ำกลั่น; BSR1-1 = *Paenibacillus* sp. BSR1-1; st8 = *Streptomyces* sp. St8; st1 = *Streptomyces* sp. St1; srf1 = *Streptomyces* sp. SRF1

การลดลงของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์เป็นอาการที่พบได้ทั่วไปเมื่อพืชสัมผัสกับความเค็ม ตัวอย่าง เช่น ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่สัมผัสกับภาวะเกลือสูง (NaCl 150 mM) มีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และรงควัตถุที่ใช้สังเคราะห์ด้วยแสงลดลง (Kaewneramit & Wutpraditkul, 2014) การรดน้ำที่มี NaCl 25 mM ให้ข้าวพันธุ์ KKU-LLR-039 ที่ไวต่อความเค็มทำให้ระดับคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลง และต้นข้าวแสดงภาวะเครียดโดยเพิ่มระดับของไฮโดรเจนเพอรอกไซด์และเกิดการรื้อไหลของอิเล็กโทรไลต์ (Madee et al., 2018) ระดับความเค็มดังกล่าวสูงกว่าความเค็มที่ใช้ในการทดลองนี้ (NaCl 0.5- 1.0 ก./ล. หรือ 8.6- 17.1 mM) ซึ่งในการทดลองนี้มีเฉพาะจากหนุ่นเท่านั้นที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงที่ความเข้มข้นของ NaCl 1.0 ก./ล.

แบคทีเรียที่ใช้ในการทดลองนี้ มีคุณสมบัติในการสร้าง IAA ได้ทุกสายพันธุ์ โดยกลุ่มที่เป็น แอคติโนมัยซีทสร้างได้สูงสุดที่อายุ 20 วัน ยกเว้น *Paenibacillus* sp. BSR1-1 ที่สร้างได้สูงสุดภายใน 48 ชั่วโมง ในขณะที่มีคุณสมบัติละลายฟอสเฟตได้ 2 สายพันธุ์คือ *Streptomyces* sp. St1 และ *Streptomyces* sp. St8 อย่างไรก็ตาม การที่ *Paenibacillus* sp. BSR1-1 ให้ผลดีในการกระตุ้นการเจริญของจอกหูหนูอาจเป็นเพราะสายพันธุ์นี้สามารถสร้าง IAA ได้ภายในระยะเวลาของการทดลอง ซึ่งการใช้แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่ไม่ใช่กลุ่มแอคติโนมัยซีทกระตุ้นการเจริญของพืชส่วนใหญ่จะใช้ระยะเวลาในการทดลองสั้น เช่น การใช้ *Klebsiella* sp. SBP-8 ซึ่งเป็นแบคทีเรียทนเค็ม สามารถกระตุ้นการเจริญของข้าวสาลีที่ปลูกในดินและรดด้วยสายละลาย NaCl 150- 200 mM ได้ภายในระยะเวลา 15 วัน (Singh & Jha, 2017) และการใช้ *B. aquimaris* DY-3 สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ได้รับ NaCl 1% ได้ภายใน 10 วัน (Li & Jiang, 2017) การเพิ่มระยะเวลาการทดลองให้ถึงระยะเวลาที่แอคติโนมัยซีทสร้าง IAA ได้สูงสุดคาดว่าไม่ให้ผลที่ดีขึ้น เพราะจอกหูหนูและแห่นเปิดใหญ่ที่ได้รับเชื้อแอคติโนมัยซีทบางสายพันธุ์จะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือสีใบเป็นสีเหลืองซีดอย่างชัดเจน ดังนั้น การกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชในน้ำที่ปนเปื้อน NaCl จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่เป็นแอคติโนมัยซีทในรูปของสารละลายสปอร์ แต่อาจปรับเปลี่ยนมาใช้หัวเชื้อในรูปของน้ำเลี้ยงเชื้อในระยะที่สร้าง IAA แล้ว ในการศึกษาขั้นต่อไป หรืออาจเปลี่ยนมาใช้แอคติโนมัยซีทสายพันธุ์ที่สร้าง IAA ได้ภายในระยะเวลา 7 วัน

สรุป

ระดับความเค็มที่ใช้ในการทดลองนี้ (NaCl 0.5- 1.0 ก./ล.) ไม่เป็นพิษต่อจอกหูหนูและแห่นเปิดใหญ่อย่างชัดเจน การเติม *Paenibacillus* sp. BSR1-1 ช่วยเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของจอกหูหนูที่เจริญในน้ำที่มี NaCl ได้ แต่ไม่มีเชื้อแบคทีเรียชนิดใดเหมาะสมสำหรับส่งเสริมการเจริญเติบโตของแห่นเปิดใหญ่ในน้ำที่มี NaCl

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ประจำปีงบประมาณ 2561

เอกสารอ้างอิง

- Bañuelos, G.S., Shannon, M.C., Ajwa, H., Draper, J.H., Jordahl, S. & Licht, L. (1999). Phytoextraction and accumulation of boron and selenium by poplar (*Populus*) hybrid clones. **International Journal of Phytoremediation**. 1, 81-96.
- Baral, S.S., Das, S.N., Chaudhury, G.R., Swamy, Y.V. & Rath, P. (2008). Adsorbtion of Cr(Vi) using thermally activated weed *Salvinia cucullata*. **Chemical Engineering Journal**. 139, 245- 255.
- Das, S. & Goswani, S. (2017). Copper phytoextraction by *Salvinia cucullata*: Biochemical and morphological study. **Environmental Science and Pollution Research**. 24, 1363- 1371.
- Huang, X.-D., El-Alawi, Y., Penrose, D.M., Glick, B.R. & Greenberg, B.M. (2004). Response of three grass species to creosote during phytoremediation. **Environmental Pollution**. 130, 453-463.
- Intaboot, N. & Taesombat, W. (2014). A study on salinity intrusion and control measure in the Thachin river. **Research and Development Journal**. 25, 45-57.
- Kaewneramit, T. & Wutpraditkul, N. (2014). Effect of salinity stress on growth and photosymtnesis pigments in transgenic 'KDML 105' rice overexpressing *OsCaM1-1* gene. **Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University**. 1, 11- 18.
- Li, H.Q. & Jiang, X.W. (2017). Inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) improves salt tolerance of maize seedling. **Russian Journal of Plant Physiology**. 54, 235- 241.
- Madee, P., Chunthaburee, S., Sanitchon, J. & Theerakulpisut, P. (2018). Alleviation of salt stress effects on physiology of leaves in two cultivars of pigmented rice by application of spermidine. **Asia-Pacific Journal of Science and Technology**. 23, 1-13.
- Mohamed, H.I. & Gomaa, E.Z. (2012). Effect of plant growth promoting *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* on growth and pigment composition of radish plants (*Raphanus sativus*) under NaCl stress. **Photosynthetica**. 50, 263- 272.
- Rahman, M.A. & Hasegawa, H. (2011). Aquatic arsenic: Phytoremediation using floating macrophytes. **Chemosphere**. 83, 633- 646.

- Saengsanga, T. (2014). PGPR: The role in promoting and protecting plant under stress conditions. **Science and Technology Journal**. 22, 553-570.
- Singh, R.P. & Jha, P.N. (2017). Analysis of fatty acid composition of PGPR *Klebsiella* sp. SBP-8 and its role in ameliorating salt stress in wheat. **Symbiosis**. 73, 213- 222.
- Sueathung, S. & Wongsu, S. (2017). The preliminary prediction effects of salinity intrusion on agriculture: The case study assuming using IPCC data on increasing of sea level rise in gulf of Thailand. **Kasem Bundit Engineering Journal**. 7, 34-50.

.....