รหัสโครงการ .....
(เฉพาะเจ้าหน้าที่ สกอ.)

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

ชื่อโครงการ
ประเมินผลการใช้กรดอินโดลแอซีติกจากแบคทีเรียที่ผลิตในห้องปฏิบัติการต่อการงอกและเจริญเติบโตในระยะต้นอ่อนของข้าว

Effect evaluation of using indole acetic acid (IAA) produced by bacteria from laboratory on germination and growth at seedling stage of rice

ซึ่งอยู่ภายใต้แผนงานวิจัย
การใช้ประโยชน์กรดอินโดลแอซีติกที่ผลิตโดยแบคทีเรียเพื่อการปลูกข้าว
Utilization of indole acetic acid (IAA) produced by bacteria for rice planting

คณะผู้วิจัย
รศ. ดร. พรรณธิภา ณ เชียงใหม่ (หัวหน้าโครงการวิจัย) (มหาวิทยาลัยศิลปากร)
อาจารย์ ดร. เสาวภา เขียนงาม (ผู้ร่วมวิจัย) (มหาวิทยาลัยศิลปากร)
นางสาวพิมพ์ใจ มีตุ้ม (ผู้ร่วมวิจัย) (มหาวิทยาลัยศิลปากร)
นางสมพร สืบสมบัติ (ผู้ร่วมวิจัย) สำนักงานเกษตรอำเภอหัวหิน

ชุมชน/ท้องถิ่นที่ร่วมโครงการ
กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าว อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

หัวหน้าโครงการ
รองศาสตราจารย์ ดร. พรรณธิภา ณ เชียงใหม่
หน่วยงานต้นสังกัด คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยศิลปากร เลขที่ 1 หมู่ 3 ตำบล สามพระยา อำเภอ ชะอำ
จังหวัด เพชรบุรี 76120
โทรศัพท์/โทรสาร 032-594037 โทรศัพท์เคลื่อนที่ 081-1995360
E-mail: mchiangmai@gmail.com,
nachiangmai_p@silpakorn.edu

คำนำ

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาที่ประยุกต์ใช้องค์ความรู้ในคุณบัติเคมีของฮอร์โมนพืชที่ผลิตได้จากแบคทีเรียเพื่อการผลิตข้าว และเพื่อเป้าหมายในการนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงในแปลงนาของเกษตรกร โดยมุ่งหวังให้เกิดการพัฒนาองค์ความรู้ที่มาจากฐานทรัพยากรและมีการนำมาใช้อย่างคุ้มค่า โดยเฉพาะกับการเกษตรเพื่อเพิ่มผลผลิตและลดผลกระทบที่จะเกิดกับสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมกับการปลูกข้าว เช่น การขาดน้ำ นอกจากเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตข้าวในปัจจุบันแล้ว ยังมุ่งหวังให้เป็นแนวทางการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของข้าวไทยภายใต้การผลิตที่คำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ผลิตและผู้บริโภค ซึ่งการศึกษาผลในระดับแปลงเป็นเป้าหมายต่อไปในการดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุตามเป้าประสงค์ของโครงการและชุดโครงการวิจัย

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2562

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) โดยการประสานงานของเครือข่ายบริหารการวิจัยอุดมศึกษาภาคกลางตอนล่าง งบประมาณ ปี พ.ศ. 2561

ขอขอบคุณ มูลนิธิชัยพัฒนา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์บุคลากรของสำนักงานเกษตรกอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเกษตรกร และมีบุคลากรร่วมวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าว อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและพื้นที่วิจัยสำหรับการทดสอบฮอร์โมนพืชในการปลูกข้าว

ขอขอบคุณนักศึกษาระดับบัณฑิตและมหาบัณฑิต คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ร่วมทำงานวิจัยในครั้งนี้

ท้ายที่สุดขอขอบคุณ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี ที่ได้ให้การสนับสนุนการวิจัยของนักวิชาการในหน่วยงาน

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2562

ชื่อโครงการ ประเมินผลการใช้กรดอินโดลแอซีติกจากแบคทีเรียที่ผลิตในห้องปฏิบัติการต่อการงอกและเจริญเติบโตในระยะต้นอ่อนของข้าว

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อทดสอบผลของกรดอินโดลแอซีติก (IAA) ที่ผลิตจากแบคทีเรีย *Enterobacter concerogenus* (RD4-1-1) ต่อการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นอ่อนของข้าวนาสวน ดำเนินการศึกษาในสภาวะความเครียดจากการขาดน้ำทั้งในห้องปฏิบัติการ (โดยการเพาะเลี้ยงในอาหารที่ประกอบด้วยสารโพลีเอทิลีนไกลคอล (PEG) ความเข้มข้นต่าง ๆ รวมทั้งการเพาะปลูกในดิน) และการพ่น IAA ความเข้มข้น 2.5 µM ให้กับต้นข้าวในแปลง ผลการศึกษาพบว่าการตอบสนองต่อ IAA ของข้าวขึ้นกับระดับการจัดสภาพความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ สภาพการเพาะปลูก และพันธุ์ โดยพบว่าการตอบสนองต่อ IAA ของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ทำการศึกษา (ข้าวพันธุ์ กข 31 และ พันธุ์ กข 41) สามารถส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวตั้งแต่การเพาะเลี้ยงในสภาวะที่ไม่ขาดน้ำ (0 เปอร์เซ็นต์ PEG) ไปจนถึงสภาวะที่มี 10 เปอร์เซ็นต์ PEG สำหรับการศึกษาโดยการปลูกในดินพบการตอบสนองต่อ IAA ของต้นข้าวตั้งแต่การจัดสภาพการให้น้ำทุก ๆ สองวัน ไปจนถึงการให้น้ำทุก ๆ เจ็ดวัน อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของ IAA ที่เหมาะสมต่อการแช่หรือการแช่ร่วมกับการพ่นในระยะต้นอ่อนจะแตกต่างกันระหว่างการเพาะเลี้ยงบนอาหารกับการเพาะปลูกในดิน โดยพบช่วงที่เหมาะสมของ IAA มีค่าลดลงในข้าวพันธุ์ กข 31 (25 µM-50 µM และ 2.5 µM-25 µM ตามลำดับ) แต่พบผลของ IAA ที่คงที่ในข้าวพันธุ์ กข 41 (2.5 µM) สำหรับการพ่น IAA ให้กับต้นข้าวในระดับแปลง พบว่าการพ่นที่ระยะแตกกอมีแนวโน้มการตอบสนองต่อ IAA ของข้าวโดยการมีความสูงและผลผลิตที่เพิ่มขึ้นของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ได้ดีกว่าการพ่นที่ระยะเติมเต็มเมล็ด

คำสำคัญ : *Oryza sativa* การงอก การเจริญเติบโตระยะต้นอ่อน กรดอินโดลแอซีติก สภาวะขาดน้ำ

Research Title **Effect evaluation of using indole acetic acid (IAA) produced by bacteria from laboratory on germination and growth at seedling stage of rice**

Abstract

The objective of this study was to determine the effects of indole-3-acetic acid (IAA) produced from *Enterobacter concerogenus* (RD4-1-1) on germination and seedling of lowland rice. The study was conducted both in water deficiency stress conditions in laboratory (cultured on polyethylene glycol (PEG) solution with contained various concentrations and cultivation in soil) and studied in field by spraying rice plants with 2.5 µM IAA. The results showed that the response to IAA of rice depended on the level of stress condition due to water deficiency, cultured conditions and varieties. It was found that the response to IAA of both rice varieties (RD 31 and RD 41) could promote germination and growth of rice seedlings from cultured in non-water deficiency stress condition (0% PEG) to 10% PEG. For the study on planting in the soil showed the response to IAA of rice plants from the water supply condition every two days to every seven days. However, the appropriate concentration of IAA for soaking or soaking with spraying in the seedling stage varies between culturing on medium and in soil; the appropriate range of IAA was found to be lower in RD31 (25 µM-50 µM and 2.5 µM-25 µM, respectively), but was stable of IAA in RD41 (2.5 µM) for spraying. For the spraying of IAA to rice plants in field, it was found that spraying at the tillering stage showed a tendency to IAA of rice response; by increasing height and yield of various varieties of rice, better than spraying at grain filling stage.

Keywords : *Oryza sativa*, Germination, Seedling growth, Indole-3- acetic acid, Drought condition

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	**หน้า**
หน้าปก	1
คำนำ	2
กิตติกรรมประกาศ	3
บทคัดย่อภาษาไทย	4
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	5
สารบัญเรื่อง	6
สารบัญตาราง	8
สารบัญภาพ	12
บทที่ 1 ความเป็นมาและวัตถุประสงค์	13
ข้อมูลโครงการ	13
ข้อมูลของหัวหน้าโครงการ	13
คณะผู้วิจัย	13
วัตถุประสงค์ของโครงการ	14
หลักการและเหตุผล	15
ผลการดำเนินงานตลอดโครงการ	16
ดัชนีชี้วัดความสำเร็จ	17
งบประมาณโครงการ	18
หนังสือแสดงความเห็นเกี่ยวกับผลการดำเนินการของโครงการจากชุมชน/ท้องถิ่นที่ร่วมโครงการ	19
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	26
บทที่ 4 ผลดำเนินการและการอภิปรายผล	39
การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวในสภาวะจำลองของการขาดน้ำ	39
การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวในดินที่ขาดน้ำ	65
การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อน้ำหนักเมล็ดของข้าวนาสวนที่ปลูกในดินที่ขาดน้ำ	81
การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อความสูงและผลผลิตของข้าวนาสวนบางพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกกต่างกัน	84
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	93
ข้อเสนอแนะ	94

(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
เอกสารอ้างอิง	95
ภาคผนวก	106

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1.1	เปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการงอกของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	46
ตารางที่ 1.2	การเปรียบเทียบดัชนีความแข็งแรง (Vigour index; Vi) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	48
ตารางที่ 1.3	การเปรียบเทียบความยาวส่วนยอด (Shoot length) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	49
ตารางที่ 1.4	การเปรียบเทียบความยาวส่วนราก (Root length) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	50
ตารางที่ 1.5	การเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งส่วนยอด (Shoot dry weight) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	51
ตารางที่ 1.6	การเปรียบเทียบสัดส่วนน้ำหนักแห้งส่วนยอดต่อราก (Shoot/root dry weight ratio) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	52
ตารางที่ 1.7	เปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการงอกของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้น ต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	54
ตารางที่ 1.8	การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การงอก (germination percentage; GP) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	56

(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1.9	การเปรียบเทียบดัชนีความเร็วในการงอก (Speed germination index ; SGI) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	57
ตารางที่ 1.10	การเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก (Mean time to germination; MTG) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	58
ตารางที่ 1.11	การเปรียบเทียบอัตราการงอก (Germination rate; GR) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	59
ตารางที่ 1.12	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ของการงอก (Co-efficient of germination; CG) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	60
ตารางที่ 1.13	การเปรียบเทียบดัชนีความแข็งแรง (Vigour index; Vi) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	61
ตารางที่ 1.14	การเปรียบเทียบความยาวส่วนยอด (Shoot length) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	62
ตารางที่ 1.15	การเปรียบเทียบความยาวส่วนราก (Root length) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้น ต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	63
ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการงอกของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน	70
ตารางที่ 2.2	การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การโผล่พ้นดิน (Emergenced percentage; EP) ของ coleoptile ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน	72

(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.3	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ของการโผล่พ้นดิน (Co-efficient of emergence; CE) ของ coleoptile ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน	73
ตารางที่ 2.4	การเปรียบเทียบดัชนีความแข็งแรง (Vigour index; Vi) ของต้นอ่อนข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน	74
ตารางที่ 2.5	เปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการงอกของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน	76
ตารางที่ 2.6	การเปรียบเทียบดัชนีความเร็วในการโผล่พ้นดิน (Speed emergence index ; SEI) ของ coleoptile ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน	78
ตารางที่ 2.7	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ของการโผล่พ้นดิน (Co-efficient of emergence; CE) ของ coleoptile ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน	79
ตารางที่ 3	การเปรียบเทียบน้ำหนักเมล็ด (Seed weight) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่พ่นรวงด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีระดับความชื้นดินแตกต่างกัน	83
ตารางที่ 4.1	การเปรียบเทียบความสูงต้นและผลผลิตต่อไร่ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ทำการพ่นด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) ที่ผลิตจากแบคทีเรียที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน	86
ตารางที่ 4.2	การเปรียบเทียบความสูงต้นและผลผลิตต่อไร่ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (แปลงที่ 1) ที่ทำการพ่นด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) ที่ผลิตจากแบคทีเรียที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน	87
ตารางที่ 4.3	การเปรียบเทียบความสูงต้นและผลผลิตต่อไร่ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (แปลงที่ 2) ที่ทำการพ่นด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) ที่ผลิตจากแบคทีเรียที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน	88
ตารางที่ 4.4	การเปรียบเทียบความสูงต้นและผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาสวนบางพันธุ์ที่ทำการพ่นด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) ที่ผลิตจากแบคทีเรียที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน	89

(ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการงอกของข้าวนาสวน พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้น 2.5 µM ก่อนการนำไปใช้ในแปลงเกษตรกร 92

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ A	เปอร์เซ็นต์ความจุความชื้นสนามภายหลังนับจากวันที่ทำการให้น้ำ	34
ภาพที่ 1.1	การเจริญเติบโตของข้าวนาสวนพันธุ์ กข 31 ภายหลังการแช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติกความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ระดับ PEG ที่แตกต่างกัน (บันทึกผลหนึ่งสัปดาห์หลังการเพาะ)	53
ภาพที่ 1.2	การเจริญเติบโตของข้าวนาสวนพันธุ์ กข 41 ภายหลังการแช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติกความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ระดับ PEG ที่แตกต่างกัน (บันทึกผลหนึ่งสัปดาห์หลังการเพาะ	64
ภาพที่ 2.1	การเจริญเติบโตของข้าวนาสวนพันธุ์ กข 31 ภายหลังการแช่เมล็ดและพ่นต้นอ่อนด้วยกรดอินโดลแอซีติกความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ระดับการให้น้ำแตกต่างกัน (บันทึกผลสามสัปดาห์หลังการเพาะ)	75
ภาพที่ 2.2	การเจริญเติบโตของข้าวนาสวนพันธุ์ กข 41 ภายหลังการแช่เมล็ดและพ่นต้นอ่อนด้วยกรดอินโดลแอซีติกความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ระดับการให้น้ำแตกต่างกัน (บันทึกผลสามสัปดาห์หลังการเพาะ)	80

บทที่ 1
ความเป็นมาและวัตถุประสงค์

1) ข้อมูลของโครงการ

ชื่อโครงการ ประเมินผลการใช้กรดอินโดลแอซีติกจากแบคทีเรียที่ผลิตในห้องปฏิบัติการต่อการงอกและเจริญเติบโตในระยะต้นอ่อนของข้าว

Effect evaluation of using indole acetic acid (IAA) produced by bacteria from laboratory on germination and growth at seedling stage of rice

ระยะเวลาของโครงการ 10 เดือน

งบประมาณรวม 200,000 บาท

2) ข้อมูลของหัวหน้าโครงการ

ชื่อหัวหน้าโครงการ นางสาวพรรณธิภา ณ เชียงใหม่

Miss Pantipa Na Chiangmai

ตำแหน่งทางวิชาการ รองศาสตราจารย์ ดร.

หน่วยงานต้นสังกัด คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร

สถานที่ติดต่อ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120

โทรศัพท์ 032-594038

โทรสาร 032-594038

โทรศัพท์เคลื่อนที่ 081-1995360

e-mail: mchiangmai@gmail.com, pantipa@su.ac.th

ลายมือชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. พรรณธิภา ณ เชียงใหม่)

3) คณะผู้วิจัย

ผู้ร่วมโครงการ เสาวภา เขียนงาม

Miss Saowapar Khianngam (Ph.D)

คุณวุฒิ (สาขาความชำนาญ) จุลชีววิทยา เภสัชเคมีและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ

หน่วยงานต้นสังกัด คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร

สถานที่ติดต่อ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120

โทรศัพท์ 032-594038

โทรสาร 032-594038

โทรศัพท์เคลื่อนที่ 0-81-2936604

e-mail: khianngam_s@silpakorn.edu, k_saowapar@yahoo.com

ความรับผิดชอบในโครงการ: การผลิตกรดอินโดลแอซิติกจากแบคทีเรีย

สัดส่วนที่ทำงานวิจัย 20 เปอร์เซ็นต์

ความรับผิดชอบในโครงการวิจัยอื่นๆที่อยู่ในระหว่างการดำเนินการ: ไม่มี

ลายมือชื่อ.....
(อาจารย์ ดร. เสาวภา เขียนงาม)

นางสาวพิมพ์ใจ มีตุ้ม
Miss Pimjai Meetum
สาขาความชำนาญ จุลชีววิทยา
หน่วยงานต้นสังกัด คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร
สถานที่ติดต่อ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี เลขที่ 1 หมู่ 3 ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120
โทรศัพท์ : 032-94037-8
โทรสาร : 032-594037-8
โทรศัพท์เคลื่อนที่ : 087-7931518
E-mail : pim_jai13@ hotmail.com
หน้าที่ : การผลิตกรดอินโดลแอซิติกจากแบคทีเรีย
สัดส่วนที่ทำงานวิจัย 15 เปอร์เซ็นต์
ความรับผิดชอบในโครงการวิจัยอื่นๆที่อยู่ในระหว่างการดำเนินการ .....-.....

นางสมพร สืบสมบัติ
Mrs. Somporn Suepsombuti ผู้ร่วมวิจัยโครงการย่อยที่ 1
ตำแหน่งทางวิชาการ นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรชำนาญการ
สาขาความชำนาญ ส่งเสริมการเกษตร
หน่วยงานต้นสังกัด: สำนักงานเกษตรอำเภอหัวหิน รับผิดชอบตำบลทับใต้
สถานที่ติดต่อ สำนักงานเกษตรอำเภอหัวหิน เลขที่ 38/21 ตำบลหัวหิน อำเภอหัวหิน จังหวัด
ประจวบคีรีขันธ์ 77110
โทรศัพท์ 032-512-458
โทรสาร 032-512-458
โทรศัพท์เคลื่อนที่ 0-80-7698143
E-mail: huahin@doae.go.th
หน้าที่ : ส่วนร่วมในการติดต่อกลุ่มเกษตรกร และถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เกษตรกร
สัดส่วนที่ทำงานวิจัย 15 เปอร์เซ็นต์
ความรับผิดชอบในโครงการวิจัยอื่นๆที่อยู่ในระหว่างการดำเนินการ -

4) วัตถุประสงค์ของโครงการ

1) ประเมินผลการใช้กรดอินโดลแอซีติกจากแบคทีเรียที่ผลิตได้ในห้องปฏิบัติการ (การผลิตในห้องปฏิบัติการ หมายถึง ทำการผลิตในกระบวนการที่ปราศจากเชื้อที่ทำได้ยากโดยชุมชนหรือเกษตรกร ซึ่งข้อมูลปริมาณการใช้ต่อการงอกและการเจริญของต้นอ่อนของข้าว มีข้อมูลจากการศึกษาก่อนหน้านี้บ้างแล้วจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ) ต่อการงอกและเจริญในระยะต้นอ่อนของข้าวในระดับแปลงของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอำเภอหัวหิน

2) ศึกษาผลของการใช้กรดอินโดลแอซีติกจากแบคทีเรียที่ผลิตได้ในห้องปฏิบัติการต่อระดับการขาดน้ำในระยะต้นอ่อนของข้าวในโรงเรือน

5) หลักการและเหตุผล

ปัญหาการขาดน้ำเพื่อการผลิตพืชนับเป็นปัญหาสำคัญลำดับแรกที่พบทั่วโลก และส่งผลให้ผลผลิตพืชทั่วโลกลดลงไม่เฉพาะแต่ในประเทศไทย การแก้ปัญหานี้เกี่ยวข้องกับหน่วยงาน บุคลากรที่หลากหลาย ทั้งการบริหารจัดการน้ำ แหล่งน้ำ พื้นที่ปลูก ทั้งเชิงวิชาการและสังคม เป็นประเด็นที่สำคัญ นอกเหนือจากการบริหารจัดการน้ำ การจัดการความรู้ที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตของเกษตรกรก็มีส่วนสำคัญเช่นเดียวกัน ได้แก่ การเลือกใช้ชนิดพืช พันธุ์ปลูก เป็นต้น สำหรับประเด็นที่น่าสนใจไม่แตกต่างไปจากสองประเด็นที่กล่าวไปข้างต้น คือ การเลือกใช้เทคโนโลยีการผลิตพืชที่ส่งเสริมการบริหารจัดการน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ นับเป็นการนำทั้งสองปัจจัยมาพิจารณาร่วมกันเพื่อการแก้ปัญหาเรื่องน้ำสำหรับภาคการผลิต

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีชีวภาพมาใช้เพื่อแก้ปัญหาหรือบรรเทาความเสียหายเนื่องจากการขาดน้ำเพื่อการผลิตพืช เช่น การใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ ตัวอย่างการนำฮอร์โมนพืชที่จากการกระบวนการผลิตที่มาจากธรรมชาติเริ่มเข้ามามีบทบาทในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มขีดความสามารถให้แก่การผลิตของพืชภายใต้สภาพแวดล้อมที่จำกัด ในปัจจุบันมีรายงานการทดสอบฮอร์โมนออกซิน กรดอินโดลแอซีติกที่ผลิตได้จากแบคทีเรียมาใช้ในการศึกษาผลต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดรวมทั้งธัญพืช ซึ่งนับว่าเป็นประโยชน์เพราะเป็นผลิตภัณฑ์ทางชีวภาพ ที่นอกเหนือจากการส่งเสริมการเจริญเติบโต ยังพบรายงานที่กล่าวว่า การเสริมกรดอินโดลแอซิติกสามารถส่งผลต่อลดความเครียดต่างๆ ของพืชรวมทั้งความเครียดที่มาจากการขาดน้ำ ทั้งนี้เพราะกรดอินโดลแอซีติกเป็นฮอร์โมนพืชที่จัดอยู่ในกลุ่มออกซินธรรมชาติ มีความสำคัญในการผลิตพืชเนื่องมาจากการทำหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมและพัฒนาเซลล์ในกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ของพืช ซึ่งมีรายการมีฤทธิ์ที่รุนแรงน้อยกว่าและต้นทุนการผลิตต่ำกว่าชนิดที่ได้มาจากการสังเคราะห์ทางเคมี

ในการศึกษาครั้งนี้ มีเป้าหมายในการศึกษาผลของกรดอินโดลแอซิติกที่มีผลต่อการงอกและเจริญเติบโตของข้าวในระยะต้นอ่อน เนื่องจากเป็นระยะที่อ่อนไหวต่อการขาดน้ำ ด้วยเหตุนี้เกษตรกรจะให้ความสำคัญและมีการจัดการน้ำเพื่อการเจริญเติบโตของข้าวในระยะนี้อย่างเพียงพอ แต่นั่นหมายถึงการใช้น้ำจากปริมาณน้ำสำรองของเกษตรกรโดยเฉพาะในพื้นที่นอกเขตชลประทานจำนวนมากเช่นเดียวกัน การใช้สารที่เป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวหมายถึงการช่วยเพิ่มความสามารถในการสังเคราะห์แสง และเพิ่มขีดความสามารถในการทนต่อการขาดน้ำที่จะกระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าวตามไปด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ในการศึกษาผลของการใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ผลิตได้จากแบคทีเรียเป็นการศึกษาในระดับแปลงเกษตรกรโดยนำผลการทดสอบที่มีกับระยะงอกและต้นอ่อนพืชจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการมาใช้ประโยชน์ต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามแม้ในระยะเริ่มต้นเกษตรกรจะมีการดูแลข้าวในระยะงอกและระยะต้นอ่อนเป็นอย่างดีและอาจได้รับผลกระทบจากการขาดน้ำในการปฏิบัติจริงของเกษตรกรค่อนข้างน้อย แต่ในสถานการณ์ที่ภูมิอากาศของโลกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง การขาดน้ำเป็นปัญหาหนึ่งที่จะทวีความรุนแรงขึ้นจากการพยากรณ์ตามหลักวิชาการ ด้วยเหตุนี้ การเตรียมพร้อมข้อมูลเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงที่กระทบต่อการผลิตข้าวเนื่องจากการขาดน้ำจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ การศึกษาผลของการใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ผลิตจากแบคทีเรียต่อการผลิตข้าวภายใต้สภาวะขาดน้ำจึงเป็นอีกการศึกษาหนึ่งที่เป้าหมายในการดำเนินการไปพร้อมๆ กันในระดับโรงเรือน

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาโครงการวิจัยนี้จึงประกอบได้ด้วยสองกิจกรรมการศึกษา ได้แก่ การประเมินผลการใช้กรดอินโดลแอซีติกจากแบคทีเรียที่ผลิตได้ในห้องปฏิบัติการต่อการงอกและเจริญในระยะต้นอ่อนของข้าวในระดับแปลงเกษตรกรในพื้นที่เป้าหมาย [(กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอำเภอหัวหิน) โดยอาศัยข้อมูลที่เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการในระยะงอกและต้นอ่อนของข้าวก่อนหน้านี้ และ การศึกษาผลของการใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ผลิตได้จากแบคทีเรียนี้ในระดับห้องปฏิบัติการต่อการงอกและการเจริญเติบโตของข้าวในระยะต้น

อ่อนที่อยู่ภายใต้สภาวะการปลูกที่ขาดน้ำ โดยเป็นการศึกษาในสภาพโรงเรือนซึ่งกิจกรรมหลังนี้สามารถนำไปถ่ายทอดให้เกษตรกรได้ในอนาคต

6) ผลการดำเนินงานตลอดโครงการ

1) ดำเนินการติดต่อประสานงานกับหน่วยงานเพื่อประสานความร่วมมือ ซึ่งเป็นการประสานความร่วมมือในส่วนของข้อมูลเชิงพื้นที่ และได้แนวปฏิบัติในการปลูกข้าวจากเกษตรกรเพื่อใช้เป็นข้อมูลร่วมในการวางแผนการทดลองต่างๆ ซึ่งเป็นไปด้วยความเรียบร้อย

2) ทำการผลิตกรดอินโดลแอซีติกจากแบคทีเรียที่ผลิตได้ในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปใช้ในระดับแปลงของเกษตรกรในระยะเพาะกล้าและระยะต้นอ่อนของข้าว รวมทั้งระยะอื่นๆ ได้แก่ ระยะการแตกกอและระยะเติมเต็มเมล็ดของข้าวนาสวนบางพันธุ์ จากนั้นทำการประเมินผลร่วมกับเกษตรกร โดยดำเนินการในแปลงของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอำเภอหัวหิน

3) นำกรดอินโดลแอซีติกจากแบคทีเรียที่ผลิตได้ระดับห้องปฏิบัติการ มาทำการศึกษาผลต่อการเจริญเติบโตในระยะต้นอ่อนข้าวในสภาพของการขนาดน้ำที่ระดับแตกต่างกัน โดยดำเนินการทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงเรือนปลูกพืช

* จากแผนการดำเนินงานที่ทอลองในโรงเรือนประสบปัญหาหนูเข้าทำลายผลผลิตหลายรอบของการดำเนินการ ทำให้สามารถเก็บข้อมูลได้เฉพาะน้ำหนักเมล็ดเท่านั้น

สรุปผลงานวิจัยตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์	แผนงานวิจัย	นักวิจัยที่รับผิดชอบ	ผลงานตลอดโครงการ
1) ประเมินผลการใช้กรดอินโดลแอซีติกจากแบคทีเรียที่ผลิตได้ในห้องปฏิบัติการ (การผลิตในห้องปฏิบัติการ หมายถึง ทำการผลิตในกระบวนการที่ปราศจากเชื้อที่ทำได้ยากโดยชุมชนหรือเกษตรกร ซึ่งข้อมูลปริมาณการใช้ต่อการงอกและการเจริญของต้นอ่อนของข้าว มีข้อมูลจากการศึกษาก่อนหน้านี้บ้างแล้วจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ) ต่อการงอกและเจริญในระยะต้นอ่อนของข้าวในระดับแปลงของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอำเภอหัวหิน	1.1 ติดต่อหน่วยงานวิจัยและติดต่อเกษตรกรในพื้นที่เพื่อหาแนวปฏิบัติสำหรับปรับใช้ในการทดลอง 1.2 ดำเนินการวิจัย	1. รศ.ดร. พรรณธิภา ณ เชียงใหม่ 2. ดร. เสาวภา เขียนงาม 3. นางสาวพิมพ์ใจ มีตุ้ม 4. นางสมพร สืบสมบัติ	1 . ประสานงานกับหน่วยงานเพื่อประสานความร่วมมือกับเกษตรกรและได้แนวปฏิบัติในการปลูกข้าวเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินการวิจัย 2. ทำการศึกษาทดลอง
2) ศึกษาผลของการใช้กรดอินโดลแอซีติกจากแบคทีเรียที่	ดำเนินการวิจัย	1. รศ.ดร. พรรณธิภา ณ เชียงใหม่	ทำการศึกษาทดลอง

ผลิตได้ในห้องปฏิบัติการต่อระดับการขาดน้ำในระยะต้นอ่อนของข้าวในโรงเรือน		2. ดร. เสาวภา เขียนงาม 3. นางสาวพิมพ์ใจ มีตุ้ม	

7) ดัชนีชี้วัดความสำเร็จ

ผลงาน	ดัชนีชี้วัดความสำเร็จ	หลักฐานประกอบ
1. ต้นแบบผลิตภัณฑ์ (โปรดระบุ)		
2. เทคโนโลยีใหม่ (โปรดระบุ)		
3. กระบวนการใหม่ (โปรดระบุ)		
4. องค์ความรู้ (โปรดระบุ)		
5. การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์		
6. การใช้ประโยชน์เชิงสาธารณะ 6.1 การฝึกอบรม 6.2 การถ่ายทอดเทคโนโลยี	จำนวน.....-.....ครั้ง ครั้งที่..... วันที่ ..... สถานที่..... เรื่อง ..... ผู้เข้ารับการอบรม คือ ..... จำนวน ...-..... คน	
7. การผลิตนักศึกษา 7.1 ปริญญาตรี 7.2 ปริญญาโท 7.3 ปริญญาเอก	จำนวน.....2.....คน ได้แก่ 1. นางสาวกนกวรรณ นิสัยกล้า รหัสประจำตัว 11580225 2. นางสาวฐิติพร อุสาหะ รหัสประจำตัว 11580300	จุลนิพนธ์อยู่ระหว่างดำเนินการยังไม่เสร็จสิ้น
8. ทรัพย์สินทางปัญญา (อนุสิทธิบัตร/สิทธิบัตร / ลิขสิทธิ์ ฯลฯ)	จำนวน..... เรื่อง 1. ประเภท IP..... เรื่อง..... สถานะ (อยู่ระหว่างการยื่นคำขอจดทะเบียน/ ได้รับ IP แล้ว) ..... 2. ประเภท IP..... เรื่อง.....สถานะ.....	
9. บทความทางวิชาการ 9.1 วารสารในประเทศ 9.2 วารสารในระดับนานาชาติ 9.3 เอกสารเผยแพร่	จำนวน...-.....เรื่อง ชื่อเรื่อง..-..... ชื่อวารสาร....-..... ปีที่พิมพ์.....-.....	
10. การเสนอผลงานในการประชุม 10.1 การประชุมระดับชาติ 10.2 การประชุมระดับนานาชาติ	จำนวน...-.....ครั้ง ชื่อการประชุม.....-.....วันที่.....-..... สถานที่.....-.....	

8) งบประมาณโครงการ

รายการ	งบประมาณจาก สกอ จำนวนเงิน (บาท)
1. หมวดค่าตอบแทน (ค่าตอบแทนผู้วิจัย) ค่าทำงานนอกเวลาราชการในวันหยุดราชการ โครงการวิจัยที่ 1 (420 บาท x 3 คน x 4 วัน)	5,040
รวมหมวดค่าตอบแทน	**5,040**
2. หมวดค่าใช้สอย	
2.1 ค่าชดเชยในการใช้ยานพาหนะส่วนตัว	5,000
2.2 ค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปเผยแพร่งานวิจัย	5,000
2.3 ค่าใช้สอยอื่น ๆ	3,000
รวมหมวดค่าใช้สอย	**13,000**
3. หมวดค่าวัสดุ 3.1 วัสดุเกษตร (ดิน ทราย วัสดุต่อระบบน้ำเข้าโรงเรือน) 3.2 วัสดุอื่น ๆ	 29,760 5,000
รวมหมวดค่าวัสดุ	**34,760**
รวม (บาท)	**52,800**
	ห้าหมื่นสองพันแปดร้อยบาทถ้วน

แบบรายงานความเห็นเกี่ยวกับผลการดำเนินการของโครงการจากชุมชน/ท้องถิ่นที่ร่วมโครงการ

โครงการ การใช้ประโยชน์พลาสติกโดยแอซีติกที่ผลิตโดยแบคทีเรียเพื่อการปลูกข้าว
ได้รับการสนับสนุนทุนโครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. (2561)
หัวหน้าโครงการวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร. พรรณเพ็ญ เชียงใหม่

หน่วยงาน/องค์กร/ชุมชน วิสาหกิจชุมชนบ้านริมน้ำวังหินลี
ในฐานะผู้เข้าร่วมโครงการมีความคิดเห็นเกี่ยวกับผลการดำเนินโครงการของโครงการดังนี้

ผู้ตอบแบบสอบถามได้รับผลกระทบต่อการปลูกข้าวในพื้นที่ เช่น การผลิตที่ดีขึ้นตามลักษณะของดินที่มากขึ้น ทำให้ข้าวได้ผลผลิตมากขึ้น เช่น การตกค้างของข้าวใช้มีความเป็นกรดน้อยลง ดีกว่าที่ควรจะเป็นต้องการใช้ผู้ที่เข้ามาใช้ความรู้ความสามารถของตน ยินดีให้ความร่วมมือกับทุกหน่วยงาน ครับ

ผู้ตอบแบบสอบถาม

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การขาดน้ำที่มีผลต่อการการเจริญเติบโตของข้าว

ปัจจุบันพบความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (climate change) โดยเฉพาะสาเหตุหลักมาจากภาคการเกษตร (FAO, 2015) ซึ่งการเกษตรที่ไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น จากการใช้ และกระบวนการผลิตปุ๋ยและมูลสัตว์ การใช้สารเคมี เป็นต้น (Thornton and Lipper, 2013; IPCC, 2014; Parvatha, 2014) ผลกระทบที่สำคัญจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงฤดูกาลเพาะปลูก เพิ่มอุณหภูมิ และเพิ่มความแห้งแล้งที่ก่อให้เกิดความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำของพืช (World Bank, 2008; OECD, 2014)

ทั้งนี้การขาดน้ำเป็นความเครียดที่เกิดจากสิ่งที่ไม่มีชีวิต (abiotic stress) จะส่งผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิตทั้งการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตหรือเมแทบอลิซึม มีความซับซ้อนของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเครียดเนื่องจากปัจจัยร่วมอื่น ๆ (Zhu, 2002) และหากปัจจัยเครียดนั้นเกิดจากน้ำแล้วการศึกษาอาจสัมพันธ์กับทั้งค่าศักย์ของการละลายและการเต่งที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง (Cutler *et al*., 1980)

สำหรับการผลิตข้าว พบว่า การขาดน้ำของข้าวที่กระทบต่อการผลิตส่วนใหญ่พบรายงานตั้งแต่ระยะแตกกอ (tilling stage) ของข้าวในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative phase) ไปจนถึงระยะตั้งท้อง (blossoming phase) ระยะออกดอกและผสมพันธุ์ (flowering and fertilization stage) ระยะเติมเต็มเมล็ด (grain filling stage) ไปจนถึงระยะสุกแก่ (senescence stage) (Kumar, 2011; Mustikarini *et al*., 2017) ซึ่งผลของการขาดน้ำในทุกระยะการเจริญเติบโตสามารถส่งผลต่อการลดลงของผลผลิตได้ในที่สุด แต่ทั้งนี้ผลกระทบจากมากหรือน้อยต่อผลผลิตขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ความสัมพันธ์กับระยะการขาดน้ำกับระยะการเจริญเติบโตของพืชที่กำลังประสบปัญหาการขาดน้ำ (Midaoui *et al*., 2003)

จากการศึกษาของ Sarvestani *et al*. (2008) ที่ศึกษาผลของการขาดน้ำที่มีต่อระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวในประเทศอิหร่านโดยการศึกษาที่สามระยะ ได้แก่ ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative stage) ระยะการบานของดอก (flowering stage) และระยะการเติมเต็มเมล็ด (grain filling stage) พบว่า การขาดน้ำที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบจะทำให้ความสูงต้นลดลงในทุกพันธุ์อาจเนื่องมาจากการแบ่งเซลล์ถูกยับยั้ง (Islam, 1999; Sarvestani *et al*., 2008) สามารถลดจำนวนหน่อที่ให้ผลผลิต ลดจำนวนรวงต่อกอ (Wopereis *et al*., 1996; Rahman *et al*., 2002a) ขณะที่การขาดน้ำที่ระยะดอกบานจะทำให้ช่อสมบูรณ์ลดลงรวมทั้งเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มก็ลดลงเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ทั้งสามระยะดังกล่าวนี้ ในแต่ละระยะการศึกษาการขาดน้ำสามารถทำให้ผลผลิตลดลงเกิน 20 เปอร์เซ็นต์

ด้วยเหตุนี้จึงสามารถกล่าวได้ว่าการขาดน้ำทั้งระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative phase) และระยะสืบพันธุ์ (reproductive phase) ต่างเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตข้าวลดลง (Castillo *et al*., 1992; Salam *et al*., 2001; IRRI, 2002)

การจัดสภาพการขาดน้ำในข้าว

การขาดน้ำ ความแล้ง เป็นปัจจัยหนึ่งไม่มีชีวิตหนึ่งที่สำคัญที่ก่อให้เกิดความเครียดและส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการผลิตพืช (Vijayalakhmi *et al*., 2012) พบว่านอกเหนือผลของการขาดที่กระทบต่อลักษณะ

ทางสรีระและกระบวนการเคมีภายในต้นข้าวแล้ว (Monclus *et al*., 2006; Aguirrezabal *et al*., 2006; Xu and Zhou, 2008) การขาดน้ำยังเกี่ยวข้องกับการตอบสนองของเซลล์ที่วัดได้จากค่าศักย์น้ำในใบ การสูญเสียแรงเต่ง การเปลี่ยนแปลงสารละลายและการปรับแรงดันออสโมซีสซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่ส่งผลต่อความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำเนื่องมาจากมีการเปลี่ยนแปลงประมาณการสะสมสารบางชนิด เช่น โพรลีน เป็นต้น (Morgan and King, 1984) ด้วยเหตุนี้ การศึกษาลักษณะดังกล่าวที่เกิดขึ้นเป็นวิธีการหนึ่งที่บ่งชี้ว่าพืชกำลังขาดน้ำหรือเกิดความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ จากการจัดสภาพการขาดน้ำอย่างง่ายใน pearl millet hybrid ได้แก่ การรักษาความชื้นในดินให้มีประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ในสภาพการให้น้ำปกติมีความชื้นดินประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ (Vijayalakhmi *et al*., 2012) หรือการรักษาสภาพความชื้นในดินทำได้โดยการชั่งน้ำหนักดินและน้ำให้มีค่าคงที่ซึ่งแสดงการรักษาระดับของความชื้นในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งเป็นประจำทุกวัน จากการหยุดให้น้ำเป็นเวลา 20 วันพบค่าความชื้นที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ค่าปริมาณน้ำสัมพันธ์ในดิน soil relative water content (SRWC) (Xu and Zhou, 2008) ซึ่งจำเป็นต้องทำการศึกษาในแต่ละสภาพดินเนื่องจากดินแต่ละชนิดจะมีช่วงเวลาการรักษาความชื้นได้แตกต่างกัน (Bouman *et al*., 2001) มีการศึกษาที่พบว่าการปลูกข้าวในดินที่มีค่าความชื้นที่ 12.5-25 เปอร์เซ็นต์ของ filed capacity ข้าวจะไม่สามารถรอดชีวิตได้ แต่หามีการลดความชื้นให้เหลือ 47-50 เปอร์เซ็นต์ของ filed capacity แล้วจะทำให้ผลผลิตข้าวเหลือเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ (Chauhan and Abugho, 2013) หรือสามารถวัดค่าปริมาณน้ำสัมพันธ์ (relative water content; RWC) ในพืชที่สามารถบ่งชี้ความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำได้เช่นกัน (Jahan *et al*., 2013) เนื่องจากปริมาณน้ำสัมพันธ์ที่ลดลงจะไปทำให้ปากใบปิดและขัดขวางการทำงานของปากใบทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง (Cornic, 2000) ขณะที่การมีปริมาณน้ำสัมพันธ์สูงจะเป็นกลไกในการต้านทานการขาดน้ำ ควบคุมแรงดันออสโมซีส และทำให้ผนังเซลล์มีความยืดหยุ่น (Ritchie *et al*., 1990) อย่างไรก็ตามค่า RWC จะแตกต่างกันเนื่องจากชนิดพืชและพันธุ์ เช่น ใน durum wheat จะมีค่า RWC ที่ 16.6 (พันธุ์ต้านทาน) และ 21.68 (พันธุ์อ่อนแอ) เปอร์เซ็นต์ในสภาพเครียดน้ำ (Merah, 2001) ขณะที่ bread wheat ค่า RWC ที่พบว่าก่อให้เกิดความเครียดน้ำอยู่ที่ปริมาณ RWC ลดลงไปประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ (จากเดิม 88% ลดลงเหลือ 44%) (Siddique *et al*., 2000) การพิจารณาการขาดน้ำของพืชนอกจากพิจารณาค่าปริมาณน้ำที่เทียบจากค่า field capacity ของดินและค่า RWC ของใบแล้ว ยังสามารถเทียบกับระดับการม้วนของใบพืชที่แสดงอาการขาดน้ำที่ระดับ 1-5 ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในใบพืช ตั้งแต่ 1 เริ่มม้วนงอ และ 5 ใบม้วนสนิทเป็นหลอด (O'Toole and Moya, 1987) ซึ่งหาเป็นระดับที่แสดงอาการเครียดระยะต้นๆ หรือระยะสั้นๆ แล้วค่าการม้วนของใบมีค่าเท่ากับ 5 แต่ยังใบยังไม่ตาย แต่กรณีที่ใบมีค่าคะแนนเท่ากับ 5 เป็นระยะเวลาขาดน้ำนานๆ จะทำให้เกิดการตายของใบได้เกือบ 50 เปอร์เซ็นต์ (Davatgar *et al*., 2009)

การใช้ฮอร์โมนที่เป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมาใช้ในการผลิตพืชภายใต้สภาวะเครียด

มีการนำปัจจัยเสริมต่าง ๆ มาใช้เพื่อชดเชยหรือทดแทนการผลิตที่ลดลงของข้าวภายใต้สภาพการขาดน้ำ เพื่อบรรเทาความเสียหายกับผลผลิตต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมตามเหตุผลที่กล่าวไปข้างต้น และอาจเกี่ยวข้องกับข้อกำหนดในการรับซื้อผลผลิตข้าวของบางตลาดในอนาคตได้ด้วยเช่นกัน การใช้สารจากธรรมชาติหรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการผลิตพืชรวมทั้งข้าว เช่น การใช้กรดอินโดลแอซีติก (indole acitic acid; IAA) ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชอยู่ในกลุ่มกลุ่มออกซิน การศึกษาการใช้ประโยชน์ของฮอร์โมนชนิดดังกล่าวนี้กับการผลิตข้าว เนื่องจากพบว่าการผลิต IAA มีปริมาณลดลงในพืชรวมทั้งข้าวจากการปลูกภายใต้สภาพการขาดน้ำ (Kumar *et al*., 2001; Xie *et al*., 2003; Zhang *et al*., 2009a) ซึ่งการใช้ IAA ที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์เพื่อการผลิตพืชเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (Ahemad and

Kibret, 2014) และจะเป็นประโยชน์หากใช้ในระดับที่เหมาะสม (Patten and Glick, 1996; Leveau and Lindow, 2005; Shahab *et al*., 2009) อย่างไรก็ตาม แม้จะมีรายงานผลกระทบจากสภาพเครียดที่มีต่อฮอร์โมนพืช รวมทั้งชนิดของจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตฮอร์โมนพืชจำนวนมาก แต่กลับมีรายงานการใช้จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตฮอร์โมนพืชเหล่านั้นที่สามารถนำใช้ในการเพิ่มผลผลิตข้าวในสภาวะเครียดเนื่องจากปัจจัยแวดล้อม (abiotic stress) ค่อนข้างน้อย (Nakbanpote *et al*., 2014; Raweekul *et al*., 2016) ไม่นับรวมถึงประสิทธิภาพของฮอร์โมนพืชที่ผลิตขึ้นจากจุลินทรีย์นั้นยังขึ้นกับหลายปัจจัย ทั้งชนิดของจุลินทรีย์ ความเข้มข้นของการใช้ ระยะการเจริญเติบโตของพืช ระดับความเครียดจากปัจจัยอื่นๆ ที่กระทบต่อพืช ด้วยเหตุนี้การอาศัยองค์ความรู้จากการทบทวนเอกสาร การศึกษาวิจัยเบื้องต้นทั้งระดับห้องปฏิบัติการและโรงเรือน การศึกษาวิจัยระดับแปลง และการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่เกษตรกรล้วนเป็นขั้นตอนที่สำคัญทั้งสิ้น

การศึกษาฮอร์โมนออกซินจากแหล่งภายนอกกับข้าว

ฮอร์โมนกลุ่มออกซิน (auxin) ที่ผลิตขึ้นในพืชมีความสำคัญเนื่องจากมีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช (Zhao, 2010) หลายบทบาท เช่น มีผลต่อการพัฒนาการของการสร้างราก (Leyser, 2002) และยอด (Christensen *et al*., 2000) ควบคุมวัฏจักรเซลล์ (cell cycling) การพัฒนาของเนื้อเยื่อลำเลียง (vascular tissue) การยืดยาวของเซลล์ (cell elongation) การกระจายที่เป็นปกติของออกซินในพืชและการเป็นตัวส่งสัญญาณที่ปกติของออกซินจะมีผลต่อการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย (Pagnussat *et al*, 2009) ควบคุมการทำงานของพัฒนาของละอองเรณู (Ni *et al*., 2002) เอ็มบริโอ (Popko *et al*., 2010) การพัฒนาของเมล็ด เพิ่มทั้งน้ำหนักและจำนวนฝักและผลผลิตในพืชทั้งธัญพืชและพืชตระกูลถั่ว (Amal *et al*., 2009; Hussain *et al*., 2011) และอื่น ๆ ในพืช (He *et al*., 2000)

สำหรับกรดอินโดลแอซีติก (indole-3-acitic acid; IAA) เป็นฮอร์โมนหลักในกลุ่มออกซินที่ผลิตได้ในพืช (Zhao, 2010) ซึ่งพบว่าการขาดน้ำจะกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงระดับการผลิตของฮอร์โมนต่าง ๆ ภายในต้นพืช รวมทั้งออกซิน (Zhu, 2002; Abdoli *et al*., 2013) ทั้งนี้ปริมาณ IAA มีรายงานว่า ได้รับผลกระทบจากการขาดน้ำเช่นเดียวกัน โดยพบการผลิตที่ลดลงในพืชที่ปลูกในสภาพขาดน้ำ (Yuan and Ding, 1990) เนื่องจากโครงสร้างของฮอร์โมนนี้ถูกทำลายจากการมีเอนไซม์ oxidase ที่เพิ่มการทำงานขึ้นที่ใบของธัญพืช (Davenport *et al*., 1980; Xie *et al*., 2003; Abdoli *et al*., 2013) การศึกษาในข้าวสาลีพบว่าระดับของ IAA มีค่าลดลงทั้งในส่วนราก ใบ และเมล็ด (Xie *et al*., 2003) ขณะที่การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ IAA ในข้าวที่ปลูกในสภาพเครียดเนื่องจากการขาดน้ำนั้นหาได้ยาก

นอกจาก IAA ที่ผลิตได้จากพืชเองแล้ว จุลินทรีย์หลายชนิดก็สามารถผลิต IAA ได้เช่นกัน (plant growth promoting rhizobacteria; PGPR) เช่น *Pseudomonas* sp. (Ma *et al*., 2011), *Klebsiella* sp. (Ahemad and Khan, 2011), *Rhizobium* sp. (Zahir *et al*., 2010), *Bacillus* sp. (Wani and Khan, 2010) เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้ IAA ที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์หลายแหล่ง และบางกรณีเป็นจุลินทรีย์สาเหตุโรคพืชมาใช้ในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Bonner and Bandurski, 1952; Zahir *et al*., 2010; Zhao, 2010) ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีรายงานการนำกรดอินโดลแอซิติกจากภายนอกหลายแหล่งเข้ามาช่วยบรรเทาปัญหาของธัญพืชรวมทั้งข้าวที่เกิดความเครียดเนื่องจากปัจจัยที่ไม่มีชีวิต (abiotic stresses) เช่น การขาดน้ำ (Abdoli *et al*., 2013; Khan *et al*., 2016) และความเค็ม (El-Samad, 2013; Nakbanpote *et al*., 2014) แต่ทั้งนี้การจะนำมาใช้อย่างได้ผล จำเป็นต้องมีเตรียมความพร้อมการศึกษาอิทธิพลของหลายปัจจัย ทั้งประสิทธิภาพของ IAA และความเข้มข้นของ IAA ที่นำมาใช้ พันธุ์ข้าว ปัจจัยหรือสภาพการขาดน้ำที่มีการจัดให้กับข้าว เป็นต้น

มีการศึกษาผลของออกซินต่อการเจริญเติบโตพืช รวมทั้งข้าวต้องพิจารณาหลายประการ ทั้งความเข้มข้นของฮอร์โมนที่ใช้ ระยะการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น เช่น พบว่าหากมีการใช้ IAA จากภายนอกมากกว่าหรือเท่ากับ 0.003 uM พบว่า seminal root ของข้าวจะถูกยับยั้ง (Yin *et al*., 2011) รวมทั้งความสามารถในการแตกหน่อของข้าวที่ถูกยับยั้งหากใช้ ฮอร์โมนออกซินในระดับที่ไม่เหมาะสม (Liu *et al*., 2011) แต่ในสภาพที่ได้รับความเครียด เช่น การมี NaCl จะส่งผลให้ความเข้มข้นของ IAA ลดลงในใบข้าว (Javid *et al*., 2011a) การนำ exogenous auxin กลุ่ม IAA มาใช้ประโยชน์จึงอาจสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในข้าวได้ สำหรับพืชที่ปลูกแล้วได้รับผลกระทบเนื่องจากความแล้งส่งผลต่อกระบวนการทางชีวเคมีนั้นพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงระดับของฮอร์โมนภายในต้นพืชด้วยเช่นกัน (Abdoli *et al*., 2013) โดยฮอร์โน IAA และจิบเบอเรลลิน (Gibberellin; GA) จะมีการสร้างลดลงเนื่องจากมีการผลิตที่ลดลงหรือเกิดจากโครงสร้างของฮอร์โมนดังกล่าวนี้ถูกลำลายจากการมีเอนไซม์ oxidase ที่เพิ่มการทำงานขึ้นที่ใบของธัญพืช (Davenport *et al*., 1980; Xie *et al*., 2003; Abdoli *et al*., 2013) ในสภาวะของการขาดน้ำ เช่น ในข้าวสาลีที่ระยะหลังการออกดอก (post anthesis) ซึ่งเป็นระยะเริ่มต้นของการแบ่งเซลล์ (ประมาณ 4 วัน นับจากวันออกดอก ทดลองประมาณ 4 วัน) และระยะการเติมเต็มเมล็ด (grain filling stage) (ประมาณ 14 วันหลังการออกดอก ทดลองประมาณ 4 วัน) ผลการศึกษาพบว่า การเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และผลผลิตที่ได้รับผลกระทบและลดลงในสภาวะการขาดน้ำหลังการดอกดอกที่แตกต่างตามพันธุ์ข้าวสาลีนั้น การใช้ exogenous IAA สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวสาลีทุกพันธุ์ได้แต่แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ เช่นเดียวกันกับที่พบว่า exogenous IAA เมื่อนำมาใช้กับข้าวสาลีที่รวงถูกบังแสงและประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลงสามารถทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน (Abdoli *et al*., 2013)

อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA ภายนอกที่นำมาใช้กับข้าวนั้นแตกต่างกัน ซึ่งอาจขึ้นกับพันธุ์ข้าว ชนิดของจุลินทรีย์หรือแหล่งที่สกัดฮอร์โมนหรือวิธีการศึกษากับข้าว เป็นต้น เช่น การศึกษาของ Abodi *et al*. (2013) ใช้ปริมาณ IAA เท่ากับ 50 μM โดยใช้วิธีการสเปรย์ในระยะการออกดอกและการเติมเต็มเมล็ดของข้าว เช่นเดียวกับการศึกษาผลของ IAA ภายนอกกับข้าวในสภาพเครียดเนื่องจากความเค็มโดยใช้การพ่นจำนวน 3 ครั้ง ปริมาณ 100 ppm พบว่าสามารถเพิ่มน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และพื้นที่รวมทั้งความยาวใบของข้าวสาลีได้ (El-Samad, 2013) ขณะที่มีพ่นทางใบขณะที่ข้าวหลายพันธุ์ที่กำลังเจริญเติบโตในสภาพการขาดน้ำที่อายุ 80 วันหลังการย้ายปลูก โดยการปล่อยให้ขาดน้ำเป็นเวลา 10 วันจนสังเกตเห็นอาการเหี่ยวชั่วคราว มีรายงานการใช้ IAA ภายนอก การใช้ปริมาณ 10-5 M ของ IAA พบว่าไม่มีผลในการส่งเสริมการให้ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น (Khan *et al*., 2016) อย่างไรก็ตาม มีรายงานการใช้ IAA ที่สกัดได้มาจากแบคทีเรียบริเวณรากพืช (กล้วย ฝ้าย ข้าวโพด และข้าวสาลี) ระดับต่ำ (0.1 มิลลิลิตร เมื่อเลี้ยงข้ามคืนที่ 0.5 OD) กับข้าวสาลี ซึ่งพบว่าสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวสาลี ได้เช่นกัน (Mohite, 2013) ขณะที่การนำ IAA ภายนอกมาใช้เพื่อชักนำแคลลัสในห้องปฏิบัติของข้าวจะมีการใช้ในความเข้มข้นที่สูงกว่าโดยมีรายงานการใช้ IAA ความเข้มข้น 0.1 mg/l ร่วมกับ benzyl adenine purine (BAP) ซึ่งอยู่ในกลุ่มฮอร์โมนไซโตไคนิน (Dissanyaka and Dahanyake, 2014)

ระยะการเจริญเติบโตของข้าวและธัญพืชอื่น ๆ กับการศึกษาฮอร์โมนออกซิน

ฮอร์โมนพืชมีความสำคัญและมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการ รวมทั้งมีผลต่อเมแทบอลิซึมในหลายระยะการเจริญเติบโตของพืช และขึ้นกับวัตถุประสงค์ของผู้ที่ต้องการศึกษา หรือประโยชน์ของฮอร์โมนที่ต้องการประเมินนั่นเอง

การศึกษาผลของออกซินกรดอินโดลแอซีติก หรือ IAA ที่มีผลต่อการปิด-เปิดของดอกข้าว ซึ่งส่งผลต่อการผลิตข้าวลูกผสมเพราะการปิด-เปิดของช่อดอกในข้าวลูกผสมจะส่งผลโดยตรงต่อผลผลิต ผลการศึกษาพบว่า

การที่ข้าวได้รับฮอร์โมน IAA จะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การปิดของช่อดอกต่ำ อย่างไรก็ตามการการใช้ฮอร์โมนออกซินจะส่งผลทั้งเวลาที่ใช้และความเข้มข้นที่ใช้ ขณะที่ฮอร์โมนกรดแอบซิก (abscisic; ABA) กลับให้ผลตรงกันข้ามกับ IAA คือทำให้เปอร์เซ็นต์การปิดของดอกข้าวเพิ่มขึ้นและไปลดความยาวของการเปิดช่อดอกในข้าวหลายพันธุ์ การศึกษามีการใช้กรด IAA (50, 100, 200, 400 and 800 mg/L) ทำการฉีดพ่นที่ก่อนระยะการเปิดของดอกเพื่อต้องการศึกษาดูการพัฒนาการของดอก และขึ้นกับระยะการพัฒนาของอับเรณูและการเปิดของดอกบนสุดที่จะมีการเปิดดอกก่อน ทั้งนี้ต้องมีการประเมินระดับแปลงก่อนหน้านี้โดยดูทั้งความสูงของอับเรณูและอายุการเปิดของช่อดอกบน (Huang *et al*., 2018) นอกจากนี้จากการค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งหาและแหล่งเก็บอาหารของพืช (Sink/source relationships) ที่ส่งผลต่อการเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษาคาร์โบไฮเดรตจากเนื้อเยื่อส่วนลำต้นและใบเพื่อการสร้างและสะสมเมล็ดและส่งผลต่อผลผลิต อย่างไรก็ตามการนำฮอร์โมนหรือสารต่าง ๆ มาใช้กับขึ้นกับระยะการเจริญเติบโตของพืชด้วย สำหรับกรณีนี้ที่ต้องการศึกษาผลที่มีต่อเมล็ด ทั้งนี้ออกซินพบว่ามีบทบาททั้งชั่วคราวและถาวรในการควบคุมกระบวนการพัฒนาทั้งการสร้างอวัยวะ การสร้างเอมบริโอและการส่งผลที่ต่อการเบนของพืช (tropism) (Vanneste and Friml, 2009) แต่อย่างไรก็ตาม มีตัวยับยั้ง (hormone receptors) ที่ทำให้อิทธิพลของฮอร์โมนโดยเฉพาะออกซินได้รับผลกระทบ ด้วยเหตุนี้ การใช้ตัวยับยั้งที่ขัดขวาง receptors จะทำให้มีการทำงานของฮอร์โมนสำคัญๆ ในพืชเพิ่มขึ้น เพื่อปรับปรุงการเจริญเติบโตของพืช โดยการให้ที่ระยะหลังการถ่ายเรณูและการผสมเรณู (late productive phase or post-anthesis stage) หรือพบว่ามีการใช้ที่ประมาณสองสัปดาห์หลังการเกิดรวงข้าวโดยการฉีดพ่นไปที่ต้นพืช ทั้งนี้การศึกษาของ Tamaki *et al.* (2015) ดำเนินการฉีดพ่นทั้งที่ระยะก่อนการถ่ายเรณูและการผสมเรณู (pre-anthesis; before heading stage) และระยะหลังการถ่ายเรณูและการผสมเรณู (post-anthesis; 2 weeks aters flowering, during gain filling stage) หรือในกรณีของการจำนวนเมล็ดที่องค์ประกอบสำคัญของผลผลิตในข้าวสาลีที่พบว่าสัมพันธ์กับจำนวนดอกย่อยเริ่มต้นระหว่างระยะการยืดยาวของลำต้นและการอยู่รอดของดอกย่อยก่อนการถ่ายเรณูและผสมเรณูที่ระยะตั้งท้อง (booting stage) ทั้งนี้สามารถอาหารที่เพียงพอจะส่งผลในการดลการแท้งของดอกย่อย (Kirby, 1988; Bancal, 2009) เนื่องจากมีการศึกษาที่พบว่ากรด IAA จะกระตุ้นการชัดนำของดอกและพัฒนาการของผลหรือเมล็ด (Davies, 2004; Aloni *et al*., 2006) รวมทั้งการที่ IAA และไซโตไคนิน (cytokinins) ยังเป็นปัจจัยที่กระตุ้นการขนถ่ายอาหารสำหรับพัฒนาการของเมล็ด (Darussalam *et al*., 1998; Lejeune *et al*., 1998) จากการใช้กรด IAA จากภายนอกมีการใช้ที่ระยะตั้งท้องเพื่อศึกษาผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวสาลีโดยการให้ทางใล (foliar application) โดยทำการฉีดพ่นต่อเนื่องจำนวนสามวันหลังพระอาทิตย์ตกดินเพื่อความมั่นใจว่าจะมีการดูดซับที่ดีขึ้นและป้องกันการเสื่อมสลายด้วยแสงพระอาทิตย์และมีการใช้สารจับใบเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพ (Teepol) ทั้งนี้ผลการศึกษาของ Jalali-Honarmand *et al*. (2015) พบประสิทธิภาพของการใช้ฮอร์โมนต่าง ๆ ต่อผลผลิตเมล็ดและจำนวนเมล็ดต่อช่อรวง รวมทั้งดัชนีการเก็บเกี่ยว (harvest index) โดยเฉพาะการใช้ในลักษณะร่วมของ IAA และไซโตไคนิน (6-Benzyalaminopurine; 6-BAP) ที่ระยะการตั้งท้องของข้าวสาลี

นอกจากการสร้างจำนวนเมล็ดต่อช่อดอก หรือการเติมเต็มเมล็ดแล้วระยะอื่น ๆ ในข้าวก็มีความสำคัญ เช่น การยืดยาวของท่อนำละอองเรณูในเกสรเพศเมีย (pistil) ที่เป็นขั้นตอนสำคัญที่ทำให้ประสบผลสำเร็จต่อการถ่ายละอองเรณูในพืช ทั้งนี้ฮอร์โมนออกซินมีบทบาทสำคัญในกระบวนการดังกล่าวด้วย แต่สภาพความร้อนทำให้ข้าวได้รับผลกระทบโดยเฉพาะระยะออกดอก (Satake and Yoshida, 1978) โดยส่งผลต่อการเป็นหมันในดอกย่อย (Fu *et al*., 2012) เนื่องจากส่วนหนึ่งคือไม่มีการงอกใน stigma (Sebastian *et al*., 2017) ขณะที่พบว่าออกซินเป็นฮอร์โมนที่มีบทบาทต่อการยืดของเซลล์ การแบ่งเซลล์ และการพัฒนาของละอองเรณู (Sakata *et al*., 2010) และการใช้ออกซินภายนอกยังพบว่าสามารถกระตุ้นท่อนำละอองเรณู (Wu *et al*., 2008) จากการศึกษา

ของ Zhang *et al*. (2018) ทำการฉีดพ่นที่ระยะถ่ายเรณูและผสมเกสร (anthesis) ณ ระยะที่ออกดอกย่อย (flowering stage) โดยทำการพ่นฮอร์โมนออกซิน (1-naphthaleneacetic acid; NAA) ความเข้มข้น 0, 1, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลต่อลิตร ภายใต้สภาพการเพาะปลูกที่ข้าวเครียดกับความร้อน (30/20 องศาเซลเซียส กลางวันและกลางคืน) พบว่าการพ่น NAA ทำให้มีการสร้าง IAA เพิ่มขึ้นในต้นข้าวและเพิ่มการยืดยาวของท่อนำละอองเรณูภายใต้สภาพความเครียดเนื่องจากความร้อน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการเพิ่มขึ้นของ reactive oxygen species (ROS) ด้วยเช่นกัน

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. วัสดุ และอุปกรณ์

1.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ชักนำให้เกิดการผลิตอินโดลแอซีติกจากแบคทีเรียไอโซเลท RD4-1-1

1. กรดอินโดลแอซีติกสังเคราะห์ (Fluka Analytical 57330)
2. L-Tryptophan (HIMEDIA GRM067)
3. Nutrient Broth (NB) (Difco™)
4. Nutrient Agar (NA) (HIMEDIA M001)
5. $FeCl_3$ (HAZARDOUS 220)
6. $HClO_4$ (KEMAUS KA359)
7. แบคทีเรีย RD 4-1-1 แยกมาจากเมล็ดข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองที่ถูกเก็บไว้ในคลังเก็บเชื้อห้องจุลชีววิทยา คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร
8. หลอดทดลองขนาด 16×150 เส้นผ่านศูนย์กลาง×ยาว (มิลลิเมตร)(Test Tube)
9. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 500 มิลลิตร
10. Autopipette ขนาด 1000 µl
11. เครื่องฆ่าเชื้อ (Autoclave)
12. เครื่องปั่นเหวี่ยงสาร (Centrifuge)
13. เครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
14. เครื่องบ่มเชื้อ (Incubator)
15. เครื่อง Incubator Shaker

1.2 อุปกรณ์และสารเคมีของ การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวในสภาวะจำลองของการขาดน้ำ

1. Polyethylene glycol (PEG600)
2. ฮอร์โมน IAA จากแบคทีเรีย (RD4-1-1) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ
3. แอลกอฮอล์ 95%
4. เมล็ดข้าวนาสวนพันธุ์ กข 31 และกข 41
5. น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ และผงวุ้น (Agar)
6. จานเพาะเลี้ยง (Petri dish) เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร

1.3 อุปกรณ์และสารเคมีของการทดลองที่ 2 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวในดินที่ขาดน้ำ

1. ดินปลูก
2. กระบะใส่ดิน
3. ฮอร์โมน IAA จากแบคทีเรีย (RD4-1-1) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ
4. เมล็ดข้าวนาสวนพันธุ์ กข 31 และกข 41

5. น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ

1.4 อุปกรณ์และสารเคมีของการทดลองที่ 3 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อน้ำหนักเมล็ดของข้าวนาสวนที่ปลูกในดินที่ขาดน้ำ

1. ดินปลูก และกระถางพลาสติก ขนาดกว้าง 25 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร
2. ฮอร์โมน IAA จากแบคทีเรีย (RD4-1-1) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ
3. เมล็ดข้าวนาสวนพันธุ์ กข 31
4. น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ
5.ขวดสเปรย์น้ำ (สำหรับพ่นฮอร์โมนพืช) ขนาด 500 มิลลิลิตร
6. เตาให้ความร้อน (Hot plate)

1.5 อุปกรณ์และสารเคมีของการทดลองที่ 4 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อความสูงและผลผลิตของข้าวนาสวนบางพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกกต่างกัน

1. แปลงปลูกข้าวเกษตรกร
2. ฮอร์โมน IAA จากแบคทีเรีย (RD4-1-1) และ IAA การสังเคราะห์ Synthetic ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ
3. เมล็ดข้าวนาสวนพันธุ์ ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 และ กข 43
4. ถังพ่นฮอร์โมนขนาด 20 ลิตร

2. วิธีการทดลอง

1) ขั้นตอนการเลี้ยงแบคทีเรีย RD4-1-1 ให้มีการผลิตฮอร์โมน IAA

1.1 การเตรียมแบคทีเรีย RD4-1-1

นำแบคทีเรีย RD4-1-1 มาเพาะเลี้ยง (subculture) ในหลอดอาหาร Nutrient agar slant (NA slant) และบ่มที่ตู้บ่มเชื้อ (Incubator) เป็นเวลา 24 ชั่งโมง หรือ 1 วัน

1.2 การเตรียมอาหารเลี้ยงแบคทีเรีย (RD4-1-1) (ทำ stock 300 มิลลิลิตร)

ชั่งอาหาร Nutrient broth (NB) 2.4 กรัม และเติม L-Tryptophan 30 มิลลิกรัม จากนั้นนำ NB และ L-Tryptophan มาละลายใส่ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตร โดยที่การละลาย L-Tryptophan ควรให้ความร้อนเล็กน้อยเพื่อให้ง่ายต่อการละลาย ต่อจากนั้นนำ NB ที่ผสมด้วย L-Tryptophan ขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 300 มิลิลิตร ปิดด้วยสำลีและหุ้มด้วยฟรอยด์ นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่เครื่อง Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

1.3 การเลี้ยงแบคทีเรีย (RD4-1-1) ในอาหารเหลว

นำแบคทีเรียมาเลี้ยง (RD4-1-1) ในข้อ 1.1 มาปรับความความขุ่นที่ 0.5 McFarland standard ที่น้ำกลั่นฆ่าเชื้อในหลอดทดลองปริมาตร 5 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ 1% inoculum ต้องดูด 3 มิลลิลิตร ลงในอาหารเหลวซึ่งประกอบด้วย Nutrient broth และ L-Tryptophan ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ จากนั้นนำไปเขย่าที่เครื่อง Incubator Shaker ด้วยความเร็วรอบ 150 rpm. (รอบต่อนาที) อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือ 3 วัน (Harikrishnan *et al*., 2014)

2) การตรวจสอบการสร้าง Indole-3-acetic acid จากแบคทีเรีย (RD4-1-1)

จากข้อ 1.3 มาดูดใส่หลอดไมโครเซนติฟิวก์ (Micro-centrifuge tube) 1 มิลลิลิตร ไปปั่นเหวี่ยง 10,000 rpm. (รอบต่อนาที) นาน 5 นาที เพื่อให้ตกตะกอน ดูดส่วนใสของแบคทีเรียที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงปริมตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงหลอดทดลองขนาดเล็ก (Test Tube) แล้วเติมสารละลาย Salkowski reagent โดยเตรียมสาร Salkowski reagent ที่ประกอบด้วย 0.5M $FeCl_3$ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และ 35% $HClO_4$ ปริมาตร 49 มิลลิลิตร แล้วทำการหยอดสาร Salkowski reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 20 นาที ทำการวัดค่าดูดการดูดกลืนที่ 530 นาโนเมตร ค่าที่ได้จากการวัดสามารถนำมาคำนวณปริมาณ IAA ได้จากกราฟมาตรฐาน IAA (10 – 100 µg/ml) โดยหลอดควบคุม (Blank) คือ อาหาร NB+100 µg/ml ของ L-Tryptophan ที่ไม่มีแบคทีเรีย (RD4-1-1) (Harikrishnan *et al*., 2014)

3) ทรีตเมนต์ วิธีดำเนินการ และการบันทึกข้อมูลที่จำเพาะในแต่ละการทดลอง

<u>การทดลองที่ 1</u> ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวในสภาวะจำลองของการขาดน้ำ

การทดลองโดยดำเนินการวิจัยแยกระหว่างการใช้ข้าวนาสวน 2 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข 31 และ กข 41 (ทั้งสองพันธุ์นี้เป็นข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงและนิยมปลูกในการปลูกข้าวนาปรัง ขณะที่ข้าวพันธุ์ กข 31 เป็นอีกพันธุ์ที่นิยมปลูกในฤดูนาปีเช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ในการศึกษาสภาวะจำลองของการขาดน้ำ ซึ่งมักประสบปัญหาในฤดูของการปลูกข้าวนาปรัง จึงเลือกข้าวทั้งสองพันธุ์นี้มาใช้ในการทดลอง) ในการทดลองแต่ละการศึกษามีการวางแผนการทดลองแบบ 4x5 Factorial in Completely randomized design (CRD) จำนวน 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 petri dish เพาะจำนวน 10 เมล็ดต่อ platri dish

ปัจจัยศึกษาที่ 1 คือระดับการจำลองสภาพการขาดน้ำจากการใช้เปอร์เซ็นต์ polyethylene glycol (PGE) ที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่

1. PEG ความเข้มข้น 0% (กลุ่มควบคุม)
2. PEG ความเข้มข้น 10%
3. PEG ความเข้มข้น 20%
4. PEG ความเข้มข้น 30%

สำหรับปัจจัยที่ 1 นี้ใช้สาร PEG-6000 ที่ระดับ 0-30% เนื่องจากมีการรายงานว่าการใช้ที่ 0, 10, 20% PEG ทำให้สมดุลของค่าศักย์ออสโมติกเท่ากับ 0, -0.15 และ -0.49 MPa ตามลำดับ ซึ่งพบการงอกของเมล็ดระดับต่ำ แต่ยังพบการงอกเพราะระดับของศักย์น้ำดังกล่าวเมล็ดพืชยังคงมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำเพื่อเริ่มต้นกระบวนการงอก (Khazayi *et al*., 2008; Mohhammadkhani and Heidari, 2008; Maraghni *et al*., 2010; Pant and Bose, 2016) แต่เมื่อเพิ่มการใช้เป็น 30% PEG จะมีค่าศักย์ออสโมติกเท่ากับ -1.03 MPa ซึ่งพืชส่วนใหญ่ไม่พบการงอกของเมล็ด แม้ว่าจะมีความจำเพาะระหว่างพืชต่างชนิดด้วยก็ตาม (Hadas and Russo, 1974; Evens and Etherington, 1990)

ปัจจัยศึกษาที่ 2 คือ การให้กรดอินโดลแอซีติกที่ผลิตจากแบคทีเรีย RD4-1-1 ที่ความความเข้มข้นที่แตกต่าง 5 ความเข้มข้น (แสดงหน่วยเป็นไมโครโมลาร์ ; µM) ได้แก่

1. 0 µM RD4-1-1 IAA (กลุ่มควบคุม)
2. 2.5 µM RD4-1-1 IAA

3. 25 µM RD4-1-1 IAA
4. 50 µM RD4-1-1 IAA
5. 100 µM RD4-1-1 IAA

ทำการทดลองโดยแช่เมล็ดข้าวที่แกะเปลือกแล้ว (เมล็ดข้าวกล้อง) ในสารละลายกรดอินโดลแอซีติกที่ผลิตจากแบคทีเรีย RD4-1-1 ตามทรีตเมนต์ แช่นานประมาณ 8 ชั่วโมง จากนั้นทำการวางเพาะเมล็ดที่แกะเปลือกแล้วและทำการฆ่าเชื้อลงบน petri dish ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ที่บรรจุวุ้นแข็ง สัดส่วนผงวุ้น 0.8 เปอร์เซ็นต์ หรือ 8 กรัมต่อลิตร ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที เทสารละลายวุ้นปริมาตร 15 มิลลิตลิตร ต่อ petri dish แล้วทำการวางเลี้ยงเมล็ดข้าวเป็นเวลา 1 อาทิตย์ บนชั้นเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยมีการให้แสงสว่าง 16 ชั่วโมง ระยะมืด 8 ชั่วโมง อุณหภูมิห้องเพาะเลี้ยง 25-26 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ: ข้าวนาสวนพันธุ์ กข 31 (ปทุมธานี 80) ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว 111 วัน เมื่อปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตม และ 118 วัน โดยวิธีปักดำ ทรงกอตั้ง ต้นแข็งไม่ล้มง่าย ใบสีเขียว กาบใบสีเขียว ใบธงตั้ง คอรวงยาว รวงยาว 29.9 เซนติเมตร เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง เมล็ดไม่มีหางข้าวกล้องสีขาว เป็นท้องไข่น้อย รูปร่างเรียว [กรมวิชาการเกษตร, ม.ป.ป (ก)]

ข้าวนาสวนพันธุ์ กข 41 ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง ความสูงประมาณ 104 เซนติเมตร อายุเก็บเกี่ยว 104-105 วัน กอตั้ง ต้นแข็ง ใบและกาบใบสีเขียว ใบธงตั้งตรง คอรวงโผล่พ้นจากกาบใบธงเล็กน้อย ยอดเกสรตัวเมียสีขาว เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง เปลือกเมล็ดมีขนสั้น รูปร่างเรียว [กรมวิชาการเกษตร, ม.ป.ป. (ข)]

<u>การบันทึกข้อมูล</u>

1) Germination percentage (GP) ค่าเปอร์เซ็นต์การงอก (Belwal *et al*., 2015) [เนื่องจากการศึกษาดำเนินการในวุ้นเพาะเลี้ยงทำการวางเลี้ยงบนสารละลายวุ้นแข็ง ด้วยเหตุนี้ สามารถสังเกตเห็นการงอกของเมล็ดข้าวได้อย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้ การงอกไม่ว่าจะเป็นส่วนของรากหรือของ coleoptile ที่งอกโผล่พ้นเมล็ดก็นับว่าเป็น germinated seed]

   สูตร GP = (GN/SN)* 100

   เมื่อ GN = total number of seed germinated
   SN = total number of seed tested

2) Mean time to germination (MTG) เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก (Maraghni *et al*., 2010) [เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการวางเลี้ยงบนอาหารวุ้นแข็ง มีการปลูกโดยนำเมล็ดที่แช่น้ำมาทำการเพาะ ดังนั้นเมล็ดที่พักตัว (dormant seed) เมล็ดเน่าเสีย (decomposed seed) เมล็ดที่ไม่งอก (non-germinated seed) จะเรียกรวมกันว่า ungerminated seedling ขณะที่การงอกของรากหรือ coleoptile จะเรียกรวมกันว่า germinated seedling ด้วยเหตุนี้ นอกจากเป็นการศึกษาเปอร์เซ็นต์การงอกแล้ว (final

germination percentage) ยังมีจำนวนวันที่ใช้ในการงอกสุดท้าย (delay of germination) (Maraghni *et al*., 2010) จึงมีการศึกษาค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการงอกด้วย]

$$MTG = \sum (ni \times di)/N$$

เมื่อ ni คือจำนวนต้นอ่อนที่งอก ณ วันที่ i (day i)
d คือจำนวนช่วงเวลาสะสม (incubation period in days)
N คือจำนวนต้นอ่อนที่งอกในทรีตเมนต์นั้น ๆ

3) Speed germination index (SGI) ค่าดัชนีความเร็วในการงอก (AOSA, 1983; Yousof and El-Saidy, 2014)

$$SGI = \frac{\text{No. of germinated seed}}{\text{Days of first count}} + \ldots + \ldots + \frac{\text{No. of germinate seed}}{\text{Days of final count}}$$

4) Germination rate (GR) ค่าอัตราการงอก (Bartlett, 1937; Yousof and El-Saidy, 2014)

$$GR = \frac{a+(a+b)+(a+b+c)+\ldots+(a+b+c+m)}{n(a+b+c+m)}$$

เมื่อ a, b, c เป็นจำนวนต้นอ่อนที่ได้จากการนับในครั้งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และ m คือจำนวนต้นอ่อนที่นับได้ในวันสุดท้าย สำหรับ n คือ จำนวนการนับทั้งหมด

5) Co-efficient of germination (CG) ค่าสัมประสิทธิ์การงอก (Copeland, 1976; Yousof and El-Saidy, 2014)

$$\text{Co-efficient of germination} = \frac{100\,(A1+A2+\ldots+An)}{A1T1+A2T2+\ldots+AnTn}$$

เมื่อ A = No. of seed germinated
T = Time (days) corresponding to A
N = No. of days to final count

6) Vigour index (VI) คือค่าดัชนีความแข็งแรง เป็นค่าที่ใช้วัดสภาพของต้นอ่อน เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนตามเวลาที่กำหนด (Abdul-Baki and Anderson, 1973; Alizadeh *et al*., 2013)

$$Vi = \frac{\%Gr \times MSH}{100}$$

เมื่อ Vi = vigour index

%Gr = Final germination percentage

MSH = Mean seedling height

7) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา โดยนำต้นอ่อนที่งอกของแต่ละ petri dist ทำการวัดน้ำหนักแห้งของทั้งยอดและรากหลังการเพาะ 1 อาทิตย์ โดยการตัดแยกรากและส่วนยอดแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน เพื่อหาน้ำหนักแห้งและสัดส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนยอดต่อน้ำหนักแห้งราก (dry weight ratio)

<u>การทดลองที่ 2</u> ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวในดินที่ขาดน้ำ

การทดลองโดยดำเนินการวิจัยแยกระหว่างการใช้ข้าวนาสวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ กข31 และ กข 41 (ทั้งสองพันธุ์นี้เป็นข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงและนิยมปลูกในการปลูกข้าวนาปรัง ขณะที่ข้าวพันธุ์ กข 31 เป็นอีกพันธุ์ที่นิยมปลูกในฤดูนาปีเช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ในการศึกษาสภาวะจำลองของการขาดน้ำ ซึ่งมักประสบปัญหาในฤดูของการปลูกข้าวนาปรัง จึงเลือกข้าวทั้งสองพันธุ์นี้มาใช้ในการทดลอง) ทำการศึกษาโดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD จำนวน 4 ซ้ำ มีปัจจัยศึกษาได้แก่

ปัจจัยที่หนึ่ง ได้แก่ ระดับการขาดน้ำ โดยใช้วิธีการให้น้ำด้วยความถี่ที่แตกต่างกัน 3 ความถี่ ดังนี้

1. ให้น้ำ 1 ครั้งต่อ 2 วัน
2. ให้น้ำ 1 ครั้งต่อ 4 วัน
3. ให้น้ำ 1 ครั้งต่อ 7 วัน

การจัดสภาพการขาดน้ำอาศัยข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความจุความชื้นสนามภายหลังการนับจากวันที่ทำการให้น้ำ (ภาพที่ A) ร่วมกับการอาศัยสภาพของต้นข้าวในระหว่างการทดลองประกอบกัน

ปัจจัยศึกษาที่ 2 คือ การให้กรดอินโดลแอซีติกที่ผลิตจากแบคทีเรีย RD4-1-1 ที่ความความเข้มข้นที่แตกต่าง 5 ความเข้มข้น ได้แก่

1. 0 µM RD4-1-1 IAA (กลุ่มควบคุม)
2. 2.5 µM RD4-1-1 IAA
3. 25 µM RD4-1-1 IAA
4. 50 µM RD4-1-1 IAA
5. 100 µM RD4-1-1 IAA

ทำการทดลองโดยการเพาะเมล็ดด้วยวิธีการแช่สารละลายฮอร์โมนกรดอินโดลแอซีติกตามทรีตเมนต์นาน 24 ชั่วโมง แล้วทำการบ่มด้วยผ้าขาวบางจนเกิดตุ่มราก จากนั้นนำเมล็ดมาปลูกในกระบะพลาสติกขนาดกว้าง*ยาว*สูง เท่ากับ 17.5*22.5*7 เซนติเมตร ที่บรรจุทรายดินฆ่าเชื้อ ปริมาณดินที่บรรจุในแต่ละตะกร้าเท่ากับ 4 กิโลกรัม โดยการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที ศึกษาจำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 1 กระบะจากนั้นเมื่อข้าวงอกโผล่พ้นดินแล้ว 1 อาทิตย์ ทำการให้ฮอร์โมนกรดอินโดลแอซีติกโดยการพ่นตามทรีตเมนต์อีก 1 ครั้ง และในระหว่างที่ไม่ได้มีการพ่นฮอร์โมนตามทรีตเมนต์จะทำให้สเปรย์น้ำปริมาณ 250 มิลลิลิตรต่อกระบะ โดยความถี่ของการให้จะให้ตามทรีตเมนต์ที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยการให้น้ำ ทำการศึกษาทั้งหมด 3 อาทิตย์หลังการปลูกลงดิน

การบันทึกข้อมูล

1) Emergenced percentage (EP) ค่าเปอร์เซ็นต์การโผล่พ้นดิน (Belwal *et al.*, 2015) [เนื่องจากการศึกษาดำเนินการในดิน โดยการวางเลี้ยงเมล็ดข้าวที่แช่น้ำหรือสารละลายกรดอินโดลแอซีติกก่อนจนเกิดตุ่มรากและจึงนำไปเพาะในกระดินที่วางลึกในดินประมาณ 1 เซนติเมตร ด้วยเหตุนี้ จึงทำการประเมินการโผล่พ้นดินของต้นอ่อน การงโผล่พ้นดินของ coleoptile นับว่าเป็น emergence seed]

สูตร EP = (EN/SN)* 100

เมื่อ EN = total number of seed emergenced
SN = total number of seed tested

2) Mean time to emergence (MTE) เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการโผล่พ้นดิน (Maraghni *et al.*, 2010) [เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการเพาะในดินโดยการวางเมล็ดที่เกิดตุ่มรากหลังการแช่น้ำหรือฮอร์โมนตามทรีตเมนต์แล้ว ดังนั้นเมล็ดที่งอกแต่ไม่โผล่พ้นดิน หรือเน่าตายภายในดิน (decomposed seed) จะเรียกรวมกันว่า unemergenced seedling ขณะที่การโผล่พ้นของต้นอ่อนเหนือผิวดินของ coleoptile จะเรียกว่า emergenced seedling ด้วยเหตุนี้ นอกจากเป็นการศึกษาเปอร์เซ็นต์การโผล่พ้นดินแล้ว (final emergenced percentage) ยังมีจำนวนวันที่ใช้ในการโผล่พ้นดินสุดท้าย (delay of emergence) (Maraghni *et al.*, 2010) จึงมีการศึกษาค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการโผล่ของ coleoptile ด้วย]

$$MTE = \sum (ni \times di)/N$$

เมื่อ ni คือจำนวนต้นอ่อนที่โผล่ ณ วันที่ i (day i)
d คือจำนวนช่วงเวลาสะสม (incubation period in days)
N คือจำนวนต้นอ่อนที่โผล่ในทรีตเมนต์นั้น ๆ

3) Speed emergence index (SEI) ค่าดัชนีความเร็วในการโผล่พ้นดิน ดัดแปลงจาก AOSA (1983) และ Yousof and El-Saidy (2014)

$$SEI = \frac{\text{No. of emergenced seed}}{\text{Days of first count}} + \ldots + \ldots + \frac{\text{No. of emergenced seed}}{\text{Days of final count}}$$

4) Emergence rate (ER) ค่าอัตราการโผล่พ้นดิน ดัดแปลงจาก Bartlett (1937) และ Yousof and El-Saidy (2014)

$$ER = \frac{a+(a+b)+(a+b+c)+\ldots+(a+b+c+m)}{n(a+b+c+m)}$$

เมื่อ a, b, c เป็นจำนวนต้นอ่อนที่ได้จากการนับในครั้งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และ m คือจำนวนต้นอ่อนที่นับได้ในวันสุดท้าย สำหรับ n คือ จำนวนการนับทั้งหมด

5) Co-efficient of emergence (CE) ค่าสัมประสิทธิ์การโผล่พ้นดินของ coleoptile ดัดแปลงจาก Copeland (1976) และ Yousof and El-Saidy (2014)

$$\text{Co-efficient of emergence} = \frac{100\,(A1+A2+\ldots+An)}{A1T1+A2T2+\ldots+AnTn}$$

เมื่อ A = No. of seed emergenced
T = Time (days) corresponding to A
N = No. of days to final count

6) Vigour index (Vi) คือค่าดัชนีความแข็งแรง เป็นค่าที่ใช้วัดสภาพของต้นอ่อน เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับค่าเปอร์เซ็นต์การโผล่พ้นดินของ coleoptile ของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนตามเวลาที่กำหนด (Abdul-Baki and Anderson, 1973; Alizadeh *et al*., 2013)

$$Vi = \frac{\%Er \times MSH}{100}$$

เมื่อ Vi = vigour index
%Er = Final emergence percentage
MSH = Mean seedling height

7) ความสูงและอัตราการเจริญเติบโตโดยเทียบจากความสูงต้นอ่อนในสัปดาห์ที่ 1-3 ของการวางปลูกเมล็ด
8) ความยาวของส่วนยอดและส่วนรากในสัปดาห์ที่ 3 ของการวางปลูกเมล็ด
9) คะแนนรากในสัปดาห์ที่ 3 ของการวางปลูกเมล็ด
10) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา (3 สัปดาห์) โดยนำต้นอ่อนที่งอกของแต่ละกระบะ แต่ละทรีตเมนต์มาทำการวัดน้ำหนักแห้งของทั้งยอดและราก โดยการตัดแยกรากและส่วนยอดแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน เพื่อหาน้ำหนักแห้งและสัดส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนยอดต่อน้ำหนักแห้งราก (dry weight ratio)

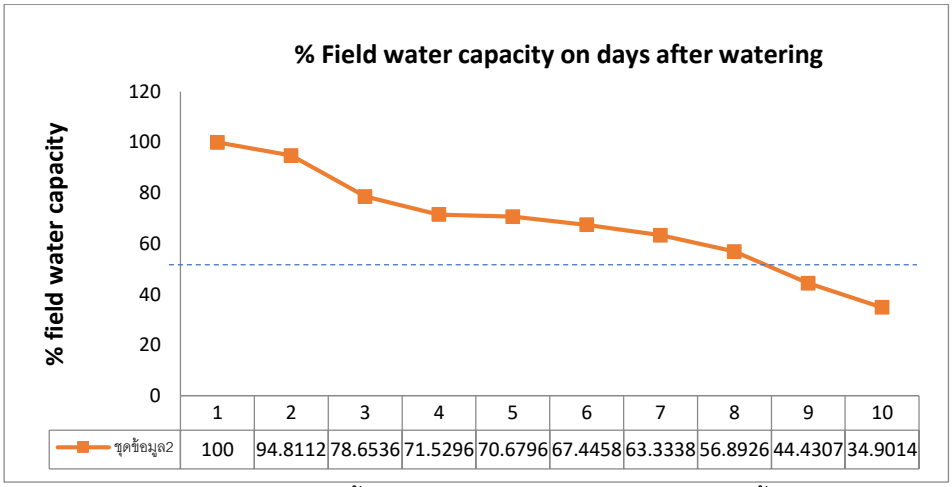
<u>การจัดสภาพขาดน้ำ</u>

การจัดสภาพขาดน้ำให้พืชเพื่อให้เกิดความเครียด จากการจัดสภาพขาดน้ำอย่างง่าย ได้แก่ การรักษาสภาพความชื้นในดินทำได้โดยการชั่งน้ำหนักดินและน้ำให้มีค่าคงที่ซึ่งแสดงการรักษาระดับของความชื้นในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งเป็นประจำทุกวัน เพื่อวัดค่าความชื้นที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจำเป็นต้องทำการศึกษาในแต่ละสภาพดิน เนื่องจากดินแต่ละชนิดจะมีช่วงเวลาการรักษาความชื้นได้แตกต่างกัน (Bouman *et al*., 2001) มีการศึกษาที่พบว่าการปลูกข้าวในดินที่มีค่าความชื้นที่ 12.5-25 เปอร์เซ็นต์ของ filed capacity ข้าวจะไม่สามารถรอดชีวิตได้ แต่หากมีการลดความชื้นให้เหลือ 47-50 เปอร์เซ็นต์ของ filed capacity แล้วจะทำให้ผลผลิตข้าวเหลือเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ (Chauhan and Abugho, 2013)

วิธีการศึกษาการขาดน้ำ

1. ใส่ดินในกระถางอัตรา 15 กิโลกรัมต่อกระถาง จำนวน 50 กระถาง
2. รดน้ำให้ชุ่มทุกกระถาง
3. ในแต่ละวัน เก็บตัวอย่างจาก 5 กระถาง โดยแต่ละกระถางเก็บตัวอย่างดิน 100 กรัม ใส่กระป๋องอลูมิเนียมขนาด 4 ออนซ์ นำไปชั่งน้ำหนักดินก่อนอบ จากนั้นนำไปอบดินที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้อุณหภูมิลดลง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักดินหลังอบ ดำเนินการเช่นนี้จนครบ 10 วัน แล้วทำการศึกษาค่า % field capacity

จากการศึกษาหาค่า % field capacity การศึกษาเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนัก ดังนี้
% field capacity = 100 x [(น้ำหนักดินก่อนอบ – น้ำหนักดินหลังอบ)]/ น้ำหนักดินหลังอบ (Chauhan and Abugho, 2013)



ภาพที่ A เปอร์เซ็นต์ความจุความชื้นสนามภายหลังนับจากวันที่ทำการให้น้ำ

อย่างไรก็ตามแม้ว่าที่การขาดน้ำ 7 วันจะมีค่า % field water capacity สูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบก่อนการทดลอง แต่เมื่อมีการปลูกข้าวในห้องปฏิบัติการที่มีปริมาตรดินน้อยกว่า (ประมาณ 4 กิโลกรัมต่อกระบะ) ร่วมกับการได้รับแสงในห้องปฏิบัติการ อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ดินเกิดการสูญเสียน้ำเร็วกว่าการศึกษาในโรงเรือนเบื้องต้น

ด้วยเหตุนี้ เมื่อสังเกตจากการม้วนใบของข้าวทำให้ต้องร่นระยะเวลาในการให้น้ำในการศึกษาในห้องปฏิบัติการ (การทดลองที่ 2) เป็นการให้น้ำทุก 1, 4, และ 7 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ การขาดน้ำของพืชนอกจากพิจารณาค่าปริมาณน้ำที่เทียบจากค่า field capacity ของดินและค่า RWC ของใบแล้ว ยังสามารถเทียบกับระดับการม้วนของใบพืชที่แสดงอาการขาดน้ำเพราะสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในใบพืช (O'Toole and Moya, 1987) ซึ่งหาเป็นระดับที่แสดงอาการเหี่ยวระยะต้นๆ หรือระยะสั้นๆ แต่ใบยังไม่ตาย (Davatgar *et al*., 2009)

สำหรับการศึกษาในสภาพโรงเรือน (การทดลองที่ 3) เพื่อให้เกิดสภาวะขาดน้ำกับการปลูกข้าวจะมีการขาดน้ำเป็นระยะเวลา 13 วันในแต่ละรอบของการขาดน้ำ

หมายเหตุ: ข้อมูลผลการวิเคราะห์ดินปลูก

เนื้อดิน[6]	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
Sandy loam (ดินร่วนปนทราย)	70.97	20.43	8.60
PH (1:1)	Organic matter (%)[1]	ECe (dS/m)[2]	SAR[3]
6.39	0.93	0.92	0.22
ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)			
Phosphorus[4]	Potassium[5]	Calcium[5]	Megnesium5
5.18	83.09	88.31	69.98

1= Walkey and Black, 2 = Saturated extract, 3 = Na, Ca and Mg in saturated soil extract, 4 = Bray II extraction, Spectroscopy, 5 = NH_4OAc extraction, Atomic spectroscopy, 6 = Pipette method

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อน้ำหนักเมล็ดของข้าวนาสวนที่ปลูกในดินที่ขาดน้ำ

การทดลองโดยดำเนินการวิจัยในข้าวนาสวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ กข 31 และ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ข้าวพันธุ์ กข 31 เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 111 วัน สำหรับวิธีหว่านน้ำตม และประมาณ 118 วัน โดยวิธีปักดำ นิยมปลูกทั้งฤดูนาปรังและฤดูนาปี และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าที่ไวต่อช่วงแสง ออกดอกประมาณ 20 ตุลาคม และเก็บเกี่ยวประมาณ 20 พฤศจิกายนของทุกปี (วิไลภรณ์ ชนกนำชัย, ที่มา www. http://eto.ku.ac.th/neweto/e-book/plant/rice/rice105.pdf) นิยมปลูกในฤดูนาปี ทำการเลือกทั้งสองพันธุ์นี้เพื่อเป็นตัวแทนของข้าวนาปีและข้าวนาปรัง) ในการทดลองแต่ละการศึกษามีการวางแผนการทดลองแบบ 2x4 Factorial in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 4 กระถาง โดยประกอบด้วยอิทธิพลหลักสองปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่หนึ่ง ได้แก่ สภาวะการได้รับน้ำ ที่แตกต่างกัน 2 สภาวะ ในระยะการเติมเต็มเมล็ด ได้แก่

1. สภาวะการได้น้ำปกติ
2. สภาวะการขาดน้ำ

ปัจจัยศึกษาที่ 2 คือ การให้กรดอินโดลแอซีติกที่ผลิตจากแบคทีเรีย RD4-1-1 ที่ความความเข้มข้นที่แตกต่าง 4 ความเข้มข้น ได้แก่

1. 0 µM RD4-1-1 IAA (กลุ่มควบคุม)
2. 0.25 µM RD4-1-1 IAA
3. 2.5 µM RD4-1-1 IAA
4. 25 µM RD4-1-1 IAA

ทำการศึกษา 4 ซ้ำ ซ้ำละ 4 กระถาง กระถางละ 4 ต้น ขนาดกระถางเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 25 เซนติเมตร ใส่ดิน 15 กิโลกรัมต่อกระถาง ทำการศึกษาแยกพันธุ์ปลูก สำหรับวิธีการให้น้ำ มีดังนี้

ดำเนินการให้น้ำแบบปกติ ไม่ให้เกิดการขาดน้ำกับข้าวที่ปลูกจนเข้าสู่ระยะออกดอก เมื่อข้าวมีการผสมเสร็จสิ้นแล้ว และอยู่ระหว่างระยะเติมเต็มเมล็ด สำหรับทรีตเมนต์ขาดน้ำ ดำเนินการ ดังนี้

1) ทำการขาดน้ำให้ข้าวเป็นเวลา 13 วัน (ขาดน้ำรอบที่หนึ่ง)
2) จากนั้นเริ่มพ่นฮอร์โมนครั้งที่ 1 ตามทรีตเมนต์

3) หลังการให้ฮอร์โมนปล่อยให้ข้าวขาดน้ำอีกเป็นระยะเวลา 3 วัน แล้วจึงให้น้ำในระดับต่ำ (1 ลิตร)
4) เริ่มทำการขาดน้ำอีกเป็นเวลา 13 วัน (ขาดน้ำรอบที่สอง)
5) จากนั้นทำการพ่นฮอร์โมนครั้งที่ 2 ตามทรีตเมนต์
6) หลังจากให้ฮอร์โมนปล่อยให้ข้าวขาดน้ำอีกเป็นระยะเวลา 3 วัน แล้วจึงให้น้ำในระดับต่ำ (1 ลิตร)
7) เริ่มทำการขาดน้ำอีกเป็นเวลา 13 วัน (ขาดน้ำรอบที่สาม)
8) จากนั้นทำการพ่นฮอร์โมนครั้งที่ 3 ตามทรีตเมนต์
9) หลังจากให้ฮอร์โมนปล่อยให้ข้าวขาดน้ำอีกเป็นระยะเวลา 3 วัน แล้วจึงให้น้ำในระดับต่ำ (1 ลิตร)
10) เก็บข้อมูลข้าว

การจัดสภาพการขาดน้ำอาศัยข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความจุความชื้นสนามภายหลังการนับจากวันที่ทำการให้น้ำ (ภาพที่ A) ร่วมกับการอาศัยสภาพของต้นข้าวในระหว่างการทดลองประกอบกัน

<u>บันทึกข้อมูล</u>

เก็บข้อมูลที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยการเปรียบเทียบน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก

หมายเหตุ: ดินที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นชุดดินเดียวกันกับการทดลองที่ 2 และใช้ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความจุความชื้นสนามภายหลังนับจากวันที่ทำการให้น้ำในภาพ A เพื่อการวางแผนการดำเนินการทดลอง

<u>การทดลองที่ 4</u> ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อความสูงและผลผลิตของข้าวนาสวนบางพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกกต่างกัน

การทดลองโดยดำเนินการวิจัยในแปลงเกษตรกร ทำการทดสอบผลการพ่นกรดอินโดลแอซีติกในนาข้าวนาสวน 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท1 พันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์กข 43 (แนวคิดของการทำการทดลองที่ 4 นี้ คือ การนำผลการทดลองตั้งแต่การทดลองที่ 1-3 มาใช้กับข้าวพันธุ์ที่เกษตรกรปลูกในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2561 ทั้งนี้ทั้งสามพันธุ์เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรที่ร่วมกันวิจัยเลือกปลูกในพื้นที่) ที่การพ่นสองระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ ระยะแตกกอและระยะการเติมเต็มเมล็ด ทั้งนี้ทำการทดลองแยกในแต่ละพันธุ์ แต่ละการศึกษามีการวางแผนการทดลองแบบ 2x2 Factorial in Randomize completed block design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยประกอบด้วยอิทธิพลหลักสองปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่หนึ่ง ได้แก่ สภาวะการได้รับการพ่นด้วยฮอร์โมนกรดอินโดลแอซีติก ที่ความเข้มข้น 2.5 µM IAA RD4-1-1 (การเตรียมฮอร์โมน IAA ที่ความเข้มข้น 2.5 µM เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการส่งเสริมการเจริญเติบโตภายใต้สภาพการขาดน้ำของข้าว ซึ่งเป็นผลมาจากการดำเนินการทดลองในสภาพเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและผลจากการศึกษาในปีที่ผ่านมา (จากรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง“อิทธิพลของกรดอินโดลแอซีติกที่ผลิตได้จากแบคทีเรียที่แยกได้จากข้าวไร่พื้นเมืองต่อการเจริญเติบโตของข้าว” ภายใต้แผนงานวิจัยเรื่อง “แบคทีเรียเอนโดไฟท์ผลิตกรดอินโดลแอซีติกที่แยกได้จากข้าวไร่พื้นเมืองและผลที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าว ”งบประมาณจาก โครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ปี 2560) พบว่าการใช้ IAA ที่ความเข้มข้น 2.5 µM ส่งผลต่อการมีความเร็วในการงอกสูงสุดในข้าวสองพันธุ์ที่ทำการศึกษาในข้าว กข 31 และ กข 41 ในการทดลองที่ 1และ 2 รวมทั้งข้อมูลน้ำหนักเมล็ดในการทดลองที่ 3) ที่แตกต่างกัน 2 สภาวะ ได้แก่

1. สภาวะการได้การพ่น
2. สภาวะการไม่ได้รับการพ่น

ปัจจัยศึกษาที่ 2 คือ ระยะการเจริญเติบโตของข้าวที่ได้รับการพ่นด้วยฮอร์โมนกรดอินโดลแอซีติก

1. ระยะแตกกอ (tillering)
2. ระยะเติมเต็มเมล็ด (filling grain)

ดำเนินการวิจัย ณ แปลงเกษตรกร ตำบลทับใต้ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ - มิถุนายน 2561

ทำการศึกษา 3 ซ้ำ พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิต 4x5 ตารางเมตร ทำการปลูกโดยการแช่เมล็ดข้าวเปลือก 1 คืน แล้วทำการบ่มจนเมล็ดงอกตุ่ม 1 คืน จากนั้นทำการหว่านในแปลงนา อัตรา 1 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับการให้น้ำดำเนินการโดยการปล่อยน้ำเข้าแปลงนาตามกรรมวิธีของเกษตรกร โดยการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำของเกษตรกร

<u>แปลงที่ได้รับน้ำปกติ ดินปกติ (แปลงที่ 1)</u>

พันธุ์ชัยนาท 1 ระยะแตกกอ ทำการพ่น 3 ครั้ง เมื่อ 36, 50, 61 วันหลังการหว่านเมล็ด
พันธุ์ชัยนาท 1 ระยะเติมเต็มเมล็ด ทำการพ่น 1 ครั้ง เมื่อ 75 วันหลังการหว่านเมล็ด
พันธุ์ปทุมธานี 1 ระยะแตกกอ ทำการพ่น 3 ครั้ง เมื่อ 36, 50, 61 วันหลังการหว่านเมล็ด
พันธุ์ปทุมธานี 1 ระยะเติมเต็มเมล็ด ทำการพ่น 1 ครั้ง เมื่อ 75 วันหลังการหว่านเมล็ด
พันธุ์กข 43 ระยะแตกกอ ทำการพ่น 3 ครั้ง เมื่อ 36, 50, 61 วันหลังการหว่านเมล็ด

[พันธุ์ กข 43 เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง มีอายุปลูกถึงเก็บเกี่ยวค่อนข้างสั้น คือประมาณ 95 วัน แต่เกษตรกรเริ่มนิยมปลูกเพราะเป็นพันธุ์ที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าพันธุ์อื่น ๆ และการมีอายุเก็บเกี่ยวสั้นทำให้ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยวค่อนข้างสั้น คือประมาณ 1 เดือน ทำให้ตัดสินใจทำการทดลองเฉพาะการพ่นระยะแตกกอ (ระยะเวลาประมาณ 2 เดือน) ขณะที่อีกสองพันธุ์ คือพันธุ์ชัยนาท เป็นข้าวเจ้าไม่ไวแสง มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 121-30 วัน และพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 104-126 วัน]

<u>แปลงที่ได้รับน้ำน้อยและดินเป็นด่าง (แปลงที่ 2)</u>

พันธุ์ปทุมธานี 1 ระยะแตกกอ ทำการพ่น 3 ครั้ง เมื่อ 20, 34, 45 วันหลังการหว่านเมล็ด
พันธุ์ปทุมธานี 1 ระยะเติมเต็มเมล็ด ทำการพ่น 1 ครั้ง เมื่อ 75 วันหลังการหว่านเมล็ด

(แปลงที่ 2 ของเกษตรกรรายที่ให้ความอนุเคราะห์มีพื้นที่ขนาดเล็ก เกษตรกรจึงปลูกเพียงพันธุ์เดียว ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาเพียงหนึ่งพันธุ์)

ทำการเก็บผลผลิตตามอายุเก็บของแต่ละพันธุ์ ดังนี้ พันธุ์ชัยนาทเก็บเมื่อข้าวอายุประมาณ 100 วันหลังการหว่านเมล็ด พันธุ์ปทุมธานี 1 เก็บเมื่อข้าวอายุประมาณ 116 และ 113 วันหลังการหว่านเมล็ด สำหรับแปลงที่ดินปกติ (แปลงที่ 1) และดินเป็นด่าง (แปลงที่ 2) ตามลำดับ สำหรับพันธุ์กข 43 อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 89 วันหลังการหว่านเมล็ด

<u>บันทึกข้อมูล</u>

1) เปรียบเทียบความสูงต้นข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว
2) เปรียบเทียบผลผลิตของข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้โปรแกรม R (R Core Team, 2018)

5. สถานที่ดำเนินการวิจัย ทดลอง และเก็บข้อมูล

ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อชั้น 2 ห้องปฏิบัติการชั้น 3 และโรงเรือนปลูกพืช คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร เขตสารสนเทศเพชรบุรี

แปลงปลูกข้าวนาสวน ของเกษตรกร ตำบลทับใต้ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

6. ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ระหว่างเดือน เมษายน 2561 - มกราคม 2562

บทที่ 4

ผลดำเนินการและการอภิปรายผล

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวในสภาวะจำลองของการขาดน้ำ

หมายเหตุ กิจกรรมการศึกษานี้ดำเนินการโดยการเพาะเลี้ยงในวัสดุปลูกคือวุ้นใสเพื่อให้สามารถมองเห็นการงอกและการยืดตัวของเยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) ของข้าว เนื่องจากส่วนของเยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) จะปรากฏในระยะ S1 และมีการยืดพ้นเมล็ดข้าวประมาณระยะ S3 ก่อนที่ข้าวจะโผล่ใบแรก (primary leaf) นั้นเป็นระยะแรกของการงอกเมล็ด (seed germination) หลังการเพาะ ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สั้นและขนาดของเยื่อหุ้มยอดอ่อนมีขนาดเล็ก ด้วยเหตุนี้ การศึกษาในดินหรือในทรายจะสังเกตได้ยากมากเนื่องจากระยะตั้งแต่ SO (Dry, unimbibed seed), S1 (Emergence of coleoptile), S2 (Emergence of radicle) จะยังอยู่ใต้ดินหรือวัสดุปลูก แต่สำหรับ S3 (Emergence of prophyll from coleoptile) อาจสามารถเห็นได้และบันทึกได้ในวันแรกของการโผล่พ้นดินหรือวัตถุปลูกในห้องปฏิบัติการ (Moldenhauer *et al*., 2012) ด้วยเหตุนี้ การวัดผลสามารถประเมินลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการงอก (germination) ได้

ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าว พันธุ์ กข 31 แสดงในตารางที่ 1.1-1.6 และภาพที่ 1.1 เปอร์เซ็นต์ PEG ส่งผลกระทบต่อ 3 ใน 6 ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการงอก (ตารางที่ 1.1) ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การงอก (GP) ดัชนีความเร็วในการงอก (SGI) และดัชนีความแข็งแรงของต้นอ่อน (VI) ขณะที่ปัจจัยการความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ส่งผลต่อต้นอ่อนของข้าวพันธุ์ กข 31 ในทุกลักษณะที่ศึกษา (5 ลักษณะ) (ตารางที่ 1.1) ได้แก่ ความยาวส่วนยอด (SL) ความยาวส่วนราก (RL) น้ำหนักแห้งส่วนยอด (SDW) น้ำหนักแห้งส่วนราก (RDW) และสัดส่วนน้ำหนักแห้งส่วนยอดและส่วนราก (SDW/RDW ratio) โดยการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ PEG จะทำให้ลักษณะต่าง ๆ ลดลง โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงข้าวบนอาหารที่มีระดับเปอร์เซ็นต์ 20% PEG (ตารางที่ 1.1-1.6)

การเพิ่มเปอร์เซ็นต์ PEG พบว่าลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อพิจารณาจากการค่าเฉลี่ยที่ศึกษาจากระดับควบคุม (0% PEG) ไปที่ระดับ 10% PEG ได้แก่ ดัชนีความเร็วในการงอก (ตารางที่ 1.1)

อย่างไรก็ตามการใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แม้จะช่วยเพิ่มค่าลักษณะต่าง ๆ แต่ลักษณะที่เกี่ยวกับการงอกที่แสดงความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ทำการแช่เมล็ดด้วยน้ำเปล่า ได้แก่ ดัชนีความแข็งแรง พบว่าการแช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติกความเข้มข้น 25 µM และ 50 µM ส่งผลต่อความแข็งแรงของต้นอ่อนสูงที่สุด ตามลำดับ (ตารางที่ 1.1 และ 1.6) ขณะที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนพบ 4 ใน 5 ลักษณะ ได้แก่ ความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักแห้งส่วนยอด น้ำหนักแห้งส่วนราก และสัดส่วนน้ำหนักแห้งส่วนยอดและส่วนราก เช่นเดียวกับดัชนีความแข็งแรงของต้นอ่อนที่พบว่า การใช้ กรดอินโดลแอซีติกความเข้มข้น 25 µM และ 50 µM ส่งผลต่อลักษณะต่าง ๆ สูงที่สุด ตามลำดับ ยกเว้นการวิเคราะห์สัดส่วนน้ำหนักแห้งส่วนยอดและส่วนรากที่พบว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่มีการใช้กรดอินโดลแอซีติกในการแช่เมล็ดส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด

ทั้งนี้พบปฏิกิริยาร่วมระหว่างเปอร์เซ็นต์ PEG และการใช้กรดอินโดลแอซีติกในลักษณะความแข็งแรงของต้นอ่อนและทุกลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน (ยกเว้นลักษณะน้ำหนักแห้งส่วนราก) (ตารางที่ 1.1)

หากพิจารณาที่ลักษณะดังกล่าวแล้วพบว่าสำหรับดัชนีความแข็งแรงของต้นอ่อน การใช้กรดอินโดลแอซีติกสามารถเพิ่มความแข็งแรงของต้นอ่อนเฉพาะที่ระดับ 0% และ 10% PEG เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ PEG เป็น 20% (-0.49 MPa) อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของการใช้กรดอินโดลแอซีติกตามความเข้มข้นที่ศึกษาโดยการแช่เมล็ด โดยที่ 0% PEG การใช้กรดอินโดลแอซีติกสามารถเพิ่มความแข็งแรงต้นอ่อนได้ (เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม) เฉพาะการใช้ 25 µM และ 50 µM แต่เมื่อเพิ่มเป็น 10% PEG การใช้กรดอินโดลแอซีติกทั้งสามความเข้มข้น ได้แก่ 2.5 µM , 25 µM และ 50 µM หรือมองในภาพรวมแล้วทั้ง 0% และ 10% PEG การใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ความเข้มข้น 25 µM และ 50 µM ส่งผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงต้นอ่อนสูงที่สุด (ตารางที่ 1.2)

ทั้งนี้ดัชนีความแข็งแรงของต้นอ่อนเป็นลักษณะที่ใช้ทั้งเปอร์เซ็นต์การงอกและความสูงของต้นอ่อนในการประเมินความแข็งแรง แต่เนื่องด้วยเปอร์เซ็นต์การงอกไม่พบปฏิกิริยาร่วมระหว่างสองปัจจัย แต่พบปฏิกิริยาดังกล่าวในลักษณะความยาวส่วนยอด (ตารางที่ 1.3) ทั้งนี้ผลการศึกษาในความยาวส่วนยอดสอดคล้องกับความแข็งแรงต้นอ่อนที่การใช้กรดอินโดลแอซีติกสามารถเพิ่มความแข็งแรงของต้นอ่อนเฉพาะที่ระดับ 0% และ 10% PEG เท่านั้น โดยที่ 0% PEG การใช้กรดอินโดลแอซีติกสามารถเพิ่มความแข็งแรงต้นอ่อนได้ (เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม) เฉพาะการใช้ 25 µM และ 50 µM แต่เมื่อเพิ่มเป็น 10% PEG การใช้กรดอินโดลแอซีติกทั้งสามความเข้มข้น ได้แก่ 2.5 µM , 25 µM และ 50 µM หรือมองในภาพรวมแล้วทั้ง 0% และ 10% PEG การใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ความเข้มข้น 25 µM และ 50 µM ส่งผลต่อการเพิ่มความยาวส่วนยอดสูงที่สุด

จากการพิจารณาข้อมูลนัยสำคัญทางสถิติระหว่างความยาวส่วนยอด (ตารางที่ 1.3) และน้ำแห้งส่วนยอด (ตารางที่ 1.5) พบความสัมพันธ์ทั้งสองลักษณะที่สอดคล้องกัน ทั้งนี้ การใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ความเข้มข้น 25 µM และ 50 µM ให้ผลสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมทั้งที่ระดับ 0% และ 10% PEG และสำหรับ 10% PEG พบว่าการใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ 2.5 µM สามารถส่งเสริมการเพิ่มน้ำหนักแห้งส่วนยอดเช่นกัน แต่สิ่งที่แตกต่างจากความยาวยอดคือที่กรดอินโดลแอซีติกที่ 100 µM พบว่าสามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งส่วนยอดเช่นกันแม้ว่าจะมีความยาวยอดที่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 1.3)

สำหรับความยาวส่วนราก (ตารางที่ 1.4) พบความแตกต่างจากความยาวส่วนยอดที่ระดับความเข้มข้นการใช้กรดอินโดลแอซีติกที่เหมาะสมที่ 0% และ 10% PEG แตกต่างกันเล็กน้อย โดยการใช้ที่ 0% PEG การใช้กรดอินโดลแอซีติกความเข้มข้น 2.5 µM, 25 µM และ 50 µM สามารถเพิ่มความยาวรากได้เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ทำการแช่ด้วยน้ำกลั่น ขณะที่ระดับ 10% PEG ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่สามารถเพิ่มความยาวรากได้มีสองความเข้มข้น ได้แก่ 25 µM และ 100 µM แต่ที่ระดับ 20% PEG ไม่พบความแตกต่างของการใช้หรือไม่ใช้กรดอินโดลแอซีติกในการแช่เมล็ด

การเปรียบเทียบสัดส่วนน้ำหนักแห้งส่วนยอดและส่วนราก (ตารางที่ 1.6) ที่ระดับการใช้ PEG ที่ 0% และ 20% PEG กลุ่มควบคุมหรือไม่มีการแช่ด้วยกรดอินโดลแอซีติกมีค่าสูงเมื่อเทียบกับความเข้มข้นอื่น ๆ ขณะที่กลุ่มที่ใช้ 25 µM และ 50 µM ซึ่งพบว่ามีความแข็งแรงและน้ำหนักแห้งของส่วนยอดมีค่าต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่าการใช้ฮอร์โมนกลุ่มออกซินมีผลต่อการสร้างน้ำหนักส่วนรากในสัดส่วนที่มีความสำคัญทัดเทียมกัน (ตารางที่ 1.4

และ 1.6) และค่าสัดส่วนใกล้เคียงกับการใช้ในความเข้มข้นฮอร์โมนดังกล่าวที่ระดับ 10% PEG สำหรับที่ 20% PEG แม้จะไม่พบความแตกต่างของการใช้ฮอร์โมนทั้งน้ำหนักสดส่วนยอดและส่วนรากแต่เมื่อนำมาเทียบสัดส่วนแล้ว การจัดระดับความแห้งแล้งสุดให้แก่ข้าว การใช้ฮอร์โมนที่ระดับต่ำ คือ ระหว่างกลุ่มควบคุมถึง 25 μM พบค่าสัดส่วนค่อนข้างสูง นั้นอาจหมายถึงการเพิ่มความแห้งแล้งที่ระดับ PEG ที่สูงขึ้นอาจส่งผลต่อรากเป็นลำดับแรก ๆ ในระยะต้นอ่อน

ทั้งนี้ที่ระดับการใช้ PEG 30% ไม่พบการงอกของเมล็ดข้าวพันธุ์ กข 31 ในทุกความเข้มข้นของการใช้กรดอินโดลแอซีติกและการแช่ด้วยน้ำเปล่า ด้วยเหตุนี้จึงไม่ได้นำมาวิเคราะห์สถิติสำหรับลักษณะอื่น ๆ ยกเว้นเปอร์เซ็นต์การงอก

ภาพที่ 1.1 แสดงลักษณะของต้นอ่อนที่เพาะบนอาหารที่มีการใช้ความเข้มข้น PEG ที่ระดับต่าง ๆ พบว่าการใช้ 20% PEG ส่งผลต่อการงอกทั้งส่วนยอดและรากอย่างชัดเจน แต่พบว่าการใช้ฮอร์โมนกรดอินโดลแอซีติกที่เพิ่มสูงขึ้นมีแนวโน้มในการเพิ่มส่วนราก ขณะที่ระดับ 0% PEG และ 10% PEG การใช้กรดอินโดลแอซิติกมีแนวโน้มเพิ่มลักษณะรากและยอดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่แช่ด้วยฮอร์โมนดังกล่าว แต่ที่ 0% PEG ที่ 2.5 μM ถึง 50 μM ของการใช้ฮอร์โมนมีลักษณะต้นอ่อนที่เพิ่มทั้งส่วนยอดและราก ขณะที่เมื่อเพิ่มเป็น 10% PEG ที่ 2.5 μM ถึง 100 μM มีแนวโน้มในการเพิ่มลักษณะส่วนยอดและราก

ทั้งนี้ที่ระดับการใช้ PEG 30% ไม่พบการงอกของเมล็ดข้าวพันธุ์ กข 31 ในทุกความเข้มข้นของการใช้กรดอินโดลแอซีติกและการแช่ด้วยน้ำเปล่า ด้วยเหตุนี้จึงไม่ได้นำมาวิเคราะห์สถิติสำหรับลักษณะอื่น ๆ ยกเว้นเปอร์เซ็นต์การงอก

สำหรับพันธุ์ กข 41 ได้แสดงผลการวิเคราะห์สถิลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าว ในตารางที่ 1.7-1.15 และภาพที่ 1.2 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ PEG ส่งผลต่อลักษณะการงอกทุกลักษณะ (GP, SGI, MTG, GR, CG และ VI) (ตารางที่ 1.7) และส่งผลกระทบต่อต้นอ่อนทุกลักษณะ (ยกเว้นค่าอัตราส่วนน้ำหนักแห้งส่วนยอดต่อส่วนราก) (ตารางที่ 1.7)

การเพิ่มเปอร์เซ็นต์ PEG จะทำให้ค่าต่าง ๆ เหล่านี้ลดลง ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การงอก ดัชนีความเร็วในการงอก อัตราการงอก สัมประสิทธิ์การงอก และความแข็งแรงการงอก แต่ทำให้เวลาที่ใช้ในการงอกเพิ่มขึ้น แต่ลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อพิจารณาจากการค่าเฉลี่ยที่ศึกษาจากระดับควบคุม (0% PEG) ไปที่ระดับ 10% PEG ได้แก่ สัมประสิทธิ์การงอกและความแข็งแรงของต้นอ่อน ซึ่งแตกต่างกับลักษณะที่พบในข้าวพันธุ์ กข 31 แต่ทั้งนี้ระดับ 20% PEG เป็นระดับความแห้งแล้งที่กระทบต่อทุกลักษณะซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับข้าวพันธุ์ กข 31 (ตารางที่ 1.7)

การใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ส่งผลกระทบต่อทุกลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการงอก (ตารางที่ 1.7) และสามลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ได้แก่ ความยาวส่วนยอด ความยาวส่วนราก และน้ำหนักแห้งส่วนราก (ตารางที่ 1.7) โดยเฉลี่ยการใช้กรดอินโดลแอซีติกส่งผลต่อการเพิ่มค่าในบางลักษณะสำหรับบางความเข้มข้น ได้แก่ สัมประสิทธิ์การงอก ความแข็งแรงของต้นอ่อน ความยาวส่วนยอด และความยาวส่วนราก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างการใช้ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและเปอร์เซ็นต์ PEG

เมื่อพิจารณาทีละลักษณะที่พบปฏิกิริยาร่วมดังกล่าวแล้ว พบว่า สำหรับเปอร์เซ็นต์การงอก อัตราการงอก และเวลาที่ใช้ในการงอก การใช้กรดอินโดลแอซีติกจะไม่สามารถเพิ่มค่าหรือลดเวลาการงอกได้ แต่กลับจะยิ่งทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกและอัตราการงอกลดลงหรือเพิ่มเวลาในการงอกขึ้น เมื่อมีการใช้ฮอร์โมนในความเข้มข้นสูง เช่น 50 µM และ 100 µM แม้จะปลูกในสภาวะขาดน้ำที่สูงคือ 20% PEG ก็ตาม (ตารางที่1.8 และ ตารางที่ 1.10-1.11) ขณะที่บางลักษณะสามารถเพิ่มค่าได้ในบางระดับของการใช้ PEG ได้แก่ สัมประสิทธิ์การงอก (จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ความเข้มข้น 2.5 µM และ 25 µM สำหรับการเพาะที่ 0% PEG และการใช้ฮอร์โมนที่ 2.5 µM และ 50 µM ที่การเพาะเลี้ยงบนอาหาร 10% PEG) (ตารางที่ 1.12) ลักษณะดัชนีความแข็งแรงของต้นอ่อน (จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ความเข้มข้น 2.5 µM ถึง 100 µM สำหรับการเพาะที่ 0% PEG และการใช้ฮอร์โมนที่ 2.5 µM ที่การเพาะเลี้ยงบนอาหาร 10% PEG) (ตารางที่ 1.13) ความยาวส่วนยอด (จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ความเข้มข้น 2.5 µM ถึง 50 µM สำหรับการเพาะที่ 0% PEG) (ตารางที่ 1.14) ความยาวส่วนราก จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ความเข้มข้น 2.5 µM และ 25 µM สำหรับการเพาะที่ 0% PEG และการใช้ฮอร์โมนที่ 2.5 µM ที่การเพาะเลี้ยงบนอาหาร 10% PEG) (ตารางที่ 1.15) จากการศึกษาลักษณะต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ กข 41 อาจกล่าวได้ว่าการใช้ฮอร์โมนประมาณ 2.5 µM ถึง 50 µM สามารถเพิ่มลักษณะการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนได้ที่การเพาะเลี้ยงบน 0% PEG ขณะที่การเพาะเลี้ยงบน 10% PEG อาจสามารถใช้ฮอร์โมนได้ในช่วงที่แคบลงประมาณ 2.5 µM ขณะที่เมื่อเพิ่มอาหารเพาะเลี้ยงเป็น 20% PEG การใช้กรดอินโดลแอซีติกไม่สามารถเพิ่มลักษณะได้ แต่การใช้ฮอร์โมนที่ความเข้มข้นสูง ได้แก่ แก่ 50 µM และ 100 µM กลับส่งผลกระทบทางลบต่อลักษณะต่าง ๆ

ซึ่งเมื่อพิจารณาการตอบสนองต่อกรดอินโดลแอซีติกของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่มีการเพาะเลี้ยงบนอาหารที่มีเปอร์เซ็นต์ PEG ที่แตกกต่าง อาจกล่าวได้ว่า การใช้กรดอินโดลแอซีติกสามารถเพิ่มค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ได้ตั้งแต่ที่ 0% PEG แต่พันธุ์ กข 41 สามารถใช้ฮอร์โมนได้ในช่วงที่กว้างกว่า (ตั้งแต่ 2.5 µM ถึง 50 µM) เมื่อเทียบกับพันธุ์ กข 31 (ตั้งแต่ 2.5 µM ถึง 50 µM) แต่ที่สอดคล้องกันคือการใช้ที่ 25 µM และ 50 µM ส่งผลดีที่สุดตามลำดับ ขณะที่ 10% PEG พบความแตกต่างของการตอบสนองในข้าวแต่ละพันธุ์ โดยพันธุ์ กข 41 ตอบสนองต่อฮอร์โมนดังกล่าวในช่วงที่แคบและความเข้มข้นต่ำกว่า (เฉพาะ 2.5 µM) ขณะที่พันธุ์ กข 31 ส่วนใหญ่ลักษณะต่าง ๆ จะตอบสนองคล้ายกับที่ระดับ 0% PEG คือการใช้ฮอร์โมนที่ 25 µM และ 50 µM ส่งผลดีที่สุด ตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่าพันธุ์ กข 41 น่าจะมีความสามารถในการทนแล้งและตอบสนองต่อฮอร์โมนกรดอินโดลแอซีติกได้ต่ำกว่าพันธุ์ กข 31 ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเป็นเพาะการตอบสนองต่อการใช้ฮอร์โมนนี้จะชะงักเมื่อทำการเพาะเลี้ยงบนอาหารที่มีเปอร์เซ็นต์ของ PEG เท่ากับ 20%

จากภาพที่ 1.2 พบว่าการตอบสนองต่อการใช้กรดอินโดลแอซีติกต่ำกว่าพันธุ์ กข 31 การใช้เพียง 10% PEG ก็กระทบต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนโดยภาพรวม และการใช้ฮอร์โมนดังกล่าวส่งเสริมการงอกได้ค่อนข้างน้อย ยกเว้นการใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ความเข้มข้นระดับต่ำคือ 2.5 µM ที่ 10% PEG เพียงเท่านั้น

เช่นเดียวกันกับพันธุ์ กข 31 ที่พบว่าการใช้ PEG 30% ไม่พบการงอกของเมล็ดข้าวในทุกความเข้มข้นของการใช้กรดอินโดลแอซีติกและการแช่ด้วยน้ำเปล่า ด้วยเหตุนี้จึงไม่ได้นำมาวิเคราะห์สถิติเช่นเดียวกัน

จากผลการศึกษาในการทดลองที่ 1 นี้ เป็นการศึกษาอิทธิพลของการใช้กรดอินโดลแอซีติกภายใต้การเพาะเลี้ยงบนอาหารที่มีระดับการใช้ PEG-6000 ที่แตกต่างกัน (0, 10, 20% PEG) ที่ส่งผลต่อสมดุลของค่าศักย์

ออสโมติก (osmotic potential) (เท่ากับ 0, -0.15 และ -0.49 MPa สำหรับ 0, 10, 20% PEG ตามลำดับ) ขณะที่ไม่พบการงอกที่ 30% PEG-6000 หรือที่ -1.03 MPa แสดงว่าระดับดังกล่าวจะส่งกระทบต่อการงอกอย่างรุนแรง ทั้งนี้เป็นเพราะในระหว่างที่เมล็ดงอกอัตราการดูดน้ำของเมล็ด (seed imbibiton) และอัตราการงอกของเมล็ดจะมีค่าลดลงเมื่อค่าศักย์ของดินมีค่าลดลงแต่ทั้งนี้ระดับของความชื้นที่เมล็ดต้องการเพื่อการงอกจะมีความจำเพาะกับพืชแต่ละสปีชีส์ (Hadas and Russo, 1974; Evens and Etherington, 1990) การเปลี่ยนแปลงน้ำในดิน (หรือในวัสดุเพาะเลี้ยง) จึงกระทบทั้งค่า matric potential, soil-solution potential ซึ่งต่างเป็นองค์ประกอบของค่าศักย์น้ำในดิน และมีผลโดยต่อการส่งผ่านน้ำไปยังเมล็ดเพื่อใช้ในการงอก การมีค่า matric potential ลดลงเล็กน้อยแต่เมล็ดยังสามารถงอได้ แสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่มีต่อการยืดระยะการดูดน้ำของเมล็ดและส่งผลต่อการงอกซึ่งอาจหมายถึงเวลาที่ใช้ในการงอกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

การงอกของเมล็ดพืชจะสามารถงอกได้ในดินที่มีค่า matric potential ในช่วงตั้งแต่ field capacity ไปถึง permanent wilting potential แต่ทั้งนี้การงอกของเมล็ดต่างๆ ขึ้นกับพืชแต่ละสปีชีส์เพราะการงอกจะมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการปลูกตามธรรมชาติ โดยพบว่าเมล็ดชนิดที่มีการปลูกในพื้นที่เปียกหรือชื้นจะไม่สามารถงอกได้ในดินที่มีศักย์น้ำต่ำ แต่เมล็ดของพืชชนิดที่มีพฤติกรรมหรือมีพื้นที่อาศัยที่แล้งจะสามารถงอกได้แม้ในดินที่แห้ง ได้แก่ ประมาณ -1.0 MPa และในบางชนิดงอกได้ที่ -1.5 MPa แต่ก็ยังพบได้ว่ามีเมล็ดบางชนิดที่มีพื้นที่ปลูกในพื้นที่แห้งแต่ไม่สามารถงอกได้ในสภาพดินที่มีค่าศักย์ต่ำ ที่อาจเป็นเหตุผลในการหลบเลี่ยงการเจริญเติบโตในพื้นที่ไม่เหมาะสมของพืชเอง (Evens and Etherington, 1990) สำหรับเมล็ดที่งอกได้ระหว่างดินที่มีค่าศักย์ -1.0 ถึง 1.5 MPa เช่น เมล็ดออริกาโน (*Origanum vulgare*) ซึ่งมีการอธิบายพืชพวกนี้ว่าเป็น hydropedetic seed (Watt, 1974) หรือเป็นเมล็ดเช่นพืชตระกูลหญ้าที่อยู่ในสภาพแห้งและเมื่อได้รับความชื้นก็สามารถงอกได้โดยไม่สูญเสียความมีชีวิต (Watt, 1978) รวมทั้งเมล็ดเหล่านี้ยังสามารถดูดน้ำและมีเข้าสู่กระบวนการงอกดดยการทำให้บางส่วนแตกหักเช่นผิวหุ้มเมล็ด (seed coat) แต่ไม่มีการงอก (hydropedesis) อาจเป็นลักษณะของพืชที่อาศัยในผิวดินที่แห้งแล้งและจะสามารถเจริญเติบโตได้เร็วเมื่อได้รับฝน (Watt, 1974)

จากการสร้างสภาพแล้งสำหรับการงอกของข้าวพบว่าความแล้งแห้งก่อให้เกิดความเครียดกับพืช เนื่องจากพบการการลดลงของลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการงอก ความแข็งแรงของต้นอ่อน และความยอดและรากเช่นเดียวกันกับการศึกษาในผักกาดแก้ว (lettuce) (Duman, 2006)

ทั้งนี้การจัดสภาพแห้งให้พืชเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการโดยการจัดสภาพศักย์ออสโมติกเพื่อศึกษาการงอกของเมล็ด ทั้งนี้การใช้ PEG เป็นสารที่ได้รับความนิยมในการนำมาศึกษาเนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลสูงทำให้ไม่สามารถผ่านผนังเซลล์ได้ทำให้สามารถควบคุมค่าศักย์ของน้ำได้ (Ibrahim *et al*., 2001) และเป็นสาเหตุของการที่ผนังเซลล์ยุบตัวหรือเกิดความเสียหายเนื่องจากการสูญเสียความดันภายในเซลล์ (cytorrhysis) มากกว่าเกิดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการที่เซลล์ได้รับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงอย่างเดียว (plasmolysis) (Mohhammadkhani and Heidari, 2008) และการนำ PEG มาใช้เพื่อปรับสภาพศักย์ของน้ำให้ลดต่ำลงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมกว่าการใช้ mannitol เพราะ mannitol สามารถดูดใช้ได้ในพืชและสามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ (Verslues *et al*., 1998) ด้วยเหตุนี้ PEG จึงเป็นสารละลายที่ดีที่นำมาศึกษาความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำของพืชเพื่อทดแทนการศึกษาความเครียดจากการขาดน้ำในดินได้ (Van der Weele *et al*., 2000) ในการศึกษาครั้งนี้ระดับศักย์น้ำสูงสุดที่ใช้คือ -1.03 MPa ซึ่งอาจส่งผลต่อการ

งอกของเมล็ดข้าว เนื่องจากมีรายงานว่าค่าศักย์ระหว่าง -0.4 ถึงไม่เกิน -0.8 MP อาจเหมาะสมต่อการงอก เนื่องจากที่ระดับของศักย์น้ำดังกล่าวเมล็ดยังคงมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำเพื่อเริ่มต้นกระบวนการงอก (phase I and II) รวมทั้งส่งผ่านไปยังการเจริญเติบโตของเซลล์ราก (phase III) แต่อาจสามารถงอกได้หากมีค่าศักย์ของน้ำลดต่ำกว่า ~ -1 MPa (30% PEG 6000) สำหรับการศึกษาในข้าวโพดและเมล็ดของโลตัสทรี (*Ziziphus lotus*) (Khazayi *et al*., 2008; Mohhammadkhani and Heidari, 2008; Maraghni *et al*., 2010) ขณะที่การเพิ่มเปอร์เซ็นต์ PEG เป็น -1.76 MPa (40% PEG 6000) การงอกจะลดเป็น 0 เปอร์เซ็นต์ในข้าวโพด (Mohhammadkhani and Heidari, 2008) เนื่องจากการมีค่าศักย์ของน้ำที่ลดต่ำมากโดยเฉพาะระยะกำลังงอกจะส่งผลต่อการดูดน้ำและทำให้เมล็ดไม่สามารถงอกได้ (Braccini *et al*., 1996) แต่ทั้งนี้พบการศึกษาถึงระดับการใช้ 30% PEG ได้ค่อนข้างยากแต่สามารถพบได้ถึงการศึกษาระดับ 20% PEG-6000 เช่นกันและยังพบการงอกได้ในข้าวบาร์เลย์ (Hellal *et al*., 2018) โดยรายงานดังกล่าวพบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวบาร์เลย์ลดลงประมาณ 30% เมื่อเพิ่มระดับการใช้ PEG จาก 10% ไปเป็น 20% และการเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมพบว่าการงอกจะลดลง 25 และ 57.7 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการใช้ 10% และ 20% PEG สำหรับการศึกษาการงอกของข้าวพบว่าการใช้ PEG 6000 ที่ระดับศักย์น้ำ -0.30 ถึง -0.49 mMPa จะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอก แต่ที่ -0.60 MPa จะไม่พบการงอกของข้าว (Pant and Bose, 2016) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพืชต่างชนิดมีความสามารถในการงอกในสภาพความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำได้แตกต่างกัน

จากการศึกษาในข้าวทั้งสองพันธุ์ ผลกระทบของการขาดน้ำจะเริ่มต้นที่การใช้ 10% PEG ขึ้นไปแต่ได้รับผลกระทบต่อการงอกจากการประเมินลักษณะต่าง ๆ อย่างรุนแรง ตั้งแต่ที่ 20% PEG เป็นต้นไป ทั้งนี้พันธุ์ กข 41 ได้รับผลกระทบที่แสดงให้เห็นความแตกต่างทางสถิติกับกลุ่มควบคุมตั้งแต่ที่ระดับ 10% PEG แสดงให้เห็นว่าพันธุ์ กข 41 น่าจะมีความอ่อนไหวต่อการขาดน้ำมากกว่าพันธุ์ กข 31 ซึ่งพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมต่างมีปฏิสัมพันธ์ต่อการแสดงออก รูปร่างลักษณะของพืชผ่านการทำงานของฮอร์โมน (Zhang *et al*., 2009c)

ทั้งนี้โดยการเฉลี่ยของทุกความเข้มข้นของการใช้กรดอินโดลแอซีติกต่อลักษณะต่าง ๆ ในข้าวทั้งสองพันธุ์พบว่าที่ระดับ 10% PEG มีค่าต่าง ๆ เท่าเทียมและบางลักษณะสูงกว่าการศึกษาที่ระดับ 0% PEG จึงอาจมีความเป็นไปได้ที่การใช้ฮอร์โมนกรดอินโดลแอซีติกนี้จะส่งผลชัดเจนต่อการงอกเมื่อข้าวเริ่มเกิดอาการขาดน้ำระหว่างการงอกของเมล็ด หรืออาจกล่าวได้ว่าการเสริมกรดอินโดลแอซีติกในระดับที่ข้าวยังไม่เกิดความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำจะส่งผลในการส่งเสริมการงอกได้น้อยกว่าเมื่อพืชเกิดการขาดน้ำนั่นเอง ขณะที่การใช้ฮอร์โมนดังกล่าวนี้ไม่เห็นผลที่ระดับ 20% PEG (-0.49 MPa) สำหรับในข้าว การที่สมดุลของฮอร์โมนออกซินถูกรบกวนจะส่งผลต่อหลายลักษณะ (pleiotropic abnormalities) ส่งผลต่อการแสดงออกลักษณะต่าง ๆ ของพืช รวมทั้งการถูกรบกวนของการมีระดับกรดอินโดลแอซีติกด้วย (Yamamoto *et al*., 2007; Zhang *et al*., 2009b) ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของระดับกรดอินโดลแอซีติกในพืชขณะถูกรบกวนด้วยความเครียดมีความซับซ้อนทั้งการมีปริมาณลดลงเมื่อพืชขาดน้ำ (Pustovoitova and Zholkevich, 1992) และการปรับให้มีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อให้สามารถทนต่อสภาวะความเครียดได้ (Zholkevich and Pustovoitova, 1993) ด้วยเหตุนี้ ระดับความเครียด สมดุลของกรดอินโดลแอซีติกที่เปลี่ยนแปลงไป และปริมาณที่เสริมจากภายนอก จึงอาจมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนไปด้วยเช่นเดียวกัน

ความแห้งแล้งเป็นปัญหาสำคัญและการงอกเป็นระยะหนึ่งที่อ่อนแอต่อความเครียดเนื่องจากความแห้งแล้ง (Bayoumi *et al*., 2008) แต่ขณะเดียวกันการงอกก็ถูกควบคุมโดยฮอร์โมนและสิ่งแวดล้อม (Finch Savage

et al., 2001) ด้วยเหตุนี้ การศึกษาการใช้กรดอินโดลแอซีติกจึงส่งผลต่อลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการงอกและความแข็งแรงในการงอกแม้จะพบนัยสำคัญทางสถิติที่บางความเข้มข้นรวมทั้งพบผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญของการใช้ฮอร์โมนที่บางระดับการใช้ PEG ก็ตาม ขณะที่ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการสร้างยอดและราก ได้แก่ ความยาวและน้ำหนักแห้งที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความแห้งแล้งนั้นเพราะส่งผลกระทบต่อการแบ่งเซลล์และกระบวนการยืดยาว (Shahriari and Hassan Panah, 2005) ทั้งนี้มีการแช่เมล็ดก่อนการวางเลี้ยงในจานเพาะเลี้ยงที่มีวุ้นและสารละลาย PEG ในภายหลัง ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดจึงอาจได้รับผลกระทบน้อย แต่ส่งผลต่อลักษณะภายหลังการงอกที่การขาดน้ำจะกระทบต่อการดูดน้ำของเซลล์และส่งผลต่อการเต่งของเซลล์ที่ไปมีผลต่อการขยายของเซลล์ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ช้าลงหรือหยุดชะงักได้ (Hellal *et al*., 2018)

ผลการศึกษาพบว่าการใช้กรดอินโดลแอซีติกสามารถให้ผลเชิงบวกต่อลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการงอกได้ระหว่าง 2.5-50 µM แต่ให้ผลดีที่สุดที่ 25-50 µM สำหรับพันธุ์ กข 31 ขณะที่พันธุ์ กข 41 ระดับที่เหมาะสมสำหรับการใช้อยู่ที่ 2.5 µM ซึ่งมีช่วงที่เหมาะสมต่อการใช้แคบกว่าพันธุ์ กข 31 จึงอาจกล่าวได้ว่าพันธุ์ กข 31 ตอบสนองต่อการใช้กรดอินโดลแอซีติกมากกว่าในระหว่างการขาดที่ข้าวเกิดปัญหาการขาดน้ำนั่นเอง การตอบสนองต่อทั้งการใช้ความเข้มข้นของกรดอินโดลแอซีติกในการแช่และการเพาะเลี้ยงในวัสดุปลูกที่มีระดับ PEG ที่ชักนำให้เกิดการขาดน้ำที่แตกต่างกันในบางลักษณะนั้นของแต่ละพันธุ์ข้าวที่ศึกษานั้น เป็นเพราะรูปแบบของการงอกของพืชเองก็พบว่ามีความแตกต่างกันกันอยู่แล้วแม้จะเป็นพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์ (Therios, 1982)

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการงอกของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ปัจจัย ความเข้มข้น IAA	GP	SGI	MTG	GR	CG	VI
0 µM (control)	65.5±48.3	2.18±1.61	3.00±0.02	1.00±0.004	33.28±0.23	$1.63±1.30^{C}$
2.5 µM Bac.	71.2±45.3	2.37±1.51	3.00±0.00	1.00±0.00	33.33±0.00	$1.76±1.35^{C}$
25 µM Bac.	71.9±45.7	2.39±1.52	3.00±0.00	1.00±0.00	33.33±0.00	$2.68±1.58^{A}$
50 µM Bac.	70.9±45.2	2.36±1.50	3.00±0.00	1.00±0.00	33.33±0.00	$2.19±1.57^{B}$
100 µM Bac.	71.9±45.7	2.39±1.52	3.00±0.00	1.00±0.00	33.33±0.00	$1.49±1.16^{C}$
P-value (F-test)	0.709 (ns)	0.698 (ns)	0.357 (ns)	0.357 (ns)	0.357 (ns)	7.41×10^{-12} (**)
ระดับ PEG						
0% PEG	$99.8±1.6^{x}$	$3.32±0.05^{x}$	3.00±0.00	1.00±0.00	33.33±0.00	$2.20±0.74^{y}$
10% PEG	$84.5±36.0^{y}$	$2.81±1.20^{y}$	3.00±0.00	1.00±0.00	33.33±0.00	$3.66±0.66^{x}$
20% PEG	$97.0±15.9^{x}$	$3.23±0.53^{x}$	3.00±0.02	1.00±0.002	33.30±0.17	$0.38±0.17^{z}$
30% PEG	$0.0±0.0^{z}$	$0.0±0.0^{z}$	NA	NA	NA	NA
P-value (F-test)	2×10^{-16} (**)	2×10^{-16} (**)	0.373 (ns)	0.373 (ns)	0.373 (ns)	2.0×10^{-16} (**)
IAA x PEG						
P-value (Ftest)	0.998 (ns)	0.998 (ns)	0.362 (ns)	0.362 (ns)	0.362 (ns)	1.29×10^{-4} (**)
CV (%)	29.11	28.97	0.31	0.16	0.30	18.99
Mean	70.31	2.34	3.00	1.00	33.32	1.97

หมายเหตุ : GP; germination percentage, SGI; speed germination index; MTG; mean time to germination, GR; germination rate, Co-efficient germination; VI; vigor index; Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA, NA = ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

*, ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) เปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการงอกของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ปัจจัย ความเข้มข้น IAA	SL	RL	SDW	RDW	SDW/RDW ratio
0 µM (control)	1.63 ± 1.30^{C}	2.47 ± 1.70^{B}	$4.57\times10^{-3}\pm2.10\times10^{-3\ B}$	0.0152 ± 0.0267	0.936 ± 0.806^{A}
2.5 µM Bac.	1.76 ± 1.34^{C}	2.50 ± 1.78^{B}	$5.05\times10^{-3}\pm3.62\times10^{-3\ B}$	0.0120 ± 0.0086	0.644 ± 0.553^{AB}
25 µM Bac.	2.68 ± 1.58^{A}	3.90 ± 2.18^{A}	$8.22\times10^{-3}\pm4.46\times10^{-3\ A}$	0.0175 ± 0.0115	0.709 ± 0.587^{AB}
50 µM Bac.	2.19 ± 1.57^{B}	2.80 ± 2.10^{B}	$8.42\times10^{-3}\pm4.42\times10^{-3\ A}$	0.0180 ± 0.0123	0.531 ± 0.159^{B}
100 µM Bac.	1.49 ± 1.16^{C}	2.54 ± 1.51^{B}	$4.77\times10^{-3}\pm3.06\times10^{-3\ B}$	0.0140 ± 0.0128	0.393 ± 0.174^{B}
P-value (F-test)	7.58×10^{-12} (**)	1.31×10^{-5} (**)	3.32×10^{-7} (**)	0.618 (ns)	0.0279 (*)
ระดับ PEG					
0% PEG	2.20 ± 0.74^{y}	4.12 ± 0.92^{x}	$5.87\times10^{-3}\pm2.75\times10^{-3\ y}$	0.0137 ± 0.0063^{y}	0.562 ± 0.577^{y}
10% PEG	3.66 ± 0.66^{x}	4.03 ± 1.39^{x}	$10.28\times10^{-3}\pm4.10\times10^{-3\ x}$	0.0307 ± 0.0200^{x}	0.381 ± 0.118^{y}
20% PEG	0.38 ± 0.17^{z}	0.64 ± 0.50^{y}	$3.38\times10^{-3}\pm1.75\times10^{-3\ z}$	0.0046 ± 0.0026^{z}	0.956 ± 0.585^{x}
30% PEG	NA	NA	NA	NA	NA
P-value (F-test)	2×10^{-16} (**)	2.0×10^{-16} (**)	1.08×10^{-14} (**)	2.71×10^{-9} (**)	4.34×10^{-5} (**)
IAA x PEG					
P-value (Ftest)	1.29×10^{-4} (**)	9.16×10^{-3} (**)	2.97×10^{-3} (**)	0.613 (ns)	0.0210 (*)
CV (%)	18.99	28.09	33.46	75.60	66.21
Mean	1.97	2.87	6.23×10^{-3}	0.0153	0.650

หมายเหตุ : SL; shoot length, RL; root length; SDW; shoot dry weight, RDW; root dry weight, Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA,
NA = ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ, ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
*, ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์
x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.2 การเปรียบเทียบดัชนีความแข็งแรง (Vigour index; Vi) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ระดับ PEG	ดัชนีความแข็งแรงของต้นอ่อน ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ PEG)
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
0 % PEG	1.50±0.39^{e}	1.82±0.40^{e}	2.88±0.43^{d}	2.79±0.52^{d}	1.53±0.48^{e}	2.20±0.74^{y}
10 % PEG	3.34±0.73^{cd}	3.53±0.55^{bc}	4.30±0.15^{a}	4.10±0.47^{ab}	2.99±0.37^{cd}	3.66±0.66^{x}
20 % PEG	0.38±0.21^{f}	0.27±0.08^{f}	0.30±0.09^{f}	0.45±0.23^{f}	0.47±0.12^{f}	0.38±0.17^{z}
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	1.63±1.30^{C}	1.76±1.35^{C}	2.68±1.58^{A}	2.19±1.57^{B}	1.49±1.16^{C}	
(P-value) F-test						
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(7.41 x10^{-12}) ****					
เปอร์เซ็นต์ PEG	**(2.0 x10^{-16}) ****					
กรดอินโดลแอซิติก × PEG	**(1.29 x10^{-4}) ****					
CV (%)	**18.99**					
mean	**1.97**					

หมายเหตุ : **สำหรับ 30% PEG ไม่ได้มีการวิเคราะห์เนื่องจากเมล็ดไม่งอก**

Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.3 การเปรียบเทียบความยาวส่วนยอด (Shoot length) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ระดับ PEG	ความยาวส่วนยอด (เซนติเมตร) ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ PEG)
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
0 % PEG	1.50±0.39^{e}	1.82±0.40^{e}	2.88±0.43^{d}	2.79±0.52^{d}	1.53±0.48^{e}	2.20±0.74^{y}
10 % PEG	3.34±0.73^{cd}	3.53±0.55^{bc}	4.30±0.15^{a}	4.10±0.47^{ab}	2.99±0.37^{cd}	3.66±0.66^{x}
20 % PEG	0.38±0.21^{f}	0.28±0.08^{f}	0.30±0.09^{f}	0.45±0.23^{f}	0.47±0.12^{f}	0.38±0.17^{z}
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	1.63±1.30^{C}	1.76±1.34^{C}	2.68±1.58^{A}	2.19±1.57^{B}	1.49±1.16^{C}	

(P-value) F-test	
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(7.58×10^{-12}) ****
เปอร์เซ็นต์ PEG	**(2.0×10^{-16}) ****
กรดอินโดลแอซิติก × PEG	**(1.29×10^{-4}) ****
CV (%)	**18.99**
mean	**1.97**

หมายเหตุ : สำหรับ 30% PEG ไม่ได้มีการวิเคราะห์เนื่องจากเมล็ดไม่งอก

Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.4 การเปรียบเทียบความยาวส่วนราก (Root length) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ระดับ PEG	ความยาวส่วนราก (เซนติเมตร) ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ PEG)
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
0 % PEG	3.44±0.73^{cde}	3.96±0.80^{bcde}	5.01±0.39^{ab}	4.42±0.44^{abc}	2.99±0.92^{e}	4.12±0.92^{x}
10 % PEG	3.65±1.39^{cde}	3.04±0.95^{de}	5.22±0.44^{a}	3.70±2.54^{cde}	4.17±0.90^{abcd}	4.03±1.39^{x}
20 % PEG	0.56±0.50^{f}	0.30±0.19^{f}	0.31±0.31^{f}	0.63±0.15^{f}	1.22±0.55^{f}	0.64±0.50^{y}
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	2.47±1.70^{B}	2.50±1.78^{B}	3.90±2.18^{A}	2.80±2.10^{B}	2.54±1.51^{B}	

(P-value) F-test	
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(1.31×10^{-5}) ****
เปอร์เซ็นต์ PEG	**(2.0×10^{-16}) ****
กรดอินโดลแอซิติก × PEG	**(9.16×10^{-3}) ****
CV (%)	**28.09**
mean	**2.87**

หมายเหตุ : **สำหรับ 30% PEG ไม่ได้มีการวิเคราะห์เนื่องจากเมล็ดไม่งอก**

Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.5 การเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งส่วนยอด (Shoot dry weight) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ระดับ PEG	น้ำหนักแห้งส่วนยอด (กรัมต่อต้น) ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ PEG)
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
0 % PEG	$4.38 \times 10^{-3} \pm 3.83 \times 10^{-4}$ def	$4.07 \times 10^{-3} \pm 1.24 \times 10^{-3}$ ef	$7.47 \times 10^{-3} \pm 2.84 \times 10^{-3}$ bcd	$8.90 \times 10^{-3} \pm 1.96 \times 10^{-3}$ bc	$3.17 \times 10^{-3} \pm 6.03 \times 10^{-4}$ cde	$5.87 \times 10^{-3} \pm 2.75 \times 10^{-3}$ y
10 % PEG	$5.92 \times 10^{-3} \pm 2.82 \times 10^{-3}$ cde	$9.78 \times 10^{-3} \pm 3.94 \times 10^{-3}$ b	$13.40 \times 10^{-3} \pm 9.06 \times 10^{-4}$ a	$14.43 \times 10^{-3} \pm 2.20 \times 10^{-3}$ a	$8.10 \times 10^{-3} \pm 2.82 \times 10^{-3}$ bc	$10.28 \times 10^{-3} \pm 4.10 \times 10^{-3}$ x
20 % PEG	$3.68 \times 10^{-3} \pm 2.33 \times 10^{-3}$ ef	$2.44 \times 10^{-3} \pm 2.88 \times 10^{-4}$ f	$3.05 \times 10^{-3} \pm 8.50 \times 10^{-4}$ ef	$4.32 \times 10^{-3} \pm 1.96 \times 10^{-3}$ def	$3.35 \times 10^{-3} \pm 2.21 \times 10^{-3}$ ef	$3.38 \times 10^{-3} \pm 1.75 \times 10^{-3}$ z
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	$4.57 \times 10^{-3} \pm 2.10 \times 10^{-3}$ B	$5.05 \times 10^{-3} \pm 3.62 \times 10^{-3}$ B	$8.22 \times 10^{-3} \pm 4.46 \times 10^{-3}$ A	$8.42 \times 10^{-3} \pm 4.42 \times 10^{-3}$ A	$4.77 \times 10^{-3} \pm 3.06 \times 10^{-3}$ B	
(P-value) F-test						
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(3.32×10^{-7}) ****					
เปอร์เซ็นต์ PEG	**(1.08×10^{-14}) ****					
กรดอินโดลแอซิติก × PEG	**(2.97×10^{-3}) ****					
CV (%)	**33.46**					
mean	**6.23×10^{-3}**					

หมายเหตุ : สำหรับ 30% PEG ไม่ได้มีการวิเคราะห์เนื่องจากเมล็ดไม่งอก

Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.6 การเปรียบเทียบสัดส่วนน้ำหนักแห้งส่วนยอดต่อราก (Shoot/root dry weight ratio) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ระดับ PEG	**สัดส่วนน้ำหนักแห้งส่วนยอดต่อราก**					**ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ PEG)**
	ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
0 % PEG	1.210±1.178 ^{ab}	0.331±0.111 ^{c}	0.445±0.090 ^{c}	0.446±0.044 ^{c}	0.408±0.036 ^{c}	0.562±0.577 ^{y}
10 % PEG	0.290±0.182 ^{c}	0.432±0.108 ^{c}	0.442±0.034 ^{c}	0.442±0.087 ^{c}	0.300±0.060 ^{c}	0.381±0.118 ^{y}
20 % PEG	1.177±0.334 ^{ab}	1.191±0.692 ^{ab}	1.503±0.762 ^{a}	0.670±0.177 ^{bc}	0.447±0.243 ^{c}	0.956±0.585 ^{x}
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	0.936±0.806 ^{A}	0.644±0.553 ^{AB}	0.709±0.587 ^{AB}	0.531±0.159 ^{B}	0.393±0.174 ^{B}	

(P-value) F-test	
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(0.0249) ***
เปอร์เซ็นต์ PEG	**(4.34 x10^{-5}) ****
กรดอินโดลแอซิติก × PEG	**(0.0210) ***
CV (%)	**66.21**
mean	**0.650**

หมายเหตุ : สำหรับ 30% PEG ไม่ได้มีการวิเคราะห์เนื่องจากเมล็ดไม่งอก

Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

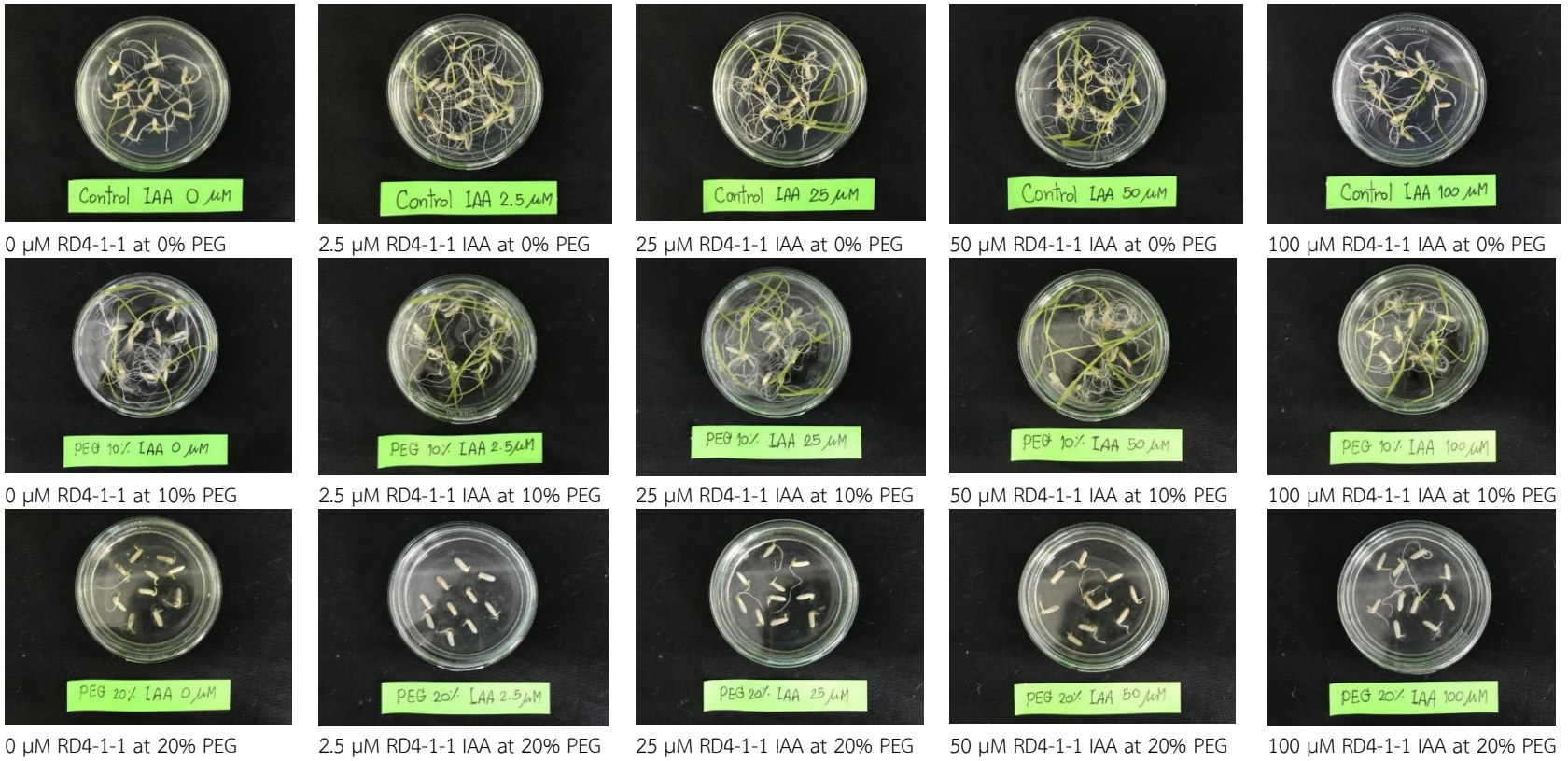
* ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



0 µM RD4-1-1 at 0% PEG | 2.5 µM RD4-1-1 IAA at 0% PEG | 25 µM RD4-1-1 IAA at 0% PEG | 50 µM RD4-1-1 IAA at 0% PEG | 100 µM RD4-1-1 IAA at 0% PEG

0 µM RD4-1-1 at 10% PEG | 2.5 µM RD4-1-1 IAA at 10% PEG | 25 µM RD4-1-1 IAA at 10% PEG | 50 µM RD4-1-1 IAA at 10% PEG | 100 µM RD4-1-1 IAA at 10% PEG

0 µM RD4-1-1 at 20% PEG | 2.5 µM RD4-1-1 IAA at 20% PEG | 25 µM RD4-1-1 IAA at 20% PEG | 50 µM RD4-1-1 IAA at 20% PEG | 100 µM RD4-1-1 IAA at 20% PEG

ภาพที่ 1.1 การเจริญเติบโตของข้าวนาสวนพันธุ์ กข 31 ภายหลังการแช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติกความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ระดับ PEG ที่แตกต่างกัน (บันทึกผลหนึ่งสัปดาห์หลังการเพาะ)

ตารางที่ 1.7 เปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการงอกของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ปัจจัย ความเข้มข้น IAA	GP	SGI	MTG	GR	CG	VI
0 µM (control)	71.2±42.3 ^{A}	2.12±1.32 ^{A}	3.47±0.52 ^{B}	0.932±0.073 ^{A}	29.38±4.05 ^{AB}	1.25±0.81 ^{B}
2.5 µM Bac.	71.2±42.2 ^{A}	2.16±1.33 ^{A}	3.40±0.49 ^{B}	0.945±0.069 ^{A}	29.99±3.99 ^{A}	1.60±1.09 ^{A}
25 µM Bac.	72.9±43.9 ^{A}	2.14±1.34 ^{A}	3.56±0.58 ^{AB}	0.922±0.080 ^{AB}	28.87±4.29 ^{B}	1.06±0.82 ^{BC}
50 µM Bac.	61.2±45.8 ^{B}	1.88±1.50 ^{B}	3.61±1.14 ^{AB}	0.911±0.165 ^{AB}	29.55±6.43 ^{AB}	0.97±0.99 ^{C}
100 µM Bac.	60.3±45.9 ^{B}	1.84±1.50 ^{B}	3.76±1.30 ^{A}	0.890±0.185 ^{B}	28.60±6.56 ^{B}	0.94±0.89 ^{C}
P-value (F-test)	1.55 x 10^{-4} (**)	3.03 x 10^{-5} (**)	0.039 (*)	0.0268 (*)	0.035 (*)	1.21x10^{-8} (**)
ระดับ PEG						
0% PEG	99.0±3.0 ^{x}	3.28±0.12 ^{w}	3.02±0.07 ^{y}	0.997±0.011 ^{x}	33.10±0.78 ^{x}	2.05±0.43 ^{x}
10% PEG	95.9±6.8 ^{x}	3.09±0.25 ^{x}	3.17±2.00 ^{y}	0.975±0.028 ^{x}	31.64±1.84 ^{y}	1.20±0.83 ^{y}
20% PEG	75.2±34.3 ^{y}	1.76±0.86 ^{y}	4.57±0.89 ^{x}	0.777±0.129 ^{y}	22.51±3.16 ^{z}	0.16±0.10 ^{z}
30% PEG	0.0±0.0 ^{z}	0.0±0.0 ^{z}	NA	NA	NA	
P-value (F-test)	2 x 10^{-16} (**)	2 x 10^{-16} (**)	2x10^{-16} (**)	2x10^{-16} (**)	2x10^{-16} (**)	2.0 x10^{-16} (**)
IAA x PEG						
P-value (Ftest)	8.77 x 10^{-10} (**)	6.08 x 10^{-14} (**)	2.25x10^{-7} (**)	8.1x10^{-8} (**)	1.49x10^{-9} (**)	5.89 x10^{-11} (**)
CV (%)	20.62	16.35	11.56	6.33	5.51	30.79
Mean	67.4	2.03	3.56	0.921	29.29	1.17

หมายเหตุ : : GP; germination percentage, SGI; speed germination index; MTG; mean time to germination, GR; germination rate, Co-efficient germination; VI; vigor index; Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA, NA = ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

*, ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.7 (ต่อ) เปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการงอกของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ปัจจัย ความเข้มข้น IAA	SL	RL	SDW	RDW	SDW/RDW ratio
0 µM (control)	1.41±1.01 ^{AB}	1.73±1.43 ^{B}	9.52 x10^{-3}±6.82 x10^{-3}	0.0270±0.0352 ^{A}	0.590±0.305
2.5 µM Bac.	1.65±1.12 ^{A}	2.09±1.55 ^{A}	1.52x10^{-2}±1.49 x10^{-2}	0.0255±0.0211 ^{A}	1.079±2.189
25 µM Bac.	1.16±0.90 ^{BC}	1.40±1.72 ^{B}	7.02 x10^{-3}±3.56 x10^{-3}	0.0111±0.0090 ^{B}	1.3360±2.150
50 µM Bac.	0.99±1.00 ^{C}	1.65±1.30 ^{B}	6.80 x10^{-3}±5.48 x10^{-3}	0.0193±0.0099 ^{AB}	0.497±0.261
100 µM Bac.	0.97±0.89 ^{C}	2.13±1.51 ^{A}	1.39x10^{-2}±3.09 x10^{-2}	0.0233±0.0168 ^{A}	0.861±1.195
P-value (F-test)	1.47 x10^{-6} (**)	1.72 x10^{-5} (**)	0.1734 (ns)	0.0295 (*)	0.376 (ns)
ระดับ PEG					
0% PEG	2.08±0.44 ^{x}	3.49±0.59 ^{x}	1.41 x10^{-2}±1.12 x10^{-2} ^{x}	0.0301±0.0263 ^{x}	0.535±0.290
10% PEG	1.37±1.01 ^{y}	1.04±0.83 ^{y}	1.45 x10^{-2}±2.30 x10^{-2} ^{x}	0.0229±0.0168 ^{x}	0.991±1.825
20% PEG	0.18±0.09 ^{z}	0.29±0.32 ^{z}	2.17x10^{-3}±1.26x10^{-3} ^{y}	0.0033±0.0024 ^{y}	1.375±2.154
30% PEG	NA	NA	NA	NA	NA
P-value (F-test)	2.0 x10^{-16} (**)	2.0 x10^{-16} (**)	3.95 x10^{-4} (**)	2.42 x10^{-7} (**)	0.152 (ns)
IAA x PEG					
P-value (Ftest)	1.04 x10^{-9} (**)	6.23 x10^{-4} (**)	0.3614 (ns)	0.2123 (ns)	0.381 (ns)
CV (%)	36.83	28.51	139.85	86.26	170.27
Mean	1.24	1.79	0.0105	0.0212	0.903

หมายเหตุ : SL; shoot length, RL; root length; SDW; shoot dry weight, RDW; root dry weight, Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA,
NA = ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ, ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
*, ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์
x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.8 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การงอก (germination percentage; GP) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ระดับ PEG	เปอร์เซ็นต์การงอก					ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ PEG)
	ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
0 % PEG	100 [a]	97.5±4.6 [a]	100 [a]	98.8±3.5 [a]	98.8±3.5 [a]	99.0±3.0 [x]
10 % PEG	93.8±10.6 [a]	96.2±5.2 [a]	95.7±7.9 [a]	95.0±5.4 [a]	98.8±3.5 [a]	95.9±6.8 [x]
20 % PEG	91.2±6.4 [a]	91.2±9.9 [a]	98.8±3.5 [a]	51.2±44.2 [b]	43.8±38.2 [b]	75.2±34.3 [y]
30 % PEG	0.0 [c]	0.0 [c]	0.0 [c]	0.0 [c]	0.0 [c]	0.0±0.0 [z]
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	71.2±42.3[A]	71.2±42.2[A]	72.9±43.9[A]	61.2±45.8[B]	60.3±45.9[B]	
(P-value) F-test						
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(1.55×10^{-4}) ****					
เปอร์เซ็นต์ PEG	**(2×10^{-16}) ****					
กรดอินโดลแอซิติก × PEG	**(8.77×10^{-10}) ****					
CV (%)	**20.62**					
mean	**67.4**					

หมายเหตุ : Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.9 การเปรียบเทียบดัชนีความเร็วในการงอก (Speed germination index ; SGI) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ระดับ PEG	ดัชนีความเร็วในการงอก					ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ PEG)
	ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
0 % PEG	3.29±0.08 ^{ab}	3.25±0.15 ^{ab}	3.33±0.00 ^{a}	3.28±0.12 ^{ab}	3.27±0.16 ^{ab}	3.28±0.12 ^{w}
10 % PEG	3.02±0.36 ^{ab}	3.12±0.20 ^{ab}	2.96±0.26 ^{b}	3.16±0.18 ^{ab}	3.17±0.22 ^{ab}	3.09±0.25 ^{x}
20 % PEG	2.18±0.13 ^{b}	2.26±0.27 ^{c}	2.39±0.16 ^{c}	1.08±0.99 ^{d}	0.91±0.82 ^{d}	1.76±0.86 ^{y}
30 % PEG	0.0 ^{e}	0.0 ^{e}	0.0 ^{e}	0.0 ^{e}	0.0 ^{e}	0.0±0.0 ^{z}
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	2.12±1.32 ^{A}	2.16±1.33 ^{A}	2.14±1.34 ^{A}	1.88±1.50 ^{B}	1.84±1.50 ^{B}	
(P-value) F-test						
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(3.03×10^{-5}) ****					
เปอร์เซ็นต์ PEG	**(2×10^{-16}) ****					
กรดอินโดลแอซิติก × PEG	**(6.08×10^{-14}) ****					
CV (%)	**16.35**					
mean	**2.03**					

หมายเหตุ : Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

w, x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.10 การเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก (Mean time to germination; MTG) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ระดับ PEG	**เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก (วัน)**					**ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ PEG)**
	ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
0 % PEG	3.08±0.15 ^{c}	3.00±0.00 ^{c}	3.00±0.00 ^{c}	3.01±0.04 ^{c}	3.00±0.00 ^{c}	3.02±0.07 ^{y}
10 % PEG	3.18±0.13 ^{c}	3.13±0.14 ^{c}	3.37±0.18 ^{c}	3.00±0.00 ^{c}	3.20±0.26 ^{c}	3.17±2.00 ^{y}
20 % PEG	4.16±0.13 ^{b}	4.06±0.12 ^{b}	4.29±0.25 ^{b}	5.24±1.05 ^{a}	5.52±1.39 ^{a}	4.57±0.89 ^{x}
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	3.47±0.52 ^{B}	3.40±0.49 ^{B}	3.56±0.58 ^{AB}	3.61±1.14 ^{AB}	3.76±1.30 ^{A}	
(P-value) F-test						
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(0.039) ***					
เปอร์เซ็นต์ PEG	**($2x10^{-16}$) ****					
กรดอินโดลแอซิติก × PEG	**($2.25x10^{-7}$) ****					
CV (%)	**11.56**					
mean	**3.56**					

หมายเหตุ : สำหรับ 30% PEG ไม่ได้มีการวิเคราะห์เนื่องจากเมล็ดไม่งอก

Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

w, x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.11 การเปรียบเทียบอัตราการงอก (Germination rate; GR) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ระดับ PEG	อัตราการงอก					ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ PEG)
	ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
0 % PEG	0.989±0.022 ^{a}	1.00±0.00 ^{a}	1.00±0.00 ^{a}	0.999±0.004 ^{a}	0.996±0.011 ^{a}	0.997±0.011 ^{x}
10 % PEG	0.974±0.018 ^{a}	0.982±0.019 ^{a}	0.946±0.027 ^{a}	1.00±0.00 ^{a}	0.971±0.037 ^{a}	0.975±0.028 ^{x}
20 % PEG	0.835±0.019 ^{b}	0.851±0.018 ^{b}	0.824±0.031 ^{b}	0.675±0.149 ^{c}	0.642±0.198 ^{c}	0.777±0.129 ^{y}
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	0.932±0.073 ^{A}	0.945±0.069 ^{A}	0.922±0.080 ^{AB}	0.911±0.165 ^{AB}	0.890±0.185 ^{B}	

(P-value) F-test	
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(0.0268) ***
เปอร์เซ็นต์ PEG	**($2x10^{-16}$) ****
กรดอินโดลแอซิติก × PEG	**($8.1x10^{-8}$) ****
CV (%)	**6.33**
mean	**0.921**

หมายเหตุ : : สำหรับ 30% PEG ไม่ได้มีการวิเคราะห์เนื่องจากเมล็ดไม่งอก

Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

w, x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.12 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ของการงอก (Co-efficient of germination; CG) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ระดับ PEG	สัมประสิทธิ์ของการงอก					ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ PEG)
	ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
0 % PEG	32.58±1.47 ^{ab}	33.33±0.00 ^{a}	33.33±0.00 ^{a}	33.20±0.38 ^{ab}	33.04±0.81 ^{ab}	33.10±0.78 ^{x}
10 % PEG	31.53±1.22 ^{abc}	31.98±1.37 ^{ab}	29.73±1.53 ^{c}	33.33±0.00 ^{a}	31.37±2.42 ^{bc}	31.64±1.84 ^{y}
20 % PEG	24.03±0.77 ^{d}	24.65±0.70 ^{d}	23.66±1.16 ^{d}	19.66±3.45 ^{e}	18.98±4.10 ^{e}	22.51±3.16 ^{z}
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	29.38±4.05 ^{AB}	29.99±3.99 ^{A}	28.87±4.29 ^{B}	29.55±6.43 ^{AB}	28.60±6.56 ^{B}	
(P-value) F-test						
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(0.035) ***					
เปอร์เซ็นต์ PEG	**($2x10^{-16}$) ****					
กรดอินโดลแอซิติก × PEG	**($1.49x10^{-9}$) ****					
CV (%)	**5.51**					
mean	**29.29**					

หมายเหตุ : สำหรับ 30% PEG ไม่ได้มีการวิเคราะห์เนื่องจากเมล็ดไม่งอก

Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

w, x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.13 การเปรียบเทียบดัชนีความแข็งแรง (Vigour index; Vi) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ระดับ PEG	ดัชนีความแข็งแรง					ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ PEG)
	ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
0 % PEG	1.76±0.32 ^{c}	2.42±0.51 ^{a}	2.01±0.28 ^{bc}	2.16±0.45 ^{abc}	1.92±0.30 ^{bc}	2.05±0.43 ^{x}
10 % PEG	1.78±0.54 ^{bc}	2.20±0.37 ^{ab}	0.98±0.35 ^{d}	0.45±0.42 ^{ef}	0.64±0.65 ^{de}	1.20±0.83 ^{y}
20 % PEG	0.26±0.06 ^{efg}	0.17±0.09 ^{fg}	0.18±0.08 ^{fg}	0.07±0.04 ^{g}	0.06±0.03 ^{g}	0.16±0.10 ^{z}
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	1.25±0.81 ^{B}	1.60±1.09 ^{A}	1.06±0.82 ^{BC}	0.97±0.99 ^{C}	0.94±0.89 ^{C}	

(P-value) F-test	
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(1.21×10^{-8}) ****
เปอร์เซ็นต์ PEG	**(2.0×10^{-16}) ****
กรดอินโดลแอซิติก × PEG	**(5.89×10^{-11}) ****
CV (%)	**30.79**
mean	**1.17**

หมายเหตุ : สำหรับ 30% PEG ไม่ได้มีการวิเคราะห์เนื่องจากเมล็ดไม่งอก

Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.14 การเปรียบเทียบความยาวส่วนยอด (Shoot length) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ระดับ PEG	ความยาวส่วนยอด (เซนติเมตร) ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ PEG)
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
0 % PEG	1.76±0.32 ^{bc}	2.49±0.50 ^{a}	2.01±0.28 ^{ab}	2.19±0.44 ^{ab}	1.95±0.34 ^{b}	2.08±0.44 ^{x}
10 % PEG	2.28±0.95 ^{ab}	2.28±0.35 ^{ab}	1.29±0.82 ^{c}	0.47±0.43 ^{de}	0.64±0.65 ^{d}	1.37±1.01 ^{y}
20 % PEG	0.29±0.05 ^{de}	0.18±0.09 ^{de}	0.19±0.08 ^{de}	0.10±0.008 ^{de}	0.10±0.00 ^{e}	0.18±0.09 ^{z}
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	1.41±1.01 ^{AB}	1.65±1.12 ^{A}	1.16±0.90 ^{BC}	0.99±1.00 ^{C}	0.97±0.89 ^{C}	
(P-value) F-test						
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(1.47×10^{-6}) ****					
เปอร์เซ็นต์ PEG	**(2.0×10^{-16}) ****					
กรดอินโดลแอซิติก × PEG	**(1.04×10^{-9}) ****					
CV (%)	**36.83**					
mean	**1.24**					

หมายเหตุ : สำหรับ 30% PEG ไม่ได้มีการวิเคราะห์เนื่องจากเมล็ดไม่งอก

Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.15 การเปรียบเทียบความยาวส่วนราก (Root length) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ บนวุ้นแข็งที่มีระดับ Polyethyleneglycol (PEG) เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

ระดับ PEG	ความยาวส่วนราก (เซนติเมตร) ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ PEG)
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
0 % PEG	3.54±0.47 ^{ab}	3.87±0.23 ^{a}	3.75±0.38 ^{a}	2.85±0.64 ^{bc}	3.46±0.63 ^{ab}	3.49±0.59 ^{x}
10 % PEG	1.11±0.45 ^{d}	2.05±0.64 ^{c}	0.31±0.16 ^{de}	0.66±0.52 ^{de}	1.07±0.96 ^{d}	1.04±0.83 ^{y}
20 % PEG	0.46±0.63 ^{de}	0.33±0.48 ^{de}	0.14±0.09 ^{e}	0.00±0.00 ^{e}	0.08±0.00 ^{e}	0.29±0.32 ^{z}
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	1.73±1.43 ^{B}	2.09±1.55 ^{A}	1.40±1.72 ^{B}	1.65±1.30 ^{B}	2.13±1.51 ^{A}	
(P-value) F-test						
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(1.72×10^{-5}) ****					
เปอร์เซ็นต์ PEG	**(2.0×10^{-16}) ****					
กรดอินโดลแอซิติก × PEG	**(6.23×10^{-4}) ****					
CV (%)	**28.51**					
mean	**1.79**					

หมายเหตุ : สำหรับ 30% PEG ไม่ได้มีการวิเคราะห์เนื่องจากเมล็ดไม่งอก

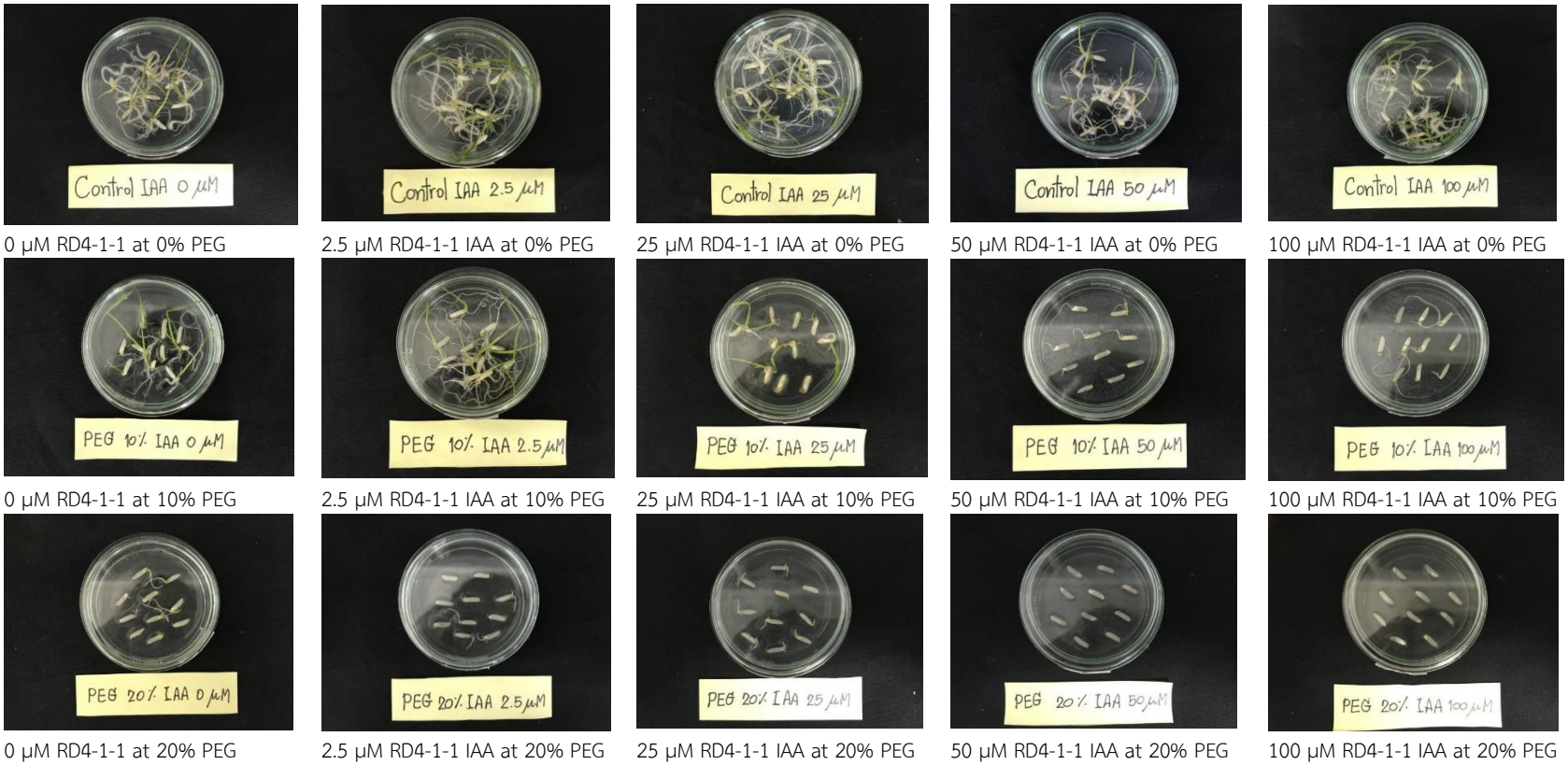
Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและเปอร์เซ็นต์ PEG ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



0 μM RD4-1-1 at 0% PEG | 2.5 μM RD4-1-1 IAA at 0% PEG | 25 μM RD4-1-1 IAA at 0% PEG | 50 μM RD4-1-1 IAA at 0% PEG | 100 μM RD4-1-1 IAA at 0% PEG

0 μM RD4-1-1 at 10% PEG | 2.5 μM RD4-1-1 IAA at 10% PEG | 25 μM RD4-1-1 IAA at 10% PEG | 50 μM RD4-1-1 IAA at 10% PEG | 100 μM RD4-1-1 IAA at 10% PEG

0 μM RD4-1-1 at 20% PEG | 2.5 μM RD4-1-1 IAA at 20% PEG | 25 μM RD4-1-1 IAA at 20% PEG | 50 μM RD4-1-1 IAA at 20% PEG | 100 μM RD4-1-1 IAA at 20% PEG

ภาพที่ 1.2 การเจริญเติบโตของข้าวนาสวนพันธุ์ กข 41 ภายหลังการแช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติกความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ระดับ PEG ที่แตกต่างกัน (บันทึกผลหนึ่งสัปดาห์หลังการเพาะ)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวในดินที่ขาดน้ำ

หมายเหตุ กิจกรรมการศึกษานี้ดำเนินการปลูกข้าวในดินเพื่อให้สามารถประเมินผลได้ใกล้เคียงกับการปลูกข้าวตามธรรมชาติ โดยมีการปลูกแบบหยอดเมล็ดในหลุมและใช้ดินกลบทับความลึกของการปลูกประมาณ 1 เซนติเมตร ด้วยเหตุนี้จะไม่สามารถสังเกตเห็นระยะการงอก (germination) ได้ แต่จะสามารถสังเกตเห็นการยืดตัวของเยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) ของข้าวโผล่พ้นดิน (ระยะ S3 ของการงอก) (S3 stage: Emergence of prophyll from coleoptile) และถือได้ว่าเป็นการบันทึกได้ในวันแรกของการโผล่พ้นดินหรือวัตถุปลูกในห้องปฏิบัติการ (Moldenhauer *et al*., 2012) ด้วยเหตุนี้ การวัดผลลักษณะต่าง ๆ ในระยะแรกของการงอกต้นอ่อน จะใช้คำว่าการโผล่พ้นดิน (emergence)

ผลการศึกษาการงอกโผล่พ้นดินของ coleoptile ของข้าวในระยะการงอกของข้าวพันธุ์ กข 31 แสดงในตารางที่ 2.1-2.14 และภาพที่ 2.1 พบอิทธิพลของการระดับการขาดน้ำจากความถี่ในการให้น้ำที่แตกต่างและการให้กรดอินโดลแอซีติกทั้งการแช่เมล็ดและการพ่นต่อหลาย ๆ ลักษณะ

ทั้งนี้การให้สร้างสภาพเครียดเนื่องจากการให้น้ำด้วยความถี่ที่แตกต่างกันส่งผลต่อลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการงอกและโผล่พ้นดินสามลักษณะ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การงอกโผล่พ้นดิน ดัชนีความเร็วในการงอก และความแข็งแรงของต้นอ่อน ที่การให้น้ำจะกระทบลักษณะด่าง ๆ ดังกล่าวมีค่าลดลงเมื่อเปลี่ยนจากการให้น้ำวันเว้นวันเป็นการให้น้ำทุก ๆ 4 วัน การให้น้ำทุก ๆ 7 วัน กระทบต่อลักษณะต่าง ๆ มากกว่าการให้น้ำทุก ๆ 4 วันและการให้น้ำทุก ๆ วัน เช่นเดียวกันการเจริญเติบโตที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความสูงต้นอ่อน ขณะที่ความยาวรากซึ่งเป็นลักษณะหนึ่งที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากการขาดน้ำกลับพบว่าประเมินได้น้อยกว่าลักษณะอื่น ๆ (ตารางที่ 2.1)

ขณะที่การใช้กรดอินโดลแอซีติกกับการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนกับข้าวพันธุ์ กข 31 กระทบกับทุกลักษณะที่เกี่ยวกับการงอก (ยกเว้นเวลาที่ใช้ในการงอก) โดยการใช้ที่ 2.5 µM และ 25 µM ส่งผลต่อการเพิ่มลักษณะมากที่สุด โดยเฉพาะที่ 2.5 µM ขณะที่การเจริญเติบโตการใช้ฮอร์โมนนี้ส่งผลต่อการสร้างยอด และให้ผลสอดคล้องกับการงอกที่การใช้ 2.5 µM และ 25 µM ส่งผลต่อการเพิ่มลักษณะมากที่สุดโดยเฉพาะที่ 2.5 µM (ตารางที่ 2.1)

เมื่อพิจารณาพบปฏิกิริยาร่วมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะลักษณะที่เกี่ยวกับการงอก ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การงอกโผล่พ้นดิน สัมประสิทธิ์การงอกและความแข็งแรงของต้นอ่อน (ตารางที่ 2.1) พบว่าการให้ฮอร์โมนส่งผลดีต่อทุกลักษณะและสำหรับทุกระดับการให้น้ำแต่การให้ที่ 2.5 µM และ 25 µM ส่งผลดีที่สุด แต่หากพิจารณาถึงความแข็งแรงของต้นอ่อนแล้ว การให้ที่ 2.5 µM จะส่งผลดีที่สุด (ตารางที่ 2.2 – 2.4) ซึ่งผลการศึกษาแตกต่างจากทดลองที่ 1 การเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีเปอร์เซ็นต์ PEG ที่พบว่าการใช้ฮอร์โมนกรดอินโดลแอซีติกให้ผลดีที่สุดที่ 25 µM และจากการศึกษาการงอกบนสารละลาย PEG (วุ้นแข็ง) พบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกไม่ได้รับผลกระทบจากความเข้มข้นของสารละลาย PEG (การทดลองที่ 1) แสดงว่าเมื่อเมล็ดข้าวงอกแล้วการโผล่พ้นดินของเยื่อหุ้มยอดอ่อน (coleoptile) ข้าว ซึ่งหมายถึงการยืดยาวของ coleoptile จำเป็นต้องได้รับความชื้นจากวัสดุปลูก ขณะที่ปัจจัยที่ส่งเสริมการงอกเกิดจากการได้รับน้ำจากการดูดซึมของเมล็ด ซึ่งการทดลองนี้ทุกปัจจัยมีการแช่เมล็ดข้าวด้วยชั่วโมงการแช่เท่าเทียมกันนั่นเอง คือ 24 ชั่วโมง

การงอกได้ของเมล็ดเป็นระยะที่มีความสำคัญที่ต้องอาศัยระบบควบคุมที่ซับซ้อนทั้งปัจจัยภายในและภายนอกและฮอร์โมนพืชก็มีรายงานการนำมาใช้เพื่อการกระตุ้นการงอกของเมล็ดเช่นเดียวกับการใช้สารอินทรีย์อื่น ๆ (Belwal *et al*., 2015) และทั้งความเค็มและดินแห้งแล้งทำให้ศักย์ของน้ำในดินลดลง (Song *et al*., 2005) ต่างส่งผลต่อการออสโมซีสของน้ำต่อการงอกของเมล็ดไม่ต่างกันและส่งผลต่อการงอกในที่สุดไม่ต่างกับการดูดความชื้นออกจากเมล็ด (Maraghni *et al*., 2010) อย่างไรก็ตาม การนำเมล็ดไปแช่สารละลายหรือน้ำเปล่าก่อนถือเป็นการเตรียมการงอกของเมล็ดส่วนหนึ่งด้วยเหตุนี้อาจเป็นไปได้ที่ลักษณะการงอกจะไม่ได้รับผลกระทบ แต่การงอกโผล่พ้นดินหมายถึงการเจริญเติบโตของ coleoptile ที่งอกจากเมล็ดซึ่งจำเป็นต้องอาศัยน้ำเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเซลล์ ด้วยเหตุนี้ การศึกษาในดินปลูกที่บันทึกลักษณะการโผล่พ้นดินอาจได้รับผลกระทบเนื่องจากการขาดน้ำและอิทธิพลของการใช้กรดอินโดลแอซีติก ด้วยเหตุนี้ แม้ในการปฏิบัติจริงของการปลูกข้าวแบบนาหว่านเกษตรกรจะมีการแช่เมล็ดก่อนการปลูกซึ่งช่วยส่งเสริมการงอก การใช้ฮอร์โมนก็อาจยังมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตโดยเฉพาะเมื่อมีปัญหาการขาดน้ำในนาข้าวในระยะระหว่างการงอกด้วยเช่นกัน

การใช้กรดอินโดลแอซีติกความเข้มข้น 2.5 µM ให้ผลดีที่สุด ขณะที่การใช้ 2.5 และ 25 µM ส่งผลต่อความแข็งแรงของต้นอ่อนข้าวสูงที่สุด (ภาพที่ 2.1) แม้ว่ามองโดยภาพรวมจะสอดคล้องกับการศึกษาการงอกของข้าวในสารละลาย PEG ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (การทดลองที่ 1) และทั้งสองความเข้มข้นของกรดอินโดลแอซีติกส่งผลต่อความสูงของข้าวในทุกสัปดาห์ (ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3) อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาในแต่ละระดับของการให้น้ำพบว่าทุกระดับการให้น้ำ การแช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติกทุกความเข้มข้นส่งผลดีต่อเปอร์เซ็นต์การงอกโผล่พ้นดินของข้าว ซึ่งหมายถึงการเสริมความแข็งแรงและการเจริญเติบโตของ coleoptile เพื่อให้พืชสามารถงอกพ้นดินได้นั่นเอง (ตารางที่ 2.1) แต่สำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อนระดับความเข้มข้นกรดอินโดลแอซิติกที่เหมาะสมเหลือเพียงสองความเข้มข้น ได้แก่ 2.5 และ 25 µM ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น หากพิจารณาเฉพาะพันธุ์ กข 31 พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้ในดินจะลดลงคืออยู่ที่ 2.5 และ 25 µM ขณะที่การศึกษาในสารละลายแข็งของ PEG จะอยู่ที่ความเข้มข้น 25 และ 50 µM แสดงว่ามีการใช้ความเข้มข้นของกรดอินโดลแอซีติกที่สามารถเพิ่มค่าลักษณะต่าง ๆ ได้ในการปลูกในดินลดลงจากการศึกษา PEG ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเป็นเพราะในการศึกษากับสารละลาย PEG ไม่ได้มีการสารอาหารเสริมใดๆ ในวัสดุปลูกที่เป็นผงวุ้น ดังนั้นความต้องการฮอร์โมนที่ทดแทนการสร้างได้ในพืชอาจเพิ่มขึ้นเนื่องจากต้นอ่อนพืชไม่ได้รับสารอาหารจากแหล่งอื่น ด้วยเหตุนี้ อาจส่งผลกระทบต่อการผลิตฮอร์โมนภายในต้นพืชไปด้วย นั่นหมายถึง การใช้วัสดุปลูกที่แตกต่างหรือความสมบูรณ์ในวัสดุปลูกที่แตกต่างก็อาจส่งผลกระทบต่อการผลิตกรดอินโดลแอซีติกในข้าว และส่งผลต่อการนำกรดอินโดลแอซีติกจากภายนอกไปใช้กับข้าวในระยะการเจริญต่าง ๆ ด้วยเช่นกัน อธิบายได้จากในสภาพที่พืชได้รับความเครียดจะส่งผลต่อการสามารถใช้ธาตุอาหารได้ของพืช เช่น สภาวะเค็มหรือแล้ง (Munn, 1993; Shannon, 1998) ทำให้มีการยับยั้งการดูดใช้น้ำในพืช (Lambers, 2003) ส่งผลต่อการงอกที่ช้าหรือถูกยับยั้งเนื่องจากระดับการผลิตฮอร์โมนหรือไฟโตฮอร์โมนที่ลดลง (Debez *et al*., 2001) ด้วยเหตุนี้ การเสริมออกซินจะช่วยลดความเครียดของพืชและส่งเสริมการงอกได้ (Khan *et al*., 2004)

ผลการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยการให้น้ำในระดับความถี่ของการให้ที่แตกต่าง ร่วมกับการใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กับข้าวพันธุ์ กข 41 แสดงในตารางที่ 2.5-2.7 และภาพที่ 2.2

จากการสร้างสภาพเครียดเนื่องจากการให้น้ำกับข้าวพันธุ์ กข 41 พบว่า การลดการให้น้ำตั้งแต่การให้ทุก ๆ 3-4 วัน กระทบต่อดัชนีความแข็งแรงของต้นอ่อนและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทั้งยอดและรากในทุกสัปดาห์ที่ทำการศึกษา แต่ไม่กระทบเปอร์เซ็นต์การงอกโผล่พ้นดิน แสดงให้เห็นได้ว่าการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข 41 ค่อนข้างอ่อนไหวต่อการขาดน้ำมากกว่าเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์ กข 31

การใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ความเข้มข้น 2.5 µM ส่งผลดีต่อการงอกโดยภาพรวมของข้าวพันธุ์ กข 41 เมื่อพิจารณาจากลักษณะที่เกี่ยวกับการงอกที่พบนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การงอกโผล่พ้นดิน ดัชนีความเร็วในการโผล่พ้นดิน สัมประสิทธิ์การงอกและความแข็งแรงของต้นอ่อน (ตารางที่ 2.5) ซึ่งช่วงของการใช้ฮอร์โมนที่เหมาะสมมีช่วงแคบกว่าเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์ กข 31 (ตารางที่ 2.1) แม้จะไม่พบปฏิกิริยาร่วมของทั้งสองปัจจัย แต่อาจกล่าวได้ว่าการแช่ด้วยกรดอินโดลแอซีติกสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอกโผล่พ้นดินได้ โดยเฉพาะเมื่อข้าวปลูกในดินที่ขาดน้ำ (ไม่ได้นำเสนอตารางสองปัจจัย) ในขณะที่ลักษณะที่พบนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสองปัจจัย ได้แก่ ดัชนีความเร็วในการโผล่พ้นดินและสัมประสิทธิ์ของการโผล่พ้นดินของต้นอ่อนพบว่า การงอกของข้าวพันธุ์ กข 41 จะตอบสนองต่อการใช้ฮอร์โมนเมื่อมีการขาดน้ำโดยรดน้ำทุก ๆ 4 วัน และมีการใช้ที่ 2.5 µM และ 25 µM (ตารางที่ 2.6-2.7) การไม่พบปฏิกิริยาร่วมระหว่างสองปัจจัยต่อลักษณะการเจริญของต้นอ่อนแสดงให้เห็นว่าฮอร์โมนมีอิทธิพลต่อต้นอ่อนทั้งในสภาพที่ขาดและไม่ขาดน้ำ สามารถเพิ่มทั้งความแข็งแรงและเพิ่มความยาวส่วนยอดของข้าวได้ สอดคล้องกับการศึกษาการงอกบนสารละลาย PEG สำหรับอิทธิพลของระดับการใช้กรดอินโดลแอซีติกต่อการส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ที่ความเข้มข้น 2.5 µM เหมาะสมต่อการนำมาใช้กับข้าวพันธุ์ กข 41 แต่พบนัยสำคัญของช่วงที่เหมาะสมต่อการใช้แคบกว่าทั้งความเข้มข้นของฮอร์โมนและระดับการขาดน้ำเมื่อเทียบกับพันธุ์ กข 31 (พันธุ์ กข 31 ใช้ที่ความเข้มข้น 2.5 และ 25 µM สำหรับทุกระดับการให้น้ำ แต่พันธุ์ กข 41 สามารถใช้ได้กับการขาดน้ำที่มีการให้น้ำทุก ๆ 4 วัน) (ภาพที่ 2.2)

แม้ว่าภายใต้สภาวะเครียดที่พืชได้รับจะมีรายงานผลกระทบที่มีต่อฮอร์โมนพืช เช่น ออกซินกรดอินโดลแอซีติกและไซโตไคนินที่พบว่ามีปริมาณลดลงและส่งผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช (Shakirova *et al*., 2003) แต่อย่างไรก็ตามการแช่เมล็ดอาจไม่ได้ส่งผลยาวนานไปถึงลักษณะอื่น ๆ ที่ตามมาของพืช ด้วยเหตุนี้ การให้ฮอร์โมนพืชเป็นระยะเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตจึงอาจเป็นสิ่งที่จำเป็น ในการศึกษานี้ จึงใช้การพ่นในสัปดาห์ที่ 1 เพื่อเสริมอิทธิพลของฮอร์โมนเพิ่มเติมและอาจเป็นอิทธิพลที่ส่งต่อถึงการเจริญเติบโตของต้นอ่อนในแต่ละสัปดาห์ ดังผลการศึกษาในข้าวทั้งสองพันธุ์นี้ สำหรับลักษณะอื่น ๆ ของพืชที่ต่อเนื่องจากการงอก เช่น ความสูงต้น หรือลักษณะองค์ประกอบผลผลิตอื่น ๆ แม้จะไม่ได้อิทธิพลจากการแช่เมล็ดด้วยฮอร์โมนเพราะการแช่เมล็ดจะส่งผลเพียงสั้น ๆ เช่น เปอร์เซ็นต์การงอก แต่การส่งเสริมการเจริญเติบโตในระยะแรกจะทำให้พืชสามารถปรับตัวในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่ไม่เหมาะสมได้มากขึ้น การงอกหรือการโผล่พ้นดินของ coleoptile ได้เร็ว การเจริญเติบโตได้เร็วขึ้นและลักษณะอื่น ๆ เหล่านั้นที่เป็นผลสืบเนื่องที่จะส่งผลกระทบต่อผลผลิตของพืชได้ในที่สุด (McKell, 1972; Yousof and El-Saidy, 2014) ด้วยเหตุนี้ การศึกษาในระยะการงอกจึงมีความสำคัญเพราะอาจสามารถทำนายไปยังโอกาสในการสร้างผลผลิตสุดท้ายของพืช การแช่เมล็ดเป็นการกระตุ้นการงอกของเมล็ด (seed priming) วิธีการหนึ่งที่มีวัตถุประสงค์ทั้งเพื่อทำลายการพักตัวของเมล็ดและลดระยะเวลาระหว่างการเพาะและการงอกต้นอ่อน (Parera and Cantliffe, 1994) หลาย ๆ ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการงอก ทั้งระยะเวลาที่ใช้ระหว่างการงอก เปอร์เซ็นต์การงอกหรือเปอร์เซ็นต์การงอกโผล่พ้นดินของ coleoptile รวมทั้งลักษณะบ่งชี้ต่าง ๆ ที่แสดง

ประสิทธิภาพและความแข็งแรงของการงอกและของต้นอ่อน จึงเป็นชุดของลักษณะที่ใช้ในการประเมินผลที่มีความสำคัญในการศึกษาทั้งอิทธิพลเนื่องจากความเครียดจากการขาดน้ำในดินและอิทธิพลของการใช้กรดอินโดลแอซีติกในครั้งนี้ (Kaw and Khush, 1986; Gorai *et al*., 2009) ทั้งนี้มีรายงานที่มีการใช้กรดอินโดลแอซีติกต่อการเพิ่มความแข็งแรงของเมล็ดในสภาพแล้งน้ำด้วยเช่นกัน (Saeidi *et al*., 2014)

การงอกหรือการพักตัวของเมล็ดนั้นมีรายงานว่าได้รับอิทธิพลมาจากพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมความทั้งปฏิกิริยาร่วมของทั้งสองปัจจัย ด้วยเหตุนี้การแสดงออกที่แตกต่างทั้งช่วงของระดับการใช้กรดอินโดลแอซีติกที่เหมาะสมและสามารถส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนและสภาพความเครียดจากการจัดสภาพการขาดน้ำที่แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์จึงเป็นสิ่งที่สามารถสังเกตเห็นได้ในการศึกษา (Koornneef *et al*., 2002) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในครั้งนี้มีความสอดคล้องของผลการศึกษาระหว่างการใช้สารละลาย PEG (การทดลองที่ 1) และการทดสอบการงอกและเจริญเติบโตในดินปลูก ในแต่ละพันธุ์ข้าว (การทดลองที่ 2)

ทั้งนี้ระดับของการใช้กรดอินโอลแอซีติกที่เหมาะสมนอกจากขึ้นกับพันธุ์พืชแล้วตามผลการศึกษาครั้งนี้ยังขึ้นกับชนิดพืช และแหล่งของฮอร์โมนด้วยเช่นกัน (Shinkle *et al*., 1984; Sarwa and Kremmer, 1995; Suzuki *et al*., 2003; Malik and Sindhu, 2011; Abiri *et al*., 2016) ขณะที่มีบางรายงานที่กล่าวว่าการใช้กรดอินโดลแอซีติกจากแบคทีเรียหลายชนิดแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Baset Mia and Shamsuddin, 2009)

ระดับของฮอร์โมนที่เหมาะสมจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Spaepen *et al*., 2007) แต่หากความเข้มข้นที่ไม่เหมาะสมมีรายงานผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของราก ของยอด และอัตราการงอกเช่นกัน (de Freitas and Germida, 1990; Barazani and Friedman, 1999) ทั้งนี้ความเข้มข้นและชนิดของแบคทีเรียที่ใช้ในการสกัดกรดอินโดลแอซีติกที่ส่งผลต่อพืชนั้นขึ้นกับบทบาทของฮอร์โมนนั้นทั้งต่อพืชและบทบาทที่มีต่อแบคทีเรียเอง (Arshad and Frankenberger, 1992; Chauhan *et al*., 2009; Tabatabaei *et al*., 2016) อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ระดับกรดอินโดลแอซีติกที่เหมาะอยู่ระหว่าง 2.5 - 25 µM ซึ่งต่ำกว่าระดับที่มีรายงานว่าเหมาะสมต่อการชักนำการงอกในข้าว indica (*Oryza sativa* L.) ที่ Abiri *et al*. (2016) รายงานไว้ที่ระดับ 285 และ 570 µM และการศึกษาของ Purwanto *et al*. (2017) ที่ใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ผลิตได้จากแบคทีเรียว่าสามารถเพิ่มความสูงข้าวที่อายุ 16 วัน ได้ที่การใช้ความเข้มข้น 108.87 µM IAA (19.10 mg/l)

จากการศึกษาที่พบอิทธิพลของการให้กรดอินโดลแอซีติกจากแบคทีเรียต่อความยาวของราก และคะแนนส่วนราก (การให้คะแนนรากมีการประเมินภาพรวมทั้ง seminal root, lateral root และ adventitious root) แต่พบเฉพาะข้าวพันธุ์ กข 41 ทั้งนี้มีรายงานลักษณะที่ได้รับอิทธิพลเนื่องจากความเข้มข้นของออกซิน ได้แก่ ความยาวราก (primary root length) ความยาวขนราก (Pitts *et al*., 1998; Rahman *et al*., 2002b; Peret *et al*., 2009) และจำนวนรากแขนง (number of lateral root primodia) (Peret *et al*., 2009) และจำนวนรากพิเศษ (adventitious root หรือ crown root) (Inukai *et al*., 2005) การศึกษาผลของการใช้ฮอร์โมนกรดอินโดลแอซีติกนี้ดำเนินการกับข้าวอายุหลังงอกไม่เกิน 3 สัปดาห์นับเป็นระยะเริ่มต้นเจริญเติบโตของพืช นอกจากการใช้ฮอร์โมนโดยการแช่เมล็ดในระยะเริ่มต้นแล้ว จึงมีการพ่นสารละลายฮอร์โมนตามความเข้มข้นอีกจำนวนหนึ่งครั้งด้วยเหตุนี้ ข้าวจะได้รับออกซินจากภายนอกทั้งจากการพ่น และออกซินที่พืชมีการสังเคราะห์ขึ้นจากใบอ่อนและใบเลี้ยง (Ljung *et al*., 2001) ที่สามารถเคลื่อนย้ายผ่านท่ออาหารไปยังรากได้ เช่นเดียวกับที่มีรายงานในต้น aspen (*Populus tremula*) และต้นถั่วปากอ้า (*Vicia faba*) (Eliasson, 1972; Tsurumi and Wada, 1980) หรืออาจกล่าวได้ว่า การสร้างรากของพืชเกี่ยวข้องทั้งส่วนยอดและรากซึ่งต่างเป็นแหล่งที่พบการสะสมออกซินนั่นเอง ข้าวก็เป็นพืชที่พบว่าการขนย้ายกรดอินโดลแอซีติกที่มีผลต่อการสร้างรากแขนงด้วยเช่นกัน (Chhun *et al*., 2007) ทั้งนี้

การที่ไม่พบผลของการใช้กรดอินโดลแอซีติกกับลักษณะของรากในบางพันธุ์ เช่น พันธุ์ กข 31 สำหรับการทดลองนี้อาจเป็นเพราะพืชในระยะเริ่มเจริญเติบโตมีการสร้างฮอร์โมนดังกล่าวอยู่แล้วทั้งในส่วนยอดและรากดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ดังกล่าวการเจริญเติบโตของรากจะตอบสนองต่อการใช้ปริมาณกรดอินโดลแอซีติกที่ค่อนข้างต่ำ (Tien *et al*., 1979; Dobbelaere *et al*., 1999; Spaepen *et al*., 2008) นั่นอาจเป็นสาเหตุที่ไม่สามารถสังเกตเห็นผลกระทบที่มีต่อรากในข้าวบางพันธุ์

ขณะที่การเพิ่มออกซินจากภายนอกส่งผลต่อการสร้างใบอ่อนของข้าวทั้งสองพันธุ์ ซึ่งการสร้างใบหรือยอดมีความสำคัญเพราะเป็นแหล่งที่มีการสร้างออกซิน (Ljung *et al*., 2001) จะส่งเสริมให้พืชสามารถหลีกหนีความเครียดที่กำลังเผชิญอยู่ได้ (stress avoidance) (M**ü**hlenbock *et al*., 2008)

มีรายงานวิจัยที่มีการใช้ความเข้มข้นของกรดอินโดลแอซีติกที่ใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้ และให้ผลการศึกษาที่สอดคล้องกัน ได้แก่ การศึกษาของ Qian *et al*. (2013) พบว่าน้ำหนักส่วนยอดของข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 20.0 เปอร์เซ็นต์เป็น 36.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับความเข้มข้นของกรดอินโดลแอซีติกเพิ่มขึ้นจาก 25 µM ถึง 100 µM IAA ตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และน้ำหนักรากข้าวจะได้รับผลกระทบมาก เมื่อได้รับกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเข้มข้นที่สูงมากกว่า 10 µM (39.1 เปอร์เซ็นต์) ได้แก่ การใช้ที่ 25 µM (25.9 เปอร์เซ็นต์) และ 100 µM (17.8 เปอร์เซ็นต์) แต่มีความแตกต่างกันสำหรับลักษณราก ที่ Qian *et al*. (2013) พบว่า การใช้ฮอร์โมนที่ความเข้มข้นต่ำ ได้แก่ 0.0003 µM ไม่มีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของ seminal roots ของข้าว แต่การใช้ที่ความเข้มข้นของกรดอินโดลแอซีติก ระหว่าง 0.003 ถึง 30 µM จะไปมีผลทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของ seminal roots สำหรับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่ความเข้มข้นฮอร์โมนที่ระดับ 0.003, 0.03, 0.3, 3 และ 30 µM เท่ากับ 9, 16, 34, 50, และ 87 ตามลำดับ (Changxi *et al*., 2011) หรือการเจริญเติบโตของรากตอบสนองต่อปริมาณฮอร์โมนกรดอินโดลแอซีติกภายนอกที่ระดับต่ำกว่าการเจริญของส่วนเหนือดินนั่นเอง

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการงอกของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน

ปัจจัย ความเข้มข้น IAA	EP	SEI	MTE	ER	CE	VI	SL_week 1
0 µM (control)	75.00±26.11 ^{B}	1.21±0.46 ^{B}	3.10±1.59	0.87±0.13 ^{AB}	37.15±8.41 ^{AB}	6.46±3.89 ^{B}	7.67±3.06 ^{B}
2.5 µM Bac.	97.92±7.22 ^{A}	1.64±0.18 ^{A}	2.62±0.43	0.91±0.06 ^{A}	39.08±6.62 ^{A}	10.84±2.14 ^{A}	11.06±1.94 ^{A}
25 µM Bac.	100±0.00 ^{A}	1.36±0.25 ^{B}	3.67±1.01	0.78±0.12 ^{C}	29.54±7.12 ^{C}	9.73±2.62 ^{A}	9.73±2.62 ^{A}
50 µM Bac.	85.42±16.71 ^{B}	1.24±0.30 ^{B}	3.25±0.99	0.82±0.14 ^{BC}	33.42±9.92 ^{BC}	4.41±2.72 ^{C}	5.05±2.66 ^{C}
100 µM Bac.	95.83±9.73 ^{A}	1.40±0.17 ^{B}	3.03±0.38	0.85±0.05 ^{ABC}	33.48±3.90 ^{BC}	7.37±1.54 ^{B}	7.64±1.12 ^{B}
P-value (F-test)	7.16 x 10^{-6} (**)	0.00128 (**)	0.117 (ns)	0.0240 (*)	0.0133 (*)	1.27 x 10^{-10} (**)	1.92 x 10^{-9} (**)
Watering							
Every 2 days	97.50±7.69 ^{x}	1.56±0.18 ^{x}	2.89±0.71	0.88±0.07	36.14±5.27	10.24±2.73 ^{x}	10.31±2.58 ^{x}
Every 4 days	88.75±17.16 ^{y}	1.33±0.36 ^{y}	3.28±1.37	0.84±0.14	34.71±10.30	6.85±2.84 ^{y}	7.52±2.51 ^{y}
Every 7 dats	86.25±22.18 ^{y}	1.22±0.30 ^{y}	3.23±0.84	0.82±0.12	32.75±7.50	6.20±3.51 ^{y}	6.86±3.10 ^{y}
P-value (F-test)	8.64 x10^{-3} (**)	4.85 x 10^{-4} (**)	0.369 (ns)	0.1921 (ns)	0.2948 (ns)	1.09 x10^{-8} (**)	3.58 x10^{-7} (**)
IAA x watering							
P-value (Ftest)	3.79 x 10^{-4} (**)	0.3235 (ns)	0.105 (ns)	0.0614 (ns)	0.0336 (*)	0.0387 (*)	0.278 (ns)
CV (%)	12.64	18.49	29.81	11.97	19.71	23.54	21.73
Mean	90.83	1.37	3.13	0.85	34.53	7.76	8.23

หมายเหตุ : EP; emergenced percentage, SEI; speed emergence index; MTG; mean time to emergence, ER; emergence rate, Co-efficient emergence; VI; vigor index; SL; Shoot length, Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA, NA = ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

*, ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความถี่ของการให้น้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) เปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการงอกของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน

ปัจจัย ความเข้มข้น IAA	SL_week 2	SL_week 2	RL_week 3	RC	SDW_week 3	RDW_week 3	SDW/RDW ratio
0 µM (control)	16.49±4.92 ^{B}	19.95±3.83 ^{B}	7.08±2.12	3.80±0.75	0.011±0.003	$4.84\times10^{-3}\pm1.87\times10^{-3}$	2.228±0.783
2.5 µM Bac.	21.01±3.43 ^{A}	23.75±1.94 ^{A}	8.39±3.20	4.46±0.63	0.018±0.013	$5.54\times10^{-3}\pm1.33\times10^{-3}$	2.227±0.663
25 µM Bac.	19.44±3.99 ^{A}	22.91±3.47 ^{A}	8.17±2.88	4.12±0.45	0.013±0.002	$5.27\times10^{-3}\pm1.07\times10^{-3}$	2.555±0.709
50 µM Bac.	12.79±5.47 ^{C}	17.30±4.56 ^{B}	8.09±2.12	3.62±1.15	0.012±0.008	$6.22\times10^{-3}\pm1.45\times10^{-3}$	1.864±0.964
100 µM Bac.	16.07±1.57 ^{B}	19.11±1.94 ^{B}	7.34±1.80	3.88±0.65	0.014±0.006	$5.53\times10^{-3}\pm9.43\times10^{-4}$	2.546±1.109
P-value (F-test)	2.03×10^{-6} (**)	6.66×10^{-6} (**)	0.393 (ns)	0.0632 (ns)	0.225 (ns)	0.184 (ns)	0.274 (ns)
Watering							
Every 2 days	20.19±4.27 ^{x}	22.62±3.38 ^{x}	6.57±2.35 ^{y}	3.70±0.60 ^{y}	0.014±0.002	$5.77\times10^{-3}\pm1.79\times10^{-3}$	2.463±0.789
Every 4 days	16.81±4.21 ^{y}	20.30±4.06 ^{y}	9.80±1.93 ^{x}	4.41±0.58 ^{x}	0.014±0.010	$5.56\times10^{-3}\pm1.21\times10^{-3}$	2.086±0.789
Every 7 dats	14.47±4.60 ^{Z}	18.90±3.87 ^{y}	7.07±1.75 ^{y}	3.81±0.98 ^{y}	0.013±0.009	$5.07\times10^{-3}\pm1.00\times10^{-3}$	2.344±1.052
P-value (F-test)	8.77×10^{-3} (**)	8.97×10^{-4} (**)	4.74×10^{-6} (**)	0.017 (*)	0.966 (ns)	0.228 (ns)	0.388 (ns)
IAA x watering							
P-value (Ftest)	0.266 (ns)	0.3015 (ns)	0.126 (ns)	0.5976 (ns)	0.372 (ns)	0.395 (ns)	0.242 (ns)
CV (%)	19.20	14.21	24.68	16.21	54.81	24.49	36.95
Mean	17.16	20.61	7.81	3.98	0.014	0.0055	2.297

หมายเหตุ : SL; shoot length, RL; root length; RC; root score (วิเคราะห์โดยการ transform data โดยวิธี take logarithm), SDW; shoot dry weight, RDW; root dry weight, Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA, NA = ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ,

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

*, ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความถี่การให้น้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การโผล่พ้นดิน (Emergenced percentage; EP) ของ coleoptile ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน

ความถี่ของการให้น้ำ	**เปอร์เซ็นต์การโผล่พ้นดินของ coleoptile**					**ค่าเฉลี่ย (ความถี่ของการให้น้ำ)**
	ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
ให้น้ำทุก 2 วัน	93.75±12.5 ^{ab}	100±0.00 ^{a}	100±0.00 ^{a}	93.75±12.50 ^{ab}	100±0.00 ^{a}	97.50±7.69 ^{x}
ให้น้ำทุก 4 วัน	81.25±23.94 ^{bc}	93.75±12.50 ^{ab}	100±0.00 ^{a}	68.75±12.50 ^{c}	100±0.00 ^{a}	88.75±17.16 ^{y}
ให้น้ำทุก 7 วัน	50.00±20.41 ^{d}	100±0.00 ^{a}	100±0.00 ^{a}	93.75±12.50 ^{ab}	87.50±14.43 ^{ab}	86.25±22.18 ^{y}
ค่าเฉลี่ย	75.00±	97.92±	100±	85.42±	95.83±	
(ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	26.11 ^{B}	7.22 ^{A}	0.00 ^{A}	16.71 ^{B}	9.73 ^{A}	

(P-value) F-test	
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(7.16×10^{-6}) ****
ความถี่ของการให้น้ำ	**(8.64×10^{-3}) ****
กรดอินโดลแอซิติก × การให้น้ำ	**(3.79×10^{-4}) ****
CV (%)	**12.64**
mean	**90.83**

หมายเหตุ : : Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความถี่ของการให้น้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและความถี่ของการให้น้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ของการโผล่พ้นดิน (Co-efficient of emergence; CE) ของ coleoptile ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน

ความถี่ของการให้น้ำ	**สัมประสิทธิ์ของการโผล่พ้นดินของ coleoptile**					**ค่าเฉลี่ย (ความถี่ของการให้น้ำ)**
	ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
ให้น้ำทุก 2 วัน	38.47±1.83 $^{a-d}$	41.11±2.22 ^{abc}	33.11±7.44 $^{a-f}$	36.80±2.77 $^{a-e}$	31.23±4.42 $^{b-f}$	36.14±5.27
ให้น้ำทุก 4 วัน	31.11±12.03 $^{c-f}$	42.69±9.24 ^{a}	29.62±7.98 ^{def}	37.86±14.45 $^{a-d}$	32.26±3.36 $^{a-f}$	34.71±10.30
ให้น้ำทุก 7 วัน	41.88±5.54 ^{ab}	33.45±2.29 $^{a-f}$	25.55±5.66 ^{ef}	25.60±4.64 ^{f}	36.93±0.66 $^{a-e}$	32.75±7.50
ค่าเฉลี่ย	37.15±	39.08±	29.54±	33.42±	33.48±	
(ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	8.41 ^{AB}	6.62 ^{A}	7.12 ^{C}	9.92 ^{BC}	3.90 ^{BC}	
(P-value) F-test						
วามเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(0.0133) ***					
ความถี่ของการให้น้ำ	**(0.2948) ns**					
กรดอินโดลแอซิติก × การให้น้ำ	**(0.0336) ***					
CV (%)	**19.71**					
mean	**34.53**					

หมายเหตุ : : Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและความถี่ของการให้น้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบดัชนีความแข็งแรง (Vigour index; Vi) ของต้นอ่อนข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน

ความถี่ของการให้น้ำ	ดัชนีความแข็งแรงของต้นอ่อน ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					ค่าเฉลี่ย (ความถี่ของการให้น้ำ)
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
ให้น้ำทุก 2 วัน	10.88±1.72 ^{abc}	13.28±1.62 ^{a}	11.61±1.47 ^{ab}	7.24±2.39 ^{de}	8.21±1.02 ^{cde}	10.24±2.73 ^{x}
ให้น้ำทุก 4 วัน	5.42±1.91 ^{efg}	9.26±0.97 ^{bcd}	8.34±2.87 ^{cde}	3.19±2.07 ^{fg}	8.03±0.77 ^{cde}	6.85±2.84 ^{y}
ให้น้ำทุก 7 วัน	3.08±2.50 ^{g}	9.99±1.03 ^{bcd}	9.24±2.66 ^{bcd}	2.79±0.94 ^{g}	5.88±1.59 ^{ef}	6.20±3.51 ^{y}
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	6.46± 3.89 ^{B}	10.84± 2.14 ^{A}	9.73± 2.62 ^{A}	4.41± 2.72 ^{C}	7.37± 1.54 ^{B}	
3 (P-value) F-test						
วามเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(1.27 x 10^{-10}) ****					
ความถี่ของการให้น้ำ	**(1.09 x10^{-8}) ****					
กรดอินโดลแอซิติก × การให้น้ำ	**(0.0387) ***					
CV (%)	**23.54**					
mean	**7.76**					

หมายเหตุ : : Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความถี่ของการให้น้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและความถี่ของการให้น้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

0, 2.5, 25, 50, 100 µM RD4-1-1 IAA at every 2 day watering

0, 2.5, 25, 50, 100 µM RD4-1-1 IAA at evey 4 days watering

0, 2.5, 25, 50, 100 µM RD4-1-1 IAA at every 7 days watering

ภาพที่ 2.1 การเจริญเติบโตของข้าวนาสวนพันธุ์ กข 31 ภายหลังการแช่เมล็ดและพ่นต้นอ่อนด้วยกรดอินโดลแอซีติกความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ระดับการให้น้ำแตกต่างกัน (บันทึกผลสามสัปดาห์หลังการเพาะ)

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการงอกของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน

ปัจจัย ความเข้มข้น IAA	EP	SEI	MTE	ER	CE	VI	SL_week 1
0 µM (control)	93.75±15.54 ^{AB}	1.31±0.37 ^{B}	3.24±0.79	0.82±0.11	32.30±6.75 ^{B}	8.46±3.82 ^{AB}	8.79±3.45 ^{AB}
2.5 µM Bac.	97.92±7.22 ^{A}	1.32±0.29 ^{AB}	3.49±1.19	0.79±0.17	30.96±7.86 ^{B}	9.95±3.32 ^{A}	10.22±3.42 ^{A}
25 µM Bac.	100±0.00 ^{A}	1.29±0.16 ^{B}	3.42±0.72	0.80±0.10	30.30±5.42 ^{B}	7.76±2.56 ^{B}	7.76±2.56 ^{B}
50 µM Bac.	85.42±16.71 ^{B}	1.07±0.26 ^{C}	3.65±0.70	0.76±0.10	28.43±5.72 ^{B}	4.90±1.66 ^{C}	5.75±1.53 ^{C}
100 µM Bac.	97.92±7.22 ^{A}	1.52±0.28 ^{A}	2.74±0.41	0.89±0.06	37.21±5.70 ^{A}	4.90±1.66 ^{C}	10.04±2.59 ^{A}
P-value (F-test)	0.020 (*)	0.00242 (**)	0.0503 (ns)	0.0503 (ns)	(8.97×10^{-3} (**)	8.46×10^{-6} (**)	1.40×10^{-5} (**)
Watering							
Every 2 days	96.25±9.16	1.31±0.23	3.18±0.51	0.83±0.07	32.09±4.44	10.72±3.25 ^{x}	11.07±2.99 ^{x}
Every 4 days	91.25±16.77	1.25±0.36	3.31±0.74	0.81±0.11	31.52±6.43	6.41±2.52 ^{y}	6.90±2.17 ^{y}
Every 7 dats	97.50±7.69	1.34±0.33	3.43±1.15	0.80±0.16	31.91±9.13	7.42±2.78 ^{y}	7.57±2.64 ^{y}
P-value (F-test)	0.185 (ns)	0.49978 (ns)	0.5885 (ns)	0.5885 (ns)	0.95198 (ns)	7.22×10^{-7} (**)	1.22×10^{-7} (**)
IAA x watering							
P-value (Ftest)	0.595 (ns)	0.02058 (*)	0.0616 (ns)	0.0616 (ns)	0.02543 (*)	0.628 (ns)	0.432 (ns)
CV (%)	11.77	19.49	22.69	13.19	18.37	27.78	24.47
Mean	95	1.30	3.31	0.81	31.84	8.19	8.51

หมายเหตุ : : EP; emergenced percentage, SEI; speed emergence index; MTG; mean time to emergence, ER; emergence rate, Co-efficient emergence; VI; vigor index; SL; Shoot length, Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA, NA = ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

*, ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความถี่ของการให้น้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) เปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการงอกของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน

ปัจจัย ความเข้มข้น IAA	SL_week 2	SL_week 2	RL_week 3	RC	SDW_week 3	RDW_week 3	SDW/RDW ratio
0 µM (control)	16.55±3.51 ^{AB}	18.81±3.72 ^{ABC}	6.57±1.60 ^{AB}	3.35±0.73 ^{BC}	0.019±0.007	0.0098±0.0042	1.999±0.594
2.5 µM Bac.	18.31±4.05 ^{A}	21.30±4.42 ^{A}	7.14±2.06 ^{A}	4.38±0.64 ^{A}	0.028±0.027	0.0143±0.0037	1.915±1.659
25 µM Bac.	15.57±2.93 ^{B}	18.72±3.87 ^{BC}	6.59±1.26 ^{A}	3.85±0.69 ^{AB}	0.019±0.006	0.0120±0.0048	1.706±0.540
50 µM Bac.	12.93±2.92 ^{C}	17.00±4.11 ^{C}	5.23±1.26 ^{B}	3.31±0.83 ^{C}	0.018±0.007	0.0101±0.0040	1.900±0.759
100 µM Bac.	16.89±2.95 ^{AB}	20.17±3.43 ^{AB}	7.72±1.81 ^{A}	4.43±0.56 ^{A}	0.024±0.007	0.0109±0.0044	2.454±0.589
P-value (F-test)	3.85 x 10^{-4} (**)	0.0185 (*)	9.25x10^{-3} (**)	3.35 x 10^{-4} (**)	0.1228 (ns)	0.0532 (ns)	0.3338 (ns)
Watering							
Every 2 days	18.81±3.57 ^{x}	22.58±3.36 ^{x}	6.80±1.30	3.96±0.78	0.032±0.020 ^{x}	0.0141±0.0050 ^{x}	2.386±1.284 ^{x}
Every 4 days	14.87±2.87 ^{y}	18.46±3.08 ^{y}	6.70±1.57	4.06±0.58	0.017±0.003 ^{y}	0.0096±0.0032 ^{y}	1.940±0.713 ^{xy}
Every 7 dats	14.38±2.86 ^{y}	16.54±3.19 ^{y}	6.45±2.37	3.60±1.03	0.016±0.005 ^{y}	0.0105±0.0037 ^{y}	1.656±0.700 ^{y}
P-value (F-test)	7.98 x10^{-6} (**)	6.69 x10^{-7} (**)	0.79056 (ns)	0.0576 (ns)	3.43 x10^{-5} (**)	1.67 x10^{-3} (ns)	0.0411 (*)
IAA x watering							
P-value (Ftest)	0.9213 (ns)	0.8997 (ns)	0.36430 (ns)	0.2711 (ns)	0.0712 (ns)	0.8744 (ns)	0.1014 (ns)
CV (%)	17.10	16.07	24.61	15.27	50.91	34.61	44.50
Mean	16.04	19.21	6.65	3.87	0.022	0.0114	1.995

หมายเหตุ : : SL; shoot length, RL; root length; RC; root score (วิเคราะห์โดยการ transform data โดยวิธี take logarithm), SDW; shoot dry weight, RDW; root dry weight, Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA, NA = ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ, ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

*, ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

x, y อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความถี่การให้น้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบดัชนีความเร็วในการโผล่พ้นดิน (Speed emergence index ; SEI) ของ coleoptile ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน

ความถี่ของการให้น้ำ	**ดัชนีความเร็วในการโผล่พ้นดินของ coleoptile**					**ค่าเฉลี่ย (ความถี่ของการให้น้ำ)**
	ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
ให้น้ำทุก 2 วัน	1.34±0.22 $^{a-d}$	1.30±0.18 $^{b-e}$	1.38±0.05 $^{a-d}$	1.02±0.26 ^{de}	1.52±0.04 ^{abc}	1.31±0.23
ให้น้ำทุก 4 วัน	1.10±0.47 ^{de}	1.55±0.22 ^{ab}	1.36±0.18 $^{a-d}$	0.92±0.30 ^{e}	1.31±0.34 $^{b-e}$	1.25±0.36
ให้น้ำทุก 7 วัน	1.49±0.36 ^{abc}	1.12±0.33 ^{cde}	1.13±0.07 ^{cde}	1.25±0.07 $^{b-e}$	1.73±0.25 ^{a}	1.34±0.33
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	1.31±0.37 ^{B}	1.32±0.29 ^{AB}	1.29±0.16 ^{B}	1.07±0.26 ^{C}	1.52±0.28 ^{A}	
(P-value) F-test						
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(0.00242) ****					
ความถี่ของการให้น้ำ	**(0.49978) ns**					
กรดอินโดลแอซิติก × การให้น้ำ	**(0.02058) ***					
CV (%)	**19.49**					
mean	**1.30**					

หมายเหตุ : : Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและความถี่ของการให้น้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.7 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ของการโผล่พ้นดิน (Co-efficient of emergence; CE) ของ coleoptile ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 41 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีความถี่ของการให้น้ำแตกต่างกัน

ความถี่ของการให้น้ำ	**สัมประสิทธิ์ของการโผล่พ้นดินของ coleoptile**					**ค่าเฉลี่ย (ความถี่ของการให้น้ำ)**
	ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA					
	Control	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	Bac 50 µM	Bac 100 µM	
ให้น้ำทุก 2 วัน	31.76±6.09 $^{b-e}$	31.82±3.03 $^{b-e}$	33.33±0.00 $^{b-e}$	27.17±4.45 ^{de}	36.36±0.00 ^{abc}	32.09±4.44
ให้น้ำทุก 4 วัน	28.33±6.38 ^{cde}	35.54±7.99 $^{a-d}$	32.40±6.08 $^{b-e}$	28.00±6.66 ^{cde}	33.33±4.29 $^{b-e}$	31.52±6.43
ให้น้ำทุก 7 วัน	36.82±6.36 ^{ab}	25.51±9.22 ^{e}	25.17±4.19 ^{e}	30.11±7.06 $^{b-e}$	41.94±7.05 ^{a}	31.91±9.13
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	32.30±6.75 ^{B}	30.96±7.86 ^{B}	30.30±5.42 ^{B}	28.43±5.72 ^{B}	37.21±5.70 ^{A}	
(P-value) F-test						
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(8.97 x 10^{-3}) ****					
ความถี่ของการให้น้ำ	**(0.95198) ns**					
กรดอินโดลแอซิติก x การให้น้ำ	**(0.02543) ***					
CV (%)	**18.37**					
mean	**31.84**					

หมายเหตุ : : Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

A,B, ... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b,... อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกและความถี่ของการให้น้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

0, 2.5, 25, 50, 100 µM RD4-1-1 IAA at every 2 day watering

0, 2.5, 25, 50, 100 µM RD4-1-1 IAA at evey 4 days watering

0, 2.5, 25, 50, 100 µM RD4-1-1 IAA at every 7 days watering

ภาพที่ 2.2 การเจริญเติบโตของข้าวนาสวนพันธุ์ กข 41 ภายหลังการแช่เมล็ดและพ่นต้นอ่อนด้วยกรดอินโดลแอซีติกความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ระดับการให้น้ำแตกต่างกัน (บันทึกผลสามสัปดาห์หลังการเพาะ)

<u>การทดลองที่ 3</u> ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อน้ำหนักเมล็ดของข้าวนาสวนที่ปลูกในดินที่ขาดน้ำ

การศึกษาดำเนินการในสภาพโรงเรือนแบบเปิด ทำให้เกิดปัญหาหนูเข้าทำลายต้นข้าวอย่างหนัก จนไม่สามารถเก็บข้อมูลอื่น ๆ ได้ นอกจากน้ำหนักเมล็ดของข้าวนาสวนพันธุ์ กข 31 พบว่าการขาดน้ำให้ค่าเฉลี่ยลดลง แม้จะไม่แตกต่างทางสถิต ขณะที่การใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ 2.5 µM ให้น้ำหนักเมล็ดไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม แต่มีค่าน้ำหนักเมล็ดสูงกว่าความเข้มข้น 0.25 และ 25 µM ซึ่งเมื่อพิจารณาในแต่ระดับของการจัดสภาพการขาดน้ำของต้นข้าวแล้ว ที่ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกมีน้ำหนักเมล็ดสูงกว่าความเข้มข้นอื่น ๆ ในทุกสภาพการจัดการน้ำ (ตารางที่ 3) อย่างไรก็ตามจากปัญหาในการเข้าทำลายของหนู ข้อมูลที่ได้จากศึกษาจึงได้มาจากเมล็ดที่เหลือที่สามารถรวบรวมได้จากแต่ละทรีตเมนต์ ทำให้ไม่สามารถประเมินแยกระหว่างน้ำหนักเมล็ดจากรวงของหน่อหลักหรือหน่อรองได้ ซึ่งเมล็ดในแต่ละรวงที่สร้างขึ้นภายในแต่ละกอของข้าวมีความได้เปรียบในการสะสมน้ำหนักเมล็ด ทั้งนี้แม้ข้าวจะมีหลายหน่อแต่หน่อที่เกิดหลังๆ อาจไม่ให้ผลผลิตหรือให้ผลผลิตน้อย (Wang *et al*., 2007; Wang *et al*., 2017) ที่อาจเป็นผลมาจากการสะสมไนโตรเจนและการขนย้ายในหน่อที่เกิดหลัง ๆ ที่น้อยเนื่องจากพบว่ามีการสะสมธาตุอาหารไนโตรเจนสูงในหน่อดังกล่าว (Sparkes *et al*., 2006; Wang *et al*., 2016; Wang *et al*., 2017) โดยเฉพาะพันธุ์ที่มีช่วงการเจริญเติบโตสั้นยิ่งส่งผลจะยิ่งส่งผลกระทบต่อการผลิตเมล็ด (Mohapatra and Kariali, 2008)

มีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับระยะเริ่มต้นของการสร้างเมล็ดโดยการใช้ฮอร์โมนกรดอินโดลแอซีติกในข้าวสาลีที่ประสบปัญหาขาดน้ำพบว่าการพ่นฮอร์โมนชนิดนี้ทางใบสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตได้โดยการไปเพิ่มน้ำหนักเมล็ดแต่ไม่ส่งผลต่อลักษณะจำนวนเมล็ดต่อรวงและทำให้เมล็ดมีความแข็งแรงซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการนำไปปลูกในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมอื่น ๆ ได้ต่อไป (Saeidi *et al*., 2014) นอกจากนี้ยังพบว่าการนำแบคทีเรียที่สามารถผลิตกรดอินโดลแอซีติกหลายชนิดทั้ง *Bacillus aerius*, *Pseudomonas fragi* และ *Bacillus cereus* สามารถเพิ่มได้ทั้งความสูงของต้นข้าวและเพิ่มน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวได้ถึง 99.54% คือเพิ่มจาก 15.24 กรัม เป็น 30.41 กรัม (Susilowati *et al*., 2002) เป็นเพราะแบคทีเรียที่สามารถผลิตกรดอินโดลแอซีติกเหล่านั้นสามารถเพิ่มทั้งการเจริญเติบโตและการขยายของราก การเพิ่มพื้นที่รากหมายถึงการที่พืชสามารถใช้ธาตุอาหารจากดินได้มากขึ้น (Bolero *et al*., 2007; Dewi *et al*., 2013)

ทั้งนี้มีการอธิบายเฉพาะอิทธิพลของกรดอินโดลแอซีติกต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ การเป็นฮอร์โมนออกซินที่สำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโต รวมทั้งมีความสำคัญต่อการขยายเซลล์ (cell enlargement) และการเปลี่ยนสภาพเซลล์ (cell differentiation) ด้วยเหตุนี้ การนำกรดอินโดลแอซีติกที่ผลิตได้จากแบคทีเรียเมื่อนำไปใช้กับเนื้อเยื่อพืชที่มีการตอบสนองได้ จะสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชและปรับปรุงผลผลิตได้ (Susilowati *et al*., 2002) อธิบายความสัมพันธ์ทางบวกได้ระหว่างการแบ่งเซลล์และอัตราการเติมเต็มเมล็ด รวมทั้งความเข้มข้นของฮอร์โมนที่อยู่ภายใน การพบความเข้มข้นของฮอร์โมนภายในต้นข้าวต่ำจะส่งผลต่อการเติมเต็มเมล็ดที่ไม่ดีทั้งนี้เพราะการมีฮอร์โมนที่จำเป็นในต้นข้าวต่ำจะส่งผลต่ออัตราการแบ่งเซลล์และการมีเซลล์เอนโนสเปิร์มต่ำ มีอัตราการเติมเต็มเมล็ดช้าและมีเมล็ดขนาดเล็ก (Zhang *et al*., 2015)

ด้วยเหตุนี้ การเสริมกรดอินโดลแอซีติกจากภายนอกจึงอาจส่งเสริมการเติมเต็มเมล็ดได้ การพ่นที่ระยะเริ่มต้นของการเติมเต็มเมล็ดในการศึกษาในครั้งนี้เพราะเป็นระยะสำคัญที่เป็นระยะสุดท้ายของการเจริญเติบโตของ

ข้าวจะเป็นระยะที่สามารถกำหนดน้ำหนักสุดท้ายของของเมล็ดข้าวได้ซึ่งหมายถึงการให้ทั้งปริมาณและคุณภาพของผลผลิต (Wang *et al*., 2012) ทั้งนี้เมล็ดที่อยู่ด้านบนหรือเมล็ดที่มีคุณภาพมักจะออกดอกเร็ว เติมเต็มเมล็ดเร็ว และให้น้ำหนักเมล็ดที่ดีและปริมาณมาก (Zhang *et al*., 2016) มีการให้เหตุผลเพิ่มเติมถึงการมีการเติมเต็มเมล็ดต่ำในรวงหรือเมล็ดที่อยู่ล่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเมล็ดจากกิ่งหรือหน่อที่เกิดทีหลังหรืออยู่ล่าง ๆ ซึ่งตามทฤษฎีแล้วการมีเมล็ดล่างที่มีการเติมเต็มเมล็ดต่ำเป็นผลมากจากการได้รับปัจจัยต่าง ๆ ที่จำกัด (Murty and Murty, 1982) การมีขนาดตัวเก็บอาหาร (sink size) ที่จำกัด (Kato, 2004) การมีฮอร์โมนที่ไม่สมดุล (Yang *et al*., 2006; Zhang *et al*., 2009a) รวมไปถึงการแสดงออกยีนที่เกี่ยวข้องลดลงทำให้มีเอนไซม์มาทำหน้าที่ในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแป้งลดลงด้วย (Ishimaru *et al*., 2005; Wang *et al*., 2008) การขนส่งสารที่ได้จากการสังเคราะห์ไปยังเมล็ดที่มีอย่างจำกัด (Yang *et al*., 2002; Fu *et al*., 2011) การเสริมออกซินซึ่งเป็นฮอร์โมนที่มีการผลิตอยู่แล้วในต้นพืชอาจสามารถส่งเสริมการเติมเต็มเมล็ดได้เพราะออกซินเกี่ยวข้องกับการควบคุมการเจริญและพัฒนาของเมล็ดเช่นเดียวกับฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน (Zhang *et al*., 2016)

แต่ทั้งนี้เนื่องจากมีหลายฮอร์โมนที่พบในพืชและหลายชนิดต่างมีบทบาทต่อการเติมเต็มเมล็ดเช่นกัน เช่น ไซโตไคนินที่มีบทบาทต่อพัฒนาเมล็ดและการแบ่งเซลล์เอนโดสเปิร์ม (Morris *et al*., 1993) ขณะที่บางรายงานกล่าวว่าการที่เมล็ดมีการเติมเต็มต่ำในข้าวเป็นผลมาจากการมีความเข้มข้นของกรดอินโดลแอซีติกและกรดแอบไซซิกต่ำ (Wang *et al*., 1998; Yang *et al*., 1999) นั่นหมายถึงการเสริมกรดอินโดลแอซีติกจากภายนอกระดับหรือความเข้มข้นที่เหมาะสมมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดสมดุลทั้งระหว่างกรดอินโดลแอซีติกที่เสริมรวมทั้งที่มีการสร้างอยู่แล้วในพืชและปฏิกิริยาหรือสมดุลร่วมกับฮอร์โมนชนิดอื่น ๆ ด้วย เพราะในการศึกษาในข้าวโพดพบว่ากรดอินโดลแอซีติกมีการสร้างเพิ่มขึ้นหลังจากที่มีการถ่ายละอองเกสรเพียง 10 วัน พร้อมๆ ไปกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณดีเอ็นเอ (Lur and Setter, 1993)

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบน้ำหนักเมล็ด (Seed weight) ของข้าวนาสวน พันธุ์ กข 31 ที่พ่นรวงด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินที่มีระดับความชื้นดินแตกต่างกัน

สภาวะของดิน	**น้ำหนักเมล็ด (กรัมต่อเมล็ด)**				**ค่าเฉลี่ย (ความถี่ของการให้น้ำ)**
	ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA				
	Control	Bac 0.25 µM	Bac 2.5 µM	Bac 25 µM	
ระดับความชื้นดินปกติ	0.0224±0.0012	0.0210±0.0024	0.0224±0.0018	0.0185±0.0027	0.0210±0.0025
ระดับดินแห้งแล้ง	0.0212±0.0009	0.0194±0.0025	0.0213±0.0017	0.0191±0.0010	0.0206±0.0016
ค่าเฉลี่ย (ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก)	0.0218±0.0012 ^{A}	0.0205±0.0023 ^{B}	0.0218±0.0017 ^{A}	0.0187±0.0021 ^{C}	
(P-value) F-test					
ความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติก	**(0.019) ***				
ระดับความชื้นดิน	**(0.597) ns**				
กรดอินโดลแอซิติก x ความชื้นดิน	**(0.791) ns**				
CV (%)	**9.08**				
mean	**0.0208**				

หมายเหตุ : : Control = น้ำกลั่น; Bac = Bacteria IAA

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

A, B อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นกรดอินโดลแอซีติกที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

<u>การทดลองที่ 4</u> ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อความสูงและผลผลิตของข้าวนาสวนบางพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกกต่างกัน

จากการวิเคราะห์แบบแฟคทอเรียลโดยพิจารณาปัจจัยการใช้สารละลายกรดอินโดลแอซิกที่ความเข้มข้น 2.5 µM และระยะเวลาที่มีการพ่นแยกเป็นรายพันธุ์ของข้าวนาสวนในระดับแปลงของเกษตรกร (ตารางที่ 4.1-4.3) พบว่าแม้หลายพันธุ์จะมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่ได้มีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับพื้นที่เก็บเกี่ยว คือ 20 ตารางเมตร เนื่องจากการปลูกของเกษตรกรเป็นแบบนาหว่านทำให้ไม่สามารถประเมินองค์ประกอบผลผลิตได้ แต่มีการประเมินผลต่อความสูงผลว่าการพ่นกรดอินโดลแอซีติกทำให้ต้นข้าวมีความสูงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้พบว่าพันธุ์ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 ที่การพ่นระยะเติมเต็มเมล็ดมีแนวโน้มให้ทั้งความสูงและผลผลิตสูงกว่าการพ่นที่ระยะแตกกอ และการพ่นมีแนวโน้มเพิ่มความสูงและผลผลิตข้าวด้วยเช่นกัน แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่พันธุ์อื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างทรีตเมนต์การพ่นและไม่พ่นกรดอินโดลแอซีติก อย่างไรก็ตามหากทำการประเมินผลการใช้กรดอินโดลแอซีติกแยกระหว่างการพ่นที่ระยะการแตกกอและระยะการเติมเต็มเมล็ดแล้ว พบว่าการพ่นที่ระยะแตกกอผลผลิตของข้าวทุกพันธุ์จะตอบสนองต่อการพ่นได้ดีกว่าการพ่นที่ระยะเติมเต็มเมล็ด ยกเว้นพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกในแปลงที่มีดินเป็นดินด่างและข้าวพันธุ์ กข 43 ขณะที่การพ่นในระยะแตกกอสามารถเพิ่มความสูงได้ในข้าวทุกพันธุ์ อย่างไรก็ตามปัญหาในการดำเนินการวิจัยสำหรับการศึกษาในแปลงนาแต่ใช้พื้นที่ขนาดเล็ก คือการควบคุมทิศทางของสารละลายที่ปริมาณการได้รับกรดอินโดลแอซีติกอาจน้อยลงไปอีก (ตารางที่ 4.4)

มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ฮอร์โมนพืชในการผลิตข้าว เช่น การใช้ออกซิน indole-3-acetaminde (IAM) ซึ่งเป็นผลิตผลตัวกลางในที่เกิดในเส้นทางของทริปโตเฟน (tryptophan) ไปเป็นกรดอินโดลแอซิติกนำมาใช้กับการปลูกข้าวพบว่าการใช้ในระดับต่ำคือไมโครโมลาร์ ($\sim 10^{-3}$ - 10^{-9}) ส่งผลต่อการเพิ่มความสูง การแตกตอจำนวนรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (Zahir *et al*., 1999) ทั้งนี้เพราะ IAM สามารถแสดงบทบาททั้งการเป็นออกซินหรือเป็นตัวกลางสำหรับการสังเคราะห์กรดอินโดลแอซิติกซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเสริมออกซินต่อการผลิตข้าว

มีการศึกษาที่มีการนำกรดอินโดลแอซีติกไปใช้กับการผลิตข้าวในระยะสร้างผลผลิตหรือ reproductive phase พบว่าสามารถเพิ่มผลผลิต น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และเปอร์เซ็นต์เมล็ดเติมเต็มให้กับข้าวในสภาพเครียดเนื่องจากความเค็มได้และใช้ได้ผลกับพันธุ์ที่อ่อนแอต่อความเค็มมากกว่าใช้กับพันธุ์ที่ต้านทาน ทั้งนี้การใช้กรดอินโดลแอซีติกกับการปลูกข้าวพบว่าจะทำให้ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ (total soluble sugar) มีค่าลดลงหรือการไปเพิ่มซูโครสในเมล็ดซึ่งเป็นรูปแบบการตอบสนองลำดับต้น ๆ หลังการใช้ฮอร์โมนดังกล่าวนี้ ซึ่งจะส่งผลต่อการให้ผลผลิต เพิ่มน้ำหนักเมล็ดและเพิ่มเปอร์เซ็นต์การเติมเต็มเมล็ด ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้ง ซูโครส กลูโครส และฟรุทโทรสในเมล็ดซึ่งเป็นผลมาจากการใช้กรดอินโดลแอซีติกนั่นเอง (Javid *et al*., 2011a) ซึ่งการที่ข้าวเผชิญปัญหาความเค็มสอดคล้องกับการเผชิญปัญหาความแห้งแล้งที่พืชจะไม่สามารถดูดใช้น้ำและธาตุอาหารในดินได้ แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้แปลงข้าวนาสวนของเกษตรกรไม่ได้ประสบปัญหาการขาดน้ำจึงอาจเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ไม่ปรากฏความแตกต่างระหว่างการใช้และไม่ได้ใช้กรดอินโดลแอซีติกทั้งในระยะการแตกกอและระยะการเติมเต็มเมล็ด ทั้งนี้เพราะผลผลิตเมล็ดเป็นลักษณะที่อ่อนไหวยิ่งกว่าระยะการสร้างลำต้นและใบหากเกิดความเครียดจากการปลูกในสภาพที่ไม่เหมาะสม (Khatun and Flowers, 1995)

แต่อย่างไรก็ตามในสภาวะปกติก็สามารถเสริมการสร้างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตได้ด้วยการใช้กรดอินโดลแอซีติกจากภายนอกได้เช่นกัน (Xu *et al*., 2007) เพราะบทบาทของออกซินที่มีต่อการแบ่งเซลล์ในเอนโด

สเปิร์มระหว่างระยะการเติมเต็มเมล็ดในข้าวนั่นเอง (Javid *et al*., 2011b) โดยฮอร์โมนที่ออกซินและไซโตไคนิน สามารถไปส่งเสริมการสะสมคาร์โบไฮเดรตได้ (Dietrich *et al*., 1995) ด้วยเหตุนี้การทำงานของฮอร์โมนทั้งสองกลุ่ม คือ ออกซินและไซโตไคนินจึงมีความเชื่อมโยงสัมพันธ์กัน (Yang *et al*., 2003; Javid *et al*., 2011b) มีรายงานการใช้กรดอินโดลแอซีติกความเข้มข้น 50 µM ในการเพิ่มการสะสมแป้งในเมล็ดข้าวฟ่าง (Bhatia and Singh, 2002) นอกจากนี้ยังมีการปรับใช้กรดอินโดลแอซีติกนี้กับธัญพืชอื่น ๆ เช่น ข้าวสาลี (Bangerth *et al*., 1985) เป็นต้น

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบความสูงต้นและผลผลิตต่อไร่ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ทำการพ่นด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) ที่ผลิตจากแบคทีเรียที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน

พันธุ์ชัยนาท 1	ความสูง (ซม.)			ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)		
	พ่น IAA	ไม่พ่น IAA	ค่าเฉลี่ย (ระยะการเจริญเติบโต)	พ่น IAA	ไม่พ่น IAA	ค่าเฉลี่ย (ระยะการเจริญเติบโต)
ระยะแตกกอ	83.2±8.44	76.11±1.64	79.67±6.69 b	898.4±138.4	602.4±199.2	750.4±223.2
ระยะเติมเต็มเมล็ด	99.56±8.37	93.00±4.81	96.28±7.08 a	831.2±24.8	880.8±207.2	856±134.4
ค่าเฉลี่ย (การพ่น/ไม่พ่น)	91.39±11.69	84.56±9.79		864.8±96.0	741.6±237.6	
(P-value) F-test						
การพ่น	0.0691 ns			0.2720 ns		
ระยะการเจริญเติบโต	0.0017 **			0.3380 ns		
การพ่น x ระยะการเจริญเติบโต	0.9313 ns			0.1400 ns		
CV (%)	6.09			21.94		
ค่าเฉลี่ย	87.97			803.2		

หมายเหตุ : * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์
ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
a, b อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของพันธุ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบความสูงต้นและผลผลิตต่อไร่ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (แปลงที่ 1) ที่ทำการพ่นด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) ที่ผลิตจากแบคทีเรียที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน

พันธุ์ชัยนาท 1	ความสูง (ซม.)			ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)		
	พ่น IAA	ไม่พ่น IAA	ค่าเฉลี่ย (ระยะการเจริญเติบโต)	พ่น IAA	ไม่พ่น IAA	ค่าเฉลี่ย (ระยะการเจริญเติบโต)
ระยะแตกกอ	90.67±6.12	87.56±7.93	89.11±6.56	630.4±124.8	572±200.8	601.6±152.8
ระยะเติมเต็มเมล็ด	94.11±7.32	93.56±6.24	93.83±6.09	612.8±256	638.4±96.0	625.6±173.6
ค่าเฉลี่ย (การพ่น/ไม่พ่น)	92.39±6.32	90.56±7.18		621.6±180	604.8±145.6	
(P-value) F-test						
การพ่น	0.7010 ns			0.8700 ns		
ระยะการเจริญเติบโต	0.3390 ns			0.8120 ns		
การพ่น x ระยะการเจริญเติบโต	0.7880 ns			0.6860 ns		
CV (%)	8.60			27.76		
ค่าเฉลี่ย	91.47			613.6		

หมายเหตุ : * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์
ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
a, b อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของพันธุ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบความสูงต้นและผลผลิตต่อไร่ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (แปลงที่ 2) ที่ทำการพ่นด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) ที่ผลิตจากแบคทีเรียที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน

พันธุ์ชัยนาท 1	ความสูง (ซม.)			ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)		
	พ่น IAA	ไม่พ่น IAA	ค่าเฉลี่ย (ระยะการเจริญเติบโต)	พ่น IAA	ไม่พ่น IAA	ค่าเฉลี่ย (ระยะการเจริญเติบโต)
ระยะแตกกอ	106.78±7.89	100.78±3.17	103.78±6.30	668±96.0	696±120	682.4±98.4
ระยะเติมเต็มเมล็ด	100.56±1.57	106.56±3.86	103.56±4.21	771.2±80.0	732.8±20.8	752±56.8
ค่าเฉลี่ย (การพ่น/ไม่พ่น)	103.67±6.12	103.67±4.47		720±97.6	714.4±79.2	
(P-value) F-test						
การพ่น	1.0000 ns			0.9150 ns		
ระยะการเจริญเติบโต	0.5528 ns			0.1810 ns		
การพ่น x ระยะการเจริญเติบโต	0.0807 ns			0.4980 ns		
CV (%)	4.78			11.13		
ค่าเฉลี่ย	103.67			716.8		

หมายเหตุ : * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์
ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
a, b อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างของพันธุ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบความสูงต้นและผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาสวนบางพันธุ์ที่ทำการพ่นด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) ที่ผลิตจากแบคทีเรียที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน

พันธุ์/ระยะการพ่น		ความสูง (ซม.)	ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)
ชัยนาท 1 ระยะแตกกอ	พ่น IAA	83.22±8.44	898.4±138.4 a
	ไม่พ่น IAA	76.11±1.64	602.4±199.2 b
	(P-value) F-test	0.2470 ns	0.0148 *
	CV(%)	6.75	5.96
	ค่าเฉลี่ย	79.67	750.4
ชัยนาท 1 ระยะเติมเต็มเมล็ด	พ่น IAA	99.56±8.37	831.2±24.8
	ไม่พ่น IAA	93.00±4.81	880.8±207.2
	(P-value) F-test	0.1320 ns	0.7440 ns
	CV(%)	3.38	19.11
	ค่าเฉลี่ย	96.28	856
ปทุมธานี 1 ระยะแตกกอ	พ่น IAA	90.67±6.12	630.4±124.8
	ไม่พ่น IAA	87.56±7.93	572±200.8
	(P-value) F-test	0.7170 ns	0.7270 ns
	CV(%)	10.25	29.72
	ค่าเฉลี่ย	89.11	601.6
ปทุมธานี 1 ระยะเติมเต็มเมล็ด	พ่น IAA	94.11±7.32	612.8±256
	ไม่พ่น IAA	93.56±6.24	638.4±96.0
	(P-value) F-test	0.9500 ns	0.8370 ns
	CV(%)	10.20	20.82
	ค่าเฉลี่ย	93.83	625.6
ปทุมธานี 1 ระยะแตกกอ (แปลง 2 ดินเป็นด่าง)	พ่น IAA	106.78±7.89	668±96
	ไม่พ่น IAA	100.78±3.17	696±120
	(P-value) F-test	0.1970 ns	0.8040 ns
	CV(%)	3.72	17.83
	ค่าเฉลี่ย	103.78	682.4
ปทุมธานี 1 ระยะเติมเต็มเมล็ด (แปลง 2 ดินเป็นด่าง)	พ่น IAA	100.56±1.58	771.2±80
	ไม่พ่น IAA	106.56±3.86	732.8±20.8

พันธุ์/ระยะการพ่น		ความสูง (ซม.)	ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)
	(P-value) F-test	0.1460 ns	0.5080 ns
	CV(%)	3.06	7.81
	ค่าเฉลี่ย	103.56	752
กข 43 ระยะแตกกอ	พ่น IAA	92.67±12.25	1148±158.4
	ไม่พ่น IAA	85.00±5.81	1260.8±350.4
	(P-value) F-test	0.1940 ns	0.4380 ns
	CV(%)	5.48	11.92
	ค่าเฉลี่ย	88.83	1208

จากการทดสอบอิทธิพลของกรดอินโดลแอซีติกที่ผลิตได้กับข้าวนาสวนพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยวิธีการแช่ ก่อนนำไปเผยแพร่ให้แก่เกษตรกร โดยใช้ความเข้มข้นเท่ากับ 2.5 μM (ตารางที่ 4.5) ผลการศึกษาพบว่าฮอร์โมนดังกล่าวส่งผลต่อทั้งรากและยอดขณะงอกแต่ไม่มีผลต่อการเพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอก (GP) และ ดัชนีความเร็วในการงอก (SGI) อิทธิพลของฮอร์โมนส่งผลต่อการเพิ่มความเร็วในการงอกจากการวัดลักษณะค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการงอก (MTG) อัตราการงอก (GR) และสัมประสิทธิ์การงอก (CG)

ซึ่งจากสูตรการวิเคราะห์ มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการงอกและอัตราการงอกที่ต่างจากสูตรการวิเคราะห์ดัชนีความเร็วในการงอกตรงที่มีการนำเอาจำนวนเมล็ดที่งอกสุดท้ายมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วย ในขณะที่การวิเคราะห์ดัชนีความเร็วในการงอกมีสูตรใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การงอกที่มีการใช้เฉพาะจำนวนเมล็ดที่งอกในแต่ละวันและเวลาที่ใช้ในการงอกเพียงแต่มีรูปแบบการคำนวณที่แตกต่างกันออกไป แต่ก็มีผลที่ทำให้เห็นความแตกต่างทางสถิติที่แตกต่างกันด้วย

การที่พบว่าแม้ฮอร์โมนออกซินจะมีความสำคัญต่อกระบวนการพัฒนาในพืชหลาย ๆ กระบวนการ (Liu *et al*., 2013; Shuai *et al*., 2017) นี้ไม่ได้ส่งเสริมเปอร์เซ็นต์การงอก มีอธิบายในหลายงานวิจัย (Liu *et al*., 2013; Shuai *et al*., 2016) ที่พบว่าฮอร์โมนออกซินมีผลในการส่งเสริมการพักตัวโดยส่งผลไปกระตุ้นการส่งสัญญาณของกรดแอบไซซิก (Abscisic acid; ABA) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการพักตัวของเมล็ดและเมื่อศึกษาในเมล็ดที่ผ่าเหล่าสำหนับการสร้างออกซินแล้วพบว่าสามารถทำให้เมล็ดลดการพักตัวได้ นอกจากนี้มีการศึกษาอื่น ๆ ที่พบว่าการใช้ออกซินจากภายนอกสามารถส่งสริมการพัฒนาตัวของเมล็ดโดยส่งสริมการทำงานของกรดแอบไซซิกด้วยเช่นกัน (Brady *et al*., 2003; Liu *et al*., 2007)

สำหรับบทบาทของการงอกของเมล็ดของออกซินนั้นพบว่ามีความสัมพันธ์กับกรดแอบไซซิกและจิบเบอเรลลิน (gibberellins; GAs) ซึ่งอาจส่งผลในการยับยั้งการงอก (Shuai *et al*., 2017) แต่หากมีการใช้อย่างสมดุลระหว่างสามฮอร์โมนนี้จะทำให้เมล็ดสามารถพักตัวขณะเกิดความเครียดในสภาวะต่าง ๆ แต่จะงอกได้ในสภาพที่เหมาะสม (Shuai *et al*., 2016) ด้วยเหตุนี้ ในกรณีของการงอกเมล็ดเรียบร้อยแล้ว ฮอร์โมนออกซินจึงน่าจะมีบทบาทต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นอ่อนได้ ดังนั้นการแช่เมล็ดอาจไม่ส่งผลต่อการงอก แต่อาจส่งเสริมการเจริญของต้นอ่อน ด้วยเหตุนี้ การแช่เมล็ดตั้งแต่แรกกับเมล็ดที่ยังพักตัวหรือเพิ่งหลุดจากการพักตัวก็อาจส่งผลกระทบต่อการงอก การพ่นในระยะต้นอ่อนหรือระยะการเจริญเติบโตอื่น ๆ อาจมีความสำคัญมากกว่า

มีการนำกรดอินโดลแอซีติกมาใช้กับข้าวสาลีพบว่ามีการงอกของเมล็ดล่าช้าออกไปอีกทั้งในสภาพปกติ (Ramaih *et al*., 2003) และในสภาพที่เครียดเนื่องจากความเค็ม (Park *et al*., 2011) และเมื่อนำไปใช้กับต้นแม่พบว่ายังส่งผลต่อเมล็ดของลูกด้วย (Ramaih *et al*., 2003) ทั้งนี้สำหรับข้าวมีการพักตัวหลากหลายขึ้นกับพันธุกรรม และสภาพแวดล้อมของการปลูก เช่น สภาพอากาศขณะสุกแก่และเก็บเกี่ยวด้วย (Saadiah, 1992) สำหรับข้าวป่าพบว่ามีการพักตัวประมาณ 3 ถึง 6 เดือน ขณะที่พันธุ์ปลูกระยะการพักตัวคืออย่างน้อย 4 เดือน แต่การเก็บรักษาเมล็ดไว้นานเกินไปจะส่งผลต่อการงอก (Saadiah, 1992) แต่ทั้งนี้การพักตัวเป็นข้อดีสำหรับป้องกันการงอกของเมล็ดที่ตกหล่นในแปลงปลูกโดยเฉพาะการตกหล่นของเมล็ดในระหว่างฤดูฝน หรือการงอกระหว่างแปลงกรณีที่ไม่มีพื้นที่ตกเมล็ด (Saadiah, 1992)

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการงอกของข้าวนาสวน พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่แช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติก (IAA) จากภายนอกที่ผลิตจากแบคทีเรียความเข้มข้น 2.5 µM ก่อนการนำไปใช้ในแปลงเกษตรกร

Treatments	Root					Shoot					Ratio
	GP	MTG	SGI	GR	CG	GP	MTG	SGI	GR	CG	Root/ shoot
น้ำกลั่น	92.25± 2.50	2.16± 0.09 a	44.14± 1.85	0.973± 0.016 b	46.35± 1.98 b	92.25± 2.50	2.18±0. 08a	43.92± 1.61	0.970± 0.013 b	45.93± 1.61 b	1.000± 0.000
IAA-synthetic	92.75± 3.77	2.04± 0.05 b	45.86± 1.53	0.993± 0.008 a	49.06± 1.19 a	92.75± 3.77	2.09±0. 05 b	45.25± 1.69	0.985± 0.008 a	47.84± 1.02 a	1.000± 0.000
RD4-1-1	91.00± 2.45	2.01± 0.01 b	45.38± 1.09	0.998± 0.002 a	49.80± 0.25 a	90.50± 2.38	2.04±0. 03 b	44.74± 1.49	0.993± 0.005 a	48.99± 0.77 a	1.006± 0.006
Mean	92	2.07	45.13	0.988	48.40	91.83	2.10	44.64	0.983	47.59	1.002
CV (%)	3.23	32.96	3.38	1.04	2.77	3.22	2.60	3.59	0.933	2.49	0.366
P-value (F-test)	0.702 (ns)	0.0153 (*)	0.305 (ns)	0.0164 (*)	0.013 (*)	0.55 (ns)	0.0181 (*)	0.517 (ns)	0.0182 (*)	0.016 (*)	0.100 (ns)

หมายเหตุ GP; germinate percentage, MTG; mean time of germinate, SGI; speed germination index, GR; germination rate, CG; coefficient germination

ns, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวในสภาวะจำลองของการขาดน้ำ

ความแห้งแล้งในการเพาะเลี้ยงที่เป็นผลมาจากการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ PEG กระทบต่อทุกลักษณะทั้งการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนตั้งแต่ที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ PEG เช่นเดียวกันกับการใช้กรดอินโดลแอซีติก (RD4-1-1) แต่ทั้งนี้ระดับการใช้และส่งผลต่อลักษณะต่าง ๆ ขึ้นกับระดับการใช้ PEG และขึ้นกับพันธุ์ด้วย โดยเฉพาะความแข็งแรงของต้นอ่อนที่การแช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติกส่งผลต่อลักษณะนี้ ที่เป็นผลมาจากทั้งส่งเสริมลักษณะระหว่างการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อน การแช่เมล็ดด้วยกรดอินโดลแอซีติกทั้งที่ไม่มีการจัดสภาพแห้งแล้งและจัดสภาพแห้งแล้งที่ 10% PEG สามารถนำกรดอินโดลแอซีติกจากภายนอกมาใช้ช่วยเพิ่มลักษณะได้ แต่เมื่อความแห้งแล้งเพิ่มจากการใช้ 20% PEG ไม่พบว่าการใช้ฮอร์โมนดังกล่าวจะสามารถส่งเสริมการงอกหรือการเจริญเติบโตได้

ซึ่งเมื่อพิจารณาการตอบสนองต่อกรดอินโดลแอซีติกของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่มีการเพาะเลี้ยงบนอาหารที่มีเปอร์เซ็นต์ PEG ที่แตกกต่าง พบว่าทั้งในสภาพที่ไม่จัดสภาพแห้งแล้งและบนอาหารเพาะเลี้ยงที่มี 10% PEG การใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ความเข้มข้น 25 µM และ 50 µM สามารถส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโตของข้าวนาสวนพันธุ์ กข 31 ได้ โดยการใช้ที่ 25 µM ส่งผลดีที่สุด แต่ในข้าวพันธุ์ กข 41 นั้นให้ผลต่างกันเล็กน้อย ที่พบว่า ที่ 0% PEG เมล็ดจากตอบสนองได้ดีที่ 25 µM และ 50 µM เช่นเดียวกัน แต่เมื่อเริ่มจัดสภาพแห้งแล้งคือที่ 10% PEG กลับตอบสนองต่อฮอร์โมนดังกล่าวในช่วงที่แคบและความเข้มข้นต่ำกว่า (เฉพาะ 2.5 µM) อาจกล่าวได้ว่าพันธุ์ กข 41 น่าจะมีความสามารถในการทนแล้งและตอบสนองต่อฮอร์โมนกรดอินโดลแอซีติกได้ต่ำกว่าพันธุ์ กข 31

อย่างไรก็ตาม การใช้กรดอินโดลแอซีติกไม่มีผลส่งเสริมการเพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอกบนอาหารเพาะเลี้ยง

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวในดินที่ขาดน้ำ

การจัดสภาพการขาดน้ำโดยการให้ความถี่ในการให้น้ำที่แตกต่างกันส่งผลกระทบต่อการงอก ความแข็งแรงของต้นอ่อน และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนอย่างชัดเจน การใช้กรดอินโดลแอซีติก (RD4-1-1) ส่งผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทั้งสภาพปกติและขาดน้ำยกเว้นการลดเวลาที่ใช้ในการงอก แต่ความเข้มข้นที่ใช้เหมาะสมในการนำไปใช้แตกต่างจากการปลูกในอาหารเพาะเลี้ยง พันธุ์ กข 31 ใช้ลดลงระหว่างการใช้ 2.5 µM และ 25 µM โดยเฉพาะที่ 2.5 µM ให้ผลดีที่สุด แต่สำหรับการศึกษาในข้าวนาสวนพันธุ์ กข 41 ให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาในบนอาหารเพาะเลี้ยงที่การใช้กรดอินโดลแอซีติกความเข้มข้น 2.5 µM ส่งผลดีต่อการงอกโดยภาพรวม แต่ช่วงการใช้ฮอร์โมนแคบกว่าพันธุ์ กข 31 อีกเช่นเดียวกันกับการศึกษาในสภาพเพาะเลี้ยงบนอาหารที่มี PEG

อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้กรดอินโดลแอซีติกส่งผลส่งเสริมเปอร์เซ็นต์การงอกโผล่พ้นดิน ซึ่งเป็นลักษณะที่แสดงออกร่วมกันระหว่างการงอกและความแข็งแรงของต้นอ่อนในการเจริญเติบโตโผล่พ้นดินโดยเฉพาะในสภาพการขาดน้ำ

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อน้ำหนักเมล็ดของข้าวนาสวนที่ปลูกในดินที่ขาดน้ำ

แม้การศึกษานี้จะไม่พบความแตกต่างทางสถิติของน้ำหนักเมล็ดระหว่างข้าวที่ได้รับการพ่นด้วยกรดอินโดลแอซีติก (RD4-1-1) กับกลุ่มควบคุมในสภาวะของการปลูกในสภาพการขาดน้ำ แต่ก็พบว่าการใช้กรดอินโดลแอซีติกที่ความเข้มข้น 2.5 μM มีแนวโน้มที่จะได้น้ำหนักเมล็ดข้าวสูงกว่าความเข้มข้นการใช้ฮอร์โมนที่ 0.25 μM และ 25 μM

การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของกรดอินโดลแอซีติกต่อความสูงและผลผลิตของข้าวนาสวนบางพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกกต่างกัน

การใช้สารละลายกรดอินโดลแอซิกที่ความเข้มข้น 2.5 μM และระยะเวลาที่มีการพ่นแยกเป็นรายพันธุ์ของข้าวนาสวนในระดับแปลงของเกษตรกรโดยการประเมินผลการใช้กรดอินโดลแอซีติกแยกระหว่างการพ่นที่ระยะการแตกกอและระยะการเติมเต็มเมล็ดแล้วพบว่าการพ่นที่ระยะแตกกอจะพบการตอบสนองในทิศทางของการเพิ่มทั้งความสูงและผลผลิตของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ได้ดีกว่าการพ่นที่ระยะเติมเต็มเมล็ด

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาในห้องปฏิบัติการต้องพยายามจำลองสภาณการณ์ในระดับแปลงนาให้มากกว่านั้น ทั้งชนิดของดินปลูก และการใช้พันธุ์ที่สม่ำเสมอในทุกการทดลองและสอดคล้องกับการปลูกจริงของเกษตรกร

2. การศึกษาในพื้นที่ปลูกจริงอาจจำเป็นต้องเพิ่มหรือปรับรูปแบบการใช้กรดอินโดลแอซีติก เพราะแม้ว่าการนำไปแช่เมล็ดโดยตรงจะง่ายสำหรับเกษตรกร แต่อาจไปมีผลต่อการงอกเช่นระยะเวลาที่ใช้ในการงอก แม้จะไม่มีผลกระทบต่อการการงอก ทั้งนี้เนื่องจากออกซินมีรายงานการส่งเสริมการพักตัวของเมล็ด ด้วยเหตุนี้ การนำไปใช้อาจใช้หลังจากเมล็ดเริ่มงอกหรือในระยะต้นอ่อน แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาความเป็นไปได้ในระดับแปลงและต้นทุนที่เกิดจากทั้งการดำเนินการ และปริมาณการใช้สารละลายกรดอินโดลแอซีติกด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. ม.ป.ป.(ก). แหล่งข้อมูล: http://www. dao.go.th/pvp/images/stories/indexpp 2518/AnnoDOA_nameplant/t80.pdf. สืบค้นเมื่อ 26 มีนาคม 2561.

กรมวิชาการเกษตร. ม.ป.ป.(ข). แหล่งข้อมูล: www.doa.go.th/pvp/images/stories/indexpvp2542/ AnnoDOA.../pro202.pdf. สืบค้นเมื่อ 26 มีนาคม 2561.

งามนิจ นนทโส และ วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ. 2556. การชักนำให้ไรโซแบคทีเรียทนเค็มส่งเสริมการเจริญของพืช. วารสารแก่นเกษตร 41 ฉบับพิเศษ 2: 95-102.

Abiri, R., Shaharuddin, N. A., Maziah, M., Yusof, Z. N. B., Atadaki, N., Sahebi, M. and Azizi, P. 2016. Quantitative assessment of indica rice germination to hydropriming, hormonal priming and polyethylene glycol priming. Chilean Journal of Agricultural Research, 76(4): 392-400.

Abdoli, A., Saeidi, M., Jalali-Honarmand, S., and Azhand, M. 2013. The effect of foliar application of Indole-3-Acetic Acid (IAA) and roles of ear photosynthesis on grain yield production of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) under post anthesis water deficit. International Research Jounal of Applied and Basic Sciences, 4(6): 1406-1413.

Abdul-Baki, A. A. and Anderson, 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. Crop Science, 13: 630-633.

Afzal, I., Basra, S. and Iqbal, A. 2005. The effect of seed soaking with plant growth regulators on seedling vigor of wheat under salinity stress. Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 1: 6-14.

Aguirrezabal, L., Bouchier-Combaud, S., Radziejwoski, A., Dauzat, M., Cookson, S. J., and Granier, C. 2006. Plasticity to soil water deficit in Arabidopsis thaliana: dissection of leaf development into underlying growth dynamic and cellular variables reveals invisible phenotypes. Plant, Cell and Environment, 29: 2216–2227.

Ahemad, M. and Khan, M. S. 2011. Effects of insecticideson plant growth-promoting activities of phosphate solubilizing rhizobacterium *Klebsiella* sp. strain PS19. Pesticide Biochemistry and Physiology, 100: 51-56.

Ahemad, M., and Kibret, M. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. Journal of King Saud University-Science, 26: 1-20.

Alizadeh, M. A., Arab, H. A., Tabaie, R. and Nasiri. 2013. Evaluation of seed and seedling emergence enhancement of some population of sahandy sovory (*Satureja sahendica*) by gibberlic acid, potassium nitrate, pre-cooling physical and chemical scarification treatment. Pakistan Journal of Biological Sciences, 16(20): 1208-12011.

Aloni, R., Aloni., E., Langhansans, M. and Ullrich, C. I. 2006. Role of auxin in regulating Arabidopsis flower development. Planta. 223: 315-328.

Amal, M., Shraiy, E., and Hegazi, A. M. 2009. Effect of acetylsalicylic acid, indole-3-butyric acid and gibberellic acid on plant growth and yield of pea (*Pisum sativum* L.). Journal of Basic and Applied Sciences, 3(4): 3514-3523.

AOSA, 1983. Seed vigor testing handbook: Contribution No. 32 to the Handbook on seed testing. Asscociation of Official Seed Analysts, Lincoln, NE, USA.

Bancal, P. 2009. Early development and enlargement of wheat floret primordia suggest a role of partitioning within spike to grain set. Field Crops Res. 110: 44-53.

Bangerth, F., Aufhammer, W., and Baum, O. 1985. IAA level and dry matter accumulation at different positions within a wheat ear. Physiologia Plantarum, 63: 121-125.

Barazani, O. and Friedman, J. 1999. Is IAA the major growth factor secreted from plant growth mediating bacteria? Journal of Chemical Ecology, 25: 2397-2406.

Bartlett, M. S. 1937. Some examples of statistical methods of research in agriculture and applied biology. Supplement to the Journal of the Royal Statistical Scoiety, 4: 137-183.

Baset Mia, M. A. and Shamsuddin, Z. H. 2009. Enhanced emergence and vigor seedling production of rice through growth promoting bacterial inoculation. Research Journal of Seed Science, 2(4): 96-104.

Bayoumi, T.Y., Eid, M.H., and Metwali, E.M. 2008. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. Afric.an Journal of Biotechnology, 7: 2341-2352.

Belwal, T., Bisht, A., Bhatt, I. D. and Rawal, R. R. 2015. Influence of seed priming and storage time on germination and enzymatic activity of selected Berberis species. Plant Growth Regulution, 77: 189-199.

Bhalerao, R. P., Eklöf, J., Ljung, K., Marchant, A., Bennett, M. and Sandberg, G. 2002. Shoot-derived auxin is essential for early lateral root emergence in Arabidopsis seedlings. Plant Journal, 29: 325-332.

Bhatia, S and Singh, R. 2002. Phytohormone mediated transformation of sugars to starch in relation to the activities of amylases, sucrose-metabolising enzymes in sorghum grain. Plant Growth Regulation, 36(2): 97-104.

Bolero, L., Perrig, D., Masciarelli, O., Penna, C., Cassan, F. and Luna, V. 2007. Applied Microbiology and Biotechnology, 74: 874-880.

Bonner, J. and Bandurski, R. S. 1952. Studies of the physiology, pharmacology, and biochemistry of the auxins. Annual Review of Plant Physiology, 3: 59–86.

Bouman, B. A. M., Kropff, M. J., Tuong, T. P., Wopereis, M. C. S., Ten Berge, M. F. M., and Van Laar, H. H. 2001. ORYZA 2000: Modeling Lowland Rice. IRRI. The Philippines, 235p.

Braccini, A. L., Ruiz, H. A., Braccini, M. C. L. and Reis, M. S. 1996. Germinaco e vigor de sementes de soja sob estresse hidrico induzidu por solucoes de cloreto de sodio, mannitol e polietilenoglycol. Revista Brasileira de Sementes, 18: 10-16.

Castillo, E. G., Buresh, R. J., and Ingram, K. T. 1992. Lowland rice yield as affected by timing of water deficit and nitrogen fertilization. Agronomy Journal, 84(2): 152-159.

Changxi, Y., Quanrong, W., Hanlai, Z., Kai, X., Jiuwei, X. and Rongwei, L. 2011. Endogenous Auxin is Required but Supraoptimal for Rapid Growth of Rice (*Oryza sativa* L.) Seminal Roots, and Auxin Inhibition of Rice Seminal Root Growth is Not Caused by Ethylene. Journal Plant Growth Regulation, 30:20–29.

Chauhan, B. S. and Abugho, S. B. 2013. Effet of water stress on the growth and development of Amaranthus spinosus, Leptochloa chinensis, and rice. American Journal of Plant Sciences, 4: 989-998.

Chauhan, J. S, Tomar, Y. K, Indrakumar, S. N, Seema, A. and Debarati, A, 2009. Effect of growth hormones on seed germination and seedling growth of black gram and horse gram. Journal of American Science, 5: 79-84.

Chhun, T., Uno, Y., Taketa, S., Azuma, T., Ichii, M., Okamoto, T. and Tsurumi, S. 2007. Saturated humidity accelerates lateral root development in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings by increasing phloem-based auxin transport. Journal of Experimental Botany, 58: 1695–1704.

Christensen, S. K., Dagenais, N., Chory, J. and Weigel, D. 2000. Regulation of auxin response by the protein kinase PINOID. Cell, 100: 469-478.

Copeland, L. O. 1976. Principles of seed science and technology. Burgress Publishing Co., Minneapolis, Minnesota, pp: 164-165.

Cornic, G. 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture- not by affecting ATP synthesis. Trends plant science, 5: 187-198.

Cutler, J. M., Sahan, K. W., and Steponkus, P. L. 1980. Alteration of the international water relations of rice in response to drought hardening. Crop Science, 20(3): 307-310.

Davatgar, N., Neishabouri, M. R., Sepaskhah, A. R., and Soltani, A. 2009. Physiological and morphological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to varying water stress management strategies. International Journal of Plant Production, 3(4): 19-32.

Darussalam, M., Cole, M. A.and Patrick, J. W. 1998. Auxin control of photoassimilate transport to and within developing grain of wheat. Aus. J. Plant Physiol. 25: 69-77.

Davenport, T. L, Morgan, P. W, and Jordan, W. R. 1980. Reduction of auxin transport capacity with age and internal water deficit in cotton petioles. Journal of Plant Physiology, 65: 1023-1030.

Davies, P. J. 1987. The plant hormones: their nature, occurrence and functions. In: Davies, P. J. (ed.) Plant hormones and their role in plant growth and development. Martinus Nijhoff Publishers, The Netherlands, pp. 1-11.

Davies, P.J. 2004. Plant hormones. Biosynthesis, signal transduction action. Kluwer, Dordrecht. pp. 18-35.

De Freitas, J. R. and Germida, J. J. 1990. Plant growth promoting rhizobacteria for winter wheat. Canadian Journal of Microbiology, 36: 265-272.

Debez, A., Chaibi, W., and Bouzid, S. 2001. Effect du NaCl et de regulatoeurs de croissance sur la germination d' Atriplex halimus L. Cahiers Agricultures, 10: 135-138.

Dewi, K. T., Jodi, S. and Dwi, A. 2016. Isolasi dan uji aktivitas bakteri penghasil hormone tumbul IAA (indole-3-acetic acid) dan bakteri perombak protein dari tanah pertanian tual, Maluku tenggara. Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia, edited by Setyawan, A.D., Sugiyarto, Pitoya, A. et al. (International Conference on Biodiversity, Yogyakarta, 2016). pp. 271-276.

Dietrich, J. T., Kaminek, M., Blevins, D. G., Reinbott, T. M. and Morris, R. O. 1995. Changes in cytokinins and cytokinin oxidase activity in developing maize kernels and effects of exogenous cytokinin on kernel development. Plant Physiology and Biochemistry, 33: 327-336.

Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Vande Broek, A. and Vanderleyden, J. 1999. Phytostimulatory effect of *Azospirillum brasilense* wild type and mutant strains altered in IAA production on wheat. Plant Soil, 212: 155-164.

Duman, I. 2006. Effects of seed priming with PEG or K_3PO_4 on germination and seedling growth in lettuce, Pakistan Journal of Biological Sciences, 11: 923-928.

El-Samad, H. M. A. 2013. The physiological response of wheat plants to exogenous application of gibberellin acid (GA3) or indole-3-acetic acid (IAA) with endogenous ethylene under salt stress conditions. International Journal of Plant Physiology and Biochemistry, 5(4): 58-64.

Eliasson, L. 1972. Translocation of shoot-applied indolylacetic acid into the roots of Populus tremula. Physiologia Plantarum, 27: 412–416

Evens, C. E. and Etherington, J. R. 1990. The effect of soil water potential on seed germination of some British plants. New Phytologist, 115: 539-548.

FAO. 2015. Statistical pocketbook: World food and agriculture. Rome. 231 pages.

Fu, G., Song, J., Xiong, J., Liao, X., Zhang, X., Wang, X. Le, M. and Tao, L. 2012. Thermal resistance of common rice maintainer and restorer lines to high temperatured inhibition to spikelet differentiation. Chin. J. Rice Sci. 29(6): 637-647.

Fu, J., Huang, Z., Wang, Z., Yang, J., Zhang, J. 2011. Pre-anthesis non-structural carbohydrate reserve in the stem enhances the sink strength of inferior spikelets during grain filling of rice. Field Crops Research, 123: 170-182.

Finch Savage, W. F., Phelps, J. R. A., Whalley, W. R. and Rowse, H. R. 2001. Seed reserve-dependent growth responses to temperature and water potential in carrot (Daucus carota L.). Journal of Experimental. Botany, 252: 218-219.

Handas, A. and Russo, D. 1974. Water uptake by seeds as affected by water stress, capillary conductivity, and seed-soil water contact. II. Analysis of experiment data. Agronomy Journal, 66: 647-652.

Harikrishnan, H., Shanmugaiah, V. and Balasubramanian, N. 2014. Optimization for production of Indole acetic acid (IAA) by plant growth promoting *Streptomyces* sp VSMGT1014 isolated from rice rhizosphere. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 3(8): 158-171.

He, Y. K., Xue, W. X., Sun, Y. D., Yu, X. H., and Liu, P. L. 2000. Leafy head formation of theprogenies of transgenic plants of Chinese cabbage with exogenous auxin genes. Cell Research, 10: 151–602.

Hellal, F.A., El-Shabrawi, H.M., Abd El-Hady, M., Khatab, I.A., El-Sayed, S.A.A., and Abdelly, C. 2018. Influence of PEG induced drought stress on molecular and biochemical constituents and seedling growth of Egyptian barley cultivars. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 16: 203-212.

Huang, Y., Zeng, X. and Cao, H. 2018. Hormonal regulation of floret closure of rice (*Oryza sativa*). PLoS ONE 13(6): e0198828. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198828.

Hussain, K. H, Hussain, M, Nawaz, K. H, Majeed, A, and Hayat-Bhatti, K. H. 2011. Morphochemical response of chaksu (*Cassia absus* L.) to different concentrations of inddole acetic asid (IAA). Pakistan Journal of Botany, 43(3): 1491-1493.

Ibrahim, M., Zeid, N., and El-Semary, A. 2001. Response of two differentially drought tolerant cultivars of maize to drought stress. Pakistan Journal of Biological Sciences, 4: 779-784.

Inukai, Y., Sakamoto, T., Ueguchi-Tanaka, M., Shibata, Y., Gomi, K., Umemura, I., Hasegawa, Y., Ashikari, M., Kitano, H., Matsuoka, M. 2005. CROWNROOTLESS1, which is essential for crown root formation in rice, is a target of an auxin response factor in auxin signaling. Plant Cell, 17: 1387–1396.

Ishimaru, T., Hirose, T., Matsuda, T., Goto, A., Takahashi, K., Sasaki, H. *et al*. 2005. Expression patterns of genes encoding carbohydrate-metabolizing enzymes and their relationship to grain filling in rice (*Oryza sativa* L.): comparison of caryopses located at different positions in a panicle. Plant Cell Physiology, 46: 620-628.

IPCC. 2014. AR5 WGIII, Geneva. [http://www.ipcc.ch/report/ar5/].

IRRI, 2002. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. www.RiceWeb.org.

Islam, M. T. 1999. Plant water relation studies in diverse rice cultivars under Bangladesh climatic conditions. Ph.D Thesis, submitted to the Institute of Agronomy and University Agriculture Science, Viena.

Jahan, M. S., Nordin, M. N. B., Lah, M. K. B. C., and Khanif, Y. M. 2013. Effects of water stress on ice production: bioavailablitiy of potassium in soil. Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 9(2): 97-107.

Jalali-Honarmand, S., Rasaei, A., Saeidi, M., Ghobadi, M.-E. and Khanizadeh, S. 2015. The effects of foliar application of plant hormones at booting stage on wheat yield components. Thai Journal of Agricultural Science, 48(1): 35-38.

Javid, M. G., Sorooshzadeh, A., Moradi, F., Sanavy, S. A. M. M. and Allahdadi, I. 2011a. The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. Australian Journal of Crop Science, 5(6): 726-734.

Javid, M. G., Sorooshzadeh, A., Sanavy, S. A. M. M., Alahdadi, I. and Moradi, F. 2011b. Effects of the exogenous application of auxin and cytokinin on carbohydrate accumulation in grains of rice under salt stress. Plant Growth Regulation, 65: 305-313.

Kato, T. 2004. Effect of spikelet removal on the grain filling of Akenohoshi, a rice cultivar with numerous spikelets in a panicle. Journal of Agricultural Science, 142: 177-181.

Kaw, R. N. and Khush, G. S. 1986. Combining ability for low-temperature tolerance in rice. Rice Genetics, International Rice Genetics Symposium Manila, Philippines. Pp. 593-612.

Khan, M. A., Gul, B. and Weber, D. J. 2004. Action of palnt growth regulators and salinity on seed germination of Ceratoides lanata. Canadian Journal of Botany, 82: 37-42.

Khan, S. U., Gurmani, A. R., Din, J. U., Qayyum, A., Abbasi, K. S., Liaquat, M. and Ahmad, Z. 2016. Exogenously applied gibberellic acid, indole acetic acid and kinetin as protential regulators of source- sink relationship, physiological and yield attribute in rice (*Oryza sativa*) genotypes under water deficit conditions. International Journal of Agriculture & Biology, 18(1): 139-145.

Khatun, S. and Flowers, T. J. 1995. Effects of salinity on seed set in rice. Plant, Cell and Environment, 18:61-67.

Khazayi, H., Kafi, M. and Masumi, A. 2008. Physiological effects of stress induced by polyethylene glycol on germination of chickpea genotypes. J. Agron. Res. Iran. 2(6): 453.

Kirby, E. J. M. 1988. Analysis of leaf, stem and ear growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. Field Crop Res. 18: 127-140.

Koornneef, M., Bentsink, L. and Hilhorst, H. 2002. Seed dormancy and germination. Current Opinion in Plant Biology, 5: 33-36.

Kumar, A. 2011. Breeding rice for drought tolerance and adaptation to climate change. Rice Knowledge of Rice Research, 1-29.

Kumar, B., Pandey, D. M., Goswami, C. L., and Jain, S. 2001. Effect of growth regulators on phytosynthesis, transpiration and related parameters in water stressed cotton. Biologia Plantarum, 44: 475-478.

Lambers, H. 2003. Dryland salinity: a key environmental issue in southern Australia. Plant Soil 218: 5-7.

Lejeune, P., Prinsen., E., Van Onckelen, H. and Bernier, G. 1998. Hormonal control of ear abortion in a stresssensitive maize inbred. Aust. J. Plant. Physiol. 25: 481-488.

Leveau, J. H. and Lindow, S. E. 2005. Utilization of the plant hormone indole-3-acetic acid for growth by Pseudomonas putida strain 1290. Applied and Environmental Microbiology, 71: 2365-2371.

Leyser, O. 2002. Molecular genetics of auxin signaling. Annual Review of Plant Biology, 53: 377-398.

Liu, P. P., Montgomery, T. A., Fahlgren, N., Kasschau, K. D., Nonogaki, H. and Carrington, J. C. 2007. Repression of AUXIN RESPONSE FACTOR10 by microRNA 160 is critical for seed germinatin and post-germination stages. The Plant Journal, 52(1): 133-146.

Liu, X., Zhang, H., Zhao, Y., Feng, Z., Li, Q., Yang, H. Q., Luan, S., Li, J. and He, Z. 2013. Auxin controls seed dormancy through stimulation of abscisic acid signaling by inducing ARF-mediated ABI3 Activation in Arabidopsis. PNAS. 110(38): 15485-15490.

Liu, Y., Xu, J., Ding, Y., Wang, Q., Li, G. and Wang, S. 2011. Auxin inhibits the outgrowth of tiller buds in rice (*Oryza sativa* L.) by down regulating OsIPT expression and cytokinin biosynthesis in nodes. Australian Journal of Crop Science, 5: 169-174.

Ljung, K., Bhalerao, R. P. and Sandberg, G. 2001. Sites and homoeostatic control of auxin biosynthesis in Arabidopsis during vegetative growth. Plant Journal, 28: 465-474.

Lur, H. and Setter, T. L. 1993. Role of auxin in maize endosperm development (timing of nuclear DNA endoreduplication, zein expression, and cytokinin). Journal of Plant Physiology, 103: 273-280.

Ma, Y., Rajkumar, M., Luo, Y. and Freitas, H. 2011. Inoculation of ndophytic bacteria on host and non-host plants-effects on plnat growth and Ni uptake. Journal of Hazardous Materials, 195: 230-237.

Malik, D. K. and Sindhu, S. S. 2011. Production of indole acetic acid by Pseudomonas sp.: effect of coinoculation with Mesorhizobium sp. Cicer on nodulation and plant growth of chickpea (*Cicer arietinum*). Physiology and Molecular Biology of Plants, 17(1): 25-32.

Maraghni, M., Gorai, M. and Neffati, M. 2010. Seed germination at different temperatures and water stress levels, and seedling emergence from different depths of Ziziphus lotus. South African Journal of Botany, 76: 453-459.

McKell, C. M. 1972. Seedling vigor and seedling establishment. P. 74-89. In: McKell, C. M. and Youngner, V. B. (eds.). The biology and utilization of grasses. Academic Press, New York and London.

Merah, O. 2001. Potential importance of water status traits for durum wheat improvement under Mediterranean conditions. Journal of Agricultural Research, 137: 139-145.

Michel, B. E. and Kaufmann, M. R. 1972. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Journal of Plant Physiology, 51:914-916

Midaoui, M. E., Serieys, H., and Kaan, F. 2003. Effects of osmotic and water stresses on root and shoot morphology and seed yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes breed for morocco or issued from introgression with *H. argophyllus* T. & G. and H. debilis Nutt. HELIA. 26(38): 1-16.

Mohammadkhani, N. and Heidari, R. 2008. Water stress induced by polyethylene glycol 6000 and sodium chloride in to maize cultivars. Pakistan Journal of Biological Sciences, 11(1): 92-97.

Mohapatra, P.K. and Kariali, E. 2008. Time of emergence determines the pattern of dominance of rice tillers. Australian Journal of Crop Science, 1: 52-63.

Mohite, B. 2013. Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizopheric soil and its effect on plant growth. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 13(3): 638-649.

Moldenhauer, K. Wilson, C.E., Jr., Counce, P. and Hardke, J. 2012. Rice growth and development, Arkansas Rice Production Handbook.

Monclus, R., Dreyer, E., Villar, M., Delmotte, F. M., Delay, D., Petit, J. M., Barbaroux, C., Thiec, D., Bre´chet, C. and Brignolas, F. 2006. Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of Populus deltoides3Populus nigra. New Phytologist, 169: 765–777.

Morgan, J. M. and King, R. W. 1984. Association between loss of leaf turgor, abscisic acid levels and seed set in two wheat cultivars. Australian Journal of Plant Physiology, 11(3): 143-150.

Morris, R., Blevins, D., Dietrich, J., Durley, R., Gelvin, S., Gray, J. et al. 1993. Cytokinins in plant pathogenic bacteria and developing cereal grains. Funct. Journal of Plant Biology, 20: 621-637.

Mühlenbock, P., Szechyńska-Hebda, M., Plaszczyca, M. *et al.*, 2008. Chloroplast signaling and lesion simulating disease1 regulate crosstalk between light acclimation and immunity in Arabidopsis. Plant Cell Online 20: 23339-2356.

Munn, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soils. Some dogmas and hypotheses. Plant, Cell and Environment, 16: 15-24.

Murty, P. and Murty, K. 1982. Spikelet sterility in relation to nitrogen and carbohydrate contents in rice. Indian Journal of Plant Physiology, 25: 40-48.

Mustikarini, E. D., Ardiarini, N. R., Basuki, N. and Kuswanto. 2017. Selection strategy of drough tolerance on red rice mutant lines. AGRIVITA Journal of Agricultural Science, 39(1): 91-99.

Nakbanpote, W., Panitlurtumpai, N., Sangdee, A., Sakulpone, N., Sirisom, P. and Pimthong, A. 2014. Salt-tolerant and plant growth-proming bacteria isolatd from Zn/Cd contaminated soil: identification and effect on rice under saline conditions. Journal of Plant Interactions, 9(1): 379-387. Doi:10.1080/17429145.2013.842000.

Ni, D., Yu, X., Wang, L. and Xu, Z. 2002. Aberrant developmentof pollen in transgenic tobacco expressing bacterial iaaM gene driven by pollen-and tape tum-specific promoters. Acta Biologica Experimenta Sinica, 35: 1–6.

OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). 2014. Climate change, water and agriculture: Towards resilient agricultural and water systems. [http://dx.doi.org.10.1787/9789264209138-en].

O'Toole, J. C., and Moya, T. B. 1987. Genotypic variation in maintenance of leaf water potential in rice. Crop Science, 18: 873-876.

Pagnussat, G. C., Alandete-Saez, M., Bowman, J. L. and Sundaresan, V. 2009. Auxin-dependent patterning and gamete specification in the *Arabidopsis* female gametopyte. Science, 324: 1684-1689.

Parvatha, P. R. 2014. Climate resilient agriculture for ensuring food security. Springer. Pp: 1-15.

Park, J., Kim, Y. S., Kim, S. G., Jung, J. H., Woo, J. C. and Park, C. M. 2011. Integration of auxin and salt signals by the NAC transcription factor NTM2 during seed germination in Arabidopsis. Journal of Plant Physiology, 156: 537-549.

Pant, B. and Bose, B. 2016. Mitigation of the influence of PEG-6000 imposed water stress on germination of halo primed rice seeds. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology, 9(2): 275-281

Patten, C. L. and Glick, B. R. 1996. Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid. Canadian Journal of Microbiology, 42: 207-220.

Perera, C.A. and Cantliffe, D.J. 1994. Pre-sowing seed priming. Horticultural Reviews, 16: 109-141.

Peret, B., De Rybel, B., Casimiro, I., Benkova, E., Swarup, R., Laplaze, L., Beeckman, T. and Bennett, M. J. 2009. *Arabidopsis* lateral root development: an emerging story. Trends in Plant Science, 14: 399–408.

Pitts, R. J, Cernac, A. and Estelle, M. 1998. Auxin and ethylene promote root hair elongation in Arabidopsis. The Plant Journal, 16: 553–560.

Popko, J., Hänsch, R., Mendel, R., Polle, A. and Teichmann, T., 2010. The role of abscisicacid and auxin in the response of poplar to abiotic stress. Journal of Plant Biology, 12: 242–258.

Purwanto, Yuwariah, Y., Sumadi and Simarmata, T. 2017. Nitrogenase Activity and IAA Production of Indigenous Diazotroph and Its Effect on Rice Seedling Growth. AGRIVITA Journal of Agricultural Science, 39(1): 31-37.

Pustovoitova, T. and Zholkevich, V. 1992. Basic trends in the investigation of drought effects on physiological processes in plants. Fiziol Biokhim Kul't Rast, 24: 14-27.

Qian, N., Wu, J. S., Li, B. Z. and Wu, M. l. 2013. Response of Growth Characteristics to Different IAA Concentrations in Rice Seedling. Research of Agricultural Modernization.

R Core Team. 2018. R: A language and envirionment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Ramaih, S., Guedira, M. and Paulsen, G. M. 2003. Relationship of indoleacetic acid and tryptophan to dormancy and preharvest sprouting of wheat. Functional Plant Biology, 30: 939-945.

Rahman, A., Hosokawa, S., Oono, Y., Amakawa, T., Goto, N. and Tsurumi, S. 2002b. Auxin and ethylene response interactions during Arabidopsis root hair development dissected by auxin influx modulators. Plant Physiololgy, 130: 1908–1917.

Rahman, M. T., Islam, M. T., and Islam, M. O. 2002a. Effect of water stress at different growth stages on yield and yield contributing characters of transplanted aman rice. Pakistan Journal of Biological Sciences, 5(2): 169-172.

Raweekul, W., Wuttitummaporn, S., Sodchuen, W. and Kittiwongwattan, C. 2016. Plant growth promotion by endophytic bacteria isolated from rice (*Oryza sativa*). Thammasat International Journal of Science and Technology, 21(1): 1-17. Doi.10.14456/tijsat.2016.2

Ritchie, S. W., Nguyan, H. T. and Holaday, A. S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop science, 30: 105-111.

Saeidi, M., Abdoli, M. and Azhand, M. 2014. Effect of foliar application of indole-3-acetic acid (IAA) at the beginning of grain growth (cell division) stage on agronomic characteristics and seedling growth parameters of two bread wheat under water and salinity stresses. International Journal of Biosciences, 5(9): 244-255.

Sakata, T., Oshino, T., Miura, S., Tomabechi, M., Tsunaga, Y., Higashitani, N., Miyazawa, Y.,Takahashi, H., Watanabe, M., Higashitani, A. 2010. Auxins reverse plant male sterility caused by high temperatures. Proc. Natl. Acad. Sci. 107(19): 8569–8574.

Salam, M. A., Islam, M. R., and Haque, M. M. 2001. Direct seeded rice (Dsr) genotypes for drought prone upland area. Pakistan Journal of Biological Sciences, 4(6): 651-653.

Sarvestani, Z. T., Pirdashti, H., Sanavy, S. A. and Balouchi, H. 2008. Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Pakistan Journal of Biological Sciences, 11(10): 1303-1309.

Satake, T. and Yoshida, S. 1978. High temperature induced sterility in indica rices at flowering. Jpn. J. Crop Sci. 47(1): 6–17.

Sebastian, J. S.V., Somayanda, I. M., Chiluwal, A., Perumal, R., Prasad, P. V. V. and Jagadish, K. 2017. Resilience of pollen and post-flowering response in diverse sorghum genotypes exposed to heat stress under field conditions. Crop Sci. 57: 1658–1669.

Shinkle, R. J. and BRIGGS, R. W. 1984. Indole-3-acetic acid sensitization of phytochrome-controlled growth of coleoptile sections. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 81: 3742-3746.

Shahab, S., Nuzhat, A., and Nasreen, S. K. 2009. Indole acetic acid production and enhanced plant growth promotion by indigenous PSBs. African Journal of Agricultural Research, 4: 1312-1316.

Shahriari, R. and Hassan Panah, D.H. 2005. Measuring the length of coleoptiles in native and promising genotypes of wheat in vitro using mannitol as the osmotic stress factor. The fourth congress on Iran biotechnology. Acta Botanica Boreal-Occident Sinica, 22(3): 561-565.

Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R., Bezrukova, M. V., Fatkhutdinova, R. A. and Fatkhutdinova, D. R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science, 164: 317-322.

Shannon, M.C. 1998. Adaptation of plants to salinity. Adv. Agron. 60: 76-120.

Shuai, H., Meng, Y., Luo, X., Chen, F., Qi, Y., Yang, W. and Shu, K. 2016. The roles of auxin in seed dormancy and germination. Hereditas (Beijing), 38(4): 314-322.

Shuai, H., Meng, Y., Luo, X., Chen, F., Zhou, W., Dai, Y., Qi, Y., Du, J., Yang, F., Liu, J., Yang, W. and Shu, K. 2017. Exogenous auxin represses soybean seed germinatin through decreasing the gibberellin/abscisic acid (GA/ABA) ratio. 2017. Scicentific Reports, 7: 12620 doi.10.1038/s41598-017-13093-w

Siddique, M. R. B., Hamid, A. and Islam, M. S. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 41: 35-39.

Song, J., Feng, G., Tian, C., and Zhang, F. 2005. Strategies for adaptation of *Suaeda physophora*, *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* to saline environment during seed germination stage. Annual of Botany, 96: 399-405.

Spaepen, S., Vanderleyden, J. and Remans, R. 2007. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. FEMS Microbiology Reviews, 31: 425-448.

Spaepen, S., Dobbelaere, S., Croonenborghs, A. and Vanderleyden, J. 2008. Effect of *Azospirillum brasilense* indole-3-acetic acid production on inoculated wheat plants. Plant Soil, 312: 15-23.

Sparkes, D. L., Holme, S. J., and Gaju, O. 2006. Does light quality initiate tiller death in wheat? European Journal of Agronomy, 24: 212-217.

Susilowati, D. N., Riyanti, E. I., Setyowati, M. and Mulya, K. 2002. Indole-3-acetic acid producing bacteria and its application on the growth of rice. AIP Conference Proceedings 020016. http://doi.org/10.1063/1.5050112

Suzuki, S., Yuxi, H., Oyaizu, H. and He, Y. 2003. Indole-3-acetic acid production in *Pseudomonas fluorescens* HP72 and its association with suppression of creeping bentgrass brown patch. Current Microbiology, 47: 138-143.

Tabatabaei, S., Ehsanzadeh, P., Etesami, H., Alikhani, H. A. and Glick, B. R. 2016. Indole-3-acetic acid (IAA) producing *Pseudomonas* isolates inhibit seed germination and α–amylase activity in durum wheat (*Triticum turgidum* L.). Spanish Journal of Agricultural Research, 14(1). e0802. http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2016141-8859.

Tamaki, H., Reguera, M., Abdel-Tawab, Y. M., Takebayashi, Y., Kasahara, H. and Blumwald, E. 2015. Targeting hormone-related pathways to improve grain yield in rice: a chemical approach. PLoS ONE 10(6): e0131213. Doi:10.1371/journal.pone.0.131213

Therios, L. N. 1982. Effects of temperature, moisture stress and pH on the germination of seeds of almond (Prunus amygdalus Truioto). Seed Science and Technology, 10: 5885-5894.

Thornton, P. and Lipper, L. 2013. How does climate change alter agricultural strategis to support food security?. Background paper for the conference "Food security futures: research priorities for the 21st Century", 11-12 April 2013, Dublin.

Tien, T. M., Gaskins, M. H. and Hubbell, D. H. 1979. Plant growth substance produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum*). Applied and Environmental Microbiology, 37: 1016-1024.

Tsurumi, S. and Wada, S. 1980. Transport of shoot- and cotyledon-applied indole-3-acetic acid to *Vicia faba* root. Plant and Cell Physiologly, 21: 803–816.

Van der Weele, C.M., Spollen, W.G., Sharp, R.E., and Baskin, T.I. 2000. Growth of Arabidopsis thaliana seedlings under water deficit studied by control of eater potential in nutrient-agar media. Journal of Experimental Botany, 51: 1555-1562.

Vanneste, S. and Friml, J. 2009. Auxin: a trigger for change in plant development. Cell. 136(6):1005-1016.doi:10.1016/j.cell.2009.03.001, PMID:19303845.

Verslues, P.E., Ober, E.S., and Sharp, R.E. 1998. Root growth and oxygen relations at low water potentials. Impact of oxygen availability in polyethylene glycol solutions. Journal of Plant Physiology, 116: 1403-1412.

Wani, P. A. and Khan, M. S. 2010. Bacillus species enhance growth parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in chromium stressed soils. Food and Chemical Toxicology, 48: 3262-3267.

Wang, E., Wang, J., Zhu, X., Hao, W., Wang, L., Li, Q. *et al*. 2008. Control of rice grain-filling and yield by a gene with a potential signature of domestication. Nature Genetics, 40: 1370-1374.

Wang, F., Cheng, F. M. and Zhang, G. P. 2007. Difference in grain yield and quality among tillers in rice genotypes differing in tillering capacity. Rice Science 14: 135-140.

Wang, Y., Ren, T., Lu, J. W., Ming, R., Ming, R., Li, P. F., Saddam, H., Cong, R. H., and Li, X. K. 2016. Heterogeneity in rice tillers yield associated with tillers formation and nitrogen fertilizer. Agronomy Journal 108: 1717-1725.

Wang, Y., Lu, J., Ren, T., Hussain, S., Guo, C., Wong, S., Cong, R. and Li, X. 2017. Effects of nitrogen and tiller type on grain yield and physiological responses in rice. Journal for Environment and Evolutionary Plant Biology (AOB Plants), 9(2): 1-14.

Wang, Z., Xu, Y., Wang, J., Yang, J. and Zhang, J. 2012. Polyamine and ethylene interactions in grain filling of superior and inferior spikelets of rice. Plant Growth Regul. 66: 215-228.

Wang, Z., Yang, J., Zhu, Q., Zhang, Z., Lang, Y. and Wang, X. 1998. Reasons for poor grain filling in intersubspecific hybrid rice. Acta Agronomica Sinica, 24: 782-787.

Wani, S. H., Sofi, P. A., Gosal, S. S. and Singh, N. B. 2010. *In vitro* screening of rice (Oryza sativa L.) callus for drought tolerance. Communications in Biometry and Crop Science 5(2):108-115.

Watt, L. A. 1974. The effect of water potential on the germination behavior of several warm season grass species, with special reference to cracking black clay soils. Journal of Soil Conservation New South Wales 30: 28-41.

Watt, L. .A. 1978. Some characteristics of the germination of Queenland blue grass on cracking black earths. Australian Journal of Agricultural Research 29: 1147-1155.

Wopereis, M. C. S., Kropff, M. J., Maligayab, A. R., and Tuong, T. P. 1996. Drought stress responses of two lowland rice cultivars to soil water status. Field Crops Research, 46(1-3): 21-39.

World Bank. 2008. World Bank data on agricultural value added as a share of GDP in 2008.

Wu, J., Qin, Y. and Zhao, J. 2008. Pollen tube growth is affected by exogenous hormones and correlated with hormone changes in styles in Torenia fournieri L. Plant Growth Regul. 55: 137-148.

Xie, Z., Jiang, D., Cao, W., Dai, T. and Jing, Q. 2003. Relationships of endogenous plant hormones to accumulation of grain protein and starch in winter wheat under different post-anthesis soil water statuses. Plant Growth Regulation, 41: 117-127.

Xu, Z. and Zhou, G. 2008. Responses of leaf stomatal density to water status and its relationship with photosynthesis in grass. Journal of Experimental Botany, 59(12): 3317-3325.

Xu, G., Zhang, J., Lam, H. M., Wang, Z. and Yang, J. 2007. Hormonal changes are related to the poor grain filling in the inferior spikelets of rice cultuivated under non-flooded and mulched condition. Field Crop Research, 101: 53-61.

Yamamoto, Y., Kamiya, N., Morinaka, Y., Matsuoka, M. and Sazuka, T. 2007. Auxin biosynthesis by the YUCCA genes in rice. Journal of Plant Physiology, 143: 1362–1371.

Yang, J., Peng, S., Zhang, Z., Wang, Z., Visperas, R. M. and Zhu, Q. 2002. Grain and dry matter yields and partitioning of assimilates in japonica/indica hybrid rice. Crop Science, 42: 766-772.

Yang, J., Su, B., Wang, Z. and Zhu, Q. 1999. Characteristics and physiology of grain filling in intersubspecific hybrid rice. Chinese Agriculture Science Bulletin, 1: 61-70.

Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Liu, K. and Wang, P. 2006. Post-anthesis development of inferior and superior spikelets in rice in relation to abscisic acid and ethylene. Journal of Experimental Botany, 57: 149-160. doi: 10.1093/jxb/erj018 PMID: 1633052

Yang, J., Zhang, J., Wang, Z. and Zhu, Q. 2003. Hormones in the grains in relation to sink strength and postanthesis development of spikelets in rice. Plant Growth Regulation, 41: 185-195.

Yousof, F. I. and El-Saidy, A. E. A. 2014. Application of salicylic acid to improve seed vigor and yield of some bread wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. Research Journal of Seed Science, 7(2): 52-62

Yuan, C. X. and Ding, J. 1990. Effects of water stress on the content of IAA and the activities of IAA oxidase and peroxidase in cotton leaves. Acta Phytophysiol. Sinica, 16: 179-183.

Zahir, Z. A., Malik, M. A. R. and Arshad, M. 1999. Effect of auxins on the growth and yield of rice. Pah. J. Agri. Sci. 36: 3-4.

Zahir, Z. A., Shah, M. K., Naveed, M., and Akhter, M. J. 2010. Substrate-dependent auxin production by *Rhizobium phaseoli* improves the growth and yield of *Vigna radiata* L. under salt stress conditions. Journal of Microbiology and Biotechnology, 20: 1288-1294.

Zhao, Y. 2010. Auxin biosynthesis and its role in plant development. Annual Review of Plant Biology, 61: 49-64.

Zhang, C., Li, G., Chen, T., Feng, B., Fu, W., Yan, J., Islam, M. R., Jin, Q., Tao, L. and Fu, G. 2018. Heat stress induces spikelet sterility in rice at anthesis through inhibition of pollen tube elongation interfering with auxin homeostasis in pollinated pistils. Rice, 11:14 https://doi.org/10.1186/s12284-018-0206-5.

Zhang, H., Tan, G., Yang, L., Yang, J., Zhang, J., and Zhao, B. 2009c. Hormones in the grains and roots in relation to post-anthesis development of inferior and superior spikelets in japonica/indica hybrid rice. Plant Physiology and Biochemistry, 47: 195-204.

Zhang, S. W., Li, C. H., Cao, J., Zhang, Y. C., Zhang, S. Q., Xia, Y. F., Sun, D. Y. and Sun, Y. 2009a. Altered architecturea and enhanced drough tolerance in rice via the down regulation of indole-3-acetic acid by TLD1/OsGH3.13 Activation. Journal of Plant Physiology, 151(4): 1889-1901.

Zhang, X., Ervin, E. H., Evanylo, G. K. and Haering, K. C. 2009b. Impact of biosolids on hormone metabolism in drought-stresses tall fescue. Crop Science, 49: 364-370.

Zhang, W., Cao, Z., Zhou, Q., Chen, J., Xu, G., Gu, J., Liu, L., Wang, Z., Yang, J. and Zhang, H. 2016. Grain filling characteristics and their relations with endogenous hormones in large- and small-grain mutants of rice. PLOS ONE. Doi:10.137/journal.pone.0165321

Zholkevich, V. and Pustovoitova, T. 1993. Growth and phytohormone content in Cucunis sativus L. leaves under water deficiency. Russian Journal of Plant Physiology, 40: 595-599.

Zhu, J. K. 2002. Salt and drough stress signal transduction in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 53: 247-273.

ภาคผนวก

IAA ได้จากการเลี้ยงแบคที่เรีย (RD4-1-1) โดยคำนวณจากค่ากราฟมาตรฐาน 62.969 µg/ml

<u>การคำนาณ stock RD4-1-1 IAA ในระดับความเข้มข้นต่างๆ ในปริมาตร 1000 ml (1L)</u>

1 โมล ของ IAA = 175.18 g/l หรือ = 175.18 µg/ml×10^3

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> วัดความเข้มข้นของ IAA จากการเลี้ยงแบคทีเรีย (RD4-1-1) ค่าที่ได้เท่ากับ 62.969 µg/ml

$$\frac{62.969\ \mu g/ml}{175.18\ \mu g/ml \times 10^3}$$

= 0.3594×10^{-3} M

= 0.35494 mM

= 354.94 µM

<u>เตรียม IAA ที่ความเข้มข้น 0.25 µM</u>

จากสูตร $M_1V_1 = M_2V_2$

(354.94 µM) (V_1) = (0.25 µM) (1000 ml)

V_1= 0.70 ml (IAA จาก แบคที่เรีย (RD4-1-1))

น้ำกลั่น = 1000 ml - 0.70 ml = 999.30 ml (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ)

<u>เตรียม IAA ที่ความเข้มข้น 2.5 µM</u>

จากสูตร $M_1V_1 = M_2V_2$

(354.94 µM) (V_1) = (2.5 µM) (1000 ml)

V_1= 7.0 ml (IAA จาก แบคที่เรีย (RD4-1-1))

น้ำกลั่น= 1000 ml – 7.0 ml = 999 ml (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ)

<u>เตรียม IAA ที่ความเข้มข้น 25 µM</u>

จากสูตร $M_1V_1 = M_2V_2$

(354.94 µM) (V_1) = (25 µM) (1000 ml)

V_1= 70 ml (IAA จาก แบคที่เรีย (RD4-1-1))

น้ำกลั่น= 1000 ml - 70 ml = 930 ml (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ)

<u>การคำนวณ stock synthetic IAA ในระดับความเข้มข้นต่างๆในปริมาตร 1000 ml (1L)</u>

1 โมล ของ IAA = 175.18 g/l

175.18 g/l = 1 โมล หรือ 175.18 µg/l

<u>เตรียม IAA ที่ความเข้มข้น 0.25 µM</u>

ถ้า 0.25 µM = $\frac{\mathbf{175.18\ mg/l \times 0.25\mu M}}{\mathbf{1\ \mu M}}$ = 43.795 µg/l *(*หรือ 0.043 mg*)*

IAA *(*Fluka Analytical 57330 5 g 3-Indoleacetic acid*)* 5 mg : 10 ml

คำนวณ 0.25 µM ต้องการ 0.043 mg

10 ml มี 5 mg

$\frac{\mathbf{0.043\times10}}{\mathbf{5}}$ = 0.086 ml *(*synthetic IAA*)*

น้ำกลั่น = 1000 ml - 0.086 ml = 999.914 ml *(*น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ*)*

<u>เตรียม IAA ที่ความเข้มข้น 2.5 µM</u>

ถ้า 2.5 µM = $\frac{\mathbf{175.18\ mg/l \times 2.5\mu M}}{\mathbf{1\mu M}}$ = 437.95 µg/l (หรือ 0.43 mg)

IAA (Fluka Analytical 57330 5 g 3-Indoleacetic acid) 5 mg : 10 ml

คำนวณ 2.5 µM ต้องการ 0.43 mg

10 ml มี 5 mg

$\frac{\mathbf{0.43\times10}}{\mathbf{5}}$ = 0.86 ml *(*synthetic IAA*)*

น้ำกลั่น = 1000 ml - 0.86 ml = 999.14 ml (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ)

<u>เตรียม IAA ที่ความเข้มข้น 25 µM</u>

ถ้า 25 µM = $\frac{\mathbf{175.18\ mg/l \times 25\mu M}}{\mathbf{1\mu M}}$ = 4379.5 µg/l *(*หรือ 4.37 mg*)*

IAA (Fluka Analytical 57330 5 g 3-Indoleacetic acid*)* 5 mg : 10 ml

คำนวณ 25 µM ต้องการ 4.37 mg

10 ml มี 5 mg

$\frac{\mathbf{4.37\times10}}{\mathbf{5}}$ = 8.74 ml *(*synthetic IAA*)*

น้ำกลั่น = 1000 ml – 8.74 ml = 991.26 ml *(*น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ*)*

<u>การคำนวณสารเคมีที่ชักนำให้เกิดการผลิตอินโดลแอซีติกจากแบคที (RD4-1-1)ทำ stock 300 มิลลิลิตร</u>

<u>การเตรียม IAA (Fluka Analytical 57330)</u>

1 ml มี IAA 100 µg/l

ใช้ 50 ml = $\frac{100\mu g/l \times 50 ml}{1\ ml}$ = 5,000 µg/l

เปลี่ยน µg ให้เป็น mg

1000 µg = 1 mg

ใช้ 5000 µg = $\frac{1mg \times 5000\mu g}{1000\mu g}$ = 5 mg

<u>การเตรียม 0.5M $FeCl_3$ (MW = 162.2)</u>

1 M = 162.2 /1000 ml

0.5 M = $\frac{162.2}{2}$ /1000 ml

= 81.1 / 1000 ml

ใช้น้ำกลั่น 1000 ml ต่อ 0.5M $FeCl_3$ 81.1 g

ถ้าใช้ 10 ml $(10\ ml \times 81.1g)/(1000\ ml)$= 0.811 g /10 ml

<u>การเตรียม 35% Perchoric acid ($HClO_4$)</u>

$C_1V_1 = C_2V_2$

$70xV_1 = 35\times100$

$V_1 = \frac{35\times100}{70}$ = 50 ml

($HClO_4$) 50 ml + น้ำกลั่น DI 50 ml (ทำในขวดปรับปริมาตร 100 ml)

<u>การเตรียมอาหารเหลว Nutrient Broth (NB) (Difco™ Nutrient Broth, BD)</u>

น้ำกลั่นปริมาตร 1000 ml ใช้ NB 8 g

ถ้าใช้ 300 ml จะใช้ $\frac{8\times300}{1000}$ = 2.4 g

<u>การเตรียม L-Tryptophan (HIMEDIA GRM067-5G L-Tryptophan)</u>

1 ml = 100 µg

300 ml = $(100\ \mu g \times 300 ml)/1ml)$ = 30,000 µg

1000 µg = 1 mg

30,000 µg = $\frac{30000\ \mu g \times 1mg}{1000\ \mu g}$= 30 mg

<u>การคำนวณ 1% inoculum</u>

1% inoculum 1 ใน 100

ถ้า 300 ml = $\frac{1\times300}{100}$ = 3 ml

(Michel and Kaufmann, 1972; Pant and Bose; 2016)

ค่า Osmotic Potential (OP) = $-(1.18 \times 10^{-2}) \times C - (1.18 \times 10^{-4}) \times C^{-2} + (2.67 \times 10^{-4}) \times C\ T + (8.39 \times 10^{-7}) \times C^{2}T$

เมื่อ C = PEG concentration (g/kg H_2O)

T = Temperature (25°C)

ทั้งนี้ osmotic potential (or solute potential or) ซึ่งจะมีค่าติดลบในเซลล์พืชและเป็นศูนย์ในน้ำเปล่า ในเซลล์มีค่าประมาณ -0.5 ถึง -1.0 MPa (megapascals) ที่จะไปลดค่า water potential ของน้ำคือค่าศักย์พลังงานที่สามารถนำไปใช้ได้ในน้ำ ทั้งนี้ ค่า water potential ที่ลดลงนี้โดยปกติการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่ต้นพืชได้เพราะค่าศักย์น้ำของดินจะมากกว่าในราก มากกว่าในลำต้น ใบ และบรรยากาศ ตามลำดับ ทั้งนี้ 1 MPa = 10 bar

การเตรียมความเข้มข้นตามทรีตเมนต์

0% PEG = 0.00 bar of osmotic potential หรือถ้าคิดว่าอิทธิพลของ water potential (WP) มาจาก OP อย่างเดียว WP = 0 bar or 0 MPa

10% PEG = -1.906 bar or -0.49 MPa

20% PEG = -4.906 bar or -0.49 MPa

30% PEG = -10.2698 bar or -1.03 MPa