ความสัมพันธ์ระหว่างศักยภาพทางอัลลีโลพาทีกับการเติบโตของข้าว (*Oryza sativa* L.) ภายใต้ภาวะเครียด

Relationship between Allelopathic Potential and Growth of Rice (*Oryza sativa* L.) under Stress Condition

กิดากานต์ สาสุธรรม

Kidakan Sarsutham

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Botany Prince of Songkla University

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ความสัมพันธ์ระหว่างศักยภาพทางอัลลีโลพาทีกับการเติบโตของข้าว (*Oryza sativa* L.) ภายใต้ภาวะเครียด

Relationship between Allelopathic Potential and Growth of Rice (*Oryza sativa* L.) under Stress Condition

กิดากานต์ สาสุธรรม

Kidakan Sarsutham

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Botany
Prince of Songkla University
2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ความสัมพันธ์ระหว่างศักยภาพทางอัลลีโลพาทีกับการเติบโตของข้าว (*Oryza sativa* L.) ภายใต้ภาวะเครียด
ผู้เขียน นางสาวกิดากานต์ สาสุธรรม
สาขาวิชา พฤกษศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤติกา แก้วจำนง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมพ์ชนก บัวเพชร)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ (ศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์)

.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤติกา แก้วจำนง)

.....กรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร. อุปถัมภ์ มีสวัสดิ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษศาสตร์

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤติกา แก้วจำนง)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นางสาวกิดากานต์ สาสุธรรม)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นางสาวกิดากานต์ สาสุธรรม)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ความสัมพันธ์ระหว่างศักยภาพทางอัลลีโลพาทีกับการเติบโตของข้าว (*Oryza sativa* L.) ภายใต้ภาวะเครียด
ผู้เขียน นางสาวกิดากานต์ สาสุธรรม
สาขาวิชา พฤกษศาสตร์
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

อัลลีโลพาที หมายถึงปรากฏการณ์ที่พืชชนิดหนึ่งปลดปล่อยสารเคมีออกสู่สิ่งแวดล้อม มีผลต่อการงอก การเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชข้างเคียง ซึ่งอาจจะส่งผลดีในด้านการกระตุ้นหรือส่งผลเสียในด้านการยับยั้งการเจริญเติบโต และพัฒนาการของพืชชนิดอื่นรวมทั้งจุลินทรีย์ และเรียกสารเคมีที่พืชปลดปล่อยออกมาว่า สารอัลลีโลพาทิก จากการศึกษาหลายการศึกษาที่ผ่านมาในเรื่องของปัจจัยที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิก พบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่ส่งผลให้พืชเกิดความเครียด เช่น แสงที่มากหรือน้อยเกินไป การขาดน้ำ ขาดสารอาหาร ความเค็ม วัชพืช เชื้อโรคและการกัดกินโดยแมลง นอกจากจะส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ลดลงแล้วยังส่งผลต่อการปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิกของพืชอีกด้วย การศึกษาในครั้งนี้ได้แบ่งการศึกษาเป็นสองส่วนในส่วนแรกได้ทำการศึกษาเบื้องต้นในข้าวพันธุ์หอมจันทร์เพื่อเปรียบเทียบผลของปัจจัยแสง และสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าว ส่วนที่สองได้ทำการศึกษาปัจจัยการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวในข้าวพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้สามพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์หอมจันทร์ สารสวย และเหนียวดำช่อไม้ไผ่ ผลการศึกษาในเรื่องปัจจัยแสงพบว่าเมื่อทำการปลูกข้าวพันธุ์หอมจันทร์ในสภาวะที่ได้รับแสงต่างกันที่ความเข้มแสง 100% 50% และ 10% ของแสงอาทิตย์ ทำการวัดการเจริญเติบโต และศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวโดยใช้สารสกัดด้วยน้ำและทดสอบกับเมล็ดผักกาดหอม โดยทำการวัดเปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวยอด ความยาวรากและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม ผลการทดลองพบว่า เมื่อต้นข้าวได้รับความเข้มแสงลดลงส่งผลให้มีอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนและการเจริญเติบโตลดลง รวมทั้งศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของลดลงไปด้วย และผลการศึกษาในเรื่องปัจจัยสารอาหารในข้าวพันธุ์หอมจันทร์ในสภาวะที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่ต่างกัน คือ สูตร Hoagland ปกติ ความเข้มข้นของสารอาหารลดลง 10 เท่า (0.1N) และ 100 เท่า (0.01N) พบว่าเมื่อปลูกข้าวพันธุ์หอมจันทร์ในสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่มีความเข้มข้นลดลง ทำให้ผลการเจริญเติบโตลดลง ทั้งในด้านความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักแห้ง และประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของต้นข้าว ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างพันธุ์ข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ความเข้มข้นปกติ (1N) และความเข้มข้นของสารอาหารลดลง 100 เท่า (0.01 N) แต่กลับมีศักยภาพทางอัลลีโลพาทีเพิ่มขึ้น การศึกษาครั้งนี้ได้นำปัจจัยสารอาหารมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโต

และศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวในข้าวพื้นเมืองสามพันธุ์ พบว่าเมื่อปลูกข้าวทั้งสามพันธุ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสารอาหารลดลงข้าวมีการเจริญเติบโตที่ลดลง และศักยภาพทางอัลลีโลพาทีเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวพบว่า เหนียวดำช่อไม้ไผ่มีแนวโน้มของมีอัตราการเปลี่ยนแปลงศักยภาพทางอัลลีโลพาทีเมื่อได้รับความเครียดมากที่สุด รองลงมาคือข้าวพันธุ์หอมจันทร์และสารสวยตามลำดับ

Thesis Title	Relationship between allelopathic potential and growth of rice (*Oryza sativa* L.) under stress condition
Author	Miss Kidakan Sarsutham
Major Program	Botany
Academic Year	2018

ABSTRACT

Allelopathy refers to the beneficial or harmful effect of one plant on another plant, both crop and weed species, from the release of biochemicals, known as allelochemicals. Several studies have examined the effects of environmental stress factors such as excess or low light, lack of water, nutrient deficiency, salinity, weed, pathogen and insect on allelochemical release by plants and found that stress factors not only affect growth but also allelopathic potential of plants. This study was divided into two parts. The first part examined the effect of low light and low nutrient stress in Hawm Jan variety rice seedlings. Light experiment was done by growing rice plants under different light conditions, i.e. 100%, 50%, and 10% of full sunlight for 14 days then measuring their growth and allelopathic potential using water extracts and tested with lettuce seeds for three days. The Inhibitory activity of germination, shoot length, root length, and dry weight of lettuce seedlings were measured. Results showed that as light intensity decreased from 100% to 10%, rice growth decreased and its allelopathic potential also decreased. Nutrient experiment was done by growing rice plants under different nutrient solutions, i.e. normal strength, 10 times and 100 times dilutions (1N, 0.1N and 0.01N, respectively) of Hoagland nutrient solution. Rice shoot length, plant dry weight, leaf greenness and maximum quantum yield (Fv/Fm) were measured. Allelopathic potential was tested using lettuce seeds. Inhibitory activity of germination, shoot length, root length, plant length and dry weight of lettuce seedlings were measured. Results showed that as nutrient concentrations decreased from 1N to 0.01N, rice growth decreased while its allelopathic potential increased. In the second part, nutrient stress factor was examined for the relationship between growth and allelopathic potential in three rice varieties, i.e. Hawm Jan, San Suay and Niaw Dam Chaw Mai Pai. The results showed that when the three rice varieties were grown from high to low nutrient concentrations, their growth decreased while allelopathic potential increased. Niaw Dam Chaw Mai Pai tended to have the higest rate of allelopathic potential change under increased nutrient stress condition followed by Hawm Jan and San Suay, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ โดยมีบุคคลสำคัญที่สุดคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤติกา แก้วจำนง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมพ์ชนก บัวเพชร อาจารย์ที่ปรึกษาหลักและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ที่กรุณาถ่ายทอดความรู้ เสียสละเวลาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องแก่ศิษย์เสมอมา

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์ ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤติกา แก้วจำนง และรองศาสตราจารย์ ดร. อุปถัมภ์ มีสวัสดิ์กรรมการ ผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความกรุณาในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์และได้กรุณาเสนอแนะแก้ไขเพิ่มเติม ทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อารักษ์ จันทศิลป์ ที่ได้ให้คำแนะนำเรื่องการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร

ขอขอบพระคุณ ดร. กิติพล นวลทอง ดร. กรกช วิจิตรสงวน ดร. ธรรมรัตน์ พนิชยากุล ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วชิระ เหล็กนิ่ม และอาจารย์ อริยา เดชธราดล ภาควิชาชีววิทยา ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะและความช่วยเหลือในการวิเคราะห์การถดถอยและวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

ขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรภาควิชาชีววิทยาทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ และให้ข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยตลอดมา รวมถึงภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ที่อนุเคราะห์วัสดุอุปกรณ์และสถานที่ในการวิจัย

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนเงินทุนเพื่อการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณกำลังใจอันยิ่งใหญ่จากครอบครัว ขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ ในภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ทุกคนที่มิได้กล่าวนามซึ่งเป็นกำลังใจสำคัญในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาจนสำเร็จ

กิดากานต์ สาสุธรรม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
คำอธิบายตัวย่อและสัญลักษณ์	(17)
บทที่ 1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
วัตถุประสงค์	2
สมมติฐานการศึกษา	2
ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	2
การตรวจเอกสาร	3
บทที่ 2 วิธีการวิจัย	19
วัสดุและอุปกรณ์	19
สารเคมี	20
วิธีการทดลอง	20
บทที่ 3 ผลการวิจัย	25
บทที่ 4 บทวิจารณ์	64
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	73
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก	81
ประวัติผู้เขียน	102

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน Hoagland	22
2	ผลจากการวิเคราะห์ two-way ANOVA ของการเจริญเติบโตของข้าว 3 สายพันธุ์	42

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นกล้าข้าว	3
2	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำต้นและใบข้าว	4
3	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดอกข้าว	4
4	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดข้าว	5
5	วิธีที่พืชปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิกออกสู่สิ่งแวดล้อม	7
6	การจัดอุปกรณ์ในการทดลองเรื่องผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการ เจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว	23
7	ความสูงเหนือดินของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน	25
8	ความยาวรากของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน	26
9	น้ำหนักแห้งของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน	26
10	อัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในระบบแสงสองของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน	27
11	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน	28
12	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน	28
13	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน	29
14	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน	30
15	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน	30
16	ความยาวยอดของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	31
17	ความยาวรากของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	32
18	น้ำหนักแห้งของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	32
19	ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	33

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
20	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารต่างกัน	33
21	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	34
22	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	35
23	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	35
24	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	36
25	ความยาวยอดของต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	37
26	ความยาวรากของต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	38
27	น้ำหนักแห้งของต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	39
28	ค่าความเขียวใบของต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	40
29	ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	41
30	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	43
31	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอมเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	44
32	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอมเมื่อได้รับสาร สกัดจากต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	45

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
33	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอมเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	46
34	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งต้นกล้าผักกาดหอมเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน	47
35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวยอดของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	48
36	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวยอดของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	49
37	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวยอดของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	49
38	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวยอดของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	50
39	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวยอดของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม	51
40	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	51
41	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	52

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
42	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	52
43	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	53
44	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม	53
45	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	54
46	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	54
47	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	55
48	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	56
49	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม	56

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
50	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	57
51	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	57
52	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	58
53	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	59
54	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม	59
55	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	60
56	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	60

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
57	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	61
58	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	61
59	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม	62
60	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของการเจริญเติบโตของข้าวร่วมกับความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของผักกาดหอม	63

คำอธิบายตัวย่อและสัญลักษณ์

มล. = มิลลิลิตร

2,4-D = 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid สารเคมีกำจัดวัชพืช (herbicide) จัดอยู่ในกลุ่ม chlorophenoxyacetate บางครั้งเรียกชื่อสั้นๆ ว่า phenoxy หรือ chlorophenoxy

ETR = อัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในระบบแสงสอง (Electron Transport Rate)

Fv/Fm = ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของระบบแสงสอง (PSII) ในสภาพมืด (maximum quantum yield of photosystem II)

PCA = การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis)

PAR = ช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthetic Active Radiation)

nm = นาโนเมตร (10^{-9} m)

SE = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error of mean)

SPAD = หน่วยวัดค่าความเขียวใบ

UV = รังสีคลื่นสั้นหรือแสงเหนือม่วง (Ultra Violet)

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

อัลลีโลพาที (allelopathy) เป็นกระบวนการที่พืชผลิตสารภายในต้นและปลดปล่อยออกมาซึ่งมีผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพืชอื่น ๆ ในด้านการกระตุ้นหรือยับยั้งการเจริญเติบโต (Rice, 1984) สารดังกล่าวนี้เรียกว่า สารอัลลีโลพาทิก (allelopathic substances, allelochemicals) (Putnam, 1985) จากหลายการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่สามารถส่งผลให้พืชเกิดความเครียด (stress) เช่น การขาดน้ำ อุณหภูมิที่ต่ำหรือสูงเกินไป การขาดออกซิเจน ความเค็มของดิน วัชพืช เชื้อโรครวมไปถึงการกัดกินโดยแมลงและศัตรูพืชต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการสร้างสารอัลลีโลพาทิก เนื่องจากความเครียดต่างๆ ส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง โดยพืชอาจมีการตอบสนองต่อความเครียดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมซึ่งส่งผลในระดับการสร้างสารชีวโมเลกุล โดยพืชอาจสร้างสารที่จำเป็นต้องใช้ในการเจริญเติบโตลดลง และมีการสร้างสารที่จำเป็นต่อการอยู่รอดในสภาวะนั้น ๆ เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ทำให้เกิดความเครียดจึงส่งผลต่อการปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิกของพืช

ปัจจุบันได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวางทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศในเรื่องของอัลลีโลพาทีระหว่างพืชปลูกกับพืชปลูกและพืชปลูกกับวัชพืช ซึ่งเป็นการศึกษาการใช้สารสกัดจากพืชปลูกชนิดหนึ่งต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพืชปลูกอีกชนิดหนึ่งหรือกับวัชพืชชนิดต่างๆ ที่สามารถพบได้บ่อยครั้งในพื้นที่นั้น ๆ เพื่อศึกษาและใช้ประโยชน์จากสารสกัดในการกระตุ้น เพื่อให้พืชปลูกที่ปลูกร่วมมีการเจริญเติบโตที่ดี หรือในการยับยั้งเมื่อทดสอบกับวัชพืช การศึกษาอัลลีโลพาทีระหว่างพืชปลูกกับพืชปลูกที่พบในประเทศไทย เช่น การใช้สารสกัดจากใบของชะพลู (*Piper sarmentosum* Roxb.) และสะระแหน่ (*Metha cordifolia*) เพื่อดูผลการยับยั้งความยาวยอดและรากของต้นกล้าผักกาดหอม (*Lactuca sativa*) (เฉลิมชัย, 2541) การใช้สารสกัดจากดอกของกานพลูในการยับยั้งการงอกของต้นกล้าผักกาดหัว (R*aphanus sativus* L.) (ทิพวรรณและคณะ, 2548) การศึกษาระหว่างพืชปลูกกับวัชพืช เช่น การศึกษาสารสกัดจากเปลือกข้าวจำนวน 91 สายพันธุ์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพในการยับยั้งการงอก ความยาวยอด และน้ำหนักแห้งของหญ้าปล้องละมาน (*Echinochloa crus-galli*) (Ahn and Chung, 2000) โดยข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชชนิดหนึ่งที่ถูกใช้ศึกษาในเรื่องความสามารถทางอัลลีโลพาทีอย่างกว้างขวาง ซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่เน้นเรื่องการใช้ความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวในการแก้ปัญหาวัชพืชอย่างยั่งยืน จากการทดลองทั้งภาคสนามและในห้องปฏิบัติการพบว่าข้าวมี

ผลยับยั้งการงอกรวมถึงการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดเมื่อปลูกร่วมกัน (Dilday et al. 1998; Kim et al. 1999; Olofsdotter et al. 1999; Azmi et al. 2000)

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังขาดข้อมูลผลของสารอัลลีโลพาทิกที่พืชสร้างขึ้นจากภาวะเครียดต่อตัวพืชเองและการศึกษาความสามารถทางอัลลีโลพาทีของสายพันธุ์ข้าวในประเทศที่มีไม่มากนัก และเมื่อพิจารณาถึงการแบ่งสัดส่วนทรัพยากรคาร์บอนในพืช แสงและสารอาหารเป็นสองปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ทำให้ได้สารเมแทบอไลต์ปฐมภูมิ (primary metabolites) ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของพืช เช่น กรดอะมิโน กรดไขมัน นิวคลีโอไทด์และน้ำตาล โดยสารเหล่านี้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) ต่อไป ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยให้พืชสามารถอยู่รอดในสภาวะที่สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมได้ เช่น การศึกษาของ Wilkens และคณะในปี 1996 ได้ศึกษาผลของปัจจัยแสง น้ำ และสารอาหารต่อการแบ่งสัดส่วนคาร์บอน พบว่าผลการทดลองเป็นไปตามสมมติฐาน Growth–Differentiation Balance Hypothesis (GDBH) คือ หากพืชอยู่ในสภาวะขาดสารอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนจะทำให้พืชไม่สามารถใช้คาร์บอนที่พืชมีอยู่ไปเพื่อการเจริญเติบโตได้ เนื่องจากปัจจัยด้านสารอาหารไม่เพียงพอ ในขณะที่การสังเคราะห์ด้วยแสงยังคงดำเนินไปในอัตราที่ต่ำลง ทำให้เกิดการสะสมคาร์บอนส่วนเกินไว้ในพืช และนำไปสู่การสร้างและปลดปล่อยสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิได้ ดังนั้นศึกษาครั้งนี้มีจึงวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลจากความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลกระทบจากการขาดแสงและสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว

สมมติฐานการศึกษา

หากต้นข้าวได้รับความเครียดจากการขาดแสงและสารอาหารในระดับหนึ่งจะมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงและมีความสามารถทางอัลลีโลพาทีเพิ่มขึ้น

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

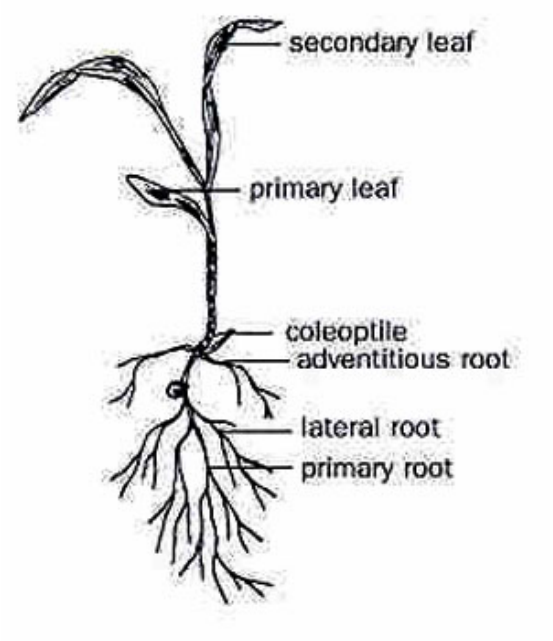
ทราบถึงผลกระทบจากการขาดแสงและสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาและใช้ประโยชน์จากอัลลีโลพาทีในระดับสูงขึ้นต่อไป

การตรวจเอกสาร

1. ข้อมูลทั่วไปและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว

ต้นข้าวเป็นพืชวงศ์หญ้า (Family Gramineae) ซึ่งจัดอยู่ในสกุลออไรซา (genus *Oryza*) เป็นพืชล้มลุกปีเดียว (annual plant) ไม่มีเนื้อไม้ เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyledon) (บุญหงษ์, 2547)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของข้าว



ภาพที่ 1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นกล้าข้าว (ที่มา : http://agron.agri.kps.ku.ac.th)

ระบบราก (root system) ทำหน้าที่รองรับส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวให้ทรงตัวอยู่ได้ รากอันแรกที่เจริญมาจากส่วนของ radicle เรียกว่า primary root และรากที่แตกแขนงออกมาเรียกว่า secondary root หรือ lateral root ข้าวมีระบบรากเป็นรากฝอย (fibrous root system) ซึ่งเป็นรากพิเศษ (adventitious root) โดยแตกออกมาจากโคนต้นและส่วนข้อล่าง ๆ ใต้ดินของลำต้นใหม่ในทิศทางขนานกับผิวดิน และมีการแตกแขนงของรากอย่างอิสระ เป็นรากที่เกิดขึ้นเพื่อทดแทนรากแรกเกิดเมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตและมีอายุมากขึ้น (Chang et al., 1965; Yoshida, 1981 อ้างโดย พัฒนพงศ์, 2555)

ลำต้น (stem) ลำต้นของข้าวเรียกว่า culm มีลักษณะทรงกลม ซึ่งประกอบไปด้วยข้อ (node) และปล้อง (internode) ปล้องของข้าวจะมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ข้างในกลวงและจะตันเฉพาะบริเวณข้อเท่านั้น ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นอาจมองเห็นรูปร่างของลำ

ต้นไม่ชัดเจนเนื่องจากมีส่วนของกาบใบหุ้มไว้แต่ในช่วงออกรวงจะสามารถมองเห็นข้อและปล้องได้ชัดเจนขึ้น เมื่อต้นมีการเจริญเติบโตสมบูรณ์ดีและสภาพแวดล้อมในการปลูกเหมาะสมต้นข้าวจะมีการแตกหน่อหรือ เรียกว่า แตกกอ (tillering) ซึ่งกอข้าวจะประกอบด้วยลำต้นหลัก (main culm) และหน่อ (tiller) (Chang et al., 1965; Yoshida, 1981 อ้างโดย พัฒนพงศ์, 2555)

ใบ (leaf) ลักษณะเป็นใบเดี่ยว (simple leaf) มีลักษณะเป็นแผ่นแบนบาง ค่อนข้างยาวรูปหอก ใบของข้าวประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ 4 ส่วน คือ

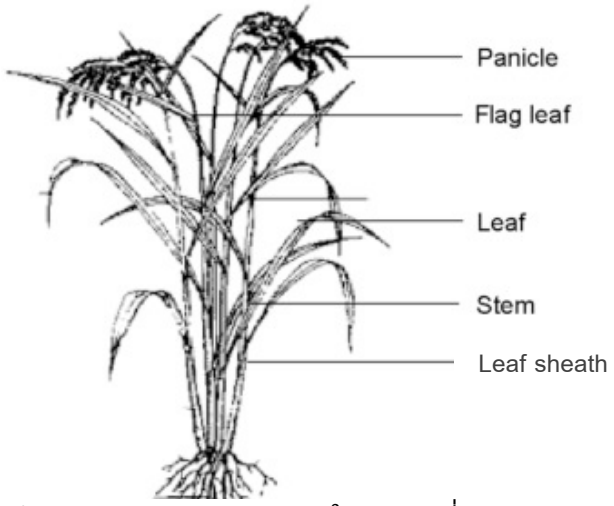
- กาบใบ (leaf sheath) เป็นส่วนที่อยู่ล่างสุดของใบ เจริญออกมาจากข้อทำหน้าที่หุ้มตาและข้อของลำต้น ช่วยเสริมให้ลำต้นแข็งแรง

- ใบธง (flag leaf) เป็นใบที่ช่วยสะสมอาหารไว้สำหรับรวงข้าวในขณะที่ออวุลจะเจริญไปเป็นเมล็ด

- แผ่นใบ (leaf blade) เป็นส่วนที่ขยายออกไปของใบต่อจากกาบใบ ลักษณะเรียวยาว ขนาดของใบจะกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ใบของข้าวจะมีขนและเส้นกลางใบ (mid rib)

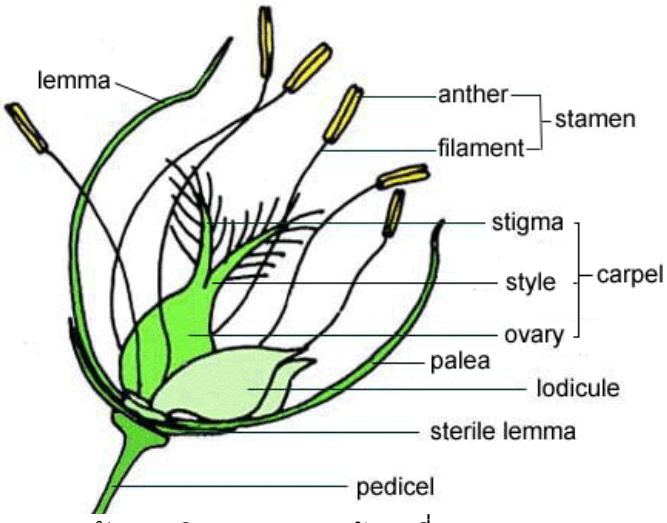
- เยื่อกันน้ำหรือลิ้นใบ (ligule) จะอยู่ที่รอยต่อระหว่างแผ่นใบและกาบใบมีลักษณะเป็นเยื่อบาง ๆ

- เขี้ยวใบ (auricle) เกิดที่ฐานของแผ่นใบ มีลักษณะเป็นขน รูปร่างโค้งคล้ายเคียวติดอยู่ข้างละอันของข้อต่อใบ ใบข้าวมีทั้งเยื่อกันน้ำและเขี้ยวใบ



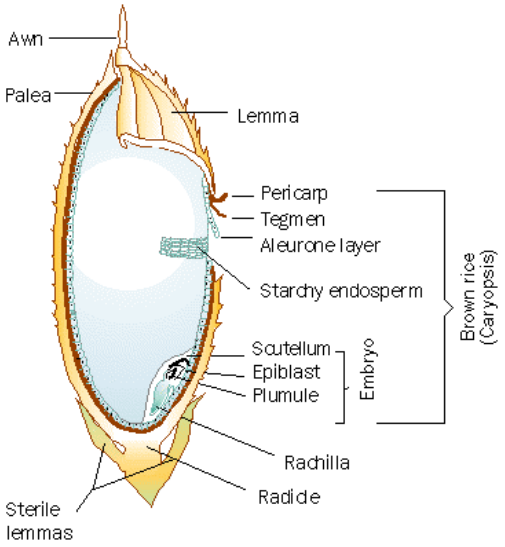
ภาพที่ 2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำต้นและใบข้าว (ที่มา :http://agron.agri.kps.ku.ac.th)

ดอกข้าว (spikelet) จัดเป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีลักษณะเป็นช่อ ซึ่งเรียกว่า panicle และจะโผล่ออกมาจากปล้องที่อยู่บนสุดของต้นข้าว ซึ่งไม่มีกลีบดอก จะประกอบด้วยกาบบน (lemma) และกาบล่าง (palea) ที่ผิวโครงสร้างทั้งสองนี้อาจมีขนหรือไม่มีขนก็ได้ ภายในดอกมีเกสรตัวผู้ (stamen) และเกสรตัวเมีย (pistil) (Chang et al., 1965; Yoshida, 1981 อ้างโดย พัฒนพงศ์, 2555)



ภาพที่ 3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดอกข้าว (ที่มา : http://agron.agri.kps.ku.ac.th)

เมล็ด (seed) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นแป้ง (endosperm) และคัพภะ (embryo) ซึ่งถูกห่อหุ้มไว้ด้วยเยื่อหุ้มชั้นนอก (pericarp) เยื่อหุ้มชั้นกลาง (tegmen) และเยื่อหุ้มชั้นใน (aleurone) เมล็ดข้าวจะถูกพัฒนาขึ้นมาหลังจากผสมพันธุ์ระหว่างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมีย เราเรียกส่วนของเมล็ดข้าวที่ถูกห่อหุ้มด้วยกาบบน (lemma) และกาบล่าง (palea) ว่าเมล็ดข้าวเปลือก (Chang et al., 1965; Yoshida, 1981 อ้างโดย พัฒนพงศ์, 2555)



ภาพที่ 4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดข้าว (ที่มา : http://agron.agri.kps.ku.ac.th)

2. อัลลีโลพาที (Allelopathy)

อัลลีโลพาทีเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่พืชชนิดหนึ่งสร้างสารประกอบทางเคมีและปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งไปมีผลต่อพืชหรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ รวมถึงสิ่งแวดล้อมรอบข้าง สารประกอบทางเคมีที่พืชผลิตออกมาเรียกว่า สารอัลลีโลพาทิก สารเคมีที่ถูกปล่อยออกมาอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการต่อพืชและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ซึ่งเป็นไปได้

ทั้งในแง่ของการกระตุ้นหรือยับยั้งการเจริญเติบโต (Rice, 1984) นักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันได้เล็งเห็นถึงประโยชน์ของสารอัลลีโลพาทิกและพยายามที่จะหาหนทางนำความรู้ทางด้านอัลลีโลพาทีมาปรับใช้ทางการเกษตร สารอัลลีโลพาทิกมีความน่าสนใจและได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากเหมาะสมกับการนำไปใช้ในระบบการจัดการวัชพืชแบบยั่งยืน

กลุ่มของสารอัลลีโลพาทิกในพืช

สารอัลลีโลพาทิกที่ถูกปล่อยออกมาจากพืชส่วนใหญ่เป็นสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ เมื่อพืชสร้างสารนี้ขึ้นมาแล้วอาจมีการปล่อยสารออกสู่สิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่องจนเกิดการสะสมในปริมาณที่เพียงพอที่จะส่งผลกระทบต่อพืชและจุลินทรีย์ได้ สารอัลลีโลพาทิกสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้ดังนี้ (Rice, 1984; Putnam, 1985 อ้างโดย กาญจนา, 2551)

1.กลุ่มสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (water soluble organic acids) เช่น แอลกอฮอล์โซ่ตรง (straight chain alcohols), อะลิฟาติก (aliphatics), อัลดีไฮด์ (aldehydes) และคีโตน (ketones)
2. กลุ่มอโรมาติก (aromatic acids)
3. กลุ่มน้ำตาลแลคโตนไม่อิ่มตัว (simple unsaturated lactones)
4. กลุ่มคูมาริน (coumarins)
5. กลุ่มควิโนน (quinones)
6. กลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids)
7. กลุ่มแทนนิน (tannins)
8. กลุ่มอัลคาลอยด์ (alkaloids) และไซยาโนไฮดริน (cyanohydrins)
9. กลุ่มเทอร์พีนอยด์ (terpenoids) และสเตอรอยด์ (steroids)
10. กลุ่มก๊าซพิษ (toxic gases)
11. กลุ่มกรดไขมันโซ่ยาว (long chain fatty acids) และพอลิอะเซทิลีน (polyacetylenes)
12. กลุ่มกรดซินามิกและอนุพันธ์ (cinnamic acids and derivatives)
13. กลุ่มกรดอะมิโน (amino acids) และพอลิเปปไทด์ (polypeptides)
14. กลุ่มซัลไฟด์ (sulfides) และมัสตาร์ดออยด์ไกลโคไซด์ (mustard oil glycosides)
15. กลุ่มพิวรีน (purines) และนิวคลีโอไซด์ (nucleosides)
16. กลุ่มไซยาโนเจนิกไกลโคไซด์ (cyanogenic glycosides)

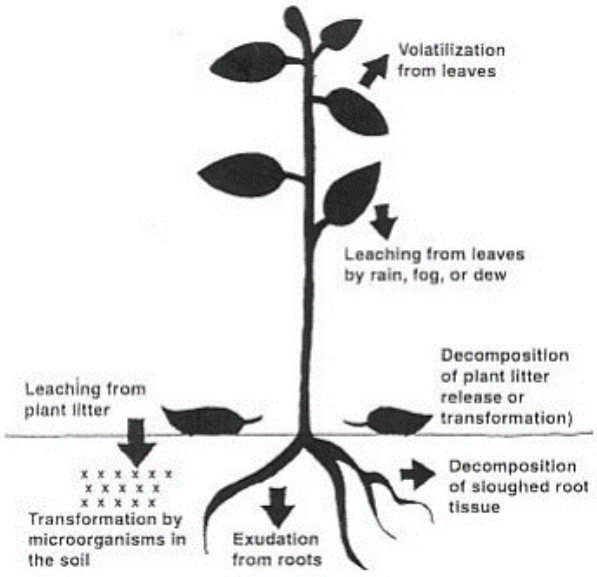
สารอัลลีโลพาทิกในข้าว

การศึกษาของ Amb และ Ahluwalia ในปี 2016 รายงานถึงสารอัลลีโลพาทิก 200 ชนิดที่แตกต่างกันจากสารที่ปลดปล่อยจากรากข้าว ซึ่งสามารถแบ่งได้สามกลุ่มหลัก ๆ คือ phenolics, phenyl alkanoic acids และ indoles มีสารอัลลีโลพาทิกหลายชนิดที่พบในข้าว เช่น 5-hydroxy-2-indolecarboxylic acid, 5-hydroxyindole-3-acetic acid, mercaptoacetic acid, 4-vinylphenol, *trans*-ferulic acid, ergosterol peroxide, 7-oxo-stigmasterol, 5, 7-4'-trihydroxy-3',5'-dimethoxyflavone, 3-hydroxy-β-ionone, 9-hydroxy-4-megastigmen-3-one, azelaic acid, tetradecanoic acid, 1,2-benzenedicarboxylic acid bis (2-ethylhexyl) ester, 1H-indole-3-carboxylic acid, 1H-indole-5-carboxylic acid, 1H-indole-3-carboxyaldehyde, 3,4-

dihydroxyhydrocinnamic acid, 3-hydroxy-4-methoxybenzoic acid, 4-hydroxycinnamic acid และ 4-hydroxyhydrocinnamic acid และยังพบสารเมแทบอไลท์ทุติยภูมิอีกหลายประเภท เช่น สารประกอบ phenolic alkyl resocinols, momilactone B คาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโนต่าง ๆ รวมถึงสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ แต่สารที่พบว่ามีบทบาทหลักในเรื่องอัลลีโลพาทีของข้าว คือ momilactone B (Amb and Ahluwalia, 2016)

การปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิกจากพืช

สารอัลลีโลพาทิกจากพืชที่เป็นผู้ผลิตสามารถถูกปลดปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อมได้โดยวิธีการต่าง ๆ เช่น การระเหย (volatilization), การชะล้าง (leachate) และการปลดปล่อยออกทางราก (root exudation) เป็นต้น (ภาพที่ 5) (อุดมเดชาและอัญชนา, 2557)



ภาพที่ 5 วิธีที่พืชปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิกออกสู่สิ่งแวดล้อม (ที่มา: Koocheki et al., 2013)

1. การระเหย สารอัลลีโลพาทิกที่พืชสร้างขึ้นสามารถระเหยออกมาจากช่องเปิดเล็ก ๆ ของใบหรือส่วนต่าง ๆ ของพืชสู่บรรยากาศ แล้วไปมีผลกระทบต่อพืชรอบข้าง

2. การชะล้าง เกิดจากการชะล้างโดยหมอก น้ำฝนหรือน้ำค้าง ทำให้สารที่ละลายน้ำได้จากส่วนต้นพืชละลายลงดิน การชะล้างเกิดได้จากหลายส่วน เช่น ใบสด รากหรือแม้กระทั่งส่วนซากพืชที่อยู่ในดิน ตัวอย่างการศึกษาของ Klein และคณะ ปี 1991 พบว่าน้ำชะล้างจากพืชจำพวกสนทำให้เกิดการสะสมสารอัลลีโลพาทิกจากใบและส่วนต่าง ๆ ของสนบริเวณผิวดินซึ่งมีผลยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของ red spruce

3. การปลดปล่อยทางราก พืชสามารถปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิกออกจากรากสู่สิ่งแวดล้อม สารที่ถูกปลดปล่อยออกมาทางรากจะไปมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดอื่นโดยผ่านการดูดซับของพืชบริเวณรอบข้าง

ทั้งนี้สารอัลลีโลพาทิกที่พืชปล่อยออกมาเมื่อพืชอื่นได้รับเข้าไปจะไปมีผลกระทบทั้งต่อการงอก การเจริญเติบโตทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยผลทางตรงนั้นเป็นผลที่มีต่อลักษณะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตและกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช ส่วนผลทางอ้อมนั้นเป็นผลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน สภาพของธาตุอาหาร การเปลี่ยนแปลงประชากรและกิจกรรมของจุลชีพต่าง ๆ ในดิน (อุดมเดชาและอัญชนา, 2557)

ผลกระทบของอัลลีโลพาทีมี 2 ระดับ คือ ผลกระทบขั้นปฐมภูมิ เป็นผลจากสารอัลลีโลพาทิกที่อยู่ในเศษซากพืชที่ตกค้างอยู่ในดินซึ่งถูกปลดปล่อยโดยการย่อยสลายหรือถูกน้ำฝนชะแล้วมีผลต่อการเจริญของพืชอีกชนิดที่อยู่ในดินนั้น รวมทั้งสารพิษที่จุลินทรีย์สร้างระหว่างการย่อยสลายเศษซากพืชนั้น ๆ ด้วย ผลกระทบอีกแบบคือผลกระทบขั้นทุติยภูมิ ซึ่งเกิดจากการที่พืชสร้างและปลดปล่อยสารพิษออกมาขณะที่ยังมีชีวิตอยู่ ผลกระทบจะไม่รุนแรงเท่ากับสารพิษจากเศษซากพืช (วราภรณ์, 2555) โดยทั่วไปแล้วส่วนของพืชที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็น ใบ ดอก ผล ลำต้น ราก เหง้า รวมถึงเมล็ด ล้วนเป็นส่วนสำคัญในการสร้างและปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิกสู่สิ่งแวดล้อม (Liu et al., 2003) โดยส่วนใหญ่พบว่ามีการศึกษาอัลลีโลพาทิกจากส่วนใบมากกว่าส่วนอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเนื่องจากส่วนใบเป็นแหล่งสะสมอาหารและเป็นศูนย์กลางของกระบวนการสังเคราะห์สารต่าง ๆ โดยการศึกษาที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาในพืชหลายชนิด เช่น สารสกัดด้วยน้ำจากใบขันทองพยาบาท (*Gelonium multiflorum* A. Juss) ต่อการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของผักโขมสวน (*Amaranthus tricolor*) พบว่าผลการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของผักโขมสวนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น (ปฐวีและคณะ, 2551) รวมถึงสารสกัดจากใบกระถินหางกระรอก (*Prosopis juliflora*) สามารถยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม และพบว่าสารที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการออกฤทธิ์ คือ L-tryptophan และจากหลายการศึกษาพบว่าสารอัลลีโลพาทิกที่มีอยู่ในสารสกัดจากใบข้าว ฟางข้าว ฟางข้าวที่ถูกย่อยสลาย รวมไปถึงในดินที่เคยปลูกข้าว มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของวัชพืชในแปลงข้าว นอกจากนี้รากพืชก็ยังเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งที่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) สามารถปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิกออกมาทางราก และส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชทดสอบได้ (Nakano, 2001; Olofsdotter, 1997; Iqbal et al., 2002 อ้างโดย อมรทิพย์, 2554) อีกทั้งยังมีการศึกษาที่พบว่าพืชจะมีการปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิกหรือมีการสร้างสารตั้งต้นในช่วงแรกของระยะที่พืชต้องเผชิญความเครียดจากสภาพแวดล้อมรวมไปถึงการแข่งขันกับพืชใกล้เคียงเพื่อแย่งทรัพยากรที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต เช่น แสง น้ำ และสารอาหาร (Dekker and Meggitt, 1983)

ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิกของพืช

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ อาจส่งผลให้พืชเกิดความเครียด (stress) ได้ เช่น การขาดน้ำ อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไป ความเค็ม การขาดออกซิเจน วัชพืช เชื้อโรคและการกัดกินโดยแมลง ส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง โดยพืชอาจมีการตอบสนองต่อความเครียดทั้งในระดับเซลล์และในระดับชีวเคมี เช่น การเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึม การผลิต proline และ glycine betaine เพื่อควบคุมสมดุลน้ำของเซลล์ (Taiz and Zeiger, 2006) นอกจากนี้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ทำให้เกิดความเครียดยังส่งผลต่อการปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิกของพืชอีกด้วย

สารอัลลีโลพาทิกที่พืชปลดปล่อยออกมาจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ (กาญจนา, 2551) ดังนี้

1. คุณภาพและปริมาณแสง เช่น ความเข้มของแสงอัลตราไวโอเลตและแสงในช่วงที่ตาสามารถมองเห็นมีผลต่อปริมาณสาร chloroginic acid และ isochloroginic acid ที่ต้นทานตะวันผลิตขึ้นมาและเมื่อให้แสงที่ช่วงความยาวคลื่นในช่วงสีแดงแก่มันฝรั่งพบว่าสารประกอบ ferulic และ p-coumaric acid จะเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติรวมถึง นอกจากนี้ต้น *Mentha piperita* ที่ยังสามารถผลิตสาร monoterpene เพิ่มขึ้นมากในช่วงวันยาว
2. การขาดธาตุอาหาร มีผลทำให้เกิดการปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิกออกสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุอาหารที่พืชขาด เช่น ทานตะวันที่ขาดธาตุโบรอนจะมีการปลดปล่อยสาร caffeic acid และ chloroginic acid มากกว่าต้นที่ไม่ขาดธาตุโบรอนถึง 10 เท่า ในขณะที่ต้นยาสูบที่ขาดธาตุไนโตรเจนมีการปลดปล่อยสาร scopolin ออกมามากกว่าต้นที่ไม่ขาดธาตุไนโตรเจนถึง 5 เท่า
3. การขาดน้ำ เมื่อพืชขาดน้ำจะทำให้เกิดความเครียดอย่างรุนแรงทำให้เกิดการปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิกออกมามากกว่าปกติ เช่น ต้นทานตะวันเมื่อขาดน้ำจะมีการปลดปล่อยสาร chloroginic acid และ isochloroginic acid ออกมามากกว่าต้นที่ไม่ขาดน้ำ
4. อุณหภูมิ ต้นโอ๊คที่อยู่ในสภาพอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสจะผลิตสาร scopoletin ได้มากกว่าต้นที่อยู่ในสภาพอุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสถึง 5.5 เท่า ในขณะที่ต้นยาสูบที่ปลูกในสภาพอุณหภูมิ 8-9 องศาเซลเซียสจะมีปริมาณสาร chloroginic acid ในใบและลำต้นมากกว่าต้นที่ปลูกในสภาพอุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียสถึง 3 เท่า
5. สารเคมีที่พืชได้รับ เช่น การใช้สาร 2,4-D กับต้นยาสูบมีผลทำให้เกิดการสะสมของสาร scopolin ในใบ 31 เท่าของต้นยาสูบที่ไม่ได้รับ 2,4-D
6. อายุของพืชจากการศึกษาพบว่าพืชที่อายุมากจะมีสารอัลลีโลพาทิกมากกว่าพืชที่มีอายุน้อย

3. แสง (Light)

นอกจากแสงจะมีผลโดยตรงต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเป็นกระบวนการพื้นฐานเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงาน และเป็นแหล่งของสารประกอบขั้นต้นต่าง ๆ เพื่อนำมาสังเคราะห์เป็นสารประกอบอินทรีย์ในพืช อันเป็นปัจจัยโดยตรงในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแล้ว แสงยังควบคุมกระบวนการพื้นฐานของการเจริญเติบโตในระดับต่าง ๆ จนได้ผลรวมออกมาในรูปการเจริญและเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้าง และแสงยังมีอิทธิพลต่อปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในการเจริญเติบโตของพืชด้วย เช่น การงอกของเมล็ด การพักตัวของเมล็ด การออกดอก เป็นต้น การตอบสนองของพืชต่อแสงนั้นพืชจะตอบสนองในแง่ต่าง ๆ ดังนี้ (สังคม , ม.ป.ป.)

1. ความเข้มของแสง (light intensity)

ความเข้มของแสง คือ ปริมาณแสงทั้งหมดที่พืชได้รับ ซึ่งความเข้มของแสงจะแตกต่างกันตามพื้นที่ เวลา ฤดูกาล และระยะห่างจากเส้นศูนย์สูตรของโลก ในพื้นที่เดียวกันความเข้มของแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนถึงเที่ยงวันหรือในช่วงบ่าย จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง ไปจนกระทั่งดวงอาทิตย์ตก บริเวณเส้นศูนย์สูตรของโลกจะมีความเข้มของแสงสูงที่สุดและค่อย ๆ ลดลงตามเส้นรุ้งที่มุ่งไปหาขั้วโลกในช่วงเวลาเดียวกัน อิทธิพลของความเข้มของแสงต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ ความเข้มของแสงที่เหมาะสม โดยที่มีปัจจัยอื่น ๆ เหมาะสมและการหายใจเป็นปกติ การสังเคราะห์ด้วยแสงจะมีอัตราสูง ทำให้ได้อาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตมาก ระดับความเข้มของแสงที่เหมาะสมต่อพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน อาจแบ่งพืชตามความต้องการความเข้มของแสงออกได้เป็น

พืชในร่ม เป็นพืชที่ต้องการความเข้มของแสงน้อยจึงจะเจริญเติบโตได้ดี พืชจำพวกนี้ ถ้านำไปอยู่กลางแดดที่มีความเข้มของแสงสูง ใบจะไหม้และต้นชะงักการเจริญเติบโต มักนิยมปลูกไว้ในร่ม ตามชายคาบ้าน บริเวณข้างหน้าต่าง และไม้ประดับอาคารสถานที่

พืชกึ่งร่มกึ่งแจ้ง เป็นพืชที่ต้องการแสงที่มีการพรางหรือลดความเข้มของแสงลงแล้ว นิยมปลูกในที่ร่มที่มีแสงแดดรำไร

พืชกลางแจ้งต้องการความเข้มของแสงสูง มีการเจริญเติบโตได้ดีในที่กลางแจ้ง เป็นพืชที่ปลูกอยู่ทั่วไป

ความเข้มของแสงที่สูงหรือต่ำเกินไปมีผลต่อพืชดังนี้

- ความเข้มของแสงที่ต่ำเกินไป เมื่อความเข้มของแสงไม่เพียงพอ จะทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ และให้ผลผลิตน้อย หรือผลผลิตมีคุณภาพต่ำ เพราะในการรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้น ขั้นตอนของกระบวนการนี้ต้องการพลังงานที่มีปฏิกิริยาที่ใช้แสงเป็นตัวกระตุ้นจึงจะเกิดขึ้นได้ กรณีที่แสงมีความเข้มต่ำพลังงานที่ใช้ในการรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำจะมีน้อย อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะต่ำ ส่งผลให้มีสารประกอบคาร์บอนน้อยตามไปด้วย

ซึ่งสารประกอบคาร์บอนจากการสังเคราะห์ด้วยแสงนี้จะเป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารประกอบที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตอื่น ๆ เมื่อพืชมีสารตั้งต้นในการสร้างต่ำ การสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตจะเกิดได้น้อย พืชจะมีการเจริญเติบโตช้า และมีผลผลิตต่ำ หรือผลผลิตมีคุณภาพต่ำ

- ความเข้มของแสงที่สูงเกินไป จะส่งผลลบต่อพืชดังนี้

ปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll content) ความเข้มของแสงที่สูงเกินไป จะทำให้พืชบางชนิดมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง หรือคลอโรฟิลล์มีประสิทธิภาพต่ำลง การสังเคราะห์ด้วยแสงจะต่ำไปด้วย

น้ำ แสงที่มีความเข้มมากเกินไป จะทำให้อุณหภูมิของใบเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้พืชมีอัตราการคายน้ำสูง หากอัตราการดูดน้ำของรากไม่สมดุลกับอัตราการคายน้ำ พืชจะแสดงอาการขาดน้ำ

กิจกรรมของเอนไซม์ (enzymes) แสงที่มีความเข้มมากเกินไป ทำให้อุณหภูมิของใบสูงขึ้น เป็นผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ลดการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแป้งลง ทำให้พืชมีการสะสมน้ำตาลแทนแป้ง นอกจากนี้เอนไซม์ที่มีส่วนในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงก็จะลดกิจกรรมลงด้วย ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง (สังคม, ม.ป.ป.)

2. คุณภาพของแสง (light quality) หรือความยาวของคลื่นแสง (wavelength)

แสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความยาวคลื่นหลายระดับ โดยที่แสงอาทิตย์ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 225–2,500 นาโนเมตร (nanometer, nm, 1 nm = 10^{-7} cm) แต่แสงอาทิตย์ที่ตกลงมายังพื้นโลกมีความยาวคลื่นระหว่าง 310-2,300 nm ทั้งนี้เนื่องจากรังสีคลื่นสั้นหรือแสงเหนือม่วง (ultra violet, UV) ซึ่งเป็นแสงที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตโดยส่วนใหญ่จะถูกดูดซับไว้โดยชั้นของโอโซน (ozone) ในบรรยากาศ ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าแสงสีแดง (infra-red) ซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่า 2,300 nm จะถูกดูดซับไว้โดยไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแสงอาทิตย์ที่ตกลงมายังพื้นผิวโลก อาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ (สังคม, ม.ป.ป.) คือ

- คลื่นแสงที่มองไม่เห็น (invisible light) ได้แก่ แสงเหนือม่วง ช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 390 nm และแสง infra-red ช่วงความยาวคลื่นสูงกว่า 810 นาโนเมตร
- คลื่นแสงที่มองเห็น (visible light) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 390-810 nm แต่ละช่วงความยาวคลื่นจะมีสีต่างกัน แสงในกลุ่มนี้จะมีผลต่อพืช คือ

แสงสีม่วง (390-410 nm) แสงสีคราม (411-425 nm) และสีน้ำเงิน (426-492 nm) เกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชต่อแสงที่เรียกว่า phototropism เช่น การที่ดอกไม้บางชนิดหันเข้าหาแสง การโค้งงอของพืชเข้าหาแสง เป็นต้น และมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยความยาวคลื่นแสงในช่วงนี้ที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีคือ 430 nm สำหรับคลอโรฟิลล์ เอ และ 453 nm สำหรับคลอโรฟิลล์ บี

แสงสีเขียว (493-535 nm) ระงับการเจริญเติบโตของพืช

แสงสีเหลือง (536-586 nm) และแสงสีส้ม (587-647 nm) ส่งเสริมการงอกของเมล็ด

แสงสีแดง (648-760 nm) ส่งเสริมการงอกหรือยับยั้งการงอกของเมล็ดพืชบางชนิด และมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยความยาวคลื่นแสงในช่วงนี้ที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีคือ 642 nm สำหรับคลอโรฟิลล์ เอ และ 662 nm สำหรับคลอโรฟิลล์ บี

แสงสีแดงไกล (761-810 nm) อาจกระตุ้นหรือยับยั้งการงอกของเมล็ดขึ้นอยู่กับชนิดของพืชด้วย (สังคม, ม.ป.ป.)

3. ช่วงแสง (light duration หรือ photoperiod)

ช่วงแสง หมายถึงระยะเวลายาวนานของแสงในแต่ละช่วงวัน ซึ่งจะแตกต่างกันตามฤดูกาล ความยาวของช่วงแสงจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชบางชนิดเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอิทธิพลในการเปลี่ยนพืชจากระยะการเติบโตไม่อาศัยเพศ (vegetative growth) ไปเป็นการเติบโตที่เกี่ยวกับการสืบพันธุ์ (reproductive growth) นั่นคือช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการออกดอกและการเกิดหัวของพืชบางชนิด การตอบสนองของพืชต่อช่วงแสงนี้ อาจแบ่งพืชออกเป็น

พืชวันสั้น (short day plant, SD) เป็นพืชที่ต้องการความยาวช่วงแสงสั้นกว่าช่วงวันวิกฤติ (critical day length) จึงจะออกดอกได้

พืชวันยาว (long day plant, LD) เป็นพืชที่ต้องการความยาวช่วงแสงยาวกว่าช่วงวันวิกฤติจึงจะออกดอก

พืชที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง (day neutral plant) พืชพวกนี้ เมื่อได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม หรือมีอายุเหมาะสม ก็จะสามารถออกดอกได้โดยไม่เกี่ยวข้องกับช่วงแสง (สังคม, ม.ป.ป.)

4. ธาตุอาหารพืช

ความสำคัญและบทบาทของธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารพืชมีความสำคัญต่อพืชเช่นเดียวกับการที่อาหารมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทั่ว ๆ ไป พืชทุกชนิดมีความจำเป็นต้องใช้ธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโต ให้ผลผลิต หรือเพื่อการขยายพันธุ์ หากพืชได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นครบทุกธาตุและในสัดส่วนที่เหมาะสม พืชก็จะมีการเจริญเติบโตได้ดี พืชที่ไม่ได้รับธาตุอาหารหรือได้รับในปริมาณที่ไม่เหมาะสม จะมีการแสดงอาการที่ผิดปกติให้เห็น (physiological disorders) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะในแต่ละกรณีของการขาดธาตุอาหารนั้น เมื่อพืชได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอ พืชจะแสดงอาการที่แตกต่างกันของการขาดธาตุอาหารนั้น ๆ (ยงยุทธและคณะ, 2541)

ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช (essential elements)

ธาตุอาหารพืชที่จำเป็นเป็นกลุ่มธาตุที่พืชขาดไม่ได้ การวินิจฉัยว่าธาตุใดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็น มีหลักเกณฑ์พิจารณาดังนี้

- เมื่อพืชขาดธาตุอาหารนั้น พืชจะไม่สามารถเจริญเติบโตตามปกติ หากเจริญเติบโตได้ก็ไม่สามารถออกดอก ติดผล หรือให้ผลผลิตตามปกติ

- การแก้ไขอาการผิดปกติเนื่องมาจากการขาดธาตุนั้น ไม่สามารถทดแทนโดยการใช้ธาตุใดธาตุหนึ่ง หรืออาจทดแทนได้ในบางกรณี แต่จะเป็นการทดแทนในทางอ้อม กล่าวคือธาตุที่ทดแทนจะช่วยเสริมให้ธาตุที่ขาดละลายออกมาให้พืชได้ใช้ในปริมาณหนึ่ง ไม่ใช่เป็นการทดแทนโดยตรง

- การขาดธาตุใดธาตุหนึ่ง พืชบางชนิดอาจมีการเจริญเติบโต ออกดอก ให้ผลผลิตตามปกติแต่อาจมีคุณภาพต่ำ (ยงยุทธและคณะ, 2541)

การจัดหมวดหมู่ของธาตุอาหารพืช

1. ธาตุอาหารหลัก (macronutrient elements)

ธาตุอาหารที่จัดเป็นธาตุอาหารหลักของพืช มี 6 ธาตุ คือ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) การที่เรียกว่าธาตุเหล่านี้เป็นธาตุอาหารหลักก็เนื่องจาก พืชมีความต้องการใช้ธาตุเหล่านี้ในปริมาณมากและมักจะเกิดการขาดอยู่เสมอ ธาตุอาหารหลักนี้อาจแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ 2 กลุ่มคือ

ก. ธาตุอาหารชั้นที่ 1 (primary elements) ได้แก่ธาตุ N P K ซึ่งเป็นธาตุที่พืชต้องการใช้มากกว่าธาตุอื่น ๆ ดังนั้นในดินที่ปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานาน ๆ มักจะทำให้ปริมาณ N P K น้อยลง พืชจึงแสดงอาการขาดอยู่เสมอ ๆ การเพิ่มธาตุเหล่านี้ให้แก่ดินมักใส่ในรูปของปุ๋ยต่าง ๆ

ข. ธาตุอาหารชั้นที่ 2 (secondary elements) ได้แก่ธาตุ Ca Mg S ซึ่งเป็นธาตุที่พืชต้องการใช้มากรองลงมาจากธาตุ N P K สำหรับธาตุ Ca และ Mg นั้น โดยปกติจะมีในดินในปริมาณที่พอเพียงกับความต้องการของพืช และถ้าหากมีอาการขาดก็อาจแก้ไขได้โดยการใส่ปูนลงในดิน สำหรับธาตุ S นั้น อาจมีน้อยในดินบางแห่ง แต่เมื่อใส่ปุ๋ยชนิดอื่น ๆ เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต หรือ ซูเปอร์ฟอสเฟตให้แก่ดิน ก็จะเป็นการเพิ่มธาตุกำมะถันให้แก่ดินได้

2. จุลธาตุหรือธาตุอาหารรอง (micronutrient elements)

ธาตุอาหารพืชที่จัดเป็นธาตุอาหารรอง ได้แก่ธาตุ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โบรอน (B) โมลิบดินัม (Mo) และคลอรีน (Cl) การที่เรียกว่าธาตุอาหารรองนั้น เนื่องจากพืชมีความต้องการใช้ในปริมาณน้อย แต่มีความสำคัญเท่าเทียมกับธาตุอาหารหลัก คือ ถ้าพืชขาดธาตุเหล่านี้ก็จะแสดงอาการผิดปกติเช่นเดียวกับการขาดธาตุอาหารหลัก ปกติธาตุอาหารรองจะมีอยู่ในดินในปริมาณน้อย ยกเว้นธาตุเหล็ก แต่เนื่องจากพืชมีความต้องการใช้ในปริมาณน้อย ปัญหาการขาดจึงไม่ค่อยมีและโดยมากการเพิ่มธาตุอาหารหลักให้แก่ดิน ก็มักจะมีธาตุอาหารรองเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยเสมอ (ยงยุทธและคณะ, 2541)

บทบาทของธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่รากพืชดูดซึมไปใช้นั้น ธาตุบางชนิดพืชนำไปใช้ในการสร้างสารประกอบที่สำคัญในพืช แต่ธาตุบางชนิดพืชนำไปใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ที่ทำให้พืชมีการเจริญเติบโต โดยที่ธาตุเหล่านั้นทำหน้าที่ในการเร่งให้กระบวนการต่าง ๆ เกิดได้เร็วขึ้น เป็นต้น สำหรับหน้าที่และความสำคัญของธาตุอาหารพืช อาจกล่าวได้ดังนี้ (ยงยุทธและคณะ, 2541)

N มีหน้าที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีน ช่วยให้พืชมีสีเขียว เร่งการเจริญเติบโตทางใบ หากพืชขาดธาตุนี้จะแสดงอาการใบเหลือง ใบมีขนาดเล็กลง ลำต้นแคระแกร็นและให้ผลผลิตต่ำ

P มีหน้าที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของราก ควบคุมการออกดอก ออกผล และการสร้างเมล็ด ถ้าพืชขาดธาตุนี้ระบบรากจะไม่เจริญเติบโต ใบแก่จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแล้วกลายเป็นสีน้ำตาลและหลุดร่วง ลำต้นแกร็นไม่ผลิดอกออกผล

K เป็นธาตุที่ช่วยในการส่งเสริมการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบไปสู่ผล ช่วยให้ผลเติบโตเร็วและมีคุณภาพดี ช่วยให้พืชแข็งแรง ต้านทานต่อโรคและแมลงบางชนิด ถ้าขาดธาตุนี้พืชจะไม่แข็งแรง ลำต้นอ่อนแอ ผลผลิตไม่เติบโต มีคุณภาพต่ำ สีไม่สวย รสชาติไม่ดี

Ca เป็นองค์ประกอบที่ช่วยในการแบ่งเซลล์ การผสมเกสร การงอกของเมล็ด พืชขาดธาตุนี้ใบที่เจริญใหม่จะหงิกงอ ตายอดไม่เจริญ อาจมีจุดดำที่เส้นใบ รากสั้น ผลแตก และมีคุณภาพไม่ดี

Mg เป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ ช่วยสังเคราะห์กรดอะมิโน วิตามิน ไขมัน และน้ำตาล ทำให้สภาพกรดด่างในเซลล์พอเหมาะและช่วยในการงอกของเมล็ด ถ้าขาดธาตุนี้ใบแก่จะเหลือง ยกเว้นเส้นใบ และใบจะร่วงหล่นเร็ว

S เป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน และวิตามิน ถ้าขาดธาตุนี้ทั้งใบบนและใบล่างจะมีสีเหลืองซีด และต้นอ่อนแอ

B ช่วยในการออกดอกและการผสมเกสร มีบทบาทสำคัญในการติดผลและการเคลื่อนย้ายน้ำตาลมาสู่ผล การเคลื่อนย้ายของฮอร์โมน การใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนและการแบ่งเซลล์ ถ้าพืชขาดธาตุนี้ ตายอดจะตายแล้วเริ่มมีตาข้าง แต่ตาข้างก็จะตายอีก ลำต้นไม่ค่อยยืดตัว กิ่งและใบจึงชิดกัน ใบเล็ก หนา โค้งและเปราะ

Cu ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ การหายใจ การใช้โปรตีนและแป้ง กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด ถ้าพืชขาดธาตุนี้ ตายอดจะชะงักการเจริญเติบโตและกลายเป็นสีดำ ใบอ่อนเหลือง และพืชทั้งต้นจะชะงักการเจริญเติบโต

Cl มีบทบาทบางประการเกี่ยวกับฮอร์โมนในพืช ถ้าขาดธาตุนี้พืชจะเหี่ยวง่าย ใบสีซีด และบางส่วนแห้งตาย

Fe ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสงและหายใจ ถ้าขาดธาตุนี้ใบอ่อนจะมีสีขาวซีดในขณะที่ใบแก่ยังเขียวสด

Mn ช่วยในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการทำงานของเอนไซม์บางชนิด ถ้าขาดธาตุนี้ใบอ่อนจะมีสีเหลืองในขณะที่เส้นใบยังเขียว ต่อมาใบที่มีอาการดังกล่าวจะเหี่ยวแล้วร่วงหล่น

Mo ช่วยให้พืชใช้ไนโตรเจนให้เป็นประโยชน์และเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน ถ้าขาดธาตุนี้พืชจะมีอาการคล้ายขาดไนโตรเจน ใบมีลักษณะโค้งคล้ายถ้วย ปรากฏจุดเหลือง ๆ ตามแผ่นใบ

Zn ช่วยในการสังเคราะห์ฮอร์โมนออกซิน คลอโรฟิลล์ และแป้ง ถ้าขาดธาตุนี้ใบอ่อนจะมีสีเหลืองซีดและปรากฏสีขาว ๆ ประปรายตามแผ่นใบ โดยเส้นใบยังเขียว รากสั้นไม่เจริญตามปกติ

ลักษณะของต้นข้าวที่ขาดธาตุอาหาร

ต้นข้าวที่ขาดธาตุ N ต้นจะแคระแกร็น แตกกอน้อย ใบแคบ สั้น ตั้งตรง ใบแก่จะเป็นสีเขียวปนเหลืองในขณะที่ใบอ่อนจะมีสีเขียวกว่า ส่วนใบแก่จะกลายเป็นสีเหลืองฟางและตายในที่สุด ต้นข้าวมีการแตกกอตามปกติแต่มีลำต้นยาวผอม มีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงลดลง ผลผลิตข้าวลดลง สาเหตุเกิดจากดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำและมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินมีการสูญเสีย N โดยการเก็บเกี่ยวการชะล้างพังทลายของดิน และปฏิกิริยาชีวเคมีของดิน

ต้นข้าวที่ขาดธาตุ P จะลดการแตกกอ ชะงักการเจริญเติบโต ลำต้นผอมบาง ใบแคบสั้นและตั้งตรงมากกว่าปกติ ใบแก่มีสีเขียวเข้มหรือสีเขียวปนม่วงแล้วกลายเป็นสีน้ำตาล โดยที่ใบอ่อนยังคงปกติ รากข้าวพัฒนาช้า ต้นข้าวล้มง่าย การสร้างเมล็ดลดลง มีเมล็ดลีบมาก ข้าวแก่ช้ากว่าปกติ และไม่ทนต่ออากาศหนาว มักพบเมื่อปลูกในดินที่เป็นกรดจัด ดินเป็นทรายและมีธาตุ P ต่ำ

ต้นข้าวที่ขาดธาตุ K ต้นจะแคระแกร็น การแตกกอลดลง ใบสั้น เหี่ยวแห้งโน้มลง และมีสีเขียวเข้ม ใบล่างมีสีเหลืองระหว่างเส้นใบโดยเริ่มจากปลายใบแล้วค่อย ๆ ลุกลามเข้าสู่โคนใบในที่สุด ใบจะแห้งและกลายเป็นสีน้ำตาล บางครั้งมีจุดประสีน้ำตาลบนใบที่เป็นสีเขียวเข้ม รวงข้าวจะผอม ยาว อาจมีจุดด่าง ขนาดและน้ำหนักของเมล็ดลดลง มักจะเกิดขึ้นในระยะหลังของการเจริญเติบโต เกิดจากการปลูกในดินทรายหรือดินที่มีปริมาณดินเหนียวต่ำ มีธาตุอาหาร K ในดินต่ำหรือไม่อยู่ในรูปเป็นประโยชน์ หรือดินที่มีการชะล้างสูง อาจพบอาการของธาตุ K ในดินอินทรีย์ เช่น พีท

ต้นข้าวที่ขาดธาตุ S มีอาการคล้ายกับขาดธาตุ N ต่างกันตรงที่การขาดธาตุ N จะเกิดที่ใบแก่ก่อน แต่การขาดธาตุ S จะเกิดที่ใบอ่อนก่อนแล้วตามด้วยใบแก่ โดยเริ่มแรกที่กาบใบกลายเป็นสีเหลืองแล้วลุกลามสู่ใบ อาจพบต้นข้าวทั้งหมดมีสีเหลืองที่ระยะแตกกอ ความสูงและการแตกกอลดลง ต้นข้าว และใบข้าวมีขนาดเล็กลง การขาด S ทำให้การเจริญเติบโตและการพัฒนาของต้นข้าวช้า รวงข้าวจะน้อยและสั้น จำนวนเมล็ดต่อรวงลดลง จำนวนท้องไข่ของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น มักพบในดินที่มีการผุพังอยู่กับที่ (weathering) สูง โดยแร่ในรูปออกไซด์ (oxide minerals) จะดูดยึดซัลเฟตไว้ หรือพบในดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำ เนื้อดินเป็นทรายจัด หรือพื้นที่ที่มีการเผาเศษพืชเป็นประจำ

ต้นข้าวที่ขาดธาตุ Mg ของข้าวอาจพบในดินทรายที่มีการชะล้างสูง หรือดินที่เป็นด่างโดยใบอ่อนที่เริ่มเกิดใหม่จะสั้นแคบและมีสีเขียวอ่อน หรือมีอาการสูญเสียสีเขียว

(chlorosis) ส่วนใบแก่จะมีสีเหลืองหรือจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้นระหว่างเส้นใบโดยเริ่มจากปลายใบสู่โคนใบ ถ้าขาด Mg มากเส้นใบจะกลายเป็นสีน้ำตาลและแห้งตาย ต้นข้าวแคระแกร็น แต่การแตกกอปกติ

ต้นข้าวที่ขาดธาตุ Zn จะลดการแตกกอ การเจริญเติบโตชะงัก เส้นกลางใบของใบอ่อนโดยเฉพาะที่โคนใบจะกลายเป็นสีเขียวจาง ใบล่างของต้นข้าวมีสีเหลืองโดยเริ่มมีสีเขียวจางระหว่างเส้นใบและมีแผลเป็นจุดหรือขีดสีน้ำตาลเกิดขึ้นใกล้ปลายใบกับใบส่วนล่าง ๆ ของต้น ขนาดของใบเล็กลงแต่กาบใบมีขนาดปกติ การเจริญเติบโตไม่สม่ำเสมอ ต้นข้าวแก่ช้า มักจะพบเมื่อปลูกในดินที่เป็นด่างหรือดินที่มีน้ำขังเป็นเวลานาน อาการขาดมีแนวโน้มรุนแรงขึ้นหากมีการใส่ปุ๋ย N และ P ในอัตราสูง

ต้นข้าวที่ขาดธาตุ Cu มีการแตกกอน้อย ใบจะมีสีขาวแกมน้ำเงิน ปลายใบมีสีขาวและลุกลามลงล่างทั้งสองข้างของเส้นกลางใบ เมื่อขาดธาตุนี้มากปลายใบจะมีจุดแห้งสีน้ำตาลเข้ม ใบที่เกิดใหม่จะม้วน ไม่ค่อยคลาย มีลักษณะเรียวเหมือนเข็ม บางครั้งจะพบอาการนี้เพียงครึ่งใบเท่านั้น ส่วนอีกครึ่งใบยังคงเจริญเติบโตตามปกติ

ต้นข้าวที่ขาดธาตุ Mn จะมีอาการคล้ายกับการขาด K ใบข้าวที่ขาด Mn จะมีลักษณะแห้งเหี่ยวและบิดไปมา ใบล่าง ๆ จะมีสีเหลืองส้ม ซึ่งเนื่องมาจากการสูญเสียสีเขียวระหว่างเส้นใบขณะที่มีการแตกกอและมีความสูงเกือบปกติ

ต้นข้าวจะแสดงอาการขาดธาตุ Fe ในระยะเริ่มแรกของการเจริญเติบโต มักเกิดในดินที่เป็นด่าง และเกิดในสภาพไร่หรือสภาพขาดน้ำมากกว่าสภาพน้ำขังในแปลงกล้า ใบอ่อนหรือใบที่เกิดใหม่จะเป็นสีเหลือง ถ้าไม่ได้รับการแก้ไขใบใหม่อาจจะกลายเป็นสีขาวเกือบทั้งใบ ในขณะที่ใบแก่ยังคงเป็นสีเขียว ถ้าอาการรุนแรงต้นข้าวจะกลายเป็นสีเหลืองและตาย รากข้าวมีสีดำปนเทา ในแปลงเพาะกล้าแห้งถ้ามีการให้น้ำท่วมแปลงอาจแก้อาการขาดธาตุนี้ได้ (ยงยุทธ และคณะ, 2541)

2.5 การจัดสรรคาร์บอนในพืช

คาร์บอนในพืช หมายถึง สารประกอบที่พืชสร้างขึ้นด้วยกระบวนการเมแทบอลิซึม รวมทั้งสารอนุพันธ์ต่าง ๆ ของสารเหล่านี้ที่ถูกสร้างขึ้นด้วย สารประกอบที่สิ่งมีชีวิตสร้างขึ้นถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. สารเมแทบอไลต์ปฐมภูมิ เป็นสารที่ได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) รวมทั้งสารอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีกระบวนการหายใจ (respiration) ที่สร้างสารประกอบต่าง ๆ ขึ้นมากมาย ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน กรดอะมิโน โปรตีน เพียวรีน และไพริมิดีน อีกทั้งยังมีการสร้างพลังงานเกิดขึ้นด้วย

2. สารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ มีในสิ่งมีชีวิตบางจำพวกเท่านั้นและสารที่สร้างขึ้นไม่มีความจำเป็นโดยตรงต่อการดำรงชีพ แต่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตที่ผลิตสารนั้น ๆ เช่น เป็นสารที่ใช้ในกระบวนการป้องกันตัวเอง (self-defense) จากสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม รวมทั้งอันตรายจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ

เนื่องด้วยวิวัฒนาการของพืชในระหว่างที่พืชกำลังเจริญเติบโต ได้มีการพัฒนาระบบการตอบสนองต่อในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น การถูกกัดกินของแมลง เชื้อโรค รังสีเหนือม่วง การขาดน้ำ ขาดสารอาหาร สิ่งกระตุ้นเหล่านี้จะไปกระตุ้นกระบวนการเมแทบอลิซึมเพื่อให้มีการสังเคราะห์และสะสมของสารที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันตัวเองในเนื้อเยื่อพืช ดังนั้นเมื่อพืชที่กำลังเจริญเติบโตต้องเผชิญกับสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง พืชจะมีการจัดสรรแบ่งส่วนทรัพยากรคาร์บอนที่มีในพืช หากขณะนั้นพืชต้องให้ความสำคัญต่อการเจริญเติบโตก่อน คาร์บอนที่มีในพืชจะถูกนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต และจำกัดกระบวนการสร้างสารป้องกันตัวเอง แต่ในทางกลับกัน หากขณะนั้นสภาพแวดล้อมทำพืชต้องให้ความสำคัญต่อการป้องกันหรือทำให้ตัวเองอยู่รอดในสภาวะนั้น ๆ ก่อน คาร์บอนที่มีในพืชจะถูกนำไปใช้เพื่อกระบวนการสร้างสารป้องกันตัวเอง จึงทำให้การเจริญเติบโตหยุกชะงักลง

จากการศึกษาในอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีสมมติฐาน 4 ข้อ เพื่ออธิบายถึงรูปแบบความสัมพันธ์และความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักในเนื้อเยื่อพืช

1. Carbon–Nutrient Balance Hypothesis (CNBH) เป็นสมมติฐานที่พยายามอธิบายถึงการจัดสรรทรัพยากรของพืชซึ่งเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ของปริมาณสารอาหารกับการสังเคราะห์ด้วยแสง กล่าวคือ การเจริญเติบโตหรือการสร้างเซลล์ใหม่ต้องอาศัยสารเมแทบอไลต์ปฐมภูมิ ซึ่งเป็นสารที่ได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากด้านการเจริญเติบโตแล้ว พืชจะมีการจัดสรรทรัพยากรโดยเฉพาะคาร์บอนและไนโตรเจนในการสร้างสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิหลังจากที่เกินความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตแล้ว (Bryant et al., 1983; Tuomi, 1992)

2. Optimal Defence Theory เป็นทฤษฎีการป้องกันตนเองของพืชอีกรูปแบบหนึ่งในจัดสรรสารประกอบป้องกันตัว ที่ต้องคำนึงถึงความสามารถในการสร้างความสมบูรณ์ (fitness) ของเนื้อเยื่อพืช (Nitao and Zangerl, 1987) กล่าวคือทฤษฎีนี้คาดการณ์ว่าหากเนื้อเยื่อพืชบริเวณใดมีการสร้างความสมบูรณ์ที่สูง จะมีการสร้างระดับของสารประกอบเพื่อป้องกันตัวเองที่สูงด้วย (Pavia et al., 2002)

3. Protein Competition Model (PCM) เป็นรูปแบบที่ใช้ในการทำนายการจัดสรรสารประกอบฟีนอลิกในพืชชั้นสูง เนื่องมาจากความสัมพันธ์ที่ผกผันกันระหว่างการสังเคราะห์โปรตีนและสารประกอบฟีนอลิก (Jones and Hartley, 1999)

4. Growth–Differentiation Balance Hypothesis (GDBH) เป็นสมมติฐานที่ใช้ในการทำนายการจัดสรรทรัพยากรของพืชอย่างสมดุลระหว่างกระบวนการที่เซลล์เปลี่ยนแปลงไปให้มีลักษณะเฉพาะเพื่อทำหน้าที่ที่แตกต่างกัน (differentiation) เช่น การจัดสรรทรัพยากรไปเพื่อการป้องกันตนเองหรือเพื่อการสร้างสารสำหรับการเจริญเติบโตในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เป็นต้น (Le Bot et al., 2009)

สมมติฐานทั้งสี่นี้ เป็นเสมือนกรอบแนวความคิดในการเข้าใจในเรื่องของนิเวศวิทยาด้านการป้องกันตัวเองของพืช โดยพืชจะใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่าที่สุดในการแบ่งสัดส่วนคาร์บอนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและกระบวนการป้องกันตัวเอง โดยส่วนใหญ่งานวิจัยจำนวนมากได้ให้ความสำคัญกับสมมติฐาน Growth–Differentiation Balance Hypothesis เนื่องจากสามารถอธิบายถึงผลกระทบของสารอาหารที่มีอยู่กับการสร้างสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิได้ เป็นสมมติฐานที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง หากจะกล่าวถึงการศึกษาพื้นฐานในเรื่องความสัมพันธ์ที่ผกผันกันของการเจริญเติบโตและการสร้างสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิแล้ว สมมติฐานดังกล่าวสามารถใช้อธิบายการขาดสารอาหารที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช รวมไปถึงการสร้างสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ โดยเมื่อพิจารณาถึงการเจริญเติบโตของพืชซึ่งเป็นผลมาจากการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิและผลของสารอาหารที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ หากพืชอยู่ในสภาวะขาดสารอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจน จนกระทั่งพืชไม่สามารถใช้ในการเจริญเติบโตได้ การสังเคราะห์ด้วยแสงจะยังคงดำเนินไปถึงแม้จะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ต่ำลง ผลิตภัณฑ์คาร์บอนที่ได้จากการกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง พืชไม่สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตเนื่องจากขาดแร่ธาตุอื่นที่จำเป็นในการประกอบกับคาร์บอนเพื่อสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการดังกล่าวนั้นจึงสามารถทำให้เกิดการสะสมคาร์บอนส่วนเกินไว้ในพืช และนำไปสู่การสร้างและปลดปล่อยสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมินั่นเอง (Le Bot et al., 2009)

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เมล็ดข้าวพันธุ์หอมจันทร์ สารสวย และเหนียวดำช่อไม้ไผ่โดยความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง อ.เมือง จ.พัทลุง
2. เมล็ดผักกาดหอม
3. กล่องพลาสติกทรงกระบอกขนาด 250 มิลลิลิตร
4. ตะแกรงพลาสติกที่มีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร
5. เครื่องปั๊มอากาศ
6. สายยางและหัวปล่อยอากาศ
7. ไม้บรรทัด
8. ตาข่ายพรางแสง 50% สีดำ
9. เครื่องวัดแสงซึ่งใช้ในการวัดแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthetic Active Radiation : PAR) คือในช่วง 400-700 nm LM-SS Portable Light Meter For Solar Sensors พร้อมหัววัดรุ่น E90 Quantum Sensor (Jauntering International Corporation, Taiwan)
10. Chlorophyll Meter SPAD-502 Plus (Hangzhou Mindfull Technology, Japan)
11. เครื่อง Pulse Amplitude Modulation Fluorometer รุ่น Mini-PAM (Heinz Walz GmbH, Germany)
12. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ 2 ตำแหน่ง
13. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ 4 ตำแหน่ง
14. อะลูมิเนียมฟอยล์
15. พาราฟิล์ม
16. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 (GE Healthcare's Life Sciences, England)
17. จานเพาะเชื้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 และ 35 มิลลิเมตร
18. Centrifuge tube ขนาด 15 มิลลิลิตร
19. ถังน้ำพลาสติก ขนาด 2 ลิตร

2.2 สารเคมี

1. $Ca(NO_3)_2.4H_20$
2. KNO_3
3. $MgSO_4.7H_2O$
4. KH_2PO_4
5. $C_{10}H_{12}O_8N_2FeNa.H_2O$
6. $CaCl_2.2H_2O$
7. KCl
8. H_3BO_3
9. $MnCl_2.4H_2O$
10. $Na_2MoO_4.2H_2O$

2.3 วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1 ผลของความเครียดแสงต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทิกของข้าว

- **การปลูกข้าว**

ปลูกต้นข้าวพันธุ์หอมจันทร์โดยใช้ดินผสมสำหรับปลูกต้นไม้ประมาณ 20 เมล็ดต่อกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว รดน้ำวันละ 1 ครั้ง โดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ปลูกในแสงปกติ (100%) และพรางแสงด้วยตาข่ายพรางแสงให้ได้รับแสง 50% และ 10% โดยการใช้ตาข่ายพรางแสง 50% สีดำ 1 ชั้นและ 2 ชั้นซ้อนกัน ตามลำดับ (ความเข้มแสงประมาณ 500 250 และ 50 μmolE m^{-2} s^{-1} ตามลำดับ) ทำการทดลอง 5 ซ้ำ เมื่อต้นข้าวอายุ 14 วันทำการบันทึกผลการทดลอง ดังนี้

- **วัดการเจริญเติบโตของต้นข้าว**

ทำการวัดความสูงของต้นข้าวส่วนเหนือดิน โดยวัดจากโคนต้นถึงปลายใบที่ยาวที่สุดและความยาวรากจากโคนต้นถึงปลายรากที่ยาวที่สุด ชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งหลังจากนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมงด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง โดยทำการวัดกระถางละ 5 ต้น

- **วัดอัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอน** (Electron Transport Rate, ETR)

เมื่อปลูกต้นข้าวครบ 14 วัน วัดอัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในระบบแสงสองของต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับความเข้มแสงต่างกันด้วยเครื่องมือ pulse amplitude modulation fluorometer รุ่น Mini-PAM โดยทำการวัดต้นข้าว 3 ต้น ต้นละ 1 ใบต่อกระถาง โดยวัดใบที่ 3 นับจากใบล่างสุด

- **วัดความสามารถทางอัลลีโลพาที**

ทดสอบผลของสารสกัดจากข้าวโดยวิธีสกัดด้วยน้ำ (water extraction method) (Kawaguchi et al., 1997; Ebana et al., 2001) ที่มีต่อการงอกของเมล็ดผักกาดหอมและการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมซึ่งเป็นพืชทดสอบ โดยนำตัวอย่างข้าวส่วนเหนือดินจากทุกภาชนะปลูกภายในแต่ละชุดทดลองมารวมกัน ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน นำต้นข้าวชุดการทดลองละ 2.5 กรัม มาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 2 เซนติเมตร แช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มล. (5% w/v) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางและกระดาษกรองเบอร์ 1 ทำการทดสอบการยับยั้งการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมหลังงอกโดยนำสารสกัดใส่ในจานเพาะเชื้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มม. ซึ่งรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ปริมาตร 5 มล. ต่อจาน นำเมล็ดผักกาดหอมวางบนกระดาษกรองจานละ 20 เมล็ดโดยวางให้กระจายทั่วทั้งจาน ปิดฝาจานเพาะเชื้อและพันด้วยพาราฟิล์ม ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ทำการทดลอง 5 ซ้ำ โดยใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design: CRD) เก็บข้อมูลโดยการนับจำนวนต้นกล้าผักกาดหอมที่งอกทั้งหมดในแต่ละจานเพื่อนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การงอก (germination percentage) จากนั้นสุ่มต้นกล้าผักกาดหอม 10 ต้นจากแต่ละจานเพาะเชื้อเพื่อนำมาวัดความยาวยอดและราก และนำต้นกล้าผักกาดหอมที่ทำการสุ่มมาไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง คำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม และเปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม โดยใช้สูตร

$$\frac{\text{ค่าของกลุ่มควบคุม - ค่าของกลุ่มที่ต้องการวัดผล}}{\text{ค่าของกลุ่มควบคุม}} \times 100$$

หมายเหตุ

1. การเจริญส่วนต้น วัดได้จากความยาวจากโคนต้นถึงปลายยอดของต้นกล้าผักกาดหอม
2. การเจริญส่วนราก วัดได้จากความยาวจากโคนต้นถึงปลายรากของต้นกล้าผักกาดหอม

การทดลองที่ 2 ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว

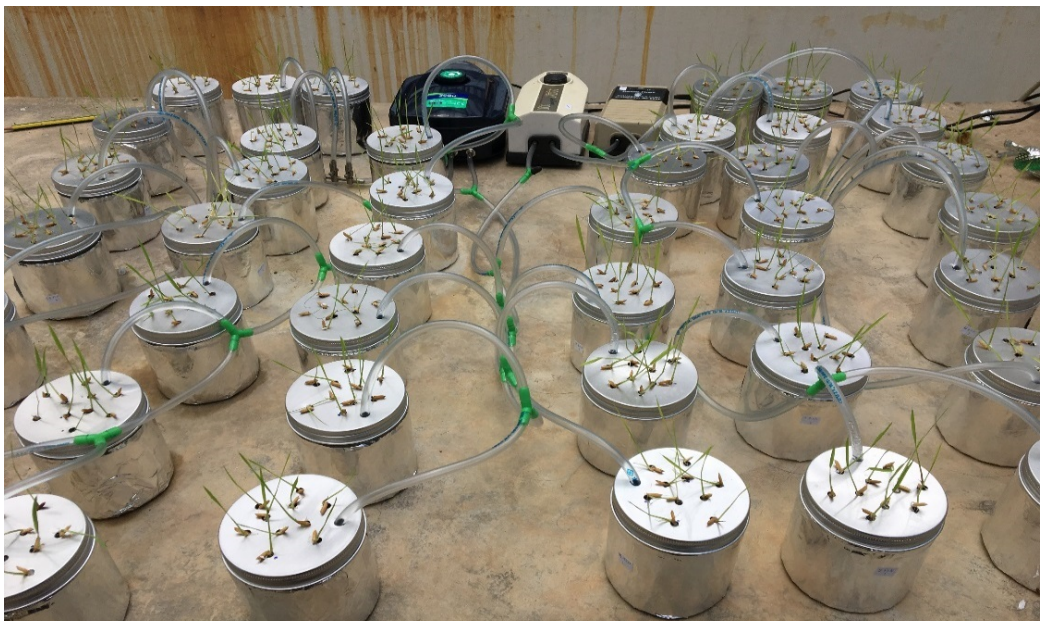
- ปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์

คัดเลือกเมล็ดข้าวพันธุ์หอมจันทร์ที่สมบูรณ์ แช่เมล็ดจนงอกแล้วย้ายไปเพาะบนถาดเพาะ เมื่อต้นข้าวอายุ 4-5 วันนำมาปลูกบนตาข่ายพลาสติกซึ่งวางอยู่บนขวดพลาสติกทรงกระบอกขนาด 250 มล. ที่บรรจุสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ปริมาตร 200 มล. ทำการศึกษาโดยปลูกข้าวในระบบปลูกไฮโดรโปนิกส์ โดยให้ความเข้มข้นของสารอาหารปกติ (1N) ลดลง 10 เท่า (0.1N) และลดลง100 เท่า (0.01N) โดยทำการลดความเข้มข้นลงทั้งสูตร (ตารางที่ 1) เจาะรูที่ฝาขวดเพื่อใส่ต้นข้าวและท่อยางให้อากาศ ปลูกข้าวภาชนะละ 10 ต้น และทำการให้อากาศโดยใช้ปั๊มขนาดเล็ก ทำการทดลอง 5 ซ้ำ ปลูกเป็นเวลา 14 วันจึงทำการเก็บผลการทดลอง (ภาพที่ 2)

ตารางที่ 1 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน Hoagland 1 ลิตรสำหรับปลูกข้าวในระบบไฮโดรโปนิกส์

สารเคมี	สูตรปกติ (1 N)	ลดความเข้มข้น 10 เท่า (0.1 N)	ลดความเข้มข้น 100 เท่า (0.01 N)
1M $Ca(NO_3)_2$	5 มล.	0.5 มล.	0.05 มล.
1M KNO_3	5 มล.	0.5 มล.	0.05 มล.
1M $MgSO_4$	2 มล.	0.2 มล.	0.02 มล.
1M KH_2PO_4	1 มล.	0.1 มล.	0.01 มล.
1M FeEDTA	1 มล.	0.1 มล.	0.01 มล.
Micronutrient 1 ลิตร ประกอบด้วย - H_3BO_3 2.86 g - $MnCl_2.4H_2O$ 1.81 g - $ZnCl_2$ 0.11 g - $CuCl_2.2H_2O$ 0.05 g - $Na_2MoO_4.2H_2O$ 0.025 g	1 มล.	0.1 มล.	0.01 มล.

หมายเหตุ เมื่อเตรียมสารอาหารตามสูตรดังกล่าวครบถ้วนแล้ว ทำการเติมน้ำให้ครบปริมาตร 1000 มล. จะได้สารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ตามความเข้มข้น 1N, 0.1N และ 0.01N ตามลำดับ



ภาพที่ 6 การจัดอุปกรณ์ในการทดลองเรื่องผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว

- **วัดการเจริญเติบโตของต้นข้าว**

ทำการวัดความสูงของต้นข้าวส่วนยอด โดยวัดจากโคนต้นถึงปลายใบที่ยาวที่สุด และความยาวรากจากโคนต้นถึงปลายรากที่ยาวที่สุดและน้ำหนักแห้งต่อต้นหลังจากอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

- **วัดประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง**

วัดประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดในระบบแสงสอง เมื่อข้าวอายุครบ 14 วัน โดยวัดใบที่ 3 นับจากใบล่างสุด ทำการ dark-adapt เป็นระยะเวลา 18 นาทีก่อนวัดด้วยด้วยเครื่องมือ pulse amplitude modulation fluorometer วัดภาชนะละ 1 ต้น

- **วัดความสามารถทางอัลลีโลพาที**

ทดสอบผลของสารสกัดจากข้าวที่ได้รับความเครียดที่แตกต่างกัน โดยวิธีสกัดด้วยน้ำที่มีต่อการงอกของเมล็ดผักกาดหอมและการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมซึ่งเป็นพืชทดสอบ โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

นำตัวอย่างข้าวส่วนยอดจากทุกภาชนะภายในแต่ละชุดการทดลองมารวมกัน ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน นำต้นข้าวมาชุดการทดลองละ 0.25 กรัม ตัดต้นข้าวเป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 2 ซม. แช่น้ำ 5 มล. (5% w/v) ใน centrifuge tube ขนาด 15 มล. เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยผ้าขาวบางและกระดาษกรองเบอร์ 1 ทดสอบการยับยั้งการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมหลังงอกโดยนำสารสกัดมาใส่ในจานเพาะเชื้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มม. ซึ่งรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อใช้สำหรับเพาะเมล็ดปริมาตร 0.5 มล. ต่อจาน นำเมล็ดผักกาดหอมมาวางบนกระดาษกรอง จานละ 20 เมล็ดโดยวางให้กระจายทั่วจาน แล้วปิดฝา พันด้วยพาราฟิล์มเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน

ทำการทดลอง 5 ซ้ำ โดยใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม เก็บข้อมูลโดยการนับจำนวนต้นกล้าผักกาดหอมที่งอกทั้งหมดในแต่ละจาน เพื่อนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การงอก จากนั้นนำมาวัดความยาวรากของต้นกล้า โดยแต่ละจานสุ่มมาจำนวน 10 ต้น เพื่อหาค่าเฉลี่ย และสุดท้ายนำต้นกล้าผักกาดหอมทั้งหมดที่ทำการสุ่มไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง เพื่อบันทึกค่าน้ำหนักแห้ง

การทดลองที่ 3 ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว 3 สายพันธุ์

- **การเลือกพันธุ์ข้าว**

เลือกใช้พันธุ์ข้าวที่มีความสามารถทางอัลลีโลพาทีต่างกัน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์หอมจันทร์ สารสวย และเหนียวดำช่อไม้ไผ่

- **ปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์** เหมือนการทดลองที่ 2
- **การวัดความเขียวใบ** ใช้ chlorophyll meter วัดค่าความเขียวใบเมื่อข้าวอายุครบ 14 วัน โดยวัดใบล่างสุดภาชนะละ 1 ต้น วัด 3 ซ้ำในแต่ละต้น
- **วัดประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง** เหมือนการทดลองที่ 2
- **วัดการเจริญเติบโตของต้นข้าว** เหมือนการทดลองที่ 2
- **วัดความสามารถทางอัลลีโลพาที** เหมือนการทดลองที่ 2

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลผลการเจริญเติบโตของข้าว จากการทดลองทั้งสามมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ $p = 0.05$ วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองโดยใช้ Tukey's Test ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows version 17 (IBM Company, U.S.A.) นำผลการวัดความสามารถทางอัลลีโลพาทีของชุดการทดลองต่าง ๆ จากทั้ง 3 การทดลองมาหาค่าเฉลี่ย เนื่องจากได้นำตัวอย่างจากทุกภาชนะในแต่ละชุดการทดลองมารวมกัน จึงไม่สามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ สร้างแผนภูมิเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวแต่ละสายพันธุ์เมื่อเจริญในสภาพที่มีความเข้มแสงความเข้มข้นของสารอาหารแตกต่างกัน

สำหรับข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวจากการทดลองที่ 3 นำมาวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (two-way ANOVA) โดยใช้พันธุ์ข้าวและความเข้มข้นของสารอาหารเป็นปัจจัย ที่ระดับนัยสำคัญ $p = 0.05$ ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows version 17 นำข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มาสร้างกราฟเพื่อวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2017 และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis : PCA) ของการเจริญเติบโตของข้าวร่วมกับความสามารถทางอัลลีโลพาทีในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมด้วยโปรแกรม RStudio Version 1.0.153 (RStudio, U.S.A.)

บทที่ 3

ผลการวิจัย

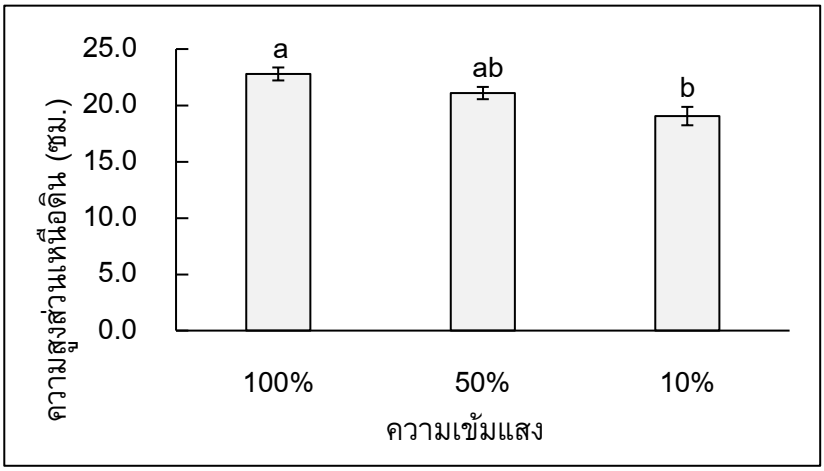
3.1 การทดลองที่ 1 ผลของความเครียดแสงต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว

ศึกษาการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวในสภาวะที่ได้รับความเข้มแสงต่างกันโดยทำการปลูกในแสงปกติ 100% และพรางแสงด้วยตาข่ายพรางแสงให้ได้รับแสง 50% และ 10% ได้ผลดังนี้

3.1.1 ผลการเจริญเติบโตของต้นข้าวเมื่อได้รับความเข้มแสงที่ต่างกัน

- ความสูงส่วนเหนือดินของต้นข้าว

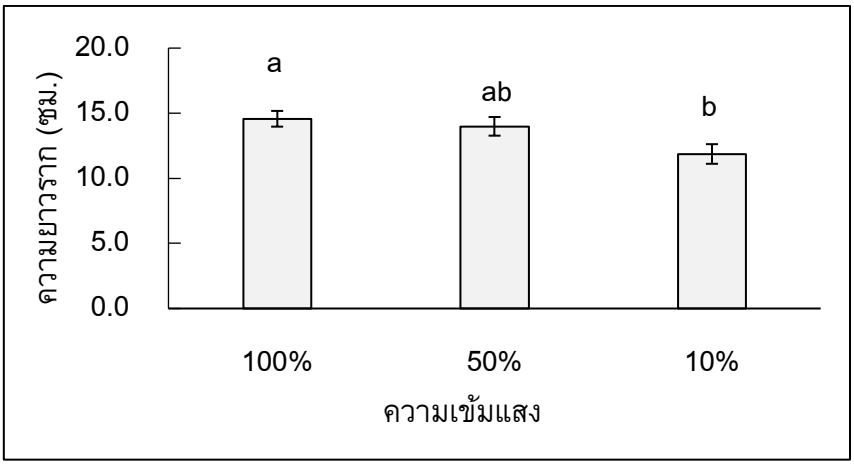
ผลความสูงส่วนเหนือดินของต้นข้าวพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสง 100% 50% และ 10% มีความสูงส่วนเหนือดินที่อายุ 14 วันลดลงตามลำดับ โดยต้นข้าวที่ได้รับแสง 10% มีความสูงลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้แสง 100% ($p=0.001$) (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 ความสูงส่วนเหนือดินของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน (means ± SE ; ตัวอักษรที่ต่างกันในกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

- ความยาวรากของต้นข้าว

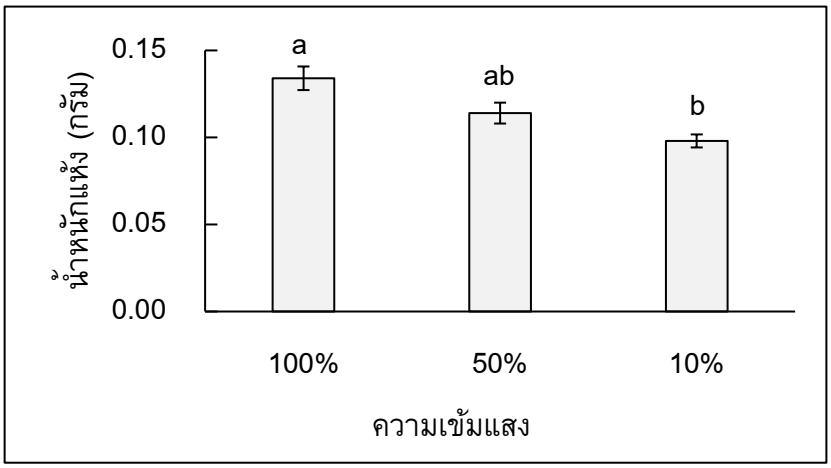
ผลความยาวรากของต้นข้าวพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสง 100% 50% และ 10% มีความยาวรากที่อายุ 14 วันลดลงตามลำดับ โดยต้นข้าวที่ได้รับแสง 10% มีความยาวรากลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้แสง 100% (p=0.044) (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 ความยาวรากของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน (means ± SE ; ตัวอักษรที่ต่างกันในกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

- น้ำหนักแห้งของต้นข้าว

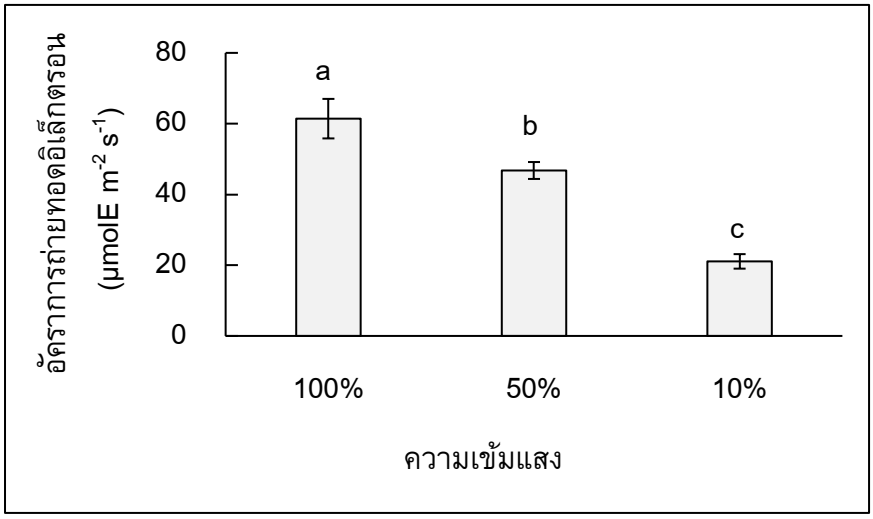
ผลน้ำหนักแห้งพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสง 100% 50% และ 10% มีน้ำหนักแห้งทั้งต้นที่อายุ 14 วันลดลงตามลำดับ โดยต้นข้าวที่ได้รับแสง 10% มีน้ำหนักแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้แสง 100% (p=0.003) (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 น้ำหนักแห้งของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน (means ± SE ; ตัวอักษรที่ต่างกันในกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

- อัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

ผลการวัดอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนของต้นข้าวพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสงเพียง 50% และ 10% มีอัตราเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในระบบแสงสองลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับเมื่อเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้แสงปกติ ($p<0.001$) (ภาพที่ 10)

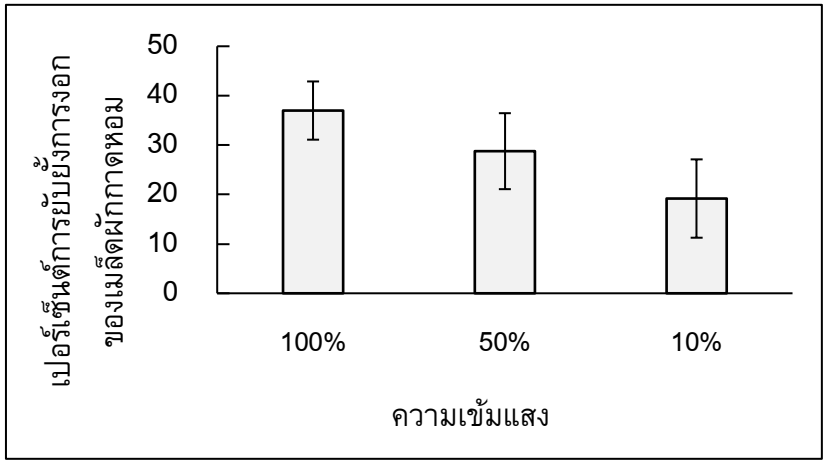


ภาพที่ 10 อัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในระบบแสงสองของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน (means ± SE ; ตัวอักษรที่ต่างกันในกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

3.1.2 ผลความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวเมื่อได้รับความเข้มแสงที่ต่างกัน

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอก

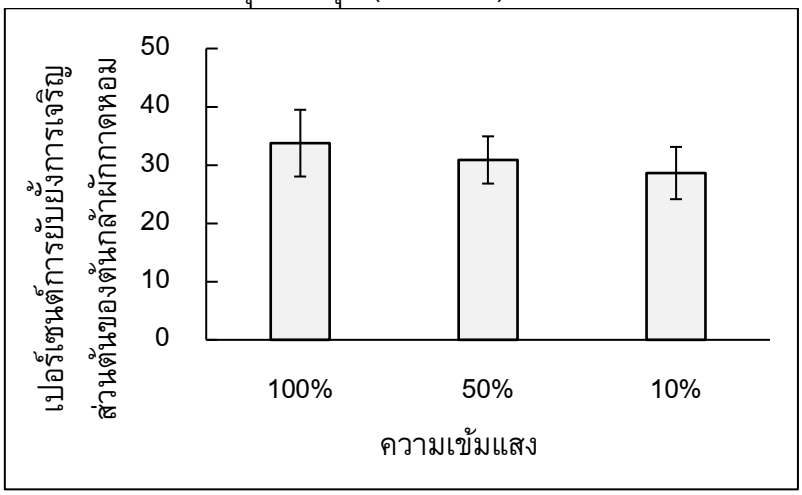
ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นพบว่า สารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสง 100% 50% และ 10% มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมลดลง โดยสารสกัดจากต้นข้าวที่ได้รับแสง 50% และ 10% มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมลดลง 22.22% และ 48.13% ตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน (means ± SE)

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้น

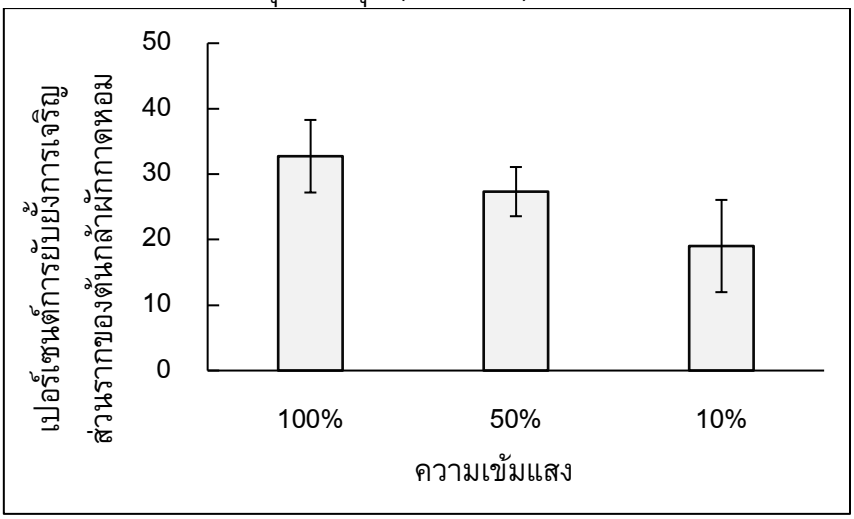
ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นพบว่า สารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสง 100% 50% และ 10% มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอมลดลง โดยสารสกัดจากต้นข้าวที่ได้รับแสง 50% และ 10% มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นลดลง 8.56% และ 15.23% ตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่น เมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน (means ± SE)

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนราก

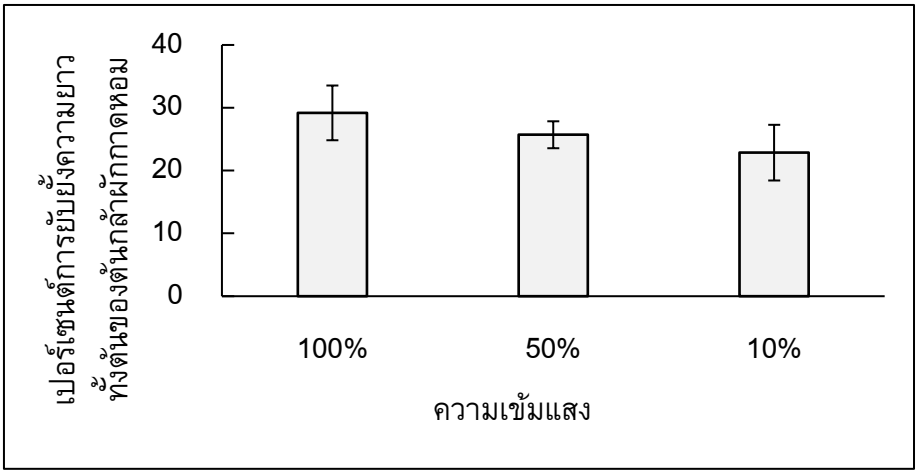
ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นพบว่า สารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสง 100% 50% และ 10% มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอมลดลง โดยสารสกัดจากต้นข้าวที่ได้รับแสง 50% และ 10% มีการยับยั้งการเจริญส่วนรากลดลง 16.50% และ 41.92% ตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน (means ± SD)

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้น

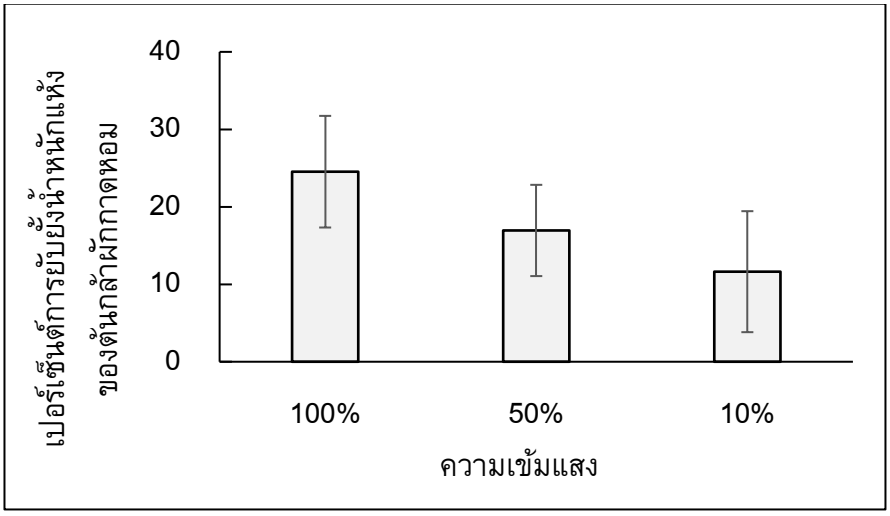
ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นพบว่า สารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสง 100% 50% และ 10% มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอมลดลง โดยสารสกัดจากต้นข้าวที่ได้รับแสง 50% และ 10% มีการยับยั้งความยาวทั้งต้นลดลง 11.92% และ 21.69% ตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่น เมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน (means ± SE)

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้ง

ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นพบว่า สารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสง100% 50% และ 10% มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมลดลง โดยสารสกัดจากต้นข้าวที่ได้รับแสง 50% และ 10% มีการยับยั้งน้ำหนักแห้งลดลง 30.94% และ 52.63% ตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่น เมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มแสงที่ต่างกัน (means ± SE)

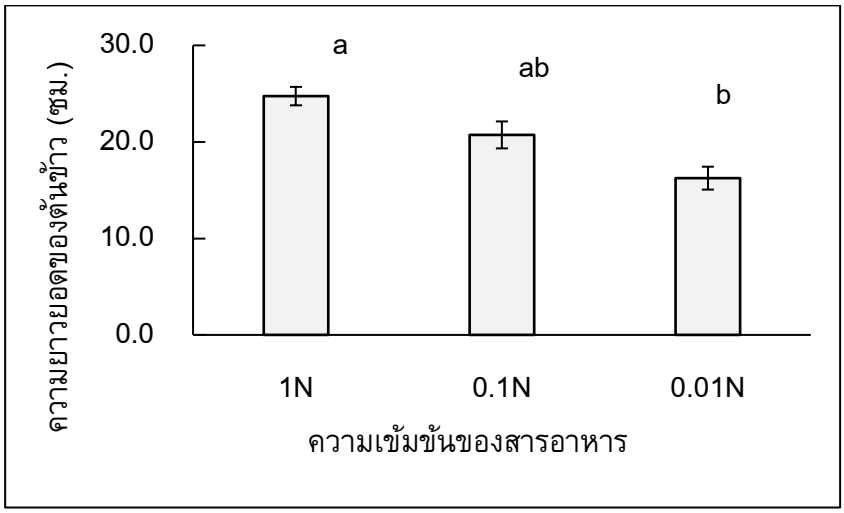
3.2 การทดลองที่ 2 ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาที

ศึกษาการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวในสภาวะที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่ต่างกัน คือ 1N (สูตร Hoagland ปกติ) ความเข้มข้นของสารอาหารลดลง 10 เท่า (0.1N) และ 100 เท่า (0.01N) โดยทำการปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ ได้ผลดังนี้

3.2.1 ผลการเจริญเติบโตของข้าวเมื่อได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน

- ความยาวยอดของต้นข้าว

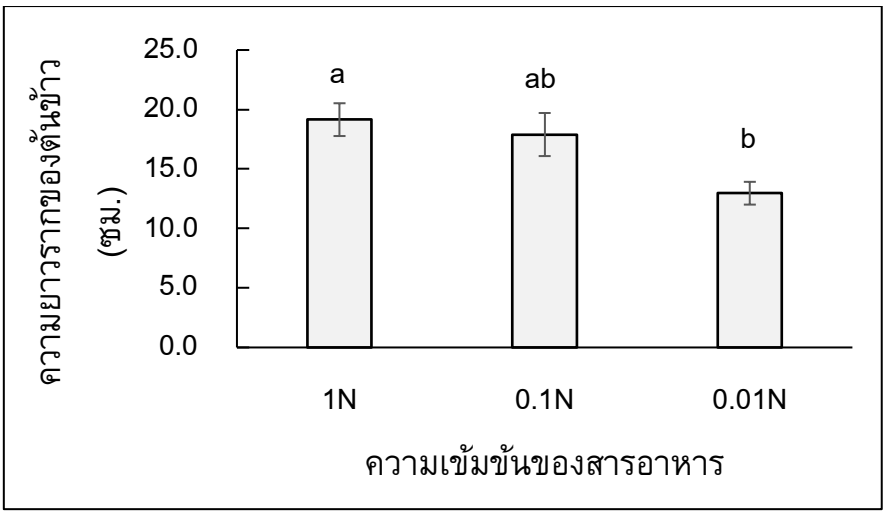
ผลการวัดความยาวยอดของต้นข้าวพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 1N 0.1N และ 0.01N มีความยาวยอดลดลงตามลำดับ โดยต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 0.01N มีความสูงส่วนเหนือดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 1N ($p=0.010$) (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 ความยาวยอดของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE ; ตัวอักษรที่ต่างกันในกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

- ความยาวรากของต้นข้าว

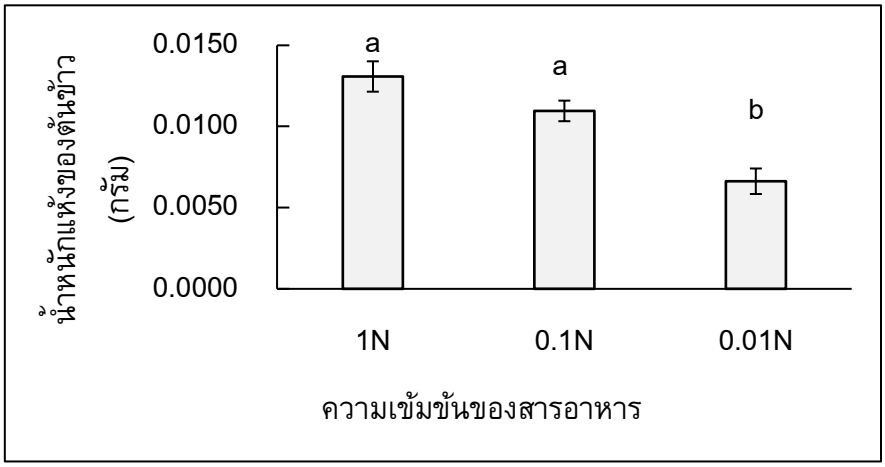
ผลการวัดความยาวรากของต้นข้าวพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 1N 0.1N และ 0.01N มีความยาวรากลดลงตามลำดับ โดยต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 0.01N ความยาวรากลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 1N ($p=0.023$) (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 ความยาวรากของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE ; ตัวอักษรที่ต่างกันในกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

- น้ำหนักแห้งทั้งต้นของต้นข้าว

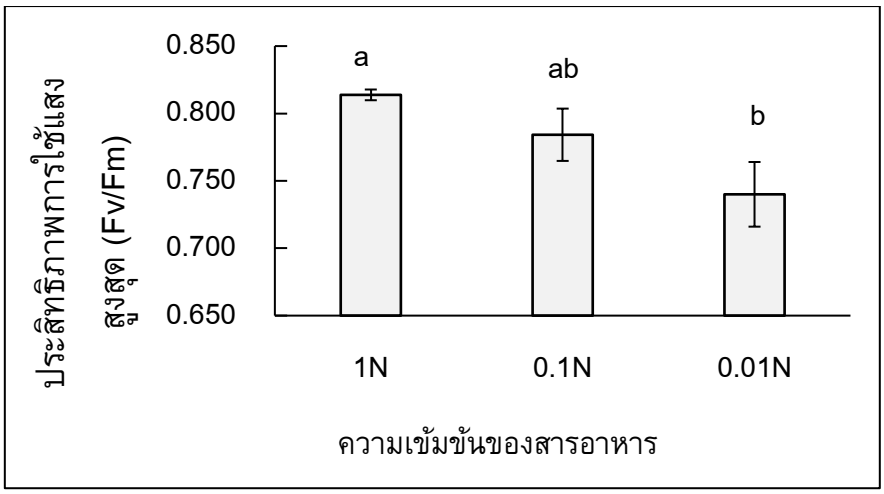
ผลการวัดน้ำหนักแห้งทั้งต้นของต้นข้าวพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 0.01N มีน้ำหนักแห้งลดลงเมื่อเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 1N และ 0.1N อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 น้ำหนักแห้งของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE ; ตัวอักษรที่ต่างกันในกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

- ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด

ผลการวัดประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของต้นข้าวพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 0.01N ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดลดลงเมื่อเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 1N อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.040$) (ภาพที่ 19)

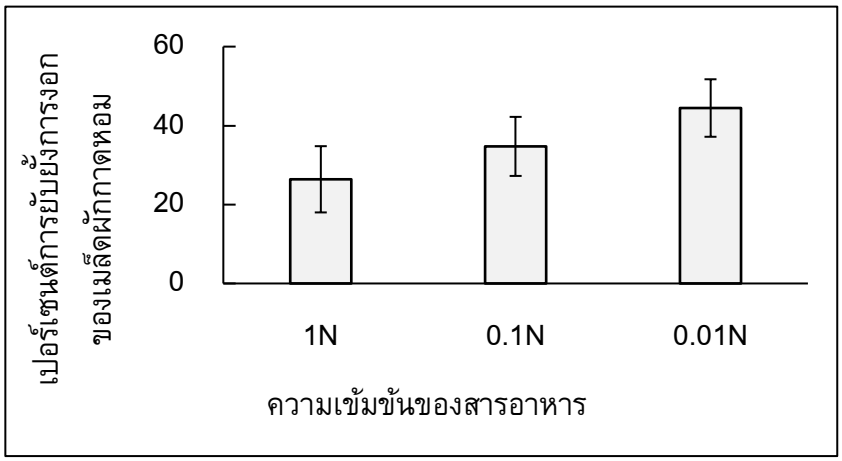


ภาพที่ 19 ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE ; ตัวอักษรที่ต่างกันในกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

3.2.2 ผลความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวเมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกัน

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอก

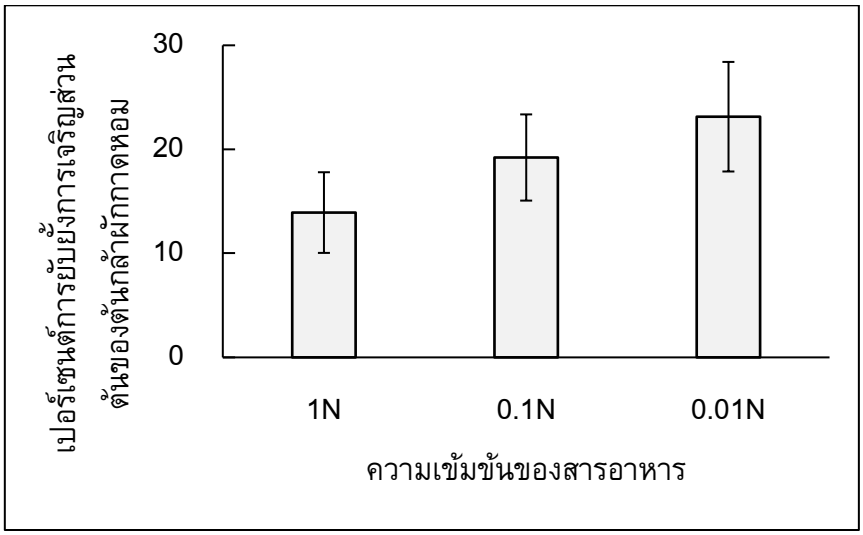
ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นพบว่า สารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารปกติ(1N) 0.1N และ0.01N มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมเพิ่มขึ้น โดยสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 0.1N และ0.01N มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกเพิ่มขึ้น 31.61% และ 68.46% ตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม เมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารต่างกัน (means ± SE)

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้น

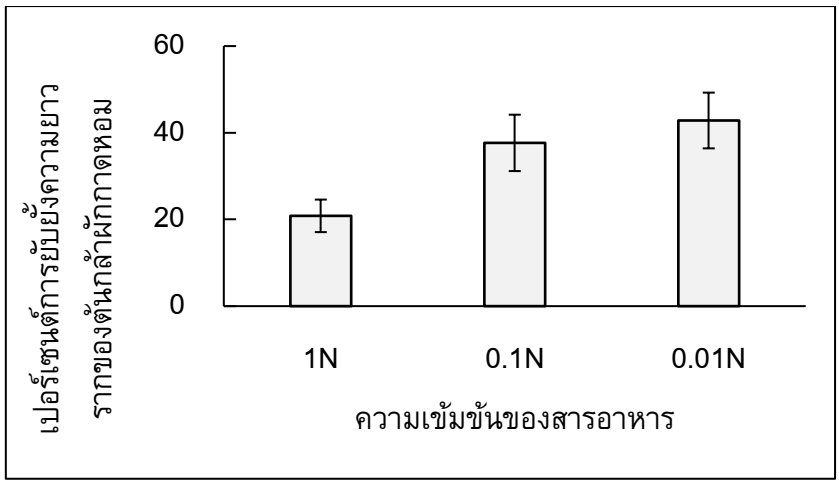
ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นพบว่า สารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารปกติ (1N) 0.1N และ 0.01N มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอมเพิ่มขึ้น โดยสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 0.1N และ0.01N มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นเพิ่มขึ้น 38.00% และ 66.23% ตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 21)



ภาพที่ 21 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE)

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนราก

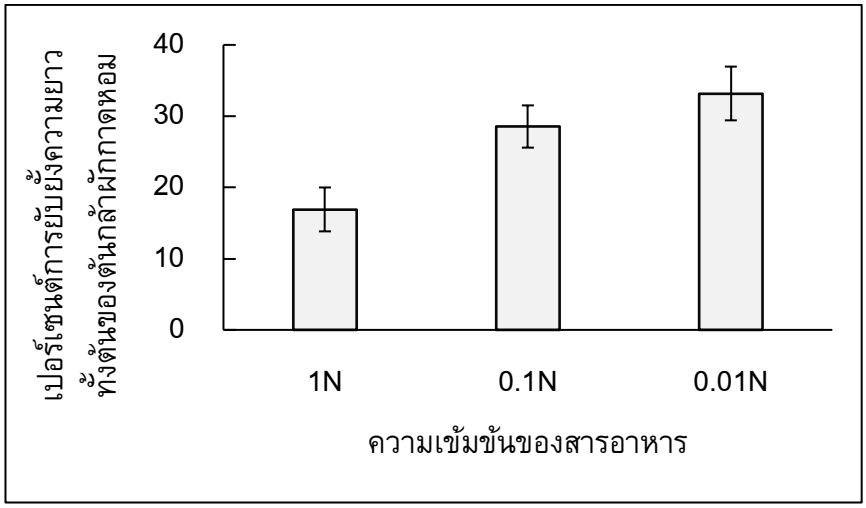
ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นพบว่า สารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารปกติ (1N) 0.1N และ 0.01N มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอมเพิ่มขึ้น โดยสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 0.1N และ 0.01N มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากเพิ่มขึ้น 80.84% และ 105.6% ตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 22)



ภาพที่ 22 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE)

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้น

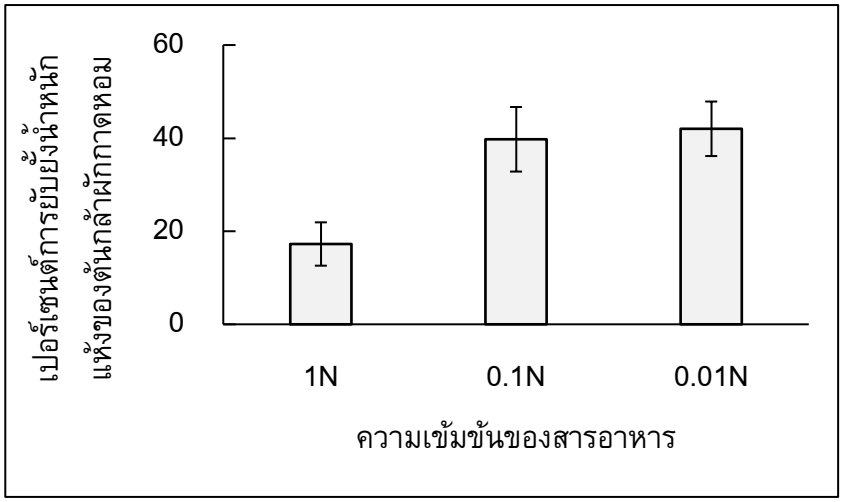
ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นพบว่า สารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารปกติ(1N) 0.1N และ 0.01N มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอมเพิ่มขึ้น โดยสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 0.1N และ 0.01N มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นเพิ่มขึ้น 68.77% และ 96.21% ตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 23)



ภาพที่ 23 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE)

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้ง

ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นพบว่า สารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารปกติ (1N) 0.1N และ 0.01N มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมเพิ่มขึ้น โดยสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหาร 0.1N และ 0.01N มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น 130.43% และ 143.53% ตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 24)



ภาพที่ 24 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมโดยเทียบกับน้ำกลั่นเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE)

จากผลการศึกษาผลระหว่างของความเครียดจากการขาดแสงและสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวพันธุ์หอมจันทร์พบว่า การศึกษาเรื่องของความเครียดจากการขาดสารอาหารเห็นผลชัดเจนกว่าความเครียดจากการขาดแสงในการลดการเจริญเติบโตของต้นข้าวที่ได้รับความเครียดและเพิ่มการแสดงออกทางความสามารถทางอัลลีโลพาทีในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอม

ดังนั้นจึงเลือกทำการศึกษาในหัวข้อความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีในข้าวพันธุ์พื้นเมือง 3 สายพันธุ์

3.3 การทดลองที่ 3 ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าว 3 สายพันธุ์

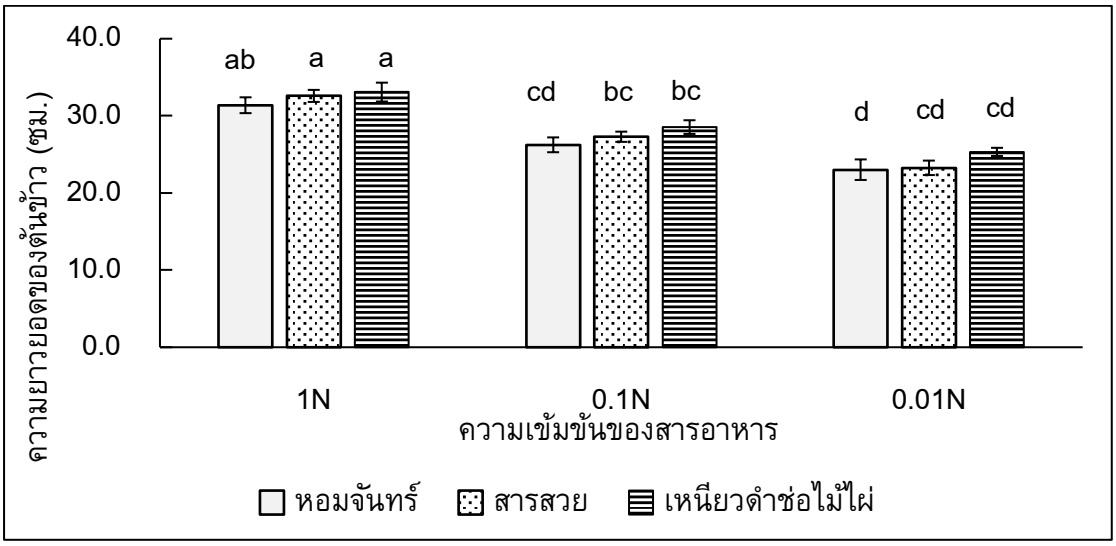
จากการศึกษาความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อศักยภาพทางอัลลีโลพาทีและการเจริญเติบโตของข้าว ได้ผลดังนี้

3.3.1 ผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว 3 สายพันธุ์ที่ปลูกในความเข้มข้นของสารอาหารที่แตกต่างกัน

เมื่อปลูกข้าว 3 พันธุ์ ได้แก่ หอมจันทร์ สารสวย และเหนียวดำช่อไม้ไผ่ ในสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่ต่างกัน คือ 1N (สูตร Hoagland ปกติ), ความเข้มข้นของสารอาหารลดลง 10 เท่า (0.1N) และ 100 เท่า (0.01N) และวัดการเจริญเติบโตของต้นข้าว ได้ผลดังนี้

- ความยาวยอดของต้นข้าว

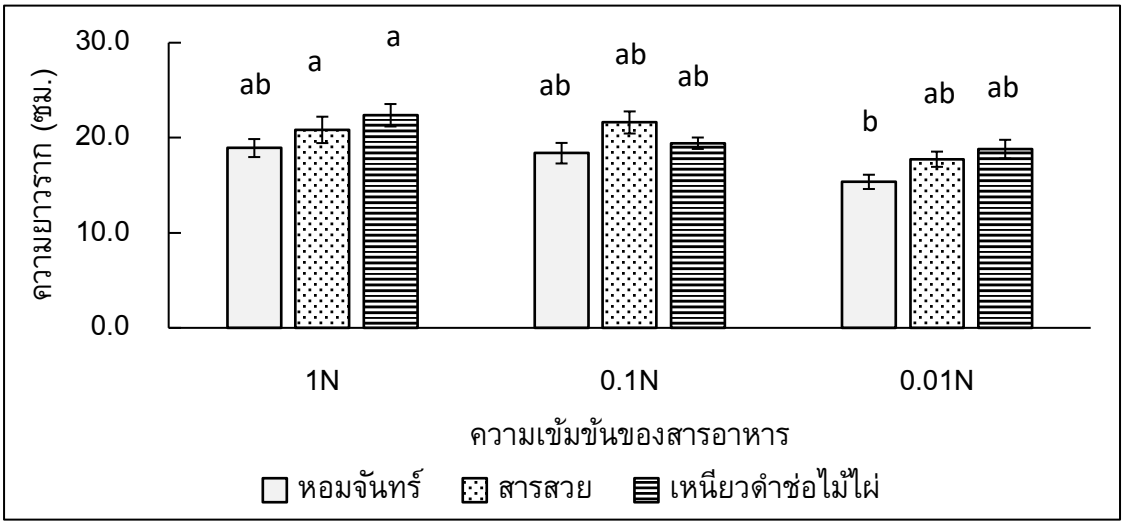
ด้านความยาวยอดของต้นข้าว พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) เมื่อเปรียบเทียบในพันธุ์ข้าวเดียวกันพบว่าต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 1N มีความยาวยอดเฉลี่ยสูงที่สุด และความยาวยอดของต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 0.1N และ 0.01N ลดลงตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์เมื่อได้รับความเข้มข้นสารอาหารเท่ากัน (ภาพที่ 25)



ภาพที่ 25 ความยาวยอดของต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE ; ตัวอักษรที่ต่างกันในกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

- ความยาวรากของต้นข้าว

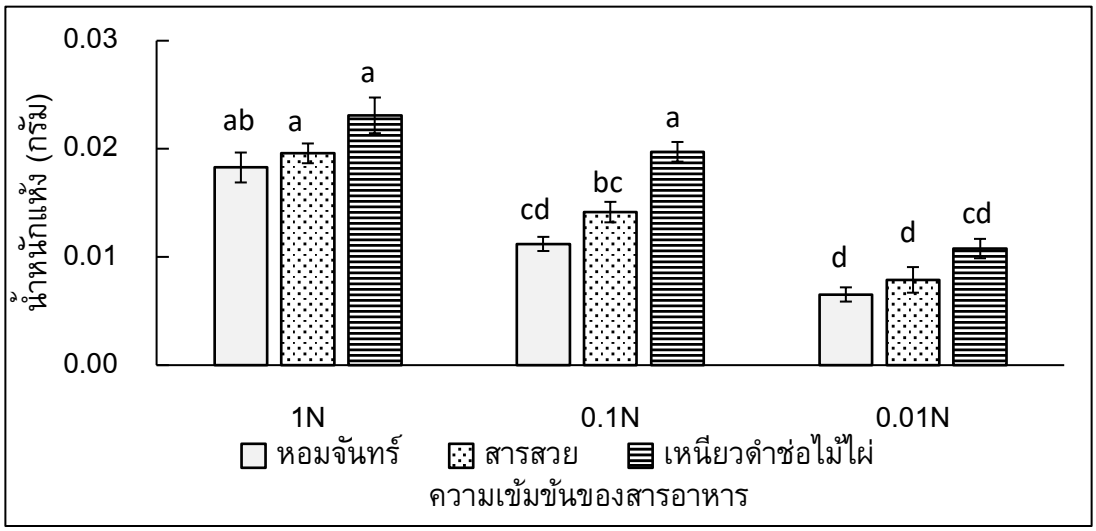
ด้านความยาวรากของต้นข้าว เมื่อเปรียบเทียบในพันธุ์ข้าวเดียวกันพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 1N มีความยาวรากเฉลี่ยสูงที่สุด และความยาวรากของต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 0.1N และ 0.01N มีความยาวรากเฉลี่ยลดลงตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพันธุ์ข้าวทั้งสามพันธุ์เมื่อได้รับความเข้มข้นสารอาหารเท่ากันเช่นกัน (ภาพที่ 26)



ภาพที่ 26 ความยาวรากของต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE ; ตัวอักษรที่ต่างกันในกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

- น้ำหนักแห้งทั้งต้นของต้นข้าว

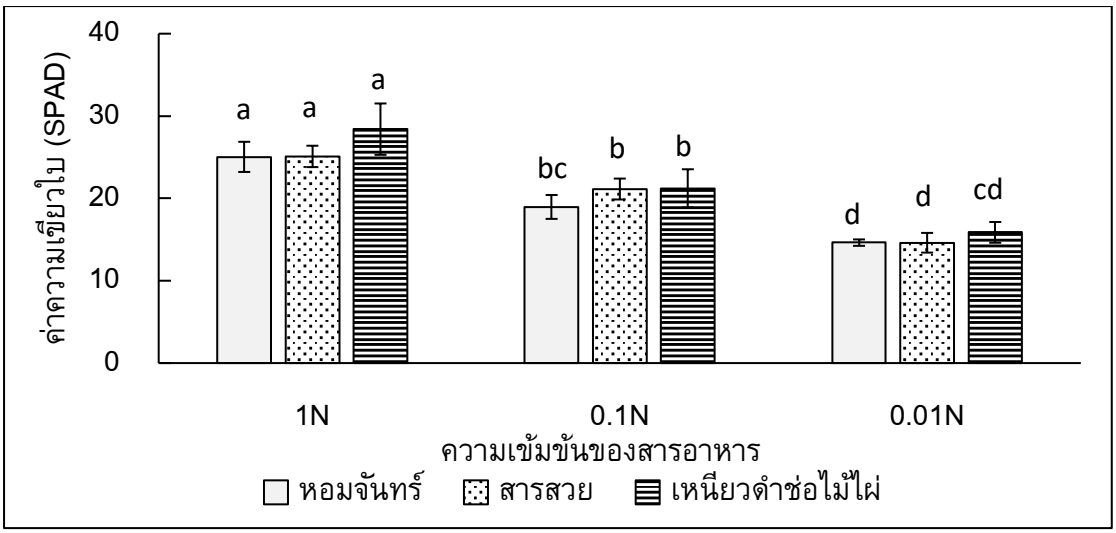
ด้านน้ำหนักแห้งทั้งต้นของต้นข้าว พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) เมื่อเปรียบเทียบในพันธุ์ข้าวเดียวกันพบว่าต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานความเข้มข้น 1N มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสูงที่สุด และน้ำหนักแห้งต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 0.1N และ 0.01N มีน้ำหนักแห้งลดลงตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ พบว่าข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่มีน้ำหนักแห้งมากกว่าพันธุ์หอมจันทร์และสารสวยอย่างมีนัยสำคัญในต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 0.1N (ภาพที่ 27)



ภาพที่ 27 น้ำหนักแห้งของต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE ; ตัวอักษรที่ต่างกันในกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

- ค่าความเขียวใบ

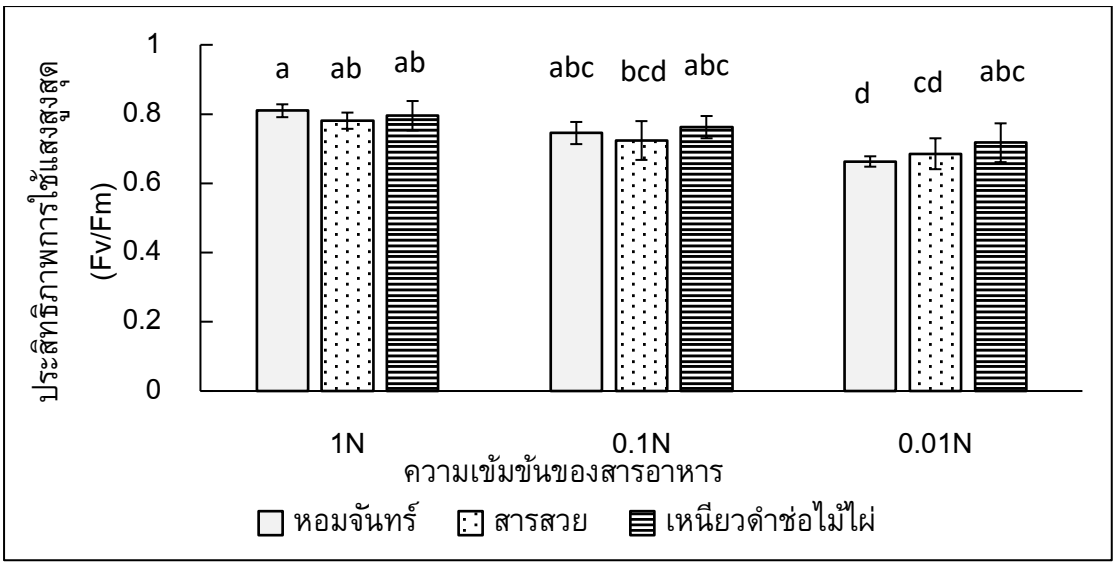
ด้านค่าความเขียวใบของต้นข้าว พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p = 0.001$) เมื่อเปรียบเทียบในพันธุ์ข้าวเดียวกันพบว่าต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 1N มีค่าความเขียวใบเฉลี่ยสูงที่สุด และค่าความเขียวใบของต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 0.1N และ 0.01N มีค่าเฉลี่ยลดลงตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ที่ความเข้มข้นสารอาหารเท่ากันพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 28)



ภาพที่ 28 ค่าความเขียวใบของต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE ; ตัวอักษรที่ต่างกันในกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

- ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (Fv/Fm)

ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าว เมื่อเปรียบเทียบในพันธุ์ข้าวเดียวกัน พบว่าต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 1N มีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 0.810±0.008 ในพันธุ์หอมจันทร์ 0.781±0.010 ในพันธุ์สารสวย และ 0.795±0.014 ในพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่ ซึ่งพบว่าค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 0.1N และ 0.01N มีแนวโน้มลดลงตามลำดับในข้าวทั้ง 3 พันธุ์และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ความเข้มข้นสารอาหารเท่ากัน พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$; ภาพที่ 29)



ภาพที่ 29 ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE; ตัวอักษรที่ต่างกันในกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

การวิเคราะห์ two-way ANOVA ของการเจริญเติบโตของข้าว

ผลจากการวิเคราะห์ two-way ANOVA ระหว่างปัจจัยพันธุ์ข้าวและความเข้มข้นของสารอาหาร พบว่าพันธุ์ข้าวมีผลต่อความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักแห้งและความเขียวใบของต้นข้าว ($p=0.013$, $p=0.002$, $p<0.001$ และ $p=0.003$ ตามลำดับ) ส่วนปัจจัยของความเข้มข้นสารอาหาร พบว่ามีผลต่อทั้งความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักแห้ง ความเขียวใบ และประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด ($p \leq 0.001$ ในทุกลักษณะ) และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวและความเข้มข้นของสารอาหารที่ใช้ปลูกอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลจากการวิเคราะห์ two-way ANOVA ของการเจริญเติบโตของข้าว 3 สายพันธุ์

ปัจจัย	ลักษณะ	p-value
พันธุ์ข้าว	ความยาวยอด	0.013*
	ความยาวราก	0.002**
	น้ำหนักแห้ง	< 0.001***
	ความเขียวใบ	0.003**
	ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (Fv/Fm)	0.136
ความเข้มข้นของสารอาหาร	ความยาวยอด	< 0.001***
	ความยาวราก	0.001***
	น้ำหนักแห้ง	< 0.001***
	ความเขียวใบ	< 0.001***
	ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (Fv/Fm)	< 0.001***
พันธุ์ข้าว x ความเข้มข้นของสารอาหาร	ความยาวยอด	0.911
	ความยาวราก	0.590
	น้ำหนักแห้ง	0.328
	ความเขียวใบ	0.193
	ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (Fv/Fm)	0.332

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ค่า $p \leq 0.05$

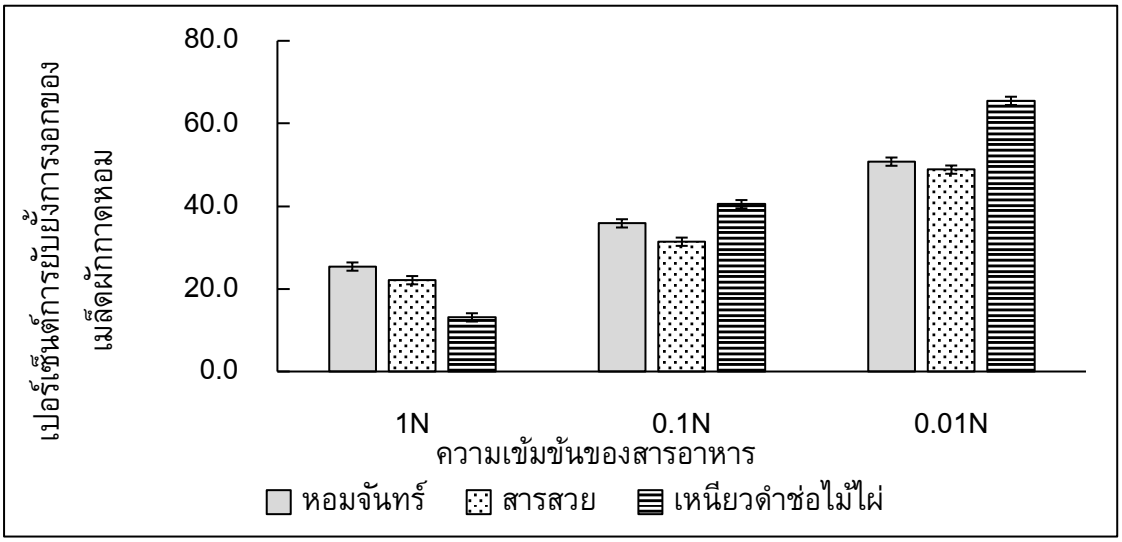
** แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ค่า $p \leq 0.01$

*** แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ค่า $p \leq 0.001$

3.3.2 ผลความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นของสารอาหารที่แตกต่างกันต่อผักกาดหอม

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม

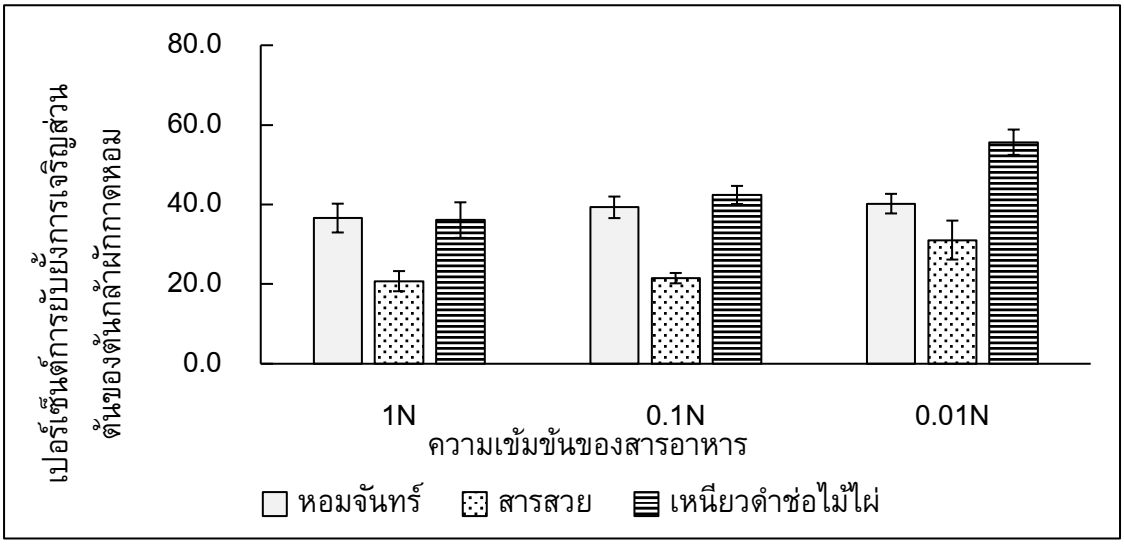
ผลจากการเพาะเมล็ดผักกาดหอมด้วยสารสกัดจากข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นต่างกัน เพื่อวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม พบว่ามีความแตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบในพันธุ์ข้าวเดียวกันพบว่าสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 1N มีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมได้น้อยที่สุด และสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 0.1 N และ 0.01N สามารถยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมเพิ่มขึ้นตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมระหว่างพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ พบว่าข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกเมื่อลดความเข้มข้นของสารอาหารลงมากที่สุด (ภาพที่ 30)



ภาพที่ 30 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE)

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งเจริญส่วนต้น

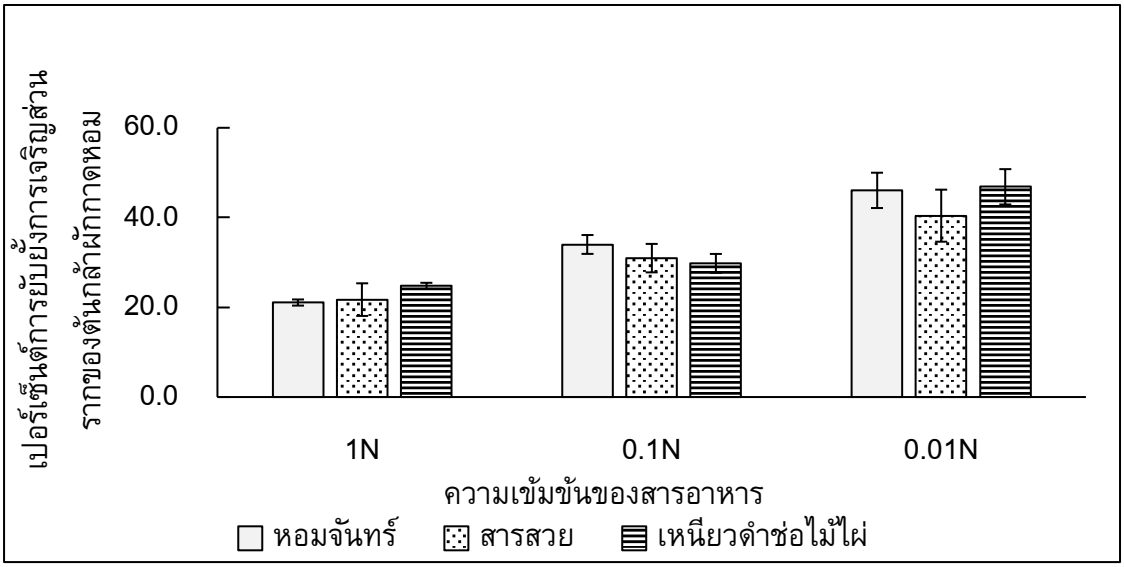
ผลจากการเพาะเมล็ดผักกาดหอมด้วยสารสกัดจากข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นต่างกัน เพื่อวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเจริญส่วนต้น พบว่ามีความแตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบการยับยั้งในพันธุ์ข้าวเดียวกันพบว่าสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 1N มีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในการยับยั้งเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอมน้อยที่สุด และสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร ความเข้มข้น 0.1 N และ 0.01N มีแนวโน้มในการยับยั้งเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอมเพิ่มขึ้นตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมระหว่างพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ พบว่าข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นเมื่อลดความเข้มข้นของสารอาหารลงมากที่สุดและเมื่อต้นข้าวแต่ละพันธุ์ได้รับสารอาหารลดลง 100 เท่า สารสกัดจากต้นข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอมเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือพันธุ์หอมจันทร์และสารสวยตามลำดับ (ภาพที่ 31)



ภาพที่ 31 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอมเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE)

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนราก

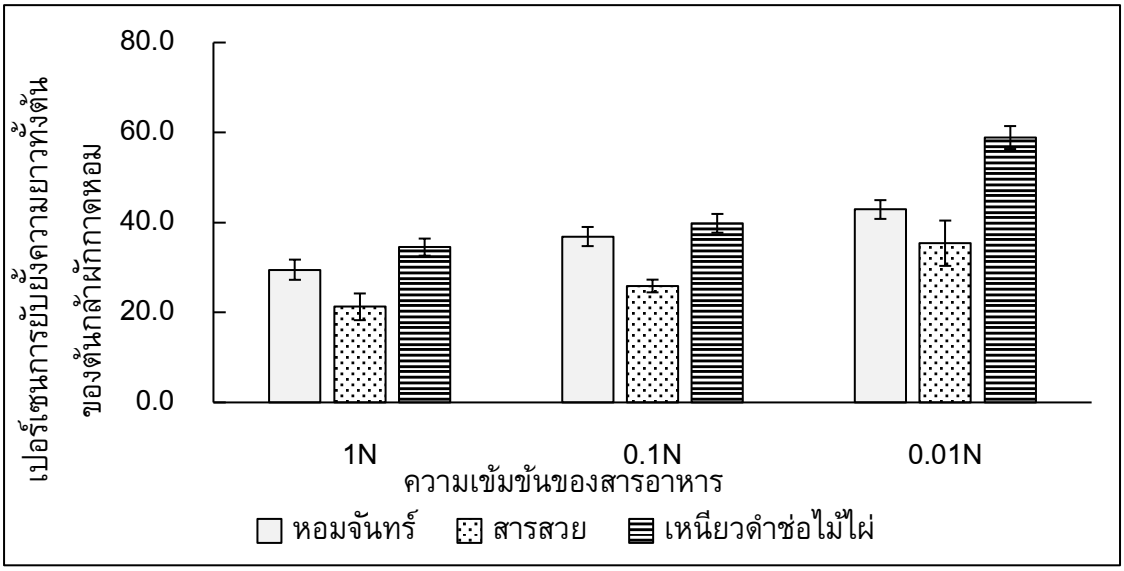
ผลจากการเพาะเมล็ดผักกาดหอมด้วยสารสกัดจากข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นต่างกัน เพื่อวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมโดยวัดจากความยาวราก พบว่าเมื่อเปรียบเทียบในพันธุ์ข้าวเดียวกันพบว่าสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 1N มีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในการยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอมน้อยที่สุด และสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร ความเข้มข้นของ 0.1 N และ 0.001N สามารถยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอมเพิ่มขึ้นตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมระหว่างพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ พบว่าข้าวพันธุ์หอมจันทร์มีอัตราการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากเมื่อลดความเข้มข้นของสารอาหารลงมากที่สุด (ภาพที่ 32)



ภาพที่ 32 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากต้นกล้าผักกาดหอมเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE)

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมโดยวัดจากความยาวทั้งต้น

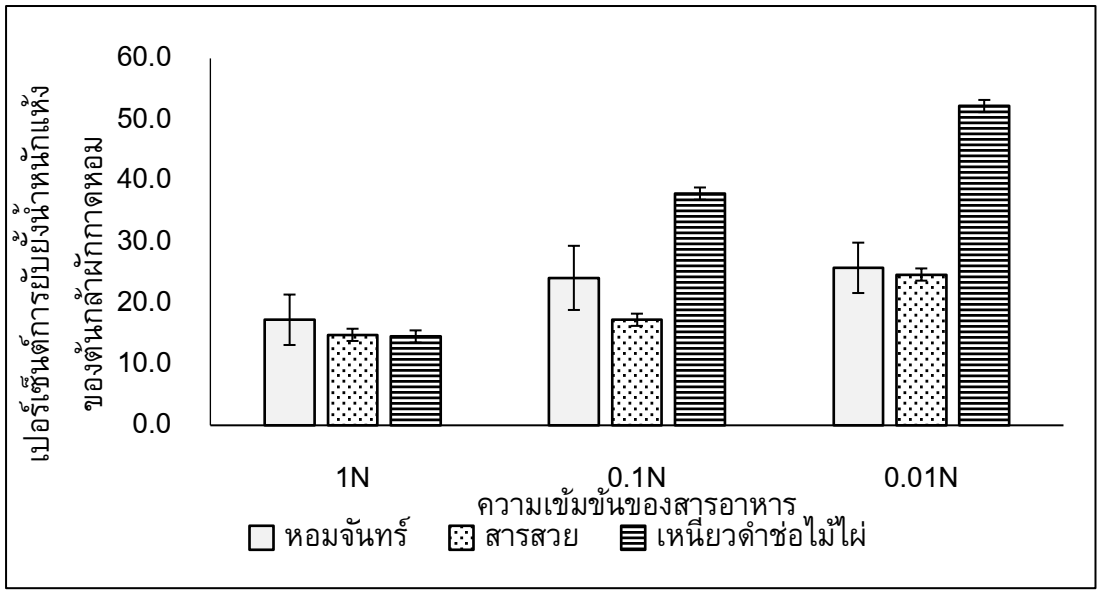
ผลจากการเพาะเมล็ดผักกาดหอมด้วยสารสกัดจากข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นต่างกัน เปรียบเทียบในพันธุ์ข้าวเดียวกันพบว่าสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 1N มีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในการยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอมน้อยที่สุด และสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร ความเข้มข้น 0.1N และ 0.01N สามารถยับยั้งความยาวของต้นกล้าผักกาดหอมเพิ่มขึ้นตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมระหว่างพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ พบว่าข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นเมื่อลดความเข้มข้นของสารอาหารลงมากที่สุดและเมื่อต้นข้าวแต่ละพันธุ์ได้รับสารอาหารลดลง 100 เท่า สารสกัดจากต้นข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอมเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือพันธุ์หอมจันทร์และสารสวยตามลำดับ (ภาพที่ 33)



ภาพที่ 33 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอมเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE)

- เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมโดยวัดจากน้ำหนักแห้ง

ผลจากการเพาะเมล็ดผักกาดหอมด้วยสารสกัดจากข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นต่างกัน เพื่อวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมโดยวัดจากน้ำหนักแห้ง พบว่าเมื่อเปรียบเทียบในพันธุ์ข้าวเดียวกันพบว่าสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 1N มีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในการยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมน้อยที่สุด และสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร ความเข้มข้น 0.1 N และ 0.01N สามารถยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมเพิ่มขึ้นตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมระหว่างพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ พบว่าข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งเมื่อลดความเข้มข้นของสารอาหารลงมากที่สุดและเมื่อต้นข้าวแต่ละพันธุ์ได้รับสารอาหารลดลง 10 เท่า และ 100 เท่า สารสกัดจากต้นข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือพันธุ์หอมจันทร์และสารสวยซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 34)

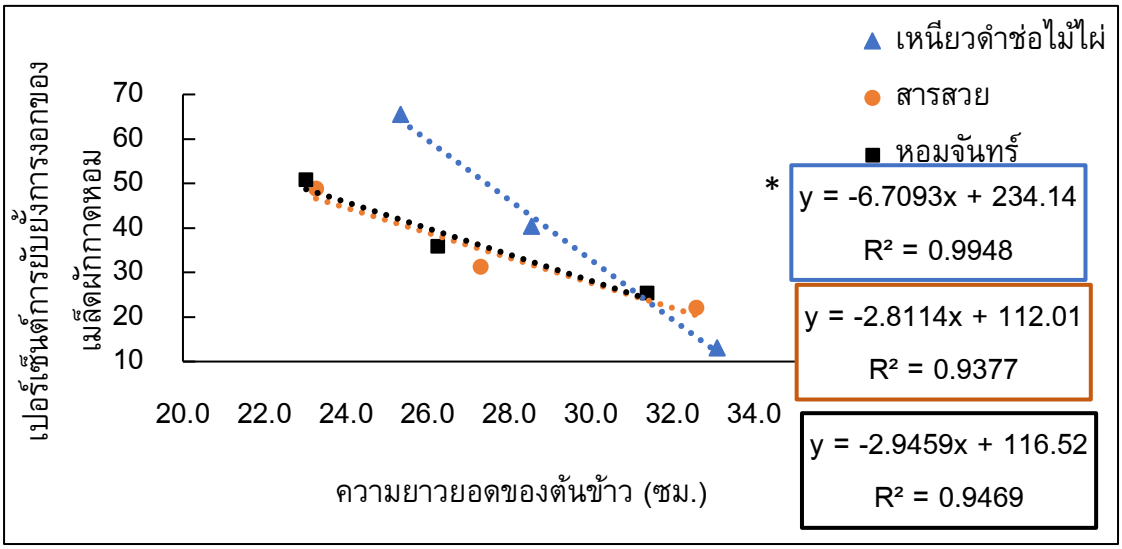


ภาพที่ 34 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งต้นกล้าผักกาดหอมเมื่อได้รับสารสกัดจากต้นข้าว 3 สายพันธุ์เมื่อปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่ต่างกัน (means ± SE)

3.3.3 การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ระหว่างการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารต่างกัน

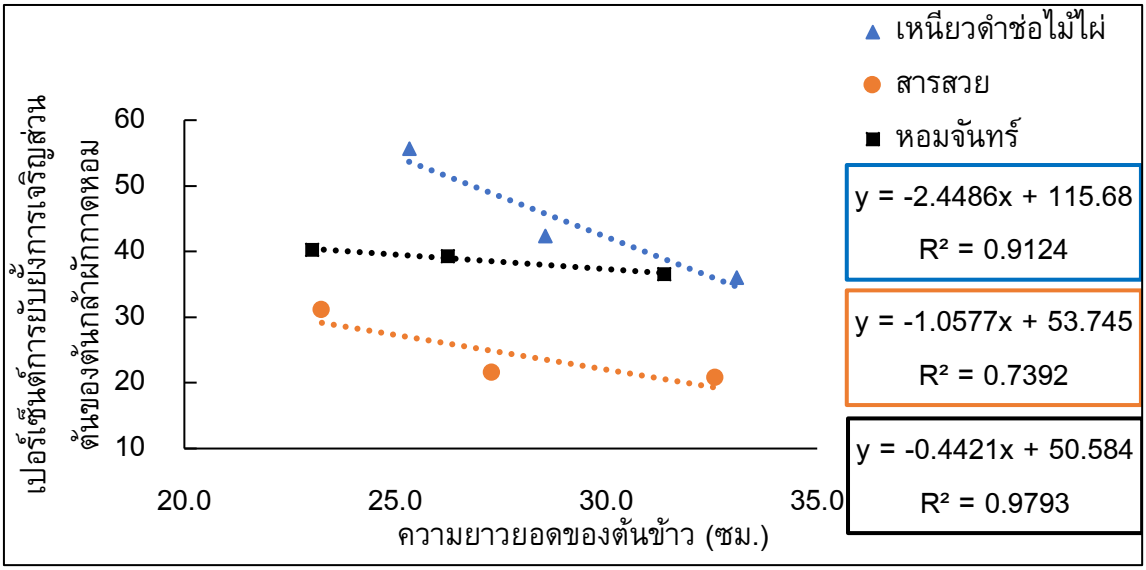
เมื่อนำค่าการเจริญเติบโตของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ซึ่งได้แก่ค่าความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักแห้ง ความเขียวใบ และประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดของใบข้าวในสภาวะที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าว ซึ่งได้แก่เปอร์เซ็นต์ในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนยอด เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนราก เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้น และเปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้น พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบ โดยต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารต่ำจะมีการเจริญเติบโตต่ำแต่มีความสามารถทางอัลลีโลพาทีสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารสูงกว่า ดังนี้

- ความยาวยอดของต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม



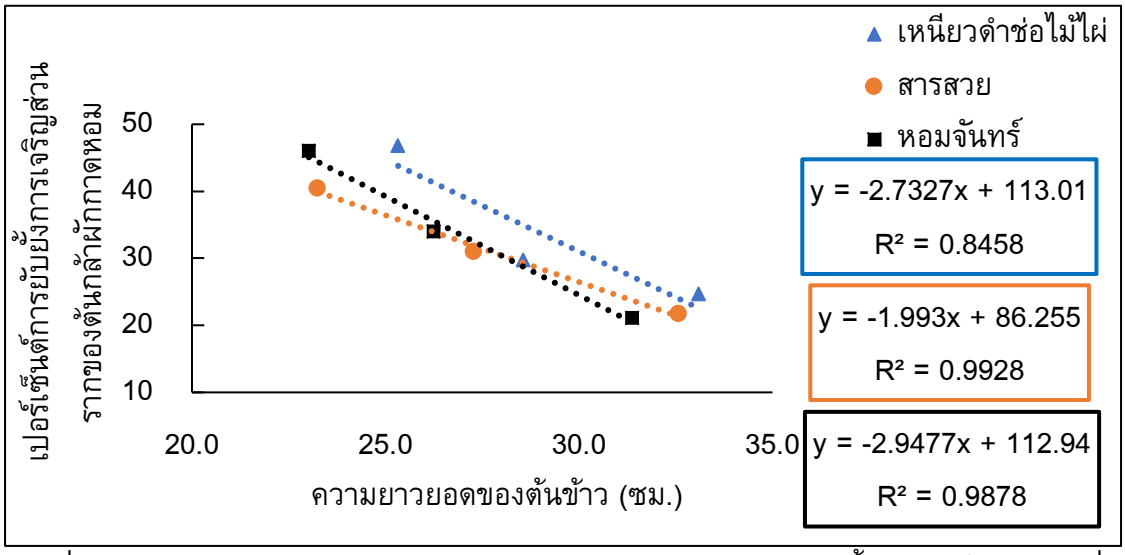
ภาพที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวยอดของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม (* แสดงความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรทั้งสองในกราฟ ($p=0.049$))

- ความยาวยอดของต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม



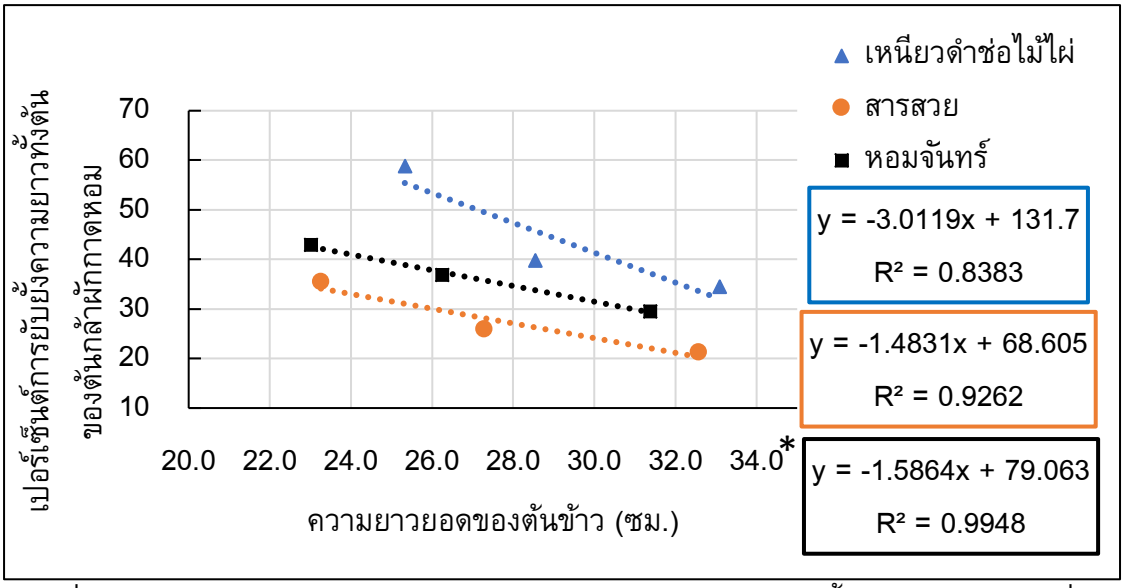
ภาพที่ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวยอดของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม

- ความยาวยอดของต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม



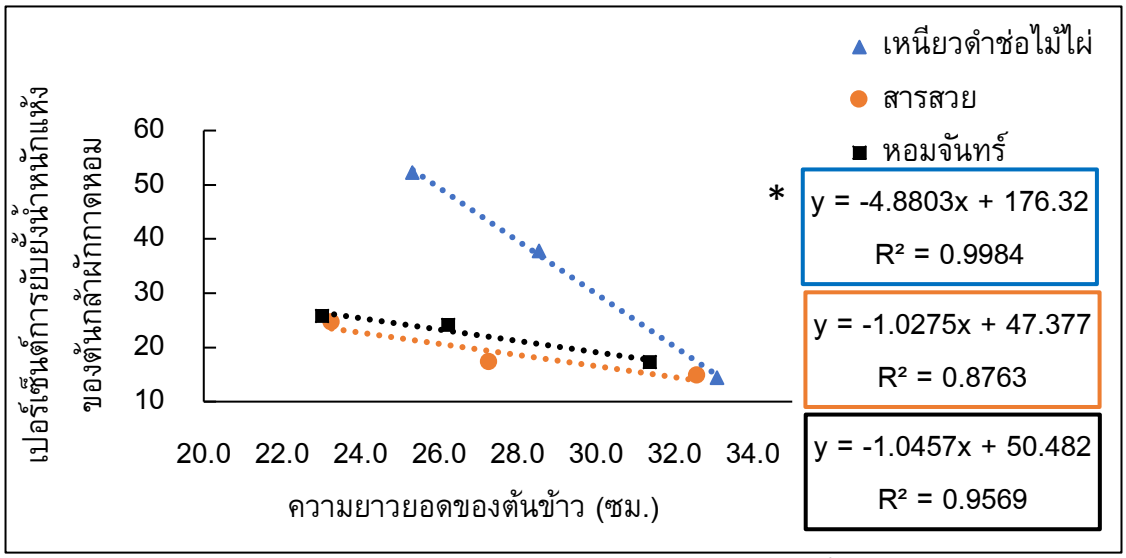
ภาพที่ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวยอดของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม

- ความยาวยอดของต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม



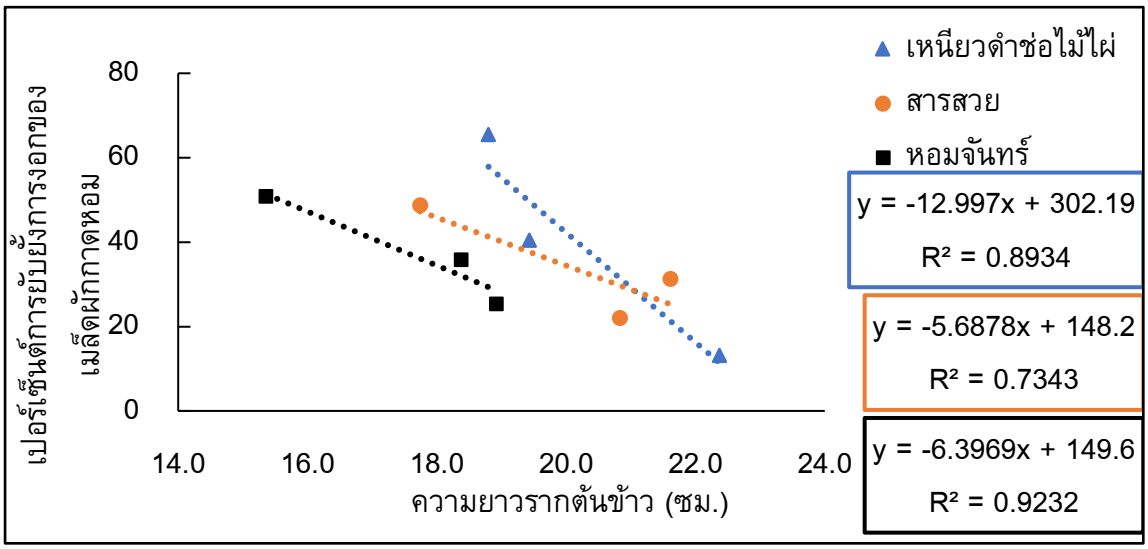
ภาพที่ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวยอดของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม (* แสดงความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรทั้งสองในกราฟ (p=0.049))

- ความยาวยอดของต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม



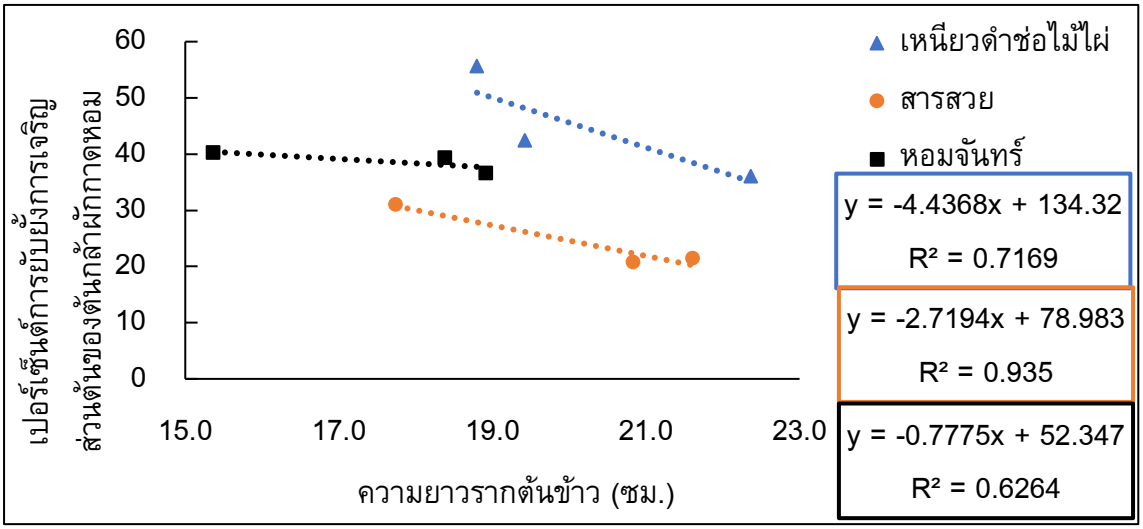
ภาพที่ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวยอดของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม (* แสดงความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรทั้งสองในกราฟ (p=0.025))

- ความยาวรากต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม



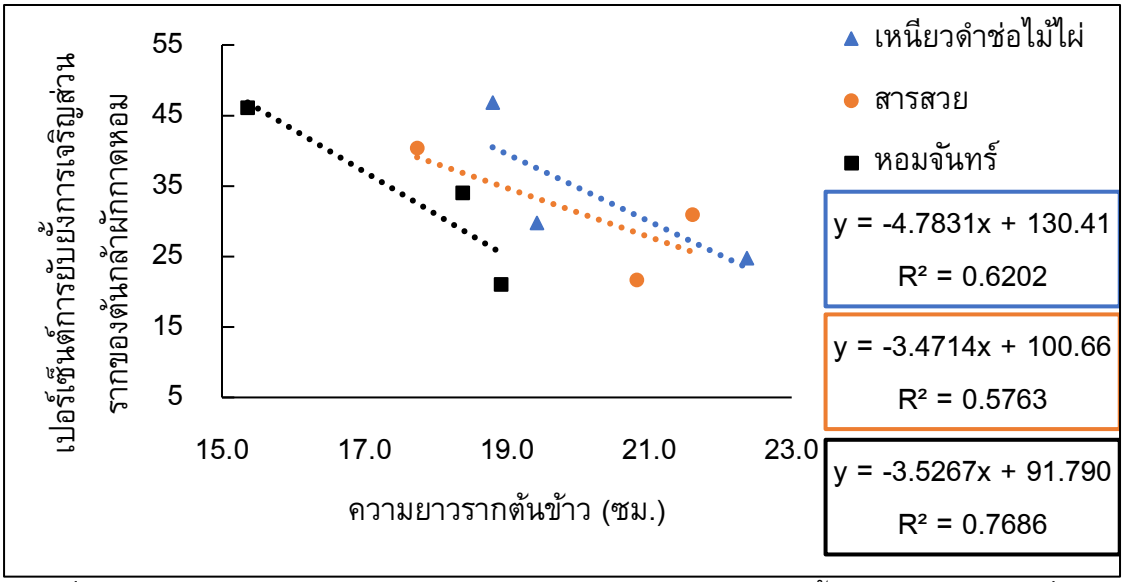
ภาพที่ 40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม

- ความยาวรากต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม



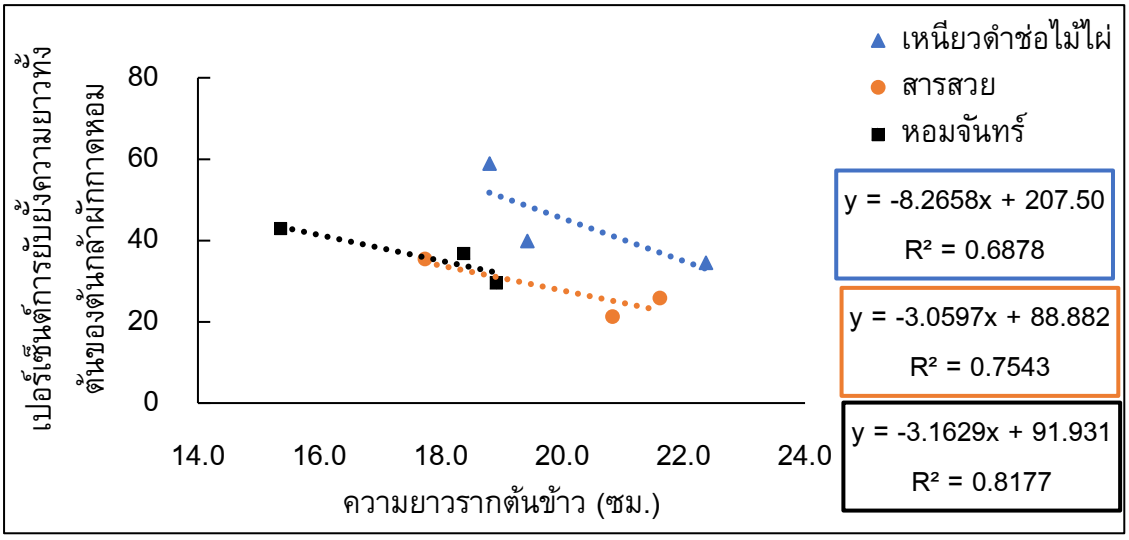
ภาพที่ 41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม

- ความยาวรากต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม



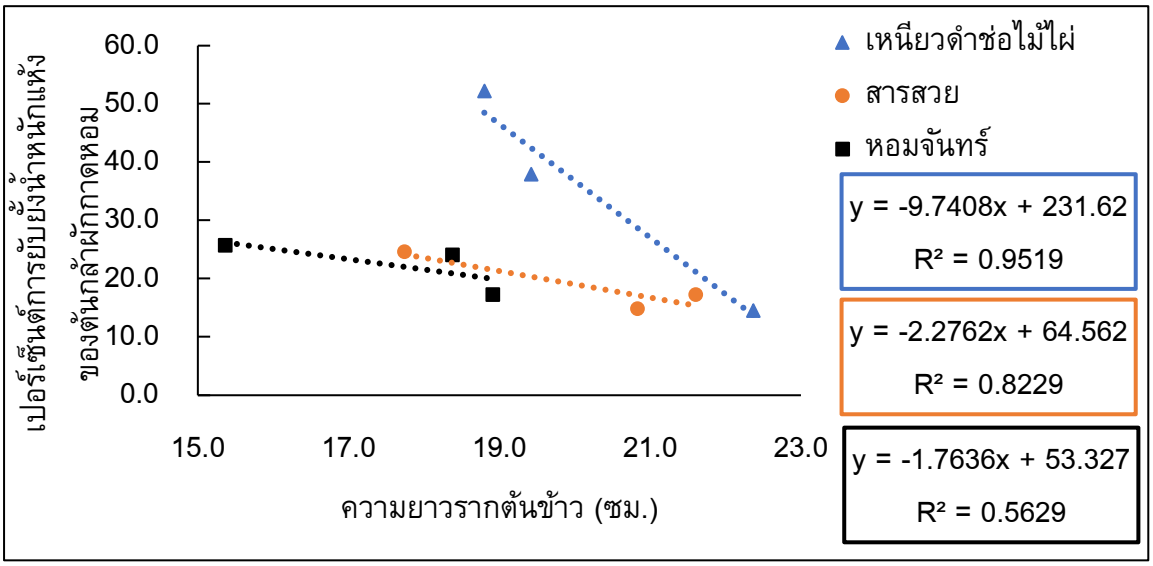
ภาพที่ 42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม

- ความยาวรากต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม



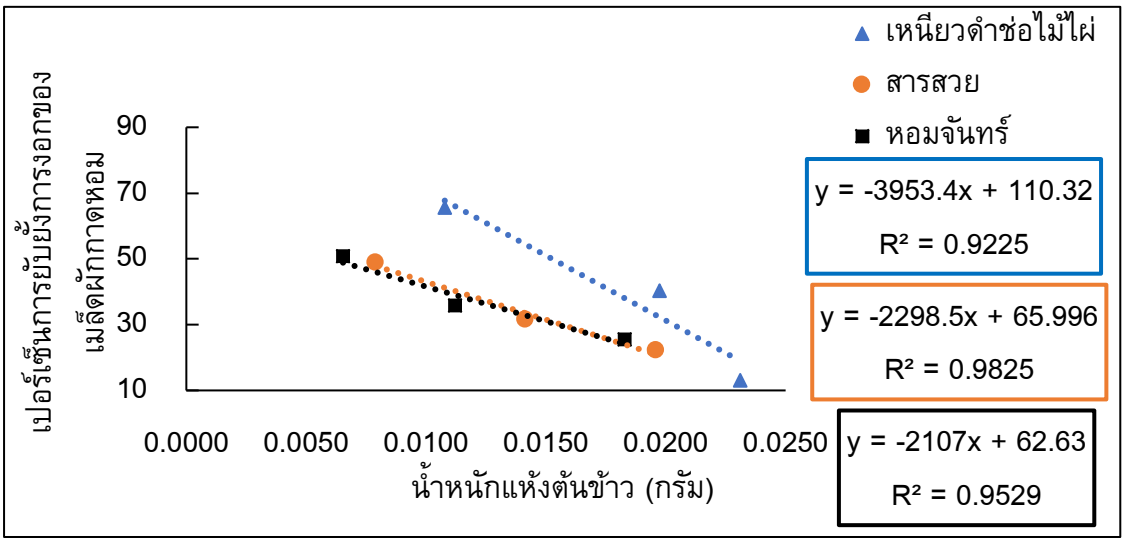
ภาพที่ 43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม

- ความยาวรากต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม



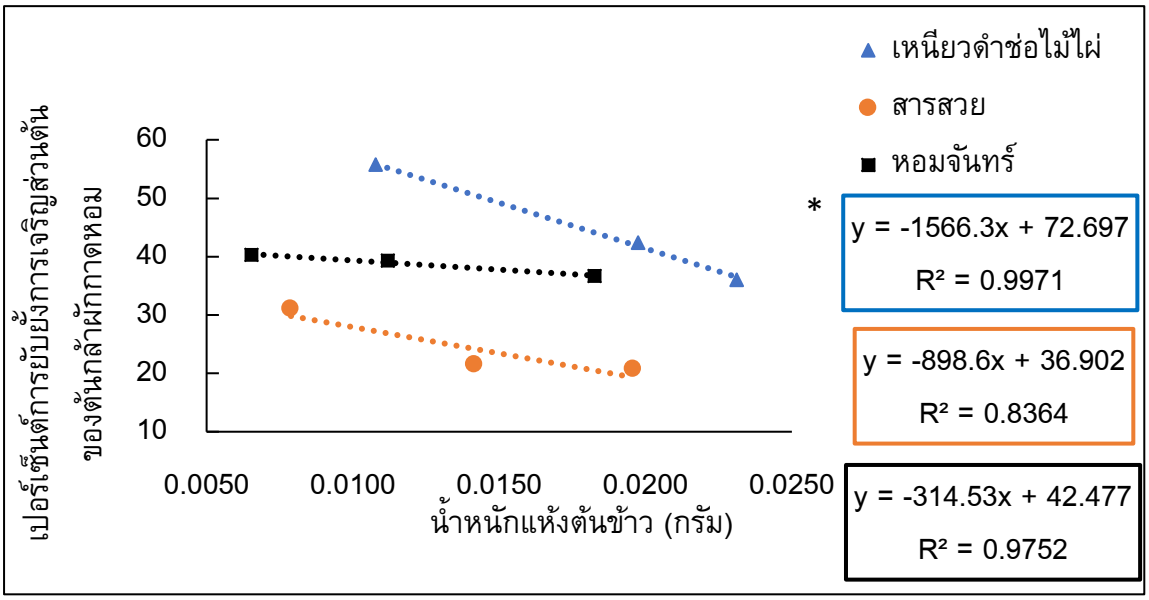
ภาพที่ 44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม

- น้ำหนักแห้งต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม



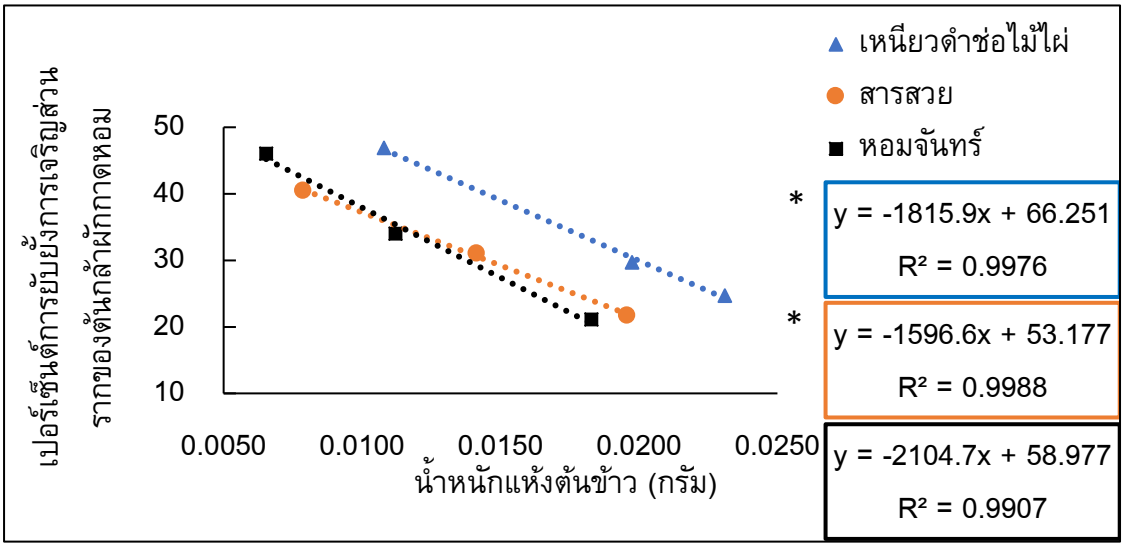
ภาพที่ 45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม

- น้ำหนักแห้งต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม



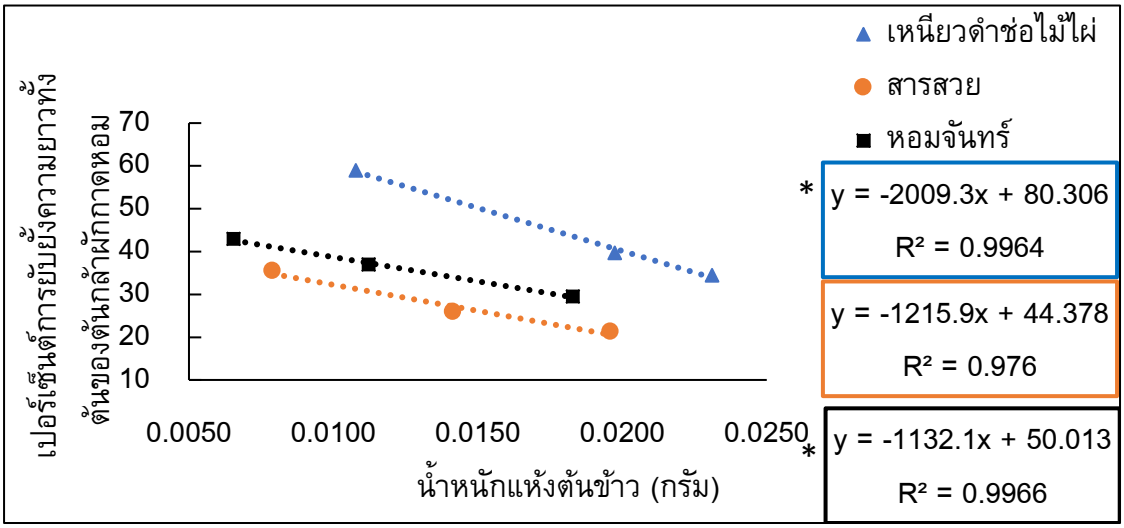
ภาพที่ 46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม (* แสดงความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรทั้งสองในกราฟ (p=0.032))

- น้ำหนักแห้งต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม



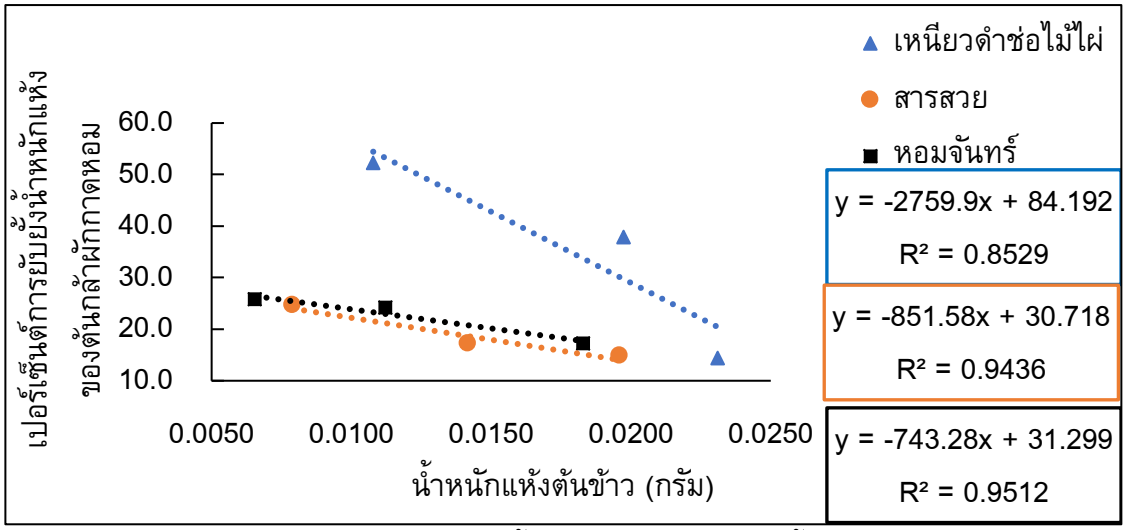
ภาพที่ 47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม (* แสดงความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรทั้งสองในกราฟ (p=0.033 สำหรับพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่และ p=0.024 สำหรับพันธุ์สารสวย))

- น้ำหนักแห้งต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม



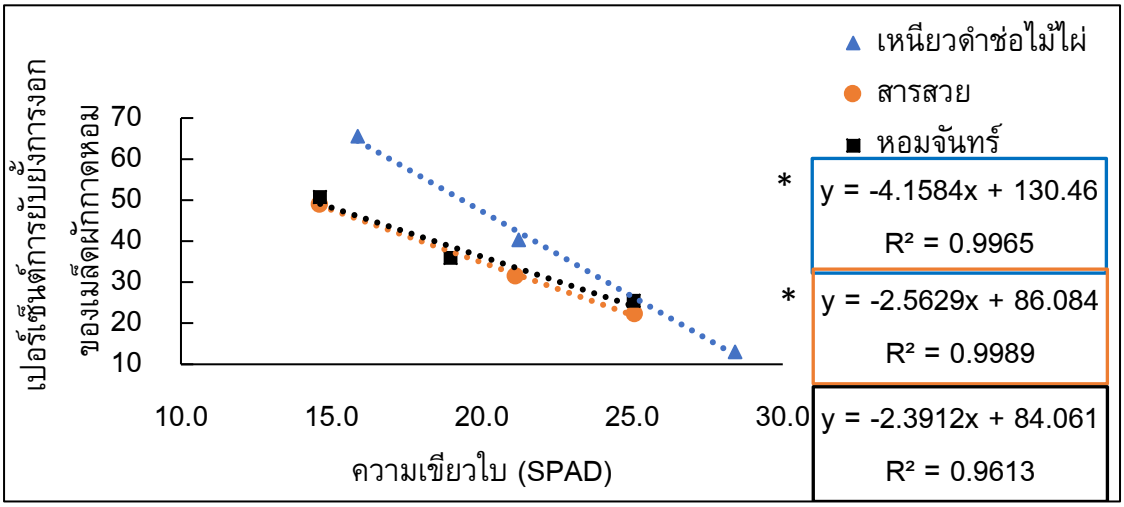
ภาพที่ 48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม (* แสดงความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรทั้งสองในกราฟ (p=0.040 สำหรับพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่ และ p=0.037 สำหรับพันธุ์หอมจันทร์))

- น้ำหนักแห้งต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม



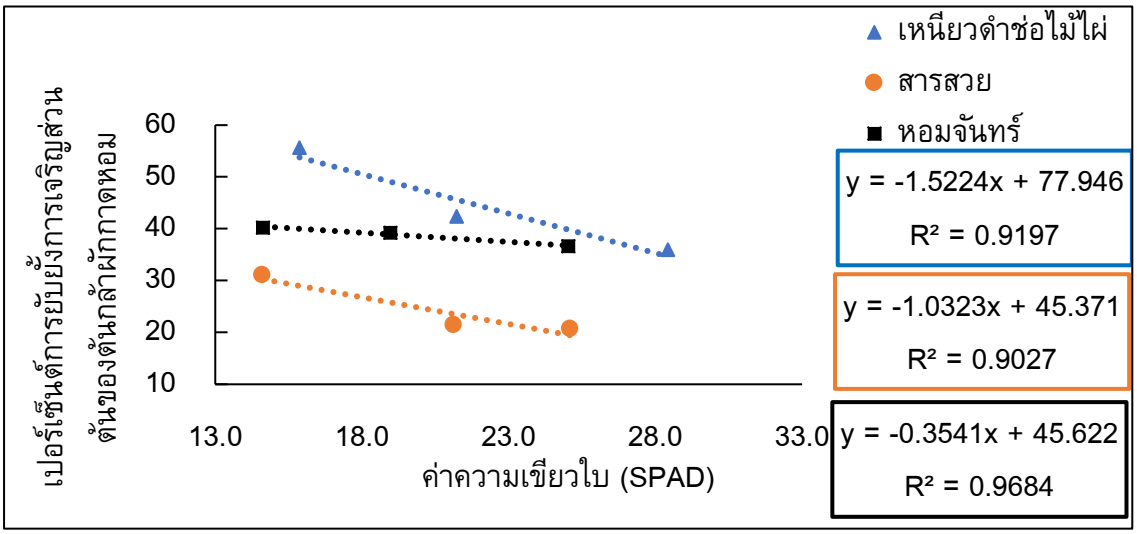
ภาพที่ 49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม

- ความเขียวใบของต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม



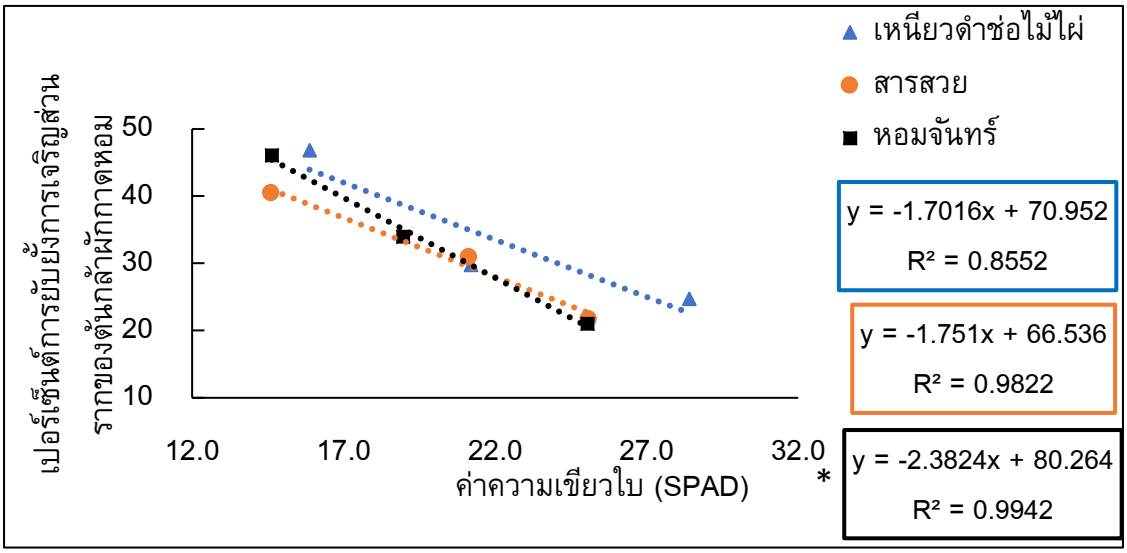
ภาพที่ 50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม (* แสดงความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรทั้งสองในกราฟ (p=0.038 สำหรับพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่ และ p=0.021 สำหรับพันธุ์สารสวย))

- ความเขียวใบของต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม



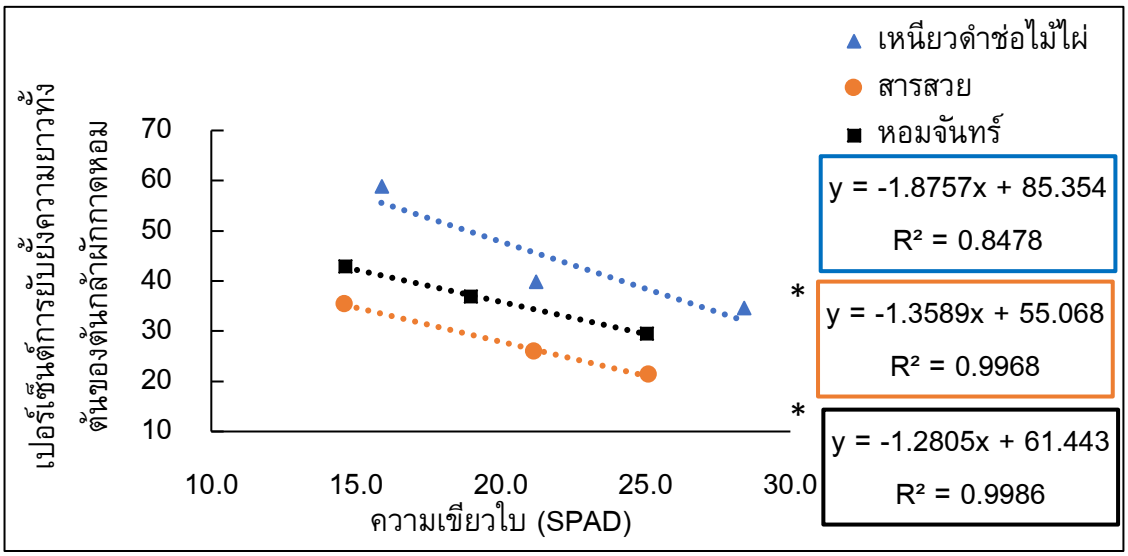
ภาพที่ 51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม

- ความเขียวใบของต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม



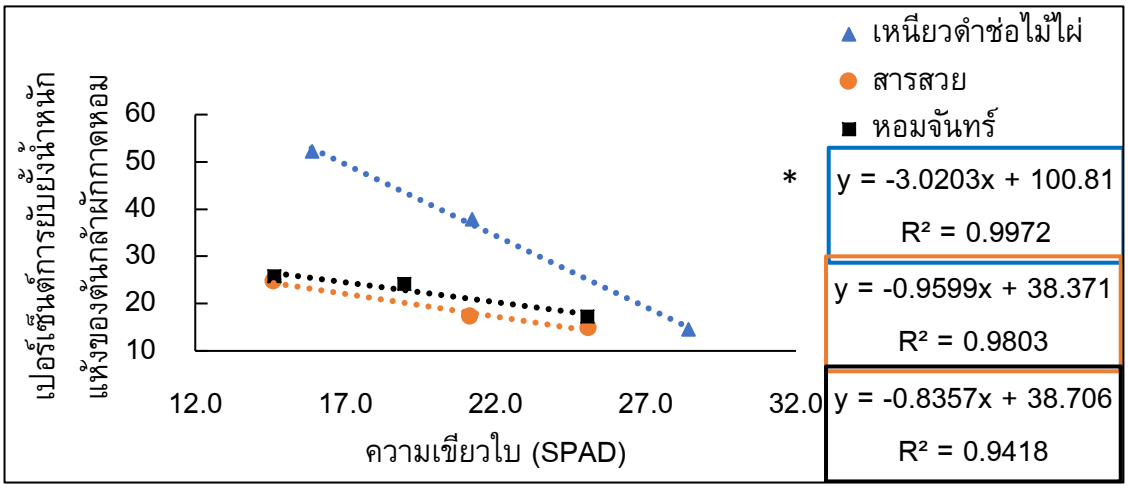
ภาพที่ 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม (* แสดงความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรทั้งสองในกราฟ (p=0.049))

- ความเขียวใบของต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม



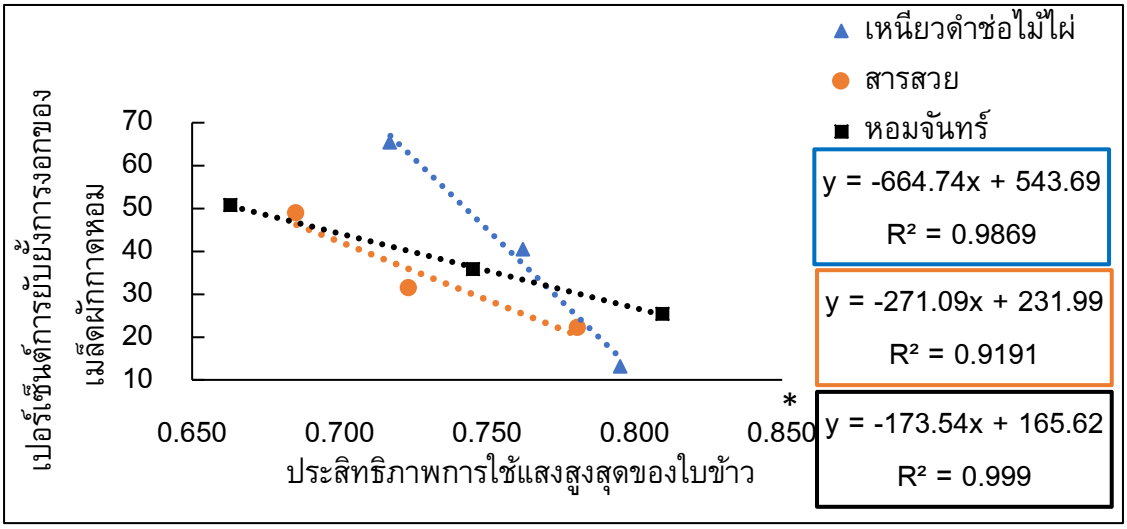
ภาพที่ 53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม (* แสดงความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรทั้งสองในกราฟ (p=0.036 สำหรับพันธุ์สารสวย และ p=0.024 สำหรับพันธุ์หอมจันทร์))

- ความเขียวใบของต้นข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม



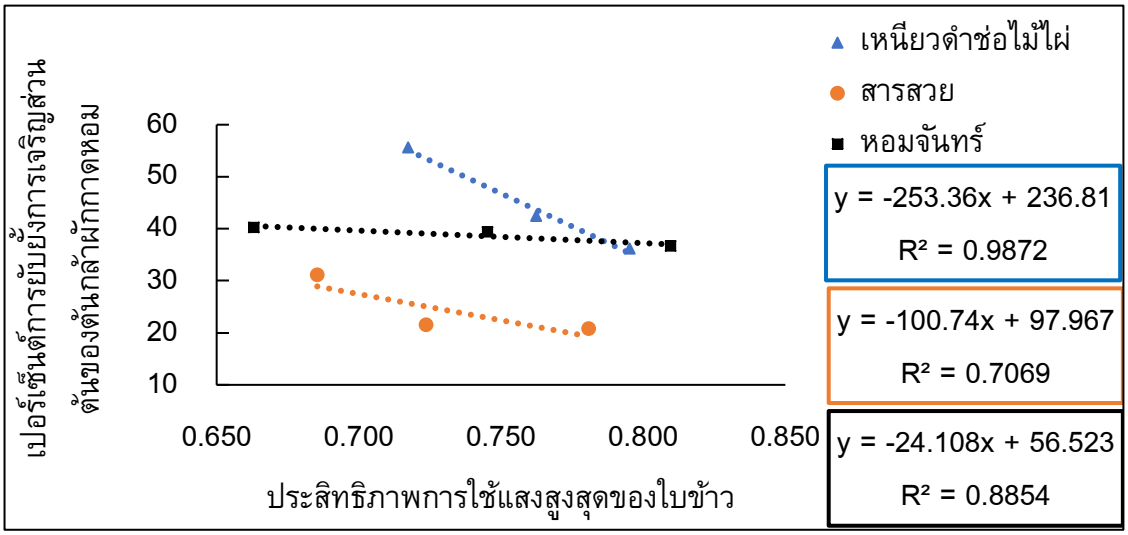
ภาพที่ 54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม (* แสดงความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรทั้งสองในกราฟ (p=0.033))

- ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม



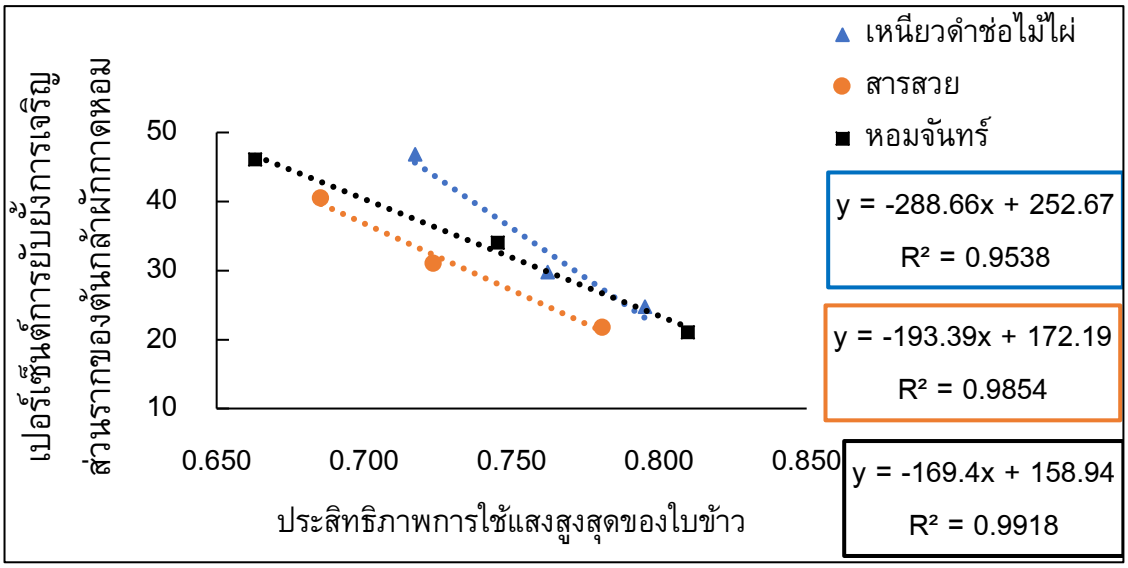
ภาพที่ 55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม (* แสดงความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรทั้งสองในกราฟ (p=0.022))

- ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม



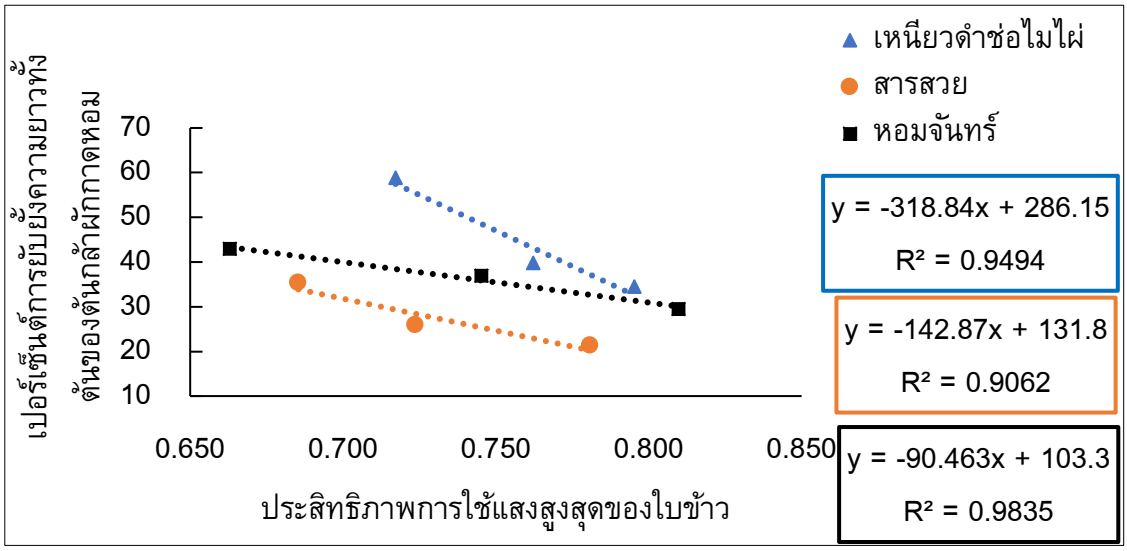
ภาพที่ 56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม

- ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม



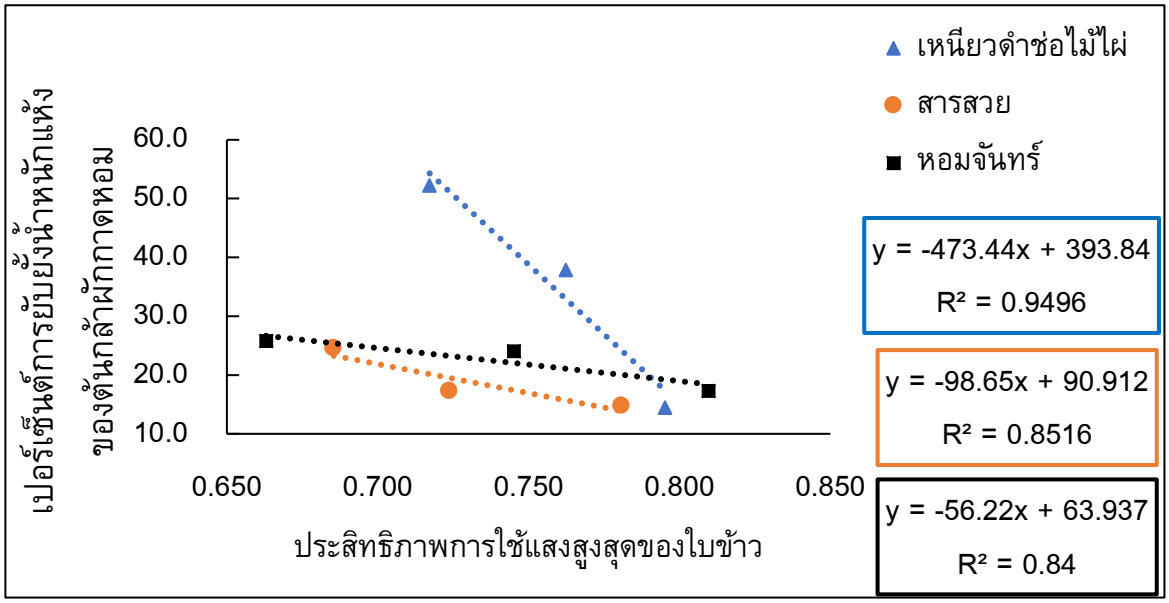
ภาพที่ 57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม

- ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม



ภาพที่ 58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม

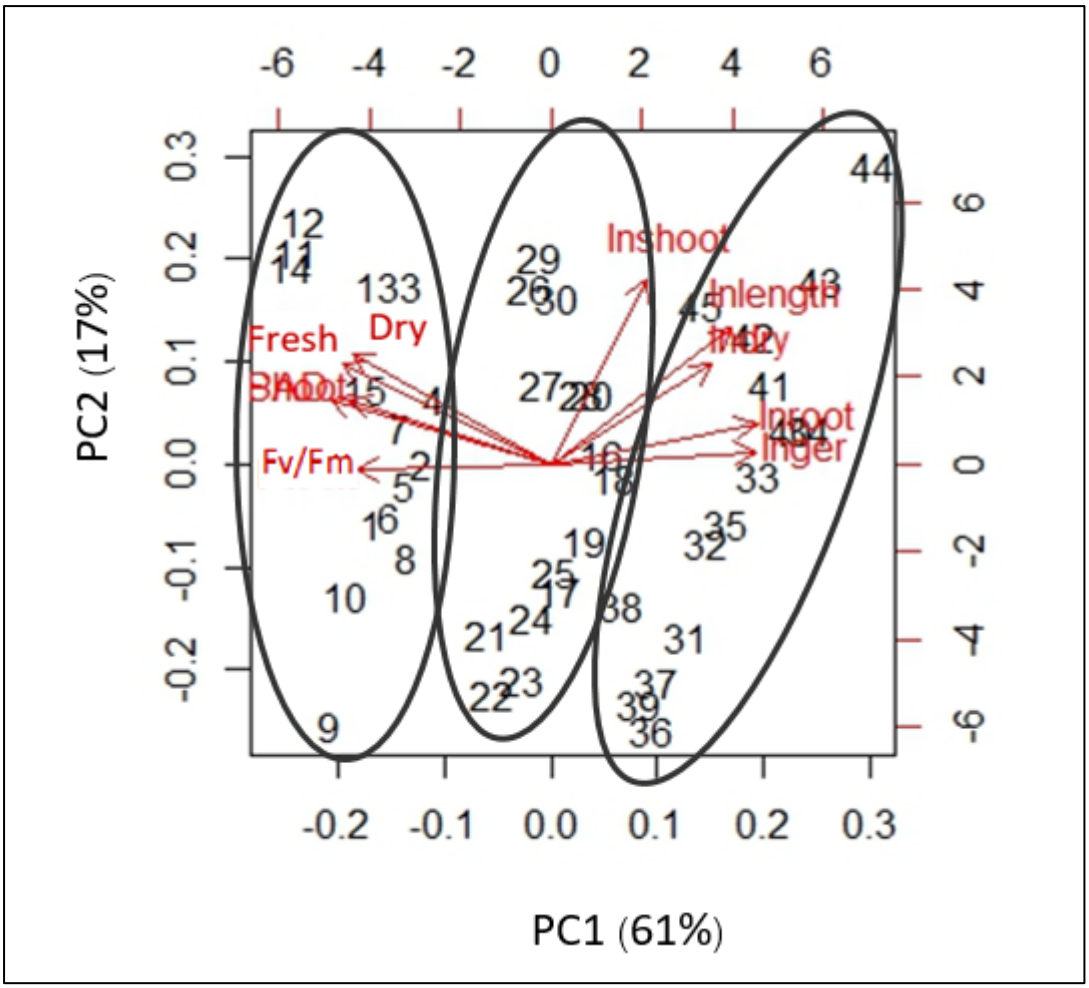
- ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าว – เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม



ภาพที่ 59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม

3.3.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ของการเจริญเติบโตของข้าวร่วมกับความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ของการเจริญเติบโตของข้าวและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในการยับยั้งผักกาดหอม (ภาพที่ 60) พบว่าแกนของการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ ความยาวยอด (Shoot) น้ำหนักสด (Fresh) น้ำหนักแห้ง (Dry) ความเขียวใบ (SPAD) และประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสูงสุด (Fv/Fm) วางตัวอยู่ในด้านตรงกันข้ามกับแกนของความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในการยับยั้งการงอก (Inger) การยับยั้งการเจริญส่วนต้น (Inshoot) การยับยั้งการเจริญส่วนราก (Inroot) การยับยั้งความยาวทั้งต้น (Inlength) และการยับยั้งน้ำหนักแห้ง (Indry) ของผักกาดหอม อีกทั้งยังพบว่าข้อมูลแต่ละซ้ำของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารสูตร Hoagland ปกติ (1N หมายเลข 1-15) มีแนวโน้มกระจายอยู่บริเวณแกนของการเจริญเติบโตของข้าว ข้อมูลของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารลดลง 10 เท่า (0.1N หมายเลข 16-30) มีแนวโน้มการกระจายตัวไปบริเวณช่วงกลางของกราฟ และข้อมูลของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารลดลง 100 เท่า (0.01N หมายเลข 31-45) มีแนวโน้มกระจายอยู่บริเวณแกนความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว



ภาพที่ 60 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของการเจริญเติบโตของข้าวร่วมกับความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

บทที่ 4

บทวิจารณ์

4.1 ผลของความเครียดแสงต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าว

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของความเครียดจากความเข้มแสงต่ำต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวพบว่าเมื่อต้นข้าวได้รับความเข้มแสงลดลงซึ่งได้รับแสงเพียง 50% และ 10% ของความเข้มแสงธรรมชาติจะมีการเจริญเติบโตที่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับแสง 100% ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Lie และคณะ ในปี 2014 ซึ่งทำการศึกษาผลของความเข้มแสงต่ำต่อการแสดงออกทางสรีรวิทยาและผลผลิตทางการเกษตรของข้าว พบว่าข้าวที่ได้รับความเข้มแสงต่ำมีการเจริญเติบโตและน้ำหนักแห้งลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อพืชได้รับความเข้มแสงต่ำจะส่งผลให้มีอัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำด้วย ซึ่งอัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเป็นค่าที่บอกปริมาณอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ผ่านระบบแสงสองในกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในการสังเคราะห์ด้วยแสง (ธีรพัฒน์, 2557) ซึ่งจากการศึกษาของ Beer และ Björk ในปี 2000 พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับอัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ดังนั้นเมื่อปลูกต้นข้าวในสภาวะความเข้มแสงแสงต่ำจึงส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงทำให้มีการเจริญเติบโตที่ลดลง และยังสอดคล้องกับการศึกษาในต้นกล้า *Betula pubescens* Ehrh และ *Betula pendula* Roth โดย Portsmuth และ Niinemets ในปี 2006 ซึ่งพบว่าเมื่อพืชทั้งสองได้รับความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำหนักแห้งของพืชทั้งสองเพิ่มขึ้นด้วย การศึกษาของ Grechi และคณะ ในปี 2007 พบว่าเมื่อต้นองุ่นได้รับความเข้มแสงเพิ่มขึ้น (13.8, 8.4 and 5.3 mol PAR m^{-2} day^{-1}) ต้นองุ่นจะมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น 30% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม และเมื่อความเข้มแสงลดลงต้นองุ่นจะมีน้ำหนักแห้งลดลง 30% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม และจากการศึกษาพบว่าต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะความเข้มแสงลดลง (50% และ 10%) มีแนวโน้มของศักยภาพทางอัลลีโลพาทีลดลงตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับแสง 100% กล่าวคือสารสกัดที่ได้จากต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะความเข้มแสงตามธรรมชาติมีแนวโน้มในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมได้ดีกว่าสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะความเข้มแสงที่ 50% และ 10% ซึ่งหากเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวในสภาวะที่ได้รับความเข้มแสงต่างกันพบว่า ในสภาวะที่ต้นข้าวได้รับความเข้มแสงต่ำจะทำให้มีการเจริญเติบโตที่ลดลงและทำให้ศักยภาพทางอัลลีโลพาทีลดลงไปด้วย ซึ่งตรงกับการศึกษาของ Hou และคณะในปี 2010 ที่ได้ศึกษาต้นชะเอมจีน (*Glycyrrhiza uralensis*) พบว่า เมื่อปลูกต้นชะเอมจีนในสภาวะความเข้มแสงต่ำจะทำให้มีการสะสมของเมแทบอไลท์ทุติยภูมิในรากของชะเอมจีนลดลง และการศึกษา

ของ Takabayashi และคณะในปี 1994 ซึ่งพบว่าเมื่อปลูก *Phaseolus lunatus* L. ในสภาวะความเข้มแสงที่แตกต่างกัน ต้นที่ปลูกในความเข้มแสงมากกว่าจะมีการปลดปล่อยสารระเหยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมได้มากกว่าต้นที่ปลูกในสภาวะความเข้มแสงต่ำ รวมทั้งการศึกษาของ Murase และคณะในปี 2003 ซึ่งทำการศึกษาในพืชสกุล *Macaranga* ที่มีการตอบสนองทางเคมีต่อแสงพบว่า เมื่อพืชได้รับความเข้มแสงต่ำจะมีการหลั่งสารเคมี (carbon-based metabolites) เพื่อป้องกันตัวเองลดลงเมื่อเทียบกับพืชที่ปลูกในสภาวะความเข้มแสงสูงกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อปลูกพืชในสภาวะความเข้มแสงต่ำจะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ส่งผลให้ความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตที่สะสมในพืชลดลง ทำให้เกิดข้อจำกัดของพืชในการสร้างสารอัลลีโลพาทิกที่ต้องใช้โครงสร้างคาร์บอนในการผลิตสารนั้น ดังนั้นพืชที่ปลูกในสภาวะความเข้มแสงต่ำกว่าจึงมีโอกาสที่จะสร้างและปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทิกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยกว่าพืชที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับความเข้มแสงสูงกว่า (Bryant et al., 1983)

4.2 ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าว

- ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตของข้าว

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวพันธุ์หอมจันทร์ในสภาวะที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่ต่างกัน คือ 1N (สูตร Hoagland ปกติ), ความเข้มข้นของสารอาหารลดลง 10 เท่า (0.1N) และ 100 เท่า (0.01N) พบว่าเมื่อปลูกข้าวพันธุ์หอมจันทร์ในสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่มีความเข้มข้นลดลง ทำให้ผลด้านการเจริญเติบโตลดลง ไม่ว่าจะเป็นความยาวยอด ความยาวราก และน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างพันธุ์ข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ความเข้มข้นปกติ (1N) และความเข้มข้นของสารอาหารลดลง 100 เท่า (0.01N) ทั้งนี้เนื่องจากธาตุอาหารมีความสำคัญต่อพืช พืชที่ได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นครบทุกธาตุและในสัดส่วนที่เหมาะสมก็จะมีการเจริญเติบโตได้ดี เมื่อพืชไม่ได้รับธาตุอาหารหรือได้รับในปริมาณที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขาดธาตุอาหารหลัก เช่น N P K กล่าวคือ ไนโตรเจน มีหน้าที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีน ฟอสฟอรัส มีหน้าที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของราก โพแทสเซียม เป็นธาตุที่ช่วยในการสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบไปสู่ผล ช่วยให้พืชแข็งแรง (ยงยุทธ และคณะ, 2541) พืชที่ได้รับสารอาหารไม่ครบถ้วนจึงมีการแสดงอาการที่ผิดปกติ (physiological disorders) ให้เห็น เช่น ใบข้าวมีความเขียวลดลง เนื่องจากขาดธาตุ N Mg เป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ มีผลทำให้ปริมาณรงควัตถุที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ซึ่งคลอโรฟิลล์เป็นสารโมเลกุลใหญ่มีหน้าที่โดยตรงในการเก็บเกี่ยวแสง (light harvesting) รวบรวมแสงและส่งผ่านเป็นทอด ๆ ไปยังศูนย์เกิดปฏิกิริยา

(photosynthetic reaction centers) ซึ่งความเข้มข้นของรงควัตถุนี้มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้นจึงส่งผลต่ออัตราและความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Zhao et al., 2017) อีกทั้งเมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของระบบแสงสอง (Fv/Fm) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชที่เกิดจากความเครียดจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีค่าปกติประมาณ 0.79-0.84 หากได้ค่าต่ำกว่านี้จะแสดงถึงภาวะเครียดในพืช (Choi et al., 2016) จากการทดลองพบว่า ข้าวพันธุ์หอมจันทร์ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 1N มีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 0.812±0.009 ซึ่งพบว่าค่าอยู่ในช่วงปกติ ในขณะที่ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น 0.1N และ 0.01N มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Guidi และคณะในปี 1997 และ Janušauskaite และ Feiziene ในปี 2012 ที่พบว่าเมื่อพืชขาดไนโตรเจนจะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดลดลง อีกทั้งในการศึกษาของ Shen และ Li ในปี 2011 เกี่ยวกับผลของการให้น้ำและปุ๋ยต่อค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของระบบแสงสอง (Fv/Fm) ของธัญพืชพบว่าเมื่อให้ธาตุอาหารแก่ธัญพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ทำให้ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้ให้ธาตุอาหาร ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นล้วนส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลงในที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kang และ Van Lersel ในปี 2002 ซึ่งทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลาย Hoagland ต่อการเจริญเติบโตของไม้ประดับหลายชนิด พบว่า เมื่อลดความเข้มข้นของสารละลายลง เป็น 0.5 0.25 และ 0.125 เท่า ทำให้พืชมีค่าความเขียวใบ ความยาวยอด และน้ำหนักแห้งลดลงตามลำดับ

- ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าว

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวพันธุ์หอมจันทร์ในสภาวะที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่ต่างกัน คือ 1N (สูตร Hoagland ปกติ), ความเข้มข้นของสารอาหารลดลง 10 เท่า (0.1 N) และ 100 เท่า (0.01N) พบว่าเมื่อปลูกข้าวในสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่มีความเข้มข้นลดลง ข้าวพันธุ์หอมจันทร์มีศักยภาพทางอัลลีโลพาทีเพิ่มขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธีสกัดสารอัลลีโลพาทิกด้วยน้ำซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันในการศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพทางอัลลีโลพาที เช่น การศึกษาของ Alam และคณะในปี 2018 และ Javaid และคณะในปี 2006 อีกทั้งจากการศึกษาของ Javaid และคณะในปี 2006 พบว่าสารสกัดจากส่วนยอดของต้นข้าวมีความสามารถในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของวัชพืชได้ดีกว่าสารสกัดจากรากของต้นข้าว ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้ จึงใช้สารสกัดจากส่วนยอดของข้าวโดยทำการวัดศักยภาพทางอัลลีโลพาทีกับเมล็ดผักกาดหอมเพื่อวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมโดยวัดจากความยาวยอด

การเจริญส่วนราก ความยาวทั้งต้นและน้ำหนักแห้ง เนื่องจากผักกาดหอมเป็นพืชที่มีความไวต่อการทดสอบความสามารถทางอัลลีโลพาที (Ferreira and Aquila, 2000) จากการศึกษาพบว่า สารสกัดจากส่วนยอดของข้าวพันธุ์หอมจันทร์ที่ปลูกในความเข้มข้นของสารอาหารที่ลดลง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมโดยวัดจากการเจริญส่วนต้น การเจริญส่วนราก ความยาวทั้งต้นและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kato-Noguchi ในปี 2011 ที่ได้ทำการศึกษาศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นของสารอาหารสูตร Hoagland ที่แตกต่างกัน พบว่าสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารต่ำ มีความสามารถในการยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าปล้องละมานมากกว่าสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารสูงกว่า และการศึกษาความสัมพันธ์ของการสร้างสารเมแทบอไลต์ปฐมภูมิและทุติยภูมิในใบของต้นอ่อนมะเขือเทศในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรต ของ Le Bot และคณะในปี 2009 พบว่าเมื่อปลูกต้นอ่อนมะเขือเทศในสภาวะที่มีไนเตรตต่ำจะมีการสร้างสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิเพิ่มขึ้นซึ่งอาจอธิบายได้ด้วย carbon-nutrient balance hypothesis (CNB) ซึ่งเป็นสมมติฐานที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและการสร้างสารป้องกันตัวเพื่อให้อยู่รอดในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (Stamp, 2003) กล่าวคือ โดยทั่วไปแล้วสมดุลของคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นส่วนสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ในสภาวะปกติ พืชจะมีการสังเคราะห์ด้วยแสงและดูดซึมสารอาหาร ซึ่งสารอาหารที่พืชดูดซึมไปเลี้ยงส่วนต่างๆ มีผลต่อการเจริญเติบโต และเป็นส่วนหนึ่งของรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่อพืชมีการสังเคราะห์ด้วยแสงจะทำให้พืชเกิดการสะสมอาหารในรูปของคาร์โบไฮเดรต เช่น น้ำตาลซูโครส กลูโคส รวมไปถึงผลิตภัณฑ์จากการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งให้ทั้งพลังงานและโครงร่างคาร์บอนเพื่อใช้ในกระบวนการดูดซึมแอมโมเนียม (ammonium assimilation) ระหว่างกระบวนการสร้างกรดอะมิโน (amino acid biosynthesis) ในส่วนของไนโตรเจนมีความสำคัญในการเป็นส่วนประกอบของทั้งสารอินทรีย์ เช่น ไนเตรต แอมโมเนียม และสารอินทรีย์ เช่น กรดอะมิโนทั้งหมด ซึ่งถูกสังเคราะห์จากการรวมกันของแอมโมเนียมและโครงร่างคาร์บอน กรดอะมิโนและโปรตีนต่างๆ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์ ดังนั้นทั้งคาร์บอนและไนโตรเจนจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาและเจริญเติบโตของพืช (Zheng, 2009) แต่ในสภาวะที่พืชเจริญในที่ที่มีสารอาหารมีจำกัด พืชสามารถดูดซึมสารอาหารไปใช้ได้น้อยจะส่งผลต่อการสร้างกรดอะมิโนและโปรตีนต่างๆ ทำให้การเจริญเติบโตลดลง อีกทั้งยังส่งผลต่อระบบการสังเคราะห์ด้วยแสงเนื่องจากธาตุอาหารต่างๆ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่จากการศึกษาของ Bryant และคณะในปี 1983 พบว่า การที่พืชขาดสารอาหารจะมีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตมากกว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้นการสะสมคาร์โบไฮเดรตของพืชจากการสังเคราะห์ด้วยแสงยังดำเนินต่อ แม้จะมีการสะสมในอัตราที่ลดลงแต่ปริมาณของโครงร่างคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ท้ายที่สุดแล้วจึงเกิดคาร์โบไฮเดรตส่วนเกินที่ไม่สามารถไปรวมกับสารประกอบอื่นๆ ที่ต้องอาศัยธาตุอาหารต่างๆ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้

ดังนั้นจึงเกิดภาวะคาร์บอนส่วนเกินจึงเกิดการสร้างเมแทบอไลต์ทุติยภูมิชนิดที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักเช่น เทอร์พีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผลให้สารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสารละลายที่มีความเข้มข้นสารอาหารต่ำมีความสามารถในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของผักกาดหอมมากกว่าเนื่องจากต้นข้าวมีการสร้างสารดังกล่าวมากกว่าต้นที่ปลูกในสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารอาหารปกติ และจากการศึกษาของ Song และคณะ ในปี 2008 ซึ่งได้ทำการศึกษาการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวในสภาวะขาดไนโตรเจน พบว่าข้าวสายพันธุ์ PI312777 มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าปล้องละมานมากขึ้นเมื่อปลูกในสภาวะขาดไนโตรเจน ซึ่งศักยภาพทางอัลลีโลพาทีที่เพิ่มขึ้นนี้ อาจเป็นผลมาจากการแสดงออกของยีนที่เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือความเครียดจากการขาดไนโตรเจน หรือความเครียดจากปัจจัยอื่นๆ สามารถชักนำให้เกิดการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิมากขึ้น

5.3 ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าว 3 สายพันธุ์

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าว 3 สายพันธุ์ในสภาวะที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่ต่างกัน คือ 1N (สูตร Hoagland ปกติ), ความเข้มข้นของสารอาหารลดลง 10 เท่า (0.1N) และ 100 เท่า (0.01N) พบว่าพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ได้แก่ หอมจันทร์ สารสวย และเหนียวดำช่อไม้ไผ่ เมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่มีความเข้มข้นลดลง ข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีการเจริญเติบโตลดลงโดยมีแนวโน้มว่าข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่มีการเจริญเติบโตดีที่สุดรองลงมาคือสารสวยและหอมจันทร์

ผลจากการวิเคราะห์ two-way ANOVA ระหว่างปัจจัยพันธุ์ข้าวและความเข้มข้นของสารอาหาร พบว่าพันธุ์ข้าวมีผลต่อความยาวราก น้ำหนักแห้งและความเขียวใบของต้นข้าว ส่วนปัจจัยของความเข้มข้นสารอาหาร พบว่ามีผลต่อทั้งความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักแห้ง ความเขียวใบ และประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด แสดงว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีลักษณะเฉพาะและความสามารถในการเจริญเติบโตแตกต่างกันแม้อยู่ในสภาวะเดียวกัน เช่น การศึกษาการเจริญเติบโตของพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์ในสภาวะขาดไนโตรเจนของ Amin และคณะ ในปี 2002 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารอาหารที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว

การศึกษาความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าว 3 สายพันธุ์ในสภาวะที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่ต่างกัน คือ 1N (สูตร Hoagland ปกติ), ความเข้มข้นของสารอาหารลดลง 10 เท่า (0.1N) และ 100 เท่า (0.01N) พบว่าพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ได้แก่ หอมจันทร์ สารสวย และเหนียวดำช่อไม้ไผ่ เมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่มีความเข้มข้นลดลง ข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีศักยภาพทางอัลลีโลพาทีเพิ่มขึ้น กล่าวคือสารสกัดจากส่วนยอดของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ปลูกในความเข้มข้นของสารอาหารที่ลดลง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมโดยวัดจากการเจริญส่วนยอด การเจริญส่วนราก ความยาวทั้งต้นและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าว พบว่า เหนียวดำช่อไม้ไผ่มีแนวโน้มของศักยภาพทางอัลลีโลพาทีมากที่สุด รองลงมาคือข้าวพันธุ์หอมจันทร์และสารสวยตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ two-way ANOVA ของศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นของสารอาหารที่แตกต่างกันต่อผักกาดหอมด้วยปัจจัยพันธุ์ข้าวและความเข้มข้นสารอาหาร พบว่าพันธุ์ข้าวมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้น ความยาวทั้งต้นและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม ส่วนปัจจัยของความเข้มข้นสารอาหาร พบว่ามีผลต่อทั้งเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม การเจริญส่วนราก ความยาวทั้งต้นและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม และพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวและความเข้มข้นของสารอาหารที่ใช้ปลูกที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมโดยวัดจากน้ำหนักแห้ง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากศักยภาพทางอัลลีโลพาทีที่แตกต่างกันของข้าวแต่ละสายพันธุ์ เช่น จากการศึกษาของ Xuan และคณะในปี 2016 ซึ่งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสารอัลลีโลพาทิก ในข้าวที่มีต้นกำเนิดและชนิดพันธุ์ที่แตกต่างกันไม่ว่าจะเป็น พันธุ์ข้าวลูกผสม (hybrid rice) พันธุ์ข้าวต่างถิ่น (foreign rice) พันธุ์ข้าวพื้นเมือง (landrace) ข้าวเหนียว (glutinous rice) และข้าวไร่ (upland rice) พบสารอัลลีโลพาทิกหลายชนิดที่เป็นองค์ประกอบในข้าวแต่ละสายพันธุ์ ไม่ว่าจะเป็น flavonoid, phenols, momilactone A และ momilactone B อีกทั้งยังมีปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้ศักยภาพทางอัลลีโลพาทีแตกต่างกัน ในการศึกษาของ Alam และคณะในปี 2018 ได้ทำการศึกษาผลของศักยภาพทางอัลลีโลพาทีจากการสกัดต้นข้าวด้วยน้ำ ต่อการยับยั้งการงอกและการเจริญของวัชพืช พบว่าสารสกัดจากข้าวทุกสายพันธุ์สามารถยับยั้งการงอก ความยาวยอด และความยาวรากของวัชพืชที่ใช้ทดสอบ อย่างไรก็ตามความสามารถในการยับยั้งมีความแตกต่างกันไปในข้าวแต่ละสายพันธุ์ อีกทั้งการศึกษาของ Wang และคณะในปี 2008 ซึ่งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความเครียดจากการขาดโพแทสเซียมกับศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน 2 สายพันธุ์ พบว่าศักยภาพทางอัลลีโลพาทีในการยับยั้งความยาวยอดและน้ำหนักแห้งของหญ้าข้าวนกของข้าวทั้งสองสายพันธุ์มีความแตกต่างกัน

4.3.1 การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ระหว่างการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารต่างกัน

จากผลการศึกษาเมื่อนำค่าการเจริญเติบโตของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ซึ่งได้แก่ค่าความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักแห้ง ความเขียวใบ และประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดของใบข้าวในสภาวะที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารที่แตกต่างกันและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าว ซึ่งได้แก่เปอร์เซ็นต์ในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้น เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนราก เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้น และเปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้น พบว่า จากจำนวนกราฟทั้งหมด 25 กราฟ กราฟของพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่มีที่มีความชันติดลบมากที่สุด 22 กราฟ ได้แก่

- ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวยอดของต้นข้าวกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ด เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้น ความยาวทั้งต้นและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม

- ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากต้นข้าวกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ด เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้น การเจริญส่วนราก ความยาวทั้งต้นและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม

- ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของต้นข้าวกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ด เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้น ความยาวทั้งต้นและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม

- ความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบของต้นข้าวกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ด เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้น ความยาวทั้งต้นและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม

- ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบข้าวกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ด เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้น การเจริญส่วนราก ความยาวทั้งต้นและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม

ในส่วนของกราฟของพันธุ์ข้าวที่มีความชันมากที่สุดรองลงมาคือหอมจันทร์มีจำนวน 3 กราฟ ได้แก่ ได้แก่

- ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวยอดของต้นข้าวกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม

- ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของต้นข้าวกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม

- ความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบของต้นข้าวกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม

ซึ่งจากผลการศึกษาสรุปได้ว่าข้าวพันธุ์เหนียวพันธุ์เดียวดำช่อไม้ไผ่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงศักยภาพทางอัลลีโลพาทีเมื่อได้รับความเครียดมากที่สุด รองลงมาคือหอมจันทร์และสารสวย ซึ่งสามารถสรุปได้จากความชันของกราฟ ทั้งนี้อาจต้องมีการทดลองเพิ่มเติมโดย

เพิ่มจำนวนพันธุ์ข้าวให้มากขึ้นเพื่อยืนยันว่า พันธุ์ข้าวที่มีศักยภาพทางอัลลีโลพาทีสูงจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงศักยภาพทางอัลลีโลพาทีเมื่อได้รับความเครียดสูงด้วยหรือไม่ นอกจากนี้การที่ข้าวพันธุ์หอมจันทร์มีความชันมากที่สุดเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าวกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากข้าวพันธุ์หอมจันทร์ส่งผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของรากต้นกล้าผักกาดหอมมาก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้านี้ซึ่งทดสอบผลทางอัลลีโลพาทีของข้าวจำนวน 9 สายพันธุ์ พบว่าสารสกัดจากข้าวพันธุ์หอมจันทร์มีผลทำให้ความยาวรากของต้นกล้าผักกาดหอมลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับชุดควบคุมโดยข้าวพันธุ์หอมจันทร์ทำให้ความยาวรากเฉลี่ยของต้นกล้าผักกาดหอมน้อยที่สุด (นูรฮายาตีย์, 2553)

เมื่อเปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์กับผลความสามารถทางอัลลีโลพาทีพบว่า ข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ มีการเจริญเติบโตที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่จะมีแนวโน้มของการเจริญเติบโตดีที่สุด ดังนั้นการเจริญเติบโตของข้าวจึงอาจไม่ส่งผลต่อความสามารถทางอัลลีโลพาที

4.4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ของการเจริญเติบโตของข้าวร่วมกับศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ของการเจริญเติบโตของข้าวและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตผักกาดหอม พบว่า แกนของการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ ความยาวยอด (Shoot) น้ำหนักสด (Fresh) น้ำหนักแห้ง (Dry) ความเขียวใบ (SPAD) และประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด (Fv/Fm) วางตัวอยู่ในด้านตรงกันข้ามกับแกนของศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ในการยับยั้งการงอก (Inger) การยับยั้งการเจริญส่วนต้น (Inshoot) การยับยั้งการเจริญส่วนราก (Inroot) การยับยั้งความยาวทั้งต้น (Inlength) และการยับยั้งน้ำหนักแห้ง (Indry) ของผักกาดหอม อาจเป็นผลมาจากเมื่อข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ได้รับสารอาหารความเข้มข้นลดลงทำให้เกิดความเครียดเกิดขึ้นซึ่งเห็นได้จากการเจริญเติบโต ความเขียวใบ ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบที่ลดลง แต่ในขณะเดียวกันกลับมีศักยภาพทางอัลลีโลพาทีที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังพบว่าข้อมูลแต่ละซ้ำของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารสูตร Hoagland ปกติ มีแนวโน้มกระจายอยู่บริเวณแกนของการเจริญเติบโตของข้าว อาจเนื่องมาจากต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะสารอาหารปกติ มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด ในขณะที่ข้อมูลของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารลดลง 10 เท่า มีแนวโน้มการกระจายตัวไปบริเวณช่วงกลางของกราฟ อาจเนื่องมาจากต้นข้าวในชุดการทดลองนี้ยังคงได้รับสารอาหารอยู่ถึงแม้จะมีความเข้มข้นลดลง แต่ยังสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ แต่เจริญเติบโตได้น้อยกว่าชุดการทดลองที่ได้รับสารอาหารปกติ อีกทั้งชุดการทดลองนี้ศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบชุดการทดลองที่ได้รับสารอาหารปกติ และข้อมูลของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ปลูกในความเข้มข้นสารอาหารลดลง 100 เท่า มีแนวโน้มกระจายอยู่บริเวณแกนศักยภาพทางอัลลีโล

พาทีของข้าว เนื่องจากต้นข้าวได้รับสารอาหารที่ความเข้มข้นน้อยมากส่งผลให้มีการเจริญเติบโตลดลง และมีการสร้างสารอัลลีโลพาทิกมากที่สุดเมื่อเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นปกติ และความเข้มข้นของสารอาหารลดลง 10 เท่า ซึ่งสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) (ภาพที่ 60)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 ผลของความเครียดแสงต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าว

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของความเครียดจากความเข้มแสงต่ำต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวพันธุ์หอมจันทร์พบว่าเมื่อต้นข้าวได้รับความเข้มแสงลดลงซึ่งได้รับแสงเพียง 50% และ 10% ของความเข้มแสงธรรมชาติจะมีการเจริญเติบโตที่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับแสง 100% แต่มีแนวโน้มของศักยภาพทางอัลลีโลพาทีลดลงตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับแสง 100%

5.2 ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าว

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวพันธุ์หอมจันทร์ในสภาวะที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่ต่างกัน คือ 1N (สูตร Hoagland ปกติ), ความเข้มข้นของสารอาหารลดลง 10 เท่า (0.1 N) และ 100 เท่า (0.01N) พบว่าเมื่อปลูกข้าวในสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่มีความเข้มข้นลดลง ข้าวพันธุ์หอมจันทร์มีการเจริญเติบโตลดลงแต่มีความสามารถทางอัลลีโลพาทีเพิ่มขึ้น

5.3 ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าว 3 สายพันธุ์

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าว 3 สายพันธุ์ในสภาวะที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่ต่างกัน คือ 1N (สูตร Hoagland ปกติ), ความเข้มข้นของสารอาหารลดลง 10 เท่า (0.1N) และ 100 เท่า (0.01N) พบว่าเมื่อปลูกพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ได้แก่ หอมจันทร์ สารสวย และเหนียวดำช่อไม้ไผ่ในสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานสูตร Hoagland ที่มีความเข้มข้นลดลง ข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีการเจริญเติบโตลดลงโดยมีแนวโน้มว่าข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่มีการเจริญเติบโตดีที่สุดรองลงมาคือสารสวยและหอมจันทร์ แต่กลับพบว่าข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีศักยภาพทางอัลลีโลพาทีเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวพบว่า เหนียวดำช่อไม้ไผ่มีแนวโน้มของศักยภาพทางอัลลีโลพาทีมากที่สุดและมีอัตราการเปลี่ยนแปลงศักยภาพทางอัลลีโลพาทีเมื่อได้รับความเครียดมากที่สุดเช่นกัน รองลงมาคือข้าวพันธุ์หอมจันทร์และสารสวยตามลำดับ

รายการเอกสารอ้างอิง

กาญจนา หลงสะ. 2551. การศึกษาศักยภาพทางอัลลีโลพาทีในผักแขยง (*Limnophila*) และบลูฮาวาย (*Otacanthus azureus*). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ชีววิทยา). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร. 137 หน้า.

เฉลิมชัย วงศ์วัฒนะ. 2541. การศึกษาเบื้องต้นถึงผลของสารสกัดจากต้นชะพลูและสะระแหน่ที่มีต่อความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชบางชนิด. วิทยาสารวัชพืช. 1: 56-64.

ทิพวรรณ แสงทอง, วนาวรรณ ปราบพยัคฆ์ และ พัชนี เจริญยิ่ง. 2548. ผลของสารสกัดด้วยน้ำจากผลกระวานและดอกกานพลูต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าหญ้าข้าวนกและผักกาดหัว. ว. พระจอมเกล้าลาดกระบัง. 11: 51-55.

ธีรพัฒน์ เทพแก้ว. 2557. ผลของดินขาวเคโอลินต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง ผลผลิตและคุณภาพองุ่น (*Vitis vinifer* L.) ไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 153 หน้า.

นูรฮายาตีย์ อุเซ็ง. 2553. เปรียบเทียบศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าว 9 สายพันธุ์โดยวิธีการสกัดสารด้วยน้ำและการปลูกในดิน. โครงงานทางชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา. 30 หน้า.

บุญหงษ์ จงคิด. 2547. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 184 หน้า.

ปฐวี อามระดิษ, ภัทรนันต์ โชติแสง, พัชนี เจริญยิ่ง และ จำรูญ เล้าสินวัฒนา. 2551. ผลของสารสกัดจากใบขันทองพยาบาทต่อการงอกและการเจริญเติบโตของผักโขมสวน. ว. วิทย์กษ. 39: 488-491.

พัฒนพงศ์ ทังสุนันท์. 2555. การศึกษาเบื้องต้นของยีนที่เข้ารหัสทรานสคริปชันแฟคเตอร์ (เอ็มวายบี และเอ็มวายซี) ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในข้าวมะลิม่วงบีเคโอเอส. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ชีววิทยา) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 102 หน้า.

ภาควิชาพืชไร่นา. 2558. บทเรียนออนไลน์ วิชา 020229212 บทที่ 2 ข้าว. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.สืบค้นจาก http://agron.agri.kps.ku.ac.th/index.php/th/2015-04-20-02-02-25/020229212/chapter2 [15มกราคม 2562]

ยงยุทธ โอสถสภา, ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชัยสิทธิ์ ทองจู. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 8. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 547 หน้า.

วราภรณ์ ฉุยฉาย. 2555. ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากพืชในประเทศไทย: ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและอัลลีโลพาที. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 4 (4): 95-107.

สังคม เตชะวงศ์เสถียร. (ม.ป.ป.). ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช. สรีรวิทยาการผลิตพืช สาขาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. สืบค้นจาก http://ag.kku.ac.th/suntec/134101/134101%20Factors%20affecting%20GD%20(note).pdf [15 เมษายน 2560]

อมรทิพย์ วงศ์สารสิน. 2554. สารอัลลีโลเคมีคอลจากพืช 3 ชนิดที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพืชเศรษฐกิจและวัชพืชบางชนิดและการเจริญเติบโตของ *Colletrichum* sp. และ *Xanthomonas* sp. ที่เป็นสาเหตุของโรคพืช. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

อุดมเดชา พลเยี่ยม และ อัญชนา ขัตติยะวงศ์. 2557. ศักยภาพของสารสกัดจากมะเดื่อต่อการควบคุมการงอกและการเจริญเติบโตของวัชพืชในนาข้าวเพื่อเพิ่มมูลค่าความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพมหานคร. 77 หน้า.

Ahn, J.K. and Chung, I.M. 2000. Allelopathic potential of rice hulls on germination and seedling growth of barnyardgrass. Agron. J. 92: 1162-1167.

Alam, M.A., Hakim, M., Juraimi, A.S., Rafii, M., Hasan, M. M., and Aslani, F. 2018. Potential allelopathic effects of rice plant aqueous extracts on germination and seedling growth of some rice field common weeds. Italian Journal of Agronomy 13 (2): 134-140.

Amb, M.K. and Ahluwalia, A.S. 2016. Allelopathy: potential role to achieve new milestones in rice cultivation. Rice Science 23 (4): 165-183.

Amin, S.M.N., Uchida, N., Hatanaka, T., Azuma, T., Yasuda, T. and Tsugawa, H. 2002. Varietal differences of rice (*Oryza sativa* L.) growth to low nitrogen supply. Environ. Control in Biol. 40: 195-200.

Azmi, M., Abdullah, M.Z. and Fujii, Y. 2000. Exploratory study on allelopathic effect of selected Malaysian rice varieties and rice field weed species. J. Trop. Agric. Food Sci. 28: 3954.

Beer, S. and Björk, M. 2000. Photosynthetic rates in seagrasses by pulse amplitude modulated (PAM) fluorometry. Aquatic Botany 66: 69-76.

Bryant J.P., Chapin F.S. and Klein D.R. 1983. Carbon nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. Oikos 40: 357–368.

Choi, H.G., Moon, B.Y. and Kang, N.J. 2016. Correlation between strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) productivity and photosynthesis-related parameters under various growth conditions. Frontiers in Plant Science 7: 1607.

Dekker, J. and Meggitt, W.F. 1983. Interference between velvet leaf (*Abutilon theophrasti* Medic) and soybean (*Glycine max* L. Merr.) growth. Weed Res. 23: 91–101

Dilday, R.H., Yan, W.G., Moldenhauer, K.A.K. and Gravois, K.A.1998. Allelopathic activity in rice for controlling major aquatic weeds. In: Olofsdotter, M. (Ed.), In 'Allelopathy in Rice. International Rice Research Institute, Manila. pp 7-26.

Ebana, K., Yan, W., Dilday, R.H., Namai, H., & Okuno, K. 2001. Variationin the allelopathy effect of rice with water soluble extracts. Agron. J. 93: 12–16

Ferreira, A.G. and Áquila, M.E.A. 2000. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal 12: 175-204.

Grechi, I., Vivin, P., Hilbert, G., Milin, S., Robert, T. and Gaudillère, J.P. 2007. Effect of light and nitrogen supply on internal C:N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine. Environ. Exp. Bot. 59: 139-149.

Guidi, L., G. Lorefice, A. Pardossi, F. Malorgio, F. Tognoni and Soldatini, G.F. 1997. Growth and photosynthesis of *Lycopersicon esculentum* (L.) plants as affected by nitrogen deficiency. Biologia Plantarum. 40: 235-244.

Hou, J.L., Li, W.D., Zheng, Q.Y., Wang, W.Q., Xiao, B. and Xing, D. 2010. Effect of low light intensity on growth and accumulation of secondary metabolites in roots of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. Biochem. Syst. Ecol. 38: 160–168.

http://agron.agri.kps.ku.ac.th [Accessed on 13 01 2019]

Janušauskaite, D. and Feiziene, D. 2012. Chlorophyll fluorescence characteristics throughout spring triticale development stages as affected by fertilization. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science 62: 7–15.

Javaid, A., Shafique, S., Bajwa, R. and Shafique, S. 2006. Effect of aqueous extracts of allelopathic crops on germination and growth of *Parthenium hysterophorus* L. S. Afr. J. Bot. 72: 609-612.

Jones, C.G. and Hartley, S.E. 1999. A protein competition model of phenolic allocation. Oikos 86: 27–44.

Kang, J.G. and Van Lersel, M.W. 2002. Nutrient solution concentration affects growth of subirrigated bedding plants. J. Plant Nutr. 25: 387-403.

Kato-Noguchi, H. 2011. Barnyard grass-induced rice allelopathy and momilactone B. J. Plant Physiol. 168: 1016–1020.

Kawaguchi, S., Yoneyama K., Yokota, T., Takeuchi, Y., Ogasawara, M., & Konnai, M. 1997. Effect of aqueous extract of rice plants (*Oryza sativa* L.) on seed germination and radicle elongation of Monochoria vaginalis var. plantaginea. Plant Growth Regul. 23: 183-189.

Kim, K.U., Shin, D.H., Kim, H.Y., Lee, Z.L., Olofsdotter, M. 1999. Evaluation of allelopathic potential in rice germplasm. Korean J. Weed Sci. 19: 19.

Klein, R.M., T.D. Perkins, J. Tricou, A. Oates and Cutler, K. 1991. Factors affecting red spruce regeneration in declining areas of Camels Hump Mountain, Vermont. Am. J. Bot. 78: 1191–1198.

Koocheki, A., Lalegani, B. and Hosseini, S.A. 2013. Ecological consequences of allelopathy. In: Cheema, Z. A., Farooq, M. and Wahid, A. (Eds), Allelopathy – current trends and future applications. Springer, pp. 23–38.

Le Bot, J., Bénard, C., Robin, C., Bourgaud, F. and Adamowicz, S. 2009. The "trade-off" between synthesis of primary and secondary compounds in young tomato leaves is altered by nitrate nutrition: experimental evidence and model consistency. J. Exp. Bot. 60: 4301-4314.

Liu, D.L., An, M., Johnson, I.R. and Lovett, J.V. 2003. Mathematical modeling of allelopathy. III. A Model for curve-fitting allelochemical dose responses. Nonlinearity Biol. Tox. Med. 1: 37–50.

Liu, Q.H., Wu, X., Chen, B.C., Ma, J.Q. and Gao, J. 2014. Effects of low light on agronomic and physiological characteristics of rice including grain yield and quality. Rice Science, 21: 243-251.

Murase, K., Itioka, T., Masahiro, N. and Yamane, S. 2003. Intraspecific variation in the status of ant symbiosis on a myrmecophyte *Macaranga bancana*, between primary and secondary forests in Borneo. Popul. Ecol. 45: 221–226.

Nitao, J.K. and Zangerl, A.R. 1987. Floral development and chemical defense allocation in wild parsnip (*Pastinaca sativa*). Ecology 68: 521–529.

Olofsdotter, M., Navarez, D., Rebulanan, M. and Streibig, J.C. 1999. Weed-suppressing rice cultivars: does allelopathy play a role? Weed Res. 39: 441-454.

Pavia, H., Toth, G.B. and Aberg P. 2002. Optimal defense theory: elasticity analysis as a tool to predict intraplant variation in defenses. Ecology. 83: 891–897.

Portsmuth, A. and Niinemets, Ü. 2007. Structural and physiological plasticity in response to light and nutrients in five temperate deciduous woody species of contrasting shade tolerance. Funct. Ecol. 21: 61–77.

Putnam, A.R. 1985. Weed Allelopathy. In Duke, S. O. (Ed.), Weed Physiology. Reproduction and Ecophysiology (Volume1). CRC Press. pp. 131-155.

Rice, E.L. 1984. Allelopathy. 2nd ed. Academic Press, Inc., Orlando, 422 p.

Shen, Y.F. and Li, S.Q. 2011. Effects of the spatial coupling of water and fertilizer on the chlorophyll fluorescence parameters of winter wheat leaves. Agricultural Sciences in China 10: 1923-1931.

Song, B., Xiong, J., Fang, C.L., Qiu, L., Lin, R. and Liang, Y. 2008. Allelopathic enhancement and differential gene expression in rice under low nitrogen treatment. J. Chem. Ecol. 34: 688-695.

Stamp, N. 2003. Out of the quagmire of plant defense hypotheses. Q. Rev. Biol. 78: 23-55.

Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. Plant Physiology. 4thed. Sinauer Associates, Inc., Massachuesttees. 764 p.

Takabayashi, J., Dicke, M., and Posthumus, M.A. 1994. Volatile herbivore-induced terpenoids in plant-mite interactions: variation caused by biotic and abiotic factors. J. Chem. Ecol. 20: 1329–1354.

Tuomi, J. 1992. Toward integration of plant defense theories. Trends Ecol. Evol. 7: 365–367.

Wilkens, R.T., Spoerke, J.M. and Stamp, N.E. 1996. Differential responses of growth and two soluble phenolics of tomato to resource availability. Ecology 77: 247–258.

Wang, H.B., He, H.B., Xiong J., Qiu L., Fang C.X., Zeng C.M., Yan L.L. and Wen-Xiong. 2008. Effects of potassium stress on allelopathic potential of rice (*Oryza sativa* L.). Acta Ecologica Sinica 28 (12): 6219-6227.

Xuan, T.D., Minh, T.N., Anh, L.H. and Khanh, T.D. 2016. Allelopathic momilactones A and B are implied in rice drought and salinity tolerance, not weed resistance. Agron. Sustain. Dev. 36: 52.

Zhao, L.S., Li, K., Wang, Q.M., Song, X.Y., Su, H.N., Xie, B.B., Zhang, X.Y., Huang, F., Chen, X.L., Zhou, B.C. and Zhang, Y.Z. 2017. Nitrogen starvation impacts the photosynthetic performance of Porphyridium cruentum as revealed by chlorophyll a fluorescence. Scientific Reports, 7; 8542.

Zheng, Z.L. 2009. Carbon and nitrogen nutrient balance signaling in plants. Plant Signal Behav. 4: 584-591.

ภาคผนวก

ผลของความเครียดแสงต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาที ของข้าว (*Oryza sativa* L.)

Effect of light intensity on growth and allelopathic activity of rice (*Oryza sativa* L.)

Proceeding ในการนำเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ครั้งที่ 11 ประจำปีการศึกษา 2560

ผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว (*Oryza sativa* L.)

EFFECT OF LIGHT INTENSITY ON GROWTH AND ALLELOPATHIC ACTIVITY OF RICE (*Oryza sativa* L.)

กิดากานต์ สาสุธรรม[1], กฤติกา แก้วจำนง[2]
Kidakan Sarsutham, Krittika Kaewchumnong

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว โดยทำการปลูกข้าวพันธุ์หอมจันทร์ในสภาวะที่ได้รับแสงต่างกัน โดยทำการปลูกที่ความเข้มแสง 100% 50% และ 10% ของแสงอาทิตย์ ทำการวัดการเจริญเติบโตของต้นข้าว ได้แก่ อัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน ความยาวยอด และน้ำหนักแห้ง และทำการวัดความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวโดยใช้สารสกัดด้วยน้ำและทดสอบกับเมล็ดผักกาดหอม โดยทำการวัดเปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวยอด ความยาวรากและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม ผลการทดลองพบว่า เมื่อต้นข้าวได้รับความเข้มแสงลดลงส่งผลให้มีอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนและการเจริญเติบโตลดลง รวมทั้งความสามารถทางสร้างอัลลีโลพาทีของลดลงไปด้วย

คำสำคัญ: ข้าว, อัลลีโลพาที, ความเครียด, ความเข้มแสง

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the effect of light intensity on growth and allelopathic activity of rice. Homjan rice cultivar was grown at light intensity 100%, 50% and 10% of full sunlight. Rice electron transport rate, shoot length and plant dry weight were measured. Allelopathic activity using whole rice plant water extract was tested on lettuce seeds for three days. Percentage of germination, shoot length, root length and dry weight of lettuce seedlings were measured. Results showed that as light intensity decreased, both rice growth and allelopathic activity decreased.

KEYWORDS: rice, allelopathic activity, stress, light intensity

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชชนิดหนึ่งที่ถูกใช้ศึกษาในเรื่องความสามารถทางอัลลีโลพาทีอย่างกว้างขวาง ซึ่งการศึกษาโดยทั่วไปเป็นเรื่องของการใช้ความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวในการจัดการปัญหาวัชพืชอย่างยั่งยืน จากการทดลองทั้งภาคสนามและในห้องปฏิบัติการพบว่าข้าวหลายสายพันธุ์มีผลยับยั้งการงอกรวมถึงการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดเมื่อมีการปลูกร่วมกัน (Dilday et al., 1998; Kim et

[1] นักศึกษาหลักสูตรพฤกษศาตร์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[2] ดร., ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

al., 1999; Olofsdotter et al., 1999) อัลลีโลพาที (allelopathy) เป็นกระบวนการที่พืชผลิตสารภายในต้นและปลดปล่อยออกมาซึ่งอาจมีผลยับยั้งหรือกระตุ้นการงอกและการเจริญเติบโตของพืชอื่น ๆ ซึ่งสารดังกล่าวนี้เรียกว่า สารอัลลีโลพาที (allelopathic substances, allelochemicals) ซึ่งเป็นสารประเภท secondary metabolites (Putnam, 1985)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่ส่งผลให้พืชเกิดความเครียด เช่น การขาดน้ำ อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไป ความเค็ม การขาดออกซิเจน วัชพืช เชื้อโรคและการกัดกินโดยแมลงมีความสัมพันธ์กับการสร้างสารอัลลีโลพาทีเนื่องจากความเครียดทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง โดยพืชอาจมีการตอบสนองต่อความเครียดทั้งในระดับเซลล์และในระดับชีวเคมี (Taiz and Zeiger, 2006) นอกจากนี้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ทำให้เกิดความเครียดยังส่งผลต่อการปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทีของพืชอีกด้วย อีกทั้งปัจจุบันยังขาดข้อมูลในส่วนของผลของอัลลีโลพาทีที่พืชสร้างขึ้นจากภาวะเครียดต่อตัวพืชเอง

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ได้ให้ความสนใจในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวในสภาวะที่ได้รับความเข้มแสงต่ำ เนื่องจากแสงเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ทำให้ได้สาร primary metabolites ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของพืช เช่น กรดอะมิโน กรดไขมัน นิวคลีโอไทด์ และน้ำตาล โดยสารเหล่านี้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต secondary metabolites ต่อไป ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยให้พืชสามารถอยู่รอดในสภาวะที่สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมได้ การศึกษาในครั้งนี้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการต่อยอดเพื่อปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว

สมมุติฐานของการวิจัย

หากต้นข้าวได้รับความเข้มแสงลดลงจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีลดลง

ขอบเขตของการวิจัย

ทำศึกษาโดยใช้ข้าวพันธุ์หอมจันทร์ ทำการปลูกในสภาวะความเข้มแสงต่างกันคือ 100 % 50% และ 10%เป็นระยะเวลา 14 วัน วัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยการวัดอัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอน และวัดการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ ความยาวยอดและน้ำหนักแห้ง ทำการวัดความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวโดยการวัดการงอกของเมล็ดผักกาดหอม ความยาวยอด ความยาวรากและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม

วิธีดำเนินการวิจัย

ปลูกต้นข้าวพันธุ์สารสวยโดยใช้ดินผสมประมาณ 20 เมล็ดต่อกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว รดน้ำวันละ 1 ครั้ง โดยทำการปลูกในแสงปกติ (100%) และพรางแสงด้วยตาข่ายพรางแสงสีดำให้ได้รับแสง 50% และ 10% ตามลำดับ โดยทำการวัดแสงด้วยเครื่องวัดแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (400-700 nm) (LM-SS Portable Light Meter for Solar Sensors หัววัดรุ่น E90 Quantum Sensor, Jauntering International Corporation, Taiwan) ทำการทดลอง 5 ซ้ำ เมื่อต้นข้าวอายุ 14 วัน ทำการบันทึกผลการทดลอง ดังนี้

- **วัดอัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron Transport Rate, ETR)**

วัดอัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในระบบแสงสองของต้นข้าวที่ปลูกในสภาะที่ได้รับความเข้มแสงต่างกันด้วยเครื่องมือ Pulse Amplitude Modulation Fluorometer รุ่น Mini-PAM (Heinz Walz GmbH, Germany) โดยทำการวัดต้นข้าว 3 ต้น ต้นละ 1 ใบต่อกระถาง

- **วัดเจริญเติบโตของต้นข้าว**

ทำการวัดความสูงของต้นข้าวจากโคนต้นถึงปลายใบที่ยาวที่สุด ชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งหลังจากนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมงด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง โดยทำการวัดกระถางละ 5 ต้น

- **วัดความสามารถทางอัลลีโลพาที**

ทดสอบผลของสารสกัดจากข้าวโดยวิธีสกัดด้วยน้ำ (water extraction method) (Kawaguchi et al., 1997; Ebana et al., 2001) ที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดผักกาดหอมและการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมซึ่งเป็นพืชทดสอบ โดยนำตัวอย่างข้าวมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน นำต้นข้าวชุดการทดลองละ 2.5 กรัมแช่ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางและกระดาษกรองเบอร์ 1 ทำการทดสอบการยับยั้งการงอกของเมล็ดและการเจริญเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมหลังงอกโดยนำสารสกัดใส่ในจานเพาะเชื้อซึ่งรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตรต่อจาน โดยใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม (control) นำเมล็ดผักกาดหอมวางบนกระดาษกรองจานเพาเชื้อละ 20 เมล็ดโดยวางให้กระจายทั่วทั้งจาน ปิดฝาจานเพาะเชื้อและพันด้วยพาราฟิล์ม ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design: CRD) เก็บข้อมูลโดยการนับจำนวนต้นกล้าผักกาดหอมที่งอกทั้งหมดในแต่ละซ้ำเพื่อนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การงอก (germination percentage) จากนั้นสุ่มต้นกล้าผักกาดหอม 10 ต้นจากแต่ละจานเพาะเชื้อเพื่อนำมาวัดความยาวราก (radicle) และนำต้นกล้าผักกาดหอมที่ทำการสุ่มมาไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวราก (Inhibition percentage of lettuce root growth) โดยใช้สูตร เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวราก

$$= \frac{\text{ความยาวรากของกลุ่มควบคุม - ความยาวรากของกลุ่มที่ต้องการวัดผล}}{\text{ความยาวรากของกลุ่มควบคุม}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

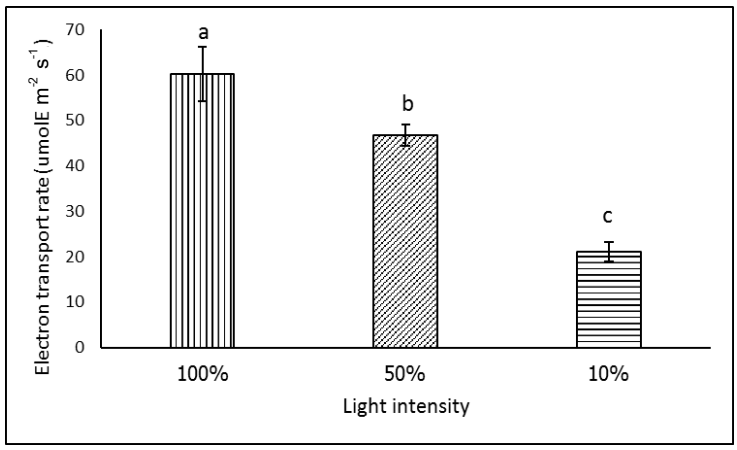
นำข้อมูลที่ได้จาการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ค่า $p = 0.05$ และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วย Tukey's Test โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows version 17

ผลการวิจัย

วัดผลของการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวในสภาวะที่ได้รับความเข้มแสงต่างกันโดยทำการปลูกในแสงปกติและพรางแสงด้วยตาข่ายพรางแสงให้ได้รับแสง 50% และ 10% ได้ผลดังนี้

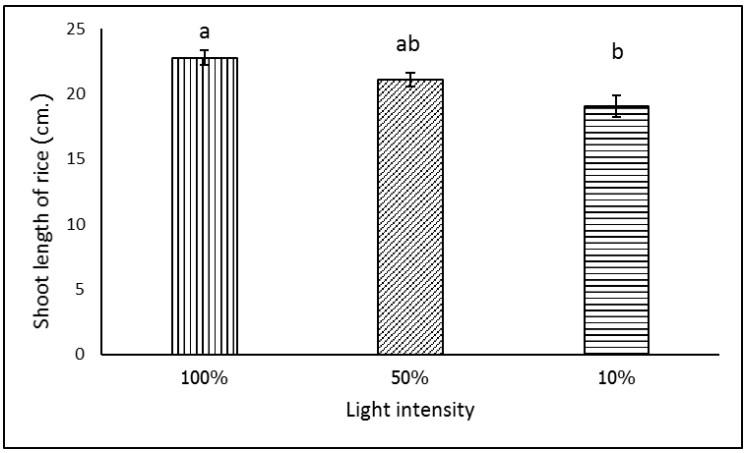
- **ผลของเจริญเติบโตของต้นข้าวเมื่อได้รับความเข้มแสงที่ต่างกัน**

ผลการวัดอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนของต้นข้าวพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสงเพียง 50% และ 10% มีอัตราเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในระบบแสงสองลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับเมื่อเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้แสงปกติ ($p<0.001$) (ภาพที่ 1)



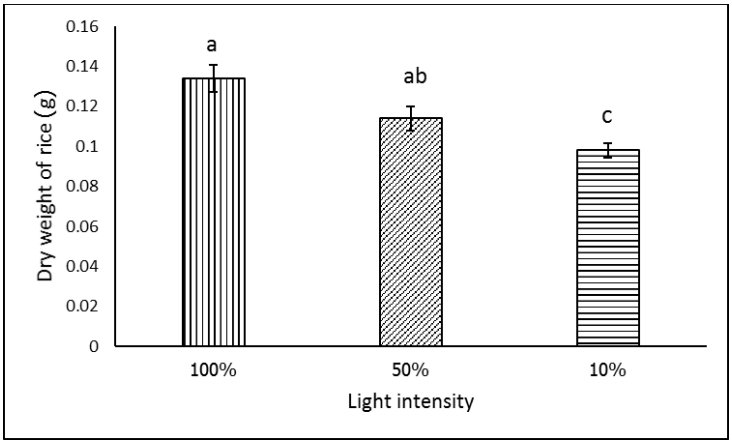
ภาพที่ 1 อัตราเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในระบบแสงสองของต้นข้าวเมื่อปลูกในสภาวะแสงที่ต่างกัน

ด้านความยาวยอดของต้นข้าวพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสงเพียง 50% และ 10% มีความยาวยอดที่อายุ 14 วันลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้แสงปกติ (p=0.001) (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ความยาวยอดของต้นข้าวที่อายุ 14 วันเมื่อปลูกในสภาวะแสงที่ต่างกัน

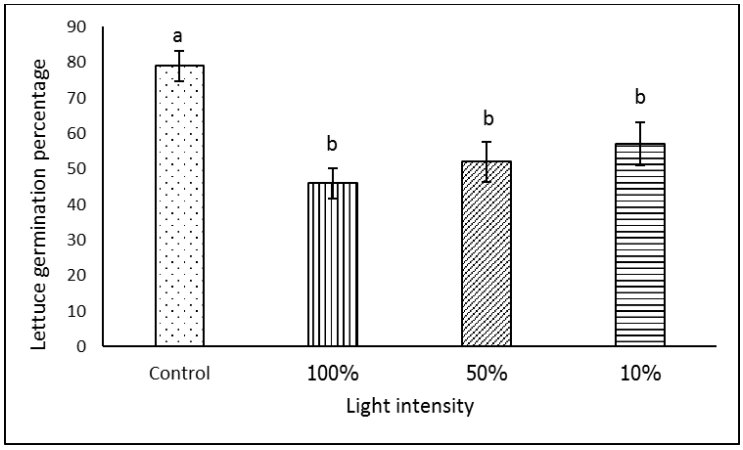
ด้านน้ำหนักแห้งพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสงเพียง 50% และ 10% มีการน้ำหนักแห้งที่อายุ 14 วันลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับ เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้แสงปกติ (p=0.003) (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 น้ำหนักแห้งของต้นข้าวที่อายุ 14 วันเมื่อปลูกในสภาวะแสงที่ต่างกัน

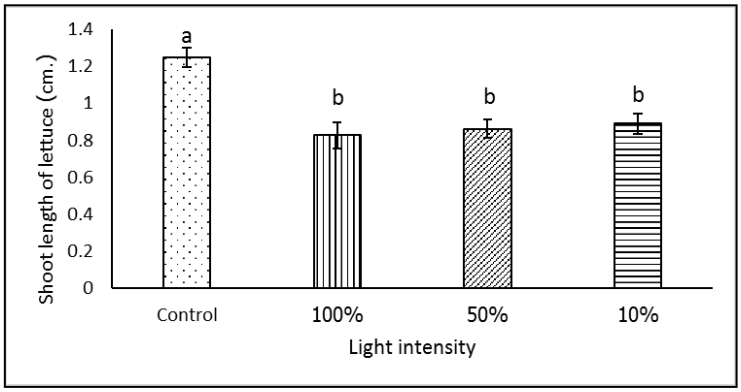
- **ผลของความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวเมื่อได้รับความเข้มแสงที่ต่างกัน**

สารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสงความเข้มต่าง ๆ มีความสามารถในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม control ซึ่งใช้น้ำกลั่นในการทดสอบ (p= 0.002) โดยสารสกัดจากต้นข้าวที่ได้รับแสง 100% มีแนวโน้มในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอมได้มากกว่าสารสกัดจากต้นข้าวที่ได้รับแสง 50% และ 10% ตามลำดับ (ภาพที่ 4)

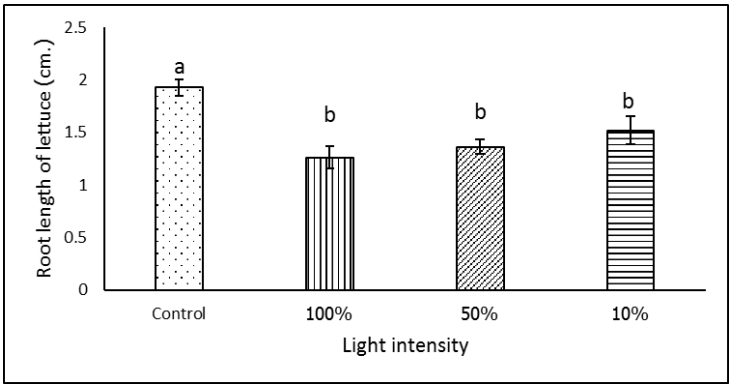


ภาพที่ 4 เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดผักกาดหอมที่ได้รับสารสกัดต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะแสงที่ต่างกัน

ด้านความยาวยอดและความยาวรากของต้นกล้าผักกาดหอมพบว่า สารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสงความเข้มต่าง ๆ มีความสามารถในการยับยั้งความยาวยอดและความยาวรากของต้นกล้าผักกาดหอมอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม control ($p<0.001$ และ $p=0.001$ ตามลำดับ) โดยสารสกัดจากต้นข้าวที่ได้รับแสง 100% มีแนวโน้มในการยับยั้งความยาวยอดและความยาวรากของต้นกล้าผักกาดหอมได้มากกว่าสารสกัดจากต้นข้าวที่ได้รับแสง 50% และ 10% ตามลำดับ (ภาพที่ 5-6)

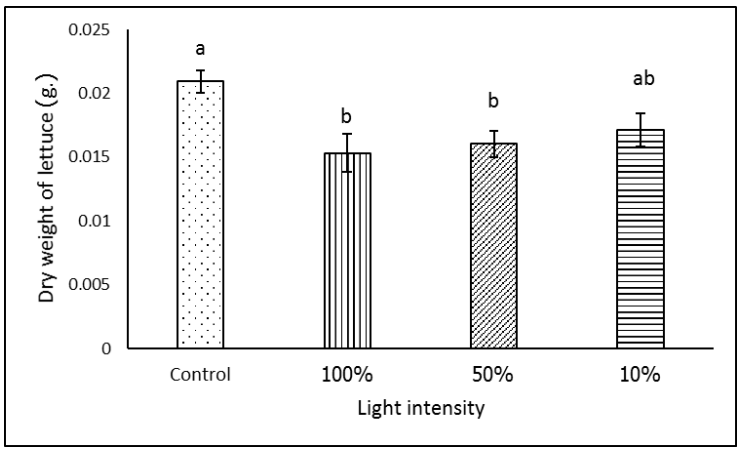


ภาพที่ 5 ความยาวยอดของต้นกล้าผักกาดหอมที่ได้รับสารสกัดต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะแสงที่ต่างกัน



ภาพที่ 6 ความยาวรากของต้นกล้าผักกาดหอมที่ได้รับสารสกัดต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะแสงที่ต่างกัน

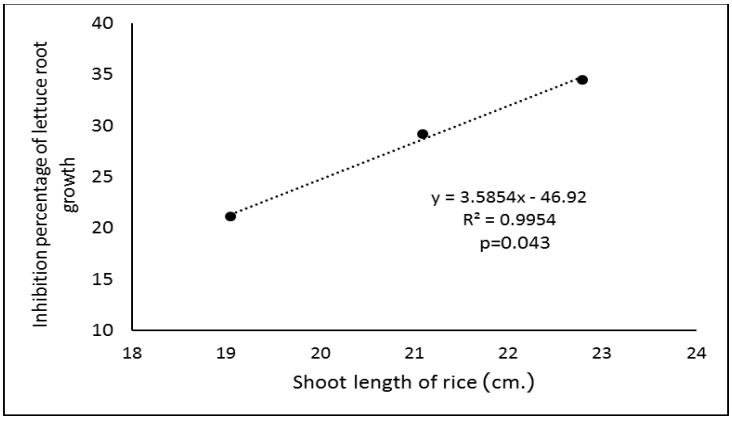
ด้านน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมพบว่า สารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับแสงความเข้มต่าง ๆ มีน้ำหนักแห้งน้อยกว่าน้ำหนักแห้งของของต้นกล้าผักกาดหอมกลุ่ม control อย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.019$) โดยสารสกัดจากต้นข้าวที่ได้รับแสง 100% มีแนวโน้มทำให้ต้นกล้าผักกาดหอมมีน้ำหนักแห้งน้อยกว่าสารสกัดจากต้นข้าวที่ได้รับแสง 50% และ 10% ตามลำดับ (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 น้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมที่ได้รับสารสกัดต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะแสงที่ต่างกัน

- **ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวในสภาวะที่ได้รับความเข้มแสงต่างกัน**

เมื่อนำค่าการเจริญเติบโตของต้นข้าวซึ่งเป็นค่าความยาวยอดในสภาวะที่ได้รับความเข้มแสงที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งความยาวรากของต้นกล้าผักกาดหอม มาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวก โดยหากต้นข้าวมีการเจริญเติบโตต่ำจะส่งผลให้ความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมต่ำด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่มีการเจริญเติบโตดีกว่าซึ่งส่งผลให้ความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมสูงกว่า โดยการเจริญเติบโตของต้นข้าวอยู่ภายใต้สภาวะที่ได้รับความเข้มแสงแตกต่างกัน



ภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าวในสภาวะที่ได้รับความเข้มแสงที่แตกต่างกันและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของต้นข้าวในการยับยั้งความยาวรากของต้นกล้าผักกาดหอม

การอภิปรายผล

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวในสภาวะที่ได้รับความเข้มแสงต่างกันพบว่าเมื่อต้นข้าวได้รับความเข้มแสงลดลงซึ่งได้รับแสงเพียง 50% และ 10% ของความเข้มแสงธรรมชาติจะมีการเจริญเติบโตที่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับแสง 100% ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อพืชได้รับความเข้มแสงต่ำจะส่งผลให้มีอัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่ำด้วย ซึ่งอัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเป็นค่าที่บอกปริมาณอิเล็กตรอนที่ได้เคลื่อนที่ผ่านระบบแสงสองในกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรในการสังเคราะห์ด้วยแสง (ธีรพัฒน์, 2557) ซึ่งจากการศึกษาของ Beer และ Björk ในปี 2000 พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับอัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ดังนั้นเมื่อปลูกต้นข้าวในสภาวะความเข้มแสงแสงต่ำจึงส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงทำให้มีการเจริญเติบโตที่ลดลงเช่นกัน และจากการศึกษาพบว่าต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะความเข้มแสงลดลง (50% และ 10%) มีแนวโน้มของความสามารถทางอัลลีโลพาทีลดลงตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับแสง 100% กล่าวคือสารสกัดที่ได้จากต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะความเข้มแสงตามธรรมชาติมีแนวโน้มในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมได้ดีกว่าสารสกัดจากต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะความเข้มแสงที่ 50% และ 10% ซึ่งหากเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวในสภาวะที่ได้รับความเข้มแสงต่างกันพบว่า ในสภาวะที่ต้นข้าวได้รับความเข้มแสงต่ำจะทำให้มีการเจริญเติบโตที่ลดลงและทำให้ความสามารถทางอัลลีโลพาทีลดลงไปด้วย ซึ่งตรงกับการศึกษาของ Hou และคณะในปี 2010 ได้ศึกษาต้นชะเอมจีนพบว่า เมื่อปลูกต้นชะเอมจีนในสภาวะความเข้มแสงต่ำจะทำให้มีการสะสมของสาร secondary metabolites ในรากของชะเอมจีนลดลง และการศึกษาของ Takabayashi และคณะในปี 1994 ซึ่งพบว่าเมื่อปลูก *Phaseolus lunatus* L. ในสภาวะความเข้มแสงที่แตกต่างกัน ต้นที่ปลูกในความเข้มแสงมากกว่าจะมีการปลดปล่อยสารระเหยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมได้มากกว่าต้นที่ปลูกในสภาวะความเข้มแสงต่ำ รวมทั้งการศึกษาของ Murase และคณะในปี 2003 ซึ่งทำการศึกษาในพืชสกุล *Macaranga* ที่มีการตอบสนองทางเคมีต่อแสงพบว่า เมื่อพืชได้รับความเข้มแสงต่ำจะมีการหลั่งสารเคมี (carbon-based metabolites) เพื่อป้องกันตัวเองลดลงเมื่อเทียบกับพืชที่ปลูกในสภาวะความเข้มแสงสูงกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อปลูกพืชในสภาวะความเข้มแสงต่ำจะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ส่งผลให้ความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตที่สะสมในพืชลดลง ทำให้เกิดข้อจำกัดของพืชในการสร้างสารอัลลีโลพาทีที่ต้องใช้โครงสร้างคาร์บอนในการผลิตสารนั้น ดังนั้นพืชที่ปลูกในสภาวะความเข้มแสงต่ำกว่าจึงมีโอกาสที่จะสร้างและปลดปล่อยสารอัลลีโลพาทีสู่สิ่งแวดล้อมน้อยกว่าพืชที่ปลูกในสภาวะที่ได้รับความเข้มแสงสูงกว่า (Bryant et al., 1983)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 เป็นฐานข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวในสภาวะที่ได้รับความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

1.2 ปรับใช้ความรู้ในการให้ปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวเพื่อให้มีการเจริญเติบโตและได้ผลผลิตที่ดีขึ้น รวมถึงให้มีความสามารถทางอัลลีโลพาทีในการปลดปล่อยสารเพื่อยับยั้งการแข่งขันกับวัชพืชข้างเคียง

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ทำการศึกษาในปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวเช่น สารอาหาร อุณหภูมิ น้ำ หรือการรบกวนของศัตรูพืชหรือวัชพืช เป็นต้น

2.2 ทำการศึกษายีนที่ส่งผลต่อความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวเพื่อใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ธีรพัฒน์ เทพแก้ว. (2557). ผลของดินขาวเคโอลินต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง **ผลผลิตและคุณภาพองุ่น (*Vitis vinifer* L.) ไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษศาสตร์, ภาควิชาพฤกษศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Beer, S., Björk, M. (2000). Photosynthetic rates in seagrasses by pulse amplitude modulated (PAM) fluorometry. **Aquatic Botany, 66,** 69-76.

Bryant, J.P., F.S. Chapin, III, & D.R. Klein. (1983). Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. **Oikos, 40,** 357-368.

Dilday, R.H., Yan, W.G., Moldenhauer, K.A.K., & Gravois, K.A. (1998). Allelopathic activity in rice for controlling major aquatic weeds. **In 'Allelopathy in Rice', International Rice Research Institute, Manila**, pp. 7-26.

Ebana, K., Yan, W., Dilday, R.H., Namai, H., & Okuno, K. (2001). Variationin the allelopathy effect of rice with water soluble extracts. **Agronomy Journal, 93,** 12–16

Hou, J.L., Li, W.D., Zheng, Q.Y., Wang, W.Q., Xiao, B., & Xing, D. (2010). Effect of low light intensity on growth and accumulation of secondary metabolites in roots of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. **Biochemical Systematics and Ecology, 38,** 160–168.

Kawaguchi, S., Yoneyama K., Yokota, T., Takeuchi, Y., Ogasawara, M., & Konnai, M. (1997). Effect of aqueous extract of rice plants (*Oryza sativa* L.) on seed germination and radicle elongation of *Monochoria vaginalis* var. plantaginea. **Plant Growth Regulation, 23,** 183-189.

Kim, K.U., Shin, D.H., Kim, H.Y., Lee, Z.L., & Olofsdotter, M. (1999). Evaluation of allelopathic potential in rice germplasm. **Korean Journal of Weed Science, 19,** 19.

Murase, K., Itioka, T., Masahiro, N., & Yamane, S. (2003). Intraspecific variation in the status of ant symbiosis on a myrmecophyte *Macaranga bancana*, between primary and secondary forests in Borneo. **Population Ecology, 45,** 221–226.

Olofsdotter, M., Navarez, D., Rebulanan, M., & Streibig, J.C. (1999). Weed-suppressing rice cultivars: Does allelopathy play a role? **Weed Research, 39,** 441-454.

Putnam, A. R. (1985). Weed allelopathy. In S. O. Duke, ed. **Weed Physiology, Volume I: Reproduction and Ecophysiology.** Boca Raton, FL: CRC Press. pp. 131–155.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). **Plant Physiology**. 4thed. Sinauer Associates, Inc., Massachuesttees. 764 pp.

Takabayashi, J., Dicke, M., & Posthumus, M.A. (1994). Volatile herbivore-induced terpenoids in plant-mite interactions: variation caused by biotic and abiotic factors. **Journal of Chemical Ecology, 20,** 1329–1354.

ข้อมูลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ผลของความเครียดแสงต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว

ตารางภาคผนวก 1 ผลของความเครียดแสงต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์หอมจันทร์

ความเข้มของแสง	ความสูงเหนือดินของต้นข้าว (ซม.)	ความยาวรากต้นข้าว (ซม.)	น้ำหนักแห้งทั้งต้นของต้นข้าว (กรัม)	อัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ($\mu molE\ m^{-2}\ s^{-1}$)
100%	22.8±0.6	14.6±0.6	0.13±0.007	61.41±5.59
50%	21.1±0.5	14.0±0.7	0.11±0.006	46.76±2.39
10%	19.0±0.8	11.9±0.8	0.10±0.004	21.07±2.05

ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

ตารางภาคผนวก 2 ผลของความเครียดแสงต่อความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวพันธุ์หอมจันทร์

ความเข้มแสง	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม
100%	37.0±5.9	28.5±2.8	29.6±5.6	29.2±4.4	24.5±7.2
50%	28.8±7.7	28.1±2.2	24.1±3.4	25.7±2.1	16.9±5.9
10%	19.2±7.9	28.6±4.5	19.0±7.0	22.9±4.4	11.6±7.8

ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

การทดลองที่ 2 ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว

ตารางภาคผนวก 3 ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์หอมจันทร์

ความเข้มข้นของสารอาหาร	ความยาวยอดของต้นข้าว (ซม.)	ความยาวรากต้นข้าว (ซม.)	น้ำหนักแห้งทั้งต้นของต้นข้าว (กรัม)	ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด
1N	24.7±0.95	19.1±1.38	0.0131±0.0009	0.814±0.004
0.1N	20.7±1.40	17.9±1.81	0.0110±0.0006	0.784±0.019
0.01N	16.2±1.19	13.0±0.96	0.0066±0.0008	0.740±0.024

ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

ตารางภาคผนวก 4 ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าวพันธุ์หอมจันทร์

ความเข้มข้นของสารอาหาร	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม
1N	26.4±8.4	13.9±3.9	20.8±3.8	16.9±3.1	17.3±4.7
0.1N	34.7±7.5	19.2±4.1	37.7±6.5	28.5±3.0	39.8±6.9
0.01N	44.4±7.3	23.1±5.3	42.8±6.4	33.2±3.8	42.0±5.9

ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

การทดลองที่ 3 ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว 3 สายพันธุ์

ตารางภาคผนวก 5 ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อการเจริญเติบโตของข้าว 3 สายพันธุ์

5.1 พันธุ์หอมจันทร์

ความเข้มข้นของสารอาหาร	ความยาวยอดของต้นข้าว (ซม.)	ความยาวรากต้นข้าว (ซม.)	น้ำหนักแห้งทั้งต้นของต้นข้าว (กรัม)	ความเขียวใบ (SPAD)	ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด
1N	31.4±0.9	18.9±0.9	0.0183±0.0014	25.0±0.8	0.810±0.008
0.1N	26.2±0.5	18.4±1.1	0.0112±0.0007	19.0±0.6	0.745±0.014
0.01N	23.0±0.6	15.4±0.8	0.0065±0.0007	14.6±0.2	0.663±0.007

ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

5.2 พันธุ์สารสวย

ความเข้มข้นของสารอาหาร	ความยาวยอดของต้นข้าว (ซม.)	ความยาวรากต้นข้าว (ซม.)	น้ำหนักแห้งทั้งต้นของต้นข้าว (กรัม)	ความเขียวใบ (SPAD)	ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด
1N	32.6±1.1	20.8±1.4	0.0196±0.0009	25.1±0.6	0.781±0.010
0.1N	27.3±0.9	21.6±1.2	0.0142±0.0009	21.1±0.6	0.724±0.025
0.01N	23.3±0.5	17.7±0.8	0.0079±0.0012	14.6±0.5	0.685±0.020

ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

5.3 เหนียวดำช่อไม้ไผ่

ความเข้มข้นของสารอาหาร	ความยาวยอดต้นข้าว (ซม.)	ความยาวรากต้นข้าว (ซม.)	น้ำหนักแห้งทั้งต้นของต้นข้าว (กรัม)	ความเขียวใบ (SPAD)	ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด
1N	33.1±1.2	22.4±1.2	0.0231±0.0017	28.4±1.4	0.795±0.019
0.1N	28.5±0.9	19.4±0.6	0.0197±0.0009	21.2±1.0	0.762±0.014
0.01N	25.3±0.5	18.8±1.0	0.0108±0.0009	15.9±0.6	0.717±0.025

ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

ตารางภาคผนวก 6 ผลของความเครียดจากการขาดสารอาหารต่อความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว 3 สายพันธุ์

6.1 หอมจันทร์

ความเข้มข้นของสารอาหาร	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม
1N	25.4±5.4	36.6±3.6	21.1±0.7	29.5±2.2	17.3±4.1
0.1N	35.8±4.7	39.3±2.7	34.0±2.1	36.9±2.1	24.1±5.2
0.01N	50.8±4.9	40.2±2.5	46.1±3.9	42.9±2.1	25.8±4.1

ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

6.2 สารสวย

ความเข้มข้นของสารอาหาร	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม
1N	22.1±3.9	20.7± 2.5	21.7±3.6	21.3±3.0	14.8±3.6
0.1N	31.4±3.9	21.5±1.3	31.0±3.2	25.9±1.4	17.3±3.0
0.01N	48.8±5.0	31.1±4.9	40.4±5.8	35.4±5.0	24.7±3.7

ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

6.3 เหนียวดำช่อไม้ไผ่

ความเข้มข้นของสารอาหาร	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม
1N	13.1±6.4	36.1±4.5	24.8±2.8	34.5±1.9	14.5±3.3
0.1N	40.5±6.8	42.4±2.3	29.8±2.2	39.8±2.1	37.9±2.4
0.01N	65.5±3.9	55.6±3.2	46.9±1.6	58.9±2.6	52.2±3.0

ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

ตารางภาคผนวก 7 ค่าความชันกราฟของข้าวแต่ละสายพันธุ์เมื่อนำมาวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ระหว่างการเจริญเติบโตและศักยภาพทางอัลลีโลพาทีของข้าวในสภาวะที่ได้รับความเข้มข้นสารอาหารต่างกัน

ความสัมพันธ์		พันธุ์ข้าว	ความชันกราฟ
การเติบโตของข้าว	ศักยภาพทางอัลลีโลพาที		
ความสูงส่วนเหนือดินของต้นข้าว	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	หอมจันทร์	-2.955
		สารสวย	-2.811
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-6.709
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-0.442
		สารสวย	-1.057
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-2.448
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-2.948
		สารสวย	-1993
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-2.733
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-1.586
		สารสวย	-1.483
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-3.012
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-1.046
		สารสวย	-1.028
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-4.880
ความยาวรากของต้นข้าว	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	หอมจันทร์	-6.397
		สารสวย	-5.688
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-12.997
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-0.778
		สารสวย	-2.719
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-4.437

ความสัมพันธ์		พันธุ์ข้าว	ความชันกราฟ
การเติบโตของข้าว	ศักยภาพทางอัลลีโลพาที		
ความยาวรากของต้นข้าว	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-3.527
		สารสวย	-3.471
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-4.783
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-3.163
		สารสวย	-3.060
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-8.266
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-1.764
		สารสวย	-2.276
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-9.740
น้ำหนักแห้งของต้นข้าว	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	หอมจันทร์	-2107
		สารสวย	-2298.5
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-3953.4
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-314.53
		สารสวย	-898.6
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-1566.3
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-2104.7
		สารสวย	-1596.6
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-1815.9
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-1132.1
		สารสวย	-1215.9
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-2009.3
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-743.28
		สารสวย	-851.58
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-2759.9

ความสัมพันธ์		พันธุ์ข้าว	ความชันกราฟ
การเติบโตของข้าว	ศักยภาพทางอัลลีโลพาที		
ความเขียวใบของต้นข้าว	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	หอมจันทร์	-2.391
		สารสวย	-2.563
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-4.158
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-0.354
		สารสวย	-1.032
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-1.522
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-2.382
		สารสวย	-1.751
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-1.702
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-1.281
		สารสวย	-1.359
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-1.876
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-0.836
		สารสวย	-0.960
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-3.020
ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของระบบแสงสองของใบข้าว (Fv/Fm)	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม	หอมจันทร์	-173.54
		สารสวย	-271.09
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-664.74
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-24.108
		สารสวย	-100.74
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-253.36
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญส่วนรากของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-169.4
		สารสวย	-193.39
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-288.66
	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการความยาวทั้งต้นของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-90.463
		สารสวย	-142.87
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-318.84

ความสัมพันธ์		พันธุ์ข้าว	ความชันกราฟ
การเติบโตของข้าว	ศักยภาพทางอัลลีโลพาที		
ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของระบบแสงสองของใบข้าว (Fv/Fm)	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม	หอมจันทร์	-56.22
		สารสวย	-98.65
		เหนียวดำช่อไม้ไผ่	-473.44

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล กิดากานต์ สาสุธรรม

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5810220093

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (ชีววิทยา)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2557

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.)

ทุนอุดหนุนการวิจัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

กิดากานต์ สาสุธรรม และกฤติกา แก้วจำนง. 2560. ผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและความสามารถทางอัลลีโลพาทีของข้าว (*Oryza sativa* L). รวมบทความการประชุมนำเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ครั้งที่ 11 ประจำปีการศึกษา 2560. 16 ธันวาคม 2560. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี. จ.อุดรธานี. หน้า 1766-1775.