ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโต ของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ

นิภาพร บุญชอบ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

INFLUENCE OF SILICON ON SOME PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GROWTH IN FOUR RICE (*Oryza sativa* L.)CULTIVARS UNDER SALINITY STRESS

NIPAPORN BUNCHOB

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTSFOR
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
MAJOR IN AGRICULTURE FACULTY OF AGRICULTURE
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2017
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์

เรื่องผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ

ผู้วิจัยนางสาวนิภาพร บุญชอบ

คณะกรรมการสอบ

รองศาสตราจารย์ ดร.ภูมิศักดิ์ อินทนนท์ ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวัฒน์ธีระพงษ์ธนากร กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานัส ลอศิริกุล กรรมการ
ดร.เรวัติ ชัยราช กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุวัฒน์ธีระพงษ์ธนากร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานัส ลอศิริกุล)

....
(ดร.นรินทรบุญพราหมณ์) (รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์พงษ์รัตน์)
คณบดีคณะเกษตรศาสตร์ รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา2560

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณา และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์รองศาสตราจารย์ ดร. สุวัฒน์ธีระพงษ์ธนากร และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร .มานัสลอศิริกุล ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ตรวจแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น ด้วยความเอาใจใส่ รวมทั้งการเป็นแบบอย่างที่ดีแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณที่นี้ และขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ดร .ภูมิศักดิ์อินทนนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.เรวัติชัยราช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณนักวิชาการและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการคณะเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา ขอ ขอบพระคุณหัวหน้าสำนักงานไร่ฝึกทดลองและเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล ซึ่งทุกท่านให้ความร่วมมือในการศึกษาจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดีขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นักศึกษาที่คอยให้กำลังใจ และขอขอบพระคุณสถาบันการศึกษาแห่งนี้ ที่ได้ให้ความรู้ และประสบการณ์อันมีค่าในการศึกษา

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำลังใจ ส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการศึกษาที่ดี คุณค่าและประโยชน์ที่เกิดจากการศึกษาครั้งนี้ ขอมอบแด่ผู้ที่อยู่เบื้องหลังในการส่งเสริมความสำเร็จทั้งที่ได้กล่าวนามถึงและมิได้กล่าวนามถึงทุกท่าน และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

นิภาพร บุญชอบ
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ

ผู้วิจัย : นิภาพร บุญชอบ

ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : เกษตรศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร

คำสำคัญ : ข้าว, ซิลิกอน, โซเดียมคลอไรด์, สรีรวิทยา, การเจริญเติบโต, ความเครียดเกลือ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการของข้าวระยะต้นกล้าและระยะแตกกอ 4 พันธุ์ ในสภาวะความเครียดโซเดียมคลอไรด์ เมื่อปลูกในสารละลายอาหาร จัดการทดลองแบบ 4X2X2 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ตำรับการทดลอง ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ดังนี้ ปัจจัยที่ 1 พันธุ์ข้าว 4 พันธุ์คือ ขาวดอกมะลิ105 กข15 กข6 และทับทิมชุมแพ ปัจจัยที่ 2 โซเดียมคลอไรด์ 2 ระดับ คือ 0 และ 50 มิลลิโมล ปัจจัยที่ 3 ซิลิกอน 2 ระดับ คือ 0 และ 5.0 มิลลิโมล ผลการทดลองพบว่า ความเครียดเกลือทำให้คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (Fv/Fm) ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ แคโรตินอยด์ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการคายน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความต้านทานที่ปากใบแสดงผลตรงกันข้าม อย่างไรก็ตามเมื่อต้นข้าวได้รับซิลิกอนทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และความต้านทานที่ปากใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีปริมาณแคโรตินอยด์และอัตราการคายน้ำลดลง เมื่อพิจารณาจากตัวแปรที่ศึกษาในครั้งนี้พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 สามารถทนเค็ม ได้ดีกว่าข้าวพันธุ์กข15 ทับทิมชุมแพ และกข6 สำหรับความเครียดเกลือทำให้ จำนวนหน่อต่อต้น พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งใบ ต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น ของข้าวลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนกลับแสดงผลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกตัวแปร เมื่อต้นข้าวได้รับ โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซิลิกอน ทำให้พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งใบ ต้น รากและอัตราส่วนรากต่อต้น เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาจากตัวแปรที่ศึกษาในครั้งนี้พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 ทับทิมชุมแพ สามารถทนเค็มได้ดีกว่าข้าว กข6 ผลการทดลองสรุปว่าต้นข้าวทุกพันธุ์ในระยะแตกกอทนเค็มได้ดีกว่าระยะต้นกล้า โดยข้าวขาวดอกมะลิ105 สามารถทนเค็มได้ดีกว่าข้าว กข15 ทับทิมชุมแพ และกข6

ABSTRACT

TITLE : INFLUENCE OF SILICON ON SOME PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GROWTH IN FOUR RICE (*Oryza sativa* L.) CULTIVARS UNDER SALINITY STRESS
AUTHOR : NIPAPORN BUNCHOB
DEGREE : MASTER OF SCIENCE
MAJOR : AGRICULTURE
ADVISOR : ASSOC.PROF.SUWAT TERAPONGTANAKORN, Ph.D.
KEYWORDS : RICE, SILICON, SODIUM CHLORIDE, PHYSIOLOGY, GROWTH, SALINITY STRESS

The influence of silicon on some physiological characteristics of four rice cultivars at seedling and tillering stages under salinity stress was investigated in hydroponic condition. The experiment was conducted using a 4x2x2 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) with three replications. Four rice cultivars KDML105 RD15 RD6 and Tubtim chumphae were factor A. Two sodium chloride levels 0, 50 mM were factor B. Two silicon dioxide levels 0, 5.0 mM were factor C. The result found that salinity significantly reduced chlorophyll fluorescence, leaf chlorophyll content, carotenoid photosynthetic rate and transpiration rate while stomata resistance found adversely affected. However, Photosynthetic parameters (leaf chlorophyll content and stomata resistance) found significantly increased while carotenoid and transpiration rate found adversely affected after silicon addition. KDML105 showed tolerant to salt stress more than that of RD15 Tubtim chumphae and RD6 based on various parameters studied. The salinity caused the number of tiller plant, leaf area, leaf dry weight, shoot dry weight, root dry weight and root shoot ratio decreased significantly. While silicon treatment in rice showed significantly increased in all parameters. However, when rice were exposed to sodium chloride interacted with silicon, the increment of leaf area, leaf dry weight, shoot dry weight, root dry weight and root shoot ratio were significantly differed. KDML105 showed tolerance to salt stress more than RD15, Tubtim chumphae and RD6 in all parameters studied. The results concluded that all of rice cultivars were higher tolerance at tillering than seedling stages. KDML105 showed tolerance to salt stress more than RD15, Tubtim chumphae and RD6.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	**ก**
บทคัดย่อภาษาไทย	**ข**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**ฉ**
สารบัญภาพ	**ฎ**
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	**ฐ**
บทที่1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ดินเค็ม (saline soil)	3
2.2 ลักษณะพฤกษศาสตร์ของข้าวที่ใช้ในการศึกษา	14
2.3 ซิลิกอน (silicon)	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์	22
3.2 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นของซิลิกอนไดออกไซด์	23
3.3 การศึกษาผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและ การเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดโซเดียมคลอไรด์ ประกอบด้วย 2 การทดลองคือ ต้นข้าวอายุ 14 และ 30 วัน	24
3.4 ระยะเวลาทำวิจัย	28
3.5 สถานที่ทำวิจัย	28
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์	29
4.2 ผลการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นของซิลิกอนไดออกไซด์	36
4.3 ผลการทดลองที่ 1 ต้นข้าวอายุ 14 วัน	43
4.4 ผลการทดลองที่ 2 ต้นข้าวอายุ 30 วัน	71

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 อภิปรายผล	
5.1 ผลการทดลองที่ 1 ต้นข้าวอายุ 14 วัน	90
5.2 การวิเคราะห์การเจริญเติบโต	96
5.3ผลการทดลองที่2 ต้นข้าวอายุ 30 วัน	96
5.4 การวิเคราะห์การเจริญเติบโต	100
บทที่ 6 สรุป	
6.1 ผลการทดลองที่ 1 ต้นข้าวอายุ 14 วัน	101
6.2 ผลการทดลองที่ 2 ต้นข้าวอายุ 30 วัน	101
เอกสารอ้างอิง	**102**
ภาคผนวก	
ก กรณีอธิบาย AB AC และ BC	111
ขการเตรียมสารละลายอาหารและวิธีการสกัดคลอโรฟิลล์	139ค ภาพ
งานทดลอง	143
ง. ภาพเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล	151
ประวัติผู้วิจัย	**153**

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่าการนำไฟฟ้า (EC, dS/m) ค่าโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ESP,%) ระดับความเค็มของดินและผลกระทบของเกลือต่อพืช 4
4.1 อัตราการคายน้ำ (E) และความต้านทานที่ปากใบ (Rs) ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 14 และ 21 วัน 30
4.2 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์Fv/Fmและ Fm/Foของข้าวขาวดอกมะลิ105 และ กข6 เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 14 และ 21 วัน 31
4.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 14 วัน 32
4.4 จำนวนหน่อต่อต้นและความสูง (ซ.ม.) ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข 6 เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 14 และ 21 วัน 33
4.5 พื้นที่ใบ (ซ.ม.^{2}) และน้ำหนักแห้งใบ (กรัม) ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 14 และ 21 วัน 34
4.6 น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) และน้ำหนักแห้งราก (กรัม) ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และ กข6 เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 14 และ 21 วัน 35
4.7 น้ำหนักแห้งส่วนต้น (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้น (กรัม) ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และกข6 เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 14 และ 21 วัน 36
4.8 อัตราการคายน้ำ (E) และความต้านทานที่ปากใบ (Rs) ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 เมื่อได้รับซิลิกอนที่ 14 และ 21 วัน 37
4.9 Fv/Fmและ Fm/Foของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 เมื่อได้รับซิลิกอน ที่ 14 และ 21 วัน 38
4.10 ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 เมื่อได้รับซิลิกอน ที่ 14 และ 21 วัน 39
4.11 จำนวนหน่อต่อต้นและความสูง (ซ.ม.) ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 เมื่อได้รับซิลิกอน ที่ 14 และ 21 วัน 40
4.12 พื้นที่ใบ (ซ.ม.^{2}) และน้ำหนักแห้งใบ (กรัม) ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 เมื่อได้รับซิลิกอน ที่ 14 และ 21 วัน 41
4.13 น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) และน้ำหนักแห้งราก (กรัม) ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 เมื่อได้รับซิลิกอน ที่ 14 และ 21 วัน 42
4.14 น้ำหนักแห้งส่วนต้น (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้น (กรัม) ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และกข6 เมื่อได้รับซิลิกอน ที่ 14 และ 21 วัน 43

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.15 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (Fv/Fm) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอน ในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน 44
4.16 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (A) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอน ในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน 46
4.17 อัตราการคายน้ำ (E) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะ ความเครียดเกลือ 7-21 วัน 47
4.18 ค่าการนำที่ปากใบ (Gs) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะ ความเครียดเกลือ 7-21 วัน 48
4.19 ปริมาณ CO_2 ใน substomatal (Ci) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนใน สภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน 49
4.20 ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CE) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับ ซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน 50
4.21 ประสิทธิภาพในการใช้แสง (QY) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอน ในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน 52
4.22 ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะ ความเครียดเกลือ 7-21 วัน 53
4.23 ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ (mg/g FW) ในใบของข้าว 4 พันธุ์ หลังจาก ได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน 54
4.24 พื้นที่ใบ (ซ.ม.^{2}) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 60
4.25 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7 วัน 61
4.26 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 14 วัน 62
4.27 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 21 วัน 63
4.28 จำนวนหน่อต่อต้นและความสูง (ซ.ม.) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนใน สภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 64
4.29 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะ ความเครียดเกลือ ที่ 7-14 และ 14-21 วัน 68
4.30 พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะ ความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.31 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (Fv/Fm) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 72
4.32 อัตราการคายน้ำ (E) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 73
4.33 ความต้านทานที่ปากใบ (Rs) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 74
4.34 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (mg/g FW) และแคโรทีนอยด์ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 14 วัน 75
4.35 พื้นที่ใบ (ซ.ม. ^{2}) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 80
4.36 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7 วัน 81
4.37 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 14 วัน 82
4.38 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 21 วัน 83
4.39 จำนวนหน่อต่อต้นและความสูง (ซ.ม.) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 84
4.40 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-14 และ 14-21 วัน 87
4.41 พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 88
ก.1 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์(Fv/Fm) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน 112
ก.2 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (A) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน 113
ก.3 อัตราการคายน้ำ (E) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน 114
ก.4 ค่าการนำที่ปากใบ (Gs) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน 115
ก.5 ปริมาณ CO_2 ใน substomatal (Ci) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน 116

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.6 ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CE) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน 117
ก.7 ประสิทธิภาพในการใช้แสง (QY) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน 118
ก.8 ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน 119
ก.9 ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ (mg/g FW) ในใบของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน 120
ก.10 พื้นที่ใบ (ซ.ม.^{2}) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 121
ก.11 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7 วัน 122
ก.12 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 14 วัน 123
ก.13 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 21 วัน 124
ก.14 จำนวนหน่อต่อต้นและความสูง (ซ.ม.) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 125
ก.15 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-14 และ 14-21 วัน 126
ก.16 พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 127
ก.17 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (Fv/Fm) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 128
ก.18 อัตราการคายน้ำ (E) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 129
ก.19 ความต้านทานที่ปากใบ (Rs) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 130
ก.20 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (mg/g FW) และแคโรทีนอยด์ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 14 วัน 131
ก.21 พื้นที่ใบ (ซ.ม.^{2}) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 132

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.22 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7 วัน 133
ก.23 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 14 วัน 134
ก.24 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 21 วัน 135
ก.25 จำนวนหน่อต่อต้นและความสูง (ซ.ม.) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 136
ก.26 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-14 และ 14-21 วัน 137
ก.27 พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน 138
ข.1 ชนิดสารเคมีและน้ำหนักสาร ที่ต้องใช้ในการเตรียมสารละลายอาหารเข้มข้น (stock solution) ปริมาตร 2 ลิตร 141

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 เนื้อเยื่อชั้นผิวของใบข้าวแสดงผิวเคลือบคิวทิน (cuticle) ชั้นซิลิก้า (silica layer) และผนังเซลล์ 18
4.1 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (Fv/Fm) อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (A) อัตราการคายน้ำ (E) และค่าการนำที่ปากใบ (Gs) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน 55
4.2 ปริมาณ CO_2 ใน substomatal (Ci) ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CE) ประสิทธิภาพในการใช้แสง (QY) และประสิทธิภาพในการใช้น้ำ (WUE) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะ ความเครียดเกลือ 14 วัน 56
4.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะ ความเครียดเกลือ 14 วัน 57
4.4 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น และรากของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะ ความเครียดเกลือ 14 วัน 65
4.5 อัตราส่วนรากต่อต้น จำนวนหน่อต่อต้น ความสูงและพื้นที่ใบของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน 66
4.6 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) และพื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน 70
4.7 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ อัตราการคายน้ำ (E) และความต้านทานปากใบ (Rs) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน 76
4.8 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน 77
4.9 จำนวนหน่อต่อต้น พื้นที่ใบ และความสูง ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน 85
4.10 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน 86
4.11 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) และพื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน 89
ค.1 ต้นกล้าข้าวอายุ 14 วัน เมื่อย้ายปลูกในสารละลายอาหาร 144
ค.2 การกล้าข้าวอายุ 30 วัน เมื่อย้ายปลูกในสารละลายอาหาร 144
ค.3 การเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ105 (A,C) และกข6 (B,D) เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 14 วัน ที่ระดับ NaCl0, 50 และ 100 mM145
ค.4 การเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ105 (A,C) และกข6 (B,D) เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 21 วัน ที่ระดับ NaCl0, 50 และ 100mM 146

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ค.5 การเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ105 (A,C) และกข6 (B,D) เมื่อได้รับซิลิกอน 14 วัน ที่ระดับ SiO_2 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 mM 147
ค.6 การเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ105 (A,C) และกข6 (B,D) เมื่อได้รับซิลิกอน 21 วัน ที่ระดับ SiO_2 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 mM 148
ค.7 ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือในระยะต้นกล้า 149
ค.8 ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือในระยะต้นกล้า 149
ค.9 ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือในระยะต้นกล้า 149
ค.10 ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือในระยะแตกกอ 150
ค.11 ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือในระยะแตกกอ 150
ค.12 ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือในระยะแตกกอ 150
ง.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลอายุข้าว 14 วัน ได้แก่ Plant Efficiency Analyzer (A) และ Portable Photosynthetic System รุ่น LCi-SD (B) 152
ง.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลอายุข้าว 30 วัน ได้แก่ Plant Efficiency Analyzer (A) และ Steady State Porometer Li-1600 (B) 152

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์และอักษรย่อ	คำอธิบาย
ซ.ม. เซนติเมตร	
ซ.ม.^{2} ตารางเซนติเมตร	
น.น. น้ำหนัก	
A	photosynthetic rate
CE	Carboxylation Efficiency
Chl.a	Chlorophyll a
Chl.b	Chlorophyll b
Ci	ปริมาณ CO_2 ใน substomatal
dS/m	เดซิซีเมนต่อเมตร
E	transpiration rate
EC	Electrical conductivity
ESP	exchange sodium percentage
Fv/Fm	the maximal quantum yield of photochemical at photosystem II
Gs	stomatal conductance
$\mu g\ cm^{-2} s^{-1}$	ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
KDML105	ข้าวขาวดอกมะลิ105
LSD	least significant difference
mg/gFW	milligram/gram frest weight
ml	มิลลิลิตร
mM	มิลลิโมล
$\mu mole CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$	ไมโครโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อวินาที
$\mu mole CO_2$ /$mol H_2O$	ไมโครโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อโมลของน้ำ
mole $H_2O\ m^{-2} s^{-1}$	โมลของน้ำต่อตารางเมตรต่อวินาที
MW	molecular weight
NaCl	โซเดียมคลอไรด์
ppm	parts per million
QY	Quantum Yield of Photosynthesis
RD6	ข้าวกข6
RD15	ข้าวกข15
RGR	Relative Growth Rate
Rs	stomatal resistance

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ(ต่อ)

สัญลักษณ์และอักษรย่อ	คำอธิบาย
$S\ cm^{-1}$	ซีเมนต่อเซนติเมตร
SiO_2	ซิลิกอนไดออกไซด์
SLA	Specific Leaf Area
Total Chl.	Chlorophyll a+ Chlorophyll b
WUE	Water Use Efficiency
%	เปอร์เซ็นต์

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) จัดเป็นพืชไม่ทนเค็ม (non-halophyte) แต่สามารถปรับตัวทนเค็มได้ปานกลาง เป็นพืชไร่ที่มีความสำคัญต่อประชากรมากกว่าครึ่งหนึ่งของโลก เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะประชากรในทวีปเอเชียที่บริโภคข้าวคิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ของประชากรโลก (Hoang et al.,2016) ข้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เมืองไทยส่งออกข้าวอันดับ 1 แต่เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ขณะที่พื้นที่เพาะปลูกข้าวลดลง กอปรกับผลผลิตต่อไร่ของข้าวที่ต่ำ ส่งผลให้เกิดการขาดแคลนข้าวในหลายพื้นที่ สาเหตุส่วนใหญ่ที่ทำให้ผลผลิตข้าวต่ำ นอกจากดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำแล้ว ยังมีปัญหาเรื่องดินเค็มทำให้ข้าว โดยเฉพาะในระยะต้นกล้ามีความอ่อนแอต่อความเค็มมากที่สุดในกลุ่มของธัญพืช (Hoang et al.,2016)

Greenway and Munns.(1980) รายงานว่า ความเสียหายของพืชเมื่อได้รับความเครียดเกลือเกี่ยวข้องกับสาเหตุ 3 ประการคือ ประการแรกความสัมพันธ์ของน้ำ (water relation) ประการที่สองความจำเพาะของไอออนที่พืชได้รับ (specific ions effects) และประการที่สามการลดการลำเลียงของสารละลายภายในต้นพืช (reduced transport of solute) อย่างไรก็ตามข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อเกลือแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ข้าว ระดับความเข้มข้นของเกลือในดิน ระยะการเจริญเติบโต และระยะเวลาที่ได้รับเกลือ ต่างก็มีผลกระทบ ต่อการเจริญเติบโตของพืช (Sepaskhah et al., 2010)

ซิลิกอน (silicon) เป็นธาตุที่พบมากในดิน อยู่ในรูปของกรดซิลิซิก (silicic acid) มีความเข้มข้น 100-600 ไมโครโมลาร์ มีสมบัติเป็นธาตุที่เสริมประโยชน์ (protective elements) มีการศึกษาเพื่อนำซิลิกอนมาใช้เพื่อเพิ่มการปรับตัวต่อภาวะความเครียดทางกายภาพ และชีวภาพในพืชหลายชนิดเช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ (Yoshida, 1981; Epstein, 1999) การใช้ซิลิกอนในข้าว มักจะใช้ในรูปของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ซึ่งซิลิกอนช่วยให้ใบข้าวตั้งชันลดการหักล้ม เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ทำให้ข้าวสามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่ได้รับความเครียดเกลือ (Mauad et al., 2003)

การศึกษาผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ จึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่ช่วยเพิ่มโอกาสในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่เพาะปลูกที่มีปัญหาดินเค็ม โดยศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยา และการเจริญเติบโตที่เปลี่ยนแปลงไปในข้าว 4 พันธุ์ คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 กข15 กข6 และทับทิมชุมแพ ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่เกษตรกรนิยมปลูก ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และ ซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ขั้นตอนที่ 2 ศึกษา ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโต ของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดจากเกลือ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาผลของซิลิกอนต่อความสามารถในการปรับตัวด้านสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของต้นข้าวอายุ 14 และ 30 วัน ในข้าว 4 พันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ105 กข15 กข6 และทับทิมชุมแพภายใต้สภาวะความเครียดจากเกลือโซเดียมคลอไรด์

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 ภาวะที่พืชได้รับความเครียด จากเกลือ เกิดความเสียหายต่อลักษณะทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของข้าว

1.3.2 ต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดจากเกลือ มีการปรับตัวด้านสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของข้าวได้ดี

1.3.3 ข้าว 4 พันธุ์ ที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดจากเกลือ ต้นข้าวอายุ 14 และ 30 วัน มีการปรับตัวด้านสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 การศึกษาผลของซิลิกอนต่อความสามารถในการปรับตัวด้านสรีรวิทยา และการเจริญเติบโตของข้าวในสภาวะความเครียดจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ สามารถใช้เป็นความรู้พื้นฐาน ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวทนเค็ม

1.4.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการจัดการด้านธาตุอาหารเพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าว ในสภาพพื้นที่ดินเค็ม

1.4.3 เทคนิควิธีการในการใช้เครื่องมือต่างๆ ในด้านการศึกษาสรีรวิทยาของพืช ผู้ที่สนใจสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานทดลองด้านสรีรวิทยาของพืชได้ ไม่ว่าจะเป็นการทดลองในโรงเรือนหรือห้องปฏิบัติการ

1.5 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของต้นข้าวอายุ 14 และ30 วัน ในข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ เมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหาร โดยมีพันธุ์ข้าวทดลอง 4 พันธุ์ ดังนี้ พันธุ์ขาวดอกมะลิ105 กข15 กข6 และทับทิมชุมแพ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดินเค็ม (saline soil)

2.1.1 ความหมายของดินเค็ม

ดินเค็ม (saline soil) คือดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือที่สามารถ ละลายน้ำได้ในปริมาณมาก หรือ โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มาก จึงมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลิตผลของพืช (Sepaskhah et al., 2010)ทำให้พืชเกิดความเครียดจากการขาดน้ำ และมีการสะสมไอออนที่เป็นพิษมากเกินไป จึงก่อให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารในพืช เมื่อเกลือสะสมอยู่ในดินสูงความเค็มของเกลือจะไปชะลอการเจริญเติบโตของพืช และลดผลผลิตเมล็ด (Yadav et al., 2011) ดินที่มีระดับความเค็มมากกว่า 4เดซิซีเมนต่อเมตร (dS/m) (ประมาณ 40 mM ของNaCl)จัดได้ว่าเป็นดินเค็ม (Hoang et al., 2016) เกลือที่พบได้ในสารละลายดิน มักจะมีส่วนประกอบของแคตไอออน(cation) ได้แก่ โซเดียม (sodium) แคลเซียม (calcium) แมกนีเซียม (magnesium) โพแทสเซียม (potassium) และแอนไอออน(anion) ได้แก่ คลอไรด์ (chloride) ซัลเฟต (sulfate) ไบคาร์บอเนต (bicarbonate) คาร์บอเนต (carbonate) รวมทั้งบอเรต (borate)และไนเตรท (nitrate) (Ogleand Loren, 2010)

ธีระรัตน์อบุลรัตน์และคณะ (2560) รายงานว่า ในประเทศไทยมีดินเค็มครอบ คลุมพื้นที่ 22 ล้านไร่ แบ่งออกเป็น 2 พื้นที่ คือดินเค็มบนบกและดินเค็มชายทะเล ดินเค็มแต่ละประเภท มีสาเหตุการเกิด ชนิดของเกลือ การแพร่กระจายตามพื้นที่และลักษณะภูมิประเทศต่างกัน เกลือที่พบคือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต(Na_2SO_4) แคลเซียมคลอไรด์($CaCl_2$)แมกนีเซียมไบคาร์บอเนต $Mg(HCO_3)_2$และโซเดียมไบคาร์บอเนต $NaHCO_3$ สำหรับพื้นที่ ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีเกลืออยู่ในรูปของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)จังหวัดที่พบพื้นที่ดินเค็ม ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด อุดรธานี สกลนคร นครพนม สุรินทร์ บุรีรัมย์ ยโสธร และอุบลราชธานี(ปานใจ สารพันโชติวิทยาและคณะ, 2556)

วิธีวัดค่า ระดับความเค็มที่นิยมกันโดยทั่วไปดูจากความเข้มข้นของความเค็มที่วัดได้ซึ่งมักจะใช้การนำไฟฟ้าของดิน (electrical conductivity; EC) มีหน่วยความเข้มข้นเป็น เดซิซีเมนต่อเมตร (dS/m) และค่าการนำไฟฟ้าของดินที่สกัดได้จากดินวัดจากการละลายขณะที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (electrical conductivity at saturation extract; Ece) ที่ 25 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ประเมินปริมาณเกลือและอิทธิพลของเกลือในดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช(Hoang et al., 2016)พืชโดยทั่วไปเจริญเติบโตได้น้อยลงเมื่อความเค็มของดินเพิ่มขึ้น และพืชทนเค็มเท่านั้นที่เจริญในดินเค็มได้ดี เนื่องจากดินมีการสะสมเกลือมากหรือน้อยแตกต่างกัน จึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน สามารถการจำแนกระดับความเค็มของดิน โดยพิจารณาจากผลกระทบต่อพืช ดังแสดงในตารางที่ 2.1 (El-Zanaty et al., 2006)

ตารางที่ 2.1ค่าการนำไฟฟ้า (EC, dS/m) ค่าโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ESP,%) ระดับความเค็มของดินและผลกระทบของเกลือต่อพืช

ค่าการนำไฟฟ้า (EC, dS/m)	ค่าโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ESP,%)	ระดับความเค็มของดิน	ผลกระทบของเกลือต่อพืช
<2	<0.1	ไม่เค็ม	ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช
2-4	0.1-0.2	เค็มเล็กน้อย	มีผลต่อพืชไม่ทนเค็ม
4-8	0.2-0.4	เค็มปานกลาง	มีผลต่อพืชไม่ทนเค็มหลายชนิด
8-16	0.4-0.8	เค็มมาก	พืชทนเค็มสามารถเจริญเติบโตได้
>16	>0.8	เค็มจัด	พืชทนเค็มและพืชชอบเกลือ

ที่มา: ดัดแปลงจาก El-Zanaty et al. (2006)

2.1.1.1ระบบของการจำแนกดินเค็ม สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท ดังนี้ (อรุณี, 2544)

1) ดินเค็ม (saline soil) หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลืออยู่สูง และละลายน้ำได้ง่าย หรือมีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณสูง จนเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืช ปกติจะวัดเป็นหน่วยของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดออกมาจากดินบริเวณรากพืชหยั่งถึงสูงกว่า 2 เดซิซีเมนต่อเมตร (dS/m) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์เซ็นต์ของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchange sodium percentage, ESP) น้อยกว่า 15 และมีค่า pH ของดินต่ำกว่า 8.5

2) ดินโซดิก (sodic soil) หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลืออยู่สูง และละลายน้ำได้ง่ายหรือมีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณสูงมากจนเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืช ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดออกมาจากดินบริเวณรากพืชหยั่งถึงต่ำกว่า 2 เดซิซีเมนต่อเมตร (dS/m) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์เซ็นต์ของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้(exchange sodium able percentage, ESP) มากกว่า 15 และมีค่า pH ของดินอยู่ระหว่าง8.5-10

3) ดินเค็มโซดิก (saline sodic soil) หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลืออยู่สูงมาก และละลายน้ำได้ง่าย หรือมีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณสูงมากจนเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืช ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดออกมาจากดินบริเวณรากพืชหยั่งถึงสูงกว่า 2 เดซิซีเมนต่อเมตร (dS/m) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์เซ็นต์ของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้(exchange sodium percentage, ESP) มากกว่า 15 และมีค่า pH ของดินอยู่ระหว่าง 8.5-10

2.1.1.2 การจำแนกระดับความเค็มที่มีผลกระทบต่อพืช (ปานใจ สารพันโชติวิทยา และคณะ, 2556)

1) พื้นที่ดินไม่เค็มหรือดินปกติ เป็นบริเวณที่ไม่พบคราบเกลือ น้ำใต้ดินไม่เค็มและไม่พบหินเกลือหรือดินที่มีเกลือปะปน

2) พื้นที่ที่มีศักยภาพเป็นแหล่งแพร่กระจายเกลือ พบในบริเวณที่สูง ไม่พบคราบเกลือบนผิวดิน อาจพบหินอมเกลือ (salt bearing rock) ซึ่งหินเหล่านี้อยู่ลึกกว่า 3 เมตร น้ำใต้ดินบาง

แห่งเป็นน้ำกร่อยหรือน้ำเค็มอยู่ลึกมากกกว่า 6 เมตร เมื่อชั้นหินที่มีเกลือสลายตัว เกลือก็จะถูกชะล้างด้วยน้ำแล้วพัดพา ทำให้เกิดการแพร่กระจายของเกลือไปสู่บริเวณที่อยู่ต่ำกว่า

3) พื้นที่ดินเค็มน้อย เป็นบริเวณที่มีคราบเกลือปรากฏให้เห็นในฤดูแล้งตามผิวดินพบคราบเกลือกระจายเป็นปริมาณน้อย กว่าร้อยละ 1 ของพื้นที่ หรือเทียบเคียงกับค่าการนำ ไฟฟ้าของดินที่สกัดได้จากดินขณะที่อิ่มตัว ด้วยน้ำ (ECe) ประมาณน้อยกว่า 4 dS/m น้ำใต้ดินเป็นน้ำกร่อยหรือน้ำเค็มแต่จะลึกมากกว่า 2 เมตรจากผิวดิน

4) พื้นที่ดินเค็มปานกลาง เป็นบริเวณที่มีคราบเกลือปรากฏให้เห็นบนผิวดินเป็นหย่อมๆ บริเวณที่พบคราบเกลือบนผิวดินปริมาณร้อยละ 1 ถึง 10 ของพื้นที่ หรือเทียบเคียงกับค่าการนำไฟฟ้าของดินที่สกัดได้จากดินขณะที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ECe) อยู่ระหว่าง 4-8dS/m

5) พื้นที่ดินเค็มจัด เป็นบริเวณที่มีคราบเกลือปรากฏให้เห็นบนผิวดินตลอดทั้งพื้นที่ โดยส่วนใหญ่ พบคราบเกลือตามผิวดิน กระจายอยู่ทั่วไปเป็นปริมาณมากกว่า ร้อยละ 10 ของพื้นที่ หรือเทียบเคียงกับค่าการนำไฟฟ้าของดินที่สกัดได้จากดินขณะที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ECe) มากกว่า 8 dS/m พื้นที่นี้ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืช ส่วนใหญ่ปล่อยทิ้งร้าง การปรับปรุงแก้ไขต้องลงทุนสูง

2.1.1.3 ปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาพื้นที่ดินเค็ม (อรุณียูวะนิยม, 2544)

1) ปัจจัยตามธรรมชาติ โดยส่วนใหญ่แล้ว ดินเค็ม ที่เกิดขึ้น ในบริเวณใด ๆ นั้นนอกจากจะมีปัจจัยพื้นฐานคือ มีชั้นเกลืออยู่ใต้ พื้นดินแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วยเช่นเป็นพื้นที่ลุ่มต่ำที่มีระดับผิวดินอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำเค็มใต้ดิน พื้นที่ ที่มีแนวรอยแตกของเปลือกโลก พาดผ่านเป็นบริเวณที่มีชั้นเกลือ หินอ ยู่ใกล้กับผิวดินทำให้เกิดดินเค็ม และเป็นบริเวณ ที่มีการตัดไม้ ทำลายป่าอย่างกว้างขวาง น้ำฝนสามารถซึมผ่านลงไปในชั้นดินได้มากขึ้น ส่งผลให้ระดับ น้ำใต้ดินซึ่งเป็นน้ำเค็มสูงขึ้นและอยู่ในระยะอิทธิพลของแรงดึงดูดของเหลว ในช่องว่าง ขนาดจิ๋ว (capillary force) ทำให้น้ำเค็มสามารถแพร่กระจายขึ้นสู่ผิวดินด้านบนได้ องค์ประกอบส่วนที่เป็นน้ำในน้ำบาดาลเค็มที่แพร่ขึ้นมาสู่ผิวดินจะถูกระเหยขึ้นไปสู่อากาศ ในขณะที่ส่วนที่เป็นเกลือจะถูกทิ้งเอาไว้ที่ผิวดิน และมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เมื่อกระบวนการ เหล่านี้ดำเนิน ไปเป็นเวลา นานคราบเกลือจำนวนมากจึงปรากฏ ให้เห็นบนผิวดินทำให้เกิดดินเค็ม

2) ปัจจัยจากการ กระทำของมนุษย์ เป็น ผลกระทบที่เกิดจากการ กระทำของมนุษย์ ได้แก่ การสร้างเขื่อนในบริเวณที่ไม่มีความเหมาะสมทางอุทกธรณีวิทยา ทำให้ระดับน้ำใต้ ดินในบริเวณถูกยกสูงขึ้น หรือการทำนา เกลือโดยขาดหลักวิชาการและขาดการจัดการน้ำเสียที่ เหลืออย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ เกิดการแพร่กระจายของ น้ำเค็ม ไปยังที่ ลุ่มต่ำ และที่นา ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเพาะปลูกพืช

2.1.1.4 กลไกการทนเค็มของพืช

กลไกการทนเค็มของพืช คือ ความสามารถในการปรับตัวของพืชเพื่อให้อยู่รอดและเจริญเติบโตได้ในดินที่มีความเข้มข้นของเกลือสูง พืชหลายชนิดที่ขึ้นได้ในดินเค็มต้องมีกลไกบางอย่าง เพื่อบรรเทาความเป็นพิษของเกลืออาจแบ่งได้เป็นสาม ลักษณะคือ

1) กลไกการไม่ดูดเกลือเข้าไปหรือการหลีกเลี่ยงความเค็ม พืชจะพยายามปรับตัวให้เข้ากับสภาพดินเค็มได้แก่ การปรับระบบโครงสร้างของรากให้แพร่กระจายไปยังจุดที่เค็มน้อยกว่าหรือปรับตัวให้มีการออกดอกช้าหรือเร็วกว่าปกติ เพื่อหนีช่วงที่เค็มจัดหรืออาจมีการฟื้นตัวอย่างรวดเร็วในขณะที่ความเค็มน้อยลง (อรุณียูวะนิยม, 2544)

2) กลไกการดูดเกลือเข้าไปแล้วสะสมเอาไว้สำหรับพืชทนเค็มที่ดูดเกลือเข้าไปอาจจะนำไปสะสมอยู่ในส่วนที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช เช่น สะสมในแวคิวโอล (vacuole) หรือเพิ่มความหนาของใบ เพิ่มปริมาณน้ำในเซลล์เพื่อให้ความเข้มข้นของเกลือลดลงหรือเพิ่มความเครียดของปากใบให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้การคายน้ำน้อยลง นอกจากนี้มีการเลือกดูดธาตุโพแทสเซียม (potassium) เข้าไปมากขึ้นหรือดูดธาตุโซเดียมน้อยลง มีการขนย้ายธาตุโซเดียม (sodium) จากใบอ่อนไปใบแก่หรือสามารถสะสมธาตุโซเดียมไว้ตามลำต้นและราก เป็นต้น

3) กลไกการกำจัดเกลือ (salt excluded) ซึ่งพืชบางประเภทมีต่อมเกลือ ใช้สำหรับการคายเกลือ (excretion) ออกจากใบและกาบใบเพื่อปรับสมดุลออสโมติกในพืช(Bano and Fatima, 2009)

2.1.1.5 ผลกระทบของความเค็มที่มีต่อพืช

Greenway and Munns. (1980) รายงานว่า ความเสียหายของพืชเมื่อได้รับความเครียดเกลือ อาจเกี่ยวข้องกับสาเหตุสามประการ ดังนี้

1) ผลของความเค็มต่อ ความสัมพันธ์ของน้ำ (water relation) ซึ่งน้ำสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืช เนื่องจากเป็นโมเลกุลที่มีมากสุดภายในต้นพืช การเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ต้องอาศัยน้ำ เพราะน้ำทำหน้าที่เป็นตัวกลาง นอกจากนี้การดูดธาตุอาหารในดิน การเคลื่อนที่ของ ธาตุอาหารภายในพืชการยืดตัวของเซลล์ การรักษาความเต่งของเซลล์ทำให้พืชต่างๆ สามารถตั้งตัวอยู่ได้เนื่องจากน้ำทำให้เซลล์เต่งและน้ำยังเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ เนื่องจากสามารถรับความร้อนต่อหน่วยได้สูงในภาวะที่พืชได้รับความเครียดจากเกลือ ปริมาณเกลือที่ละลายออกมาทำให้ค่าศักย์ของน้ำในสารละลายดินต่ำกว่าในพืช ทำให้พืชดูดน้ำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง นอกจากนี้ความเค็มยังไปขัดขวางกิจกรรมภายในต้นพืช เช่น กระบวนการดูดธาตุอาหารในดิน การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารภายในต้นพืชและการรักษาความเต่งของเซลล์

Bano and Fatima.(2009) รายงานว่า ความเค็มส่งผลต่อการพัฒนาของพืชเกือบทุกด้าน เช่น การงอก การเจริญเติบโตของพืช และการเจริญพันธุ์ ความเค็มของดินบ่งบอกความเป็นพิษของไอออน ความเครียดออสโมติก (osmotic stress) การขาดสารธาตุอาหาร (N, Ca, K, P, Fe, Zn) และความเครียดจากการเกิดออกซิเดชันของพืช ทำให้จำกัดการดูดซึมน้ำจากดิน นอกจากนี้ปรียานุชลาขุนทดและคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาผลของการขาดน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำในใบข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ในข้าวกลุ่มที่ได้รับสภาวะขาดน้ำค่าศักย์ของน้ำและปริมาณน้ำสัมพัทธ์มีค่าลดลง ซึ่งกระบวนการตอบสนองต่อสภาวะขาดน้ำอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรง และระยะเวลาของการขาดน้ำ หรือช่วงอายุของพืชแต่ละชนิด

นริสา พิมพ์เสน และ กัลยากองเงิน (2560) ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะสรีรวิทยาในพืช 5 ชนิด คือ หนามพุงดอ (*Azimasarmentosa*)หนามแดง(*Maytenusmekongensis*) ขลู่ (*Plucheaindica*) หญ้าหวาย(*Ischaemumbarbatum*) และสะแกนา

(*Combretumquadrangulare*) ที่เก็บจากพื้นที่ดินเค็มจัด ในเขตจังหวัดขอนแก่น ช่วงฤดูฝน (ตุลาคม พ.ศ. 2558) และฤดูแล้ง (เมษายน พ.ศ. 2559) เพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าทางสรีรวิทยา ได้แก่ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ค่าความเขียวของใบ และค่าศักย์ของน้ำในใบ จากการศึกษาทั้งสองฤดู พบว่า ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในช่วงฤดูฝนของพืชทั้งหมดมีค่าสูงกว่าฤดูแล้งเช่นเดียวกับความเขียวของใบ ยกเว้น ขลู่ที่มีค่าความเขียวเพิ่มขึ้น ในช่วงฤดูแล้งพืชศึกษาทุกชนิดมีค่าศักย์ของน้ำในใบลดลงโดยเฉพาะใน หนามแดงและขลู่ ดังนั้นความเค็มที่สูงขึ้นจึงมีผลต่อค่าทางสรีรวิทยาของพืชที่สามารถขึ้นได้ในพื้นที่ดิน เค็ม

2) ความจำเพาะของไอออนที่พืชได้รับ (specific ions effects)ดินเค็มส่วนใหญ่ มักพบไอออนของเกลือละลายในสารละลายดินในปริมาณมาก เกลือที่ผสมอยู่ในเนื้อดิน ทำให้ สภาพแวดล้อมในดินไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชเช่น ทำให้ดินมีเนื้อแน่นทึบ รากพืชชอนไช ยากแร่ธาตุบางชนิดละลายออกมาจนเป็นพิษ ต่อพืชนอกจากนี้ ผลของความเค็ม ยังทำให้พืชขาดน้ำ สำหรับพืชบางชนิดนั้นมีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพความเค็มได้ในระดับที่ต่างกัน เช่น พืชตระกูลถั่วจัดว่าเป็นพืชทนเค็มน้อย สำหรับ ข้าวอ้อย และหน่อไม้ฝรั่งทนเค็มปานกลาง ส่วน ฝ้าย ผักกาดหัวและหญ้าบางชนิดมีความสามารถทนต่อความเค็มได้สูง (วิชิตพลมีแก้วและคณะ, 2553)

Laloknam et al.(2008) รายงานว่า เมื่อสารละลายในดินมีความเข้มข้นของ ไอออนสูง พืชจะ ดูดใช้และ สะสมไอออนเหล่านั้นจนถึง ระดับที่เป็น พิษซึ่งมีผลโดยตรงต่อ ลักษณะทาง สรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของพืช เมื่อ พืชได้รับโซเดียมคลอไรด์ ในปริมาณมากและ ความเค็มของ เกลือจะทำให้พืชดูดสะสมไอออน ผล กระทบส่วนใหญ่เกิดจากความเป็น พิษของโซเดียมและคลอไรด์ที่ มีมากเกินไปจึงทำให้พืชขาดน้ำเนื่องจากเกลือเข้าไปในเซลล์พืชปริมาณมากอย่างไรก็ตาม พืชจะมีวิธีใน การบรรเทาอาการเป็น พิษเนื่องจากได้รับ เกลือโดยการขับเกลือออกทางรากหรือเก็บไว้ในแวคิวโอล นอกจากนี้ ยังพบว่า การงอกของรากหอมใหญ่และถั่วเขียวจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของเกลือโซเดียม คลอไรด์สูงขึ้น ซึ่งความเป็นพิษของธาตุบางชนิด (ion toxicity) เกิดเนื่องจากไอออนบางชนิดที่พืชดูด เข้าไปสะสมมากเกินความต้องการ พืชแสดงอาการขอบใบไหม้ และลุกลามเข้าเส้นกลางใบ ไอออนที่มี อิทธิผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แก่ Na^{+}, Mg^{+2}, Cl^{-}, CO_3^{-2} และ SO_4^{-2}

ธนภูมิศิริงาม(2560) ศึกษา ลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าวที่ตอบสนองต่อ สภาวะ ความเค็มของข้าว 5 พันธุ์ได้แก่ ปทุมธานี1ขาวดอกมะลิ105กข 31กข 41 และกข 47 หลังจากได้รับ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0 และ 200มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน พบว่าสารละลาย โซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้ปริมาณโซเดียมไอออนอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียม ไอออนภายในใบเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ รวมทั้งพบว่าปริมาณโซเดียมไอออนที่เพิ่มขึ้น ชักนำอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนภายในใบเพิ่มขึ้นด้วยแต่ในทางตรงข้าม พบว่าปริมาณโพแทสเซียมไอออนปริมาณรงควัตถุภายในใบ และการเจริญเติบโตลดลง

3) การลดการลำเลียงของสารละลายภายในต้นพืช (reduced transport of solute) ซึ่ง พืชมีการการตอบสนองต่อความเค็มในระดับที่ต่างกัน ผลกระทบจากความเค็ม ได้แก่ ผลผลิตทางการเกษตรที่ต่ำ ทำให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจต่ำ และการพังทลายของดิน (Hu and Schmidhalter, 2011) นอกจากนี้ความเค็มจากเกลือยังไปลด การลำเลียงของสารละลายภายในต้น พืช ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตลดลง ซึ่ง ความเค็มเป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่าง

กระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมี รวมถึงการงอกของเมล็ดการเจริญเติบโตของพืชและการรับสารอาหาร (Akbarimoghaddam et al., 2011; Singh and Chatrath, 2001) สำหรับองค์ประกอบบางอย่าง เช่น โซเดียม คลอรีน และโบรอน มีผลกระทบต่อพืช ซึ่งการสะสมของโซเดียมในผนังเซลล์ที่มากเกินไปอาจนำไปสู่ความเครียดออสโมติก และการตายของเซลล์ หากในดินมีระดับเกลือที่สูงอาจส่งผลต่อความสมดุลของธาตุอาหารในพืชหรือรบกวนการดูดซึมสารอาหารบางชนิด (Munns, 2002) นอกจากนี้ความเค็มยังส่งผลต่อ กระบวน การสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis)โดยส่วนใหญ่จะเป็นผลมาจากการลดพื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และความสามารถในการเปิดปิดปากใบ (Netondo et al., 2004) ซึ่งความเค็มส่งผลเสียต่อพัฒนาการของระบบสืบพันธุ์ ทางด้านสรีรวิทยาและการยืดตัวของเส้นใย ทำให้เกิดการชราของตัวอ่อน และ ยังทำให้เกิดผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากศักยภาพในการตกตะกอนของสารละลายดิน (ความเครียดออสโมติก) ผลกระทบของไอออนที่เป็นพิษ (ความเครียดจากเกลือ) และความไม่สมดุลของธาตุอาหารในพืช ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชในระดับสรีรวิทยา ชีวเคมี และระดับโมเลกุล (Munns and James, 2003)

Akram et al. (2002) ศึกษาในข้าวสาลี (*Triticumaestivum* L.) พบว่า ระดับความเค็มที่สูงมีผลทำให้การพัฒนาของ เมทาไซเล็มลดลง (Rewald et al., 2013) แรงต้านทานการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น พืชจึงลำเลียงน้ำจากรากขึ้นไปได้น้อยลง และต้องใช้พลังงานมากขึ้น (Akram et al., 2002) ส่งผลให้น้ำที่ลำเลียงไปสู่ลำต้นและใบลดน้อยลง นอกจากนี้ความเค็มยังมีผลต่อเซลล์บริเวณลำต้น โดยมีการเพิ่มจำนวนชั้นเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวและมีเนื้อเยื่อที่ใช้ในการสะสมน้ำเพิ่มขึ้น ส่วนในบริเวณรากพบว่า มีการลดจำนวนพื้นที่ชั้นคอร์เทกซ์ (cortex) แต่กลับมีการสร้างแถบแคสพาเรียน (casparian strip) เพิ่มขึ้น ในเนื้อเยื่อชั้นในสุดของคอร์เทกซ์มีสตีล (stele) เพิ่มขนาดใหญ่ขึ้นรวมทั้งมีการพอกหนาของสารลิกนิน (lignin) และสารซูเบอริน (suberin) ที่ผนังเซลล์บริเวณปลายรากเพิ่มขึ้น (Grigore et al., 2012)

นอกจากนี้ดินที่มีเกลือสะสมอยู่ในปริมาณสูงส่งผลกระทบต่อพืช ทำให้พืชเกิดความเครียดเกลือ ด้วยสาเหตุหลัก 2 ประการ คือ 1. ความเครียดออสโมติก (osmotic stress) เนื่องจาก ปริมาณเกลือที่ละลายได้สูงทำให้ค่าศักย์ของน้ำของสารละลายในดินลดลง พืชดูดน้ำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง (ธีระรัตน์ อุบลรัตน์และคณะ, 2560) เนื่องจากพืชเกิดอาการขาดน้ำ การดึงน้ำที่มีอยู่ในดินเข้าสู่ต้นพืชต้องอาศัยความแตกต่างของค่าศักย์ของน้ำระหว่างดินและพืช ในภาวะ ที่พืชเกิดความเครียดจากเกลือ ค่าศักย์ของน้ำในดินลดลงมากทำให้พืชดูดน้ำไปใช้ได้น้อยลง(Hoang et al., 2016) น้ำและธาตุอาหารจึงซึมผ่านเนื้อเยื่อเซลล์ของรากได้ยาก ส่งผลให้การนำเข้าน้ำและธาตุอาหารเข้าสู่รากพืชได้ช้าลง และยังส่งผลไปยับยั้งการแบ่งเซลล์ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง Flowers et al. (1977) เสนอแนวคิดว่า การที่น้ำในดินจะสามารถเคลื่อนเข้าสู่พืชและระเหยสู่บรรยากาศโดยวิธีการคายน้ำได้นั้น ค่าศักย์ของน้ำภายในพืชต้องลดลงตามลำดับตลอดสายการลำเลียง ดังนั้น พืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพดินเค็มจึงมีค่าศักย์ของน้ำภายในพืชต่ำกว่าน้ำในดิน พืชจึงต้องมีการปรับออสโมติก (osmotic adjustment) เพื่อให้สามารถดำรงชีพต่อไปได้ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายทำให้ความดันออสโมติก (osmotic pressure) ของน้ำในดินเพิ่มขึ้น

2. การสะสมไอออนที่เป็นพิษ (ion toxicity) ผลของปริมาณไอออนที่มากเกินไป เมื่อเข้าสู่ต้นพืชจะไปยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีต่างๆ ภายในต้นพืช เช่น กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การดูดใช้ธาตุอาหารของพืช ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดความเสียหาย พบอาการผิดปกติในใบพืช จะสังเกตเห็นได้จากส่วนปลายใบมีลักษณะแห้ง พบอาการขอบใบไหม้ และลุกลามเข้าเส้นกลางใบ เมื่อเกลือสะสมในใบปริมาณมากจนเกิดความเป็นพิษจะทำให้ใบแก่ร่วงเร็วกว่าปกติ (Munns, 2002) นอกจากการสะสม ไอออนในปริมาณมากแล้วพืชที่ได้รับความเค็มในระดับสูงมีผลทำให้เกิด ความเครียดจากความไม่สมดุลของธาตุอาหารหากดินมีระดับ pH สูง ทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารบางชนิดลดลง เกิดผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ที่ระดับ pH ระหว่าง 6-7 ฟอสเฟตอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืช แต่ที่ระดับ pH มากกว่า7 ธาตุอาหารพวกเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และโคบอลต์ อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืชได้น้อย ความเป็นพิษและการขาดธาตุอาหารพืช จะเกิดขึ้นเมื่อในสารละลายดินมีความเข้มข้นของธาตุบางชนิดมากกว่าระดับปกติ ซึ่งจะไปขัดขวางหรือยับยั้งการดูดธาตุอาหารและกระบวนการทางสรีรวิทยาบางอย่างของพืชได้ ดังนั้น เมื่อพืชได้รับความเครียดในสภาวะต่างๆ จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและการเจริญเติบโต(Munns, 2002; Hoang et al., 2016)

ผลกระทบของ การปลูกพืชในพื้นที่ดินเค็ม นั้น พืชปลูกส่วนใหญ่มีความอ่อนแอต่อความเค็มในระยะงอกหรือช่วงย้ายปลูก ซึ่งความเค็มมีผลต่อการงอกของเมล็ด โดยไปลดเปอร์เซ็นต์การงอกและอัตราการงอกของเมล็ด ทำให้จำนวนต้นต่อพื้นที่ลดลง และส่งผลต่อผลผลิตของพืช (อรุณี ยูวะนิยม, 2544) โดยเฉพาะการเพาะปลูกพืชหลัก เช่น ข้าว (*Oryza sativa* L.) ข้าวสาลี (*Triticumaestivum* L.) และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* L.) ที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก (ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์) (Godfray et al., 2010) การปลูกพืชในพื้นที่ดินเค็มส่งผลกระทบต่อพืชปลูกในระยะต่างๆ เช่น ระยะงอก ความเค็มมีผลทำให้เมล็ดงอกช้ากว่าปกติ และเปอร์เซ็นต์การงอกลดลง ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช อย่างไรก็ตามใบที่งอกออกมาเองบางชนิดจะไม่แสดงอาการ หรือแสดงอาการน้อยมาก เนื่องจากพืชยังใช้อาหารที่มีอยู่ภายในเมล็ด และพบในระยะต้นกล้าซึ่งพืชจะได้รับผลกระทบจากความเค็มมากและมีเปอร์เซ็นต์การตายสูง ส่วนใน ระยะก่อนออกดอก เป็นระยะที่ทนเค็มได้สูง การเจริญเติบโตน้อยมาก พืชจะแสดงอาการในลักษณะปลายใบไหม้และม้วนงอ สำหรับ ระยะออกดอก ความเค็มมีผลต่อการเจริญของเกสรตัวผู้ ทำให้การผสมเกสรติดลดลง เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบสูง ส่งผลให้ผลผลิตลดลงอย่างมาก ส่วนระยะเก็บเกี่ยว ในระยะนี้ไม่ค่อยได้รับผลกระทบโดยตรง แต่ผลที่เกิดขึ้นเป็นผลกระทบที่ได้รับก่อนช่วงนี้(อรุณียูวะนิยม, 2544)

2.1.1.6 ผลของความเครียดเกลือต่อสรีรวิทยาพืช

สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร และคณะ (2552)ศึกษา ผลของความเครียดเกลือต่อการสะสมพอลิเอมีนและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการในข้าว4 พันธุ์ คือ พันธุ์พอคคาลี (ข้าวทนเค็ม) PTT85180 กข6 (ข้าวทนเค็มปานกลาง) และพันธุ์ไออาร์ 28 (ข้าวไม่ทนเค็ม) พบว่า พันธุ์ข้าวไม่ทนเค็มจะสะสมพิวเทรสซีนสูง โดยไม่สามารถเปลี่ยนเป็นสเปอมีดีนและสเปอมีน ในขณะที่พันธุ์ข้าวทนเค็มมีการสะสมพอลิเอมีนแต่ละชนิดในทิศทางตรงกันข้าม นอกจากนี้ข้าวพันธุ์พอคคาลี และ PTT85189 มี A, Gs, E, Ceและ QY สูงกว่าข้าวพันธุ์ กข6 และไออาร์ 28 หลังจากได้รับความเครียดเกลือ ความเข้มข้นวิกฤตของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อข้าว คือ 50 มิลลิโมล โดยเฉพาะระดับความเข้มข้น

เกลือในข้าวทุกพันธุ์มีความสัมพันธ์ในทางลบกับ A, Gs, E, Ceและ QY สำหรับปัจจัยด้านการเติบโตของข้าวพิจารณาจากพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งต้นและราก พบว่าค่าดังกล่าวลดลงเมื่อได้รับความเครียดเกลือเพิ่มขึ้น

จีรนันท์ นาสะอ้าน และคณะ (2560)ศึกษาผลของการใช้สารเคมีบางชนิดในการแช่เมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ก่อนนำไปเพาะต่อความสามารถในการทนเค็ม และสรีรวิทยาบางประการของต้นอ่อนข้าวในสภาวะเครียดเกลือ พบว่า ความเครียดเกลือทำให้การเจริญของต้นอ่อนลดลง ใบมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงอัตราการคายน้ำ และค่าการนำที่ปากใบลดลง นอกจากนี้การศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าว โดย ธนภูมิศิริงาม (2560) พบว่า หลังจากต้นกล้าข้าวได้รับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0 และ 200มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน ทำให้ปริมาณรงควัตถุภายในใบ และการเจริญเติบโตลดลง

Ma et al. (2014) ศึกษาผลของความเครียดจากเกลือต่อสรีรวิทยาการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิตของข้าวทำการทดลองในข้าว 5 พันธุ์ ได้แก่ MR33, MR52, MR211, MR219 และ MR232 ที่ระดับความเค็ม 3 ระดับ ได้แก่ 4 , 8, และ 12 dS/m พบว่า พันธุ์ MR211 และ MR232 มีลักษณะการเจริญเติบโตที่ดี เช่น ความสูงพื้นที่ใบจำนวนต้นกล้าการสะสม น้ำหนักแห้งในพืช อัตราการสังเคราะห์แสงอัตราการคายน้ำ และองค์ประกอบของผลผลิตผลผลิต ซึ่งพันธุ์ MR33, MR52 และ MR219 สามารถทนต่อความเค็มได้มากกว่า

Soukeina et al. (2015) ศึกษาผลของระดับความเค็มที่ต่างกันของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Sahel 108,Sahel 201 และ IR28 พบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดลดลงเมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 0, 50 และ 100 mMพบการงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทดสอบหลังจาก 24 ชั่วโมง ยกเว้น IR28 ที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 100 mMเมล็ดไม่มีความงอกเกิดขึ้นอย่างไรก็ตามหลังจากผ่านไป 48 ชั่วโมงพันธุ์ Sahel 108 มีความงอก 80 เปอร์เซ็นต์สำหรับ Sahel 201 เมล็ดงอก 73 เปอร์เซ็นต์และ IR 28 เมล็ดงอกช้าที่สุด

จันทร์ธิราดวงจันทร์ และศิริพรรณบรรหาร (2559) ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของถั่วเหลือง พบว่า การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้การเจริญเติบโตและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของถั่วเหลืองมีแนวโน้มลดลง

2.1.1.7 ผลของความเครียดเกลือต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

ภาวะดินเค็มเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (photosynthesis) พืชที่อยู่ในภาวะความเครียดจากเกลือจะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงกว่าในพืชที่อยู่ในภาวะปกติ (พนิตาชุติมานุกูล และคณะ ,2556) กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (photosynthesis) เกิดขึ้น 2 ช่วงคือ 1) ช่วงปฏิกิริยาแสง (light reaction) เกลือมีผลทำให้พืชลดการถ่ายทอดอิเลคตรอนในช่วง cyclic และ non-cyclic จึงทำให้พืชมีการสร้างสารพลังงานสูง ATP และ NADPH ลดลง 2) ช่วงปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง (dark reaction) ผลของเกลือทำให้ลดการสร้างคาร์โบไฮเดรท และสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ตลอดจนชักนำให้กระบวนการเมทาบอลิซึม ของพืชเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากเกลือไปขัดขวางการดูดน้ำมาใช้ของ

พืช เป็นสาเหตุทำให้การเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ของพืชลดลง(Munns and James, 2003)Baker. (1991) พบว่าระบบแสงที่ 2 (PS II) มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดย Fv/Fmเป็นตัวชี้วัดที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานแสงของใบพืช

De Ell et al. (1999) รายงานว่า Fv/Fmในพืชปกติ มีค่าระหว่าง 0.75-0.85 ค่านี้ลดลงตามภาวะความเครียดที่พืชได้รับKhan et al. (1997) พบว่า ความเข้มข้นเกลือสูงมากทำให้ต้นข้าวเกิดการยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงเนื่องจากผลของความเค็มทำให้ใบพืชขาดน้ำโดยเกิดจากการสะสมเกลือภายใน apoplastสุวัฒน์ธีระพงษ์ธนากร และคณะ (2544)ศึกษาอิทธิพลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณคลอโรฟิลล์ในข้าว พบว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์ทำความเสียหายต่อข้าวโดยไปลดกิจกรรมทางสรีรวิทยาของข้าว เช่น การลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง อัตราการคายน้ำ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี ตลอดจนการเพิ่มค่าความต้านทานต่อการแพร่ที่ปากใบ ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทั้งการเพิ่มพื้นที่ใบ ประสิทธิภาพในการใช้น้ำ การสร้างน้ำหนักแห้งในส่วนต้นและรากของข้าว

2.1.1.8 ผลของความเครียดเกลือต่อกระบวนการหายใจของพืช

การหายใจของพืชคือการย่อยสลายของโมเลกุลกลูโคสซึ่งได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่อพืชได้รับความเครียดเกลือ ทำให้การ หายใจลดลงเนื่องจากขาดสารพลังงานสูง จำพวก ATP, NADPHและคาร์โบไฮเดรต (วิชิตพล มีแก้วและคณะ, 2553)Kafi. (2009) ศึกษาผลของความเค็มต่ออัตราการหายใจของ ข้าวสาลี(*Triticumaestivum*L.) พบว่า ที่ระดับความเค็ม 200มิลลิโมล การหายใจยังคงไม่เปลี่ยนแปลง แต่ที่ ระดับ ความ เค็ม 300 มิลลิโมลกลับพบว่า การหายใจ ของข้าวสาลีลดลงFlowers et al. (1977) รายงานว่า ผลของเกลือต่อการหายใจของพืช มีความแตกต่างกันตามชนิดของพืช เกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 170-340มิลลิโมล สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชทนเค็ม (halophyte) ในขณะที่พืชไม่ทนเค็ม (non-halophyte) ถูกยับยั้ง เมื่อได้รับเกลือที่ความเข้มข้นดังกล่าว อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญเติบโตและการหายใจของพืชทั้งสองชนิดสามารถถูกยับยั้งลงได้เมื่อพืชได้รับเกลือมากขึ้น Epstein. (1999) ศึกษาผลของความเค็มจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของรากและการหายใจในต้นโอ๊ก ที่ระดับNaCl 50 และ250 mMพบว่า น้ำหนัก รากของต้นโอ๊กลดลงหลังจากผ่านไป 9 วัน ที่ระดับ NaCl 250 mM ทำให้การหายใจของรากถูกยับยั้งนอกจากนี้ความเค็มทำให้การเจริญเติบโตของพืชถูก จำกัด เพราะมีการหายใจมากขึ้นหรือมีการใช้สารจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมากขึ้น

2.1.1.9 ผลของความเครียดเกลือต่อความต้านทานภายในพืช

เมื่อพืชได้รับความเครียดเกลือ ทำให้เกิดความต้านทานขึ้นในสองลักษณะคือ ความต้านทานที่ปากใบ (stomatal resistance) เป็นตัวกั้น CO_2ในบรรยากาศให้แพร่เข้าสู่ปากใบพืชได้น้อยลง และความต้านทานที่เซลล์ mesophyll เป็นตัวกั้น CO_2ในช่องว่างของปากใบ จึงทำให้การแพร่ของ CO_2 เข้าสู่ใบพืชลดลง เนื่องจากปากใบปิด แม้ว่า CO_2 สามารถแพร่เข้าสู่ปากใบได้ แต่การที่ CO_2 จะแพร่เข้าสู่คลอโรพลาสต์ภายในเซลล์ mesophyllลดลง เนื่องจากเกิดความต้านทานที่ mesophyll ดังนั้นปริมาณ CO_2 จึงสะสมอยู่ภายใน substomataเพิ่มขึ้น มีผลทำให้พืชลดประสิทธิภาพในการตรึง CO_2ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงสำหรับค่าความต้านทาน

ภายในพืชมีผลทางลบกับค่าการนำที่ปากใบ เมื่อพืชได้รับความเครียดจากเกลือพบว่า ค่าการนำที่ปากใบลดลง (Soukeina et al., 2015)ความเครียดจากเกลือทำให้ค่าการนำที่ปากใบเปลี่ยนแปลงไป โดย Yeo. (1998) พบว่าค่าการนำที่ปากใบของข้าว IR36เป็นพันธุ์อ่อนแอต่อความเค็ม มีค่าลดลงมากกว่าพันธุ์ CSR10ซึ่งเป็นพันธุ์ทนเค็ม และพันธุ์GR4ทนได้เค็มปานกลาง

2.1.1.10 ผลของความเครียดเกลือต่ออัตราการคายน้ำของพืช

Yeo. (1998) ศึกษาผลของเกลือที่มีต่ออัตราการคายน้ำ การสะสมเกลือโซเดียมและการสร้างกรดแอบไซซิค(ABA) ในข้าวพันธุ์ IR2153 พบว่า เมื่อต้นข้าวได้รับเกลือทำให้ส่วนของใบอ่อน มีอัตราการคายน้ำสูงสุด แต่มีการสะสมเกลือโซเดียมต่ำกว่าใบแก่ นอกจากนี้ใบแก่ยังสร้างกรดแอบไซซิค (ABA) สูงกว่าใบอ่อน ดังนั้น กรดแอบไซซิค อาจมีผลโดยตรงต่อการควบคุมการปิดเปิดปากใบจึงมีผลต่ออัตราการคายน้ำของพืช และผลจากภาวะความเครียดเกลือที่ทำให้ต้นข้าวมีอัตราการคายน้ำลดลง เนื่องจากค่าความต้านทานที่ปากใบเพิ่มขึ้นนั้นแสดงให้เห็นว่า พืชสร้างกลไกในการควบคุมการปิดเปิดปากใบ

จากการศึกษาของ Sharmaet al. (2005)ถึงผลของความเค็มจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ในข้าวสาลี(*Triticumaestivum* L.) ชนิด K-65 (ทนต่อเกลือ) และ HD 2329 (ไม่ทนต่อเกลือ) ที่ระดับความเข้มข้น NaCl 4.0, 6.0 และ 8.0 dS/m พบว่าอัตราการคายน้ำ (E) ในข้าวสาลี ชนิดHD 2329 ลดลงมากกว่าชนิด K-65เมื่อได้รับความเค็มจากเกลือโซเดียมคลอไรด์

2.1.1.11 ผลของความเครียดเกลือต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคของข้าว

Ali et al. (2004) พบว่าพืชที่อยู่ในสภาวะความเค็ม จากเกลือ ทำให้ พืชมีการปรับตัวทางด้านสัณฐานวิทยาและลักษณะทางกายวิภาคโดยการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาได้แก่การลดขนาดของใบให้เล็กลง และมีความหนาของใบเพิ่มขึ้นเป็นต้นส่วนการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายวิภาคศาสตร์ได้แก่การลดจำนวนปากใบ ให้น้อยลง เพิ่มความหนาของชั้นคิวทิน (cutin) และสะสมสารเคลือบเพิ่มขึ้นมีการเพิ่มจำนวนชั้นของเซลล์มีโซฟิลล์ (mesophyll) ทำให้ใบมีความหนาและอวบขึ้นส่วนบริเวณเส้นใบพบว่าความเค็มยังลดจำนวนของเส้นใบ ให้มี ขนาดเล็กและเส้นใบขนาดกลาง นอกจากนี้ยังส่งผลให้มีช่องอากาศ (air cavity) ระหว่างเส้นใบใหญ่ขึ้นรวมทั้งมีการลดขนาดของโปรโตไซเล็ม (protoxylem) และเมทาไซเล็ม (metaxylem) ในบริเวณเส้นกลางใบพืช

อรัญญาพิมพ์มงคล และคณะ (2544)ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคของข้าวพันธุ์ทนเค็มกับพันธุ์ไม่ทนเค็ม พบว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ส่งผลกระทบต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาค ของข้าว ใน ส่วนโครงสร้างของ stele ที่ราก ท่อลำเลียงน้ำที่รากและลำต้น การสะสม silica knob และการเปลี่ยนแปลงจำนวน stoma ที่ผิวใบข้าว ความหนาของเซลล์ mesophyll และความกว้างของเซลล์ bundle sheath และ vascular bundle

2.1.1.12 ผลของความเครียดเกลือต่อการดูดธาตุอาหาร

การดูดธาตุอาหารและไอออนของเกลือ (ions uptake) เข้าสู่ต้นพืช เนื่องจากพืชที่ได้รับความเครียดเกลือจะมีการดูดธาตุอาหารที่จำเป็น ทั้งธาตุอาหารหลักและจุลธาตุลดลง จึงเป็นสาเหตุทำให้พืชขาดธาตุอาหาร เมื่อได้รับเกลือเป็นเวลานาน (Ali et al., 2004) และเกิดความเป็นพิษเนื่องจากไอออนบางชนิดที่พืชดูดเข้าไปสะสมมากเกินความต้องการ ทำให้ไปขัดขวางการดูดซึมธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชเช่น ในสภาพดินเค็มพืชจะมีการสะสมโซเดียมปริมาณมากทำให้พืชไม่สามารถ

ลำเลียงแคลเซียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม จึงทำให้เกิดอาการขาดธาตุอาหารดังกล่าวได้ พืชจำเป็นต้องรักษาสมดุลไอออน โดยเซลล์จะสะสมไอออนที่จำเป็นและกำจัดไอออนที่เป็นพิษเพื่อป้องกันไม่ให้เซลล์ได้รับอันตราย (Zhu, 2003)ในสภาวะเครียด จากเกลือสัดส่วนระหว่าง K^+/Na^+ในไซโทพลาสซึมมีความสำคัญมาก ปกติในเซลล์พืชจะมีปริมาณ K^+สูง (100-200 mM)ปริมาณ Na^+ต่ำ (1-10 mM) (Apse and Blumwald,2007)ดังนั้นพืชจึงพยายามกำจัด Na^+ที่มากเกินไปออกจากไซโทพลาสซึม เพื่อทำให้ อัตราส่วนของ K^+/Na^+สูงขึ้น (Glenn et al., 1999) นอกจากนี้ Kiegle et al.(2000) พบว่า เมื่อพืชเผชิญกับความเครียดจะมีกลไกการตอบสนองโดยการเพิ่มปริมาณCa^{2+}ภายในไซโตซอลของเซลล์อย่างรวดเร็ว ซึ่ง Ca^{2+} นั้นจะทำหน้าที่เป็นสัญญาณเริ่มต้นในการตอบสนองต่อความเครียดจากสิ่งแวดล้อมของพืช (Kiegle et al., 2000)

2.1.1.13 ผลของความเครียดเกลือต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืช

Alam et al.(2004)ศึกษาผลของเกลือต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่า ที่ระดับความเค็ม 12.5 dS/m ทำให้ใบแก่ของข้าวเกิดการตาย สอดคล้องกับงานทดลองของ Zafar et al. (2004)ที่แสดงให้เห็นว่า หากพืชได้รับความเค็มในระดับที่สูง (10dS/m) ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของข้าวทั้งพันธุ์อ่อนแอและพันธุ์ทนเค็มลดลง นอกจากนี้ Munns. (2002) ศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อการยืดตัวและการสะสมเกลือในใบอ่อนของข้าวบาร์เลย์ ทดลองที่ระดับเกลือ 0.5-120มิลลิโมล พบว่า ที่ระดับเกลือ 120มิลลิโมลมีผลให้การยืดตัวของใบอ่อนลดลง 66 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับที่ระดับเกลือ 0.5 มิลลิโมล และเมื่อย้ายต้นพืชจากระดับเกลือ 120 ไปยัง 60 มิลลิโมล ปรากฏว่าการยืดตัวของใบไม่แตกต่างกับพืชที่ได้รับเกลือ 0.5 มิลลิโมล ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการยืดตัวของใบที่ลดลงนี้ อาจเกิดจากผลของเกลือที่มีผลกระทบต่อศักย์ของน้ำในใบอ่อน จึงนำไปสู่การขาดน้ำและจำกัดการเจริญเติบโตของใบอ่อน นอกจากนี้ความเครียดเกลือทำให้พืชสร้างผลผลิตต่ำเนื่องจากเกลือไปรบกวนกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และเมแทบอลิซึมต่างๆภายในต้นพืช จึงทำให้การสร้างมวลชีวภาพ (biomass) ของพืชลดลง (สุวัฒน์ธีระพงษ์ธนากร , 2533)จากการทดลองของ Dolatabadian et al. (2011) พบว่า ความเค็มที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งราก และส่วนของลำต้นเหนือดินลดลง ความสูงและจำนวนใบของถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merr.) ลดลง ส่วนความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบของถั่วดำมีค่ามากที่สุดในสารละลายอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์100mMและลดลงตามความเข้มข้นที่สูงขึ้น

ฉันทนา พรมจันทร์(2549) ศึกษาผลของความเครียดเกลือต่อการแตกหน่อของต้นข้าว พบว่า เมื่อต้นข้าวได้รับ NaClที่ 7 วันขึ้นไป จำนวนหน่อของข้าวลดลงตามความเข้มข้นของ NaClที่เพิ่มขึ้น และเมื่อได้รับ NaClที่ 28 วัน พบว่าจำนวนหน่อของข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาในการได้รับ NaClมากขึ้น ทำให้การแตกหน่อของข้าวลดลง นอกจากนี้ สุวัฒน์ธีระพงษ์ธนากร(2533) ศึกษาผลของเกลือต่ออัตราการเจริญเติบโตของข้าว และการสะสมไอออนในเนื้อเยื่อข้าวระยะต้นกล้า เปรียบเทียบระหว่างข้าวพอคคาลีกับข้าว กข6 พบว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้น้ำหนักแห้งของต้นและรากของข้าวทั้งสองพันธุ์ลดลง ระดับเกลือที่ถึงขั้นวิกฤตสูงกว่า 60 มิลลิโมลขึ้นไป ซึ่งข้าวพอคคาลีมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่า ข้าวกข6 ในทุกระดับเกลือ สำหรับการสะสมเกลือในเนื้อเยื่อของข้าวพอคคาลีมีต่ำกว่าข้าวกข6 อย่างไรก็ตามปริมาณเกลือที่สะสมในต้นข้าวทั้งสองพันธุ์มีการเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเกลือในสารละลายอาหารที่ต้นข้าวได้รับ

นภวรรณมัณยานนท์ และศิริพรรณบรรหาร (2559) ศึกษาอิทธิพลของความเค็มต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์นครสวรรค์ 1 และพันธุ์เชียงใหม่ 60 ทำการทดลองโดยให้ถั่วเหลืองเจริญอยู่ในสารละลายธาตุอาหารที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ120 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 24 วัน พบว่า น้ำหนักแห้งราก ลำต้น และใบของทุกชุดการทดลองที่ได้รับเกลือที่ความเข้มข้นสูงในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่าลดลง

2.1.1.14 การทนเค็มและการปรับตัวของข้าวเมื่อได้รับความเครียดจากเกลือ

1) ความสามารถที่จะเลือกดูดโพแทสเซียมเข้าไป ในเซลล์ มากกว่าการดูดโซเดียม จากการศึกษาของ สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร (2533) พบว่า ข้าวพันธุ์พอคคาลี (ข้าวทนเค็ม) มีการสะสม K^+/Na^+ ในอัตราที่มากกว่าข้าวพันธุ์กข6 เมื่อต้นข้าวได้รับเกลือมากขึ้น ซึ่งอัตราส่วนของ K^+/Na^+ พบมากในใบ กาบใบ และรากพืช เมื่อต้นข้าวได้รับเกลือเป็นเวลานาน ทำให้อัตราส่วน K^+/Na^+ มีแนวโน้มลดลง

2)การปิดเปิดของปากใบ (stomatal resistance) ซึ่งปากใบของ glycophytes ปิดเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมสูง

3) การขับโซเดียมออก (exclusion) และนำโซเดียมไปเก็บไว้ที่ vacuole เพื่อป้องกันความเป็นพิษของโซเดียม และปรับแรงดันออสโมติกใน cytoplasm และ organelles รวมถึงรักษาความเต่งของเซลล์ให้มีระดับความต่างศักย์ของน้ำในพืชต่ำกว่าในดิน

4)ยืดเวลางอกหรือเวลาแก่ หยุดกิจกรรมเพื่อการเจริญเติบโตจนกว่าสภาพแวดล้อมจะเหมาะสม

5) พืชต้องใช้พลังงานมาก เพื่อดูดน้ำขึ้นมาใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้มีการปรับตัวโดยลดอัตราการคายน้ำ และปรับขนาดใบรวมถึงลดจำนวนใบให้น้อยลง

6)สะสมสาร compatible solute ในสภาวะแวดล้อมที่มีเกลือสูงส่งผลให้ค่าศักย์ของน้ำในดินลดลง หากลดลงต่ำมากรากพืชไม่สามารถดูดน้ำจากดินไปใช้ได้ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ พืชจะปรับตัวโดยการสะสม compatible solute เช่น proline, glycine betaine, trehalose, polyolsและสารละลายอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่ช่วยลดค่าศักย์ ของน้ำในรากพืช เพื่อป้องกันอันตรายจากการเปลี่ยนแปลง ของค่าออสโมติก ช่วยลดการสูญเสียน้ำและเจือจางไอออนที่เป็นพิษ (Robinson et al., 1997; Very et al., 1998)

2.2ลักษณะพฤกษศาสตร์ของข้าวที่ใช้ในการศึกษา

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประชากรมากกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลกจัดเป็นพืชไม่ทนเค็ม (non-halophyte) แต่สามารถปรับตัวทนเค็มได้ปานกลาง อย่างไรก็ตาม ข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อเกลือแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ข้าว ระดับความเข้มข้นของเกลือในดิน ระยะการเจริญเติบโต และระยะเวลาที่ได้รับเกลือ ต่างก็ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของข้าวสำหรับพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการศึกษามีลักษณะประจำพันธุ์ ดังนี้

2.2.1 ข้าวขาวดอกมะลิ105

กรมการข้าว (2559)อธิบายประวัติพันธุ์ว่าเป็นข้าวหอมที่ได้จากการนำข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากนาเกษตรกร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทราโดยนายสุนทร สีหะเนิน เจ้าพนักงานข้าวในขณะนั้นได้รวบรวมจากอำเภอบางคล้าจังหวัดฉะเชิงเทรา เมื่อ พ.ศ. 2493-2494 จำนวน 199 รวง แล้วนำไปคัดเลือกแบบคัดพันธุ์บริสุทธิ์ (pure line selection) และปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ที่สถานีทดลองข้าวโคกสำโรง แล้วปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ในท้องถิ่น ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จนได้สายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 4-2-105 ซึ่งเลข 4 หมายถึง สถานที่เก็บรวงข้าว คือ อำเภอบางคล้า เลข 2 หมายถึงพันธุ์ทดสอบที่ 2 คือ ขาวดอกมะลิ และเลข 105 หมายถึง แถวหรือรวงที่ 105 จากจำนวน 199 รวง ซึ่งคณะกรรมการการพิจารณาพันธุ์ ให้ใช้ขยายพันธุ์เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2502(อัจจภัทร พหลโยธิน, 2557)

ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 140 -150 เซนติเมตร ไวต่อช่วงแสงลำต้นสีเขียวจาง ใบสีเขียวยาวค่อนข้างแคบ ฟางอ่อน ใบธงทำมุมกับคอรวง เมล็ดข้าวรูปร่างเรียวยาวข้าวเปลือกสีฟาง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว ปลายเดือนพฤศจิกายน เมล็ดข้าวเปลือก ยาว10.6มิลลิเมตรกว้าง2.5มิลลิเมตรหนา1.9 มิลลิเมตร เมล็ดข้าวกล้อง ยาว 7.5มิลลิเมตรกว้าง2.1มิลลิเมตรหนา1.8 มิลลิเมตร ปริมาณอมิโลส 12-17 เปอร์เซ็นต์ จัดเป็นข้าวนาปี ปลูกได้เพียงปีละ 1 ครั้ง ลักษณะข้าวเปลือกเรียวยาว เมื่อสีเป็นข้าวสารจะได้ข้าวเมล็ดเรียวยาว ขาวใสเป็นเงา แกร่ง มีท้องไข่น้อย มีกลิ่นหอม เป็นพันธุ์ข้าวที่นิยมบริโภคอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ผลผลิตประมาณ 363 กิโลกรัมต่อไร่ระยะพักตัวของเมล็ด ประมาณ 8สัปดาห์

ลักษณะเด่น ทนแล้งได้ดี เมล็ดข้าวสารใส แกร่ง คุณภาพการสีดี คุณภาพการหุงต้มดี อ่อนนุ่ม มีกลิ่นหอม ทนต่อสภาพดินเปรี้ยว และดินเค็ม

ข้อควรระวัง คือ ไม่ต้านทานโรคใบสีส้ม โรคขอบใบแห้ง โรคไหม้ และโรคใบหงิก ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว และหนอนกอพื้นที่แนะนำ คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือตอนบน

2.2.2 ข้าวกข15

กรมการข้าว(2559) รายงานว่า ข้าวพันธุ์ กข15 ได้จากการปรับปรุงพันธุ์โดยการใช้รังสีชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ โดยใช้รังสีแกมมาปริมาณ 15 กิโลแรด อาบเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในปี พ.ศ. 2508 แล้วนำมาปลูกคัดเลือกที่สถานีทดลองข้าวต่างๆ ในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จนได้สายพันธุ์ KDML 105'65G1U-45คณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตร มีมติให้เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 28 เมษายน 2521

ลักษณะประจำพันธุ์ข้าวกข15 เป็นพืชล้มลุกวงศ์หญ้า พวกข้าวเจ้านาสวน ไวต่อช่วงแสงสูงประมาณ 151 เซนติเมตร ทรงกอแบะ ปล้องสีเหลืองอ่อน ต้นอ่อนล้มง่ายมากใบสีเขียวกาบใบสีเขียว ใบธงเอียงเป็นแนวนอน การแก่ของใบแก่เร็วดอก/ช่อดอก กลีบรองดอกมีขนาดสั้น สีฟาง รวงจับกันปานกลาง การยืดของคอรวงยาว จำนวนรวงต่อตารางเมตรเฉลี่ย 216 รวงจำนวนเมล็ดดีต่อรวง เฉลี่ย 70 เมล็ด ยอดเมล็ดสีฟาง เปลือกเมล็ดสีฟางเมล็ดข้าวเปลือกมีขนาดเฉลี่ยยาว 10.5 มิลลิเมตร กว้าง 2.53 มิลลิเมตร และหนา 1.91 มิลลิเมตร น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เฉลี่ย 26.8 กรัม คิดเป็นน้ำหนักข้าวเปลือก 10.62 กิโลกรัมต่อถังข้าวกล้องสีขาว ขนาดเมล็ดเฉลี่ยยาว 7.44 มิลลิเมตร

กว้าง 2.08 มิลลิเมตร และหนา 1.70 มิลลิเมตรผลผลิตเฉลี่ย 560 กิโลกรัมต่อไร่ ออกดอกประมาณ 10 ตุลาคม ระยะพักตัวของเมล็ด 7 สัปดาห์

ลักษณะเด่น ทนแล้งได้ดีพอสมควรอายุเบา เก็บเกี่ยวได้เร็วคุณภาพการหุงต้มนุ่ม มีกลิ่นหอมคุณภาพการสีดี เมล็ดข้าวสารใส แกร่ง เรียวยาวนวดง่ายต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล

ข้อควรระวังคือ ไม่เหมาะกับนาลุ่ม ซึ่งระบายน้ำไม่ได้เพราะข้าวจะสุกในระยะที่น้ำยังขังอยู่ในนา ทำให้การเก็บเกี่ยวลำบากปลูกได้เฉพาะฤดูนาปีเท่านั้นถ้าใส่ปุ๋ยประเภทยูเรียมากจะทำให้เกิดการเฝือใบ ต้นข้าวจะล้มในระยะตั้งท้องล้มง่าย เพราะฟางอ่อน เมล็ดร่วงง่าย น้ำหนักเมล็ดค่อนข้างเบาไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง โรคไหม้ไม่ต้านทานแมลงบั่ว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและหนอนกอ

2.2.3ข้าวกข6

กรมการข้าว (2559)รายงานว่าข้าวกข6 ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 โดยใช้รังสีแกมมาที่ 20 กิโลแรด ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติแห่งประเทศไทยในปี พ.ศ. 2508 ปลูกและคัดเลือกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ฉายรังสีชั่วที่ 2 ที่สถานีทดลองข้าวบางเขน ปลูกชั่วที่ 3 ที่สถานีทดลองข้าวพิมาย จังหวัดนครราชสีมา คัดเลือกได้ข้าวสายพันธุ์ดี ทั้งสายพันธุ์ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ปลูกทดสอบผลผลิตระหว่างสถานี ทดลองและนาเกษตรกรในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือระหว่างปี พ.ศ. 2514- 2519 ผลปรากฏว่า สายพันธุ์ KDML 105’65-G3U-68-254 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ข้าวเหนียว นุ่ม มีกลิ่นหอม ทนแล้ง และมีคุณภาพการหุงต้มรับประทานดี ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงเป็นอันดับหนึ่งและให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวเหนียวที่นิยมปลูกกันแพร่หลายในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กรมวิชาการเกษตรจึงพิจารณาให้เป็นพันธุ์รับรอง และแนะนำให้เกษตรกรปลูก เมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม 2520

ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวเหนียวหอม ไวต่อช่วงแสงต้นสูงประมาณ 160 เซนติเมตร ทรงกอแผ่ ปล้องสีเหลืองอ่อน ต้นแข็งแรง ไม่ล้ม ใบสีเขียวจาง กาบใบสีเขียว ใบธงค่อนข้างสั้น การแก่ของใบปานกลางกลีบรองดอกมีขนาดสั้น สีฟาง รวงยาวปานกลาง คอรวงยาว จำนวนรวงต่อตารางเมตรเฉลี่ย 146 รวงจำนวนเมล็ดดีต่อรวง เฉลี่ย 109 เมล็ด เมล็ดยาวเรียว มีเปลือกสีน้ำตาล เมล็ดมีขนสั้น ยอดเมล็ดสีน้ำตาล ขนาดเมล็ดยาว 10.59 มิลลิเมตร กว้าง 2.79 มิลลิเมตร และหนา 2.02 มิลลิเมตร น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เฉลี่ย 26.11 กรัม คิดเป็นน้ำหนักข้าวเปลือก 10.84 กิโลกรัมต่อถัง ข้าวกล้องสีขาว ขนาดเมล็ดเฉลี่ยยาว 7.25 มิลลิเมตร กว้าง 2.26 มิลลิเมตร และหนา 1.80 มิลลิเมตรผลผลิตเฉลี่ย 670 กิโลกรัมต่อไร่ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวประมาณ วันที่ 21 พฤศจิกายน ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 5 สัปดาห์

ลักษณะเด่น ให้ผลผลิตสูงและทนแล้งดีกว่าพันธุ์เหนียวสันป่าตอง คุณภาพการหุงต้มดีมีกลิ่นหอม ลำต้นแข็งปานกลาง ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล คุณภาพการสีดี

ข้อควรระวังคือ ไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและแมลงบั่ว

2.2.4 ข้าวทับทิมชุมแพ

กรมการข้าว(2559) รายงานว่า ข้าวทับทิมชุมแพเกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าขาวดอกมะลิ 105 ที่มีลักษณะต้านทานต่อโรคไหม้ ไม่ไวต่อช่วงแสงเป็นพันธุ์แม่ กับข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุงซึ่งเป็นข้าวเจ้าที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง ไวต่อช่วงแสง อายุหนัก ต้นสูง เป็นพันธุ์พ่อ ที่

ศูนย์วิจัยข้าวสุรินทร์ ในฤดูนาปรัง 2549 และคัดเลือกข้าวพันธุ์ผสมแบบสืบตระกูล ชั่วที่ 1-6 ในฤดูนาปี 2549-2554 ที่ศูนย์วิจัยข้าวสุรินทร์ และชั่วที่ 7 ในฤดูนาปี 2555 ที่ศูนย์วิจัยข้าวชุมแพ ปลูกเปรียบเทียบผลผลิตในสถานีในฤดูนาปี 2556 หลังจากนั้นนำผลผลิตมาวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดทางเคมีที่ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระฟีโนลิกและฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปลูกประเมินลักษณะประจำพันธุ์ที่ศูนย์วิจัยข้าวชุมแพ และทดสอบปฏิกิริยาต่อโรคและแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญในฤดูนาปี 2557 ปลูกเปรียบเทียบผลผลิตระหว่าสถานีภายใต้โครงการวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าวนาชลประทานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 7 แห่ง ได้แก่ ศูนย์วิจัยข้าวสุรินทร์ นครราชสีมา สกลนคร ขอนแก่น ชุมแพ หนองคาย อุดรธานี ปลูกเปรียบเทียบผลผลิตในแปลงนาเกษตรกรในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 8 แห่ง รวมทั้งปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนที่ศูนย์วิจัยข้าวอุดรธานี และ ประเมินการยอมรับของเกษตรกร จังหวัดขอนแก่น และนครราชสีมา ในฤดูนาปี 2558 ประเมินการยอมรับของผู้ใช้ประโยชน์ที่จังหวัดสุรินทร์ พ.ศ. 2558 ประเมินการยอมรับของเกษตรกรผู้ใช้ประโยชน์ ผู้ประกอบการ และผู้บริโภคที่จังหวัดขอนแก่น นครศรีธรรมราช และกรุงเทพมหานคร วิเคราะห์คุณภาพเมล็ดทางกายภาพทางเคมี และการหุงต้มรับประทานเพื่อการรับรองพันธุ์ ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี พ.ศ. 2559 ซึ่งคณะกรรมการวิจัยและพัฒนาข้าว มีมติให้เป็นพันธุ์รับรองเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม2559

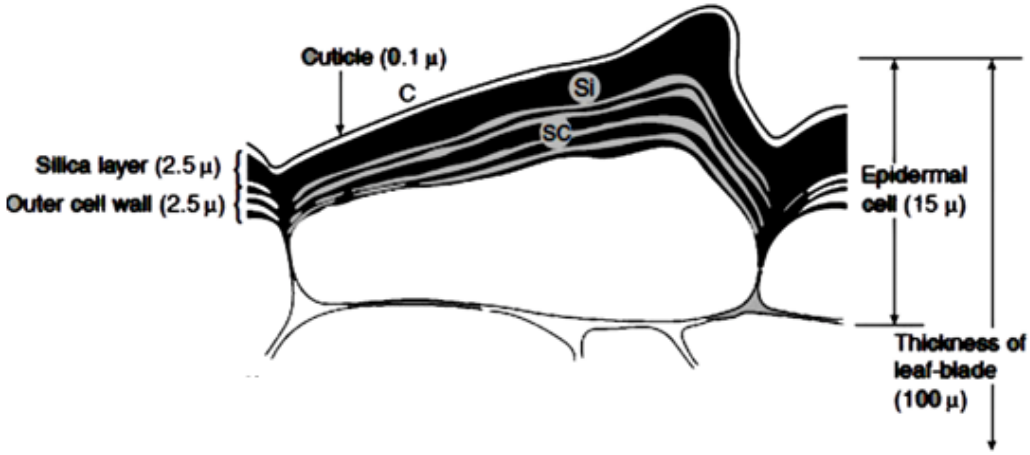
ลักษณะประจำพันธุ์เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง อายุออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ประมาณ 106 วันลักษณะกอตั้งตรง ความสูงประมาณ 113 เซนติเมตร ลำต้นแข็งมาก ใบสีเขียวปลายใบอยู่ในแนวตั้ง ใบแก่ช้า ใบธงยาว 43.6 เซนติเมตร กว้าง 2.14 เซนติเมตร มุมใบธงตั้งตรง รวงยาว 28.7 เซนติเมตร ลักษณะรวงแน่นปานกลาง คอรวงสั้น จำนวนเมล็ดดีต่อรวง 167 เมล็ด เมล็ดร่วงยาก เปลือกสีฟาง ข้าวเปลือกมีความยาวเฉลี่ย 10.17 มิลลิเมตร กว้าง 2.47 มิลลิเมตร หนา 1.96 มิลลิเมตรข้าวกล้องสีแดง มีความยาวเฉลี่ย 7.75มิลลิเมตร กว้าง 2.04 มิลลิเมตร หนา 1.74 มิลลิเมตร จัดเป็นข้าวเจ้าเมล็ดยาว รูปร่างเมล็ดเรียว (อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง 3.80)ลักษณะท้องไข่ขุ่นทั้งเมล็ด คุณภาพการสีดีได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวร้อยละ 49.40ผลผลิตประมาณ 797 กิโลกรัมต่อไร่ ระยะพักตัวของเมล็ด 6 สัปดาห์

ลักษณะเด่น เป็นข้าวเจ้าเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง ไม่ไวต่อช่วงแสง ทรงต้นเตี้ย ผลผลิตสูง คุณภาพเมล็ด และคุณภาพการหุงต้มรับประทานดี ข้าวกล้องหุงสุกนุ่ม และมีรสชาติดี มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระฟีโนลิกและฟลาโวนอยด์สูง และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง

ข้อควรระวังคือ มีความอ่อนแอต่อโรคใบไหม้ควรปลูกห่างจากแปลงปลูกข้าวพันธุ์อื่น พื้นที่แนะนำเป็นพื้นที่นาน้ำฝนและนาชลประทาน โดยเฉพาะแหล่งที่มีความต้องการปลูกข้าวคุณภาพพิเศษสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพ

2.3ซิลิกอน (silicon)

ซิลิกอน (silicon) เป็นธาตุที่พบมากในดิน อยู่ในรูปของกรดซิลิซิก (silicic acid) มีความเข้มข้น 100-600 ไมโครโมลาร์ มีคุณสมบัติเป็นธาตุที่เสริมประโยชน์ (protective elements) จึงมีการศึกษาเพื่อนำซิลิกอนมาใช้เพื่อเพิ่มการปรับตัวต่อภาวะความเครียดทางกายภาพ และชีวภาพในพืชหลายชนิด เช่นข้าว ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ (Yoshida, 1981; Epstein, 1999)พืชตระกูลแตง มะเขือเทศเป็นต้น (ชอบคณะฤกษ์ และจินตนา หัสวายุกุล , 2550) ในหลายประเทศใช้ซิลิกอนเพื่อเพิ่มผลผลิต สำหรับการใช้ซิลิกอนในข้าว มักจะใช้ในรูปของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ซึ่งซิลิกอนจะเคลื่อนที่ไปยังส่วนยอด เมื่อมีการระเหยของน้ำออกไปซิลิกอนจะมีความเข้มข้นมากขึ้นกลายเป็นซิลิกาเจลสะสมบนผิวใบ(ภาพที่ 1) และส่วนต่างๆ ของพืช ซึ่งพืชที่มีการสะสมซิลิกอน โดยส่วนใหญ่พบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมากกว่าพืชใบเลี้ยงคู่ ประโยชน์ของซิลิกอนจะมีน้อยหรือมากในพืชที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้วและประโยชน์จะเด่นชัดขึ้นเมื่อพืชอยู่ในสภาพ แวดล้อมที่ไม่เหมาะสม(stresses) ต่างๆ เช่น ความไม่เหมาะสมทางด้านธาตุอาหารพืช เกิดอะลูมินัมเป็นพิษ มีฟอสฟอรัสมากเกินไปหรือขาดแคลน มีโซเดียม แมงกานีส และไนโตรเจนมากเกินไป เป็นต้น หรือสภาพแวดล้อม ที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิต่ำเกินไป แสงน้อยเกินไป มีพายุหรือความไม่เหมาะสมทางด้านโรคพืช (Yu et al., 2013)



ภาพที่ 2.1เนื้อเยื่อชั้นผิวของใบข้าวแสดงผิวเคลือบคิวทิน (cuticle) ชั้นซิลิก้า (silica layer) และผนังเซลล์

ที่มา: Yoshida et al. (1975;อ้างอิงจากยงยุทธโอสถสภา, 2552)

2.3.1 บทบาทของซิลิกอนต่อสรีรวิทยาพืช

สุวัฒน์ธีระพงษ์ธนากร และคณะ (2552) พบว่า ข้าวพอคคาลีเป็นพันธุ์ทนเค็มสามารถปรับตัวด้านกายวิภาคและสรีรวิทยา โดยเฉพาะการสะสม silica knob ที่ชั้นผิวใบ (epidermis)จำนวนมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพื้นเมืองในภาวะความเครียดเกลือ ยังมีการศึกษากันน้อยในประเทศไทย โดยเฉพาะความสำคัญและการตอบสนองของพืชต่อซิลิกอน จากการศึกษาของ Mauad et al. (2003) พบว่าซิลิกอนช่วยให้ใบข้าวตั้งชันลดการหักล้ม ปกติข้าวที่ได้รับปุ๋ย

ไนโตรเจนในอัตราสูง ใบข้าวส่วนปลายมีแนวโน้มที่จะโค้งบังแสงกันเอง ลำต้นอ่อนและหักง่าย เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนเพียงพอ จะเกิดการเคลื่อนย้ายมาที่ผนังเซลล์ชั้นผิวนอกของใบหรือแผ่นใบ ทำให้แผ่นใบตั้งชันและรับแสงได้ดีขึ้น ช่วยให้ข้าวมีลำต้นที่แข็งแรงและหักล้มน้อยลง นอกจากนี้ซิลิกอนยังสามารถลดความเป็นพิษของเหล็ก อะลูมินัม และแมงกานีสในพืช ทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชให้ดีขึ้น (Greenway and Munns, 1980)

2.3.2 บทบาทของซิลิกอนต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช

Sistani et al. (1998) รายงานว่า ข้าวตอบสนองต่อซิลิกอนอย่างชัดเจนเมื่อปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำกว่า 110 ppm สำหรับดินที่เป็นกรดรุนแรง ส่งผลให้ปริมาณอะลูมินัมละลายออกมามากจนเป็นพิษกับพืช ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินต่ำ ผลผลิตพืชที่ปลูกในดินดังกล่าวต่ำ การใส่ซิลิกอนจะช่วยส่งเสริมให้พืชมีการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมากขึ้น ทำให้พืชสามารถปรับตัวและเจริญเติบโตในสภาวะความเครียดต่างๆได้ การศึกษาของ Hossain et al. (2001) ถึงผลการใส่ซิลิกอนในรูปแคลเซียมซิลิเกตและแกลบในข้าว พบว่าการใส่ซิลิกอนทำให้จำนวนเมล็ดข้าว น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยและผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับไม่ใส่ซิลิกอน ผลผลิตข้าวจะดีขึ้นเมื่อบดแกลบให้ละเอียดก่อนใส่และผลผลิตจะดีที่สุดเมื่อใส่ร่วมกับปุ๋ยหมักชีวภาพ โดยในดินร่วนปนเหนียวจะให้ผลผลิตมากกว่าในดินร่วนปนทราย

จากการศึกษาของ Baylis et al. (1994) พบว่า ซิลิกอนช่วยลดความเป็นพิษของอะลูมินัมในถั่วเหลืองได้ และประสิทธิภาพของอัตราซิลิกอนที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับ pH โดยซิลิกอนจะทำปฏิกิริยาและตกตะกอนรวมกับอะลูมินัมในสารละลาย ทำให้พืชดูดอะลูมินัมได้ลดลง ซึ่งบทบาทของซิลิกอนต่อข้าวคือทำให้ใบข้าวตั้งชัน (erected leaves) ช่วยเพิ่มความต้านทานของข้าวต่อความเป็นพิษของเหล็ก อะลูมินัม และแมงกานีสในดินหรือในสารละลาย ช่วยลดการดูดและสะสมของเหล็กและแมงกานีส โดยการลดการคายน้ำผ่านผิวเคลือบคิวทินของข้าวทำให้พืชมีความต้านทานต่อการขาดน้ำได้ดีขึ้น เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนเพียงพอ จะเกิดการเคลื่อนย้ายมาที่ผนังเซลล์ชั้นผิวนอกของใบหรือแผ่นใบ ทำให้แผ่นใบตั้งชันและรับแสงได้ดีขึ้น ช่วยให้ข้าวมีลำต้นที่แข็งแรงและหักล้มน้อยลง และควบคุมกลไกในการคายน้ำของพืชไม่ให้เกิดขึ้นในอัตราที่มากเกินไป (Mauad et al., 2003)

2.3.3 บทบาทของซิลิกอนต่อการฟื้นตัวของข้าว จากการได้รับความเครียดเกลือ

Gong et al. (2006) ศึกษาผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของข้าวพันธุ์ IR36 ภายใต้สภาวะความเครียดโซเดียมคลอไรด์ประกอบด้วย 4 ตำรับการทดลองดังนี้ T1: Control, T2 : Si 3 mM, T3: NaCl 50 mM,T4 : NaCl 50 mM+Si 3 mMโดยศึกษาระยะต้นกล้า 7 วันและ 14 วัน เมื่อมีการเติม Si ที่ระดับ 3 mMพบว่า ข้าวมีน้ำหนักแห้งต้นและรากเพิ่มขึ้น เมื่อเติมโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับ 50 mMพบว่า ความยาวราก น้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งรากลดลง เมื่อเติม NaCl 50 mM+Si 3 mMพบว่า เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือไม่ทำให้น้ำหนักแห้งต้นและรากแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ได้รับเกลือแสดงให้เห็นว่าจุดวิกฤตของโซเดียมคลอไรด์อยู่ที่ระดับ 50 mMทำให้ต้นกล้าข้าวมีการเจริญเติบโตลดลง เมื่อเติม Si ที่ระดับ 3 mMทำให้ต้นกล้าข้าวปรับตัวทางสรีรวิทยาได้ดีขึ้น

ซิลิกอนสามารถบรรเทาความเสียหาย ในพืชที่ได้รับความเครียดจากเกลือได้ รายงานของ Yu et al. (2013) ผลของซิลิกอนต่อการขนส่ง เกลือโซเดียม คลอไรด์ในต้นกล้าข้าว (*Oryza sativa* L.) ในสภาวะความเครียดเกลือ กรณีที่พืชไม่ได้รับความเค็มจากเกลือ ซิลิกอนช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของยอดได้ แต่ไม่พบ การเจริญเติบโต ในรากของข้าวสามสายพันธุ์ (CV4, IR36 และ CSR10) นอกจากนี้ความเค็มยังไปลดการเจริญเติบโตของยอดและรากข้าวทั้งสามชนิด ในสภาวะความเครียดเกลือ การเติมซิลิกอนลงไปในสารละลายในการเพาะเลี้ยงจะทำให้การเจริญเติบโตของหน่องอกดีขึ้น ภายใต้สภาวะความเค็มเหล่านี้ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในหน่อลดลงอย่างเห็นได้ชัดโดยการเติมซิลิกอนและอัตราส่วนของ K^+ / Cl^- เพิ่มขึ้นขณะที่ความเข้มข้นของ โซเดียมคลอไรด์ในรากไม่เปลี่ยนแปลง การเติมซิลิกอนช่วยเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและการคายน้ำของพืช

2.3.4บทบาทของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

ปัทมา ทองช้อน และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษา ผลของซิลิกอนและไนโตรเจน ต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าว พบว่าการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข21 และ กข47 หลังได้รับธาตุอาหารทั้ง 2 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันเกิดจากอิทธิพลร่วมของพันธุ์ข้าว อัตราไนโตรเจน และการใส่ซิลิกอน โดยค่าเฉลี่ยของความสูงในทุกตำรับทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ขณะที่ ปิยรัตน์ ศิริเรือง และคณะ (2560) ศึกษา ผลของการใช้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ในดินเค็ม พบว่า การใส่ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกต (Ca_2SiO_4) อัตรา40 กก./ไร่ ในดินไม่เค็ม (2 dS/m) ทำให้ความสูง จำนวนต้นต่อกอ และผลผลิตของข้าวแตกต่าง กัน เมื่อดินมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (6 dS/m และ 10 dS/m) การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวลดลงแต่การใส่ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตในอัตรา 40 กก/ไร่ มีผลทำให้มีการสะสมโซเดียมในส่วนลำต้นของต้นข้าวลดลงทั้งในชุดดินเสนาและชุดดินร้อยเอ็ด นอกจากนี้ Inanaga et al. (2002) พบว่าซิลิกอนยังช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว การใส่ซิลิกอนจะช่วยลดการเกิดเมล็ดลีบของข้าวได้

2.3.5 การนำองค์ความรู้เรื่องผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตของพืชไปใช้ประโยชน์

1) วิธีการจัดการดินเพื่อไม่ให้ดินขาดซิลิกอนโดยการให้น้ำชลประทานที่มีซิลิกอนแก่พืชการไถกลบตอซังข้าวเพราะในฟางข้าวมีซิลิกอนประมาณ 5-6 เปอร์เซ็นต์ ใส่ซิลิกอนร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนหลังการเก็บเกี่ยวนำแกลบหรือขี้เถ้าแกลบมาใช้เพิ่มซิลิกอนให้กับดิน เพราะแกลบมีซิลิกอนประมาณ 15เปอร์เซ็นต์ซึ่งแกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทหนึ่งซึ่งมีซิลิกอนเป็นองค์ประกอบสูงถึง 15เปอร์เซ็นต์ แกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณมาก และหาได้ง่าย แกลบมีธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นองค์ประกอบต่ำ แต่มีซิลิกอนเป็นองค์ประกอบสูง ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำซิลิกอนมาใช้ในรูปของแกลบได้ (Shunjiet al, 2002)

2) ด้านการพัฒนาเมล็ดพันธุ์เป็นที่ทราบดีว่าข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย การเพาะปลูกข้าวในประเทศไทยปัจจุบันยังคงอาศัยน้ำจากฝนเป็นหลัก ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกข้าวหลายแห่งในประเทศไทย ประสบปัญหาสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น ความแห้งแล้ง ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาลหรือมีปัญหาดินเค็ม ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ทำให้อัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง การศึกษาและความเข้าใจเกี่ยวกับผลของสภาวะขาดน้ำ อันสืบเนื่องมาจากดินเค็ม ต่อลักษณะ สรีรวิทยา และกระบวนการเมแทบอลิซึมในข้าวยังมีค่อนข้างน้อย

ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกการตอบสนองของข้าวจะเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ในเรื่องของวิธีการปรับปรุง และคัดเลือกพันธุ์หรือการใช้เทคโนโลยีชีวภาพ เพื่อหาวิธีแก้ไขหรือป้องกันไม่ให้พืชเกิดความเสียหายเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะขาดน้ำ (Yu et al., 2013)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์

3.1.1 วิธีการทดลอง

3.1.1.1 การเตรียมต้นกล้าข้าวทำการเพาะเมล็ดข้าวโดยคัดเลือกเมล็ดข้าวที่สมบูรณ์พันธุ์ละ 200 เมล็ดแช่ในน้ำกรองสะอาดเป็นเวลา 24ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดข้าวไปห่อด้วยผ้าบ่มไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 48ชั่วโมง โดยควบคุมความชื้นให้เหมาะสม เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอกจึงนำไปเพาะลงในกะละมังที่เตรียมดินไว้ แล้วควบคุมความชื้นดินให้เหมาะสม และได้รับแสงแดดปกติในสภาพเรือนทดลอง

3.1.1.2 การปลูกข้าวในสารละลายอาหารใช้ต้นกล้าข้าวอายุ 30วัน ย้ายต้นข้าวลงปลูกในสารละลายอาหาร (nutrient solution) ตามสูตรของ Limpinuntana (1978) จำนวน 8 ต้นต่อกะละมัง โดยนำฟองน้ำมาหุ้มส่วนโคนของต้นข้าวเพื่อใช้ยึดติดกับโฟมที่ปิดกะละมัง ใช้กะละมังขนาด 30 ซม. สูง 15 ซม. บรรจุด้วยสารละลายอาหารจำนวน 3 ลิตร ควบคุมความเป็นกรดด่าง pH 5.5 ด้วย 1N HClหรือ 1N NaOHหลังจากการปลูกข้าวมีการปรับปริมาตรของสารละลายอาหารในกะละมังให้เท่าเดิมเสมอ

3.1.1.3 เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์3 ระดับคือ 0, 50 และ100 มิลลิโมลหลังจากย้ายปลูกได้ 7 วัน(อายุข้าว 37 วัน)

3.1.2การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลข้าวหลังจากได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 14 (อายุข้าว 65 วัน) และ 21 (อายุข้าว 86 วัน) วัน โดยใช้ค่าเฉลี่ย n=3 ข้อมูลที่ศึกษามีดังนี้

3.1.2.1ข้อมูลด้านลักษณะสรีรวิทยาข้าว

1)วัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (chlorophyll fluorescence) โดยใช้เครื่อง Plant Efficiency Analyzer วัดในตำแหน่งใบที่ 3 ของลำต้นหลัก วิธีการใช้ clip ปิดใบไม้ให้ได้รับแสงนาน 15 นาที ให้แสง 100 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 วินาที ตามวิธีที่ศึกษาเบื้องต้นก่อนหน้านี้ บันทึกค่า Fo, Fm , Fv, Fv/Fmซึ่ง Foคือค่าฟลูออเรสเซ็นท์ต่ำสุดที่เกิดขึ้นขณะที่พืชอยู่ในสภาพมืดเมื่อให้ความเข้มแสงต่ำ (Minimum fluorescence) ; Fmคือค่าฟลูออเรสเซ็นท์สูงสุดที่เกิดขึ้นขณะที่พืชอยู่ในสภาพมืดเมื่อให้ความเข้มแสงสูงเต็มที่ (Maximum fluorescence) ; Fvคือผลต่างของค่าฟลูออเรสเซ็นท์สูงสุด-ต่ำสุด (Variable fluorescence Fm-Fo) ; Fv/Fmคือประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Maximum quantum efficiency of PSII) (Munns and James, 2003)

2) วัดอัตราการคายน้ำ (E, transpiration rate, μg $cm^2 s^{-1}$) ความต้านทานที่ปากใบข้าว (Rs, stomatal resistance, S cm^{-1}) ความเข้มแสง(Qleaf, μE $s^{-1} m^{-2}$) และความชื้นสัมพัทธ์(RH, relative humidity)โดยใช้เครื่องSteady State Porometer LI -1600 สำหรับช่วงเวลาที่ศึกษาคือเวลา 10.00 - 12.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่พืชมีการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด

3) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ สกัดด้วย Ethanol 95 เปอร์เซ็นต์ วัดด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 664.2, 648.6 และ 470 นาโนเมตรตามลำดับ (Yoshida et al., 1976)

4) ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมคำนวณจากผลรวมของคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี

5)อัตราส่วนคลอโรฟิลล์เอต่อคลอโรฟิลล์บีคำนวณจากคลอโรฟิลล์เอหารคลอโรฟิลล์บี

3.1.2.2 ข้อมูลด้านการเจริญเติบโตของข้าว

1) เก็บตัวอย่างข้าว 1 ต้นต่อกะละมังนำมาวัดน้ำหนักแห้งส่วนใบ (leaf)ลำต้น (stem) ส่วนต้น(shoot) และราก (root) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมงจนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่จึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง3 ตำแหน่ง

2) อัตราส่วนรากต่อต้น (root shoot ratio) คำนวณจากน้ำหนักแห้งรากหารด้วยน้ำหนักแห้งส่วนต้น

3) จำนวนหน่อต่อต้น

4) ความสูงของต้นข้าว โดยวัดจากโคนต้นข้าวถึงปลายใบข้าวใบสุดท้าย

5) พื้นที่ใบข้าวโดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Leaf Area Meter) LI-COR รุ่น LI3000A

3.2 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นของซิลิกอนไดออกไซด์

3.2.1วิธีการทดลอง

3.2.1.1การเตรียมต้นกล้าข้าว และการปลูกข้าวในสารละลายอาหาร ทำเช่นเดียวกับ การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์

3.2.1.2เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 4ระดับคือ 0, 2.5, 5.0 และ7.5 มิลลิโมลหลังจากย้ายปลูกได้ 7 วัน(อายุข้าว 37 วัน)

3.2.2 การเก็บข้อมูล ทำเช่นเดียวกับ การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์

3.3การศึกษาผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว

4 พันธุ์ภายใต้สภาวะความเครียดโซเดียมคลอไรด์ ประกอบด้วย 2 การทดลองคือ ต้นข้าวอายุ 14และ 30 วัน

3. 3.1 การ ทดลองที่ 1 ต้นข้าวอายุ 14 วัน

3.3.1.1 แผนการทดลอง

จัดการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ตำรับการทดลองมี 3 ปัจจัย ดังนี้ ปัจจัยที่ 1 พันธุ์ข้าว 4 พันธุ์คือ ขาวดอกมะลิ105 กข 15 กข6 และทับทิมชุมแพ ปัจจัยที่ 2 โซเดียมคลอไรด์ 2 ระดับคือ 0 และ 50 มิลลิโมล ปัจจัยที่ 3 ซิลิกอนไดออกไซด์ 2 ระดับคือ 0 และ 5.0 มิลลิโมล

3.3.1.2 วิธีการทดลอง

1)การเตรียมต้นกล้าข้าวทำการเพาะเมล็ดข้าวโดยคัดเลือกเมล็ดข้าวที่สมบูรณ์ พันธุ์ละ 200 เมล็ดแช่ในน้ำกรองสะอาดเป็นเวลา 24ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดข้าวไปห่อด้วยผ้าบ่มไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 48ชั่วโมง โดยควบคุมความชื้นให้เหมาะสม เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอกจึงนำไปเพาะลงในกะละมังที่เตรียมดินไว้ แล้วควบคุมความชื้นดินให้เหมาะสม และได้รับแสงแดดปกติในสภาพเรือนทดลอง

2)การปลูกข้าวในสารละลายอาหารใช้ต้นกล้าข้าวอายุ 14 วัน ย้ายต้นข้าวลงปลูกในสารละลายอาหาร (nutrient solution) ตามสูตรของ Limpinuntana (1978) จำนวน 8 ต้นต่อกะละมัง โดยนำฟองน้ำมาหุ้มส่วนโคนของต้นข้าวเพื่อใช้ยึดติดกับโฟมที่ปิดกะละมัง ใช้กะละมังขนาด 30 ซม. สูง 15 ซม. บรรจุด้วยสารละลายอาหารจำนวน 3 ลิตร ควบคุมความเป็นกรดด่าง pH 5.5 ด้วย 1N HClหรือ 1N NaOHหลังจากการปลูกข้าวมีการปรับปริมาตรของสารละลายอาหารในกะละมังให้เท่าเดิมเสมอ

3)การเติมซิลิกอนไดออกไซด์หลังจากย้ายต้นกล้าปลูกในสารละลายอาหารได้ 7 วัน (อายุข้าว 21 วัน)ใส่ซิลิกอนไดออกไซด์ความเข้มข้นตามตำรับการทดลอง โดยผสมกับสารละลายอาหารที่เตรียมไว้

4)การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์หลังจากใส่ซิลิกอน 7 วัน (อายุข้าว 28 วัน) เมื่อต้นข้าวเริ่มปรับตัวได้ จึงใส่เกลือโซเดียมคลอไรด์ ตามตำรับการทดลอง

3.3.1.3 การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลข้าวหลังจากได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 7 (อายุข้าว35วัน), 14 (อายุข้าว49วัน) และ 21 (อายุข้าว70วัน) วัน ข้อมูลที่ศึกษามีดังนี้

1) ข้อมูลด้านลักษณะสรีรวิทยาข้าว

1.1) วัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (chlorophyll fluorescence) โดยใช้เครื่องPlant Efficiency Analyzer วัดในตำแหน่งใบที่ 3 ของลำต้นหลักวิธีการใช้ clip ปิดใบไม้ให้ได้รับแสงนาน 15 นาทีให้แสง 100 เปอร์เซ็นต์นาน 5 วินาทีตามวิธีที่ศึกษาเบื้องต้นก่อนหน้านี้บันทึกค่าFo, Fm , Fv, Fv/Fmซึ่งFoคือค่าฟลูออเรสเซ็นท์ต่ำสุดที่เกิดขึ้นขณะที่พืชอยู่ในสภาพมืดเมื่อให้ความเข้มแสงต่ำ (Minimum fluorescence) ; Fmคือค่าฟลูออเรสเซ็นท์สูงสุดที่เกิดขึ้นขณะที่พืชอยู่ในสภาพมืดเมื่อให้ความเข้มแสงสูงเต็มที่ (Maximum fluorescence) ; Fvคือผลต่างของค่าฟลูออเรส

เซ็นท์สูงสุด-ต่ำสุด (Variable fluorescence Fm-Fo) ; Fv/Fmคือประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Maximum quantum efficiency of PSII) (Misra et al., 2012)

1.2)วัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (A, μmoleCO_2 m^{-2} s^{-1}) อัตราการคายน้ำ(E, transpiration rate, mole H_2O m^{-2} s^{-1}) ค่าการนำที่ปากใบข้าว (Gs, stomatal conductance, cms^{-1}) ปริมาณCO_2ในsubstomata (Ci, ppm) และความเข้มแสง(Qleaf, μmole m^{-2} s^{-1}) โดยใช้เครื่องPortable Photosynthetic System รุ่นLCi-SD สำหรับช่วงเวลาที่ศึกษาคือเวลา 10.00 - 12.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่พืชมีการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด

1.3)ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (Carboxylation Efficiency, CE) คำนวณจากจำนวนโมลที่พืชตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ต่อโมลคาร์บอนไดออกไซด์ใน substomataคูณ 100 มีหน่วยวัดเป็น เปอร์เซ็นต์ ตามสูตร

$$CE = \frac{A \times 100}{Ci} \qquad (3.1)$$

1.4)ประสิทธิภาพในการใช้แสง (Quantum Yield of Photosynthesis, QY)คำนวณจากจำนวนโมลที่พืชตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ต่อโมลคาร์บอนไดออกไซด์ (A) ต่อโมลของพืชที่ดูดซับแสง (Qleaf) คูณ100ตามสูตร

$$QY = \frac{A \times 100}{Qleaf} \qquad (3.2)$$

1.5) ประสิทธิภาพในการใช้น้ำ (Water Use Efficiency, WUE) คำนวณจาก จำนวนโมลที่พืชตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ต่อโมลคาร์บอนไดออกไซด์ (A) ต่อโมลที่พืชคายน้ำ (E) ตามสูตร

$$WUE = \frac{A}{E} \qquad (3.3)$$

1.6) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ สกัดด้วย Ethanol 95 เปอร์เซ็นต์ วัดด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 664.2, 648.6 และ470 นาโนเมตร ตามลำดับ (Yoshida et al., 1976)

1.7) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คำนวณจาก ชั่งน้ำหนักใบพืช A กรัม สกัดด้วย Ethanol 95% ในปริมาณสุดท้าย 25 มิลลิลิตร คำนวณค่าได้ดังนี้

$$Ca = (13.36\ A664.2 - 5.19\ A648.6) \times \frac{25}{1000} \times \frac{1}{A} (mg\ chl./\ g\ fresh\ weight) \qquad (3.4)$$

$$Cb = (27.43\ A648.6 - 8.12\ A664.2) \times \frac{25}{1000} \times \frac{1}{A} \text{(mg chl./ g fresh weight)} \quad (3.5)$$

1.8)ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมคำนวณจาก

$$Ca+b = (5.24\ A664.2 - 22.24\ A648.6) \times \frac{25}{1000} \times \frac{1}{A} \text{(mg chl./ g fresh weight)} \quad (3.6)$$

1.9) ปริมาณแคโรทินอยด์ คำนวณจาก

$$Cx+c = \frac{(1000\ A470 - 2.13Ca - 97.64\ Cb)}{209} \times \frac{25}{1000} \times \frac{1}{A} \text{(mg chl./ g fresh weight)} \quad (3.7)$$

1.10) อัตราส่วนคลอโรฟิลล์เอต่อคลอโรฟิลล์บี คำนวณจากคลอโรฟิลล์เอหารคลอโรฟิลล์บี

2) ข้อมูลด้านการเจริญเติบโตของข้าว

2.1)เก็บตัวอย่างข้าว 1 ต้นต่อกะละมังนำมาวัดน้ำหนักแห้งส่วนใบ (leaf) ลำต้น (stem) ส่วนต้น(shoot) และราก (root) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมงจนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่จึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง3 ตำแหน่ง

2.2) อัตราส่วนรากต่อต้น (root shoot ratio) คำนวณจากน้ำหนักแห้งรากหารด้วยน้ำหนักแห้งส่วนต้น

2.3) จำนวนหน่อต่อต้น

2.4) ความสูงของต้นข้าว โดยวัดจากโคนต้นข้าวถึงปลายใบข้าวใบสุดท้าย

2.5) พื้นที่ใบข้าวโดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Leaf Area Meter) LI-COR รุ่น LI3000A

3) การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของข้าว

3.1) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, RGR) วัดจากอัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้งของพืชจากการเก็บเกี่ยว 2 ครั้งในช่วงเวลาที่แตกต่างกันซึ่งน้ำหนักแห้งของพืชจะแปลงเป็นค่า$\log_e$มีหน่วยวัดเป็น $g g^{-1} d^{-1}$

$$RGR = \frac{\log_e W_2 - \log_e W_1}{t_2 - t_1} \quad (3.8)$$

W_2, W_1หมายถึงน้ำหนักแห้งที่เก็บตัวอย่างในครั้งที่ 2 และ 1 มีหน่วยวัดเป็นกรัม
t_2, t_1 หมายถึงช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 และ 1 มีหน่วยวัดเป็นวัน

3.2) พื้นที่ใบจำเพาะ(Specific Leaf Area, SLA)คำนวณจากพื้นที่ใบหารด้วยน้ำหนักแห้งใบมีหน่วยวัดเป็นมีหน่วยวัดเป็น $cm^2\ mg^{-1}$

$$SLA = \frac{\text{Leaf area}}{\text{Leaf dry weight}} \qquad (3.9)$$

3.3.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (analysis of variance) ด้วยโปรแกรม MSTAT ตามการจัดการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างตำรับทดลองด้วยค่า Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95เปอร์เซ็นต์ (Gomez and Gomez, 1984)

3.3.2 การทดลองที่ 2 ต้นข้าวอายุ 30 วัน

3.3.2.1 แผนการทดลอง

จัดการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ตำรับการทดลองมี 3 ปัจจัย ดังนี้ ปัจจัยที่ 1 พันธุ์ข้าว 4 พันธุ์คือ ขาวดอกมะลิ 105 กข15 กข6 และทับทิมชุมแพ ปัจจัยที่ 2 โซเดียมคลอไรด์ 2 ระดับคือ 0 และ 50 มิลลิโมล ปัจจัยที่ 3 ซิลิกอนไดออกไซด์ 2 ระดับคือ 0 และ 5.0 มิลลิโมล

3.3.2.2 วิธีการทดลอง

1)การเตรียมต้นกล้าข้าวทำเช่นเดียวกับวิธีการทดลองที่ 1

2)การปลูกข้าวในสารละลายอาหารใช้ต้นกล้าข้าวอายุ 30 วัน ย้ายต้นข้าวลงปลูกในสารละลายอาหาร (nutrient solution) ตามสูตรของ Limpinuntana (1978) จำนวน 8 ต้นต่อกะละมัง โดยนำฟองน้ำมาหุ้มส่วนโคนของต้นข้าวเพื่อใช้ยึดติดกับโฟมที่ปิดกะละมัง สำหรับกะละมังที่ใช้มีขนาด 30 ซม. สูง 15 ซม. บรรจุด้วยสารละลายอาหารจำนวน 3 ลิตร ควบคุมความเป็นกรดด่าง pH 5.5 ด้วย 1N HClหรือ 1N NaOHหลังจากการปลูกข้าวมีการปรับปริมาตรของสารละลายอาหารในกะละมังให้เท่าเดิมเสมอ

3)การเติมซิลิกอนไดออกไซด์หลังจากย้ายต้นกล้าปลูกในสารละลายอาหารได้ 7 วัน (อายุข้าว 37 วัน)ใส่ซิลิกอนไดออกไซด์ความเข้มข้นตามตำรับการทดลอง โดยผสมกับสารละลายอาหารที่เตรียมไว้

4)การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์หลังจากใส่ซิลิกอน 7 วัน (อายุข้าว 44 วัน) เมื่อต้นข้าวเริ่มปรับตัวได้ จึงใส่เกลือโซเดียมคลอไรด์ ตามตำรับการทดลอง

3.3.2.3 การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลข้าวหลังจากได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 7 (อายุข้าว 51 วัน),14 (อายุข้าว 65 วัน) และ 21 (อายุข้าว 86 วัน) วัน ข้อมูลที่ศึกษามีดังนี้

1)ข้อมูลด้านลักษณะสรีรวิทยาข้าว

1.1)วัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (chlorophyll fluorescence) โดยใช้เครื่อง Plant Efficiency Analyzer ใช้วิธีการวัดเช่นเดียวกับวิธีการทดลองที่ 1

1.2)วัดอัตราการคายน้ำ (E, transpiration rate, μg $cm^{2}s^{-1}$) ความต้านทานที่ปากใบข้าว (Rs, stomatal resistance, S cm^{-1}) ความเข้มแสง (Qleaf, μE $s^{-1}m^{-2}$) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH, relative humidity)โดยใช้เครื่อง Steady State Porometer LI -1600 สำหรับช่วงเวลาที่ศึกษาคือเวลา 10.00 - 12.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่พืชมีการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด

1.3) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ สกัดด้วย Ethanol 95 เปอร์เซ็นต์ วัดด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 664.2, 648.6 และ 470 นาโนเมตรตามลำดับ (Yoshida et al., 1976)

1.4) ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมคำนวณจากผลรวมของคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี

1.5)อัตราส่วนคลอโรฟิลล์เอต่อคลอโรฟิลล์บีคำนวณจากคลอโรฟิลล์เอหารคลอโรฟิลล์บี

2) ข้อมูลด้านการเจริญเติบโตและการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของข้าวทำเช่นเดียวกับวิธีการทดลองที่ 1

3.3.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติ ทำเช่นเดียวกับวิธีการทดลองที่ 1

3.4ระยะเวลาทำวิจัย

สิงหาคม 2559 ถึง ธันวาคม 2560

3.5สถานที่ทำวิจัย

โรงเรือนทดลองสำนักงานไร่ฝึกทดลองและห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์

4.1.1 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อสรีรวิทยาของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6

4.1.1.1 อัตราการคายน้ำ(E)

จากการศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อสรีรวิทยาของข้าวขาวดอกมะลิ105 พบว่า สภาพการปลูกพืชทดลองที่ 0-14 วัน มีความเข้มแสง(Q)เฉลี่ย 538 μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ(T) เฉลี่ย 35.55องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย 32.2 เปอร์เซ็นต์ ส่วน 0-21 วัน มีความเข้มแสง(Q)เฉลี่ย 664.92 μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ(T) เฉลี่ย 35.45องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย31.80 เปอร์เซ็นต์เมื่อต้นข้าวได้รับความเครียดเกลือ อัตราการคายน้ำ เฉลี่ยแต่ละระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับความเข้มข้น 0 mMมีอัตราการคายน้ำสูงสุด (เฉลี่ย 1.438 μg $cm^{-2}s^{-1}$) รองลงมาคือความเข้มข้น 50 mM (เฉลี่ย0.518 μg $cm^{-2}s^{-1}$) และความเข้มข้น 100 mMอัตราการคายน้ำมีค่าต่ำสุด(เฉลี่ย 0.363 μg $cm^{-2}s^{-1}$)

จากการศึกษาผลของ โซเดียมคลอไรด์ ต่อสรีรวิทยาของข้าวกข 6 พบว่า สภาพการปลูกพืชทดลองที่ 0-14 วัน มีความเข้มแสง(Q)เฉลี่ย528.45 μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ(T) เฉลี่ย34.55 องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย 33.00เปอร์เซ็นต์ ส่วน 0-21 วัน มีความเข้มแสง(Q)เฉลี่ย 560.00μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ (T) เฉลี่ย32.21องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย32.00 เปอร์เซ็นต์เมื่อต้นข้าวได้รับความเครียดเกลือ ทำให้อัตราการคายน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลองแต่ละระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างกัน ที่ระดับความเข้มข้น 0mMมีอัตราการคายน้ำสูงสุด (เฉลี่ย1.103 μg $cm^{-2}s^{-1}$)รองลงมาคือความเข้มข้น 100mM(เฉลี่ย0.847μg $cm^{-2}s^{-1}$) และความเข้มข้น50 mMมีอัตราการคายน้ำต่ำสุด (เฉลี่ย0.558 μg $cm^{-2}s^{-1}$)(ตารางที่ 4.1)

4.1.1.2 ความต้านทานที่ปากใบ(Rs)

จากการศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อสรีรวิทยาของข้าวขาวดอกมะลิ105 พบว่า สภาพการปลูกพืชทดลองที่ 0-14 วัน มีความเข้มแสง(Q)เฉลี่ย629.95 μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ(T) เฉลี่ย35.45องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย32.40เปอร์เซ็นต์ ส่วน 0-21 วัน มีความเข้มแสง(Q)เฉลี่ย 699.90μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ (T) เฉลี่ย35.55องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย32.00 เปอร์เซ็นต์เมื่อต้นข้าวได้รับความเครียดเกลือทำให้ค่าความต้านทานที่ปากใบเฉลี่ยแต่ละระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับความเข้มข้น 100mMมีค่าความต้านทานที่ปากใบสูงสุด (เฉลี่ย 77.40 S cm^{-1}) รองลงมาคือ ความเข้มข้น 50mM(เฉลี่ย 39.25 S cm^{-1}) และความเข้มข้น 0mM(เฉลี่ย 33.05 S cm^{-1}) ตามลำดับ

จากการศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อสรีรวิทยาของข้าวกข6พบว่า สภาพการปลูกพืชทดลองที่ 0-14 วัน มีความเข้มแสง(Q)เฉลี่ย528.45 μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ (T) เฉลี่ย34.55 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย33.00เปอร์เซ็นต์ ส่วน 0-21 วัน มีความเข้มแสง(Q)เฉลี่ย 574.95 μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ (T) เฉลี่ย32.21องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย32.00 เปอร์เซ็นต์เมื่อต้นข้าวได้รับความเครียดเกลือ ทำให้ค่าความต้านทานที่ปากใบเฉลี่ยแต่ละระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างกัน ที่ระดับความเข้มข้น 50mMมีค่าความต้านทานที่ปากใบสูงสุด (เฉลี่ย 50.30 S cm^{-1}) รองลงมาคือ ความเข้มข้น 100mM(เฉลี่ย 32.75 S cm^{-1}) และความเข้มข้น 0mM(เฉลี่ย 24.45 S cm^{-1}) ตามลำดับ(ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 อัตราการคายน้ำ (E)และความต้านทานที่ปากใบ (Rs)ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 14 และ 21 วัน

พันธุ์ข้าว	NaCl (mM)	ระยะเวลา (วัน)					
		14	21	เฉลี่ย	14	21	เฉลี่ย
		E(μg cm^{-2} s^{-1})			Rs(S cm^{-1})		
ขาวดอกมะลิ 105	0	2.381	0.494	1.438	12.20	53.90	33.05
	50	0.718	0.317	0.518	41.80	36.70	39.25
	100	0.361	0.365	0.363	84.70	70.10	77.40
กข6	0	1.305	0.900	1.103	20.80	28.10	24.45
	50	0.530	0.586	0.558	58.00	42.60	50.30
	100	0.891	0.803	0.847	34.10	31.40	32.75

หมายเหตุ:n=3

4.1.1.3 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์

การวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ ค่า Fv/Fmและ Fm/Foซึ่งตำรับทดลองมีดังนี้ โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 50 และ 100 mMของข้าวขาวดอกมะลิ 105ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน พบว่าค่าเฉลี่ย Fv/Fmที่ระดับความเข้มข้น 0, 50 และ mM มีความแตกต่างกันโดยที่ระดับความเข้มข้น 0mMค่า Fv/Fmสูงสุด(เฉลี่ย 0.685) รองลงมาคือความเข้มข้น 50mM(เฉลี่ย 0.669) และความเข้มข้น 100mM(เฉลี่ย0.620) ตามลำดับส่วนค่า Fm/Fo มีความแตกต่างกัน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 0mMค่า Fm/Foสูงสุด (เฉลี่ย 3.239) รองลงมาคือความเข้มข้น 50mM(เฉลี่ย3.030) และความเข้มข้น 100mM(เฉลี่ย2.284) ตามลำดับ

สำหรับข้าวกข6 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน พบว่าค่าเฉลี่ย Fv/Fmที่ระดับความเข้มข้น 0 , 50 และ 100 mM มีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับความเข้มข้น 50 mMค่าFv/Fmสูงสุด(เฉลี่ย0.741) รองลงมาคือ ความเข้มข้น 0 mM(เฉลี่ย0.631) และความเข้มข้น 100 mM(เฉลี่ย0.629) ตามลำดับ ส่วนค่า Fm/Foมีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับความเข้มข้น 50

mMค่า Fm/Foสูงสุด(เฉลี่ย3.988) รองลงมาคือ ความเข้มข้น 0 mM(เฉลี่ย3.354) และความเข้มข้น 100 mM (เฉลี่ย2.693) ตามลำดับ(ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์Fv/Fmและ Fm/Foของข้าวขาวดอกมะลิ105 และ กข 6เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 14 และ 21 วัน

พันธุ์ข้าว	NaCl (mM)	ระยะเวลา(วัน)					
		14	21	เฉลี่ย	14	21	เฉลี่ย
			Fv/Fm			Fm/Fo	
ขาวดอกมะลิ105	0	0.641	0.729	0.685	2.786	3.691	3.239
	50	0.641	0.697	0.669	2.749	3.310	3.030
	100	0.641	0.599	0.620	2.068	2.499	2.284
กข6	0	0.469	0.792	0.631	1.882	4.825	3.354
	50	0.787	0.694	0.741	4.704	3.271	3.988
	100	0.668	0.590	0.629	2.944	2.442	2.693

หมายเหตุ:n=3

4.1.1.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบ

1)ปริมาณคลอไรด์คลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ ที่ระดับ 0, 50 และ100 mM พบว่าคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าเฉลี่ย 1.273,1.538 และ1.423 ตามลำดับ คลอโรฟิลล์บี มีค่าเฉลี่ย 0.451,0.549 และ0.451 ตามลำดับและคลอโรฟิลล์รวมมีค่าเฉลี่ย1.724,2.087 และ2.087 ตามลำดับสำหรับปริมาณคลอไรด์คลอโรฟิลล์ เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมของข้าวกข 6 พบว่า คลอโรฟิลล์เอ มีค่าเฉลี่ย 1.351 ,1.114และ1.405 ตามลำดับ คลอโรฟิลล์บี มีค่าเฉลี่ย 0.992, 0.549 และ0.423 ตามลำดับ และคลอโรฟิลล์รวมมีค่าเฉลี่ย 2.343, 1.663 และ1.828 ตามลำดับ

2) ปริมาณแคโรทีนอยด์และอัตราส่วนคลอโรฟิลล์ เอต่อบีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ ที่ระดับ 0, 50 และ100 mM พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์มีค่าเฉลี่ย 0.389,0.492 และ 0.423 ตามลำดับ และ อัตราส่วนคลอโรฟิลล์ เอต่อบี มีค่าเฉลี่ย 2.823,2.801 และ3.155ตามลำดับสำหรับปริมาณแคโรทีนอยด์และอัตราส่วนคลอโรฟิลล์ เอต่อบี ของข้าวกข 6 พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์มีค่าเฉลี่ย 0.370, 0.489 และ0.324 ตามลำดับ และอัตราส่วนคลอโรฟิลล์ เอต่อบี มีค่าเฉลี่ย 1.362,2.029 และ3.322 ตามลำดับ(ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ของข้าวขาวดอกมะลิ105และกข6 เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 14 วัน

พันธุ์ข้าว	NaCl (mM)	Chl.a (mg/gFW)	Chl.b (mg/gFW)	Total Chl. (mg/gFW)	Carotenoid (mg/gFW)	Chl.a:b (mg/gFW)
ขาวดอกมะลิ105	0	1.273	0.451	1.724	0.389	2.823
	50	1.538	0.549	2.087	0.492	2.801
	100	1.423	0.451	1.874	0.423	3.155
กข6	0	1.351	0.992	2.343	0.370	1.362
	50	1.114	0.549	1.663	0.489	2.029
	100	1.405	0.423	1.828	0.324	3.322

หมายเหตุ:n=3

4.1.2 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6

4.1.2.1 จำนวนหน่อต่อต้น

จำนวนหน่อต่อต้นของข้าวขาวดอกมะลิ105ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน ที่ระดับ NaCl 0,50 และ100 mM พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 มีจำนวนหน่อต่อต้นเฉลี่ย 3,3และ2 หน่อต่อต้น ตามลำดับ สำหรับ จำนวน หน่อต่อต้นของ ข้าวกข6 ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน ที่ระดับ NaCl0, 50 และ100 mMพบว่า มีจำนวนหน่อต่อต้นเฉลี่ย 3,3 และ2 หน่อต่อต้น

4.1.2.2 ความสูง(ซ.ม.)

ความสูงของข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน ที่ระดับ NaCl 0, 50 และ100 mM พบว่า ความสูงเฉลี่ย 52.50 , 42.75และ39.00 ซ.ม. ตามลำดับ สำหรับความสูงของข้าวกข6 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน ที่ระดับ NaCl 0, 50 และ100 mM พบว่า ความสูงเฉลี่ย 55.50 , 50.75และ46.50 ซ.ม.ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4จำนวนหน่อต่อต้นและความสูง (ซ.ม.) ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 14 และ 21 วัน

พันธุ์ข้าว	NaCl (mM)	ระยะเวลา (วัน)					
		14	21	เฉลี่ย	14	21	เฉลี่ย
		จำนวนหน่อต่อต้น			ความสูง (ซ.ม.)		
ขาวดอกมะลิ105	0	3	3	3	38.00	67.00	52.50
	50	3	3	3	35.50	50.00	42.75
	100	2	2	2	33.00	45.00	39.00
กข6	0	3	3	3	43.00	68.00	55.50
	50	2	3	3	36.50	65.00	50.75
	100	2	2	2	33.00	60.00	46.50

หมายเหตุ:n=3

4.1.2.3พื้นที่ใบ (ซ.ม.^{2})

พื้นที่ใบของข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน ที่ระดับ NaCl 0, 50 และ100 mMพบว่า พื้นที่ใบเฉลี่ย 99.29 , 80.90 และ52.37 ซ.ม.^{2} ตามลำดับ สำหรับพื้นที่ใบของข้าวกข 6 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน ที่ระดับ NaCl0, 50 และ100 mM พบว่า พื้นที่ใบเฉลี่ย 184.28, 104.75และ82.73 ซ.ม.^{2}ตามลำดับ

4.1.2.4 น้ำหนักแห้งใบ (กรัม)

น้ำหนักแห้งใบของข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน ที่ระดับ NaCl0, 50 และ100 mM พบว่า น้ำหนักแห้งใบ เฉลี่ย 0.498, 0.418 และ 0.244 กรัม ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักแห้งใบของข้าวกข 6 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน ที่ระดับ NaCl0, 50 และ100 mMพบว่า น้ำหนักแห้งใบ เฉลี่ย 0.855, 0.409 และ 0.243 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5พื้นที่ใบ (ซ.ม.^{2}) และน้ำหนักแห้งใบ (กรัม)ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 เมื่อได้รับความเครียด เกลือ 14 และ 21 วัน

พันธุ์ข้าว	NaCl (mM)	ระยะเวลา (วัน)					
		14	21	เฉลี่ย	14	21	เฉลี่ย
			พื้นที่ใบ (ซ.ม.^{2})			น้ำหนักแห้งใบ (กรัม)	
ขาวดอกมะลิ105	0	102.28	96.30	99.29	0.494	0.502	0.498
	50	78.29	83.50	80.90	0.369	0.466	0.418
	100	62.24	42.50	52.37	0.268	0.220	0.244
กข6	0	218.65	149.90	184.28	0.938	0.771	0.855
	50	115.50	94.00	104.75	0.360	0.458	0.409
	100	82.45	83.00	82.73	0.275	0.210	0.243

หมายเหตุ:n=3

4.1.2.5 น้ำหนักแห้งต้น (กรัม)

น้ำหนักแห้งต้นของข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ21 วัน ที่ระดับ NaCl0, 50 และ100 mM พบว่า น้ำหนักแห้งต้น เฉลี่ย 0.732, 0.699 และ0.525กรัม ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักแห้งต้นของข้าวกข6 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน ที่ระดับ NaCl0, 50 และ100 mMพบว่า น้ำหนักแห้งต้น เฉลี่ย 1.480, 0.671 และ0.496 กรัม ตามลำดับ

4.1.2.6 น้ำหนักแห้งราก (กรัม)

น้ำหนักแห้งรากของข้าวขาวดอกมะลิ105ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ21 วัน ที่ระดับ NaCl0, 50 และ100 mMพบว่า น้ำหนักแห้งราก เฉลี่ย 0.627, 0.432 และ0.242 กรัม ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักแห้งรากของข้าวกข 6 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน ที่ระดับ NaCl0, 50 และ 100 mMพบว่า น้ำหนักแห้งราก เฉลี่ย 1.031 , 0.356และ 0.206กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) และน้ำหนักแห้งราก (กรัม)ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และ กข6เมื่อได้รับความเครียด เกลือ 14 และ 21 วัน

พันธุ์ข้าว	NaCl (mM)	ระยะเวลา (วัน)					
		14	21	เฉลี่ย	14	21	เฉลี่ย
			น้ำหนักแห้งต้น (กรัม)			น้ำหนักแห้งราก (กรัม)	
ขาวดอกมะลิ105	0	0.550	0.913	0.732	0.514	0.740	0.627
	50	0.494	0.904	0.699	0.347	0.517	0.432
	100	0.423	0.627	0.525	0.212	0.272	0.242
กข6	0	1.769	1.190	1.480	1.187	0.875	1.031
	50	0.444	0.897	0.671	0.246	0.466	0.356
	100	0.405	0.587	0.496	0.192	0.220	0.206

หมายเหตุ:n=3

4.1.2.7 หนักแห้งส่วนต้น (กรัม)

น้ำหนักแห้ง ส่วน ต้นของข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน ที่ระดับ NaCl0, 50 และ100 mM พบว่า น้ำหนักแห้งส่วนต้น เฉลี่ย 1.230, 1.117 และ0.769 กรัม สำหรับน้ำหนักแห้งส่วนต้นของข้าวกข6 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน ที่ระดับ NaCl0, 50 และ100 mM พบว่า น้ำหนักแห้ง ส่วนต้น เฉลี่ย 2.334,1.080 และ0.739 กรัม ตามลำดับ

4.1.2.8 อัตราส่วนรากต่อต้น (กรัม)

อัตราส่วนรากต่อต้นของข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน ที่ระดับ NaCl0, 50 และ 100 mMพบว่า อัตราส่วนรากต่อต้น เฉลี่ย 0.873 , 0.641 และ 0.468 กรัม ตามลำดับ สำหรับ อัตราส่วนรากต่อต้นของข้าวกข 6 ที่ได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน ที่ระดับ NaCl0, 50 และ100 mMพบว่า อัตราส่วนรากต่อต้น เฉลี่ย 1.368, 0.537และ0.424กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.7น้ำหนักแห้งส่วนต้น (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้น (กรัม)ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และกข6 เมื่อได้รับความเครียด เกลือ 14 และ 21 วัน

พันธุ์ข้าว	NaCl (mM)	ระยะเวลา (วัน)					
		14	21	เฉลี่ย	14	21	เฉลี่ย
			น้ำหนักแห้งส่วนต้น (กรัม)			อัตราส่วนรากต่อต้น (กรัม)	
ขาวดอกมะลิ105	0	1.044	1.415	1.230	0.935	0.811	0.873
	50	0.863	1.370	1.117	0.702	0.580	0.641
	100	0.691	0.847	0.769	0.501	0.434	0.468
กข6	0	2.707	1.961	2.334	0.671	2.065	1.368
	50	0.804	1.355	1.080	0.554	0.520	0.537
	100	0.680	0.797	0.739	0.474	0.374	0.424

หมายเหตุ:n=3

จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ที่ระดับ NaCl50 mMเป็นความเข้มข้นวิกฤติที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทำให้ข้าวทั้งสองพันธุ์มีการเจริญเติบโตและปรับตัวทางสรีรวิทยาได้ดีที่สุด

4.2 ผลการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นของซิลิกอนไดออกไซด์

4.2.1 ผลของซิลิกอนไดออกไซด์ต่อสรีรวิทยาของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6

4.2.1.1 อัตราการคายน้ำ(E)

จากการศึกษาผลของซิ ลิกอนไดออกไซด์ ต่อสรีรวิทยาของข้าวขาวดอกมะลิ105 พบว่า สภาพการปลูกพืชทดลอง ที่ 0-14 วัน มีความเข้มแสง(Q)เฉลี่ย594.95 μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ (T) เฉลี่ย35.20องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย32.80เปอร์เซ็นต์ ส่วน 0-21 วัน มีความเข้มแสง(Q)เฉลี่ย504.95 μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ (T) เฉลี่ย35.05องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย33.20เปอร์เซ็นต์เมื่อต้นข้าวได้รับซิลิกอนทำให้อัตราการคายน้ำแต่ละระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับความเข้มข้น 2.5 mM ทำให้ต้นข้าวมีอัตราการคายน้ำสูงสุด(เฉลี่ย 1.271 μg $cm^{-2}s^{-1}$) รองลงมาคือความเข้มข้น 5.0 mM (เฉลี่ย 1.197 μg $cm^{-2}s^{-1}$)และ 0 mM (เฉลี่ย1.108 μg $cm^{-2}s^{-1}$) สำหรับความเข้มข้น 7.5 mM อัตราการคายน้ำมีค่าต่ำสุด(เฉลี่ย 1.058 μg $cm^{-2}s^{-1}$)

จากการศึกษาผลของซิ ลิกอนไดออกไซด์ ต่อสรีรวิทยาของข้าว กข6พบว่า สภาพการปลูกพืชทดลอง ที่ 0-14 วัน มีความเข้มแสง(Q)เฉลี่ย453.95 μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ (T) เฉลี่ย35.14 องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย29.00เปอร์เซ็นต์ ส่วน 0-21 วัน มีความเข้มแสง (Q)เฉลี่ย399.50 μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ (T) เฉลี่ย35.20องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย 32.40เปอร์เซ็นต์ เมื่อต้นข้าวได้รับซิลิกอนทำให้ อัตราการคายน้ำแต่ละระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับความเข้มข้น 2.5 mM ทำให้ต้นข้าวมี อัตราการคายน้ำสูงสุด(เฉลี่ย 1.320μg

$cm^{-2}s^{-1}$) รองลงมาคือความเข้มข้น 5.0 mM (เฉลี่ย 1.196μg $cm^{-2}s^{-1}$)และ 0 mM (เฉลี่ย1.065 μg $cm^{-2}s^{-1}$) ที่ความเข้มข้น 7.5 mM อัตราการคายน้ำมีค่าต่ำสุด(เฉลี่ย 1.011μg $cm^{-2}s^{-1}$)

4.2.1.2 ความต้านทานที่ปากใบ (Rs)

จากการศึกษาผลของซิลิกอนไดออกไซด์ต่อสรีรวิทยาของข้าวขาวดอกมะลิ105 พบว่า สภาพการปลูกพืชทดลองที่ 0-14 วัน มีความเข้มแสง(Q)เฉลี่ย504.95 μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ (T) เฉลี่ย35.20 องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย32.80เปอร์เซ็นต์ ส่วน 0-21 วัน มีความเข้มแสง (Q)เฉลี่ย351.95μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ (T) เฉลี่ย34.00องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย 34.40 เปอร์เซ็นต์เมื่อต้นข้าวได้รับซิลิกอนทำให้ค่าความต้านทานที่ปากใบแต่ละระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับความเข้มข้น 5.0 mMพบว่าความต้านทานที่ปากใบมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 27.25 S cm^{-1}) รองลงมาคือ ความเข้มข้น 0(เฉลี่ย 26.35 S cm^{-1})7.5mM(เฉลี่ย 25.55 S cm^{-1}) และ 2.5mM (เฉลี่ย 22.40S cm^{-1}) ตามลำดับ

จากการศึกษาผลของซิลิกอนไดออกไซด์ต่อสรีรวิทยาของข้าวกข6 พบว่า สภาพการปลูกพืชทดลองที่ 0-14 วัน มีความเข้มแสง(Q)เฉลี่ย453.95 μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ (T) เฉลี่ย35.14 องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย29.00เปอร์เซ็นต์ ส่วน 0-21 วัน มีความเข้มแสง (Q)เฉลี่ย399.50μE s^{-1} m^{-2},อุณหภูมิ (T) เฉลี่ย35.30องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เฉลี่ย 31.00เปอร์เซ็นต์เมื่อต้นข้าวได้รับซิลิกอนทำให้ความต้านทานที่ปากใบแต่ละระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับความเข้มข้น 0 mMความต้านทานที่ปากใบมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย27.70 S cm^{-1}) รองลงมาคือ ความเข้มข้น 7.5mM(เฉลี่ย 27.55 S cm^{-1})5.0mM (เฉลี่ย 24.40 S cm^{-1}) และ 2.5 mM(เฉลี่ย 21.30 S cm^{-1}) ตามลำดับ(ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.8อัตราการคายน้ำ (E)และความต้านทานที่ปากใบ (Rs)ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6เมื่อได้รับ ซิลิกอนที่ 14 และ 21 วัน

พันธุ์ข้าว	SiO_2 (mM)	ระยะเวลา (วัน)					
		14	21	เฉลี่ย	14	21	เฉลี่ย
			E ($\mu g\ cm^{-2}s^{-1}$)			Rs ($S\ cm^{-1}$)	
ขาวดอกมะลิ105	0	1.417	0.798	1.108	20.90	31.80	26.35
	2.5	1.611	0.930	1.271	17.60	27.20	22.40
	5.0	1.743	0.651	1.197	15.90	38.60	27.25
	7.5	1.230	0.886	1.058	22.10	29.00	25.55
กข6	0	1.228	0.901	1.065	27.80	27.60	27.70
	2.5	1.534	1.105	1.320	20.20	22.40	21.30
	5.0	1.559	0.832	1.196	19.20	29.60	24.40
	7.5	1.142	0.879	1.011	26.30	28.80	27.55

หมายเหตุ:n=3

4.2.1.3 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์

การวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ ค่า Fv/Fmและ Fm/Foจากผลการทดลองพบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ค่าเฉลี่ย Fv/Fmที่ระดับความเข้มข้น 0, 2.5, 5.0 และ7.5 mM มีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับความเข้มข้น 5.0 mMพบว่า Fv/Fmมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 0.747) รองลงมาคือ 0 mM (เฉลี่ย0.614) 2.5 mM(เฉลี่ย 0.495) และความเข้มข้น 7.5 mM (เฉลี่ย 0.349) ตามลำดับ ส่วนค่า Fm/Foมีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับความเข้มข้น 5.0 mMพบว่า Fm/Foมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 4.031) รองลงมาคือ 0 mM (เฉลี่ย 2.913) 2.5 mM (เฉลี่ย 2.053) และ 7.5 mM(เฉลี่ย2.021) ตามลำดับ

สำหรับข้าวกข6 ที่ได้รับซิลิกอนที่ 14 และ 21 วัน พบว่าค่าเฉลี่ย Fv/Fmที่ระดับความเข้มข้น 0, 2.5, 5.0 และ7.5 mMมีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับความเข้มข้น 50mMพบว่า Fv/Fmมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย0.796) รองลงมาคือ 0mM(เฉลี่ย0.690)2.5mM(เฉลี่ย 0.631) และ 7.5mM (เฉลี่ย0.564)ตามลำดับส่วนค่า Fm/Foมีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับความเข้มข้น 50mMพบว่า Fm/Foมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 4.905) รองลงมาคือ 0mM(เฉลี่ย 3.233)2.5mM(เฉลี่ย2.773) และ7.5 mM (เฉลี่ย 2.543) ตามลำดับ(ตารางที่ 4.9)

ตารางที่ 4.9Fv/Fmและ Fm/Foของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6เมื่อได้รับซิลิกอน ที่ 14 และ 21 วัน

พันธุ์ข้าว	SiO_2 (mM)	ระยะเวลา (วัน)					
		14	21	เฉลี่ย	14	21	เฉลี่ย
			Fv/Fm			Fm/Fo	
ขาวดอกมะลิ105	0	0.504	0.724	0.614	2.019	3.806	2.913
	2.5	0.402	0.588	0.495	1.675	2.431	2.053
	5.0	0.711	0.782	0.747	3.469	4.592	4.031
	7.5	0.031	0.667	0.349	1.032	3.01	2.021
กข6	0	0.679	0.700	0.690	3.124	3.342	3.233
	2.5	0.578	0.684	0.631	2.373	3.173	2.773
	5.0	0.801	0.790	0.796	5.033	4.777	4.905
	7.5	0.445	0.683	0.564	1.804	3.281	2.543

หมายเหตุ:n=3

4.2.1.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบ

1)ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับซิลิกอนระดับ 0, 2.5, 5.0 และ7.5 mMที่14 พบว่าคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าเฉลี่ย 0.975, 0.827, 1.685 และ 0.791 ตามลำดับ คลอโรฟิลล์ บี มีค่าเฉลี่ย 0.182, 0.389, 0.633 และ0.395 ตามลำดับ และคลอโรฟิลล์รวมมีค่าเฉลี่ย 1.157, 1.216, 2.318 และ1.186 ตามลำดับสำหรับข้าวกข 6 พบว่า คลอโรฟิลล์ เอ มีค่าเฉลี่ย 0.577,1.017,1.182 และ0.494 ตามลำดับคลอโรฟิลล์ บี

มีค่าเฉลี่ย 0.192, 0.108, 0.874 และ0.055 ตามลำดับ คลอโรฟิลล์รวมมีค่าเฉลี่ย 0.769, 1.125, 2.056 และ0.549 ตามลำดับ

2)ปริมาณแคโรทีนอยด์และอัตราส่วนคลอโรฟิลล์ เอต่อบีของข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับซิลิกอนระดับ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5mMที่14 พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์มีค่าเฉลี่ย 0.363, 0.316, 0.661 และ0.445 ตามลำดับอัตราส่วนคลอโรฟิลล์ เอต่อบี มีค่าเฉลี่ย 5.357 ,2.126, 2.662และ2.003 ตามลำดับ สำหรับข้าวกข6 พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์มีค่าเฉลี่ย 0.127, 0.249, 0.274 และ0.139 ตามลำดับ อัตราส่วนคลอโรฟิลล์ เอต่อบี มีค่าเฉลี่ย 3.005, 9.417, 1.352 และ 8.982 ตามลำดับ(ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 เมื่อได้รับ ซิลิกอนที่ 14 และ 21 วัน

พันธุ์ข้าว	SiO_2 (mM)	Chl.a (mg/gFW)	Chl.b (mg/gFW)	Total Chl. (mg/gFW)	Carotenoid (mg/gFW)	Chl.a:b (mg/gFW)
ขาวดอกมะลิ105	0	0.975	0.182	1.157	0.363	5.357
	2.5	0.827	0.389	1.216	0.316	2.126
	5.0	1.685	0.633	2.318	0.661	2.662
	7.5	0.791	0.395	1.186	0.445	2.003
กข6	0	0.577	0.192	0.769	0.127	3.005
	2.5	1.017	0.108	1.125	0.249	9.417
	5.0	1.182	0.874	2.056	0.274	1.352
	7.5	0.494	0.055	0.549	0.139	8.982

หมายเหตุ:n=3

4.2.2 ผลของซิลิกอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6

4.2.2.1 จำนวนหน่อต่อต้น

จำนวนหน่อต่อต้นของข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0, 2.5, 5.0 และ7.5 mM พบว่า จำนวนหน่อต่อต้น เฉลี่ย 3, 3, 3 และ3หน่อต่อต้น ตามลำดับสำหรับข้าวกข6 ที่ได้รับซิลิกอน14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0, 2.5, 5.0 และ7.5 mMพบว่า จำนวนหน่อต่อต้นเฉลี่ย 3, 3, 3และ3 หน่อต่อต้น ตามลำดับ

4.2.2.2 ความสูง(ซ.ม.)

ความสูงของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับซิลิกอน14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 mMพบว่า ความสูงเฉลี่ย 49.50, 46.50, 56.50 และ52.00 ซ.ม. ตามลำดับสำหรับข้าวกข6 ที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0 , 2.5, 5.0 และ 7.5 mMพบว่าความสูงเฉลี่ย 49.25 , 51.50, 59.25และ53.50 ซ.ม.ตามลำดับ(ตารางที่ 4.11)

ตารางที่ 4.11จำนวนหน่อต่อต้นและความสูง (ซ.ม.) ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 เมื่อได้รับ ซิลิกอนที่ 14 และ 21 วัน

พันธุ์ข้าว	SiO_2 (mM)	ระยะเวลา (วัน)					
		14	21	เฉลี่ย	14	21	เฉลี่ย
			จำนวนหน่อต่อต้น			ความสูง (ซ.ม.)	
ขาวดอกมะลิ105	0	3	3	3	34.00	65.00	49.50
	2.5	3	3	3	33.00	60.00	46.50
	5.0	3	3	3	45.00	68.00	56.50
	7.5	2	3	3	44.00	60.00	52.00
กข6	0	2	3	3	45.00	53.50	49.25
	2.5	2	3	3	43.00	60.00	51.50
	5.0	3	3	3	50.50	68.00	59.25
	7.5	3	3	3	42.00	65.00	53.50

หมายเหตุ:n=3

4.2.2.3พื้นที่ใบ (ซ .ม.^{2})

พื้นที่ใบของข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0, 2.5, 5.0 และ7.5 mM พบว่า พื้นที่ใบ เฉลี่ย 160.53, 171.20, 187.93 และ150.73 ซ.ม.^{2} ตามลำดับ และพื้นที่ของข้าวกข6 ที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0, 2.5, 5.0 และ7.5 mM พบว่า พื้นที่ใบเฉลี่ย 107.52, 105.04, 128.63 และ91.01 ซ.ม.^{2} ตามลำดับ

4.2.2.4 น้ำหนักแห้งใบ (กรัม)

น้ำหนักแห้งใบของข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0, 2.5, 5.0 และ7.5 mM พบว่า น้ำหนักแห้งใบ เฉลี่ย 0.748,0.603,0.773 และ0.494 กรัม ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักแห้งใบของข้าวกข 6 ที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0, 2.5, 5.0 และ7.5 mM พบว่า น้ำหนักแห้งใบ เฉลี่ย 0.469, 0.522, 0.615 และ0.461 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12)

ตารางที่ 4.12พื้นที่ใบ (ซ.ม.^{2}) และน้ำหนักแห้งใบ (กรัม) ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 เมื่อ ได้รับซิลิกอนที่ 14 และ 21 วัน

พันธุ์ข้าว	SiO_2 (mM)	ระยะเวลา (วัน)					
		14	21	เฉลี่ย	14	21	เฉลี่ย
			พื้นที่ใบ (ซ.ม.^{2})			น้ำหนักแห้งใบ (กรัม)	
ขาวดอกมะลิ105	0	167.80	153.25	160.53	0.533	0.963	0.748
	2.5	164.00	178.39	171.20	0.520	0.685	0.603
	5.0	179.28	196.58	187.93	0.646	0.900	0.773
	7.5	148.78	152.68	150.73	0.358	0.630	0.494
กข6	0	104.23	110.80	107.52	0.371	0.566	0.469
	2.5	84.78	125.30	105.04	0.355	0.688	0.522
	5.0	123.80	133.45	128.63	0.499	0.730	0.615
	7.5	83.48	98.54	91.01	0.327	0.595	0.461

หมายเหตุ:n=3

4.2.2.5 น้ำหนักแห้งต้น (กรัม)

น้ำหนักแห้งต้นของข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0, 2.5, 5.0 และ7.5 mM พบว่าน้ำหนักแห้งต้น เฉลี่ย 1.139, 0.857, 1.101 และ0.377 กรัม ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักแห้งต้นของข้าวกข6 ที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0, 2.5, 5.0 และ7.5 mM พบว่าน้ำหนักแห้งต้น เฉลี่ย 0.769, 0.779, 0.909และ0.568 กรัม ตามลำดับ

4.2.2.6 น้ำหนักแห้งราก (กรัม)

น้ำหนักแห้งรากของข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0, 2.5, 5.0 และ7.5 mM พบว่าน้ำหนักแห้งราก เฉลี่ย 0.852, 0.567, 0.923 และ0.218 กรัม ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักแห้งรากของข้าวกข 6 ที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0, 2.5, 5.0 และ7.5 mM พบว่าน้ำหนักแห้งราก เฉลี่ย 0.566,0.538, 0.735 และ0.397 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13)

ตารางที่ 4.13น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) และน้ำหนักแห้งราก (กรัม) ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6เมื่อ ได้รับซิลิกอนที่ 14 และ 21 วัน

พันธุ์ข้าว	SiO_2 (mM)	ระยะเวลา (วัน)					
		14	21	เฉลี่ย	14	21	เฉลี่ย
			น้ำหนักแห้งต้น (กรัม)			น้ำหนักแห้งราก (กรัม)	
ขาวดอกมะลิ105	0	0.645	1.632	1.139	0.487	1.217	0.852
	2.5	0.556	1.157	0.857	0.422	0.712	0.567
	5.0	0.683	1.519	1.101	0.608	1.237	0.923
	7.5	0.277	0.476	0.377	0.159	0.276	0.218
กข6	0	0.552	0.986	0.769	0.432	0.700	0.566
	2.5	0.369	1.188	0.779	0.282	0.793	0.538
	5.0	0.579	1.239	0.909	0.509	0.960	0.735
	7.5	0.339	0.797	0.568	0.260	0.533	0.397

หมายเหตุ:n=3

4.2.2.7 น้ำหนักแห้งส่วนต้น (กรัม)

น้ำหนักแห้ง ส่วนต้นของข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 mMพบว่า น้ำหนักแห้งส่วนต้น เฉลี่ย 1.887, 1.459, 1.874 และ 0.871 กรัม ตามลำดับ สำหรับ น้ำหนักแห้งส่วนต้นของข้าวกข6 ที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0 , 2.5, 5.0 และ 7.5 mMพบว่า น้ำหนักแห้ง ส่วนต้น เฉลี่ย 1.238, 1.300, 1.524 และ1.029กรัม ตามลำดับ

4.2.2.8 อัตราส่วนรากต่อต้น (กรัม)

อัตราส่วนรากต่อต้นของข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ที่ระดับ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 mMพบว่า อัตราส่วนรากต่อต้น เฉลี่ย 0.751 ,0.687,0.852 และ0.577 กรัม ตามลำดับ สำหรับ อัตราส่วนรากต่อต้นของข้าวกข6 ที่ได้รับซิลิกอน ที่ระดับ 0 , 2.5, 5.0 และ 7.5 mMพบว่า อัตราส่วนรากต่อต้น เฉลี่ย 0.747 ,0.716,0.827และ0.718 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14)

ตารางที่ 4.14น้ำหนักแห้งส่วนต้น (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้น (กรัม) ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และกข6 เมื่อ ได้รับซิลิกอนที่ 14 และ 21 วัน

พันธุ์ข้าว	SiO_2 (mM)	ระยะเวลา (วัน)					
		14	21	เฉลี่ย	14	21	เฉลี่ย
			น้ำหนักแห้งส่วนต้น (กรัม)			อัตราส่วนรากต่อต้น (กรัม)	
ขาวดอกมะลิ105	0	1.178	2.595	1.887	0.755	0.746	0.751
	2.5	1.076	1.842	1.459	0.759	0.615	0.687
	5.0	1.329	2.419	1.874	0.890	0.814	0.852
	7.5	0.635	1.106	0.871	0.574	0.580	0.577
กข6	0	0.923	1.552	1.238	0.783	0.710	0.747
	2.5	0.724	1.876	1.300	0.764	0.668	0.716
	5.0	1.078	1.969	1.524	0.879	0.775	0.827
	7.5	0.666	1.392	1.029	0.767	0.669	0.718

หมายเหตุ:n=3

จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ที่ระดับ SiO_2 5.0 mMเป็นระดับที่ทำให้ข้าวทั้งสองพันธุ์มีการเจริญเติบโตสูงสุด และเป็นระดับที่ทำให้ข้าวตอบสนองทางสรีรวิทยาได้ดีที่สุด

4.3 ผลการทดลองที่1 ต้นข้าวอายุ 14 วัน

4.3.1 ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาของข้าว 4 พันธุ์ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ

4.3.1.1 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (chlorophyll fluorescence)

เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ พบว่า มีผลทำให้ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (Fv/Fm) ลดลง 9 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติตั้งแต่ที่ได้รับเกลือ 7 วันส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน 7 วันมีค่า Fv/Fm เพิ่มขึ้น 6 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับที่ 14 วัน พบว่าค่า Fv/Fmไม่แตกต่างกันทางสถิติส่วนที่ 21 วัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยค่า Fv/Fmเพิ่มขึ้น 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ที่ 14 และ 21 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 14 วัน พบว่าค่า Fv/Fmของข้าวทับทิมชุมแพและขาวดอกมะลิ105 มีค่าสูงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกข15 และกข6 สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaClและ SiO_2ที่ 7,14 และ 21 วัน มีค่าFv/Fm ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่า ต้นข้าวได้รับ NaClร่วมกับ SiO_2 มีค่า Fv/Fmน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวปกติและได้รับ SiO_2(ตารางที่ 4.15, ภาพที่2A)

ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7 และ 14 วัน พบว่าค่าFv/Fmไม่แตกต่างกันทางสถิติ สำหรับที่ 21 วัน พบว่าค่า Fv/Fmแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งข้าวทับทิมชุมแพ ที่ได้รับ NaClและ SiO_2มีค่าFv/Fmเพิ่มขึ้น 0.716 ส่วนข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 และกข6 มีค่าFv/Fm ไปในทิศทางเดียวกัน (ตารางที่ 4.15)

ตารางที่4.15คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์(Fv/Fm) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอน ในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย[1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A)	ขาวดอกมะลิ105	0.659b	0.705b	0.673d
กข15		0.584d	0.623c	0.773a
กข6		0.624c	0.610c	0.721c
	ทับทิมชุมแพ	0.714a	0.736a	0.743b
NaCl (B, mM)	0	0.674 (100)	0.719 (100)	0.772 (100)
	50	0.616 (91.3)	0.617 (85.8)	0.683 (88.5)
SiO_2 (C, mM)	0	0.624 (100)	0.663 (100)	0.719 (100)
	5	0.666 (106.7)	0.673 (101.5)	0.736 (102.3)
CV (%)		5.18	4.63	2.87
F-test A		**	**	**
B		**	**	**
AB		**	**	**
C		**	ns	**
AC		ns	ns	**
BC		ns	ns	ns
ABC		ns	ns	**

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์, ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
[1]ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

4.3.1.2 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (A)

เมื่อต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ของข้าวลดลง 36 เปอร์เซ็นต์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติตั้งแต่ที่ได้รับเกลือ 7 วัน ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนมีผลทำให้ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแส งเพิ่มขึ้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น 11, 9 และ 11 เปอร์เซ็นต์ ที่ 7, 14 และ 21 วันตามลำดับ(ตารางที่ 4.16)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 14 วัน พบว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ของข้าวกข15 และกข6 มีค่าสูงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวขาวดอกมะลิ

105 และทับทิมชุมแพ สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaClและ SiO_2ที่ 7และ 14 วัน พบว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ของต้นข้าวที่ได้รับ NaClร่วมกับ SiO_2 มีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2(ตารางที่ 4.16 , ภาพที่ 2B)

ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 14 และ 21 วัน พบว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยที่ข้าวกข6 ที่ได้รับ NaClและ SiO_2มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง เพิ่มขึ้น ส่วนข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 และทับทิมชุมแพ มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง เพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน (ตารางที่ 4.16)

4.3.1.3 อัตราการคายน้ำ (E)

เมื่อต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ ที่ 7, 14 และ 21 วัน พบว่า อัตราการคายน้ำของข้าวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยอัตราการคายน้ำลดลง 22, 26 และ 22 เปอร์เซ็นต์ ที่ 7, 14 และ 21 ตามลำดับ สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนมีผลทำให้ อัตราการคายน้ำ เพิ่มขึ้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ 7, 14 และ 21วัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 และ 14 วัน พบว่า ข้าวกข6 มี อัตราการคายน้ำสูงสุด รองลงมาคือ ขาวดอกมะลิ105 กข6 และทับทิมชุมแพ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.17,ภาพที่ 2C) สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaClและ SiO_2ที่ 7และ 14 วัน พบว่า อัตราการคายน้ำแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งอัตราการคายน้ำ ของต้นข้าวที่ได้รับ NaClร่วมกับ SiO_2 มีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2

ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7 และ 14 วัน พบว่า อัตราการคายน้ำ แตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ 7 วัน ข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 ที่ไม่ได้รับNaClและได้รับ SiO_2มีอัตราการคายน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับ NaClและ SiO_2ส่วนที่ 14 และ 21 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกัน (ตารางที่ 4.17)

4.3.1.4 ค่าการนำที่ปากใบข้าว (Gs)

เมื่อ ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ พบว่า ค่าการนำที่ปากใบ ของข้าวลดลง 51 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติตั้งแต่ที่ได้รับเกลือ 7 วัน สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนมีค่าการนำที่ปากใบข้าวเพิ่มขึ้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ 7, 14 และ 21 วัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 และ 14 วัน พบว่า ข้าวกข15 มี ค่าการนำที่ปากใบข้าวสูงสุด รองลงมาคือ ข้าวขาวดอกมะลิ105 กข6 และทับทิมชุมแพ ตามลำดับ ส่วนที่ 21 วัน พบว่า ข้าวกข15 มีค่าการนำที่ปากใบข้าวสูงสุด รองลงมาคือ กข6 ขาวดอกมะลิ105 และทับทิมชุมแพ ตามลำดับ(ตารางที่ 4.18,ภาพที่ 2D)

ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaClและ SiO_2ที่ 7และ 14 วัน พบว่า Gsแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติค่าการนำที่ปากใบ ของต้นข้าวที่ได้รับ NaClร่วมกับ SiO_2 มีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวXเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7 วัน พบว่าค่าการนำที่ปากใบข้าว แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนที่ 14 และ 21 วัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ(ตารางที่ 4.18)

ตารางที่ 4.16อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (A) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอน ในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย[1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A)	ขาวดอกมะลิ105	1.969c	3.145d	3.224d
กข15		4.655a	5.961a	6.672a
กข6		4.661a	5.721b	6.010b
	ทับทิมชุมแพ	3.879b	3.950c	4.954c
NaCl (B, mM)	0	4.641 (100)	5.749 (100)	6.059 (100)
	50	2.941 (63.3)	3.639(63.3)	4.371 (72.1)
SiO_2 (C, mM)	0	3.577 (100)	4.482 (100)	4.935 (100)
	5	4.005 (111.9)	4.906 (109.4)	5.495 (111.3)
CV (%)		0.49	1.24	4.12
F-test A		**	**	**
B		**	**	**
AB		**	**	**
C		**	**	**
AC		**	**	**
BC		**	**	ns
ABC		ns	**	**

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99เปอร์เซ็นต์, ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1]ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

ตารางที่ 4.17อัตราการคายน้ำ (E)ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย[1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A)	ขาวดอกมะลิ105	2.266c	4.482b	4.801b
กข15		2.272c	3.782c	5.343a
กข6		3.440b	4.718a	4.863b
	ทับทิมชุมแพ	4.829a	3.114d	4.334c
NaCl (B, mM)	0	3.595(100)	4.611 (100)	5.430(100)
	50	2.809(78.1)	3.437 (74.5)	4.240(78.0)
SiO_2 (C, mM)	0	2.985(100)	3.964 (100)	4.697(100)
	5	3.418(114.5)	4.084 (103.0)	4.974(105.8)
CV (%)		0.96	0.82	5.01
F-test A		**	**	**
B		**	**	**
AB		**	**	**
C		**	**	**
AC		**	**	**
BC		**	**	ns
ABC		**	**	ns

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99เปอร์เซ็นต์, ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
[1]ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

ตารางที่ 4.18 ค่าการนำที่ปากใบ(Gs)ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย[1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A)	ขาวดอกมะลิ105	0.072	0.064b	0.047c
กข15		0.077	0.085a	0.114a
กข6		0.075	0.064b	0.072b
	ทับทิมชุมแพ	0.080	0.059b	0.047c
NaCl (B, mM)	0	0.102(100)	0.087(100)	0.092(100)
	50	0.050(49.0)	0.050(57.5)	0.048(52.2)
SiO_2 (C, mM)	0	0.069(100)	0.070(100)	0.075(100)
	5	0.084(121.7)	0.066(94.2)	0.065(86.6)
CV (%)		16.61	18.95	19.45
F-test A		ns	**	**
B		**	**	**
AB		ns	**	**
C		**	ns	**
AC		ns	ns	**
BC		**	**	ns
ABC		ns	**	ns

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99เปอร์เซ็นต์, ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
[1]ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

4.3.1.5 ปริมาณ CO_2 ใน substomatal (Ci)

เมื่อต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือพบว่า ปริมาณ CO_2 ใน substomatal แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งปริมาณ CO_2 ใน substomatalมีค่าเพิ่มขึ้น 7, 7 และ 22 เปอร์เซ็นต์ที่ 7 , 14 และ 21 วัน ตามลำดับ สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มีผลทำให้ ปริมาณ CO_2 ใน substomatal มีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 และ 14 วัน พบว่า ข้าวกข15 มีปริมาณ CO_2 ใน substomata สูงสุด รองลงมาคือ ขาวดอกมะลิ105 ทับทิมชุมแพ และกข6 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.19, ภาพที่3A)ส่วนที่ 21 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกัน สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaClและ SiO_2ที่ 7และ 14 วัน พบว่า ปริมาณ CO_2 ใน substomatalแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณ CO_2 ใน substomatalของต้นข้าวที่ได้รับ NaClร่วมกับ SiO_2 มีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2

สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7, 14 และ21 วัน พบว่าปริมาณ CO_2 ใน substomatal แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยที่ 7 วัน ข้าวขาว

ดอกมะลิ105 และทับทิมชุมแพ ที่ไม่ได้รับ NaClและได้รับ SiO_2 มีปริมาณ CO_2 ใน substomatal เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ได้รับ NaClและ SiO_2 ส่วนที่ 14 และ 21 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกัน(ตารางที่ 4.19)

ตารางที่ 4.19ปริมาณ CO_2 ใน substomatal(Ci) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย[1]	ระยะเวลา (วัน)		
	7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	316.083a	286.000c	302.333c
กข15	293.250b	322.083a	334.667a
กข6	281.250d	281.083d	326.500b
ทับทิมชุมแพ	284.750c	292.333b	271.417d
NaCl(B, mM)0	283.583 (100)	284.458(100)	278.083(100)
50	304.083(107.1)	306.292(107.6)	339.375 (122)
SiO_2 (C, mM) 0	295.958(100)	295.625(100)	314.792(100)
5	291.708(98.5)	295.125(99.8)	302.667(96.1)
CV (%)	1.09	0.22	0.21
F-test A	**	**	**
B	**	**	**
AB	**	**	**
C	**	**	**
AC	**	**	**
BC	**	*	**
ABC	**	**	**

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

[1] ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

4.3.1.6 ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์(CE)

เมื่อ ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ ทำให้ ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง 42, 41 และ 42 เปอร์เซ็นต์ ที่ 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ แตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มีผลทำให้ ประสิทธิภาพในการตรึง

คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น 13, 9 และ 17 เปอร์เซ็นต์ ที่ 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ แตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 และ 14 วัน พบว่าข้าวกข6 มี ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ สูงสุด รองลงมาคือ กข15 ทับทิมชุมแพ และขาวดอกมะลิ105 สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaClและ SiO_2ที่ 7และ 14 วัน พบว่า ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ของต้นข้าวที่ได้รับ NaClร่วมกับ SiO_2 มีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2(ตารางที่ 4.20, ภาพที่3B)

ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7 และ 14 วัน พบว่า ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งข้าวทับทิมชุมแพที่ได้รับ NaClและ SiO_2มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 และกข6 มีค่า ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ เพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน (ตารางที่ 4.20)

ตารางที่4.20ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์(CE) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย[1]	ระยะเวลา (วัน)		
	7	14	21

พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	0.624d	1.113d	1.071c
กข15	1.593b	1.872b	2.012a
กข6	1.665a	2.039a	1.907b
ทับทิมชุมแพ	1.413c	1.372c	1.998a
NaCl(B, mM)0	1.668 (100)	2.002(100)	2.211(100)
50	0.980 (58.7)	1.195(59.6)	1.284 (58)
SiO_2 (C, mM) 0	1.243 (100)	1.524(100)	1.610(100)
5	1.405 (113)	1.673(109.7)	1.885 (117)
CV (%)	1.22	1.43	4.02
F-test A	**	**	**
B	**	**	**
AB	**	**	**
C	**	**	**
AC	**	**	**
BC	**	*	**
ABC	**	**	**

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

(1) ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

4.3.1.7 ประสิทธิภาพในการใช้แสง (QY)

เมื่อต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้แสง ลดลง 32, 40 และ 32 เปอร์เซ็นต์ ที่ 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ แตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการใช้แสง เพิ่มขึ้น 11, 11 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ที่ 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 และ 14 วัน พบว่าข้าวทับทิมชุมแพ มีประสิทธิภาพในการใช้แสงสูงสุด รองลงมาคือ กข15 กข6 และขาวดอกมะลิ105 สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaClและ SiO_2ที่ 7และ 14 วัน พบว่าประสิทธิภาพในการใช้แสง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งประสิทธิภาพในการใช้แสง ของต้นข้าวที่ได้รับ NaClร่วมกับ SiO_2 มีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2(ตารางที่ 4.21, ภาพที่3C)

ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวXเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7, 14 และ 21วัน พบว่าประสิทธิภาพในการใช้แสง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยที่ข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 กข6 และทับทิมชุมแพ ที่ได้รับ NaClและ SiO_2มีประสิทธิภาพในการใช้แสงQYลดลง (ตารางที่ 4.21)

ตารางที่4.21ประสิทธิภาพในการใช้แสง(QY)ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอน ในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย[1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A)	ขาวดอกมะลิ105	0.453c	0.431d	0.223d
กข15		0.607a	0.835b	0.678a
กข6		0.497b	0.505c	0.355c
	ทับทิมชุมแพ	0.446c	0.968a	0.633b
NaCl (B, mM)	0	0.595 (100)	0.853 (100)	0.560 (100)
	50	0.407 (68.4)	0.515 (60.3)	0.384 (68.5)
SiO_2 (C, mM)	0	0.473 (100)	0.647 (100)	0.444 (100)
	5	0.529 (111.8)	0.720 (111.2)	0.500 (112.6)
CV (%)		4.69	1.86	3.55
F-test A		**	**	**
B		**	**	**
AB		**	**	**
C		**	**	**
AC		**	**	**
BC		**	**	ns
ABC		**	**	**

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99เปอร์เซ็นต์, ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
[1]ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

4.3.1.8 ประสิทธิภาพในการใช้น้ำ (WUE)

เมื่อต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้น้ำลดลง 19 , 14 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ที่ 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ แตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการใช้น้ำเพิ่มขึ้น 0.4 , 5 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ที่ 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 และ 14 วัน พบว่าข้าวกข15 มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงสุด รองลงมาคือ ทับทิมชุมแพ กข6 และขาวดอกมะลิ105 สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วม

ระหว่าง NaClและ SiO_2ที่ 7และ 14 วัน พบว่าประสิทธิภาพในการใช้น้ำ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งประสิทธิภาพในการใช้น้ำของต้นข้าวที่ได้รับ NaClร่วมกับ SiO_2 มีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2(ตารางที่ 4.22, ภาพที่3D)

ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7 และ 14วัน พบว่าประสิทธิภาพในการใช้น้ำแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยที่ข้าวกข6 ที่ได้รับ NaClและ SiO_2มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำเพิ่มขึ้น ส่วนข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 และทับทิมชุมแพ มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำลดลง(ตารางที่ 4.22)

ตารางที่4.22ประสิทธิภาพการใช้น้ำ(WUE) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย[1]	ระยะเวลา (วัน)		
	7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	0.868c	0.698d	0.681c
กข15	2.036a	1.538a	1.241a
กข6	1.353b	1.204c	1.231a

ทับทิมชุมแพ	0.791d	1.258b	1.130b
NaCl(B, mM)0	1.391 (100)	1.259 (100)	1.101 (100)
50	1.133 (81.4)	1.090 (86.5)	1.040 (94.4)
SiO_2 (C, mM) 0	1.259 (100)	1.143 (100)	1.045 (100)
5	1.265 (100.4)	1.206 (105.5)	1.096 (104.8)
CV (%)	1.70	1.48	3.70
F-test A	**	**	**
B	**	**	**
AB	**	**	**
C	ns	**	**
AC	**	**	**
BC	**	**	ns
ABC	**	**	**

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99เปอร์เซ็นต์, ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ [(1)]ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

4.3.1.9 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าว

ในการทดลองมีการเก็บใบข้าวที่ 14 วัน ซึ่งเป็นใบเดียวกันกับที่วัด คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ และอัตราการคายน้ำ เป็นช่วงที่ข้าวแสดงความเครียดเกลือได้ชัดเจน ผลการทดลองพบว่า ความเครียดเกลือทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรตินอยด์ของใบข้าวลดลง 24-37 และ 36 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนพบว่า มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม เพิ่มขึ้น 6-10เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับซิลิกอน ส่วนปริมาณแคโรตินอยด์เพิ่มขึ้น 22เปอร์เซ็นต์ แตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับซิลิกอน (ตารางที่ 4.23) สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์พบในข้าวกข6 สูงกว่าข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 และทับทิมชุมแพ ส่วนแคโรตินอยด์พบสูงสุดในข้าวกข15 รองลงมาคือ ทับทิมชุมแพ กข6 และขาวดอกมะลิ105 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.23,ภาพที่4A,B,C,D)

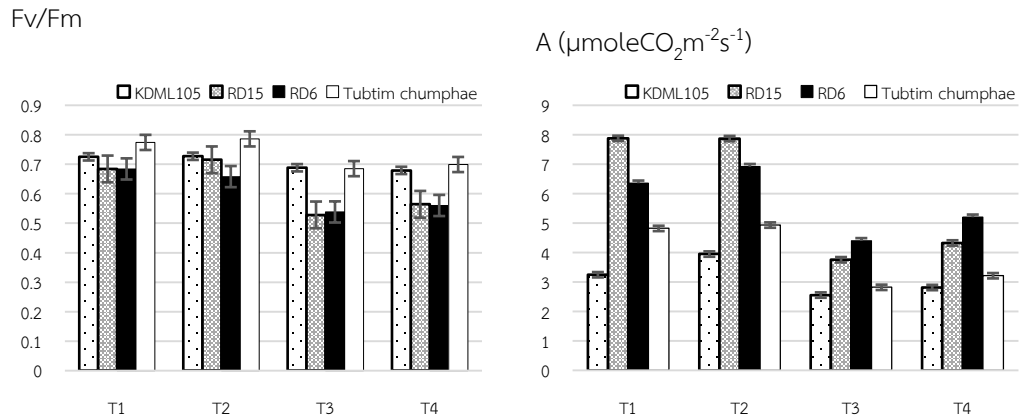
ตารางที่4.23ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ (mg/g FW)ในใบของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน

ปัจจัย [(1)]	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์รวม	แคโรทีนอยด์
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	1.098c	0.592a	1.690c	0.541d
กข15	1.413b	0.614a	2.027b	1.954a
กข6	1.511a	0.590a	2.110a	0.623c

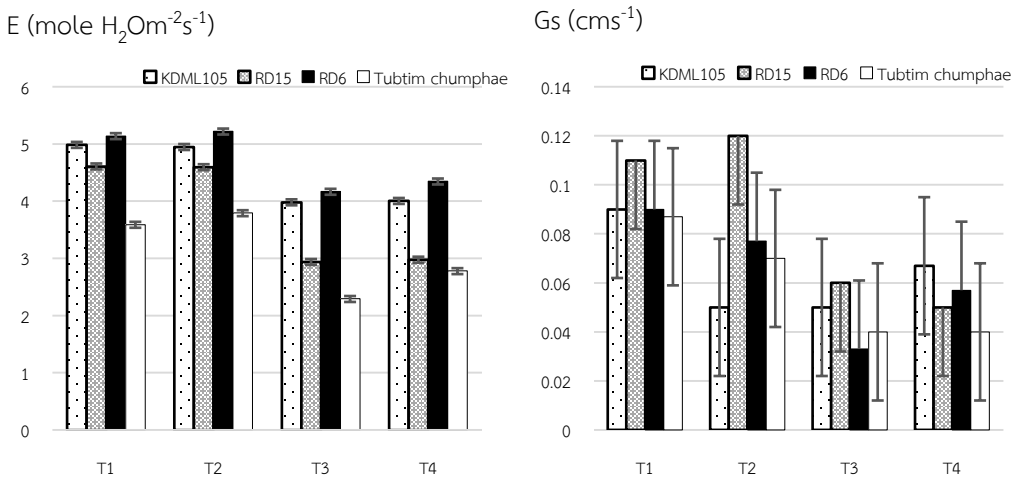
ทับทิมชุมแพ		1.415b	0.562b	1.977b	1.632b
NaCl(B, mM)	0	1.670 (100)	0.673 (100)	2.344 (100)	1.456 (100)
	50	1.048 (62.7)	0.506 (75.1)	1.558 (66.4)	0.919 (63.1)
SiO_2 (C, mM)	0	1.292 (100)	0.572 (100)	1.864 (100)	1.069 (100)
	5	1.427(110.4)	0.607 (106.1)	2.038 (109.3)	1.306 (122.1)
CV (%)		5.01	6.15	4.48	4.48
F-test	A	**	**	**	**
	B	**	**	**	**
	AB	**	**	**	**
	C	**	**	**	**
	AC	ns	ns	ns	**
	BC	**	ns	**	**
	ABC	ns	ns	ns	**

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99เปอร์เซ็นต์, ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ [(1)]ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

A B

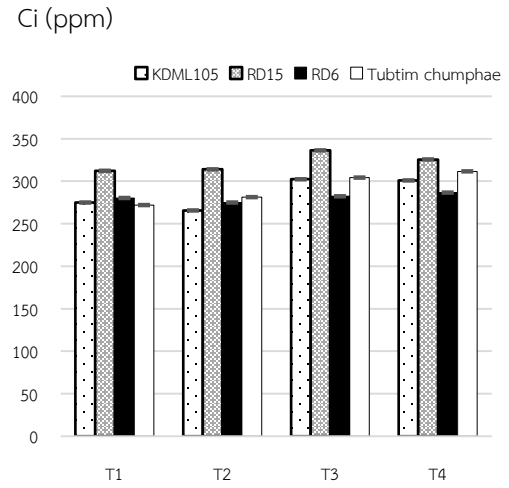


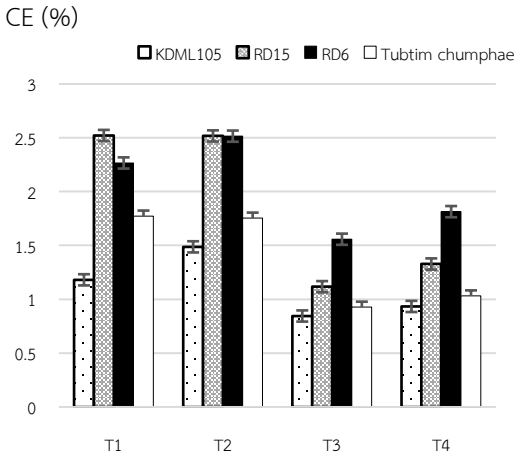
C D



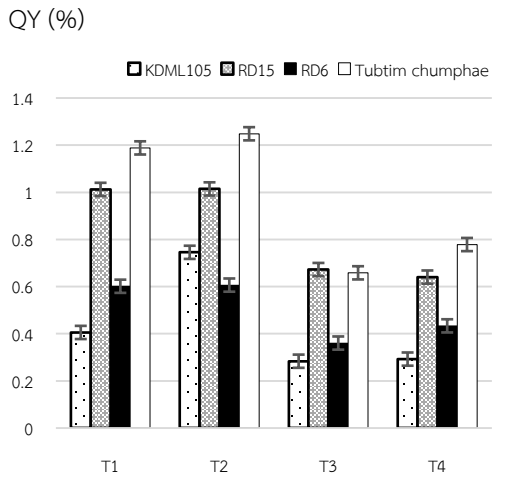
ภาพที่ 4.1คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (Fv/Fm)อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (A)อัตราการคายน้ำ (E)และค่าการนำที่ปากใบ(Gs) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน(T1: control,T2: NaCl 50 mM, T3: SiO_2 5 mM,T4: NaCl 50 mM+SiO_2 5 mM)(A: Fv/Fm; $LSD_{0.05}$=ns, B: A; $LSD_{0.05}$=0.091, C: E; $LSD_{0.05}$=0.052, D: Gs; $LSD_{0.05}$=0.028)

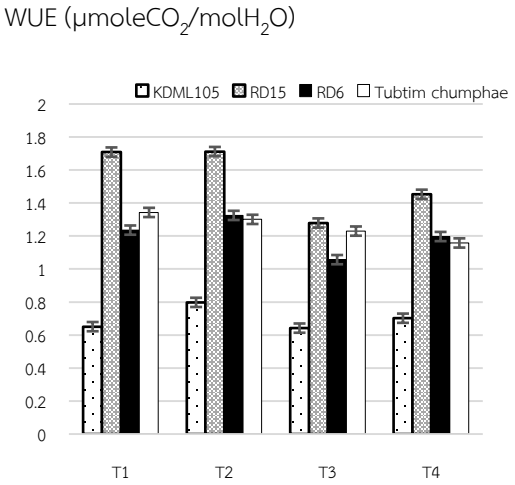
A B





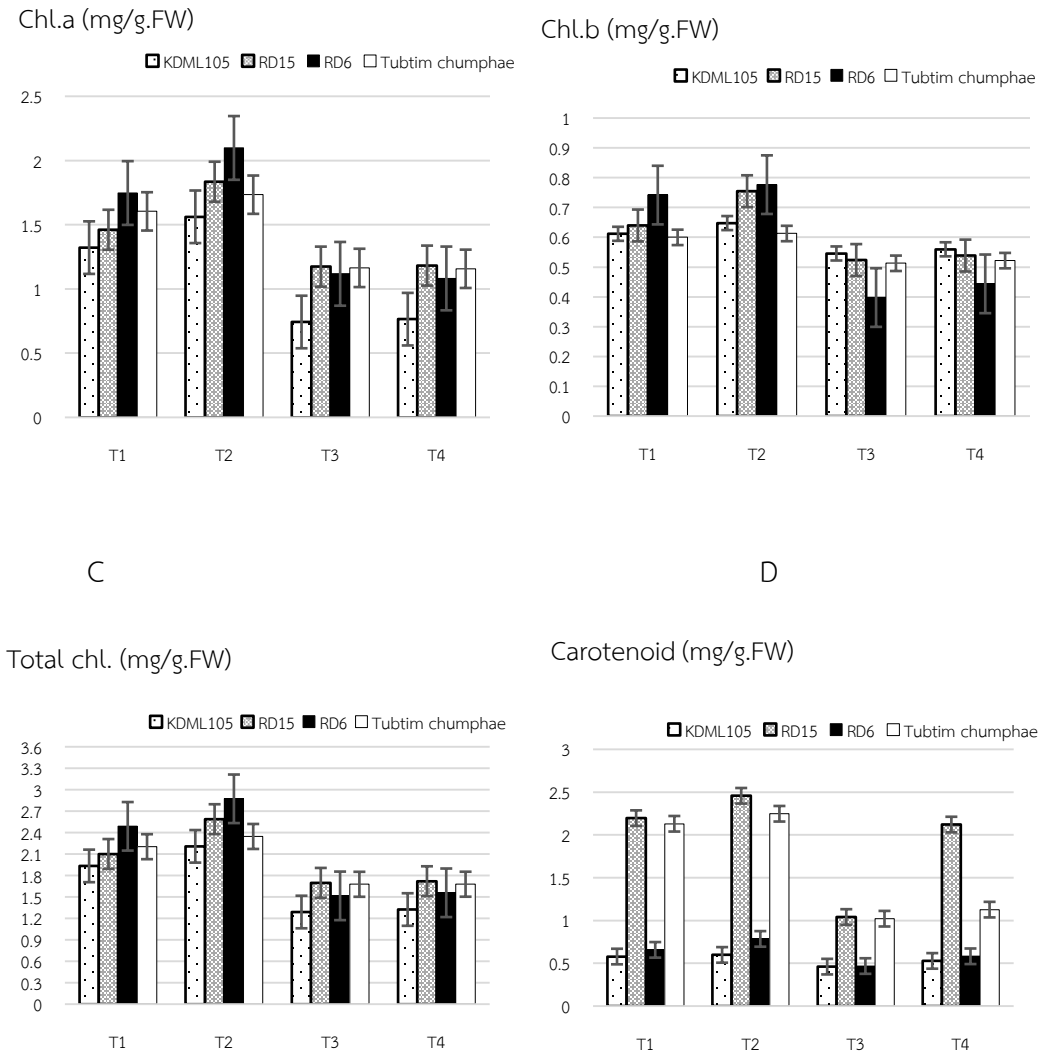
C D





ภาพที่ 4.2ปริมาณ CO_2 ใน substomatal (Ci) ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์(CE)ประสิทธิภาพในการใช้แสง (QY) และประสิทธิภาพในการใช้น้ำ (WUE) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน(T1: control,T2: NaCl 50 mM, T3: SiO_2 5 mM, T4: NaCl 50 mM+SiO_2 5 mM)(A: Ci; $LSD_{0.05}$=1.073, B: CE; $LSD_{0.05}$=0.052, C: QY; $LSD_{0.05}$=0.028, D: WUE; $LSD_{0.05}$=0.028)

A B



ภาพที่ 4.3ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน(T1: control,T2: NaCl 50 mM, T3: SiO_2 5 mM, T4: NaCl 50 mM+SiO_2 5 mM)(A: Chl.a; $LSD_{0.05}$=ns, B: Chl. b; $LSD_{0.05}$=ns, C: Total Chl.; $LSD_{0.05}$=ns, D: carotenoid; $LSD_{0.05}$=0.091)

4.3.2 ผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ

4.3.2.1พื้นที่ใบ

ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ 7 วัน ทำให้พื้นที่ใบลดลง 30เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ 14 และ 21วัน พื้นที่ใบลดลง 28และ 32เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน ที่ 14 วัน มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น 14 เปอร์เซ็นต์ในขณะที่7 และ21 วันเพิ่มขึ้น 25 และ 8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า NaCl 50 mMทำให้ต้นข้าวมีพื้นที่ใบลดลง ส่วน SiO_2 5 mMทำให้พื้นที่ใบเพิ่มขึ้น(ตารางที่ 4.24, ภาพที่ 6D)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 วัน พบว่า พื้นที่ใบข้าวกข15มีค่าสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ รองลงมาคือ ข้าวขาวดอกมะลิ105 ทับทิมชุมแพและ กข 6ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 14 และ 21วัน

ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว XNaCl Xซิลิกอน ที่ 14 วัน พบว่า ข้าวกข15มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ รองลงมาคือ ขาวดอกมะลิ105 ข้าวทับทิมชุมแพและกข6 ส่วนที่ 21วัน ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับที่ 14 วัน ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่า ข้าวกข 15มีศักยภาพในการปรับตัวได้ดีกว่าข้าวพันธุ์อื่น (ตารางที่ 4.24)

4.3.2.2น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น

ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ ที่ 7 วัน ทำให้น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น ลดลง 19, 21, 24, 34และ 16เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 14 และ 21วัน ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนที่ 14 วัน พบว่ามีน้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น และ รากเพิ่มขึ้น 14, 17, 14, และ 9เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และอัตราส่วนรากต่อต้นลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนที่ 7วัน พบว่าน้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น เพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 21 วัน (ตารางที่ 4.25,4.26,4.27ภาพที่ 5A,B,C,D, ภาพที่6A)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ พบว่า ข้าวกข 15 มีน้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น เพิ่มขึ้น รองลงมาคือข้าวทับทิมชุมแพ กข 6 และขาวดอกมะลิ 105 สำหรับที่ 14และ21วัน น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้นและราก เพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน ส่วนอัตราส่วนรากต่อต้นลดลง

ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7วัน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในน้ำหนักแห้งต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น ยกเว้นน้ำหนักแห้งใบ ซึ่งข้าวกข15 ที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือทำให้มีน้ำหนักแห้ง ใบ ต้น ส่วนต้น และรากเพิ่มขึ้น รองลงมาคือขาวดอกมะลิ 105ทับทิมชุมแพ และกข 6 ที่ 14 วัน (ภาพที่5A,B,C,D, ภาพที่6A)ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 21วัน

4.3.2.3จำนวนหน่อต่อต้น

การแตกหน่อของข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ ทำให้จำนวนหน่อต่อต้นลดลง 19 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ ตั้งแต่ที่ได้รับเกลือ 7 วัน สำหรับที่ 14และ 21วัน พบว่า จำนวนหน่อต่อต้นลดลง18และ 17เปอร์เซ็นต์ตามลำดับส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ทำให้จำนวนหน่อต่อต้น เพิ่มขึ้น 3และ 6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ ส่วนที่ 7วัน พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.28, ภาพที่6B)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 14 วัน พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ105และทับทิมชุมแพ มีจำนวนหน่อต่อต้นสูงกว่าข้าวกข 15และกข6แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือที่ 7 และ 14วัน มีการแตกหน่อเพิ่มขึ้น ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7 และ 14วัน พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.28)

4.3.2.4ความสูงของต้นข้าว

ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ 7, 14 และ 21 วัน พบว่า ความสูงของต้นข้าวลดลง 28, 10 และ 21 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนที่ 7, 14 และ 21 วัน พบว่ามีความสูงเพิ่มขึ้น6, 3 และ 3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าว ที่ 7 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105มีความสูงมากสุด ลองลงมาคือ ทับทิมชุม แพ กข15และกข 6 ตามลำดับ ส่วนที่ 14 และ 21 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกัน (ตารางที่ 4.28,ภาพที่6C)สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือที่ 7 วัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วน 14 และ 21วัน พบว่าความสูงของต้นข้าว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยต้นข้าวที่ได้รับ NaClร่วมกับ SiO_2 มีความสูงน้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2

ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7, 14 และ 21วัน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ โดยที่ข้าวกข15 ได้รับ NaClและ SiO_2มีความสูงเพิ่มขึ้น รองลงมาคือขาวดอกมะลิ105ทับทิมชุมแพและกข6 ตามลำดับ (ภาพที่ 6C)

ตารางที่4.24พื้นที่ใบ (ซ.ม.^{2}) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

ปัจจัย[1]	ระยะเวลา (วัน)		
	7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	145.6b	175.1b	221.2b
กข15	180.4a	211.0a	265.5a
กข6	99.5d	139.0d	177.1d
ทับทิมชุมแพ	131.5c	163.9c	198.3c
NaCl(B, mM)0	164.2 (100)	201.2 (100)	256.7(100)
50	114.4 (69.6)	143.3 (80.9)	174.4(67.9)
SiO_2 (C, mM) 0	123.6 (100)	187.2 (100)	206.8 (100)
5	154.9 (125)	215.1 (71.2)	224.2 (108.4)
CV (%)	1.57	0.52	0.73
F-test A	**	**	**
B	**	**	**
AB	**	**	**
C	**	**	**
AC	**	**	**
BC	**	**	**
ABC	**	**	**

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99เปอร์เซ็นต์

[1] ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

ตารางที่4.25น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7 วัน

ปัจจัย [1]	น้ำหนักแห้งใบ	น้ำหนักแห้งต้น	น้ำหนักแห้งส่วนต้น	น้ำหนักแห้งราก	อัตราส่วนรากต่อต้น
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	0.355c	0.413a	0.768b	0.407d	0.525c
กข15	0.528a	0.320c	0.848a	0.606a	0.704a
กข6	0.352c	0.352b	0.704c	0.504b	0.708a
ทับทิมชุมแพ	0.461b	0.369b	0.829a	0.469c	0.570b
NaCl(B, mM) 0	0.469 (100)	0.413 (100)	0.882 (100)	0.599 (100)	0.683 (100)
50	0.379 (80.8)	0.314 (76)	0.692 (78.4)	0.395 (65.9)	0.570 (83.4)
SiO_2 (C, mM) 0	123.692 (100)	0.413 (100)	0.349 (100)	0.762 (100)	0.471 (100)
5	154.922 (125)	0.435(105.3)	0.378 (108.3)	0.812(106.5)	0.523(111)
CV (%)	4.05	7.16	3.92	3.51	5.65
F-test A	**	**	**	**	**
B	**	**	**	**	**
AB	*	**	**	**	**
C	**	**	**	**	*
AC	**	ns	**	ns	ns
BC	ns	ns	ns	ns	ns
ABC	*	**	**	**	**

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1] ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

ตารางที่4.26น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 14 วัน

ปัจจัย [1]	น้ำหนักแห้งใบ	น้ำหนักแห้งต้น	น้ำหนักแห้งส่วนต้น	น้ำหนักแห้งราก	อัตราส่วนรากต่อต้น
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	0.503b	0.661c	1.164c	0.618b	0.528b
กข15	1.267a	2.138a	3.405a	1.393a	0.400d
กข6	0.389c	0.496d	0.802d	0.617b	0.697a
ทับทิมชุมแพ	0.521b	0.798b	1.319b	0.589c	0.451c
NaCl (B, mM) 0	0.764 (100)	1.192 (100)	1.915 (100)	0.996 (100)	0.541 (100)
50	0.575 (75.3)	0.855 (71.7)	1.430(74.7)	0.612(64.4)	0.497(91.9)
SiO_2 (C, mM) 0	0.624 (100)	0.939 (100)	1.563 (100)	0.767 (100)	0.527 (100)
5	0.715(114.5)	1.108 (117.9)	1.782(114)	0.841 (109.6)	0.511 (96.9)
CV (%)	3.53	5.81	9.51	1.64	4.47
F-test A	**	**	**	**	**
B	**	**	**	**	**
AB	**	**	**	**	**
C	**	**	**	**	*
AC	**	**	**	**	**
BC	**	**	ns	**	*
ABC	**	**	**	**	**

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1] ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

ตารางที่4.27น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 21 วัน

ปัจจัย [1]	น้ำหนักแห้งใบ	น้ำหนักแห้งต้น	น้ำหนักแห้งส่วนต้น	น้ำหนักแห้งราก	อัตราส่วนรากต่อต้น
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	0.962b	1.398c	2.360c	1.276b	0.532b
กข15	1.398a	2.661a	4.059a	1.497a	0.367c
กข6	0.533c	0.624d	1.157d	0.667d	0.573a
ทับทิมชุมแพ	0.968b	1.463b	2.430b	0.759c	0.306d
NaCl (B, mM) 0	1.186 (100)	1.797 (100)	2.983 (100)	1.304 (100)	0.465 (100)
50	0.745 (62.8)	1.276 (71)	2.021 (67.8)	0.795 (61)	0.423 (91)
SiO_2 (C, mM) 0	0.923 (100)	1.505 (100)	2.429 (100)	0.969 (100)	0.430 (100)
5	1.007(109.1)	1.567 (104.1)	2.575(106)	1.131(116.7)	0.458(106.5)
CV (%)	1.34	0.86	1.04	2.37	4.05
F-test A	**	**	**	**	**
B	**	**	**	**	**
AB	**	**	**	**	ns
C	**	**	**	**	**
AC	**	**	**	**	**
BC	**	**	ns	**	*
ABC	**	**	**	**	ns

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน ns ไม่มีความแตกกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1] ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

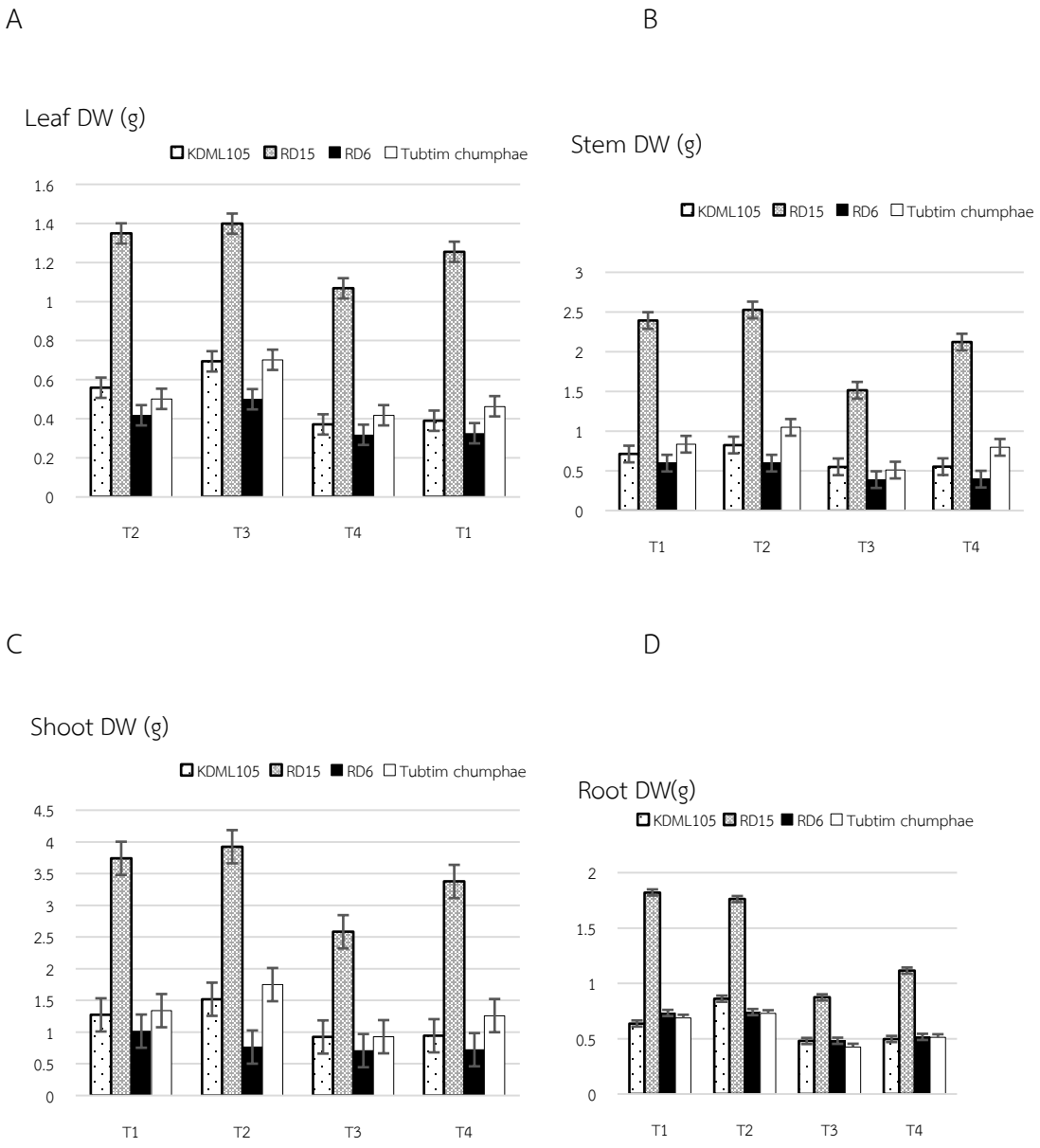
ตารางที่4.28จำนวนหน่อต่อต้นและความสูง(ซ.ม.) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]	ระยะเวลา (วัน)					
	7	14	21	7	14	21
		จำนวนหน่อต่อต้น			ความสูง	
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	2.583b	3.000a	3.083	24.000a	35.767b	43.375b
กข15	3.000a	3.083a	2.917	22.033c	37.158a	44.450a
กข6	2.833a	2.750b	2.917	20.842d	33.908d	43.183c
ทับทิมชุมแพ	2.750ab	2.917ab	2.917	23.692b	34.808c	43.408b
NaCl (B, mM) 0	2.958 (100)	3.042 (100)	3.167 (100)	26.463(100)	37.442(100)	48.762(100)
50	2.625 (88.7)	2.833 (93.1)	2.750 (86.8)	18.821(71.1)	33.379(89.1)	38.446(78.8)
SiO_2 (C, mM) 0	2.792 (100)	2.875 (100)	3.000 (100)	21.854(100)	34.862(100)	42.812(100)
5	2.792 (100)	3.000(104.3)	2.917 (97.2)	23.429(107.2)	35.958(94.2)	44.396(103.6)
CV (%)	6.79	6.62	4.03	0.36	0.92	0.15
F-test A	*	**	ns	**	**	**
B	**	**	**	**	**	**
AB	*	*	ns	**	**	**
C	ns	*	ns	**	*	*
AC	ns	**	ns	**	**	**
BC	ns	**	ns	ns	**	**
ABC	*	*	ns	**	**	**

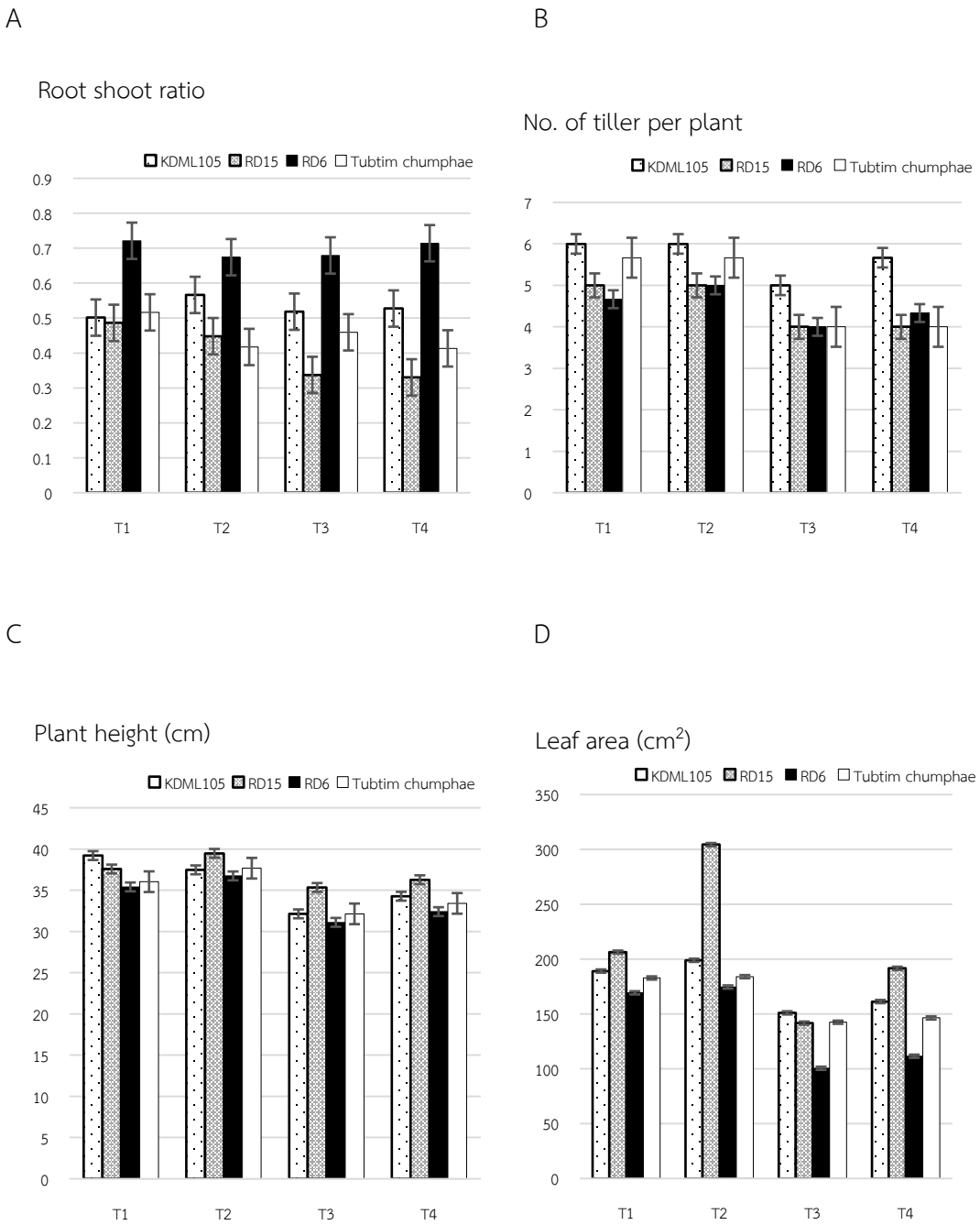
หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1] ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม



ภาพที่ 4.4น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น และรากของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน(T1:control, T2: NaCl 50 mM, T3: SiO_2 5 mM, T4: NaCl 50 mM+ SiO_2 5 mM(A: Leaf DW; $LSD_{0.05}$=0.052, B:Stem DW; $LSD_{0.05}$=0.105, C: Shoot DW; $LSD_{0.05}$=0.262 , D: Root DW; $LSD_{0.05}$=0.028)



ภาพที่ 4.5อัตราส่วนรากต่อต้น จำนวนหน่อต่อต้น ความสูงและพื้นที่ใบของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน(T1:control, T2: NaCl 50 mM, T3: SiO_2 5 mM, T4: NaCl50mM+ SiO_2 5 mM (A: Root shoot ratio; $LSD_{0.05}$=0.052, B:No. of tiller per plant; $LSD_{0.05}$=ns, C: Plant height; $LSD_{0.05}$=0.538 , D: Leaf area; $LSD_{0.05}$=1.482)

4.3.3การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของข้าว

4.3.3.1 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, RGR)

ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ 7-14 และ 14-21 วัน ทำให้มี RGR ลดลง 16 และ 7 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ ที่ 7-14 วัน ในขณะที่ 14-21 วัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ สำหรับข้าวที่ได้รับ ซิลิกอน ทำให้มี RGRที่ 7-14 วัน เพิ่มขึ้น 14 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน 14-21 วัน มี RGR ลดลง 13 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7-14 วัน พบว่า ข้าวกข15 มี RGR สูงสุด รองลงมาคือ ข้าวทับทิมชุมแพ ขาวดอกมะลิ105 และกข6 ส่วนที่ 14-21 วัน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และทับทิมชุมแพมี RGR สูงสุด รองลงมาคือ ข้าวกข6 และกข15 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติสำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaClและ SiO_2 ที่ 7-14 และ 14-21 วัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7-14 และ 14-21 วัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติพบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 มี RGR เพิ่มขึ้นรองลงมาคือข้าวกข6 ทับทิมชุมแพ และกข15 (ตารางที่ 4.29,ภาพที่7A,B)

ตารางที่ 4.29อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-14 และ 14-21 วัน

ปัจจัย[1]		ระยะเวลา (วัน)	
		7-14	14-21
พันธุ์ข้าว (A)	ขาวดอกมะลิ105	0.056b	0.099a
กข15		0.198a	0.023c
กข6		0.030c	0.038b
	ทับทิมชุมแพ	0.064b	0.089a
NaCl (B, mM)	0	0.095 (100)	0.065 (100)
	50	0.079 (83.1)	0.060 (92)
SiO_2 (C, mM)	0	0.081 (100)	0.067 (100)
	5	0.093 (114.8)	0.058 (86.5)
CV (%)		13.77	13.44
F-test A		**	**
B		**	ns
AB		*	**
C		**	**
AC		**	**
BC		ns	ns
ABC		ns	ns

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน ns ไม่มีความแตกกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1] ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

4.3.3.2 พื้นที่ใบจำเพาะ (Specific Leaf Area, SLA)

เมื่อ ต้นข้าวได้รับความเครียดเกลือ ทำให้ SLA ของข้าวลดลง 11 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติตั้งแต่ที่ได้รับเกลือ 7 วัน สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มี SLA เพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ 7 วันส่วนที่ 14 และ 21 วัน มี SLA ลดลง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7วัน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 มี SLAสูงสุด รองลงมาคือ ข้าวกข15 ทับทิมชุมแพ และกข6 ส่วนที่ 14 และ 21 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกัน (ตารางที่ 4.30)สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaClและ SiO_2 ที่7 และ 14 วัน พบว่า SLA แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติโดยที่ SLA ของต้นข้าวที่ได้รับ NaClร่วมกับ SiO_2 มี SLAน้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 ส่วนที่ 21 วัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 14 วัน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 มี SLA เพิ่มขึ้น รองลงมาคือ ข้าวกข6 ทับทิมชุมแพ และกข15 ที่ 21 วัน ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับที่ 14 วัน (ตารางที่ 4.30, ภาพที่ 7C)

ตารางที่ 4.30พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

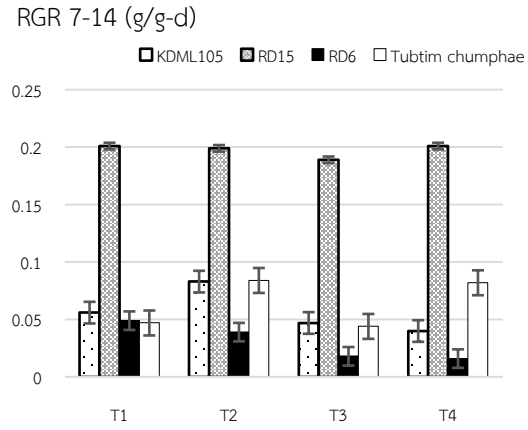
ปัจจัย[1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A)	ขาวดอกมะลิ105	411.051a	362.337a	239.797b
กข15		333.342b	164.127c	187.371d
กข6		280.138d	354.174a	324.803a
	ทับทิมชุมแพ	288.858c	323.001b	219.970c
NaCl (B, mM)	0	348.230 (100)	298.368 (100)	239.440 (100)
	50	308.464 (88.5)	303.451 (101.7)	246.531 (102.9)
SiO_2 (C, mM)	0	305.170 (100)	308.537 (100)	243.216 (100)
	5	351.525 (115)	293.283 (95)	242.755 (99.8)
CV (%)		6.39	4.17	3.66
F-test A		**	**	**
B		**	ns	**
AB		**	**	**
C		**	**	ns
AC		**	**	ns
BC		**	**	ns
ABC		ns	**	**

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

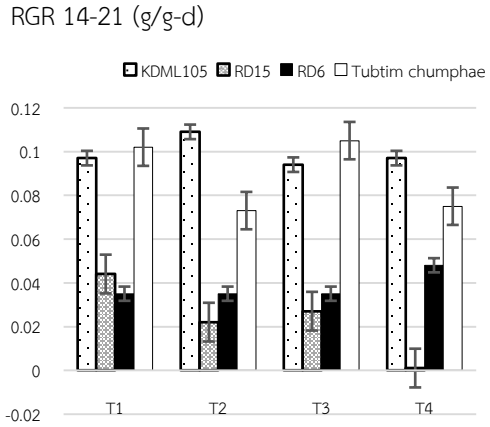
[1] ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

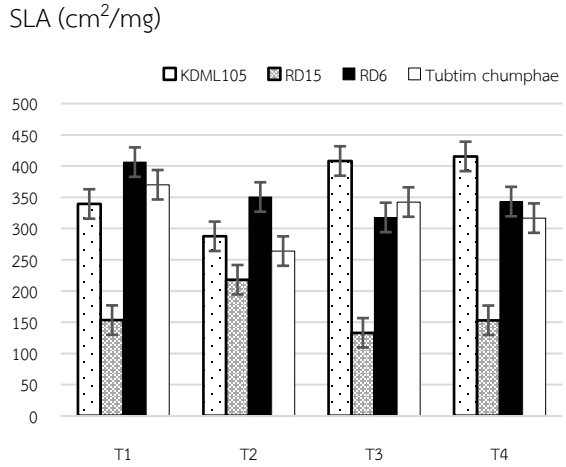
A



B



C



ภาพที่ 4.6อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) และพื้นที่ใบจำเพาะ(SLA) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน (T1: control, T2: NaCl 50 mM,T3:SiO_2 5 mM, T4: NaCl 50 mM+ SiO_2 5 mM (A: RGR 7-14; $LSD_{0.05}$=ns , B:RGR 14-21;$LSD_{0.05}$=ns, C: SLA; $LSD_{0.05}$=23.575)

4.4 ผลการทดลองที่ 2 ต้นข้าวอายุ 30 วัน

4.4.1 ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาของข้าว 4 พันธุ์ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ

4.4.1.1 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (chlorophyll fluorescence)

ในการทดลองใช้ข้าว 4พันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ 105 กข15กข6และทับทิมชุมแพ ซึ่งเป็นข้าวที่เกษตรกรนิยมปลูก ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับการใช้ความเข้มข้นเกลือ NaClที่ 50 mMเป็นความเข้มข้นวิกฤติที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ ส่วนการใช้ซิลิกอน ความเข้มข้น 5mMได้จากการทดสอบเบื้องต้นในข้าว ซึ่งพบว่า มีผลดีต่อการเจริญเติบโตของข้าว จึงนำมาใช้ในการทดลองนี้

ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือทำให้ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (Fv/Fm) ลดลง 10-25 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติตั้งแต่ที่ได้รับเกลือ 7 วัน สำหรับต้นข้าวปกติมีค่า Fv/Fm0.719, 0.757และ 0.771ที่ 7, 14และ 21วัน ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน 7 วันมี ค่า Fv/Fm ลดลง 3 เปอร์เซ็นต์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวปกติ สำหรับที่ 14 และ 21 วัน พบว่าค่า Fv/Fmไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าลดลงเพียง 2 และ 1.5เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ(ตารางที่ 4.31)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 14 วันพบว่าค่า Fv/Fm ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และทับทิมชุมแพ มีค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับข้าว กข15 และ กข6 สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaClและ SiO_2ที่ 7และ 14 วัน มี Fv/Fmไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่า ต้นข้าวได้รับ NaClร่วมกับ SiO_2 มีค่าFv/Fm น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวปกติและได้รับ SiO_2(ตารางที่ 4.31, ภาพที่ 8A)

ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7, 14 และ 21 วัน พบว่า มีค่า Fv/Fmแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ 105ที่ได้รับ NaClและ SiO_2มีค่าFv/Fmเพิ่มขึ้น ส่วนข้าว กข 15ทับทิมชุมแพ และ กข 6มีค่าFv/Fmไปในทิศทางเ ดียวกัน (ตารางที่ 4.31) ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105มีศักยภาพในการปรับตัวได้ดีกว่าข้าวพันธุ์อื่น ซึ่งพิจารณาจาก ปริมาณคลอโรฟิลล์ และแคโรตินอยด์ ที่ 14 วัน

ตารางที่4.31คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (Fv/Fm) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะ

ความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

ปัจจัย[1]	ระยะเวลา (วัน)		
	7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	0.640b	0.709a	0.712b
กข15	0.629b	0.615b	0.767a
กข6	0.647b	0.628b	0.759a
ทับทิมชุมแพ	0.732a	0.725a	0.722b
NaCl(B, mM)0	0.719 (100)	0.757 (100)	0.771 (100)
50	0.605 (84.1)	0.581 (76.7)	0.709 (91.9)
SiO_2 (C, mM) 0	0.669 (100)	0.676 (100)	0.745 (100)
5	0.655 (97.9)	0.663 (98.0)	0.735 (98.6)
CV (%)	3.56	3.95	2.98
F-test A	**	**	**
B	**	**	**
AB	**	**	**
C	*	ns	ns
AC	**	**	*
BC	ns	ns	*
ABC	**	**	**

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1] ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

4.4.1.2 อัตราการคายน้ำ (E) และความต้านทานปากใบ (Rs)

ในการวัดอัตราการคายน้ำ (E) และความต้านทานปากใบข้าว (Rs) พบว่า ที่ 7, 14 และ 21 วัน ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือมีอัตราการคายน้ำลดลง 12 , 8และ 34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ (ตารางที่ 4.32) ส่วนค่าความต้านทานที่ปากใบข้าวมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนมีอัตราการคายน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ 7 ,14 และ 21 วัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 และ14 วัน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 มีอัตราการคายน้ำสูงสุด รองลงมาคือ กข15 กข6 และทับทิมชุมแพ ตามลำดับ ส่วนที่ 21วัน พบว่า ข้าวกข 15 มีอัตราการคายน้ำสูงสุด รองลงมาคือกข 6 ทับทิมชุมแพ และขาวดอกมะลิ105 ตามลำดับ(ตารางที่ 4.32,4.33 ภาพที่8B,C)

สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7, 14 และ 21 วัน พบว่า มีอัตราการคายน้ำ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ 7 วัน ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข15 ที่ไม่ได้รับ NaClและได้รับ SiO_2มีอัตราการคายน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับ NaClและ SiO_2 ส่วนที่ 14และ 21 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ความต้านทานปากใบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยแสดงค่าผกผันกับค่า อัตราการคายน้ำ กล่าวคือ ที่7วัน ข้าวขาวดอกมะลิ 105และ กข15ที่ไม่ได้รับ NaClและได้รับ SiO_2 มีอัตราการคายน้ำลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับ NaClและ SiO_2ส่วนที่ 14และ 21 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกัน (ตารางที่ 4.32,4.33)

ตารางที่ 4.32อัตราการคายน้ำ (E) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21วัน

ปัจจัย[1]	ระยะเวลา (วัน)		
	7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	1.547ab	1.267a	0.414c
กข15	1.597a	1.159b	0.777a
กข6	1.420b	0.840c	0.742a
ทับทิมชุมแพ	1.210c	0.569d	0.483b
NaCl(B, mM)0	1.540(100)	1.054 (100)	0.727(100)
50	1.347(87.5)	0.864 (81.9)	0.481(66.1)
SiO_2 (C, mM) 0	1.370(100)	1.084 (100)	0.576(100)
5	1.517(110.0)	0.834 (76.9)	0.633(109.9)
CV (%)	11.42	5.69	11.27
F-test A	**	**	**
B	**	**	**
AB	**	**	**
C	**	**	**
AC	**	**	**
BC	**	**	ns
ABC	**	**	**

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1] ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

ตารางที่ 4.33 ความต้านทานที่ปากใบ (Rs) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

ปัจจัย[1]	ระยะเวลา (วัน)		
	7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	20.650a	21.071d	27.283c
กข15	20.325a	22.733c	30.963b
กข6	15.862b	28.029b	27.544c
ทับทิมชุมแพ	20.182a	39.143a	39.189a
NaCl(B, mM)0	18.747(100)	25.688 (100)	27.060(100)
50	19.762(105.4)	29.800(116.0)	35.429(130.9)
SiO_2 (C, mM) 0	20.729(100)	25.604 (100)	31.508(100)
5	17.780(85.8)	27.884(108.9)	30.982(98.33)
CV (%)	9.34	5.30	11.47
F-test A	**	**	**
B	*	**	**
AB	**	**	**
C	**	ns	ns
AC	**	**	ns
BC	ns	*	ns
ABC	*	**	**

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1] ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

4.4.1.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าว

เก็บใบข้าวที่ 14 วัน ซึ่งเป็นใบเดียวกันกับที่วัด คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ และอัตราการคายน้ำ เป็นช่วงที่ข้าวแสดงความเครียดเกลือได้ชัดเจน ผลการทดลองพบว่า ความเครียดเกลือทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรตินอยด์ของใบข้าวลดลง 40-42 และ 38 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนพบว่า มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม เพิ่มขึ้น 20-40เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับซิลิกอน ส่วนปริมาณแคโรตินอยด์ลดลง 38เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับซิลิกอน สำหรับข้าวขาวดอกมะลิ105

ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรตินอยด์ สูงกว่า ข้าวกข15 ทับทิมชุมแพ และกข6 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.34, ภาพที่ 9A,B,C,D)

ตารางที่4.34ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ(mg/g FW)และแคโรทีนอยด์ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 14 วัน

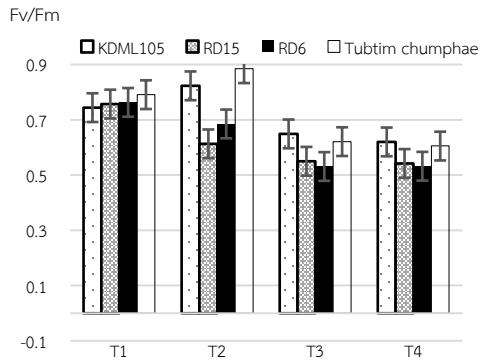
ปัจจัย [1]	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์รวม	แคโรทีนอยด์
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	1.270a	0.443a	1.713a	0.510a
กข15	0.983b	0.324b	1.307b	0.336b
กข6	0.316d	0.136d	0.452d	0.282c
ทับทิมชุมแพ	0.823c	0.239c	1.061c	0.364b
NaCl(B, mM)0	1.079 (100)	0.358 (100)	1.437 (100)	0.462 (100)
50	0.615 (57.2)	0.213 (59.5)	0.830 (57.8)	0.284 (61.5)
SiO_2 (C, mM) 0	0.701 (100)	0.258 (100)	0.959 (100)	1.309 (100)
5	0.995 (141.9)	0.312 (120.9)	1.307 (136.3)	0.813 (62.1)
CV (%)	9.43	15.07	9.28	13.64
F-test A	**	**	**	**
B	**	**	**	**
AB	**	**	**	**
C	**	**	**	**
AC	**	ns	**	**
BC	**	ns	**	ns
ABC	**	**	**	**

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

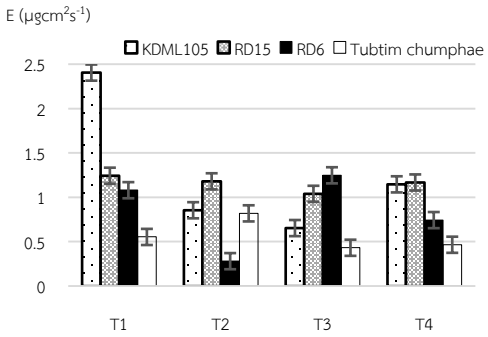
[1]ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

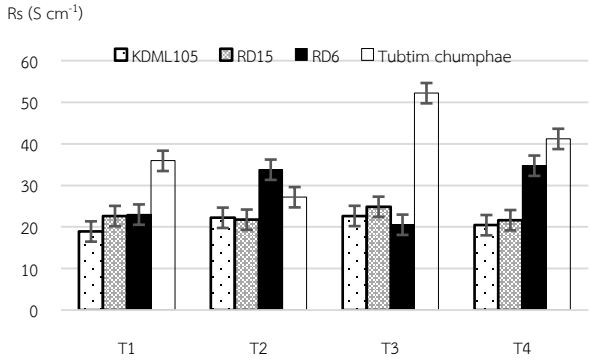
A



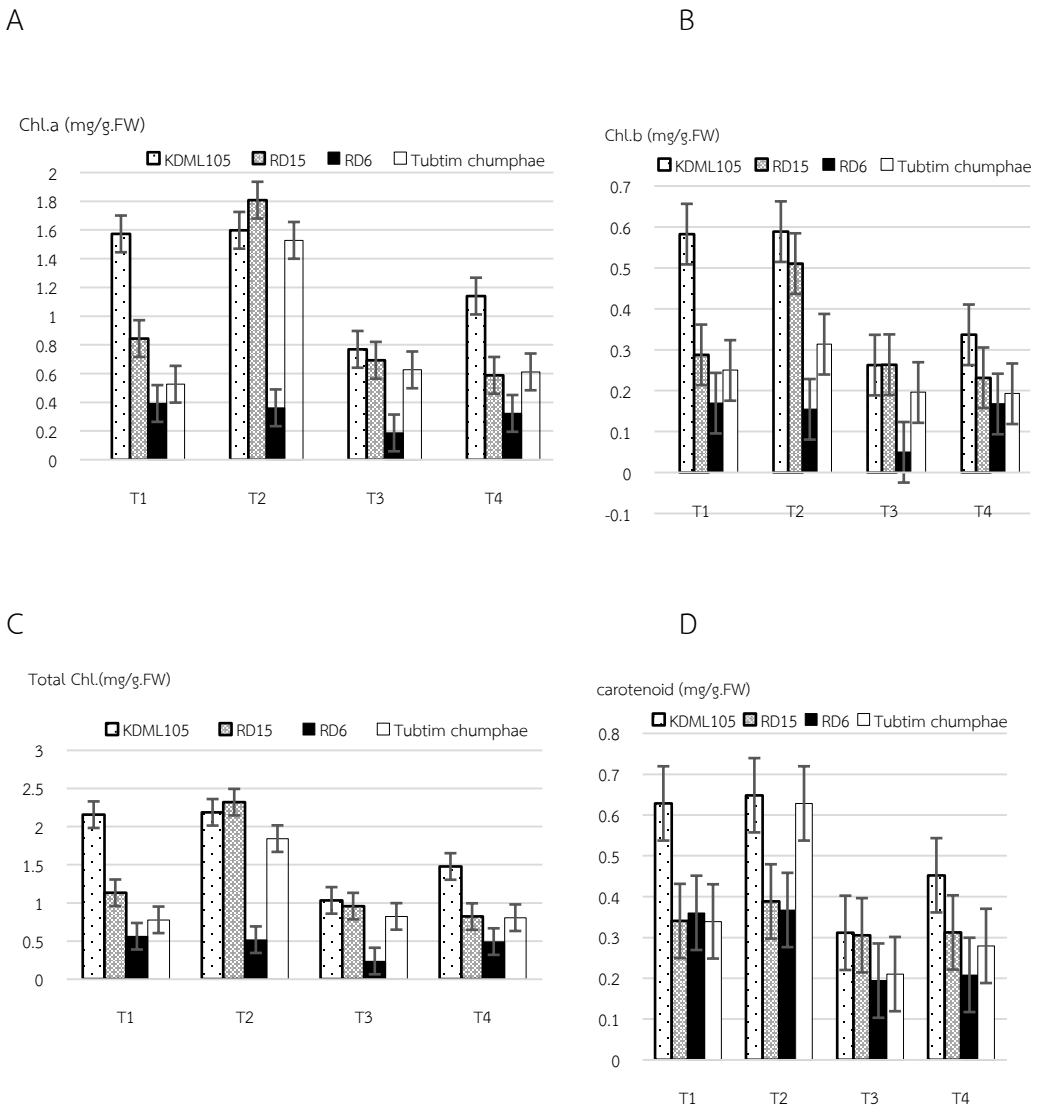
B



C



ภาพที่4.7คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์อัตราการคายน้ำ (E) และความต้านทานปากใบ(Rs) ของข้าว 4พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน(T1: control, T2: NaCl 50mM, T3: SiO_2 5 mM, T4: NaCl 50 mM+ SiO_2 5mM) (A: Fv/Fm; $LSD_{0.05}$=0.052B: E; $LSD_{0.05}$= 0.091 , C: Rs; $LSD_{0.05}$= 2.447)



ภาพที่4.8 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ14 วัน(T1: control,T2: NaCl 50 mM, T3: SiO_2 5 mM, T4: NaCl 50 mM+$SiO_2$5 mM)(A:Chl.a; $LSD_{0.05}$=0.128 B: Chl. b; $LSD_{0.05}$=0.074 C: Total Chl.;$LSD_{0.05}$=0.174 D: carotenoid; $LSD_{0.05}$=0.091)

4.4.2 ผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ

4.4.2.1 พื้นที่ใบ

ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ 7 วัน ทำให้พื้นที่ใบลดลง 17.8เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ 14และ 21วัน พื้นที่ใบลดลง 19.1และ 17.6เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน ที่ 14 วัน มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น 14.9 เปอร์เซ็นต์ในขณะที่7 และ21 วันเพิ่มขึ้นเพียง 7.5 และ 6.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า NaCl 50 mMทำให้ต้นข้าวมีพื้นที่ใบลดลง ส่วนSiO_2 5 mMทำให้พื้นที่ใบเพิ่มขึ้น(ตารางที่ 4.35,ภาพที่ 10B)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 วัน พบว่า พื้นที่ใบข้าวขาวดอกมะลิ 105มีค่าสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ รองลงมาคือ ข้าวทับทิมชุมแพกข 6และกข15ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 21 วัน ที่ 14วัน ข้าว ทับทิมชุม แพ มีพื้นที่ใบมากที่สุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ รองลงมาคือ ข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15และกข6ตามลำดับ ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวXเกลือ NaCl Xซิลิกอน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 มี พื้นที่ใบเพิ่มขึ้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ รองลงมาคือ ข้าวทับทิมชุมแพ กข 6และกข15 ส่วนที่ 21วัน ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับที่ 14 วัน ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105มีศักยภาพในการปรับตัวได้ดีกว่าข้าวพันธุ์อื่น

4.4.2.2น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น

ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ ที่ 7 วัน ทำให้น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น ลดลง 17, 11, 14, 22และ 8เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 14 และ 21วัน ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนที่ 14 วัน พบว่ามีน้ำหนักแห้งใบ ต้น และส่วนต้น เพิ่มขึ้น 18, 9 และ 13เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และอัตราส่วนรากต่อต้นลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ ส่วนน้ำหนักแห้ง ราก พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนที่ 7วัน พบว่าน้ำหนักแห้งใบ ต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น เพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 21 วัน (ตารางที่ 4.36,4.37,4.38,ภาพที่11A,B,C,D,E)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105มีน้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น เพิ่มขึ้น รองลงมาคือข้าว กข 15 กข6 และทับทิมชุมแพ ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 1 4 วัน ส่วนที่ 21วัน พบว่า น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น ของข้าว ทับทิมชุมแพ มีค่าสูงสุด สำหรับข้าวขาวดอกมะลิ105กข15 และ กข6 เพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว XเกลือNaCl Xซิลิกอน ที่ 7วัน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในน้ำหนักแห้งต้น ส่วนต้น และราก ยกเว้น น้ำหนักแห้งใบ และอัตราส่วนรากต่อต้น ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือทำให้มีน้ำหนักแห้งส่วนต้น ราก เพิ่มขึ้น รองลงมาคือ ข้าว กข15 กข6และทับทิมชุมแพ ที่ 14 วัน (ภาพที่ 11A,B,C,D,E)ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 21วัน

4.4.2.3จำนวนหน่อต่อต้น

การแตกหน่อของข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ ทำให้จำนวนหน่อต่อต้นลดลง 12 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ตั้งแต่ที่ได้รับเกลือ 7 วัน สำหรับที่ 14และ 21วัน พบแนวโน้มลดลง7และ 14เปอร์เซ็นต์ตามลำดับส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน 14 วัน ทำให้จำนวนหน่อต่อต้นเพิ่มขึ้น 4เปอร์เซ็นต์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ที่ 7และ 21วัน พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.39,ภาพที่10A)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 14 วัน พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ105และ กข15 มีจำนวนหน่อต่อต้นสูงกว่าข้าวกข 6และทับทิมชุมแพ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือที่ 7 และ 14วัน มีการแตกกอเพิ่มขึ้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7 และ 14วัน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือทำให้การแตกกอเพิ่มขึ้น ส่วน ข้าวกข6กข15 และทับทิมชุมแพ มีจำนวนหน่อต่อต้นไปในทิศทางเดียวกัน(ตารางที่ 4.39)

4.4.2.4ความสูงของต้นข้าว

ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ 7, 14 และ 21 วัน พบว่า ความสูงของต้นข้าวลดลง 18, 9 และ 9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนที่ 7, 14 และ 21 วัน พบว่ามีความสูงเพิ่มขึ้น3, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าว ที่ 7 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ข้าว ทับทิมชุมแพ และข้าว กข6มีความสูงมากสุด รองลงมาคือขาวดอกมะลิ 105 และกข15ตามลำดับ ส่วนที่ 14 และ 21 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกัน (ตารางที่ 4.39 ,ภาพที่ 10C) สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือที่ 7, 14 และ 21วัน พบว่า ความสูงของต้นข้าว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยต้นข้าวที่ได้รับ NaClร่วมกับ SiO_2 มีความสูงน้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl Xซิลิกอน ที่ 7, 14 และ 21วัน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งข้าวกข15 ที่ได้รับ NaClและ SiO_2มีความสูงเพิ่มขึ้น รองลงมาคือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105ทับทิมชุมแพและกข6 ตามลำดับ (ภาพที่ 10C)

ตารางที่4.35 พื้นที่ใบ (ซ.ม.^{2}) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ

ที่ 7-21 วัน

ปัจจัย[1]	ระยะเวลา (วัน)		
	7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	191.5a	203.3b	254.1a
กข15	138.1d	187.0c	194.0d
กข6	178.2c	189.8c	216.1c
ทับทิมชุมแพ	185.2b	224.4a	233.7b
NaCl(B, mM)0	190.14 (100)	222.34 (100)	246.13 (100)
50	156.44 (82.2)	180.03 (80.9)	202.89 (82.4)
SiO_2 (C, mM) 0	167.02 (100)	187.20 (100)	217.76 (100)
5	179.56(107.5)	215.17 (114.9)	231.26 (106.1)
CV (%)	3.35	2.33	2.72
F-test A	**	**	**
B	**	**	**
AB	**	**	**
C	**	**	**
AC	**	**	**
BC	**	**	**
ABC	ns	**	**

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
[1]ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

ตารางที่4.36น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม)และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์

เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือที่ 7 วัน

ปัจจัย [1]		น้ำหนักแห้งใบ	น้ำหนักแห้งต้น	น้ำหนักแห้งส่วนต้น	น้ำหนักแห้งราก	อัตราส่วนรากต่อต้น
พันธุ์ข้าว (A)	ขาวดอกมะลิ105	0.392a	0.369a	0.761a	0.372a	0.488a
กข15		0.387a	0.348a	0.736b	0.304b	0.413b
กข6		0.286b	0.244b	0.530c	0.230c	0.434b
	ทับทิมชุมแพ	0.378a	0.339a	0.718b	0.249c	0.348c
NaCl (B, mM)	0	03.95 (100)	0.345 (100)	0.741 (100)	0.325 (100)	0.438 (100)
	50	0.327 (82.7)	0.305 (88.4)	0.631 (85.1)	0.253 (77.8)	0.400 (91.5)
SiO_2 (C, mM)	0	0.358 (100)	0.320 (100)	0.679 (100)	0.277 (100)	0.412 (100)
	5	0.363(101.3)	0.330 (103.1)	0.693(100.8)	0.301(108.6)	0.426 (103.3)
CV (%)		8.90	11.18	8.82	15.52	12.65
F-test A		*	*	**	**	**
B		**	**	**	**	*
AB		ns	ns	ns	*	**
C		**	**	**	**	*
AC		ns	*	ns	**	**
BC		**	**	**	**	ns
ABC		ns	*	ns	**	ns

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1]ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

ตารางที่4.37น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม)และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์

เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือที่ 14 วัน

ปัจจัย [1]	น้ำหนักแห้งใบ	น้ำหนักแห้งต้น	น้ำหนักแห้งส่วนต้น	น้ำหนักแห้งราก	อัตราส่วนรากต่อต้น
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	0.547b	0.802a	1.349a	0.676a	0.501a
กข15	0.641a	0.696b	1.337a	0.585b	0.438c
กข6	0.353c	0.473c	0.826c	0.417c	0.505a
ทับทิมชุมแพ	0.567b	0.685b	1.252b	0.587b	0.469b
NaCl(B, mM)0	0.602 (100)	0.726 (100)	1.328 (100)	0.646 (100)	0.491 (100)
50	0.452 (75.0)	0.602 (82.9)	1.054 (79.3)	0.487 (75.3)	0.466 (94.9)
SiO_2 (C, mM) 0	0.482 (100)	0.633 (100)	1.116 (100)	0.567 (100)	0.513 (100)
5	0.572(118.6)	0.695 (109.7)	1.267(113.5)	0.566 (99.8)	0.445 (86.7)
CV (%)	9.18	9.06	6.75	8.53	6.31
F-test A	**	**	**	**	**
B	**	**	**	**	**
AB	ns	ns	ns	*	ns
C	**	**	**	ns	**
AC	*	**	**	**	**
BC	**	ns	ns	ns	ns
ABC	*	*	*	*	**

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1]ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

ตารางที่4.38น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม)และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์

เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือที่ 21 วัน

ปัจจัย [1]	น้ำหนักแห้งใบ	น้ำหนักแห้งต้น	น้ำหนักแห้งส่วนต้น	น้ำหนักแห้งราก	อัตราส่วนรากต่อต้น
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	0.787a	1.248	2.034	0.805b	0.396b
กข15	0.705b	1.317	2.023	0.797b	0.394b
กข6	0.653b	1.268	1.921	0.592c	0.309c
ทับทิมชุมแพ	0.811a	1.157	1.968	0.964a	0.489a
NaCl (B, mM) 0	0.887 (100)	1.408 (100)	2.295 (100)	0.899 (100)	0.394 (100)
50	0.591 (66.6)	1.087 (77.2)	1.678 (73.1)	0.680 (75.6)	0.406 (103)
SiO_2 (C, mM) 0	0.723 (100)	1.146 (100)	1.868 (100)	0.785 (100)	0.419 (100)
5	0.755(104.4)	1.350 (117.8)	2.105(112.6)	0.794(101.1)	0.381 (90.9)
CV (%)	8.90	11.18	8.82	15.52	12.65
F-test A	**	ns	ns	**	**
B	**	**	**	**	ns
AB	ns	**	**	ns	*
C	**	**	**	ns	**
AC	**	*	**	ns	ns
BC	ns	ns	ns	ns	ns
ABC	*	**	**	*	ns

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1] ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

ตารางที่4.39จำนวนหน่อต่อต้นและความสูง(ซ.ม.) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะ

ความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

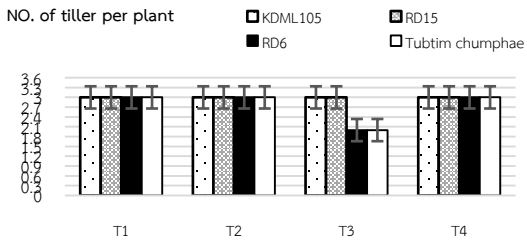
ปัจจัย [1]	ระยะเวลา (วัน)					
	7	14	21	7	14	21
		จำนวนหน่อต่อต้น			ความสูง	
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ 105	2.583b	3.000a	3.083	39.800b	55.333c	66.075a
กข15	3.000a	3.083a	2.917	40.633b	59.942b	66.042a
กข6	2.833a	2.750b	2.917	48.425a	55.583c	59.042b
ทับทิมชุมแพ	2.750ab	2.917ab	2.917	48.633a	62.500a	66.725a
NaCl(B, mM)0	2.958 (100)	3.042 (100)	3.167 (100)	48.804(100)	61.058 (100)	67.604(100)
50	2.625 (88.7)	2.833 (93.1)	2.750 (86.8)	39.942(81.8)	55.621(91)	61.337(90.7)
SiO_2 (C, mM) 0	2.792 (100)	2.875 (100)	3.000 (100)	43.504(100)	57.675(100)	63.392(100)
5	2.792 (100)	3.000(104.3)	2.917 (97.2)	45.242(103.9)	59.004(102.3)	65.550 (103.4)
CV (%)	12.66	6.95	12.91	4.54	3.07	1.71
F-test A	*	**	ns	**	**	**
B	**	*	**	**	**	**
AB	*	*	ns	**	**	**
C	ns	*	ns	**	**	**
AC	ns	**	ns	**	**	**
BC	*	**	ns	**	**	**
ABC	*	*	ns	**	**	**

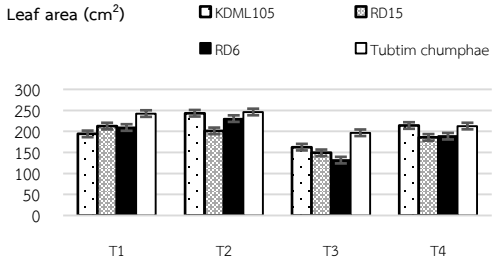
หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1]ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

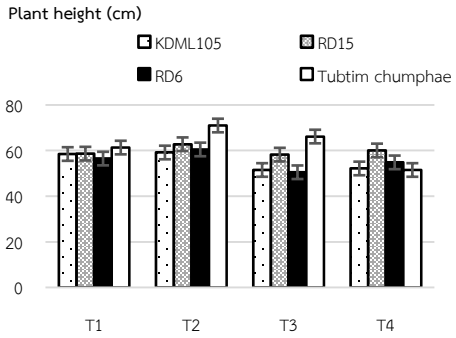
เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

A B



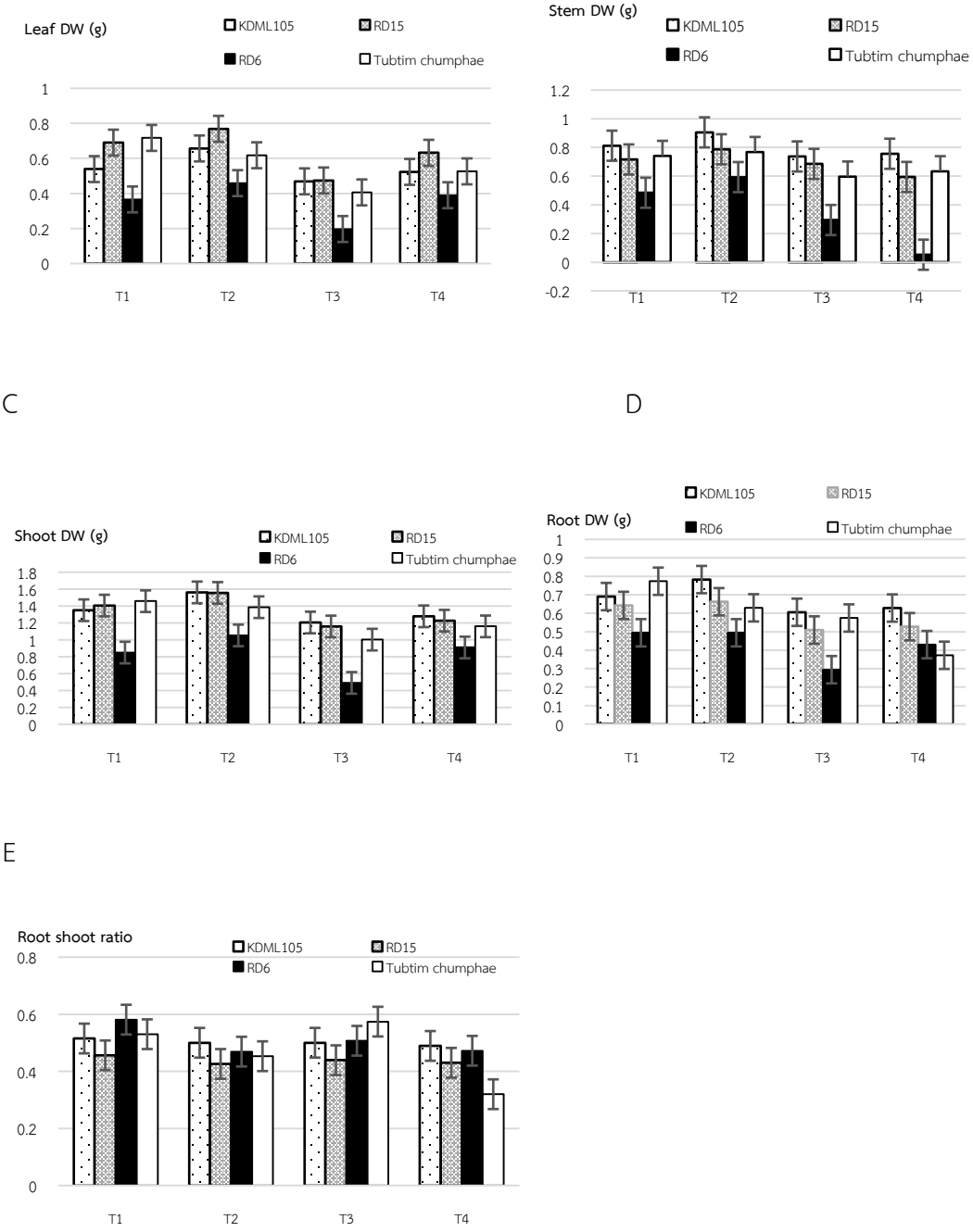


C



ภาพที่ 4.9 จำนวนหน่อต่อต้น พื้นที่ใบ และความสูงของข้าว4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน (T1: control, T2: NaCl 50 mM, T3: SiO_2 5mM, T4: NaCl 50 mM+ SiO_2 5 mM (A: No. of tiller per plant; $LSD_{0.05}$=0.34 , B:Leaf area; $LSD_{0.05}$=7.805 , C: Plant height; $LSD_{0.05}$=2.981)

A B



ภาพที่ 4.10น้ำหนักแห้งใบต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน(T1: control, T2: NaCl 50 mM, T3: SiO_2 5 mM, T4: NaCl 50 mM+ SiO_2 5 mM (A: Leaf DW; $LSD_{0.05}$=0.074, B:Stem DW; $LSD_{0.05}$=0.105, C: ShootDW; $LSD_{0.05}$=0.128, D: Root DW; $LSD_{0.05}$=0.074, E: Root shoot ratio; $LSD_{0.05}$=0.052)

4.4.3 การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของข้าว

4.4.3.1อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, RGR)

ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ 7-14 และ 14-21 วัน ทำให้มี RGR ลดลง 15 และ 11 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับข้าวที่ได้รับ ซิลิกอนมี RGRที่ 7-14 วัน เพิ่มขึ้น 31 เปอร์เซ็นต์ แตก ต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ ส่วน 14-21 วัน มี RGR ลดลง 7 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7-14 วัน พบว่า ข้าวกข15 มี RGR สูงสุด รองลงมาคือ ข้าวขาวดอกมะลิ105 ทับทิมชุมแพและกข6 ส่วนที่ 14-21 วัน ข้าวกข6 มี RGR สูงสุด รองลงมาคือ ข้าวทับทิมชุมแพ กข15 และขาวดอกมะลิ105 แตก ต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติสำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaClและ SiO_2 ที่ 7-14 วัน แตก ต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ โดยต้นข้าวที่ได้รับ NaClร่วมกับ SiO_2 มี RGRน้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 ส่วน 14-21 วัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อพิจารณา ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl X ซิลิกอน ที่ 7-14 และ 14-21 วัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยที่ 14-21 วัน มีแนวโน้มของ RGR ลดลง (ตารางที่ 4.40, ภาพที่12A,B)

ตารางที่ 4.40อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะ

ความเครียดเกลือ ที่ 7-14 และ 14-21 วัน

ปัจจัย[1]	ระยะเวลา (วัน)	
	7-14	14-21
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	0.081a	0.056b
กข15	0.085a	0.058b
กข6	0.061b	0.121a
ทับทิมชุมแพ	0.080a	0.063b
NaCl(B, mM)0	0.095 (100)	0.065 (100)
50	0.079 (83.1)	0.060 (92)
SiO_2 (C, mM) 0	0.066 (100)	0.078 (100)
5	0.087 (131.8)	0.072 (92.3)
CV (%)	23.37	21.66
F-test A	**	**
B	*	*
AB	ns	*
C	**	ns
AC	**	**
BC	**	ns
ABC	**	**

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1] ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

4. 4.3.2 พื้นที่ใบจำเพาะ (Specific Leaf Area, SLA)

เมื่อ ต้นข้าวได้รับความเครียดเกลือ ทำให้ SLA ของข้าวลดลง 2 เปอร์เซ็นต์ไม่แตกต่างกันทางสถิติตั้งแต่ที่ได้รับเกลือ 7 วัน สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มี SLA เพิ่มขึ้น แตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ 7 วันส่วนที่ 14 และ 21 วัน มี SLA ลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7วัน พบว่าข้าวกข6 มี SLAสูงสุด รองลงมาคือ ข้าวทับทิมชุมแพ ขาวดอกมะลิ105 และ ข้าวกข15 ส่วนที่ 14 และ 21 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกัน(ตารางที่ 4.41)สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaClและ SiO_2 ที่7 วัน พบว่า SLA แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติโดยที่ SLA ของต้นข้าวที่ได้รับ NaClร่วมกับ SiO_2 มี SLAน้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 ที่ 14 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกับ 7 วัน ส่วนที่ 21 วัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อพิจารณา ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว Xเกลือ NaCl

Xซิลิกอน ที่ 14 วัน พบว่า ข้าวกข6 มี SLA เพิ่มขึ้น รองลงมาคือ ข้าวขาวดอกมะลิ105 ทับทิมชุมแพ และกข15 ส่วนที่ 21 วัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ(ตารางที่ 4.41, ภาพที่ 12C)

ตารางที่4.41พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

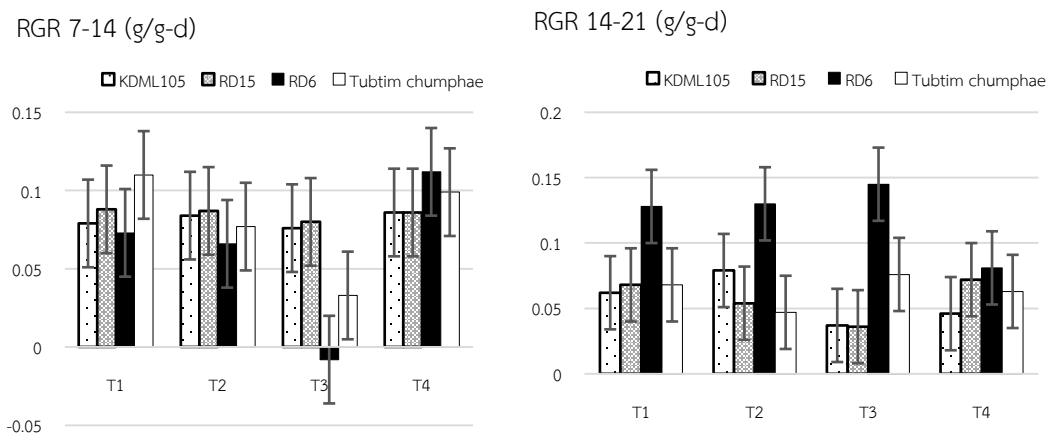
ปัจจัย[1]	ระยะเวลา (วัน)		
	7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) ขาวดอกมะลิ105	493.032b	378.767b	337.483a
กข15	362.132c	294.885c	281.772b
กข6	630.760a	556.753a	340.217a
ทับทิมชุมแพ	501.451b	407.178b	297.815b
NaCl(B, mM)0	503.664 (100)	390.325 (100)	280.563 (100)
50	490.024 (97.2)	428.467 (109.8)	348.080 (124)
SiO_2 (C, mM) 0	478.003 (100)	426.209 (100)	313.889 (100)
5	515.685 (107.8)	392.582 (92.1)	314.754 (100.2)
CV (%)	10.87	8.83	7.58
F-test A	**	**	**
B	ns	**	**
AB	**	ns	**
C	*	**	ns
AC	**	**	**
BC	**	*	ns
ABC	*	**	ns

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน ns ไม่มีความแตกกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

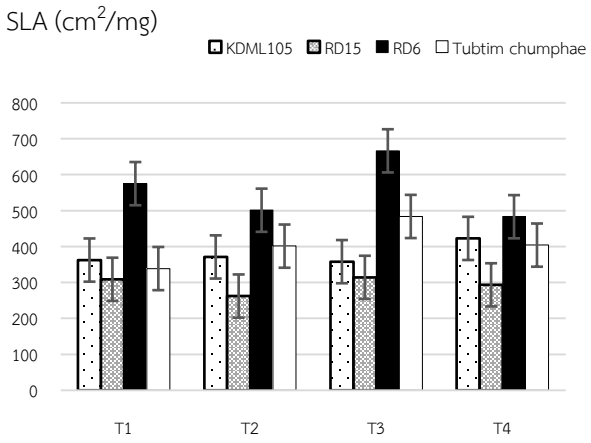
[1] ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือลดเทียบกับสภาพควบคุม

A B



C



ภาพที่ 4.11อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) และพื้นที่ใบจำเพาะ(SLA) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน (T1: control, T2: NaCl 50 mM, T3: SiO_2 5 mM, T4: NaCl 50 mM+ SiO_2 5 mM (A: RGR 7-14; $LSD_{0.05}$=0.028, B:RGR 14-21; $LSD_{0.05}$=0.028, C: SLA; $LSD_{0.05}$=60.155)

บทที่ 5
อภิปรายผล

5.1 ผลการทดลองที่ 1 ต้นข้าวอายุ 14 วัน

5.1.1 ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ

5.1.1.1 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์

เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ทำให้ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ ของข้าวทั้ง 4 พันธุ์ลดลง ตั้งแต่ที่ได้รับเกลือ 7 วัน ขึ้นไป ขณะที่การให้ซิลิกอนกลับมีค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเกลือมี ผลต่อลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าว เมื่อได้รับ NaCl ในความเข้มข้นที่สูง ขณะที่การให้ซิลิกอนกลับมีผลดีต่อลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าว ทำให้ข้าวสามารถปรับตัวต่อสภาวะความเครียดเกลือได้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าว ทั้ง 4 พันธุ์ พบว่า ข้าวทับทิมชุมแพ และขาวดอกมะลิ105 มีค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ สูงกว่า ข้าวพันธุ์กข15 และกข6 เมื่อพิจารณาจาก ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaCl และ SiO_2 พบว่า ต้นข้าวได้รับ NaCl ร่วมกับ SiO_2 มีค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ได้รับ SiO_2 เพียงอย่างเดียว ขณะที่ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน ทำให้ข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ ขาวดอกมะลิ105 กข15 และกข6 มีค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ เพิ่มขึ้น ตามลำดับ จันทร์ธิรา ดวงจันทร์ และ ศิริพรรณ บรรหาร (2559) ศึกษาในถั่วเหลือง พบว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ120 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ของถั่วเหลืองลดลง เมื่อได้รับเกลือเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าสภาวะที่พืชได้รับความเครียดเกลือมีผลทำให้ระบบแสงที่ 2 เกิดความเสียหาย นอกจากนี้ พจนา สีมันตร และคณะ (2557) ศึกษาในมะเขือ พบว่า ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ ของชุดควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมะเขือมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับที่ระดับสารละลาย 4 ds/m ไม่ทำให้ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ ของมะเขือลดลง แต่เมื่อระดับสารละลายเกลือที่ใช้รดเพิ่มขึ้นเป็น 8 และ 16 ds/m พบว่า ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์มีแนวโน้มลดลง ในการศึกษากิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยการวัด คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (Fv/Fm) เนื่องจากใช้เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในกระบวนการของปฏิกิริยาแสง (light reaction) ซึ่งเกิดขึ้นในชั้นเมมเบรนไทลาคอยด์ ในการสร้างพลังงานให้พืชสำหรับใช้ในกระบวนการปฏิกิริยามืด (dark reaction) จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าภาวะที่พืชได้รับความเครียดเกลือทำให้ค่า คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ลดลง แสดงว่าความเครียดเกลือมีผลโดยตรงต่อความเสียหายที่ระบบแสงที่ 2

5.1.1.2 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง

เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวทั้ง 4 พันธุ์ ลดลง ตั้งแต่ที่ได้รับเกลือ 7 วันขึ้นไป แสดงให้เห็นว่าเกลือมี ผลต่อลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าว ขณะที่ต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มีผลทำให้ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวทั้ง 4 พันธุ์ พบว่า ข้าวกข15 และกข6 มี อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง สูงกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 และทับทิมชุมแพ เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaCl และ SiO_2 พบว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ของต้นข้าวที่ได้รับ NaCl ร่วมกับ SiO_2 มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 เพียงอย่างเดียว ขณะที่ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน ของข้าวกข6 ที่ได้รับ NaCl และ SiO_2 มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง เพิ่มขึ้นสูงกว่าข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 และทับทิมชุมแพ Sultana. (1999) ศึกษาผลกระทบของโซเดียมคลอไรด์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าว พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลกระทบของต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวในระยะออกดอกและระยะน้ำนม ความเครียดโซเดียมคลอไรด์นำไปสู่การยับยั้งอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งพืชมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูง สุดในระยะออกดอกและระยะน้ำนม เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ รวมถึงระยะเวลาที่สะสมความเครียดเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับงานทดลองของ Kafi. (2009) ศึกษาผลของความเค็มต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงในข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) สายพันธุ์ที่ทนเค็มและไม่ทนเค็ม พบว่า การเจริญเติบโตของข้าวสาลีที่ได้รับ NaCl ในระดับความเข้มข้น 5, 100, 200, และ 300 mM ทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในสภาวะที่พืชได้รับเกลือในระดับความเข้มข้นที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ Netondo et al. (2004) พบว่า ความเค็มยังส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการลดพื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และความสามารถในการเปิดปิดปากใบ ซึ่งมีผลทำให้คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (Fv/Fm) ลดลง แสดงให้เห็นว่าเกลือมีผลกระทบต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เนื่องจากสภาพที่พืชได้รับเกลือ ทำให้ศักย์ของน้ำ ค่าการนำที่ปากใบ และความเต่งของใบลดลง มีผลทำให้ปากใบพืชปิดและมีพื้นที่ใบลดลง ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการนำ CO_2 มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

5.1.1.3 อัตราการคายน้ำ

เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ทำให้อัตราการคายน้ำ ของข้าวทั้ง 4 พันธุ์ลดลง ขณะที่ต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มีผลทำให้อัตราการคายน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าว พบว่า ข้าวกข6 มี อัตราการคายน้ำ สูงกว่าขาวดอกมะลิ105 กข6 และทับทิมชุมแพ เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaCl และ SiO_2 พบว่า อัตราการคายน้ำ ของต้นข้าวที่ได้รับ NaCl ร่วมกับ SiO_2 มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับต้นข้าวที่ได้รับ SiO_2 เพียงอย่างเดียว สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวX เกลือ NaCl X ซิลิกอน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 และกข6 ที่ไม่ได้รับ NaCl และได้รับ SiO_2 มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าข้าวกข15 และทับทิมชุมแพ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเกลือมีส่วนเกี่ยวข้องกับการดูดใช้น้ำของพืช จึงมีผลกระทบต่อกิจกรรมภายในต้นพืช เช่น กระบวนการลำเลียงน้ำและธาตุอาหารในพืช การรักษาความเต่งของเซลล์ และการยืดตัวของเซลล์ การที่พืชมีอัตราการคายน้ำที่ลดลงเป็นกลไกอย่างหนึ่งที่ชะลอการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ในสภาวะที่ได้รับความเครียดเกลือ

Shereen et al. (2016) ศึกษาระดับความเค็มของเกลือที่มีผลต่ออัตราการคายน้ำของข้าว (*Oryza sativa* L.) สองชนิด คือ IR55178–163 และ IR55178-104 พบว่า เมื่อข้าวได้รับความเครียดเกลือทำให้อัตราการคายน้ำลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อตอบสนองต่อความเค็ม ที่ระดับ 50 และ 75 mM แม้ว่าความสามารถในการดูดซึมของโซเดียมยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร (2544) พบว่า เกลือมีผลทำให้อัตราการคายน้ำของข้าวลดลง ซึ่งข้าวพันธุ์พอคคาลี (พันธุ์ทนเค็ม) มีอัตราการคายน้ำสูงกว่าข้าวดอ (พันธุ์พื้นเมือง) ทั้งนี้มีข้อสันนิษฐานว่าข้าวที่ทนเค็มน่าจะมีการเคลื่อนย้ายไอออนของเกลือไปสะสมที่ส่วนต้น ต่ำกว่าพันธุ์ที่ไม่ทนเค็ม

5.1.1.4 ค่าการนำที่ปากใบ

เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ พบว่า ค่าการนำที่ปากใบลดลง ตั้งแต่ที่ได้รับเกลือ 7 วันขึ้นไป สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มี ค่าการนำที่ปากใบ เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าว พบว่า ข้าวกข15 มีค่าการนำที่ปากใบมากกว่าข้าวขาวดอกมะลิ105 กข 6 และทับทิมชุมแพ สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaCl และ SiO_2 พบว่า ค่าการนำที่ปากใบข้าวของต้นข้าวที่ได้รับ NaCl ร่วมกับ SiO_2 มีค่าการนำที่ปากใบลดลง เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 Rahnama et al. (2010) รายงานว่า การให้ NaCl ที่ระดับ 100 และ 200 mM หลังจากข้าวได้รับความเครียด เกลือที่ 10 และ 20 วัน พบว่า ความสามารถในการเปิด ปิดปากใบและอัตราการเจริญเติบโตลดลง เมื่อเกลือสะสมในใบมากขึ้นจนเกิดความเป็นพิษ แสดงให้เห็นว่าค่าการนำที่ปากใบเป็นตัวบ่งชี้อัตราการเติบโตของ พืช เนื่องจากเป็นค่า ที่แสดงถึงประสิทธิภาพการนำ CO_2 เข้าไปใน substomatal ซึ่งค่าการนำที่ปากใบลดลง เมื่อค่าความต้านทานที่ปากใบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ งานทดลองของ สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร (2544) พบว่า ค่าการนำที่ปากใบของข้าวพอคคาลี ซึ่งเป็นพันธุ์ทนเค็มมาตรฐาน สูงกว่าข้าวดอ ซึ่งเป็นพันธุ์พื้นเมือง เมื่อยู่ในสภาพที่ได้รับเกลือในระดับเดียวกัน ในการทดลองนี้ พบว่า ข้าวกข15 มีค่าการนำที่ปากใบ สูงสุด น่าจะมีความสามารถในการทนเค็มได้ดีกว่าข้าวขาวดอกมะลิ105 กข6 และทับทิมชุมแพ

5.1.1.5 ปริมาณ CO_2 ใน substomatal

เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ พบว่า ปริมาณ CO_2 ใน substomatal มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มีผลทำให้ ปริมาณ CO_2 ใน substomatal เพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าว พบว่า ข้าวกข15 มี ปริมาณ CO_2 ใน substomatal สูงกว่าข้าวขาวดอกมะลิ105 ทับทิมชุมแพ และกข6 สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaCl และ SiO_2 พบว่า ปริมาณ CO_2 ใน substomatal ของต้นข้าวที่ได้รับ NaCl ร่วมกับ SiO_2 มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 และทับทิมชุมแพ ที่ไม่ได้รับ NaCl และได้รับ SiO_2 มีปริมาณ CO_2 ใน substomatal เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ ต้นข้าวที่ได้รับ NaCl และ SiO_2 สังเกตได้ว่าเมื่อมีการให้ SiO_2 แก่ต้นข้าว ทำให้ปริมาณ CO_2 ใน substomatal มีค่าเพิ่มขึ้น ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า SiO_2 มีส่วนช่วยให้ค่าความต้านทานที่ปากใบลดลง ค่าการนำที่ปากใบเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า CO_2 แพร่เข้าสู่ปากใบได้มากขึ้น ทำให้ข้าวที่ได้รับเกลือในระดับความเข้มข้นที่สูง สามารถปรับตัวได้ดีกว่าความเข้มข้นต่ำ Yeo. (1998) พบว่า อิทธิพลของเกลือที่มีปริมาณมากในสารละลาย มีผลทำให้ไปขัดขวางการดูดใช้น้ำของพืช ซึ่งเกี่ยวข้องกับ ความสัมพันธ์ของน้ำ และศักย์ของน้ำ โดยส่วนใหญ่แล้วลักษณะที่พืช

แสดงออกเมื่อได้รับความเครียดเกลือมักมีอาการคล้ายพืชขาดน้ำ ซึ่งพืชจำเป็นต้องมีกลไกในการปรับตัวทางด้านสัณฐานวิทยาและกายวิภาคเพื่อลดการสูญเสียน้ำ เช่น ปรับขนาดของปากใบให้เล็กลง ทั้งนี้การให้ SiO_2 แก่พืชจึงเป็นการช่วยเพิ่มกลไกในการเปิดปิดปากใบ รวมถึงลดความต้านทานที่ปากใบ เพื่อให้ ปริมาณ CO_2 แพร่เข้าสู่ปากใบได้มากขึ้น ในงานทดลองนี้ พบว่า การให้ SiO_2 ช่วยให้ปริมาณ CO_2 ใน substomatal เพิ่มขึ้นมากกว่าการได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว

5.1.1.6 ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์

การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นปฏิกิริยาที่นำพลังงานจาก ATP และ NADPH ที่ได้จากปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง มาใช้ในการสร้างโมเลกุลของสารอินทรีย์จากสารอนินทรีย์ เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ทำให้ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ลดลง ขณะที่ต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มีผลทำให้ ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าว พบว่า ข้าวกข6 มี ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ สูงกว่าข้าว กข15 ทับทิมชุมแพ และขาวดอกมะลิ105 สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaCl และ SiO_2 พบว่า ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ของต้นข้าวที่ได้รับ NaCl ร่วมกับ SiO_2 มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 เพียงอย่างเดียว ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน พบว่า ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ของข้าวทับทิมชุมแพ ที่ได้รับ NaCl และ SiO_2 มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 และกข6 Soukeina et al. (2015) รายงานว่า เมื่อพืชได้รับความเครียดเกลือ ทำให้เกิดความต้านทานที่ปากใบ (stomatal resistance) เป็นตัวกั้น CO_2 ในบรรยากาศให้แพร่เข้าสู่ปากใบพืชได้น้อยลง และความต้านทานที่เซลล์ mesophyll เป็นตัวกั้น CO_2 ในช่องว่างของปากใบ จึงทำให้การแพร่ของ CO_2 เข้าสู่ใบพืชลดลง เนื่องจากปากใบปิด แม้ว่า CO_2 สามารถแพร่เข้าสู่ปากใบได้ แต่การที่ CO_2 จะแพร่เข้าสู่คลอโรพลาสต์ภายในเซลล์ mesophyll ลดลง เนื่องจากเกิดความต้านทานที่ mesophyll มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง

5.1.1.7 ประสิทธิภาพในการใช้แสง

เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้แสงของข้าวลดลง ขณะที่ต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มี ประสิทธิภาพในการใช้แสง เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าว พบว่า ข้าวทับทิมชุมแพ มีประสิทธิภาพในการใช้แสงสูงกว่าข้าว กข15 กข6 และขาวดอกมะลิ105 สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaCl และ SiO_2 พบว่า ประสิทธิภาพในการใช้แส งของต้นข้าวที่ได้รับ NaCl ร่วมกับ SiO_2 มีประสิทธิภาพในการใช้แสงลดลง เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน พบว่า ประสิทธิภาพในการใช้แสงของข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 กข6 และทับทิมชุมแพ ที่ได้รับ NaCl และ SiO_2 มีค่าลดลง Netondo et al. (2004) พบว่า ความเค็มมีส่งผลต่อ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) โดยส่วนใหญ่จะเป็นผลมาจากการลดพื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และความสามารถในการเปิดปิดปากใบ ทำให้ข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือมีการใช้แสงน้อยลง นอกจากนี้ Munns and James. (2003) พบว่า กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (photosynthesis) เกิดขึ้น 2 ช่วงคือ 1) ช่วงปฏิกิริยาแสง (light reaction) เกลือมีผลทำให้พืชลดการถ่ายทอดอิเลคตรอนในช่วง cyclic และ non-cyclic จึงทำให้พืชมีการสร้างสารพลังงานสูง ATP และ NADPH ลดลง

2) ช่วงปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง (dark reaction) ผลของเกลือทำให้ลดการสร้างคาร์โบไฮเดรท และสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ตลอดจนชักนำให้กระบวนการเมทาบอลิซึมของพืชเปลี่ยนแปลงไป

5.1.1.8 ประสิทธิภาพในการใช้น้ำ

เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของข้าวลดลง เนื่องจากปริมาณเกลือที่ละลายได้สูงทำให้ค่าศักย์ของน้ำของสารละลายในดินลดลง พืชจึงดูดน้ำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง ขณะที่ต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าว พบว่า ข้าวกข15 มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงกว่าข้าวทับทิมชุมแพ กข6 และขาวดอกมะลิ105 สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaCl และ SiO_2 พบว่า ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของต้นข้าวที่ได้รับ NaCl ร่วมกับ SiO_2 มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 เพียงอย่างเดียว ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวX เกลือ NaCl X ซิลิกอน พบว่า ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของข้าวกข6 ที่ได้รับ NaCl และ SiO_2 มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 และทับทิมชุมแพ มีค่าลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อข้าวได้รับความเครียดเกลือปริมาณธาตุอาหารที่พืชได้รับสามารถซึมผ่านเนื้อเยื่อเซลล์ของรากได้ยากขึ้น ส่งผลให้การนำเข้าน้ำและธาตุอาหารเข้าสู่รากพืชได้ช้าลง และยังส่งผลไปยับยั้งการแบ่งเซลล์ รวมถึงการยืดตัวของเซลล์ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง

5.1.1.9 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าว

เก็บใบข้าวที่ 14 วัน ซึ่งเป็นใบเดียวกับที่วัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ และอัตราการคายน้ำ เป็นช่วงที่ข้าวแสดงความเครียดเกลือได้ชัดเจน ผลการทดลองพบว่า ความเครียดเกลือทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรตินอยด์ของใบข้าวลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนพบว่า มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับซิลิกอน ส่วนปริมาณแคโรตินอยด์เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับซิลิกอน สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์พบในข้าวกข6 สูงกว่าข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 และทับทิมชุมแพ ส่วนแคโรตินอยด์พบสูงสุดในข้าวกข15 รองลงมาคือ ทับทิมชุมแพ กข6 และขาวดอกมะลิ105 ตามลำดับ Mohammad. (2010) ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าว พบว่า โซเดียมคลอไรด์ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ในต้นกล้าที่ได้รับเกลือ ระดับต่างๆ ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์บี ลดลงมากสุดในต้นกล้าที่ได้รับเกลือ 200 mM อัตราส่วนคลอโรฟิลล์เอต่อบี ลดลงถึง 44.1 และ 27.3% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับสภาพปกติ และความเค็มมีผลกระทบต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นกล้าข้าวที่ได้รับเกลือ 25, 50, 100 และ 200 mM

5.1.2 ผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ

5.1.2.1 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น

ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ ที่ 7 วัน ทำให้น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้นลดลง ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 1 4 และ 21 วัน ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนที่ 14 วัน พบว่ามีน้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น และราก เพิ่มขึ้น และอัตราส่วนรากต่อต้นลดลง สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนที่ 7 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้นเพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 21 วัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ พบว่า ข้าวกข 15 มีน้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น เพิ่มขึ้น รองลงมาคือข้าวทับทิมชุมแพ กข 6 และขาวดอกมะลิ 105 สำหรับที่ 14 และ 21 วัน น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น และราก เพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน ส่วนอัตราส่วนรากต่อต้นลดลง สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน ที่ 7 วัน พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในน้ำหนักแห้งต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น ยกเว้นน้ำหนักแห้งใบ ซึ่งข้าวกข15 ที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือทำให้มีน้ำหนักแห้ง ใบ ต้น ส่วนต้น และรากเพิ่มขึ้น รองลงมาคือขาวดอกมะลิ105 ทับทิมชุมแพ และกข6 ธนากร แสงสง่า และคณะ (2560) ศึกษาผลของความเครียดเกลือต่อการงอกและการเติบโตในระยะต้นกล้าของข้าว ที่ระดับความเค็ม 6 ระดับ (0, 4, 8, 12, 16 และ 20 dS m^{-1}) ในข้าว 8 สายพันธุ์ พบว่า ความเค็มมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การงอก ความเร็วการงอกและพลังงานการงอกลดลง และส่งผลให้ความยาวและน้ำหนักแห้งรากและยอดลดลงอย่างมากเมื่อต้นข้าวได้รับความเค็มเพิ่มมากขึ้น

5.1.2.2 จำนวนหน่อต่อต้น

การแตกหน่อของ ข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ ทำให้จำนวนหน่อต่อต้น ลดลง 19 เปอร์เซ็นต์ สำหรับที่ 14 และ 21 วัน พบแนวโน้มลดลง ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน 14 และ 21 วัน ทำให้จำนวนหน่อต่อต้น เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 14 วัน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และทับทิมชุมแพ มีจำนวนหน่อต่อต้นสูงกว่าข้าวกข 15 และกข6 สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือที่ 7 และ 14 วัน มีการแตกหน่อเพิ่มขึ้น ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวX เกลือ NaCl X ซิลิกอน ที่ 7 และ 14 วัน พบว่าไม่แตกต่างกัน จากการศึกษาของ Soukeina et al. (2015) ถึงผลของระดับความเค็มที่แตกต่างกัน ของเกลือ NaCl ต่อความงอก การแตกกอ และการเจริญเติบโตในส่วนต่างๆ ของต้นกล้าข้าว 3 สายพันธุ์ที่ปลูกในมอริเตเนีย พบว่า พันธุ์ Sahel 108 ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือมีการตอบสนองต่อการงอกดีขึ้น ส่วนพันธุ์ Sahel 201 และ IR28 มีค่าดัชนีความเครียดสูงที่สุด เป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงความอ่อนแอต่อความเค็ม ฉะนั้น สายพันธุ์ Sahel 108 จึงเป็นพันธุ์ที่มีคุณภาพในการตอบสนองที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ NaCl 100 mM ได้ดีสุด

5.1.2.3 ความสูงของต้นข้าว

เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ พบว่า ความสูงของต้นข้าวลดลง ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน กลับมีความสูงเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าว พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีความสูงมากกว่าพันธุ์ ทับทิมชุมแพ กข15 และกข6 ขณะที่ต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือที่ 7 วัน ไม่แตกต่างกัน สำหรับต้นข้าวที่ได้รับ NaCl ร่วมกับ SiO_2 มีความสูง

ลดลง เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวX เกลือ NaCl X ซิลิกอน พบว่า ข้าวกข15 ได้รับ NaCl และ SiO_2 มีความสูงเพิ่มขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเค็มมีผลทำให้ ความสูงของต้นข้าว จำนวนหน่อต่อ พื้นที่ใบ ตลอดจนน้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าวลดลง

5.1.2.4 พื้นที่ใบ

เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ทำให้มีพื้นที่ใบลดลง ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนกลับมีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า NaCl 50 mM ทำให้ต้นข้าวมีพื้นที่ใบลดลง ส่วน SiO_2 5 mM ทำให้พื้นที่ใบเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าว พบว่า พื้นที่ใบของข้าวกข15 มีมากกว่าข้าวขาวดอกมะลิ105 ทับทิมชุมแพ และ กข ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X NaCl X ซิลิกอน พบว่า ข้าวกข15 มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น สูงกว่าข้าว ขาวดอกมะลิ 105 ทับทิมชุมแพ และกข6 ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่า ข้าวกข15 มีศักยภาพในการปรับตัวได้ดีกว่าข้าวพันธุ์อื่น

5.2 การวิเคราะห์การเจริญเติบโต

5.2.1 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์

จากการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, RGR) ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ 7-14 และ 14-21 วัน ทำให้มี RGR ลดลง ในขณะที่ 14-21 วัน ไม่แตกต่างกัน สำหรับข้าวที่ได้รับ ซิลิกอน ทำให้มี RGR ที่ 7-14 วัน เพิ่มขึ้น ส่วน 14-21 วัน มี RGR ลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7-14 วัน พบว่า ข้าวกข15 มี RGR สูงสุด รองลงมาคือ ข้าวทับทิมชุมแพ ขาวดอกมะลิ105 และกข6 ส่วนที่ 14-21 วัน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 และทับทิมชุมแพมี RGR สูงสุด รองลงมาคือ ข้าวกข6 และกข15 สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaCl และ SiO_2 ที่ 7-14 และ 14-21 วัน ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน ที่ 7-14 และ 14-21 วัน ไม่แตกต่างกัน โดยพบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 มีแนวโน้มของ RGR เพิ่มขึ้น รองลงมาคือข้าวกข6 ทับทิมชุมแพ และกข15

5.2.2 พื้นที่ใบจำเพาะ

จากการศึกษาพื้นที่ใบจำเพาะ (Specific Leaf Area, SLA) ของต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือทำให้ SLA ของข้าวลดลง สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มี SLA เพิ่มขึ้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ 7 วัน ส่วนที่ 14 และ 21 วัน มี SLA ลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 วัน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 มี SLA สูงสุด รองลงมาคือ ข้าวกข15 ทับทิมชุมแพ และกข6 ส่วนที่ 14 และ 21 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกัน สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaCl และ SiO_2 ที่ 7 และ 14 วัน พบว่า SLA ของต้นข้าวที่ได้รับ NaCl ร่วมกับ SiO_2 มี SLA น้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 ส่วนที่ 21 วัน ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณา ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน ที่ 14 วัน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 มี SLA รองลงมาคือ ข้าวกข6 ทับทิมชุมแพ และกข 15 ส่วนที่ 21 วัน ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับที่ 14 วัน

5.3 ผลการทดลองที่ 2 ต้นข้าวอายุ 30 วัน

5.3.1 ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ

5.3.1.1 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (chlorophyll fluorescence)

ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือทำให้คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (Fv/Fm) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวปกติ สำหรับที่ 14 และ 21 วัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 14 วัน พบว่าค่า Fv/Fm ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และทับทิมชุมแพ มีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าว กข15 และ กข6 สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaCl และ SiO_2 ที่ 7 และ 14 วัน มี Fv/Fm ไม่แตกต่างกัน โดยพบแนวโน้มว่า ต้นข้าวได้รับ NaCl ร่วมกับ SiO_2 มี Fv/Fm น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวปกติและได้รับ SiO_2 ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน ที่ 7, 14 และ 21 วัน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับ NaCl และ SiO_2 มี Fv/Fm เพิ่มขึ้น ส่วนข้าว กข 15 ทับทิมชุมแพ และ กข 6 มี Fv/Fm ไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีศักยภาพในการปรับตัวได้ดีกว่าข้าวพันธุ์อื่น ซึ่งพิจารณาจาก ปริมาณคลอโรฟิลล์ และแคโรตินอยด์ ที่ 14 วัน Baker. (1991) พบว่าระบบแสงที่ 2 (PS II) มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดย Fv/Fm เป็นตัวชี้วัดที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานแสงของใบพืชซึ่งปกติค่า Fv/Fm นี้ลดลงเมื่อพืชเข้าสู่สภาวะเสื่อมชรา (senescence) การศึกษากิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยการวัด คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ โดยค่า Fv/Fm เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบแสงที่2 (efficiency of photosystem II, PS II) นั้น เนื่องจากกระบวนการดังกล่าว เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในกระบวนการของปฏิกิริ ยาแสง (light reaction) ซึ่งเกิดขึ้นในชั้นเมมเบรนไทลาคอยด์ ในการสร้างพลังงานให้พืชสำหรับใช้ในกระบวนการปฏิกิริ ยามืด (dark reaction) จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าภาวะที่พืชได้รับความเครียดเกลือทำให้ค่า Fv/Fm ลดลง แสดงว่าความเครียดเกลือมีผลโดยตรงต่อความเสียหายที่ระบบแสงที่ 2

5.3.1.2 อัตราการคายน้ำ (E) และความต้านทานปากใบ (Rs)

ในการวัดอัตราการคายน้ำ (E) และความต้านทานปากใบข้าว (Rs) พบว่า ที่ 7, 14 และ 21 วัน ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือมีอัตราการคายน้ำลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ ส่วนค่าความต้านทานที่ปากใบข้าวมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนมีอัตราการคายน้ำลดลง ที่ 7, 14 และ 21 วัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 และ14 วัน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 มีอัตราการคายน้ำสูงสุด รองลงมาคือ กข15 กข6 และทับทิมชุมแพ ตามลำดับ ส่วนที่ 21 วัน พบว่า ข้าวกข 15 มีอัตราการคายน้ำสูงสุด รองลงมาคือ กข6 ทับทิมชุมแพ และขาวดอกมะลิ 105 ตามลำดับ สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน ที่ 7, 14 และ 21 วัน พบว่า E ที่ 7 วัน ข้าวขาวดอกมะลิ105 และ กข15 ที่ไม่ได้รับ NaCl และได้รับ SiO_2 มี E เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับ NaCl และ SiO_2 ส่วนที่ 14 และ 21 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่า Rs มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยแสดงค่าผกผันกับค่า E กล่าวคือ ที่ 7 วัน ข้าวขาวดอกมะลิ105 และ กข15 ที่ไม่ได้รับ NaCl และได้รับ SiO_2 มี E ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับ NaCl และ SiO_2 Munns and James. (2003) รายงานว่าค่าการนำปากใบเป็นส่วนสำคัญในการคัดเลือกพืชทนเค็ม สำหรับงานทดลองนี้พบว่า ต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนทำให้อัตราการคายน้ำลดลง ซึ่งอาจเป็นกลไกในการควบคุมการสูญเสียน้ำจากต้นพืชเนื่องจากการสะสม

silica knob ที่ใบพืช (สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร และคณะ, 2552) ภาวะความเครียดเกลือ มีผลทำให้ต้นข้าวมีอัตราการคายน้ำลดลง เนื่องจากค่าความต้านทานที่ปากใบเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า พืชสร้างกลไกในการควบคุมการปิดเปิดปากใบ นอกจากนี้ Flowers and Yeo. (1981) พบว่า ค่าการนำปากใบและอัตราการคายน้ำเป็นกลไกที่สำคัญในการปรับตัวของข้าว ซึ่ง Bayuelo-Jimenez et al. (2003) รายงานว่า การลำเลียงคาร์บอนเข้าสู่ใบพืชลดลงเกิดจากการลดค่าการนำปากใบ (stomata conductance)

5.3.1.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าว

การทดลองมีการเก็บใบข้าวที่ 14 วัน ซึ่งเป็นใบเดียวกันกับที่วัด คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ และอัตราการคายน้ำ เป็นช่วงที่ข้าวแสดงความเครียดเกลือได้ชัดเจน ผลการทดลองพบว่า ความเครียดเกลือทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรตินอยด์ของใบข้าวลดลง 40-42 และ 38 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนพบว่า มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม เพิ่มขึ้น 20-40 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับซิลิกอน ส่วนปริมาณแคโรตินอยด์ลดลง 38 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับซิลิกอน สำหรับข้าวขาวดอกมะลิ105 ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรตินอยด์ สูงกว่า ข้าวกข15 ทับทิมชุมแพ และ กข6 ตามลำดับ Parida and Das. (2005) รายงานว่า ความเครียดเกลือทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงโดยทำให้เกิดอาการใบเหลือง ซึ่ง Rao and Reddy. (1981) อธิบายว่าความเครียดเกลือที่ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมลดลงอาจเกิดจากการสลายตัวของเอ็นไซม์ที่ใช้สังเคราะห์คลอโรฟิลล์ รวมไปถึงการทำความเสียหายต่อโครงสร้างคลอโรพลาส นอกจากนี้ Ali et al. (2004) พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของพืชที่ลดลงจากภาวะความเครียดเกลือ อาจเกิดจากการสะสมเกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้ขัดขวางการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานทดลองในครั้งนี้ ส่วนสภาวะที่พืชได้รับซิลิกอนพบแนวโน้มของปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นแต่ปริมาณแคโรตินอยด์ลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณคลอโรฟิลล์มีความแตกต่างกันตามพันธุ์ข้าวที่รายงานข้างต้น

5.3.2 ผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ

5.3.2.1 น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น

ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ ที่ 7 วัน ทำให้น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น ลดลง ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 1 4 และ 21 วัน ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนที่ 14 วัน พบว่ามีน้ำหนักแห้งใบ ต้น และส่วนต้น เพิ่มขึ้น และ อัตราส่วนรากต่อต้นลดลง ส่วนน้ำหนักแห้งราก พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนที่ 7 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งใบ ต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น เพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 21 วัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 มีน้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น เพิ่มขึ้น รองลงมาคือข้าว กข 15 กข6 และทับทิมชุมแพ ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 1 4 วัน ส่วนที่ 21 วัน พบว่า น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้น ของข้าว ทับทิมชุมแพ มีค่าสูงสุด สำหรับ ข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 และ กข6 เพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน

ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน ที่ 7 วัน พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในน้ำหนักแห้งต้น ส่วนต้น และราก ยกเว้น น้ำหนักแห้งใบ และอัตราส่วนรากต่อต้น ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือทำให้มีน้ำหนักแห้งส่วนต้น ราก เพิ่มขึ้น รองลงมาคือข้าว กข15 กข6 และทับทิมชุมแพ ที่ 14 วัน ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับที่ 21 วัน Alam et al. (2004) พบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเค็ม 12.5 dS/m ทำให้ใบแก่ของข้าวตาย ในการทดลองครั้งนี้พบว่าที่ระดับ NaCl 50 mM เทียบเท่ากับ 5 dS/m ซึ่งเป็นความเข้มข้นวิกฤติ ที่มีผลต่อการลดการเจริญเติบโตของข้าว โดยทำให้ น้ำหนักแห้งใบ ต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าวลดลง โดยเฉพาะข้าวพันธุ์ กข15 กข6 และทับทิมชุมแพ มีน้ำหนักแห้งใบ ต้น ราก และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าวลดลง ตามลำดับ Flowers et al. (1981) รายงาน ว่า สภาวะที่ข้าวได้รับความเครียดเกลือ 50 mM พบ NaCl สะสมใน apoplast ของใบจากการคำนวณถึง 600 mM ซึ่งเหตุผลสำคัญที่ต้นข้าวได้รับความเสียหายจากความเครียดเกลือ ทำให้พืชขาดน้ำเนื่องจาก การสะสมเกลือ (Oertli hypothesis) ซึ่งสอดคล้องตามสมมติฐานของ Oertli. (1968) ที่กล่าวไว้ว่า การยับยั้งการเติบโตและการเกิดใบตายของพืชจากการได้รับความเครียดเกลือ เกิดจากการสะสมเกลือใน apoplast ของใบ เป็นสาเหตุทำให้ใบสูญเสียน้ำและ solute potential ในระดับเซลล์

5.3.2.2 จำนวนหน่อต่อต้น

การแตกหน่อของ ข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ ทำให้ จำนวนหน่อต่อต้น ลดลง สำหรับที่ 14 และ 21 วัน พบแนวโน้มลดลง ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน 14 วัน ทำให้จำนวนหน่อต่อต้นเพิ่มขึ้น แต่ที่ 7 และ 21 วัน พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 14 วัน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข15 มีจำนวนหน่อต่อต้นสูงกว่าข้าวกข 6 และทับทิมชุมแพ สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือที่ 7 และ 14 วัน มีการแตกกอเพิ่มขึ้น ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน ที่ 7 และ 14 วัน พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือทำให้การแตกกอเพิ่มขึ้น ส่วนข้าวกข6 กข15 และทับทิมชุมแพ มีจำนวนหน่อต่อต้นไปในทิศทางเดียวกัน งานทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ภาวะความเครียดเกลือทำให้เกิดความเสียหายต่อการแตกหน่อของต้นข้าว สอดคล้องกับงานทดลองของ ฉันทนา พรมจันทร์ (2549) พบว่า เมื่อต้นข้าวได้รับ NaCl 7 วันขึ้นไป ทำให้จำนวนหน่อของข้าวลดลงตามความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ 28 วัน พบว่า ต้นข้าวมีจำนวนหน่อต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาในการได้รับ NaCl ทำให้การแตกหน่อของข้าวลดลง

5.3.2.3 ความสูงของต้นข้าว

ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ 7, 14 และ 21 วัน พบว่า ความสูงของต้นข้าวลดลง ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนที่ 7, 14 และ 21 วัน พบว่า มีความสูงเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ข้าวทับทิมชุมแพ และข้าวกข6 มีความสูงมากสุด รองลงมาคือ ขาวดอกมะลิ 105 และกข15 ตามลำดับ ส่วนที่ 14 และ 21 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกัน สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนในภาวะความเครียดเกลือที่ 7, 14 และ 21 วัน พบว่า ความสูงของต้นข้าว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ โดยต้นข้าวที่ได้รับ NaCl ร่วมกับ SiO_2 มีความสูงน้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์

ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน ที่ 7, 14 และ 21 วัน พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยที่ข้าวกข15 ได้รับ NaCl และ SiO_2 มีความสูงเพิ่มขึ้น รองลงมาคือ ข้าวขาวดอกมะลิ105 ทับทิมชุมแพ และกข6 ตามลำดับ

5.3.2.4 พื้นที่ใบ

ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ 7 วัน ทำให้พื้นที่ใบลดลง ส่วนที่ 14 และ 21 วัน ส่วนต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอนที่ 14 วัน มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า NaCl 50 mM ทำให้ต้นข้าวมีพื้นที่ใบลดลง ส่วน SiO_2 5 mM ทำให้พื้นที่ใบเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 วัน พบว่า พื้นที่ใบข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่าสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ รองลงมาคือ ข้าวทับทิมชุมแพ กข6 และกข ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับ ที่ 21 วัน ที่ 14 วัน ข้าวทับทิมชุมแพ มีพื้นที่ใบมากที่สุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ รองลงมาคือ ข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 และ กข6 ตามลำดับ ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มี พื้นที่ใบเพิ่มขึ้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ รองลงมาคือ ข้าวทับทิมชุมแพ กข6 และกข15 ส่วนที่ 21 วัน ผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับที่ 14 วัน ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีศักยภาพในการปรับตัวได้ดีกว่าข้าวพันธุ์อื่น สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร และคณะ (25 52) ศึกษาอิทธิพลของเกลือต่อการเจริญเติบโตของข้าว พบว่า ความเครียดเกลือจำกัดการเจริญเติบโตของข้าว สาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาและลักษณะทางสรีรวิทยา โดยการลดลงของพื้นที่ใบเป็นตัวจำกัดประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองนี้

5.4 การวิเคราะห์การเจริญเติบโต

5.4.1 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์

จากการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, RGR) ของต้นข้าวที่ได้รับความเครียดเกลือ 7-14 และ 14-21 วัน ทำให้มี RGR ลดลง สำหรับข้าวที่ได้รับซิลิกอน ทำให้มี RGR ที่ 7-14 วัน เพิ่มขึ้น ส่วน 14-21 วัน มี RGR ลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7-14 วัน พบว่า ข้าวกข15 มี RGR สูงสุด รองลงมาคือ ข้าวขาวดอกมะลิ105 ทับทิมชุมแพ และกข6 ส่วนที่ 14-21 วัน พบว่า ข้าวกข6 มี RGR สูงสุด รองลงมาคือ ข้าวทับทิมชุมแพ กข15 และขาวดอกมะลิ105 สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaCl และ SiO_2 ที่ 7-14 วัน โดยต้นข้าวที่ได้รับ NaCl ร่วมกับ SiO_2 มี RGR น้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 ส่วน 14-21 วัน เมื่อพิจารณา ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน ที่ 7-14 และ 14-21 วัน พบว่า ที่ 14-21 วัน มีแนวโน้มของ RGR ลดลง

5.4.2 พื้นที่ใบจำเพาะ

จากการศึกษา พื้นที่ใบจำเพาะ (Specific Leaf Area, SLA) ของต้นข้าว ที่ได้รับความเครียดเกลือ ทำให้ SLA ของข้าวลดลง สำหรับต้นข้าวที่ได้รับซิลิกอน มี SLA เพิ่มขึ้น ส่วนที่ 14 และ 21 วัน มี SLA ลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวที่ 7 วัน พบว่า ข้าวกข6 มี SLA สูงสุด รองลงมาคือ ข้าวทับทิมชุมแพ ขาวดอกมะลิ105 และ ข้าวกข15 ส่วนที่ 14 และ 21 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกัน สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง NaCl และ SiO_2 ที่ 7 วัน พบว่า SLA ของต้นข้าวที่

ได้รับ NaCl ร่วมกับ SiO_2 มี SLA น้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวปกติที่ได้รับ SiO_2 ที่ 14 วัน แสดงผลในทิศทางเดียวกับ 7 วัน ส่วนที่ 21 วัน เมื่อพิจารณา ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว X เกลือ NaCl X ซิลิกอน ที่ 14 วัน พบว่า ข้าวกข6 มี SLA เพิ่มขึ้น รองลงมาคือ ข้าวขาวดอกมะลิ105 ทับทิมชุมแพ และกข15

บทที่ 6
สรุป

6.1ผลการทดลองที่ 1 ต้นข้าวอายุ 14วัน

ความเครียดเกลือมีผลทำให้ลักษณะสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อต้นข้าวได้รับซิลิกอนทำให้ทุกตัวแปรมีผลเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากตัวแปรที่ศึกษา พบว่า ข้าวกข6 มีการปรับตัวทนเค็มได้ดีกว่าข้าวขาวดอกมะลิ105 กข15 และทับทิมชุมแพ

6.1 ผลการทดลองที่ 2 ต้นข้าวอายุ 30 วัน

ความเครียดเกลือมีผลทำให้ลักษณะสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อต้นข้าวได้รับซิลิกอนทำให้ทุกตัวแปรมีผลเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากตัวแปรที่ศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ105 สามารถทนเค็ม ได้ดีกว่าข้าวพันธุ์กข15 ทับทิมชุมแพ และ กข6

เมื่อเปรียบเทียบ ลักษณะสรีรวิทยาและการเจริญเติบโต ของต้นข้าวทั้งสองระยะ จะเห็นได้ว่า ความเครียดเกลือมีผลทำให้ข้าวในระยะต้นกล้า มีความอ่อนแอต่อความเค็ม โดยที่ข้าวพันธุ์กข6 มีการปรับตัวทนเค็มได้ดีกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 กข15 และทับทิมชุมแพ ขณะที่ระยะแตกกอสามารถปรับตัวทนเค็มได้ดี กว่าระยะต้นกล้าโดยที่ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ปรับตัวทนเค็มได้ดีกว่าข้าวกข 15 ทับทิมชุมแพ และกข6

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว.“ข้าวขาวดอกมะลิ105”, ใน **การประชุมวิชาการกลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคเหนือตอนบนและภาคเหนือตอนล่าง**. น. 22-28. เชียงใหม่:กลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคเหนือตอนบน และภาคเหนือตอนล่าง, 2559.

จันทร์ธิราดวงจันทร์และศิริพรรณบรรหาร. “ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบปริมาณโพรลีนและกิจกรรมของเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทสในถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill)”,**วารสารวิทยาศาสตร์คชสาส์น**. 38(2): 3-16; กรกฎาคม-ธันวาคม,2559.

จีรนันท์นาสะอ้านและคณะ. “ผลของการแช่เมล็ดก่อนเพาะต่อสรีรวิทยาบางประการของข้าวในสภาพเครียดเกลือ”, **วารสารแก่นเกษตร**. 45(1): 1-8; กรกฎาคม, 2560.

ฉันทนา พรมจันทร์**. อิทธิพลของซิลิกอนและโซเดียมคลอไรด์ต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตของข้าว (*Oryzasativa* L.).** วิทยานิพนธ์ ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต**:** มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2549.

ชอบ คณะฤกษ์ และจินตนา หัสวายุกุล. “ผลการวิจัยการใช้ซิลิกอนในการเกษตร”, **วารสารเคหการเกษตร.** 31(11): 190-197;พฤศจิกายน,2550**.**

ธนภูมิศิริงาม. “ลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าวที่ตอบสนองต่อสภาวะความเค็ม”,**วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 25(6): 2-14; พฤศจิกายน – ธันวาคม, 2560.

ธนากรแสงสง่า, ชโลธรอู่แก้วและกฤษฎารอดสันเทียะ. “ผลของความเครียดเกลือต่อการงอกและการเติบโตในระยะต้นกล้าของข้าว ”, **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** . 25(1): 92-101; มกราคม – มีนาคม, 2560.

ธีระรัตน์อุบลรัตน์, เกศราภรณ์จนัทร์ประเสริฐและวาสนาพงษ์ประยรู. “การตอบสนองด้านสรีรวิทยาและจัดกลุ่มข้าวหอมพันธุ์ไทย4 พันธุ์ต่อภาวะเครียดจากความเค็มจากเกลือโซเดียมคลอไรด์”, **วารสารวิทยาศาสตร์บรูพา**. 22(2): 235-240; พฤษภาคม – สิงหาคม , 2560.

นริสาพิมพ์เสนและกัลยากองเงิน. “สรีรวิทยาของพืชในพื้นที่ดินเค็มจัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ”, ใน **การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษา ระดับชาติและนานาชาติ**.น.2-10. ขอนก่อน. อาคารพจน์ สารสิน มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2560.

นภวรรณมัณยานนท์และศิริพรรณบรรหาร. “อิทธิพลของความเค็มต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merr.)พันธุ์นครสวรรค์1 และพันธุ์เชียงใหม่60”, **วารสารวิชาการเกษตร**. 34(1): 54-58; มกราคม–เมษายน,2559.

ปัทมา ทองช้อน, จีราภรณ์ อินทสาร, และสาวิกา กอนแสง. “ผลของซิลิกอนและไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวในระยะแตกกอ”, **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**. 47(2)(พิเศษ): 409-412; พฤษภาคม – สิงหาคม, 2559.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

ปานใจ สารพันโชติวิทยาและคณะ.**รายงานวิจัยการศึกษา วิจัย พัฒนาพื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ(ระยะที่2: ขยายผล) จังหวัดร้อยเอ็ด.**กรุงเทพมหานคร: สำนักทรัพยากรแร่กรมทรัพยากรธรณี, 2556.

ปิยรัตน์ศิริเรือง, วิภาวรรณท้ายเมืองและธงชัยมาลา. “ผลของการใช้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ในดินเค็ม”, **วารสารแก่นเกษตร**. 45(1): 991-994; กรกฎาคม, 2560.

ปรียานุชลาขุนทด และคณะ.“ผลของการขาดน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำในใบข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่โครโมโซม9 บางส่วนถูกแทนที่ด้วยยีนทนแล้ง”, **วารสารวิจัยมข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา)**. 15(3): 679-681; กรกฎาคม, 2558.

พนิตา ชุติมานุกูลและคณะ.“การตอบสนองต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวจากประชากร CSSL ในภาวะเครียดที่เกิดจากความเค็ม”, **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**. 44(2): 177-180; เมษายน, 2556.

พจนาสีมันตร,อัญมณีอาวุชานนท์,อนุวัฒน์อ่อนทะ,และเกียรติภูมิจุลนิพิฐวงษ์. “การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์และคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ของมะเขือในสภาวะเค็ม”, **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**. 13(1): 4-23;เมษายน, 2557.

ยงยุทธ โอสถสภา. **ธาตุอาหารพืช**. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542.

วิชิตพลมีแก้ว,ณัฐพลขันธปราบและสุรศักดิ์ละลอกน้ำ. “การปรับตัวของพืชภายใต้ภาวะที่มีความเค็ม”, **วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์.** 10(2): 28-35; เมษายน,2553.

สุวัฒน์ธีระพงษ์ธนากร. **การเคลื่อนย้ายและสะสมเกลือในต้นข้าว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2533.

สุวัฒน์ธีระพงษ์ธนากร. “สรีรวิทยาพืชในสภาวะความเครียดเกลือ ”, ใน**เอกสารประกอบการสอนวิชาสรีรวิทยาการผลิตพืชไร่** . ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ :มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี , 2544.

สุวัฒน์ธีระพงษ์ธนากร และ คณะ. “การเปรียบเทียบลักษณะสัณฐานวิทยา กายวิภาคและสรีรวิทยาระหว่างพันธุ์ข้าวทนเค็ม และพันธุ์ข้าวพื้นเมืองในสภาวะความเครียดโซเดียมคลอไรด์”, **วารสารวิชาการ ม.อบ.** 11(4): 1-10; กรกฎาคม, 2552.

อรัญญา พิมพ์มงคล , สุวัฒน์ธีระพงษ์ธนากร และแก้ว อุดมศิริชาคร . **รายงานการวิจัยการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคของข้าวพันธุ์ทนเค็มกับพันธุ์ไม่ทนเค็ม**. คณะวิทยาศาสตร์: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2544.

อรุณียูวะนิยม, **เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง ดินเค็ม.**กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2544.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

อัจจภัทร พหลโยธิน, **การพัฒนาศูนย์รวมความรู้สำหรับศูนย์ความเป็นเลิศแห่งนวัตกรรมข้าว-แนวทางการออกแบบฐานข้อมูล.**วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2557.

Akbarimoghaddam, H.and et al."Salinity effects onseedgermination and seedling growth of bread wheat cultivars", **Journal of Science.** 9(1): 43-50; January, 2011.

Akram, M.and et al."Anatomical attributes ofdifferent wheat (*Triticumaestivum* L.) accession/varieties to NaCl salinity", **Journal of Agri. and Biol**. 4(1): 166-168; April, 2002.

Alam, M.Z.and et al."Effect of salinity on growth of some modern rice cultivars", **Journal of Agron**. 3(1): 1-10; September, 2004.

Ali, Y. and et al."Effect of salinity on chlorophyllconcentration, leaf area, yield and yield components of rice genotypes grown under saline environment", **Journal of Enviro.Sci. & Techno**. 1(3): 221-225; December, 2004.

Apse, M.P. and Blumwald, E.**Na^+ transport in plants**.FEBS Letters, 581: 2247-2254, 2007.

Baker, N.R. "Possible role of photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis", **Journal ofPhysiol. Plant**. 8(1): 563-570;February, 1991.

Bano, A. and Fatima, M. "Salt tolerance in *Zea mays* (L.)following inoculation with *Rhizobium* and *Pseudomonas*", **Journal of Biology and Fertility of Soils**. 45(4): 405–413; January, 2009.

Baylis, A. D.and et al."Effects of silicon on thetoxicity of aluminum to soybean",**Journal ofSoil Science and Plant Analysis**. 25(10): 257-546; April, 1994.

Bayuelo-Jimenez. J., Debouck, D.G. and Lynch, J.P. "Growth, gas exchange, water relations and ion composition of Phaseolus species grown under saline conditions",**Field Crop Res.**80(1): 207–222; January, 2003.

DeEll, J.R.and et al."Applications of chlorophyllfluorescencetechniques in postharvestphysiology", **Hort. Re**. 23(1): 69-107;February, 1999.

Dolatabadian, A., Modarressanavy, S.A.M. and Ghanati, F. "Effect of salinity on growth,xylem structure and analomical characteristic of soybean", **NotulaeScientiaBiologicae**. 3(1): 41-45; January, 2011.

El-Zanaty, A.A. El-Nour, A. and El-Fouly, M.M. "Modern methods for counteracting salinity stress: A review", **International Conf. on Water Resources & Arid**

Environment. 42(2): 585-597;January, 2006.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

Epstein, E.“Silicon. Ann. Rev. Plant Physiol”,**Journal ofPlant Molecular Biology**. 50(1) : 641-664; June,1999.

Flowers, T.J., Troke, P.F., and Yeo, A. R. “The mechanism of salt tolerance in alophytes”, **Journal ofPlant Physiol**.28(1): 189-212; December, 1977.

Flowers, T.J andYeo, A. R.“Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice (*Oryza sativa* L.)varieties”, 88(2): 363-373; July, 1981.

Glenn, E.P., Brown, J.J. and Blumwald, E. “Salt tolerance and crop potential of halophytes”,**Journal ofPlant Science**.18:(2): 227-255, April, 1999.

Godfray, H. C. J. and et al.“Food security: the challenge of feeding 9 billion people”, **Science.** 327(5967): 812–818; February, 2010.

Gomez, K.A. and Gomez,A.A.**Statistical Procedures for Agricultural Research**.Singapore:John Wiley & Sons,1984.

Gong, H. J., Randall, D. P., and Flowers, T. J. “Silicon deposition in the root reduces sodiumuptake in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings by reducing bypass flow”, **Plant Cell Environment.** 29(10): 1970–1979; October,2006.

Greenway, A. and Munns, R. “Mechanism of salt tolerance in non-halophytes”, **PlantPhysiology.** 31: 149-190; June, 1980.

Grigore, M.N. and Toma, C. “A Proposal for a new halophytes classification based onintegrative anatomy observations”,**MuzeulOlteniei Craiova**. 26(1): 45-50; April, 2012.

Hoang, M. L.and et al.“Development of salinity tolerance in rice by constitutive-overexpression of genes involved in the regulation of programmed cell death”, **Journal ofPlant Science**. 6(175): 2-14;March, 2016.

Hossain, K., Takatsugu, H. and Shuichi, M. “Effects of silicate materials on growth and grain yield of rice plants growth in clay loam and sandy loam soils”, **Jourual of Plant Nutrition**. 24(1): 1-13;December, 2001.

Hu, Y. and Schmidhalter, U.“Limitation of salt stress to plant growth”, In **Plant Toxicology.**Hock B.,Elstner C.F., Editors.New York:Marcel Dekker Inc., 2002.

Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M. and Foolad, M.R. “Gene expression profiling of plants under saltstress”, **Journal of Plant Sciences**. 30(5): 435–458; September, 2011.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

Inanaga, S. Higuchi, Y. and Chishaki, N. "Effect of silicon application on reproductive growth of rice plant", **Soil Science and Plant Nutrition.** 48(3): 341-345; February, 2002.

Kafi,M. "The effects of salinity and light on photosynthesis, respiration and chlorophyll fluorescence in salt-tolerant and salt-sensitive wheat (*Triticumaestivum* L.) cultivars", **Journal ofAgr. Sci. Tech.** 11(2): 535-547; February, 2009.

Khan, MSA.and et al."Effect of sodiumchlorideon growth, photosynthesis and mineral ions accumulation of different types of rice (*OryzaSativa* L.)", **Journal of Agronomy and Crop Science**. 42(3):179:149 -161;Jun, 1997.

Kiegle, E.and et al."Cell-type-specificcalcium responses to drought, salt and cold in the *Arabidopsis* root", **Journal of PlantSoil.**23(1): 267-278;March, 2000.

Laloknam, S.and et al."Betaine, glycerol, and proline enhance seed germination and plant growth of Mung bean (*Vignaradiata* L.) underhight salinity", In **The 34th Congress on Science and Technology of Thailand.**P.254-255. Bangkok:Queen Sirikit National Convention Center, 2008.

Limpinuntana, V. **Physiological aspects of adaptation of rice(*Oryza Sativa* L.)and barley (*Hordeumvulgare*L.)to low O_2 concentrations in the root environment**.Doctor's Thesis: University of Western Australia, 1978.

Ma H.and et al."Effect of salt stress on morpho-physiology, vegetative growth and yield of rice", **Journal of Environmental Biology**. 10(6): 318-320; August, 2014.

Mauad, M.and et al."Nitrogen and siliconfertilizationof uptake rice", **Scientia Agricola.**60(4): 761- 765; December, 2003.

Mohammad, R. "Affect of NaCl on some physiological parameters of rice", **Journal ofBiological Sciences.** 1(1): 06-16; June, 2010.

Munns, R. "Comparative physiology of salt and water stress", **Journal of Plant Cell Environment.**25(2): 239–250; February, 2002.

Munns, R. and James, R. A. "Screening methods for salinity tolerance: a case study withtetraploid wheat", **Journal of Plant Soil.** 253(1): 201–218; February, 2003.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

Netondo, G. W., Onyango, J. C. and Beck, E. "Sorghum and salinity: II. Gas exchange andchlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress", **Journal of Crop Science**. 44(3): 806–811; September, 2004.

Oertli, J.J. "Extracellular salt accumulation a possible mechanism of salt injury in plant",**Agrochimica**. 12(2):461-469; Jun, 1968.

Ogle,D. and Loren S. "Plants for saline to sodicsoilcondition", **Journal of Plant Soil.**9(1): 1-6; February, 2010.

Parida, A.K., and Das, A.B. "Salt tolerance and salinity effects on plants", **Journal of Plant Biology**. 60(3): 324-329; Mar, 2005.

Rahnama, A.and et al."Growth and stomatal responses ofbread wheat genotypes in tolerance to salt stress", **Journal of Agricultural and Biosystems Engineering.**4(11): 787-790; December, 2010.

Rao, V.G. and Reddy, K.A. "Two new hyphomycetes", **Journal of Botany**. 4(1): 108-114; June, 1981.

Rewald, B.and et al."Adaptive plasticity of salt-stressed root systems.Chapter 6", In **Eco physiology and responses of plants under salt stress**.Ahmad M.M. and Prasad M.N.V., Editors.New York: USA.,2013.

Robinson, M.F. and et al."Physiological mechanismsand adaptation strategies in plants", **Journal of Botany.**80(1): 387–393; January, 1997.

Sepaskhah, A. R., and YousofiFalakdehi, A. "Rice yield modeling under salinity and water stress conditions using an appropriate macroscopic root water uptake equation", **Journal of Biological Sciences**. 13(22): 1099–1105;April, 2010.

Sharma,N.and et al."Effect of NaCl salinity on photosynthetic rate, transpiration rate, and oxidative stress tolerance in contrasting wheat genotypes", **Journal of Plant Soil.**43(4): 609-613; February, 2005.

Shereen,A.and et al."Effect of transpiration rate on sodium accumulation in rice (*Oryza Sativa* L.)grown under saline conditions", **Journal of Botany**. 48(1): 47-51; February, 2016.

Shunji, I., Yoshie, H. and Naoya, C. "Effect of silicon application on reproductive growth ofrice plant", **Journal of Soil Science and Plant Nutrition.** 48(3): 341-345; December, 2002.

Singh K.N. andChatrath R."Salinity tolerance", In **Reynolds M.P., Monasterio J.I.O., McNab A.,editors. Application of Physiology in Wheat Breeding.** CIMMYT: Mexico, DF, 2001.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

Sistani, K.and et al.“Integration of rice crop residualinto sustainable rice production system”, **Jourual of Plant Nutrition.** 21(9): 1855-1866; August, 1998.

Soukeina, M.and et al.“Effect of different levels of salinity on germination and early seedling growth of three rice varieties cultivated in Mauritania”, **Journal of Agriculture and Crop Sciences.** 8(3): 346-349; March, 2015.

Sultana, N., Ikeda, T., andItoh, R. “Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matteraccumulation in developing rice grains”, **Journal of Environmental Management.** 42(2): 211-220;October, 1999.

Very, A.A.and et al.“Guard cell cation channelsare involved in Na^+ induced stomatal closure in a halophyte”, **Journal of PlantSoil.** 14(2): 509-521;March, 1998.

Yadav, V.and et al.“Chlorophenol stress affects aromaticamino acid biosynthesis-a genome-wide study”, **Journal of Crop Science**. 28(1): 81-91;Jun, 2011.

Yeo, A.R. “Salinity resistance”,**Journal of PlantSoil.** 52(2): 214-221; April, 1998.

Yoshida, S.and et al.**Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice.**Los Banos, Laguna, Philippines:The international rice research institute, 1975.

Yoshida, S.**Fundamentals of Rice Crop Science.**Philippines.Los Banos, Laguna:The International Rice ResearchInstitute,1981.

Yu, S.and et al.“Silicon decreases chloride transport in rice(*Oryza sativa* L.) in saline conditions”, **Journal of Plant Physiology.**170(10): 847-853; March, 2013.

Zafar,S.and et al.“Variation in growth and ion uptake in salt tolerant and sensitive rice cultivars under NaCl salinity”,**Journal of Plant Sci**. 3(2): 156-158; April, 2004.

Zhu, J.K. “Regulation of ion homeostasis under salt stress”,**Journal ofPlant Biology**.6(2): 441-445; December, 2003.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
กรณีอธิบาย AB AC และ BC

ผลการศึกษาวิธีการทดลองที่ 1 ต้นข้าวอายุ 14 วัน

ตารางที่ก.1คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์(Fv/Fm) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอน ในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	0.710	0.726	0.701
	50	0.607	0.684	0.645
กข15	0	0.631	0.699	0.783
	50	0.536	0.546	0.762
กข6	0	0.632	0.671	0.823
	50	0.616	0.549	0.620
ทับทิมชุมแพ	0	0.723	0.780	0.782
	50	0.704	0.692	0.705
F-test		**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	0.627	0.706	0.674
	5	0.690	0703	0.671
กข15	0	0.563	0.606	0.775
	5	0.605	0.639	0.770
กข6	0	0.597	0.611	0.698
	5	0.651	0.609	0.745
ทับทิมชุมแพ	0	0.710	0.729	0.729
	5	0.718	0.742	0.758
F-test		ns	ns	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	0.662	0.717	0.760
	5	0.687	0.721	0.784
50	0	0.587	0.610	0.678
	5	0.645	0.625	0.688
F-test		ns	ns	ns

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.2อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (A) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอน ในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	2.320	3.602	3.417
	50	1.618	2.688	3.032
กข15	0	5.375	7.877	8.167
	50	3.935	4.045	5.177
กข6	0	5.942	6.638	6.832
	50	3.380	4.803	5.188
ทับทิมชุมแพ	0	4.928	4.880	5.822
	50	2.830	3.020	4.087
F-test		**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	1.890	2.905	2.872
	5	2.048	3.385	3.577
กข15	0	4.265	5.820	6.788
	5	5.045	6.102	6.555
กข6	0	4.422	5.380	5.832
	5	4.900	6.062	6.188
ทับทิมชุมแพ	0	3.733	3.823	4.247
	5	4.025	4.077	5.662
F-test		**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	4.632	5.578	5.745
	5	4.651	5.921	6.373
50	0	2.523	3.387	4.124
	5	3.358	3.892	4.617
F-test		**	**	ns

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.3อัตราการคายน้ำ (E)ของข้าว 4 พันธุ์หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	2.598	4.968	5.063
	50	1.933	3.995	4.538
กข15	0	2.363	4.603	6.378
	50	2.180	2.960	4.307
กข6	0	4.170	5.180	5.390
	50	2.710	4.257	4.337
ทับทิมชุมแพ	0	5.247	3.692	4.890
	50	4.412	2.537	3.778
F-test		**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	2.090	4.485	4.782
	5	2.442	4.478	4.820
กข15	0	2.237	3.775	5.378
	5	2.307	3.788	5.307
กข6	0	2.922	4.653	4.743
	5	3.958	4.783	4.983
ทับทิมชุมแพ	0	4.693	2.942	3.883
	5	4.965	3.287	4.785
F-test		**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	3.457	4.582	5.592
	5	3.732	4.640	4.124
50	0	2.513	3.346	4.356
	5	3.104	3.528	4.420
F-test		**	**	ns

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.4ค่าการนำที่ปากใบ(Gs) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	0.105	0.070	0.057
	50	0.040	0.058	0.038
กข15	0	0.100	0.115	0.153
	50	0.055	0.055	0.075
กข6	0	0.100	0.083	0.092
	50	0.050	0.045	0.052
ทับทิมชุมแพ	0	0.103	0.078	0.065
	50	0.057	0.040	0.028
F-test		ns	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	0.060	0.070	0.038
	5	0.085	0.058	0.057
กข15	0	0.070	0.085	0.130
	5	0.085	0.085	0.098
กข6	0	0.070	0.062	0.085
	5	0.080	0.067	0.058
ทับทิมชุมแพ	0	0.075	0.063	0.047
	5	0.085	0.055	0.047
F-test		ns	ns	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	0.089	0.094	0.100
	5	0.115	0.079	0.083
50	0	0.048	0.046	0.050
	5	0.052	0.053	0.047
F-test		**	**	ns

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ก.5ปริมาณ CO_2 ใน substomatal(Ci) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	312.500	270.333	290.500
	50	319.667	301.667	313.167
กข15	0	288.500	313.167	322.500
	50	298.000	331.000	346.833
กข6	0	277.000	277.667	283.500
	50	285.500	284.500	369.500
ทับทิมชุมแพ	0	256.333	276.667	214.833
	50	313.167	308.000	328.000
F-test		**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	317.500	288.667	305.167
	5	314.667	283.333	299.500
กข15	0	298.333	324.333	366.000
	5	288.167	319.833	333.333
กข6	0	283.167	281.333	330.333
	5	279.333	280.833	322.667
ทับทิมชุมแพ	0	284.833	288.167	287.667
	5	284.667	296.500	255.167
F-test		**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	284.500	284.917	282.250
	5	282.667	284.000	273.917
50	0	307.417	306.333	347.333
	5	300.750	306.250	331.417
F-test		**	*	**

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ตารางที่ก.6ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์(CE) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	0.742	1.335	1.175
	50	0.507	0.891	0.967
กข15	0	1.864	2.520	2.531
	50	1.323	1.223	1.493
กข6	0	2.145	2.391	2.411
	50	1.186	1.687	1.404
ทับทิมชุมแพ	0	1.922	1.764	2.726
	50	0.904	0.979	1.270
F-test		**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	0.598	1.014	0.940
	5	0.651	1.211	1.202
กข15	0	1.433	1.820	2.041
	5	1.754	1.924	1.983
กข6	0	1.575	1.913	1.825
	5	1.756	2.165	1.989
ทับทิมชุมแพ	0	1.368	1.350	1.632
	5	1.458	1.393	2.364
F-test		**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	1.658	1.936	2.041
	5	1.679	2.069	2.380
50	0	0.829	1.113	1.178
	5	1.131	1.278	1.389
F-test		**	*	**

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ตารางที่ก.7ประสิทธิภาพในการใช้แสง(QY)ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอน ในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	0.509	0.575	0.235
	50	0.398	0.287	0.210
กข15	0	0.688	1.013	0.826
	50	0.527	0.656	0.529
กข6	0	0.614	0.604	0.411
	50	0.381	0.397	0.299
ทับทิมชุมแพ	0	0.568	1.218	0.768
	50	0.323	0.718	0.499
F-test		**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	0.426	0.344	0.198
	5	0.481	0.518	0.247
กข15	0	0.561	0.842	0.691
	5	0.654	0.827	0.664
กข6	0	0.474	0.481	0.348
	5	0.521	0.520	0.362
ทับทิมชุมแพ	0	0.430	0.923	0.537
	5	0.461	1.013	0.730
F-test		**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	0.603	0.802	0.531
	5	0.586	0.904	0.589
50	0	0.342	0.493	0.356
	5	0.472	0.536	0.412
F-test		**	**	ns

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.8 ประสิทธิภาพการใช้น้ำ(WUE) ของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	0.893	0.725	0.670
	50	0.843	0.672	0.692
กข15	0	2.274	1.711	1.280
	50	1.798	1.366	1.201
กข6	0	1.456	1.281	1.267
	50	1.251	1.127	1.196
ทับทิมชุมแพ	0	0.940	1.322	1.188
	50	0.642	1.194	1.072
F-test		**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	0.900	0.647	0.624
	5	0.836	0.750	0.739
กข15	0	1.887	1.494	1.250
	5	2.185	1.583	1.232
กข6	0	1.471	1.146	1.226
	5	1.235	1.261	1.237
ทับทิมชุมแพ	0	0.776	1.287	1.081
	5	0.806	1.229	1.179
F-test		**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	1.448	1.235	1.072
	5	1.333	1.284	1.130
50	0	1.069	1.052	1.018
	5	1.198	1.127	1.063
F-test		**	**	ns

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.9ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ (mg/g FW)ในใบของข้าว 4 พันธุ์ หลังจากได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ 14 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)			
		14			
		คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์รวม	แคโรทีนอยด์
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)					
ขาวดอกมะลิ105	0	1.442	0.630	2.072	0.588
	50	0.754	0.553	1.307	0.494
กข15	0	1.648	0.698	2.345	2.326
	50	1.178	0.531	1.709	1.581
กข6	0	1.922	0.759	2.681	0.721
	50	1.100	0.421	1.538	0.525
ทับทิมชุมแพ	0	1.669	0.607	2.276	2.189
	50	1.160	0.518	1.678	1.074
F-test		**	**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)					
ขาวดอกมะลิ105	0	1.033	0.579	1.612	0.520
	5	1.163	0.604	1.767	0.563
กข15	0	1.318	0.582	1.900	1.618
	5	1.508	0.647	2.155	2.289
กข6	0	1.432	0.570	2.002	0.563
	5	1.590	0.610	2.217	0.684
ทับทิมชุมแพ	0	1.384	0.557	1.941	1.576
	5	1.445	0.568	2.013	1.687
F-test		ns	ns	ns	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)					
0	0	1.534	0.649	2.182	1.391
	5	1.807	0.698	2.505	1.522
50	0	1.050	0.495	1.545	0.748
	5	1.046	0.516	1.571	1.089
F-test		**	ns	**	**

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.10พื้นที่ใบ (ซ.ม.^{2}) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	172.197	194.085	254.998
	50	119.162	156.207	187.463
กข15	0	233.027	255.420	334.463
	50	127.785	166.683	196.662
กข6	0	116.233	171.980	231.913
	50	82.895	106.038	122.365
ทับทิมชุมแพ	0	135.390	183.465	205.520
	50	127.770	144.487	191.270
F-test		**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	137.608	170.117	208.530
	5	153.750	180.175	233.932
กข15	0	135.862	174.035	255.558
	5	224.950	248.068	275.567
กข6	0	93.818	134.937	168.650
	5	105.310	143.082	185.628
ทับทิมชุมแพ	0	127.480	162.702	194.800
	5	135.680	165.250	20.990
F-test		**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	141.753	186.942	244.955
	5	186.670	215.532	268.493
50	0	105.631	133.953	168.814
	5	123.175	152.755	180.066
F-test		**	**	**

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.11น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)				
		7				
		น้ำหนักแห้งใบ	น้ำหนักแห้งต้น	น้ำหนักแห้งส่วนต้น	น้ำหนักแห้งราก	อัตราส่วนรากต่อต้น
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)						
ขาวดอกมะลิ 105	0	0.407	0.443	0.850	0.491	0.577
	50	0.304	0.383	0.686	0.324	0.472
กข15	0	0.566	0.374	0.940	0.754	0.802
	50	0.489	0.266	0.755	0.459	0.605
กข6	0	0.388	0.387	0.755	0.619	0.802
	50	0.317	0.317	0.634	0.390	0.614
ทับทิมชุมแพ	0	0.515	0.449	0.964	0.532	0.552
	50	0.406	0.288	0.694	0.407	0.589
F-test		*	**	**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)						
ขาวดอกมะลิ 105	0	0.354	0.404	0.759	0.387	0.507
	5	0.357	0.421	0.778	0.428	0.543
กข15	0	0.504	0.294	0.798	0.572	0.700
	5	0.551	0.346	0.897	0.641	0.708
กข6	0	0.336	0.335	0.670	0.481	0.706
	5	0.369	0.369	0.738	0.528	0.710
ทับทิมชุมแพ	0	0.459	0.362	0.822	0.443	0.547
	5	0.462	0.375	0.837	0.496	0.594
F-test		**	ns	**	ns	ns
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)						
0	0	0.459	0.402	0.861	0.575	0.678
	5	0.480	0.424	0.904	0.623	0.689
50	0	0.368	0.295	0.663	0.366	0.552
	5	0.390	0.332	0.721	0.424	0.588
F-test		ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.12น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 14 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)				
		14				
		น้ำหนักแห้งใบ	น้ำหนักแห้งต้น	น้ำหนักแห้งส่วนต้น	น้ำหนักแห้งราก	อัตราส่วนรากต่อต้น
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)						
ขาวดอกมะลิ 105	0	0.626	0.769	1.395	0.749	0.533
	50	0.380	0.553	0.932	0.488	0.522
กข15	0	1.373	2.458	3.832	1.791	0.467
	50	1.160	1.818	2.978	0.994	0.334
กข6	0	0.458	0.598	0.889	0.736	0.698
	50	0.321	0.394	0.715	0.498	0.697
ทับทิมชุมแพ	0	0.601	0.942	1.544	0.708	0.467
	50	0.440	0.654	1.094	0.469	0.436
F-test		**	**	**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)						
ขาวดอกมะลิ 105	0	0.464	0.633	1.097	0.558	0.510
	5	0.541	0.690	1.230	0.679	0.546
กข15	0	1.208	1.953	3.161	1.347	0.412
	5	1.326	2.323	3.649	1.438	0.389
กข6	0	0.367	0.494	0.861	0.606	0.700
	5	0.412	0.498	0.743	0.628	0.694
ทับทิมชุมแพ	0	0.459	0.674	1.133	0.557	0.487
	5	0.582	0.923	1.505	0.620	0.415
F-test		**	**	**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)						
0	0	0.706	1.135	1.841	0.970	0.556
	5	0.823	1.249	1.989	1.023	0.526
50	0	0.543	0.742	1.285	0.565	0.498
	5	0.608	0.967	1.575	0.660	0.496
F-test		**	**	ns	**	*

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.13น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)				
		21				
		น้ำหนักแห้งใบ	น้ำหนักแห้งต้น	น้ำหนักแห้งส่วนต้น	น้ำหนักแห้งราก	อัตราส่วนรากต่อต้น
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)						
ขาวดอกมะลิ 105	0	1.235	1.658	2.892	1.627	0.560
	50	0.689	1.139	1.829	0.924	0.505
กข15	0	1.667	3.188	4.854	1.842	0.380
	50	1.129	2.134	3.263	1.152	0.353
กข6	0	0.605	0.748	1.353	0.798	0.588
	50	0.462	0.500	0.962	0.536	0.588
ทับทิมชุมแพ	0	1.236	1.595	2.831	0.951	0.333
	50	0.700	1.330	2.030	0.568	0.278
F-test		**	**	**	**	ns
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)						
ขาวดอกมะลิ 105	0	0.878	1.277	2.155	1.130	0.521
	5	1.046	1.520	2.566	1.421	0.544
กข15	0	1.352	2.770	4.122	1.487	0.361
	5	1.444	2.551	3.996	1.507	0.372
กข6	0	0.513	0.592	1.105	0.636	0.575
	5	0.554	0.656	1.210	0.697	0.571
ทับทิมชุมแพ	0	0.951	1.383	2.334	0.622	0.265
	5	0.984	1.542	2.527	0.897	0.346
F-test		**	**	**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)						
0	0	1.128	1.787	2.915	1.172	0.437
	5	1.243	1.808	3.051	1.436	0.493
50	0	0.718	1.225	1.943	0.765	0.424
	5	0.772	1.327	2.098	0.825	0.423
F-test		**	**	ns	**	*

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.14จำนวนหน่อต่อต้นและความสูง (ซ.ม.) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)					
		7	14	21	7	14	21
		จำนวนหน่อต่อ			ความสูง		
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)							
ขาวดอกมะลิ105	0	5.000	6.000	6.167	27.783	38.333	49.100
	50	4.167	5.333	5.500	20.217	33.200	37.650
กข15	0	4.000	5.000	5.000	25.883	38.517	47.117
	50	3.167	4.000	4.000	18.183	35.800	41.783
กข6	0	4.833	4.833	5.000	24.550	36.067	49.733
	50	3.833	4.167	4.333	17.133	31.750	36.633
ทับทิมชุมแพ	0	5.000	5.667	6.000	27.633	36.850	49.100
	50	4.000	4.000	4.500	19.750	32.767	37.717
F-test		*	*	ns	**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)							
ขาวดอกมะลิ105	0	4.500	5.500	5.500	23.733	35.667	43.033
	5	4.667	5.833	6.167	24.267	35.867	43.717
กข15	0	3.500	4.500	4.500	21.150	36.450	43.400
	5	3.667	4.500	4.500	22.917	37.867	45.500
กข6	0	4.167	4.333	4.500	20.050	33.250	42.650
	5	4.500	4.667	4.833	21.633	34.567	43.717
ทับทิมชุมแพ	0	4.500	4.833	5.000	22.483	34.083	42.167
	5	4.500	4.833	5.500	24.900	35.533	44.650
F-test		ns	**	ns	**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)							
0	0	4.667	5.333	5.500	25.692	37.050	48.217
	5	4.750	5.417	5.583	27.233	37.833	49.308
50	0	3.667	4.250	4.250	18.017	32.675	37.408
	5	3.917	4.500	4.917	19.625	34.083	39.483
F-test		ns	**	ns	ns	**	**

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ก.15อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-14 และ 14-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)	
		7 -14	14 -21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)			
ขาวดอกมะลิ105	0	0.069	0.103
	50	0.043	0.095
กข15	0	0.200	0.033
	50	0.195	0.014
กข6	0	0.044	0.035
	50	0.017	0.042
ทับทิมชุมแพ	0	0.065	0.088
	50	0.063	0.090
F-test		*	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)			
ขาวดอกมะลิ105	0	0.052	0.095
	5	0.061	0.103
กข15	0	0.195	0.036
	5	0.200	0.011
กข6	0	0.033	0.035
	5	0.027	0.041
ทับทิมชุมแพ	0	0.045	0.103
	5	0.083	0.074
F-test		**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)			
0	0	0.088	0.069
	5	0.101	0.060
50	0	0.074	0.065
	5	0.084	0.055
F-test		ns	ns

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.16พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	424.110	313.115	207.590
	50	397.992	411.518	272.005
กข15	0	407.697	185.438	200.680
	50	258.987	142.817	174.062
กข6	0	298.222	378.133	383.190
	50	262.055	330.215	266.417
ทับทิมชุมแพ	0	262.893	316.747	166.300
	50	314.823	329.255	273.640
F-test		**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	394.265	373.450	243.768
	5	427.837	351.223	235.827
กข15	0	265.292	142.942	186.317
	5	401.392	185.313	188.425
กข6	0	279.497	361.795	320.790
	5	280.780	346.553	328.817
ทับทิมชุมแพ	0	281.627	355.962	221.990
	5	296.090	290.040	217.950
F-test		**	**	ns
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	311.099	317.012	238.146
	5	385.362	279.724	240.734
50	0	299.241	300.062	248.287
	5	317.687	306.841	244.775
F-test		**	**	ns

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาวิธีการทดลองที่ 2 ต้นข้าวอายุ 30 วัน

ตารางที่ก.17คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (Fv/Fm) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	0.729	0.783	0.775
	50	0.551	0.634	0.649
กข15	0	0.677	0.685	0.773
	50	0.581	0.546	0.761
กข6	0	0.671	0.724	0.790
	50	0.622	0.531	0.728
ทับทิมชุมแพ	0	0.798	0.838	0.747
	50	0.666	0.613	0.697
F-test		**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	0.671	0.696	0.711
	5	0.609	0.721	0.712
กข15	0	0.642	0.654	0.778
	5	0.616	0.577	0.756
กข6	0	0.633	0.647	0.749
	5	0.630	0.608	0.769
ทับทิมชุมแพ	0	0.701	0.706	0.741
	5	0.764	0.745	0.704
F-test		**	**	*
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	0.724	0.764	0.784
	5	0.714	0.715	0.758
50	0	0.615	0.588	0.705
	5	0.595	0.574	0.712
F-test		ns	ns	*

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.18อัตราการคายน้ำ (E) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	1.931	1.632	0.414
	50	1.162	0.901	0.415
กข15	0	1.844	1.213	0.957
	50	1.349	1.105	0.598
กข6	0	1.210	0.682	0.983
	50	1.631	0.998	0.501
ทับทิมชุมแพ	0	1.175	0.688	0.555
	50	1.246	0.450	0.411
F-test		**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	1.404	1.532	0.492
	5	1.690	1.002	0.336
กข15	0	1.317	1.143	0.746
	5	1.876	1.175	0.808
กข6	0	1.499	1.166	0.638
	5	1.341	0.514	0.847
ทับทิมชุมแพ	0	1.261	0.494	0.427
	5	1.160	0.644	0.539
F-test		**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	1.401	1.322	0.700
	5	1.679	0.785	0.754
50	0	1.340	0.845	0.451
	5	1.354	0.882	0.511
F-test		**	**	ns

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.19ความต้านทานที่ปากใบ (Rs) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	19.312	20.583	23.167
	50	21.988	21.558	31.400
กข15	0	21.750	22.208	22.000
	50	18.900	23.258	39.952
กข6	0	14.300	28.400	26.708
	50	17.423	27.658	28.380
ทับทิมชุมแพ	0	19.627	31.558	36.367
	50	20.737	46.727	42.012
F-test		**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	21.673	20.80	28.333
	5	19.627	21.342	26.233
กข15	0	22.700	23.758	30.675
	5	17.950	21.708	31.250
กข6	0	19.523	21.775	26.425
	5	12.200	34.283	28.663
ทับทิมชุมแพ	0	19.018	44.083	40.598
	5	21.345	34.202	37.780
F-test		**	**	ns
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	20.046	25.129	27.529
	5	17.448	26.246	26.592
50	0	21.412	30.079	35.487
	5	18.113	29.522	35.372
F-test		ns	*	ns

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.20ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ(mg/g FW)และแคโรทีนอยด์ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 14 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)			
		14			
		คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์รวม	แคโรทีนอยด์
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)					
ขาวดอกมะลิ105	0	1.585	0.586	2.172	0.638
	50	0.954	0.300	1.255	0.382
กข15	0	1.326	0.400	1.726	0.364
	50	0.641	0.248	0.889	0.309
กข6	0	0.377	0.163	0.540	0.364
	50	0.255	0.109	0.365	0.201
ทับทิมชุมแพ	0	1.027	0.282	1.309	0.484
	50	0.619	0.195	0.813	0.244
F-test		**	**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)					
ขาวดอกมะลิ105	0	1.171	0.423	1.594	0.470
	5	1.369	0.463	1.832	0.550
กข15	0	0.769	0.276	1.045	0.323
	5	1.198	0.372	1.570	0.350
กข6	0	0.290	0.110	0.400	0.277
	5	0.343	0.162	0.504	0.288
ทับทิมชุมแพ	0	0.576	0.223	0.799	0.275
	5	1.070	0.254	1.323	0.453
F-test		**	ns	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)					
0	0	0.834	0.323	1.157	0.417
	5	1.324	0.392	1.716	0.508
50	0	0.569	0.193	0.762	0.255
	5	0.666	0.233	0.898	0.313
F-test		**	ns	**	ns

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.21พื้นที่ใบ (ซ.ม.^{2}) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	203.403	218.515	271.128
	50	179.777	188.185	237.128
กข15	0	147.623	206.893	211.317
	50	128.653	167.295	176.725
กข6	0	214.638	219.758	247.908
	50	141.767	160.037	184.392
ทับทิมชุมแพ	0	194.927	244.217	254.183
	50	175.577	204.637	213.323
F-test		**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	170.958	178.202	245.997
	5	212.222	228.498	262.260
กข15	0	141.200	180.762	188.502
	5	135.077	193.427	199.540
กข6	0	167.803	170.380	205.697
	5	188.602	209.415	226.603
ทับทิมชุมแพ	0	188.128	219.483	230.865
	5	182.375	229.370	236.642
F-test		**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	186.052	214.526	243.809
	5	194.244	230.166	248.459
50	0	147.993	159.888	191.721
	5	164.893	200.189	214.063
F-test		**	**	**

หมายเหตุ:** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.22น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)				
		7				
		น้ำหนักแห้งใบ	น้ำหนักแห้งต้น	น้ำหนักแห้งส่วนต้น	น้ำหนักแห้งราก	อัตราส่วนรากต่อต้น
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)						
ขาวดอกมะลิ 105	0	0.426	0.393	0.819	0.402	0.490
	50	0.357	0.345	0.702	0.341	0.486
กข15	0	0.442	0.362	0.804	0.337	0.420
	50	0.332	0.334	0.667	0.272	0.407
กข6	0	0.319	0.271	0.590	0.254	0.438
	50	0.253	0.216	0.469	0.205	0.435
ทับทิมชุมแพ	0	0.393	0.356	0.749	0.306	0.413
	50	0.363	0.320	0.686	0.193	0.287
F-test		ns	ns	ns	*	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)						
ขาวดอกมะลิ 105	0	0.394	0.347	0.742	0.345	0.464
	5	0.389	0.391	0.779	0.398	0.511
กข15	0	0.378	0.336	0.714	0.290	0.405
	5	0.397	0.360	0.758	0.318	0.421
กข6	0	0.286	0.234	0.520	0.247	0.476
	5	0.287	0.253	0.540	0.212	0.397
ทับทิมชุมแพ	0	0.376	0.364	0.740	0.225	0.315
	5	0.381	0.314	0.695	0.274	0.385
F-test		ns	*	ns	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)						
0	0	0.371	0.315	0.686	0.301	0.444
	5	0.420	0.375	0.795	0.349	0.437
50	0	0.346	0.325	0.672	0.253	0.386
	5	0.307	0.284	0.591	0.252	0.421
F-test		**	**	**	**	ns

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.23น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 14 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)				
		14				
		น้ำหนักแห้งใบ	น้ำหนักแห้งต้น	น้ำหนักแห้งส่วนต้น	น้ำหนักแห้งราก	อัตราส่วนรากต่อต้น
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)						
ขาวดอกมะลิ 105	0	0.598	0.858	1.456	0.736	0.507
	50	0.496	0.746	1.243	0.617	0.494
กข15	0	0.730	0.751	1.481	0.652	0.441
	50	0.553	0.640	1.193	0.518	0.434
กข6	0	0.413	0.539	0.951	0.494	0.525
	50	0.294	0.407	0.701	0.339	0.489
ทับทิมชุมแพ	0	0.668	0.755	1.422	0.701	0.491
	50	0.466	0.615	1.081	0.473	0.447
F-test		ns	ns	ns	*	ns
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)						
ขาวดอกมะลิ 105	0	0.504	0.775	1.278	0.648	0.507
	5	0.590	0.830	1.421	0.705	0.495
กข15	0	0.582	0.701	1.282	0.576	0.448
	5	0.701	0.691	1.392	0.595	0.428
กข6	0	0.282	0.389	0.671	0.372	0.544
	5	0.425	0.557	0.981	0.462	0.470
ทับทิมชุมแพ	0	0.562	0.669	1.231	0.674	0.552
	5	0.572	0.701	1.273	0.500	0.387
F-test		*	**	**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)						
0	0	0.578	0.688	1.266	0.650	0.520
	5	0.626	0.763	1.389	0.642	0.462
50	0	0.387	0.578	0.965	0.484	0.505
	5	0.518	0.626	1.144	0.489	0.428
F-test		**	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.24น้ำหนักแห้งใบ ต้น ส่วนต้น ราก (กรัม) และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)				
		21				
		น้ำหนักแห้งใบ	น้ำหนักแห้งต้น	น้ำหนักแห้งส่วนต้น	น้ำหนักแห้งราก	อัตราส่วนรากต่อต้น
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)						
ขาวดอกมะลิ 105	0	0.971	1.431	2.402	0.957	0.400
	50	0.602	1.064	1.667	0.653	0.393
กข15	0	0.824	1.453	2.277	0.939	0.412
	50	0.587	1.181	1.768	0.656	0.380
กข6	0	0.811	1.546	2.357	0.638	0.273
	50	0.495	0.991	1.486	0.545	0.369
ทับทิมชุมแพ	0	0.942	1.203	2.145	1.061	0.492
	50	0.679	1.112	1.791	0.867	0.484
F-test		ns	**	**	ns	*
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)						
ขาวดอกมะลิ 105	0	0.739	1.086	1.824	0.759	0.416
	5	0.835	1.409	2.244	0.851	0.377
กข15	0	0.676	1.210	1.886	0.811	0.431
	5	0.735	1.425	2.159	0.784	0.360
กข6	0	0.591	1.131	1.722	0.574	0.344
	5	0.715	1.405	2.120	0.610	0.297
ทับทิมชุมแพ	0	0.886	1.156	2.042	0.998	0.486
	5	0.735	1.159	1.894	0.930	0.490
F-test		**	*	**	ns	ns
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)						
0	0	0.884	1.316	2.200	0.908	0.409
	5	0.890	1.500	2.391	0.889	0.379
50	0	0.562	0.975	1.537	0.663	0.430
	5	0.620	1.199	1.819	0.698	0.383
F-test		ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.25จำนวนหน่อต่อต้นและความสูง (ซ.ม.) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)					
		7	14	21	7	14	21
		จำนวนหน่อต่อ			ความสูง		
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)							
ขาวดอกมะลิ105	0	3.000	3.000	3.500	47.667	58.833	70.000
	50	2.167	3.000	2.667	31.933	51.833	62.150
กข15	0	3.000	3.167	3.000	40.433	60.733	67.583
	50	3.000	3.000	2.833	40.833	59.150	64.500
กข6	0	3.000	3.000	3.167	52.700	58.500	62.583
	50	2.667	2.500	2.667	44.150	52.667	55.500
ทับทิมชุมแพ	0	2.833	3.000	3.000	54.417	66.167	70.250
	50	2.667	2.833	2.833	42.850	58.833	63.200
F-test		*	*	ns	**	**	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)							
ขาวดอกมะลิ105	0	2.500	3.000	3.333	37.817	55.000	65.650
	5	2.667	3.000	2.833	41.783	55.667	66.500
กข15	0	3.000	3.167	3.000	43.933	58.450	65.500
	5	3.000	3.000	2.833	37.333	61.433	66.583
กข6	0	2.833	2.500	2.833	45.833	53.500	56.083
	5	2.833	3.000	3.000	51.017	57.667	62.000
ทับทิมชุมแพ	0	2.833	2.833	2.833	46.433	63.750	66.333
	5	2.667	3.000	3.000	50.833	61.250	67.117
F-test		ns	**	ns	**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)							
0	0	2.833	3.083	3.250	45.000	58.750	65.833
	5	3.083	3.000	3.083	52.608	63.367	69.375
50	0	2.750	2.667	2.750	42.008	56.600	60.950
	5	2.500	3.000	2.750	37.875	54.642	61.725
F-test		*	**	ns	**	**	**

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ก.26อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-14 และ 14-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)	
		7 -14	14 -21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)			
ขาวดอกมะลิ105	0	0.082	0.070
	50	0.081	0.042
กข15	0	0.087	0.061
	50	0.083	0.054
กข6	0	0.070	0.129
	50	0.052	0.113
ทับทิมชุมแพ	0	0.093	0.057
	50	0.066	0.070
F-test		ns	*
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)			
ขาวดอกมะลิ105	0	0.077	0.049
	5	0.085	0.063
กข15	0	0.084	0.052
	5	0.086	0.063
กข6	0	0.032	0.136
	5	0.089	0.106
ทับทิมชุมแพ	0	0.071	0.072
	5	0.088	0.055
F-test		**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)			
0	0	0.087	0.081
	5	0.078	0.078
50	0	0.045	0.074
	5	0.096	0.065
F-test		**	ns

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ก.27พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) ของข้าว 4 พันธุ์ เมื่อได้รับซิลิกอนในสภาวะความเครียดเกลือ ที่ 7-21 วัน

ปัจจัย [1]		ระยะเวลา (วัน)		
		7	14	21
พันธุ์ข้าว (A) x NaCl (B, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	479.875	366.950	280.102
	50	506.190	390.585	394.863
กข15	0	335.988	285.728	257.760
	50	388.277	304.042	305.783
กข6	0	683.168	538.432	308.333
	50	578.352	575.075	372.100
ทับทิมชุมแพ	0	515.625	370.188	276.057
	50	487.277	444.167	319.573
F-test		**	ns	**
พันธุ์ข้าว (A) x SiO_2 (C, mM)				
ขาวดอกมะลิ105	0	435.757	360.437	348.647
	5	550.308	397.098	326.318
กข15	0	374.817	311.736	288.218
	5	349.448	278.007	275.325
กข6	0	591.888	621.137	315.977
	5	669.632	492.370	328.457
ทับทิมชุมแพ	0	509.552	411.500	266.715
	5	493.350	402.855	328.915
F-test		**	**	**
NaCl (B, mM) x SiO_2 (C, mM)				
0	0	527.217	396.523	280.551
	5	480.112	384.126	286.575
50	0	428.790	455.895	347.227
	5	511.257	401.039	348.933
F-test		**	*	ns

หมายเหตุ:*, ** หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วน nsไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ข
การเตรียมสารละลายอาหารและวิธีการสกัดคลอโรฟิลล์

ภาคผนวก ข การเตรียมสารละลายอาหารและวิธีการสกัดคลอโรฟิลล์

1. การเตรียมสารละลายอาหาร

1.1 การเตรียมสารละลายอาหารมาตรฐาน

1.1.1 การเตรียมสารละลายอาหารเข้มข้น (stock solution)

1.1.1..1 เตรียมสารละลายอาหารเข้มข้นตามตารางผนวกที่ 1 แบ่งออกเป็น 4 ขวด

1.1.1.2 ชั่งน้ำหนักสารเคมีแต่ละชนิด ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 3ตำแหน่ง (ตารางผนวกที่ 1)

1.1.1.3 ละลายสารเคมีด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 2 ลิตร ใน volumetric flask จากนั้นเขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทลงขวดที่เตรียมไว้

1.1.1.4 สารละลายอาหารเข้มข้น ขวดที่ 3 (Fe-NaEDTA) ต้องเก็บในขวดสีชาและเก็บในที่มืด เพื่อไม่ให้สารเกิดการตกตะกอน

1.1.1.5 สารเคมีที่ใช้ (ตารางผนวกที่ 1) เป็นสารเคมี analytical grade (AR)

1.1.2 การเตรียมสารละลายอาหารสำหรับปลูกข้าวในกะละมัง

1.1.2.1 ใช้น้ำกรองสะอาด 15 ลิตร เติมสารละลายอาหารเข้มข้นทั้ง 4 ขวด ขวดละ 50 มิลลิลิตร ลงในภาชนะแล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นนำสารละลายอาหารที่ได้ใส่ในกะละมัง กะละมังละ 3 ลิตร เพื่อใช้เป็นสารละลายอาหารสำหรับปลูกข้าว

1.1.2.2 ปรับ pH ของสารละลายอาหารของแต่ละกะละมังตามข้อ 1.1.2.1 ให้ได้ 5.5 ด้วย 1N HCl หรือ 1N NaOH หลังจากการปลูกข้าวมีการปรับปริมาตรของสารละลายอาหารในกะละมังให้เท่าเดิมเสมอ

1.2การเตรียมสารละลาย Na_2SiO_3 MW 122.07

1.2.1 การเตรียมสารละลายอาหาร Na_2SiO_3 1 Molar (1000 mM) ชั่ง Na_2SiO_3 122.07 กรัม ละลายน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วย Vol. flask 1000 mlด้วยน้ำกลั่น

1.2.2 การเตรียม Na_2SiO_3 ความเข้มข้น 5.0 mMจาก 1000 mMของ Na_2SiO_3 ในปริมาตรกะละมัง 3000 mlจากสูตร

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

ถ้าเติมสารละลาย Na_2SiO_3 5.0mM

$$= \frac{5.0 \text{ mM} \times 3000}{1000 \text{ mM}} \text{ ml}$$

V1 = 15 ml ต่อ สารละลายอาหาร 3 ลิตร

ถ้าใช้สารละลายอาหาร 3 ลิตร ต้องเติม Na_2SiO_3 15 ml

N_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายอาหารที่เตรียม 5.0 mM

V_2คือ ปริมาณสารละลายอาหารที่เตรียม 3000 ml

N_1คือ ความเข้มข้น SiO_2 1000 mM

1.3 การเตรียมสารละลาย NaCl MW 58.44

1.3.1 การเตรียมสารละลาย NaCl 1 Molar (1000 mM)ซึ่งNaCl 58.44 กรัม ละลายน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตร Vol.flask 1000 mlด้วยน้ำกลั่น

1.3.2 การเตรียมNaCl(1000 mM)ความเข้มข้น 50 mMในสารละลายอาหาร 3 ลิตร จากสูตร

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

ถ้าเติมสารละลาย 50 mM $= \frac{50 \text{ mM} \times 3000 \text{ ml}}{1000 \text{ mM}}$

V1 = 150 ml

ถ้าใช้สารละลายอาหาร 3 ลิตร ต้องเติม NaCl 150 ml

N_2คือ ความเข้มข้นของสารละลายอาหารที่เตรียม 50 mM

V_2คือ ปริมาณสารละลายอาหารที่เตรียม 3000 ml

N_1คือ ความเข้มข้น NaCl 1000 mM

ตารางที่ ข.1 ชนิดสารเคมีและน้ำหนักสาร ที่ต้องใช้ในการเตรียมสารละลายอาหารเข้มข้น (stock solution) ปริมาตร 2 ลิตร (Limpinuntana, 1978)

สารขวดที่	ชนิดสารเคมี	น้ำหนักสาร (กรัม)
1	KNO_3	60.666
	$Ca(NO_3)_2\ 4H_2O$	94.460
2	$NH_4H_2PO_4$	23.004
	$MgSO_4\ 7H_2O$	24.648
	NaCl	33.154
3	Fe-NaEDTA	15.774
4	$MnCl_24H_2O$	0.8648
	H_3BO_3	0.684
	$Na_2MoO_42H_2O$	0.015
	$ZnSO_47H_2O$	0.0528
	$CuSO_45H_2O$	0.0234

2.วิธีการสกัดคลอโรฟิลล์

2.1 วิธีการปฏิบัติ

2.1.1 ชั่งตัวอย่างสดพืชจำนวน 2.000 กรัม ใส่ลงในโกร่งบดตัวอย่าง

2.1.2 เติม ethanol 95% ลงไป 5 มิลลิลิตร พร้อมทั้งบดตัวอย่างให้ละเอียด

2.1.3 เทตัวอย่างพร้อมทั้งโกร่งบดด้วย ethanol 95% กรองด้วยกระดาษกรองลงบน Vol.flask 25 ml

2.1.4 ปรับปริมาตรด้วย ethanol 95%

2.1.5 นำตัวอย่างไปวัดค่าดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 664.2, 648.6 และ 470 นาโนเมตร เพื่อวิเคราะห์ปริมาณ Chlorophyll a, Chlorophyll b และcarotenoid ตามลำดับ

2.1.6 คำนวณค่า chl.a ,chl.b total chl. , carotenoid และ chl. a:b ratio

ภาคผนวก ค
ภาพงานทดลอง

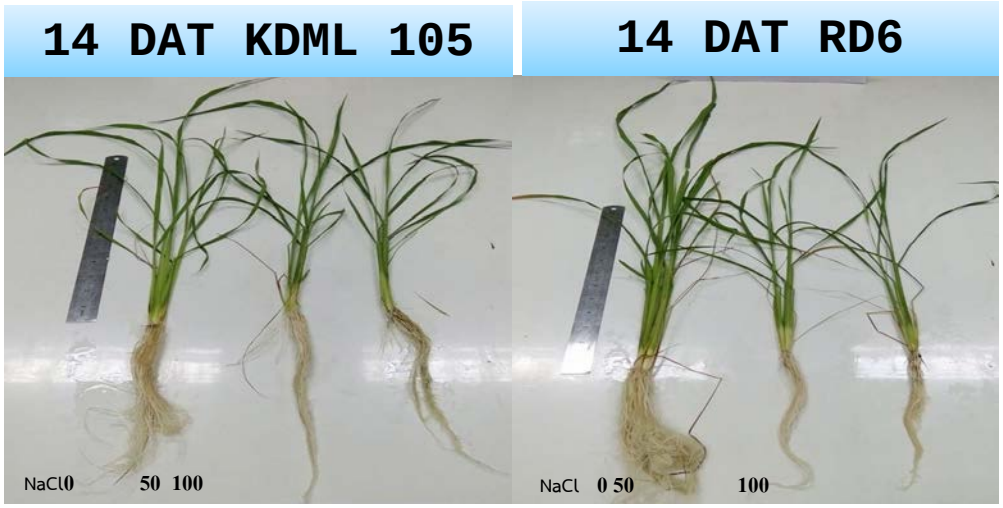
ภาคผนวก ค ภาพงานทดลอง

ภาพที่ ค.1ต้นกล้าข้าวอายุ 14 วันเมื่อย้ายปลูกในสารละลายอาหาร

ภาพที่ ค.2 ต้นกล้าข้าวอายุ 30 วันเมื่อย้ายปลูกในสารละลายอาหาร

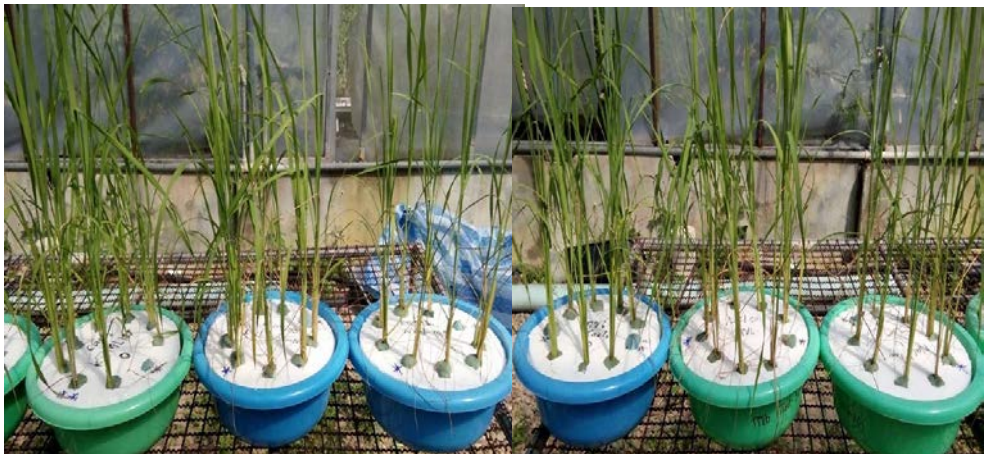
A B

C D

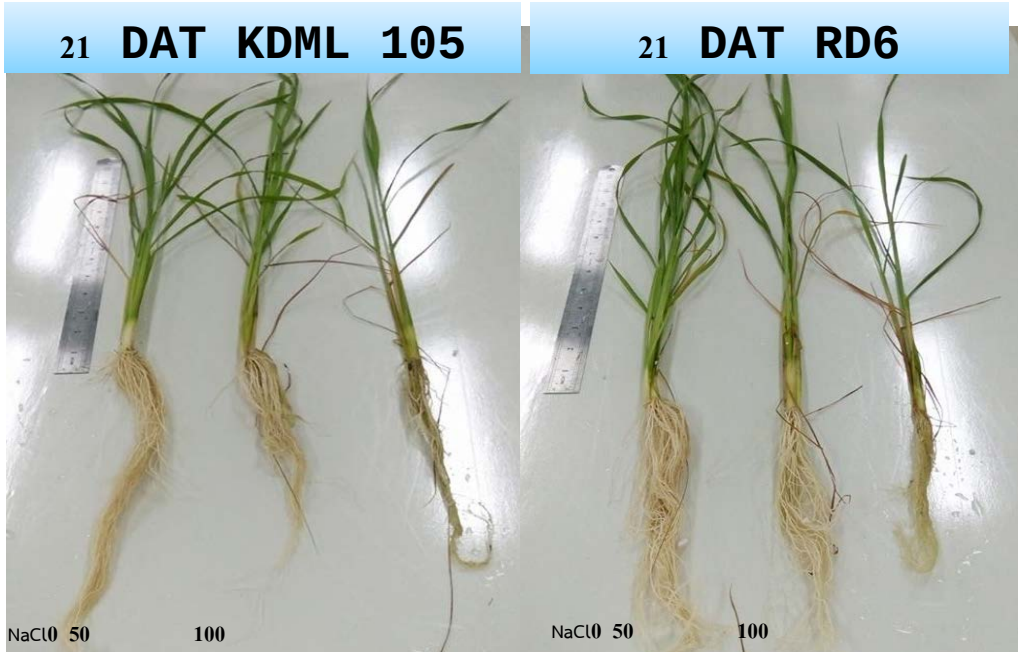


ภาพที่ ค.3การเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ105 (A,C) และกข6(B,D)เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 14 วัน ที่ระดับNaCl 0, 50 และ 100 mM

A B

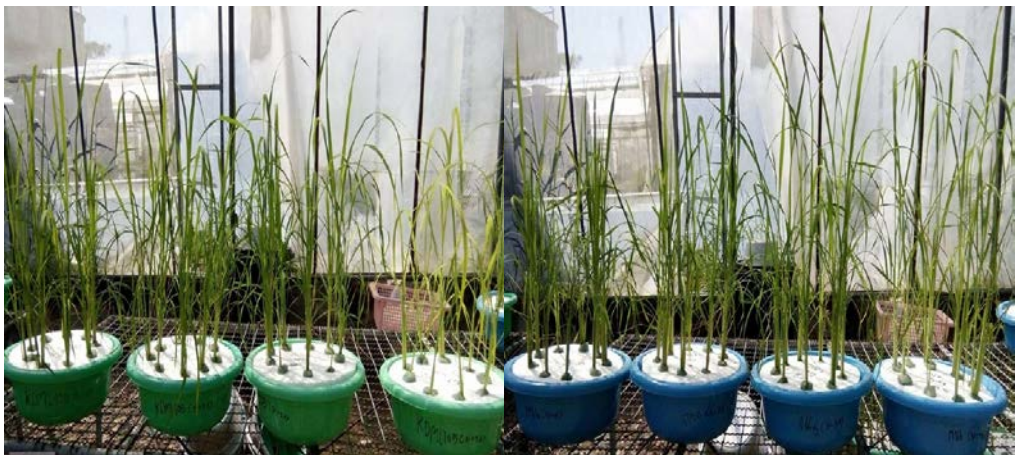


C D

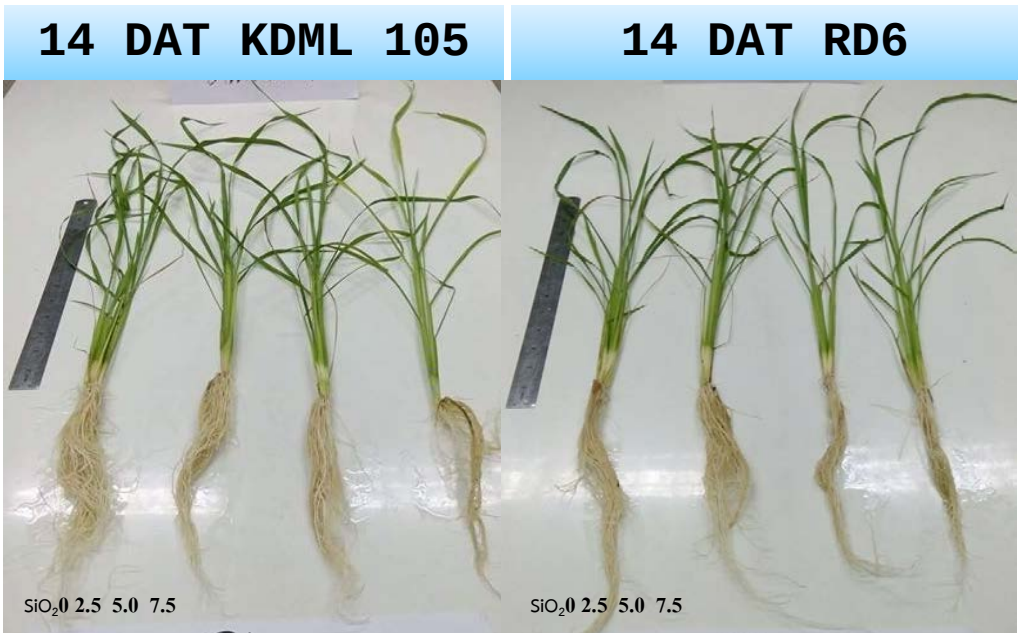


ภาพที่ ค.4การเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ105 (A,C) และกข6(B,D) เมื่อได้รับความเครียดเกลือ 21 วัน ที่ระดับ NaCl 0, 50 และ 100 mM

A B

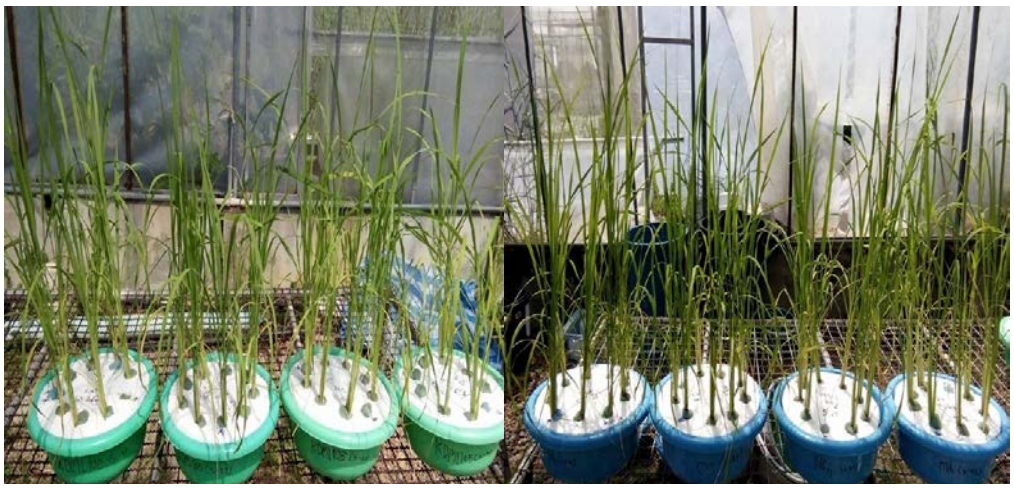


C D

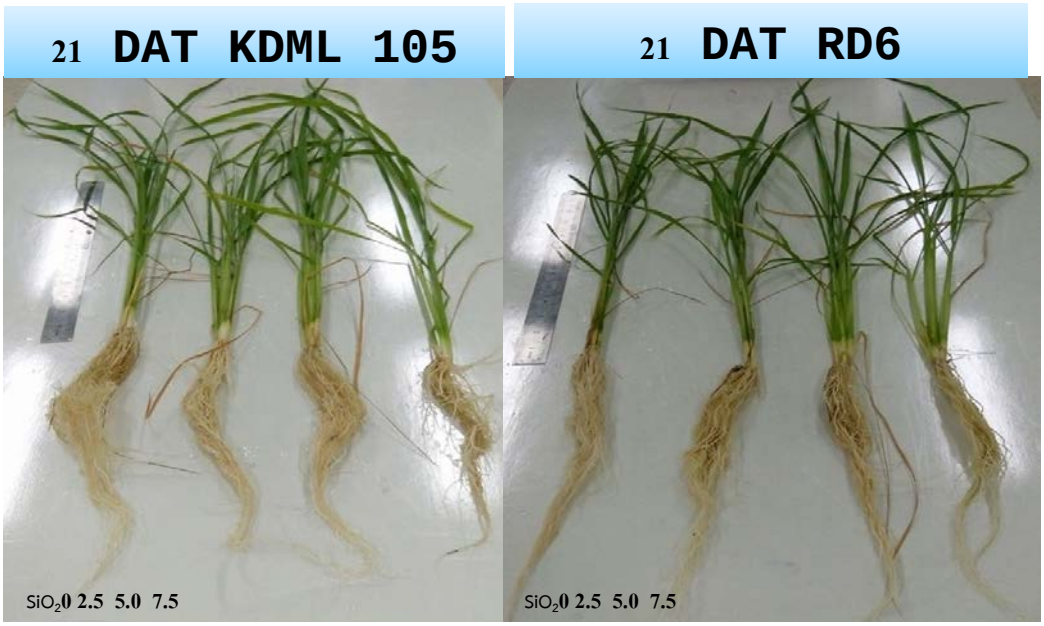


ภาพที่ ค.5การเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ105 (A,C) และกข6(B,D) เมื่อได้รับซิลิกอน 14วัน ที่ระดับ SiO_2 0, 2.5, 5.0 และ7.5mM

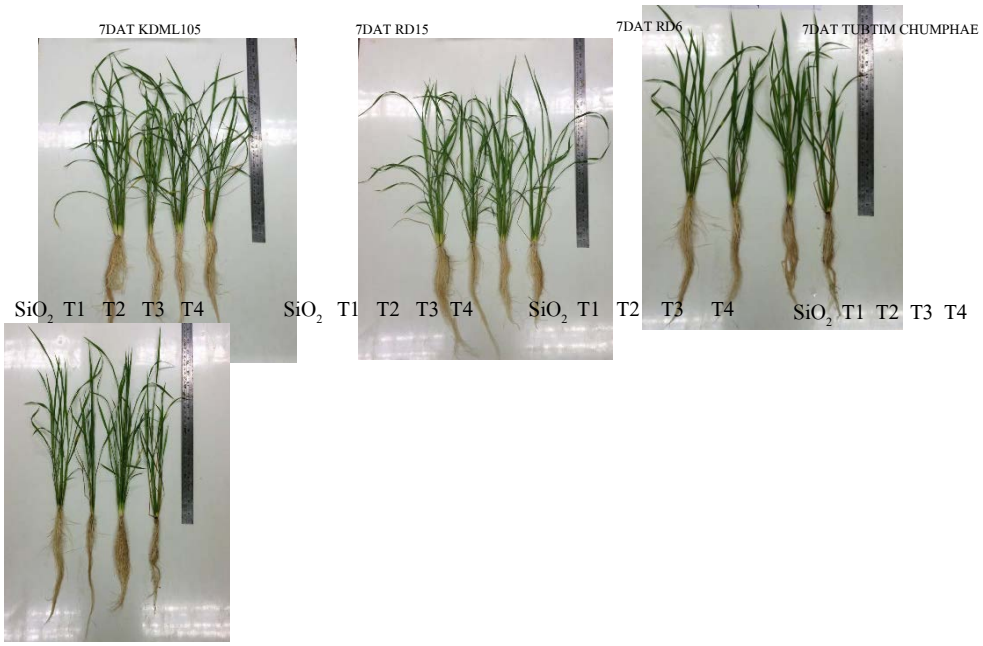
A B



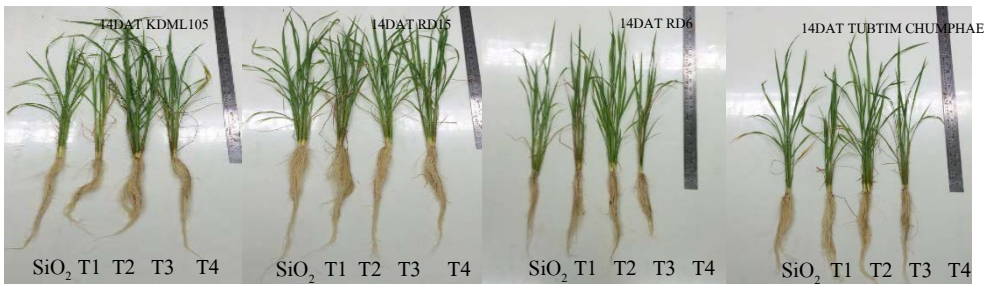
C D



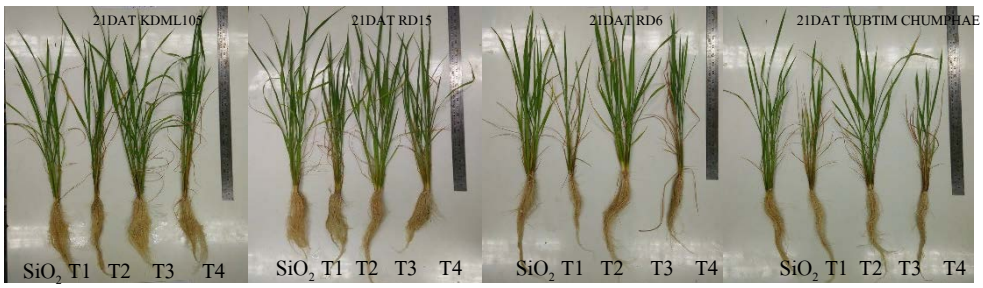
ภาพที่ ค.6การเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ105 (A,C) และกข6(B,D)
เมื่อได้รับซิลิกอน21วัน ที่ระดับ SiO_2 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 mM



ภาพที่ ค.7ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียด เกลือในระยะต้นกล้า (T1: control,T2: NaCl 50 mM, T3: SiO_2 5 mM,T4: NaCl 50 mM+SiO_2 5 mM)



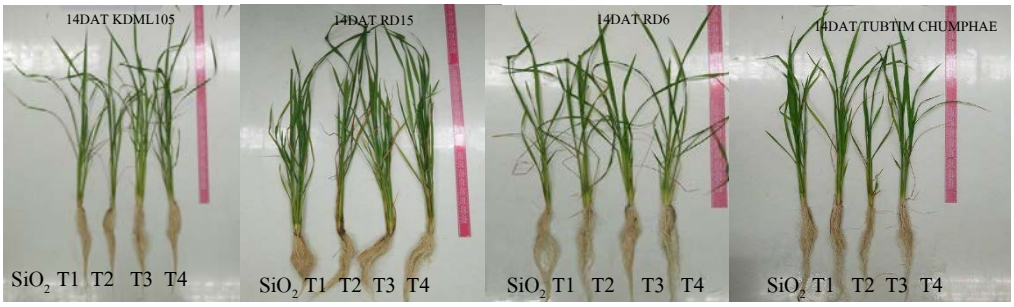
ภาพที่ ค.8ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือในระยะต้นกล้า(T1: control,T2: NaCl 50 mM, T3: SiO_2 5 mM,T4: NaCl 50 mM+SiO_2 5 mM)



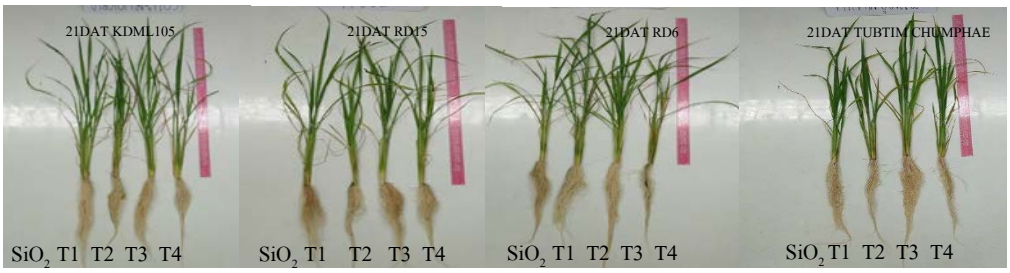
ภาพที่ ค.9ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์

ภายใต้สภาวะความเครียด เกลือในระยะต้นกล้า (T1: control,T2: NaCl 50 mM, T3: SiO_2 5 mM,T4: NaCl 50 mM+SiO_2 5 mM)

ภาพที่ ค.10ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ภายใต้สภาวะความเครียด เกลือในระยะแตกกอ (T1: control,T2: NaCl 50 mM, T3: SiO_2 5 mM,T4: NaCl 50 mM+SiO_2 5 mM)



ภาพที่ ค.11ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือในระยะแตกกอ(T1: control,T2: NaCl 50 mM, T3: SiO_2 5 mM,T4: NaCl 50 mM+SiO_2 5 mM)

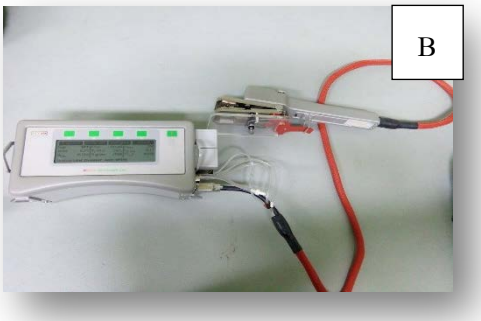


ภาพที่ ค.12ผลของซิลิกอนต่อลักษณะสรีรวิทยาบางประการและการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือในระยะแตกกอ(T1: control,T2: NaCl 50

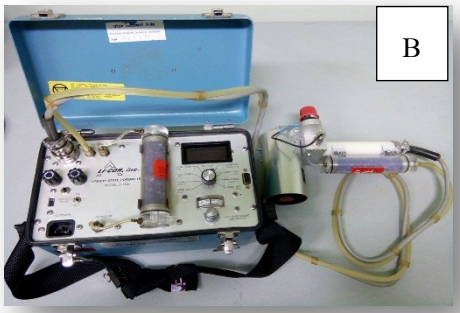
mM, T3: SiO_2 5 mM,T4: NaCl 50 mM+SiO_2 5 mM)

ภาคผนวก ง
ภาพเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ภาคผนวก ง ภาพเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล



ภาพที่ ง.1เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลอายุข้าว 14 วันได้แก่ Plant Efficiency Analyzer(A)และ Portable Photosynthetic System รุ่นLCi-SD (B)



ภาพที่ ง.2เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลอายุข้าว 30 วันได้แก่ Plant Efficiency Analyzer (A) และ Steady State Porometer Li-1600(B)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวนิภาพร บุญชอบ
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2555 -2558วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ประวัติการวิจัย	ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์บางส่วนประจำปีการศึกษา 2560 จากคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผลงานวิชาการ	1) นิภาพร บุญชอบ และสุวัฒน์ธีระพงษ์ธนากร. 2560. ผลของซิลิกอนต่อคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์และปริมาณคลอโรฟิลล์ของข้าว 4 พันธุ์ ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ. ใน รวมบทคัดย่อ การประชุมวิชาการ ระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 11 น. 3-4. สำนักงานส่งเสริมบริหารงานวิจัย บริการวิชาการ และทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2) นิภาพรบุญชอบสุวัฒน์ธีระพงษ์ธนากรและมานัสลอศิริกุล. 2560. ผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตของข้าว 4 พันธุ์ภายใต้สภาวะความเครียดเกลือ. ใน รวมบทคัดย่อ การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 44 น. 8-9. คณะผู้บริหารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยของรัฐ และมหาวิทยาลัยในกำกับของรัฐ (ทคบร.)