รายงานการวิจัย

เรื่อง อิทธิพลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณคลอโรฟิลล์ในข้าว

Effect of sodium chloride on photosynthesis and chlorophyll contents in rice

นายสุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร
นายแก้ว อุดมศิริชาคร
นายบุญเทียม เลิศศุภวิทย์นภา

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภททั่วไป
ประจำปีงบประมาณ 2537
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ISBN 974-609-065-8

อิทธิพลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการสังเคราะห์แสงและปริมาณคลอโรฟิลล์ในข้าว

สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร[1] แก้ว อุดมศิริชาคร[2] และบุญเทียม เลิศศุภวิทย์นภา[1]

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณคลอโรฟิลล์ในข้าว มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของข้าวในระยะต้นกล้า เมื่อปลูกในสารละลายอาหารในสภาพที่ได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวทนเค็มกับพันธุ์ไม่ทนเค็ม ในการวิจัยในแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) มีจำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 พันธุ์ข้าว 2 พันธุ์คือ ข้าวพันธุ์พอคคาลีและพันธุ์ข้าวดอ ปัจจัยที่ 2 ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 5 ระดับคือ 0 30 60 90 และ 120 มิลลิโมล (mM) จากการทดลองพบว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการคายน้ำของข้าวลดลง 26-50 และ 14-38 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อต้นข้าวได้รับเกลือที่ตั้งแต่ 60 มิลลิโมลขึ้นไป ซึ่งพันธุ์ข้าวดอมีอัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการคายน้ำต่ำกว่าข้าวพอคคาลี 15-22 และ 12-25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับค่าความต้านทานต่อการแพร่ที่ปากใบ พบว่ามีลักษณะผกผันกับค่าอัตราการคายน้ำและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งในพันธุ์ข้าวดอมีค่าความต้านทานต่อการแพร่ที่ปากใบสูงกว่าข้าวพอคคาลี เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับความเข้มข้นเกลือเดียวกัน นอกจากนี้เกลือโซเดียมคลอไรด์ยังทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบีในใบข้าวลดลง อย่างไรก็ตามข้าวพอคคาลียังคงมีค่าดังกล่าวสูงกว่าข้าวดอ สำหรับผลของเกลือต่อการเจริญเติบโตของข้าวพบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้การสร้างน้ำหนักแห้งส่วนต้นและรากลดลง อย่างไรก็ตามข้าวพอคคาลียังสามารถสร้างน้ำหนักแห้งสูงกว่าพันธุ์ข้าวดอ 40-50 เปอร์เซ็นต์ ผลดังกล่าวอาจเนื่องมาจากข้าวพอคคาลีมีความสามารถในการเพิ่มขึ้นที่ใบ ประสิทธิภาพในการใช้น้ำ (WUE) และมี Specific leaf weight สูงกว่าพันธุ์ข้าวดอ

จากการทดลองสรุปว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์ทำความเสียหายต่อข้าวโดยไปลดกิจกรรมทางสรีรวิทยาของข้าวนับตั้งแต่การลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง อัตราการคายน้ำ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี ตลอดจนการเพิ่มค่าความต้านทานต่อการแพร่ที่ปากใบ ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวมีผลโดยตรงต่อการลดการเจริญเติบโตของข้าว ทั้งการเพิ่มพื้นที่ใบ ประสิทธิภาพในการใช้น้ำ การสร้างน้ำหนักแห้งในส่วนต้นและรากของข้าว

คำสำคัญ: อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง, อัตราการคายน้ำ, ความต้านทานที่ปากใบ, พื้นที่ใบ, ประสิทธิภาพการใช้น้ำ

1/ อาจารย์ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ. วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190.

2/ อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190.

Effect of sodium chloride on photosynthesis and chlorophyll contents in rice

Suwat Terapongtanakorn[1], Kaew Udomsirichakhon[2], and Boontium Lersupavithnapa[1]

Abstract

This experiment was conducted to determine physiological and growth characters of seedling rice during salinity stress compared between salt-tolerant and salt sensitive cultivars. A 2x5 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) with three replications was use in this study. Two rice cultivars (Pokkali and Khow Dor) were factor A. Five sodium chloride levels (0, 30, 60, 90 and 120 mM) were factor B. Photosynthetic and transpiration rate in rice leaves decreased 26-50 and 14-38 % of 60 mM NaCl treatment. There was decreased 15-22 and 12-25 % respectively in Kaw Dor. Stomatal resistance in rice leaves found negative correlation with photosynthetic and transpiration rate in all cultivars. However, the highest number of stomatal resistance found in Kaw Dor. The number of chlorophyll a and b in rice leaves decreased with NaCl treatments. The lowest number found in Kaw Dor. Dry matter of shoot and roots of Kaw Dor decreased 40-50%. However, leaf area, water use efficiency and specific leaf weight of Pokkali found higher than Kaw Dor.

In summary, photosynthetic rate, transpiration rate, chlorophyll a and b in rice leaves decreased with NaCl treatments while stomatal resistance found opposite direction. These physiological characters would be affected on growth of rice: leaf area, water use efficiency, and dry matter of shoot and roots. There were showed significantly difference between salt-tolerant and salt sensitive cultivars. These parameters would be recommended for further study in salinity resistance of rice.

Key words: Photosynthetic rate, Transpiration rate, Stomatal resistance, Leaf area, Water use efficiency

1/ Lecturer, Deparment of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Warinchamrab, Ubon Ratchathani 34190.

2/ Lecturer, Deparment of Biological Sciences, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warinchamrab, Ubon Ratchathani 34190.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ได้พิจารณาอนุมัติให้ได้รับทุนวิจัยครั้งนี้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่สนับสนุนในการเสนอของบประมาณประจำปี 2537 คณะเกษตรศาสตร์ในการสนับสนุนสถานที่ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ สำหรับงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยหวังว่าจะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจทั่วไป และโดยเฉพาะนักวิจัยที่ศึกษาด้านพืชทนเค็ม

คณะผู้วิจัย

เมษายน 2544

สารบาญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบาญ ง

สารบาญตาราง จ

สารบาญภาพ ช

บทนำ 1

การตรวจเอกสาร 2

อิทธิพลของเกลือที่มีต่อกลไกทางสรีระของพืช 2

ผลต่อแหล่งผลิตและแหล่งรับของพืช 2

ผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการคายน้ำของพืช 3

ผลต่อกระบวนการหายใจ 4

ผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ 5

ผลของเกลือต่อการเจริญเติบโตของพืช 5

กลไกในการปรับตัวของพืชในสภาพดินเค็ม 6

วิธีดำเนินการวิจัย 8

อุปกรณ์และวิธีการ 8

ผลการทดลอง 12

ผลของเกลือที่มีต่อลักษณะทางสรีระของข้าว 12

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าว 12

อัตราการคายน้ำและความต้านทานแพร่ที่ปากใบของข้าว 12

ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าว 13

ผลของเกลือที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าว 14

การสร้างน้ำหนักแห้งส่วนต้นและรากข้าว 14

การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบของข้าว 14

การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการใช้น้ำของต้นข้าว 15

สารบาญ (ต่อ)

หน้า

การเปลี่ยนแปลง Specific Leaf Weight (SLW) ของข้าว 15
การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ กาบใบ และรากข้าว 15
วิจารณ์ผลการทดลอง 34
ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าว 34
ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะการเจริญเติบโตของข้าว 36
สรุปผลการทดลอง 39
เอกสารอ้างอิง 40

สารบาญตาราง

Table		หน้า
1	Photosynthetic rate (umol. $m^{-2}s^{-1}$) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	17
2	Transpiration rate (umol. $m^{-2}s^{-1}$) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	19
3	Stomatal resistance (umol. $m^{-2}s^{-1}$) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	20
4	Chlorophyll a, b (mg chl./g.fresh weight) and a/b of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	22
5	Leaf, leaf sheath and root dry weights (g/plant) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	23
6	Root: shoot ratios of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	26
7	Relative growth rate (g g^{-1} d^{-1}) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	27
8	Leaf area (cm^2 $plant^{-1}$) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	28
9	Water use efficiency (mg g^{-1}) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	29
10	Specific leaf weight (mg cm^{-2}) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	31
11	Relative water content (%) in leaves, leaf sheaths and roots of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	33

สารบาญภาพ

Figure		หน้า
1	Photosynthetic rate (A, umol. $m^{-2}s^{-1}$) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	18
2	Carboxylation efficiency (CE, %) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	18
3	Transpiration rate (umol. $m^{-2}s^{-1}$) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	21
4	Stomatal resistance (umol. $m^{-2}s^{-1}$) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	21
5	Leaf, leaf sheath and root dry weights (g $plant^{-1}$) of Pokkali at 1-14 days after salinization.	24
6	Leaf, leaf sheath and root dry weights (g $plant^{-1}$) of Kaw Dor at 1-14 days after salinization.	24
7	Shoot dry weight (g $plant^{-1}$) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	25
8	Root dry weight (g $plant^{-1}$) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	25
9	Leaf area (cm^2) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization	30
10	Water use efficiency (WUE, mg g^{-1}) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	30
11	Specific leaf weight (mg cm^{-2}) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	32
12	Relative growth rate (g g^{-1} d^{-1}) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.	32

บทนำ

ดินเค็มเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งในการผลิตพืช โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ดินเค็มถึง 17.8 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 15 ของพื้นที่ทั้งหมด (สมศรี 2531) อัมมารและวิโรจน์ (2533) รายงานว่าดินเค็มภาคนี้มีบริเวณที่เป็นดินเค็มจัดปลูกข้าวไม่ได้ประมาณ 2 แสนไร่ หรือร้อยละ 3.6 ส่วนอีก 1.4 ล้านไร่ หรือร้อยละ 25 ให้ผลผลิตข้าวเพียง 10 ถังต่อไร่ สำหรับการเกิดดินเค็มของภาคตะวันออกเฉียงเหนือเกิดจากการมีชั้นหินเกลือสะสมอยู่ใต้ดิน ซึ่งเกลือที่พบส่วนใหญ่เป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์และมีคุณสมบัติดินที่เป็นกรด (กรมพัฒนาที่ดิน 2529) เนื่องจาพื้นที่เพาะปลูกพืชของภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่ๆอยู่ในเขตอาศัยน้ำฝน ในช่วงฤดูฝนพื้นที่เพาะปลูกร้อยละ 80 ใช้ในการปลูกข้าว เมื่อพิจารณาถึงการกระจายตัวของฝนพบว่า ในภาคนี้มักประสบภาวะฝนทิ้งช่วงระหว่างเดือนกรกฎาคมและกันยายน (นิมิตร และคณะ 2531) ซึ่งตรงกับช่วงที่เกษตรกรกำลังปักดำข้าว ขณะเดียวกันหากพื้นที่ดังกล่าวเป็นแหล่งดินเค็มและมีการละลายของเกลือในชั้นใต้ดิน อาจทำให้การเคลื่อนที่ของเกลือผ่านทางช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (capillary rise) ขึ้นสู่บริเวณรากพืชจนถึงระดับซึ่งอาจเกิดผลเสียต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตข้าวที่ปลูกในพื้นที่ดินเค็ม

ดังนั้นด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงได้ทำการศึกษากลไกทางสรีรวิทยาและลักษณะการเจริญเติบโตของข้าวในระยะต้นกล้า เมื่อปลูกในสภาพที่ได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

การตรวจเอกสาร

ข้าว (*Oryza sativa* L.) จัดเป็นพืชพวก non-halophyte สามารถทนเค็มได้ปานกลาง ส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดีที่ระดับความเค็มประมาณ 0-4 มิลลิโมห์/ซม. แต่เมื่อระดับความเค็มสูงถึง 7.8 มิลลิโมห์/ซม.ทำให้ผลผลิตข้าวลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ (กรมพัฒนาที่ดิน 2529) สำหรับเกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลเสียต่อการลดการเจริญเติบโตของข้าว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ระยะการเจริญเติบโตของข้าว ความเข้มข้นและธรรมชาติของเกลือที่พืชได้รับ ตลอดจนช่วงเวลาที่พืชได้รับเกลือ (Kaddah and Fakhry อ้างโดย Akbar and Ponnamperuma 1982)

จากการศึกษาของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ(IRRI) อ้างโดย Akbar และ Pannamperuma (1982) สรุปไว้ว่า ข้าวสามารถทนต่อเกลือได้ดีในระยะที่เมล็ดงอก (emergence) เริ่มอ่อนแอในระยะต้นกล้า (seedling) มีความทนทานต่อเกลือเพิ่มขึ้นในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative growth) และกลับอ่อนแออีกครั้งในระยะผสมเกสร (reproductive growth) ส่วนในระยะที่ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตเต็มที่ (maturity) ข้าวสามารถทนต่อสภาพดินเค็มได้มากที่สุด

<u>อิทธิพลของเกลือที่มีต่อกลไกทางสรีระของพืช</u>

<u>ผลต่อแหล่งผลิตและแหล่งรับของพืช</u>

Delane และคณะ (1982) ได้ศึกษาผลของเกลือที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยทดลองในข้าวบาร์เลย์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนย้ายสารสังเคราะห์ (photosynthate) จากแหล่งผลิต (source) ไปยังแหล่งรับ (sink) โดยการวัดปริมาณน้ำตาลซูโครสที่ใบเจริญเติบโตเต็มที่ (mature leaf) กับใบอ่อน (growing leaf) พบว่า ความเข้มข้นของ soluble CH_2O ที่ใบอ่อนเพิ่มขึ้นประมาณ 30 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ขณะเดียวกันความเข้มข้นของ soluble CH_2O ในใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ลดลง 2 และ 20 เปอร์เซ็นต์เมื่อได้รับเกลือที่ความเข้มข้น 120 และ 180 มิลลิโมล ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวบาร์เลย์ที่ได้รับเกลือเพียง 0.5มิลลิโมล

แต่จากงานทดลองของเกริกและคณะ (2531) ได้ศึกษาในข้าวพันธุ์ กข.6 ในระยะต้นกล้า พบว่า เมื่อระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณแป้งและน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ทั้งในใบแก่และใบอ่อนลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกลือโซเดียมคลอไรด์ไปลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง หรืออาจเกิดขึ้นเนื่องจากต้นข้าวมีการหายใจเพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาณสารสังเคราะห์ (Photosynthate) ไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้ ดังนั้นจึงทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชลดลง (Greenway and Munns 1980) สำหรับผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงนั้น อาจมีความเกี่ยวข้องกับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืช ซึ่ง Yeo, Caporn และ

Flowers (1986) พบว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (net photosynthesis) มีความสัมพันธ์ในทางลบ (negative correlation) กับการสะสมเกลือโซเดียมในเนื้อเยื่อของใบข้าวทั้งใน พันธุ์ IR8 และ IR2153 กล่าวคือ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเพิ่มน้ำหนักแห้งของพืชลดลงเมื่อพืชได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น (Hasson, Poljakoff Mayer และ Gale 1983)

สำหรับการลดลงในกิจกรรมของแหล่งผลิตอาหาร (source) หรือแหล่งรับอาหาร (sink) เมื่อพืชได้รับเกลือนั้นอาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากสาเหตุ 3 ประการ คือ ประการที่หนึ่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ไปลดค่าศักย์ของน้ำ (water potential) ทำให้พืชเกิดการขาดน้ำ ประการที่สอง ความเป็นพิษที่เกิดจากเกลือ (ion toxicity) ที่พืชได้รับมากเกินพอจึงไปรบกวนกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช ตลอดจนความสมดุลย์ของ electrolyte ในเนื้อเยื่อพืช ประการที่สาม เกลือโซเดียมคลอไรด์อาจมีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารที่จำเป็นของพืช ทำให้เกิดการสูญเสียความสมดุลย์ของไอออน (ion imbalance stress) ในพืชขึ้น ดังนั้น พืชจึงแสดงอาการขาดธาตุอาหารบางชนิด (Greenway 1973)

<u>ผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการคายน้ำของพืช</u>

Boyer (1965) พบว่า การสังเคราะห์แสงของฝ้ายลดลงเมื่อปลูกในสภาพดินเกลือ ทั้งนี้เกลือไม่มีบทบาทต่อการปิดเปิดปากใบ (stomata) แต่อาจเป็นเพราะความเครียดเกลือทำให้เกิดการเพิ่มความต้านทานต่อการแพร่ของ CO_2 ที่เซลล์ mesophyll (mesophyll resistance) ดังนั้นจึงทำให้การตรึง CO_2 (CO_2 fixation) ของพืชลดลง ส่วนการศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและการสะสมไอออนในใบ spinach ที่ได้รับเกลือความเข้มข้น 200 มิลลิโมล Robinson และคณะ (1983) พบว่า spinach มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง 13 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้รับเกลือ แต่เมื่อให้ CO_2 ในสภาพอิ่มตัว (saturated CO_2) แก่พืชพบว่า ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืชไม่เพิ่มขึ้นและจากการวัดค่าการนำที่ปากใบ (stomatal conductance) พบว่า พืชที่ได้รับเกลือมีค่าดังกล่าวลดลงมากถึง 70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ไม่ได้รับเกลือ

Langstreth และ Nobel (1979) ศึกษาผลของเกลือที่มีต่อลักษณะทางกายวิภาคของใบโดยทดลองใน kidney bean (*Phaseolus vulgalis*) ฝ้าย (*Gossypium hirsutum*) และ *Atriplex patata* ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนเกลือแตกต่างกัน พบว่า การเพิ่มระดับเกลือทำให้พืชมีการปรับตัวโดยการเพิ่มความหนาของเซลล์ mesophyll การเพิ่มขนาดของเซลล์ pallsade และ spongy ซึ่งสิ่งสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงคือ การเพิ่มความต้านทานต่อการแพร่ (diffusive resistance)ของปากใบ (stomata) และเซลล์ mesophyll ดังนั้นจึงทำให้การแพร่ CO_2 เข้าสู่ใบพืชเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง

Yeo และคณะ (1985) ศึกษาผลของเกลือที่มีต่ออัตราการคายน้ำ การสะสมเกลือโซเดียม และการสร้างกรดแอบไซซิค (ABA) ในข้าวพันธุ์ IR2153 พบว่า เมื่อต้นข้าวได้รับเกลือทำให้ส่วนของใบอ่อนมีอัตราการคายน้ำสูงสุดแต่มีการสะสมเกลือโซเดียมต่ำกว่าใบแก่ นอกจากนี้ในส่วนใบแก่ยังมีการสร้าง ABA สูงกว่าใบอ่อน ดังนั้น จึงอาจเป็นไปได้ว่า ABA มผลโดยตรงต่อพืชในการควบคุมอัตราการคายน้ำ

สุวัฒน์ (2533) ศึกษาผลของเกลือที่มีต่ออัตราการคายน้ำและการสะสมไอออนใน xylem sap ในข้าวพอคคาลีและ กข.6 พบว่า การเพิ่มระดับเกลือทำให้อัตราการคายน้ำของข้าวทั้งสองพันธุ์ลดลง ซึ่งอัตราการคายน้ำของข้าวพอคคาลีมีต่ำกว่าข้าวกข.6 และเมื่อนำอัตราการคายน้ำและความเข้มข้นของเกลือโซเดียมในท่อลำเลียงน้ำมาประเมินหาอัตราการสะสมของเกลือในต้นข้าว พบว่า ข้าวพอคคาลีมีอัตราการสะสมเกลือต่ำกว่าข้าวกข.6 และเมื่อพิจารณาอัตราการสะสมเกลือประกอบกับเปอร์เซ็นต์ของเกลือในเนื้อเยื่อของข้าวพอคคาลีซึ่งมีต่ำกว่าข้าวกข.6นั้น ทำให้สันนิษฐานว่าการที่ข้าวพอคคาลีมีอัตราการเคลื่อนย้ายเกลือไปสะสมที่ส่วนต้น (shoot) ในอัตราที่ต่ำกว่าข้าวกข.6 นั้นอาจเป็นผลมาจากการเพิ่มความต้านทานต่อการแพร่ที่ใบ (stomatal resistance) แม้ว่าข้าวพอคคาลีมีค่าความต้านทานต่อการแพร่ที่ใบสูงกว่าข้าวกข.6 แต่ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency) ในการสร้างน้ำหนักแห้งของข้าวพอคคาลี,มีสูงกว่าจึงทำให้การเจริญเติบโตสูงกว่าข้าวกข.6

ผลต่อกระบวนการหายใจ

Yeo และ Flowers (1986) ทดลองในข้าวพันธุ์ IR2153 พบว่าสภาพที่ข้าวได้รับเกลือและมีการสะสมเกลือในส่วนต้น (shoot) มากขึ้นนั้น ทำให้การสร้าง CH_2O และอัตราการหายใจของต้นข้าวลดลง ส่วน McCree อ้างโดย Munns และ Termaat (1986) ศึกษาในข้าวฟ่าง พบว่า อัตราการหายใจของข้าวฟ่างสูงขึ้นกว่าปกติประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปลูกในสภาพที่ได้รับเกลือที่มีค่าความดันออสโมติค (osmotic potential) – 0.56 MPa.

สำหรับผลของเกลือที่มีต่อ growth respirationนั้น มีความแตกต่างกันตามชนิดของพืช โดยพบว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 170-340 มิลลิโมล สามารถกระตุ้น (stimulate) การเจริญเติบโตของพืชพวก *Suaeda maritima* ซึ่งเป็นพืชทนเค็ม (halophyte) ในขณะที่พืชไม่ทนเค็ม (non-halophyte) พวก *Pisum sativum* ถูกยับยั้ง (inhibited) การเจริญเติบโตเมื่อได้รับเกลือที่ความเข้มข้นดังกล่าว อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญเติบโตและการหายใจของพืชทั้งสองชนิดสามารถถูกยับยั้งเมื่อพืชได้รับเกลือเพิ่มขึ้น (Flowers 1972)

จากผลดังกล่าวข้างต้นชี้ให้เห็นว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อการลดกระบวนการหายใจของพืช โดยทำให้ปริมาณพลังงาน ATP หรือ สาร intermediates ต่าง ๆ จากกระบวนการหายใจ

มีไม่เพียงพอต่อกระบวนการสังเคราะห์ (biosynthesis) สารหลายชนิด เช่น การสังเคราะห์โปรตีน หรือ อาจเป็นปัจจัยสำคัญต่อการสร้างสารประกอบ polysaccharides ชนิดต่างๆ โดยเฉพาะองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเซลล์ในขณะที่พืชมีการแบ่งตัวและขยายตัวของเซลล์(เกริกและคณะ 2531)

ผลต่อขบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ

จากการศึกษาของ Yeo และ Flowers; Flowers และคณะ อ้างโดย Yeo และ Flowers (1986) โดยทดลองในข้าวพันธุ์ Amber และ IR2153 พบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (net photosynthesis) ในข้าวพันธุ์ Amber และ IR2153 ลดลง 61 และ 37 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของข้าวทั้งสองพันธุ์ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกลือไปลดกิจกรรมของเอ็นไซม์ RuBP ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการตรึง CO_2 ของพืช (Osmond และ Greenway 1972) เอ็นไซม์ amylase และ invertase (Rathert 1982)

นอกจากนี้ Kleinkopf และคณะ (1975) ทดลองใน *Atriplex confertifolia* พบว่า เกลือทำให้ปริมาณ soluble protein, nitrate, nitrate reductase และปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงประมาณ 57, 54, 86 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพืชได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 250 me/l เปรียบเทียบกับพืชที่ไม่ได้รับเกลือ ส่วน Huber อ้างโดย Osotsapar (1976) พบว่า เกลือทำให้การสร้างกรดอมิโนและสารประกอบอินทรีย์บางชนิด เช่น alanine, aspartate และ ammonia ลดลง แต่ทำให้ปริมาณglutamate และ proline เพิ่มขึ้น ซึ่ง Munns, Greenway และ Kirst (1983) ได้เสนอแนะว่า การเพิ่มขึ้นของ betaine หรือ proline อาจเป็นผลเนื่องมาจากการยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีน หรืออาจเกี่ยวข้องกับการปรับความดันออสโมติค (turgor pressure) ของเซลล์ต่อการเปลี่ยนแปลงศักย์ของน้ำ (water potential) ใน apoplast นอกจากนี้อาจเป็นเพราะคลอไรด์ไอออนไปยับยั้งการดูดไนเตรท แต่ยังไม่มีหลักฐานยืนยันว่าเกลือทำให้การสังเคราะห์โปรตีนลดลง และส่งผลต่อการลดการเจริญเติบโตของพืช เพียงทราบว่าเมื่อกระบวนการดังกล่าวลดลงทำให้การแบ่งเซลล์และการขยายตัวของเซลล์ (cell division and expansion) ลดลง (Aspinall 1986)

ผลของเกลือต่อการเจริญเติบโตของพืช

พรชัย (2528) ศึกษาผลของระดับความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าว 3 พันธุ์ พบว่าระยะหลังการปักดำซึ่งต้นข้าวได้รับเกลือเป็นเวลา 30 วันการเพิ่มระดับความเค็มตั้งแต่ 50-80 มิลลิโมล ทำให้การเจริญเติบโตของส่วนต้น (ใบและลำต้น) ราก และการแตกกอของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ลดลง สำหรับการสร้างน้ำหนักแห้งของข้าวพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อได้รับเกลือที่ความเข้มข้น 80 มิลลิโมล ซึ่งข้าวพันธุ์พอคคาลีมีการเจริญสูงสุด (33%) ขณะที่ข้าวพันธุ์ กข.6 และอีแห้งมีการเจริญ

เติบโตเพิ่มขึ้นเพียง 9 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกโดยไม่ได้รับเกลือ จากการเปรียบเทียบการสร้างน้ำหนักแห้งระหว่างส่วนต้นและรากในข้าวทั้ง 3 พันธุ์ พบว่า เกลือทำให้การสร้างน้ำหนักแห้งส่วนต้นลดลงมากกว่าราก

สุวัฒน์ (2533) ศึกษาผลของเกลือที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโตและการสะสมไอออนในเนื้อเยื่อข้าวระยะต้นกล้าเปรียบเทียบระหว่างข้าวพอคคาลีกับข้าว กข.6 พบว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้น้ำหนักแห้งของต้นและรากของข้าวทั้งสองพันธุ์ลดลง ระดับเกลือที่ถึงขึ้นวิกฤตอยู่สูงกว่า 60 มิลลิโมลขึ้นไป ซึ่งข้าวพันธุ์พอคคาลีมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าข้าว กข.6 ในทุกระดับเกลือสำหรับการสะสมเกลือในเนื้อเยื่อของข้าวพอคคาลีมีต่ำกว่าข้าว กข.6 อย่างไรก็ตามปริมาณเกลือที่สะสมในข้าวทั้งสองพันธุ์มีการเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเกลือในสารละลายอาหารที่ต้นข้าวได้รับ

ผลของเกลือที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช Munns และคณะ (1982) ศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการยืดตัวและการสะสมเกลือในใบอ่อนของข้าวบาร์เลย์ โดยทดลองที่ระดับเกลือ 0.5-120 มิลลิโมล พบว่า ที่ระดับเกลือ 120 มิลลิโมล การยืดตัวของใบอ่อนลดลง 66 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับเกลือ 0.5 มิลลิโมล (โดยพืชมีการยืดตัวของใบอ่อน 0.95 และ 2.80 มิลลิเมตร ต่อชั่วโมงตามลำดับ) และเมื่อย้ายต้นพืชจากระดับเกลือ 120 ไปยัง 60 มิลลิโมล ปรากฏว่าการยืดตัวของใบไม่แตกต่างกับพืชที่ได้รับเกลือ 0.5 มิลลิโมล (โดยมีการยืดตัวของใบอ่อนเพิ่มขึ้นเป็นเป็น 2.70 และ 2.80 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ) ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการยืดตัวของใบที่ลดลงนี้อาจเกิดจากผลของเกลือที่มีผลกระทบต่อศักย์ของน้ำในใบอ่อน จึงนำไปสู่การขาดน้ำและจำกัดการเจริญเติบโตของใบอ่อน

<u>กลไกในการปรับตัวของพืชในสภาพดินเค็ม</u>

ในการจำแนกกลุ่มพืชที่เจริญเติบโตในพื้นที่ดินเค็มสามารถจำแนกได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มพืชไม่ทนเค็ม (glycophyte หรือ non-halophyte) และกลุ่มพืชทนเค็ม (halophyte) ซึ่ง Greenway and Munns (1980), Flowers, Troke and Yeo (1977) ได้เสนอกลไกในการปรับตัวของพืชทั้งสองกลุ่มไว้ดังนี้ คือ กลุ่มพืชไม่ทนเค็ม (glycophyte) พืชกลุ่มนี้มีการปรับตัวโดยพยายามหลีกเลี่ยงการดูดเกลือโซเดียมและคลอไรด์เข้าสู่ลำต้น ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ระบบลำเลียงภายในต้นพืชได้รับความเสียหาย ดังนั้นพืชจำเป็นต้องปรับศักย์ของน้ำภายในลำต้นให้ต่ำกว่าสภาพภายนอกที่มีเกลือละลายอยู่โดยการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์บางชนิด เช่น proline betain หรือ glycinebetain นอกจากนี้พืชยังมีการสะสมเกลือไว้ที่รากมากกว่าส่วนอื่นๆ สำหรับในพืชทนเค็ม (halophyte) พืชกลุ่มนี้สามารถดูดเกลือโซเดียมและคลอไรด์เข้าสู่ลำต้นโดยควบคุมการสะสมเกลือโซเดียมและคลอไรด์ไว้ในส่วนของแวคคิวโอล (vacuole) หรือส่วนต่างๆ (compartmentation) ของเซลล์พืช ทั้งนี้เพื่อลดความเสียหาย

ของเกลือที่มีต่อเซลล์พืช ขณะเดียวกันความเข้มข้นของเกลือในต้นพืชยังช่วยลดศักย์ของน้ำเพื่อช่วยให้ระบบลำเลียงของพืชเกิดขึ้นตามปกติ กลไกในการปรับตัวของข้าวในสภาพดินเค็ม Yeo and Flowers (1984) ได้สรุปประเด็นสำคัญไว้ดังนี้

1. การเลือกดูดไอออน (ions selectivity) โดยเฉพาะข้าวทนเค็มมีการปรับตัวโดยการเลือกดูดโปแตสเซียม และควบคุมการดูดโซเดียม สุวัฒน์ (2533) พบว่า ข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลีมีการสะสม K/Na ในอัตราส่วนที่มากกว่าข้าวพันธุ์ กข.6 เมื่อต้นข้าวได้รับเกลือมากขึ้น สำหรับอัตราส่วนของ K/Na พบมากในใบ กาบใบ และราก ตามลำดับ อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของ K/Na มีแนวโน้มลดลงเมื่อต้นข้าวได้รับเกลือเป็นเวลานานขึ้น นอกจากนี้ Yeo and Flowers (1984) พบว่า ข้าวทนเค็มพันธุ์ IR2153 ซึ่งเป็นพันธุ์ทนเค็มมี Sodium-Potassium Selectivity สูงกว่าพันธุ์ IR28

2. การควบคุมการสะสมเกลือไว้ในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว Yeo และ Flowers (1982) ศึกษาการสะสมเกลือที่ตำแหน่งใบต่างๆ ระหว่างข้าวพันธุ์ทนเค็มกับพันธุ์ไม่ทนเค็ม พบว่า ข้าวทั้งสองพันธุ์มีการสะสมเกลือที่ใบแก่มากกว่าใบอ่อน โดยเฉพาะข้าวพันธุ์ทนเค็มมีการสะสมเกลือในปริมาณต่ำกว่าพันธุ์ไม่ทนเค็ม เมื่อเปรียบเทียบที่ตำแหน่งใบเดียวกัน สุวัฒน์ (2533) ศึกษาการสะสมเกลือโซเดียมในใบ กาบใบ และราก ระหว่างข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลีกับข้าวไม่ทนเค็มพันธุ์ กข.6 พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีการสะสมเกลือโซเดียมในใบต่ำกว่ากาบใบและรากตามลำดับ โดยเฉพาะข้าวกข.6 มีการสะสมเกลือโซเดียมมากกว่าข้าวพอคคาลี

3. พืชมีความสามารถในการเจริญเติบโตได้รวดเร็ว ในสภาพดินเค็ม Yeo and Flowers (1984) ศึกษาการสร้างน้ำหนักแห้ง และการสะสมเกลือโซเดียมในข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลีกับข้าวไม่ทนเค็มพันธุ์IR22 พบว่า ข้าวพันธุ์พอคคาลีสามารถสร้างน้ำหนักแห้งลำต้นได้สูงและมีการสะสมเกลือโซเดียมต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์IR22 สุวัฒน์ (2533) ศึกษาผลของเกลือที่มีต่อการเจริญเติบโตและการสะสะเกลือโซเดียมในต้นข้าวเปรียบเทียบระหว่างข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลีกับข้าวไม่ทนเค็มพันธุ์ กข.6 พบว่า ข้าวพอคคาลีสามารถเจริญเติบโตโดยการเพิ่มพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งส่วนต้น อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และประสิทธิภาพในการใช้น้ำ สูงกว่าข้าวพันธุ์ กข.6 ขณะเดียวกันมีการสะสมเกลือโซเดียมต่ำกว่าข้าว กข6 ผลดังกล่าวสรุปได้ว่า การมีปริมาณโซเดียมต่ำในต้นข้าวพอคคาลีนั้นไม่ใช่สาเหตุจากการควบคุมการลำเลียงโซเดยมที่ราก แต่อาจเป็นผลมาจากตัวพืชเองมีคุณสมบัติในการเจริญเติบโตได้เร็ว จึงทำให้ปริมาณโซเดียมในลำต้นมีความเจือจางลง(dilution effect)

วิธีดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์และวิธีการ

ระยะเวลาและสถานที่ทำการทดลอง

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงสิงหาคม 2538 โดยทำการทดลองในเรือนทดลองคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

แผนการทดลอง

ในการทดลองจัดการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) มีจำนวน 3 ซ้ำ (Replications) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 พันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์พอคคาลี (พันธุ์ทนเค็ม) และพันธุ์ข้าวดอ (พันธุ์พื้นเมือง)

ปัจจัยที่ 2 ระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์ 5 ระดับ คือ 0 30 60 90 และ 120 มิลลิโมล

การตกกล้า

ในการตกกล้าทำในกระบะพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ซม. สูง 15 ซม. ใส่ดินให้ได้ปริมาตร $\frac{3}{4}$ ของกระบะ นำเมล็ดพันธุ์ที่คัดแล้วอัตรา 50 กรัม/ตารางเมตร แช่ในน้ำกรองนาน 24 ชม. จากนั้นนำมาหุ้มด้วยผ้าเก็บไว้ในที่ร่มและชื้นเป็นเวลา 48 ชม. เมื่อเมล็ดเริ่มงอกจึงนำไปหว่านในกระบะให้เมล็ดข้าวงอกและเจริญเติบโตเป็นต้นกล้า ในขณะเพาะเมล็ดรักษาความชื้นดินในกระบะให้อยู่ในระดับความชื้นสนาม (field capacity) เมื่อต้นกล้าอายุ 21 วัน จึงนำไปปักดำ

การปักดำ

ก่อนการย้ายต้นกล้าจากกระบะมีการให้น้ำเพื่อให้ดินอิ่มตัวด้ายน้ำ หลังจากนั้นจึงนำต้นกล้าซึ่งยังมีดินหุ้มระบบรากมาล้างด้วยน้ำกรองและใช้น้ำกรองล้างรากอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงเลือกต้นกล้าที่มีขนาดใกล้เคียงกันไปปักดำในสารละลายอาหาร (nutrient solution) ในกระถาง การปักดำข้าวจำนวน 4 ต้นต่อกระถางโดยหุ้มส่วนโคนของต้นข้าวด้วยฟองน้ำเพื่อให้เป็นส่วนยึดติดกับโฟมที่ปิดกระถาง สำหรับกระถางที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม. สูง 25 ซม. บรรจุด้วยสารละลายอาหารจำนวน 6 ลิตร ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ (Limpinuntana, 1978)

NH_4^+	660	μM	NO_3^-	3,680	μM	$H_2PO_4^-$	660	μM
K^+	2,000	μM	Ca^{++}	1,340	μM	Mg^{++}	340	μM
$SO_4^=$	340	μM	Na^+	2,000	μM	Cl^-	2,000	μM
Fe^{++}	2	*ppm.*	Mo^{+3}	0.001	*ppm.*	Zn^+	0.001	*ppm.*
Mn^{++}	0.4	*ppm.*	B^{+3}	0.1	*ppm.*	Cu^{++}	0.01	*ppm.*

หลังการปักดำมีการปรับปริมาตรของสารละลายอาหารในกระถางให้เท่าเดิมเสมอ และมีการเปลี่ยนสารละลายอาหารทุก 7 วัน

การใส่เกลือโซเดียมคลอไรด์

ภายหลังการปักดำได้ 7 วัน เมื่อต้นข้าวฟื้นตัวซึ่งอัตราการเจริญเติบโตเข้าสู่สภาพปกติจึงเริ่มใส่เกลือโซเดียมคลอไรด์ ตามความเข้มข้นของแต่ละตำรับทดลองโดยแบ่งใส่ครั้งละ 1/3 ของความเข้มข้นที่กำหนดต่อ 1 วัน เพื่อให้ต้นข้าวมีการปรับตัว เก็บข้อมูลในเวลา 1, 4, 7 และ 14 วัน หลังจากต้นข้าวได้รับเกลือ

การเก็บข้อมูล

1. ข้อมูลด้านสรีรวิทยาของพืช

1.1 วัดการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชโดยใช้ Portable Photosynthetic System model LCA4 ADC สำหรับช่วงเวลาที่ศึกษาคือ เวลา 10.00-12.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่พืชมีการสังเคราะห์ด้วยแสงสูง ข้อมูลที่ศึกษามีดังนี้

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic rate, $umolm^{-2}s^{-1}$)

อัตราการคายน้ำ (transpiration rate, $mmolm^{-2}s^{-1}$)

ความต้านทานที่ปากใบ (stomatal resistance, $m^2s^{-1}mol^{-1}$)

ปริมาณCO_2 ในบรรยากาศ (CO_2 reference in vpm.)

ปริมาณCO_2 ในช่องว่างของปากใบ (CO_2 subtomatal in vpm.)

ประมาณแสงที่ผิวใบ (PAR at leaf surface, $umolm^{-2}s^{-1}$)

1.2 วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าว โดยการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์, b และ a/b โดยการสกัดด้วยอะซิโตน 80 เปอร์เซ็นต์ นำไปวิเคราะห์ด้วย Spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 663, 645 และ 652 นาโนเมตร ตามลำดับ (Yoshida และคณะ 1976)

2. ข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าว

2.1 วัดน้ำหนักแห้งส่วนใบ (leaf) ลำต้นและกาบใบ (stem and leaf sheath) ส่วนต้น (shoot) และส่วนราก (root) โดยนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงจนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่ จึงนำไปชั่งน้ำหนัก (Yoshida และคณะ 1976)

2.2 ความสัมพันธ์ของรากกับลำต้น (root-shoot relation) เพื่อหาลักษณะการกระจายน้ำหนักแห้งของพืชโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ (coefficient, C) ที่ได้จากการวัดน้ำหนักแห้งของต้นต่อน้ำหนักแห้งของราก (นิมิตร 2530)

$$C = \frac{shootDW}{rootDW}$$

2.3 พื้นที่ใบ วัดพื้นที่ใบของข้าวโดยใช้เครื่องมือวัดพื้นที่ใบ (leaf area meter) LI-COR รุ่น LI-3000A

2.4 Specific Leaf Weight (SLW) เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของใบกับพื้นที่ใบ

$$SLW = \frac{\text{น้ำหนักแห้งใบพืช (มิลลิกรัม)}}{\text{พื้นที่ใบ (ตารางเซ็นติเมตร)}}$$

2.5 ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water Use Efficiency, WUE) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ในการรับคาร์บอนไดออกไซด์และการคายน้ำของพืช ซึ่ง Fischer และ Turner (1978) ได้แสดงความสัมพันธ์ไว้ดังนี้

$$WUE = \frac{\Delta CO_2}{\Delta H_2O} = \frac{\Delta DW}{\Delta H_2O}$$

ΔDW = น้ำหนักแห้งของต้นพืช (above ground) ที่เก็บเกี่ยวมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม

ΔH_2O = ปริมาณน้ำที่พืชใช้ไป มีหน่วยเป็น กรัม

2.6 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, RGR) แสดงถึงความสัมพันธ์ของอัตราการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งวัดในรูปน้ำหนักแห้งต่อหน่วยเวลาที่เพิ่มขึ้น

$$RGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$$

W_1, W_2 = น้ำหนักแห้งของต้นข้าวจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ มีหน่วยเป็นกรัม

t_1, t_2 = ระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ มีหน่วยเป็นวัน

2.7 Relative water content เป็นการวัดปริมาณน้ำที่สะสมอยู่ในใบ ต้นและกาบใบ ราก

$$\text{RWC ของใบ (\%)} = \frac{leafFW - leafDW}{leafFW} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (analysis of variance) ตามการจัดการทดลองแบบ Factorial in CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับทดลอง (treatment) โดยใช้ค่า Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95 เปอร์เซ็นต์ (Gomez and Gomez, 1984)

ผลการทดลอง

ผลของเกลือที่มีต่อลักษณะทางสรีระของข้าว

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าว

จากการทดลองพบว่าเมื่อระดับเกลือเพิ่มขึ้นต้นข้าวทั้งสองพันธุ์มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยเฉพาะที่ระดับเกลือตั้งแต่ 60 มิลลิโมลขึ้นไปต้นข้าวมีอัตราสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง 26, 50 และ 43 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นเวลา 1, 7 และ 14 วัน ตามลำดับเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ

สำหรับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงระหว่างข้าว 2 พันธุ์ พบว่า ก่อนการได้รับเกลือทั้งข้าวพอคคาลีและข้าวดอ มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่แตกต่างกัน(4.242 และ4.207 umol m^{-2} s^{-1}) แต่เมื่อต้นข้าวได้รับเกลือตั้งแต่ 1, 7 และ 14 วัน พบว่า พันธุ์ข้าวดอมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำกว่าข้าวพอคคาลี 18, 15 และ 22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการศึกษาปฏิสัมพันธ์ร่วม (interaction) ระหว่างพันธุ์ข้าวกับระดับความเข้มข้นของเกลือ พบว่า ปัจจัยดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 1,Figure 1และ 2)

อัตราการคายน้ำและความต้านทานต่อการแพร่ที่ปากใบของข้าว

ในการศึกษาอัตราการคายน้ำและความต้านทานต่อการแพร่ที่ปากใบของข้าว พบว่า เมื่อต้นข้าวได้รับความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ทำให้มีอัตราการคายน้ำลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติโดยเฉพาะที่ระดับเกลือตั้งแต่ 60 มิลลิโมลขึ้นไป ทำให้อัตราการคายน้ำของข้าวลดลง 14, 38 และ 31 เปอร์เซ็นต์ หลังจากต้นข้าวได้รับเกลือเป็นเวลา 1, 7 และ 14 วัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้รับเกลือ

สำหรับอัตราการคายน้ำระหว่างข้าว 2 พันธุ์ พบว่า เมื่อข้าวได้รับเกลือ 1 วัน พันธุ์ข้าวดอมีอัตราการคายน้ำมากกว่าข้าวพอคคาลีประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามพันธุ์ข้าวดอยังมีอัตราการคายน้ำต่ำกว่าข้าวพอคคาลี 25, 18 และ 12 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับเกลือ 4, 7 และ 14 วัน ตามลำดับ ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วม (interaction) ระหว่างพันธุ์ข้าวกับระดับเกลือ พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ร่วมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อข้าวได้รับเกลือ 4 และ 7 วัน (Table 2, Figure 3)

สำหรับความต้านทานการแพร่ที่ปากใบ ซึ่งเป็นค่าผกผันกับอัตราการคายน้ำ กล่าวคือ ต้นข้าวที่มีความต้านทานต่อการแพร่ที่ปากใบสูงทำให้มีอัตราการคายน้ำต่ำ ซึ่งในการทดลองพบว่า ข้าวทั้งสองพันธุ์มีความต้านทานต่อการแพร่ที่ปากใบเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความเข้มข้นเกลือมากขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ตั้งแต่ระดับเกลือ 60 มิลลิโมลขึ้นไป หลังจากข้าวได้รับเกลือเป็นเวลา

1-14 วัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าว 2 พันธุ์ พบว่า ข้าวดอมีความต้านทานต่อการแพร่ที่ปากใบสูงกว่าข้าวพอคคาลีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติหลังจากได้รับเกลือเป็นเวลา 4 และ 7 วัน จากการศึกษาปฏิสัมพันธ์ร่วม (interaction) ระหว่างพันธุ์ข้าวกับระดับเกลือ พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ร่วมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อข้าวได้รับเกลือ 7 วัน (Table 3, Figure 4)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ในข้าว

ในการทดลองมีการศึกษาผลของเกลือที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ a, b และ a/b ตามลำดับ จากการทดลอง พบว่า การเพิ่มระดับเกลือทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ a และ b ในใบข้าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะเมื่อข้าวได้รับเกลือ 1 วัน แต่เมื่อต้นข้าวได้รับเกลือเป็นเวลา 4-14 วัน พบแนวโน้มว่าปริมาณคลอโรฟิลล์a และ b ในใบข้าวลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ

ในการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ a และ b ระหว่างข้าว 2 พันธุ์ พบว่า ข้าวพอคคาลีมีปริมาณคลอโรฟิลล์ a สูงกว่าข้าวดอเมื่อได้รับเกลือเป็นเวลา 1 และ 4 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวพอคคาลีมีปริมาณคลอโรฟิลล์b สูงกว่าข้าวดอหลังจากได้รับเกลือเป็นเวลา 1, 4 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วม (interaction) ของคลอโรฟิลล์ a และ b ระหว่างพันธุ์ข้าวกับระดับเกลือ ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างปัจจัยดังกล่าว (Table 4)

ส่วนการศึกษาอัตราส่วนของคลอโรฟิลล์ a/b ในข้าว พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นเกลือทำให้อัตราส่วนของคลอโรฟิลล์ a/b ในใบข้าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อต้นข้าวได้รับเกลือเป็นเวลา 1, 4 และ 7 วันตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ จากการเปรียบเทียบอัตราส่วนคลอโรฟิลล์a/b ในข้าว 2 พันธุ์ พบว่า ข้าวดอมีค่าดังกล่าวสูงกว่าข้าวพอคคาลีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วม (interaction) ระหว่างพันธุ์ข้าวกับระดับเกลือพบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อข้าวได้รับเกลือเป็นเวลา 1 และ 7 วันตามลำดับ (Table 4)

ผลของเกลือที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าว

การสร้างน้ำหนักแห้งส่วนต้นและรากข้าว

ในการศึกษาการสร้างน้ำหนักแห้งของต้นข้าวพบว่าเมื่อต้นข้าวได้รับเกลือเพิ่มขึ้นทำให้น้ำหนักแห้งใบ กาบใบ ส่วนต้น และรากของข้าวทั้งสองพันธุ์ลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะที่ระดับเกลือตั้งแต่ 60 มิลลิโมลขึ้นไป ซึ่งน้ำหนักแห้งข้าวที่ลดลงในครั้งนี้ปรากฏชัดเจนหลังจากได้รับเกลือ 4 วัน จากการเปรียบเทียบระหว่างข้าวสองพันธุ์ พบว่า ข้าวพอคคาลีมีการสร้างน้ำหนักแห้งทุกส่วนสูงกว่าข้าวดอแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งในส่วนต้นและราก ข้าวพอคคาลีสามารถสร้างน้ำหนักแห้งสูงกว่าข้าวดอ 40-50 เปอร์เซ็นต์ หลังจากได้รับเกลือเป็นเวลา 4-14 วัน สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวกับระดับเกลือพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากต้นข้าวได้รับเกลือ 14 วัน

เมื่อพิจารณาความเสียหายของข้าวสองพันธุ์หลังจากได้รับเกลือ พบว่า ส่วนต้นข้าวมีแนวโน้มได้รับความเสียหายมากกว่าส่วนรากข้าว โดยพบว่าเกลือทำให้การสร้างน้ำหนักแห้งต้นข้าวลดลง 29-39 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ส่วนรากลดลงเพียง 9-29 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ (Table 5, Figure 5 และ 6)

ในการวัดการกระจายน้ำหนักแห้งของต้นข้าว โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการหาอัตราส่วนระหว่างรากกับลำต้น พบว่า ทั้งข้าวพอคคาลีและข้าวดอมีการตอบสนองต่อเกลือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับเกลือ 7 วัน โดยเฉพาะข้าวพอคคาลีมีอัตราส่วนของรากต่อต้นสูงกว่าข้าวดอ ประมาณ 27 เปอร์เซ็นต์ สำหรับระดับเกลือที่เพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนของรากต่อต้นเพิ่มขึ้นหลังจากได้รับเกลือ 4 และ 7 วัน แต่ค่าดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงหลังจากได้รับเกลือ 14 วัน อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติของปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์กับระดับเกลือ (Table 6, Figure 7 และ 8)

การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบของข้าว

ในการศึกษาพื้นที่ใบข้าว พบว่า เมื่อระดับเกลือเพิ่มขึ้นทำให้พื้นที่ใบข้าวเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้าลง โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับเกลือ 60 มิลลิโมล หลังจากได้รับเกลือตั้งแต่ 4 วันขึ้นไป โดยทำให้พื้นที่ใบข้าวลดลงประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ สำหรับการเพิ่มพื้นที่ใบของข้าวทั้งสองพันธุ์ พบว่า ข้าวพอคคาลีมีการเพิ่มพื้นที่ใบมากกว่าข้าวดอ ประมาณ 30, 27 และ 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อข้าวได้รับเกลือเป็นเวลา 4, 7 และ 14 วัน ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวกับระดับเกลือพบความแตกต่างอย่างมนัยสำคัญทางสถิติหลังจากได้รับเกลือ 4-14 วัน (Table 8, Figure 9)

การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการใช้น้ำของต้นข้าว

ในการศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำของต้นข้าว พบว่า การเพิ่มระดับเกลือทำให้การสร้างน้ำหนักแห้งต่อกรัมของน้ำที่พืชคายออกไปเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะที่ระดับเกลือตั้งแต่ 60 มิลลิโมลขึ้นไป หลังจากต้นข้าวได้รับเกลือ 4-14 วัน จากการเปรียบเทียบระหว่างข้าวพอคคาลีและข้าวดอ พบว่า ข้าวพอคคาลีมีความสามารถในการสร้างน้ำหนักแห้งต่อกรัมของน้ำได้สูงกว่าข้าวดอประมาณ 17-25 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวกับระดับเกลือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดการทดลองเช่นเดียวกัน (Table 9, Figure 10)

การเปลี่ยนแปลง Specific Leaf Weight (SLW) ของข้าว

ในการวัดค่า Specific Leaf Weight ของข้าว พบว่า การเพิ่มระดับเกลือทำให้ค่า SLW ข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตั้งแต่ระดับเกลือ 60 มิลลิโมล หลังจากต้นข้าวได้รับเกลือ 4 และ 14 วัน โดยพบค่าดังกล่าวสูงกว่าต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ 20-28 เปอร์เซ็นต์ จากการเปรียบเทียบค่า SLW ระหว่างข้าว 2 พันธุ์พบว่า ข้าวพอคคาลีมีแนวโน้มให้ค่า SLW สูงกว่าข้าวดอประมาณ 9-16 เปอร์เซ็นต์ตลอดการทดลอง โดยพบความแตกต่างของค่า SLW อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากได้รับเกลือ 4 และ 7 วัน ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวกับระดับเกลือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากต้นข้าวได้รับเกลือ 7 วัน (Table 10, Figure 11)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ กาบใบ และรากข้าว

ในการวัดปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบและกาบใบข้าว พบว่า การเพิ่มระดับเกลือทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ทั้งในใบและกาบใบ มีค่าลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากต้นข้าวได้รับเกลือเป็นเวลา 4-14 และ 7-14 วันตามลำดับ โดยเฉพาะที่ระดับเกลือตั้งแต่ 60 มิลลิโมล สำหรับปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบและกาบใบระหว่างข้าว 2 พันธุ์พบว่าค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าวพอคคาลีมีค่าสูงกว่าข้าวดอประมาณ 7-8 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดการทดลอง ส่วนปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในกาบใบข้าวพบในข้าวดอมีค่าสูงกว่าข้าวพอคคาลีประมาณ 4-6 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากข้าวได้รับเกลือ 1, 4 และ 14 วันตามลำดับ ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวกับระดับเกลือ โดยเฉพาะปริมาณน้ำสัมพัทธ์ทั้งในใบและกาบใบข้าวพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากได้รับเกลือ 4-7 และ 7-14 วัน ตามลำดับ

สำหรับค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนรากข้าวไม่พบความแตกต่างอย่างมนัยสำคัญทางสถิติเมื่อได้รับเกลือเพิ่มขึ้น แต่พบแนวโน้มว่าการเพิ่มระดับเกลือทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในรากข้าวลดลงประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ ส่วนค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในรากระหว่างข้าว 2 พันธุ์พบว่า ข้าวพอคคาลีมีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนรากต่ำกว่าข้าวดอประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากได้รับเกลือ 7 วัน (Table 11)

ในการทดลองเมื่อพิจารณาค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในแต่ละส่วนของต้นข้าว พบว่า การเพิ่มระดับเกลือมีผลกระทบต่อการลดค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบมากกว่ากาบใบและรากข้าว นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อต้นข้าวได้รับเกลือเป็นเวลายาวนานขึ้นทำให้ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบลดลงมากที่สุดประมาณ 10-36 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในกาบใบและรากลดลงเพียง 1-3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ

Table 1 Photosynthetic rate (umol. $m^{-2}s^{-1}$) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Treatments		Time (days)					
		Before treatment	1	4	7	14	Mean
Rice cultivar (A)	Pokkali	4.242	5.311	4.379	4.571	6.429	4.986
	Kaw Dor	4.207	4.351	2.663	3.880	4.985	4.017
NaCl (mM)	0	4.345	6.155	3.982	7.600	10.160	6.448
	30	3.628	6.168	4.228	5.442	7.655	5.424
	60	3.758	4.518	3.647	3.640	5.743	4.261
	90	4.512	3.917	3.245	2.878	3.843	3.679
	120	4.878	3.398	2.502	1.568	1.133	2.696
CV (%)		10.67	19.25	15.81	23.26	22.84	
Level	A	NS	**	**	NS	**	
	B	**	**	**	**	**	
	AB	**	NS	**	**	NS	
LSD 0.05	A	NS	0.714	0.427	NS	1.000	
	B	0.547	1.128	0.675	1.192	1.581	
	AB	0.773	NS	0.955	1.686	NS	

Note: *, ** significant difference at 95 and 99 percent confidence interval levels

NS = non-significant.

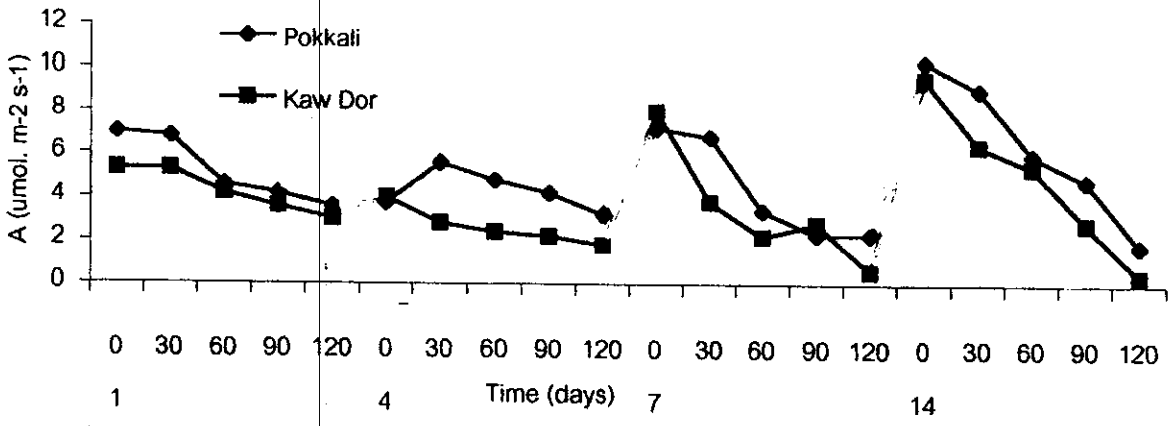

Figure 1 Photoosynthetic rate (A, mol. m-2 s-1) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

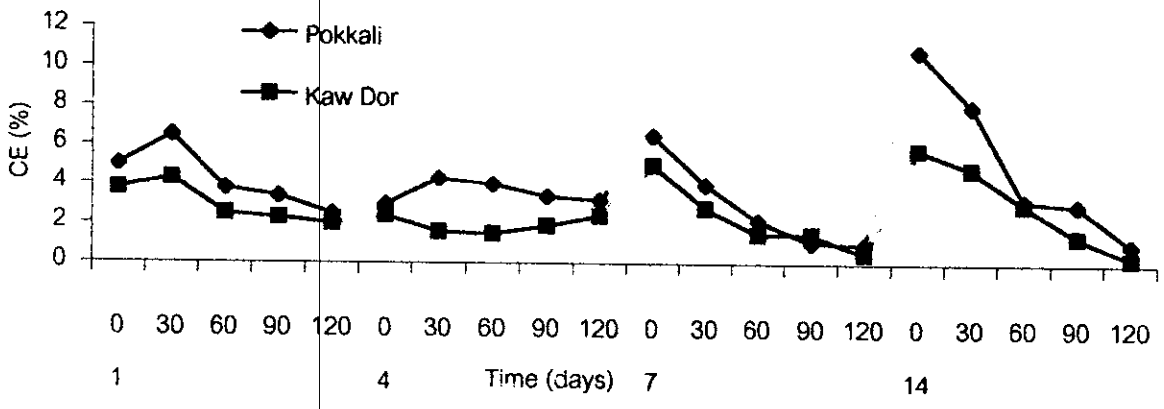

Figure 2 Carboxylation efficiency (CE, %) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Table 2 Transpiration rate (mmol. $m^{-2}s^{-1}$) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Treatments		Time (days) Before treatment	1	4	7	14	Mean
Rice cultivar (A)	Pokkali	1.951	1.675	1.738	1.701	1.913	1.796
	Kaw Dor	1.933	1.842	1.312	1.391	1.690	1.634
NaCl (mM)	0	1.778	2.053	1.882	2.355	3.040	2.222
	30	1.778	2.037	1.865	2.230	2.377	2.057
	60	1.868	1.770	1.625	1.440	2.083	1.757
	90	2.078	1.523	1.210	0.948	0.988	1.349
	120	2.027	1.408	1.043	0.755	0.527	1.152
CV (%)		16.95	17.22	17.06	18.27	14.93	
Level	A	NS	NS	**	**	**	
	B	NS	**	**	**	**	
	AB	NS	NS	**	**	NS	
LSD 0.05	A	NS	NS	0.200	0.217	0.206	
	B	NS	0.368	0.316	0.343	0.325	
	AB	NS	NS	0.447	0.485	NS	

Note: *, ** significant difference at 95 and 99 percent confidence interval levels

NS = non-significant.

Table 3 Stomatal resistance ($m^2s^{-1}mol^{-1}$) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Treatments		Time (days)					Mean
		Before treatment	1	4	7	14	
Rice cultivar (A)	Pokkali	20.589	23.718	30.611	24.817	29.760	25.899
	Kaw Dor	21.207	26.140	46.305	56.661	26.263	35.315
NaCl (mM)	0	21.736	16.919	27.537	14.813	7.961	17.793
	30	23.775	20.447	27.167	11.321	14.344	19.411
	60	21.995	25.945	33.018	21.742	18.340	24.208
	90	19.070	29.835	51.721	40.565	27.455	33.729
	120	17.914	31.498	52.845	115.255	71.956	57.894
CV (%)		23.87	21.49	28.30	39.38	38.24	
Level	A	NS	NS	**	**	NS	
	B	NS	**	**	**	**	
	AB	NS	NS	NS	**	NS	
LSD 0.05	A	NS	NS	8.349	18.559	NS	
	B	NS	6.499	13.200	29.344	25.564	
	AB	NS	NS	NS	41.499	NS	

Note: *, ** significant difference at 95 and 99 percent confidence interval levels

NS = non-significant.

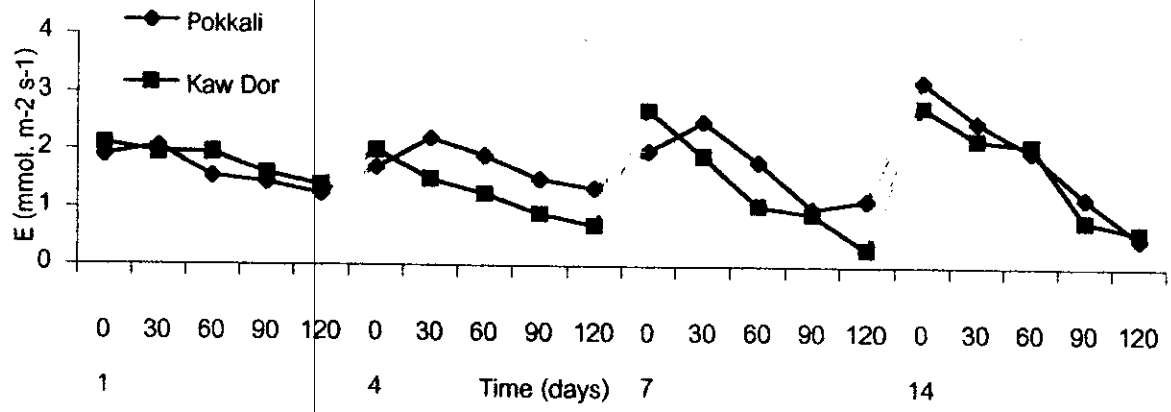

Figure 3 Transpiration rate (E, mmol. m-2 s-1) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

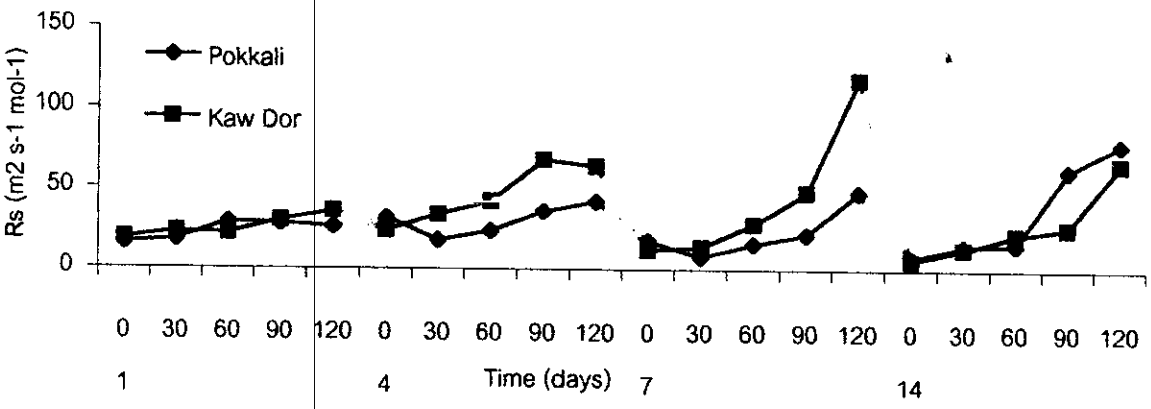

Figure 4 Stomatal resistance (Rs, m2 s-1 mol.) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Table 4 Chlorophyll a, b (mg chl./g.fresh weight) and a/b of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Treatments	1 DAT			4 DAT			7 DAT			14 DAT		
	Chl.a	Chl.b	Chl.a/b	Chl.a	Chl.b	Chl.a/b	Chl.a	Chl.b	Chl.a/b	Chl.a	Chl.b	Chl.a/b
Rice cultivar (A) Pokkali	1.193	0.438	2.172	1.122	0.446	2.516	1.268	0.634	2.000	1.017	0.455	2.239
Kaw Dor	1.191	0.416	2.859	1.014	0.390	2.591	1.487	0.566	2.627	1.139	0.472	2.399
NaCl (mM) (B) 0	0.986	0.350	2.824	1.098	0.422	2.605	1.326	0.782	1.696	1.112	0.472	2.372
30	1.169	0.408	2.866	1.138	0.443	2.570	1.415	0.559	2.531	1.268	0.548	2.305
60	1.122	0.406	2.752	1.060	0.415	2.552	1.421	0.559	2.542	1.092	0.487	2.226
90	1.174	0.426	2.754	0.974	0.380	2.564	1.455	0.584	2.491	0.809	0.350	2.297
120	1.510	0.548	2.769	1.070	0.429	2.476	1.270	0.515	2.466	1.110	0.462	2.395
CV (%)	13.39	12.98	3.08	19.78	18.57	3.14	15.34	33.85	16.38	26.77	23.42	7.28
Level A	NS	NS	**	NS	NS	*	**	NS	*	NS	NS	*
B	**	**	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
AB	*	**	*	NS	NS	NS	NS	**	*	NS	NS	NS
LSD 0.05 A	NS	NS	0.064	NS	NS	0.059	0.163	NS	0.249	NS	NS	0.128
B	0.192	0.066	0.101	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
AB	0.271	0.094	0.144	NS	NS	NS	NS	0.347	0.556	NS	NS	NS

Note: *, ** significant difference at 95 and 99 percent confidence interval levels, NS = non-significant.

Table 5 Leaf, leaf sheath and root dry weights (g/plant) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Treatments		1 DAT			4 DAT			7 DAT			14 DAT		
		leaf	Leaf sheath	root	leaf	Leaf sheath	root	leaf	Leaf sheath	root	leaf	Leaf sheath	root
Rice cultivar (A)	Pokkali	0.147	0.132	0.136	0.181	0.146	0.116	0.239	0.188	0.126	0.715	0.553	0.308
	Kaw Dor	0.103	0.056	0.071	0.102	0.064	0.054	0.161	0.103	0.058	0.378	0.279	0.165
NaCl (mM) (B)	0	0.118	0.081	0.106	0.168	0.110	0.083	0.244	0.184	0.109	0.607	0.508	0.295
	30	0.118	0.084	0.113	0.146	0.100	0.110	0.211	0.174	0.108	0.634	0.521	0.281
	60	0.149	0.109	0.122	0.167	0.115	0.071	0.203	0.149	0.085	0.558	0.418	0.237
	90	0.110	0.089	0.079	0.124	0.110	0.081	0.179	0.122	0.079	0.479	0.359	0.210
	120	1.131	0.110	0.098	0.105	0.092	0.076	0.164	0.099	0.078	0.455	0.275	0.160
CV (%)		38.51	37.88	48.53	25.81	30.88	48.08	37.30	37.56	37.02	17.27	18.64	19.78
Level	A	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	B	NS	NS	NS	*	NS	NS	*	*	NS	**	**	**
	AB	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	**
LSD 0.05	A	0.034	0.024	0.034	0.024	0.024	0.034	0.054	0.042	0.024	0.049	0.042	0.024
	B	NS	NS	NS	0.038	NS	NS	0.086	0.066	NS	0.077	0.066	0.038
	AB	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.108	0.094	0.054

Note: *, ** significant difference at 95 and 99 percent confidence interval levels, NS = non-significant.

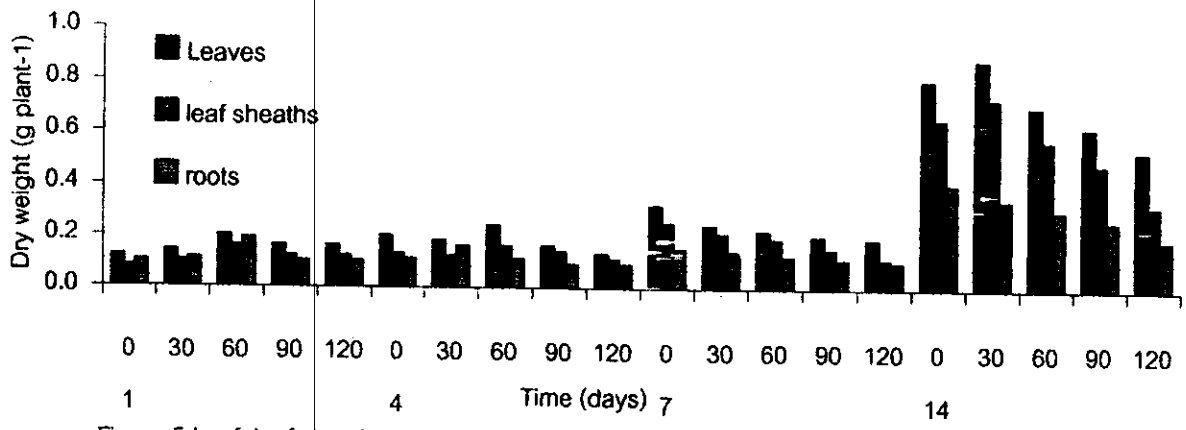

Figure 5 Leaf, leaf sheath and rooot dry weights (g plant-1) of Pokkali at 1-14 days after salinization.

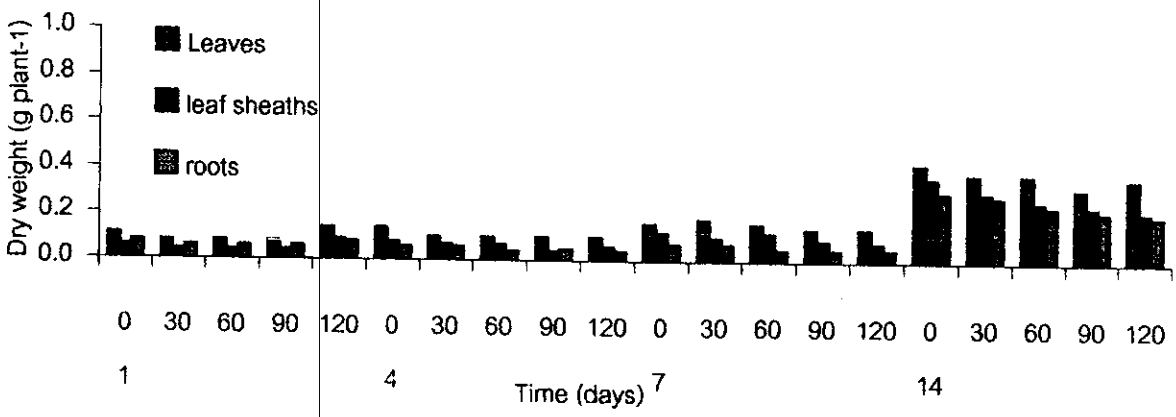

Figure 6 Leaf, leaf sheath and root dry weights (g plant-1) of Kaw Dor at 1-14 days after salinization.

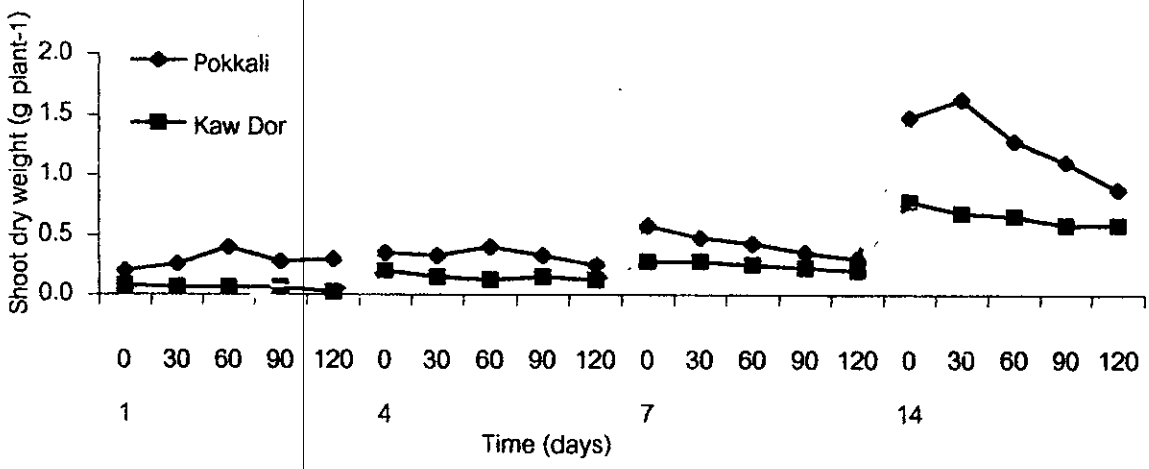

Figure 7 Shoot dry weight (g plant-1) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

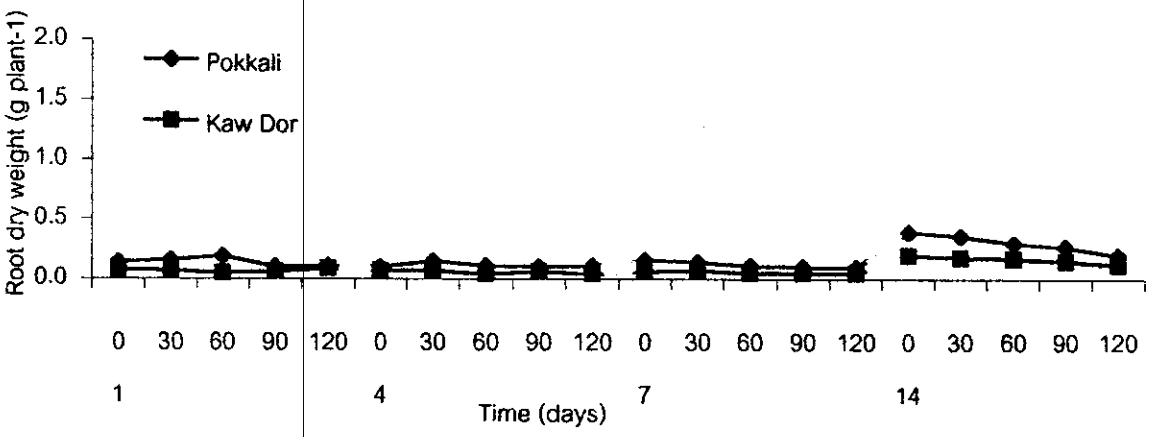

Figure 8 Root dry weight (g plant-1) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Table 6 Root: shoot ratios of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Treatments		Time (days)				Mean
		1	4	7	14	
Rice cultivar (A)	Pokkali	0.487	0.363	0.299	0.243	0.348
	Kaw Dor	0.449	0.323	0.220	0.251	0.311
NaCl (mM) (B)	0	0.530	0.299	0.249	0.262	0.335
	30	0.547	0.440	0.275	0.252	0.379
	60	0.438	0.262	0.233	0.246	0.295
	90	0.419	0.354	0.254	0.253	0.320
	120	0.407	0.361	0.288	0.219	0.319
CV (%)		28.03	31.76	25.00	8.77	
Level	A	NS	NS	*	NS	
	B	*	*	NS	**	
	AB	NS	NS	NS	NS	
LSD 0.05	A	NS	NS	0.054	NS	
	B	0.103	0.127	NS	0.012	
	AB	NS	NS	NS	NS	

Note: *, ** significant difference at 95 and 99 percent confidence interval levels

NS = non-significant.

Table 7 Relative Growth Rate (g g-1 d-1) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Treatments		Time (days)			Mean
		1-4	4-7	7-14	
Rice cultivar (A)	Pokkali	0.101	0.088	0.098	0.096
	Kaw Dor	0.055	0.051	0.086	0.064
NaCl (mM) (B)	0	0.128	0.131	0.132	0.130
	30	0.102	0.086	0.115	0.101
	60	0.065	0.060	0.090	0.072
	90	0.055	0.039	0.060	0.051
	120	0.041	0.032	0.065	0.046
CV (%)		36.93	45.16	36.53	
Level	A	NS	NS	NS	
	B	NS	NS	**	
	AB	NS	NS	NS	
LSD 0.05	A	NS	NS	NS	
	B	NS	NS	0.038	
	AB	NS	NS	NS	

Note: *, ** significant difference at 95 and 99 percent confidence interval levels

NS = non-significant.

Table 8 Leaf area (cm2 plant-1) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Treatments		Time (days)				Mean
		1	4	7	14	
Rice cultivar (A)	Pokkali	59.68	61.41	80.37	150.20	87.92
	Kaw Dor	49.81	41.15	59.16	87.41	59.38
NaCl (mM) (B)	0	51.55	66.83	79.53	154.86	88.19
	30	53.93	54.81	89.14	155.24	88.28
	60	64.34	50.10	67.71	119.02	75.29
	90	44.80	46.24	60.67	102.11	63.46
	120	59.14	38.42	51.78	62.83	53.04
CV (%)		33.10	26.34	40.40	19.61	
Level	A	NS	**	**	**	
	B	NS	**	*	**	
	AB	NS	NS	NS	**	
LSD 0.05	A	NS	10.38	19.60	12.27	
	B	NS	16.41	30.99	19.38	
	AB	NS	NS	NS	27.42	

Note: *, ** significant difference at 95 and 99 percent confidence interval levels

NS = non-significant.

Table 9 Water use efficiency (mg g-1) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Treatments		Time (days)				Mean
		1	4	7	14	
Rice cultivar (A)	Pokkali	463.55	535.73	602.63	600.07	550.50
	Kaw Dor	351.05	431.33	474.61	500.38	439.34
NaCl (mM) (B)	0	406.15	410.96	410.80	407.87	408.95
	30	410.99	431.76	463.07	489.91	448.93
	60	401.21	484.10	542.03	481.50	477.21
	90	414.73	516.20	581.17	622.13	533.56
	120	403.43	574.61	696.02	749.71	605.94
CV (%)		4.54	0.62	0.32	14.13	
Level	A	**	**	**	**	
	B	NS	**	**	**	
	AB	NS	**	**	NS	
LSD 0.05	A	14.19	2.30	1.31	59.63	
	B	NS	3.64	2.07	92.28	
	AB	NS	5.15	2.93	NS	

Note: *, ** significant difference at 95 and 99 percent confidence interval levels

NS = non-significant.

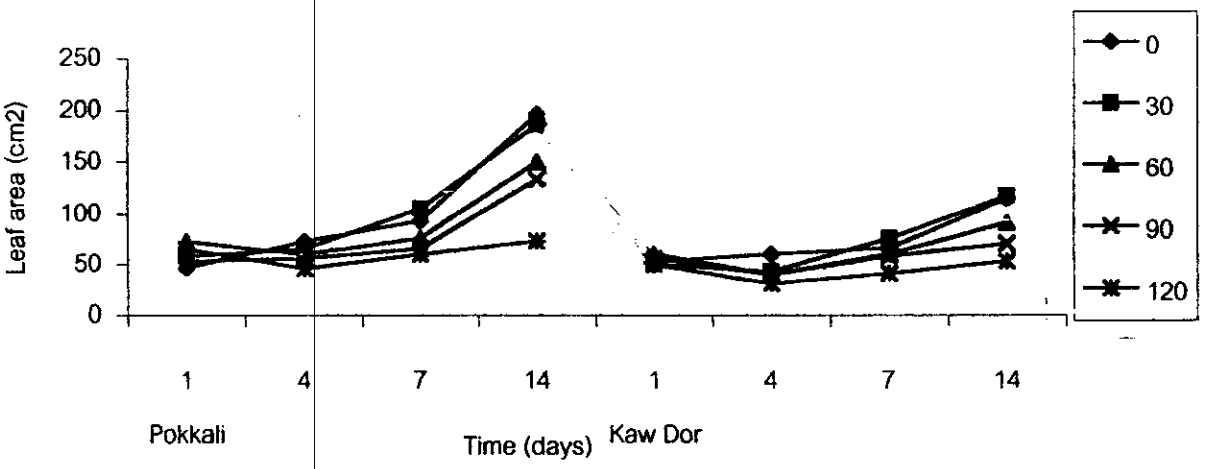

Figure 9 Leaf area (cm2) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

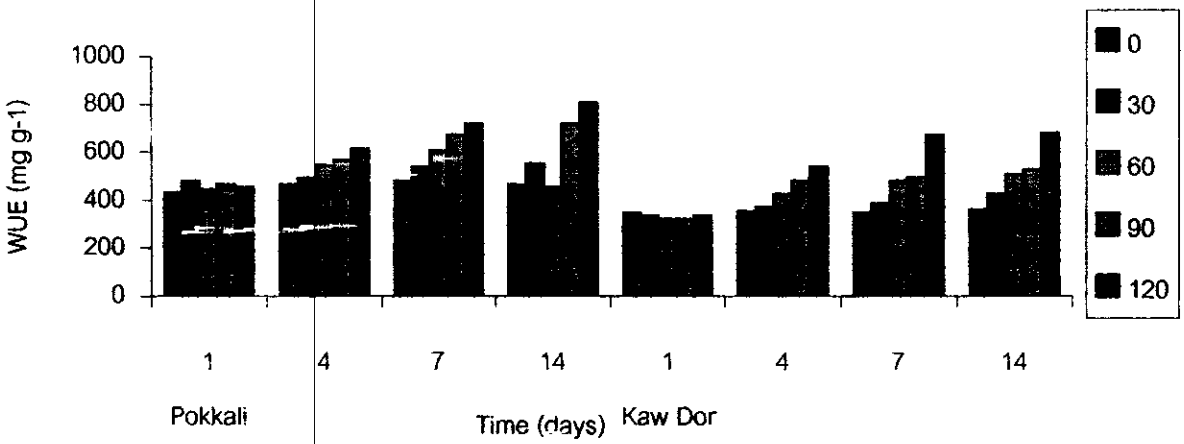

Figure 10 Water use efficiency (WUE, mg g-1) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Table 10 Specific leaf weight (mg cm-2) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Treatments		Time (days)				Mean
		1	4	7	14	
Rice cultivar (A)	Pokkali	2.466	2.941	3.018	5.112	3.384
	Kaw Dor	2.091	2.546	2.770	4.626	3.008
NaCl (mM) (B)	0	2.298	2.487	2.993	3.896	2.919
	30	2.171	2.598	2.385	3.923	2.769
	60	2.239	3.177	2.987	4.639	3.261
	90	2.434	2.671	2.937	4.692	3.184
	120	2.247	2.784	3.168	7.196	3.849
CV (%)		28.51	14.44	15.34	19.11	
Level	A	NS	**	*	NS	
	B	NS	**	*	**	
	AB	NS	NS	**	NS	
LSD 0.05	A	NS	0.333	0.348	NS	
	B	NS	0.526	0.551	1.151	
	AB	NS	NS	0.779	NS	

Note: *, ** significant difference at 95 and 99 percent confidence interval levels

NS = non-significant.

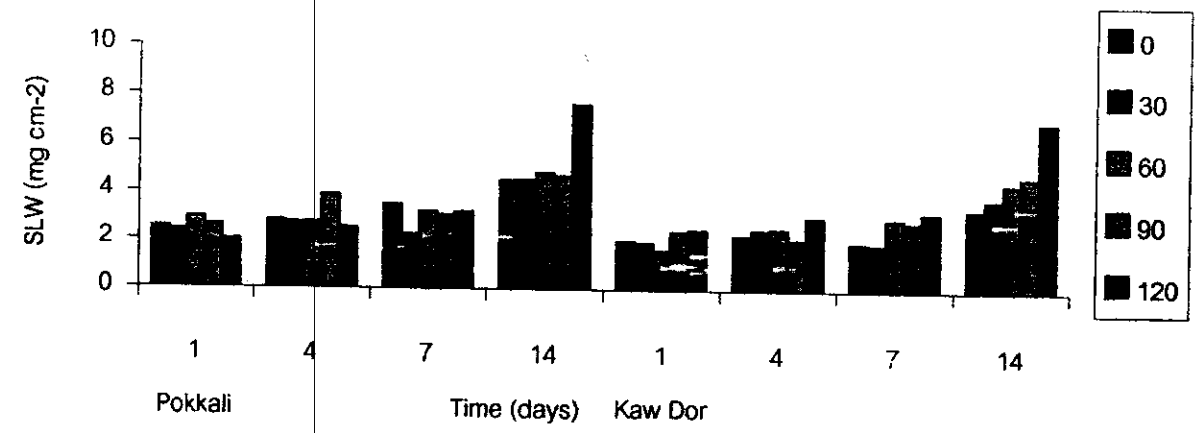

Figure 11 Specific leaf weight (SLW, mg cm-2) of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

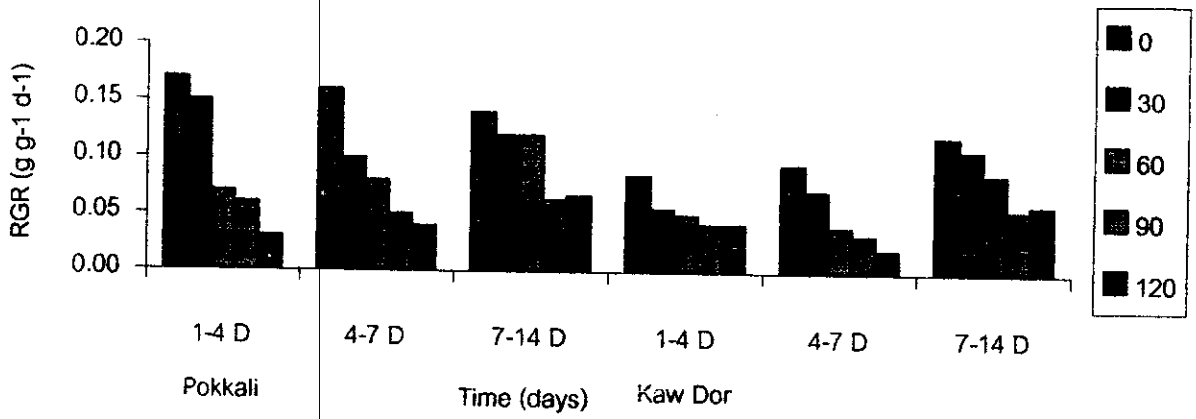

Figure 12 Relative growth rate (RGR, g g-1 d-1) of two ricw cultivars at 1-14 days after salinization.

Table 11 Relative water content (%) in leaves, leaf sheaths and roots of two rice cultivars at 1-14 days after salinization.

Treatments	1 DAT			4 DAT			7 DAT			14 DAT		
	leaf	Leaf sheath	root	leaf	Leaf sheath	root	leaf	Leaf sheath	root	leaf	Leaf sheath	root
Rice cultivar (A) Pokkali	74.02	88.14	90.07	70.02	87.01	89.33	68.18	86.50	88.53	66.61	86.85	89.89
Kaw Dor	68.35	92.22	90.35	65.19	92.22	90.35	62.60	86.61	90.61	61.36	86.12	89.67
NaCl (mM) (B) 0	71.23	91.13	90.48	70.99	91.34	90.50	71.01	87.36	90.56	75.07	88.50	90.31
30	71.03	89.93	89.62	69.97	89.95	89.62	68.53	87.54	90.30	67.28	84.94	89.69
60	71.46	91.18	90.39	67.48	90.04	90.38	64.99	85.79	89.26	67.51	84.94	89.69
90	70.84	89.46	89.76	66.02	87.90	89.79	63.44	86.16	89.00	62.26	85.95	89.50
120	71.37	89.19	90.79	63.55	88.84	88.92	58.98	85.93	88.72	47.81	86.83	89.27
CV (%)	1.22	1.69	1.53	0.19	2.23	1.70	0.10	0.92	2.16	8.40	0.58	0.71
Level A	**	**	NS	**	**	NS	**	NS	**	*	**	NS
B	NS	NS	NS	**	*	NS	**	**	NS	**	**	*
AB	NS	NS	NS	**	NS	NS	**	*	NS	NS	**	NS
LSD 0.05 A	0.66	1.17	NS	0.10	1.54	NS	0.05	NS	1.49	4.12	0.38	NS
B	NS	NS	NS	0.16	2.43	NS	0.08	0.96	NS	6.52	0.61	0.78
AB	NS	NS	NS	0.22	NS	NS	0.11	1.36	NS	NS	0.86	NS

Note: *, ** significant difference at 95 and 99 percent confidence interval levels, NS = non-significant.

วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าว

ในการศึกษาผลของเกลือที่มีต่อลักษณะทางสรีระของข้าว พบว่า การเพิ่มระดับเกลือทำให้อัตราการคายน้ำของข้าวลดลงหลังจากข้าวได้รับเกลือตั้งแต่ 1 วัน โดยเฉพาะที่ระดับเกลือ 60 มิลลิโมลขึ้นไป ทำให้อัตราการคายน้ำของข้าวลดลง 14, 38 และ 31 เปอร์เซ็นต์ เมื่อข้าวได้รับเกลือ 4, 7 และ 14 วัน ตามลำดับ เปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ สำหรับอัตราการคายน้ำระหว่างข้าว 2 พันธุ์ พบว่า ข้าวพอคคาลีมีอัตราการคายน้ำสูงกว่าข้าวดอ 12-25 เปอร์เซ็นต์ หลังจากได้รับเกลือ 4-14 วัน สาเหตุที่ทำให้อัตราการคายน้ำของพืชลดลงอาจมีความเกี่ยวข้องกับการเพิ่มความต้านทานต่อการแพร่ที่ปากใบ (stomata resistance) เมื่อต้นข้าวได้รับเกลือเพิ่มขึ้น ในที่นี้จะเห็นว่าอัตราการคายน้ำกับความต้านทานต่อการแพร่ที่ปากใบมีความสัมพันธ์ในทางลบ(negative correlation) $Y = 58.702 - 19.208X$, $r = -0.920^{**}$; $Y = 89.801 - 33.668X$, $r = 0.0989^{**}$ $Y = 111.347 - 46.050X$, $r = -0.789^{**}$; $Y = 66.384 - 21.288X$, $r = -0.858^{**}$ หลังจากได้รับเกลือ 1-14 วัน ตามลำดับกล่าวคือ การเพิ่มความต้านทานต่อการแพร่ที่ปากใบทำให้อัตราการคายน้ำของข้าวลดลง สุวัฒน์ (2533) ศึกษาในข้าวพันธุ์พอคคาลีและ กข.6 ที่ระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0-120 มิลลิโมล พบว่า ที่ระดับเกลือ 60 มิลลิโมล ความต้านทานต่อการแพร่ที่ปากใบของต้นข้าวที่ได้รับเกลือเพิ่มสูงกว่าต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ 2-3 เท่า จึงทำให้อัตราการคายน้ำของต้นข้าวลดลง 30-40 เปอร์เซ็นต์ ดังเช่น หลังจากต้นข้าวได้รับเกลือที่ความเข้มข้น 60 มิลลิโมลเป็นเวลา 1 และ 14 วัน ต้นข้าวมีอัตราการคายน้ำ 13.246 และ 6.340 $ugcm^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ ส่วนข้าวที่ไม่ได้รับเกลือมีค่าอัตราการคายน้ำเท่ากับ 20.497 และ 11.569 $ugcm^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ ผลดังกล่าวยังชี้ให้เห็นว่าระยะเวลาที่ข้าวได้รับเกลือยาวนานขึ้นทำให้อัตราการคายน้ำของข้าวลดลง นอกจากนี้ข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลียังมีอัตราการคายน้ำต่ำกว่าข้าว กข. 6 ประมาณ 25-45 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าว พบว่า การเพิ่มระดับเกลือทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของข้าวลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ โดยเฉพาะที่ระดับเกลือ 60 มิลลิโมล เกลือทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวลดลง 26, 50 และ 43 เปอร์เซ็นต์ หลังจากได้รับเกลือ 1, 7 และ 14 วันตามลำดับ จากการเปรียบเทียบระหว่างข้าว 2 พันธุ์ พบว่า ข้าวดอมีอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำกว่าข้าวพอคคาลี 18, 15 และ 22 เปอร์เซ็นต์หลังจากได้รับเกลือ 1, 7 และ 14 วัน ซึ่งในการทดลองเมื่อพิจารณาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวพบว่า การเพิ่มระดับเกลือที่มีผลต่อการลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยบางประการทางสรีรวิทยาของพืช อาทิ การสร้างความต้านทานต่อการแพร่ที่

ปากใบ (stomatal resistance) ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ และประสิทธิภาพในการตรึงCO_2 ของข้าว (Carboxylation Efficiency) ปัจจัยดังกล่าวสามารถจำแนกเหตุผลประกอบได้ดังนี้ คือ ประการแรก เกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่อการแพร่ CO_2 ที่ปากใบข้าว เนื่องจากเมื่อข้าวที่รับเกลือเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความต้านทานที่ปากใบเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งในการลดการสูญเสียน้ำทางปากใบ และยังมผลกระทบต่อการลดการแพร่ CO_2 จากบรรยากาศผ่านเข้าทางปากใบ ประการที่สอง เกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้ประสิทธิภาพในการตรึง CO_2 ลดลง ในการทดลอง พบว่า ความต้านทานต่อการแพร่ของเซล mesophyll อาจมีบทบาทสำคัญกว่าที่ stomata เนื่องจากสังเกตว่าค่า CO_2 ใน substomatal ของต้นข้าวที่ได้รับเกลือ 120 มิลลิโมล มีค่าสูงกว่าต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือประมาณ 10-40 เปอร์เซ็นต์ หลังจากได้รับเกลือ 4 และ 7 วัน ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าประสิทธิภาพในการตรึง CO_2 และอัตราการสังเคราะห์แสงของข้าว พบว่า ค่าดังกล่าวลดลงประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์ ประการที่สาม เกลือโซเดียมคลอไรด์ทำความเสียหายต่อคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็น photosynthetic pigment ที่สำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งในการทดลอง พบว่า ที่ระดับเกลือ 60 มิลลิโมล ปริมาณคลอโรฟิลล์a และ b ของข้าวลดลง 2-4 และ 2-29 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ อย่างไรก็ตามผลดังกล่าวยังไม่สามารถแสดงได้ชัดเจนว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ทำความเสียหายต่อคลอโรฟิลล์ในใบจนกระทั่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชในครั้งนี้ ในการศึกษาผลของเกลือที่มีต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง Boyer (1965) พบว่า การสังเคราะห์ด้วยแสงของฝ้ายลดลงเมื่อปลูกในสภาพดินเค็ม ทั้งนี้เกลือไม่มีบทบาทต่อการปิดเปิดปากใบ แต่อาจเป็นเพราะการเพิ่มความต้านทานต่อการแพร่ของ CO_2 ที่เซลล์ของ mesophyll จึงไปลดกระบวนการตรึง CO_2 ส่วน Robinson และคณะ (1983) พบว่า ที่ระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์ 200 มิลลิโมล spinach มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง 13 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้รับเกลือ และเมื่อให้ CO_2 ในสภาพอิ่มตัวปรากฏว่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชไม่เพิ่มขึ้นและจากการวัดค่าการนำที่ปากใบ (stomatal conductance) ของ spinach พบว่ามีค่าลดลง 70 เปอร์เซ็นต์ในพืชที่ได้รับเกลือ เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ไม่ได้รับเกลือ นอกจากนี้ Langstreth และ Nobel (1979) ศึกษาผลของเกลือที่มีต่อลักษณะทางกายวิภาคของใบ โดยทดลองใน kidney bean (*Phaseolus vulgalis*) ฝ้าย (*Gossypium hirsutum*) และ *Atriplex patata* พบว่า การเพิ่มระดับเกลือทำให้พืชดังกล่าวมีการปรับตัวโดยการเพิ่มความหนาของเซลล์ mesophyll การเพิ่มขนาด palisade และ spongy cell สิ่งสำคัญที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสง คือ การเพิ่มความต้านทานต่อการแพร่ของปากใบ และเซลล์ mesophyll จึงทำให้การแพร่ CO_2 เข้าสู่ใบพืชลดลง

ในการศึกษาผลของการสะสมเกลือโซเดียมในเนื้อเยื่อที่มีต่อโครงสร้างภายใน (ultrastructure) ของเซลล์ และการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าว Flowers และคณะ (1985) พบว่า เมื่อ

เกลือสะสมในเนื้อเยื่อ 400 mmol./kgDW. ทำให้โครงสร้างของคลอโรพลาสในข้าวพันธุ์ Amber (พันธุ์ไม่ทนเค็ม) เสียสภาพมากถึง 83 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความเข้มข้นดังกล่าวไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อคลอโรพลาสของข้าวพันธุ์ IR2153 (พันธุ์ทนเค็ม) และเมื่อเกลือโซเดียมสะสมในใบตั้งแต่ 300-500 mmol./kgDW. ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวพันธุ์ Amber และ IR2153 ลดลง 60 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากผลการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์ทำความเสียหายต่อกลไกทางสรีรวิทยาของพืช ได้แก่ การเพิ่มความต้านทานที่ปากใบซึ่งมีผลต่อการลดการแพร่ CO_2 จากบรรยากาศเข้าสู่ปากใบ การลดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ตลอดจนการลดประสิทธิภาพในการตรึง CO_2 (carboxylation efficiency) ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช สำหรับพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ พบว่า ข้าวพอคคาลีได้รับความเสียหายจากเกลือโซเดียมน้อยกว่า ดังนั้นจึงมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงกว่าข้าวดอ

<u>ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะการเจริญเติบโตของข้าว</u>

ในการศึกษาผลของเกลือที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าวโดยพิจารณาจากการสร้างน้ำหนักแห้งใบ กาบใบ ต้น และ ราก พบว่า การเพิ่มระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้การสร้างน้ำหนักแห้งในทุกส่วนของต้นข้าวลดลง ซึ่งระดับวิกฤตของเกลืออยู่ในช่วง 60 มิลลิโมลขึ้นไป สำหรับการลดลงของน้ำหนักแห้งข้าวเริ่มปรากฏชัดเจนหลังจากได้รับเกลือเป็นเวลา 4 วันขึ้นไป จากการเปรียบเทียบการสร้างน้ำหนักแห้งระหว่างข้าว 2 พันธุ์ พบว่า ข้าวพอคคาลีมีการสร้างน้ำหนักแห้งทุกส่วนสูงกว่าข้าวดอ 40-50 เปอร์เซ็นต์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากต้นข้าวได้รับเกลือเป็นเวลา 4-14 วัน สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วม (interaction) ระหว่างพันธุ์ข้าวกับระดับเกลือ พบว่า ทั้งน้ำหนักแห้งใบ กาบใบ ต้น และราก มีค่าลดลงเมื่อได้รับเกลือเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากต้นข้าวได้รับเกลือเป็นเวลา 14 วัน Flowers และ Yeo (1981) ทดลองในข้าวทนเค็มพันธุ์ IR2153 กับพันธุ์ไม่ทนเค็ม IR28 ในระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 50 มิลลิโมล เกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้การสร้างน้ำหนักแห้งของข้าวทนเค็มกับพันธุ์ไม่ทนเค็ม ลดลง 20 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อได้รับเกลือเป็นเวลา 10 วัน พรชัย (2528) ศึกษาอิทธิพลของเกลือที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าว 3 พันธุ์ พบว่า หลังการปักดำและให้ต้นข้าวได้รับเกลือเป็นเวลา 30 วัน การเพิ่มระดับเกลือทำให้การเจริญเติบโตในส่วนของใบและลำต้น (shoot) ราก ตลอดจนการแตกกอของข้าวลดลง โดยเฉพาะที่ระดับเกลือตั้งแต่ 80 มิลลิโมล ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าว 3 พันธุ์ พบว่า ข้าวพอคคาลีมีการเจริญเติบโตสูงสุดแตกต่างจากข้าว กข.6 และอีแห้ง คิดเป็น 33, 9 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ปลูกโดยไม่ได้รับเกลือ

สำหรับสาเหตุที่ทำให้ต้นข้าวทั้งสองพันธุ์มีการเจริญเติบโตลดลงเมื่อได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์อาจเนื่องมาจากเกลือโซเดียมทำให้เกิดความเสียหายต่อแหล่งผลิต (source) และแหล่งรับ (sink) ของพืช (Greenway and Munns 1980) Delane และคณะ (1982) ศึกษาผลของเกลือที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยทดลองในข้าวบาร์เล่ย์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนย้ายสารสังเคราะห์ (photosynthate) จากแหล่งผลิต (source) ไปยังแหล่งรับ (sink) โดยวัดปริมาณซูโครสในใบเจริญเติบโตเต็มที่ (mature leaf) กับใบอ่อน (growing leaf) พบว่า ข้าวบาร์เล่ย์มีความเข้มข้นของ soluble CH_2O ที่ใบอ่อนเพิ่มขึ้น 30 และ 60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับเกลือ 120 และ 180 มิลลิโมล โดยการเปรียบเทียบกับข้าวบาร์เล่ย์ที่ได้รับเกลือเพียง 0.5 มิลลิโมล ส่วนความเข้มข้นของ soluble CH_2O ในใบที่เจริญเติบโตเต็มที่มีค่าลดลง 2 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับเกลือ 0.5 มิลลิโมล แต่จากงานทดลองของเกริกและคณะ (2531) พบว่า ข้าว กข.6 ที่ได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นในระยะต้นกล้า ทำให้ปริมาณแป้งและน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ทั้งในส่วนใบแก่และใบอ่อนลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลโดยตรงต่อการลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง หรืออาจเกิดขึ้นเนื่องจากต้นข้าวมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นจึงทำให้ปริมาณสารสังเคราะห์ (photosynthate) ไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง (Greenway and Munns 1980)

สำหรับการลดกิจกรรมของแหล่งผลิต (source) หรือแหล่งรับ (sink) อาหารของพืช เมื่อพืชได้รับความเครียดจากเกลือโซเดียมคลอไรด์นั้นอาจเนื่องมาจากสาเหตุสำคัญ 3 ประการ คือ ประการที่หนึ่ง เกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อการลดค่าศักย์ของน้ำ (water potential) ในสารละลายอาหารจึงทำให้พืชเกิดการขาดน้ำขึ้น ประการที่สอง ความเป็นพิษที่เกิดจากเกลือโซเดียม (Na ion toxicity) ซึ่งพืชได้รับมากเกินพอ จึงทำให้ไปรบกวนต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืชตลอดจนความสมดุลย์ของ electrolyte ในเนื้อเยื่อพืช ประการที่สาม เกลือโซเดียมคลอไรด์อาจมีผลต่อการลดการดูดซึมธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและพัฒนาการของพืช (essential elements) จึงทำให้สูญเสียความสมดุลย์ของไอออน (ion imbalance stress) ในพืช ดังนั้น พืชจึงแสดงอาการขาดธาตุอาหารบางชนิดเกิดขึ้น (Greenway 1973)

จากผลการทดลองนี้พบว่าปัจจัยที่สนับสนุนการสร้างน้ำหนักแห้งของพืชมีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบ ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water uuse efficiency) และความหนาของใบข้าว (specific leaf weight) ซึ่งในที่นี้ข้าวพอคคาลีมีศักยภาพของปัจจัยดังกล่าวสูงกว่าข้าวดอ จึงทำให้การสร้างน้ำหนักแห้งทั้งในส่วนใบ กาบใบ ส่วนต้น และราก มากกว่าข้าวดอ อย่างไรก็ตาม ทั้งการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบ ประสิทธิภาพการใช้น้ำและ specific leaf weight ของข้าวทั้งสองพันธุ์ในครั้งนี้

ล้วนได้รับความเสียหายมากขึ้นเมื่อต้นข้าวได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้นของเกลือตั้งแต่ 60 มิลลิโมล ขึ้นไป

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (Relative water content) ทั้งในใบ กาบใบ และรากของข้าวทั้งสองพันธุ์ พบว่า การเพิ่มระดับเกลือทำให้ประมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของข้าวพอคคาลีและข้าวดอลดลง 5-10 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับเกลือ 60 มิลลิโมล ส่วนที่ 120 มิลลิโมล ข้าวพอคคาลีและข้าวดอมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบลดลง 12-40 และ 9-35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ (ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าวพอคคาลีและข้าวดอที่ไม่ได้รับเกลือ มีค่าประมาณ 74 และ 68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วนปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในกาบใบและรากของข้าวทั้งสองพันธุ์ พบในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าต้นข้าวได้รับเกลือเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มระดับเกลือทำให้ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของข้าวทั้งสองพันธุ์ลดลงมากกว่าส่วนกาบใบและราก ผลเสียหายดังกล่าวอาจเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงการเกิดอาการขาดน้ำในใบพืช ซึ่งส่งผลกระทบต่อความเต่ง (turgid) ของเซลล์จึงทำให้การยืดตัวและการขยายตัวของเซลล์ลดลง ดังนั้นจึงทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง (Greenway 1973)

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปประเด็นได้ดังนี้

1. เกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้การเจริญเติบโตของข้าวลดลง โดยทำให้การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบ ประสิทธิภาพการใช้น้ำ specific leaf weight และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าวลดลง จึงทำให้การสร้างน้ำหนักแห้งใบ กาบใบ ต้น และราก ลดลง

2. ระดับวิกฤตของเกลือที่ที่ทำให้การเจริญเติบโตของข้าวทั้งสองพันธุ์ลดลงพบที่ระดับเกลือตั้งแต่ 60 มิลลิโมลขึ้นไป

3. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวทั้งสองพบว่า ข้าวพอคคาลีมีประสิทธิภาพในการสร้างน้ำหนักแห้งค่อนข้างสูง จึงสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าข้าวดอซึ่งเป็นพันธุ์พื้นเมือง

4. ในการทดลองนี้พบว่า ลักษณะที่ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินเค็มนั้น ต้นข้าวต้องมีความสามารถในการปรับตัวด้านกลไกทางสรีรวิทยาของพืชได้อย่างเหมาะสม อาทิ การปรับความต้านทานที่ปากใบ (stomatal resistance), การลดอัตราการคายน้ำ (transpiration rate), การเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic rate) ตลอดจนการสร้างและสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ในส่วนใบ

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน 2529. วิธีเพิ่มผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินเค็มวารสารพัฒนาที่ดิน 23 (254) : 15-22.

เกริก ปั้นเหน่งพ็ชร วิริยะ ลิมปินันทน์ นิมิต วรสูต บรรยง ทุมแสน และ อำนวยศิลป์ สุขศรี 2531. ผลของเกลือที่มีต่อการเจริญเติบโตและปริมาณซอสาร์โบไฮเดรทในข้าว. **รายงานการสัมมนาการปลูกพืชในดินเลวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ** ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หน้า 406-415.

นิมิตร วรสูต 2530. **รากพืชและวิธีการศึกษา** ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 59 หน้า.

นิมิต วรสูต วิริยะลิมปินันทน์ บรรยง ทุมแสน และเกริก ปั้นเหน่งพ็ชร 2531. การศึกษาภูมิอากาศเพื่อการผลิตพืชในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ **รายงานการสัมมนาการปลูกพืชในดินเลวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หน้า 52-56.

พรชัย ล้อวิลัย 2528. **การศึกษาอิทธิพลของเกลือที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของข้าว** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพืชศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น 160 หน้า

สมศรี อรุนินท์ 2531. การปลูกพืชในดินเค็ม **รายงานการสัมมนาการปลูกพืชในดินเลวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ** ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หน้า 492-496.

สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร 2533. การเคลื่อนย้ายและสะสมเกลือในต้นข้าว วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพืชศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 186 หน้า

อัมมาร สยามวาลา และวิโรจน์ ณ ระนอง 2533. **ประมวลความรู้เรื่องข้าว** สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย 436 หน้า.

Akbar, M., and Ponnamperuma, F.N. 1982. Saline soils of South and Southeast Asia as potential rice lands. In **Rice Research Strategies for The Future**. Ed. IRRI. pp. 265-282. John Wiley & Sons, Inc.

Aspinall, A. 1986. Metabolic effects of water and salinity stress in relation to expansion of the leaf surface. **Aust. J. Plant Physiol.** 13: 59-74.

Boyer, J.S. 1965. Effects of osmotic water stress on metabolic rates of cotton plants with open stomata. **Plant Physiol.** 40: 229-234.

Delane, R., Greenway, H., Munns, R., and Gibbs, J. 1982. Ion concentration and carbohydrate status of the elongating leaf tissue of *Hordeum vulgare* growing at high external NaCl. **J. Exp. Bot.** 35 :557-573.

Fischer, R.A., and Turner, N.C. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. **Ann. Rev. Plant Physiol.** 29 : 277-317.

Flowers, T.J. 1972. Salt tolerance in *Suaeda maritima* (L) Dum., The Effect of sodium chloride on growth, respiration, and soluble enzymes in a comparative study with *Pisum sativum* L. **J. Expt. Bot.** 23 :310-321.

Flowers, T. J., Troke, P.F. and Yeo, A.R. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. **Ann. Rev. Plant Physiol.** 28 : 189-212.

Flowers, T. J., and Yeo, A.R. 1981. Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice (*Oryza sativa* L.) varieties. **New Phytol.** 88 : 363-373.

Flowers, T.J., Duque, E., Hajibagheri, M.A., McGonigle, T.P., and Yeo, A.R. 1985. The effect of salinity on the ultrastructure and net photosynthesis of two varieties of rice : futher evidence for a cellular component of salt resistance. **New Phytol.** 100 : 37-43.

Gomez, K.A., and Gomez, A.A. 1984. **Statistical Procedures for Agricultural Research.** John Wiley & Sons, Inc. 680 P.

Greenway, H. 1973. Salinity plant growth and metabolism. **The J. Aust. Insti. Agri. Sci.** 39 : 24-34.

Greenway, H. and Munns, R. 1980. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. **Ann. Rev. Plant Physiol.** 31 : 149-190.

Hasson, E., Poljakoff-Mayber, A., and Gale, J. 1983. The effect of salt species and concentrations on photosynthesis and growth of pea plants (*Pisum sativum* L. cv. Alaska). In **Effects of Stress on Photosynthesis.** Eds. R. Marcelle, H. Clijsters and M. van Poucke. pp. 305-312. Kluwer Boston, Inc.

Kleinkopf, G.E., Wallace, A., and Cha, J.W. 1975. Sodium relations in desert plants : 4 some Physiological response of *Atriplex confertifolia* to different levels of NaCl. **Soil Science.** 120 : 45-48.

Limpinuntana, V. 1978. **Physiological aspects of adaptation of rice (*Oryza sativa* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) to low O_2 concentrations in the root environment.** Ph.D. Thesis. University of Western Australia, Australia.

Munns, R., Greenway, H., and Kirst, G.O. 1983. Halotolerant Eukaryotes. In **Encyclopedia of Plant Physiology, New series, Volume 12 C. Physiological Plant Ecology.** Eds, O.L. lange, P.S.Nobel, C.B. Osmond, H. Ziegler. pp.60-135. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New york.

Munns, R., Greenway, H., Delane, R., and Gibbs, J. 1982. Ion concentration and carbohydrate status of the elongating leaf tissue of *Hordeum vulgare* growing at a high external NaCl II. Cause of the growth reduction. J. **Exp. Bot.** 33 : 574-583.

Osmond, C.B., and Greenway, H. 1972. Salt responses of carboxylation enzymes from species differing in salt tolerance. **Plant Physiol.** 49 : 260-263.

Osotsapar, Y. 1976. **Osmotic adjustment and carboxylase enzymes activities of three rice cultivars as influenced by NaCl levels.** Ph.D. Thesis, University of the Philippines at Los Banos, Laguna, Philippines.

Rathert, G. 1982. Increasing Salinity stress and carbohydrate metabolism by different salt tolerant. In **Plant Nutrition.** Ed. A. Scaife 2: 528-532.

Robinson, S.P., John, W., Downton, S. and Millhouse, J.A. 1983. Photosynthesis and ion content of leaves and isolated chloroplasts of salt-stressed spinach. **Plant Physiol** 73 : 238-242.

Yeo, A.R., and Flowers, T.J. 1984. Mechanism of salinity resistance in rice and theirrole as physiological criteria in plant breeding in salinity tolerance. In **Plant Strategies for Crop Improvement.** Eds. R.C. Staples. G.H. Toenniessen. pp. 151-170. John Wiley & Sons, Inc.

Yeo, A.R., Yeo, M.E., Caporn, S.K.M., Lachno, D.R. and Flowers, T.J. 1985. The use of ^{14}C-ethane diol as a quantitative tracer for the transpirational volume flow of water and on investigation of the effects of salinity open transpiration, net sodium accumulation and endogenous ABA in individual leaves of *Oryza sativa* L. **J. Exp. Bot.** 36 : 1099-1109.

Yeo, A.R., and Flowers, T.J. 1986. Salinity resistance in rice (*Oryza sativa* L.) and a pyramiding approach to breeding varieties for saline soils. **Aust. J. Plant Physiol** 13: 161-174.

Yeo, A.r., Caporn, S.J.M., and Flowers, T.J. 1985. The effect of salinity open photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.) gas exchange by individual leaves in relation to their salt content. **J. Exp. Bot.** 36:1240-1248.

Yoshida, S., Fomo, D.A., Cock, J.H., and Gomez, K.A. 1976. **Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice.** The International Rice Research Institute. Los Banos, Laguna, Philippines. 83 p.