รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของความเครียดเกลือต่อการสะสมพอลิเอมีนและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการในข้าว

EFFECT OF SALINITY STRESS ON POLYAMINE ACCUMULATION AND SOME PHYSIOLOGICAL RESPONSE IN RICE *Oryza sativa* L.

คณะผู้วิจัย
รศ.ดร.สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร

สังกัด
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงบประมาณแผ่นดิน
ประจำปีงบประมาณ 2547

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย ม.อบ. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ได้พิจารณาอนุมัติทุนวิจัยครั้งนี้ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช สำหรับงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยหวังว่าจะเป็นประโยชน์แก่ นักวิจัยและผู้สนใจทั่วไป

คณะผู้วิจัย

ธันวาคม 2550

บทคัดย่อ

ในการทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับพอลิเอมีนทั้งพิวเทรสซีน สเปอมิดีนและสเปอมีน ที่ต้นข้าวสร้างขึ้นระยะต้นกล้า เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ระยะเวลาสั้น ((0, 2, 4, 6 และ 24 ชั่วโมง) และระยะเวลานาน (1, 7, 14 และ 21 วัน) หลังจากได้รับความเครียดเกลือ โดยใช้ข้าว 4 พันธุ์คือ ข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลี ข้าวทนเค็มปานกลางพันธุ์ PTT85180 กข6 และข้าวพันธุ์ไม่ทนเค็มพันธุ์ไออาร์28 ผลการทดลองพบว่าข้าวพันธุ์พอคคาลี และ PTT85180 มีการสร้างสเปอมิดีนและสเปอมีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่พันธุ์ไออาร์28 ซึ่งเป็นพันธุ์ไม่ทนเค็มมีการสะสมสารดังกล่าวต่ำกว่าหลังจากได้รับความเครียดเกลือ 4 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีสเปอมิดีน สเปอมีนและพอลิเอมีนรวมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดเกลือ 21 วัน สำหรับความเข้มข้นของพอลิเอมีนพบมากที่สุดในข้าวพันธุ์พอคคาลี ส่วนข้าวพันธุ์ PTT85180 และกข6 พบปริมาณปานกลาง และไออาร์28 พบต่ำสุดตามลำดับ สำหรับอัตราส่วนของ Put/Spd+Spm พบในพันธุ์ไออาร์28 สูงกว่าพันธุ์พอคคาลี PTT85180 และกข6 หลังจากได้รับความเครียดเกลือ 14 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการทนเค็มของข้าวแต่ละพันธุ์ ผลการทดลองสรุปว่าพันธุ์ข้าวไม่ทนเค็มมีการสะสมพิวเทรสซีนสูง โดยไม่สามารถเปลี่ยนเป็นสเปอมิดีนและสเปอมีน ในขณะที่พันธุ์ข้าวทนเค็มมีการสะสมพอลิเอมีนแต่ละชนิดในทิศทางตรงกันข้าม นอกจากนี้ข้าวพันธุ์พอคคาลี และ PTT85180 มี A, Gs, E, CE และ QY สูงกว่าข้าวพันธุ์ กข6 และไออาร์ 28 หลังจากได้รับความเครียดเกลือ ความเข้มข้นวิกฤตของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อข้าวคือ 50 มิลลิโมล โดยเฉพาะระดับความเข้มข้นเกลือในข้าวทุกพันธุ์มีความสัมพันธ์ในทางลบกับ A, Gs E, CE และ QY สำหรับศักยภาพของข้าวแต่ละพันธุ์ที่ทนเค็มดูได้จากค่า R^2 ส่วนปัจจัยด้านการเติบโตของข้าวพิจารณาจากพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งต้นและราก พบว่าค่าดังกล่าวลดลงในข้าวทุกพันธุ์เมื่อได้รับความเครียดเกลือเพิ่มขึ้น สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและระดับเกลือพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 7-21 วัน จากการทดลองสรุปว่าลักษณะทางสรีระและการเติบโตมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับการทนเค็มของข้าว

คำสำคัญ: ความเครียดจากการได้รับเกลือ, พอลิเอมีน, อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (A), การนำที่ปากใบ (Gs), ประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CE)

ABSTRACT

The experiment was conducted to determine the change of the endogenous levels of polyamines and physiological significance of putrescine, spermidine and spermine contents in rice leaves at seedling stage during short- (0, 2, 4, 6 and 24 hrs) and long-term (1, 7, 14 and 21 days) periods after sodium chloride treatments. Four rice cultivars of Pokkali (salt-tolerant), PTT85180, RD6 (moderately-tolerant) and IR28 (salt-sensitive) were used in this study. The results found that salt-tolerant (Pokkali) and moderately-tolerant (PTT85180,RD6) cultivars showed increase significantly of spermidine (Spd) and spermine (Spm) in leaves resulting in enhanced level of total polyamine while the salt-sensitive cultivar (IR28) accumulated lower levels of those than the other during 4h of salinity stress. There was found significant difference of Spd, Spm and total polyamine in each cultivars at 21 days of salinization. The highest concentration was found in Pokkali while PTT85180, RD6 and IR28 were found moderately and lowest respectively. The ratio of Put/Spd+Spm was found higher in IR28 than Pokkali, PTT85180 and RD6 after 14 days of salinization. It was suggest that, the efficiency of each cultivars was response to salinity stress. In summary, the salt-sensitivity cultivar could be accumulated high level of putrescine and inability to maintain high levels of spermidine and spermine while the salt-tolerant cultivars showed opposite direction of their polyamine titers. Physiological characters (A, Gs, E, CE and QY) of rice plants were higher in Pokkali, PTT85180 than RD6 and IR28 after sodium chloride treatments. Significant difference in physiological characters of rice cultivars in response to salinity stress and their interaction during short- and long-term periods were found. The critical concentration was found in 50 mM NaCl level. Salinity levels were negatively correlated with A, Gs E, CE and QY in all salinized cultivars. The potential of each cultivars to salinity resistance may be obtained from the slope value and the coefficient determination of R^2. Growth parameters (leaf area, shoot and root dry weight) of all salinized cultivars decreased with an increment of salinity levels. Significant difference of rice cultivars in response to salinity levels and their interactions was found during 7-21 days of salinity stress. In summary, changes in physiological characters and growth parameters were closely correlated with salt-tolerant of rice.

Keywords: salinity stress, polyamine, photosynthetic rate (A), stomatal conductance (Gs), carboxylation efficiency (CE)

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ซ
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ทฤษฎีหรือกรอบแนวความคิด (Conceptual Framework)	2
วิธีดำเนินการวิจัย	2
อุปกรณ์และวิธีการ	3
การเก็บข้อมูล	3
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	4
ขอบเขตของการวิจัย	4
ผลการทดลอง	5
ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการสะสมพอลิเอมีนในข้าว	5
ปริมาณพอลิเอมีนในใบข้าวเมื่อได้รับความเครียดเกลือในระยะสั้น (0-24 ชั่วโมง)	5
ปริมาณพอลิเอมีนในใบข้าวเมื่อได้รับความเครียดเกลือในระยะยาว (1-21 วัน)	5
ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดเกลือกับการสะสมพอลิเอมีนในใบข้าว	6
อภิปรายผลการทดลอง	7
ชนิดและปริมาณพลิเอมีนในสภาวะความเครียดเกลือ	7
ชนิดของพอลิเอมีนที่เป็นตัวชี้วัดในการทนเค็มของข้าว	7
สรุปผลการทดลอง	8
ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการในข้าว	59
การเปลี่ยนแปลงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (A) การนำที่ปากใบ (Gs) อัตราการคายน้ำ (E) ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CE) และ QY เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ระยะสั้น (0-24 ชั่วโมง)	59
การเปลี่ยนแปลง A, Gs, E, CE และ QY เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ระยะยาว (1-21 วัน)	59
ความสัมพันธ์ระหว่างโซเดียมคลอไรด์กับลักษณะสรีรวิทยาของข้าว	59

สารบัญ

	หน้า
ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเติบโตของข้าว	60
พื้นที่ใบ	60
การเติบโตของต้นและรากข้าว	60
อภิปรายผลการทดลอง	60
ผลของความเครียดจากการได้รับโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะทางสรีรวิทยาข้าว	60
ผลของความเครียดจากการได้รับโซเดียมคลอไรด์ต่อการเติบโตของข้าว	61
สรุปผลการทดลอง	62
เอกสารอ้างอิง	68

สารบัญตาราง

หน้า

Table1 Putrescine (Put) in rice leaves (nmol g^{-1} FW) before sodium chloride treatments. 17

Table2 Spermidine (Spd) in rice leaves (nmol g^{-1} FW) before sodium chloride treatments. 18

Table3 Spermine (Spm) in rice leaves (nmol g^{-1} FW) before sodium chloride treatments. 19

Table4 Total polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) before sodium chloride treatments. 20

Table5 Put/Spd+Spm in rice leaves before sodium chloride treatments. 21

Table6 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 2 h after sodium chloride treatments. 22

Table7 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 2 h after sodium chloride treatments. 23

Table8 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 2 h after sodium chloride treatments. 24

Table9 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 2 h after sodium chloride treatments. 25

Table10 Put/Spd+Spm in rice leaves at 2 h after sodium chloride treatments. 26

Table11 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 4 h after sodium chloride treatments. 27

Table12 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 4 h after sodium chloride treatments. 28

Table13 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 4 h after sodium chloride treatments. 29

Table14 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 4 h after sodium chloride treatments. 30

Table15 Put/Spd+Spm in rice leaves at 4 h after sodium chloride treatments. 31

Table16 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 6 h after sodium chloride treatments. 32

Table17 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 6 h after sodium chloride treatments. 33

Table18 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 6 h after sodium chloride treatments. 34

Table19 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 6 h after sodium chloride treatments. 35

Table20 Put/Spd+Spm in rice leaves at 6 h after sodium chloride treatments. 36

Table21 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 24 h after sodium chloride treatments. 37

Table22 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 24 h after sodium chloride treatments. 38

Table23 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 24 h after sodium chloride treatments. 39

Table24 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 24 h after sodium chloride treatments. 40

Table25 Put/Spd+Spm in rice leaves at 24 h after sodium chloride treatments. 41

Table26 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 7 days after sodium chloride treatments. 42

Table27 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 7 days after sodium chloride treatments. 43

Table28 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 7 days after sodium chloride treatments. 44

Table29 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 7 days after sodium chloride treatments. 45

Table30 Put/Spd+Spm in rice leaves at 7 days after sodium chloride treatments. 46

สารบัญตาราง

หน้า

Table31 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments. 47

Table32 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments. 48

Table33 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments. 49

Table34 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments. 50

Table35 Put/Spd+Spm in rice leaves at 14 days after sodium chloride treatments. 51

Table36 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 21 days after sodium chloride treatments. 52

Table37 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments. 53

Table38 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 21 days after sodium chloride treatments. 54

Table39 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 21 days after sodium chloride treatments. 55

Table40 Put/Spd+Spm in rice leaves at 21 days after sodium chloride treatments. 56

Table41 The correlation coefficients between NaCl and polyamine parameters of four rice cultivars at 14 days after NaCl treatments. 57

Table42 The correlation coefficients between NaCl and polyamine parameters of four rice cultivars at 21 days after NaCl treatments. 58

Table43 The correlation coefficients between sodium chloride and some physiological characters of four rice cultivars at 7days after sodium chloride treatments. 66

Table 44 The correlation coefficients between sodium chloride and physiological characters of four rice cultivars at 21days after sodium chloride treatments. 67

สารบัญภาพ

หน้า

Figure1 Putrescine (Put) in rice leaves (nmol g^{-1} FW) before sodium chloride treatments. 9

Figure2 Spermidine (Spd) in rice leaves (nmol g^{-1} FW) before sodium chloride treatments. 9

Figure3 Spermine (Spm) in rice leaves (nmol g^{-1} FW) before sodium chloride treatments. 9

Figure4 Total polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) before sodium chloride treatments. 9

Figure5 Put/Spd+Spm in rice leaves before sodium chloride treatments. 9

Figure6 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 2 h after sodium chloride treatments. 10

Figure7 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 2 h after sodium chloride treatments. 10

Figure8 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 2 h after sodium chloride treatments. 10

Figure9 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 2 h after sodium chloride treatments. 10

Figure10 Put/Spd+Spm in rice leaves at 2 h after sodium chloride treatments. 10

Figure11 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 4 h after sodium chloride treatments. 11

Figure12 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 4 h after sodium chloride treatments. 11

Figure13 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 4 h after sodium chloride treatments. 11

Figure14 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 4 h after sodium chloride treatments. 11

Figure15 Put/Spd+Spm in rice leaves at 4 h after sodium chloride treatments. 11

Figure16 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 6 h after sodium chloride treatments. 12

Figure17 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 6 h after sodium chloride treatments. 12

Figure18 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 6 h after sodium chloride treatments. 12

Figure19 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 6 h after sodium chloride treatments. 12

Figure20 Put/Spd+Spm in rice leaves at 6 h after sodium chloride treatments. 12

Figure21 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 24 h after sodium chloride treatments. 13

Figure22 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 24 h after sodium chloride treatments. 13

Figure23 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 24 h after sodium chloride treatments. 13

Figure24 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 24 h after sodium chloride treatments. 13

Figure25 Put/Spd+Spm in rice leaves at 24 h after sodium chloride treatments. 13

Figure26 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 7 days after sodium chloride treatments. 14

Figure27 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 7 days after sodium chloride treatments. 14

Figure28 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 7 days after sodium chloride treatments. 14

Figure29 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 7 days after sodium chloride treatments. 14

Figure30 Put/Spd+Spm in rice leaves at 7 days after sodium chloride treatments. 14

สารบัญภาพ

หน้า

Figure31 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments. 15

Figure32 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments. 15

Figure33 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments. 15

Figure34 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments. 15

Figure35 Put/Spd+Spm in rice leaves at 14 days after sodium chloride treatments. 15

Figure36 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 21 days after sodium chloride treatments. 16

Figure37 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments. 16

Figure38 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 21 days after sodium chloride treatments. 16

Figure39 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 21 days after sodium chloride treatments. 16

Figure40 Put/Spd+Spm in rice leaves at 21 days after sodium chloride treatments. 16

Figure41 Photosynthetic rate (μmol m^{-2} s^{-1}) of four rice cultivars at 0-24 h after sodium chloride treatments. 63

Figure42 Stomatal conductance (mol m^{-2} s^{-1}) of four rice cultivars at 0-24 h after sodium chloride treatments. 63

Figure43 Transpiration rate (mol m^{-2} s^{-1}) of four rice cultivars at 0-24 h after sodium chloride treatments. 63

Figure44 Carboxylation efficiency (CE, %) of four rice cultivars at 0-24 h after sodium chloride treatments. 63

Figure45 Quantum yield of photosynthesis (QY, %) of four rice cultivars at 0-24 h after sodium chloride treatments. 63

Figure46 Photosynthetic rate (μmol m^{-2} s^{-1}) of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. 63

Figure47 Stomatal conductance (mol m^{-2} s^{-1}) of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. 64

Figure48 Transpiration rate (mol m^{-2} s^{-1}) of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. 64

Figure49 Carboxylation efficiency (CE, %) of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. 64

Figure50 Quantum yield of photosynthesis (QY, %) of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. 64

สารบัญภาพ

หน้า

Figure51 Leaf area (mg) per plant of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. 64

Figure52 Shoot dry weights (mg) per plant of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. 64

Figure53 Root dry weights (mg) per plant of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. 65

Figure54 Root shoot ratio of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. 65

บทนำ

จากการศึกษาของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) อ้างโดย Akbar and Ponnamperuma (1982) สรุปว่าในช่วงชีพจักรของข้าวในระยะงอก (germination) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative) และระยะการเจริญเติบโตเต็มที่ (maturity) เป็นระยะที่ต้นข้าวทนต่อเกลือได้ดี ส่วนระยะต้นกล้า (early seedling) และระยะผสมเกสร (reproductive) เป็นระยะที่ต้นข้าวอ่อนแอต่อเกลือมากที่สุด ซึ่ง Akbar and Ponnamperuma (1982) รายงานว่าเกลือมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทั้งนี้ขึ้นกับพันธุ์ระยะการเจริญเติบโตของข้าว ความเข้มข้นและธรรมชาติของเกลือ ตลอดจนระยะเวลาที่พืชได้รับเกลือ สำหรับความเสียหายของพืชเมื่อได้รับเกลือ Greenway and Munns (1980) รายงานว่าเกลือมีผลต่อการลดการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบ 3 ประการคือ ความสัมพันธ์ของน้ำ (water relation) ความจำเพาะของไอออนที่พืชได้รับ (specific ions effects) และลดการลำเลียงของสารละลายภายในต้นพืช (reduced transport of solute) ผลดังกล่าวข้างต้นทำให้ต้นข้าวมีการปรับกลไกทางสรีระโดยการลดค่าการนำที่ปากใบ (stomatal conductance) (Flowers *et.al.*, 1985) จึงส่งผลกระทบต่อการแพร่คาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ทางปากใบพืชเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ตลอดจนการระเหยน้ำทางปากใบข้าวลดลง (Yeo *et.al.* 1985 B) ซึ่งกลไกดังกล่าวอาจถูกควบคุมโดยฮอร์โมนพืชพวกกรดแอบไซซิค (abscisic acid, ABA) (Munns and Termaat 1986; Wolf *et.al.* 1990)

ในปัจจุบันมีการศึกษากลไกการปรับตัวของพืชในสภาวะความเครียด ซึ่งวัดจากปริมาณการสังเคราะห์สารประกอบไนโตรเจนบางชนิดในพืช โดยเฉพาะสารในกลุ่มพอลิเอมีน (polyamine) ซึ่งประกอบด้วย diamine พวก putrescine (1,4 diaminobutane) triamine พวก spermidine (1,8-diamino-4-azaoctane) และ tetramine พวก spermine (1,12-diamino-4,9-diazododecane) (Bagni and Pistocchi 1992) นับว่าเป็นสารสำคัญที่มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช Galston and Sawhney (1990) รายงานว่าพอลิเอมีนมีบทบาทสำคัญในพืช โดยทำหน้าที่โครงสร้างเมมเบรน ความสัมพันธ์กับกรดนิวคลิอิค การควบคุมโครงสร้างโปรตีนและกิจกรรมของเอ็นไซม์บางชนิด การสังเคราะห์มหโมเลกุล และการควบคุม pH ภายในเซลล์ Krishnamurthy and Bhagwat (1989) พบว่าความสามารถในการทนเค็มของข้าวมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณพอลิเอมีนแต่ละชนิด โดยเฉพาะพันธุ์ข้าวทนเค็ม มีการสร้าง spermidine และ spermine มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ไม่ทนเค็ม นอกจากนี้ Lee *et.al.*(1995) พบว่า putrescine มีความสัมพันธ์กับ ABA ในข้าวที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามจากรายงานดังกล่าวข้างต้น ยังไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับพอลิเอมีน ในพันธุ์ข้าวไทยที่ได้รับความเครียดจากโซเดียมคลอไรด์

ดังนั้น ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การเจริญเติบโต ปริมาณพอลิเอมีนแต่ละชนิดที่ต้นข้าวสร้างขึ้นในแต่ละใบ ตลอดจนปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างปัจจัยดังกล่าวในพันธุ์ข้าวไทยซึ่งมีศักยภาพในการทนเค็มแตกต่างกัน

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การเจริญเติบโต ปริมาณพอลิเอมีนแต่ละชนิดที่ต้นข้าวสร้างขึ้นในแต่ละใบตลอดจนปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยดังกล่าวในพันธุ์ข้าวไทย ซึ่งมีศักยภาพในการทนเค็มแตกต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การศึกษาปริมาณพอลิเอมีนและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวภายใต้สภาวะความเครียดจากโซเดียมคลอไรด์สามารถใช้ทำนายศักยภาพในการทนเค็มของข้าวพันธุ์ต่างๆ ซึ่งปฏิสัมพันธ์ร่วม(interaction) ระหว่างปัจจัยดังกล่าวอาจมีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการทนเค็มของข้าว
2. การศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อสนับสนุนในการคัดพันธุ์ข้าวทนเค็ม ด้วยวิธีการทางพันธุวิศวกรรมในอนาคต
3. การศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณพอลิเอมีน สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาด้านความเครียดจากการขาดน้ำ ความเครียดจากการได้รับความหนาวเย็น การปลูกพืชในสภาพน้ำท่วมขัง และด้านวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

ทฤษฎีหรือกรอบแนวความคิด (Conceptual Framework)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้เน้นในระยะต้นกล้าของข้าวเนื่องจากเป็นระยะที่ไวต่อการได้รับความเครียดเกลือ โดยเฉพาะในช่วงเวลาดังกล่าวมักตรงกับภาวะฝนทิ้งช่วงซึ่งเกษตรกรได้เริ่มลงมือตกกล้าข้าวในแปลงนา สำหรับแนวความคิดในการศึกษาครั้งนี้มีสมมติฐานว่า เมื่อต้นข้าวได้รับความเครียดจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ เกลืออาจมีผลโดยตรงต่อการลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ซึ่งมีผลเสียหายต่อการลดการเจริญเติบโตของต้นข้าว นอกจากนี้ยังทำให้การสร้างสารพวกพอลิเอมีน (Putrescine, Spermidine และ Spermine) แต่ละชนิดในต้นข้าวเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสารดังกล่าวพบว่ามีความเกี่ยวข้องกับชีพจักรของเซลล์ (cell cycle) ช่วง G-phase ของการแบ่งเซลล์ระยะ mitosis จากประเด็นดังกล่าวจึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการทำนายความสามารถในการทนเค็มของต้นข้าวระหว่างพันธุ์ข้าวทนเค็มกับพันธุไม่ทนเค็ม โดยจำแนกชนิดและอัตราส่วนของสารพอลิเอมีนที่พืชสร้างขึ้นมา ตลอดจนปริมาณพอลิเอมีนแต่ละชนิดที่พบในพืชที่ตำแหน่งใบแตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการทนเค็มของข้าวพันธุ์ต่างๆ จากพันธุ์ข้าวไทยที่สามารถทนเค็มปานกลางเปรียบเทียบกับพันธุ์ทนเค็มมาตรฐานและพันธุ์ไม่ทนเค็ม โดยศึกษาจากลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าว ทำการทดลองในเรือนกระจก คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

อุปกรณ์และวิธีการ

การปลูกข้าวและจัดตำรับทดลอง

จัดตำรับทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 3 ปัจจัยคือ ปัจจัยที่1 พันธุ์ข้าว 4 ชนิด คือ ข้าวพันธุ์พอคคาลี (พันธุ์ทนเค็มมาตรฐาน), PTT85180 (พันธุ์ทนเค็มปานกลางสำหรับปลูกในพื้นที่ดินเค็มจากน้ำทะเลที่มีการคัดสายพันธุ์ของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี) , กข 6 (พันธุ์ไม่ทนเค็ม ซึ่งมีการปลูกมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ), และ ไออาร์28 (พันธุ์ไม่ทนเค็มมาตรฐาน) ปัจจัยที่ 2 โซเดียมคลอไรด์ 3 ระดับ คือ 0, 50 และ 100 มิลลิโมล และปัจจัยที่3 ตำแหน่งใบข้าว 3 ตำแหน่งคือใบล่าง ใบกลาง และใบบน ตามลำดับ

ในการทดลอง ใช้ต้นกล้าข้าวอายุ 10 วัน ย้ายปลูกลงในกระถางพลาสติก ซึ่งบรรจุสารละลายอาหารตามวิธีการของ Limpinuntana (1978) จำนวน 3 ลิตร ปักดำข้าว 10 ต้นต่อกระถาง มีการควบคุมความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายอาหารที่5.8 เปลี่ยนสารละลายอาหารสัปดาห์ละครั้ง เริ่มให้โซเดียมคลอไรด์ตามตำรับทดลองหลังจากย้ายปลูกได้ 7 วัน

การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูล เก็บข้อมูลพืชหลังจากได้รับโซเดียมคลอไรด์ 2 ช่วงเวลาคือช่วงเวลาสั้น (short-term) เก็บที่ 0, 2, 4, 6 และ 24 ชั่วโมง ส่วนช่วงเวลายาว (long-term) เก็บที่ 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ ข้อมูลที่ศึกษาประกอบด้วย

ก. ข้อมูลด้านสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของพืช

1. วัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวโดยใช้ Portable photosynthetic system โมเดล LCA4 ดังนี้ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) การนำที่ปากใบ ($mol\ m^{-2}s^{-1}$) อัตราการคายน้ำ ($mol\ m^{-2}s^{-1}$) และปริมาณ CO_2 ใน substomata (vpm)

2. ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (carboxylation efficiency, CE) คำนวณจากปริมาณ CO_2 ที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (A) ต่อปริมาณ CO_2 ที่คงเหลือใน substomata (Ci) CE = A/Ci (Long and Hallgren, 1993)

3. ประสิทธิภาพการใช้แสงในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (quantum yield of photosynthesis) โดยคำนวณจากจำนวนโมลของแสง (Qleaf) ที่พืชใช้ต่อหนึ่งโมลของการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (A) หรือ QY = A/Qleaf (Long, Postl and Bolhar-Nordenkampf, 1993)

4. พื้นที่ใบ คำนวณจากผลคูณระหว่าง ความกว้างใบ x ความยาวใบ x ค่าคงที่ (K=0.725) ตามวิธีการของ Yoshida *et.al.* (1976)

ข. การเก็บตัวอย่างพืช สำหรับวิเคราะห์ปริมาณพอลิเอมีน โดยนำใบข้าวไปแช่ในกระติกที่บรรจุน้ำแข็งแห้งพร้อมกับปิดฝาเพื่อไม่ให้ได้รับแสง ชั่งน้ำหนักสด หลังจากนั้นนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -20 ^{0}C เพื่อรอนำมาวิเคราะห์ปริมาณพอลิเอมีน

การหาปริมาณพอลิเอมีนในใบข้าว โดยสกัดด้วย 5% $HClO_4$ นำไปทำ Dansylation จำแนกชนิดของพอลิเอมีน (putrescine, spermidine และ spermine) โดยใช้ Thin Layer Chromatography ด้วยระบบ Chloroform:Triethylamine ในอัตราส่วน 25:2 โดยปริมาตร (v/v) หรือ Cyclohexane:Ethylacetate ในอัตราส่วน 5:4 โดยปริมาตร (v/v) เปรียบเทียบค่า Relative front (Rf) ของตัวอย่างกับค่ามาตรฐาน (standard) ภายใต้แสงอัลตร้าไวโอเลต (255/366 nm) สำหรับการหาปริมาณพอลิเอมีน โดยขูด dansylpolyamine band นำมาชะด้วย ethylacetate และนำไปวัดด้วย Spectrofluorometer (กำหนดค่า excitation 365 nm และ emission 460 nm) โดยเทียบค่าตัวอย่างกับค่ามาตรฐานของ putrescine spermidine และ spermine (Flores and Galston 1982; Smith and Davies 1985)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (analysis of variance) ตามแผนการทดลอง Factorial in CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับทดลองโดยใช้ค่า Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95 เปอร์เซ็นต์ (Gomez and Gomez 1984)

ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยทำการทดลองในเรือนกระจกโดยการปลูกข้าวในสารละลายอาหาร ตามวิธีการของ Limpinuntana (1978) และศึกษาเฉพาะในระยะต้นกล้าข้าวอายุ 20 วัน หลังจากได้รับเกลือ 2 ระยะคือระยะสั้นที่ 0, 2, 4, 6 และ 24 ชั่วโมง ส่วนระยะยาวที่ 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ

ผลการทดลอง

ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการสะสมพอลิเอมีนในข้าว

ปริมาณพอลิเอมีนในใบข้าวเมื่อได้รับความเครียดเกลือในระยะสั้น (0-24 ชั่วโมง)

ก่อนที่ต้นข้าวได้รับโซเดียมคลอไรด์พบปริมาณพอลิเอมีนสูงสุดในข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลี เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวทนเค็มปานกลางพันธุ์ PTT85180, กข6 และข้าวไม่ทนเค็มพันธุ์ไออาร์28 (Figure1-5 Table1-5)

สำหรับปริมาณพอลิเอมีนในใบข้าวทุกพันธุ์ส่วนใหญ่พบปริมาณสเปอร์มิดีน (Spd) และสเปอร์มีน (Spm) เพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณพิวเทรสซีน (Put) ค่อยเพิ่มสูงขึ้นหลังจากได้รับโซเดียมคลอไรด์ตั้งแต่ 2 ชั่วโมงในทุกตำรับทดลอง โดยเฉพาะปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์กับพันธุ์ข้าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure6-10 Table6-10)

สำหรับระดับPut ทั้งในใบข้าวพันธุ์ PTT85180, กข6 และไออาร์28 ซึ่งไม่ได้รับโซเดียมคลอไรด์มีปริมาณต่ำกว่าต้นข้าวที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิโมล ขณะที่ข้าวพันธุ์พอคคาลีมีปริมาณ Put เพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ 4-6 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามปริมาณ Spd และSpm ในข้าวทุกพันธุ์แสดงออกในลักษณะเดียวกับ Put ดังแสดงใน Figure11-15, 16-20 Table11-15, 16-20

เมื่อต้นข้าวได้รับโซเดียมคลอไรด์ 24 ชั่วโมง ทั้ง Put, Spd และ Spm ในใบข้าวแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะพันธุ์ข้าวพอคคาลีซึ่งเป็นพันธุ์ทนเค็มมีการสร้างพอลิเอมีนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ข้าวทนเค็มปานกลาง (PTT85180, กข6) และพันธุ์ข้าวไม่ทนเค็ม (ไออาร์28) สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์กับพันธุ์ข้าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในข้าวทุกพันธุ์ (Figure21-25 Table21-25)

ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 100 มิลลิโมล ทำให้อัตราส่วน Put/Spd+Spm ในใบข้าวพันธุ์พอคคาลีและ PTT85180 เพิ่มขึ้น 71 และ 54 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับหลังจากได้รับเกลือ 6 ชั่วโมง ขณะที่ข้าวพันธุ์ กข6 และไออาร์28 มี Put/Spd+Spm ลดลง 36 และ 48 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์กับพันธุ์ข้าวหลังจากได้รับโซเดียมคลอไรด์ 2-24 ชั่วโมง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในข้าวทุกพันธุ์

สำหรับในช่วงเวลาที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ 8-12 ชั่วโมงพบว่าปริมาณพอลิเอมีนในข้าวทุกพันธุ์ลดลงอย่างรวดเร็วและเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งหลังจากได้รับโซเดียมคลอไรด์ 24 ชั่วโมง

ปริมาณพอลิเอมีนในใบข้าวเมื่อได้รับความเครียดเกลือในระยะยาว (1-21 วัน)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณ Spd และ Spm ในข้าวพันธุ์พอคคาลี PTT85180 และ กข6 มีทิศทางการลดลงที่แตกต่างไปจากข้าวพันธุ์ไออาร์28 หลังจากได้รับโซเดียมคลอไรด์ 14 วัน โดยเฉพาะข้าวพันธุ์พอคคารีพบปริมาณ Put, Spd, Spm และ total polyamines สูงสุด สำหรับข้าวพันธุ์ PTT85180 และ กข6 มีปริมาณปานกลาง ส่วนข้าวพันธุ์ไออาร์28 มีปริมาณพอลิเอมีนต่ำสุด (Figure31-35 Table31-35)

ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและระดับโซเดียมคลอไรด์ในข้าวพันธุ์พอคคาลี PTT85180 และกข6 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหลังจากได้รับเกลือ 14 วัน ส่วนการเพิ่มขึ้นของ Spd และ Spm ในข้าวทุกพันธุ์ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิโมลเป็นเวลา 7 วัน (Figure 26-30 Table 26-30)

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่าง Put/Spd+Spm ในข้าวทุกพันธุ์พบว่ามีค่าลดลงหลังจากที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ 1 และ 21 วันเมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ ซึ่งผลดังกล่าวแสดงในทิศทางตรงกันข้ามหลังจากได้รับโซเดียมคลอไรด์ 14 วัน

หลังจากต้นข้าวได้รับโซเดียมคลอไรด์ 21 วันพบว่าปริมาณพอลิเอมีนในข้าวทุกพันธุ์เพิ่มขึ้น 0.5-1 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ โดยเฉพาะข้าวพันธุ์พอคคาลีซึ่งเป็นพันธุ์ทนเค็ม ข้าวพันธุ์ PTT85180 และ กข6 ซึ่งเป็นพันธุ์ทนเค็มปานกลาง มีปริมาณ Spd และ Spm สูงกว่าพันธุ์ข้าวไออาร์28 ที่เป็นพันธุ์ไม่ทนเค็ม (Figure36-40 Table36-40)

ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดเกลือกับการสะสมพอลิเอมีนในใบข้าว

จากการสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficients of R^2) ระหว่างชนิดของพอลิเอมีน (Put, Spd และ Spm) พบความสัมพันธ์ในข้าวทุกพันธุ์ โดยเฉพาะข้าวพันธุ์พอคคาลี ซึ่งเป็นพันธุ์ทนเค็ม ข้าวพันธุ์ PTT85180 และ กข6 ซึ่งเป็นพันธุ์ทนเค็มปานกลาง มีปริมาณ Spd และ Spm เพิ่มขึ้น ส่วนข้าวพันธุ์ไออาร์ 28 แสดงผลในทางตรงกันข้ามหลังจากได้รับโซเดียมคลอไรด์ 14 และ 21 วัน (Table 41-42) ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ทำให้การสร้างพอลิเอมีนในใบข้าวเพิ่มขึ้น ซึ่งชนิดของพอลิเอมีนที่พืชสร้างขึ้นมานี้สามารถใช้จำแนกความสามารถในการทนเค็มของข้าว ซึ่ง Krishnamerthy และ Bhagwat (1989) ให้ความเห็นว่าสิ่งที่บอกถึงการทนเค็มของพืชอาจเกิดจากการสร้างพอลิเอมีนในกลุ่ม Spd และ Spm เพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับพืชที่ไม่ทนเค็มมีการสร้าง Put เพิ่มขึ้น สำหรับการสะสมพอลิเอมีนในกลุ่ม Spd และ Spm นั้นพบว่ามีความสำคัญต่อการกระตุ้นการเติบโตและพัฒนาการของพืช โดยเฉพาะการควบคุมในด้านโครงสร้างโปรตีนและกิจกรรมเอ็นไซม์ การสังเคราะห์มหโมเลกุล (macromolecules) ซึ่งจำเป็นต่อชีพจักรของเซลล์ (cell cycle) จากระยะ G1 ไปยัง S (Slocum and Flores, 1991)

อภิปรายผลการทดลอง

ชนิดและปริมาณพลิเอมีนในสภาวะความเครียดเกลือ

ในการศึกษานี้พบว่าต้นข้าวทุกพันธุ์ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์มีปริมาณพอลิเอมีนทั้ง Put, Spd, Spm และ total polyamine ในใบเพิ่มขึ้น ชนิดของพอลิเอมีนในกลุ่ม Spd และ Spm เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดหลังจากได้รับโซเดียมคลอไรด์ 2-6 ชั่วโมงหลังจากได้รับเกลือ สำหรับข้าวพันธุ์พอคคาลีมีการสร้าง Spd เพิ่มขึ้นมากในช่วง 2-6 ชั่วโมงหลังจากได้รับเกลือ ขณะที่พันธุ์ข้าว PTT85180 และ กข6 ซึ่งทนเค็มปานกลาง และพันธุ์ไออาร์ 28 ที่ไม่ทนเค็มมีปริมาณ Spd ไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ จากผลดังกล่าว Turner and Stewart (1988) พบว่าในสภาวะความเครียดจากการขาดน้ำ พืชมีการสะสม Put

เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก แล้วค่อยลดลงในระดับเดียวกับหรือต่ำกว่าปกติ (control) สิ่งที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการสูญเสียความเต่งของเซลล์ใบ Flores and Galston (1984) พบว่าในช่วงที่พืชเกิดความเครียดออสโมติก (osmotic stress) ความเต่งของเซลล์อาจลดลงทันทีในขณะที่ไม่มีผลต่อปริมาณ Put ที่เพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าพันธุ์พืชที่ทนเค็ม อาจมีสัญญาณในการสังเคราะห์เอ็นไซม์ arginine decarboxylase (ADC) และ ornithine decarboxylase (ODC) ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์พอลิเอมีน

Toburcio *et. al.,* (1986) พบว่าใบธัญพืชที่ได้รับความเครียดออสโมติก มีการทำงานของเอ็นไซม์ arginine decarboxylase (ADC) มีการสะสม Put แล้วเปลี่ยนเป็น Spd และ Spm ซึ่งในกรณีดังกล่าว Bagni and Pistocchi (1992) ให้ความเห็นเกี่ยวกับการทำงานของเอ็นไซม์ ADC และ ODC ว่า เอ็นไซม์ ODC มีความสำคัญต่อกระบวนการแบ่งเซลล์ ส่วนเอ็นไซม์ ADC มักทำงานในช่วงที่พืชได้รับความเครียดทั้งความเครียดจากการเปลี่ยนแปลง pH ความเครียดจากการขาดน้ำ และความเครียดจากการได้รับเกลือ สำหรับเอ็นไซม์ ADC นี้พืชสร้างขึ้นมากในระยะต้นกล้าระหว่างที่มีพัฒนาการของคัภพะ (embryogenesis) การกระตุ้นการเติบโต ความเครียดจากการได้รับเกลือและสภาวะที่พืชขาดโพแทสเซียม ส่วนการทำงานของเอ็นไซม์ ODC มีรายงานว่าพบในช่วงการแบ่งเซลล์ของยาสูบ และพัฒนาการของรังไข่ของมะเขือเทศ (Galston and Kaur-Sawhney, 1995)

ชนิดของพอลิเอมีนที่เป็นตัวชี้วัดในการทนเค็มของข้าว

ในสภาวะที่ต้นข้าวได้รับโซเดียมคลอไรด์ระยะยาวตั้งแต่ 1-21 วัน พบว่าใบข้าวมีปริมาณ Put ลดลง ขณะที่ปริมาณ Spd และ Spm เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหลังจากได้รับโซเดียมคลอไรด์ 7-21 วัน โดยเฉพาะข้าวพันธุ์พอคคาลี PTT85180 และ กข6 มีปริมาณทั้ง Spd และ Spm มากกว่าพันธุ์ไออาร์28 ผลดังกล่าวแสดงในทิศทางเดียวกับปริมาณ total polyamine และ Put/Spd+Spm ผลดังกล่าวมีงานวิจัยที่สนับสนุนดังเช่น Krishnamurthy and Bhagwat (1989) พบว่าข้าวทนเค็มมีการสร้าง Spd และ Spm อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่พันธุ์ข้าวไม่ทนเค็มมีการสะสมของ Put ในปริมาณมาก แต่มี Spd และ Spm ที่ลำต้นในปริมาณต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าระหว่างที่พืชได้รับความเครียดเกลืออาจมีการปรับตัวของกระบวนการเมแทบอลิซึม ซึ่งทั้ง Spd และ Spm อาจมีบทบาทสำคัญต่อความคงตัวของเซลล์เมแบรน (Cohen และคณะ 1979) ซึ่ง Kaur-Sawhney และ Galston (1986) รายงานว่า Spm มีบทบาทสำคัญต่อการป้องกันการเพิ่มขึ้นของเอ็นไซม์ protease และการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll breakdown) ส่วน Tibureico และคณะ (1986) แสดงความคิดเห็นว่าความแตกต่างของกระบวนการเมแทบอลิซึมของพอลิเอมีนในสภาพความเครียดจากการขาดน้ำ อาจเป็นส่วนหนึ่งต่อการสูญเสีย mesophyll protoplast ในธัญพืชที่พัฒนาอย่างรวดเร็วในสภาพหลอดทดลอง ผลจากการศึกษาข้าวต้นสรุปได้ว่าความแตกต่างของพันธุ์ข้าวต่อความเครียดจากการได้รับเกลืออาจมีความสัมพันธ์กับชนิดและปริมาณพอลิเอมีน รวมทั้งอัตราส่วนของ Put/Spd+Spm ในใบข้าว อย่างไรก็ตามการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโดยพิจารณาจากการสะสมพอลิเอมีนที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในสภาวะความเครียดจากการได้รับเกลืออาจมีการศึกษาในปัจจัยที่จำเพาะเจาะจงโดยเฉพาะการใช้สารเคมีจำพวก difluoromethyarginine (DFMA) และ difluoromethyornithine (DFMO) ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ ADC และ ODC ตามลำดับ

สรุปผลการทดลอง

1. ข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลี และข้าวทนเค็มปานกลางพันธุ์ PTT85180 และ กข6 มีการสะสม Spd และ Spm ในใบสูงกว่าข้าวไม่ทนเค็มพันธุ์ไออาร์28 เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ 14-21 วัน ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าปริมาณ Put, Spd และ Spm ที่สร้างขึ้นในข้าวแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างตามศักยภาพในการทนเค็มของพืช
2. ข้าวไม่ทนเค็มพันธุ์ไออาร์28 มีอัตราส่วนของ Put/Spd+Spm สูงกว่าข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลี และข้าวทนเค็มปานกลางพันธุ์ PTT85180 และ กข6 เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ 14 วัน
3. ในการทดลองนี้สรุปว่าชนิดและปริมาณพอลิเอมีนมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการทนเค็มของข้าวแต่ละพันธุ์ ดังนั้นจึงอาจใช้แนวทางนี้ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวทนเค็ม

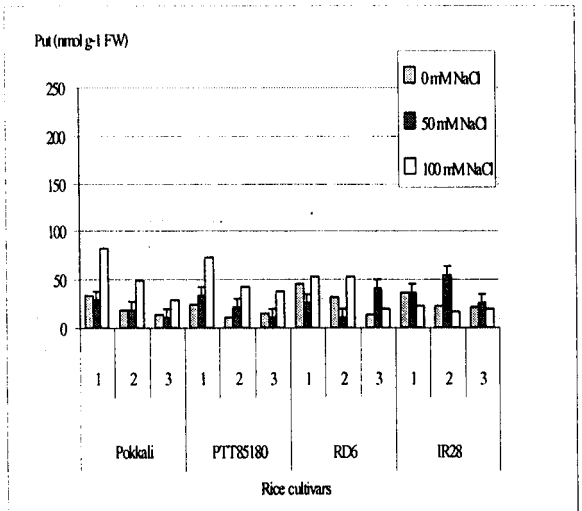


Figure1 Putrescine in rice leave (nmol g-1 FW) before sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 9.232)

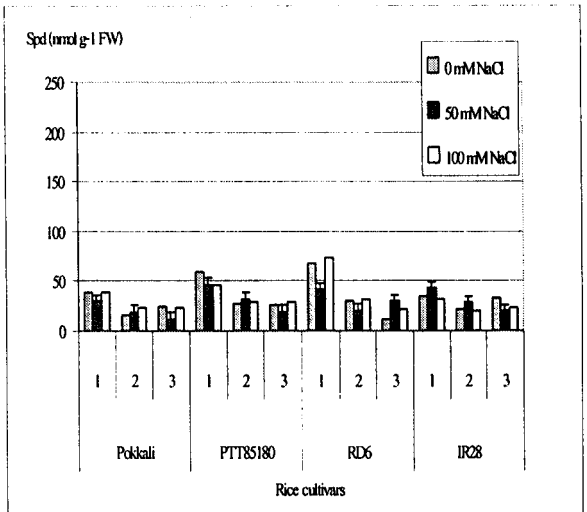


Figure2 Spermidine in rice leaves (nmol g-1 FW) before sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 6.775)

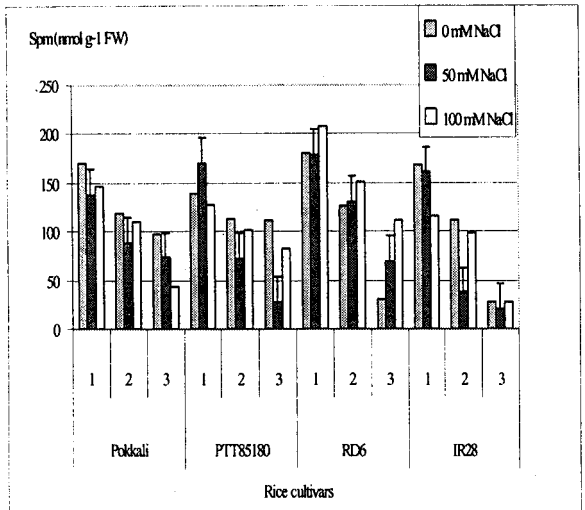


Figure3 Spermine in rice leaves (nmol g-1FW) before sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 14.59)

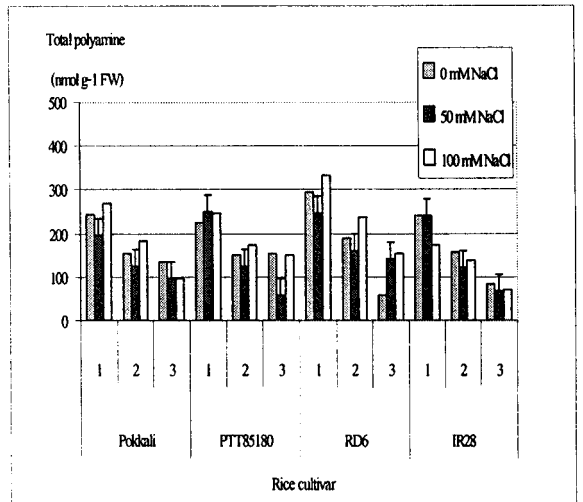


Figure4 Total polyamine in rice laeves (nmol g-1 FW) before sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 38.288)

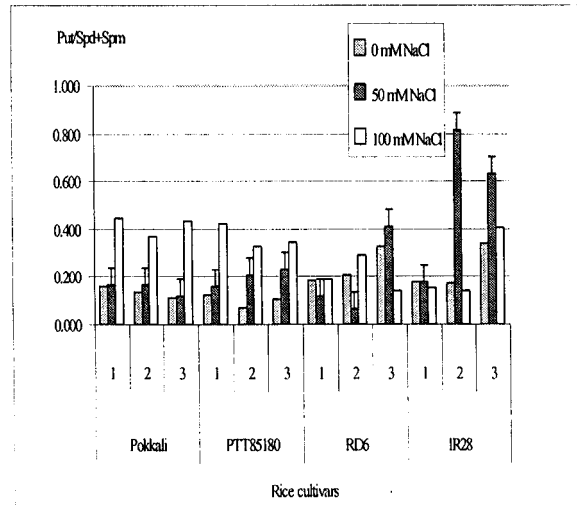


Figure5 Put/Spd+Spm in rice leaves (nmol g-1 FW) before sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 0.072

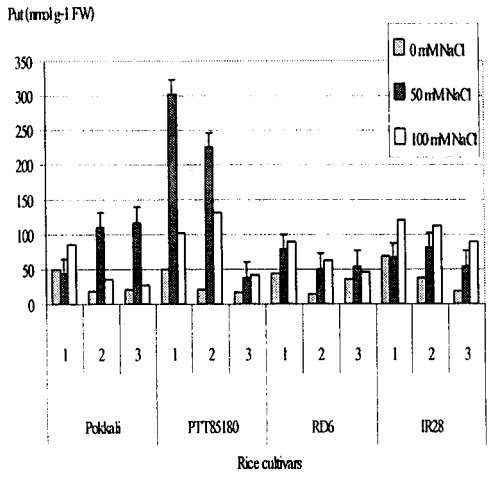


Figure6 Putrescine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 2 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 22.184)

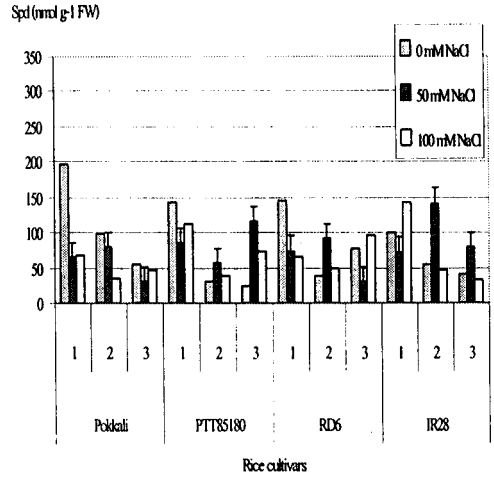


Figure7 Spermidine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 2 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 20.800)

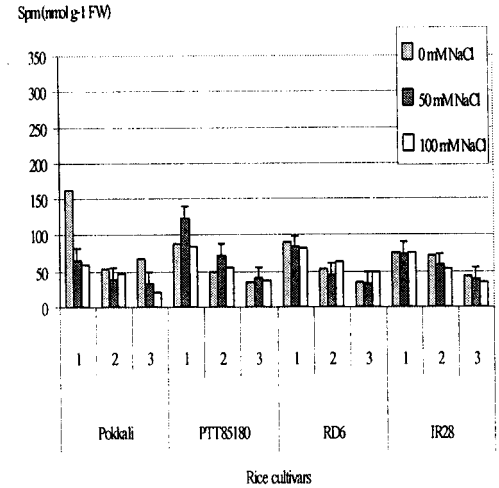


Figure8 Spermine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 2 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 15.340)

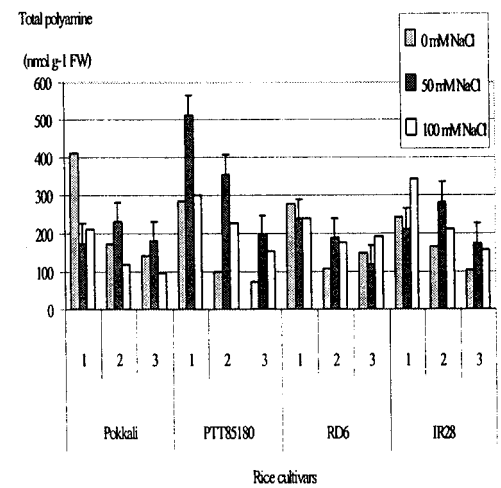


Figure9 Total polyamine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 2 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 51.864)

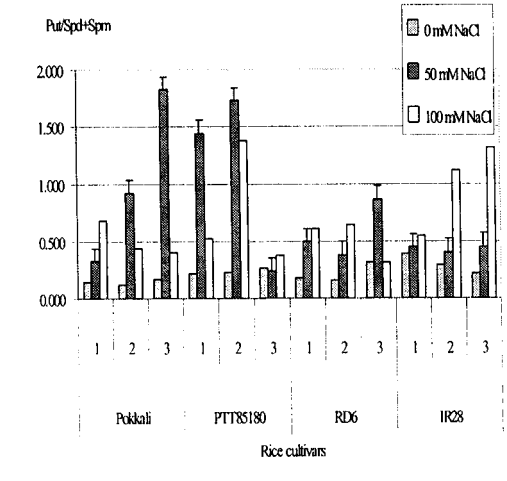


Figure10 Put/Spd+Spm in rice leaves at 2 h aftetr sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 0.116)

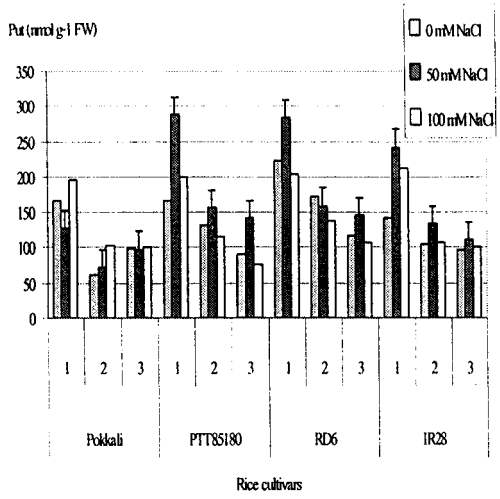


Figure11 Putrescine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 4 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 25.282)

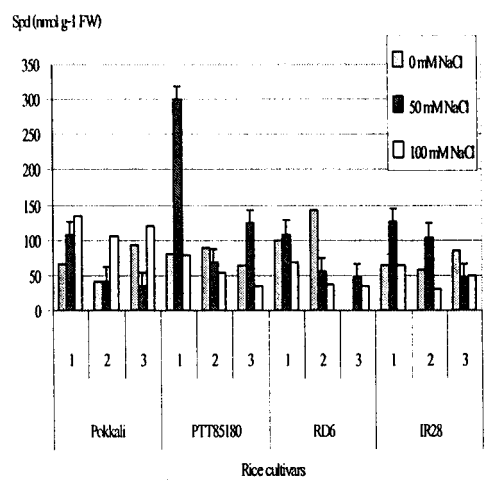


Figure12 Spermidine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 4 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 19.452)

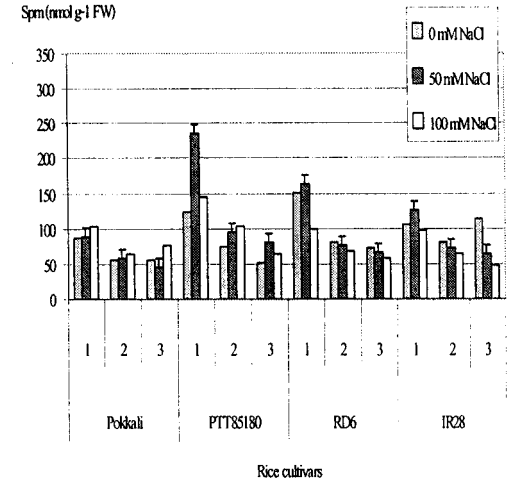


Figure13 Spermine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 4 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 12.540)

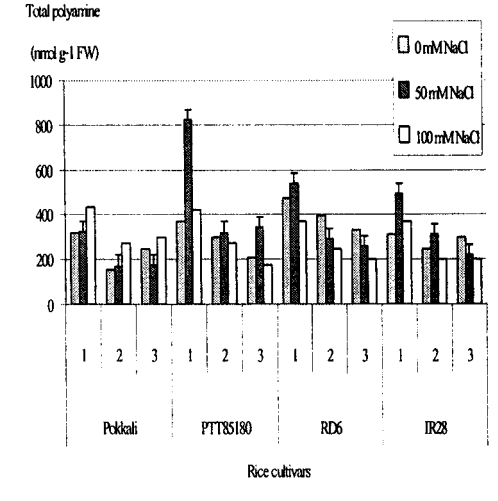


Figure14 Total polyamine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 4 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 46.600)

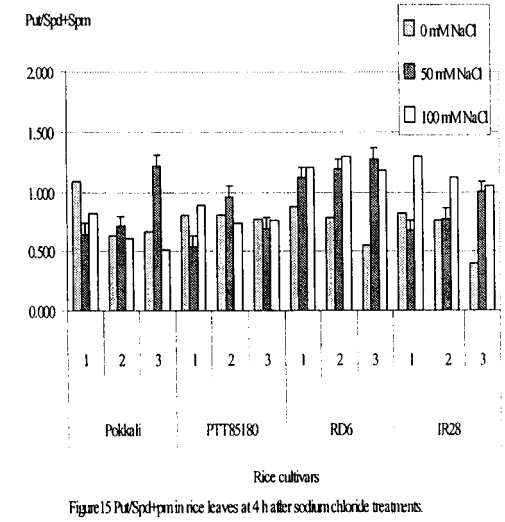


Figure15 Put/Spd+pm in rice leaves at 4 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 0.090)

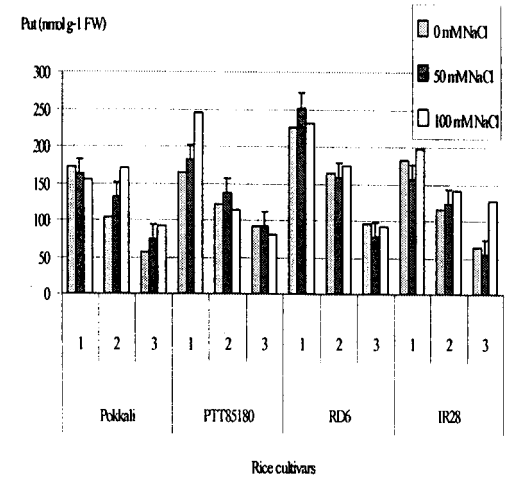


Figure16 Putrecine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 6 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 19.768)

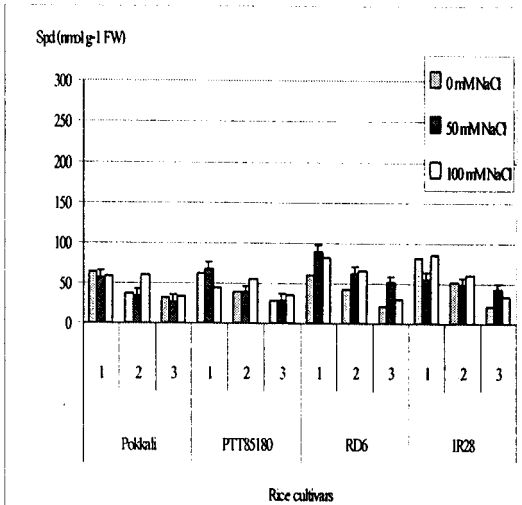


Figure17 Spermidine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 6 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 8.362)

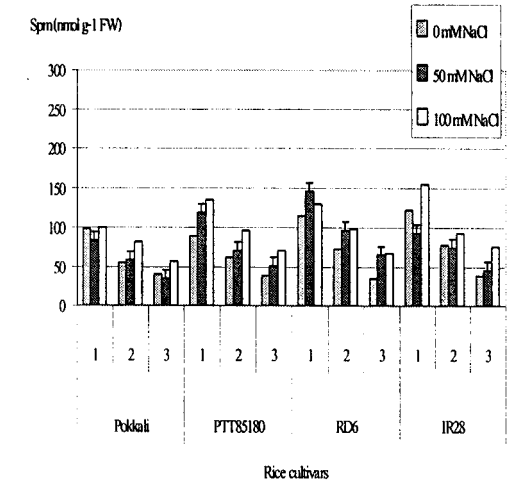


Figure18 Spermine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 6 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 10.760)

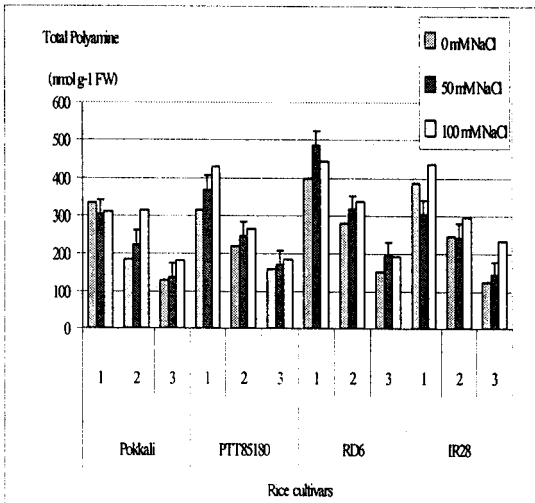
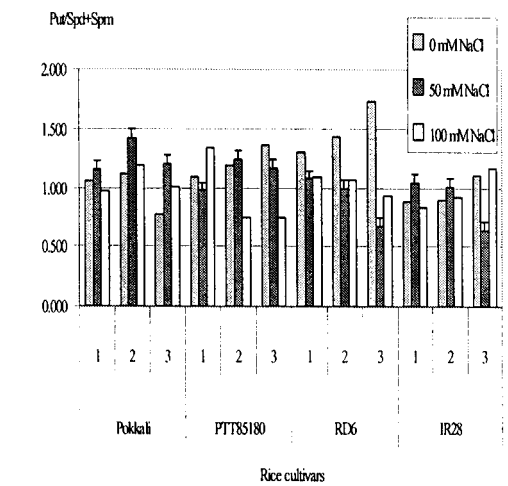


Figure19 Total Polyamine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 6 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 37.216)



Total20 Put/Spd+Spm in rice leaf at 6 h after odium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 0.072)

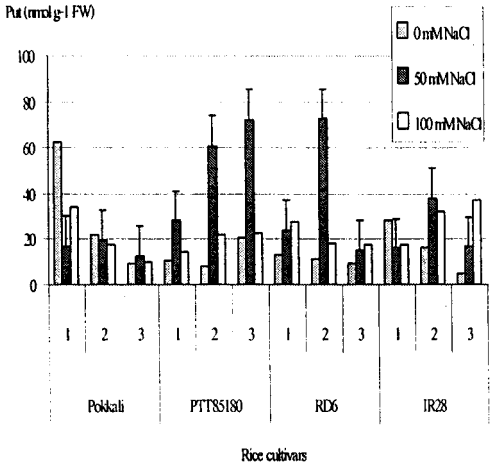


Figure21 Putrescine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 24 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 13.002)

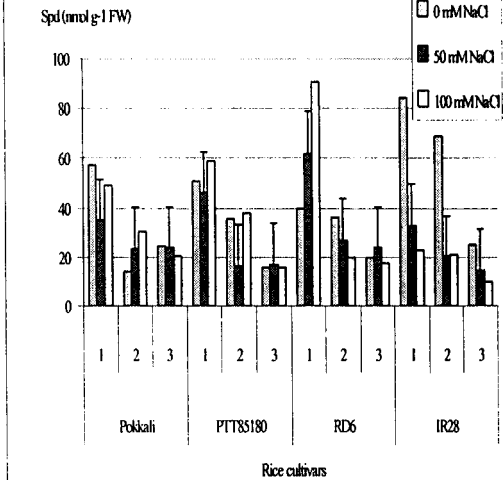


Figure22 Spermidine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 24 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 16.708)

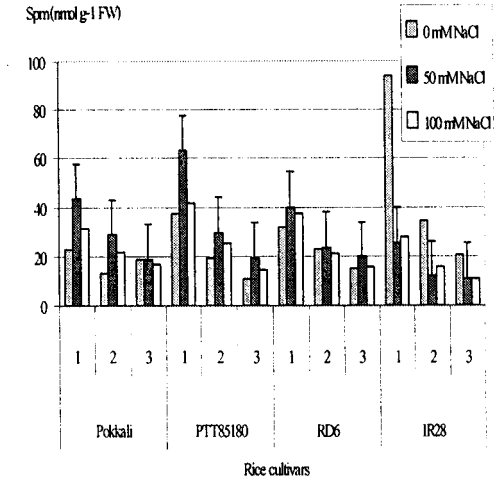


Figure23 Spermine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 24 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 14.232)

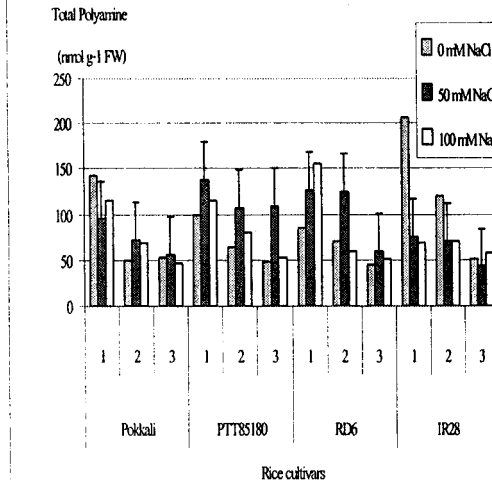


Figure24 Total Polyamine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 24 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 41.372)

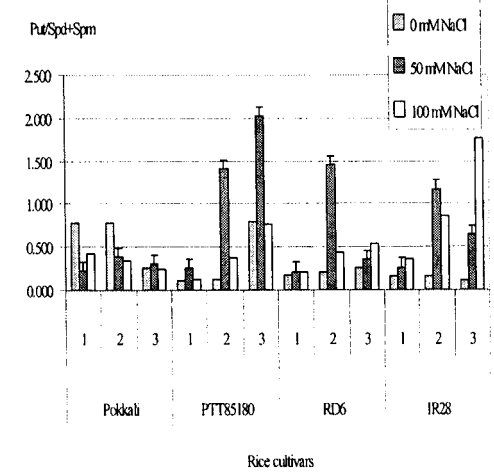


Figure25 Put/Spd+Spm in rice leaves at 24 h after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 0.102)

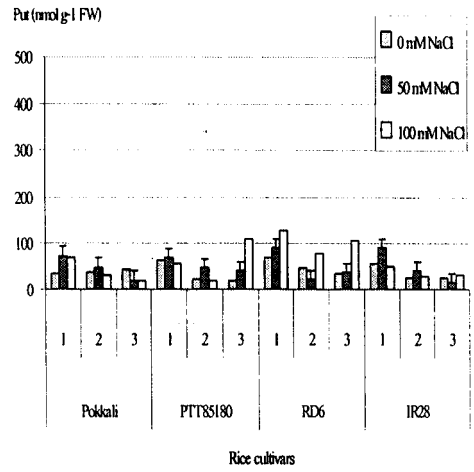


Figure26 Putrescine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 7 days after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 19.564)

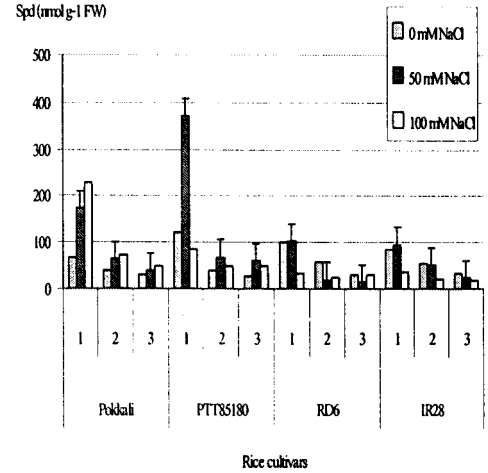


Figure27 Spermidine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 7 days after sodium chloride treatments. (1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 37.168)

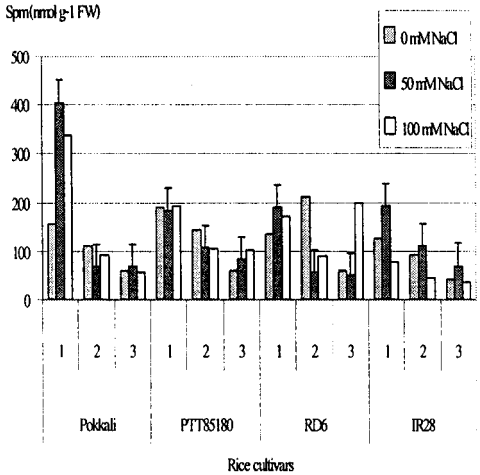


Figure28 Spermine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 7 days after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 46.634)

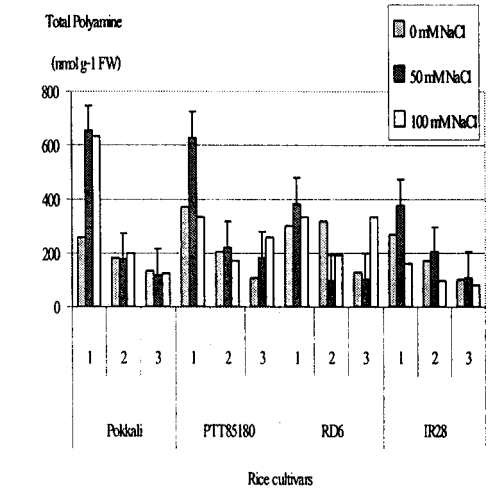


Figure29 Total Polyamine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 7 days after sodium chloride treatments. (1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 95.908)

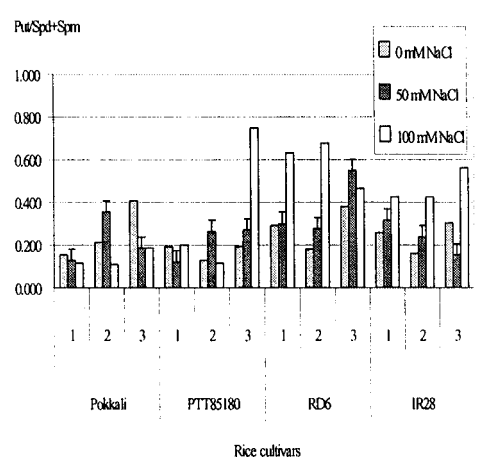


Figure30 Put/Spd+Spm in rice leaves at 7 days after sodium chloride treatments.

(1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 0.052)

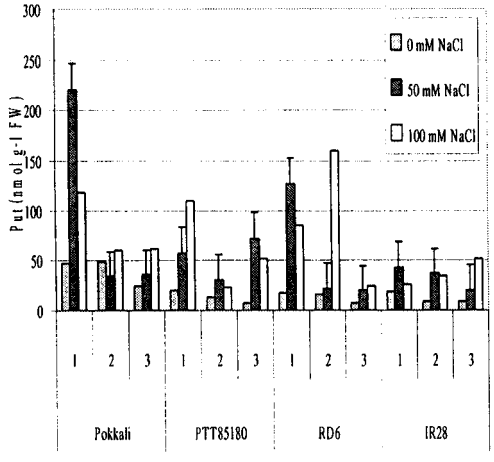


Figure31 Putrescine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 14 days after odium chloride treatments. (1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 25.360)

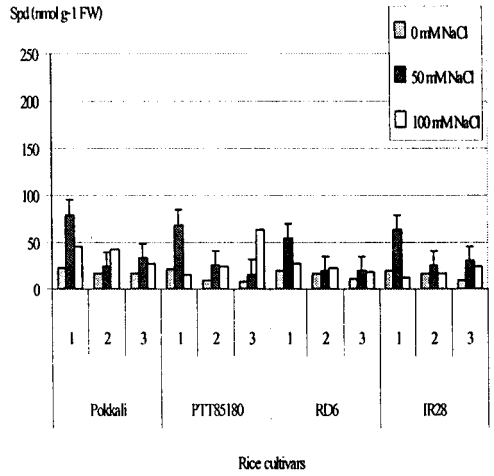


Figure32 Spermidine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 14 days after sodium chloride treatments. (1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 15.698)

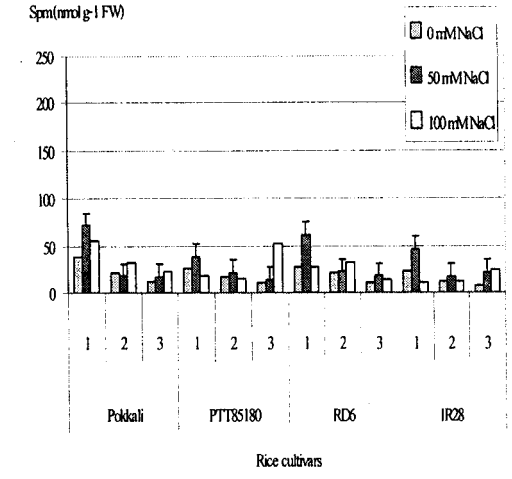


Figure33 Spermine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 14 days after sodium chloride treatments. (1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 13.424)

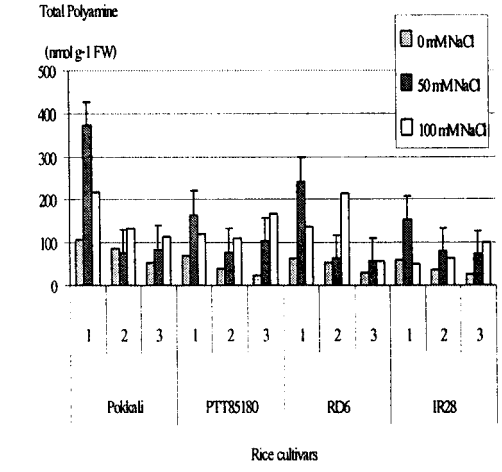


Figure34 Total Polyamine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 14 days after sodium chloride treatments. (1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 55.018)

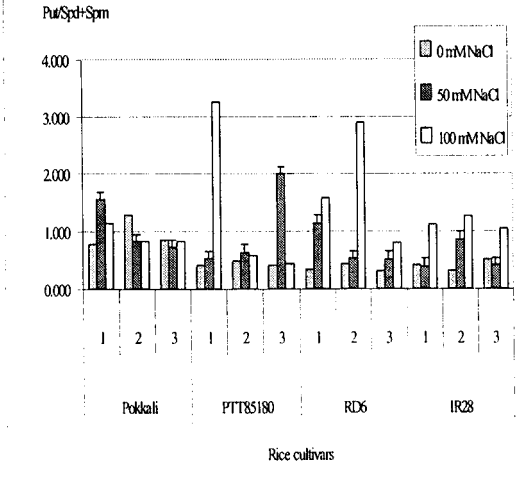


Figure35 Put/Spd+Spm in rice leaves at 14 days after sodium chloride treatments. (1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 0.135)

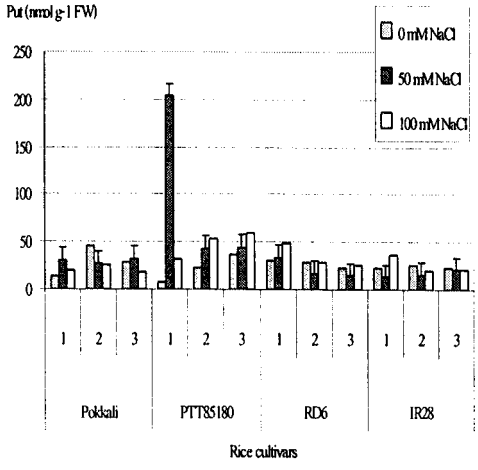


Figure36 Putrescine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 21 days after sodium chloride treatments. (1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 12.998)

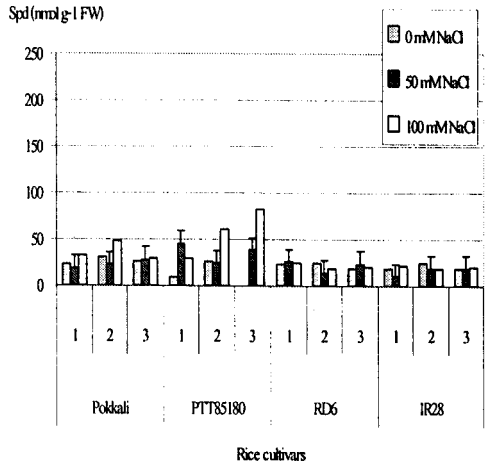


Figure37 Spermidine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 14 days after sodium chloride treatments. (1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 13.422)

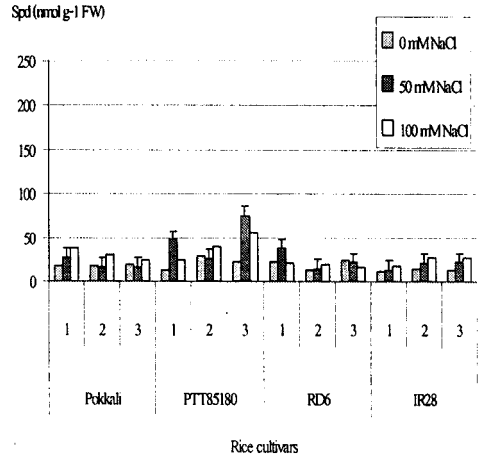


Figure38 Spermidine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 21 days after sodium chloride treatments. (1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 11.011)

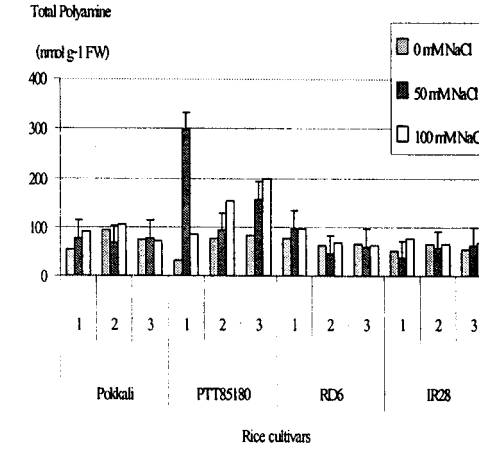


Figure39 Total Polyamine in rice leaves (nmol g-1 FW) at 21 days after sodium chloride treatments. (1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 35.906)

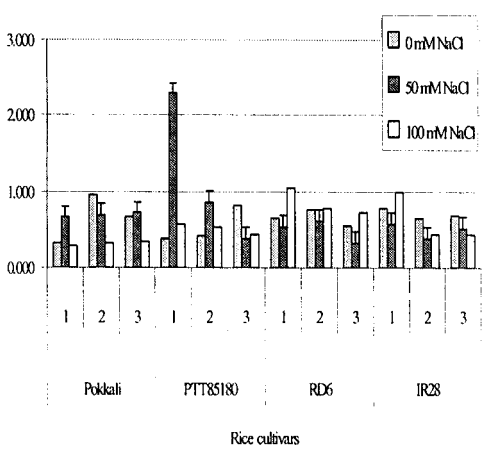


Figure40 Put/Spd+Spm in rice leaves at 21 days after sodium chloride treatments. (1 lower leaf, 3 upper leaf, LSD0.05 0.146)

Table1 Putrescine (Put) in rice leaves (nmol g^{-1} FW) before sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	34.028	28.292	82.415	48.245
	2	18.109	17.820	49.479	28.469
	3	13.738	10.037	29.193	17.656
Mean		21.958	18.716	53.695	31.457
PTT85180	1	24.565	34.028	73.553	44.049
	2	10.241	21.033	42.408	24.560
	3	14.546	10.745	38.467	21.253
Mean		16.451	21.935	51.467	29.954
RD6	1	46.409	26.276	53.178	41.954
	2	32.717	10.017	52.760	31.831
	3	14.077	40.769	19.082	24.642
Mean		31.068	25.687	41.673	32.809
IR28	1	36.711	35.975	22.823	31.836
	2	23.432	55.541	17.247	32.073
	3	20.697	25.702	20.274	22.224
Mean		26.947	39.073	20.114	28.711
Leaf position (C)	1	35.428	31.142	57.992	41.521
	2	21.124	26.103	40.473	29.233
	3	15.764	21.813	26.754	21.444
Mean		24.106	26.353	41.74	

CV (%) 18.47 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 3.079 B 2.667 AB 5.334 C 2.667 AC 5.334 BC 4.619 ABC 9.239

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table2 Spermidine (Spd) in rice leaves (nmol g^{-1} FW) before sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	38.851	29.907	38.910	35.889
	2	15.387	19.064	23.616	19.355
	3	24.583	12.251	23.131	19.988
Mean		26.273	20.407	28.552	25.078
PTT85180	1	59.291	46.838	46.872	51.000
	2	27.775	31.896	28.386	29.352
	3	25.902	18.662	28.690	24.418
Mean		37.656	32.465	34.649	34.923
RD6	1	67.883	41.478	73.523	60.961
	2	30.499	20.907	32.257	27.887
	3	12.225	29.818	22.115	21.386
Mean		36.869	30.734	42.631	36.745
IR28	1	34.139	42.991	32.394	36.508
	2	21.465	28.563	20.913	23.647
	3	33.725	19.549	22.839	25.371
Mean		29.776	30.367	25.382	28.509
Leaf position (C)	1	50.041	40.303	47.925	46.089
	2	23.781	25.107	26.293	25.061
	3	24.108	20.070	24.194	22.791
Mean		32.644	28.493	32.804	

CV (%) 13.29 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 2.258 B 1.956 AB 3.912 C 1.956 AC 3.912 BC 3.387 ABC 6.775

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table3 Spermine (Spm) in rice leaves (nmol g^{-1} FW) before sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	170.709	138.567	147.057	152.111
	2	119.660	88.548	110.904	106.311
	3	96.926	73.577	43.650	71.384
Mean		129.098	100.230	100.537	109.955
PTT85180	1	140.226	170.355	127.929	146.170
	2	114.057	73.285	101.761	96.367
	3	112.519	27.460	82.719	74.232
Mean		122.267	90.366	104.136	105.590
RD6	1	179.937	179.295	208.068	189.100
	2	126.028	130.587	150.863	135.826
	3	30.364	70.158	111.587	70.703
Mean		112.109	126.680	156.839	131.876
IR28	1	168.971	160.808	116.818	148.866
	2	112.381	37.080	99.375	82.945
	3	27.327	20.915	28.161	25.467
Mean		102.893	72.934	81.451	85.759
Leaf position (C)	1	164.961	162.256	149.968	159.061
	2	118.031	82.375	115.726	105.377
	3	66.784	48.027	66.529	60.447
Mean		116.592	97.553	110.741	

CV (%) 14.59 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 8.573 B 7.425 AB 14.850 C 7.425 AC 14.850 BC 12.859 ABC 25.718

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table4 Total polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) before sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	243.587	196.765	268.381	236.244
	2	153.155	125.432	183.998	154.196
	3	135.246	95.864	95.974	109.028
Mean		177.329	139.354	182.784	166.489
PTT85180	1	224.082	251.220	248.353	241.218
	2	152.073	126.213	172.554	150.280
	3	152.937	56.867	149.876	119.893
Mean		176.364	144.766	190.261	170.464
RD6	1	294.228	247.048	334.769	292.015
	2	189.244	161.510	235.879	195.544
	3	56.665	140.744	152.783	116.731
Mean		180.046	183.101	241.144	201.430
IR28	1	240.321	239.773	172.035	217.376
	2	157.277	121.183	136.868	138.443
	3	81.748	66.166	71.274	73.062
Mean		159.782	142.374	126.726	142.960
Leaf position (C)	1	250.554	233.701	255.884	246.713
	2	162.937	133.584	182.325	159.615
	3	106.649	89.910	117.477	104.678
Mean		173.38	152.399	185.229	

CV (%) 13.81 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC * BC ns ABC **

LSD 0.05 A 12.762 B 11.053 AB 22.106 C 11.053 AC 22.106 BC 19.144 ABC 38.288

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table5 Put/Spd+Spm in rice leaves before sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	0.162	0.168	0.444	0.258
	2	0.134	0.165	0.367	0.222
	3	0.114	0.118	0.437	0.223
Mean		0.137	0.150	0.416	0.234
PTT85180	1	0.124	0.159	0.421	0.234
	2	0.073	0.209	0.327	0.203
	3	0.108	0.232	0.346	0.229
Mean		0.102	0.200	0.365	0.222
RD6	1	0.187	0.119	0.190	0.165
	2	0.209	0.067	0.289	0.188
	3	0.330	0.408	0.144	0.294
Mean		0.242	0.198	0.207	0.216
IR28	1	0.180	0.177	0.153	0.170
	2	0.175	0.817	0.144	0.379
	3	0.339	0.631	0.402	0.457
Mean		0.231	0.542	0.233	0.335
Leaf position (C)	1	0.163	0.156	0.302	0.207
	2	0.148	0.314	0.282	0.248
	3	0.223	0.347	0.332	0.301
Mean		0.178	0.272	0.305	
CV (%) 16.69	ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)				
Level A **	B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **				
LSD 0.05 A 0.024	B 0.021 AB 0.042 C 0.021 AC 0.042 BC 0036 ABC 0.072				

Note: *, ** = significant difference at P≤0.05 and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table6 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 2 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	50.535	42.980	86.038	59.851
	2	17.969	109.963	35.812	54.581
	3	20.288	116.516	26.812	54.539
Mean		29.597	89.819	49.554	56.323
PTT85180	1	51.014	301.733	101.833	151.527
	2	20.347	224.670	131.240	125.419
	3	15.636	38.178	42.204	32.006
Mean		28.999	188.194	91.759	102.984
RD6	1	42.755	78.775	89.969	70.500
	2	14.643	50.703	63.051	42.799
	3	36.241	55.127	46.026	45.798
Mean		31.213	61.535	66.349	53.032
IR28	1	68.025	65.963	120.190	84.786
	2	38.182	80.806	111.934	76.974
	3	18.763	54.778	89.803	54.448
Mean		41.717	67.182	107.309	72.069
Leaf position (C)	1	53.127	122.363	99.507	91.666
	2	22.785	116.535	85.509	74.943
	3	22.732	66.150	51.211	46.698
Mean		32.881	101.683	78.743	

CV (%) 19.17 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 9.319 B 6.404 AB 12.808 C 6.404 AC 12.808 BC 11.092 ABC 22.184

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table7 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 2 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	196.834	64.779	66.595	109.403
	2	97.453	79.152	35.809	70.804
	3	55.310	30.493	47.104	44.302
Mean		116.532	58.141	49.836	74.836
PTT85180	1	143.669	86.438	113.271	114.459
	2	31.605	57.608	38.202	42.472
	3	24.159	117.130	74.061	71.783
Mean		66.477	87.058	75.178	76.238
RD6	1	145.664	74.511	64.736	94.970
	2	39.778	91.419	49.134	60.110
	3	78.671	30.592	95.549	68.271
Mean		88.037	65.507	69.806	74.450
IR28	1	99.363	72.386	144.196	105.315
	2	55.603	141.961	47.157	81.574
	3	40.765	80.459	33.357	51.594
Mean		65.244	98.268	74.97	79.494
Leaf position (C)	1	146.382	74.528	97.199	106.037
	2	56.109	92.535	42.575	63.740
	3	49.726	64.668	62.568	58.987
Mean		84.073	77.244	67.447	

CV (%) 16.76 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ns B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 6.934 B 2.129 AB 4.258 C 2.129 AC 4.258 BC 10.400 ABC 20.800

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table8 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 2 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	162.369	66.233	59.733	96.112
	2	53.201	39.933	46.969	46.701
	3	67.684	33.287	20.343	40.438
Mean		94.418	46.484	42.348	61.083
PTT85180	1	88.229	123.740	84.593	98.854
	2	50.033	72.464	55.607	59.368
	3	34.255	40.577	37.279	37.370
Mean		57.505	78.927	59.159	65.197
RD6	1	89.831	84.482	83.025	85.779
	2	52.762	45.958	63.966	54.228
	3	35.943	33.097	50.155	39.732
Mean		59.512	54.512	65.715	59.913
IR28	1	76.387	74.677	76.711	75.925
	2	72.861	59.148	53.665	61.891
	3	43.365	39.384	35.088	39.279
Mean		64.204	57.736	55.155	59.032
Leaf position (C)	1	104.204	87.283	76.015	89.167
	2	57.214	54.375	55.052	55.547
	3	45.312	36.586	35.716	39.205
Mean		68.910	59.415	55.594	

CV (%) 15.37 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ns B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 5.114 B 4.428 AB 8.856 C 4.428 AC 8.856 BC 7.670 ABC 15.340

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table9 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 2 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	409.738	173.991	212.366	265.365
	2	173.622	229.047	118.590	173.753
	3	143.281	180.296	94.259	139.278
Mean		242.213	194.444	141.738	192.799
PTT85180	1	282.912	511.911	298.530	364.451
	2	100.318	354.742	225.048	226.703
	3	74.049	195.882	153.544	141.158
Mean		152.426	354.178	225.707	244.104
RD6	1	278.249	237.768	237.730	251.249
	2	107.182	188.079	176.150	157.137
	3	150.855	118.819	191.730	153.801
Mean		178.762	181.555	201.870	187.396
IR28	1	243.955	213.025	341.096	266.025
	2	166.645	281.915	212.756	220.438
	3	102.893	174.620	158.448	145.320
Mean		171.164	223.186	237.433	210.595
Leaf position (C)	1	303.713	284.174	272.430	286.772
	2	136.942	263.446	183.136	194.508
	3	117.769	167.404	149.495	144.889
Mean		186.141	238.341	201.687	

CV (%) 15.27 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 17.288 B 14.972 AB 29.944 C 14.972 AC 29.944 BC 25.932 ABC 51.864

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table10 Put/Spd+Spm in rice leaves at 2 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	0.141	0.328	0.681	0.383
	2	0.116	0.922	0.433	0.490
	3	0.166	1.824	0.398	0.796
Mean		0.141	1.024	0.504	0.556
PTT85180	1	0.221	1.439	0.519	0.726
	2	0.229	1.727	1.372	1.109
	3	0.268	0.243	0.381	0.297
Mean		0.239	1.136	0.757	0.711
RD6	1	0.182	0.497	0.613	0.431
	2	0.160	0.379	0.641	0.393
	3	0.316	0.870	0.319	0.502
Mean		0.219	0.582	0.524	0.442
IR28	1	0.388	0.449	0.544	0.460
	2	0.297	0.403	1.124	0.608
	3	0.223	0.455	1.316	0.665
Mean		0.303	0.436	0.995	0.578
Leaf position (C)	1	0.233	0.678	0.589	0.500
	2	0.200	0.857	0.892	0.650
	3	0.243	0.848	0.603	0.565
Mean		0.225	0.794	0.695	

CV (%) 12.77 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 0.038 B 0.032 AB 0.064 C 0.032 AC 0.064 BC 0.058 ABC 0.116

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table11 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 4 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar (A)	Leaf position (C)	NaCl (B) 0	50	100	Mean
Pokkali	1	167.293	127.628	195.209	163.376
	2	60.839	71.338	103.518	78.565
	3	99.478	97.407	100.853	99.246
Mean		109.203	98.791	133.193	113.729
PTT85180	1	166.129	288.037	200.315	218.160
	2	131.661	156.404	115.457	134.507
	3	90.520	141.538	76.480	102.846
Mean		129.436	195.326	130.751	151.838
RD6	1	221.988	284.194	204.208	236.796
	2	173.930	158.991	138.479	157.133
	3	118.174	146.226	107.059	123.820
Mean		171.364	196.470	149.915	172.583
IR28	1	141.132	241.571	211.618	198.107
	2	105.246	134.264	106.716	115.408
	3	97.597	110.573	101.190	103.120
Mean		114.658	162.136	139.841	138.878
Leaf position (C)	1	174.135	235.357	202.837	204.110
	2	117.919	130.249	116.042	121.403
	3	101.442	123.936	96.395	107.258
Mean		131.165	163.181	138.425	

CV (%) 10.77 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 8.428 B 7.298 AB 14.596 C 7.278 AC 14.596 BC 12.641 ABC 25.282

Note: *, ** = significant difference at P≤0.05 and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table12 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 4 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar (A)	Leaf position (C)	NaCl (B) 0	50	100	Mean
Pokkali	1	66.410	107.592	133.962	102.655
	2	40.615	41.718	105.214	62.516
	3	93.145	34.319	120.258	82.574
Mean		66.723	61.210	119.811	82.581
PTT85180	1	81.722	299.682	79.324	153.576
	2	89.317	67.508	53.341	70.055
	3	64.575	123.433	35.059	74.355
Mean		78.538	163.541	55.908	99.329
RD6	1	99.730	108.125	68.853	92.236
	2	142.402	56.122	38.263	78.929
	3	140..246	47.851	34.651	74.249
Mean		127.459	70.699	47.256	81.805
IR28	1	65.037	125.715	63.593	84.782
	2	57.423	104.535	31.899	64.619
	3	85.440	46.925	50.674	61.013
Mean		69.300	92.392	48.722	70.138
Leaf position (C)	1	78.225	160.278	86.433	108.312
	2	82.439	67.471	57.179	69.030
	3	95.851	63.132	60.160	73.048
Mean		85.505	96.960	67.924	

CV (%) 14.32 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 6.484 B 5.615 AB 11.230 C 5.615 AC 11.230 BC 9.726 ABC 19.452

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table13 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 4 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	87.467	89.733	103.492	93.564
	2	55.666	58.791	64.594	59.684
	3	55.315	45.541	75.980	58.945
Mean		66.149	64.688	81.355	70.731
PTT85180	1	123.641	235.677	144.899	168.072
	2	74.701	95.270	104.533	91.501
	3	52.146	80.057	64.986	65.729
Mean		83.496	137.001	104.806	108.434
RD6	1	152.110	164.433	100.272	138.938
	2	81.108	77.476	68.369	75.651
	3	73.413	66.973	58.908	66.431
Mean		102.210	102.960	75.849	93.673
IR28	1	106.432	125.546	97.247	109.741
	2	81.525	72.116	64.739	72.793
	3	113.581	63.739	47.358	74.892
Mean		100.512	87.134	69.781	85.809
Leaf position (C)	1	117.412	153.847	111.477	127.579
	2	73.250	75.913	75.559	74.907
	3	73.614	64.077	61.808	66.500
Mean		88.092	97.946	82.948	

CV (%) 8.87 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 4.313 B 3.735 AB 7.470 C 3.735 AC 7.470 BC 6.470 ABC 12.540

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table14 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 4 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	321.200	324.952	432.663	359.605
	2	157.120	171.847	273.326	200.764
	3	247.938	177.267	297.091	240.765
Mean		242.086	224.688	334.360	267.045
PTT85180	1	371.491	823.362	424.871	539.908
	2	295.678	320.500	273.330	296.503
	3	207.240	345.028	176.524	242.931
Mean		291.470	496.297	291.575	359.780
RD6	1	473.828	538.751	373.333	461.970
	2	397.440	292.589	245.010	311.679
	3	331.833	261.050	203.950	265.611
Mean		401.130	364.130	274.098	346.420
IR28	1	312.600	493.498	372.457	392.852
	2	244.193	310.914	203.353	252.820
	3	296.617	221.237	199.221	239.025
Mean		284.470	341.883	258.344	294.899
Leaf position (C)	1	369.78	545.141	400.831	438.584
	2	273.608	273.962	248.755	265.442
	3	270.907	251.145	219.196	247.083
Mean		304.765	356.749	289.594	

CV (%) 9.04 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 15.553 B 13.469 AB 26.938 C 13.469 AC 26.938 BC 23.330 ABC 46.660

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table15 Put/Spd+Spm in rice leaves at 4 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	1.091	0.647	0.823	0.854
	2	0.632	0.710	0.610	0.650
	3	0.670	1.222	0.514	0.802
Mean		0.798	0.859	0.649	0.769
PTT85180	1	0.811	0.538	0.893	0.747
	2	0.803	0.961	0.732	0.832
	3	0.775	0.692	0.765	0.744
Mean		0.796	0.730	0.796	0.774
RD6	1	0.882	1.117	1.204	1.067
	2	0.778	1.190	1.303	1.090
	3	0.553	1.275	1.181	1.003
Mean		0.737	1.194	1.229	1.053
IR28	1	0.823	0.673	1.295	0.930
	2	0.759	0.773	1.128	0.886
	3	0.392	1.003	1.055	0.816
Mean		0.658	0.816	1.159	0.878
Leaf position (C)	1	0.902	0.743	1.054	0.900
	2	0.743	0.908	0.943	0.865
	3	0.597	1.048	0.879	0.841
Mean		0.7470	0.9000	0.9580	

CV (%) 6.08 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 0.029 B 0.025 AB 0.050 C 0.025 AC 0.050 BC 0.045 ABC 0.090

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table16 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 6 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	171.687	161.892	155.161	162.913
	2	103.770	131.906	170.441	135.372
	3	56.241	74.312	91.497	74.017
Mean		110.566	122.703	139.033	124.101
PTT85180	1	164.270	182.235	244.516	197.007
	2	120.647	136.536	114.199	123.794
	3	92.654	92.221	79.934	88.270
Mean		125.857	136.997	146.216	136.357
RD6	1	225.910	251.890	231.228	236.342
	2	165.341	158.651	173.703	165.898
	3	96.569	78.952	92.952	89.491
Mean		162.606	163.164	165.961	163.911
IR28	1	181.471	155.908	197.978	178.452
	2	115.908	122.770	141.105	126.594
	3	65.423	55.652	127.328	82.801
Mean		120.934	111.443	155.47	129.282
Leaf position (C)	1	185.834	187.981	207.221	193.679
	2	126.416	137.466	149.862	137.915
	3	77.722	75.284	97.928	83.645
Mean		129.991	133.577	151.670	

CV (%) 8.77 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ns ABC **

LSD 0.05 A 6.589 B 5.707 AB 11.414 C 5.707 AC 11.414 BC 9.884 ABC 19.768

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table17 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 6 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	64.005	57.351	59.178	60.178
	2	38.198	34.818	60.903	44.640
	3	32.853	26.816	34.325	31.331
Mean		45.019	39.661	51.468	45.383
PTT85180	1	61.687	68.681	44.282	58.216
	2	38.421	38.696	55.011	44.043
	3	29.256	28.512	36.503	31.424
Mean		43.121	45.296	45.265	44.561
RD6	1	60.259	89.177	81.798	77.078
	2	43.291	62.408	65.510	57.070
	3	22.123	51.148	29.742	34.337
Mean		41.891	67.578	59.016	56.612
IR28	1	82.174	55.467	84.826	74.155
	2	51.392	48.066	60.442	53.300
	3	21.264	42.210	33.188	32.221
Mean		51.610	48.581	59.485	53.225
Leaf position (C)	1	67.031	67.669	67.521	67.407
	2	42.825	45.997	60.466	49.763
	3	26.374	37.171	33.439	32.328
Mean		45.410	50.279	53.809	

CV (%) 10.31 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 2.787 B 2.414 AB 4.828 C 2.414 AC 4.828 BC 4.181 ABC 8.362

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table18 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 6 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	98.877	83.537	100.353	94.256
	2	55.122	58.188	82.000	65.103
	3	39.471	35.002	56.200	43.558
Mean		64.490	58.909	79.517	67.639
PTT85180	1	89.922	118.137	133.906	113.987
	2	62.633	71.548	96.994	77.058
	3	38.460	50.682	70.659	53.267
Mean		63.671	80.122	100.518	81.437
RD6	1	113.938	144.890	128.265	129.031
	2	72.529	96.457	97.611	88.866
	3	35.043	65.660	67.850	56.184
Mean		73.836	102.336	97.909	91.360
IR28	1	122.073	93.384	154.568	123.342
	2	78.161	73.816	93.366	81.781
	3	38.338	45.127	76.385	53.283
Mean		79.524	70.775	108.106	86.135
Leaf position (C)	1	106.202	109.987	129.272	115.154
	2	67.111	75.002	92.493	78.202
	3	37.828	49.118	67.773	51.573
Mean		70.380	78.036	96.513	

CV (%) 8.10 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ns ABC **

LSD 0.05 A 3.587 B 3.106 AB 6.212 C 3.106 AC 6.212 BC 5.380 ABC 10.760

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table19 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 6 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	334.568	302.780	312.691	316.679
	2	187.089	224.912	313.344	245.115
	3	128.565	135.994	182.022	148.860
Mean		220.074	221.228	269.352	236.885
PTT85180	1	315.879	369.053	427.699	370.877
	2	221.701	246.779	266.204	244.895
	3	160.369	171.415	187.096	172.960
Mean		232.650	262.415	293.666	262.910
RD6	1	400.100	485.956	444.291	443.451
	2	281.160	317.516	336.824	311.833
	3	153.735	195.759	193.543	181.021
Mean		278.334	333.077	324.886	312.099
IR28	1	385.718	304.759	437.371	375.949
	2	245.460	244.651	294.912	261.674
	3	125.025	142.987	237.234	168.415
Mean		252.068	230.799	323.172	268.680
Leaf position (C)	1	359.068	365.637	405.513	376.739
	2	236.353	258.464	302.821	265.879
	3	141.923	161.539	199.974	167.812
Mean		245.781	261.880	302.769	

CV (%) 8.46 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ns ABC **

LSD 0.05 A 12.405 B 10.743 AB 21.487 C 10.743 AC 21.468 BC 18.608 ABC 37.216

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table20 Put/Spd+Spm in rice leaves at 6 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	1.056	1.149	0.973	1.059
	2	1.112	1.419	1.193	1.241
	3	0.778	1.205	1.011	0.998
Mean		0.982	1.258	1.059	1.099
PTT85180	1	1.090	0.976	1.336	1.134
	2	1.194	1.240	0.752	1.062
	3	1.364	1.165	0.746	1.092
Mean		1.216	1.127	0.944	1.096
RD6	1	1.297	1.075	1.090	1.154
	2	1.433	0.999	1.069	1.167
	3	1.732	0.676	0.929	1.112
Mean		1.487	0.917	1.029	1.144
IR28	1	0.879	1.048	0.830	0.919
	2	0.891	1.009	0.921	0.940
	3	1.102	0.642	1.162	0.969
Mean		0.957	0.899	0.971	0.943
Leaf position (C)	1	1.080	1.062	1.057	1.066
	2	1.157	1.167	0.984	1.102
	3	1.244	0.922	0.962	1.043
Mean		1.161	1.050	1.001	

CV (%) 4.32 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 0.024 B 0.021 AB 0.042 C 0.021 AC 0.042 BC 0.036 ABC 0.072

Note: *, ** = significant difference at P≤0.05 and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table21 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 24 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	62.661	17.094	33.916	37.890
	2	22.296	19.650	17.954	19.967
	3	9.714	12.901	9.981	10.865
Mean		31.557	16.548	20.617	22.907
PTT85180	1	11.043	28.300	14.769	18.037
	2	8.514	60.857	22.048	30.473
	3	20.776	72.306	22.696	38.593
Mean		13.444	53.821	19.838	29..034
RD6	1	13.167	24.204	27.761	21.711
	2	11.167	72.741	18.196	34.035
	3	9.372	15.468	17.665	14.168
Mean		11.235	37.471	21.207	23.304
IR28	1	28.296	16.318	17.719	20.778
	2	16.272	38.006	32.356	28.878
	3	5.069	16.928	37.102	19.700
Mean		16.545	23.751	29.059	23.118
Leaf position (C)	1	28.792	21.479	23.541	24.604
	2	14.562	47.814	22.638	28.338
	3	11.233	29.401	21.861	20.831
Mean		18.195	32.898	22.680	

CV (%) 32.49 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 4.337 B 3.754 AB 7.508 C 3.754 AC 7.508 BC 6.501 ABC 13.002

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table22 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 24 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	57.475	35.041	49.344	47.286
	2	14.200	23.640	30.147	22.665
	3	24.685	23.899	20.548	23.027
Mean		32.106	27.526	33.346	30.993
PTT85180	1	50.910	46.021	58.839	51.923
	2	35.757	16.434	38.041	28.410
	3	15.576	17.130	15.977	16.227
Mean		34.001	26.520	35.952	32.187
RD6	1	40.046	62.188	90.659	64.297
	2	36.316	26.907	19.694	27.665
	3	19.693	23.782	17.711	20.395
Mean		32.010	37.652	42.688	37.453
IR28	1	84.115	32.888	22.583	46.529
	2	68.962	20.355	20.975	36.764
	3	25.357	14.743	10.026	16.709
Mean		59.478	22.662	17.861	33.334
Leaf position (C)	1	58.136	44.034	55.356	52.509
	2	38.811	21.854	25.964	28.876
	3	21.315	19.888	16.065	19.090
Mean		39.421	28.592	32.462	

CV (%) 30.65 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ns B ** AB ** C ** AC ** BC * ABC **

LSD 0.05 A 5.569 B 4.823 AB 9.646 C 4.823 AC 9.646 BC 8.354 ABC 16.708

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table23 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 24 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	23.153	43.454	31.378	32.781
	2	13.362	28.791	21.572	21.242
	3	18.628	18.838	16.830	18.098
Mean		18.381	30.361	23.388	24.040
PTT85180	1	37.603	63.314	42.109	47.675
	2	19.099	29.878	25.509	24.828
	3	10.997	19.485	14.504	15.023
Mean		22.566	37.560	27.400	29.176
RD6	1	32.125	40.128	37.787	36.680
	2	22.871	23.680	21.431	22.661
	3	15.146	19.759	15.866	16.924
Mean		23.380	27.856	25.020	25.421
IR28	1	94.001	25.757	27.853	49.230
	2	34.828	11.975	16.044	21.216
	3	20.401	10.921	10.980	14.103
Mean		49.770	16.217	18.561	28.183
Leaf position (C)	1	46.740	43.163	34.871	41.592
	2	22.540	23.581	21.339	22.487
	3	16.293	17.252	14.567	16.037
Mean		28.524	27.999	23.592	

CV (%) 32.74 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ns B * AB ** C ** AC ** BC ns ABC **

LSD 0.05 A 4.744 B 4.109 AB 8.218 C 4.109 AC 8.218 BC 7.116 ABC 14.232

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table24 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 24 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	143.288	95.588	114.997	117.958
	2	49.866	72.080	69.673	63.873
	3	52.840	55.638	46.859	51.779
Mean		81.998	74.435	77.176	77.870
PTT85180	1	99.555	137.635	115.716	117.635
	2	63.369	107.168	80.598	83.771
	3	47.349	108.925	53.257	69.843
Mean		70.091	117.909	83.190	90.397
RD6	1	85.338	126.520	156.206	122.688
	2	70.353	124.741	59.331	84.800
	3	44.211	59.009	51.242	51.487
Mean		66.634	103.423	88.926	8.328
IR28	1	206.492	74.963	68.155	116.536
	2	120.062	70.441	70.175	86.892
	3	50.826	42.592	58.116	50.511
Mean		125.793	62.665	65.482	84.647
Leaf position (C)	1	133.668	108.676	113.768	118.704
	2	75.912	93.607	69.944	79.821
	3	48.806	66.541	52.36	55.905
Mean		86.129	89.608	78.693	

CV (%) 29.97 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ns B ns AB ** C ** AC ns BC * ABC **

LSD 0.05 A 13.379 B 11.943 AB 23.886 C 11.943 AC 23.886 BC 20.686 ABC 41.372

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table25 Put/Spd+Spm in rice leaves at 24 h after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	0.780	0.224	0.419	0.474
	2	0.777	0.384	0.347	0.502
	3	0.266	0.303	0.246	0.272
Mean		0.607	0.303	0.337	0.416
PTT85180	1	0.113	0.261	0.135	0.169
	2	0.130	1.412	0.374	0.638
	3	0.791	2.024	0.755	1.190
Mean		0.344	1.232	0.421	0.666
RD6	1	0.176	0.215	0.210	0.203
	2	0.203	1.460	0.443	0.702
	3	0.264	0.351	0.528	0.381
Mean		0.214	0.675	0.396	0.428
IR28	1	0.156	0.264	0.352	0.257
	2	0.155	1.175	0.853	0.727
	3	0.107	0.642	1.764	0.838
Mean		0.139	0.694	0.990	0.607
Leaf position (C)	1	0.306	0.241	0.281	0.276
	2	0.316	1.107	0.504	0.643
	3	0.357	0.830	0.823	0.670
Mean		0.326	0.726	0.536	

CV (%) 12.56 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 0.034 B 0.029 AB 0.058 C 0.029 AC 0.058 BC 0.051 ABC 0.102

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table26 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 7 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	33.868	72.739	68.259	58.288
	2	35.930	47.553	30.815	38.099
	3	43.743	20.081	19.303	27.709
Mean		37.847	46.791	39.459	41.365
PTT85180	1	62.297	68.835	56.072	62.401
	2	22.960	46.267	18.355	29.194
	3	17.193	39.095	109.089	55.126
Mean		34.150	51.399	61.172	48.907
RD6	1	68.335	89.954	128.805	95.698
	2	47.503	20.729	78.215	48.816
	3	35.569	36.358	105.849	59.258
Mean		50.469	49.013	104.240	67.924
IR28	1	55.571	90.409	50.075	59.351
	2	23.732	39.991	28.119	30.614
	3	23.419	14.705	29.838	22.654
Mean		34.24	40.368	36.011	39.540
Leaf position (C)	1	55.018	80.404	75.802	70.435
	2	32.581	38.635	38.876	36.681
	3	29.981	27.568	66.020	41.187
Mean		39.177	40.893	60.233	

CV (%) 24.32 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 6.521 B 5.648 AB 11.296 C 5.648 AC 11.296 BC 9.782 ABC 19.564

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table27 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 7 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	66.913	173.148	229.910	156.657
	2	38.887	63.001	73.879	58.589
	3	28.969	38.965	49.573	39.169
Mean		44.923	91.705	117.707	84.805
PTT85180	1	122.389	372.039	86.314	193.581
	2	38.113	68.372	47.814	51.433
	3	27.881	61.178	49.436	46.165
Mean		62.794	167.196	61.188	97.059
RD6	1	99.330	104.457	33.287	79.024
	2	57.230	19.616	24.098	33.650
	3	31.536	15.446	30.938	25.973
Mean		62.701	46.506	29.441	46.216
IR28	1	86.527	95.685	36.166	72.793
	2	54.030	51.774	19.889	41.898
	3	33.431	24.385	17.350	25.055
Mean		57.996	57.281	24.468	46.582
Leaf position (C)	1	93.790	186.332	96.419	125.514
	2	47.067	50.691	41.420	46.392
	3	30.454	34.993	36.824	34.091
Mean		57.103	90.672	58.221	

CV (%) 33.26 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 12.389 B 10.729 AB 21.458 C 10.729 AC 21.458 BC 18.584 ABC 37.168

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table28 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 7 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	157.293	404.301	336.324	299.306
	2	111.943	69.459	94.165	91.856
	3	61.669	69.535	58.058	63.087
Mean		110.301	181.098	162.849	151.416
PTT85180	1	190.012	185.315	194.683	190.003
	2	145.012	108.763	107.167	120.314
	3	60.933	84.857	102.391	82.727
Mean		131.985	126.311	134.747	131.014
RD6	1	136.348	191.400	171.228	166.328
	2	212.294	57.600	91.720	120.538
	3	62.002	51.417	199.729	104.383
Mean		136.881	100.142	154.226	130.416
IR28	1	128.454	192.504	78.439	133.132
	2	92.581	111.946	46.911	83.813
	3	43.245	71.115	35.720	50.027
Mean		88.098	125.188	53.698	88.991
Leaf position (C)	1	153.027	243.382	195.168	197.192
	2	140.457	86.942	84.991	104.130
	3	56.962	69.231	98.974	75.056
Mean		115.815	133.185	126.370	

CV (%) 22.82 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ns AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 15.545 B 13.462 AB 26.924 C 13.462 AC 26.924 BC 23.317 ABC 46.634

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table29 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 7 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	258.073	651.521	634.492	514.695
	2	182.760	180.012	198.858	187.210
	3	134.380	120.580	126.934	129.965
Mean		191.738	320.038	320.095	277.290
PTT85180	1	374.190	626.180	336.910	445.768
	2	206.085	223.401	173.335	200.940
	3	106.006	185.130	260.910	184.015
Mean		228.763	344.906	257.054	276.908
RD6	1	304.013	385.818	333.319	341.050
	2	317.035	98.944	194.033	203.337
	3	129.106	103.221	336.515	189.614
Mean		250.051	195.994	287.956	244.667
IR28	1	270.552	378.597	164.679	271.276
	2	170.426	203.711	94.919	156.352
	3	100.095	110.205	82.908	97.736
Mean		180.358	230.830	114.169	175.121
Leaf position (C)	1	301.709	510.531	367.352	393.197
	2	219.076	176.517	165.286	186.960
	3	117.397	131.784	201.817	150.332
Mean		212.727	272.944	244.818	

CV (%) 24.20 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 31.969 B 27.686 AB 55.372 C 27.686 AC 55.372 BC 47.954 ABC 95.908

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table30 Put/Spd+Spm in rice leaves at 7 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	0.154	0.128	0.119	0.133
	2	0.212	0.354	0.107	0.251
	3	0.404	0.185	0.185	0.284
Mean		0.283	0.222	0.163	0.223
PTT85180	1	0.196	0.123	0.198	0.172
	2	0.128	0.264	0.119	0.169
	3	0.193	0.268	0.746	0.402
Mean		0.171	0.218	0.354	0.248
RD6	1	0.291	0.300	0.632	0.408
	2	0.178	0.278	0.675	0.377
	3	0.379	0.547	0.463	0.463
Mean		0.283	0.375	0.590	0.416
IR28	1	0.260	0.314	0.425	0.333
	2	0.162	0.241	0.424	0.276
	3	0.305	0.154	0.562	0.340
Mean		0.242	0.236	0.47	0.316
Leaf position (C)	1	0.225	0.216	0.343	0.261
	2	0.168	0.284	0.351	0.268
	3	0.340	0.288	0.489	0.372
Mean		0.245	0.263	0.394	
CV (%) 10.09	ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)				
Level A **	B **	AB **	C **	AC **	BC ** ABC **
LSD 0.05 A 0.017	B 0.015	AB 0.030	C 0.015	AC 0.030	BC 0.026 ABC 0.052

Note: *, ** = significant difference at P≤0.05 and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table31 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	46.920	220.738	117.577	128.411
	2	49.151	34.105	59.959	47.738
	3	24.913	35.740	62.703	41.121
Mean		40.328	96.864	80.080	72.424
PTT85180	1	20.571	57.786	109.701	62.713
	2	12.791	30.191	22.521	21.834
	3	7.069	72.728	51.459	43.752
Mean		13.477	53.560	61.254	42.766
RD6	1	17.338	126.831	85.155	76.441
	2	16.002	22.090	159.783	65.958
	3	7.041	19.504	24.309	16.951
Mean		13.460	56.142	89.749	53.117
IR28	1	18.352	43.561	26.244	29.386
	2	8.956	36.901	35.312	27.056
	3	8.635	20.901	51.848	27.128
Mean		11.981	33.788	37.801	27.857
Leaf position (C)	1	25.795	112.229	84.689	74.238
	2	21.725	30.822	69.393	40.647
	3	11.914	37.220	47.580	32.238
Mean		19.811	60.090	67.221	

CV (%) 31.77 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 8.454 B 7.321 AB 14.642 C 7.321 AC 14.642 BC 12.680 ABC 25.360

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table32 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	22.795	79.064	45.738	49.199
	2	16.581	24.039	41.924	27.515
	3	16.483	32.821	26.777	25.360
Mean		18.620	45.308	38.146	34.025
PTT85180	1	21.565	68.855	15.593	35.337
	2	9.266	25.961	23.731	19.652
	3	6.980	15.503	63.191	28.558
Mean		12.603	36.773	34.171	27.849
RD6	1	19.636	53.852	26.525	33.337
	2	17.082	19.841	23.107	20.010
	3	10.712	19.015	18.591	16.106
Mean		15.810	30.903	22.741	23.151
IR28	1	19.160	63.695	12.650	31.835
	2	16.300	25.215	16.313	19.302
	3	9.321	29.613	23.943	20.959
Mean		14.953	39.507	17.635	24.032
Leaf position (C)	1	20.789	66.366	25.126	37.427
	2	14.827	23.764	26.269	21.620
	3	10.874	24.238	33.125	22.746
Mean		15.497	38.123	28.173	

CV (%) 35.38 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB * C ** AC ns BC ** ABC **

LSD 0.05 A 5.232 B 4.532 AB 9.064 C 4.632 AC 9.064 BC 7.849 ABC 15.698

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table33 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	37.841	72..085	55.640	55.191
	2	21.582	17.942	32.381	23.968
	3	12.338	16.869	23.078	17.428
Mean		23.920	35.632	37.036	32.196
PTT85180	1	26.714	39.250	18.211	28.058
	2	17.401	21.977	15.310	18.229
	3	10.078	14.522	52.412	25.671
Mean		18.064	25.250	28.644	23.986
RD6	1	27.344	62.085	27.193	38.874
	2	21.027	22.420	31.818	25.088
	3	11.172	17.794	14.156	14.374
Mean		19.840	34.099	24.389	26.112
IR28	1	23.819	46.340	10.681	26.949
	2	11.674	17.073	11.619	13.455
	3	7.476	21.964	24.555	17.998
Mean		14.323	28.461	5.618	19.467
Leaf position (C)	1	28.930	54.942	27.933	37.268
	2	17.921	19.853	22.782	20.185
	3	10.266	17.787	28.550	18.868
Mean		19.039	30.861	26.422	

CV (%) 32.49 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB * C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 4.475 B 3.876 AB 7.752 C 3.876 AC 7.752 BC 6.712 ABC 13.424

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table34 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	107.556	371.887	218.962	232.801
	2	87.314	76.086	134.264	99.221
	3	53.733	85.437	112.558	83.909
Mean		82.867	177.803	155.261	138.644
PTT85180	1	68.849	165.891	121.441	118.727
	2	39.458	78.129	109.675	75.754
	3	24.127	102.753	167.062	97.981
Mean		44.145	115.591	132.726	97.487
RD6	1	64.318	242.767	136.872	147.986
	2	54.111	64.051	214.707	110.956
	3	28.925	56.320	57.057	47.434
Mean		49.118	121.046	136.212	102.125
IR28	1	61.601	153.603	49.574	88.259
	2	37.010	79.188	63.243	59.813
	3	25.481	72.478	100.346	66.085
Mean		41.347	101.756	71.054	71.386
Leaf position (C)	1	75.581	233.537	131.712	146.943
	2	54.473	74.363	130.472	86.436
	3	33.054	79.247	109.256	73.852
Mean		54.369	129.049	123.813	

CV (%) 33.01 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ns C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 18.339 B 15.882 AB 31.764 C 15.882 AC 31.764 BC 27.509 ABC 55.018

Note: *, ** = significant difference at P≤0.05 and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table35 Put/Spd+Spm in rice leaves at 14 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	0.779	1.559	1.145	1.161
	2	1.292	0.824	0.818	0.978
	3	0.865	0.723	0.832	0.807
Mean		0.979	1.035	0.931	0.982
PTT85180	1	0.416	0.533	3.259	1.403
	2	0.478	0.635	0.582	0.565
	3	0.414	1.995	0.447	0.952
Mean		0.436	1.054	1.429	0.973
RD6	1	0.342	1.153	1.591	1.028
	2	0.427	0.526	2.912	1.288
	3	0.319	0.524	0.817	0.553
Mean		0.362	0.734	1.773	0.957
IR28	1	0.413	0.396	1.113	0.640
	2	0.318	0.863	1.260	0.814
	3	0.512	0.413	1.059	0.661
Mean		0.414	0.557	1.144	0.705
Leaf position (C)	1	0.487	0.910	1.777	1.058
	2	0.629	0.712	1.393	0.911
	3	0.527	0.914	0.788	0.743
Mean		0.548	0.845	1.319	
CV (%) 9.01	ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)				
Level A **	B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **				
LSD 0.05 A 0.045	B 0.039 AB 0.078 C 0.030 AC 0.078 BC 0.068 ABC 0.136				

Note: *, ** = significant difference at P≤0.05 and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table36 Putrescine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 21 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	13.322	30.915	20.526	21.588
	2	45.843	27.213	25.698	32.918
	3	29.537	32.247	17.951	26.578
Mean		29.567	30.125	21.392	27.028
PTT85180	1	8.136	203.920	31.681	81.246
	2	22.763	42.924	52.953	39.547
	3	37.311	44.350	60.172	47.278
Mean		22.737	97.065	48.269	56.023
RD6	1	30.047	33.994	49.162	37.734
	2	28.378	17.194	29.352	24.974
	3	23.449	15.176	26.070	21.565
Mean		27.291	22.121	34.061	28.091
IR28	1	22.212	13.129	37.244	24.195
	2	25.401	15.383	20.168	20.342
	3	22.147	21.277	21.196	21.540
Mean		23.280	16.569	26.201	22.026
Leaf position (C)	1	18.429	70.489	34.653	41.191
	2	30.616	25.670	32.041	29.445
	3	28.111	28.262	31.347	29.240
Mean		25.719	41.477	32.681	

CV (%) 23.99 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 4.333 B 3.752 AB 7.504 C 3.752 AC 7.504 BC 6.499 ABC 12.998

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table37 Spermidine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 14 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	24.082	18.961	33.386	25..476
	2	31.585	22.956	47.727	34.089
	3	25.830	28.584	29.677	28.030
Mean		27.615	23.500	36.980	29.198
PTT85180	1	9.460	45.684	29.193	28.115
	2	26.723	24.331	61.055	37.370
	3	21..960	38.632	82.160	47.584
Mean		19.384	36.215	57.649	37.689
RD6	1	23.505	25.995	25.563	25.051
	2	24.375	14.291	18.329	18.998
	3	18.776	23.482	20.671	20.976
Mean		22.219	21.256	21.551	21.675
IR28	1	18.034	10.216	22.237	16.829
	2	24.433	19.261	18.448	20.714
	3	19.078	19.513	19.837	19.475
Mean		20.515	16.330	20.174	19.006
Leaf position (C)	1	18.772	25.214	27.617	23.868
	2	26.779	20.21	36.389	27.793
	3	21.411	27.553	38.086	29.017
Mean		22.321	24.325	34.031	

CV (%) 30.67 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C * AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 4.474 B 3.875 AB 7.750 C 3.875 AC 7.750 BC 6.711 ABC 13.422

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table38 Spermine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 21 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	17.285	27.817	37.604	27.595
	2	16.886	16.549	29.703	21.046
	3	19.138	16.204	23.918	19.751
Mean		17.767	20.190	30.435	22.797
PTT85180	1	12.248	47.055	24.232	27.845
	2	28.096	25.221	39.211	30.842
	3	22.768	74.370	55.868	51.002
Mean		21.037	48.882	39.770	36.563
RD6	1	22.762	37.433	20.353	26.849
	2	12.522	13.793	19.236	15.183
	3	23.249	21.601	16.483	20.444
Mean		19.511	24.275	18.690	20.826
IR28	1	10.588	12.474	17.515	13.525
	2	14.365	20.673	27.858	21.065
	3	12.835	21.522	27.273	20.543
Mean		12.596	18.323	24.215	18.378
Leaf position (C)	1	15.721	31.195	24.946	23.954
	2	17.967	19.134	29.002	22.034
	3	19.495	33.424	30.885	27.935
Mean		17.728	27.918	28.278	

CV (%) 27.45 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 3.749 B 3.178 AB 6.356 C 3.178 AC 6.356 BC 5.505 ABC 11.010

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table39 Total Polyamine in rice leaves (nmol g^{-1} FW) at 21 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	54.689	77.677	91.595	74.654
	2	94.314	66.710	105.127	88.720
	3	74.569	77.035	71.566	74.390
Mean		74.524	73.810	89.429	79.254
PTT85180	1	29.852	296.650	85.105	137.205
	2	77.582	92.465	153.210	107.755
	3	82.039	157.352	198.199	145.863
Mean		63.157	182.158	145.507	130.274
RD6	1	76.314	97.422	95.167	89.634
	2	63.274	45.270	66.916	58.489
	3	65.474	60.258	63.224	62.985
Mean		68.354	67.652	75.102	70.369
IR28	1	50.833	35.818	76.996	54.549
	2	64.279	55.573	66.448	62.100
	3	54.060	62.312	68.306	61.559
Mean		56.390	51.234	70.583	59.408
Leaf position (C)	1	52.922	126.894	87.216	89.010
	2	74.862	65.000	97.927	79.266
	3	69.035	89.239	100.324	86.199
Mean		65.606	93.714	95.155	

CV (%) 26.01 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ns AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 11.969 B 10.365 AB 20.730 C 10.367 AC 20.730 BC 17.953 ABC 35.906

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table40 Put/Spd+Spm in rice leaves at 21 days after sodium chloride treatments.

Rice cultivar	Leaf position	NaCl (B)			Mean
(A)	(C)	0	50	100	
Pokkali	1	0.325	0.664	0.292	0.427
	2	0.946	0.690	0.334	0.656
	3	0.669	0.721	0.338	0.576
Mean		0.646	0.691	0.321	0.553
PTT85180	1	0.375	2.288	0.581	1.081
	2	0.419	0.862	0.527	0.602
	3	0.830	0.390	0.435	0.552
Mean		0.541	1.180	0.514	0.745
RD6	1	0.645	0.544	1.057	0.748
	2	0.772	0.609	0.783	0.721
	3	0.559	0.333	0.720	0.537
Mean		0.658	0.495	0.853	0.669
IR28	1	0.782	0.581	0.997	0.787
	2	0.656	0.384	0.444	0.494
	3	0.691	0.523	0.441	0.552
Mean		0.709	0.496	0.627	0.611
Leaf position (C)	1	0.531	1.019	0.732	0.761
	2	0.698	0.636	0.522	0.619
	3	0.687	0.492	0.483	0.554
Mean		0.639	0.716	0.579	

CV (%) 13.93 ANOVA: A (Rice cultivar), B (NaCl), C (Leaf position)

Level A ** B ** AB ** C ** AC ** BC ** ABC **

LSD 0.05 A 0.049 B 0.042 AB 0.084 C 0.042 AC 0.084 BC 0.073 ABC 0.146

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table41 The correlation coefficients between NaCl and polyamine parameters of four rice cultivars at 14 days after NaCl treatments.

		Put	Spd	Spm	Total PA	NaCl
POKKALI	Put	1.000				
	Spd	0.454	1.000			
	Spm	0.148	0.795*	1.000		
	Total PA	0.488	0.896**	0.928*	1.000	
	NaCl	0.548*	0.693*	0.129	0.395	1.000
PTT85180	Put	1.000				
	Spd	0.567*	1.000			
	Spm	-0.063	0.197	1.000		
	Total PA	0.190	0.194	0.596*	1.000	
	NaCl	0.781*	0.793*	0.338	0.387	1.000
RD6	Put	1.000				
	Spd	0.822**	1.000			
	Spm	0.632*	0.854**	1.000		
	Total PA	0.775*	0.953**	0.922*	1.000	
	NaCl	0.738*	0.699*	0.575*	0.529*	1.000
IR28	Put	1.000				
	Spd	0.193	1.000			
	Spm	0.623**	-0.162	1.000		
	Total PA	0.156	0.760*	-0.186	1.000	
	NaCl	0.793*	-0.337	0.628*	-0.175	1.000

POKKALI NaCl = 124.49+5.326Put+9.114Spd+3.232Spm-4.661TotalPA $R^2 = 0.989$**

PTT85180 NaCl = 24.728+1.352Put+4.133Spd-0.044Spm+2.285TotalPA $R^2 = 0.986$**

RD6 NaCl = 147.13+3.938Put+3.368Spd+1.924Spm-1.834TotalPA $R^2 = 0.976$**

IR28 NaCl = 60.053+3.664Put-1.338Spd+0.009Spm+0.111TotalPA $R^2 = 0.992$**

Note: *, ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and 0.01 respectively; NS = non-significant

Table42 The correlation coefficients between NaCl and polyamine parameters of four rice cultivars at 21 days after NaCl treatments.

		Put	Spd	Spm	Total PA	NaCl
POKKALI	Put	1.000				
	Spd	-0.269	1.000			
	Spm	-0.122	-0.861**	1.000		
	Total PA	-0.115	0.946**	0.979**	1.000	
	NaCl	-0.301	0.945**	0.928**	0.979**	1.000
PTT85180	Put	1.000				
	Spd	-0.335	1.000			
	Spm	-0.001	0.906**	1.000		
	Total PA	-0.128	0.972**	0.978**	1.000	
	NaCl	-0.129	0.898**	0.926**	0.938**	1.000
RD6	Put	1.000				
	Spd	0.529*	1.000			
	Spm	0.599**	0.876**	1.000		
	Total PA	0.756*	0.918**	0.956**	1.000	
	NaCl	0.787*	0.796**	0.918**	0.944**	1.000
IR28	Put	1.000				
	Spd	-0.336	1.000			
	Spm	0.789**	-0.646**	1.000		
	Total PA	0.580*	0.575*	0.264	1.000	
	NaCl	0.738*	-0.869**	0.765**	-0.169	1.000

POKKALI, NaCl = 197.45+6.161Put+4.539Spd+0.769Spm-0.269Total PA R^2 = 0.998**

PTT85180, NaCl = 19.367+7.032Put+1.878Spd+11.079Spm-4.114TotalPA R^2 = 0.986**

RD6, NaCl = -19.367+7.034Put+1.879Spd+11.080Spm-4.115TotalPA R^2 = 0.985**

IR28, NaCl = 66.783-16.047Put+14.171Spd-5.087Spm-0.209TotalPA R^2 = 0.978**

Note: *, ** = significant difference at P≤0.05 and 0.01 respectively; NS = non-significant

ผลการทดลอง

ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการในข้าว

การเปลี่ยนแปลงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (A) การนำที่ปากใบ (Gs) อัตราการคายน้ำ (E) ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CE) และ QY เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ระยะสั้น (0-24 ชั่วโมง)

ในการทดลองพบว่า A, Gs และ E ลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในข้าวทุกพันธุ์ เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นตั้งแต่ 50 มิลลิโมลเป็นเวลา 2-24 ชั่วโมง ซึ่งพบทั้ง A, Gs และ E สูงสุดในข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลีและข้าวทนเค็มปานกลางพันธุ์ PTT85180 กข6 เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวไม่ทนเค็มพันธุ์ไออาร์28 โดยเฉพาะช่วงเวลาที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ 6 ชั่วโมง สำหรับ A ในข้าวพันธุ์พอคคาลีลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้าวพันธุ์ PTT85180, กข6 และไออาร์28 ลดลงถึง 55 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน สำหรับจุดวิกฤติที่ทำให้ A ลดลงพบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิโมลในข้าวทุกพันธุ์ โดยทำให้ค่า A ลดลง 68 และ 48 เปอร์เซ็นต์ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 50 และ 100 มิลลิโมลเมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ที่ไม่ได้รับเกลือ

ในช่วงเวลาที่ข้าวได้รับโซเดียมคลอไรด์ 24 ชั่วโมง พบว่าที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิโมล A ของข้าวพอคคาลีและ PTT85180 ลดลง 17-19 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้าว กข6 และไออาร์28 มี A ลดลง 45-48 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้รับเกลือ อย่างไรก็ตามที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 100 มิลลิโมล A ของข้าวพอคคาลีลดลง 45 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้าว PTT85180 กข6 และไออาร์28 มี A ลดลง 75, 85 และ 95 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ (Figure41-45)

การเปลี่ยนแปลง A, Gs, E, CE และ QY เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ระยะยาว (1-21 วัน)

จากการทดลองพบว่าข้าวทุกพันธุ์ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์มี A, Gs, E, CE และ QY ลดลงในทิศทางเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่ได้รับเกลือ 7-21 วัน ในช่วงที่ได้รับเกลือ 7 วัน A ในข้าวพอคคาลีลดลง 15 และ 18 เปอร์เซ็นต์เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ 50 และ 100 มิลลิโมล ส่วนข้าวพันธุ์ กข6 และไออาร์28 มี A ลดลงมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้าวที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ 21 วันพบว่า A ในข้าวทุกพันธุ์ลดลงมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์เมื่อได้รับเกลือ 100 มิลลิโมลเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือ โดยพบว่าข้าวพอคคาลีมี A ลดลง 56 เปอร์เซ็นต์ ส่วน PTT85180, กข6 และไออาร์28 มี A ลดลง 58, 70และ 90 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Figure46-50)

ความสัมพันธ์ระหว่างโซเดียมคลอไรด์กับลักษณะสรีรวิทยาของข้าว

ลักษณะสรีรวิทยาของข้าวทั้ง A, Gs, E, CE และ QY พบความสัมพันธ์ในทางลบ (negative correlation) กับการได้รับความเครียดเกลือของข้าว โดยเฉพาะสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficient of R^2) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ 7 และ 21 วัน (Table43-44)

ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเติบโตของข้าว

พื้นที่ใบ

ในการทดลองพบว่าข้าวทุกพันธุ์ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์มีพื้นที่ใบลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่ 7-21 วัน โดยเฉพาะต้นข้าวที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิโมลเป็นเวลา 7 วันทั้งข้าวพอคคาลีและ PTT85180 มีพื้นที่ใบลดลง 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้าวพันธุ์ กข6 และไออาร์28 มีพื้นที่ใบลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ (Figure51)

การเติบโตของต้นและรากข้าว

ข้าวทั้ง 4 พันธุ์ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์มีการเติบโตของต้นและรากลดลง ซึ่งพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหลังจากได้รับเกลือ 7, 14 และ 21 วัน ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ทั้ง 50 และ 100 มิลลิโมลทำให้น้ำหนักแห้งส่วนต้นได้รับความเสียหายมากกว่าส่วนรากโดยเฉพาะในข้าวพันธุ์ไม่ทนเค็มพันธุ์ไออาร์ 28 เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลีและข้าวทนเค็มปานกลางพันธุ์ PTT85180 และ กข6 สำหรับความเข้มข้นวิกฤตของโซเดียมคลอไรด์ที่พบคือ 50 มิลลิโมลในช่วงที่ข้าวทุกพันธุ์ได้รับเกลือ 14 และ 21 วัน โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลทำน้ำหนักแห้งส่วนต้นและรากได้รับความเสียหายมากที่สุด สำหรับข้าวพันธุ์พอคคาลีและ PTT85180 มีน้ำหนักแห้งส่วนต้นลดลง 75 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้าวพันธุ์ กข6 และไออาร์ 28 มีน้ำหนักแห้งส่วนต้นลดลง 85 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ อย่างไรก็ตามข้าวทุกพันธุ์ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ทำให้ส่วนต้นได้รับความเสียหายมากกว่าส่วนรากตั้งแต่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ 7-21 วัน (Figure 52-54)

อภิปรายผลการทดลอง

ผลของความเครียดจากการได้รับโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะทางสรีรวิทยาข้าว

ผลของความเครียดเกลือต่อลักษณะทางสรีรวิทยาข้าวทั้ง A, Gs, E, CE และ QY ของข้าว 4 พันธุ์เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ระยะสั้น (0-24 ชั่วโมง) และระยะยาว (1-21 วัน) พบว่าความเครียดของต้นข้าวจากการได้รับโซเดียมคลอไรด์ทำให้ A ลดลงซึ่งระดับความเสียหายขึ้นกับพันธุ์ข้าว ระดับความเข้มข้นเกลือ ระยะเวลาที่ได้รับเกลือ และปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างปัจจัยดังกล่าว ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นเกลือ 100 มิลลิโมลพบว่าข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลีและข้าวพันธุ์ PTT85180 และกข6 มี A ลดลง 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้าวพันธุ์ไออาร์28 มี A ลดลง 55 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับเกลือในช่วงเวลาดังกล่าวทำให้ค่า Gs ในข้าวพันธุ์พอคคาลีลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ข้าวพันธุ์ PTT85180 และ กข6 ลดลง 60 และ 67 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้าวพันธุ์ไออาร์28 มี Gs ลดลง 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลดังกล่าว Greenway (1973) รายงานว่าความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์มีผลเสียต่อพืช 3 ลักษณะคือผลต่อออสโมติกโดยลดความเป็นประโยชน์ของน้ำ ความเป็นพิษของโซเดียม และลดความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชทำให้พืชขาดธาตุอาหาร ดังนั้นความเครียดเกลืออาจมีผลทำให้พืชขาดน้ำและความดันออสโมติกซึ่งอาจเกิดขึ้นรวดเร็วในช่วงที่พืชได้รับเกลือในระยะเวลาสั้น แต่พืชอาจลดการสะสมเกลือในต้นเมื่อได้รับเกลือ

ระยะเวลานาน (Munns and Termaat, 1986) ในงานวิจัยหลายเรื่องชี้ให้เห็นว่าการขาดน้ำในพืชเนื่องจากความเครียดจากการขาดน้ำและความเครียดจากการได้รับเกลือทำให้ Gs และ A ลดลง สภาพที่ Gs ลดลงนี้ทำให้ปากใบเปิดน้อยลงและ CO_2 แพร่เข้าสู่ใบข้าวลดลง ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (net photosynthesis) และ ประสิทธิภาพในการตรึง CO_2 (CE) ลดลง Manson and Colman (1983) ศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืช *Phaseolus* และ *Lycopersicon* ที่ได้รับ sorbital ซึ่งทำให้ศักย์ของน้ำลดลง จาก -1.08 ถึง -1.88 MPa พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชที่ลดลงเกิดจากการควบคุมการแพร่ CO_2 ที่เซลล์มีโซฟิลล์ ส่วน Yeo, Caporn and Flowers (1985) พบว่าการยับยั้งอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในข้าวที่ได้รับความเครียดจากการได้รับโซเดียมคลอไรด์ อาจเกิดจากการขาดน้ำภายในเซลล์ใบเนื่องจากการสะสมเกลือใน apoplast ผลของความเครียดโซเดียมคลอไรด์ในใบเกิดจากปัจจัยทั้งความดันออสโมติกและโซเดียมความเข้มข้นของโซเดียมในเนื้อเยื่อพืช ทำอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมล (Yeo and Flowers, 1983) ซึ่งการสะสมโซเดียมในใบข้าวมีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์ด้วยแสง โครงสร้างภายใน (ultrastructur) และความเสียหายต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต้นพืช (Yeo and Flowers, 1986) ส่วน Berkowitz and Gibbs (1983 a,b) สรุปว่าความเครียดจากการขาดน้ำยับยั้งกระบวนการทางชีวเคมีในคลอโรพลาสต์ซึ่งเกิดจากความเป็นกรดใน stroma จึงชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน (ultrastructure) และผลต่อการเพิ่มความเข้มข้นเกลือในคลอโรพลาสต์ อย่างไรก็ตามพบว่าค่า quantum yield (QY) ลดลงในข้าวทุกพันธุ์ในช่วงที่ได้รับความเครียดเกลือระยะเวลาสั้นและระยะเวลานาน Baker and Meek (1983) สรุปว่าการเพิ่มความเข้มข้นเกลือในคลอโรพลาสต์เกิดจากการสูญเสียน้ำและการสะสมเกลือที่มีมากเกินพอ จึงอาจยับยั้งกระบวนการไหลของอิเลคตรอนตั้งแต่ photolysis ในระบบ photosystemII สำหรับในช่วงที่ข้าวได้รับโซเดียมคลอไรด์เป็นเวลา 21 วันพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในใบอ่อน (expanding leaves) สูงกว่าใบแก่ (expanded leaves) ขณะที่อัตราการคายน้ำแสดงผลในทางตรงกันข้าม ผลดังกล่าวอาจเกิดจากส่วนของใบอ่อนไม่ได้รับความเสียหายจากเกลือโซเดียมหรือต้นข้าวอาจมีกลไกการสะสมโซเดียมเฉพาะในส่วนใบแก่ในระหว่างที่พืชได้รับความเครียด (Yeo *et al.* 1985b)

ผลของความเครียดจากการได้รับโซเดียมคลอไรด์ต่อการเติบโตของข้าว

ความเครียดเกลือมีผลต่อการลดลงทั้งในส่วนยอดและรากข้าว ทั้งนี้ขึ้นกับพันธุ์ข้าว ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ระยะเวลาที่ได้รับเกลือ และปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างปัจจัยดังกล่าว ในการทดลองนี้พบว่าข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลีมีการเติบโตของส่วนต้นและรากได้ดีกว่าข้าวทนเค็มปานกลางพันธุ์กข6 PTT85180 และข้าวไม่ทนเค็มพันธุ์ไออาร์28 จากผลดังกล่าว Yeo *et al.* (1991) พบว่าโซเดียมคลอไรด์ต่ำกว่า 50 มิลลิโมล มีผลต่อการอยู่รอดของต้นกล้าข้าว และได้สรุปว่าต้นข้าวที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิโมล ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเต่ง (turgor pressure) บริเวณที่มีการเติบโต (growing zone) สำหรับจุดเริ่มต้นที่มีผลต่อการลดการเติบโตในช่วงที่ต้นข้าวได้รับเกลืออาจเกิดจากความเป็นประโยชน์ของน้ำลดลง

ส่วนในผลระยะยาวเกิดจากการสะสมเกลือในใบแก่ Yeo and Flowers (1986) พบว่าต้นข้าวที่ได้รับเกลือระยะเวลานานทำการเติบโตของข้าวลดลงทั้งนี้เกิดจากการสะสมเกลือในใบจากการลำเลียงเกลือโซเดียมไปกับการคายน้ำ การสะสมเกลือในใบทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงและทำให้ใบร่วงและตายลง (Munns and Termaat, 1986) ส่วน Flowers and Yeo (1989) รายงานว่ากลไกการทนเค็มของพืชทั่วไป (non-halophyte) เกิดจากการจำกัดอัตราการคายน้ำเพื่อลดการลำเลียงโซเดียมที่ส่วนต้น การควบคุมความเข้มข้นของอิออนผ่านทางการคายน้ำและการแยกอิออนที่เป็นพิษออกจากส่วนต้น พืชทั่วไป (glycophyte) พบว่าพืชที่ได้รับความเครียดเกลือมีพื้นที่ใบลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนพืชทนเค็ม (halophytes) อาจมีการเติบโตได้เหมาะสมทั้งนี้ขึ้นกับความเข้มข้นเกลือที่ได้รับ

สรุปผลการทดลอง

1. ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวทั้ง A, Gs, E, CE และ QY ในข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลีมีประสิทธิภาพมากที่สุด รองลงมาคือข้าวทนเค็มปานกลางพันธุ์ PTT85180 และ กข6 และข้าวพันธุ์ไม่ทนเค็มพันธุ์ไออาร์28 เมื่อได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์

2. ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์วิกฤติที่ 50 มิลลิโมล ทำให้ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวทั้ง A, Gs, E, CE, QY และการเติบโตลดลง

3. สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlations coefficients of R^2) ระหว่างโซเดียมคลอไรด์กับ A, Gs, E, CE QY และการเติบโตของข้าวแสดงในทิศทางที่เป็นลบ (negatively correlation) กล่าวคือพืชที่ได้รับความเครียดเกลือทำให้ A, Gs, E, CE, QY และการเติบโตของข้าวลดลง

4. ข้าวทุกพันธุ์ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ทำให้พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งส่วนต้นและราก ลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหลังจากได้รับเกลือ 7-21 วัน

5. ข้าวทนเค็มพันธุ์พอคคาลีมีประสิทธิภาพในการเติบโตมากที่สุด รองลงมาคือข้าวทนเค็มปานกลางพันธุ์ PTT85180 และ กข6 และข้าวพันธุ์ไม่ทนเค็มพันธุ์ไออาร์28 เมื่อได้รับความเครียดโซเดียมคลอไรด์

6. การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการและการเติบโตของข้าวเมื่อได้รับความเครียดเกลือมีความสัมพันธ์กับการทนเค็มของข้าวแต่ละพันธุ์ ลักษณะดังกล่าวอาจใช้เป็นแนวทางในการคัดพันธุ์ข้าวทนเค็มระยะต้นกล้า

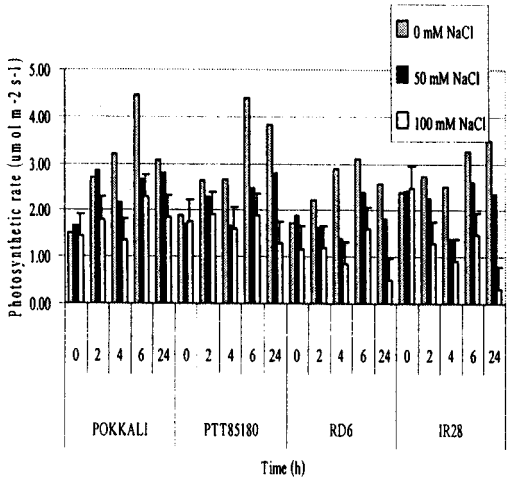


Figure41 Photosynthetic rate (umol m-2 s-1) of four rice cultivars at 0-24 h after sodium chloride treatments. (LSD0.05 0.481)

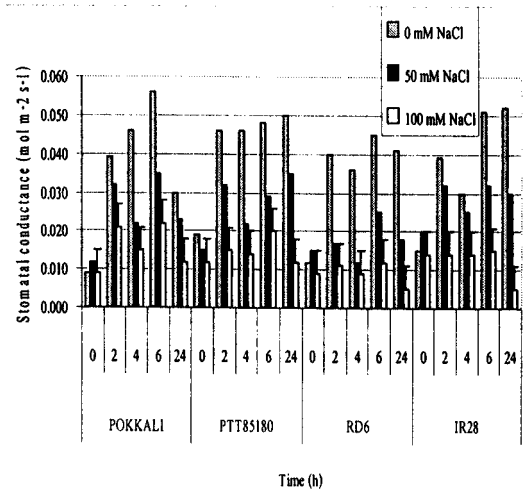


Figure42 Stomatal conductance (mol m-2 s-1) of four rice cultivars at 0-24 h after sodium chloride treatments. (LSD0.05 0.006)

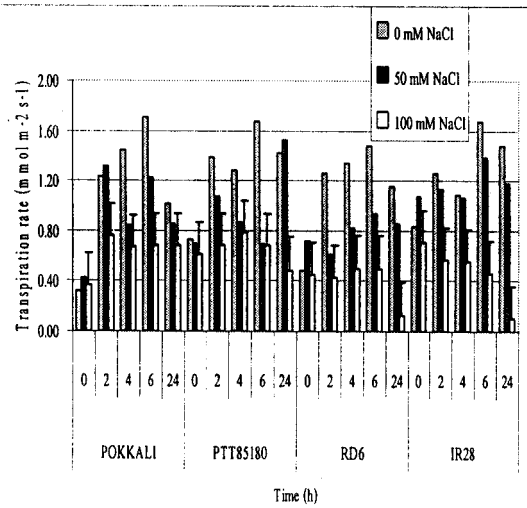


Figure43 Transpiration rate (mmol m-2 s-1) of four rice cultivars at 0-24 h after sodium chloride treatments. (LSD0.05 0.258)

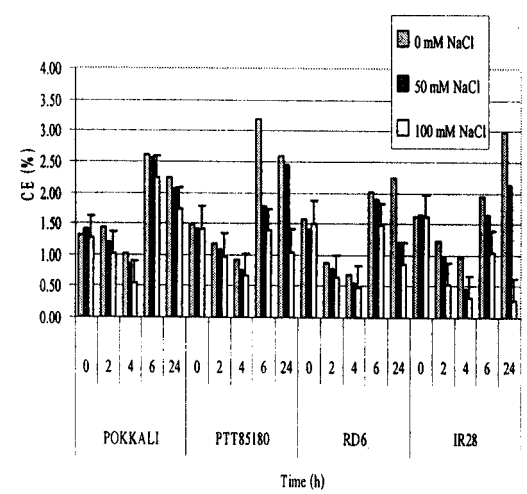


Figure44 Carboxylation efficiency (CE, %) of four rice cultivars at 0-24 h after sodium chloride treatments. (LSD0.05 0.350)

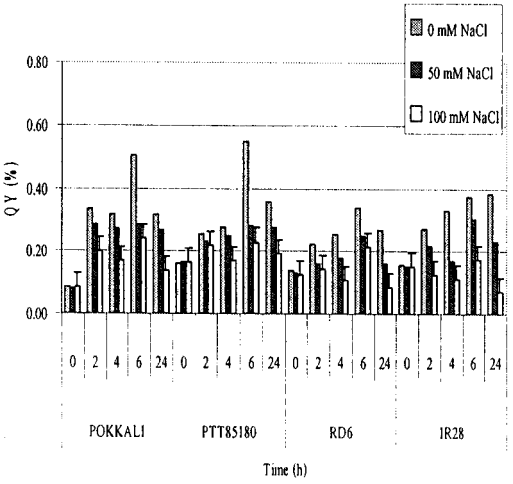


Figure45 Quantum yield of photosynthesis (QY, %) of four rice cultivars at 0-24 h after sodium chloride treatments. (LSD0.05 0.045)

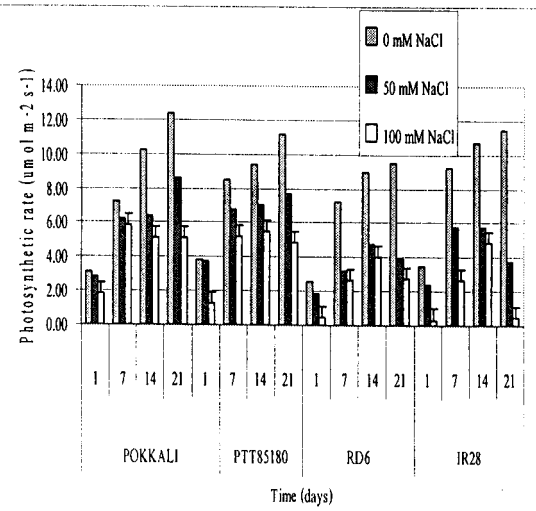


Figure46 Photosynthetic rate (umol m-2 s-1) of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. (LSD0.05 0.648)

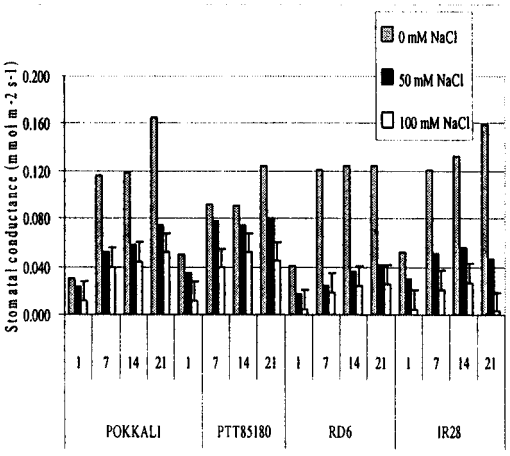


Figure47 Stomatal conductance (mmol m-2 s-1) of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. (LSD0.05 0.016)

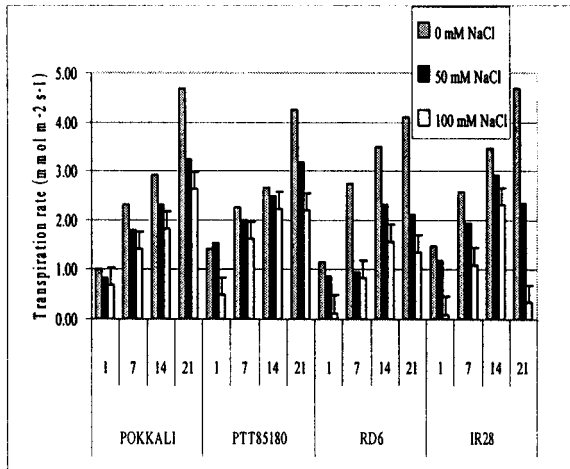


Figure48 Transpiration rate (mmol m-2 s-1) of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. (LSD0.05 0.348)

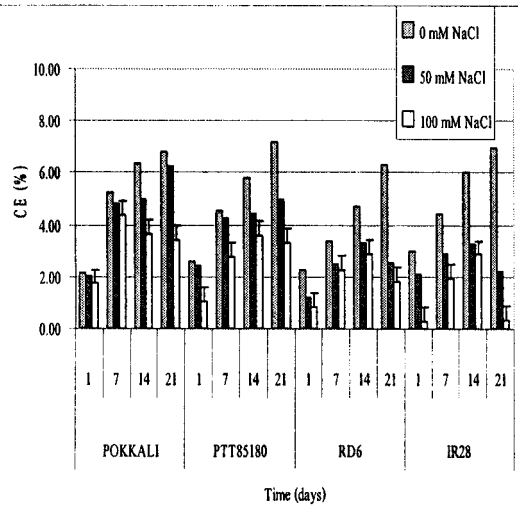


Figure49 Carboxylation efficiency (CE, %) of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. (LSD0.05 0.542)

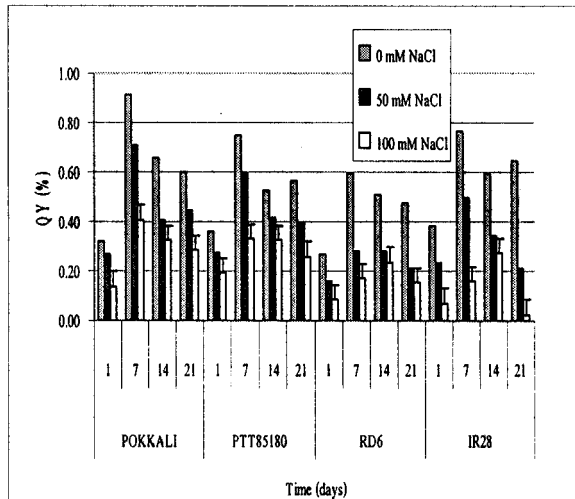


Figure50 Quantum yield of photosynthesis (QY, %) of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. (LSD0.05 0.060)

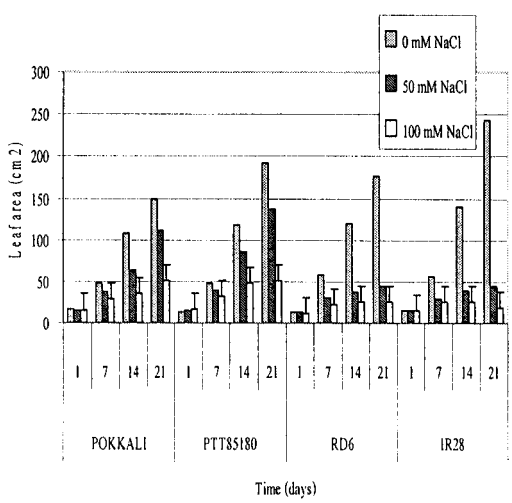


Figure51 Leaf area (cm2) per plant of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. (LSD0.05 19.108)

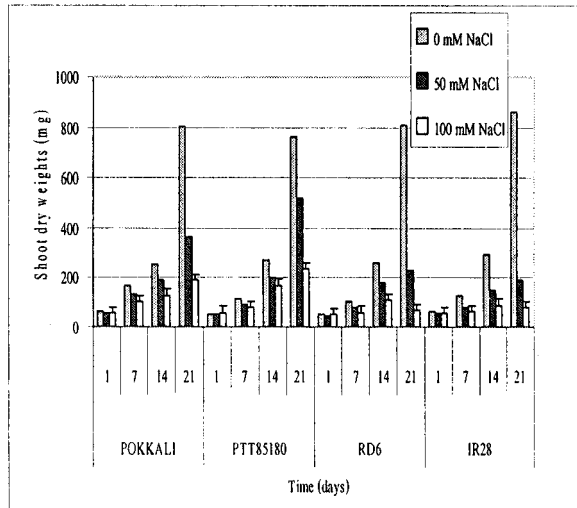


Figure52 Shoot dry weights (mg) per plant of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. (LSD0.05 25.050)

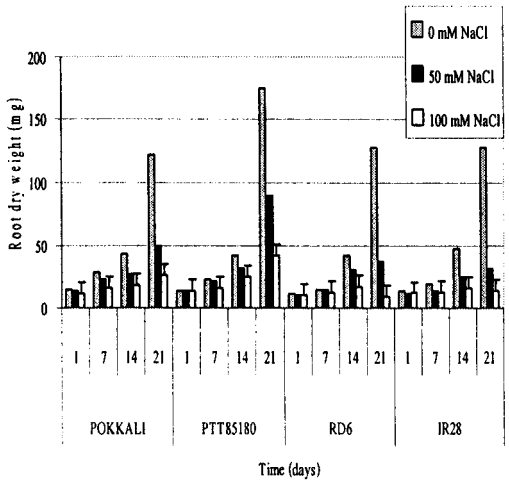


Figure53 Root dry weights (mg) per plant of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. (LSD0.05 9.008)

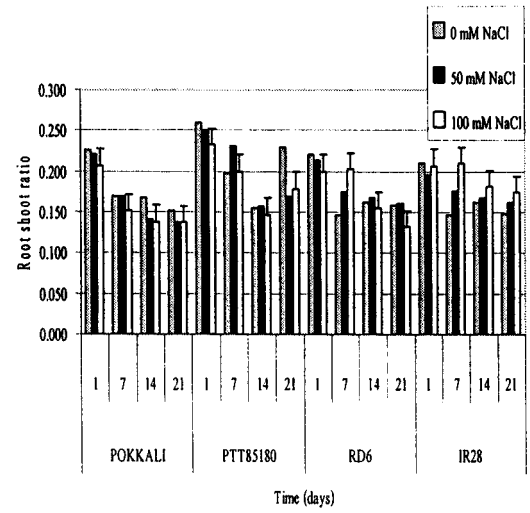


Figure54 Root shoot ratio of four rice cultivars at 1-21 days after sodium chloride treatments. (LSD0.05 0.020)

Table43 The correlation coefficients between sodium chloride and some physiological characters of four rice cultivars at 7days after sodium chloride treatments.

		A	Gs	E	CE	QY	NaCl
POKKALI	A	1.000					
	Gs	0.966**	1.000				
	E	0.873**	0.920**	1.000			
	CE	-0.807**	-0.826**	-0.685**	1.000		
	QY	0.881**	0.872**	0.924**	-0.514*	1.000	
	NaCl	-0.919**	-0.921**	-0.934**	0.595*	-0.990**	1.000
PTT85180	A	1.000					
	Gs	0.906**	1.000				
	E	0.901**	0.880**	1.000			
	CE	0.943**	0.934**	0.817**	1.000		
	QY	0.956**	0.891**	0.946**	0.907**	1.000	
	NaCl	-0.983**	-0.935**	-0.904**	-0.916**	-0.923**	1.000
RD6	A	1.000					
	Gs	0.992**	1.000				
	E	0.998**	0.991**	1.000			
	CE	0.916**	0.871**	0.903**	1.000		
	QY	0.976**	0.971**	0.972**	0.896**	1.000	
	NaCl	-0.891**	-0.875**	-0.888**	-0.854**	-0.962**	1.000
IR28	A	1.000					
	Gs	0.439	1.000				
	E	0.388	0.942**	1.000			
	CE	0.354	0.916**	0.931**	1.000		
	QY	0.395	0.958**	0.992**	0.954**	1.000	
	NaCl	-0.407	-0.975**	-0.986**	-0.962**	-0.996**	1.000

POKKALI, NaCl = 103.8+9.535A-468.5Gs+16.235E+2.101CE-178.3QY $R^2 = 0.996$**

PTT85180, NaCl = 232.0-36.273A-491.7Gs+2.512E+23.045CE+61.169QY $R^2 = 0.996$**

RD6, NaCl = 141.5+44.514A+583.4Gs-77.550E-12.650CE-467.9QY $R^2 = 0.994$**

IR28, NaCl =137.2-0.016A-252.6Gs-7.517E-5.677CE-81.798QY $R^2 = 0.999$**

Note: *, ** = significant difference at 95 and 99% respectively; NS = non-significant

Table 44 The correlation coefficients between sodium chloride and physiological characters of four rice cultivars at 21days after sodium chloride treatments.

		A	Gs	E	CE	QY	NaCl
POKKALI	A	1.000					
	Gs	0.940**	1.000				
	E	0.967**	0.993**	1.000			
	CE	0.941**	0.776**	0.824**	1.000		
	QY	0.996**	0.946**	0.967**	0.934**	1.000	
	NaCl	-0.985**	-0.931**	-0.958**	-0.924**	-0.987**	1.000
PTT85180	A	1.000					
	Gs	0.971**	1.000				
	E	0.980**	0.996**	1.000			
	CE	0.965**	0.906**	0.925**	1.000		
	QY	0.995**	0.971**	0.980**	0.964**	1.000	
	NaCl	-0.994**	-0.971**	-0.980**	-0.953**	-0.993**	1.000
RD6	A	1.000					
	Gs	0.979**	1.000				
	E	0.983**	0.986**	1.000			
	CE	0.966**	0.892**	0.918**	1.000		
	QY	0.999**	0.984**	0.986**	0.957**	1.000	
	NaCl	-0.918**	-0.856**	-0.918**	-0.929**	-0.912**	1.000
IR28	A	1.000					
	Gs	0.997**	1.000				
	E	0.985**	0.974**	1.000			
	CE	0.998**	0.992**	0.978**	1.000		
	QY	0.995**	0.997**	0.979**	0.989**	1.000	
	NaCl	-0.975**	-0.960**	-0.997**	-0.968**	-0.967**	1.000

POKKALI, NaCl = 329.5+29.547A+771.5Gs-100.2E-20.029CE-314.1QY R^2 = 0.983**

PTT85180, NaCl = 137.0-149.5A+475.4Gs-22.634E+4.412CE+2674.4QY R^2 = 1.000**

RD6, NaCl = 284.5-119.8A+6503.1Gs-58.382E+88.898CE-586.5QY R^2 = 0.995**

IR28, NaCl = 114.6+55.313A-678.2Gs-47.958E-44.441CE-160.7QY R^2 = 0.996**

Note: *, ** = significant difference at 95 and 99% respectively; NS = non-significant

เอกสารอ้างอิง

Akbar, M. and Ponnamperuma, F.N. 1982. Saline soils of South and Southeast Asia as potential rice lands. pp. 265-282. In IRRI (ed). Rice Research Strategies for the Future. Jonh Wiley & Sons Inc.

Bagni, N. and Pistocchi, R. 1992. Polyamine metabolism and compartmentation in plant cells. pp. 229-248.In Mengel, H. and Pilbeam, D.J. (eds.) Proceedings of the Phytochemical Society of Europe: Nitrogen Metabolism of Plants Charendon Press Oxford.

Baker, N.R. 1978. Effect of high cation concentrations on photosystemII activities. **Plant Physiol.** 62: 889-893.

Beadle, C.L. 1993. Growth analysis. pp. 36-46. In Hall, D.O., Scurlock, J.M.O., Bolhar-Nordenkampf, H.R., Leegood, R.C., and Long, S.P. (eds.) **Photosynthesis and Production in a Changing Environment: A Field and Laboratory Manual.** Chapman & Hall.

Berkowitz, G.A., and Gibbs, M. 1983a. Reduced osmotic potential effects on photosynthesis: identification of stromal acidification as a mediating factor. **Plant Physiol.** 71: 905-911.

Berkowitz, G.A., and Gibbs, M. 1983b. Reduced osmotic potential inhibition of photosynthesis: site-specific effects of osmotically induced stromal acidification. **Plant Physiol.** 72: 1100-1109.

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

Flores, H.E., and Galston, A.W. 1982. Analysis of polyamines in higher plants by high performance liquid chromatography. Plant Physiol. 69:701-706.

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.

Flowers, T.J., and Yeo, A.R. 1989. Effects of salinity on plant growth and crop yields. pp.101-119. In Cherry, J.H. (ed.) **Environmental Stress in Plants: Biochemical and Physiological Mechanisms**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Galston, A.W. and Sawhney, K.R. 1990. Polyamines in plant physiology. Plant Physiol. 94:406-410.

Gomez, K.A. and Gomez, A.A. 1984. Statistical Procedures for Agriculture 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 nonhabphyte. Ann. Rev. Plant Physiol. 31:141-190

Krishnamurthy, R. and Bhagwat, K.A. 1989. Polyamines as modulators of salt tolerance in rice cultures. Plant Physiol. 91:500-504.

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.

Long. S.P., Postl, W.F., and Bolhar-Nordenkampf, H.R. 1993. Quontum yields for uptake of carbon dioxide in C3 vascular plants of contrasting habitats and taxonomic groupings. **Planta** 189: 226-234.

Long S.P., and Hallgren, J.E. 1993. Measurements of CO_2 assimilation by plants in the field and laboratory. pp. 129-165. In Hall, D.O., Scurlock, J.M.O., Bolhar-Nordenkampf, H.R., Leegood, R.C., and Long, S.P. (eds.) **Photosynthesis and Production in a Changing Environment: A Field and Laboratory Manual.** Chapman & Hall.

Manson, B.T., and Colman, B. 1983. The inhibition of photosynthesis and photorespiration in isolated mesophyll cells of *Phaseolus* and *Lycopersicon* by reduced osmotic potentials. **Physiol. Plant.** 57: 21-27.

Munns, R., and Termaat, A. 1986. Whole plant responses to salinity. Aust. J. Plant. Physiol. 13: 143-160.

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.

Smith, M.A., and Davies, P.J. 1985. Separation and quantitation of polyamines in plant tissue by High performance liquid chromatography of their dansyl derivatives. Plant Physiol. 78:89-91.

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

Yeo, A.R., and Flowers, T.J. 1983. Varietal differences in the toxicity of sodium ions in rice leaves. **Physiol. Plant.** 59: 189-195.

Yeo, A.R. and Flowers, T.J. 1984. Mechanism of salinity resistance in rice and their role as physiologacal criteria in plant breeding in salinity tolerance. pp151-170. In Staples, R.C., and Toenniessen, G.H. (eds.) **Plant Strategies for Crop Improvement**. John Wiley & Sons, Inc.

Yeo, A.R., Yeo, M.E., Caporn, S.J.M., Lachno,D.R. and Flowers, T.J. 1985A. 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 upon transpiration, net sodium accumulation and endogenous ABA in individual leaves of *Oryza sativa* L. J. Exp. Bot. 36:1099-1109.

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

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 Phyiol.** 13: 161-174.

Yeo, A.R., Lee, K.S., Izard, P., Boursier, P.J., and Flowers, T.J. 1991. Short- and long-term effects of salinity on leaf growth in rice (*Oryza sativa* L.). **J. Exp. Bot.** 42(240): 881-889.

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

Yoshida, S., Forno, 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.