バングラデシュ産在来イネコレクションをもちいた 耐塩性評価方法の確立

荒谷, 遥香 九州大学大学院農学研究院資源生物科学部門農業生物科学講座植物育種学研究室

Bui Thi Thu Ngoc 九州大学大学院農学研究院資源生物科学部門農業生物科学講座植物育種学研究室

山形, 悦透 九州大学大学院農学研究院資源生物科学部門農業生物科学講座植物育種学研究室

尾崎, 彰則 九州大学熱帯農学研究センター

他

https://doi.org/10.15017/4104132

出版情報:九州大学大学院農学研究院学芸雑誌.75(2), pp.21-36, 2020-09-01.九州大学大学院農学研 究院 バージョン:

権利関係:

バングラデシュ産在来イネコレクションをもちいた 耐塩性評価方法の確立

荒谷遥香¹・Bui Thi Thu Ngoc¹・山形悦透¹・尾崎彰則²・安井 秀¹ 九州大学大学院農学研究院資源生物科学部門農業生物科学講座植物育種学研究室 (2020年5月27日受付, 2020年5月27日受理)

Establishment of method for evaluating salinity tolerance in rice derived from Bangladesh

Haruka ARATANI¹, Bui Thi Thu NGOC¹, Yoshiyuki YAMAGATA¹, Akinori OZAKI² and Hideshi YASUI^{1*}

Plant Breeding Laboratory, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 819-0395, Japan

緒 言

塩ストレスは非生物的ストレスの中でも特に深刻な 環境ストレスの一つである。塩ストレスが植物に与え る影響として、塩集積による浸透圧上昇や多量のNa イオンの流入によるイオンストレス (Munns and Tester 2008), 気孔閉鎖による葉温上昇 (Sirault et al., 2009) やシュートの伸長阻害 (Rajendran et al., 2009) 等の報告がある. 地球規模で塩類土壌の面積が 広がり, 高い塩ストレス下でも生育可能な耐塩性品種 の開発が求められているが、イネの耐塩性に関わる遺 伝機構には未解明の部分が多い.近年ゲノム解読手法 の発展により高精度なゲノム情報を容易に取得できる ようになり、イネにおいてもDNA 配列情報に基づく 詳細なゲノム解析が可能となった. このような状況下 でイネの耐塩性の遺伝要因を明らかにするためには. イネの耐塩性を個体レベルで定量的に評価する方法の 確立が不可欠である。そこで本論文では、イネの耐塩 性を定量的に評価する手法の確立を目指し、バングラ デシュ産在来イネコレクションを用いて耐塩性品種の スクリーニングを行った.

材料及び方法

1. 供試イネ

供試材料には、135系統のバングラデシュ産在来イネ コレクション(以下BANと命名)と、育成品種として インド型品種IR24とKhang Dan18(以下KD18)及び 日本型品種台中65号(Taichung65以下T65)の3系統 を加えた全138系統を使用した.供試材料をTable 1 に示した.バングラデシュ産在来イネコレクションに ついては農業・食品産業技術総合研究機構遺伝資源セ ンター(http://www.gene.affrc.go.jp/)より分譲を受け た.

植物体の育成に関しては,各系統3個体を播種した のち215mlプラスチックカップに充填した培土170g (JAくみあい黒粒培土:N0.28g,P0.28g,K0.28g/ kg)に幼苗を移植し,播種後3-5ヵ月間育成した.育 成した植物のうち2個体に塩ストレス処理を行い,1 個体については水道水による対照区を設定した.

2. 塩ストレス症状の定量的評価

塩ストレス処理区には、2019年福岡市西区今津(東 経130.27北緯33.60)にて採水した海水(Table S1)

¹九州大学大学院農学研究院資源生物科学部門農業生物科学講座植物育種学研究室

²九州大学熱帯農学研究センター

¹ Plant Breeding Laboratory, Faculty of Agriculture, Kyushu University

² Institute of Tropical Agriculture, Kyushu University

^{*} Corresponding author (E-mail: hyasui@agr.kyushu-u.ac.jp)

Table 1. Response to salinity stress at 3, 6 and 9 days after the treatment, mineral contents, their related characters and ratio of guttation weight (treatment / control) of 135 accessions of BAN variety and three cultivars of IR24, KD18 and T65 under salinity treatment with 23.0 dS/m EC

			Degree o	f wilted les	aves (%)		Mineral o	ontent (mg	/g DW)			Ratio c	f mineral c	ontent		Ratio of
BAN No.	JP No.	Variety	3DAT	6DAT	9DAT	Na	К	Mg	Ca	Fe	Na/K	Na/Mg	Na/Ca	K/Mg	K/Ca	Guttation
3	13879	BHUTMURI 36	15.26	42.50	60.09	30.44	25.34	1.43	1.02	0.27	1.20	21.25	29.86	17.69	24.86	0.653
4	13892	BAU 2-3-43	12.52	41.15	59.86	22.02	29.78	1.03	1.52	0.15	0.74	21.46	14.52	29.03	19.64	2.277
5 6	13893	BR 161-28-25 BR 161-28-58	14.47	30.95 26.62	55.43 44.99	22.08 14.20	16.47	0.61	2.13	0.12	1.34	36.04 19.96	10.36	26.88 17.30	7.72	0.528
7	13895	BR 169-1-1	5.17	34.13	73.52	16.14	22.52	1.00	2.18	0.00	0.72	16.08	7.40	22.44	10.32	0.080
8	13896	BASMOTI	5.98	18.42	26.99	11.56	11.75	0.72	1.49	0.00	0.98	16.03	7.76	16.30	7.89	1.826
9	34373	AFSAWA	9.33	22.53	59.66	31.08	9.14	2.03	1.40	0.39	3.40	15.27	22.14	4.49	6.51	1.085
10	34375 34376	BR 7(BKRIBALAM) BR 8(ASHA)	9.78 5.83	22.33 14.29	39.13	20.38	2.71	0.65	1.28	0.10	6.12 1.48	25.57	17.18	4.18 20.44	2.81	0.500
14	37860	BR 1	3.71	24.66	27.47	32.54	19.91	2.87	3.99	0.33	1.63	11.34	8.16	6.94	4.99	1.118
16	37862	BR 3	4.83	12.07	34.80	25.72	19.37	1.92	1.23	0.24	1.33	13.38	20.83	10.08	15.69	0.398
17	37863	BR 4	2.75	11.58	24.92	21.07	13.98	1.94	1.12	0.19	1.51	10.85	18.87	7.20	12.52	0.165
18	37865	BR 9	25.22 5.46	20.45	35.17	12.16	41.15	0.87	1.53	0.05	0.80	25.78	9.48 7.93	47.16	9.93	0.487
20	37866	BR 12	5.60	39.35	53.99	16.08	30.46	0.84	2.33	0.07	0.53	19.14	6.91	36.25	13.09	0.176
21	37867	BR 14	6.77	16.01	37.50	14.30	8.82	1.36	0.92	0.35	1.62	10.49	15.59	6.47	9.62	0.504
22	37868	BR 15 BR 16	4.45	24.76	48.15	6.54 8.75	10.46	0.82	0.35	0.28	0.63	7.95	18.59	12.71	29.72 21.30	0.154
23	37873	HABIGANJ BORO 8	4.05	13.54	28.57	21.21	25.75	2.66	2.12	0.10	0.82	7.97	10.01	9.67	12.15	0.224
28	37874	DHAKA NO.14	19.20	100.00	100.00	11.89	29.51	1.91	1.06	0.17	0.40	6.23	11.27	15.45	27.97	0.067
29	38014	KAIKA (1)	3.64	13.86	29.78	11.91	13.93	1.02	0.54	0.12	0.86	11.66	21.86	13.64	25.57	0.950
30 29	38015	KAIKA (2) RALAM	2.25	20.91	25.95	16.37	6.56 15.01	0.63	0.56	0.12	2.50	25.94	29.26	10.39	11.72	0.980
33	38017	HIDA	1.11	21.02	41.72	26.62	24.97	2.03	1.94	0.03	1.07	13.10	13.74	12.29	12.89	0.574
34	38020	KARAMCHA	1.99	27.18	32.63	17.97	19.70	1.57	1.08	0.09	0.91	11.42	16.62	12.51	18.22	1.494
35	38021	DALKOCHU	6.76	19.67	38.78	12.38	12.76	1.34	1.11	0.14	0.97	9.23	11.11	9.51	11.45	0.806
36 27	38022	DIGA	4.29	21.07	38.35	13.28	14.68	0.71	0.61	0.12	0.90	18.69	21.68	20.66	23.96	2.307
38	38023	MURKIMALA	4.03	14.25	36.99	11.33	13.05	0.97	0.92	0.12	0.87	11.63	12.11	13.39	14.15	0.137
39	38025	BHATRAJ	5.00	19.43	37.85	19.15	11.78	1.04	0.53	0.12	1.63	18.45	36.13	11.35	22.22	0.462
40	38026	SHULI	2.50	8.24	28.24	22.50	32.21	2.36	3.21	0.43	0.70	9.55	7.00	13.67	10.02	0.588
41	38027	LALBHAWALIA KATI SAH	6.57	15.27	34.43	11.92	12.06	0.82	0.56	0.12	0.99	14.56	21.30	14.72	21.55	0.233
42	38029	JINGA SHAIL	0.55	9.56	24.00	24.21	17.77	1.49	1.86	0.20	1.36	16.30	13.04	11.97	9.57	0.049
44	38031	SHIAL KOTA	1.39	7.97	21.86	12.67	6.63	0.62	0.94	0.07	1.91	20.55	13.50	10.76	7.07	0.008
45	38032	DOASI	0.68	12.83	37.60	12.85	17.23	1.01	0.80	0.19	0.75	12.77	16.03	17.13	21.49	0.008
46	38033	KAJOLGORI JINGA SHAII	2.01	13.84	43.87	11.08	9.75	0.68	0.39	0.02	1.14	16.29	28.64	14.34	25.21	0.003
48	38036	PAINNATI	0.24	5.11	28.51	12.34	9.35	0.81	0.74	0.21	1.32	15.23	16.66	11.54	12.63	0.127
49	38038	KARTI KGHUL	0.80	8.97	20.31	16.90	16.08	1.34	0.60	0.24	1.05	12.63	28.30	12.02	26.93	0.224
50	38039	DAPA	0.85	12.16	29.76	13.32	15.44	0.87	0.14	0.19	0.86	15.35	92.83	17.80	107.61	0.042
51 52	38040	ARALIA	3.45	17.24	31.06	14.05	17.43	2.00	1.67	0.14	0.81	7.02	8.43	8.71	10.46	0.990
53	44986	MUJA SHAIL	0.36	22.83	53.20	17.65	10.28	1.53	0.63	0.37	1.72	11.52	28.03	6.72	16.34	0.005
54	44987	KHOMOM RUPA	0.62	7.53	39.77	19.64	22.89	1.08	0.77	0.20	0.86	18.11	25.65	21.10	29.90	0.052
55	44988	MADHU SHAIL	5.04	24.87	41.74	17.84	23.97	1.49	1.38	0.17	0.74	12.01	12.92	16.14	17.36	0.797
57	44989	BASSHIRAJ GATA GAJIA	3.25	20.43	38.39	24.21	8.68 22.34	1.04	1.09	0.19	2.79	23.38	22.18	8.38 22.80	7.95	0.522
58	44991	MUGI	1.20	15.10	40.56	12.55	11.87	0.72	0.55	0.24	1.06	17.42	22.87	16.48	21.63	0.091
59	44995	LALBHAWALIA	3.25	15.13	47.98	14.65	13.25	1.35	0.70	0.35	1.11	10.85	20.93	9.81	18.93	0.009
60	44996	BONSAJ	2.14	28.29	49.93	9.93	27.19	2.20	1.45	0.35	0.37	4.51	6.83	12.34	18.71	0.020
61 62	44998	SADA-MAGRI	7.42	10.61	25.53 43.13	12.35	26.02 23.49	1.56	1.71	0.30	0.47	7.90	7.21 21.27	16.65 20.78	15.18 29.22	0.603
63	45001	SHARSORI	1.98	8.26	22.96	7.84	22.16	1.41	0.90	0.19	0.35	5.57	8.73	15.74	24.68	0.005
64	45002	ASWINA	2.92	24.95	49.11	15.15	25.19	1.17	0.92	0.19	0.60	13.00	16.42	21.63	27.32	0.059
65	45003	PATJAG	0.63	11.87	39.03	10.73	19.03	0.77	0.62	0.19	0.56	13.91	17.19	24.68	30.49	0.008
67	45004	IDADPA	0.38	15.09	40.55 51.03	9.58 20.92	24.39	1.29	1.91	0.20	0.86	15.29	10.93	13.64	12.74	0.047
68	45006	BORRO BHAWALIA	0.00	13.49	68.42	18.59	22.91	1.63	0.95	0.29	0.81	11.42	19.57	14.08	24.12	0.009
69	45007	HIJOL-DIGHA	0.95	11.87	43.05	11.62	13.50	0.88	0.34	0.24	0.86	13.20	34.68	15.33	40.27	0.024
70	45008	HORINGRA-DIGHA	1.97	29.15	60.93	11.74	27.40	1.46	0.41	0.29	0.43	8.06	28.94	18.81	67.59	0.448
71	45009	DESHI-DIGHA	2.13	12.75	20.80	10.33	12.34	0.88	1.23	0.22	0.62	11.68	15.65	16.92	20.04	0.014
73	45012	SONNA BAWALIA	1.15	35.42	51.43	10.70	23.12	0.85	0.22	0.19	0.46	12.52	49.47	27.05	106.86	0.025
74	45013	CHAMARA	0.11	6.93	18.42	14.73	34.88	1.64	0.80	0.19	0.42	9.00	18.48	21.30	43.75	0.066
75	45014	CHINI SAIL	2.81	31.33	42.43	26.39	8.20	3.02	1.47	0.15	3.22	8.74	17.90	2.71	5.56	0.027
76 77	45016 45017	RAJPAL	3.78 0.72	0.04 15.86	28.73	21.14	20.17 26.38	1.40	0.81	0.17	0.43	8.04 17.31	13.84 17.35	18.76 21.60	o2.30 21.64	0.028
78	45018	CHATAKTARA	0.33	4.88	33.12	20.01	12.90	0.89	0.77	0.22	1.55	22.41	26.07	14.45	16.81	0.005
79	45019	SONA ANJAN	0.53	9.33	25.54	11.45	33.00	1.75	0.75	0.25	0.35	6.54	15.27	18.86	44.00	0.031
80	45020	DOLAI NOLO L ROBON	6.60	29.00	53.25	12.31	19.69	1.48	0.83	0.42	0.62	8.29	14.87	13.27	23.78	1.119
82	45021	ABCHHYA	0.00	7.24 32.99	52.68 68.42	22.67	o7.18 19.86	a.30 0.85	1.31 2.03	0.10	1.10	6.87 25.83	17.30	23.39	⊿6.37 9.79	2.000
83	45023	PUITTA DAPA	1.12	6.13	28.12	8.49	12.39	0.77	0.94	0.07	0.69	11.09	9.02	16.19	13.16	0.013
84	45024	LAXMI DIGHA	0.43	8.41	23.40	14.88	21.13	1.68	1.10	0.07	0.70	8.84	13.50	12.55	19.16	0.013
85	45025	GONOK RAY	0.00	8.42	25.17	14.18	24.26	0.99	0.77	0.07	0.58	14.32	18.37	24.50	31.42	0.013

(to be continued)

86	45026	DSEPA	0.21	7.51	20.09	8.35	8.55	0.75	0.95	0.05	0.98	11.13	8.79	11.40	9.00	0.019
87	45027	DUDSOR	0.98	8.30	24.05	8.01	17.03	0.79	1.45	0.02	0.47	10.09	5.53	21.44	11.76	0.007
88	45028	ASAM BOR	0.77	13.32	40.53	14.70	13.30	0.84	1.08	0.10	1.11	17.57	13.59	15.90	12.30	0.016
89	45029	BINNI	3.64	29.74	48.66	11.99	11.67	0.65	1.20	0.05	1.03	18.50	9.96	18.00	9.69	0.043
90	45030	BINNI	0.00	34.81	54.85	25.33	27.41	1.86	1.66	0.15	0.92	13.63	15.28	14.75	16.53	
91	45031	MALSIRAJ	4.07	28.52	50.89	21.97	21.71	1.09	1.80	0.09	1.01	20.14	12.22	19.90	12.07	
92	45032	KALIJILA	13.41	28.65	39.83	17.95	18.88	1.35	1.71	0.10	0.95	13.33	10.47	14.02	11.01	-
95	45398	CHANDINA	6.70	33.48	62.49	17.64	11.52	0.71	0.86	0.24	1.53	24.70	20.58	16.13	13.44	0.404
96	49206	AJALDIGA	2.73	27.10	52.59	26.20	14.38	8.19	2.38	0.26	1.82	3.20	11.02	1.76	6.04	
97	49208	KECHRA	2.60	9.19	46.53	11.03	24.44	1.23	1.71	0.24	0.45	8.98	6.43	19.89	14.25	0.182
98	49209	LALBHAWALIA	27.41	38.13	53.47	9.61	23.82	1.05	1.67	0.27	0.40	9.12	5.76	22.60	14.29	0.967
99	49214	BORO DIGHA	1.57	8.77	36.56	14.09	16.77	1.12	2.06	0.20	0.84	12.64	6.84	15.04	8.14	
100	49215	KARTIKAJKA	1.44	32.10	51.56	28.33	19.89	2.58	1.86	0.16	1.42	10.98	15.26	7.71	10.72	
145	54532	HANUMANJATA	7.01	14.65	39.33	22.54	25.09	2.10	2.27	0.31	0.90	10.76	9.93	11.98	11.06	1.732
216	54659	AGUNBAN	3.70	14.83	39.63	24.05	20.53	1.24	1.52	0.38	1.17	19.41	15.78	16.57	13.47	0.706
223	67910	KARTIK SAIL	5.89	29.02	39.89	23.14	25.78	2.04	1.81	0.12	0.90	11.35	12.82	12.65	14.28	
224	67911	JASA	2.87	22.36	33.40	15.65	24.19	1.29	1.34	0.05	0.65	12.15	11.67	18.78	18.04	
225	67913	CHAPAL	4.45	19.97	38.07	15.80	26.08	1.40	1.45	0.08	0.61	11.29	10.90	18.63	17.98	1.087
226	67914	BR 5	2.21	10.81	32.00	17.85	23.47	1.99	2.24	0.35	0.76	8.98	7.98	11.81	10.49	0.615
227	67915	BR 10	3.70	20.36	39.72	17.87	16.30	1.19	1.70	0.31	1.10	15.03	10.52	13.70	9.59	0.602
228	67917	BARISAL NO.4	6.64	34.19	42.60	16.87	22.02	1.75	1.50	0.05	0.77	9.65	11.23	12.59	14.66	0.151
229	68040	JIBONSHANTI	10.00	85.26	91.67	30.20	6.44	2.08	1.73	0.15	4.69	14.52	17.43	3.10	3.71	1.930
230	68055	BR 5	1.61	11.48	54.07	23.52	11.83	1.22	2.09	0.42	1.99	19.29	11.26	9.70	5.66	0.219
231	68056	BR 14	6.45	90.00	100.00	23.08	24.10	4.91	1.98	0.36	0.96	4.70	11.64	4.91	12.16	0.509
232	68118	BR 8	4.38	35.16	59.44	17.05	24.01	1.59	1.76	0.10	0.71	10.76	9.71	15.15	13.67	0.033
233	70450	NATI SAIL	10.11	39.33	59.09	27.54	16.66	1.40	2.09	0.12	1.65	19.70	13.15	11.92	7.95	0.720
234	70451	PAJAM	0.89	13.99	28.03	24.58	15.22	1.17	1.49	0.35	1.62	20.98	16.47	12.99	10.19	1.373
235	70452	JADU	0.93	12.77	25.12	10.98	19.45	1.01	1.34	0.09	0.56	10.82	8.17	19.18	14.47	1.179
237	70454	DHAKA NO.7	2.33	12.80	20.75	11.95	31.11	1.03	1.32	0.05	0.38	11.59	9.08	30.18	23.62	0.154
239	70456	DHAKA NO.12	5.23	25.79	56.12	29.26	27.12	3.21	2.17	0.32	1.08	9.12	13.49	8.45	12.50	5.777
260	70620	AUS 47	6.44	22.03	43.92	27.97	27.21	1.39	1.48	0.28	1.03	20.16	18.94	19.61	18.43	1.100
261	70621	AUS 51	9.22	24.20	50.62	28.51	32.75	2.17	1.74	0.28	0.87	13.13	16.35	15.08	18.77	0.642
262	70622	AUS 32	7.60	25.01	56.16	30.28	26.30	1.86	2.19	0.29	1.15	16.28	13.83	14.14	12.01	1.085
269	70636	AUS 38	5.88	18.52	38.77	19.05	15.63	0.65	1.18	0.20	1.22	29.31	16.21	24.04	13.30	0.530
276	247581	KALABAIL	4.45	24.22	54.73	15.45	34.58	1.33	1.43	0.13	0.45	11.66	10.84	26.09	24.26	•
277	247586	DUDH BHAWALIA	1.54	31.25	58.98	17.94	33.99	1.67	1.48	0.14	0.53	10.72	12.11	20.30	22.93	-
278	247587	KARTIK SAIL	7.01	22.50	35.66	29.30	23.59	1.11	1.77	0.10	1.24	26.47	16.53	21.32	13.31	0.413
279	247592	RAJA SAIL	1.28	29.06	42.39	13.03	32.01	1.75	1.61	0.21	0.41	7.46	8.09	18.32	19.88	
280	247594	GOBOL SAIL(BALAM	3.30	37.10	74.71	26.76	30.43	2.88	1.38	0.17	0.88	9.30	19.36	10.58	22.01	•
281	247595	GOHUL SAIL	1.82	21.35	61.71	24.45	42.85	1.90	1.41	0.27	0.57	12.86	17.29	22.55	30.31	•
282	247596	HORIN KHUR PANAT	6.57	39.03	100.00	8.88	23.22	1.40	2.48	0.14	0.38	6.33	3.58	16.57	9.38	
283	247597	JIWGA SAIL	1.70	16.07	47.24	24.17	21.15	3.19	1.46	0.17	1.14	7.56	16.60	6.62	14.53	
284	247598	KAISHA BINNI	6.61	29.09	62.56	18.01	21.43	1.07	0.83	0.12	0.84	16.86	21.82	20.07	25.97	
285	247599	KAISHA BINNI	4.65	20.72	65.63	16.59	19.29	1.03	0.88	0.10	0.86	16.11	18.78	18.73	21.84	
286	247600	SAGARDHANA	4.32	25.06	47.64	22.78	29.41	2.80	2.16	0.33	0.77	8.13	10.53	10.49	13.60	
287	247603	LAL KUMARI	3.03	17.76	58.22	19.16	21.79	1.92	1.25	0.12	0.88	9.99	15.31	11.36	17.41	
288	247606	JHUR PADDI	4.12	22.09	00.49	13.47	12.57	0.84	0.45	0.05	1.07	16.08	29.62	15.01	27.65	
289	247607	KANGA BALAM	12.19	41.04	88.29	21.10	23.66	1.37	0.85	0.15	0.89	15.44	24.74	17.32	27.74	
290	247608	KAKIM SAIL	12.55	25.08	08.77 71.40	10.00	26.80	2.00	1.60	0.10	0.58	7.78	9.72	13.40	16.75	
291	247009	LAL DALAM	1.07	21.44	(1.40	10.09	24.98	1.29	1.20	0.10	0.75	14.00	14.81	19.42	19.79	-
292	247610	DAININA DAING	4.10	24.04	40.51	10.00	21.19	1.08	2.88	0.12	0.89	17.37	0.04	19.04	1.00	-
293	247011	PAINAI DONDA DETU	0.80	32.49	40.01	10.39	42.20	1.00	2.22	0.12	0.20	0.70	4.08	27.24	19.03	
294	247612	BONDA BETT BODA DHAN	5.41	06.27	78.16	21.01	21.23	1.71	1.40	0.14	1.01	12.59	14.80	12.43	14.61	
290	247013	KIMADI	5.92	20.08	71.00	10.00	01.70 17.25	2.24	1.00	0.20	1.06	0.02	12.00	14.10	19.00	
290	247014	KUMBI	0.00	24.02	46.79	10.46	20.06	1.04	1.40	0.22	1.00	10.10	12.90 g 57	9.00	12.10	
291	247010	DINCA MANUZ	0.00	19.10	40.73 59 50	14.99	20.00	1.01	1.01	0.10	0.69	10.00	0.07 19.40	21 50	12.42	
200 200	24/01/ 9/7619	KAIOI SAII	0.56	40.9E	02.00 77.70	14.38 91.10	20.00	1.20	1.10	0.14	0.00	7.15	14.40 6.4F	41.00 6.04	5.45	
200	247692	GANGA SAGAR	11 11	51.20	100.00	15.62	21.83	2.50	0.20 9.31	0.20	0.49	4.79	6.77	9.74	13.79	
		IR94	19.30	35.61	67.16	15.00	7.98	1.10	1.77	0.10	1.90	13.70	8.55	7.99	4.50	0.186
		Khang Dan 18	22.59	62.32	90.69	23.06	28.07	3.82	2.95	0.24	0.82	6.03	7.83	7.35	9.53	4 174
		Thaichung 65	17.55	34.78	48.34	26.65	6.12	0.90	0.78	0.12	4.36	29.68	34.31	6.81	7.88	1.811
				00								-0.00				

DAT: days afetr treatment

を水道水で希釈した塩濃度23 dS/m ECの溶液を用い た、塩ストレス処理区の塩濃度の設定にあたっては、 あらかじめ日本型品種ユキヒカリとインド型品種IR24 を用いた予備実験により決定した。47.0dS/m EC(海 水), 23.0dS/m EC (海水の2倍希釈液), 12.0dS/m EC (海水の4倍希釈液), 6.0dS/m EC (海水の8倍希 釈液), 3.0dS/m EC (海水の16倍希釈液), 1.4 dS/m EC (水道水)の6試験区を設けて、塩ストレス処理後9 日目ならびに14日目における全葉数に対する枯死した 葉数の割合を求めることにより、両品種の塩ストレス 症状を比較した。その結果、23 dS/m EC区と12 dS/ m EC区の2試験区においてのみ、塩ストレス処理後9 日目と14日目のいずれにおいても2品種の塩ストレス 症状の差が顕著であった。特に、23 dS/m EC 処理9日 目においてユキヒカリが概ね枯死した状態でIR24で は半数以上の葉身に活性があり、処理14日目において ユキヒカリが完全に枯死した状態でもIR24は概ね半 数の葉身に活性がみとめられ、両品種の塩ストレス症 状の差異が明らかであった. そこで, 23.0dS/m EC 処理9日目までのデータを使用してイネの耐塩性を評 価することとした.また,対照区には水道水を用いた. 処理区の溶液を3日ごとに溶液濃度が23.0dS/m EC となるように調整した処理溶液に交換した. 同様に対 照区についても3日ごとに1.4 dS/m ECの水道水と交 換した.

塩ストレス症状として観察される葉身の萎凋を耐塩 性の評価指標として、個体あたりの葉身の萎凋度を算 出した.まず、塩ストレス処理開始後3日目、6日目、 9日目にそれぞれの葉身長および葉身における萎凋部 位の長さを測定した.つぎに、これをもとに葉身の萎 凋度の総和を葉数で除して個体あたりの萎凋度を算出 した.最後に、系統の萎凋度を個体あたりの萎凋度の 総和を個体数で除して求めた.この系統ごとの萎凋度 を経時的に求めて萎凋の進行程度を定量的に評価した.

各葉身の萎凋度	=	 -
個体あたりの萎凋度	=	<u> 葉</u> 身の萎凋度の総和
系統の萎凋度		(Degree of wilted leaves ; 以下WLと表記する)
	=	<u>個体の萎凋度の総和</u> 個体数 ×100

3. 原子吸光光度計による元素の定量

耐塩性試験終了後の植物体を採取し60°Cのオーブ

ンで乾燥させた.サンプルの品質を統一するために, 耐塩性試験における評価対象葉のうち下位から2番目 の葉を分析対象とした.節から3-6cmの葉鞘を10 mg 切り取り1mm大に刻んだ乾燥サンプルを,硝酸および 過酸化水素を用いて分解し,これを蒸留水で50 mLに 定量した.この試料溶液について,偏光ゼーマン原子 吸光光度計Z-2300(日立,東京)でフレーム原子化法 により元素分析を行った.分析はNa,K,Mg,Ca,Feに ついて行った.

4. 溢液の定量

溢液の定量については、全138品種のうち,IR24, KD18及びT65を含む105品種を供試した.塩濃度3.0 dS/m ECの溶液で実験を行った.3.0 dS/m ECの溶 液では2週間の処理実験において植物体に塩ストレス 症状が出ないことを予備実験で確認し、以下のように 反復実験を行った.3.0 dS/m ECの溶液で1日処理し、 翌朝溢液を採取した.その後すぐに3.0 dS/m ECの溶 液を水道水(1.4 dS/m EC溶液)に交換して1日育成 し、翌朝溢液を採取した.この一連の操作を各個体に ついて3回実施した.溢液の計量については、溢液を 綿棒で採取してプラスチックチューブに回収し、採取 前後の重量差を算出し、以下の計算式より溢液比を算 出した.

溢液比 = $\frac{3.0 \text{ dS/m EC}$ 処理区での溢液の最大量 1.4 dS/m EC(水道水)区での溢液の最大量

結 果

1. 塩ストレス症状

塩ストレス処理試験を行った結果をTable 1と Fig. 1 に示した.全138系統のうち134系統では処理期間全体に わたり葉身の漸進的な萎凋(直線的なWLの増大)がみ られた.残りの4系統(BAN28:DHAKA No.14, BAN18: BR6, BAN231:BR14, BAN229:JIBONSHANTI)では、 塩ストレス処理3日目から6日目の塩ストレス処理初期 に葉身の急激な萎凋(WLの顕著な増大)がみられ、塩 ストレス処理9日目には全葉身がほぼ枯死した.この4系 統に3系統(BAN282:HORIN KHUR PANA, BAN300: GANGA SAGAR, KD18)を加えた7系統では、そのWL 値が90%以上となり塩ストレスに対する極度の感受性を 示した.

塩ストレス処理後3,6,9日目の全138系統のWLの 頻度分布を Fig. 2に示した. WLの分布範囲は,3日 目では0-27%,6日目では5-100%,9日目では18100%であり、3日目では品種間差がほとんどみとめら れなかったが、6日目と9日目では品種間差が顕著で あった.塩ストレス処理後9日目のWLの平均値は 46.7%で、育成品種のIR24(67.2%)、KD18(90.7%)、 T65(48.3%)の3品種は中度から重度の感受性を示 した.

2. 葉鞘の無機元素含量

葉鞘の無機元素含量をTable 1 と Table S2に, その 頻度分布をFig. 3 に示した.まず, Na 含量については, 塩処理区における葉鞘へのNa 集積が顕著で,品種間 には大きな差がみられた.すなわち,対照区における 分布は0.00-9.75 mg/g dry weight (DW) であり,品 種間差はほとんどみられず, Na は葉鞘に低濃度で存在 した (Fig. 3a).一方,塩処理区における分布は4.71 (BAN42:KATI SAIL)-32.54 (BAN14:BR1) mg/g DWで,顕著な品種間差がみられた (Fig. 3f).対照区 に比べ濃度が高く,最大で32.20 mg/g DW も多く Na を蓄積した品種 (BAN14:BR1) もみられた.

K含量については、対照区と処理区で顕著な差はみ られず両処理区とも同程度の品種間差がみられた(Fig. 3b, 3g). 対照区における分布は6.19-62.84 mg/g DW,処理区における分布は2.71(BAN10:BR7 (BRRIBALAM))-42.85(BAN281:GOHULSAIL) mg/g DWであった.

Mg含量については、対照区に比べ塩処理区におけ る葉鞘へのMg集積がみられた.対照区における分布は 0.33-2.98 mg/g DWで、品種間差がみられた(Fig. 3c). 一方処理区における分布は0.61(BAN5: BR161-28-25)-8.19(BAN96:AJALDIGA)mg/g DWで、未処理区よりも品種間差が大きかった(Fig. 3h).処理区に比べ濃度が高く、最大で対照区に比べ 7.58mg/g DW多くのMgを蓄積した品種(BAN96: AJALDIGA)がみられた.

Ca含量については、対照区と処理区で顕著な差はみ られず両処理区とも同程度の品種間差がみられた (Fig. 3d, 3i). 対照区における分布は0.19-4.45 mg/g DW,処理区における分布は0.14 (BAN50:DAPA) -3.99 (BAN14:BR1) mg/g DW であった.

Fe含量については、対照区に比べて処理区における 葉鞘へのFe集積が顕著であった(Fig. 3e, 3j). 両処理 区において品種間差がみられ、対照区における分布は 0.00-0.22 mg/g DW, 処理区における分布は0.00-0.52(BAN27:HABIGANJ BORO8)mg/g DWで, 対 照区よりも処理区における品種間差が顕著であった.



Fig. 1. Transition of WL of 135 accessions of BAN variety and three cultivars of IR24, KD18 and T65 from 3 to 9 days after salinity treatment with 23.0 dS/m EC. DAT indicates days after the salinity treatment.



Fig. 2. Frequency distribution for WL of 135 accessions of BAN variety and three cultivars of IR24, KD18 and T65 at 3, 6, 9 days after salinity treatment with 23.0 dS/m EC. DAT indicates days after the salinity treatment.



Mineral content (mg / g DW)

Ratio of mineral content

Fig. 3. Frequency distribution for mineral contents and the ratio to sodium (Na) and potassium (K) in the leaf sheaths of 135 accessions of BAN variety and three cultivars of IR24, KD18 and T65 at 9 days after the treatment: Na (a), K (b), Mg (c), Ca (d) and Fe (e) under control condition with 1.2 dS/m EC and Na (f), K (g), Mg (h), Ca (i) and Fe (j) under salinity treatment with 23.0 dS/m EC were shown. Similarly, Na/K (k), Na/Mg (l), Na/Ca (m), K/Mg (n) and K/Ca (o) under control condition with 1.2 dS/m EC and Na/K (p), Na/Mg (q), Na/Ca (r), K/Mg (s) and K/Ca (t) under salinity treatment with 23.0 dS/m EC were shown. DW indicates dry weight.

Na/K比, Na/Mg比, Na/Ca比については, 塩スト レス処理区における品種間差が顕著であった. すなわ ち, Na/K比については, 対照区における分布は0.00 - 0.92 (Fig. 3k) で処理区における分布は0.25-6.12 (Fig. 3p), Na/Mg比については, 対照区における分 布は0.00-13.22 (Fig. 3l) で処理区における分布は 3.2-36.04 (Fig. 3q), Na/Ca比については, 対照区 における分布は0.00-29.75 (Fig. 3m) で処理区にお ける分布は3.58-92.83 (Fig. 3r) であり, 塩ストレ ス処理区において各元素 (K, Mg, Ca) に対する Naの 蓄積量に品種間差があることが明らかであった.

K/Mg比とK/Ca比については、塩処理区と対照区の いずれにおいても品種間差がみられた.すなわち、K/ Mg比については、対照区における分布が8.41-75.41 (Fig. 3n) で処理区における分布は1.76-47.16 (Fig. 3s)、K/Ca比については、対照区における分布は2.81-107.61 (Fig. 3t) であり、いずれの実験区においても 各元素(Mg, Ca)に対するKの蓄積量に品種間差があっ た. K/Mg比については、対照区に比べ塩処理区では 値が小さかった.

3. 塩ストレス症状との相関

葉鞘のNa, K, Mg, Ca, Fe含量について,処理9 日目のWLと各元素の蓄積量との間で単回帰分析を 行った結果をTable 2とFig. 4に示した. 葉鞘のNa, K含量と処理9日目のWLには5%水準で有意な正の相 関がみられ, 葉鞘のMg, Ca含量と処理9日目WLに は1%水準で有意な正の相関がみられた(Fig. 4a, 4b, 4c, 4d, 4e). 葉鞘のFe含量については,処理9日目 のWLとの相関は認められなかった(Fig.4e).

4. 塩ストレス条件下での揚水

BAN 102 品種, IR24, KD18 及びT65 について, 3.0 dS/m EC 処理区での溢液の最大量と1.4 dS/m EC 処理 区での溢液の最大量をTable S3に,溢液比をTable 1 に示した.BAN 102 品種, IR24, KD18 及びT65 の溢 液比には品種間差がみられた (Fig. 5).

考 察

塩ストレス症状部位の計測の結果,塩ストレス条件

下においてイネ系統の萎凋度には品種間差がみられた. 葉身長に対する萎凋部位の計測を行い,系統間のスト レス症状の詳細な差異を評価することにより,イネ系 統の塩ストレス症状の量的評価が可能となり,本手法 が耐塩性イネ品種のスクリーニングに有用であること が示された.本研究では,植物体を高塩ストレス条件 下におくことで,9日間という短期間でイネ系統の耐 塩性を評価した.塩ストレス処理後6日目には既に品 種間差が顕著であったことから,塩濃度23.0 dS/m EC条件では,処理開始後6日目に耐塩性の評価が可能 であることが示された.また,本条件下では極感受性 品種の特徴として,塩ストレス処理開始後速やかに生 育阻害が起こることが示された.

OchiaiとMatoh (2002) は,様々な濃度のNaCl溶液 を用いてイネ(塩ストレス感受性品種)の地上部へ移 行するNaイオンの量について調査した.その結果(1) 100mMNaCl条件下では地上部へ移行するNaイオンの 量は時間とともに直線的に増加すること,(2)短期間 (9時間)では地上部へ移行するNaイオン量がNaCl溶 液の濃度(25-200mM)に依存して増加すること,(3) 明日長下における蒸散はNaCl溶液の濃度(25-



Mineral content (mg/g DW)

Fig. 4. Scatter diagrams of mineral contents plotted versus WL at 9 days after salinity treatment with 23.0 dS/m EC: Na(a), K(b), Mg(c), Ca(d), and Fe(e) were shown. DAT indicates days after the salinity treatment.

Table 2. Single regression analysis between WL at 9 days after treatment and mineral contents (mg/g DW) under salinity stress condition (23.0 dS/m EC) in 135 rice accessions of BAN variety and three cultivars of IR24, KD18 and T65.

Mineral	Single re	gression exp	pression	R^2	
Na	у =	0.827x +	32.259	0.07406 **	
Κ	у =	0.606x +	34.474	0.06939 **	
Mg	у =	5.623x +	38.314	0.08044 ***	
Ca	у =	8.698x +	34.853	0.09633 ***	
Fe	у =	11.911x +	44.577	0.004363 ^{ns}	

DW: dried weight

 ** and *** represent 1% and 0.1% at the significant levels, respectively.

ns' means not significance.



Fig. 5. Frequency distribution for ratio of guttation weight (treatment / control) under the salinity treatment with 3.0 dS/m EC.

200mM) に依存して低下し150mM条件下で停止する ことを明らかにした.このことから,本研究で実施した 塩濃度23.0 dS/m ECについては,イネの地上部にお けるNaイオン量を測定する上で概ね適切な条件であ り,その処理期間を短くすることにより地上部へ移行 するNaイオンの量の品種間差を測定できると考えら れた (Fig.3f).

本研究では、135系統のバングラデッシュ在来イネ 系統を用いて実験を行なった結果、塩ストレス処理9 日目の塩ストレス症状(WL)と葉鞘における各元素 (Na, K, Mg, Ca)の蓄積量との間に正の相関を見出 した (Table 2). すなわち. 塩ストレスに感受性であ るほど、Na, K, Mg, Caの蓄積がそれぞれ増加する 傾向がみられた.一方、Thuらは、37系統(2017)と 29 系統(2018)の世界のイネコレクションを用いて研 究を行い、塩ストレス症状と各元素蓄積量との関係を 示した. その結果, 葉鞘のNaとMgについては, 塩ス トレス症状と元素含量に明らかな正の相関があるけれ ども、塩ストレス症状と葉鞘のKおよびCa含量には 明らかな傾向は見出されなかった.以上の結果から, 塩ストレス条件において耐塩性品種は少なくともNa とMgイオンの葉鞘への移行を抑制するか、葉鞘から 排除する何らかの機能を有していると推察された.

Lisaら(2011)は、バングラデシュ在来の塩ストレ ス高度抵抗性品種を含む4品種を用いて幼苗期ならび に生殖成長期の葉身の元素分析を行い、調査した4品 種の中で高度抵抗性品種では止め葉におけるNa/K, Na/Mg, Na/Caが最も低く、特にNa/Mgについてはそ のほかの品種との差が顕著であることを報告した.Mg, Caのような微量要素は塩ストレス処理前後での蓄積量 の差が比較的小さいため、これらと処理条件に強く依 存するNaの蓄積量との比をとったNa/Mg, Na/Caは, 試験条件が変わっても耐塩性と強く関わる地上部(葉 鞘・葉身)におけるNa集積の指標になり得ると考え られた.本研究において,塩ストレス下におけるNa/K, Na/Mg, Na/Caの頻度分布(Fig. 3p, 3q, 3r)をみると, Na/Mg(Fig.3q)の分散が最も大きく品種間差の検出 に適していると考えられた.

無機元素含量と耐塩性の間には正の相関が見られた ため、塩ストレスに対する反応が特徴的であった上位 10品種、下位10品種を選抜して分析を行った(Table 3). 葉鞘のNa, K, Mg, Ca及びFe含量、また葉鞘にお けるNa/K, Na/Mg, Na/Ca, K/Mg, K/Ca比について、 2群間の比較を行ったところ、Na含量は5%水準で、 Mg, Ca含量は1%水準で有意差が認められた. このよ うに耐塩性品種では、感受性品種に比べ、Na, Mg, Caの葉鞘への蓄積が抑制される傾向があった(Table 3). 葉鞘のFe含量については、耐塩性との相関はみら れなかったものの、塩処理区と対照区で明らかな濃度 差があることから、塩ストレス処理により植物体内へ の鉄イオンの流入量が増加していることが示唆された.

塩ストレスに対する反応(WL)が特徴的であった 耐塩性(WLが低い方から)10品種と感受性(WLが 高い方から)10品種を抜粋して溢液の量の分析を行っ た結果,感受性であるほど溢液の量が多い傾向にあっ た(Table 3).このことから,感受性品種ほど茎葉部 での浸透圧が高まり,そのストレスを緩和するべく揚 水量を増加させたと推測された.本実験に用いた処理 溶液は低濃度(3.0 dS/m EC)であったため,根圏へ の浸透圧ストレスは高くなかったので,植物の揚水能 力に影響を及ぼすことはなかったと考えられる.

本研究では、塩ストレス下における萎凋部位の計測 によりバングラデシュ産在来イネ系統の耐塩性を定量 的に評価した.この結果と高い塩濃度下における葉鞘 の無機元素の蓄積量ならびに低い塩濃度下における藻 液比を比較することで、これら在来イネ品種の特性を 明らかにした.すなわち、高度耐塩性系統では、高塩ス トレス下においては葉鞘へのNa, Mg, Caの蓄積が少な いこと、弱塩ストレス下においては夜間の揚水量が感 受性品種よりも少ない傾向があることが示された.本 研究で確立した耐塩性の評価法をもちいて、バングラ デシュ在来耐塩性系統(BAN品種)とIR24, KD18お よびT65との交雑後代を用いた耐塩性の遺伝解析が期 待される.

Table 3 Comparison of mineral contents, their related characters and ratio of guttation weight (treatment / control) under salinity stress between ten tolerant and ten susceptible accessions of BAN variety those were classified based on the score of WL at 9 days after treatment.

	Degree of wilted leaves (WL) (%)	Mineral content (mg/g DW)					Ratio of mineral content					Ratio of
BAN No.	9DAT	Na	K	Mg	Ca	Fe	Na/K	Na/Mg	Na/Ca	K/Mg	K/Ca	guttation
Ten access	ions with lowes	t score of W	L at 9DAT	(Tolerant t	o salinity st	ress)						
74	18.42	14.73	34.88	1.64	0.80	0.19	0.42	9.00	18.48	21.30	43.75	0.07
86	20.09	8.35	8.55	0.75	0.95	0.05	0.98	11.13	8.79	11.40	9.00	0.02
49	20.31	16.90	16.08	1.34	0.60	0.24	1.05	12.63	28.30	12.02	26.93	0.22
237	20.75	11.95	31.11	1.03	1.32	0.05	0.38	11.59	9.08	30.18	23.62	0.15
72	20.80	10.95	12.34	0.76	1.23	0.25	0.89	14.40	8.93	16.24	10.07	0.27
44	21.86	12.67	6.63	0.62	0.94	0.07	1.91	20.55	13.50	10.76	7.07	0.01
43	22.14	24.21	17.77	1.49	1.86	0.20	1.36	16.30	13.04	11.97	9.57	0.05
63	22.96	7.84	22.16	1.41	0.90	0.19	0.35	5.57	8.73	15.74	24.68	0.00
84	23.40	14.88	21.13	1.68	1.10	0.07	0.70	8.84	13.50	12.55	19.16	0.01
87	24.05	8.01	17.03	0.79	1.45	0.02	0.47	10.09	5.53	21.44	11.76	0.01
Ten access	ions with highe	st score of V	VL at 9DA]	ſ (Susceptił	ole to salinit	y stress)						
280	74.71	26.76	30.43	2.88	1.38	0.17	0.88	9.30	19.36	10.58	22.01	-
299	77.70	21.19	17.89	2.96	3.28	0.23	1.18	7.15	6.45	6.04	5.45	-
294	78.16	21.51	21.23	1.71	1.45	0.14	1.01	12.59	14.80	12.43	14.61	-
289	88.29	21.10	23.66	1.37	0.85	0.15	0.89	15.44	24.74	17.32	27.74	-
229	91.67	30.20	6.44	2.08	1.73	0.15	4.69	14.52	17.43	3.10	3.71	1.93
18	100.00	22.49	41.15	0.87	2.37	0.05	0.55	25.78	9.48	47.16	17.34	0.49
28	100.00	11.89	29.51	1.91	1.06	0.17	0.40	6.23	11.27	15.45	27.97	0.07
231	100.00	23.08	24.10	4.91	1.98	0.36	0.96	4.70	11.64	4.91	12.16	0.51
282	100.00	8.88	23.22	1.40	2.48	0.14	0.38	6.33	3.58	16.57	9.38	-
300	100.00	15.63	31.83	3.27	2.31	0.19	0.49	4.78	6.77	9.74	13.79	-
t value		-2.79	-1.51	-2.98	-2.97	-1.10	-0.67	0.53	0.08	0.46	0.70	-2.71
p value		0.012	0.148	0.008	0.008	0.284	0.510	0.600	0.937	0.652	0.495	0.019
Significanc	e	*		**	**							*

DAT: days afetr treatment

*: Significant at the 5% level.

**: Significant at the 1% level.

要

約

バングラデシュ産在来イネコレクション135系統を 材料として、葉身の萎凋度、葉鞘におけるミネラル含 量、溢液について定量的な耐塩性評価を行った.各指 標についてコレクション内で品種間差が認められた. 葉身の萎凋度については、大半の品種で葉身全体にお ける萎凋部位の割合が漸進的に増大したのに対し、一 部の極感受性品種では塩ストレス処理開始後、短期間 で急激に萎凋が進んだ.本手法により明らかにされた 塩ストレス耐性品種では葉鞘における Na, Mg, Ca蓄積 の抑制がみられ、塩ストレス感受性品種では溢液の量 が多い傾向にあった.本研究において用いられた耐塩 性の定量的な評価法をもちいてバングラデシュ産在来 イネコレクションの耐塩性を評価し、選抜された耐塩 性系統をもちいてイネ耐塩性に関する詳細な遺伝解析 が進展することが期待される.

キーワード

イネ, 耐塩性, ミネラル含量, ナトリウム蓄積, 溢液

謝 辞

本研究の遂行にあたり、九州大学大学院農学研究院 研究教育支援センターの松永恵美子技官には、原子吸 光光度計の使用に際してご指導ご協力いただきまし た.ここに記して深謝申し上げます.本研究は国際科 学技術共同研究推進事業地球規模課題対応国際科学技 術協力プログラム (SATREPS)の支援を受けた.

文 献

Lisa, L. A., S. M. Elias, M. S. Rahman, S. Shahid, T. Iwasaki, C, A. K. M. M. Hasan, K. Kosuge, Y.

Fukami, and Z. I. Seraj 2011 Physiology and gene expression of the rice landrace Horkuch under salt stress. Functional Plant Biology, **38** : 282-292

- Munns, R. and M. Tester 2008 Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Biol. 59 : 651-681
- Ochiai, K. and T. Matoh 2002 Characterization of the Na+ delivery from roots to shoots in rice under saline stress : Excessive salt enhances apoplastic transport in rice Plants. Soil Sci. Plant Nutr., 48 (3) : 371-378
- Rajendran, K., M. Tester and S. J. Roy 2009 Quantifying the three main components of salinity tolerance in cereals. Plant, Cell and Environment,

32: 237-249

- Sirault, X. R. R., R. A. James and R. T. Furbank 2009 A new screening method for osmotic component of salinity tolerance in cereals using infrared thermography. Functional Plant Biology 36 : 970-977
- Thu, T. T. P., H. Yasui and T. Yamakawa 2017 Effects of salt stress on plant growth characteristics and mineral content in diverse rice genotypes. Soil Sci. Plant Nutr., 63 (3) : 264-273
- Thu, T. T. P., H. Yasui and T. Yamakawa 2018 Allocation of macronutrients in roots, sheaths, and leaves determines salt tolerance in rice. Amer. J. Plant Sci. 9 : 1051–1069

Summary

Using 135 rice (*Oryza sativa* L.) cultivars originating from Bangladesh, salinity tolerance of each cultivars was quantitatively evaluated based on the ratio of the wilted part on a leaf blade, element accumulation in a leaf sheath, and guttation. Varietal difference was found for each index. Regarding the wilted part of a leaf blade, the proportion of the wilted part in the whole leaf blade increased linearly in most cultivars, whereas in some extremely sensitive cultivars, the withered part rapidly ablated within a short period after the start of salt stress treatment. In addition, tolerant cultivars suppressed Na, Mg, and Ca accumulation in leaf sheaths. Furthermore, the susceptible varieties tended to give off a larger amount of guttation compared to tolerant ones. The quantitative evaluation method for salinity tolerance in rice used in this study and the resulting data of difference in salt tolerance among Bangladesh rice varieties will be expected to be used in the future for detailed genetic analysis of salt tolerance in rice.

Key words: rice, tolerance to salinity stress, mineral content, sodium accumulation, guttation

Collected			mg/L					mM/L		
in 2019	Na	K	Mg	Са	Fe	Na	Κ	Mg	Са	Fe
Aug. 8	6220	380	1520	462	0.01	270.6	9.7	62.5	11.5	0.0002
Aug. 23	6210	394	1550	472	0.00	270.1	10.1	63.8	11.8	0.0000
Sept. 4	6200	386	1480	466	0.00	269.7	9.9	60.9	11.6	0.0000
Sept. 9	6220	400	1550	470	0.01	270.6	10.2	63.8	11.7	0.0002
Sept. 30	6220	410	1600	488	0.00	270.6	10.5	65.8	12.2	0.0000
Oct. 11	6220	414	1620	504	0.00	270.6	10.6	66.7	12.6	0.0000
Oct. 16	6220	406	1610	488	0.00	270.6	10.4	66.2	12.2	0.0000

Table S1. Mineral coontent in the sea water collected at Imazu (E130.27, N33.60), Fukuoka, Japan.

Table S2. Mineral contents of control plants under tapwater (1.4dS/m EC) of 135 accessions of BAN variety and three cultivars of IR24, KD18 and T65.

Mineral content (mg/g DW)					Ratio of mineral content					
BAN No.	Na	K	Mg	Ca	Fe	Na/K	Na/Mg	Na/Ca	K/Mg	K/Ca
3	5.10	40.96	1.39	1.83	0.10	0.12	3.66	2.79	29.38	22.42
4	2.10	29.55	1.05	1.35	0.00	0.07	2.00	1.56	28.14	21.89
5	0.44	13.20	0.58	2.14	0.00	0.03	0.75	0.20	22.67	6.18
6	0.34	15.59	0.83	2.30	0.00	0.02	0.41	0.15	18.71	6.77
/	0.44	13.04	0.44	0.83	0.00	0.03	1.00	0.53	29.50	15.65
o Q	2 31	14.15	1 16	1.30	0.00	0.00	2.30	2.08	20.30	13.33
10	2.01	18.68	1.10	2.03	0.05	0.16	2.00	1 47	18.00	9.21
11	1.68	24.11	0.61	1.54	0.00	0.07	2.77	1.09	39.69	15.64
14	0.34	15.34	0.78	1.31	0.05	0.02	0.44	0.26	19.75	11.70
16	1.19	14.04	0.78	0.92	0.00	0.08	1.53	1.30	18.00	15.30
17	1.44	26.44	1.25	1.54	0.10	0.05	1.15	0.94	21.15	17.19
18	0.64	62.84	0.83	2.16	0.10	0.01	0.76	0.30	75.41	29.14
19	1.65	27.55	1.23	2.12	0.05	0.06	1.35	0.78	22.46	12.98
20	0.45	26.30	1.45	4.45	0.10	0.02	0.31	0.10	18.14	5.91
21	0.00	21.19	1.58	1.73	0.10	0.00	0.00	0.00	13.38	12.23
22	0.00	13.32	0.90	0.77	0.05	0.00	0.00	0.00	10.00	27.04
23	0.00	26.73	0.90	1.98	0.05	0.00	1.00	0.00	29.35	13 29
28	5.67	6.19	0.43	0.19	0.05	0.92	13.22	29.75	14.44	32.50
29	1.20	17.79	0.87	0.87	0.05	0.07	1.39	1.39	20.56	20.56
30	1.70	10.10	0.70	1.40	0.05	0.17	2.43	1.21	14.43	7.21
32	2.06	23.33	0.59	0.98	0.10	0.09	3.50	2.10	39.67	23.80
33	7.24	19.72	0.98	0.98	0.14	0.37	7.38	7.38	20.10	20.10
34	2.09	26.89	0.97	1.94	0.19	0.08	2.15	1.08	27.70	13.85
35	0.00	17.03	0.89	0.99	0.05	0.00	0.00	0.00	19.11	17.20
36	1.13	19.22	1.03	1.76	0.05	0.06	1.10	0.64	18.67	10.89
37	2.28	14.11	1.04	1.09	0.05	0.16	2.19	2.09	13.57	12.95
38	1.57	11.52	0.69	0.49	0.05	0.14	2.29	3.20	16.79	23.50
40	0.00	25 31	1.50	3.00	0.05	0.00	0.00	0.00	16.88	29.92
40	2.89	13.39	0.69	0.60	0.05	0.00	4.20	4.85	19.47	22.46
42	0.00	22.60	0.88	1.86	0.00	0.00	0.00	0.00	25.61	12.13
43	4.50	24.36	1.04	1.58	0.10	0.18	4.33	2.84	23.43	15.38
44	0.19	19.53	0.61	1.27	0.00	0.01	0.31	0.15	31.85	15.33
45	0.19	20.67	0.81	1.38	0.00	0.01	0.24	0.14	25.53	14.97
46	2.25	15.10	0.65	0.65	0.05	0.15	3.46	3.46	23.23	23.23
47	2.36	24.62	1.27	1.84	0.05	0.10	1.85	1.28	19.33	13.38
48	0.70	16.15	0.75	1.15	0.00	0.04	0.93	0.61	21.53	14.04
49 50	1.23	21.81	0.88	0.98	0.00	0.06	1.39	1.25	24.72	12 50
51	2 12	24 51	2 34	1.45	0.05	0.05	0.91	1 30	23.10	15.09
52	0.83	27.92	1.04	1.05	0.10	0.03	0.31	0.58	26.22	19.05
53	0.42	22.92	1.06	1.30	0.05	0.02	0.39	0.32	21.52	17.68
54	3.77	17.25	0.88	2.65	0.00	0.22	4.28	1.43	19.56	6.52
55	1.95	31.29	1.67	0.81	0.10	0.06	1.17	2.41	18.77	38.65
56	2.99	16.42	0.59	0.88	0.05	0.18	5.08	3.39	27.92	18.61
57	2.55	25.10	1.40	1.45	0.00	0.10	1.82	1.76	17.93	17.31
58	0.50	30.90	1.15	1.35	0.00	0.02	0.43	0.37	26.87	22.89
59	0.00	20.05	0.97	1.65	0.05	0.00	0.00	0.00	20.65	12.15
60	0.00	29.76	1.02	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	29.19	16.57
61	0.05	21.23	0.78	1.27	0.05	0.00	0.06	0.04	27.00	16.65
63	0.00	10.75	0.33	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	23.43	4.09
64	1.00	17.57	0.59	0.00	0.00	0.00	3 25	2.60	29.58	23.67
65	1.06	26.88	1.30	1.68	0.10	0.04	0.81	0.63	20.70	15.97
66	0.00	25.10	1.12	1.50	0.05	0.00	0.00	0.00	22.48	16.68
67	2.77	21.44	0.74	1.34	0.05	0.13	3.73	2.07	28.87	16.04
68	0.00	28.41	0.65	1.31	0.05	0.00	0.00	0.00	43.43	21.71
69	0.19	26.53	0.97	1.39	0.05	0.01	0.19	0.13	27.29	19.10

70	0.00	21.76	1.05	1.29	0.05	0.00	0.00	0.00	20.77	16.93
71	0.00	24.49	0.95	1 14	0.00	0.00	0.00	0.00	25.80	21 50
70	0.00	24.40	1 4 4	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	47.04
72	0.29	29.10	1.44	1.00	0.05	0.01	0.20	0.17	20.23	17.34
73	0.60	23.61	0.74	1.25	0.00	0.03	0.81	0.48	31.88	18.89
74	0.00	50.52	1.62	0.81	0.05	0.00	0.00	0.00	31.21	62.41
75	4.85	32.75	0.95	1.55	0.10	0.15	5.11	3.13	34.47	21.13
76	0.10	42.79	2.40	1.27	0.10	0.00	0.04	0.08	17.82	33.58
77	3 56	14.86	0.79	1 11	0.05	0.24	4 53	3 21	18.88	13 38
70	1.02	12 59	1.09	1 10	0.00	0.02	4.00	0.21	40.41	27.04
70	1.03	43.56	1.00	1.10	0.05	0.02	0.95	0.00	40.41	37.04
79	0.10	37.29	1.38	1.52	0.05	0.00	0.07	0.06	27.00	24.47
80	0.00	16.84	0.78	1.46	0.05	0.00	0.00	0.00	21.69	11.57
81	0.00	32.57	1.07	2.18	0.05	0.00	0.00	0.00	30.50	14.91
82	9.28	25.11	1.39	1.44	0.22	0.37	6.68	6.42	18.08	17.38
83	4 40	19.86	0.79	0.97	0.19	0.22	5 59	4 52	25.24	20.43
00	7.40	24.74	1.07	1.76	0.15	0.22	0.00	4.02	10.29	14.00
04	2.60	24.71	1.27	1.70	0.15	0.11	2.04	1.47	19.30	14.00
85	1.85	31.16	0.88	1.67	0.09	0.06	2.11	1.11	35.42	18.69
86	3.32	32.57	0.99	1.34	0.10	0.10	3.35	2.48	32.90	24.37
87	2.50	27.31	1.35	1.35	0.10	0.09	1.86	1.86	20.29	20.29
88	2.45	24.39	0.90	1.56	0.09	0.10	2.74	1.58	27.21	15.67
89	2 10	33.48	0.95	1 19	0.10	0.06	2 20	1 76	35 15	28 12
00	2.10	22.47	1.04	1.10	0.16	0.00	2.20	2.00	22.57	21 55
90	5.57	23.47	1.04	1.09	0.15	0.14	3.24	3.09	22.57	21.00
91	2.09	24.37	0.68	1.17	0.05	0.09	3.07	1.79	35.86	20.92
92	2.31	24.28	1.68	1.88	0.10	0.10	1.37	1.23	14.43	12.95
95	0.09	14.36	0.50	1.01	0.00	0.01	0.18	0.09	28.45	14.23
96	1.96	18.74	0.61	0.89	0.05	0.10	3.23	2.21	30.85	21.11
97	0.19	34 39	1 26	1 96	0.00	0.01	0.15	0.10	27.26	17 52
08	0.10	11 45	0.70	1.00	0.00	0.01	0.13	0.06	16.33	7 / 2
50	0.03	11.45	0.70	0.00	0.00	0.01	0.15	0.00	10.55	40.44
99	0.64	10.98	0.54	0.88	0.15	0.06	1.18	0.72	20.36	12.44
100	1.78	18.88	0.75	1.07	0.05	0.09	2.38	1.65	25.25	17.57
145	0.00	30.05	0.73	2.62	0.05	0.00	0.00	0.00	41.27	11.46
216	2.03	28.68	0.75	1.56	0.05	0.07	2.69	1.30	38.00	18.42
223	2 10	18 95	2 00	1 81	0.10	0.11	1.05	1 16	948	10 47
224	2 35	46.03	1 37	1 23	0.10	0.05	1 71	1 02	33.54	37 56
224	2.33	40.03	1.37	1.23	0.10	0.05	1.71	1.92	33.34	37.50
225	2.40	20.35	1.11	0.87	0.10	0.09	2.17	2.78	23.83	30.44
226	3.06	20.97	0.97	0.93	0.05	0.15	3.14	3.30	21.57	22.65
227	0.84	15.37	0.51	1.59	0.05	0.05	1.64	0.53	29.91	9.68
228	2.52	24.13	1.24	1.10	0.14	0.10	2.04	2.29	19.48	21.92
229	2.45	28.38	0.83	1.13	0.10	0.09	2.94	2.17	34.06	25.17
230	0.23	19.63	0.93	1 59	0.00	0.01	0.25	0.15	21.00	12 35
200	1.02	26.51	2.00	1.00	0.00	0.07	0.25	1.00	21.00	12.00
231	1.93	20.01	2.90	1.93	0.14	0.07	0.05	1.00	0.09	13.70
232	2.23	24.70	1.68	1.83	0.15	0.09	1.32	1.22	14.68	13.49
233	2.26	22.64	0.57	1.32	0.14	0.10	4.00	1.71	40.00	17.14
234	1.90	30.65	1.11	1.16	0.00	0.06	1.71	1.64	27.58	26.48
235	2.04	24.22	1.17	1.12	0.15	0.08	1.75	1.83	20.79	21.70
237	2.08	28.66	0.99	0.99	0 15	0.07	2 10	2 10	28 95	28 95
239	0.15	12 00	0.50	2.00	0.00	0.01	0.30	0.08	24.00	6.00
200	0.10	24.44	1.01	1.50	0.00	0.01	0.00	0.00	29.00	0.00
200	3.41	34.44	1.21	1.50	0.05	0.10	2.01	2.20	20.35	23.03
261	2.69	41.67	1.39	2.22	0.09	0.06	1.93	1.21	30.00	18.75
262	2.16	34.02	0.83	1.62	0.00	0.06	2.59	1.33	40.82	21.03
269	0.87	34.13	1.06	3.75	0.10	0.03	0.82	0.23	32.27	9.10
276	0.15	30.92	0.78	1.55	0.10	0.00	0.19	0.09	39.81	19.91
277	0.15	25 74	0.78	1 37	0.10	0.01	0.19	0.11	32.81	18 75
277	0.10	20.74	0.70	0.02	0.10	0.01	0.13	0.11	27.02	22.05
270	0.20	20.04	0.74	0.93	0.00	0.01	0.27	0.21	27.93	22.00
279	1.81	15.83	0.88	1.57	0.10	0.11	2.06	1.16	17.94	10.09
280	0.19	36.78	0.84	1.64	0.14	0.01	0.22	0.11	43.72	22.49
281	0.24	44.90	1.12	2.43	0.10	0.01	0.22	0.10	40.22	18.50
282	9.75	25.69	1.24	1.98	0.15	0.38	7.88	4.93	20.76	12.98
283	1 70	26.50	0.97	1.80	0.05	0.06	1.75	0.95	27.30	14 76
284	0.20	23.50	0.74	1 67	0.00	0.00	0.40	0.00	22.00	1/ 10
204	0.29	23.33	0.74	1.0/	0.10	0.01	0.40	0.10	32.00	14.12
285	0.54	27.01	1.18	1.72	0.05	0.02	0.46	0.31	22.96	15.74
286	0.29	33.62	1.38	3.14	0.10	0.01	0.21	0.09	24.34	10.70
287	0.19	21.26	0.61	1.07	0.05	0.01	0.31	0.17	35.00	19.78
288	1.44	17.64	0.67	0.96	0.05	0.08	2.14	1.50	26.21	18.35
289	0.25	22.99	0.59	1.32	0.15	0.01	0.42	0.19	39.08	17.37
290	0.18	27,95	1.33	1.08	0.06	0.01	0.14	0.17	21.09	25.78
	0.10				0.00	0.01				

(to be continued)

291	0.63	32.18	0.78	2.04	0.10	0.02	0.81	0.31	41.44	15.79
292	2.80	30.79	1.73	1.96	0.09	0.09	1.62	1.43	17.81	15.69
293	0.30	36.30	1.20	1.40	0.10	0.01	0.25	0.21	30.25	25.93
294	0.39	25.20	0.98	1.37	0.15	0.02	0.40	0.29	25.70	18.36
295	0.49	43.98	0.92	1.02	0.05	0.01	0.53	0.48	47.68	43.14
296	2.70	17.65	0.75	0.65	0.10	0.15	3.60	4.15	23.53	27.15
297	2.23	31.41	1.41	1.89	0.15	0.07	1.59	1.18	22.31	16.59
298	1.78	21.59	1.15	1.39	0.10	0.08	1.54	1.28	18.71	15.48
299	1.81	17.70	0.78	0.74	0.05	0.10	2.31	2.47	22.56	24.07
300	0.29	33.19	1.13	1.37	0.10	0.01	0.26	0.21	29.43	24.18
IR24	0.05	12.81	1.52	2.38	0.00	0.00	0.03	0.02	8.41	5.38
KD18	1.02	40.69	1.57	2.90	0.19	0.03	0.65	0.35	25.89	14.01
T65	0.88	19.71	0.59	1.47	0.05	0.04	1.50	0.60	33.50	13.40

Table S3. Maximum weight of guttation of 135 accessions of BAN variety and three cultivars of IR24, KD18 and T65 under salinity treatment (3.0 dS/m EC) and tap water (1.4 dS/m EC).

BAN No.	JP No.	Variety	Tm ^{a)} Max (mg)	CT ^{b)} Max (mg)
3	13879	BHUTMURI 36	31.0	47.5
4	13892	BAU 2-3-43	94.5	41.5
5	13893	BR 161-28-25	22.6	42.8
6	13894	BR 161-28-58	17.9	35.2
7	13895	BR 169-1-1	0.2	2.5
8	13896	BASMOTI	37.8	20.7
9	34373	AFSAWA	30.6	28.2
10	34375	BR 7(BRRIBALAM)	7.8	15.6
11	34376	BR 8(ASHA)	14.5	23.2
14	37860	BR 1	44.4	39.7
16	37862	BR 3	17.7	44.5
17	37863	BR 4	1.5	9.1
18	37864	BR 6	5.7	11.7
19	37865	BR 9	5.9	10.3
20	37866	BR 12	2.7	15.3
21	37867	BR 14	17.5	34.7
22	37868	BR 15	6.8	44.1
23	37869	BR 16	1.9	8.5
27	37873	HABIGANJ BORO 8	6.8	33.4
28	37874	DHAKA NO.14	0.4	6.0
29	38014	KAIKA (1)	28.3	29.8
30	38015	KAIKA (2)	29.9	30.5
32	38017	BALAM	13.7	19.6
33	38019	HIDA	14.7	25.6
34	38020	KARAMCHA	34.8	23.3
35	38021	DALKOCHU	8.3	10.3
36	38022	DIGA	41.3	17.9
37	38023	MUKTAHAR	18.3	28.9
38	38024	MURKIMALA	5.3	38.6
39	38025	BHATRAJ	7.9	17.1
40	38026	SHULI	26.5	45.1
41	38027	LALBHAWALIA	8.9	38.2
42	38028	KATI SAIL	0.1	30.4
43	38029	JINGA SHAIL	0.6	12.2
44	38031	SHIAL KOTA	0.2	25.1
45	38032	DOASI	0.3	37.6
46	38033	KAJOLGORI	0.1	36.1
47	38035	JINGA SHAIL	0.3	7.9
48	38036	PAINNATI	4.2	33.0
49	38038	KARTI KGHUL	7.0	31.2
50	38039	DAPA	1.8	42.6
51	38040	ARALIA	19.7	19.9
52	44985	LALRUPA	11.9	19.7
53	44986	MUJA SHAIL	0.2	43.7
54	44987	KHOMOM RUPA	1.5	28.8
55	44988	MADHU SHAIL	25.1	31.5
56	44989	BASSHIRAJ	1.2	2.3

to be continued

57	44990	GATA GAJIA	0.4	11.4
58	44991	MUGI	2.2	24.2
59	44995	LALBHAWALIA	0.1	11.3
60	44996	BONSAJ	0.1	5.1
61	44998	KOITORMONI	7.0	11.6
62	45000	SADA-MAGRI	0.0	25.2
63	45001	SHARSORI	0.1	20.2
64	45002	ASWINA	0.3	5.1
65	45003	PATJAG	0.2	26.5
66	45004	RAJPAN	0.2	4.3
67	45005	IDADPA	0.3	19.6
68	45006	BORRO BHAWALIA	0.1	10.9
69	45007	HIJOL-DIGHA	0.6	24.7
70	45008	HORINGRA-DIGHA	4.3	9.6
71	45009	SHIAL BORN	0.1	7.3
72	45011	DESHI-DIGHA	14.4	53.4
73	45012	SONNA BAWALIA	0.3	11.9
74	45013	CHAMARA	2.1	31.9
75	45014	CHINI SAIL	0.3	11.3
76	45016	PARJAK	0.3	10.6
77	45017	RAJPAL	0.0	18.3
78	45018	CHATAKTARA	0.1	19.0
79	45019	SONA ANJAN	0.2	6.5
80	45020	DOLAI	14.1	12.6
81	45021	NOLOJ BORON	0.2	0.1
82	45022	ABCHHYA	-	-
83	45023	PUITTA DAPA	0.1	7.7
84	45024	LAXMI DIGHA	0.2	15.0
85	45025	GONOK RAY	0.3	23.3
86	45026	DSEPA	0.3	16.1
87	45027	DUDSOR	0.3	45.7
88	45028	ASAM BOR	0.4	24.3
89	45029	BINNI	0.4	9.4
90	45030	BINNI	-	-
91	45031	MALSIRAJ	-	-
92	45032	KALIJILA	-	-
95	45398	CHANDINA	18.9	46.8
96	49206	AJALDIGA	-	_
97	49208	KECHRA	5.8	31.9
98	49209	LALBHAWALIA	8.7	9.0
99	49214	BORO DIGHA	-	
100	49215	KARTIKAJKA	-	_
145	54532	HANUMANJATA	36.9	21.3
216	54659	AGUNBAN	16.6	23.5
223	67910	KARTIK SAIL	-	
224	67911	JASA	-	-
225	67913	CHAPAI	29.9	27.5
226	67914	BR 5	23.0	37.4
227	67915	BR 10	42 7	70.9
228	67917	BARISAL NO 4	3.3	21.8
229	68040	JIBONSHANTI	38.6	20.0
230	68055	BR 5	11.8	53.9
	-			-

to be continued

	231	68056	BR 14	14.8	29.1					
	232	68118	BR 8	0.4	12.0					
	233	70450	NATI SAIL	12.6	17.5					
	234	70451	PAJAM	34.6	25.2					
	235	70452	JADU	22.4	19.0					
	237	70454	DHAKA NO.7	3.2	20.8					
	239	70456	DHAKA NO.12	85.5	14.8					
	260	70620	AUS 47	48.6	44.2					
	261	70621	AUS 51	17.4	27.1					
	262	70622	AUS 32	16.6	15.3					
	269	70636	AUS 38	11.5	21.7					
	276	247581	KALABAIL	-	-					
	277	247586	DUDH BHAWALIA	-	-					
	278	247587	KARTIK SAIL	35.1	85.0					
	279	247592	RAJA SAIL	-	-					
	280	247594	GOBOL SAIL(BALAM)	-	-					
	281	247595	GOHUL SAIL	-	-					
	282	247596	HORIN KHUR PANATI	-	-					
	283	247597	JIWGA SAIL	-	-					
	284	247598	KAISHA BINNI	-	-					
	285	247599	KAISHA BINNI	-	-					
	286	247600	SAGARDHANA	-	-					
	287	247603	LAL KUMARI	-	-					
	288	247606	JHUR PADDY	-	-					
	289	247607	KANGA BALAM	-	-					
	290	247608	KARIM SAIL	-	-					
	291	247609	LAL BALAM	-	-					
	292	247610	LOHA DANG	-	-					
	293	247611	PATNAI	-	-					
	294	247612	BONDA BETI	-	-					
	295	247613	BORA DHAN	-	-					
	296	247614	KUMARI	-	-					
	297	247615	KUMRI	-	-					
	298	247617	DINGA MANIK	-	-					
	299	247618	KAJOL SAIL	-	-					
	300	247623	GANGA SAGAR	-	-					
-		-	IR24	8.8	47.3					
-		-	Khang Dan 18-1	52.5	6.3					
-		-	Khang Dan 18-2	0.2	13.0					
-		-	Thaichung 65	37.3	20.6					
a) T	M: Salin	ity treatmer	nt under 3.0 dS/m EC.							
b) C	b) CT: Control using tap water with 1.4 dS/m EC.									
,		U 1								