

水稻の光合成・乾物生産に対するケイ酸施用効果の 品種系統間差

東江, 栄
九州大学農学部栽培学教室

内田, 英樹
九州大学農学部栽培学教室

縣, 和一
九州大学農学部栽培学教室

窪田, 文武
九州大学農学部栽培学教室

<https://doi.org/10.15017/23425>

出版情報：九州大学農学部學藝雑誌. 47 (1/2), pp.7-16, 1993-01. 九州大学農学部
バージョン：
権利関係：

水稻の光合成・乾物生産に対するケイ酸施用効果の品種系統間差

東江 栄・内田 英樹
縣 和一・窪田 文武

九州大学農学部栽培学教室
(1992年7月20日 受理)

Varietal Difference in Effects of Silicon Application on Photosynthesis and Dry Matter Production in Rice Plants

Sakae AGARIE, Hideki UCHIDA, Waichi AGATA and Fumitake KUBOTA

Laboratory of Practical Botany, Faculty of Agriculture,
Kyushu University 46-06, Fukuoka 812

結 言

高等植物におけるケイ酸の吸収蓄積には種間差があり、多量に蓄積する植物はケイ酸植物 (silicon accumulator) と呼ばれる (Takahashi and Miyake, 1977)。イネ科植物、特に水稻は代表的なケイ酸植物の一つで、葉身内にケイ酸を約10% (乾物当り) 蓄積する。高等植物に対するケイ酸の必須性についてこれまでいくつか論議されているが (Jones and Handreck, 1967; 岡本, 1970a; Takahashi *et al.*, 1990; Werner and Roth, 1983) いまだ確証は得られていない。また、ケイ酸施用による水稻の増収効果も多数報告されているが (秋本, 1929; Elawad and Green jr. 1979; 石塚・早川, 1951; 岩田・馬場, 1962; Maxwell *et al.*, 1972; 奥田・高橋, 1961b, 1961c, 1962a, 1962b; 小幡, 1959)。その生理的機作については明確ではない。水稻に対するケイ酸の生理機能を明らかにすることは植物栄養学上の重要な課題を解決する糸口になるとともに、水稻栽培上有用な情報を得ることになる。このような観点にたつて著者らは一連の研究を行っている。前報 (東江ら, 1992) では水稻の乾物生産に対するケイ酸の効果を生育光条件との関連で検討し、1) ケイ酸施用により葉身の過剰蒸散が抑制されること、2) この過剰蒸散の抑制効果が葉身の生理的活性を維持し、乾物生産を向上させること、3) ケイ酸施用の効果が品種間差がみられること等を明らかにした。本報ではこのような水稻に対するケイ酸施用効果をより明確にすることを目的に、生態型を異にする水稻 (*Oryza sativa* L.) 10品種を供試し、葉と根の機能的相互関係か

らケイ酸の生理機能について検討した。

材料と方法

1. 供試材料及栽培条件

実験には日本型3品種、インド型4品種、日印交雑型2品種およびジャワ型1品種の計10品種を供試した (第1表)。

発芽時における初から胚乳へのケイ酸の転流を防ぐため、催芽処理に先立って種子の初を取り除いた。その種子をベンレート T1000 倍液で30分間消毒した後、プラスチック製シャーレ内においた口紙上に並置した。播種日はバングラデシュ産の3品種は1991年6月28日とし、それ以外は6月14日とした。幼苗を約1週間蒸留水で生育させた後、培養槽 (480 l) に移植し吉田らの培養液 (Yoshida *et al.*, 1976) で栽培した。水耕液の pH は 5.0~5.5 に調節し、12~14日に1回水耕液を更新した。移植1週間後、ケイ酸処理を開始した。

2. ケイ酸処理

ケイ酸処理には、水ガラス ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_7$) を用い、ケイ酸 (SiO_2) 100ppm 処理区 (+Si 区) および無処理区 (-Si 区) の2区を設けた。

3. 調査方法

ケイ酸処理開始時から1週間毎に生育調査を行った。Si 処理後35日目と45日目にサンプリングし、80°Cで乾燥後、器官別の乾物重を測定した。

4. 光合成速度および拡散伝導度の測定

植物体が11~13葉齢に達した時、最上位展開葉における光合成・蒸散速度を ADC 社製の携帯型光合成・蒸

Table 1. List of rice cultivars (*Oryza sativa* L.) used in the experiment.

Types	Cultivars	Habitats
Japonica	Nipponbare	Japan
	Koshihikari	Japan
	Nishihomare	Japan
Japonica-indica	Suweon 258	Republic of Korea
	Milyang 28	Republic of Korea
Indica	S47-2	Madagascar
	Chinigura(aman)	Bangladesh
	Kalizira(aman)	Bangladesh
	Nizrshail(aman)	Bangladesh
Javanica	AF70	Kenya

散速度測定装置 (以下 ADC) を用いて測定した。晴天時には自然光下で測定し、十分な光が得られない場合はメタルハライドランプで補光した。測定時の光条件は $1500 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上とした。

10 品種の中から日本晴と AF70 を選び、光強度変化に伴う光合成速度を測定した。測定には通気式同化箱法を用いた。設定条件は光強度 $0 \sim 1800 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、葉温 $30 \pm 0.1^\circ \text{C}$ 、相対湿度 $74.6 \pm 0.6\%$ とした。

5. 個体の蒸散速度の測定

培養槽から 1/5000a ワグナーポットに植物体を移し、午前 7 時から午後 6 時まで 1 時間毎のポットの重量変化を測定した。測定終了後、自動葉面積計 (林電工製 AAM-8) で個体全体の葉面積を測定し、葉面積当りの蒸散速度を算出した。測定時の日射量および気温を新日本素材社製の気象測定システム (GOLCOM) を用いて 10 分毎に測定した。

6. 稈基部からの溢泌速度の測定

午前 8 時に稈を地際 3cm の部分で切断し、脱脂綿をあて、上からビニールをかぶせた。2 時間後、脱脂綿の重量を測定し、根乾物重あたりの速度を算出した。

7. 根の呼吸速度の測定

溢泌速度測定に供試した個体の根部を一部切りとって、暗黒条件下、根温 $30 \pm 0.1^\circ \text{C}$ における呼吸速度を測定した。測定には通気式同化箱法を用いた。

8. クロロフィル含量の測定

バングラデシュの 3 品種はケイ酸処理開始 20 日目、それ以外の品種では 27 日目、主稈に着生する最上位展開葉を第 1 葉として下に第 5 葉までの葉緑素含量を測定した。測定にはミノルタ社製の葉緑素計 (SPAD502) を用いた。なおクロロフィル含量 (mg dm^{-2}) は SPAD 値を次式に代入し求めた。 $C = 0.13S - 0.56$ (C : クロロフィル含量, S : SPAD 値, $r = 0.82^{***}$)。

9. ケイ酸含量の定量

乾物重測定後、ケイ酸含量を器官別に定量した。定量は重量法 (吉田・岡部, 1975) で行った。また、水耕液のケイ酸含量を比色法で定量した (吉田・岡部, 1975)。

結 果

1. 植物体内のケイ酸含量

第 2 表にケイ酸処理後 35 日目に測定した供試全品種系統の器官別ケイ酸含量を示した。ケイ酸施用により全品種系統においてケイ酸の蓄積が認められ、葉、茎および根の含量は平均値でそれぞれ 7.59, 5.62 および 0.78% であった。ケイ酸含量は密陽 28 号で最大であった。-Si 区では器官別の蓄積量は 0.05~0.8% であった。品種間差は認められなかった。

2. 生長形質及び乾物生産

第 3 表にケイ酸処理後の草丈、分けつ数および葉面積の経時的変化を示した。草丈には明らかにケイ酸施用の効果がみられ、+Si 区は -Si 区に比べ 27 日目で 5%~15% 増加した。また、効果に品種間で差がみられ、1) 生育初期から効果のみられたもの (日本晴, コシヒカリ)、2) 処理後 20 日頃より効果のみられたもの (ニシホマレ, 密陽 28 号, AF-70)、3) 効果がみられなかったもの (S47-2, Chinigura) に大別された。葉面積については水原 258 号, AF-70, および Kalizira で効果が認められた。分けつ数には、有意な効果は認められなかった。

第 4, 5 表に器官別乾物重 (乾物重中にケイ酸重が含まれる場合と含まれない場合) を示した。ケイ酸重を乾物重に含めた場合、ケイ酸施用による個体重の増加はコシヒカリ, ニシホマレ, 水原 258 号, S47-2 および Kalizira の 5 品種についてみられた。しかし、ケイ酸重を含まない場合では日本型のコシヒカリおよびニシ

ホマレの2品種に効果がみられた。同様に各器官重をみると稈重でコシヒカリと Kalizira に、根重で S47-2 と Kalizira に効果がみられた。

Table 2. SiO₂ content in each part of plant.

Cultivars	Silicon application	Leaf (%)	Culm (%)	Root (%)	Total (%)
Nipponbare	-	0.32	0.33	0.36	0.33
	+	8.32	6.51	0.66	6.47
Koshihikari	-	0.05	0.34	0.05	0.16
	+	9.81	3.55	0.58	5.42
Nishihomare	-	0.32	0.29	0.23	0.29
	+	7.20	4.16	0.62	4.82
Suweon 258	-	0.32	0.55	0.37	0.42
	+	7.62	5.29	0.32	5.92
Milyang 28	-	0.27	0.44	0.24	0.34
	+	9.58	9.49	1.59	8.65
AF-70	-	0.37	0.27	0.29	0.32
	+	8.38	1.59	1.05	8.30
S47-2	-	0.41	0.52	0.12	0.40
	+	7.40	1.05	0.22	4.84
Chinigura	-	0.26	0.29	0.28	0.28
	+	5.46	3.95	0.77	4.04
Kalizira	-	0.35	0.41	0.31	0.37
	+	7.25	3.99	1.02	4.95
Nizrshail	-	0.80	0.39	0.29	0.56
	+	4.86	4.66	1.00	4.33
Mean	-	0.35	0.38	0.25	0.35
	+	7.59	5.62	0.78	5.78

Table 3. Plant height, the number of tillers and leaf area in the rice cultivars at 0, 13, 27, 45 days after treatment.

Cultivars	Silicon application	Plant height			Number of tillers			Leaf area(cm ²)		
		0th	13th	27th	45th	0th	13th	27th	45th	35th
Nipponbare	-	12.62	29.92	54.70	80.95	0	3	21	29	1561
	+	14.30	35.12***	60.28	84.70	0	3	20	24	1545
Koshihikari	-	8.68	27.12	57.34	87.70	0	2	13	16	977
	+	10.23	31.66**	66.48***	94.00**	0	2	15	15	1201
Nishihomare	-	9.06	26.76	51.08	83.50	0	1	15	16	1176
	+	9.00	28.96*	58.54***	86.57*	0	1	13	17	1196
Suweon 258	-	8.68	25.54	45.88	65.83	0	2	22	22	1129
	+	9.63	27.92*	48.40**	69.70*	0	2	25	31	1456*
Milyang 28	-	7.34	26.44	54.38	71.80	0	1	19	16	1633
	+	7.54	24.00**	57.66*	83.00*	0	0	19	17	1734
AF-70	-	9.67	30.80	70.00	98.57	0	2	14	18	2064
	+	8.42	27.24	76.78**	109.93***	0	1	17	24	2182*
S47-2	-	11.35	38.00	75.34	108.93	0	2	22	44	2039
	+	11.96	38.67*	81.44**	107.17	0	2	23	41	2073
Chinigura	-	11.46	45.98	78.50	85.10	0	3	10	25	783
	+	10.46	43.77	82.85	88.90	0	2	11	23	1005
Kalizira	-	11.17	39.43	71.92	86.57	0	4	16	26	946
	+	9.66	46.30*	86.16**	99.50	0	3	16	17	1583***
Nizrshail	-	9.70	35.53	71.07	85.60	0	5	21	62	1168
	+	6.60	38.00	83.68**	100.00	0	4	25	32	1774

Values shown are the means of three plants, **, * and *** indicate statistical significance between silicon application (+) and no-application (-) at 5%, 1%, and 0.1%, respectively.

Table 4. Dry weight of each part of plant.

Cultivars	Silicon application	Leaf (g)	Culm (g)	Root (g)	Total (g)
Nipponbare	—	5.10	3.89	1.42	10.58
	+	4.44	3.97	1.10	9.51
Koshihikari	—	3.20	3.14	1.15	7.48
	+	4.60	5.55*	1.65*	11.80*
Nishihomare	—	3.22	3.04	1.22	7.48
	+	3.61*	3.62*	1.49	9.13*
Suweon 258	—	3.10	2.66	1.51	7.04
	+	4.01	3.74	1.72*	9.48*
Milyang 28	—	5.63	4.75	1.99	10.79
	+	5.27	4.82	1.78	11.86
AF-70	—	7.46	6.53	2.52	16.51
	+	6.02**	6.75	1.59***	14.39
S47-2	—	6.51	4.95	2.07	13.52
	+	7.01	5.95*	2.62**	16.12*
Chinigura	—	3.02	4.42	1.08	8.53
	+	3.88	4.85	1.25	9.98
Kalizira	—	3.25	6.65	1.44	12.00
	+	6.02	8.61***	1.98	16.62*
Nizrshail	—	4.10	4.61	1.14	9.85
	+	6.54	8.82	2.04	17.41
Mean	—	4.46	4.46	1.55	10.38
	+	5.14	5.67	1.72	12.63

Values shown are the means of three plants, ** and *** indicate statistical significance between silicon application (+) and no-application (—) at 5%, 1%, and 0.1%, respectively.

Table 5. Dry weight without SiO₂ of each part of plant.

Cultivars	Silicon application	Leaf (g)	Culm (g)	Root (g)	Total (g)
Nipponbare	—	5.08	3.88	1.32	10.11
	+	4.52	4.11	1.28	9.91
Koshihikari	—	3.19	2.50	0.86	6.62
	+	3.63	5.29**	1.64	11.08*
Nishihomare	—	3.21	3.03	1.22	7.46
	+	3.35	5.29	1.64	8.68*
Suweon 258	—	3.09	2.42	1.50	7.01
	+	3.72	3.57	1.72	9.01
Milyang 28	—	4.77	4.73	1.98	10.68
	+	4.76	4.47	1.75	10.99
AF-70	—	6.60	6.52	2.51***	14.56
	+	5.49	5.35	1.57	13.46
S47-2	—	6.48	4.93	1.85	13.48
	+	6.52	5.45	2.61**	13.50
Chinigura	—	3.02	4.41	1.08	8.51
	+	3.66	4.66	1.24	9.56
Kalizira	—	3.90	6.62	1.43	11.95
	+	5.66	8.29**	1.97	15.91
Nizrshail	—	4.07	4.59	1.14	9.80
	+	6.24	8.39	2.02	16.65
Mean	—	4.34	4.36	1.49	10.02
	+	4.76	5.30	1.73	11.88

Values shown are the means of three plants, ** and *** indicate statistical significance between silicon application (+) and no-application (—) at 5%, 1%, and 0.1%, respectively. Dry weight without SiO₂ = dry weight — weight of SiO₂.

3. ケイ酸含量と乾物重との関係

第1図には+Si区における乾物重当りのケイ酸含量と総乾物重(ケイ酸重を除去した)との関係を示した。図中の直線は各軸の平均値を示したものである。個体全体の乾物重に効果が顕著だったコシヒカリ、ニシホマレは第3象限すなわち、Si含量、乾物重ともに小さいグループに分類された。器官別には、稈重がこのパターンと一致した(データは示さず)。

4. 主稈着生葉のクロロフィル含量

第2図に最上位展開葉から下位へ5葉身までのクロロフィル含量を示した。葉位が下位になるにつれ葉身の老化が進行し、クロロフィル含量は低下した。低下度は-Si区で大きい傾向にあった。10品種中、乾物重にケイ酸の効果が最も強く認められたコシヒカリでは第4葉身以下著しく低下した。

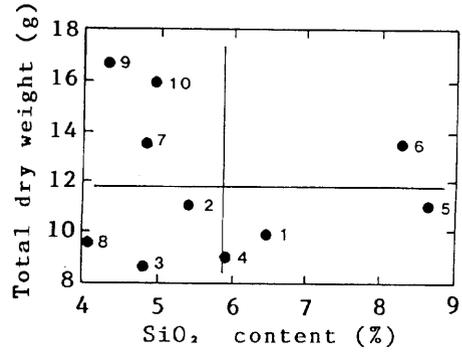


Fig. 1. Relationship between SiO₂ content and total dry weight. 1, Nipponbare; 2, Koshihikari; 3, Nishihomare; 4, Suweon 258; 5, Milyang 28; 6, AF70; 7, S47-2; 8, Chinigura; 9, Kalizira; 10, Nizrshail. The lines in the figure indicate the average values.

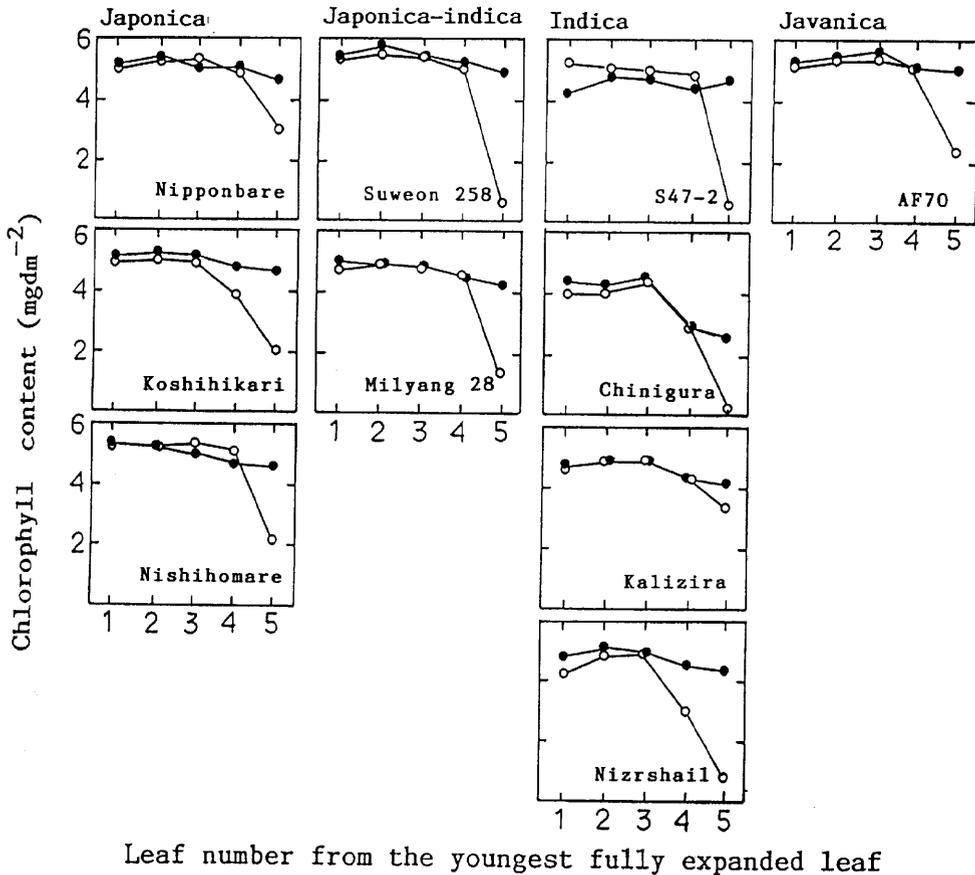


Fig. 2. Chlorophyll content of each leaf on the main culm in rice cultivars. (●) and (○) indicate +Si and -Si plants, respectively.

5. 光合成・蒸散速度および拡散伝導度

第6表にADCで測定した光合成速度を示した。光合成速度はバングラデシュの3品種のみにケイ酸の効果がみられ、+Si区で約11~40%高かった。第3図に通気式同化箱法で測定した日本晴とAF-70の光合成速度および拡散伝導度を示した。日本晴では光合成速度に差がみられなかったが、拡散伝導度については、-Si区で高くなる傾向がみられ、処理区間差は最大で10%になった。一方、AF-70では、光合成速度が+Si区でわずかに高く推移した。また、拡散伝導度は強光域で-Si区の値が高くなった。クチクラ伝導度を表す暗黒下での拡散伝導度は両品種ともケイ酸処理区間に差はなかった。

6. 個体全体の蒸散速度

第4図に重量法で求めた日本晴と水原258号の蒸散速度の経時変化を示した。蒸散速度は日射量、気温の変化にともなって変動したが、両品種とも-Si区で高く推移した。

Table 6. Photosynthetic rate of the youngest fully expanded leaf.

Cultivars	Silicon application	Photosynthetic rate ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)
Nipponbare	-	24.81
	+	25.97
Koshihikari	-	25.97
	+	24.92
Nishihomare	-	26.40
	+	23.78
Suweon 258	-	25.52
	+	25.24
Milyang 28	-	26.30
	+	23.79
AF-70	-	26.50
	+	26.65
S47-2	-	24.84
	+	23.09
Chinigura	-	14.96
	+	20.29
Kalizira	-	15.74
	+	21.90
Nizrshail	-	16.79
	+	19.15

Measurements were made at $1516\sim 2700\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ light intensity, $35.3\pm 1.6^\circ\text{C}$ leaf temperature, $42.8\pm 10.8\%$ air humidity.

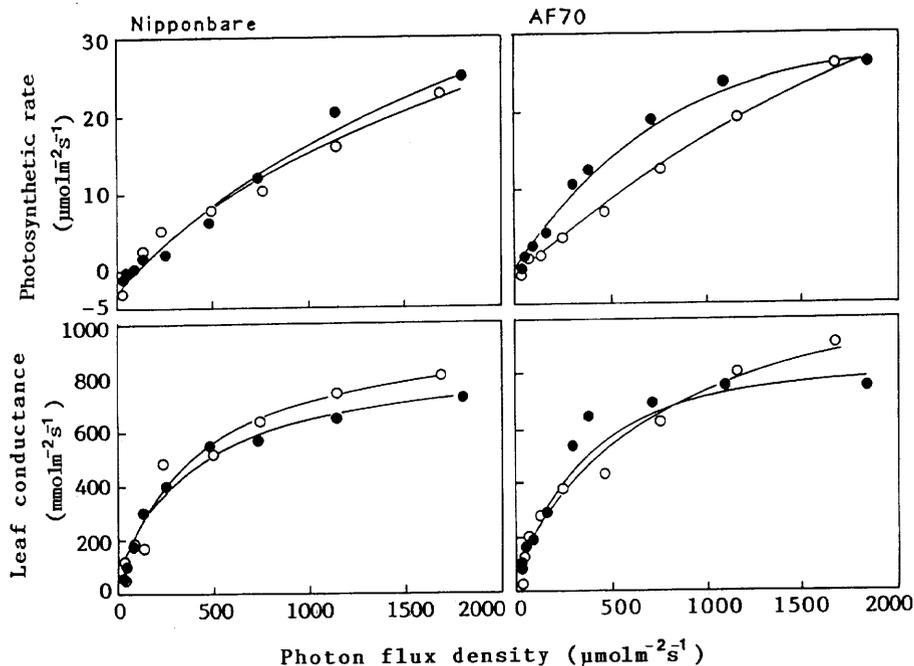


Fig. 3. Photosynthetic rate and leaf conductance in Nipponbare and AF70. See Fig. 2 for the symbols.

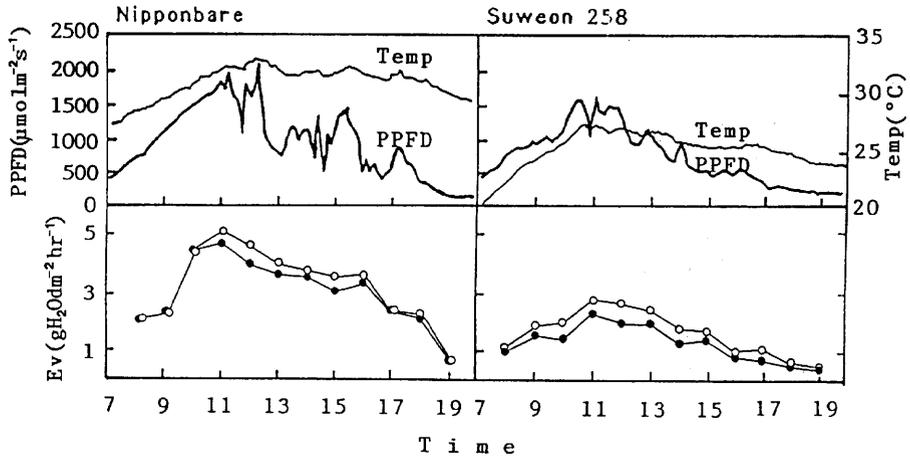


Fig. 4. Diurnal changes in light intensity (PPFD), temperature (Temp) and evapotranspiration rate (Ev) on August 2 (Nipponbare) and 8 (Suweon 258), 1991. See Fig. 2 for the symbols.

7. 根の溢泌・暗呼吸速度

第7表に根の暗呼吸速度、溢泌速度およびその低下率(%)を示した。暗呼吸速度にはケイ酸処理区間で明瞭な差異は認められなかった。溢泌液速度は35日目では、ほとんどの品種で-Si区の値が高かったが、45

日目には急激に低下した。低下率は乾物重の低い品種ほど大きかった。

Table 7. Root respiration rate(Rr) and guttation rate(Gr).

Cultivars	Silicon application	Rr ($\mu\text{mol g}^{-1}\text{s}^{-1}$)	Gr ($\text{gH}_2\text{O g}^{-1}\text{hr}^{-1}$)		Decrease ratio(%)
			1st(A)	2nd(B)	
Nipponbare	-	0.25	2.91	0.64	78.0
	+	0.25	2.02*	0.41	79.1
Koshihikari	-	0.32	2.43	1.21	50.2
	+	0.35	0.87**	0.57	34.9
Nishihomare	-	0.40	1.34	0.67	50.0
	+	0.39	0.84*	0.93	-10.7
Suweon 258	-	0.49	0.89	0.42	52.8
	+	0.38	0.95	0.74***	22.0
Milyang 28	-	0.41	2.11	0.77	63.5
	+	0.38	1.78*	1.06	40.4
AF-70	-	0.36	1.85	1.08	41.6
	+	0.37	2.37	0.59*	75.0
S47-2	-	0.38	2.61	0.64	74.5
	+	0.32*	1.20***	0.39*	68.5
Chinigura	-	0.20	0.92	0.88	4.3
	+	0.27	0.72	0.79	-9.7
Kalizira	-	0.17	1.18	0.68	42.4
	+	0.33	0.44*	0.77	-75.0
Nizrshail	-	0.15	1.25	0.71	43.2
	+	0.15	0.60	0.65	-8.3

Values shown are the means of three or four plants,*,** and *** indicate statistical significance between silicon application (+) and no-application (-) at 5%, 1%, and 0.1%, respectively. 1st,35th days; 2nd,45th days after treatment, Decrease ratio = 100-(B/A×100).

考 察

本実験は水稻の光合成・乾物生産に及ぼすケイ酸の影響を品種系統間差に着目して検討したものである。ケイ酸含量は+Si区でみるといずれの品種でも葉で最も多く、ついで茎、根の順であった(第2表)。一方、-Si区では無ケイ酸で栽培したにもかかわらず0.05~0.8%程度のケイ酸の蓄積が認められた。ケイ酸は水耕液に使用される試薬、脱塩水(奥田・高橋, 1961a)、空气中の粉塵等いたるところに存在する(Wener and Roth, 1983)。よって、-Si区にみられたケイ酸の蓄積は不可避免的な混入によるものであると考えられる。

-Si区でもこのようなSiの蓄積が若干量みられたが、生育、乾物生産については明瞭な施用効果が認められた。生育に対してのケイ酸施用効果は、従来言われてきたように(川満ら, 1989; 奥田・高橋, 1961b; Yoshida *et al.*, 1959)、草丈伸長に対して顕著であった。供試した10品種中、特に日本型のコシヒカリで効果が著しく、生育期間を通して有意な差が認められた。効果はほとんどの品種系統で処理後35日目に最大となった(第3表)。

水稻の乾物生産増加に対するケイ酸の効果については数多くの報告がある(秋本, 1929; Elawad and Green jr. 1979; 石塚・早川, 1951; 岩田・馬場, 1962; 川満ら, 1989; Maxwell *et al.*, 1976; Mitsui and Takatoh, 1963; 岡本, 1970a; 奥田・高橋, 1961b, 1961c, 1962a, 1962b; 吉田, 1965)。ケイ酸は乾物中に約10%(葉身)蓄積されることから、その蓄積量は乾物重を大きく左右すると考えられる。よって、従来、ケイ酸の効果とされてきた乾物生産の増加は炭水化物蓄積量の増加ではなく、単にケイ酸蓄積量の増加によるものとも考えられる。この点を考慮にいれ、本実験では乾物重をケイ酸重を含めた場合と除去した場合とで比較し、施用効果をより厳密に検討した。その結果、乾物重にケイ酸重を含めた場合、効果がみられたのは、コシヒカリ、ニシホマレ、水原258号、S47-2、およびKaliziraであった(第4表)。一方、乾物重からケイ酸重を除去した場合、コシヒカリおよびニシホマレといった、日本型品種に効果が認められた(第5表)。ケイ酸の蓄積と乾物重(ケイ酸重除去)の関係を見ると、全体重に効果の見られた日本型のコシヒカリ、ニシホマレはケイ酸含量、乾物重のいずれも小さいグループに属した(第1図)。器官別に解析した結果、両品種にみられた全乾物重の増加は稈の乾物重の増加に起因するものであった(データは示さず)。コ

シヒカリ栽培上、しばしば倒伏が問題となる。稈の挫折抵抗性は稈の組織構造を構築する同化産物分配量に依存するが、稈に蓄積するケイ酸が挫折抵抗性を増加させるとの報告もある(橋本, 1959; 小幡, 1959; 志茂山, 1958)。本実験でケイ酸施用はコシヒカリの草丈および稈重を増加させた。このことはケイ酸施用で稈の伸長、強度が同時に改善できることを意味する。

-Si区では植物体全体が軟弱で、下位葉の褐変、枯死が目立った(第2図)。この傾向は、乾物重に最もケイ酸の効果が著しかったコシヒカリで顕著であったことから、下位葉の光合成生産の差が、乾物生産の処理区間差となってあらわれたと考えられる。また、このような葉身の褐変、枯死が供試した10品種系統に共通してみられたことから、葉身の生理的活性維持が水稻に対するケイ酸の主要な生理的機能であると判断された。

葉身の生理的活性は根の機能と強く結びついており、例えば、葉身のタンパク質分解に関与するサイトカイニン根で生合成される。ケイ酸は根の形態(岡本, 1970b)あるいは生理機能(奥田・高橋, 1962a, 1962b)に関与し水稻の生育を良好にするといわれる。したがって、ケイ酸処理区にみられた葉身の生理的活性維持はケイ酸が根機能を活性化した結果とも考えられる。本実験ではこのような根と葉身との機能的相互関係を検討するため、まず根の暗呼吸速度を検討したが、予想に反し処理区間で明瞭な差は認められなかった(第7表)。

ケイ酸欠除個体にみられる、葉身の褐変、巻上がりおよびネクロシスは、低温、高湿度条件下では見られないという報告がある(Wener and Roth, 1983)。また、ケイ酸欠乏植物体では蒸散速度が高く、水ストレス下では生育に対するケイ酸処理効果が著しくなることから、過剰蒸散抑制による水ストレス回避がケイ酸の主要な生理作用であるとした報告もある。(Mitsui and Takatoh, 1963; 高橋, 1987; Yoshida *et al.*, 1959; 吉田, 1965)。圃場条件下で測定した個体全体の蒸散速度には顕著な処理間差がみられ、-Si区の植物体で高い傾向にあった(第4図)。また、環境を厳密に制御し測定した最上位展開葉の拡散伝導度は-Si区で高い傾向にあった。拡散伝導度は大きく分けて、クチクラ、気孔の2つの伝導度で決定される。本実験では暗黒下の拡散伝導度(クチクラ伝導度)が日本晴、AF-70いずれもケイ酸処理区間で差がみられなかったことから、-Si区の高い拡散伝導度は気孔伝導度に

よるものと考えられる(第3図)。気孔伝導度は気孔開度を表す。気孔開度が大きいことはCO₂取り込みの面で有利であるが、水分保持の面では不利な条件下におかれると考えられる。拡散伝導度と同時に測定した光合成速度には処理区間で大きな差がみられなかったことから(第3図)、-Si区では気孔を介した過剰蒸散が行われている可能性が示唆された。ケイ酸欠乏の植物体で蒸散速度が高くなるとの報告はいくつかあるが(吉田, 1965; Yoshida *et al.*, 1959; Mitsui and Takatoh, 1963)。ケイ酸が気孔の開閉に関与し蒸散を抑制するという報告は少ない(東江ら, 1992)。この点に関してはさらに検討を進めている。

-Si区葉身の蒸散増加に関与して根の活性がいかに変化しているか興味深い点である。本実験では、根圧の大小を反映する溢泌速度でこの点を検討した。溢泌速度は、播種後35日目と45日目の2回の測定で低下し、低下率は+Si区で小さかった(第7表)。このことは、ケイ酸処理区では根の機能が維持されていることを意味する。また、ケイ酸処理区間で低下率の差が大きい品種ほど乾物重の差も大きい傾向にあったことから、根の活性維持と乾物生産との間に何らかの関連性があることが予想される。この結果と前述した葉身の蒸散速度の結果を合わせ考えると、ケイ酸施用によって葉身では保水能が高められ、根では根圧が維持された。その結果、葉身の水分状態が良好に保たれ、光合成活性が長期にわたり維持された。このことがケイ酸処理区間でみられた乾物生産の差となってあらわれたと考えられた。

要 約

水稻に対するケイ酸の生理的役割を明らかにすることを目的に、生態型を異にする水稻10品種系統を供試し実験を行った。得られた結果は以下の通りである。

- 1) ケイ酸施用の効果は、草丈伸長に対して大きく、分けつおよび葉面積には小さかった。
- 2) 供試品種中、乾物重増加効果は、日本型のコシヒカリ、ニシホマレに顕著であった。総乾物重で67.3、16.4%それぞれ増加した。
- 3) 主稈着生下位葉のクロロフィル含量が-Si区で低かった。この傾向はコシヒカリで顕著であった。
- 4) -Si区では個体全体の蒸散速度が一日を通して高く推移した。
- 5) 光合成速度にはケイ酸処理区間差が小さかったが、拡散伝導度は-Si区で大きく、蒸散が過剰に行われている可能性が示唆された。

- 6) 根の溢泌液速度は生長にともなって低下したが、低下率が+Si区で低かった。

以上のことから生長・乾物生産に対するケイ酸の効果は葉身の水分保持能力向上および根の給水能維持による葉身の活性維持にあると考えられた。

文 献

- 東江 栄・縣 和一・窪田文武・P. B. Kaufman 1992 水稻の光合成・乾物生産に対するケイ酸の生理的役割 第1報 ケイ酸および遮光処理の影響。日作紀, 61: 200-206
- 秋本真次郎 1929 稲のケイ酸及び窒素の吸収に関する品種間差並びにその稲熱病抵抗性に対する関係について。農及園, 14: 2279-2290
- Elawad, S. H. and V. E. Green jr 1979 Silicon and rice plant environment: a review of recent research, IL Riso 28: 235-253
- 橋本 武 1959 カリウム、カルシウムおよびマグネシウムの施用による作物体のヤング率の変化。第4報 カルシウムおよびケイ酸の施用によるヤング率の変化。土肥誌, 30: 577-581
- 石塚嘉明・早川康夫 1951 水稻の稲熱病に対する抵抗性とケイ酸及び苦土との関係。土肥誌, 21: 253-260
- 岩田岩保・馬場 起 1962 水稻品種の耐肥性に関する研究 第2報 光合成からみた水稻の耐肥性と珪酸との関係。日作紀, 30: 237-240
- Jones, L. H. O. and K. A. Handreck 1967 Silica in soils, plants, and animals Adv. Agron., 19: 107-149
- 川満真智子・川満芳信・縣 和一・P. B. Kaufman 1989 水稻の光合成速度、蒸散速度、拡散伝導度および乾物生産に及ぼすケイ酸の影響。九大農芸誌, 43: 161-169
- Maxwell, F. G., J. N. Jenkins and W. L. Parrott 1972 Resistance of plant to insects. Adv. Agron., 24: 187-265
- Mitsui, S. and H. Takatoh 1963 Nutritional study of silicon in graminaceous crop, part I. Soil Sci. Plant Nutr., 9: 49-58
- 岡本 嘉 1970a 水稻におけるケイ酸の生理学的研究。第11報 供給量を異にしたケイ酸が水稻の生育に及ぼす影響とケイ酸の必須性について。日作紀, 39: 139-143
- 岡本 嘉 1970b 水稻におけるケイ酸の生理学的研究。第13報 ケイ酸が水稻の器官、組織の形成に及ぼす影響。日作紀, 39: 151-155
- 奥田 東・高橋英一 1961a 作物に対するケイ酸の生理的役割について。第1報 ケイ酸欠除栽培方法の検討。土肥誌, 32: 475-480
- 奥田 東・高橋英一 1961b 作物に対するケイ酸の生理的役割について。第2報 ケイ酸欠如の時期が水稻の生育ならびに養分吸収に及ぼす影響。土肥誌, 32: 481-488

- 奥田 東・高橋英一 1961c 作物に対するケイ酸の生理的役割について。第3報 ケイ酸の供給量が水稻の生育ならびに養分吸収におよぼす影響。土肥誌, **32**: 533-537
- 奥田 東・高橋英一 1962a 作物に対するケイ酸の生理的役割について。第5報 水稻および大麦の鉄, マンガン, 銅, アルミニウム, コバルトならびにヒ素の過剰障害に対するケイ酸の影響。土肥誌, **33**: 1-8
- 奥田 東・高橋英一 1962b 作物に対するケイ酸の生理的役割について。第6報 水稻の鉄吸収および根の酸化力に及ぼす珪酸施用の影響。土肥誌, **33**: 59-64
- 小幡宗平 1959 珪酸石灰の肥効について。土肥誌, **30**: 34-43
- 志茂山貞二 1958. 水稻の出穂期前後における倒伏並びに風害軽減におよぼすケイ酸の効果。ケイ酸質資材導入による農作物の究極収量向上に関する研究。奥田 東編著, 文部省試験研究費研究報告 No48: 57-59
- 高橋英一 1987. ケイ酸植物と石灰植物。農文協, 東京。
- Takahashi, E. and Y. Miyake 1977 Silica and plant growth. Proc. Int. Sem. Soil Environ. Fert. Manag. Intens. Agric., Tokyo, Japan.
- Takahashi, E., J. F. Ma and Y. Miyake 1990 The possibility of silicon as an essential element for higher plants. Comments Agric. and Food Chemistry, **2**: 99-122
- Werner, D. and R. Roth 1983 Silica Metabolism. In: A. Lauchi and R. L. Bielecki(eds) Encyclopedia of Plant Physiology, 15B Inorganic Plant Nutrition: 682-692
- 吉田昌一 1965 水稻体内におけるケイ素の存在様式と生理的意識に関する研究。農技研報, **B15**: 1-58
- Yoshida, S., A. F. Douglas, C. H. James and G. Kwanchaia 1976 In: Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice, (The International Rice Research Institute): 17-22
- 吉田昌一・岡部達夫 1975 栄養診断のための栽培植物分析測定法。養賢堂, 東京。
- Yoshida, S., Y. Ohnishi and K. Kitagishi 1959 Role of silicon in rice nutrition. Soil and Plant Food, **5**: 127-133