九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

水稲の光合成速度,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

川満, 真智子
九州大学農学部栽培学教室

川満, 芳信
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

B Kaufman, Peter
Department of Biology, The Michigan University

https://doi.org/10.15017/23316

出版情報：九州大學農學部學藝雜誌. 43 (3/4), pp.161-169, 1989-03. 九州大學農學部
バージョン：
権利関係：

九大農学芸誌 (Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ.)
第43巻 第3・4号 161-169 (1989)

水稲の光合成速度，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

川 満 真智子・川 満 芳 信
縣 和 一・P.B. Kaufman*
九州大学農学部栽培学教室
(1988年11月30日 受理)

Effect of SiO_2 on CO_2 Assimilation Rate, Transpiration Rate, Leaf Conductance and Dry Matter Production in Rice Plants

MACHIKO KAWAMITSU, YOSHINOBU KAWAMITSU, WAICHI AGATA and PETER B. KAUFMAN*
Laboratory of Crop Husbandry, Faculty of Agriculture, Kyushu University 46-06, Fukuoka 812

緒 言

植物が根をおろす土壌を構成する元素の中で，珪素は酸素に次いで二番目に多く，全体の約30%を占める．酸素と珪素が結合したケイ酸となると60%にも及ぶ．ところで，植物体内のケイ酸含量は以外に少なく1%未満のものが大部分である．一方，土壌中の希薄な可給態ケイ酸を選択的に吸収し高いケイ酸含有率を示す植物をケイ酸植物と呼ぶが，水稲はその代表的なケイ酸植物で，根から積極的にケイ酸を吸収し植物体内に10%～20%（対乾物重）のケイ酸含量を示すことが知られている（河野・高橋，1958；奥田・高橋，1962 c, 1962 d)．水稲とケイ酸の関係については種々検討され，その結果，ケイ酸の効果には病虫害に対する抵抗性を増す（秋元，1929；石塚・早川，1951)，生育を盛んにし収量を上げる（三好・石井，1960；奥田・高橋，1961；岡本，1970；長谷部・飯村，1986)，葉身を直立させ葉の受光体制を良くする（岩田・馬場，1962)，茎を太く丈夫にし耐倒伏性をつける(小幡，1959)，維管束を増加させる(岡本，1970)，及び根の酸化力を大きくしFe, Mnなどの過剰障害を防ぐ（奥田・高橋，1962 a, 1962 b)などがある．しかし，ケイ酸が水稲の生育を盛んにするその生理的な裏付けに関してはまだ十分解明されていない．

生育が旺盛になるからには葉の光合成能力が高まつたと考えられ，そのプロセスとして次の二つの仮説が示されている．まず，ケイ酸が葉のクチクラ蒸散を抑えて過剰蒸散を防ぎ，植物体内の水ストレスを回避することによつて気孔閉鎖を防ぎ，CO_2の葉内への取り込みを有利に導くという説である(高橋，1987)．もう一つは window theory である．葉の表皮細胞にケイ酸が蓄積してケイ質化したものをシリカ細胞と呼ぶが，これは葉身のケイ酸含量が高くなるにつれて増加することが知られている(秋元，1975)．Window theory とはこのシリカ細胞が窓もしくはレンズの役目をして太陽光を集光し，光合成が行われる葉肉細胞への光の取り込みを普通の表皮細胞に比べて効率的に行うため，シリカ細胞が多くなると光合成速度が高まるという説である．

本実験ではこのクチクラ蒸散の抑制説と window theory を立証するため水耕液中のケイ酸濃度を4段階変えて培養し，水稲の光合成速度，蒸散速度に及ぼすケイ酸の影響について調べた．

材 料 と 方 法

実験には日本型のホウヨク，インド型でバングラディシュ産浮イネ，アメリカ産 Blue belle, 及び日印

* Department of Biology, The Michigan University, Ann Arbor, Michigan 48109

交雑型のアケノホシの4品種を供試した．装置の関係から実験は2回に分けて行つた．1回目はホウヨクと浮イネを，2回目はアケノホシとBlue belle を使つた．種子は消毒後，水を含ませた沪紙に播種し，発芽後蒸留水を入れたバットに網を浮かべその上で一週間ほど生育させた．その後，3葉齢苗を水耕装置に移した．水耕液は吉田氏液を使用した．水はすべて蒸留水を使用し，装置や器具にはガラスの使用を避け，可能な限りケイ酸が混入しないように努めた．水耕装置に移して5日目にケイ酸処理を開始した．処理は水耕液中のケイ酸濃度を0，10，30，100 ppm の4段階に設定した．ケイ酸は水ガラスを水に溶かし，イオン交換樹脂（アンバーライト IR 120)を通してナトリウムを除き，これを原液としてそれぞれの濃度に応じて希釈して加えた．水耕液及び原液のケイ酸濃度は比色法によつて求めた．

処理後30日～40日目（播種後50～60日）の植物体を水耕装置のまま実験室に持込み光合成速度及び蒸散速度を測定した．測定方法及び装置の詳細については前報（Agata *et al*., 1986）に記した．

測定後，植物体は各器官に分解し，熱風乾燥後各器官の乾物重を測定した．各器官のケイ酸含量は試料を粉砕して重量法により分析した．

結　　果

1.　水耕液のケイ酸濃度と植物体のケイ酸含有率との関係

ケイ酸処理を開始して約10日目から0 ppm 区で葉の下垂現象がみられた．水耕液中のケイ酸濃度が高くなるにつれ葉は直立し，草型に及ぼすケイ酸の効果が顕著に現れた．ケイ酸処理によつて植物体のケイ酸含量がどの程度変化したかを Fig. 1 に示す．水耕液のケイ酸濃度が0，10，30 ppm と高くなるにつれてケイ酸含量はほぼ直線的に増加するが，30 ppm から100 ppm の間でその増え方は鈍くなり飽和型を示した．ケイ酸処理による各処理区間のケイ酸含量の差は明かである．

2.　生長パラメーターに及ぼすケイ酸の影響

植物体内のケイ酸含量が高くなるにつれ乾物重は増える傾向にある（Fig. 2)．しかし，その増え方は一様ではなく品種によつて差異がみられる．すなわち，アケノホシではケイ酸含量が高くなるとそれに伴つて乾物重も増加するが，Blue belle 及び浮イネではケイ酸含量が高いところで逆に乾物重が落ちるという凸形を描いた．一方，ホウヨクはケイ酸含量が変わっても乾物重はほとんど変化しなかつた．

この乾物重の変化の違いが何によつて生じたのか，生長パラメーターに及ぼすケイ酸の影響の結果で検討することにする(Table 1,2)．乾物重のほとんど変わらなかつたホウヨクではケイ酸が高まるにつれ草丈が若干高くなつた以外は葉数，分けつ，葉面積とも差は無くケイ酸の効果がほとんど認められなかつた．浮イネでは草丈及び葉数が増えたが，分けつ及び葉面積はほ

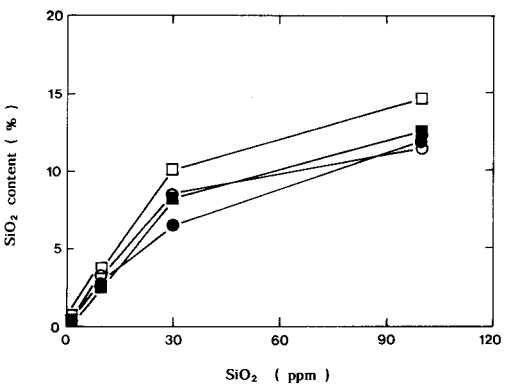

Fig. 1. Relationship between SiO_2 concentration of the culture solution and SiO_2 percent of whole plant in rice varieties.
□, Houyoku ; ■, Habiganj ; ○, Akenohoshi ; ●, Bluebelle

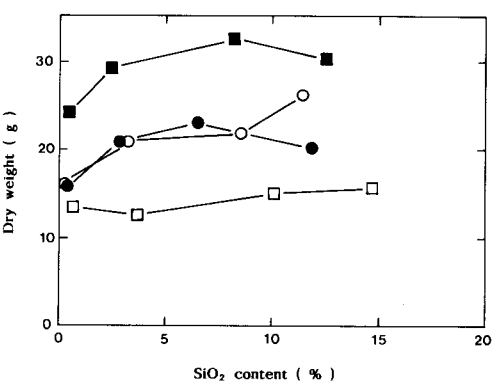

Fig. 2. Effect of SiO_2 content on dry weight in rice varieties. See Fig. 1 for the symbols.

とんど変化しなかつた．浮イネにおける0～100 ppm間の草丈の変化は乾物重のそれとよく対応し，従つて，浮イネの乾物重の増加は草丈の増加によるものと考えられる．アケノホシとBlue belleでは草丈に差は無いが，分けつ及び葉数には差がみられ，特に，乾物の増加の著しかつたアケノホシにおいて著しい．そして，葉数の増加と共に葉面積も増加し，その増加のしかたは乾物重の増加のしかたとよく一致している．従つて，アケノホシ及びBlue belleにおける乾物重の増加は葉面積に起因すると考えられる．

Table 1. Effects of SiO_2 concentration of the culture solution on growth characteristics.

Variety name	SiO_2 (ppm)	Leaf number	Plant length (mm)	Tiller number	Leaf area (cm^2)	Specific leaf area ($cm^2\ g^{-1}$)	Leaf number of main stem	Root length (mm)
Houyoku	0	82	785	20	1619.2	307.2		
	10	80	763	20	1211.7	263.9		
	30	75	795	19	1519.0	264.2		
	100	82	830	21	1390.0	219.6		
Habiganj	0	91	1080	25	2818.6	326.5		
	10	103	1205	23	3320.7	309.5		
	30	102	1265	26	3103.0	260.7		
	100	99	1145	22	2855.5	250.6		
Akenohoshi	0	111	678	26	1576.2	264.44	10.5	340
	10	124	678	29	1852.0	245.57	11.0	335
	30	129	728	32	1927.8	238.25	11.0	360
	100	156	730	42	2297.4	244.15	11.0	377
Blue belle	0	71	795	20	1120.4	225.42	9.5	580
	10	78	875	22	1650.1	225.74	9.9	583
	30	89	823	25	1685.6	211.76	9.9	550
	100	83	805	25	1446.8	219.88	9.6	570

Table 2. Effects of SiO_2 concentration of the culture solution on dry weight of organs, T/R and C/F.

Variety name	SiO_2 (ppm)	Root (g)	Stem (g)	Leaf (g)	Total (g)	T/R	C/F
Houyoku	0	2.09(15.5)*	6.00(44.6)	5.37(39.9)	13.45	5.44	0.664
	10	2.10(16.8)	5.38(43.0)	5.01(40.0)	12.51	4.96	0.670
	30	1.93(12.9)	7.14(47.9)	5.85(39.2)	14.92	6.76	0.645
	100	1.75(11.2)	7.51(48.0)	6.37(40.8)	15.63	7.95	0.688
Habiganj	0	4.37(18.1)	11.00(45.6)	8.77(36.3)	24.13	4.54	0.571
	10	5.07(17.4)	13.20(45.2)	10.93(37.4)	29.19	4.76	0.598
	30	5.20(16.0)	15.39(47.3)	11.97(36.8)	32.55	5.26	0.581
	100	4.36(14.4)	14.42(47.7)	11.46(37.9)	30.25	5.96	0.610
Akenohoshi	0	2.39(14.9)	7.72(48.0)	5.96(37.1)	16.07	5.76	0.590
	10	2.43(11.6)	11.03(52.5)	7.54(35.9)	21.03	7.66	0.560
	30	2.29(10.5)	11.43(52.4)	8.09(37.1)	21.81	8.53	0.590
	100	2.77(10.6)	13.96(52.1)	9.41(36.0)	26.12	8.43	0.562
Blue belle	0	2.91(18.3)	7.08(44.6)	5.86(36.9)	15.87	4.41	0.587
	10	3.63(17.5)	9.51(45.7)	7.66(36.8)	20.79	4.75	0.583
	30	3.60(15.7)	10.93(47.7)	8.41(36.7)	22.93	5.38	0.579
	100	3.06(15.3)	9.43(47.1)	7.55(37.7)	20.03	5.57	0.604

Note: *Percentage of the total dry weight.

以上のように，ケイ酸はアケノホシ及び Blue belle においては分けつ，葉数を増やし葉を大きく広げる方向に作用したのに対し，浮イネでは草丈を伸ばす方向に働いた．すなわち，ケイ酸の効果の現れ方において品種による違いがあるように見受けられる．ただ，4 品種を通じて言えることは，ケイ酸含量が増えるにしたがつて地上部の生育が地下部に比べて良くなること，すなわち，T/R 比が高くなる傾向が示された．

3.　光合成速度，蒸散速度，拡散伝導度に及ぼすケイ酸の影響

1)　"光—光合成関係"に及ぼすケイ酸の影響

Window theory によれば，ケイ酸含量が高くなると葉身のシリカ細胞は増えるので，その結果，光の透過がよくなり光合成作用に有利になると予想される．Fig. 3 にはケイ酸の効果が顕著であつたアケノホシの"光—光合成関係"を示した．処理によつて葉のケイ酸含量に差がはつきりと現れていたにも関わらず，光合成速度は 0 ppm 区から 100 ppm 区までほとんど変化していない．また，葉の表面に沈積したケイ酸が，クチクラ蒸散を抑えることで葉内の水ストレスを防ぎ，それが気孔閉鎖を抑制するならば気孔伝導度はケイ酸含量が増加するにつれ高くなり，一方，蒸散速度は低くなるはずである．しかし，拡散伝導度の変化を比べてみても何ら傾向は認められず，むしろ 100 ppm 区で拡散伝導度は低くなつた．蒸散速度を拡散伝導度と比べてみると両者はよく対応している．すなわちここで示した蒸散は気孔を介して行われた蒸散であり，クチクラ蒸散の影響は現れていないと考えられる．100 ppm 区での蒸散速度は低くなつているが，これは拡散伝導度が小さくなり気孔が閉じたためであり，クチクラ蒸散が小さくなつたためではない．同様に，他の品種の"光—光合成関係"においても一定の傾向は見いだせなかつた．

Fig. 4 は 4 品種全部を込みにした光合成速度，拡散伝導度，蒸散速度の最大値（光強度が 1,500 μmol m^{-2} s^{-1} の時）と葉のケイ酸含量との関係をみたものである．ケイ酸含量とこれらパラメーターとの間には何ら関係がないことがわかる．

以上は，強光条件下における最大光合成能力を比較，検討したものだが，window theory で説明されるケイ酸の効果は弱光域における光の利用効率に差異を生じさせるものと予想される．そこで，弱光域での"光—光合成関係"に注目し，その立ち上がりの傾きを光利用効率として求めケイ酸含量との関係をプロットしてみた（Fig. 5）．図から明らかなようにケイ酸含量と光利用効率との間には特定できる関係は認められない．ケイ酸含量が増えるにしたがつて光利用効率は高まるどころか，むしろ低下しているものもみられる．"光—光合成関係"におけるこれら一連の結果をみる限り，ケイ酸は光合成速度に対しては何らプラスに作用していないと言える．

2)　"葉面飽差—光合成関係"に及ぼすケイ酸の影響

Fig. 6 はアケノホシの"葉面飽差—光合成関係"に及ぼすケイ酸の影響をみたものである．測定は他の条件を一定に保ちながら空気湿度だけを変化させて気孔

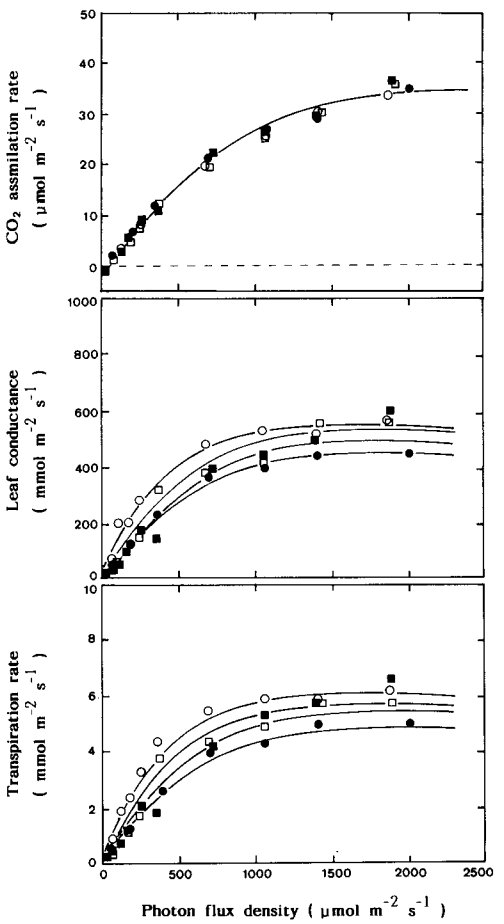

Fig. 3. Effects of SiO_2 concentration of the culture solution on light response curves of CO_2 assimilation rate, leaf conductance and transpiration rate in Akenohoshi.
□, 0 ppm ; ■, 10 ppm ; ○, 30 ppm ; ●, 100 ppm

開度を自由に操作し，ケイ酸の影響を気孔反応の面から検討しようとしたものである．もし，葉の表面に沈積したケイ酸が気孔の閉鎖を防ぐことでCO_2の取り込みを有利に導いていると仮定すると，葉面飽差を上げて行つたときケイ酸含量の高いものほど蒸散が低く，拡散伝導度は低下せず，さらに光合成速度も低下しない，の3点が予想される．しかし，アケノホシを例にとつてみると光合成速度，拡散伝導度，蒸散速度とも10 ppm区が他より低くなつているものの，0 ppm区も100 ppm区も同じ線上に並んでいる．また，10 ppm区では拡散伝導度が低くなつているために光合成速度と蒸散速度も低くなつたと考えられ，低い蒸散が光合成を高めるというケイ酸の効果はここでもみられない．他の品種においてもアケノホシと同様に一定の傾向はみられなかつた．

Fig. 7は葉面飽差を増加させたとき光合成速度は低下するが，その時の最小値と最大値の比と葉のケイ酸含量との関係をプロットしたものである．上述の仮定が正しければ，葉面飽差を高くして空気湿度を下げても光合成速度は抑制されにくいため光合成速度の最小値/最大値の比はケイ酸含量の増加に伴つて高くなると考えられる．しかし，結果をみるとケイ酸含量が増えても光合成速度の最小値/最大値の比，すなわち光合成の低下の程度は一定である．“葉面飽差—光合成関係”における光合成速度，拡散伝導度，蒸散速度の最大値とケイ酸含量との間にも相関関係は全くみられなかつた（Fig. 8）．これらの結果はクチクラ蒸散の抑制説を否定するものである．

3)　“CO_2—光合成関係”に及ぼすケイ酸の影響

前項までは葉の表面構造や気孔の関与する拡散過程の場面から検討してきたが，次に葉の内部の活性面から検討する．空気中の炭酸ガス濃度は350 ppm程度であるが，この炭酸ガス濃度を0～1000 ppmまで変化させると光合成速度は大きく変化し，1000 ppm付近では飽和に達する．また，200 ppm以下の濃度では直線的に増加し，その傾きはCO_2を固定するRuBPカル

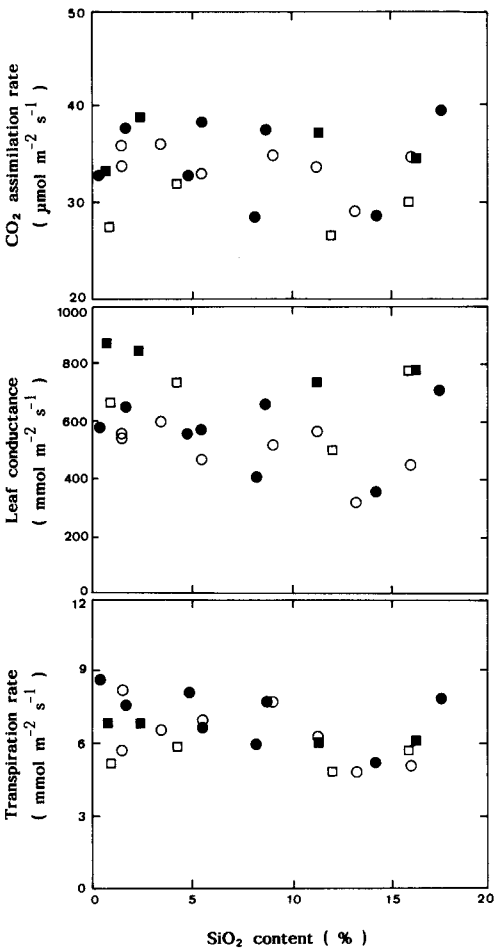

Fig. 4. Effects of SiO_2 content on CO_2 assimilation rate, leaf conductance and transpiration rate at high photon flux density (2000 μmol m^{-2} s^{-1}) in rice varieties. Data were obtained from the light response curve. See Fig. 1 for the symbols.

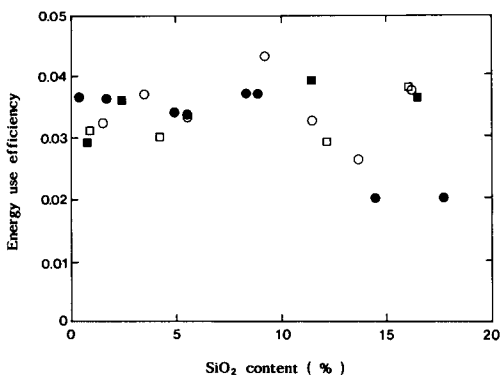

Fig. 5. Relationship between SiO_2 content and energy use efficiency in rice varieties. Data were obtained from the light response curves. See Fig. 1 for the symbols.

ボキシラーゼの活性を示すと言われている(Farquhar and Sharkey, 1982). "CO_2一光合成関係" はホウヨクと浮イネの2品種を供試して測定したが，両品種ともケイ酸の影響は認められなかつた(Fig. 9). また，CO_2濃度に対する気孔の反応及び蒸散の変化にも一定の傾向はみられなかつた. この低CO_2濃度域での立ち上がりの傾きをCO_2固定効率として求め，炭酸ガス濃度350 ppmでの光合成速度と共に Fig. 10 に示したがここでも一定の傾向は認められなかつた.

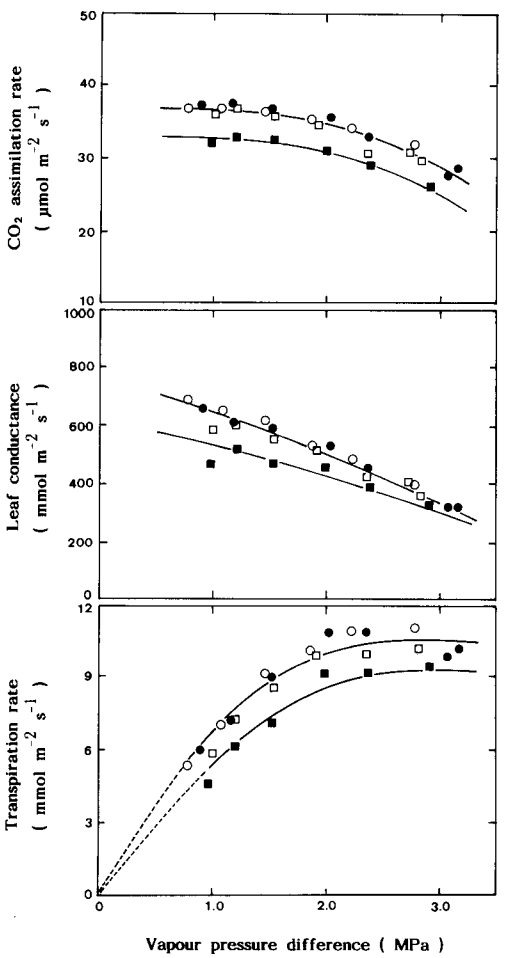

Fig. 6. Effects of SiO_2 concentration of the culture solution on the VPD response curves of CO_2 assimilation rate, leaf conductance and transpiration rate in Akenohoshi. See Fig. 3 for the symbols.

考　　察

本実験ではケイ酸が水稲の生理的作用に及ぼす影響を明らかにすることを目的として，window theory とクチクラ蒸散の抑制説の2つの仮説をもとにあらゆる面からの検討を試みた. その結果，光合成速度，蒸散速度，拡散伝導度などどれをとつてもこの2つの仮説を裏付けるデーターは得られなかつた.

吉田 (1960) 及び高橋ら (1961) はケイ酸を与えると蒸散が減少することを報告し，その理由として，ケイ酸がクチクラ蒸散を抑制したためであろうと推察している. しかし，氏らの結果はポット当りの水の減少量を乾物1g当りの蒸散量として換算しており，本実験のように3〜4枚の活動の盛んな葉を同化箱にセットし葉面積当りの蒸散速度を求めた値とは同じレベルで比較できない. 本実験ではクチクラ蒸散を測定していないが，"光一光合成関係"の図において光強度ゼロでは気孔が閉鎖するため，この時の蒸散速度がクチクラ蒸散に近い値を示すと考えられる. 水稲の全蒸散に占めるクチクラ蒸散の割合はごく僅かでほとんどが気孔からの蒸散であることが分かる. したがつて，ケイ酸がクチクラ蒸散を抑えたとしてもその効果は僅かであり，植物体全体の蒸散量は大きく変わらないものと考えられる. 上述の吉田及び高橋らの結果で，なぜ蒸散が低くなつたかは推測し難いがクチクラ蒸散が関与していたとは考え難い.

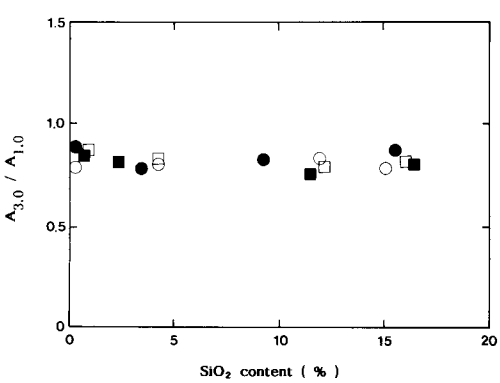

Fig. 7. Relationship between SiO_2 content and ratio of CO_2 assimilation rate at 3.0 MPa of VPD to that at 1.0 MPa in rice varieties. Data were obtained from VPD response curves. See Fig. 1 for the symbols.

本実験の結果をみる限り，水稲の光合成・蒸散速度といつた生理面へのケイ酸の効果は全くないと結論づけられる．しかし，生長面へのケイ酸の効果は認められ，その効果の現れ方には品種間で差異が認められた．従来，ケイ酸含量が高ければ高いほど効果は著しく，過剰障害は現れないと言われていた．しかし，供試した4品種のケイ酸含量と乾物重との関係をみると，アケノホシのように乾物が増え続けるものもあるが，Blue belle や浮イネのように凸形を描いて推移するもの，ホウヨクのように効果のほとんどみられないものもあつた．これより，ケイ酸の効果には品種によつてその最適な含有量が存在しているように見受けられる．

ケイ酸はある品種では草丈を伸ばし，ある品種では分けつを多くし葉数を増やし葉面積を広げた．葉面積が大きくなれば個葉の光合成能力に差がなくとも個体当りでみた光合成能力は高くなる．また，地上部の生育を旺盛にする一方で植物体を直立させた．本実験で得られたケイ酸の効果は以上のようなものであつた．

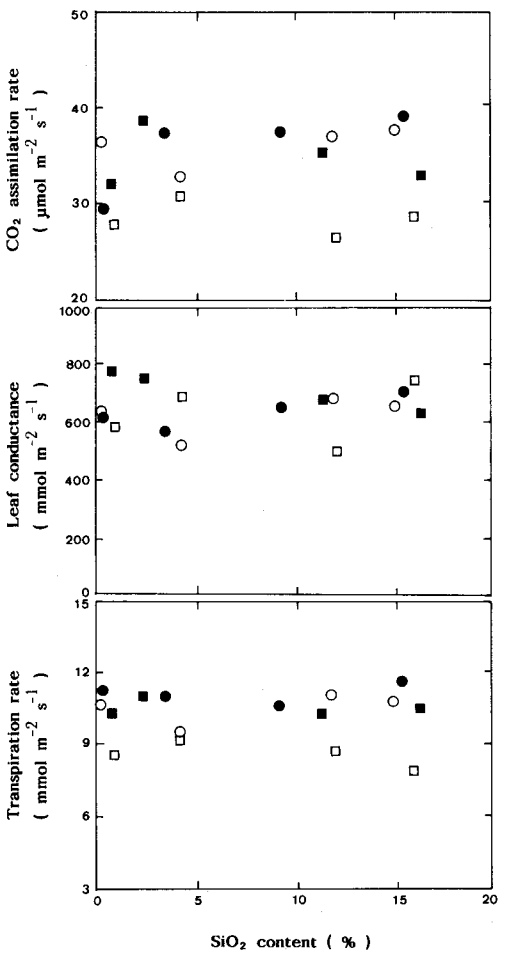

Fig. 8. Relationships between SiO_2 content and CO_2 assimilation rate, leaf conductance and transpiration rate in rice varieties. Data were obtained from VPD response curves. See Fig. 1 for the symbols.

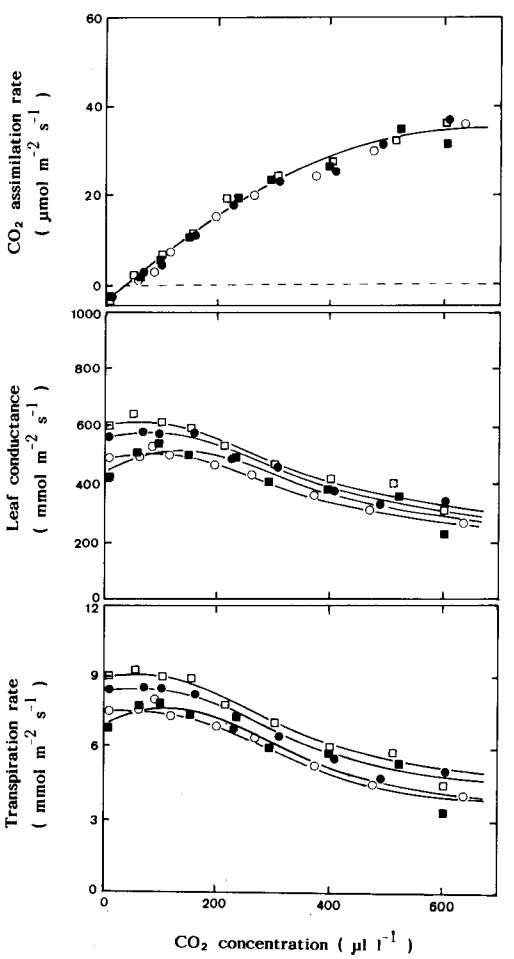

Fig. 9. Effects of SiO_2 concentration of the culture solution on CO_2 response curves of CO_2 assimilation rate, leaf conductance and transpiration rate in Houyoku. See Fig. 3 for the symbols.

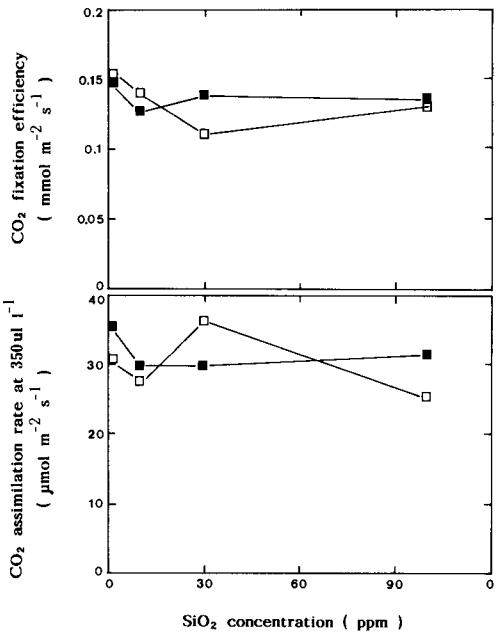

Fig. 10. Effects of SiO_2 concentration of the culture solution on CO_2 fixation efficiency and CO_2 assimilation rate at 350 $\mu l\ l^{-1}$ of CO_2 concentration. □, Houyoku; ■, Habiganj

しかし，ケイ酸の効果が個葉の光合成能力を介して現われなかつたことは当初の予想と大幅に異なつた．

ケイ酸によつて生育に差が生じた原因の一つには，根からの養分の吸収に違いがあつたのではないかとも考えられる．例えば，Blue belle と浮イネにおいて 100 ppm 区の生育が落ちたのは水耕液中のケイ酸濃度が高すぎたため他の養分の吸収が阻害されたとも考えられる．水耕液中のケイ酸濃度と養分吸収との関係についてはすでに高橋ら（1961）によつて実験がなされている．そのなかで，鉄，マンガンの吸収が著しく減少することが報告されており，これはケイ酸によつて根の酸化力が増し，根表面で鉄，マンガンを酸化沈積するためといわれている（奥田・高橋，1962 a，1962 b）．他にもリンの吸収が減少したと述べている．このように水耕液中のケイ酸濃度と各養分の吸収については土壌肥料の分野で研究がされている．しかし，この養分吸収の違いが水稲の生育にどのような影響を与えるかについてはまだ明らかにされていない．

また，ケイ酸によつて根の生育が健全になり根腐れを防止して根の活力が向上することも従来から指摘されている（小幡，1959）．岡本（1970）はケイ酸により根毛の発生，生長が良くなつたことを報告している．本実験では根毛の調査は行つていないが根重にはケイ酸処理による差は認められなかつた．しかし，生育途中に水耕液のケイ酸濃度の高いものからしばしば溢泌液が多く観察された．これはケイ酸処理によつて根の活力が増したと予想され，ケイ酸が地下部の生育にプラスに働いたとも考えられる．

本実験で水稲に対するケイ酸の効果が，光合成・蒸散速度といつた生理的な場面を介して現れるものではないことが具体的に示された．しかし，更に他の面からの検討も加えて水稲に対するケイ酸の効果の実態を究明して行く予定である．

要　　約

水稲に及ぼすケイ酸の効果を生理面から明らかにすることを目的として，ケイ酸濃度の異なる水耕液で培養した水稲 4 品種を用いて実験を行つた．得られた結果は以下のとおりである．

1） ケイ酸 0 ppm 区では葉の下垂現象がみられ，一方，ケイ酸濃度の高いものほど葉が直立し受光体勢がよくなつた．

2） 稲体のケイ酸含有量は水耕液のケイ酸濃度が 0～30 ppm の間では直線的に増加し，30～100 ppm の間では増加程度がゆるやかになり飽和型を示した．

3） 水稲の生育は一般にケイ酸を与えると良好になつたが，その効果の現れ方は品種間で異なつた．すなわち，アケノホシではケイ酸含有量が増えると乾物重は増加したが，Habiganj, Blue belle ではケイ酸含有量の高いところで逆に乾物重が低下するという凸形を描き，一方，ホウヨクではケイ酸の効果はほとんどみられなかつた．

4） ケイ酸の効果は，アケノホシ，Blue belle では分けつ，葉数を増やし葉面積を増大させる方向に，Habiganj では草丈を伸ばす方向に働いた．4 品種を通じてケイ酸は地上部の生育を盛んにし，地上部/地下部重比を増大させる働きがあつた．

5） 光合成，蒸散に対するケイ酸の効果は認められず，クチクラ蒸散の抑制説及び window theory は実証されなかつた．

文　　献

Agata, W., Y. Kawamitsu, S. Hakoyama and S. Shima 1986 A system for measuring leaf gas

exchange based on regulating vapour pressure difference. *Photo. Res.*, **9**: 345-357

秋元真次郎 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

Farquhar, G. D. and T. D. Sharkey 1982 Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **33**: 317-345

石塚喜明・早川康夫 1951 水稲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 赳 1962 水稲品種の耐肥性に関する研究. 第2報 光合成からみた水稲の耐肥性と珪酸との関係. 日作記, **30**：237-240

岡本 嘉 1970 a 水稲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稲生育に及ぼす影響とケイ酸の必須性について. 日作記, **39**：139-143

岡本 嘉 1970 b 水稲におけるケイ酸の生理学的研究 第13報 ケイ酸が水稲の器官,組織の形成に及ぼす影響. 日作記, **39**：151-155

奥田 東・高橋英一 1961 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稲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 1962 a 作物に対するケイ酸の生理的役割について. 第5報 水稲および大麦の鉄, 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 1962 b 作物に対するケイ酸の生理的役割について. 第6報 水稲の鉄吸収におよぼすケイ酸施用の影響. 土肥誌, **33**：59-64

奥田 東・高橋英一 1962 c 作物に対するケイ酸の生理的役割について. 第8報 水稲におけるケイ酸吸収の特異性. 土肥誌, **33**：217-221

奥田 東・高橋英一 1962 d 作物に対するケイ酸の生理的役割について. 第9報 水稲のケイ酸吸収に対する代謝阻害剤の影響. 土肥誌 **33**：453-455

小幡宗平 1959 珪酸石灰の肥効について. 土肥誌, **30**：34-43

河野通佳・高橋治助 1958 養分吸収における水稲とトマトの違いについて. 第1報 土肥誌, **29**：63-66

長谷部亮・飯村康二 1986 水耕培地のケイ酸濃度と水稲の生育. 土肥誌, **57**：42-48

三好 洋・石井英之 1960 水稲に対するケイ酸石灰の施用効果について. 第2報 ケイ酸石灰およびケイ酸の施用による増収効果と, 生育相との関係について. 土肥誌, **30**：495-497

高橋英一 1987 ケイ酸植物と石灰植物. 農文協.

吉田昌一 1960 水稲体内におけるケイ素の存在意義と生理的意義に関する研究. 農技研報, **B15**：1-58

Summary

To clarify the physiological role of SiO_2 in the growth of rice plant, characteristics of leaf gas exchange and dry matter production were investigated using four rice varieties (Houyoku, Habiganj, Akenohoshi, Blue belle) grown in culture solutions. SiO_2 concentration in the culture solution were set at 0, 10, 30 and 100 ppm and plant were grown under greenhouse conditions. Main results obtained are summarized as follows;

1. Plants grown without SiO_2 had soft and willowy leaves, whereas those at high SiO_2 had more erect leaves and better light-intercepting characteristics.

2. Growth of the plant treated with high SiO_2 concentration was better than those plant without SiO_2. But there were some varietal differences in the response to SiO_2.

3. Numbers of tillers and leaves were increased with increasing SiO_2 content in Akenohoshi and Blue belle. Consequently, leaf area per plant increased. On the other hand, plant length was increased with increasing SiO_2 content in Habiganj. No changes in growth characteristics were found in Houyoku.

4. Effect of SiO_2 on rate of CO_2 assimilation and transpiration and on leaf conductance were not apparent in the rice varieties used. The hypothesis that increment of SiO_2 regulate the cuticle transpiration and window theory were not demonstrated.