

水稲の時期別ケイ酸吸収速度に及ぼす土壌の ケイ酸供給量の影響*

森 静香¹・藤井弘志²・安藤 豊²

キーワード 水稲, 幼穂形成期, ケイ酸吸収速度,
ケイ酸供給量

1. はじめに

ケイ酸の水稲に対する役割は①光合成能力の向上, ②根の酸化力の向上, ③耐病性の強化, ④耐倒伏性の向上等があげられ, 水稲の収量形成において重要な役割を担っている要素であることは高橋¹⁾によって指摘されている。水稲の吸収するケイ酸の収量形成(穂数, 1穂粒数, 登熟歩合, 千粒重)に対する時期別の効果を水耕栽培で検討した結果によると²⁾, ケイ酸の欠如は千粒重以外の穂数, 1穂粒数および登熟歩合を低下させるが, その中でも幼穂形成期以降に決定される1穂粒数と登熟歩合の低下が著しい。それに対して幼穂形成期以前に決定される穂数に対する影響は比較的小さいことが明らかにされている。さらに, 長谷部ら³⁾による培養液の養分濃度の変動が少ない大型流動水耕培養装置を用いた試験結果からも, 時期別のケイ酸吸収速度は生育後期(減数分裂期~成熟期) > 生育中期(分げつ盛期~減数分裂期) > 生育前期(移植~分げつ盛期)の順であった。熊谷ら⁴⁾は山形県における水稲のケイ酸濃度について土壌及び灌漑水から供給されるケイ酸量から検討した結果, 早生品種が7月に出穂した区ではケイ酸吸収に重要な時期である幼穂形成期から出穂期の期間が短くなりケイ酸吸収に大きな差を生じたことを報告している。これらのことから, 水稲によるケイ酸吸収量において幼穂形成期以降のケイ酸が重要であることを示唆している。ほ場条件で土壌のケイ酸供給量別に生育時期別の水稲によるケイ酸吸収量について検討することは, 収量形成上で重要な幼穂形成期以降のケイ酸の量的な解明が進み, 水稲に対

するケイ酸の肥培管理技術の一層の効率化が図られると考えられる。そこで, ケイ酸供給量の異なる水田土壌を供試して時期別の水稲によるケイ酸吸収量を検討した。

2. 材料と方法

試験は2000年および2006年に山形県庄内地域の水田ほ場で行った。北田ら⁵⁾の方法に準じた逐次上澄法でケイ酸分析を行い, ケイ酸(SiO_2 を示す)供給量(1日当たり)が $1.8 \sim 2.0 \text{ mg kg}^{-1}$ 土壌(以下, ケイ酸供給量小とする), $3.8 \sim 3.9 \text{ mg kg}^{-1}$ 土壌(以下, ケイ酸供給量中とする), $4.9 \sim 5.1 \text{ mg kg}^{-1}$ 土壌(以下, ケイ酸供給量高とする)の3段階に区分した。2000年は, 土壌のケイ酸供給量が小である鶴岡市伊勢横内・民田, 中である鶴岡市藤島, 高である酒田市関・本楯の計5ヶ所の水田を供試した。2006年は, 土壌のケイ酸供給量が小である鶴岡市民田, 中である鶴岡市藤島, 高である酒田市本楯の計3ヶ所の水田を供試した。両年とも水稲品種「はえぬぎ」を供試し, 栽植密度は 22.2 株 m^{-2} (1株5本植)で, 移植時期は2000年が5月10日, 2006年が5月15日に手植えで行った。基肥窒素量は両年とも関および本楯 4 g m^{-2} , 藤島 5 g m^{-2} , 伊勢横内および民田 6 g m^{-2} を全層に, 追肥窒素量は各ほ場で両年とも幼穂形成期に 2 g m^{-2} を表層に施用した。栽培試験は2000年が縦5 m, 横10 mの 50 m^2 で単連, 2006年が9株枠(縦45 cm, 横90 cm)を18枠設置して行った。病害虫防除, 水管理および除草等の肥培管理は農家慣行によった。収量(精玄米重)は, 2000年は100株刈で, 2006年は9株刈(3反復)により求めた。収量構成要素として成熟期に平均的な穂数を有する稲株を2株採取し m^2 当たり穂数, 粒数, 1.9 mm 以上の精玄米千粒重, 総粒数に対する精玄米の粒数の割合とする精玄米粒数歩合を求めた。分析用の試料採取は平均的な茎数(穂数)を有する稲株を1~3株採取して, 70°C で通風乾燥後, 乾物重を測定しケイ酸は硫酸-過酸化水素分解後に重量法⁶⁾で求めた。試料サンプリングは2000年の場合, 6月6日, 6月26日, 7月19日, 8月5日および9月8日の5回, 2006年の場合, 6月9日, 6月30日, 7月18日, 8月14日および9月13日の5回行った。供試水田の土壌のケイ酸供給量については逐次上澄法で求めた。風乾土 5 g に脱塩水 50 mL を加えて 30°C で培養し, 約2週間間隔で上澄液をサンプリングして12週間継続し, 上澄液中のケイ酸濃度についてはモリブデンブルー法で求めた。土壌からのケイ酸供給量についても北田ら⁵⁾の方法に準じ, 層位 25 cm , 仮比重1, 移植から成熟期までの地温については2000年および2006年とも庄内支場の地表下 5 cm 地温を用いて次の式にあてはめて算出した。ケイ酸供給量(g m^{-2}) = 1日当たりケイ酸量($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ 土壌) × 積算地温(移植~成熟期) / 30°C

なお, 供試土壌の全窒素および全炭素はC/Nコーダー(ヤナコMT700), CECはセミマイクロ・ショーレンベルガー法により求めた。

Shizuka MORI, Hiroshi FUJII and Ho ANDO: Influence of supply of silica from paddy soil on rate of silica absorption by rice plant.

* 本報告の一部は2001年度の日本土壌肥科学会において発表した。

¹ 山形県農業総合研究センター農業生産技術試験場庄内支場(999-7601 鶴岡市藤島字山ノ前25)

² 山形大学農学部(997-8555 鶴岡市若葉町1-23)

2008年1月16日受付・2008年6月14日受理

日本土壌肥科学雑誌 第79巻 第4号 p.387~391 (2008)

3. 結果および考察

逐次水抽出法から求めた成熟期における土壌由来ケイ酸供給量(表1)は、2000年の場合、関>本楯>藤島>民田>伊勢横内で、2006年の場合、本楯>藤島>民田で、ケイ酸供給量の高い水田土壌の土性がLiC~CLで、全窒素およびCECが高い傾向であった。各年次とも土壌由来ケイ酸供給量が高中低の3レベルの水田は場を供試して(表1)、時期別の水稻によるケイ酸吸収量(図1)および速度(表2)について検討した。2000年における時期別のケイ酸吸収速度($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)によれば、移植から分げつ初期までのI期(以下I期とする)では0.03~0.04、分げつ初期から有効分げつ期までのII期(以下II期とする)では0.27~0.42、有効分げつ期から幼穂形成期までのIII期(以下III期とする)では1.09~1.27、幼穂形成期から穂揃期までのIV期(以下IV期とする)では0.99~2.11、穂揃期から成熟期までのV期(以下V期とする)で0.72~1.43で、同様に2006年における時期別のケイ酸吸収速度($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)によれば、I期では0.05、II期では0.50~0.55、III期では1.08~1.31、IV期では1.22~2.28、V期では0.43~1.45であり、ケイ酸吸収速度はIV期>III期=V期>II期

>I期で幼穂形成期以降の吸収速度が高くなり住田ら⁷⁾・長谷部ら³⁾の結果と一致した。ケイ酸吸収速度を土壌のケイ酸供給量別に比較すると、I期~III期まではケイ酸吸収速度の土壌間差(本楯のケイ酸吸収速度/民田のケイ酸吸収速度比)は、2000年の場合I期1.3、II期1.3、III期1.1、2006年の場合I期0.9、II期1.1、III期1.2で小さかった。一方、IV期以降(幼穂形成期以降)のケイ酸吸収速度が増加する時期からは土壌間差(本楯のケイ酸吸収速度/民田のケイ酸吸収速度比)は、2000年の場合IV期2.0、V期1.8、2006年の場合IV期1.8、V期3.4で大きくなった。茎葉におけるケイ酸濃度の推移(図2)は稲体のケイ酸吸収量と同様にケイ酸供給量の多い本楯では幼穂形成期以降もケイ酸濃度が向上する傾向であった。茎葉のケイ酸濃度を土壌のケイ酸供給量別に比較すると、I期~III期まではケイ酸濃度の土壌間差(本楯のケイ酸濃度/民田のケイ酸濃度比)は、2000年の場合I期1.1、II期1.3、III期1.2、2006年の場合I期1.0、II期1.2、III期1.3で小さかった。一方、IV期以降(幼穂形成期以降)の土壌間差(本楯のケイ酸濃度/民田のケイ酸濃度比)は、2000年の場合IV期1.4、V期1.7、2006年の場合IV期1.8、V期2.2で大きくなった。

表1 供試水田土壌の化学性とケイ酸供給量 (g m^{-2})

場所	土壌型	土性	pH (H ₂ O)	全窒素 (g kg^{-1})	全炭素 (g kg^{-1})	CEC $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$
酒田市関	細粒強グライ土壌	LiC	5.7	4.0	39.2	32.9
酒田市本楯	細粒強グライ土壌	LiC	5.5	4.2	42.2	33.5
鶴岡市藤島	細粒強グライ土壌	CL	5.2	3.5	31.7	25.4
鶴岡市民田	礫質灰色低地土壌	L	5.3	2.4	23.9	16.8
鶴岡市伊勢横内	中粗粒褐色低地土壌	L	5.4	2.3	24.1	15.2

場所	ケイ酸量 (mg kg ⁻¹)						Y = a*X	ケイ酸供給量 (g m ⁻²)	
	13日	23日	40日	52日	66日	80日		2000年	2006年
酒田市関	67	129	201	261	329	397	0.51	117	
酒田市本楯	69	127	187	243	303	361	0.49	113	116
鶴岡市藤島	52	96	146	200	253	305	0.39	90	92
鶴岡市民田	22	46	74	107	138	166	0.20	46	47
鶴岡市伊勢横内	23	45	68	92	116	141	0.18	41	

Y: 時間 X (日) までに溶出したケイ酸量 (mg kg^{-1})
ケイ酸量: 逐次上澄液法 (30℃)
ケイ酸供給量=1日当たりケイ酸溶出量×積算地温/30℃×1 m²土壌重量×仮比重
積算地温 (℃): 2000年→2764℃, 2006年→2840℃
層位: 25 cm, 仮比重: 1

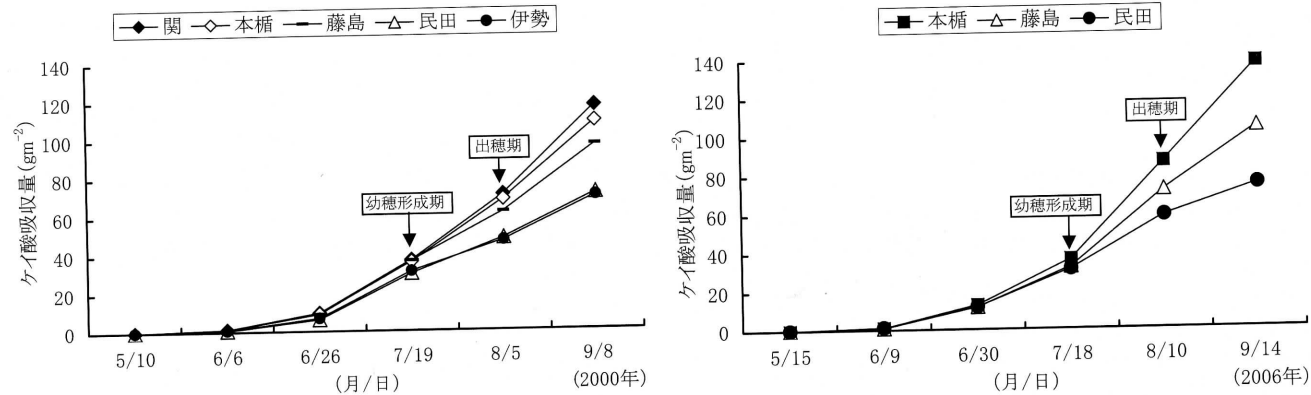


図1 稲体ケイ酸吸収量の推移

表2 時期別ケイ酸吸収速度 ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

[2000年]

場 所	I 期	II 期	III 期	IV 期	V 期
酒田市関	0.044	0.42	1.25	2.11	1.43
酒田市本楯	0.033	0.42	1.22	2.02	1.26
鶴岡市藤島	0.043	0.39	1.27	1.58	1.08
鶴岡市民田	0.027	0.27	1.09	1.14	0.72
鶴岡市伊勢横内	0.028	0.31	1.11	0.99	0.72

ケイ酸吸収速度：各時期毎のケイ酸吸収量／各時期毎の日数

I 期：5/10～6/6 (移植～分げつ初期)

II 期：6/7～6/26 (分げつ初期～有効分げつ期)

III 期：6/27～7/19 (有効分げつ期～幼穂形成期)

IV 期：7/20～8/5 (幼穂形成期～穂揃期)

V 期：8/6～9/8 (穂揃期～成熟期)

[2006年]

場 所	I 期	II 期	III 期	IV 期	V 期
酒田市本楯	0.045a	0.55a	1.31a	2.28a	1.45a
鶴岡市藤島	0.046a	0.50a	1.14a	1.80b	0.93b
鶴岡市民田	0.051a	0.50a	1.08a	1.25c	0.43c

ケイ酸吸収速度：各時期毎のケイ酸吸収量／各時期毎の日数

I 期：5/15～6/9 (移植～分げつ初期)

II 期：6/10～6/30 (分げつ初期～有効分げつ期)

III 期：7/1～7/18 (有効分げつ期～幼穂形成期)

IV 期：7/19～8/10 (幼穂形成期～穂揃期)

V 期：8/11～9/14 (穂揃期～成熟期)

Fishers LSD ($p < 0.05$) により有意差検定を行った。それぞれ、異なるアルファベットは5% 水準で有意差あり。

なお、精玄米重は兩年とも幼穂形成期以降ケイ酸吸収量の多い場で高い傾向であった (表3)。収量構成要素からみると主に幼穂形成期以降に決定される精玄米粒数歩合および千粒重はケイ酸吸収量の多い場で高まる傾向であった (表3)。ケイ酸供給量の多い場は窒素供給量も高い傾向があり精玄米重についてケイ酸だけの評価でなく窒素も含めた評価を行う必要があり、この点については今後の検討課題である。

次に、ケイ酸吸収速度の土壌間差が大きくなる幼穂形成期を中心にして移植～幼穂形成期、幼穂形成期～成熟期に区分して時期別の稲体のケイ酸吸収量 (g m^{-2}) および速度 ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) によれば (図3、表4)、兩年とも移植～幼穂形成期 (2000年5月10日～7月19日、2006年5月15日～7月18日) の稲体のケイ酸吸収量および速度は、土壌のケイ酸供給量による土壌間差が小さくほぼ同じ値を示した。一方、幼穂形成期から成熟期 (2000年7月20日～9月8日、2006年7月19日～9月14日) の稲体のケイ酸吸収量は幼穂形成期以降のケイ酸吸収量は土壌間差が大きくなり、土壌由来ケイ酸供給量が高い土壌で稲体のケイ酸吸収量が多くなることが明らかであった。このことは、土壌由来のケイ酸供給量に対応して幼穂形成期以降ケイ酸

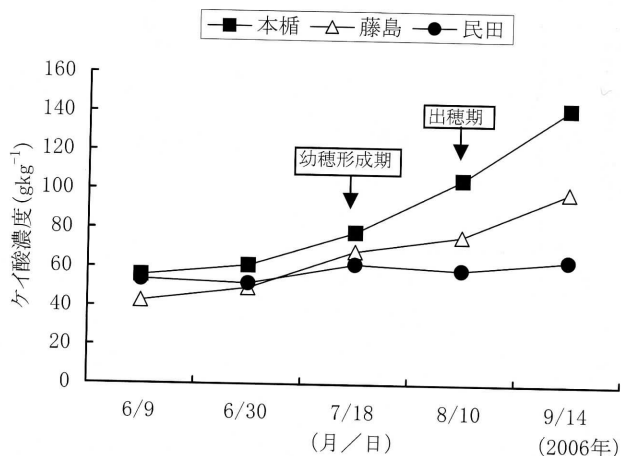
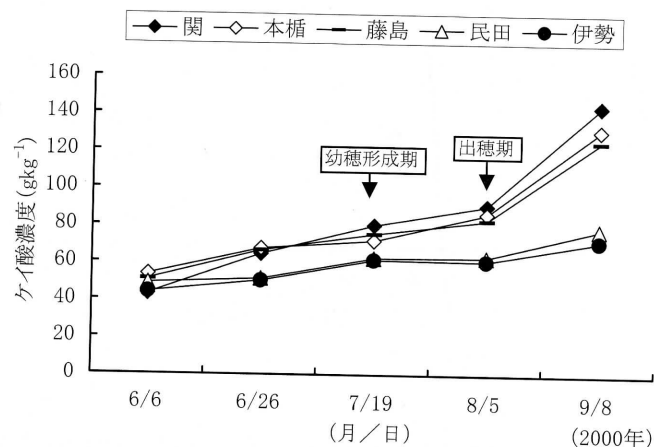


図2 茎葉ケイ酸濃度の推移

表3 精玄米重および収量構成要素

[2000年]

場 所	精玄米重 (g m^{-2})	穂数 (本 m^{-2})	籾数 (粒 m^{-2})	精玄米粒数 歩合 (%)	千粒重 (g)
酒田市関	685	508	35100	90.4	21.6
酒田市本楯	650	512	33600	88.7	21.8
鶴岡市藤島	645	502	33600	89.7	21.4
鶴岡市民田	600	537	34100	82.6	21.3
鶴岡市伊勢横内	605	531	35100	80.5	21.4

[2006年]

場 所	精玄米重 (g m^{-2})	穂数 (本 m^{-2})	籾数 (粒 m^{-2})	精玄米粒数 歩合 (%)	千粒重 (g)
酒田市本楯	655	504	32400	92.3	21.9
鶴岡市藤島	640	540	31700	92.2	21.9
鶴岡市民田	570	535	29900	88.3	21.6

精玄米重：1.9 mm 以上玄米重

千粒重：1.9 mm 以上玄米粒重

精玄米粒数歩合：総籾数に対する精玄米粒数の割合

表4 時期別ケイ酸吸収量およびケイ酸吸収速度

場 所	[2000年]		[2006年]	
	土壌由来ケイ酸 供給量 (g m ⁻²)	ケイ酸吸収量 (g m ⁻²)		ケイ酸吸収速度 (g m ⁻² d ⁻¹)
		移植期～幼形期	幼形期～成熟期	
酒田市関	117	37	80	0.54
酒田市本楯	113	36	73	0.52
鶴岡市藤島	90	37	60	0.54
鶴岡市民田	46	30	41	0.44
鶴岡市伊勢横内	41	31	39	0.45
移植期～幼穂形成期:69日				
幼穂形成期～成熟期:48日				
[2006年]				
場 所	土壌由来ケイ酸 供給量 (g m ⁻²)	ケイ酸吸収量 (g m ⁻²)		ケイ酸吸収速度 (g m ⁻² d ⁻¹)
		移植期～幼形期	幼形期～成熟期	
酒田市本楯	116	36a	102a	0.57a
鶴岡市藤島	92	32a	72b	0.51a
鶴岡市民田	47	31a	43c	0.49a
移植期～幼穂形成期:63日				
幼穂形成期～成熟期:57日				

Fishers LSD ($p < 0.05$) により有意差検定を行った. それぞれ, 異なるアルファベットは5% 水準で有意差あり.

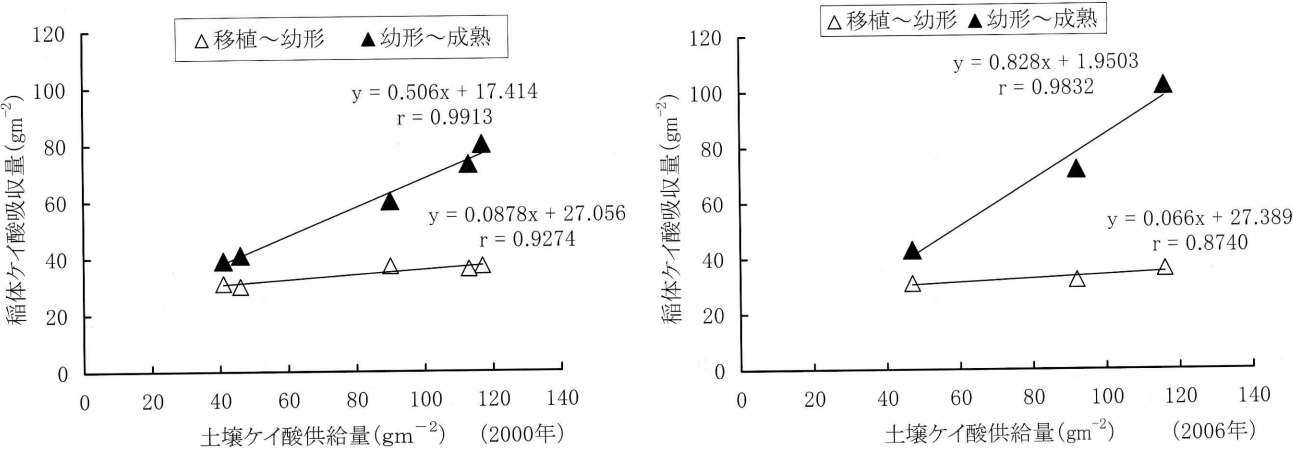


図3 土壌ケイ酸供給量と時期別稲体ケイ酸吸収量の関係

吸収速度が向上していることを示唆している. 幼穂形成期以降の水稲のケイ酸吸収速度が土壌からのケイ酸供給量によって異なる要因は, 住田ら⁷⁾や長谷部ら³⁾が指摘しているように水稲によるケイ酸の吸収速度の上昇(要求度の向上)に対して, 土壌側のケイ酸の供給量(土壌溶液中のケイ酸濃度)の高低によると考えられる. さらに, 幼穂形成期以降に稲体のケイ酸吸収速度が上昇する稲体側の要因としては, ケイ酸の集積部位である籾殻が形成される時期にあたること, 根量および根数も最大に達する時期⁸⁾にあたることが考えられる.

ケイ酸の水稲に対する役割からみた収量形成上重要な要因としては①光合成能力の向上, ②根の酸化力の向上, ③耐倒伏性の向上等があげられる. 本報告においても, 土壌のケイ酸供給量の高いほ場(幼穂形成期以降のケイ酸吸収速度の増加程度の大きいほ場)において精玄米重が高い傾向であり, その要因として精玄米粒数歩合や千粒重が高い傾向が認められ, 登熟期間中の光合成能の向上が考えられ

る. そのため, 幼穂形成期以降のケイ酸吸収速度の増加程度の小さいほ場では, ケイ酸供給力の向上を図る肥培管理が重要である. この視点からケイ酸の追肥対応も有用な技術であると考えられる. この点について, 住田ら⁹⁾が行った水稲の時期別ケイ酸吸収量に及ぼすケイ酸石灰の施用時期について検討した結果によれば, 耕起前施用は水稲の生育初期および中期におけるケイ酸吸収を促進し, 分けつ期施用は生育中期のみならず後期にもケイ酸吸収を促進する効果があることから示唆される.

以上のことから, 水稲によるケイ酸吸収速度は幼穂形成期以降に向上し, 土壌からのケイ酸供給量の小さいほ場においては幼穂形成期以降のケイ酸供給量が不足することが懸念され, ケイ酸質肥料の追肥も含めたケイ酸施用に留意する必要がある.

文 献

1) 高橋英一: ケイ酸植物と石灰植物, p.110~118, 農文協, 東

京 (1987)

- 2) 奥田 東・高橋英一：作物に対するケイ酸の栄養生理的役割について，第2報，ケイ酸欠除の時期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**，481～488 (1961)
 - 3) 長谷部亮・飯村康二：水耕培地のケイ酸供給濃度と水稻の生育，土肥誌，**57**，42～48 (1986)
 - 4) 熊谷勝巳・今野陽一・佐藤之信・中川文彦・長沢和弘・上野正夫：山形県内の水田におけるケイ酸供給力の評価，山形農事研報，**37**，13～35 (2004)
 - 5) 北田敬宇・亀川健一・秋山 豊：逐次上澄液法による輪換田土壌ケイ酸の有効化過程の解明，土肥誌，**63**，31～38 (1992)
 - 6) 日本土壌協会：土壌，水質及び植物体分析法，322，東京 (2001)
 - 7) 住田弘一・大山信雄：水稻のケイ酸吸に対する窒素栄養の影響，土肥誌，**63**，633～638 (1992)
 - 8) 松尾孝嶺・清水正治・角田重三郎・村田吉男・熊澤喜久雄・蓬原雄三・星川清親・前田英三・山崎耕宇編：稻学大成，第
-