

## 直播栽培水稲の生育に対するケイ酸と カルシウムの影響

三宅靖人・花房徳治・平岡 忠・多田正人  
( 水 田 部 )

### 緒 言

前報<sup>1)</sup>で直播栽培水稲の生育に対するケイ酸質肥料の効果について検討し、ケイカル、ケイ酸カリの施肥は、少量区(ケイカル50kg/10a, ケイ酸カリ52kg/10a)および多量区(ケイカル200kg/10a, ケイ酸カリ207kg/10a)のいずれにおいても対照区より顕著に高い収量を示した。収量構成要素の調査結果から、粒数/穂および穂数/m<sup>2</sup>が対照区に比べ、ケイカルおよびケイ酸カリ施肥区で明らかに高い傾向を示し、それが高い収量をもたらした原因と考えられた。

水稲が代表的なケイ酸集積植物であることから、水稲の生育に対するケイ酸の効果に関する試験は1950年頃から我が国において集中的に行われ、多くの研究成果が得られた<sup>2, 3, 4, 5)</sup>。その結果、ケイ素は水稲の生育にとって必要な要素とされ、ケイ酸質肥料が施肥されるようになった。

しかし近年、水稲の栽培に、ケイ酸質肥料として多量に使用されているケイカルの肥効に疑問が提起されている。津野<sup>6)</sup>はケイカル中のカルシウムがケイ酸と肥効のうえで拮抗的關係をもたすため、葉身のカルシウム含有率が高い場合は、ケイ酸含有率が高くても、水稲葉身を粗剛にするケイ化細胞の形成機能が弱められ、イモチ病にかかり易くなると報告している。また高平<sup>7)</sup>はケイカルを連用したところ、水稲収量が減少した事実をあげ、これはケイカル中のカルシウムが土壌および水稲の生育に悪い影響を及ぼした可能性があるとしている。

これまでケイ酸質肥料として、ケイカルが多く連用されてきたにもかかわらず、ケイカル中のカルシウムが水稲の生育に及ぼす影響については、ほとんど詳細な検討が行われていない。それはカルシウムが連続施用されても、水稲のカルシウム含量はとくに高くならず、低い含量(Ca 0.2 ~ 0.5%)にとどまっていることによると考えられる。

水稲に対するカルシウムの生理作用については、出口・太田<sup>8)</sup>はやや過剰のカルシウムの存在が、栄養生長から生殖生長への転換を円滑にし、無効分げつや遅れ穂を少なくすると報告しており、太田<sup>9, 10, 11)</sup>はカルシウムの供給増による同化量および同化産物の移行速度の増大、稈および葉鞘内貯蔵物質の穂への再転流の促進など光合成産物の移行にカルシウムが機能的な面で関与するとしている。

また最近、大山<sup>12)</sup>はケイカルの施用が水稲の冷害に対し、分げつ抑制を軽減し、イモチ病の発生を少なくし、登熟歩合を向上させるなど増収をもたらした結果について、「昭和50年代の東北地方における試験結果」から取纏め報告している。

このように水稲の生育に対するケイ酸とカルシウムの関係については明確な結論が得られていない。そこで本報においては、水稲の生育収量に及ぼすケイ酸とカルシウムの関係について検討した。

## 材料と方法

試験は1985年に岡山農場の水田で行った。5月1日、第1表に示した処理を行った後、品種アケボノを乾田に条播（条間34cm、播種量5

第1表 試験計画

試験区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
処理 kg/10a	ケイ酸カリ 52	ケイ酸カリ 52 CaCl <sub>2</sub> 45	ケイカル 50	ケイカル 50 CaCl <sub>2</sub> 154	ケイ酸カリ 207	ケイ酸カリ 207 CaCl <sub>2</sub> 180	ケイカル 200	ケイカル 200 CaCl <sub>2</sub> 218	CaCl <sub>2</sub> 200	CaCl <sub>2</sub> 400	対照区
成分量 SiO <sub>2</sub>	15.5	15.5	15.5	15.5	62.0	62.0	62.0	62.0			
kg/10a CaO		22.5	22.5	100.0		90.0	90.0	200.0	100.0	200.0	

## 結果と考察

第2表に生育期間中（分けつ最盛初期；7月6日、分けつ最盛終期；7月17日、幼穂形成初期8月3日および伸長期；8月28日）の茎数と草丈の変化を示した。カルシウム単用区（第9～第10区）では、幼穂形成初期（8月3日）頃から伸長期（8月28日）頃に茎数がやや多い傾向を示し、草丈はやや短くなる傾向が認められた。カルシウム施用の効果については、これまで土壌pHの上昇（8.5以上）による窒素的潜在地力の活用という面での検討はあるが、この試験の場合はカルシウム処理直後においても土壌pHはそれほどの上昇はなかったと考えられ

る。このことは同じ処理で実施した2年目の試験<sup>13)</sup>において、カルシウム施用直後の土壌pHが6.1であったことから推定できる。現在のところカルシウム単用区（第9～第10区）で生殖生長期に茎数が多く、草丈が短くなる傾向について原因は明らかでない。

第3表に収量および収量構成要素を示した。収量（精玄米重）は対照区に比べ、すべての処理区（第1～第10区）において顕著に高い値を示した。この増収はケイ酸単用区（ケイ酸カリ施用区；第1、第5区）、ケイ酸+カルシウム区（第2～第4区、第6～第8区）およびカルシウム単用区（第9～第10区）の間に大差のない傾向を示し、対照区の収量を顕著に上廻っている。

る。このことは同じ処理で実施した2年目の試験<sup>13)</sup>において、カルシウム施用直後の土壌pHが6.1であったことから推定できる。現在のところカルシウム単用区（第9～第10区）で生殖生長期に茎数が多く、草丈が短くなる傾向について原因は明らかでない。

第2表 茎数と草丈の推移

試験区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
処理 kg/10a	ケイ酸カリ 52	ケイ酸カリ 52 CaCl <sub>2</sub> 45	ケイカル 50	ケイカル 50 CaCl <sub>2</sub> 154	ケイ酸カリ 207	ケイ酸カリ 207 CaCl <sub>2</sub> 180	ケイカル 200	ケイカル 200 CaCl <sub>2</sub> 218	CaCl <sub>2</sub> 200	CaCl <sub>2</sub> 400	対照区
成分量 SiO <sub>2</sub>	15.5	15.5	15.5	15.5	62.0	62.0	62.0	62.0			
kg/10a CaO		22.5	22.5	100.0		90.0	90.0	200.0	100.0	200.0	
茎数 / m <sup>2</sup>											
7月6日	375	335	325	350	358	312	345	258	321	340	317
7月17日	647	745	663	670	693	683	612	461	718	715	582
8月3日	468	567	550	523	508	574	491	413	563	610	432
8月28日	387	415	394	396	389	445	395	330	436	473	349
草丈 cm											
7月6日	48.2	49.0	46.3	49.0	45.6	44.6	45.7	43.8	45.2	43.6	49.0
7月17日	69.1	68.4	65.9	65.7	64.0	63.1	67.4	61.1	61.8	58.9	66.2
8月3日	85.0	82.7	80.7	81.7	80.7	80.3	86.5	76.3	76.9	79.6	83.7
8月28日	110.8	108.8	108.4	107.0	108.0	106.3	109.8	104.0	101.7	102.5	110.2

た。

ケイ酸添加区のみならず、ケイ酸無添加のカルシウム多量添加区（9区；CaO 100 kg/10 a 添加区，10区；CaO 200 kg/10 a 添加区）においても対照区に対し顕著に高い収量が得られたのは何故か。高位収獲田では普通田土壤に比べて置換性カルシウム含量が高い事例が多く<sup>14, 15)</sup>、甲斐<sup>16)</sup>は石灰、ケイカル、スラッグ、溶リンなどが多量に用いられると地力窒素の供給が高まることが期待されると述べている。水稻の生育は地力窒素に依存するところが大きいといわれているので、あるいはそのことがカルシウム添加区に増収をもたらしたのかもしれない。

またケイ酸添加区（第1～第8区）の収量も対照区に対し顕著に高い値を示した。しかしこの試験を行った土壤の可給態ケイ酸含量（pH4 醋酸緩衝液可溶性）はSiO<sub>2</sub> 30mg/乾土 100g（第5表）と水稻栽培においてケイ酸質肥料の肥効が認められるとされる可給態ケイ酸量の上限（SiO<sub>2</sub> 10.5 mg/乾土 100g）<sup>17)</sup>をはるかに越えた値であり、このように高い可給態ケイ酸含量の土壤において、水稻の生育にケイ酸質肥料の肥効が認められたのは何故であろうか。近年、高橋<sup>18)</sup>は土壤の可給態ケイ酸量の定量に用いられてきたpH4 醋酸緩衝液可溶の値は、ケイ酸質肥料を施肥した水田土壤では異常に高い値を示すと述べている。しかしこの試験田では10年以上の長期間、ケイ酸質肥料は施肥していないので、この土壤が異常に高い可給態ケイ

酸量を示すとは考えられない。しかし原土中の可給態ケイ酸量が顕著に高いものの、対照区の茎葉中のケイ酸量SiO<sub>2</sub> 11.3%（第4表）であって、今泉<sup>17)</sup>による水稻栽培においてケイ酸質肥料の肥効が期待される茎葉中のSiO<sub>2</sub>% 11～13%の中に入っている。そしてケイ酸添加区茎葉中のケイ酸含量はSiO<sub>2</sub> 11.8～14.5%と対照区のそれ（11.3%）より明らかに高い値を示しており（第4表）、ケイ酸添加区を増収の原因はケイ酸の添加によると推定できる。

収量構成要素の中から第1～第10区を増収を検討すると、対照区より高い傾向を示すのは穂数/㎡と粒数/穂であり、とくに穂数/㎡は顕著に高い傾向を示していた。

収穫時の水稻茎葉および籾穀中の無機成分含量を第4表に示した。

SiO<sub>2</sub>%：ケイ酸添加区（第1～第8区）で茎葉中のケイ酸量SiO<sub>2</sub> 11.8～14.5%、籾穀中のケイ酸量SiO<sub>2</sub> 16.9～18.5%と対照区およびカルシウム単用区（第9区および第10区）の茎葉中のケイ酸量SiO<sub>2</sub> 11.1～11.3%、籾穀中のケイ酸量SiO<sub>2</sub> 15.0～16.3%よりいずれも高い値を示した。土壤中の可給態ケイ酸量が高いにもかかわらず、ケイ酸添加区において増収になった一因はやはりケイ酸の吸収によると考えられる。

またケイ酸添加区において、茎葉中のケイ酸含量はカルシウムの添加により、わずかに低下

第3表 収量および収量構成要素

試験区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
処 理 kg/10 a	ケイ酸カリ 52	ケイ酸カリ 52	ケイカル 50	ケイカル 50	ケイ酸カリ 207	ケイ酸カリ 207	ケイカル 200	ケイカル 200			対 照 区
		CaCl <sub>2</sub> 45		CaCl <sub>2</sub> 154		CaCl <sub>2</sub> 180		CaCl <sub>2</sub> 218	CaCl <sub>2</sub> 200	CaCl <sub>2</sub> 400	
成 分 量 SiO <sub>2</sub>	15.5	15.5	15.5	15.5	62.0	62.0	62.0	62.0			
kg/10 a CaO		22.5	22.5	100.0		90.0	90.0	200.0	100.0	200.0	
精玄米重 kg/10 a	462	487	480	477	488	474	468	452	461	478	422
穂 数 /㎡	310	326	318	312	312	326	308	294	319	317	283
粒 数 /穂	87	84	89	87	82	80	83	84	80	80	80
登熟歩合 %	74.5	77.4	75.9	75.0	73.6	72.2	80.5	79.1	76.4	74.0	75.2
千粒重 g	21.6	21.7	21.8	21.4	21.7	21.3	20.9	21.6	21.7	20.9	21.2

する傾向が認められる（第1区→第2区，第3区→第4区，第5区→第6区および第7区→第8区）。水稻のケイ酸吸収はエネルギーに依存した積極的吸収であり，吸水よりはるかに速く吸収される<sup>17)</sup>。一方，水稻におけるカルシウム吸収の作用機作は明らかでないが，カルシウム含量は顕著に低い。このようにケイ酸とカルシウムは水稻における吸収の場面では大きく異なっている。しかし植物体中における移行，分布においては，共に蒸散流に乗って運ばれ，分布後は再び移行し難いなど類似性がある。このような動向がカルシウム添加により，ケイ酸含量に低下の傾向をもたらしたかもしれない。

Ca%：水稻茎葉中のCa%は双子葉植物などに比べ顕著に低い傾向を示している<sup>19, 20, 21)</sup>。この試験における水稻茎葉中のCa%は0.25～0.42%であり，カルシウム多量添加区の茎葉中のCa%はCaO 200 kg/10a 添加区で0.35%（第8区）および0.40%（第10区），CaO 100 kg/10a 添加区で0.36%（第9区）および0.42%（第4区），CaO 90 kg/10a 添加区で0.32%（第6区）および0.33%（第7区）とCa 0.32～0.42%の範囲であった。一方，カルシウム無添加区のCa%は0.31%（第1区），0.25%（第5区）および0.33%（第11区，対照区）とCa 0.25～0.33%の範囲であって，カルシウムの多量添加によって，わずかにCa%の上昇が認められた。

められた。

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>%：茎葉中のP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>%は0.16～0.20%と低い値を示し，各処理区の間で大差が認められなかった。

K%：茎葉中のK%は対照区2.23%に対し，各処理区2.24～2.52%とやや高い値を示し，ケイ酸多量添加区（第5～第8区）においてはカルシウム添加によってK%がわずかに低下する傾向が認められた。

Mg%：茎葉中のMg%は0.09～0.10%と極めて低い値であって，各処理区の間にもほとんど差が認められなかった。

第5表に栽培跡地土壌のpH，可溶性ケイ酸量および置換性カルシウム量を示した。

土壌pHは原土6.0に対し，跡地土壌では6.2～6.9の範囲にあり，アルカリ資材の大量混入にもかかわらず土壌pHの上昇は極めて低度であって，水稻の生育に支障がなかったと推定される。

可給態ケイ酸量（pH 4 醋酸緩衝液可溶性SiO<sub>2</sub> mg/乾土100g）は原土で30 mgであった。そして跡地土壌ではSiO<sub>2</sub> 15.5 kg/10a 添加区；32.5～42.3 mg，SiO<sub>2</sub> 62 kg/10a 添加区；36.0～56.0 mgとケイ酸添加処理によって，可給態ケイ酸量の上昇が認められた。

置換性カルシウム（Ca mg/乾土100g）は原土243 mgに対し，跡地土壌のカルシウム無添

第4表 茎葉および籾殻中の無機成分含量

試験区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
処理 kg/10a	ケイ酸カリ 52	ケイ酸カリ 52	ケイカル 50	ケイカル 50	ケイ酸カリ 207	ケイ酸カリ 207	ケイカル 200	ケイカル 200			対照区
		CaCℓ <sub>2</sub> 45		CaCℓ <sub>2</sub> 154		CaCℓ <sub>2</sub> 180		CaCℓ <sub>2</sub> 218	CaCℓ <sub>2</sub> 200	CaCℓ <sub>2</sub> 400	
成分量	SiO <sub>2</sub>	15.5	15.5	15.5	15.5	62.0	62.0	62.0	62.0		
kg/10a	CaO		22.5	22.5	100.0		90.0	90.0	200.0	100.0	200.0
SiO <sub>2</sub> %	茎葉	13.8	13.2	14.5	13.3	12.4	11.8	13.0	12.4	11.2	11.1
	籾殻	18.2	17.6	18.5	17.2	16.9	17.9	17.1	17.3	16.0	15.0
Ca%	茎葉	0.31	0.33	0.42	0.42	0.25	0.32	0.33	0.35	0.36	0.40
	籾殻	0.17	0.21	0.15	0.27	0.21	0.20	0.16	0.17	0.17	0.22
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	茎葉	0.17	0.17	0.16	0.17	0.16	0.20	0.16	0.16	0.20	0.17
	籾殻	0.08	0.08	0.09	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08
K%	茎葉	2.34	2.37	2.32	2.32	2.52	2.46	2.36	2.32	2.24	2.29
	籾殻	0.56	0.57	0.56	0.48	0.53	0.45	0.51	0.59	0.53	0.55
Mg%	茎葉	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.09
	籾殻	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.06

加処理区では219 mg(対照区), 286 mg(第1区), および252 mg(第5区)とCa 219 ~ 286 mg / 乾土 100 g の範囲にあった。

一方, CaO 22.5 kg / 10a 添加区では244 mg(第2区)および284 mg(第3区), CaO 90 kg / 10 a 添加区では248 mg(第6区)および252 mg(第7区), CaO 100 kg / 10a 添加区では255 mg(第4区)および271 mg(第9区), CaO 200 kg / 10 a 添加区では273 mg(第8区)および263 mg(第10区)とカルシウム添加処理区でCa 244 ~ 284 mg / 乾土 100 g の範囲にあった。

これら置換性カルシウムの値は対照区に比べるとカルシウム多量添加区のみならず, ケイ酸単用区(カルシウム無添加区)においても高い値を示した。ケイ酸単用区において置換性カルシウムが対照区よりも顕著に高い値を示す理由については現在のところ明らかでないがケイ酸の添加により土壤中の難溶性カルシウムが置換性に変化したのかもしれない。

第5表 跡地土壤中の可給態ケイ酸量および置換性Ca量

試験区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
処 理 kg / 10 a	ケイ酸カリ 52	ケイ酸カリ 52 CaCl <sub>2</sub> 45	ケイカル 50	ケイカル 50 CaCl <sub>2</sub> 154	ケイ酸カリ 207	ケイ酸カリ 207 CaCl <sub>2</sub> 180	ケイカル 200	ケイカル 200 CaCl <sub>2</sub> 218	CaCl <sub>2</sub> 200	CaCl <sub>2</sub> 400	対照区
成 分 量 SiO <sub>2</sub>	15.5	15.5	15.5	15.5	62.0	62.0	62.0	62.0			
kg / 10 a CaO		22.5	22.5	100.0		90.0	90.0	200.0	100.0	200.0	
土 壌(原 土) pH (跡地土壌) (H <sub>2</sub> O)	6.5	6.8	6.8	6.6	6.9	6.7	6.8	6.2	6.3	6.6	(6.0) 6.3
可給態(原 土) SiO <sub>2</sub> mg(跡地土壌) /100 g	39.8	36.5	42.3	32.5	56.0	48.0	36.0	38.5	29.0	30.3	(30.0) 29.3
置換性(原 土) Ca mg/(跡地土壌) 100 g	286	244	284	255	252	248	252	273	271	263	(243) 219

( ) : 原 土

## 摘 要

水稻の生育に対するケイ酸とカルシウムの相互関係について検討した。

対照区(Si, Ca 無添加)に対して, ケイ酸単用区, ケイ酸+カルシウム区およびカルシウム単用区で顕著に高い収量が認められた。それはケイ酸単用区ではケイ酸添加の効果が, カルシウム単用区においては一時的に土壌反応変換効果により土壌窒素の供給が高まったためと推定される。またケイ酸+カルシウム区における増収の原因は前述のケイ酸の効果と一時的な土壌反応変換効果による土壌窒素の供給増によってもたらされたことによると考えられる。そしてこの増収は穂数および一穂粒数の増加によってもたらされた。

茎葉中のSiO<sub>2</sub>%はケイ酸添加区で対照区, カルシウム単用区に比べ明らかに高い値を示した。そしてカルシウム添加は茎葉中のSiO<sub>2</sub>%をわずかに低下させ傾向が認められた。

茎葉中のCa%はカルシウム添加により, きわめてわずかに増加の傾向が認められた。

跡地土壌のpHは大量のアルカリ資材の混入にもかかわらず7.0以下であり, 生育への悪い影響は考えられなかった。また跡地土壌中の可給態ケイ酸量はケイ酸質肥料の施肥により, 顕著に高い値を示した。一方, 跡地土壌中の置換性カルシウム量はカルシウム添加区のみならずケイ酸単用区においても対照区より高い値を示した。

## 文 献

- 1) 三宅靖人・平岡 忠・多田正人・花房徳治  
：岡大農場報告**9**， 4 - 7 (1986)
- 2) 大川金作：土肥誌**10**， 96 (1936)
- 3) 奥田 東・高橋英一：土肥誌**32**， 481 -  
488 (1961)
- 4) 岡本 嘉：農及園**46**， 157 - 161 (1971)
- 5) 吉田昌一：土肥誌**31**， 42 - 48 (1960)
- 6) 津野幸人：鳥取県土肥研講演資料**9** - 23  
(1985)
- 7) 高平隆興：石川県土肥懇談会誌**4**， 7 - 10  
(1985)
- 8) 出口正夫・太田安定：土肥誌**27**， 407 -  
409 (1957)
- 9) 太田安定：土肥誌**33**， 107 - 110  
(1962)
- 10) 太田安定：土肥誌**33**， 143 - 145  
(1962)
- 11) 太田安定：土肥誌**33**， 146 - 148  
(1962)
- 12) 大山信雄：農及園**60**， 1385 - 1389  
(1985)
- 13) 三宅靖人：未発表
- 14) 岩崎清治・速水昭彦・徳永美治・松村安治  
：東近農試報**22**， 21 - 71 (197)
- 15) 大山信雄・坂井 弘・小林広美・川崎 勇  
・野々山芳夫・河本 泰：中国農試報**E7**，  
49 - 94 (1972)
- 16) 甲斐秀昭：水田土壌学(川口桂三郎編)  
P P， 241 講談社， (1978)
- 17) 今泉吉郎・吉田昌一：農技研報**B8**， 261  
- 304 (1958)
- 18) 高橋和夫：四国農試報**38** 75 - 114  
(1981)
- 19) 高橋英一・三宅靖人：土肥誌**47** 296 -  
300 (1976)
- 20) 高橋英一・三宅靖人：土肥誌**47** 301 -  
306 (1976)
- 21) 高橋英一・田中輝夫・三宅靖人：土肥誌**52**，  
503 - 510 (1981)