

## 水稻の生育に対するけい酸の時期別供給の影響

西原典則 ・ 二之宮哲志\* ・ 堀口 毅  
恒吉利彦\*\* ・ 稲永醇二 ・ 西川正雄\*\*\*

(昭和 52 年 8 月 31 日 受理)

### Effects of Silicon, Supplied at Different Growing Seasons of Rice Plants, on Their Growth

Tsunenori NISHIHARA, Tetsushi NINOMIYA, Tsuyoshi HORIGUCHI,  
Toshihiko TSUNEYOSHI, Shunji INANAGA and Masao NISHIKAWA

(Laboratory of Fertilizers)

#### 緒 言

けい酸は現在植物の必須元素として一般に認められていないが<sup>23, 53, 54)</sup>、とくに水稻には比較的少量に含有されている<sup>40, 41)</sup>。水稻のけい酸吸収は積極的・代謝的<sup>10, 13, 14, 16, 30, 31, 42, 43)</sup>であり、植物体内で重要な生理的役割を果たしている。土壌のけい酸供給力の小さい水田においてけい酸塩の施用が水稻の生育・収量を増加させた例は数多く報告されている<sup>2, 3, 4, 6, 18, 33~38, 48)</sup>。その理由の一つとしてけい酸の多施用により葉が直立型となり受光態勢が有利となって水稻全体の光合成能力が増大することがあげられる<sup>5)</sup>。

一方、水稻に対するけい酸欠除の影響については主に水耕栽培によって検討されており、奥田ら<sup>27)</sup>は水稻をけい酸欠除培養液で栽培し、けい酸 ( $\text{SiO}_2$ ) 含量 0.063% の植物体を得たが、水稻は病害虫に冒されなかったにもかかわらず生育が抑制され、穀実収量が著しく減少した。一般に水稻をけい酸欠乏状態で栽培すると、草丈が低く<sup>17, 21, 22, 24, 25, 49)</sup>、出穂後粒が褐色になり<sup>4, 15, 17, 24, 25)</sup>、また一穂粒数、登熟歩合、千粒重などが低下するといわれている<sup>4, 17, 22, 25, 32)</sup>。

このように水稻の生育・収量に対するけい酸の影響は広く認められているが、けい酸供給時期と水稻の生育との関係についての報告は少ない<sup>22, 27, 32)</sup>。よって本研究においてはけい酸の欠除期間および供給期間を段階的に変えて水稻を栽培し、水稻の生育・収量に対す

るけい酸の時期別役割を明らかにしようとした。

#### 試 験 方 法

##### 1. 試験設計

けい酸の欠除期間および供給期間が水稻の生育・収量に及ぼす影響をみるため第 1 図に示すように 13 の試験区を設けて水稻を水耕栽培した。試験区のうち 1 区は全生育期間けい酸を供給し、10 区は全生育期間けい酸を欠除して水稻を栽培した。2~9 区は一定期間けい酸欠除状態で水稻を栽培したのちけい酸の供給を行なった。また 11~13 区は一定期間けい酸を供給したのちけい酸欠除状態で水稻を栽培した。なお試験は各区 4 連で行なった。

##### 2. 栽培方法

###### (1) 育苗

塩水選 (比重 1.15) した水稻農林 18 号の種子を粗殻を除いたのちウスプルンを用いて消毒し、一夜浸漬して催芽させ、1970 年 5 月 20 日にポリスチロール樹脂砂に播種した。発芽した水稻幼苗は 6 月 1 日から水耕栽培を行なった。培養液は当初塩化カルシウムおよび硫酸マグネシウムを用いて  $\text{CaO}$  および  $\text{MgO}$  がそれぞれ 2.5 ppm になるように調製したが、6 月 8 日から上記のほか硝酸アンモニウム、リン酸一アンモニウムおよび硝酸カリウムを用いて  $\text{N}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$  および  $\text{K}_2\text{O}$  がそれぞれ 5、2.5 および 5 ppm になるように調製した。さらに 6 月 15 日から培養液の成分組成をけい酸を除き本栽培の場合と同じくし、成分濃度をその 1/2 とした。

###### (2) 本栽培

7 月 1 日より本栽培を開始した。培養容器は塩化ビニール製ポット (6 l 容) を用い、各ポットに上記の

\* 現在 鹿児島県高山高等学校

\*\* 現在 鹿児島県畜産試験場

\*\*\* 現在 フナイ薬品工業株式会社

本報告の一部は 1971 年 10 月日本土壌肥料学会九州大会において発表した。

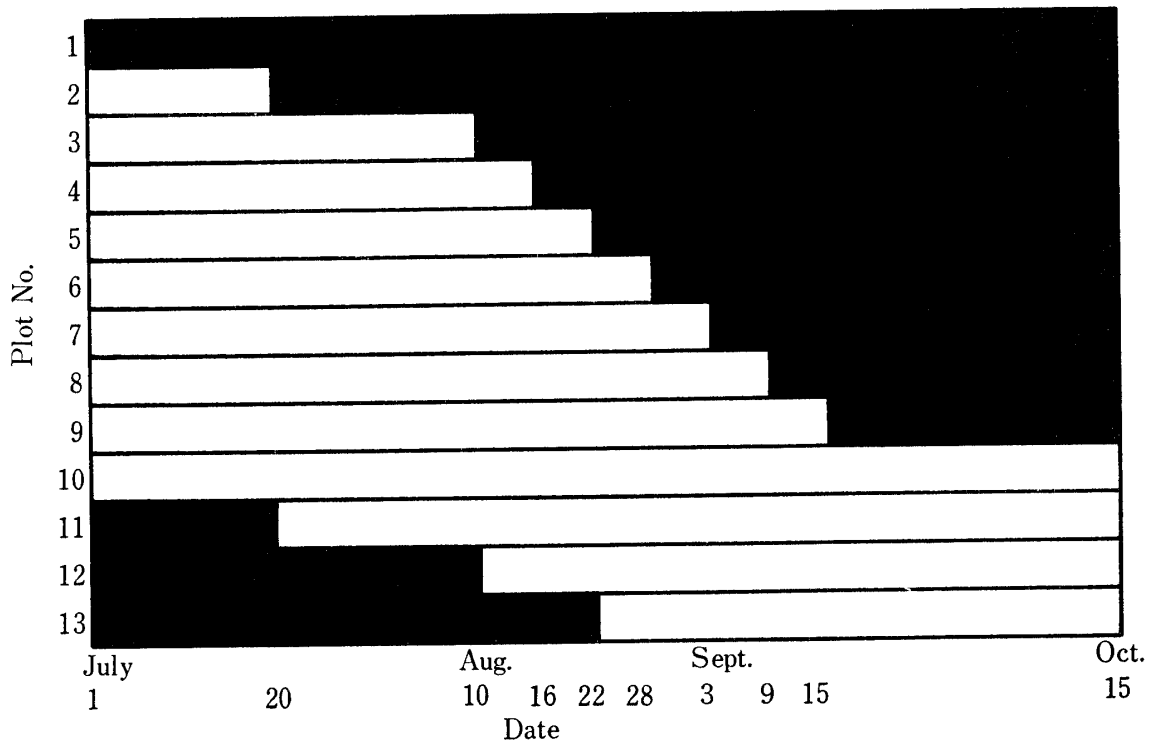


Fig. 1. Experimental design.

Remarks ;  Silicon supplying-period  Silicon lacking-period  
Replication : 4

Table 1. Composition of the nutrient solution

Element	Concentration ppm	Chemical form
N	20	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , KNO <sub>3</sub>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
K <sub>2</sub> O	20	KNO <sub>3</sub>
CaO	10	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O
MgO	10	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O
Fe	1.0	Fe-EDTA*
Mn	0.3	MnSO <sub>4</sub> ·4-6H <sub>2</sub> O
B	0.1	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
Zn	0.01	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O
Cu	0.01	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O
Mo	0.001	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·4H <sub>2</sub> O
SiO <sub>2</sub>	100.0	xSiO <sub>2</sub> ·yH <sub>2</sub> O**

Remarks ; pH 5.6

\* Fe-EDTA was prepared with FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O and Na-EDTA.

\*\* Silicic acid solution was prepared by passing sodium silicate through a H-type cation exchange resin (Amberlite IR-120) column.<sup>26)</sup>

水稲苗を1本ずつ栽植した。培養液の組成は第1表のとおりである。けい酸の調製は奥田ら<sup>26)</sup>の方法によりけい酸ナトリウムをカチオン交換樹脂(アンバーラ

イト IR-120) カラムをとおして脱ナトリウムしたものをういた。培養液の更新は6~10日ごとに行ない、更新の際に培養液の反応を水酸化ナトリウム溶液を用いて pH 5.6 に調整した。9月15日以後は基本培養液より窒素成分を除いて栽培した。培養液はすべて脱塩水を用いたが、脱塩水中の SiO<sub>2</sub> 濃度は 0.18 ppm であった。

### 3. 試料の採取および分析方法

培養液については培養液更新直後および水稲栽培後に試料を採取した。水稲については10月15日(成熟期)に採取し、直ちに穂、葉身、葉鞘、茎および根に分け、葉身はさらに止葉を第1葉として上位から順次第5葉まで葉位別に分け、それ以下を下位葉とした。穂は穂軸と籾に分け、籾については風乾後塩水選を行ない、比重1.06以上を精籾とし<sup>27)</sup>、それ以下を糶とした。なお穂軸は茎に加えた。籾以外の水稲体各部位は風乾後粉碎して分析に供した。

けい酸の分析は培養液についてはその一定量をポリエチレン製ビーカーに採り、NaOH濃度が5%になるように水酸化ナトリウム溶液を加え、80°Cに1時間加熱してけい酸を解重合させたのちモリブデン青法<sup>11)</sup>によりけい酸を比色定量した。水稲体については

試料の一定量を採り、過塩素酸および硝酸により湿式分解したのち<sup>44)</sup>、けい酸含有量の比較的多い試料は重量法によりけい酸を定量した。またけい酸含有量の少ない試料は湿式分解後濾過し、残渣をポリエチレン製ビーカーに移し、5% NaOH を加え湯せん上で1時間加熱してけい酸を溶解したのち<sup>45)</sup>、モリブデン青法<sup>11)</sup>によりけい酸を比色定量した。

試験結果

1. 生育状況および乾物重

水稻の主稈の出葉数はいずれの区も17枚で、第1～5葉位の葉の出葉期は下位よりそれぞれ7月26日、8月3日、8月11日、8月18日および8月26日であった。けい酸欠除時に出葉した葉は軟弱で垂れ下がり、先端部が褐色になったが、けい酸供給時に出葉した葉は粗剛で直立する傾向がみられた。

水稻の生育に伴う草丈の推移についてみると第2図のとおりである。この図においてまず1～10区を比較すると、1区は各生育時期において他の区に比して大であった。7月12日および7月22日には2区から10区まで大差なかったが、8月1日および8月10日には1区から3区まで順次低下し、3区から10区まで大差なかった。8月20日には1区から5区、8月30日および9月10日には1区から10区まで順次低下の傾向を示した。次に1区および10～13区について比較すると、7月12日から8月1日までは1区と11～13区はいずれも大差なく、10区はそれらに比して小さかったが、8月10日以降は10区から13区まで順次増加した。13区は1区に比して8月20日までは大差なかったが、8月30日以降は小さかった。分けつ数の推移については区間に大きな差異がみられず、穂数はいずれの区も大差なかった。出穂期はいずれの区も9月11日であった。穂揃期は1区と10区を比較すると10区がやや遅れる傾向がみられたが、2～9区の穂揃期は必ずしも1区と10区の間にはなかった。10～13区の籾に出穂後褐色の斑点が生じたが、1～9区の籾にはこのような斑点はみられなかった。

水稻の収量および収量構成要素についてみると第2表のとおりである。まず水稻体各部位の乾物重についてみると、わら、根および精籾重はいずれも1区から10区まで順次減少し、10区から13区まで増加したが、糶重は逆に10区が最も大で、10区から1区および10区から13区まで順次減少した。もみわら比は1～10区においてはいずれも大きな差異がみられなかったが、10～13区においては10区が最も大で、13区

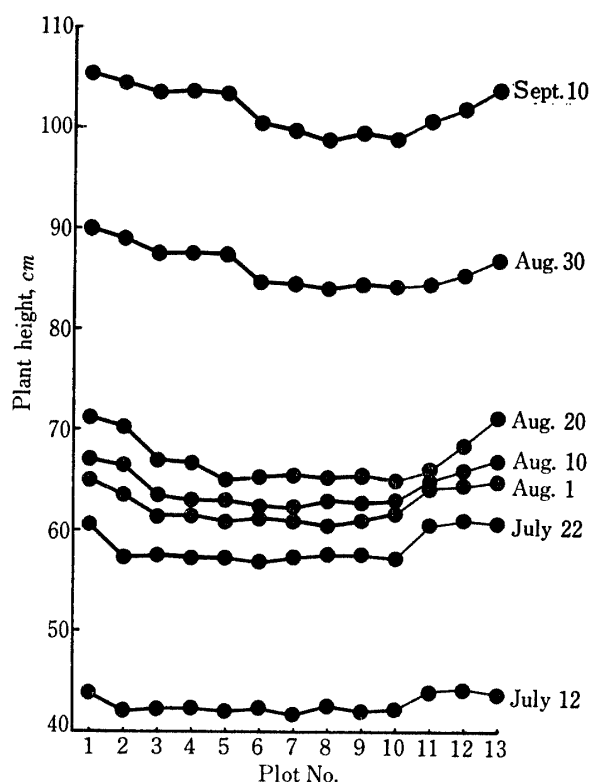


Fig. 2. Plant height.

まで順次減少した。

次に収量構成要素についてみると、1～10区において1株当たり粒数は1区と2区は大差なかったが、3区はこれらに比して明らかに小さく、3～10区はいずれも大きな差異はみられなかった。また登熟歩合および千粒重は1区と2区は大差なく、2区から10区まで順次減少の傾向を示した。一方10～13区において1株当たり粒数は10区と11区はほぼ同じで、12区は11区に比し、また13区は12区に比して明らかに大であった。13区は1区と同じ粒数であった。また登熟歩合は10～13区ではいずれも大差なく、千粒重は10～12区においては大差なかったが、13区は12区に比して大であり、1区とはほぼ同じであった。

なお葉身について第1葉(止葉)から第5葉まで葉位別の乾物重を示すと第3図のとおりである。この図から明らかなように第1葉重は1～6区はいずれも大差なかったが、7区から10区まで順次減少した。また10～13区においてはいずれも大差なかった。第2葉重は第1葉重とほぼ同じ傾向を示したが、区間の差異は第1葉に比して小さかった。第3葉重は1区から10区まで順次わずかず減少した。また11区は10区と大差なかったが、12区は11区に比して大であり、13区は12区に比して大であった。第4葉重は1区と2区は大差なかったが、3区、4区と順次減少し、4

Table 2. Yield and yield-components

Plot No.	Straw g/pot	Root g/pot	Winnowed paddy g/pot	Abortive grains g/pot	Grain-straw ratio	Number of grains per hill ×100	Percentage of ripened grains	1,000- kernel-weight* g
1	52.0	12.2	41.6	2.06	0.88	20.0	88	23.6
2	50.7	11.6	41.6	2.54	0.82	19.8	88	23.6
3	46.8	11.4	37.1	2.71	0.79	18.3	86	23.5
4	45.6	11.3	36.2	3.84	0.79	17.9	86	23.4
5	44.8	11.2	35.9	3.45	0.80	18.0	86	23.4
6	44.4	11.2	35.9	3.51	0.81	18.0	85	23.3
7	43.5	10.7	35.9	3.60	0.83	18.2	85	23.3
8	42.6	10.7	35.8	4.06	0.84	18.4	84	23.2
9	41.7	10.3	35.0	4.40	0.84	18.2	83	23.1
10	41.0	10.1	34.5	4.61	0.84	18.1	81	22.9
11	42.9	10.5	35.4	3.45	0.83	18.0	82	22.9
12	47.0	11.0	36.2	2.29	0.77	19.0	82	23.0
13	50.7	11.4	38.6	1.76	0.76	20.0	83	23.5

Remark; \* Hulled rice

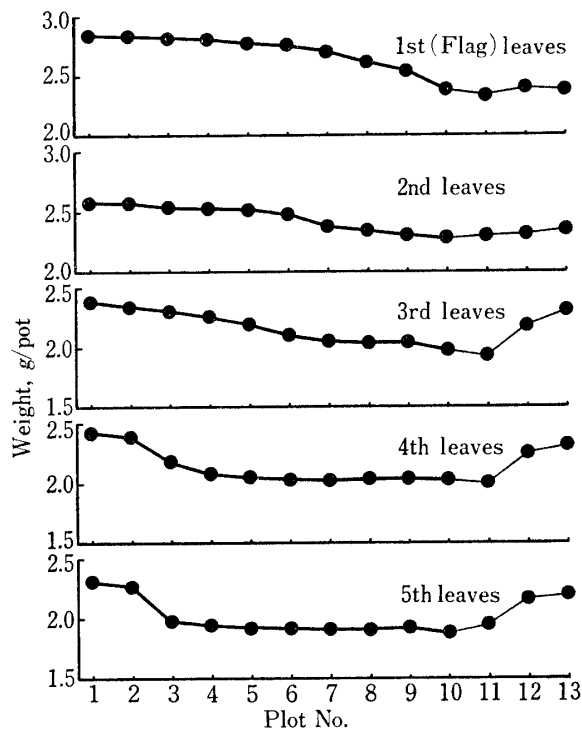


Fig. 3. Weights of leaves of each position on the stems.

区から10区までほぼ同じであった。10~13区は第3葉重と同じ傾向を示した。第5葉重は1区と2区は大差なく、3区はそれより明らかに小さかったが、3~10区はほぼ同じ値を示した。10~13区は第3葉重とほぼ同じ傾向を示したが、12区と13区の差はわずかであった。

## 2. けい酸吸収経過

培養液中けい酸含有量の培養液更新直後と水稻栽培後における差をその期間における水稻のけい酸吸収

量として水稻の生育に伴うけい酸吸収経過をみると第4図のとおりである。この図において水稻の全生育期間けい酸を供給した1区におけるけい酸吸収速度をみると、試験開始(7月1日)から7月20日までは小さく、その後増加し、8月16~22日にわずかに減少したが、その後再び増加し、9月15日以降は減少した。2~9区においてけい酸供給開始後のけい酸吸収速度は1区とはほぼ同じ傾向を示した。なお11, 12および13区においてはそれぞれ7月20日, 8月10日および8月22日まで1区と同じけい酸吸収経過を示し、その後けい酸を吸収しなかった。

## 3. けい酸含有量

水稻体各部位のけい酸含有率は第3表に示したとおりである。この表から明らかのように葉身, 葉鞘および根では1区と2区は大差なかったが, 3区はそれらに比して明らかに小さく, 3区から9区まで順次減少し, 10区は著しく小さかった。またこれらの部位では11区から13区まで順次増加した。茎では1~6区はいずれも大差なく, 7区はそれらに比して明らかに小さかった。7区から9区まで順次減少し, 10区は著しく小さかった。11~13区はいずれも10区に比してわずかに大であった。玄米では1~9区は大差なく, 10区および11~13区はいずれも著しく小さかった。籾殻では1~8区はいずれも大きな差異がみられず, 9区はそれらに比して明らかに小さく, 10区は著しく小さかった。11~13区はいずれも10区に比してわずかに大であった。糶は籾殻とほぼ同じ傾向を示した。

水稻葉身について葉位別のけい酸含有率を示すと第5図のとおりである。まず1~10区についてみると,

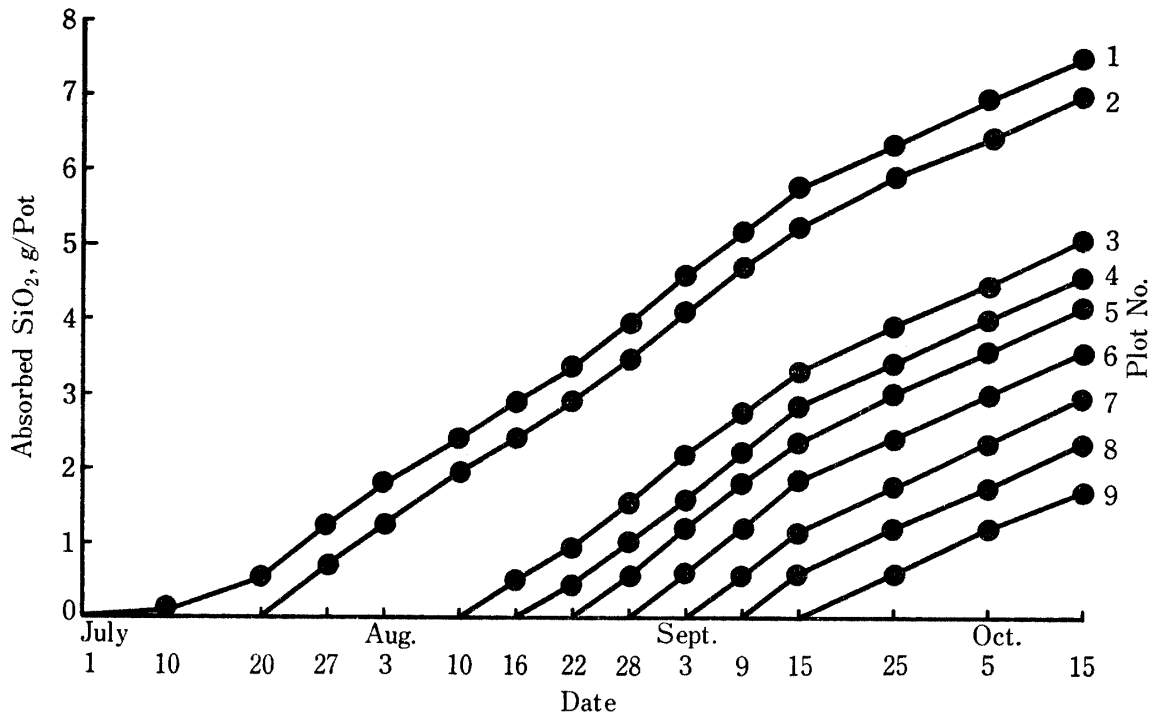


Fig. 4. Time-course of silicon absorption by the rice plants.

Table 3. Contents of silicon in the plants

Plot No.	SiO <sub>2</sub> % by dry weight						
	Leaf-blade	Leaf-sheath	Stem	Root	Hulled grain	Hull	Abortive grain
1	15.1	14.0	3.74	0.82	0.07	12.2	5.88
2	14.4	13.6	3.70	0.75	0.07	12.0	5.44
3	9.43	9.33	3.81	0.29	0.07	12.1	5.04
4	8.45	8.67	3.86	0.26	0.08	12.1	4.78
5	8.01	7.20	3.67	0.20	0.07	12.1	4.42
6	6.78	6.16	3.39	0.19	0.07	11.8	4.06
7	4.73	4.97	2.95	0.11	0.07	11.8	6.69
8	3.71	3.70	2.77	0.09	0.09	11.3	4.96
9	3.24	2.66	2.33	0.09	0.08	8.54	3.37
10	0.20	0.09	0.04	0.07	0.01	0.12	0.09
11	2.05	1.30	0.11	0.18	0.02	0.21	0.12
12	7.27	5.85	0.14	0.39	0.02	0.34	0.11
13	9.24	8.18	0.19	0.44	0.01	0.40	0.16

いずれの葉位においても10区は他の区に比して著しく小さかった。第1葉では1~6区はいずれも大差なかったが、7区、8区と順次減少し、9区は8区とほぼ同じであった。第2葉では1~5区はいずれも大差なかったが、6区から8区まで順次減少し、9区は8区とほぼ同じであった。第3、第4および第5葉では1区から9区まで順次減少した。次に10~13区についてみると、第1葉では11~13区はいずれも10区とほぼ同じであり、第2葉および第3葉では11区および12区は10区と大差なく、13区はそれより大であった。第4葉では11区は10区と大差なかったが、12

区、13区と順次増加した。第5葉は第4葉と同じ傾向であったが、12区と13区は大差がなかった。12区および13区は下位葉ほどけい酸含有率が大きであった。

考 察

木村ら<sup>7)</sup>は窒素養分の水稻籾生産に対する時期別貢献度をみるため、窒素の供給時期および供給量を段階的に変えて栽培試験を行なった。Tanakaら<sup>4)</sup>も水稻について木村らと同様の設計で試験を行ない、窒素供給時期の収量構成要素に及ぼす影響を解析的に検討した。同様の試験はカリウムについても行なわれてい

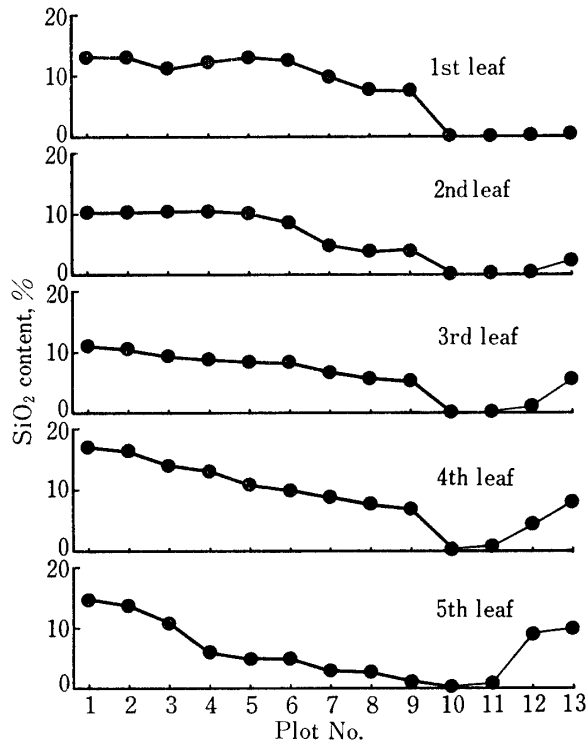


Fig. 5. Silicon content of leaf of each position on the stem.

る<sup>8,9,20</sup>。けい酸について大川<sup>32</sup>は水稻の生育期間を数期に分け、けい酸を供給または欠除した区を設けて検討し、地上部の重量、根重、籾数、籾重、登熟歩合などがけい酸添加時期の早いもの、欠除時期の遅いものほど大きくなることを明らかにした。岡本<sup>22</sup>はこれと同様の試験を行ない、けい酸施用期間の長いほど草丈が大きくなったが、莖数、葉数などについては一定の傾向がなかったと報告している。また奥田<sup>27</sup>は水稻の生育時期を幼穂形成期を境に生育前期と後期に分け、各期にけい酸添加および欠除を組み合わせた4区を設けて水耕栽培試験を行なったが、けい酸欠除の影響は生育後期において著しく、一穂粒数の減少や稔実不良により収量が激減した。

本研究においては、けい酸の供給時期が水稻の生育・収量に及ぼす影響を明らかにするため、けい酸供給時期を段階的に変えて栽培試験を行なった。試験設計は第1図に示したとおりである。けい酸は窒素、カリウムなどと異なり、植物体内において沈積したあと再移動することが少ないので<sup>57</sup>、試験設計には水稻生育の途中からけい酸を供給する区を多く設け、あわせて生育の途中までけい酸を供給する区を設けた。この試験設計において1区は水稻生育の全期間にわたってけい酸を供給した区であり、10区は全期間けい酸を欠除し

て栽培した区である。また2~9区は生育初期からけい酸欠除栽培を行ない、生育の途中からけい酸供給をはじめた区であり、11~13区は試験開始時からけい酸を供給し、生育の途中からけい酸欠除栽培を行なった区である。培養液に用いた水はイオン交換樹脂をとおした純水で、その中のSiO<sub>2</sub>含有量は0.18 ppmであった。また栽培試験は主としてガラス室内で行なったが、塵埃からのけい酸の混入を防ぐ特別の手段は講じなかった。したがってけい酸欠除栽培は厳密な無けい酸栽培ではなかった。なおけい酸供給時における培養液中のSiO<sub>2</sub>濃度は100 ppmとした。

水稻の生育状況をみると、主稈の出葉数および出葉期は各区間に差異が認められなかったが、同様の結果は岡本<sup>22</sup>も認めている。けい酸欠除栽培の水稻では葉が垂れ下がることが一般に認められているが<sup>4,5,27,28,56</sup>、本試験においてもけい酸欠除栽培期間に出葉した葉は軟弱で垂れ下がり、けい酸供給期間に出葉した葉は粗剛で直立する傾向がみられた。

水稻の生育各期における草丈についてみると第2図のとおりである。この図から明らかなように7月22日まではけい酸供給区(1および11~13区)がけい酸欠除区(2~10区)に比して大であった。8月20日(幼穂形成期)にはそれまでにけい酸の供給をはじめた区(1~4区)ではいずれもけい酸欠除区(5~10区)に比して草丈が大であり、1~4区ではけい酸供給時期が早いほど大であった。また10~13区についてみると、けい酸欠除時期の遅いほど草丈が大であった。この傾向は8月30日および9月10日にもみられた。けい酸添加により水稻の草丈が増加することは水耕試験<sup>4,17,21,22,24,25,49</sup>および圃場試験<sup>2,6,33,34,37</sup>で認められており、とくに生育後期における節間伸長の促進および節間長の合計量の増加が認められているが<sup>21,24</sup>、本試験では生育初期から草丈に対するけい酸の影響がみられた。なお分けつ数の推移および穂数については区間に大きな差異はみられず、出穂期はいずれの区も9月11日であった。

けい酸欠乏水稻の特徴の一つとして出穂後籾が褐色になることが指摘されているが<sup>4,15,17,23,25</sup>、本試験においても出穂の20日以上前からけい酸欠除栽培をした10~13区の籾に出穂後褐色の斑点を生じ、出穂後4日目以前からけい酸を供給した1~9区には褐色斑点が認められなかった。以上の結果から籾におけるけい酸欠乏症状の発現は生育後期におけるけい酸の欠除によることが明らかになったが、このことは水稻体内におけるけい酸の移動性の少ないことを示すものと考え

られる。

水稻の収量および収量構成要素に及ぼすけい酸の影響についてみると第2表のとおりである。けい酸供給力の低い水田でけい酸塩の施用が水稻の収量を増加させた事例は数多く報告されており<sup>2,3,4,6,18,33-38,48</sup>、けい酸が水稻根の発達<sup>4,46</sup>や発根力<sup>19</sup>、酸化力<sup>29</sup>などに影響することもよく知られている。また水耕栽培試験において水稻に対するけい酸の欠除が生育量の低下を招くことも一般に認められている<sup>4,17,21,27,28,56</sup>。本試験において全生育期間をけい酸欠除栽培した10区は全生育期間けい酸を供給した1区に対してわら重、根重および精籾重がそれぞれ79, 83および83%を示し、糞重は逆に2.2倍に増加した。その他の区についてみると、1区と2区および10区と11区におけるわら重および精籾重の差異は大きくなかったが、その他の区ではけい酸の供給時期が遅いほど、また欠除時期が早いほどわら重、根重および精籾重は減少し、糞重は増加の傾向を示した。本試験において2区は試験開始から7月20日までけい酸欠除栽培をした区であり、11区は7月20日までけい酸を供給した区であって、このように水稻の生育初期におけるけい酸供給の有無がわら重および精籾重に大きな影響を及ぼさなかったのは、その時期における水稻の生育量が小さかったためと考えられる。もみわら比はけい酸供給時期の遅いほど、またけい酸欠除時期の早いほど大きくなる傾向がみられた。

水稻の収量構成要素に対するけい酸の影響についてはけい酸欠除によって登熟歩合<sup>17,22,27,28</sup>、一穂粒数<sup>17,27</sup>、千粒重<sup>4,17</sup>などが減少し、玄米は小粒となり<sup>15,23,25</sup>、穂の澱粉が減少し<sup>50</sup>品質が低下することが認められている。本試験の結果によれば一株粒数、登熟歩合および千粒重は1区と2区は大差がなかったが、3~10区ではけい酸供給時期が遅くなるほど減少する傾向を示した。また10~13区において一株粒数および千粒重は10区と11区は大差なかったが、その他の区ではけい酸欠除時期が遅いほど増加する傾向がみられた。これらの結果から本試験において収量構成要素に対するけい酸の影響は認められたが、水稻の生育初期(7月1日~7月20日)におけるけい酸供給の影響は小さいものと考えられる。なお11~13区における登熟歩合はいずれも10区と大差なかった。11~13区はいずれも8月22日以降けい酸欠除栽培をした区であり、この結果は栄養生長期よりも生殖生長期におけるけい酸の供給が登熟歩合の向上に大きく寄与することを示唆しているものと考えられる。

次に各葉位の葉身重について示すと第3図のとおりである。まず1~10区についてみると、第1葉(止葉)重においては第1葉の出葉期(8月26日)以前および出葉時にけい酸の供給をはじめた1~6区はいずれも大差なく、それ以後にけい酸を供給した7~9区ではけい酸供給時期が遅いほど葉重が減少した。同様の傾向は第2葉以下の葉においてもみられた。次に10~13区についてみると、第1葉および第2葉では区間に大きな差異はみられなかった。11~13区はいずれも第1葉および第2葉の出葉期以前または出葉直後にけい酸の供給を停止した区である。第3葉においては10区と11区は大差なく、12区、13区と順次増加した。第4葉および第5葉は第3葉とほぼ同じ傾向を示したが、12区と13区の差異は小さかった。11区は第5葉の出葉期以前にけい酸の供給を停止した区であり、12区は第3葉の出葉期直後からけい酸を欠除した区である。したがって本試験の結果から葉重の増加に対しては出葉後のけい酸の供給が最も大きな影響を及ぼすものと考えられる。

水稻のけい酸吸収経過をみるため各ポットの培養液について培養液更新直後と水稻栽培後におけるけい酸含有量を測定し、両者の差をその期間における水稻のけい酸吸収量とした。第4図は1~9区における水稻の生育に伴うけい酸吸収経過を示したものである。この図において水稻の全生育期間けい酸を供給した1区のけい酸吸収経過をみると、生育初期(7月1日~7月20日)の吸収速度は小さく、分けつ盛期から出穂期頃までさかんに吸収し、出穂後は吸収速度がやや低下した。これは水稻の生育経過とほぼ同じ傾向であった。岡本<sup>22</sup>は水稻のけい酸吸収量は出穂期以後が出穂期前より大きいと報告しているが、本試験の結果によると出穂期以後のけい酸吸収量は全吸収量の約30%であった。なお幼穂形成期(8月22日)以後のけい酸吸収量は全吸収量の約57%であった。2~9区においてけい酸供給開始後の水稻のけい酸吸収経過は1区とほぼ同じ傾向を示した。したがって水稻のけい酸吸収量はけい酸欠除期間の長さに比例して減少したが、生育初期におけるけい酸欠除の影響は小さかった。

水稻体の各部位におけるけい酸含有率を示すと第3表のとおりである。この表にみられるように全生育期間をけい酸欠除栽培した10区の水稲においても各部位にわずかながらけい酸が含まれた。これは前述のように培養液に用いた純水中の微量のけい酸および栽培期間中における塵埃などの混入によるものと推察され

る。葉身、葉鞘および根についてみると、いずれも1区と2区の差はわずかであり、また11区は12区に比して著しく小さかった。これは7月20日までに出土した葉身および葉鞘、および発根した根の成熟期におけるそれぞれの器官の乾物に対して占める割合が小さかったためであると思われる。これらの部位では2~10区においてけい酸欠除期間が長いほどけい酸含有率が減少し、また10~13区においてはけい酸供給期間が長いほどけい酸含有率が増加した。茎についてみると1~6区はいずれも大差なかったが、7区はそれらに比して明らかに減少し、7~9区においてはけい酸供給時期が遅いほどけい酸含有率が減少した。本試験において6区は8月28日以降けい酸を供給した区であり、この時期に水稻体の茎の節間が伸長をはじめたものと思われる。したがって本試験の結果から水稻の節間伸長期以後におけるけい酸の欠除は茎のけい酸含有率の低下をもたらすものと考えられる。また幼穂形成期以前にけい酸の供給を停止した11~13区のけい酸含有率はいずれも10区に比してわずかに大であったが、1区に比して著しく小さかった。このことは水稻体内に吸収集積したけい酸の他部位への再移動性が著しく小さいことを示しているものと思われる。籾殻のけい酸含有率についてみると、1~8区はいずれも大差なかったが、9区はそれらに比して明らかに小さかった。本試験において8区は出穂より2日前の9月9日以降けい酸を供給した区であり、9区は9月15日以降けい酸を供給した区である。したがって本試験の結果から籾殻のけい酸は主として出穂後に集積するものと推察される。なお10~13区においてけい酸含有率は茎と同じようにいずれも1区に比して著しく小さかったが、これらの区では出穂後籾に褐色の斑点を生じた。

葉身について葉位別のけい酸含有率を示すと第5図のとおりである。まず1~10区についてみると、第1葉および第2葉ではそれぞれ出葉期前または出葉時からけい酸を供給した1~6区および1~5区のけい酸含有率はいずれも大差なかったが、それ以後にけい酸を供給した区においてはけい酸供給時期が遅いほどけい酸含有率が減少する傾向を示した。一般に水稻体に吸収されたけい酸は蒸散流とともに地上部に移行分布し、そこで沈積するといわれているが<sup>1,55)</sup>、葉が出葉・展開・充実する期間は蒸散作用もさかんで、けい酸の集積速度も大きいものと思われる。本試験において第1葉における6区から8区、および第2葉における5区から7区にかけてのけい酸含有率の減少割合が

大であった。第1葉において6区および8区はそれぞれ出葉直後および出葉後14日目からけい酸を供給した区であり、第2葉において5区および7区はそれぞれ出葉後4日目および16日目からけい酸を供給した区である。したがって第1葉における6~8区および第2葉における5~7区のけい酸供給開始時期はそれぞれの葉位の葉の出葉・展開・充実の期間にあたるものと考えられる。第3葉以下の葉のけい酸含有率はいずれも1区から10区まで順次低下し、出葉期との関係は明らかでなかった。次に10~13区についてみると、第1葉および第2葉ではいずれもけい酸含有率が著しく小さかったが、これらの区は第1葉および第2葉の出葉前または出葉直後にけい酸の供給を停止した区である。したがってこれらの結果は水稻体内に沈積したけい酸の再移動性の少ないことを示しているものと考えられる。第3葉以下の葉については出葉後けい酸供給期間の長いほどけい酸含有率が大きであった。

1~9区について各葉位の葉と次位の葉のけい酸含

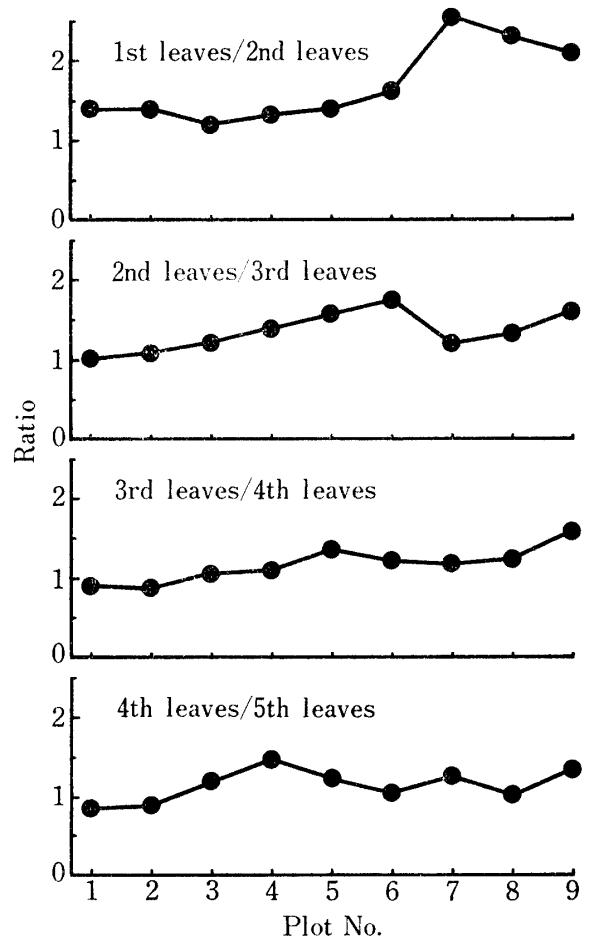


Fig. 6. Ratio of the amount of silicon accumulated in leaves between the one position and the next.



有量の比を求めると第6図のとおりである。まず第1葉/第2葉比についてみると1~6区はいずれも大差なかったが、7~9区はそれらに比して明らかに大であった。7~9区では7区が最も大で、8区、9区と順次低下した。7区は9月3日からけい酸を供給した区であり、この時期は第1葉の出葉後8日目、第2葉の出葉後16日目に相当する。この時期に吸収されたけい酸は第2葉以下の葉にも分配されるが、最も新しく展開・充実している葉に最も多く分配されたものと推察される。次に第2葉/第3葉比についてみると、1区から6区まで順次増加し、7区は減少したが、9区は6区に次いで大であった。6区は第2葉の展開・充実の時期にけい酸の供給を開始した区である。9区の値が大であったのは9月15日以降において第3葉の生理機能が低下し、吸収されたけい酸の第3葉への分配割合が低下したためと思われる。第3葉/第4葉比および第4葉/第5葉比については一定の傾向がみられなかった。

水稻に吸収されたけい酸の各部位における分布割合をみると第7図のとおりである。まず水稻の全生育期間けい酸を供給した1区についてみると、けい酸の分布割合は葉鞘が最も大で、葉身がこれに次ぎ、以下籾、茎、根の順であった。葉鞘および葉身の合計は約80%であり、籾の占める割合は約14%であった。次に1~9区についてみると、2区は1区とほぼ同じ分布割合を示したが、その他の区ではけい酸供給時期が遅くなるほど葉身および葉鞘の分布割合が減少し、籾および茎の分布割合が増加した。ただし9区は8区に比して籾の分布割合が減少し、葉身の分布割合が増加した。11~13区についてみると、いずれもけい酸の90%以上が葉身および葉鞘部に分布し、籾および茎の分布割合は著しく小さかった。すなわち栄養生長期に吸収したけい酸は大部分が葉身および葉鞘に分布沈積し、出穂後籾や茎へほとんど移行しなかった。

以上の結果を総合すると、水稻に吸収され各器官に移行・沈積したけい酸はその後ほとんど再移動しないものと考えられる。また水稻に対するけい酸の影響は水稻の生育前半においては主として葉の充実および草型を直立型にすることによって光合成に有利に影響し、生育後半においては主として茎や籾の發育、登熟歩合の向上などに寄与するものと考えられる。したがって水稻の生育・収量の増加をはかるには生育初期を除く全生育期間にわたってけい酸の供給が必要であると思われる。

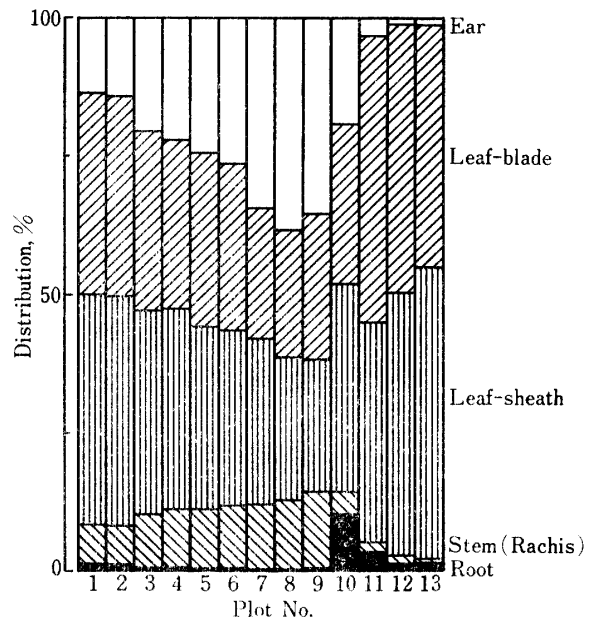


Fig. 7. Distribution of silicon in the rice plants.

摘 要

水稻の生育・収量に及ぼすけい酸の時期別影響をみるため、けい酸の供給時期および欠除時期を段階的に変えて水稻を水耕栽培した。得られた結果は次のとおりである。

1. けい酸欠除期間に出葉した葉は軟弱で垂れ下がり、けい酸供給期間に出葉した葉は粗剛で直立する傾向を示した。
2. 草丈はけい酸供給時期が早いほど、またけい酸欠除時期が遅いほど大であった。
3. 出穂の20日以上前からけい酸を欠除した区では出穂後の籾に褐色の斑点を生じたが、出穂直後以前からけい酸を供給した区の籾は健全であった。
4. 水稻のわら重、根重および精籾重はけい酸供給時期が早いほど、またけい酸欠除時期が遅いほど大となり、糶重は逆に減少した。
5. 水稻の収量構成要素のうち一株粒数、登熟歩合および千粒重はけい酸供給時期が早くなるほど増加した。また一株粒数および千粒重はけい酸欠除時期が遅いほど増加したが、登熟歩合は栄養生長期以後けい酸を欠除した区では低かった。
6. 生育初期(7月1日~7月20日)のけい酸欠除は水稻の収量および収量構成要素に大きな影響を及ぼさなかった。
7. 各葉位の葉重は出葉後のけい酸供給開始時期が早いほど、またけい酸欠除時期が遅いほど大であ

た。

8. 葉身、葉鞘および根のけい酸含有率は生育初期にはけい酸欠除の影響をほとんどうけなかったが、その後はけい酸供給時期が早いほど、またけい酸欠除時期が遅いほど大であった。

9. 茎では節間伸長期、籾殻では出穂期までにけい酸供給をはじめた区のけい酸含有率はいずれも大差なかったが、その後までけい酸を欠除した区はけい酸含有率が低下した。栄養生長期以後けい酸を欠除した区における茎および籾殻のけい酸含有率は著しく低かった。

10. 葉身のけい酸含有量において第1葉(止葉)/第2葉比および第2葉/第3葉比はそれぞれ第1葉および第2葉が出葉・充実している時期にけい酸供給をはじめた区が大であった。

11. 水稻体の各部位におけるけい酸の分布割合はけい酸供給時期の遅いほど葉身および葉鞘部が減少し、籾および茎部が増加する傾向を示した。また栄養生長期以後けい酸を欠除した区における籾および茎部のけい酸分布割合は著しく小さかった。

#### 引用文献

- 1) 馬場 赴: 水稻の窒素及び珪酸の栄養生理に関する研究 第1報. 日作紀, **23**, 325 (1955)
- 2) 藤原英八・黒沢順平・菅原信夫: 水稻に対する珪酸石灰の肥効について. 土肥要旨集, **1**, 49 (1955)
- 3) 今泉吉郎・吉田昌一: 水田土壌の珪酸供給力に関する研究. 農技研報告, **B8**, 261-304 (1958)
- 4) 石橋 一: 水稻生育に対する珪酸の影響. 土肥誌, **10**, 244-256 (1936)
- 5) 岩田岩保・馬場 赴: 水稻品種の耐肥性に関する研究 第2報. 日作紀, **30**, 237-240 (1962)
- 6) 川端清一: 湿田における珪酸石灰施用成績. 農業技術, **10**, 278-279 (1955)
- 7) 木村次郎・千葉春雄: 窒素養分の水稻生産能力に対する吸収経過による分解的研究. 土肥誌, **17**, 479-497 (1943)
- 8) 木内知美: 水稻に対する加里の効果の分解的研究 (第1報). 土肥誌, **22**, 132-136 (1951)
- 9) 木内知美: 水稻に対する加里の効果の分解的研究 (第2報). 土肥誌, **22**, 177-182 (1952)
- 10) 河野通佳・高橋治助: 養分吸収における水稻とトマトの違いについて (第1報). 土肥誌, **29**, 63-66 (1958)
- 11) 京都大学農学部農芸化学教室編: 農芸化学実験書 第1巻, p. 130-131, 産業図書 (1965)
- 12) 松島省三: 水稻収量の科学 [13]. 農及園, **33**, 99-102 (1958)
- 13) 三井進午・麻生末雄・熊沢喜久雄: 水稻の養分吸収に関する動的的研究 第1報. 土肥誌, **22**, 46-52 (1951)
- 14) 三井進午・熊沢喜久雄・石原達夫: 水稻の養分吸収に関する動的的研究 第7報. 土肥誌, **24**, 45-50 (1953)
- 15) 三井進午・高遠 宏: 禾本科作物に対する珪素の栄養学的意義 第1報. 土肥誌, **30**, 535-539 (1960)
- 16) 三井進午・高遠 宏: 禾本科作物に対する珪素の栄養学的意義 第3報. 土肥誌, **33**, 449-452 (1962)
- 17) 西原典則・恒吉利彦・中村 博・稲永醇二・宇田川長三: 水稻のりん酸代謝に及ぼすけい酸の影響. 鹿大農学術報告, **20**, 85-103 (1970)
- 18) 小幡宗平: 老朽化水田に対する珪酸石灰の効果. 農業技術, **10**, 276-278 (1955)
- 19) 小幡宗平: 珪酸石灰施用が水稻発根力に及ぼす影響に就いて. 土肥要旨集, **3**, 81 (1957)
- 20) 荻原種雄: 水稻に対する加里肥料の効果に関する研究 第一報. 佐賀県農試 (1945)
- 21) 岡本 嘉: 珪酸欠乏水稻の生育について (第2報). 山梨大学芸研究報告, **8**, 172-175 (1957)
- 22) 岡本 嘉: 水稻における珪酸の生理学的研究 III. 日作紀, **25**, 219-221 (1957)
- 23) 岡本 嘉: 水稻におけるケイ酸の生理学的研究 第11報. 日作紀, **39**, 139-142 (1970)
- 24) 岡本 嘉: 水稻におけるケイ酸の生理学的研究 第13報. 日作紀, **39**, 151-155 (1970)
- 25) 岡本 嘉・藤巻敏雄・青木俊一: 珪酸欠乏水稻の生育について (第1報). 山梨大学芸研究報告, **7**, 177-180 (1956)
- 26) 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1報). 土肥誌, **32**, 475-480 (1961)
- 27) 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). 土肥誌, **32**, 481-488 (1961)
- 28) 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3報). 土肥誌, **32**, 533-537 (1961)
- 29) 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6報). 土肥誌, **33**, 59-64 (1962)
- 30) 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8報). 土肥誌, **33**, 217-221 (1962)
- 31) 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9報). 土肥誌, **33**, 453-455 (1962)
- 32) 大川金作: 珪酸の植物に対する生理的機能に関する研究 (其五). 土肥誌, **10**, 414-419 (1936)
- 33) 太田道雄・小林 均: 珪酸塩類の肥料学的価値 第1~3報. 山梨大学芸研究報告, **4**, 351-362 (1953)
- 34) 太田道雄・小林 均・川口豊: 珪酸塩類の肥料学的価値 第4報. 山梨大学芸研究報告, **5**, 183

- 188 (1954)
- 35) 太田道雄・小林 均・川口 豊・一ノ瀬典夫：珪酸塩類の肥料的価値 第5報. 山梨大学芸研究報告, **7**, 156-161 (1956)
- 36) 太田道雄・小林 均・川口 豊・一ノ瀬典夫：珪酸塩類の肥料的価値 第6報. 山梨大学芸研究報告, **8**, 166-171 (1957)
- 37) 太田道雄・岡本 嘉・川口 豊：水稻に対する珪酸塩類の肥効 (第23報). 土肥要旨集, **3**, 25 (1957)
- 38) 白木 実・鈴木孝平：水稻に対する珪酸石灰・苦土石灰の肥効. 土肥要旨集, **1**, 47 (1955)
- 39) 高橋英一：ケイ素の生物学. 京都大食糧科学研報告, **33**, 61-84 (1970)
- 40) 高橋英一・三宅靖人：植物界におけるケイ酸植物の分布について (その1). 土肥誌, **47**, 296-300 (1976)
- 41) 高橋英一・三宅靖人：植物の生育時期および器官によるケイ酸集積性の差異について. 土肥誌, **47**, 338-341 (1976)
- 42) 高橋英一・奥田東：作物に対するケイ酸の栄養生理的役割について (第10報). 土肥誌, **34**, 114-118 (1963)
- 43) 高橋英一・奥田 東：作物に対するケイ酸の栄養生理的役割について (第11報). 土肥誌, **34**, 397-402 (1963)
- 44) 高橋治助：作物試験法, p. 275-276, 農業技術協会 (1957)
- 45) 高橋治助：作物試験法, p. 278-279, 農業技術協会 (1957)
- 46) 高橋治助・柳沢宗男：水稻根の発達に及ぼす頁岩並びに珪カルの影響. 土肥要旨集, **2**, 11 (1956)
- 47) Tanaka, A., Patnaik, S. and Abichandani, C. T.: Studies on the nutrition of rice plant (*Oryza sativa L.*). III. *Proc. Indian Acad. Sci., B*, **49**, 207-216 (1959)
- 48) 土山健次郎・武谷正明：水稻秋落対策資材としての平炉滓の効果に関する研究. 福岡農試 (1961)
- 49) 宇田川畏三・鹿島健一：米麦に対する珪酸の生理的機能に関する研究 (第一報). 鹿大農学術報告, **13**, 116-135 (1963)
- 50) 宇田川畏三・清藤幸一：米麦に対する珪酸の生理的機能に関する研究 (第二報). 鹿大農学術報告, **13**, 136-154 (1963)
- 51) 吉田昌一：珪素をめぐる諸問題 (3). 農業技術, **14**, 56-60 (1959)
- 52) 吉田昌一：植物の珪素栄養をめぐる二, 三の問題. 土肥誌, **31**, 42-48 (1960)
- 53) 吉田昌一・大西よし子：珪素をめぐる諸問題 (1). 農業技術, **13**, 548-550 (1958)
- 54) 吉田昌一・大西よし子：珪素をめぐる諸問題 (2). 農業技術, **14**, 14-17 (1959)
- 55) Yoshida, S., Ohnishi, Y. and Kitagishi, K.: The chemical nature of silicon in rice plant. *Soil and Plant Food*, **5**, 23-27 (1959)
- 56) Yoshida, S., Ohnishi, Y. and Kitagishi, K.: Role of silicon in rice nutrition. *Soil and Plant Food*, **5**, 127-133 (1959)
- 57) Yoshida, S., Ohnishi, Y. and Kitagishi, K.: Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. *Soil Sci. and Plant Nutr.*, **8**, 107-113 (1962)

### Summary

The rice plants were cultured by water culture technique, using thirteen different treatments, with the gradual differentiations in the periods of silicon-supply and silicon-lacking as shown in Fig. 1. The results obtained are as follows:

1. The leaves emerged in the silicon lacking period were slender and noticeably drooped, whereas the leaves emerged in the silicon supplying period were tough and upright.
2. The plant-height increased the more, in proportion both to the silicon supply commenced the earlier and to it brought to the end the later.
3. In those plots of No. 10-13 where the silicon supply was cut off more than twenty days before heading, a number of brown spots appeared on the hulls after heading, while in those plots of No. 1-9 where the silicon supply was commenced before or immediately after heading, the hulls were apparently healthy.
4. The earlier was the commencement of silicon supply and the later was the stoppage of it, the larger was the straw-weight, the root and the winnowed paddy; whereas the smaller was the weight of the abortive grains.
5. The earlier was the commencement of silicon supply, the more increased were the number of grains per hill, the percentage of ripened grains and the 1,000-kernel-weight. While the earlier was the stoppage of silicon supply, the more decreased were the number of grains per hill and the 1,000-kernel-weight, while the percentages of ripened grains in those plots of No. 11-13 where silicon was short of the nutrient solution, during the

reproductive-growth stage, were remarkably low.

6. In the early stage of the plant growth (July 1st-20th), any significant effect of silicon-lack in the nutrient solution on the yields and some components of the yield was not observed.

7. The earlier was the commencement of silicon supply, and the later was the stoppage of it, the larger was the weights of leaves at each position on the stems.

8. In every stage, except the early stage of plant growth, the silicon contents of the leaf-blade, the leaf-sheath and the root increased the more in proportion to the silicon supply commenced the earlier and to its stoppage carried out the later.

9. The silicon contents of the stems in those plots of No. 1-6 where the silicon supply was commenced before the internode-elongation stage, and the silicon contents of the hulls in those plots of No. 1-8 where the silicon supply was commenced before heading, there was not any significant difference noted among those plots. The silicon contents of the stems in the plot of No. 9 where the silicon supply was commenced after the internode-elongation stage, and the silicon contents of the hulls in those plots of No. 7-9 where the silicon supply was commenced after heading, decreased significantly respectively. In those plots of No. 10-13, the silicon contents of the stems and the hulls were remarkably small.

10. Concerning the ratio of the amounts of silicon accumulated in the leaves between the one position and the next on the stems, first leaves (flag leaves) / secondary leaves was noted to be highest in the plot of No. 7, and secondary leaves / third leaves was noted to be highest in the plot of No. 6, and both the first leaf in No. 7 and the secondary one in No. 6 were noted to have previously been supplied silicon since their leaf-development stages.

11. The rate of distribution of silicon in the rice plants was observed to be the more decreased in the leaf-blade and the leaf-sheath, and the more increased in the ear and the stem, in proportion to the commencement of the silicon supply made the later, though it was remarkably low in the ear and the stem of those plots of No. 11-13.