

RI를 이용한珪素施用이水稻의營養要素吸收에 미치는影響(I)

盧 浚 晶

放射線 農學研究所

Studies on the effect of silicate on nutrients up take using radioisotopes in rice plant. (I)

Choon Johong Ro.

Radiation Research Institute in Agriculture.

Abstract

There are still many problems on the physiological role of silicon in rice plants, although, it has been reported that silicate slag is the most effective fertilizer for the improvement of Akiochi soils. This experiment is carried out to investigate the effect of silicate of the mineral nutrition uptake by rice plants, using Ca^{45} , P^{32} , Cl^{36} , and Mn^{54} . The obtained results are summerized as follows;

1. Contents of mineral nutrients except silicon were higher in the rice plant grown in minus Si-culture solution than in plus Si-plot.
2. Transpiration amounts appeared to be greater in the low content plant of silicon.
3. The rate of translocation to shoot of each ion absorbed by roots depended on the rate of transpiration.
4. It seemed that only Cl uptake was found small in minus Si-root.
5. Silicate fertilizer did not affect the solubility of mineral ions in soils.

緒 論

우리나라에서 低位生産地改良에 관한 綜合的 研究가 1962年 發表된 以後 많은 研究報告가 있는데 特히 秋 落現象^(2,7)이나 病蟲害防除^(1,6,13)에 珪酸質肥料의 施用이 特出한 效果^(1,4,5,14,15)를 나타냈고 우리나라에서도 珪酸質肥料^(8,14,15)를 積極的으로 勸奨하고 있다. 그러나 水稻에 있어서 珪酸의 生理的 役割에 대해서는 아직도 不確實한 點이 허다한 實情^(11,1,18)이다.

材料 및 方法

供試材料는 본 研究所 低位生産畚改良實驗圃場인 京畿道 金浦郡 金浦面 吃浦里에서 使用한 水稻品種 農光

The used radioisotopes and specific activity of labelled culture solutions

| Ca^{45} | Cl^{36} | P^{32} | Mn^{54} | F^{55} |
|----------------|------------------|--------------|--------------|--------------|
| 6.3 μ Ci/l | 16 μ Ci/1.2l | 9 μ Ci/l | 3 μ Ci/l | 1 μ Ci/l |

을 택했고 播種後 70日間 珪素水準이 다른 水耕培養液에서 生育시킨 다음 實驗에 使用했다.

供試土壤은 高位畚土壤으로는 金浦面 선수리에서 採取했고 低位畚은 金浦面 吃浦里 本研究所 低位生産改良 實驗畚의 것이다.

使用한 肥料는 農協에서 購入한 珪酸質肥料와 市販되는 珪酸石灰의 두 가지이다.

使用機器

Counter: Tracer lab compumatic V. Scaler, TGC-14. gas flors GM tube, TGC-3 End window type GM tube.

Scintillation detector:

Growth chamber: Yanagimoto Co. Model YGC-II. Atomic absorption spectrometer, Nippon Jarrel ash

Incubator: Satake

實驗方法

1) 蒸散量測定 및 Ion 吸收實驗

供試水稻體의 無機物分析實施(濕式分解法) Growth chamber 內에서 蒸散量測定(用量法) 이때 Growth chamber 內의 條件은 光度; 5,000Lux 온도, 30°C 상대습도, 82% 였으며 蒸散量測定에는 珪素水準別(3) 6 반복 12시간 이었으며 培養液에 各種 RI를 處理하였고 Growth chamber에서 吸收시킨 다음 放射能測定⁽³⁾을 (IAEA)에서 추천한 灰化法으로 했다.

2) 土壤培養實驗:

Incubating test; 三角 flask에다 土壤 및 水準別肥料를 添加하고 一定量의 물을 넣은 뒤 溫度 및 濕度調節을 하였다.

各種無機物分析; ORD土壤分析法에 準함.

播種 및 栽培; 塩水選別한 種子를 0.1% Mercron 液에 6時間 浸漬해서 消毒하고 Nylon網위 溫室에서 發芽 시켰다. 第3葉이 나왔을때 本研究室 標準水耕培養液의 1/4 濃度의 培養液을 供給해 주었다. 이때 珪素源으로 脫塩한 H_2SiO_3 를 使用했고 珪素水準은 0.70. 140. ppm의 3水準 이었다.

培養液調製에는 本研究所의 水道물 불순 때문에 脫塩水準比가 不可能했던 關係로 蒸溜水를 使用하게 되었는데 이것은 수도의 幼苗栽培에 아주 不適當한 條件이라는 事實을 明確히 했다. 즉 蒸溜水 속에는 溶存氣體가 없기 때문에 뿌리의 好氣性呼吸을 抑制하여 養分吸收 및 뿌리의 代謝機能을 不良케 함으로써 生育을 阻害하는 結果를 招來케 된다는 점이다. 이와 같은 理由로 약 5회에 걸쳐 幼苗栽培實驗을 行하고 結局 最少量의 脫塩水를 準備하므로써 원단한 初期生育을 얻을 수 있었다. 그러나 播種後 40日 以上 經過되면서 水稻地上部로 부터의 酸素供給에 의해서 正常的인 生育을 維持하였다. 播種 30日 後에는 3들이 plastic pot에 2주

4분씩 移秧하고 水耕液의 規定濃度로 栽培했다. 水耕液은 週1회 分析하고 不足되는 즉시 供給해 주었고 蒸發된 液量은 蒸溜水로 채워 주었다. SiO_2 를 비롯해 若干의 稻熱病이 發顯되었으므로 農藥處理(부라-S) 해주었다.

結果 및 考察

供試水稻體의 無機成分 分析: 播種 70日 後에 採取한 水稻體를 105°C에서 乾燥粉碎하고 濕式法으로 分解한 다음 몇가지 無機成分 分析을 行한 結果는 <Table 1>와 같다.

Table 1. The content of mineral nutrient in rice plant.

| | N (%) | P ₂ O ₅ (%) | SiO ₂ (%) | Ca (%) | Fe (ppm) | Mn (ppm) |
|-------|-------|-----------------------------------|----------------------|--------|----------|----------|
| Si-0 | 5.2 | 1.98 | 0.52 | 0.35 | 341 | 282 |
| Si-1 | 4.71 | 1.45 | 6.21 | 0.29 | 320 | 245 |
| Si-11 | 4.80 | 1.44 | 7.2 | 0.26 | 304 | 250 |

지금까지 發表된 報文^(11,12,18,220)들에서 指摘된 바와 같이 Si I 과 Si II 구에서 生育된 水稻體의 無機成分含量率은 珪素無處理區에 比해서 낮았으나 Si I Si II 간에는 큰 차이가 없었다.

同位元素處理 및 蒸散量測定; 이와 같이 栽培된 水稻에 대해서 蒸散量比較實驗을 하기 위해서 100ml 試驗管에 培養液 約 90ml를 넣고 구멍 뚫인 Cork-Stopper 와 sponge로 水稻體를 固定시키고 Growth chamber條件을 光度 5000Lux 온도 30°C 相對濕度 82%로 調節한 狀態에서 12時間 處理한 다음 減少된 培養液을 重量法 및 用量法으로 測定하고 乾物量을 秤量해서 蒸散度와 蒸散指數를 計算한 結果는 다음 <Table 2>와 같다.

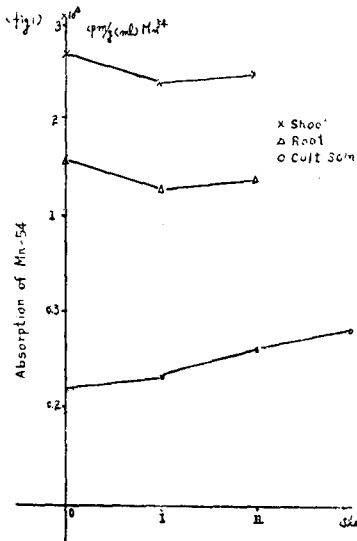
(Table 2)

| | Dry weight (gr) | Amount of transpiration (ml) | Rate of transpiration ml H ₂ O/g 12hrs | Index |
|------|-----------------|------------------------------|---|-------|
| Si 0 | 4.8 | 78.7 | 16.4 | 100 |
| I | 5.2 | 73.8 | 14.2 | 86.6 |
| II | 5.0 | 69.5 | 13.9 | 84.8 |

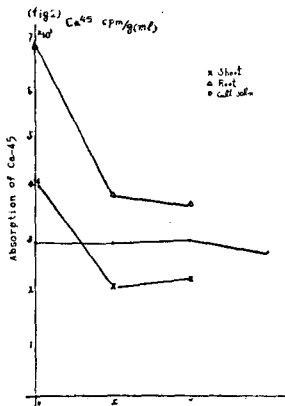
RI吸收實驗; 蒸散量測定에서와 같은 條件과 方法으로 處理했는데 다만 培養液을 C₄₅ Cl₃₆ P₃₂ Mn₅₄의 各種 RI로 標識해서 蒸散量과 Ion 吸收量을 同時에 觀察한 것으로 乾物量을 秤量한 試料는 灰化法으로 放射能을 測定하고 吸收前의 培養液 比放射能을 standard로 하여 吸收後 培養液의 比放射能과 比較하므로써 各種

Ion들의 吸收量 考察에 參考를 했다.

Mn54⁽¹²⁾의 境遇 (Fig I)에서 보는 바와 같이 Si-0



구에서 蒸散量이 많음과 同時에 Mn의 吸收量도 第一 많았고 培養液內의 殘存 Mn의 比放射能은 吸收處理前의 比放射能인 Standard 보다 減少한 것으로 보아 Si-0 구의 수도근에 의한 Mn의 吸收는 좀더 積極인 것으로 生覺된다. Ca45⁽¹³⁾ 吸收關係는 (Fig II)처럼 蒸散量에 따라 뚜렷한 吸收差를 보이고 있다.



Amount of Mn-54 absorption and amount of residue in culture solution.

| | Shoot (cpm/g) | Root (cpm/g) | Cult soln (cpm/ml) | Amount of transpiration. (ml/g) |
|------|---------------|--------------|--------------------|---------------------------------|
| Si-0 | 27300 | 16140 | 2260 | 16.3 |
| I | 24090 | 13290 | 2376 | 14.0 |
| II | 25330 | 14160 | 2641 | 15.1 |

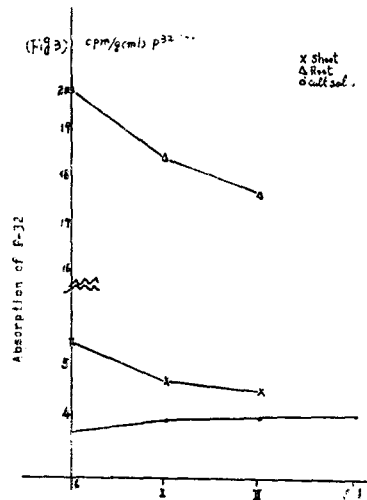
std. 2824

Amount of Ca-45 absorption and amount of residue in culture solution.

| | Shoot (cpm/g) | Root (cpm/g) | cult soln (cpm/ml) | Amount of transpiration. (ml/g) |
|------|---------------|--------------|--------------------|---------------------------------|
| Si-0 | 4116 | 6877 | 2901 | 17.38 |
| I | 2053 | 3333 | 2954 | 14.31 |
| II | 2123 | 3601 | 3010 | 13.58 |

std. 2707

경향은 地上部나 뿌리가 모든 Mn과 같은 경향으로 되어 있으나 殘存培養液 比放射能이 Standard 보다若干增加한 것은 本實驗 條件下에서는 水分의 吸收보다 더 積極인 Ca吸收을 하지 못했다는 것을 뜻하는 것이다. 또 뿌리와 地上部의 比放射能을 比較해 보면 Ca은 Mn이나 P₂O₅과는 달리 뿌리로부터 地上部에의 移動이 比較的 同一한 것을 알 수 있다. P₂O₅^(17,18)도 (Fig III)과 같이 Si-0구가 第一 많은 磷酸吸收를 보이고 있으나 Ca보다는 珪素水準間 差가 甚하지는 않다.



Amount of P-32 absorption and amount of residue in culture solution.

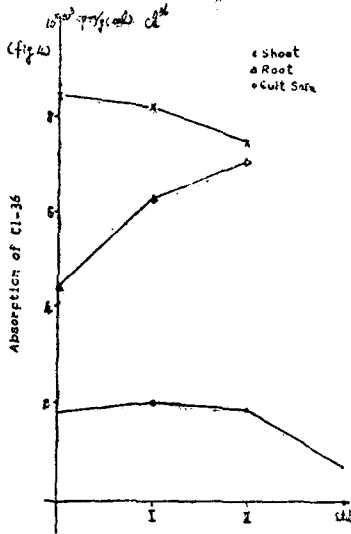
| | Shoot (cpm/g) | Root (cpm/g) | cult soln (cpm/ml) | Amount of transpiration. (ml/g) |
|------|---------------|--------------|--------------------|---------------------------------|
| Si-0 | 5576 | 20884 | 3600 | 15.7 |
| I | 4813 | 18911 | 3758 | 13.9 |
| 111 | 4550 | 17773 | 3824 | 13.2 |

std. 4009

殘存 培養液의 比放射能을 보면 뿌리에 의한 磷酸의 積極인 吸着으로 인해서 Standard에 비해 적게 나타난 것이 아닌가 生覺된다. Ca과 對照의으로는 地上部로의 移動量이 뿌리에 存在하는 것이 보다 훨씬 적은 것을 보면 Ca와 磷酸의 水稻體에 의한 吸收 및 體內移

動의 特性을 比較 할 수 있다.

Cl36⁽¹⁸⁾은 一般的으로는 作物에 對해서 必須元素가 아닌 것으로 알려져 있는 元素이지만 作物體에 吸收되고 또 包含되어 있는 것인바 (Fig iv)에서 보면



이제까지의 다른 元素보다는 빨리 뿌리에서는 Si-O구의 塩素比放射能이 珪素처리구에 比해서 第一 적었으나 地上部에의 移動量은 反對로 第一 많은데 이는 蒸散量과 比例의 關係가 있다.

Amount of Cl-36 absorption and amount of residue in culture solution.

| | Shoot (cpm/g) | Root (cpm/g) | Cult soln (cpm/ml) | Amount of transpiration. (ml/g) |
|------|---------------|--------------|--------------------|---------------------------------|
| Si O | 8830 | 4884 | 1832 | 15.9 |
| I | 8140 | 6199 | 983 | 14.3 |
| II | 7298 | 6825 | 880 | 13.8 |

std 710

그렇다면 水稻뿌리에 의한 塩素의 吸收는 蒸散量의 多過에는 無關하고 오직 珪素의 含量이 關與하는 것으로 生覺되는데 殘存溶液의 比較射能을 比較해 보면 더욱더 뚜렷한 結果를 얻을 수 있다. 즉 Si-O구의 溶液比放射能이 第一 높다는 것이 蒸散量은 많았어도 뿌리에 의한 塩素吸收量이 第一 적었다는 것을 意味한다. 珪素處理區의 水稻뿌리가 塩素吸收를 더 많이 하는 것은 珪素의 生理的 役割과 어떤 關係를 갖고 있는 것을 證明해 주는 것으로 興味있는 問題點이라 生覺된다.

同化測定實驗: 약 3l 同化상자내에서 $Ea^{14}O_3$ Sp. Act 623 μ c/600mg에 10% $HClO_4$ 10ml를 加하여 $C^{14}O_2$ 를 發生 시키고 光度 4500Lux 溫度 20°C 濕度 75% 되는 growth chamber 에서 4時間 處理한 뒤 일부는 液體

空氣중에 넣어 酵素作用을 정지 시킨채 Radioautography 제조에 使用했고 일부는 80% Ethanol로 抽出해

(Table 3) Comparison of assimilation activity by rice plant.

| | Dry weight (g) | (cpm) | (cpm/g) |
|------|----------------|-------|---------|
| Si O | 0.487 | 13186 | 27070 |
| Si-I | 0.4842 | 13392 | 27657 |

서 Gas low counter로 測定 比放射能을 求하여 Si-O구 및 Si-I에 대한 水稻體同化能을 測定比較해 보았다. <Table 3>에서 보는 바와 같이 珪素水準間에 同化量의 差異가 없었다. 또 이상과 같이 C^{14} 處理後 10時間 暗處理한 뒤 同化物質의 轉流를 Radioautography로 觀察했으나 뚜렷한 差異를 發見할 수 없었다. 珪素의 存在比가 C^{14} 같은 Energy가 적은 同位元素의 Radioautography에 影響할지도 몰으므로 우선 Photodensitometer로 Si-O구와 Si-I의 水稻잎에 대한 Leaf density를 測定하여 參考코져 했다.

Evaluation of Leaf Density by photographic densitometer.

$$\text{Density } D = \log^{10} \frac{I_i}{I_t}$$

로 定義되는데 여기서 I_i 는 透過되기전의 初期強度이고 I_t 는 透過된 후의 光의 強度이다. 測定에 使用된 잎은 밑에서 3번째이었고 한잎에 대해서는 중심 (b)와 6cm 거리의 양쪽 즉 말단부 (c)와 葉翰쪽(a) 모두 3점을 대상으로 약 12mm²의 면적을 취해서 測定했다. 結果는 다음 <Table 4>와 같은데 역시 珪素處理된 水稻잎이 더 큰 密度를 갖고 있으며 同一잎이라도 末端部가 더 密度가 큰것은 珪素含量과 關係 있는 것으로 生覺된다.

(Table 4) Evaluation of Leaf Density

| ※ Rep | Si-O | | | Si-I | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| | a | b | c | a | b | c |
| 1 | 0.68 | 0.75 | 0.75 | 0.78 | 0.95 | 0.88 |
| 2 | 0.73 | 0.80 | 0.77 | 0.76 | 0.92 | 0.99 |
| 3 | 0.89 | 0.84 | 0.78 | 0.91 | 0.05 | 0.98 |
| 4 | 0.82 | 0.90 | 0.96 | 0.80 | 1.00 | 1.10 |
| 5 | 0.89 | 0.94 | 0.80 | 0.84 | 0.80 | 1.03 |
| Aver | 0.80 | 0.85 | 0.81 | 0.82 | 0.94 | 0.99 |
| Total | 0.82 | | | 0.92 | | |
| Aver | | | | | | |

| a | b | c |
|-------|---|-----|
| 6cm | * | 6cm |
| c ≥ b | > | a |

따라서 앞서 말한바와 같이 우선 珪素施用時 水稻體
 內에 包含된 無機物含量(%)이 無處理時에 比해 顯著
 히 減少되는 原因^(11,22)을 究明코져 同位元素 Ca⁴⁵ Mn⁵⁴
 P³² Cl³⁶ 등을 利用해서 蒸散量 및 Ion 吸收關係^(18,19)
 를 살펴 본 結果 水稻體內에 含有된 珪散量과 蒸散量
 및 Ion 吸收사이에는 相互密接^(10 11 12 18)한 關係가 있
 었는 데 즉 珪素를 處理해서 生育시킨 水稻의 蒸散量
 은 無處理에 比해서 더적었고 이에 따라 各種無機 Ion
 들은 吸收量도 같은 傾向으로 적었다. 이는 供給된 珪
 素가 體內에 吸收蓄積되고 잎표면에 珪素 Cuticle 層
 을 形成하므로써 蒸散作用을 抑制하여 蒸散流에 의한

Ion 吸收의 量을 減少시킨 結果^(10,19,20)라고 生覺된다.
 Ion 吸收시킨 뒤에 남은 培養液의 殘存比放射能을 測
 定해 본 結果 植物體에 대해서 必須要素가 아닌 Cl은
 水稻에 있어서 選擇의으로 吸收抑制를 받고 있음도 밝
 혀졌다.

土壤培養實驗: 高低位畝에서, 採取된 風乾土壤 10g을
 250ml 삼각 flask에 秤取하고 肥料水準을 0, 40, 80, 160,
 320mg의 5으로 하여 3反復으로 實驗했다. 培養條件은
 溫度 33°C 濕度 82%이고 期間은 75일간이었다. 培養
 後 몇가지 無機成分에 대해 分析한 結果는 <Table 5>
 와 같다.

<Table 5> Experiment of soil cultivation.

| Level | | pH | 0.5N-HCl SiO ₂ ppm | NH ₄ AC me/100g | NH ₄ H ₂ PO ₄ Mn ppm | 0.02M EDTA Fe% | |
|-----------------------------|-----------------|-----|----------------------------------|-------------------------------|--|-------------------|------|
| High productive | Siliicate(slag) | 0 | 6.7 | 252 | 2.5 | 250 | 1.22 |
| | | 40 | 6.5 | 282 | 2.5 | 245 | 1.15 |
| | | 80 | 6.5 | 485 | 2.4 | 258 | 1.22 |
| | | 160 | 6.3 | 990 | 2.6 | 265 | 1.34 |
| | | 320 | 6.5 | 1,250 | 2.5 | 260 | 1.40 |
| Paddy field | Woll astonite | 0 | 6.3 | 245 | 2.4 | 245 | 1.18 |
| | | 40 | 6.5 | 240 | 2.4 | 240 | 1.15 |
| | | 80 | 6.4 | 255 | 2.5 | 250 | 1.20 |
| | | 160 | 6.7 | 245 | 2.6 | 252 | 1.22 |
| | | 320 | 6.9 | 250 | 2.6 | 249 | 1.30 |
| Low productive | Siliicate(slag) | 0 | 6.2 | 205 | 1.25 | 115 | 0.38 |
| | | 40 | 6.2 | 305 | 1.25 | 110 | 0.40 |
| | | 80 | 6.2 | 512 | 1.2 | 122 | 0.42 |
| | | 160 | 6.3 | 650 | 1.3 | 105 | 0.43 |
| | | 320 | 6.4 | 885 | 1.25 | 125 | 0.43 |
| Paddy field | Woll asoanite | 0 | 6.3 | 199 | 1.2 | 120 | 0.41 |
| | | 40 | 6.4 | 190 | 1.4 | 125 | 0.42 |
| | | 80 | 6.5 | 210 | 1.6 | 119 | 0.40 |
| | | 160 | 6.4 | 205 | 1.85 | 118 | 0.41 |
| | | 320 | 6.5 | 215 | 2.05 | 120 | 0.43 |
| High productive Paddy field | | | 6.3 | 253 | 2.4 | 255 | 1.21 |
| Low productive Paddy field | | | 6.5 | 204 | 1.2 | 125 | 0.4 |

表에 나타난 바와 같이 pH는 대략 6-7사이였고 高位
 畝는 低位畝에 比해서 珪素 間간 鐵 칼슘의 모든 元素
 에 있어서 含量이 훨씬 많았고 肥料로 施用한 珪酸石
 灰나 珪酸質肥料를 比較해 보면 珪酸質肥料가 珪酸 間
 間 鐵의 含量이 珪酸石灰보다 많았다. 단 칼슘含量은
 珪酸石灰가 더 많았는데 시중에서 購入하여 改良劑로
 써 使用했던 본 珪酸石灰는 無機成分 分析結果 肥料
 로는 不適當하다고 밝혀졌다. 또 각 肥料水準별로 培

養한 土壤의 無機成分 變化를 보면 添加된 肥料에 의
 한 含量의 增加의 예는 別다른 相互關係가 없었다. 따
 라서 珪酸質肥料가 土壤中 礦物質의 溶解度에 別다른
 影響^(11,12)을 주지 않고 있음을 아울러 알 수 있었다.
 그러므로 珪酸質肥料의 施肥에 의한 水稻體內에 無機
 物含量(%) 減少는 吸收된 珪素가 蒸散量 抑制^(11,12,19)
 라는 그 2次的 效果로써 크게 作用하고 있는 것이라고
 生覺된다. 그러나 Okuda^(11,12)들의 實驗에서 밝혀진 것

과 같이珪素가 뿌리의 酸化力を 增加시킨다는 事實과 오래전 부터 알려진 Ion의 代謝的 吸收등을 考慮해 보면 珪素의 水稻 뿌리에서의 役割에 대해서는 좀더 깊이 研究되어야 할 것으로 믿어진다. 따라서 今후에는 切斷根에 의한 吸收實驗 暗處理 및 低溫處理時에 吸收狀態등을 살핌으로써 根細胞內에서의 珪素生理를 추궁코자 한다.

摘 要

本 實驗은 同位元素를 利用한 Ion 吸收 및 蒸散量測定과 高低位畚土壤에 珪酸質肥料를 添加하여 施行된 培養實驗의 두가지 면에서 考察된 바 앞서 말한 것을 綜合해 보면 水稻에 施用된 珪素는 水稻體內에 吸收集積되어 일에서는 蒸散作用을 抑制함으로써 蒸散流量 減少시킨 結果 Ion의 吸收 및 地上部 移動量이 적어지는 것으로 生覺된다.

塩素는 다른 Ion과는 달리 뿌리에서 消極的으로 吸收를 하고 있는 것이 밝혀졌는데 特別히 珪素缺除區에서 生育된 水稻根에서는 珪素의 吸收가 매우 低調했고 오직 蒸散流에 의한 地上部에의 移動量이 많았다는 것은 뿌리에서의 吸收량과 地上部移動은 서로 다른 生理的 現象의 結果라 生覺된다.

또 土壤培養實驗에서는 珪酸質肥料가 土壤中에 存在하는 다른 無機 Ion들의 溶解度등에 直接的으로 關與하고 있지 않으나 肥料에 包含된 可溶性 無機物含量이 肥効度에 寄與할 것으로 추측되는바 市販되는 珪酸含有 各種肥料에 대한 成分分析이 행해져야 될 것으로 믿는다.

參 考 文 獻

1. 馬場 尙 1958 水稻의 胡麻葉枯病 および 秋落의 發生機構に 關する 營養生理的 研究 日農技研報 D-7 6
2. 趙伯顯 李春寧 外1人 1965. 秋落稻의 形態的 特性 및 秋落畚土壤에 關한 研究 韓農化誌 vol 6, 61-78.
3. IAEA 1964. Technical Reports Series. No. 29 International atomic Energy agency, VIENNA, Austria.

4. H. Ihibashi and M. Kawano. 1953. Physiological function of Silica in the rice plant. Bull. Fac. Agri. Yamaguchi univ. No 9.
5. Ishibashi H. and K. AKiyama 1960. Physiological function of silica in the rice plant(Ⅲ) Bull. Fac. Agri Yamaguchi univ(Ⅱ) 1-8.
6. 石塚嘉明・早川康夫 1951 水稻の 稻熱病に對する 抵抗性と珪酸及び苦土との關係 日土肥誌 vol 21, 253-260
7. 金浩植・李春寧 外8人 1962. 秋落의 原因과 그 對策에 關한 研究 原子力院 研論 vol 2, 41-67
8. 李殷雄・尹用大 1963 水稻에 對한 珪酸, 滿俺 및 鐵을 主成分으로하는 肥料의 施用試驗・韓作誌 vol 1, 46-48
9. Lemmerman, O. U. Wiessman Z. 1924. pflanze- nernahr, U. Dung B3, 185.
10. 三井進午・高遠宏 1962. 禾本科作物に對するケイ素の營養學的 研究(第3報) 日土肥誌 vol 33, 449-452.
11. 奧田東・高橋英一 1962 作物に 對するケイ酸의 營養生理學的 役割について(第5報) 日土肥誌 vol 33, 1-8.
12. ——— (第6報) 日土肥誌 vol 33, 59-64
13. 朴永大・金泳燮 外1人 1964. 水稻胡麻葉枯病 罹病과 水稻健全葉中の 無機成分에 關하여. 韓農化誌 vol 5, 49-51
14. ——— 1968. 秋落畚土壤에 生育한 水稻에 대한 珪灰石의 効率. 韓土肥誌 vol 1, 61-71
15. 朴永大 1971. 秋落畚水稻에 對한珪酸의 增收効果. 韓土肥誌 vol 4, 1-12
16. P. S. Roller and G. Ervin Jr. 1940. J. A. C. S. 6. 468
17. E. John. Russel 1964 Soil condition and plant growth. 9th. 44-45. John WILEY & SONS. LTD. New york. N. Y.
18. 沈相七・柳長杰 1967. RI를 利用한 作物의 Ion吸收에 關한 研究. 原子力論文集 vol 7-1-2, 45-49t
19. 吉田昌一 1959. 珪素をめぐる諸問題(5) 農業技術 14. 170-173.
20. W. Thomas 1929. Soil science. LXXI 422 17, 249.