

水稻与小麦吸硅规律与硅肥应用

马同生 张永春 陈兴华 梁永超

(南京农业大学, 210014)

黄胜海 王岐山 张炳奎 鲁嘉

(海安县农业局)

(南通市农业局)

硅是土壤矿物质中含量最多的元素之一, 而土壤溶液中能供给植物吸收利用的硅素 (H_4SiO_4) 却甚少, 其浓度仅有 $0.5 \sim 12 \text{mgkg}^{-1}\text{Si}$, 不同土壤种类差别很大。自然界里不同科属的植物对硅素吸收量差异悬殊, 单子叶植物要比双子叶含硅量高许多倍, 其中禾谷类作物皆为喜硅植物, 尤以水稻为最。关于土壤与作物硅素养分和硅肥应用方面国内外的研究成果, 已有数篇文献综述介绍 [1-3]。

目前国内外硅肥来源均利用熔渣等经粉碎粗加工制成缓效性硅肥, 由于它的化学性质决定了其施用量大, 且限于随着整地作基肥施入。为了改变这种状况, 80年代末笔者研制了全水溶速效性的高效硅素化肥 [4-5]。近两年, 南通市土肥站在推广粮食作物施硅增产技术中, 为了降低农本便于普及起见, 利用廉价原料熔渣试制成多效硅肥 (稀酸溶性为主, 并含有 5% 水溶性硅素, 以 SiO_2 计)。1993年水稻施用面积达 15.8 万亩 [6]。从硅肥品种来看, 现在已不局限于单一的缓效性硅肥, 因此有必要在以往研究的基础上, 探讨水稻、小麦吸收硅素规律与硅肥合理的施用时期, 以期作为指导硅肥施用技术的依据。

一、材料与方 法

水稻、小麦吸硅规律的研究采用两组盆栽试验。为了相对接近稻麦两熟制条件下的生长情况, 水稻供试品种农林12号, 采用水培, 4月25日晒种、蒸馏水浸种催芽, 5月12日起供应 1/2 强度不加硅的营养液, 5月19日移栽, 9月20日收获考种; 旱作小麦供试品种淮麦 11 号, 采用砂培, 11月26日播种, 5月26日收获考种。

1. 水稻的水培营养液采用国际水稻研究所配方 [7]。以硅酸钠 (C. P) 为硅源, 设三个硅素浓度水平、四个处理, A (+23.4 $\text{mg kg}^{-1}\text{Si}$)、B (+46.8 $\text{mg kg}^{-1}\text{Si}$)、C (+93.5 $\text{mgkg}^{-1}\text{Si}$)、D (对照不加硅素), 重复三次。营养液均用蒸馏水配制, 由于蒸馏水难以做到制取无硅, 似含有微量硅素 $0.2 \sim 0.3 \text{mgkg}^{-1}\text{Si}$, 因此对照处理实际上是 $\leq 0.3 \text{mgkg}^{-1}\text{Si}$ 水平 (水稻育秧亦是)。营养液 pH 调至 5.0, 每天用气泵通气两次, 每周换一次营养液, 并按水稻不同生长期供氮水平有异。植株样采集分别于分蘖期、拔节期、始抽穗期、成熟期四次。植株样全硅量用 Nayar 法测定 [8]。

2. 小麦砂培选用纯净石英砂为基质材料。石英是十分稳定的矿物, 根据氧化硅的平衡

常数,可以算出溶液中 H_4SiO_4 的活度,在和石英固相平衡时其数量甚微。装盆之前先将石英砂用1% HCl 浸泡24小时,然后用水漂洗,蒸馏水淋洗。试验分为四个处理重复三次,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ处理均施以硅酸钠配制的硅素溶液(含 $35mgkg^{-1}Si$)、总用量160ml。处理Ⅰ在出苗后至拔节期将硅酸钠溶液分8次(每次20ml)施用;Ⅱ、在拔节至孕穗期分4次(每次40ml)施用;Ⅲ、穗期分4次(每次40ml)施用;Ⅳ、对照不施硅。硅素溶液施用方法,均混入Hoagland营养液一同施入盆钵内。植株样分别于拔节期、孕穗期、齐穗期和成熟期采集,分析方法同上。

二、结果与讨论

(一) 对水稻的影响

水稻施硅试验,不同处理、不同生长期植株硅含量分析数据见表1。从表1可以清楚看

表1 不同处理水稻植株硅含量

Table 1 The Content of Si in rice plant of different treatments

| 处 理 Treatment (+Si $mgkg^{-1}$) | 全 硅 含 量 (Si gkg^{-1}) Total Si | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|------------|------------------|------------|-----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | 移 栽 Transplanting | | 分 蘖 Tillering | | 拔 节 Jointing | | 抽 穗 Heading | | 乳 熟 Milking | |
| | 地上部 Shoots | 根 Roots | 地上部 Shoots | 根 Roots | 地上部 Shoots | 根 Roots | 地上部 Shoots | 根 Roots | 地上部 Shoots | 根 Roots |
| A 23.4 | 0.23 | 0.09 | 17.33 | 2.85 | 21.30 | 4.43 | 24.71 | 5.79 | 26.16 | 7.85 |
| B 46.8 | 0.23 | 0.09 | 24.57 | 3.50 | 29.95 | 5.70 | 35.23 | 8.31 | 39.57 | 11.02 |
| C 93.5 | 0.23 | 0.09 | 31.86 | 6.12 | 38.45 | 8.36 | 48.78 | 11.91 | 51.02 | 13.08 |
| D 0 | 0.23 | 0.09 | 0.23 | 0.09 | 0.28 | 0.09 | 0.28 | 0.09 | 0.28 | 0.09 |

出。无论是高硅水平与低硅水平处理,水稻地上部硅含量均高于地下部分。处理D不施硅植株地上部与地下部的硅含量,在不同生长期与移栽时秧苗硅含量几乎没有变化,而加硅三个处理,则随着水稻生长期的进展植株硅含量明显增加。以B处理(+Si $46.8mgkg^{-1}$)为例,分蘖期至成熟期植株地上部、地下部硅含量变化范围分别为 $24.57\sim 39.57gkg^{-1}$ 和 $3.50\sim 11.02gkg^{-1}$,平均值及变异系数分别为 $32.33\pm 6.49gkg^{-1}$, 20%和 $7.14\pm 3.27gkg^{-1}$, 46%。其它加硅处理植株分析结果趋势皆一致,随培养液中供硅浓度的增加,水稻植株硅含量显著增加。地上部由0.23到 $51.20gkg^{-1}$;地下部从0.09到 $13.08gkg^{-1}$ 。同一生长期不同处理之间植株硅含量差异颇大,将其经方差分析,各个生长期各处理间植株含硅量差异均达极显著水平。如对拔节期地上部植株样硅含量进行方差分析:重复间SS为0.05、MS为0.025、 $F=0.27$ 、 $F_{0.05}=5.14$ 、 $F_{0.01}=10.92$;处理间SS为110.78、MS为36.93、 $F=397.10^{**}$ 、 $F_{0.05}=4.76$ 、 $F_{0.01}=9.78$ 。

对不同施硅水平A、B、C三个处理植株不同生长期含硅数值的变化,若以其成熟期植株含硅数值来进行比较,抽穗期地上部数值皆已达到成熟期含硅数值的90%,拔节期则达到75%以上。也就是说水稻从移栽后到了拔节期已进入了吸收硅素旺盛的阶段。其地下部硅含量虽

然要比地上部少得多，但却有着相一致的趋势。现仍以B处理为例绘成图，示明地上部与地下部不同时期硅含量变化曲线。

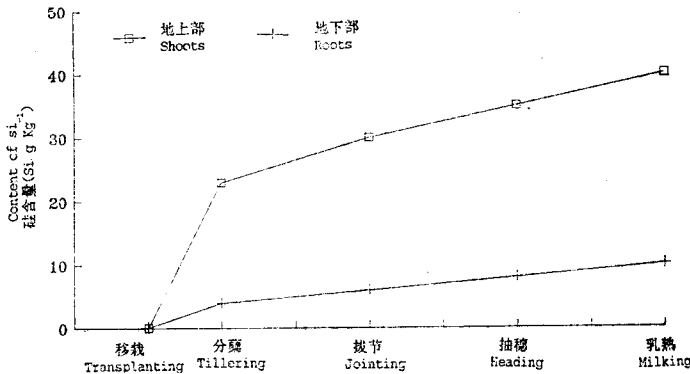


图 不同生长期地上部与地下部硅含量
Fig. The content of Si in shoots and roots

表2 小麦不同生长期施硅试验结果

Table 2 Results of Application Si at different growing stage of wheat

| 处 理 Treatment | 施 硅 期 Period | 全硅含量 (Si g kg ⁻¹) Total Si | | |
|------------------|----------------------------|--|-----------|--------------|
| | | 叶 Leaf | 茎 Stem | 穗 Panicle |
| I | 出苗—拔节 Seedling—Jointing | 5.80 | 1.52 | 0.47 |
| II | 拔节—孕穗 Jointing—Booting | 3.60 | 1.68 | 0.56 |
| III | 穗 期 Heading | 2.85 | 1.17 | 0.75 |
| IV | 对 照 CK | 1.21 | 0.70 | 0.47 |

小。籽粒中几乎不含硅，穗中含硅量集中于颖壳和穗轴。

试验结果还表明，小麦对硅素吸收旺盛阶段亦在幼苗至拔节期。如果这个阶段缺硅，茎叶中含硅量则显著降低，后期增施硅肥将无太大的帮助，叶片中含硅量增加有限，远不如前期施硅。也就是说营养生长阶段必需有充足的硅素供给，若营养生长阶段缺硅，生殖生长阶段再补给硅素则达不到施硅的预期效果。从小麦试验结果穗粒重也说明这一点，出苗至拔节期、拔节至孕穗期和穗期施硅与对照相比，分别增加10.63%、7.22%和3.90%，经方差分析 $F = 9.75^*$ ($F_{0.05} = 8.85$) 达显著水平。

(三) 硅肥的施用

(二) 对小麦的影响

小麦不同生长期施硅试验结果亦是十分明显，虽然试验中所投入的硅素数量不多，但小麦吸收量还是可观的。从小麦前期施硅（处理I）来看，随着小麦生长发育的进程，硅在植株不同部位含量和分布的变化趋势是与上述水稻情况相似。齐穗期叶、茎、穗的生长已趋进成熟，小麦植株各部位硅素含量不同处理差异是很大的，见表2。

从表中数据可见，I、II、III处理施硅数量是相等的，但其施用时期不同，效果大相径庭，植株中含硅量相差颇大。处理I在出苗后至拔节期施硅，叶片中硅素含量最高，比处理III穗期施硅者高一倍以上；与处理II拔节与孕穗期施硅相比，亦高出0.6倍之多。而茎秆中含硅量II略高于I，III比I要低1/3。穗的含硅量无论是那一种处理均大大低于茎秆和叶片，不同施用期相比较，则III>II>I，说明硅肥施用期晚者，穗含量增高。此外，施硅不施硅者相比，叶片中含硅量差异最大，其次是茎，穗的差异最

国内外学者通过对水稻的研究,已明确了硅对其生理上的作用,主要是提高细胞壁的强度、增强抗逆性(抗病虫害和抗倒伏),并有助于植株挺拔、叶片伸长、提高光合作用率,改善通气组织和根部的氧化能力[9-11]。对硅素供应不足的土壤,施用硅肥增产的原因已不言而喻。显见施用硅肥的目的在于增加叶片和茎秆以及根的含硅量,而不在于增加谷壳的硅含量。从这个观点出发,水稻和小麦施用硅肥应考虑硅肥的种类和适当的时期,对缓效性硅肥如熔渣、粉煤灰、天然硅灰石等粗制品应作基肥施用,水溶速效性的高效硅素化肥可一次或分次施用,可作基肥、面肥、也可追肥,但追肥施用期应在拔节之前,至迟也不要超过拔节期,多效硅肥宜做基肥、面肥或生长前期做追肥施用。

从南通地区水稻、小麦施用硅肥的生产实践和田间试验情况,也证实了以上结果。1992年南通市土肥站在通州市刘桥乡和如皋县林梓乡进行高效硅素化肥(7 kg/亩)施用期的试验,其结果拔节初期施用效果均优于基肥,如林梓乡对照田块(未施硅肥)水稻平均产量520.0 kg/亩、基施者559.4 kg/亩、拔节初期追肥为570.4 kg/亩,但经统计未达显著水平。海安县1993年夏熟小麦施硅试验,在1992年施用高效硅肥田间试验的基础上,扩大在沿江、雅周、吉庆三乡进行拔节初期追施多效硅肥(10 kg/亩)与基施(将多效硅掺入复混肥)比较试验,拔节初期追施小麦平均产量389.0 kg/亩、基施者379.2 kg/亩、对照(未施)360.3 kg/亩,经方差分析 $F = 13.00^{**}$ ($F = 6.01$) 达极显著水平。同年海安县在大公、花庄等七个乡镇进行2075亩小麦施用硅肥示范,经生产实践中调查总结亦反映小麦施用多效硅肥以分蘖末期、拔节初期施用比基施效果更佳。

三、结 论

综上所述,可以初步说明禾谷类作物水稻和小麦分蘖至拔节期即进入了吸收硅素旺盛的阶段。在硅肥应用上,熔渣类缓效硅肥不仅施用量大,而且只宜做基肥;水溶性的高效硅化肥和含部分水溶性的多效硅肥,在施用方法上可做基肥也可做追肥。尤其是生长期长的小麦,冬前苗期尚未进入吸收硅素旺盛阶段,越冬时间又长,高效硅肥与多效硅肥用量少,做基肥又总免不了受到或多或少的损失。如果在劳力条件许可下,可在开春后(三月下旬)小麦分蘖末期与拔节初期施用更为有益。

参 考 文 献

- [1] 何电源, 1980: 土壤和植物中的硅。土壤学进展, 5: 1~11。
- [2] 邹邦基, 1984: 植物的硅素营养。土壤通报, 4: 44~46。
- [3] 马同生, 1990: 我国水稻土硅素养分与硅肥施用研究现状。土壤学进展, 18(4): 1~5。
- [4] 中国专利局, 1990: 高效硅素化肥的生产方法。发明专利公报, (9): 26。
- [5] 马同生, 1991: 硅肥的研制和应用。化肥工业, 18(6) 24~26。
- [6] 王岐山等, 1994: 硅肥在沿江地区石灰性水稻土上应用的增产效果。江苏农业科学, 高产、优质、高效农业中土壤肥料对策专辑, 42-44页。
- [7] Yoshida S. et al, 1976: Laboratory manual for physiological studies of rice. The International Rice Research Institute, pp60~66。

- [8] Nayar P. K. et al, 1975: Rapid microdetermination of silicon in rice plant. *Plant and Soil*, 42: 491.
- [9] Yoshida S., Y. Ohnishi, K. Kitagishi, 1959: *Soil Plant Food* (Tokyo) 5: 23~27.
- [10] 饶立华等, 1981: 硅对水稻的生理效应。浙江农业大学学报, 7(8): 35~50.
- [11] 秦遂初, 1979: 硅肥对水稻抗病增产效果的研究。浙江农业科学, 1: 12~15.

REGULARITY OF SILICON UPTAKE AT THE GROWTH STAGE OF RICE AND WHEAT CROPS AND SILICON FERTILIZER APPLICATION

Ma Tongsen Zhang Yongchun Chen Xinghua Liang Yongchao

(*Nanjing Agricultural University, 210014*)

Huang Shenghai Wang Qishan Zhang Bingkui

(*Nantong Agricultural Bureau*)

Lu Jia

(*Haian Agricultural Bureau*)

Abstract

In the paper, experiments with the graminaceous crop—rice and wheat were carried out by using water culture and sand culture to study the relationship between the uptake of silicon by graminaceous crop and silicon supply of the different growth period. The preliminary experiment results showed that the most efficient time for applying silicon fertilizers was at tillering and jointing stage. According to the uptake characteristic of silicon by rice and wheat, we have suggested that apply silicon fertilizer at proper growth stage of the graminaceous crop.

Key words Rice, Wheat, Growth period, Silicon