

水稻对硅元素吸收特性研究

华海霞 (南通科技职业学院, 江苏南通 226007)

摘要 [目的]研究水稻对硅元素的吸收特性。[方法]以水稻为材料,采用水培试验,设置0.085、0.850 mmol/L 2个硅水平,明确水稻对硅的吸收模式。[结果]在2个硅处理下水稻在12 h的总吸硅量明显高于蒸腾吸硅量,二者都随着时间的延长逐渐升高,并且蒸腾吸硅量占总吸硅量的比值表现为高硅浓度处理高于低硅浓度处理;2个处理在6 h内的硅吸收都受到了代谢抑制剂和低温的抑制,并且表现为高硅浓度的抑制程度低于低硅浓度的抑制程度;2个处理在12 h内木质部汁液硅浓度随时间的延长逐步升高,而外部溶液硅浓度随时间的延长逐步降低,并且木质部汁液硅浓度比外部溶液的硅浓度高数倍。[结论]水稻对硅的吸收存在主动吸收和被动吸收2个过程,尤其在低硅浓度处理下,被动吸收更不能忽视。

关键词 水稻;硅;吸收

中图分类号 S511 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)35-0023-03

Absorption Property of Silicon Uptake in Rice Crops

HUA Hai-xia (Nantong Vocational College of Science & Technology, Nantong, Jiangsu 226007)

Abstract [Objective] Absorption property of Si uptake in rice crops was studied. [Method] The rice (*Oryza sativa* L.) was employed to study absorption property of Si uptake under 0.085, 0.850 mmol/L Si level by hydroponic experiments. [Result] The total Si uptake was more than Si uptake calculated via transpiration streams under two Si treatments for 12 hours. The two gradually increased with the extension of time. The contribution of Si uptake calculated via transpiration streams to total Si uptake was greater at higher Si supply level than at lower Si supply level. Si uptake by rice during 6 hours was inhibited by the treatment with metabolic inhibitors or low temperature at 0.085, 0.850 mmol/L Si. The degree of inhibition was decreased with increasing external Si concentration. At 0.085, 0.850 mmol/L Si level, during 12 hours the Si concentrations of the xylem exudates in rice increased with time, but Si concentration in the external solutions decreased with time. And Si concentration was several-fold higher in xylem exudates than in the external solutions. [Conclusion] There are two processes of active absorption and passive absorption of Si by rice, especially in high Si concentration, passive absorption can not be ignored.

Key words Rice; Si; Uptake

硅是地球上含量第二丰富的元素,早在1804年De Sas-sure就发现植物中含有硅,硅存在于大部分生长在土壤中的植物体内,一些研究者还提出,营养液配方中应该包括硅^[1],甚至有学者提出硅应该是位于N、P、K之后的第四大营养元素。硅对植物具有抗病、抗倒伏、抗逆的有益作用,硅肥的施用对生态环境、农民增收意义重大。不同物种间硅素吸收差异很大,环境条件对硅的吸收也有明显的影响,因此了解各种作物对硅的吸收机理非常重要。土壤是植物中硅的供给源,但土壤中绝大部分硅是不能直接利用的,只有溶解在土壤溶液中的微量单硅酸能被植物利用。通常土壤溶液中的硅酸与植物的吸硅量成正比,土壤溶液中单硅酸的含量直接影响植物中的硅含量。土壤溶液中单硅酸的浓度又受其他因素的影响。研究表明,土壤类型、酸度、氧化铁铝含量、黏粒矿物种类、有机质含量、水分条件、温度以及其他养分都会影响土壤中有效硅的含量^[2],从而影响植物体内硅的累积。笔者以水稻为研究对象,对其吸硅能力进行研究,旨在为植物对硅的吸收机理研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料 水稻供试材料为汕优63,供试硅源为硅酸钾。

1.2 培养条件 在人工气候室里采用水培法进行研究。种子经0.1%的HgCl₂消毒15 min,自来水充分冲洗,蒸馏水浸种24 h后将种子摊在垫有1层滤纸的培养皿中,喷水,室温

下促使发芽。种子发芽后,均匀播于上铺尼龙网的周转箱上,前期只浇自来水,每天换水1次,待苗地上部长至5 cm左右时进行水培定植,采用Kimura B营养液。所有试剂均为分析纯或以上规格,水培、配试剂用水均为重蒸馏-Mil-Q,即采用重蒸馏水再进行反渗透、离子交换,操作过程中避免硅的污染。培养期间的供硅浓度为1.70 mmol/L,水培液的pH为5.8,水培液每天调节1次pH,每天通气1次,每隔3 d换1次营养液。培养期间最低温控制在18℃,最高温25℃,光照时间14 h/d,光强10 000 lx^[3]。

1.3 短期硅吸收和蒸腾耗水量的关系试验 将14 d苗龄的幼苗置于盛有1/2强度Kimura B营养液的铝薄包被的塑料瓶里培养,每瓶3株苗,同时计时并称重。吸收液体积为50 mL,硅水平为0.085、0.850 mmol/L,分别在处理后3、6、9、12 h吸取1 mL溶液测定硅浓度,每次取样同时将装有植株的塑料瓶称重用于计算蒸腾耗水量。试验结束时收获地上部和根,测定鲜重和干重,试验重复3次。

1.4 代谢抑制剂和低温对作物吸硅的影响试验 将经过14 d预培养的植株置于1/2强度Kimura B营养液中,分别用0.1 mmol/L 2,4-DNP(溶于乙醛中且乙醛在溶液中的浓度不高于0.4%)、1 mmol/L NaF、1 mmol/L NaCN及低温(植株转移前将培养液进行4℃预冷处理)处理6 h,测定培养液中的硅浓度。吸收液体积为50 mL,每瓶3株苗,同时设空白对照,硅水平为0.085、0.850 mmol/L。试验结束后,将低温处理的植株转入常温营养液中,处理6 h后吸取溶液测定硅浓度。试验结束时收获地上部和根,试验重复3次^[4-5]。

1.5 木质部汁液硅浓度与外界溶液硅浓度比较试验 将

基金项目 江苏省高等职业教育产教融合实训平台环境分析测试中心资助项目(苏教高[2016]19号);南通市固体废物资源化利用重点实验室资助项目(CPI2015006)。

作者简介 华海霞(1979—),女,山东烟台人,副教授,硕士,从事植物逆境生理与生态研究。

收稿日期 2017-11-03

14 d苗龄的植物用含硅 0.085、0.850 mmol/L 的 Kimura B 营养液培养 21 d,试验开始时将植株转至阴暗处,在离植株根基部 3 cm 处剪去地上部,每隔 2 h 用微量吸样器收集木质部汁液,取样同时测定外部溶液中的硅浓度,试验重复 3 次。

1.6 数据统计 硅含量的测定采用硅钼蓝比色法,在 Excel 下建立数据库,然后采用 SPSS 统计软件进行标准差分析和差异显著性分析。

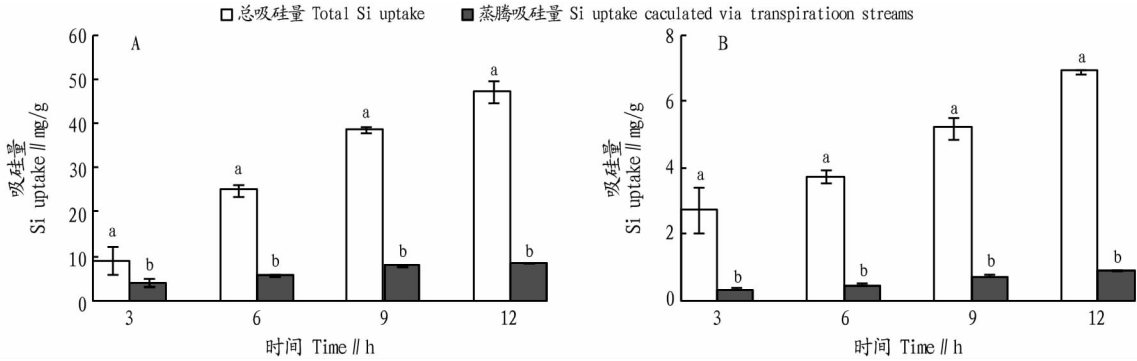


图1 0.850 mmol/L (A)和0.085 mmol/L (B) 硅处理下水稻在 3、6、9、12 h 内的吸硅量与蒸腾吸硅量

Fig.1 Total Si uptake and Si uptake calculated via transpiration streams by rice in a nutrient solution containing 0.850 mmol/L (A) and 0.085 mmol/L (B) Si in 3,6,9,12 hours

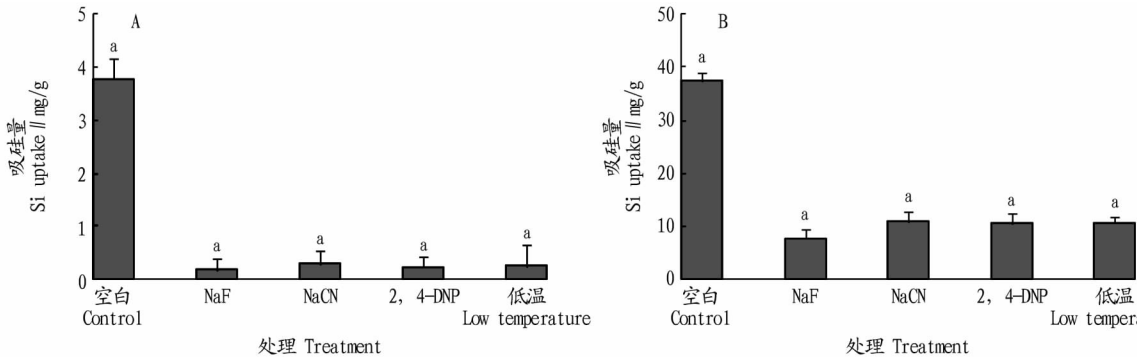
从表 1 可以看出,在 2 个硅浓度处理下,随着时间的延长,蒸腾吸硅量在总吸硅量中占的比值均有减少的趋势,并且 0.850 mmol/L 硅处理的减少量比 0.085 mmol/L 硅处理的减少量更为明显。

表 1 0.085、0.850 mmol/L 硅处理下 12 h 内水稻蒸腾吸硅量占总吸硅量的百分比

Table 1 The percent of Si uptake calculated via transpiration streams to total Si uptake by rice at 0.085 mmol/L and 0.850 mmol/L Si during 12 hours %

硅浓度 Si concentration //mmol/L	时间 Time // h			
	3	6	9	12
0.085	13.77 b	13.60 b	13.38 b	13.25 b
0.850	44.56 a	22.47 a	20.32 a	18.35 a

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)
Note: Different small letters within the same column mean significant differences ($P < 0.05$)



注:小写字母相同表示差异不显著 ($P > 0.05$)
Note: The same small letters mean no significant differences ($P > 0.05$)

图 2 0.085 mmol/L (A)、0.850 mmol/L (B) 硅处理下水稻在 6 h 内的吸硅量受代谢抑制剂和低温的影响

Fig.2 Changes of Si uptake by rice at 0.085 mmol/L and 0.850 mmol/L Si under the treatment of metabolic inhibitors and low temperature during 6 hours

2 结果与分析

2.1 短期硅吸收和蒸腾耗水量的关系 从图 1 可以看出,在 0.085 和 0.850 mmol/L 硅处理下,相同时间点内,水稻的总吸硅量都明显高于蒸腾吸硅量,可见在 0.085、0.850 mmol/L 硅处理下,蒸腾吸硅量在水稻总吸硅量中占的比重均不大。在 0.085、0.850 mmol/L 硅处理下,12 h 内水稻蒸腾吸硅量占总吸硅量分别为 13.25% 和 18.35%。

2.2 代谢抑制剂和低温对水稻硅吸收的影响 离子的主动运输是在消耗能量的条件下,离子逆电化学梯度运转的过程,而离子的被动吸收是离子顺电化学梯度进行的扩散作用,这一过程不需要能量。代谢抑制剂和低温都会通过抑制植物的呼吸作用、光合作用等抑制植物的能量代谢,因而在代谢抑制剂和低温影响下,植物离子的主动吸收会受到抑制而被动吸收不会受到影响。该研究对水稻进行代谢抑制剂处理,测定其受抑制的硅吸收量情况,从而进一步明确水稻硅吸收的主动运输和被动运输情况。

从图 2 可以看出,在代谢抑制剂和低温的影响下,水稻在 0.085、0.850 mmol/L 硅浓度下的硅吸收与对照相比,都受到抑制,并且表现为高硅浓度处理下水稻的受抑制程度低于低硅浓度处理,吸硅量受代谢抑制剂和低温抑制的程度随处理硅浓度的增加逐渐降低。

表 2 列出了 2 种硅浓度处理下,水稻植物受代谢抑制剂和低温处理下的吸硅量与对照相比的吸硅量减少百分数。从表 2 可以看出,在 2 种不同的硅浓度下,水稻的吸硅量受代谢抑制剂抑制的程度随处理硅浓度的增加逐渐降低。

表 2 0.085、0.850 mmol/L 硅处理下水稻与对照相比吸硅量减少的百分数

Table 2 The decreased percent of Si uptake by rice at 0.085 mmol/L and 0.850 mmol/L Si compared with control %

硅浓度 Si concentra- tion mmol/L	不同处理吸硅量减少的百分数 The decreased percent of Si uptake			
	NaF	NaCN	2,4-DNP	低温 Low temperature
0.085	97.80 a	96.38 a	93.69 a	93.55 a
0.850	78.99 b	71.57 b	74.81 b	67.83 b

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)
Note: Different small letters within the same column mean significant differences ($P<0.05$)

2.3 水稻木质部汁液中的硅浓度 奥田东等^[6]研究发现,将水稻幼根浸在 200 mL 含 50~100 mg/kg SiO₂ 的水培液中,

吸收 48 h 后,剩下的水溶液中硅酸浓度下降到 0.4~0.6 mg/kg,比用玻璃蒸馏器浸泡的水中的硅酸含量还低,可见水稻有很强的逆浓度梯度吸收硅的能力。高井康雄^[7]研究表明,水稻伤流液中的硅酸浓度为外液的数十倍至数百倍;许多研究还发现,植物对硅的吸收与外界的硅酸浓度也有很大关系。

从表 3 可以看出,在 0.085、0.850 mmol/L 这 2 个硅浓度处理下,水稻木质部汁液中的硅浓度明显高于外界溶液中的硅浓度。随着时间的延长,水稻木质部汁液中的硅浓度逐渐上升,外部溶液中的硅浓度逐渐下降,内外溶液中硅浓度的比值也逐渐增加,并且在相同的时间点内,低硅浓度处理下(0.085 mmol/L)的内外溶液的比值比高硅浓度处理下(0.850 mmol/L)内外溶液的比值要高得多。在 0.085 mmol/L 硅浓度处理下,12 h 内,水稻木质部汁液硅浓度与外部溶液硅浓度的比值增加到了 20 几倍;在 0.850 mmol/L 硅浓度处理下,也由 5.98 倍增加到了 13.15 倍,可见水稻具有很强的逆浓度梯度累积硅酸的能力。

表 3 0.085、0.850 mmol/L 硅处理下水稻木质部汁液与外部溶液中的硅浓度比较
Table 3 Comparison of Si concentration in xylem exudates of rice and external solution at different silicon concentrations mmol/L

时间 Time//h	不同硅处理下木质部汁液硅浓度 Si concentration in xylem exudates under different Si treatment		不同硅处理下外部溶液硅浓度 Si concentration in external solution under different Si treatment		不同硅处理下木质部汁液硅/外部溶液硅 Ratios of Si in xylem exudates to Si in external solutions	
	0.085 mmol/L	0.850 mmol/L	0.085 mmol/L	0.850 mmol/L	0.085 mmol/L	0.850 mmol/L
2	0.803 ± 0.012 f	4.100 ± 0.015 f	0.074 ± 0.003 a	0.686 ± 0.018 a	10.780 ± 0.499 f	5.980 ± 0.176 f
4	0.937 ± 0.061 e	5.283 ± 0.037 e	0.074 ± 0.002 a	0.652 ± 0.019 b	12.700 ± 0.542 e	8.110 ± 0.300 b
6	0.946 ± 0.015 d	5.412 ± 0.015 d	0.072 ± 0.003 ab	0.608 ± 0.022 c	13.240 ± 0.746 d	8.900 ± 0.528 d
8	1.040 ± 0.005 c	5.549 ± 0.020 c	0.071 ± 0.006 ab	0.590 ± 0.008 c	14.710 ± 0.550 c	9.410 ± 0.118 c
10	1.136 ± 0.024 b	5.946 ± 0.099 b	0.071 ± 0.006 ab	0.559 ± 0.022 c	16.050 ± 1.104 b	10.640 ± 0.558 b
12	1.658 ± 0.022 a	6.633 ± 0.017 a	0.062 ± 0.004 b	0.504 ± 0.015d	26.880 ± 1.811a	13.150 ± 0.403 a

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)
Note: Different small letters within the same column mean significant differences ($P<0.05$)

3 结论

在 0.085、0.850 mmol/L 硅水平下,水稻在 12 h 的吸硅量表现为总吸硅量明显大于蒸腾吸硅量,并且蒸腾吸硅量占总吸硅量的比值表现为高硅浓度处理高于低硅浓度处理。6 h 内水稻在 0.085 mmol/L 和 0.850 mmol/L 硅处理下的硅吸收都受到了代谢抑制剂和低温的抑制,并且表现为高硅浓度的抑制程度低于低硅浓度的抑制程度。在 0.085 mmol/L 和 0.850 mmol/L 硅处理下,水稻在 12 h 内,木质部汁液硅浓度均大于外部溶液硅浓度,且其比值随着时间的延长而逐渐升高。木质部汁液中的硅浓度以及木质部汁液的硅浓度与外部溶液的硅浓度比值大小表现为高硅浓度处理低于低硅浓

度处理,可见水稻对硅的运输是主动过程。

参考文献

[1] 何电源. 土壤和植物中的硅[J]. 土壤学进展, 1980(Z1): 1-11.
[2] 熊义升. 硅在植物生物学中的特殊地位[J]. 世界农业, 1996(7): 22-24.
[3] 梁永超, 张永春, 马同生. 植物的硅素营养[J]. 土壤学进展, 1993, 21(3): 7-14.
[4] MA J F, TAMAI K, LCHII M, et al. A rice mutant defective in silicon uptake[J]. Plant physiology, 2002, 130(4): 2111-2117.
[5] MA J F, GOTO S, TAMAI K, et al. Role of root hairs and lateral roots in silicon uptake by rice[J]. Plant physiology, 2001, 127(4): 1773-1780.
[6] 奥田东, 高桥英一. 作物に対するケイ酸の栄養生理的役割について(第 1 報): ケイ酸欠除栽培方法の検討[J]. 日本土壤肥科学杂志, 1961, 32(10): 475-480.
[7] 高井康雄. 植物营养和技术[M]. 敖光明, 等译. 北京: 农业出版社, 1988.

科技论文写作规范——作者

论文署名一般不超过 5 个。中国人姓名的英文名采用汉语拼音拼写, 姓氏字母与名字的首字母分别大写; 外国人姓名、名字缩写可不加缩写点。