

不同浓度的 Si Ge 对水稻幼苗生长的影响

刘文菊¹, 梁秀华², 薛宝民¹, 郭友红¹, 吴玉红¹

(1. 河北农业大学资环学院, 河北 保定 071001; 2. 河北省农业技术学校, 河北 保定 071001)

摘要:利用人工控制光温条件的水培方法,研究了不同浓度的 Si、Ge 对水稻幼苗生长的影响。结果表明,对水稻幼苗进行 Ge 处理后,各处理之间的生物量均有所降低。在相同 Ge 浓度处理时,随着 Si 浓度的升高,生物量有增加的趋势。随着 Ge 处理浓度的增加,水稻地上部分含水量逐渐减少,对幼苗的毒害程度越来越严重,地上部 Ge 的浓度也呈逐渐增加的趋势。而随着 Si 的加入,毒害症状减轻,对于 Ge2.5, Ge5.0, Ge10.0 mg · L⁻¹ 处理的植株而言,Ge 含量均表现为降低的趋势。这说明 Si 对水稻植株吸收 Ge 有一定的拮抗作用。结果还表明,随着 Si 浓度的增加,水稻地上部含 Si 量明显上升,但 Ge 含量则呈降低趋势,即 Si 的加入减缓了水稻幼苗的 Ge 毒害。此外,通过对根系进行一定时间的浸泡,能有效除去吸附于根表及累积于根质外体中的 Ge,从而为准确测定根细胞中的 Ge 提供了较为准确有效的方法。

关键词:水稻; Si-Ge 拮抗作用; 毒害

中图分类号:Q945.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1672 – 2043(2004)05 – 0881 – 04

Effect of Different Concentrations of Ge and Si on the Growth of Rice Seedlings in Solution Culture

LIU Wen-ju¹, LIANG Xiu-hua², XUE Bao-min¹, GUO You-hong¹, WU Yu-hong¹

(1. College of Resource and Environmental Science, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China; 2. School of Agricultural Technology in Hebei Province, Baoding 071001, China)

Abstract: Silicon is an analogue of germanium in chemical properties, so there may be an antagonism between silicon and germanium. A hydroponic experiment was conducted to investigate the effect of different Ge concentrations (2.5, 5.0, 10.0 mg · L⁻¹) and Si (25, 50, 100 mg · L⁻¹) on the growth of rice seedlings. The results showed that different concentrations of GeO₂ in nutrient solution decreased biomass of rice significantly, while, different concentrations of silicon in solution enhanced the growth of rice seedlings. The biomass was highest at the 50 mg · L⁻¹ of Si concentration. The interaction between Si and Ge had little effect on dry weights of rice seedlings. The increase of GeO₂ concentration in nutrient solution could increase Ge concentrations in rice shoots but decrease the water content of rice shoots, and had no effect on Si concentrations in shoots. Toxic symptoms on the leaves of rice exposed to nutrient solution with Ge after 12 h were found and decreased with increasing Si concentrations in nutrient solution, which indicated that Si could inhibit Ge uptake by rice roots. Moreover, Si concentrations in shoots increased and Ge concentrations reduced with increasing Si concentration in solution, which suggested that there was an antagonism between Si and Ge at uptake and translocation by rice seedlings. In addition, two extractable methods were used to determine Ge concentrations in rice roots.

Keywords: rice; Si-Ge; antagonism; toxic symptoms

水稻是典型的喜 Si 作物。Si 的存在有利于植株茎秆挺拔、坚硬,增强抗倒伏和抗病能力,并能影响细胞中微量元素的分布^[1,2]。近年来,国内外开展水稻 Si 营养及 Si 肥对水稻增产效果的研究日益增多。

Ge 和 Si 是同族元素,化学性质相似。近年来的研究表明,有机 Ge 化合物有明显的抗癌活性后,对 Ge

的研究也越来越活跃。有机 Ge 能增强人体免疫功能,促进生理功能正常化,有防癌、抗癌、抗衰老、消炎、抗菌的功效^[3]。许多植物中都含有 Ge,一些名贵药材和茶叶具有独特的保健功能,其中 Ge 起着重要的作用^[4,5]。然而,过量 Ge 的供应同样会对动植物及人体有一定的毒害作用^[6,7]。

早在 1966 年, Jewin 首先报道生物体中 Ge – Si 之间存在竞争作用。高桥等研究认为植物吸收 Ge 酸的方式与 Si 酸类似^[2],因而水稻、Si 藻等喜硅的植物,对 Ge 的吸收是非常敏感的。Ge 酸是 Si 酸代谢的

收稿日期: 2004 – 02 – 12

作者简介: 刘文菊(1971—),女,硕士,河北农业大学资环学院副教授,现在中科院生态环境科学中心攻读环境科学专业博士,主要从事植物营养与环境科学方面的研究工作。

E – mail: wenjuli71@hotmail.com

专性抑制剂,对于喜 Si 的植物来说,低浓度的 Ge 即可中毒,加入高浓度的 Si 则可缓解。这也说明了 Ge-Si 之间的拮抗作用^[8,9]。

本试验旨在通过 Si 与 Ge 的化学相似性及其对 Ge 吸收和转运的影响,研究 Si 和 Ge 的相互作用使水稻在生长过程中既可避免 Ge 的毒害,又可使一部分 Ge 转移至可食部分,使之成为“富锗食品”,对人体健康及抗癌起一定的作用。

1 材料与方法

1.1 植株的培养

挑选饱满、大小均匀的水稻种子,用 30% 的 H_2O_2 浸泡 10 min,消毒后用水冲净,播于处理过的石英砂中发芽(石英砂的处理:筛选 1 mm 粒径的石英砂,用自来水反复冲洗后,用 1% 盐酸浸泡 2 d,再用水冲洗后,以饱和的 $CaSO_4$ 浸泡 2 d,最后用去离子水洗净)。当水稻幼苗培养至两片完全叶时,将植株从砂中取出,用去离子水洗净,选取长势均匀的幼苗,移栽至 1/10 强度的营养液中培养,培养容器选用 1 L 外壁涂黑的塑料盆,每盆移入 40 株水稻幼苗,1 周后,换用 1/5 强度的营养液培养,每 3 d 更换 1 次营养液。营养液用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸或氢氧化钾将 pH 值调至 5.0。

标准营养液组成(国际水稻所的水稻专用营养液配方): NH_4NO_3 $0.5 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ $0.6 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, K_2SO_4 $0.23 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $CaCl_2$ $0.21 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ $0.16 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ $5.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ $5.0 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, H_3BO_3 $2.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ $1.0 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ $5.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $Fe-EDTA$ $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

植株生长条件:保持水稻植株在 30°C 、14 h 光照和 20°C 、10 h 黑暗的条件下生长,相对湿度为 60% ~ 70%,光照强度为 $140 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

1.2 试验处理

植株培养 27 d 后进行不同浓度的 Si、Ge 处理。Ge 以 GeO_2 的形式加入,使 Ge 在营养液中的浓度为:0.0、2.5、5.0、10.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (在以下文章中用 $Ge0$ 、 $Ge2.5$ 、 $Ge5.0$ 、 $Ge10.0$ 表示); Si 以硅酸钠的形式加入,使 Si 在营养液中的浓度为:0、25、50、100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (用 $Si0$ 、 $Si25$ 、 $Si50$ 、 $Si100$ 表示)。本试验共设 16 个处理即 $Ge0Si0$ 、 $Ge0Si25$ 、 $Ge0Si50$ 、 $Ge0Si100$; $Ge2.5Si0$ 、 $Ge2.5Si25$ 、 $Ge2.5Si50$ 、 $Ge2.5Si100$; $Ge5.0Si0$ 、

$Ge5.0Si25$ 、 $Ge5.0Si50$ 、 $Ge5.0Si100$; $Ge10.0Si0$ 、 $Ge10.0Si25$ 、 $Ge10.0Si50$ 、 $Ge10.0Si100$ 。每个处理 3 次重复,处理 5 d 后取样。

1.3 样品制备

处理 5 d 后收获。把植株从营养液中取出后,将其地上部和根系剪开。地上部称鲜重(以盆为单位),将地上部和根用自来水、去离子水冲洗后分别装袋。并将根分为 2 部分,1 部分用去离子水冲洗干净,另 1 部分洗干净后,再用去离子水浸泡 1 h。将样品于 80°C ~ 90°C 杀青 30 min, 65°C 烘干 24 h,然后粉碎、称干重。

1.4 分析内容

1.4.1 含水量的测定

将水稻幼苗根与地上部分开,分别测定不同处理的地上部鲜重及干重,计算含水量。含水量 = (鲜重 - 干重) / 鲜重 $\times 100\%$

1.4.2 地上部与根系的 Si、Ge 含量测定

Si 含量测定(以 $SiO_2\%$ 计):浓 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮——重量法^[10]。

Ge 含量测定(以 $Ge \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 计):浓 $HNO_3-H_2O_2$ 消煮,原子吸收分光光度计(Hitachi Z-3500)测定。测定前,对部分根系进行 2 种不同方式的处理,1 部分根经去离子水浸泡 1 h 后,烘干、测定含 Ge 量,另 1 部分根用去离子水冲洗 2 ~ 3 次以后,直接烘干、测定。

1.4.3 调查 Ge 的中毒情况

水稻幼苗经不同浓度的 Si、Ge 处理后,一些 Ge 处理的植株地上部中毒症状明显:由叶脉开始,向叶片中上部扩展,逐渐产生褐色斑点,随着时间的延长,叶片逐渐黄化,干枯。调查每个处理的水稻中毒株数,计算毒害率。毒害率 = 毒害株数 / 总株数 $\times 100\%$ 。

2 结果与讨论

2.1 Si、Ge 处理对水稻幼苗生物量的影响

从表 1 可以看出,在相同 Si 浓度下,不同浓度 Ge 处理明显影响了水稻幼苗的生长。Ge 的加入显著降低了植株的生物量($P < 0.001$)。当 Si 浓度为 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,水稻的生物量与对照相近,无显著性差异。在相同 Ge 浓度时,随着营养液中 Si 浓度的增加,生物量有增加的趋势,特别是在 Si 浓度为 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,生物量显著高于其他处理。说明此 Si 浓度条件下,水稻的生长状况比较好, $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 为水稻生长的最适 Si 浓度。方差分析的结果也表明, Si 的加入显著影响了水稻幼苗的生长($P < 0.05$)。而 $GeSi$ 的交互作用

对水稻幼苗生长的影响不显著。徐金森的试验结果表明, 水稻整株鲜重随培养液中 SiO₂ 浓度的提高而增加、随 GeO₂ 浓度的提高而减少^[9]。

表 1 不同浓度的 Si、Ge 对水稻幼苗生物量的影响 (g · pot⁻¹)
Table 1 Biomass of rice seedlings exposed to different concentrations of Ge and Si

处理	Si0	Si25	Si50	Si100
Ge0.0	1.35 ± 0.02	1.43 ± 0.08	1.37 ± 0.06	1.37 ± 0.07
Ge2.5	1.26 ± 0.07	1.12 ± 0.08	1.37 ± 0.02	1.21 ± 0.03
Ge5.0	1.02 ± 0.07	1.05 ± 0.04	1.26 ± 0.06	1.06 ± 0.03
Ge10.0	1.04 ± 0.03	0.99 ± 0.03	1.09 ± 0.07	1.09 ± 0.04

2.2 Si、Ge 处理对水稻地上部水分含量的影响

由于在 Ge 的处理过程中,发现高浓度 Ge 处理的植株地上部叶片出现萎蔫现象,从而对样品进行水分含量变化的分析。从测定的水分含量结果可以看出,随着加入营养液中 Ge 浓度的升高,水稻植株的水分含量呈下降趋势。在无 Si 处理时,5.0、10.0 mg · L⁻¹ 的 GeO₂ 降低了地上部的水分含量,当 Si 的处理浓度为 25 mg · L⁻¹ 时,只有生长在含 10 mg · L⁻¹ GeO₂ 营养液中的植株含水量有所降低,见表 2。随加入 Si 浓度的增大,高浓度的 Ge 并没有降低水稻地上部水分含量,可能是因为水稻 Ge 中毒后,一些活性酶(如 POD 和 SOD、CAT 等)、叶绿素的合成受到损害^[9],首先叶片有褐斑出现,而后叶片开始黄化失水、干枯,从而使植株含水量受到影响。而 Si 的加入则抑制了水稻根系对过量 Ge 的吸收,因此缓解了 Ge 的毒害症状。

表 2 不同 Si、Ge 处理对水稻幼苗含水量的影响 (%)
Table 2 Effect of different concentrations of Ge and Si on water content (%) in rice shoots

处理	Si0	Si25	Si50	Si100
Ge0.0	85.1 ± 5.12	84.2 ± 7.62	84.1 ± 6.03	84.6 ± 2.82
Ge2.5	85.1 ± 7.10	84.6 ± 4.31	84.1 ± 5.14	84.1 ± 7.61
Ge5.0	83.8 ± 4.56	84.3 ± 5.76	84.5 ± 6.78	83.9 ± 4.69
Ge10.0	83.3 ± 5.17	83.5 ± 4.87	83.4 ± 4.58	84.0 ± 3.22

2.3 不同 Si、Ge 处理下水稻幼苗受 Ge 毒害情况的分析

Si 与 Ge 属同族元素,它们的化学性质相似,因而两者在吸收与运输上存在竞争机制。水稻幼苗经 Ge 处理 12 h 后,无 Si 处理植株叶片就开始出现中毒症状,并在叶片上有褐色坏死斑点出现,新叶及中部叶片首先出现症状。2 d 后,中毒严重的无 Si 高 Ge 处理的叶片开始变黄,这说明高浓度的 Ge 对叶绿素合成有明显的抑制作用。12 h 后,对 Ge 和 Si 处理的水稻进行毒害情况的调查,结果表明,在相同 Si 浓度下,

随着 Ge 浓度的升高,中毒率也升高。在相同 Ge 的浓度下,随着 Si 的浓度的升高,中毒率降低。当 Si 浓度达到 100 mg · L⁻¹ 时,植株在 Ge2.5、Ge5.0 时没有出现中毒症状,见表 3。这与不同浓度 SiO₂ 缓解水稻 Ge 毒害的能力不同的报道是一致的。高浓度 SiO₂(100 ~ 140 mg · L⁻¹)能更好地缓解 GeO₂ 的毒害作用^[8]。

表 3 不同 Si、Ge 处理对水稻幼苗 Ge 毒害的影响 (%)
Table 3 The percentage of rice seedlings with toxic symptoms

处理	Si0	Si25	Si50	Si100
Ge0.0	—	—	—	—
Ge2.5	100	11.3	1.67	—
Ge5.0	100	35.0	32.5	—
Ge10.0	100	65.8	44.2	27.5

结果还表明,水稻的中毒情况与 Ge、Si 的比例有关,随着 Ge、Si 比例的增大,中毒率也增大。Ge、Si 的比例小于 1/20 时,植株没有出现 Ge 中毒症状。目前有关 Ge、Si 比例对水稻生长及受 Ge 毒害的研究很少,因此,对于水稻既能正常生长又能在籽粒富集一定量 Ge 的适宜 Ge、Si 比例,还有必要进一步研究。此外,Si 的大量存在可减少水稻对 Ge 的吸收和积累,因而减少了水稻中毒的可能性,这也表明了水稻在吸收 Si、Ge 方面存在拮抗作用。本试验的现象和结果进一步验证了 Jewin 提出的有关 GeSi 吸收的理论。

2.4 Ge、Si 处理对水稻地上部分 SiO₂ 和 Ge 含量的影响

表 4 表明,在相同 Si 的浓度下,不同浓度 Ge 处理对地上部分 SiO₂ 的含量没有明显影响。在相同 Ge 的浓度下,随着 Si 浓度的升高,SiO₂ 含量也升高,这表明根对 SiO₂ 的吸收及 SiO₂ 在水稻体内的运输、积累与营养介质中 Si 含量密切相关。并且各 Si 处理与对照之间 SiO₂ 含量显著升高,这说明水稻是喜 Si 植物,能大量吸收和积累 Si,高 Si 处理未发生 Si 中毒现象。加入不同浓度的 Ge,对 Si 在水稻地上部分的积累影响不大,这可能是由于相对于 Si 的处理浓度而言,Ge 的处理浓度较低的原因。

分析水稻地上部 Ge 含量的结果表明,Si 的大量存在可减少稻对 Ge 的吸收和积累。图 1 说明了加入

表 4 不同 Si、Ge 处理对水稻地上部分 SiO₂ 含量的影响 (%)
Table 4 SiO₂ content (%) in rice shoots under different Si and Ge treatments

处理	Si0	Si25	Si50	Si100
Ge0.0	0.87 ± 0.02	18.73 ± 1.22	20.71 ± 2.04	21.45 ± 1.23
Ge2.5	0.81 ± 0.03	19.59 ± 1.56	21.34 ± 1.54	22.67 ± 1.48
Ge5.0	0.75 ± 0.01	19.68 ± 0.98	20.45 ± 1.96	22.88 ± 2.19
Ge10.0	0.73 ± 0.04	20.07 ± 0.84	21.03 ± 0.96	23.29 ± 2.01

不同浓度的 Si 和 Ge, 明显影响了水稻地上部的含 Ge 量。随处理 Si 浓度的增加, 对于 Ge2.5、Ge5.0、Ge10.0 处理的水稻植株而言, Ge 含量呈降低的趋势。这与植株受 Ge 毒害的趋势和其他研究结果相吻合。

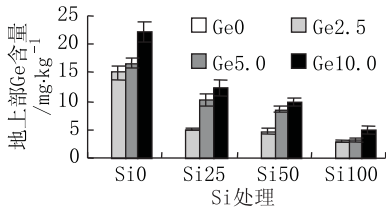


图 1 不同 Ge、Si 处理浓度对水稻幼苗地上部 Ge 含量的影响
Figure 1 Effect of different concentrations of Ge and Si in solution on Ge concentrations in rice shoots

2.5 不同根处理方式对根中 Ge 含量的影响

结果表明, 与未浸泡的根系相比, 浸泡后根中 Ge 含量明显降低。说明收获后的样品, 有一部分 Ge 吸附在根表, 另一部分在质外体积累。通过浸泡可将 Ge 从上述 2 部位中浸提出来。由于 Ge 是主动吸收, 所以根细胞内吸收的 Ge 不会被浸提出来通常测定根中 Ge 含量主要是指根细胞内 Ge。因此, 通过浸泡和未浸泡 2 种不同的根前处理方法, 表明进行短时间浸泡处理可以有效除去根表和质外体中的 Ge, 见表 5。从而为研究准确地测定植株体内的 Ge 含量的方法提供有用的线索。

3 结论

- (1) Si 对水稻吸收和积累 Ge 有明显的抑制作用。就本试验而言, Si 的浓度为 $50\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 是水稻生长较为适宜的浓度。
- (2) 水稻受 Ge 毒害的情况与 Ge、Si 的比例有

表 5 不同根处理方式对根中 Ge 含量的影响

处理	根中 Ge 含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	
	浸泡	未浸泡
Ge10.0Si0	22.07	44.13
Ge10.0Si25	12.31	32.73
Ge10.0Si50	9.89	29.96
Ge10.0Si100	4.87	7.87

关。随着 Ge、Si 比例的增大, 毒害率也增大。当 Ge、Si 比例小于 1/20 时, 植株没有出现中毒症状。

(3) 对水稻根部进行浸泡和未浸泡 2 种处理, 浸泡过的根部的 Ge 含量较低, 说明通过浸泡可以有效除去根表和质外体中累积的 Ge, 这对于选择有效测定根中 Ge 含量方法具有重要的意义。

参考文献:

[1] 陆景陵. 植物营养学(上)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
[2] Lauchli. A 著. 张礼忠, 等译. 植物的无机营养[M]. 北京: 农业出版社, 1992.
[3] 王 夔, 等. 生命科学中的微量元素[M]. 北京: 中国计量出版社, 1996.
[4] 刘德宗, 王俊勇. 有机锗及富锗食品的研究与开发[J]. 中国乳品工业, 1998, 26(2): 27-28.
[5] 王玲英. 桃及大白菜富集锗的实验[J]. 甘肃农业大学学报, 1995, 30(3): 261-262.
[6] 张树功. 有机锗化合物的毒性[J]. 化学通报, 1993, 9: 11-21.
[7] 王立志, 高亚辉, 程兆第, 等. 锗毒性对四种微藻形态和超微结构的影响[J]. 中国环境科学, 1998, 15(3): 55-58.
[8] 许崇山, 唐建军. 锗对水稻某些生理性状的生态效应研究[J]. 生态学杂志, 1998, 17(1): 1-8.
[9] 徐金森, 等. 锗、硅对水稻营养生长的影响[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1999, 38(1): 121-128.
[10] 李西开, 等. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983. 285-286.