

外源硅处理对不同南瓜砧木苗期生长的影响

王承业, 郑姗姗, 李新苗, 姜立娜, 翟于菲, 周俊国

(河南科技学院园艺园林学院 河南新乡 453003)

摘要: 为明确硅对不同南瓜砧木苗期生长的影响, 以 3 种脱黄瓜蜡粉能力不同的南瓜砧木(B04、B07 为脱蜡粉材料, B06 为不脱蜡粉材料)为试验材料, 在人工气候室内采用水培法, 设置 7 个浓度梯度(0、0.3、0.6、0.9、1.2、1.8、2.4 mmol·L⁻¹)的外源硅(Na₂SiO₃·5H₂O)处理, 待幼苗长至 4 叶 1 心时进行生长指标和硅含量的测定。结果表明, 不脱蜡粉南瓜苗期的生物量和根系的生长势均高于脱蜡粉材料; 低于 1.2 mmol·L⁻¹ 的外源硅处理对南瓜苗期的生物量和根系的生长势均起促进作用, 其中 0.9 mmol·L⁻¹ 促进效果最显著; 1.8 mmol·L⁻¹ 外源硅处理对脱蜡粉材料起抑制作用, 对不脱蜡粉材料起促进作用; 2.4 mmol·L⁻¹ 外源硅处理对 3 种材料抑制效果显著, 但不脱蜡粉材料对高浓度外源硅的耐受性强于脱蜡粉材料。南瓜幼苗地上、地下部的硅含量随外源硅浓度升高而增加, 地上部硅含量始终高于地下部, 且不脱蜡粉材料硅含量高于脱蜡粉材料。综上所述, 外源硅对南瓜幼苗生长的影响表现为低浓度促进、高浓度抑制, 不同脱蜡粉能力的南瓜材料对高浓度外源硅处理的耐受性存在差异。

关键词: 南瓜砧木; 外源硅; 生长势; 硅含量

中图分类号: S642.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)06-104-07

Effect of exogenous silicon treatment on seedling growth of different pumpkin rootstocks

WANG Chengye, ZHENG Shanshan, LI Xinmiao, JIANG Li'na, ZHAI Yufei, ZHOU Junguo

(School of Horticulture and Landscape Architecture, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, Henan, China)

Abstract: In order to clarify the effect of silicon on the seedling growth of different pumpkin rootstocks, three pumpkin rootstocks with different abilities of removing cucumber wax pollen(B04, B07 as the dewaxing powder materials, B06 as the non dewaxing powder material) were used as the test materials. The exogenous silicon(Na₂SiO₃·5H₂O) treatment was carried out with seven concentration gradients(0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.8, 2.4 mmol·L⁻¹) using hydroponic cultivation in an artificial climatic chamber. The growth indexes and silicon content were determined and analyzed when the seedlings grew to four leaves and one heart. The results showed that the seedling biomass and root growth potential of the non-dewaxed powder material were higher than those of the dewaxed powder material. The exogenous silicon treatment lower than 1.2 mmol·L⁻¹ promoted the seedling biomass and root growth potential, with 0.9 mmol·L⁻¹ having the most significant promotion effect. The treatment of 1.8 mmol·L⁻¹ had an inhibitory effect on the dewaxed powder material, while promoting the growth potential of the non-dewaxed powder material. The exogenous silicon treatment of 2.4 mmol·L⁻¹ had a significant inhibitory effect on the three materials, but the tolerance of the non-dewaxed powder material to the high concentration of exogenous silicon was stronger than that of the dewaxed powder material. The silicon content of seedlings aboveground and underground increased with the increase of exogenous silicon concentration, but the silicon content of aboveground was always higher than that of underground, and the silicon content of non-dewaxed powder material was higher than that of dewaxed powder material. In summary, the effect of exogenous silicon on the growth of pumpkin seedlings was characterized by promotion at low concentration and inhibition at high concentration, and the tolerance of pumpkin materials with different dewaxing powder ability to high concentration of exogenous silicon treatment was different.

Key words: Pumpkin rootstock; Exogenous silicon; Growth potential; Silicon content

收稿日期: 2023-11-27; 修回日期: 2024-03-10

基金项目: 河南省科技攻关计划(232102110233, 232102110192, 222102110394)

作者简介: 王承业, 男, 在读硕士研究生, 主要从事南瓜种质资源育种研究。E-mail: 15083418522@163.com

通信作者: 周俊国, 男, 教授, 研究方向为园艺植物育种与蔬菜栽培生理。E-mail: junguo1020@163.com

硅是地壳中最丰富的矿物质元素^[1],可以影响南瓜幼苗的生长^[2],也是大多数高等植物生长的有益元素^[3],有助于植物克服非生物和生物胁迫并增强抗逆性^[4],改善作物品质^[5-6],提高产量^[7-8]。植物吸收硅的主要形式是单硅酸 $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ ^[9],植物中硅的累积量各不相同,归因于不同植物根系对硅的吸收和转运能力的不同^[10]。研究表明,低浓度的硅会提高番茄叶片的叶绿素含量,积累更多的干物质^[11];营养液中加入适宜浓度的硅,能促进黄瓜植株的生长发育,并提高黄瓜的产量和品质,但当硅浓度过高时,则会抑制黄瓜植株的生长发育^[12];在对西瓜的研究中发现,硅浓度为 $0\sim 1.8\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,能提高叶片的净光合速率^[13]。

硅是黄瓜果实表面蜡粉的主要干物质成分,前人研究表明,通过砧木嫁接可改变黄瓜植株对硅的吸收运转而影响蜡粉形成^[14-16],说明砧木可以影响硅的吸收运转。不同类型的南瓜砧木材料对土壤中硅的吸收转运能力不同,脱蜡粉砧木嫁接黄瓜苗的地上部吸收硅元素能力低于不脱蜡粉砧木嫁接黄瓜苗和黄瓜自根苗^[17]。目前脱蜡粉与不脱蜡粉南瓜砧木对外源硅的响应及对硅的吸收积累能力还未见报道。笔者选用脱蜡粉南瓜砧木材料 B04、B07 和不脱蜡粉南瓜砧木材料 B06,在人工气候室内采用水培法,研究外源硅对不同类型南瓜砧木苗期生长及根系的影响,为进一步解析南瓜砧木对外源硅的响应机制奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 材 料

前期在河南科技学院温室进行南瓜砧木嫁接黄瓜试验时,发现 B04(瓜砧 1 号,购自北京农科院种业科技有限公司)、B07(日本根力神,购自寿光欣欣园艺有限公司)为脱蜡粉南瓜砧木材料,B06(日本雪松,购自寿光欣欣园艺有限公司)为不脱蜡粉南瓜砧木材料。

1.2 试 验 设 计

试验于 2023 年 5—7 月在河南科技学院园艺园林学院人工气候室内进行。将南瓜种子浸入 $55\sim 60\text{ }^\circ\text{C}$ 热水中约 10 min,其间不断搅拌,待水温降到 $25\sim 30\text{ }^\circ\text{C}$ 时,再浸泡 8 h,淘洗干净后用湿布包裹放入 $28\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温培养箱中催芽至露白。露白后将种子播种于直径 $2\sim 3\text{ mm}$ 雨花石中。待子叶展平时,挑选生长势一致的南瓜幼苗进行水培培养,培养箱规格为 $45\text{ cm}\times 32\text{ cm}\times 11\text{ cm}$,每个品种选用 6 株,株行

距为 $5\text{ cm}\times 5\text{ cm}$,培养液采用 1/2 浓度的 Hoagland 营养液。

在 Hoagland 营养液中添加不同浓度的外源硅($\text{Na}_2\text{SiO}_3\cdot 5\text{H}_2\text{O}$),外源硅处理浓度分别为 $0(\text{CK})$ 、 $0.3(\text{T1})$ 、 $0.6(\text{T2})$ 、 $0.9(\text{T3})$ 、 $1.2(\text{T4})$ 、 $1.8(\text{T5})$ 、 $2.4\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}(\text{T6})$ 。采用完全随机设计,每个品种 3 次重复,培养液每 5 d 更换 1 次,待南瓜幼苗培养至 4 叶 1 心时采样,进行后续分析。

1.3 测 定 项 目 与 方 法

1.3.1 南瓜幼苗植株生物量测定 取幼苗最大真叶,平铺在标准 A4 纸上画出轮廓后剪裁下来,通过叶片轮廓的纸质量 \times A4 纸的面积/1 张 A4 纸的总质量,计算出最大真叶面积。

在根颈部位剪开南瓜幼苗,用精度为万分之一的分析天平分别称量地上部与地下部鲜质量,记录后将地上部和地下部分别置于烘箱内, $95\text{ }^\circ\text{C}$ 杀青后在 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 烘干至恒质量,称量并记录干质量。

1.3.2 根系扫描指标测定 将根系洗干净后用 WinRhizo RegV 2004 a 根系分析系统(加拿大 Regent 公司)进行测定。测定方法:将根系样品放置在 $30\text{ cm}\times 40\text{ cm}$ 树脂玻璃槽内,注水 $3\sim 4\text{ mm}$ 使根系充分散开,用双面光源扫描系统(EPSON Expression 1640XI,美国 EPSON 公司)扫描根系,用 WinRhizo Reg V2004 a 分析获得根系长度、根系投影面积、根体积等指标数据。

1.3.3 硅含量测定 称取烘干样品(地上部和地下部分开) 0.2 g 于研钵中研磨,在消解试管中加 98% 浓硝酸 6 mL、38% 浓盐酸 2 mL、40% 氢氟酸 2 mL,置于消解仪中, $160\text{ }^\circ\text{C}$ 预消解 15 min。完成后将消解试管扩口后套上黑管再放入消解仪中 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 消解 10 min, $180\text{ }^\circ\text{C}$ 消解 30 min,冷却后加入 40% 高氯酸 1 mL,在电热板上 $180\text{ }^\circ\text{C}$ 赶酸,除去氯气,赶酸至样品剩余约黄豆粒大小,然后用 0.5% 硝酸定容至 10 mL,用 Optima 2100 DV 电感耦合等离子体发射光谱仪测定样品中的硅浓度。

1.4 数 据 处 理

采用 Microsoft Excel 进行试验数据处理和绘图,采用 IBM SPAS Statistics 25 进行差异显著性分析。

2 结 果 与 分 析

2.1 不同浓度外源硅对南瓜苗期生物量积累的影响

由图 1 可知,与 CK 相比,随着外源硅浓度的增加,各处理南瓜幼苗的生长势均表现为先促进后抑



图1 不同浓度外源硅处理下南瓜幼苗的表型

Fig. 1 Phenotypes of pumpkin seedlings treated with different concentrations of exogenous silicon

制, T3 处理下促进效果最明显, T6 处理下抑制效果最明显。

由表 1 可知, 各浓度处理下 B06 的最大真叶面积、地上和地下部干鲜质量均高于 B04 和 B07。南瓜幼苗的生物量随硅浓度的升高呈先增大后减小的趋势, 5 个指标中脱蜡粉材料 B04、B07 与不脱蜡粉材料 B06 均在 T3 处理下达最大值。

与 CK 相比, B04、B07、B06 的最大真叶面积在 T3 处理下分别显著增加 88.92%、90.87%、155.81%; T5 处理的 B04、B07 分别显著减少 19.19%、29.88%, 而 B06 增加了 4.16%; 3 份材料的最大真叶面积在 T6 处理下均表现为抑制, 分别显著减少 60.63%、67.05%、22.53%。

与 CK 相比, B04、B07、B06 的地上部鲜质量在 T3 处理下分别显著增加 66.90%、64.60%、82.60%; T5 处理的 B04、B07 分别减少 21.60%、25.74%, 而 B06 增加了 9.03%; 在 T6 处理下均表现为抑制, 分别显著减少 29.38%、40.18%、22.24%。与 CK 相比, 地上部干质量在 T3 处理下分别显著增加 29.27%、30.65%、38.64%; T5 处理的 B04、B07 分别显著减少 36.59%、31.45%, 而 B06 增加了 9.09%; T6 处理的 B04、B07 分别显著减少 55.28%、43.55%, 而 B06 增加了 1.52%。

与 CK 相比, B04、B07、B06 的地下部鲜质量在

T3 处理下分别显著增加 42.62%、52.10%、63.64%; T5 处理的 B04、B07 分别显著减少 34.97%、18.56%, 而 B06 增加了 12.44%; 在 T6 处理下均表现为抑制, 分别显著减少 46.45%、34.13%、15.31%。与 CK 相比, 地下部干质量在 T3 处理下分别显著增加 75.00%、87.50%、109.09%; T5 处理的 B04、B07 分别显著减少 50.00%、25.00%, 而 B06 增加了 18.18%; 在 T6 处理下表现均为抑制, 分别显著减少 75.00%、75.00%、27.27%。

由此可见, 南瓜幼苗的生物量积累在外源硅浓度处理下表现为低浓度促进, 高浓度抑制; T3 处理的促进效果最显著; T5 处理的 B04、B07 表现为受到抑制, 而对 B06 表现为促进; T6 处理下 B04 和 B07 均表现为受到抑制, 而 B06 除地上部干质量表现为促进外, 其他指标均表现为受到抑制, 但受抑制程度最小。

2.2 不同浓度外源硅对南瓜苗期根系形态指标的影响

外源硅处理后对 3 种材料的根系进行扫描和根系形态指标分析。与 CK 相比, 随着外源硅浓度的增加, 南瓜幼苗根系的生长表现为先促进后抑制, 在 T3 处理下促进效果最明显, 在 T6 处理下抑制效果最明显(图 2)。

由表 2 可知, 在不同浓度外源硅处理下, B06 的

表1 不同浓度外源硅对南瓜苗期生物量的影响

Table 1 Effects of different concentrations of exogenous silicon on biomass of pumpkin seedlings

材料 Material	处理 Treatment	最大真叶面积 Max true leaf area/cm ²	地上部鲜质量 Aboveground fresh mass/g	地上部干质量 Aboveground dry mass/g	地下部鲜质量 Underground fresh mass/g	地下部干质量 Underground dry mass/g
B04	CK	58.35±0.73 d	8.61±0.01 e	1.23±0.11 d	1.83±0.23 d	0.08±0.01 d
	T1	64.30±0.62 cd	11.80±0.22 d	1.47±0.20 bc	1.94±0.22 d	0.09±0.03 d
	T2	74.51±0.52 c	13.82±0.17 c	1.54±0.23 bc	2.18±0.13 c	0.11±0.02 c
	T3	110.24±0.68 b	14.37±0.15 bc	1.59±0.16 b	2.61±0.28 b	0.14±0.04 c
	T4	76.13±0.13 c	11.44±0.19 d	1.29±0.16 c	2.36±0.14 c	0.10±0.03 d
	T5	47.15±0.45 e	6.75±0.13 f	0.78±0.01 e	1.19±0.16 f	0.04±0.01 e
	T6	22.97±0.16 f	6.08±0.10 f	0.55±0.03 f	0.98±0.16 f	0.02±0.06 f
B07	CK	62.67±0.31 cd	9.83±0.12 de	1.24±0.18 d	1.67±0.07 e	0.08±0.02 d
	T1	70.88±0.53 c	11.54±0.26 d	1.33±0.20 c	1.84±0.25 d	0.10±0.01 d
	T2	86.89±0.98 bc	13.05±0.13 c	1.46±0.29 bc	2.33±0.08 c	0.12±0.01 c
	T3	119.62±0.75 b	16.18±0.19 b	1.62±0.14 b	2.54±0.09 b	0.15±0.04 b
	T4	67.32±0.82 cd	10.16±0.07 de	1.37±0.12 c	2.29±0.08 c	0.12±0.02 c
	T5	43.94±0.05 e	7.30±0.11 f	0.85±0.15 e	1.36±0.11 f	0.06±0.02 e
	T6	20.65±0.58 f	5.88±0.09 f	0.70±0.15 e	1.10±0.14 f	0.02±0.01 f
B06	CK	75.67±0.26 c	10.52±0.05 de	1.32±0.05 c	2.09±0.03 cd	0.11±0.01 c
	T1	103.92±0.07 b	15.50±0.10 b	1.48±0.05 bc	2.58±0.16 b	0.13±0.03 c
	T2	155.22±0.26 ab	17.93±0.23 ab	1.63±0.17 b	2.89±0.25 b	0.18±0.02 b
	T3	193.57±0.72 a	19.21±0.11 a	1.83±0.21 a	3.42±0.21 a	0.23±0.04 a
	T4	114.29±0.87 b	15.65±0.21 b	1.65±0.04 b	2.81±0.02 b	0.17±0.03 b
	T5	78.82±0.99 c	11.47±0.06 d	1.44±0.08 c	2.35±0.10 c	0.13±0.01 c
	T6	58.62±0.32 d	8.18±0.04 f	1.34±0.11 c	1.77±0.20 e	0.08±0.02 d

注: 同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level. The same below.

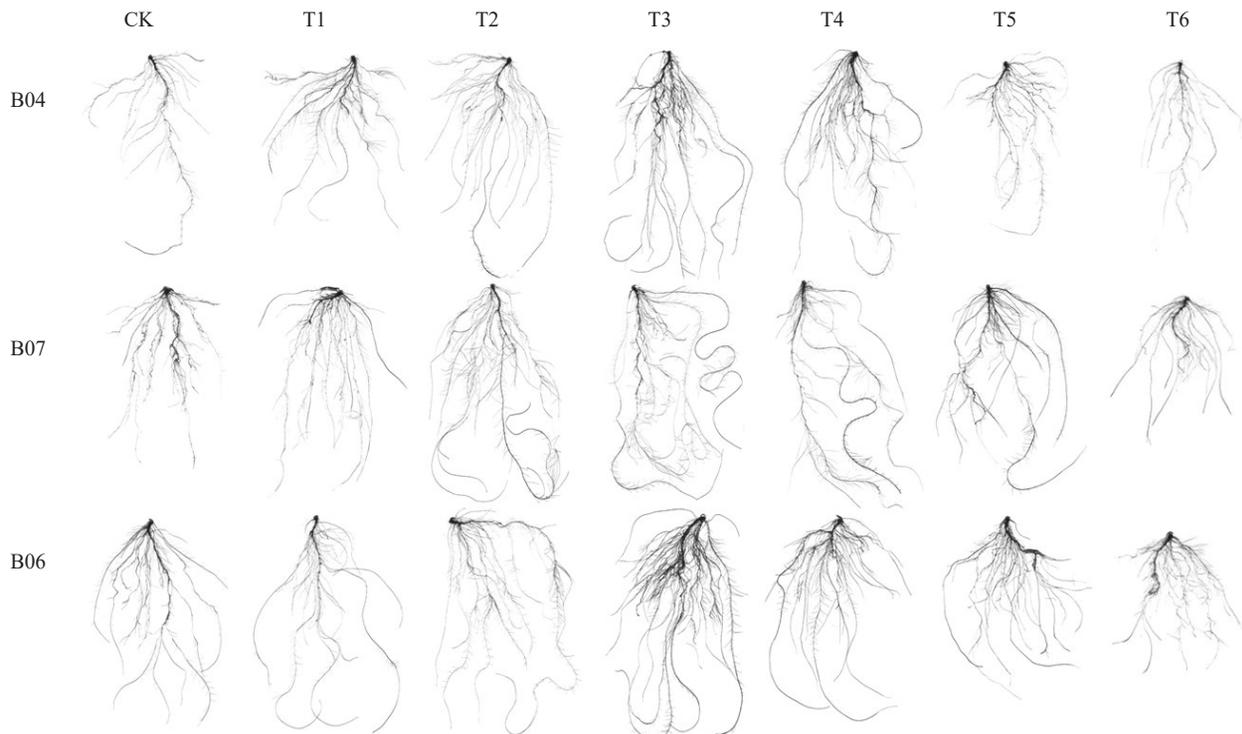


图2 不同浓度外源硅处理下南瓜苗期根系的表型

Fig. 2 Phenotype of pumpkin root at seedling stage under different concentrations of exogenous silicon treatment

总根长、根表面积、根体积、根尖数均高于 B04 和 B07。幼苗根系的生长势随外源硅浓度的升高呈现先增大后减小的趋势,4 个指标中脱蜡粉材料 B04、B07 与不脱蜡粉材料 B06 均在 T3 处理下达最大值。

与 CK 相比,B04、B07、B06 的总根长均在 T3 处理下分别显著增加 57.26%、53.49%、124.93%;T5 处理的 B04、B07 分别显著减少 52.14%、53.91%,而 B06 显著增加了 16.37%;在 T6 处理下,B04、B07、B06 均表现为抑制,分别显著减少 59.83%、74.42%、42.33%。与 CK 相比,B04、B07、B06 根表面积在 T3 处理下分别显著增加 91.78%、88.87%、113.03%;T5 处理的 B04、B07 根表面积分别减少 13.74%、28.50%,而 B06 增加了 2.59%;在 T6 处理下,B04、B07、B06 根表面积均表现为抑制,分别显著减少 27.68%、39.50%、22.19%。与 CK 相比,B04、B07、B06 根体积在 T3 处理下分别显著增加 30.00%、60.00%、102.38%;T5 处理的 B04、B07 分别显著减少 30.00%、24.00%,而 B06 增加了 4.76%;B04、B07、B06 根体积在 T6 处理下均表现为抑制,分别显著减少 40.00%、48.00%、33.33%。与 CK 相比,

B04、B07、B06 根尖数在 T3 处理下分别显著增加 64.53%、82.37%、108.08%;在 T5 处理下分别减少 19.65%、18.41%、12.49%;在 T6 处理下均表现为抑制,分别显著减少 69.88%、69.32%、48.74%。

由此可见,南瓜幼苗根系的生长势在外源硅处理下表现为低浓度促进,高浓度抑制。T3 处理下促进效果最显著;在 T5 处理下 B04、B07 表现为受到抑制,而对 B06 的总根长、根表面积、根体积表现为促进,根尖数表现为抑制,但抑制程度小于 B04、B07;在 T6 处理下 B04、B07、B06 均表现为受到抑制,但 B06 受抑制程度最小。

2.3 不同浓度外源硅处理对南瓜苗期不同部位硅含量的影响

外源硅处理后分别对 3 种材料的地上和地下部分进行硅含量测定分析。与 CK 相比,外源硅处理下幼苗地上部和地下部的硅含量增高,且随外源硅浓度的升高而增大。在 T6 处理下,B04、B07、B06 地上与地下部硅含量最高,但 B06 增幅高于 B04、B07;幼苗地上部硅含量均大于地下部,B06 的地上部与地下部硅含量均高于 B04 与 B07(图 3)。

表 2 不同浓度外源硅处理对南瓜苗期根系形态指标的影响

Table 2 Effects of different concentrations of exogenous silicon treatment on root morphological indexes of pumpkin seedlings

材料 Material	处理 Treatment	总根长 Total root length/cm	投影面积 ProjArea/cm ²	根表面积 Root surfarea/cm ²	平均直径 Average diameter/cm	根体积 Root volume/cm ³	根尖数 Number of tips	分支数 Number of forks	交叉数 Number of crossings
B04	CK	351±65 e	9.43±0.31 e	20.45±9.31 e	0.23±0.05 c	0.20±0.06 e	2845±84 e	996±20 e	165±20 e
	T1	382±42 e	11.94±0.28 d	22.76±2.52 e	0.26±0.08 b	0.23±0.03 d	3189±97 e	1086±85 e	179±53 e
	T2	469±21 de	6.89±1.24 ef	37.52±3.03 d	0.23±0.05 c	0.24±0.28 d	3959±74 d	2544±21 d	277±41 d
	T3	552±74 d	13.44±2.14 d	39.22±5.18 d	0.26±0.09 b	0.26±0.17 d	4681±81 cd	2717±45 cd	539±44 c
	T4	321±31 ef	5.87±1.28 f	29.61±9.61 e	0.25±0.07 ab	0.17±0.03 e	2498±12 ef	1686±15 de	545±15 c
	T5	168±52 f	5.97±1.28 f	17.64±2.31 f	0.34±0.08 a	0.14±0.04 f	2286±40 ef	707±13 e	312±123 d
	T6	141±24 f	4.71±0.18 f	14.79±8.45 f	0.41±0.21 a	0.12±0.03 f	857±60 f	492±18 f	139±99 e
B07	CK	473±99 de	7.10±0.84 e	31.90±9.82 e	0.28±0.07 b	0.25±0.07 d	2950±10 e	1524±30 de	303±30 d
	T1	680±4 d	19.18±0.36 cd	52.92±2.82 cd	0.24±0.07 c	0.33±0.24 cd	4318±60 d	3358±185 c	735±36 bc
	T2	718±19 c	20.14±0.14 c	54.89±7.45 c	0.25±0.08 ab	0.36±0.16 c	5126±31 c	3948±25 b	972±82 a
	T3	726±87 c	25.16±1.24 c	60.25±5.54 c	0.28±0.02 b	0.40±0.26 c	5380±40 c	3788±12 b	851±97 b
	T4	438±36 e	10.89±1.37 d	34.22±1.63 e	0.28±0.03 b	0.31±0.07 cd	3821±68 d	2267±52 d	478±78 c
	T5	218±22 f	7.26±0.75 e	22.81±8.16 e	0.35±0.12 a	0.19±0.01 e	2407±63 ef	944±98 e	251±19 d
	T6	121±73 f	10.15±1.18 d	19.30±4.31 f	0.39±0.17 a	0.13±0.03 f	905±74 f	773±82 e	168±12 e
B06	CK	678±12 d	25.85±1.02 c	55.66±8.14 c	0.33±0.11 a	0.42±0.04 c	5581±24 b	1476±62 de	346±80 d
	T1	941±68 c	23.05±1.25 c	81.79±1.84 b	0.26±0.01 b	0.58±0.15 b	6821±52 b	2609±77 cd	594±99 c
	T2	1211±37 b	37.74±1.25 a	106.25±5.90 a	0.25±0.11 ab	0.74±0.29 b	9233±72 ab	4442±21 a	826±15 b
	T3	1525±25 a	33.82±3.15 b	118.57±9.75 a	0.25±0.06 ab	0.85±0.13 a	11 613±89 a	4405±98 a	831±15 b
	T4	924±7 c	30.90±2.18 b	72.42±4.82 b	0.35±0.04 a	0.63±0.08 b	6105±91 b	3081±58 c	846±21 b
	T5	789±28 c	18.49±2.19 cd	57.10±2.28 c	0.30±0.17 b	0.44±0.02 c	4884±57 c	1762±42 de	459±18 c
	T6	391±72 e	7.42±0.28 e	43.31±4.04 d	0.33±0.18 a	0.28±0.07 d	2861±33 e	782±91 e	190±11 e

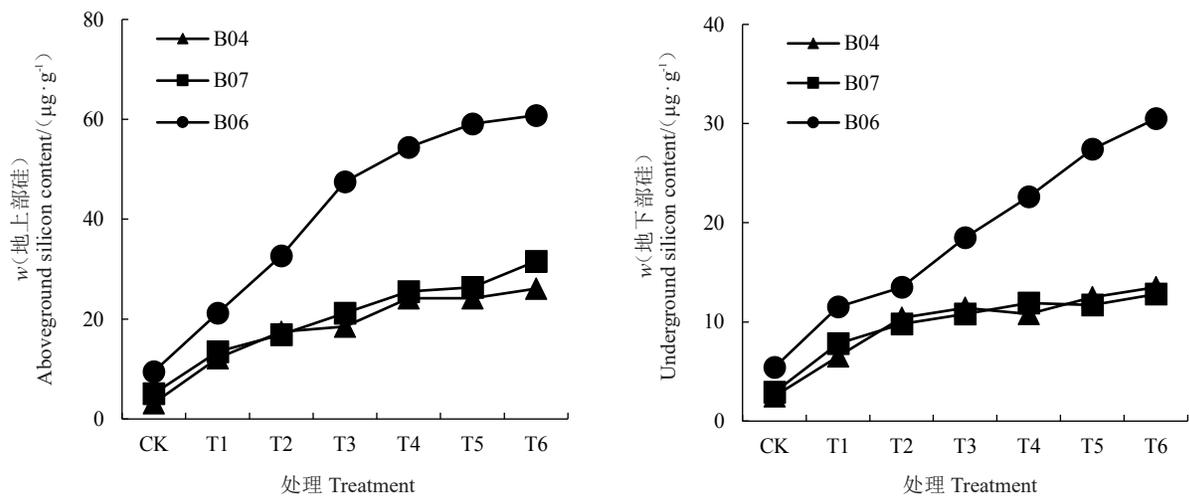


图3 不同浓度外源硅处理下南瓜苗期不同部位的硅含量

Fig. 3 Silicon content in different parts of pumpkin seedling stage under different concentrations of exogenous silicon treatment

3 讨论与结论

硅是植物的一种有益元素,有利于提高植物的光合速率,降低蒸腾速率^[18-19],改善植物对其他营养元素的吸收^[20],提高植物的抗逆性^[21]、抗病虫害能力^[22],并提高作物产量和改善品质^[23-24]。但同时硅又是种间差异较大的元素,高含量与低含量植物之间差异可达上百倍,植株不同器官中硅含量也存在差异,但通常符合“末端分布规律”,即从根到茎叶呈现逐渐增加的趋势^[25]。

笔者的试验结果表明,低于 $1.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的外源硅处理对南瓜苗期的生物量积累和根系长势均为促进作用,在 $0 \sim 0.9 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理间脱蜡粉南瓜砧木材料和不脱蜡粉南瓜砧木材料均表现为促进作用,随浓度的增加而增强,在 $0.9 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理时为最显著。高于 $1.8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的外源硅处理为抑制作用,与张清华等^[13]在西瓜上的研究结果相似。总体表现为低浓度促进,高浓度抑制,与刘缓^[12]、刘淑侠等^[26]在黄瓜上的研究结果相似。刘淑侠等^[27]在黄瓜上的研究表明,外源硅浓度低于 $0.17 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,黄瓜吸收转运硅以主动过程为主,外源硅浓度为 $1.7 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时以被动过程为主,且随着外源硅浓度升高,被动吸收的占比增加。这可能是南瓜幼苗长势表现为低浓度促进,高浓度抑制的原因。而本研究中不脱蜡粉材料对硅的耐受性强于脱蜡粉材料,且在 $1.8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理下的脱蜡粉南瓜砧木材料表现为受到抑制,但对不脱蜡粉材料仍表现为促进。

各处理下3种材料的地上部分硅含量均大于地下部分,符合硅在植物体内的吸收转运形式,即植物体根部主要以硅酸分子的形式吸收硅,然后以单体硅酸的形式被运输到地上部,最后沉积于细胞壁^[28],但本研究表明,不脱蜡粉材料的地上与地下部硅积累量均大于脱蜡粉材料,且不脱蜡粉材料硅积累量随外源硅浓度的增加而明显升高,说明不脱蜡粉材料可以吸收转运更多的硅,这可能是其不脱黄蜡粉的原因。

综上所述,外源硅影响南瓜苗期生物量的积累和根系的生长,表现为低浓度促进、高浓度抑制,同时外源硅处理对不同脱蜡粉能力南瓜砧木的作用存在差异。

参考文献

- [1] EPSTEIN E. Silicon[J]. Annual Review of Plant Biology, 1999, 50: 641-664.
- [2] MA J F, YAMAJI N. Silicon uptake and accumulation in higher plants[J]. Trends in Plant Science, 2006, 11(8): 392-397.
- [3] 于敏敏,樊文华,刘奋武,等. 硅和硒对镉胁迫下黄瓜幼苗光合作作用和抗氧化酶系统的影响[J]. 河南农业科学, 2023, 52(1): 116-124.
- [4] 赵晓美,李正为,于文进,等. 硅对西瓜幼苗生长、光合特性及保护酶活性的影响[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(1): 151-153.
- [5] 范小玉,赵跃锋,张清华. 硅肥对干旱胁迫下茄子幼苗生长及生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(9): 122-127.
- [6] 王远敏. 硅对水稻生长发育及产量品质的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [7] 李炜蕾,张逸,石健,等. 硅对大葱矿质元素吸收、分配特性及产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 486-494.

- [8] 龚金龙,胡雅杰,龙厚元,等.不同时期施硅对超级稻产量和硅素吸收、利用效率的影响[J].中国农业科学,2012,45(8):1475-1488.
- [9] EPSTEIN E. The anomaly of silicon in plant biology[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1994, 91(1): 11-17.
- [10] MA J F, TAMAI K, YAMAJI N, et al. A silicon transporter in rice[J]. Nature, 2006, 440(30): 688-691.
- [11] 曹逼力,徐坤,石健,等.硅对番茄生长及光合作用与蒸腾作用的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):354-360.
- [12] 刘缓.硅对水培黄瓜生理特性和营养品质的影响[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [13] 张清华,刘震,赵跃峰,等.硅对西瓜叶片矿质元素积累与生理特性的影响[J].安徽农业科学,2020,48(1):160-162.
- [14] 韩旭.黄瓜蜡粉性状遗传及少蜡粉砧木特性[J].中国蔬菜,1997(5):51-53.
- [15] 沈琼,崔健,申太荣,等.嫁接黄瓜果实表面蜡粉形成与砧木的相关性及其硅吸收分配特性[J].植物营养与肥料学报,2014,20(1):254-258.
- [16] 王慧.黄瓜嫁接砧木根系中硅转运蛋白基因的克隆与表达分析[D].山东泰安:山东农业大学,2015.
- [17] 段颖,向成钢,胡军,等.砧木对黄瓜嫁接苗地上部硅元素转运的影响[J].中国瓜菜,2017,30(10):6-11.
- [18] 孟鑫,郁继华,颀建明,等.外源硅对自毒作用下黄瓜幼苗生长及光合特性的影响[J].西北植物学报,2020,40(10):1688-1697.
- [19] 华智锐,李小玲.外源硅对盐胁迫下黄芩光合特性的影响[J].贵州农业科学,2018,46(1):86-89.
- [20] 黄平升,刘世男,李婷,等.外源硅对盐胁迫下黄果厚壳桂幼苗的光合荧光及抗氧化特性的影响[J].中国农学通报,2022,38(23):32-38.
- [21] 黄浩,路运才.外源硅对低温胁迫下玉米和大白草幼苗的影响[J].中国农学通报,2023,39(5):21-27.
- [22] 杨国庆,朱展飞,胡文峰,等.叶面喷施硅和磷对水稻及其抗白背飞虱的影响[J].昆虫学报,2014,57(8):927-934.
- [23] 刘鹏,卜文宣,王斌,等.硅肥对马铃薯生长发育及产量品质的影响[J].中国蔬菜,2023(5):88-92.
- [24] 徐宁,张方园,孙晓慧,等.外源硅对连作黄瓜生长发育、产量及品质的影响[J].北方园艺,2022(16):46-51.
- [25] 李晓艳,孙立,吴良欢.不同吸硅型植物各器官硅素及氮、磷、钾素分布特征[J].土壤通报,2014,45(1):193-198.
- [26] 刘淑侠,周鑫,李治红,等.外源硅和嫁接砧木对黄瓜幼苗生长及硅吸收分配的影响[J].山东农业大学学报(自然科学版),2019,50(3):367-371.
- [27] 刘淑侠,李治红,周鑫,等.环境条件和外源硅浓度对黄瓜硅吸收分配的影响[J].植物营养与肥料学报,2019,25(4):654-660.
- [28] MITANI N, MA J F, IWASHITA T. Identification of the silicon form in xylem sap of rice[J]. Plant and Cell Physiology, 2005, 46(2):279-283.