

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.20300

阿氏芽孢杆菌 MB35-5 解硅能力及田间应用效果研究

黄志浩, 吴广利*, 张涛, 刘赛, 张丽光, 苑莹, 郭一楠, 王学虎

(河北萌帮水溶肥料股份有限公司, 河北 石家庄 050000)

摘要: 为明确阿氏芽孢杆菌 MB35-5 对硅酸盐矿物的解硅能力和田间应用对甜菜生长的影响, 通过室内 MB35-5 菌降解硅酸镁的培养试验和田间甜菜应用试验相结合的方法, 研究阿氏芽孢杆菌 MB35-5 对硅酸盐矿物的解硅能力及对甜菜生长的影响。室内试验表明, 与硅酸镁 + 水处理相比, 含 MB35-5 水剂和 MB35-5 粉剂处理培养液中的水溶性硅浓度分别提高 6.47 和 10.91 mg/kg, 增长率分别为 149.1% 和 251.4%。田间试验表明, 与常规用肥处理相比, 施用 MB35-5 水剂 15.0 和 37.5 L/hm² 处理的土壤有效硅含量分别增加 27.07 和 29.93 mg/kg, 增长率分别为 24.58% 和 27.18%; 甜菜叶片厚度均增加, 以第 10 d 最为显著, 叶片增厚 0.04 mm; 甜菜株高分别增高 3.70 和 2.41 cm, 增长率分别为 6.70% 和 4.26%; 甜菜叶片中 SPAD 值分别增加 2.55 和 1.83, 增长率分别为 6.15% 和 4.37%; 甜菜产量分别增加 7540.5 和 14359.5 kg/hm², 增产率分别为 12.38% 和 23.57%。阿氏芽孢杆菌 MB35-5 对含硅矿物具有较强的溶硅解硅作用。在常规用肥基础上施用阿氏芽孢杆菌 MB35-5 会显著提高甜菜产量; 在甜菜的叶片厚度、株高和叶片 SPAD 值指标上均有显著提升。

关键词: 阿氏芽孢杆菌 MB35-5; 解硅能力; 甜菜; SPAD 值; 产量

硅是组成地球的第 2 大元素, 土壤中的全硅含量约为 31%, 其中约 99% 的硅属结晶态和无定形态, 主要以石英和次生粘土矿的形式存在, 不能作为植物体所吸收的营养, 只有土壤溶液中的微量单硅酸 [正酸, Si(OH)₄] 能被植物吸收利用, 这部分称为有效硅^[1]。同时硅元素也是农作物生长所需要的重要营养元素之一, 被国际土壤学界确认为继氮、磷、钾之后的第 4 种生长元素, 是禾本科和根块类作物的必需养分^[2]。农作物吸收硅元素后能促进根系生长发育, 提高养分吸收、抗倒伏、抗病虫害、抗旱和抗寒的能力, 并能够改善农作物品质^[3-6]。但仅依靠自然循环供给硅素养分是不够的, 必须重视硅肥的研究与使用。有资料显示, 全国有 50% 以上的耕地存在缺硅元素的现象^[7], 如何提高土壤中有效硅含量就变得越来越紧迫。

采用微生物活化、降解土壤中的矿物质硅, 使其部分变为活性硅, 是一种经济、有效的途径。为了得到解硅能力较强的微生物菌株, 对全

国十几个省份的土样进行了大量的筛选, 发现了多株具有较强解硅能力的菌株, 其中以 MB35-5 为代表。“农业农村部微生物肥料和食用菌菌种质量监督检验测试中心”依据标准 NY/T 1736-2009 进行了 16S rDNA 序列分析, 结果表明菌株 MB35-5 的 16S rDNA 序列与阿氏芽孢杆菌 (*Bacillus aryabhattai*) 的序列同源性为 99%, 根据分析结果将菌株 MB35-5 鉴定为阿氏芽孢杆菌 (*Bacillus aryabhattai*)。为明确微生物菌 MB35-5 解硅能力和田间应用效果, 现设计室内微生物解硅试验和田间应用试验。

1 材料与方法

1.1 供试材料

由河北萌帮水溶肥料股份有限公司提供微生物菌 MB35-5 水剂 (菌数 ≥ 30.0 亿 /mL) 和微生物菌 MB35-5 粉剂 (菌数 ≥ 250 亿 /g), 矿物为硅酸镁 (分析纯)。

2019 年 5 ~ 10 月在张家口张北县馒头营乡深度贫困村二圪垯村开展试验。供试土壤为栗钙土, 耕层土壤基本理化性状为: pH 8.05, 有机质 19.64 g/kg, 全氮 0.87 g/kg, 碱解氮 43.72 mg/kg, 有效磷 16.67 mg/kg, 速效钾 181.62 mg/kg, 有效硅 111.61 mg/kg。供试作物为甜菜。

收稿日期: 2020-05-20; 录用日期: 2020-08-01

基金项目: 石家庄市引进国外智力项目。

作者简介: 黄志浩 (1990-), 男, 河北省石家庄市人, 硕士, 农艺师, 研究方向为水溶肥料及作物平衡施肥。E-mail: H900829@126.com。

通讯作者: 吴广利, E-mail: ja3d917@sohu.com。

1.2 试验设计

室内培养试验共设6个处理,分别为:T0,2.0 g 硅酸镁+100.0 mL 蒸馏水;T1,2.0 g 硅酸镁+10.0 mL MB35-5 水剂+90.0 mL 蒸馏水;T2,2.0 g 硅酸镁+10.0 mL 除去菌体的 MB35-5 水剂+90.0 mL 蒸馏水;T3,10.0 mL 除去菌体的 MB35-5 水剂+90.0 mL 蒸馏水;T4,0.6 g MB35-5 粉剂+100.0 mL 蒸馏水;T5,2.0 g 硅酸镁+0.6 g MB35-5 粉剂+100.0 mL 蒸馏水。

每个处理3次重复,置于30℃,200 r/min 的往复式震荡器培养3 d,过滤为澄清均一的溶液,检测培养液中水溶性硅含量。

田间试验设3个处理,分别为:S0,常规用肥(底肥:15-15-15 复合肥 1125 kg/hm²。追肥:碳酸氢铵 150 kg/hm²,硫酸铵 150 kg/hm²,12-0-5 复合肥+180 g/L 有机质复混肥 75 kg/hm²,14-0-23 复合肥+9.0% 钙复混肥 112.5 kg/hm²,硫酸钾 150 kg/hm²);S1,常规用肥+15.0 L/hm² MB35-5 水剂;S2,常规用肥+37.5 L/hm² MB35-5 水剂。每个处理3次重复,小区面积30.0 m²,采用随机区组设计。

1.3 样品采集与测定

施入 MB35-5 菌后,第10、20、50 d 测定甜菜的叶片厚度。在第50 d 测定甜菜株高和叶片 SPAD 值。在甜菜收获期采集土壤样品,测定各小区甜菜的产量。

土壤样品中有效硅采用0.025 mol/L 的柠檬酸溶液浸提,硅钼蓝比色法检测^[8]。

试验中样品有效硅的检测采用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES 5110、IE-0170)检测^[9]。

1.4 指标计算与统计方法

采用 Excel 2007 和 DPS 7.05 进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 MB35-5 菌对硅酸镁溶解硅的影响

由表1可知,T1、T2 处理水溶性硅含量与 T0 处理均达到5%显著水平。说明在培养基和微生物的作用下硅酸镁产生降解,提高了溶液中水溶性硅含量。T1 处理的硅含量为10.81 mg/L,较 T2 处理溶液中硅含量增长1.36 mg/L,增长率为14.4%,说明微生物菌 MB35-5 水剂具有降解矿物硅酸镁的作用。T3、T4 处理中水溶性硅含量较 T0 低,说明不加硅酸镁的条件下,MB35-5 水剂和粉剂本身

不含或含少量的硅元素。T5 处理水溶性硅浓度为15.25 mg/L,均高于 T0、T3 和 T4,其中较 T0 处理增长10.91 mg/L,增长率为251.4%,说明微生物菌 MB35-5 粉剂具有降解硅酸镁的作用。

表1 不同处理下溶液中水溶性硅含量 (mg/L)

处理	硅
T0	4.34 ± 0.19d
T1	10.81 ± 0.52b
T2	9.45 ± 0.46c
T3	2.15 ± 0.12e
T4	0.47 ± 0.06f
T5	15.25 ± 0.61a

注:表中同列后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 MB35-5 对甜菜生长的影响

2.2.1 施用 MB35-5 微生物菌对甜菜土壤有效硅的影响

由表2可知,各个处理土壤中有有效硅含量与 S0 处理均达到5%显著水平。S1、S2 处理土壤有效硅含量分别为137.17 和 140.03 mg/kg,较 S0 处理土壤有效硅含量分别增加27.07 和 29.93 mg/kg,增长率分别为24.58% 和 27.18%。说明在甜菜上施用微生物菌 MB35-5 对土壤中含硅的矿物盐等物质有降解作用,使土壤中有有效硅含量增加,为甜菜生长提供的充足的硅元素。微生物菌 MB35-5 具有降解硅酸盐矿物的作用这一结果与室内降解硅酸镁试验的结果相一致。

表2 施用 MB35-5 菌土壤中有有效硅含量

处理	土壤有效硅 (mg/kg)	有效硅增长率 (%)
S0	110.10 ± 5.73b	—
S1	137.17 ± 4.74a	24.58
S2	140.03 ± 5.09a	27.18

2.2.2 施用 MB35-5 微生物菌对甜菜叶片厚度的影响

施用微生物菌 MB35-5 后,分别在第10、20 和 50 d 测定甜菜叶片厚度,由表3可知,随着甜菜的生长,各处理的甜菜均出现叶片变薄的趋势,说明甜菜地上部干物质的养分积累向地下部根茎转移。微生物施用第10 d 时,S0、S1 处理甜菜叶片厚度分别为0.461 和 0.467 mm,S2 处理甜菜叶片厚度为0.501 mm,较 S0 处理甜菜叶片厚度增加0.026 mm,增厚幅度为5.47%,达到显著性差异,而 S1

与 S0 处理间差异不显著。施用微生物菌 MB35-5 后第 20 d 时, S1 和 S2 处理的甜菜叶片厚度均与 S0 处理达到 5% 显著差异水平。施用微生物菌 MB35-5 后第 50 d 时, S2 处理的甜菜叶片厚度为 0.386 mm, 与 S0、S1 处理达到 5% 显著差异水平。说明在常规用肥的基础上配合微生物菌剂有利于甜菜叶片厚度的增加, 增大植物叶片单位光合量, 为地下部根茎的膨大提供充足的养分。

表 3 不同时间甜菜的叶片厚度 (mm)

处理	第 10 d	第 20 d	第 50 d
S0	0.461 ± 0.007b	0.454 ± 0.006c	0.355 ± 0.003b
S1	0.467 ± 0.004b	0.466 ± 0.004b	0.364 ± 0.001b
S2	0.501 ± 0.009a	0.486 ± 0.001a	0.386 ± 0.006a

2.2.3 施用 MB35-5 微生物菌对甜菜株高的影响

由表 4 可知, S0 处理甜菜株高为 56.39 cm, S1、S2 处理较 S0 处理的甜菜株高分别增高 3.70 和 2.41 cm, 增长率分别为 6.70% 和 4.26%, 处理间差异均达到 5% 显著水平, 说明在甜菜上施用微生物菌 MB35-5 能够提高甜菜株高。

表 4 施用 MB35-5 菌甜菜株高

处理	株高 (cm)	增长率 (%)
S0	56.39 ± 2.26c	—
S1	60.09 ± 4.09a	6.70
S2	58.80 ± 4.29b	4.26

2.2.4 施用 MB35-5 微生物菌对甜菜叶片 SPAD 值的影响

由表 5 可知, S0 处理甜菜叶片 SPAD 值为 41.62, S1、S2 处理的甜菜叶片 SPAD 值较 S0 处理分别高出 2.55 和 1.83, 增长率分别为 6.15% 和 4.37%, 处理间均达到 5% 显著差异水平, 说明微生物菌 MB35-5 施用后可以提高甜菜叶片 SPAD 值, 提高单位叶片光合作用速率, 有利于甜菜地上部茎、叶养分的积累。

表 5 施用 MB35-5 菌甜菜叶片 SPAD 值

处理	SPAD 值	增长率 (%)
S0	41.62 ± 2.57c	—
S1	44.17 ± 2.07a	6.15
S2	43.45 ± 1.62b	4.37

2.2.5 施用 MB35-5 微生物菌对甜菜产量的影响

由表 6 可知, 各处理甜菜产量均显著高于 S0

处理, S0 处理甜菜产量为 60919.5 kg/hm², 施用微生物菌 MB35-5 处理均较 S0 处理增产, 其中 S2 处理产量最高, 为 75279.0 kg/hm², 比 S0 处理增产 23.57%, 且与其他处理相比均达到 5% 显著水平, 其次为 S1 处理, 达到 68460.0 kg/hm², 与 S0 处理相比增产 12.38%。

表 6 施用 MB35-5 菌处理的甜菜产量

处理	产量 (kg/hm ²)	增产率 (%)
S0	60919.5 ± 795.9c	—
S1	68460.0 ± 918.2b	12.38
S2	75279.0 ± 897.2a	23.57

3 讨论

从相关报道可知, 微生物对矿物的降解机理主要通过酸解、酶解、微生物 (分泌物) 与矿物的络合等^[10-15]。彭秘等^[16]研究硅酸盐细菌 YS6 和胶质芽孢杆菌对铝土矿的脱硅效果中, 硅酸盐细菌 YS6 处理的菌液中硅含量较空白对照增加 608.7%, 胶质芽孢杆菌较空白对照增加 81.3%, 说明菌株 YS6 具有较强的脱硅活性。在本试验中, 施用微生物菌 MB35-5 的处理水溶性硅含量较空白对照增加 251.4%, 说明微生物菌 MB35-5 对硅酸镁具有较强的解硅能力, 值得进一步研究和开发。

通过田间应用试验来明确微生物菌 MB35-5 水剂对甜菜生长的影响, 施用微生物菌 MB35-5 后, 甜菜叶片厚度增加, 增大植物叶片单位光合量, 为地下部根茎的膨大提供充足的养分, 为甜菜增产奠定养分基础。相关研究表明, 小麦、水稻施用硅肥可以明显增加单位面积群体颖花量和结实粒数, 扩大“库容”, 并通过提高茎蘖成穗率、最大叶面积指数、高效叶面积指数等指标, 达到“强源”的效果, 促进源库关系的进一步协调^[17-18]。在本试验中, 各处理甜菜产量均显著高于常规施肥处理, 说明土壤中有效硅含量增加有利于甜菜作物产量的提高。土壤中硅含量的增加可以促进植物的生长、产量增产、对生物胁迫和非生物胁迫的缓解作用^[19-23]。

4 结论

微生物菌 MB35-5 的水剂和粉剂对含硅矿物硅酸镁具有较强的降解作用, 使培养液中水溶性硅含量显著提高。甜菜上使用微生物菌剂, 可以提高土

壤中活性硅的含量,有利于甜菜产量的提高,提高12.38%~23.57%;在甜菜的叶片厚度、株高和叶片SPAD值指标上均有显著提升。

参考文献:

[1] 武艳菊,宋祥伟,刘振学. 硅肥的研究现状及展望[J]. 磷肥与复肥, 2006(3): 55-56, 74.
 [2] 周春旋,张济宇,李宝霞. 硅肥发展现状及展望[J]. 化学工业与工程技术, 2006(6): 48-53, 12.
 [3] Matichenkov V V, Calvert D V, Snyder G H. Prospective of silicon fertilization for citrus in Florida [J]. Annual Proceedings Soil and Crop Science Society of Florida, 2000, 59: 137-141.
 [4] Rodrigues F A, Vale F X R, Korndörfer G H, et al. Influence of silicon on sheath blight of rice in Brazil [J]. Crop Protection, 2003, 22(1): 23-29.
 [5] 孙毅,高玉山,任军,等. 硅肥的抗旱增产作用[J]. 国土与自然资源研究, 2002(1): 48-49.
 [6] 田福平,陈子萱,张自和,等. 硅对植物抗逆性作用的研究[J]. 中国土壤与肥料, 2007(3): 10-14.
 [7] 邵建华. 硅肥的应用研究进展[J]. 四川化工与腐蚀控制, 2000(6): 44-47.
 [8] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.12-236.
 [9] HJ 776-2015, 水质 32 种元素的测定电感耦合等离子体发射光谱法[S].
 [10] Gron V I, 仲崇波. 铝土矿的微生物选矿[J]. 国外金属矿选矿, 1989, 26(11): 9-11.
 [11] Podgorskii V S. Leaching of silicon-containing rock using *Bacillus*

mucilaginosus[J]. Mikrobiologicheskii-zhurnal, 1988, 50(5): 25-30.
 [12] Rogers J R, Bennett P C. Mineral stimulation of subsurface microorganisms: release of limiting nutrients from silicates [J]. Chemical Geology, 2004, 203: 91-108.
 [13] 盛下放,黄为一,殷永娟. 硅酸盐菌剂的应用效果及其解钾作用的初步研究[J]. 南京农业大学学报, 2000, 23(1): 43-46.
 [14] 盛下放,黄为一. 硅酸盐细菌 NBT 菌株生理特性的研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 569-574.
 [15] 盛下放,冯阳. 不同条件下硅酸盐细菌对含钾矿物分解作用的研究[J]. 土壤, 2005, 37(5): 572-574.
 [16] 彭秘,袁文功,李波,等. 一株硅酸盐细菌的分离及解钾溶磷脱硅活性研究[J]. 中国微生态学杂志, 2014, 26(1): 18-22.
 [17] 李卫国,任永玲. 氮、磷、钾、硅肥配施对水稻产量及其构成因素的影响[J]. 山西农业科学, 2001, 29(1): 53-58.
 [18] 王新兵. 硅钾镁对寒地水稻生育和产量的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2009.
 [19] 姬景红. 逆境胁迫下硅的抗性作用机理研究[J]. 黑龙江农业科学, 2011(1): 137-140.
 [20] 鲁嘉,陈斌,赵峰,等. 硅肥在小麦上的应用效果[J]. 土壤肥料, 1997(5): 42-43.
 [21] 李发林,叶光炜,张锦元,等. 云南省烟草施用硅肥试验研究[J]. 云南农业科技, 1997(2): 15-17.
 [22] Rodrigues F A, Benhamou N, Datnoff L E, et al. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance [J]. Phytopathology, 2003, 93(5): 535-546.
 [23] 赵晓美. 钙、硅对西瓜生长发育及品质的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2012.

Quantitative analysis of the ability of *Bacillus aryabhatai* MB35-5 to dissolve silicon using incubation and field experiments

HUANG Zhi-hao, WU Guang-li^{*}, ZHANG Tao, LIU Sai, ZHANG Li-guang, YUAN Ying, GUO Yi-nan, WANG Xue-hu (Hebei Mengbang Water-soluble Fertilizer Co. Ltd., Shijiazhuang Hebei 050000)

Abstract: In order to clarify the desilication ability of *Bacillus aryabhatai* MB35-5 on the silicate mineral and field application effect on sugar beet growth, the indoor MB35-5 strains incubation experiment on degradation magnesium silicate combined with field application on sugar beet growth were carried out. Based on the indoor test, the concentrations of water-soluble silicon of MB35-5 strains liquid and MB35-5 strains powder incubation treatments increased by 6.47 and 10.91 mg/kg with growth rate of 149.1% and 251.4%, respectively, compared with magnesium silicate + water treatment. Based on the field test, from the treatment with MB35-5 strains liquid 15.0 and 37.5 L/hm², the soil available silicon content increased by 27.07 and 29.93 mg/kg with the increase rates of 24.58% and 27.18%, respectively, compared with conventional fertilizer treatment; the thickness of sugar beet leaves increased and the obvious increase happened on the 10th day by 0.04 mm; the sugar beet plant height increased by 3.70 and 2.41 cm with the increase rates of 6.70% and 4.26%; the SPAD value in sugar beet leaves was 2.55 and 1.83 higher with the increase rates of 6.15% and 4.37%, respectively; the yield of sugar beet increased by 7540.5 and 14359.5 kg/hm² respectively with the increase rate of 12.38% and 23.57%. It could be concluded that *Bacillus aryabhatai* MB35-5 has strong desilication abilities on silicate minerals. Application of *Bacillus aryabhatai* MB35-5 on the basis of conventional fertilizer could significantly increase sugar beet yield. Sugar beet leaf thickness, SPAD value indexes and plant height were significantly improved.

Key words: *Bacillus aryabhatai* MB35-5; silicon dissolving ability; sugar beet; SPAD value; yield