

温室土壤硅素肥力的初步研究

王程秀, 杨 丹, 张玉龙, 刘鸣达, 陈 滨, 齐 飞

(沈阳农业大学土地与环境学院 辽宁省农业资源与环境重点实验室 辽宁 沈阳 110866)

摘 要:以蔬菜温室土壤为试材,通过测定相关的土壤主要化学性质与等温吸附试验,研究了温室土壤硅素肥力状况及其影响因素。结果表明:温室 0~20 cm 土层土壤水溶态硅、活性硅、有效硅的含量明显高于 20~40 cm 土层,0~20 cm 土壤有效硅含量受土壤 pH 值和有机质的显著影响;在低浓度条件下,直线方程 $y=bx-a$ 可以很好地描述 0~20 cm 土层土壤平衡液浓度与土壤吸附硅数量间的关系,其参数 a 、 b 与土壤有效硅、pH 值和有机质之间存在着显著或极显著的直线正相关关系,它们能够在一定程度上反映温室土壤的供硅能力。

关键词:硅;温室土壤;等温吸附;参数

中图分类号:S 625.5⁺4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2010)04-0054-04

近年来,我国北方地区设施蔬菜生产发展很快,这不仅给农民带来了较多的经济收入,也丰富了城乡居民的菜篮子。但设施栽培复种指数高,投入大,室内气候条件特殊,无雨水淋洗、高温、高湿、高蒸发;耕层变浅、土壤板结、养分失衡、盐化、酸化等土壤退化问题较为常见,连作障碍、作物生理性病害和土传病虫害也较为严重^[1-3]。近年来,各国学者在充分认识硅在促进水稻等禾本科作物生长、发育的重要作用后^[4-6],也开始从植物营养、植物生理及抗逆性等方面研究硅在园艺作物栽培过程中的有益作用。已有研究表明,施硅可以促进黄瓜、茄子、草莓等果蔬类植物生长,提高抗逆性,改善果实品质^[7-9]。但关于温室土壤硅素肥力状况及其变化特点、高温高湿特殊栽培条件下硅的土壤发生学作用和环境学意义等方面的研究鲜有报道。研究这些问题既有理论意义,又有应用价值。现以蔬菜温室栽培土壤为试材,通过测定相关的土壤化学性质与等温吸附试验,分析温室土壤硅素肥力的特征,探讨温室土壤硅素肥力变化趋势,以期科学调控温室土壤硅素肥力、促进温室作物持续高产、改善果蔬品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自辽宁省丹东市振安区的九连城、河西

甸子和上尖村;采样地属辽宁省设施蔬菜栽培集中区之一。土样采自温室内 0~20 cm 和 20~40 cm 深度土层,经风干、研磨、过筛后备用。土壤类型为草甸土,其基本理化性质如表 1 所示;被用作温室之前土壤基本性质差异较小。

1.2 测试方法

1.2.1 土壤理化性质 土壤 pH 值(H₂O, 2.5:1)用 SARTORIUS AG PB-10 型 pH 计测定;有机质用 Vari-oEL III 型元素分析仪测定;土壤水溶态硅、活性硅和有效硅分别用 0.02 mol/L CaCl₂、0.5 mol/L CaCl₂ (pH 1.5)、1 mol/L HAc-NaAc (pH 4)缓冲液提取,钼蓝比色法测定^[10]。

1.2.2 硅的等温吸附 称取过 1 mm 筛的相当于 5.00 g 烘干土的风干土,装入 100 mL 的塑料离心管中,按液土比 10:1 分别加入以 0.01 mol/L CaCl₂ 溶液作为支持电解质的含硅浓度为 0、10、20、40、60、80、100 mg/L (SiO₂) 的溶液,再加入 2 滴甲苯,加盖,摇匀,于 (30±1) °C 条件下平衡 5 d 后,离心取上清液,测定其中硅的浓度,计算土壤对硅的吸附量。

2 结果与分析

2.1 土壤中不同形态硅的含量及其相互关系

如图 1 所示,除样本 4 外,其它温室土壤的水溶态硅、活性硅和有效硅的含量均为上层(0~20 cm)高于下层(20~40 cm),说明栽培过程中水肥措施以及水热条件对上层土壤有效硅的影响是显著的。但温室土壤不同形态硅含量未表现出随种植年限增加而呈规律性变化,这可能与栽培过程中水肥管理措施不同等因素有关。

对 0~20 cm 土层土壤水溶性硅、活性硅和有效硅含量进行相关分析。由图 1 可以看出,土壤水溶态硅、活性硅含量与有效硅含量之间分别呈极显著的直线和对

第一作者简介:王程秀(1985-),女,辽宁丹东人,在读硕士,现主要从事土壤改良方面的研究。Email: yangdan_dfc@163.com。

通讯作者:张玉龙(1954-),男,辽宁建平人,博士,教授,现从事土壤改良与农业环境保护的教学和研究工作。Email: ylzsa@163.com。

基金项目:辽宁省自然科学基金资助项目(20040532)。
收稿日期:2009-11-17

表 1 供试土壤基本理化性质

编号	采样地点	种植年限/a	采样层/cm	pH	有机质/ g·kg ⁻¹	水溶性硅/ mg·kg ⁻¹	活性硅/ mg·kg ⁻¹	有效硅/ mg·kg ⁻¹
1	九连城村	3	0~20	5.96	33.55	54.08	219.16	102.82
			20~40	4.82	18.14	34.22	185.67	69.83
2	九连城村	6	0~20	6.30	28.20	58.37	253.65	152.70
			20~40	4.86	21.19	30.07	147.19	44.08
3	九连城村	9	0~20	6.57	40.36	98.23	338.96	335.33
			20~40	6.02	24.15	61.35	315.54	152.70
4	河西甸子村	13	0~20	5.73	18.40	40.08	199.88	70.60
			20~40	5.97	15.76	45.59	239.45	89.78
5	河西甸子村	15	0~20	5.79	20.52	41.15	256.70	95.92
			20~40	5.76	10.41	30.61	191.76	59.85
6	河西甸子村	20	0~20	5.48	19.12	34.56	185.67	70.60
			20~40	5.11	11.93	21.49	146.10	41.44
7	上尖村	21	0~20	5.36	22.96	44.86	165.38	62.15
			20~40	4.25	16.40	27.24	127.84	39.13

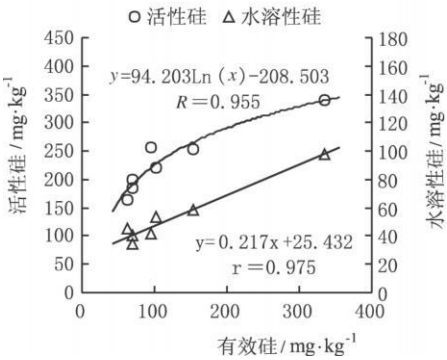


图 1 不同形态硅含量的相关性

数量与平衡液中硅浓度之间的关系。求得各土壤硅素等温吸附曲线方程见表 2。

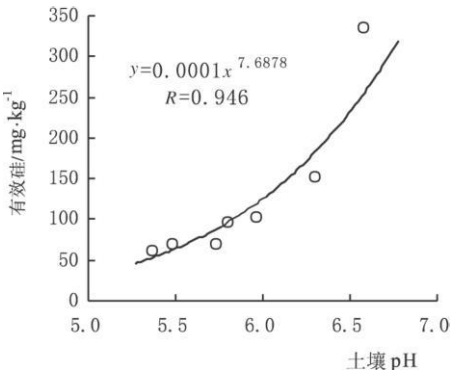


图 2 有效硅与 pH 值的关系

数正相关关系 ($r_{0.01}=0.874, n=7$), 说明就供试土壤而言, 活性硅可能是有效硅的储备。

2.2 土壤有效硅与 pH 值、有机质的关系

目前, 以 1 mol/L (pH 4) 醋酸钠缓冲液提取测得的有效硅是应用最为广泛的衡量土壤供硅能力的指标。图 2 是 0~20 cm 土层土壤有效硅含量与土壤 pH 值的关系, 结果表明二者之间呈极显著的幂函数正相关关系 ($r_{0.01}=0.874, n=7$)。说明在设施蔬菜栽培条件下, 土壤 pH 值可能仍然是影响土壤供硅能力的主要因素。

如图 3 所示, 0~20 cm 土层土壤有效硅含量与有机质含量之间呈显著的指数正相关关系 ($r_{0.05}=0.755, n=7$)。这可能与设施蔬菜栽培条件下施用大量有机肥带入了—部分硅有关, 也可能与施用有机肥改变土壤某些物理化学过程, 导致土壤中无效态硅活化有关^[10], 关于有机肥施用对土壤硅素有效性的影响问题有待进一步研究。

2.3 土壤硅素等温吸附特征及其影响因素

0~20 cm 土层土壤硅素等温吸附试验的结果见图 4。对等温吸附试验数据进行拟合, 常用的 Langmuir、Freundlich 方程都不能很好地描述土壤对硅的吸附特征, 而直线方程 $y=bx-a$ 却能较好地表达土壤吸附硅

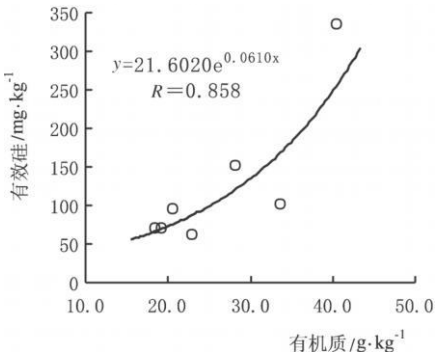


图 3 有效硅与有机质的关系

由图 4 可知, 在 0~100 mg/L (SiO₂) 的浓度范围内土壤样品间对硅的吸附特征存在一定差异。当平衡液浓度在较低范围时, 土壤对硅的吸附量多为负值, 即从土壤中溶出硅的数量多于土壤吸附硅的量。可以认为, 当平衡液中硅的浓度趋近于零时, 从土壤中溶出的硅数量最大, 该值作为参数可以用于评价土壤供硅能力。

随着平衡液中硅浓度的上升,达到某一浓度后,土壤吸附、溶出硅的数量相等,而后土壤对硅的吸附量超过自身的溶出量。显然,这一溶出一吸附平衡点与土壤中可溶态硅的含量、形态以及 pH 值等条件有关,可以作为表达土壤供硅能力的又一参数使用。

综上,将等温吸附曲线方程中平衡液硅的浓度设定为零,即 $x=0$,求出土壤溶出硅的最大值 a ,可以看作是表征土壤供硅容量大小的指标;令土壤吸附硅数量为零,即 $y=0$,求出土壤硅溶出一吸附平衡点 c (即 a/b)。方程斜率(b)表征平衡液中硅浓度变化一个单位时,单位质量土壤吸附或溶出硅的数量,反映了土壤补充或吸附溶液中硅的能力,可以看作是反映土壤供硅缓冲能力的指标。各供试土壤的供硅能力评价参数 c 也见表 2。

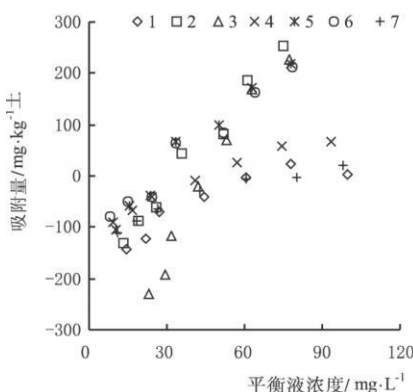


图 4 土壤对硅的吸附情况

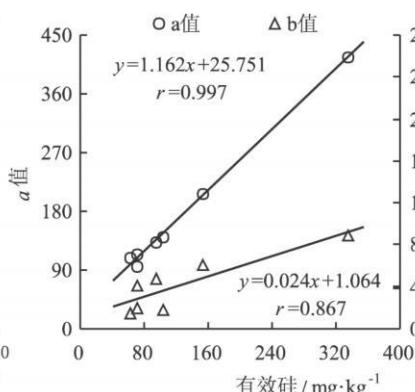


图 5 a、b 与有效硅的关系

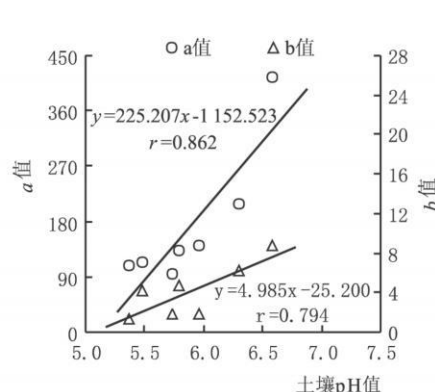


图 6 a、b 与 pH 值的关系

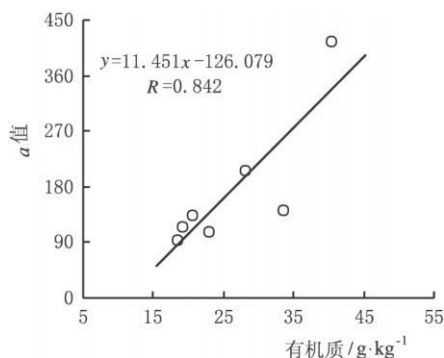


图 7 a 与有机质的关系

对方程参数与土壤 pH 值和有机质含量进行相关分析,结果如图 6 和图 7 所示,参数 a 或 b 与土壤 pH 值、有机质之间均呈显著的直线正相关关系($r_{0.05}=0.754$, $n=7$),即参数 a 和 b 均随土壤 pH 升高而显著增大,同时参数 a 又随土壤有机质含量的增加而增大。但参数 c 值与土壤理化性质间无显著相关关系,这与前人在水田土壤上得到的结论不尽相同^[12],可能正是设施蔬菜栽培

表 2 土壤等温吸附曲线方程及其参数

编号	等温吸附曲线方程	相关系数 r	c 值
1	$y=1.831x-140.897$	0.901 **	76.951
2	$y=6.161x-207.535$	0.990 **	33.685
3	$y=8.819x-415.073$	0.987 **	47.066
4	$y=1.911x-94.225$	0.980 **	49.307
5	$y=4.719x-133.528$	0.983 **	28.296
6	$y=4.198x-114.971$	0.983 **	27.387
7	$y=1.416x-107.947$	0.958 **	76.234

注: $r_{0.01}=0.874$ $n=7$ 。

对等温吸附曲线方程参数 a 、 b 、 c 与有效硅含量进行相关分析所得的结果见图 5。参数 a 和 b 与有效硅含量间分别呈显著和极显著的直线正相关关系($r_{0.05}=0.754$, $r_{0.01}=0.874$, $n=7$),即二者随土壤有效硅含量增加而显著增大。

土壤与水田土壤的差异所在,相关问题有待进一步研究。

3 结论与讨论

土壤水溶态硅是指土壤溶液中存在的硅,通常以单硅酸的形式存在,是植物吸收硅的直接来源;它主要来源于矿物、胶体状态的二氧化硅和硅酸盐的溶解,并与交换态硅的解吸保持着动态平衡。土壤活性硅是土壤中可缓慢地转化为水溶态硅的那部分硅,包括胶体态硅和交换态硅,也有人将其作为衡量土壤供硅能力的指标。而土壤有效硅则是农业化学概念,是指土壤中可供当季作物吸收利用的硅素,包括土壤溶液中的单硅酸及各种易于转化为单硅酸的成份,是目前广泛应用的衡量土壤供硅能力的指标^[11]。

设施蔬菜栽培条件下,上层土壤(0~20 cm)水溶态硅、活性硅、有效硅的含量明显高于下层土壤(20~40 cm);上层土壤水溶态硅、活性硅含量分别与有效硅含量呈极显著的直线和对数正相关关系;而有效硅含量与土壤 pH 值、有机质含量间分别呈极显著的幂函数正相关和显著的指数正相关关系,说明土壤 pH 值和有机

质含量是影响温室土壤供硅能力的重要因素。

在低浓度梯度条件下, 直线方程可以很好地描述温室土壤对硅的吸附特征。方程中的参数与有效硅、土壤 pH 值和有机质之间存在着显著或极显著的直线正相关关系, 说明利用等温吸附试验的方法能够更全面地反映温室土壤的供硅能力的高低。在关内容通过生物试验进一步验证, 可望为评价温室土壤供硅能力提供新的途径。

参考文献

[1] 何文寿. 设施农业中存在的土壤障碍及其对策研究进展[J]. 土壤, 2004, 36(3): 235-242.
[2] 崔正中, 陈友, 单德新. 蔬菜保护地土壤养分变化趋势[J]. 北方园艺, 2001(2): 10-12.
[3] 李文庆, 杜秉海, 骆洪义, 等. 大棚栽培土壤微生物区系的影响[J]. 土壤肥料, 1996(2): 31-33.
[4] 陈平平. 硅在水稻生活中的作用[J]. 生物学通报, 1998, 33(8): 5-8.
[5] 冯东昕, 李宝栋. 可溶性硅在植物抵御病虫害中的作用[J]. 植物病理学报, 1998, 28(4): 293-297.

[6] Inanaga S, Higuchi Y, Chishaki N. Effect of silicon application on reproductive growth of rice plant[J]. Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2002, 48(3): 341-345.
[7] Bowen P, Merzies J, Ehret D. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves[J]. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 1992, 117: 906-912.
[8] Treder W, Cieslinski G. Effect of Silicon Application on Cadmium Uptake and Distribution in Strawberry Plants Grown on Contaminated Soils[J]. J. Plant Nutrition, 2005, 6(28): 917-929.
[9] Liqun HOU, L Q, Eugeniusz SZWONEK, XING S J. Advances in silicon research of horticultural crops[J]. Vegetable Crops Research Bulletin, 2006, 64: 5-17.
[10] 向万胜, 何电源, 廖先苓. 湖南省土壤中硅的形态与土壤性质的关系[J]. 土壤, 1993, 25(3): 146-151.
[11] 袁可能. 植物营养的土壤化学[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
[12] 刘鸣达, 张玉龙, 孟祥富, 等. 应用吸附等温曲线判断水稻土供硅能力 II 吸附等温曲线方程参数与水稻土理化性质的关系[J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 568-570.

Study on the Fertility of Silicon in Greenhouse Soils

WANG Cheng-xiu, YANG Dan, ZHANG Yu-long, LIU Ming-da, CHEN Bin, QI Fei

(College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Key Laboratory of Agricultural Resource and Environment of Liaoning Province, Shenyang Liaoning 110866)

Abstract: Silicon fertilizer could promote the growth of horticultural crop. The quality of fruits and plant resistance to stress would be enhanced. However, reports about the silicon fertility and the influences of greenhouse soils are few. The state and influence factor of silicon in greenhouse soils was studied by isothermal adsorption experiment and chemical analysis. The results showed that the content of soluble silicon, active silicon, and available silicon in 0~20 cm depth soils was obviously more than that of 20~40 cm, the content of available silicon was affected by soil pH and organic matter significantly in 0~20 cm soil layer. Under low silicon concentration conditions, the linear equation, $y=bx-a$, was found to be suitable in describing the relationship between silicon adsorption and equilibrium concentration of the soils in 0~20 cm. The parameters of a, b had a significant and positive linear correlation with the available silicon, soil pH, and organic matter, which to some extents, suggested the silicon supplying capacity in the greenhouse soils.

Key words: silicon; greenhouse soil; isothermal adsorption; parameter