

安徽省水稻土有效硅测定方法及影响因素

曹克丽 (湖北省生态工程职业技术学院, 湖北武汉 430200)

摘要 [目的] 探讨安徽省水稻土有效硅测定方法及其影响因素, 为硅肥施用提供借鉴。[方法] 采取土壤有效硅测定方法间对比分析法以及土壤有效硅含量与土壤性质间相关分析法。[结果] 采取不同方法测定有效硅含量间虽有较大差异, 但存在极显著线性正相关关系。供试水稻土有效硅含量存在较大差异, 多数水稻土有效硅含量低于临界值。土壤母质和基本性质对有效硅含量有较大影响。[结论] 安徽省水稻土有效硅测定以浓度 1% 柠檬酸法和 pH 4.0 醋酸-醋酸钠法方法较好。成土母质、土壤 pH、黏粒含量是影响有效硅含量的主要因素。

关键词 土壤有效硅; 测定方法; 水稻土; 影响因素

中图分类号 S153.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)28-11549-03

Analysis Methods Comparison and Influencing Factors Research of Available Silicon in Paddy Soils, Anhui Province

CAO Ke-li (Hubei Ecology Vocational College, Wuhan, Hubei 430200)

abstract [Objective] The research aimed to study the appropriate methods of available silicon and the influencing factors of available silicon in the paddy soils, Anhui Province, and to provide reference for silicon fertilizer application. [Method] Comparative analysis of the determination methods for the available silicon and correlation analysis of the soil available silicon and soil basic properties were conducted. [Result] There were significant differences of the available silicon content by different analysis methods. The contents of available silicon in the tested paddy soils were different, and that of most of the tested paddy soils were lower than critical value. Soil available silicon contents were mainly affected by soil parent material and basic properties. [Conclusion] The appropriate method of available silicon in the paddy soils of Anhui Province was 1% citric acid method and pH 4.0 acetic acid-sodium acetate method. The major influencing factors of the available silicon were soil parent material, soil pH and soil clay contents.

Key words Soil available silicon; Analysis method; Paddy soil; Influencing factor

硅在水稻生长发育中发挥积极作用^[1]。土壤硅素供应状况及硅肥施用在水稻生产中日益受到人们重视, 已被列为水稻增产的四大元素之一。硅可促进水稻根系生长, 增加根量, 提高根系的氧化力和呼吸率, 增强根系活力; 硅可提高水稻同化二氧化碳的能力, 使水稻增产; 硅能增强作物的抗逆性、抗病虫害能力等。目前, 反映土壤硅素供应状况的主要指标——土壤有效硅含量测定选用的提取剂较多, 结果也有较大差异。针对某一地区水稻土, 研究其有效硅的测定方法及其影响因素对指导水稻硅肥施用有重要意义。笔者通过筛选适宜于安徽省水稻土的有效硅测定方法, 研究安徽省水稻土有效硅状况及其影响因素, 为安徽省水稻土供硅能力评

价及水稻硅肥施用提供参考。

1 材料与与方法

1.1 供试材料 采集安徽省不同地区不同母质上发育的水稻土 27 个样品。供试土壤基本性质见表 1。同时, 采集水稻植株样品供植株硅素分析。

1.2 测定方法 土壤有效硅含量^[2-5]的测定方法见表 2。水稻植株硅含量的测定采用重量法^[4]; 土壤 pH 的测定采用酸度计法; 土壤有机质的测定采用重铬酸钾外加热法; 土壤颗粒组成的测定采用比重计法; 土壤有效磷的测定采用 Olsen 法; 土壤速效钾的测定采用 1 mol/L 中性醋酸铵浸提—火焰光度法^[3-4]。

表 1 供试水稻土基本性质

编号	采样点	母质	pH	有机质//g/kg	有效磷//mg/kg	速效钾//mg/kg	颗粒组成//%	
							<0.01 mm	<0.001 mm
1	蚌埠龙子湖	Q ₃ 黄土	5.63	17.8	11.1	80.3	43.3	33.3
2	蚌埠大学城	Q ₃ 黄土	5.79	21.5	14.6	92.4	45.3	34.1
3	蚌埠李楼	Q ₃ 黄土	5.65	9.3	12.1	44.0	44.3	28.3
4	蚌埠平山下	Q ₃ 黄土	5.83	11.2	7.2	74.3	45.3	27.3
5	蚌埠平山上	花岗岩	5.69	15.7	7.6	80.3	34.1	29.7
6	凤阳赖山	Q ₃ 黄土	5.33	20.7	20.3	110.5	50.1	34.3
7	凤阳蚂蚁山	花岗岩	5.47	15.7	16.2	110.5	52.5	37.3
8	凤阳瓦屋刘	Q ₃ 黄土	5.96	13.1	8.8	44.0	33.3	26.1
9	凤阳李楼	Q ₃ 黄土	6.08	20.3	9.5	98.4	58.1	38.3
10	凤阳城西	Q ₃ 黄土	5.86	14.5	12.9	92.4	56.9	42.9
11	凤阳七里桥	淮河冲积	6.11	17.6	14.8	74.3	53.7	37.7
12	凤阳临北	淮河冲积	6.01	22.7	30.5	146.8	56.1	35.7

接下表

作者简介 曹克丽(1970 -), 女, 安徽凤阳人, 讲师, 从事土壤肥料方面的研究, E-mail: 1019930655@qq.com。

收稿日期 2013-08-07

续表 1

编号	采样点	母质	pH	有机质//g/kg	有效磷//mg/kg	速效钾//mg/kg	颗粒组成//%	
							<0.01 mm	<0.001 mm
13	凤台毛集	Q ₃ 黄土	5.73	22.1	15.8	195.2	47.3	21.7
14	凤台毛集	Q ₃ 黄土	5.60	17.0	15.4	74.3	37.3	22.5
15	凤台毛集	Q ₃ 黄土	5.21	16.7	11.9	134.7	22.5	15.3
16	枞阳会官	冰碛物	4.70	28.5	7.2	44.0	50.5	17.1
17	枞阳会官	冰碛物	4.92	21.5	9.7	31.9	47.7	15.5
18	枞阳会官	冰碛物	4.43	25.6	20.3	104.5	53.1	17.7
19	明光涧溪	Q ₃ 黄土	5.40	17.7	11.2	122.6	44.5	28.5
20	明光涧溪	Q ₃ 黄土	5.15	16.2	11.3	68.2	41.5	26.5
21	宁国港口	山河冲积物	5.03	32.0	10.3	31.9	42.9	22.1
22	宁国港口	山河冲积物	5.63	29.6	19.2	92.4	44.9	16.9
23	宁国港口	山河冲积物	5.28	25.3	23.3	38.0	40.9	20.9
24	芜湖花桥	长江冲积	5.41	28.8	17.6	44.0	54.9	40.0
25	宁国方塘	冲积物	4.80	20.9	8.4	44.0	51.3	22.5
26	宁国方塘	冲积物	4.58	28.0	10.3	50.1	47.3	17.3
27	宁国方塘	冲积物	4.58	25.3	10.5	44.0	43.7	19.9

表 2 土壤有效硅浸提方法

编号	测定方法	水土比	测定条件
A	pH 4.0 醋酸 - 醋酸钠缓冲液 ^[5]	10:1	摇匀后 40 °C 下平衡 5 h, 每隔 1 h 摇动 1 次
B	0.025 mol/L 柠檬酸液 ^[3]	10:1	摇匀后 30 °C 下平衡 5 h, 每隔 1 h 摇动 1 次
C	浓度 1% 柠檬酸液 ^[3]	10:1	摇匀后 30 °C 下平衡 5 h, 每隔 1 h 摇动 1 次
D	0.01 mol/L 硫酸液 ^[2]	20:1	摇匀后 20 °C 下振荡 30 min

2 结果与分析

2.1 土壤有效硅测定方法的比较

2.1.1 采取不同方法测定土壤有效硅含量的比较。由表 3 可知,采取不同有效硅测定方法的水稻土有效硅含量间存在较大差异,以浓度 1% 柠檬酸法测定土壤有效硅含量最高,平均为 319 mg/kg,而以 pH 4.0 醋酸 - 醋酸钠法测定结果最低,平均仅为 125 mg/kg。

有研究表明,浸提液对有效硅的浸提能力与浸提液的性质有关,不同浸提液酸度对含硅化合物的溶解能力和破坏土壤矿物硅氧键的能力不同,其提取土壤有效硅的能力也有差别;土壤中硅的浸出过程伴有多种化学反应,浸提液中阳离子、阴离子组成不同,化学反应不同,浸出的硅的数量也有较大差异;测定条件中,水土比影响浸提平衡时硅的释放数量,浸提时间与方式影响硅素释放与平衡^[6-7]。在供试的 4 种有效硅测定方法中,柠檬酸通过本身对铁的螯合而释放被包铁锰胶膜闭蓄的硅,且对土壤中无定形硅有较强的溶解能力,其测定结果相对较高;稀硫酸酸性强,在溶解硅的同时可能造成硅酸沉淀而使得结果偏低;醋酸 - 醋酸钠虽不能释放闭蓄态硅,但对溶液中硅酸有较强的稳定性,其测定结果接近于稀硫酸法。

2.1.2 采取不同方法测定土壤有效硅精度的比较。为了比较不同方法测定有效硅结果的重现性,对采取不同方法测定同一水稻土的结果进行了分析。由表 4 可知,采取不同方法测定水稻土有效硅的变异系数各不相同,以 0.01 mol/L 硫酸法测定结果的变异系数最大,为 8.05%,而以浓度 1% 柠檬酸

法和 pH 4.0 醋酸 - 醋酸钠法测定结果变异系数最小,不超过 1%。这是一种较理想的有效硅测定方法。

表 3 采取不同方法测定的水稻土有效硅量及植株含硅量

编号	有效硅含量//mg/kg				植株硅含量
	A	B	C	D	%
L02	102	217	291	140	10.98
L03	85	191	236	109	12.87
L04	114	209	262	136	11.79
L05	89	157	230	113	12.00
L06	58	141	215	76	11.54
L07	113	223	319	154	11.02
L08	119	199	263	146	12.99
L09	134	264	348	166	12.01
L10	237	389	484	292	13.04
L11	185	328	465	223	15.08
L12	140	323	395	184	14.97
均值	125	240	319	158	-

表 4 采取不同方法测定土壤有效硅的变异性

方法	均值//mg/kg	标准差(S)	变异系数(CV)//%
浓度 1% 柠檬酸法	52.60	0.445	0.85
0.01 mol/L 硫酸法	6.83	0.549	8.05
0.025 mol/L 柠檬酸法	38.90	0.488	1.25
pH 4.0 醋酸 - 醋酸钠法	25.00	0.186	0.74

注:供试土壤为冲积母质上发育的水稻土(No. 25)。

2.1.3 有效硅测定方法间相关分析及方法选择。由表 5 可知,虽然采取 4 种方法测定水稻土有效硅含量间存在较大的差异,但是不同方法测定结果之间均呈 0.01 水平显著的直线正相关关系,说明不同方法测定有效硅含量有一定的通用性。

土壤有效硅是指能被当季作物吸收利用的有效硅。因而,植物的硅吸收量或植物体内的硅含量成为评判化学方法测定有效硅结果的有效手段。采取 4 种方法测定水稻土有效硅含量与水稻植株硅含量之间的相关系数以 pH 4.0 醋酸 - 醋酸钠法最高,为 0.632 ($n = 11$),而以 0.01 mol/L 硫酸法最低,仅为 0.512 ($n = 11$)。在 4 种方法中,除 0.01 mol/L 硫

酸法外,采取其他方法的测定结果与植株硅含量均呈 0.05 水平显著相关关系, pH4.0 醋酸-醋酸钠法、浓度 1% 柠檬酸法和 0.025 mol/L 柠檬酸法在安徽省水稻土上有较好的适宜性。结合测定方法的精确度分析和与植株含硅量的相关分析,安徽省水稻土有效硅的测定以 pH4.0 醋酸-醋酸钠法和浓度 1% 柠檬酸法较好。

表 5 水稻土基本性质对有效硅含量的影响

项目	0.01 mol/L 硫酸法 (n=11)	浓度 1% 柠檬酸法 (n=11)	pH 4.0 醋酸-醋酸钠法 (n=27)	0.025 mol/L 柠檬酸法 (n=11)
0.01 mol/L 硫酸法 (n=11)	-	0.953**	-	0.959**
浓度 1% 柠檬酸法 (n=11)	0.953**	-	-	0.976**
pH 4.0 醋酸-醋酸钠法 (n=11)	0.993**	0.939**	-	0.944**
植株硅百分比	0.512	0.613*	0.632*	0.626*
pH	0.583	0.602*	0.613**	0.636*
有机质	0.043	0.242	-0.009	0.179
有效磷	0.092	0.283	0.023	0.295
速效钾	0.150	0.307	0.082	0.297
<0.01 mm 土粒	0.542	0.692*	0.511**	0.680*
<0.001 mm 土粒	0.696*	0.784**	0.654**	0.721*

注: n=11, $r_{0.05}=0.602$, $r_{0.01}=0.735$; n=27, $r_{0.05}=0.381$, $r_{0.01}=0.487$ 。

2.2 安徽省水稻土有效硅含量及其影响因素

2.2.1 土壤有效硅含量的比较。水稻吸收的硅主要来自土壤和灌溉水^[8-9]。土壤中可利用硅的含量直接影响水稻的硅素营养。由表 6 可知,采用 pH 4.0 醋酸-醋酸钠法,安徽省水稻土有效硅含量差异较大,最高为 Q₃ 母质上发育的水稻土(No. 10),为 237 mg/kg,最低为冲积母质上发育的水稻土(No. 26),仅为 15.9 mg/kg。有研究表明,土壤有效硅以 100 mg/kg 为临界指标^[2,10],超过则硅素供应较充分,缺乏则水稻易出现缺硅症状或施用硅肥有明显的增产效果。在供试 27 个土壤中,硅素供应不足的占 70.4%,表明安徽省水稻土硅素供应能力较弱,尤其是长江流域水稻土,供试 10 个水稻土的有效硅含量均在 50 mg/kg 以下,平均仅为 26.5 mg/kg,为严重缺硅土壤。在生产中,应注意硅肥的施用。

不同母质对有效硅含量也有明显的影响。对不同母质上发育的水稻土分析结果表明,供试水稻土以淮河冲积母质上发育的水稻土有效硅含量较高,平均为 163.0 ± 31.8 mg/kg,湖积母质上发育的水稻土有效硅含量最低,平均仅为 22.0 ± 7.25 mg/kg,其大小顺序为淮河冲积物 > 花岗岩 > Q₃ 黄土 > 长江冲积物 > 山河冲积物 > 湖积物。由于淮河冲积母质含有较多的碳酸盐,土壤 pH 较高,其硅主要以硅酸盐形式存在,很难形成硅酸,随水淋失,有效硅含量较高;在长期渍水及较高的酸度下,长江流域水稻土尤其湖积母质水稻土中硅形成的硅酸易随水流失,硅素供应能力较差。

2.2.2 土壤有效硅含量与土壤基本性质的关系。土壤的酸碱度影响土壤中硅素存在的形态。一般,在较低的 pH 条件

表 6 安徽省不同母质发育水稻土有效硅含量

土壤母质	样本容量(n)	有效硅含量//mg/kg	标准差(S)
Q ₃ 黄土	13	97.9	50.30
长江冲积	1	41.1	-
山河冲积物	6	26.4	7.74
湖积物	3	22.0	7.25
花岗岩	2	101.0	7.00
淮河冲积物	2	163.0	31.80

下,一方面土壤中难溶态硅的溶解度增加,另一方面土壤中硅可形成正硅酸而存在于土壤溶液中,在长期渍水条件下极易随水流失,而在较高 pH 的土壤中硅以硅酸盐形式存在,损失较少。该研究也证明了这一点。土壤 pH 与水稻土有效硅含量间呈 0.01 水平显著直线正相关关系($r=0.613$, $n=27$)。

供试水稻土黏粒对有效硅含量有 0.01 水平显著影响。 <0.001 mm 土壤黏粒与有效硅含量间呈 0.01 水平显著正相关关系($r=0.654$, $n=27$), <0.01 mm 物理性黏粒与有效硅含量也呈 0.01 水平显著正相关关系($r=0.511$, $n=27$)。土壤黏粒含量直接影响有效硅含量。

3 结论

(1) 采用 4 种方法测定有效硅含量的结果有较大差异,但结果间存在 0.01 水平显著线性关系。安徽省水稻土有效硅测定以 pH4.0 醋酸-醋酸钠法和浓度 1% 柠檬酸法较好。

(2) 供试安徽省水稻土有效硅含量为 15.9 ~ 237.0 mg/kg,有效硅含量普遍稍低于临界值,缺硅土壤占 70.4%,尤以长江流域水稻土缺硅严重,平均仅为 26.5 mg/kg。

(3) 成土母质对水稻土有效硅含量有较大的影响。供试水稻土成土母质的影响为淮河冲积物 > 花岗岩 > Q₃ 黄土 > 长江冲积物 > 山河冲积物 > 湖积物。

(4) 土壤基本性质对水稻土有效硅含量有一定的影响。pH、土壤黏粒含量是影响有效硅含量的主要因素。

参考文献

- [1] 胡霏堂,周立群. 植物营养学(第三版下册)[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003.
- [2] 张效朴. 土壤有效硅测定方法的研究[J]. 土壤,1982,14(2):188-192.
- [3] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2005.
- [4] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978.
- [5] 刘鸣达,张玉龙,陈温福. 土壤供硅能力评价方法研究的历史回顾与展望[J]. 土壤通报,2001,38(1):13-14.
- [6] 周春燕,张玉龙,石岩,等. 不同浸提剂对保护地土壤有效硅测定结果的影响[J]. 中国农学通报,2006,22(2):227-228.
- [7] BECKWITH R S,REEVE R. Studies on soluble silica in soils,II. The release of monosilicic acid from soils[J]. Aust J Soil Res,1964,2:35-45.
- [8] DINAVER R C,GATES KRISTINE E. Methods of soil analysis part2: Chemical and Microbiological properties (second edition)[M]. NY: Amer Society of Agronomy, Inc. Publishers,1982.
- [9] 袁可能. 植物营养的土壤化学[M]. 北京:科学出版社,1983.
- [10] 臧惠林,张效朴,何电源. 我国南方水稻土供硅能力的研究[J]. 土壤学报,1982,19(2):131-139.