

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2022.05.010

王仕海, 张崇德, 杨文钢, 等. 六盘水市烟田土壤有效硅含量与空间分布特征. 土壤, 2022, 54(5): 945–949.

## 六盘水市烟田土壤有效硅含量与空间分布特征<sup>①</sup>

王仕海<sup>1</sup>, 张崇德<sup>1</sup>, 杨文钢<sup>1\*</sup>, 尚 军<sup>1</sup>, 李长权<sup>1</sup>, 王忠宇<sup>1</sup>, 孔祥镇<sup>2,3</sup>, 李德成<sup>2</sup>

(1 贵州省烟草公司六盘水市公司, 贵州六盘水 553000; 2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 3 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘 要:** 为了掌握六盘水市烟田土壤有效硅含量与空间分布, 指导硅肥合理施用, 于 2020 年烤烟移栽和施肥前, 在六盘水市钟山、盘州和水城 3 个烟区分别采集 100、220 和 180 个烟田耕层(0~20 cm)土壤样品, 测定土壤有效硅含量, 评价其丰缺情况, 并绘制有效硅含量空间分布图, 分析其空间分布特征。结果表明: 3 个烟区烟田土壤有效硅含量介于 18.86~754.71 mg/kg, 平均含量介于 260.88~403.80 mg/kg, 均属高级别( $\geq 150$  mg/kg); 3 个烟区高硅烟田占比介于 83.33%~99.09%; 有效硅含量由西向东呈降低趋势, 低硅烟田( $<100$  mg/kg, 仅占 1.4%)集中分布于水城烟区的中部。有效硅含量与 pH( $P<0.01$ )、有机质含量( $P<0.05$ )和黏粒含量( $P<0.05$ )之间均呈显著正相关, 与粉粒含量之间呈显著负相关( $P<0.05$ )。因此, 六盘水市绝大部分烟田不需施用硅肥, 但对缺硅的烟田可考虑施用硅肥或通过改酸和提升土壤有机质等措施以提升土壤中硅素的有效性。

**关键词:** 烟田; 有效硅; 含量; 空间分布; 六盘水

**中图分类号:** S158.5 **文献标志码:** A

## Contents and Spatial Distribution of Soil Available Silicon of Tobacco Fields in Liupanshui City

WANG Shihai<sup>1</sup>, ZHANG Chongde<sup>1</sup>, YANG Wengang<sup>1\*</sup>, SHANG Jun<sup>1</sup>, LI Changquan<sup>1</sup>, WANG Zhongyu<sup>1</sup>, KONG Xiangzhen<sup>2,3</sup>, LI Decheng<sup>2</sup>

(1 *Liupanshui Branch of Guizhou Tobacco Company, Liupanshui, Guizhou 553000, China*; 2 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*; 3 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** To assess the current contents and spatial distribution soil available silicon (Si) in tobacco fields in Liupanshui City to guide the rational application of Si fertilizer, 100, 220 and 180 topsoil samples (0–20 cm) of tobacco fields before the transplanting and fertilization of tobacco were collected from Zhongshan, Shuicheng and Panzhou, the three tobacco regions in Liupanshui City in March of 2020. Soil available Si contents were determined and their abundance or deficiency was assessed according to the grade standard for tobacco-planting suitability, the maps of soil available Si content and grade were drawn on the ArcGIS platform and its spatial distribution characteristics were analyzed. The results showed that in the three tobacco regions, soil available Si content ranged from 18.86 to 754.71 mg/kg, the mean content ranged from 260.88 to 403.80 mg/kg, all belonging to the high grade ( $\geq 150$  mg/kg). The fields with high Si content in the three regions accounted for 83.33%–99.09% of their total number of tobacco fields. Spatially, soil available Si content generally decreased from west to east in the whole city, and the fields with the low available Si content ( $<100$  mg/kg, only 1.4% of the total number of tobacco fields) concentrated in the central of Shuicheng. Soil available Si content had significant positive correlation with pH ( $P<0.01$ ), organic matter content and clay contents ( $P<0.05$ ), but a significant negative correlation with silt content ( $P<0.05$ ). Therefore, most tobacco fields in Liupanshui City do not need applying Si fertilizer, but for the tobacco fields insufficient in Si, the measures should be taken such as applying Si fertilizer or modifying soil acidity and increasing soil organic matter content to increase Si bioavailability in soils.

**Key words:** Tobacco field; Soil available silicon (Si); Content; Spatial distribution; Liupanshui City

①基金项目: 中国烟草总公司贵州省公司重点研发项目(2021XM20)资助。

\* 通讯作者(416386793@qq.com)

作者简介: 王仕海(1974—), 男, 贵州遵义人, 学士, 高级农艺师, 主要从事烤烟生产管理研究。E-mail: 465062637@qq.com

硅是植物体组成的重要营养元素,具有提高植物光合效率、促进营养元素吸收、增强抗逆性等功能<sup>[1-4]</sup>。云南多地的研究表明,施用硅肥能促进烤烟生长,提升烟叶农艺性状,缓解烤烟病害,提高烤烟中上等烟比例和烤烟产质量<sup>[5-6]</sup>。因此,研究区域烟田土壤有效硅含量及其空间分布,可以指导硅肥的科学施用。

目前,国内关于烟田土壤有效硅含量的研究报道很少。张红<sup>[7]</sup>的研究表明,湖南江华、常宁、新田和长沙 4 个烟区烟稻轮作和稻稻连作模式下土壤有效硅含量无显著差异,且含量都较低。梁永江等<sup>[8]</sup>研究发现,贵州遵义烟区有 20.69% 的烟田有效硅缺乏(<100 mg/kg),土壤类型和母质影响有效硅含量,酸性至中性土壤的有效硅含量与 pH 呈显著正相关。虽然已有六盘水市烟田土壤肥力方面的相关报道<sup>[9-11]</sup>,但迄今尚无烟田土壤有效硅含量的调研。为此,本研究通过 2020 年度的调查采样分析,定量评价六盘水市烟田土壤的有效硅含量与空间分布特征,以指导硅肥的科学施用。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

六盘水市位于贵州省西部(25°19'44" ~ 26°55'33"N 和 104°18'20" ~ 105°42'50"E),面积为 9 914 km<sup>2</sup>,以喀斯特地貌为主,海拔介于 586 ~ 2 900 m,年均气温 13 ~ 14℃,年降水量 1 200 ~ 1 500 mm,年日照时数 1 100 ~ 1 600 h,无霜期 200 ~ 300 d。烟田土壤类型主要为发生分类上的黄棕壤、石灰土和黄壤<sup>[12]</sup>,相当于土壤系统分类的湿润淋溶土和湿润锥形土<sup>[13-14]</sup>。六盘水市是贵州省的主要烟区之一,属我国西南高原生态区,烟叶为清甜香型风格<sup>[15]</sup>。近年全市烤烟种植面积约 7 000 hm<sup>2</sup>,年产烟叶约 12.5 万 t。

### 1.2 土样采集与测定

2020 年 3 月在烤烟移栽施肥前,依据烟田空间分布和烤烟常年长势,在钟山、盘州和水城 3 个烟区分别确定了 100、180 和 220 个典型烟田进行采样(图 1)。采样时,在每个烟田中心位置,采用手持式 GPS 仪获取经纬度和海拔信息;在每个烟田内采用“梅花

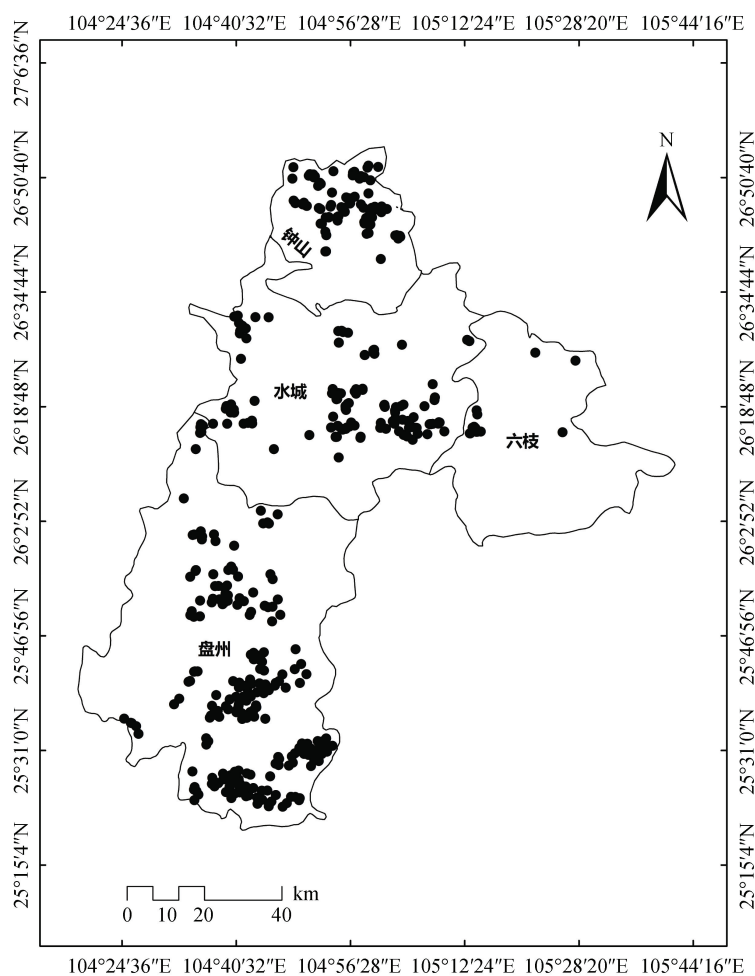


图 1 典型烟田空间位置

Fig. 1 Sites of typical tobacco fields in Liupanshui City

形”五点取样法采集耕层(0~20 cm)土样,充分混合后用四分法留取 1.5 kg 装入布袋带回实验室。土样剔除砾石和动植物残体,经自然风干和研磨过 2 mm 孔径筛后,采用柠檬酸提取-钼蓝比色法测定有效硅含量,吸管法测定颗粒组成,电位计法测定 pH,重铬酸钾外加热法测定有机质含量<sup>[16]</sup>。

1.3 土壤有效硅分级

依据有关土壤有效硅含量的分级报道<sup>[17]</sup>,确定六盘水市烟田土壤有效硅含量分级标准,见表 1。

表 1 六盘水市植烟土壤有效硅分级标准

| Table 1 Grading standards of soil available Si content for tobacco fields in Liupanshui City |     |        |         |         |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------|---------|---------|------|
| 级别                                                                                           | 很低  | 低      | 中(适宜)   | 高       | 很高   |
| 含量                                                                                           | <50 | 50~100 | 100~150 | 150~200 | ≥200 |
| (mg/kg)                                                                                      |     |        |         |         |      |

1.4 数据处理

有效硅含量的描述性统计、回归分析、显著性检验采用 Excel2016 和 SPSS26.0 软件,制图采用

ArcGIS10.6,测定结果异常值的剔除按平均值±3×标准差方法进行。

2 结果与讨论

2.1 土壤有效硅含量及其分级

表 2 为研究区土壤有效硅含量描述性统计结果。由表 2 可见,钟山、水城和盘州烟区土壤有效硅平均含量分别为 403.80、260.88 和 338.47 mg/kg,均属高级别(≥150 mg/kg),且 3 个烟区之间差异显著( $P<0.05$ )。有效硅含量变异系数介于 34.23%~41.85%,为中度变异(变异系数介于 10%~100%),且均为正偏态分布(偏度>0),但钟山和盘州烟区为平顶峰分布(峰度≤0),水城烟区为尖顶峰分布(峰度>0)<sup>[18]</sup>。

表 3 显示了研究区土壤有效硅含量的分级结果。由表 3 可见,钟山、盘州和水城烟区均以高硅烟田为主(含高和很高两个级别),合计分别占其烟田总数的 98.00%、99.09%和 83.33%;低硅烟田(含很低和低两个级别)最少,全市合计仅占 1.40%。

表 2 六盘水市烟田土壤有效硅含量描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of soil available Si content of tobacco fields in Liupanshui City

| 烟区 | 烟田数 | 范围(mg/kg)     | 均值±标准差(mg/kg)   | 变异系数(%) | 偏度   | 峰度    |
|----|-----|---------------|-----------------|---------|------|-------|
| 钟山 | 100 | 18.86~754.71  | 403.80±138.23 A | 34.23   | 0.15 | -0.01 |
| 水城 | 180 | 42.58~665.89  | 260.88±109.17 C | 41.85   | 0.86 | 1.04  |
| 盘州 | 220 | 140.04~641.41 | 338.47±116.14 B | 34.31   | 0.64 | -0.35 |
| 合计 | 500 | 18.86~754.71  | 323.61±129.58   | 40.04   | 0.60 | 0.00  |

注:表中同列数据后不同大写字母表示各烟区间差异极显著( $P<0.01$ )。

表 3 六盘水市烟田土壤有效硅含量分级统计

Table 3 Grade statistics of soil available Si content of tobacco fields in Liupanshui City

| 级别    | 全市  |        | 钟山  |        | 水城  |        | 盘州  |        |
|-------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|
|       | 烟田数 | 占比(%)  | 烟田数 | 占比(%)  | 烟田数 | 占比(%)  | 烟田数 | 占比(%)  |
| 很低    | 2   | 0.40   | 1   | 1.00   | 1   | 0.56   | 0   | 0      |
| 低     | 5   | 1.00   | 0   | 0      | 5   | 2.78   | 0   | 0      |
| 中(适宜) | 27  | 5.40   | 1   | 1.00   | 24  | 13.33  | 2   | 0.91   |
| 高     | 45  | 9.00   | 3   | 3.00   | 25  | 13.89  | 17  | 7.73   |
| 很高    | 421 | 84.20  | 95  | 95.00  | 125 | 69.44  | 201 | 91.36  |
| 合计    | 500 | 100.00 | 100 | 100.00 | 180 | 100.00 | 220 | 100.00 |

硅是土壤中最丰富的元素之一,其丰度约为 29.5%<sup>[19]</sup>,我国土壤有效硅含量介于 15.7~725.5 mg/kg<sup>[20]</sup>。有研究表明,贵州省遵义县和仁怀市<sup>[6]</sup>烟区耕层土壤有效硅含量为 30.24~444.89 mg/kg,平均为 169.75 mg/kg,属高级别(150~200 mg/kg,表 1),本研究结果与之一致。

2.2 土壤有效硅含量空间分布

图 2 是研究区土壤有效硅含量与分级的空间分

布情况。由图 2 可以看出,在全市范围内,土壤有效硅含量由西向东呈降低趋势;高硅烟田(红色部分)遍布于 3 个烟区,但低硅烟田(绿色部分)和硅适宜烟田(黄色部分)集中分布于水城烟区的中部。

2.3 土壤有效硅含量影响因素

本研究没有获得烟田成土母质和土壤类型信息,故仅考虑有效硅含量与海拔、土壤 pH、颗粒组成和有机质含量之间的关系。表 4 和表 5 分别给出了 500

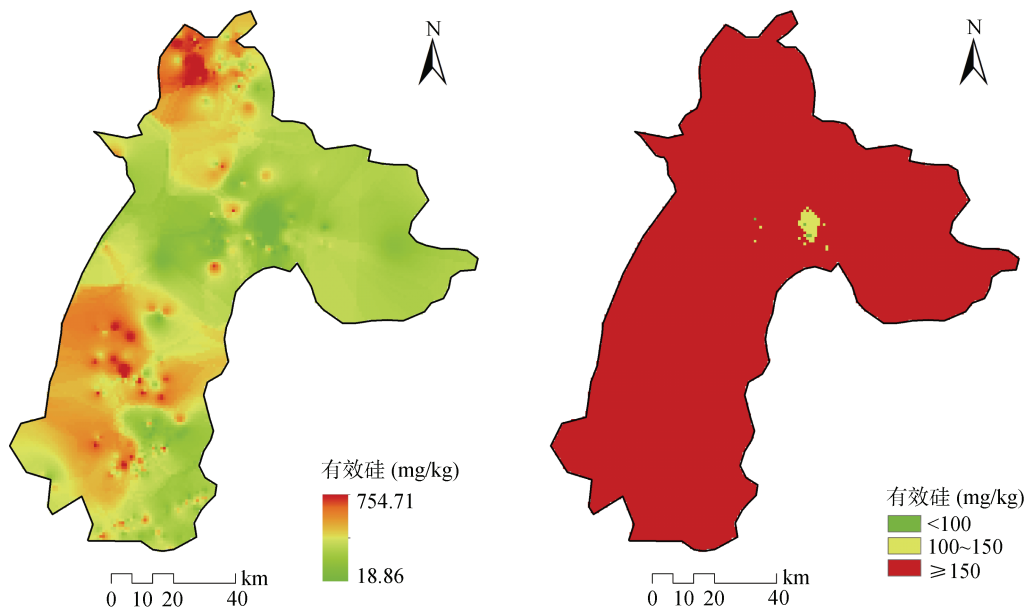


图 2 六盘水市烟田土壤有效硅含量(左)与分级(右)空间分布  
Fig. 2 Spatial distribution of soil available Si of tobacco fields in Liupanshui City (left, content; right, grade)

表 4 六盘水市烟田土壤 pH、有机质含量、颗粒组成的描述性统计

Table 4 Descriptive statistics of soil pH, organic matter content and particle size composition of tobacco fields in Liupanshui City

| 指标        | 范围            | 均值 ± 标准差      | 变异系数(%) | 偏度    | 峰度    |
|-----------|---------------|---------------|---------|-------|-------|
| 海拔 (m)    | 1 097 ~ 2 110 | 1 762 ± 128   | 7.29    | -0.34 | 1.74  |
| pH        | 3.88 ~ 8.73   | 5.91 ± 0.99   | 16.80   | 0.51  | -0.22 |
| 有机质(g/kg) | 13.67 ~ 93.39 | 37.00 ± 11.23 | 30.35   | 1.16  | 2.84  |
| 砂粒(g/kg)  | 6.76 ~ 62.95  | 26.72 ± 9.94  | 37.22   | 0.98  | 1.11  |
| 粉粒(g/kg)  | 18.81 ~ 64.59 | 42.33 ± 7.54  | 17.82   | -0.07 | 0.17  |
| 黏粒(g/kg)  | 9.29 ~ 63.42  | 30.95 ± 9.15  | 29.56   | 0.19  | 0.05  |

表 5 土壤有效硅含量与其他因子之间的相关性

Table 5 Correlation coefficients between other factors and soil available Si content

| 相关性     | 海拔    | pH      | 有机质    | 砂粒     | 粉粒      | 黏粒     |
|---------|-------|---------|--------|--------|---------|--------|
| 皮尔逊相关系数 | 0.002 | 0.576** | 0.091* | -0.015 | -0.100* | 0.099* |
| P(双尾)   | 0.971 | 0.000   | 0.041  | 0.731  | 0.025   | 0.026  |

注：\*、\*\*分别表示在  $P<0.05$ 、 $P<0.01$  水平显著相关。

个烟田土壤 pH、有机质含量与颗粒组成的测定结果统计信息及其与有效硅含量之间的相关性。由表 5 可以看出，有效硅含量与 pH( $P<0.01$ )、有机质含量( $P<0.05$ )和黏粒含量( $P<0.05$ )之间均呈显著正相关，与粉粒含量之间呈显著负相关( $P<0.05$ )。已有研究表明，土壤有效硅含量与 pH<sup>[21-23]</sup>、有机质<sup>[23-24]</sup>和黏粒含量<sup>[23-24]</sup>之间存在显著正相关，本研究结果与之一致。

2.4 硅肥施用建议

本研究结果表明，六盘水市烟田土壤有效硅含量总体较高，绝大部分烟田不需要施用硅肥，但还有 1.40% 的烟田有效硅缺乏(<100 mg/kg)，这部分缺硅烟

田集中分布在水城烟区的中部，针对这些缺硅烟田，可考虑适当施用近年来一些烟区关注的硅钾肥<sup>[25-26]</sup>。另外，考虑到有效硅含量与 pH 和有机质含量之间的显著正相关性，因此对于酸性和有机质含量较低的缺硅烟田，也可以考虑通过施用碱性物料(如石灰、白云石粉、生物质炭等)进行土壤改酸和施用有机肥以提升土壤有机质含量等措施，间接提升土壤中硅素的生物有效性。

3 结论

六盘水市烟田土壤有效硅含量总体上由西向东呈降低趋势，其与 pH、有机质和黏粒含量之间呈显

著正相关,与粉粒含量之间呈显著负相关。全市烟田土壤有效硅含量总体属于高水平,绝大部分烟田不需施用硅肥,但对集中分布于水城烟区中部的低硅烟田,可适当施用硅钾肥或通过施用碱性物料进行土壤改酸和施用有机肥等措施以提升土壤中硅素的生物有效性。

**致谢:** 谨此感谢各县区烟草公司和烟站参与土壤调查采样的工作人员。

### 参考文献:

- [1] 蔡德龙. 硅肥及施用技术[M]. 北京: 台海出版社, 2001.
- [2] 王茂辉, 聂金泉, 任勇, 等. 不同硅肥用量对水稻生长的影响研究[J]. 广东农业科学, 2020, 47(2): 61–67.
- [3] Epstein E. Silicon[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1999, 50: 641–664.
- [4] 熊蔚, 胡宇坤, 宋垚彬, 等. 高等植物中硅元素的生态学作用[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2017, 16(2): 164–172.
- [5] 李发林, 叶光伟, 李光余, 等. 烤烟硅肥肥效及施用量的研究[J]. 云南化工, 1997, 24(4): 43–47.
- [6] 刘光亮, 陈刚, 窦玉青, 等. 水溶性硅肥在烤烟中的应用研究[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(1): 32–34, 38.
- [7] 张红. 烟稻轮作与稻稻连作对稻田土壤养分的影响的比较研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011.
- [8] 梁永江, 刘德雄, 彭成林, 等. 遵义烟区土壤有效硅含量评价[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(5): 68–69, 80.
- [9] 蒋诗栋, 王丹林, 王旭, 等. 六盘水市主植烟区的土壤肥力分析[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(7): 49–53, 57.
- [10] 胡海洲, 王浩军, 刘宝法, 等. 贵州盘县主要植烟区土壤肥力综合评价[J]. 中国农学通报, 2012, 28(19): 109–116.
- [11] 王忠宇, 何建华, 瞿鸿飞, 等. 六盘水植烟土壤主要养分特征分析[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(7): 68–71.
- [12] 贵州省土壤普查办公室. 贵州土种志[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1994.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组. 中国土壤系统分类检索(第三版)[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001.
- [14] Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy. 11<sup>th</sup> edition, USDA & NRCS, Washington DC, 2010.
- [15] 罗登山, 王兵, 乔学义. 《全国烤烟烟叶香型风格区划》解析[J]. 中国烟草学报, 2019, 25(4): 1–9.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 李祖章, 陶其骧, 刘光荣, 等. 江西省耕地土壤有效硅含量调查研究[J]. 江西农业学报, 1999, 11(3): 1–9.
- [18] 余建英, 何旭宏. 数据统计分析与 SPSS 应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [19] Tubana B S, Babu T, Datnoff L E. A review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture[J]. Soil Science, 2016, 181(9/10): 393–411.
- [20] 冯元琦. 硅肥——土壤不可或缺[J]. 中国石油和化工, 2001(1): 33–35, 57.
- [21] 卢志红, 周慧梅, 颜晓, 等. 江西省旱地土壤有效硅含量的分布特征及其影响因素[J]. 中国土壤与肥料, 2020(4): 101–106.
- [22] 宋刚. 剑河县土壤有效硅含量分析[J]. 耕作与栽培, 2014(1): 22–23.
- [23] 渠悦, 马涛, 胡月明, 等. 从化区农田耕层土壤有效硅空间分布及影响因素[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(6): 989–998.
- [24] 马新, 陈家杰, 褚贵新. 石河子垦区土壤有效硅空间分布及影响因素[J]. 西北农业学报, 2016, 25(2): 276–282.
- [25] 李建强, 费冰雁, 赵川, 等. 水溶硅钾肥在水稻浙优18上的应用效果[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(9): 1703–1704.
- [26] 张奇茹, 刘冰, 谢英荷, 等. 秸秆炭、硅钾肥对旱地土壤有机碳组分及小麦产量的影响[J]. 山西农业科学, 2021, 49(3): 332–337.