



硅酸钾替代硫酸钾对烤烟产量、质量和钾肥利用的影响

朱经伟, 张恒, 杨荣, 李寒, 李琼香, 王新修, 梁国胜, 刘艳霞

引用本文:

朱经伟, 张恒, 杨荣, 等. 硅酸钾替代硫酸钾对烤烟产量、质量和钾肥利用的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2026, 34(1): 92–100.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4969>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

重齿当归形态数量性状的分级研究

Classification Study on Morphological Quantitative Characteristics of *Angelica biserrata*

热带亚热带植物学报. 2021, 29(6): 688–693 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4369>

不同遮荫度对‘红叶,南天竹叶色变化及矿质营养积累的影响

Effect of Shading on Changes in Leaf Color and Nutrient Accumulation of *Nandina domestica* 'Hongye'

热带亚热带植物学报. 2017, 25(4): 339–347 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3700>

黑木相思优良无性系叶片数量性状与生长评价

Leaf Quantitative Traits and Growth Evaluation in *Acacia melanoxylon* Excellent Clones

热带亚热带植物学报. 2017, 25(5): 465–471 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3731>

黔中喀斯特9种木质藤本叶功能性状研究

Studies on Leaf Functional Traits of Nine Woody Lianas in the Karst Area of Central Guizhou Province

热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 455–464 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4328>

不同光环境对海南龙血树幼苗表型可塑性及生存策略的影响

Effects of Light Intensity on Phenotypic Plasticity and Survival Strategy of *Dracaena cambodiana* Seedlings

热带亚热带植物学报. 2018, 26(2): 150–156 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3782>

向下翻页, 浏览PDF全文

硅酸钾替代硫酸钾对烤烟产量、质量和钾肥利用的影响

朱经伟¹, 张恒¹, 杨荣², 李寒¹, 李琼香², 王新修², 梁国胜³, 刘艳霞^{1*}

(1. 贵州省烟草科学研究院, 贵阳 550081; 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 烟草行业生态环境与烟叶质量重点实验室, 北京 100081; 3. 深圳前海大地矿物科技有限公司, 广东 深圳 518101)

摘要: 为明确烤烟基肥中硅酸钾替代硫酸钾的适宜比例, 在烤烟专用基肥配方基础上, 设计硅酸钾梯度替代硫酸钾, 分析其对烤烟农艺性状、经济性状、品质性状以及钾肥利用特性的影响。结果表明, 与硫酸钾处理相比, 硅酸钾替代比例为 25% 时中、上部烟叶感官质量评价总分分别提高 0.61、2.84 分, 叶部钾素累积量和钾肥利用率分别提高 5.5%、6.92%; 替代比例为 50% 时仅上部叶感官质量评价总分提高 1.21 分, 其他指标均差异不显著或降低; 替代比例 $\geq 75\%$ 时, 烤烟的最大叶面积、倒三叶面积、产值、产量、中部叶化学品质、感官品质和钾肥利用特性均不及 25% 替代比例, 即过高的替代比例不利于烤烟产量、品质和钾肥利用。结合曲线拟合结果, 硅酸钾替代硫酸钾的适宜比例为 20.5%~34.2%, 能够提高烤烟的钾肥利用效率、产量和烟叶感官质量。

关键词: 硅酸钾; 硫酸钾; 烤烟; 钾肥利用效率; 产量; 品质

doi: 10.11926/jtsb.4969

CSTR:32235.14.jtsb.4969

Effect of Potassium Silicate Replacing Potassium Sulfate on Yield and Quality of Flue-cured Tobacco and Utilization of Potassium

ZHU Jingwei¹, ZHANG Heng¹, YANG Rong², LI Han¹, LI Qiongxiang², WANG Xinxiu², LIANG Guosheng³, LIU Yanxia^{1*}

(1. Guizhou Academy of Tobacco Science, Guiyang 550081, China; 2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Science, Key Laboratory of Eco-environment and Leaf Tobacco Quality, Beijing 100081, China; 3. Shenzhen Qianhai Dadi Mineral Technology Corporation, Shenzhen 518101, Guangdong, China)

Abstract: To determine the appropriate proportion of potassium silicate replacing potassium sulfate in the basal fertilizer for flue-cured tobacco, a gradient replacement of potassium silicate for potassium sulfate was designed based on the special basal fertilizer formula for flue-cured tobacco. The effects of this replacement on the agronomic traits, economic traits, quality traits and potassium fertilizer utilization characteristics of flue-cured tobacco were analyzed. The results showed that compared with the potassium sulfate treatment, when the replacement ratio of potassium silicate was 25%, the total scores of sensory quality evaluation of middle and upper leaves increased by 0.61 and 2.84 points respectively, and the potassium accumulation in leaves and potassium fertilizer utilization rate increased by 5.5% and 6.92% respectively. When the replacement ratio was 50%, only the total score of sensory quality evaluation of upper leaves increased by 1.21 points, and the other indicators showed no significant difference or decreased. When the replacement ratio was $\geq 75\%$, the maximum

收稿日期: 2024-09-06 接受日期: 2024-10-21

基金项目: 中国烟草总公司科技项目(110202102037, 110202202015); 中国烟草总公司贵州省公司科技项目(2021XM22, 2023XM41)资助

This work was supported by the Project for Science and Technology of China National Tobacco Corporation (Grant No. 110202102037, 110202202015), and the Project for Science and Technology of Guizhou Branch of China National Tobacco Corporation (Grant No. 2021XM22, 2023XM41).

作者简介: 朱经伟(1988 年生), 男, 硕士, 实习研究员, 研究方向为作物养分管理。E-mail: hiz_j_w@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuyanxia306@163.com

leaf area, the area of the third leaf from the top, output value, yield, chemical quality of middle leaves, sensory quality and potassium fertilizer utilization characteristics of flue-cured tobacco were all inferior to those with a 25% replacement ratio. That is, an excessively high replacement ratio was not conducive to the yield, quality and potassium fertilizer utilization of flue-cured tobacco. Combined with the curve fitting results, the appropriate replacement ratio of potassium silicate for potassium sulfate was 20.5% to 34.2%, which could improve the potassium fertilizer utilization efficiency, yield and sensory quality of flue-cured tobacco leaves.

Key words: Potassium silicate; Potassium sulfate; Flue-cured tobacco; Potassium fertilizer utilization efficiency; Yield; Quality

烤烟是典型的喜钾经济作物, 缺钾会导致烟株氮、磷等营养元素失衡, 碳、氮代谢通路受阻, 直接影响烤烟的香气质、香气量、燃烧性和持火力^[1-4]; 但过量施用钾肥会与钙、镁元素形成拮抗效应, 抑制烤烟钾素累积, 降低施钾的经济性和利用效率^[5-6]。研究表明, 钾肥分次或延迟施用能够减少钾肥损失, 避免肥效周期短等因素导致中后期供应不足, 从而促进烤烟对其的吸收利用, 提升烟叶品质。但受限人工成本的增加, 相关技术未能在烟叶生产中大面积推广应用^[7-9]。采用包膜剂包覆无机钾肥能够提高烤烟成熟期土壤速效钾含量, 烟叶的钾含量增幅达 13%~39%、钾肥利用效率提高 2.2%~16.8%, 上等烟比例提高 6.6%~18.0%, 烟叶致香成分增加 5.0%以上, 但所用包膜剂是世界卫生组织公布的致癌物清单中的Ⅲ类致癌物质, 长期使用将会对人体和土壤造成健康风险, 如果采用天然的黄腐酸、豆油作为包覆剂将会大大提高钾肥的生产成本, 在生产中难以推广应用^[10-14]。因此, 符合烟叶生产实际需求的钾肥供给模式依然亟待研发。

近年来, 一种被称为硅酸钾的枸溶性钾肥在酸性环境中具有缓释钾肥的特性, 在烟叶生产领域受到广泛关注。据报道, 硅酸钾由于其养分释放特性可以促进烤烟根系的充分发育、提高叶部钾元素的分配比例^[15], 缓解土壤中的钾与钙、镁的拮抗作用^[16-17], 钾肥利用效率提高 0.6%~11.4%^[18-19]; 其次, 硅酸钾释放的硅元素能激发光合色素合成、调节渗透压, 提高烤烟逆境胁迫能力^[20]; 此外, 烟叶中过量硫元素会降低烟叶的燃烧性^[21], 降低烟叶品质^[22]。采用硅酸钾替代硫酸钾能够降低植烟土壤的硫元素含量, 从而减少烟株硫元素的吸收。由于上述研究采用单一的增施或配施, 并未与实际烟叶生产施肥途径融合, 硅酸钾对烤烟产质量和钾肥利用效果尚待进一步验证。因此, 本研究以当地烤烟专用复合肥配方为基础, 采用硅酸钾替代梯度比例的

硫酸钾, 研究其替代比例对烤烟产量和品质、钾肥利用效率的影响, 以期优化烟肥配方、延长钾肥肥效提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于 2023 年在贵州省烟草科学研究院安顺市平坝试验基地(106°26' E, 26°42' N)进行。试验点位于云贵高原东侧, 属亚热带湿润型季风气候, 海拔为 1 102~1 695 m, 年平均气温 14.1 °C, 年平均日照时数 1 276 h, 年平均降水量 1 146.3 mm, 无霜期 271 d。试验土壤为黄色石灰土, 土壤有机质含量 35.58 g/kg、全氮 1.72 g/kg、全磷 0.91 g/kg、全钾 12.43 g/kg、碱解氮 135.6 mg/kg、速效磷 11.4 mg/kg、速效钾 281.3 mg/kg、有效硫 57.5 mg/kg, 有效硅 449.4 mg/kg, 土壤 pH 值为 6.50, 在黔中植烟区具有典型性和代表性。

1.2 试验材料

供试烤烟品种 云烟 87。

肥料原料 硝酸铵(N 34%)、磷酸一铵(N 10%, P₂O₅ 50%)、硝酸钾(N 13.5%, K₂O 44.5%)、硫酸钾(K₂O 50%)、氯化钾(K₂O 60%)和凹凸棒粉均由科泰金福农业发展有限公司提供; 硅酸钾(K₂O 18%)由深圳前海大地矿物科技有限公司提供。

试验肥料 试验所用基肥、追肥分别以科泰金福农业发展有限公司生产的烤烟专用基肥配方(N 10%, P₂O₅ 10%, K₂O 25%, 硫酸钾供钾占比 75.2%)、烤烟专用追肥配方(N 10%, K₂O 30%), 按照硅酸钾替代硫酸钾比例梯度, 采用上述肥料原料, 经圆盘造粒, 制成颗粒状试验肥料。

1.3 试验设计

试验设 6 个处理, T1 不施用钾肥; T2~T6 处理分别采用硅酸钾替代基肥中的硫酸钾, 替代比例(以

K₂O 计)分别为 0%、25%、50%、75%、100%。各处理氮肥(以 N 计)施用量均为 112.5 kg/hm², 磷肥(以 P₂O₅ 计)施用量均为 90.0 kg/hm², 其中 80%氮肥和所有的磷肥做基肥; 除 T1 处理外, 其他处理的钾肥(以 K₂O 计)施用量均为 292.5 kg/hm², 基追肥比例为 7.7:2.3, 基肥于烟田起垄前条施, 追肥在烤烟移栽后 20 d 时一次性穴施。各小区按照随机区组排布, 种植 60 株烟, 垄距为 1.10 m, 株距为 0.55 m, 重复 3 次。于 4 月 28 日移栽, 田间管理、采收、烘烤均与当地优质烤烟栽培管理措施相同。

1.4 样品采集和分析

烤烟农艺性状调查 烤烟打顶后 14 d, 选择各小区典型代表烟株 5 株, 依据 YC/T 142—2010 方法^[23]测量株高、茎围、最大叶长度和宽度、倒 3 叶(打顶端向下第 3 片有效叶)长度和宽度, 计算叶面积(cm²)=叶片长度×叶片宽度×0.6345。

烟叶主要经济性状分析 按照 GB 2635—1992 的方法^[24]对各试验小区烤后烟叶进行分级, 并计算各小区烟叶的产量和产值。

烤烟钾肥利用效率 选取各小区代表性烟株 2 棵, 按照叶、茎(含打顶时的花杈和后期长出的腋芽)、根 3 个部位采集成熟期植株样品。其中, 叶部按照采烤进度提前 1 d 采集相应叶位叶片, 杀青烘干后称量; 茎部和根部在烤烟采烤结束后同时采集, 样品处理方式与叶部相同。参照《土壤农化分析》^[25]测定各部位的钾含量。地上部钾素积累量为叶、茎的干物质积累量与对应部位的钾含量乘积之和; 地下部钾素积累量为根的干物质积累量与根的钾含量乘积; 烤烟钾素积累量为地上部与地下部钾素积累量之和。钾肥的偏生产力(PFPK, kg/kg)、农学效率(AEK, kg/kg)、利用效率(KUE, %)分别从施肥量、增产作用、作物吸收 3 个方面评价钾肥的施

用效果^[26]。PFPK (kg/kg)=施钾小区产量/钾肥施用量, AEK (kg/kg)=(施钾小区产量-不施钾小区产量)/钾肥施用量, KUE=(施钾小区地上部钾素积累量-不施钾小区地上部钾素积累量)/钾肥施用量×100%。

烟叶化学成分分析与感官质量评价 采烤结束后, 各处理选取 C3F 和 B2F 等级样品各 1.0 kg, 样品沿烟叶主脉一分为二, 去掉主脉, 一半用于测定烟碱、总糖、还原糖、总钾、总氮、氯等主要化学成分含量^[27-31], 并计算各小区烟叶主要化学成分协调性评价总分^[32]; 另一半卷制成单料烟, 组织感官评吸专家以 YC/T 138—1998 为基础进行感官质量评价^[33], 评价指标包括香气质(10 分)、香气量(10 分)、吃味(12 分)、杂气(10 分)、刺激性(10 分), 感官质量评价总分即为以上指标得分累加之和。

1.5 数据处理

采用 Sigmaplot 14.0 进行回归分析和作图, 通过 SAS 9.1 软件采用 One-Way ANOVA 方法和逆行单因素方差分析, 多重比较采用 Duncan’s 法($P=0.05$)。

2 结果和分析

2.1 硅酸钾替代硫酸钾对烤烟农艺性状的影响

随着硅酸钾替代基肥硫酸钾的比例由 0%增加至 100%, 株高、最大叶叶面积、倒三叶叶面积均呈逐渐降低趋势; 与 T2 处理相比, T5 和 T6 处理的株高分别降低 18.2%、19.5%, 倒三叶叶面积分别降低 50.6%、59.8% (表 1)。综合来看, 硅酸钾替代硫酸钾不利于烤烟成熟期农艺性状的改善, 当替代比例超过 50%时表现明显。

2.2 硅酸钾替代硫酸钾对烤烟经济性状的影响

不施用钾肥的 T1 处理烤烟产量、产值分别为

表 1 硅酸钾替代硫酸钾对烤烟成熟期农艺性状的影响

处理 Treatment	株高 (cm) Plant height	茎围 (cm) Stem girth	有效叶数 Effective leaf number	最大叶叶面积 (cm ²) Maximum leaf area	倒三叶叶面积 (cm ²) Inverted three-leaf area
T1	110.9±1.6a	7.9±0.2b	18.7±0.9a	1 038.6±132.1c	434.7±46.2b
T2	113.0±1.9a	9.2±0.2a	18.5±0.4a	1 438.4±102.7a	579.8±12.3a
T3	100.2±1.5b	8.2±0.1b	17.3±0.9ab	1 277.5±17.6 a	332.1±30.8c
T4	102.3±3.3b	7.9±0.4b	18.7±2.1a	1 121.8±64.4bc	321.8±3.2c
T5	92.4±3.6c	7.9±0.3b	17.7±0.8ab	965.0±43.1c	286.7±22.3cd
T6	91.0±0.9c	7.6±0.4b	15.0±1.2b	943.3±68.4c	233.2±14.8d

同列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同

Data followed different letters indicate significant differences at 0.05 level. The same below

1 658.78 kg/hm²、2.98 万元/hm²; 随着替代比例由 0%增加至 50%, T2、T3、T4 处理间的产量、产值均无显著差异; 当替代比例超过 50%时, T5、T6 处理的产值、产量均较 T2、T3、T4 处理显著降低, 与 T1

处理无显著差异(表 2)。因此, 施用钾肥有利于提高烤烟的产量和产值; 采用硅酸钾替代硫酸钾的比例低于 50%时, 主要经济性性状差异不显著; 当替代比例超过 50%时, 主要经济性性状显著降低。

表 2 硅酸钾替代硫酸钾对烤烟经济性性状的影响

Table 2 Effect of potassium silicate replacing potassium sulfate on economic characteristics of flue-cured tobacco

处理 Treatment	产量 (kg/hm ²) Yield	产值 (万元/hm ²) Output value	上等烟率 % Fine tobacco rate	中上等烟率 % Medium and fine tobacco rate	均价 (元/kg) Average price
T1	1 658.78±148.91b	2.98±0.08c	32.79±7.90a	73.40±1.46a	18.71±0.93a
T2	2 215.32±160.16a	4.47±0.53a	40.72±8.39a	78.82±1.92a	20.13±0.92a
T3	2 328.04±72.67a	4.69±0.10a	46.02±4.30a	75.27±1.37a	20.36±0.67a
T4	2 326.82±106.78a	4.26±0.37a	29.61±11.23a	73.19±2.00a	18.07±1.48a
T5	1 862.28±30.02b	3.64±0.44bc	32.22±12.14a	73.66±2.89a	18.46±1.76a
T6	1 753.86±136.29b	3.45±0.01c	30.77±8.49a	72.35±5.09a	18.12±1.62a

2.3 硅酸钾替代硫酸钾对烤烟品质性状的影响

随着硅酸钾替代比例增加, 中部叶烟碱、钾含量呈增加趋势, 还原糖含量、糖碱比和协调性评价总分则逐渐降低, T5 和 T6 处理的协调性评价总分分别为 77.80 和 74.75 分, 均显著低于 T2、T3、T4 处理(表 3)。从上部叶化学成分来看, T3、T4、T5、T6 处理协调性评价总分无显著差异, 但在烟碱、总氮含量和糖碱比方面, T3 处理优于 T6 处理; 与 T2 处理相比, 采用硅酸钾 100%替代硫酸钾的 T6 处理协调性评价总分降低 8.45 分, 降幅为 9.5%。综合各处理中、上部叶主要化学成分协调性评价总分结果认为, 当替代比例超过 50%时, 中部叶化学成分协调性显著降低。

中部叶的香气质得分和感官质量评价总分随

着替代比例的增加, 呈现先升高后降低的变化趋势, 其中以 T3 处理的感官质量评价总分最高, 较 T2 处理提高 0.57 分, 其次为 T4 处理, 较 T2 处理无显著差异, T5 和 T6 处理较 T2 处理则显著降低; 硅酸钾替代硫酸钾对上部叶感官质量评价总分的影响与中部叶相似, 其中 T3 处理的评价总分为 39.44 分, 较 T2 处理提高 2.75 分, 其次为 T4 和 T5 处理, 分别较 T2 处理提高 1.12 和 0.47 分, T6 处理与 T2 处理评价总分相当(表 4)。因此, 过高的替代比例不利于中部叶的感官质量提升。当替代比例达到 25%时, 能够协同促进中、上部叶的感官质量。

2.4 硅酸钾替代硫酸钾对烤烟钾肥累积利用的影响

采用硅酸钾替代一定比例的硫酸钾能够促进

表 3 硅酸钾替代硫酸钾对烟叶主要化学成分协调性的影响

Table 3 Effect of potassium silicate replacing potassium sulfate on coordination of main chemical composition in tobacco leaves

部位 Part	处理 Treatment	烟碱 Nicotine /%	总氮 Total N %	还原糖 Reducing sugar %	K %	糖碱比 Ratio of sugar to nicotine	氮碱比 Ratio of N to nicotine	K/Cl	得分 Score
中部 Middle	T1	3.11±0.11a	2.45±0.08ab	13.51±0.54d	1.38±0.04c	4.34±0.16e	0.79±0.02c	23.00±0.92bc	76.44±3.10b
	T2	2.44±0.08b	2.24±0.08c	19.99±0.80a	1.52±0.05b	8.19±0.32a	0.92±0.02a	25.33±1.02b	97.51±3.96a
	T3	2.54±0.09b	2.18±0.07c	17.12±0.68b	1.66±0.05a	6.66±0.26b	0.85±0.02b	55.33±2.24a	93.49±3.80a
	T4	2.57±0.09b	2.32±0.08bc	15.07±0.60c	1.71±0.05a	5.86±0.22c	0.90±0.02a	21.38±0.86c	89.96±3.66a
	T5	3.15±0.11a	2.31±0.08bc	15.57±0.62c	1.75±0.06a	4.94±0.19d	0.74±0.01d	13.46±0.53d	77.80±3.16b
	T6	3.22±0.12a	2.53±0.09a	13.15±0.52d	1.77±0.06a	4.08±0.15e	0.79±0.02c	25.29±1.01b	74.75±3.04b
上部 Top	T1	3.10±0.11b	2.31±0.08b	17.80±0.71b	1.27±0.06d	5.74±0.22b	0.75±0.01b	59.00±2.39a	84.51±3.43ab
	T2	3.03±0.13b	2.28±0.08bc	20.03±0.80a	1.61±0.05b	6.61±0.25a	0.75±0.01b	40.25±1.63c	88.78±3.61a
	T3	3.01±0.10b	2.11±0.07c	19.09±0.76ab	1.46±0.04c	6.34±0.24a	0.70±0.01c	20.86±0.84e	87.52±3.56ab
	T4	3.09±0.11b	2.25±0.08bc	20.15±0.81a	1.77±0.06a	6.48±0.25a	0.72±0.01bc	44.25±1.79b	86.90±3.53ab
	T5	3.11±0.12b	2.52±0.09a	17.35±0.69b	1.63±0.05b	5.58±0.21b	0.81±0.02a	32.60±1.31d	83.41±3.39ab
	T6	3.38±0.12a	2.33±0.08b	18.48±0.74ab	1.63±0.05b	5.47±0.21b	0.69±0.01c	18.11±0.72e	80.33±3.26b

烟株对钾素的累积，并向叶转运。由图 1 可见，随着替代比例的增加，烤烟钾素累积量呈抛物线变化趋势，其中以 T3 处理的钾素总累积量最高，根部、茎部、叶部累积量分别为 17.5、30.5、92.7 kg/hm²，

叶部钾素累积占比 65.9%，较 T1 和 T2 处理的分别提高 12.4%和 5.5%；当硅酸钾替代比例超过 25%时，钾素累积量和叶部钾素分配比例均随着替代比例的增加而减小。

表 4 硅酸钾替代硫酸钾对烤烟感官质量(得分)的影响

Table 4 Effect of potassium silicate replacing potassium sulfate on sensory evaluation (score) of suction of tobacco leaves							
部位 Part	处理 Treatment	香气质 Aroma quality	香气量 Aroma amount	吃味 Taste	杂气 Miscellaneous smell	刺激性 Excitability	总分 Total
中部 Middle	T1	7.30±0.00d	7.33±0.09d	7.26±0.23d	6.33±0.07d	7.42±0.19a	35.64±0.24d
	T2	7.64±0.07b	7.66±0.17ab	8.13±0.15a	7.17±0.15ab	7.47±0.00a	38.07±0.42b
	T3	7.80±0.20a	7.81±0.20a	8.24±0.18a	7.31±0.17a	7.47±0.00a	38.64±0.64a
	T4	7.61±0.09b	7.73±0.21a	7.88±0.20b	7.01±0.27b	7.38±0.10a	37.63±0.64b
	T5	7.50±0.00c	7.53±0.07bc	7.58±0.10c	6.80±0.20c	7.41±0.09a	36.83±0.41c
	T6	7.30±0.00d	7.41±0.09cd	7.36±0.09d	6.47±0.14d	7.24±0.18b	35.79±0.31d
上部 Top	T1	7.70±0.00b	7.88±0.20b	7.78±0.14b	6.78±0.14bc	7.33±0.07abc	37.49±0.28bc
	T2	7.61±0.10cd	7.80±0.18bc	7.50±0.16d	6.56±0.09d	7.21±0.11c	36.69±0.40d
	T3	8.00±0.00a	8.17±0.14a	8.47±0.07a	7.36±0.07a	7.44±0.09a	39.44±0.17a
	T4	7.71±0.15b	7.96±0.21b	7.81±0.34b	6.91±0.23b	7.41±0.09ab	37.81±0.84b
	T5	7.56±0.09de	7.64±0.07c	7.71±0.15c	6.96±0.11b	7.28±0.15bc	37.16±0.38c
	T6	7.50±0.00c	7.67±0.07c	7.53±0.07cd	6.67±0.07cd	7.24±0.18c	36.62±0.25d

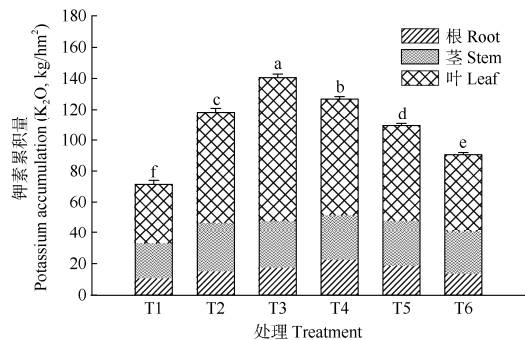


图 1 硅酸钾替代硫酸钾对烤烟钾素累积分配的影响

Fig. 1 Effect of potassium silicate replacing potassium sulfate on potassium accumulation and distribution in flue-cured tobacco

不采用硅酸钾替代硫酸钾的 T2 处理的钾肥偏生产力、农学效率和利用率分别为 1.9 kg/kg、0.1 kg/kg、14.5% (表 5)。随着硅酸钾替代硫酸钾比例由 25%增加至 100%，烤烟对钾肥的利用呈逐渐降低趋势；当替代比例超过 50%时，烤烟的钾肥偏生产力、农学

效率、利用率显著降低，即过高的硅酸钾替代比例不利于烤烟对钾肥的吸收利用。

2.5 硅酸钾替代硫酸钾适宜比例

硅酸钾替代基肥硫酸钾的比例与经济性状、品质性状、钾肥利用特性的二级指标拟合方程均符合“抛物线”型(表 6)。其中，拐点为正数的二级指标分别为钾肥农学效率、产量、钾肥利用效率和中、上部叶感官质量评价总分平均值，拐点分别为 20.5、24.0、25.9、34.2，即硅酸钾替代比例为 20.5%~25.9%时，对烤烟的产量、钾肥利用具有积极促进作用；替代比例达到 34.2%时，可显著改善烤烟的感官评吸质量。

3 讨论和结论

3.1 硅酸钾替代硫酸钾对烤烟农艺性状的影响

烤烟作为喜钾经济作物，钾肥的供给强度对烤烟田间长势密切相关，当钾肥基施占比过低或

表 5 硅酸钾替代硫酸钾对烤烟钾肥利用的影响

Table 5 Effect of potassium silicate replacing potassium sulfate on utilization of potassium in flue-cured tobacco				处理 Treatment	钾肥偏生产力 PPFP (kg/kg)	钾肥农学效率 PAE (kg/kg)	钾肥利用率 PUE /%
处理 Treatment	钾肥偏生产力 PPFP (kg/kg)	钾肥农学效率 PAE (kg/kg)	钾肥利用率 PUE /%	处理 Treatment	钾肥偏生产力 PPFP (kg/kg)	钾肥农学效率 PAE (kg/kg)	钾肥利用率 PUE /%
T1	—	—	—	T4	7.95±0.37 a	2.28±0.16 a	14.90±1.25 b
T2	7.57±0.55 a	1.90±0.13 a	14.46±1.21 b	T5	6.37±0.10 b	0.70±0.41 b	10.23±2.95 c
T3	7.96±0.25 a	2.29±0.29 a	21.38±0.98 a	T6	6.00±0.47 b	0.32±0.17 b	5.49±1.52 d

表 6 硅酸钾替代硫酸钾适宜比例推荐

Table 6 Appropriate proportion of potassium silicate for potassium sulfate recommendation

一级指标 Level 1 indicator	二级指标 Level 2 indicator	拟合方程参数 Parameter of fitting equation ($y=y_0+ax+bx^2$)				拐点 Point of inflexion
		y_0	a	b	r^2	
农艺性状	最大叶面积	1 449.3	-8.380 4	0.031 7	0.88	69.8
	倒三叶叶面积	550.4	-7.109 4	0.041 5	0.87	88.9
经济性状	产量	2 245.6	4.795 0	-0.103 5	0.71	24.0
	产值	4.6	-0.008 0	-0.000 1	0.58	-4.0
品质性状	中、上部叶化学成分协调性评价总分平均值	93.3	-0.089 0	-0.000 8	0.72	-55.6
	中、上部叶感官质量评价总分平均值	57.9	0.034 2	-0.000 5	0.64	34.2
钾肥利用特性	钾肥农学效率	2.0	0.016 4	-0.000 4	0.78	20.5
	钾肥利用率	16.0	0.129 3	-0.002 5	0.76	25.9

土壤钾浓度小于 150 mg/kg 则会导致烤烟生长发育异常^[5,32]。本研究中,与不替代硫酸钾的 T2 处理相比,硅酸钾替代比例为 25%的 T3 处理在有效叶数和最大叶面积方面均无显著差异,王晓^[18]通过盆栽试验结果分析认为在该替代比例下,株高、茎围和最大叶面积较常规施肥处理显著提高,而对有效叶数的影响不显著。但替代比例为 100%的 T6 处理农艺性状各项指标均低于 T2 处理,其中留叶数和最大叶面积降幅分别达 18.9%、34.4%。李鑫等^[15]采用硅酸钾 100%替代硫酸钾后也得到与本研究的相似结果,移栽 60 d 时的有效叶片数、茎围、最大叶面积均低于未替代处理。由于硅酸钾的钾(以 K₂O 计)含量仅为 18%,不及农用硫酸钾的二分之一,因此在相同钾素投入条件下,采用硅酸钾替代硫酸钾的肥料养分浓度偏低,且随着硅酸钾替代硫酸钾的比例提高,肥料浓度的降幅越大,钾肥对烤烟的供给强度越低,且大量的硅酸钾在养分释放过程中发生水解反应,易形成耕层土壤盐分集聚风险,对作物根系造成盐胁迫,从而抑制其正常的生长发育^[34]。因此,基肥中采用硅酸钾大幅替代硫酸钾不适于农艺性状的改善。

3.2 硅酸钾替代硫酸钾对烤烟经济性状的影响

在相同钾肥使用量条件下,毛林昌等^[9]采用包膜的方式延长钾素释放周期,上等烟率较常规施肥提高 7.83%,但对烤烟产量和产值的影响未达到显著差异水平;郭金平等^[10]、刘金等^[11]采用硝酸钾包膜后,烤烟的上等烟率、产值、产量较常规施肥平均提高 8.46%、26.43%、37.33%,说明延长钾肥肥效能使烤烟增产。本研究中,硅酸钾替代硫酸钾的比例为 25%~50%时,与不替代处理的主要经济性状指标相比无显著差异,可能与影响硅酸钾释放效果的土壤酸度有关,由于试验地土壤 pH 值为 6.5,

不利于硅酸钾钾肥的释放,导致钾肥释放过慢。替代比例超过 50%的处理烤烟产值、产量均低于不替代处理,而王晓^[18]通过梯度替代研究认为硅酸钾最适替代比例为 75%,主要是由于后者采用的是 pH 值更低的供试土壤,更有利于硅酸钾中的钾肥释放。由此说明,硅酸钾替代硫酸钾缓释钾肥相较于包膜缓释技术更依赖于土壤酸度环境,其 pH 值是确定硅酸钾替代硫酸钾适宜比例的关键因素之一。此外,由于本研究的供试土壤中速效钾含量为 281.3 mg/kg,按照植烟土壤钾肥评价标准能够保障烟叶的等级结构,但不利于烤烟产量和产值的提高^[32],因此是否施用钾肥对烟叶等级结构的影响被弱化,导致不施钾肥的 T1 处理在上等烟率、上中等烟率以及均价方面较 T2 处理差异不显著。

3.3 硅酸钾替代硫酸钾对烤烟品质性状的影响

前人采用硅酸钾替代基肥 40%~60%的硫酸钾后,中、上部叶的钾含量较常规施肥分别提高 0.34%^[17]和 0.70%^[19];本研究中,当硅酸钾替代基肥 50%硫酸钾时,中、上部叶钾含量较常规施肥分别提高 0.19%、0.1%,与前人研究结果基本一致。刘金等^[15]采用硅酸钾替代全部硫酸钾的盆栽试验表明,中、上部叶钾含量较常规施肥平均降低 1.58%。而在本研究中,该处理的中、上部叶钾含量较常规施肥平均提高 0.16%,供试土壤类型和试验方式不同可能是造成结果存在差异的关键因素。由此说明,硅酸钾替代硫酸钾的适宜比例还应考虑应用区域的土壤生态条件。同时,本研究将烟叶主要化学成分协调性评价和感官质量评吸结合,对硅酸钾替代硫酸钾的烟叶品质进行评价发现,随着硅酸钾替代比例的提高,中、上部烟叶化学成分协调性评价得分逐渐降低,感官质量评价总分呈现先升高后降低的变化趋势,当替代比例为 25%时,中上部烟叶感官质

量评价总分同时达到最大值,说明适宜比例的硅酸钾替代硫酸钾能够提升烤烟中、上部烟叶的吸食品质;通过对感官质量评价总分的拟合方程认为,替代比例到达 34.2%时感官质量最优。依据刘勤等^[35]的烟田土壤有效硫丰缺评价标准,本研究试验地土壤的有效硫含量为 57.5 mg/kg,超过丰富、很丰富标准;此外,按照当前常规施肥烤烟大田期硫元素投入量为 17.3 mg/kg,能够诱发烤烟对硫元素的奢侈吸收,但从感官质量评价中杂气、吃味随着硅酸钾替代基肥硫酸钾比例变化规律来看,硅酸钾对烟叶品质的改善并非单一的降低硫元素投入量实现的,是否因硅酸钾替代硫酸钾优化了硫元素与其他元素的平衡关系或携入了硅、镁元素从而改善烟叶感官质量尚需进一步研究。

3.4 硅酸钾替代硫酸钾对烤烟钾肥累积利用的影响

土壤类型、降雨、海拔、温度均会影响烤烟对钾的吸收利用,一般在移栽 50 d 左右吸收速率达到高峰,是烤烟钾素吸收利用的关键时期^[4,36]。不同于常见的烟叶生产钾肥肥源,硅酸钾的钾肥释放更依赖于土壤环境,进而影响烤烟对钾的吸收利用。由于本研究供试烟田土壤类型为黄壤,对离子的固定作用强于严陶韬等^[16,37]研究的石灰性潮土,导致土壤对钾离子的固定能力较强,致使钾肥表观利用效率整体偏低。说明钾肥的利用效率与土壤类型密切相关。本研究中硅酸钾替代全部硫酸钾后,钾肥利用率仅为 5.49%;当替代比例为 25%时,利用率达到最大值,为 21.38%,与严陶韬等的研究结果基本一致。

综上,烤烟基肥中硅酸钾替代硫酸钾的比例对烤烟农艺性状、经济性状、品质性状的影响较大。当硅酸钾替代比例为 25%时,经济性状和烟叶主要化学成分协调性评价总分较不替代处理均无显著差异,中、上部烟叶感官质量评价总分分别提高 0.57、2.75 分;当替代比例为 50.0%时,能够改善上部叶感官评吸质量;替代比例 $\geq$ 75.0%时,对烤烟的农艺性状、经济性状、品质性状以及钾肥利用特性均会产生不利作用。曲线拟合结果表明硅酸钾替代硫酸钾的适宜比例为 20.5%~34.2%。

参考文献

[1] YANG S C, LÜ Y L, DUAN Y H, et al. Characterization of potassium deficiency and analysis for its relationship with other nutrient elements in tobacco [J]. Chin Agric Sci Bull, 2008, 24(1): 312–320. [杨绍聪, 吕

艳玲, 段永华, 等. 烤烟典型缺钾症表现的农艺性状及相关营养元素分析 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(1): 312–320.]

- [2] WANG D M, ZHOU J H, ZHU X L, et al. Adjusting effect of potassium on growth and drought resistance of flue-cured tobacco under drought stress conditions [J]. Chin Tobacco Sci, 1998(3): 26–29. [汪邓民, 周冀衡, 朱显灵, 等. 干旱胁迫下钾对烤烟生长及抗旱性的生理调节 [J]. 中国烟草科学, 1998(3): 26–29.]
- [3] LI R X, LI S J, YAN K Y, et al. Effect of different amounts of potassium applied on yields, quality, main chemical components and tar delivery of flue-cured tobacco [J]. Tobacco Sci Technol, 2001(8): 40–42. [李荣兴, 李淑君, 闫克玉, 等. 施钾量对烤烟产质、主要化学成分和焦油量的影响 [J]. 烟草科技, 2001(8): 40–42. doi: 10.3969/j.issn.1002-0861.2001.08.016.]
- [4] YANG T Z, SHU H Y, ZHAO X Z. Recent advances in tobacco potassium nutrition in China [J]. Tobacco Sci Technol, 2002(7): 39–43. [杨铁钊, 舒海燕, 赵献章. 我国烟草钾素营养研究现状与进展 [J]. 烟草科技, 2002(7): 39–43. doi: 10.3969/j.issn.1002-0861.2002.07.013.]
- [5] LI J, ZHANG X Z, LI T X, et al. Effect of potash management on potassium absorption and utilization of flue-cured tobacco [J]. Plant Nutr Ferti Sci, 2015, 21(4): 969–978. [李静, 张锡洲, 李廷轩, 等. 钾肥运筹对烤烟钾吸收利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4): 969–978. doi: 10.11674/zwzf.2015.0416.]
- [6] ZHANG X H, LEI Y H, YIN D, et al. ⁸⁶Rb to research the potassium trophic effect of flue-cured tobacco [J]. Tobacco Sci Technol, 1997(6): 31–34. [张晓海, 雷永和, 殷端, 等. 应用 ⁸⁶Rb 研究烤烟的钾素营养效应 [J]. 烟草科技, 1997(6): 31–34.]
- [7] LIN L F, LI B, WANG C Q, et al. Effect of K accumulation and distribution of flue-cured tobacco under K fertilizer topdressing time retro-position [J]. SW China J Agric Sci, 2016, 29(7): 1660–1665. [林鸾芳, 李冰, 王昌全, 等. 钾肥追施时期后移对烤烟钾积累与分配的影响 [J]. 西南农业学报, 2016, 29(7): 1660–1665. doi: 10.16213/j.cnki.scj.as.2016.07.029.]
- [8] LÜ D S, LI Z S, GUO Z, et al. Effects of potassium fertilizer and related measures on growth and quality of flue-cured tobacco [J]. J Agric Sci Technol, 2020, 22(1): 116–123. [吕大树, 李子绅, 郭泽, 等. 分次施用钾肥及配套措施对烤烟生长发育及其产质量的影响 [J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(1): 116–123. doi: 10.13304/j.nykjdb.2018.0754.]
- [9] MAO L C, LI X, LIU Y X, et al. Effect of slow and controlled release potassium fertilizer at different application levels on tobacco growth and quality [J]. Agric Technol, 2023, 43(2): 76–78. [毛林昌, 李想, 刘艳霞, 等. 不同施用量的缓控释钾肥对烟草生长和品质的影响 [J]. 农业与技术, 2023, 43(2): 76–78. doi: 10.19754/j.nyyjs.20230130019.]

- [10] GUO J P, CHEN S H, LI W Q, et al. Effects of different slow-release potassium nitrate on growth, yield and quality of flue-cured tobacco [J]. *Acta Agric Jiangxi*, 2020, 32(8): 64–69. [郭金平, 陈顺辉, 李文卿, 等. 不同缓释硝酸钾对烤烟生长和产质量的影响 [J]. *江西农业学报*, 2020, 32(8): 64–69. doi: 10.19386/j.cnki.jxnyxb.2020.08.11.]
- [11] LIU J, LI J P, TU S X, et al. Effect of slowly-released potassium fertilizers on potassium content and yield of flue-cured tobacco [J]. *Chin Tobacco Sci*, 2014, 35(3): 17–22. [刘金, 李进平, 涂书新, 等. 几种缓释钾肥对烤烟钾含量及产量产值的影响? [J]. *中国烟草科学*, 2014, 35(3): 17–22. doi: 10.13496/j.issn.1007-5119.2014.03.004.]
- [12] IARC of WHO. List of carcinogens [N]. 2017-11-18. [世界卫生组织国际癌症研究机构. 致癌物清单 [N]. 2017-10-27.]
- [13] HE Y Q, ZHANG Z, FAN C Y, et al. Effects of different slow-release potassium fertilizers on agronomic traits and quality of flue-cured tobacco [J]. *Crop Res*, 2015, 29(5): 522–525. [何永秋, 张卓, 范才银, 等. 缓释钾肥对烤烟农艺性状和品质的影响 [J]. *作物研究*, 2015, 29(5): 522–525. doi: 10.3969/j.issn.1001-5280.2015.05.15.]
- [14] MAO J W, ZHANG X, YANG L J, et al. Effects of different potassium fertilizations on potassium absorption of flue-cured tobacco [J]. *Soil Ferti Sci China*, 2017(1): 56–60. [毛家伟, 张翔, 杨立均, 等. 优质烤烟对不同种类钾肥的吸收效应 [J]. *中国土壤与肥料*, 2017(1): 56–60. doi: 10.11838/sfsc.20170110.]
- [15] LI X, ZHOU J H, LI Q, et al. Application of citrate soluble potassium fertilizer combined with potassium dissolving bacteria on growth and potassium nutrition of flue-cured tobacco [J]. *Tobacco Sci Technol*, 2016, 49(11): 1–6. [李鑫, 周冀衡, 李强, 等. 枸溶性钾肥与解钾菌液配施对烤烟生长及钾素营养状况的影响 [J]. *烟草科技*, 2016, 49(11): 1–6. doi: 10.16135/j.issn1002-0861.2016.0003.]
- [16] YAN T T, WANG Y L, LU D J, et al. Effects of root-zone potassium fertilizer on the yield, potassium concentration and potassium uptake of flue-cured tobacco [J]. *Soil Ferti Sci China*, 2018(5): 70–76. [严陶韬, 王一柳, 卢殿君, 等. 根区施用钾肥对烤烟产量、钾含量及钾素吸收的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2018(5): 70–76. doi: 10.11838/sfsc.20180511.]
- [17] WANG Y L, LI D X, HUAN W W, et al. Effects of new potassium fertilizer combined with potassium sulfate on growth and potassium absorption of flue-cured tobacco [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2021, 49(6): 72–76. [王一柳, 李冬雪, 郇威威, 等. 新型钾肥配施硫酸钾对烤烟生长及钾素吸收的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(6): 72–76. doi: 10.15889/j.issn.1002-1302.2021.06.011.]
- [18] WANG X. Effect of combined application of wolfberry soluble potassium fertilizer on the growth and potassium nutrition of tobacco variety K326 [D]. Guiyang: Guizhou University, 2018. [王晓. 枸溶性钾肥配施对烤烟品种 K326 生长及钾素营养的影响 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2018.]
- [19] LI D X, WANG Y L, HUAN W W, et al. Nutrient content of tobacco leaves and root zone soil affected by citrate soluble potassium fertilizer in Yuxi [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2022, 38(7): 67–73. [李冬雪, 王一柳, 郇威威, 等. 枸溶性钾肥对玉溪烟叶及根区土壤养分含量的影响 [J]. *中国农学通报*, 2022, 38(7): 67–73. doi: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb2021-0448.]
- [20] LIN J Y, JIANG Y L, CHEN Y, et al. Effects of exogenous silicon and abscisic acid on growth and physiological characteristics of flue-cured tobacco under drought stress [J]. *SW China J Agric Sci*, 2023, 36(4): 715–721. [蔺璟煜, 姜永雷, 陈颐, 等. 外源硅及脱落酸对干旱胁迫下烤烟生长和生理特性的影响 [J]. *西南农业学报*, 2023, 36(4): 715–721. doi: 10.16213/j.cnki.scjas.2023.4.007.]
- [21] CUI Q R, JIANG C Q, WU W M, et al. Optimum sulphur rate and its impact on flue-cured tobacco quality in southern Anhui [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2019, 35(26): 40–46. [崔权仁, 姜超强, 武文明, 等. 皖南烟区硫肥适宜用量及其对烤烟品质的影响研究 [J]. *中国农学通报*, 2019, 35(26): 40–46. doi: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb18050133.]
- [22] LIU Q, CAO Z H. Progress in nutrition and quality of tobacco leaves [J]. *Soil*, 1998, 30(6): 320–323. [刘勤, 曹志洪. 烟草硫素营养与烟叶品质研究进展 [J]. *土壤*, 1998, 30(6): 320–323.]
- [23] State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 142—2010 Investigating and measuring methods of agronomical character of tobacco [S]. Beijing: Standards Press of China, 2010. [国家烟草专卖局. YC/T 142—2010 烟草农艺性状调查测量方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.]
- [24] The State Bureau of Quality and Technical Supervision. GB 2635—1992 Flue-cured tobacco [S]. Beijing: Standards Press of China, 1992. [国家技术监督局. GB 2635—1992 烤烟 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.]
- [25] BAO S D. Soil Agrochemical Analysis [M]. 3rd ed. Beijing: China Agricultural Press, 2000. [鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.]
- [26] YAN X, JIN J Y, LIANG M Z. Fertilizer use efficiencies and yield-increasing rates of grain crops in China [J]. *Soils*, 2017, 49(6): 1067–1077. [闫湘, 金继运, 梁鸣早. 我国主要粮食作物化肥增产效应与肥料利用效率 [J]. *土壤*, 2017, 49(6): 1067–1077. doi: 10.13758/j.cnki.tr.2017.06.001.]
- [27] State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 468—2021 Tobacco and tobacco products determination of total alkaloids continuous flow (potassium thiocyanate) method [S]. Beijing: Standards Press of China, 2021. [国家烟草专卖局. YC/T 468—2021 烟草及烟草制品 总植物

- 碱的测定 连续流动(硫氰酸钾)法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.]
- [28] State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 159—2019 Tobacco and tobacco products determination of water soluble sugars continuous flow method [S]. Beijing: Standards Press of China, 2019. [国家烟草专卖局. YC/T 159—2019 烟草及烟草制品 水溶性糖的测定连续流动法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.]
- [29] State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 173—2003 Tobacco and tobacco products determination of potassium flame photometry [S]. Beijing: Standards Press of China, 2004. [国家烟草专卖局. YC/T 173—2003 烟草及烟草制品 钾的测定 火焰光度法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.]
- [30] State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 161—2002 Tobacco and tobacco products determination of total nitrogen continuous flow method [S]. Beijing: Standards Press of China, 2004. [国家烟草专卖局. YC/T 161—2002 烟草及烟草制品 总氮的测定连续流动法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.]
- [31] State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 162—2011 Tobacco and tobacco products determination of chloride continuous flow method [S]. Beijing: Standards Press of China, 2011. [国家烟草专卖局. YC/T 162—2011 烟草及烟草制品 氯的测定 连续流动法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.]
- [32] WANG Y T, XIE J P, LI Z H. Tobacco Planting Regionalization in China [M]. Beijing: Science Press, 2010. [王彦亭, 谢剑平, 李志宏. 中国烟草种植区划 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.]
- [33] State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 138—1998 Tobacco and tobacco products: The sensory evaluation methods [S]. Beijing: Standards Press of China, 1998. [国家烟草专卖局. YC/T 138—1998 烟草及烟草制品 感官评价方法 [S]. Beijing: China Agricultural Press, 1998.]
- [34] HUA Z R, LI X L. Effect of exogenous silicon on photosynthetic characteristics of *Scutellaria baicalensis* seedlings under NaCl stress [J]. Guizhou Agric Sci, 2018, 46(1): 86–89. [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. doi: 10.3969/j.issn.1001-3601.2018.01.023.]
- [35] TIAN A L, WEN S X, HUANG G L, et al. Research progress on the sulfur source and control measures of flue cured tobacco [J]. Crop Res, 2016, 30(5): 600–606. [田阿林, 温圣贤, 黄国联, 等. 烤烟硫来源及控制措施研究进展 [J]. 作物研究, 2016, 30(5): 600–606. doi: 10.16848/j.cnki.issn.1001-5280.2016.05.26.]
- [36] MCCANTS C B, WOLTZ W G. Growth and mineral nutrition of tobacco [J]. Adv Agron, 1967, 19: 211–265. doi: 10.1016/S0065-2113(08)60736-1.
- [37] WANG Y Q, XU D P, XUE Y, et al. Correlation between fractionation content of Pb, Cd and physico-chemical properties of contaminated soils [J]. Earth Environ, 2018, 46(5): 451–455. [王逸群, 许端平, 薛杨, 等. Pb 和 Cd 赋存形态与土壤理化性质相关性研究 [J]. 地球与环境, 2018, 46(5): 451–455. doi: 10.14050/j.cnki.1672-9250.2018.46.118.]