昆明学院学报　2020，42（6）：1～6　ISSN 1674－5639　CN 53－1211/G4
Journal of Kunming University

硅肥对改善烟叶化学品质及降低烟叶重金属的效果研究

徐兴阳[1]，史　德[1]，罗　云[2]，石　宏[1]，丁显龙[1]，李晓宁[3*]
（1. 云南省烟草公司 昆明市公司，云南 昆明 650051；2. 红云红河烟草（集团）责任有限公司，云南 昆明 650022；
3. 云南农业大学 资源与环境学院，云南 昆明 650201）

摘要：为探索硅肥对降低烟叶重金属含量及提升烟叶化学品质的效果．采用单因素随机区组设计，以清水为对照，叶面喷施5种硅肥开展小区肥效比较试验．结果表明：1）硅酸钠对重金属的综合控制效果最好，能有效降低烟叶中铜、镉、铬、铅和砷等重金属的含量，“冲动”海藻液硅和纳米硅对烟叶铜、铅和镉的控制效果较好，“绿维康”有机硅仅对铜的控制效果明显；2）纳米硅、“冲动”海藻液硅对提高烟叶钾质量分数和降低烟碱、总氮的效果最好，硅酸钠效果次之，“绿维康”有机硅和葡萄糖螯合硅效果较差；3）“绿维康”有机硅、纳米硅、“冲动”海藻液硅和硅酸钠对提升烟叶硅含量的效果较好，提升幅度在22.2%～33.3%之间．综上，不同硅肥效果差异较大，控制烟叶重金属可选择硅酸钠，改善烟叶化学品质可选择纳米硅和“冲动”海藻液硅．

关键词：硅肥；重金属；烤烟；化学品质；效果
中图分类号：S572　**文献标识码：**A　**文章编号：**1674－5639（2020）06－0001－06
DOI：10.14091/j.cnki.kmxyxb.2020.06.001

Effects of Silicon Fertilizer on Improving Chemical Quality of Tobacco Leaves and Reducing Heavy Metal Contents

XU Xinyang[1], SHI De[1], LUO Yun[2], SHI Hong[1], DING Xianlong[1], LI Xiaoning[3*]
(1. Yunnan Tobacco Company Kunming Branch, Kunming, Yunnan, China　650051;
2. Hongyun Honghe Tobacco (Group) Co., Ltd., Kunming, Yunnan, China　650022;
3. College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan, China　650201)

Abstract: To understand the effects of spraying silicon fertilizer for reducing heavy metal contents and improving chemical quality of tobacco leaves, a single factor randomized block design was used in the tobacco field, with the treatment of clear water as the control, and five kinds of silicon fertilizer were sprayed on the leaves to carry out the plot fertilizer effect comparison test. The results showed that: 1) The comprehensive control effect of sodium silicate fertilizer on heavy metals is the best, which can effectively reduce the content of heavy metals such as copper, cadmium, chromium, lead and arsenic in tobacco leaves. “Impulse” seaweed liquid silicon fertilizer and nano silicon fertilizer have better control effect on copper, lead, and cadmium in tobacco leaves, “Lvweikang” organosilicon fertilizer only has obvious control effect on copper; 2) Nano silicon fertilizer and “impulse” seaweed liquid silicon fertilizer have the best effect on increasing potassium content and reducing nicotine and total nitrogen content in tobacco leaves, followed by sodium silicate fertilizer, and “lvweikang” organosilicon fertilizer and glucose chelate silicon fertilizer have the poorest effect; 3)

收稿日期：2020－09－28
基金项目：中国烟草总公司云南省公司重点科技项目“基于品牌导向的烟叶定向需求技术研究与应用”（2017YN12）．
作者简介：徐兴阳（1974—），男，云南盐津人，高级农艺师，农业推广硕士，主要从事烟草新品种、新技术及新方法研究．
*通讯作者：李晓宁（1981—），女，山西大同人，硕士研究生，主要从事植物营养研究，E-mail：14576221@qq.com.

"Lvweikang" organosilicon, nano silicon, "impulse" seaweed liquid silicon and sodium silicate have better effect on improving the silicon content of tobacco leaves, within the range of 22.2% ~33.3%. To sum up, the effect of foliar spraying of different silicon fertilizer is quite different. "sodium silicate" fertilizer foliar spraying can be selected to control heavy metals, "nano silicon fertilizer" and "impulsive" seaweed liquid silicon fertilizer can be selected to improve the chemical quality of tobacco leaves.

Key words: silicon fertilizer; heavy metal; flue-cured tobacco; chemical quality; effectss

近年来，烟叶的安全性日益受到重视，其中重金属含量是烟叶安全性关注的一项重要内容[1-3]. 针对如何缓解重金属对作物的危害已有大量的报道[4-5]，但基本上都是通过改良土壤或肥料调节等方式来达到降低作物中重金属含量的目的. 如施用含磷物质，降低土壤中镉、铅的有效性；施用硫化钠、石硫合剂降低土壤中镉、汞、铜、铅的有效性；施用铁锰矿物质降低土壤中镉、镍的有效性；施用磷酸盐、硫酸亚铁等降低土壤中砷的有效性；施用生石灰降低土壤中铬、镍的有效性；施用活性炭、骨粉等吸附土壤中的重金属达到降低烟叶重金属含量的目的等. 值得一提的是，这些方法可能会对土壤健康造成潜在的影响，甚至可能会向土壤中输入新的重金属或有机污染物[6].

此外，一方面，烟草本身是富镉作物[7-8]，云南烟区土壤中镉（Cd）含量普遍较高[9]；另一方面，以猪粪为主的农家肥中有较高含量的锌、铜等重金属元素，若长期大量施用可能会导致土壤及植物中相应重金属含量增加的风险，并最终影响烟叶质量安全和人体健康[10-11]；再者，近年来土壤酸化，加重了某些重金属元素的活化[12-13]，如昆明宜良等核心优质烟区大部分土壤已经呈强酸性，给烟叶重金属超标及加重病害等增加了风险. 为此，寻找一种更为直接、安全、有效降低烟叶重金属含量的措施对提高云南烟叶安全性是非常必要的.

硅肥是继氮磷钾肥之后被世界各国专家一致公认的"第四大元素肥料"，对农作物增产有异常神奇的效果[14-17]. 硅是品质元素、保健元素、调节性元素、大量增产元素，而且硅肥一种能够抗虫抗病的功能性肥料，其既可作为肥料为作物增加营养（喷施），又可用作土壤处理剂（浇施）来改良土壤，并且还可作为抗重茬的重要原料[18-19]. 另有报道[20-22]表明，采用硅肥、硒肥、锌肥等中微量元素肥料对作物茎叶表面进行合理喷施，可抑制或拮抗农作物对重金属镉、砷等的吸收累积，但硅肥在拮抗烟草重金属方面的应用却鲜见报道. 因此，本研究拟采用叶面喷施的方式来探讨硅肥对降低烟叶重金属及烟叶品质的影响，为烤烟提质、降害寻求一种新的技术措施.

1 材料与方法

1.1 试验地点

2019 年在昆明烟区安宁市草铺镇草铺村委会（属于红云红河集团优质原料基地单元）进行试验，该地海拔 1 880 m，102°22′18″E，24°57′12″N. 试验田土壤类型为红壤，质地为壤土，土壤 pH 值为 5.5，肥力中等. 烤烟品种为云烟 87，小苗膜下移栽，移栽期 4 月 15 日，并统一参照当地优质烟生产技术措施进行管理.

1.2 供试材料

1.2.1 供试土壤基本情况

供试土壤 6 项重金属指标含量均不超标（检测结果列于表 1），符合土壤环境质量标准要求.

表 1 试验田土壤重金属含量状况 mg/kg

指标	总汞（Hg）	总镉（Cd）	总砷（As）	总铅（Pb）	总铬（Cr）	总铜（Cu）
限量值*	≤0.3	≤0.3	≤40	≤250	≤150	≤70
检测值	0.12	0.19	9.16	34.83	93.90	31.10

注：* 土壤重金属安全性评价指标参照绿色烟叶（DB53/T 310.1—2010）标准执行.

1.2.2 供试硅肥基本情况

"绿维康"有机硅，w（水溶性）SiO ≥ 25%，ρ(Cu + Fe + Me + Zn + B) ≥ 100 g/L，杨凌澳邦生物科学有限公司生产；

葡萄糖螯合硅，白色结晶粉剂，$w(SiO_2)$ ≥ 22%，w(Si) ≥ 10%，pH9 ~ 11，衡水市格美微量元素有限公司生产；

纳米硅，液体，$w(SiO_2)$ ≥ 30%，w(Si) ≥ 13%，

pH6 ~8，衡水市格美微量元素有限公司生产；

“冲动”海藻液硅，ρ（硅（Si））≥120 g/L，ρ（K_2O）≥120 g/L，pH9.5 ~ 11，领先生物农业股份有限公司生产；

硅酸钠，分析纯，w（$Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$，Na_2O）= 19.3% ~22.8%，w（Na_2O）∶w（SiO_2）= 1.03 ± 0.03，天津市鼎盛鑫化工有限公司生产，昆明赛捷生物科技有限公司提供.

1.3　试验设计及方法

1.3.1　试验设计

试验采用单因素随机区组设计，喷施等量清水为对照，设置 5 个处理，3 次重复，3 行区，共 18 个小区，每个小区种植 100 株烟. 各处理如下：

处理 A. “绿维康”有机硅，清水稀释 800 倍；

处理 B. 葡萄糖螯合硅，清水稀释 800 倍；

处理 C. 纳米硅，清水稀释 1 500 倍；

处理 D. “冲动”海藻液硅，清水稀释 1 000 倍；

处理 E. 硅酸钠，清水稀释 200 倍；

CK（对照）. 喷施等量清水.

1.3.2　试验操作

全部处理及对照均采用叶面喷施，于 6 月 5 日（旺长初期）喷施第 1 次，间隔 15 d 喷施第 2 次，连续喷施两次，叶片正反面均匀喷雾. 喷施时机选择在无风或风速较小的下午 4 点后，小区之间用挡板隔开，以防止处理间串行.

1.4　取样方法及检测指标

试验田土壤取样. 在试验田中，按 5 点取样法在烟株根际范围内（0 ~ 20 cm）取 3 个混合土样，每个土样约 1.5 kg.

初烤烟叶取样. 参照林汲等[23]介绍的方法，在现蕾期确定取样部位，于中部叶成熟期按小区采集烟叶样品（采自下而上第 10 叶），每个小区定位 30 株烟，每株采 1 片叶，共采集 30 片叶，挂牌烘烤，烘干自然回潮后称其质量，测生物量，并测烟叶中的 6 种重金属及硅（Si）含量.

烟叶硅含量普查取样. 在昆明所属 8 个植烟分公司中，于烟叶收购期间，对部分烟叶站（点）C3F 烟堆中随机抽取烟叶，检测其硅（Si）含量. 各地取样数量及检测结果列于表 2.

1.5　各指标检测方法

对土样和烟样中的汞、砷、铜、铬、镉和铅等 6 种重金属含量进行检测. 其中，土壤重金属按 GB/T 22105—2008、GB/T 23739—2009、NY/T 890—2004 和 NY/T 1121—2006 标准检测；烟叶重金属按 GB/T 5009—2003 标准检测.

表 2　昆明烟区 2019 年烟叶硅质量分数现状

县级烟区	样本/个	全硅/%	标准差（S）	变异系数（CV）/%
寻甸	6	0.19	0.03	14.1
禄劝	12	0.19	0.05	25.3
石林	11	0.17	0.03	15.5
宜良	8	0.22	0.10	45.5
晋宁	4	0.20	0.05	25.6
富民	16	0.18	0.04	23.4
嵩明	8	0.17	0.03	14.7
安宁	4	0.18	0.01	7.9
平均/合计	69	0.19	0.04	21.5

1.6　重金属控制效果评价

采用烟叶重金属积累量进行评价，计算公式为：$T_i = L_i \times B$，其中，T_i 为重金属 i 的积累量，L_i 为重金属 i 在烟叶中的含量，B 为烟叶的生物量.

具体应用时，以对照的相对积累量为 100，分别折算各处理的相对积累量，数值低于 100 判定为有控制效果，数值越低控制效果越好.

2　结果与分析

2.1　昆明烟区烟叶硅质量分数的现状

从表 2 可看出，按照烟叶硅元素诊断临界值为 0.26% 的标准[23]，昆明市烟叶的硅质量分数均处于临界值以下，其中以宜良的变异度最大，安宁的变异度最小，全市平均变异度为 21.5%. 因此，如何提升烟叶的硅质量分数可能是今后昆明烟区需要解决的问题.

2.2　烟叶重金属含量状况

初烤烟叶中主要重金属的限量规定列于表 3，不同处理烟叶中 6 种重金属的含量检测结果列于表 4.

从表 3、表 4 看出，5 个处理及对照烟叶的 5 项重金属（铅除外）的含量均不超标，符合烟叶重金属安全性质量标准要求.

2.3　不同处理对烟叶重金属的控制效果

不同处理初烤烟叶的重金属含量检测结果列于

表 4，根据表 4 的数据结合烟叶生物量计算出不同处理初烤烟叶重金属的相对积累量（见表 5）. 从表 5 可看出，各处理烟叶铜的相对积累量为 53.7% ~89.3%，镉和铅的相对积累量小于对照（100%）的是处理 C、D、E，铬的相对积累量小于对照（100%）的是处理 B、E，而砷、汞的相对积累量几乎都接近或超过对照（100%）. 其中：对铜的控制效果由好到差依次为：处理 A > 处理 E > 处理 D > 处理 C > 处理 B；对镉的控制效果由好到差依次为：处理 E > 处理 D > 处理 C；对铅的控制效果则以处理 D、C、E 较好；对铬的控制效果以处理 E、B 较好.

综合来看，5 个处理均对铜有较好的控制效果，其中：处理 E 对烟叶铜、镉、铬、铅和砷的综合控制效果较好；处理 D、处理 C 对烟叶铜、铅、镉的控制效果较好；处理 B 对烟叶铜、铬和汞的控制效果较好；处理 A 仅对烟叶铜的控制效果明显.

表 3　初烤烟叶中的主要重金属限量规定

指标	铜（Cu）	铬（Cr）	镉（Cd）	铅（Pb）	汞（Hg）	砷（As）
限量值/(mg · kg^{-1})	≤30.00	≤2.00	≤5.00	≤4.00	≤0.15	≤1.50

注：烟叶重金属限量指标参照《绿色烟叶：烟叶质量标准》（DB53/T 310.6—2010）执行.

表 4　不同处理烟叶的重金属含量检测结果　mg/kg

处理	总铜（Cu）	总镉（Cd）	总铅（Pb）	总铬（Cr）	总砷（As）	总汞（Hg）
A	8.04	2.58	8.06	1.12	0.35	0.09
B	13.06	2.60	9.01	0.91	0.33	0.07
C	11.94	2.32	7.59	1.10	0.44	0.09
D	12.25	2.34	6.93	1.10	0.39	0.10
E	10.76	2.08	8.21	0.90	0.34	0.09
CK	15.79	2.62	8.31	1.02	0.34	0.08

表 5　不同处理对烟叶重金属的相对积累量　%

处理	总铜（Cu）	总镉（Cd）	总铅（Pb）	总铬（Cr）	总砷（As）	总汞（Hg）
A	53.7	103.8	102.2	115.7	108.5	118.7
B	89.3	107.1	117.0	96.3	104.7	94.6
C	79.4	93.0	96.0	113.3	135.9	118.3
D	78.3	90.1	84.1	108.8	115.7	126.2
E	66.9	77.9	96.9	86.5	98.1	110.5
CK	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

2.4　不同处理对烟叶化学品质指标的影响

不同处理初烤烟叶所检测的主要化学成分质量分数及其协调性列于表 6，各指标与对照相比的增减幅度列于表 7. 从表 6、表 7 可看出，所有供试的 5 种硅肥对烟叶总氮质量分数的降低幅度在 3.3% ~10.3% 之间，烟碱质量分数降低幅度（处理 B 除外）在 8.3% ~22.2% 之间；各处理（处理 B、处理 D 除外）对烟叶总糖表现为提升效应，提升幅度在 1.7% ~8.0% 之间；各处理对烟叶钾质量分数的增加幅度（处理 A 除外）在 0.4% ~14.2% 之间；糖碱比增加幅度（处理 B 除外）在 18.9% ~39.2% 之间；氮碱比增加幅度（处理 B 除外）在 8.1% ~24.3% 之间；钾氯比增加幅度（处理 A、处理 E 除外）在 15.0% ~35.0% 之间；各处理（处理 A 两糖比明显下降除外）对两糖比的影响不明显.

综合来看，对烟叶化学品质的改善作用以处理 C 和处理 D 表现最好，处理 E 次之，处理 A 和处

理 B 表现较差.

2.5　不同处理对烟叶硅质量分数的影响

不同处理初烤烟叶硅质量分数检测结果列于表 8. 从表 8 可看出，处理 B 对烟叶硅质量分数几乎无影响，其余 4 个处理均在一定程度上提升了烟叶硅质量分数，提升幅度在 22.2% ~33.3% 之间. 因此，叶面喷施硅肥对烟叶硅质量分数的提升幅度较大.

表 6　不同处理烟叶的主要化学成分质量分数及其协调性

处理	总糖/%	烟碱/%	总氮/%	氧化钾/%	两糖比	糖碱比	氮碱比	钾氯比
A	32.50	2.25	2.05	2.31	0.72	14.71	0.92	1.90
B	29.60	3.14	1.91	2.46	0.78	10.38	0.65	2.30
C	30.60	2.24	2.06	2.73	0.79	13.76	0.92	2.70
D	30.00	2.64	1.99	2.65	0.80	12.57	0.80	2.30
E	31.50	2.37	1.94	2.40	0.76	13.70	0.84	1.90
CK	30.10	2.88	2.13	2.39	0.78	10.57	0.74	2.00

表 7　不同处理烟叶主要化学指标较对照的增减幅度

处理	较对照（CK）增减幅度/%							
	总氮	烟碱	总糖	氧化钾	两糖比	糖碱比	氮碱比	钾氯比
A	−3.8	−21.9	+8.0	−3.3	−7.7	+39.2	+24.3	−5.0
B	−10.3	+9.0	−1.7	+2.9	0.0	−1.8	−12.2	+15.0
C	−3.3	−22.2	+1.7	+14.2	+1.3	+30.2	+24.3	+35.0
D	−6.6	−8.3	−0.3	+10.9	+2.6	+18.9	+8.1	+15.0
E	−8.9	−17.7	+4.7	+0.4	−2.6	+29.6	+13.5	−5.0

表 8　不同处理烟叶硅质量分数比较　　%

处理	A	B	C	D	E	CK
硅（Si）	0.23	0.18	0.24	0.24	0.22	0.18
较 CK 增加幅度	27.8	0.0	33.3	33.3	22.2	–

3　讨论与结论

3.1　讨论

本研究中，关于叶面喷施硅肥能有效抑制烟叶对镉、砷吸收的结论与前人[20-22]在其他作物上的研究结果一致，叶面喷施硅肥能有效提升烟叶含糖量的结论也与前人[16]在其他作物上的研究结果一致. 但是，叶面喷施硅肥能有效抑制烟叶对铜、铬的吸收，能有效降低烟叶的烟碱、总氮含量，能有效提升烟叶的糖碱比、氮碱比、钾氯比等指标，这些研究结果均未见报道. 因此，硅肥在烤烟上的应用具有广阔前景.

此外，本研究得出的叶面喷施硅肥虽使烟叶硅质量分数的提升幅度达到 22.2% ~33.3%，但烟叶硅质量分数仍未达到 0.26% 的临界值标准[23]. 为了进一步提升烟叶含硅量，有效抑制烟叶对重金属的吸收、改善烟叶化学品质、增强烤烟抗逆性，应从硅肥的筛选及其施用方法等方面继续开展研究工作.

3.2　结论

供试的 5 种叶面硅肥总体表现出许多共性的功效，主要表现为能大幅提升烟叶含硅量，对烟叶铜、镉、铅含量的控制效果较好，对烟叶化学品质的改善效果明显，特别是对烟叶钾质量分数的提升和总氮、烟碱质量分数的降低效果较好.

供试的 5 种硅肥中，叶面喷施对烟叶重金属的控制效果以处理 E（硅酸钠）最好，能有效抑制烟叶对铜、镉、铬、铅和砷等的吸收，处理 D（“冲动”海藻液硅）和处理 C（纳米硅）对烟叶

铜、铅和镉的控制效果较好，处理 B（葡萄糖螯合硅）对烟叶铜、铬和汞的控制效果较好，处理 A（“绿维康”有机硅）仅对烟叶铜的控制效果明显；对烟叶化学品质的改善作用以处理 C、处理 D 表现最好，处理 E 次之，处理 A 和处理 B 表现较差；供试硅肥对烟叶硅质量分数的提升效果明显，除处理 B 外，其余 4 个处理对烟叶含硅质量分数的提升幅度在 22.2% ~33.3% 之间.

综上，不同的硅肥叶面施用效果差异较大，在烤烟生产上视需要可选择硅酸钠叶面喷施作为一项控制烟叶重金属的有效技术措施. 此外，可选择纳米硅、“冲动”海藻液硅叶面喷施作为一项改善烟叶化学品质的有效技术措施.

[参考文献]

[1] 程新胜，陈学平. 烟叶中农药残留和重金属元素的含量［J］. 安徽烟草科技，1992（2）：57 –59.

[2] 牛钢. 当国产香烟遭遇“重金属门”［J］. 上海标准化，2010（11）：46 –47.

[3] 赵涵漠. 烟草重金属超标根源在土壤［J］. 农产品市场周刊，2010（41）：32 –33.

[4] 潘义宏，周丽娟，王娟，等. 烟叶安全性影响因素及其关键农业控制技术研究进展［J］. 河南农业科学，2013，42（5）：5 –11.

[5] 曾德武，李帆，赵建武，等. 烟草重金属污染及其防控措施研究进展［J］. 中国科草科学，2014，35（1）：127 –132.

[6] 李彩斌，张久权，陈雪，等. 生物炭施用对土壤健康的影响及其对烤烟生产的潜在风险［J］. 中国科草科学，2008，39（6）：91 –97.

[7] 魏益华，陈云霞，周瑶敏，等. 江西抚州烟区土壤及烟叶重金属污染状况评价［J］. 中国烟草科学，2014，35（1）：19 –25.

[8] 董石飞，徐兴阳，罗华元，等. 不同烤烟品种对 6 种重金属吸收能力差异研究［J］. 郑州轻工业学院学报（自然科学版），2014，29（5）：32 –34，38.

[9] 张艳玲，尹启生，周汉平，等. 中国烟叶总铅、总镉、总砷的含量及分布特征［J］. 烟草科技，2006（11）：49 –52，57.

[10] 何增明，刘强，谢桂先，等. 好氧高温猪粪堆肥中重金属砷、铜、锌的形态变化及钝化剂的影响［J］. 应用生态学报，2010，21（10）：2659 –2665.

[11] 杨坤，李军营，杨宇虹，等. 不同钝化剂对猪粪堆肥中重金属形态转化的影响［J］. 中国土壤与肥料，2011（6）：43 –48.

[12] 王宁，李九玉，徐仁扣. 土壤酸化及酸性土壤的改良和管理［J］. 安徽农学通报，2007，13（23）：48 –51.

[13] 王存龙，郑伟军，王红晋，等. 山东烟台环境介质中重金属元素富集特征及与酸化土壤的关系究［J］. 岩矿测试，2012，31（2）：361 –369.

[14] 孙星，朱克亚，刘勤，等. 皖南山区稻田土壤施用硅肥效应研究［J］. 中国农学通报，2016，32（6）：6 –10.

[15] 吴季荣，龚俊义. 水稻硅营养的研究进展［J］. 中国稻米，2010，16（3）：5 –8.

[16] 杜彩琼，林克惠. 硅素营养研究进展［J］. 云南农业大学学报，2002，17（2）：192 –195.

[17] 马朝红，杨利，胡时友. 土壤供硅能力与硅肥应用研究进展［J］. 湖北农业科学，2009，48（4）：987 –989.

[18] 韩大山. 抗重茬及重迎茬肥料及其生产方法：200710056032. 3［P］. 2007 –09 –05.

[19] 杨启豪. 硅肥在农业中的作用剖析［J］. 中国科技投资，2016（20）：346.

[20] 翁伯琦，张伟利. 防控农田重金属污染须多措联用［EB/OL］.［2020 –08 –02］. http://www. czt. gov. cn/.

[21] 魏晓，张鹏博，赵丹丹. 水稻土施硅对土壤 – 水稻系统中镉的降低效果［J］. 生态学报，2018，38（5）：1600 –1606.

[22] 赵欣昕. 硅素物质对镉污染水稻土修复作用初步研究［D］. 沈阳：沈阳农业大学，2006：1 –55.

[23] 林汲，徐宋萍，罗丽娟，等. 硅对烟草生长的影响及诊断指标研究［J］. 热带作物学报，2016，37（1）：42 –46.