

李荣林, 杨亦扬, 万青, 等. 硅处理茶树对茶尺蠖取食的调控作用[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(15): 72–76.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.019

# 硅处理茶树对茶尺蠖取食的调控作用

李荣林<sup>1</sup>, 杨亦扬<sup>1</sup>, 万青<sup>1</sup>, 李欢<sup>1</sup>, 胡振民<sup>1</sup>, 李全华<sup>2</sup>, 蒋川花<sup>2</sup>

(1. 江苏省农业科学院休闲农业研究所, 江苏南京 210014; 2. 常州日春农业科技发展有限公司, 江苏常州 213200)

**摘要:**探讨用硅酸钠、硅鲨(二氧化硅)、硅分散剂、硅消泡剂分别喷雾处理茶树后, 茶尺蠖取食和生长受到的影响。结果表明, 在非选择性试验测试下茶尺蠖取食量下降, 且以硅酸钠水溶液处理拒食率最高, 为 51.98%, 但同时硅酸钠水溶液处理下茶尺蠖食物转化率也最高, 为 0.289 6 g/g。在选择性试验测试下硅酸钠水溶液处理和硅消泡剂处理拒食率较高, 分别达到 26.44%、26.74%, 而硅分散剂处理的拒食率为 19.91%, 硅鲨处理则只有 10.84%。与对照相比, 硅酸钠水溶液、硅鲨、硅分散剂处理均显著降低多酚氧化酶(polyphenol oxidase, 简称 PPO)的活性, 硅消泡剂处理后 PPO 活性上升; 硅酸钠水溶液、硅鲨处理后苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia-lyase, 简称 PAL)活性略有上升, 但与对照差异不显著, 硅分散剂处理后 PAL 活性略有下降, 但硅消泡剂处理使 PAL 活性升高 2.30 倍。与对照相比硅酸钠水溶液、硅鲨、硅分散剂处理下葡萄糖苷酶(glucosidase, 简称 GUS)活性显著降低, 硅消泡剂处理葡萄糖苷酶活性略有降低; 硅酸钠水溶液处理过氧化酶(peroxidase, 简称 POD)活性升高 66.1%, 其他几种硅制剂处理 POD 活性均降低, 硅鲨处理和硅分散剂处理 POD 活性强烈降低。硅酸钠水溶液处理引起的 POD 活性和 PAL 活性上升可能是硅酸钠引起茶尺蠖拒食率较高的原因, 但硅酸钠水溶液处理又降低 PPO 的活性。硅消泡剂处理使 POD 活性下降, PPO 活性上升, 2 种氧化酶活性变化与拒食率之间不能很好地对应, 因此硅引起的茶尺蠖取食变化的机制仍有待探索。

**关键词:**硅制剂; 茶尺蠖; 取食调节; 非选择性试验; 拒食率

**中图分类号:**S435.711 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)15-0072-05

茶尺蠖是目前我国茶区最主要的一种害虫, 发生率高, 危害严重。茶尺蠖防治方法多样, 研究广泛, 到目前为止仍然以化学农药防治为主, 积极探索新的防治方法和策略依然是这一领域的研究重点<sup>[1-3]</sup>。

硅(Si)是地壳中最丰富的元素之一, 已有研究证实硅是植物生长的必需元素之一<sup>[4]</sup>。由于硅对水稻的生理作用已较为明确, 有关硅对水稻抗虫作用的研究也较多, 基本结论认

为, 施用硅肥对水稻防御二化螟、卷叶螟是有益的<sup>[5-6]</sup>。

硅对其他植物抗病、抗虫、抗非生物逆境作用的研究也有很多报道<sup>[7-8]</sup>, 硅可以在植物表面形成直接的物理障碍或在植物组织内沉积阻止害虫取食<sup>[9-10]</sup>。McColloch 等首先提出, 二氧化硅对玉米抗黑森瘿蚊有重要作用<sup>[11]</sup>, 之后研究表明, 施用硅肥可增强大多数作物对植食性昆虫的抗性<sup>[12-15]</sup>。植物吸收的硅可能参与了植物受到生物或非生物胁迫后的生理代谢, 通过生理性防卫机制减轻或降低危害, 这种防御机制可能与硅作为单一物理屏障的防御机制相互协同, 也可能针对不同的胁迫各自发挥主导作用<sup>[16-17]</sup>。有机硅作为作物生长调节剂, 可调节植物的生长发育, 提高作物的生长性能, 这可能间接影响害虫的取食和繁衍<sup>[18-19]</sup>。

然而, 也有不少研究认为, 植物吸收了硅以后对植物抗虫性没有影响。Massey 等研究发现, 植物硅含量升高并未对蚜

收稿日期: 2017-03-20

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(15)1036]; 江苏省科技支撑计划(编号: BE2013330); 江苏省溧阳市科技计划(编号: LB2017031)。

作者简介: 李荣林(1963—), 男, 安徽马鞍山人, 硕士, 副研究员, 从事茶树生理生化和茶叶加工研究。E-mail: 2440863313@qq.com。

代换系定位控制稻米糊化温度的微效 QTL[J]. 作物学报, 2014, 40(10): 1740–1747.

[25] 向士华, 王吴彬, 何庆元, 等. 多环境下野生大豆染色体片段代换系群体农艺性状相关 QTL/片段的鉴定[J]. 中国农业科学, 2015, 48(1): 10–22.

[26] 兰孟焦, 杨泽茂, 石玉真, 等. 陆海 BC<sub>4</sub>F<sub>2</sub> 和 BC<sub>4</sub>F<sub>3</sub> 代换系的评价及纤维产量与品质相关 QTL 的检测[J]. 中国农业科学, 2011, 44(15): 3086–3097.

[27] Wang H M, Lin Z X, Zhang X L, et al. Mapping and quantitative trait loci analysis of *Verticillium* wilt resistance genes in cotton[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2008, 50(2): 174–182.

[28] Zhang J F, Fang H, Zhou H P, et al. Genetics, breeding, and marker-assisted selection for *Verticillium* wilt resistance in cotton

[J]. Crop Science, 2014, 54(4): 1289–1303.

[29] 刘剑光, 吴娟娟, 赵君, 等. 陆地棉抗黄萎病 QTL 的定位[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(6): 1235–1239.

[30] Shi Y Z, Zhang B C, Liu A Y, et al. Quantitative trait loci analysis of *Verticillium* wilt resistance in interspecific backcross populations of *Gossypium hirsutum* × *Gossypium barbadense* [J]. BMC Genomics, 2016, 17(1): 877.

[31] Yang C, Guo W Z, Li G Y, et al. QTLs mapping for *Verticillium* wilt resistance at seedling and maturity stages in *Gossypium barbadense* L. [J]. Plant Science, 2008, 174(3): 290–298.

[32] 杨昶, 郭旺珍, 张天真. 陆地棉抗黄萎病、纤维品质和产量等农艺性状的 QTL 定位[J]. 分子植物育种, 2007, 5(6): 797–805.

虫或粉虱产生不利影响<sup>[20-21]</sup>。Korndrfer 等研究表明,施用硅酸钙增加了 5 种草坪草的硅含量,但对切叶野螟 (*Herpetogramma phaeopteralis*) 的生长发育没有产生不良影响,也未能降低根部害虫小地老虎 (*Agrotis ypsilon*) 的嗜食性、适合度以及圆头犀金龟 (*Cyclocephala* spp.) 的虫口密度和虫体质量<sup>[22]</sup>。有些试验结果表明,硅促进了植食性昆虫种群的增长,如凤梨硅含量与佛州长叶螨 (*Dolichotetranychus floridanus*) 的种群密度之间存在显著正相关关系<sup>[23]</sup>。因此,植物硅含量对不同取食方式昆虫的抗性难以形成一致性的结论。此外,硅的形态以及使用方式的不同对昆虫也将产生不同的影响,因此利用硅来防控害虫仍值得深入探索,毕竟硅是一种廉价易得、无毒无害的物质。

有关硅作为茶树生长有益元素的作用已有报道,方兴汉等研究茶树矿质营养时指出,硅对茶树的生长有着重要作用<sup>[24]</sup>。杨凌云研究认为,对茶树单一施硅 (500 mg/L) 可以促进氨基酸、可溶性糖的合成,但不利于咖啡碱和多酚的积累,若硅铝配施 (铝肥 1.34 g/kg 土,硅肥 0.41 g/kg 土) 能使氨基酸、咖啡碱、茶多酚和可溶性糖含量均达到一个合理水平<sup>[25]</sup>。硅的这种生长调节作用对于增强茶树的抗性可能是有利的,但硅在茶树害虫防控上是否确实能够发挥一定作用未见明确报道。

鉴于各类硅制剂产品不断出现,硅制剂用于植物病虫害绿色防控的实践也越来越多<sup>[26-27]</sup>,本研究选取几种不同形态的硅对茶树进行处理,以考察不同类型硅制剂对茶尺蠖生长发育作用效果的差异及其可能的机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 试剂与材料

主要试剂有硅酸钠 (分析纯,南京化学试剂有限公司,含 22.9% Si)、硅鲨 (深圳百乐宝生物农业科技有限公司,含 26.7% SiO<sub>2</sub>,相当于含 12.6% Si)、有机硅分散剂 (农药助剂,山东百士威农药有限公司,含 5 400 mg/L Si)、硅消泡剂 (食品级,重庆迎龙化工有限公司,含 2 500 mg/L Si)。

供试茶树:迎霜 2 年生,盆栽 (选用上口直径为 23 cm,高为 19 cm 的花盆,下层装 10 cm 厚茶园土,上层装 6~7 cm 厚花卉基质,基质由珍珠岩与草炭土按质量比为 1:2 混合而成),定期施肥,浇水。于江苏省溧阳市采集茶尺蠖,在室内用龙井 43 茶树新鲜叶片饲养继代,饲养条件:温度为 25℃,相对湿度为 75%,光—暗周期为 16 h—8 h,供试用尺蠖幼虫为室内饲养第 2 代,选择大小相对一致的 3 龄幼虫供测试用,取食试验前将幼虫饥饿 3 h。

### 1.2 仪器设备

主要仪器有 YMJ-C 型叶面积测量仪 (浙江托普云农科技股份有限公司)、Microfuge 20 离心机 (美国 Beckman 有限公司)、754N 紫外可见分光光度计 (上海仪电分析仪器有限公司)。

### 1.3 硅喷雾处理方法

4 种不同形态的硅制品按硅含量一致的原则用水配制成水溶液或悬浊液,本试验中用于喷雾的硅溶液含硅量以 Si 计算均为 200 mg/L。按每棵茶树 100 mL 的喷液量均匀喷洒于叶片上,同时设置清水对照,每组 5 棵茶树,施药 48 h 后采集

芽下第 2 张叶或第 3 张叶,用打孔器打成直径为 1.5 cm 的叶盘,用于茶尺蠖取食测试。同时,采集 1 芽 2 叶和 1 芽 3 叶用于生理生化分析。

### 1.4 硅溶液叶面浸渍试验方法

同样按硅含量一致的原则将 4 种硅制剂配制成为含 200 mg/L 硅的溶液置于三角瓶中。采集一定数量面积大小接近,未经任何化学处理的芽下第 2 张叶作为供试叶片,用打孔器打成直径为 1.5 cm 的叶盘,叶盘在硅溶液中浸没 5~6 s,取出,用吸水纸吸干叶片表面水分。

### 1.5 茶尺蠖饲养

1.5.1 选择性试验 选用直径为 9 cm 的培养皿,编号,底部放置 1 张滤纸,将滤纸用蒸馏水湿润。每个培养皿放置 4 张经硅喷雾处理的叶盘和 4 张未经处理的对照叶盘,交错排列置于滤纸上,每皿接种预先称质量的 1 头茶尺蠖幼虫。每处理测试 10 头幼虫。48 h 后移走幼虫,称其质量。用叶面积测量仪测定残留叶片的面积,计算取食量。

1.5.2 非选择性试验 取各硅喷雾处理试验组 8 张叶盘,分别均匀排布于培养皿中,每皿接种 1 头预先称质量的茶尺蠖幼虫,每处理测试 10 头幼虫。48 h 后移走幼虫,称其质量。用叶面积测量仪测定残留叶片的面积,计算取食量。

1.5.3 茶树叶片浸渍处理对茶尺蠖取食和生长的效应 按预定浓度配制各种硅制剂溶液,放入广口三角瓶中,将叶盘浸入硅溶液 5~8 s,取出,用吸水纸吸去表面残留溶液,于每个培养皿中放置经硅溶液浸渍处理的 6 张叶盘,接种预先称质量的 1 头茶尺蠖幼虫,每个处理测试 10 头幼虫。48 h 后移走幼虫,称其质量。用叶面积测量仪测定残留叶片的面积,计算取食量。

### 1.6 茶树叶片组织中酶提取和活性测定

酶提取和活性测定参考文献 [28-29] 的方法并稍加改进。多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, 简称 PPO)、过氧化物酶 (peroxidase, 简称 POD) 和葡萄糖苷酶 (glucosidase, 简称 GUS) 提取用 pH 值为 6.2 的柠檬酸-磷酸缓冲液,苯丙氨酸解氨酶 (phenylalanineammonialyase, 简称 PAL) 提取用含 0.05 mol/L 巯基乙醇的 0.1 mol/L pH 值为 8.8 的硼酸缓冲液。测定酶活性时,PPO、POD、GUS 反应温度为 37℃,PAL 反应温度为 40℃。在多次试验中发现,用偏硅酸钠或碳酸钠作为酶反应终止剂常引起反应液浑浊,为此根据其他文献所描述的方法并稍加调整<sup>[13]</sup>,在反应结束时将所有聚对苯二甲酸乙二醇酯 (polyethylene terephthalate, 简称 PET) 试管放进 -20℃ 冰箱快速冷却 3 min,取出再加入 2.5 mL 冰冻融化的蒸馏水,混匀,以此终止酶反应。

PPO 酶活性定义为 1 g 样品吸光度 1 min 增加 0.1 为 1 个酶活力单位。POD 酶活性定义为 1 g 样品吸光度 1 min 增加 0.1 为 1 个酶活力单位 (U)。PAL 酶活性定义为 1 g 样品吸光度 1 min 增加 0.1 为 1 个酶活力单位 (U)。GUS 酶活性定义为相当于 1 g 样品的酶提取液在 10 min 内催化生成 1 μmol 对硝基苯酚为 1 个酶活力单位 (U)。

理化成分分析<sup>[11-12]</sup>:鲜叶样品用微波杀青、干燥,沸水浴中浸提。游离氨基酸采用茚三酮比色法测定;咖啡碱用紫外测定法测定;多酚用酒石酸铁比色法测定。

所有生理生化指标测定均重复 3 次。采用 Excel 2007、

SSR 13.2 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 叶面施硅处理非选择试验下茶尺蠖的取食和生长量

由表 1 可知,在非选择性试验测试下,硅酸钠水溶液、硅分散剂、硅鲨处理虫体体质量增量极显著低于对照,其中硅分散剂和硅鲨处理虫体体质量增量分别只相当于对照的

52.1%、57.1%,硅酸钠处理只达到对照的 84.0%,但硅消泡剂处理虫体体质量增量达到对照的 131.3%。硅消泡剂处理的食物转化率也显著高于对照。拒食率以硅酸钠水溶液处理最高,硅分散剂处理拒食率最低,其食物转化率也是最低的,硅鲨处理与对照的食物转化率基本接近,硅酸钠水溶液处理与硅消泡剂处理食物转化率接近,且两者均显著高于对照。

表 1 非选择性试验条件下硅处理与茶尺蠖食物转化率

试验设置	幼虫体质量增量 (g)	取食叶面积 (mm <sup>2</sup> )	取食叶片质量 (g)	拒食率 (%)	食物转化率 (g/g)
对照	0.032 6±0.001 5b	630.70±65.32a	0.197 0a		0.165 5b
硅酸钠水溶液	0.027 4±0.003 5c	302.88±43.12e	0.094 6d	51.98a	0.289 6a
硅鲨	0.018 6±0.002 2d	393.98±60.60d	0.123 0c	37.53b	0.151 2b
硅分散剂	0.017 0±0.003 5d	579.25±26.04b	0.180 9a	8.16d	0.094 0c
硅消泡剂	0.042 8±0.004 9a	482.50±61.14c	0.150 7b	23.50c	0.284 0a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,下表同;非选择性拒食率=(对照组取食叶面积-处理组取食叶面积)/对照组取食叶面积×100%;食物转化率=虫体体质量增量/取食叶片质量。

由表 2 可知,在选择性试验测试下,与对照相比,所有处理取食量均有所下降,其中硅酸钠水溶液处理取食量为对照的 58.2%,硅鲨处理取食量为对照的 80.4%,硅分散剂处理取食量为对照的 66.8%,硅消泡剂处理取食量为对照的 57.8%;硅鲨处理的拒食率最低,硅分散剂处理与硅消泡剂、硅酸钠水溶液相比,拒食率明显较低,但又高出硅鲨处理近 1 倍。

表 2 选择性试验测试下的茶尺蠖取食量

试验设置	取食叶面积(mm <sup>2</sup> )		拒食率(%)
	对照	处理	
硅酸钠水溶液	490.67±8.068	285.44±27.04	26.44a
硅鲨	458.63±12.66	368.96±28.84	10.84b
硅分散剂	440.59±10.12	294.26±28.39	19.91c
硅消泡剂	398.17±10.79	230.17±33.57	26.74a

注:选择性拒食率=(对照组取食叶面积-处理组取食叶面积)/(对照组取食叶面积+处理组取食叶面积)×100%。

2.3 叶片经硅浸渍处理对茶尺蠖的取食和生长影响

由表 3 可知,与对照相比,硅鲨和硅分散剂处理下虫体体质量增长率显著降低,其他各处理与对照差异不显著;对食物转化率而言,硅酸钠水溶液处理与对照基本相同,而其他各处理的食物转化率均较对照有所提高。

2.4 硅喷雾处理对叶片酶系统的影响

由表 4 可知,与对照相比,硅酸钠水溶液、硅鲨、硅分散剂处理均显著降低了多酚氧化酶的活性,只有硅消泡剂处理使 PPO 活性上升,升高幅度为 11.0%。与对照相比,硅酸钠水溶液、硅鲨处理后苯丙氨酸解氨酶活性略有上升,但与对照差异不显著;硅分散剂处理的 PAL 活性略有下降,但硅消泡剂处理使 PAL 活性得到显著提升,升高幅度为 2.30 倍。

与对照相比,硅处理明显降低了葡萄糖苷酶的活性,硅酸钠水溶液处理、硅鲨处理、硅分散剂处理显著降低葡萄糖苷酶活性,硅消泡剂处理使葡萄糖苷酶活性略有降低,硅酸钠水溶液、硅鲨、硅分散剂、硅消泡剂处理后相应葡萄糖苷酶活性分

表 3 硅浸渍处理叶片对茶尺蠖取食和增长率的影响

试验设置	幼虫初始质量 (g)	饲喂 48 h 后幼虫质量 (g)	净增质量 (g)	虫体体质量 增长率(%)	取食叶面积 (mm <sup>2</sup> )	取食量 (g)	食物转化率 (g/g)
对照	0.022 2±0.015 8	0.059 8±0.030 8	0.037 6	254.80a	261.57±18.87	0.081 69a	0.460 3b
硅酸钠水溶液	0.017 3±0.009 2	0.051 9±0.026 6	0.034 6	264.15a	239.86±18.20	0.074 91b	0.461 9b
硅鲨	0.016 1±0.016 9	0.050 9±0.034 7	0.034 8	199.59b	231.12±30.31	0.072 18b	0.470 8b
硅分散剂	0.014 5±0.004 9	0.049 4±0.022 0	0.034 9	180.51b	209.00±39.40	0.065 27c	0.534 7a
硅消泡剂	0.020 5±0.015 4	0.052 4±0.021 6	0.031 9	257.43a	174.33±19.90	0.054 46d	0.585 8a

表 4 不同形态的硅喷雾处理后的叶片酶活性

试验设置	酶活性(U)			
	PPO	PAL	GUS	POD
对照	4.17±0.20a	61.03±0.95b	193.05±18.85a	6.08±0.33b
硅酸钠水溶液	1.32±0.05c	65.27±2.07b	39.71±4.30c	10.10±0.43a
硅鲨	1.71±0.15b	67.07±0.08b	31.97±4.32d	1.55±0.07d
硅分散剂	2.01±0.18b	52.86±0.96c	76.16±2.00b	0.00±0.00e
硅消泡剂	4.63±0.14a	201.69±6.81a	182.04±39.99a	3.69±0.10c

别为对照的 20.6%、16.6%、39.5%、94.3%。

与对照相比,硅酸钠水溶液处理过氧化物酶活性升高 66.1%,其他几种硅制剂处理均使 POD 活性降低,硅鲨处理和硅分散剂处理使 POD 活性显著降低,硅鲨处理后 POD 活性降低了 74.5%,硅消泡剂处理后 POD 活性降低 39.3%,硅分散剂处理后 POD 活性降低至方法检测限以下。

由表 5 可知,与对照相比,硅酸钠水溶液处理后茶多酚含量有所降低,另外 3 种硅制剂处理使茶多酚含量有所上升,硅消泡剂处理的茶多酚含量比对照增加 56.5%,硅鲨处理茶多酚含量比对照增加 26.0%;与对照相比,硅处理下咖啡碱含量普遍降低,但硅鲨处理后咖啡碱含量变化不明显,其他处理咖啡碱含量降低 28.4%~37.3%。

表 5 不同形态的硅喷雾处理后的叶片多酚含量和咖啡碱含量

试验设置	茶多酚含量 (%)	咖啡碱含量 (%)
对照	20.36 ± 0.11c	3.70 ± 0.17a
硅酸钠水溶液	18.42 ± 0.17d	2.65 ± 0.02b
硅鲨	25.65 ± 0.64b	3.60 ± 0.03a
硅分散剂	22.50 ± 0.00c	2.32 ± 0.08c
硅消泡剂	31.86 ± 0.18a	2.43 ± 0.13c

### 3 讨论

在非选择性试验测试下 4 种供试材料对茶尺蠖均有拒食作用,其中硅分散剂处理拒食作用较弱。发生拒食作用处理组的幼虫生长大多受到明显的阻滞,只有硅消泡剂处理例外,对幼虫发育似乎有促进作用。有研究表明,硅处理促进了佛州长叶螨种群的增长<sup>[23]</sup>,说明在特定情形下硅制剂刺激某些害虫的生长是可能的。而在选择性试验测试下所有处理均在较大程度上影响了茶尺蠖的取食,因此利用硅制剂防控茶树害虫值得进一步开展试验。

在非选择性试验条件下,硅酸钠水溶液处理拒食率最高,说明硅酸钠有可能作为一种即时发挥效用的材料用于对茶尺蠖的防治。对于食物转化率来说,取食硅分散剂处理的茶树叶片后食物转化率最低,说明硅分散剂对茶尺蠖的生长繁殖和种群延续是不利的,硅分散剂处理可能是一种长效机制。因此,如果将硅酸钠与硅分散剂进行组合处理可能会取得更好的效果。

以硅短时直接浸泡离体茶树叶片,硅不会被吸收,也不会对叶片的生理生化特性产生明显影响,因此本试验评估的主要是硅的形态及硅制剂的助剂对茶尺蠖取食和生长的可能影响。试验结果表明,各处理的茶尺蠖取食量均较对照有所降低,但以虫体质量增长率而言,硅分散剂和硅鲨处理下增质量率比对照显著降低,其他各处理与对照相比差异不显著;而对食物转化率而言,硅酸钠水溶液处理与对照基本相同,其他各处理的食物转化率均较对照有所提高。结合硅喷雾处理的结果来看,不同类型硅制剂处理对茶尺蠖取食和生长的影响既受硅形态和制剂方式的制约,也受硅诱导茶树生理生化变化的制约。

有研究报道表明,硅可能参与植物防卫信号转导,激活寄主防卫基因,诱导产生一系列小分子代谢物质,从而增强植物的抗性,但硅处理引起的诱导反应不是在施硅后立即产生,而

是在发生病虫害侵害时发生<sup>[28-29]</sup>。从本试验结果来看,经硅处理一定时间后,即使未受取食刺激植物也发生了生理生化响应,这种差异可能是由硅试验材料、受试作物类型的差异引起的。

植物与昆虫的互作过程可能远比想象的更复杂<sup>[30]</sup>,植物的生理响应与害虫的取食倾向以及食物在害虫体内的转化效率之间远不是一种简单的因果关系。分析硅处理引起的茶多酚和咖啡碱等 2 种次生物质、4 种与抗性相关酶活性的变化与茶尺蠖取食之间的关联性,发现难以得到规律性的结论。普遍认为,茶多酚及其伴随的 PPO、POD 是植物防御的关键系统之一<sup>[29,31]</sup>,在本试验条件下,硅消泡剂处理 48 h 后叶片多酚含量、PPO 活性均是最高,但硅消泡剂处理下茶尺蠖的食物转化率最高,并显著高于对照。但硅酸钠水溶液处理引起茶多酚含量的下降,这与硅酸钠造成较高的拒食率不相对应。PAL 活性除了与茶多酚合成有关,与木质素的形成也有一定关联,因此硅酸钠水溶液处理引起 POD 活性和 PAL 活性的上升可以解释硅酸钠水溶液处理拒食率较高的原因,但硅酸钠处理又降低了 PPO 的活性。与对照相比,硅消泡剂处理使 POD 活性下降,PPO 活性上升,2 种氧化酶活性变化与拒食率之间不能很好地对应,因此,硅引起的茶尺蠖取食变化的机制仍有待探索。

咖啡碱多被认为与茶叶的抗虫性呈正相关关系,一般认为咖啡碱含量上升抑制害虫取食,咖啡碱含量下降有利于害虫取食。但在本试验条件下,硅处理引起茶树叶片咖啡碱含量降低,但咖啡碱下降并没有导致茶尺蠖取食量的增加,相反试验结果表明,茶尺蠖的取食依然受到了抑制,这说明在本试验条件下,咖啡碱的变化与茶尺蠖取食之间的关系与一般预测的趋势不同。这再一次说明茶叶生化成分的变化与茶树的抗虫性不是一种简单的因果对应关系。

硅鲨和硅分散剂可以直接作为农药和农药助剂使用。硅鲨含 26.7% 的 SiO<sub>2</sub> (辅助成分主要为焦磷酸钠),用于作物病害的防治或用于蚜虫、飞虱等体型较小害虫的防治,基于其抗病理原理可以认为,该产品对茶树防虫可能会有一定作用,本试验的结果支持了这一猜测,尽管不是很理想。硅分散剂是被广泛使用的一种农药助剂,主要成分为聚二甲基硅烷,一般用作喷雾改良剂、农药活化剂,可增强农药在植物表面的展着性和沉积性,外观为无色透明液体,试验结果表明,硅分散剂独立使用对茶尺蠖取食也有干扰作用。所用有机硅消泡剂是一种食品添加剂,主要成分为聚二甲基硅氧烷、气相二氧化硅,助剂主要是 Tween 60,外观是白色黏稠乳液,可在水中形成半透明溶液。上述 3 种不同类型的硅制剂是农用工业品或食品工业助剂,其稳定性、环境安全性和对人畜的安全性均已经通过评估,试验结果表明,它们都能在一定程度上阻碍茶尺蠖取食,但其中的助剂成分除了对硅的分散性、沉积性和植物对硅的吸收产生影响外,助剂本身是否对茶尺蠖生理有直接影响还不清楚。

硅酸钠是一种单一的化学物质,硅酸钠使用时以水溶液直接使用,因此硅酸钠引起的茶树生理响应和相应的茶尺蠖生理响应真实地反映了这种形态的无机硅化合物所具有的功能。由于硅酸钠水溶液处理可引起一定的拒食反应,从快速发挥作用以减少害虫取食而言,硅酸钠作为一种用于茶尺蠖

防治的备选化合物可能有一定的价值,但值得注意的是在高温条件下硅酸钠溶液浓度大于 0.5% 时,可引起茶树叶片灼伤,因此不宜单一使用硅酸钠。

在本试验体系中,选择性试验测试下硅鲨处理的拒食率最低,硅消泡剂拒食效果最理想,硅分散剂次之,从作用原理和综合效果来看,也许将这几种不同的硅制剂进行适当组合会获得更好的效果。

#### 参考文献:

- [1] 陈宗懋. 中国茶产业可持续发展战略研究[M]. 杭州:浙江大学出版社,2011:118-227.
- [2] 陈宗懋. 茶树害虫生态学[M]. 上海:上海科学技术出版社,2013:107-208.
- [3] 霍 达,郑慕蓉,汪云刚,等. 我国茶树病虫害专家系统研究进展及对策[J]. 中国热带农业,2016,12(3):78-80.
- [4] 夏石头,萧浪涛,彭克勤. 高等植物中硅元素的生理效应及其在农业生产中的应用[J]. 植物生理学通讯,2001,37(4):356-360.
- [5] 林天杰,陆钧平,孙 利,等. 有机硅生物促进剂对水稻生长的影响初探[J]. 上海农业科技,2007(6):48-49.
- [6] 孙万春. 硅提高水稻对稻瘟病抗性的生理与分子机理[D]. 北京:中国农业科学院,2008.
- [7] Datnoff L E, Deren C W, Snyder G H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida[J]. Crop Protection, 1997, 16(6): 525-531.
- [8] Basagli M A B, Moraes J C, Carvalho G A, et al. Effect of sodium silicate application on the resistance of wheat plants to the green-aphids *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae)[J]. Neotropical Entomology, 2003, 32(4): 659-663.
- [9] Maleck K, Dietrich R A. Defense on multiple fronts: how do plants cope with diverse enemies[J]. Trends in Plant Science. 1999, 4(6): 215-219.
- [10] 韩永强,魏春光,侯茂林. 硅对植物抗虫性的影响及其机制[J]. 生态学报,2012,32(3):974-983.
- [11] McCulloch J W, Salmon S C. The resistance of wheat to the hessian fly: a progress report[J]. Journal of Economic Entomology, 1923, 16(3): 293-298.
- [12] 牟英辉,陈志梁,程艳波,等. 硅肥对大豆农艺性状、产量及品质的影响[J]. 大豆科学,2012,31(4):625-629.
- [13] 邢雪荣,张 蕾. 植物的硅素营养研究综述[J]. 植物学通报, 1998, 15(2): 33-40.
- [14] Iwasaki K, Maier P, Fecht M, et al. Effects of silicon supply on apoplastic manganese concentrations in leaves and their relation to manganese tolerance in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] [J]. Plant and Soil, 2002, 238(2): 281-288.
- [15] Ma J F, Miyake Y, Takahashi E. Silicon as a beneficial element for crop plants[M]//Datnoff L E, Snyder G H, Korndrfer G H, et al. Silicon in agriculture. Amsterdam: Elsevier Science, 2001: 17-39.
- [16] Jaglo - Ottosen K R, Gilmour S J, Zarka D G, et al. *Arabidopsis* CBF1 overexpression induces COR genes and enhances freezing tolerance[J]. Science, 1998, 280(5360): 104-106.
- [17] Gurra, M G, Kvedaras O L. Synergizing biological control: scope for sterile insect technique, induced plant defences and cultural techniques to enhance natural enemy impacte [J]. Biological Control, 2010, 52(3): 198-207.
- [18] 李新生,汪丽燕,欧阳萌,等. 新型含硅植物生长调节剂的合成及其生物活性[J]. 精细化工, 2000, 17(1): 14-16.
- [19] Redmond C T, Potter D A. Silicon fertilization does not enhance creeping bentgrass resistance to cutworms and white grubs [J]. Applied Turfgrass Science, 2006, 3(1): 1-7.
- [20] Massey F P, Ennos A R, Hartley S E. Herbivore specific induction of silica-based plant defences[J]. Oecologia, 2007, 152(4): 677-683.
- [21] Agarwal R A. Morphological characteristics of sugarcane and insect resistance[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1969, 12(5): 767-776.
- [22] Korndorfer A P, Cherry R, Nagata R. Effect of calcium silicate on feeding and development of tropical sod webworms (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. Florida Entomologist, 2004, 87(3): 393-395.
- [23] Reynolds O L, Keeping M G, Meyer J H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review[J]. Annals of Applied Biology, 2009, 155(2): 171-186.
- [24] 方兴汉,吴 采. 矿质元素对茶树生长的影响[J]. 中国茶叶, 1985, 4(3): 7-9.
- [25] 杨凌云. 硅铝对川西蒙山茶茶叶品质的影响[D]. 雅安:四川农业大学, 2007.
- [26] 狄 浩. 硅提高棉花对叶螨抗性的生理机制[D]. 石河子:石河子大学, 2013.
- [27] Bélanger R R, Benhamou N, Menzies J G. Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) [J]. Phytopathology, 2003, 93(4): 402-412.
- [28] 钟 萝. 茶叶品质理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1989: 233-466.
- [29] 李荣林,胡云飞,杨亦扬,等. 小分子化合物诱导茶树抗虫性相关生理指标的变化[J]. 西南农业学报, 2016, 29(7): 1600-1605.
- [30] 吕 敏,苏建坤,白和盛,等. 桃蚜取食和机械损伤对番茄和辣椒 PAL、LOX 和 PPO 活性的诱导作用[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(6): 1273-1279.
- [31] Liang Y C, Chen Q, Liu Q, et al. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.) [J]. Journal of Plant Physiology, 2003, 160(10): 1157-1164.