

## 施用碱渣对茶园土壤酸度和茶叶品质的影响

王 辉<sup>1,2,3</sup>, 徐仁扣<sup>1</sup>, 黎星辉<sup>2</sup> (1. 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, 江苏 南京 210008 2 南京农业大学茶叶科学研究所, 江苏 南京 210095 3. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471003)

**摘要:** 开展田间小区试验研究了不同施用量条件下碱渣对酸化茶园土壤的酸度和茶叶品质的影响。结果表明, 施用碱渣可以显著提高土壤 pH、土壤交换性盐基和盐基饱和度, 降低土壤交换性酸和交换性铝含量, 并使土壤中钙、镁养分保持合理比例。施用碱渣提高了茶叶中茶多酚、儿茶素、咖啡碱、氨基酸和叶绿素含量, 降低了茶叶中铅含量, 使茶叶品质得到改善。碱渣施用量为  $4\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时, 可将土壤 pH 值调节至 5.51, 达到最适合茶树生长的酸度条件, 该条件下生产的茶叶品质也最佳, 茶叶茶多酚、儿茶素、咖啡碱、氨基酸和叶绿素含量分别比对照提高 22.5%、27.8%、34.9%、69.0% 和 52.1%, 而 Pb 含量下降 51.2%。

**关键词:** 酸化茶园土壤; 碱渣; 土壤改良; 茶叶品质

中图分类号: S156 X705 X592 文献标志码: A 文章编号: 1673-4831(2011)01-0075-04

**Effect of A Kaline Slag Application on Acidity of Tea Garden Soils and Tea Quality** WANG Hu<sup>1,2,3</sup>, XU Ren-kou<sup>1</sup>, LI Xing-hui<sup>2</sup> (1. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China 2. Institute of Tea Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China 3. College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

**Abstract** A field experiment was carried out to investigate effect of application of a kali slag on acidity of tea garden soils and tea quality. Results indicate that application of alkali slag increased soil pH, soil exchangeable base and base saturation, and decreased soil exchangeable acid and exchangeable Al, thus keeping Ca and Mg in the soil in a rational ratio. Application of alkali slag increased the contents of tea polyphenols, catechin, theine, amino acid and chlorophyll in the tea produced from the tea garden, decreased the content of Pb in the tea, thus improving tea quality. The application of  $4\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  alkali slag can adjust soil acidity to pH 5.51, the most favorable for tea plant growth and production of tea of highest quality, in which the contents of tea polyphenols, catechin, theine, amino acid and chlorophyll were 22.5%, 27.8%, 34.9%, 69.0% and 52.1%, respectively, higher than in the tea produced in CK, while the content of Pb was 51.2% lower.

**Key words** acidic tea garden soil; alkali slag; soil amelioration; tea quality

茶树是一种喜酸好铝的植物, 适宜生长的最佳土壤 pH 值为 5.5 左右<sup>[1]</sup>。茶树生长会加速茶园土壤酸化, 并且土壤酸度随着茶树种植年限的增加而不断提高<sup>[2-3]</sup>。近年来的研究结果显示我国茶园土壤酸化严重, 如 1998 年浙江、安徽和江苏 3 省 202 个茶园土壤样品的分析结果表明, pH 值 < 4.0 和 pH 值 < 3.5 的土样分别占总土样的 43.9% 和 8.0%<sup>[4]</sup>。茶园土壤的严重酸化将影响茶树生长, 导致土壤中重金属等有毒元素的活性增加, 特别是土壤中铅的活性和生物有效性提高, 茶叶中铅含量增加, 茶叶品质下降<sup>[5-7]</sup>。

施用石灰和石灰石粉是可有效改良酸性土壤的传统方法, 但茶树生长要求土壤中钙、镁保持一定比例<sup>[8]</sup>, 石灰施用不当会导致土壤钙、镁养分失

衡, 反而会对茶树生长和茶叶品质产生不良影响<sup>[9]</sup>。因此近年来有人建议用白云石粉 ( $\text{MgCO}_3 + \text{CaCO}_3$ ) 中和强酸性茶园土壤的酸度, 以便在提高土壤 pH 的同时保持土壤钙、镁养分平衡<sup>[11]</sup>。用白云石粉改良强酸性茶园土壤是一个很好的方法, 但需要消耗宝贵的矿产资源, 增加农业生产成本。碱渣是氨碱法生产纯碱过程中排放的废渣, 研究表明施用碱渣可以中和土壤酸度, 提高土壤

收稿日期: 2010-08-31

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划 (2009BAD6B02); 现代农业产业技术体系建设专项资金计划 (nycytx-23); 科技人员服务企业行动项目 (2009GJC10031)

①通信作者 E-mail: rku@issas.ac.cn

pH 值<sup>[10-11]</sup>。但目前该方法主要用于农田土壤, 尚未见其用于改良茶园土壤酸度的研究报道。碱渣含有丰富的氧化钙和一定量的氧化镁<sup>[10-11]</sup>, 应该可以替代白云石粉改良茶园土壤酸度。笔者通过田间小区试验比较了施用不同量碱渣对茶园土壤酸度的改良效果及其对茶叶品质的影响, 以期为酸性茶园土壤的改良和管理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 碱渣

试验所用碱渣来源于中国石化集团南京化学工业公司连云港碱厂, 通过压滤去除大部分水分和可溶性盐, 其含水量在 40% 左右。碱渣 pH 为 8.48 主要化学成分列于表 1。

表 1 碱渣的主要化学成分

组分	w	组分	w
SiO <sub>2</sub>	44.58 ± 1.68	Na <sub>2</sub> O	39.16 ± 0.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.28 ± 0.06	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.59 ± 0.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.38 ± 0.10	MnO	0.50 ± 0.01
CaO	242.46 ± 1.78	F <sup>-</sup>	2.00 ± 0.05
MgO	59.34 ± 0.26	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	121.49 ± 0.98
K <sub>2</sub> O	0.03 ± 0.01	Cl <sup>-</sup>	59.60 ± 0.89

### 1.2 试验设计

于 2008 年 3 月 6 日, 在南京市中山陵茶厂 10 龄茶园开始进行试验。采用小区试验方法, 每小区长 7.5 m、宽 3 m, 茶树行间距为 1.5 m, 小区之间设立保护行。将碱渣晒干、粉碎, 施撒于 2 行茶树之间的土壤表面, 然后翻耕, 使其与土壤充分混合。设置 2 250 4 500 和 9 000  $kg \cdot hm^{-2}$  3 个碱渣施用量水平, 同时设不施碱渣的处理作为对照, 每处理重复 3 次, 不同试验处理按随机方式排列。

### 1.3 土壤和茶叶样品的采集与处理

试验地土壤为黄棕壤, 土壤有机质含量为 16.8  $g \cdot kg^{-1}$ , 阳离子交换量 (CEC) 为 9.4  $cmol \cdot kg^{-1}$ 。施用碱渣 6 个月后 (2008 年 9 月 6 日), 按小区采集土壤样品, 每小区随机选取 10 个点, 每点采集耕层 (0~10 cm) 土样约 200 g 然后混合、风干磨碎, 过 0.25 mm 孔径筛, 装入塑料袋中备用。

于次年 3 月底在每小区选择 10 棵茶树, 采集芽叶, 蒸青后进行茶叶品质分析。

### 1.4 测定方法

土壤按  $m(\text{土}) : V(\text{水}) = 1 : 2.5$  搅拌, 复合电极测定 pH 值; 土壤有机质用重铬酸钾-容量法测定;

土壤交换性酸和交换性铝用  $1 \text{ mol} \cdot L^{-1}$  KCl 提取, NaOH 滴定法测定; 土壤交换性盐基阳离子用  $1 \text{ mol} \cdot L^{-1}$  醋酸铵提取, 原子吸收分光光度法测定提取液中  $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  含量, 火焰光度法测定提取液中  $K^{+}$  和  $Na^{+}$  含量; 土壤 CEC 用醋酸铵法测定<sup>[12]</sup>。

主要通过氨基酸、茶多酚、咖啡碱、水浸出物、儿茶素、叶绿素等指标测定茶叶品质。氨基酸总量采用茚三酮比色法测定 (GB 8314-87《茶 游离氨基酸总量测定》); 茶多酚采用酒石酸亚铁比色法测定 (GB 8313-87《茶 茶多酚测定》); 咖啡碱采用紫外分光光度法测定 (GB 8312-87《茶 咖啡碱测定》); 儿茶素采用香荚兰素比色法测定<sup>[13]</sup>; 叶绿素采用乙醇、丙酮和水的混合溶液萃取, 分光光度法测定<sup>[14]</sup>。茶叶中铅采用微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定。

### 1.5 数据分析

采用 SPSS 16.0 软件进行数据统计与分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 施用碱渣对茶园土壤酸度的影响

由表 2 可见, 酸性茶园土壤施用碱渣 180 d 后, 土壤 pH 值均有不同程度的提高, 且随着碱渣施用量的增加, 土壤 pH 值显著增加 ( $P < 0.05$ ), 当碱渣施用量增加至 9 000  $kg \cdot hm^{-2}$  时, 土壤 pH 值较对照 (4.54) 增加 1.51 个单位。这说明当碱渣施入土壤后, 碱渣中的碱性物质释放进入土壤中, 与土壤中的酸发生中和反应, 导致土壤 pH 值升高。茶树最佳生长 pH 值为 5.5 而碱渣施用量为 4 500  $kg \cdot hm^{-2}$  时, 茶园土壤 pH 值为 5.51, 因此碱渣施用量为 4 500  $kg \cdot hm^{-2}$  时对茶园土壤 pH 值的改良效果最好。

表 2 施用碱渣对茶园土壤 pH 值、交换性酸和交换性铝的影响

Table 2 Effects of application of alkali slag on pH, exchangeable acid and exchangeable Al in tea garden soils

碱渣施用量 / ( $kg \cdot hm^{-2}$ )	pH 值 <sup>1)</sup>	Q / ( $cmol \cdot kg^{-1}$ )	
		交换性酸	交换性铝
0	4.54 ± 0.03 <sup>d</sup>	5.40 ± 0.98 <sup>a</sup>	5.16 ± 0.98 <sup>a</sup>
2 250	4.90 ± 0.01 <sup>c</sup>	3.32 ± 0.34 <sup>b</sup>	3.24 ± 0.32 <sup>b</sup>
4 500	5.51 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.90 ± 0.14 <sup>c</sup>	1.82 ± 0.25 <sup>c</sup>
9 000	6.05 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.40 ± 0.04 <sup>d</sup>	0.40 ± 0.04 <sup>d</sup>

1) 水浸提。同一列英文小写字母不同表示各处理间数据差异显著 ( $P < 0.05$ )。

由表 2 还可知, 茶园土壤酸化导致土壤交换性酸和交换铝增加, 施用碱渣后土壤交换性酸和交换性铝含量显著减少 ( $P < 0.05$ ), 且随碱渣施用量的

加大, 土壤交换性酸含量的降幅增加。当碱渣施用量增加到  $9\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时, 土壤交换性酸和交换性铝降至很低水平 ( $0.40\ \text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。可见, 酸性土壤的交换性铝是交换性酸的主要组分, 交换性氢含量很低, 占总酸度的 3% 以下, 其余全部为交换性铝。

当茶园土壤 pH 值降低到 4.5 甚至 4.0 以下时, 不仅茶树根系吸收营养元素的能力受到抑制, 而且导致土壤中钾、钙、镁、锌、铜等营养元素大量淋失, 造成土壤和茶树体内营养元素比例失调甚至缺乏<sup>[15]</sup>。由表 3 可见, 施用碱渣提高了交换性盐基阳

离子含量, 提高了土壤盐基饱和度。施用碱渣前土壤盐基饱和度为 42.2%, 当碱渣施用量增加至  $9\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时, 土壤接近盐基饱和状态, 土壤盐基饱和度达 96.4%。施用碱渣后, 土壤交换性钙、镁、钠显著增加 ( $P < 0.05$ ), 交换性钾增幅较小。镁是茶树生长不可缺少的营养元素。缺镁会导致茶树初期生长缓慢, 产量降低, 严重缺镁时茶树嫩梢黄化并停止生长, 渐渐失去生产能力<sup>[9]</sup>。施用碱渣提高了土壤交换性镁含量, 有利于对茶树镁素营养的供应, 保障土壤合理的钙、镁比例。

表 3 施用碱渣对茶园土壤交换性能的影响

Table 3 Effect of application of alkali slag on soil exchangeable capability

碱渣用量 / ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$Q / (\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$					交换性盐基 阳离子总量	ECEC <sup>(1)</sup>	盐基饱和 度 <sup>(2)</sup> /%
	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$				
0	$0.30 \pm 0.00^c$	$0.56 \pm 0.02^d$	$1.32 \pm 0.12^d$	$0.22 \pm 0.03^d$		3.95	9.35	42.2
2 250	$0.35 \pm 0.03^{bc}$	$0.77 \pm 0.03^e$	$1.65 \pm 0.08^e$	$0.43 \pm 0.19^e$		5.29	8.61	61.4
4 500	$0.40 \pm 0.01^{ab}$	$0.90 \pm 0.01^b$	$2.50 \pm 0.09^b$	$0.56 \pm 0.13^{bc}$		7.43	9.33	79.6
9 000	$0.46 \pm 0.01^a$	$1.10 \pm 0.01^a$	$3.79 \pm 0.14^a$	$0.80 \pm 0.02^a$		10.74	11.14	96.4

1) 土壤交换性酸与交换性盐基阳离子含量之和; 2) 交换性盐基阳离子总量 / ECEC 比值。同一列英文小写字母不同表示各处理间数据差异显著 ( $P < 0.05$ )。

## 2.2 施用碱渣对茶叶品质的影响

施用碱渣不仅降低了茶园土壤酸度, 提高土壤 pH 值, 而且对雨花茶茶叶的品质也产生影响 (表 4)。茶多酚是茶叶中的重要化学成分, 与茶叶品质密切相关, 对人体也具有重要的生理活性, 具有抗氧化作用, 对心血管疾病和癌症都有良好的抑制作用。儿茶素是多酚类物质的主要成分, 约占多酚类物质总量的 70%~80%, 是茶树次生物质代谢的重要成

分。由表 4 可知, 酸化茶园土壤施入碱渣后, 茶叶中儿茶素和茶多酚含量相对不施碱渣的对照显著增加 ( $P < 0.05$ ), 且在碱渣施用量为  $4\ 500\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时达最大, 随碱渣用量的进一步增加又有所降低。因此施用量为  $4\ 500\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时, 碱渣对茶叶中儿茶素和茶多酚含量的改善效果最佳, 这与施用碱渣对土壤 pH 值的改良效果一致。

表 4 不同碱渣施用量对茶叶品质的影响

Table 4 Effects of alkali slag application rate on tea quality

碱渣用量 / ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$w / (\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$					$w / (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	
	茶多酚	儿茶素	咖啡碱	氨基酸	叶绿素	Pb	
0	$227.3 \pm 1.8^d$	$117.6 \pm 0.7^d$	$36.7 \pm 1.2^e$	$29.4 \pm 0.7^e$	$2.38 \pm 0.06^e$	$2.05 \pm 0.04^a$	
2 250	$263.6 \pm 1.8^b$	$133.7 \pm 0.8^e$	$41.2 \pm 0.9^b$	$43.0 \pm 0.6^b$	$3.13 \pm 0.09^b$	$1.38 \pm 0.17^b$	
4 500	$278.5 \pm 1.7^a$	$150.3 \pm 1.3^a$	$49.5 \pm 0.8^a$	$49.7 \pm 0.8^a$	$3.62 \pm 0.05^a$	$1.00 \pm 0.01^c$	
9 000	$258.6 \pm 1.7^c$	$143.4 \pm 0.9^b$	$42.9 \pm 0.4^b$	$44.1 \pm 0.7^b$	$3.75 \pm 0.04^a$	$0.39 \pm 0.06^d$	

同一列英文小写字母不同表示各处理间数据差异显著 ( $P < 0.05$ )。

茶叶生物碱中含量最多的是咖啡碱, 咖啡碱是茶叶重要的滋味物质, 也是影响茶叶品质的重要因素<sup>[16]</sup>。由表 4 可知, 施用碱渣显著提高了茶叶中咖啡碱含量 ( $P < 0.05$ ), 且施用量为  $4\ 500\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时较对照的增幅最大, 与茶多酚和儿茶素的结果一

致, 这说明该施用量对茶树合成咖啡碱也最有利。

氨基酸具有鲜味, 与茶叶的滋味和香气关系密切, 是影响绿茶品质的重要化学成分之一。茶叶中氨基酸含量的变化与氮的代谢有很大关系, 而氮代谢又与土壤酸度密切相关<sup>[17]</sup>。由表 4 可知, 与茶叶

中茶多酚、儿茶素和咖啡碱含量的变化趋势相似,茶叶中氨基酸含量也随碱渣施用量的增加而增加,至施用量为  $4\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时达最大,然后随碱渣施用量的进一步增加而减小,说明该茶园土壤碱渣施用量为  $4\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时所达到的土壤酸度状况最利于茶树合成氨基酸。

叶绿素是构成茶叶色泽的主要成分。试验结果表明,随着碱渣施用量的增加,茶叶中叶绿素含量逐渐提高(表 4)。碱渣施用量由 0 增加至  $4\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时,茶叶中叶绿素含量均表现为显著增加 ( $P < 0.05$ );但当碱渣施用量由  $4\ 500$  增加至  $9\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时,虽然叶绿素含量仍有增加,但差异不显著。这说明碱渣施用量为  $4\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时已能使茶树合成叶绿素达到最佳状态。

随着工业和交通运输业的快速发展,大气沉降物中铅含量增加,导致茶叶中铅超标现象时有发生,特别在公路两侧和靠近城镇的茶园中。茶树对土壤中铅的吸收不仅取决于土壤中铅总量,也取决于土壤中铅的形态。土壤酸化导致土壤中铅的活性和生物有效性增加,茶树对铅的吸收量和茶叶中铅含量也随之增加<sup>[5]</sup>。由表 4 可知,施用碱渣降低了茶叶中铅含量,当碱渣施用量增至  $4\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时,茶叶中铅含量与对照相比下降 50% 以上;当碱渣施用量增至  $9\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时,茶叶中铅含量降至很低水平。这是因为改良剂通过提高土壤 pH 值而增加了土壤对重金属的固定量,降低了有效态重金属含量<sup>[18]</sup>。已有研究还表明,将杉木与茶树间作,可以降低茶园土壤重金属含量,从而提高茶叶品质<sup>[19]</sup>。

### 3 结论

施用碱渣改良剂不仅提高了茶园土壤 pH 值,而且改善了茶叶品质。碱渣施用量为  $4\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时,可将土壤 pH 值调节至 5.51,达到最适合茶树生长的酸度条件,该条件下生产的茶叶品质也最佳,茶叶茶多酚、儿茶素、咖啡碱、氨基酸和叶绿素含量分别比对照提高 22.5%、27.8%、34.9%、69.0% 和 52.1%,而 Pb 含量下降 51.2%。但碱渣对茶叶品质的影响机制还有待今后进一步研究。

参考文献:

[1] 廖万有. 我国茶园土壤的酸化及防治 [J]. 农业环境保护,

1998, 17(4): 178-180

- [2] 曹丹, 张倩, 肖峻, 等. 江苏省典型茶园土壤酸化速率定位研究 [J]. 茶叶科学, 2009, 29(6): 443-448.
- [3] WANG H, XU R K, WANG N, *et al*. Soil Acidification of Alfalfa as Influenced by Tea Cultivation in Eastern China [J]. *Pedosphere* 2010, 20(6): 799-806
- [4] 马立峰, 石元值, 阮建云. 苏、浙、皖茶区茶园土壤 pH 状况及近十年来的变化 [J]. 土壤通报, 2000, 31(5): 205-207.
- [5] 章明奎, 方利平, 张履勤. 酸化和有机质积累对茶园土壤铅生物有效性的影响 [J]. 茶叶科学, 2005, 25(3): 159-164.
- [6] HAN W Y, ZHAO F J, SHI Y Z, *et al*. Scale and Causes of Lead Contamination in Chinese Tea [J]. *Environmental Pollution* 2006, 139(1): 125-132
- [7] 孙丽, 濮励杰, 朱明, 等. 太湖西山碧螺春茶园重金属含量分布与评价 [J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(2): 88-91
- [8] 吴洵. 茶树的钙镁营养及土壤调控 [J]. 茶叶科学, 1994, 14(2): 115-121.
- [9] 朱永兴, 陈福兴. 南方丘陵红壤茶园的镁营养 [J]. 茶叶科学, 2000, 20(2): 95-100
- [10] 李九玉, 王宁, 徐仁扣. 工业副产品对红壤酸度改良的研究 [J]. 土壤, 2009, 41(6): 932-939
- [11] LI J Y, WANG N, XU R K, *et al*. Potential of Industrial Byproducts in Ameliorating Acidity and Aluminum Toxicity of Soils Under Tea Plantation [J]. *Pedosphere* 2010, 20(5): 645-654
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000 22-28.
- [13] 钟萝. 茶叶品质理化分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989: 121-131.
- [14] 彭昌亚, 李永飞, 任枫, 等. 不同溶剂对绿茶中叶绿素的萃取效果 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(6): 1117-1254.
- [15] 王效举. 土壤植茶的环境效应 [J]. 土壤通报, 1995, 26(2): 91-93.
- [16] 宛晓春. 茶叶生物化学 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2003: 319-358.
- [17] 林智, 吴洵, 俞永明. 土壤 pH 对茶树生长及矿质元素吸收的影响 [J]. 茶叶科学, 1990, 10(20): 27-32
- [18] 徐明岗, 张青, 曾希柏. 改良剂对黄泥土镉锌复合污染修复效应与机理研究 [J]. 环境科学, 2007, 28(6): 1361-1366
- [19] 薛建辉, 费颖新. 间作杉木对茶园土壤及茶树叶片重金属含量与分布的影响 [J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(4): 71-73 87.

作者简介: 王辉 (1979-), 女, 河南洛阳人, 讲师, 主要从事食品质量安全方面的研究。E-mail: wanghui\_peony@163.com