

# 龙井茶中重金属元素 Pb 含量的影响因子探究

石元值, 韩文炎, 马立峰, 阮建云

(中国农科院茶叶研究所 农业部茶叶化学工程重点实验室, 浙江 杭州 310008)

**摘要:**通过大田及盆栽试验,对龙井茶原料生产及加工过程进行调查研究,研究了龙井茶中 Pb 含量的影响因子。研究发现,茶树新梢中的 Pb 元素含量随着新梢成熟度的增加呈现出逐渐升高的趋势。空气沉降物可能也是引起茶树 Pb 含量升高的重要原因之一。茶树新梢全 Pb 含量与土壤有效 Pb 含量之间有着极显著的正相关关系( $P < 0.01$ )。龙井茶炒制锅的质量对成品茶中 Pb 含量的影响很大。

**关键词:**龙井茶; 铅含量; 影响因子

**中图分类号:**X171.5   **文献标识码:**A   **文章编号:**1672-2043(2004)05-0899-05

## Influence Factors on Lead Contents in Longjing Tea

SHI Yuan-zhi, HAN Wen-yan, MA Li-feng, RUAN Jian-yun

(Key Lab. of Tea Chemical Engineering, Ministry of Agriculture, Tea Research Institute Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China)

**Abstract:** Employing pot trials and investigation, we found that available lead contents in soil and total lead in tea shoots were increased significantly, when tea gardens were polluted by lead. The available lead could be one of main lead sources of tea shoots. We also found that available lead contents in the soil with 0 ~ 40 cm had a significantly positive correlation with lead contents in tea shoots ( $P < 0.01$ ), and a negative correlation with the soil pH value ( $P < 0.05$ ), indicating it was possible to control the pollution of lead on tea, if the pH value was able to be adjusted. In addition, we also found that the lead contents in tea shoots increased when the shoots became older. For the tea gardens near roadside, atmospheric deposition may be another contribution of lead resource. However, we found that its influence would be within 150 m along the road. During the process of Longjing tea, we found that lead pollution may be from processing machine rather than the tea-making oil.

**Keywords:** Longjing tea; lead pollution; influence factors

龙井茶是我国传统名茶,也是我国绿茶中的珍品,以色绿、香郁、味醇、形美“四绝”著称于世,并已成为浙江龙井茶区茶农脱贫致富与增加地方财政收入的支柱产业。长期以来,由于 Pb 在茶叶及其他食品中都是主要表现为慢性蓄积性危害,也未见有因喝茶引起 Pb 中毒的报道,人们因此往往忽视了对茶叶中 Pb 等有害金属元素对人体健康的影响。随着人们的生活水平提高、健康意识增强,人们对茶叶产量、质量的需求也在逐渐增长<sup>[1]</sup>。而在近几年的日常卫生指标监测中经常发现龙井茶中含 Pb 量超过国家标准,并已多次引起广泛关注,龙井茶中 Pb 含量正呈现出逐年上

升的趋势。浙江省食品检测站对浙江省茶叶质量监督检验结果统计后发现,龙井茶类 Pb 的含量平均为:1996 年  $0.63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,1997 年  $0.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,1998 年  $0.87 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,1999 年  $2.11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[2]</sup>。2001 年 6 月 27 日《新民晚报》报道,上海市质量专项监督检查结果显示茶叶 Pb 的超标率达 34%,在超标的茶叶中有相当一部分是龙井茶;2003 年 12 月 4 日,中央电视台“新闻 30 分”报道了卫生部 2003 年第七次食品卫生监督检查结果,在 11 份 Pb 含量超标的茶叶中,有 9 份来自杭州西湖区的龙井茶。Pb 污染已成为影响龙井茶卫生质量的一个主要因素。同时由于 Pb 是对环境污染较为严重、危害较大的重金属元素之一,龙井茶中的 Pb 含量的来源已成为龙井茶生产中急需解决的问题。

近年来,对其他农作物的 Pb 污染源研究已有不

收稿日期:2004-03-11

基金项目:杭州市科技计划项目

作者简介:石元值(1971—),男,硕士,助理研究员,从事茶树植物营养与生理及重金属污染研究。E-mail: shiyz@mail.tricaas.com

少报道, 但有关茶叶 Pb 污染方面的研究报道并不多见, 而且已有的研究大多集中在汽车尾气等对茶叶原料中 Pb 含量的影响方面<sup>[3-5]</sup>。本文通过大田及盆栽试验的方法, 从原料及加工两个方面对龙井茶中 Pb 的来源进行研究。本研究结果可为今后的龙井茶生产加工过程中降低其 Pb 含量提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与试剂

大田调查样品均取自本所及浙江省 21 个县市有代表性的茶园。

盆栽用土为兰溪红壤, 土壤熟化度较高, 肥力中等, 有机质含量为 1.86%, pH 值为 6.00, 有效钾为  $77.39 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效磷为  $20.23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 土壤全铅含量为  $31.28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。土壤风干、压碎过筛(2mm)后按每盆 10 kg 称重装盆, 栽种茶苗 6 株·盆<sup>-1</sup>, 成活后每盆定为 4 株, 并分 0、40、100  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  不同处理浓度添加 Pb 元素, 每个处理设 4 次重复, 每盆都在两个星期内分 3 次加入 1 L 溶液。加入盆栽土壤中的 Pb 元素用分析纯的醋酸铅配制。茶苗为本所无性系品种龙井 43, 树龄为 2 龄。盆栽于 1999 年 10 月栽种, 各处理于 2000 年 2 月底布置, 2002 年 10 月底结束。

### 1.2 样品制备

#### 1.2.1 茶树各器官样品的制备

大田样品: 在茶季采集茶树新梢、老叶、生产枝(茎)、吸收根及主根等样品, 各样品经分类处理后用自来水、蒸馏水和去离子水洗涤两次。清洗干净的茶叶样品在室温下风干后在微波炉中杀青并在 80 °C 的烘箱中烘干后粉碎至 20 目备分析用; 茎、老叶及根样品在清洗干净后直接放 80 °C 的烘箱中烘干后粉碎至 20 目备分析用。

盆栽样品: 茶树在经不同浓度的 Pb 处理 20 个月期间每盆单独取样, 并与大田样品同样处理。

#### 1.2.2 成品龙井茶生产工艺流程分阶段样品的制备

按取样地龙井茶加工工艺由当地茶农及公司制茶人员在炒制时分阶段取样, 并经微波直接烘干制成含水量一致的样品。

#### 1.2.3 土壤样品的制备

土壤样品风干后, 磨碎过 150 目筛后保存在干燥皿中备分析用。

### 1.3 样品测定

#### 1.3.1 测定方法

土壤全 Pb 含量用  $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4 - \text{HF}$  湿法消煮,

ICP-OES 法测定; 土壤有效 Pb 用  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  HCl 浸提, ICP-OES 法测定; 茶树根、茎及叶样品中的全 Pb 含量采用干灰化, ICP-OES 法测定。为保证处理和测定数据的准确性, 测定时采用国家一级标准物质——茶叶标准样 GBW 07605(GSV-4) 及土壤标准参考样 GBW07405 作为质控标准。土壤 pH 值采用 1:1 水土比, 电位法测定。全部测定都做 3 次重复。

#### 1.3.2 测定仪器

SX-5-12 型马弗炉; 上海产梅特勒斯万分之一电子天平; 元素测定用 IRIS/AP 型端视全谱直读光谱仪(ICP-OES, 美国 TJA 公司); WTW 型 pH 计。

#### 1.3.3 ICP-OES 仪器测定参数设定

Pb 元素的检测谱线为 2203 nm, 检测器 CID 的低波段(<265 nm)积分时间为 15 s, 检测器 CID 的高波段(>265 nm)积分时间为 5 s, 进样蠕动泵转速为  $100 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ , 进样雾化器氩气压力为 192 kPa(28psi), 辅助气流量适中 ( $1.0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ), 高频发生器功率为 1500 W, 高纯氩气的纯度 > 99.99%。

## 2 结果与分析

### 2.1 茶园土壤对茶叶中 Pb 含量的影响

研究发现, Pb 加入土壤中后其污染作用具有很长的时效性。由图 1 可以看出, 在人为加入 Pb 以后, 在 20 个月的培养期间, 土壤中的有效态 Pb 含量及茶叶新梢中的 Pb 含量都随着时间的推移而不断升高, Pb 加入量越多, 其升高趋势越明显。这可能是由于在茶树生长过程中根分泌的有机酸等的作用使土壤全 Pb 逐渐转化成了有效态 Pb, 从而提高了土壤中 Pb 的有效性, 也说明了茶树新梢中 Pb 可能主要源于土壤有效态 Pb。在盆栽试验的基础上, 我们对浙江省茶区中抽样采集的茶园土壤及相应的新梢样品中 Pb 的关系进行了测定, 并进行了 *F* 检验, 结果表明, 茶叶中 Pb 含量与耕作层土壤(0~40 cm)全 Pb 含量之间关系不显著, 而与整个耕作层土壤(0~40 cm)的有效态 Pb 含量之间都呈现出极显著正相关关系 ( $P < 0.01$ ) (见图 2)。这与我们在盆栽试验中所得出的有效态 Pb 与茶叶全 Pb 相关结论基本一致。同时我们发现茶园土壤 pH 值与土壤中有效态 Pb 含量之间有着显著的负相关关系 ( $P < 0.05$ ) (见图 3)。土壤酸度较低的茶园, 其土壤中的有效态 Pb 含量就相对较高, 这可能是土壤中的 Pb 在较低的酸度下活化度增强所致。这与在其他作物上所作的研究结果基本一致<sup>[6,7]</sup>。但我们发现土壤酸度与土壤全 Pb 含量之间没

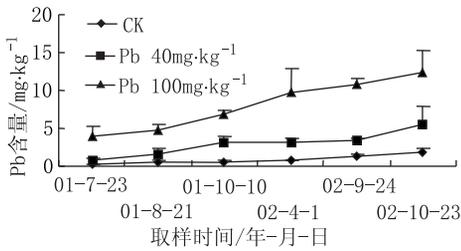


图 1 不同水平 Pb 加入后茶树新梢中 Pb 含量变化情况

Figure 1 Changes of lead contents in tea shoots in the fortified soils with lead

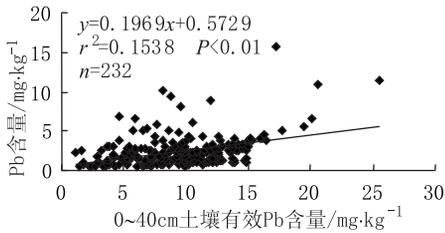


图 2 茶园土壤耕作层(0~40 cm)有效 Pb 含量与茶叶全 Pb 含量间的相关性

Figure 2 The relationship between available lead in soil (0~40 cm) and total lead in tea shoots

有显著性关系。因此我们认为可以把土壤有效态 Pb 含量作为衡量茶叶 Pb 含量的表征因子之一。通过调整茶园土壤的酸度来控制其有效 Pb 含量能在一定程度上起到控制茶叶中 Pb 含量的作用。根据回归方程,当整个耕作层土壤有效 Pb 含量为  $11.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时,茶叶中 Pb 含量达到了国家标准的上限  $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。但这临界值与在盆栽试验中所得出的结果(整个耕作层土壤有效 Pb 含量为  $7.28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时茶叶中 Pb 含量达到  $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )有所差异,这可能是由于两种试验的影响因素不一样所致,由于盆栽试验中土壤有效 Pb 的各种影响因子较易受人为控制,从而得出结论是相对理想状态的;而大田调查试验由于影响土壤有效 Pb 含量的因素较多并且难以控制,从而其得出的结果是含有诸多影响因子的内在作用因素的。但我们认为田间调查样品的回归方程对茶树的生产管理过程更具有实践指导意义。从理论上,我们认为控制茶园土壤有效 Pb 含量是降低茶叶中 Pb 含量的有效途径之一。

表 2 茶树新梢烘青样的 Pb 含量特点( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Table 2 The characters of lead contents in the first batch of tea shoots( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

茶园	A		B		C		D	
	第一批	第二批	第一批	第二批	第一批	第二批	第一批	第二批
2000 年	$3.21 \pm 0.17$	$1.87 \pm 0.76$	$3.68 \pm 0.22$	$2.56 \pm 0.21$	—	—	—	—
2001 年	$3.09 \pm 0.28$	$1.66 \pm 0.83$	$3.37 \pm 0.26$	$2.31 \pm 0.18$	$2.89 \pm 0.23$	$1.97 \pm 0.66$	$4.80 \pm 0.60$	$3.85 \pm 0.39$

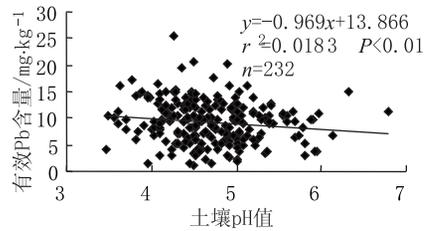


图 3 茶园土壤 pH 值与土壤有效 Pb 的关系

Figure 3 The relationship between pH and available lead from the soil of tea gardens

### 2.2 不同采摘标准对茶叶中 Pb 含量的影响

通过两年来对本所 A 生产茶园的不同采摘标准的茶叶新梢中 Pb 含量的检测分析发现,茶树新梢中的 Pb 元素含量与其成熟度有关,随着新梢成熟度的增加,其 Pb 含量呈现出逐渐升高的趋势(见表 1),这可能与 Pb 在茶树体内的移动性弱有关,也说明了 Pb 在茶树体内具有累积特性;同时我们发现春茶第一批新梢(一芽一叶)烘青样 Pb 含量要比其随后批次相同采摘标准的茶树新梢高出  $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  左右(见表 2)。这究竟是经过一个冬季累积作用的结果还是由于空气沉降物等有关因素作用的结果还有待进一步研究。

表 1 不同采摘标准对茶树新梢中 Pb 含量的影响( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  
Table 1 Effects of different picking standards on the contents of Pb in tea shoots ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

茶园 A 样品	茶叶 Pb 含量	
	2000 年 7 月	2001 年 4 月
一芽一叶	$2.65 \pm 0.23$	$0.49 \pm 0.33$
一芽二叶	$3.43 \pm 0.21$	$0.93 \pm 0.28$
一芽三叶	$3.10 \pm 0.36$	$1.46 \pm 0.52$
一芽四叶	$4.94 \pm 0.44$	$3.07 \pm 0.45$
一芽五叶	$5.36 \pm 0.52$	$2.59 \pm 0.66$

### 2.3 空气沉降物对茶叶原料 Pb 含量的影响

通过调查研究,我们认为空气沉降物也是引起茶树 Pb 含量升高的重要原因。在做不同采摘标准对茶树新梢中 Pb 含量影响的试验中,我们发现由于 2000 年 7 月份取样时该茶园旁的公路正在拓宽,茶树上都积满了尘土,虽然新梢样品在采摘后用蒸馏水进行了清洗,但其 Pb 含量比 2001 年取的同嫩度样品仍要

高出  $2 \sim 3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (见表 2)。这表明空气沉降物会引起茶树新梢中 Pb 含量的升高, 本研究结果与张乃明(2001)所做的基本相同。张乃明通过研究发现大气总悬浮微粒与降尘中 3 种重金属元素含量为  $\text{Pb} > \text{Cd} > \text{Hg}$ , 不同类型区大气污染状况及通过沉降输入土壤中重金属数量与相应区域土壤和作物中重金属的累积量相吻合。同时通过对同一茶园中距离国道线不同远近进行采样调查研究, 我们发现, 茶树新梢和老叶中的 Pb 含量都较大地受到了空气沉降物的影响。由图 4 可以看出, 空气沉降物对茶树新梢及老叶中 Pb 含量的影响范围基本上在距离国道线 150 m 范围以内。茶树新梢中的 Pb 含量从距离国道线 100 m 开始明显下降, 到 150 m 左右开始维持在该水平。而茶树

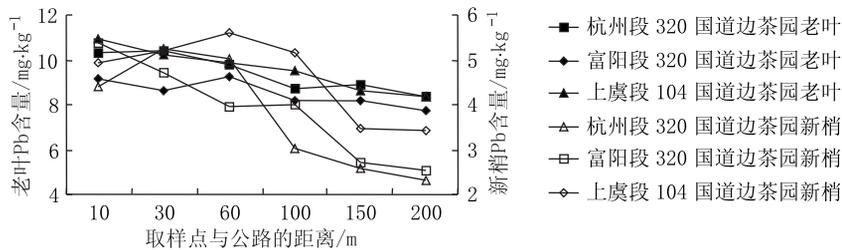


图 4 空气沉降物对茶树新梢及老叶中 Pb 含量的影响

Figure 4 Effects of air settlement on Pb contents in tea shoots and old leaves

加工过程引起茶叶 Pb 污染。研究表明, 加工机械的材料质量及加工过程的卫生状况将会直接影响到茶叶中的 Pb 含量。潘文毅(2002)就乌龙茶初制加工对茶叶 Pb 含量的影响进行了研究, 研究表明乌龙茶初制加工存在比较严重的 Pb 污染, 初制加工机械是引起初制过程 Pb 污染的主要源头。我们就龙井茶的炒制工艺过程进行了多点多次全过程取样检测。

#### 2.4.1 制茶油对龙井茶炒制过程中 Pb 含量的影响

通过对三种品牌的制茶油进行检测及龙井茶炒制过程中的使用制茶油与否的对比试验, 结果表明, 制茶油中的含 Pb 量甚微, 龙井茶在炒制过程中使用制茶油不会对茶叶中的 Pb 含量产生明显影响(见表 3)。

#### 2.4.2 炒茶锅质量对龙井茶 Pb 含量的影响

通过对三个单位的龙井茶炒制过程取样检测, 发

老叶则从距离国道线 60 m 开始明显下降, 在 150 m 左右开始维持在该水平。这与吴永刚(2002)等人的报道结果相类似, 但本调查结果中空气沉降物对茶树新梢、老叶及土壤中的 Pb 含量影响的范围比吴永刚等的调查结果要大, 这可能与两者研究场所的车流量及风向等等的因素不同有关。由于目前实际的茶叶加工中大多没有清洗工序, 这些影响究竟是由于汽车尾气的影响所造成<sup>[3-5,8,9]</sup>, 还是由空气扬尘所造成<sup>[10]</sup>, 或是由两者共同作用所造成的目前还不清楚, 有待进一步研究。但从本研究结果中可以看出, 由于在距离国道线 150 m 的范围内茶树较易受到 Pb 污染, 如在这个距离内种植茶树要慎重。

#### 2.4 加工工艺过程中茶叶 Pb 含量的变化

现龙井茶中的 Pb 含量很大程度上取决于炒茶锅的质量(见表 4)。经多次取样检测, 发现不同的炒茶锅对龙井茶中 Pb 含量影响不一样, 规模较大的茶叶企业所使用的炒茶锅其茶叶中的 Pb 含量在炒制前后变化不大。但一些农户及小企业中的炒茶锅所炒制的龙井茶其 Pb 含量可以升高到鲜叶原料的 1 倍或数倍。因此龙井茶的 Pb 含量与茶叶炒制锅的质量关系密切。目前我们正在对此问题进行进一步研究。

另外, 制造龙井茶炒制机所用的钢材均含有一定的 Pb 成分, 根据 GB/T13304-91 规定, 非合金钢材的 Pb 含量为 ( $\text{Pb} \leq 0.002\%$ ; 合金钢为  $\text{Pb} \leq 0.002\%$ )。铸铁中杂质和成分更为复杂, 亦可能含有一定的 Pb 成分, 在一些 Cu 材料中也为改善其性能加入 Pb。为此, 上述金属材料若用于龙井茶炒制机中与茶叶接触部件的加工制造, 则有可能形成 Pb 对茶

表 3 制茶油对龙井茶炒制过程中 Pb 含量(平均值  $\pm$  标准差)变化的影响 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Table 3 Effects of making - tea oil on Pb contents in tea ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

制茶油品牌	制茶油	青叶烘干	青锅叶用制茶油	青锅不用制茶油	辉锅用制茶油	辉锅不用制茶油
A	$0.027 \pm 0.02$	$1.24 \pm 0.21$	$1.08 \pm 0.33$	$1.25 \pm 0.27$	$1.28 \pm 0.38$	$1.15 \pm 0.43$
B	$0.019 \pm 0.01$	$1.54 \pm 0.37$	$1.58 \pm 0.13$	$1.65 \pm 0.35$	$1.48 \pm 0.25$	$1.55 \pm 0.27$
C	$0.032 \pm 0.01$	$1.35 \pm 0.18$	$1.47 \pm 0.07$	$1.42 \pm 0.11$	$1.38 \pm 0.19$	$1.41 \pm 0.34$

表 4 不同炒茶锅炒制龙井茶过程中对茶叶全 Pb 含量的影响 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )Table 4 Effects of tea - making pots on Pb contents in tea ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

试验单位	炒茶锅类型	鲜叶品种	鲜叶	青锅叶	辉锅叶
单位 A	双开关锅	鸠坑群体	$0.92 \pm 0.43$	$1.13 \pm 0.24$	$1.84 \pm 0.19$
单位 B	双开关新锅	当地群体	$1.68 \pm 0.22$	$1.96 \pm 0.18$	$3.36 \pm 0.07$
单位 C	双开关锅	龙井 43	$2.12 \pm 0.18$	$2.27 \pm 0.22$	$2.33 \pm 0.23$
	双开关新锅	当地群体	$1.90 \pm 0.36$	$2.00 \pm 0.18$	$2.15 \pm 0.10$
	三开关锅	龙井 43	$1.95 \pm 0.13$	$2.13 \pm 0.08$	$2.05 \pm 0.21$

叶的污染,但目前科学研究尚未对污染机理及污染程度作出结论。作为克服上述 Pb 污染可能性的对策,我国茶机接触茶叶的部件已逐步改用不锈钢加工,不锈钢 Pb 含量少,且光滑耐磨,是制造接触茶叶部件的理想用材,并且食品行业也普遍采用不锈钢加工生产设备。

### 3 讨论

对于 Pb 含量高的龙井茶而言,我们认为要想有效控制其 Pb 含量,必须首先根据具体的茶园情况判定其 Pb 的主要来源。从本研究的结果来看,土壤、大气沉降及加工器具是龙井茶中 Pb 的几个主要来源途径。因此,如茶园地处无其他外源 Pb 污染的偏远高山而其茶叶中 Pb 仍超标的话,我们可通过检测同批茶树新梢及成品茶中的 Pb 含量来判定茶叶 Pb 是源于茶园土壤还是茶叶加工器具,如新梢含 Pb 量本身就较高,那可初步判定茶叶中的 Pb 源于茶园土壤,可通过土壤改良来降低土壤中的 Pb 含量或抑制茶树对土壤中 Pb 的吸收来降低茶中的 Pb 含量。如果茶树新梢中 Pb 含量不高但成品茶 Pb 含量高,一般可认为是加工器具或加工过程中 Pb 污染所致,可通过更换加工器具及改善加工过程中的卫生条件来降低茶叶中的 Pb 含量。对公路边茶园来说,大气沉降是茶叶 Pb 含量高的一个最主要因子,我们认为对这种茶园一方面

可采用采茶前对茶树进行喷溉清洗或在加工前对鲜叶进行清洗来降低茶叶原料中的 Pb 含量,另一方面可在茶园靠公路的一侧种植防护林,以降低公路扬尘等大气沉降对茶叶质量的不良影响作用。

### 参考文献:

- [1] 卢振辉. 有机茶生产与认证[M]. 中国农业科学院茶叶研究所浙江省茶叶标准技术委员会编著. 杭州:杭州出版社,1999. 9.
- [2] 陈宗懋. 我国茶叶卫生质量面临的问题和对策[J]. 茶叶通讯, 2001, 23(1):7-10.
- [3] 石元值,马立峰,韩文炎,阮建云. 汽车尾气对茶园土壤和茶叶中铅、铜、镉元素含量的影响[J]. 茶叶,2001,27(4):21-24,34.
- [4] 张寿宝,包文权. 汽车尾气中的 Pb 对茶园污染的研究[J]. 江苏环境科技,2000,13(3):1-2.
- [5] 吴永刚,姜志林,罗强. 公路边茶园土壤与茶树中重金属的积累与分布[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2002,26(4):39-42.
- [6] 屠乃明,郑华,等. 不同改良剂对铅镉污染稻田的改良效应研究[J]. 农业环境保护,2000,19(6):324-326.
- [7] 成杰民,潘根兴,等. 太湖地区水稻土 pH 及重金属元素有效态含量变化影响因素初探[J]. 农业环境保护,2001,20(3):141-144.
- [8] 丁素敏,何金生,周慧敏,等. 无铅汽油对土壤、植物中铅含量及儿童血铅的影响[J]. 中国医刊,2001,36(7):32-33.
- [9] 索有瑞,黄雅丽. 西宁地区公路两侧土壤和植物中铅含量及其评价[J]. 环境科学,1996,17(2):74-76.
- [10] 张乃明. 大气沉降对土壤重金属累积的影响[J]. 土壤与环境, 2001,10(2):91-93.