

廖素兰, 翁器林, 林维晟, 等. 武夷山公路边茶园重金属分布及风险评价[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(23): 338–344.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.084

# 武夷山公路边茶园重金属分布及风险评价

廖素兰<sup>1</sup>, 翁器林<sup>2</sup>, 林维晟<sup>3</sup>, 林福良<sup>4</sup>, 陈碧云<sup>1</sup>, 赵泰霞<sup>1</sup>, 王飞权<sup>5</sup>

(1. 武夷学院茶与食品学院, 福建武夷山 354300; 2. 武夷学院信息技术与实验室管理中心, 福建武夷山 354300; 3. 福建省生态产业绿色技术重点实验室, 福建武夷山 354300; 4. 武夷山茗兰茶业研究所, 福建武夷山 354300; 5. 中国乌龙茶产业协同创新中心, 福建武夷山 354300)

**摘要:**为研究武夷山公路对茶园土壤及茶鲜叶的影响, 对离公路不同距离处的茶鲜叶及土壤中铬(Cr)、镍(Ni)、铜(Cu)、锌(Zn)和铅(Pb)含量及其相关因素进行分析, 并运用土壤重金属综合污染指数和潜在生态危害指数法进行风险评价。结果表明, 研究区茶鲜叶总体比较安全, 茶园茶鲜叶、土壤中不同种元素差异明显, 距离公路不同距离的同种元素也具有一定的空间分异特征; 其中, 茶鲜叶中 Pb、Cr 含量与土壤含量有明显的相关性, 而 Ni、Cu、Zn 没有明显的相关性; Pb、Cr、Ni 在茶鲜叶生长过程中表现出一定的累积性; 应警惕距公路 50 或 100 m 附近茶园中 Pb、Cr 和 Cu 污染, 以及距公路不同距离的部分茶园中 Pb、Cr、Cu 和 Zn 污染, 特别是 Cu 元素的潜在生态风险; 距公路较近的 5、15 及较远的 150 m 及以上茶园, 土壤的综合潜在生态风险危害小于 50、100 m 处。建议茶园建设在距公路距离 150 m 外或车流量较少并增设隔离带等措施的地方, 以减少重金属在茶鲜叶及土壤中的积累。

**关键词:**公路路域土壤; 重金属; 茶鲜叶; 潜在生态风险评价; 武夷山

**中图分类号:** X53; X825 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)23-0338-06

茶因其具有降火明目、消食去腻、宁心除烦、生津止渴等保健功能, 符合现在人们的养生理念, 越来越受到人们的喜欢。当前, 我国茶叶的产量、在国内的销售、茶叶的出口都属于历史高峰期<sup>[1-2]</sup>。随着武夷岩茶知名度的提高<sup>[3]</sup>, 武夷山地区掀起了种茶热潮。随着茶叶种植面积的扩张, 茶叶品质问题愈加严峻。茶叶的质量问题不仅会阻碍我国茶叶出口, 更重要的是会影响人们的身体健康。有关报道显示, 有 4 个因素影响茶叶质量: 重金属、农药残留、微生物的影响、非茶异类的影响<sup>[4]</sup>。因重金属极易在土壤中积累且难降解, 土壤是植物之本, 因此茶叶中重金属的主要来源是土壤, 部分来源是其他的外环境。武夷岩茶种植面积逐渐增大, 有部分茶区分布在道路两旁, 而汽车尾气含有一定的重金属, 随着大气的沉降影响道路两旁的农作物<sup>[5]</sup>。路边土壤中的重金属浓度受土壤特性、交通量和气象条件等的影响<sup>[6]</sup>。

国内外在茶区土壤重金属分布及累积等方面已有较多研究<sup>[7-15]</sup>, 对武夷山茶园土壤重金属含量、形态及监测评价等研究也有报道<sup>[11, 14-15]</sup>, 对路边茶区重金属分布和茶鲜叶重金属及道路对茶区重金属及茶鲜叶重金属影响等方面的研究有重要意义<sup>[5]</sup>。本研究通过对武夷山茶叶主产区南源岭、南岸、黄柏村、曹墩 4 个地方路边茶区茶鲜叶及土壤中铬(Cr)、镍(Ni)、铜(Cu)、锌(Zn)和铅(Pb)含量的测定, 分析茶区茶鲜叶及土壤中 Cr、Ni、Cu、Zn 和 Pb 含量与道路远近的相关性; 以及茶鲜叶中 Cr、Ni、Cu、Zn 和 Pb 含量与土壤中这些金属含量的相

关性; 嫩叶中与老茶叶中 Cr、Ni、Cu、Zn 和 Pb 含量的相关性; 以及这些金属在茶叶中的流动性及积累性。通过茶鲜叶中重金属含量的分析可以更好地了解目前茶鲜叶的重金属含量状况, 通过对茶叶重金属含量相关因素的分析可以更好地控制这些有害因素, 从而更好地保证茶叶的质量, 也为我国公路沿线的茶园生产布局及公路交通导致的重金属污染防治提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于武夷山茶叶主产区——星村镇、兴田镇、武夷街道中具有代表性的南源岭、南岸、黄柏村、曹墩共 4 个茶产地的公路边茶园, 南源岭位于武夷山风景名胜区边缘地带, 公路等级为省道, 通过车辆主要是客车和小汽车, 车流量大; 南岸公路等级为县道, 通过车辆主要是工程车和小汽车, 车流量大; 黄柏村位于武夷山风景名胜区边缘地带, 公路等级为乡道, 通过车辆主要是小汽车, 车流量一般; 曹墩位于武夷山自然保护区边缘地带, 公路等级为乡道, 通过车辆主要是小汽车, 车流量少。受地形影响, 茶园与公路距离及茶园面积大小略有不同。

### 1.2 样品采集

南源岭分别选取距公路(S205)平行距离分别为 5、50、100、150 m 的 4 个单元, 每个单元在距公路平行带随机取 5 个采样点, 每个采样点分别采集嫩叶、老叶及对应的土壤(嫩叶为 1 芽 2 梢的地方、老叶为茶树上除 1 芽 2 梢外其他较成熟的茶叶, 采集 0~20 cm 深度的土壤), 土壤采集时避开施肥沟, 靠近茶树根部, 老叶、嫩叶、土壤样品采集量大约 1 kg。南岸(X806)、黄柏村(Y215)采样地点选取距公路平行距离为 15、50、100、150 m 的 4 个单元。曹墩(Y238)采样地点分别距公路平行距离为 5、50、100、150、300 m 共 5 个单元。南岸、黄柏村、曹墩采样方法与南源岭采样方法一致。采样时间为 2014 年 4—5 月。

收稿日期: 2018-02-28

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 21407118); 福建省科技计划重点项目(编号: 2015N0035); 福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划项目(编号: 闽教科[2016]23 号)。

作者简介: 廖素兰(1974—), 女, 福建邵武人, 博士, 副教授, 主要研究方向为生态环境与食品安全。E-mail: slliao@wuyiu.edu.cn。



图1 采样点位

1.3 样品制备与测试

每个单元 5 个采样点的鲜(嫩、老)茶叶混匀为 1 个鲜(嫩、老)茶叶样,鲜茶样用自来水轻柔洗净,然后用超纯水洗涤 3 次,165 ℃烘 5 min,摊凉,后 80 ℃烘至足干,按四分法缩分、研磨,过 100 目筛,备用。每个单元的 5 个采样点拣出碎石、沙砾、植物残体,并压碎及翻动处理后的土样进行混匀,合并为 1 个土壤样品,土壤样品在室内通风处风干,按四分法缩分,研磨,过 100 目筛,备用。

茶叶样品及土壤样品的化学分析按照相应的国家标准执行完成,主要包括 5 种重金属 Cr、Ni、Cu、Zn 和 Pb 含量的测定。所有样品均平行测量 3 次,并用国家标准土样监控样品分析质量水平,加标回收率控制在 90% ~ 110%,试验过程中试剂均为优级纯,水均为超纯水。

1.4 评价方法

1.4.1 综合污染指数法 采用单项污染指数法和综合污染指数法相结合评价茶园土壤重金属污染现状。土壤内梅罗综合污染指数是一种目前应用较多的多因子环境质量指数,其在加权过程中避免了权系数中主观因素的影响<sup>[14]</sup>。

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

$$P = \{ [(P_i)_{\max}^2 + (P_i)_{\text{ave}}^2] / 2 \}^{1/2} \quad (2)$$

式中: $P_i$  为第  $i$  种污染物指数值, $P_i \leq 1$  为非污染, $1 < P_i \leq 2$  为轻度污染, $2 < P_i \leq 3$  为中度污染, $P_i > 3$  为重度污染, $P_i$  值越大表示受到的污染越严重; $C_i$  为第  $i$  种污染物的测定值; $S_i$  为第  $i$  种污染物的评价标准值; $P$  为综合污染指数; $(P_i)_{\max}$  为土壤中最大污染物的单因子指数; $(P_i)_{\text{ave}}$  为土壤中各污染指数平均值。采用有机茶产地环境条件限值进行评定。

1.4.2 潜在生态危害指数法 采用目前重金属风险评价中应用最广的 Hakanson 潜在生态危害指数法(RI 法),该方法综合考虑环境化学、生态学、生物毒理学、各重金属的毒性及多元素的协同作用等方面的内容,并以区域背景值为基准进行比较,可综合反映区域重金属对生态环境的影响潜力<sup>[16-18]</sup>。

$$E_r^i = T_r^i \cdot C_i^i / C_n^i \quad (3)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad (4)$$

式中: $RI$  为综合潜在生态危害指数; $E_r^i$  为第  $i$  种重金属单项

生态危害指数; $C_s^i$  为第  $i$  种重金属的实测值; $C_n^i$  为第  $i$  种重金属的背景值,以福建省土壤背景值为参照<sup>[19]</sup>(缺少武夷山土壤背景值数据); $T_r^i$  为第  $i$  种重金属的毒性响应系数,Cu、Zn、Pb、Cr 和 Ni 的  $T_r^i$  依次为 5、1.5、2 和 5<sup>[11,18,20-24]</sup>,在本试验中仅用 5 种重金属进行计算,因此综合潜在生态危害指数分级与生态风险程度关系在原来的基础上进行了调整<sup>[18]</sup>,评价分级见表 1。

表 1 内梅罗污染指数与潜在生态风险指数分级

综合污染指数	污染程度	单项生态危害指数	综合生态危害指数	生态风险程度
$\leq 0.7$	I 级,安全	$< 5$	$< 20$	轻微
$(0.7, 1]$	II 级,警戒线	$[5, 10)$	$[20, 40)$	中等
$(1.0, 2.0]$	III 级,轻污染	$[10, 20)$	$[40, 80)$	强
$(2.0, 3.0]$	IV 级,中污染	$[20, 40)$	$\geq 80$	很强
$> 3$	V 级,重污染	$\geq 40$		极强

2 结果与分析

2.1 公路边茶园茶鲜叶及土壤重金属含量特征

从表 2 可以看出,从茶鲜叶测试结果的平均值来看,除黄柏、曹墩嫩叶中的 Cu 以及南源岭、南岸茶老叶中的 Pb 超过有机茶限量标准<sup>[25]</sup>但未超过食品茶叶中限量标准<sup>[26]</sup>,其余均未超过有机茶及食品茶叶中限量标准,表明研究区茶鲜叶总体比较安全。从土壤测试结果的平均值来看,除南源岭 Cu 含量超过有机茶产地环境条件值<sup>[27]</sup>,其余均未超过有机茶产地环境条件及茶叶产地环境技术标准<sup>[28]</sup>;除曹墩 Pb 及 Zn、南源岭及黄柏 Cu 含量超过国家土壤环境的 I 级标准值<sup>[29]</sup>,其余均未超过国家土壤环境的 I 级、II 级标准<sup>[29]</sup>及荷兰土壤环境质量标准值<sup>[30]</sup>;曹墩 Pb、Cu 及 Zn,南源岭、南岸 Cr 及南源岭、黄柏 Cu 含量超过福建省及中国土壤背景值<sup>[19,31]</sup>,其中 Cr 和 Cu 的平均值相对较高,分别是福建省背景值的 1.47 ~ 1.98 倍和 1.81 ~ 4.05 倍,表明研究区可能受不同程度的 Cr 和 Cu 污染,其余均未超过背景值。另外,变异系数(CV)从侧面反映了土壤重金属距离公路不同距离的区域差异性,Pb 的变异系数基本在 20% 以上,其中 40% 以上占一半,Cr 的变异系数基本 30% 以上,其中 45% 以上占大部分,说明 Cr、Pb 区域差异性较明显,个别地区的 Pb 变异系数达 63.00%、Cr 的变异系数达 84.80%,属高度变异,表明这 2 种金属元素的离散程度较高,区域差异明显,Ni 变异系数大部分在 14.50% ~ 30.00% 之间,说明 Ni 区域差异性中等,Zn 变异系数大部分在 20% 以下且近一半在 10% 以下,Cu 变异系数大部分在 10% 以下,可见 Zn 区域差异性中等偏弱,Cu 区域差异性弱。同种元素空间分异和同区域内距离公路不同距离含量的差异的现象除与污染源分布有关外,还与气候、成土母质、地型特征、灌溉、施肥等多种因素有关<sup>[15]</sup>。

2.2 离公路远近对茶鲜叶及土壤中重金属含量的影响及相关因素分析

从图 2-A 南岸可看出,随着离公路距离的增加,土壤、茶叶中 Pb 含量逐渐减少,此结果与周阳靖等的研究结果一致<sup>[32-33]</sup>。在南岸这一茶区公路的距离对茶园土壤、茶叶中 Pb 含量影响较大,可能原因是汽车尾气含有一定的 Pb,在南岸茶区没有明显的树木隔离茶区与公路,车流量也较多,使

表 2 武夷山公路边茶鲜叶及土壤重金属含量

位置	项目	重金属含量(mg/kg)														
		嫩叶					老叶					土壤				
		Pb	Cu	Cr	Ni	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn
南源岭	最小值	0.33	22.57	0.60	2.34	26.77	1.21	5.05	1.00	3.31	14.84	2.20	81.57	37.16	3.87	63.04
	最大值	1.87	32.72	1.60	7.14	47.34	4.51	6.19	3.10	8.80	19.69	19.80	87.55	144.59	9.77	92.18
	平均值	1.13	29.38	1.00	5.79	34.04	3.22	5.45	1.90	7.00	16.26	11.55	83.83	81.70	8.24	79.12
	标准差	0.64	4.76	0.45	2.30	9.16	1.41	0.51	0.87	2.50	2.31	7.27	3.31	50.35	2.91	12.04
	CV(%)	57.10	16.20	45.50	39.80	26.90	43.80	9.40	46.10	35.70	14.20	63.00	3.90	61.60	35.40	15.20
南岸	最小值	0.88	6.85	0.10	2.99	25.68	3.41	3.54	1.26	3.24	15.59	2.20	12.45	46.33	7.20	32.37
	最大值	1.98	8.31	0.80	5.43	41.97	4.40	4.19	2.50	4.80	18.61	12.31	17.10	70.29	10.89	42.90
	平均值	1.46	7.64	0.45	3.73	33.57	3.83	3.74	1.64	3.79	16.92	8.03	13.91	60.91	7.20	36.81
	标准差	0.47	0.71	0.31	1.15	6.66	0.42	0.31	0.58	0.72	1.26	4.24	2.14	10.49	1.69	4.48
	CV(%)	32.30	9.40	69.10	30.80	19.90	10.90	8.30	35.20	19.10	7.40	52.80	15.40	17.20	17.50	12.20
黄柏	最小值	0.66	30.11	0.60	1.98	18.61	0.88	4.38	1.70	2.30	14.71	14.49	35.32	13.56	7.19	44.31
	最大值	2.09	32.19	1.60	2.93	28.61	2.53	4.68	8.10	3.22	17.86	29.26	41.54	36.68	13.84	62.93
	平均值	1.43	31.17	1.07	2.58	23.28	1.73	4.58	3.60	2.74	16.38	20.26	39.21	24.22	10.83	55.96
	标准差	0.67	1.13	0.41	0.43	4.33	0.70	0.14	3.05	0.40	1.46	6.43	2.86	11.24	2.82	8.37
	CV(%)	46.60	3.60	38.30	16.50	18.60	40.30	3.00	84.80	14.50	8.90	31.70	7.30	46.40	26.00	15.00
曹墩	最小值	1.43	30.82	0.40	3.65	21.66	1.32	4.93	0.70	4.75	14.55	26.42	22.09	10.31	6.45	96.94
	最大值	2.31	32.97	0.90	5.76	26.33	2.42	6.87	2.30	7.21	15.49	52.47	31.72	30.93	17.12	113.45
	平均值	1.78	31.67	0.66	4.68	24.54	1.70	5.37	1.40	5.78	15.11	39.84	25.99	20.95	13.03	103.30
	标准差	0.38	0.81	0.19	0.98	1.77	0.42	0.87	0.59	0.93	0.38	10.03	3.83	7.44	4.37	6.43
	CV(%)	21.10	2.60	29.60	20.90	7.20	25.00	16.20	42.30	16.10	2.50	25.20	14.70	35.50	33.50	6.20
有机茶		2	30													
食品茶叶限量		5														
Ⅰ级标准 <sup>[29]</sup>												35	35	90	40	100
Ⅱ级标准 <sup>[29]</sup>												300	100	300	50	250
荷兰标准 <sup>[30]</sup>												85	86	100	25	140
中国土壤背景值 <sup>[31]</sup>												23.6	24.0	53.9	23.4	83.1
福建省土壤背景值 <sup>[19]</sup>												34.9	21.6	41.3	13.5	82.7
有机茶产地环境条件 <sup>[27]</sup>												50	50	90		
茶叶产地环境技术条件 <sup>[28]</sup>												250	150			

得这一茶区受汽车尾气影响较大。南源岭及曹墩土壤中 Pb 含量先增大后减少,其原因可能是这些地方有树木挡住公路与茶区或这些地方有较少的大型车辆经过。黄柏土壤中 Pb 含量先迅速减小后缓慢增加,可能还受当地局部气候、地形地貌、绿化带和耕作管理等综合因素的影响<sup>[6]</sup>。由表 2 可知,土壤中 Pb 含量平均值,曹墩>黄柏>南源岭>南岸,南岸整体土壤 Pb 含量较其他 3 个区域低,可能与土壤母质及耕作管理方式差异有关。从图 2-A 可以看出,嫩叶中的 Pb 含量整体比老茶叶少,说明 Pb 在茶叶中不可移动,表现出一定的积累性;土壤 Pb 含量远远大于嫩叶及老茶叶中的 Pb 含量,而且茶叶中 Pb 含量波动幅度比其对应土壤的 Pb 含量波动幅度小,这说明茶叶对于土壤中 Pb 有其自身吸收范围<sup>[34]</sup>。由表 2 可知,老茶叶中 Pb 含量表现为南岸>南源岭>黄柏≈曹墩,可能主要受汽车尾气影响,南岸、南源岭车流量较大,黄柏、曹墩车流量小;嫩叶中 Pb 含量表现为曹墩>南岸>黄柏>南源岭,可能是土壤母质及耕作管理方式的差异及周围环境综合作用结果。

由图 2-B 可知,距公路远近对于土壤 Cu 含量有一定的影响,与 Fakayode 等报道的重金属含量随着距公路距离的增加呈指数形式下降,Cu 在距公路 50 m 处基本达到背景值水平<sup>[35]</sup>不同,南岸是随着离公路距离的增加,土壤 Cu 含量先增加后下降,在 100 m 处达最大值,可能 Cu 主要来自刹车里衬

的机械磨损,此处工程车较多,影响较大。而南源岭、黄柏区域 Cu 随着距公路距离的增加变化较小,曹墩茶区随距公路距离的增加层波浪式上升,可能是因为曹墩位于武夷山自然保护区边缘地带,公路等级为乡道,通过车辆主要是小汽车,车流量少,影响较小,主要与土壤耕作管理方式的差异有关。此外,距公路距离的远近对茶叶中 Cu 含量没有明显的影响,这与石元值等研究结果<sup>[5]</sup>基本一致,随着距公路距离的增加,嫩叶中 Cu 含量轻微下降,而老叶中 Cu 含量基本保持不变,嫩叶中 Cu 含量大于老茶叶中 Cu 含量,这说明随着茶叶生长,Cu 在茶叶中表现出一定的移动性。嫩叶中 Cu 含量不仅高于老茶叶,有些地方嫩叶中 Cu 含量甚至还高于土壤的 Cu 含量,这说明在嫩叶发芽时,Cu 这一元素会向嫩叶运移以满足其生长需要,而在嫩叶生长成老叶的过程中 Cu 会部分流失。此外,这 4 个地方嫩叶、老叶中 Cu 含量与土壤中 Cu 含量没有明显的相关性,可能是因为茶叶对土壤中 Cu 的吸收有一定量,茶叶中 Cu 会随着茶叶的生长而流失。

由图 2-C 可知,距公路远近对茶叶及土壤中 Ni 含量有一定的影响;刘世梁等研究认为农田土壤重金属含量随距离公路增加逐渐降低,而自然土壤中,变化趋势呈波动趋势<sup>[36]</sup>,但本研究结果与之不同。土壤中 Ni 含量是先增大后减小或趋于平缓;嫩叶中 Ni 含量基本上比老茶叶含量低,说明 Ni 在茶叶生长过程中有一定的积累性;茶叶中 Ni 含量和土壤中

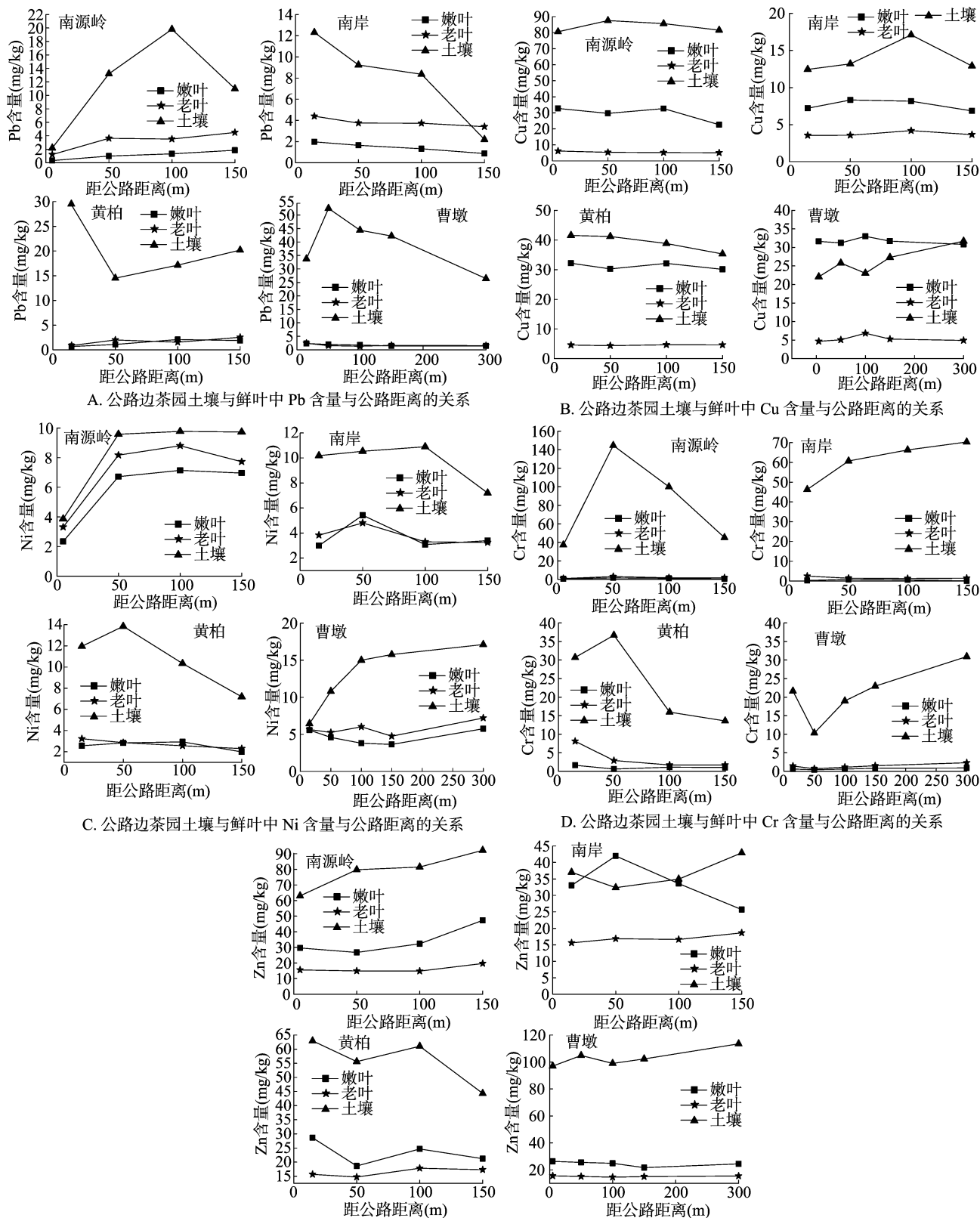


图2 公路边茶园土壤与鲜叶中重金属含量与距公路距离的关系

Ni 含量没有明显的相关性,但两者间略有影响;在南源岭及南岸这 2 个采样单元土壤中 Ni 的检出量较低,但茶叶中的 Ni 含量并没有达到最低值,说明茶叶 Ni 含量不仅和土壤中 Ni

含量有关,还和其他外环境相关。从表 2 可知,土壤中 Ni 含量是曹墩 > 黄柏 > 南源岭 > 南岸,而茶嫩叶与老叶中 Ni 含量表现一致,是南源岭 > 曹墩 > 南岸 > 黄柏,可见茶鲜叶中

Ni 含量可能是土壤中 Ni 含量差异及周围环境车流量等综合作用的结果;各茶场土壤中 Ni 含量平均值均低于福建省土壤背景值,南源岭和南岸低于植物生长 > 10 mg/kg 的要求,各茶区的 Ni 储量范围变化较大,有些样点的 Ni 含量过低,为了茶树的正常生长,建议施用适量 Ni 肥。

由图 2-D 可知,公路远近对茶叶及土壤中 Cr 含量有一定的影响,南源岭、黄柏随距公路距离的增加 Cr 含量先增加后减小;但曹墩和南岸在距公路越远土壤中 Cr 含量越高,这可能是因为汽车尾气或轮胎摩擦中含 Cr 的影响,也可能还受土壤中金属含量具有一定的地域差异性影响。土壤中 Cr 含量远远大于茶鲜叶中 Cr 含量,且在土壤中 Cr 含量的波动幅度大于茶鲜叶中的波动幅度,这说明茶叶对土壤中重金属元素 Cr 的吸收有其自身吸收范围<sup>[34]</sup>。土壤中 Cr 含量的变化与茶鲜叶中 Cr 的变化趋势有一定的相似,这说明茶鲜叶中 Cr 含量与土壤中 Cr 含量有一定的相关性。嫩叶 Cr 含量比老叶少,这说明 Cr 会随着茶叶的生长在茶叶中积累。由表 2 可知,土壤中 Cr 含量表现为南源岭 > 南岸 > 黄柏 > 曹墩,老叶中 Cr 含量表现为黄柏 > 南源岭 > 南岸 > 曹墩,嫩叶中 Cr 含量表现为黄柏 > 南源岭 > 曹墩 > 南岸,除黄柏的茶鲜叶外,土壤及茶鲜叶中 Cr 含量呈南源岭 > 南岸和曹墩,可能是土壤母质及耕作管理方式的差异及周围环境车流量等综合作用结果。黄柏茶鲜叶中 Cr 含量在研究的 4 个地方中最高,可能是施加叶面肥或农药等原因影响。

交通中产生的 Zn 主要来源于汽车轮胎的磨损,由图 2-E 可知,茶区距公路远近对茶嫩叶中 Zn 含量有一定的影响,而对老茶叶中 Zn 含量影响很小,除南源岭外,其余 3 个茶区嫩叶中 Zn 含量基本随距高速公路距离的增加而减小。与郭广慧等<sup>[6,35,37]</sup>研究结果:土壤中 Zn 含量随距高速公路距离的增加而降低不同,在所研究范围内除黄柏外,其余 3 个茶区土壤中 Zn 含量随距高速公路距离的增加而略增,可能与土壤本身背景值差异有关。茶鲜叶中 Zn 含量与土壤中 Zn 含量之间并没有明显的相关性,说明茶叶中 Zn 含量不仅受土壤中 Zn

含量的影响,其还受到其他外环境的影响;茶嫩叶中 Zn 含量比茶老叶的多,这说明嫩叶在生长过程中 Zn 元素会部分流失。由表 2 可知,4 个茶区土壤中 Zn 含量是曹墩 > 南源岭 > 黄柏 > 南岸,但老茶叶中 4 个采样点 Zn 含量基本一致,而嫩叶中的 Zn 含量与土壤中 Zn 含量大小顺序不同,是南源岭 > 南岸 > 黄柏 > 曹墩,说明车流量对嫩叶中的 Zn 含量有一定影响,可能因为 Zn 大部分来源于叶片对大气中重金属的吸收,车流量较大路边茶区嫩叶中的 Zn 含量也相对较大,此结果与冯金飞的结果<sup>[38]</sup>一致。

2.3 风险评价结果

2.3.1 土壤重金属综合污染指数 采用茶叶产地环境技术条件限值进行评定。所研究茶园土壤均属于未污染,安全等级。采用有机茶产地环境条件限值进行评定。从表 3 单项污染指数来看,曹墩距公路距离 50 m 处的 Pb 单项污染指数和南源岭距公路距离 5 ~ 150 m Cu 单项污染指数及 50、100 m 处的 Cr 单项污染指数均处于 1 与 2 之间,存在轻度污染;其余地方土壤样品未受到 Pb、Cr、Cu 污染。从表 1 和表 3 可知,茶园土壤综合污染指数存在明显的区域差异,南源岭 > 曹墩 > 黄柏 > 南岸。南源岭茶园土壤污染最严重,均属于轻污染等级。黄柏距公路距离 15 m 处为警戒线等级。曹墩距公路距离 50 ~ 150 m 处为警戒线等级。虽然南岸车流量较大,但氮土壤综合污染指数最小,或与其土壤本底值较小有关,但从结果来看,除黄柏距公路距离 15 m 处土壤综合污染指数相对较高外,所有茶园距公路距离 50 或 100 m 处土壤综合污染指数相对较高,距离公路较近和较远处茶园土壤相对安全。因此,应警惕茶园距公路距离 50 或 100 m 附近茶园中 Pb、Cr、Cu 污染。

2.3.2 土壤重金属潜在生态风险评价 结合表 1 与表 3 可知,公路边各茶园 Ni 的风险等级轻微,属于轻微生态危害;曹墩距公路距离 5 ~ 150 m 处的 Pb 风险等级为中等,属于中等生态危害,其余茶园风险等级轻微;Cu 在南岸的风险等级低,在曹墩、黄柏的风险等级中等,在南源岭除距公路距离 50 m

表 3 路边茶园土壤单项污染、内梅罗污染、单项潜在生态风险及综合潜在生态风险指数

位置	距公路距离 (m)	Pb		Cu		Cr		Ni	Zn	P	RI
		$P_i$	$E_r^i$	$P_i$	$E_r^i$	$P_i$	$E_r^i$	$E_r^i$	$E_r^i$		
南源岭	5	0.04	0.31	1.61	18.65	0.41	1.80	0.29	3.81	1.24	24.86
	50	0.26	1.89	1.75	20.27	1.61	7.00	0.71	4.82	1.50	34.69
	100	0.40	2.84	1.71	19.82	1.11	4.84	0.72	4.93	1.43	33.15
	150	0.22	1.58	1.63	18.88	0.50	2.19	0.72	5.57	1.28	28.94
南岸	15	0.25	1.76	0.25	2.88	0.51	2.24	0.75	2.24	0.43	9.88
	50	0.18	1.32	0.26	3.05	0.67	2.94	0.78	1.96	0.55	10.05
	100	0.17	1.20	0.34	3.96	0.74	3.21	0.81	2.11	0.63	11.29
	150	0.04	0.31	0.26	2.99	0.78	3.40	0.53	2.59	0.61	9.84
黄柏	15	0.59	4.19	0.83	9.62	0.34	1.49	0.89	3.80	0.72	19.98
	50	0.29	2.08	0.82	9.53	0.41	1.78	1.03	3.36	0.68	17.77
	100	0.34	2.45	0.78	8.98	0.18	0.77	0.77	3.69	0.63	16.66
	150	0.40	2.89	0.71	8.18	0.15	0.66	0.53	2.68	0.58	14.94
曹墩	5	0.67	4.83	0.44	5.11	0.24	1.05	0.48	5.86	0.57	17.33
	50	1.05	7.52	0.52	5.96	0.11	0.50	0.80	6.34	0.84	21.12
	100	0.89	6.36	0.46	5.33	0.21	0.92	1.11	5.99	0.73	19.71
	150	0.84	6.04	0.55	6.33	0.25	1.11	1.17	6.18	0.71	20.83
	300	0.53	3.79	0.63	7.34	0.34	1.50	1.27	6.86	0.57	20.75
毒性响应系数		5		5		2		5	1		

处的风险等级很强,其余强;Cr 除在南源岭距公路距离 50 m 处的风险等级中等,属于中等生态危害外,其余风险等级轻微;Zn 在南源岭除距公路距离 150 m 处和曹墩的风险等级中等,其余茶园风险等级轻微。因此,应警惕部分茶园距公路不同距离中 Pb、Cr、Cu 和 Zn 含量,特别是 Cu 元素的潜在生态风险。

由表 3 可知,综合潜在生态风险评价指数区域差异明显,南源岭>曹墩>黄柏>南岸。结合表 1 可知,南岸和黄柏距公路不同距离综合潜在生态风险等级轻微;曹墩距公路距离 50~150 m 处及南源岭距公路不同距离综合潜在生态风险等级中等。各茶园总体上,距公路较近 5、15 m 及较远 150 m 及以上茶园土壤的综合潜在生态风险危害小于 50~150 m 处。

土壤重金属综合污染指数与土壤重金属潜在生态风险评价的结果大体一致,略微差异可能由 2 种评价采用的参照标准及评价方法不同。

### 3 结论

距公路距离及车流状况对茶园茶鲜叶中 Cr、Pb 含量影响最大,其次是 Zn、Ni,而 Cu 几乎不受影响,对土壤中 Pb、Cr 含量影响最大,其次是 Ni、Cu、Zn。每个茶区每种金属含量比较接近,但各个地方的金属含量具有差异性,可看出土壤及茶鲜叶中金属含量存在地域差异。茶鲜叶中 Pb、Cr 含量与土壤含量有明显的相关性,而茶鲜叶中 Ni、Zn、Cu 等金属含量与土壤中的含量没有表现出明显的相关性。

采用茶叶产地环境技术条件限值进行评定。所研究茶园土壤均属于未污染,安全等级。采用有机茶产地环境条件限值进行评定,应警惕茶园距公路距离 50 或 100 m 附近茶园中 Pb、Cr 和 Cu 污染。以福建省土壤背景值为参照,应警惕部分茶园距公路不同距离中 Pb、Cr、Cu 和 Zn 含量,特别是 Cu 元素的潜在生态风险。各茶园总体上,距公路较近的 5、15 m 及较远的 150 m 及以上茶园土壤的综合潜在生态风险危害小于 50~150 m 处。随着工业化进程的深入,农村城镇化进程的加快,三废排放量的日益增加,农药、化肥的滥用,须加强茶园的保护。建议茶园建设在距公路距离 150 m 外或车流量较少并增设隔离带的地方,多施用天然的有机肥料等措施,以减少重金属在茶鲜叶及土壤中的积累。

### 参考文献:

- [1] 王国梁,逯砚秋. 中国植茶技术的地理扩散与世界四大茶叶产区[J]. 世界地理研究,2014,23(1):151-157.
- [2] 李丽娜,施由明. 机遇与挑战:“一带一路”与中国茶叶和茶文化走向世界[J]. 农业考古,2017(5):98-101.
- [3] 赵红莉,赖启航. 武夷山茶文化旅游开发的对策研究[J]. 攀枝花学院学报,2009,26(4):60-63.
- [4] 江用文,陈宗懋,鲁成银. 我国茶叶的安全质量现状与建议[J]. 中国农业科技导报,2002,4(5):24-27.
- [5] 石元值,马立峰. 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.
- [6] 郭广慧,雷梅,陈同斌,等. 交通活动对公路两侧土壤和灰尘中重金属含量的影响[J]. 环境科学学报,2008,28(10):1937-1945.
- [7] 黄登红,周忠发,黄智灵,等. 黔东南山区茶产地土壤重金属污染建模评价研究[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2017,34

- (2):107-113.
- [8] 程贤利,苏晨曦,陈文强. 陕西汉中茶园土壤中重金属含量的测定分析[J]. 江苏农业科学,2015,43(5):324-327.
- [9] Seenivasan S, Anderson T A, Muraleedharan N. Heavy metal content in tea soils and their distribution in different parts of tea plants, *Camellia sinensis* (L). O. Kuntze[J]. Environmental Monitoring & Assessment,2016,188(7):1-8.
- [10] Wang S X, Zhang Z L, Wang X. Heavy metal environmental assessment of surface soil in rizhao tea - planting areas [J]. Advanced Materials Research,2013(807/808/809):1397-1401.
- [11] 叶宏萌,李国平,郑茂钟,等. 武夷山茶园土壤重金属环境风险等级评价及溯源分析[J]. 福建农业学报,2016,31(4):395-400.
- [12] 刘美雅,伊晓云,石元值,等. 茶园土壤性状及茶树营养元素吸收、转运机制研究进展[J]. 茶叶科学,2015,35(2):110-120.
- [13] 张清海,陆洋,林邵霞,等. 贵州省典型名优茶产区土壤重金属污染及在茶叶中的富集[J]. 江苏农业科学,2012,40(8):292-294.
- [14] 孙威江,陈泉宾,林锻炼,等. 武夷岩茶不同产地土壤与茶树营养元素的差异[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2008,37(1):47-50.
- [15] 李灵,梁彦兰,张玉,等. 武夷岩茶核心种植区土壤重金属污染特征及土壤质量评价[J]. 土壤通报,2013,44(3):730-736.
- [16] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14(8):975-1001.
- [17] Zhang R, Zhou L, Zhang F, et al. Heavy metal pollution and assessment in the tidal flat sediments of Haizhou Bay, China [J]. Marine Pollution Bulletin,2013,74(1):403-412.
- [18] 马建华,王晓云,侯千,等. 某城市幼儿园地表灰尘重金属污染及潜在生态风险[J]. 地理研究,2011,30(3):486-495.
- [19] 陈振全,陈春秀,刘用清,等. 福建省土壤元素背景值及其特征[J]. 中国环境监测,1992,8(3):107-110.
- [20] 麦提提吐尔逊·艾则孜,阿吉古丽·马木提,艾尼瓦尔·买买提,等. 博斯腾湖流域绿洲农田土壤重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 地理学报,2017,72(9):1680-1694.
- [21] 樊文华,白中科,李慧峰,等. 复垦土壤重金属污染潜在生态风险评价[J]. 农业工程学报,2011,27(1):348-354.
- [22] 李一蒙,马建华,刘德新,等. 开封城市土壤重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 环境科学,2015,36(3):1037-1044.
- [23] 麦尔耶姆·亚森,买买提·沙吾提,尼格拉·塔什甫拉提,等. 渭干河-库车河绿洲土壤重金属分布特征与生态风险评价[J]. 农业工程学报,2017,33(20):226-233.
- [24] 李娇,陈海洋,滕彦国,等. 拉林河流域土壤重金属污染特征及来源解析[J]. 农业工程学报,2016,32(19):226-233.
- [25] 中国农业科学院茶叶研究所,农业部茶叶质量监督检验中心. 有机茶:NY 5196—2002[S/OL]. [2018-02-01]. <http://www.std.gov.cn/hb/search/stdHBDetailed?id=5DDA8BA2AE3718DEE05397BE0A0A95A7>.
- [26] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中污染物限量:GB 2762—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [27] 农业部. 有机茶产地环境条件:NY 5199—2002[S/OL]. [2018-02-01]. <http://www.std.gov.cn/hb/search/stdHBD>

方 慧,颜秋晓,柳小兰,等.油菜全生长期中土壤理化性质的变化及重金属污染评价[J].江苏农业科学,2018,46(23):344-348.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.085

# 油菜全生长期中土壤理化性质的变化 及重金属污染评价

方 慧<sup>1</sup>,颜秋晓<sup>2</sup>,柳小兰<sup>2</sup>,黄文粤<sup>1</sup>,何腾兵<sup>1,3</sup>,王道平<sup>2</sup>,林昌虎<sup>1,2</sup>

(1. 贵州大学农学院,贵州贵阳 550025; 2. 贵州省中科院天然产物化学重点实验室,贵州贵阳 550002;

3. 贵州大学新农村发展研究院,贵州贵阳 550025)

**摘要:**为在油菜生长过程中及时改善土壤环境状况,提高油菜的产量、品质和质量,保证食品安全,采集油菜播种前和4个生育时期(苗期、抽薹期、花期和收获期)耕作层表层(0~20 cm)和底层(20~40 cm)根区土壤,测定各个时期土壤理化性质[土壤机械组成、土壤pH值、土壤氧化还原电位(Eh)和土壤有机质含量]及土壤重金属Cr、Cd、Pb、Cu、Zn含量,分析其在整个生长期中的变异程度,并应用单因子污染指数和综合评价法对重金属污染状况进行评价。结果表明,在油菜全生长期中,表层和底层土壤机械组成变化情况基本一致,变异程度最大的是细沙,其次是黏粒,但二者的变化此消彼长;表层土壤pH值的变化极小,底层土壤变化略大,但都在适合油菜生长的pH值范围内;土壤Eh整体呈波动上升趋势,在抽薹期达到最大,处于中等还原状态,属于中等变异;表层土壤有机质含量高于底层,表层土壤有机质含量整体呈下降趋势,底层土壤有机质含量整体呈上升趋势;土壤重金属中Cd含量最低,但污染最严重,其中表层土壤中度污染,底层土壤重度污染,Cr、Pb、Zn、Cu含量虽高,但尚未造成土壤污染。

**关键词:**油菜;生育期;土壤理化性质;重金属;污染评价

**中图分类号:** S634.306;X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)23-0344-05

油菜(*Brassica napus* L.)别称油白菜、苦菜,属十字花科

收稿日期:2017-08-10

基金项目:国家自然科学基金(编号:41561075);贵州省省院联合基金(编号:黔科合LH字[2016]7409);贵州省科技支撑计划(编号:黔科合支撑[2017]2860);贵州省优秀青年科技人才项目(编号:黔科合平台人才[2017]5622);贵州省基础研究项目(编号:黔科合基础[2016]1515-2)。

作者简介:方 慧(1992—),女,湖北襄阳人,硕士研究生,主要从事土壤资源利用与保护研究。E-mail:892894946@qq.com。

通信作者:林昌虎,研究员,硕士生导师,主要从事土壤学和环境科学研究。E-mail:linchanghu79@sina.com。

etailed? led? id=5DDA8BA3442C18DEE05397BE0A0A95A7.

[28]农业部.茶叶产地环境技术条件:NY/T 853—2004[S/OL]. [2018-02-01]. <http://www.doc88.com/p-6327053126796.html>.

[29]生态环境部,国家市场监督管理总局.土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行):GB 15618—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.

[30]Teng Y G, Li J, Wu J, et al. Environmental distribution and associated human health risk due to trace elements and organic compounds in soil in Jiangxi Province, China[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015(122):406-416.

[31]中国环境监测总站.中国土壤环境背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990.

[32]周阳靖,吴愉萍,沈群超.公路交通对周边土壤及农作物铅富集的影响研究[J].宁波大学学报(理工版),2014,3(3):88-92.

芸薹属植物,其总产值与种植面积在我国四大油料作物中排名第二<sup>[1-3]</sup>,也是贵州省最主要的油料作物。研究表明,油菜品质和质量除了受自身基因影响外,土壤环境特别是土壤理化性质也是极为关键的因素<sup>[4]</sup>。此外,我国耕地土壤重金属污染问题比较突出,研究结果表明,油料作物特别是油菜对重金属有较强的耐受性和吸收能力,继而导致的食品安全问题更严重<sup>[5]</sup>,因此关注油菜生长过程中土壤是否清洁同样重要。目前对油菜生长的土壤理化性质及重金属的研究主要集中在外源物质的施用方面,李东洁研究表明,油菜生长过程中污泥及赤泥施入有利于调节土壤的pH值、有机质含量等,同时污泥施入还可以提高土壤可利用性Zn含量<sup>[6]</sup>;任英亚通

[33]Pagotto C, Rémy N, Legret M, et al. Heavy metal pollution of road dust and roadside soil near a major rural highway[J]. *Environmental Technology*, 2001, 22(3):307-319.

[34]高海荣.武夷岩茶与土壤中铅、铬的相关性[J].生态学杂志, 2012, 31(12):3203-3206.

[35]Fakayode S O, Olu - Owolabi B I. Heavy metal contamination of roadside topsoil in Osogbo, Nigeria; its relationship to traffic density and proximity to highways[J]. *Environmental Geology*, 2003, 44(2):150-157.

[36]刘世梁,崔保山,温敏霞,等.路域土壤重金属含量空间变异的影响因子[J].环境科学学报,2008,28(2):253-260.

[37]翟云波,戴青云,蒋 康,等.高速公路土壤重金属污染状况及健康风险评价[J].湖南大学学报(自然科学版),2016,43(6):149-156.

[38]冯金飞.高速公路沿线农田土壤和作物的重金属污染特征及规律[D].南京:南京农业大学,2010.