

杜霞飞, 宗良纲, 张琪惠, 等. 基于空间差异的有机茶园环境适宜性评价的土壤采样方法[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(1): 150-157.

DU Xia-fei, ZONG Liang-gang, ZHANG Qi-hui, et al. Soil sampling methods for evaluation of environmental suitability in organic tea garden based on spatial difference[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(1): 150-157.

基于空间差异的有机茶园环境适宜性 评价的土壤采样方法

杜霞飞¹, 宗良纲^{1*}, 张琪惠¹, 戴荣波¹, 潘含岳¹, 原强¹, 席运官², 王磊²

(1.南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2.环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042)

摘要:为完善和规范有机认证技术体系, 基于有机产品标准和有机认证的环境要求, 开展了茶叶有机种植基地土壤环境评价的采样方法研究。针对有机茶园土壤性质的空间差异特征, 分析不同采样深度、采样密度和采样点布设等对茶园土壤 pH、重金属等指标评价结果的影响。结果表明: 供试有机茶园不同深度土层的土壤 pH 值和有机质含量差异显著($P < 0.05$)。茶树根系集中分布的 20~30 cm 土层 pH 值较低, 有机质含量较高。采集 0~30 cm 的土壤进行检测能更加客观地反映茶园土壤环境适宜性; 供试茶园土壤重金属的空间变异系数大小排序为 $Pb > Hg > Cu > Cr > As$, 其中重金属 Pb、Hg 等存在外源性输入, 在土壤表层 0~10 cm 聚集; 通过不同采样密度获得的土壤环境指标检测结果差异显著($P < 0.05$), 建议对较大规模的茶场进行分区采样, 并增加送检样本数量。

关键词:有机茶园; 土壤环境质量; 土壤采样; 空间差异

中图分类号: S571.1 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2017)01-0150-08 doi:10.11654/jaes.2016-1001

Soil sampling methods for evaluation of environmental suitability in organic tea garden based on spatial difference

DU Xia-fei¹, ZONG Liang-gang^{1*}, ZHANG Qi-hui¹, DAI Rong-bo¹, PAN Han-yue¹, YUAN Qiang¹, XI Yun-guan², WANG Lei²

(1.College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2.Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Nanjing 210042, China)

Abstract: In order to promote the development of organic agriculture, improve and standardize the organic certification technology system, a study on soil sampling methods for organic tea garden was carried out. Spatial differences of soil properties, such as organic matter content, heavy metal content and pH were analyzed under varying sampling methods, including depth, sample point layout and sample numbers among five organic tea gardens. The results show that among different depths of soil profile, both organic matter content and pH changed significantly ($P < 0.05$). The pH was lower and organic matter content was higher in 20~30 cm soil layer where most tea roots exist. Recommended sampling depth of tea garden is 30 cm, as it reflects environmental suitability of tea garden soils more objectively. The order of spatial variation coefficient of heavy metals in the tea gardens was as follows: $Pb > Hg > Cu > Cr > As$. Hg and Pb were from external sources and clustered in 0~10 cm soil layer, accounting 49.52% and 61.56% respectively. At the range of different altitudes, soil of slope crest possess higher organic matter content and lower pH value. Soil indexes changed significantly ($P < 0.05$) by different sampling densities. It is recommended to use area sampling and increase sample numbers in order to solve the problem caused by spatial difference in tea garden soils.

Keywords: organic tea garden; soil environmental quality; soil sampling; spatial difference

收稿日期: 2016-08-04

作者简介: 杜霞飞(1991—), 女, 河南郑州人, 硕士研究生, 研究方向为环境质量与食品安全。E-mail: dxfsarpay@163.com

* 通信作者: 宗良纲 E-mail: zonglg@njau.edu.cn

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAK19B00)

Project supported: The National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China (2014BAK19B00)

有机农业作为国际公认的可持续型农业生产模式^[1-3],在维持和增强土地生产力,减少环境污染物以及提升农产品营养价值等方面,具有常规农业所不可比拟的优势^[4]。在有机农产品的认证过程中,产地的土壤环境质量是影响农产品产量和质量的首要因素^[5];另外,大气沉降和灌溉水也将直接作用于土壤,其中的污染物可导致土壤酸化、重金属污染等一系列问题,对农产品安全带来持久性风险^[6]。根据有机产品产地环境认证的要求^[7],产地的土壤环境评价依然是当前的薄弱环节。目前国家相关行业标准中对有机产品产地环境的要求较为笼统,现有土壤环境质量标准^[8]仅对8种重金属和两种有机氯作出了规定,缺乏普遍适用性。茶叶作为我国首个有机产品,其当前生产规模呈现迅猛发展态势。根据国家认监委公布的统计数据,目前我国认证的有机茶产量已超过12.7万t·a⁻¹,约占全国有机认证产品的40%。2016年农业部对我国茶叶生产提出“制定茶叶生产优势区、最宜区,加快向有机化发展”的批示,有机茶认证管理的相关技术规范 and 标准亟待完善。

我国茶叶产区分布范围广,不同区域茶园土壤性质差异较大^[9-10],而且茶园土壤评价不同于一般农田,应考虑到茶树为深根型植物,其根际土壤环境与表层土壤存在较大差异^[11]。目前关于茶园土壤的研究主要围绕立地条件、土壤养分等方面^[12],对茶园土壤肥力及污染来源的研究较多^[13-14],而基于不同采样尺度的土壤空间变异研究鲜有涉及,针对有机茶叶生产的土壤环境适宜性评价则更少。根据土壤的空间变化特征,通常将不同变异指标划分等级来确定代表性样点^[15],在环境条件变化剧烈的区域增设采样点^[16]。有鉴于此,本研究针对茶园土壤采样深度、采样密度与采样点设置等问题,基于空间差异探讨适合有机茶园土壤环境评价的采样方法,旨在为我国有机行业认证管理部门对有机产地的环境适宜性判定提供理论依据,推进相关标准的制定与完善。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

选择江苏、福建两省的若干代表性茶场进行实地采样调查,茶场基本信息如表1所示。位于江苏溧水、宜兴、苏州等地的茶场,属于北亚热带季风气候区,地貌为丘陵,气候温和,年均降雨量1200mm,年均气温15.6℃,土地肥沃,自然条件优越;位于福建安溪感德镇龙通村的湖处茶场,所处地形地貌为山地,地势自西北向东南倾斜,属于亚热带海洋性季风气候,年降雨量1600mm,年均气温16~18℃,夏季长而炎热,冬季短而无严寒、无风害、无冻害。

1.2 样品采集与处理

按照科学性和可行性相结合的原则,根据茶场面积、地形及土壤肥力均匀程度,在缓坡、平地茶园采用棋盘法布点,丘陵坡地则分别在坡面的上、中、下部采用“S”形布点^[17]。采样位置避开茶垄施肥沟,靠近滴水线内侧,在除去土壤表面的枯枝落叶后,使用适合不同采样深度的不锈钢管状土钻进行采样。考虑到茶树的生物学特性,以及不同规模茶场土壤性质的空间差异性,具体土壤采样方案设计如下。

1.2.1 茶园土壤不同采样深度的比较

通常农田土壤的采样监测,采集0~20cm耕作层样品进行送检。茶树属于深根型植物,20~30cm土壤范围为茶树根系的集中分布区域。选择两个有代表性的茶场(严景万茶场和芙蓉茶场),使用带刻度的不锈钢管状土钻,采集0~80cm范围的土壤剖面分层样品;0~40cm范围每10cm一层,40~80cm范围每20cm一层分别采样。根据需要将各层土样单独或等比例混匀后,进行处理及相关指标的测定。

1.2.2 茶园土壤不同采样密度的比较

选择三个不同面积的茶场(白龙茶场、光福茶场、严景万茶场),通过GPS在各茶场定位设置3种密度等级的采样分点(样点分布如图1、图2和图3),各

表1 供试茶场基本信息

Table 1 Basic information of experimental tea garden

茶场名称及代号	茶叶品种	植茶年限/a	茶场面积/hm ²	土壤类型	地形地貌	经纬度
江苏宜兴芙蓉茶场(FR)	碧螺春、雪芽、红茶	50	80.0	黄棕壤	丘陵	31°17'09"N, 119°43'15"E
江苏溧水严景万有机茶场(YJW)	龙井、白茶、碧螺春、毛尖	40	200.0	黄棕壤	丘陵	31°28'00"N, 119°01'50"E
江苏苏州光福茶场(GF)	碧螺春	60	133.3	黄棕壤	丘陵	31°17'09"N, 120°39'28"E
江苏溧水白龙有机茶场(BL)	龙井、毛尖、碧螺春	20	66.7	黄棕壤	丘陵	31°02'14"N, 119°21'22"E
福建安溪湖处茶场(HC)	铁观音	18	66.7	红壤	山地	25°36'35"N, 117°26'32"E

注:植茶年限较长的茶场对茶树的栽培管理会根据具体生长情况适时更新。

Note: For long-term tea garden, tea trees would be timely replaced according to growth conditions.

采样密度等级所包含的分样点为:等级1包括6个分样点,标注为“■”,等级2包括9个分样点,在等级1组基础上加标“▲”,包括“■、▲”;在等级1和2的基础上,等级3包括12个分样点,标注为“■、▲、●”。各分点采集0~20 cm茶园土壤,将相同密度等级的分样点土壤等比例混匀,进行各密度组混合土样的测定。

1.2.3 山地茶园土壤采样设计

针对山地茶园在不同高程土壤的空间变异较强这一特点,选择代表性的福建湖处茶场,分别在坡顶(海拔380 m)、坡中(海拔240 m)、坡下(海拔50 m)采集0~20 cm土壤样品(采样点经纬度见表1),分析比较茶园土壤性质在不同高程的差异。

1.2.4 不同规模茶园土壤采样设计

针对较大规模茶场的空间差异性,选择包含3个不同植茶年限片区的严景万有机茶场,根据植茶密度、施肥管理和规划建设等情况^[18],将整个茶场分为A、B、C共3个分区进行采样(样点布设如图3)。每个采样分区布设8个采样分点,采集0~20 cm土壤,将不同采样单元的分点土样进行单独及混合后测定。混

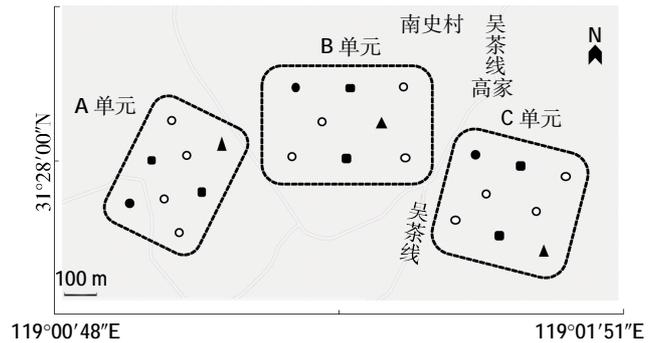


图3 严景万茶场采样布点图

Figure 3 Location of YJW tea garden sampling sites

合土样组成为:A区混合土样,即为等比例混合A单元区8个采样分点(B区、C区,同上);AB区混合土样,即为等比例混合A、B各区内标注“○”的分点土样(AC区、BC区和ABC区,同上)。

1.2.5 土壤样品处理

将所采集的土壤样品装入聚乙烯自封袋带回实验室,经过自然风干,剔除杂物,采用四分法取出部分土样按规定方法分别磨细通过20目和100目尼龙筛,混匀后装袋用于相关指标的测定。

1.3 分析指标与测定方法

土壤有机质的测定采用重铬酸钾容量法^[19];土壤pH的测定按照NY/T395;铅和镉的测定按照GB/T17140,砷的测定按照GB/T17135,汞、铬、铜分别按照GB/T17136、GB/T17137、GB/T17138的方法执行^[20]。

1.4 数据处理与评价方法

数据处理通过Excel 2013软件进行,方差分析及显著性检验采用SPSS 16.0软件。

采用单项污染指数法对茶园土壤重金属污染进行评价,单项污染指数评价公式为:

$$P_i = C_i / S_i$$

式中: P_i 为土壤污染物*i*的污染指数; C_i 为土壤污染物*i*的实测浓度; S_i 为土壤污染物*i*的评价标准。

采用Cochran公式,计算所需的采样点数量:

$$N = t^2 s^2 / D^2$$

式中: N 为样品数; t 为选定置信水平一定自由度下的*t*值; s^2 为均方差,可从先前的其他研究或从极差*R* [$s^2 = (R/4)^2$]估计; D 为可接受的绝对偏差。

2 结果与讨论

2.1 采样深度对茶园土壤pH、有机质及重金属含量评价结果的影响

选择土壤pH、有机质含量(土壤肥力代表性指

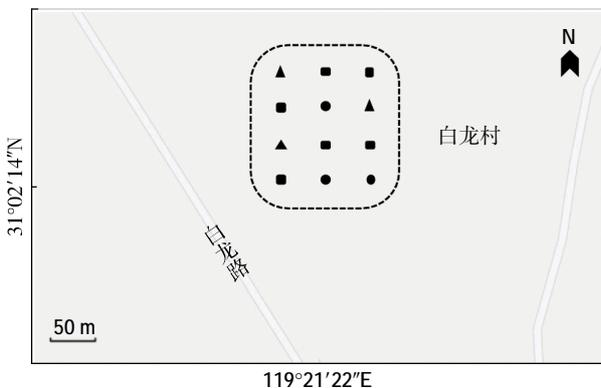


图1 白龙茶场采样布点图

Figure 1 Location of BL tea garden sampling sites

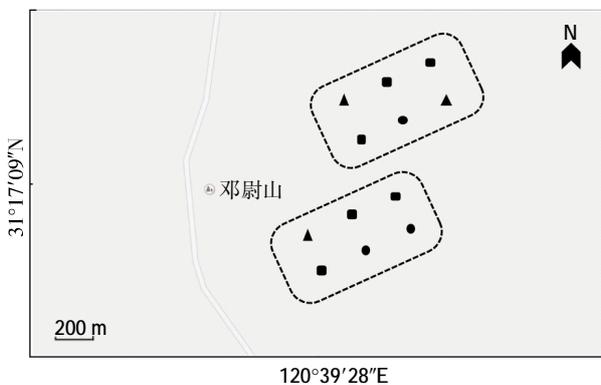


图2 光福茶场采样布点图

Figure 2 Location of GF tea garden sampling sites

标)及重金属含量(土壤环境功能代表性指标)作为分析评价茶园土壤环境质量的代表性指标^[21]。如图4所示,随着采样深度的增加,10~20 cm土层比0~10 cm土层的pH值略有升高,而20~30 cm土层pH值最低,FR和YJW两茶场该土层的pH值分别比40~80 cm土层pH均值低了1.96和0.95个单位;30 cm以下范围的土壤pH值随着深度的增加而逐渐升高,不同层次土壤pH差异显著($P<0.05$);土壤有机质含量表现为0~10 cm和20~30 cm土层相对其他土层较高,各层次土壤有机质含量差异极显著($P<0.01$)。

茶园土壤酸化是植茶过程中受到外因和内因的共同影响所致^[22-23]。外因主要包括施肥、灌溉和酸雨的作用,一般从表层开始并不断往下扩展,而内因则由于20~30 cm土层的茶树根系分泌大量有机酸导致pH降低。本研究不同土层检测数据充分说明,茶园土壤的酸化较大程度受根系活动的影响,而土壤有机质通常是农业耕作模式下有机肥料的投入,耕层有机质积累量比下层土壤要高。但供试茶场检测数据表明,

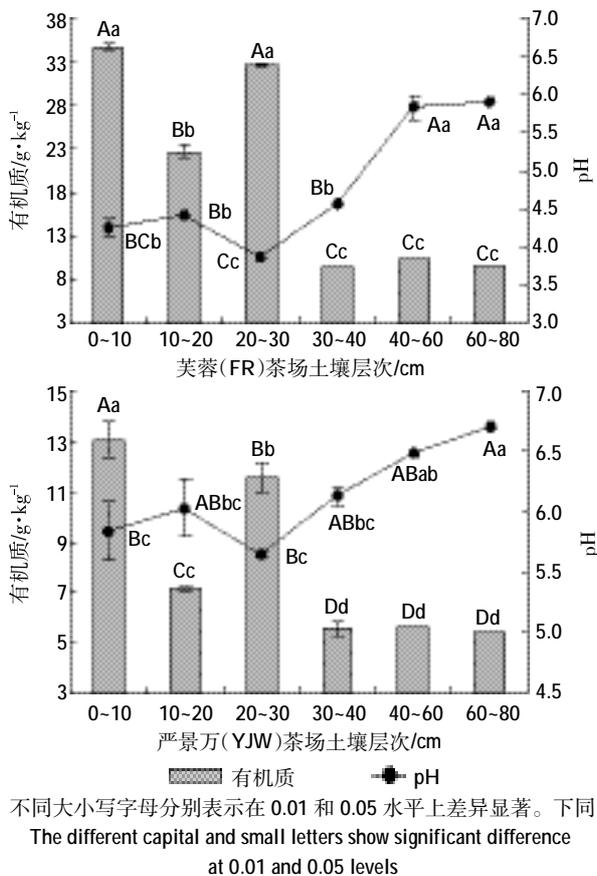


图4 不同采样深度的茶园土壤性质

Figure 4 Soil properties of tea garden under different sampling depths

在茶树根系集中分布的20~30 cm土层,有机质积累量比其上层的10~20 cm土层还高 $7.15 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。这显然与茶树根系活动促进有机质积累有关。与土壤大环境相比,茶树根际区域土壤密度较大,二氧化碳含量较高^[24],pH值较低,有机质稳定^[25],当把茶树根系集中分布的20~30 cm区域纳入采样范围时,根际范围土壤性质的影响就会得到更充分的体现。

对照土壤环境质量标准,六种土壤重金属均未达到污染水平,然而Hg、Pb、Cr、Cu、Cd和As在各土层的分布状况呈现不同特征。如图5所示,在0~80 cm土壤剖面中,重金属Hg、Pb呈现明显的“表聚性”,其在0~10 cm土层的含量最高,分别为26.65%和43.62%。Hg的含量随土层深度的增加而逐渐降低,在剖面从上至下各层的含量分别为26.65%、22.87%、16.70%、13.48%、12.29%和8.01%;相反地,As的含量随土壤深度的增加而提高,表现为上低下高的淋溶淀积特征。在30 cm以下土层中,重金属Cr、Cu、Cd的含量相对一致,且不同土层间的含量差异不大,基本接近于该地区的土壤本底值^[26]。

表层土壤中重金属Hg、Pb和Cd的积累主要与大气沉降有关^[26]。当存在外源输入的情况下,重金属Hg和Pb积累于0~10 cm表土层,以阳离子形态存在的重金属受土壤带负电荷特性的影响,不易向下迁移^[27]。然而,“表聚性”的重金属对20~30 cm土层茶树根系的生长影响较小。在有机认证的土壤采样过程中,随着采样深度的增加,重金属在送检土样中的占比(含量)随之降低。在更多体现茶树生长的20~30 cm根际土壤环境的作用时,将采样深度由0~20 cm增至0~30 cm,相对降低了重金属的污染权重。这在一定程度上使得土壤环境质量评价更加客观,对扩大

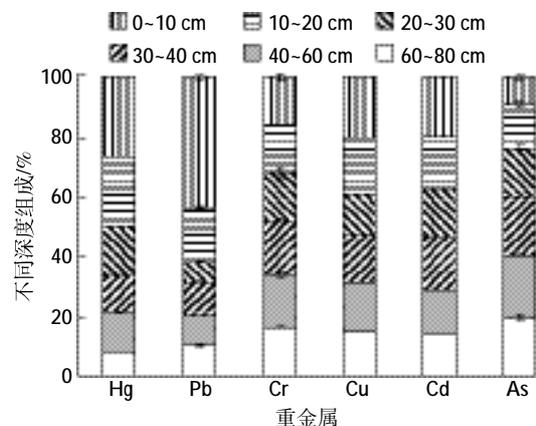


图5 重金属在茶园土壤剖面中的分布

Figure 5 Distribution of heavy metals in tea garden soil profile

有机茶叶种植规模具有现实意义。

2.2 海拔高度及土壤类型对茶园土壤 pH、有机质含量评价结果的影响

位于山地丘陵地区的茶园,土壤性质的空间变异受到坡度和海拔高度等地形因素的影响^[28]。如图 6 所示,供试茶场坡顶部土壤 pH 最低为 4.07,不同高程的土壤 pH 极差为 0.09,变异系数为 0.009,属于弱强度变异;土壤有机质的变异系数为 0.103,位于坡顶的土壤有机质含量达 $26.69 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,显著高于坡体中、下部($P<0.01$),极差达到 $6.19 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。供试茶园坡顶的海拔较高而气温相对较低,且通常坡顶土壤含水量较低,导致微生物活动较弱,有机质的分解作用相比坡下部缓慢,因而坡顶土壤有机质的积累高于坡体中、下部;同时,山地茶园在坡中、上部茶树种植较密集,土壤酸化程度较强,pH 值相对较低,而且更多的枯枝落叶有利于土壤有机质的积累。

除了地形、海拔高度之外,土壤类型也应作为影响茶园土壤适宜性评价结果的一个重要因素。茶树适宜在质地疏松、通透性及肥力良好的轻粘壤土、中壤土和砂壤土条件下生长,土壤适宜 pH 范围为 4.5~6.0,最适值为 5.5^[21]。根据本研究供试茶场的实验数据,对比以上“2.1”部分,不同土壤类型(黄棕壤、红壤)的土壤 pH 差异较大:安溪地区茶园(红壤)的 pH 均值仅为 4.13,而江苏地区大部分茶园(黄棕壤)的 pH 值范围在 4.3~5.5 之间。红壤是在亚热带条件下,由母质经中度富铝化和生物富集作用形成的,土质酸、瘦程度较重,土壤养分相对黄棕壤的流失强度大^[29]。因此,在有机认证过程中需考虑成土母质、气候条件和茶园管理措施等综合因素。

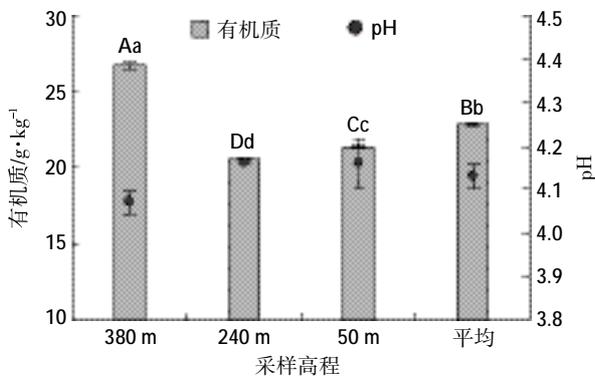


图 6 不同采样高程的茶园土壤性质

Figure 6 Soil properties of tea garden under different sampling heights

2.3 采样密度对茶园土壤 pH、有机质含量评价结果的影响

土壤的空间变异系数随着采样点间距的增大而增大^[30],如图 7 所示,随着茶场面积的增大,同一茶场不同采样密度的指标极差值随之增大。在 BL(66.7 hm^2)、GF(133.3 hm^2)及 YJW(200.0 hm^2)三个茶场中,土壤 pH 的变异系数分别为 0.010、0.012 和 0.017。对于 BL 茶场而言,3 种不同采样密度间差异不显著($P<0.05$);而在 GF 茶场和 YJW 茶场,3 种采样密度所获取的土壤 pH 极差值分别为 0.13、0.22,其中 YJW 茶场中各采样密度间差异极显著($P<0.01$)。

土壤有机质的检测结果也表现出相同特征,三个不同规模茶场有机质含量的极差分别为 0.93、3.20、 $8.99 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表 2)。BL、GF 两茶场的土壤有机质为弱变异性,而规模最大的 YJW 茶场的有机质变异系数为 0.276,属于中等变异,各采样密度间的土壤有机质含量达到极显著差异($P<0.01$)。

综上所述,当茶场面积相对较小时,区域环境变异性较弱,可相应地减少采样点数量,如每 66.7 hm^2 茶园确定包含 6 个采样分点的一个送检样品,即可满

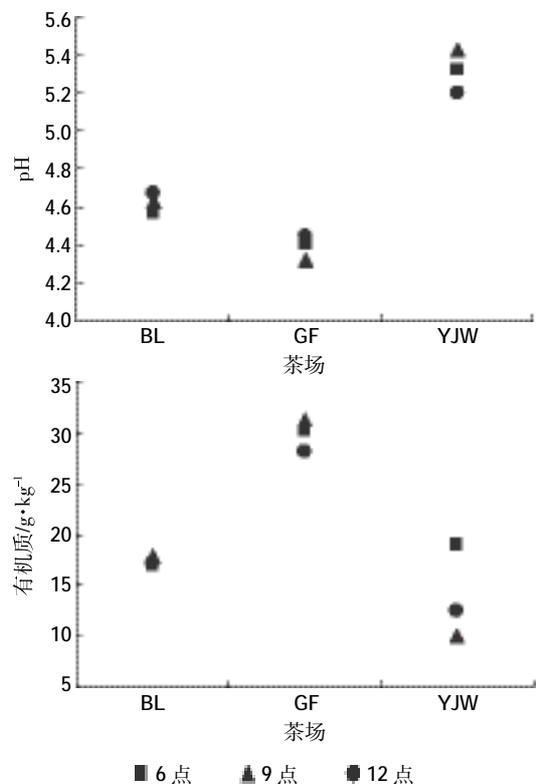


图 7 不同采样密度的茶园土壤性质

Figure 7 Soil properties of tea garden under different sampling densities

表2 不同面积供试茶场土壤性质的描述性统计
Table 2 Descriptive statistics of soil properties in different tea gardens

指标 Indexes	茶场面积 Area/hm ²	平均值 Mean	极差 Range	标准差 SD	变异系数 CV
pH	66.7	4.62	0.11	0.04	0.010
	133.3	4.39	0.13	0.05	0.012
	200.0	5.31	0.22	0.09	0.017
有机质/ g·kg ⁻¹	66.7	17.31	0.93	0.43	0.025
	133.3	29.85	3.20	1.33	0.044
	200.0	13.78	8.99	3.80	0.276

足最少采样点的要求。对于面积较大的茶场,土壤性质空间差异大,靠增加分样点数量也不能满足,应该进行分区采样,增加送检样品个数,从而更加客观地反映整个茶场的土壤环境质量状况。

2.4 不同规模茶园采样点设置对茶园土壤 pH、有机质及重金属含量评价结果的影响

采样点的代表性及其分布是影响茶园基地土壤环境质量评价结果可靠性的重要因素。规模大的茶场需要分区采样,以客观反映各区差异较大的土壤性质(图8)。供试茶场面积达 200 hm²,需分为三个采样区。A 区的土壤 pH 相对较低,有机质含量较高;C 区

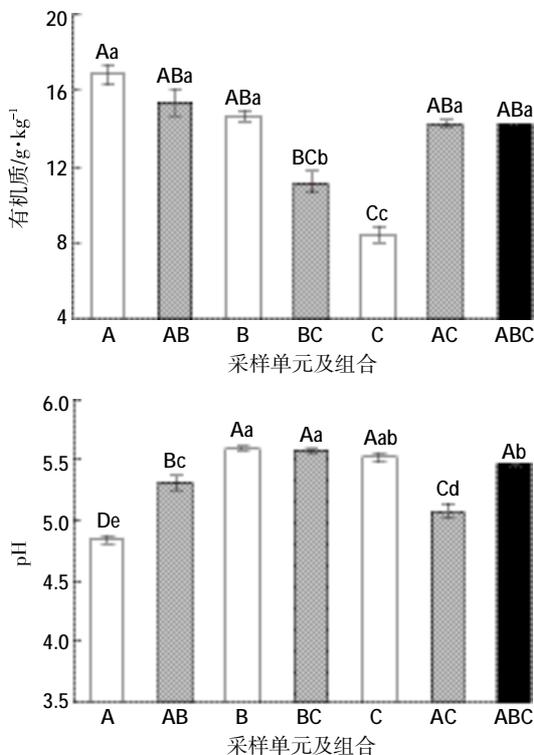


图8 不同采样单元及组合方式下的土壤性质
Figure 8 Soil properties of tea garden under different and combined regions

的土壤有机质含量较低,仅为 8.44 g·kg⁻¹。根据单因素方差分析,A 区与其他两区的土壤 pH 差异显著($P < 0.05$);C 区与其他各区的土壤有机质含量差异显著($P < 0.05$)。

本文分析了供试茶场共计 24 个样点的土壤重金属 Hg、As、Pb、Cr 和 Cu 的含量(Cd 未检出),分别计算单项污染指数并统计其分布范围,绘制箱线图(图9)。不同重金属在该茶场的空间分布具有不同特征,Pb、Hg、Cu 在整个茶园土壤中的含量波动较大,单项污染指数范围分别为 0.05~0.34、0.34~0.57 和 0.30~0.45,变异系数分别为 0.43、0.20 和 0.15,属于中等强度变异;而 As、Cr 的变异系数仅为 0.08,属于弱强度变异。供试茶场土壤中五种重金属的空间变异系数大小排序为:Pb>Hg>Cu>Cr>As。

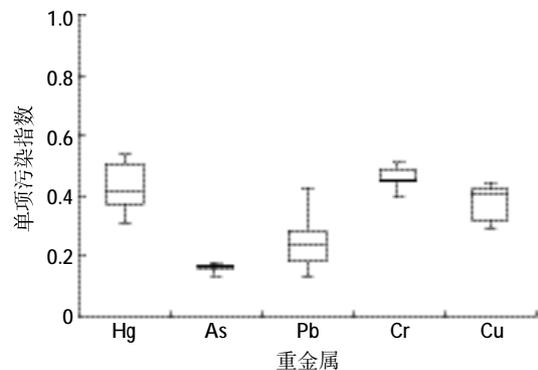


图9 严景万茶场土壤重金属的空间分布
Figure 9 Spatial distribution of soil heavy metals in YJW tea garden

根据分析结果,分别在 80%、90%和 95%共 3 种置信水平下,对预测供试茶园土壤各环境因子的必要采样数量进行了计算,结果见表3。对于面积达 200 hm²的茶场,其中弱变异性指标,如土壤 pH、重金属 As、Cr,采集 1 个样点即可反映该指标在供试茶场的水平;预测该区域的土壤有机质、重金属 Hg 和 Cu 的含量,需至少采集 3~5 个分样点;而 Pb 的空间变异性较强,在不同置信水平下的可靠采样点数量范围为 9~23 个。总之,在具体采样时要结合茶场的实际情况综合考虑,通过实地考察、前期调研等确定是否分区采样以及具体样点分布。

土壤性质的空间变异性增加了采样评估土壤环境质量的难度^[31-32],实际采样过程中,应根据采样区域的地形、种植管理模式进行单元划分,尽量保证各采样单元的土壤性质均匀性^[33]。对于各环境指标的不同变异性,建立基于代表性等级的采样设计方法,从而

表3 严景万茶场土壤检测统计结果及合理采样点数量

Table 3 Descriptive statistics of YJW tea garden soil properties and reasonable sampling numbers

指标	采样点数 N	平均值 Mean	极差 Range	标准差 SD	峰度 Kurtosis	偏度 Skewness	变异系数 CV	置信度 Confidence		
								80%	90%	95%
pH	24	5.34	0.76	0.266	-0.074	-1.063	0.05	1	1	1
有机质 OM	24	13.54	8.38	2.609	0.800	-1.082	0.19	2	3	5
汞 Hg	24	0.07	0.04	0.013	-1.239	0.713	0.20	2	3	5
砷 As	24	6.79	1.80	0.523	3.289	1.515	0.08	1	1	1
铅 Pb	24	11.17	14.70	4.783	0.163	-0.687	0.43	9	15	23
铬 Cr	24	42.27	10.30	3.492	-0.391	1.018	0.08	1	1	1
铜 Cu	24	18.90	7.50	2.813	-2.244	-0.192	0.15	1	2	3

确定不同等级类型的代表性样点^[34]。茶园土壤环境质量评价需合理分区及布点,以保证样品更加准确地反映茶园土壤的性状,获得客观的评价结果。

3 结论

(1)茶园土壤不同深度土层的性质差异显著。当存在外源性重金属 Hg、Pb 等输入时,其在 0~10 cm 土层积累明显,呈现表聚性;20~30 cm 土层为茶树根系密集区,土壤 pH 值较低,有机质含量显著高于表土层。采集 0~30 cm 茶园土样送检评估,能客观地反映茶园土壤环境质量状况。

(2)坡地或山地茶园土壤性质与海拔高度及茶园管理方式有关,位于坡顶的土壤有机质含量较高,土壤 pH 值较低($P<0.01$)。采样时应分别在其上、中、下部位设置采样分点,采集多点混合样品。

(3)茶园土壤性质的空间差异随着茶场规模的扩大而增加,供试有机茶园土壤重金属的空间变异系数大小排序为: Pb>Hg>Cu>Cr>As。增加送检样本数量的分区采样方法能更好地反映较大规模茶场土壤的空间差异性。

参考文献:

[1] Alidad K, Mehdi H, Sadegh A, et al. Organic resource management impacts on soil aggregate stability and other soil physical-chemical properties[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2012, 148: 22-28.

[2] Jackson L E, Ramirez I, Yokota R, et al. On-farm assessment of organic matter and tillage management on vegetable yield, soil, weeds, pests, and economics in California[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2004, 103: 443-463.

[3] 李 玮, 郑子成, 李廷轩, 等. 退耕植茶对川西低山丘陵区土壤有机碳库的影响[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(8): 1642-1651.

LI Wei, ZHENG Zi-cheng, LI Ting-xuan, et al. Effects of returning farmland to tea on soil organic carbon pool of hilly region in the western Sichuan[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(8): 1642-1651.

[4] Xiong X, Grunwald S, Myers D B, et al. Interaction effects of climate and land use/land cover change on soil organic carbon sequestration[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 493: 974-982.

[5] 陆洪进, 魏复盛, 吴国平, 等. 我国农产品产地生态环境状况与农产品安全研究进展[J]. *食品科学*, 2014, 35(23): 313-319.

LU Si-jin, WEI Fu-sheng, WU Guo-ping, et al. Analysis of agricultural ecological environment and agriculture products safety in China[J]. *Food Science*, 2014, 35(23): 313-319.

[6] 程 珂, 杨新萍, 赵方杰. 大气沉降及土壤扬尘对天津城郊蔬菜重金属含量的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2015, 34(10): 1837-1845.

CHENG Ke, YANG Xin-ping, ZHAO Fang-jie. Effects of atmospheric and dust deposition on content of heavy metals in vegetables in suburbs of Tianjin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2015, 34(10): 1837-1845.

[7] 中华人民共和国国家质监局. GB/T 19630.1—2011 有机产品[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.

General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 19630.1—2011 Organic products[S]. Beijing: China Standard Press, 2011.

[8] 国家环境保护局. GB 15618—1995 土壤环境质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.

National Environmental Protection Agency. GB 15618—1995 Environmental quality standard for soils[S]. Beijing: China Standard Press, 1995.

[9] 沈学政, 苏祝成, 王旭峰. 茶文化资源类型及业态范式研究[J]. *茶叶科学*, 2015, 35(3): 299-306.

SHEN Xue-zheng, SU Zhu-cheng, WANG Xu-feng. Research on the type and mode of the development of tea culture resource[J]. *Journal of Tea Science*, 2015, 35(3): 299-306.

[10] 伊万娟, 李小雁, 李岳坦. 云南普洱茶产地土壤理化性状分析[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2011, 47(1): 80-84.

YI Wan-juan, LI Xiao-yan, LI Yue-tan. Physical and chemical properties of soil in Pu-ERH tea farms in Yunnan Province[J]. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2011, 47(1): 80-84.

[11] 杨 君, 周卫军, 杨 威, 等. 茶树根际与非根际土壤磷形态变化特征[J]. *水土保持通报*, 2013, 33(4): 216-220.

YANG Jun, ZHOU Wei-jun, YANG Wei, et al. Characteristics of phosphorus forms in rhizosphere and non-rhizosphere soil of tea plantation[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2013, 33(4): 216-220.

- [12] 余卓亚. 贵州山区茶叶种植土地适宜性评价研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2014.
YU Zhuo-ya. Study on land suitability evaluation of the tea plantation in the Guizhou mountainous areas[D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2014.
- [13] Li B, Zhang F, Zhang L W, et al. Comprehensive suitability evaluation of tea crops using GIS and a modified land ecological suitability evaluation model[J]. *Pedosphere*, 2012, 22(1): 122-130.
- [14] 吴克华, 赵卫权, 廖凤林, 等. 基于 GIS 的贵州省茶园生态适宜性研究[J]. *地球与环境*, 2013, 41(3): 296-302.
WU Ke-hua, ZHAO Wei-quan, LIAO Feng-lin, et al. Study on ecological suitability of green tea garden in Guizhou Province[J]. *Earth and Environment*, 2013, 41(3): 296-302.
- [15] Zhu A X, Yang L, Li B L, et al. Purposive sampling for digital soil mapping for areas with limited data[C]//Hartemink A E, McBratney A B, Mendonka-Santos M L. Digital soil mapping with limited data. New York: Springer-Verlag, 2008: 233-245.
- [16] Yang L, Zhu A X, Qi F, et al. An integrative hierarchical stepwise sampling strategy and its application in digital soil mapping[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2013, 27(1): 1-23.
- [17] 国家环境保护局. HJ/T 166—2004 土壤环境监测技术规范[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
National Environmental Protection Agency. HJ/T 166—2004 Technical specification for soil environmental monitoring[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2004.
- [18] 徐云鹤, 方 斌. 江浙典型茶园土壤有机质空间异质性分析[J]. *地球信息科学*, 2015, 17(5): 622-630.
XU Yun-he, FANG Bin. Study on spatial heterogeneity of the soil organic matter in typical tea gardens of Jiangsu Province and Zhejiang Province[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2015, 17(5): 622-630.
- [19] 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.
LU Ru-kun. Soil agricultural chemical analysis methods[M]. Beijing: China Agriculture Science and Technique Press, 2000.
- [20] 农业部. NY 5199—2002 有机茶产地环境条件[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY 5199—2002 Environmental condition for organic tea production area[S]. Beijing: China Standard Press, 2002.
- [21] 宗良纲, 周 俊, 罗 敏, 等. 江苏茶园土壤环境质量现状分析[J]. *中国生态农业学报*, 2006, 14(4): 61-64.
ZONG Liang-gang, ZHOU Jun, LUO Min, et al. Analysis on current status of soil environmental quality of tea gardens in Jiangsu Province [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(4): 61-64.
- [22] 王 峰, 陈玉真, 尤志明, 等. 不同类型茶园土壤腐殖质剖面分布特征研究[J]. *茶叶科学*, 2015, 35(3): 263-270.
WANG Feng, CHEN Yu-zhen, YOU Zhi-ming, et al. The vertical characteristics of soil humus in different soil types of tea garden[J]. *Journal of Tea Science*, 2015, 35(3): 263-270.
- [23] Yaylalı -Abanuz G, Tüysüz N. Heavy metal contamination of soils and tea plants in the eastern Black Sea region, NE Turkey[J]. *Environmental Earth Science*, 2009, 59: 131-144.
- [24] 谢光新, 张荣先, 黄雪飞, 等. 不同生长年限茶树根际微生物分布的差异[J]. *湖北农业科学*, 2012, 51(15): 3177-3179.
XIE Guang-xin, ZHANG Rong-xian, HUANG Xue-fei, et al. Distribution of root and rhizosphere microorganism in tea tree at different ages [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2012, 51(15): 3177-3179.
- [25] 高旭晖. 茶树根际微生物与根际效应[J]. *茶叶通讯*, 2000(1): 35-38.
GAO Xu-hui. Rhizosphere microorganism and rhizosphere effect of tea tree[J]. *Journal of Tea Communication*, 2000(1): 35-38.
- [26] 李 仪, 章明奎. 杭州西郊茶园土壤重金属的积累特点与来源分析[J]. *广东微量元素科学*, 2010, 17(2): 18-25.
LI Yi, ZHANG Ming-kui. Characterizing accumulation and sources of soil heavy metals in tea gardens in western suburban of Hangzhou[J]. *Guangdong Trace Elements Science*, 2010, 17(2): 18-25.
- [27] 阮心玲, 张甘霖, 赵玉国, 等. 基于高密度采样的土壤重金属分布特征及迁移速率[J]. *环境科学*, 2006, 27(5): 1020-1025.
RUAN Xin-ling, ZHANG Gan-lin, ZHAO Yu-guo, et al. Distribution and migration of heavy metals in soil profiles by high-resolution sampling[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(5): 1020-1025.
- [28] 冯娜娜, 李廷轩, 张锡洲, 等. 不同尺度下低山茶园土壤有机质含量的空间变异[J]. *生态学报*, 2006, 26(2): 349-356.
FENG Na-na, LI Ting-xuan, ZHANG Xi-zhou, et al. The spatial variability of the content of organic matter in hilly tea plantation soils with different sampling scales[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 349-356.
- [29] 王 峰, 陈玉真, 尤志明, 等. 不同类型茶园土壤团聚体组成特征及稳定性研究[J]. *茶叶科学*, 2014, 34(2): 129-136.
WANG Feng, CHEN Yu-zhen, YOU Zhi-ming, et al. Composition and stability of soil aggregates among different soil types of tea garden[J]. *Journal of Tea Science*, 2014, 34(2): 129-136.
- [30] 严俊霞, 梁雅南, 李洪建, 等. 不同取样尺度下华北落叶松人工林土壤呼吸的空间变异性[J]. *环境科学*, 2015, 36(12): 4591-4599.
YAN Jun-xia, LIANG Ya-nan, LI Hong-jian, et al. Spatial heterogeneity of soil respiration in a larch plantation of North China at different sampling scales[J]. *Environmental Science*, 2015, 36(12): 4591-4599.
- [31] WANG X J, HU X F. Preliminary study on relationship between soil parent materials and tea quality[J]. *Pedosphere*, 1997, 7(4): 361-366.
- [32] 闫豫疆. 县域级平原与丘陵农田土壤养分空间差异性综合研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
YAN Yu-jiang. The synthetic study on spatial variation of agricultural soil nutrient on plain and hill of country level[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012.
- [33] 马建宏. 农田土壤环境质量监测中的质量保证和质量控制体系研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
MA Jian-hong. Study on the quality assurance and control system of farm field soil environment[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006.
- [34] 杨 琳, 朱阿兴, 秦承志, 等. 一种基于样点代表性等级的土壤采样设计方法[J]. *土壤学报*, 2011, 48(5): 938-946.
YANG Lin, ZHU A-xing, QIN Cheng-zhi, et al. A soil sampling method based on representativeness grade of sampling points[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(5): 938-946.