

茶叶氟含量与茶园土壤特性的相关性及其影响因素

赵 明, 蔡 葵, 王文娇, 赵征宇, 孙永红

(青岛市农业科学研究院/农业部农产品质量安全风险评估实验室(青岛), 山东 青岛 266100)

摘 要:通过对青岛地区 10 个典型茶园中的茶叶氟含量和土壤水溶性氟、pH、交换性酸及交换性阳离子等的测定,分析了茶叶氟含量与土壤特性的相关性,并探讨了土壤水溶性氟和交换性酸的主要影响因素。结果表明,茶园土壤水溶性氟和交换性酸含量与茶叶氟含量呈显著正相关性($P<0.05$),是影响茶叶氟含量的关键因素。土壤交换性 H^+ 和交换性 Na^+ 与土壤水溶性氟含量呈显著正相关性($P<0.05$),是影响土壤水溶性氟含量的主要因素。土壤交换性 Al^{3+} 与交换性酸呈极显著正相关性($P<0.01$),pH、交换性 Ca^{2+} 、交换性盐基总量和盐基饱和度与交换性酸含量呈极显著负相关性($P<0.01$),是土壤交换性酸含量的主要影响因素。研究结果可为茶园土壤改良及降低茶叶氟含量的质量安全风险提供依据。

关键词:茶叶氟含量;茶园土壤;土壤特性;相关性;影响因素

中图分类号:S154.4

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2016)03-0276-05

doi: 10.13254/j.jare.2015.0250

引用格式:

赵 明, 蔡 葵, 王文娇, 等. 茶叶氟含量与茶园土壤特性的相关性及其影响因素[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(3): 276-280.

ZHAO Ming, CAI Kui, WANG Wen-jiao, et al. Correlation Between the Content of Fluoride in Tea and Properties of Tea Garden Soil and Its Influencing Factors[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2016, 33(3): 276-280.

Correlation Between the Content of Fluoride in Tea and Properties of Tea Garden Soil and Its Influencing Factors

ZHAO Ming, CAI Kui, WANG Wen-jiao, ZHAO Zheng-yu, SUN Yong-hong

(Qingdao Academy of Agricultural Science, Qingdao Laboratory of Quality and Safety for Agricultural Risk Assessment, Qingdao 266100, China)

Abstract: The water-soluble fluorine, pH, exchangeable acid, exchangeable cation content of soil from typical tea gardens in Qingdao and its fluoride content in tea were determined. We studied the correlation between fluoride content in tea and the soil properties, and analyzed the main influencing factors of soil water-soluble fluorine and exchangeable acid. The results showed that the water-soluble fluorine of tea garden soil and exchangeable acid were positively correlated with tea fluoride content, which are the main factors affecting the fluoride content in tea. Soil exchangeable H^+ and Na^+ were positively correlated with soil water-soluble fluorine, which are the main factors affecting the soil water-soluble fluorine. Soil exchangeable acid was positively correlated with exchangeable Al^{3+} , and negatively correlated with pH, exchangeable Ca^{2+} , exchangeable base amount and base saturation, which are the main factors affecting the soil exchangeable acid. The results can provide the bases for tea garden soil improvement and reduce the quality and safety risk of tea fluoride.

Keywords: fluoride content of tea; tea garden soil; soil properties; correlation; influencing factors

饮茶是人类摄取氟的重要来源,人体摄入适量的氟可以维持骨骼和牙齿的正常生长和发育,防止血管老化。氟摄入量不足常可出现佝偻病、骨质疏松、龋齿;但过量的氟又会对人体产生危害,如氟斑牙、氟骨

症等^[1]。茶树是一种氟富集能力强的植物,茶叶是茶树氟积累的主要器官^[2],土壤理化性状对茶叶氟含量起着决定性作用^[3]。已有研究表明,茶叶中的氟主要来源于土壤,但不同地区茶园土壤特性差异对茶叶氟含量的影响不尽相同^[4-6]。因此,研究茶叶氟含量与土壤特性的相关性,有针对性的提出改良土壤理化性状的技术措施,对降低茶叶质量安全风险具有重要意义。

青岛地区属我国最北端茶叶种植区,位于东经119°30'~121°00'。该地区具有独特的地理环境,农业

收稿日期:2015-10-23

基金项目:农业部茶叶质量安全风险评估项目(2014)

作者简介:赵 明(1958—),男,山东青岛人,本科,高级农艺师,主要从事土壤肥料与农产品质量安全研究。

E-mail:zhaomingqd@163.com

生态环境良好,年均气温 12.7 ℃,年均降雨量 662.1 mm,属于北温带季风气候,土壤母质为花岗岩坡积、洪积物,形成的微酸性棕壤适宜茶树生长。但在近年来的测定中发现有部分茶叶氟含量超标,造成茶叶的质量安全风险。为研究影响青岛地区茶叶氟含量的主要原因,本文分别采集了青岛地区茶叶生产区域中的 10 个典型茶园茶叶和土壤样品,测定茶叶氟含量和土壤特性,分析土壤特性与茶叶氟含量的相关性及其主要影响因素,以期对茶园土壤改良和降低茶叶质量安全风险提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

供试样品分别于 2014 年秋季和 2015 年春季选择青岛市黄岛、崂山、城阳、即墨等区(市)茶叶主产区具有代表性的 10 个茶园,每个茶园随机选取样点 3 个,共采集土壤和茶叶样品各 30 个。土壤样品采集深度 0~20 cm,同时按一芽两叶标准采集同地点茶叶样品。土样自然风干后,研磨过 2 mm 和 0.25 mm 筛备用。茶叶鲜样经 105 ℃杀青、70 ℃烘干,粉碎过 1 mm 筛备用。

1.2 测定方法

茶叶氟含量采用沸水提取,氟离子选择电极法测定^[7]。土壤水溶性氟采用土水比 1:10 恒温振荡提取,氟离子选择电极法测定^[8];土壤 pH 值采用土水比为 1:2.5 电位法测定;土壤交换性酸采用 1 mol·L⁻¹ KCl 淋洗法提取,NaOH 滴定法测定;土壤交换性盐基采用 1 mol·L⁻¹ 醋酸铵提取的测定值与水溶性测定值之

差求得,分别用原子吸收分光光度法测定提取液中 Ca²⁺和 Mg²⁺含量,火焰光度法测定提取液中 K⁺和 Na⁺含量;土壤阳离子交换量(CEC)采用 1 mol·L⁻¹ 中性乙酸铵交换法测定;土壤交换性盐基总量(EB)为交换性 Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺含量之和;土壤盐基饱和度为 EB 与 CEC 的比值^[9]。

1.3 数据分析

利用 SPSS 17.0 和 Microsoft Excel 2003 分析软件进行数据统计和相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 茶叶氟含量与土壤特性的相关性

供试样品测定结果看出(见表 1),茶叶氟含量范围为 73~583 mg·kg⁻¹,部分茶叶样品氟含量已经超过农业部茶叶氟含量限量标准(≤200 mg·kg⁻¹)^[10]。因此,从茶叶质量安全和饮茶者的健康风险考虑,需对青岛地区茶叶氟含量加以控制。

通常把土壤中的氟区分为全氟和水溶性氟^[11]。土壤水溶性氟主要以离子或络合物形式存在于土壤溶液中的氟,是各种形态氟中活性最大的部分,极易被茶树吸收,并累积于茶叶中^[12]。本研究供试茶园土壤水溶性氟平均含量为 6.2 mg·kg⁻¹,供试茶叶氟平均含量为 280 mg·kg⁻¹,表明茶叶对土壤水溶性氟有极强的富集作用。从茶叶氟与土壤特性测定结果的相关分析看出(见表 2),茶叶氟含量与土壤水溶性氟和交换性酸含量呈显著正相关性($r=0.437$ 和 $r=0.427$),与其他土壤测定结果的相关性均不显著,表明土壤水溶性氟和交换性酸含量是影响茶叶氟含量的关键因素。陆景冈

表 1 不同茶园茶叶氟含量及土壤特性

Table 1 The results of tea fluoride and soil properties in different tea gardens

茶园	茶叶氟/ mg·kg ⁻¹	pH(H ₂ O)	水溶性氟/ mg·kg ⁻¹	交换性 H ⁺ / cmol·kg ⁻¹	交换性 Al ³⁺ / cmol·kg ⁻¹	交换性酸/ cmol·kg ⁻¹	交换性 Ca ²⁺ / cmol·kg ⁻¹	交换性 Mg ²⁺ / cmol·kg ⁻¹	交换性 K ⁺ / cmol·kg ⁻¹	交换性 Na ⁺ / cmol·kg ⁻¹	CEC/ cmol·kg ⁻¹
1	73±16	5.5±0.6	3.6±1.9	0.36±0.05	0.39±0.10	0.75±0.08	5.75±0.82	1.63±0.17	1.08±0.28	0.19±0.07	14.1±0.6
2	122±34	5.2±0.4	6.0±0.8	0.22±0.18	0.89±0.54	1.11±0.72	5.60±0.66	2.34±0.99	0.90±0.44	0.13±0.06	15.1±1.9
3	316±106	5.5±0.9	5.3±1.0	0.11±0.05	1.00±1.31	1.11±1.29	6.38±2.03	1.74±0.10	0.45±0.07	0.18±0.02	13.1±1.0
4	367±54	5.3±0.4	3.8±1.7	0.17±0.00	1.47±1.14	1.64±1.14	4.57±1.50	1.62±0.21	0.14±0.12	0.16±0.06	11.1±1.6
5	163±42	5.2±0.3	5.6±2.6	0.25±0.08	0.64±0.46	0.89±0.54	7.73±1.58	2.50±0.66	0.35±0.07	0.19±0.03	16.1±1.5
6	145±8	4.5±0.3	5.1±0.5	0.13±0.08	0.80±0.35	0.93±0.42	5.30±0.60	0.41±0.10	0.76±0.04	0.20±0.07	9.3±0.6
7	297±49	4.8±0.3	8.1±1.1	0.30±0.13	0.70±0.41	1.00±0.50	9.87±0.72	1.43±0.49	1.05±0.18	0.49±0.05	15.2±0.2
8	230±31	4.9±0.7	7.2±1.0	0.28±0.14	0.53±0.71	0.82±0.85	6.75±1.30	0.66±0.56	0.41±0.07	0.35±0.04	8.7±0.2
9	507±111	4.9±0.7	7.1±2.6	0.47±0.10	1.02±1.42	1.48±1.32	8.78±4.38	1.13±0.69	0.88±0.40	0.19±0.05	13.4±2.2
10	583±192	4.8±0.6	10.3±4.1	0.46±0.16	0.72±0.73	1.55±0.78	6.92±5.26	0.61±0.48	1.31±0.57	0.29±0.09	11.9±2.0

注:表中数据为茶园 3 个样点测定平均值±标准差。

等^[13]分析了苏、浙、赣、闽、粤及海南 6 省茶园土壤和茶叶中氟含量表明,茶叶中氟含量与土壤水溶性氟呈极显著正相关,沙济琴等^[2-3,24]也有相同的研究结论。但有研究结果报道茶叶中氟与土壤水溶性氟之间无相关性^[14-16],不同结论的产生可能是受茶树生长地区环境的影响所致。

土壤交换性酸与茶叶氟含量的相关性研究未见报道。本研究结果表明,交换性酸含量与交换性 Al^{3+} 含量呈极显著正相关性($r=0.944$),与冯雪等^[16]的研究报道相同。在酸性土壤中氟离子可以和土壤溶液中的 Al^{3+} 配合形成稳定性高又易溶于水的氟铝配合物 AlF_3 及其阴离子 AlF_4^- 、 AlF_5^{2-} 、 AlF_6^{3-} 等,增加了土壤水溶性氟含量^[3],从而提高茶叶氟的吸收累积量。因此,降低土壤水溶性氟和交换性酸含量,可以减少茶叶氟含量,是降低茶叶氟含量安全风险的重要措施。

2.2 影响土壤水溶性氟含量的因素

有研究表明,土壤水溶态氟含量除受土壤母质、气候条件等影响外,还与土壤 pH、交换性钙、镁以及铁铝盐基离子有关^[14,17]。夏静芬等^[18]研究表明,茶园土壤 0~20 cm 和 20~40 cm 深土层中土壤水溶性氟和 pH 之间存在相关性;吴卫红等^[19]研究报道了土壤 pH 影响氟活性和形态分布。本研究测定结果的相关性分析看出,土壤水溶性氟含量与土壤交换性 H^+ 和土壤交换性 Na^+ 含量呈显著正相关性(见表 2),与其他土壤性状测定结果的相关性均不显著。凌云霄等^[20]研究表明,我国南方酸性土壤,其交换性酸几乎全为 Al^{3+} 所引起,交换性 H^+ 在总交换性酸中所占比例一般为 3% 以下。而青岛地区供试土壤交换性 H^+ 约占交换性

酸的 25% 左右,这与供试土壤的成土母质和气候条件差异有关^[21-22],而交换性 H^+ 含量占比的增加可能使土壤水溶性氟含量升高的原因有待进一步考证。

R.Chhabra 等认为钠离子能使更多的吸附态氟转入溶液,提高了土壤氟的活性^[23]。李张伟^[24]的研究结果表明,土壤交换性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 的含量与土壤中的水溶性氟含量呈极显著的正相关性,土壤中这 4 种交换性阳离子含量增大使得土壤对氟离子吸附性减少,从而使水溶性氟含量增大。然而,本研究土壤水溶性氟仅与交换性 Na^+ 含量呈显著正相关性,交换性 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 与土壤水溶性氟含量呈极显著正相关性($r=0.556$)。茶叶是忌钙作物,在茶园土壤改良中,如果过量施用含钙调理剂可能影响到茶叶氟含量和品质^[25]。

2.3 影响土壤交换性酸含量的因素

土壤交换性 H^+ 与 Al^{3+} 一起组成了土壤交换性酸,是土壤酸度的容量指标。供试土壤样品的测定结果表明,土壤交换性酸与交换性 Al^{3+} 呈极显著正相关性(见表 2),交换性酸与交换性 H^+ 之间相关性不显著; $\text{H}^+/\text{Al}^{3+}$ 均小于 1,平均为 0.34。由此可见,供试土壤中致酸离子以交换性 Al^{3+} 为主,土壤交换性 Al^{3+} 含量高是交换性酸含量变化的主要影响因素。由相关性分析看出,土壤交换性酸与 pH 呈极显著负相关性($r=-0.674$),土壤 pH 与交换性 Al^{3+} 呈极显著负相关性($r=-0.612$),而土壤 pH 与交换性 H^+ 的相关性不显著,表明在土壤 pH 值的改变过程中,交换性 Al^{3+} 发挥了主导作用。

土壤交换性盐基离子中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 是植物生长的必需营养元素,土壤交换性酸增加可导致交换性

表 2 茶叶氟与土壤特性的相关分析

Table 2 The correlation analysis between tea fluorine and soil properties

项目	茶叶氟	pH	水溶性氟	交换性 H^+	交换性 Al^{3+}	交换性酸	交换性 Ca^{2+}	交换性 Mg^{2+}	交换性 K^+	交换性 Na^+	CEC
茶叶氟	1										
pH	0.215	1									
水溶性氟	0.437*	0.300	1								
交换性 H^+	0.244	0.203	0.385*	1							
交换性 Al^{3+}	0.240	-0.612**	0.119	0.053	1						
交换性酸	0.427*	-0.674**	0.203	0.150	0.944**	1					
交换性 Ca^{2+}	0.010	0.312	0.180	0.393*	-0.557**	-0.546**	1				
交换性 Mg^{2+}	0.344	0.538**	0.318	0.243	0.196	0.291	0.203	1			
交换性 K^+	0.177	0.093	0.166	0.477**	0.287	0.046	0.149	0.165	1		
交换性 Na^+	0.151	0.127	0.374*	0.223	0.292	0.230	0.502**	0.252	0.238	1	
CEC	0.192	0.271	0.063	0.230	0.160	0.046	0.457*	0.727**	0.262	0.014	1

注:表中“*”表示相关性达到 $P<0.05$ 显著水平,“**”表示相关性达到 $P<0.01$ 显著水平, $n=30$ 。

盐基阳离子的淋失、交换性盐基总量减少、盐基饱和度降低^[26-27]。本研究结果也表明,供试土壤交换性 Ca^{2+} 是交换性盐基中的主要成分,在交换性盐基总量中平均占比达到 78.1%,交换性 Ca^{2+} 含量与交换性盐基总量和盐基饱和度呈极显著正相关($r=0.922$ 和 $r=0.819$)。供试土壤交换性 Ca^{2+} 含量虽然与茶叶氟含量的相关性不显著,但与交换性 Al^{3+} 和交换性酸含量呈极显著负相关($r=-0.557$ 和 $r=-0.546$),盐基总量与交换性 Al^{3+} 和交换性酸呈极显著负相关($r=-0.603$ 和 $r=-0.614$),说明适当提高土壤 Ca^{2+} 浓度可降低交换性酸含量,而对茶叶氟含量和品质的影响有待进一步研究。

3 结论

本文研究了青岛地区茶叶主产区茶叶氟含量与土壤特性的相关性,并对影响土壤水溶性氟和交换性酸含量的主要土壤因子进行了分析。结果表明,土壤水溶性氟和交换性酸含量是影响茶叶氟含量的关键因素;土壤交换性 H^+ 和交换性 Na^+ 含量是影响土壤水溶性氟含量的主要因素;土壤 pH 值、交换性 Al^{3+} 和交换性 Ca^{2+} 含量是影响土壤交换性酸含量的主要因素。

参考文献:

- [1] 李静,谢正苗,徐建明.我国氟的土壤环境质量指标与人体健康关系的研究概况[J].土壤通报,2006,37(1):194-199.
LI Jing, XIE Zheng-miao, XU Jian-ming. Research progress in the relationship between soil environmental quality index of fluorine and human health in China[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(1):194-199. (in Chinese)
- [2] 沙济琴,郑达贤.福建茶树鲜叶含量氟的研究[J].茶叶科学,1994,14(1):37-42.
SHA Ji-qin, ZHENG Da-xian. Study on fluorine content of fresh tea leaves in Fujian[J]. *Journal of Tea Science*, 1994, 14(1):37-42. (in Chinese)
- [3] 谢忠雷,邱立民,董德明,等.茶叶中氟含量及其影响因素[J].吉林大学自然科学学报,2001(2):81-84.
XIE Zhong-lei, QIU Li-min, DONG De-ming, et al. Fluoride content of tea leaves and factors affecting the uptake of F from soil into tea leaves[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Jilinensis*, 2001(2):81-84. (in Chinese)
- [4] 马立锋,阮建云,石元值,等.中国茶叶中的氟近十年来的研究进展[J].生态环境,2003,12(3):342-345.
MA Li-feng, RUAN Jian-yun, SHI Yuan-zhi, et al. Review of the study on fluorine status in teas from China in the past decade[J]. *Ecology and Environment*, 2003, 12(3):342-345. (in Chinese)
- [5] 阮建云,杨亚军,马立锋.茶叶氟研究进展:累积特性、含量及安全评价[J].茶叶科学,2007,27(1):1-7.
RUAN Jian-yun, YANG Ya-jun, MA Li-feng. Recent progress in the research on fluoride in tea: Accumulation characteristics by plants and concentrations in products with regarding to the impact on human health[J]. *Journal of Tea Science*, 2007, 27(1):1-7. (in Chinese)
- [6] 邵红建,刘腾腾,张显晨,等.安徽茶园土壤氟在茶树体内的富集与转运特征[J].环境化学,2011,30(8):1462-1467.
GAO Hong-jian, LIU Teng-teng, ZHANG Xian-chen, et al. Bioaccumulation and translocation of fluoride from soils to different parts of tea plants in Anhui Province[J]. *Environmental Chemistry*, 2011, 30(8):1462-1467. (in Chinese)
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.砖茶含氟量的测定方法[S]. GB/T 21728—2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of fluoride content in brick tea[S]. GB/T 21728—2008. (in Chinese)
- [8] 徐为霞,林珍珠,高树芳,等.酸性土壤有效氟提取方法的研究[J].农业环境科学学报,2006,25(5):1388-1392.
XU Wei-xia, LIN Zhen-zhu, GAO Shu-fang, et al. Extraction method for available fluorine in acid soils[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(5):1388-1392. (in Chinese)
- [9] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社,1999.
LU Ru-kun. Agricultural chemical analysis of soil[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999. (in Chinese)
- [10] 中华人民共和国农业部.茶叶氟含量标准[S]. NY 659—2003.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Tea fluoride content standards[S]. NY 659—2003. (in Chinese)
- [11] 潘宏,陈邦本,方明.江苏省滨海盐土向潮土演化过程中水溶性氟含量变化原因的探讨[J].土壤学报,1993,30(4):416-422.
PAN Hong, CHEN Bang-ben, FANG Ming. Discussion on mechanism of variations in content of water-soluble fluorine during desalinization of coastal saline soils of Jiangsu Province[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1993, 30(4):416-422. (in Chinese)
- [12] 谢正苗,吴卫红,徐建明.环境中氟化物的迁移和转化及其生态效应[J].环境科学进展,1999,7(2):40-53.
XIE Zheng-miao, WU Wei-hong, XU Jian-min. Translocation and transformation of fluorides in the environment and their biological effects[J]. *Environmental Science Progress*, 1999, 7(2):40-53. (in Chinese)
- [13] 陆景冈,赵小敏.茶园土壤发育度与土壤及茶叶含氟量的关系[J].茶叶科学,1992,12(1):33-38.
LU Jing-gang, ZHAO Xiao-min. Effects of soil development on the fluoride contents in the soil and tea leaf[J]. *Journal of Tea Science*, 1992, 12(1):33-38. (in Chinese)
- [14] 陆丽君,宗良纲,罗敏,等.江苏典型茶园的茶叶氟含量及其影响因素[J].安徽农业科学,2006,34(10):2183-2185.
LU Li-jun, ZONG Liang-gang, LUO Min, et al. Content of fluoride in tea leaf in Jiangsu Province and its affecting factor[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2006, 34(10):2183-2185. (in Chinese)
- [15] 王凌霞,付庆灵,胡红青,等.湖北茶园茶叶氟含量及土壤氟组[J].

- 环境化学, 2011, 30(3):662-667.
- WANG Ling-xia, FU Qing-ling, HU Hong-qing, et al. Fluorine content in tea leaf and fluorine fractionation in soils of tea gardens in Hubei Province[J]. *Environmental Chemistry*, 2011, 30(3):662-667. (in Chinese)
- [16] 冯 雪, 肖 斌. 陕西茶园茶叶氟含量及影响因素[J]. 西北农业学报, 2011, 20(1):109-113.
- FENG Xue, XIAO Bin. Fluoride content in tea leaf and its influence factors in Shanxi Province[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2011, 20(1):109-113. (in Chinese)
- [17] 王开勇, 赵天一, 黎成厚, 等. 铁铝盐基离子对土壤中水溶态氟环境效应的影响[J]. 环境污染与防治, 2007, 9(12):885-888, 892.
- WANG Kai-yong, ZHAO Tian-yi, LI Cheng-hou, et al. Effects of Fe/Al chlorides on soluble fluorine in soil environment[J]. *Environmental Pollution and Control*, 2007, 9(12):885-888, 892. (in Chinese)
- [18] 夏静芬, 傅建斌, 罗春林. 茶园土壤水溶性氟与全氟和 pH 值的相关性研究[J]. 广东微量元素科学, 2009, 16(12):41-45.
- XIA Jing-fen, FU Jian-bin, LUO Chun-lin. Correlation research between water soluble fluorine, total fluorine and pH value of tea-plating soil[J]. *Guangdong Trace Elements Science*, 2009, 16(12):41-45. (in Chinese)
- [19] 吴卫红, 谢正苗, 徐建民, 等. 不同土壤中氟赋存形态特征及其影响因素[J]. 环境科学, 2002, 23(2):104-108.
- WU Wei-hong, XIE Zheng-miao, XU Jian-min, et al. Characteristics of forms of fluorine in soils and influential factors[J]. *Environmental Science*, 2002, 23(2):104-108. (in Chinese)
- [20] 凌云霄, 于天仁. 土壤酸度与代换量性氢、铝的关系[J]. 土壤学报, 1957, 5(3):234-246.
- LING Yun-xiao, YU Tian-ren. The relationship between soil acidity and exchange capacity of hydrogen, aluminum[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1957, 5(3):234-246. (in Chinese)
- [21] 郭荣发, 杨杰文. 成土母质和种植制度对土壤 pH 和交换性铝的影响[J]. 生态学报, 2004, 2(5):984-990.
- GUO Rong-fa, YANG Jie-wen. pH and the exchangeable aluminum content in acid soils as affected by parent materials and cropping systems[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 2(5):984-990. (in Chinese)
- [22] 王文婧, 戴万宏. 安徽主要土壤酸碱性及其酸缓冲性能研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(15):67-72.
- WANG Wen-jing, DAI Wan-hong. Study on soil pH and acidic buffering properties in Anhui Province[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(15):67-72. (in Chinese)
- [23] 马立锋, 石元值, 阮建云, 等. 湘、鄂砖茶主产区茶园土壤氟含量状况及影响因素[J]. 茶叶科学, 2002, 22(1):34-37.
- MA Li-feng, SHI Yuan-zhi, RUAN Jian-yun, et al. Status of fluorine in the soils of tea gardens in brick tea areas of hunan, Hubei Provinces and its affecting factors[J]. *Journal of Tea Science*, 2002, 22(1):34-37. (in Chinese)
- [24] 李张伟. 粤东凤凰茶区茶叶和土壤氟含量状况调查及影响因素研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(5):1222-1225.
- LI Zhang-wei. Status of fluorine in the tea leaves and soils in Fenghuang tea gardens of east Guangdong Province and its affecting factors[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(5):1222-1225. (in Chinese)
- [25] 吴 洵. 茶树的钙镁营养及土壤调控[J]. 茶叶科学, 1994, 14(2):115-121.
- WU Xun. Calcium and magnesium nutritions for tea plants and their soil controls[J]. *Journal of Tea Science*, 1994, 14(2):115-121. (in Chinese)
- [26] 毛红安, 谢德体, 杨剑虹. 重庆市江津柑橘果园土壤 pH 与盐基饱和度的关系探讨[J]. 土壤通报, 2005, 36(6):877-879.
- MAO Hong-an, XIE De-ti, YANG Jian-hong. Relation of pH and cation saturation of orange orchard soil in Chongqing Jiangjin[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(6):877-879. (in Chinese)
- [27] 汪文强, 王子芳, 高明, 等. 施氮对紫色土交换性酸及盐基饱和度的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(3):138-142.
- WANG Wen-qiang, WANG Zi-fang, GAO Ming, et al. Effects of nitrogen application on exchangeable acidity and base saturation in purple soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2014, 28(3):138-142. (in Chinese)