

福建省安溪县茶园土壤酸化对茶树产量及品质的影响*

王海斌^{1,2**} 陈晓婷¹ 丁力¹ 叶江华³ 贾小丽³ 孔祥海¹ 何海斌²

¹龙岩学院生命科学学院 龙岩 364012

²福建农林大学福建省农业生态过程与安全监控重点实验室 福州 350002

³武夷学院 武夷山 354300

摘要 为揭示茶树根际土壤酸化对茶叶产量、品质的影响,以福建省安溪县9个乡镇茶园为研究对象,分析不同树龄茶树根际土壤的pH值、茶树鲜叶的产量和品质指标含量并分析土壤酸度与茶树树龄、茶树鲜叶的产量和品质的关系。结果表明,安溪县9个乡镇茶园中,37.67%的土壤已经酸化,10.03%的土壤适宜种植茶树。茶树树龄与其根际土壤pH值呈极显著负相关,即随着茶树树龄的增加,其根际土壤pH值呈现下降趋势。其次,9个乡镇茶园春茶、秋茶产量均与茶树根际土壤pH值呈极显著正相关,相关系数分别为0.912-0.952和0.898-0.973。此外,9个乡镇茶园茶叶品质指标——茶多酚、茶氨酸、咖啡碱均与茶树根际土壤pH值呈极显著正相关,相关系数分别在0.897-0.959、0.908-0.974和0.907-0.975之间。综上所述,随着茶树树龄的增加,茶树根际土壤酸度加剧,茶叶产量降低,茶叶品质呈现下降趋势。(图1 表6 参27)

关键词 福建省安溪县; 茶树; pH值; 产量; 品质

CLC S506.1 : S154.1

Effect of soil acidification on yield and quality of tea tree in tea plantations from Anxi county, Fujian Province*

WANG Haibin^{1,2**}, CHEN Xiaoting¹, DING Li¹, YE Jianghua³, JIA Xiaoli³, KONG Xianghai¹ & HE Haibin²

¹ College of Life Sciences, Longyan University, Longyan 364012, China

² Fujian Provincial Key Laboratory of Agroecological Processing and Safety Monitoring, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 35002, China

³ Wuyi University, Wuyishan 354300, China

Abstract In order to investigate the effect of tea tree rhizosphere soil acidification on yield and quality of tea tree, the pH value, yield, and quality index of fresh tea leaves of different ages were analyzed, and the correlation between rhizosphere soil acidification and ages, yield, and quality index were studied from nine tea plantations in Anxi county, Fujian Province. The results showed that 37.67% of the nine soils were acidified, and 10.03% of them were suitable for planting tea tree. Furthermore, the results indicated that the age of tea tree was significantly and negatively correlated with the soil pH value, as shown by a decrease in soil pH values associated with an increase in tree age. In addition, the yield of spring and fall crops of tea from these nine plantations were all significantly and positively correlated with the pH value, with correlation coefficients distribution values of 0.912–0.952 and 0.898–0.973, respectively. In addition, quality indices, including polyphenols, theanine, and caffeine for the nine tea plantations were all significantly and positively correlated with their soil pH values, and their correlation coefficient distribution values were 0.897–0.959, 0.908–0.974, and 0.907–0.975, respectively. Above all, as tea tree ages increased, rhizosphere soil acidity was significantly increased, and yield and quality of tea presented a statistically significantly up/down trend.

Keywords Anxi county, Fujian Province; tea tree; pH value; yield; quality

收稿日期 Received: 2017-12-04 接受日期 Accepted: 2018-04-18

*国家重点研发计划项目(2016YFD0200900)、国家948项目(2014-Z36)、中国博士后科学基金(2016M600493)、福建省自然科学基金青年基金(2017J05057)、福建省中青年教师教育科研项目(JAT170573)和龙岩学院人才引进项目(LB2015001)资助 Supported by the National Key Research and Development Program of China (2016YFD0200900), the National 948 Project of China (2014-Z36), the China Postdoctoral Science Foundation Funded Project (2016M600493), the Natural Science Foundation of Fujian Province (2017J05057), the Young and Middle-aged Teacher Funds Department of Education of Fujian Province (JAT170573), and the Talent-Recruiting Program of Longyan University (LB2015001)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: w13599084845@sina.com)

福建泉州安溪县是福建省乃至全国最大的产茶县,已连续7年蝉联中国茶叶流通协会统计公布的100个全国重点产茶县第一位。安溪县拥有茶园面积4万余公顷,茶叶总产量6.8万吨,涉茶产业总产值达125亿元,涉茶人口超过70万人,安溪铁观音的品牌价值定位超过52亿元。安溪铁观音已经成为福建茶叶的主打品牌之一,是安溪县的民生产业之一,在当地的国民经济发展中占据重要的地位。

茶树 (*Camellia sinensis*) 是常绿木本植物,属于山茶科、山茶属灌木或小乔木茶种,为多年生常绿木本植物。茶园种植比较单一化,属于人为干扰较大的次生生态系统。铁观音茶园的开垦、种植到采摘需要2-3年,正常经济效益旺期在7年左右。茶园退化一方面是茶树本身自然衰老,另一方面茶树长年种植后,土壤环境发生变化,不利于茶树生长的因素积累,土壤自毒作用加剧^[1-5]。王海斌等研究发现,连作种植后铁观音茶树的生理指标活性显著下降,茶叶品质降低^[6]。Ye等探讨不同树龄观音茶树的品质差异发现,随着茶树树龄的增加,茶树根际土壤的自毒潜力加剧,茶树叶片的品质指标呈现下降趋势^[7-8],此外其进一步分析发现,随着茶树树龄的增加,茶树根际土壤微生物群落以利用酸类物质为碳源的微生物种群占据优势。Jia等研究不同树龄肉桂茶树根际土壤微生物群落碳源利用率时也发现了类似现象^[9]。王海斌等探讨不同树龄茶树根际土壤酸度及其对土壤微生物区系的影响发现,茶树根际土壤酸化显著影响了土壤微生物数量变化,不同的微生物区系响应土壤酸度的敏感性存在一定差异^[10]。林生等研究不同年限茶树根际土壤微生物功能多样性发现,随着茶树树龄的增加,茶树根际土壤的pH值呈下降趋势^[11-12],根际土壤微生物多样性分析结果表明,不同年限茶树根际土壤的微生物种群多样性存在着显著的差异,随着茶树连作年限的增加,茶树根际有益微生物种群下降,病原微生物增加并推测可能导致茶叶产量下降,品质降低。

综上所述,随着茶树种植时间的延长,茶树根际土壤有益微生物降低、病原菌增多,茶叶产量下降,品质降低。然而,这种现象的产生是否与茶树根际土壤酸度的变化有关,土壤酸度变化是否会导致茶叶的产量和品质发生变化,他们之间是否存在着一一定的联系,涉及该方面的研究目前还鲜见报道。据此,我们以福建省安溪县不同地区茶园为研究对象,收集不同地区茶园不同树龄茶树根际土壤,测定土壤pH

值并分析茶树树龄与pH值之间的关系,同时测定不同树龄茶树的春茶、秋茶产量及茶叶的品质指标含量并进一步分析茶树根际土壤pH值与茶叶产量与品质之间的关系,以期为进一步研究茶园土壤酸化形成的原因及后期的修复提供基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

福建省安溪县是铁观音的原产地,县域范围东经117°36'-118°17',北纬24°50'-25°26',全县总面积3 057.28 km²,辖24个乡镇,本研究以安溪县9个主要的产茶乡镇为取样点,于2015年3月-2016年7月,收集不同乡镇不同树龄铁观音茶园茶树根际土壤用于土壤的pH值测定,共收集样品363个,具体样品分布见表1。所选择的取样点茶园,在取样前5个月均未做施肥处理;根际土壤取样,按照5点取样,参考Fujii等的方法^[13]。选择合适的茶树,去除表层落叶,轻挖茶树,除去茶树根系周围附着的土壤,把根系表面1 cm范围以内的土壤单独抖落下并收集起来,即为茶树根际土壤。每个样品收集5株茶树根际土壤混合,收集样品总量为500 g。

1.2 土壤pH值测定

收集的茶树根际土壤pH值采用电位法进行测定,水土比2.5:1,每个样品4个重复^[14]。

1.3 茶叶产量和品质指标含量测定

在测定土壤pH值的基础上,在9个取样地区分别选取10个在酸度和树龄分布上具有一定代表性的取样点(表2),分别测定取样点茶树茶叶产量和茶叶品质指标——茶多酚、茶氨酸、咖啡碱含量。茶树种植4年后可实现全面开采,因此,在树龄分布上选择种植4年以上的茶树(表2)。

1.3.1 产量测定 按照铁观音的传统采摘习惯统一进行春茶和秋茶采摘,采摘标准为驻芽中、小开面3-4叶;测定时选择每100 m²为一个小区,每个样品测定5个小区,再换算每公顷茶园茶叶产量。茶园存在着茶垄,在测定过程中,所选择的100 m²小区为实际茶叶种植面积,已经扣除茶垄面积。

1.3.2 品质指标含量测定 以春茶的鲜叶为材料测定茶叶的茶多酚、茶氨酸、咖啡碱含量。其中,茶多酚及儿茶素类含量的提取与检测方法参照中华人民共和国国家标准(GB/T 8313-2008 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法)^[15];茶

表1 茶树根际土壤取样分布

Table 1 Distribution of rhizosphere soil samples of tea tree

参数 Parameter	龙涓 Longjuan	虎丘 Huqiu	西坪 Xiping	芦田 Lutian	祥华 Xianghua	福田 Futian	感德 Gande	长坑 Changken	剑斗 Jiandou	总计 Total
样品数 Sample number (N)	55	42	48	36	35	27	47	40	33	363
茶树树龄分布 Tea tree age distribution (t/a)	1-33	1-28	2-33	2-25	2-28	1-24	2-28	2-26	3-24	1-33

表2 不同地区茶树树龄与根际土壤pH值

Table 2 The tea tree age and pH value of rhizosphere soil from different areas

参数 Parameter	龙涓 Longjuan	虎丘 Huqiu	西坪 Xiping	芦田 Lutian	祥华 Xianghua	福田 Futian	感德 Gande	长坑 Changken	剑斗 Jiandou	总计 Total
土壤pH值分布 Soil pH value distribution	3.26-5.32	3.28-5.74	3.28-5.69	3.25-5.27	3.29-5.08	3.25-4.99	3.32-5.16	3.37-5.68	3.36-5.23	3.25-5.74
茶树树龄分布 Tea tree age distribution (t/a)	4-30	4-28	4-27	4-25	4-28	4-24	4-28	4-26	4-24	4-30

表3 不同地区茶树根际土壤pH值
Table 3 The pH value in tea tree rhizospheric soil from different areas

地区 Area	样品数 Sample number (N)	茶树树龄分布 Tea tree age distribution (t/a)	土壤pH值分布 Soil pH value distribution	平均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Variable coefficient
龙涓 Longjuan	55	1-33	3.15-5.82	4.41	0.59	13.36%
虎丘 Huqiu	42	1-28	3.28-6.45	4.65	0.63	13.54%
西坪 Xiping	48	2-33	3.22-6.28	5.15	0.52	10.15%
芦田 Lutian	36	2-25	3.18-5.29	4.55	0.54	11.91%
祥华 Xianghua	35	2-28	3.26-5.37	4.47	0.58	12.89%
福田 Futian	27	1-24	3.25-5.34	4.31	0.63	14.71%
感德 Gande	47	2-28	3.32-5.54	4.50	0.61	13.57%
长坑 Changken	40	2-26	3.37-6.12	4.90	0.43	8.77%
剑斗 Jiandou	33	3-24	3.36-5.39	4.66	0.47	10.06%
总计 Total	363	1-33	3.15-6.45	4.62	0.56	12.12%

氨酸的测定参照中华人民共和国国家标准 (GBT 23193-2008 茶叶中茶氨酸的测定高效液相色谱法) [16]; 咖啡碱含量测定参照中华人民共和国国家标准 (GBT 8312-2013 茶咖啡碱测定) [17].

1.4 数据处理

采用EXCEL对数据进行归类、标准差、变异系数、变化率计算及线性趋势线做图.

2 结果与分析

2.1 不同树龄茶树根际土壤酸度

安溪县9个乡镇茶园中, 不同树龄茶树根际土壤共取样363个, 茶树树龄分布在1-33年之间, 土壤pH值分布在3.15-6.45, 总体样品的平均值分布在4.31-5.15, 标准差分布在0.43-0.63, 变异系数分布在8.77%-13.57% (表3).

此外, 不同地区茶树根际土壤pH值按照中华人民共和国农业部颁布的“茶叶产地环境技术条件” (NY/T853-2004) 中规定的优质、高效、高产茶园土壤酸碱指标的标准进行分级评价, 即pH < 4.5为Ⅰ级, 不适宜土壤; 4.5 ≤ pH ≤ 5.5为Ⅱ级, 适中的土壤; pH > 5.5为Ⅲ级, 不适宜种植的土地. 分析结果 (表4) 表明, 9个乡镇茶园中Ⅰ级土壤比例分布在20.83%-48.15%, Ⅱ级土壤分布在35.71%-69.70%, Ⅲ级土壤分布在0-41.67%. 可见从总体样品上看, 安溪县9个乡镇茶园中, 37.67%的土壤酸度过低, 不适宜茶树种植, 10.03%的土壤适宜种植茶树. 可见, 测定区域的茶园土壤, 大部分酸度较低, 不适宜茶树的继续种植.

表4 不同地区茶树根际土壤的pH值分级
Table 4 Classification of the pH value in tea tree rhizospheric soil from different areas

地区 Area	样品数 Sample number	Ⅰ级 I level	Ⅱ级 II level	Ⅲ级 III level
		pH < 4.5	4.5 ≤ pH ≤ 5.5	pH > 5.5
龙涓 Longjuan	55	40.00%	52.73%	7.27%
虎丘 Huqiu	42	47.62%	35.71%	16.67%
西坪 Xiping	48	20.83%	37.50%	41.67%
芦田 Lutian	36	41.67%	58.33%	0
祥华 Xianghua	35	40.00%	60.00%	0
福田 Futian	27	48.15%	51.85%	0
感德 Gande	47	40.43%	57.45%	2.13%
长坑 Changken	40	30.00%	47.50%	22.50%
剑斗 Jiandou	33	30.30%	69.70%	0
总计 Total	363	37.67%	52.31%	10.03%

2.2 茶树树龄与根际土壤酸度的相关性

线性方程斜率的正负值显示两因子之间互作的正负相关性, 据此, 以茶树树龄为X轴, 以根际土壤的pH值为Y轴进行线性方程回归分析 (图1), 结果表明, 各因子与茶树根际土壤年限的线性方程回归R²值变化范围在0.689 6-0.923 4, 各因子之间的线性方程拟合度较好, 可用于进一步分析.

茶树根际土壤酸度的相关性分析结果表明, 9个乡镇——龙涓、虎丘、西坪、芦田、祥华、福田、感德、长坑、剑斗等茶园, 茶树树龄与其根际土壤pH值的相关系数分别为-0.830**、-0.867**、-0.915**、-0.872**、-0.923**、-0.942**、-0.951**、-0.959**、-0.961**. 可见, 茶树树龄与其根际土壤pH值呈极显著负相关, 即随着茶树树龄的增加, 其根际土壤pH值呈现下降趋势.

2.3 茶树鲜叶产量与根际土壤酸度的相关性

安溪县9个乡镇茶园中, 春茶产量变化范围在3 098-5 843 kg/hm², 平均值在4 230-4 876 kg/hm², 而秋茶产量变化范围在3 036-5 774 kg/hm², 平均值在4 233-4 872 kg/hm² (表5).

以茶叶产量为Y轴, 以根际土壤的pH值为X轴进行线性方程回归分析 (表5), 结果表明, 春茶产量与pH值的线性方程回归R²值变化范围在0.831 5-0.906 8之间, 秋茶则在0.805 8-0.956 7, 各因子之间的线性方程拟合度较好. 相关性分析结果表明, 9个乡镇茶园春茶、秋茶产量均与茶树根际土壤pH值呈极显著正相关, 相关系数分别为0.912-0.952和0.898-0.973. 可见, 随着茶树树龄的增加, 茶树根际土壤酸度加剧, 茶叶产量呈现下降趋势.

2.4 茶树叶片品质指标与根际土壤酸度的相关性

安溪县9个乡镇茶园中, 茶叶茶多酚含量的变化范围在162.35-288.17 mg/g, 茶氨酸含量的变化范围在5.86-14.25 mg/g, 咖啡碱含量的变化范围在14.26-30.54 mg/g (表6).

以茶叶品质指标含量为Y轴, 以根际土壤的pH值为X轴进行线性方程回归分析 (表6), 结果表明, 茶多酚含量与pH值的线性方程回归R²值变化范围在0.804 4-0.953 9, 茶氨酸含量在0.824 1-0.948 9, 咖啡碱含量则在0.823 5-0.951 1, 各因子之间的线性方程拟合度较好. 相关性分析结果表明, 9个乡镇茶园茶叶品质指标——茶多酚、茶氨酸、咖啡碱均与茶树根际土壤pH值呈极显著正相关, 相关系数分别在0.897-0.959、0.908-0.974和0.907-0.975. 可见, 随着茶树树龄的增加, 茶树根际土壤酸度加剧, 茶叶产量降低, 茶叶品质呈现下降趋势.

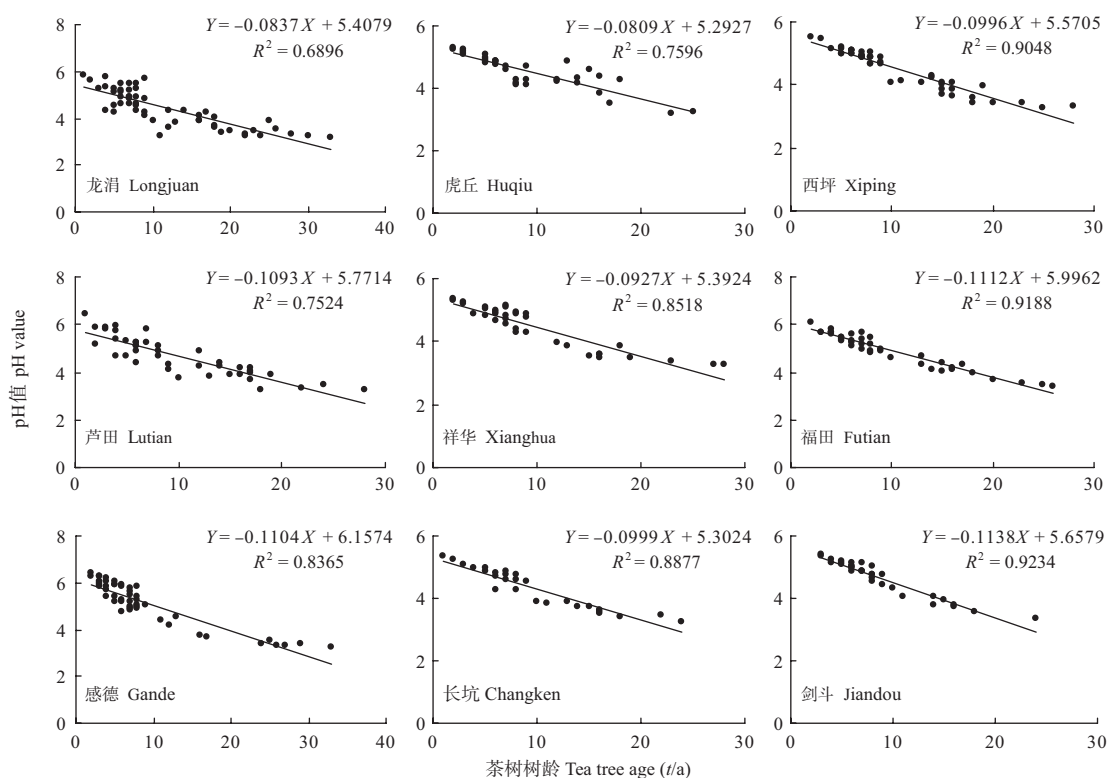


图1 不同地区茶树树龄与根际土壤pH值的相关性。

Fig.1 Correlation analysis between tea tree age and rhizospheric soil pH value of different areas.

3 讨论与结论

土壤是茶树生长的载体, 茶树是喜酸作物, 根据众多学者的研究及农业部的“茶叶产地环境技术条件”(NY/T853-2004)中规定的优质、高效、高产茶园土壤酸碱指标的标准, pH < 4.5为不适宜种植土壤, 4.5 ≤ pH ≤ 5.5为适中的土壤, pH > 5.5为不适宜种植的土壤^[18-20]。本研究结果表明, 9个乡镇茶园中, 不同树龄茶树根际土壤共取样363个, 37.67%的土壤已经不适宜茶树种植, 10.03%的土壤适宜种植茶树。其次, 茶树树龄与其根际土壤pH值的相关性分析结果表明, 二者呈极显著负相关, 即随着茶树树龄的增加, 其根际土壤pH值呈现下降趋势。可见, 随着茶树树龄的增加茶树根际土壤的酸化现象更加严重。

茶树根际土壤酸化, 酸化现象产生后是否对土壤生态系统产生一定影响, 进而影响茶树生长。王海斌等分析不同树龄茶树根际土壤微生物区系与土壤酸度的关系^[10]中发现, 土壤酸度加剧会导致根际土壤细菌、放线菌数量减少, 真菌数量增加, 进而可能导致茶树生长受阻。据报道, 真菌在贫瘠或恶劣的环境条件下, 其生命力比细菌更强, 特别是在酸化的土壤中, 酸化有利于真菌的繁殖, 但抑制放线菌、细菌的繁殖^[21-22]。因为大量的细菌、放线菌偏向于中性偏碱的环境, 而真菌则偏向于中性偏酸环境^[23-24]。此外, 众多学者研究认为, 作物连作后极易导致根际土壤微生物趋于单一化, “土壤病”形成, 且这种单一化的趋势是朝着有益菌数量减少, 病原菌数量增多的方向发展, 土壤是茶树生长载体, 长期种

植茶树, 茶树自身凋落物及茶树根系分泌物的长期积累极易导致土壤酸化^[20, 25-26]。然而茶树根际土壤酸化影响了土壤微生物的正常繁殖, 打破了土壤原有的生态系统, 而这种现象的产生是否会影响茶叶的产量及茶叶的品质, 土壤酸化是否与茶叶产量及品质存在着一定的联系。本研究结果表明, 9个乡镇茶园春茶、秋茶产量及茶叶的品质指标——茶多酚、茶氨酸、咖啡碱等均与茶树根际土壤pH值呈极显著正相关, 可见, 随着茶树树龄的增加, 茶树根际土壤酸度加剧, 茶叶产量降低, 茶叶品质呈现下降趋势。

总之, 本研究探讨了福建省安溪县不同地区茶园不同树龄茶树根际土壤酸度与树龄、茶叶产量、茶叶品质之间的关系。结果表明, 随着茶树树龄的增加, 茶树根际土壤pH值呈现下降趋势, 茶园土壤酸化加剧, 其次分析发现, 茶树根际土壤酸度与茶叶产量及品质呈现极显著正相关。本研究中, 所涉及的不同取样点分布位置不同, 茶树树龄不同, 因此不同地区茶园的基本情况存在着一定差异, 同时在取样的前期, 作者只能控制在取样前5个月未施肥, 而在之前的施肥基本情况上无法详细阐述, 因此在后续研究中还需增加定点研究。而基于本研究所获得的结果, 随着茶树树龄的增加, 茶树根际土壤酸度加剧, 茶叶产量降低, 茶叶品质呈现下降趋势。然而, 茶树根际土壤酸化形成的原因众多, 一方面可能由于茶树根际自身分泌所引起, 一方面可能是施肥导致土壤生态系统的改变所造成。因此, 后期还需进一步分析, 茶树酸化引起的原因及导致酸化形成的物质种类, 以为茶树根际土壤酸化的治理提供一定的理论依据。

表5 不同地区茶叶鲜叶产量与根际土壤pH值的相关性
Table 5 Correlation analysis between yield of fresh tea leaves and rhizospheric soil pH value of different areas

地区 Area	春茶产量 Spring tea yield (m/kg hm ²)				秋茶产量 Autumn tea yield (m/kg hm ²)			
	变化范围 Distribution range	平均值 Average	产量(Y)与pH值(X)的线性方程 Linear equation of yield (Y) and pH (X)	相关系数 r	变化范围 Distribution range	平均值 Average	产量(Y)与pH值(X)的线性方程 Linear equation of yield (Y) and pH (X)	相关系数 r
龙涓 Longjuan	381.3-584.3	4703	$Y = 1143.5X - 14.367, R^2 = 0.9023$	0.950**	3245-5652	4277	$Y = 1255.2X - 900.79, R^2 = 0.9467$	0.973**
虎丘 Huqiu	3324-5736	4762	$Y = 1139.3X - 317.17, R^2 = 0.8514$	0.923**	3246-5604	4549	$Y = 1113.1X - 413.45, R^2 = 0.8778$	0.937**
西坪 Xiping	3273-5798	4625	$Y = 1232.4X - 780.43, R^2 = 0.8918$	0.944**	3080-5577	4379	$Y = 1203.9X - 901.02, R^2 = 0.8977$	0.947**
芦田 Lutian	351.5-5639	4709	$Y = 1246.8X - 668.42, R^2 = 0.8512$	0.923**	3396-5718	4767	$Y = 1347.8X - 1045.3, R^2 = 0.8853$	0.941**
祥华 Xianghua	3143-5543	4276	$Y = 1293.4X - 995.8, R^2 = 0.9068$	0.952**	3036-5511	4234	$Y = 1374.3X - 1367.1, R^2 = 0.9193$	0.959**
福田 Futian	3098-5435	4230	$Y = 1375.2X - 1534.6, R^2 = 0.8597$	0.927**	3131-5451	4233	$Y = 1381.9X - 1560.1, R^2 = 0.867$	0.931**
感德 Gande	3396-5732	4392	$Y = 1388.1X - 1459.1, R^2 = 0.8975$	0.947**	3324-5774	4352	$Y = 1467.8X - 1834.8, R^2 = 0.9282$	0.963**
长坑 Changkeng	3411-5841	4876	$Y = 1225.9X - 564.37, R^2 = 0.8648$	0.930**	3414-5735	4872	$Y = 1141.3X - 193, R^2 = 0.8517$	0.923**
剑斗 Jiandou	3396-5780	4485	$Y = 1228.6X - 639.18, R^2 = 0.8315$	0.912**	3413-5679	4542	$Y = 1383.3X - 1227.8, R^2 = 0.8058$	0.898**

*: 显著相关; **: 极显著相关。
*: Significant correlation at 0.05 level; **: Significant correlation at 0.01 level.

表6 不同地区茶树叶片品质指标含量及其与根际土壤pH值的相关性
Table 6 Correlation analysis between quality index of fresh tea leaves and rhizospheric soil pH value of different areas

地区 Area	茶多酚含量 Polyphenols content (w/mg g ⁻¹)				茶氨酸含量 Theanine content (w/mg g ⁻¹)				咖啡碱含量 Caffeine content (w/mg g ⁻¹)			
	变化范围 Distribution range	平均值 Average	含量(Y)与pH值(X)的线性方程 Linear equation of content (Y) and pH (X)	相关系数 r	变化范围 Distribution range	平均值 Average	含量(Y)与pH值(X)的线性方程 Linear equation of content (Y) and pH (X)	相关系数 r	变化范围 Distribution range	平均值 Average	含量(Y)与pH值(X)的线性方程 Linear equation of content (Y) and pH (X)	相关系数 r
龙涓 Longjuan	193.20-287.65	240.72	$Y = 41.41X + 69.06, R^2 = 0.8652$	0.930**	7.13-13.87	9.62	$Y = 3.6667X - 5.504, R^2 = 0.9489$	0.974**	19.57-30.54	24.43	$Y = 5.3525X + 2.3508, R^2 = 0.9087$	0.953**
虎丘 Huqiu	179.43-283.56	230.43	$Y = 52.359X - 2.9851, R^2 = 0.9008$	0.949**	6.13-13.54	10.06	$Y = 3.358X - 4.9001, R^2 = 0.8829$	0.940**	16.52-28.36	22.59	$Y = 5.1843X - 0.5265, R^2 = 0.9379$	0.968**
西坪 Xiping	185.32-285.55	231.49	$Y = 47.093X + 24.934, R^2 = 0.8994$	0.948**	7.08-13.74	10.17	$Y = 3.0843X - 3.3617, R^2 = 0.9291$	0.964**	20.06-28.62	23.92	$Y = 3.6288X + 8.0042, R^2 = 0.9219$	0.960**
芦田 Lutian	162.35-270.15	214.24	$Y = 62.911X - 57.099, R^2 = 0.8785$	0.937**	5.86-12.29	8.36	$Y = 3.1263X - 5.1216, R^2 = 0.8241$	0.908**	15.29-27.54	21.44	$Y = 7.2623X - 9.8792, R^2 = 0.8671$	0.931**
祥华 Xianghua	174.26-283.28	218.86	$Y = 53.929X - 0.9565, R^2 = 0.9193$	0.959**	6.94-13.69	9.62	$Y = 3.6967X - 5.4466, R^2 = 0.9487$	0.974**	17.28-28.17	22.57	$Y = 5.4465X + 0.367, R^2 = 0.9462$	0.973**
福田 Futian	164.23-263.15	208.34	$Y = 58.467X - 36.757, R^2 = 0.9391$	0.969**	6.06-12.19	8.57	$Y = 3.1521X - 4.6446, R^2 = 0.9089$	0.953**	14.26-25.84	20.04	$Y = 7.5019X - 11.413, R^2 = 0.8904$	0.944**
感德 Gande	179.49-281.26	228.43	$Y = 61.614X - 31.273, R^2 = 0.9539$	0.977**	7.25-13.88	9.78	$Y = 2.8878X - 2.3961, R^2 = 0.8430$	0.918**	16.38-27.45	21.63	$Y = 5.383X - 1.0634, R^2 = 0.9511$	0.975**
长坑 Changkeng	185.62-288.17	236.27	$Y = 55.391X - 9.552, R^2 = 0.8667$	0.931**	7.68-14.25	11.07	$Y = 3.306X - 3.6072, R^2 = 0.9089$	0.953**	17.14-26.41	22.05	$Y = 4.534X + 1.9251, R^2 = 0.9509$	0.975**
剑斗 Jiandou	171.38-278.62	239.82	$Y = 52.314X + 21.624, R^2 = 0.8044$	0.897**	7.24-13.24	10.41	$Y = 3.6197X - 4.6877, R^2 = 0.8300$	0.911**	16.35-25.48	21.05	$Y = 5.541X - 2.0583, R^2 = 0.8235$	0.907**

*: 显著相关; **: 极显著相关。
*: Significant correlation at the 0.05 level; **: Significant correlation at the 0.01 level.

参考文献 [References]

- Singh HP, Batish DR, Kohli RK. Autotoxicity: concept, organisms, and ecological significance [J]. *Crit Rev Plant Sci*, 1999, **18**: 757-772
- Cao PR, Liu CY, Li D. Autointoxication of tea (*Camellia sinensis*) and identification of its autotoxins [J]. *Allelop J*, 2011, **28**: 155-165
- Chen T, Lin S, Wu LK, Lin WX, Sampietro DA. Sampietro DA. Soil sickness: current status and future perspectives [J]. *Allelop J*, 2015, **36** (2): 167-196
- Li W, Zheng ZC, Li TX, Zhang XZ, Wang YD, Yu HY, He SQ, Liu T. Effect of tea plantation age on the distribution of soil organic carbon fraction within water-stable aggregates in the hilly region of western Sichuan, China [J]. *Catena*, 2015, **133**: 198-205
- Zhang ZC, He XL, Li T X. Status and evaluation of the soil nutrients in tea plantation [J]. *Proced Environ Sci*, 2012, **12**: 45-51
- 王海斌, 陈晓婷. 连作土壤对铁观音茶树生理特性的影响[J]. 农产品加工, 2015 (10): 33-35 [Wang HB, Chen XT. Effect of tieguanyin continue cropping soil on tea seeding physiological characteristics [J]. *Farm Prod Process*, 2015 (10): 33-35]
- Ye JH, Wang HB, Yang XY, Zhang Q, Li JY, Jia XL, Kong XH, He HB. Autotoxicity of the soil of consecutively cultured tea plantations on tea (*Camellia sinensis*) seedlings [J]. *Acta Physiol Plant*, 2016, **38**: 195-104
- Ye JH, Wang HB, Kong XH, Ding L, Chen XT, Jia XL, He HB. Soil sickness problem in tea plantations in Anxi county, Fujian province, China [J]. *Allelop J*, 2016, **39** (1): 19-28
- Jia XL, Ye JH, Zhang Q, Li L, Hu YL, Zheng MZ, Hong YC, Wang FQ, Wu CZ. Soil toxicity and microbial community structure of Wuyi rock tea plantation [J]. *Allelop J*, 2017, **41** (1): 113-126
- 王海斌, 叶江华, 陈晓婷, 贾小丽, 孔祥海. 连作茶树根际土壤酸度对土壤微生物的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2016, **22** (3): 480-485 [Wang HB, Ye JH, Chen XT, Jia XL, Kong XH. Effect on soil microbes of the rhizospheric soil acidity of tea tree continuous cropping [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2016, **22** (3): 480-485]
- 林生, 庄家强, 陈婷, 张爱加, 周明明, 林文雄. 福建安溪不同年限茶树土壤养分与微生物Biolog功能多样性分析[J]. 中国生态农业学报, 2012, **20** (11): 1471-1477 [Lin S, Zhuang JQ, Chen T, Zhang AJ, Zhou MM, Lin WX. Analysis of nutrient and microbial Biolog function diversity in tea soils with different planting years in Fujian Anxi [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2012, **20** (11): 1471-1477]
- 林生, 庄家强, 陈婷, 张爱加, 周明明, 林文雄. 不同年限茶树根际土壤微生物群落PLFA生物标记多样性分析[J]. 生态学杂志, 2013, **32** (1): 64-71 [Lin S, Zhuang JQ, Chen T, Zhang AJ, Zhou MM, Lin WX. Microbial diversity in rhizosphere soils of different planting year tea trees: an analysis with phospholipid fatty acid biomarkers [J]. *Chin J Ecol*, 2013, **32** (1): 64-71]
- Fujii Y, Akihiro F, Syuntaro H. Rhizosphere soil method: a new bioassay to evaluate allelopathy in the field [C]//Proceedings of the fourth world congress on allelopathy, Charles Sturt University, Wagga Wagga, New South Wales, Australia, 2004: 490-492
- 全国农业技术推广服务中心. 土壤分析技术规范[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2006: 56-57 [The National Agro-tech Extension and Service Center. Soil Analysis Specification [M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 56-57]
- 中华全国供销合作总社. GBT8313-2008 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009 [All China Federation of Supply and Marketing Cooperatives. GBT8313-2008 Determination of total polyphenols and catechins content in tea [S]. Beijing: China Standards Press, 2009]
- 国家食品质量监督检验中心. GBT23193-2008 茶叶中茶氨酸的测定高效液相色谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009 [National Foodquality Supervision and Inspection Center. GBT23193-2008 Determination of theanine in tea high-performance liquid chromatography [S]. Beijing: China Standards Press, 2009]
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GBT8312-2013 茶咖啡碱测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014 [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GBT8312-2013 Tea-Determination of caffeine content. Method using high-performance liquid chromatography [S]. Beijing: China Standards Press, 2014]
- 张倩, 宗良纲, 曹丹, 肖峻, 蔡燕茹, 汪张懿. 江苏省典型茶园土壤酸化趋势及其制约因素研究[J]. 土壤, 2011, **43** (5): 751-757 [Zhang Q, Zong LG, Cao D, Xiao J, Cai YR, Wang ZY. Study on soil acidification and its restrictive factors of typical tea garden in Jiansu Province [J]. *Soil*, 2011, **43** (5): 751-757]
- Mehra A, Baker CL. Leaching and bioavailability of aluminium, copper and manganese from tea (*Camellia sinensis*) [J]. *Food Chem*, 2007, **100**: 1456-1463
- Mohammad N, Samar M, Alireza I. Levels of Cu, Zn, Pb, and Cd in the leaves of the tea plant (*Camellia sinensis*) and in the soil of Gilan and Mazandaran farms of Iran [J]. *Food Meas*, 2014, **8**: 277-282
- Bardgett RD, Lovell RD, Hobbs PJ, Jarvis SC. Seasonal changes in soil microbial communities along a fertility gradient of temperate grasslands[J]. *Soil Biol Biochem*, 1999, **31**: 1021-1030
- 俞慎, 何振立, 陈国潮, 黄昌勇. 不同树龄茶树根层土壤化学特性及其对微生物区系和数量的影响[J]. 土壤学报, 2003, **40** (3): 433-439 [Yu S, He ZL, Chen GC, Huang CY. Soil chemical characteristics and their impacts on soil microflora in the root layer of tea plants with different cultivating ages [J]. *Acta Pedol Sin*, 2003, **40** (3): 433-439]
- 王孝国, 胡文革, 陈登稳, 路李鹏, 杨迪. 新疆艾比湖精河入湖口湖滨湿地土壤微生物区系研究[J]. 西南农业学报, 2012, **25** (3): 972-976 [Wang XG, Hu WG, Chen DW, Lu LP, Yang D. Study on soil microflora in near-shore wetland of Jinghe Estuary, Lake Ebinur, Xingjiang [J]. *SW China J Agric Sci*, 2012, **25** (3): 972-976]
- 谢龙莲, 陈秋波, 王真辉, 刘小香. 环境变化对土壤微生物的影响[J]. 热带农业科学, 2004, **24** (3): 39-47 [Xie LL, Chen QP, Wang ZH, Liu XX. A review of effects of soil environmental changes on soil microbe [J]. *Chin J Trop Agric*, 2004, **24** (3): 39-47]
- Li XG, Ding CF, Hua K, Zhang TL, Zhang YN, Zhao L, Yang YR, Liu JG, Wang XX. Soil sickness of peanuts is attributable to take modifications in soil microbes induced by peanut root exudates rather than to direct allelopathy [J]. *Soil Biol Biochem*, 2014, **78**: 149-159
- Lin S, Huang PJJ, Chen T, Zhang ZY, Lin WX. Evaluation of allelopathic potential and identification of allelochemicals in *Pseudostellariae heterophylla* rhizosphere soil in different cropping patterns [J]. *Allelop J*, 2014, **33** (2): 151-162
- Zhao YP, Wu LK, Chu LX, Yang YQ, Li ZF, Azeem S, Zhang ZX, Fang CX, Lin WX. Interaction of *Pseudostellaria heterophylla* with *Fusarium oxysporum* f.sp. *heterophylla* mediated by its root exudates in a consecutive monoculture system [J]. *Sci Rep*, 2015, **5**: 8197