

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2017.06.011

文章编号:2095-6002(2017)06-0067-10

引用格式:刘腾飞,董明辉,张丽,等.不同间作模式对茶园土壤和茶叶营养品质的影响[J].食品科学技术学报,2017,35(6):67-76.



LIU Tengfei, DONG Minghui, ZHANG Li, et al. Effects of different intercropping patterns on tea-planted soil and tea nutritional quality[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017,35(6):67-76.

不同间作模式对茶园土壤和茶叶营养品质的影响

刘腾飞¹, 董明辉^{1,*}, 张丽², 顾俊荣¹, 张国芹¹, 钱辉¹

(1. 江苏太湖地区农业科学研究所 农产品质量安全与检测研究室, 江苏 苏州 215155;

2. 苏州市职业大学 教育与人文学院, 江苏 苏州 215104)

摘要:为了探明不同间作模式对茶园土壤及茶叶营养品质的影响,选择苏州洞庭东、西山地区代表性的果茶间作茶园和纯茶园,分别采集土壤和茶叶样品,对其土壤和茶叶主要营养品质成分进行了测定分析。结果表明,果茶间作可以有效提高矿物质含量,改善表层(0~25 cm)土壤营养状况,以枇杷-茶和杨梅-茶间作模式作用效果显著。主成分分析结果表明,茶园土壤状况受土壤的营养成分、矿物质含量和土壤酸碱性3个因素影响较大。不同果茶间作茶园土壤综合评价结果显示,洞庭西山杨梅-茶间作茶园土壤营养状况最好,依次为西山纯茶园、东山杨梅-茶间作茶园、东山纯茶园、东山枇杷-茶间作茶园。茶鲜叶营养品质测定结果表明,不同茶产区及不同果茶间作模式对茶鲜叶营养品质成分的影响不同,在东山茶区,果茶间作茶园茶鲜叶的游离氨基酸和茶多酚含量均略大于纯茶园,但儿茶素含量均略小于纯茶园,咖啡碱含量则显著小于纯茶园,而在西山茶区,除游离氨基酸外,杨梅-茶间作茶园茶鲜叶的茶多酚、儿茶素和咖啡碱含量均低于纯茶园。根据土壤性状和养分与茶叶营养品质的相关性分析可知,茶叶游离氨基酸含量与土壤中铁和锌呈现显著负相关,茶多酚含量与碱性氮、有机质和锌元素呈现显著正相关,咖啡碱含量与电导率、全氮量、有效磷、碱性氮、钙、铁呈现显著正相关,而与全钾呈极显著负相关。研究表明进行果茶间作对改善茶园土壤性质具有重要作用,结果为不同洞庭碧螺春茶产区改良土壤,从而提升茶叶营养品质提供了重要的理论依据。

关键词:间作模式; 茶园土壤; 茶叶; 营养品质; 游离氨基酸

中图分类号: TS272.8; S151.9

文献标志码: A

茶叶是一种健康的饮料作物,具有独特的香气、口感及抗癌、延缓衰老等药用和保健功效^[1-2],受人喜爱。一般公认的中国十大名茶是西湖龙井,洞庭碧螺春,黄山毛峰,庐山云雾,六安瓜片,君山银针,信阳毛尖,武夷岩茶,安溪铁观音,祁门红茶。其中洞庭碧螺春因芽多、嫩香、汤清、味醇的“四绝”闻名于世。碧螺春茶产区茶树和枇杷、杨梅、板栗、白果

等果树交错种植,而且太湖周边气候温和湿润,孕育了洞庭碧螺春优良的品质^[3]。

土壤是茶树赖以生存和生长的必要条件,土壤的性状特征和各类营养元素的丰缺直接影响茶树的生长和茶叶品质^[4]。探明不同栽培模式对茶园土壤和茶叶品质的影响,是改善茶园土壤管理重要途径之一。研究表明果茶间作茶园不同树种的遮阴会

收稿日期:2016-12-10

基金项目:江苏省农业科技自主创新基金项目(CX(14)2102)。

作者简介:刘腾飞,男,助理研究员,主要从事农产品质量安全分析研究;

*董明辉,男,研究员,博士,主要从事茶树营养生理与标准化生产研究,通信作者。

影响茶园的水、肥、气、热等综合环境^[5],不同树种的落叶、落果可以改善土壤特征性状和营养成分^[6],提高茶树对营养成分和矿物元素的吸收效率,进而影响茶叶的产量和品质。本项目组前期研究表明采取适宜的果茶间作模式可以改善土壤营养状况,调节土壤矿物元素的含量^[7],此外,果茶间作还可以促进茶叶中铁、铜、镁、锌、钾等矿质元素的累积,降低茶鲜叶中可碱和咖啡碱含量,提高茶碱、没食子酸和非酯型儿茶素(EC、EGC)含量^[8],这些研究结果为洞庭山不同果茶园土壤改良和茶叶品质的提高提供了重要参考。

苏州太湖洞庭东、西山地区是碧螺春茶的主要产区,本研究主要调查洞庭东、西山地区代表性的果茶间作茶园和纯茶园土壤性状及茶叶营养品质,分析洞庭东、西山不同茶产区及不同果茶间作方式对茶园土壤与茶叶营养品质的影响,并对茶园土壤与茶叶营养品质之间的相关性进行分析,探索影响茶园土壤和茶叶营养品质的主要因素,为改良茶园土壤环境,提升碧螺春茶叶的产量和品质,进一步促进洞庭碧螺春茶的高效安全生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

1.1.1 土壤采样与处理

采样点选取江苏省苏州市吴中区洞庭东山和西山碧螺春茶园。土壤样品采集时间为2015年8月。根据当地茶叶实际种植模式,选择5个有代表性的3类不同种植模式进行采样,分别是东山西巷村的纯茶园(简称“东山纯茶园”)、杨湾村的杨梅-茶间作茶园(简称“东山杨梅-茶园”)、双湾村的枇杷-茶间作茶园(简称“东山枇杷-茶园”)以及西山天王坞的纯茶园(简称“西山纯茶园”)和天王坞杨梅-茶间作茶园(简称“西山杨梅-茶园”),具体采样点分布图见图1。用取样器采集0~25 cm表层土壤,每样点沿茶树树缝滴灌带,采用“S”布点采样方式,取5~8个点的等量土样混合后,风干、去渣、碾碎、过筛,用四分法去对角样品混匀,留取500 g供分析。将样品过20目(0.84 mm)尼龙筛,用于速效养分和pH值分析^[9]。

1.1.2 茶叶采样与处理

与各茶园土壤采样同时进行,鲜叶采摘标准为

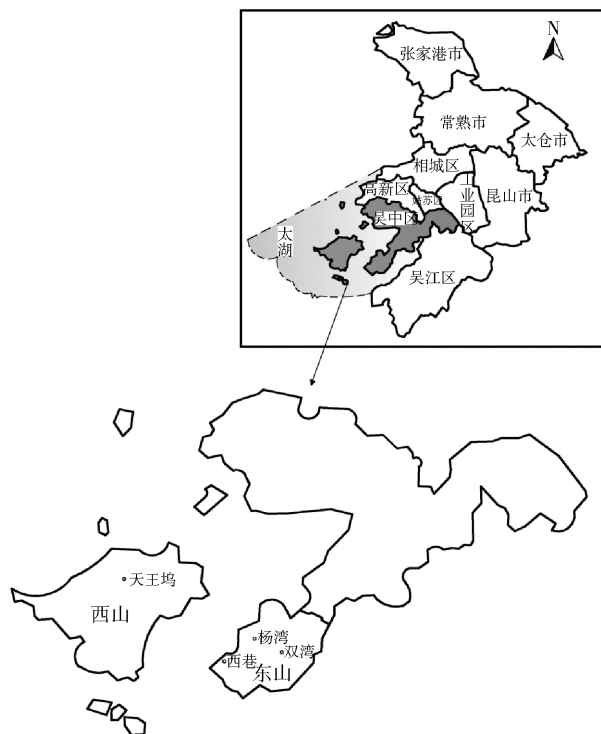


图1 采样点分布

Fig. 1 Distribution map of sampling

一芽一叶。采样后鲜叶及时蒸青,置于-70℃超低温冰箱保存待用。蒸青方法:将蒸锅加热至有足量蒸汽产生,放入茶鲜叶,铺开,不要重叠,立即盖上锅盖,2 min后,将蒸好的鲜叶立即取出抖散薄摊,晾干至没有明水。

1.2 样品检测与数据处理方法

1.2.1 土壤性状及养分含量测定

土壤pH值采用 $m(\text{土}):m(\text{水})=1:2.5$ 的水浸提电位法,土壤有机质采用重铬酸钾容量法-外加热法测定,土壤碱解氮采用1 mol/L NaOH溶液碱解扩散法,均按照参考文献[10]进行;土壤有效磷采用0.5 mol/L NaHCO_3 溶液浸提-钼锑抗比色法测定,土壤有效钾采用1 mol/L $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 溶液浸提-火焰光度计法测定,土壤全钾采用火焰光度法测定,土壤全磷采用钼锑抗比色法测定,均按照文献[11]进行;土壤有效硫按照NY/T 1121.14—2006《土壤有效硫的测定》方法测定。

1.2.2 土壤矿质元素含量测定

硼、铝采用酸消解法(参照EPA 3050B—1996)样品前处理结合电感耦合等离子体原子发射光谱法(参照EPA 6010C—2007)检测;钙、镁、钠、钾等矿物元素采用酸消解法(参照EPA 200.8—1994)样品

前处理结合电感耦合等离子体质谱法(参照 EPA 6020A—2007)检测。

1.2.3 茶鲜叶营养成分含量测定

茶多酚含量采用福林酚比色法测定,游离氨基酸含量采用茚三酮比色法测定,咖啡碱含量采用醋酸铅沉淀比色法测定,儿茶素含量采用香荚兰素比色法测定,均参考文献[12]进行。

1.2.4 数据统计与分析

实验数据使用 Excel 2007 和 SPSS 18.0 进行处理和统计分析。其中,主成分分析使用 SPSS18.0 进行,先将数据进行标准化处理,然后进行降维分析得出特征根及其相应的特征向量,从特征根中选出几个较大的特征根及其特征向量,使其累积贡献率在 85% 以上。根据土壤的各个指标的标准化值及特征值、特征向量计算出各主成分值^[13]。

定义样本量为 N , 每个样本 P 个指标,当前面 K 个主分量的方差累积百分率大于 85% 时,选取前 K 个因子 $F_1, F_2 \cdots F_k$ 为第 $1, 2 \cdots K$ 个主成分,这 K 个主分量基本保留原来因子 $x_1, x_2 \cdots x_p$ 的信息。 $F_1, F_2 \cdots F_k$ 表示为:

$$F_1 = a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \cdots + a_{p1}x_p,$$

$$F_2 = a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{p2}x_p,$$

...

$$F_k = a_{1k}x_1 + a_{2k}x_2 + \cdots + a_{pk}x_p,$$

其中, a_{ij} 成为第 i 个变量在第 j 个主因子上的权重系数,反映出第 i 个变量在第 j 个主因子上的相对重要性。

以不同主分量特征值的方差贡献率 $\beta_i (i = 1, 2 \cdots k)$ 为加权系数,利用综合评价函数 $F = \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2 + \cdots + \beta_k F_k$ 计算各样本得分,然后根据得分对各茶园土壤的综合状况进行排序评价。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式碧螺春茶园土壤化学性状比较

对 5 个碧螺春茶园土壤化学性状进行检测,见表 1。可以看出,洞庭东山、西山地区茶园土壤均成酸性, pH 值在 4.88 ~ 5.29, 平均值为 5.10, 不同茶区、不同种植模式下的土壤 pH 值由大到小依次为: 东山枇杷-茶园、东山杨梅-茶园、东山纯茶园、西山杨梅-茶园、西山纯茶园。除东山杨梅-茶园和东山纯茶园差异不显著外,其他 3 个茶园样品之间均呈显著性差异 ($p < 0.05$)。茶树是一种喜酸性土壤的

植物,适宜生长的土壤 pH 值在 4.00 ~ 6.00。土壤 pH 值的变化会影响土壤养分的有效性、吸收利用以及土壤中微生物的种类和含量^[14-16],进而影响茶树的产量和品质^[17]。本研究中,5 个茶园土壤的 pH 值均符合高产优质茶园的土壤 pH 值要求 (4.50 ~ 5.50)。从表 1 中还可以看出,在洞庭东山和西山茶区,果茶间作模式下,茶园土壤的 pH 值均大于纯茶园,尤其是西山茶区,杨梅-茶园土壤的 pH 值显著大于纯茶园,原因之一是果茶间作中的落叶、落果在茶园土壤中腐化,使得较多矿物元素溶解到土壤中。除此之外,茶园种植过程中施肥也可能导致茶园的土壤碱性增大。

5 个茶园的土壤电导率在 31.37 ~ 64.33, 平均值为 41.94, 电导率由大到小依次为: 东山杨梅-茶园 > 西山纯茶园 > 东山枇杷-茶园 > 东山纯茶园 > 西山杨梅-茶园, 并呈现显著性差异 ($p < 0.05$)。土壤溶液电导率反映溶液中电解质的浓度,在一定程度上也反映了溶液中盐离子浓度。研究表明,土壤溶液的电导率主要受土壤的含盐量、含水量和土壤质地的影响较大,而土壤有机质含量的高低对土壤溶液电导率并没有明显的影响^[18]。在东山茶区,杨梅-茶、枇杷-茶间作茶园的土壤电导率均大于纯茶园,而在西山茶区,纯茶园的土壤电导率小于杨梅-茶间作茶园,这可能是东、西山的土壤类型不同导致的。东山属于半岛,土层为残积坡积层的山地黄棕壤,而西山属于湖泊沉积充塞形成的湖中岛,在地貌上区别于东山。从相关性分析可以看出,电导率与全氮量、有效磷、碱性氮、钙、锌、铁呈极显著的正相关,与有机质、镁、呈显著正相关,而与有效硫、全钾呈极显著的负相关。

2.2 不同种植模式碧螺春茶园土壤主要营养成分比较

土壤的营养成分是表征土壤状况的重要指标,对茶树生长、茶叶品质具有重要的影响,并受到茶树品种、土壤养分含量、肥料用量和施肥方式等因素的综合影响^[19]。本研究表明,5 个供试茶园土壤中的全氮、全磷、有效磷、速效钾、有效硫含量和碱性氮含量之间均呈现显著的差异 ($p < 0.05$),有机质除了东山纯茶园和东山枇杷-茶园差异不显著外,其他茶园均呈显著性差异 ($p < 0.05$)。在东山茶区,枇杷-茶和杨梅-茶间作茶园的土壤全氮、全磷、有效氮、速效钾、碱解氮含量均高于纯茶园,对于有效硫,在纯茶园土壤中的含量则显著高于其他 2 个间作茶

园,表明枇杷-茶和杨梅-茶间作模式可以有效改善表层土壤中的全氮、全磷、有效氮、速效钾、碱解氮含量,而不利于有效硫的保持,而有机质含量则在杨梅-茶间作茶园土壤中最高,枇杷-茶间作茶园与纯茶园差异不显著,表明杨梅-茶间作模式有利于土壤

中有机质的改善和提高。在西山茶区,纯茶园土壤中的 5 个营养成分指标均显著高于杨梅-茶间作茶园,这可能是由于东、西山的环境、土壤和植被类型的差异,使得土壤养分具有不同的累积和迁移途径,也有可能是种植年限和凋落物的分解速度不同而导致的。

表 1 不同茶园土壤性状及速效养分含量的测定
Tab. 1 Characteristics and nutrients of soils collected from different gardens

样品来源	土壤的营养成分								
	电导/ ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)	pH	ω (全氮)/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	ω (全磷)/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	ω (有效磷)/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	ω (速效钾)/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	ω (碱解氮)/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	ω (有机质)/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	ω (有效硫)/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
东山纯茶园	31.37 $\pm$ 0.45d	5.12 $\pm$ 0.02c	0.65 $\pm$ 0.16d	0.30 $\pm$ 0.02c	62.62 $\pm$ 0.36d	203.59 $\pm$ 4.05d	47.90 $\pm$ 1.38d	20.19 $\pm$ 0.42cd	76.92 $\pm$ 0.27a
东山枇杷-茶园	37.30 $\pm$ 0.36c	5.29 $\pm$ 0.03a	1.34 $\pm$ 0.00c	0.71 $\pm$ 0.02b	65.31 $\pm$ 0.48c	350.03 $\pm$ 4.44a	95.22 $\pm$ 2.66c	19.29 $\pm$ 0.39d	39.40 $\pm$ 0.66c
东山杨梅-茶园	64.33 $\pm$ 0.47a	5.15 $\pm$ 0.02bc	2.64 $\pm$ 0.02a	0.13 $\pm$ 0.05e	313.07 $\pm$ 0.55a	211.43 $\pm$ 3.83c	149.51 $\pm$ 1.45b	24.65 $\pm$ 0.88b	27.92 $\pm$ 0.23e
西山纯茶园	46.93 $\pm$ 0.67b	4.88 $\pm$ 0.04e	2.35 $\pm$ 0.01b	1.16 $\pm$ 0.08a	93.38 $\pm$ 0.97b	272.93 $\pm$ 2.18b	173.95 $\pm$ 1.91a	32.49 $\pm$ 0.91a	30.32 $\pm$ 0.61d
西山杨梅-茶园	29.77 $\pm$ 0.64e	5.05 $\pm$ 0.03d	0.48 $\pm$ 0.01e	0.24 $\pm$ 0.03d	12.99 $\pm$ 1.01e	191.64 $\pm$ 3.96e	40.23 $\pm$ 0.73e	12.89 $\pm$ 0.31e	49.28 $\pm$ 0.14b

同一列中字母相同表示处理间无显著差异,字母不同表示有显著性差异。

2.3 不同种植模式碧螺春茶园土壤矿物元素含量比较

土壤的矿物元素是茶叶生长发育不可缺少的营养元素,参与茶树的生长发育,在茶树生理生化机能方面起着重要作用,影响茶树的生长、发育、衰老、抗寒和抗病等性能^[20]。5 个不同碧螺春茶园的土壤矿物元素含量见表 2。在东山茶园土壤中,除了全钾、硼、钼和铝元素之外,其他所测矿物元素如铜、锌、锰、铁,在枇杷-茶、杨梅-茶间作茶园中的含量均显著高于纯茶园,其中铜、锰、铁、钾、钠 5 种元素在枇杷-茶间作茶园中的含量显著大于杨梅-茶间作茶园,而钙、锌、硼、钼、铝 5 种元素在枇杷-茶间作茶园中的含量则要小于杨梅-茶间作茶园。两种果茶间作方式虽然提高了土壤中的镁元素含量,但差异不显著。钠元素的含量在不同种植模式碧螺春茶园土壤

中的顺序依次为枇杷-茶园 > 纯茶园 > 杨梅-茶园。这可能与枇杷和杨梅两个树种本身对土壤中的营养成分吸收不同有关。而在西山茶园土壤中,除了全钾、钼和铝元素之外,其他所测矿物元素在纯茶园土壤中的含量均显著高于杨梅-茶间作茶园。

上述结果表明,果茶间作模式对土壤中不同矿物元素的影响表现不同,其中,铜、锌、锰和铁 4 种元素变化趋势表现一致,但可能受到洞庭东、西山地理位置、气候条件、土壤类型以及茶农种植习惯等因素影响而表现出不一样的变化规律,而钾、硼、钼、铝元素由于受到果茶间作的影响,变化趋势表现不一致。上述结果可以推测不同果茶间作模式对土壤中矿物元素含量的影响不同,说明所测矿物元素易受果茶间作模式的影响,影响方式可能与果树的落叶和落果类型有关,也或与当地的传统施肥技术有关。

表 2 不同茶园土壤矿物元素含量的测定
Tab. 2 Mineral elements in different tea-plant soils

样品来源	土壤矿物元素									
	ω (钙)	ω (镁)	ω (铜)	ω (锌)	ω (锰)	ω (铁)	ω (全钾)	ω (硼)	ω (钼)	ω (铝)/ 10^4
东山纯茶园	31.66 $\pm$ 1.53bc	3.52 $\pm$ 0.12d	0.08 $\pm$ 0.003d	1.01 $\pm$ 0.01d	4.37 $\pm$ 0.11e	50.37 $\pm$ 0.06c	9100.00 $\pm$ 105.80b	44.80 $\pm$ 0.80a	1.82 $\pm$ 0.53a	2.13 $\pm$ 0.04b
东山枇杷-茶园	26.26 $\pm$ 2.28d	20.73 $\pm$ 1.22a	0.37 $\pm$ 0.007a	1.99 $\pm$ 0.12c	91.49 $\pm$ 0.14a	59.30 $\pm$ 0.16a	7583.00 $\pm$ 45.10c	21.60 $\pm$ 0.70e	0.39 $\pm$ 0.04e	1.69 $\pm$ 0.05d
东山杨梅-茶园	45.33 $\pm$ 2.31a	21.76 $\pm$ 0.20a	0.10 $\pm$ 0.006c	2.36 $\pm$ 0.01b	11.44 $\pm$ 0.19d	76.18 $\pm$ 0.38b	4940.00 $\pm$ 91.70e	32.90 $\pm$ 1.00b	1.25 $\pm$ 0.04b	2.08 $\pm$ 0.03bc
西山纯茶园	41.64 $\pm$ 2.09a	8.22 $\pm$ 1.33b	0.17 $\pm$ 0.010b	2.97 $\pm$ 0.01a	33.73 $\pm$ 0.13b	43.18 $\pm$ 0.16d	6840.00 $\pm$ 36.00d	29.40 $\pm$ 0.50c	0.58 $\pm$ 0.06c	2.38 $\pm$ 0.03a
西山杨梅-茶园	33.35 $\pm$ 2.33b	7.73 $\pm$ 0.71bc	0.07 $\pm$ 0.005e	0.79 $\pm$ 0.01e	12.86 $\pm$ 0.15c	28.89 $\pm$ 0.08e	9310.00 $\pm$ 43.60a	26.50 $\pm$ 0.70d	0.56 $\pm$ 0.04cd	2.34 $\pm$ 0.04a

同一列中字母相同表示处理间无显著差异,字母不同表示有显著性差异。

2.4 不同种植模式碧螺春茶园土壤各指标之间的相关性分析

对 5 个不同碧螺春茶园土壤各指标之间的相关性进行分析,见表 3。可以看出,不同种植模式碧螺春茶园土壤的电导率与全氮量、有效磷、碱性氮、钙、锌、铁呈极显著的正相关,与有机质、镁呈显著正相关,而与有效硫、全钾呈极显著的负相关。pH 与土壤中的镁和铁含量呈显著的正相关,与有机质、钙和铝含量呈显著的负相关。全氮量与土壤中的其他营养成分总体呈显著的正相关,例如与有效磷、碱性氮、有机质呈极显著的正相关($p < 0.01$),与矿物元素中的钙、镁、锌和铁呈显著的正相关,但与有效硫和全钾含量呈显著的负相关。全磷量与土壤中的速

效钾、碱性氮和有机质均呈显著的正相关,与全钾呈显著的负相关,与矿物元素中的铜、锌、锰和钠呈显著的正相关,而与钼呈显著的负相关。有效磷与土壤中的碱性氮呈显著的正相关,而与有效硫、全钾呈显著的负相关,尤其与全钾呈极显著的负相关,与矿物元素钙、镁、锌和铁呈显著的正相关,与钠呈显著的负相关。铝元素与速效钾、镁、铜、锰和铁呈显著的负相关,已有研究表明,铝对磷的吸收有调节作用,磷含量高时,铝可以促进茶树对磷的吸收,磷含量低时,铝可以缓解过多的磷造成的毒性,还能促进氮、钾的吸收,降低钙、镁在茶树叶片中的含量,土壤中低浓度的铝有于茶树对磷的吸收,随铝浓度的上升,根系对钙、铁、钾的吸收下降^[21]。

表 3 土壤性状和营养成分之间的相关性
Tab. 3 Correlations between soil properties and nutrients

	电导率	pH	全氮量	全磷量	有效磷	速效钾	有效硫	碱性氮	有机质	钙	镁	铜	锌	锰	铁	全钾	硼	钼	铝	钠
电导率	1																			
pH	-0.064	1																		
全氮量	0.935 **	-0.224	1																	
全磷量	-0.029	-0.443	0.326	1																
有效磷	0.951 **	0.118	0.793 **	-0.305	1															
速效钾	-0.004	0.354	0.225	0.665 **	-0.155	1														
有效硫	-0.726 **	0.142	-0.807 **	-0.354	-0.526 *	-0.375	1													
碱性氮	0.819 **	-0.359	0.968 **	0.545 *	0.618 *	0.332	-0.807 **	1												
有机质	0.613 *	-0.526 *	0.817 **	0.655 **	0.425	0.251	-0.485	0.898 **	1											
钙	0.808 **	-0.521 *	0.761 **	-0.008	0.726 **	-0.389	-0.545 *	0.698 **	0.613 *	1										
镁	0.634 *	0.602 *	0.555 *	-0.105	0.631 *	0.484	-0.678 **	0.433	0.072	0.144	1									
铜	-0.039	0.508	0.142	0.528 *	-0.148	0.982 **	-0.320	0.218	0.105	-0.472	0.547 *	1								
锌	0.733 **	-0.290	0.925 **	0.655 **	0.515 *	0.494	-0.788 **	0.982 **	0.895 **	0.563 *	0.448	0.381	1							
锰	-0.100	0.482	0.081	0.522 *	-0.221	0.969 **	-0.343	0.167	0.025	-0.509	0.531 *	0.988 **	0.328	1						
铁	0.758 **	0.515 *	0.634 *	-0.229	0.848 **	0.216	-0.339	0.469	0.321	0.316	0.757 **	0.263	0.452	0.161	1					
全钾	-0.982 **	-0.015	-0.957 **	-0.085	-0.908 **	-0.183	0.786 **	-0.861 **	-0.639 *	-.716 **	-0.724 **	-0.148	-0.806 **	-0.086	-0.788 **	1				
硼	-0.025	-0.170	-0.141	-0.354	0.149	-0.615 *	0.669 **	-0.205	0.118	0.180	-0.529 *	-0.622 *	-0.278	-0.717 **	0.118	0.148	1			
钼	0.088	0.058	-0.096	-0.529 *	0.313	-0.590 *	0.616 *	-0.220	0.021	0.161	-0.312	-0.561 *	-0.298	-0.662 **	0.327	0.030	0.955 **	1		
铝	0.013	-0.902 **	0.051	0.101	-0.097	-0.632 *	-0.050	0.126	0.226	0.556 *	-0.614 *	-.738 **	0.012	-0.692 **	-0.581 *	0.113	0.210	0.017	1	
钠	-0.470	0.185	-0.207	0.678 **	-0.568 *	0.788 **	0.205	-0.039	0.145	-.646 **	-0.101	0.758 **	0.140	0.730 **	-0.135	0.320	-0.186	-0.268	-0.477	1

**表示在 0.01 水平上显著相关,* 表示在 0.05 水平上显著相关。

2.5 不同种植模式碧螺春茶园土壤各指标主成分分析

利用 SPSS 18.0 软件对 5 个不同碧螺春茶园土壤指标进行主成分分析,结果见表 4 和表 5。可知,前 3 个主分量所构成的信息量占总信息量的

89.919%,基本保留了原有变量的全部信息。其中,第 1 主成分 $F_1 = 0.894x_1 - 0.054x_2 + 0.971x_3 + 0.362x_4 + \cdots - 0.326x_{17} - 0.252x_{18} - 0.127x_{19} - 0.09x_{20}$, F_1 主分量的方差贡献率达到 41.468%,代表变量有全氮量、全钾、碱性氮、锌、电导率、有效硫、

有效磷和有机质,这一类主要代表茶园土壤的营养状况;第 2 主成分 $F_2 = -0.393x_1 + 0.495x_2 - 0.216x_3 + 0.461x_4 + \cdots - 0.652x_{17} - 0.626x_{18} - 0.666x_{19} + 0.804x_{20}$, F_2 主分量的方差贡献率达到 30.448%,代表变量主要有锰、铜、速效钾、钠、钙、铝、钼等,这一类主要代表茶园土壤的矿物质成分含

量;第 3 主成分 $F_3 = -0.211x_1 + 0.858x_2 - 0.073x_3 + 0.763x_4 + \cdots + 0.152x_{17} + 0.411x_{18} - 0.683x_{19} + 0.259x_{20}$, F_3 主分量的方差贡献率达到 18.004%,代表变量主要有 pH、全磷量、铁、铝等,这一类主要代表土壤的酸碱性的指标。

表 4 特征向量
Tab.4 Eigenvector

变量	代表 指标	成分			变量	代表 指标	成分		
		1	2	3			1	2	3
x_1	电导率	0.894	-0.393	0.211	x_{11}	镁	0.706	0.315	0.566
x_2	pH	-0.054	0.495	0.858	x_{12}	铜	0.350	0.924	0.076
x_3	全氮量	0.971	-0.216	-0.073	x_{13}	锌	0.930	0.064	-0.317
x_4	全磷量	0.362	0.461	-0.763	x_{14}	锰	0.299	0.953	0.031
x_5	有效磷	0.743	-0.480	0.465	x_{15}	铁	0.669	-0.063	0.681
x_6	速效钾	0.413	0.890	-0.078	x_{16}	全钾	-0.954	0.216	-0.204
x_7	有效硫	-0.871	-0.090	0.158	x_{17}	硼	-0.326	-0.652	0.152
x_8	碱性氮	0.942	-0.110	-0.294	x_{18}	钼	-0.252	-0.626	0.411
x_9	有机质	0.732	-0.185	-0.460	x_{19}	铝	-0.127	-0.666	-0.683
x_{10}	钙	0.622	-0.728	-0.168	x_{20}	钠	-0.090	0.804	-0.259

表 5 总方差解释表
Tab.5 Table of total variance

成分	初始特征值			提取特征值		
	合计	方差百分数/%	累积百分数 /%	合计	方差百分数/%	累积百分数/%
1	8.294	41.468	41.468	8.294	41.468	41.468
2	6.090	30.448	71.915	6.090	30.448	71.915
3	3.601	18.004	89.919	3.601	18.004	89.919
4	1.905	9.527	99.446	1.905	9.527	99.446

2.6 不同种植模式碧螺春茶园土壤状况综合评价

前 3 个主成分的累积方差贡献率达 89.919%,表明利用前 3 个主成分对不同种植模式茶园土壤状况进行评价是可行的。以不同特征值的方差贡献率 $\beta_i(i=1,2\cdots k)$ 为加权系数,利用综合评价函数 $F = \beta_1F_1 + \beta_2F_2 + \cdots + \beta_kF_k$ 建立综合评价模型: $F = 0.41468F_1 + 0.30448F_2 + 0.18004F_3$,计算各样本得分,然后进行排序评价各个茶园的土壤状况,根据上述土壤状况评价模型,计算不同种植模式茶园土壤的评价得分,见表 6。结果显示,西山杨梅-茶园土壤的 F 值最高,依次为西山纯茶园、东山杨梅-茶园、东山纯茶园、东山枇杷-茶园。

2.7 不同种植模式对碧螺春茶叶营养成分的影响

对 5 个不同碧螺春茶园产茶叶营养成分进行分析,见表 7。可知,在东山茶园,果茶间作模式茶鲜叶的游离氨基酸和茶多酚含量均略大于纯茶园,但儿茶素含量均略小于纯茶园,咖啡碱含量则显著小于纯茶园($p < 0.05$)。而在西山茶园,除了游离氨基酸外,杨梅-茶间作茶鲜叶的茶多酚、儿茶素和咖啡碱含量均低于纯茶园。可能是不同茶园、不同果茶间作方式会改变光、温、湿等条件,影响茶树的生长代谢,从而对茶鲜叶的营养成分造成不同的影响。也有研究表明,果茶间作茶园中适度地遮荫条件会使茶树呼吸代谢和酶系统活性减弱,造成茶多酚合成受阻,从而使茶多酚和儿茶素含量下降^[11,22]。

表 6 茶园土壤状况评价
Tab. 6 Evaluation of soil status in tea plantation

	<i>F</i> ₁	<i>F</i> ₂	<i>F</i> ₃	<i>F</i>	<i>F</i>	排名
西山杨梅-茶园	11 929. 82	11 382. 31	18 537. 47	11 749. 86	11 749. 86	1
西山纯茶园	9 494. 99	10 719. 11	18 779. 86	10 581. 92	10 581. 92	2
东山杨梅-茶园	6 911. 05	11 402. 25	15 516. 85	9 130. 92	9 130. 92	3
东山纯茶园	11 512. 28	980. 48	17 104. 38	8 151. 89	8 151. 90	4
东山枇杷-茶园	9 491. 55	4 872. 96	14 482. 45	8 026. 94	8 026. 94	5

表 7 茶鲜叶的营养成分
Tab. 7 Fresh tea nutrients

样品来源	茶鲜叶的营养成分			
	ω (游离氨基酸)/%	ω (茶多酚)/%	ω (儿茶素)/(mg·g ⁻¹)	ω (咖啡碱)/%
东山纯茶园	4. 22 ± 0. 21ce	3. 94 ± 0. 12ab	2. 49 ± 0. 12a	0. 06 ± 0. 01b
东山枇杷-茶园	4. 55 ± 0. 04b	3. 96 ± 0. 20ab	2. 48 ± 0. 05a	0. 07 ± 0. 00b
东山杨梅-茶园	4. 42 ± 0. 12bc	4. 00 ± 0. 15ab	2. 39 ± 0. 15a	0. 09 ± 0. 01a
西山纯茶园	4. 26 ± 0. 16cd	4. 15 ± 0. 15a	2. 75 ± 0. 15a	0. 07 ± 0. 01b
西山杨梅-茶园	5. 30 ± 0. 08a	3. 86 ± 0. 06b	2. 68 ± 0. 40a	0. 07 ± 0. 01b

同一列中字母相同表示处理间无显著差异,字母不同表示有显著性差异。

对土壤性状和营养成分与茶叶营养品质进行相关性分析,见表 8。可知,不同种植模式茶叶的游离氨基酸含量与土壤中铁和锌含量呈现显著的负相关,茶多酚含量与土壤中的碱解氮、有机质和锌含量呈现显著的正相关,咖啡碱含量与电导率、全氮量、有效磷、碱解氮、钙、铁含量呈现显著的正相关,而与全钾含量呈现极显著的负相关。研究表明,土壤中的有机质和氮含量适量增加有助于茶叶中蛋白质、氨基酸等营养成分的增加^[23],而氮是咖啡碱的组成成分之一,茶树鲜叶含氮量与鲜叶及成茶主要营养

成分氨基酸、儿茶素、茶多酚和碳水化合物密切相关,与氨基酸呈显著正相关^[24]。土壤中磷含量增加有利于茶多酚和水浸出物的增加,对茶叶营养品质的提高有良好的影响,磷对提高茶叶品质的作用,主要表现在香气和滋味两方面^[25]。而钾能够显著提高茶叶中的游离氨基酸、茶多酚等内含物的含量^[26]。本研究中土壤钾元素的含量与茶叶咖啡碱的含量呈显著的负相关,土壤铁元素的含量与茶叶儿茶素含量亦呈现显著的负相关,具体原因有待进一步的研究。

表 8 土壤性状和营养成分与茶叶营养品质的相关性
Tab. 8 Correlations between soil properties and nutrients and tea quality

茶叶	电导率	pH	全氮量	全磷量	有效磷	速效钾	有效硫	碱解氮	有机质	钙	镁	铜	锌	锰	铁	全钾	硼	钼	铝	钠
游离氨基酸	-0. 393	0. 080	-0. 498	-0. 348	-0. 373	-0. 246	-0. 017	-0. 512	-0. 716 **	-0. 265	-0. 034	-0. 177	-0. 543 *	-0. 046	-0. 543 *	0. 421	-0. 472	-0. 468	0. 202	-0. 343
茶多酚	0. 361	-0. 321	0. 507	0. 486	0. 210	0. 219	-0. 354	0. 586 *	0. 602 *	0. 361	0. 051	0. 146	0. 594 *	0. 089	0. 149	-0. 379	0. 019	-0. 063	0. 182	0. 138
儿茶素	-0. 226	-0. 479	-0. 096	0. 362	-0. 378	-0. 025	-0. 049	0. 037	0. 080	0. 103	-0. 362	-0. 081	0. 044	-0. 036	-0. 526 *	0. 235	-0. 147	-0. 331	0. 485	0. 108
咖啡碱	0. 739 **	0. 089	0. 648 **	-0. 100	0. 718 **	-0. 006	-0. 492	0. 545 *	0. 381	0. 637 *	0. 502	-0. 001	0. 485	-0. 070	0. 605 *	-0. 723 **	0. 017	0. 112	0. 001	-0. 353

* * 表示在 0. 01 水平上显著相关,* 表示在 0. 05 水平上显著相关。

3 讨论与结论

本研究对洞庭东、西山两个茶产区的代表性的果茶间作茶园和纯茶园的土壤主要化学性状和茶叶营养品质进行了测定分析。结果表明,东山茶产区

的两种果茶间作(枇杷-茶、杨梅-茶)可提高土壤中铜、锌、锰和铁元素的含量,有效改善表层土壤中的全氮、全磷、有效氮、速效钾、碱解氮含量,而不利于有效硫的保持,而西山茶产区表现出不一样的变化规律,具体原因有待进一步分析。

通过各供试茶园土壤养分指标的主成分分析发现,影响茶园土壤状况的主要因素有 3 个,分别是土壤的养分、矿物质成分含量及土壤的酸碱性。不同果茶间作茶园土壤质量综合评价结果显示,西山杨梅-茶园土壤的质量最高,依次为西山纯茶园、东山杨梅-茶园、东山纯茶园、东山枇杷-茶园。通过测定各茶鲜叶的营养品质,发现不同茶产区、不同果茶间作方式对茶鲜叶的营养成分影响不同,在东山茶园,果茶间作茶园茶鲜叶的游离氨基酸和茶多酚含量均略大于纯茶园,但儿茶素含量均略小于纯茶园,咖啡碱含量则显著小于纯茶园。而在西山茶园,除了游离氨基酸外,杨梅-茶间作茶园茶鲜叶的茶多酚、儿茶素和咖啡碱含量均低于纯茶园。根据土壤性状、营养成分与茶叶营养品质的相关性分析得知,茶叶游离氨基酸含量与土壤中铁和锌呈现显著的负相关,茶多酚含量与碱性氮、有机质和锌元素呈现显著的正相关,咖啡碱含量与电导率、全氮量、有效磷、碱性氮、钙、铁呈现显著的正相关,而与全钾呈现极显著的负相关。该研究表明进行果茶间作对改善茶园土壤性质具有重要作用,结果为洞庭碧螺春不同茶产区改良土壤,从而提升茶叶营养品质提供了重要的理论依据。

参考文献:

- [1] NAGHMA K, HASAN M. Tea and health: studies in humans [J]. *Current Pharmaceutical Design*, 2013, 19 (34): 6141 - 6147.
- [2] LEE L K, FOO K Y. Recent advances on the beneficial use and health implications of Pu-Erh tea [J]. *Food Research International*, 2013, 53(2): 619 - 628.
- [3] 季小明, 王梦馨, 江丽容, 等. 太湖洞庭山十种茶果间作茶园节肢动物群落组成的异同性 [J]. *应用昆虫学报*, 2011, 48(5): 1471 - 1478.
JI X M, WANG M X, JIANG L R, et al. Similarity and disparity of arthropod community compositions among ten tea-intercropping plantations with different species of fruits in the Dongtingshan mountains, Taihu lake [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48(5): 1471 - 1478.
- [4] 胡明宇, 林昌虎, 何腾兵, 等. 茶园土壤性状与茶叶品质关系研究现状 [J]. *贵州科学*, 2009, 27(3): 92 - 96.
HU M Y, LIN C H, HE T B, et al. Research status of tea garden soil properties and tea quality [J]. *Guizhou Sci-*

ence, 2009, 27(3): 92 - 96.

- [5] 肖润林, 王久荣, 单武雄, 等. 不同遮荫水平对茶树光合环境及茶叶品质的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15 (6): 6 - 11.
XIAO R L, WANG J R, SHAN W X, et al. Tea plantation environment and quality under different degrees of shading [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(6): 6 - 11.
- [6] 吕小营. 山东新建茶园不同间作及覆盖遮荫效应比较研究 [D]. 山东农业大学, 2011:10.
LÜ X Y. Comparative study on the effects of intercropping various crops and covering with shading net in young tea plantation in Shangdong [D]. *Shangdong Agricultural University*, 2011:10.
- [7] 董明辉, 顾俊荣, 刘腾飞, 等. 苏州洞庭山不同茶果间作茶园土壤养分的比较分析 [J]. *中国茶叶*, 2015 (2): 11 - 13.
DONG M H, GU J R, LIU T F, et al. Comparative analysis of tea-planted soil nutrients under different intercropping patterns in Suzhou Dongtingshan mountain [J]. *China Tea*, 2015(2): 11 - 13.
- [8] 顾俊荣, 张丽, 刘腾飞, 等. 不同茶果间作下洞庭碧螺春茶叶中矿质元素与茶多酚等有效成分的分析 [J]. *江苏农业科学*, 2015, 56(12): 325 - 328.
GU J R, ZHANG L, LIU T F, et al. Analysis of mineral elements and tea polyphenols and other active ingredients under different intercropping patterns [J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2015, 56(12): 325 - 328.
- [9] 王红娟, 龚自明. 茶园测土配方施肥土壤取样技术 [J]. *茶叶科学技术*, 2008(3): 46 - 48.
WANG H J, GONG Z M. Soil sampling and equilibrium fertilization techniques in tea plantation [J]. *Tea Science and Technology*, 2008(3): 46 - 48.
- [10] 颜明娟, 林琼, 吴一群, 等. 不同施氮措施对茶叶品质及茶园土壤环境的影响 [J]. *生态环境学报*, 2014, 23 (3): 452 - 456
YAN M J, LIN Q, WU Y Q, et al. Effects of different nitrogen fertilization treatments on soil condition of tea garden and tea quality [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2014, 23(3): 452 - 456.
- [11] 王丽娟, 朱兴正, 毛加梅, 等. 不同遮荫树种对茶园土壤和茶叶品质的影响 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2011, 31(8): 66 - 74
WANG L J, ZHU X Z, MAO J M, et al. Effects of different single shaded trees on soil and tea quality of different tree-tea intercrop gardens [J]. *Journal of Central South University of Forestry and Technology*, 2011, 31

- (8):66-74
- [12] 张正竹. 茶叶生物化学实验教程[M]. 北京:中国农业出版社, 2009: 35-46.
ZHANG Z Z. Tea biochemistry experiments tutorial [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009: 35-46.
- [13] 杨竞, 童祯恭, 刘玉哲. SPSS 软件对饮用水水质进行主成分分析评价的运用[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(7): 171-174
YANG J, TONG Z G, LIU Y Z. Principal component analysis and evaluation by SPSS software in drinking water quality assessment [J]. Environmental Science and Technology, 2011, 34(7): 171-174.
- [14] ZHOU J, XIA F, LIU X M, et al. Effects of nitrogen fertilizer on the acidification of two typical acid soils in south China[J]. Journal of Soils and Sediments, 2014, 14(2): 415-422.
- [15] ZHAO W, CAI Z C, XU Z H. Does ammonium-based N addition influence nitrification and acidification in humid subtropical soils of China? [J]. Plant and Soil, 2007, 297(1/2): 213-221.
- [16] WARBY R A F, JOHNSON C E, DRISCOLL C T. Continuing acidification of organic soils across the north-eastern USA: 1984 - 2001 [J]. Soil Science Society of America Journal, 2009, 73(1): 274-284.
- [17] 杨向德, 石元值, 伊晓云, 等. 茶园土壤酸化研究现状和展望[J]. 茶叶学报, 2015, 56(4): 189-197.
YANG X D, SHI Y Z, YI X Y, et al. research progress and prospects on soil acidification at tea plantations[J]. Acta Tea Sinica, 2015, 56(4): 189-197.
- [18] 林义成, 丁能飞, 傅庆林, 等. 土壤溶液电导率的测定及其相关因素的分析[J]. 浙江农业学报, 2005, 17(2): 83-86.
LIN Y C, DING N F, FU Q L, et al. The measurement of electric conductivity in soil solution and analysis of its correlative factors[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2005, 17(2): 83-86.
- [19] 林新坚, 黄东风, 李卫华, 等. 施肥模式对茶叶产量、营养累积及土壤肥力的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(2): 151-157.
LIN X J, HUANG D F, LI W H, et al. Effect of fertilization regime on tea yield, nutrient accumulation and soil fertility [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(2): 151-157.
- [20] 何文彪, 黄小兵, 汪艳霞, 等. 有机肥对山地茶园土壤及茶叶产量与品质的影响[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(11): 71-73.
HE W B, HUANG X B, WANG Y X, et al. Effects of organic fertilizer on soil and tea yield and quality of top-land tea garden [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2015, 43(11): 71-73.
- [21] 马小雪. 陕南茶区土壤中铝分布及其外源铝对茶叶品质的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2012: 9.
MA X X. Soil aluminum fractions in south Shaanxi tea region and effect of exogenic aluminum on tea quality [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2012: 9.
- [22] 刘婷婷, 齐桂年. 6个茶树品种的红茶适制性研究[J]. 食品科学技术学报, 2015, 33(2): 58-61.
LIU Tingting, QI Guinian. Study on suitability of 6 tea cultivars for manufacture of black tea [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 33(2): 58-61.
- [23] 游小妹, 陈常颂, 钟秋生, 等. 不同用氮量水平对乌龙茶产量、品质的影响[J]. 福建农业学报, 2012, 27(8): 853-856.
YOU X M, CHEN C S, ZHONG Q S, et al. Preliminary study on effects of nitrogen fertilization on yield and quality of Oolong tea[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2012, 27(8): 853-856.
- [24] 苏有健, 廖万有, 丁勇, 等. 不同氮营养水平对茶叶产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1430-1436.
SU Y J, LIAO W Y, DING Y, et al. Effects of nitrogen fertilization on yield and quality of tea[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(6): 1430-1436.
- [25] LIN Z H, QI Y P, CHEN R B, et al. Effects of phosphorus supply on the quality of green tea [J]. Food Chemistry, 2012, 130(4): 908-914.
- [26] RUAN J Y, MA L F, SHI Y Z. Potassium management in tea plantations: its uptake by field plants, status in soils, and efficacy on yields and quality of teas in China [J]. Journal of Plant Nutrition Soil Science, 2013, 176(3): 450-459.

Effects of Different Intercropping Patterns on Tea-Planted Soil and Tea Nutritional Quality

LIU Tengfei¹, DONG Minghui^{1,*}, ZHANG Li², GU Junrong¹, ZHANG Guoqin¹, QIAN Hui¹

(1. *Agro-product Quality Safety and Testing Technology Research Division,*

Jiangsu Taihu Area Institute of Agricultural Sciences, Suzhou 215155, China;

2. College of Education and Humanity, Suzhou Vocational University, Suzhou 215104, China)

Abstract: To explore the effects of different intercropping patterns on tea-planted soils and tea nutritional qualities, both the main chemical characters of soils and nutritional components in fresh tea leaves were detected, which were sampled from the fruit-tea intercropping and pure tea gardens in the east Dongting (ED) and west Dongting (WD) mountain. The results showed that the fruit-tea intercrop effectively relieved soil acidification and improved the nutritive and mineral contents of the topsoil (0–25 cm). The principal component analysis showed that the nutrient composition, mineral contents, and acid alkali of soil were the main factors that influenced the properties of tea-planted soil. It was found that the best soil nutrient status appeared in the loquat-tea intercropping plantation in WD, decreasingly followed by the pure tea plantation in WD, waxberry-tea intercrop in ED, the pure tea plantation in ED, and the loquat-tea intercrop in ED. Effects of fruit-tea intercropping patterns and tea-producing districts on nutritional qualities of fresh-leaves were different. In ED, the contents of free amino acids and tea polyphenols in fruit-tea intercropping plantations were slightly higher than those of pure tea plantation, while contents of catechin and caffeine were lower than those of pure tea plantation. In WD, the contents of tea polyphenol, catechin, and caffeine in fresh tea leaves from the waxberry-fruit intercropping plantation were lower than those of pure tea plantation. Moreover, the results indicated that the free amino acid content was negatively related to the contents of Fe and Zn in soil, and tea polyphenol was positively related to the alkaline nitrogen, organic matter, and Zn. Meanwhile, caffeine was positively related to electric conductivity, total nitrogen, effective phosphorus, alkaline nitrogen, Ca and Fe, but it was negatively related to the total potassium. Above all, it was clear that fruit-tea intercrop played significant roles in soil environment, and the study provided important evidences for quality improvement and production management of the Dongting Biluochun tea.

Keywords: intercropping patterns; tea-planted soil; tea; nutritional qualities; free amino acid

(责任编辑:李 宁)