

卢青,何季,吴传美,等. 不同植茶年限下四球茶茶园土壤性状及茶叶品质特征[J]. 江苏农业科学,2023,51(2):168-175.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.02.025

不同植茶年限下四球茶茶园土壤性状及茶叶品质特征

卢青¹,何季¹,吴传美¹,向仰州²,刘鸿雁¹

(1. 贵州大学农学院,贵州贵阳 550025; 2. 贵州师范学院地理与资源学院,贵州贵阳 550018)

摘要:为探索贵州普安珍稀四球茶茶园在不同种植年限下的土壤肥力及茶叶品质特征,应用实地研究和室内分析结合的试验方法,以普安县不同植茶年限(5年、15年、25年及40年)四球茶为研究对象,开展土壤特性、茶叶品质以及两者之间关联性的研究。结果表明:(1)四球茶茶园土壤的pH值在4.49~5.07之间,有机质含量在植茶25年达到最高,CEC值、容重在植茶40年时达到最高,碱解氮、速效钾含量在植茶40年最低,有效磷含量在植茶15年达到最高。且有机质、碱解氮含量在茶园土壤分级标准中属于I级标准,土壤pH值属于II级标准,而有效磷含量属于III级标准。(2)不同植茶年限下咖啡碱、可溶性糖、游离氨基酸含量及酚氨比有显著差异,茶多酚差异不显著,咖啡碱及可溶性糖含量为植茶15年和25年时较高,游离氨基酸总量为植茶5年和15年时较高,酚氨比随植茶年限的增加逐渐增加。(3)CEC值、速效钾、土壤pH值是茶树新稍叶片主要生化成分的重要影响因素。综上,人工种植四球茶时,应适当补充磷肥或者增施有机肥提高有效磷含量。此外,四球茶品质在植茶15年时较佳,种植前期(植茶25年之前)适合制作绿茶。

关键词:四球茶;植茶年限;茶叶品质;通径分析;土壤肥力

中图分类号:S571.106 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)02-0168-08

茶树是山茶科常绿乔木植物^[1]。贵州省由于

气候温和,冬暖夏凉,终年多雨,地势高差大,立体气候明显,这使得贵州在茶叶生产要素方面具有得天独厚的优势^[2]。近年来,由于经济快速发展,人们生活水平显著提高,对茶叶品质的要求也越来越高^[3]。土壤是茶树生存和生长的基质,茶树生长发育所需的营养成分大多来源于土壤的供给^[4]。研究发现,土壤酸碱性、孔隙性以及氮、磷、钾含量等均对茶树生长及茶叶品质有重要影响^[5]。叶江华等研究发现,土壤pH值与茶叶品质含量呈显著负

收稿日期:2021-12-28

基金项目:国家自然科学基金委员会-贵州省人民政府联合基金(编号:U1612442);贵州省科技计划(编号:黔科合基础[2019]1106号)。

作者简介:卢青(1994—),女,贵州黔西人,硕士研究生,主要从事茶园土壤研究。E-mail:1336213189@qq.com。

通信作者:何季,博士,讲师,主要从事农业资源与环境研究。E-mail:heji15@163.com。

[17]陈艳红,邢晓科,郭顺星. 兰科植物与菌根真菌的营养关系[J]. 菌物学报,2017,36(7):807-819.

[18]王利民,符真珠,高杰,等. 植物不饱和脂肪酸的生物合成及调控[J]. 基因组学与应用生物学,2020,39(1):254-258.

[19]Zhang M, Barg R, Yin M G, et al. Modulated fatty acid desaturation via overexpression of two distinct $\omega-3$ desaturases differentially alters tolerance to various abiotic stresses in transgenic tobacco cells and plants[J]. The Plant Journal, 2005, 44(3):361-371.

[20]Wu Q S, He J D, Srivastava A K, et al. Mycorrhizas enhance drought tolerance of citrus by altering root fatty acid compositions and their saturation levels[J]. Tree Physiology, 2019, 39(7):1149-1158.

[21]曹福亮,王欢利,郁万文,等. 高等植物脂肪酸去饱和酶及编码基因研究进展[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2012,36(2):125-132.

[22]闵文莉,曹喜涛,季更生,等. 调控脂肪酸合成植物转录因子的研究进展[J]. 发酵科技通讯,2017,46(2):107-112.

[23]祁伟亮,孙万仓,马骊. 活性氧参与调控植物生长发育和胁迫应激响应机理的研究进展[J]. 干旱地区农业研究,2021,39(3):69-81,193.

[24]Halliwell B. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life[J]. Plant Physiology, 2006, 141(2):312-322.

[25]Huang Y M, Zou Y N, Wu Q S. Alleviation of drought stress by mycorrhizas is related to increased root H₂O₂ efflux in trifoliolate orange[J]. Scientific Reports, 2017, 7:42335.

[26]林兵,武胜利,葛欢欢,等. 灌溉量对不同林龄胡杨光合特性和水分利用效率的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(3):125-132.

[27]刘娜,赵泽宇,姜喜铃,等. 菌根真菌提高植物抗旱性机制的研究回顾与展望[J]. 菌物学报,2021,40(4):851-872.

相关,土壤 pH 值降低会导致鲜茶叶品质成分含量下降^[6]。李小飞等研究发现,茶园土壤中茶叶的品质可以通过改善土壤的孔隙度来提高^[7]。覃潇敏等研究发现,茶多酚含量与土壤全氮、碱解氮、有效磷含量呈负相关,而氨基酸含量与上述指标含量的比值则相反^[8]。罗凡等研究表明,适当施用氮、磷、钾有助于增加茶叶氨基酸类物质、咖啡碱和茶多酚含量,还有助于降低酚氨的含量比^[9]。种植年限的增加导致茶园土壤理化性质和茶园肥力发生一系列变化,如土壤酸化严重,土壤中有毒、抗菌物质的积累,显著影响土壤质量、土壤结构和土壤发育等,进而影响茶叶的品质^[10]。因此,营造良好的土壤环境,有助于提高茶园产量和茶叶品质,具有很强的现实意义。

四球茶种 (*Camellia tetracocca* Zhang) 是山茶属茶亚属 (subgen. *Thea*) 茶组 (sect. *Thea*) 五室茶系 (ser. *Quique-locularis*) 中的一种。四球茶不仅在研究茶树的起源、演化和分类方面发挥着重要作用,而且是四球茶野生老茶树的最大存量,同时也是不可多得的古茶资源,并且是贵州省著名的地方茶树群体种之一,是普安县特有的珍稀种,享有“可以喝的活化石”之称。四球茶对环境具有良好的适应性,种质资源优良,因其口感生津回甘,回味持久,普安县正进行大面积人工种植。目前关于四球茶的研究很少,仅限于四球茶叶片解剖特征与光合生理^[11]、茶园土壤团聚体稳定性^[12]、四球茶转录组 SSR 位点信息分析^[13]、四球茶种群间联结分析^[14]及生命表与生存分析^[15]等方面的初步研究,而关于人工种植四球茶茶园土壤肥力和茶叶品质的研究尚未见报道。以此为基础,选择研究对象为普安县不同种植年限珍稀四球茶园,获取不同种植年限的四球茶园土壤性质、养分和茶叶品质的变化,并运用相关分析及通径分析分析土壤理化性质与茶叶品质的关系,明确影响茶叶品质最主要的因素,揭示土壤肥力及茶叶品质随种植年限增加的变化规律,为茶园的规范化科学管理提供理论支撑。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区位于贵州省黔西南布依族苗族自治州普安县 (104°51'10" ~ 105°09'24"E, 25°18'31" ~ 26°10'35"N), 该区被誉为“中国古茶树之乡”, 平均海拔高度为 1 400 m, 年均气温 14 ℃, 无霜期 280 ~

290 d, 年均日照时长 1 563 h, 年均降水量 1 360 mm, 土壤类型为黄壤, 属低纬度、高海拔的亚热带季风性湿润气候。

1.2 试验设计

通过资料查阅和实地调研,对茶树的地理位置和生长情况进行整体观察,研究对象选定为基础材料相同、生长相对均匀、地理位置相对集中的四球茶。在贵州省普安县青山镇确定植茶年限分别为 5、15、25、40 年的茶园,在每个植茶年限茶园随机布设 3 个典型地块,共 12 个地块,每个地块的面积约为 50 m²。茶园每年 10 月底施肥 1 次,肥料为有机肥 (猪粪),施入量为 1.5 t/hm²,茶树行株距分别为 3、2 m,每年 10 月进行人工清除杂草,茶树修剪枝条归还土壤,手工清除行间杂草。

1.3 样品采集

土壤采集:采集时间为 2021 年 4 月。划分地块后,设置 5 个采样点 (按“S”形布点),在茶树冠幅范围内分别取 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层土 (选用直径为 10 cm 土钻取土)。将土壤样品带到实验室,在自然条件下干燥,剔除大块砂砾和枯枝落叶,最后过筛,用于测定土壤的理化性质。

植物采集:2021 年 4 月,按照一芽二叶的标准采集鲜叶,蒸汽杀青后,80 ℃烘至全干后粉碎,用于茶叶可溶性糖等主要生化成分的测定。

1.4 测定项目及方法

土壤理化性质测定:土壤 pH 值采用电位法 (NY/T 1377—2007《土壤 pH 的测定》)测定,土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加热法 (GB 9834—1988《土壤有机质的测定》)测定,阳离子交换量 (CEC) 采用乙酸铵交换法 (DB 33/T 966—2015《土壤阳离子交换量的测定》)测定,土壤容重采用环刀法 (NY/T 1121.4—2006《土壤检测 第 4 部分:土壤容重的测定》)测定,土壤碱解氮含量采用 NaOH-碱解扩散法 (DB51/T 1975—2014《土壤碱解氮的测定》)测定,土壤有效磷含量采用氟化铵-盐酸浸提-钼蓝比色法 (NY/T 1849—2010《酸性土壤 铵态氮、有效磷、速效钾的测定 联合浸提-比色法》)测定,土壤速效钾含量采用乙酸铵浸提-火焰光度法 (NY/T 889—2004《土壤速效钾和缓效钾含量的测定》)测定。

茶叶主要生化成分测定:茶多酚含量采用福林酚法 (GB/T 8313—2008《茶叶中茶多酚和儿茶素含量的检测方法》)测定;游离氨基酸含量采用茚三酮

比色法 (GB/T 8314—2002《茶 游离氨基酸总量的测定》测定);咖啡碱含量采用紫外分光光度法 (GB/T 8312—2002《茶 咖啡碱测定》)测定;可溶性糖含量采用蒽酮比色法^[16]测定。

1.5 茶园土壤养分状况评价标准

根据 NY/T 391—2013《绿色食品 产地环境质量》^[17]、NY/T 853—2004《茶叶产地环境技术条件》中茶园土壤的肥力分级标准^[18]和优质高效高产茶园的土壤营养诊断指标^[19]提出茶园土壤养分含量分级标准(表 1)。

表 1 土壤养分分级标准

指标	茶园土壤养分分级标准			
	I	II	III	优质茶园肥力
pH 值	<4.5	4.5~5.5	>5.5	4.5~5.5
有机质含量(g/kg)	>15	10~15	<10	≥20
碱解氮含量(mg/kg)	>100	50~100	<50	≥100
有效磷含量(mg/kg)	>10.0	5.0~10.0	<5.0	≥20.0
速效钾含量(mg/kg)	>120	80~120	<80	≥100

1.6 数据处理与分析

使用 SPSS 16.0 对数据进行整理分析,使用 Origin 8.0 进行统计绘图。其中,方差分析采用 One-way ANOVA,多重比较采用 LSD 法,相关分析采用 Pearson's 法。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限下茶园土壤的理化性质

由图 1 可见,在 0~20 cm 土层,土壤 pH 值在 4.63~5.04 之间,土壤 pH 值随植茶年限的增加逐渐增加,植茶 5 年显著低于植茶 15 年、25 年、40 年 ($P < 0.05$),分别低 6.84%、6.09%、8.14%。土壤 CEC 值在 16.09~17.70 cmol/kg 之间,随植茶年限的增加呈先增加后降低再增加的趋势,在植茶 40 年达到最高,植茶 25 年最低,植茶 40 年比植茶 25 年显著高 10.01% ($P < 0.05$)。土壤容重在 1.08~1.16 g/cm³ 之间,不同植茶年限间的土壤容重差异不显著。有机质含量在 37.22~47.39 g/kg 之间,随着茶树种植年限的增加,呈先增加后减少趋势,植茶 25 年出现最高值,均显著高于植茶 5 年、15 年 ($P < 0.05$),分别高 27.32% 和 23.28%。土壤碱解氮含量在 132.23~158.21 mg/kg 之间,植茶 5 年显著高于植茶 15 年、25 年、40 年 ($P < 0.05$),分别高 13.78%、11.05%、19.65%。有效磷含量在 3.29~4.11 mg/kg 之间,随植茶年限的增加先增加后降

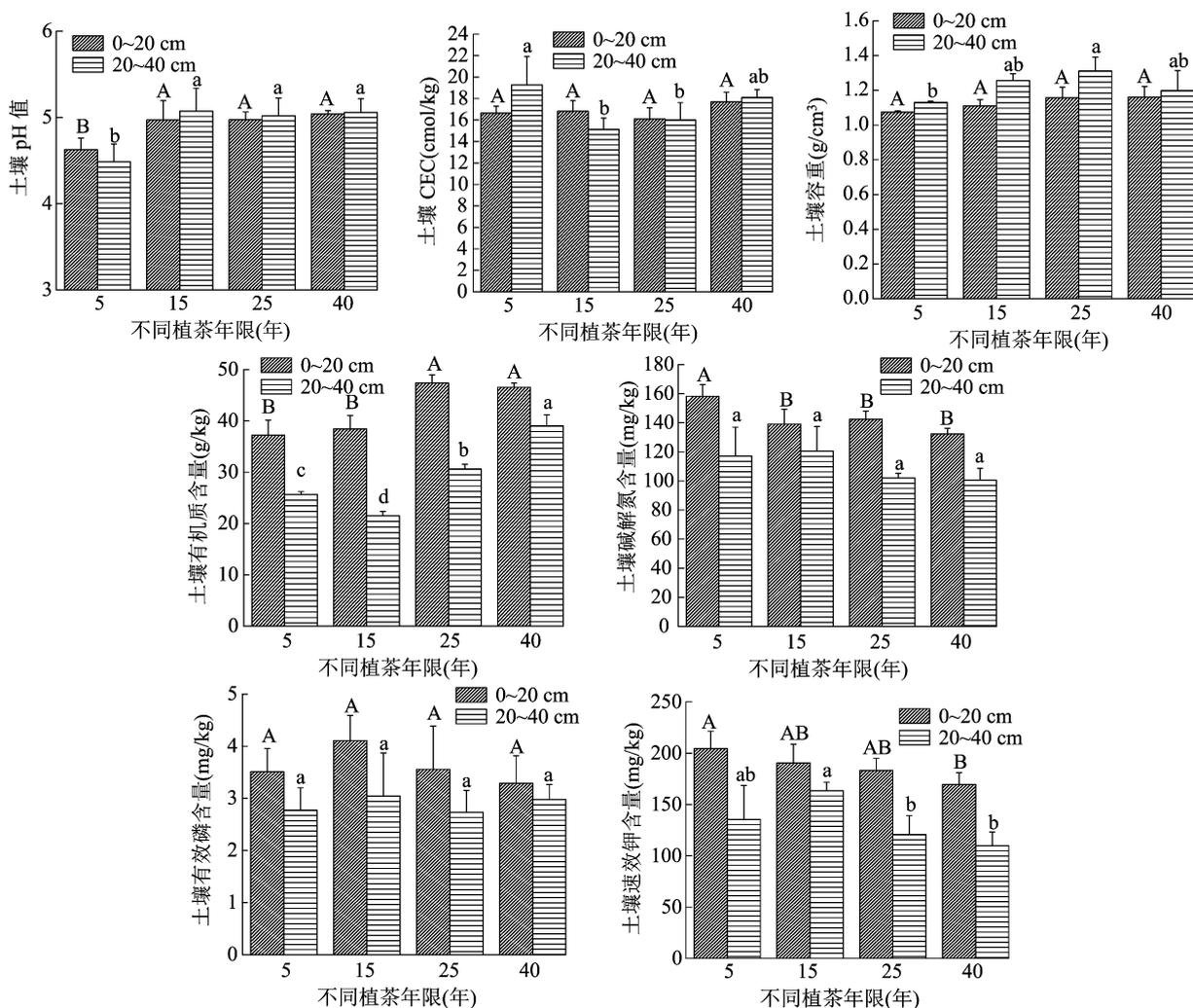
低,在植茶 15 年达到最高值,但不同植茶年限间差异不显著。土壤速效钾含量在 169.56~204.44 mg/kg,随植茶年限的增加逐渐降低,在植茶 5 年显著高于植茶 40 年 ($P < 0.05$),高 20.57%。

在 20~40 cm 土层中,土壤 pH 值在 4.49~5.07 之间,植茶 5 年最低,植茶 15 年和 40 年最高,植茶 5 年显著低于植茶 15 年和 40 年 ($P < 0.05$),低 12.92%。土壤 CEC 值在 15.13~18.09 cmol/kg 之间,随植茶年限的增加先降低后增加,植茶 5 年显著高于植茶 15 年、25 年 ($P < 0.05$),分别高 9.72%、3.81%。土壤容重在 1.13~1.31 g/cm³ 之间,随植茶年限的增加先增加后降低,植茶 25 年达最高值,植茶 5 年最低,植茶 25 年显著高于植茶 5 年 ($P < 0.05$),高 15.93%。土壤有机质含量在 21.52~39.04 g/kg 之间,随植茶年限的增加先降低后增加,植茶 40 年显著高于植茶 5 年、15 年、25 年 ($P < 0.05$),分别高 52.02%、81.41%、27.46%。土壤碱解氮含量在 100.49~120.54 mg/kg 之间,随植茶年限的增加先增加后降低,但不同植茶年限间差异不显著。土壤有效磷含量在 2.73~3.04 mg/kg 之间,不同植茶年限间差异不显著。土壤速效钾含量在 109.89~163.44 mg/kg,随植茶年限的增加先增加后降低,植茶 15 年显著高于植茶 25 年、40 年 ($P < 0.05$),分别高 35.44%、48.73%。

由表 1 及图 1 可知,按照土壤养分分级标准,四球茶茶园土壤 pH 值在 4.49~5.07 之间,为 II 级标准;土壤有机质含量在 21.52~47.39 g/kg 之间,为 I 级标准;碱解氮含量在 100.49~158.21 mg/kg 之间,为 I 级标准;有效磷含量在 2.73~4.11 mg/kg 之间,为 III 级标准;土壤速效钾含量为 109.89~204.44 mg/kg,除 20~40 cm 土层植茶 40 年外,其他均达到 I 级标准。综上,土壤 pH 值、有机质、碱解氮和速效钾均符合优质茶园的肥力标准。

2.2 不同种植年限下茶叶的品质状况

由图 2 可见,茶叶中咖啡碱含量为 12.38~17.42 mg/g,其含量随植茶年限的增加呈先增加后减少趋势,在植茶 15 年时含量最高,在植茶 40 年时含量最低,植茶 15 年显著高于植茶 5 年、25 年、40 年 ($P < 0.05$),分别高 13.19%、10.39%、40.71%。可溶性糖含量为 36.73~64.94 mg/g,随植茶年限的增加,其含量呈先增加后降低趋势,在植茶 15 年含量最高,在植茶 40 年含量最低,植茶 40 年显著低于植茶 15 年和 25 年 ($P < 0.05$),分别低 43.47%、



不同大写、小写字母分别表示 0~20、20~40 cm 土层不同种植年限间差异显著 ($P < 0.05$)

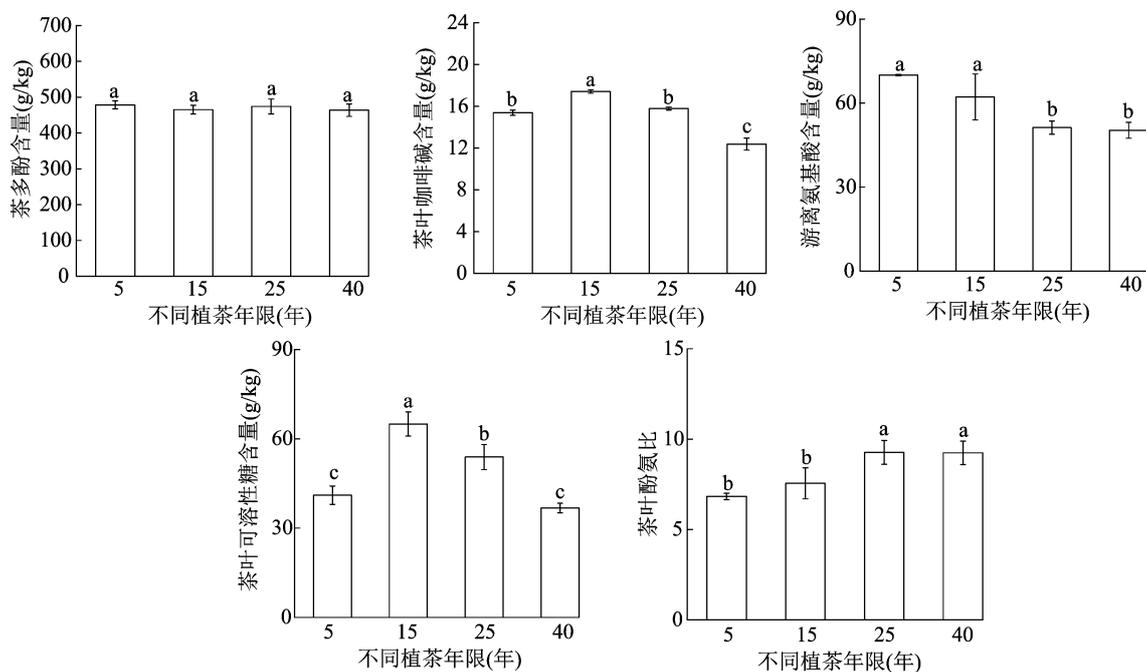
图1 不同植茶年限土壤理化性质

31.83%。茶多酚含量为 463.73 ~ 478.50 mg/g, 不同植茶年限下茶多酚含量无显著差异。游离氨基酸总量为 50.28 ~ 70.03 mg/g, 其含量随植茶年限的增加逐渐降低, 其中, 植茶 40 年显著低于植茶 5 年、15 年, 分别低 28.20%、19.15% ($P < 0.05$)。茶叶中酚氨比为 6.83 ~ 9.27, 在植茶 25 年达到最高值, 其中, 植茶 25 年和 40 年显著高于植茶 5 年、15 年 ($P < 0.05$), 分别高 35.72%、22.62% 和 35.29%、22.22%。

2.3 土壤理化性质与茶叶品质的相关性及通径分析

由表 2、表 3、表 4 可知, 咖啡碱含量与碱解氮、有效磷及速效钾以外的指标均呈负相关关系, 但相关性均不显著, 各理化指标对咖啡碱含量直接通径系数绝对值较大的 3 个指标依次为 CEC 值 (-0.433) > 土壤 pH 值 (0.374) > 速效钾 (0.297); 对咖啡碱含量间接通径系数绝对值较大

的 3 个指标依次为土壤 pH 值 (-0.544) > 有效磷 (0.418) > 容重 (-0.272)。可溶性糖含量与 CEC 值呈极显著负相关, 与土壤 pH 值、有效磷及速效钾呈正相关关系, 与土壤容重、有机质、碱解氮呈负相关关系, 对可溶性糖直接通径系数绝对值较大的 3 个指标依次为 CEC (-0.635) > pH 值 (0.573) > 速效钾 (0.424), 对可溶性糖间接通径系数绝对值较大的 3 个指标依次为有效磷 (0.346) > pH 值 (-0.289) > 有机质 (0.197)。各理化指标对茶多酚含量除土壤 pH 值外其他指标均呈正相关关系, 对茶多酚含量直接通径系数绝对值较大的 3 个指标依次为土壤容重 (0.841) > pH 值 (-0.644) > CEC 值 (0.463), 对茶多酚含量间接通径系数绝对值较大的前 3 个指标依次为有效磷 (0.442) > 土壤容重 (-0.402) > pH 值 (0.162)。游离氨基酸与 pH 值、土壤容重、有机质及速效钾呈负相关, 与 CEC 值、有



柱上不同小写字母表示不同种植年限间差异显著($P < 0.05$)

图2 不同种植年限下茶叶的品质状况

表2 土壤理化性质与茶叶品质的相关性

指标	相关系数						
	pH 值	CEC 值	土壤容重	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾
咖啡碱	-0.171	-0.457	-0.366	-0.494	0.275	0.490	0.304
可溶性糖	0.284	-0.737**	-0.106	-0.208	-0.211	0.313	0.258
茶多酚	-0.482	0.373	0.439	0.012	0.405	0.140	0.053
游离氨基酸	-0.502	0.219	-0.247	-0.397	0.377	0.216	-0.238
酚氨比	0.516	-0.153	0.288	0.473	-0.380	-0.260	0.074

注: *、** 分别表示显著相关($P < 0.05$)、极显著相关($P < 0.01$)。

表3 土壤理化性质与茶叶品质的直接途径系数

指标	直接途径系数						
	pH 值	CEC 值	土壤容重	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾
咖啡碱	0.374	-0.433	-0.096	-0.253	0.262	0.072	0.297
可溶性糖	0.573	-0.635	0.079	-0.403	-0.137	-0.034	0.424
茶多酚	-0.644	0.463	0.841	-0.068	0.423	-0.301	0.096
游离氨基酸	-0.362	0.518	0.217	-0.120	0.374	-0.601	-0.438
酚氨比	-0.021	-0.370	-0.157	0.256	-0.299	0.379	0.326

表4 土壤理化性质与茶叶品质的间接途径系数

指标	间接途径系数						
	pH 值	CEC 值	土壤容重	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾
咖啡碱	-0.544	-0.023	-0.272	-0.242	0.013	0.418	0.007
可溶性糖	-0.289	-0.102	-0.185	0.197	-0.076	0.346	-0.082
茶多酚	0.162	-0.091	-0.402	0.081	-0.018	0.442	-0.044
游离氨基酸	-0.140	-0.297	-0.465	-0.278	0.003	0.816	0.200
酚氨比	0.537	0.218	0.445	0.217	-0.081	-0.640	-0.254

效磷、碱解氮呈正相关关系,对游离氨基酸直接途径系数绝对值较大的 3 个指标依次为有效磷 (-0.601) > CEC 值(0.518) > 速效钾 (-0.438),对游离氨基酸间接途径系数绝对值较大的 3 个指标依次为有效磷 (0.816) > 土壤容重 (-0.465) > CEC 值 (-0.297)。酚氨比与 CEC 值、碱解氮、有效磷均呈负相关关系;与 pH 值、土壤容重、有机质、速效钾均呈正相关关系;对酚氨比直接途径系数绝对值较大的 3 个指标依次为有效磷 (0.379) > CEC 值 (-0.370) > 速效钾 (0.326),对酚氨比间接途径系数绝对值较大的 3 个指标依次为有效磷 (-0.640) > pH 值 (0.537) > 土壤容重 (0.445)。

3 讨论

3.1 不同种植年限下四球茶茶园土壤的肥力特征

土壤养分是植物营养的主要来源,植物生长和养分代谢与土壤养分供应密切相关^[20]。近年来,诸多研究报道土壤理化性质受植被类型、土壤状况、种植年限及土层深度等外部条件的影响^[21-22]。土壤阳离子交换能力可以作为评估土壤肥力和缓冲性能的指标^[23],土壤肥力的重要影响因素之一是土壤有机质含量^[24]。李敬等研究发现,茶树种植后期土壤阳离子交换量增加^[25],本研究结果与之相似。其原因是土壤有机质含量随着种植年限的增加而增加,植茶 25 年土壤有机质含量达到最高,可能是因为茶树生长导致茶树凋落物、残根和根系分泌物数量增加,最终造成土壤有机质的积累^[10]。土壤中氮、磷、钾含量随种植年限的增加均有降低趋势,这可能与茶树生长消耗速效养分以及养分流失有关^[26]。但在茶园土壤分级标准中,有机质、碱解氮、速效钾(除 20~40 cm 土层植茶 40 年外)的养分含量仍处于 I 级标准,表明本研究区土壤中有有机质、氮、钾含量丰富,属于优质茶园。而有效磷含量低于全国平均水平,其原因是该茶园土壤中的磷元素主要来自其天然成土母质和肥料,在我国其含量由北向南逐渐减少,由于磷以沉积的形式存在,迁移性低,尤其是南方酸性或极酸性土壤较多,活性铁和铝含量较高,可溶性磷主要与它们结合形成不溶性盐,从而降低了土壤中磷的含量^[4]。茶叶中多酚、氨基酸、茶氨酸、叶绿素和类胡萝卜素的形成与土壤磷有关。可通过充分补充磷肥或使用生物炭、有机肥等措施提高磷利用率。因此,在四球茶种植及栽培过程中考虑磷的可用性水平具有重要

的实际意义^[27]。

茶树是喜酸作物,适宜生长在土壤 pH 值为 4.5~5.5 的土壤环境中^[28]。有研究表明,随着茶树年龄的增长,茶园土壤的酸度增加^[29]。而本研究表明,土壤表面的 pH 值随着茶叶播种年限的增加呈上升趋势,但保持在适宜茶树生长的区域内,这可能与人工种植的古茶树本身的适应性有关^[30],但还需更多深入研究。任璐璐等研究表明,20~40 cm 土层的养分低于 0~20 cm 土层^[31],本研究结果与之相符。这是因为表层土壤将首先得到的营养(地表碎屑、动物遗骸和粪便、植物残体)集中在表层土壤中,同时地下 90% 的生物质都集中在表土中^[32],因此,土壤表层的养分含量较高。

3.2 不同植茶年限下四球茶的茶叶品质特征

一般来说,茶叶的品质水平是由茶叶中茶多酚、氨基酸、咖啡碱和可溶性糖含量决定的。咖啡碱具有多种生理和治疗功能,它有一定的苦味,但由于与茶黄素结合形成复合物,令其具有清新爽口的味道^[5,33]。有研究表明,如果咖啡碱含量低于 4.5%,绿茶品质与其含量呈正相关^[34]。本研究咖啡碱含量在 4.5% 以下,且随着茶树种植年限的增加先升高后降低,植茶 15 年的茶叶中含量最高,说明种植 15 年的茶叶品质最好。茶汤的味道和香气来源于可溶性糖,其含量越高,茶叶滋味越甘醇而不苦涩^[35]。本研究可溶性糖含量在植茶 15 年时出现最高值,表明与其他年份相比,植茶 15 年的茶更甘醇,苦味更少。

茶多酚主要有儿茶素类、花青素、黄酮类、黄酮醇和酚酸等^[36],茶多酚对人体健康有益^[37],当茶多酚含量达到一定浓度时,有助于杀死癌细胞并防止其扩散^[38]。有研究表明,茶多酚含量为 22% 时,茶汤的口感更好,20%~24% 的含量可以保持茶汤浓稠、鲜度协调,但如果茶多酚含量超过 24%,会降低茶叶的新鲜度,苦味也会增加^[39]。本研究中,在不同植茶年限茶园,茶叶中茶多酚含量稳定在 20% 左右,说明种植年限对茶多酚含量影响不大。氨基酸也是影响茶叶品质的因素之一,其组成、含量、分解转化产物和这些成分的含量将直接影响茶叶的香气和口感^[40]。陈亮等对全国 596 份茶树资源分析发现,平均氨基酸含量仅为 3.3%^[41]。本研究发现,人工种植的四球茶其新稍叶片中的氨基酸含量 (5.1%~7.0%) 远大于 3.3%,且在植茶 5 年和 15 年时含量最高,说明种植早期茶叶的香气和滋味较

好,茶叶品质较佳,因此建议尽量选择种植早期采摘茶叶。酚氨比(茶多酚与氨基酸的比值)是决定茶叶品质的关键指标之一^[42]。相关研究表明,酚氨比与绿茶品质呈负相关。酚氨比越小,茶汤的鲜爽度越高,说明生产出来的绿茶品质越好^[43]。叶乃兴研究表明,酚氨比 < 8 适制绿茶,酚氨比在 8 ~ 15 红绿茶兼制,酚氨比 > 15 适制红茶^[44]。在本研究中,酚氨比在植茶年限为 5 年和 15 年时较低,在植茶 25 年和 40 年时较高,表明种植早期茶叶品质较好且较适制绿茶。

3.3 土壤肥力与茶叶品质的相关分析

通径分析是回归分析的扩展,主要用于分析各种自变量和因变量之间的线性关系(包括直接通径系数和间接通径系数)^[45],它的绝对值表示每个环境因素对目标变量的直接和间接影响,从而说明每个环境因素与目标变量之间的关系^[46]。土壤 CEC 值对咖啡碱的直接通径系数远高于其他因素,是影响咖啡碱的主要因素,土壤 pH 值对咖啡碱的直接通径系数也较高,但由于土壤 pH 值与咖啡碱的直接和间接通径系数相反且互斥,导致土壤 pH 值与咖啡碱之间的相关系数较低。土壤速效钾对咖啡碱的直接通径系数较大,且大于间接通径系数,直接影响与间接影响均为正效应,表明增加土壤速效钾含量能提高咖啡碱含量。土壤 CEC 值与可溶性糖呈极显著负相关关系,表明可通过减小土壤 CEC 值增加可溶性糖的含量,土壤 pH 值、有机质是可溶性糖的主要影响因素,土壤 pH 值、有机质的直接通径系数大于间接通径系数,且由于土壤 pH 值、有机质对可溶性糖的直接通径系数与间接通径系数相反,相互抵消,使得土壤 pH 值、有机质与可溶性糖的相关系数较小。土壤 CEC 值、碱解氮、有效磷是游离氨基酸的主要直接影响因素,因为土壤 CEC、碱解氮、有效磷对游离氨基酸直接通径系数远大于其他因素,且其他因素通过这 3 个变量的间接通径系数也较大。但由于 CEC 值、碱解氮、有效磷对游离氨基酸的直接通径系数与间接通径系数相反,相互抵消,使得各因子与游离氨基酸的相关系数较小。土壤容重、pH 值、CEC 值是茶多酚主要直接影响因素。有效磷是酚氨比的主要影响因素,由于有效磷与酚氨比的直接和间接通径系数相反且互斥,导致土壤有效磷与酚氨比之间的相关系数较低。

此外,本研究中土壤肥力状况对茶叶咖啡碱含量、可溶性糖含量、茶多酚含量、游离氨基酸总量、

酚氨比的剩余通径系数均较大,说明,除此之外,还存在未被考虑的其他因素对这 5 个目标变量具有较大的影响,这些因素可能与茶树自身代谢能力及其对养分的吸收利用等有关^[47-48]。因此,应该进一步开展植物吸收利用养分与茶叶品质的关系等方面的研究。

4 结论

四球茶茶园的土壤肥力水平较高,不同种植年限下土壤性状差异显著,土壤有机质在植茶 25 年达到最高,CEC 值、容重在植茶 40 年时达到最高,碱解氮、速效钾在植茶 40 年最低,有效磷在植茶 15 年达到最高。

除茶多酚外,不同植茶年限下四球茶新稍叶片的主要生化成分均有显著差异,咖啡碱及可溶性糖含量为植茶 15 年和 25 年时较高,游离氨基酸总量为植茶 5 年和 15 年时较高,酚氨比随植茶年限的增加逐渐增加,种植早期茶叶的香气和滋味最好,品质较佳。

土壤中的 CEC 值、pH 值是咖啡碱及可溶性糖的重要影响因素;土壤容重及 pH 值是茶多酚的主要影响因素;有效磷、CEC 值是游离氨基酸及酚氨比的重要影响因素。

参考文献:

- [1] Shen J Z, Wang Y, Chen C S, et al. Metabolite profiling of tea (*Camellia sinensis* L.) leaves in winter[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 192: 1-9.
- [2] 牛素贞, 安红卫, 宋勤飞, 等. 贵州野生茶树立地土壤养分状况分析及综合评价[J]. *浙江农业学报*, 2020, 32(6): 1039-1048.
- [3] 尹荣秀, 王文华, 郭 知, 等. 有机肥对茶园土壤及茶叶产量与品质的影响研究进展[J]. *茶叶通讯*, 2020, 47(1): 6-12.
- [4] 李相楹, 张珍明, 张清海, 等. 茶园土壤氮磷钾与茶叶品质关系研究进展[J]. *广东农业科学*, 2014, 41(23): 56-60.
- [5] 姜佳敏, 王 莹, 徐嘉聪, 等. 海岛火山茶种植区气候土壤条件对茶树生长及茶叶品质的影响[J]. *浙江农业科学*, 2021, 62(4): 666-674.
- [6] 叶江华, 张 奇, 林 生, 等. 大红袍茶树生长及鲜叶品质与土壤特性的相关性[J]. *森林与环境学报*, 2019, 39(5): 488-496.
- [7] 李小飞, 孙永明, 叶 川, 等. 不同耕作深度对茶园土壤理化性质的影响[J]. *南方农业学报*, 2018, 49(5): 877-883.
- [8] 覃蒲敏, 黄少欣, 韦锦坚, 等. 茶树/大豆间作对茶树土壤和茶叶营养品质的影响[J]. *华北农学报*, 2019, 34(增刊 1): 129-135.
- [9] 罗 凡, 龚雪蛟, 张 厅, 等. 氮磷钾对春茶光合生理及氨基酸组分的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(1): 147-155.
- [10] 俞 慎, 何振立, 陈国潮, 等. 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.
- [11] 邹天才,张著林,周洪英,等. 山茶属五种植物叶片解剖特征及与光合生理相关性研究[J]. 西北植物学报,1996,16(1):42-51.
- [12] 卢青,吴传美,刘鸿雁,等. 植茶年限对珍稀“四球茶”茶园土壤团聚体分布特征及稳定性的影响[J]. 茶叶学报,2021,62(1):16-21.
- [13] 黎瑞源,邢辉,申铁. 四球茶转录组 SSR 位点信息分析[J]. 安徽农业大学学报,2017,44(4):558-562.
- [14] 曾辉,郭颖,唐文才,等. 普白林场四球茶种群间联结分析[J]. 林业资源管理,2017(增刊1):10-15.
- [15] 曾辉,郭颖,唐文才,等. 四球茶种群生命表及生存分析[J]. 温带林业研究,2018,1(4):48-51.
- [16] 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.
- [17] 中华人民共和国农业部. 绿色食品产地环境技术条件:NY/T391—2013[S]. 北京:中国农业出版社,2013.
- [18] 中华人民共和国农业部. 茶叶产地环境技术条件:NY/Y 853—2004[S]. 北京:中国农业出版社,2005.
- [19] 韩文炎,阮建云,林智,等. 茶园土壤主要营养障碍因子及系列茶树专用肥的研制[J]. 茶叶科学,2002,22(1):70-74,65.
- [20] 胡培雷,王克林,曾昭霞,等. 喀斯特石漠化地区不同退耕年限下桂牧1号杂交象草植物-土壤-微生物生态化学计量特征[J]. 生态学报,2017,37(3):896-905.
- [21] 俞月凤,彭晚霞,宋同清,等. 喀斯特峰丛洼地不同森林类型植物和土壤C、N、P化学计量特征[J]. 应用生态学报,2014,25(4):947-954.
- [22] Sinsabaugh R L, Hill B H, Follstad Shah J J. Eoenzymatic stoichiometry of microbial organic nutrient acquisition in soil and sediment[J]. Nature,2009,462(7274):795-798.
- [23] 陈瑶. 关黄柏药材化学特性与环境因子的相关性研究[D]. 北京:北京协和医学院,2017:3-4.
- [24] 祁桥伟. 西安市耕地土壤有机质及氮磷钾养分分布特征[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2018:9-10.
- [25] 李敬,胡小飞,段小华,等. 植茶年龄对丘陵区茶园土壤和茶树养分含量的影响[J]. 江西农业大学学报,2012,34(6):1186-1192,1198.
- [26] Abd Murad N B, Mohamed Nor N, Shohaimi S, et al. Genetic diversity and pathogenicity of *Fusarium* species associated with fruit rot disease in banana across Peninsular Malaysia[J]. Journal of Applied Microbiology,2017,123(6):1533-1546.
- [27] 靖彦,陈效民,刘祖香,等. 生物黑炭与无机肥料配施对旱作红壤有效磷含量的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(4):989-994.
- [28] 张倩,宗良纲,曹丹,等. 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.
- [29] 杨冬雪,钟珍梅,陈剑侠,等. 福建省茶园土壤养分状况评价[J]. 海峡科学,2010(6):129-131.
- [30] 牛素贞,朱勤飞,樊卫国. 黔西南州古茶树立地土壤养分分析[J]. 浙江农业学报,2013,25(6):1348-1353.
- [31] 任璐璐,张炳学,韩凤朋,等. 黄土高原不同年限刺槐土壤化学计量特征分析[J]. 水土保持学报,2017,31(2):339-344.
- [32] 张向茹,马露莎,陈亚南,等. 黄土高原不同纬度下刺槐林土壤生态化学计量学特征研究[J]. 土壤学报,2013,50(4):818-825.
- [33] 吴命燕,范方媛,梁月荣,等. 咖啡碱的生理功能及其作用机制[J]. 茶叶科学,2010,30(4):235-242.
- [34] 陆安霞,叶玉龙,廖雪利,等. 遮阳对茶树鲜叶主要氮素化合物的影响[J]. 中国农学通报,2019,35(10):76-81.
- [35] 韩莹. 氮磷钾配施对茶树生理代谢和茶叶品质的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2011.
- [36] 顾谦,陆锦时,叶宝存. 茶叶化学[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2002:23-24.
- [37] Li X, Ahammed G J, Li Z X, et al. Freezing stress deteriorates tea quality of new flush by inducing photosynthetic inhibition and oxidative stress in mature leaves[J]. Scientia Horticulturae,2018,230:155-160.
- [38] Kumar A S, Shanmugam R, Nellaippan S, et al. Tea quality assessment by analyzing key polyphenolic functional groups using flow injection analysis coupled with a dual electrochemical detector[J]. Sensors and Actuators B:Chemical,2016,227:352-361.
- [39] 刘小文,高晓余,何月秋,等. 几种微量元素对茶树生理及茶叶品质的影响[J]. 广东农业科学,2010,37(6):162-165.
- [40] 段志芬,刘本英,汪云刚,等. 云南野生茶树化学成分多样性研究[J]. 湖南农业科学,2012(19):102-104,108.
- [41] 陈亮,杨亚军,虞富莲. 中国茶树种质资源研究的主要进展和展望[J]. 植物遗传资源学报,2004,5(4):389-392.
- [42] Han W Y, Huang J G, Li X, et al. Altitudinal effects on the quality of green tea in East China: a climate change perspective[J]. European Food Research and Technology,2017,243(2):323-330.
- [43] 郭颖,陈琦,黄峻榕,等. 茶叶滋味与其品质成分的关系[J]. 茶叶通讯,2015,42(3):13-15,28.
- [44] 叶乃兴. 茶叶品质性状的构成与评价[J]. 中国茶叶,2010,32(8):10-11.
- [45] 曹小玉,李际平,张彩彩,等. 不同龄组杉木林土壤有机碳和理化性质的变化特征及其通径分析[J]. 水土保持学报,2014,28(4):200-205.
- [46] 廖全兰,龙翠玲,薛飞,等. 茂兰喀斯特森林不同地形土壤酶活性及养分特征[J]. 森林与环境学报,2020,40(2):164-170.
- [47] 王绍强,于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. 生态学报,2008,28(8):3937-3947.
- [48] 吴晓生. 不同林龄杉木根际和非根际土壤碳氮磷化学计量特征[J]. 林业勘察设计,2020,40(4):8-12.