

基于文献计量的中国西南地区茶园土壤养分特征分析

张忠梁^{1, 2}, 舒英格^{1*}

(1. 贵州大学, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省黔南布依族苗族自治州农业农村局, 贵州 都匀 558000)

摘要: 为探究西南地区茶园土壤养分特征及其影响因素, 以文献计量法对西南地区4省(区)茶园土壤进行研究, 从整体和局部尺度分析了茶园土壤养分在不同空间、海拔、降水、土壤类型差异下的分布状况及特征。结果表明, 西南茶区整体表现为有机质、全氮、碱解氮丰富, 磷素不足; 海拔及降水是西南茶区土壤养分的控制和驱动因子。从典则判别的土壤养分空间分异程度来看, 贵州和四川较为相似, 西藏和云南分异明显。不同土壤类型中, 棕壤养分指标均达到优质高效高产茶园标准; 黄棕壤总磷含量偏低; 黄壤有效磷、全磷缺乏; 砖红壤及红壤土壤酸化明显, 有效磷、速效钾、全磷缺乏。不同地区间优质高效高产茶园养分达标率: 西藏 > 贵州 > 云南 > 四川。西南地区茶园土壤磷素的缺乏, 已成为西南茶区发展的限制性养分因子。

关键词: 中国西南地区; 茶园; 土壤; 养分特征

茶园土壤养分特征引起的茶叶品质及土壤养分质量问题受到各地区的关注和重视^[1], 西南地区茶园分布极广, 截至2019年, 我国茶园面积最大的3个省份均分布于西南地区, 约占全国茶园总面积的43.8%^[2], 虽然目前对茶园土壤养分的研究较多, 但学者多是以省、市、县行政区域为范围进行研究, 因受制于有限的行政范围, 而不可避免地忽视了自然地带性范围下的更为客观的土壤养分自然规律及属性特点, 从而难以对其进行区别和联系。基于此本文将具有相似自然地理及气候属性的西南地区为整体自然地带区域进行研究。西南地区属多山高海拔地区, 在为茶产业发展提供生态优势生产基础的同时, 又受到喀斯特地质条件的限制^[3], 区域内地质活动频繁复杂, 进而导致西南地区地质破碎不连续, 地层交错演替发展, 地质情况极为复杂, 而在此基础上风化发育而来的土壤多继承了各地层基岩的理化特性。土壤的发育还受到明显的海拔梯度、垂直山地气候和复杂地形地貌等多因素的共同影响, 因此这也进一步增加了西南地

区土壤养分状况及类型分布的复杂性。

西南地区茶园土壤养分空间差异大, 且茶园肥料投入过量, 平均可施减化肥量达32.33%^[4], 此前尚未有学者对中国西南茶区土壤养分状况进行系统研究, 故而摸清西南地区茶园土壤养分水平、特征及分布规律, 明确限制因子, 分析养分差异成因, 是科学管理西南茶区土壤肥力、提高土壤质量及茶叶品质的重要依据, 同时也在指导西南地区茶产业提质增效及乡村振兴战略方面具有现实的生产管理意义。

1 材料与方法

1.1 数据获取

以“茶园、茶产区、西南、云南、贵州、四川、重庆、西藏、土壤养分、土壤肥力、土壤理化性质、养分特征”及“Tea garden/Soil nutrient/Physical and chemical traits/Southwest of China”为关键词进行组合, 分别在CNKI(中国知网数据库)和Web of Science中检索, 不限时段检索, 最后一次检索时间为2020年2月25日, 检索已公开发表的有关中国西南各省(区)茶园土壤养分研究的相关论文44篇(表1), 研究总样本达2759个, 共涉及122个县(市、区), 其中: 云南14个县(市、区); 贵州28个县(市、区); 西藏5个县(区); 四川(72+3)个县(市、区), 因考虑到行政地缘及文献数量, 故将涉及重庆地区的3篇文

收稿日期: 2020-06-22; 录用日期: 2020-08-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(31460133); 贵阳市科技局重大专项(筑科合同[2011401]01号)。

作者简介: 张忠梁(1993-), 男, 贵州省都匀人, 硕士研究生, 主要从事土壤矿质元素地球化学特征研究。E-mail: 498693216@qq.com。

通讯作者: 舒英格, E-mail: maogen958@163.com。

献纳入到四川合并计算。提取指标包括 pH、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾、海拔、降水量。其中,对已明确海拔数据的直接从文献提取,无海拔数据但已明确经纬度或地名(村级)的,从 LocaSpaceViewer 软件中导入谷歌地图图层数据后,提取样地范围平均海拔数据,无海拔数据且样地范围过大的,在数据分析时不予引入。

表 1 原始数据来源及概况

参考文献	土壤类型	样地数	海拔 (m)	降水量 (mm)
(1) 许燕,孙云南,肖星,等. 勐腊县茶园土壤有机质和速效氮磷钾的分布 [J]. 山西农业科学, 2015, 43 (11): 1454-1457.	—	31	1100	1549
(2) 李友勇,王家金,孙雪梅,等. 云南景迈山和六大茶山古茶园土壤养分分析 [J]. 中国农学通报, 2013, 29 (13): 201-206.	砖红壤	16	1380 ~ 1500	1600 ~ 1800
(3) 朱兴正,章松芬,孙云南,等. 德宏州芒市茶园土壤养分调查 [J]. 云南农业科技, 2012 (5): 16-18.	红壤、赤红壤	33	—	—
(4) 姜虹,沙丽清. 云南澜沧县景迈古茶园土壤养分和土壤酶活性研究 [J]. 茶叶科学, 2008, 28 (3): 214-220.	砖红壤	16	1400	1689
(5) 温继良,周元清,杨东华,等. 新平县茶园土壤养分特征及肥力质量评价 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学版), 2018, 33 (5): 925-933.	棕壤、黄棕壤	30	1800	931
(6) 杨广容,王秀青,李永梅,等. 景迈山茶园土壤养分与茶叶品质分析研究 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学版), 2016, 31 (3): 519-527.	砖红壤	3	1601 ~ 1603	1800
(7) 高菲菲,李家华,赵平. 普洱市现代茶园与古茶园土壤养分状况分析 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学版), 2016, 31 (3): 511-518.	—	23	1350	1500
(8) 杨广容,王秀青,谢瑾,等. 云南古茶园和现代茶园土壤养分与茶叶品质成分关系的研究 [J]. 茶叶科学, 2015, 35 (6): 574-582.	砖红壤	9	1500 ~ 1600	1374 ~ 1800
(9) 高菲菲,李家华,祁文龙,等. 云南省西双版纳州茶园土壤养分状况分析 [J]. 土壤, 2014, 46 (2): 386-388.	—	21	800 ~ 1500	—
(10) 高菲菲,李家华,周平,等. 云南省普洱市茶园土壤养分调查分析 [J]. 土壤通报, 2013, 44 (2): 398-402.	—	30	—	1550
(11) 许燕,孙云南,玉香甩,等. 云南省景洪市茶园土壤肥力诊断与评价 [J]. 山西农业科学, 2016, 44 (11): 1659-1663.	红壤	30	1600	1500
(12) 郝连奇,浦绍柳,范承胜,等. 云南勐海县主要古茶园土壤养分状况分析 [J]. 西南农业学报, 2019, 32 (7): 1621-1625.	—	27	1800	1450
(13) 李友勇,梁名志,夏丽飞,等. 云南台地茶园土壤化学成分研究 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (2): 171-174.	黄壤	40	1450	1450
(14) 梁名志,李友勇,马伟,等. 云南古茶园土壤化学成分研究 [J]. 西南农业学报, 2010, 23 (1): 119-122.	红壤	9	1500	1500
(15) 张珍明,张清海,林昌虎,等. 贵州乌王茶产地土壤性状特征 [J]. 贵州农业科学, 2012, 40 (1): 104-106.	黄壤	59	1250	1324
(16) 吕刚,赵宾,赵国宣,等. 贵州湄潭县茶园土壤的理化性状特征 [J]. 贵州农业科学, 2016, 44 (9): 84-88.	黄壤	99	850 ~ 1000	1135
(17) 李渝,刘彦伶,黄兴成,等. 贵州不同茶区土壤养分及微生物量分析评价 [J]. 灌溉排水学报, 2018, 37 (8): 98-105.	水稻土改造 茶园	18	700 ~ 1800	1100 ~ 1438
(18) 任艳芳,何俊瑜,张艳超,等. 贵州省开阳茶园土壤养分状况与肥力质量评价 [J]. 土壤, 2016, 48 (4): 668-674.	黄壤	158	950	1258
(19) 任艳芳,何俊瑜,张艳超,等. 贵州省开阳茶园土壤有效微量元素状况分析 [J]. 江苏农业科学, 2016, 44 (12): 432-435.	黄壤	121	950	1258
(20) 田态灿,刘方,陈祖拥. 贵州东南部山区新茶园土壤养分特点与有机培肥效果 [J]. 南方园艺, 2015, 26 (6): 37-40.	黄壤	5	1200	1375
(21) 周国兰,赵华富,王校常,等. 贵州茶园土壤养分调查分析 [J]. 贵州农业科学, 2009, 37 (8): 116-120.	黄壤	10	550 ~ 900	1307

(续表)

参考文献	土壤类型	样地数	海拔 (m)	降水量 (mm)
(22) 张小琴, 陈娟, 高秀兵, 等. 贵州重点茶区茶园土壤 pH 值和主要养分分析 [J]. 西南农业学报, 2015, 28 (1): 286-291.	—	169	850 ~ 1600	1121 ~ 1724
(23) 胡明宇, 林昌虎, 何腾兵, 等. 贵定乌王茶产地土壤养分状况分析 [J]. 贵州科学, 2010, 28 (2): 78-82.	—	20	1150	1324
(24) 赵华富, 周国兰, 刘晓霞, 等. 贵州茶区土壤养分状况综合评价 [J]. 中国土壤与肥料, 2012 (3): 30-34.	—	70	1100	—
(25) 张家春, 张清海, 林绍霞, 等. 不同生态区域贵州乌王茶土壤性状及茶叶品质相关性研究 [J]. 广东农业科学, 2013, 40 (8): 60-63.	—	159	1100 ~ 1300	1143
(26) 陈默涵. 有机物料对黔中山区茶园土壤养分水分与茶树生长的影响 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2018.	黄壤	60	950 ~ 1100	1214 ~ 1300
(27) 杨秀琴. 贵州省湄潭县茶园土壤肥力分析 [C] // 中国环境科学学会. 2015 年中国环境科学学会学术年会论文集. 北京: 中国环境科学学会, 2015.1439-1444.	黄壤	30	800 ~ 1000	1135
(28) 彭益书, 陈蓉, 杨瑞东, 等. 雷山县清水江组分布区茶叶种植区矿质元素分析 [J]. 四川农业大学学报, 2017, 35 (3): 359-369.	黄壤	4	1200	1375
(29) 陈玲, 田景涛, 侯彦双, 等. 贵州铜仁茶区茶园土壤主要养分调查分析 [J]. 江苏农业科学, 2018, 46 (11): 271-275	—	150	—	1152 ~ 1378
(30) 魏国雄, 张其生, 冯平万. 贵州茶园土壤肥力状况 [J]. 贵州农业科学, 1996 (4): 22-26.	黄壤、黄棕壤	71	—	—
(31) 徐泽, 李中林, 邓敏, 等. 重庆茶叶优势县茶园土壤养分状况 [C] // 中国茶叶学会. 中国茶叶科技创新与产业发展学术研讨会论文集. 杭州: 中国茶叶学会, 2009. 218-223.	黄壤	36	750	1100
(32) 阮红倩, 庞晓莉, 龙宝玲, 等. 重庆市生态茶园土壤养分调查与分析 [J]. 现代农业科技, 2011 (13): 266, 268.	黄壤	60	800 ~ 900	1187
(33) 谭和平, 陈能武, 黄苹, 等. 四川茶区土壤营养元素背景值研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12 (6): 784-788.	—	422	—	—
(34) 罗杰, 韩吟文, 方楚凝, 等. 地质地球化学特性对四川名优茶品质的影响 [J]. 地球与环境, 2010, 38 (4): 462-469.	黄壤	14	437 ~ 1100	1800
(35) 李竹娟. 蒙顶山茶园土壤基本化学特性及氮素矿化特征研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2008.	黄壤	36	1100	1800
(36) 吴云, 杨剑虹, 魏朝富. 重庆茶园土壤酸化及肥力特征的研究 [J]. 土壤通报, 2004 (6): 715-719.	黄壤	87	1100	1350
(37) 冯娜娜. 不同尺度下低山茶园土壤主要肥力因子空间变异性特征研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2006.	黄壤	142	1100 ~ 1150	1800
(38) 李玮, 郑子成, 李廷轩. 不同植茶年限土壤团聚体碳氮磷生态化学计量学特征 [J]. 应用生态学报, 2015, 26 (1): 9-16.	黄壤	12	—	1500
(39) 何玉亭, 李浩, 谢丽红, 等. 成都市茶叶生产功能区土壤速效养分及阳离子交换量现状与评价 [J]. 四川农业科技, 2019 (12): 37-39.	—	263	—	1481
(40) 赵震虎, 张金萍, 刘宗勇, 等. 西藏高原茶场茶园土壤肥力质量分析 [J]. 高原农业, 2017, 1 (1): 33-37.	黄棕壤	27	2250	960
(41) 张昆林, 钟蓉军. 西藏贡茶茶园土壤理化性质浅析 [J]. 西藏科技, 1999 (4): 3-5.	黄棕壤	45	2250	960
(42) 罗淑华, 张亚莲, 易兴凤. 西藏山南地区错那县高峰茶场土壤理化性状 [J]. 茶叶通讯, 2003 (3): 22-24.	棕壤	10	2500	1200
(43) 钟蓉军, 张昆林. 西藏茶园土壤肥力状况分析 [J]. 土壤肥料, 2000 (5): 34-35, 38.	黄壤、棕壤	40	1700 ~ 2500	980 ~ 1650
(44) 杨爽, 杨春蕾, 田发益, 等. 西藏察隅河谷土壤养分状况及宜茶性分析 [J]. 高原农业, 2019, 3 (6): 658-663, 693.	黄壤	34	1723	1100

1.2 数据处理与分析

因不同学者撰写论文时各指标参数单位的表示不统一,且部分学者采集的表层土壤深度不一,因此本研究对数据进行了重新整理。对于采样深度统一选用“0 ~ 20 cm”作为土壤表层样本;对于缺失值的处理,按统计学方法对缺失值小于10%的用所属地平均值替代,缺失数据大于10%的,在进行SPSS 25.0数据分析时以成对或成列个案进行排除;对于平均值统计,以加权平均值进行统计计算;因数据并未较好服从正态分布,指标存在方差不齐性情况,因此本研究的相关性分析将采用斯皮尔曼(Spearman)方法,多重比较将采用盖姆斯豪厄尔(Games-Howell)。本研究数据利用Excel 2019进行存储,利用SPSS 25.0进行数据分析,利用Origin 2019进行图形绘制。

依据我国农业行业执行标准《绿色农产品产地质量标准》(NY/T 391-2000)^[5]、《茶叶产地环境技术条件》(NY/T 853-2004)^[6]中茶园土壤肥力分级标准,及优质高效高产茶园的土壤营养诊断指标^[7],整合出茶园土壤养分分级标准(表2),以便对我国西南地区茶园进行土壤养分等级划分。

表2 茶园土壤养分分级标准

指标	I级	II级	III级	优质高效 高产茶园
pH	—	—	—	4.5 ~ 5.5
有机质 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	>20	15 ~ 20	<15	≥ 20
碱解氮 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	>100	80 ~ 100	<80	≥ 100
有效磷 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	>20	5 ~ 20	<5	≥ 20
速效钾 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	>100	60 ~ 100	<60	≥ 100
全氮 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	>1.0	0.8 ~ 1.0	<0.8	≥ 1.5
全磷 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	>1.0	0.4 ~ 1.0	<0.4	≥ 1.0
全钾 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	>10	5 ~ 10	<5	≥ 10

2 结果与分析

2.1 西南地区茶园海拔及土壤养分状况

对我国西南地区茶园土壤的养分状况统计(表3),表明茶园土壤pH平均水平为4.59,有机质达 $30.54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,高于I级及优质高效高产茶园的肥力标准;碱解氮、有效磷和速效钾平均水平分别为142.37、12.87和 $84.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中碱解氮平均水平高于I级及优质高效高产茶园肥力标准;全氮、全磷和全钾的平均含量分别为1.38、0.51和 $8.19 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中全氮平均水平达到I级茶园肥力标准,全磷和全钾为II级茶园肥力标准。从变异程度来看,pH变异程度最低,属弱变异外,其余均属于中等变异,变异程度表现为有效磷>全钾>全氮>有机质>全磷>碱解氮>速效钾>pH。

2.2 茶园土壤养分及自然状况

以西南各地优质高效高产茶园养分达标情况来看(表4),西藏茶园土壤平均达标率最高61.18%;贵州居其次为49.94%;云南为49.84%,与贵州相当;四川40.15%。由表5可知,地区间养分指标表现出不同程度的差异。除西藏外,云南、贵州、四川均存在土壤酸化趋势,尤以四川最为明显;各省(区)茶园土壤有机质含量较高,整体表现充足;速效养分中,各地碱解氮含量充足,但有效磷和速效钾含量缺乏;全量养分中,全磷的缺乏最为突出。西南茶区海拔高且垂直差异较大,除贵州与四川海拔接近外,云南、西藏与贵州和四川互呈极显著差异;年均降水量在西南各省(区)间均有显著差异。

由表5可知,茶园土壤pH西藏>贵州>云南>四川,其中贵州和云南达到优质高效高产茶园标准。贵州和云南间差异显著($0.01 < P \leq 0.05$),但两者与四川、西藏呈极显著差异,说明除西藏外西

表3 我国西南地区茶园土壤养分状况

指标	平均值	标准差	变异系数 (%)	个案数	分布频率(%)			优质高效高产 茶园占比(%)
					I级	II级	III级	
pH	4.59	0.41	8.93	1814	—	—	—	62.12
有机质 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	30.54	13.90	45.51	1829	77.33	13.33	9.33	77.33
碱解氮 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	142.37	63.42	44.55	1672	81.03	8.62	10.34	81.03
有效磷 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	12.87	11.09	86.17	2127	20.83	54.17	25.00	20.83
速效钾 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	84.67	36.25	42.81	2160	38.36	45.21	16.44	38.36
全氮 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1.38	0.64	46.38	1488	70.49	19.67	8.20	37.70
全磷 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.51	0.23	45.10	1138	12.50	68.75	18.75	12.50
全钾 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	8.19	6.14	74.97	1126	58.06	35.48	6.45	58.06

表4 我国西南各省(区)优质高效高产茶园养分达标率

(%)

地区	pH	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾	全氮	全磷	全钾	平均达标率
云南	71.43	100.00	81.25	23.53	50.00	60.00	0.00	12.50	49.84
贵州	61.29	63.16	83.33	13.16	39.47	30.00	27.27	81.82	49.94
四川	36.36	80.00	75.00	18.18	18.18	36.36	0.00	57.14	40.15
西藏	80.00	90.00	80.00	66.67	33.33	44.44	20.00	80.00	61.81

表5 我国西南各省(区)茶园土壤养分及自然条件状况

项目	云南	贵州	四川	西藏
pH	4.53 ± 0.34cB	4.59 ± 0.25bB	4.30 ± 0.3dC	5.36 ± 0.57aA
有机质 (g · kg ⁻¹)	39.03 ± 17.97aA	28.40 ± 11.64bB	25.77 ± 6.48cC	39.14 ± 19.44aA
碱解氮 (mg · kg ⁻¹)	158.32 ± 74.65aA	136.53 ± 56.43bB	134.65 ± 44.74bB	170.03 ± 104.59aA
有效磷 (mg · kg ⁻¹)	13.63 ± 12.05bB	10.56 ± 9.37cC	12.73 ± 4.89bB	33.41 ± 21.78aA
速效钾 (mg · kg ⁻¹)	84.23 ± 37.51bcAB	86.92 ± 38.56abA	78.56 ± 25.23cB	98.42 ± 52.56aA
全氮 (g · kg ⁻¹)	2.03 ± 0.66aA	1.26 ± 0.52bB	1.28 ± 0.45bB	1.77 ± 1.14aA
全磷 (g · kg ⁻¹)	0.62 ± 0.15bB	0.61 ± 0.21bB	0.40 ± 0.14cC	0.83 ± 0.32aA
全钾 (g · kg ⁻¹)	9.92 ± 4.14bB	11.45 ± 5.09aAB	5.31 ± 4.84cC	14.16 ± 8.41aA
海拔 (m)	1501.75 ± 220.49bB	990.83 ± 244.39cC	998.09 ± 142.68cC	2058.22 ± 369.87aA
年均降水量 (mm)	1452.79 ± 198.13bA	1249.6 ± 112.06cB	1509.44 ± 271.46aA	1088.59 ± 189.39dC

注:不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著。

南各地区茶园土壤 pH 整体变化较为稳定,但四川茶园存在较为突出的土壤酸化情况。西南茶区有机质均处于较高水平,达到优质高效高产茶园标准。具体表现为:西藏 (39.14 g · kg⁻¹) ≈ 云南 (39.03 g · kg⁻¹) > 贵州 (28.40 g · kg⁻¹) > 四川 (25.77 g · kg⁻¹), 西藏和云南间差异不显著,但与贵州和四川分别呈极显著差异。

速效态养分中以碱解氮含量最为丰富,含量大小依次为:西藏 > 云南 > 贵州 > 四川,平均含量均超过优质高效高产茶园碱解氮标准,优质高效高产茶园达标率在 75% 以上;有效磷含量除西藏较高外,云南、贵州、四川 3 省平均含量仅达 II 级茶园标准,优质高效高产茶园达标率较低,西藏 (66.67%) > 云南 (23.53%) > 四川 (18.18%) > 贵州 (13.16%),可见,西南茶区有效磷含量缺乏较为严重;速效钾含量表现不足,各地均处于 II 级茶园标准,整体的优质高效高产茶园达标率情况较有效磷稍好。由此可见,土壤有效磷是限制西南地区茶业高效优质发展的一大因素。

土壤全氮以云南 (2.03 g · kg⁻¹) 和西藏 (1.77 g · kg⁻¹) 达到优质高效高产茶园标准,四川 (1.28 g · kg⁻¹) 和贵州 (1.26 g · kg⁻¹) 达 I 级茶园标准;各省(区)茶园土壤全磷仅达到 II 级茶园标准;对

于土壤全钾,以西藏、贵州达到优质高效高产茶园标准,整体优质高效高产茶园达标率较高。综上,西南地区茶园土壤全氮含量整体较为充足,全磷缺乏,全钾偏低,全磷及有效磷的缺乏是西南地区高效优质茶园的重要限制因素。

西南地区茶园海拔分布,西藏 (2058.22 m) > 云南 (1501.75 m) > 四川 (998.09 m) > 贵州 (990.83 m),其中四川和贵州海拔差异不明显,但分别与西藏和云南呈极显著差异,西藏和云南间也有极显著差异;茶园海拔分布上,总体呈现出 1000、1500、2000 m 左右的三级分布梯度;而从变幅来看,4 个地区的变幅均在 700 m 以上,其中贵州和西藏茶园海拔变幅甚至超过 1200 m,由此可见,西南茶区垂直海拔差异的复杂状况。各省(区)降水量差异显著,平均降水量表现为四川 > 云南 > 贵州 > 西藏,即呈从东至西先增大后减小的降水趋势。

2.3 土壤养分的典则判别分析

典则判别分析亦称 Fisher 判别分析 (Fisher Discriminant Analysis, FDA),是根据线性 Fisher 函数值进行判别,其基本思路是投影,针对 P 维空间中的某点 $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$,寻找一个能使它降为一维数值的线性函数 $y(x) = \sum C_j x_j$,然后应用这个线性函数把 P 维空间中的已知类别总体以及求

知类别归属的样本都变换为一维数据,再根据其间的亲疏程度把未知归属的样本点判定其类别归^[8]。为探究土壤养分在各地间差异及联系,将西南不同植茶区的8项土壤养分指标进行典则判别分析,根据不同地区间的养分特征构造典则判别函数得分图,图1a显示了不同地区间的典则判别得分情况,可看出贵州和四川判别得分的组质心距离较近,区域重叠程度高,即土壤养分特征整体较为相似,进而导致判别信息的互叠程度高。而将海拔和降水量

引入典则判别后,各地区判别函数得分在空间上可较明显地分离开来(图1b),其中西藏、云南分别与其他地区的空间互叠程度低,说明其在西南茶区中养分特征明显,而贵州和四川虽仍有部分互叠区域,但组质心距离已明显分离。综上可知,贵州和四川茶园土壤养分分异程度偏低,西藏与云南在得分空间中分离程度较好,养分特征明显;而海拔和降水对土壤养分特征有较大影响,可将西南茶区土壤养分特征进一步区分开来。

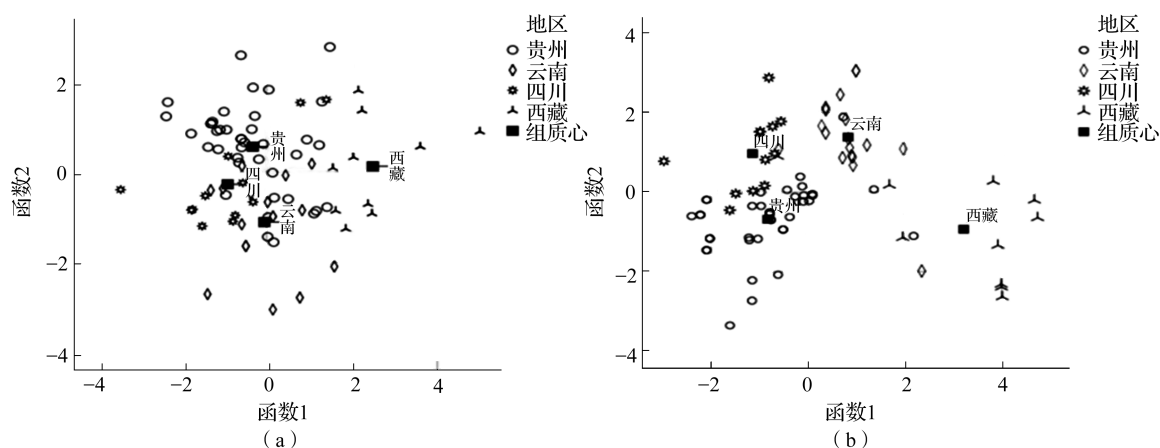


图1 典则判别函数得分

2.4 不同海拔及降水条件下的土壤养分特征

海拔对西南地区茶园土壤养分影响较大(表6),除与全钾无相关性外,与其余养分均存在极显著正相关关系,其中海拔与有机质关系最为密切,其次分别为全氮、全磷、pH、有效磷、碱解氮、速效钾。总体上西南茶区土壤pH随海拔的上升而增大(图2),土壤pH在<1000、1000~1200、1200~1600及1600m以上地区间差异显著。有机质含量随海拔在一定范围内的上升而增大,随后又开始下降,其中在1000~1400m范围内随海拔升高而呈显著增大,并在1200~1400m达到最高,此后在1400~1800m虽有下降趋势但差异不显著,而>1800m后有机质含量显著下降。这可能是不同海拔气温差异导致的,高海拔地区较低海拔地区气温低,更利于有机质的积累,但1800m以上地区,过低的温度可能使微生物活动、土壤酶活性等土壤生物化学反应速率大大降低,分解合成有机质的能力也随之降低。全氮和碱解氮随海拔的变化趋势相似,全氮整体上在1000~1800m随海拔增高而增大,并在1600~1800m地区含量达到最高,随后随着

海拔增高而迅速降低;而碱解氮在1400m以下地区随海拔增高而增大,并在1200~1400m含量达到最高值,而后显著下降,但因为全氮在1600~1800m激增到最大值,使得碱解氮又在此有明显的增高趋势,此后随全氮含量的迅速降低而显著下降。全磷和有效磷含量随海拔的变化趋势相似,二者在1000~1400m范围内总体上随海拔升高而不断积累,但均在1400~1600m地区显著降低,而后两者均随着海拔升高而继续累积,且有效磷在>1800m地区较之前呈极显著增长,这可能是有效磷在高海拔地区较低的土壤温度下不容易损失,而保持了较高的磷素有效性。全钾和速效钾在不同海拔其趋势不完全相同,全钾及速效钾含量在>1200m地区均表现平稳,而在1200~1600m范围内全钾随海拔升高而降低,速效钾随海拔升高而增大,1600~1800m范围内两者均显著增大,并同时达到最高水平,之后又随海拔增高而平稳下降,这可能是由于全钾与土壤矿物组成有关,加之西南地区地质破碎活动频繁,各地层交替演化发展,即含钾矿物在海拔分布上无明显特征,而速效钾易受到降水影响,降水量大 K^+ 易流失。

表 6 海拔与茶园土壤养分的相关性

项目	pH	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾	全氮	全磷	全钾
相关系数	0.40**	0.73**	0.23**	0.37**	0.09**	0.58**	0.43**	-0.00
差异性显著 检验值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96

注：* 表示显著相关 ($P<0.05$)；** 表示极显著相关 ($P<0.01$)。下同。

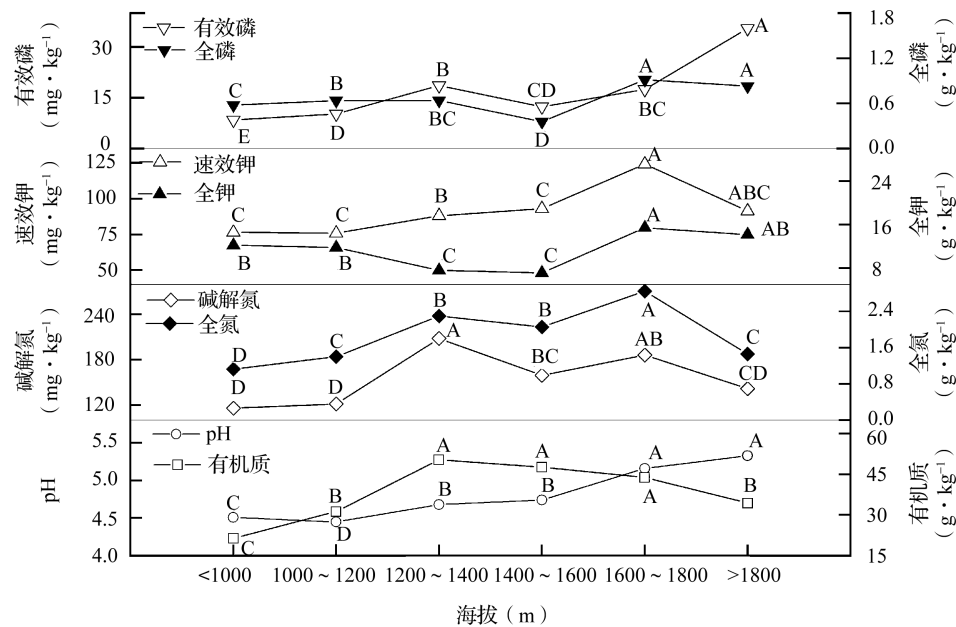


图 2 土壤养分随海拔高度变化趋势

注：不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著。

本研究显示降水量极显著地影响了西南地区茶园土壤养分（表 7），其中降水量与土壤全钾、pH、速效钾、碱解氮、有效磷、全磷为极显著负相关，与有机质、全氮为极显著正相关，在 95% 置信区间下，西南茶区茶园土壤 pH 与降水量回归关系见图 3，随着降水量的递增，土壤 pH 整体呈现递减趋势，回归决定系数 R^2 表明此回归方程解释了 29.6% 的土壤 pH 方差变异。结合表 5 茶园土壤 pH 及年均降水量分析，两指标在西南地区的大小排序完全相反，具体表现如下：西藏年均降水量为 1021 mm，对应回归曲线中趋势线斜率最大段，说明西藏地区土壤 pH 受到降水的影响最为明显；贵州年均降

水量为 1249 mm，对应回归曲线中趋势线最平稳段，说明降水对贵州土壤 pH 影响较小，这可能是适宜的海拔高度对 pH 的正向效应低抵消了由降水带来的负向效应；而云南和四川年均降水量分别为 1460 和 1523 mm，分别对应回归曲线中趋势线下降的次末段和最末段，说明降水对四川和云南茶园土壤 pH 有明显影响。

西南地区茶园土壤分布有较为明显的地带性特征，由南到北主要以砖红壤及红壤—黄壤—黄棕壤分布，由西到东主要以棕壤—黄棕壤—黄壤分布。图 4 显示，不同土壤类型下的土壤 pH 以棕壤、黄棕壤较高，pH 均在 5.0 以上；黄壤较为居

表 7 降水量与茶园土壤养分的相关性

项目	pH	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾	全氮	全磷	全钾
相关系数	-0.28**	0.34**	-0.14**	-0.13**	-0.24**	0.26**	-0.13**	-0.31**
差异性显著 检验值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

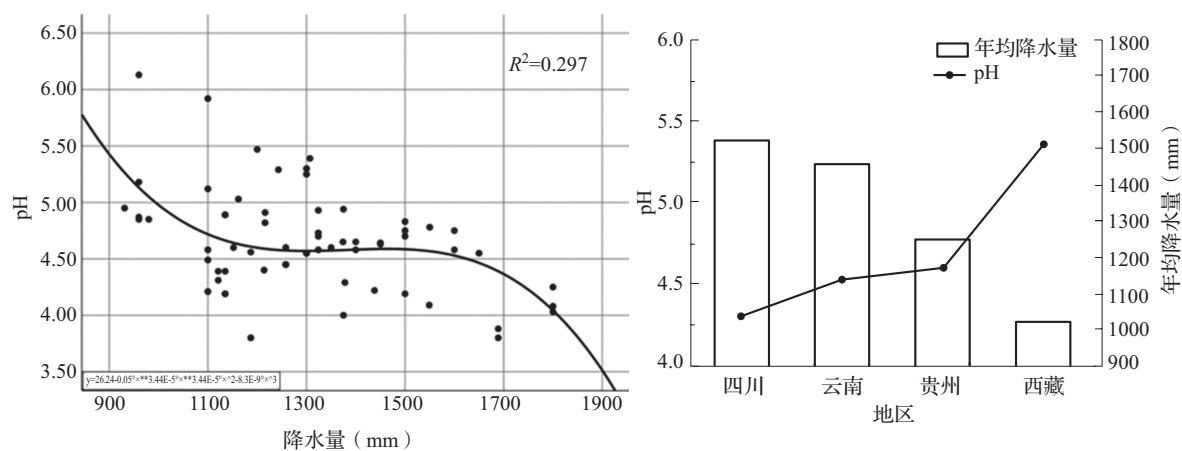


图3 降水量与土壤 pH 关系

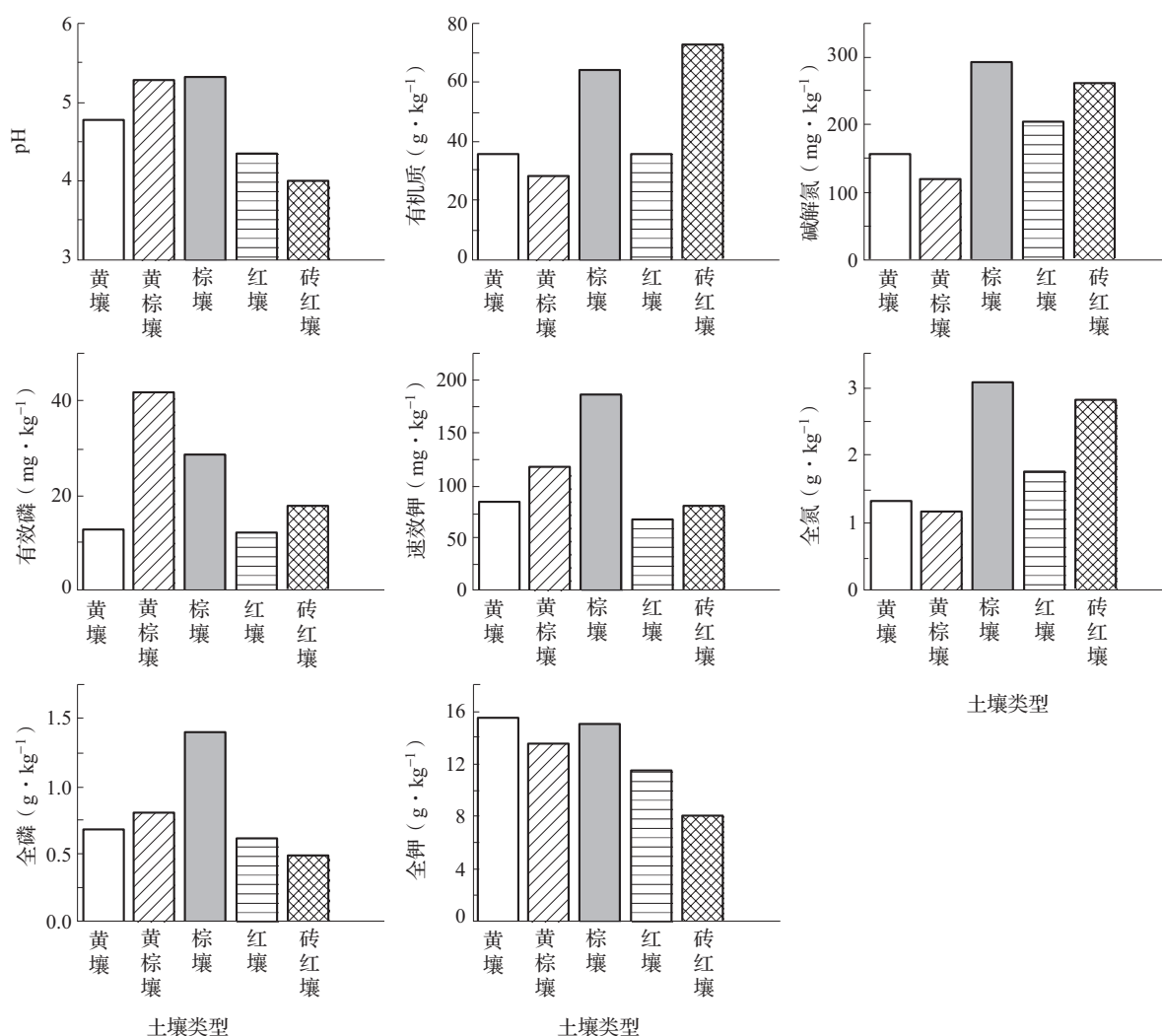


图4 不同土壤类型肥力状况

中, pH 在 4.79 左右, 而红壤、砖红壤最低, pH 均低于 4.4; 有机质以砖红壤、棕壤最高, 含量均超过 $60 g \cdot kg^{-1}$, 其次是红壤、黄壤、黄棕壤, 平均含量

均在 $20 \sim 40 g \cdot kg^{-1}$ 。碱解氮含量以棕壤、砖红壤、红壤较高, 含量超过 $200 mg \cdot kg^{-1}$, 而黄壤、黄棕壤较低, 但也在 $100 mg \cdot kg^{-1}$ 以上; 有效磷以黄棕

壤、棕壤较高,而砖红壤、黄壤、棕壤较低,均在 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下;速效钾以黄棕壤、棕壤较高,均超过 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而黄壤、砖红壤、红壤较低。全氮以棕壤、砖红壤、红壤含量较高,超过 $1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,而黄壤、黄棕壤稍低;全磷以棕壤较高,其余均偏低;全钾除砖红壤较低外,其余土壤类型均较高且超过 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

从养分整体状况来说,棕壤最好,其次是黄棕壤,再次是黄壤、砖红壤和红壤。具体表现为:棕壤的养分全面、丰富,指标均达到优质高效高产茶园标准;黄棕壤除总磷略有偏低外,整体养分较为均衡;黄壤有效磷、全磷较为缺乏;红壤、砖红壤有机质、碱解氮、全氮养分含量丰富,但其土壤酸化明显,且有效磷、速效钾、全磷较为缺乏。

3 结论与讨论

3.1 茶园土壤养分特征及影响因素

西南地区茶园土壤养分状况整体较好,以含氮类养分如有机质、碱解氮、全氮的含量较为丰富,平均含量均达到优质高效高产茶园标准;速效钾及全钾含量略有不足,有效磷及全磷含量缺乏;西南茶区土壤 pH 平均水平符合优质高效高产茶园标准,但域内土壤仍有不同程度的酸化趋势,除 pH 为弱变异外,其余指标均为中等变异,此结果与李玮等^[9]、任艳芳等^[10]、杨广容等^[11]的研究结果基本一致。

海拔的垂直山地气候对西南茶区土壤养分影响较大。通过对不同海拔茶园土壤分析可知,随着海拔的上升土壤 pH 也逐渐升高,这可能是高海拔寒冷环境下土壤微生物活动及酶活性低,根部有机酸等分泌物相应减少,由此可看出海拔因素在一定程度上控制了土壤酸化的发生,这与姜哲浩等^[12]、林小兵等^[13]的研究结果一致。本研究显示养分随海拔变化趋势明显,养分在 1800 m 以下地区整体上随海拔升高而积累,而在 1800 m 以上地区,除了有效磷显著增多外,其余养分含量均明显下降。这可能是 1800 m 以上高海拔高寒地区土壤 pH 较高,间接影响了土壤固磷过程,使磷不易发生沉淀和吸附反应,降低对磷的固定作用,增大了磷的有效性^[14],且 1800 m 以上地区主要集中在降水量较少的西藏,而较少的降水量可能难以形成地表径流,对土壤颗粒形成侵蚀或淋溶影响小,进而保持了有效磷较高的活性^[15]。整体上西南茶区相

于常年高温多雨的福建、江西等地区茶园土壤有机质、碱解氮、全氮含量较高^[13, 16-17],受到高海拔低温影响,不利于有机质的矿化,土壤中微生物及土壤酶的生物化学活动较低海拔地区程度低,故而对有机质能量消耗少。

降水量对土壤养分及 pH 存在不同程度的影响。西南地区速效钾、有效磷含量低,尤其以有效磷缺乏突出,仅 20.83% 达到优质高效高产茶园有效磷标准。有研究显示降水量形成的地表径流对养分输出影响明显,尤其对全钾、全氮及全磷影响明显^[15]。土壤中磷素以淋溶形式损失的量与以地表径流和土壤侵蚀形式损失的量相当或者更大,土壤磷素渗漏迁移也可能是磷流失的一条重要途径^[18]。而结合西南茶区的实际状况,除西藏降水量偏少且植茶区基本属于河谷谷底或台地外,云南、贵州、四川 3 省年均降水量丰富且茶园多为坡地,因此更易于造成磷素流失,而钾在水溶液中溶解性较高,胶体性低,也易随地表径流而流失^[19]。此外,本研究显示降水量也明显地影响了土壤酸化的过程,这与张驭航等^[20]研究一致。

不同土壤类型的养分特征不同。棕壤及黄棕壤养分较为全面;黄壤缺乏有效磷、速效钾和全磷;红壤、砖红壤酸化严重,全量及速效态磷钾较缺乏,但其有机质、碱解氮、全氮含量丰富,这与江西茶区红壤肥力整体低下的表现不同^[13],可能是由于西南地区红壤主要分布在云南西南部,该地区海拔较高、降水量大,平均海拔达 1500 m 以上,气温较低,对有机质消耗较低,且古茶树分布较广,随着年限的延长枯枝落叶形成的有机质、碱解氮、全氮不断积累,而磷、钾素在降水量较为丰富的作用下,其淋失及径流损失作用较海拔带来的积累效应可能更为明显。

其他因素对茶园土壤养分的影响。研究表明,土壤全钾、全磷主要受到成土母质或基岩所影响^[21],这一定程度上说明西南茶区全钾在不同海拔下无明显规律。在较低 pH 及较高温度下,土壤矿物表面吸附的磷可转化形成含磷的表面沉淀,造成矿物溶解转化以及磷生物有效性的进一步降低^[22],这为本研究中得到的有效磷在 1800 m 以上地区相较低海拔茶区含量显著性增多的结果提供了解释。速效钾虽可通过凋落物及腐殖质分解输出一定的数量,但茶树中的多酚会抑制土壤

微生物和土壤酶活性,结合西南茶区高海拔的冷凉气候特点,使得分解释放进程更为缓慢。从施肥管理来说,可能长期受到氮肥增产的影响而重施尿素类氮肥,进而导致尿素在酸性条件下水解出较多的 NH_4^+ ,过量的 NH_4^+ 与 K^+ 竞争吸附点位,加剧了土壤 K^+ 的淋失^[23];此外有研究显示,管理措施对土壤氮、磷、钾等养分的影响更大^[24-25],因此科学的施肥管理也是影响土壤养分的重要因素。

3.2 西南地区茶园养分管理

根据我国茶园施肥现状的研究显示^[2],存在贵州过量施磷、四川过量施氮、云南施钾不足的现象,而本研究表明,贵州茶园土壤磷素实际上仍然缺乏、四川土壤酸化严重($\text{pH}=4.3$)、云南缺磷缺钾。结合此分析可知,贵州茶园磷素供给充足但实际仍表现缺磷的状况,说明磷素在贵州茶园的利用率极低;而四川氮肥的过量投入和丰富的降水量可能是导致茶园土壤极酸化的原因;云南与贵州情况类似,存在磷素利用率低的情况,此外,还存在钾肥投入不足的情况。

综合西南地区茶园土壤养分丰缺特征及肥料利用率情况,认为目前西南茶园养分管理的首要目标并非是对限制性养分进行施肥补充,而应当先从以下几方面入手。一是要调整优化土壤 pH ,如利用石灰等土壤改良剂提升至适宜 pH ,形成养分平衡的基础环境,对于氮肥应慎施或少施。二是提高磷钾肥利用率,目前多数农户因劳力及工时成本,习惯使用等比例通用复合肥多量少次施入^[2],而容易造成无效供给和养分淋失,恶化土壤环境及养分供给能力,应按区域土壤养分差异,定制茶树的专用配方肥,并遵循有机无机肥配合施入的原则^[26],以增强磷、钾在土壤中的迁移。此外,肥料施用应按茶树生长期分次施用,从而在整体上提高西南茶区磷、钾素养分利用效率,减少土壤质量恶化。三是提升茶园管理措施,如增加茶园绿肥套种面积,土层覆盖枯枝落叶等方式,减少强降水造成的土壤径流及淋溶导致的养分流失。基于以上3点,贵州和云南需适当提高土壤 pH ,防止土壤过酸化,其中贵州应注意适当提高土壤有机质,适当加强有机磷肥的施入;云南除磷肥外还需适量加强钾肥的施入;四川茶园土壤酸化严重,应将调升土壤 pH 作为茶园管理的重点目标,同时适量增加有机磷、钾肥的施用,并可种植绿肥压青还田以改善土壤物理及养

分状况;而西藏地区可不施或少施钾肥,适量增施磷肥,但受制于地质环境原因,且土体中夹杂了大量石块石砾^[27],应采取措施提高区域茶树宜植性。

参考文献:

- [1] 孙赞, Muhammad S, 何志龙, 等. 生物质炭对茶园土壤改良及茶叶品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(6): 9-14.
- [2] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [3] 刘彦伶, 李渝, 张萌, 等. 基于文献计量的贵州喀斯特地区石漠化等级土壤养分状况分析[J]. 中国土壤与肥料, 2019(2): 171-180.
- [4] 倪康, 廖万有, 伊晓云, 等. 我国茶园施肥现状与减施潜力分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(3): 421-432.
- [5] NY/T 391-2000, 绿色食品产地环境技术条件[S].
- [6] NY/T 853-2004, 茶叶产地环境技术条件[S].
- [7] 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): 65, 70-74.
- [8] 王海洋, 陈杰, 韩杏杏, 等. 基于 Fisher 判别分析算法的县域耕地地力等级预测: 以河南省辉县市为例[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(25): 199-202, 252.
- [9] 李玮, 郑子成, 李廷轩. 不同植茶年限土壤团聚体碳氮磷生态化学计量学特征[J]. 应用生态学报, 2015, 26(1): 9-16.
- [10] 任艳芳, 何俊瑜, 张艳超, 等. 贵州省开阳茶园土壤养分状况与肥力质量评价[J]. 土壤, 2016, 48(4): 668-674.
- [11] 杨广容, 王秀青, 谢瑾, 等. 云南古茶园和现代茶园土壤养分与茶叶品质成分关系的研究[J]. 茶叶科学, 2015, 35(6): 574-582.
- [12] 姜哲浩, 周泽, 陈建忠, 等. 三江源区不同海拔高寒草原土壤养分及化学计量特征[J]. 草地学报, 2019, 27(4): 1029-1036.
- [13] 林小兵, 孙永明, 江新风, 等. 江西省茶园土壤肥力特征及其影响因子[J]. 应用生态学报, 2020, 31(4): 1163-1174.
- [14] 江叶枫, 叶英聪, 郭熙, 等. 江西省耕地土壤氮磷生态化学计量空间变异特征及其影响因素[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1527-1539.
- [15] 彭旭东, 戴全厚, 李昌兰. 模拟降雨下喀斯特坡耕地土壤养分输出机制[J]. 生态学报, 2018, 38(2): 624-634.
- [16] 刘扬, 孙丽莉, 廖红. 养分管理对安溪茶园土壤肥力及茶叶品质的影响[J]. 土壤学报, 2020, 57(4): 917-927.
- [17] 叶欣, 郭雅玲, 王果, 等. 福建省铁观音茶园土壤铝含量状况调查与分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1372-1378.
- [18] 刘娟, 包立, 张乃明, 等. 我国4种土壤磷素淋溶流失特征[J]. 水土保持学报, 2018, 32(5): 64-70.

- [19] Portela J C, Cogo N P, Ficho J C, et al. Nutrient losses due to water erosion using simulated rainfall in southern Brazil [J]. Dyna, 2018, 85: 236–241.
- [20] 张驭航, 李玲, 王秀丽, 等. 河南省土壤 pH 值时空变化特征分析 [J]. 土壤通报, 2019, 50 (5): 1091–1100.
- [21] 黄昌勇. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 202–203.
- [22] 严玉鹏, 王小明, 熊娟, 等. 基于不同分析方法研究磷酸根在矿物表面吸附机制的进展 [J]. 土壤学报, 2020, 57 (1): 22–35.
- [23] 姜虹, 沙丽清. 云南澜沧县景迈古茶园土壤养分和土壤酶活性研究 [J]. 茶叶科学, 2008, 28 (3): 214–220.
- [24] Hoang H C, Maho T, Dang V M, et al. Soil physicochemical properties in a high-quality tea production area of Thai Nguyen province in northern region, Vietnam [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2018, 65 (1): 73–81.
- [25] Guo N J, Shi X Z, Zhao Y C, et al. Environmental and anthropogenic factors driving changes in paddy soil organic matter: a case study in the middle and lower Yangtze River Plain of China [J]. Pedosphere, 2017, 27 (5): 926–937.
- [26] 刘声传, 林开勤, 周弟鑫, 等. 茶园控释复合肥肥效与施用技术研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2019 (4): 164–171.
- [27] 刘世全, 纪先桃, 邓良基. 西藏察隅河谷植茶土壤条件 [J]. 土壤, 1987, 19 (2): 68–72.

Analysis of soil nutrient characteristics of tea gardens in southwest China based on bibliometrics

ZHANG Zhong-liang^{1, 2}, SHU Ying-ge^{1*} (1. Guizhou University, Guiyang Guizhou 550025; 2. Agriculture and Rural Bureau of Qiannan Buyi and Miao Autonomous Prefecture, Guizhou Province, Duyun Guizhou 558000)

Abstract: To explore the characteristics and influencing factors of soil nutrient in tea gardens, literature measurement method is used to study tea garden soil in 4 provinces in southwest China, and the distribution and characteristics of soil nutrient under the different space, altitude, precipitation and soil type are analyzed. The results showed that the overall performance of the soil in southwest tea area is rich in organic matter, total nitrogen, and alkali-hydrolyzable nitrogen, but insufficient in phosphorus, and elevation and precipitation are the controlling and driving factors of soil nutrients. From the perspective of the degree of spatial differentiation of soil nutrients discriminated by the code, Guizhou and Sichuan are relatively similar, and Tibet and Yunnan have obvious differences. In different soil types, the nutrient indexes of brown soil reached the standard of high-quality and high-yield tea garden, the total phosphorus content of yellow brown soil is low, the available phosphorus and total phosphorus of yellow soil are deficient, the latosol soil and red soil are acidified obviously, and the available phosphorus, available potassium and total phosphorus are deficient. The rate of reaching the standard of high-quality and high-yield tea garden in different areas: Tibet>Guizhou>Yunnan>Sichuan. The deficiency of phosphorus in tea garden soil has become a limiting nutrient factor for the development of tea garden in southwest China.

Key words: southwest China; tea garden; soil; nutrient characteristics