

贵州不同茶区土壤养分及微生物量分析评价

李 渝^{1,3}, 刘彦伶^{1,3}, 黄兴成^{1,3}, 张雅蓉^{1,3}, 周国兰², 周富裕², 蒋太明^{2,3*}

(1. 贵州省农业科学院 土壤肥料研究所, 贵阳 550006; 2. 贵州省农业科学院 茶叶研究所, 贵阳 550006;
3. 农业部 贵州耕地保育与农业环境科学观测实验站, 贵阳 550006)

摘 要:土壤养分是土壤供给植物生长的基础,土壤酶和微生物量是土壤养分转化的动力。【目的】了解贵州不同茶区茶园土壤酶及微生物量及其与土壤养分的相关性,进而合理指导茶园施肥。【方法】2016年11—12月采集贵州不同茶区典型茶园枯枝落叶层、0~20 cm和20~40 cm土壤样品,运用主成分分析和聚类分析方法对土壤养分、微生物量及土壤酶进行了评价分析。【结果】土壤CEC、有机质、可溶性有机碳、全氮等土壤养分指标及酸性磷酸酶、脲酶、微生物量碳(SMBC)、微生物量磷(SMBP)等生物学指标均随土层深度增加而不断降低,地区之间差异明显,普安、纳雍、西秀茶区高于贵定、湄潭、石阡茶区。土壤酸性磷酸酶、脲酶、SMBC、SMBP之间极显著正相关,且与土壤CEC、有机质、可溶性有机碳、全氮、可溶性有机氮、氨氮等土壤养分指标极显著正相关,可作为评价茶园土壤肥力的重要生物学指标。主成分分析表明,20个土壤肥力指标可提取出4个主成分,第1和第2主成分累积贡献率达70.6%,第1主成分以CEC、有机质、可溶性有机碳、全氮、可溶性有机氮、酸性磷酸酶、脲酶、SMBC、SMBP、SMBC/CMBN贡献较大,第2主成分以pH值、全磷、碱解氮、有效磷、速效钾等贡献较大;聚类分析将贵州不同茶区12个茶园土壤养分分为6个等级,纳雍和普安茶区最高,西秀茶区其次,湄潭、贵定、石阡茶区最低。【结论】土壤酶和微生物量可作为评价贵州茶园土壤养分的重要生物学指标,纳雍、普安、西秀茶区土壤肥力水平高于湄潭、贵定、石阡茶区,贵州茶园应注意氮磷钾肥平衡施用,贵定、湄潭和石阡等有机质较低的茶区还应重视有机肥施用。

关 键 词:茶园; 土壤养分; 土壤微生物量; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号:S158.3; S571.1

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.2017.0467

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.

0 引 言

茶叶是我国南方重要经济作物,随着人民生活水平的不断提高,茶叶需求量日益增加,近年来,茶叶种植面积大幅增加。贵州是我国重要茶产区,据统计,2015年贵州茶园面积36.9万hm²,仅次于云南位居全国第二^[1],对我国茶产业发展具有重要贡献。茶叶产量和品质与土壤肥力密切相关,肥沃的茶园土壤是实现茶园优质高产的基本保证,茶园土壤肥力一直是茶树研究的重点和热点^[2-6]。土壤酶是土壤生物学活性的重要组成部分,反映土壤各种生物化学过程的动向和强度,在土壤的物质循环和能量循环中起到非常重要的作用^[7],土壤微生物量是土壤物质和能量循环转化的动力,同时也是土壤养分的储备库^[8]。可见土壤酶活性及微生物量的大小对土壤养分转化和利用意义重大。因此,不少学者认为土壤酶活性及微生物量可以作为评价土壤肥力的重要指标^[9-11]。目前,针对贵州茶园土壤养分的调查研究已有大量报道,但主要集中在土壤基本理化性状的研究方面^[12-15],对茶园土壤酶活性及微生物量等生物学性状的研究较少,起步较森林^[16]、草地^[17]、农田^[18]等晚。贵州茶区分布广泛,不同茶区由于所处气候环境、成土母质及施肥现状等不同,土壤养分空间变异较大。为了解贵州不同茶区土壤养分状况和初步明确不同茶园土壤养分差异原因,选取贵州不同茶区典型茶园作为研究对象,通过对比分析不同茶区土壤养分指标与生物学性状,明确贵州不同茶区土壤

收稿日期:2017-08-07

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0200102);贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2017]2852);贵州省农业科学院科技创新专项(黔农科院科技创新项目[2017] 06号);贵州省星火计划项目(黔科合成转字[2015]5308-1号)

作者简介:李渝(1983-),男,副研究员,主要研究方向为耕地质量演变与农业面源污染防治。E-mail: liyu83110@163.com

通信作者:蒋太明(1963-),男,研究员,主要研究方向为耕地保育及农业面源污染防治。E-mail: jtm532@163.com

肥力状况,并通过分析土壤养分及生物学性状之间的相关性,结合主成分分析和聚类分析等统计方法^[19-20],探明贵州茶区土壤肥力的主要构成因子,并对不同茶区土壤养分进行评价,旨在为贵州不同茶区茶园合理施肥提供一定指导。

1 材料与方法

1.1 土壤采集与处理

根据贵州不同茶区分布,于2016年11—12月实地调查了湄潭(MT)、石阡(SQ)、贵定(GD)、纳雍(NY)、普安(PA)、西秀(XX)等有代表性的12个茶园,了解茶叶的种植环境和施肥管理等情况,并采集有代表性的成龄茶园枯枝落叶层、0~20 cm、20~40 cm土层土样,每个茶园用5点取样法分别采集3个土样用于分析土壤肥力状况(各采样茶园基本情况见表1),土壤样品一部分风干用于测定土壤基本理化性质,一部分置于4℃冰箱中保存用于测定土壤可溶性有机碳(氮)、土壤酶及土壤微生物量等指标。

表1 不同茶区茶园取样点基本情况及施肥状况

采样茶园	茶区	海拔/m	土壤类型	是否有枯枝落叶层	施肥状况
湄潭兴隆镇(MT1)	黔北锌硒茶产业带	831	黄壤	是	施用大量化肥
湄潭兴隆镇(MT2)	黔北锌硒茶产业带	840	黄壤	是	施用大量化肥
石阡国荣乡(SQ1)	黔东优质出口茶叶产业带	680	水稻土改造茶园	否	不施肥或施少量化肥
石阡龙塘乡(SQ2)	黔东优质出口茶叶产业带	870	水稻土改造茶园	否	不施肥
纳雍化作乡(NY1)	黔西北高山茶产业带	1 830	黄壤	否	不施肥或少量有机肥
纳雍乐治镇(NY2)	黔西北高山茶产业带	1 758	黄棕壤	是	施用大量有机肥(鸡粪)
普安江西坡镇(PA1)	黔西南大叶种早生绿茶和花茶产业带	1 195	黄壤	是	施尿素或含氮量高的复合肥
普安江西坡镇(PA2)	黔西南大叶种早生绿茶和花茶产业带	1 258	黄壤	是	施尿素或含氮量高的复合肥
西秀鸡场乡(XX1)	黔西南大叶种早生绿茶和花茶产业带	1 233	黄壤	是	施用有机肥(油饼)和化肥
贵定云雾镇(GD1)	黔南高档名优绿茶产业带	1 236	黄壤	否	近年杂草还田
贵定云雾镇(GD2)	黔南高档名优绿茶产业带	1 250	黄壤	否	不施肥
贵定云雾镇(GD3)	黔中、黔南高档名优绿茶产业带	1 244	黄壤	否	近年杂草还田

1.2 土壤养分指标测定方法

pH值采用水浸提-电位法测定,阳离子交换量(Cation exchange capacity, CEC)采用乙酸铵交换法测定,有机质(Organic matter, OM)采用重铬酸钾氧化法测定,全氮(Total nitrogen, TN)采用凯氏法测定,全磷(Total phosphorus, TP)采用硫酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法测定,全钾(Total potassium, TK)采用硫酸-高氯酸消煮-火焰分光光度法测定,碱解氮(Alkaline hydrolysis nitrogen, AN)采用扩散吸收法测定,氨氮(NH₄-N)和硝氮(NO₃-N)采用氯化钾浸提-紫外分光光度法测定,有效磷(Available phosphorus, AP)采用盐酸氟化铵浸提-钼锑抗比色法测定,速效钾(Available potassium, AK)采用乙酸铵浸提-火焰分光光度法测定,可溶性有机碳(Dissolved organic carbon, DOC)采用有机碳分析仪测定;可溶性有机氮(Dissolved organic nitrogen, DON)采用碱性过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定。

土壤微生物量碳(Soil microbial biomass carbon, SMBC)采用氯仿熏蒸-重铬酸钾氧化法测定,土壤微生物量氮(Soil microbial biomass nitrogen, SMBN)采用氯仿熏蒸-凯氏定氮法测定,土壤微生物量磷(Soil microbial biomass phosphorus, SMBP)采用氯仿熏蒸-钼锑抗比色法测定。土壤酸性磷酸酶(Acid phosphatase)采用磷酸苯二钠比色法测定,其活性以24 h后1.0 g干土释出的酚的毫克数表示;脲酶(Urease)采用靛酚比色法测定,其活性以24 h后1.0 g干土释出的铵态氮(NH₃-N)毫克数表示;转化酶(Invertase)采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定,其活性以24 h后1.0 g干土释出葡萄糖毫克数表示。

1.3 数据处理

采用Excel 2010处理数据,土壤养分之间相关分析、主成分分析和聚类分析均在IBM SPSS Statistics 20中进行。

2 结果与分析

2.1 贵州不同茶区土壤理化性质

不同茶区土壤养分量基本随土层深度增加不断减少,表现为枯枝落叶层>0~20 cm土层>20~40 cm土层(表2)。土壤pH值各层均在4.5左右,有酸化趋势,其中西秀pH值<4,土壤严重酸化。土壤阳离子交换量

(CEC)、有机质、可溶性有机碳、全氮、碱解氮、全磷量同一茶区之间变幅较小,不同茶区之间变化规律较一致,均以普安、纳雍、西秀较高(0~20 cm土层:CEC>20 cmol⁽⁺⁾/kg,有机质量>60 g/kg,全氮量>2.0 g/kg,碱解氮量>180 mg/kg,全磷量>1.2 g/kg),湄潭、贵定、石阡较低(0~20 cm土层:CEC<16 cmol⁽⁺⁾/kg,有机质量<25.0 g/kg,全氮量<1.5 g/kg,碱解氮量<120 mg/kg,全磷量<0.7 g/kg),20~40 cm土层变化规律与0~20 cm土层一致。

表2 土壤理化性质

土层	取样地点	pH值	CEC/ (cmol·kg ⁻¹)	质量分数/(g·kg ⁻¹)				质量分数/(mg·kg ⁻¹)						
				有机质	全氮	全磷	全钾	DOC	碱解氮	NH ₄ -N	NO ₃ -N	DON	有效磷	速效钾
枯枝落叶层		4.42	42.08	303.9	11.88	2.56	11.22	688.9	224.6	23.8	53.2	537.0	224.6	443.7
0~20 cm	SQ	4.58	10.45	20.6	1.37	0.65	24.67	185.7	115.5	5.1	15.6	167.1	37.2	110.0
	MT	4.19	15.12	22.6	1.00	0.57	22.11	181.3	72.1	11.1	3.7	155.0	30.6	171.5
	GD	4.58	9.31	18.8	0.95	0.26	11.69	164.5	92.4	8.1	19.4	158.2	4.2	203.7
	XX	3.74	24.77	68.4	2.89	1.58	13.77	237.3	201.6	17.1	56.9	207.5	91.2	245.0
	PA	4.22	34.79	66.4	2.74	1.29	11.70	823.1	188.0	51.3	33.9	598.0	0.3	70.0
	NY	5.29	32.95	70.6	3.84	2.36	18.51	312.9	304.2	1.1	11.8	147.0	87.8	576.5
	均值	4.50	19.94	40.5	1.97	1.01	16.90	311.4	153.2	14.9	20.4	234.7	34.6	226.0
20~40 cm	SQ	4.98	9.47	16.5	1.15	0.52	23.03	132.0	89.3	9.0	13.2	150.6	15.4	70.5
	MT	4.17	13.40	9.6	0.74	0.48	24.10	158.7	44.1	4.8	51.9	148.8	2.6	104.0
	GD	4.75	11.00	10.0	0.62	0.83	15.39	125.4	56.7	9.6	21.5	142.4	1.0	137.0
	XX	3.92	22.15	45.1	1.89	1.09	15.44	188.3	133.7	11.9	50.4	219.6	12.9	216.0
	PA	4.31	32.47	55.0	2.33	1.29	12.39	372.8	166.6	24.2	47.6	205.6	0.8	52.5
	NY	4.76	28.97	44.5	2.58	1.67	19.42	285.6	198.1	1.3	41.8	161.2	15.4	699.0
	均值	4.53	17.71	25.6	1.34	0.90	18.19	197.9	100.2	10.7	34.7	165.3	6.3	161.8

土壤氨态氮、硝态氮及可溶性有机氮随土层深度增加无明显变化规律,0~20 cm土壤无机态氮(NH₄-N+NO₃-N)和可溶性有机氮均以普安和西秀较高,纳雍和湄潭较低;土壤有效磷和速效钾不同地区及同一地区不同茶园之间变幅较大,12个茶园0~20 cm土壤有效磷量为0.1~166.0 mg/kg,其中普安的小于1 mg/kg,贵定的小于6 mg/kg,湄潭和纳雍不同茶园之间变幅较大,MT1、MT2、NY1、NY2有效磷量分别为1.8、59.5、9.6、166.0 mg/kg;土壤速效钾以普安最低,均值仅为70 mg/kg,纳雍和贵定变幅较大,NY1和NY2点分别为83.0 mg/kg和1 070.0 mg/kg,GD2仅为55.0 mg/kg;土壤全钾量0~40 cm土层高于枯枝落叶层,以石阡和湄潭最高(>20 g/kg)。

2.2 贵州不同茶区土壤生物学性状

不同茶区土壤酸性磷酸酶和脲酶活性均随土壤深度增加不断降低,土壤转化酶无明显规律(表3)。0~20 cm土壤酸性磷酸酶活性为1.56~2.39 mg/(g·d),土壤脲酶活性为0.24~4.36 mg/(g·d),其大小总体表现为:普安>西秀、纳雍>石阡、贵定>湄潭,20~40 cm土层变化规律与0~20 cm土层基本一致;0~40 cm土层土壤转化酶活性均以湄潭最低。

表3 土壤生物学性状

土层	取样地点	酸性磷酸酶量/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	脲酶量/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	转化酶量/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	SMBC量/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	SMBN量/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	SMBP量/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	SMBC量/ SMBN量
枯枝落叶层	均值	2.98	2.09	28.43	441.20	38.40	109.29	18.2
0~20 cm	SQ	1.69	0.45	58.25	63.65	2.36	5.56	26.4
	MT	1.56	0.24	19.28	44.55	3.61	8.34	12.8
	GD	1.74	0.26	36.43	63.57	10.18	2.61	24.1
	XX	1.91	2.37	39.85	103.10	3.14	6.96	32.8
	PA	5.39	4.36	38.79	407.10	5.71	11.12	69.9
	NY	2.18	1.93	46.33	102.00	4.35	9.83	34.3
	均值	2.40	1.43	39.54	127.37	5.48	7.04	32.7
20~40 cm	SQ	1.39	0.36	33.00	44.45	1.31	4.13	14.3
	MT	1.15	0.14	11.46	21.60	2.96	1.83	7.1
	GD	1.45	0.20	37.02	12.07	5.96	2.01	6.8
	XX	1.96	0.91	41.90	22.70	4.03	5.86	5.6
	PA	2.10	0.86	43.50	43.55	2.02	10.99	21.2
	NY	1.79	0.98	47.48	22.60	1.83	15.59	28.3
	均值	1.58	0.47	34.21	27.34	3.30	5.58	14.6

土壤微生物量均随土壤深度增加而逐渐降低,由于土壤枯枝落叶层微生物活动非常旺盛,因而土壤微生物量远高于0~40 cm土层。0~20 cm 土层土壤微生物量碳(SMBC)大小表现为普安>西秀、纳雍>石阡、贵定>湄潭;土壤微生物量氮(SMBN)为2.36~10.18 mg/kg,贵定最高;土壤微生物量磷(SMBP)为2.61~11.12 mg/kg,普安最高;SMBC/SMBN值可反映土壤微生物群落组成状况,贵州茶园 SMBC/SMBN 比值为12.8~69.9 mg/kg,其中普安最高,湄潭最低。

2.3 贵州不同茶区土壤养分相关性分析

分析各茶区0~40 cm 土壤养分之间的相关性(表4)可知,土壤pH值与全磷和有效磷显著正相关,与土壤速效钾极显著正相关;除全钾外,土壤各养分之间均表现为较好的正相关关系,其中,CEC、有机质、可溶性有机碳、全氮、全磷、碱解氮之间均呈极显著正相关;土壤全氮与土壤碱解氮相关系数高达0.971,但与氨氮、硝氮、可溶性有机氮之间无显著相关性;土壤速效钾、有效磷、全磷之间极显著正相关。

表4 土壤养分指标相关系数矩阵

指标	pH值	CEC	有机质	全氮	全磷	全钾	DOC	碱解氮	NH ₄ -N	NO ₃ -N	DON	有效磷	速效钾
pH	1	-0.064	-0.111	0.119	0.450*	0.152	-0.188	0.275	-0.231	-0.293	-0.385	0.422*	0.624**
CEC		1	0.901**	0.881**	0.628**	-0.108	0.734**	0.796**	0.436*	0.224	0.494*	0.235	0.293
有机质			1	0.952**	0.610**	0.250	0.727**	0.895**	0.352	0.135	0.537**	0.35	0.252
全氮				1	0.723**	-0.086	0.604**	0.971**	0.213	0.092	0.364	0.507*	0.449*
全磷					1	-0.044	0.319	0.772**	0.117	0.117	0.019	0.672**	0.722**
全钾						1	-0.289	-0.126	-0.206	-0.087	-0.295	0.207	0.184
DOC							1	0.529**	0.742**	0.203	0.910**	-0.044	-0.053
碱解氮								1	0.111	-0.001	0.249	0.608**	0.572**
NH ₄ -N									1	0.492*	0.784**	-0.191	-0.236
NO ₃ -N										1	0.252	-0.089	-0.046
DON											1	-0.288	-0.338
有效磷												1	0.716**
速效钾													1

注 * 代表差异显著($P<0.05$),**代表差异极显著($P<0.01$)。下同。

土壤酸性磷酸酶、脲酶、SMBC、SMBP、SMBC/SMBN之间均极显著正相关(表5),而土壤转化酶和SMBN与其他生物学性状之间相关性均不显著。土壤酸性磷酸酶和脲酶与CEC、有机质、可溶性有机碳、全氮、碱解氮、氨氮、可溶性有机氮均显著或极显著正相关,其中与可溶性有机碳和可溶性有机氮相关系数最大,有机质其次。土壤SMBC、SMBP、SMBC/SMBN与土壤CEC、有机质、可溶性有机碳、全氮、碱解氮、可溶性有机氮显著或极显著正相关,其中SMBC和SMBC/SMBN与可溶性有机碳和可溶性有机氮相关系数最大,SMBP与有机质相关系数最大。

表5 土壤养分和土壤酶及微生物量指标之间相关系数矩阵

指标	CEC	有机质	全氮	DOC	DON	NH ₄ -N	酸性磷酸酶	脲酶	转化酶	SMBC	SMBN	SMBP	SMBC/SMBN
CEC	1	0.901**	0.881**	0.734**	0.494*	0.436*	0.594**	0.635**	0.239	0.539**	-0.202	0.662**	0.469*
有机质		1	0.952**	0.727**	0.537**	0.352	0.648**	0.735**	0.341	0.601**	-0.036	0.705**	0.549**
全氮			1	0.604**	0.364	0.213	0.518*	0.641**	0.375	0.485*	-0.123	0.661**	0.496*
DOC				1	0.910**	0.742**	0.953**	0.883**	0.153	0.935**	0.065	0.586**	0.699**
DON					1	0.784**	0.919**	0.842**	0.095	0.921**	0.074	0.426*	0.714**
NH ₄ -N						1	0.734**	0.645**	-0.04	0.739**	-0.075	0.098	0.536**
酸性磷酸酶							1	0.926**	0.174	0.954**	0.057	0.542**	0.691**
脲酶								1	0.192	0.891**	0.066	0.563**	0.616**
转化酶									1	0.139	-0.148	0.163	0.345
SMBC										1	0.116	0.414*	0.784**
SMBN											1	-0.1	-0.245
SMBP												1	0.316
SMBC/SMBN													1

2.4 土壤肥力指标的主成分分析

2.4.1 特征值与方差贡献率

计算特征值的贡献率和累积贡献率(表6),并根据累积贡献率 $\geq 85\%$ 的原则取得主成分。兹提取了4个主成分,第1主成分对总方差的贡献率是45.833%,第2主成分对总方差的贡献率是24.799%,第3主成分对

总方差的贡献率是9.008%，第4主成分对总方差的贡献率是6.339%，四者之和达86.0%左右，即前4个主成分能把土壤全部指标提供信息的86.0%反映出来。因此，利用主成分分析贵州茶园土壤肥力质量是可靠的。

表6 主成分分析的特征值与方差贡献率

主成分	初始特征值			初始载荷因子平方和		
	特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%
1	9.167	45.833	45.833	9.167	45.833	45.833
2	4.960	24.799	70.632	4.960	24.799	70.632
3	1.802	9.008	79.640	1.802	9.008	79.640
4	1.268	6.339	85.979	1.268	6.339	85.979

2.4.2 主成分分析下各指标的特征向量

在第1主成分上,CEC、有机质、全氮、酸性磷酸酶、脲酶、SMBC、SMBP、氨氮、可溶性有机氮、可溶性有机碳、SMBC/SMBN有较大正值(表7),CEC是衡量土壤胶体保存各种阳离子数量的一个重要指标,有机质是反应土壤肥力的重要指标,全氮、可溶性有机氮、铵态氮反映了土壤氮素养分的总储存量及氮素养分可利用程度,可溶性有机碳对土壤养分和养分循环有深刻影响,土壤微生物量和土壤酶是土壤有机质和土壤养分转化和循环的动力,SMBC/SMBN与土壤养分能转化和土壤微生物群落组成密切相关。因此,第1主成分是对土壤养分储量、保存及转化的量度,可称为土壤保肥、供肥因子。第2主成分上,pH值、全磷、碱解氮、有效磷、速效钾有较大正值,pH值是土壤重要的环境因子,碱解氮、有效磷、速效钾是土壤供给植物养分能力大小的量度,因此,可将第2主成分归称为土壤环境因子和养分供应强度因子。第3主成分以SMBN和全钾为主要影响因子,第4主成分以转化酶为主要影响因子。

表7 主成分分析下各项指标的特征向量

土壤养分指标	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	土壤养分指标	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4
pH值	-0.024 6	0.344 0	0.046 0	0.211 0	DON	0.2802	-0.231 6	-0.020 6	-0.011 6
CEC	0.289 7	0.148 1	-0.066 5	-0.085 6	有效磷	0.019 4	0.402 6	0.101 5	-0.176 2
有机质	0.289 3	0.148 5	0.009 4	0.024 4	速效钾	0.005 0	0.408 0	0.089 4	-0.016 1
全氮	0.244 9	0.263 3	-0.050 7	0.042 9	酸性磷酸酶	0.303 7	-0.114 3	0.011 4	-0.000 1
全磷	0.159 6	0.377 3	0.078 8	-0.016 0	脲酶	0.312 5	-0.020 3	0.060 9	-0.006 0
全钾	-0.088 3	0.150 2	-0.482 1	-0.374 9	转化酶	0.034 9	0.073 5	-0.360 9	0.706 1
DOC	0.311 0	-0.103 7	0.012 9	-0.024 9	SMBC	0.305 7	-0.128 4	0.021 3	0.0053
碱解氮	0.209 5	0.327 6	0.019 4	0.117 0	SMBN	-0.016 0	-0.064 6	0.662 5	0.136 1
NH ₄ -N	0.270 4	-0.200 3	-0.020 9	-0.118 9	SMBP	0.233 8	0.034 7	0.049 9	-0.404 1
NO ₃ -N	0.209 2	-0.069 3	0.205 2	0.225 2	SMBC/SMBN	0.250 2	-0.131 6	-0.337 9	0.116 5

2.5 聚类分析

以欧氏距离衡量各茶园0~20 cm土壤肥力差异大小,采用最短距离法对各茶园土壤进行系统聚类。根据系统聚类图(图1),可将12个茶园土壤分为6个等级,纳雍、普安茶园土壤肥力最高,西秀其次,贵定、湄潭、石阡则最低。同一茶区,常年施用鸡粪的纳雍2点土壤肥力高于施肥量较少的纳雍1点,采用杂草还田的贵定1点和贵定3点土壤肥力高于不施肥的贵定2点。

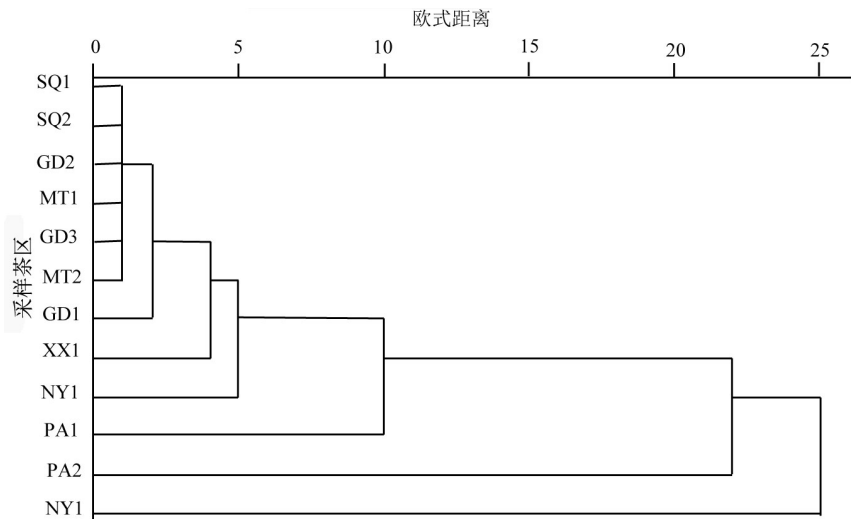


图1 系统聚类图

3 讨论

通过对贵州不同茶区 12 个茶园土壤的分析,大部分土壤理化指标及生物学性状均随土层深度增加而不断降低,尤其是枯枝落叶层土壤碳氮磷养分及微生物量远高于 0~20 cm 土层,说明土壤表层的生化反应比土壤深层进行的强度大、速率高,这可能与土壤深层生化反应底物减少和透气性降低有关^[21]。0~20 cm 土层土壤 pH 值为 3.74~5.29,虽大部分茶园土壤 pH 值适合茶树生长,但仅有个别茶园土壤 pH 值高于 5,土壤酸化趋势严重,西秀茶区严重酸化,与张小琴^[15]研究结果一致。此外,本研究与赵华富^[19]研究均表明茶园土壤 pH 值与土壤速效钾极显著正相关。

不同茶区土壤有机质、全氮、碱解氮、全钾、速效钾均处于适宜等级以上,普安和贵定土壤有效磷处于很缺乏和缺乏等级^[22]。普安茶园土壤酸性磷酸酶和脲酶活性、SMBC 及 SMBC/SMBN 等生物学性状均大幅高于其他地区茶区,而湄潭则最低。总体来看,CEC、可溶性有机碳、有机质、全氮、碱解氮、全磷、酸性磷酸酶、脲酶、SMBC、SMBC/SMBP 地区之间差异明显,普安、纳雍、西秀茶区明显高于石阡、湄潭、贵定茶区,此结果与周国兰等^[13]、张小琴等^[15]研究结果基本一致,其原因与成土母质、气候条件和施肥制度等密切相关。纳雍茶区海拔高,气温较低,土壤有机质分解缓慢;普安茶区热量充足,冬季气温较其他地方高,微生物活动旺盛,故而土壤酶活性与微生物量最高,且茶树生长快,凋落物多,有利于土壤有机质的积累;湄潭、石阡、贵定茶区土壤有机质低除受气候和土壤母质影响外,可能与当地有机肥施用不足有关。此外,湄潭茶区土壤微生物量及酶活性明显低于其他茶区,可能与常年施用大量化肥有关^[23-24]。土壤碳氮养分耦合关系较强,因而土壤全氮变化趋势与有机质基本一致,土壤全磷和全钾量主要受成土母质影响,土壤有效磷和速效钾不同地区之间及同一地区不同茶园之间变幅较大,受施肥制度影响较大^[25],纳雍地区和贵定地区施用鸡粪(NY2)和杂草还田(GD1 和 GD3)可有效提高土壤有效磷和速效钾量。

相关分析表明,土壤 CEC、有机质、可溶性有机碳、全氮、全磷、碱解氮之间极显著正相关,可见土壤碳氮养分是茶园土壤理化性质的核心。土壤酸性磷酸酶、脲酶活性、SMBC、SMBP、SMBC/SMBN 与 CEC、可溶性有机碳、可溶性有机氮、有机质、全氮、氨氮等极显著正相关,可作为评价茶园土壤养分高低的重要生物学指标,而转化酶和 SMBN 的代表性则略差,此结果与王利民等^[26]研究结果一致。上述结果也说明土壤酶活性及微生物量等生物学性状主要受土壤碳氮养分影响。通过主成分分析可将原 20 个土壤肥力因子降维、提取出 4 个主成分,反映了原信息量的 86.0%,且无原变量丢失,其中第 1 主成分和第 2 主成分累积贡献高达 70.6%,第 1 主成分上土壤 CEC、碳氮养分、酶活性及微生物量等指标影响较大,综合反映了土壤保肥和供肥能力,第 2 主成分主上 pH 值、全磷、碱解氮、有效磷、速效钾影响较大,综合反映了土壤环境因子及速效养分状况,该分类结果与赵华富等^[19]研究结果基本一致,此结果也再一次说明土壤酸性磷酸酶、脲酶、SMBC、SMBP 可作为茶园土壤肥力综合评价指标,土壤养分评价指标应全面综合反映土壤养分状况,故在茶园土壤肥力评价中不可忽视微生物的作用。

土壤肥力综合评价方法有聚类分析、因子分析和模糊数学方法等^[27],本研究通过主成分分析和聚类分析表明普安和纳雍茶区茶园土壤肥力最高,其次是西秀,湄潭、石阡和贵定茶区较低,上述差异的造成主要受成土母质、气候及施肥制度等综合影响。相关分析已表明土壤碳氮养分是茶园土壤养分的核心,因而,从可调节的施肥制度方面来考虑,湄潭、贵定、石阡等地茶园管理的核心是有机培肥,提高茶园土壤有机质及微生物活动,进而改善土壤养分状况^[28],普安、纳雍、西秀等地茶园应注重平衡施肥,保证土壤养分协调,对于有效磷低的茶园可适量补充磷肥,而土壤含钾量低的茶园可采取秸秆还田的方式补充土壤钾素。

4 结论

1)土壤酸性磷酸酶、脲酶、SMBC、SMBP 之间极显著正相关,且与土壤 CEC、有机质、全氮、可溶性总碳、可溶性总氮、氨氮等土壤理化指标极显著正相关,可作为评价茶园土壤肥力的重要生物学指标。

2)通过主成分分析可将原 20 个土壤肥力指标降维、提取出 4 个主成分,反映原信息总量的 86.0%,且无原变量丢失。其中,第 1 主成分上主要以 CEC、土壤碳氮养分、酸性磷酸酶、脲酶、SMBC、SMBP 等贡献较大,将其称为土壤保肥、供肥因子,第 2 主成分上以 pH 值、全磷、碱解氮、有效磷、速效钾贡献较大,将其称为土壤环境因子和养分供应强度因子。第 3 和第 4 主成分主要以全钾、SMBN 和转化酶影响较大。

3)将贵州 12 个茶园 20 个土壤养分指标进行聚类分析,可将贵州不同茶区茶园土壤肥力分为 6 个等级,

其中普安、纳雍、西秀茶区高于贵定、湄潭、石阡茶区,原因受成土母质、气候、人类活动等综合影响。贵州低肥力茶园应注重有机培肥,提高土壤有机质和土壤微生物活动,高肥力茶园应注意平衡施肥,保证土壤养分的协调供应。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴[J]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [2] 刘敏英, 郑子成, 李廷轩, 等. 茶园土壤团聚体中微生物量碳、氮的分布特征[J]. 中国农业科学, 2011, 44(15): 3 162-3 168.
- [3] 王利民, 李卫华, 范平, 等. 长期培肥下红黄壤区茶园土壤酶活性的变化[J]. 茶叶科学, 2012, 32(4): 347-352.
- [4] 李玮, 郑子成, 李廷轩, 等. 不同植茶年限土壤团聚体及其有机碳分布特征[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6 326-6 336.
- [5] 王峰, 陈玉真, 吴志丹, 等. 酸性茶园土壤氮挥发及其影响因素研究[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(4): 808-816.
- [6] 吴雯, 郑子成, 李廷轩, 等. 退耕植茶地土壤团聚体及其无机磷组分分布特征[J]. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3 264-3 272.
- [7] 邱莉萍, 刘军, 和文祥, 等. 长期培肥对土壤酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003(4): 44-47.
- [8] 文倩, 赵小蓉, 陈焕伟, 等. 半干旱地区不同土壤团聚体中微生物量碳的分布特征[J]. 中国农业科学, 2004, 37(10): 1 504-1 509.
- [9] ROLDÁN A, SALINAS-GARCÍA J R, ALGUACIL M M, et al. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions[J]. Geoderma, 2005, 129(3/4): 178-185.
- [10] NAYAK D R, BABU Y J, ADHYA T K. Long-term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aerobic Endoaquept planted to rice under flooded condition[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(8): 1 897-1 906.
- [11] 马晓霞, 王莲莲, 黎青慧, 等. 长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2012, 32 (17) : 5 502-5 511.
- [12] 梁远发, 田永辉. 贵州茶园土壤研究主要成果与展望[J]. 贵州科学, 2008, 26(2): 100-103.
- [13] 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.
- [14] 尹杰, 牛素贞, 刘进平, 等. 贵州有机茶园土壤肥力的调查[J]. 西南农业学报, 2013, 26(1): 226-229.
- [15] 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.
- [16] USHIO M, KITAYAMA K, BALSER T C. Tree species effects on soil enzyme activities through effects on soil physicochemical and microbial properties in a tropical montane forest on Mt [J]. Pedobiologia, 2010, 53(4): 227-233.
- [17] KIM H, KANG H. The impacts of excessive nitrogen additions on enzyme activities and nutrient leaching in two contrasting forest soils[J]. The Journal of Microbiology, 2011, 49(3): 369-375.
- [18] 谭雪莲, 郭天文, 张国宏, 等. 轮作对马铃薯根际土壤微生物和酶活性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(9): 45-50.
- [19] 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.
- [20] 王芳, 张金水, 高鹏程, 等. 不同有机物料对渭北旱塬耕地土壤短期培肥效应的综合评价[J]. 应用生态学报, 2010, 21(4): 930-936.
- [21] 赵维娜, 陈奇伯, 王艳霞, 等. 高山栎天然林土壤有机质及酶活性的通径分析[J]. 西部林业科学, 2016, 45(5): 58-64.
- [22] 铁岭市土壤普查办公室. 铁岭土壤[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1989.
- [23] 林新坚, 林斯, 邱珊莲, 等. 不同培肥模式对茶园土壤微生物活性和群落结构的影响[J]. 植物营养学报, 2013, 19(1): 93-101.
- [24] 杨宝平, 陈兵林, 周治国, 等. 施氮量对棉田土壤速效养分和酶活性变化特征的影响[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(6): 22-26.
- [25] 王利民, 邱珊莲, 林新坚, 等. 不同培肥茶园土壤微生物量碳氮及相关参数的变化与敏感性分析[J]. 生态学报, 2012, 32(18): 5 930-5 936.
- [26] 张邦喜, 李渝, 张文安, 等. 长期施肥对黄壤养分及不同形态无机磷的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(5): 33-37.
- [27] 周王子, 董斌, 刘俊杰, 等. 基于权重分析的土壤综合肥力评价方法[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(6): 81-86.
- [28] 吴崇书, 章明奎. 长期不同施肥对茶园土壤碳氮磷构成的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(3): 578-583.

Assessing Soil Nutrient and Microbial Biomass in Tea Plantation Regions of Guizhou Province

LI Yu^{1,3}, LIU Yanling^{1,3}, HUANG Xingcheng^{1,3}, ZHANG Yarong^{1,3},
ZHOU Guolan², ZHOU Fuyu², JIANG Taiming^{2,3*}

(1. Institute of Soil and Fertilizer, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China;

2. Institute of Tea Research, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China;

3. Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation and

Agriculture Environment (Guizhou), Ministry of Agriculture, Guiyang 550006, China)

Abstract:【Objective】Crop growth relies on nutrients while nutrient transformation in soil is modulated by soil enzymatic and microbial activities. The purpose of this paper is to unravel the link between soil nutrients and soil microbial biomass in tea gardens in attempts to improve fertilizer use efficiency. 【Method】Soil samples were taken from 0~20 cm, 20~40 cm and 40~60 cm between November and December in 2016 from areas planted with

tea in Guizhou Province. For each example, we measured its soil nutrient indicators including cation exchange capacity (*CEC*), organic matter (*OM*), dissolved organic carbon (*DOC*), total nitrogen (*TN*), soil enzymes including acid phosphatase and urease, and microbial biomass phosphorous (*SMBP*). **【Result】** All soil nutrient indicators, soil enzymes and microbial biomass decreased with soil depth. All nutritious and microbial properties varied spatially, with their contents in Puan, Nayong and Xixiu higher than that in Guiding, Meitan and Shiqian. Soil acid phosphatase, urease, *SMBC* and *SMBP* were significantly positively correlated between themselves, as well as to *CEC*, *OM*, *DOC*, *TN*, *DON*, $\text{NH}_4\text{-N}$. These could be used as biological indicators to evaluate soil fertility. Principal component analysis showed that four principal components were extracted from the initial 20 soil fertility indices; the primary and secondary principal group of the components reflected 70.6% of the original information. Within the primary group of the principal components, *CEC*, *OM*, *DOC*, *TN*, *DON*, acid phosphatase, urease, *SMBC*, *SMBP* and *SMBC/SMBN* were the major contributors, while within the secondary group of the principal components, *TP*, *AN*, *AP*, *AK* and *pH* contributed more. Hierarchical cluster analysis showed that soil nutrients in 12 soil samples taken from different areas can be divided into 6 grades: Nayong and Puan were the highest, followed by Xixiu, Meitan, Shiqian, Guiding. **【Conclusion】** Soil enzymes and microbial biomass can be used as biological indices to evaluate soil nutrients in tea gardens in Guizhou provinces. The soil fertility level at Nayong, Puan, Xixiu is higher than that at Meitan, Guiding, Shiqian. Application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer in tea gardens of Guizhou should be balanced, and more organic fertilizer should be added to increased soil organic matter in areas including Guiding, Meitan and Shiqian.

Key words: tea garden; soil nutrient; soil microbial biomass; principal component analysis; hierarchical cluster analysis

责任编辑:陆红飞

关于评选优秀论文的公告

为鼓励创新,本刊已开启优秀论文评选活动,每年评选优秀论文10篇,每篇奖励1000元,并颁发获奖证书,届时将在期刊网站首页展示,同时微信公众号推送。欢迎广大读者、作者积极向我刊投稿。

《灌溉排水学报》编辑部