

覃勇荣, 白新高, 刘旭辉. 桂西北岩溶地区不同植被土壤养分及微生物生理类群数量的季节变化[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(24): 273–280.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.01.0

桂西北岩溶地区不同植被土壤养分及微生物生理类群数量的季节变化

覃勇荣, 白新高, 刘旭辉

(河池学院化学与生物工程学院, 广西宜州 546300)

摘要:为探明桂西北岩溶地区不同植被对土壤理化特性和肥力变化的影响,以便为石漠化生态恢复提供理论依据,选择广西宜州城北会仙山先锋种为类芦的次生裸地,以及优势种为阴香、青檀、阴香+青檀混交等4种不同植被类型样地为研究对象,分别测定不同样地土壤中氨化细菌、固氮细菌、硝化细菌的数量,分析土壤氨化细菌、固氮细菌、硝化细菌的数量与不同植被类型、季节变化及土壤理化因子的关系。分析结果表明,不同植被土壤微生物生理类群的数量差异比较明显,表现为有树木的样地>次生裸地;通常夏季的土壤微生物数量比较多,春季和冬季土壤微生物数量相对较少;不同植被调查样地土壤微生物生理类群数量表现为阴香>阴香+青檀>青檀>类芦;在各个样地中,不同微生物生理类群的数量表现为氨化细菌>固氮细菌>硝化细菌;各种不同植被样地的土壤营养物质均有明显的月际差异,相同季节的不同植被样地土壤养分也有明显差异;土壤微生物生理类群的数量与土壤理化性质有一定的相关性,相同植被样地土壤的氨化细菌、固氮细菌、硝化细菌的数量之间极显著相关或显著相关。如果从土壤微生物生理类群数量的差异,及其与土壤肥力的相关性来判断,对桂西北岩溶地区土壤环境生态恢复影响效果表现为阴香>阴香+青檀>青檀>类芦。

关键词:桂西北;岩溶地区;不同植被;土壤微生物生理类群;土壤理化性质;相关性;季节变化

中图分类号: S154.3; S158.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)24-0273-08

土壤微生物是生态系统的重要组成部分,其分布和活跃程度对土壤结构的形成和矿质元素的转化,增加土壤肥力均有重要的作用,土壤微生物的多样性可以促进植物的生长发育,从而加速植物群落演替的进程^[1-2]。由于不同植被的生物学特性差异大,岩溶地区的空间差异也比较大,所以,不同植被对其群落内的土壤微生物种群及其结构产生不同的影响。相关研究表明,土壤微生物种群、群落结构及其生理类群、微生物量、酶活性等,不仅可以客观反映土壤质量的演变和植被的恢复演替,还可以作为植被对土壤环境适应和改良的过程和土壤环境变化与健康的监测指标^[3-6]。土壤和植被在不断的发展演化中,对土壤结构和功能的改善及植物群落的演替有促进作用。土壤理化性质影响植物的生长发育、植被演替和土壤微生物数量的变化,而土壤微生物数量的增加,则有助于提高植被的抗逆性,可加快植被恢复的速度,从而增强和巩固岩溶地区植被恢复的效果^[7-8]。土壤微生物数量受温度、水分、植物残体及植物生长发育的综合影响,随季节变化而呈周期性的波动^[9-10]。相关研究结果表明,氨化细菌、固氮细菌和硝化细菌在土壤中的数量和分布受季节变化的影响,土壤微生物季节变化不仅能说明生态环境的演变,而且土

壤微生物是土壤生态系统中重要的生命体,能敏感地反映土壤生态系统受人为干扰而产生的细微变化,因此被称为土壤生态系统变化的预警及敏感指标^[11-12]。

由于人口增长及不合理的社会经济活动影响,我国西南喀斯特岩溶地区的植被破坏、水土流失问题比较严重,基岩大面积裸露,土地生产力下降,地表出现类似荒漠的景观,即所谓的石漠化现象^[13-14]。广西是我国石漠化问题最严重的省区之一,石漠化已成为制约其区域经济发展的瓶颈。不同植被土壤的氮磷钾等营养物质含量与植被覆盖率、土地复垦率之间均显著相关,土壤有机质和氮磷钾含量对岩溶地区植被恢复影响极大^[15-16]。虽然人们对石漠化的成因及相关问题进行了一些研究,但相关研究大多都集中在土壤理化性质、土壤酶活性变化、植被的生理生态以及土壤动物群落结构等方面^[6,17-20],而对岩溶地区不同植被土壤微生物生理类群的研究较少,因此,笔者以桂西北岩溶地区不同植被样地为研究对象,分别对不同植被样地土壤微生物生理类群的数量进行测定,并对不同植被样地土壤理化特性进行比较,分析影响土壤微生物数量变化的主要因子,以便为桂西北岩溶地区植被恢复和石漠化治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查区域自然概况

本研究调查样地选择在广西河池市宜州区庆远镇境内。宜州区地处桂西北,地理坐标为 108°4′~109°2′E, 24°12′~24°56′N,属亚热带季风气候区和典型的喀斯特地形地貌,光照充足,雨量充沛,年平均日照时数为 1 696.9 h,年平均气温

收稿日期:2018-09-15

基金项目:广西自然科学基金(编号:桂科自0832273);广西河池学院高层次人才科研启动费项目(编号:XJ2018GKQ016)。

作者简介:覃勇荣(1963—),男,广西贵港人,硕士,教授,主要从事岩溶地区石漠化综合治理与生态恢复研究。E-mail: hcxyqr@126.com。

为 19.6 ~ 20.2 ℃, 极端最高温度为 39.8 ℃, 极端最低气温为 -2.2 ℃, 年均降水量为 1 300 ~ 1 330 mm, 无霜期为 323 d。具体采样点位于宜州城北白龙公园及其附近区域, 选择受人为极度破坏的类芦样地(废弃的采石场), 以及优势种为阴香、阴香 + 青檀、青檀等代表性植被的样地进行采样, 每个样

地面积不小于 400 m², 调查样地的基本情况见表 1。

1.2 试剂与仪器

1.2.1 试剂 本研究所用试剂见表 2。

1.2.2 仪器 本试验所用的主要仪器见表 3。

表 1 调查样地基本情况

优势种	地理坐标	海拔高度 (m)	郁闭度	基岩裸露率 (%)	主要植物种类
类芦	24°30'52.38"N, 108°39'54.06"E	161	0	40 ~ 50	类芦、五节芒、白茅、地瓜榕
阴香	24°31'17.28"N, 108°39'51.89"E	191	0.80 ~ 0.90	35 ~ 40	阴香、猫爪刺、五节芒、地瓜榕、红背山麻杆
青檀	24°30'19.39"N, 108°39'25.16"E	257	0.80 ~ 0.85	20 ~ 30	青檀、红背山麻杆、猫爪刺、九龙藤、苎草、卷柏、假鞭叶铁线蕨
阴香 + 青檀	24°30'19.46"N, 108°39'53.52"E	225	0.90 ~ 0.95	30 ~ 40	阴香、青檀、枫香、龙眼、海红豆、小叶朴、猫爪刺、钓杆竹

表 2 试验试剂

试剂名称	生产厂家
钼酸铵	天津市化学试剂四厂
碳酸钙	汕头市光华化学厂有限公司
氯化钾, 磷酸二氢钠, 酒石酸锶钾	广州化学试剂厂
氢氧化钠, 浓硫酸, 浓盐酸, 硼酸, 氨水, 乙酸铵, 葡萄糖, 阿拉伯树胶粉, 硫酸镁, 氯化钙	西陇化工股份有限公司
琼脂粉, 蛋白胨	广东环凯微生物科技有限公司
重铬酸钾, 无磷活性炭, 无水乙醇	天津市光复科技发展有限公司
高氯酸	上海金鹿化工有限公司
维生素 C, 2, 6 - 二硝基酚, 1 - 萘胺	国药集团化学试剂有限公司
乙酸	天津市化学试剂一厂
溴甲酚绿, 甲基红	沈阳市试剂三厂
刚果红	上海裕明实业有限公司远航试剂厂
无水对氨基苯磺酸	上海化学试剂总厂试剂三厂
碳酸氢钠, 氯化钠, 磷酸氢二钾, 磷酸二氢钾	广州新建精细化工厂有限公司

注: 表中药品均为分析纯。

表 3 试验仪器

仪器名称(型号)	生产厂家
马弗炉	上海康路仪器设备有限公司
SHA - C 水浴恒温振荡仪	江苏金坛中大仪器厂
FP6410 火焰光度计	上海仪电分析仪器有限公司
FT102 微型土壤粉碎机	天津市泰斯特仪器有限公司
SW - QJ - 1F 洁净工作台	苏州苏洁净化设备公司
SPX - 150 生化培养箱	上海跃进医疗器械有限公司
华烨 HYP - 1040 型消化炉, KDN - 103F 型自动定氮仪	上海纤检仪器有限公司
MP200A 电子分析天平	上海精科天平仪器厂
DHG - 9070A 电热恒温鼓风干燥箱	上海一恒科技有限公司
HPX - 9052MBE 数显电热培养箱	上海博讯实业有限公司医疗设备厂
PHS - 3B 型 pH 值计, DDS - 307 型电导仪, UV - 765 紫外可见分光光度计	上海精密科学仪器有限公司

1.3 试验方法

1.3.1 样品采集及预处理 2014 年 9 月至 2015 年 8 月, 每月中旬(15 日左右)到设定的调查样地进行采样, 按蛇形采样法, 在 4 种不同植被典型样地中, 选择具有代表性的 5 个样点进行采样。采样时, 清除地表的碎石和凋落物, 取 0 ~ 10 cm 表层土, 过 2 mm 标准筛, 样品充分混匀后, 用四分法随机选

取 1 份, 用无菌封口袋封装并放入冰壶中, 带回实验室, 置于 3 ~ 5 ℃ 冰箱中保存。具体采样方法参考文献[21]。样品采回后, 尽快测定土壤含水量并进行微生物的接种培养, 避免因样品保存过久而造成土壤微生物数量的变化。

1.3.2 培养基的选择 氮化细菌培养采用蛋白胨琼脂培养基; 固氮细菌培养采用瓦克斯曼 77 号培养基; 硝化细菌培养

采用改良的斯蒂芬森 (Stephenson) 培养基,培养基配备的具体方法参考文献[22]。

1.3.3 土壤微生物的分离计数 土壤微生物的分离接种、计数,分别采用稀释涂布平板法和稀释法^[22-23],通过预试验确定合理的接种浓度,氨化细菌和固氮细菌用 10^{-3} 稀释液,硝化细菌采用 $10^{-2} \sim 10^{-7}$ 6 个浓度梯度稀释液。氨化细菌和固氮细菌采用平板表面涂布法,硝化细菌采用稀释法(每个样品均做 3 次重复),接种后置于 28 ℃ 培养箱培养 3、7、14 d 后统计菌落数量,然后,计算每克土壤中相关微生物的菌落形成单位(CFU),计算公式分别为:

每克干土中菌数 = (同一稀释度 3 次重复的平均菌落数 × 稀释倍数 × 20) / 干土质量 × 100% ;

每克干土中菌数 = 近似值 × 数量指示第 1 位数稀释倍数 / 干土质量 × 100% ,具体参考文献[23]。

1.3.4 土壤理化性质的测定 土壤中有机质含量的测定采用重铬酸钾 - 浓硫酸氧化比色法^[24],土壤全磷含量的测定采用氢氧化钠碱熔 - 钼蓝比色法,土壤有效磷含量的测定采用碳酸氢钠浸提 - 钼锑抗比色法,土壤全氮含量测定采用浓酸 - 高氯酸消解半微量凯氏定氮法,土壤有效氮含量的测定采用碱解扩散法,土壤全钾含量的测定采用氢氧化钠碱熔 - 火焰光度计法,土壤速效钾含量的测定采用乙酸铵浸提 - 火焰光度计法,土壤电导率和 pH 值的测定采用电位法,水分含量的测定采用质量法,具体参照鲍士旦的方法^[25],计算公式为土壤含水量 = [(鲜土质量 - 干土质量) / 鲜土质量] × 100%。

1.4 数据处理

试验数据用 Office Excel 2010 和 Office Word 进行处理,用 SPSS 20.0 软件对数据进行相关性分析,用 Origin 7.5 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同植被样地土壤养分的季节变化

有机质以及氮、磷、钾含量是土壤肥力和环境质量状况的

指标,也是环境恢复过程中土壤微生物和植物生长发育的重要营养源,土壤养分含量的变化对喀斯特地区不同植被恢复及生态重建均有重要的影响^[26-30]。

在本研究中,4 种不同植被调查样地土壤有机质和氮磷钾含量的季节变化情况见表 4 至表 7。如果从土壤有机质含量年均值比较,不同植被样地土壤有机质含量表现为阴 香 > 青檀 > 阴香 + 青檀 > 类芦,其中,青檀样地与阴 香 + 青檀混交样地的土壤有机质含量年均值差异很小。在不同月份土壤有机质含量的比较中,除类芦样地外,其他 3 种不同植被样地的土壤有机质含量均为 5—8 月较高。从表 5 可以看出,不同植被样地土壤氮含量差异明显,土壤全氮含量年均值表现为阴香 + 青檀 > 阴香 > 青檀 > 类芦;土壤碱解氮含量年均值表现为阴香 > 阴香 + 青檀 > 青檀 > 类芦;除类芦样地外,其他 3 种不同植被样地土壤夏秋季季节的土壤含氮量较高(类芦样地春夏秋季节相对较高)。从表 6 可以看出,从土壤磷含量的年均值比较可知,4 种不同植被样地土壤全磷和速效磷含量均表现为阴香 + 青檀 > 青檀 > 阴香 > 类芦,但不同季节土壤磷含量的变化规律不明显。从表 7 可以看出,不同植被样地土壤全钾和速效钾含量年均值表现为阴香 + 青檀 > 青檀 > 阴香 > 类芦,土壤钾含量在 2014 年的 11 月至 2015 年的 4 月相对较高。

从表 4 至表 7 可以看出,不同植被样地土壤养分季节变化特征比较相似,其月际之间的变化呈单峰型或双峰型,峰值大多出现在 7—9 月和 12 月;有机质和氮元素含量的变化差异较小,且均以阴香或阴香 + 青檀样地较高;磷和钾含量的季节变化比较复杂,且变化幅度较大,出现峰值的时间不一致。由此可见,不同植被样地土壤营养物质含量的变化比较复杂,其影响因素及作用机制有待进一步研究。

2.2 不同植被样地土壤氨化细菌数量的季节变化

4 种不同植被样地土壤微生物生理类群数量的测定结果(图 1)表明,土壤氨化细菌的季节变化差异明显,氨化细菌数量的季节变化与微生物生理类群总数变化趋势相似:10—12 月呈上升趋势,12—2 月有所下降;2—4 月除了类芦样地呈现

表 4 不同植被土壤有机质含量的季节变化

时间 (年 - 月)	有机质含量(g/kg)			
	阴香	青檀	阴香 + 青檀	类芦
2014 - 09	17.21 ± 0.03iA	16.40 ± 0.01fB	16.63 ± 0.11gA	16.67 ± 0.53cA
2014 - 10	20.50 ± 0.48gA	20.31 ± 0.16dA	20.72 ± 0.27deA	18.42 ± 0.41bB
2014 - 11	20.05 ± 0.00hA	19.25 ± 0.07eA	18.93 ± 0.05fB	12.96 ± 0.16dC
2014 - 12	23.22 ± 0.13dA	22.32 ± 0.16cB	21.30 ± 0.17deC	21.11 ± 0.09aC
2015 - 01	22.33 ± 0.11eA	21.05 ± 0.05dB	20.97 ± 0.25deB	17.44 ± 0.11bcC
2015 - 02	20.87 ± 0.14fA	20.07 ± 0.16deA	20.20 ± 0.05eA	17.18 ± 0.93bcB
2015 - 03	20.52 ± 0.22fB	21.38 ± 0.09cdA	19.60 ± 0.12efC	17.24 ± 0.44bcD
2015 - 04	19.82 ± 0.06hA	18.71 ± 0.24eC	19.21 ± 0.17efB	16.44 ± 0.02cD
2015 - 05	30.35 ± 0.17cA	30.27 ± 0.56aA	27.70 ± 0.07cB	11.80 ± 1.24dC
2015 - 06	23.37 ± 0.14dAB	25.47 ± 1.45bA	21.72 ± 0.61dB	16.30 ± 1.66cC
2015 - 07	32.67 ± 0.28aA	26.54 ± 0.09bC	30.93 ± 0.63aB	12.76 ± 0.13dD
2015 - 08	32.18 ± 0.14bA	25.96 ± 0.83bB	29.71 ± 1.78bA	12.03 ± 0.02dC
年均值	23.59 ± 5.20	22.31 ± 3.97	22.30 ± 4.56	15.86 ± 2.87

注:数据后不同小写字母表示在相同植被样地不同年份间差异显著($P < 0.05$);数据后不同大写字母表示在同一月份不同植被样地间差异显著($P < 0.05$)。表 5 至表 7 同。

表 5 不同植被样地土壤氮含量的季节变化

时间 (年-月)	阴香		青檀		阴香+青檀		类芦	
	全氮含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	全氮含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	全氮含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	全氮含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)
2014-09	2.70±0.09aA	166.17±2.57cA	1.72±0.03bC	148.72±2.47cdB	1.87±0.03cB	160.80±5.02cA	0.71±0.03dD	89.21±2.46aC
2014-10	1.90±0.06cA	166.18±7.48cA	1.38±0.09dC	138.18±2.54dB	1.73±0.11dB	174.90±0.11bcA	0.71±0.08dD	59.48±9.89bC
2014-11	1.92±0.08cA	167.93±7.05cdA	1.70±0.06bcB	164.39±4.91bA	1.94±0.03cA	169.67±2.56abA	0.75±0.03dC	29.74±2.46dB
2014-12	1.44±0.09eA	183.68±2.50bcA	1.29±0.06dB	150.46±7.03cB	1.32±0.09fAB	181.96±0.05cA	0.35±0.03eC	36.75±2.47cC
2015-01	0.84±0.05fC	181.90±0.04bcA	0.97±0.06eB	143.45±0.01cdC	1.55±0.03eA	166.21±2.44cB	0.32±0.07eD	57.74±7.42eD
2015-02	1.36±0.08eB	180.11±2.42bcA	1.32±0.09dB	122.47±4.94eC	1.71±0.08dA	162.12±5.33aB	0.65±0.06dC	34.99±0.00dD
2015-03	1.70±0.08dA	174.94±0.05cB	1.57±0.05cAB	143.45±0.02cdC	1.45±0.11eB	187.09±2.45aA	0.87±0.09cC	33.22±2.47dD
2015-04	1.99±0.11cA	174.88±4.98cB	1.58±0.08bcB	145.20±2.41bC	2.09±0.08bA	187.22±2.45aB	0.87±0.09cC	33.23±2.47dD
2015-05	1.44±0.09eA	212.40±2.52aA	1.47±0.13cdA	164.12±2.46bC	1.66±0.03deA	176.72±1.47bB	0.95±0.08cB	33.59±1.22dD
2015-06	1.66±0.09dB	184.40±3.42bcA	1.62±0.10bcB	144.11±9.91cdB	1.88±0.06cA	181.22±3.05abA	1.21±0.07bC	33.95±1.48dC
2015-07	2.15±0.06bcA	205.04±1.95aB	1.62±0.09bcB	255.42±0.94aA	2.26±0.09aA	187.29±2.94aC	0.99±0.08cC	32.52±0.52dD
2015-08	2.17±0.18bA	187.04±7.21bA	1.92±0.07aB	150.36±7.01cB	2.30±0.06aA	183.67±12.32abA	1.35±0.11aC	101.43±9.97dC
年均值	1.77±0.48	182.06±14.43	1.51±0.25	155.86±33.24	1.81±0.30	176.57±9.79	0.81±0.30	47.99±24.29

表 6 不同植被样地土壤磷含量的季节变化

时间 (年-月)	阴香		青檀		阴香+青檀		类芦	
	全磷含量 (g/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	全磷含量 (g/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	全磷含量 (g/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	全磷含量 (g/kg)	速效磷含量 (mg/kg)
2014-09	0.94±0.09bcB	12.02±0.14fD	2.21±0.09bcA	43.97±0.25aA	2.24±0.08deA	38.77±0.52cB	0.12±0.01dC	14.08±0.14aC
2014-10	0.76±0.02dC	6.74±0.77iB	2.03±0.14cB	4.09±0.14kB	2.66±0.04cdA	36.18±0.21deA	0.21±0.01cD	1.24±0.21gD
2014-11	0.72±0.02dC	13.19±0.18eC	1.59±0.05dB	17.93±0.29eB	2.26±0.15dA	34.02±0.27fA	0.23±0.01cD	12.97±0.43bC
2014-12	1.00±0.04bC	19.31±0.03cB	2.00±0.03cB	10.26±0.06iC	2.96±0.22cA	24.98±0.26hA	0.18±0.05cdD	9.85±0.27cC
2015-01	0.89±0.02cC	11.59±0.09fB	1.69±0.01dB	7.70±0.03jC	3.49±0.20aA	36.62±0.02cA	0.31±0.01bcD	2.02±0.15fD
2015-02	0.85±0.07cdC	21.76±0.42bB	2.19±0.08bcB	17.85±0.07eC	3.02±0.03bcA	57.74±0.42aA	0.30±0.00bcD	1.36±0.21gD
2015-03	0.90±0.07cC	7.54±0.05hC	2.45±0.13bB	14.09±0.06hB	3.17±0.06bA	29.57±0.21gA	0.27±0.06bcD	4.12±0.2dD
2015-04	0.82±0.02cdC	9.89±0.06gC	3.11±0.05aB	22.08±0.14dB	3.67±0.14aA	41.59±1.67bA	0.24±0.09cD	4.35±0.14dD
2015-05	1.01±0.12bA	23.25±0.04aB	1.06±0.28eA	20.94±0.21cC	1.32±0.25fA	25.93±0.04hA	0.11±0.01dB	3.17±0.10eD
2015-06	1.34±0.00aC	12.66±0.14eC	2.28±0.15bcA	22.53±0.17bB	2.07±0.03eB	22.84±0.04iA	0.32±0.03bD	0.36±0.06hD
2015-07	0.35±0.04eD	9.74±0.08gC	1.28±0.12eB	17.08±0.19fB	2.24±0.20deA	39.51±0.12cA	1.04±0.05aC	5.86±0.14cD
2015-08	1.00±0.04eB	14.77±0.09dC	1.65±0.16dA	15.66±0.04gB	1.5±0.00fA	35.32±0.07eA	0.30±0.01bcC	4.07±0.09dD
年均值	0.88±0.23	13.54±5.34	1.96±0.55	17.85±10.00	2.55±0.79	35.26±9.33	0.30±0.24	5.29±4.46

表 7 不同植被样地土壤钾含量的季节变化

时间 (年-月)	阴香		青檀		阴香+青檀		类芦	
	全钾含量 (g/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	全钾含量 (g/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	全钾含量 (g/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	全钾含量 (g/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
2014-09	2.80±0.01fB	212.03±11.32cA	3.40±0.00iA	199.02±28.28eA	3.69±0.13gA	197.51±2.12hA	2.69±0.42eB	28.50±0.71hB
2014-10	2.60±0.00gB	76.00±9.90eC	4.20±0.00hA	195.98±5.66efB	4.00±0.00gA	285.98±2.83bcA	2.70±0.70eB	111.99±2.84cC
2014-11	4.40±0.00eB	193.66±23.54cdC	5.86±0.23eA	327.48±10.61bB	5.80±0.00eA	386.32±10.02bA	4.66±0.31cdB	125.50±7.77aD
2014-12	7.13±0.12aC	198.50±1.27cC	8.49±0.12aB	358.50±0.20aB	8.99±0.01aA	389.27±8.59bA	6.94±0.11aC	113.33±3.29bcD
2015-01	5.90±0.15cB	219.37±2.28bcC	6.79±0.02cA	328.51±2.59bB	6.31±0.14dAB	369.44±2.56cA	4.13±0.30dC	118.09±0.62bD
2015-02	7.20±0.00aA	195.21±2.26cdC	6.50±0.15dB	264.08±0.19cB	5.99±0.00deC	349.88±0.25dA	4.90±0.15cD	96.30±1.13dD
2015-03	6.40±0.00bC	235.65±0.50bB	6.79±0.00cB	241.52±1.41dB	7.00±0.00cA	413.00±7.07aA	6.50±0.14abC	110.19±1.51cC
2015-04	6.40±0.01bC	244.14±4.05abC	7.20±0.00bB	354.32±0.46aB	8.00±0.00bA	401.80±2.54abA	6.00±0.01bD	121.82±1.50abD
2015-05	4.60±0.10dC	168.45±3.58dC	5.30±0.00gB	190.42±0.71efB	5.60±0.14eA	217.43±2.12ghA	4.53±0.12cdC	77.43±2.11efD
2015-06	4.30±0.14eC	264.91±4.22aA	5.54±0.07fA	193.51±1.66efC	5.60±0.00eA	231.76±3.48gB	4.00±0.20dC	58.29±1.16gD
2015-07	4.30±0.00eC	162.42±3.49dC	5.35±0.07fA	179.42±2.21fB	5.00±0.00fB	221.43±0.64gA	4.30±0.00dC	72.95±2.82fD
2015-08	4.63±0.06dC	175.88±4.19dB	5.43±0.06fB	225.93±4.27dA	5.70±0.00eA	253.08±23.39fA	4.13±0.06dD	78.94±0.04eC
年均值	5.06±1.55	195.52±48.75	5.90±1.37	254.90±69.17	5.97±1.50	309.74±82.72	4.62±1.32	92.78±29.85

下降趋势外,其余 3 种样地均呈上升态势,之后的 4—8 月则有升有降,呈现一定的波动态势,但总的趋势是下降的。4 种不同植被样地的氨化细菌数量,除类芦样地 12 月最大外,其余 3 个样地均为 6 月最大;8 月青檀样地与阴香 + 青檀混交样地的氨化细菌数量最少,阴香样地及类芦样地的氨化细菌数量则以 10 月最少;不同植被样地的土壤氨化细菌数量差异比较明显,其中阴香样地的最多,阴香 + 青檀混交及青檀样地次之,类芦样地最少;总体表现为夏季多,秋季少;在季节变化中呈三峰型或多峰型,说明不同植被土壤环境给予土壤微生物不同的生长条件,从而导致不同植被土壤微生物数量的差异。

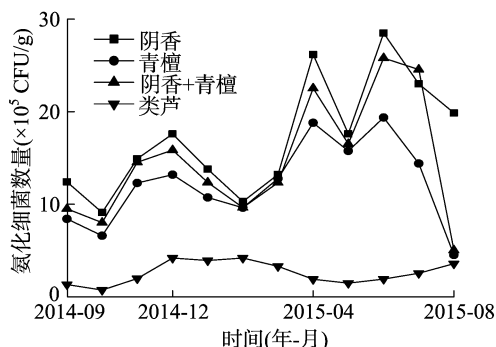


图1 不同植被土壤氨化细菌数量的季节变化

2.3 不同植被样地土壤固氮细菌数量的季节变化

在 4 种不同植被样地中,土壤固氮细菌数量季节变化的情况见图 2。结果表明,固氮细菌数量的季节变化明显呈三峰型,峰值分别出现在 12 月、4 月、7 月。即 10—12 月数量上升,在 12—2 月数量下降,4 月和 7 月随着气温升高而数量增加,7—8 月数量又逐渐降至最低。在不同植被样地中,除阴香样地和阴香 + 青檀混交样地的固氮细菌数量在 12 月最高外,青檀样地和类芦样地在 7 月固氮细菌数量达到最大值,但各样地土壤固氮细菌数量的最小值都集中在 8 月;土壤固氮细菌数量在夏季和冬季较多,在春季和秋季较少;不同植被样地土壤固氮细菌数量表现为阴香 > 阴香 + 青檀 > 青檀 > 类芦;从土壤固氮细菌的数量来看,阴香是岩溶地区植被恢复的较好树种。

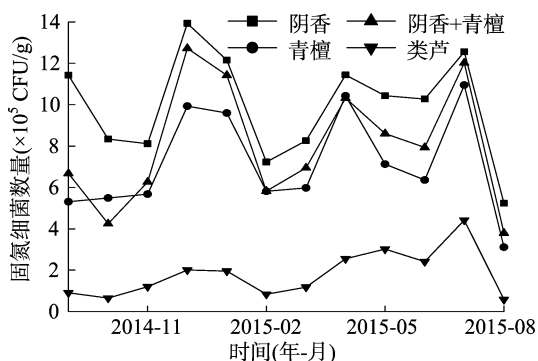


图2 不同时间土壤固氮细菌数量的动态变化

2.4 不同植被样地土壤硝化细菌数量的季节变化

调查样地土壤硝化细菌数量季节变化的结果见图 3。4 种不同植被样地土壤硝化细菌数量的季节变化较明显,其变化趋势为先逐渐增加(9—11 月)又逐渐下降(12—2 月),后

再增(3—6 月)再降(7—9 月)。除了优势种为类芦的样地外,土壤硝化细菌数量均在 6 月达到最大值(类芦样地土壤硝化细菌的数量在 7 月达到最大值),土壤硝化细菌数量的季节变化呈二峰型,最大峰值大多集中在 6 月,夏季硝化细菌数量较多,春秋和冬季数量较少,除 5 月和 6 月之外,不同植被样地土壤硝化细菌数量大致情况表现为阴香 > 阴香 + 青檀 > 青檀 > 类芦。如果从硝化细菌的数量看,不同植被对土壤质量变化的影响,其结果为阴香的效果最好,阴香 + 青檀混交次之,青檀位列第 3,类芦的效果最差。

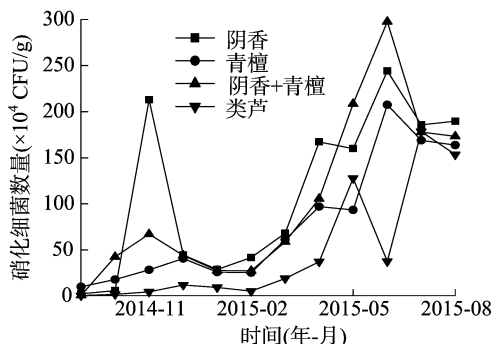


图3 不同时间硝化细菌数量的动态变化

2.5 土壤中微生物数量与土壤理化性质相关性分析

土壤微生物的数量变化与土壤理化性质关系密切,为了进一步说明不同植被样地土壤微生物生理类群与土壤理化性质的关系,有必要对其相关性进行比较分析。

2.5.1 阴香样地 从表 8 可以看出,在阴香样地中,除了氨化细菌数量与硝化细菌数量、速效钾含量与土壤含水量、碱解氮含量与土壤有机质含量均呈极显著正相关,以及土壤全钾含量与全氮含量呈显著负相关外,土壤固氮细菌数量和硝化细菌数量与其他土壤理化因子的相关性均不显著,其原因有待进一步分析。

2.5.2 青檀样地 从表 9 可以看出,在青檀样地中,氨化细菌数量与固氮细菌数量呈显著正相关;硝化细菌数量与土壤 pH 值、土壤电导率呈极显著负相关,与土壤有机质含量呈显著正相关;全磷含量与有机质含量呈显著负相关;速效钾含量、有机质含量与土壤 pH 值呈显著正相关或负相关,土壤有机质含量与电导率呈极显著负相关;全钾含量与速效钾含量、pH 值与电导率呈极显著正相关,其他的相关性均不显著。

2.5.3 阴香 + 青檀样地 从表 10 可以看出,氨化细菌数量与固氮细菌数量、硝化细菌数量呈显著正相关,与电导率呈显著负相关;硝化细菌数量与土壤全磷含量、电导率呈显著负相关,与土壤有机质含量呈显著正相关,与土壤 pH 值呈极显著负相关;土壤全磷含量与 pH 值呈显著正相关,与土壤有机质含量呈显著负相关;速效钾含量与全磷含量、pH 值均呈极显著正相关。值得注意的是,氨化细菌数量、固氮细菌数量、硝化细菌数量与其他土壤理化因子的相关性并不显著。

2.5.4 类芦样地 从表 11 可以看出,固氮细菌数量与土壤全磷含量呈显著正相关;硝化细菌数量与全氮含量、全磷含量呈显著正相关,与土壤有机质含量、pH 值分别呈显著负相关或极显著负相关;土壤全氮含量与有机质含量、pH 值均呈极显著负相关;土壤有机质含量与 pH 值呈显著正相关;其他土壤理化因子之间的相关性不显著。

表 8 阴香样地土壤微生物数量与土壤理化性质的相关性分析结果

项目	相关系数												
	Amm	Nfb	Nit	STK	SAK	STN	SAN	STP	SAP	SOM	pH 值	SWC	EC
Amm	1.000												
Nfb	0.288	1.000											
Nit	0.786**	-0.157	1.000										
STK	0.074	0.126	-0.076	1.000									
SAK	0.490	0.225	0.282	0.477	1.000								
STN	0.129	-0.150	0.154	-0.060*	-0.135	1.000							
SAN	0.410	0.231	0.413	0.117	-0.063	-0.252	1.000						
STP	0.201	-0.109	0.072	0.088	0.466	-0.232	-0.077	1.000					
SAP	-0.050	-0.006	0.053	0.373	0.040	-0.364	0.485	0.319	1.000				
SOM	0.400	-0.138	0.517	-0.072	-0.242	-0.029	0.830**	-0.054	0.302	1.000			
pH 值	-0.129	0.228	-0.060	0.485	0.277	-0.473	0.275	0.144	0.460	-0.088	1.000		
SWC	0.252	0.222	0.194	0.372	0.867**	-0.112	-0.242	0.479	0.087	-0.415	0.432	1.000	
EC	-0.068	-0.336	-0.034	0.160	-0.123	0.141	-0.201	-0.135	-0.301	0.177	-0.027	-0.143	1.000

注:(1)*表示在0.05水平(双侧)上显著相关;**表示在0.01水平(双侧)上显著相关。(2)氨化细菌数量(Amm)、固氮细菌数量(Nfb)、硝化细菌数量(Nit)、土壤全钾含量(STK)、土壤速效钾含量(SAK)、土壤全氮含量(STN)、土壤碱解氮含量(SAN)、土壤全磷含量(STP)、土壤速效磷含量(SAP)、土壤有机质含量(SOM)、土壤含水量(SWC)、酸碱度(pH值)、电导率(EC)。表9~表11同。

表 9 青檀样地土壤微生物数量与土壤理化性质的相关性分析结果

项目	相关系数												
	Amm	Nfb	Nit	STK	SAK	STN	SAN	STP	SAP	SOM	pH 值	SWC	EC
Amm	1.000												
Nfb	0.593*	1.000											
Nit	0.414	0.063	1.000										
STK	0.373	0.522	-0.036	1.000									
SAK	0.160	0.410	-0.398	0.780**	1.000								
STN	-0.060	-0.489	0.483	-0.430	-0.386	1.000							
SAN	0.213	0.462	0.440	-0.151	-0.308	0.245	1.000						
STP	0.228	0.049	-0.120	0.259	0.351	0.030	-0.525	1.000					
SAP	0.141	-0.187	0.053	-0.470	-0.272	0.510	0.036	0.179	1.000				
SOM	0.130	0.057	0.653*	0.067	-0.378	0.105	0.419	-0.651*	-0.299	1.000			
pH 值	-0.393	0.145	-0.827**	0.335	0.636*	-0.416	-0.307	0.348	-0.234	-0.684*	1.000		
SWC	0.513	0.139	-0.110	0.404	0.461	-0.021	-0.181	0.273	0.344	-0.359	0.054	1.000	
EC	-0.196	-0.064	-0.756**	0.101	0.473	-0.163	-0.384	0.474	0.153	-0.866**	0.759**	0.457	1.000

表 10 阴香+青檀混交样地土壤微生物数量与土壤理化性质的相关性分析结果

项目	相关系数												
	Amm	Nfb	Nit	STK	SAK	STN	SAN	STP	SAP	SOM	pH 值	SWC	EC
Amm	1.000												
Nfb	0.648*	1.000											
Nit	0.593*	0.054	1.000										
STK	0.267	0.542	-0.059	1.000									
SAK	-0.066	0.196	-0.504	0.738**	1.000								
STN	0.179	-0.230	0.433	-0.380	-0.447	1.000							
SAN	0.481	0.271	0.539	0.440	0.096	0.231	1.000						
STP	0.067	0.370	-0.590*	0.509	0.775**	-0.390	-0.030	1.000					
SAP	-0.297	-0.215	-0.467	-0.187	0.130	0.278	-0.446	0.350	1.000				
SOM	0.169	0.154	0.607*	-0.060	-0.449	0.378	0.485	-0.579*	-0.179	1.000			
pH 值	-0.305	0.249	-0.826**	0.432	0.768**	-0.514	-0.236	0.632*	0.261	-0.406	1.000		
SWC	0.359	0.335	-0.080	0.503	0.458	-0.372	-0.078	0.329	-0.240	-0.565	0.332	1.000	
EC	-0.699*	-0.396	-0.694*	-0.009	0.322	-0.040	-0.226	0.423	0.389	-0.518	0.401	-0.051	1.000

2.6 主成分分析

为进一步说明不同植被样地土壤微生物与土壤理化性质的关系,可以通过主成分分析的方法,根据不同植被样地土壤

微生物生理类群的数据和土壤氮磷钾及有机质含量测定值在不同样地的得分情况,找出对土壤质量变化影响较大的理化因子,结果见表12。根据有关原则(特征值>1),提取出成分

表 11 类芦样地土壤微生物数量与土壤理化性质的相关性分析结果

项目	相关系数												
	Amm	Nfb	Nit	STK	SAK	STN	SAN	STP	SAP	SOM	pH 值	SWC	EC
Amm	1.000												
Nfb	-0.092	1.000											
Nit	-0.001	0.561	1.000										
STK	0.565	0.190	-0.065	1.000									
SAK	0.296	-0.114	-0.321	0.537	1.000								
STN	-0.296	0.119	0.643 *	-0.198	-0.443	1.000							
SAN	-0.029	-0.523	0.120	-0.555	-0.435	0.185	1.000						
STP	0.139	0.641 *	0.590 *	-0.039	-0.118	0.235	-0.206	1.000					
SAP	-0.120	-0.106	-0.171	0.035	-0.155	-0.245	0.163	-0.124	1.000				
SOM	0.191	-0.085	-0.645 *	0.340	0.337	-0.763 **	-0.237	-0.282	0.008	1.000			
pH 值	0.168	-0.518	-0.800 **	0.174	0.508	-0.808 **	-0.026	-0.400	0.305	0.631 *	1.000		
SWC	0.052	0.458	-0.190	0.412	0.038	-0.236	-0.511	0.252	0.495	0.192	0.069	1.000	
EC	0.293	-0.188	-0.253	0.420	0.303	-0.206	-0.031	0.074	0.220	0.221	0.373	0.440	1.000

1(PC1)、成分2(PC2)、成分3(PC3)等3个主成分,其特征值分别为5.030,1.876,1.061,相应的方差贡献率分别为50.304%,18.756%,10.614%,总体方差贡献率为79.674%。从表12、表13可知,PC1由氨化细菌数量、固氮细菌数量、硝化细菌数量、全氮含量、碱解氮含量、有机质含量组成,贡献率达50.304%,PC2由全磷含量、速效磷含量、速效钾含量组成,贡献率为18.756%,PC3则由全钾含量组成,贡献率为10.614%。从图4可以看出,各样地散点的密集程度反映了各样地土壤微生物数量和理化性质的相似度。通过主成分分析可以得到调查样地土壤微生物和土壤理化性质对不同植被样地的贡献水平。

表 12 主成分的特征值和贡献率

主成分	初始特征值		
	合计	方差贡献率(%)	累积贡献率(%)
1	5.030	50.304	50.304
2	1.876	18.756	69.060
3	1.061	10.614	79.674
4	0.640	6.397	86.071
5	0.546	5.462	91.532
6	0.291	2.906	94.438
7	0.204	2.035	96.474
8	0.153	1.525	97.999
9	0.125	1.255	99.254
10	0.075	0.746	100

表 13 主成分的旋转成分矩阵

项目	旋转成分荷载		
	PC1	PC2	PC3
氨化细菌数量	0.834	0.243	0.308
硝化细菌数量	0.772	-0.099	-0.121
固氮细菌数量	0.677	0.281	0.441
碱解氮含量	0.741	0.523	0.153
全氮含量	0.652	0.582	-0.212
速效磷含量	0.127	0.897	0.031
全磷含量	0.081	0.849	0.388
速效钾含量	0.171	0.702	0.617
全钾含量	0.043	0.121	0.931
有机质含量	0.784	0.083	0.065

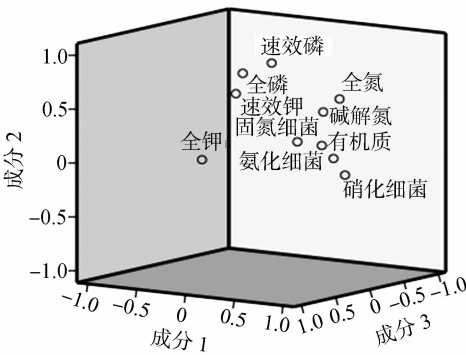


图4 不同植被样地土壤微生物与土壤养分的主成分分析

3 讨论与结论

在植物群落演替和土壤质量演变的过程中,植物与土壤相互作用,相互影响,土壤微生物是土壤肥力的重要构成要素,在土壤生态系统物质循环和能量流动中具有重要的作用。从不同植被土壤微生物生理类群数量的差异,土壤微生物数量与土壤有机质以及土壤氮、磷、钾含量的相关性等因素来看,土壤微生物数量的变化与土壤理化性质存在密切关系,也从侧面反映了不同植被对土壤质量变化的影响。

在不同植被调查样地中,土壤氨化细菌、固氮细菌和硝化细菌等3类微生物生理群虽然数量差异较大,季节变化明显,但变化趋势相似,不同植被样地的3种不同微生物生理类群

数量均表现为阴香>阴香+青檀>青檀>类芦的分布特点;在同一样地中,3种不同微生物生理类群数量表现为氨化细菌>固氮细菌>硝化细菌;氨化细菌、硝化细菌数量峰值出现在6月、7月,即最高峰出现在夏季。因为盛夏季节的土壤温度较高,降水量较大,土壤含水量较高,因此是土壤微生物繁殖和植物生长最活跃的季节。由于水热状况的季节性变化,不同微生物生理类群数量的变化规律虽然不完全相同,但是,高温和湿润的季节,土壤微生物生物量通常有增高的趋势,这与胡延杰等研究结果^[31]相似。固氮细菌数量的峰值出现在12月,可能是因为秋季有大量凋落物富集地表,经过土壤动物和微生物的作用,凋落物分解使各种营养元素逐渐回归土

壤,土壤微生物获得较为丰富的营养物质供应,因而数量有所增加。春秋季节土壤微生物数量下降,可能是因为春秋季节降水较少,土壤温度较低,所以不太适合土壤微生物的生长和繁殖,从而导致其数量有所减少。从相关性分析和主成分分析结果可知,土壤微生物生理类群数量的变化,不仅受到温度及大气降水的影响,与季节变化有一定的关系,还与植被类型、土壤理化特性、地形地貌等诸多因素有关。在不同植被调查样地中,3种土壤微生物生理群数量均表现为氨化细菌>固氮细菌>硝化细菌,这与邢肖毅等的研究结果^[32-33]相似。土壤有机质中含有丰富的营养物质,能够为植物和土壤微生物的生长繁殖提供充足的能源;氮是构成蛋白质的重要元素,是生物蛋白质合成的重要物质基础;磷是生物细胞膜的重要组成部分,对物质运输也有重要作用,而且由于在全球生物地球化学循环中,磷的循环属于沉积型循环(不完全循环),所以地表中的磷含量通常都比较低,因而磷是植物和微生物生长繁殖的重要制约因子;钾离子对生物细胞之间的物质交流和信息传递具有重要作用,在桂西北岩溶地区,土壤全钾含量相对较高(2.60~8.99 g/kg),因此,土壤微生物生理群数量与土壤含氮、含磷、速效钾、有机质含量具有明显的相关性,而与土壤全钾含量的相关性不明显,这与主成分分析的结果是一致的。但在不同植被覆盖的喀斯特岩溶地区,土壤微环境如何影响土壤氨化细菌、固氮细菌、硝化细菌等氮素转化细菌的数量和组成比例,相关问题还有待深入研究。此外,由于本研究所选用的微生物培养方法比较传统,用不同方法对土壤微生物数量进行研究,所得结果可能有一些差异,相关问题仍需进一步研究阐明。

不同植被调查样地土壤微生物生理群数量的季节差异明显,表现为双峰型、三峰型或单峰型,其中氨化细菌和硝化细菌的数量通常在夏季较多,而固氮细菌的数量则为冬季和夏季较多;土壤微生物生理群数量可以作为土壤质量变化的重要监测指标,综合考虑不同植被对土壤微生物的影响,以及土壤理化性质与土壤微生物生理类群数量的相关性,在桂西北岩溶地区进行植物恢复或石漠化治理时,应首先选择阴香(或阴香+青檀)作为先锋物种,其次可以考虑青檀,类芦是自然入侵的先锋种,可作为最后的选择。

参考文献:

- [1]邵玉琴,赵吉.库布齐固定沙丘土壤微生物数量与土壤生态因子的研究[J].内蒙古大学学报(自然科学版),1997,28(5):134-138.
- [2]闰东峰.太行山低山丘陵区不同植被恢复措施下植被与土壤协同演替机制[D].郑州:河南农业大学,2012.
- [3]杜丽,戈峰.生物多样性与生态系统功能的关系研究进展[J].中国生态农业学报,2004,12(2):24-27.
- [4]郭志彬.半干旱黄土高原地区不同干预方式下撂荒地演替植被生物量与土壤物化性质变化[D].兰州:兰州大学,2010.
- [5]王贵.植被类型与土壤生化性质及功能细菌的相互关系——以石梅湾海岸青皮林为例[D].海口:海南师范大学,2013.
- [6]覃勇荣,韦丹妮,黄健,等.不同植被恢复模式对石漠化地区土壤多酚氧化酶的影响[J].河池学院学报,2007,27(2):41-45.
- [7]漆良华,张旭东,孙启祥,等.土壤-植被系统及其对土壤健康的

- 影响[J].世界林业研究,2007,20(3):1-8.
- [8]范继红,杨国亭,李桂伶.木本植物VA菌根研究进展[J].防护林科技,2006(1):34-36.
- [9]刘苑秋,杨家林,杜天真,等.重建森林对退化红壤微生物特性的影响[J].福建林学院学报,2003,23(1):65-69.
- [10]黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [11]任天志.持续农业中的土壤生物指标研究[J].中国农业科学,2000,33(1):71-78.
- [12]魏媛.退化喀斯特植被恢复过程中土壤生物学特性研究——以贵州花江地区为例[D].南京:南京林业大学,2008.
- [13]王世杰.喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J].中国岩溶,2002,21(2):101-105.
- [14]王世杰,李阳兵,李瑞玲.喀斯特石漠化的形成背景、演化与治理[J].第四纪研究,2003,23(6):657-666.
- [15]刘旭辉,覃勇荣,邹振旺,等.不同植被对广西石漠化地区土壤有机质的影响[J].中国农学通报,2009,25(18):394-398.
- [16]刘方,王世杰,刘元生,等.喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J].生态学报,2005,25(3):639-644.
- [17]朱海燕,刘忠德,钟章成.喀斯特退化生态系统不同恢复阶段土壤质量研究[J].林业科学研究,2006,19(2):248-252.
- [18]罗海波,宋光煜,何腾兵,等.贵州喀斯特山区石漠化治理过程中土壤质量特性研究[J].水土保持学报,2004,18(6):112-115.
- [19]刘旭辉,张康,潘振兴,等.不同植被对石漠化地区土壤脲酶活性的影响[J].天津农业科学,2010,16(5):1-5.
- [20]徐国良,周国逸,莫江明,等.鹤山丘陵退化生态系统植被恢复的土壤动物群落结构[J].生态学报,2005,25(7):1670-1677.
- [21]许光辉,郑洪元.土壤微生物分析方法手册[M].北京:农业出版社,1986.
- [22]中国科学院南京土壤研究所微生物室.土壤微生物研究法[M].北京:科学出版社,1985.
- [23]李振高,骆永明,滕应,等.土壤与环境微生物研究法[M].北京:科学出版社,2008.
- [24]林大仪.土壤学实验指导[M].北京:中国林业出版社,2004.
- [25]鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [26]张华,张甘霖,漆智平,等.热带地区农场尺度土壤质量现状的系统评价[J].土壤学报,2003,40(2):186-193.
- [27]宝音那木和.内蒙古锡林郭勒草原蜘蛛调查研究[D].呼和浩特:内蒙古师范大学,2014.
- [28]李勇,储亚云,朱彩云,等.金坛市无氮区土壤肥力评价和对小麦基础产量的影响[J].中国土壤与肥料,2008(6):15-18.
- [29]张美荣.复垦村庄土壤肥力评价研究[D].北京:北京地质大学,2015.
- [30]王玉川.民勤荒漠绿洲过渡带土地覆被变化的土壤环境效应研究[D].兰州:兰州大学,2011.
- [31]胡延杰,翟明普,武觀文,等.杨树刺槐混交林及纯林根际微生物数量及其生化强度的季节性动态研究[J].土壤通报,2002,33(3):219-222.
- [32]邢肖毅,黄懿梅,安韶山,等.黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异[J].生态学报,2013,33(18):5608-5614.
- [33]牛丹,黄懿梅,倪银霞,等.不同退耕还草方式下宁夏南部山区土壤氮素转化速率与微生物变化的耦合关系[J].环境科学研究,2015,28(10):1586-1595.