

# 黄土高原不同植被类型对土壤养分、酶活性及微生物的影响

王雅, 刘爽, 郭晋丽, 刘兵兵

(山西大学 黄土高原研究所, 山西 太原 030006)

**摘要:** [目的] 研究黄土高原不同植被类型对土壤酶活性、土壤养分和土壤微生物的影响, 为该地区植被建设提供参考。[方法] 根据研究区特点, 选择 4 种(草地、柠条、杨树、蒿地)植被类型, 采用 SPSS 软件分析各样地之间和同一样地土壤剖面不同层次的土壤酶活性和养分差异显著性和相关性, 采用 Canoco 对微生物与环境因子进行分析。[结果] ①不同植被类型下, 随土层深度的增加土壤酶活性与土壤养分均呈降低趋势。蒿地中酶活性最高, 草地 pH 值随土层深度的增加而增加, 表土层有机碳含量最高。硝态氮和铵态氮含量分别在杨树、柠条地块最高。②土壤养分间存在显著或极显著性相关, 而土壤酶活性间存在极显著性相关。土壤酶活性与土壤有机碳、硝态氮之间都存在显著和极显著性相关。③表层(0—10 cm)土壤微生物在门水平上多样性高。真菌第 I 簇菌属与土壤 pH 值、硝态氮、铵态氮呈正相关, 与土壤酶活性呈负相关; 第 II 簇菌属与土壤酶活性呈正相关关系, 而与硝态氮、铵态氮、有机碳、pH 值呈负相关关系; 第 I 簇与第 II, III 簇真菌群落间呈负相关关系。细菌与酶活性和土壤养分存在正相关和负相关。[结论] 不同植被类型影响土壤酶活性、养分及微生物多样性, 在植被建设过程中, 宜种植蒿草来改善土壤的生态环境。

**关键词:** 植被类型; 土壤酶活性; 土壤养分; 微生物多样性; 相关性分析; RDA 分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)01-0062-07

中图分类号: S154.4

**文献参数:** 王雅, 刘爽, 郭晋丽, 等. 黄土高原不同植被类型对土壤养分、酶活性及微生物的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 62-68. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.01.011. Wang Ya, Liu Shuang, Guo Jinli, et al. Influence of different vegetation types on soil nutrients, enzyme activities and microbial diversities in Loess Plateau[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 62-68.

## Influence of Different Vegetation Types on Soil Nutrients, Enzyme Activities and Microbial Diversities in Loess Plateau

WANG Ya, LIU Shuang, GUO Jinli, LIU Bingbing

(Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

**Abstract:** [Objective] The effects of different vegetation types on soil enzyme activities, nutrients and microbial diversities were studied aimed to provide support for the vegetation construction in Loess Plateau. [Methods] According to the characteristics of the study area, four vegetation types (meadow, *Caragana microphylla*, *Populus tremula* and *Artemisia*) were selected. The differences and correlations of soil enzyme activities, soil nutrients and microbial diversities in different soil layers within the same and among vegetation types were evaluated with the SPSS. The corrections of soil microbial and environmental factors were analyzed with Canoco. [Results] ① Under different vegetation types, the soil enzyme activities and soil nutrients decreased with the increasing soil depth. The enzyme activities were the highest in *Artemisia*. The pH value of the meadow increased with the soil depth, and the content of organic carbon in surface soil was the highest. The content of nitrate nitrogen was the highest in *P. tremula*, and the content of ammonium nitrogen was the

收稿日期: 2017-07-07

修回日期: 2017-08-17

资助项目: 国家自然科学基金项目“晋西北丘陵风沙区人工恢复林草植被与土壤水热环境的互馈机制”(41401618, 41501563); 山西省自然科学基金项目“晋北半干旱矿区人工恢复林灌草植被与土壤水肥环境响应机制”(201601D021117)

第一作者: 王雅(1995—), 女(汉族), 山西省运城市人, 硕士研究生, 研究方向为土地植被恢复过程。E-mail: 1538341698@qq.com.

通讯作者: 刘爽(1983—), 女(汉族), 黑龙江省安达市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事土壤生态过程、生态系统及作物模型模拟研究。E-mail: liushuang@sxu.edu.cn.

highest in *C. microphylla*. ② There was a significant or extremely significant correlation between soil nutrients, and there was an extremely significant correlation between soil enzyme activities. There was an extremely significant correlation between soil enzyme activities and soil organic carbon. There was also a significant correlation between soil enzyme activities and soil nitrate nitrogen. ③ High soil microbe diversities were found in the surface soil (0—10 cm) at the phylum level. The fungicidal community I had a positive correlation with soil pH value, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen, but negatively correlated with soil enzyme activities; fungicidal community II had a positive correlation with soil enzyme activities, but negatively correlated with nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, organic carbon and pH value. There was a negative correlation between fungicidal community I and fungicidal community II and III. There was a positive correlation between bacteria and enzyme activities and a negative correlation between bacteria and soil nutrients. [Conclusion] Vegetation types affect soil enzyme activities, nutrients and microbial diversities. In the process of vegetation construction, the *Artemisia* should be planted to improve the soil ecological environment.

**Keywords: vegetation types; soil enzyme activity; soil nutrient; soil microbial diversity; correlation analysis; RDA analysis**

土地利用作为人类利用土地各种活动的综合反映,是影响土壤肥力变化最普遍、最直接、最深刻的因素<sup>[1]</sup>。由于在不同植被类型下,地面覆被不同,对土壤养分的富集和再分配作用,以及减少水土流失引起的养分流失的作用不同,进而会对土壤酶活性和养分及其在土壤剖面上的分布产生影响。以往多数研究主要集中在利用土壤物理<sup>[2-3]</sup>和化学属性<sup>[4-5]</sup>来表征植被对土壤质量的影响。土壤中所进行的生物和生物化学过程之所以能够持续进行,得益于土壤中酶的催化作用<sup>[6]</sup>。同时,土壤酶在参与有机质分解和养分循环等相关的催化反应中起到重要作用。许多研究表明,土壤酶活性可以指示土壤生态系统的健康和可持续性以及农业实践引起的土壤质量的变化<sup>[7-9]</sup>。而且土壤中微生物能分解动植物残体,把储藏在其中的有机物质转化为土壤养分,因此土壤微生物在土壤一系列复杂生化反应中也起着重要作用,对土壤养分有较大影响,与土壤酶活性有较好的相关性<sup>[6]</sup>。

本试验拟在山西省北部忻州市五寨县种植不同植被的基础上,研究黄土高原不同植被类型(草地、杨树、柠条和蒿地)对土壤酶(过氧化氢酶、磷酸酶、蔗糖酶)活性、土壤肥力以及土壤微生物的影响,探讨该研究区土壤酶活性、土壤养分和土壤微生物的分布状况,以期为该地区植被建设提供参考。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于山西省忻州市五寨县胡会乡石咀头村,该试验区位于晋西北半干旱地带,东经 111°28′—112°,北纬 38°44′—39°17′,试验点海拔 1 400 m,昼夜

温差大,年平均气温 4.9℃左右,有效积温 2 452℃,在 1 月最冷(-13.3℃),7 月最热(20.1℃)。无霜期 120 d 左右,年平均降雨量 478.5 mm,降水集中于 7、8 月,占全年降水量的 44.3%。属于温带大陆性气候,冬季受蒙古西伯利亚高压控制,长而严寒,且雨雪偏少;夏季受海洋性季风影响,气温适中且雨量高度集中;春季干旱多风,气候干燥;秋季时间短,气候宜人。

### 1.2 研究方法

2015 年 8 月下旬选择山西省忻州市五寨地区,整体地势表现为东南偏高,西北偏低。采样区域包括 4 块样地,即草地、杨树、柠条、蒿地。其中杨树林和柠条林林龄分别为 40,25 a。研究区常见物种有蒲公英、牛筋草、三楞草、白蒿、苦豆子等。按照采样技术规范挖掘土壤剖面。每个土壤剖面的深度均为 50 cm,从上至下 10 cm 等间距取样,每个取样重量 200~300 g,重复 3 次。将同一土地利用类型下的土壤样品混合均匀。一部分土样风干过筛,用于土壤化学性质的测定。一部分鲜土样保鲜带回实验室,冷藏用于测试土壤酶活性和土壤微生物。0—10 cm 表层土壤样品均匀混合后,进行微生物多样性分析。

(1) 土壤养分测定<sup>[10]</sup>。土壤有机碳采用重铬酸钾法;土壤硝态氮、铵态氮用全自动间断化学分析仪测定(CleverChem 380);土壤 pH 值采用电位法。

(2) 土壤酶活性测定<sup>[11]</sup>。土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定;土壤蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法;磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法测定。

(3) 土壤微生物测定。委托上海派森诺生物科技有限公司进行 Illumina MiSeq 高通量测序。

### 1.3 数据处理

数据先经 Excel 10.1 整理,采用 SPSS 22.0 软件分析差异显著性和相关性,利用 Excel 10.1 和 Canoco 4.5 绘制图形。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同植被类型下土壤酶活性变化

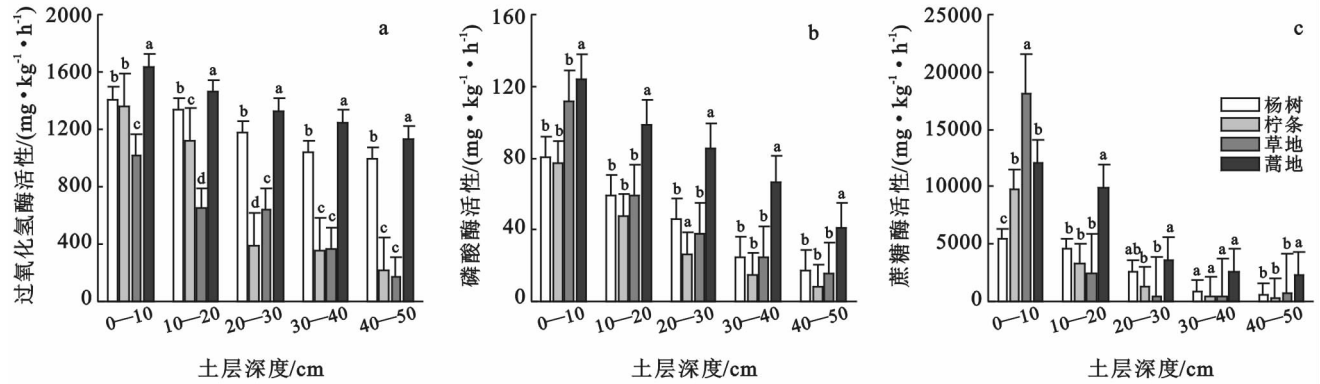
不同植被类型下土壤酶活性的结果如图 1 所示。在图 1a 的 4 个样地中,随土层深度的增加,过氧化氢酶的活性均呈降低趋势。过氧化氢酶活性从高到低依次是蒿地、杨树、柠条、草地。种植蒿草、杨树、柠条能够提高该地区土壤过氧化氢酶的活性,表明过氧化氢酶活性与植物种类有关。

在柠条样地中,表层(0—20 cm)土壤过氧化氢酶显著高于 20—50 cm 土层中酶活性。柠条地的过氧化氢酶主要集中在 0—20 cm 土层中。杨树和柠条林

表层土壤(0—10 cm)过氧化氢酶活性无显著性差异,在 30—40,40—50 cm 土层中柠条和草地样地间酶活性无显著性差异。蒿地过氧化氢酶活性与其他样地存在显著性差异。

图 1b 对土壤磷酸酶活性分析结果表明,随土层深度的增加磷酸酶活性亦呈降低趋势。磷酸酶活性从高到低依次是蒿地、草地、杨树、柠条。表明蒿地中有机磷转化能力较强。杨树、柠条、草地间磷酸酶活性无显著性差异。

图 1c 对土壤蔗糖酶活性分析表明,随土层深度的增加,土壤蔗糖酶活性呈降低趋势。除 0—10,40—50 cm 土层中草地蔗糖酶活性最高外,其余土层中草地过氧化氢酶活性均低于其他植被类型。说明草地表土层土壤有机质分解和转化速率快。杨树、柠条、草地样地在 10—50 cm 土层间土壤蔗糖酶活性无显著性差异。



注:同组不同小写字母为  $p < 0.05$  水平下差异性显著。下同。

图 1 研究区 4 种植被类型下土壤酶活性

### 2.2 不同植被类型下土壤化学性质的变化

土壤养分是土壤供给各类植物生长的必须营养元素,不同植物在生长过程中所需的土壤养分含量及相关的理化性质存在差异分布。由表 1 可知,4 种植被类型下土壤 pH 值随土层深度的增加变化不明显,草地土壤 pH 值随土层深度的增加而增加,4 样地间 pH 值变化范围在 8.91~9.54 之间,属于碱性土壤。不同土层深度下杨树样地中土壤 pH 值最高,在 0—10 cm 土层中,杨树与其它样地间均存在显著性差异,草地和蒿地在表土层 pH 值无显著性差异;10—20 cm 土层中,草地、蒿地、柠条间无显著性差异,都与杨树有显著性差异;20—30 cm 土层中,草地和蒿地间无显著性差异,与柠条和杨树间都有显著性差异;30—40 cm 土层中,草地和杨树间无显著性差异,柠条和蒿地间也无显著性差异;40—50 cm 土层中,草地和杨树间无显著性差异,与柠条和蒿地有显著性差异。

土壤有机碳含量随土层深度的增加呈降低的趋势。在 0—10 cm 土层中有机碳含量从高到低依次是草地、蒿地、杨树、柠条,4 个样地间都存在显著性差异;10—20 cm 土层中杨树和柠条间有机碳含量无显著性差异,与草地和蒿地间存在显著性差异;20—50 cm 土层中,杨树和蒿地、草地和柠条间都无显著性差异。草地 10—20 cm 土层有机碳显著低于 0—10 cm 表土层,有机碳含量比表土层减少 72.30%;杨树、柠条、蒿地 10—20 cm 土层有机碳含量分别比表土层减少了 53.56%,43.46%,21.86%,表明有机碳主要在表层土壤。

土壤硝态氮含量与有机碳有相同的变化趋势。在 0—40 cm 土层中,硝态氮含量在 4 个样地间都有显著性差异,在 40—50 cm 土层中 4 个样地间均无显著性差异,在 0—30 cm 土层中,土壤硝态氮含量高低依次是:杨树 > 蒿地 > 草地 > 柠条,30—40 cm 土层

中硝态氮含量顺序是:蒿地、杨树、草地、柠条,40—50 cm 土层硝态氮含量比表层土壤减少的量从高到低依次是蒿地(74.24%)、杨树(73.75%)、柠条(41.90%)、草地(39.47%)。

表 1 4 种植被类型土壤基本化学性状

化学性状	植被类型	土层深度/cm				
		0—10	10—20	20—30	30—40	40—50
pH 值	草地	9.05±0.01 <sup>c</sup>	9.10±0.04 <sup>b</sup>	9.13±0.04 <sup>b</sup>	9.26±0.20 <sup>a</sup>	9.34±0.13 <sup>a</sup>
	杨树	9.54±0.07 <sup>a</sup>	9.51±0.11 <sup>a</sup>	9.32±0.05 <sup>a</sup>	9.25±0.03 <sup>a</sup>	9.34±0.17 <sup>a</sup>
	蒿地	9.11±0.03 <sup>c</sup>	9.09±0.02 <sup>b</sup>	9.11±0.04 <sup>b</sup>	9.04±0.01 <sup>b</sup>	8.91±0.04 <sup>c</sup>
	柠条	9.33±0.10 <sup>b</sup>	9.09±0.02 <sup>b</sup>	9.04±0.01 <sup>c</sup>	8.94±0.05 <sup>b</sup>	9.14±0.07 <sup>b</sup>
有机碳含量/(g·kg <sup>-1</sup> )	草地	11.73±0.99 <sup>a</sup>	3.25±0.20 <sup>c</sup>	3.44±0.42 <sup>b</sup>	2.57±0.12 <sup>b</sup>	2.27±0.08 <sup>b</sup>
	杨树	8.59±0.48 <sup>d</sup>	3.99±0.22 <sup>b</sup>	3.64±0.31 <sup>a</sup>	2.90±0.12 <sup>a</sup>	3.67±0.22 <sup>a</sup>
	蒿地	9.33±0.03 <sup>b</sup>	7.29±1.09 <sup>a</sup>	4.45±0.26 <sup>a</sup>	3.66±0.20 <sup>a</sup>	3.33±0.20 <sup>a</sup>
	柠条	7.57±1.11 <sup>c</sup>	4.28±0.37 <sup>b</sup>	3.88±0.13 <sup>b</sup>	2.56±0.12 <sup>b</sup>	2.44±0.20 <sup>b</sup>
硝态氮含量/(g·kg <sup>-1</sup> )	草地	1.52±0.27 <sup>c</sup>	1.17±0.05 <sup>c</sup>	1.09±0.07 <sup>c</sup>	1.01±0.03 <sup>c</sup>	0.92±0.04 <sup>a</sup>
	杨树	3.20±0.26 <sup>a</sup>	2.45±0.15 <sup>a</sup>	1.97±0.30 <sup>a</sup>	1.27±0.05 <sup>b</sup>	0.84±0.25 <sup>a</sup>
	蒿地	2.29±0.32 <sup>b</sup>	1.77±0.40 <sup>b</sup>	1.46±0.22 <sup>b</sup>	1.40±0.06 <sup>a</sup>	0.59±0.57 <sup>a</sup>
	柠条	1.05±0.21 <sup>d</sup>	0.83±0.81 <sup>d</sup>	0.78±0.12 <sup>d</sup>	0.69±0.10 <sup>d</sup>	0.61±0.05 <sup>a</sup>
铵态氮含量/(g·kg <sup>-1</sup> )	草地	2.92±0.93 <sup>b</sup>	2.17±1.12 <sup>c</sup>	1.15±0.07 <sup>b</sup>	0.86±1.22 <sup>b</sup>	0.44±0.03 <sup>c</sup>
	杨树	5.35±0.93 <sup>a</sup>	3.73±0.87 <sup>ab</sup>	3.02±0.95 <sup>a</sup>	1.85±0.35 <sup>b</sup>	1.30±0.13 <sup>b</sup>
	蒿地	2.85±0.55 <sup>b</sup>	2.58±0.93 <sup>bc</sup>	1.82±0.27 <sup>b</sup>	1.32±0.31 <sup>b</sup>	0.72±0.01 <sup>bc</sup>
	柠条	6.40±0.88 <sup>a</sup>	4.63±0.47 <sup>a</sup>	3.46±1.03 <sup>a</sup>	2.92±1.26 <sup>a</sup>	2.62±1.07 <sup>a</sup>

土壤铵态氮含量变化趋势依然还是随土层深度的增加呈降低的趋势。不同土层深度柠条中铵态氮含量最高,0—30 cm 土层,柠条与杨树铵态氮含量无显著性差异。草地和蒿地样地间铵态氮含量无显著性差异。

### 2.3 土壤酶活性与土壤化学指标间相关性分析

从土壤酶活性与土壤养分之间的相关性(表 2)可

以看出,过氧化氢酶、磷酸酶、蔗糖酶三种酶活性间存在极显著正相关;土壤 pH 值与硝态氮含量有极显著相关,相关系数为 0.61;有机碳含量与硝态氮、过氧化氢酶、磷酸酶、蔗糖酶都有极显著性相关,相关系数分别是 0.59,0.61,0.87,0.95;硝态氮与过氧化氢酶、磷酸酶有极显著性相关,与铵态氮和蔗糖酶有显著性相关关系;铵态氮与土壤酶活性间不存在显著性相关关系。

表 2 土壤酶活性与土壤化学指标的相关性分析

指标	pH 值	有机碳	硝态氮	铵态氮	过氧化氢酶	磷酸酶	蔗糖酶
pH 值	1						
有机碳	0.08	1					
硝态氮	0.61**	0.59**	1				
铵态氮	0.32	0.49*	0.47*	1			
过氧化氢酶	0.19	0.61**	0.68**	0.39	1		
磷酸酶	-0.03	0.87**	0.65**	0.35	0.77**	1	
蔗糖酶	-0.04	0.95**	0.47*	0.41	0.57**	0.87**	1

注: \*\* 表示差异性极显著( $p < 0.01$ ); \* 表示差异性显著( $p < 0.05$ )。

### 2.4 不同植被类型下土壤微生物多样性

4 种植被类型下表层土壤在门水平上的真菌群落组成如图 2 所示。4 组土壤样地真菌群落结构在门分类水平上均有较高的多样性。主要包括子囊菌门(*Ascomycota*)、担子菌门(*Basidiomycota*)、壶菌门(*Chytridiomycota*)、纤毛门(*Ciliophora*)、球囊菌门

(*Glomeromycota*)、接合菌门(*Zygomycota*),4 个样地以子囊菌门、担子菌门、接合菌门的微生物为主要真菌类群。但在不同土地利用中各个真菌门所占的比例不尽相同。杨树土壤中担子菌门相对丰度最高,约占 59%,紧接着是子囊菌门,比例为 38%。草地、柠条、蒿地 3 者都是子囊菌门所占比例最高,分别为

89%, 66%, 67%。从图 2 累积柱状图中的真菌相对丰度可知:子囊菌门在 4 个样地中的相对丰度从高到低为:草地、蒿地、柠条、杨树,担子菌门在各组样地中相对丰度高低为:杨树、蒿地、草地、柠条,结合菌门在 4 个样地中相对丰度大小为柠条、蒿地、草地、杨树。4 种植被类型下表层土壤中门水平上的细菌群落具有很高的多样性,达到 12 个以上。主要包括酸杆菌门(*Acidobacteria*)、放线细菌门(*Actinobacteria*)、拟杆菌门(*Bacteroidetes*)、绿弯菌门(*Chloroflexi*)、芽单胞菌门(*Gemmatimonadetes*)、硝化螺旋菌门(*Nitrospirae*)、浮霉菌门(*Planctomycetes*)、变形菌门(*Proteobacteria*)、疣微菌门(*Verrucomicrobia*)、装甲菌门(*Armatimonadetes*)、衣原体门(*Chlamydiae*)、绿菌门(*Chlorobi*)、蓝藻门(*Cyanobacteria*)、厚壁菌门(*Firmicutes*)、纤维杆菌门(*Fibrobacteres*)。其中,酸杆菌门、放线细菌门、绿弯菌门、装甲菌门、拟杆菌门、厚壁菌门、浮霉菌门、变形菌门在蒿地样地中丰富度最高,而芽单胞菌门、硝化螺旋菌门、疣微菌门主要分布在杨树样地中。酸杆菌门和变形菌门在 4 个样地中所占比例最大,为 23%,其次是放线细菌门,相对丰度所占的比例为 18%,再次是绿弯菌门,相对丰度比例为 12%,浮霉菌门相对丰度所占比例为 9%,芽单胞菌门相对丰度比例为 5%,硝化螺旋菌门和疣微菌门相对丰度所占比例最小,为 3%。

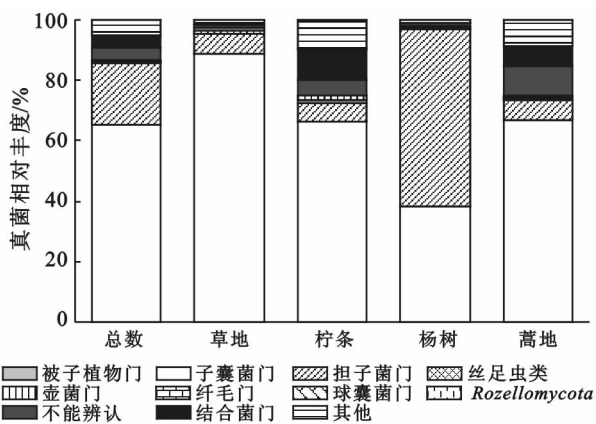
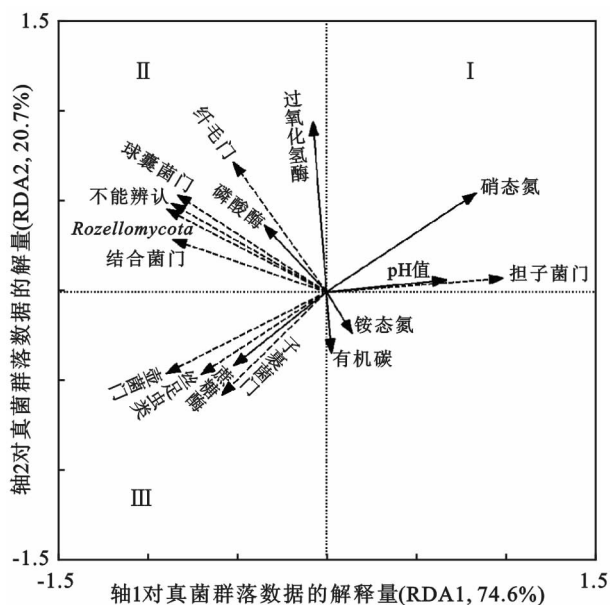


图 2 4 种植被下表层土壤中门分类水平真菌群落结构及分布

## 2.5 不同植被类型下表层土壤微生物与土壤养分和酶活性相关性

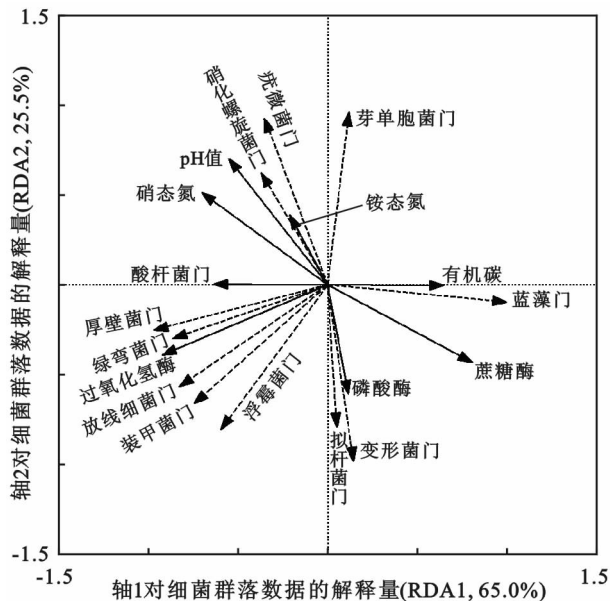
微生物的群落结构不仅受生物因素的影响,也与非生物因素(如环境因子等)有关系。根据微生物真菌群落结构与环境因子的 RDA 分析(图 3),可以把主要菌群分为 3 簇(I, II, III)。从 RDA 分析图中环境因子箭头的连线长度以及环境因子与真菌间箭头的夹角可以看出环境因子对于真菌群落的影响。第

I 簇内的担子菌门(*Basidiomycota*)与 pH 值、硝态氮、铵态氮呈正相关,而与过氧化氢酶、磷酸酶、蔗糖酶、有机碳呈负相关;第 II 簇内纤毛门(*Ciliophora*)、球囊菌门(*Glomeromycota*)、接合菌门(*Zygomycota*)与磷酸酶、过氧化氢酶呈正相关,与硝态氮、铵态氮、有机碳、pH 值成负相关;第 III 簇内壶菌门(*Chytridiomycota*)、子囊菌门(*Ascomycota*)、丝足虫类(*Cercozoa*)与蔗糖酶、有机碳呈正相关,与过氧化氢酶、pH 值、硝态氮呈负相关关系。第 I 簇与第 II, III 簇真菌群落间呈负相关关系。



注:图中实线箭头为化合物类,虚线箭头为真菌类。

图 3 真菌群落与环境因子 RDA 分析



注:图中实线箭头为化合物类,虚线箭头为细菌类。

图 4 细菌群落与环境因子 RDA 分析

根据微生物细菌群落结构与环境因子的 RDA 分析(图 4),厚壁菌门(*Firmicutes*)、绿弯菌门(*Chloroflexi*)、放线细菌门(*Actinobacteria*)、装甲菌门(*Armatimonadetes*)、浮霉菌门(*Planctomycetes*)与硝态氮、过氧化氢酶、磷酸酶呈正相关,与有机碳含量呈负相关关系;拟杆菌门(*Bacteroidetes*)、变形菌门(*Proteobacteria*)与过氧化氢酶、磷酸酶、蔗糖酶、有机碳呈正相关关系,而与 pH 值、硝态氮、铵态氮呈负相关关系;蓝藻门(*Cyanobacteria*)与磷酸酶、蔗糖酶、有机碳呈正相关,与 pH 值、硝态氮、铵态氮、过氧化氢酶呈负相关;芽单胞菌门(*Gemmatimonadetes*)与有机碳、铵态氮、硝态氮、pH 值呈正相关关系,与过氧化氢酶、磷酸酶、蔗糖酶是负相关;疣微菌门(*Verrucomicrobia*)、硝化螺旋菌门(*Nitrospirae*)与 pH 值、硝态氮、铵态氮、过氧化氢酶呈正相关,与有机碳、磷酸酶、蔗糖酶呈负相关。从微生物细菌群落结构与环境因子的 RDA 分析图中还可以看出,厚壁菌门(*Firmicutes*)、绿弯菌门(*Chloroflexi*)、放线细菌门(*Actinobacteria*)、装甲菌门(*Armatimonadetes*)、浮霉菌门(*Planctomycetes*)间有正相关关系,但与蓝藻门(*Cyanobacteria*)有负相关关系。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 土壤酶活性与土壤化学性质

土壤酶活性的高低可以作为土壤肥力评定的一个重要指标。本试验研究了草地、杨树、柠条、蒿地不同植被类型下土壤酶活性。在 4 个样地中土壤酶活性都随土层深度的增加呈降低的趋势,但同一土层中,不同植被覆盖土壤酶活性高低有差异。说明土壤酶活性的高低受到植物类型的影响。土壤过氧化氢酶、磷酸酶、蔗糖酶 3 种酶活性间存在极显著正相关,说明土壤过氧化氢酶、磷酸酶、和蔗糖酶在进行反应时,不仅具有特定的专一性,还存在一定的共性,有着共性关系的酶类在一定程度上反映土壤肥力水平的高低<sup>[12]</sup>。

蔗糖酶对增加土壤中易溶性营养物质发挥着重要作用,蔗糖酶活性与有机碳间有极显著性相关关系,相关系数为 0.947,土壤中蔗糖酶活性表征了土壤有机碳积累与分解转化规律<sup>[13]</sup>。4 个样地中蔗糖酶活性从高到低依次是蒿地、草地、柠条、杨树。说明蒿地中土壤有机碳积累和分解转化快。土壤磷酸酶活性对外界环境条件的变化较敏感,具有时效性,通过其活性可判断土壤的有机磷转化的能力<sup>[14-15]</sup>。蒿地中磷酸酶活性最高,表明蒿地有机磷转化较快。从土壤化学性状分析可知,蒿地的 pH 值最低,是由于土

壤中磷酸酶活性高的缘故。蒿地土壤酶活性和土壤养分高于其他土地利用类型,是由于蒿地中多是一年生草本植物,每年土壤中植物残体和枯枝落叶经过土壤微生物,分解成植物能够利用的养分,增加了土壤养分含量,从而提高了土壤中酶活性。

#### 3.2 土壤微生物多样性

在土壤生态系统中,微生物是土壤物质循环和能量流动的主要参与者,是土壤养分的储备库和周转库<sup>[16]</sup>。影响土壤微生物的因素很多,如土壤有机碳、土壤硝态氮、铵态氮和土壤 pH 值等。不同植被类型由于地面植被的不同,改变了土壤的理化性质,进而改变了土壤微生物群落构成,其数量、生理类群和生态功能都会产生一定变化<sup>[17-18]</sup>。

4 个样地中土壤细菌、真菌在门分类水平上具有较大多样性,细菌数量和多样性明显高于真菌,但在各个样地中所占比例有一定差异。真菌群落结构主要受磷酸酶、蔗糖酶、pH 值的影响。细菌群落主要和 pH 值、硝态氮、铵态氮、过氧化氢酶、磷酸酶、有机碳有显著正相关。土壤中养分含量的增加为微生物提供了良好的生存环境,而微生物的数量的增加,会分泌出更多的土壤酶,从而使植被能有效利用土壤中的养分。

土壤酶活性与土壤理化性质和土壤微生物有显著的相关性,研究土壤酶活性的影响因素,提高土壤酶活性,增加土壤微生物多样性,对改善土壤生态环境,提高土壤肥力有重要意义。本试验对土壤酶活性与土壤养分的相关分析表明,土壤过氧化氢酶、磷酸酶和蔗糖酶与土壤有机碳、硝态氮均呈显著正相关。RDA 分析结果表明,土壤铵态氮、硝态氮、pH 值、过氧化氢酶和磷酸酶与土壤中细菌群落有正相关关系,真菌群落主要受磷酸酶、蔗糖酶、pH 值的影响。所以能促进土壤有机碳和硝态氮积累的耕作措施也能提高土壤过氧化氢酶、磷酸酶和蔗糖酶的活性,同时增加土壤中微生物群落的多样性。因此,在植被恢复过程中,宜种植蒿草来改善土壤的生态环境。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 朱祖祥. 土壤学[M]. 北京:农业出版社,1983:276-279.
- [2] 刘梦云,常庆瑞,岳庆玲,等. 宁南山区不同利用方式土壤颗粒分形特征[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(6):201-206.
- [3] 侯春霞,骆东奇,谢德体,等. 不同利用方式对紫色土团聚体形成的影响[J]. 西南农业大学学报:自然科学版,2003,25(5):467-470.
- [4] 廖晓勇,陈治谏,刘邵权,等. 三峡库区小流域土地利用方式对土壤肥力的影响[J]. 生态环境,2005,14(1):99-

- 101.
- [5] Chen Liding, Gong Jie, Fu Bojie, et al. Effect of land use conversion on soil organic carbon sequestration in the loess hilly area, loess plateau of China[J]. *Ecological Research*, 2007, 22: 641-648.
- [6] Green D M, Oleksyszyn M. Enzyme activities and carbon dioxide flux in a sonoran desert urban ecosystem[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66: 2002-2008.
- [7] Boerner R E J, Brinkman J A, Smith A. Seasonal variations in enzyme activity and organic carbon in soil of a burned and unburned hardwood forest[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, 37: 1419-1426.
- [8] Zhang Yongmei, Zhou Guoyi, Wu Ning, et al. Soil enzyme activity changes in different aged spruce forest of the east Qinghai Tibetan plateau[J]. *Pedosphere*, 2004, 14(3): 305-312.
- [9] Balota E L, Kanashiro M, Filho A C. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems[J]. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2004, 35(4): 300-306.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 30-156.
- [11] 张丽琼, 郝明德, 藏逸飞, 等. 苜蓿和小麦长期连作对土壤酶活性及养分的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(11): 3191-3196.
- [12] 王倩, 安贵阳, 李世芳, 等. 不同覆盖模式对旱地苹果园土壤养分、微生物和酶活性的影响[J]. *西北农业学报*, 2015, 24(7): 69-74.
- [13] 赵方杰. 洛桑试验站的长期定位试验: 简介及体会[J]. *南京农业大学学报*, 2012, 35(5): 147-153.
- [14] 王俊华, 尹睿, 张华勇, 等. 长期定位施肥对农田土壤酶活性及相关因素的影响[J]. *生态环境*, 2007, 16(1): 191-196.
- [15] 颜慧, 钟文辉, 李忠佩, 等. 长期施肥对红壤水稻土磷脂脂肪酸特性和酶活性的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(1): 71-75.
- [16] 周海霞, 周向军, 许提森. 不同土壤利用类型对微生物的影响[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(15): 6415-6417.
- [17] Wu Minna, Qin Hongling, Chen Zhe, et al. Effect of long-term fertilization on bacterial composition in rice paddy soil[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2011, 47(4): 397-405.
- [18] 徐永刚, 宇万太, 马强, 等. 长期不同施肥制度对潮棕壤微生物生物量碳、氮及细菌群落结构的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(8): 2078-2085.

(上接第 61 页)

- [21] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [22] 浙江农业大学. 植物营养与肥料[M]. 北京: 中国农业出版社, 1988: 268-269.
- [23] 陈伦寿, 李仁岗. 农田施肥原理与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 1983: 185-186.
- [24] 于秀林, 任雪松. 多元统计分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 1999: 166-170.
- [25] 周虎, 吕貽忠, 杨志臣, 等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [26] 张琪, 方海兰, 史志华, 等. 侵蚀条件下土壤性质对团聚体稳定性影响的研究进展[J]. *林业科学*, 2007, 43(10): 77-82.
- [27] 龙明杰, 张宏伟, 曾繁森. 高聚物土壤结构改良剂的研究[J]. *土壤学报*, 2001, 38(4): 584-589.
- [28] 巫东堂, 王久志. 土壤结构改良剂及其应用[J]. *土壤通报*, 1990, 21(3): 140-143.
- [29] 吴增芳. 土壤结构改良剂[M]. 北京: 科学出版社, 1976: 24-36.
- [30] 孙云秀, 张奇珠. 土壤结构改良剂的改土效果及其使用的研究[J]. *干旱地区研究*, 1988, 5(3): 51-52.
- [31] 谢伯承, 薛绪掌, 王纪华, 等. 保水剂对土壤持水性状的影响[J]. *水土保持通报*, 2003, 23(6): 44-46.
- [32] 张春梅, 闫治斌, 秦嘉海, 等. 营养型改土剂对土壤理化性质和蓄水量及制种玉米经济效益的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2014, 32(4): 140-144.