

# 农牧交错带不同植被群落对土壤微生物量碳氮磷的影响

蒲洁<sup>1</sup>, 齐雁冰<sup>1,2</sup>, 王茵茵<sup>1</sup>, 楚万林<sup>1</sup>, 杨凤群<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 为了解荒漠化土地植被恢复对土壤微生物量的影响, 以地处毛乌素沙地南缘的榆林市沙生植物园植被恢复 30 年的乔木、灌木和草地 3 种植被群落下土壤为研究对象, 分析了植被恢复对土壤微生物量碳、氮、磷含量及比值的影响及其与土壤理化性质的相关性。结果表明, 农牧交错带荒漠化土地植被恢复可以明显提高表层土壤微生物碳、氮、磷的含量。土壤微生物量碳以灌木林地最高, 含量为  $288.35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 显著高于草地和乔木, 分别是乔木林地和草地的 3.99 和 2.10 倍; 土壤微生物磷在三种植被群落间差异不明显; 三种植被群落下土壤微生物碳氮比的高低为乔木林地 > 草地 > 灌木林地, 土壤微生物碳磷比表现为草地略高于乔木林地和灌木林地。相关性分析结果显示微生物量碳、氮、磷与土壤理化性质相关性极为密切, 其中与土壤养分各指标大多呈现极显著相关, 与土壤容重多为极显著负相关。说明土壤微生物量可以作为评价土壤质量的生物学指标。

**关键词:** 植被群落; 微生物量碳氮磷; 植被恢复; 农牧交错带

中图分类号: S154 文献标志码: A

## Effects of different plant communities on soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in the agro-pastoral transitional zone of northern Shaanxi Province

PU Jie<sup>1</sup>, QI Yan-bing<sup>1,2</sup>, WANG Yin-yin<sup>1</sup>, CHU Wan-lin<sup>1</sup>, YANG Feng-qun<sup>1</sup>

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China,

Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** To investigate the effects of vegetation restoration of the desertification land on microbial contents in the soil, soils underneath three different plant communities including arbor, shrub and grassland restored for 30 years in the south of maowusu sandy land of Yulin psammophyte garden were studied. The resulting effects of restoration on microbial biomass C, N, P, the relationship between them and the soil physicochemical properties were further analyzed. The results showed that vegetation restoration of the desertification land in agro-pastoral transitional zone had a significant promoting impact on microbial biomass C, N, P in the surface soil. The soil microbial biomass C of shrub was  $288.35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , which was the highest. The soil microbial biomass N of shrub was 3.99 and 2.10 times higher than that of arbor and grassland, respectively. Difference of the soil microbial biomass P among these three plant communities was not apparent. The order of soil microbial biomass C/N ratios was as arbor > grassland > shrub. The ratio of soil microbial biomass C/P of grassland was slightly higher than that of arbor and shrub. The correlation analysis results showed that the soil microbial biomass C, N, P had close correlations with soil physical and chemical properties. The soil nutrient mostly showed extremely significant correlation, and the soil bulk density mostly had extremely significant negative correlation,

收稿日期: 2014-10-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(31100516); 中央高校基本科研业务费(QN2011075); 国家高技术研究发展计划(863 计划)(2013AA102401-2)

作者简介: 蒲洁(1989—), 女, 陕西杨凌人, 硕士研究生, 主要从事植被重建的土壤质量评价工作。E-mail: ppjj1989@163.com。

通信作者: 齐雁冰(1976—), 男, 河南周口人, 副教授, 主要从事植被重建的土壤质量评价方面的教学与研究。E-mail: ybqi@nwsuaf.edu.cn。

which meant that the soil microbial biomass could be used as a biological index for soil quality evaluation.

**Keywords:** plant community; soil microbial biomass C, N, P; vegetation restoration; agro-pastoral transitional zone

退化土地在植被恢复重建过程中通过植被与土壤双重生态系统的交互作用,促进土壤的正向演替,提高土壤质量,从而达到生态修复的目的。土壤微生物是土壤质量的重要组成部分,其对环境变化敏感,对生态系统的变化具有一定的指示作用<sup>[1]</sup>。微生物直接参与土壤中有有机物质的分解、腐殖质的形成、土壤养分的转化和循环等各个生化过程,是土壤中物质转化和养分循环的驱动力<sup>[2]</sup>,它的好坏直接影响植被恢复过程中土壤的形成发育过程、土壤肥力及土壤生态环境质量<sup>[3]</sup>。因此对退化土地植被恢复过程中土壤-植被系统土壤微生物量的对比分析,对于评价植被恢复效益及筛选植被恢复模式具有一定的意义。

植被恢复过程中土壤微生物量的变化受到众多因素的影响,其中不同植被群落对土壤微生物量碳氮磷的影响非常显著。不同的植被群落由于其地上生物量以及产生的枯枝落叶的质量不同,对土壤微生物量碳氮磷具有不同的影响。国内外学者就不同植被恢复模式<sup>[2]</sup>、不同土地利用方式<sup>[4]</sup>、不同植被生长阶段<sup>[5]</sup>对土壤微生物量碳氮磷的影响进行了分析,并就土壤微生物量碳氮磷在植被恢复过程中的演变及动态变化机理等方面取得了众多成果<sup>[6-7]</sup>。然而,植被的生长过程及凋落物受到气候、土壤及管理措施等因素的影响,植被凋落物与土壤的交互影响是一个复杂的过程,对植被群落与土壤微生物碳氮磷的关系仍需进行深入的研究。且目前的研究区域往往集中在黄土高原、红壤区<sup>[2,5,7]</sup>,而对生态环境更为脆弱的农牧交错带植被恢复过程中土壤微生物量碳氮磷变化的研究甚少。

陕北农牧交错带是我国土地荒漠化最严重的地区之一,自 20 世纪 50 年代开始在该区域先后启动“三北防护林”、“退耕还林还草”等众多植被恢复工程,并取得了一定的成就。国内外学者就农牧交错带植被恢复过程中土壤及植被动态变化及质量演变过程等方面开展了较多的研究<sup>[8-9]</sup>,但未能就土壤微生物碳氮磷方面开展深入研究。因此本文以陕西省治沙站恢复 30 年的 3 种植被群落下土壤为研究对象,旨在探讨不同的植被恢复模式下对土壤微生物生物量的影响,为农牧交错带生态恢复和植被恢复模式的选择提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于陕西省榆林市榆阳区省治沙站沙生植物园(109°42'E, 38°20'N),地处黄土高原与毛乌素沙地过渡带。该园是上世纪 60 年代起以“带、片、网”相结合为主,采取丘间营造片林与沙丘表面设置沙障,障内栽植固沙植物的防风沙体系在流动沙地上建立起来的,目前该区植被覆盖度达 65% 以上,是陕西省治沙的示范点之一。园区平均海拔约 1 100 m,年均温度 10℃,月平均最低温(1 月) - 8.8℃,最高温(7 月) 22.2℃ ~ 24.1℃,气温日较差和年较差大。 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 2 600℃ ~ 3 370℃,年日照时数 2 700 ~ 2 800 h,全年太阳辐射量 590.3 ~ 632.2  $\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,全年无霜期约 150 d,年均降水约 400 mm,主要集中在 7—9 月,占全年降水 60% ~ 70%;年蒸发量是年降水量的 4 ~ 10 倍,干燥度 1.3 ~ 2.8<sup>[10]</sup>,具明显中温带半干旱气候和沙地气候特征。

### 1.2 样品采集与处理

于 2012 年 8 月在研究区域内,充分考虑海拔、坡度、坡位以及土壤状况等具有相对接近的立地条件,选择园区南部坡位均为沙丘中部,植被恢复年限均为 30 年左右的草地、灌木林地和乔木林地三种植被群落为样品采集区域。在明确植物群落组成和演替特征的基础上,按照植被群落的不同,每种植被群落下选取 3 个具代表性的位置采集剖面样品。由于植被恢复对荒漠化土壤质量的影响深度有限,根据上下层剖面的颜色、质地等性质采用发生法分两层(表层和底层)采集,表层深度为地表 3 ~ 10 cm,下层基本在 7 ~ 10 cm 以下。同时用环刀采集原状土以测定土壤容重。并以未进行植被恢复的流动沙地为对照。共采集了 33 个剖面。所采集新鲜土样过 2 mm 筛后分为两份,一份 4℃ 避光保存用于微生物生物量分析,另一份室内风干后避光保存,用于土壤基本理化性质分析。采样地概况见表 1。

### 1.3 分析项目与方法

微生物量的测定采用氯仿熏蒸-浸提法,微生物量碳和微生物量氮用硫酸钾浸提,得到的浸提液中的有机碳采用全自动有机碳分析仪(Tekmar - Dohr - mann Apollo 9000 TOC Combustion Analyzer)测

定,转换系数  $K_c = 0.45$ ;浸提液中的全氮采用连续流动注射分析仪(Bran Lubbe AA3 型流动注射分析

仪)测定,转换系数  $K_N = 0.45$ ;微生物量磷用碳酸氢钠浸提,钼锑抗比色法测定,转换系数  $K_P = 0.4$ 。

表1 采样点基本情况

Table 1 Basic situations of sampling site

植被群落 Plant community	植被类型 Vegetation types	恢复年限 Restoration years/a	海拔 Elevation /m	经度(E) Longitude(E)	纬度(N) Latitude(N)	坡度 slope /(°)	植被盖度 Vegetation coverage/%
草本 Natural grassland	沙蒿和沙米 <i>Artemisia desterorum spreng</i> and <i>agriophyllum squarrosum</i>	32	1099	109°42'38"	38°20'00"	5~7	61
灌木 Artificial shrub land	沙棘、柠条、紫穗槐和沙柳 <i>Hippophae rhamnoides linn</i> , <i>caragana micro-phylla</i> , <i>amorpha fruticosa</i> , <i>salix mongolica</i>	31	1107	109°42'52"	38°20'04"	6~8	53
乔木 Artificial timber forest	小叶杨、油松、榆树、侧柏 <i>Populus simonii carr</i> , <i>pinus tabuliformis carriere</i> , <i>elm</i> , <i>platycladus orientalis</i>	33	1093	109°42'56"	38°20'04"	7~9	57
流动沙地 Quick sand	沙米 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	0	1180	109°35'01"	38°26'19"	6~8	5

有机碳含量测定用重铬酸钾氧化-分光光度法;全氮测定用凯氏定氮法;全磷测定用碳酸钠熔融-钼锑抗比色法;速效磷采用碳酸氢钠浸提,钼锑抗比色法测定;分析方法均按照《土壤农业化学分析方法》<sup>[11]</sup>进行。

#### 1.4 数据处理

用方差分析(AVONA 分析)对不同植被群落下土壤微生物碳氮磷含量进行差异显著性检验,文中所测得数据采用 Excel 和 SPSS19.0 统计软件包进行统计分析。

## 2 结果与分析

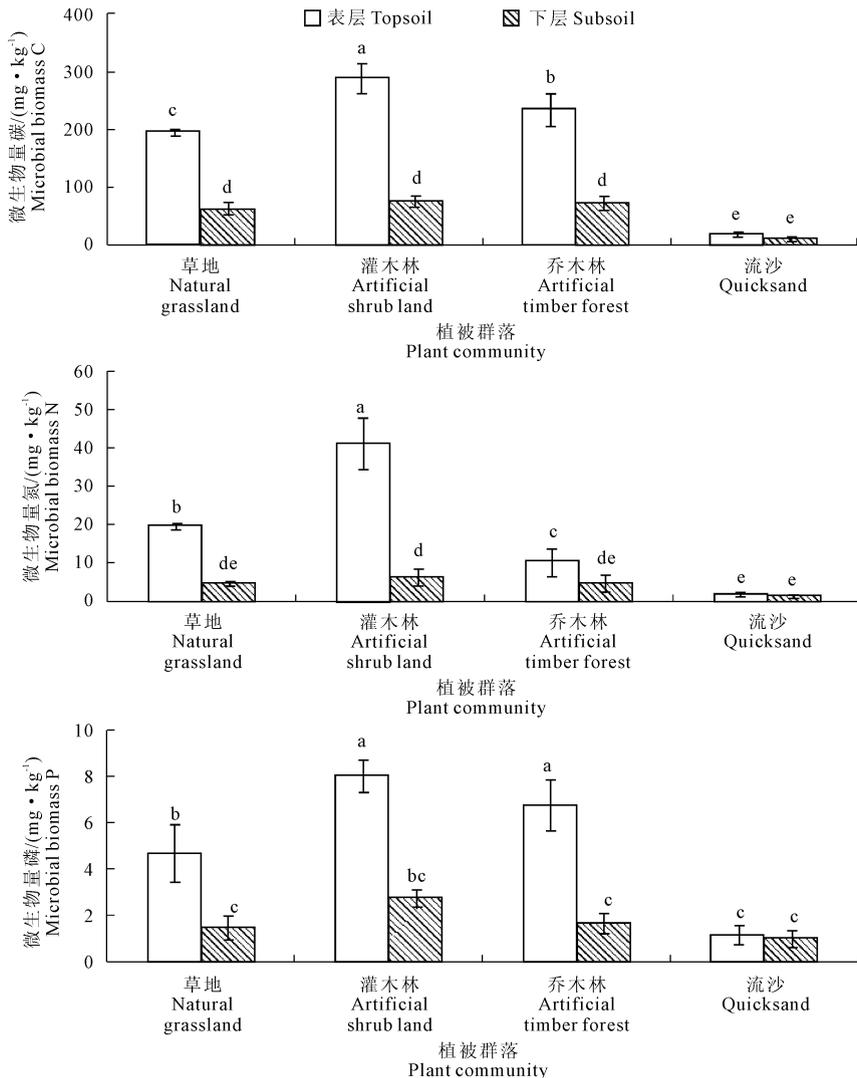
### 2.1 不同植被群落对土壤微生物量碳、氮、磷的影响

植被恢复明显提高了表层土壤微生物碳氮磷的含量(见图1)。与未采取植被恢复措施的流动沙地相比较,几种植被群落下土壤微生物量碳提高了 177.2473 ~ 268.86 mg·kg<sup>-1</sup>,微生物量氮提高了 8.40 ~ 39.49 mg·kg<sup>-1</sup>,微生物量磷提高 3.55 ~ 6.92 mg·kg<sup>-1</sup>。经过 30 年左右的植被恢复,不同植被群落下表层土壤微生物量碳、氮、磷含量具有明显的差异。土壤微生物量碳以灌木林地最高,达 288.35 mg·kg<sup>-1</sup>,其次为草地和乔木林地,土壤微生物量碳含量分别为 196.73 mg·kg<sup>-1</sup>和 235.67 mg·kg<sup>-1</sup>。土壤微生物量氮在三种植被群落下的含量高低为灌木林地 > 乔木林地 > 草地,灌木林地微生物量氮含量分别是乔木林地和草地的 3.99 和 2.10 倍。灌木林地土壤微生物量磷略高于乔木林地和草地,三种植被群

落下的含量未达到显著差异。人工植被恢复对土壤微生物量的影响深度有限,各植被群落下层土壤微生物碳氮磷含量均未有明显影响。

### 2.2 不同植被群落对土壤微生物量碳、氮、磷比值的影响

由表2可以看出,三种植被群落土壤微生物量碳氮比在 6.51 ~ 22.81 间变化,微生物量碳磷比在 27.75 ~ 45.63 之间变化,土壤微生物量碳占土壤有机碳含量的 1.39% ~ 7.35% 左右,土壤微生物量氮占土壤全氮的 2.74% ~ 15.19%,土壤微生物量磷占土壤全磷的 0.52% ~ 1.79%。与流动沙地相比较,经过 30 年左右的植被恢复,各植被群落下土壤微生物量碳氮比和碳磷比均明显降低(或降低)。不同植被群落之间具有一定的差异,三种植被群落下表层和下层土壤微生物量碳氮比均表现为:人工乔木林 > 草地 > 人工灌木林,其中人工乔木林的表层显著高于人工灌木林的表层。三种植被群落的微生物量碳磷比之间无显著性差异,但其比值大致表现为草地 > 人工乔木林 > 人工灌木林。对于微生物量碳占有机碳的比值,不同植被群落间均表现出显著性差异,表层土壤表现为人工灌木林显著高于人工乔木林与草地;下层土壤表现为人工乔木林显著高于人工灌木林,人工灌木林显著高于草地。土壤微生物量氮占全氮的比值在不同植被群落下未表现出显著性差异。微生物量磷占全磷的表层比值表现为人工灌木林 > 人工乔木林 > 草地,其中人工灌木林与人工乔木林间差异不显著。



注:不同小写字母代表不同植被群落不同土层间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

Note: The different letter means a significant difference ( $P < 0.05$ ) among different plant communities in different soil depth. The same below.

图 1 不同植被群落下土壤微生物量碳、氮、磷含量

Fig.1 The microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus under different plant communities

### 2.3 土壤微生物量碳、氮、磷与土壤理化性质的关系

如表 3 所示,土壤微生物量碳与微生物量氮、微生物量磷、有机质、碱解氮、速效磷、全氮和全磷均呈极显著正相关;微生物量氮与有机质、碱解氮、速效磷和全氮呈极显著正相关,与微生物量磷和全磷未达到显著相关;微生物量磷与有机质、碱解氮、全氮呈极显著正相关,与速效磷呈显著正相关,与全磷未达到显著相关。土壤微生物量碳和微生物量氮与土壤容重均呈极显著负相关,微生物量磷与土壤容重呈负相关。总体上看,微生物量碳、氮、磷与各理化性质指标达到很高的相关性,这说明微生物量碳、氮、磷在作为评价土壤质量的生物学指标时具有可行性和协同性。

## 3 讨论

### 3.1 植被恢复对土壤微生物量碳、氮、磷的影响

土壤中除去活体植物的体积小于  $5 \times 10^3 \mu\text{m}$  的生物总量被称为土壤微生物量,是土壤有机质活的部分,其占土壤有机质的总量虽然只有 3% 左右,但由于其可代表参与调控土壤中能量和养分循环及有机物质转化所对应微生物的数量,常被用于评价土壤的生物学特性<sup>[12]</sup>。乔、灌、草等不同的植被群落类型由于生物量及枯枝落叶质量的不同,植被恢复过程中对土壤微生物量具有明显的影响。按照每年回归土壤生物量的多少,土壤微生物生物量的高低顺序通常为草地 > 林地 > 荒地<sup>[13]</sup>,然而本研究中,流动沙地经过 30 年左右的植被恢复,土壤微生物量

表2 不同植被群落土壤微生物量比值的变化

Table 2 The ratio changes of the soil microbial biomass under different plant communities (mean  $\pm$  SE)

植被群落 Plant community	土壤深度 Soil depth /cm	微生物量 碳氮比 MBC/MBN	微生物量 碳磷比 MBC/MBP	微生物量碳 /有机碳 MBC/SOC/%	微生物量氮 /全氮 MBN/TN/%	微生物量磷 /全磷 MBP/TP/%
草本 Natural grassland	表层 Topsoil	9.95 $\pm$ 0.32ab	45.36 $\pm$ 17.88a	1.39 $\pm$ 0.01c	4.07 $\pm$ 0.10ab	0.97 $\pm$ 0.37b
	下层 Subsoil	13.36 $\pm$ 3.6ab	44.87 $\pm$ 8.69a	4.54 $\pm$ 0.70b	11.76 $\pm$ 1.38ab	0.52 $\pm$ 0.18b
人工灌木林 Artificial shrub land	表层 Topsoil	6.51 $\pm$ 0.15b	35.80 $\pm$ 3.51ab	2.19 $\pm$ 0.11c	10.14 $\pm$ 0.27ab	1.99 $\pm$ 0.1a
	下层 Subsoil	12.03 $\pm$ 2.41ab	27.75 $\pm$ 1.62ab	5.15 $\pm$ 0.08b	14.93 $\pm$ 3.21a	1.01 $\pm$ 0.07b
人工乔木林 Artificial timber forest	表层 Topsoil	22.81 $\pm$ 2.40a	35.19 $\pm$ 5.07ab	1.95 $\pm$ 0.02c	2.74 $\pm$ 0.26b	1.79 $\pm$ 0.24a
	下层 Subsoil	20.15 $\pm$ 13.66ab	45.63 $\pm$ 8.61a	7.35 $\pm$ 0.63a	15.19 $\pm$ 11.27a	0.69 $\pm$ 0.19b
流沙 Quick sand	上层 Topsoil	12.00 $\pm$ 1.78ab	14.36 $\pm$ 1.17b	3.97 $\pm$ 1.15b	4.48 $\pm$ 0.74ab	0.59 $\pm$ 0.34b
	下层 Subsoil	10.74 $\pm$ 0.57ab	13.53 $\pm$ 0.82b	3.15 $\pm$ 0.06b	4.06 $\pm$ 0.62ab	0.47 $\pm$ 0.15b

注: MBC: 微生物生物量碳; MBN: 微生物生物量氮; MBP: 微生物生物量磷; SOC: 有机碳; TN: 全氮; TP: 全磷。

Note: MBC: Microbial biomass carbon; MBN: Microbial biomass nitrogen; MBP: Microbial biomass phosphorus; SOC: Soil organic carbon; TN: Total nitrogen; TP: Total phosphorus.

表3 不同植被群落下土壤微生物量与土壤理化性质的相关性分析

Table 3 Correlation analysis among soil microbial biomass carbon, nitrogen, phosphorus and soil physiochemical properties of different plant communities

项目 Items	微生物 量碳 MBC	微生物 量氮 MBN	微生物 量磷 MBP	有机质 SOM	碱解氮 AN	速效磷 AP	全氮 TN	全磷 TP	土壤容重 Bulk density
微生物量碳 MBC	1	0.440 **	0.495 **	0.617 **	0.683 **	0.519 **	0.676 **	0.522 **	-0.562 **
微生物量氮 MBN		1	0.295	0.480 **	0.589 **	0.505 **	0.523 **	0.312	-0.480 **
微生物量磷 MBP			1	0.431 **	0.429 **	0.354 *	0.482 **	0.195	-0.158
有机质 SOM				1	0.962 **	0.735 **	0.986 **	0.637 **	-0.633 **
碱解氮 AN					1	0.725 **	0.982 **	0.658 **	-0.708 **
速效磷 AP						1	0.750 **	0.589 **	-0.557 **
全氮 TN							1	0.684 **	-0.684 **
全磷 TP								1	-0.631 **
容重 Bulk density									1

注: \* 表示存在显著相关( $P < 0.05$ ), \*\* 表示存在极显著相关( $P < 0.01$ ); 2. MBC: 微生物生物量碳; 3. MBN: 微生物生物量氮; 4. MBP: 微生物生物量磷; 5 SOM: 有机质; 6 AN: 全氮; 7. AP: 速效磷; 8. TN: 全氮; 9. TP: 全磷

Note: \* means significant correlation( $P < 0.05$ ), \*\* means highly significant correlation( $P < 0.01$ ); 2. MBC: Microbial biomass carbon; 3. MBN: Microbial biomass nitrogen; 4. MBP: Microbial biomass phosphorus; 5 SOM: Soil organic matter; 6 AN: Available nitrogen; 7. AP: Available phosphorus; 8. TN: Total nitrogen; 9. TP: Total phosphorus

碳、磷含量表现为灌木 > 乔木 > 草地, 微生物量氮含量表现为灌木 > 草地 > 乔木, 一方面是由于灌木林地在该研究区长势相对较好, 每年归还土壤的新鲜生物量大, 另一方面可能是由于不同植被的枯落物分解过程中微生物的群落与种类不同造成的。毕江涛等<sup>[14]</sup>在位于毛乌素沙漠边缘的宁夏灵武白芨滩国家级自然保护区的研究表明, 沙米荒地、白沙蒿、柠条、沙冬青的土壤微生物种群数量明显高于人工乔木林 + 樟子松。张笑培等<sup>[5]</sup>在黄土高原北部的研究表明不同植被恢复模式下土壤生物学特性的大小顺序为: 30 年刺槐 > 20 年刺槐 > 侧柏 > 荆条 > 5 年刺槐 > 苜蓿 > 农地, 这说明恢复期 30 年的灌木土壤

微生物特性高于乔木和草本。而本研究中的植被恢复年限都在 30 年左右, 因此总体上灌木林的微生物生物量效应明显优于乔木林与草地。

在荒漠化地区, 尽管经过了长期的植被恢复, 但植被对土壤理化性质及微生物量的影响深度是有限的, 本研究中不同植被群落下土壤微生物量碳、氮、磷含量均表现为表层显著高于下层土壤, 与土壤养分具有一致的变化, 其原因是植被生长过程中表层土壤水热状况较好, 根系及植被凋落物的周转速度快, 微生物在土壤中的生长和繁殖迅速, 土壤微生物生物量大, 而下层土壤微生物的生境条件明显较差<sup>[18]</sup>。

### 3.2 植被恢复对土壤微生物量碳、氮、磷间比值的影响

土壤微生物生物量碳氮比是反映土壤氮素供应能力的重要指标,其比值较小时土壤氮素的生物有效性比较高,影响到土壤微生物的群落结构。本研究中各植被群落下土壤微生物量碳氮比在 6.5 ~ 22.8 之间,明显高于赵彤等<sup>[15]</sup>(7.49 ~ 10.87)和蒋跃利等<sup>[16]</sup>(6.2 ~ 10.3)对于黄土高原的研究报道。土壤微生物量碳磷比在 27.75 ~ 45.63 之间,也明显高于薛蕙等<sup>[2]</sup>对于黄土高原地区 20.34 ~ 32.53 的研究报道,其原因可能是由于农牧交错带沙漠气候更趋干燥,降雨量更低,植物的凋落物、根系的分泌物和衰亡的根系、根际沉积物和土壤动物的排泄物、分泌物、残体以及土壤腐殖质等与黄土高原相比较更加缺乏,而这些物质是微生物生命活动能源的主要来源,严重限制了土壤微生物数量<sup>[19]</sup>,使土壤有机物质的质量较低,从而微生物碳氮比、碳磷比均高于黄土高原地区。通常认为土壤微生物量碳氮比、碳磷比与土壤有机质的质量密切相关,土壤微生物量碳氮比、碳磷比值越小,土壤有机质中的有效氮、有效磷越丰富<sup>[17,22]</sup>,这与本实验的结果一致。本研究中 3 种植被群落下土壤微生物量碳氮比值大小为:人工乔木林 > 草地 > 人工灌木林,微生物碳磷比大小为草地 > 人工乔木林 > 人工灌木林,表明人工灌木林的氮素和磷素生物有效性较高,这与土壤微生物碳氮磷及有机质等养分含量高低的趋势相一致。研究中微生物量碳、磷占土壤有机碳和全磷的比值分别为 1.39% ~ 7.35% 和 0.52% ~ 1.79%,与前人 0.65% ~ 7.24% 和 0.45% ~ 4.5% 的研究结果<sup>[5,18]</sup>相符。

### 3.3 植被恢复对土壤微生物量与理化性质关系的影响

在多种土壤微生物的综合性指标中,土壤微生物量碳能够从总体上反应环境因子与微生物活动间的相互效应,同时,微生物量碳是有机质库中活跃的部分,可以有效表征土壤总有机质的存在状态与积累情况<sup>[21]</sup>。微生物量氮具有易矿化、周期短等特点,是土壤中活性的可矿化氮源,在土壤氮素循环中具有重要意义<sup>[22]</sup>。本研究中 3 种植被群落下的土壤微生物量碳、氮与有机质呈极显著相关,相关系数分别为 0.617 与 0.480,这表明植被群落对土壤微生物量碳、氮的影响与有机物质的输入和累积有关。这主要是因为土壤中大量的有机质能够为微生物的生长提供大量的碳、氮来源<sup>[22]</sup>。微生物量氮与全氮也达到了极显著相关,相关系数为 0.523,这与许多

已有研究结果基本一致,说明不同植被群落下土壤微生物量碳、氮的变化与土壤有机质、全氮等各肥力指标的变化趋势一致,可以代表土壤肥力指标用于评价不同植被群落下土壤肥力水平高低的指标。本研究中土壤微生物量磷与速效磷达到了显著相关。然而与全磷未能达到显著相关,这与王晓龙等<sup>[23]</sup>在红壤小流域的研究成果以及彭佩钦等<sup>[4]</sup>在洞庭湖区的研究成果相一致,可能的原因是土壤全磷的含量较高,微生物活动受限于其他环境因子,使相关性表征不明显。

土壤容重与不同植被群落下土壤的微生物量碳、氮均呈现极显著负相关,与土壤微生物量磷也呈负相关,但是未达到显著效果。这说明经过 30 年的植被恢复,土壤微生物生物量逐渐升高的同时土壤容重逐渐降低,而土壤容重降低表明有机质含量升高、结构变好。说明有机质含量越高,结构越好的土壤有利于土壤中微生物的生长<sup>[7]</sup>。

## 4 结 论

不同植被群落下土壤微生物量及其比值存在差异。通过对恢复 30 年左右 10 种植被类型下土壤微生物量碳、氮、磷的分析,得出在该研究区,人工灌木林的微生物量最高,人工乔木林次之,草地最低。说明在植被恢复中期,灌木对土壤微生物量的改良作用高于乔木和草本。

不同植被下土壤微生物量碳、磷与土壤有机碳和全磷的比值具有显著性差异。土壤微生物量碳、氮、磷与土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷呈极显著或显著相关性,与土壤容重呈现极显著负相关性,表明土壤微生物量可以作为评价土壤质量的生物学指标,并且不同植被恢复模式对与土壤微生物量紧密相关的理化性质也有显著影响。

### 参 考 文 献:

- [1] He Z L, Yang X E, Baligar V C, et al. Microbiological and biochemical indexing systems for assessing quality of acid soils[J]. *Advances in Agronomy*, 2003, 78: 89-138.
- [2] 薛蕙, 刘国彬, 戴全厚, 等. 不同植被恢复模式对黄土丘陵区侵蚀土壤微生物量的影响[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(1): 20-27.
- [3] Davidson E A, Ackerman I K. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils[J]. *Biogeochemistry*, 1993, 20: 161-193.
- [4] 彭佩钦, 吴金水, 黄道友, 等. 洞庭湖区不同利用方式对土壤微生物量碳氮磷的影响[J]. *生态学报*, 2006, 26(7): 2261-2267.
- [5] 张笑培, 杨改河, 王和洲, 等. 黄土沟壑区植被恢复中土壤生物

- 学特性的响应及其评价[J]. 中国农学通报, 2010, 26(15): 323-327.
- [6] 刘雨, 郑粉莉, 安韶山, 等. 燕沟流域土壤微生物学性质对植被恢复过程的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 824-832.
- [7] 刘满强, 胡锋, 何园球, 等. 退化红壤不同植被恢复下土壤微生物量季节动态及其指示意义[J]. 土壤学报, 2003, 40(6): 937-944.
- [8] 杨凤群, 齐雁冰, 常庆瑞, 等. 农牧交错带植被恢复对土壤物理性质的影响[J]. 水土保持通报, 2014, 34(2): 57-62.
- [9] 赫晓慧, 常庆瑞, 李锐, 等. 陕北农牧交错带不同人工植被下的土壤质量研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(1): 10-12.
- [10] 忠林, 高国雄, 李会科, 等. 毛乌素沙地农田防护林结构配置研究[J]. 水土保持研究, 1995, 2(2): 99-108.
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [12] 韩永伟, 韩建国, 王堃, 等. 农牧交错带退耕还草对土壤微生物量 CN 的影响[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(5): 993-997.
- [13] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. 土壤, 1997, 29(2): 61-69.
- [14] 毕江涛, 贺达汉, 黄泽勇. 退化生态系统土壤微生物种群数量和分布对植被恢复的响应[J]. 地理科学, 2009, 29(2): 238-243.
- [15] 赵彤, 闫浩, 蒋跃利, 等. 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5615-5622.
- [16] 蒋跃利, 赵彤, 闫浩, 等. 黄土丘陵区不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮磷的影响[J]. 水土保持通报, 2013, 33(6): 62-68.
- [17] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [18] 张成娥, 陈小莉, 郑粉莉. 子午岭林区不同环境土壤微生物生物量与肥力关系研究[J]. 生态学报, 1998, 18(2): 218-222.
- [19] 张玲, 叶正钱, 李廷强, 等. 铅锌矿区污染土壤微生物活性研究[J]. 水土保持学, 2006, 20(3): 136-140.
- [20] 吴金水, 肖和艾, 陈桂秋, 等. 旱地土壤微生物磷测定方法研究[J]. 土壤学报, 2003, 40: 70-78.
- [21] Guo M J, Cao J, Wang Ch Y, et al. Microbial biomass and nutrients in soil at different stages of secondary forest succession in Ziwulin, northwest China[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 217: 117-125.
- [22] Breue L, Huisman J A, Keller T, et al. Impact of a conversion from cropland to grassland on C and N storage and related soil properties: Analysis of a 60-year chronosequence[J]. Geoderma, 2006, 133: 6-18.
- [23] 王晓龙, 胡锋, 李辉信, 等. 红壤小流域不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1): 143-147.
- [24] Cleveland C C, Liptzin D. C:N:P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass[J]. Biogeochemistry, 2007, 85(3): 235-252.

(上接第 272 页)

#### 参考文献:

- [1] 段若溪, 姜会飞. 农业气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [2] 郝荣庭. 果树栽培学总论[M]. 第三版. 北京: 农业出版社, 1997. 303.
- [3] 汪宝龙, 张明军, 魏军林, 等. 西北地区近 50a 气温和降水极端事件的变化特征[J]. 自然资源学报, 2012, 10(27): 1720-1733.
- [4] 陈少勇, 夏权, 王劲, 等. 西北地区晚霜冻结束日的气候变化特征及其影响因子[J]. 中国农业气象, 2013, 01(34): 8-13.
- [5] 柴芊, 栗珂, 刘璐. 陕西果业基地苹果花期冻害指数及预报方法[J]. 中国农业气象, 2010, 31(4): 621-626.
- [6] 刘璐, 郭兆夏, 柴芊, 等. 陕西省苹果花期冻害风险评估[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 9(27): 251-255.
- [7] 霍治国, 李世奎, 王素艳, 等. 主要农业气象灾害风险评估技术及其应用研究[J]. 自然资源学报, 2003, 18(6): 692-703.
- [8] 刘荣花, 王贺友, 朱自玺, 等. 河南省冬小麦气候干旱风险评估[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6): 1-4.
- [9] 马延庆, 刘新生, 马文, 等. 气候变化对咸阳苹果生产的影响及对策研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 259-265.
- [10] Levitt. Responses of plants to Environmental Stress[M]. New York: Academic, 1972, 697.
- [11] Levitt. Freezing temperature responses of plants to environmental Strees[M]. New York: Academic Press, 1979, 1: 267-290.
- [12] 樊林志, 周碧清, 王列珍. 果树晚霜冻害预防及补救措施[J]. 河北果树, 2002, (2): 55.
- [13] 张迎杰. 果树花期冻害的预防和补救[J]. 农村实用技术, 2009, (3): 37.
- [14] 何维勋, 冯玉香, 夏满强. 解冻速率对作物霜冻害的影响[J]. 应用气象学报, 1993, 4(4): 440-445.
- [15] 唐广, 蔡涤华, 郑大玮. 果树蔬菜霜冻与冻害的防御技术[M]. 北京: 农业出版社, 1993: 30-57.
- [16] 杨每宁. 苹果花蕾期冻害对座果率影响及预防[J]. 北方园艺, 1996, (1): 32-33.
- [17] 张晓煜, 马玉平, 苏占胜, 等. 宁夏主要作物霜冻试验研究[J]. 干旱区资源与环境, 2001, 15(2): 50-54.