

DOI:CNKI:61-1390/S.20120223.1726.023

网络出版时间:2012-02-23 17:26

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120223.1726.023.html>

毛乌素沙地不同植被对土壤有机质和生物学特性的影响

杨晓娟^{1a,2}, 廖超英^{1a,2}, 刘莉丽^{1b}, 孙长忠³, 吕丽霞^{1b}, 孙文艳^{1a,2}

(1 西北农林科技大学 a 资源环境学院, b 林学院, 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; 3 中国林业科学研究院 华北林业实验中心, 北京 102300)

【摘要】 **【目的】**研究不同植被对毛乌素沙地土壤有机质和生物学特性的影响,为沙区土地资源的可持续管理及当地脆弱生态环境的恢复重建提供科学依据。**【方法】**于2010-05在毛乌素沙地,选择海拔、坡向、坡度相近的30年踏郎、30年花棒、30年花棒×踏郎、40年樟子松、15年河北杨、20年杏树林地为研究对象,以流沙地为对照,对7块样地的土壤有机质含量、微生物数量和酶活性及三者之间的相关性进行分析,并通过最小显著差异法(LSD)评价样地之间有机质含量和生物学特性的差异显著性。**【结果】**在林龄相同的情况下,花棒×踏郎0~5 cm土层土壤有机质含量及生物学指标均高于纯林;河北杨0~5 cm土层土壤细菌数和蔗糖酶活性显著高于樟子松;杏树0~5 cm土层土壤有机质含量及微生物数量低于其他林地;与流沙相比,各样地土壤有机质含量和生物学特性各指标以0~5 cm土层增幅最为明显;土壤有机质含量和微生物数量与酶活性呈显著或极显著正相关。**【结论】**微生物数量及酶活性可作为判断土壤肥力的指标,酶活性可用来判断微生物数量的变化;沙区应营造多样性丰富的固氮混交林,减少纯林面积。

【关键词】 毛乌素沙地; 植被类型; 土壤生物学性质; 土壤有机质

【中图分类号】 S718.51⁺6

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2012)03-0077-07

Effect of different vegetations on soil organic matter and biological properties in Muus sandland

YANG Xiao-juan^{1a,2}, LIAO Chao-ying^{1a,2}, LIU Li-li^{1b},
SUN Chang-zhong³, LÜ Li-xia^{1b}, SUN Wen-yan^{1a,2}

(1 a College of Resources and Environment, b College of Forestry, 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; 3 Experimental Center of Forestry in North China, Chinese Academy of Forestry, Beijing 102300, China)

Abstract: **【Objective】** The research studied the effect of different vegetations on soil organic matter and biological properties in Muus sandland, and provide scientific proof for the sustainable management of land resources and reconstruction of vulnerable ecological environment in study area. **【Method】** In May 2010, compared with drift sand, the amounts of soil organic matter, microorganisms and enzymes activities of 30-year-old *Artemisia sphaerocephala*, *Hedysarum scoparium* and *Artemisia sphaerocephala* × *Hedysarum scoparium*, 40-year-old *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, 15-year-old *Populus hopeiensis* and 20-year-old *Armeniaca vulgaris* with the similar elevation, aspect and slope were measured, and the relationship among them was studied. Least significant difference (LSD) method was used to analyze the differences of organic

* [收稿日期] 2011-09-28

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30670339)

[作者简介] 杨晓娟(1987—),女,陕西渭南人,在读硕士,主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: sxwncc@126.com

[通信作者] 廖超英(1959—),男,安徽宿州人,教授,博士生导师,主要从事林业生态工程研究

matter and biological properties among sample sites. 【Result】 The results showed that under the similar stand age, organic matter and biological indicators of 0—5 cm soil layers under *H. scoparium* × *A. sphaerocephala* were higher than those of *A. sphaerocephala* and *H. scoparium*. The number of bacteria and sucrase activity of 0—5 cm soil layers of *P. hopeiensis* were significantly higher than those of *P. sylvestris* var. *mongolica*. Soil organic matter content and microorganisms of 0—5 cm soil layers of *A. vulgaris* were lower than those in shrub lands. The amounts of organic matter and biological properties in drift sandland had the most remarkable increase in 0—5 cm soil layers. Organic matter content and microorganisms were significant or extremely significant to enzymes activities. 【Conclusion】 Microorganisms and enzymes activities can be the indicators to judge soil fertility, and enzymes activities can be used to judge the growth of microbial. Mixed forests with nitrogen fixation should be planted in drought sand area and the area of pure forest should be reduced.

Key words: Muus sandland; vegetation types; soil biological properties; soil organic matter

近年来,将土壤微生物和酶活性等作为评价土壤肥力的生物指标已成为土壤质量研究的热点^[1-3]。已有研究表明,土壤微生物可直接参与有机质的分解和养分循环,是生态系统中物质和能量的推动力^[4];土壤酶不仅可反映微生物的活性潜力^[5],而且与土壤有机质密切相关,在养分循环等生态过程中发挥着重要作用^[6]。土壤微生物和酶一起推动着土壤中的生物化学过程,是揭示土壤性质变化规律和演变趋势的重要指标。毛乌素沙地是我国干旱和沙漠化较为严重的地区之一,也是国家天然林保护、退耕还林和“三北”防护林体系等工程的重点建设区域。以往对该区人工林土壤性质的研究多集中在土壤理化性质^[7-8]上,而对生物学特性的研究还较少。为此,本试验以该区 6 块人工林地研究对象,分析了不同植被类型和同一植被类型下不同土壤剖面层次有机质含量、微生物数量和酶活性的变化情况,探讨了不同植被类型对土壤有机质和生物学特性的影响,以期为该区土地资源的可持续管理及脆弱生态环境的恢复重建提供指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区地处毛乌素沙地东南部红石峡(109°12'E, 38°26'N),属温带半干旱大陆性季风气候,日照充足,热量丰富。该区海拔 1 100 m,年均温 7.9℃,极端最高温 37.6℃,极端最低温 -32.7℃,年均无霜期 159 d,年均蒸发量 967.3 mm,年均降水量 397 mm,雨量分配不均,年际变化大。土壤类型主要为风沙土,表土疏松,区域性植被稀少,主要的建群种为踏郎(*Artemisia sphaerocephala*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、柠条(*Caragana korshin-*

skii)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、沙柳(*Salix psammophila*)等。乔木固沙树种多为樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、河北杨(*Populus hopeiensis*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择 2010-05,在野外详细调查的基础上,选取海拔、坡向(半阳坡)、坡度相近的 30 年踏郎、30 年花棒、30 年花棒 × 踏郎混交林、40 年樟子松、15 年河北杨和 20 年杏树林地为研究对象,以流沙地为对照。每块样地设 10 m × 10 m 的灌木样方和 20 m × 20 m 的乔木样方各 3 个,样地基本状况的调查结果见表 1。

1.2.2 样品采集与分析 在每块样地中,采用“S”形 5 点采样法,采集 0~5、5~20 及 20~40 cm 土层的土壤样品。四分法留取约 500 g 土样后,去除植物根系,即刻运回室内分为 2 份,其中一份土样风干后粉碎,分别过孔径 1 和 0.25 mm 筛,用于测定土壤化学性质和酶活性;另一份土样过孔径 1 mm 筛,4℃下保存,用于土壤微生物数量的测定。

土壤有机质测定采用重铬酸钾滴定法;蔗糖酶活性采用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 滴定法^[9]测定,以 24 h 后对照(以同体积蒸馏水代替蔗糖溶液,其他操作均同)与 1 g 土所消耗 0.1 mol/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 的体积差(mL)表示,记为“mL/(g · d)”;脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法^[9]测定,以 24 h 后 1 g 土生成的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的质量(mg)来表示,记为“mg/(g · d)”;碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法^[9]测定,以 24 h 后 1 g 土生成的酚的质量(mg)来表示,记为“mg/(g · d)”;过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法^[9]测定,以 30 min 后 1 g 土消耗 0.1 mol/L KMnO_4 的体积(mL)表示,记为“U”;细菌培养采用牛肉膏-

蛋白胨培养基,放线菌采用高氏一号培养基,真菌采用马铃薯葡萄糖琼脂培养基;微生物计数采用稀释平板法^[10]。

1.2.3 数据分析 采用 LSD 法检验不同植被样地

土壤 0~5 cm 土层及同一植被不同土层土壤有机质和生物学特性的差异显著性,不同植被样地 5~20 cm 与 20~40 cm 土层有机质和生物学特性不作比较。数据统计分析采用软件 SPSS 13.0 处理。

表 1 毛乌素沙地不同植被试验样地概况

Table 1 General features of different vegetation plots in Muus sandland

植被类型 Vegetation types	树高/m Height	胸径/cm Diameter	密度/ (株·dam ⁻²) Density	草本层优势种名称及盖度 Name and cover degree of dominant species in herbaceous layers	郁闭度/% Coverage
踏郎 <i>A. sphaerocephala</i>	3.07	0.47	23	沙蒿 <i>A. desterorum</i> (56%), 沙蓬 <i>Agriophyllum squarrosum</i> (35%)	70
花棒 <i>H. scoparium</i>	2.89	0.55	19	沙蒿 <i>A. desterorum</i> (52%), 沙蓬 <i>A. squarrosum</i> (20%)	64
花棒×踏郎 <i>H. scoparium</i> × <i>A. sphaerocephala</i>	3.54	0.51	21	沙蒿 <i>A. desterorum</i> (17%), 沙蓬 <i>A. squarrosum</i> (15%)	75
樟子松 <i>P. sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	6.50	4.58	18	沙蒿 <i>A. Desterorum</i> (3%)	89
河北杨 <i>P. hopeiensis</i>	4.25	3.43	21	沙蒿 <i>A. desterorum</i> (52%), 沙蓬 <i>A. squarrosum</i> (10%)	55
杏树 <i>Armeniaca vulgaris</i>	2.34	2.67	20	—	78
流沙 Drift sand	—	—	—	—	—

2 结果与分析

2.1 不同植被对土壤有机质含量的影响

由表 2 可知,在 0~5 cm 土层,与流沙相比,各树种均能显著提高土壤有机质含量,其中花棒×踏郎有机质含量最高,较流沙增加了 18.42 倍;踏郎和樟子松次之,较流沙分别增加了 12.21 倍和 8.83

倍,且三者有机质含量均显著高于其他树种。除流沙外,各树种土壤有机质含量均随着土层深度的增加而降低;踏郎、花棒×踏郎、河北杨、杏树 0~5 cm 土层土壤有机质含量显著高于其他土层;所有样地 5~20 cm 与 20~40 cm 土层有机质含量均无显著差异;流沙地 3 个土层间有机质含量差异均不显著。

表 2 不同植被样地各土层土壤有机质含量的变化

Table 2 Content of soil organic matter in different vegetation plots and soil layers

土层 深度/cm Soil layers	踏郎 <i>A. sphaerocephala</i>	花棒 <i>H. scoparium</i>	花棒×踏郎 <i>H. scoparium</i> × <i>A. sphaerocephala</i>	樟子松 <i>P. sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	河北杨 <i>P. hopeiensis</i>	杏树 <i>A. vulgaris</i>	流沙 Drift sand
0~5	8.72±0.10 bA	3.11±0.01 dA	12.82±0.21 aA	6.49±0.40 cA	2.74±0.09 dA	2.40±0.05 dA	0.66±0.04 eA
5~20	1.86±0.11 B	0.84±0.14 AB	2.87±0.47 B	1.31±0.01 AB	1.22±0.16 B	0.83±0.10 B	0.79±0.06 A
20~40	1.70±0.02 B	0.80±0.06 B	1.50±0.27 B	0.79±0.02 B	0.53±0.18 B	0.72±0.02 B	0.49±0.06 A

注:同行数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$),同列数据后标不同大写字母者表示差异显著($P<0.05$)。表 3 同。
Note:The different lowercase letters at same line indicate differences are notable($P<0.05$),different majuscule letters at same column mean differences are notable($P<0.05$). The same as table 3.

2.2 不同植被对土壤微生物数量的影响

由表 3 可知,在 0~5 cm 土层,与流沙相比,各树种均可显著提高土壤细菌数量,其中踏郎、花棒×踏郎和河北杨土壤细菌数较多,较流沙分别增加了 9.20 倍、12.04 倍和 11.47 倍,且三者土壤细菌数显著高于其他样地。从土壤垂直剖面上看,踏郎 20~40 cm 土层土壤细菌数显著低于其他土层;除樟子松外,花棒、花棒×踏郎、河北杨、杏树和流沙土壤细菌数在 3 个土层间均存在显著差异;除流沙外,所有样地土壤细菌数均随着土层深度的增加而递减。

在 0~5 cm 土层,与流沙相比,不同样地土壤放线菌数均有所增加,但差异并不明显。在同一样地,

仅踏郎和花棒×踏郎 0~5 cm 土层土壤放线菌数显著高于 5~20 cm 土层;所有样地 5~20 cm 土层土壤放线菌数与 20~40 cm 土层无显著差异;花棒、樟子松、杏树和流沙 3 个土层间土壤放线菌数均无显著差异;除流沙外,所有样地土壤放线菌数均随着土层深度的增加而递减。

在 0~5 cm 土层,与流沙相比,除了花棒×踏郎和河北杨外,其他样地土壤真菌数的增加均不显著。从土壤垂直剖面上看,所有样地土壤真菌数均随土层深度的增加而降低;在同一样地内,仅踏郎 0~5 cm 土层土壤真菌数显著高于 5~20 cm 土层;花棒、樟子松和河北杨 5~20 cm 土层土壤真菌数显著高

于 20~40 cm 土层,其他样地 5~20 cm 与 20~40 cm 土层土壤真菌数均无显著差异。

cm 土层土壤真菌数差异不显著;杏树和流沙 3 个土

表 3 不同植被样地各土层土壤微生物数量的变化

Table 3 Number of soil microorganisms in different vegetation plots and soil layers									
微生物 Microorganisms	土层深度/cm Soil layers	踏郎 <i>A. sphaerocephala</i>	花棒 <i>H. scoparium</i>	花棒×踏郎 <i>H. scoparium</i> × <i>A. sphaerocephala</i>	樟子松 <i>P. sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	河北杨 <i>P. hopeiensis</i>	杏树 <i>A. vulgaris</i>	流沙 Drift sand	
细菌/ (×10 ⁵ ·g ⁻¹) Bacterium	0~5	180.33±1.50 aA	77.33±2.03 bA	230.33±5.22 aA	67.67±6.42 bA	220.33±2.84 aA	57.67±1.23 bA	17.67±2.74 cB	
	5~20	136.33±11.02 AB	16.33±9.61 B	165.00±9.90 B	27.33±9.50 A	92.00±14.73 B	40.67±1.53 B	21.67±4.83 A	
	20~40	32.67±11.57 C	8.67±12.43 C	16.00±4.58 C	19.17±1.04 A	4.67±4.73 C	6.67±0.50 C	4.50±3.96 C	
放线菌/ (×10 ⁴ ·g ⁻¹) Actinomycetes	0~5	10.90±2.42 aA	5.43±1.46 aA	25.50±6.75 aA	5.77±1.59 aA	12.00±1.92 aA	3.23±1.02 aA	0.10±0.10 aA	
	5~20	5.07±2.98 B	3.47±0.68 A	5.50±1.35 B	4.37±1.87 A	3.37±3.18 AB	3.00±2.51 A	0.73±1.10 A	
	20~40	4.17±0.47 B	3.20±2.05 A	2.73±1.32 B	3.37±1.98 A	0.37±0.55 B	0.97±0.55 A	0.23±0.15 A	
真菌/ (×10 ³ ·g ⁻¹) Fungus	0~5	1.49±0.51 abA	1.32±2.17 abA	2.60±1.50 aA	1.22±0.64 abA	2.44±0.61 aA	0.24±0.21 bA	0.11±0.18 bA	
	5~20	0.24±0.16 B	1.29±0.34 A	2.06±0.52 AB	1.16±0.23 A	2.04±0.44 A	0.17±0.13 A	0.10±0.74 A	
	20~40	0.10±0.10 B	0.16±0.03 B	0.30±0.07 B	0.26±0.17 B	0.68±0.78 B	0.02±0.18 A	0.003±0.01 A	

2.3 不同植被对土壤酶活性的影响

由表 4 可知,与流沙相比,各样地 0~5 cm 土层土壤蔗糖酶活性均显著提高,其中花棒×踏郎土壤蔗糖酶活性最高,较流沙增加了 77.57 倍;河北杨和踏郎次之,较流沙分别提高了 60 倍和 50.43 倍。在土壤垂直剖面上,仅踏郎和河北杨 5~20 cm 土层土壤蔗糖酶活性显著高于 20~40 cm 土层,其他样地 5~20 与 20~40 cm 土层土壤蔗糖酶活性差异均不

显著;土壤蔗糖酶活性在 0~5 cm 土层最高,并随着土层深度的增加而减小(杏树和流沙除外);杏树和流沙土壤蔗糖酶活性在 3 个土层间差异均不显著。

由表 4 还可知,与流沙相比,除花棒×踏郎外,各样地 0~5 cm 土层土壤脲酶活性增加均不显著。除花棒外,其他样地土壤脲酶活性在 3 个土层间均无显著差异;除花棒、杏树和流沙外,其他样地土壤脲酶活性均随着土层深度的增加而降低。

表 4 不同植被样地各土层土壤蔗糖酶和脲酶活性的变化

Table 4 Invertase and urease activities in different vegetation plots and soil layers						
植被类型 Vegetation types	蔗糖酶/(mL·g ⁻¹ ·d ⁻¹) Sucrase			脲酶/(mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹) Urease		
	0~5 cm	5~20 cm	20~40 cm	0~5 cm	5~20 cm	20~40 cm
踏郎 <i>A. sphaerocephala</i>	3.60±0.71 bcA	1.56±0.09 B	0.45±0.07 C	1.44±0.05 abA	1.21±0.33 A	1.02±0.06 A
花棒 <i>H. scoparium</i>	3.27±0.46 cA	1.45±0.07 B	1.05±0.07 B	1.30±0.05 abA	1.67±0.00 B	0.68±0.10 C
花棒×踏郎 <i>H. scoparium</i> × <i>A. sphaerocephala</i>	5.50±0.10 aA	1.15±0.07 B	1.05±0.78 B	2.60±0.01 aA	1.19±0.36 A	0.88±0.32 A
樟子松 <i>P. sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	2.37±0.93 dA	1.10±0.00 AB	0.25±0.21 B	1.60±0.22 abA	1.25±0.00 A	1.14±0.23 A
河北杨 <i>P. hopeiensis</i>	4.27±0.40 bA	1.20±0.28 B	0.40±0.14 C	1.74±0.56 abA	1.19±0.24 A	0.74±0.07 A
杏树 <i>A. vulgaris</i>	3.15±0.07 cdA	1.40±0.99 A	2.10±0.28 A	1.53±0.14 abA	0.83±0.00 A	1.55±0.23 A
流沙 Drift sand	0.07±0.12 eA	0.05±0.07 A	1.73±2.42 A	0.56±0.06 bA	0.47±0.07 A	0.94±0.27 A

注:同行数据后标不同大写字母者表示差异显著($P<0.05$),同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。表 5 同。

Note:The different majuscule letters in the same line indicate notable differences($P<0.05$),different lowercase letters in the same column mean notable differences($P<0.05$). The same as table 5.

由表 5 可知,在 0~5 cm 土层,与流沙相比,各样地土壤碱性磷酸酶活性均显著增加,其中花棒×踏郎最高,为流沙的 4.33 倍;樟子松、河北杨和杏树次之,分别较流沙提高了 2.79 倍、2.69 倍和 2.38 倍。在土壤垂直剖面上,0~5 cm 土层土壤碱性磷酸酶活性大多显著高于其他土层,但踏郎 0~5 与 5~20 cm 土层、杏树 0~5 与 20~40 cm 土层以及流沙 3 个土层间差异均不显著;除流沙和杏树外,其他样地土壤碱性磷酸酶活性均随着土层深度的增加而降低。

由表 5 还可知,0~5 cm 土层土壤过氧化氢酶活性以花棒×踏郎、踏郎和河北杨较高,分别较流沙提高了 3.07 倍、2.56 倍和 2.14 倍;除杏树外,其他样地 0~5 cm 土层土壤过氧化氢酶活性均显著高于流沙。除花棒×踏郎外,其他样地土壤过氧化氢酶活性随着土层深度的增加而递减;除流沙外,其他样地 0~5 cm 土层土壤过氧化氢酶活性均显著高于其他土层;除花棒和流沙外,其他样地 5~20 与 20~40 cm 土层土壤过氧化氢酶活性均无显著差异。

表 5 不同植被样地各土层土壤过氧化氢酶和磷酸酶活性的变化

植被类型 Vegetation types	碱性磷酸酶/(mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹) Phosphatase			过氧化氢酶/U Hydrogenperoxidase		
	0~5 cm	5~20 cm	20~40 cm	0~5 cm	5~20 cm	20~40 cm
踏郎 <i>A. sphaerocephala</i>	1.49±0.58 cA	1.00±0.50 AB	0.40±0.07 B	23.53±0.14 aA	5.63±0.12 B	4.73±1.81 B
花棒 <i>H. scoparium</i>	1.47±0.76 cA	0.95±0.17 B	0.65±0.10 C	14.46±0.16 bcA	7.22±0.23 B	4.25±0.17 C
花棒×踏郎 <i>H. scoparium</i> × <i>A. sphaerocephala</i>	2.08±0.25 aA	0.65±0.17 B	0.53±0.13 B	26.87±0.17 aA	5.83±0.07 B	6.98±3.57 B
樟子松 <i>P. sylvestris</i> <i>var. mongolica</i>	1.82±0.12 bA	1.08±0.21 B	0.65±0.10 C	18.38±0.07 bcA	9.82±0.11 B	5.80±0.07 B
河北杨 <i>P. hopeiensis</i>	1.77±0.10 bA	0.99±0.03 B	0.32±0.15 B	20.77±0.30 abA	10.79±0.01 B	4.33±0.16 B
杏树 <i>A. vulgaris</i>	1.62±0.12 bcA	1.15±0.35 B	1.25±0.17 AB	12.61±0.23 cdA	6.40±0.03 B	5.34±0.49 B
流沙 Drift sand	0.48±0.21 dA	0.48±0.21 A	0.41±0.19 A	6.61±0.08 dA	5.00±0.00 A	2.02±0.01 B

2.4 土壤有机质、微生物数量和酶活性的相关性

有机质在酶的催化作用下,经微生物分解,释放出植物可吸收利用的矿质养料,因此有机质、微生物数量和酶活性之间必然存在某种联系。表 6 表明,有机质与细菌、放线菌和真菌数呈显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)正相关,可见微生物数量与土壤肥力关系密切,这主要是因为有机质的输入和累积可为微生物的生长提供大量的物质能源^[11];而微生物群体又可以分解有机质,释放代谢产物,改善土壤肥力^[12]。因此,土壤微生物数量可用来衡量土壤

肥力水平的高低。

表 6 还表明,有机质与 4 种土壤酶活性均呈极显著正相关;土壤细菌数与脲酶活性呈显著正相关;土壤放线菌数与蔗糖酶、过氧化氢酶、碱性磷酸酶活性呈极显著正相关,与脲酶活性呈显著正相关;土壤真菌数与过氧化氢酶活性呈极显著正相关,与蔗糖酶、碱性磷酸酶活性呈显著正相关。由此可见,土壤有机质和微生物与酶活性存在密切的相关关系,因此可根据土壤酶活性的变化判断土壤肥力及微生物数量的变化。

表 6 土壤有机质含量、微生物数量和酶活性间的相关系数

项目 Item	有机质 Organic matter	细菌 Bacterium	放线菌 Actinomycetes	真菌 Fungus	脲酶 Urease	蔗糖酶 Sucrase	过氧化氢酶 Hydrogen-peroxidase	碱性磷酸酶 Phosphatase
有机质 Organic matter	1	0.591*	0.731**	0.513*	0.818**	0.840**	0.936**	0.903**
细菌 Bacterium		1	0.362	0.233	0.575*	0.472	0.398	0.378
放线菌 Actinomycetes			1	0.883**	0.507*	0.788**	0.826**	0.754**
真菌 Fungus				1	0.345	0.580*	0.654**	0.532*
脲酶 Urease					1	0.727**	0.733**	0.654**
蔗糖酶 Sucrase						1	0.844**	0.888**
过氧化氢酶 Hydrogenperoxidase							1	0.908**
碱性磷酸酶 Phosphatase								1

注: * 表示在 0.05 水平上相关性显著; ** 表示在 0.01 水平上相关性极显著。
Note: * means significant correlation at 0.05 level; ** means extremely significant correlation at 0.01 level.

3 讨 论

不同植被类型创造了不同的土壤环境,进而影响土壤有机质含量、微生物数量和酶活性的变化及其剖面分布特征^[13]。本研究中,踏郎、花棒和花棒×踏郎的林龄相同,但花棒×踏郎 0~5 cm 土层土壤有机质含量、细菌数及蔗糖酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶活性均显著高于踏郎和花棒,这主要是因为混交林对土壤的改良作用要优于树种单一的纯林。李亮等^[14]研究发现,具有固氮功能的柠条林地细菌数多于沙枣林和沙棘林,这与本研究结果一致,即踏郎林地细菌数显著高于花棒。踏郎为豆科树

种,固氮菌的存在可明显提高土壤中速效氮的含量^[15],而氮储量的增加又为细菌的生长提供了充足的氮源,从而促进了细菌的滋长。本研究中,樟子松林龄较踏郎和花棒×踏郎长 10 年,但樟子松 0~5 cm 土层土壤有机质含量、细菌数、过氧化氢酶和蔗糖酶活性却显著低于踏郎和花棒×踏郎。本研究调查发现,樟子松高大通直,林分基本郁闭,林内光照条件较差,林下植被稀疏,盖度仅约 3%,枯落物厚度可达 10~30 cm,针叶中含有的单宁、树脂等物质不易被降解^[16],这种环境不利于微生物的活动,因而微生物数量较少,酶活性较低。巩杰等^[17]研究表明,灌木林地土壤肥力状况优于针叶林地和山杏林

地。而本研究结果表明,花棒 0~5 cm 土层土壤有机质含量和碱性磷酸酶活性显著低于樟子松。王彦武等^[7]对该区的研究发现,同龄灌木林地土壤中的有机质和养分含量要高于樟子松林;郑顺安等^[15]亦指出,同龄刺槐对土壤的改良效果优于油松林。因此,研究结果出现差异可能与花棒生长年限较短有关。本研究中,在生长年限相差 25 年的情况下,河北杨 0~5 cm 土层土壤微生物数量、蔗糖酶、过氧化氢酶及脲酶活性均大于樟子松,且其中细菌数与蔗糖酶活性的差异在二者之间达到显著水平,这说明河北杨对土壤的改良效果要优于樟子松。本研究中,杏树 0~5 cm 土层土壤有机质含量较低,这说明杏树虽然有大量有机物质和肥料的输入,但是随着产品的输出,养分流失率亦较高,加之杏树地表草本盖度较低,返还土壤的枯落物较少,因而影响了有机质的含量和微生物的活动;流沙地无植被覆盖,无枯落物返还土壤,微生物缺乏生存的物质能源,加之表层沙粒受风力作用,因此有机质难以积累。与流沙相比,各林地及果园 0~5 cm 土层土壤有机质含量、微生物数量和酶活性明显增加,其中流沙有机质含量、细菌数、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性与其他林地差异达到显著水平。在垂直剖面上,本研究中杏树 4 种土壤酶活性的变化规律与徐恒等^[18]对榆林沙区的研究结果不一致,即土壤酶活性不是随土层加深而递减。这可能是由于大部分土壤酶是由微生物分泌的,但根系也可分泌一部分,20~40 cm 土层杏树根系较中上层多,加之锄草、施肥等因素,也可能对酶的分布造成一定影响,故导致研究结果有差异。

4 结 论

1)在林龄相同时,花棒×踏郎 0~5 cm 土层土壤有机质含量、细菌数、蔗糖酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性均显著高于踏郎和花棒,说明混交林更有利于土壤养分及其生物学性质的提高,因而应在沙区营造多样性丰富的混交林,尤其是固氮混交林,尽量减少纯林面积。樟子松 0~5 cm 土层土壤有机质含量、细菌数、蔗糖酶和过氧化氢酶活性均显著低于踏郎和花棒×踏郎;河北杨 0~5 cm 土层土壤细菌数和蔗糖酶活性显著高于樟子松,说明针叶树种对土壤的改良作用较差。果园养分流失率高、植被盖度低,有机质含量和微生物数量低于林地。在流沙地建立植被,可明显提高土壤有机质含量、微生物数量和酶活性,以 0~5 cm 土层增幅最为明显。

2)土壤有机质含量与细菌、放线菌和真菌数呈

显著或极显著正相关,因此可用微生物数量来判断土壤的肥力水平。有机质含量与酶活性均呈极显著正相关;细菌数与脲酶活性呈显著正相关;放线菌数与蔗糖酶、过氧化氢酶、碱性磷酸酶活性呈极显著正相关,与脲酶活性呈显著正相关;真菌数与过氧化氢酶活性呈极显著正相关,与蔗糖酶、碱性磷酸酶活性呈显著正相关,因此,可用酶活性作为判断土壤肥力和微生物数量变化的指标。

[参考文献]

- [1] 胡 斌,段昌群,王震洪. 植被恢复措施对退化生态系统土壤酶活性及肥力的影响 [J]. 土壤学报, 2002, 39(4): 604-608.
Hu B, Duan C Q, Wang Z H. Effect of vegetation rehabilitation measures on soil fertility and soil enzymatic activity in degrade ecosystem [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2002, 39(4): 604-608. (in Chinese)
- [2] 杨 涛,徐 慧,方德华. 樟子松林下土壤养分、微生物及酶活性的研究 [J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 253-257.
Yang T, Xu H, Fang D H. Soil nutrient, microorganism and enzyme activity in *Pinus sylvestris* var. *mongolica* forests [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(2): 253-257. (in Chinese)
- [3] 刘 雨,郑粉莉,安韶山. 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.
Liu Y, Zheng F L, An S S. Soil microbial biomass characteristics in response to vegetation restoration on abandoned lands in Yangou watershed of China [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(4): 824-832. (in Chinese)
- [4] 周 桔,雷 霆. 土壤微生物多样性影响因素及研究方法的现状与展望 [J]. 生物多样性, 2007, 15(3): 306-311.
Zhou J, Lei T. Review and prospects on methodology and affecting factors of soil micro-bial diversity [J]. Biodiversity Science, 2007, 15(3): 306-311. (in Chinese)
- [5] 张笑培,杨改河,王和洲. 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.
Zhang X P, Yang G H, Wang H Z, et al. Soil biological character and assessment of different vegetation restoration in the Gully Region of Loess Plateau [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(15): 323-327. (in Chinese)
- [6] 聂素梅,高 丽,闫志坚. 不同沙地植被对土壤酶活性的影响 [J]. 草业学报, 2010, 19(2): 253-256.
Nie S M, Gao L, Yan Z J. Effects of different sandyland vegetation on soil enzyme activities [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(2): 253-256. (in Chinese)
- [7] 王彦武,廖超英,孙长忠,等. 毛乌素沙地固沙林土壤化学性质差异 [J]. 土壤通报, 2009, 40(4): 776-780.
Wang Y W, Liao C Y, Sun C Z, et al. Soil chemical properties of sand-fixing forests in Maowusu sandland [J]. Chinese Journal

- of Soil Science,2009,40(4):776-780. (in Chinese)
- [8] 尚爱军,卜耀军,艾海舰.榆林沙区土壤水分时空格局及动态变化规律研究[J].水土保持学报,2008,22(4):86-89.
Shang A J,Bo Y J,Ai H J,et al. Research on temporal and spatial patterns and dynamic laws of soil moisture in Yulin sand district [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2008,22(4):86-89. (in Chinese)
- [9] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:中国农业出版社,1986:256-312.
Guan S Y. Soil enzyme and their research method [M]. Beijing:China Agricultural Press,1986:256-312. (in Chinese)
- [10] 杨文博.微生物学实验[M].北京:化学工业出版社,2004:217-218.
Yang W B. Laboratory experiments in microbiology [M]. Beijing:Chemical Industry Press,2004:217-218. (in Chinese)
- [11] Guo M J,Cao J,Wang C 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.
- [12] 董莉丽,郑粉莉,安娟.黄土丘陵区不同土地利用类型下土壤微生物生物量特征[J].土壤通报,2010,41(6):1370-1375.
Dong L L,Zheng F L,An J. Characteristics of the soil microbial biomass in various land-uses in the Loess Hilly-Gully Region [J]. Chinese Journal of Soil Science,2010,41(6):1370-1375. (in Chinese)
- [13] 曹伟鹏,吴发启,雷金银,等.毛乌素沙地南缘不同耕作措施土壤酶和微生物区系的特征[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):88-95.
Cao W P,Wu F Q,Lei J Y,et al. Characters of different tillage treatments on soil enzymes and microflora in the southern Muus desert [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2011,29(1):88-95. (in Chinese)
- [14] 李亮,包耀贤,廖超英,等.乌兰布和沙漠东北部沙区人工林土壤微生物及酶活性研究[J].西北植物学报,2010,30(5):987-994.
Li L,Bao Y X,Liao C Y,et al. Soil microorganism and enzyme activities under different artificial forests in the northeast of Ulanbuh desert [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2010,30(5):987-994. (in Chinese)
- [15] 郑顺安,常庆瑞.黄土高原不同类型人工林对土壤肥力的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(2):119-123.
Zheng S A,Chang Q R. The influence of different plantations on the soil fertility on Loess Plateau [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry:Natural Science Edition,2006,34(2):119-123. (in Chinese)
- [16] 白文娟,郑粉莉,董莉丽,等.黄土高原地区水蚀风蚀交错带土壤质量综合评价[J].中国水土保持科学,2010,8(3):28-37.
Bai W J,Zheng F L,Dong L L,et al. Integrated assessment on soil quality in the water-wind erosion region of the Loess Plateau area [J]. Science of Soil and Water Conservation,2010,8(3):28-37. (in Chinese)
- [17] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J].应用生态学报,2004,12(15):2292-2296.
Kong J,Chen L D,Fu B J,et al. Effects of land use and vegetation restoration on soil quality in a small catchment of the Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2004,12(15):2292-2296. (in Chinese)
- [18] 徐恒,廖超英,李晓明.榆林沙区人工固沙林土壤养分、微生物数量和酶活性研究[J].西北林学院学报,2008,23(3):12-15.
Xu H,Liao C Y,Li X M. Soil nutrient,microorganism and enzyme activities under different artificial sand-fixing forests in the sandy area of Yulin [J]. Journal of Northwest Forestry University,2008,23(3):12-15. (in Chinese)

(上接第 76 页)

- [10] 林开敏,洪伟,俞新妥,等.杉木与伴生植物凋落物混合分解的相互作用研究[J].应用生态学报,2001,12(3):321-325.
Lin K M,Hong W,Yu X T,et al Decomposition interaction of mixed litter between Chinese fir and various accompanying plant species [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2001,12(3):321-325. (in Chinese)
- [11] 黄益宗,冯宗炜,王效科.微量元素硼对林木生长的影响[J].生态学杂志,2002,21(5):26-29.
Huang Y Z,Feng Z W,Wang X K. Effects of Boron on forest growth [J]. Chinese Journal of Ecology,2002,21(5):26-29. (in Chinese)
- [12] 刘增文,高文俊,潘开文,等.枯落物分解研究方法和模型讨论[J].生态学报,2006,26(6):1993-2000.
Liu Z W,Gao W J,Pan K W,et al. Discussion on the study methods and models of litter decomposition [J]. Acta Ecologica Sinica,2006,26(6):1993-2000. (in Chinese)
- [13] Gartner T B,Gardon Z G. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter [J]. Oikos,2004,104:230-246.
- [14] 许晓静,张凯,刘波,等.森林凋落物分解研究进展[J].中国水土保持科学,2007,5(4):108-114.
Xu X J,Zhang K,Liu B,et al. Review on litter decomposition in forest ecosystems [J]. Science of Soil and Water Conservation,2007,5(4):108-114. (in Chinese)
- [15] Nilsson M C,Wardle D A,Dahlberg A. Effects of plant litter species composition and diversity on the boreal forest plant-soil system [J]. Oikos,1998,86:16-26.