

沙棘-侧柏混交林土壤养分、微生物与酶活性的研究

叶存旺¹, 翟巧绒¹, 郭梓娟², 宋西德^{2*}, 赵宏刚², 叶彦辉²

(1. 陕西省林业勘察设计院, 陕西 西安 710082; 2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要:对侧柏(*Platycladus orientalis*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)混交林及侧柏纯林土壤养分指标、微生物种群数量及酶活性进行了对比分析。结果表明,沙棘-侧柏混交显著改善了林地土壤养分状况和土壤生物学特性。土壤全 N、水解 N、全 P、速效 P、全 K、速效 K 含量都明显高于侧柏纯林,N 素增加尤为明显;混交林地与侧柏纯林地相比,土壤细菌和放线菌的种群数量均有不同程度的增大,而真菌数量却有所减小;土壤蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶活性显著提高。相关分析表明,2 种林分土壤有机质、全 N、水解 N、全 P、速效 P 和速效 K 之间显著相关或极显著负相关;真菌数量与土壤 pH 值呈极显著负相关关系,而细菌、放线菌数量及蔗糖酶、脲酶活性分别与土壤有机质、全 N、水解氮、速效 N 等主要养分指标呈显著或极显著正相关;过氧化氢酶活性除与全 K 有较高相关关系外($r=0.884^*$),与其他养分指标相关性不强。研究从一个侧面揭示了沙棘-侧柏混交造林速生丰产的机理。

关键词:沙棘;侧柏;混交林;土壤养分;土壤微生物;酶活性

中图分类号:S718.43 文献标识码:A 文章编号:1001-7461(2007)05-0001-06

Soil Nutrient, Microorganism and Enzyme Activity of *Hippophae rhamnoides* and *Platycladus orientalis* Mixed Forests

YE Cun-wang¹, ZHAI Qiao-rong¹, GUO Zi-juan², SONG Xi-de^{2*}, ZHAO Hong-gang², YE Yan-hui²

(1. Forestry Institute of Surveying and Design of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710082, China;

2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soil nutrient, the main soil biological properties, such as the populations of soil-inhabiting microorganisms and enzyme activity in the mixed forest of *Hippophae rhamnoides* and *Platycladus orientalis*, pure forest of *P. orientalis* were analyzed and compared. The results showed that compared with pure *P. orientalis* forest, *Platycladus orientalis* mixed stands could increase soil nutrient and improve enzyme activity, especially for soil nitrogen. The amounts of bacteria, actinomycetes and the activity of sucrase, urease and catalase in the mixed stand were higher than those under the pure stand, whereas their fungi amount was lower than the latter. Moreover, it was revealed that the soil nutrient was closely related to the change of biological properties and among themselves. These conclusions may help partially interpret the mechanism that mixed *P. orientalis* plantations usually grows better than pure *P. orientalis* stands.

Key words: *Hippophae rhamnoides*; *Platycladus orientalis*; mixed forest; soil nutrient; microorganism; enzyme activity;

土壤养分、微生物和酶是森林生态系统的重要组成部分。其中土壤养分含量对林木生长发育具有重要影响;微生物则参与土壤的物质循环和能量转化,是土壤中重要而又活跃的部分,而土壤酶参与土壤许多重要的生物化学过程和物质循环,二者一起

推动着土壤的代谢过程,影响着林木生长^[1,2]。长期以来,有关森林土壤养分、微生物和酶的研究受到广泛重视^[3-10]。沙棘、侧柏是我国黄土高原地区重要的造林树种,但是关于沙棘-侧柏混交林及侧柏纯林土壤养分、微生物和酶的研究尚未见报道。本文通过分

收稿日期:2007-03-04 修回日期:2007-14-20

基金项目:国家科技支撑项目:“黄土高原南部残源沟壑区水土保持构建与健康经营技术试验示范”(2006DAG03A1207)

作者简介:叶存旺(1963-),男,陕西山阳人,高级工程师,现从事林业勘察设计工作。

* 通讯作者:宋西德(1964-),男,陕西乾县人,研究员,主要从事森林培育与土壤肥力方面的研究。E-mail: sxd9335@163.com

析沙棘侧柏混交林土壤养分、微生物和酶的状况以及它们之间的关系,并与侧柏纯林对比,旨在揭示沙棘、侧柏混交造林速生丰产的机理及不同林地物质代谢和肥力发展规律,为合理利用土壤养分和科学造林提供依据。

1 研究区概况

研究区位于陕西省咸阳市永寿县,地处泾河流域中部,属渭北黄土高原丘陵沟壑区,海拔 900~1300 m,塬面地形波状起伏,坡度 5°~15°;该地年平均气温 10.8℃,极端高温 38.9℃,极端低温 -18.0℃;年平均降水量 600 mm,降水多集中在 8~9 月份;无霜期 210 d,全年日照 2 166.2 h,≥10℃年活动积温为 3 476.3℃,属暖温带大陆性季风气候。土壤为黄土母质发育而来的黄壤土。

试验所选沙棘-侧柏混交林为 17 a 的人工林,林相整齐,林木分布均匀,林分平均密度 2 500 株/hm²,株行距 2.0 m×2.0 m,株间混交;侧柏纯林为 17 a 的人工林,林相整齐,林木分化不明显,且呈均匀分布,林分平均密度 2 500 株/hm²,株行距 2.0 m×2.0 m;混交林样地内主要林下植物为莎草(*Cyperus rotundus*)和沙棘。纯林样地内主要林下植物为莎草、早熟禾(*Poa pratensis*)、蒙古蒿(*Artemisia mongolica*)、委陵菜(*Potentilla chinensis*)和白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)等。

2 材料与方法

2.1 土样采集

2005 年 10 月下旬在侧柏纯林和沙棘-侧柏混交林中选择立地条件相同,有代表性的林分,分别设置 20 m×20 m 的标准地 3 块,在标准地内采用对角线取样法,按 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 6 个层次分别采集混合土样,其中 0~100 cm 的土样用土壤袋带回试验室自然风干,供各种土壤养分和酶活性测定之用;同时采集 0~40 cm 的土样用无菌采样袋收集、封口、带回实验室放入 4℃冰箱中保存,供土壤微生物数量测定。

2.2 测定项目及方法

2.2.1 土壤养分含量分析 均采用常规土壤化学分析法^[11]。有机质(OM):重铬酸钾外加热氧化法;全 N(TN):凯氏蒸馏法;水解 N(AN):碱解扩散法;全 P(TP):NaOH 烧融钼锑抗比色法;速效 P(AP):NaHCO₃ 浸提钼锑抗比色法;全 K(TK):NaOH 烧融火焰光度法;速效 K(AK):1 mol·L⁻¹ NH₄Ac 浸提火焰光度法;pH 值:土壤 pH 值(2.5:1.0 的水土比)用酸度计法测定。

2.2.2 土壤微生物数量分析 土壤微生物测定参照《土壤微生物研究法》^[12],土壤微生物区系分析采用平板分析法;细菌采用牛肉蛋白胨培养基,以稀释度为 10⁻⁵和 10⁻⁴的土壤稀释液接种;真菌采用查氏培养基琼脂培养基,以稀释度为 10⁻³和 10⁻²的土壤稀释液接种;放线菌采用高氏 1 号琼脂培养基,以稀释度为 10⁻²和 10⁻¹的土壤稀释液接种。各区系分析均采用表面接种法接种,且每一处理设 3 个重复,接种后置 25~28℃温箱内培养,细菌在 18~36 h 内检查,真菌在 3~5 d 内检查,放线菌在 7~10 d 内检查,并对其菌落进行计数。

2.2.3 土壤酶活性分析 蔗糖酶采用 3,5 二硝基水杨酸比色法;过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法;脲酶采用靛酚蓝比色法^[13]。

2.3 数据处理

数据分析采用传统的统计学和 DPS 软件进行^[14]。

3 结果与分析

3.1 土壤化学性状

3.1.1 有机质和土壤 pH 值 土壤有机质被认为是土壤质量的一个重要的指示指标,它是土壤养分的源与库,并能改善土壤的物理和化学性状,促进土壤生物活动^[15,16]。森林生态系统中有有机质的积累在很大程度上受到凋落物和细根的影响^[17]。与侧柏纯林地相比(表 1),混交林地对应各土层的土壤有机质含量明显增加,最高达到纯林的 1.1 倍。由于针叶纯林对土壤有机质的影响较弱^[18],改为针阔混交林后,凋落物量大,显著增加了土壤有机质,促进了林木的生长。

土壤 pH 值是土壤酸碱性的最直接反映。从表 1 可以看出,无论是沙棘-侧柏混交林还是侧柏纯林,都表现出类似的规律:即林地土壤表层的 pH 值最低,但随剖面深度的增加,先有所升高而后又减小的变化趋势;而从 2 种林分对应各土层的 pH 值看,混交林各层都低于相应的侧柏纯林。通过显著性比较,除 40~60 cm 土层,混交林与纯林 pH 值各层间达到显著水平。其原因主要是侧柏纯林凋落物灰分少,含树脂、单宁等酸性物质,造成土壤酸性较强,而混交林中阔叶树种的凋落物在一定程度上缓和了土壤的酸性。这在某种程度上说明营造混交林会缓解针叶纯林导致的土壤酸化问题。

3.1.2 土壤养分含量 从表 1 总体看,沙棘-侧柏混交林地各主要养分指标含量均高于侧柏纯林。全 N 含量平均值为侧柏纯林的 105.94%;水解 N 含量 111.69%;全 P 为 102.85%;速效 P 为 105.96%;全

K 为 113.56%；速效 K 为 107.59%。侧柏纯林养分贫乏，与固 N 树种沙棘混交后，土壤养分含量，尤其 N 素明显增加的原因：一是沙棘为固 N 树种，能与 Frankia 氏菌共生结瘤参与生物固 N 过程；二是沙棘为阔叶树种，枝叶凋落量大，养分含量高，能在短期内比侧柏的凋落枝叶更快地分解，并以养分的形式淋溶渗入到土壤中^[1]，从而提高了土壤肥力。

各种养分在剖面中的含量具有明显的层次性，表层(0~10 cm)养分含量最高，向下逐渐降低。经显著性比较，表层与下层养分含量差异显著，而下层 20~40、40~60 cm 间养分含量差异不显著。这种差异的出现与根系的分布特征有一定的关系，沙棘根系垂直分布范围比侧柏浅，对表层养分的富集作用较大。

树木根区土壤剖面不同层次养分测定值变异系数愈大，表明树木对土壤肥力的影响愈显著。从表 2 可知，混交林土壤剖面不同层次间养分 8 种测定值变异系数的排序为：水解 N(54.11%)>有机质(26.19%)>全 N(20.69%)>速效 P(16.43%)>全 P(13.59%)>速效 K(8.91%)>全 K(4.19%)>pH 值(0.61%)。侧柏纯林 8 种肥力测定值变异系数的排序与之类似。这说明 N 素与有机质是层次间变异最大的组分，速效 K、全 K 和 pH 值变异较小，速效 P 和全 P 介于其间。这表明植被对土壤有机质及速效养分的影响较大。变异最大的组分水解 N、有机质和全 N 在不同林分间，均表现出混交林>纯林，说明侧柏与固 N 树种沙棘混交可使林地水解 N、有机质和全 N 大幅增加。

表 1 沙棘侧柏混交林及纯林土壤养分分析

Table 1 Soil nutrients statistics

林型	层次/cm	pH 值	有机质/(g·kg ⁻¹)	全 N/(g·kg ⁻¹)	水解 N/(mg·kg ⁻¹)	全 P/(g·kg ⁻¹)	速效 P/(mg·kg ⁻¹)	全 K/(g·kg ⁻¹)	速效 K/(mg·kg ⁻¹)
沙棘-侧柏混交林	0~10	8.17	13.85	1.35	37.56	1.84	2.21	21.50	124.07
	10~20	8.24	12.57	1.13	25.26	1.61	1.97	20.74	115.23
	20~40	8.31	10.69	1.01	18.12	1.53	1.89	19.31	109.58
	40~60	8.26	8.76	0.93	16.78	1.44	1.62	20.18	103.15
	60~80	8.22	7.98	0.89	10.14	1.34	1.51	21.60	101.64
	80~100	8.19	7.15	0.75	9.37	1.27	1.47	20.34	98.31
	平均	8.23	10.17	1.01	19.54	1.51	1.78	20.61	108.66
侧柏纯林	0~10	8.09	12.35	1.26	34.10	1.77	2.09	19.70	115.11
	10~20	8.14	11.89	1.09	21.67	1.59	1.88	18.85	104.20
	20~40	8.27	10.42	0.91	17.02	1.50	1.74	18.30	98.30
	40~60	8.26	8.45	0.87	13.28	1.41	1.49	18.68	97.92
	60~80	8.20	7.51	0.83	9.74	1.29	1.44	16.60	96.10
	80~100	8.15	6.93	0.76	9.15	1.22	1.43	16.77	94.38
	平均	8.19	9.62	0.95	17.49	1.46	1.68	18.15	101.00

表 2 沙棘侧柏混交林及纯林土壤剖面养分描述性统计分析结果

Table 2 The vertical layer distribution characteristics of soil nutrients

养分项目	林分类型	样本数	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数
pH 值	MS	6	68.17	8.31	8.23	0.05	0.61
	PS	6	8.09	8.27	8.19	0.07	0.87
有机质/(g·kg ⁻¹)	MS	6	7.15	13.85	10.17	2.66	26.19
	PS	6	6.93	12.53	9.62	2.34	24.30
全 N/(g·kg ⁻¹)	MS	6	0.75	1.35	1.01	0.21	20.69
	PS	6	0.76	1.26	0.95	0.19	19.64
水解 N/(mg·kg ⁻¹)	MS	6	9.37	37.56	19.54	10.57	54.11
	PS	6	9.15	34.10	17.49	9.39	53.69
全 P/(g·kg ⁻¹)	MS	6	1.27	1.84	1.51	0.21	13.59
	PS	6	1.22	1.77	1.46	0.20	13.82
速效 P/(mg·kg ⁻¹)	MS	6	1.47	2.21	1.78	0.29	16.43
	PS	6	1.43	2.09	1.68	0.27	16.15
全 K/(g·kg ⁻¹)	MS	6	19.31	21.50	20.61	0.86	4.19
	PS	6	16.60	19.70	18.15	1.22	6.75
速效 K/(mg·kg ⁻¹)	MS	6	98.31	124.07	108.66	9.68	8.91
	PS	6	94.38	115.11	101.00	7.67	7.59

注：表中 MS 代表沙棘-侧柏混交林；PS 代表侧柏纯林。

3.2 林地土壤生物学性状

3.2.1 土壤微生物 在森林生态系统中,土壤微生物的分布与活动,一方面反映环境、生物因子对微生物的分布习性、群落组成、种群演替及其功能的影响,另一方面说明对树木生长、土壤肥力及物质循环和能量转化的现状和趋势的相关性^[19]。土壤微生物的数量分布,不仅可以敏感地反映土壤环境质量的

变化,而且亦是土壤中生物活性的具体体现。由表 3 可知,沙棘-侧柏混交林和侧柏纯林土壤微生物的数量差异明显,细菌最多,放线菌次之,真菌最少。其中,以混交林土壤细菌和放线菌数量最多,分别比侧柏纯林高 69.9%和 95.4%,而其真菌数量小于后者,比侧柏纯林低 28.0%,原因需进一步探讨。

3.2.2 土壤酶活性

表 3 沙棘侧柏混交林及纯林土壤微生物、酶活性分析

Table 3 Soil microorganism quantity and enzyme activity statistics

林分类型	层次/cm	细菌 /($\times 10^7$ 个 \cdot g $^{-1}$)	放线菌 /($\times 10^5$ 个 \cdot g $^{-1}$)	真菌 /($\times 10^4$ 个 \cdot g $^{-1}$)	酶活性		过氧化氢酶/ (mL \cdot g $^{-1}$ \cdot min $^{-1}$)
					蔗糖酶 /(mg \cdot g $^{-1}$ \cdot d $^{-1}$)	脲酶 /(mg \cdot g $^{-1}$ \cdot d $^{-1}$)	
沙棘侧柏混交林	0~10	4.22	5.10	4.81	2.93	0.36	17.6
	10~20	1.74	2.33	3.23	2.69	0.28	18.2
	20~40	1.33	1.43	2.16	2.21	0.23	16.4
	平均	2.43	2.95	3.40	2.61	0.29	17.4
侧柏纯林	0~10	2.15	2.41	6.94	2.80	0.33	16.4
	10~20	1.18	1.25	4.47	2.49	0.25	16.2
	20~40	0.97	0.86	2.76	1.88	0.20	16.0
	平均	1.43	1.51	4.72	2.39	0.26	16.2

土壤酶主要来源于植物根系和微生物的活动,它参与土壤各种生物化学过程和物质循环,其活性的高低不仅可以反映土壤生物化学过程的强度和方向,而且还能客观地反映土壤 C、N、P 等的动态变化^[13]。蔗糖酶(水解酶)对增加土壤中易溶性营养物质起着重要的作用。一般情况下,土壤肥力越高,蔗糖酶活性越强;脲酶(水解酶)直接参与土壤中含 N 有机化合物的转化,其活性强度常用来表征土壤 N 素供应程度^[20];过氧化氢酶(氧化还原酶),是细胞内的一种氧化还原酶,在微生物细胞体外仍然能保持其活性^[19]。纯林与混交林由于树种组成不同,土壤酶活性也会产生一定的差异。通过对土壤酶活性的分析有助于了解纯林与混交林在物质转化上的不同,对揭示混交林的增产机理具有重要意义。

从表 3 可以看出,2 种林分除过氧化氢酶外,脲酶、蔗糖酶的活性和微生物数量在垂直分布上都表现出上层高于下层的规律;混交林土壤各土层主要酶活性和微生物数量也普遍高于纯林。混交林的蔗糖酶活性平均值为侧柏纯林的 92.0%,脲酶活性为 111.5%,过氧化氢酶为 107.4%。

3.3 主要肥力因子间的相关性分析

对人工林土壤各养分指标间相关分析结果表明(表 4),土壤有机质、全 N、水解 N、全 P、速效 P 和速效 K 间显著相关或极显著相关,说明该土壤中有机质的转化与 N 素循环及有机 P 的转化之间关系密

切且相互影响,即这 6 种肥力因子间存在着相互刺激机制,这与赵林森等研究结论相似^[6];土壤 pH 值与各主要肥力因子间均存在负相关关系,但未达显著水平;除全 K 外,有机质与各主要肥力因子间均在极显著正相关关系 [r (有机质-全 N)=0.956**, r (有机质-碱解 N)=0.941**, r (有机质-全 P)=0.972**, r (有机质-速效 P)=0.980**, r (有机质-速效 K)=0.891**],全 N 和水解 N 与有机质具有类似规律。

3.4 酶活性、微生物与主要肥力因子间的相关性分析

研究表明,许多土壤养分指标与土壤酶活性及微生物数量之间存在着一定的相关性。为了探讨研究地区沙棘侧柏混交林和纯林中土壤酶、微生物与土壤肥力乃至林木生长间的关系,对测定的酶活性指标、微生物数量与养分指标进行了相关分析(表 5)。从表 5 可以看出,土壤细菌、放线菌和真菌与土壤 pH 值均呈负相关关系,其中真菌与 pH 值达到极显著水平,说明随着土壤 pH 值上升,碱性增强,导致多数适于在中性或近中性土壤中生活的微生物总量减少。土壤细菌、放线菌与土壤有机质、全 N、水解 N、全 P、速效 P、全 K 和速效 K 之间显著相关或极显著相关,说明微生物数量的增加,有助于提高土壤有机质、N、P、K 的供应水平。土壤真菌与土壤 pH 值、有机质、全 N、水解 N、全 P、速效 P 和速效 K 含量之间相关性不强。

表 4 沙棘侧柏混交林及纯林主要肥力因子间的相关系数

Table 4 Correlation coefficients among soil nutrients

	pH	有机质	全 N	水解 N	全 P	速效 P	全 K	速效 K
pH	1.000	-0.187	-0.316	-0.354	-0.233	-0.223	-0.066	-0.183
有机质		1.000	0.956**	0.941**	0.972**	0.980**	0.434	0.891**
全 N			1.000	0.979**	0.980**	0.965**	0.494	0.943**
水解 N				1.000	0.980**	0.961**	0.453	0.926**
全 P					1.000	0.974**	0.473	0.909**
速效 P						1.000	0.464	0.932**
全 K							1.000	0.644*
速效 K								1.000

注: $n=12$, *: $p<0.05$, $|r|=0.5760$; **: $p<0.01$, $|r|=0.7079$.

表 5 酶活性、微生物与主要肥力因子间的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between soil nutrients and microorganism as well as enzyme activity

	pH	有机质	全 N	水解 N	全 P	速效 P	全 K	速效 K
细菌	-0.376	0.862*	0.877*	0.885*	0.899*	0.913*	0.857*	0.883*
真菌	-0.960**	0.623	0.744	0.781	0.783	0.650	0.261	0.438
放线菌	-0.353	0.892*	0.884*	0.882*	0.888*	0.921**	0.909*	0.914*
蔗糖酶	-0.683	0.955**	0.960**	0.904*	0.891*	0.929**	0.831*	0.890*
脲酶	-0.670	0.944**	0.994**	0.990**	0.985**	0.986**	0.829*	0.917**
过氧化氢酶	0.032	0.689	0.522	0.476	0.420	0.561	0.884*	0.732

注: $n=6$, *: $p<0.05$, $|r|=0.8114$; **: $p<0.01$, $|r|=0.9170$.

大量的研究表明,森林土壤和农业土壤的酶活性与土壤物理性质和化学性质之间存在着良好的相关性^[6,9,21],通过对沙棘-侧柏混交林及侧柏纯林土壤肥力因素和酶活性进行相关分析(表 5),可以看出,土壤蔗糖酶除与土壤 pH 值相关性不强外,与其他 7 种主要肥力因子均呈现出极显著或显著正相关关系。这说明蔗糖酶活性随土壤 pH 值增大会明显降低,而土壤有机质含量的增加,会增强其催化能力,加速 N 素、P 素和 K 素的释放。蔗糖酶活性能在很大程度上反映土壤的营养水平,可以非常明显地表征土壤的熟化程度。

脲酶与蔗糖酶具有类似规律,即它与除土壤 pH 值之外的 7 种主要土壤肥力因子间存在极显著或显著正相关关系。说明随土壤 pH 值的增高,脲酶的酶促作用减弱,而有机质含量多,酶促反应的底物浓度增大,可以刺激脲酶活性,加速有机质的水解,改善 N 素、P 素和 K 素的供应。

过氧化氢酶可促进土壤中各种化合物的氧化,防止过氧化氢积累对生物体造成毒害。研究表明,过氧化氢酶活性除与全 K 有较高相关关系外($r=0.884^*$),与其他养分指标均未达到显著水平。

4 结论与讨论

与侧柏纯林地相比,混交林林地对应各土层的土壤有机质含量明显增加,最高达到纯林的 1.1 倍;混交林各土层 pH 值一般均低于相应的侧柏纯林;这是因为针叶纯林对土壤有机质的影响较弱,改为针阔混交林后,凋落物量大,显著增加了土壤有机质,并在一定程度上缓和了土壤的酸性,促进了林木的生长。

从总体看,沙棘-侧柏混交林地的土壤全 N、水解 N、全 P、速效 P、全 K、速效 K 含量均高于侧柏纯林;在剖面上,各种养分含量具有明显的层次性,表层养分含量最高,向下表现出逐渐降低的趋势。

不同林分相比,混交林土壤中细菌、放线菌数量比纯林显著增多,说明沙棘-侧柏混交能有效增加土壤微生物种群数量,改善土壤养分状况;而真菌数量却低于纯林,这可能与纯林地细菌和放线菌的数量减少有利于真菌得到更多的营养有关。

混交林各土层蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶活性普遍高于侧柏纯林,其变化趋势与土壤养分含量和微生物数量的变化趋势极为相似。沙棘-侧柏混交后提

高了土壤蔗糖酶、过氧化氢酶、脲酶活性,使生长季各种酶活性维持较高的水平,从而更有利于林分的生长发育。

相关分析表明,土壤有机质、全 N、水解 N、全 P、速效 P 和速效 K 间显著相关或极显著相关,说明该土壤中有有机质的转化与 N 素循环及有机 P 的转化之间关系密切且相互影响;真菌数量与土壤 pH 值呈极显著负相关关系,而细菌、放线菌数量及蔗糖酶、脲酶活性分别与土壤有机质、全 N、水解氮、速效 N 等主要养分指标呈显著或极显著正相关;过氧化氢酶活性除与全钾有较高相关关系外($r = 0.884^*$),与其他养分指标相关性不强。

总之,营造沙棘-侧柏混交林能改善林地土壤 N、P、K 以及 C 素供应状况,增加土壤微生物种群数量,提高有关土壤酶活性,本试验结果表明,微生物及酶活性与土壤肥力间具有相互促进作用和协同发展的关系,土壤微生物种群数量和酶活性大小可以作为表征土壤肥力状况的重要生物学指标,并从侧面揭示了沙棘-侧柏混交林比例侧柏纯林速生丰产的机理。

参考文献:

薛立,陈红跃,邢立刚.湿地松混交林地土壤养分、微生物和酶活性的研究[J].应用生态学报,2003,14(1):157-159.

张萍.西双版纳次生林土壤微生物生态分布及其生化特性的研究[J].生态学杂志,1995,14(1):20-26.

陈疏竣,李传涵.杉木幼林地土壤酶活性与土壤肥力[J].林业科学研究,1993,6(3):321-326.

焦如珍,杨承栋,屠星南,等.杉木人工林不同发育阶段林下植被、土壤微生物、酶活性及养分的变化[J].林业科学研究,1997,10(4):373-379.

雷瑞德,党坤良,张硕新,等.秦岭南坡中山地带华北落叶松人工林对土壤的影响[J].林业科学,1997,33(5):463-470.

赵林森,王九龄.杨槐混交林生长及土壤酶与肥力的相互关系[J].北京林业大学学报,1995,17(4):1-7.

郑文教,王良睦,林鹏.福建和溪亚热带雨林土壤活性的研究

[J].生态学杂志,1995,14(2):16-20.

- [8] 孙翠玲,郭玉文,佟超然,等.杨树混交林地土壤微生物、酶活性的变异研究[J].林业科学,1997,33(6):488-496.
- [9] 陆梅,田昆,陈玉惠,等.高原湿地纳帕海退化土壤养分与酶活性研究[J].西南林学院学报,2004,24(1):36-41.
- [10] 许景伟,王卫东,李成.不同类型黑松混交林土壤微生物、酶及其与土壤养分关系的研究[J].北京林业大学学报,2000,22(1):51-55.
- [11] 南京农业大学.土壤农化分析(第二版)[M].北京:农业出版社,1986.
- [12] 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.
- [13] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [14] 唐启义,冯明光.实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M].北京:科学出版社,2002.
- [15] Campbell C A, Mcconkey B G, Zentner R P, et al. Tillage and crop rotation effects on soil organic C and N in a coarse-textured Typic Haploboroll in Southwestern Saskatchewan [J]. Soil and Tillage Research, 1996, 37:3-14.
- [16] Moria de la Paz J. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35:302-306.
- [17] Morrison I K, Foster N W. Fifteen-year change in forest floor organic and element content and cycling at the Turkey Lakes Watershed[J]. Ecosystems, 2001, 4:545-554.
- [18] 陈金林,俞元春,罗汝英,等.杉木、马尾松、甜槠等林分下土壤养分状况研究[J].林业科学研究,1998,11(6):586-591.
- [19] Hernandez T, Garcia C, Reinhardt I. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils[J]. Biology and Fertility of Soils, 1997, 25:109-116.
- [20] Perucci P, Bonciarelli U, Bianchi A A, et al. Effect of rotation, nitrogen fertility and management of crop residues on some chemical, microbiological and biochemical activity of soils under cultivation[J]. Biology and Fertility of Soils, 1997, 13:242-247.
- [21] 薛立,陈红跃,徐英宝,等.混交林地土壤物理性质与微生物数量及酶活性的研究[J].土壤通报,2004,35(2):155-158.