

秦岭山区典型人工林土壤酶活性、微生物及其
与土壤养分的关系

付 刚,刘增文,崔芳芳

(西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 **【目的】**研究人工纯林和混交林土壤中养分、微生物数量和酶活性的分布特征及三者的关系,为合理治理、改造人工纯林提供理论依据。**【方法】**在秦岭山区,对典型人工油松(*Pinus tabulaeformis*)、落叶松(*Larix kaempferi*)、锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)、灰楸(*Catalpa fargesii*)纯林及各混交林土壤的酶活性和微生物数量及土壤养分进行了定位监测。**【结果】**针阔混交林可提高土壤全 N、速效 N、全 P 和有机质含量;混交林土壤转化酶、脲酶活性平均值较人工纯林分别提高了 16.66% 和 53.76%,针阔混交林土壤微生物总量平均值较针叶纯林提高 95.87%,其中细菌数量提高幅度为 104.47%,达显著性差异水平($P<0.05$);土壤转化酶与脲酶、过氧化氢酶三者之间的相关性均达到显著水平($r<0.05$),并与土壤细菌数量及土壤基本养分(全 N、速效 N、速效 K 和有机质含量)的相关性均达到显著或极显著水平;土壤放线菌与土壤全 N、速效 N、有机质含量和 pH 之间的相关性达到显著或极显著水平。**【结论】**针阔混交林能够显著提高土壤养分含量,并有利于提高土壤微生物数量及土壤微生物的再分配;土壤微生物数量及土壤酶活性能够及时反映土壤养分的变化趋势。

【关键词】 秦岭山区;人工纯林;混交林;土壤酶活性;土壤微生物;土壤养分

【中图分类号】 S714.3 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-9387(2008)10-0088-07

The feature of soil enzyme activity and quantity of microorganism
under artificial forests and their relationships with soil
nutrient in Qinling Mountain Area

FU Gang, LIU Zeng-wen, CUI Fang-fang

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** The research studied the distribution of soil nutrient, the quantity of microorganism, the enzyme activity and their relationships in pure and mixed artificial forests. **【Method】** The soil enzyme activity quantity of microorganism and soil nutrition were measured in forest of Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*), larch (*Larix kaempferi*), sharptooth oak (*Quercus aliena* var. *acuteserrata*), manchurian catalpa (*Catalpa fargesii*) and their mixed forests in Qinling Mountain Area. **【Result】** Compared with pure forests, the coniferous-broad leaved mixed forests enhanced total N, available N, total P, available K and O. M in the soil, promoted the activity invertase and urease by 16.66% and 53.76% respectively on the average level, increased the total quantity of total microorganism by 95.87% and the bacteria increased by 104.47%, reaching significantly different levels ($P<0.05$). The correlations of soil enzyme, the quantity of microorganism, and soil nutrient were significant ($r<0.05$), and the correlations of the quantity of soil bac-

* [收稿日期] 2007-10-22

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30471376);西北农林科技大学 2005 年人才计划项目

[作者简介] 付 刚(1982—),男,湖北黄冈人,在读硕士,主要从事森林生态研究。E-mail: fg2002075@yahoo.com.cn

[通讯作者] 刘增文(1965—),男,陕西横山人,副教授,博士,主要从事森林生态与水土保持研究。

teria, the basically nutrient prosperities (total N, available N, available K and O. M) were significant or very significant. The correlations of the quantity of soil actinomyces, and the soil total N, available N, O. M and pH were significant or very significant. 【Conclusion】 It is beneficial for enhancing soil nutrient, and increasing the quantity of microorganism; re-distribution of them by reasonable setting mixed forests, and the change of soil enzyme and the quantity of microorganism indicate the change tendency of soil nutrient.

Key words: Qinling Mountain Area; artificial forest; mixed forest; soil enzyme activity; soil microorganism; soil nutrient

森林土壤作为贮藏养料的“库”和提供养分的关系^[1-3]。人工林因树种和营林模式的不同,土壤微生物的种类、数量、分布及土壤酶活性也存在着差异。因此研究土壤酶活性及微生物数量特征,对于了解人工林土壤养分状况有重要意义^[2,4-5]。人工纯林在生长发育过程中出现诸如地力衰退的问题^[6-8],通过合理地营造混交林对纯林进行改造,有利于土壤改良,因此对人工纯林及混交林土壤酶活性、土壤微生物数量特征及其基本养分进行研究十分必要^[9-11]。秦岭林区属于典型的地带性林区,对该林区土壤酶活性、土壤微生物及养分间的关系研究还较少。

本试验对秦岭典型人工纯林及混交林表层土壤的酶活性、微生物及养分指标进行了研究,以期为合理治理、改造人工纯林提供理论依据。

1 研究区域概况

研究区设在秦岭黑河上游安沟流域内。安沟流域属秦岭中段,暖温带气候,因受山体小气候的影响,夏季短而凉爽,冬季长而寒冷,秋季低温多雨,年均降水量 900 mm,且集中在 7~9 月。该地带地貌分割破碎,海拔 1 524~2 904 m,多陡坡或极陡坡,土壤属山地褐土。天然植被建群树种以栓皮栎(*Quercus variabilis* Bl.)为主。针叶树种主要有落叶松(*Larix kaempferi*)、油松(*Pinus tabulaeformis*);阔叶树种有灰楸(*Catalpa fargesii*)和锐齿栎(*Q. aliena* var. *acuteserrata*)等。

2 材料与方法

2.1 样地的设置与土壤样品的采集

在安沟流域内分别选取立地条件近似的落叶松(L)、油松(Y)、灰楸(Q)、锐齿栎(R)人工纯林,油松×落叶松(Y×L)、油松×锐齿栎(Y×R)、落叶松×锐齿栎(L×R)、油松×灰楸(Y×Q)混交

林和荒草地(对照,CK),在不同类型人工林下各选取 3 块样地,按照常规方法进行林分因子调查。土壤采样方法按照多点混合采样法,在样地随机选取 5 块 1 m×1 m 的小样方,去除土壤表层的枯落物层,挖取土壤剖面并采集土壤样品,采样深度分别为 0~10 cm 和 10~20 cm。为了减少水分蒸发带来的误差以及空气对土壤微生物和酶活性的影响,采样过程尽可能快速。所有土壤带回实验室后,迅速取部分土样测定土壤含水率,将剩下的土壤分为 2 份,一份土样风干粉碎,过孔径 2,1 和 0.25 mm 筛后常温保存,用于测定土壤化学性质;另一份土样迅速过孔径 1 mm 筛,保存于 4 ℃ 冰箱,在 1 个月内测定土壤微生物数量及土壤酶活性^[12]。

2.2 测定项目及方法

土壤基本化学性质的测定^[13]:有机质(O. M)采用容量法测定,全 N(TN)采用半微量开氏法测定,速效 N(AN)采用连续流动分析仪测定,全 P(TP)、速效 P(AP)采用钼锑抗比色法测定,速效 K(AK)采用火焰光度法测定,pH 值($m(\text{水}):m(\text{土})=5:1$)和电导率(EC)分别用 pH 计和电导仪测定。

土壤酶活性的测定^[12]:过氧化氢酶活性采用 Johnson 和 Temple 法测定,结果以每克风干土壤滴定所需 0.1 mol/L KMnO_4 的体积(mL)表示,单位为“mL/g”;转化酶活性采用 Hoffmann 和 Seegerer 法测定,结果以培养 1 d(24 h)每克风干土壤滴定所需 0.05 mol/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 的体积(mL)表示,单位为“mL/g”;脲酶采用 Hoffmann 和 Teicher 法测定,结果以培养 3 h 后每克风干土壤经尿素水解释放出 NH_4^+-N 的质量(mg)表示,单位为“mg/g”。

土壤微生物数量的测定^[14]:细菌选用牛肉膏蛋白胨培养基培养,放线菌采用高氏一号培养基培养,真菌采用马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA)培养。菌种分离和计数采取平板稀释法。将涂好平板的培养皿放入 28 ℃ 的培养箱中培养,细菌培养 2~3 d,真菌、放线菌培养 3~5 d。每处理 3 个重复。

3 结果与分析

3.1 不同林型下土壤养分的分布特征

土壤养分直接影响林木的生长^[15],不同营林模式因养分归还条件的不同,而导致土壤养分含量及土壤各化学性质存在差异^[16]。秦岭林区 4 种人工纯林和 4 种人工混交林及荒草地土壤养分分布如表 1。由表 1 可以看出,人工阔叶纯林(锐齿栎和灰楸林)土壤全 N、速效 N、全 P、有机质等养分含量均高于人工针叶纯林($P<0.05$),而电导率低于人工针叶纯林($P<0.05$),土壤速效 P、pH 值分布规律不明显,这可能是由树种单一引起的。锐齿栎林土壤养分最为充足,这是由于阔叶林凋落物大,根系分泌

物多,且容易分解转换,因此养分归还量大,有利于养分元素的积累^[17]。落叶松×锐齿栎、油松×锐齿栎、油松×落叶松、油松×灰楸等 4 种混交林和荒草地中,落叶松×锐齿栎混交林土壤全 N、全 P、速效 P、速效 K、有机质、pH、电导率均最高,与其他 3 种混交林的差异均达到显著水平($P<0.05$);油松×灰楸混交林土壤全 N、速效 N、全 P、有机质均高于油松×落叶松和油松×锐齿栎混交林。人工纯林和混交林土壤养分分布无明显规律,但营造落叶松×锐齿栎混交林,有利于提高土壤全 N、速效 N、全 P、速效 P、速效 K、有机质、pH 和电导率,从根本上显著提高土壤养分,改善土壤酸碱度。

表 1 不同林型下土壤的基本养分指标

Table 1 The basical nutrient prosperities in different forests

林型 Forest type	土层/cm Soil layer	全 N/ (g·kg ⁻¹) Total N	速效 N/ (mg·kg ⁻¹) Available N	全 P/ (g·kg ⁻¹) Total P	速效 P/ (mg·kg ⁻¹) Available P	速效 K/ (mg·kg ⁻¹) Available K	有机质/ (g·kg ⁻¹) O. M	pH	电导率/ (dS·m ⁻¹) EC
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	0~10	1.53	35.15	0.66	7.24	261	22.2	6.23	0.072
	10~20	1.03	25.64	0.67	8.61	183	11.8	5.79	0.043
	平均 Mean	1.28e	30.39f	0.67d	7.92a	222b	17.0h	6.01e	0.057b
锐齿栎 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0~10	2.25	46.15	0.86	5.84	179	33.1	5.71	0.054
	10~20	1.73	37.61	0.74	2.03	115	18.9	5.61	0.040
	平均 Mean	1.99b	41.88c	0.80b	3.94c	148f	26.0c	5.66f	0.047c
落叶松 <i>L. kaempferi</i>	0~10	1.52	36.46	0.69	3.44	172	20.5	5.99	0.066
	10~20	1.19	25.84	0.65	2.32	98	13.4	6.37	0.044
	平均 Mean	1.35de	31.15e	0.67d	2.88d	135g	17.0h	6.18d	0.055b
灰楸 <i>C. fargesii</i>	0~10	1.97	43.84	0.74	2.78	210	29.8	6.21	0.061
	10~20	1.40	27.52	0.66	1.47	104	17.6	6.48	0.037
	平均 Mean	1.69c	35.68d	0.70d	2.12e	157d	23.7d	6.34b	0.049c
落叶松×锐齿栎 <i>L. kaempferi</i> × <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0~10	3.34	51.65	0.87	5.35	267	46.2	6.41	0.099
	10~20	2.90	37.60	0.86	2.94	255	36.6	6.43	0.087
	平均 Mean	3.12a	44.62b	0.86a	4.15b	261a	41.4a	6.42a	0.093a
油松×锐齿栎 <i>P. tabulaeformis</i> × <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0~10	1.97	39.90	0.49	1.76	231	24.0	6.39	0.068
	10~20	1.00	18.30	0.43	1.66	119	12.1	6.16	0.035
	平均 Mean	1.49d	29.10g	0.46f	1.71f	175c	18.1f	6.27c	0.051c
油松×落叶松 <i>P. tabulaeformis</i> × <i>L. kaempferi</i>	0~10	1.66	33.77	0.41	2.56	151	22.9	6.10	0.064
	10~20	0.93	20.91	0.44	0.92	79	11.9	6.36	0.039
	平均 Mean	1.29e	27.34h	0.42g	1.74f	115h	17.4g	6.23cd	0.051c
油松×灰楸 <i>P. abulaeformis</i> × <i>C. fargesii</i>	0~10	2.76	50.70	0.68	2.23	209	36.7	5.88	0.061
	10~20	1.63	45.82	0.49	0.48	95	18.4	6.49	0.038
	平均 Mean	2.20b	48.26a	0.59e	1.36g	152e	27.6b	6.18d	0.049c
荒草地 Grass land (CK)	0~10	1.50	32.42	0.76	2.82	180	26.2	6.29	0.049
	10~20	1.11	23.25	0.70	1.64	116	17.8	6.28	0.032
	平均 Mean	1.31e	27.83h	0.73c	2.23e	148f	22.0e	6.28c	0.040d

注：采用新复极差法分析(各指标以 0~10 cm 和 10~20 cm 土层的平均值为重复),每列数据后标注不同字母者表示差异显著, Alpha=0.05 水平。

Note:By using Duncan method to analyze the data (the repeats are the mean nutrient content in the soil of layers 0—10 cm and 10—20 cm), values in each column with the different letter are significantly different to other forest types, the Alpha=0.05 level.

3.2 不同林型下土壤酶活性及微生物的分布特征

土壤在发育过程中存在着各种复杂的氧化还原反应以及养分的转化和迁移,其中土壤酶和微生物

起着不可忽视的作用^[3,18-19]。从表 2 可以看出,与人工纯林及荒草地相比,混交林土壤转化酶、脲酶活性基本升高,表明混交林有利于增加土壤转化酶、脲酶

活性,4 种混交林土壤转化酶、脲酶活性平均值较 4 种人工纯林平均值分别提高了 16.66%和 53.76%,较荒草地分别提高了 9.49%和 17.79%,这可能是因为混交林地养分含量高而导致土壤酶活性较高;土壤过氧化氢酶活性略有下降,这是因为混交林加速了丹宁、脂类、酚类等有害物质的分解,同时减少

了土壤中对林木生长有毒害作用的过氧化氢含量^[2,13]。荒草地土壤转化酶、脲酶和过氧化氢酶基本上介于混交林和人工纯林之间,这是由于相对人工纯林,荒草地拥有充足的阳光、空气和降雨量等条件^[18-19],所以土壤酶活性高于人工纯林。

表 2 不同林型下土壤酶活性及微生物的分布
Table 2 The soil enzyme activity and micro-organism under different forest types

林型 Forest type	土层/cm Soil layer	转化酶/ (mL·g ⁻¹) Invertase	脲酶 /(mg·g ⁻¹) Urease	过氧化氢酶/ (mL·g ⁻¹) Catalase	细菌/ (×10 ⁷ ·g ⁻¹) Bacteria	真菌/ (×10 ⁴ ·g ⁻¹) Fungi	放线菌/ (×10 ⁵ ·g ⁻¹) Actinomyces
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	0~10	6.79	6.54	1.15	2.88	3.86	9.04
	10~20	3.17	2.64	1.06	0.74	2.21	5.96
	平均 Mean	4.98b	4.59e	1.11bc	1.81e	3.03b	7.50bc
落叶松 <i>L. kaempferi</i>	0~10	4.82	5.69	1.17	2.34	3.36	19.70
	10~20	2.33	2.69	1.10	1.00	1.92	11.08
	平均 Mean	3.57f	4.19f	1.14a	1.67ef	2.64b	15.39a
锐齿栎 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0~10	4.96	6.41	1.14	7.06	19.19	12.75
	10~20	3.38	3.68	1.03	2.46	5.84	6.22
	平均 Mean	4.17e	5.05d	1.08d	4.76b	12.51a	9.49b
灰楸 <i>C. fargesii</i>	0~10	5.49	5.41	1.16	7.79	4.77	9.55
	10~20	2.86	3.70	1.09	3.41	4.94	3.13
	平均 Mean	4.17e	4.55e	1.12b	5.60a	4.85b	6.34bc
落叶松×锐齿栎 <i>L. kaempferi</i> × <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0~10	6.08	6.73	1.17	4.22	2.07	9.70
	10~20	4.89	5.62	1.07	1.56	1.39	6.95
	平均 Mean	5.48a	6.17c	1.12b	2.89d	1.73b	8.33b
油松×锐齿栎 <i>P. tabulaeformis</i> × <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0~10	5.85	9.14	1.14	5.65	2.27	9.42
	10~20	4.21	4.55	1.06	1.76	1.60	3.92
	平均 Mean	5.03b	6.84b	1.10c	3.71c	1.94b	6.67bc
油松×落叶松 <i>P. tabulaeformis</i> × <i>L. kaempferi</i>	0~10	5.35	7.00	1.09	1.84	1.40	5.18
	10~20	3.24	5.26	1.02	0.62	1.06	2.50
	平均 Mean	4.30d	6.13c	1.05e	1.23f	1.23b	3.84c
油松×灰楸 <i>P. tabulaeformis</i> × <i>C. fargesii</i>	0~10	6.16	13.50	1.14	5.94	2.71	11.40
	10~20	3.85	4.27	1.09	2.22	1.60	5.76
	平均 Mean	5.01b	8.88a	1.07e	4.08c	2.16b	8.58b
荒草地 Grass land (CK)	0~10	5.12	8.02	1.10	1.12	1.17	3.83
	10~20	3.89	3.97	1.07	0.09	0.90	2.91
	平均 Mean	4.50c	6.00c	1.09d	0.61g	1.04b	3.37c

由表 2 还可看出,8 种林型下土壤微生物中,细菌占微生物总量的 91.42%~98.80%,而真菌仅占微生物总量的 0.051%~0.26%。土壤中细菌数量表现为:阔叶纯林>针阔混交林>针叶纯林>针针混交林>荒草地;土壤真菌数量表现为:阔叶纯林>针叶纯林>针阔混交林>针针混交林>荒草地;土壤放线菌数量则以落叶松最高,油松×落叶松混交林最低,前者是后者的 4 倍。针阔混交林土壤微生物总量较针叶纯林提高 95.87%,其中细菌数量提高了 104.47%,与针叶纯林相比差异达到显著水平($P<0.05$)。因此,营造混交林有利于提高土壤微生物数量,也有利于微生物的再分配。与人工纯林和混交林相比,荒草地土壤细菌、真菌、放线菌数量

均最低,这说明这几种林型下的土壤有利于土壤三大菌的生长,在一定程度上改善了土壤的微生物环境,有利于枯落物的分解,加速物质循环。

3.3 土壤酶活性与土壤微生物数量之间的相关性
大部分酶是微生物新陈代谢过程中释放的有活性物质,因此酶活性在一定程度上取决于微生物数量^[5]。从表 3 可以看出,土壤转化酶与脲酶、过氧化氢酶之间相关极显著($r<0.01$),这表明以上 3 种土壤酶在参与不同生化过程的同时,彼此间也存在着密切联系。细菌数量与以上 3 种酶活性相关显著或极显著,这是因为细菌在土壤中数量最多,对土壤的各种生化反应贡献较大,而土壤酶活性高低间接反映了这些生化反应产物的多少;真菌与以上 3 种酶

活性相关不显著,这也可能是因为真菌受土壤各种性质的影响不敏感所致;放线菌仅与过氧化氢酶活性相关极显著($r<0.01$),这是因为过氧化氢酶和放

线菌都同时反映着有机质的转化程度^[1-2]。3 大菌类之间,只有细菌与真菌相关显著($r<0.05$),这可能与微生物的专性作用及 pH 值相关。

表 3 土壤微生物数量与土壤酶活性的相关性

Table 3 Correlation between enzyme activity and the quantity of soil microorganism						
指标 Index	转化酶 Invertase	脲酶 Urease	过氧化氢酶 Catalase	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomyces
转化酶 Invertase	1.000	—	—	—	—	—
脲酶 Urease	0.755 **	1.000	—	—	—	—
过氧化氢酶 Catalase	0.697 **	0.478 *	1.000	—	—	—
细菌 Bacteria	0.538 *	0.502 *	0.670 **	1.000	—	—
真菌 Fungi	0.073	0.016	0.258	0.580 *	1.000	—
放线菌 Actinomyces	0.358	0.278	0.743 **	0.465	0.359	1.000

注: $n=18$, $r_{0.05}=0.468\ 3$, $r_{0.01}=0.589\ 7$, n 为样本数; * 显著相关($r<0.05$); * * 极显著相关($r<0.01$)。下表同。
Note: $n=18$, $r_{0.05}=0.468\ 3$, $r_{0.01}=0.589\ 7$, n is the sample; * Correlation is significant ($r<0.05$); * * Correlation is very significant ($r<0.01$). The same below.

3.4 土壤酶活性和微生物与土壤养分的相关性

脲酶将有机物水解生成氨和 CO₂,是 N 素的直接来源,其活性表示土壤 N 素状况;转化酶将高分子化合物分解成能被植物和微生物利用的营养物质,其活性表示土壤熟化程度和肥力水平;过氧化氢酶参与土壤中物质和能量的转化,能分解土壤中

对植物有害的过氧化氢,其活性可以反映土壤生物化学过程的强度^[1,3]。细菌在氨化过程中作用十分重要,而真菌则在土壤碳素和能源循环过程中起着巨大作用,放线菌与土壤腐殖质含量有关,同化无机氮,分解碳水化合物及脂类、丹宁等难分解的物质,在土壤中对物质转化也起一定作用^[2-3,20]。

表 4 土壤酶活性和微生物数量与土壤基本养分间的相关性

Table 4 Correlation between soil enzyme activity, the quantity of microorganism and nutrient

指标 Indexe	全 N Total N	速效 N Available N	全 P Total P	速效 P Available P	速效 K Available K	有机质 O, M	pH	电导率 EC
转化酶 Invertase	0.564 7 *	0.559 7 *	0.150 1	0.293 1	0.809 4 **	0.665 4 **	0.122 4	0.746 7 **
脲酶 Urease	0.516 9 *	0.518 4 *	−0.004 8	−0.067 2	0.505 3 *	0.566 7 *	−0.007 1	0.465 2
过氧化氢酶 Catalase	0.628 3 **	0.800 3 **	0.451 4	0.354 4	0.675 6 **	0.702 3 **	−0.223 1	0.584 7 *
细菌 Bacteria	0.406 2	0.560 0 *	0.120 2	−0.019 8	0.433 3	0.412 1	0.024 2	0.450 8
真菌 Fungi	−0.082 2	0.063 2	0.126 8	0.091 7	0.024 5	0.074 8	−0.140 4	0.138 2
放线菌 Actinomyces	0.522 6 *	0.686 0 **	0.486 0	0.398 7	0.432 0	0.515 *	0.593 0 **	0.395 8

从表 4 可以看出,土壤转化酶、脲酶、过氧化氢酶活性与全 N、速效 N、速效 K、有机质含量相关显著($r<0.05$)或极显著($r<0.01$),说明这 3 种土壤酶活性能够很好地反映土壤养分的情况。土壤细菌数量与土壤速效 N 含量显著相关;土壤放线菌数量与速效 N、pH 相关极显著($r<0.01$),与土壤全 N 和有机质含量显著相关($r<0.05$),与其他养分指标均呈一定的正相关,但未达到显著水平,这表明放线菌的分布及数量受土壤养分影响较大;真菌数量与养分指标间相关性均未达到显著水平($r<0.05$),这充分说明真菌对土壤养分不敏感。不同林型的土壤微生物数量、土壤酶活性与土壤养分含量之间相关性达到显著或极显著水平,故土壤微生物数量和酶活性高低可作为土壤肥力变化趋势的重要指标。

4 讨 论

不同的树种及营林模式影响着森林土壤的各种物理、化学和生物学性质^[2,4,9,21]。土壤酶活性和土壤微生物一起推动着土壤的生物化学过程,土壤养分含量是土壤微生物的 C 源和 N 源,而土壤微生物的种类和数量又在某种程度上决定土壤酶的来源^[2,4,16-17]。朱小强等^[22]对秦岭山区人工纯林及针阔混交林土壤养分状况的分析表明,纯林与混交林都存在富积养分的效应,且对养分的影响有明显差异。从本试验结果也可以看出,4 种人工纯林之间和 4 种混交林之间土壤的养分含量、微生物数量及酶活性存在很大差异。营造针阔混交林较针叶纯林能提高土壤养分,特别是落叶松×锐齿栎混交林,这是因为松栎混交林在光照、水分和养分利用结构上

形成互补,提高了他们的利用效率,从而可更有效地调节土壤肥力水平^[4];其他混交林则在某些土壤养分指标上表现出的差异性,其原因有待进一步研究。针阔混交林土壤转化酶、脲酶、微生物总量均高于针叶纯林,阔叶树也能保持较高的土壤养分、土壤酶活性和微生物总量。因此,在秦岭林区营造针阔混交林或阔叶林,是提高土壤肥力及生物活性的有效措施之一,同时也有效地缓解了地力衰退等问题。

对 8 种林型和荒草地的土壤微生物数量、酶活性及土壤基本养分指标间的相关性研究发现,三者之间关系密切,这与前人研究结果基本一致^[2-4,22-23]。但土壤真菌数量与 3 种土壤酶活性和放线菌数量以及各项养分指标相关性均未达到显著水平,其原因有待进一步研究。

5 结 论

(1)营造落叶松×锐齿栎混交林,有利于提高土壤全 N、速效 N、全 P、速效 P、速效 K、有机质、pH、电导率,能够从根本上显著提高土壤肥力。

(2)合理营造针阔混交林可以有效改善土壤微生物环境,显著提高微生物数量和微生物再分配。

(3)土壤微生物数量、土壤酶活性与土壤养分之间关系密切,故土壤微生物数量及酶活性能够及时反映土壤养分的变化趋势。

[参考文献]

[1] 陈光升,钟章成,齐代华. 缙云山常绿阔叶林土壤酶活性与土壤肥力的关系 [J]. 四川师范学院学报:自然科学版,2002,23(1):19-23.
Chen G S,Zhong Z C,Qi D H. Relationship between soil enzymatic activity and fertility of the evergreen broad-leaved forest in the Jinyun Mountain [J]. Journal of Sichuan Teachers College:Natural Science Edition,2002,23(1):19-23. (in Chinese)

[2] 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.
Xu J W,Wang W D,Li C. The correlation among soil microorganism,enzyme and soil nutrient in different types of mixed stands of *Pinus thunbergii* [J]. Journal of Beijing Forestry University,2000,22(1):51-55. (in Chinese)

[3] 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.
Jiao R Z,Yang C D,Tu X N,et al. The change of undergrowth,soil microorganism,enzyme activity and nutrient in different developing stage of the Chinese fir Plantation [J]. Forest Research,1997,10(4):373-379. (in Chinese)

[4] 薛立,陈红跃,邝立刚. 不同林分土壤养分、微生物与酶活性的研究 [J]. 土壤学报,2003,40(2):280-285.
Xue L,Chen H Y,Kuang L G. Soil nutrients,microorganism and enzyme activities of different stands[J]. Acta Pedologica Sinica,2003,40(2):280-285. (in Chinese)

[5] 孙翠玲,郭玉文,佟超然,等. 杨树混交林地土壤微生物与酶活性的变异研究 [J]. 林业科学,1997,33(6):488-496.
Sun C L,Guo Y W,Tong C R,et al. A study on the soil microbes and soil enzyme activities in various *Poplar* mixed stands [J]. Scientia Silvae Sinicae,1997,33(6):488-496. (in Chinese)

[6] Jha D K,Sharma G D,Mishra R R. Soil microbial population numbers and enzyme activities in relation to altitude and forest degradation [J]. Soil Biol Biochem,1992,24(8):761-767.

[7] 刘福德,姜岳忠,王华田,等. 杨树人工林连作效应的研究[J]. 水土保持学报,2005,19(2):102-105.
Liu F D,Jiang Y Z,Wang H T,et al. Effect of continuous cropping on *Poplar* plantation [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2005,19(2):102-105. (in Chinese)

[8] 刘增文,李雅素. 刺槐人工林养分利用效率[J]. 生态学报,2003,23(3):444-449.
Liu Z W,Li Y S. A study on the efficiency of nutrient utilization in black locust plantation [J]. Acta Ecologica Sinica,2003,23(3):444-449. (in Chinese)

[9] 蒋三乃,瞿明普,贾黎明. 混交林种间养分关系研究进展 [J]. 北京林业大学学报,2001,23(2):72-77.
Jiang S N,Zhai M P,Jia L M. Advances on the research of inter-specific nutrient interaction in mixed forest ecosystems [J]. Journal of Beijing Forestry University,2001,23(2):72-77. (in Chinese)

[10] Hart S C,Binkley D,Perry D A. Influence of red alder on soil nitrogen transformation in two conifer forests of contrasting productivity [J]. Soil Biol Biochem,1997,29(7):1111-1123.

[11] Prescott C E. Influence of forest floor type on rates of litter decomposition in Microcosms [J]. Soil Biol Biochem,1996,28(10):1319-1325.

[12] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京:中国农业出版社,2000.
Bao S D. Soil agricultural chemistry [M]. Beijing:China Agricultural Press,2000. (in Chinese)

[13] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京:农业出版社,1986:260-332.
Gan S Y. Soil enzyme and their research method [M]. Beijing: Agricultural Press,1986:260-332. (in Chinese)

[14] 程丽娟,薛泉宏. 微生物学实验技术 [M]. 北京:世界图书出版公司,2000.
Cheng L J,Xue Q H. Microbiology experiment technology [M]. Beijing:The World Publish Press Company,2000. (in Chinese)

[15] 杨涛,徐慧,方德华,等. 樟子松林下土壤养分、微生物及酶活性的研究 [J]. 土壤通报,2007,37(2):253-257.
Yang T,Xu H,Fang D H,et al. Soil nutrient,microorganism and enzyme activity in *Pinus sylvestris* var. *mongolica* forests

[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 37(2): 253-257. (in Chinese)

[16] 刘增文, 高文俊, 潘开文, 等. 4 种人工纯林土壤及其凋落叶混合培养对土壤化学性质的影响 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(7): 48-54.
Liu Z W, Gao W J, Pan K W, et al. Effect of soil mix-incubation of 4 species artificial forests with litters on the biochemical characteristic [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2007, 35(7): 48-54. (in Chinese)

[17] 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜. 杉木纯林与常绿阔叶林土壤活性有机碳库的比较 [J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(5): 1-6.
Wang Q K, Wang S L, Feng Z W. Comparison of active soil organic carbon pool between Chinese fir plantations and evergreen broadleaved forests [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(5): 1-6. (in Chinese)

[18] 戴伟, 白红英. 土壤过氧化氢酶活性及其动力学特征与土壤性质的关系 [J]. 北京林业大学学报, 1995, 17(1): 37-40.
Dai W, Bai H Y. Correlations of soil catalase activity and its kinetic characteristic with some soil properties [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1995, 17(1): 37-40. (in Chinese)

[19] 王艳, 王庆礼, 代力民. 土壤水分梯度对阔叶红松林结构的影响 [J]. 林业研究, 2004, 15(2): 119-123.
Wang Y, Wang Q L, Dai L M. Effect of soil moisture gradient on structure of broad-leaved/Korean pine forest in Changbai Mountain [J]. Journal of Forestry Research, 2004, 15(2): 119-123. (in Chinese)

[20] 孙志高, 刘景双. 枯落物分解及其对全球变化的响应 [J]. 生态学报, 2007, 27(4): 1606-1618.
Sun Z G, Liu J S. Development in study of wetland litter decomposition and its responses to global change [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(4): 1606-1618. (in Chinese)

[21] 陈峻, 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.
Chen J, Li C H. Soil enzyme activity and soil fertility in *Cunninghamia lanceolata* plantation [J]. Forest Research, 1993, 6(3): 321-326. (in Chinese)

[22] 朱小强, 张亚雯, 王英宏. 秦岭山区油松纯林与松栎混交林下土壤养分状况分析 [J]. 辽宁林业科技, 2007(4): 32-33.
Zhu X Q, Zhang Y W, Wang Y H. The soil nutrient of pure Chinese pine and it mixed with *Quercus acutidentata* forest in Qinling Area [J]. Journal of Liaoning Forestry Science & Technology, 2007(4): 32-33. (in Chinese)

[23] 侯本栋, 马风云, 宋玉民, 等. 不同树种对土壤养分、酶活性与微生物影响的研究 [J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(5): 734-738.
Hou B D, Ma F Y, Song Y M, et al. A study on effects of different tree species on soil nutrients, enzyme activities and microorganisms [J]. Journal of Jiangxi Agricultural University, 2006, 28(5): 734-738. (in Chinese)

(上接第 87 页)

[12] Zu Y G, Zhao Z H, Cong P T, et al. Fractal analysis on spatial distribution patterns of population from *Quercus liaotungensis* forest in Dongling mountain, Beijing China [J]. Bulletin of Botanical Research, 2000, 20(1): 112-119.

[13] 韩蕊莲, 侯庆春. 延安试区刺槐林地不同立地条件下土壤水分变化规律 [J]. 西北林学院学报, 2003, 18(1): 74-76.
Han R L, Hou Q C. Soil water changing of artificial *Robinia persudoscacia* at different site conditions in Yan'an experimental area [J]. Journal of Northwest Forestry College, 2003, 18(1): 74-76. (in Chinese)

[14] 侯庆春, 韩蕊莲, 李宏平. 关于黄土丘陵典型地区植被建设中有关问题的研究 (I): 土壤水分状况及植被建设区划 [J]. 水土保持研究, 2000, 7(2): 102-109.
Hou Q C, Han R L, Li H P. On the problem of vegetation reconstruction in the Yan'an experimental area (I): Conditions of soil water and division of vegetation reconstruction [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2000, 7(2): 102-109. (in Chinese)

[15] 宋永昌. 植被生态学 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001: 45-46, 128-134.
Song Y C. Vegetation ecology [M]. Shanghai: East China Normal University Press, 2001: 45-46, 128-134.

[16] 陆元昌. 近自然森林经营的理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 65-66.
Lu Y C. Theory and appliance of close-to-nature forest management [M]. Beijing: Science Press, 2006: 65-66.

[17] 张金屯. 数量生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 245-248.
Zhang J T. Quantitative ecology [M]. Beijing: Science Press, 2004: 245-248.

[18] 吴晓蕾, 王志恒, 崔海亭, 等. 北京山区栎林的群落结构与物种组成 [J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 155-163.
Wu X P, Wang Z H, Cui H T, et al. Community structures and species composition of oak forests in mountainous area of Beijing [J]. Biodiversity Science, 2004, 12(1): 155-163. (in Chinese)

[19] 李裕元, 郑纪勇, 邵明安. 子午岭天然林与人工林群落特征比较研究 [J]. 西北植物学报, 2005, 25(12): 2447-2456.
Li Y Y, Zheng J Y, Shao M A. Comparison of the attributes of natural forests and plantations in Ziwwuling mountain [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(12): 2447-2456. (in Chinese)