

引入阔叶树种枯落叶对陕北风沙区针叶林 土壤极化的防治效应

刘增文,米彩红,潘岱立,杨森浩,李卓青,罗 伟

(西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**研究不同针、阔叶树种的种间关系,为通过针、阔混交或枯落叶客置来防治人工针叶纯林土壤的极化提供科学依据。**【方法】**在位于陕北黄土高原北部半干旱风沙区的靖边县,选择覆盖度达到 90%~100% 的 22 年生油松和 25 年生樟子松纯林,建立 20 m×20 m 的标准地,以 5 样方(1 m×1 m)混合采样法采集 0~10 cm 土层腐殖质土壤和附近不同针、阔叶树种的当年枯落叶后,进行室内混合培养试验。**【结果】**油松纯林会导致土壤养分含量、部分酶活性降低及真菌、放线菌数量明显减少的负向极化发展趋势,樟子松纯林会导致土壤部分酶(脲酶、蔗糖酶)活性降低和细菌数量明显减少的负向极化发展趋势。引入阔叶树种枯落叶防治油松纯林土壤极化的优先顺序为:引入白榆、沙棘和旱柳最好,其次为紫穗槐,而小叶杨、刺槐和柠条则均不适宜引入;引入阔叶树种枯落叶防治樟子松纯林土壤极化的优先顺序为:引入沙棘最好,其次为柠条,引入小叶杨和白榆效果不明显,而刺槐、紫穗槐和旱柳则均不适宜引入。**【结论】**不同阔叶树种枯落叶对针叶林地土壤性质的影响效应有明显差异,筛选出了防治陕北风沙区针叶林土壤极化的阔叶树种。

[关键词] 半干旱风沙区;油松;樟子松;土壤退化;土壤极化

[中图分类号] S714.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2011)05-0103-07

Control effects of introducing leaf litter of broad-leaved trees on soil polarization under pure stands of needle-leaved forests in the windblown sand region of northern Shaanxi

LIU Zeng-wen, MI Cai-hong, PAN Dai-li, YANG Sen-hao, LI Zhuo-qing, LUO Wei

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

Abstract: **【Objective】** Study about the interspecific relationship can provide scientific basis for forming mixed forest or fertilizing leaf litter with other tree species to control soil polarizations of needle-leaved forest. **【Method】** In Jingbian county which is situated in the semi-arid, windblown sand region of northern Shaanxi Province, after establishing standard plots (20 m×20 m) in forests of 22-year-old *Pinus tabulaeformis* and 25-year-old *Pinus sylvestris* var. *mongolica* whose coverage arrived at 90%—100% and sampling mixed humus soil of 0—10 cm depth with 5 small plots (1 m×1 m) in every forest and leaf litter of different needle or broad-leaved trees nearby, experiments of incubation mixing humus soil of pure forests with leaf litter were carried out in laboratory. **【Result】** Pure forest of *P. tabulaeformis* would result in negative soil polarization including depletion in soil nutrients, decline in a few enzyme activities and amounts of fungi and actinomycetes. Pure forest of *P. sylvestris* var. *mongolica* would result in negative soil polarization.

* [收稿日期] 2010-10-13

[基金项目] 国家自然科学基金项目(31070630);国家大学生创新性实验计划资助项目(西北农林科技大学 2009 年)

[作者简介] 刘增文(1965—),男,陕西横山人,教授,博士,主要从事森林生态研究。E-mail: zengwenliu2003@yahoo.com.cn

tion including decline in a few enzyme activities and amounts of bacteria. The priority order of introducing other tree species to control soil polarization under forest of *P. tabulaeformis* is as follows: *Ulmus pumila*, *Hippophae rhamnoides* and *Salix matsudana* are better, *Amorpha fruticosa* second, but *Populus simonii*, *Robinia pseudoacacia* and *Caragana microphylla* not suitable. The priority order of introducing other tree species to control soil polarization under forest of *P. sylvestris* var. *mongolica* is as follows: *H. rhamnoides* is better, *C. microphylla* second, *P. simonii* and *U. pumila* not significant, *R. pseudoacacia*, *A. fruticosa* and *S. matsudana* not suitable. 【Conclusion】 The effects of broad leaf litter on soil are very different and suitable tree species tree which can be introduced to control soil polarization under pure stands of needle-leaved forests in the windblown sand region of northern Shaanxi are selected.

Key words: semi-arid windblown sand area; *Pinus tabulaeformis*; *Pinus sylvestris* var. *mongolica*; soil degradation; soil polarization

陕北半干旱风沙区位于黄土高原北部和毛乌素沙地南缘,该地区气候干旱、风沙严重、土质沙化、土壤贫瘠。油松、樟子松等针叶树种具有常绿、抗旱、耐瘠薄和抗风沙等特性,是陕北半干旱风沙区防风固沙林的主要组成树种,发挥着重要的生态防护功能。但在现有的片状或块状分布的、进入稳定生长的人工针叶纯林内,由于树种组成单一、林下植被稀少,导致土壤退化,这严重影响着森林的生长发育、稳定和可持续发展^[1]。

人工林长期生长或多代连栽后出现的土质下降和退化现象早已被研究者广泛关注^[2-7],为了深入分析人工纯林出现土壤退化的原因,笔者曾提出了“土壤极化”的概念^[8],并将其定义为“在由同一树种形成的人工或天然纯林内,由于树种生物生态学特性的单一性、对物质吸收利用的选择性和对环境效应的特殊性,土壤性质往往呈现偏离原平衡态,并朝某个方向非平衡或极端化发展的趋势”。

人工纯林土壤极化是由森林内部原因引起的一种必然的自然现象,解决的根本途径只能是对现有的人工纯林进行混交改造,即引进种间关系协调的树种组成针阔或乔灌混交林,或者利用其他树种枯落叶进行根系附近的局部客置。为此,迫切需要对不同树种之间的关系及其对土壤性质极化的影响进行深入研究^[9]。由于在自然界中,现有的混交林数量很有限,且混交造林试验耗时太长,这严重制约着树种间关系研究的广泛性和深入性,因此寻找科学而快捷的研究手段和方法来探讨树种间的关系,将会对大面积人工纯林的改造及防治土壤性质极化具有重要的理论和现实意义^[10]。

由于枯落叶分解是森林对土壤影响和实现养分循环的主要途径,所以混交树种之间的关系是否协调,也在很大程度上取决于混交后枯落叶分解是否

有利于土壤性质的改善。本试验利用林地腐殖质层土壤与不同树种枯落叶进行室内混合培养,研究不同针、阔叶树种的种间关系,旨在为防治陕北风沙区油松和樟子松人工针叶纯林的土壤极化提供科学依据。

1 研究区概况

选择地处陕北黄土高原北部半干旱风沙区的靖边县城郊的万亩林区为研究对象,该区属于暖温带干旱半干旱气候。研究区年降水量 316~450 mm,主要集中在 7—9 月,约占全年降水量的 60%~70%,且多阵雨和暴雨;年蒸发量为 1 127~1 546 mm;年均气温 7.8~9.1 ℃,≥10 ℃的积温 2 600~3 370 ℃,无霜期 134~172 d,年日照时数 2 700~3 100 h,每年 3—5 月西北风盛行,常达 6~8 级。土壤以黄绵沙土为主,植被属典型干草原地带。区内成林常绿针叶树种主要有油松(*Pinus tabulaeformis*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*);落叶阔叶树种主要有小叶杨(*Populus simonii*)、旱柳(*Salix matsudana*)、白榆(*Ulmus pumila*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana microphylla*)和紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)等。

2 研究方法

2.1 针叶纯林标准地的设置及土壤和枯落叶样品的采集

首先,在研究区内最具有典型代表性的地段,选择进入稳定生长期、覆盖度达到 90%~100%的 22 年生油松和 25 年生樟子松纯林,分别建立 20 m×20 m 的标准地,记录立地因子并通过每木检尺测定各项平均生长指标(表 1)。林下植被均以沙蒿(*Ar-*

temisia desertorum)、狗尾草(*Pennisetum alopecuroides*)、羊胡子草(*Carex rigescens*)、沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)和冰草(*Agropyron cristatum*)等为主,盖度小于 10%。在所建立的标准地内,分别均匀设置 5 个 1 m×1 m 的小样方,清理枯落物层(包括半分解层)后,收集各样方 0~10 cm 土

层的腐殖质土壤,然后将 5 个样方的土壤充分混合后取部分装袋带回室内,除去叶子、根系、石块等杂物后,直接以鲜土过孔径 5 mm 的土壤筛备用。

在采集土样的同时,收集主要针叶树种和阔叶树种的当年凋落叶,带回室内迅速漂洗干净后风干,粉碎后过孔径 1 mm 筛备用。

表 1 针叶纯林标准地的基本状况

Table 1 Standard plots of needle-leaved pure stands

林地类型 Forest type	林龄/年 Age	地貌部位 Site	海拔/m Elevation	坡向 Aspect	坡度/(°) Slope	胸径/cm BHD	树高/m Height	密度/ (株·hm ⁻²) Density	土壤 Soil
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	22	丘坡中部 Middle of slope	1 350	NW15°	10	9.74	5.1	1 429	绵沙土 Soft sandy soil
樟子松 <i>P. sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	25	丘坡中部 Middle of slope	1 380	NW20°	18	17.02	9.5	1 632	绵沙土 Soft sandy soil

2.2 室内混合培养

将准备好的土样和不同树种枯落叶按照 100 : 2 的干质量比例两两充分混合(鲜土以含水率折算成干土,其中以土样与采土林地针叶树种枯落叶混合培养作为对照,以土样不混合任何枯落叶培养作为原林地土壤),然后分别取 2.5 kg 经充分混合的土壤装入不透水塑料培养钵中。每个树种枯落叶为 1 个处理,每处理设 3 个重复。开始培养时,在每个培养钵中加一定量的蒸馏水,调节土壤湿度为田间持水量的 50%(预先测定土壤的田间持水量,通过计算确定应加水量),用塑料薄膜覆盖钵口(保湿),并在薄膜上留 4 个通气孔,然后将培养钵放在室温下进行培养。在培养过程中,每隔 3 d 称量 1 次培养钵的质量,根据失水情况,揭开钵口用喷水器均匀补充水分,始终调节土壤湿度不变(培养钵质量保持恒定),连续培养 120 d。

2.3 测定项目与方法

将培养好的土样平摊到干净的瓷盘里,仔细捡除尚未彻底分解的枯落叶残渣,取部分鲜土用于微生物数量测定,其他土样风干后过孔径 1 mm 土壤筛保存,测定土样的化学和生物学性质。

化学性质中,土壤 pH 值采用 PHS-2 型酸度计测定(水土质量比为 2.5 : 1);有机质含量采用重铬酸钾容量法测定;腐殖质组成(胡敏酸、富啡酸和胡敏素)采用焦磷酸钠浸提-重铬酸钾氧化法测定;土壤碱解 N 含量采用扩散法测定,速效 P 含量采用 NaHCO₃ 浸提钼兰比色法测定,速效 K 含量采用醋酸铵浸提火焰光度法测定,阳离子交换量采用乙酸钠-乙酸铵火焰光度法测定^[11]。

生物学性质中,土壤微生物数量采用平板稀释法^[12]测定,脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法

测定,蔗糖酶活性采用 Na₂S₂O₃ 滴定法测定,过氧化氢酶活性采用 KMnO₄ 滴定法测定,过氧化物酶活性采用滴定法测定,脱氢酶活性采用三苯基四唑氯化物比色法测定,磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定(用 pH10 硼酸缓冲液测定碱性磷酸酶),蛋白酶活性采用茚三酮比色法测定,多酚氧化酶活性采用碘量滴定法测定^[13-14]。

2.4 数据处理与分析

以上所有指标均采用 3 次重复(误差不超过 5%)测定的平均值,应用 Excel 2003 软件进行数据处理,以 LSD 多重检验法检验不同树种枯落叶对针叶林地土壤性质影响差异的显著性。

检测当地阔叶树种枯落叶分别与油松、樟子松纯林腐殖质层土壤混合培养后的培养物的生物化学性质。分析对照(即以原针叶林枯落叶与原针叶林地腐殖质层土壤混合培养,下同)较原林地土壤性质的变化,可以反映针叶纯林土壤的极化趋势;而分析不同阔叶树种枯落叶与针叶林土壤混合后土壤性质较对照的变化,可以预示将阔叶树种引入针叶林形成混交后引起土壤性质变化的趋势。但是,由于引入某个树种枯落叶后,对林地土壤不同性质的改变方向和程度差异很大,对各项指标进行孤立分析,很难说明不同树种枯落叶分解对土壤影响的综合效应,所以本研究采用主成分综合模型,计算各树种枯落叶分解培养后对土壤性质改善的综合主成分值,具体选取除了 pH 之外的其他 19 个指标较对照的提高率进行主成分综合分析。利用 SPSS 软件包提取出特征值大于 1 的主成分分别记为 *Fi*,同时得到主成分载荷矩阵,每一个载荷量表示主成分与对应变量的相关系数。用主成分载荷矩阵中的数据除以主成分相对应的特征值开平方根,便得到主成分表

达式中每个指标所对应的系数,即每个特征值所对应的特征向量 $A=(a_{ij})$ 。将特征向量与标准化后的初始数据相乘,就可以得到主成分表达式 $F=AX$,然后以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例作为权重,计算主成分综合模型,根据主成分综合模型即可计算出各树种枯落叶分解对土壤影响的 F 值。当 F 值大于 0 时,表明

表 2 陕北半干旱风沙区油松林地土壤与不同树种枯落叶混合培养后土壤生物化学性质的变化

Table 2 Soil chemical and biological properties of *P. tabulaeformis* forest after incubation mixing with different leaf litter in the semi-arid, windblown sand region of northern Shaanxi Province

土壤性质 Soil property	刺槐 <i>R. pseudo-acacia</i>	小叶杨 <i>P. simonii</i>	旱柳 <i>S. matsudana</i>	白榆 <i>U. pumila</i>	沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	柠条 <i>C. microphylla</i>	紫穗槐 <i>A. fruticosa</i>	油松(CK) <i>P. tabulaeformis</i>	原土壤 Primary soil
化学性质 Chemistry									
pH	7.68	8.00	7.91	7.74	7.73	7.50	7.82	8.00	7.86
有机质/(g·kg ⁻¹) Org-M	38.71	42.34	43.55	44.76	37.50	37.50	39.92	41.73	22.98
胡敏酸/(g·kg ⁻¹) Humic acid	4.64	5.57	3.71	5.11	3.71	3.71	4.64	3.25	2.79
富啡酸/(g·kg ⁻¹) Fulvic acid	5.57	5.57	6.96	6.04	6.96	6.96	2.54	7.89	6.50
胡敏素/(g·kg ⁻¹) Humin	28.50	31.20	32.87	33.62	26.82	26.82	32.74	30.59	13.70
碱解 N/(mg·kg ⁻¹) Available N	264.7	177.4	176.0	241.8	280.6	615.3	310.4	125.4	221.0
速效 P/(mg·kg ⁻¹) Available P	4.107	4.074	4.242	3.198	5.858	8.955	4.208	5.151	5.622
速效 K/(mg·kg ⁻¹) Available K	197.0	202.0	197.0	217.2	277.8	237.4	191.9	191.9	186.9
阳离子交换量/(cmol·kg ⁻¹) CEC	8.493	8.486	9.282	9.487	8.889	7.290	7.887	10.276	7.295
生物学性质 Biology									
脲酶/(mg·kg ⁻¹) Urease	15.73	16.48	29.95	12.18	30.26	27.47	18.64	18.13	25.26
蔗糖酶/(mL·g ⁻¹) Sucrase	3.692	3.737	3.576	3.871	3.827	3.702	4.074	4.131	3.682
过氧化氢酶/(mL·g ⁻¹) Catalase	1.853	1.894	1.822	1.858	2.043	1.686	1.941	1.912	1.745
过氧化物酶/(mL·kg ⁻¹) Peroxidase	10.310	8.805	9.673	6.293	8.595	8.568	11.060	9.185	9.518
脱氢酶/(mg·g ⁻¹) Dehydrogenase	0.325	0.377	0.421	0.443	0.394	0.212	0.455	0.503	0.246
磷酸酶/(mg·kg ⁻¹) Phosphatase	0.124	0.131	0.220	0.104	0.187	0.107	0.217	0.109	0.107
蛋白酶/(mg·kg ⁻¹) Protease	10.89	11.03	10.22	10.54	11.23	10.54	10.89	10.48	9.794
多酚氧化酶/(mL·g ⁻¹) Polyphenoloxidase	0.084	0.103	0.119	0.108	0.117	0.176	0.114	0.084	0.104
微生物 Microbes									
细菌数量/(10 ³ ·g ⁻¹) Bacteria	2.684	1.926	4.313	2.775	6.503	2.826	2.510	2.232	0.763
真菌数量/(10 ² ·g ⁻¹) Fungi	3.060	4.630	3.750	7.260	11.16	4.450	4.100	5.710	7.030
放线菌数量/(10 ³ ·g ⁻¹) Actinomycetes	0.445	1.680	0.780	3.083	0.325	1.256	1.703	1.273	2.318
影响效应综合主成分值 F Sum of main components	-0.618	-0.028	0.743	0.866	0.832	-2.015	0.220		

由表 2 可知,与原油松林地土壤相比较,在原油松林地土壤中加入油松枯落叶进行混合培养后(即对照),土壤 pH 值略有提高,有机质、胡敏酸、富啡酸、胡敏素含量及阳离子交换量和细菌数量明显增加,蔗糖酶、过氧化氢酶、脱氢酶和蛋白酶活性提高,碱解 N、速效 P 含量和脲酶、多酚氧化酶活性及真菌和放线菌的数量降低。表明油松纯林长期、连续生长,会导致土壤有机质明显富集、阳离子交换量和多种酶活性提高及细菌数量增加的正向极化,同时引起土壤向贫养化(缺 N、P)、部分酶活性降低和真菌、放线菌数量明显减少的负向极化趋势。

引进该树种能够改善林地土壤性质,否则将会导致土壤性质的进一步恶化。

3 结果与分析

3.1 油松纯林土壤性质的极化趋势及引入阔叶树种枯落叶对土壤的影响
试验结果见表 2。

由不同阔叶树种枯落叶与油松林土壤混合后土壤性质较对照的变化(表 2)可以看出,引入刺槐枯落叶虽然明显增加了土壤碱解 N 含量和细菌数量,但却强化了油松林地土壤速效 P 含量及真菌和放线菌数量减少的负向极化;引入小叶杨枯落叶具有明显的增加土壤碱解 N 含量和放线菌数量的作用,却强化了油松林地土壤速效 P 含量和真菌数量减少的负向极化;引入旱柳枯落叶具有明显的增加土壤碱解 N 含量的作用,却强化了油松林土壤速效 P 含量及真菌和放线菌数量减少的负向极化;引入白榆枯落叶具有明显的增加土壤碱解 N、速效 K 含量及真

菌和放线菌数量的作用,却强化了油松林土壤速效 P 含量的负向极化;引入沙棘枯落叶具有明显的增加土壤碱解 N、速效 P、速效 K 含量和真菌数量的作用,却强化了油松林土壤放线菌数量减少的负向极化;引入柠条枯落叶具有明显的增加土壤碱解 N、速效 P、速效 K 含量的作用,却强化了油松林土壤真菌数量减少的负向极化;引入紫穗槐枯落叶具有明显的增加土壤碱解 N 含量和放线菌数量的作用,却强化了油松林土壤速效 P 含量、真菌数量减少的负向极化。

主成分分析结果(表 2)表明,各个阔叶树种枯落叶对油松林地土壤各种生物化学性质的综合影响效果的大小依次为:白榆(0.866)>沙棘(0.832)>旱柳(0.743)>紫穗槐(0.220)>小叶杨(−0.028)>刺槐(−0.618)>柠条(−2.015)。可见,引入白榆、沙棘和旱柳枯落叶可以明显改善油松林地的土壤性质,其次为紫穗槐,而引入小叶杨、刺槐和柠条则反而会恶化

土壤性质。

3.2 樟子松纯林土壤性质的极化趋势及引入阔叶树种枯落叶对土壤的影响

由表 3 可知,与原樟子松林地土壤相比,在原樟子松林地土壤中加入樟子松枯落叶进行混合培养后(即对照),土壤 pH 值提高,有机质、胡敏酸、富啡酸、胡敏素、碱解 N、速效 P、速效 K 含量及阳离子交换量明显增加,过氧化氢酶、过氧化物酶、脱氢酶、磷酸酶、蛋白酶活性及真菌和放线菌的数量提高,但脲酶、蔗糖酶、多酚氧化酶活性及细菌的数量降低。这一结果反映出樟子松纯林的长期连续生长会导致土壤偏碱化,有机质、腐殖质、碱解 N、速效 P、速效 K 养分明显富集,阳离子交换量和多种酶活性提高及真菌、放线菌数量增加的正向极化,但却同时引起土壤部分酶(脲酶、蔗糖酶)活性降低及细菌数量明显减少的负向极化发展趋势。

表 3 陕北半干旱风沙区樟子松林地土壤与不同树种枯落叶混合培养后土壤生物化学性质的变化

Table 3 Soil chemical and biological properties of *P. sylvestris* var. *mongolica* forest after incubation mixing with different leaf litter in the semi-arid, windblown sand region of northern Shaanxi Province

土壤性质 Soil property	刺槐 <i>R. pseudo-acacia</i>	小叶杨 <i>P. simonii</i>	旱柳 <i>S. matsudana</i>	白榆 <i>U. pumila</i>	沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	柠条 <i>C. microphylla</i>	紫穗槐 <i>A. fruticosa</i>	油松(CK) <i>P. tabulaeformis</i>	原土壤 Primary soil
化学性质 Chemistry									
pH	7.91	7.85	7.90	7.80	7.43	7.21	7.87	7.89	7.63
有机质/(g·kg ⁻¹) Org-M	38.71	66.53	50.20	55.65	62.90	41.13	44.15	54.44	24.80
胡敏酸/(g·kg ⁻¹) Humic acid	1.88	7.51	2.81	3.75	3.75	2.81	2.81	2.81	1.88
富啡酸/(g·kg ⁻¹) Fulvic acid	7.97	9.85	9.85	10.32	11.73	8.44	7.51	13.60	4.22
胡敏素/(g·kg ⁻¹) Humin	28.86	49.18	37.54	41.57	47.43	29.87	33.83	38.02	18.70
碱解 N/(mg·kg ⁻¹) Available N	242.5	176.0	144.1	263.3	253.6	469.8	291.0	225.9	178.1
速效 P/(mg·kg ⁻¹) Available P	8.518	11.222	7.070	10.706	18.517	17.372	10.571	19.964	14.982
速效 K/(mg·kg ⁻¹) Available K	131.3	141.4	131.3	166.7	222.2	161.6	136.4	176.8	111.1
阳离子交换量/(cmol·kg ⁻¹) CEC	4.492	5.487	2.297	4.691	5.686	3.298	4.491	4.093	3.293
生物学性质 Biology									
脲酶/(mg·kg ⁻¹) Urease	26.26	28.48	23.02	23.84	21.99	24.61	17.34	14.28	30.76
蔗糖酶/(mL·g ⁻¹) Sucrase	2.515	2.646	1.897	2.712	3.187	2.305	1.882	1.734	2.484
过氧化氢酶/(mL·g ⁻¹) Catalase	1.577	1.673	1.428	1.496	1.623	1.280	1.439	1.648	1.416
过氧化物酶/(mL·kg ⁻¹) Peroxidate	10.31	11.51	10.26	11.23	9.78	5.71	9.47	10.77	10.16
脱氢酶/(mg·g ⁻¹) Dehydrogenase	0.444	0.407	0.555	0.388	0.487	0.242	0.466	0.455	0.266
磷酸酶/(mg·kg ⁻¹) Phosphatase	0.113	0.084	0.093	0.085	0.129	0.106	0.089	0.101	0.052
蛋白酶/(mg·kg ⁻¹) Protease	9.72	10.87	11.39	11.51	11.15	10.47	10.51	11.02	10.22
多酚氧化酶/(mL·g ⁻¹) Polyphenoloxidase	0.147	0.145	0.155	0.152	0.130	0.158	0.152	0.151	0.154
微生物 Microbes									
细菌数量/(10 ³ ·g ⁻¹) Bacteria	2.190	0.735	0.936	0.324	3.658	3.649	0.858	0.718	2.256
真菌数量/(10 ² ·g ⁻¹) Fungi	4.140	2.630	6.700	3.420	6.820	4.180	6.910	12.940	8.420
放线菌数量/(10 ³ ·g ⁻¹) Actinomycetes	1.169	1.889	1.572	1.263	1.016	1.500	1.164	2.219	1.678
影响效应综合主成分值 F Sum of main components	−0.653	0.087	−1.279	0.009	2.373	0.335	−0.872		

由不同阔叶树种枯落叶与樟子松林土壤混合后土壤性质较对照的变化(表 3)可以看出,引入刺槐

枯落叶可以明显防止土壤脲酶、蔗糖酶活性和细菌数量的负向极化,但却会引起土壤养分的负向极化;引入小叶杨枯落叶可以明显防止土壤脲酶、蔗糖酶活性的负向极化,但却会引起土壤养分的负向极化;引入旱柳枯落叶可以明显防止土壤脲酶活性和细菌数量的负向极化,但却会引起土壤养分的负向极化;引入白榆枯落叶可以明显防止土壤脲酶、蔗糖酶活性的负向极化,并导致碱解 N 的富集,但却强化了速效 P 含量和细菌数量的负向极化;引入沙棘枯落叶可以明显防止土壤脲酶、蔗糖酶活性和细菌数量的负向极化,使土壤养分富集;引入柠条枯落叶可以明显防止樟子松林土壤脲酶、蔗糖酶活性和细菌数量的负向极化,并使土壤碱解 N 富集,但却会引起土壤速效 P 和有机质含量的减少;引入紫穗槐枯落叶可以明显防止樟子松林土壤脲酶活性和细菌数量的负向极化,并使土壤碱解 N 富集,但却会引起土壤速效 P、速效 K、有机质含量减少。

主成分分析结果(表 3)表明,各个阔叶树种枯落叶对樟子松林地土壤各种生物化学性质的综合影响效果的大小依次为沙棘(2.373)>柠条(0.335)>小叶杨(0.087)>白榆(0.009)>刺槐(−0.653)>紫穗槐(−0.872)>旱柳(−1.279)。可见,引入沙棘枯落叶可以明显改善樟子松林地土壤性质,其次为柠条,小叶杨和白榆效果不明显,而引入刺槐、紫穗槐和旱柳反而会恶化土壤性质。

4 结论与讨论

1)本研究结果表明,油松纯林的长期连续生长会导致土壤向养分含量、部分酶活性降低及真菌、放线菌数量明显减少的负向极化趋势发展。为了防治油松纯林土壤性质的负向极化,将不同阔叶树种引入油松纯林形成混交林的优先顺序为:引入白榆、沙棘和旱柳最好,其次为紫穗槐,而小叶杨、刺槐和柠条则均不适宜引入。

2)本研究结果表明,樟子松纯林的长期连续生长会导致土壤部分酶(脲酶、蔗糖酶)活性降低和细菌数量明显减少的负向极化发展趋势。为了防治樟子松纯林土壤性质的负向极化,将不同阔叶树种引入樟子松纯林形成混交林的优先顺序为:引入沙棘最好,其次为柠条,引入小叶杨和白榆效果不明显,而刺槐、紫穗槐和旱柳则均不适宜引入。

3)由于针叶纯林土壤性质的极化受凋落叶、根系及树木对土壤养分的吸收利用特征等多种因素影响,本研究只从凋落叶对土壤性质影响的角度得出

不同针叶纯林土壤的极化趋势具有一定的局限性。同样,在对针叶纯林进行混交改造时,由于种间关系的复杂性(包括种间机械作用、种间生物作用、种间生理生态作用、种间生物化学作用等),本研究仅从不同阔叶树种凋落叶对土壤性质影响的角度,得出引入阔叶树种防治针叶纯林土壤负向极化并改良土壤的方案,具有一定的相对性。但是,由于树叶凋落和分解是林木与土壤相互影响的主要途径,凋落叶在土壤性质变化中起着至关重要的作用,所以本研究所得出的结论仍然具有一定的实际参考价值。

[参考文献]

[1] 刘增文,段而军,刘卓玛姐,等. 陕北半干旱风沙区人工纯林土壤性质极化研究 [J]. 北京林业大学学报,2009,31(2):1-9.
Liu Z W, Duan E J, Liu Z M J, et al. Soil polarization under pure stands of planted forests in the semi-arid, windblown sand region of northern Shaanxi province [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(2): 1-9. (in Chinese)

[2] 焦如珍,杨承栋,孙启武,等. 杉木人工林不同发育阶段土壤微生物数量及其生物量的变化 [J]. 林业科学,2005,41(6):163-165.
Jiao R Z, Yang C D, Sun Q W, et al. Changes in soil microbial amount and biomass during the development of Chinese fir plantation [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(6): 163-165. (in Chinese)

[3] 阎德仁. 落叶松人工林土壤肥力与微生物含量的研究 [J]. 东北林业大学学报,1996,24(3):46-50.
Yan D R. Study on soil fertility and content of microbes in larch plantations [J]. Journal of Northeast Forestry University, 1996, 24(3): 46-50. (in Chinese)

[4] 杨茂生,谢会成. 引种的华北落叶松人工林对土壤影响的研究 [J]. 西北林学院学报,2002,17(3):35-37.
Yang M S, Xie H C. Effect of introduced larch forests on soil [J]. Journal of Northwest Forestry College, 2002, 17(3): 35-37. (in Chinese)

[5] Joshil M, Bargali K, Bargali S. Changes in physio-chemical properties and metabolic activity of soil in poplar plantations replacing natural broad-leaved forests in Kumaun Himalaya [J]. Journal of Arid Environments, 1997, 35(1): 161-169.

[6] 余常兵,陈防,万开元. 杨树人工林营养及施肥研究进展 [J]. 西北林学院学报,2004,19(3):67-71.
Yu C B, Chen F, Wan K Y. Advances in the study of fertilization on poplar plantation [J]. Journal of Northwest Forestry College, 2004, 19(3): 67-71. (in Chinese)

[7] 方代有. 论粤西退化桉树林地的水土保持生态修复 [J]. 亚热带水土保持,2005,17(3):22-25.
Fang D Y. Ecological restoration of degraded forest of *Eucalyptus globules* in western Guangdong [J]. Subtropical Soil and Water Conservation, 2005, 17(3): 22-25. (in Chinese)

[8] 刘增文,段而军,付刚,等. 一个新概念:人工纯林土壤性质的

极化 [J]. 土壤学报, 2007, 44(6): 1119-1126.

Liu Z W, Duan E J, Fu G, et al. A new concept: Soil polarization in artificial pure forest [J]. Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(6): 1119-1126. (in Chinese)

[9] 蒋三乃, 翟明普, 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. Progress of study on interspecific relationship of mixed forest [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2001, 23(2): 72-77. (in Chinese)

[10] 刘增文, 段而军, 高文俊, 等. 秦岭山区主要树种人工林地枯落叶客置对土壤生物化学性质的影响 [J]. 应用生态学报, 2008, 19(4): 704-710.

Liu Z W, Duan E J, Gao W J, et al. Effects of leaf litter replacement on soil biological and chemical characteristics in main artificial forests in Qinling Mountains [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(4): 704-710. (in Chinese)

[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.

Lu R K. Agro-chemical analysis methods of soil [M]. Beijing: Chinese Agriculture Scientific Press, 1999. (in Chinese)

[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.

Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science ed. Study methods of soil microorganisms [M]. Beijing: Science Press, 1985. (in Chinese)

[13] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986: 267-284.

Guan S Y. Soil enzymes and its study methods [M]. Beijing: Agriculture Press, 1986: 267-284. (in Chinese)

[14] 周礼恺. 土壤酶学 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1980.

Zhou L K. Science of soil enzyme [M]. Beijing: Science and Technology Press, 1980. (in Chinese)

(上接第 102 页)

[7] 韦鹤平. 环境系统工程 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1991: 32-56.

Wei H P. Environmental systems engineering [M]. Shanghai: Tongji University Press, 1991: 32-56. (in Chinese)

[8] 冯林. 内蒙古森林 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1989: 57-59.

Feng L. Inner Mongolia forest [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1989: 57-59. (in Chinese)

[9] 马雪华, 王淑元. 森林生态系统定位研究方法 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 213-253.

Ma X H, Wang S Y. Forest ecosystem research methods [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1994: 213-253. (in Chinese)

[10] 张万儒, 许本彤. 森林土壤定位研究方法 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1986: 30-36.

Zhang W R, Xu B T. Positioning methods of forest soil [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1986: 30-36. (in Chinese)

[11] Satoo. 产量法研究综述 [M]. 李文华, 译. 北京: 科学出版社, 1974: 23-45.

Satoo. Yield method mummary [M]. Li W H, Translation. Beijing: China Science Press, 1974: 23-45. (in Chinese)

[12] 林业部科技司. 森林生态系统定位研究方法 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.

Forestry Science and Technology Department. Forest ecosystem research methods [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1994. (in Chinese)

[13] 魏强, 张秋良, 代海燕. 大青山不同植被下的地表径流和土壤侵蚀 [J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(5): 112-114.

Wei Q, Zhang Q L, Dai H Y. Surface runoff and soil erosion of different vegetations in Daqing mountain, Inner Mongolia [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008, 30(5): 112-114. (in Chinese)

[14] 古丽努尔·沙布尔哈孜, 尹林克. 塔里木河中下游退耕还林还草综合生态效益评价研究 [J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 80-84.

Gulinuer S B E Z, Yi L K. Approach on ecological benefit of withdrawing from farming to afforesting and grass planting in middle and lower reaches of Tarim River [J]. Journal of Soil Water Conservation, 2004, 18(5): 80-84. (in Chinese)

[15] 先琨. 农业生态系统生态效益综合评价方法探讨 [J]. 农村生态环境, 1995, 11(2): 25-27.

Xian K. An approach to the method of eco-benefit synthetic evaluation of agroecoecosystem [J]. Rural Eco-environment, 1995, 11(2): 25-27. (in Chinese)