

# 黄土残塬沟壑区利用阔叶树种枯落叶对针叶林土壤极化的防治效应\*

刘增文<sup>1,2</sup> 时腾飞<sup>1</sup> 杨森浩<sup>1</sup> 潘岱立<sup>1</sup> 李卓青<sup>1</sup> 罗伟<sup>1</sup>

(1 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

(2 农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室, 陕西杨凌 712100)

**摘要** 人工纯林的长期连续生长或连栽所引起的土壤极化是导致土壤退化和影响人工林生态系统稳定及可持续发展的重要原因,防治的根本途径是引入其他树种形成针阔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。针对在黄土残塬沟壑区的针叶纯林,通过野外采集典型林地腐殖质层土壤和不同森林和城市道路绿化阔叶树种当年枯落叶后进行室内混合培养试验,研究表明:(1)油松枯落叶会引起土壤有机质、有效磷含量、微生物数量增加和脱氢酶、磷酸酶、多酚氧化酶等多种酶活性增强的正向极化,但同时却会引起土壤碱解氮含量和脲酶、蔗糖酶活性降低的负向极化。与小叶杨和沙棘混交或将其枯落叶客置可以明显改善油松林地土壤性质,而柠条、刺槐和辽东栎则反而会恶化土壤性质。客置七叶树、紫叶李、泡桐枯落叶可以明显改善油松林地土壤性质,其次为银杏,而其他树种均不适宜。(2)侧柏枯落叶会引起土壤有效磷、速效钾含量、微生物数量增加和蔗糖酶、脱氢酶、磷酸酶、蛋白酶、多酚氧化酶活性增强的正向极化,但同时却会引起土壤碱解氮含量和脲酶活性降低的负向极化。与辽东栎、刺槐混交或将其枯落叶客置可以明显改善侧柏林地土壤性质,其次是沙棘和柠条,而小叶杨则反而会恶化土壤性质。客置玉兰、七叶树、法桐枯落叶可以明显改善侧柏林地土壤性质,其次为杜仲、五角枫,而其他树种均不适宜。该研究结果将对于大面积人工纯林改造、混交林营建等方面具有重要的理论指导和实践意义。

**关键词** 人工林;土壤退化;土壤极化;枯落叶

**中图分类号** S714.2 **文献标识码** A

黄土残塬沟壑区位于黄土高原南部,由于当地地形破碎、气候干燥、降雨分配不均等原因,水土流失十分严重,生态环境非常脆弱。油松、侧柏等针叶林具有常绿、抗旱、耐瘠薄和固土保水等特性,成为当地防护林的主要组成部分,发挥着重要的生态防护功能。但由于这些针叶林多为纯林,树种组成单一,林下植被稀少,多数成熟或多代连栽后的森林土壤性质发生明显的退化现象,严重影响着森林的生长发育、稳定和可持续发展<sup>[1]</sup>。

关于人工林长期生长或多代连栽后出现土壤质量下降和退化现象早就被广泛关注<sup>[2-7]</sup>,但黄土高原在这方面的研究尚很少。刘增文等<sup>[8]</sup>曾提出了“土壤极化”的概念,并定义其为“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”,而且从

结果上划分为正向(增益性)极化和负向(破坏性)极化,从原因上划分为物理极化、化学极化和生物学极化。

为了避免人工纯林土壤发生负向极化(如果是正向极化,则应当采取措施促进),最根本的办法是营造不同针阔或乔灌混交林。但对于已经发生土壤极化的现有人工纯林,解决的办法只能是进行树种更新或间伐后引进其他树种形成混交林,或者利用其他树种枯落叶进行根系附近的局部客置(包括森林树种和城市道路绿化树种枯落叶,目前大量的城市道路绿化树种枯落叶被视为垃圾而焚烧或掩埋,既造成浪费又污染了环境,所以通过客置可以实现变废为宝和循环利用的目的)。所有这些措施均迫切需要事先对不同树种之间的种间关系及其对土壤性质极化的影响进行深入研究<sup>[9]</sup>。由于在自然界中的现有混交林数量很有限,混交造林试验耗时太长,所以,寻找科学而快捷的研究手段和方

\* 国家自然科学基金项目(31070630)和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)资助

作者简介:刘增文(1965—),男,陕西横山人,博士生导师,教授,主要从事森林生态与水土保持研究。E-mail: zengwenliu2003@yahoo.com.cn

收稿日期:2010-11-29;收到修改稿日期:2011-03-04

法研究种间关系将会对大面积人工纯林的改造、防治土壤性质极化具有非常重要的理论和现实意义<sup>[10]</sup>。

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,混交树种之间的种间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。本文便是利用针叶林地腐殖质层土壤与不同阔叶树种枯落叶进行室内混合培养来研究黄土残源沟壑区主要针阔树种间关系的一种尝试。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

该项研究选择了位于渭北黄土高原南部、半湿润残源沟壑区的陕西淳化县英烈林场作为典型代表,这里属暖温带半湿润森林草原生物气候带,年均降水 600.6 mm,年均气温 10.5℃,平均无霜期 190 d,海拔 1 025 ~ 1 824 m,伊万诺夫湿润度平均值为 0.7。土壤类型为褐土类的白善土亚类。由于自然条件的恶化和人类过度且频繁的影响,天然林的

面积越来越少,人工林成为森林植被的主要类型。主要针叶林有油松 (*Pinus tabulaeformis*) 和侧柏 (*Platycladus orientalis*),主要阔叶林有刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、小叶杨 (*Populus simonii*) 和辽东栎 (*Quercus liaotungensis*),主要灌木林有沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 和柠条 (*Caragana microphylla*)。当地常见的城市道路绿化阔叶树种有法桐 (*Platanus hispanica*)、国槐 (*Sophora japonica*)、银杏 (*Ginkgo biloba*)、垂柳 (*Salix babylonica*)、五角枫 (*Acer mono-maxim*)、女贞 (*Ligustrum lucidum*)、紫叶李 (*Prunus cerasifera*)、栾树 (*Koeleria interifolia*)、广玉兰 (*Magnolia grandiflora*)、梧桐 (*Firmiana simplex*)、泡桐 (*Paulownia fortunei*)、杜仲 (*Cortex Eucommiae*) 和七叶树 (*Aesculus parviflora*) 等。

### 1.2 针叶纯林标准地设置、土壤及枯落叶样品采集

首先在研究区内最具有典型代表性的地段,选择进入成熟生长期、覆盖度达到 90% ~ 100% 的 24 年生油松和生侧柏人工纯林,分别建立 20 m × 20 m 的标准地(表 1),测定并记录立地因子和各项平均生长指标。林下植被以草本植物为主,盖度小于 15%。

表 1 针叶纯林标准地基本状况

Table 1 Status of mono-species coniferous forests

林地类型 Forest type	林龄 Age(a)	地貌部位 Site	海拔 Elevation(m)	坡向 Aspect	坡度 Slope(°)	胸径 BHD(cm)	树高 Height(m)	密度 Density (ind hm <sup>-2</sup> )
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	24	梁坡顶部	1 210	SW15°	12	13.95	6.92	2 167
侧柏 <i>P. orientalis</i>	24	梁坡顶部	1 210	SW15°	20	8.62	5.31	2 941

然后在所建立的标准地内均匀设置 5 个 1 × 1 m 大小的小样方,清理枯落物层(包括半分解层)后收集每个样方腐殖质层(0 ~ 10 cm)的全部土壤,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,于当地不同林地收集不同针叶和阔叶树种的新近凋落且尚未分解的枯落叶,带回室内迅速漂洗干净后风干,粉碎过 1 mm 筛备用。

### 1.3 室内混合分解培养试验

将准备好的土样(过孔径 5 mm 的土壤筛)和枯落叶粉碎样(过孔径 1 mm 筛),按照 100:2 的干重比例两两充分混合(鲜土以含水率折算成干土)<sup>[11]</sup>,然

后分别取 2.5 kg 装入不透水塑料培养钵中(钵口直径为 18 cm,钵体高 16 cm)。每个树种枯落叶与土壤混合为一个处理,同时将不与任何物质混合的等量原林地土壤直接培养也作为一个处理,每个处理设置 3 个重复。开始培养时,在每个培养钵中加一定量的蒸馏水,统一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(20 ~ 25℃)下进行培养。在培养过程中,每隔 3 d 称量培养钵重量,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(培养钵重量保持恒定)。连续培养 120 d,直至观察绝大部分枯落叶分解为止。

### 1.4 土壤性质测定

将培养好的土样平摊至干净的瓷盘里,仔细捡除残留的枯落叶碎屑,将部分鲜土留作微生物数量测定,其他土样风干,过孔径 1 mm 土壤筛保存。测定项目及实验分析方法如下:

化学性质中,pH 采用 PHS-2 型酸度计测定(水土质量比为 2.5:1);有机质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;碱解氮采用扩散法测定;有效磷采用  $\text{NaHCO}_3$  浸提钼兰比色法测定;速效钾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;微量元素有效态含量采用为二乙三胺五乙酸(DTPA)浸提-原子吸收分光光度法(AAS法)测定<sup>[12]</sup>。

生物学性质中,土壤微生物数量采用平板稀释法测定<sup>[13]</sup>;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  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  滴定法测定;过氧化氢酶活性采用  $\text{KMnO}_4$  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 pH 10 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<sup>[14-15]</sup>。

以上所有指标测定均采用 3 次重复(误差不超过 5%)的平均值。

### 1.5 数据整理分析

应用 Excel 2003 进行数据处理和 LSD 进行差异显著性检验,采用主成分综合模型(SPSS 软件包)计算综合主成分值。在主成分分析中,提取出特征值大于 1 的主成分分别记为  $F_i$ ,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综合主成分值。

## 2 结果与分析

试验结果分为原针叶林地土壤、与针叶树种枯

落叶混合培养后土壤(对照)和与不同阔叶树种枯落叶混合培养后土壤等。首先,根据 LSD 检验结果表明,不同处理之间的土壤性质差异均达到显著或极显著水平。然后,比较与针叶树种枯落叶混合培养后土壤(对照)较原针叶林地土壤性质的变化,据此分析针叶林土壤的极化趋势;计算与不同阔叶树种枯落叶混合后土壤性质较对照的提高率,据此分析利用不同阔叶树种枯落叶对针叶林土壤极化的防治效应。由于不同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,本文选取除了 pH 之外的其他 19 个指标,计算各树种枯落叶分解培养后土壤性质较对照提高率的综合主成分值(表 2 和表 3 中的 F 值),当 F 值大于 0 时,表明引进该树种能够总体上改善林地土壤性质,否则将会导致土壤性质的进一步恶化。

### 2.1 阔叶树种枯落叶对油松纯林土壤性质的影响

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),与原林地土壤性质比较(表 2),略微提高了土壤 pH(5.16%,指较原林地土壤性质提高率,下同)、胡敏素(0.65%)和速效钾(5.41%)含量、过氧化物酶(7.50%)活性,明显提高了有机质(50.01%)、胡敏酸(34.33%)、有效磷(30.08%)含量和脱氢酶(184.6%)、磷酸酶(187.3%)、多酚氧化酶(74.07%)活性及细菌(95.14%)、真菌(48.15%)、放线菌(437.1%)数量,但略微降低了阳离子交换量(9.73%)和过氧化氢酶(0.59%)活性,明显降低了富啡酸(35.66%)、碱解氮(15.59%)含量和脲酶(13.25%)、蔗糖酶(21.91%)活性。这一结果反映出,油松的长期连续生长或连栽主要会引起土壤有机质、有效磷含量、微生物数量增加和脱氢酶、磷酸酶、多酚氧化酶等多种酶活性增强的正向极化,但同时却会引起土壤碱解氮含量和脲酶、蔗糖酶活性降低的负向极化。

分析不同森林阔叶树种枯落叶与油松林地土壤混合后土壤性质较对照的变化(表 2)可以看出:刺槐可以明显增加富啡酸、胡敏素、速效钾含量和阳离子交换量及脲酶活性,但却会显著降低有机质、胡敏酸、碱解氮、有效磷含量、细菌、真菌数量和蔗糖酶、脱氢酶的活性;小叶杨可以明显增加胡敏酸、胡敏素含量、阳离子交换量和蔗糖酶、蛋白酶活性,但却会明显降低有机质、富啡酸、碱解氮含量和多酚氧化酶活性及真菌、放线菌数量;

辽东栎可以明显增加土壤富啡酸、胡敏素、有效磷含量和脲酶、脱氢酶活性,但却会明显降低有机质、碱解氮含量和磷酸酶活性及细菌、放线菌数量;沙棘可以明显增加土壤有效磷含量和蔗糖酶活性,但却会明显降低有机质、碱解氮含量和脱氢酶、磷酸酶活性及细菌、真菌、放线菌数量;柠条枯落叶可以明显增加土壤胡敏酸、胡敏素、有效磷、速效钾含量和脲酶、磷酸酶活性,但却会明显降低富啡酸、碱解氮含量和脱氢酶活性及细菌、放线菌数量。

根据主成分分析结果表明(表2中的F值),不同森林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顺序为:小叶杨(0.293) > 沙棘(0.239) > 柠条(-0.155) > 刺槐(-0.224) > 辽东栎(-0.257)。可见,总体而言,引入小叶杨和沙棘枯落叶可以明显改善油松林地土壤性质,而柠条、刺槐和辽东栎则反会恶化土壤性质。

此外,分析不同城市道路绿化阔叶树种枯落叶与油松林地土壤混合后土壤性质较对照的变化(表2)可以看出,能对油松林地土壤性质有明显改善的树种枯落叶为:紫叶李和七叶树可以明显增加有机质含量;女贞能增加有效磷的含量;除了法桐、女贞和梧桐之外,其他树种均能增加速效钾的含量;除了法桐、垂柳、玉兰之外,其他树种均能增加阳离子交换量;法桐、国槐、垂柳、五角枫、女贞、玉兰、梧桐和杜仲均能提高脲酶活性;除了国槐、紫叶李和玉兰之外,其他树种均能提高蔗糖酶活性;七叶树能提高过氧化物酶活性;五角枫、泡桐和七叶树能提高脱氢酶活性;垂柳、紫叶李、栾树、梧桐和泡桐能提高磷酸酶活性;除了玉兰之外,其他树种均能提高蛋白酶活性;法桐、女贞、紫叶李、玉兰、杜仲均能提高多酚氧化酶活性;紫叶李、七叶树能增加细菌数量;国槐、银杏、垂柳、五角枫、女贞、栾树、泡桐均能增加放线菌的数量。

根据主成分分析结果表明(表2中的F值),不同城市道路绿化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顺序为:七叶树(2.277) > 紫叶李(1.770) > 泡桐(1.279) > 银杏(0.290) > 五角枫(0.055) > 栾树(-0.005) > 梧桐(-0.104) > 玉兰(-0.106) > 国槐(-0.143) > 垂柳(-0.435) > 杜仲(-0.644) > 法桐(-0.995) > 女贞(-1.910),可见,总体而言,引入七叶树、紫叶李、泡桐枯落叶可以明显改善油松林地土壤性质,其次为银杏,而其他树种均不适宜。

## 2.2 阔叶树种枯落叶对侧柏纯林土壤性质的影响

在原侧柏林地土壤中加入侧柏枯落叶进行混合培养后(即对照),与原林地土壤性质比较(表3),略微提高了土壤pH(1.58%)、胡敏酸(8.69%)含量,明显提高了有效磷(65.84%)、速效钾(21.05%)含量和蔗糖酶(24.20%)、脱氢酶(87.65%)、磷酸酶(65.02%)、蛋白酶(10.58%)、多酚氧化酶(44.44%)活性及细菌(113.81%)、真菌(134.00%)、放线菌(113.10%)数量,但略微降低了有机质(4.16%)含量、阳离子交换量(0.61%)和过氧化物酶(0.04%)、过氧化物酶(6.32%)活性,明显降低了富啡酸(10.64%)、胡敏素(13.95%)、碱解氮(14.74%)含量和脲酶(67.27%)活性。这一结果反映出,侧柏的长期连续生长或连栽主要会引起土壤有效磷、速效钾含量、微生物数量增加和蔗糖酶、脱氢酶、磷酸酶、蛋白酶、多酚氧化酶活性增强的正向极化,但同时却会引起土壤碱解氮含量和脲酶活性降低的负向极化。

分析不同森林阔叶树种枯落叶与侧柏林地土壤混合后土壤性质较对照的变化(表3)可以看出:刺槐可以明显增加土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化物酶、脱氢酶、磷酸酶活性和细菌数量,但却会明显降低胡敏酸、碱解氮、有效磷、速效钾含量和放线菌数量;小叶杨可以明显增加土壤有机质、胡敏素、碱解氮含量和脲酶、蔗糖酶、过氧化物酶、磷酸酶活性,但却会明显降低有效磷、速效钾含量、阳离子交换量和脱氢酶、多酚氧化酶活性及真菌、放线菌数量;辽东栎可以明显增加土壤富啡酸、胡敏素含量和脲酶、脱氢酶、磷酸酶活性,但却会明显降低胡敏酸、碱解氮含量、阳离子交换量和放线菌数量;沙棘可以明显增加土壤有机质、富啡酸、胡敏素、有效磷含量和脲酶、磷酸酶活性及细菌、真菌数量,但却会明显降低胡敏酸、碱解氮含量和蔗糖酶、脱氢酶活性及放线菌数量;柠条可以明显增加土壤胡敏素含量和脲酶、蔗糖酶、过氧化物酶、磷酸酶活性及真菌数量,但却会明显降低胡敏酸、有效磷含量和脱氢酶活性及细菌、放线菌数量。

根据主成分分析结果表明(表3中的F值),不同森林阔叶树种枯落叶对侧柏林地土壤各种生物化学性质的综合影响效果的大小顺序为:辽东栎(0.899) > 刺槐(0.458) > 沙棘(0.193) > 柠条(0.105) > 小叶杨(-0.145)。可见,总体而言,引入辽东栎、刺槐枯落叶可以明显改善侧柏林地土壤性质,其次是沙棘和柠条,而小叶杨则反会恶化土壤性质。



表 3 黄土残源沟壑区侧柏林地土壤与不同树种枯落叶混合培养后的生物化学性质

Table 3 Chemical and biological properties of *P. orientalis* forest soil after mixing and incubation with litters from different trees in the gullied loess plateau

土壤性质 <sup>1)</sup> Soil properties	森林树种枯落叶 Leaf litter of forest trees										城市道路绿化树种枯落叶 Leaf litter of urban road-greening trees										侧柏 枯落叶林地土壤 Primary soil	
	刺槐 RP	小叶杨 PS	辽东栎 QL	沙棘 HR	柠条 CI	法桐 PO	国槐 SJ	银杏 GB	垂柳 SB	五角枫 AM	女贞 LL	紫叶李 PC	栎树 KP	玉兰 MD	梧桐 FP	泡桐 PF	杜仲 EU	七叶树 AT	PO (CK)	Primary soil		
	7.63	7.96	7.67	7.4	7.44	7.75	7.59	7.88	7.81	7.90	7.86	7.88	7.78	7.89	7.71	7.72	7.69	7.91	7.73	7.61		
化学性质 Chemical properties																						
pH	7.63	7.96	7.67	7.4	7.44	7.75	7.59	7.88	7.81	7.90	7.86	7.88	7.78	7.89	7.71	7.72	7.69	7.91	7.73	7.61		
有机质 OM(g kg <sup>-1</sup> )	53.56	72.25	61.04	66.02	61.04	59.79	92.18	73.49	64.77	63.53	51.07	74.74	59.79	56.05	54.81	77.23	53.56	54.81	57.30	59.79		
胡敏酸 HA(g kg <sup>-1</sup> )	11.89	14.15	10.75	12.45	10.75	11.57	29.28	33.18	21.47	24.40	17.57	20.50	20.50	21.47	18.54	21.47	22.45	15.62	24.40	22.45		
富啡酸 FA(g kg <sup>-1</sup> )	11.61	11.89	13.87	15.85	13.02	6.71	16.98	19.25	12.45	14.15	10.19	11.89	11.89	12.45	10.75	12.45	13.02	9.06	14.15	13.02		
胡敏素 Hu(g kg <sup>-1</sup> )	7.58	15.86	10.78	9.99	11.63	15.85	20.66	14.44	15.85	11.61	16.13	20.95	16.42	19.81	12.17	19.53	17.83	16.70	11.89	13.31		
碱解氮 AN(mg kg <sup>-1</sup> )	58.5	277.5	122.0	140.5	169.8	8.64	15.82	8.94	9.26	11.09	3.30	10.52	6.37	0.24	8.86	12.81	0.21	6.03	7.19	8.36		
有效磷 AP(mg kg <sup>-1</sup> )	2.842	4.264	5.686	6.171	2.947	5.408	5.235	4.160	3.444	3.917	3.397	3.571	3.836	5.165	3.998	3.050	4.125	4.299	5.443	3.282		
速效钾 AK(mg kg <sup>-1</sup> )	213.2	197.6	218.4	254.8	218.4	244.4	213.2	187.2	254.8	234.0	208.0	223.6	218.4	244.4	192.4	223.6	234.0	239.2	239.2	197.6		
CEC(cmol kg <sup>-1</sup> )	27.08	26.26	26.20	27.28	28.42	28.04	21.87	29.02	23.86	27.84	27.48	29.02	25.03	29.67	25.89	22.86	28.26	27.27	29.23	29.41		
酶活性 Enzyme activities																						
脲酶 EU(mg kg <sup>-1</sup> )	12.94	11.78	16.60	13.26	15.02	15.14	14.64	8.6	27.82	10.94	26.33	18.85	19.97	28.72	26.32	20.99	17.36	15.28	6.147	18.78		
蔗糖酶 ES(ml g <sup>-1</sup> )	3.448	3.562	3.172	1.751	3.476	3.109	2.297	2.281	2.887	3.636	2.983	3.139	3.156	3.914	3.502	2.494	3.926	4.493	2.997	2.413		
过氧化氢酶 EC(ml g <sup>-1</sup> )	2.313	2.304	2.246	2.254	2.318	2.308	2.312	2.247	2.315	2.265	2.295	2.258	2.235	2.307	2.311	2.301	2.317	2.337	2.227	2.228		
过氧化物酶 EPe(ml g <sup>-1</sup> )	12.56	13.15	12.25	12.25	13.63	11.46	12.23	12.44	11.56	12.95	12.18	13.77	12.39	11.82	12.03	13.02	11.66	12.33	11.41	12.18		
脱氢酶 ED(mg g <sup>-1</sup> )	0.366	0.286	0.422	0.278	0.248	0.408	0.279	0.143	0.242	0.316	0.203	0.222	0.234	0.476	0.160	0.199	0.441	0.428	0.319	0.170		
磷酸酶 EPh(mg kg <sup>-1</sup> )	0.772	0.484	0.587	0.464	0.489	0.638	0.501	0.369	0.433	0.393	0.422	0.650	0.631	0.520	0.467	0.513	0.491	0.487	0.401	0.243		
蛋白酶 EPr(mg kg <sup>-1</sup> )	12.22	13.09	11.44	12.97	12.41	13.32	12.79	14.77	13.85	13.34	13.02	13.09	15.05	12.63	13.32	13.30	14.17	12.41	12.65	11.44		
多酚氧化酶 EPo(ml g <sup>-1</sup> )	0.049	0.036	0.051	0.055	0.057	0.047	0.070	0.039	0.056	0.049	0.056	0.056	0.052	0.069	0.058	0.031	0.054	0.055	0.052	0.036		
微生物数量 Microorganism																						
细菌 MB(10 <sup>3</sup> ind. g <sup>-1</sup> )	7.446	5.750	6.459	9.097	5.095	7.774	6.977	2.560	3.807	4.183	2.225	5.652	5.423	3.232	6.725	6.412	3.536	8.516	6.192	2.896		
真菌 MF(10 <sup>2</sup> ind. g <sup>-1</sup> )	7.420	4.110	8.700	12.61	11.91	6.110	3.780	3.050	2.260	7.130	4.780	7.120	6.570	7.490	7.440	8.310	5.880	7.720	8.190	3.500		
放线菌 MA(10 <sup>3</sup> ind. g <sup>-1</sup> )	3.597	0.5750	3.963	3.547	2.492	3.493	2.273	1.501	1.005	2.892	5.393	4.846	0.568	0.896	3.044	5.943	5.682	4.914	7.256	3.405		
综合主成分 F	0.458	-0.145	0.899	0.193	0.105	0.871	-0.077	-1.626	-0.433	0.192	-0.564	-0.276	-0.973	1.352	-0.379	-1.200	0.453	1.150				

Note: PO; *Platycladus orientalis* Others are the same as in Table 2

此外,分析不同城市道路绿化阔叶树种枯落叶与侧柏林地土壤混合后土壤性质较对照的变化(表2)可以看出,能对侧柏林地土壤性质有明显改善的树种枯落叶为:法桐、国槐、银杏、垂柳、五角枫、紫叶李、栾树、泡桐均能增加有机质含量;法桐、五角枫、泡桐能增加碱解氮含量;法桐、垂柳能增加速效钾含量;所有树种均能提高脲酶活性;法桐、五角枫、紫叶李、栾树、玉兰、梧桐、杜仲和七叶树均能提高蔗糖酶活性;所有树种均能不同程度提高过氧化氢酶和过氧化物酶活性;法桐、玉兰、杜仲和七叶树能提高脱氢酶活性;除银杏、五角枫之外,其他树种均能提高磷酸酶活性;除玉兰和七叶树之外,其他树种均能提高蛋白酶活性;除法桐、银杏、五角枫、栾树、泡桐之外,其他树种均能提高多酚氧化酶活性;法桐、国槐、梧桐、泡桐和七叶树均能增加细菌的数量。

根据主成分分析结果表明(表3中的F值),不同城市道路绿化阔叶树种枯落叶对侧柏林地土壤各种生物化学性质的综合影响效果的大小顺序为:玉兰(1.352) > 七叶树(1.150) > 法桐(0.871) > 杜仲(0.453) > 五角枫(0.192) > 国槐(-0.077) > 紫叶李(-0.276) > 梧桐(-0.379) > 垂柳(-0.433) > 女贞(-0.564) > 栾树(-0.973) > 泡桐(-1.200) > 银杏(-1.626),可见,总体而言,引入玉兰、七叶树、法桐枯落叶可以明显改善侧柏林地土壤性质,其次为杜仲、五角枫,而其他树种均不适宜。

### 3 结论与讨论

1) 在黄土残塬沟壑区,油松的长期连续生长或连栽主要会引起土壤有机质、有效磷含量、微生物数量增加和脱氢酶、磷酸酶、多酚氧化酶等多种酶活性增强的正向极化,但同时却会引起土壤碱解氮含量和脲酶、蔗糖酶活性降低的负向极化。侧柏的长期连续生长或连栽主要会引起土壤有效磷、速效钾含量、微生物数量增加和蔗糖酶、脱氢酶、磷酸酶、蛋白酶、多酚氧化酶活性增强的正向极化,但同时却会引起土壤碱解氮含量和脲酶活性降低的负向极化。

2) 在森林阔叶树种中,引入小叶杨和沙棘枯落叶可以明显改善油松地土壤性质,而柠条、刺槐和辽东栎则反会恶化土壤性质。在城市道路绿化阔叶树种中,引入七叶树、紫叶李、泡桐枯落叶可以明显改善油松林地土壤性质,其次为银杏,而其他树种均不适宜。

3) 在森林阔叶树种中,引入辽东栎、刺槐枯落叶

可以明显改善侧柏林地土壤性质,其次为沙棘和柠条,而小叶杨则反会恶化土壤性质。在城市道路绿化阔叶树种中,引入玉兰、七叶树、法桐枯落叶可以明显改善侧柏林地土壤性质,其次为杜仲、五角枫,而其他树种均不适宜。

在防治人工纯林土壤极化的措施中,引入其他树种形成混交林是一项根本的长效措施,而利用其他树种枯落叶(包括森林树种和城市道路绿化树种)进行根系附近的局部客置则是一项速效补充措施,但前提是会影响原有林地枯落叶生态功能的发挥。所以,应该在原有森林空地或周围收集富余的枯落叶,或者对于城市道路绿化树种而言则应主要收集作为垃圾而被清除的那部分枯落叶,实现变废为宝的目的。

此外,根据本项研究可以看出,不同阔叶树种枯落叶对针叶纯林土壤性质的影响差异很大。虽然根据综合主成分分析可以得出适宜引入针叶纯林土壤的阔叶树种枯落叶优先顺序,但是这只是一个综合和相对的结果,也就是说,不可能找到某一个单独树种的枯落叶可以彻底解决针叶纯林的所有土壤极化问题。所以,可行的办法可能是多种树木进行混交或多种枯落叶混合客置。这就需要在本项研究所取得结果的基础上,继续研究不同树种枯落叶混合对针叶纯林土壤的影响。而且针阔混交林的树种配置还应该考虑到多种因素,如树冠结构、根系分布、树种等,枯落物分解特点仅是针阔混交林树种配置应该考虑的一种因素,而不是唯一的因素。此外室内混合分解培养试验的结果只能是一种参考,与田间的实际情况可能还有差别。

### 参考文献

- [1] 刘增文,段而军,付刚,等. 黄土高原南部半湿润残塬沟壑区人工纯林土壤性质极化研究. 中国水土保持科学, 2009, 7(2): 107—112. Liu Z W, Duan E J, Fu G, et al. Soil polarizations of planted forests in semi-humid gullied area of southern Loess Plateau (In Chinese). Science of Soil and Water Conservation, 2009, 7(2): 107—112
- [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. 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 (In Chinese). Scientia Silvae Sinica, 2005, 41(6): 163—165
- [3] 阎德仁. 落叶松人工林土壤肥力与微生物含量的研究. 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 (In Chinese). Journal of Northeast Forestry University, 1996, 24(3): 46—50

- [ 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. 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 (In Chinese). Journal of Northwest Forestry College, 2002, 17(3): 35—37
- [ 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. 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. 西北林学院学报, 2004, 19(3): 67—71. Yu C B, Cheng F, Wan K Y. Advances in the study of fertilization on poplar plantation (In Chinese). Journal of Northwest Forestry College, 2004, 19(3): 67—71
- [ 7 ] 方代有. 论粤西退化桉树林地的水土保持生态修复. 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 (In Chinese). Subtropical Soil and Water Conservation, 2005, 17(3): 22—25
- [ 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. 土壤学报, 2007, 44(6): 1 119—1 126. Liu Z W, Duan E J, Fu G, et al. A new concept: Soil polarization in artificial pure forest (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(6): 1 119—1 126
- [ 9 ] 蒋三乃, 翟明普, 贾黎明. 混交林种间养分关系研究进展. 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 (In Chinese). Journal of Beijing Forestry University, 2001, 23(2): 72—77
- [ 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. 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 (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(4): 704—710
- [ 11 ] 钟哲科, 高智慧. 杨树、水杉林带枯落物对土壤微生物 C、N 的影响. 林业科学, 2003, 39(2): 153—157. Zhong Z K, Gao Z H. Impacts of litter of *Populus* and *Metasequoia* on soil microbial biomass (In Chinese). Scientia Silvae Sinica, 2003, 39(2): 153—157
- [ 12 ] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [ 13 ] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985. Department of Microorganism, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Research methods of soil microorganisms (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985
- [ 14 ] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986: 267—284. Guan S Y. Soil enzymes and its research methods (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1986: 267—284
- [ 15 ] 周礼恺. 土壤酶学. 北京: 科学出版社, 1987. Zhou L K. Soil enzymology (In Chinese). Beijing: Science Press, 1987

## EFFECTS OF USE BROAD-LEAVED TREE LITTERS TO CONTROL POLARIZATION OF SOIL UNDER STANDS OF CONIFER FORESTS IN GULLIED LOESS PLATEAU

Liu Zengwen<sup>1,2</sup> Shi Tengfei<sup>1</sup> Yang Senhao<sup>1</sup> Pan Daili<sup>1</sup> Li Zhuoqing<sup>1</sup> Luo Wei<sup>1</sup>

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

(2 Key Lab for Agricultural Resources and Environmental Remediation in Loess Plateau of Agriculture Ministry of China, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract** Soil polarization, as a result of long-term cultivation of mono-species tree stands, is the main cause of soil degradation that undermines the stable and sustainable development of forest ecosystems. To control soil polarization, a fundamental way is to bring in other friendly tree species to form mixed forest or mulch the soil around the tree root with litters from trees of other species. Aiming at the mono-species conifer forests in the gullied loess plateau, an indoor experiment was carried out incubating litters from different forests and roadside broad-leaved trees in soils collected from the humus layers of forests typical of the region. Results show that (1) litters of *Pinus tabulaeformis* could promote positive polarization of the soil, that increased the contents of organic matter and available P, and the count of microorganisms and improved the activities of such enzymes as dehydrogenase, phosphatase and polyphenoloxidase, while causing negative polarization that decreased the content of available N and dulled the activities of a few enzymes, such as urease and sucrase. Introducing *Populus simonii* and *Hippophae rhamnoides* into *P. tabulaeformis* forest or mulching the forest soil with their litters could greatly improve properties of the soil, whereas *Caragana microphylla*, *Robinia pseudoacacia*, and *Quercus liaotungensis* were not fit for this purpose. However, litters of *Aesculus parviflora*, *Prunus cerasifera*, *Paulownia fortunei* could also significantly improve properties of the soil, and no litters from other species of trees, except from *Ginkgo biloba*, could. (2) Litters of *Platycladus orientalis* forest could stimulate positive soil polarization that increased the contents of available P



and K, and the count of microorganisms and improved the activities of a number of enzymes such as sucrase, dehydrogenase, phosphatase, protease and polyphenoloxidase. However, they could as well cause negative polarization that decreased the content of available N and the activity of urease. Introducing *Q. liaotungensis* and *R. pseudoacacia* into *Platycladus orientalis* forest or mulching the soil with their litters could greatly improve properties of the soil of the *P. orientalis* forest, and *H. rhamnoides* and *C. microphylla*, were also fit for the purpose, whereas *P. simonii* could only degrade the soil properties. In addition, mulching the forest soil with litters of *Magnolia grandiflora*, *A. parviflora* and *Platanus hispanica* could improve its properties, and litters of *Cortex Eucommiae* and *Acer mono Maxim*, could also do, but no litters from other tree species were suitable for the job. The findings of this study would be of some important theoretical and practical significance for modification of artificial mono-species forests and plantation of mixed forests.

**Key words** Planted forests; Soil degradation; Soil polarization; Litters