

网络出版时间:2012-06-08 16:10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120608.1610.029.html>

黄土丘陵区 3 种典型人工阔叶纯林枯落物分解 对土壤性质极化的影响

米彩红^{1a}, 刘增文^{1a,2}, 李 茜^{1b}

(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】 **【目的】**探讨黄土丘陵区 3 种典型人工阔叶纯林枯落物分解对土壤性质极化的影响, 为防治森林土壤退化和连栽障碍提供科学依据。**【方法】**在位于黄土高原中部半湿润黄土丘陵区的陕西黄陵县, 选择刺槐、辽东栎和小叶杨 3 种典型人工阔叶纯林为研究对象, 采集林地腐殖质层土壤和枯落物(当年枯落叶及细根), 分别设“土壤+枯落叶”、“土壤+根系”、“土壤+枯落叶+根系”和土壤不与任何枯落物混合(对照)4 种处理方式, 进行室内混合培养试验, 共培养 120 d, 分析枯落物分解对土壤生物学和化学性质极化的影响。**【结果】**1) 在刺槐林地, 枯落叶分解主要引起土壤 pH 值、过氧化氢酶活性和微生物数量负向极化, 根系分解主要引起 pH 值、速效磷含量负向极化; 但就土壤总体性质而言, 枯落叶和根系均引起了正向极化, 且根系影响大于枯落叶, 二者混合分解对土壤的影响总体表现为相互抑制。2) 在辽东栎林地, 枯落叶分解主要引起蔗糖酶、多酚氧化酶、过氧化氢酶活性及速效磷、速效钾含量负向极化, 根系分解主要引起过氧化氢酶活性和速效钾含量负向极化; 但就土壤总体性质而言, 枯落叶分解引起了负向极化, 而根系分解引起了较弱的正向极化, 且二者混合分解对土壤的影响总体表现为较弱抑制作用。3) 在小叶杨林地, 枯落叶分解主要引起蛋白酶、过氧化氢酶活性及速效磷含量负向极化, 根系分解主要引起蛋白酶、过氧化氢酶活性及微生物数量和速效磷含量负向极化; 就土壤总体性质而言, 枯落叶和根系均引起了负向极化, 且根系影响较明显, 二者混合分解对土壤的影响总体表现为相互促进。**【结论】**从枯落物分解对土壤性质极化影响的总体结果来看, 刺槐比较适宜在该地区一定时间内继续连栽, 其次为辽东栎, 而小叶杨不适宜。

【关键词】 人工阔叶纯林; 枯落物分解; 土壤性质极化

【中图分类号】 S714.2

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2012)07-0120-07

Effect of litter decomposition on soil properties polarization of three typical artificial pure broadleaved forests in the Loess Hilly Area

MI Cai-hong^{1a}, LIU Zeng-wen^{1a,2}, LI Qian^{1b}

(1 a College of Natural Resources and Environment, b College of Forestry, Northwest A&F University,
Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Key Laboratory for Agricultural Resources and Environmental Remediation in
Loess Plateau of Agriculture Ministry of China, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** The study was about the effect of litter decomposition on soil properties polarization of three typical artificial pure broadleaved forests in the Loess Hilly Area, which can provide scientific basis for the prevention of soil degradation and continuous plantation obstacle. **【Method】** In Shaanxi Huangling county which is located in semi-humid loess hilly area, the middle of Loess Plateau, humus soil

* [收稿日期] 2011-12-31

[基金项目] 国家自然科学基金项目(31070630)

[作者简介] 米彩红(1983—), 女, 河北赞皇人, 在读博士, 主要从事森林生态研究。E-mail: micaihong@126.com

[通信作者] 刘增文(1965—), 男, 陕西横山人, 教授, 博士, 主要从事森林生态及水土保持研究。

E-mail: zengwenliu2003@yahoo.com.cn

and litter (leaf litter and fine roots) were sampled in three typical artificial pure broadleaved forests including *Robinia pseudoacacia*, *Quercus liaotungensis* and *Populus simonii*, and set 4 treatments including “soil+leaf litter”, “soil+roots”, “soil+leaf litter+roots”, and control “soil” for laboratory incubation experiments. All treatments were incubated for 120 days, then the effect of litter decomposition on soil biological and chemical properties polarization was analyzed. 【Result】 1) In the *R. pseudoacacia* woodland, leaf litter decomposition resulted in negative polarization of soil pH value, catalase activity and microbe quantity; Roots decomposition resulted in negative polarization of soil pH value and available P. According to the comprehensive soil properties, both leaf litter and roots resulted in positive polarization, and roots showed greater effect than leaf litter; The mixed decomposition of leaf litter and roots showed inhibitory effect on soil properties. 2) In the *Q. liaotungensis* woodland, leaf litter decomposition resulted in negative polarization of soil sucrase, polyphenoloxidase, catalase, available P and available K; Roots decomposition resulted in negative polarization of catalase activity and available K. According to the comprehensive soil properties, leaf litter decomposition resulted in negative polarization, but roots decomposition produced weak positive polarization; The interaction between them showed weak inhibitory effect on soil properties. 3) In the *P. simonii* woodland, leaf litter decomposition resulted in negative polarization of protease, catalase and available P; roots decomposition induced negative polarization of protease, catalase, microbe quantity and available P. According to the comprehensive soil properties, both leaf litter and roots resulted in negative polarization, and roots showed greater effect than leaf litter; the mixed decomposition of leaf litter and roots showed promoting effect on soil properties. 【Conclusion】 In general, from the effect of litter decomposition on soil properties polarization, *R. pseudoacaci* was more suitable for successive planting in this area during a certain time, followed by *Q. liaotungensis*, but *P. simonii* was not suitable.

Key words: artificial pure broadleaved forests; litter decomposition; soil properties polarization

黄土高原中部的半湿润丘陵区水土流失严重,生态环境比较脆弱。为遏制水土流失,当地营造了大面积的人工阔叶纯林,其在增加植被覆盖率、减少土壤侵蚀、改善生态环境等方面发挥了重要作用^[1]。但是近年来研究发现,一些人工纯林在长期连续生长或多代连栽以后,会出现生长缓慢、林下植被稀少、土壤肥力减弱及土壤中毒等现象^[2-3],长期发展更可能导致人工林的不稳定和生态功能下降。针对人工纯林多代连栽后出现的问题,刘增文等^[4-5]提出了“土壤性质极化”的理论,即由于人工纯林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,在其长期经营过程中,土壤性质往往呈现偏离原平衡态并朝正向(增益性)或负向(破坏性)极端化发展的趋势,并应用该理论对黄土丘陵区人工纯林的土壤进行了系统研究,结果表明,部分阔叶纯林的确有向负向极化发展的趋势。

分析引起人工纯林土壤极化的原因,除了林木根系对土壤养分物质的选择吸收之外,枯落物分解对土壤的特殊影响也是一个重要因素,因为在森林生态系统中,林木通过枯落物(特别是枯落叶和根系)分解实现林地养分循环利用的同时^[6],也对土壤

化学、微生物和酶活性等生物学性质产生了显著影响^[7]。所以,深入探讨枯落物分解对土壤性质极化的影响,有助于探明土壤极化的机理,并可为有针对性地防治土壤极化提供科学依据。为此,本试验以黄土高原半湿润丘陵区的刺槐、辽东栎和小叶杨3种典型人工阔叶纯林为研究对象,通过采集不同林地腐殖质层土壤和枯落物进行室内枯落物混土分解培养试验,研究不同林地枯落叶、根系分解对土壤性质极化的影响及二者之间的作用,以探明引起不同人工阔叶纯林土壤性质极化的原因,为防治森林土壤退化和连栽障碍提供科学依据。

1 研究区概况

本试验以地处黄土高原中部、暖温带半湿润黄土丘陵区的陕西黄陵县双龙林场为研究区。当地年均气温 9.4℃,无霜期 150 d,年均降水量 630.9 mm,平均相对空气湿度 64%,土壤为灰褐色森林土。分别选取刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、小叶杨(*Populus simonii*)等当地具有典型代表性的成熟人工阔叶纯林进行研究。

2 研究方法

2.1 标准地的建立和样品的采集

在研究区内选择最具有典型代表性的地段,针对每个成林树种建立 20 m×20 m 的标准地。土壤样品采集方法如下:在标准地内,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)后收集每个样方 0~10 cm 的腐殖质层土壤,然后将 5 个样方的土壤充分混合后取部分装袋带回室内。将除去叶、根系、石块等杂物的鲜土过孔径 5 mm 土壤筛备用。植物样品采集方法:于秋末树叶凋落后,采集不同林地完整未分解的当年凋落叶;使用挖掘法采集根系,在林地中挖掘树木尚未分解死亡的根系(直径<0.5 cm)样品。所有植物样品漂洗干净后风干、粉碎过孔径 1 mm 筛备用。

2.2 室内枯落物混土分解培养试验

将准备好的过筛土壤(S)和枯落叶(L)及根系(R)样品,分别按照土壤+枯落叶(S+L)、土壤+根系(S+R)、土壤+枯落叶+根系(S+L+R),枯落叶与根系质量比为 1:1 混合样和与任何枯落物混合的原土(对照,CK)等 4 种方式进行处理,土壤与枯落物干质量比为 100:2。然后分别取 2.5 kg 经充分混合的土壤枯落物混合样装入不透水塑料培养钵(钵口直径为 18 cm,钵体高 16 cm)中,每处理设置 3 个重复。开始培养时,在每个培养钵中加一定量的蒸馏水,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,培养过程中保持所有样品温度、光照和空气湿度等外界条件一致。在培养过程中,每隔 7 d 称量 1 次培养钵质量,根据失水情况,揭开钵口用喷水器均匀补充水分,调节土壤湿度不变(培养钵质量保持恒定),连续培养 120 d,直至绝大部分枯落物分解完全为止。

2.3 土壤性质测定

将培养好的每个土样充分混合均匀后平摊到干净的瓷盘里,取部分鲜土直接测定微生物数量,其他土样风干后粉碎过孔径 1 mm 土壤筛保存,用于测定土壤的生物学和化学性质。

生物学性质中,土壤微生物数量用稀释平板法^[8](细菌:牛肉膏蛋白胨琼脂培养基;真菌:马铃薯蔗糖琼脂 PDA 培养基;放线菌:高氏 1 号培养基)测定。不同土壤酶活性测定方法^[9]如下:蔗糖酶活性

采用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 滴定法测定,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,碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定(用 pH=10 的硼酸缓冲液),脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定,过氧化氢酶活性采用 KMnO_4 滴定法测定,脱氢酶采用三苯基四唑氯化物比色法测定。

化学性质测定方法^[10]如下:pH 值采用 PHS-2 型酸度计测定(蒸馏水与土壤质量比为 2.5:1),有机质含量采用重铬酸钾容量法测定,阳离子交换量(CEC)采用乙酸钠-乙酸铵火焰光度法测定,碱解 N 含量采用扩散法测定,速效 P 含量采用 NaHCO_3 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。

2.4 数据处理与分析

应用 SPSS 17.0 软件对数据进行统计分析。用单因素方差分析(One-Way ANOVA)和最小显著差异法(LSD,显著性水平设定为 $\alpha=0.05$)进行不同处理之间土壤性质的差异显著性检验。所有测定指标均采用 3 次重复(误差小于 5%)的平均值,结果以“平均值±标准差”表示。

计算不同枯落物混土分解后土壤性质较对照的变化,据此分析不同树种枯落叶和根系分解对土壤性质极化的影响。由于林地土壤与枯落物混合培养后,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枯落物分解对土壤性质极化影响的综合效应,所以本研究采用主成分综合模型^[11],计算各树种枯落物分解后对土壤性质极化影响的综合主成分值,以此进行综合分析。在所有土壤性质指标中,除 pH 值之外,其他指标对林木生长越高越好,均可用于综合主成分分析。所以本研究选取除了 pH 值以外的其他 13 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 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,根据该模型即可计算出各树种枯落物分解对土壤性质极化影响的综合主成分值(F)。当 F

值大于 0 时,表明枯落物分解引起土壤性质总体发生正向极化,否则引起土壤性质总体发生负向极化。

判断枯落叶和根系混合分解过程中对土壤性质影响是否存在相互作用的原理如下:假定枯落叶与根系分解对土壤的影响不存在相互作用,则土壤性质的理论预测值可用公式表示为: $T_{LR}=aP_L+bP_R$,其中 T_{LR} 为枯落叶及根系混合样混土分解培养后土壤性质的理论预测值, P_L 、 P_R 分别为枯落叶和根系单独混土分解培养后土壤性质的实测值, a 、 b 分别为枯落叶和根系在混合样中的权重。混合培养试验中枯落物与根系质量比为 1:1,所以 a 、 b 值均为

0.5。将枯落叶和根系混合分解后土壤性质实测值(P_{LR})与理论预测值(T_{LR}) 进行比较,当二者存在差异时,表明枯落叶和根系分解对土壤的影响存在相互作用,且当 $P_{LR}>T_{LR}$ 时为促进作用,当 $P_{LR}<T_{LR}$ 时为抑制作用。

3 结果与分析

3.1 不同林地枯落叶和根系单独分解对土壤性质极化的影响

不同林地枯落叶、根系单独分解后,土壤性质的变化见表 1。

表 1 不同人工阔叶纯林地枯落物分解对土壤性质极化的影响

Table 1 Effect of litter decomposition on soil properties polarization of different artificial pure broadleaved forests									
林地类型 Forest type	处理 Treatment	蔗糖酶/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$) Sucrase	蛋白酶/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) Protease	多酚氧化酶/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$) Polyphenoloxidase	碱性磷酸酶/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Phosphatase	脲酶/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) Urease	过氧化氢酶/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$) Catalase	脱氢酶/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) Dehydrogenase	
刺槐 <i>R. Pseudoacacia</i>	S+L	1.320±0.007 a	1.226±0.011 a	0.487±0.006 a	13.777±0.179 a	0.023±0.000 a	0.395±0.012 a	0.826±0.017 a	
	S+R	1.324±0.011 a	1.138±0.009 b	0.557±0.004 b	14.463±0.116 b	0.044±0.000 b	1.700±0.014 b	0.482±0.010 b	
	CK	1.310±0.012 a	1.123±0.010 c	0.403±0.004 c	6.209±0.056 c	0.016±0.000 c	0.710±0.006 c	0.435±0.005 c	
辽东栎 <i>Q. Liaotungensis</i>	S+L	1.281±0.006 a	1.082±0.010 a	0.212±0.003 a	17.366±0.226 a	0.017±0.000 a	1.395±0.042 a	0.831±0.017 a	
	S+R	1.313±0.011 b	1.021±0.008 b	0.307±0.002 b	12.931±0.103 b	0.024±0.000 b	1.180±0.009 b	0.863±0.017 b	
	CK	1.311±0.012 b	0.970±0.009 c	0.232±0.002 c	7.512±0.068 c	0.015±0.000 c	1.735±0.016 c	0.464±0.006 c	
小叶杨 <i>P. Simonii</i>	S+L	0.985±0.005 a	0.925±0.008 a	0.377±0.005 a	8.221±0.107 a	0.031±0.001 a	0.835±0.025 a	0.523±0.010 a	
	S+R	0.906±0.007 b	0.865±0.007 b	0.339±0.003 b	5.180±0.041 b	0.024±0.000 b	0.780±0.006 b	0.358±0.007 b	
	CK	0.707±0.006 c	1.004±0.009 c	0.328±0.003 c	4.357±0.039 c	0.023±0.000 c	1.360±0.012 c	0.137±0.002 c	
林地类型 Forest type	处理 Treatment	微生物数量/ ($\times 10^6 \cdot \text{g}^{-1}$) Microbes	pH	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Org-M	阳离子交换量/ ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$) CEC	碱解氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Available N	速效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Available P	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Available K	
刺槐 <i>R. Pseudoacacia</i>	S+L	10.22±0.307 a	7.35±0.04 a	56.04±0.45 a	11.76±0.12 a	98.7±1.30 a	5.327±0.064 a	283.3±4.2 a	
	S+R	28.85±0.289 b	7.64±0.07 b	54.99±0.55 b	11.52±0.12 a	95.9±0.96 b	4.693±0.047 b	277.4±2.8 a	
	CK	11.75±0.141 c	7.93±0.09 c	47.19±0.57 c	11.26±0.14 b	92.8±1.11 c	5.073±0.061 c	224.7±3.4 b	
辽东栎 <i>Q. Liaotungensis</i>	S+L	23.87±0.716 a	7.90±0.04 a	52.20±0.42 a	12.32±0.12 a	88.6±1.10 a	4.329±0.052 a	180.0±2.7 a	
	S+R	21.60±0.216 b	7.97±0.08 a	44.22±0.44 b	11.59±0.12 b	95.2±0.90 b	6.291±0.063 b	165.8±1.7 b	
	CK	10.03±0.120 c	7.54±0.09 b	40.94±0.49 c	10.84±0.13 c	87.5±1.05 a	6.070±0.073 c	185.3±1.8 c	
小叶杨 <i>P. Simonii</i>	S+L	8.50±0.255 a	8.28±0.04 a	26.40±0.21 a	11.91±0.12 a	49.7±0.60 a	5.622±0.067 a	285.1±4.3 a	
	S+R	0.51±0.005 b	8.74±0.09 b	26.75±0.27 a	12.89±0.13 b	42.4±0.40 b	6.396±0.064 b	215.5±2.2 b	
	CK	3.78±0.045 c	8.33±0.10 a	21.75±0.26 b	11.89±0.14 a	37.1±0.40 c	7.162±0.086 c	187.8±2.8 c	

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level.

由表 1 可见,在刺槐林地土壤中,与对照相比,除土壤蔗糖酶活性在枯落叶和根系分解作用下无显著变化外,其他性质都发生了显著变化。枯落叶分解显著提高了土壤蛋白酶、多酚氧化酶、碱性磷酸酶、脲酶、脱氢酶活性,增加了有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量及阳离子交换量,但显著降低了 pH 值、过氧化氢酶活性和微生物数量,表明刺槐纯林土壤受自身枯落叶的影响,会导致多种酶活性提高、土壤富营养化及阳离子交换量增加的正向极化,但却会引起土壤偏酸化及过氧化氢酶活性和微生物数量降低的负向极化。根系分解显著提高了土壤蛋白酶、多酚氧化酶、碱性磷酸酶、脲酶、过氧化氢酶、脱

氢酶活性,增加了有机质、碱解氮、速效钾含量及阳离子交换量和微生物数量,但降低了 pH 值和速效磷含量,表明刺槐纯林土壤受自身根系分解的影响,会导致多种酶活性提高、有机质富集及部分速效养分含量、阳离子交换量和微生物数量增加的正向极化,但同时会引起土壤偏酸化及土壤缺磷的负向极化。

由表 1 还可知,在辽东栎林地土壤中,与对照相比,除土壤碱解氮含量在枯落叶分解作用下无显著变化以及土壤蔗糖酶活性在根系分解作用下无显著变化外,其他土壤性质在枯落物分解作用下都发生了显著变化。枯落叶分解显著提高了土壤蛋白酶、

碱性磷酸酶、脲酶、脱氢酶活性,增加了 pH 值、有机质含量及阳离子交换量和微生物数量,但却显著降低了蔗糖酶、多酚氧化酶、过氧化氢酶活性及速效磷、速效钾含量,表明辽东栎纯林土壤受自身枯落叶的影响,会导致多种酶活性提高、微生物数量和阳离子交换量增加及土壤偏碱化、有机质富集的正向极化,但同时也会引起部分酶活性降低及土壤速效磷和速效钾亏损的负向极化。根系分解显著提高了土壤蛋白酶、多酚氧化酶、碱性磷酸酶、脲酶、脱氢酶活性,增加了 pH 值、有机质、碱解氮、速效磷含量及阳离子交换量和微生物数量,但却显著降低了过氧化氢酶活性和速效钾含量,表明辽东栎纯林土壤受自身根系分解的影响,会导致多种酶活性提高、微生物数量和阳离子交换量增加及土壤偏碱化、有机质和部分速效养分富集的正向极化,但同时也会引起过氧化氢酶活性降低及土壤速效钾亏损的负向极化。

表 1 显示,在小叶杨林地土壤中,与对照相比,除土壤阳离子交换量和 pH 值在枯落叶分解作用下无显著变化外,其他性质在枯落物分解作用下都发生了显著变化。枯落叶分解显著提高了蔗糖酶、多酚氧化酶、碱性磷酸酶、脲酶、脱氢酶活性,增加了有机质、碱解氮、速效钾含量和微生物数量,但却显著降低了蛋白酶、过氧化氢酶活性及速效磷含量,表明小叶杨纯林土壤受自身枯落叶的影响,会导致多种酶活性提高、微生物数量增加、有机质和部分速效养分富集的正向极化,但同时也会引起土壤蛋白酶和过氧化氢酶活性降低、土壤速效磷亏损的负向极化。根系分解显著提高了蔗糖酶、多酚氧化酶、碱性磷酸酶、脲酶、脱氢酶活性,增加了 pH 值、有机质、碱解氮、速效钾含量和阳离子交换量,但却显著降低了蛋白酶、过氧化氢酶活性及微生物数量和速效磷含量,表明小叶杨纯林土壤受自身根系分解的影响,会导致多种酶活性提高、土壤偏碱化、有机质和部分速效养分富集的正向极化,但同时也会引起蛋白酶、过氧化氢酶活性及微生物数量降低和土壤速效磷亏损的负向极化。

对不同阔叶林地土壤与枯落物混合培养后土壤性质较对照的提高率(%)进行主成分分析,得到主成分综合模型为:

$$F=0.391F_1+0.315F_2+0.195F_3+0.099F_4. \tag{1}$$

式中: F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 分别表示主成分分析中提取出的特征值大于 1 的第 1、第 2、第 3、第 4 主成分值。

由此模型可分别计算出不同林地枯落叶、根系

分解对土壤性质极化影响的 F 值大小顺序依次为刺槐根系(1.815)>辽东栎根系(0.302)>刺槐枯落叶(0.248)>小叶杨枯落叶(−0.213)>辽东栎枯落叶(−0.809)>小叶杨根系(−1.346)。表明 3 种人工阔叶纯林枯落物与土壤室内混合培养后,刺槐枯落叶和根系分解均使土壤性质总体发生正向极化,且根系的影响远大于枯落叶;小叶杨枯落叶和根系分解均使土壤性质总体发生负向极化,且根系的影响较明显;辽东栎枯落叶和根系分解作用的影响则相反,即根系分解使土壤性质总体发生明显的正向极化,而枯落叶分解使土壤性质总体发生负向极化。

3.2 不同林地枯落叶和根系混合分解对土壤性质极化的影响

由不同林地枯落叶和根系混合分解培养后土壤性质实测值(P_{LR})与预测值(T_{LR})的比较结果(表 2)可以看出,在刺槐林地土壤中,枯落叶和根系混合分解对土壤蛋白酶、多酚氧化酶、脱氢酶活性和有机质、速效磷、速效钾含量的影响存在促进作用,而对蔗糖酶、碱性磷酸酶、脲酶、过氧化氢酶活性和微生物数量、阳离子交换量、碱解氮含量的影响存在抑制作用;在辽东栎林地土壤中,枯落叶和根系混合分解对土壤蛋白酶、多酚氧化酶、碱性磷酸酶活性和微生物数量、有机质、阳离子交换量、碱解氮含量的影响存在促进作用,而对蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶、脱氢酶活性和速效磷、速效钾含量的影响存在抑制作用;在小叶杨林地土壤中,枯落叶和根系混合分解对蔗糖酶、蛋白酶、脲酶、过氧化氢酶、脱氢酶活性和有机质、阳离子交换量、碱解氮含量的影响存在促进作用,而对多酚氧化酶、碱性磷酸酶活性和微生物数量及速效磷、速效钾含量的影响存在抑制作用。

为了综合说明枯落叶和根系混合分解对土壤性质的影响效果,对土壤性质实测值相对于理论值的提高率(%)进行主成分分析,得到的主成分分析模型为:

$$F=0.647F_1+0.352F_2. \tag{2}$$

式中: F_1 、 F_2 分别表示主成分分析中提取出的特征值大于 1 的第 1、第 2 主成分值。

由式(2)可计算出刺槐、辽东栎、小叶杨 3 种林地枯落物混合培养实测值相对于理论值提高率的 F 值分别为 −1.984, −0.076 和 2.061。可见,在小叶杨林地,枯落叶和根系的混合分解对土壤性质的影响总体表现为相互促进作用;在刺槐林地,枯落叶和根系的混合分解对土壤性质的影响总体表现为相

互抑制作用;而在辽东栎林地,枯落叶和根系的混合分解对土壤性质的影响总体表现为较弱抑制作用。

表 2 不同林地枯落叶和根系混合分解培养后土壤性质实测值(P_{LR})与预测值(T_{LR})的比较

Table 2 Comparison between practical (P_{LR}) and theoretical (T_{LR}) values of soil properties after mix-incubated forest soil with leaf litter and roots

林地类型 Forest type	指标 Index	蔗糖酶/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$) Sucrase	蛋白酶/ ($\text{ug} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) Protease	多酚氧化酶/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$) Polyphen- oxidase	碱性磷酸酶/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Phosphatase	脲酶/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) Urease	过氧化氢酶/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$) Catalase	脱氢酶/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) Dehydr- ogenase
刺槐 <i>R. Pseudoacacia</i>	P_{LR}	1.320	1.203	0.537	10.530	0.025	0.830	0.720
	T_{LR}	1.322	1.182	0.522	14.120	0.034	1.048	0.654
	$(P_{LR}-T_{LR})/T_{LR}$	-0.002	0.018	0.028	-0.254	-0.259	-0.208	0.100
辽东栎 <i>Q. Liaotungensis</i>	P_{LR}	1.275	1.066	0.305	16.452	0.019	1.250	0.813
	T_{LR}	1.297	1.051	0.260	15.148	0.020	1.288	0.847
	$(P_{LR}-T_{LR})/T_{LR}$	-0.017	0.014	0.173	0.086	-0.092	-0.029	-0.040
小叶杨 <i>P. Simonii</i>	P_{LR}	1.115	1.050	0.348	6.300	0.032	0.975	0.538
	T_{LR}	0.946	0.895	0.358	6.700	0.027	0.808	0.440
	$(P_{LR}-T_{LR})/T_{LR}$	0.179	0.173	-0.028	-0.060	0.170	0.207	0.222

林地类型 Forest type	指标 Index	微生物数量/ ($\times 10^6 \cdot \text{g}^{-1}$) Microbes	pH	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Org-M	阳离子交换量/ ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$) CEC	碱解氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Available N	速效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Available P	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Available K
刺槐 <i>R. Pseudoacacia</i>	P_{LR}	18.70	7.79	58.78	11.27	95.9	5.857	323.5
	T_{LR}	19.53	7.50	55.51	11.64	97.3	5.010	280.4
	$(P_{LR}-T_{LR})/T_{LR}$	-0.043	0.039	0.059	-0.032	-0.014	0.169	0.154
辽东栎 <i>Q. Liaotungensis</i>	P_{LR}	22.80	7.95	50.08	12.04	102.9	4.316	168.9
	T_{LR}	22.73	7.94	48.21	11.96	91.9	5.310	172.9
	$(P_{LR}-T_{LR})/T_{LR}$	0.003	0.002	0.039	0.007	0.120	-0.187	-0.023
小叶杨 <i>P. Simonii</i>	P_{LR}	3.56	8.55	29.30	12.64	46.9	5.042	183.4
	T_{LR}	4.51	8.51	26.58	12.40	46.0	6.009	250.3
	$(P_{LR}-T_{LR})/T_{LR}$	-0.210	0.005	0.102	0.020	0.019	-0.161	-0.267

4 讨 论

由于人工阔叶纯林群落结构比较简单,导致枯落物类型比较单一,枯落物分解对某些化学物质的选择性释放^[2]以及对土壤环境的特殊性影响,造成了土壤某些性质向增益性的正向发展,而某些性质向破坏性的负向发展。其中,破坏性极化会使人工林生态系统中的不利因素累加,导致林木生长和地力衰退逐渐加剧^[12]。此外,据 Nèble 等^[13]研究发现,在枯落叶分解影响下,人工纯林土壤微生物及土壤酶活性也有下降的趋势。由于林地土壤性质受枯落物分解、根系吸收养分和林木分泌化学物质等多方面的影响,所以引起土壤性质极化的原因也是多方面的。但是,由于枯落物数量较大且逐年累积与分解,枯落物分解已成为影响林地土壤性质极化的最主要途径。

本研究结果表明,黄土丘陵区刺槐、辽东栎、小叶杨等人工阔叶纯林土壤受自身枯落物分解作用的影响,土壤性质会发生不同方向、不同程度的极化。其中,刺槐林地土壤总体向正向极化,小叶杨林地土壤总体向负向极化,而辽东栎林地土壤受根系分解

影响发生正向极化,受枯落叶分解影响发生负向极化。可见,就目前林地发展状况而言,刺槐比较适宜在该地区一定时间内连栽,其次为辽东栎,而小叶杨不适宜。由于室内培养试验条件很难达到与林分野外环境绝对一致,故本试验在控制所有土壤样品培养条件一致的前提下,促进枯落物快速完全分解,所得结果具有一定相对性,虽不能反映各林地野外的客观实际情况,但仍具有一定的实际参考价值。

前人研究结果表明,由于树木枯落叶和根系在化学性质^[6]、向土壤输入物质的量及方式等方面的不同,二者在土壤生态系统中的作用也存在明显差异^[14],而且枯落叶和根系分解在对土壤呼吸、有机碳及微生物的影响过程中存在显著的交互作用^[15-16]。本研究结果表明,枯落叶和根系在与土壤的混合分解过程中存在一定的相互作用,且在小叶杨林地总体表现为相互促进,而在刺槐林地总体表现为相互抑制,在辽东栎林地总体表现为较弱抑制作用。可见,枯落叶和根系虽为同源枯落物,但是在混合分解过程中对土壤性质的影响并不一定表现为累加放大和增强效应。在野外林地中,由于地上和地下枯落物比例很难准确测定,本研究只验证了枯

落叶和根系质量相等时二者之间的相互作用。准确测定地上部分和地下部分枯落物的比例,在较接近实际林地的情况下研究枯落物分解对土壤性质极化的影响,是本试验下一步的研究重点。

[参考文献]

[1] 吴钦孝,汪有科,韩冰,等. 黄土高原水土流失区的林草资源和植被建设 [J]. 水土保持研究,1994,1(1):2-13.
Wu X Q, Wang Y K, Han B, et al. Forest and grassland resources and vegetation construction in the soil and water loss region of the Loess Plateau [J]. Research of Soil and Water Conservation,1994,1(1):2-13. (in Chinese)

[2] Zhang X B, Zheng S X, Shangguan Z B. Nutrient distributions and bio-cycle characteristics in both natural and artificial *Pinus tabulaeformis* Carr. forests in hilly loess regions [J]. Acta Ecologica Sinica,2006,26(2):373-382.

[3] 焦峰,温仲明,王飞,等. 黄土丘陵区小叶杨生长空间差异性及其土壤环境效应 [J]. 水土保持学报,2009,23(3):194-199.
Jiao F, Wen Z M, Wang F, et al. Spatial difference and soil condition effect of *Populus simonii* in Loess Hilly region [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2009,23(3):194-199. (in Chinese)

[4] 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, Du an 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)

[5] 刘增文,段而军,刘卓玛姐,等. 陕北半湿润黄土丘陵区纯林土壤性质极化 [J]. 生态学报,2009,29(10):5696-5707.
Liu Z W, Duan E J, Liu Z M J, et al. Soil polarization of pure forests in the semi-humid loess hilly area of North Shaanxi China [J]. Acta Ecologica Sinica,2009,29(10):5696-5707. (in Chinese)

[6] Lemma B, Nilsson I, Kleja D B, et al. Decomposition and substrate quality of leaf litters and fine roots from three exotic plantations and a native forest in the southwestern highlands of Ethiopia [J]. Soil Biology and Biochemistry,2007,39:2317-2328.

[7] Alhamd L, Arakaki S, Hagihara A. Decomposition of leaf litter of four tree species in a subtropical evergreen broad-leaved forest, Okinawa Island, Japan [J]. Forest Ecology and Management,2004,202:1-11.

[8] 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)

[9] 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)

[10] 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)

[11] 林海明,张文霖. 主成分分析与因子分析详细的异同和 SPSS 软件 [M]. 统计研究,2005(3):65-68.
Lin H M, Zhang W L. The Relationship between principal component analysis and factor analysis and SPSS software [J]. Statistical Research,2005(3):65-68. (in Chinese)

[12] 潘建平,王华章,杨秀琴. 落叶松人工林地力衰退研究现状与进展 [J]. 东北林业大学学报,1997,25(2):59-63.
Pan J P, Wang H Z, Yang X Q. Research state and advance on soil degradation under Larch plantations [J]. Journal of Northeast University,1997,25(2):59-63. (in Chinese)

[13] Nèble S, Calvert V, Petit J L, et al. Dynamics of phosphatase activities in a cork oak litter (*Quercus suber* L.) following sewage sludge application [J]. Soil Biology and Biochemistry,2007,39:2735-2742.

[14] 张伟东,汪思龙,颜绍镛,等. 杉木根系和凋落物对土壤微生物学性质的影响 [J]. 应用生态学报,2009,20(10):2345-2350.
Zhang W D, Wang S L, Yan S H, et al. Effects of root system and litter of Chinese fir on soil microbial properties [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2009,20(10):2345-2350. (in Chinese)

[15] Li Y Q, Xu M, Sun O J, et al. Effects of root and litter exclusion on soil CO₂ efflux and microbial biomass in wet tropical forests [J]. Soil Biology & Biochemistry,2004,36:2111-2114.

[16] 刘艳,汪思龙,王晓伟,等. 不同温度条件下杉木、桉木和火力楠细根分解对土壤活性有机碳的影响 [J]. 应用生态学报,2007,18(3):481-486.
Liu Y, Wang S L, Wang X W, et al. Effects of tree species fine root decomposition on soil active organic carbon [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2007,18(3):481-486. (in Chinese)