

黄土残塬沟壑区阔叶树种枯落叶对针叶林地土壤化学性质的改善效应

郭冠春¹, 刘增文¹, 何建平²

(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; 3. 伊犁职业技术学院 农业工程系, 新疆 伊犁 835000)

摘要: 为改善人工针叶林地的土壤化学性质退化的问题, 通过土壤与枯落叶混合后进行室内培养的方法, 研究了黄土残塬沟壑区阔叶树种枯落叶对针叶林地土壤化学性质的改善效应。结果表明: (1) 小叶杨枯落叶对侧柏林地土壤碱解氮、有机 C 和胡敏素的改善效果显著; 沙棘枯落叶对油松林地土壤速效磷和侧柏林地土壤 pH 值、速效磷、速效钾、富啡酸的改善效果显著; 柠条枯落叶对油松林地土壤速效钾、有机 C、胡敏酸和胡敏素的改善效果显著。(2) 对油松林地来说, 枯落叶的综合改善效应为: 沙棘 > 柠条 > 辽东栎 > 小叶杨 > 刺槐枯落叶; 对侧柏林地来说, 枯落叶的综合改善效应为: 小叶杨 > 沙棘 > 辽东栎 > 柠条 > 刺槐枯落叶。

关键词: 阔叶树种枯落叶; 针叶林土壤; 化学性质; 改善效应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)05-0166-05

中图分类号: S152.3, S157.5

Effects of Leaf Litter from Deciduous Trees on Chemical Properties of Coniferous Forest Soil in Gully Region of Loess Plateau

GUO Guan-chun¹, LIU Zeng-wen¹, HE Jian-ping²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Department of Agricultural Engineering, Yili Vocational and Technical College, Yili, Xinjiang 835000, China)

Abstract: The objective of this laboratory experiment was to determine if leaf litter from deciduous tree species could be used to improve the chemical properties of a degraded soil in a coniferous forest in the gully region of the Loess Plateau. Results showed that: (1) The application of *Populus simonii* leaf litter to a *Platycladus orientalis* forest soil significantly increased soil alkali-hydrolyzable N, organic C, and humin. The application of *Hippophae rhamnoides* leaf litter to a *Pinus tabulaeformis* forest soil significantly increased available P and to a *Platycladus orientalis* forest soil significantly increased pH value, available P, available K, and fulvic acid. The application of *Caragana microphylla* leaf litter to a *Pinus tabulaeformis* forest soil significantly increased available K, organic C, humic acid, and humin. (2) Leaf litter from *Hippophae rhamnoides* had the greatest overall effect on *Pinus tabulaeformis* forest soil, followed by leaf litter from *Caragana microphylla*, *Quercus liaotungensis*, *Populus simonii*, and then *Robinia pseudoacacia*. For the *Platycladus orientalis* forest soil, the positive effects of leaf litter declined in the order of *Populus simonii* > *Hippophae rhamnoides* > *Quercus liaotungensis* > *Caragana microphylla* > *Robinia pseudoacacia*.

Keywords: leaf litter from deciduous tree; coniferous forest soil; chemical property; improving effect

人工纯林由于造林技术简单、经营管理方便而被广泛应用于用材林和防护林的营林实践。随着人工纯林面积的不断扩大和人工纯林生长发育过程的进行, 许多人工纯林, 特别是树龄偏大或者多代连栽的人工

纯林出现生长发育不良和土壤退化(即连生障碍)^[1]、极化^[2]的现象, 尤其是人工针叶纯林表现更为明显^[3], 如已被证实杉木(*Cunninghamia lanceolata*)^[4]、落叶松(*Larix spp.*)^[5-6]等林地土壤都存在此类问题。

收稿日期: 2010-10-30

修回日期: 2011-12-11

资助项目: 国家自然科学基金项目“黄土高原人工林土壤极化动态模拟与调控”(31070630)

作者简介: 郭冠春(1986—), 男(汉族), 山东省济南市人, 在读硕士, 主要从事林业生态工程研究。E-mail: qwert_860129@163.com。

通信作者: 刘增文(1965—), 男(汉族), 陕西省横山县人, 博士, 教授, 主要从事森林生态与水土保持研究。E-mail: zengwenliu2003@yahoo.com.cn。

黄土沟壑区由于降水较少、沟壑纵横和水土流失严重,森林覆盖率较低,在仅有的森林植被中人工纯林占据 70% 以上^[7],由于这些人工林树种组成简单,又疏于管理,所以许多林地出现树木生长缓慢、土壤退化的迹象^[8]。已有的研究表明,该区人工油松林在生长后期,土壤肥力处于耗损阶段,导致了土壤有机质、养分和综合肥力的降低^[9],其极化程度为物理性质弱度恶化,中度贫养化^[8];侧柏凋落物中因含不易降解的单宁、树脂等物质,降解速率慢,使侧柏林地土壤有机质含量相对较低^[10],其极化程度为物理性质有恶化趋势,弱度贫养化^[8]。

凋落物的存在影响着植被的动态、林地生产力和土壤的理化性质和生物学性质^[11-12],是森林营养的“仓库”,它在维持土壤肥力方面起着重要的作用^[13]。近年来,国内外学者从不同角度对凋落物进行了大量研究^[14-16],表明凋落物对土壤理化性质改善^[17-18]以及土壤生态过程起着重要的推动作用,但对黄土高原阔叶树种枯落叶对当地针叶纯林土壤化学性质的改善效应则鲜有报道。因此,本文尝试通过室内试验的方法研究黄土丘陵沟壑区不同阔叶树种枯落叶对针叶纯林土壤化学性质的改善效应,从而为改变当地人工针叶林地的生长发育不良和土壤退化现象提供科学依据,并为当地的针阔混交造林提供一定参考。

1 研究区概况

研究区地处黄土高原南部残塬沟壑区的淳化县英烈林场,属暖温带半湿润森林草原生物气候带,年平均雨量 600.6 mm,年平均气温 10.5 °C,平均无霜期 190 d,海拔 1 025~1 823.5 m,伊万诺夫湿润度平均值 0.7。刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)是当地的主要人工造林树种和成林资源,天然成林树种主要有辽东栎(*Quercus liaotungensis*)。另外,小叶杨(*Populus simonii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana korshinskii*)也是当地常见的成林树种。研究区森林土壤为褐色土类的白善土亚类。

2 研究方法

2.1 针叶林标准地的建立及土壤、枯落叶的采集

首先在研究区内最具有典型代表性的地段,选择进入成熟生长期、覆盖度达 90%~100% 的 24 年生油松和 24 年生侧柏纯林,所选取林地地处梁坡顶部,土壤类型为白善土,海拔 1 210 m,坡向为 SW15°,油松和侧柏林地的坡度分别为 12°和 20°。油松林地的平均胸径为 13.95 cm,平均树高为 6.92 m,密度为

2 167 株/hm²;侧柏林地的平均胸径为 8.62 cm,平均树高为 5.31 m,密度为 2 941 株/hm²。

在林地内分别建立 20 m×20 m 的标准地,然后在所建立的标准地内均匀选定 5 个采样点,用环刀法取深度 10 cm 处的原状土进行孔隙度和毛管持水量的测定。同时,均匀设置 5 个 1 m×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 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,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,于当地收集针叶和阔叶树种刺槐、辽东栎、小叶杨、沙棘和柠条的当年凋落叶,带回室内迅速漂洗干净并风干,然后去掉叶柄用植物粉碎机磨成碎末备用。

2.2 针叶林土壤与阔叶树种枯落叶混合培养试验

将准备好的土样和枯落叶按照 100:2 的干重比例两两充分混合(鲜土以含水率折算成干土,对照土样与采土林地针叶树种枯落叶混合)^[19],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(直径 15 cm,高 25 cm)中。每个树种枯落叶为一个处理,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,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,计算应加水量),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。

2.3 混合培养后的土壤化学性质测定^[20]

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 C 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 N 采用扩散法测定;速效 P 采用 NaHCO₃ 浸提钼锑抗比色法测定;速效 K 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。

2.4 数据分析

数据分析采用 Excel 及 SPSS 16.0,利用 LSD 法进行多重比较分析得出不同化学性质之间都达到了差异显著性。

为了判断不同阔叶树种枯落叶对土壤化学性质的综合改善效应大小,本文定义了综合改善效应指数(I_i),指某枯落叶对土壤化学性质的正改善效应与负改善效应之差。其计算公式为:

$$I_i = I_{i+} - I_{i-} = \sqrt{\sum_{i=0}^m \left(\frac{x_i - x_{i0}}{x_{j0}}\right)^2} - \sqrt{\sum_{j=0}^n \left(\frac{x_j - x_{j0}}{x_{j0}}\right)^2}$$

式中： m, n ——正改善和负改善的土壤化学性质指标变量； x_i, x_j ——表示与枯落叶混合培养后土壤化学性质在指标变量 i 和 j 上的取值； x_{i0}, x_{j0} ——表示对照土壤化学性质在指标变量 i 和 j 上的取值。

枯落叶的综合改善效应指数为正说明其在总体上改善了土壤的化学性质，值越大，说明综合改善效果越好；反之，则说明其不利于土壤化学性质的改善。

3 结果与分析

3.1 阔叶树种枯落叶对针叶林地土壤 pH 值的改善效应

由表 1 可见，刺槐、小叶杨和辽东栎枯落叶都可不同程度地增加油松和侧柏林地的土壤 pH 值，不利于中和土壤碱性；刺槐和小叶杨枯落叶显著地增加了油松林地的土壤 pH 值，小叶杨枯落叶显著的增加了侧柏林地的土壤 pH 值。沙棘和柠条枯落叶都可以降低 2 种林地的土壤 pH 值，有利于中和土壤碱性，从而改善土壤质量，其对油松林地土壤 pH 值的改善效果不显著，对侧柏林地土壤 pH 值的改善效果显著，改善幅度分别为 2.76% 和 2.23%。这说明了沙棘和柠条枯落叶对 2 种针叶林地土壤 pH 值的改善效应为正，而且它们对侧柏林地土壤 pH 值的正改善效应显著；刺槐、小叶杨和辽东栎枯落叶对其的改善效应为负。

对油松和侧柏林地，5 种枯落叶都降低了其土壤中的 CEC 含量，不利于改善其土壤 CEC 水平。其中柠条枯落叶显著降低了油松林地土壤的 CEC 含量，降幅为 14.03%；5 种枯落叶都显著的降低了侧柏林地土壤 CEC 含量，降幅最大和最小的为辽东栎和柠条枯落叶，其降幅分别为 10.91% 和 3.37%。这说明

了 5 种枯落叶对油松和侧柏林地土壤阳离子交换量的改善效应都为负，其中柠条枯落叶对油松林地土壤 CEC 的负改善效应显著，5 种枯落叶对侧柏林地土壤 CEC 的负改善效应都显著。

表 1 针叶林地土壤与不同枯落叶混合培养后的 pH 值和阳离子交换量

枯落叶类型	油松林地		侧柏林地	
	pH 值	CEC	pH 值	CEC
刺槐	7.71a	28.22ac	7.63a	27.08ab
小叶杨	7.63a	28.63ab	7.96b	26.26b
辽东栎	7.48bd	26.44cd	7.67a	26.20b
沙棘	7.30c	27.27c	7.40c	27.28a
柠条	7.22c	24.64d	7.44c	28.42a
对照	7.37cd	28.66ac	7.61a	29.41d

注：不同小写字母表示差异在 $p < 0.05$ 水平上显著。下同。

3.2 阔叶树种枯落叶对针叶林地土壤速效养分的改善效应

由表 2 可见，对油松林地来说，除辽东栎枯落叶不显著增加土壤中碱解氮含量(8.68%)外，其余 4 种枯落叶均显著降低了其含量，刺槐枯落叶使其降幅最大，为 18.17%；5 种枯落叶均不同程度地增加了土壤中速效磷的含量，除刺槐枯落叶对其含量的增加效果不显著外，其余枯落叶都显著增加了其含量，其中沙棘枯落叶使其增幅达到了 250.46%，增幅最大；除辽东栎外，其余枯落叶都显著增加了土壤中速效钾的含量，增幅最大的是柠条枯落叶，为 18.92%。这说明辽东栎枯落叶对油松林地土壤碱解氮的改善效应为正，其余枯落叶对其的改善效应为负且显著；5 种枯落叶对油松林地土壤速效磷和速效钾的改善效应都为正，并且小叶杨、辽东栎、沙棘和柠条枯落叶对速效磷的正改善效应显著，刺槐、小叶杨、沙棘和柠条枯落叶对速效钾的正改善效应显著。

表 2 针叶林地土壤与不同枯落叶混合培养后的速效养分值

mg/kg

枯落叶类型	油松林地			侧柏林地		
	碱解 N	速效 P	速效 K	碱解 N	速效 P	速效 K
刺槐	498.0a	3.952ac	218.4a	58.5a	2.842a	213.2a
小叶杨	504.4a	4.576a	202.8b	277.5b	4.264b	197.6b
辽东栎	661.4b	6.067b	192.4c	122.0ac	5.686c	218.4a
沙棘	560.1a	12.515b	208.0d	140.5c	6.171d	254.8c
柠条	525.1a	8.528b	228.8e	169.8c	2.947ae	218.4a
对照	608.6b	3.571c	192.4c	186.6c	3.282e	197.6b

对侧柏林地来说，除小叶杨显著增加了土壤中碱解氮含量(48.71%)外，其余枯落叶均降低了其含量，其中刺槐枯落叶显著降低了其含量，降幅为 68.65%；刺槐和柠条枯落叶都降低了土壤中速效磷的含量，其

中刺槐枯落叶显著降低了其含量，降幅为 13.41%，而小叶杨、辽东栎和沙棘枯落叶都显著增加了速效钾含量，增幅分别为 29.29%、73.25% 和 88.03%；除小叶杨外，其余 4 种枯落叶都显著增加了速效钾含量，

增幅最大的为沙棘枯落叶的 28.95%。这说明了小叶杨枯落叶对侧柏林地土壤碱解氮的改善效应为正且不显著,其余枯落叶对其的改善效应为负且刺槐枯落叶对其的负改善效应显著;刺槐和柠条枯落叶对侧柏林地土壤速效磷的改善效应为负且刺槐枯落叶对其的负改善效应显著,小叶杨、辽东栎和沙棘枯落叶对其的改善效应为正且都显著;除小叶杨枯落叶外,其余枯落叶对侧柏林地土壤速效钾的改善效应都为正且都显著。

3.3 阔叶树种枯落叶对针叶林地土壤有机 C 及其组成的改善效应

由表 3 可见,对油松林地来说,除沙棘小幅降低了土壤有机 C 含量外,其余 4 种枯落叶都提高了其含量,其中刺槐、小叶杨和柠条枯落叶显著提高了其含量,柠条枯落叶的改善效果最显著,使其增幅达到了 42.67%;5 种枯落叶都显著增加了土壤中胡敏酸的

含量,其中增幅最大和最小的分别为柠条和刺槐枯落叶,其增幅为 91.04%和 15.03%;除刺槐枯落叶不显著地增加了土壤中富啡酸的含量(10.60%)外,其余 4 种枯落叶都显著降低了其含量,其中降幅最大的为柠条枯落叶的 60.42%,最小的为辽东栎枯落叶的 23.32%;除沙棘枯落叶不显著增加了土壤中胡敏素的含量外,其余枯落叶都显著增加了其含量,增幅最大的是柠条枯落叶,增幅为 190.04%。

这说明除沙棘外,其余枯落叶油松林地土壤有机 C 的改善效应都为正,其中刺槐、小叶杨和柠条枯落叶对其的正改善效应显著;5 种枯落叶对油松林地土壤胡敏酸的改善效应都为正且显著;除刺槐枯落叶外,其余枯落叶对油松林地土壤富啡酸的改善效应都为负且显著;5 种枯落叶对油松林地土壤胡敏素的改善效应都为正,除刺槐枯落叶外其余枯落叶对其的正改善效应显著。

表 3 针叶林地土壤与不同枯落叶混合培养后有机 C 及其组成

g/kg

枯落叶类型	油松林地				侧柏林地			
	有机 C	胡敏酸 C	富啡酸 C	胡敏素 C	有机 C	胡敏酸 C	富啡酸 C	胡敏素 C
刺槐	28.90a	9.11a	12.52a	7.28a	31.07a	11.89ac	11.61a	7.58ad
小叶杨	28.18a	12.89b	6.44be	8.85b	41.91b	14.15b	11.89ad	15.86b
辽东栎	25.29b	10.09ac	8.68c	6.52a	35.41c	10.75c	13.87b	10.78c
沙棘	23.85b	11.21c	7.29bc	5.35c	38.29d	12.45bc	15.85c	9.99cd
柠条	35.04c	15.13d	4.48e	15.43d	35.41c	10.75c	13.02bd	11.63c
对照	24.56b	7.92e	11.32a	5.32c	34.68c	13.02ab	13.31b	8.36d

对侧柏林地来说,除刺槐枯落叶显著降低了土壤有机 C 含量外,其余 4 种枯落叶都增加了其含量,其中小叶杨和沙棘枯落叶显著增加了其含量,其增幅分别为 20.85%和 10.41%。除小叶杨枯落叶不显著增加了土壤中胡敏酸的含量外,其余 4 种枯落叶都降低了其含量,其中柠条和辽东栎枯落叶显著降低了其含量,其降幅都为 17.43%;辽东栎和沙棘枯落叶增加了土壤中富啡酸的含量,其增幅分别为 4.21%和 19.08%,其中沙棘枯落叶对其增加效果显著;刺槐、小叶杨和柠条枯落叶降低了其含量,其中刺槐和小叶杨枯落叶显著降低了其含量,幅度分别为 12.77%和 10.67%。除刺槐枯落叶不显著降低了和沙棘枯落叶不显著增加了土壤中胡敏素的含量外,其余 3 种枯落叶都显著增加了其含量,其增幅从大到小分别为小叶杨枯落叶的 89.71%,柠条枯落叶的 35.17%和辽东栎枯落叶的 28.95%。

这说明除刺槐枯落叶对土壤有机 C 的改善效应为负且显著外,其余枯落叶对其的改善效应都为正,其中小叶杨和沙棘枯落叶对其的正改善效应显著;除小叶杨枯落叶对土壤胡敏酸的改善效应为正且不显

著外,其余枯落叶对其的改善效应都为负,且柠条和辽东栎枯落叶对其的负改善效应显著;辽东栎和沙棘枯落叶对土壤富啡酸的改善效应为正且沙棘枯落叶对其的正改善效应显著,刺槐、小叶杨和柠条枯落叶对其的改善效应为负且刺槐和小叶杨枯落叶对其的负改善效应显著;除刺槐枯落叶外,其余枯落叶对土壤胡敏素的改善效应都为正且小叶杨、柠条和辽东栎枯落叶对其的正改善效应显著。

3.4 不同阔叶树种枯落叶对土壤化学性质的综合改善效应

由表 4 可见,5 种枯落叶对油松林地土壤化学性质的综合改善效应指数都为正值,其按大小顺序排列依次为沙棘(216.98) > 柠条(196.61) > 辽东栎(54.36) > 小叶杨 > 刺槐(32.34)。这说明,综合来看 5 种枯落叶都有利于改善油松林地的土壤化学性质,沙棘枯落叶对其改善效应最大,然后依次为柠条、辽东栎、小叶杨和刺槐枯落叶。

5 种枯落叶对侧柏林地土壤化学性质的综合改善效应指数除了刺槐外,其余都为正值,其按大小顺序排列依次为小叶杨(94.93) > 沙棘(71.64) > 辽东

栎(39.35) > 柠条(14.47) > 刺槐(-66.25), 这说明小叶杨枯落叶对侧柏林地土壤化学性质的改善效应最大, 然后依次为沙棘、辽东栎和柠条枯落叶, 而刺槐枯落叶不适宜用来改善侧柏林地土壤化学性质。

表 4 不同阔叶树种的枯落叶对针叶林地土壤化学性质的综合改善效应指数

林地类型	刺槐	小叶杨	辽东栎	沙棘	柠条
油松林	0.323	0.514	0.544	2.170	1.966
侧柏林	-0.663	0.949	0.394	0.716	0.145

4 结论

(1) 刺槐枯落叶对油松林地土壤富啡酸的改善效应大于其它枯落叶, 但改善效果不显著, 其改善幅度为 10.60%; 小叶杨枯落叶对侧柏林地土壤碱解氮、有机 C、胡敏素的改善效应大于其他枯落叶, 改善效果显著, 其改善幅度分别为 48.71%, 20.85%, 89.71%; 辽东栎枯落叶对油松林地土壤碱解氮的改善效应大于其他枯落叶, 但改善效果不显著, 其改善幅度为 8.68%; 沙棘枯落叶对油松林地土壤速效磷和侧柏林地土壤 pH 值、速效磷、速效钾、富啡酸的改善效应大于其他枯落叶, 改善效果显著, 其改善幅度分别为 250.46%, 2.76%, 88.03%, 28.95%, 19.08%; 柠条枯落叶对油松林地土壤速效钾、有机 C、胡敏酸、胡敏素的改善效应大于其余枯落叶, 改善效果显著, 其改善幅度分别为 18.92%, 42.67%, 91.04%, 190.04%。

(2) 从枯落叶对土壤的综合改善效应来看, 5 种枯落叶都适宜用来改善油松林地土壤化学性质, 其综合改善效应大小顺序为沙棘枯落叶 > 柠条枯落叶 > 辽东栎枯落叶 > 小叶杨枯落叶 > 刺槐枯落叶, 综合改善效应指数依次为 2.170, 1.966, 0.544, 0.514, 0.323; 除刺槐枯落叶外, 其余 4 种枯落叶都适宜用来改善侧柏林地土壤化学性质, 其综合改善效应大小顺序为小叶杨 > 沙棘 > 辽东栎 > 柠条 > 刺槐, 综合改善效应指数依次为 0.949, 0.716, 0.394, 0.145。

本文提出了综合改善效应指数的概念, 以衡量判断枯落叶对林地土壤化学性质的综合改善效应, 并给出了其计算公式。这是一个新的尝试, 但是每个土壤化学性质对土壤质量的贡献与影响程度不同, 因而其权重也应不同, 这在公式中没有体现, 还需要继续完善。另外, 由于室内枯落叶和土壤混合培养分解与自然条件下落叶在土壤表面缓慢分解的状态可能存在差异, 因此本文的研究结果还需要与实践相结合, 才能更好地为林业生产和实践提供有意义的指导。

[参 考 文 献]

- [1] 刘增文, 段而军, 高文俊, 等. 秦岭山区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.
- [2] 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.
- [3] 邓仕坚, 张家武, 陈楚莹, 等. 不同树种混交林及其纯林对土壤理化性质影响的研究[J]. 应用生态学报, 1994, 5(2): 126-132.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 刘增文, 段而军, 刘卓玛姐, 等. 黄土高原半干旱丘陵区不同树种纯林土壤性质极化研究[J]. 土壤学报, 2009, 46(6): 1110-1120.
- [8] 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[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(2): 107-112.
- [9] 张希彪, 上官周平. 黄土丘陵区油松人工林与天然林养分分布和生物循环比较[J]. 生态学报, 2006, 26(2): 373-382.
- [10] 张静, 常庆瑞. 渭北黄土高原不同林型植被对土壤肥力的影响[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 26-28.
- [11] 何池全, 赵魁义. 植物的生化他感效应及在湿地研究中的作用[J]. 生态学杂志, 1999, 18(4): 46-51.
- [12] 何池全, 赵魁义. 湿地克隆植物的繁殖对策与生态适应性[J]. 生态学杂志, 1999, 19(6): 38-46.
- [13] 梁宏温. 田林老山中山两类森林凋落物研究[J]. 生态学杂志, 1994, 13(1): 21-26.
- [14] 薛立, 何跃君, 屈明, 等. 华南典型人工林凋落物的持水特性[J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 415-421.
- [15] 廖利平, 马越强, 汪思龙, 等. 杉木与主要阔叶造林树种叶凋落物的混合分解[J]. 植物生态学报, 2000, 24(1): 27-33.
- [16] 林德喜, 樊后保. 马尾松林下补植阔叶树后森林凋落物量、养分含量及周转时间的变化[J]. 林业科学, 2005, 41(6): 7-15.
- [17] 陈立新, 陈祥伟, 段文标. 落叶松人工林凋落物与土壤肥力变化的研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(6): 581-586.
- [18] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 川西亚高山针叶林凋落物对土壤理化性质的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(4): 346-352.
- [19] 王林, 刘增文, 郭冠春, 等. 黄土残塬沟壑区利用阔叶树种枯落叶改善针叶林地土壤酶活性的效应研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(4): 1-6.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-37.