

陕北地区阔叶树种枯落叶对针叶纯林土壤微生物的影响

贺敏, 刘增文*, 李亮, 郭冠春, 王林, 周丽萍

(西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

摘要:通过室内培养的方法代替实地混交造林和枯落叶客置实验,研究了陕北黄土高原不同阔叶树种枯落叶对针叶纯林土壤微生物数量的影响。结果表明:在陕北半干旱风沙区(靖边),油松林引入白榆,樟子松林引入旱柳或客置其枯落叶,有利于改善土壤微生物性质;在陕北半湿润黄土丘陵区(黄陵),侧柏林引入桦树,落叶松林引入刺槐、小叶杨、桦树和辽东栎,油松林引入桦树、小叶杨和刺槐或客置其枯落叶,有利于改善土壤微生物性质。

关键词:人工针叶纯林;土壤极化;土壤微生物;混交林

中图分类号:S718.521.3

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2010)03-0007-05

Impact on Soil Microbial of Coniferous Pure Forests by Different Leaves Litter of Broad-leaved Trees in Northern Shaanxi

HE Min, LIU Zeng-wen, LI Liang, GUO Guan-chun, WANG Lin, ZHOU Li-ping

(Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Impacts of different dry deciduous of broad-leaved species on soil microbial of artificial coniferous pure stands in Loess Plateau of Northern Shaanxi Province were investigated. The results showed that the introduction of *Ulmus pumila* to *Pinus tabulaeformis* forest and *Salix matsudana* to *Pinus solvestris* forest could improve microorganisms in the soil in this semi-arid and sandy area (Jingbian). In the semi-humid zone (Huangling) however, soil microorganisms could be improved by the introduction of *Betula platyphylla* to *Platycladus orientalis* forests, *Robinia pseudoacacia*, *Populus simonii*, *Betula platyphylla* and *Quercus liaotungensis* to *Larix principis-rupprechtii* forest and *Betula platyphylla*, *Populus simonii*, *Robinia pseudoacacia* to *Pinus solvestris* var. *mongolica* forests.

Key words: artificial pure coniferous stand; soil polarization; soil microbial; mixed forest

人工纯林可持续发展面临的诸多问题早已引起国内外学者的广泛关注^[1-2]。大量的研究表明,引起这些问题的主要原因包括土壤自贫、自毒、森林结构自衰等^[3-5],但刘增文认为引起这些现象最根本的原因是土壤性质的极化^[6],即由于单一树种的长期连续生长或连栽,使土壤性质偏离原平衡态并朝某个方向非平衡态或极端化发展的趋势。中国是世界上人工林最多的国家,人工纯林占很大的比例,致使森林可持续发展面临更加严峻的形势。如何解决人工林所面临的这些问题已迫在眉睫。有学者提出林地施肥^[7]、树种更新等对策。大部分学者认为混

交造林是解决问题最根本最有效的途径,但如何选择适合的混交树种成为最大的难题,虽然通过实地混交实验会提供最准确的参考,但面临成本高、耗时长、见效慢等诸多限制,且很难满足当前林业生产的迫切要求。因此,有必要探索其他成本较低、行之有效的措施。

研究表明,非根际微生物的数量和种类与凋落物的分解有着极为密切的联系,并影响非根际土壤中的营养物质和元素的循环利用、植物生长周期、水土保持等诸多方面^[8]。选择陕北半干旱风沙区(靖边)及半湿润黄土丘陵区(黄陵)人工针叶纯林土壤为研究

收稿日期:2009-09-07 修回日期:2009-10-30

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

作者简介:贺敏,女,在读硕士研究生,主要从事森林生态研究。

*通讯作者:刘增文,男,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.

对象,从土壤微生物方面入手,尝试通过室内培养的方法代替实地的混交造林和枯落叶客置实验,相对更快地研究枯落叶客置对土壤微生物数量的影响,探讨不同阔叶树种的种间关系,为人工纯林的树种更新和选择混交树种提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

1.1.1 陕北半干旱风沙区 采样地设在陕北北部靖边县北缘,地处黄土高原北部毛乌素沙地南缘风沙区,属暖温带半干旱气候。年降水量 316~450 mm,年蒸发量 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。土壤以黄绵沙土为主。属典型干草原,区内成林针叶树种主要有油松(*Pinus tabulaeformis*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、阔叶树种有小叶杨(*Populus simonii*)、旱柳(*Salix matsudana*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana microphylla*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、乌柳(*Salix cheilophila*)等。

1.1.2 陕北半湿润黄土丘陵区 采样地位于陕西南部黄陵县双龙镇,这里地处黄土高原中部暖温带半湿润黄土丘陵区(属桥山林区),年均温 9.4℃,1月均温-4.7℃,7月均温 21.9℃,无霜期 150 d,年均降水量 630.9 mm,平均相对湿度 64%。土壤为灰褐色森林土。主要成林针叶树种有油松、侧柏、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、华山松(*Pinus armandi*)、阔叶树种有辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、刺槐、小叶杨(*Populus simonii*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤及枯落叶的收集与准备 在所选取的具有代表性的油松、侧柏、落叶松、樟子松人工林标准地内,均匀设置 5 个 1 m×1 m 的样方,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。

收集土样的同时,于当地收集阔叶树种小叶杨、刺槐、沙棘、柠条、桦树、辽东栎和针叶树种油松、侧柏、落叶松、樟子松的当年凋落叶,带回室内迅速漂洗干净并风干,然后去掉叶柄,粉碎备用。

1.2.2 室内培养 将备好的土样和枯落叶按照 100:2 的干重比例充分混合,然后分别取适量经充分混

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%,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内常温(25~27℃)下培养。在培养过程中,每隔 3 d 称量培养钵重量,根据失水情况,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。

1.2.3 土壤微生物测定 将培养好的土样平摊到干净的磁盘里,捡除残留的枯落叶,充分混合后取部分土样(鲜土)用稀释平板法测定土壤微生物数量。土壤细菌、放线菌、真菌分别采用牛肉膏蛋白胨培养基、改良高氏 1 号培养基和 PDA 培养基培养。

2 结果与分析

2.1 陕北半干旱风沙区

2.1.1 油松林土壤与不同阔叶树种枯落叶混合培养后微生物数量的变化 由表 1 知,对照(即在原油松林地土壤中加入油松枯落叶进行混合培养)各微生物性质与原林地土壤均有显著性差异,明显增加了土壤细菌数量(192.27%,指增加或降低的幅度,下同),但降低了土壤中真菌(-18.78%)和放线菌(-45.08%)的数量。

在油松林地引入刺槐或客置其枯落叶,各微生物数量与对照均有显著差异,细菌数量增加(20.23%),但会降低土壤中真菌(-46.41%)、放线菌(-65.04%)的数量。

在油松林地引入小叶杨或客置其枯落叶,微生物总量较对照无显著差异,其他微生物数量与对照均有显著性差异,土壤放线菌的数量增加(31.97%),但降低了土壤细菌(-13.71%)和真菌(-18.91%)的数量。

在油松林地引入旱柳或客置其枯落叶,各微生物数量与对照均有显著差异,明显增加了土壤细菌(93.23%)的数量,但降低了真菌(-34.33%)和放线菌(-38.73%)的数量。

在油松林地引入白榆或客置其枯落叶,各微生物数量与对照均有显著差异,增加了细菌(24.33%)、真菌(27.15%)、放线菌(142.18%)的数量。

在油松林地引入沙棘或客置其枯落叶,各微生物数量与对照差异均有显著性,明显增加了土壤细菌(191.35%)、真菌(95.45%)的数量,但降低了土壤放线菌(-74.47%)的数量。

表1 半干旱风沙区油松林土壤与阔叶树种枯落叶混合培养后的微生物变化

Table 1 Changes of soil microbial of *Pinus tabulaeformis* forest after mixed incubation with leaf litter of broad-leaved trees in semi-arid windy area

枯落叶种类	微生物数量/(10 ² 个·g ⁻¹)			
	细菌	真菌	放线菌	微生物总量
沙棘	65.03±0.03 [#]	11.16±0.58 [#]	3.26±0.11 [#]	79.44±0.44 [#]
旱柳	43.14±0.01 [#]	3.75±0.11 [#]	7.80±0.20 [#]	54.69±0.30 [#]
刺槐	26.84±0.05 [#]	3.06±0.03 [#]	4.45±0.11 [#]	34.35±0.09 [#]
柠条	28.26±0.13 [#]	4.45±0.13 [#]	12.56±0.31	45.27±0.31 [#]
白榆	27.75±0.37 [#]	7.26±0.29 [#]	30.83±0.85 [#]	65.84±0.77 [#]
紫穗槐	25.10±0.17 [#]	4.05±0.09 [#]	17.04±0.45 [#]	46.18±0.71 [#]
小叶杨	19.26±0.01 [#]	4.63±0.35 [#]	16.80±0.28 [#]	40.69±0.64
对照(油松)	22.32±0.04 [*]	5.71±0.12 [*]	12.73±0.34 [*]	40.76±0.51 [*]
原林地土壤	7.63±0.51	7.03±0.23	23.18±0.76	37.84±0.02

* * 对照与原林地土壤差异显著($p < 0.01$); # 混合了不同阔叶树种枯落叶土壤与对照差异显著($p < 0.01$)。下表同。

在油松林地引入柠条或客置其枯落叶,放线菌数量与对照无显著差异,而其他微生物数量与对照差异显著。增加了土壤细菌(26.61%)的数量,但降低了土壤真菌(-22.07%)的数量。

在油松林地引入紫穗槐或客置其枯落叶,各微生物数量与对照差异显著。增加了土壤细菌(12.56%)和放线菌(33.78%)的数量,但降低了真菌(-28.20%)的数量。

由此可见,油松纯林的长期连续生长会导致当地土壤细菌数量发生明显的正向极化,但同时使真菌和放线菌数量发生不同程度的负向极化。白榆枯落叶可使当地土壤各种微生物数量增加,是适合与

靖边油松林混交的树种。而其他树种枯落叶均对当地土壤放线菌或真菌数量有不同程度的抑制,更强化了油松纯林真菌、放线菌数量的负向极化趋势,因而不适宜与油松林混交。

2.1.2 樟子松林土壤与不同阔叶树种枯落叶混合培养后微生物数量的变化 研究结果(表2)表明,对照(即在原樟子松林地土壤中加入樟子松枯落叶进行混合培养)各微生物性质与原林地土壤均有显著性差异,提高了土壤中真菌的数量(53.68%)和放线菌的数量(32.24%),但明显降低了土壤细菌的数量(-68.17%)。

表2 半干旱风沙区樟子松林土壤与阔叶树种枯落叶混合培养后的微生物变化

Table 2 Changes of soil microbial of *Pinus sylvestris* forest after mixed incubation with leaf litter of broad-leaved trees in semi-arid windy area

枯落叶种类	微生物数量/(10 ² 个·g ⁻¹)			
	细菌	真菌	放线菌	微生物总量
旱柳	9.37±0.13 [#]	6.70±0.19 [#]	15.73±0.81 [#]	31.79±0.49 [#]
沙棘	36.58±0.39 [#]	6.82±0.00 [#]	10.16±0.38 [#]	53.56±0.01 [#]
紫穗槐	8.58±0.49 [#]	6.91±0.27 [#]	11.65±0.19 [#]	27.14±0.04 [#]
小叶杨	7.35±0.01	2.63±0.08 [#]	18.89±0.63 [#]	28.87±0.69 [#]
刺槐	21.90±0.34 [#]	4.12±0.18 [#]	11.69±0.28 [#]	37.71±0.11 [#]
白榆	3.24±0.05 [#]	3.42±0.01 [#]	12.64±0.24 [#]	19.29±0.20 [#]
柠条	36.49±0.20 [#]	4.18±0.11 [#]	15.00±0.38 [#]	55.67±0.47 [#]
对照(樟子松)	7.18±0.10 [*]	12.94±0.55 [*]	22.19±0.49 [*]	42.31±0.84 [*]
原林地土壤	22.56±0.53	8.42±0.24	16.79±0.20	47.77±0.97

比较不同阔叶树种枯落叶与樟子松林土壤混合后土壤性质的变化,可以看出,在樟子松林地引入刺槐、旱柳、沙棘、柠条和紫穗槐或客置其枯落叶,各微生物数量与对照均有显著性差异,明显增加了细菌数量,但降低了土壤中真菌和放线菌的数量。

在樟子松林地引入小叶杨或客置其枯落叶,细菌数量与对照无显著差异,而其他各微生物数量与对照均有显著性差异,降低了土壤真菌(-79.68%)和放线菌(-14.92%)的数量。

在樟子松林地引入白榆或客置其枯落叶,各微生物性质与对照均有显著差异,明显降低了土壤细菌(-54.87%)、真菌(-73.57%)、放线菌

(-43.08%)的数量。

因此,樟子松纯林的长期连续生长会导致当地土壤真菌、放线菌数量发生明显的正向极化,但却同时使细菌数量发生较强的负向极化。而取代樟子松枯落叶混合以其他阔叶树种枯落叶培养后,只有旱柳枯落叶既能改善樟子松林地土壤细菌数量的负向极化状况,又不会引起土壤真菌、放线菌数量的负向极化,是适合与樟子松进行混交的树种。

2.2 陕北半湿润黄土丘陵区(黄陵)

2.2.1 侧柏林土壤与各阔叶树种枯落叶混合培养后微生物数量的变化 由表3知,对照(即在原侧柏林地土壤中加入侧柏枯落叶进行混合培养)放线菌

数量与原林地土壤无显著差异,而其他各微生物数量与原林地土壤均有显著差异,明显增加了土壤真

菌数量的正向极化,但同时降低了细菌的数量(-26.72%)。

表3 半湿润丘陵区侧柏林土壤与阔叶树种枯落叶混合培养后的微生物变化

Table 3 Changes of soil microbial of *Platycladus orientalis* forest after mixed incubation with leaf litter of broad-leaved trees in semi-humid hilly area

枯落叶种类	微生物数量/(10 ² 个·g ⁻¹)			
	细菌	真菌	放线菌	微生物总量
辽东栎	36.42±1.24 [#]	7.04±0.19 [#]	33.91±0.23	77.36±0.82 [#]
刺槐	44.73±0.81 [#]	6.61±0.17 [#]	29.29±0.10 [#]	80.62±0.01 [#]
小叶杨	23.67±0.32 [#]	2.34±0.02 [#]	31.20±0.97	57.21±0.67 [#]
白桦	43.82±0.26	8.35±0.12 [#]	35.48±1.04	87.64±0.89
对照(侧柏)	41.80±0.11 [*]	14.95±0.57 [*]	34.11±0.98	90.85±1.66 [*]
原林地土壤	57.04±0.35	7.25±0.14	34.85±1.02	99.14±0.82

在侧柏林地引入刺槐或客置其枯落叶,各微生物数量与对照均有显著性差异。增加了细菌的数量(7.01%),但降低了土壤中真菌(-59.13%)、放线菌(-14.16%)的数量。

在侧柏林地引入小叶杨或客置其枯落叶,放线菌数量与对照无显著性差异,而其他各微生物数量与对照差异显著,明显降低了土壤细菌(-43.37%)和真菌(-84.35%)的数量。

在侧柏林地引入白桦或客置其枯落叶,真菌数量与对照差异显著,而其他各微生物数量与对照均无显著性差异,降低了土壤中真菌的数量(-44.15%)。

在侧柏林地引入辽东栎或客置其枯落叶,放线菌数量与对照无显著性差异,而其他各微生物数量与对照均有显著性差异,降低了土壤中细菌(-12.87%)和真菌(-52.71%)的数量。

由此可见,侧柏纯林的长期连续生长会导致当地土壤真菌数量发生极明显的正向极化,但却同时使细菌和放线菌数量发生不同程度的负向极化。而

表4 半湿润丘陵区落叶松林土壤与阔叶树种枯落叶混合培养后的微生物变化

Table 4 Changes of soil microbial of *Larix principis-rupprechtii* forest after mixed incubation with leaf litter of broad-leaved trees in semi-humid hilly area

枯落叶种类	微生物数量/(10 ² 个·g ⁻¹)			
	细菌	真菌	放线菌	微生物总量
刺槐	18.61±0.16	7.79±0.11 [#]	21.23±0.63 [#]	47.63±0.59 [#]
辽东栎	39.08±0.55 [#]	2.93±0.03	11.78±0.49 [#]	53.79±0.10 [#]
白桦	24.34±0.12 [#]	5.91±0.06 [#]	12.85±0.33 [#]	43.10±0.52 [#]
小叶杨	41.38±0.22 [#]	6.54±0.06 [#]	14.25±0.57 [#]	62.17±0.85 [#]
对照(落叶松)	18.52±0.03 [*]	2.96±0.00 [*]	17.74±0.36 [*]	39.22±0.39 [*]
原林地土壤	61.43±0.27	3.64±0.06	4.12±0.01	69.19±0.20

在落叶松林地引入辽东栎或客置其枯落叶后,真菌数量与对照无显著差异,而其他微生物数量与对照均有显著性差异,明显增加了土壤中细菌(111.02%)的数量,但降低了土壤中放线菌(-33.56%)的数量。

因此,落叶松纯林的长期连续生长会导致当地

取代侧柏枯落叶混合以其他阔叶树种枯落叶培养后,只有白桦枯落叶既改善了侧柏林细菌、放线菌数量的负向极化,同时又不会引起真菌的负向极化,是适合与侧柏林混交的树种。

2.2.2 落叶松林土壤与不同阔叶树种枯落叶混合培养后微生物数量的变化 由表4知,对照(即在原落叶松林地土壤中加入落叶松枯落叶进行混合培养)各微生物数量与原林地土壤均有显著性差异,极明显的增加了土壤中放线菌数量(330.34%),但同时降低了细菌的数量(-69.85%)和真菌的数量(-18.68%)。

在落叶松林地引入刺槐或客置其枯落叶,细菌数量与对照无显著性差异,而其他微生物性质与对照均有显著性差异,明显增加了土壤中真菌(163.18%)和放线菌(19.68%)的数量。

在落叶松林地引入小叶杨和白桦或客置其枯落叶,各微生物数量与对照均有显著性差异,明显增加了土壤中细菌和真菌的数量,但降低了放线菌的数量。

土壤放线菌数量发生明显的正向极化,但同时使当地细菌、真菌数量发生不同程度的负向极化。而取代落叶松枯落叶混合以其他阔叶树种枯落叶培养后,刺槐枯落叶可使当地土壤微生物数量增加,是适合与落叶松林混交的首选树种,小叶杨、白桦、辽东栎虽然对当地土壤放线菌有一定抑制作用,但它们

对土壤其他微生物性质均有很大的改善。综合考虑落叶松本身对当地土壤放线菌极强的正向极化趋势,所以小叶杨、白桦、辽东栎也是适合与落叶松林进行混交的树种。

2.2.3 油松林土壤与不同阔叶树种枯落叶混合培

表5 半湿润丘陵区油松林土壤与阔叶树种枯落叶混合培养后的微生物变化

Table 5 Changes of soil microbial of *Pinus tabulaeformis* forest after mixed incubation with leaf litter of broad-leaved trees in semi-humid hilly area

枯落叶种类	微生物数量/(10 ² 个·g ⁻¹)			
	细菌	真菌	放线菌	微生物总量
小叶杨	41.31±0.05 [#]	9.99±0.25 [#]	52.10±1.55 [#]	103.40±1.84 [#]
白桦	36.15±0.02 [#]	12.00±0.00 [#]	61.55±2.10 [#]	109.70±2.12 [#]
辽东栎	38.19±0.19 [#]	11.62±0.29 [#]	29.03±0.76 [#]	78.84±0.86 [#]
刺槐	55.24±0.09 [#]	10.35±0.23 [#]	56.52±1.50 [#]	122.11±1.64 [#]
对照(油松)	80.34±0.27 [*]	16.21±0.46 [*]	41.66±1.40 [*]	138.21±0.67 [*]
原林地土壤	22.91±0.11	10.12±0.07	32.66±1.00	65.68±0.96

比较不同阔叶树种枯落叶与油松林土壤混合后土壤性质的变化,可以看出,在油松林地引入刺槐、小叶杨和白桦或客置其枯落叶,各微生物数量与对照均有显著性差异,增加了土壤中放线菌的数量,但降低了细菌、真菌的数量。

在油松林地引入辽东栎或客置其枯落叶,各微生物数量与对照均有显著性差异,降低土壤中细菌(-52.46%)、真菌(-21.01%)和放线菌(-30.32%)的数量。

由此可见,油松纯林的长期连续生长会导致当地土壤微生物性质均发生正向极化。而取代油松枯落叶混合以其他阔叶树种枯落叶培养后,白桦、小叶杨、刺槐枯落叶虽对油松林土壤细菌和真菌有一定抑制作用,但均能增加林地放线菌的数量,可使各种微生物更均衡地生长,可以考虑与油松林混交。辽东栎则不适合与油松林混交。

3 问题与讨论

由于条件有限,未能选择更多的树种枯落叶进行混合培养,是否还有更适合的树种可与这些针叶林进行混交,需要今后做更多实验来证明。另外,本研究仅从土壤微生物角度来分析,没有考虑其他因素的作用,值得进一步实验探讨。

参考文献:

[1] 崔国发. 人工林地力衰退机理及其防止措施[J]. 世界林业研究, 1996(5): 61-68.
CUI G F. Depletion mechanism of forest plantation productivity and preventive strategy[J]. World Forestry Research, 1996(5): 61-68.

[2] 李振会, 崔国发, 徐兰江, 等. 人工林地力衰退的防止措施[J]. 林业科技, 1996, 21(4): 20-22.
LI Z H, CUI G F, XU L J, et al. Preventive strategy of deple-

养后微生物数量的变化 由表5知,对照(即在原油松林地土壤中加入油松枯落叶进行混合培养)各微生物性质与原林地土壤均有显著性差异,土壤各种微生物数量均有提高,其中,土壤细菌数量增加幅度最大(250.83%)。

tion mechanism of forest plantation[J]. Forest Science and Technology, 1996, 21(4): 20-22.

[3] 曹潘荣, 骆世明. 茶园的他感作用[J]. 华南农业大学学报, 1994, 15(2): 129-133.
CAO P R, LUO S M. Study on the allelopathy of tea plant *Camellia sinensis*[J]. Journal of South China Agricultural University, 1994, 15(2): 129-133.

[4] 杜国坚, 张庆荣, 洪利兴, 等. 杉木连栽林地土壤微生物区系及其生化特性和理化性质的研究[J]. 浙江林业科技, 1995, 15(5): 14-19.
DU G J, ZHANG Q R, HONG L X, et al. Study on soil microbiota and its biochemical properties and physical chemistry properties of *Cunninghamia lanceolata* succession cultivation stand[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 1995, 15(5): 14-19.

[5] 孙启武, 杨承栋, 焦如珍. 江西大岗山连栽杉木人工林土壤性质研究[J]. 林业科学, 2003, 39(3): 1-5.
SUN Q W, YANG C D, JIAO R Z. Study on soil properties of Chinese fir plantation on Dagangshan Mountain in Jiangxi Province[J]. Forest Science, 2003, 39(3): 1-5.

[6] 刘增文, 段而军, 付刚, 等. 一个新概念——人工纯林土壤性质极化[J]. 土壤学报, 2007, 44(6): 1119-1126.
LIU Z W, DUAN E J, FU G, et al. New concept: soil polarization in planted pure forest[J]. Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(6): 1119-1126.

[7] 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): 705-711.
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): 705-711.

[8] 方昉, 吴承祯, 洪伟, 等. 植物根际-非根际土壤酶与微生物相关性研究进展[J]. 亚热带农业研究, 2007, 3(3): 209-215.
FANG F, WU C Z, HONG W, et al. Study on the relationship between rhizospheric or non-rhizospheric soil enzyme and microbe in different plants[J]. Subtropical Agriculture Research, 2007, 3(3): 209-215.