

岷江上游不同树种林地客土混合对土壤 生物化学性质和枯落叶分解的影响

刘增文¹, 高文俊¹, 潘开文², 张丽萍¹, 杜红霞¹, 高祥斌¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041)

摘要 人工纯林的长期经营会引发连栽障碍, 影响森林的可持续发展, 解决途径是引进更新树种形成混交林。为了指导四川岷江上游人工纯林更新树种和混交比例的选择, 尝试通过针阔叶树种林地腐殖质土壤及其枯落物的客置和混合原位培养试验, 探讨不同树种间关系的协调性。结果表明: (1) 连香树、云南松和云杉林地经过各种客土混合后酶活性普遍都有所提高, 而在糙皮桦林地, 经云南松土壤客土混合后酶活性普遍有所下降, 经云杉土壤客土混合后脲酶和过氧化氢酶活性有不同程度的提高, 蔗糖酶活性却有所下降; (2) 连香树和云南松林地经过各种客土混合后, 加速了 C 和 N 由枯落物进入土壤, 而在糙皮桦和云杉林地经过各种客土混合后, 促进了 N 从枯落物和有机质矿化分解进入土壤的过程, 但却会对有机 C 进入土壤产生抑制作用; (3) 所有不同针阔叶树种林地经土壤客土混合后, 对原有土壤的酸碱性起到中和的作用, 即原来的阔叶林地土壤向偏酸性方向发展, 而原来的针叶林地土壤向偏碱性方向发展; (4) 所有不同树种林地的客土混合对枯落叶分解均具有明显的促进作用; (5) 连香树林地的 LM0.15 ~ 0.50 和 LY0.15 ~ 0.35、糙皮桦林地的 HM0.15 和 HY0.15 ~ 0.50、云南松林地的 ML0.15 ~ 0.50 和 MH0.35 ~ 0.50、云杉林地的 YL0.35 ~ 0.50 和 YH0.35 类型是相对较好的选择, 可作为确定更新树种和混交比例的参考。

关键词 连香树 糙皮桦 云南松 云杉 种间关系 土壤生物化学 枯落叶分解

文章编号: 1000-0933 (2007) 10-4149-08 中图分类号: Q948, S714, S718 文献标识码: A

Influences of soil mixing of different forests on the biochemical characteristics and litter decomposition on upper reach of Minjiang River

LIU Zeng-Wen¹, GAO Wen-Jun¹, PAN Kai-Wen², ZHANG Li-Ping¹, DU Hong-Xia¹, GAO Xiang-Bin¹

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

2 Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Science, Chengdu 610041, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (10): 4149 ~ 4156.

Abstract: Long-term management of planted pure forest will lead to continuous planting obstacle and influence the sustainable development of forest. The best solution is to form mixed forest through introducing other regenerated tree species. In order to direct the option of mixed tree species and ratios on upper reach of Minjiang river, situ incubations of soil mixture (soil of coniferous forest with deciduous) of typical forests of *Cercidiphyllum japonicum*, *Betula utilis*, *Pinus yunnansinsis* and *Picea asperata* were carried out and the interspecific relationships of different tree species were studied through analyzing the influences of soil mixing of different forests on the biochemical characteristics and litter

基金项目 中国科学院成都生物研究所开放实验室基金资助项目 (2003) 国家自然科学基金资助项目 (40471376) 西北农林科技大学人才计划资助项目 (2005)

收稿日期 2006-09-18; **修订日期** 2007-04-23

作者简介 刘增文 (1965 ~), 男, 内蒙古赤峰人, 陕西人, 博士, 副教授, 主要从事森林生态与水土保持研究. E-mail: zengwenliu2003@yahoo.com.cn

Foundation item: The project was financially supported by the Open Laboratory Foundation of Chengdu Institute of Biology (No. 2003), Chinese Academy of Science, National Natural Science Foundation of China (No. 30471376) and Talent Plan Foundation of Northwest A & F University (2005)

Received date 2006-09-18; **Accepted date** 2007-04-23

Biography LIU Zeng-Wen, Ph. D, Associate professor, mainly engaged in forest ecology and soil conservation. E-mail: zengwenliu2003@yahoo.com.cn

decomposition, according to the comparison of practical biochemical indexes of mixed soil with its theoretical predicted value (weighted average of soil mixture). The results can be concluded as following: (1) In forestlands of *C. japonicum*, *P. yunnansinsis* and *P. asperata*, soil enzyme activities of urease, sucrase and catalase were intensified after mixing their soil with others. Whereas, in forestland of *B. utilis*, all the three soil enzyme activities were reduced after mixing with soil of *P. yunnansinsis*, but enzyme activities of urease and catalase were intensified and enzyme activity of sucrase was reduced after mixing with soil of *P. asperata*. (2) In forestlands of *C. japonicum* and *P. yunnansinsis*, the contents of organic-C and total N in soil were increased after mixing their soil with others. Whereas, in forestland of *B. utilis* and *P. asperata*, the contents of N in soil were increased while contents of organic-C were decreased after mixing their soil with others. (3) In all forestlands of the 4 tree species, the acidities or alkalinity of soil were neutralized after mixing their soil with others. This means that soil of deciduous forest develops forward to acidity while soil of coniferous forest develops forward to alkalinity. (4) In all forestlands of the 4 tree species, the rapids of litter decomposition were advanced after mixing their soil with others. (5) According to the comprehensive effects of soil mixing, LM 0.15—0.50 and LY 0.15—0.35 in forestland of *C. japonicum*, HM 0.15 and HY 0.15—0.50 in forestland of *B. utilis*, ML 0.15—0.50 and MH 0.35—0.50 in forestland of *P. yunnansinsis*, YL 0.35—0.50 and YH 0.35 in forestland of *P. asperata* are better choice for soil mixing relatively, which can be taken as reference in decision of regenerated tree species and mixing ratio of forest in practice.

Key Words :planted pure forest ;interspecific relationship ;biochemistry of soil ;litter decomposition

传统林业单纯追求短期经济效益,以人工纯林作为主要经营模式。但是,由于人工纯林树种组成和结构简单,对其土壤环境的影响表现出一些不良后果。如由于树木对养分利用的选择性会造成土壤性质的极化,导致森林土壤的退化^[1-3];由于土壤中某些有毒物质的积累会产生人工林的“自毒”,影响森林的自我更新^[4]。由于生物多样性的缺乏还会导致人工纯林出现“自衰”,影响其生长。所以,人工纯林的长期经营会引发连栽障碍问题,直接威胁着森林的可持续发展。

目前,已经有学者提出了很多防治人工林退化的方法,但是,利用不同树种之间的互补性,对人工纯林进行树种更新并形成混交林是根本途径。而选择更新树种和营造混交林成败与否、成效高低及能否可持续经营的核心问题是混交树种的种间关系是否协调,所以,关于不同树种种间关系的研究至关重要^[5-7]。混交树种之间的种间关系包括很多内容,其中,混交后林地枯落物分解及其土壤生物化学性质的改善是一个重要方面^[8-15]。由于野外难以找到理想的人工混交林类型,进行混交造林试验又耗时太长,不能满足营林生产的迫切需要,所以本研究尝试通过不同针、阔叶树种造林地腐殖质土壤及其枯落物的客置和混合原位培养试验来模拟混交林地,探讨不同树种种间关系的协调性,为当地制定人工纯林更新和混交造林方案提供科学参考。

1 研究区概况

研究区位于岷江上游左岸一级支流大沟流域中段,地理位置 103°54'04"~103°56'52"E 和 31°37'20"~31°44'53"N,海拔 2100~2300m,年均气温 8.9℃,≥10℃ 积温为 2690.8℃,年降雨量 900~1100mm,年蒸发量 795.8mm,属暖温带气候,植被、土壤垂直带谱明显。成土母岩为志留系千枚岩、泥盆系灰岩、千枚岩夹薄层石英岩和寒武系变质岩等,地带性土壤为棕壤。植被覆盖度 60% 以上,人工种植林木主要有连香树 (*Cercidiphyllum japonicum*)、云南松 (*Pinus yunnansinsis*)、云杉 (*Picea asperata*)、糙皮桦 (*Betula utilis*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、华山松 (*Pinus armandii*) 和落叶松 (*Larix* spp.) 等,天然次生植被主要由辽东栎 (*Quercus liaotungensis*)、虎榛 (*Ostriopsis* spp.) 和小果蔷薇 (*Rose cymosa*) 等落叶灌丛组成。本研究选择该区具有典型代表性的连香树、云南松、糙皮桦和云杉等人工林为研究对象,林地基本情况见表 1。

2 试验方法

2.1 客土混合小区布设

于 2003 年 11 月中旬,针对所选定的造林树种连香树、云南松、糙皮桦和云杉林地,选择具有典型代表性

的地段建立标准地,调查和测定林地基本状况 (表 1)。在每个标准地内沿着等高线方向选定树木间距和林地条件均匀一致的地方设置 7 个 $1 \times 1.5 \text{ m}^2$ 大小的客土混合试验小区 (如图 1),中间 1 个为对照。小区之间留有 0.3m 宽的隔离带。在清理了小区内的枯落物后,将同一树种林地 7 个小区内 0~10cm 厚的腐殖质层土壤全部搜集一起并充分混合均匀后,取部分进行林地之间的土壤互换,然后分别按照主客土比例 0.85:0.15、0.65:0.35 和 0.50:0.50 进行针阔混合,重新回填到各个试验小区,回填厚度保持 10cm (对照小区除了不进行客土混合之外,与其他小区的处理完全相同)。回填后轻轻镇压,使其尽量恢复原状,然后将林地枯落叶按照同样的比例混合后覆盖在相应的试验小区,每个小区枯落叶覆盖量以目标林地 (主林地) 和客土林地原有枯落叶覆盖量平均值为准。

表 1 试验林分概况								
Table 1 Introduction of experimental forests								
树种 Forest	林龄 Age	海拔 (m) Elevation	坡向 Aspect	坡度 (°) Slope	胸径 (cm) B. H. D	树高 (m) Height	密度 株/hm ²) Density	0~20cm 土壤容重 (g/cm ³) Bulk density
连香树 <i>C. japonicum</i>	16	2085	NW10°	14	9.81	9.17	2967	1.21
糙皮桦 <i>B. utilis</i>	39	2178	NW80°	24	17.28	11.89	1600	0.94
云南松 <i>P. yunnansinsis</i>	23	2140	NE15°	16	12.11	10.76	3333	1.25
云杉 <i>P. asperata</i>	39	2108	SE45°	10	12.98	11.77	1367	1.09

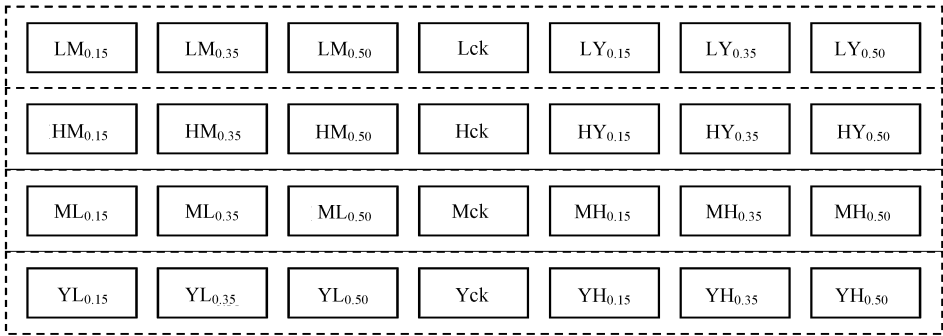


图 1 林地客土混合原位培养试验小区布设方案

Fig. 1 Planning of the situ incubation plots of mixed soil

L 连香树 H 糙皮桦 M 云南松 Y 云杉 ck 为对照 每个小区内前面字母代表目标林地,后面字母代表客土林地,0.15, 0.35, 0.50 分别表示客土的比例 L *C. japonicum* H *B. utilis* M *P. yunnansinsis* Y *P. asperata* ck means control plot; The former letter in every plot means objective forestland, while the latter letter means guest forestland, 0.15, 0.35, 0.50 are mixing ratios of soil; 下同 the same below

2.2 枯落叶分解试验布设

在客土混合小区布设的同时,从地面仔细收集当年凋落尚未分解的叶子 (精选保持完好未破损的叶子),作为凋落叶分解试验材料。经过对收集的凋落叶迅速漂洗干净并在 80℃ 下烘干至恒重后,分别称取一定重量的分解样品 (连香树约 8g/袋;云南松约 12g/袋;糙皮桦约 10g/袋;云杉约 14g/袋) 装入网眼为 1mm 或 0.5mm,大小为 $16 \times 25 \text{ cm}^2$ 的尼龙网袋中 (袋内装有塑料标签),然后平放在各个客土试验小区内的回填土壤表层 (放置前清除土壤表层的枯落物,放置后恢复原样) 并用回形针将四角固定,每个试验小区均匀放置 24 袋,共计 672 袋。

2.3 取样与测定

分别于客土混合培养后的 2004 年 7 月中旬和 11 月中旬、2005 年 7 月中旬和 11 月中旬分 4 次从各林地的 6 个客土及 1 个对照试验小区回收枯落物分解袋,每次回收 6 袋/小区,共计 168 袋。将取回的凋落叶分解

袋除去非枯叶的外来物质后装入网眼 0.5mm 的尼龙筛中用清水快速漂洗,除去枯叶上所沾泥土,然后在 80℃ 下烘干至恒重并称重,计算枯落叶的残留率。

在 2005 年 11 月回收枯落叶分解袋的同时,于各个客土试验及对照小区内,按照 5 点混合取样法,取 0~10cm 土壤样品若干,除去叶子、根系、石块等杂物,将鲜土带回室内进行有关生物化学指标的测定。具体方法为:土壤有机碳采用 TOC-V 自动分析仪测定;土壤全氮采用半微量凯氏定氮法测定;土壤 pH 值采用 PHS-2 型酸度计测定;脲酶活性采用 Hoffmann 与 Teicher 法、过氧化氢酶活性采用 Johnson 和 Temple 法、蔗糖酶活性采用 Hoffmann 与 Seegerer 法测定^[6]。

2.4 数据分析

不同树种造林地的腐殖质土壤由于受不同森林环境的影响,具有特征各异的土壤微生物类型、数量和生物化学性质。当将两种不同林地的土壤进行客土混合并培养一段时间后,土壤的生物化学性质必然发生重大改变,并引起枯落叶分解速率也发生变化。这种混合效应究竟只是原来不同土壤性质的简单叠加,还是通过混合产生了新的促进或抑制作用便是我们迫切关心的问题。于是,假定不同树种土壤混合培养过程中不存在相互作用的前提下,混合土壤的生物化学性质的理论预测值可用公式表示为:

$$T_{AB} = a P_A + b P_B \tag{1}$$

式中,A、B 代表不同树种的土壤; P_A 、 P_B 分别表示纯树种 A 和树种 B 的土壤性质的实测值; T_{AB} 为树种混合土壤 AB 的理论预测值;a、b 分别表示混合土壤中 A、B 树种土壤所占的比例。

根据对混合土壤的生物化学性质的实测值与理论预测值分析比较,可以判断土壤 A 和土壤 B 在混合培养过程中是否存在相互作用^[10,19]:当实测值较预测值有明显提高时,表明 A 与 B 混合有促进作用;相反,当实测值较预测值有明显降低时,则表明 A 与 B 混合存在抑制作用。

3 结果与分析

3.1 客土混合培养对土壤酶活性的影响

酶活性是土壤生物化学性质的重要指标,极大地影响着土壤中各种养分的存在状态、转化过程和循环利用的有效性,所以,两种不同的森林土壤混合培养之后酶活性的变化能很好地反映二者之间的种间协调性。根据对经过 1.5 年原位培养的各个混合试验小区的土壤采样测定结果(表 2),与理论预测值进行比较可以看出,混合后土壤脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶的活性均有较大的改变。其中,连香树林地、云南松林地和云杉林地经过各种客土混合后,酶活性普遍都有所提高,特别是云南松林地效果最为显著;而在糙皮桦林地,经云南松土壤客土混合后酶活性普遍有所下降,经云杉土壤客土混合后脲酶和过氧化氢酶活性有不同程度的提高,蔗糖酶活性却有所下降。这一结果预示着在连香树、云南松和云杉林地中适当引入其他不同针阔类型的树种形成混交林将有助于土壤酶活性的提高,而对糙皮桦林地则要慎重。

经过对不同客土混合类型之间酶活性综合效应的比较可以看出,连香树林地的 LM 0.50 和 LY 0.35、云南松林地的 ML 0.15 和 MH 0.50、云杉林地的 YL 0.35 和 YH 0.35 类型是相对较好的选择,可以作为各个林地确定树种和混交比例时的参考。

此外,通过对不同林地之间的比较可以发现一个矛盾现象,即云南松林地经糙皮桦土壤客土混合后酶活性都有所提高,而糙皮桦林地经云南松土壤客土混合后酶活性却有所下降,说明二者之间的客土混合效应是有方向性的,不同方向导致不同的结果。分析其原因,是因为原位客土混合培养的过程并不是孤立和封闭进行的,他与周围的森林和土壤环境密切相关,而糙皮桦林地和云南松林地是两种完全不同的森林环境类型,所以会导致结果完全相反的混合培养效应。

3.2 客土混合培养对土壤 pH 值、有机 C 和全 N 含量的影响

不同林地的土壤混合后,由于土壤微生物和酶活性的改变,引起林地枯落物分解速率和土壤有机质矿化过程发生变化,这就势必会带来土壤 pH 值、有机 C 和全 N 含量的变化。根据测定结果表明(表 3),连香树林地经客土混合后,与理论预测值相比,土壤 pH 值大多稍微有所降低,表明客土混合后土壤有向偏酸性方向发

表 2 客土混合培养对土壤酶活性的影响

Table 2 Effects of situ incubation of mixed soil of different forests on enzyme activity of soil (0~10cm)

林地类型 Forest	混合类型 Type of mixture	脲酶 Urease			蔗糖酶 Sucrase			过氧化氢酶 Catalase		
		NH ₄ -N mg/ (g·3h)			0.5Na ₂ SO ₃ ml/ (g·d)			0.1mol/L KMnO ₄ / (g·min)		
		P	T	Δ/T (%)	P	T	Δ/T (%)	P	T	Δ/T (%)
连香树	LM 0.15	9.946	8.866	12.18	8.253	6.317	30.64	1.478	1.265	16.77
<i>C. japonicum</i>	LM 0.35	11.248	9.159	22.81	8.012	6.198	29.27	1.412	1.279	10.40
	LM 0.50	11.770	9.379	25.50	8.281	6.109	35.57	1.407	1.290	9.12
	LY 0.15	10.407	8.600	21.02	8.345	6.460	29.18	1.406	1.254	12.12
	LY 0.35	11.984	8.537	40.38	8.397	6.531	28.58	1.429	1.253	14.03
	LY 0.50	8.402	8.490	-1.03	7.054	6.584	7.14	1.373	1.253	9.57
	Lck	8.647			6.407			1.255		
糙皮桦	HM 0.15	7.740	8.628	-10.30	4.115	4.295	-4.19	1.178	1.237	-4.79
<i>B. utilis</i>	HM 0.35	8.157	8.977	-9.13	3.731	4.652	-19.80	1.267	1.258	0.74
	HM 0.50	7.095	9.238	-23.21	5.003	4.919	1.72	1.187	1.273	-6.82
	HY 0.15	11.101	8.361	32.77	3.997	4.438	-9.92	1.252	1.226	2.08
	HY 0.35	11.752	8.355	40.67	3.673	4.984	-26.31	1.244	1.232	0.92
	HY 0.50	14.335	8.350	71.69	5.151	5.394	-4.51	1.493	1.237	20.71
	Hck	8.366			4.028			1.222		
云南松	ML 0.15	13.944	9.891	40.98	8.374	5.900	41.94	1.485	1.314	12.97
<i>P. yunnansinsi</i>	ML 0.35	10.630	9.598	10.75	8.504	6.019	41.29	1.437	1.300	10.51
	ML 0.50	12.953	9.379	38.11	8.598	6.109	40.75	1.434	1.290	11.15
	MH 0.15	12.508	9.849	27.00	8.116	5.543	46.43	1.492	1.309	13.95
	MH 0.35	12.502	9.500	31.59	7.418	5.186	43.04	1.411	1.289	9.47
	MH 0.50	10.546	9.238	14.15	8.306	4.919	68.86	1.448	1.273	13.70
	Mck	10.110			5.810			1.325		
云杉	YL 0.15	9.948	8.380	18.71	7.819	6.707	16.58	1.407	1.252	12.38
<i>P. asperata</i>	YL 0.35	10.042	8.443	18.94	8.618	6.637	29.86	1.412	1.252	12.76
	YL 0.50	8.249	8.490	-2.84	7.313	6.584	11.08	1.310	1.253	4.56
	YH 0.15	10.412	8.338	24.87	7.493	6.350	18.00	1.412	1.247	13.26
	YH 0.35	10.351	8.345	24.04	8.143	5.804	40.31	1.461	1.241	17.71
	YH 0.50	9.861	8.350	18.10	5.910	5.394	9.57	1.290	1.237	4.29
	Yck	8.333			6.760			1.251		

P 实测值 Practical value,T 理论值 Theoretical value,Δ = P - T ;下同 the same below

展的趋势;土壤有机 C 和全 N 含量则大多出现增长,而且全 N 的增长明显大于有机 C,表明客土混合后加速了 C 和 N 由枯落物进入土壤,尤其是 N 的释出成倍增加。糙皮桦林地经客土混合后,与理论预测值相比,土壤 pH 值也普遍出现下降,同样说明客土混合使土壤向偏酸性方向发展,而土壤有机 C 和全 N 出现相反的发展趋势,即有机 C 含量明显下降,而全 N 明显提高,表明客土混合对有机 C 进入土壤产生抑制作用,但却促进了 N 的释出。云南松林地经客土混合后,与理论预测值相比,不论 pH 值还是有机 C 和全 N 都明显增加,表明客土混合使土壤向偏碱性方向发展,同时促进了 C 和 N 从枯落物进入土壤,特别是 N 的释出速率成倍增加。云杉林地经客土混合后,与理论预测值相比,pH 值和有机 C 呈现的规律性不强,即有些混合类型产生促进作用,有些混合类型产生抑制作用,而土壤全 N 含量普遍明显提高,表明混合后对 N 的释出有促进作用。

综合以上分析可以看出,不同针阔类型的造林地土壤客土混合后,对原有土壤的酸碱性起到中和的作用,即原来的阔叶林地土壤向偏酸性方向发展,而原来的针叶林地土壤向偏碱性方向发展。同时,针阔叶林地土壤客土混合后,都促进了 N 从枯落物和有机质矿化分解进入土壤的过程。在各种客土混合类型中,连香树林地的 LM 0.15 和 LY 0.15、糙皮桦林地的 HM 0.15 和 HY 0.50、云南松林地的 ML 0.50 和 MH 0.35、云杉林地

的 YL 0.35 和 YH 0.35 是相对较好的选择类型。

表3 客土混合培养对土壤 pH 值、有机 C 和全 N 含量的影响										
Table3 Effects of situ incubation of mixed soil of different forests on pH, organic C and total N in soil (0~10cm)										
林地类型	混合类型	pH			有机 C % Organic C			全 N % Total N		
Forest	Type of mixture	P	T	Δ/T (%)	P	T	Δ/T (%)	P	T	Δ/T (%)
连香树 <i>C. japonicum</i>	LM 0.15	5.619	5.507	2.03	3.893	3.396	14.63	0.396	0.206	92.00
	LM 0.35	5.453	5.663	-3.71	3.643	3.514	3.68	0.41	0.217	88.72
	LM 0.50	5.382	5.781	-6.89	3.980	3.602	10.49	0.361	0.226	60.09
	LY 0.15	5.502	5.500	0.04	4.663	3.668	27.13	0.46	0.212	117.49
	LY 0.35	5.318	5.646	-5.81	4.325	4.148	4.28	0.298	0.230	29.85
	LY 0.50	5.208	5.756	-9.52	3.614	4.508	-19.82	0.375	0.243	54.32
	Lck	5.390			3.308			0.198		
糙皮桦 <i>B. utilis</i>	HM 0.15	5.329	5.551	-4.01	2.660	3.567	-25.43	0.415	0.233	78.42
	HM 0.35	3.793	5.697	-33.42	2.959	3.644	-18.81	0.353	0.237	48.69
	HM 0.50	5.247	5.807	-9.64	2.549	3.703	-31.15	0.351	0.241	45.64
	HY 0.15	5.299	5.544	-4.42	2.689	3.839	-29.95	0.316	0.238	32.77
	HY 0.35	5.578	5.680	-1.80	2.980	4.278	-30.35	0.364	0.250	45.80
	HY 0.50	5.448	5.782	-5.78	4.232	4.608	-8.16	0.411	0.259	58.99
	Hck	5.442			3.509			0.229		
云南松 <i>P. yunnansinsi</i>	ML 0.15	6.268	6.054	3.54	4.996	3.808	31.20	0.501	0.245	104.70
	ML 0.35	6.279	5.898	6.47	4.512	3.690	22.27	0.493	0.234	110.91
	ML 0.50	6.221	5.781	7.62	4.900	3.602	36.04	0.509	0.226	125.72
	MH 0.15	6.157	6.062	1.57	5.127	3.838	33.59	0.419	0.249	68.00
	MH 0.35	5.899	5.916	-0.28	5.050	3.761	34.29	0.509	0.245	108.09
	MH 0.50	5.978	5.807	2.95	4.933	3.703	33.23	0.45	0.241	86.72
	Mck	6.171			3.896			0.253		
云杉 <i>P. asperata</i>	YL 0.15	6.025	6.012	0.21	5.129	5.347	-4.08	0.461	0.275	67.94
	YL 0.35	5.746	5.866	-2.04	5.276	4.867	8.40	0.466	0.257	81.68
	YL 0.50	5.977	5.756	3.84	4.518	4.508	0.23	0.438	0.243	80.25
	YH 0.15	6.12	6.020	1.66	5.370	5.377	-0.14	0.515	0.279	84.49
	YH 0.35	6.64	5.884	12.85	5.641	4.938	14.24	0.556	0.267	107.97
	YH 0.50	5.889	5.782	1.85	4.531	4.608	-1.67	0.501	0.259	93.81
	Yck	6.122			5.707			0.288		

3.3 客土混合培养对枯落叶分解的影响

关于凋落叶的分解动态,用修正后的 Olson 指数衰减模型来拟合^[6,7],其形式为:

$$R = x/x_0 = a e^{-kt}$$

式中, R 为凋落叶残留率; x_0 , x 分别为分解初始和时间 t (d) 时的凋落叶残留量; a , k 为模型参数。

由模型可知,当 t 取 $1/a$ 时,得到研究阶段的平均年分解率 $d = 1 - ae^{-k}$ 。据此,通过统计分析拟合出各个林地不同客土类型下凋落叶分解模型并计算了研究阶段的平均年分解率 d ,见表 4。

由表 4 可见,4 个林地的各种客土混合类型的枯落叶年分解率 d 均较其对照有极大的提高,说明不同树种造林地腐殖质土的客土混合对枯落叶分解环境具有明显的改善,从而加速了枯落叶的分解。这一事实暗示着营造针阔混交林将有利于林地枯落叶的分解。进一步的分析可以看出,连香树林地的客土混合对枯落叶分解的促进作用(提高 108.99%)较之糙皮桦、云南松和云杉针叶林地更为明显(分别提高 35.89%、39.33% 和 42.44%),而各个林地不同客土类型(比例)之间的枯落叶分解率的差异不是很大,相对来讲,连香树林地的 LM 0.15 和 LY 0.15 小区、糙皮桦林地的 HM 0.15 和 HY 0.15 小区、云南松林地的 ML 0.15 和 MH 0.50 小区

以及云杉林地的 YL 0.50 和 YH 0.35 小区较之其他相同客土类型不同混合比例的试验小区的枯落叶分解速率更快。这一结果表明,在现有的人工纯林内适当引进其他不同针阔类型的树种形成混交林将极大地促进枯落叶的分解,尤其是连香树人工林。

表 4 凋落叶分解模型 $\ln R = \ln a - kt$ 和年分解率 d						
Table 4 Decomposition model of leaf litter $\ln R = \ln a - kt$ and annual delay ratio d						
林地类型 Forest	混合类型 Type of mixture	方程式 Equation	相关系数 Correlation	分解模型参数 Coefficients of model		年分解率 d Annual delay ratio
				a	k	
连香树 <i>C. japonicum</i>	LM 0.15	$\ln R = 4.0228 - 0.2822t$	-0.9726	0.5586	0.2822	0.5788
	LM 0.35	$\ln R = 4.1800 - 0.3646t$	-0.9831	0.6537	0.3646	0.5461
	LM 0.50	$\ln R = 4.0871 - 0.3169t$	-0.9409	0.5957	0.3169	0.5661
	LY 0.15	$\ln R = 3.9063 - 0.2084t$	-0.9827	0.4971	0.2084	0.5964
	LY 0.35	$\ln R = 4.0986 - 0.2829t$	-0.9792	0.6026	0.2829	0.5459
	LY 0.50	$\ln R = 3.9926 - 0.2199t$	-0.9985	0.5420	0.2199	0.5650
	Lck	$\ln R = 4.5418 - 0.2527t$	-0.9998	0.9386	0.2527	0.2710
糙皮桦 <i>B. utilis</i>	HM 0.15	$\ln R = 3.9288 - 0.2922t$	-0.9763	0.5085	0.2922	0.6204
	HM 0.35	$\ln R = 4.1535 - 0.4284t$	-0.9500	0.6366	0.4284	0.5852
	HM 0.50	$\ln R = 4.0826 - 0.3874t$	-0.9772	0.5930	0.3874	0.5975
	HY 0.15	$\ln R = 3.9821 - 0.3742t$	-0.9105	0.5363	0.3742	0.6311
	HY 0.35	$\ln R = 4.0235 - 0.3423t$	-0.9778	0.5590	0.3423	0.6031
	HY 0.50	$\ln R = 4.091 - 0.4781t$	-0.9228	0.5980	0.4781	0.6293
	Hck	$\ln R = 4.3332 - 0.3253t$	-0.9981	0.7619	0.3253	0.4497
云南松 <i>P. yunnanensis</i>	ML 0.15	$\ln R = 4.4098 - 0.2530t$	-0.999	0.8225	0.2530	0.3613
	ML 0.35	$\ln R = 4.4955 - 0.2409t$	-0.9829	0.8961	0.2409	0.2957
	ML 0.50	$\ln R = 4.4929 - 0.2984t$	-0.9747	0.8938	0.2984	0.3368
	MH 0.15	$\ln R = 4.4223 - 0.2239t$	-0.9959	0.8329	0.2239	0.3342
	MH 0.35	$\ln R = 4.4718 - 0.2383t$	-0.983	0.8751	0.2383	0.3104
	MH 0.50	$\ln R = 4.4632 - 0.2716t$	-0.9928	0.8676	0.2716	0.3387
	Mck	$\ln R = 4.5114 - 0.1761t$	-0.9822	0.9105	0.1761	0.2365
云杉 <i>P. asperata</i>	YL 0.15	$\ln R = 4.5106 - 0.3644t$	-0.9999	0.9098	0.3644	0.3681
	YL 0.35	$\ln R = 4.4117 - 0.3038t$	-0.9871	0.8241	0.3038	0.3918
	YL 0.50	$\ln R = 4.4815 - 0.3760t$	-0.9924	0.8837	0.3760	0.3933
	YH 0.15	$\ln R = 4.4584 - 0.2710t$	-0.9486	0.8635	0.2710	0.3415
	YH 0.35	$\ln R = 4.436 - 0.3121t$	-0.9145	0.8444	0.3121	0.3820
	YH 0.50	$\ln R = 4.4665 - 0.2773t$	-0.9744	0.8705	0.2773	0.3403
	Yck	$\ln R = 4.5428 - 0.2379t$	-0.9996	0.9395	0.2379	0.2594

4 结论

(I) 连香树林地、云南松林地和云杉林地经过各种客土混合后,酶活性普遍都有所提高 ;而在糙皮桦林地,经云南松土壤客土混合后酶活性普遍有所下降,经云杉土壤客土混合后脲酶和过氧化氢酶活性有不同程度的提高,蔗糖酶活性却有所下降。说明在连香树、云南松和云杉林地中适当引入其他不同针阔类型的树种形成混交林将有助于土壤酶活性的提高,而对糙皮桦林地则要慎重。

ℓ) 连香树林地和云南松林地经过各种客土混合后,加速了 C 和 N 由枯落物进入土壤,特别是云南松林地效果最为显著 ;而在糙皮桦和云杉林地经过各种客土混合后,都促进了 N 从枯落物和有机质矿化分解进入土壤的过程,但却会对有机 C 进入土壤产生抑制作用。

ℓ) 所有不同针阔类型的造林地土壤客土混合后,对原有土壤的酸碱性起到中和的作用,即原来的阔叶林地土壤向偏酸性方向发展,而原来的针叶林地土壤向偏碱性方向发展。

4) 不同树种造林地腐殖质土的客土混合对枯落叶分解均具有明显的促进作用,尤其是连香树林地的作用最为显著,说明在现有的人工纯林内适当引进其他不同针阔类型的树种形成混交林将极大地促进枯落叶的分解。

5) 从客土混合后的综合效应比较可以得出,连香树林地的 LM 0.15 ~ 0.50 和 LY 0.15 ~ 0.35、糙皮桦林地的 HM 0.15 和 HY 0.15 ~ 0.50、云南松林地的 ML 0.15 ~ 0.50 和 MH 0.35 ~ 0.50、云杉林地的 YL 0.35 ~ 0.50 和 YH 0.35 是相对较好的选择类型,可以作为各个林地确定更新树种和混交比例时的参考。

References :

[1] Sheng W T. Soil degeneration and its control of man-made forest in China. Beijing : Chinese Science and Technique Press,1992. 153 — 156.

[2] Yang C D. Variations of chemical Properties, biochemical, microorganism activities and function in soil of successive rotation of Chinese fir and their influences of growing. Scientia Silvae Sinicae, 1996,32 (4) :175 — 179.

[3] Sun Q W, Yang C D. The changes of soil properties of the successive Chinese Fir plantation in Dagang mountain of Jiangxi Province. Scientia Silvae Sinicae,2003,39 (1) :1 — 5.

[4] Zhang Q, Cai C F. Forest soil degradation research and preventive strategy :a review. Ecology and Environment,2004, 13 (4) :677 — 680.

[5] Worrell R, Hampson A. The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soil-a review. Forestry, 1997, 70 (1) :61 — 85.

[6] Keeves A. Some evidence of loss of Productivity with successive rotations of Pinus radiata in southeast of S. Australia. Australian Forestry,1996,30 (1) :51 — 63.

[7] Boardman R. Productivity under successive rotations of radiata pine. Australian Forestry, 1978,41 (4) :177 — 179.

[8] Joshi M, Bargali K, Bargali S 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.

[9] Johnson L M, John D, John L. The effect of mixing ground leaf litters to soil on the development of pitch pine ectomycorrhizal and soil arthropod communities in natural soil microcosm systems. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38 (1) :134 — 144.

[10] Ayres E, Karsten M D, Richard D B. Do plant species encourage soil biota that specialise in the rapid decomposition of their litter? Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38 (1) :183 — 186.

[11] Sasha D H, Peter M G. Soil nitrogen cycling under litter and coarse woody debris in a mixed forest in New York State. Soil Biology and Biochemistry, 2005,37 (1) :2159 — 2162.

[12] Criquet S, Ferre E, Farnet A M. Annual dynamics of phosphatase activities in an evergreen oak litter :Influence of biotic and abiotic factors. Soil Biology and Biochemistry,2004, 36 :1111 — 1118.

[13] Sariyildiz T, Anderson J M, Kucuk M. Effects of tree species and topography on soil chemistry, litter quality, and decomposition in Northeast Turkey. Soil Biology and Biochemistry, 2005,37 (4) :1695 — 1706.

[14] Michael A K, Sten S. Microbial enzyme activities in leaf litter, humus and mineral soil layers of European forests. Soil Biology and Biochemistry, 2004,36 :1527 — 1537.

[15] Allen A S, Schlesinger W H. Nutrient limitations to soil microbial biomass and activity in loblolly pine forests. Soil Biology and Biochemistry,2004, 36 :581 — 589.

[16] Guan S Y. Soil enzymes and its study methods. Beijing : Agriculture Press,1986. 267 — 284.

参考文献 :

[1] 盛伟彤. 我国人工林地的土壤退化及防治. 北京 中国科学技术出版社,1992. 153 ~ 156.

[2] 杨承栋. 杉木连栽土壤组成、结构、性质变化及其对林木生长的影响. 林业科学,1996,32 (4) :175 ~ 179.

[3] 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. 林业科学,2003,39 (1) :1 ~ 5.

[4] 张桥,蔡婵凤. 森林土壤退化及其防治研究综述. 生态环境,2004, 13 (4) :677 ~ 680.

[6] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京 农业出版社,1986 267 ~ 284.