

不同人工林凋落叶混合分解速率及其 C, N 释放动态

肖波¹, 杜红霞^{2,3}, 张丽萍⁴, 张军²

(1. 中煤西安设计工程有限责任公司, 陕西 西安 710054; 2. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055; 3. 陕西循环经济工程技术院, 陕西 西安 710055; 4. 烟台市清洁能源检测中心, 山东 烟台 265706)

摘要: 对岷江上游连香树、糙皮桦、云南松和云杉 4 种主要人工林凋落叶进行了凋落叶混合分解试验, 探讨了凋落叶混合分解过程中的残留率以及分解过程中 C、N 含量和 C、N 释放率的动态变化, 为试验区最佳混交树种的选择提供理论指导。结果表明, 不同凋落叶分解速率存在显著差异。糙皮桦与云杉, 糙皮桦与云南松, 连香树与云南松凋落叶混合后对分解过程具有明显的促进作用, 连香树与云杉凋落叶的混合对分解的促进作用不明显。放置于阔叶林地的针阔混合凋落叶分解速率较之放置于针叶林地快, 且针阔混交有益于凋落叶的分解。在分解过程中凋落叶 C 含量呈减小趋势, 但其释放率反之; N 含量在分解过程中, 连香树、云杉、云南松凋落叶表现为增加(富集)—减小(释放)趋势, 糙皮桦表现为减小—增大—减小的变化趋势。针阔林地凋落叶混合后促进了针叶林地凋落叶 C 和 N 的释放。

关键词: 连香树; 糙皮桦; 云南松; 云杉; 凋落叶分解; C、N 释放

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0087-06

中图分类号: S718

Decomposition Rate and C, N Release Dynamics of Mixed Leaf Litters Under Different Artificial Forests

XIAO Bo¹, DU Hong-xia^{2,3}, ZHANG Li-ping⁴, ZHANG Jun²

(1. China Coal Xi'an Design Engineering Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710054, China; 2. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China; 3. Shaanxi Techno-institute of Recycling Economy, Xi'an, Shaanxi 710055, China; 4. Yantai Clean Energy Testing Center, Yantai, Shandong 265706, China)

Abstract: In this study, we selected leaf litters of four planted forests including *Cercidiphyllum japonicum*, *Betula utilis*, *Pinus yunnanensis*, and *Picea asperata* as test objects. Their residual rate, total C and N contents, and the release dynamics of C and N at decomposing stage were determined in order to provide the theoretical guidance for selecting the best tree species in the experimental area. The results indicated that the decomposition rates of different withered leaves varied significantly. Mixture leaf litters of *Picea asperata* with *Betula utilis*, *Pinus yunnanensis* and *Betula utilis*, *Cercidiphyllum japonicum* with *Pinus yunnanensis* showed obvious positive interaction in decomposition. No interaction was observed in those of *P. asperata* and *C. japonicum*. Furthermore, the decomposition rate of the mixed leaf litters from broad-leaved forests was larger than that from needle-leaved forests. It is proved that broad-leaved forest stand was propitious to the decomposition of leaf litter. The C contents of littered leaves showed decreasing trends while their C releasing rates increased during the decomposition process. Both the contents and releasing rates of C were higher in needle-leaved forests. In contrast, the N content of leaf litter of the *Cercidiphyllum japonicum*, the *Picea asperata* and the *Pinus yunnanensis* increased at the beginning then decreased, while that of the *B. utilis* showed a complex decreasing-increasing-decreasing trend. The mixture of the needle-leaved forests and the broad-leaved forests promoted the releases of C and N from the needle leaf litters.

Keywords: *Cercidiphyllum japonicum*; *Betula utilis*; *Pinus yunnanensis*; *Picea asperata*; leaf litter decomposition; C, N release

收稿日期: 2012-02-12

修回日期: 2012-05-18

资助项目: 陕西省自然科学基金项目“西安城市绿地土壤质量评价及生态效应研究”(2011JQ5002); 国家自然科学基金项目“森林生态系统中初级生产者—分解者互利竞争关系的系统模拟与调控技术研究”(30471376)

作者简介: 肖波(1979—), 男(汉族), 宁夏自治区银川市人, 工程师, 主要从事环境生态和环境影响评价方面的工作。E-mail: xiaobodudu@126.com。

通信作者: 杜红霞(1979—), 女(汉族), 宁夏自治区吴忠市人, 博士, 讲师, 主要从事环境生态和水土保持研究。E-mail: duhongxia1016@163.com。

凋落物分解是森林生态系统物质循环和能量流动的重要环节^[1-4]。据估计,植物凋落物分解过程中每年释放的营养可满足 69%~87% 的森林生长所需量^[5-6]。凋落叶分解过程中释放的 C 和 N 营养元素,促进了森林生态系统中的养分循环。但由于传统林业主要的经营模式为人工纯林,林木生长过程中对养分吸收利用的选择性,使得土壤中 C 和 N 等养分缺失,导致土壤性质的退化^[7],反过来影响林木的生长。凋落叶野外分解试验正是基于不同树种对养分利用的互补原理,认为通过引进更新树种形成混交林是解决人工纯林土壤极化的有效途径。为此,从凋落叶分解的角度出发,研究不同林地凋落叶在各林地环境下的分解速率及分解过程中 C 和 N 释放率,探讨混合凋落叶分解过程中存在的相互作用,为研究区选择最佳混交树种提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于四川岷江流域上游中国科学院茂县生态站附近的大沟流域中段,地理位置 103°54′04″—103°56′52″E 和 31°37′20″—31°44′53″N,海拔 2 100~2 300 m,年均气温 8.9 °C,≥10 °C 积温为 2 690.8 °C,年降雨量 900~1 100 mm,年蒸发量 795.8 mm,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。植被覆盖率 60% 以上,人工种植林木主要有连香树 (*Cercidiphyllum japonicum*)、云南松 (*Pinus yunnanensis*)、云杉 (*Picea asperata*) 和桦树 (*Betula D. don*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、华山松 (*Pinus armandii* Franch.) 和落叶松 (*Larix gmelinii*) 等,天然次生植被主要由辽东栎 (*Quercus liaotungensis* Koidz.) 和小果蔷薇 (*Rosa cymosa*) 等落叶灌丛组成。

2 研究方法

2 研究方法

2.1 供试材料及试验布设

选取研究区分布最广的阔叶树种连香树(L)、糙皮桦(H)和针叶树种云南松(S)、云杉(Y)人工林地凋落叶为研究对象(表 1)。于秋末冬初树木落叶后,从地面收集当年凋落且尚未分解、未破损的叶子,迅速漂洗干净,并在 60 °C 下烘干后,分别称取连香树和糙皮桦凋落叶各 10 g,云南松和云杉凋落叶各 30 g,作为 4 个树种凋落叶的单一分解样品。再称取连香树和云杉、连香树和云南松、糙皮桦和云杉、糙皮桦和云南松凋落叶的针阔混合叶各 20 g(针叶和阔叶比例为 2:1)。将分解样品分别装入网眼为 0.5 mm²(以凋落针叶不易漏出为准)、规格为 15 cm×20 cm 的尼龙网袋里,模拟自然落叶状态,按上、中、下不同坡位随机放置于 4 片林地凋落物的半分解层内(放置前清除土壤表层的枯落物),并用回形针将分解袋四角固定在土壤中。各林地凋落叶分解袋放置类型详见表 1。每处理重复 21 次。分别于分解后的约第 240 d(次年 7 月)、第 365 d(次年 11 月)和第 600 d(第 3 年 7 月)分 3 次对分解袋进行回收,每次随机回收各处理凋落叶分解袋 7 袋。

表 1 试验林地概况及凋落叶分解袋的布设

林型及编号	林龄/a	坡向	坡度/(°)	密度/(株·hm ⁻²)	胸径/cm	树高/m	放置类型及数量
连香树(L)	16	NW10°阴坡	14	2 167~3 500	9.81	9.17	L 纯叶,L+S,L+Y(各 21 袋)
云南松(S)	23	NE15°阴坡	16	2 667~4 300	12.11	10.76	S 纯叶,L+S,H+S(各 21 袋)
云杉(Y)	39	SE45°半阳坡	24	1 167~1 583	12.98	11.77	Y 纯叶,L+Y,H+Y(各 21 袋)
糙皮桦(H)	39	NW80°半阳坡	24	1 000~2 400	17.28	11.89	H 纯叶,H+S,H+Y(各 21 袋)

注:L+Y 为连香树+云杉;L+S 为连香树+云南松;H+Y 为糙皮桦+云杉;H+S 为糙皮桦+云杉。下同

2.2 测定方法

将回收的凋落叶放入 0.5 mm 的土壤筛中漂洗后于 60 °C 下烘干至恒重,计算干重损失和残留率,并取部分混合样品留作化学分析。凋落叶有机碳采用 K₂Cr₂O₇ 容量法测定;全氮采用半微量凯氏定氮法测定。

2.3 计算方法及数据处理

凋落叶干重残留率指放置一定时间后凋落物的干质量除以放置前凋落物的干质量。

凋落叶 C(N) 释放率(E_i) 计算公式:

$$E_i = [(W_0 - W_i) / W_0] \times 100\%$$

式中: W_0 ——C(N) 初始量(g/kg); W_i ——C(N) 残留量(g/kg)。

试验数据应用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件进行数据处理。

3 结果与分析

3.1 4 种林地凋落叶分解过程中残留率的变化

由表 2 可以看出,4 种人工林纯林凋落叶残留率随分解时间的延续而减小。到分解试验结束时(600

d), 4 种凋落叶分解速率存在明显差异, 残留率表现为云南松 (68.29%) > 云杉 (63.23%) > 连香树 (60.33%) > 糙皮桦 (44.09%); 其中糙皮桦凋落叶残留率分别较云南松、云杉、连香树低了 24.2%, 19.14% 和 16.24%, 差异均达显著水平 ($p < 0.05$), 表明糙皮桦凋落叶分解最快, 连香树次之。这可能与凋落叶初始的化学成分有密切关系。研究表明^[8]凋落叶氮含量与分解速率呈极显著正相关。凋落叶的初始碳氮比 (C/N) 比低, 微生物容易繁殖, 活性强, 促进了凋落叶的分解, 且糙皮桦凋落叶初始 N 含量大、C/N 比最小, 因此最易分解, 连香树次之。另外, 4 种凋落叶中两阔叶林糙皮桦和连香树叶片比表面积 (SLA) 大于云杉和云南松的, 使得叶片和地面之间接触面积增大, 分解加快; 再次, 糙皮桦叶片为纸质, 且木质素和纤维素含量低, 分解较快; 加之林地群落结构、盖度等方面的差异, 影响土壤动物和微生物的生长发育, 从而影响凋落物的分解^[9]。

表 2 不同分解时间各林地凋落叶的干重残留率

处理类型	放置林地	240 d 残留率/%	365 d 残留率/%	600 d 残留率/%	初始 C/N
L	L	79.10	73.09	60.33	45.54
L+Y	L	78.82	71.51	61.59	51.84
	Y	79.53	72.66	61.88	51.84
S	S	81.95	74.88	68.29	107.62
L+S	L	79.87	73.07	62.96	76.58
	S	80.90	73.87	63.81	76.58
Y	Y	80.31	73.80	63.23	55.81
H+Y	H	65.38	55.98	49.43	37.95
	Y	73.75	64.21	52.72	37.95
H	H	60.80	55.67	44.09	19.57
H+S	H	74.14	63.54	55.40	50.30
	S	74.70	65.17	58.83	50.30

对连香树和云杉、连香树和云南松、糙皮桦和云杉、糙皮桦和云南松的混合凋落叶分解进行比较 (表 2) 可知, 到分解实验结束时, 糙皮桦和云杉混合凋落叶分解的残留率最小 (49.43%), 其次为糙皮桦和云南松混合 (55.40%), 两者均大于糙皮桦凋落叶单独分解时的残留率 (44.09%), 小于云杉和云南松单独分解时的残留率 (63.23% 和 68.29%)。连香树与云杉、云南松的混合凋落叶的残留率分别为 61.59% 和 62.96%, 均大于连香树单独分解的残留率 (60.33%), 小于云杉、云南松单独分解的残留率。多例报道表明, 与纯林相比较, 某些树种的混交林土壤质量要优于单一林种, 如紫穗槐与新疆杨^[1], 杉木分别与楠木、

木荷叶^[10-11], 挪威云杉与欧洲赤松^[12-13]混交林。至于生产力增加的机制, 采用假设来加以解释, 即某一种凋落叶与另一种凋落叶混合在一起分解时, 分解速率与养分释放可得到加强。同时认为这种相互作用是通过分解环境中的动物和微生物来调节。所以, 生境条件对凋落叶分解残留率的影响十分明显。

由表 2 还可看出, 相同混合凋落叶放置于阔叶林地分解速率大于放置于针叶林地的分解速率。分析阔叶树种 (糙皮桦、连香树) 凋落叶初始 N 含量, 可以看出初始 N 含量越高的凋落叶 (糙皮桦) 种类, 与针叶树种 (云杉、云南松) 凋落叶混合分解时, 产生促进作用越强烈。这说明针阔叶树种的凋落叶混合在一起会促进分解, 原因可能是由于养分含量高的阔叶树种凋落叶的混入给养分含量低的针叶树种的凋落叶提供了所需养分及一个富 N 的环境, 使林地的微生物区系和数量、pH 值等发生变化, 促进了针叶树凋落叶的分解, 使混交林凋落叶的分解速率提高, 从而提高了林地土壤肥力。所以, 在针叶林中引入阔叶树种而形成混交林, 可以改善林地养分循环利用效率。

3.2 4 种林地凋落叶分解过程中 C,N 含量的变化

C 和 N 元素的浓度反映的是该元素在某一时间占干物质的比例, C 和 N 释放率的变化可分析其所处的分解阶段该元素释放情况。由表 3 可以看出, 4 种人工林地凋落叶中初始 C 含量的大小表现为: 云南松 (505.8 g/kg) > 云杉 (462.8 g/kg) > 连香树 (458.6 g/kg) > 糙皮桦 (452.0 g/kg); 随着分解时间的延续, 4 种凋落叶的 C 含量均逐渐减少。到分解试验结束时, 糙皮桦凋落叶 C 含量与初始相比, 减少了 23.03%, 连香树减少了 22.55%, 云杉减少了 13.22%, 云南松凋落叶中的 C 含量与初始相比, 变化不大, 仅减少了 8.22%。

与 C 含量相反, 4 种人工林凋落叶初始 N 含量的大小表现为: 糙皮桦 (23.1 g/kg) > 连香树 (10.0 g/kg) > 云杉 (8.3 g/kg) > 云南松 (4.7 g/kg)。其中连香树、云杉、云南松凋落叶在分解 365 d 以前, N 的浓度增加, 处于富集状态, 且云杉富集的幅度最大。由于在 365 d 以前, 3 者的初始 C/N 值远大于 N 固持与释放的 C/N 临界值^[8], 不能满足微生物的分解活动需求, 因而微生物要从土壤中吸收一定数量的 N, 且吸收率超过自身消耗率, 从而使 N 浓度处于富集状态。分解 365 d 以后, 凋落物中微生物的种类和数量减少, 凋落物中 N 含量能暂时满足它的生存需求, 这种单纯的消耗使得连香树、云杉、云南松凋落叶中 N 浓度在后期又开始下降。糙皮桦凋落叶中 N 含量在分解过程中则与其它 3 个树种有所不同, 表现为降

低—升高—降低的趋势。在分解 240 d 时, N 浓度降低, 这是由于糙皮桦的初始 N 含量较高, C/N 比较低 (19.57), 在此阶段能够暂时满足凋落叶中微生物生存需要, 不进行固持, N 处于释放状态。在 360 d 时, 虽然 N 含量有所升高, 但增加的幅度很小仍低于初始浓度。4 种人工林凋落叶的初始 C/N 值的顺序为: 云南松 (107.62) > 云杉 > (55.81) > 连香树 (45.54) > 糙皮桦 (19.57)。这是造成 4 个树种分解快慢的重要原因。在分解过程中, 4 个树种 C/N 值呈先下降 (0—365 d) 后上升 (365—600 d) 趋势。这可能是在分解过程中土壤微生物对 C 和 N 素的固持和释放引起的。

放置于不同林地的相同的混合凋落叶其 C 和 N 含量的变化也不尽相同。由表 3 可以看出, 初始 C 和 N 含量一致的相同混合凋落叶, 至分解 600 d 时, 放置于糙皮桦、连香树林地的凋落叶中的 C 含量均小于

放置在云南松、云杉林地的凋落叶中的 C 含量, 说明凋落叶在阔叶树林地生境条件下较在针叶树林地容易分解, C 元素容易释放。几种混合凋落叶中 C 的含量均随分解时间的延续而逐渐减少。其初始 C 含量顺序为: L+S (490.1 g/kg) > H+S (487.9 g/kg) > L+Y (461.4 g/kg) > H+Y (459.2 g/kg); 到分解实验结束时, 几种混合凋落叶 C 含量发生了变化, 放置于阔叶林地中的混合凋落叶的 C 含量顺序为: L+S (411.5 g/kg) > L+Y (405.1 g/kg) > H+S (396.0 g/kg) > H+Y (377.2 g/kg)。C 含量减少最多的是 H+S, 为 18.84%; 其次是 H+Y (17.85%) 和 L+S (16.04%), C 含量减少量最小的是 L+Y, 仅比初始减少了 9.08%。研究结果表明糙皮桦与云南松、云杉混合后, 促进了云南松、云杉的 C 的释放, 其促进作用大于连香树与云南松、云杉混合的作用。

表 3 不同分解时间各林地凋落叶分解过程中 C, N 含量的变化

处理类型	放置林地	不同分解时间凋落叶 C 含量/(g · kg ⁻¹)				不同分解时间凋落叶 N 含量(g · kg ⁻¹)				初始 C/N
		0 d	240 d	365 d	600 d	0 d	240 d	365 d	600 d	
L	L	458.6	432.9	414.3	355.2	10.0	10.4	11.3	6.7	45.54
L+Y	L	461.4	442.9	419.0	405.1	8.9	9.2	11.1	6.8	51.84
	Y	461.4	451.7	438.4	419.5	8.9	11.0	11.7	7.0	
S	S	505.8	488.3	483.4	464.2	4.7	6.4	6.5	4.1	107.62
L+S	L	490.1	451.6	436.4	411.5	6.4	9.4	10.9	4.7	76.58
	S	490.1	465.4	446.0	430.2	6.4	10.2	12.1	5.8	
Y	Y	462.8	443.3	425.7	401.6	8.3	10.5	11.0	6.1	55.81
H+Y	H	459.2	438.2	409.9	377.2	12.1	15.0	16.1	9.6	37.95
	Y	459.2	444.6	434.3	416.6	12.1	14.4	15.4	9.1	
H	H	452.0	429.7	405.5	347.9	23.1	20.2	22.3	9.7	19.57
H+S	H	487.9	446.7	422.2	396.0	9.7	11.5	14.9	7.2	50.30
	S	487.9	458.3	441.1	425.5	9.7	11.8	13.0	7.7	

4 种混合凋落叶分解过程中 N 的含量和它们的单一凋落叶分解时 N 含量的变化一致, 即表现出先增加后减小的变化趋势, 在分解 365 d 以前, N 的含量逐渐增大, 说明在这段时间内, 凋落叶从土壤中吸收了 N, 所以 N 处于富集状态, 其中富集量最大的是 L+S (89.06%), 其次是 H+S (53.61%), H+Y (33.06%), 最小的是 L+Y (24.72%)。在分解 365 d 以后, N 的含量逐渐减少, 开始了 N 的释放, 到分解 600 d, 4 种混合凋落叶 N 的含量最大的是 H+Y 的混合凋落叶, 为 9.6 g/kg; 最小的是 L+S 的混合凋落叶, 为 4.7 g/kg。H+S 和 L+Y 的混合凋落叶中 N 含量相差不大, 分别为 7.2 和 6.8 g/kg, 介于中间。

比较 4 种混合凋落叶的初始 C/N 比值, 由大到小依次为: L+S (76.58) > L+Y (51.84) > H+S (50.30) > H+Y (37.95)。初始 C/N 比值越大, 凋落叶分解的越慢。

3.3 4 种人工林地凋落叶 C、N 释放率的变化

通过测定凋落叶在不同时间的 C 和 N 释放量, 可得出凋落叶分解 C 和 N 释放率随时间的变化动态 (图 1)。

由图 1 可以看出, 4 种人工林凋落叶在分解过程中, C 元素始终处于单调净释放状态。释放率随着分解时间的延续而递增, 其中糙皮桦和连香树的 C 释放率在分解过程中变化十分相近, 两者都远远大于云杉和云南松的 C 释放率。到分解实验结束时, 连香树和糙皮桦的 C 释放率比云南松高出了 1 倍。4 种凋落叶在分解 240 到 365 d 内, C 释放率的变化不是很大, 在 365 到 600 d 内, C 释放率增大的幅度较大, 大小顺序为: 糙皮桦 > 连香树 > 云杉 > 云南松, 这与它们干重损失率的变化趋势保持一致, 进一步说明 4 种人工林中, 糙皮桦凋落叶分解速率及养分释放率较大, 连香树次之, 其后是云杉, 云南松最小。

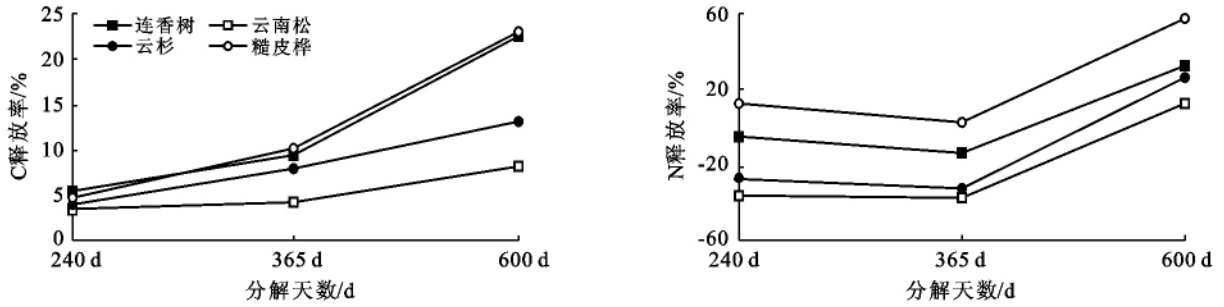


图 1 4 种纯林地凋落叶 C,N 释放率比较

4 种人工林凋落叶的 N 释放率和 C 释放率的变化模式有所不同,除糙皮桦凋落叶 N 释放率在整个分解过程中均为正值外(表示 N 元素在整个分解过程中均处于释放状态),其他 3 种凋落叶在分解 365 d 时均为负值(N 富集)。表明连香树、云杉、云南松凋落叶初始 C/N 比较大、N 浓度较低,在分解初期,N 不但没有释放,反而从土壤中吸收了 N,出现了 N 的富集并在 365 d 达到峰值。在分解 365~600 d,4 种凋落叶 N 富集的幅度越来越小,最终不再富集,开始了 N 的释放,且释放率逐渐增加,到分解试验结束时,4 个树种凋落叶 N 释放率的大小顺序为:糙皮桦 > 连香树 > 云杉 > 云南松。其中连香树和云杉凋落叶 N 释放率非常接近。

由图 2 可知,4 种混合凋落叶的 C 释放率随分解时间的延续而呈现递增的变化趋势,其中 H+S 在分解的各个时期 C 释放率都大于其它混合。L+Y 则

相反,在分解的过程中 C 释放率均最小。这与前面得出的混合凋落叶的分解速率保持了一致,即分解速率越大,C 释放率越高。说明糙皮桦和云南松凋落叶混合后,对云南松凋落叶的分解有很大的促进作用。而连香树和云杉凋落叶混合后,对云南松凋落叶分解的促进作用不明显。

4 种混合凋落叶在分解过程中 N 释放率的变化趋势与单一凋落叶的类似,在分解 365 d 以前,各个混合处理凋落叶的 N 释放率为负值,即 N 均处于富集状态,在 365 d 时,富集量达到峰值,其大小顺序为:L+S > H+S > H+Y > L+Y,在分解 365 d 以后,富集量递减,开始了 N 的释放,并且释放率逐渐增大。

到分解实验结束时,4 种混合凋落叶 N 的释放率均达到最大值,其大小顺序为:H+S > H+Y > L+Y > L+S。

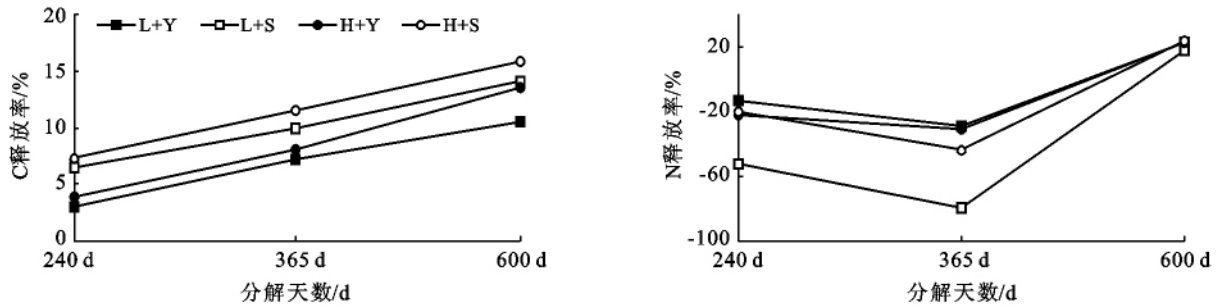


图 2 不同混合凋落叶 C,N 释放率比较

4 结论

4 种人工林地凋落叶分解速率存在显著差异,阔叶林凋落叶分解速率大于针叶林,表现为:糙皮桦 > 连香树 > 云杉 > 云南松。针阔林地凋落叶两两混合后,在糙皮桦和连香树林地放置的混合凋落叶(H+S, H+Y, L+S, L+Y)的分解残留率,显著低于在云杉和云南松林地放置的相同混合凋落叶的残留率。

4 种凋落叶在分解过程中,C 含量呈减小趋势,且

在针叶林地凋落叶中较高;但其释放率反之,且两阔叶林地凋落叶 C 释放率远大于两针叶林地凋落叶的 C 释放率。N 含量在分解过程中,连香树、云杉、云南松表现为增加(富集)—减小(释放)趋势,这可能和干重失重率与养分释放率的速度不平衡有关,当干重失重率高于养分释放率时,养分浓度就会升高,反之,下降。糙皮桦表现为减小—增大—减少的变化趋势。混合凋落叶初始 C 含量中云南松和两种阔叶混合处理高于云杉和两种阔叶混合处理,到分解实验结束

时,连香树和两种针叶混合处理高于糙皮桦和两种针叶混合处理。说明糙皮桦与云南松、云杉混合后,促进了两种针叶林地凋落叶 C 的释放,其促进作用大于连香树与云南松、云杉混合。

由此也可以看出,针阔林地凋落叶混合后促进了针叶林地凋落叶 C、N 的释放。在营造阔叶林与云南松和云杉的混交林时,糙皮桦较连香树对整个森林生态系统的物质循环贡献大一些。

[参 考 文 献]

- [1] 杨玉海,郑路,段永照. 干旱区人工防护林带不同林分凋落叶分解及养分释放[J]. 应用生态学报,2011,22(6): 1389-1394.
- [2] 严海元,辜夕容,申鸿. 森林凋落物的微生物分解[J]. 生态学杂志,2010,29(9):1827-1835.
- [3] Alicia S M, Roberto A D. Decomposition of and nutrient dynamics in leaf litter and roots of *Poa ligularis* and *Stipa gyneriodes* [J]. Journal of Arid Environments, 2003,55(3):503-514.
- [4] Ribeiro C, Madeira M, Araujo M C. Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes[J]. Forest Ecology and Management, 2002,171(1/2): 31-41.
- [5] 宋庆丰,杨新兵,张金柱,等. 雾灵山典型林分枯落物和土壤水文效应[J]. 生态环境学报,2009,18(6): 2316-2320.
- [6] Semwal R L, Maikhuri R K, Rao K S, et al. Leaf litter decomposition and nutrient release patterns of six multi-purpose tree species of central Himalaya, India[J]. Biomass and Bioenergy, 2003,24(1):3-11.
- [7] 刘增文,高文俊,潘开文,等. 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[J]. 生态学报,2007,27(10):4149-4156.
- [8] 黄锦学,黄李梅,林智超,等. 中国森林凋落物分解速率影响因素分析[J]. 亚热带资源与环境学报,2010,5(3): 56-63.
- [9] 张德强,叶万辉,余清发,等. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究[J]. 生态学报,2000,20(6):938-944.
- [10] 林开敏,章志琴,曹光球,等. 杉木与楠木叶凋落物混合分解及其养分动态[J]. 生态学报,2006,26(8):2732-2738.
- [11] 林开敏,章志琴,邹双全,等. 杉木与阔叶树叶凋落物混合分解对土壤性质的影响[J]. 土壤学报,2006,37(2): 258-262.
- [12] Blair J M. Decay rates, nitrogen fluxes and decomposer communities of single and mixed species foliar litter [J]. Ecology, 1990,71(5):1976-1985.
- [13] Williams B L, Alexander C E. Interaction on mixing litters from beneath Sitka spruce and Scot pine and the effects on microbial activity and N-mineralization[J]. Soil Biol. Biochem., 1991,23(1):71-75.

(上接第 86 页)

(4) 蒙古栎天然林林地单位面积蓄水量表现为:坡下>坡中>坡上,样点 5 最大,为 2 195.7 t/hm²,样点 9 最小,为 1 713.8 t/hm²,平均蓄水量为 1 918.4 t/hm²。

[参 考 文 献]

- [1] 陈浩,蔡强国. 坡面植被恢复对沟道侵蚀产沙的影响[J]. 中国科学(D 辑):地球科学,2006,36(1):69-80.
- [2] 徐娟,余新晓,席彩云. 北京十三陵不同林分枯落物层和土壤层水文效应研究[J]. 水土保持学报,2009,23(3): 189-193.
- [3] 田超,杨新兵,李军,等. 冀北山地不同海拔蒙古栎林枯落物和土壤水文效应[J]. 水土保持学报,2011,25(4): 222-227.
- [4] 王勤,张宗应. 安徽大别山区不同林分类型土壤特性及水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2003,17(3):59-62.
- [5] 陈东莉,郭晋平,杜宁宁. 间伐强度对华北落叶松林下生物多样性影响[J]. 东北林业大学学报,2011,39(4): 37-39.
- [6] 李奕,满秀玲,蔡体久,等. 大兴安岭山地樟子松天然林土壤水分物理性质及水源涵养功能研究[J]. 水土保持学报,2011,25(2):88-92.
- [7] 李德生,张萍,张水龙,等. 黄前库区森林地表径流水移动规律的研究[J]. 水土保持学报,2004,18(1):78-81.
- [8] 周萍,刘国彬,侯喜禄. 黄土丘陵区侵蚀环境不同坡面及坡位土壤理化特征研究[J]. 水土保持学报,2008,22(1):7-12.
- [9] 孙艳红,张洪江,程金花,等. 缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2006,20(2):106-109.
- [10] 王贵霞,李传荣. 沙质海岸 5 种植被类型土壤物理性质及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2005,19(2): 142-146.