

大老岭自然保护区日本落叶松林凋落物分解 及养分释放研究

施 妍, 陈芳清

(三峡大学生物与制药学院,湖北 宜昌 443000)

摘要:[目的]研究外来引进树种日本落叶松林凋落物对土壤养分的影响。[方法]采用分解袋法分别对18年生和24年生日本落叶松林以及周围针阔混交林凋落物的分解和养分释放规律进行了研究。[结果]凋落物分解和养分释放速率均表现为针阔混交林>日本落叶松纯林;24年生日本落叶松林>18年生日本落叶松林。其中不同林分的凋落物残留率与时间呈指数相关,凋落物年分解系数(K)也表现为针阔混交林(0.5556)>24年生日本落叶松林(0.4450)>18年生日本落叶松林(0.3662)。凋落物分解速率与初始N元素含量呈极显著正相关,而与C/N比呈显著负相关,高的木质素含量对凋落物的分解有一定影响。C元素、K元素表现为直接释放模式,而研究中C/N比和C/P比相对较高,使N元素和P元素均表现为先富集后释放的模式。各养分元素的残留率总体呈现出18年生日本落叶松林>24年生日本落叶松林>针阔混交林的格局。[结论]不同林分凋落物分解和养分释放速率差异较大。凋落物年分解系数表现为针阔混交林>24年生日本落叶松林>18年生日本落叶松林。

关键词:大老岭自然保护区;日本落叶松;针阔混交林;凋落物分解;养分释放

中图分类号:S791.223

文献标识码:A

Litter Decomposition and Nutrient Release of *Larix kaempferi* Forest in Dalaoling Nature Reserve

SHI Yan, CHEN Fang-qing

(College of biological and pharmaceutical, China Three Gorges University, Yichang 443000, Hubei, China)

Abstract: [Objective] To illustrate the effects of exotic species *Larix kaempferi* forest on soil nutrition. [Method] The litter decomposition and nutrient release of *L. kaempferi* forest in Dalaoling Nature Reserve were investigated using litter bag. [Result] It was showed that the litter decomposition and nutrient release rates followed the order of: coniferous and broad leaved mixed forest > 24-year-old *L. kaempferi* forest > 18-year-old *L. kaempferi* forest. The litter retention rate had an exponential relationship with time ($R^2 > 0.94$, $P < 0.001$). The coefficients (K) of litter decomposition were 0.5556, 0.4450 and 0.3662 for the three forest types, respectively. The litter decomposition rate showed a significantly positive correlation with the initial N content ($P < 0.01$), but significantly negatively correlated with the C/N ratio ($P < 0.05$). Besides, high content of initial lignin inhibited the litter decomposition. C and K showed the direct release mode, while N and P followed a mode of concentration at first and then release. The retention rate of all elements showed that 18-year-old *L. kaempferi* forest > 24-year-old *L. kaempferi* forest > the coniferous and broad leaved mixed forest. [Conclusion] Litter decomposition and nutrient release rates were different in different forest stands, with the coefficient of litter decomposition showed as the coniferous and broad leaved mixed forest > 24-year-old *L. kaempferi* forest > 18-year-old *L. kaempferi* forest.

收稿日期:2016-01-11

基金项目:科技部科技基础性工作专项“我国主要灌丛植物群落调查”(2015FY1103002)

作者简介:施妍(1984—),女,湖北宜昌人,硕士研究生,主要从事大老岭日本落叶松凋落物的研究

Keywords: Dalaoling Nature Reserve; *Larix kaempferi*; the coniferous and broad leaved mixed forest; litter decomposition; nutrient release

森林凋落物指森林生态系统内由生物组分产生,然后归还到林地表面的所有有机物质的总称^[1-2]。凋落物是植物在生长发育过程中新陈代谢的产物,森林生态系统大部分的地上部分净生产量通过凋落物的方式返回地表^[3]。当凋落物归还到林地表面时,就开始了一系列包括生物、物理和化学反应的复杂生态过程^[4]。森林凋落物是森林生态系统养分循环的基础,森林凋落物的分解与养分释放是森林生态系统物质循环和养分平衡的关键生态过程,是目前森林生态研究中的热点^[5-6]。

日本落叶松(*Larix kaempferi*)是我国重要的外来树种,自其引入到鄂西地区以来,表现出良好的适应性和速生性,其树高和胸径远大于本地其它针叶树种和其原产地日本^[7]。外来优良树种的引进是林业生产建设和森林植被恢复方面的重要措施,但外来树种的引进对森林养分循环具有重要的影响^[8]。大老岭自然保护区于70年代末引种日本落叶松,日本落叶松的种植规模不断扩大,到20世纪90年代已营造约700 hm²^[7]。野外调查与相关研究显示,日本落叶松的引种栽培对群落的物种多样性有重大的影响,群落内少有本地物种的定居和生长,且群落内的土壤微生物与多样性以及土壤养分含量也受到影响^[9-10]。但目前,关于日本落叶松凋落物分解和养分释放的报道并不多见,关于此方面的研究尚需加强^[11]。因此,本文以大老岭自然保护区内不同林龄日本落叶松林和针阔混交林为研究对象,以分解袋法对不同林分凋落物分解和养分释放规律进行研究,探讨外来物种日本落叶松对森林土壤养分循环的影响,为日本落叶松在我国森林恢复与生产的管理提供科学参考。

1 研究方法

1.1 研究样地

研究样地位于鄂西地区大老岭自然保护区(110°43'42"~111°22'2")。该地属亚热带湿润季风气候,区域气候具有明显的垂直气候梯度,土壤以红壤为主。分别在海拔900~1000 m,坡度22°~23°,坡向阳的18年生日本落叶松林、24年生日本落叶松林和针阔混交林作为研究对象。各林分郁闭度为0.6~0.7,其中18年生和24年生日本落叶松林

林下植被主要是箬竹,而针阔混交林则以日本落叶松混交大叶杨为主,其间还分布有毛栗、锥栗、木姜子、四照花和白檀木等阔叶树种。

1.2 凋落物收集

2014年5月分别在18年生、24年生日本落叶松林和针阔混交林中设置样地,在各样地内随机设置5个1 m×1 m的样方,共15个,分别收集自然凋落的新鲜凋落物。将3种林分内收集回来的凋落物除杂,分别充分混匀,置于70℃下烘干至恒重。所获材料的一部分用于凋落物初始化学组分测定,另一部分用作凋落物分解实验的材料。

1.3 凋落物分解

凋落物分解速率研究采用通用的分解袋法^[12]。将上述烘干的凋落物装入分解袋(网眼孔径1 mm,规格15 cm×15 cm),每袋20 g,然后把分解袋随机放置于各样方内。放置时各样方内地表枯落物清除掉,将分解袋平行铺开,互相不交迭,每个分解袋的一面紧贴土壤表层,使之与腐殖质层充分接触,使其接近于自然状态分解。每个样方内随机放置分解袋6个,共90个。于2014年5月至2015年5月,每隔3个月分别从各样方内随机取回其中1袋,细心清除分解袋内的草根和泥沙,放置于70℃的干燥箱内烘干至恒重。测定各分解袋凋落物的干重并计算失重率,求其分解速率。

1.4 凋落物养分元素测定

将上述烘干后的分解袋的植物样品进行粉碎,过100目筛,然后测定相关的养分含量。其中全C含量用浓硫酸-重铬酸钾法测定;全N含量用浓硫酸消煮后,用凯氏定氮法测定;全P含量用钼锑抗比色法测定;全K含量用火焰光度计法测定;木质素含量用苯酚抽提法进行测定^[2]。

1.5 数据处理

凋落物的分解速率采用Olson指数衰减模型 $x/x_0 = ae^{-Kt}$ 计算^[13]。其中 x 为分解 t 时间后的凋落物残余干重, x_0 为凋落物分解初始干重, x/x_0 即为分解 t 时间后凋落物残留率, K 为凋落物分解常数, t 为分解时间(a)。采用SPSS 19.0对林分凋落物分解和元素释放的影响进行单因素方差分析(ANOVA)。对凋落物初始化学组分在置信水平95%上进行多重比较分析(LSD),并对凋落物分解速率与初

始化学组分进行一元线性回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同林分凋落物的初始化学组分

林分类型对凋落物的初始化学组分有着较大影响(表1)。其中C元素含量在18年生和24年生日本落叶松林凋落物中显著高于针阔混交林($P < 0.05$);N元素含量呈现出针阔混交林 $>$ 24年生日本落叶松林 $>$ 18年生日本落叶松林的趋势,且不同林分之间均有显著差异($P < 0.05$);C/N比则呈现出与N元素含量相反的趋势,18年生日本落叶松林

(45.79 ± 2.13) $>$ 24年生日本落叶松林(40.68 ± 3.21) $>$ 针阔混交林(32.50 ± 2.54),且均有显著差异($P < 0.05$);P、K元素总体呈现出与C元素相反的趋势,针阔混交林与24年生日本落叶松林未见显著差异($P < 0.05$),但均显著高于18年生日本落叶松林($P < 0.05$);木质素含量在不同林龄的日本落叶松林中未见显著差异($P > 0.05$),但两者均要显著高于针阔混交林($P < 0.05$)。木质素/N则体现出18年生日本落叶松林(32.44 ± 1.68) $>$ 24年生日本落叶松林(28.06 ± 2.05) $>$ 针阔混交林的趋势(22.37 ± 1.88),且均有显著差异($P < 0.05$)。

表1 不同林分凋落物的初始化学组分平均值 \pm 标准差($n=5$)

林分类型	全碳/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	全氮/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	全磷/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	全钾/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	木质素/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	碳/氮比	木质素/氮
18年生日本落叶松林	$493.62 \pm 8.43\text{a}$	$10.78 \pm 0.23\text{c}$	$2.81 \pm 0.14\text{b}$	$8.06 \pm 0.54\text{b}$	$349.74 \pm 9.29\text{a}$	$45.79 \pm 2.13\text{a}$	$32.44 \pm 1.68\text{a}$
24年生日本落叶松林	$489.75 \pm 12.24\text{a}$	$11.97 \pm 0.30\text{b}$	$3.68 \pm 0.18\text{a}$	$9.72 \pm 0.37\text{a}$	$337.81 \pm 13.48\text{a}$	$40.68 \pm 3.21\text{b}$	$28.06 \pm 2.05\text{b}$
针阔混交林	$445.63 \pm 9.24\text{b}$	$13.71 \pm 0.19\text{a}$	$3.73 \pm 0.10\text{a}$	$10.23 \pm 0.43\text{a}$	$306.70 \pm 12.14\text{b}$	$32.50 \pm 2.54\text{c}$	$22.37 \pm 1.88\text{c}$

注:同列中不同小写字母表示差异水平($P < 0.05$)。

2.2 不同林分凋落物的分解速率

在自然条件下经过1a的分解,不同林分类型凋落物的残留率均呈下降的趋势(图1)。但由于不同林分之间凋落物的分解速率存在着较大差别,分解1a后凋落物的残留率呈现出18年生日本落叶松林($69.82 \pm 3.55\%$) $>$ 24年生日本落叶松林($66.37 \pm 3.01\%$) $>$ 针阔混交林($57.30 \pm 2.47\%$)。其中针阔混交林凋落物残留率的要显著低于18年生和24年生日本落叶松林($P < 0.05$),表明针阔混交林凋落物的分解快于日本落叶松纯林。

采用Olson指数衰减模型对凋落物分解速率进行拟合,并对拟合方程求解得到半衰期($t_{0.5}$)和周转期($t_{0.95}$)(表2)。不同林分凋落物分解与相关试验因子存在显著的线性回归关系($R^2 > 0.94$, $P < 0.001$)。不同林分凋落物的年分解系数(K)呈现出针阔混交林(0.5556) $>$ 24年生日本落叶松林(0.4450) $>$ 18年生日本落叶松林(0.3662)。针阔混交林凋落物的分解速率最快,其凋落物分解半衰期(1.1904 a)和周转期(5.3353 a)也最短;24年生

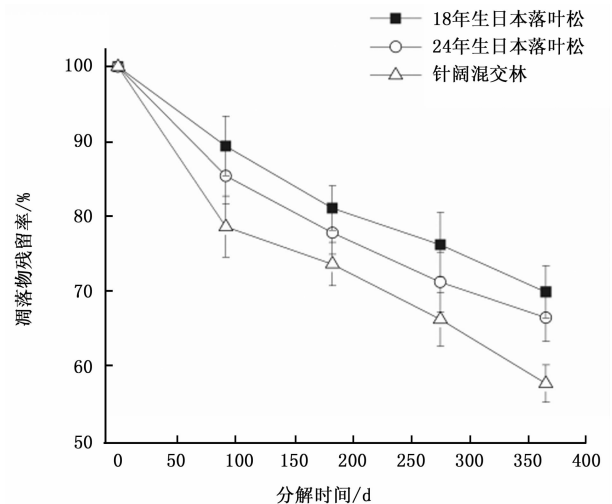


图1 不同林分凋落物残留率动态变化(平均值 \pm 标准差, $n=5$)

日本落叶松林次之,其凋落物分解半衰期(1.5176 a)和周转期(6.6919 a)居中;而18年生日本落叶松林凋落物的分解速率最慢,其凋落物分解半衰期(1.8663 a)和周转期(8.1545 a)也最长。

表2 不同林分凋落物分解速率及其相关指数的回归分析

林分类型	回归方程	年分解常数	相关系数	半衰期	周转期
		K	R^2	$t_{0.5}$	$t_{0.95}$
18年生日本落叶松林	$y = 0.9903e^{-0.3662x}$	0.3662	0.9893**	1.8663	8.1545
24年生日本落叶松林	$y = 0.9824e^{-0.4450x}$	0.4450	0.9817**	1.5176	6.6919
针阔混交林	$y = 0.9682e^{-0.5556x}$	0.5556	0.9425**	1.1904	5.3353

注: ** $P < 0.001$ 。

2.3 不同林分凋落物养分释放动态

不同林分凋落物养分释放动态有较大差异(图2)。3种林分类型凋落物的C元素和K元素的残留率均随着时间进程呈现出不断下降的趋势,并以针阔混交林分解1 a时的值最低,分别为46.16%和18.57%;N元素残留率随时间进程呈现先增加后减少的趋势,尽管在分解末期出现了一定的下降,3种林分的N元素残留率在分解1 a时均大于120%;P

元素残留率随时间进程也呈现先增加后减少的趋势,但18年生日本落叶松林在分解1 a时仍大于100%,而24年生日本落叶松林和针阔混交林均低于100%。总体上,虽然不同养分元素的释放动态不一致,但4种养分元素的残留率均表现出18年生日本落叶松林>24年生日本落叶松林>针阔混交林。

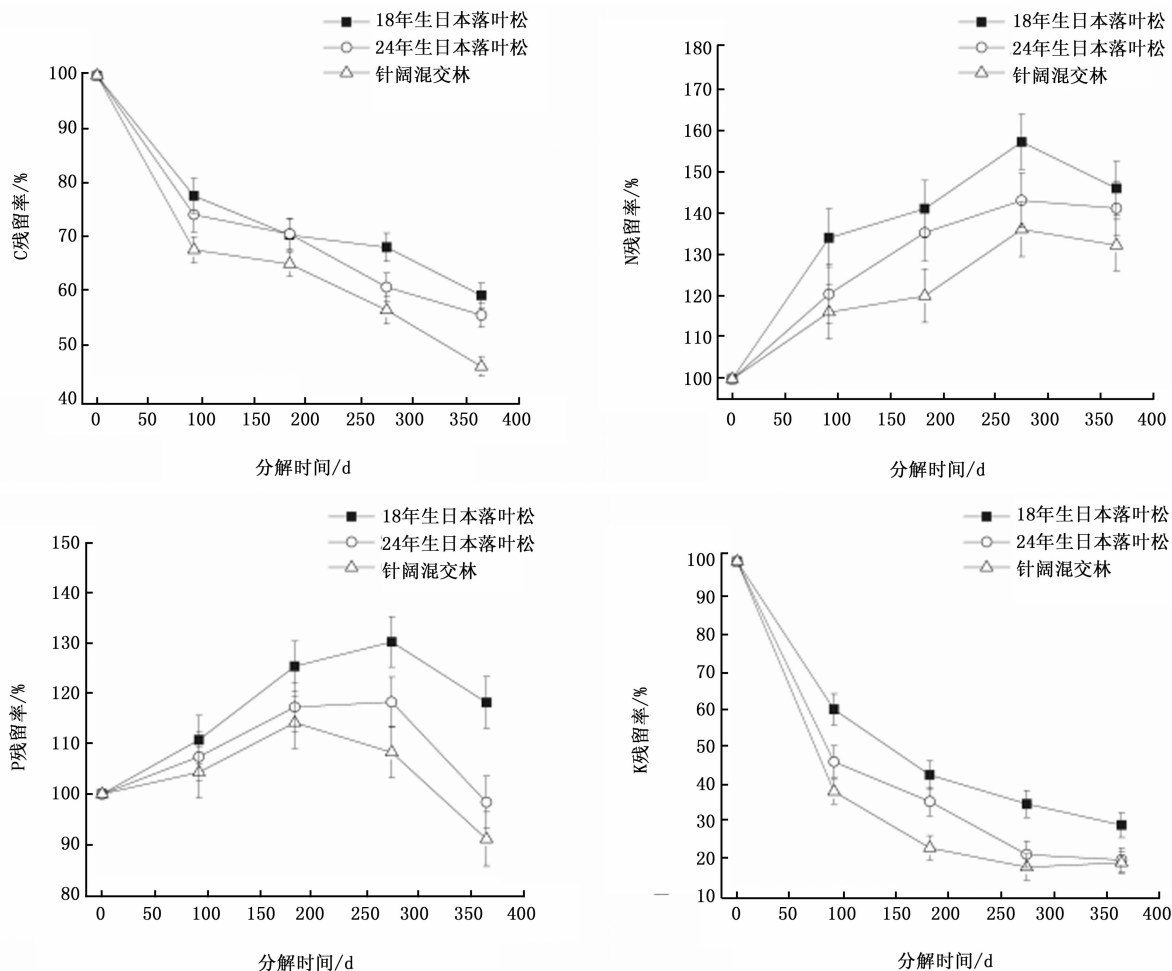


图2 不同林分凋落物的养分释放动态(平均值±标准差, $n=5$)

3 讨论

凋落物分解速率受到多种生物因素和非生物因素的综合控制,包括生物因子、气候因子和凋落物性质等,其中凋落物初始化学组分主要由群落类型、林分年龄等决定^[6,14]。凋落物初始N元素含量和C/N比是反映凋落物分解速率的重要指标,较高的C/N比会降低凋落物的分解速率^[15-16]。针阔混交林初始N元素含量和C/N比分别低于、高于日本落叶松

林,从而造成针阔混交林凋落物分解速率较快。相关性分析表明凋落物分解速率与初始N元素含量呈极显著正相关($r=0.9872, P<0.01$),而与初始C/N比呈显著负相关($r=-0.9736, P<0.05$)。此外,高含量木质素对凋落物的分解有负面影响^[17]。日本落叶松林凋落物中的木质素含量高于针阔混交林,木质素/N含量为18年生日本落叶松林>24年生日本落叶松林>针阔混交林,也可能是针阔混交林的分解速率快的原因之一。

凋落物分解速率常用 Olson 指数衰减模型进行拟合,从而得出凋落物年分解系数、半衰期和周转期等关键参数^[18]。凋落物分解带来的养分释放和归还还是维持森林生态系统正常的养分循环的基础^[19]。在本研究中,凋落物的分解速率为针阔混交林 > 24 年生日本落叶松林 > 18 年生日本落叶松林,但不同元素的释放模式有着较大的差异。C 元素作为构成凋落物的主要元素表现为净释放,可能的原因是在凋落物的分解中,含大量 C 元素的碳水化合物极易分解,因此其为与凋落物分解相似的直接释放模式^[20]。K 元素是植物养分中最易移动的元素,以离子形式流动,因此凋落物中 K 元素呈直接释放模式^[21]。N 元素的释放出现先富集后释放的模式,陈金玲等^[22]研究表明,当 C/N 比低于 20 或 N 元素含量高于 25 mg · g⁻¹ 时, N 元素将会直接释放,反之则相反。也有研究认为森林凋落物分解过程中可能会有自生固氮菌的侵入,使分解前期产生 N 元素的富集现象^[23]。目前, P 元素的释放尚未有精确的理论模型,有研究认为 C/P 比过高将会抑制 P 元素的矿化^[3,24]。本研究中 C/P 比大于 120, 可能是 P 元素出现先富集后释放的原因。

林分的物种多样性、林下植株覆盖度、土壤微生物多样性等因素都是影响凋落物的分解及养分释放的关键因素^[18,25-26]。一般来说,针阔混交林凋落物分解速率要快于针叶纯林,主要可能是上述因素的加速效应^[27-28]。而高年龄的针叶林中的凋落物中耐分解化合物的含量越少,而土壤养分含量和土壤微生物多样性增加,凋落物的分解也就加快^[29-30]。在前期研究中,我们发现大老岭自然保护区内年凋落物量、土壤微生物代谢活性和多样性均为针阔混交林 > 高年龄日本落叶松 > 低年龄日本落叶松,但其中凋落物全 C 含量体现出相同规律但全 N、全 P 等难降解组分的含量则相反^[9-10]。说明日本落叶松的引种栽培使得原本主要为阔叶林覆盖的大老岭自然保护区的森林凋落物分解和养分释放受到一定的限制,从而对森林土壤养分循环产生相对的负面影响,但随着林龄的增长此负面影响会逐渐消退。

4 结 论

不同林分凋落物分解和养分释放速率差异较大。凋落物残留率与时间呈指数相关,凋落物年分解系数表现为针阔混交林 > 24 年生日本落叶松林 > 18 年生日本落叶松林。凋落物分解速率与凋落

物的初始化学组分紧密相关,其中与初始 N 元素含量呈极显著正相关,而与 C/N 比呈显著负相关,高的木质素含量对凋落物的分解有一定影响。凋落物养分释放中 C 元素、K 元素表现为直接释放模式, N 元素和 P 元素均表现为先富集后释放的模式,各养分元素的残留率总体呈现出 18 年生日本落叶松林 > 24 年生日本落叶松林 > 针阔混交林的格局。综上,凋落物分解和养分释放速率均表现为针阔混交林 > 日本落叶松纯林; 24 年生日本落叶松林 > 18 年生日本落叶松林,说明日本落叶松的引种栽培相对而言不利于森林土壤养分循环,但是其负面影响会随着林龄的增长而消退。

参 考 文 献:

- [1] Handa I T, Aerts R, Berendse F, *et al.* Consequences of biodiversity loss for litter decomposition across biomes[J]. *Nature*, 2014, 509 (7499): 218 - 221.
- [2] 刘 蕾, 申国珍, 陈芳清, 等. 神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态[J]. *生态学报*, 2012, 32(7): 2142 - 2149.
- [3] Freschet G T, Cornwell W K, Wardle D A, *et al.* Linking litter decomposition of above-and below-ground organs to plant-soil feedbacks worldwide[J]. *Journal of Ecology*, 2013, 101(4): 943 - 952.
- [4] 曾 锋, 邱治军, 许秀玉. 森林凋落物分解研究进展[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(1): 239 - 243.
- [5] Hobbie S E. Plant species effects on nutrient cycling: revisiting litter feedbacks[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2015, 30(6): 357 - 363.
- [6] Witoon P, Danuta K, Pecyna M J, *et al.* Influence of different forest system management practices on leaf litter decomposition rates, nutrient dynamics and the activity of ligninolytic enzymes: a case study from central European forests[J]. *Plos One*, 2014, 9(4): e93700.
- [7] 洪信谱, 张鲜艳. 大老岭林场日本落叶松直径分布规律探讨[J]. *华中农业大学学报*, 1994, 13(5): 502 - 506.
- [8] 李 叶, 张川红, 郑勇奇, 等. 外来树种生态经济综合评价指标体系[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(5): 1039 - 1046.
- [9] 宋妮娜. 大老岭外来种日本落叶松土壤微生物功能多样性及凋落物动态研究[D]. 宜昌, 三峡大学, 2014.
- [10] Chen F Q, Song N N, Chen G H, *et al.* Effects of exotic species *Larix kaempferi* on diversity and activity of soil microorganisms in Dalaoling National Forest Park[J]. *Ecological Processes*, 2015, 4 (1): 1 - 8.
- [11] 孟玉珂, 刘小林, 袁一超, 等. 小陇山林区主要林分凋落物水文效应[J]. *西北林学院学报*, 2012, 27(6): 48 - 51.
- [12] Wardle D, Bonner K K. Biodiversity and plant litter: Experimental evidence which does not support the view that enhanced species richness improves ecosystem function[J]. *Oikos*, 1997, 79(2): 247 - 258.
- [13] Olson JS. Energy storage and the balance of producers and decom-

- position in ecological systems. *Ecology*, 1963, 44(2): 322–330.
- [14] Bargali S S, Shukla K, Singh L, *et al.* Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in four tree species of Dry Deciduous Forest. [J]. *Tropical Ecology*, 2015, 56(2):191–200.
- [15] Manzoni S, Piñeiro G, Jackson R B, *et al.* Analytical models of soil and litter decomposition: Solutions for mass loss and time-dependent decay rates[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2012, 50(5):66–76.
- [16] Veen G F, Freschet G T, Ordonez A, *et al.* Litter quality and environmental controls of home-field advantage effects on litter decomposition[J]. *Oikos*, 2014, 65(2):187–195.
- [17] Rahman M M, Tsukamoto J, Rahman M M, *et al.* Lignin and its effects on litter decomposition in forest ecosystems[J]. *Chemistry & Ecology*, 2013, 29(6):540–553.
- [18] Berger T W, Berger P. Does mixing of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) litter hasten decomposition? [J]. *Plant & Soil*, 2014, 377(1–2):217–234.
- [19] Putten W H, Bardgett R D, Bever J D, *et al.* Plant-soil feedbacks: the past, the present and future challenges[J]. *Journal of Ecology*, 2013, 101(2):265–276.
- [20] Prescott C E. Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? [J]. *Biogeochemistry*, 2010, 101(1–3):133–149.
- [21] Bruder A, Schindler M H, Moretti M S, *et al.* Litter decomposition in a temperate and a tropical stream: the effects of species mixing, litter quality and shredders [J]. *Freshwater Biology*, 2014, 59(3):438–449.
- [22] 陈金玲, 金光泽, 赵凤霞. 小兴安岭典型阔叶红松林不同演替阶段凋落物分解及养分变化[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(9):2209–2216.
- [23] 杨艳鲜, 冯光恒, 潘志贤, 等. 干热河谷罗望子人工林凋落物分解及养分释放[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(1), 102–107.
- [24] Manzoni S, Porporato A. Stoichiometric controls on carbon, nitrogen, and phosphorus dynamics in decomposing litter[J]. *Ecological Monographs*, 2010, 80(1):89–106.
- [25] Araujo P I, Yahdjian L, Austin A T. Do soil organisms affect aboveground litter decomposition in the semiarid Patagonian steppe, Argentina? [J]. *Oecologia*, 2012, 168(1):221–230.
- [26] Butenschoen O, Scheu S, Eisenhauer N. Interactive effects of warming, soil humidity and plant diversity on litter decomposition and microbial activity[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2011, 43(9):1902–1907.
- [27] 李海涛, 于贵瑞, 李家永, 等. 亚热带红壤丘陵区四种人工林凋落物分解动态及养分释放[J]. *生态学报*, 2007, 27(3):898–908.
- [28] 孙丽娟, 曾辉, 郭大立. 鼎湖山亚热带常绿阔叶混交林凋落物及矿质氮输入对土壤有机碳分解的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(12):3087–3093.
- [29] Sariyildiz T, Anderson J M. Interactions between litter quality, decomposition and soil fertility: a laboratory study[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2003, 35(3):391–399.
- [30] 侯玲玲, 孙涛, 毛子军, 等. 小兴安岭不同林龄天然次生白桦林凋落物分解及养分变化[J]. *植物研究*, 2012(4):492–496.

(责任编辑:崔 贝)