

长白山云冷杉针阔混交林半分解层凋落物生态功能

秦倩倩¹, 王海燕^{1*}, 李翔¹, 解雅麟¹, 雷相东², 郑永林¹, 杨丹丹¹

(1. 北京林业大学林学院, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘要: [目的] 以长白山天然云冷杉针阔混交林为研究对象, 分析凋落物的现存量及持水性能和养分归还量等, 从水源涵养和养分归还两方面阐述森林凋落物的生态功能。 [方法] 基于等距离网格布点法, 在 4 块 1 hm² 样地上采集凋落高峰期前(8 月下旬)半分解层的凋落物样品 400 个, 并对其生态功能指标进行测定分析。 [结果] 4 块云冷杉针阔混交林样地半分解层凋落物现存量均值为 19.50 t·hm⁻²; 持水量均值为 5.56 t·hm⁻², 持水率均值为 64.08%; 全碳(C)、全氮(N)和全磷(P)的养分浓度均值分别为 421.68、18.86 和 1.26 g·kg⁻¹, 养分归还量均值依次为 8.16、0.36 和 0.02 t·hm⁻², 养分利用效率大小顺序为 P>N>C。 [结论] 天然云冷杉针阔混交林各样地间虽存在差异, 但其半分解层凋落物的水源涵养和养分归还等生态功能均较好, 林下凋落物分解速度较快, 持水性能较好, 养分归还量较多。

关键词: 云冷杉针阔混交林; 凋落物; 半分解层; 持水性能; 养分归还

中图分类号: S718.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2019)01-0147-06

森林凋落物不仅在森林资源保护和可持续利用方面发挥着重要作用, 而且对水源涵养、水土保持和维持土壤肥力, 以及促进森林生态系统正常的物质生物循环和养分平衡有很大的影响^[1]。Falcell 等^[2]曾对凋落物的养分归还、水土保持、过滤有毒物质、提供动物和微生物的食物、种子萌发以及维持地表温湿度等生态功能进行了系统的综述, 他认为凋落物是影响群落和生态系统的重要因素, 远远超出了人们普遍认为的营养库的作用。近些年, 国内外有关凋落物的现存量^[3-5]、持水性能^[6-7]和养分归还^[8-10]等生态功能研究也已有报道, 但系统讨论凋落物生态功能或是以此为出发点的研究仍较少。以往的研究大多集中于探讨凋落物养分年归还量或持水量的动态变化, 结果表明, 凋落物量和养分归还与生物量和养分的吸收程度密切相关, 而各月之间存在差异^[11-12], 此外, 林龄相近的针叶林半分解层凋落物的持水能力较分解层强^[13]。云冷杉针阔混交林是长白山区一种主要的天然森林, 但对其凋落物

生态功能并不清楚。通常来说, 云冷杉凋落量集中在秋季和冬季^[14], 云冷杉针阔混交林凋落高峰期为 9—10 月, 而此前林地表面未分解层凋落物较少, 光照和雨水等生态环境因子对半分解层凋落物影响最大。目前, 针对半分解层及凋落高峰期前凋落物生态功能的定量研究未见报道。因此, 本研究以长白山天然云冷杉针阔混交林为研究对象, 收集 8 月末半分解层的凋落物, 用于分析凋落物的现存量及持水性能和养分归还量等, 主要从水源涵养和养分归还两方面阐述森林凋落物的生态功能, 以期天然针阔混交林凋落物持水性能、养分循环及土壤肥力变化的研究奠定基础, 同时为探讨长白山天然林生态功能及天然针阔混交林经营机制研究提供科学依据。

1 研究区概况

研究地点位于吉林省汪清林业局金沟岭林场(43°17'~43°25' N, 130°05'~130°20' E)。林场属长白山系老爷岭山脉雪岭支脉, 为低山丘陵地貌, 海

收稿日期: 2018-04-28 修回日期: 2018-09-10

基金项目: 国家重点研发计划重点专项项目(2017YFC0504002)

* 通讯作者: 王海燕. E-mail: haiyanwang72@aliyun.com

拔 550 ~ 1 100 m, 平均坡度 10° ~ 25°。该区属温带季风性气候, 全年平均气温 4℃, 年降水量 600 ~ 700 mm。土壤类型以暗棕壤为主, 成土母质主要为花岗岩、玄武岩和片麻岩的坡积物和残积物, 部分地区为冲积物和洪积物, 土壤具有明显的垂直变化。地带性植被是以云杉、冷杉为主的针阔混交林, 主要乔木树种有臭冷杉(*Abies nephrolepis* (Troutv.) Maxim)、鱼鳞云杉(*Picea jezoensis* var. *microsperma* (Lindl.) Cheng et L. K. Fu)、红松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)、红皮云杉(*Picea koraiensis* Nakai)、大青杨(*Populus ussuriensis* Kom.)、椴树(*Tilia tuan* Szyszyl.)、榆树(*Ulmus pumila* L.)、白桦(*Betula platyphylla* Suk.) 和水曲柳(*Fraxinus mandschurica* Rupr.) 等^[15]。

表 1 样地基本概况

Table 1 Characteristics of experimental plots

样地 Plots	海拔 Altitude/m	坡度 Slope/ (°)	经度(E) Longitude/ (°)	纬度(N) Latitude/ (°)	坡向 Aspect	蓄积量 Volume/ (m ³ · hm ⁻²)	林分密度 Stand density/ (Stem · hm ⁻²)	平均树高 Mean height/m	平均胸径 Mean DBH/cm
I	742	3	130.251 25	42.380 18	东北	173.89	934	13.9	14.5
II	732	5	130.250 00	43.384 67	东北	201.00	1 167	11.4	12.3
III	769	5	130.254 10	42.384 53	东北	218.10	1 301	13.6	13.7
IV	773	3	130.255 47	42.384 77	东北	209.10	1 437	15.1	14.0

2.2 凋落物测定与统计分析

将凋落物样品带回实验室在 60℃ 烘箱中烘至恒质量, 测定其持水量和持水率^[16], 并以此估算单位面积上的凋落物现存量。凋落物粉碎过 0.25 mm 筛后分别采用外加热重铬酸钾氧化-容量法、凯氏定氮法和钼锑抗比色法测定全碳(C)、全氮(N)和全磷(P)^[17]。养分的归还量用凋落物现存量和凋落物中养分浓度来计算^[18]; 用凋落物量除以凋落物中的养分归还量的值来表示养分的利用效率^[19]; 养分归还总量(总利用效率)为 3 种营养元素归还量(利用效率)之和。

采用 Microsoft Excel 2003 软件对数据进行处理, 采用 SPSS 21.0 软件对 4 块样地间半分解层凋落物现存量、持水量和养分浓度等数据进行差异性检验(LSD 法, $\alpha = 0.05$)。

3 结果与分析

3.1 半分解层凋落物现存量

凋落物的数量(凋落物层的厚度)和质量(凋落物的组成)对水文生态具有重要影响, 同时凋落物层又是土壤有机质的主要来源^[20]。根据测定结果, 长

2 研究方法

2.1 样地设置与样品采集

2015 年 1 月, 在天然云冷杉针阔混交林中设立 4 块具有代表性的、面积为 1 hm² 的方形固定样地, 基本概况如表 1。每块样地按网格法设置 100 个 10 m × 10 m 的样方, 2017 年 8 月下旬(降水、气温等环境因子相似的时间段), 在每个样方中心用手拣出最上层肉眼可以辨别的少量的新鲜凋落物后, 采集半分解层凋落物, 共采集凋落物样品 400 个。其中, 半分解层的分层标准为: 叶片已经没有完整外观轮廓, 大多数凋落物已经成碎末状, 颜色为褐色。对采集的凋落物样品立即进行称质量, 并记录湿质量。

白山云冷杉针阔混交林半分解层凋落物现存量为 19.50 ± 9.13 t · hm⁻²。4 块大样地中样地 I 的凋落物现存量显著高于其他样地, 达 22.46 ± 12.20 t · hm⁻², 样地 IV 和样地 II 次之, 分别为 19.65 ± 8.36 t · hm⁻² 和 18.45 ± 7.75 t · hm⁻², 样地 III 最小, 仅 17.42 ± 8.17 t · hm⁻², 且样地 II、III 和 IV 间无显著差异(表 2)。

3.2 半分解层凋落物水源涵养功能

由表 2 可以看出, 云冷杉针阔混交林半分解层凋落物持水量为 5.56 ± 1.55 t · hm⁻², 4 块样地的平均持水量大小依次为 IV > II > III > I, 样地 II 与 III 之间的平均持水量无明显差异, 但两者显著低于样地 IV, 显著高于样地 I。不同样地半分解层的凋落物持水率范围为 61.55% ~ 68.15%, 平均值达 64.08%。除样地 II 持水率显著高于样地 III 外, 其他各样地间差异不显著。样地 I 凋落物现存量虽比样地 IV 高了 14.30%, 持水量却比其低了 25.15%。

3.3 半分解层凋落物养分归还功能

3.3.1 养分浓度 长白山云冷杉针阔混交林半分解层凋落物中营养元素的浓度见表 3, 3 种营养元素(C、N、P)浓度分别为 421.68 ± 74.73、18.86 ± 3.14 和

表2 云冷杉混交林半分解层凋落物现存量及持水性能(平均值±标准差, $n=100$)

Table 2 Standing crop and water holding capacity of semi-decomposition litter in spruce-fir mixed forest (mean ± SD, $n=100$)

样地 Plots	现存量 Standing crop/ ($t \cdot hm^{-2}$)	持水量 water holding capacity/ ($t \cdot hm^{-2}$)	持水率 water holding rate/%
I	22.46 ± 12.20a	4.89 ± 1.47c	62.55 ± 21.56ab
II	18.45 ± 7.75b	5.66 ± 1.57b	68.15 ± 30.22a
III	17.42 ± 8.17b	5.57 ± 1.78b	61.55 ± 19.38b
IV	19.65 ± 8.36b	6.12 ± 1.39a	64.05 ± 15.39ab
均值 Average	19.50 ± 9.13	5.56 ± 1.55	64.08 ± 21.64

注:同列不同小写字母表示样地间差异显著($P < 0.05$),下同。

Notes: Different small letters in the same column mean significant difference at 0.05 level among plots. The same below.

1.26 ± 0.26 $g \cdot kg^{-1}$ 。经测定,凋落物中3种营养元素浓度在4块样地分布规律是:C在样地IV凋落物中最高,其次是样地II,但两样地间差异不显著;N在样地IV凋落物中最高,其次是样地III,显著高于样地I和II;P在样地II凋落物中最高,其次是样地I,两样地间存在显著差异,且均显著高于样地III和IV。

3.3.2 养分归还量 森林凋落物会将所含的营养元素经分解后归还土壤,并富集在表层土壤,供植物再吸收利用^[21]。长白山森林生态系统由于无人

施肥,所以凋落物中营养元素便成为长白山天然林植物生长的重要养分来源。表3表明:样地I~IV中3种营养元素的归还总量依次为 9.97 ± 6.24 、 8.33 ± 3.71 、 7.02 ± 3.98 和 $9.34 \pm 4.45 t \cdot hm^{-2}$ 。样地I养分归还总量比样地II、III和IV分别高19.69%、42.02%和6.75%。不同样地各营养元素归还量也有一定的差异,C归还量分布规律为:I > IV > II > III,样地I、II和IV间差异不明显,但都显著高于样地III;N归还量分布规律为:IV > I > III > II,样地II与样地III间差异不明显,但均显著低于样地I和IV;P归还量分布规律为样地I和II显著高于III和IV。

3.3.3 养分利用效率 长白山云冷杉针阔混交林生态系统养分利用效率(见表3)表明,半分解层凋落物3种养分总利用效率在786.61~979.66范围内变化,分布规律为:III > IV > I > II。不同营养元素之间的利用效率差异很大,各样地都显示出P的利用效率最大,为 841.74 ± 201.86 ,N次之,C的利用效率最小,分别为 55.94 ± 15.03 和 2.46 ± 0.61 。不同样地间进行比较,N利用效率在4块样地间差异显著,而样地III凋落物中C的利用效率显著高于其他样地,样地II凋落物中P的利用效率显著低于其他样地。

表3 云冷杉混交林半分解层凋落物养分循环特征(平均值±标准差, $n=100$)

Table 3 Nutrient cycling characteristics of semi-decomposition litter in spruce-fir mixed forest (mean ± SD, $n=100$)

类别 Item	样地 Plots	C	N	P	合计 Total
浓度 Concentration/ ($g \cdot kg^{-1}$)	I	419.90 ± 60.91b	16.45 ± 4.71c	1.30 ± 0.21b	437.65 ± 62.15
	II	436.03 ± 66.60ab	17.21 ± 2.64c	1.49 ± 0.40a	454.73 ± 69.64
	III	377.58 ± 77.67c	20.02 ± 2.19b	1.12 ± 0.20c	398.72 ± 80.07
	IV	453.22 ± 93.73a	21.77 ± 3.01a	1.12 ± 0.22c	476.11 ± 96.96
	均值 Average	421.68 ± 74.73	18.86 ± 3.14	1.26 ± 0.26	441.80 ± 81.09
归还量 Return/($t \cdot hm^{-2}$)	I	9.57 ± 6.04a	0.37 ± 0.22b	0.03 ± 0.02a	9.97 ± 6.24
	II	7.99 ± 3.59a	0.31 ± 0.13c	0.03 ± 0.02a	8.33 ± 3.71
	III	6.66 ± 3.85b	0.34 ± 0.14bc	0.02 ± 0.01b	7.02 ± 3.98
	IV	8.90 ± 4.30a	0.42 ± 0.17a	0.02 ± 0.01b	9.34 ± 4.45
	均值 Average	8.16 ± 4.66	0.36 ± 0.17	0.02 ± 0.01	8.66 ± 4.81
利用效率 Use efficiency	I	2.44 ± 0.41b	66.52 ± 21.47a	793.22 ± 139.00b	862.18 ± 144.90
	II	2.39 ± 0.74b	59.60 ± 10.36b	724.62 ± 224.86c	786.61 ± 225.74
	III	2.78 ± 0.69a	50.72 ± 7.30c	926.16 ± 181.47a	979.66 ± 182.92
	IV	2.29 ± 0.43b	46.92 ± 7.23d	922.97 ± 176.97a	972.17 ± 179.03
	均值 Average	2.46 ± 0.61	55.94 ± 15.03	841.74 ± 201.86	900.16 ± 201.46

4 讨论

凋落物量是一个动态值,它受气候、地形、海拔、土壤和植被类型等多因素影响。长白山天然云冷杉

针阔混交林半分解层凋落物现存量为 $19.50 t \cdot hm^{-2}$,高于暖温带云杉林和亚热带针阔混交林半分解层凋落量^[22-23],反映一定地带性特点,与郑路等^[24]得出从热带到亚热带和温带,凋落物现存量随

着纬度的增高而增加的结论基本一致。与不同森林类型相比,天然云冷杉针阔混交林半分解层凋落量高于天然山杨白桦林($10.59 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),低于落叶松人工纯林($21.50 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[25],这可能是由于云冷杉针阔混交林同天然山杨白桦林和落叶松人工纯林的林分结构不同,凋落物初始化学成分不同,且云冷杉和落叶松等针叶质地较硬、木质素类等较难分解的物质含量较高,从而导致其分解速率减慢、现存量较多。本研究中样地 I 的凋落物量显著高于其他 3 块样地,这可能是因为其林分具有最小的林分密度,接受太阳辐射和降水的空间分配更好,植物生长更新更快。

凋落物层具有缓冲雨水的动能,避免土壤结构受雨水溅击而破坏,起到调节和阻滞地表径流的作用^[26]。长白山天然云冷杉针阔混交林半分解层凋落物持水量为 $5.56 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,与同气候带的天然青杆白桦林相近($5.62 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),但低于油松人工纯林($9.20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[25];持水率为 64.08%,略高于刘艳等^[27]研究针阔混交林所得的结果(59.90%)。这可能与不同森林类型凋落物的现存量 and 生物学特性等不同有关。凋落物的水源涵养功能由凋落物量和持水能力共同决定,一般情况下,凋落物的现存量越多,持水能力越强,其水源涵养功能越好^[28]。此外,云、冷杉的凋落物含有较多的油脂,油脂的存在可能使凋落物对水产生了排斥性,不易吸持和存储水分^[14]。本研究中样地 III 凋落物现存量最少,其持水能力最弱,但样地 I 虽具有最大的凋落物量,持水率与其他样地差异不显著,其原因可能是持水能力还与凋落物吸收的水分与凋落物干质量的比值有关^[29]。

凋落物养分归还还是土壤肥力的重要来源,凋落物养分归还量与凋落物量和凋落物中养分浓度密切相关。本研究中半分解层凋落物的 C、N 和 P 浓度分别为 421.68 、 18.86 和 $1.26 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,落入全国森林凋落物养分浓度范围内(C、N 和 P 分别为 $323.3 \sim 540.0$ 、 $5.3 \sim 19.9$ 、 $0.2 \sim 1.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[24]。半分解层凋落物中 C 的归还量最大,其次是 N 和 P,C、N 和 P 养分归还量依次为 8.16 、 0.36 和 $0.02 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,高于亚热带的格氏栲天然林和巨桉人工林养分年归还量^[30-31],这可能是由于落叶是云冷杉凋落物的主要归还组分,针阔混交林凋落量较大,且在不同森林类型中营养元素的储量均表现为未分解层 < 半分解层 < 完全分解层^[32]。此外,树种组成、林龄、

林分密度及立地条件和采样时间等也是造成凋落物养分归还量差异的重要原因。本研究中样地 III 半分解层凋落物中养分归还量显著低于其他样地,这可能与该样地凋落物现存量和养分浓度较低有关。

长白山天然云冷杉针阔混交林半分解层凋落物中 C、N 和 P 的利用效率分别是 2.46、55.94 和 841.74,低于热带橡胶树人工林^[33]。4 块样地间养分利用效率规律各不相同,说明各样地凋落物养分浓度、分解速率和养分循环规律存在差异。但 P 利用效率明显大于 N 和 C 的利用效率,与薛达等^[19]研究结果一致。根据 Vitousek^[34] 提出凋落物养分利用效率越高,通常土壤养分越少的观点来看,很可能是因为该区森林土壤 P 的浓度较低,才导致植物吸收和存留在枝叶中的 P 很少,所以,P 可能是云冷杉针阔混交林生态系统中植物生长的限制因子。有研究指出通过提高利用效率而产生更多的生物量可能是植物适应贫瘠环境的一种重要的竞争策略^[35],因此,提高 P 的利用效率将是关键的生态适应对策。

5 结论

长白山天然云冷杉针阔混交林半分解层凋落物现存量为 $19.50 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$;持水量为 $5.56 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,持水率为 64.08%;全碳(C)、全氮(N)和全磷(P)的养分浓度分别为 421.68 、 18.86 和 $1.26 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。凋落物的持水性能和养分归还及现存量与多种生态环境因子有关,并且 4 块大样地之间凋落物现存量、水源涵养和养分归还功能存在差异。中国长白山地区,作为我国最大的天然林区,林分结构较复杂,多为针叶林及针阔混交林,林下凋落物分解速度较快,持水性能较好,养分归还量较多。但人为干扰会破坏森林凋落物层,导致养分循环等生态功能发生改变,因此,应继续关注森林经营和植被恢复,充分发挥凋落物在森林生态系统内的生态功能,实现长白山天然云冷杉针阔混交林的可持续经营。

参考文献:

- [1] 杨清伟. 贡嘎山峨眉冷杉原始林及其更新群落凋落物的特征[J]. 植物资源与环境学报, 2001, 10(3):35-38.
- [2] Facelli J M, Pickett S T A. Plant litter: Its dynamics and effects on plant community structure[J]. Botanical Review, 1991, 57(1):1-32.
- [3] Jijeesh C M, Seethalakshmi K K. Litterfall and decomposition dynamics of six year old *Bambusa balcooa* Roxb. homestead block plantation in Palakkad, central Kerala[J]. Range Management & Agroforestry, 2017, 37(2):155-161.

- [4] 葛结林,熊高明,李家湘,等. 中国南方灌丛凋落物现存量[J]. 植物生态学报, 2017, 41(1):5-13.
- [5] 黄宗胜,符裕红,喻理飞. 喀斯特森林植被自然恢复中凋落物现存量及其碳库特征演化[J]. 林业科学研究, 2013, 26(1):8-14.
- [6] 张恒,金森,邸雪颖. 大兴安岭森林凋落物含水率的季节动态与预测[J]. 林业科学研究, 2014, 27(5):683-688.
- [7] Dunlop M W, Blackall P J, Stuetz R M. Water addition, evaporation and water holding capacity of poultry litter[J]. Science of the Total Environment, 2015, 538:979-985.
- [8] 崔鸿侠,潘磊,黄志霖,等. 神农架巴山冷杉林凋落物量养分归还及分解特征[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2017, 41(1):194-198.
- [9] 施妍,陈芳清. 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[J]. 林业科学研究, 2016, 29(3):430-435.
- [10] Paudel E, Dossa G G O, Xu J, et al. Litterfall and nutrient return along a disturbance gradient in a tropical montane forest[J]. Forest Ecology & Management, 2015, 353:97-106.
- [11] 郑金萍,郭忠玲,徐程扬,等. 长白山北坡主要森林群落凋落物现存量月动态[J]. 生态学报, 2011, 31(15):4299-4307.
- [12] Guo L B, Sims R E H, Horne D J. Biomass production and nutrient cycling in Eucalyptus short rotation energy forests in New Zealand: II. Litter fall and nutrient return. [J]. Biomass & Bioenergy, 2006, 30(5):393-404.
- [13] 常雅军,曹靖,马建伟,等. 秦岭西部山地针叶林凋落物持水特性[J]. 应用生态学报, 2008, 19(11):2346-2351.
- [14] 刘颖,韩士杰,林鹿. 长白山四种森林类型凋落物动态特征[J]. 生态学杂志, 2009, 28(1):7-11.
- [15] 李翔,王海燕,秦倩倩,等. 采伐对天然云冷杉针阔混交林半分解层凋落物现存量、含水率及林分郁闭度空间异质性的影响[J]. 林业科学研究, 2018, 31(6):114-120.
- [16] 崔建国,谭娟. 辽西油松蒙古栎林下凋落物现存量及持水能力的研究等[J]. 水土保持研究, 2008, 15(2):154-158.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [18] 葛晓改,周本智,肖文发. 马尾松人工林凋落物产量、养分含量及养分归还量特性[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(7):954-961.
- [19] 薛达,薛立,罗山. 日本中部风景林凋落物量、养分归还量[J]. 华南农业大学学报, 2001, 22(1):23-26.
- [20] 王凤友. 森林凋落量研究综述[J]. 生态学进展, 1989, 6(2):82-89.
- [21] 魏晶,吴钢,邓红兵. 长白山高山冻原生态系统凋落物养分归还功能[J]. 生态学报, 2004, 24(10):2211-2216.
- [22] 张洪亮,张毓涛,张新平,等. 天山中部天然云杉林凋落物层水文生态功能研究[J]. 干旱区地理(汉文版), 2011, 34(2):271-277.
- [23] 马文济,赵延涛,张晴晴,等. 浙江天童常绿阔叶林不同演替阶段地表凋落物的C、N、P化学计量特征[J]. 植物生态学报, 2014, 38(8):833-842.
- [24] 郑路,卢立华. 我国森林地表凋落物现存量及养分特征[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(1):63-69.
- [25] 魏强,凌雷,张广忠,等. 甘肃兴隆山主要森林类型凋落物累积量及持水特性[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10):2589-2598.
- [26] 朱金兆,刘建军,朱清科,等. 森林凋落物层水文生态功能研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5):30-34.
- [27] 刘艳,孙向阳,范俊岗,等. 辽宁省森林枯落物现存量及其持水性能[J]. 应用基础与工程科学学报, 2017(4):689-699.
- [28] 刘世荣. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京:中国林业出版社, 1996.
- [29] 任向荣,薛立,曹鹤,等. 3种人工林凋落物的持水特性[J]. 华南农业大学学报, 2008, 29(3):47-51.
- [30] Guo J, Xie J, Lu H, et al. Carbon return and dynamics of litterfall in natural forest and monoculture plantation of *Castanopsis kawakamii*, in subtropical China[J]. Forestry Studies in China, 2004, 6(1):33-36.
- [31] 刘洋,张健,冯茂松. 巨桉人工林凋落物数量、养分归还量及分解动态[J]. 林业科学, 2006, 42(7):1-10.
- [32] 常雅军,曹靖,李建建,等. 秦岭西部山地针叶林凋落物层的化学性质[J]. 生态学杂志, 2009, 28(7):1308-1315.
- [33] Tang J W, Cao M, Zhang J H, et al. Litterfall production, decomposition and nutrient use efficiency varies with tropical forest types in Xishuangbanna, SW China: a 10-year study [J]. Plant & Soil, 2010, 335(1-2):271-288.
- [34] Vitousek P. Nutrient cycling and nutrient use efficiency[J]. American Naturalist, 1982, 119(4):553-572.
- [35] 郭继勋,孙刚. 松嫩平原羊草草原凋落物层群落学作用的研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(4):473-476.

Ecological Function of Semi-decomposition Litter in Natural Spruce-fir Mixed Forest of Changbai Mountains

QIN Qian-qian¹, WANG Hai-yan¹, LI Xiang¹, XIE Ya-lin¹, LEI Xiang-dong², ZHENG Yong-lin¹, YANG Dan-dan¹

(1. The College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Forest Resources Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: [**Objective**] To study the ecological function of semi-decomposition litter in natural spruce-fir mixed forest of Changbai Mountains by measuring its standing crop, water holding capacity and nutrients return. [**Method**] Four 1-hm² plots were selected for sample collection and 400 semi-decomposition litter samples were collected with equidistant grid point sampling method before the peak of falling (late August) to determine the ecological function indices. [**Result**] The results showed that the average amount of semi-decomposition litter in the four plots was 19.50 t · hm⁻²; the average water holding capacity was 5.56 t · hm⁻² and the average water holding rate was 64.08%; the average concentrations of total carbon (C), total nitrogen (N) and total phosphorus (P) were 421.68 g · kg⁻¹, 18.86 g · kg⁻¹ and 1.26 g · kg⁻¹, the average return of nutrients (C, N, P) were 8.16 t · hm⁻², 0.36 t · hm⁻² and 0.02 t · hm⁻², respectively, and nutrients use efficiency was in the order of P > N > C. [**Conclusion**] Although there are differences among the four plots in natural spruce-fir mixed forest of Changbai Mountains, the semi-decomposition litter has higher water conservation and nutrient return with faster decomposition rate, better water holding capacity and more nutrient return.

Keywords: spruce-fir and broad-leaved mixed forest; litter; semi-decomposition layer; water holding capacity; nutrient return

(责任编辑:彭南轩)