

# 西藏色季拉山急尖长苞冷杉林粗木质残体 养分元素特征

马豪霞<sup>1,2,3</sup>, 任毅华<sup>1,2,3</sup>, 郑维列<sup>1,2,3</sup>

(1. 西藏农牧学院 西藏高原生态研究所, 西藏 林芝 860000; 2. 西藏高原森林生态教育部重点实验室, 西藏 林芝 860000; 3. 西藏林芝高山森林生态系统国家野外科学观测研究站, 西藏 林芝 860000)

**摘要:** 以西藏色季拉山急尖长苞冷杉林 *Abies georgei* var. *smithii* 为研究对象, 运用典型样地调查法对林下粗木质残体进行调查, 采用5级腐烂系统对粗木质残体进行分等定级, 测定有机C、全N、全K、全P、Ca和Mg 6种养分元素含量, 分析C/N、C/P及N/P比值。结果表明: 各腐烂等级养分元素含量及养分储量均表现为有机C > Ca > 全N > 全K > Mg > 全P; C/N、C/P随粗木质残体腐烂程度的加深逐渐减小, N/P则是从I至III级逐渐增大, III到IV级突然减小, 之后又开始增大; 在不同类型粗木质残体上, 南坡养分总储量为49 164.8 kg·hm<sup>-2</sup>, 高于北坡的34 846.19 kg·hm<sup>-2</sup>, 且二者均表现为倒木 > 枯立木 > 树桩 > 大枯枝。

**关键词:** 粗木质残体; 养分元素储量; 急尖长苞冷杉; 色季拉山

中图分类号: S791.14

文献标志码: A

文章编号: 1673-923X(2018)01-0106-05

## Research on nutrients elements characteristics of coarse woody debris in *Abies georgei* var. *smithii* forest in Sejila mountains in Tibet

MA Haoxia<sup>1,2,3</sup>, REN Yihua<sup>1,2,3</sup>, ZHENG Weilie<sup>1,2,3</sup>

(1. Research Institute of Tibet Plateau Ecology, Tibet Agricultural and Animal Husbandry University, Nyingchi 860000, Tibet, China;  
2. Tibet Key Laboratory of Forest Ecology in Plateau Area, Ministry of Education, Nyingchi 86000, Tibet, China;  
3. National Key Station of Field Scientific Observation & Experiment, Nyingchi 860000, Tibet, China)

**Abstract:** Typical sample plot method was used to investigate the coarse woody debris in *Abies georgei* var. *smithii* forest in Sejilamountains, Tibet. With five decay classification systems to classify and grade coarse woody debris. Nutrient elements concentrations of organic C, total N, total K, total P, Ca, Mg were assayed. The ratios of C/N, C/P and N/P were analyzed. The results showed that Each decay class nutrient element content and nutrient reserves are as follows: the organic C > Ca > N > K > Mg > P; C/P and C/N are gradually decreased with the deepening of the degree of decomposition of coarse woody debris, N/P is gradually increased from I to III, III to IV suddenly decreasing and then increasing; on different types of CWD, the southern slope of nutrient total reserves of 49 164.80 kg·hm<sup>-2</sup> higher than 34 846.19 kg·hm<sup>-2</sup> that of the north, and the two are all shown as: logs > snags > stumps > large branch.

**Keywords:** coarse woody debris; nutrient element reserves; *Abies georgei* var. *smithii*; Sejila mountains

粗木质残体 (Coarse woody debris, 简称为CWD) 是指森林中因各种自然因素或人为干扰而形成的基径和长度大于一定值的倒木、枯立木、大枯枝、树桩和粗根残体<sup>[1-2]</sup>。CWD是森林生态系统中的重要单元, 在保持森林生态系统的完整性方面发挥着重要的生态功能<sup>[3-4]</sup>。CWD作为森林土壤和森林植被的重要界面, 可为动物等提供

栖息地<sup>[5-6]</sup>, 为菌类和各类植物提供生境和养分, 在维持生物多样性方面发挥着重要的作用。

色季拉山急尖长苞冷杉林为成过熟原始林, 人为干扰少, 林内CWD资源极为丰富, 是研究原始冷杉林下CWD的理想场所。前人对该区域内CWD的基础特征、呼吸动态、分解等均有研究<sup>[7-10]</sup>, 但暂无对养分元素特征的研究。鉴于

收稿日期: 2016-10-16

基金项目: 西藏自治区自然科学基金项目(2015ZR-14-24); 西藏大学农牧学院2014年提升综合实力建设项目(生态学科)

作者简介: 马豪霞, 硕士; E-mail: 1054032520@qq.com

通信作者: 郑维列, 教授, 博士; E-mail: 1131317504@qq.com

引文格式: 马豪霞, 任毅华, 郑维列. 西藏色季拉山急尖长苞冷杉林粗木质残体养分元素特征[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(1): 106-110.

此, 以色季拉山急尖长苞冷杉林 *Abies georgei* var. *smithii* 为研究对象, 采用典型样地法对林下 CWD 进行调查, 测定了不同腐烂等级及不同类型 CWD 的养分元素含量, 估算了养分储量, 为进一步研究该林区生态系统的 C 循环和养分循环提供基础数据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 自然概况

研究区位于藏东南色季拉山的林芝高山森林生态定位站附近 (29°48'N, 94°49' E), 海拔 4 000 m 以上, 属亚高山寒温带湿润气候区, 年平均气温 -0.73 °C, 最暖月 (7 月份) 平均气温 9.8 °C, 最冷月 (1 月份) 平均气温 -13.8 °C, 年降水量 1 134.1 mm, 蒸发量 544.0 mm, 年平均相对湿度 78%; 森林是以急尖长苞冷杉为优势树种的成过熟原始林, 阳坡在海拔 4000 m 以上有少量方枝柏 *Sabina saltuaria*, 低海拔处有部分林芝云杉 *Picea likiangensis* var. *linzhiensis*。灌木层有牛奶子 *Elaeagnus umbellata*、光核桃 *Prunus mira*、西藏野茉莉 *Styrax hookeri* 等; 草本植物有冷水花 *Pilea racemosa*、西藏八角莲 *Dysosma tsayuensis*、长梗翠雀花 *Delphinium longipedicellatum* 等。林木平均胸径为 50 cm, 平均树高为 31.6 m, 郁闭度为 0.6 ~ 0.8; 林下土壤为酸性棕壤, 土层平均厚度 60 cm, 土壤腐殖质化过程不明显。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 CWD 标准及倒木腐烂等级的确定

对 CWD 做如下定义<sup>[11-13]</sup>: 基径  $\geq 10$  cm、长度  $\geq 100$  cm 的倒木、枯立木、大枯枝; 基径  $\geq 10$  cm、长度  $\geq 20$  cm 的树桩。CWD 腐烂等级采用 5 级腐烂等级标准<sup>[1]</sup>。

#### 1.2.2 CWD 野外调查与生物量

2015 年 7—8 月期间, 在色季拉山南北坡海拔 3 800 m 处各设置 1 个 100 m  $\times$  100 m 的大样地, 对样地中 CWD 进行每木检尺, 记录其种类、长度、CWD 类型 (倒木、枯立木、大枯枝、树桩)、胸径、大小头直径, 着地状况、腐烂等级、植被覆盖等数据倒木。在调查的基础之上, 针对每一腐烂等级选取 3 株平均标准木, 用油锯在其大小头及中间部位各截取 5 cm 厚的圆盘, 共 45 个圆盘, 称其鲜质量。对腐烂较为严重且无法截取圆盘的 CWD, 用铝盒采样, 编号入袋, 带回实验

室。用排水法测样品体积<sup>[14]</sup>, 放入烘箱在 60 °C 条件下烘至恒质量, 称其干质量, 计算样品密度。根据 CWD 长度 ( $l$ ) 和大小头直径 ( $d_1, d_2$ ), 由截顶体的一般求积式  $V = \pi l(d_1^2 + d_2^2)/8$  来计算样地内 CWD 蓄积量, 再结合密度计算其储量。

### 1.2.3 CWD 元素含量的测定

将烘干后的样品进行粉碎, 过 100 目筛, 测定其有机 C、全 N、全 P、全 K、Ca、Mg 等化学元素。全 C 用重铬酸钾 - 硫酸氧化法测定; 全 N 用  $\text{CuSO}_4\text{-K}_2\text{SO}_4$  硫酸消化法, 再蒸馏测定; 全 P 用酸溶 - 钼锑抗比色法测定<sup>[15]</sup>; K 用火焰光度法测定<sup>[16]</sup>; Ca 和 Mg 用原子吸收光谱仪测定<sup>[17]</sup>。

### 1.3 数据分析

利用 SPSS 17.0 软件和 Excel 软件处理所有数据, 通过方差分析 (ANOVA) 将同一元素不同腐烂等级的养分元素进行多重比较, 并分析其差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 CWD 的养分含量

急尖长苞冷杉林 CWD 各养分平均含量为: 有机 C ( $561.45 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) > Ca ( $6.11 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) > 全 N ( $4.01 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) > 全 K ( $2.47 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) > Mg ( $1.01 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) > 全 P ( $0.59 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) (见表 1)。其中有机 C 和全 K 2 种元素随 CWD 腐烂等级的加深逐渐减小, I 级 CWD 的有机 C、全 K 含量分别为 V 级的 1.11 倍和 8.10 倍。全 N、全 P、Mg 和 Ca 含量则随 CWD 腐烂程度的加深总体呈现增大趋势, V 级 CWD 全 N、全 P、Mg 和 Ca 含量分别为 I 级的 1.82、1.60、1.93、1.71 倍。

表 1 养分元素含量<sup>†</sup>  
Table 1 Nutrient element content (g·kg<sup>-1</sup>)

腐烂等级	有机 C	全 N	全 K	全 P	Ca	Mg
I	581.12 a (66.15)	2.95 a (0.09)	4.17 a (1.37)	0.49 a (0.01)	4.63 a (1.26)	0.75 a (0.19)
II	579.36 a (44.83)	3.20 a (0.95)	2.76 b (0.09)	0.46 ab (0.08)	6.56 b (0.40)	0.75 a (0.13)
III	576.61 ab (41.80)	4.31 b (0.13)	2.33 c (0.15)	0.50 a (0.02)	4.76 a (0.83)	1.01 a (0.35)
IV	548.26 bc (10.44)	4.21 b (0.12)	2.66 bc (0.66)	0.71 ac (0.19)	6.65 b (0.55)	1.06 a (0.18)
V	521.89 c (33.99)	5.37 c (0.55)	0.52 d (0.20)	0.79 c (0.18)	7.93 b (0.41)	1.45 b (0.13)
平均值	561.45 A	4.01 B	2.49 B	0.59 B	6.11 B	1.00 B

<sup>†</sup> 平均值后不同大写字母表示列之间差异显著, 不同小写字母表示行之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 括号内数字为标准差。

C/N、N/P、C/P 等养分元素的比值可有效反

映 CWD 的化学性状, 与各元素动态密切相关, 也是表征 CWD 分解过程的重要指示指标<sup>[18]</sup>。随着 CWD 分解过程的进行, C/N 逐渐减小, I 级腐烂其值最大为 196.89, 为最小值 V 级腐烂的 2.03 倍;

N/P 则是从 I 至 III 级逐渐增大, 在 III 到 IV 级突然减小, 之后又开始增大; C/P 除 II 级稍高于 I 级外, 整体变化表现为递减趋势, 最大值 II 级 CWD 的 C/P 比值为 1 270.62, 是 V 级的 1.92 倍 (见图 1)。

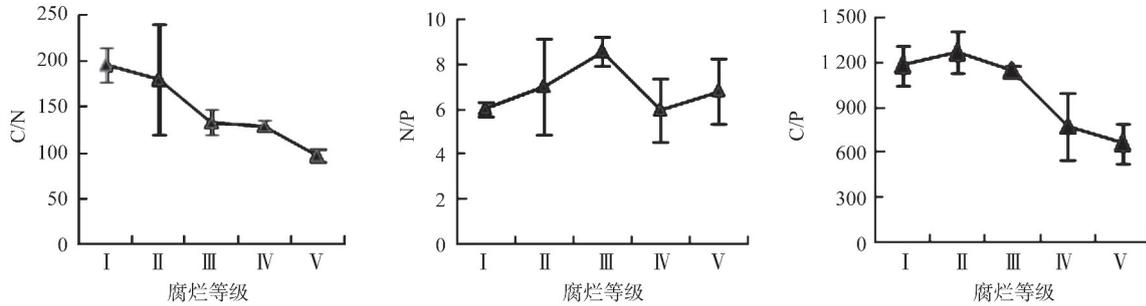


图 1 不同腐烂等级 CWD 元素比  
Fig. 1 CWD element ratio of different decay classes

2.2 养分储量在不同腐烂等级 CWD 上的分配

南北坡各腐烂等级 CWD 养分元素的储量均表现为: 有机 C > Ca > 全 N > 全 K > Mg > 全 P (见表 2)。南坡 CWD 总储量为 84 244 kg·hm<sup>-2</sup>, 有机 C、Ca、全 N、全 K、Mg、全 P 分别占总储量的 56.97%、0.57%、0.36%、0.32%、0.09% 和 0.05% (见表 3)。在不同腐烂等级的分配上, 各养分元素均表现为 I 级最高, IV 级次之, 其余各腐烂等级偏低, 该结果与不同腐烂等级 CWD 储量一致。

表 3 南北坡养分元素储量

Table 3 Nutrient element reserves of north and south slope (kg·hm<sup>-2</sup>)

组分	腐烂等级	CWD 储量	有机 C	全 N	全 K	Ca	Mg
南坡	I	41 775	24 276.38 (2 763.23)	123.29 (3.91)	174.30 (57.33)	193.54 (64.37)	31.35 (7.96)
	II	11 086	6 422.78 (496.96)	35.47 (10.50)	30.56 (1.04)	72.71 (5.44)	8.26 (1.42)
	III	10 430	6 014.07 (435.94)	44.99 (1.32)	24.33 (1.56)	68.41 (10.55)	10.55 (3.64)
	IV	12 948	7 098.91 (135.2)	54.55 (1.49)	34.40 (8.52)	86.12 (8.64)	13.72 (2.35)
	V	8 005	4 177.69 (272.06)	42.97 (4.41)	4.13 (1.61)	63.49 (4.02)	11.58 (1.04)
合计		84 244	47 989.83 (3 268.48)	301.28 (9.52)	267.72 (66.26)	484.27 (77.17)	75.46 (6.21)
北坡	I	14 777	8 587.24 (977.44)	43.61 (1.38)	61.66 (20.28)	68.46 (22.77)	11.09 (2.82)
	II	13 878	8 040.35 (622.12)	44.40 (13.15)	38.26 (1.31)	91.02 (6.81)	10.34 (1.79)
	III	10 444	6 022.15 (436.53)	45.05 (1.32)	24.36 (1.56)	49.69 (10.56)	10.57 (3.65)
	IV	9 388	5 147.09 (98.03)	39.55 (1.08)	24.94 (6.18)	62.44 (6.27)	9.95 (1.71)
	V	11 876	6 197.91 (403.62)	63.75 (6.54)	6.12 (2.40)	94.19 (5.97)	17.18 (1.55)
合计		60 363	33 994.74 (1 518.50)	236.37 (7.55)	155.34 (27.90)	365.81 (32.62)	59.12 (3.41)

表 2 不同腐烂等级差异显著性分析  
Table 2 Significant difference analysis of different decay classes

腐烂等级	C/N	N/P	C/P
I - II	0.600	0.113	0.953
I - III	0.463	0.174	0.095
I - IV	0.085	0.100	0.449
I - V	0.119	0.123	0.951
II - III	0.040	0.190	0.125
II - IV	0.023	0.534	0.488
II - V	0.025	0.541	0.993
III - IV	0.213	0.248	0.105
III - V	0.303	0.283	0.044
IV - V	0.779	0.997	0.449

北坡 CWD 总储量为 60 363 kg·hm<sup>-2</sup>, 有机 C、Ca、全 N、全 K、Mg 和全 P 分别占总储量的 56.32%、0.61%、0.39%、0.26%、0.10% 和 0.06%。北坡有机 C 储量除 V 级递增外, 整体趋势为随腐烂等级加深而降低, I 级为 IV 的 1.67 倍; Ca 储量整体变化趋势不明显, V 级为 III 级的 1.90 倍; 全 N 储量除 IV 级降低外, 整体随腐烂等级的加深而增加, V 级为 IV 级的 1.61 倍; 全 K 储量除

表 4 同一腐烂等级南北坡差异显著性分析

Table 4 Significant difference analysis of the same decay classes in south slop and north slop

养分元素	I - I	II - II	III - III	IV - IV	V - V
有机 C	0.076	0.635	0.998	0.611	0.343
全 N	0.072	0.662	0.998	0.631	0.375
全 K	0.073	0.636	0.998	0.620	0.519
全 P	0.119	0.729	0.997	0.518	0.343
Ca	0.227	0.700	0.998	0.466	0.393
Mg	0.131	0.714	0.998	0.647	0.479

III - IV级缓慢递增外, 整体趋势为随腐烂等级的加深而降低, I 级为V级的 10 倍; Mg 储量除V级递增外, 整体变化趋势为随腐烂等级加深而递减, V级为II级的 1.7 倍; 全 P 储量 I ~ III级递减, III ~ V级随腐烂等级加深而增加, V级是III级的 1.78 倍。CWD 储量的 高低取决于其输入量和分解速度, 也受地域、森林类型、海拔、气候类型等因素的影响<sup>[19]</sup>。色季拉山急尖长苞冷杉林为成过熟林, 很多林木未死亡前已经处于心腐状态, 这些林木经风力、积雪等外力作用易死亡形成 CWD, 因此具有很高的 CWD 蓄积量。

南坡 CWD 储量高于北坡, 可是南北坡养分储量却相当, 这主要是因为南坡处于背风坡, 阳光充足, 风化作用大于北坡, 因此一开始 CWD 分解较快; 北坡处于阴风坡, 降水丰富, 阴暗潮湿, 随着微生物的缓慢作用, 北坡环境开始更适合微生物入侵, 北坡的分解速度大于南坡, 加之急尖

长苞冷杉为耐阴树种, 其在北坡生长良好, 林分密度大, 种间竞争激烈, 因此形成了更多因种间竞争而形成的枯立木(北坡枯立木养分储量是南坡枯立木的 2 倍), 从而就形成了更多的 CWD。

### 2.3 养分元素储量在不同类型 CWD 上的分配

南北坡各养分储量在不同 CWD 类型上的分配总体趋势相同, 均为倒木 > 枯立木 > 树桩 > 大枯枝, 且倒木占绝对优势, 南坡倒木各养分储量占总储量的 77% 以上, 北坡在 58% 以上(见图 2、图 3)。南北坡相比较, 南坡倒木养分储量比例略高于北坡, 但枯立木、树桩、大枯枝养分比例却明显偏低; 南坡倒木和枯立木是 CWD 养分的主要载体, 所含各养分储量均占 CWD 养分总储量的 90% 以上, 北坡除倒木、枯立木以外, 树桩养分含量也不可忽视, 所占总储量比例基本都在 10% 以上, 三者养分储量之和更是达到养分总储量的 96% 以上。

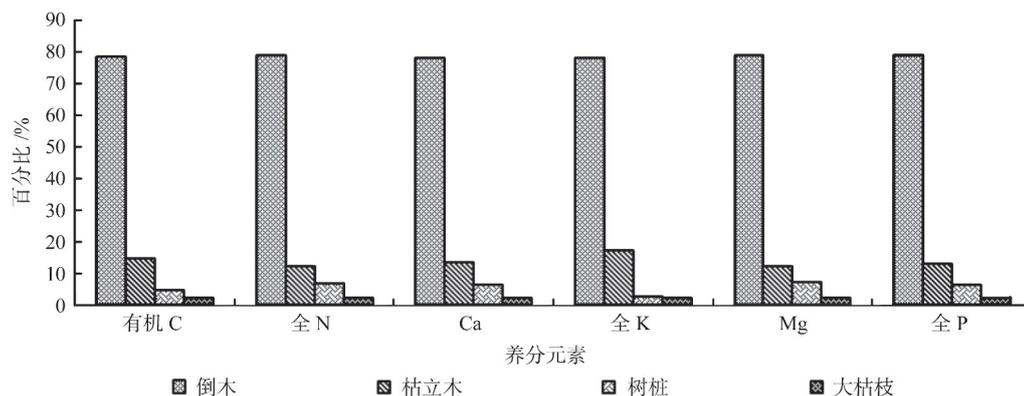


图 2 南坡不同类型养分元素储量

Fig.2 Nutrients element reserves of different types in south slope

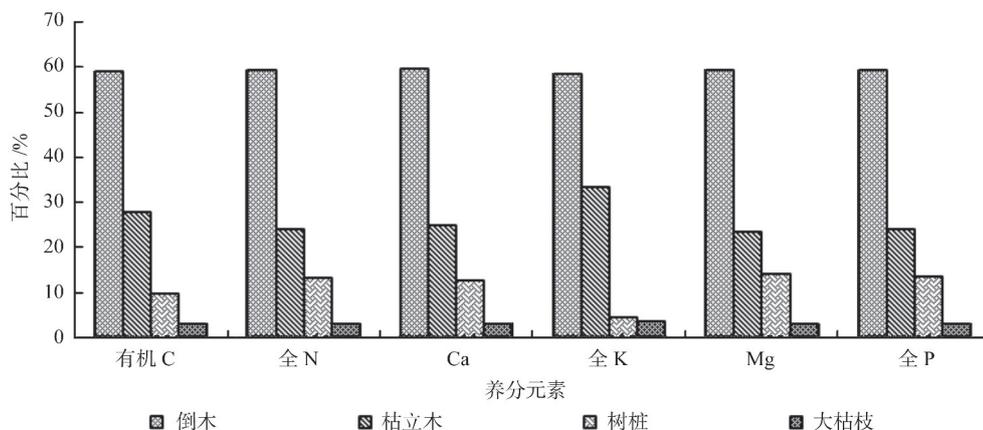


图 3 北坡不同类型养分元素储量

Fig.3 Nutrients element reserves of different types in north slope

## 3 结 论

随着粗木质残体的分解, 养分元素组成会发

生一定的变化。西藏色季拉山急尖长苞冷杉林研究区内粗木质残体养分含量中, 有机 C、全 K 随粗木质残体的分解其含量逐渐减小, 而全 N、全 P、

Ca、Mg 等养分元素则逐渐增加, 这与鳞毛蕨天山云杉林<sup>[20]</sup> 研究结果基本一致。有机 C 是西藏色季拉山急尖长苞冷杉林粗木质残体中的主要养分元素, 其含量可达总生物量的 52.19% 以上, 这与粗木质残体分解过程中的淋溶和呼吸作用有关, 二者都会导致 C 元素的散失。K 元素含量也随粗木质残体分解而逐渐减小, 这与 K 元素在粗木质残体体内的分配有关, 研究表明, 通常树皮的 K 含量要显著高于心材和边材<sup>[21]</sup>, 而粗木质残体的分解大部分都是由外向内, 如粗木质残体的 5 级分类系统里, 树皮的有无及其是否完整便是判断其腐烂等级的一个重要标准<sup>[1]</sup>, 因此树皮的快速分解直接影响 K 元素的大量流失。全 N 含量随腐烂程度的加深而增加, 这可能与微生物、昆虫的活动及降雨有关。粗木质残体形成后, 可为微生物、昆虫提供一定的活动场所, 而微生物具备一定的固 N 作用, 昆虫的粪便也有聚集 N 元素的作用, 此外降雨也有利于增加 N 元素的输入。全 P、Ca、Mg 这几种元素也随粗木质残体分解程度的加深呈现升高的趋势, 可能是元素因淋溶流失的速度小于其粗木质残体质量的损失速度, 因而造成元素富集。

研究发现, 西藏色季拉山急尖长苞冷杉林各腐烂等级粗木质残体养分元素的储量变化均表现为: 有机 C > Ca > 全 N > 全 K > Mg > 全 P。西藏急尖长苞冷杉林养分储量在不同粗木质残体类型上的分配总体趋势相同, 均为: 倒木 > 枯立木 > 树桩 > 大枯枝, 且倒木占绝对优势。无论是粗木质残体养分含量或者养分储量在不同腐烂等级或是不同类型粗木质残体上的分配均存在一定的差异, 这主要是因为养分储量由其生物量和养分含量两个因素共同决定。本研究中养分含量是通过南北坡混合样品进行测定, 因此南北坡粗木质残体用的是同样的养分含量数据, 所以南北坡养分储量差异的主导因素是粗木质残体储量。南北坡粗木质残体储量的差异主要由环境因子造成。北坡阴湿, 高湿度有利于粗木质残体的分解, 因此不利于低腐烂等级及小基径粗木质残体的积累, 而南坡则相反。因此北坡低腐烂等级及大枯枝这类的小基径粗木质残体养分储量偏低, 南坡则偏高。

#### 参考文献:

- [1] 闫恩荣, 王希华, 黄建军. 森林粗死木质残体的概念及其分类[J]. 生态学报, 2005, 25(1): 158-167.
- [2] 袁杰, 侯琳, 张硕新. 森林粗木质残体研究进展[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(4): 90-98.
- [3] 侯平, 潘存德. 森林生态系统中的粗死木质残体及其功能[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 309-314.
- [4] 何东进, 何小娟, 洪伟, 等. 森林生态系统粗死木质残体的研究进展[J]. 林业科学研究, 2009, 22(5): 715-721.
- [5] Harmon M E, Franklin J F, Swanson F J, *et al.* Three-cology of coarse woody debris in temperate ecosystems[J]. *Advances in Ecological Research*, 1986, 15: 133-302.
- [6] Mac Nally R, Parkinson A, Horrocks G, *et al.* Relationships between terrestrial vertebrate diversity, abundance and availability of coarse woody debris on Southeastern Australian flood plains[J]. *Biological Conservation*, 2001, 99: 191-201.
- [7] 任毅华, 李江荣, 罗大庆. 藏东南暗针叶林粗木质残体的数量特征[J]. 河南农业科学, 2014, 43(9): 137-140, 145.
- [8] 任毅华, 侯磊. 西藏色季拉山冷杉林粗木质残体生物量研究[J]. 北京农业, 2015(15):7-9.
- [9] 方江平, 项文化. 西藏色季拉山原始冷杉林生物量及其分布规律[J]. 林业科学, 2008, 44(5): 17-23.
- [10] 任毅华, 李江荣, 罗大庆. 色季拉山急尖长苞冷杉林生长季倒木分解释放 CO<sub>2</sub> 通量动态特[J]. 河南农业科学, 2015, 44(1): 113-116.
- [11] Motta R, Berretti R, Lingua E, *et al.* Coarse woody debris, forest structure and regeneration in the Valbona Forest Reserve, Paneveggio, Italian Alps[J]. *Forest ecology and management*, 2006, 23(5): 155-163.
- [12] Gemma W, Rodney J. Kcoarse woody debris in Australian forest ecosystems: A review[J]. *Austral Ecology*, 2005, 30: 834-843.
- [13] Liu W H, Bryant D M, Hutyril R, *et al.* Woody debris contribution to the carbon budge of selectively jogged and maturing mid-atititude forests[J]. *Oecologia*, 2006,148(1):108-117.
- [14] 杨丽韞, 代力民, 张扬建. 长白山北坡暗针叶林倒木储量和分解的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1069-1071.
- [15] 刘兰英, 许颖, 谭晓燕, 等. 粮食及饲料中磷含量几种测定方法[J]. 黑龙江粮食, 2003(3): 33-34.
- [16] 郝卓敏. 土壤速效钾的测定[J]. 昭乌达蒙族师专学报(自然科学版), 2000, 21(3): 81-82.
- [17] 杜汉根, 蒋海萍. 原子吸收法测定工业废渣中 Ca、Mg、Fe 含量[J]. 浙江化工, 2000, 31(2): 49-51.
- [18] 张修玉, 管东生, 张海东. 广州三种森林粗死木质残体(CWD)的储量与分解特征[J]. 生态学报, 2009,29(10):5227-5236.
- [19] 宋泽伟, 唐建维. 西双版纳热带季节雨林的粗死木质残体及其养分元素[J]. 生态学杂志, 2008, 27(12): 2033-2041.
- [20] 刘翠玲, 潘存德, 梁瀛. 鳞毛蕨天山云杉林粗死木质残体贮量及其分解动态[J]. 干旱区地理, 2009, 32(2): 175-182.
- [21] 吕明和, 周国逸, 张德强, 等. 鼎湖山锥栗粗木质残体的分解和元素动态[J]. 热带亚热带植物学报, 2006, 14(2): 107-111.

[ 本文编校: 谢荣秀 ]