

# 阔叶红松林倒木贮量的变化规律

代力民,徐振邦,陈 华

(中国科学院沈阳应用生态研究所,沈阳 110015)

**摘要:**研究了长白山阔叶红松林倒木贮量的动态变化规律。阔叶红松林倒木贮量包括其现有倒木及其年输入量等贮量的变化规律。阔叶红松林现有倒木贮量开始为 16.25t/hm<sup>2</sup>,以后随时间减少,到 100a 后分解掉其干重的 85% 左右,300a 后所剩无几。倒木年输入量平均约为 0.6t/hm<sup>2</sup>,其贮量是随时间而增加,200a 后稳定在 31t/hm<sup>2</sup>,可保持到该群落的顶级时期。倒木总贮量的变化在初期呈增加趋势,而后随着现有倒木的完全分解,倒木贮量就与其倒木的年输入趋于一致,最后稳定在上述水平上。

**关键词:**阔叶红松林;倒木贮量;变化规律

## Storage dynamics of fallen trees in the broad-leaved and Korean pine mixed forest

DAI Li-Min, XU Zhen-Bang, CHEN Hua (Institution of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang 110015, China)

**Abstract:** A study was carried out the storage dynamics of fallen trees in the broad-leaved and Korean pine mixed forest in the Changbai Mountains, Jilin Province. The fallen trees storage dynamics includes the existing fallen trees and the annual input in the mixed forest. The existing storage of fallen trees was 16.25 t/hm<sup>2</sup> in the initial stage, then the storage reduced, after 100 years, 85% of the dry weight was decomposed and only a few left after 300 years. The average annual input of fallen trees was 0.6 t/hm<sup>2</sup>, it increased with the lapse of time and became 31.0 t/hm<sup>2</sup> after 200 years. It would maintain this amount until the climax community was over. The total storage of fallen trees increased in the early stage. In pace with the decomposition of fallen trees, the storage was identical with the annual input of fallen trees, and finally it would be stable.

**Key words:** the broad-leaved and Korean pine mixed forest; storage of fallen wood; dynamics

文章编号:1000-0933(2000)03-0412-05 中图分类号:Q145, Q948 文献标识码:A

森林倒木是森林生态系统的重要组成部分,是森林营养元素循环、土壤营养元素(特别是 N)矿化的重要环节;是森林 GCP 形成的主要方式;同时也是温带地区林木更新的主要方式。因此,颇受森林工作者和生态学家的注意,目前对倒木的研究也愈来愈重要<sup>[1,2]</sup>。

我国森林倒木的研究,始于 80 年代初,最早是在长白山温带森林生态系统的研究工作中,特别是在红松阔叶混交林中对于林木的死亡、倒木的现有贮量、森林粗死木质物的分解动态及树桩的分解过程等,陆续开展了不少的调查研究<sup>[4~7]</sup>,在我国森林倒木的研究工作中起着先锋的作用。至于森林贮量的动态研究,开始较晚,在最近时期才见报道<sup>[3]</sup>,这主要是由于该研究工作复杂性和庞大的工作量所造成的。本研究是在以前积累的基础上进行的,在于弥补长白山森林生态系统研究中有关这一方面工作的不足。

### 1 研究地区与方法

#### 1.1 阔叶红松林的自然情况

长白山阔叶红松林分布于海拔 500~1000m 之间的玄武岩底地上。土壤为暗棕色森林土,发育于火山灰沙砾上。主要树种为红松(*Pinus koraiensis*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、糠椴(*Tilia mandshurica*)、水曲柳

基金项目:国家自然科学基金资助项目(39670144)

收稿日期:1999-12-06 修回日期:1999-07-30

作者简介:代力民(1960~),男,研究员。

万方数据

(*Fraxinus mondshires*)、色木(*Acer mono*)等。红松按蓄积计算通常可达 60% 以上,多的达 70%~80%,其余为椴树等阔叶树。林分蓄积量通常为 350~400m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。在长白山自然保护区的大洋岔地区有两块标准地,由于这里林分的年龄较大,约为 350~400a,所以林木的死亡量也较大,每公顷林地倒木总体积可达 40~50m<sup>3</sup>。Ⅱ、Ⅲ级腐烂占 75%,Ⅰ级腐烂约占 15%,Ⅳ,Ⅴ级占比重较少。

1.2 研究方法

1.2.1 不同分解年龄红松、椴树以及其它树种倒木样品的采集和处理 从和平林场和黄松蒲林地选择生境相似但采伐年代不同的阔叶红松林择伐林,林内残留的没有心腐的倒木段,可以认为是当年采伐留下的新鲜倒木,因此这些倒木的分解年龄就很容易从该林分的采伐时间推算出来。据此方法选到的红松倒木共 36 株,它们的分解年龄分别为 0、1、3、15、45、128、207 和 261a。椴树倒木样品的分解年龄为 0、5、15、16、22、102、144 和 177a,共 24 株。一般用油锯取厚度为 5cm 的倒木圆盘,对腐烂较为严重的树木,可用已知容积的铝盒采样,然后标号入袋,带回实验室供作倒木密度和营养元素测定分析。倒木密度测定采用常规的烘干恒重法,首先用排水法测定倒木样品的体积,测 3 次求其平均值,然后把样品切成小块,放在温度控制在 70~80℃ 的烘箱内,两次称重差值小于 5mg,就算达到恒重。

1.2.2 倒木年输入量的研究 在 1979 年建立的 3 块永久性阔叶红松林固定标准地上进行每木调查,查数挂牌的死亡树木,记载死亡木的名称、胸径及相应倒木长度(*h*)与死亡木总长度(*H*)的比值。死亡林木的生物量,用树干生物量的回归方程计算,求出林木年死亡量(*W*),然后根据  $W1 = (h/H) \times W$  推算进入林地部分倒木年输入量(*W1*)。

2 结果与分析

2.1 森林倒木的形成及其贮量动态的数学模型

森林和自然界一切生物一样,是从更新、生长、发育、成熟、直至衰老死亡,最后又回归于自然。但是森林的死亡,并不是到林木发育或成熟衰老时才开始的。森林的自然稀疏现象伴随森林生长发育的整个过程。由于林木间存在着寿命的差异,因此,即使是同龄的森林到了成熟衰老阶段,林中的树木通常也不是在短期内一下子枯死。阔叶红松林也不例外,从发育的初期直到成熟,都伴随着自然稀疏。造成这种现象除了林木自身的遗传因素外,大部分是由各种病虫害、人为干扰、动物危害、林木间的竞争以及各种自然灾害等,都可以致使一些林木中途死亡。由于幼年林木抵抗逆境的能力较弱,往往其死亡的数量也较多。因此,阔叶红松林中各径级倒木数量占倒木总数量之比或各径级倒木数量占其相应径级活立木株数之比,均以小径级倒木所占的比重较大,随着倒木或活立木的径级增加,其倒木的比重也显然减少(图 1)。倒木的优势径级是在 10~

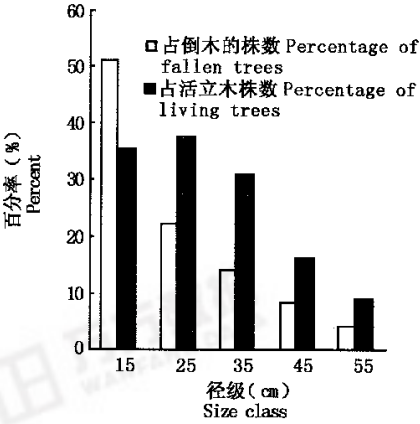


图 1 阔叶红松林倒木按径级分配及其占相应径级活立木株数的 %

Fig. 1 Percentage of size-class partition of fallen wood in broad-leaved mixed Korean pine forest

40cm 之间,倒木在活立地中出现的径级也是在 10~40cm 之间为最多。这种现象在过去研究红松林木的自然稀疏过程中也发现过<sup>[8]</sup>。在复层异龄的阔叶红松林中各个龄级和各个径级的林木都有倒木出现,多数倒木的径级多在 30cm 左右。林地不但有倒木存在,而且新的倒木还不断产生。因此,森林倒木贮量动态,包括两个组成部分,即现有倒木贮量和倒木的年输入量。所谓现有倒木贮量是指调查时,林地上现存的倒木总蓄积或其干重,它包含林地上各个时期死亡并进入林地的死树或其大的枝干。这些倒木的分解程度不同,腐烂程度各异。倒木的年输入量是指调查后,每年新增添倒木的总蓄积或其干重。因此,阔叶红松林倒木贮量动态的数学模型包括现有倒木贮量动态模型、倒木的年输入的贮量动态模型及其综合模型。

2.1.1 现有倒木的贮量分解动态模型 如果知道现有倒木的生物量或干重及其分解到确定程度时的分解率,则现有倒木的贮量动态模型应为:

万方数据

$$W = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m G_{ji} P_{ji}^n$$

当现有倒木贮量系由多种树种组成时,其贮量动态模型为公式:

$$W = \sum_{i=1}^M G_i P_i^n \quad (1)$$

式中  $W$  为现有倒木的动态贮量;  $G$  为现有倒木生物量或干重;  $P$  为倒木分解到确定状态时的分解率;  $m$  为倒木数量(个);  $N$  为倒木树种;  $j, i$  分别为倒木树种和数量的序号,  $j=1, 2, \dots, n; i=1, 2, \dots, m; n$  为分解年龄。

**2.1.2 倒木年输入量的贮量分解动态模型** 假设林地倒木年输入量的分解动态为  $T, T_{1a}=H_1 P_1^n, T_{2a}=H_2 P_2^n, \dots, T_{na}=H_n P_n^n$ , 则:

$$T = \sum_{i=1}^m H_i (P_i^n + P_i^{n-1} + \dots + K P_i^1) = \sum_{i=1}^m H_i \frac{1 - P_i^n}{P_i - 1}$$

式中  $H$  为倒木的年输入量;  $P$  为倒木分解到确定腐烂程度时的分解率;  $m$  为倒木数量;  $i$  为倒木数量的序号,  $i=1, 2, \dots, m; n$  为分解年龄。

阔叶红松林是有多种树组成的,倒木也是由若干树种构成的,因此,上式可以写成为公式:

$$T = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m H_{ji} \frac{1 - P_{ji}^n}{P_{ji} - 1} \quad (2)$$

式中  $j$  为倒木树种序号,  $j=1, 2, \dots, n$ ; 其它符号同上式。

**2.1.3 倒木贮量动态模型** 根据以上所述,阔叶红松林倒木贮量动态模型( $Z$ )应是现有倒木的动态贮量( $W$ )与倒木年输入量的动态贮量( $T$ )之和为公式:

$$Z = W + T = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m G_{ji} P_{ji}^n + \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m H_{ji} \frac{1 - P_{ji}^n}{P_{ji} - 1} \quad (3)$$

## 2.2 阔叶红松林倒木贮量动态

**2.2.1 现有倒木贮量动态** 根据调查研究,阔叶红松林现有倒木的数量、干重及其分解率列于表 1。根据表 1 的资料和公式(1)的计算结果,从图 2 中可以明显看出,现有倒木的贮量随着时间会很快分解,在分解到 100a 时大部分倒木都分解掉。椴树等阔叶树完全分解约为 430a,红松分解较慢,到 910a 时尚剩下干重的 3%。现有倒木分解的过程,在不同分解时期倒木木材干重占未分解时木材干重百分比比较明显。如图 3 所示,红松在 50a 内可分解掉其干重的 72.2%;椴树在 50a 内可分解掉 81.2%;其它阔叶树倒木 50a 内分解掉 86.2%。100a 以后,各种现有倒木贮量均所剩无几,红松因分解较慢余下仅有 7.5% 未分解,椴树和其他阔叶树分别仅残存 2%~3%。总贮量因包括有红松和椴树等阔叶树的成分,所以分解的速度居中,100a 时只剩下原来干重的 14.7%。到了 300a 时红松、椴树、其他阔叶树和总贮量分别只剩原来生物量的 0.3%、0.01%、0.007% 和 0.1%。

倒木年输入量的贮量动态从图 4 清楚地看到,在分解初期林地倒木输入量的贮量呈增长趋势,然后逐渐增加,约 100a 以后增长的趋势变缓,到 200a 以后趋于稳定,这时每公顷林地上年输入的倒木贮量可达 31t,以后稳定在 31.70t/hm<sup>2</sup>,这种状态一直可持续到森林群落走到顶级时期。比阔叶红松林林地现有倒木贮量 16.23t/hm<sup>2</sup> 约多 15.5t。

**2.2.3 倒木贮量的动态** 林地倒木贮量的动态是综合林地现有倒木贮量和林地倒木年输入量动态的结果,从图 5 可以清楚地看到,倒木贮量从分解初期贮量较少,而后逐渐增加,到 150a 时趋于稳定,往后 1hm<sup>2</sup> 林地倒木贮量维持在 31t,这个时期持续很长,直到林分结束其顶级阶段。

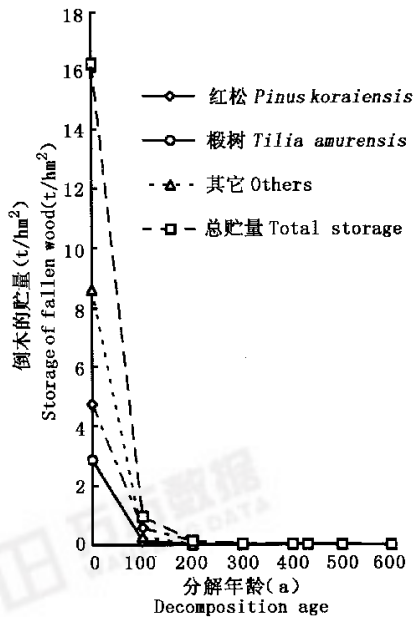


图 2 阔叶红松林现有倒木贮量动态

Fig. 2 Dynamics of existing fallen wood storage in broad-leaved mixed Korean pine forest

表 1 阔叶红松林现有倒木贮量及其分解率(%)

| Table 1 Existing storage and decomposition rate of fallen wood in the broad-leaved and Korean pine mixed forest |               |                       |                               |              |                       |                               |                        |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------|-------------------------------|--------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------------|
| 树 种<br>Species                                                                                                  | 数 量<br>Number | 生物量<br>Biomass<br>(t) | 分辨率<br>Resolving<br>power (%) | 数量<br>Number | 生物量<br>Biomass<br>(t) | 分辨率<br>Resolving<br>power (%) | 总数量<br>Total<br>number | 总生物量<br>Total<br>biomass (t) |
| 红 松 <i>Pinus<br/>koraensis</i>                                                                                  | 1             | 0.71                  | 0.98646                       | 7            | 0.126                 | 0.97558                       | 33                     | 4.75                         |
|                                                                                                                 | 3             | 0.453                 | 0.98448                       | 17           | 0.032                 | 0.97532                       |                        |                              |
|                                                                                                                 | 5             | 0.252                 | 0.98323                       |              |                       |                               |                        |                              |
| 椴树 <i>Tilia<br/>amurensis</i>                                                                                   | 1             | 0.87                  | 0.97110                       | 3            | 0.24                  | 0.97003                       | 12                     | 2.87                         |
|                                                                                                                 | 1             | 0.58                  | 0.97034                       | 6            | 0.0583                | 0.96788                       |                        |                              |
|                                                                                                                 | 1             | 0.35                  | 0.97019                       |              |                       |                               |                        |                              |
|                                                                                                                 | 2             | 0.765                 | 0.97110                       | 11           | 0.153                 | 0.97003                       |                        |                              |
| 其他 Others                                                                                                       | 4             | 0.51                  | 0.97034                       | 25           | 0.05                  | 0.96788                       | 49                     | 8.63                         |
|                                                                                                                 | 7             | 0.31                  | 0.97019                       |              |                       |                               |                        |                              |
|                                                                                                                 |               |                       |                               |              |                       |                               | 94                     | 16.25                        |

2.2.2 倒木年输入量的贮量动态 根据研究,长白山阔叶红松群落中倒木的年死亡率各种类型不尽相同,如下表所示。这里取 0.65 进行计算,按照现有林木的组成,红松约占 60%,阔叶树占 40%,根据公式(2),林地倒木年输入量的分解动态  $T$  为:

$$T = 0.39 \frac{(1 - 0.9824^n)}{(0.9824^{-1} - 1)} + 0.26 \frac{(1 - 0.97457^N)}{(0.97457^{-1} - 1)}$$

表 2 不同森林类型林木死亡率  
Table 2 Mortality of difference forest

| 森林类型<br>Forest type | 调查地点<br>Survey site | 海拔<br>Elevation<br>(m) | 面积<br>Area<br>(hm <sup>2</sup> ) | 复查期限<br>Reexamine<br>time(a) | 死树株数<br>Dead trees | 林木年死亡率 Forest<br>mortality every year (hm <sup>-2</sup> ) |                    |
|---------------------|---------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------|
|                     |                     |                        |                                  |                              |                    | 株数<br>Number                                              | 生物量<br>Biomass (t) |
| 红松阔叶林               | No. 1               | 740                    | 1                                | 9                            | 9                  | 1.0                                                       | 0.66               |
| 红松阔叶林               | 参地                  | 740                    | 1                                | 9                            | 3                  | 0.3                                                       | 0.46               |
| 红松阔叶林               | 小桥                  | 740                    | 1                                | 9                            | 4                  | 0.4                                                       | 0.15               |
| 红松阔叶林               | 大杨岔                 | 740                    | 1                                | 9                            | 19                 | 2.1                                                       | 1.23               |

林地倒木贮量在初期呈增长趋势,主要是由倒木年输入量造成的。到了林地现有倒木贮量完全分解以后,倒木贮量就完全由倒木年输入量来提供。林地倒木年输入量达到稳定时,倒木贮量也就趋于稳定状态。

2.3 阔叶红松林倒木贮量动态的特点

阔叶红松林与红松阔叶林,由于其基本的环境比较接近,林地倒木的动态规律也较为相似<sup>[9]</sup>。现有倒木贮量都是遵循着一般的法则而减少,而且绝大部分木材都是在 100a 内分解掉,年输入的倒木贮量都是开始阶段增加,到了 300a 后稳定于某一数值,并且可持续到群落顶级时期的结束。但是,应该说阔叶红松林倒木贮量动态有其自己的特点,即不论是现有倒木贮量或每年输入量的倒木贮量,在分解过程中,特别是在分解初始时期均维持在较高的水平,并且高于同时期红松阔叶林相应的两个贮量<sup>[9]</sup>。阔叶红松林年输入的倒木贮量约为红松阔叶林的两倍。造成这种现象的直接原因是,前者倒木年输入量比后者约大 1 倍,这是由于阔叶红松林处于成熟时期,每年均有较多林木死亡,而且在倒木年输入量中分解慢的红松占较大比重。

值得注意的是,现有倒木贮量完全分解所需要的时间在这两个类型的森林中几乎是一致的。两者均需 100a 左右,而且年输入倒木的贮量这两个类型都在 300a 左右达到稳定的。这是由于这两个类型林分树种的成分相同、环境条件相似以及相似的木材分解过程所造成的。

此外,现有倒木完全分解的时程完全取决于组成的分解速率慢的树种及其径级的大小。林分中木材分解慢的红松所占比例愈大,其倒木贮量分解的进程也愈慢,倒木完全分解所需要的时程也愈长。

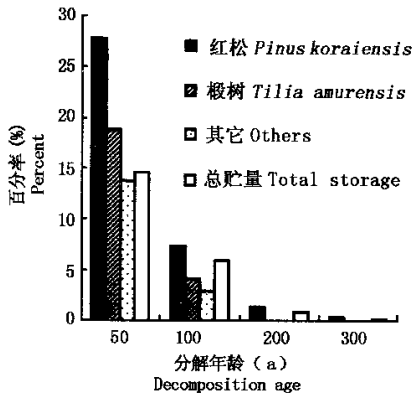


图 3 阔叶红松林不同分解时期各种倒木木材干重占未分解时%

Fig. 3 Dry weight percentage of fallen wood at different decomposition age in broad-leaved mixed Korean pine forest

(1) 阔叶红松林倒木的贮量比较大,  $1\text{hm}^2$  蓄积约有  $10\text{m}^3$  或  $10\text{t}$  的木材干重。

(2) 阔叶红松林倒木贮量的动态是遵循各种木材分解的一般法则, 林地现有倒木贮量是随时间而减少,  $100\text{a}$  可分解掉木材干重的  $86\%$ 。每年输入倒木的贮量, 由于年输入量大于其年分解量, 所以随时间呈增长趋势, 但  $100\text{a}$  后增长减缓,  $200\text{a}$  后就稳定在  $31\text{t}/\text{hm}^2$ , 一直可持续到森林顶级阶段的结束。倒木总贮量的动态趋势与倒木年输入的贮量动态趋势相似, 从开始时增加, 往后趋于稳定, 最终稳定在  $31\text{t}/\text{hm}^2$ 。

(3) 倒木贮量变化不仅取决于现有倒木贮量和倒木年输入量的多少, 还取决倒木组成的树种及径级粗细。不易分解的树种如红松倒木成分愈多, 倒木分解速度愈慢。阔叶树倒木比红松倒木分解的速度要快得多。

## 参考文献

- [1] Harmon M E, et al. Ecology of Course Woody Debris in Temperate Ecosystems. *Adv. Ecol. Res* 1986, **15**: 133~276.
- [2] Franklin J F, Shugart H H and Harmon M F. Tree death as an ecological process. *Bioscience* 1987, **37**: 550~556.
- [3] Xu Zhenbang, Dai Limin. Fallen wood decomposition of *Pinus koraiensis* and *Tilia amurensis*. *Journal of Forestry Research*. 1998, **9**(3): 195~198.
- [4] HEAL, 程伯容, 等. 长白山落叶松和红松树桩分解过程. *森林生态系统研究*, 1983, **3**: 225~234.
- [5] 郝占庆, 等. 木质物残体在森林生态系统中的功能评述. *生态学进展*, 1989, **6**: 179~183.
- [6] 陈 华, 等. 长白山红松针阔混交林林木死亡的初步研究. *应用生态学报*, 1991, **2**(1): 89~91.
- [7] 陈 华, 等. 温带森林生态系统粗死木质物动态的研究. *应用生态学报*, 1992, **3**(2): 99~104.
- [8] 王 战, 徐振邦, 等. 东北阔叶红松林择伐后林木生长规律的研究. *森林管理经营永续利用*. 北京: 中国林业出版社, 1982.

万方数据

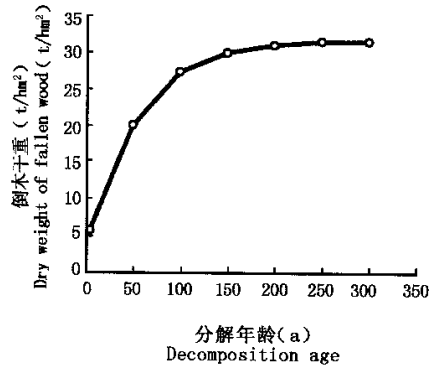


图 4 阔叶红松林林地倒木年输入量的分解动态

Fig. 4 Decomposition dynamics of annual fallen wood input in broad-leaved mixed Korean pine forest

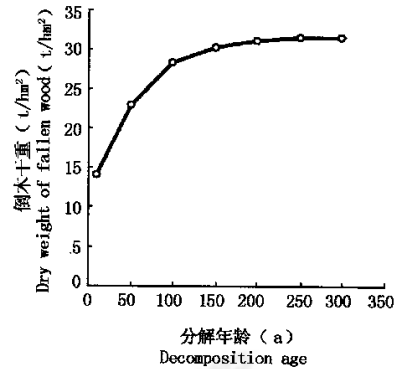


图 5 阔叶红松林倒木贮量动态

Fig. 5 Storage dynamics of fallen wood in broad-leaved mixed Korean pine forest