

红松针叶的凋落及其分解速率研究

代力民, 徐振邦, 张扬建, 陈 华

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

摘要:在长白山森林生态系统研究中,对红松(*Pinus koraiensis*)针叶凋落情况及其分解过程进行研究,表明,红松针叶一般可存活 3~4a,调查中存活最长的为 6a。红松针叶的寿命与光照密切相关,在针叶密集及透光不足的地方针叶寿命较短。红松针叶凋落后,在林地上分解较快,一般 4a 后其干重保持率为 16.6%。模拟实验证明,红松针叶的分解率与海拔和植被类型密切相关。在海拔低的红松阔叶林下,因气温高,分解较快;在海拔较高的云冷杉红松林和岳桦林中分解速度变慢;在高山苔原带分解最慢。

关键词:红松针叶;凋落;分解率

Study on decomposition rate and fall of *Pinus koraiensis* needle

DAI Li-Min, XU Zhen-Bang, ZHANG Yang-Jian, CHEN Hua (Institution of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015)

Abstract: The study on fall and decomposition of *Pinus korainsis* needle is deficient in Changbai Mountain forest ecosystem. This article fills the need through investigations and experiments. The results show that *Pinus korainsis* needle usually lives for 3~4 years, and the longest is 6 years. The longevity has close relation with light. Needle decomposes faster in shady place where light is lack. After the needle falls, its decomposition becomes faster. Dry weight remains 16.6% after four-year decomposition which concerns with altitude and vegetation type. The simulation experiment shows that the decomposition is fast in *Pinus koraiensis* broad-leaved forest because of high temperature and low altitude, and it is slow in dark coniferous forest and *Betula ermanii* forest and slowest at Alpine tundra belt.

Key words: *Pinus koraiensis* needle; fall; decomposition rate

文章编号:1000-0933(2001)08-1296-05 中图分类号:S718 文献标识码:A

红松针叶的凋落和分解是红松养分归还土壤的一种形式。每年红松阔叶林都有大量红松的落叶。根据研究^[1],长白山红松阔叶林红松针叶年生物量每公顷约 0.491t,占林地树叶总生产量约 23%。所以了解红松针叶凋落及其分解,对于研究森林养分归还量是很重要的。对树叶分解速率的研究,早已倍受关注。在 20 世纪 60 年代初期就提出了用衰减指数回归方程 e^{-RT} 来描述各种树叶的分解动态规律^[2]。我国这方面最早是出现在长白山森林生态系统的研究中,并提出一些落叶的分解模型^[3~5]。为了解更长时期的分解情况和生态因子对分解的影响,在上述工作的基础上,于 1991 年又进一步开展了各种树种落叶的分解进程研究。这里仅对红松针叶这一方面的研究结果,进行介绍。

1 研究地区的自然地理条件与研究方法

1.1 研究地区自然地理条件

实验是在长白山自然保护区内,于长白山北坡进行的。该地区地势复杂,树种繁多,森林资源丰富。属于东北亚典型的地带性植被,以红松阔叶林为主。依海拔上升,形成明显的 5 个植被垂直带^[6,7]。500~

基金项目:973 项目(G199904307-1)及中国科学院知识创新项目(KZCX2-406-13)资助

收稿日期:1999-11-23;修订日期:2000-07-15

作者简介:代力民,男,沈阳人,博士,研究员。主要从事森林生态和森林经营的研究

1100m 为阔叶红松林,土壤为山地暗棕色森林土,树种以红松为主,伴生树种有椴树(*Tilia amurensis*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、春榆(*Ulmus propinqua*)等。1100~1300m 针叶混交林,土壤为山地棕色针叶林土,树种有红松、红皮云杉(*Picea koraiensis*)、鱼鳞云杉(*P. jezoensis*)、长白落叶松(*Larix olgensis*)及长白赤松(*Pinus sylvestriiformis*)等。1300~1800m 为暗针叶林,土壤为山地棕色针叶林土。主要树种有云杉、臭冷杉(*Abies nephrolepis*),局部有落叶松占优势。阔叶树以岳桦(*Betula ermani*)为主。1800~2000 为岳桦林,土壤为山地生草森林土,树种以岳桦为主。2000m 以上为高山冻原,山地苔原土,植物以牛皮杜鹃(*Rhododendron aureum*),笃斯越桔(*Vaccinium uliginosum*)等为主。此外,有宽叶仙女木(*Dryas octopetala* L. var. *asiatica*),大白花地榆(*Sanguisorba sitchensis*)等。

该地区气候冬冷积雪,夏暖多雨,春干风大,秋凉多雾。垂直气候结构明显。年平均气温在 4.9~7.3℃ 之间,年雨量一般从 600~900mm,山顶可达 1340mm^[5]。

1.2 研究方法

实验研究是从 1991 年秋季开始的,调查了红松针叶的凋落规律并设置了解析实验,实验分不同分解年份和不同方式进行。分解年份分 1、2、3、4 等 4 类,方式分为不同自然地理条件、光照和水分条件 3 种方式。不同光照和水分条件是在定位站内实验区上进行的。光照是用 3cm 宽的木条做成的蔽荫格,其透光度分 100%、20%、60%、40%、20%及 0%等 6 级。水分条件也分为 5 级,1 级为对照,不浇水的;2 级是在生长季节即 5~9 月份间,每半月浇 500ml 水;3 级是每半月浇 1000ml 水;4 级浇 1500ml;5 级浇 2000ml。每种实验方式中由两组红松针叶样品组成,样品干重为 5.01~5.96g。样品是放在尼龙网袋里,网眼为 1mm²,然后模仿自然落叶状态放在实验区的地表上。每年秋末取出烘干,并测量针叶的干重。针叶的分解量采用通用的失重法进行,根据测量的干重,求出样品的保存系数或保存率,同时用衰减指数回归,求出分解常数^[2,9,10]。上述各项实验是从 1991 年秋季开始至 1995 年秋季,共经历 4a。同时,还收集了实验期间各植被带实验地气候因子的观测资料,以供分析时参考。

2 结果与分析

2.1 红松针叶的凋落规律

根据 6 株立木调查的结果,红松针叶寿命长者可达 6a。如图 1 所示,能存活 6a 的针叶仅占调查总量的 1.5%,而且还是光照条件好的地方。在光照充足的地方,1~3 年生的针叶,正常情况没有凋落现象。到了第 4 年平均就有 6.5%的针叶开始凋落。红松针叶一旦开始落叶,其速度非常快,在 1~2a 内就可落光。第 5 年可落掉一半,到了第 6 年时,剩下寥寥无几。在调查中,尚未见到存活 7a 以上的红松针叶。红松针叶的存活率也与其生存条件有极大的关系,图 2 是在针叶浓密的部位或林冠强度蔽荫地方调查的结果。这里可以看到大部分针叶仅能生存到第 3 年。针叶生长到第 2 年即有 23.1%开始凋落,第 3 年凋落量增大,达到当年枝条针叶生长总量的 38.5%。在这样地方,没有见到存活 4a 以上的针叶。这种情况,多数发生在红松树冠的下部。红松针叶这种短暂的生命和快速凋落的特性,保证了林地上红松针叶的来源,针叶分解为林地提供丰富的物质基础和足够养分的归还。

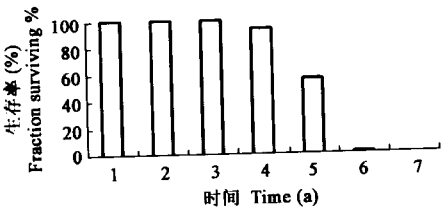


图 1 在光照条件好的地方红松针叶生存的年限
Fig. 1 longevity of needle-leaf under enough illumination

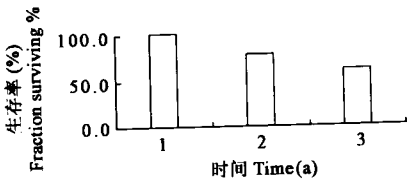


图 2 在蔽荫下红松针叶生存的年限
Fig. 2 longevity of needle-leaf in shade

万方数据

2.2 红松针叶的分解

2.2.1 红松阔叶林红松针叶的分解速率 (1)红松针叶一般分解的情况 在定位站的实验区内(红松阔叶林),红松针叶分解实验的结果,可用指数衰减方程 $y = e^{-BX}$ 表达,其分解常数 B 为 -0.448 及其相关系数 r 为 -0.9590 。红松针叶的干重变化是随时间而减少。1g 干重的红松针叶,分解到 0.001g 时所需要的时间一般为 $15a$ (图 3)。

(2)不同光照条件红松针叶的分解速率 实验结果列于表 1,从表中可以知道,实验后第 1 年以 80% 和 20% 光照度的针叶分解较快。第 2 年以全光、 80% 及 20% 的分解较快。但到了第 3 年,则蔽荫愈大,其分解速度愈快。总之,从实验的情况来看,光照强度对红松针叶分解的影响不太明显。这也充分说明,实验区光照强度并非红松针叶分解的主导因子。

需要指出,与红松阔叶林下实验结果相比,实验区针叶分解的速率要慢的多,尤其是到分解的第 2 年和第 3 年二者的差异就更加明显。实验区红松针叶分解的速率要分别比红松阔叶林林下的实验慢 $2.3\sim 2.5$ 倍和 $2.3\sim 3.6$ 倍。这说明前者红松针叶分解条件远不如后者的好。

表 1 不同光照条件红松针叶分解的平均保存系数*
Table 1 Average preservation coefficient of decomposition of *Pinus koraiensis* needle-leaf at different illumination

光照强度 Intensity of illumination %	分解年龄 Decomposition age		
	1	2	3
100	0.8405	0.7544	0.7192
80	0.8306	0.7437	0.6908
60	0.9008	0.7895	0.7042
40	0.8548	0.8240	0.8345
20	0.8049	0.7544	0.6961
0	0.8832	0.8289	0.5369

* 指叶分解后剩余量占供试叶量的百分比(%)

表 2 红松叶分解实验结果
Table 2 Decomposition test of *Pinus koraiensis* needle-leaf

浇水量(ml)	3a 平均保存系数 Average preserve coefficient in three years
Irrigation	
500	0.7143
1000	0.7042
1500	0.6998
2000	0.7049
对照 Control	0.7865

被类型红松针叶的分解进程差异很大,其中以云冷杉林的为最快,分解常数为 -0.402 ,岳桦红松林次之,分解常数为 -0.202 ,岳桦林的居第 3 位,为 -0.185 ,分解最慢属于高山苔原植被类型,其分解常数为 -0.154 。岳桦云冷杉林、岳桦林和高山冻原植被其红松针叶分解速度比云冷杉红松林分别慢约 2 倍、2.2 倍和 2.6 倍。如果和分解最快的红松阔叶林的相比,在分解最慢的高山苔原,红松针叶分解速度下降约 3 倍。

图 4 是各植被类型中 1g 红松针叶分解到 0.001g 时一般所需时间。从图中可以看出,同样重量的红松

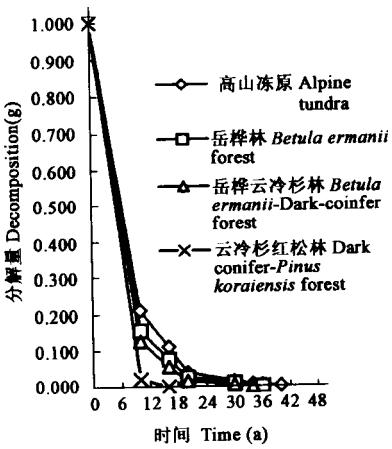


图 3 1g 红松针叶分解到 0.001g 所需要时间
Fig. 3 Time cost by decomposition of *Pinus koraiensis* from 1g to 0.001g

(3)不同水分条件下红松针叶的分解情况 与上述光照条件相比,水分条件在实验区对红松针叶分解的影响要明显的多。表 2 为 3a 来红松针叶分解实验的结果。从表中可以清楚的看出,定期浇水的针叶分解速度都比没有浇水的快,其干重的损失大。而浇水 1000ml 要比浇水 500ml 的快,浇水 1500ml 又比浇水 1000ml 的快。浇 2000ml 的虽不比 1500ml 快,却与浇水 1000ml 的相仿,均比对照的分解快。针叶的分解系数与浇水的数量呈显著的对数回归相关,其相关系数 $r = -0.9952$ 。可见在实验区水分条件对红松针叶的分解起着重要作用。可能是因为实验区周围没有高大立林遮挡,湿度较干,而且土壤为火山灰,保水性能差,雨后水分很快流失,所以土壤干燥,不利针叶分解,而定期浇水,则改善了分解环境。

2.2.2 在其它植被类型下红松针叶分解的情况
(1)在不同植被类型下红松针叶的分解速率 不同植被类型红松针叶的分解,从表 3 可以看出,各植

表 3 不同植被类型下红松针叶的分解常数(B)及相关系数(r)

Table 3 Decomposition constant and correlation coefficient needle-leaf of *Pine koraiensis* at different vegetation type

植被类型 Vegetation type	标准地号 No.	B	r
云冷杉红松林 Dark coniferous forest	2	-0.402	-0.9209
岳桦云冷杉林 <i>Betula ermanii</i> / conifer forest	3	-0.202	-0.9575
岳桦林 <i>Betula ermanii</i> forest	4	-0.185	-0.9515
高山苔原 Alpine tundra	5	-0.154	-0.8424

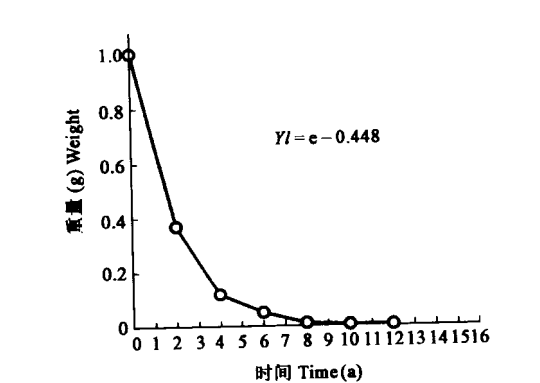


图 4 各植被类型 1g 红松针叶分解到 0.001g 时的分解过程

Fig. 4 Decomposition of *Pinus koraiensis* from 1g to 0.001g at different vegetation type

表 4 各植被带生长期的积温($^{\circ}\text{C}$)

Table 4 Accumulated temperature in growth phase at different vegetation type

植被类型 Vegetation type	海拔 Altitude	积温 Accumulated temperature
红松阔叶林 Broad-leaved/ <i>Pine koraiensis</i>	740	3121.6
云冷杉红松林 Conifer- forest	1350	1777.9
岳桦云冷杉林 <i>Betula ermanii</i> /conifer forest	1620	1618.1
岳桦林 <i>Betula ermanii</i> forest	1990	1268.7
高山苔原 Alpine tundra	2260	824.7

有利于红松针叶的分解。

2.3.2 红松针叶的分解与湿度条件 图 6 为在不同植被类型实验点中生长期各月份平均湿度的情况,从图 6 中可以看出,各实验点间相对湿度变化不大,其中 2 号实验点云冷杉红松林的相对湿度略高于其他各植被类型,其月平均相对湿度变动在 83%~92%之间,最高在 9 月份可达到 92.3%。月平均相对湿度最低的为 69%~86%。其余的各植被类型实验点一般都在 70%~92%之间。月平均湿度的相似性,说明其对红松针叶分解速度的影响不大。

2.3.3 红松针叶分解与降雨条件 降雨条件是造成各植被带湿度与水分条件变化的重要因子。长白山森林生态系统水分条件与海拔高度的相关^[11],各植被带实验点的降雨条件如图 7 所示。生长期从 6~9 月份

针叶分解到 0.001g 时,在不同植被类型中是有差异的。在云冷杉红松林中需 16a,岳桦云冷杉林则需要 34a,而在苔原植被带则需要 44a。其中岳桦云冷杉林与岳桦林分解速度相差不大。如与前述的红松阔叶林下实验相比,分解最快的还属于后者的针叶。

2.3 影响红松针叶分解因子的分析

2.3.1 红松针叶分解与温度条件 从图 5 可知这 5 块实验地植物生长季节月平均气温的变化是很大的。以红松阔叶林月平均气温最高,依次是云冷杉红松林,岳桦云冷杉林,岳桦林,最低的是高山苔原带。在

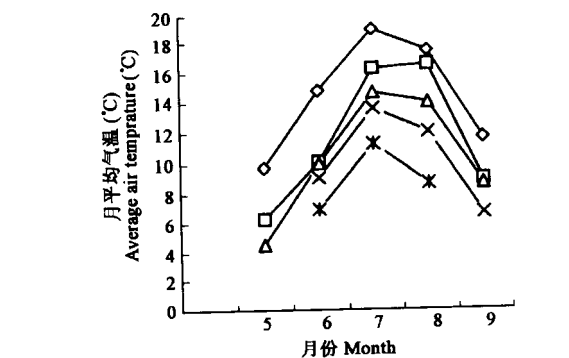


图 5 不同实验地生长期月平均气温($^{\circ}\text{C}$)

Fig. 5 Average temperature in growth season at different sample plot

红松阔叶林中,5 月份平均气温为 9.7°C ,而高海拔的苔原带 6 月份平均温度才达到 6.9°C 。生长期气温最高的 7 月份,红松阔叶林月平均气温为 18.9°C ,而高山苔原仅为 11.3°C 。因此,在红松阔叶林带红松针叶分解快,主要是由于该带生长季气温高于其它各带。随着各植被带气温下降,针叶分解的速度也就变慢。这在各植被带生长期 $>5^{\circ}\text{C}$ 的积温变化中更加明显(表 4)。红松阔叶林生长期积温分别约为云冷杉红松林、岳桦云冷杉林、岳桦林和高山苔原带的 1.8、1.9、2.5 和 3.8 倍。因此,海拔愈低、气温愈高的地方,愈

图 6 为在不同植被类型实验点中生长期各月份平均湿度的情况,从图 6 中可以看出,各实验点间相对湿度变化不大,其中 2 号实验点云冷杉红松林的相对湿度略高于其他各植被类型,其月平均相对湿度变动在 83%~92%之间,最高在 9 月份可达到 92.3%。月平均相对湿度最低的为 69%~86%。其余的各植被类型实验点一般都在 70%~92%之间。月平均湿度的相似性,说明其对红松针叶分解速度的影响不大。

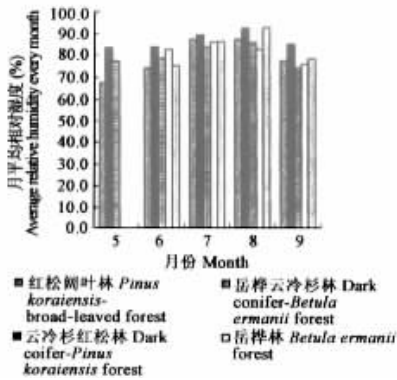


图 6 不同植被类型实验地生长期月平均湿度
Fig. 6 Average humidity every month in growth season at different vegetation type

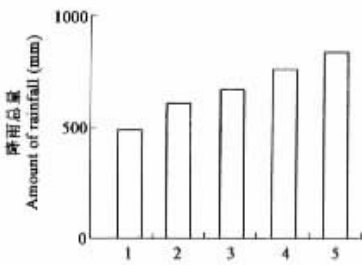


图 7 不同植被实验地 6~9 月的降雨总量
Fig. 7 Amount of rainfall from June to September at different vegetation type

各实验点的降雨量差异是悬殊的。以红松阔叶林为最少,489.9mm,其次是云冷杉红松林,为 607.8mm,其后依次增高的是岳桦云冷杉林,岳桦林,最高的为高山苔原带,达 838.5mm,显然降雨量是随海拔高度增高而增加。实验点是在高山苔原的下部,其顶部降雨量还要多,可达 1340.4mm。生长期各地带降雨量的充足说明,水分条件不是导致红松针叶分解差异的主要原因。这里造成针叶分解差异的主要因子应该是热量条件。

3 小结

(1)红松针叶长出后,当年秋季不落叶,一般可以保留 3a 左右,最长的可达 6a 之久。红松针叶寿命与环境条件有很大关系,在光照充足的地方,可存活的时间长。而在光照条件不足,特别是枝叶密集,阴暗的地方,其存活的时间则短。(2)研究表明,红松针叶分解进程,可以用指数衰减方程来表达。一般红松阔叶林红松针叶分解常数为-0.448。(3)在红松阔叶林带没有森林覆盖的实验区研究证明,水分条件对红松针叶分解影响较为显著。光照条件变化的影响甚微。(4)红松针叶分解的保存率随自然条件而异。以红松阔叶林下针叶分解最快,分解进程随海拔升高而减缓。(5)在红松阔叶林中,1 g 干重的针叶分解到 0.001g 时一般要 15a 左右。(6)与过去的实验相比,实验结果分解速率较快,分解到一半时需要 1a,约快 1a 或 2a,这可能与实验的年份不同气候条件有关。

参考文献

[1] 程伯容,等. 长白山阔叶红松林生物养分循环,森林生态系统研究,1992,(6): 185~193.
[2] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 1963,44 (2):322~331.
[3] 许广山,程伯容,丁桂芳,等. 红松阔叶林凋落物的积累与分解特征,森林生态系统研究,1995,(7):55~61.
[4] 杨发柱,徐振邦,代洪才,等. 长白山阔叶红松林主要树种落叶的分解与土壤动物变化的规律. 森林生态系统研究, 1995,(7):117~121.
[5] 杨明宪,张荣祖,马树才. 土壤动物对凋落物分解作用的数学模型,生态学报,1995,15(Supp):120~124.
[6] 王 战,徐振邦,戴洪才,等. 长白山北坡主要森林类型及其群落结构特点. 森林生态系统研究, 1980,(1):25~42.
[7] 许广山,丁桂芳,张玉华,等. 长白山北坡主要森林土壤有机质及其特征的初步研究. 森林生态系统研究,1980, (1):215~220.
[8] 张凤山,迟振文,李晓宴. 长白山地区气候分析及其初步评价,森林生态系统研究,1980,(1):193~214.
[9] 希尔 O W,程伯荣,许广山. 有机物分解的原理与研究方法. 森林生态系统研究,1983,(3):286~288.
[10] Harmon M E, et al. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Adv. Ecol. Res.*, 1986,15:133~276.
[11] 迟振文,张凤山,李晓宴. 森林生态系统水热条件初探. 森林生态系统研究, 1982.