

毛竹林凋落叶分解失重及养分累积归还模式*

曹群根 傅懋毅 李正才

摘要 经过 104 周对 2 个试验点上包括 3 种立竹度和 2 种林分组成共 5 种处理条件下的毛竹林凋落叶的分解过程研究, 结果表明: 分解初期失重迅速, 而后趋于缓慢。分解剩余率与分解时间之间存在着指数函数关系。林分立竹度和组成对竹林凋落叶分解速度有着显著影响, 竹栎混交林及立竹度为 3 015 株/hm² 纯竹林处理下, 凋落叶的分解速度分别高于纯竹林的其它 2 种立竹度处理。剩余物中的 N、P 的浓度随分解呈增加趋势, 两者变化模式相似, 而 K、Ca、Mg 的浓度则趋于减小。处理对 N、K、Mg 的浓度变化模式无显著影响。分解剩余物中各种养分浓度之间有着一定的关联。N、P 在凋落叶分解初期为累积阶段, 而后才释放归还, K、Ca、Mg 在整个分解过程中均为释放。分解失重决定着分解后期 N、P 养分的释放归还; 而对于 K、Ca 来说, 淋溶作用是引起它们在分解初期迁移归还的更重要原因。

关键词 毛竹林 凋落叶分解 林分结构 养分累积归还模式

毛竹(*Phyllostachys pubescens* Mezel ex H. de Lehaie) 是我国森林资源的重要组成树种, 全国现有毛竹林面积 280 万 hm²。80 年代后期, 傅懋毅等^[1]就不同立地条件下毛竹纯林的凋落叶量及其分解做过初步探索, 但是林分结构如何对竹林凋落叶的分解产生影响, 至今仍为空白。建立合理的竹林结构是获得竹林丰产的重要措施。本文旨在探讨毛竹林凋落叶的分解失重模式及其养分累积归还规律, 分析竹林立竹度及组成对凋落叶分解的影响, 从生态系统养分循环的角度为毛竹林合理经营结构的确定提供依据。

1 试验地点

研究设有两个试点。其中: 试点一位于浙江省安吉县林业科学研究所林场, 31°59' N, 119°45' E, 年平均气温 15.6℃, 年均降水量 1 485.4 mm, 黄红壤土壤类型, 海拔 34 m; 试点二位于南京林业大学附属下蜀林场, 31°59' N, 119°14' E, 年平均气温 15.2℃, 黄棕壤土壤类型, 海拔 200 m。

2 试验方法

2.1 样地的设置

在试验点一设置 9 块, 试验点二设置 6 块, 计 15 块样地, 每样地面积 400 m²。包括 3 种立竹密度和 2 种林分组成共 5 种结构处理(表 1)。每处理 3 次重复。

1996—01—04 收稿。

曹群根助理研究员, 傅懋毅(中国林业科学研究院亚热带林业研究所 浙江富阳 311400); 李正才(南京林业大学森林资源与环境学院)。

* 本研究为 1993—1995 年浙江省自然科学基金资助项目“毛竹林凋落物分解机制的研究”的部分内容。

2.2 分解样的采集、布设与分析取样

于竹林落叶期采集新凋落叶自然风干后分装于300个网眼1 mm × 1 mm, 大小为30 cm × 40 cm 或25 cm × 30 cm 的尼龙网袋中。每袋中凋落叶干重31 ~ 51 g。在所设置的每一个样地上随机选点模拟自然状态平放分解样袋20只。当分解时间分别达4、8、14、22、32、44、56、68、80、92、104周时进行取样, 每次每样地随机抽取一个样袋中的分解残留物供分析用。

2.3 分解失重及主要养分的含量分析

清理所取样袋中的混杂物, 同一处理样袋中的剩余物混合后取样烘干称重求得凋落叶分解剩余量和失重量, 同时取样供测定主要养分的含量。N 用开氏法, P 用钼钒黄比色法, K 用火焰光度计法, Ca、Mg 用原子吸收光谱法。

2.4 林内空气温、湿度及土壤温度、含水量的测定

5种处理各选择1个样地埋设1套土壤温度计, 于每月5、10、15、20、25、30日测定土壤表面温度, 并且取样测定0 ~ 10 cm 处的土壤含水量, 同时用干湿球温度计测定离地面50 cm 处的林内空气温度和相对湿度。

2.5 土壤微生物分析

土壤微生物分析用表面涂抹平板法。各类菌计数培养基组成: 细菌为牛肉汁、蛋白胨、琼脂; 真菌用马丁琼脂; 放线菌用高泽一号琼脂。

3 结果与讨论

3.1 凋落叶分解失重模式

不同处理竹林凋落叶的分解失重均表现出先快后慢的节律(图1), 前44周内5种处理的平均失重率达46.36%, 而后60周内的平均失重率仅为22.68%。分解剩余率与分解时间之间的关系符合指数函数模式: $M_t = M_0 / e^{kt}$, 这同许多其它树种的凋落叶分解模式相一致^[2-4]。经回归分析(表2)得出各种处理凋落叶分解参数K值, 其大小顺序为 $K_{处理5} > K_{处理4} > K_{处理2} > K_{处理1} > K_{处理3}$ 。竹栎混合凋落叶分解

速度最快, 其半分解期和分解失重率达95%所需要的时间分别为1.06 a和4.61 a; 而最慢者则为处理3, 其上述两项的数值分别为1.35 a和5.48 a。凋落叶分解剩余率各处理间的差异达显著水平(表3)。试验点一不同立竹度林分中凋落叶分解的差异主要是由生态条件及凋落叶

表1 不同的林分结构处理

地点	处理号	林分组成	立竹度 (株/hm ²)	胸径 (cm)	郁闭度
试验点一	1	10竹	1740	9.38	0.75
	2	10竹	3015	9.23	0.90
	3	10竹	3360	8.90	0.95
试验点二	4	10竹	3300	8.84	0.90
	5	6竹+ 4栎	420(栎) 1320(竹)	9.20	0.95

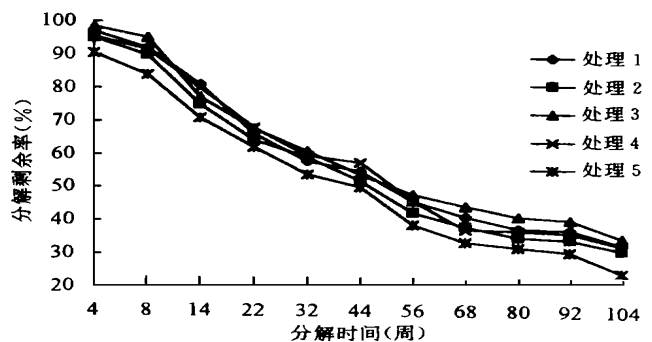


图1 不同处理竹林凋落叶分解动态

表 2 不同处理的分解方程及分解周期

处理	分解方程	分解参数 K	半分解期(a)	95% 分解期(a)
1	$M_t = M_0 e^{-0.557 t}$	0.557 4	1.25	5.38
2	$M_t = M_0 e^{-0.573 t}$	0.573 6	1.21	5.23
3	$M_t = M_0 e^{-0.513 t}$	0.513 9	1.35	5.84
4	$M_t = M_0 e^{-0.576 t}$	0.576 1	1.20	5.21
5	$M_t = M_0 e^{-0.651 t}$	0.651 0	1.06	4.61

注: M_t 为分解 t 时的剩余凋落叶量; M_0 为初始凋落叶量。

表 3 凋落叶分解剩余率各处理间方差分析

来源	自由度	离差平方和	均方差	均方比
组间	4	7 142. 778	1 785. 694	4. 69* *
组内	50	19 027. 771	380. 555	
总和	54			

主要分解者微生物量的不同所产生的(表 4); 而试验点二两种处理间的差异除了与上述因子相关外, 凋落叶组成不同是另一重要影响因素, 这已为国内外许多研究结果所证实, 尤其是组成不同的凋落叶中木质素含量的差异对其分解速率的影响极大^[5, 6]。

表 4 不同处理间凋落叶分解影响因子的比较

因 子	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5
地表温度()	15.35	15.35	15.04	14.11	14.75
离地 50 cm 处林内气温()	15.54	15.63	15.46	14.89	15.92
离地 50 cm 处林内空气相对湿度(%)	88.44	88.08	88.07	84.16	84.84
0~10 cm 土壤含水量(%)	24.36	24.01	23.48	23.78	26.46
土壤微生物量($\times 10^7$ 个/g 干土)	79.62	92.02	27.98	22.16	61.73

3.2 分解过程中养分浓度的变化动态

分解过程中不同养分的浓度变化各有其特点。N、P 的浓度随分解时间延长呈增加趋势, 而 K、Ca、Mg 则为减少趋势(表 5)。至 80 周时, 不同处理分解剩余凋落叶中 N、P、K、Ca、Mg 的平均浓度分别为其初始平均浓度的 166.5%, 202.7%, 21.4%, 25.3% 和 24.8%。N、P 的浓度变化趋势相近, 而 K、Ca、Mg 之间的变化动态则有所差异, K 在分解开始后 4 周内浓度即迅速减小, 而后变化缓慢; Ca、Mg 的浓度则分别在分解开始后 8 周内和 44 周内下降较快, 而后速度变缓。由表 6 可知, 同一养分的浓度变化在不同处理间的差异, Ca 为极显著水平, P 在 α 为 0.1 水平显著, 而其它养分均不显著。分解剩余率与各元素的浓度变化间存在一元线性函数关系, 相关均达显著水平, 其中与 Mg 的相关最为密切, 相关系数为 0.94, 而与 K 的相关性则较低, 这一方面反映了竹林凋落叶分解过程中养分浓度的变化主要是由分解失重所引起的, 另一方面说明了淋溶作用是引起 K 浓度变化的另一重要原因。以离子形态存在的 K 元素, 因淋溶作用而迁移先于凋落叶腐解而淋失, 分解初期这种现象最为明显。

灰色系统分析结果表明了分解剩余物中各养分元素间存在着某种关联。当 ϵ 为 0.5 水平时, 灰色关联度 R_{N-P} 、 R_{K-Ca} 、 R_{K-Mg} 及 R_{Ca-Mg} 的值分别是 0.68, 0.81, 0.68 和 0.72。

3.3 凋落叶分解的养分归还

养分 N 在竹林凋落叶分解初期的 4~14 周内处于累积阶段(图 2), 而以后则为释放归还阶段, 尽管后阶段 N 浓度仍有所增加或变化较小。养分 P 的归还模式与 N 相似, 但释放时间显得滞后且速度缓慢。当 N、P 在分解剩余物中浓度有所增加时, 它们仍表现为释放。这说明 N、P 在分解中的累积或释放也主要决定于凋落物分解失重速度。除了试验点一各处理凋落叶中的 Mg 在分解前 4 周内有一定的累积外, K、Ca、Mg 在各处理的整个分解过程中均表现为释放归还, 且前 14 周内释放速度较快, 而后则较慢。与失重曲线相比可知, K、Ca 的释放速度大于

表5 各处理凋落叶分解过程中养分浓度的变化

(单位: %)

处理	养分	分解时间(周)									
		0	4	8	14	22	32	44	56	68	80
1	N	1.023	1.332	1.084	0.927	1.020	1.350	1.470	1.490	1.824	1.720
	P	0.033	0.054	0.039	0.033	0.075	0.060	0.053	0.046	0.054	0.067
	K	0.377	0.173	0.174	0.216	0.240	0.269	0.138	0.156	0.101	0.135
	Ca	0.569	0.472	0.259	0.203	0.183	0.131	0.202	0.172	0.193	0.182
	Mg	0.218	0.269	0.334	0.104	0.125	0.131	0.075	0.061	0.062	0.053
2	N	1.023	1.395	1.237	0.885	1.390	1.810	1.040	1.431	1.732	1.863
	P	0.033	0.054	0.038	0.035	0.070	0.077	0.055	0.055	0.053	0.070
	K	0.377	0.218	0.218	0.213	0.216	0.226	0.150	0.137	0.113	0.132
	Ca	0.569	0.471	0.227	0.190	0.106	0.124	0.198	0.183	0.202	0.175
	Mg	0.218	0.272	0.264	0.253	0.144	0.158	0.079	0.058	0.060	0.050
3	N	1.023	1.431	1.356	1.514	1.190	1.760	1.190	1.432	1.646	1.905
	P	0.033	0.053	0.049	0.041	0.078	0.076	0.066	0.051	0.068	0.070
	K	0.377	0.163	0.201	0.173	0.249	0.205	0.110	0.130	0.105	0.116
	Ca	0.569	0.483	0.219	0.380	0.202	0.118	0.192	0.165	0.183	0.162
	Mg	0.218	0.218	0.330	0.126	0.142	0.126	0.087	0.062	0.071	0.056
4	N	1.483	1.564	0.973	1.700	1.510	2.700	2.070	1.275	1.676	1.750
	P	0.050	0.067	0.055	0.071	0.090	0.047	0.090	0.071	0.081	0.083
	K	0.813	0.199	0.181	0.221	0.185	0.126	0.087	0.160	0.110	0.133
	Ca	0.813	0.776	0.392	0.401	0.282	0.233	0.472	0.363	0.283	0.273
	Mg	0.245	0.243	0.193	0.258	0.191	0.196	0.091	0.083	0.063	0.054
5	N	1.153	1.321	0.906	1.040	1.430	2.280	1.520	1.220	1.665	2.240
	P	0.036	0.047	0.045	0.043	0.093	0.071	0.068	0.060	0.073	0.083
	K	0.925	0.185	0.192	0.181	0.139	0.161	0.107	0.090	0.078	0.099
	Ca	0.925	0.865	0.459	0.427	0.425	0.337	0.533	0.463	0.402	0.352
	Mg	0.150	0.177	0.172	0.125	0.230	0.157	0.063	0.052	0.048	0.047
平均	N	1.141	1.409	1.111	1.213	1.308	1.980	1.460	1.370	1.709	1.900
	P	0.037	0.053	0.045	0.045	0.081	0.066	0.066	0.057	0.066	0.075
	K	0.574	0.188	0.194	0.201	0.206	0.197	0.118	0.135	0.079	0.123
	Ca	0.689	0.613	0.311	0.320	0.240	0.189	0.319	0.269	0.253	0.174
	Mg	0.210	0.236	0.298	0.173	0.166	0.154	0.095	0.063	0.061	0.052

表6 养分浓度与分解剩余率的相关方程及其不同处理间差异的检验

项 目	N	P	K	Ca	Mg
回归方程	$Y_N = 740.72 - 54.31X_N$	$Y_P = 138.65 - 1226.90X_P$	$Y_K = 42.35 + 118.01X_K$	$Y_{Ca} = 29.79 + 107.70X_{Ca}$	$Y_{Mg} = 25.03 + 273.38X_{Mg}$
回归系数	0.70	0.73	0.69	0.79	0.94
F 值	7.67*	9.15**	7.10*	12.93**	61.93**
处理间 F(4, 45)	1.21	2.21*	0.06	5.01**	0.32

 $F_{0.05}(1, 8) = 5.32; F_{0.01}(1, 8) = 8.65; F_{0.1}(4, 45) = 2.07; F_{0.01}(4, 45) = 3.77.$

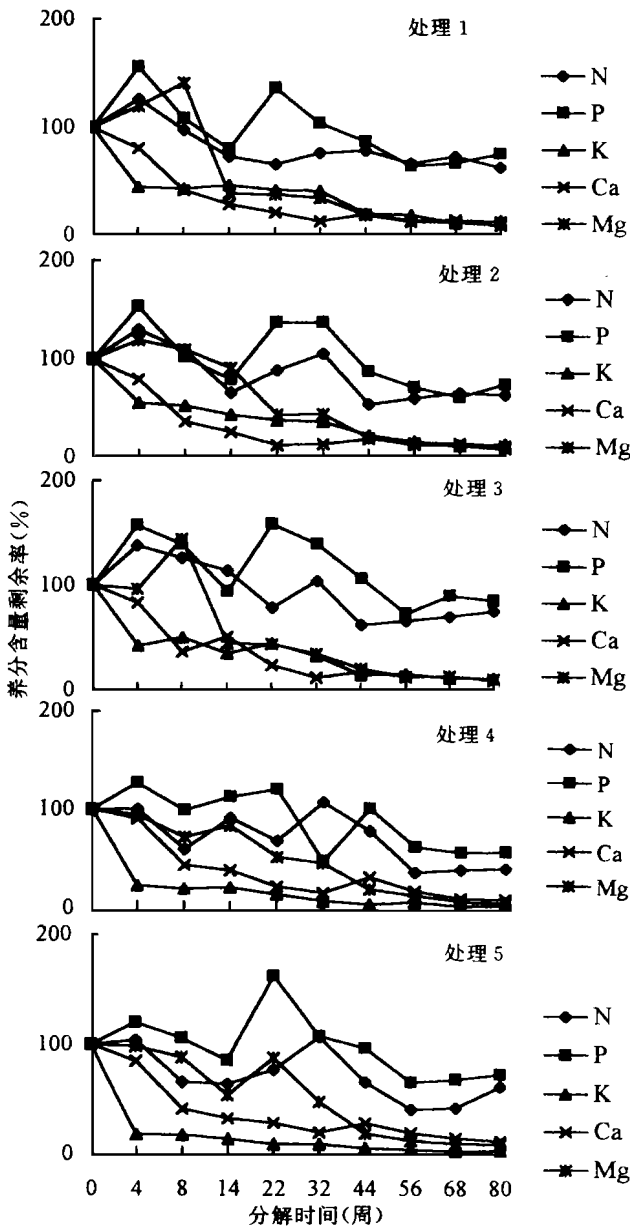


图 2 分解剩余物中养分含量变化动态

凋落叶分解失重速度,这反映了淋溶作用对 K、Ca 养分迁移的重要影响。当分解至 80 周时,养分迁移率在各种处理分解剩余物中的平均值的高低顺序为 K (91.28%) > Ca (89.2%) > Mg (88.2%) > N (40.08%) > P (27.46%)。另外,不同试验点间以及不同处理间的养分迁移率差异也很显著,竹、栎混合凋落叶中 N、P 分解迁移率比纯竹林凋落叶的小,而 Ca、Mg 则在竹、栎混合凋落叶中分解迁移更快。

4 结 论

(1) 竹林凋落叶分解剩余率与分解时间之间存在指数函数关系。立竹度和林分组成对竹林凋落叶的分解速度有着显著影响,竹、栎混合凋落叶的分解速率比纯竹叶的快;处理 2(立竹度中等)条件下的凋落叶的分解期比其它 2 种立竹度处理的短。竹林生产上,合理的立竹度和适宜的竹阔叶树混交,对于加快竹林生态系统的养分循环速度,维护林地土壤肥力,实现竹林丰产具有重要意义。

(2) N、P、K、Ca、Mg 养分浓度随凋落叶分解的变化各有其特点。N、P 呈增加趋势,而 K、Ca、Mg 则趋于减小。分解失重对养分浓度的变化有显著影响,同时淋溶对于以离子状态存在且移动性较强的 K 的养分浓度变化有很大作用。处理对分解剩余物中 N、K、Mg 浓度变化的影响不显著。

(3) 分解剩余物中的各养分浓度间有着一定的关联。探索 and 有效利用这种相关关系来调节竹林生态系统的养分平衡,将有利于竹林生产力的持续发展。

(4) N、P 养分在分解初期为累积阶段而后才归还释放,K、Ca、Mg 在整个分解阶段均为释放归还。分解失重决定了 N、P 养分的释放;除分解失重外,淋溶作用是引起 K、Ca 迁移归还的另一重要原因。各元素的迁移率大小顺序为 K、Ca、Mg、N、P。立竹度和林分组成影响着竹林凋落叶分解中养分的积累或释放归还。

参 考 文 献

- 1 傅懋毅, 方敏瑜, 谢锦忠, 等. 竹林养分循环——毛竹纯林的叶凋落物及其分解. 林业科学研究, 1989, 2(3): 207 ~ 213.
- 2 卢俊培, 刘其汉. 海南岛尖峰岭热带林凋落叶分解过程的研究. 林业科学研究, 1989, 2(1): 25 ~ 32.
- 3 Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology, 1963, 44: 322 ~ 331.
- 4 Lindsey E Rustad. Element dynamics along a decay continuum in a red spruce ecosystem in Maine. USA. Ecology, 1994, 75(4): 867 ~ 878.
- 5 Upadhyay V P, Singh J S, Meentemeyer V. Dynamics and weight loss of leaf litter in central Himalayan forests: abiotic versus litter quality influences. Journal of Ecology, 1989, 77: 147 ~ 161.
- 6 Bgrg B, Staaf H, Wessen B. Decomposition and nutrient release in needle litter from nitrogen-fertilized scots pine stands. Scandinavian Journal of Forest Research, 1987, 2: 399 ~ 415.
- 7 刘思峰, 郭天榜. 灰色系统理论及其应用. 开封: 河南大学出版社, 1991.

Patterns of Mass-loss, Nutrient Accumulation and Release of Leaf Litter in the Moso(*Phyllostachys pubescens*) Stands

Cao Qungen Fu Maoyi Li Zhengcai

Abstract Decomposition of leaf litter originating from Moso bamboo stands in five stand structure treatments with different stand density and different species component was measured at two trial sites over 104 weeks during 1993 to 1995. The mass-loss rate can be expressed as the exponential function of decomposing time. The trial treatments have marked influences on the mass-loss rate, which was higher in bamboo-oak mixed stands and in pure bamboo stands of density $3\ 015\ \text{culms} \cdot \text{ha}^{-1}$ than in bamboo stands with other treatments. Patterns of N concentration change in decomposing leaf litter is very similar to that of P. They both increased during the whole decomposing process, by contraries, concentration of K, Ca and Mg decreased. No obvious effect of the different treatments was gotten on the dynamics of concentration of N, K and Mg. N was initially accumulated and lately released, while K, Ca and Mg were released from the decomposing leaf litter during the whole observation period. The release of N and P during the late stage was mainly caused by mass-loss, but to K and Ca release, leaching is more important than mass-loss, especially in the early stage of the decomposition.

Key words Moso stands leaf litter decomposition stand structure nutrient accumulation pattern