

文章编号: 1000-5692(2002)04-0367-05

栎林生态系统凋落物分解及磷素释放规律

陈金林, 吴春林, 姜志林, 许新建

(南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 采用网袋法, 对栎林生态系统凋落物分解及磷素释放规律进行研究, 建立凋落物分解残留率与时间的数学关系式, 分析凋落物各组分的半衰期及失重率为 95% 的分解期。结果表明: 细根、中根、落叶、枯枝和粗根的年失重速度分别为 96.59%, 69.62%, 53.87%, 48.53% 和 41.55%, 细根、中根、枯枝、落叶和粗根磷的年释放率分别为 92.52%, 68.72%, 50.50%, 46.89% 和 39.06%。研究进一步阐明了温度、水分及微生物性状是影响凋落物分解的重要因素。图 2 表 4 参 9

关键词: 栎林; 生态系统; 凋落物; 磷素; 分解特性

中图分类号: S714; S718.55 **文献标识码:** A

森林生态系统中的凋落物分解特性是影响养分归还和养分生物地球化学循环的重要因素, 历来为许多研究者所重视^[1~4]。磷是植物生长发育不可缺少的重要营养元素, 它对促进林木生长, 提高林业生产力具有很大作用。然而, 以往有关森林生态系统磷素循环的研究, 由于根系凋落、分解与周转方面的探讨相对较少, 大多忽视了根系凋落及其归还作用, 从而影响循环结果及其相应评价。为此, 开展栎林 *Quercus variabilis* 生态系统凋落物分解及磷素释放规律研究, 分析凋落物各组分、特别是根的分解特性及其影响因素, 不仅有助于探索根的年生长量和凋落量, 弄清根土间的物质交换, 而且也为生态系统养分循环研究和林业可持续发展提供一定依据。

1 试验地概况与研究方法

1.1 试验地概况

试验地位于江苏省句容县境内, 31°59'N, 119°14'E, 属北亚热带季风气候, 年平均气温为 15.2℃, 极端最高气温 39.6℃ (1961 年), 极端最低气温 -16.7℃ (1955 年), 无霜期 233 d, 日平均气温高于 10℃ 的植物生长期为 226 d, 总积温 4 859.6℃, 日照时数为 2 157 h, 年均降水量 1 055.6 mm, 年均相对湿度 79%。

次生栎林 (以下称栎林) 平均年龄为 45 a, 平均胸径 18.8 cm, 平均树高 16.1 m, 密度 1 018 株·hm⁻², 郁闭度 0.85, 疏密度 0.90。林地平均坡度为 20°, 海拔 300 m。土壤为石英砂岩母质上发育的酸性黄棕壤, 土层厚度 50 cm 以上, 土壤质地中壤至重壤。

1.2 研究方法

在江苏下蜀生态定位站固定标准地内随机设置 8 个凋落物收集网 (50 cm×50 cm), 落叶季节每月

收稿日期: 2002-06-21; 修回日期: 2002-09-02

基金项目: 国家林业局重点项目 (下蜀森林生态系统定位研究); 国家自然科学基金资助项目 (39970605)

作者简介: 陈金林 (1962-), 男, 江苏昆山人, 副教授, 博士, 从事土壤学研究。

收取1次,其他时期隔月收集,将凋落物分枝、皮、叶、果和有机碎屑(花、芽鳞)等取样,烘干,测定各部分干物质量,磨碎处理后测定其磷含量^[5]。另外,采用土柱法取样和分层淘洗测定各时期栎林根系生物量,了解细根(直径<2 mm)生物量动态,根据McLaugherty的最大最小值方法计算细根年生产力及年死亡率^[9],同时取样分析磷含量(表1)。

采用网袋法进行凋落物分解研究^[7]。即用一定量的新凋落枝和叶作为分解样品,于12月底装入已编号的分解网袋,随机置于林地死地被物层中。同时进行根分解试验。根的分解网袋埋于离地表10 cm处,以便接近自然状态。用地温计监测地表及地下10 cm处温度,在林外用标准雨量筒监测降水量,用稀释平板法分析微生物状况。定期收集各分解样2~3袋,去除泥土等杂物,烘干称量并计算样品的干物质失重率,测定磷含量。

表1 栎林凋落物及磷归还状况

部位	年凋落物/ (kg·hm ⁻²)	磷含量/ (g·kg ⁻¹)	年磷归还/ (kg·hm ⁻²)	
地上部分	叶	6 469.340	0.535	3.461
	皮	38.284	0.246	0.009
	枝	1 312.207	0.378	0.496
	果	1 121.678	0.590	0.662
	有机碎屑	544.060	0.741	0.403
	小计	9 485.569		5.031
地下部分	细根	4 302.310	0.274	1.179
	粗根	310.520	0.235	0.073
	合计	14 098.399		6.283

2 结果与分析

2.1 栎林生态系统凋落物的分解特性

凋落物经微生物的分解作用,将部分磷素归还为土壤无机磷,未分解的凋落物则增加土壤有机磷储量。由于栎林果实凋落不久即被鼠类动物吞食或移出系统,有机碎屑及碎落的树皮一般量小且容易分解,因此,下面主要对栎林枯枝落叶及根的分解状况作一探讨。由试验结果(表2)可以看出,在3月至4月前干质量损失较慢,4月至10月干质量降解较快,以后分解转慢。这除了与凋落物本身特性有关外,环境条件特别是6月至10月的温度、水分及微生物活动状况对枯枝、落叶分解的影响很大。落叶在分解后180 d,300 d和360 d的干质量残留率分别为76.13%,50.24%和46.13%,枯枝的残留率分别为78.55%,54.18%和51.47%。根的分解过程同枯枝和落叶相似,干质量逐渐下降(图1)。不同径级根的分解速率存在较大差异,细根分解最快,粗根的干质量残留率下降最慢,<1 mm,<2 mm和2~5 mm根分解半年后的干质量残留率分别为35.12%,61.48%和78.14%,分解1 a后的残留率分别为3.41%,30.38%和58.45%,即三者的年分解率分别是96.59%,69.62%和41.55%。

表2 栎林生态系统凋落物分解状况

Table 2 The decomposability of the litter in oak forest ecosystem

项目		分解时间					
		12月	3月	6月	8月	10月	12月
落叶	干质量	34.99 (100)	30.57 (87.36)	26.64 (76.13)	22.25 (63.58)	17.58 (50.24)	16.14 (46.13)
	磷含量	0.535 (100)	0.546 (89.16)	0.578 (82.25)	0.600 (71.32)	0.590 (55.41)	0.616 (53.11)
枯枝	干质量	63.18 (100)	58.86 (93.16)	49.63 (78.55)	43.18 (68.34)	34.23 (54.18)	32.52 (51.47)
	磷含量	0.378 (100)	0.382 (94.15)	0.362 (75.23)	0.349 (63.10)	0.356 (51.02)	0.363 (49.43)
<1 mm)	干质量	2.05 (100)	1.47 (71.70)	0.72 (35.12)	0.41 (20.01)	0.21 (10.24)	0.07 (3.41)
	磷含量	0.274 (100)	0.319 (83.48)	0.477 (61.14)	0.427 (31.16)	0.433 (16.19)	0.600 (7.48)
中根 (1~2 mm)	干质量	2.83 (100)	2.33 (82.33)	1.74 (61.48)	1.45 (51.23)	1.14 (40.28)	0.86 (30.38)
	磷含量	0.274 (100)	0.288 (86.53)	0.282 (63.27)	0.305 (57.03)	0.301 (44.25)	0.282 (31.28)
粗根 (2~5 mm)	干质量	6.45 (100)	5.87 (91.01)	5.04 (78.14)	4.58 (71.01)	4.20 (65.12)	3.77 (58.45)
	磷含量	0.235 (100)	0.238 (92.17)	0.250 (83.13)	0.255 (77.05)	0.247 (68.44)	0.245 (60.94)

说明:干质量单位为g,磷含量为g·kg⁻¹;括号内数据表示相应的干质量残留率和磷残留率

凋落物分解过程中的干质量变化状况,可用负指数模型来描述^[7], $x_t/x_0=e^{-kt}$,其中 x_0 为最初凋落物干质量(g), x_t 为分解一段时间后剩余物干质量(g), t 为分解时间(d), k 是平均分解速率(g·g⁻¹·d⁻¹), e 是自然对数的底。经过衰减指数模型的模拟,得出各凋落物干质量残留率(y)与

时间 (t) 的回归方程及其参数 (表 3)。由表 3 可知, 枯枝和落叶的分解速率分别为 $0.001\ 889\ \text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $0.002\ 115\ \text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 可见落叶干物质的分解速率较枯枝略快, 50% 落叶分解需要 11 个月, 而枯枝需要 1 a。根的分解速率以 $< 1\ \text{mm}$ 细根最快, 分解 3 个半月后, 干质量仅为原来的 50%, 95% 分解也仅需 1 a 多时间, 可见这部分根在与土壤的物质交换中非常活跃。栎林 $1 \sim 2\ \text{mm}$ 细根的分解速率为 $0.003\ 059\ \text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 高于长白山阔叶红松 *Pinus koraiensis* 林细根的 $0.001\ 7\ \text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 及会同杉木 *Cunninghamia lanceolata* 细根的 $0.002\ 6\ \text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 但低于会同火力楠 *Michelia macclurei* 细根的分解速率 $0.007\ 2\ \text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ [8,9], 说明不同树种的分解速率差异较大, 一般阔叶树种根的分解较针叶树种为快, 温带落叶阔叶林根的分解较亚热带常绿落叶阔叶林为慢。

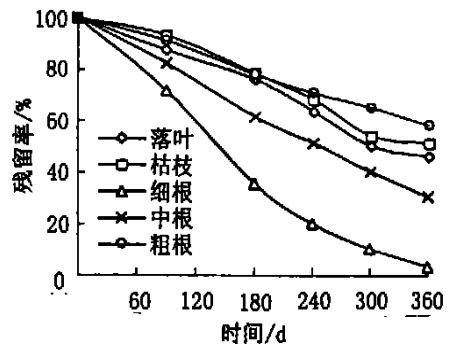


图 1 凋落物分解干质量残留率变化

Figure 1 Variation of residual rate of the dry matter of decomposed litter

表 3 凋落物干质量残留率与时间的回归分析

Table 3 The regression analyses between dry matter remnant ratio and decomposing duration of the litter

项目	回归方程	相关系数	50%分解期 (半衰期) / d	95%分解期/d
枯枝	$y = 104.651\ 760e^{-0.001\ 889\ t}$	-0.988	367	1586
落叶	$y = 103.263\ 209e^{-0.002\ 115\ t}$	-0.994	328	1416
细根 (< 1 mm)	$y = 105.742\ 055e^{-0.006\ 344\ t}$	-0.982	109	472
中根 (1~2 mm)	$y = 103.189\ 681e^{-0.003\ 059\ t}$	-0.998	227	979
粗根 (2~5 mm)	$y = 101.683\ 274e^{-0.001\ 489\ t}$	-0.998	466	2012

2.2 栎林生态系统凋落物磷释放规律

在 12 个月的分解过程中, 除枯枝外, 根和落叶中磷的质量分数 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 较开始为高。在开始分解的 3 个月, 落叶中磷的质量分数略有增大, 以后增大较快, 而枯枝中磷的释放高于其干物质的损失, 使磷质量分数不断下降, 这可能与不断遭受雨水淋溶有关。所有凋落物中磷的总量均随分解而不断下降 (表 2, 图 2), 经 1 a 分解, 落叶、枯枝和 $< 1\ \text{mm}$ 、 $1 \sim 2\ \text{mm}$ 和 $2 \sim 5\ \text{mm}$ 根的磷残留率分别为 53.11%, 49.43%, 7.48%, 31.28% 和 60.94%。可见, 细根分解释放最快, 能更快地为植物生长提供磷素营养。

2.3 环境条件对凋落物分解的影响

凋落物的分解受环境条件影响, 较高的温度和湿度, 有利于微生物的活动, 促进凋落物分解。为了进一步探索凋落物分解与环境因素的关系, 对凋落物的日失重率与其相应的环境状况 (表 4) 进行分析, 不难看出, 枯枝和落叶的分解与地表温度关系较为密切, 枯枝分解受放线菌的影响较大。地下根的分解速率除了水分影响外, 受地下微生物活动的影响较大, $< 1\ \text{mm}$ 细根受细菌的影响最大, 其次为放线菌和真菌。 $1 \sim 2\ \text{mm}$ 细根分解受微生物的影响顺序为: 细菌 > 真菌 > 放线菌; 而粗根主要受真菌的影响较大, 其次为放线菌, 细菌的影响则相对较小。由于观测时间有限, 数据较少, 所作分析仅代表某些趋势, 对于这些因素间的数量关系, 尚待进一步完善。

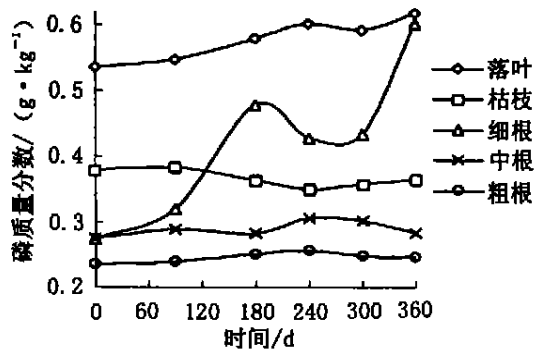


图 2 凋落物分解过程中磷的质量分数变化

Figure 2 Variation of phosphorus concentration in the course of litter decomposition

表4 凋落物失重率与环境的关系

Table 4 The relationship between weight loss rate of litters and environment conditions

项 目	经历时间 (月)				
	1~3	3~6	6~8	8~10	10~12
叶失重率/ ($g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	0.001 40	0.001 25	0.002 09	0.002 22	0.000 66
枝失重率/ ($g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	0.000 76	0.001 62	0.001 70	0.002 36	0.000 45
< 1 mm 根/ ($g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	0.003 11	0.004 11	0.002 50	9.001 63	0.001 19
1~2 mm 根/ ($g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	0.001 99	0.002 30	0.001 71	0.001 85	0.001 63
2~5 mm 根/ ($g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	0.001 00	0.001 43	0.001 19	0.000 99	0.001 12
平均地表温度/ $^{\circ}C$	5.07	17.73	25.27	19.95	8.21
10 cm 地温/ $^{\circ}C$	5.29	15.89	23.63	19.33	8.95
月平均降水量/mm	75.40	108.20	119.85	56.10	60.05
0~10 cm 土层中的微生物					
细菌/ ($个 \cdot g^{-1}$)	40.3×10^4	222.0×10^4	46.8×10^4		31.3×10^4
放线菌/ ($个 \cdot g^{-1}$)	58.2×10^4	578.6×10^4	262.6×10^4		24.4×10^4
真菌/ ($个 \cdot g^{-1}$)	47.8×10^4	190.0×10^4	79.9×10^4		63.6×10^4

3 结论

栎林生态系统凋落物数量多, 磷归还量大, 凋落物的分解特性及磷素释放规律随凋落物组织、分解时间及所处环境条件不同而变化。主要凋落物的年失重速度为细根>中根>落叶>枯枝>粗根, 磷释放速率为细根>中根>枯枝>落叶>粗根。地上部分和地下部分凋落物的分解状况均受温度、湿度和微生物性状等环境条件的影响, 较高的温度和湿度, 有利于微生物活动, 促进凋落物分解。

参考文献:

- [1] 胡肄慧, 陈灵芝. 油松和栓皮栎枯叶分解作用的研究[J]. 植物学报, 1986, 28(1): 102-110.
- [2] 田大伦, 赵坤. 杉木人工林生态系统凋落物的研究[J]. 中南林学院学报, 1989, 9(增刊): 38-55.
- [3] 卢俊培, 刘其汉. 海南岛尖峰岭热带林凋落物分解过程的研究[J]. 林业科学研究, 1991, 4(1): 1-9.
- [4] 胡肄慧. 几种树木枯叶分解速率的试验研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1987, 11(2): 124-131.
- [5] 中华人民共和国林业部科学技术司. 林业标准汇编(三)[S]. 北京: 中国林业出版社, 1991.
- [6] 陈金林, 许新建, 姜志林, 等. 空青山次生栎林细根周转[J]. 南京林业大学学报, 1999, 23(1): 6-10.
- [7] Wiaeer R K, Lang E G. A critique of the analytical methods used in examining decomposition date obtained from litter bag[J]. *Ecology*, 1982, 63(6): 1 636-1 642.
- [8] 廖利平, 陈楚莹, 张家武, 等. 火力楠纯林及混交林细根周转的研究[J]. 应用生态学报, 1995, 6(1): 7-10.
- [9] 单建平, 陶大力, 王森, 等. 长白山阔叶红松林细根周转的研究[J]. 应用生态学报, 1993, 4(3): 241-245.

Litter decomposition and phosphorus release in an oak forest ecosystem

CHEN Jin-lin, WU Chun-lin, JIANG Zhi-lin, XU Xin-jian

(Faculty of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: Study on the litter decomposition and phosphorus release in an oak (*Quercus variabilis*) forest ecosystem was made by means of decomposition date obtained from litter bag in Jiangsu Province. The mathematical models of litter weight residual rate with decomposition duration were set up, and also the half declining and 95% declining times were estimated. The main results showed that the order for annual decomposition rate of litter weight was fine roots > medium-diameter roots > fallen leaves > withered branches > thick roots, while the order for annual

release rate of phosphorus was fine roots > medium-diameter roots > withered branches > fallen leaves > thick roots. Results also showed that temperature, moisture content and microorganism were the main factors to influence litter decomposition.

Key words: oak (*Quercus variabilis*) forest; ecosystem; litter; phosphorus; decomposition property

《中国鹭类》简介

朱曦教授撰写的《中国鹭类》是我国第一本鹭科鸟类研究专著。该书全面介绍了我国鹭类的形态、分类、分布以及生物学和生态学等有关领域,共分 19 章: 1. 中国鹭类研究概况; 2. 鹭类分类地位和形态解剖学; 3. 鹭类多样性; 4. 鹭类区系和分布; 5. 卵生物学; 6. 生理生化; 7. 繁殖生物学; 8. 个体生态学; 9. 鹭科鸟类的组成、密度和生物量; 10. 池鹭种群数量、活动规律和生物生产量; 11. 群落的空间生态位和种间关系; 12. 鹭类习性和行为; 13. 环境因子对鹭类的影响; 14. 鹭类营巢地; 15. 鹭科鸟类营巢地选择; 16. 生态环境改变对鹭类营巢的影响; 17. 迁徙; 18. 鹭类寄生虫; 19. 鹭类资源保护利用和鸟害控制。书中有作者 18 年来研究的最新成果,如系统地总结了我国 60 年来鹭科鸟类研究历史和状况,首次在超微结构水平上测定了卵的结构和不同元素成分,测定了鹭血液生理生化指数,雏鸟生长模型及恒温发育机制,繁殖种群生物生产量的研究,群落的空间生态位和种间关系,环境因子对鹭类的影响及鹭类行为学等均具创新性。

中国鸟类学会理事长、国际鸟类学会委员会委员、世界雉类协会中国分会主席、北京师范大学教授郑光美作序,称该书是“国内第一部有关鹭类的专著”,指出“本书的出版将会进一步推动鹭类的科研、教学和科学普及工作,也会促进我国环境保护和生物多样性保护事业的发展。”

中国科学院院士、中国科学院动物研究所研究员张广学,中国科学院院士、第三届中国动物学会理事长、北京师范大学教授孙儒泳,中国鸟类学会理事长、北京师范大学教授郑光美,中国科学院动物研究所研究员雷富民等对该书以高度评价,认为该书是“对我国鹭类研究的阶段性总结,是一部优秀的科技图书”和“重大的科研成果”。

该书由中国林业出版社出版,16 开本,装帧新颖,附有精美彩照 62 幅,参考文献 532 篇,可供生物学、生态学 and 环境保护方面的研究人员、有关高等院校师生、自然保护工作者以及观鸟和摄影爱好者参考和应用。