

苏南丘陵区 3 种林分凋落叶客置分解特征

陈莉莎, 张金池, 庄家尧, 司登宇

(南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 于 2010 年 1 月至 2011 年 5 月, 利用野外分解袋法在苏南丘陵区麻栎 *Quercus acutissima*, 杉木 *Cunninghamia lanceolata*, 马尾松 *Pinus massoniana* 等 3 种林分内进行凋落叶客置后分解速率及养分动态变化的研究。结果表明: 阔叶树种分解速率大于针叶树种; 分解系数 k 麻栎叶最高 ($k=0.391\ 4$), 马尾松叶居中 ($k=0.238\ 8$), 杉木叶 ($k=0.209\ 1$) 较低; 分解系数 k 与初始氮含量显著正相关 ($P<0.01$), 与初始碳氮比 (C/N) 显著负相关 ($P<0.05$), 失重率分别与氮释放率 ($P<0.05$)、磷释放率、有机碳释放率显著正相关 ($P<0.01$), 与 C/N 显著负相关 ($P<0.05$); 分解过程中, 氮和钾总体为净释放, 磷为释放或固持状态, 有机碳释放率逐步上升, C/N 比基本呈下降趋势。客置后分解地特征效应较显著, 针叶树种凋落叶客置到阔叶林后分解速率加快, 反之则减慢; 养分释放速率大体表现为促进作用, 而分解 16 个月后, 不同分解地的同种凋落叶养分释放率有趋于一致的趋势; 经 Olson 指数衰减模型模拟, 客置后麻栎叶分解系数 k 变小, 杉木叶和马尾松叶分解系数 k 变大, 预测麻栎叶 $t_{0.50}$, $t_{0.95}$ 分别延长 0.09~0.20 a 和 0.10~0.29 a, 杉木叶分别缩短 0.11~0.60 a 和 2.91~2.97 a, 马尾松叶在麻栎林分解地 $t_{0.50}$, $t_{0.95}$ 分别缩短 0.06 a 和 0.09 a, 在杉木林分解地分别延长 0.19 a 和 0.36 a。有机碳 $t_{0.50}$ 麻栎叶缩短 0.09~0.11 a, 杉木叶延长 0.01~0.09 a, 马尾松叶缩短 0.07~0.08 a; 有机碳 $t_{0.95}$ 麻栎叶延长 0.10~0.23 a, 马尾松叶缩短 0.30 a, 杉木叶在麻栎林分解地缩短 0.01 a, 在马尾松林分解地延长 0.32 a。图 3 表 6 参 30

关键词: 森林生态学; 凋落叶; 客置; 分解速率; 养分释放; Olson 指数衰减模型

中图分类号: S718.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2013)05-0681-08

Inter-site incubation with leaf decomposition for three forest types

CHEN Lisha, ZHANG Jinchi, ZHUANG Jiayao, SI Dengyu

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

Abstract: The litter bag method was used to conduct an inter-site incubation experiment to study leaf decomposition changes and nutrient release for three forest types in the hilly areas of southern Jiangsu Province from January 2010 to May 2011. The Olsen exponential model and correlation analysis were employed. Results showed that the decomposition rate (k) of broadleaf > coniferous species with *Quercus acutissima* ($k = 0.391\ 4$) > *Pinus massoniana* ($k = 0.238\ 8$) > *Cunninghamia lanceolata* ($k = 0.209\ 1$). The initial N concentration and k were significantly and positively correlated ($P<0.01$, $r = 0.843\ 0$), but k was significantly and negatively correlated to initial C/N ($P<0.05$, $r = -0.791\ 0$). Meanwhile, the weight loss rates were significantly and positively correlated to the release rates of N ($P<0.05$, $r = 0.264\ 0$), P ($P<0.01$, $r = 0.340\ 0$), and organic carbon (OC) ($P<0.01$, $r = 0.910\ 0$) but significantly and negatively correlated to C/N ($P<0.05$, $r = -0.766\ 0$). During decomposition, N and K were totally released; whereas P was released or immobilized. The OC release rate gradually increased, and the C/N value of leaf litter decreased. Inter-site incubation showed that a faster litter k occurred with coniferous species incubated in broadleaf forests and a lower k for broadleaf species incubated in coniferous forests. The Olson exponential model for leaf litter decomposition indicated that inter-site incubation decreased k for *Q. acutissima* and increased k for *P. massoniana* and *C. lanceolata*. After inter-site

收稿日期: 2012-09-16; 修回日期: 2012-11-13

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201104068)

作者简介: 陈莉莎, 从事林业生态工程研究。E-mail: aprilsha@126.com。通信作者: 张金池, 教授, 博士, 从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: nfujczhang@sina.com

incubation for *Q. acutissima*, decomposition of 50% and 95% of the leaf litter extended 0.09–0.20 years and 0.10–0.29 years, respectively, and for *C. lanceolata* shortened 0.60–0.11 years and 2.91–2.97 years, respectively; however, for *P. massoniana* incubated in a *Q. acutissima* forest, decomposition shortened 0.06 years and 0.09 years, respectively, and in a *C. lanceolata* forest extended 0.19 years or 0.36 years, respectively. For 50% organic carbon decomposition, incubation for *Q. acutissima* shortened 0.09–0.11 years, for *C. lanceolata* it extended 0.01–0.09 years, and for *P. massoniana* it shortened 0.07–0.08 years. Also, for 95% OC decomposition, decomposition for *Q. acutissima* extended 0.10–0.23 years, and for *P. massoniana* shortened 0.3 years. However, for *C. lanceolata* incubated in a *Q. acutissima* forest, decomposition shortened 0.01 years and in a *P. massoniana* forest extended 0.32 years. [Ch, 3 fig. 6 tab. 30 ref.]

Key words: forest ecology; leaf litter; inter-site incubation; decomposition; nutrient release; Olson exponential model

森林凋落物分解是有机质和养分回归土壤的重要机制,其分解快慢及养分释放关系到森林生态系统生产力、物质循环和能量转换等生态功能过程^[1-3]。叶占据凋落物总量绝大部分,也是养分含量最高部分^[4-6],对凋落叶分解速率及性质的研究有助于探讨该树种的分解特征。许多学者采用野外尼龙分解袋法^[7]对凋落物分解进行研究,认为凋落物质量损失率、养分释放速率是凋落物分解速率的主要指标,在环境条件相似前提下,凋落物本身质地,尤其是碳氮比(C/N)值及木质素对其分解速率影响较大^[8-11]。在跨气候带大尺度的凋落物分解研究中表明同种凋落物在不同气候带分解速率具明显差异^[12-13],但也有研究表示,同物种在南方和北方无显著差异^[14]。对于旱区、三江平原、桂西北喀斯特区、沿海沙地等特殊区域的不同树种进行的分解速率及养分动态特征的研究结果表明:不同林分凋落物,其凋落叶质量损失率的动态变化及养分归还动态不同^[15-18]。目前,对苏南丘陵区人工林凋落物客置后的分解动态研究还较少。本研究将该地区杉木 *Cunninghamia lanceolata*, 麻栎 *Quercus acutissima* 和马尾松 *Pinus massoniana* 等 3 种凋落叶相互客置后,研究凋落叶初始质量参数对分解速率的影响、不同凋落叶分解速率差异、同种凋落叶在不同分解环境下分解速率和养分释放的动态变化特征,有助于了解森林生态系统的物质循环规律,丰富对森林生态系统功能过程的认识。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

南京市江宁区东善桥林场铜山分场(31°38′~31°39′N, 118°50′~118°52′E),属北亚热带季风气候区,区内气候温和湿润,四季分明,雨热资源较丰富,生长季长。年平均气温为 15.1℃,无霜期为 229 d,年日照为 2 199.5 h,年均降水量为 1 100 mm。地形以丘陵为主,土壤以黄棕壤为主,海拔 38~388 m。选取林分为杉木、麻栎、马尾松纯林。林分状况见表 1。3 种林分林下灌草包括山胡椒 *Lindera glauca*, 一年蓬 *Erigeron annuus*, 薹草 *Carex* spp., 荩草 *Arthraxon hispidus*, 盐肤木 *Rhus chinensis*, 和蓬蘽 *Rubus hirsutus* 等。

表 1 凋落叶客置试验林分的基本状况

Table 1 Characteristics of three forests where intersite litter decomposition was carried out

样地	坡度/(°)	坡向	海拔/m	林龄/a	密度/(株·hm ⁻²)	胸径/cm	冠幅/m	树高/m	郁闭度
杉木林	22	E	85.1	45	950	16.7	2.4	11.2	0.61
麻栎林	18	W	88.2	45	700	24.3	5.7	17.5	0.86
马尾松林	21	S	91.5	37	1 100	21.3	5.3	11.6	0.49

1.2 研究方法

2009 年底于 3 种纯林试验地中收集地面凋落物层上未分解的杉木、麻栎和马尾松凋落叶。风干后分装入网眼孔径为 1 mm 的 25 cm × 25 cm 尼龙分解袋中, 40 g·袋⁻¹。取风干叶 3 份·种⁻¹平行样烘干,

测含水率, 求干质量; 粉碎、过筛后测定其氮、磷、钾、碳含量, 作为初始值。2010年1月模拟自然状态在试验地3种林分中选择典型地块放置3种凋落叶袋, 24袋·种⁻¹, 共72袋。网袋放置于死地被物层中, 底部完全接触土壤表层, 网袋相互间隔 ≥ 10 cm。在2010年3, 5, 9, 11月和2011年3, 5月随机回收分解袋, 各3次重复, 清除泥土与附着植物, 70℃烘干称质量, 随后粉碎、过筛, 供化学成分测定。全氮用连续流动分析仪测定; 全磷用钼锑抗比色法; 全钾用火焰光度法; 有机碳用重铬酸钾氧化-外加热法^[19]。

1.3 统计分析方法

凋落叶分解速率以质量损失率表示, 质量损失率=(1- t 时间叶剩余质量/初始叶质量) $\times 100\%$; 养分释放率=[1-(t 时间养分浓度 $\times t$ 时间叶质量)/(初始养分浓度 $\times$ 初始叶质量)] $\times 100\%$ 。修正后的Olson指数衰减模型: $y = x_t/x_0 = ae^{-kt}$, 其中 y 为分解残留率, a 为修正参数, k 为分解系数; 凋落叶分解过程模拟时, x_0 是初始叶质量, x_t 是 t 时间叶质量; 有机碳分解过程模拟时, x_0 是有机碳初始含量, x_t 是 t 时间有机碳含量。数据统计分析采用Office Excel 2007及SPSS 17.0。其中方差分析用One-way ANOVA, 相关性用Spearman's rho分析, 多组样本间差异显著性用Duncan's multiple range test分析。

2 结果分析

2.1 本地分解凋落叶分解特征及养分释放比较

本地分解时, 初始2个月分解速率最快, 随后逐渐减缓(图1); 麻栎凋落叶分解速率显著高于杉木叶和马尾松叶, 马尾松叶略高于杉木叶。C/N值与初始排序一致; 3树种凋落叶氮、钾均净释放, 钾、磷释放率大体呈现杉木叶>马尾松叶>麻栎叶, 杉木叶和马尾松叶磷净释放, 麻栎叶磷释放一固持交替; 有机碳释放率麻栎叶始终最高, 第4-8月马尾松高于杉木, 其余月反之(图2)。

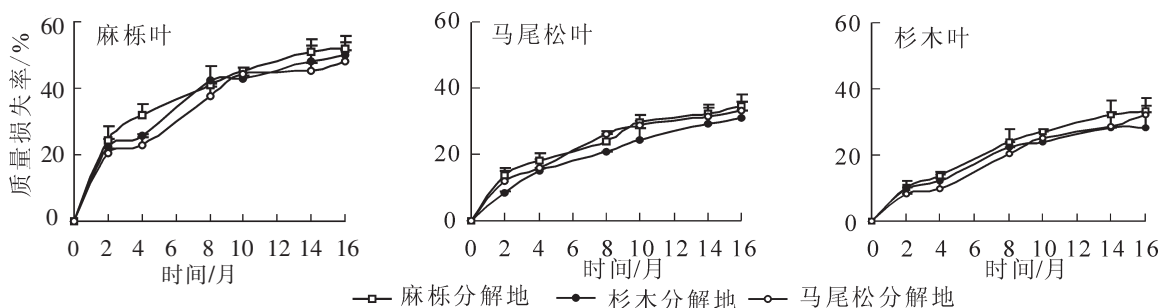


图1 3种凋落叶在不同林分下质量损失率变化

Figure 1 Variations of weight loss rates of the litter from tree species at different forest stands

2.2 客置试验对凋落叶分解特征及养分释放的影响

凋落叶客置后分解速率产生的变化。麻栎叶质量损失率第8个月为杉木林分解地>麻栎林分解地>马尾松林分解地, 第10个月麻栎林分解地>马尾松林分解地>杉木林分解地, 其余月均为麻栎林分解地>杉木林分解地>马尾松林分解地; 杉木叶质量损失率前8个月麻栎林分解地>杉木林分解地>马尾松林分解地, 后8个月麻栎林分解地>马尾松林分解地>杉木林分解地; 马尾松叶质量损失率第8个月马尾松林分解地>麻栎林分解地>杉木林分解地, 其余月麻栎林分解地>马尾松林分解地>杉木林分解地(图1)。麻栎叶C/N值差异不明显; 杉木叶和马尾松叶C/N值第8, 14, 16个月趋于一致, 其他月差异较大(图3)。客置普遍加快凋落叶氮释放率, 麻栎叶和杉木叶各分解地氮释放率曲线差异较大, 马尾松叶的3个分解地氮释放率曲线相似, 基本体现客置促进氮释放。同种凋落叶不同分解地磷释放率曲线相似。马尾松林分解地促进、杉木林分解地抑制麻栎叶磷释放; 麻栎林分解地中期抑制, 前期和后期促进杉木叶和马尾松叶磷释放。钾释放率除马尾松分解地麻栎叶第8个月固持外, 均为净释放。客置抑制中期麻栎叶钾释放, 促进中后期杉木叶钾释放; 前8个月抑制马尾松叶钾释放, 后促进钾释放。有机碳释放率呈波浪形逐步上升的凸型曲线, 客置后3种凋落叶的有机碳释放率普遍呈增加趋势。

2.3 凋落叶分解过程及有机碳的Olson指数模型

根据修正后的Olson指数衰减模型, 拟合出本实验3种凋落叶在不同分解地的分解方程, 计算得出

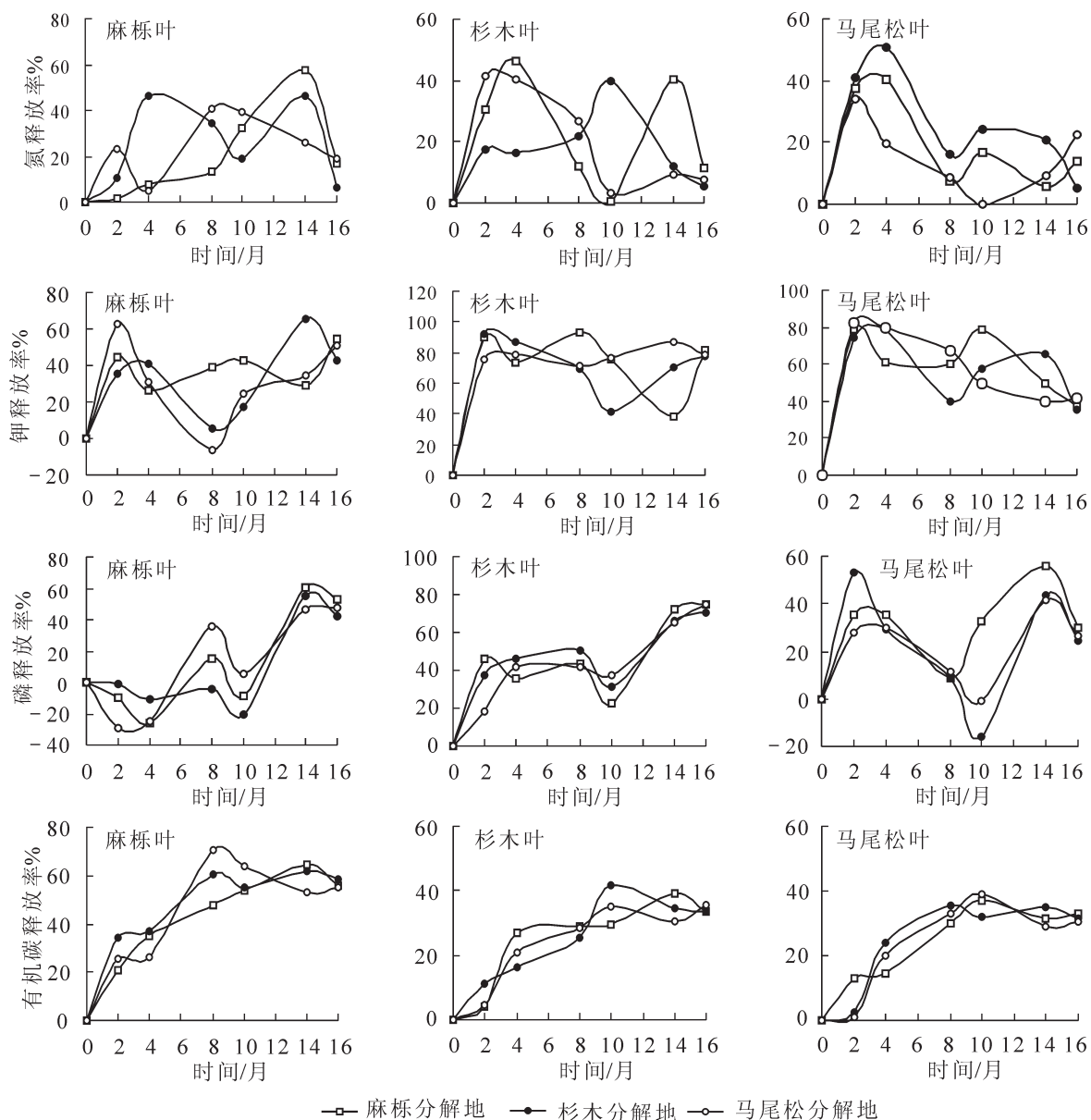


图 2 凋落叶各养分、有机碳释放率变化

Figure 2 Variation of nutrients and C release rate in leaf litter

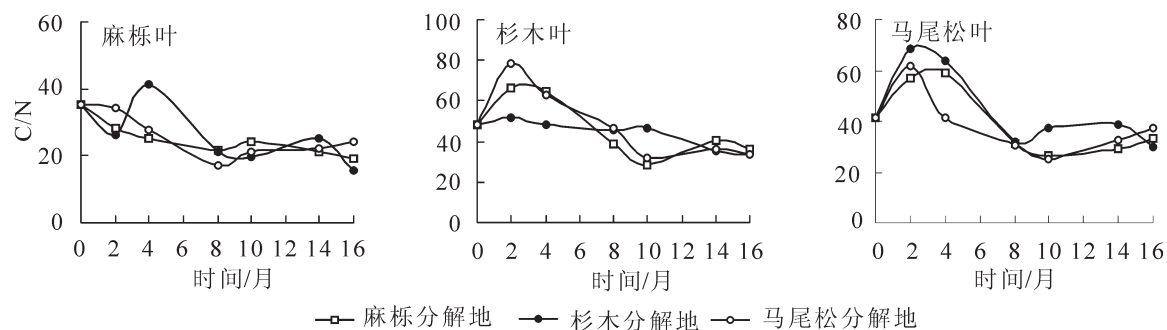


图 3 凋落叶 C/N 值变化

Figure 3 Variation of C/N ration in leaf litter

$t_{0.50}$ 和 $t_{0.95}$ (分解 50% 和 95% 所需时间), 结果见表 2。本地分解: 麻栎叶的分解系数 k (0.391 4) 最高, 马尾松 (0.238 8) 居中, 杉木 (0.209 1) 最低; 客置后: 麻栎叶分解系数 k 变小, 杉木叶和马尾松叶分解系数 k 变大; 与本地分解相比, $t_{0.50}$ 麻栎叶延长 0.09 a 和 0.20 a, 杉木叶缩短 0.60 a 和 0.11 a, 马尾松叶在

麻栎分解地缩短 0.06 a，在杉木分解地延长 0.19 a； $t_{0.95}$ 麻栎叶延长 0.10 a 和 0.29 a，杉木叶缩短 2.97 a 和 2.91 a，马尾松叶在麻栎分解地缩短 0.09 a，在杉木分解地延长 0.36 a。

表 2 凋落叶分解过程的 Olson 指数模型
Table 2 Olson exponential model of the leaf litter decomposition

分解地	凋落叶	Olson 指数模型	决定系数 R^2	分解系数 k	$t_{0.50}/a$	$t_{0.95}/a$
麻栎分解地	麻栎	$y=0.781\ 9e^{-0.391\ 4x}$	0.977\ 1	0.391\ 4	1.14	7.03
杉木分解地	麻栎	$y=0.809\ 6e^{-0.390\ 4x}$	0.933\ 8	0.390\ 4	1.23	7.13
马尾松分解地	麻栎	$y=0.836\ 4e^{-0.384\ 9x}$	0.919\ 0	0.384\ 9	1.34	7.32
麻栎分解地	杉木	$y=0.929\ 9e^{-0.266\ 4x}$	0.974\ 8	0.266\ 4	2.33	10.97
杉木分解地	杉木	$y=0.922\ 5e^{-0.209\ 1x}$	0.944\ 6	0.209\ 1	2.93	13.94
马尾松分解地	杉木	$y=0.962\ 9e^{-0.268\ 2x}$	0.979\ 0	0.268\ 2	2.44	11.03
麻栎分解地	马尾松	$y=0.886\ 9e^{-0.239\ 8x}$	0.976\ 9	0.239\ 8	2.39	12.00
杉木分解地	马尾松	$y=0.930\ 2e^{-0.234\ 8x}$	0.980\ 8	0.234\ 8	2.64	12.45
马尾松分解地	马尾松	$y=0.897\ 3e^{-0.238\ 8x}$	0.942\ 1	0.238\ 8	2.45	12.09

有机碳剩余率 Olson 指数模型拟合结果见表 3。从决定系数 R^2 看拟合效果较好。本地分解：麻栎叶分解系数 k (0.673 6) 最高，杉木叶 (0.330 3) 居中，马尾松 (0.303 5) 最低；客置后：麻栎叶分解系数 k 变小，杉木叶分解系数 k 在麻栎分解地变大，在马尾松分解地变小，马尾松叶分解系数 k 变大。与本地分解相比， $t_{0.50}$ 麻栎叶缩短 0.11 a 和 0.09 a，杉木叶延长 0.01 a 和 0.09 a，马尾松叶缩短 0.07 a 和 0.08 a； $t_{0.95}$ 麻栎叶延长 0.18 a 和 0.23 a，杉木叶在麻栎分解地缩短 0.01 a，在马尾松分解地延长 0.32 a，马尾松叶均缩短了 0.3 a。

表 3 凋落叶有机碳的 Olson 指数模型
Table 3 Olson exponential model of organic carbon in leaf litter

分解地	凋落叶	Olson 指数模型	决定系数 R^2	分解系数 k	$t_{0.50}/a$	$t_{0.95}/a$
麻栎分解地	麻栎	$y=0.880\ 3e^{-0.673\ 6x}$	0.881\ 5	0.673\ 6	0.84	4.26
杉木分解地	麻栎	$y=0.788\ 5e^{-0.621\ 5x}$	0.767\ 3	0.621\ 5	0.73	4.44
马尾松分解地	麻栎	$y=0.791\ 5e^{-0.615\ 6x}$	0.492\ 8	0.615\ 6	0.75	4.49
麻栎分解地	杉木	$y=0.937\ 4e^{-0.331\ 1x}$	0.786\ 8	0.331\ 1	1.90	8.85
杉木分解地	杉木	$y=0.934\ 3e^{-0.330\ 3x}$	0.755\ 7	0.330\ 3	1.89	8.86
马尾松分解地	杉木	$y=0.943\ 1e^{-0.320\ 1x}$	0.814\ 0	0.320\ 1	1.98	9.18
麻栎分解地	马尾松	$y=0.932\ 1e^{-0.312\ 8x}$	0.803\ 7	0.312\ 8	1.99	9.35
杉木分解地	马尾松	$y=0.928\ 2e^{-0.312\ 3x}$	0.700\ 1	0.312\ 3	1.98	9.35
马尾松分解地	马尾松	$y=0.935\ 1e^{-0.303\ 5x}$	0.619\ 9	0.303\ 5	2.06	9.65

2.4 分解速率与凋落叶养分相关分析

凋落叶初始质量参数值见表 4。麻栎氮、钾质量分数较高，C/N 值较低，杉木氮、C/P 值较低，磷、钾、碳、C/N 值较高，马尾松 C/P 值较高。3 种凋落叶碳值差异不显著，钾、C/P 值差异最显著，其余值有差异。

凋落物分解速率与凋落物初始化学组成关系密切^[16,20]。如表 5 所示：分解系数 k 与初始氮质量分数显著正相关 ($P<0.01$)，和初始 C/N 显著负相关 ($P<0.05$)，与初始磷、初始钾、初始有机碳质量分数相关性不显著。表明 Olson 指数模型模拟出的分解系数 k 值越大，初始氮质量分数应越大，而初始 C/N 应越小。对质量损失率和各养分释放率分析相关性 (表 6) 表明：质量损失率分别与磷释放率、有机碳释放率极显著正相关 ($P<0.01$)，与氮释放率显著正相关 ($P<0.05$)，与 C/N 显著负相关 ($P<0.01$)，与钾释放