

三种相思人工林和木荷林凋落叶分解的动态分析

潘辉^{1,2}, 黄石德², 洪伟^{1,①}, 张志鸿³, 陈国荣¹

(1. 福建农林大学, 福建 福州 350002; 2. 福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012;
3. 福建省平和天马国有林场, 福建 漳州 363704)

摘要: 对3种相思(*Acacia* Mill.)人工林和木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)林凋落叶的分解速率及磷和钾的动态变化进行了研究。结果表明,在分解过程中,卷荚相思(*A. cincinnata* F. Muell.)林、黑木相思(*A. melanoxylon* R. Br.)林、马占相思(*A. magium* Willd.)林和木荷林凋落叶干质量残留率分别为24.37%、13.51%、12.49%和41.86%,其中马占相思林的年分解系数最大,木荷林最小。凋落叶的磷含量大多呈上升趋势,其中黑木相思林和马占相思林表现为磷的净释放;卷荚相思林则在分解过程的前180 d内表现为净固持,180 d后表现为净释放;木荷林基本表现为磷的净固持。凋落叶的钾含量均为单调下降,且各林分均呈现出钾的净释放,分解末期各林分的钾释放率达90.14%~98.72%。与木荷林相比,3种相思人工林对土壤养分含量,特别是磷含量的维持非常有益。

关键词: 相思人工林; 木荷林; 凋落叶; 分解

中图分类号: S792; S718.55 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2008)03-0039-05

Dynamic analysis of leaf litter decomposition in three artificial forests of *Acacia* and *Schima superba* forest PAN Hui^{1,2}, HUANG Shi-de², HONG Wei^{1,①}, ZHANG Zhi-hong³, CHEN Guo-rong¹
(1. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Forestry Research Institute of Fujian Province, Fuzhou 350012, China; 3. Tianma State-owned Forest Farm of Fujian Province, Zhangzhou 363704, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2008, 17(3): 39-43

Abstract: The decomposition rate and dynamic change of P and K contents in leaf litter of three artificial forests of *Acacia* Mill. and *Schima superba* Gardn. et Champ. forest were studied. The results showed that the dry weight residual rate of leaf litter of *A. cincinnata* F. Muell. forest, *A. melanoxylon* R. Br. forest, *A. magium* Willd. forest and *S. superba* forest were 24.37%, 13.51%, 12.49% and 41.86%, respectively, and the annual decomposition coefficient of *A. magium* forest was the biggest and that of *S. superba* forest was the smallest. In the decomposition process of leaf litter, P content appeared an increasing tendency and K content appeared a decreasing tendency. *A. melanoxylon* and *A. magium* forests showed a net release of P during decomposition process, while *S. superba* forest generally showed a net fixation to P. *A. cincinnata* forest exhibited a net fixation of P in the first 180 d of decomposition, and a net release afterwards. The four forests were all presented a net release of K, and the release rate reached 90.14% - 98.72% in the end of decomposition. It is concluded that compared with *S. superba* forest, the three artificial forests of *Acacia* are valuable for maintaining nutrients in soil, especially for P content.

Key words: *Acacia* artificial forest; *Schima superba* forest; leaf litter; decomposition

森林凋落物是植物在其生长发育过程中新陈代谢的产物,在森林生态系统的养分循环中具有重要作用。在森林凋落物分解过程中,大量养分被释放出来,重新归还到土壤中,使得养分在生态系统中得以循环利用。凋落物通过土壤和林下地被层的微生物和动物作为媒介进行破碎和矿化作用,其分解受到分解者群系、分解环境和凋落物质量的协同作用。

凋落物质量涉及到化学和结构性质,掌控着分解微生物的活动,部分决定了有机质的分解。凋落物的

收稿日期: 2007-12-25

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD03A0604)

作者简介: 潘辉(1968—),男,福建福州人,博士,教授级高工,主要从事森林生态学及城市林业等方面的研究工作。

① 通讯作者 E-mail: fjhongwei@126.com

分解通过植物营养的重建和土壤有机质的维持来提高土壤的肥力。凋落物分解和养分释放在森林生态系统养分循环中尤为重要,若没有这个过程,土壤肥力和养分状况则难以得到迅速补充,可能会导致林地地力衰退^[1-2]。凋落物分解对森林的生产力非常重要^[3],是全球碳预算中非常重要的一个环节^[4]。凋落物的分解为植物提供了所需的70%~90%的养分^[5],是一个非常复杂的以微生物-动物作为媒介的过程,在有利的生长环境条件(动物和微生物的活动提高)下凋落物分解速率将会加快^[2]。因此,研究森林凋落物的分解速率及其养分的释放,是探索森林生态系统物质循环节律、分析森林与土壤间的关系、揭示森林自肥机制的关键。

相思树(*Acacia* spp.)适应性强、速生丰产、耐瘠薄,有根瘤,能固氮,改良土壤性能较好,是一类优良的短轮伐期山地造林树种。作者以木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)作为参照,分析了卷荚相思(*Acacia cincinnata* F. Muell.)、黑木相思(*A. melanoxylon* R. Br.)和马占相思(*A. magium* Willd.)3种相思人工林凋落叶的分解和磷、钾的释放状况以及养分循环的差异性,以期为林木的养分控制及森林生态系统管理提供参考依据。

1 样地概况和研究方法

1.1 样地概况

样地位于福建省平和县天马国有林场东溪工区(北纬24°20′、东经117°26′),坡度28°~30°,坡向东南,海拔150~250 m。年平均温度22℃,极端最高气温38℃,极端最低气温-5℃,≥10℃年积温7350℃;年均日照数1891.4 h;年均无霜期330 d;年均降雨量1859 mm,降雨主要集中在夏季;属于南亚热带海洋性气候。土壤为发育自第四纪红土母质的筒育湿润铁铝土。

供实验用的3种相思人工林的前茬均为杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]纯林,2000年截伐、劈草、整地,2001年初用实生苗营造人工纯林。样地立地类型为Ⅱ、Ⅲ类,土层中厚、腐殖质层薄、理化性能差,地带性植被为常绿阔叶林。木荷林位于3种相思人工林附近,坡度和坡向相近。

1.2 研究方法

于2006年9月分别在3种相思人工林和木荷

林内收集新凋落的叶片,风干后各称取约30 g落叶,装入尼龙网袋(20 cm×20 cm,孔径为1 mm),在尼龙网袋的开口处留若干个孔径为3 mm的孔隙,便于节肢动物进入。每种样品36袋,同时取样测定含水率并进行化学分析。网袋于2006年10月按上、中、下坡位进行放置,每个坡位放置12袋,于各林分的凋落物层内分别放置30、60、90、120、150、180、210、240、270、300、330和360 d后,按坡位随机回收已分解的样品各1袋,清除样品中的杂物后,于105℃烘干至恒质量并称取干质量,再把样品用粉碎机磨细,过60目筛,贮存于广口瓶中待测。另外,取分解前的样品(0 d)于105℃烘干至恒质量并称取干质量,粉碎后过60目筛,同样贮存于广口瓶中待测。

以上粉末样品采用硫酸-高氯酸消煮法制备待测液。全磷含量采用钼锑抗比色法测定;全钾含量采用火焰光度计法测定^[1]。

1.3 数据处理

凋落叶干质量损失率 $L_r = (\Delta W/W_0) \times 100\%$, 式中, ΔW 为凋落叶样品在整个实验阶段损失的干质量(g); W_0 为凋落叶的初始干质量(g)。凋落叶干质量残留率 $D_{wi} = (W_i/W_0) \times 100\%$, 式中, W_0 为凋落叶的初始干质量; W_i 为第*i*个月凋落叶的干质量。

凋落叶瞬时分解系数(*k*)采用Olson指数方程^[6]进行计算。凋落叶的月残留率 $Y = ae^{-kt}$, 式中,*t*为凋落叶分解时间(d);*k*为凋落叶分解系数;*a*为修正系数。根据该模型估算凋落叶分解的半衰期(分解50%所需时间) $t_{0.5}$ 和分解95%所需时间 $t_{0.95}$,并采用*F*检验法进行差异显著性检验。

凋落叶养分元素净释放率的计算公式为: $E_i = [(e_0 - e_i)/e_0] \times 100\%$, 式中, e_0 为凋落叶养分元素的初始含量(g); e_i 为第*i*个月后凋落叶中养分元素的残留量(g)。

2 结果和分析

2.1 凋落叶分解速率的动态变化规律

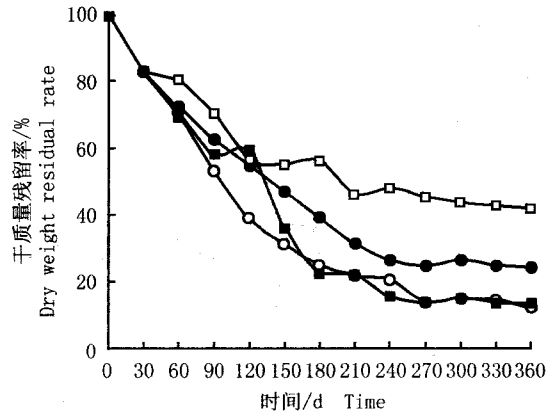
不同分解时间3种相思人工林及木荷林凋落叶干质量残留率的动态变化见图1。4种林分凋落叶干质量的残留率均随着时间的推移而逐渐降低,且分解的速率也逐渐减小。在分解过程中的前180 d内,马占相思林和黑木相思林凋落叶的分解速率较

快,干质量损失率分别达到 75.07% 和 76.89%;显著高于卷荚相思林(60.61%)和木荷林(45.85%),之后分解速率明显减慢;分解 360 d,凋落叶干质量残留率从小至大依次为马占相思林(12.49%)、黑木相思林(13.51%)、卷荚相思林(24.37%)和木荷林(41.86%),其中马占相思林和黑木相思林凋落叶干质量的残留率较低,木荷林凋落叶干质量的残留率显著高于 3 种相思人工林。

应用 Olson 指数方程模拟凋落叶的分解过程,得到了较好的拟合结果(表 1)。凋落叶年分解系数为 0.969 5~2.540 6,3 种相思人工林的年分解系数差异不明显,其中马占相思林的分解速率最快,分解 50% 所需时间($t_{0.5}$)是 100 d,分解 95% 所需时间($t_{0.95}$)是 426 d;木荷林凋落叶的年分解系数最小,仅为 0.969 5,显著低于 3 种相思人工林。

2.2 凋落叶分解过程中磷和钾含量的动态变化

在 3 种相思人工林和木荷林凋落叶分解过程中



—□— 木荷 *Schima superba* Gardn. et Champ.; —■— 黑木相思 *Acacia melanoxylon* R. Br.; —●— 卷荚相思 *A. cincinnata* F. Muell.; —○— 马占相思 *A. magium* Willd.

图 1 3 种相思人工林及木荷林凋落叶干质量残留率的动态变化
Fig. 1 Dynamic change of dry weight residual rate of leaf litter in three artificial forests of *Acacia* and *Schima superba* Gardn. et Champ. forest

表 1 3 种相思人工林和木荷林凋落叶分解速率的分析¹⁾

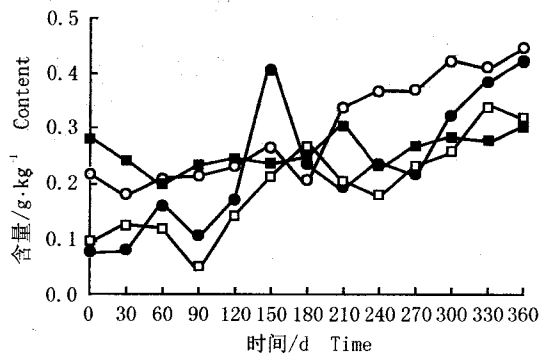
Table 1 Analysis of decomposition rate of leaf litter in three artificial forests of *Acacia* and *Schima superba* Gardn. et Champ. forest¹⁾

林分 Stand	k_d	k_a	R	Lr/%	$t_{0.5}/d$	$t_{0.95}/d$
木荷 <i>Schima superba</i>	0.002 7	0.969 5	0.921 0 **	58.14	226	1 081
卷荚相思 <i>Acacia cincinnata</i>	0.004 8	1.713 1	0.945 3 **	75.63	139	623
黑木相思叶 <i>A. melanoxylon</i>	0.006 6	2.391 1	0.972 0 **	86.49	108	454
马占相思 <i>A. magium</i>	0.007 1	2.540 6	0.988 0 **	87.51	100	426

¹⁾ k_d : 日分解系数 Daily decomposition coefficient; k_a : 年分解系数 Annual decomposition coefficient; R: 相关系数 Correlation coefficient; Lr: 干质量损失率 Loss rate of dry weight; $t_{0.5}$: 凋落叶分解 50% 所需时间 The time needed for decomposition of 50% leaf litter; $t_{0.95}$: 凋落叶分解 95% 所需时间 The time needed for decomposition of 95% leaf litter. ** : $P < 0.01$.

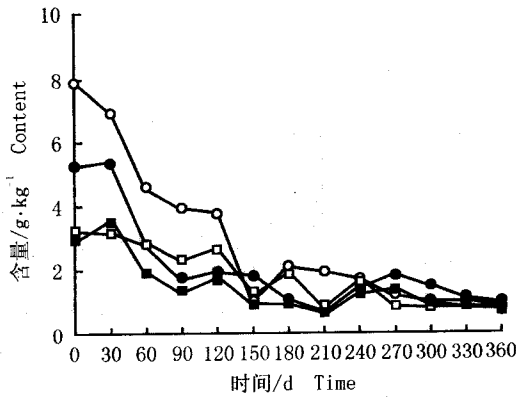
磷含量的变化趋势见图 2。由图 2 可见,在凋落叶的分解过程中,不同林分凋落叶磷含量的变化趋势较为复杂。随分解过程的延续,木荷林、卷荚相思林和马占相思林凋落叶的磷含量基本表现为单调上升,其中,卷荚相思林凋落叶的磷含量在分解 150 d 时达到最高值;黑木相思林凋落叶的磷含量在分解初期为 $0.28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,分解末期为 $0.31 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,在整个分解过程中变化不明显。

在分解过程中,3 种相思人工林和木荷林凋落叶钾含量的变化趋势见图 3。由图 3 可见,凋落叶中的钾含量均随分解过程明显下降,且在分解过程的前 150 d 内钾含量的下降最为明显,分解至 150 d,木荷林、卷荚相思林、黑木相思林和马占相思林凋落叶中的钾含量分别减少了 58.54%、68.21%、65.77% 和 87.61%;在分解过程的 150 d 后,凋落叶中的钾含量



—□— 木荷 *Schima superba* Gardn. et Champ.; —■— 黑木相思 *Acacia melanoxylon* R. Br.; —●— 卷荚相思 *A. cincinnata* F. Muell.; —○— 马占相思 *A. magium* Willd.

图 2 3 种相思人工林及木荷林凋落叶分解过程中磷含量的变化
Fig. 2 Change of P content during leaf litter decomposition in three artificial forests of *Acacia* and *Schima superba* Gardn. et Champ. forest



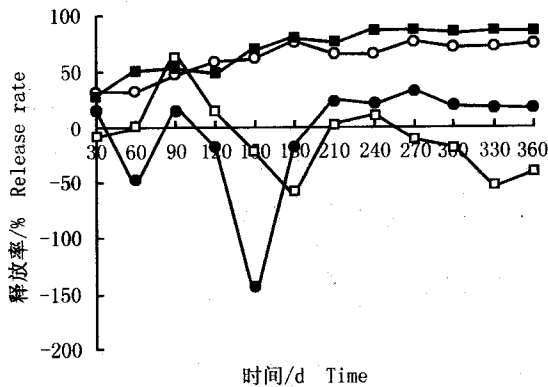
—□—木荷 *Schima superba* Gardn. et Champ.; —■—黑木相思 *Acacia melanoxylon* R. Br.; —●—卷荚相思 *A. cincinnata* F. Muell.; —○—马占相思 *A. magium* Willd.

图3 3种相思人工林及木荷林凋落叶分解过程中钾含量的变化
Fig. 3 Change of K content during leaf litter decomposition in three artificial forests of *Acacia* and *Schima superba* Gardn. et Champ. forest

变化幅度较小。在整个分解过程中,马占相思林凋落叶的钾含量在分解初期为 $7.83 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,分解结束时仅为 $0.80 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,下降幅度最大。

2.3 凋落叶分解过程中磷和钾释放率的动态变化

在3种相思人工林和木荷林凋落叶分解过程中磷释放率的动态变化见图4。由图4可见,黑木相思林和马占相思林凋落叶的磷释放率均为正值,且不断增大。卷荚相思林凋落叶的磷释放率在分解过程的前180 d内多为负值,呈现减小-增加-减小-增

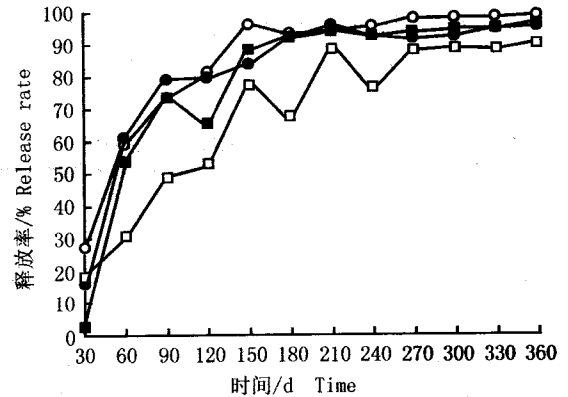


—□—木荷 *Schima superba* Gardn. et Champ.; —■—黑木相思 *Acacia melanoxylon* R. Br.; —●—卷荚相思 *A. cincinnata* F. Muell.; —○—马占相思 *A. magium* Willd.

图4 3种相思人工林及木荷林凋落叶分解过程中磷释放率的动态变化
Fig. 4 Dynamic change of P release rate during leaf litter decomposition in three artificial forests of *Acacia* and *Schima superba* Gardn. et Champ. forest

加的波动趋势;在分解过程的180 d后,卷荚相思林凋落叶的磷释放率变为正值。在整个分解过程中,木荷林凋落叶的磷释放率呈现增加-减小-增加-减小的波动趋势,分解结束时表现为净固持。研究表明,在分解结束时,木荷林、黑木相思林、卷荚相思林和马占相思林凋落叶的磷残留量分别是分解初期的140.41%、14.65%、83.20%和25.71%。

在3种相思人工林和木荷林凋落叶分解过程中钾释放率的动态变化见图5。由图5可见,凋落叶中钾释放率的变化趋势较简单,在整个分解过程中表现为单调递增,且钾释放率均为正值。分解结束时,卷荚相思林、黑木相思林和马占相思林凋落叶的钾释放率分别为95.39%、96.37%和98.72%,而木荷林凋落叶的钾释放率为90.14%,低于前三者。



—□—木荷 *Schima superba* Gardn. et Champ.; —■—黑木相思 *Acacia melanoxylon* R. Br.; —●—卷荚相思 *A. cincinnata* F. Muell.; —○—马占相思 *A. magium* Willd.

图5 3种相思人工林及木荷林凋落叶分解过程中钾释放率的动态变化
Fig. 5 Dynamic change of K release rate during leaf litter decomposition in three artificial forests of *Acacia* and *Schima superba* Gardn. et Champ. forest

3 讨论

森林凋落物的分解是一个复杂的过程,一般包含淋溶作用(凋落物中的可溶性物质通过降水而被淋溶)、粉碎作用(土壤中无脊椎动物对植物凋落物的啃食)和分解代谢作用(微生物活动把复杂的有机化合物转化成简单的无机化合物)3个过程^[1,7]。凋落物分解受到生物和非生物因素的影响。有研究表明,土壤中无脊椎动物对凋落物的啃食是陆地生态系统中造成凋落物质量损失的主要生物因素,凋落

物分解的环境(如气候、凋落物质量、土壤等)是影响凋落物质量损失的重要非生物因素^[8-9]。

木荷林凋落叶的年分解速率为 58.14%, 在亚热带森林凋落物年分解速率范围(40% ~ 70%)之内^[1,10], 而 3 种相思人工林凋落叶的年分解速率则均超出此范围, 表明凋落物分解主导的养分循环除了受地带性气候影响外, 凋落物质量(如碳含量、木质素含量、氮含量等)也是重要的影响因素之一, 但有待进一步的实验研究加以证实。

在木荷林和 3 种相思人工林中, 分解 95% 凋落叶所需的时间较长, 为 50% 凋落叶分解所需时间的 4 ~ 5 倍, 表明凋落物分解过程中出现了分解速率较快和较慢 2 个阶段^[1]。分解初期凋落物分解速率较快, 是由于降雨使土壤变湿润, 可溶性化学物质被淋洗导致凋落物干质量大量损失^[8,11]; 而到了分解后期, 淋溶作用基本结束, 此时主要是由微生物主导分解代谢作用, 而微生物为了维持自身养分浓度的平衡, 有时会向凋落物的分解部位输入某些养分, 致使凋落物干质量的损失率变化逐渐趋缓^[10]。

在森林凋落物分解过程中, 营养元素的迁移有淋溶-累积-释放、累积-释放、直接释放等模式。在木荷林和 3 种相思人工林凋落叶分解过程中, 磷元素基本处于富集状态, 该结论与亚热带地区福建柏(*Fokienia hodginsii* (Dunn.) Henry et Thomas) 和杉木落叶^[1] 以及印度东北部地区橡树(*Quercus* spp.) 林凋落物的分解结果一致^[2]。在木荷林和 3 种相思人工林凋落叶分解过程中, 钾含量随分解过程不断下降, 这一结果也与前人的研究结果一致^[2,10]。

在分解过程中, 马占相思林和黑木相思林凋落叶一直表现为磷的净释放; 卷荚相思林凋落叶在分解前期表现为磷的净固持, 分解后期表现为较弱的释放; 木荷林凋落叶中的磷则一直处于净固持状态。在整个分解过程中虽然马占相思林和黑木相思林凋落叶的磷含量不断升高, 但由于凋落叶分解速度更快, 因而仍表现为磷的净释放; 木荷林凋落叶对磷的净固持可能与淋溶作用对凋落叶中磷的作用不明显以及分解凋落物的微生物对磷的固持作用有关。在分解过程中, 木荷林和 3 种相思人工林凋落叶中的钾均为净释放, 且钾释放率明显高于磷释放率, 这一现象与前人的研究结果一致^[1-2]。

在整个分解过程中, 不同林分凋落叶的分解速

率由大至小依次为马占相思林、黑木相思林、卷荚相思林和木荷林; 凋落叶中磷释放率由大至小依次为黑木相思林、马占相思林、卷荚相思林和木荷林; 凋落叶中的钾均表现为净释放, 且各林分差异不明显。与木荷林相比, 马占相思林和黑木相思林凋落叶均具有较高的分解速率、初始磷含量及磷释放率, 有利于维持土壤有机质含量、提高土壤肥力, 具有较强的自肥能力。因此, 在一些退化的山地丘陵地区, 可结合当地实际情况适当种植马占相思和黑木相思等树种, 促进土壤肥力的恢复, 维持生态系统的稳定。

致谢: 福建农林大学 2006 级森林经理学硕士研究生朱洪如、高元竞及 2004 级农业资源与环境学本科生陈恒添、丁泽雄、郑晓芬和李蓉芳等参与了野外样地调查和室内样品分析工作, 特此致谢!

参考文献:

- [1] 杨玉盛, 郭剑芬, 陈银秀, 等. 福建柏和杉木人工林凋落物分解及养分动态的比较[J]. 林业科学, 2004, 40(3): 19-25.
- [2] Pandey R R, Sharma G, Tripathi S K, et al. Litterfall, litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical natural oak forest and managed plantation in Northeastern India[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 240: 96-104.
- [3] 杨清伟. 贡嘎山峨眉冷杉原始林及其更新群落凋落物特征[J]. 植物资源与环境学报, 2001, 10(3): 35-38.
- [4] Prescott C E. Do rates of litter decomposition tell us anything we really need to know? [J]. Forest Ecology and Management, 2005, 220: 66-74.
- [5] Vogt K A, Grier C C, Vogt D J. Production, turnover and nutrient dynamics of above and below-ground detritus of the world forests [J]. Advantage Ecology Research, 1986, 15: 303-377.
- [6] Olson J S. Energy storage and the balance of producer and decomposers in ecological system [J]. Ecology, 1963, 44: 322-331.
- [7] Swift M J, Heal O W, Anderson J M. Decomposition in Terrestrial Ecosystems [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1979.
- [8] Semmartin M, Aguiar M R, Distel R A, et al. Litter quality and nutrient cycling affected by grazing-induced species replacements along a precipitation gradient [J]. Oikos, 2004, 107: 148-160.
- [9] Quideau S A, Graham R C, Oh S W, et al. Leaf litter decomposition in a chaparral ecosystem, Southern California [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37: 1988-1998.
- [10] 李海涛, 于贵瑞, 李家永, 等. 井冈山森林凋落物分解动态及磷、钾释放速率 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(2): 233-240.
- [11] Xu X N, Hirata E. Decomposition patterns of leaf litter of seven common canopy species in a subtropical forest: N and P dynamics [J]. Plant and Soil, 2005, 273: 279-289.