

三峡地区香溪河流域不同树种叶片凋落物的分解

陈书秀, 江明喜*

(中国科学院武汉植物园, 武汉 430074)

摘要:在香溪河流域 1160m、930m、658m 3 个海拔梯度, 利用网袋法, 研究黄栌 (*Cotinus coggygia* var. *pubescens*)、五裂槭 (*Acer oliverianum*)、扇叶槭 (*Acer flabellatum*) 3 个树种叶片凋落物在河流中和河岸陆地的分解速度和分解动态。结果表明, 分解进行 90d, 叶片凋落物干重流失率为 13%~74%。凋落物的干物质重量流失速度符合指数衰减方程 ($p < 0.05$)。叶片凋落物分解前 3d 干物质迅速淋洗, 在河流中, 凋落物干重淋洗率为 9%~18%, 河岸陆地为 4%~9%。叶片凋落物在河流中分解 30d 后, 分解速度趋于稳定。叶片凋落物在河岸陆地分解 90d 的过程中, 分解速度呈现一定的波动性。黄栌叶片的分解为中速 (分解系数 k 值为 $0.0043 \sim 0.0079d^{-1}$), 显著慢于五裂槭和扇叶槭。五裂槭和扇叶槭作为同属物种, 叶片的分解速度之间没有显著差异, 在海拔 1160m 和 930m 河流中为快速分解 (分解系数 k 值为 $0.0101 \sim 0.0140d^{-1}$), 在海拔 658m 河流中为中速分解 (分解系数 k 值分别为 $0.0084d^{-1}$ 、 $0.0078d^{-1}$)。扇叶槭在河岸陆地的分解速度在 3 个海拔间差异较小, 干物质流失均缓慢, 分解速度 (分解系数 k 为 $0.0027 \sim 0.0036d^{-1}$) 显著低于河流。方差分析结果表明, 海拔梯度与叶片凋落物的分解速度之间没有显著相关性 ($p > 0.05$)。河流中叶片凋落物在春夏季节的快速分解对底栖生物群落和下游养分循环有重要作用。

关键词:海拔梯度; 分解速度; 干物质流失; 叶片凋落物; 香溪河

文章编号:1000-0933(2006)09-2905-08 **中图分类号:**Q14, Q178.1, Q948, S718.5 **文献标识码:**A

Leaf litter decomposition dynamics of different tree species in Xiangxi River watershed, the Three Gorges region

CHEN Shu-Xiu, JIANG Ming-Xi* (Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26 (9): 2905 ~ 2912.

Abstract: Detritus, as a major component of energy flow, contributes to the energy resource in ecosystems. The duration of stay of the leaf litter in a certain area of the stream channel determines the density and composition of the stream biocoenosis that invades the litter. Human activities accelerate degradation of ecological conditions in streams. As a result, many researches on litter breakdown in drainage areas have been conducted, which could be used for assessing for the health of streams. However, a few information on leaf litter decomposition in streams in China is available. To provide information for understanding nutrient cycling and energy flow in fluvial ecosystems, this paper focused on the leaf litter decomposition in Xiangxi River in northwest Hubei Province (China). The objective of this research was to examine how rates of leaf litter decay in three plant species (*Cotinus coggygia* var. *pubescens*, *Acer oliverianum* and *Acer flabellatum*.) varied along an elevation gradient, and mass loss dynamics of them were investigated using mesh bags. The three altitudinal plots were located in the headwater at alt. 1160m, 930m and 658m in Xiangxi River watershed. Leaf litter bags had been deposited in the stream water and on the riparian woodland for 90 days.

Our results showed that after 90 days, the dry mass loss of leaf litter ranged from 13% to 70%. The dynamics of dry mass

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30570331); 国务院三峡工程建设委员会资助项目(SX2002-007)

收稿日期:2005-12-23; **修订日期:**2006-06-20

作者简介:陈书秀(1980~), 女, 河南南阳, 硕士生, 主要从事流域生态学研究. E-mail: csx2006@gmail.com

*通讯作者 Corresponding author. E-mail: mxjiang@wbpcas.cn

Foundation item: The project was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 30570331); the Three Gorges Project Construction Committee of China (No. SX2002-007).

Received date: 2005-12-23; **Accepted date:** 2006-06-20

Biography: CHEN Shu-Xiu, Master candidate, mainly engaged in watershed ecology. E-mail: csx2006@gmail.com

loss followed the declined exponential equation. In the first 3 days, dry mass of all the leaf litter lost rapidly. Leaf litter bags in the fresh water lost 9 % to 18 % of the total mass, while on the land lost 4 % to 9 %. This leaching period was attributed to a physical processing of soluble compound. After 30 days, rates of leaf litter decay in the rivers stabilized gradually. The dynamics of dry mass loss on the woodland showed fluctuated dynamics in 90 days. *C. coggydia* var. *pubescens* appeared medium decomposition rate (decay rates range from 0.0043 to 0.0079 d^{-1}), lower than *A. oliverianum* and *A. flabellatum* significantly ($p < 0.05$). But there was not significant difference between decay rates of *A. oliverianum* and *A. flabellatum* leaf litter. High decomposition rates had been observed in *A. oliverianum* and *A. flabellatum* litter bags in the alt. 1160m and 930m streams (decay rate ranges from 0.0101 to 0.0140 d^{-1}), while in the alt. 658m site appeared medium rates (decay rate ranges from 0.0078 to 0.0084 d^{-1}). However, elevation had no significant influence on the rates ($p > 0.05$), maybe the altitudinal differences among three streams were too small. *A. flabellatum* leaf litter decomposed significantly much slowly (decay rate ranges from 0.0027 to 0.0036 d^{-1}) on the woodland than in the stream. Similar breakdown rates were found on the three woodland plots. Generally, fast breakdown rates of leaf litter in the Xiangxi River indicated that riparian leaf litter played a significant role in the nutrient cycling and benthic communities.

Key words: altitudinal gradient; decomposition rate; dry mass loss; leaf litter; Xiangxi River

凋落物分解是生态系统物质循环和能量流动的重要环节。过渡区域植被的凋落物是很多陆地和湿地生态系统的主要能量和养分来源^[1],土壤中碳年流通量有 70 %来自于凋落物^[2]。在流域生态系统中,外来凋落物的分解对河流底栖生物群落的营养结构有显著影响^[3]。根据 Vannote 等的河流连续统概念(River Continuum Concept)^[4],河岸带凋落物在上游源头的分解甚至会影响到整个流域的生态功能。河岸带凋落物分解的研究始于 20 世纪 70 年代,大量研究集中于叶片凋落物的分解。已有的分解研究主要是从分解速度、养分含量变化、以及细菌、真菌、无脊椎动物的种类和生物量等方面^[5-9],来揭示凋落物在河流中的分解动态以及影响因素。在国内,凋落物分解的研究集中在森林生态系统和草地生态系统,河岸带凋落物分解作为流域生态学研究的主要内容^[10],以及流域生态系统健康评价的主要生态指标^[11],相关研究仅有一例报道^[12]。

香溪河流域是长江三峡水库湖北库区的最大支流,发源于湖北省西北部的神农架自然保护区,贯穿兴山县全境,于秭归县香溪镇注入长江。该流域为峡谷型河流,自然落差较大,水能资源丰富^[13]。不少学者对香溪河流域河岸带凋落物产量动态^[14]、河岸带植物群落物种丰富度^[15]、河流连续统特征^[16]等进行研究,江明喜等曾对叶片凋落物分解速度进行初步研究^[12]。Fabre 等曾在不同海拔梯度对桤木凋落物在河流中分解进行研究^[17],凋落物在河流和河岸陆地分解的比较研究未见报道。本文旨在通过对不同树种凋落物在香溪河流域 3 个海拔点河流和河岸陆地分解的研究,探讨凋落物分解动态与环境条件之间的关系,为流域生态系统物质循环研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地点概况

香溪河从源头至出口流经暗针叶林带、针阔叶混交林带、常绿落叶阔叶混交林带,植被垂直分布明显。暗针叶林带位于海拔 2300 ~ 3100m 之间,以巴山冷杉(*Abies fargesii*)为主要成分。针阔叶混交林带位于海拔 1600 ~ 2300m 之间,建群种有锐齿槲栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)、米心水青冈(*Fagus engleriana*)、红桦(*Betula albo-sinensis*)、山杨(*Populus davidiana*)等,针叶树种有华山松(*Pinus armandii*)、铁杉(*Tsuga chinensis*)、巴山松(*Pinus henry*)等。常绿落叶阔叶混交林带(位于海拔 1600m 以下)分布范围广泛,由于人为活动频繁,自然植被已遭受不同程度的破坏,有些地方已成为农田。该植被带主要建群种有青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、宜昌润楠(*Machilus ichangensis*)、小叶青冈(*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)、川桂(*Cinnamomum wilsonii*)、苞石栎(*Lithocarpus cleistocarpus*)、虎皮楠(*Daphniphyllum glaucescens*)等,落叶树种有野核桃(*Juglans cathayensis*)、茅栗(*Castanea sequinii*)、槲栎(*Quercus aliena*)、化香(*Platycarya strobilacea*)、多种鹅耳枥(*Carpinus* ssp.)等。

在海拔 600 ~ 1300m 之间的河岸植物群落,由于人类活动的影响,原生群落已遭到破坏,现存主要是次生

类型,乔木优势种类主要有野核桃(*Juglans cathayensis*)、灯台树(*Cornus controversa*)、多种槭树(*Acer* ssp.)等,灌木层种类有黄栌(*Cotinus coggygria* var. *pubescens*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、醉鱼草(*Buddleja lindleyana*)等。

试验样点分别位于神农架自然保护区的天生桥、九冲和兴山县的龙门河。样点所处位置如表 1 所示。

1.2 凋落物收集

试验采用网袋法^[18]。凋落物收集于 2004 年 11 月进行,在天生桥附近收集黄栌(*C. coggygria* var. *pubescens*)、五裂槭(*Acer oliverianum*)、扇叶槭(*Acer flabellatum*)新鲜落叶,带回实验室,于通风干燥处风干,分装入塑料网袋(25cm ×15cm,孔径 1mm),每袋 10g (Sartorius BL6100,精确到 0.1g)。各物种留取 10 袋,做初始干重衡定。装袋后用细铁丝封口,干燥器内贮存。

1.3 分解样袋收集

2005 年 3 月,投放样袋。每河流样地中随机放置黄栌、五裂槭、扇叶槭凋落物各 25 袋,用石块固定于河床底部。在各河流样地附近的林下地面放置扇叶槭 25 袋。

分别于 3d、15d、30d、60d、90d 后取样,取样的同时记录河水 pH 值、气温、水温、水深等。所有物种各取 5 袋,各样袋用塑料袋单独分装。带回实验室,挑取河流样袋中底栖动物,保存于 70 %乙醇溶液,用自来水冲洗凋落物中的泥沙、杂物,并风干。鼓风干燥箱中进行干燥(80 ℃,48h),干燥器中恒重 24h 后称量干重(Sartorius BS300s-Wei,精确到 0.001g)。

1.4 资料分析

试验数据整理在 EXCEL2003 中进行,干物质重量百分率在方差分析之前进行 $\ln(x + 1)$ 转换,利用 SPSS10.0 进行方差分析(ANOVA)和分解曲线模拟。凋落物分解曲线的模拟依据 Olson 指数衰减模型: $x/x_0 = e^{-kt}$, x_0 为初始凋落物的重量, x 为 t 时刻的残留量, k 为每天的分解系数($g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)^[19]。但在实际应用中,多用 $y = ae^{-kt}$ 来表示^[20], y 为 t 时刻的重量残留率, k 为分解系数, a 为拟合参数。

2 结果与分析

2.1 河流特征

2005 年 3 月到 2005 年 6 月之间,取样 5 次,记录河流样地特征如表 2 所示。

表 2 5 次取样的河流特征

海拔 Alt. (m)	水温 Water tem. ()			气温 Air tem. ()			水深 Water depth (cm)				
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次
	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th
1160	8.7	13	4	11.8	22	6	21.5	28	38	15	40
930	10.8	13	4.8	14.1	25	7.7	20	25	33	18	37
658	11.3	14.5	7	14.4	26.5	8	16	28	40	13	43

3 个试验点河水 pH 值均在 6~7 之间。由表 2 可知,水温与气温均随海拔降低升高。水深在前 3 次取样不断增加,第 4 次水位急剧回落,第 5 次取样前夏季洪水造成水位迅速回升。水位的明显涨落可能会对凋落物分解速度造成影响。

2.2 凋落物分解动态

2.2.1 叶片的淋洗过程 凋落物进入河流,在最初一段短暂时期内有机物迅速淋洗。本试验前 3d 叶片干重流失率如图 1 所示。

由图 1 可知,叶片在河流中前 3d 的分解,干重流失率较高,五裂槭和扇叶槭流失 14 %~18 %,黄栌干重流失率为 9 %~11 %。方差分析结果表明,物种间差异极显著($p < 0.001$),海拔梯度对淋洗率的影响不明显($p > 0.05$),物种与海拔的交互作用极显著($p < 0.01$)。多重比较结果表明黄栌淋洗失重率明显比五裂槭和扇

叶槭低 ($p < 0.01$), 五裂槭与扇叶槭无显著差异 ($p > 0.05$)。

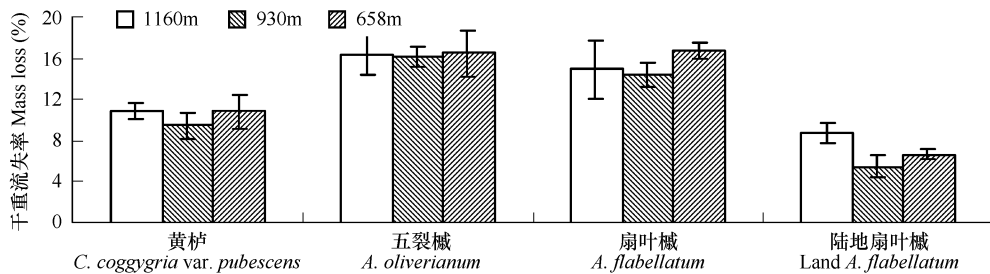


图1 叶片凋落物在不同海拔样地中分解前3d干重流失率

Fig. 1 Percentage mass loss (mean ± SE) of leaf litter decomposing in the first three days at different altitudes

扇叶槭在陆地与河流的淋洗率存在极显著差异 ($p < 0.01$), 陆地淋洗率最低 (4%~9%), 海拔 1160m 处极显著高于 930m ($p < 0.001$) 和 658m ($p < 0.01$)。

2.2.2 分解 90d 干物质流失动态 从图 2 可以看出, 分解 90d 后, 干物质流失率为 13%~74%, 黄栌在海拔 658 m 河流中流失率最低 (13.6%), 扇叶槭在海拔 930m 河流中流失率最高 (73.9%)。从整个研究期间来看, 同物种干物质流失速度动态在不同海拔梯度间差异不大。分解的前 3d, 均出现迅速淋洗过程。分解第 15 天, 除黄栌在 3 条河流中重量有所增加之外, 其他均缓慢降低。第 15 天到第 30 天, 分解速度加快。在第 30 天到第 90 天的时期内, 除海拔 658m 河流中五裂槭分解速率先减缓后加快, 其他海拔各物种干物质流失速度没有明显变化。

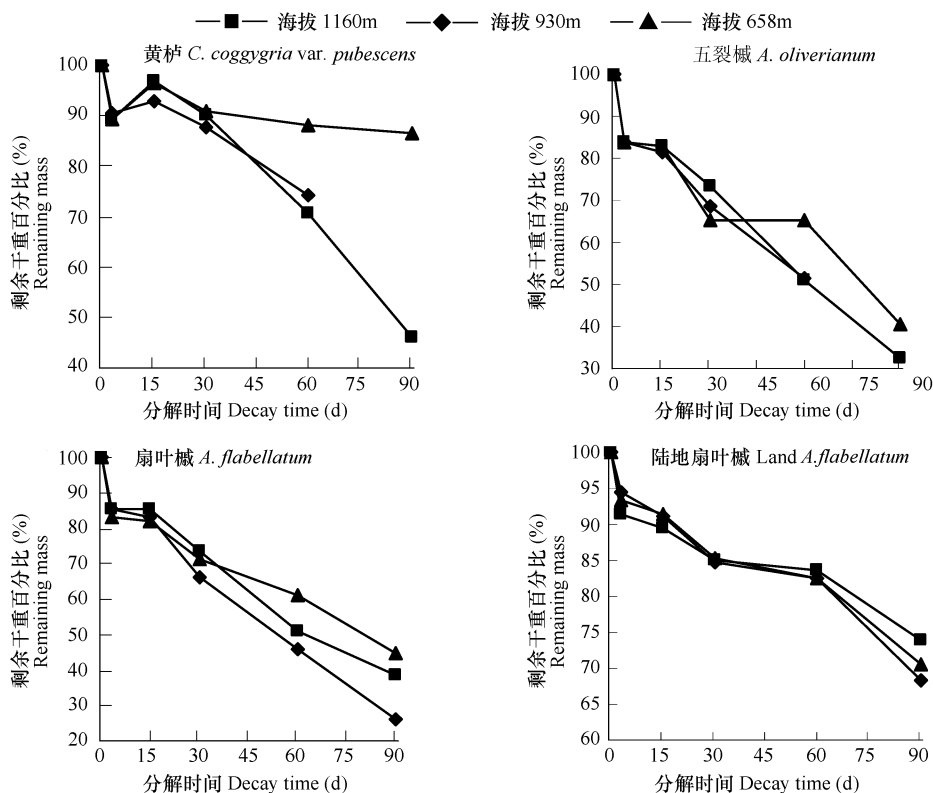


图2 叶片凋落物分解过程中干物质流失动态

Fig. 2 Dynamics of mass loss in the processing of leaf litter

可以看出, 叶片凋落物进入河流, 在快速淋洗之后, 干物质流失速度减慢, 后略有加快, 30d 之后保持几乎恒定的速度缓慢分解。凋落物在陆地分解动态与河流中有所差异, 分解的 90d 内干物质流失速度呈现明显的

波动。

2.3 叶片凋落物分解速度的比较

由表 3 可知 :利用指数方程模拟凋落物分解动态 ,只有 658m 河流中黄栌的分解方程无统计学意义 ($p > 0.05$) ,其他分解曲线的拟合度均较高 , R^2 在 0.90 左右。

2.3.1 同一物种在不同海拔梯度分解速度的比较 从指数方程中的分解常数 k 值可以看出(表 3) ,黄栌和五裂槭叶片在河流中的分解速度均随海拔升高而加快 ,658m 处分解最慢 ,1160m 处分解最快。扇叶槭在不同海拔河流中分解速度比较为 :658m < 1160m < 930m。3 个物种均在海拔 658m 处表现最小 k 值。对凋落物在河流中的分解速度进行方差分析 ,结果表明 ,不同海拔梯度造成的差异不明显 ($p > 0.05$)。

扇叶槭叶片在河岸陆地的分解在不同海拔间差异较小(分解系数 k 为 $0.0027 \sim 0.0036 \text{ d}^{-1}$) ,分解最快的为海拔 930m 处 ,1160m 处分解最慢。

从表 3 还可以看出 ,3 个物种叶片凋落物在河流中分解 95 %均需要 1 a 左右的时间 ,扇叶槭在陆地则需要 2 ~ 3 a。

表 3 叶片凋落物分解指数方程

Table 3 Leaf litter exponential decay equations						
物种 Species	生境 Habitat	海拔 Alt. (m)	分解指数方程 Exponential decay equations	判定系数 R Square	显著值 Sig.	3/k * (a)
黄栌 <i>C. coggygia</i> var. <i>pubescens</i>	河流 Stream	1160	$y = 1.0291e^{-0.0079t}$	0.89	0.0047	1.04
		930	$y = 0.9716e^{-0.0043t}$	0.89	0.0157	1.96
		658	$y = 0.9538e^{-0.0012t}$	0.54	0.0978	6.85
五裂槭 <i>A. oliverianum</i>	河流 Stream	1160	$y = 0.9681e^{-0.0115t}$	0.97	0.0003	0.71
		930	$y = 0.9350e^{-0.0101t}$	0.96	0.0038	0.81
		658	$y = 0.9258e^{-0.0084t}$	0.90	0.0041	0.98
扇叶槭 <i>A. flabellatum</i>	河流 Stream	1160	$y = 0.9589e^{-0.0101t}$	0.98	0.0001	0.81
		930	$y = 0.9835e^{-0.0140t}$	0.98	0.0001	0.59
		658	$y = 0.9231e^{-0.0078t}$	0.95	0.0007	1.05
	陆地 Land	1160	$y = 0.9481e^{-0.0027t}$	0.88	0.0057	3.04
		930	$y = 0.9731e^{-0.0036t}$	0.94	0.0014	2.28
		658	$y = 0.9666e^{-0.0033t}$	0.94	0.0015	2.49

*3/k 为分解 95 %需要的时间 (a) 95 % time

2.3.2 同一海拔不同物种凋落物分解速度的比较 海拔 1160m 河流中 ,3 个物种分解常数 k 值大小比较 :黄栌 < 扇叶槭 < 五裂槭 ;海拔 930m 河流 :黄栌 < 五裂槭 < 扇叶槭 ;海拔 658m 河流 :黄栌 < 扇叶槭 < 五裂槭。可以看出 ,黄栌叶片在 3 条河流中分解均最慢 ,分解系数最大值仅为 0.0079d^{-1} (海拔 1160m)。五裂槭和扇叶槭叶片分解较快 ,分解系数最小为 0.0078d^{-1} (扇叶槭在海拔 658m 河流)。方差分析表明黄栌叶片分解速度显著低于五裂槭和扇叶槭 ($p < 0.05$)。五裂槭和扇叶槭作为同属物种 ,叶片分解速度差异不显著 ($p > 0.05$)。物种与海拔对叶片分解速度的交互作用极显著 ($p < 0.001$)。

2.3.3 不同环境条件下凋落物分解速度比较 河流与河岸陆地不同环境条件下 ,扇叶槭叶片的分解速度存在差异。叶片在 3 条河流中分解速度为 $0.0078 \sim 0.0101\text{d}^{-1}$,陆地分解最大 k 值仅为 0.0036d^{-1} (表 3) ,在河流中的分解速度是陆地的 2 ~ 3 倍。方差分析结果表明扇叶槭叶片在河流中分解速度比陆地明显要高 ($p < 0.05$)。本试验中 ,扇叶槭叶片在陆地分解速度甚至低于分解最慢的黄栌叶片 ,表明不同环境条件对凋落物分解速度的影响比物种的影响更大。

3 讨论

3.1 叶片凋落物分解过程中干物质流失动态

在 90d 分解过程中 ,凋落物分解曲线的指数衰减模型拟合度较高 ,但有一例例外 ,即黄栌在海拔 658m 河流中的分解 ,可能是因为在 3 ~ 15d 重量增加较多的原因。大多研究者认为 ,凋落物分解过程中的干物质流失分为两个阶段^[21~23]。起初 ,易溶复合物的迅速淋洗 ,这是可溶组分流失的短暂物理过程^[24] ;其后 ,凋落物缓慢

分解,主要是分解者的作用^[25]。本研究中叶片分解前 3d,干物质重量迅速减少,在河流中流失率在 9%~18% 之间,黄栌叶片淋洗率最低。扇叶槭叶片在陆地放置 3d 干重流失率为 4%~9%,显著低于河流。

黄栌的干重在第 15 天取样时,干物质重量反而有所增加,而五裂槭和扇叶槭的干重几乎没有变化。这可能是因为本试验采用的网袋为细孔(1mm×1mm),本次取样在暴雨之后,固定在河流底部的样袋被浅滩和上游的泥沙碎屑覆盖^[26];另外,黄栌叶片的难以分解使其有更大的表面积附着藻类,且难以处理干净,因此附着杂质质量抵消甚至超过了分解造成的干重流失。

3.2 海拔梯度和不同环境条件对叶片凋落物分解速度的影响

河岸带凋落物的分解是物理、化学和生物因素综合作用的过程。以往大多数研究认为温度是影响凋落物分解最重要的物理因素,高温促进凋落物分解^[27]。但 Iron 等曾利用纬度模型来模拟叶片凋落物的分解速度与气温之间的关系,并未发现两者之间明显的相关性^[28]。本研究 5 次取样过程中,海拔 1160m 样点的平均水温和平均气温明显低于海拔 930m 和 658m 河流,方差分析结果表明分解速度在 3 个海拔梯度间差异均不明显,温度较低的海拔 1160m 河流中叶片分解速度反而较高。以往对不同海拔梯度河流中凋落物分解研究发现,分解速度同海拔梯度有显著的负相关,凋落物分解速度随海拔降低而加快^[17]。这可能是因为以往研究中海拔梯度较大(1400m),研究样点位于不同级别河流,而本研究中 3 个海拔梯度均为香溪河一级支流,海拔梯度差异亦小(658~1160m)。此外,从分解前 3d 和前 60d 的干重流失率来看,温度差异比较小的海拔 658m 和 930m 却存在显著差异。温度可能不是决定凋落物分解速度的最主要因素。

扇叶槭叶片在河岸陆地的分解在海拔 1160m 处最慢,海拔 930m 和 658m 差异不大(表 3)。凋落物在河岸陆地的分解速度与温度可能有一定相关关系。从扇叶槭在 90d 的分解过程中干重流失动态曲线来看,3 个海拔梯度的曲线比较接近,可能是因为海拔梯度较小,温度差异造成的影响不明显。进一步的研究可以选择大尺度的海拔梯度来对叶片凋落物的分解进行研究。

以往研究认为河流水位会影响凋落物的分解速度^[5,29],本研究期间水位波动比较大(表 2),但叶片凋落物的干重流失速度并未呈现相一致的波动规律,这与以往研究结果相反,具体原因尚需进一步研究。

在整个分解过程中,即使是在分解前 3d,扇叶槭在河流和河岸陆地的分解都存在显著差异,叶片在河流中分解明显比在河岸快。由此可以说明河岸带凋落物对河流中养分循环和能量流动有比对陆地更重要的作用。

叶片干重流失 95% 需要的时间,在河流中为 1a 左右,在陆地为 2~3a。以往研究表明,凋落物的分解速度因温度因素存在季节差异,夏季比冬季分解迅速^[30],秋冬季节比春夏季节分解缓慢^[31,32],本研究在春夏季节进行,因此表 2 所示分解 95% 所需时间比实际时间要短。

3.3 物种对凋落物分解的影响

根据 Peterson 和 Cummins 分解速度快慢的划分方法^[18],扇叶槭叶片在河岸陆地慢速分解($k < 0.005$),黄栌叶片分解速度接近于中速($0.005 < k < 0.01$),扇叶槭和五裂槭叶片在海拔 1160m 和 930m 河流中快速分解($k > 0.01$),在海拔 658m 分解为中速。

叶片组织结构不同,对物理破碎的抵抗能力存在差异,其分解速度也不相同^[33]。90d 的分解过程中,五裂槭与扇叶槭同为槭树科槭属物种,分解速度没有显著差异;黄栌隶属漆树科,其分解速度明显低于五裂槭和扇叶槭,可能有两方面原因。首先,黄栌叶片为厚革质,五裂槭与扇叶槭叶片纸质,厚革质的叶片难以分解。其次,以往大量研究认为凋落物质量如初始 N 浓度、P 浓度、C/N 比等会造成物种间分解速度的差异^[8,34~37],低质量也可能是黄栌叶片分解缓慢的原因,需要通过对叶片养分含量的进一步研究来证明。

4 结论

(1) 叶片凋落物在河流与河岸带放置 90d,干物质流失 13%~74%。干物质流失动态符合指数衰减模型,并且拟合度较高(R^2 为 0.89~0.98)。分解前 3d 干物质迅速淋洗,在河岸陆地淋洗率较低,为 4%~9%,在河流中为 9%~18%。黄栌分解前 3d 的淋洗率显著低于扇叶槭和五裂槭($p < 0.01$)。不同海拔河流间叶片淋洗

率差异不显著 ($p > 0.05$)。扇叶槭在海拔 1160m 河岸陆地淋洗率显著高于 930m、658m。叶片在河流中分解 30d 之后,干物质流失速度趋于稳定。凋落物在河岸陆地的分解速度呈现一定波动性。

(2) 黄栌、五裂槭、扇叶槭三者的分解速度均在海拔 658m 最为缓慢,方差分析表明海拔因素对分解速度的影响不显著 ($p > 0.05$)。扇叶槭在河岸陆地的分解动态与在河流中有显著差异,其分解速度与海拔梯度有一定程度相关性,海拔 1160m 河岸陆地平均温度最低,分解速度最慢(分解系数 k 为 0.0027d^{-1})。河流中凋落物的分解明显比在河岸陆地迅速,将对河流底栖生物群落甚至下游河流养分循环产生重要影响。

(3) 叶片凋落物分解速度因物种存在差异。五裂槭和扇叶槭作为同属物种,分解速度没有显著差异,均在海拔 1160m 和 930m 河流中快速分解,在海拔 658m 河流中速分解。扇叶槭叶片在陆地慢速分解。黄栌分解速度接近中速,分解速度慢于五裂槭、扇叶槭,除了叶片物理结构的差异,还可能与凋落物质量有关。

References :

- [1] Aerts R. Climate, leaf litter chemistry and leaf decomposition in terrestrial ecosystems: a triangle relationship. *Oikos*, 1997, 79: 439 ~ 449.
- [2] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 1992, 44B: 81 ~ 99.
- [3] Wallace J B, Eggert S L, Meyer J L, *et al.* Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. *Science*, 1997, 277: 102 ~ 104.
- [4] Vannote R L, Minshall G W, Cummins K W, *et al.* The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1980, 37: 130 ~ 137.
- [5] Wrubleski D A, Murkin H R, Van der Walk A G, *et al.* Decomposition of litter of three mudflat annual species in a northern prairie marsh during drawdown. *Plant Ecology*, 1997, 129: 141 ~ 148.
- [6] Schofield K A, Pringle C M, Meyer J L, *et al.* The importance of crayfish in the breakdown of rhododendron leaf litter. *Freshwater Biology*, 2001, 46: 1191 ~ 1204.
- [7] Carter M D, Suberkropp K. Respiration and annual fungal production associated with decomposing leaf litter in two streams. *Freshwater Biology*, 2004, 49: 1112 ~ 1122.
- [8] Quesada H M, Callaghan T V, Coranellissen J H C, *et al.* The impact of hemiparasitic plant litter on decomposition: direct, seasonal and litter mixing effects. *Journal of Ecology*, 2005, 93: 87 ~ 98.
- [9] Suberkropp K, Weyers H. Application of fungal and bacterial production methodologies to decomposing leaves in streams. *Applied and Environmental Microbiology*, 1996, 62(5): 1610 ~ 1615.
- [10] Deng H B, Wang Q L, Cai Q H. Watershed ecology — New discipline, new idea and new approach. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(4): 443 ~ 449.
- [11] Luo Y C, Zhou Z X, Sun Y, *et al.* Assessment methods of watershed ecosystem health. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8): 1606 ~ 1614.
- [12] Jiang M X, Deng H B, Tang T, *et al.* Comparison of leaf decomposing rate in a headwater stream in Xiangxi River catchment. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(1): 27 ~ 30.
- [13] Hui Y, Zhang X H, Chen Z J. Present situation and strategy about the natural environment of the Xiangxi River basin. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2000, 9(1): 27 ~ 33.
- [14] Hu X J, Jiang M X. Seasonal dynamics of litter in a headwater streams of riparian forest in Xiangxi River catchment. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2003, 21(2): 124 ~ 128.
- [15] Jiang M X, Deng H B, Tang T, *et al.* On spatial pattern of species richness in plant communities along riparian zone in Xiangxi River Watershed. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(5): 629 ~ 635.
- [16] Tang T, Li D F, Pan W B, *et al.* River continuum characteristics of Xiangxi River. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(1): 141 ~ 144.
- [17] Fabre E, Chauvet E. Leaf breakdown along an altitudinal stream gradient. *Archiv für Hydrobiologie*, 1998, 141: 167 ~ 179.
- [18] Peterson R C, Cummins K W. Leaf processing in a woodland stream ecosystem. *Freshwater Biology*, 1974, 4: 343 ~ 368.
- [19] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 1963, 44(2): 322 ~ 331.
- [20] Wang X H, Huang J J, Yan E R. Leaf litter decomposition of common trees in Tiantong. *Acta Phytocologia Sinica*, 2004, 28(4): 457 ~ 467.
- [21] Castro P, Freitas H. Fungal biomass and decomposition in *Spartina maritima* leaves in the Mondego salt marsh (Portugal). *Hydrobiologia*, 2000, 428: 171 ~ 177.
- [22] Gamage N P D, Asaeda T. Decomposition and mineralization of *Eichhornia crassipes* litter under aerobic conditions with and without bacteria. *Hydrobiologia*, 2005, 541: 13 ~ 27.
- [23] Pozo J M J, Gonzalez E. Litter breakdown in streams of the Agüera catchment: influence of dissolved nutrients and land use. *Freshwater Biology*, 1996, 36:

745 ~ 756.

- [24] Pagioro T A, Thomaz S M. Decomposition of *Eichhornia azurea* from limnologically different environments of the Upper Paraná River floodplain. *Hydrobiologia*, 1999, 411: 45 ~ 51.
- [25] Polunin. The decomposition of emergent macrophytes in fresh water. *Adv. Ecol. Res.*, 1984, 14: 115 ~ 166.
- [26] Wright M S, Covich A P. The effect of macroinvertebrate exclusion on leaf breakdown rates in a tropical headwater stream. *Biotropica*, 2005, 37(3): 403 ~ 408.
- [27] Xiong S, Nilsson C. Dynamics of leaf litter accumulation and its effects on riparian vegetation: a review. *The Botanical Reviewer*, 1997, 63(3): 240 ~ 264.
- [28] Irons J G III, Oswood M W, Stout R J, *et al.* Latitudinal patterns in leaf litter breakdown: is temperature really important? *Freshwater Biology*, 1994, 32: 401 ~ 411.
- [29] Francis C, Sheldon F. River Red Gum (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) organic matter as a carbon source in the lower Darling River, Australia. *Hydrobiologia*, 2002, 481: 113 ~ 124.
- [30] Van Dokkum H P, Slijkerman D M E, Rossi L, *et al.* Variation in the decomposition of *Phragmites australis* litter in a monomictic lake: the role of gammarids. *Hydrobiologia*, 2002, 482: 69 ~ 77.
- [31] López E S, Pardo I, Felpeto N. Seasonal differences in green leaf breakdown and nutrient content of deciduous and evergreen tree species and grass in a granitic headwater stream. *Hydrobiologia*, 2001, 464: 51 ~ 61.
- [32] Menéndez M, Hernández O, Comín F A. Seasonal comparison of leaf processing rates in two Mediterranean rivers with different nutrient availability. *Hydrobiologia*, 2003, 495: 159 ~ 169.
- [33] Janssen M A, Walker K F. Processing of riparian and wetland plant litter in the River Murray, South Australia. *Hydrobiologia*, 1999, 411: 53 ~ 64.
- [34] Pozo J, Basaguren A, El Óguí A, Molinero J, *et al.* Afforestation with *Eucalyptus globules* and leaf litter decomposition in streams of northern Spain. *Hydrobiologia*, 1998, 373/374: 101 ~ 109.
- [35] Dorrepaal E, Coenelissen J H C, Aerts R, *et al.* Are growth forms consistent predictors of leaf litter quality and decomposability across peatlands along a latitudinal gradient? *Journal of Ecology*, 2005, 93: 817 ~ 828.
- [36] Berendse F. Litter decomposability — a neglected component of plant fitness. *Journal of Ecology*, 1994, 82: 187 ~ 190.
- [37] Austin A T, Vitousek P M. Precipitation, decomposition and litter decomposability of *Metrosideros polymorpha* in native forests on Hawai'i. *Journal of Ecology*, 2000, 88: 129 ~ 138.

参考文献:

- [10] 邓红兵,王庆礼,蔡庆华.流域生态学——新学科、新思想、新途径. *应用生态学报*, 1998, 9(4): 443 ~ 449.
- [11] 罗跃初,周忠轩,孙轶,等.流域生态系统健康评价方法. *生态学报*, 2003, 23(8): 1606 ~ 1614.
- [12] 江明喜,邓红兵,唐涛,等.香溪河流域河流中树叶分解速率的比较研究. *应用生态学报*, 2002, 13(1): 27 ~ 30.
- [13] 惠阳,张晓华,陈珠金.香溪河流域资源环境状况及开发策略探讨. *长江流域资源与环境*, 2000, 9(1): 27 ~ 33.
- [14] 胡学军,江明喜.香溪河流域一条一级支流河岸带凋落物季节动态. *武汉植物学研究*, 2003, 21(2): 124 ~ 128.
- [15] 江明喜,邓红兵,唐涛,等.香溪河流域河岸带植物群落物种丰富度格局. *生态学报*, 2002, 22(5): 629 ~ 635.
- [16] 唐涛,黎道丰,潘文斌,等.香溪河河流连续统特征研究. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 141 ~ 144.
- [30] 王希华,黄建军,阎恩荣.天童山国家森林公园常见植物凋落物分解的研究. *植物生态学报*, 2004, 28(4): 457 ~ 467.