J. Lake Sci.(湖泊科学),2012,**24**(3):371-377
http://www.jlakes.org. E-mail:jlakes@niglas.ac.cn
© 2012 by *Journal of Lake Sciences*

太湖流域上游西苕溪源头溪流中毛竹、石栎和山胡椒落叶分解比较*

卢东琪[1],张　勇[1],刘东晓[2],王备新[1]**
(1:南京农业大学昆虫学系水生昆虫与溪流生态实验室,南京 210095)
(2:南京农业大学资源与环境学院,南京 210095)

摘　要: 比较了毛竹、石栎和山胡椒叶片的理化属性,采用粗网叶袋法研究了三种落叶在太湖流域上游西苕溪中的分解过程,探讨了毛竹叶成为溪流优势外来能源后对溪流生态过程和底栖动物群落结构的影响. 三种落叶的氮、磷含量及叶片厚度都存在显著差异,毛竹叶的氮含量(30.23 g/kg)远高于石栎(20.98 g/kg)和山胡椒(9.69 g/kg),其中毛竹叶的分解速率最快(k = 0.00592 d^{-1}),山胡椒(0.00297 d^{-1})和石栎叶(0.00212 d^{-1})较慢. 三种落叶叶袋间的大型底栖无脊椎动物包括各取食功能团的多度和生物量无显著差异,而4次采样间的差异很显著. 大型底栖动物的取食功能团中,撕食者的数量比例最高(40.3%),生物量比例为41.6%,是落叶分解的重要功能类群. 撕食者中,利用阔叶筑巢的鳞石蛾 *Lepidostoma* 数量最多,占全部底栖动物的14%,是该溪流中主要的撕食者类群. 因此,由于毛竹叶具有氮、磷含量较高、叶形较窄,以及两年进行一次换叶的特点,当毛竹叶替代其他阔叶秋季落叶的树种成为源头溪流优势外来能源后,可能会改变源头溪流中的氮磷含量、溪流外来能源的量和滞留时间以及底栖动物群落结构.
关键词: 落叶分解;大型底栖动物;毛竹;石栎;山胡椒;西苕溪;太湖流域

Leaf litter breakdown of *Phyllostachys heterocycla*, *Lithocarpus glabra* and *Lindera glauca* in a headwater stream of Xitiaoxi watershed, upper reaches of Taihu Basin, China

LU Dongqi[1], ZHANG Yong[1], LIU Dongxiao[2] & WANG Beixin[1]
(1: *Lab of Aquatic Insects and Stream Ecology*, *Department of Entomology*, *Nanjing Agricultural University*, *Nanjing* 210095, *P. R. China*)
(2: *Department of Environment and Resource*, *Nanjing Agricultural University*, *Nanjing* 210095, *P. R. China*)

Abstract: In order to explore the impact of the change of the dominant leaf litter source in stream from broad leaf trees to a bamboo tree of *Phyllostachys heterocycla* on headwater stream ecosystem and their associated benthic macroinvertebrates, we compared the leaf physical and chemical characters of *Phyllostachys heterocycla*, *Lithocarpus glabra* and *Lindera glauca*, and then evaluated the leaf litter breakdown of above three species using coarse-mesh litter bags in a headwater stream of Xitiaoxi watershed, Zhejiang Province. The concentrations of nitrogen , phosphorus and the thickness of the three categories of leaves varied significantly. The nitrogen concentration of bamboo tree leaf (30.23 g/kg) was much higher than that of *L. glabra* (20.98 g/kg) and *L. glauca* (9.69 g/kg). Moreover, the leaves of *P. heterocycla* (k = 0.00592 d^{-1}) decomposed faster than those of *L. glabra* (0.00297 d^{-1}) and *L. glauca* (0.00212 d^{-1}). No significant differences were observed in macroinvertebrates abundance and biomass among the three leaf types, however, the macroinvertebrate abundance and biomass varied significantly during the sampling period. Proportions of the functional feeding groups showed that shredders was the most abundant group, which represented 40.3% of individuals and 41.6% of the macroinvertebrate biomass, indicating it was an important component of fauna associated with litter breakdown. The dominant shredder taxon is *Lepidostoma*, which constructs nests based on broadleaves, and accounts for 14% of the total macroinvertebrate individuals. Because bamboo leaves are narrower, with higher concentrations of nitrogen and phosphorus, and defoliation occurs every two years. We concluded that when the leaf litter source of headwater streams dominated by bamboo leaf, it might change the concentrations of nitrogen and phosphorus in the stream water, the annual amount of leaf litter into stream, the re-

* 国家自然科学基金项目(30870345)资助. 2011-08-06 收稿;2011-12-14 收修改稿. 卢东琪,女,1987年生,硕士;E-mail:windylu@tom.com.
** 通信作者;E-mail:wangbeixin@njau.edu.cn.

tention time, and the macrobenthos community structure.

Keywords: Leaf litter breakdown; benthic macroinvertebrates; *Phyllostachys heterocycla*; *Lithocarpus glabra*; *Lindera glauca*; Xitiaoxi Stream; Taihu Basin

外源有机物(枯枝落叶)输入是高荫蔽度、低初级生产力(自养藻类数量少)溪流中碳元素及能源的主要来源[1-2],即使是藻类丰富的溪流,枯枝落叶等外源输入仍对溪流生物群落的完整性起着重要作用[3]. 落叶降解是溪流生态系统中的一个重要生态过程和功能[4],也是陆地生态系统与溪流生态系统的联系纽带[5-7]. 落叶降解过程可分为三个阶段:淋溶、生物(微生物以及底栖无脊椎动物)的定殖和破碎[6,8]. 淋溶作用主要受落叶本身氮、磷含量的影响,氮、磷含量较高的落叶在淋溶作用下,自身有机物迅速流失;而微生物的定殖则主要依赖于溪流水体中的氮、磷含量;微生物和底栖动物群落在落叶上的定殖会加快落叶的碎化过程. 因此,落叶降解过程受到落叶本身的理化性质、水体理化性质、水流速、微生物群落的丰富度及以有机颗粒为食的底栖无脊椎动物的影响[1-2,9-15].

石栎(*Lithocarpus glabra*)和山胡椒(*Lindera glauca*)是浙江省安吉县山林中两个常见树种,它们的落叶曾是源头溪流重要的输入能源. 但在安吉县大力发展竹产业经济的过程中,毛竹(*Phyllostachys heterocycla*)渐渐成为安吉县的重要经济林种,县域内许多杂树山林甚至次生松树林大多被改成了竹林,因此进入溪流的落叶种类以竹叶为主. 这样的改变对溪流生态系统会产生什么样的影响尚未见报道. 比较石栎、山胡椒和毛竹叶在溪流中的降解过程是评价上述影响的有效途径之一. 本文的目的是通过比较毛竹、石栎和山胡椒叶的理化性质和分解速率,降解过程中底栖动物群落结构差异等,来说明杂树山林改变为竹林后,溪流中落叶降解过程的变化,为今后科学评估竹林对溪流生态系统和生态过程的影响提供参考.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

实验地点位于浙江省湖州市安吉县龙王山北坡龙王山自然保护区东北方向(30°26′41″N,119°25′54″E;海拔 639 m),太湖流域上游西苕溪流域的一条源头溪流上. 该溪流荫蔽度高,底质以中小型卵石为主,沿岸带植被完整,优势种是经济毛竹,间生长有山胡椒、石栎和马尾松(*Pinus massoniana*)等.

1.2 研究方法

1.2.1 落叶收集 2009 年 12 月,收集生长在河岸带的毛竹、石栎和山胡椒的新鲜落叶,带回实验室,洗净表面杂质,自然风干,放入恒温干燥箱 60℃烘干至恒量.

1.2.2 叶袋组合及放置 实验使用粗网叶袋(20 cm × 15 cm,孔径为 5 mm × 5 mm)[9]. 每叶袋中分别放置 5 g 毛竹、石栎或山胡椒落叶,共 3 种处理,每个处理设置 3 组重复,预计分别在第 10、30、60 和 100 d 进行 4 次取样,共计 36 个叶袋.

2010 年 1 月 26 日,在选定的样点处放置叶袋:将样品分组(一组内包括全部 3 种处理,随机排列,每袋间隔 30 cm,并用线串联起来). 放置叶袋于溪流中央,不易因水量变化而露出叶袋处,将每组叶袋绑于粗铁丝上,选择溪流缓流生境,随机将其紧贴溪流底部固定.

1.2.3 叶袋收集和室内处理 分别在样品投放后的第 10、30、60 和 100 d 随机取回三组叶袋,共 9 个叶袋,将每个叶袋分别封入密封塑料袋,记录水温、pH、电导率、溶解氧、水面宽、水深和流速.

将密封袋带回到实验室内,将叶袋放在 500 μm 筛上小心冲洗,除去沉积物,将大型底栖无脊椎动物拣出,保存在 70% 的乙醇中,分类鉴定和计数后,称其湿重(精确到 0.0001 g). 将洗净的叶片自然风干后,放入干燥箱中,60℃下干燥至恒量,称重(精确到 0.01 g);再放入马福炉内,500℃下灰化至恒重,干燥器中冷却 24 h 后称无灰干重(AFDM).

1.2.4 叶片理化参数测定 测定选取的 3 种植物叶片的厚度,使用纳氏比色法测定植物叶片总氮(TN)含量,钒钼黄比色法测定总磷(TP)含量[16].

1.2.5 水体理化参数测定 在每次取叶袋的同时,采集 3 瓶水样,冷藏带回实验室进行 TN、TP、化学需氧量(COD)和铵氮(NH_4^+-N)的测定. TN 采用紫外分光光度法,TP 采用钼蓝比色法,COD 采用重铬酸钾法,

NH_4^+-N采用纳氏试剂比色法[17]. 采用 U10 (Horiba Ltd., Japan)多参数水质监测仪现场直接测定水温、pH、电导率、溶解氧;同时测量叶袋所在生境的水深、流速(FP101, USA)和河段水面宽.

1.3 数据处理

将各次取样的 3 种叶片的无灰干重(Ash Free Dry Mass, AFDM)分别进行自然对数转化[18],再依据 Olson 指数衰减模型:$M_t = M_0 \cdot e^{-kt}$,式中,t 为分解时间(d);M_t 为 t 时叶片剩余的无灰干质量(g);M_0 为起始时叶片的无灰干质量(g);k 为落叶分解速率(d^{-1})[19],通过 Origin 8.0 软件进行落叶分解的非线性拟合,得到分解速率 k,再对三种落叶的分解速率 k 进行方差分析(ANOVA).

参照 Merritt 等[20]的分类方法划分大型底栖无脊椎动物的取食功能团. 利用 Origin 8.0 对大型底栖无脊椎动物多度和生物量数据进行非参数检验(Kruskal Wallis test),用 Primer 6.1.10 对基于大型底栖无脊椎动物多度进行 Bray-Curtis 相似度检验.

2 结果与分析

2.1 水体及落叶理化性质

样点的水体理化指标见表 1,水质状况良好,属于Ⅰ类水;同时,由于样点海拔较高,水体受到的人为影响较小. 因此,样点所在的河段溪流生物种群完整性较好,为落叶分解过程提供了有利的环境条件. 在进行实验过程中,前期降雨量大,流量和流速较大,后期基本无降水,溪流中水量和流速明显下降,露出部分原本浸在水中的石块. 三种落叶(毛竹、石栎和山胡椒)的氮、磷含量及叶片厚度值均存在显著差异($P < 0.05$),毛竹叶片的氮、磷含量最高,石栎叶片厚度最大(表 2).

表 1 实验期间西苕溪各样点水体理化指标($n = 5$)

Tab. 1 Chemical and physical parameters of Xitiaoxi Stream during experimental periods

参数	平均值	范围
溪流宽度/cm	125.00 ± 73.24	60.00 ~ 230.00
溪流深度/cm	25.00 ± 12.37	9.00 ~ 45.00
溪流流速/(m/s)	0.55 ± 0.42	0.18 ~ 1.45
水温/℃	10.10 ± 4.25	5.00 ~ 15.40
pH	8.33 ± 0.67	7.42 ~ 9.00
电导率/(mS/cm)	31.25 ± 5.62	25.00 ~ 36.00
溶解氧/(mg/L)	9.30 ± 1.02	8.00 ~ 10.30
TN/(mg/L)	1.28 ± 0.45	0.70 ~ 2.00
NH_4^+-N/(mg/L)	0.13 ± 0.04	0.09 ~ 0.18
TP/(mg/L)	0.03 ± 0.014	0.02 ~ 0.07
COD/(mg/L)	1.34 ± 0.240	0.99 ~ 1.81

表 2 三种落叶理化性质*

Tab. 2 Initial litter chemical and physical parameters of three species

树种	氮/(g/kg)	磷/(g/kg)	厚度/mm
毛竹	30.23 ± 0.60^a	2.04 ± 0.02^a	0.42 ± 0.13^b
石栎	20.98 ± 0.48^b	1.28 ± 0.01^b	0.88 ± 0.27^a
山胡椒	9.69 ± 0.24^c	0.54 ± 0.02^c	0.20 ± 0.02^c

* 不同字母代表差异显著, $P < 0.05$,下同.

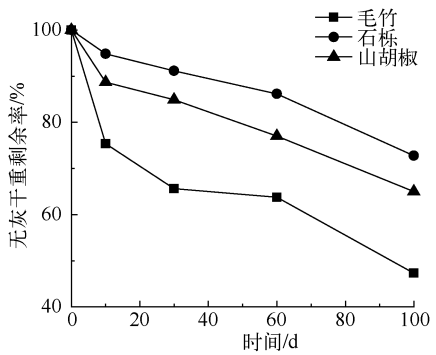


图 1 实验期间毛竹、石栎和山胡椒落叶无灰干重剩余率

Fig. 1 Mass loss (mean% AFDM) of leaves of *P. heterocycla*, *L. glabra* and *L. glauca* during decomposition

2.2 落叶分解速率

落叶进入溪流后,在最初一段时间内会由于淋溶作用而使其中含有的有机物质迅速流失,因此,在实验的第 1 次取样时(第 10 d),三种落叶的 AFDM 剩余率都出现了整个实验过程中最大的下降趋势,而叶片中 N、P 含量最高的毛竹下降趋势最明显(图 1).

对各处理的 AFDM 剩余量分别进行对数转换后,进行指数衰减模型的非线性拟合,拟合程度较高(R^2 = 0.86 ~ 0.92),得到三种落叶的分解速率(表 3). 对三种落叶的分解速率进行方差分析表明,毛竹叶的分解速率与山胡椒和石栎落叶间存在显著差异($P < 0.01$),但石栎与山胡椒间无显著差异($P > 0.05$).

表3 毛竹、石栎和山胡椒落叶分解速率
Tab. 3 Leaf litter breakdown rates of *P. heterocycla*, *L. glabra* and *L. glauca*

树种	指数衰减模型	k/d^{-1}	R^2	P
毛竹	$Y=1.42e^{-0.00592t}$	0.00592[b]	0.86	<0.01
石栎	$Y=1.55e^{-0.00212t}$	0.00212[a]	0.87	<0.01
山胡椒	$Y=1.53e^{-0.00297t}$	0.00297[a]	0.92	<0.01

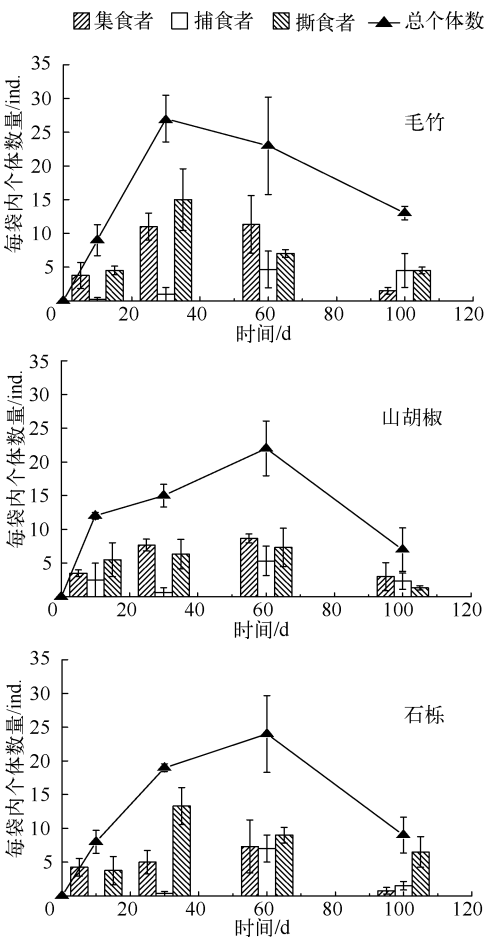


图2 三种落叶袋中个体总数及集食者、捕食者、撕食者个体数量
Fig. 2 Number of invertebrates per leaf bag and the mean number of litter-associated macroinvertebrates per functional feeding group during leaf breakdown

2.3 大型底栖无脊椎动物

在整个实验过程中,3种落叶的叶袋内,共采集到5纲26科35属(或种)大型底栖无脊椎动物(表4),个体数量为每袋1~36 ind.,其中鳞石蛾数量最多,占14%;其次为柔裳蜉,占13%;多足摇蚊,占10%;新蜻,占8%.

大型底栖无脊椎动物很快进入叶袋中进行定殖,毛竹叶袋内的个体数量在第30 d出现峰值,石栎及山胡椒两种叶袋中的个体数量则在第60 d出现峰值(图2),出现峰值时,撕食者数量所占比重最大(17.9%~92.9%,图2).3种落叶的生物量峰值都出现在第60 d(图3),此时集食者的生物量最大.对3种落叶上定殖的大型底栖无脊椎动物多度及生物量进行Kruskal Wallis检测,种类间均无显著差异($P>0.05$),但每次采样间的多度及生物量均存在显著差异($P<0.05$).

取食功能团个体数量在3种叶袋间无显著差异($P>0.05$).实验期间撕食者数量占总数的40.3%.实验第1周,3种叶袋中的撕食者数量为47%~51%,毛竹和石栎叶袋内撕食者数量在第30 d达到峰值(图2),随后逐渐降低;而山胡椒叶袋内撕食者数量在第60 d达到峰值.毛竹及石栎叶袋内撕食者的优势单元是鳞石蛾属,山胡椒叶袋内撕食者的优势单元是多足摇蚊属,3种叶袋内优势单元个体数量变化趋势与撕食者数量相同.

各取食功能团生物量在3种叶袋间无显著差异($P>0.05$).第10 d,叶袋中撕食者的生物量最大,随着集食者及捕食者的迁入,撕食者生物量渐渐低于集食者,同时撕食者生物量在30 d后开始下降,后在第60 d有小幅上升,在第100 d又下降,其中,山胡椒叶袋的撕食者在第60 d的生物量上升后,明显高于第10 d的生物量(图3).

在各取食功能团中,集食者是最主要的优势类群,其次是撕食者,虽然其是落叶分解的主要类群,但其数量随着实验进程逐渐降低,再次为捕食者.刮食者及滤食者极少发现.撕食者数量与叶袋中底栖动物个体数量变化趋势相同,平均分类单元数为3~9,最高分类单元数都出现在第60 d取回的叶袋中.根据Bray-Curtis相似度分析,山胡椒内大型底栖无脊椎动物物种组成与毛竹、石栎相似性最低(图4).

表4 叶袋中大型底栖无脊椎动物多度及取食功能团

Tab. 4 Identity and number of macroinvertebrates associated with litter decomposing and corresponding functional feeding groups

分类单元		取食功能团	落叶种类		
			毛竹	石栎	山胡椒
腹足纲 Gastropoda	放逸短沟蜷 *Melania libertina*	刮食者	3	1	0
涡虫纲 Tubellaria	涡虫 *Tubellaria* sp.	集食者	5	3	0
寡毛纲 Oligochaeta	霍甫水丝蚓 *Limnodrilus hoffmeisteri*	集食者	2	2	0
甲壳纲 Crustacea	日本沼虾 *Macrobrachium nipponensis*	集食者	0	1	0
	华溪蟹 *Sinopotamon* sp.	集食者	0	1	1
鞘翅目 Coleoptera	*Heterlimnius* sp.	集食者	0	1	0
	Stenelmis sp.	集食者	2	0	0
	Berosus sp.	集食者	0	0	1
	Paederus sp.	捕食者	1	1	0
双翅目 Diptera	蠓科 Ceratopogonidae	捕食者	3	2	0
	倒毛摇蚊 *Microtendipes* sp.	集食者	2	0	0
	多足摇蚊 *Polypedilum* sp.	撕食者	15	28	22
	长跗摇蚊 *Tanytarsus* sp.	滤食者	3	1	3
	环足摇蚊 *Cricotopus* sp.	撕食者	14	10	1
	直突摇蚊 *Orthocladius* sp.	集食者	1	0	0
	流环足摇蚊 *Rheocricotopus* sp.	集食者	3	9	14
	无突摇蚊 *Ablabesmyia* sp.	捕食者	5	10	8
	粗腹摇蚊 *Arctopelopia* sp.	捕食者	6	7	2
	伪长足摇蚊 *Psectrotanypus* sp.	捕食者	0	0	1
	水虻科 Stratiomyidae	集食者	0	2	0
	虻科 Tabanidae	集食者	0	0	1
	Hexatoma sp.	撕食者	0	0	1
	Pedicia sp.	撕食者	0	0	1
	Promoresia sp.	撕食者	0	1	0
	大蚊 *Tipula* sp.	撕食者	0	1	0
	大蚊科 Tipulidae	撕食者	1	0	0
蜉蝣目 Ephemeroptera	假二翅蜉 *Pseudocloeon* sp.	集食者	2	2	1
	宝加带肋蜉 *Cincticostella boja*	集食者	0	4	2
	蜉蝣属 *Ephemera* sp.	集食者	1	0	0
	桶形赞蜉 *Paegniodes cupulatus*	集食者	1	1	8
	柔裳蜉 *Habrophlebiodes* sp.	集食者	56	30	35
蜻蜓目 Odonata	头蜓属 *Cephalaeschna* sp.	捕食者	1	1	0
襀翅目 Plecoptera	倍叉襀属 *Amphinemura* sp.	撕食者	5	7	5
	中叉襀属 *Mesonemoura* sp.	撕食者	0	1	0
	新襀属 *Neoperla* sp.	捕食者	12	8	19
	刺襀属 *Styloperla* sp.	撕食者	5	2	6
毛翅目 Trichoptera	径石蛾 *Ecnomus* sp.	集食者	9	0	2
	舌石蛾 *Glossosoma* sp.	刮食者	1	0	0
	鳞石蛾 *Lepidostoma* sp.	撕食者	53	58	21

3 讨论

实验采用粗网叶袋,叶袋内的落叶可以经历所有落叶分解的阶段——淋溶、微生物定殖、底栖无脊椎动物定殖、破碎,其中物理破碎可通过肉眼观察与生物定殖造成的质量损失区别开来,但本实验中基本没有物理破碎产生的质量损失,这与实验叶袋放在流速很慢的缓流生境中有密切关系.

实验第60 d以前降水量较大,增加了溪流的水量及流速,促进叶片中有机物质的淋溶,提高溪流中溶解氧的含量,利于溪流中生物的生长繁殖,加快了落叶的分解. 根据Irons等[21]的研究,在源头溪流中,较高的水温会促进溪流中落叶分解. 实验过程中2－5月溪流的水温持续上升(5.0～15.4℃),有利于溪流中的微生物及底栖无脊椎动物的生长、繁殖活动,促进了落叶的分解作用,使得淋溶作用降低后的第2～4次取样

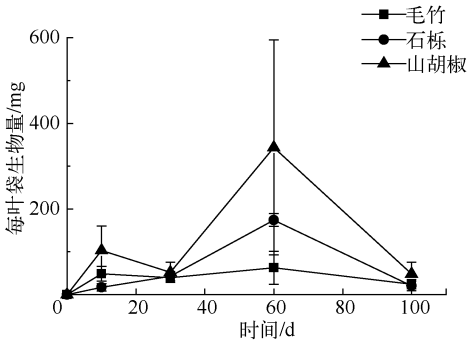


图 3 三种落叶的每叶袋内生物量

Fig. 3 Biomass of invertebrates per leaf bag with different leaf types

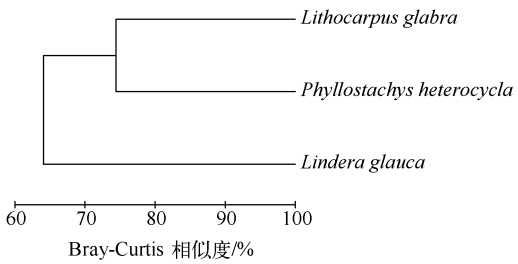


图 4 三种落叶叶袋中大型底栖无脊椎动物 Bray-Curtis 相似度分析

Fig. 4 Bray-Curtis similarity coefficient for macroinvertebrate assemblages associated with different leaf species decomposing

的 AFDM 剩余量下降趋势仍很明显.

在淋溶阶段,落叶将损失大部分的有机物质,该过程受到叶片本身氮、磷元素含量的影响[22]. 毛竹在 3 种叶片中,叶片本身的氮、磷含量最高,因此在进入溪流的最初的淋溶阶段,损失的有机物质在 3 种落叶中最多. 同时,由于毛竹叶片本身的氮、磷元素不断融入周围的溪流中,会造成叶袋所在的小范围溪流中氮、磷元素含量有所增加,利于微生物的定殖,促进了毛竹的分解[23]. 自身氮、磷含量高于山胡椒的石栎叶片,其叶片厚度较大,反而减弱了淋溶作用[23],同时较厚的叶片也不利于底栖无脊椎动物对石栎叶片的取食,因此,在实验初期石栎的分解速率低于叶片氮、磷含量较少的山胡椒和毛竹叶片;其次 3 种树叶相比、山胡椒叶片的厚度(0.20 ± 0.02 mm)显著低于另外两种叶片($P < 0.05$),基于底栖动物相对多度的 Bray-Curtis 相似度检验表明,山胡椒叶袋中的底栖动物组成相对其它两种叶袋而言差异最大(图 4). 此外,落叶中含有的木质素越高,其分解速率越低[24];叶片中酚类物质[25]及单宁类物质[26]则会减慢落叶分解过程;同时,落叶的韧性与落叶所含的纤维素及木质素紧密相关,落叶的韧性越好,其分解速率越低[27]. 本实验中毛竹、石栎和山胡椒分解速率的差异是否跟各自叶片的韧性、木质素或酚类等化学物质等有关,还需进一步实验验证.

在毛竹逐渐替代石栎、山胡椒等阔叶树种,成为安吉源头溪流沿岸带的优势植被后对溪流生态系统可能存在以下影响:(1) 毛竹叶片迅速淋溶会引起溪流内氮、磷含量升高,对水质造成一定影响. (2) 改变溪流外来能源物质的量和滞留时间. 毛竹为常绿乔木状竹类植物,每两年换叶一次,取代原本的秋季落叶植被后,溪流可以获得的外源有机物变少. Petersen 等[8]按照落叶分解速率,将落叶种类分为 3 个等级:快速组:$k > 0.01$;中速组:$0.005 < k < 0.01$;慢速组:$k < 0.005$. 本实验中的毛竹($k = 0.00592\ d^{-1}$)属于中速组,石栎($k = 0.00212\ d^{-1}$)和山胡椒($k = 0.00297\ d^{-1}$)则都属于慢速组. 因此,由于毛竹的分解速率较快,毛竹落叶在源头溪流中的滞留时间较短,当毛竹落叶消耗殆尽后,没有其他种类落叶进行补充,冬季源头溪流就会缺少能量来源,又可能对以落叶为食的底栖动物产生一定的影响,进而影响整个溪流的功能完整性. (3)改变溪流底栖动物群落结构. 溪流内落叶不仅为底栖动物提供了食物来源,还为其提供了适宜的生境. 实验叶袋中采集到的鳞石蛾幼虫需要依赖阔叶类落叶筑巢,以躲避不利环境及天敌,而毛竹叶片不适于其筑巢. 鳞石蛾幼虫继续存在的原因是,实验溪流沿岸带并未完全改植为毛竹,导致溪流底部仍沉积着石栎、山胡椒等植物的落叶. 同时,一些底栖动物需要附着于叶片表面生存,毛竹叶片表面光滑,叶面狭窄,不利于附着. 然而,当原有阔叶林全部改植为竹林后,其对源头溪流生态系统结构和生态过程的影响尚需进一步研究.

4 参考文献

[1] Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW *et al*. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1980, **37**: 130-137.

[2] Webster JR, Meyer JL. Stream organic matter budgets. *Journal of the North American Benthological Society*, 1997, **16**

(1): 3-161.
[3] Hill BH, Webster JR. Aquatic macrophyte contribution to the New River organic matter budget. In: Fontaine T, Bartell S eds. Dynamics of lotic ecosystems. Michigan: Ann Arbor Science, 1983:273-282.
[4] Gessner MO, Chauvet E. A case for using litter breakdown to assess functional stream integrity. *Ecological Applications*, 2002, **12**(2):498-510.
[5] Webster JR, Benfield EF. Vascular plant breakdown in fresh-water ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1986, **17**: 567-594.
[6] Gessner MO, Chauvet E, Dobson M. A perspective on leaf litter breakdown in streams. *Oikos*, 1999, **85**(2):377-384.
[7] Moore JC, Berlow EL, Coleman DC *et al*. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. *Ecology Letters*, 2004, **7**: 584-600.
[8] Petersen RC, Cummins KW. Leaf processing in a woodland stream. *Freshwater Biology*, 1974, **4**:343-368.
[9] Hieber M, Gessner MO. Contribution of stream detrivores, fungi, and bacteria to leaf breakdown based on biomass estimates. *Ecology*, 2002, **83**(4):1026-1038.
[10] Duarte S, Pascoal C, Cassio F *et al*. Aquatic hyphomycete diversity and identity affect leaf litter decomposition in microcosms. *Oecologia*, 2006, **147**(4): 658-666.
[11] Wardle DA, Bonner KI, Nicholson KS. Biodiversity and plant litter: experimental evidence which does not support the view that enhanced species richness improves ecosystem function. *Oikos*, 1997, **79**:247-258.
[12] Swan CM, Palmer MA. Leaf diversity alters litter breakdown in a piedmont stream. *Journal of the North America Benthological Society*, 2004, **23**(1):15-28.
[13] Kominoski JS, Pringle CM, Ball BA *et al*. Nonadditive effects of leaf-litter species diversity on breakdown dynamics in a detritus-based stream. *Ecology*, 2007, **88**(5):1167-1176.
[14] Scherer-Lorenzen M, Bonilla JL, Potvin C. Tree species richness affects litter production and decomposition rates in a tropical biodiversity experiment. *Oikos*, 2007, **116**(12):2108-2124.
[15] 李文朝,陈开宁,吴庆龙等. 东太湖水生植物生物质腐烂分解研究. 湖泊科学,2001,**13**(4):331-336.
[16] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京:科学出版社,1983.
[17] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法. 北京:中国环境科学出版社,2002.
[18] Leroy CJ, Marks JC. Litter quality, stream characteristics and litter diversity influence decomposition rates and macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, 2006, **51**(4):605-617.
[19] Olson JS. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 1963, **44**(2): 322-330.
[20] Merritt RW, Cummins KW. An Introduction to the Aquatic Insects of North America: 2nd. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company,1984.
[21] Irons JG, Oswood MW, Stout RJ *et al*. Latitudinal patterns in leaf litter breakdown: is temperature really important? *Freshwater Biology*, 1994, **32**(2): 401-411.
[22] 迟国梁,童晓立. 亚热带地区树叶凋落物在流水和静水环境中的淋溶规律. 生态科学,2010,**29**(1):50-55.
[23] Robinson CT, Gessner MO. Nutrient addition accelerates leaf breakdown in an alpine springbrook. *Oecologia*, 2000, **122**(2): 258-263.
[24] Royer TV, Minshall GW. Effects of nutrient enrichment and leaf quality on the breakdown of leaves in a hardwater stream. *Freshwater Biology*, 2001, **46**(5):603-610.
[25] Salusso MM. Biodegradation of subtropical forest woods from north-west Argentina by *Pleurotus laciniatocrenatus*. *New Zealand Journal of Botany*, 2000, **38**:721-724.
[26] Pennings SC, Carefoot TH, Zimmer M *et al*. Feeding preferences of supralittoral isopods and amphipods. *Canadian Journal of Zoology*, 2000, **78**: 1918-1929.
[27] Arsuffi TL, Suberkropp K. Leaf processing capabilities of aquatic hyphomycetes: interspecific differences and influence on shredder feeding preferences. *Oikos*, 1984, **42**:144-154.