

外来植物凋落物分解对底栖动物多样性 及其摄食功能群的影响

官昭瑛, 何莹, 安玉蓉, 蔡吉花, 童晓立*

(华南农业大学资源环境学院昆虫学系, 广州 510642)

摘要:在亚热带地区一条2级溪流中比较了本地植物(红锥和薏米)和外来植物(托里梭和马缨丹)凋落物的分解速率及底栖动物定殖及其摄食功能群的组成。结果显示,本地植物凋落物的分解速率为:0.020 d⁻¹(红锥)和0.056 d⁻¹(薏米),外来树叶的分解速率则为:0.038 d⁻¹(托里梭)和0.041 d⁻¹(马缨丹),它们均属于快速分解组。定殖在外来和本地树叶凋落物上的大型底栖动物种类分别为21种和24种。在外来和本地树叶上定殖的底栖动物平均密度差异不显著($P > 0.05$)。从大型底栖动物摄食功能群的比例来看,定殖在本地凋落物上的集食者的比例最高(73.5%),其次是撕食者(10.9%)和捕食者(8.7%),刮食者(6.8%)的比例最低,在外来凋落物上,摄食功能群的比例分别为集食者(67.6%)、撕食者(13.9%)、刮食者(12.1%)和捕食者(6.1%),两者相比,底栖动物的摄食功能群均以集食者和撕食者为主,在组成比例上并无显著差异。结果表明2种外来植物凋落物分解对底栖动物多样性及其摄食功能群的影响不明显。

关键词:外来植物;底栖动物;摄食功能群;树叶分解

Effects of leaf-litter decomposition of exotic plants on benthic macroinvertebrate species diversity and functional feeding groups

GUAN Zhaoying, HE Ying, AN Yurong, CAI Jihua, TONG Xiaoli*

Department of Entomology, College of Resources & Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Abstract: Leaf litter decomposition rates and benthic macroinvertebrates colonizing on leaf litters of the dominant native (*Castanopsis hystrix* and *Coix chinensis*) and exotic (*Eucalyptus torelliana* and *Lantana camara*) plants were compared in a second-order subtropical stream. Breakdown rates (k) of leaf-litters of native species were 0.02 d⁻¹ for *C. hystrix* and 0.056 d⁻¹ for *C. chinensis*, and the rates of exotic leaves were 0.038 d⁻¹ for *E. torelliana* and 0.041 d⁻¹ for *L. camara*. Total numbers of macroinvertebrate species colonized on leaves of exotic and native plants were 21 and 24, respectively and no statistical differences were observed in macroinvertebrates density ($P > 0.05$) between exotic and native leaves. Proportions of each functional feeding group on litters of native plants showed that collectors-filterers (73.5%) was the most abundant group, followed by shredders (10.9%), predators-piercers (8.7%) and scrapers-grazers (6.8%); the composition of functional feeding groups on litters of exotic plants was collectors-filterers (67.6%), shredders (13.9%), scrapers-grazers (12.1%) and predators-piercers (6.1%); there were no apparent differences between the exotic and native plants according to the proportions of functional feeding groups. The results indicated that leaf-litter decomposition of two exotic plants in our investigation may not affect benthic macroinvertebrate diversity and functional feeding groups.

Key Words: exotic plant; macroinvertebrate; functional feeding groups; leaf-litter decomposition

外来物种是指因各种原因侵入或被引入到非原生地的物种^[1]。目前越来越多的外来物种被引入,逐渐

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30270279, 40871242)

收稿日期:2009-04-15; 修订日期:2009-06-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xtong@scau.edu.cn

对区域经济和社会可持续发展造成影响^[2]。虽然许多外来物种是作为有用资源引进的,但一些有害外来物种的引入影响了当地原有物种的生物地理分布以及当地自然生态系统的结构和功能,对环境产生了严重的危害,并影响农、林和牧业生产,造成了巨大的经济损失^[3-4]。被称为世界十大恶性杂草的马缨丹(*Lantana camara*)就是作为观赏植物人为引进后泛滥成灾的外来杂草^[5]。在全球范围内,马缨丹大面积侵犯牧场、林场和果园,已严重破坏了森林资源和环境生态系统^[6]。此外,林业建材树种的引进也是增加外来植物的主要途径。我国是世界上三大桉树种植国之一,桉树在引种的实践过程中带来了显著的经济效益和社会效益,也造成了诸如林地地力衰退、水分平衡失调、生物多样性减少等生态问题^[7-8]。我国有关速生桉树林所造成的生态问题的研究涉及地力衰退、土壤养分和水分的消耗以及林下植被多样性等多个方面^[7-10]。近年来,关于桉树林凋落物层对无脊椎动物多样性的研究表明速生桉树林凋落物中无脊椎动物多样性不仅低于天然林,甚至不及其他人工林丰富^[9]。

树叶凋落物是陆地和水生态系统的重要能量来源,凋落物的分解是陆地及水生生态系统营养物质循环的重要环节,是生态系统功能的重要组成部分^[11-15]。在森林生态系统中,外来树种的引进可能会造成土壤生物食物源的改变^[16],从而影响生物多样性。例如夏威夷大量引种固氮植物火树(*Myrica faya*),它们的凋落物使当地土壤肥力增加,从而有利于杂草入侵^[17]。美国新泽西州引进的柔枝莠竹(*Microstegium vimineum*),其凋落物导致土壤中的硝化作用增强,影响了土壤的营养结构^[18]。森林生态系统与河流生态系统是相互联系、不可分割的整体,河岸及陆地植被的改变会影响水环境的生态过程,如凋落物种类的变化会改变水生生物的食物来源^[19-20]。大量研究显示,河岸带的本地树种被外来物种所取代会影响临近溪流的生态系统功能以及引起水生生物的种类、密度和生物量的改变^[21-22],从而影响水中大型底栖动物群落的结构^[23]。底栖动物是水生生态系统的主要的生物类群,其群落结构的稳定以及摄食功能群的组成能反映出溪流的健康程度并与进入水体的凋落物密切相关^[24]。本文的研究目的是比较本地和外来植物树叶凋落物在亚热带地区溪流中的分解情况,以了解外来树种凋落物的分解过程是否会对溪流大型底栖动物物种多样性及摄食功能群的组成产生影响,为外来物种对淡水生态系统的生态影响提供科学依据。

1 研究样地与方法

1.1 研究地点与材料

研究地点位于广州龙洞自然保护区一天然 2 级溪流(23°13'58" N, 113°23'49" E)。样点底质以细砂为主,岸边长满灌木草丛,四周被高大乔木包围。

选择了华南地区 4 种常见树种的老熟新鲜树叶烘干后作为分解对象。其中 2 种为本地种,壳斗科的红锥 *Castanopsis hystrix* 和禾本科的薏米 *Coix chinensis*,在研究地点的林间及溪边广泛分布。另外 2 种为在广东一带分布广泛的外来植物,桃金娘科的托里桉 *Eucalyptus torelliana* 和马鞭草科的马缨丹 *Lantana camara*。

1.2 取样方法

将上述 4 种树的老熟新鲜树叶洗净表面杂质后,放入恒温干燥箱在 50 °C 下烘干至恒重。然后每种树叶各称取(2 ± 0.01) g 干重分别封入孔径为 5 mm 的塑料网袋(20 cm × 25 cm),每种树叶共称取 120 袋。所有分解袋于 2007 年 12 月 30 日分别放置在溪流中,并用石块压住,以免被水流冲走。在第 1、7、14、24、59 天和第 103 天后取样,每次取样随机取出每种树叶的分解袋各 5 袋(代表 5 次重复),分别封入塑料袋中带回实验室,先将树叶中的底栖动物挑出并保存于 75% 酒精中,然后将树叶洗净,分别封入纸袋,置于恒温干燥箱 50 °C 烘干至恒重后称重。每次取样时,用便携式水质检测仪(YSI 6600 型,美国维塞仪器公司产品)测定采样点 pH 值、水温、溶解氧、电导率和浊度等理化指标。

1.3 数据处理与分析

树叶分解速率(k)用指数衰减模型^[14]进行拟合:

$$W_t = W_0 e^{-kt}$$

式中, t 是分解时间(d), W_t 是在时间 t 时树叶剩余的重量(g), W_0 是起始时树叶的重量(g), k 是树叶重量

损失的分解速率常数,其单位为 d^{-1} 。大型底栖动物的鉴定主要依据 Dudgeon^[25]和 Morse 等^[26]的分类方法,摄食功能群的划分主要参照 Dudgeon^[25]和 Merritt 等^[27]的方法,少数有疑问的类群则通过分析口器构造及消化道内含物来确定。4 种树叶凋落物的干重剩余率和底栖动物定殖密度之间的差异用方差分析进行比较。数据处理采用 SPSS(13.0 版本)进行统计分析与检验。

2 结果

2.1 研究样点水体理化指标

在整个研究期间,该溪流的 pH 值平均 6.8,水体清澈且溶解氧含量充足,根据国家规定的《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[28],采样点的水质符合 I 类水的标准(表 1)。

2.2 本地和外来植物树叶凋落物的分解状况

在树叶放入水中的最初 1—7d,由于淋溶作用,树叶的可溶性有机物和无机矿物质迅速流失,除了红椎树叶外,其它 3 种树叶的干重剩余率均迅速下降(图 1)。属于壳斗科的红椎树叶由于质地较硬及相对较厚,由淋溶作用造成的干重剩余率下降较慢,7d 仅下降到 91%。而其它 3 种树叶由于质地较柔软,可溶性物质的淋溶也较迅速,其中下降幅度最大的是马缨丹树叶,第 1 天干重剩余率就降到约 75%,其次是托里桉树叶,第 1 天的干重剩余率降到约 85%。在整个分解过程中,24—59 d 的凋落物干重损失量最大,分别为 35% (马缨丹)、48% (托里桉)、23% (红椎)、32% (薏米)。4 种树叶凋落物在第 103 天的干重剩余率以红椎树叶最多(约为 10%),薏米最少(0.2%),马缨丹和托里桉树叶也均所剩无几(分别为:1% 和 2%)。利用指数衰减模型对树叶干重损失过程进行拟合,并计算出各树叶凋落物的分解速率 k 值(表 2)。可以看出 4 种凋落物在溪流中的分解均十分迅速。其中,本地的禾本科植物薏米分解最快,而红椎由于其质地较硬分解最慢。

表 1 研究样地水体理化特征

Table 1 Selected water physico-chemical parameters ($n=48$) of the study area measured on each sampling date in a second-order subtropical stream

参数 Parameter	平均值 Mean	范围 Range
pH	6.8	6.1—7.4
水温 Temperature/ $^{\circ}\text{C}$	15.4	14.0—16.3
溶解氧 DO /(mg L^{-1})	7.53	7.01—8.30
电导率 Conductivity /(ms cm^{-1})	0.05	0.04—0.07
浊度 Turbidity (NTU)	2.8	2.2—3.8

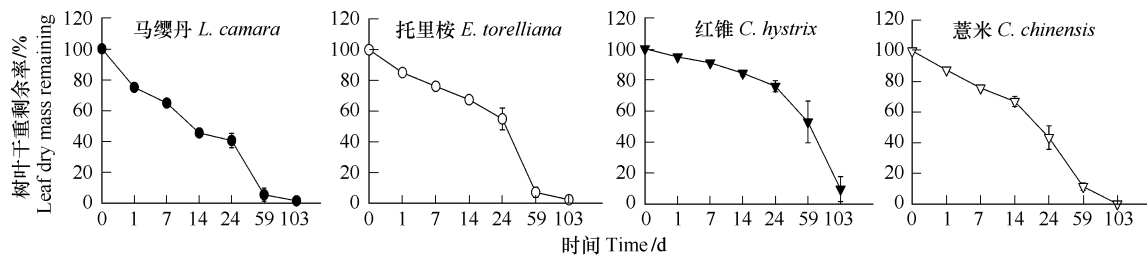


图 1 研究期间树叶凋落物的干重剩余率变化

Fig. 1 Litter dry mass remaining (mean \pm SE) of each leaf species during the whole period of investigation in the stream

表 2 本地和外来植物树叶凋落物的分解速率

Table 2 Leaf decomposition rates of the native and exotic leaves in the stream

树叶种类 Leaf species	分解速率 Breakdown rates (k)	指数衰减模型 Exponential model	r^2	P
红椎 <i>Castanopsis hystrix</i>	0.020	$Y = 2.117 e^{-0.020 t}$	0.91	< 0.001
薏米 <i>Coix chinensis</i>	0.056	$Y = 2.348 e^{-0.056 t}$	0.95	< 0.001
托里桉 <i>Eucalyptus torelliana</i>	0.038	$Y = 1.926 e^{-0.038 t}$	0.98	< 0.001
马缨丹 <i>Lantana camara</i>	0.041	$Y = 1.693 e^{-0.041 t}$	0.99	< 0.001

2.3 本地和外来植物树叶凋落物上大型底栖动物的定殖状况及其摄食功能群的组成

在整个树叶凋落物分解的过程中,定殖在 2 种本地树叶上的大型底栖动物有 24 种,其中底栖动物在红椎

树叶(21 种)上定殖的种类比薏米叶多(16 种),在 2 种外来植物树叶上定殖的底栖动物共 21 种(表 3)。分解网袋放入水中的第 1 天便有底栖动物在树叶上定殖。至第 7 天时,底栖动物定殖在薏米树叶上的平均密度(头/每克树叶干重)最高,达 15.7 头,红锥树叶上的最低(1.0 头),2 种外来植物凋落物上定殖的底栖动物也较少,分别为 5.5 头(托里梭)和 2.9 头(马缨丹)。这时底栖动物类群主要有双翅目的摇蚊以及毛翅目的种类。7d 后,树叶凋落物上定殖的底栖动物逐渐增多,定殖在马缨丹以及托里梭树叶上的底栖动物平均密度在第 24 天达到最高峰,分别为 91.3 头(托里梭)和 103.8 头(马缨丹);24d 后定殖密度逐渐下降,至第 103 天时,底栖动物在这 2 种树叶上的定殖为 0(图 2a),这可能是由于第 103 天时 3 种凋落物的干重剩余率很低,几乎没有树叶供底栖动物定殖所致。薏米和红锥树叶上定殖的底栖动物密度在 7d 后也迅速增多,到第 59 天达到最高峰(图 2a),其中薏米上的底栖动物密度(175.7 头)比红锥的高(41.7 头),至 103d 2 种本地树叶上底栖动物的定殖密度分别降低至每克树叶 0 头(薏米)和 35.6 头(红锥)。整个分解过程中,定殖在薏米树叶上的底栖动物总密度(每克树叶干重的头数)最高(308.9 头),其次为托里梭(166.4 头)和马缨丹(131.3 头),而红锥树叶上最低(95.5 头)。在分解过程的各个阶段中,4 种树叶上的底栖动物平均密度差异不显著($P > 0.05$)。除红锥外,定殖在凋落物上的底栖动物物种丰富度变化与密度变化相近,红锥树叶上底栖动物物种

表 3 实验期间定殖在 4 种树叶上的大型底栖动物的密度(头/每克树叶干重)

Table 3 Densities (numbers of individuals per gram leaf dry mass, mean values) of macroinvertebrates colonized on leaves of the 4 species during the whole period of investigation in the stream

底栖动物类群 Macroinvertebrate taxa	摄食功能群 FFGs	红锥 <i>Castanopsis hystrix</i>						薏米 <i>Coix chinensis</i>					
		1d	7d	14d	24d	59d	103d	1d	7d	14d	24d	59d	103d
短脉纹石蛾 <i>Cheumatopsyche</i> sp.	Sh	0	0	0	0.3	0.7	0	0	0	0	0	0	0
圆突长节石蛾 <i>Goerodes doligung</i>	Sh	0.7	0.4	1.4	4.1	7.4	15.7	0	1.0	3.2	4.0	5.3	0
瘤石蛾 <i>Goera</i> sp.	Sc	0.1	0	0	0	0	2.1	0	0	0.2	0.3	0	0
摇蚊 <i>Chironomus</i> sp.	C	0	0	0.1	1.6	0.5	0	0	3.6	5.8	16.8	0	0
长跗摇蚊 <i>Tanytarsus</i> sp.	C	0.2	0	1.5	2.0	18.5	17.8	0	8.7	15.4	55.7	136.5	0
粗腹摇蚊 <i>Pentaneura</i> sp.	Pr	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0.3	0	0	0	0
长足摇蚊 <i>Larsia</i> sp.	Pr	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0.3	0.3	0.3	3.2	0
无突摇蚊 <i>Ablabesmyia</i> sp.	Pr	0	0.1	0	0.4	3.1	0	0	0.8	0.9	8.4	15.7	0
直突摇蚊 <i>Orthocladius</i> sp.	C	0.1	0	0.1	0.4	0	0	0.1	0.1	0.5	0.3	0	0
蚋 <i>Simulium</i> sp.	C	0.1	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
毛黑大蚊 <i>Hexatoma</i> sp.	Pr	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
钩虾 <i>Gammarus</i> sp.	C	0.6	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0
梨形环棱螺 <i>Bellamyia purificata</i>	Sc	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
白背锯形蜉 <i>Serratella albostrata</i>	Sc	0.4	0	0	0.4	10.3	0	0	0.5	0.7	2.3	8.8	0
似动蜉 <i>Cyinygmima</i> sp.	Sc	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
七鳃假二翅蜉 <i>Pseudocloeon morum</i>	Sc	0.4	0.3	0.1	0	0	0	0.2	0.3	0	0	0	0
双突细蜉 <i>Caenis bicornis</i>	C	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0
宽基蜉 <i>Choroterpes</i> sp.	C	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0	1.1	0
环尾春蜓 <i>Lamelligomphus</i> sp.	Pr	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
腹鳃螭 <i>Euphaea</i> sp.	Pr	0	0	0.1	0	0.2	0	0	0.1	0	0	0	0
长角泥甲 <i>Elmis</i> sp.	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	0.9	0
沼甲 <i>Helodes</i> sp.	C	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
沼甲科一种 <i>Hydrocyphone</i> sp.	C	0.1	0.1	0	0.2	0.5	0	0	0	0.5	0	4.2	0
每克干重树叶的总个体数 Total ind. g ⁻¹ leaf DM	-	3.4	1.0	3.7	10.2	41.7	35.6	0.3	15.8	27.7	89.5	175.7	0
每克干重树叶的总类群数 Total species g ⁻¹ leaf DM	-	1.6	0.6	1.4	2.9	7.4	17.6	0.2	3.1	3.4	4.8	19.6	0

续表

底栖动物类群 Macroinvertebrate Taxa	摄食功能群 FFGs	托里桉 <i>Eucalyptus torelliana</i>						马缨丹 <i>Lantana camara</i>					
		1d	7d	14d	24d	59d	103d	1d	7d	14d	24d	59d	103d
短脉石蛾 <i>Cheumatopsyche</i> sp.	Sh	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
圆突长节石蛾 <i>Goerodes doligung</i>	Sh	0	0.8	0.9	23.4	4.4	0	0.3	0.6	0.2	2.5	0	0
长角石蛾 <i>Oecetis</i> sp.	Sh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.0	0
瘤石蛾 <i>Goera</i> sp.	Sc	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0
摇蚊 <i>Chironomus</i> sp.	C	0	0.1	0.8	24.3	8.5	0	0	0.2	0	32.0	0.4	0
长跗摇蚊 <i>Tanytarsus</i> sp.	C	0	3.3	9.1	33.5	25.5	0	0.3	0.3	3.3	52.6	0.4	0
长足摇蚊 <i>Larsia</i> sp.	Pr	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0
无突摇蚊 <i>Ablabesmyia</i> sp.	Pr	0	0.3	0	2.3	2.1	0	1.2	0.1	0	3.5	1.3	0
直突摇蚊 <i>Orthocladius</i> sp.	C	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	2.1	0	0
钩虾 <i>Gammarus</i> sp.	C	0	0	0	0	0.5	0	0.1	0.2	0	0	0	0
梨形环棱螺 <i>Bellamya purificata</i>	Sc	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0.9	0	0
水龟甲 <i>Helophorus</i> sp.	C	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
沼甲科一种 <i>Hydrocyphone</i> sp.	C	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0.4	0	0
白背锯形蜉 <i>Serratella albostrata</i>	Sc	0	0.5	0.5	5.0	14.7	0	0.3	0.7	0.9	7.7	1.3	0
宽基蜉 <i>Choroterpes</i> sp.	C	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0
四节蜉 <i>Baetis</i> sp.	C	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0	1.2	0	0
七鳃假二翅蜉 <i>Pseudocloeon morum</i>	Sc	0	0.3	0	1.3	0.6	0	0	0.7	0	0.8	0	0
斑鱼蛉 <i>Neochauiodes</i> sp.	Pr	0.1	0	0	0	0.5	0	0.1	0	0	0	0	0
腹鳃螭 <i>Euphaea</i> sp.	Pr	0	0.1	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0
春蜓 <i>Ophiogomphus</i> sp.	Pr	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	5.1	0
环尾春蜓 <i>Lamelligomphus</i> sp.	Pr	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0
每克干重树叶的总个体数 Total ind. g ⁻¹ leaf DM	—	0.1	5.5	11.5	91.3	58.0	0.0	3.1	2.9	4.4	103.8	17.1	0.0
每克干重树叶的总类群数 Total species g ⁻¹ leaf DM	—	0.2	1.6	2.1	4.4	7.1	0.0	2.3	1.9	1.2	7.5	3.5	0.0

摄食功能群 FFGs: Functional feeding groups; C: 集食者 Collectors-filterers; Pr: 捕食者 Predators-pierces; Sh: 撕食者 Shredders; Sc: 刮食者 Scrapers-grazers

丰富度在 103d 达到最大值 (图 2b), 整个分解过程中, 4 种树叶上的底栖动物物种丰富度差异不显著 ($P > 0.05$)。此外, 从大型底栖动物摄食功能群的比例来看 (表 3 和表 4), 在这条亚热带地区的低级别的溪流中, 集食者的比例最高 (71.0%), 其次是撕食者 (12.2%) 和刮食者 (9.0%), 捕食者 (7.6%) 的比例最低。摄食功能群在外来树叶的组成与本地树叶无明显差别。

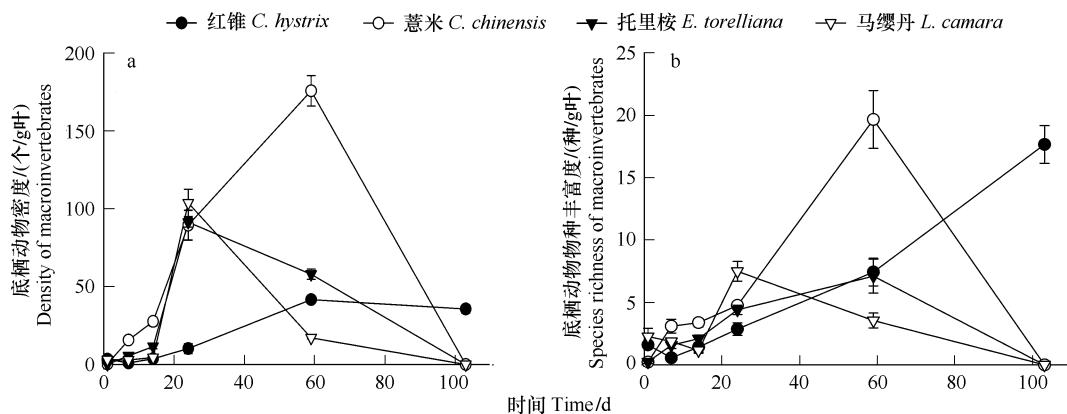


图 2 定殖在 4 种树叶网袋中的底栖动物平均密度及物种丰富度在研究期间的变化

Fig. 2 Density and species richness of macroinvertebrates on leaves of 4 species during the whole period of investigation in the stream

3 讨论

底栖动物是水生态系统的主要的生物类群,其群落结构的稳定以及摄食功能群的组成能反映出溪流的健康程度^[13, 24]。陆地植被的变化将导致水生系统凋落物输入的改变,就有可能影响水生生态系统的群落结构及其生物多样性^[21-23]。根据河流连续统概念(River continuum concept, RCC),这一变化也可能会对下游生态系统造成影响^[29]。本研究中,定殖本地和外来树叶上的底栖动物种类和密度差异不显著($P > 0.05$),因此,从底栖动物在凋落物上定殖的多样性来看,外来植物并没有造成明显的影响。从大型底栖动物功能摄食群的比例来看,外来树种凋落物对水生底栖动物摄食功能群组成的影响亦不明显。定殖在凋落物上的集食者的比例最高,其次是撕食者,捕食者的比例较低,结果符合河流连续统概念关于低级别溪流中底栖动物摄食功能群比例的理论^[29]。

表 4 各类大型底栖动物功能摄食群在 4 种树叶中所占比例

Table 4 Proportions of functional feeding groups on leaves of 4 plant species

摄食功能群 FFGs	4 种树叶上 的总比例/% Total% of FFGs on 4 plant litters	2 种本地树叶 上的总比例/% Total% of FFGs on 2 native litters	2 种外来树叶上 的总比例/% Total% of FFGs on 2 exotic litters	红锥树叶上 的比例/% % of FFGs on <i>C. hystrix</i>	薏米树叶上的 比例/% % of FFGs on <i>C. chinensis</i>	托里桉树叶 上的比例/% % of FFGs on <i>E. torelliana</i>	马缨丹树叶 上的比例/% % of FFGs on <i>L. camara</i>
集食者 C	71.0	73.5	67.6	47.6	81.5	64.5	71.5
撕食者 Sh	12.2	10.9	13.9	32.2	4.4	17.8	8.8
刮食者 Sc	9.0	6.8	12.1	15.3	4.1	14.2	9.5
捕食者 Pr	7.6	8.7	6.1	4.9	9.8	3.4	9.5

在整个研究过程中,树叶凋落物的干重剩余率随底栖动物的不断定殖而逐渐降低,特别在其中的一段时间内(24—59d),底栖动物定殖的密度急剧增多。底栖动物定殖密度在一定的时期剧增这一现象与其他研究者的报道相一致^[30]。底栖动物的密度通常在树叶凋落物变得更适合取食时显著升高^[31],因此,难分解的树叶的底栖动物定殖密度会在树叶所剩无几时急剧增加。如本研究的红锥树叶在 59d 后其上定殖的底栖动物密度才显著升高。而 2 种外来物种马缨丹和托里桉,由于它们的树叶存在挥发性异味及对外界的化感作用^[32],可能在树叶分解的前期对底栖动物的取食有抑制作用,底栖动物定殖密度较低,而至第 24 天后,底栖动物定殖密度急剧增多,这也是底栖动物在树叶凋落物变得更适合取食时才大量定殖的证据。这个结果表明,树叶凋落物对溪流底栖动物的影响在很大程度上与其自身的理化特性有关。在本研究的溪流中,我们选用的 2 种外来植物凋落物比本地种红锥树叶的质地柔软,这也是导致 2 种外来树叶对底栖动物的影响不明显的原因。

有报道表明,河岸带的本地树种被外来物种所取代会影响临近溪流的生态系统功能^[21-23]。然而本研究中本地植物与外来植物凋落物的分解却未表现出明显的差异。4 种树叶凋落物按其在 2 级溪流中的分解速率排列,依次为:薏米(0.056 d^{-1}) > 马缨丹(0.041 d^{-1}) > 托里桉(0.038 d^{-1}) > 红锥(0.020 d^{-1}),不论是本地种还是外来物种的分解速率均属于快速分解组^[14]。这个结果似乎表明,本研究中的两种外来植物(马缨丹和托里桉)若取代河岸带的本地物种(红锥和薏米),并不会影响这条 2 级溪流的分解功能。本研究选用的本地植物红锥,其树叶质地比其它 3 种研究材料坚硬,故对其分解速率造成了一定的影响。而薏米属禾本科植物,马缨丹又是矮小的灌木,根据 Webster 和 Benfield 的总结,不同科属、不同类型的植物树叶分解速率与它们的质地关系密切,并且草和灌木的分解通常比高大乔木快^[15]。因此,4 种树叶的分解速率在很大程度上受其本身质地的影响。

综上所述,在本研究中,外来及本地植物凋落物上的底栖动物多样性及其摄食功能群组成没有显著的差异,在很大程度上与凋落物自身的理化特性有关。也可能是底栖动物对研究所选用的本地和外来树叶没有特别的取食偏好,从而造成定殖的随机性。有研究显示,大多数撕食者能取食几乎所有树种的凋落物^[33],尽管取食不同的植物会造成发育速度的差异^[34],但并不影响食物选择的随机性。还有一种可能就是,底栖动物仅

仅是利用凋落物作为生活场所(栖境)而并不是作为取食的对象^[35],因此不管是本地或是外来植物的凋落物都可作为其巢穴或暂时避难所等。

References:

- [1] Gao Z X, Rong J, Xu R M, Xie B Y, Li D M. Biological invasions: process, mechanism and prediction. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (3): 559-569.
- [2] Ma Y, Shen Z Y. Exotic plant invasion and its ecological risk assessment. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(8): 983-988.
- [3] Curnutt J L. Host-area specific climatic-matching: similarity bread plant, the varying success of invaders. *Ecology*, 2000, 77(6): 1661-1666.
- [4] Shi P J, Ge F, Wang J G, Guo S Q. Metapopulation model of multispecies competitive coexistence given exotic species invasion. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1241-1250.
- [5] Lin Y, Dai Z C, Si C C, Du D L. A study survey and prospect on invasive condition and invasive mechanism of *Lantana camara* L. *Journal of Hainan Normal University (Natural Science)*, 2008, 21(1): 87-93.
- [6] Hiremath A J, Sundaram B. The Fire-Lantana Cycle Hypothesis in Indian forests. *Conservation and Society*, 2005, 3 (1): 26-42.
- [7] Chen Q B. A review of researches on biodiversity in Eucalyptus plantations. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2001, 22 (4): 82-90.
- [8] Li D H, Yang X B, Deng Y W, Li Y L. Soil physical properties under effects of Eucalyptus understory vegetation and litter. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25 (6): 607-611.
- [9] Wang J, Liao Q S, Ding W M, Tong X L. Invertebrate biodiversity in litter layers of natural forest and *Eucalyptus* plantation in eastern Guangdong, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19 (1): 25-31.
- [10] Han Y S, Wei Y C, Ouyang Z Y, Cao Y. Effects of continuous planting rotation on forest structural characteristics and water holding capacity of Eucalyptus plantations. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (9): 4609-4617.
- [11] Alhamd L, Arakaki S, Hagihara A. Decomposition of leaf litter of four tree species in a subtropical evergreen broad-leaved forest, Okinawa Island, Japan. *Forest Ecology and Management*, 2004, 202(1-3): 1-11.
- [12] Moretto A S, Distel R A, Didoné N G. Decomposition and nutrient dynamic of leaf litter and roots from palatable and unpalatable grasses in a semi-arid grassland. *Appl. Soil Ecol.*, 2001, 18(1): 31-37.
- [13] Allan J D. *Stream Ecology: Structure and function of running waters*. London: Chapman & Hall Press, 1995.
- [14] Petersen R, Cummins K. Leaf processing in a woodland stream. *Freshwater Biology*, 1974, 4(4): 343-368.
- [15] Webster J R, Benfield E F. Vascular plant breakdown in freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1986, 17: 567-594.
- [16] Boswell C C, Espie P R. Uptake of moisture and nutrients by *Hieracium pilosella* and effects on soil in a dry sub-humid grassland. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1998, 41(2): 251-261.
- [17] Matson P. Plant soil interactions in primary succession at Hawaii Volcanoes National Park. *Oecologia*, 1990, 85(2): 241-246.
- [18] Ehrenfeld J G, Kourtev P, Huang W. Changes in soil functions following invasions of exotic understory plants in deciduous forests. *Ecological Applications*, 2001, 11(5): 1287-1300.
- [19] Versfeld D B, van Wilgen B W. Impact of woody aliens on ecosystem properties//Macdonald I A W, Kruger F J and Ferrar A A eds. *The Ecology and Management of Biological Invasions in Southern Africa*. Cape Town, South Africa: Oxford University Press, 1986: 239-246.
- [20] Cummins K W, Wilzbach M A, Gates D M, Perry J B, Taliaferro W B. Shredders and riparian vegetation. *BioScience*, 1989, 39(1): 24-30.
- [21] Abelho M, Graça M A S. Effects of eucalyptus afforestation on leaf litter dynamics and macroinvertebrate community structure of streams in Central Portugal. *Hydrobiologia*, 1996, 324(3): 195-204.
- [22] Campbell I C. Ecology of Australian detritus-based streams-a note in response to Graça. *Limnologia*, 1994, 24(3): 291-293.
- [23] Smock L A, MacGregor C M. Impact of the America chestnut blight on aquatic shredding macroinvertebrates. *Journal of the North American Bethological Society*, 1988, 7(3): 212-221.
- [24] Graça M A S. The role of invertebrate on leaf litter decomposition in streams: a review. *International Review of Hydrobiology*, 2001, 86(4/5): 383-393.
- [25] Dudgeon D. *Tropical Asian Streams*. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1999.
- [26] Morse J C, Yang L F, Tian L X. *Aquatic insects of China useful for monitoring water quality*. Nanjing: Hohai University Press, 1994.
- [27] Merritt R W, Cummins K W. *An introduction to the aquatic insects of North America*. 3rd ed. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company Press, 1996: 74-754.
- [28] State Environmental Protection Administration of China. *Monitoring and Analytical Method of Water and Wastewater*. 3rd Ed. Beijing: China Environmental Science Press, 1998.

- [29] Vannote R, Minshall G, Cummins K, Sedell J R, Cushing C E. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1980, 37(1): 130-137.
- [30] Albariño R J, Balseiro E G. Leaf litter breakdown in Patagonian streams: native versus exotic trees and the effect of invertebrate size. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2002, 12(2): 181-192.
- [31] Schulze D J, Walker K F. Riparian eucalypts and willows and their significance for aquatic invertebrates in the River Murray, South Australia. *Regulated Rivers: Research & Management*, 1997, 13(6): 557-577.
- [32] Chen S B, Li Z J. Discussion on allelopathy mechanism of exotic plant invasion. *Ecologic Science*, 2005, 24 (1): 69-74.
- [33] Irons J G, Oswood M W, Bryant J P. Consumption of leaf detritus by a stream shredder: influence of tree species and nutrient status. *Hydrobiologia*, 1988, 160(1): 53-61.
- [34] Bird G A, Kaushik N K. Invertebrate colonisation and processing of maple leaf litter in a forested and an agricultural reach of a stream. *Hydrobiologia*, 1992, 234(2): 65-77.
- [35] Richardson J S. Food, microhabitat, or both? Macroinvertebrate use of leaf accumulations in a montane stream. *Freshwater Biology*, 1992, 27(2): 169-176.

参考文献:

- [1] 高增祥, 季荣, 徐汝梅, 谢宝瑜, 李典谟. 外来种入侵的过程、机理和预测. *生态学报*, 2003, 23 (3): 559-569.
- [2] 马晔, 沈珍瑶. 外来植物的入侵机制及其生态风险评价. *生态学杂志*, 2006, 25 (8): 983-988.
- [4] 时培建, 戈峰, 王建国, 郭世权. 外来物种入侵后的多物种竞争共存的集合种群模型. *生态学报*, 2009, 29(3): 1241-1250.
- [5] 林英, 戴志聪, 司春灿, 杜道林. 入侵植物马缨丹(*Lantana camara*)入侵状况及入侵机理研究概况与展望. *海南师范大学学报(自然科学版)*, 2008, 21(1): 87-93.
- [7] 陈秋波. 桉树人工林生物多样性研究进展. *热带作物学报*, 2001, 22 (4): 82-90.
- [8] 李东海, 杨小波, 邓运武, 李跃烈. 桉树人工林林下植被、地面覆盖物与土壤物理性质的关系. *生态学杂志*, 2006, 25 (6): 607-611.
- [9] 王军, 廖庆生, 丁伟民, 童晓立. 粤东地区速生桉树林与天然林枯枝落叶层无脊椎动物多样性比较. *应用生态学报*, 2008, 19 (1): 18-31.
- [10] 韩艺师, 魏彦昌, 欧阳志云, 曹云. 连栽措施对桉树人工林结构及持水性能的影响. *生态学报*, 2008, 28 (9): 4609-4617.
- [28] 国家环境保护局. 水和废水监测分析方法(第三版). 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [32] 陈圣宾, 李振基. 外来植物入侵的化感作用机制探讨. *生态科学*, 2005, 24(1): 69-74.