

汉江流域黑竹冲河部分优势大型底栖动物的周年生产量

闫云君 李晓宇

(华中科技大学生命科学与技术学院, 武汉 430074)

摘要:大型底栖动物在河流生态系统中发挥着重要作用,2003年6月至2004年6月间对汉江流域2级河流——黑竹冲河大型底栖动物群落优势种类的生产力进行为期一周年的调查研究,结果表明,主要优势种纹石蛾(*Hydropsyche* sp.)、扁蜉(*Ecdyru* sp.)和细蜉(*Caenis* sp.)生活史均为一年两代,河蚬(*Corbicula fluminea*)基本为三年一代。纹石蛾种群现存量在1月达到峰值,河蚬种群多度在3月、6—9月保持较高水平,生物量在10月达到峰值,而扁蜉种群的生物量和多度分别在4月和6月达到峰值,细蜉的生物量和多度则分别2月和6月达到峰值。采用龄期频率分布法(size-frequency method)测算的周年生产量(湿重或带壳湿重)和P/B系数分别为:纹石蛾,267.464g/m²·a,P/B为9.8;河蚬,783.1g/m²·a,P/B系数为2.3;扁蜉,267.46g/m²·a,P/B为15.4;细蜉,53.60g/m²·a,P/B为9.4。

关键词:大型底栖动物群落;优势类群;生产量;黑竹冲河

中图分类号:Q966.28 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3207(2007)03-0297-10

大型底栖动物是河流生态系统中最重要生态类群,在水底起着加速碎屑分解,促进泥水界面物质交换和水体自净作用,是河流生态系统物质循环和能量代谢最为重要的环节,也是了解河流生态系统结构和功能及健康状况的关键类群。此外,河流大型底栖动物作为重要的指示生物,已广泛应用于水质及环境监测上,起着水下哨兵的作用^[1]。目前河流大型底栖动物群落结构与功能已成为生态学的研究热点领域之一^[2]。而我国对河流的生态学研究少而零散,涉及河流生态系统功能的研究鲜见报道,尚处于起步阶段^[3]。但随着我国对河流水电的大规模开发,河流环境的污染恶化,河流可持续利用问题变得日益尖锐突出。因此,加深对我国河流生态系统结构和功能的认识,尤其是对河流大型底栖动物群落结构与功能的了解,对制订适合我国河流状况的综合生物监测体系,提出污染河流治理、恢复和保护的有效对策,具有重要意义。以下是作者于2003年6月至2004年6月间对汉江流域二级河流——黑竹冲河大型底栖动物研究的部分结果。

1 工作方法

1.1 采集点和采样时间 在湖北省襄樊市南漳县

城关镇附近有三条相邻河流,其中黑竹冲河没有受到污染,选择作为研究地点,其河水的理化性质见表1。根据河流生境类型从上游往下游选择了6个采样点,分别是:1站(S₁)位于上游河心的大圆石块区域;2站(S₂)位于一堰塘内,基底为砾石;3站(S₃)位于缓流河段中心点,少数砾石半没于泥砂中;4站(S₄)位于河边生长水草的区域;5站(S₅)位于急流中心的大石快区;6站(S₆)位于一间歇排污口的下游,为泥沙底(图1),每个采样点间距约为1000—1500米,样点大小为30cm×30cm。采样时间一般在每月28日左右,为期一年,即2003年6月至2004年6月。

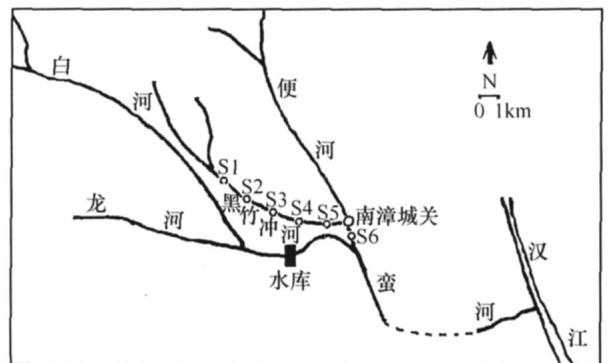


图1 黑竹冲河及采样点的分布

Fig. 1 Map of Heizhuchong Stream and distribution of sampling sites

收稿日期:2005-03-22;修订日期:2006-11-06

基金项目:国家自然科学基金(30270278)资助

作者简介:闫云君(1969—),男,湖北罗田县人;博士,教授,博士生导师

通讯作者:闫云君, Tel: 027-87792214, E-mail: yanyunjun@tom.com

表 1 黑竹冲河水理化性质
Tab.1 Main physical and chemical characteristics of Heizhuchong Stream

pH	高锰酸盐指数 KMnO ₄ Index	生物耗氧量 BOD	悬浮物	总磷	总氮	氨氮	亚硝酸盐氮	硝酸盐氮	溶解氧
			SM	TP	TN	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Dissolved O ₂
			(mg/L)						
8.0	1.5	1.41	5.000	0.017	1.572	0.223	0.009	1.33	11.5

1.2 标本采集及处理 定量采集使用 60 目的 D 型网和 Surber 网,每样点 1 次,1 个重复。样品经 60 目铜筛筛洗后,置于白色解剖盘中分检,标本用 10 % 的福尔马林固定保存。

1.3 生活史 根据采样各月龄期或体长的分布频率,可以了解种群发育动态,从而获得种群生活史状况^[4-6]。

1.4 生产量的测算 采用龄期(体长)频率法(instar (size)-frequency method)测算其周年生产量^[7-9]。

2 结果

2.1 种群动态

纹石蛾 种群现存量表现出双峰态。在 1 月

份,多度和生物量达到最大峰值,分别为 796ind/ m² 和 6.5896g/ m²,然后随之快速下降,到 3 月份才稳定在一个较低水平;6 月份又开始上升,7 月份达到第二次峰值,但较 1 月份稍小,然后又快速下降,9 月份达到现存量的最低值,此时的多度和生物量分别为 44ind/ m²和 0.1549g/ m²。上述两次高峰后的快速下降主要与成蛾在此其间羽化有关。但从整个变化格局上看,多度的变化趋势与生物量的变化趋势基本一致(图 2a)。

河蚬 现存量周年动态如图 2b。由图 2 可以看出,河蚬种群密度在 6 月至 9 月间保持较高水平,随后快速下降,次年 1 月达到最低点,为 28ind/ m²,随后

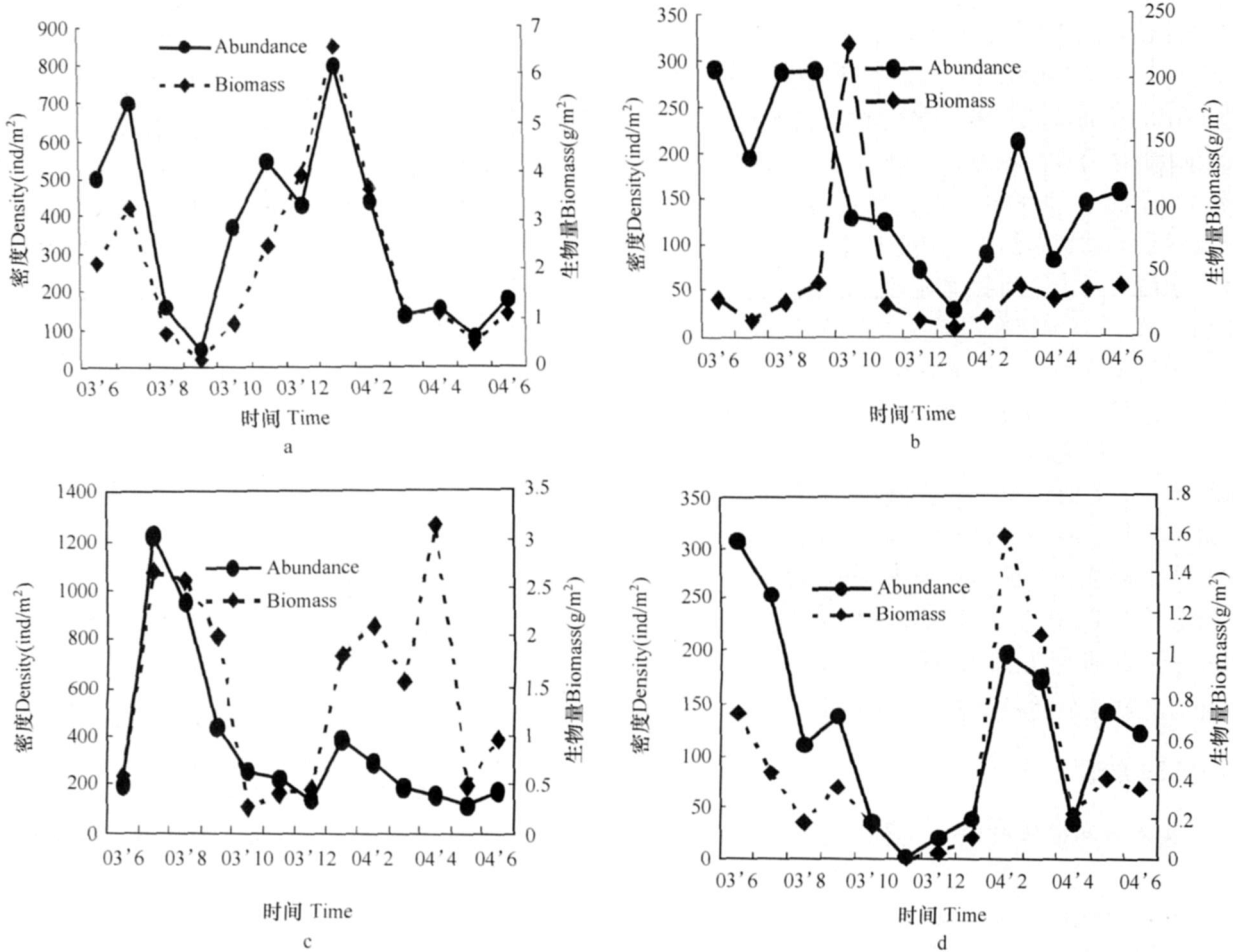


图 2 黑竹冲河纹石蛾(a)、河蚬(b)、扁蚌(c)和细蟚(d)的现存量周年变化
Fig.2 Annual variations of standing stock of *Hydropsyche* sp. , *Corbicula fluminea* , *Ecdyrs* sp. and *Caenis* sp. in Heizhuchong Stream

后进入生殖季节,种群密度快速上升,但幼小个体死亡率较高,种群在 6 月份达到峰值,为 $291 \text{ ind}/\text{m}^2$;生物量在 6 月至 11 月表现出与密度不一样的变动趋势,在 10 月份达到一年中的最大值 $226.27 \text{ g}/\text{m}^2$,原因是尽管 10 月份密度不是最大值,但当年繁殖的个体在 10 月份达到当年的最大体重。随后种群密度快速下降至次年 1 月份的最低点 $5.81 \text{ g}/\text{m}^2$,并随着进入繁殖期种群生物量有所上升,但保持在一个较低的水平($45 \text{ g}/\text{m}^2$)。

扁蜉 种群现存量变动趋势如图 2c。可以看出,扁蜉多度在 7 月份达到最大峰值,为 $1226 \text{ ind}/\text{m}^2$;生物量出现两个较明显的峰值,主峰值出现在 4 月,为 $3.1425 \text{ g}/\text{m}^2$,次峰值出现在 7 月份,为 $2.6917 \text{ g}/\text{m}^2$ 。10 月种群出现生物量最低值,12 月多度达到最低值。

细蜉 种群现存量变动趋势如图 2d。可以看出,细蜉多度出现两个较明显的峰值,在 2 月达到次峰值,6 月达到主峰值,分别为 $194 \text{ ind}/\text{m}^2$, $307 \text{ ind}/\text{m}^2$ 。

生物量的峰值出现在 2 月,为 $1.5900 \text{ g}/\text{m}^2$ 。11 月种群现存量出现最低值,并在 12 月和次年 1 月仍然保持很低的水平,随着 2 月的繁殖季节到来而迅速上升。

2.2 生活史

纹石蛾 从采集的样品看,多数标本均为二、三龄幼虫,五龄幼虫很难采到,仅见于 11 月。但在多个月份都可以采集到蛹,特别是在春季和夏末蛹及成蛾较多。结合采集样品中纹石蛾种群龄期频率分布的逐月周年动态(图 3a),可以看出,纹石蛾一年有两个世代,而且存在一定程度的重叠,但不影响世代的辨认和区分。

河蚬 体长组分布频率周年动态如图 3b。整体上看,可以初步分为 5 个年龄组,分别是 2004 年年龄组、2003 年年龄组、2002 年年龄组、2001 年年龄组及个别 2000 年年龄组。因此,如不考虑个别 2000 年年龄组,种群完成一代生活史需要 3 年到 3 年半的时间。种群在 2 月末 3 月初进入繁殖季节,延续

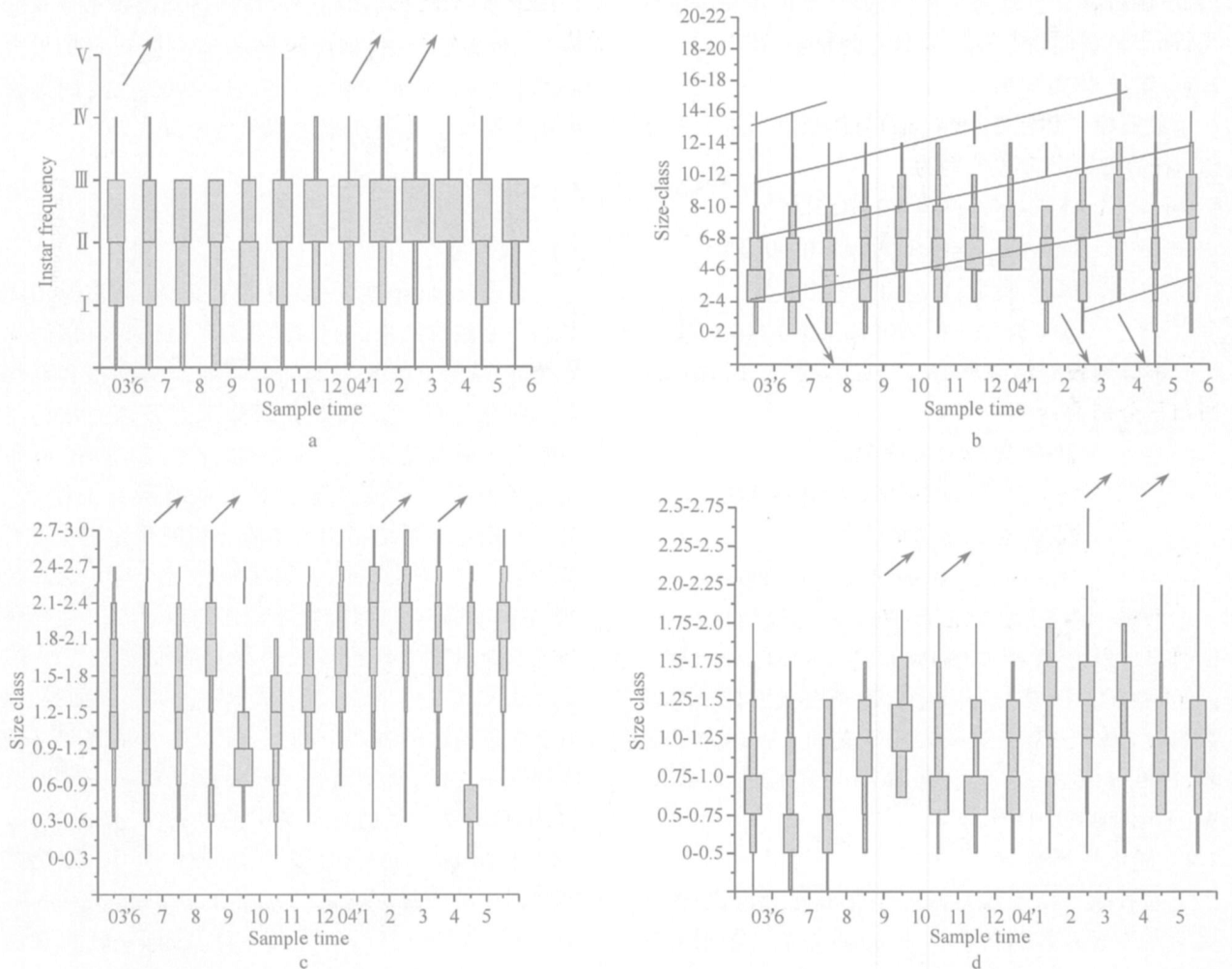


图 3 黑竹冲河纹石蛾(a)、河蚬(b)、扁蜉(c)和细蜉(d)种群的龄期频率分布逐月动态

Fig. 3 Monthly instar frequency distributions for *Hydropsyche* sp., *Corbicula fluminea*, *Ecdyru* sp. and *Caenis* sp. in Heizhuchong Stream

数月,少数个体甚至在 8 月份仍然在产幼体,因此从体长分布频率反映出的种群结构世代间有重叠现象。不过幼体死亡率较高,因此在种群结构中,仍然主要以 2003 年年龄组和 2002 年年龄组的个体占据现存量的优势。

扁蜉 扁蜉体长频率分布逐月动态如图 3c。可以看出,每年的 2—3 月出现第一次成虫羽化,随后交配后产卵,4 月卵孵化达到高峰,这批幼虫经过 4 个月的发育,在 7—9 月间羽化。它们产下的卵孵化出的幼虫又在次年的 2—3 月羽化。因此,扁蜉种群有两个世代,即夏季世代和冬季世代,但两个世代存在一定程度的重叠。

细蜉 细蜉体长频率分布逐月动态如图 3d。可以看出,每年的 3—4 月出现第一次成虫羽化,随后交配后产卵,繁殖期延续了几个月的时间,成虫羽化在 10 月份达到高潮;11 月、12 月幼虫孵化比较多,经过约 5 个月的发育,在次年 3—5 月间羽化。因此,细蜉种群也有两个世代,即夏季世代和冬季世代,两个世代间也存在一定程度的重叠。

2.3 体长-体重关系

纹石蛾 体湿重(W_w , mg)与体长(L , mm)、头宽(T_s , mm)的回归方程分别为:

$$\text{体重-体长: } W_w = 0.0155L^{2.98}$$

$$(n = 48, r = 0.9859, p < 0.0000)$$

$$\text{体重-头宽: } W_w = 12.236T_s^{3.43}$$

$$(n = 54, r = 0.9905, p < 0.0000)$$

扁蜉和细蜉体湿重(W_w , mg)与体长(L , mm)的回归程分别为:

$$\text{扁蜉: } W_w = 0.000071L^{2.52}$$

$$(n = 56, r = 0.9869, p < 0.0000)$$

$$\text{细蜉: } W_w = 0.036L^{2.94}$$

$$(n = 64, r = 0.9918, p < 0.0000)$$

河蚬 体重(带壳湿重, W_w , g)与壳长(L , mm)的回归方程为: $W_w = 0.000209L^{3.13}$ ($n = 164, r = 0.9982, p < 0.0000$)。河蚬去壳湿重与带壳湿重间的换算系数约为 20%,去壳湿重 = 去壳干重间 $\times 0.162$ (闫云君, 1999)。因此,去壳干重(W_d)与壳长的关系为: $W_d = 0.00000677L^{3.13}$ 。

2.4 周年生产量

纹石蛾 由于纹石蛾一年完成两个世代,因此周年生产量为其同龄群(cohort)的 2 倍。根据龄期频率法(instar(size)-frequency method)测算纹石蛾同龄群生产量和周年生产量如表 2。由表 2 可知,纹石蛾同龄群生产量和周年生产量湿重分别为 133.732g/m^2

和 267.464g/m^2 ;同龄群 P/B 系数为 4.9,周年 P/B 系数为 9.8。

河蚬 由于河蚬三年左右完成一个世代,因此其周年生产量为其同龄群(cohort)的 $1/3$ 。根据体长频率法(size-frequency method)测算河蚬同龄群生产量和周年生产量如表 2。由表 2 可知,河蚬同龄群生产量和周年生产量带壳湿重分别为 2349.4g/m^2 和 783.1g/m^2 。a,换算后的去壳干重分别为 76.1g/m^2 。a, 25.4g/m^2 。a;同龄群 P/B 系数为 7.0,周年 P/B 系数为 2.3。

扁蜉 由于扁蜉一年完成两个世代,因此周年生产量为其同龄群(cohort)的 2 倍。根据体长频率法(size-frequency method)测算的扁蜉同龄群生产量和周年生产量如表 2。由表 2 可知,扁蜉同龄群生产量和周年生产量湿重分别为 161.009g/m^2 和 322.018g/m^2 ;同龄群 P/B 系数为 7.7,周年 P/B 系数为 15.4。

细蜉 同样地,由于细蜉一年完成两个世代,因此周年生产量为其同龄群(cohort)的 2 倍。根据体长频率法测算的细蜉同龄群生产量和周年生产量如表 2。由表 2 可知,细蜉同龄群生产量和周年生产量湿重分别为 26.7995g/m^2 和 53.5990g/m^2 ;同龄群 P/B 系数为 4.7,周年 P/B 系数为 9.4。

3 讨论

3.1 纹石蛾

石蚕(caddisfly)是一类生活在河流、湖泊及沼泽湿地的毛翅目昆虫,为低级河流底栖动物群落的优势类群,从滤食收集者到捕食者各类功能摄食群均有其种类分布^[11]。因此在河流生态系统的结构与功能中占据重要地位。在国外,早在 20 世纪 70 年代河流生态学家就展开了对石蚕的研究工作^[12]。关于河流生态系统结构与功能分析的研究工作被大量报道^[2, 13],对石蚕的生物学特性、生产力、营养基础(trophic basis)、食物网、能量代谢以及与其他物种间关系的研究工作也有较为深入的报道^[14—18]。综合上述文献报道,石蚕的生活史随种类不同而异,生活于寒带地区的种类一般三年一代,生活在热带地区的一年三代,而生活在亚热带地区的有一年两代的,也有一年一代的。本文中的纹石蛾(*Hydropsyche* sp.)与 Benke 和 Arsdall 等^[15]报道生活于一亚热带黑水河中的 *Hydropsyche elissoma* 和 *Hydropsyche incommoda* 的生活史相近,均为一年两代,即一代出现在冬季,一代生长在夏季。在国内,目前对河流生态系统的研究工作比较缺乏^[3],总体尚处于起步阶段,有关于石蚕及纹石蛾(*Hydropsyche* sp.)生态学研究工

表 2 龄期频率法测算的黑竹冲河纹石蛾、河蚬、扁蚌和细蚌周年生产量

Tab. 2 Annual productions (g/m ² wet wt) of <i>Hydropsyche</i> sp., <i>Corbicula fluminea</i> , <i>Ecdyrs</i> sp., and <i>Coenis</i> sp. estimated by instar (size)-frequency method in Heizhuchong Stream								
物种 Species	龄期(体长组) (mm)	密度 Density (No./m ²)	体均重 Mean wt (mg)	生物量 Biomass (g/m ²)	减员数 No. loss (No./m ²)	减员个体均重 Mean Wt at loss (mg)	损失量 Wt loss (g/m ²)	生产量 Production (g/m ²)
<i>Hydropsyche</i> sp.	I	355.6	0.7774	0.0276	-1120.3	1.3258	-1.4853	-7.4265
	II	1475.9	2.2612	3.3373	-1151.9	4.2346	-4.8778	-24.3890
	III	2627.8	7.9304	20.8395	2464.8	11.9554	29.4677	147.3384
	IV	163.0	18.0233	2.9378	155.6	23.2237	3.6136	18.068
	V	7.4	29.9247	0.0221	7.4	38.1266	0.0282	0.1410
现存量 Standing stock = 27.164, 同龄群生产量 Cohort production = 133.732, 周年生产量 Annual production = 267.464, 同龄群 Cohort P/B = 4.9, 周年 Annual P/B = 9.8								
<i>Corbicula fluminea</i>	0-2	55.6	0.0018	0.1001	-70.4	0.0043	-0.3026	-3.3285
	2-4	125.9	0.0103	1.2968	-414.8	0.0196	-8.1304	-89.4341
	4-6	540.7	0.0373	20.1681	-27.8	0.05900	-1.6389	-18.0278
	6-8	568.5	0.0932	52.9842	96.3	0.1370	13.1926	145.1186
	8-10	472.2	0.2015	95.1483	253.7	0.2736	69.4133	763.5463
	10-12	218.5	0.3716	81.1946	127.8	0.4778	61.0522	671.5742
	12-14	90.7	0.6143	55.7170	77.8	0.7806	60.7133	667.8467
	14-16	13.0	0.9920	12.8960	5.6	1.1531	6.4061	70.4671
	16-18	7.4	1.3403	9.9182	7.4	1.6470	12.2000	134.2000
	18-20	0	2.0238	0.0000	-1.9	2.3408	-4.3348	-47.6828
	20-22	1.9	2.7074	5.1441	1.9	2.7074	5.0137	55.1507
现存量 Standing stock = 334.4500 同龄群生产量 Cohort production = 2349.4, 周年生产量 Annual production = 783.1, 同龄群 Cohort P/B = 7.0, 周年 Annual P/B = 2.3								
<i>Ecdyrs</i> sp.	0-2	274.1	0.0003	0.0822	-1651.8	0.0006	-0.9911	-9.911
	2-4	1925.9	0.0013	2.5037	175.9	0.0025	0.4400	4.400
	4-6	1750	0.0048	8.4000	1131.5	0.0065	7.3548	73.548
	6-8	618.5	0.0088	5.4428	520.4	0.0119	6.1928	61.928
	8-10	98.1	0.0160	1.5696	74.1	0.0208	1.5413	15.413
	10-12	24	0.0270	0.648	9.2	0.0376	0.3459	3.459

作非常少,涉及其生产力和营养关系的研究至今未见有报道。但与国外报道的纹石蛾生产力相比,本文报道的生产量较大,而 P/B 系数适中(详见表 3),可能的原因是黑竹冲河石蚕种类较少(3 种),纹石蛾获得了足够的生长资源发展种群,其平均密度达到 4630ind/ m²。

表 3 黑竹冲河纹石蛾周年生产量(mg ·dry ·wt/ m²)与同属种间的比较

种类 Species	生产量 Production (P)	P/ B	作者 Authors	研究地点 Study sites
<i>Hydropsyche incommoda</i>	21030	6.4	Benke & Arsdall <i>et al</i> ,1984	Subtropical blackwater river
<i>Hydropsyche elissoma</i>	348	7.4	Benke & Arsdall <i>et al</i> ,1984	Subtropical blackwater river
<i>Hydropsyche rossi</i>	5140	14.0	Benke & Wallace ,1997	Ogeechee River
<i>Hydropsyche incommoda</i>	87	12.6	Benke & Wallace ,1997	Ogeechee River
<i>Hydropsyche</i> sp.	1700	4.1	Games & Cushing <i>et al</i> , 1992	Gouglas Creek
<i>Hydropsyche</i> sp.	53493	9.8	闫云君等 ,2005	Heizhuchong Stream

注:周年生产量换算为干重乘以系数 0.2
Note : The values of Heizhuchong Stream annual production was multiplied by 0.2

3.2 河蚬

河蚬生活于多种淡水水体,容易在河流生态系统中形成优势种群,在系统的物质代谢和能量流动中发挥着重要作用^[19-21]。关于河蚬的生物学和生态学研究有一些报道^[20-22],其中关于其生态功能研究工作并不多。黑竹冲河河蚬的生活史与 Mouthon^[21]报道生活在 Rhône 河中的河蚬比较一致,均有 4 个年龄组。河蚬的生产力国内外尚无报道,但与文献报道^[19,22-24]的双壳类的生产量相比较

大,而 P/B 与 Chad 湖的 *Corbicula africana*、Thames 河的 *Sphaerium corneum* 以及后湖的 *Sphaerium lacustre* 相近(表 4)。其原因可能是黑竹冲河中的河蚬没有其他滤食性竞争对手,拥有足够的种群繁殖和生长空间,保有较大现存量,如年平均密度达 2094.4ind/ m²,年均生物量达 334.5g/ m²,从而导致生产量较其他地区的为高。另一方面,黑竹冲河河蚬的生活史与 *Corbicula africana*、*Sphaerium corneum* 较为接近,因此 P/B 系数也相近。

表 4 不同水体双壳类软体动物生产量(P, kg ·dry ·wt shell-free/ ha ·yr)、P/ B 系数的比较

物 种 Species	生活史(年) Life cycles (Yr)	生产量 Production	P/ B	作 者 Authors	研究地点 Study sites
<i>Corbicula africana</i>	1—2	106.3	2.9	Leveque	Chad 湖 ^[6]
<i>Corbicula fluminea</i>	3 年多	254.1	2.3	闫云君等	黑竹冲河
<i>Limnaea pereger</i>	多年	5.02	11.5	Waters	Thames 河 ^[9]
<i>Unio pictorum</i>	10—12	8.8	0.14	Negus	Thames 河 ^[7]
<i>U. tumidus</i>	10—12	3.3	0.13	Negus	Thames 河 ^[7]
<i>Unio tumidus</i>	2 年多	3.4	0.25	Tudorancea	Danube River pools , Romania ^[8]
<i>U. pictorum</i>	2 年多	3.7	0.15	Tudorancea	Danube River pools , Romania ^[8]
<i>Anodonta anatina</i>	10—12	22.0	0.20	Negus	Thames 河 ^[7]
<i>Anodonta piscinalis</i>	2 年多	4.9	0.33	Tudorancea	Danube River pools , Romania ^[8]
<i>Sphaerium corneum</i>	2—3	2.85	3.5	Waters	Thames 河 ^[9]
<i>Sphaerium lacustre</i>	1 年多	0.65	3.3	闫云君等	后湖 ^[4]

3.3 蜉蝣

蜉蝣目昆虫广泛存在于世界各种淡水水体中,是河流生态系统的优势类群,在系统的物质循环和能量流动中起着重要作用,而且对水质变化比较敏

感,在国外已被广泛用于水质监测。因此,国外对该类群的研究工作开展比较早,也较为深入。有关河流生态系统中蜉蝣类群结构、功能及营养基础的研究工作报道也不少见^[25-30](表 5)。从功能摄食群

看,蜉蝣多属于刮食者 (scraper) 和收集者 (collector), 是河流等水体生态系统营养链中极为重要的一环, 对维系生态系统食物网的复杂性有着十分重要的意义。而我国对蜉蝣目的研究起步比较晚,大多数工

作主要集中在类群的分类学,以及与其他底栖动物形成的群落在水质监测方面的应用研究^[31, 32], 有关该类群的结构与功能研究尚没有报道,这与我国河流生态学,特别是河流功能生态学研究滞后有关。

表 5 不同水体蜉蝣生产力和 P/B 系数比较

Tab. 5 Comparison of secondary production (mgDW/ m²) and P/B ratio with other studies of mayfly species

物种 Species	生产量 Production	P/B	研究地点 Habitat (Location)	作者 Authors
<i>C. luctuosa</i>	6349.81	15.98	Mediterranean semiarid stream (Murcia, Spain)	Per'an, Velasco & A. Mill'an, 1999
<i>C. amica</i>	445.05	13.00	Experimental ponds (Virginia, U. S. A.)	Christman & Voshell, 1992
<i>C. amica</i>	676.00	12.72	Experimental stream (Alabama, U. S. A.)	Rodgers, 1982
<i>Caenis</i> spp.	82.10	59.1	Humid/ mesic plains stream (Georgia, U. S. A.)	Benke & Jacobi, 1994
<i>C. rivulorum</i>	30	/	Experimental stream (Dorset, UK)	Welton <i>et al.</i> , 1982
<i>C. luctuosa</i>	76	7.9	Reach 7 (Northern Spain)	Gonz'alez, Basaguren & Pozo, 2001
<i>C. luctuosa</i>	93	7.1	Reach 9 (Northern Spain)	Gonz'alez, Basaguren & Pozo, 2001
<i>C. amica</i>	400	13.0	Experimental pond (Virginia, USA)	Christman & Voshell, 1992
<i>C. horaria</i>	539	10.2	Woodland pond (Geneva, Switzerland)	Oertli (1993)
<i>C. simulans</i>	560	4.4	Plains stream (Minnesota, USA)	MacFarlane & Waters, 1982
<i>C. luctuosa</i>	81.58	23.7	Semiarid stream (Murcia, Spain)	Per'an, 1997
<i>Afronurus</i> sp.	2405.5	34.7	Shing Mun River (Hong Kong)	Salas and Dudgeon, 2003
<i>Cinygmia</i> sp.	1198.1	33.0	Shing Mun River (Hong Kong)	Salas and Dudgeon, 2003
<i>Procladius</i> sp.	99.5	99.5	Shing Mun River (Hong Kong)	Salas and Dudgeon, 2003
<i>Baetiella pseudofrequenta</i>	143.2	95.4	Shing Mun River (Hong Kong)	Salas and Dudgeon, 2003
<i>Choroterpes</i> sp.	225.7	57.8	Shing Mun River (Hong Kong)	Salas and Dudgeon, 2003
<i>H. limbata</i>	4688	4.09	in Blackwater Creek (central Florida, USA)	Lobinske, Ali and Stout, 1996
<i>H. limbata</i>	3.123	4.59	in Rock Springs Run (central Florida, USA)	Lobinske, Ali and Stout, 1996
<i>Hb. lauta</i>	198.5	9.6	A Northern Spain stream	Gonz'alez, Basaguren and Pozo, 2003
<i>Hd. confusa</i>	412.6	5.7	A Northern Spain stream	Gonz'alez, Basaguren and Pozo, 2003
<i>Caenis</i> sp.	10183.81 *	9.4	in Heizhuchong Stream, Hubei, P. R. China	This study, 2004
<i>Ecdyus</i> sp.	61183.42 *	15.4	in Heizhuchong Stream, Hubei, P. R. China	This study, 2004

*干湿重比值见参考文献 33 Ratios of dry Wt/ wet Wt were referred to reference 33

蜉蝣类群种类多,分布地域广,因此生活史也较为复杂。一般地,在热带地区的种类一年有 3—5 个世代,亚热带地区为一年 1—3 个世代,温带和寒带地区则可能出现 2—3 年一个世代,甚至更长^[25, 30]。本研究地点位于亚热带地区,两种蜉蝣均为一年两代,与上述一般规律相吻合。就生产量而言,在已报道的种类中,本研究中的两种蜉蝣周年生产量为最大,这与黑竹冲河中藻类生长丰富,食物充足,维持着种群高密度有关;另一方面,蜉蝣的捕食者(鱼类、蟹类)相对较少,也可能是另一个原因。而两者的 P/B 系数在所报道的数据中较为适中(表 5)。

参考文献:

[1] Benke A C. Baldi Memorial Lecture: Concepts and patterns of invertebrate production in running waters [J]. *Verh. Internat. Verein. Limnol*, 1993, 25: 15—38

[2] Covich A P, Palmer M A, Crowl T A. The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems [J]. *BioScience*, 1999, 49 (2): 119—127

[3] Cai L Z. MPI of macrozoobenthos [J]. *Chinese Journal of Environment Sciences*, 2003, 23(5): 625—629 [蔡立哲. 大型底栖动物污染指数(MPI). 环境科学学报, 2003, 23(5): 625—629]

[4] Georgian T, Wallace J B. Seasonal production dynamics in a guild of periphyton-grazing insects in a southern Appalachian stream [J].

- Ecology*, 1983, **64**: 1236—1248
- [5] Benke A C, Wallace J B. Trophic basis of production among riverine caddisflies: implications for food web analysis [J]. *Ecology*, 1997, **78**(4): 1132—1145
- [6] Yan Y J, Liang Y L. Annual production of *Sphaerium Lacustre* in Lake Houhu (Wuhan, China) [J]. *Journal of Lake Science*, 2003, **15**(1): 76—80 [闫云君, 梁彦龄. 后湖球蚬周年生产量的研究. 湖泊科学. 2003, **15**(1): 76—80]
- [7] Hynes H B N, Coleman M J. A simple method of assessing the annual production of stream benthos [J]. *Limn. Oceanogr.* 1968, **13**: 569—573
- [8] Hamilton A L. On estimating annual production [J]. *Limnology Oceanography*, 1969, **14**: 771—782
- [9] Menzie C A. A note on the Hynes method of estimating secondary production [J]. *Limnol. Oceanogr.* 1980, **25**(4): 770—773
- [10] Benke A C, Wallace J B. Trophic basis of production among net-spinning caddisflies in a southern Appalachian stream [J]. *Ecology*, 1980, **61**: 108—118
- [11] Wallace J B, Merritt R W. Filter-feeding ecology of aquatic insects [J]. *Ann. Rev. Entomol.*, 1980, **25**: 103—132
- [12] Wiggins G B. Larvae of the North American Caddisfly Genera [M]. Toronto: University of Toronto Press. 1977
- [13] Huryn A D, Wallace J B. Life history and production of stream insects [J]. *Annu. Rev. Entomol.*, 2000, **45**: 83—110
- [14] Benke A C, Wallace J B. Trophic basis of production among riverine caddisflies: implications for food web analysis [J]. *Ecology*, 1997, **78**: 1132—1145
- [15] Benke A C, Arsdall T C, Gillespie D M. Invertebrate productivity in a subtropical blackwater river: the importance of habitat and life history [J]. *Ecological Monographs*, 1984, **54**(1): 25—63
- [16] Georgian T, Wallace J B. A model of seston capture by net-spinning caddisflies [J]. *Oikos*, 1981, **36**: 147—157
- [17] Benke A C, Wallace J B. Trophic basis of production among net-spinning caddisflies in a southern Appalachian stream [J]. *Ecology*, 1980, **61**: 108—118
- [18] Georgian T, Thorp J H. Effects of microhabitat selection on feeding rates of net-spinning caddisfly larvae [J]. *Ecology*, 1992, **73**: 229—240
- [19] Waters T F. Secondary production in Inland Waters [J]. *Adv. Ecol. Res.*, 1977, **10**: 91—164
- [20] Mouthon J. Life cycle and population dynamics of the Asiatic clam *Corbicula fluminea* (Bivalvia, Corbiculidae) in Rhône River at Creys-Malville (France) [J]. *Arch. Hydrobiol.*, 2001b, **151**: 571—589
- [21] Mouthon J. Longitudinal and temporal variations of density and size structure of *Corbicula fluminea* (Bivalvia) populations in the Saône and Rhône rivers (France) [J]. *Ann. Limnol. -Int. J. Lim.*, 2003, **39**(1): 15—25
- [22] Leveque C. Dynamique des peuplements biologique, et estimation de la production des mollusques benthique du Lac Tchad [J]. *Cah. ORSTOM, ser. Hydrobiol.*, 1973, **7**: 117—147
- [23] Negus C. A quantitative study of growth and production of unionid mussels in the River Thames at Reading [J]. *J. Anim. Ecol.*, 1966, **35**: 513—532
- [24] Tudorancea C. Studies on Unionid population from the Crapina-Jijila complex of pools (Nanube zone liable to inundation) [J]. *Hydrobiologia*, 1972, **39**: 527—561
- [25] Per'an A, Velasco J, Mill'an A. Life cycle and secondary production of *Caenis luctuosa* (Ephemeroptera) in a semiarid stream (Southeast Spain) [J]. *Hydrobiologia*, 1999, **400**: 187—194
- [26] Benke A C, Jacobi D I. Production dynamics and resource utilization of snag-dwelling mayflies in a blackwater river [J]. *Ecology*, 1994, **75**: 1219—1232
- [27] González J M, Basaguren A, Pozo J. Life history and production of *Caenis luctuosa* (Burmeister) (Ephemeroptera, Caenidae) in two nearby reaches along a small stream [J]. *Hydrobiologia*, 2001, **452**: 209—215
- [28] Salas M, Dudgeon D. Life histories, production dynamics and resource utilisation of mayflies (Ephemeroptera) in two tropical Asian forest streams [J]. *Freshwater Biology*, 2003, **48**: 485—499
- [29] Lobinske R J, Ali A, Stout I J. Life history and productivity of *Hexagenia limbata* (Ephemeroptera: Ephemeridae) and selected physicochemical parameters in two tributaries of the Wekiva river, central Florida [J]. *Florida Entomologist*, 1996, **79**(4): 543—551
- [30] González J M, Basaguren A, Pozo J. Life history, production and co-existence of two Leptophlebiid mayflies in three sites along a Northern Spain stream [J]. *Archiv fur Hydrobiology*, 2003, **158**(3): 303—316
- [31] Zhou C F, Zheng L Y. The first record of the genus *Paraleptophlebia*lestage from mainland China with description of a new species (Ephemeroptera, Leptophlebiidae) [J]. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 2003, **28**(1): 84—87 [周长发, 郑乐怡. 拟细裳蜉属在我国大陆的首次发现及一新种记述(蜉蝣目, 细裳蜉科). 动物分类学报, 2003, **28**(1): 84—87]
- [32] Wang B X, Yang L F. A study on tolerance values of benthic macroinvertebrate taxa in eastern China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, **24**(12): 2768—2775 [王备新, 杨莲芳. 我国东部底栖无脊椎动物主要分类单元耐污值. 生态学报, 2004, **24**(12): 2768—2775]
- [33] Yan Y J, Liang Y L. On the relationships between body-length and body-weight and the biochemical composition of macrozoobenthos [J]. *J. Huazhong Univ. of Sci. & Tech. (Nature Science Edition)*, 1999, **27**(9): 61—63 [闫云君, 梁彦龄. 大型底栖动物干湿比的研究. 华中理工大学学报(自然科学版), 1999, **27**(9): 61—63]

SECONDARY PRODUCTION OF SEVERAL DOMINANT MACROZOOBENTHOS IN HEIZHUCHONG STREAM OF HANJIANG RIVER BASIN

YAN Yun-Jun and LI Xiao-Yu

(School of Life and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract : Macrozoobenthos community plays an important role in material cycle and energy flow in riverine ecosystem. During June, 2003 to June, 2004, an investigation on the life cycle and production of dominant species of macrozoobenthos community in a second-grade river of Hanjiang River Basin was carried out. From the upper reach to the lower reach of Heizhuchong Stream, we chose six types of habitats to sample. Station 1 (S_1) lied in the middle of the stream with big round rocks there in the upper reach, station 2 (S_2) was in the inner part of a weir with cobble substratum, station 3 (S_3) in the middle of a peacefully flowing section with gravel-sand bottom, station 4 (S_4) at the side of the riparian with aquatic macrophytes and snags, station 5 (S_5) was in the middle of the riffle, station 6 (S_6) at the lower reach with a sewage outlet ca 100 meters upper. At each station, two quantitative samples were taken with a 167 μ m D-frame kick net or a Surber net, and the samples were sieved with a 167 μ m net, sorted in a porcelain dish with naked eye. The specimens were kept in 10 % formalin for later processing. The life cycle of the species were analyzed by the monthly size frequency distribution, the cohort and annual production were estimated by size frequency method. The results showed that the dominant species *Hydropsyche* sp., *Ecdyru* sp. and *Caenis* sp. each completed two generations a year, while *Corbicula fluminea* completed one generation per 3 years. Standing crop of *Hydropsyche* sp. reached its peak in January. Abundance of *Corbicula fluminea* kept at a higher level in March, June to September, and its biomass only attained its peak in October. Abundance and biomass of *Ecdyru* sp. reached their peaks in April and June, respectively; while those of *Caenis* sp. peaked in February and June, respectively. The annual production and P/B ratio of the above dominant species estimated by size-frequency method were: *Hydropsyche* sp., 267.464g/m².a wet wt and 9.8; *Corbicula fluminea*, 783.1g/m².a wet wt with shell and 2.3; *Ecdyru* sp., 267.46g/m².a wet wt and 15.4; *Caenis* sp., 53.60g/m².a wet wt and 9.4.

Key words : Macrozoobenthos community; Dominant species; Production; Heizhuchong Stream