

# 汉江流域黑竹冲河杂色特维摇蚊和波特真开氏摇蚊的生产量动态及营养基础分析

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 1 周年的调查研究, 结果表明, 主要优势种杂色特维摇蚊 (*Tvetenia discoloripes* Goetghebuer) 和波特真开氏摇蚊 (*Eukiefferiella potthasti* Lehmann) 的生活史均为 1 年 1 代。杂色特维摇蚊种群现存量在 1 年中出现 1 次峰值, 波特真开氏摇蚊则出现 3 次。采用龄期频率法 (instar-frequency method) 测算的周年生产量分别为: 杂色特维摇蚊,  $120.3058\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,  $P/B$  为 10.5; 波特真开氏摇蚊,  $17.7554\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,  $P/B$  为 11.4。两种摇蚊的生产量动态在时间上重叠程度较大, 比例相似性系数达 0.63, 重叠现象主要发生在冬春季节。杂色特维摇蚊前肠内含物中, 无形态碎屑、真菌和硅藻所占平均比例为 95.81%, 0.52% 和 3.67%; 对生产量的贡献率分别为 87.56%, 2.38% 和 10.06%; 波特真开氏摇蚊前肠内含物中, 无形态碎屑、真菌和硅藻所占比例分别为 93.48%, 0.68% 和 5.84%, 对生产量的贡献率分别为: 81.71%, 2.97% 和 15.32%。

**关键词:** 大型底栖动物; 群落; 生产量; 黑竹冲河; 杂色特维摇蚊 (*Tvetenia discoloripes* Goetghebuer); 波特真开氏摇蚊 (*Eukiefferiella potthasti* Lehmann)

文章编号: 1000-0933(2005)12-3127-06 中图分类号: Q966.28 文献标识码: A

## Production dynamics and trophic basis of two chironomids in Heizhuchong Stream, Hubei, China

YAN Yun-Jun, LI Xiao-Yu (School of Life and Science Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3127~ 3132

**Abstract** Macrozoobenthos community plays an important role in material cycle and energy flow in riverine ecosystems. During the period of June 2003 to June 2004, an investigation on the life cycle, production dynamics and trophic basis of the dominant species of macrozoobenthos community in a second-grade river of Hanjiang River Basin was carried out. From the upper to the lower reach of Heizhuchong Stream, we chose six types of habitats for quantitative sample collection. At each station, two samples were taken with a  $250\ \mu\text{m}$  D-frame kick net or a Surber net, and the samples were sieved with a  $250\ \mu\text{m}$  net, sorted in a porcelain dish with naked eye. The specimens were kept in 10% formalin for later processing. The life cycles of the two dominant chironomids *Tvetenia discoloripes* Goetghebuer and *Eukiefferiella potthasti* Lehmann were analysed by the monthly size-class frequency distribution, the cohort and annual production were estimated by size (instar) frequency method. The results showed that both chironomids appeared to develop one generation per year. The standing stock of *T. discoloripes* population reached its peak in January, while that of *E. potthasti* population attained its three peaks in August and next January and May, respectively. The estimated annual production of *T. discoloripes* was  $120.3058\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  (wet wt), and the annual  $P/B$  ratio was 10.5; that of *E. potthasti* was  $17.7554\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  and 11.7, respectively. Temporal overlap of secondary production of the two species, measured with the proportional similarity index, was relatively high ( $> 0.6$ ),

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30270278)

收稿日期: 2005-05-10; 修订日期: 2005-10-28

作者简介: 闫云君 (1969~), 男, 湖北罗田人, 博士, 教授, 主要从事生态学和生物技术研究. E-mail: yanyunjun@tom.com

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 30270278)

Received date: 2005-05-10; Accepted date: 2005-10-28

Biography: YAN Yun-Jun, Ph.D., Professor, mainly engaged in ecology and biotech. E-mail: yanyunjun@tom.com

indicating that they utilize overlapping food resources along time dimension. By analyzing their fore-gut contents, for *T. discoloripes*, the proportions of amorphous detritus, fungi and diatom s were 95.81%, 0.52% and 3.67%, respectively, and the contribution rates to secondary production were 87.56%, 2.38% and 10.06%; for *E. polthasi* sp., the proportions of amorphous detritus, fungi, diatom s were 93.48%, 0.68% and 5.84%, respectively, their contribution rates were 81.71%, 2.97% and 15.32%, respectively.

**Key words:** macrozoobenthos; community; production; *Tvetenia discoloripes*; *Eukiefferiella potthasti*; Heizhuchong Stream

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,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<sup>[1]</sup>。目前河流大型底栖动物群落结构与功能已成为生态学研究热点领域之一<sup>[2]</sup>。在我国,河流的生态学研究尚属起步阶段,工作少而零散,目前尚无涉及河流生态系统功能研究的报道<sup>[3]</sup>。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,使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,为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,提供科学依据。以下报道的是作者于2003年至2004年间对汉江流域低级河流两种大型底栖动物生产量的有关研究结果。

1 研究方法

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3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(S<sub>1</sub>)位于上游河心的大圆石块区域;2站(S<sub>2</sub>)位于一堰塘内,基底为砾石;3站(S<sub>3</sub>)位于缓流河段中心点,少数砾石半没于泥沙中;4站(S<sub>4</sub>)位于河边生长水草的区域;5站(S<sub>5</sub>)位于急流中心的大石快区;6站(S<sub>6</sub>)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1000~1500m,样点大小为30cm×30cm。采样时间一般在每月28日左右,为期1a,即2003年6月至2004年6月。

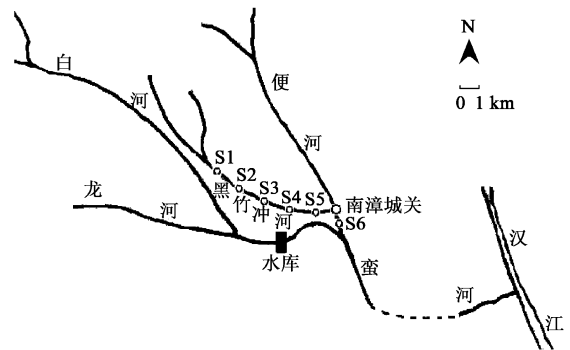


图1 黑竹冲河及采样点的分布

Fig 1 Heizhuchong Stream and distribution of sampling sites

表1 黑竹冲河河水理化性质

Table 1 Main physical and chemical characteristics of Heizhuchong Stream

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

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

摇蚊的生活史属于完全变态类型,幼虫每蜕皮1次,虫体就快速增长1次,因此其头壳表现出明显的不连续增长情形,可以通过其头壳的大小变化推知幼虫所处龄期,再根据采样各月龄期的分布频率,可以了解种群发育动态,从而获得种群生活史的状况<sup>[4,5]</sup>。

1.4 周年生产量的测算

计数和测量每月个体数、龄期,并选择足够数量各龄期的个体,测算杂色特维摇蚊和波特真开氏摇蚊各龄期的平均体重,采用龄期频率法(instar-frequency method)测算其周年生产量<sup>[6-8]</sup>,计算公式:

$$P = \sum_{j=1}^i (N_j - N_{j+1}) (W_j \times W_{j+1})^{1/2} \times 365 / CPI$$

式中,CPI(Cohort production interval)为一个同龄组完成生活史所需时间。在此,忽略矫正系数*i*(*Pe*/*P*),令其等于1,原

因是  $P_e/P$  在实际计算非常困难, 而且造成的误差极小<sup>[7,9]</sup>。

### 1.5 生产量动态

两种摇蚊生产量动态按照 Benke 和 Wallace 的方法<sup>[5]</sup>, 测算各同龄组的  $P/B$  系数, 然后计算出日  $P/B$  系数, 再根据各采样时段的现存量, 求出各时段的生产量动态。生产量的时间重叠采用比例相似系数 (proportional similarity index)<sup>[10]</sup> 表示:

$$PS_{ab} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \min(P_{ai}, P_{bi})$$

式中,  $PS_{ab}$  表示  $a$ 、 $b$  两物种比例相似性,  $n$  表示采样间隔数,  $P_{ai}$  表示  $a$  物种第  $i$  间隔生产量所占比例,  $P_{bi}$  表示  $b$  物种第  $i$  间隔生产量所占比例。

### 1.6 生产量的营养基础分析

生产量的营养基础分析, 依照 Wallace 与 Benke 的方法<sup>[11]</sup>, 分别分析春、夏和秋三个季节摇蚊前肠内含物所占比例, 并在考虑各类食物同化率的基础上, 测算其对生产量的贡献率大小。

## 2 结果

### 2.1 种群动态

**杂色特维摇蚊** 黑竹冲河杂色特维摇蚊种群现存量在 1 月份达到最大峰值, 分别为  $844 \text{ ind}/\text{m}^2$  和  $1.3587 \text{ g}/\text{m}^2$ , 然后随之快速下降, 到 4 月份才稳定在一个较低水平。从总体上看, 多度的变化趋势与生物量的基本同步 (图 2)。

**波特真开氏摇蚊** 黑竹冲河波特真开氏摇蚊种群现存量表现出三峰态。分别在 8 月、翌年 1 月和 5 月多度和生物量达到峰值, 翌年 1 月的峰值略高, 分别为  $307 \text{ ind}/\text{m}^2$  和  $0.4133 \text{ g}/\text{m}^2$ 。种群则在 6 月、10 月、翌年 4 月份出现低谷, 这是由于成虫在此其间羽化的缘故。但从整个格局上看, 多度的变化趋势与生物量的基本一致 (图 3)。

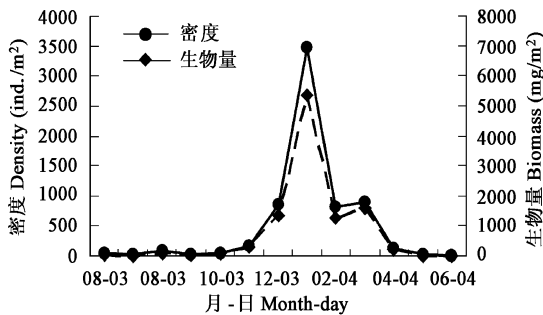


图 2 黑竹冲河杂色特维摇蚊的现存量周年变化

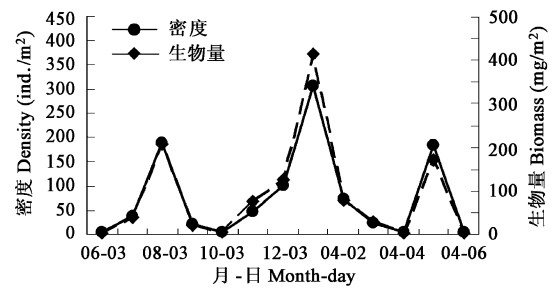


图 3 黑竹冲河波特真开氏摇蚊的现存量周年变化

Fig 2 Annual variations of standing stock of *Tvetenia discoloripes* in Heizhuchong Stream

Fig 3 Annual variations of standing stock of *Eukiefferiella potthasti* in Heizhuchong Stream

### 2.2 生活史

**杂色特维摇蚊** 从采集的样品看, 多数标本均为 II、III 龄幼虫, I 龄幼虫很难采到, 但在 11 月、12 月份和翌年的 1 月、2 月份的孵化高峰期可以采到。蛹在大多数月份里都发现, 特别是在夏、秋季蛹和成虫较多。结合采集样品中杂色特维摇蚊种群龄期频率分布的逐月周年动态 (图 4), 可以看出, 杂色特维摇蚊 1 年 1 个世代, 而且繁殖期很长, 不同大小个体重叠出现, 初步估算其同龄群生产周期 (Cohort production interval,  $CPI$ ) 约 4 个月, 为 120d。

**波特真开氏摇蚊** 波特真开氏摇蚊标本多数也为 II、III 龄幼虫, I 龄幼虫相对也较难采到, 蛹在多个月份都有出现, 特别是在春末夏初和秋季蛹及成虫较多。结合采集样品中波特真开氏摇蚊种群龄期频率分布的逐月周年动态 (图 5), 可以看出, 波特真开氏摇蚊 1 年 1 个世代, 且繁殖期较长, 有重叠出现不同大小个体的现象, 初步的估算其  $CPI$  与杂色特维摇蚊相似, 约为 120d。

### 2.3 周年生产量

**杂色特维摇蚊** 由于杂色特维摇蚊的  $CPI$  约为 120d, 因此其周年生产量即为同龄群 (cohort) 生产量乘以  $365/120$ 。根据龄期频率法 (instar-frequency method) 测算杂色特维摇蚊同龄群生产量和周年生产量如表 2。由表 2 可知, 杂色特维摇蚊同龄群生产量湿重为  $39.5526 \text{ g}/\text{m}^2$ ; 同龄群  $P/B$  系数为 3.5; 周年生产量湿重和周年  $P/B$  系数分别为  $120.3058 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  和 10.5。

**波特真开氏摇蚊** 由于波特真开氏摇蚊的  $CPI$  约为 120 d, 因此其周年生产量即为同龄群 (cohort) 的生产量乘以  $365/120$ 。根据龄期频率法 (instar-frequency method) 测算波特真开氏摇蚊同龄群生产量和周年生产量如表 3。由表 3 可知, 波特真开

氏摇蚊同龄群生产量湿重均为  $5.8374\text{g}/\text{m}^2$ ; 同龄群  $P/B$  系数为 3.8; 周年生产量和周年  $P/B$  系数分别为  $17.7554\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

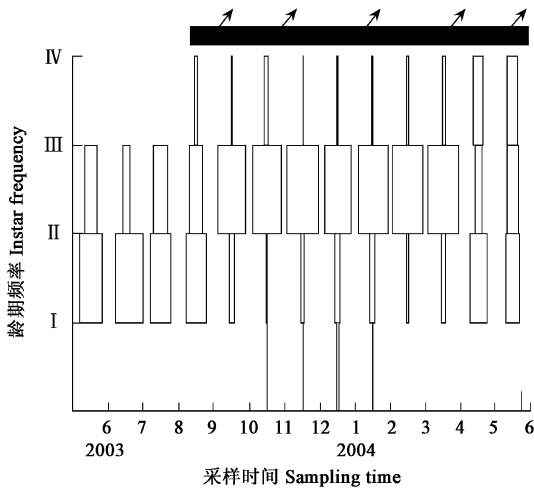


图 4 黑竹冲河杂色特维摇蚊种群的龄期频率分布逐月动态

Fig 4 Monthly instar frequency distributions of *T. discoloripes* in Heizhuchong Stream

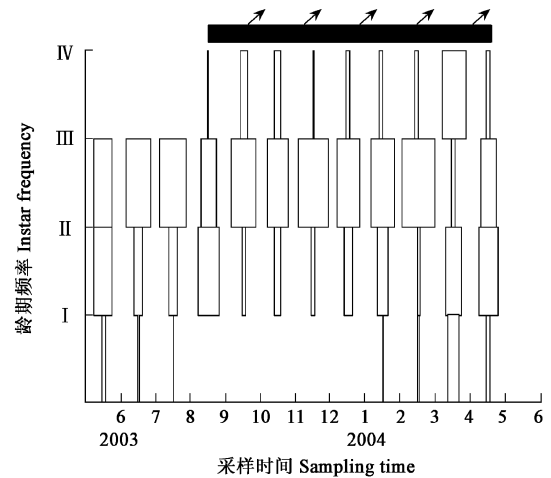


图 5 黑竹冲河波特真开氏摇蚊种群的龄期频率分布逐月动态

Fig 5 Monthly instar frequency distributions for *E. potthasti* in Heizhuchong Stream

2.4 生产量动态

波特真开氏摇蚊和杂色特维摇蚊的生产量动态如图 6 所示。计算出两种摇蚊生产量时间重叠比例相似系数为 0.63, 说明这两种摇蚊的生产量在时间分布上有较大程度的重叠, 从图 5 可以看出, 这种重叠主要表现在冬春季季节。

表 2 龄期频率法测算的黑竹冲河杂色特维摇蚊周年生产量

**Table 2 Annual production of *Tvetenia discoloripes* estimated by instar (size)-frequency method in Heizhuchong Stream (0~ 100cm)**

龄期(mm) Instar	密度(N <sub>0</sub> /m <sup>2</sup> ) Density	体均重(mg) Mean wt	生物量(g/m <sup>2</sup> ) Biomass	减员数(N <sub>0</sub> /m <sup>2</sup> ) No. loss	减员个体均重(mg) Mean wt at loss	损失量(g/m <sup>2</sup> ) Wt loss	生产量(g/m <sup>2</sup> ) Production
I	163.0	0.2371	0.0386	- 2492.60	0.3850	- 0.9595	- 3.8381
II	2655.6	0.6250	1.6598	- 2655.50	1.0259	- 2.7243	- 10.8973
III	5311.1	1.6840	8.9439	5079.60	2.4470	12.4296	49.7184
IV	231.5	3.5556	0.8231	231.5	4.9348	1.1424	4.5696
			现存量= 11.4654				同龄群生产量合计= 39.5526
							同龄群生产量 × 365/120= 周年生产量= 120.3058
							同龄群 $P/B$ = 3.5 周年 $P/B$ = 10.5

表 3 龄期频率法测算的黑竹冲河波特真开氏摇蚊周年生产量

**Table 3 Annual production of *E. potthasti* estimated by instar (size)-frequency method in Heizhuchong Stream**

龄期(mm) Instar	密度(N <sub>0</sub> /m <sup>2</sup> ) Density	体均重(mg) Mean wt	生物量(g/m <sup>2</sup> ) Biomass	减员数(N <sub>0</sub> /m <sup>2</sup> ) No. loss	减员个体均重(mg) Mean wt at loss	损失量(g/m <sup>2</sup> ) Wt loss	生产量(g/m <sup>2</sup> ) Production
I	7.4	0.1782	0.0013	- 827.80	0.3378	-	- 1.1187
II	835.2	0.6405	0.5349	170.40	0.8963	0.2797	0.6109
III	664.8	1.2542	0.8338	624.10	2.1561	1.3456	5.3826
IV	40.7	3.7067	0.1509	40.7	5.9128	0.2407	0.9626
			现存量= 1.5209				同龄群生产量合计= 5.8374
							同龄群生产量 × 365/120= 周年生产量= 17.7554
							同龄群 $P/B$ = 3.8 周年 $P/B$ = 11.4

2.5 营养基础分析

根据 Benke 和 Wallace 等的方法<sup>[9,11]</sup>, 分别分析了春、夏和秋三个季节杂色特维摇蚊和波特真开氏摇蚊前肠内含物(主要食物无形态碎屑、真菌和硅藻)所占比例如表 4。由表 4 可知, 无形态碎屑、真菌和硅藻占杂色特维摇蚊食物的平均比例为 95.81%, 0.52% 和 3.67%; 而无形态碎屑、真菌和硅藻占波特真开氏摇蚊食物的平均分别比例为 93.48%, 0.68% 和 5.84%。由此, 计算的三者对两种摇蚊次级生产量的贡献率分别为: 无形态碎屑、真菌和硅藻对杂色特维摇蚊生产量的贡献率为 87.56%, 2.38% 和 10.06%; 无形态碎屑、真菌和硅藻对波特真开氏摇蚊生产量的贡献率为 81.71%, 2.97% 和 15.32% (表 5)。

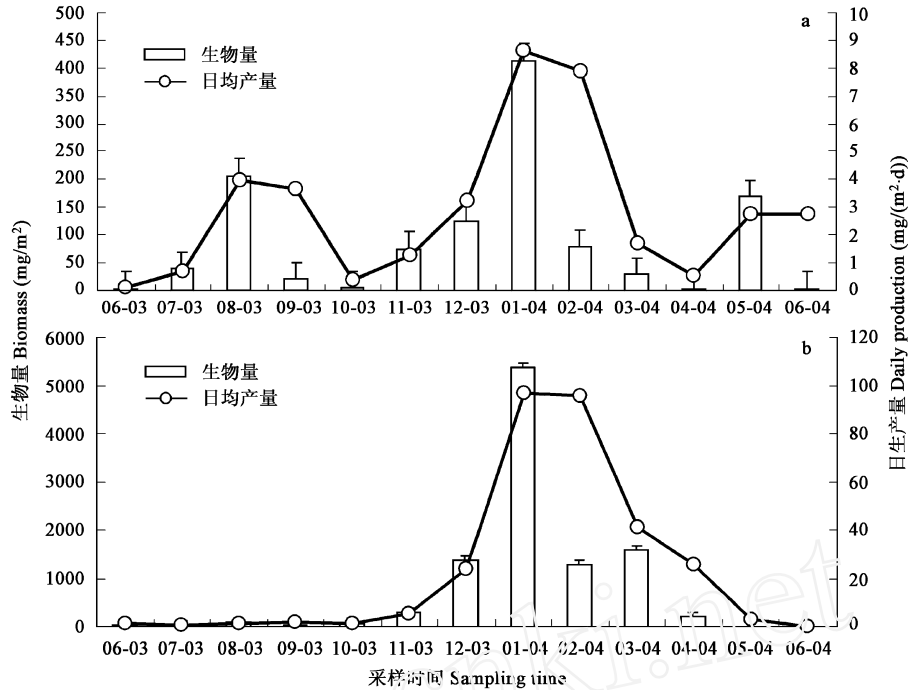


图 6 黑竹冲河波特真开氏摇蚊(a)和杂色特维摇蚊(b)平均日生产量及生物量动态

Fig. 6 Temporal patterns of interval biomass and mean daily production for *E. potthasti*(a) and *T. discoloripes*(b) in Heizhuchong Stream

表 4 两种摇蚊前肠内含物所占比例

Table 4 The proportions of the food types in foregut contents of the two chironomids

物种 Taxa	观察数量 No. examined	无形态碎屑 Amorphous detritus	真菌 Fungi	植物纤维碎屑 Plant vascular detritus	硅藻 Diatoms	丝状藻 Filamentous algae	动物性食物 Animal material
杂色特维摇蚊 <i>T. discoloripes</i>	12	95.81 (87.56)	0.52 (2.38)	0.00 (0.00)	3.67 (10.06)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
波特真开氏摇蚊 <i>E. potthasti</i>	12	93.48 (81.71)	0.68 (2.97)	0.00 (0.00)	5.84 (15.32)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)

3 讨论

3.1 生产量及其动态

对不同水体摇蚊生产量的研究已有较多报道, 因此有足够的资料可以用于比较。总体上看, 黑竹冲河摇蚊优势种的周年生产量与其它水体相比偏大(表 6), 最主要的原因在于黑竹冲河摇蚊的种群密度大, 个体相对也较大, 从而导致周年生产量偏大。但  $P/B$  与其它河流摇蚊种类比较小, 这与其它河流摇蚊生活史极短(一般为 7~50 d)有关, Huryn 与 Wallace 对这种大  $P/B$  系数现象进行了深入探讨<sup>[12]</sup>。而本研究的两种摇蚊同龄组发育周期约为 120 d 左右, 在亚热带是比较长的, 因而  $P/B$  系数要小得多。

生产量动态可以准确反映的物种利用资源的时间分配状况, 以及生态位相似的物种间竞争程度, 具有重要的理论和实践意义。目前, 随着对群落食物网研究的深入, 关于物种和功能摄食群生产量动态的研究工作在欧美国家和我国香港地区相继被报道<sup>[5, 4, 13~16]</sup>, 但国内尚没有开展相关研究工作。

3.2 营养基础

目前, 关于底栖动物生产力营养基础分析的报道仅见国外资料有报道<sup>[9, 15]</sup>, 在这些研究中, 仅对少数几种摇蚊的营养基础分析进行了分析, 与之相比, 本研究的结果在功能摄食群层面上与报道种类是一致的。

对物种的营养基础的定性和定量分析是评价该物种在生态系统中功能大小测度指标, 也是构建生态系统食物网的基础性工作, 具有重要的理论意义。但从国内情况看, 关于群落或种群营养基础、生产力研究的工作比较少, 这与我国水体功能生态学

表 5 各类型食物对生产量的贡献及所占比例

Table 5 The annual production contributed to by various food types

物种 Taxa	无形态碎屑 Amorphous detritus	真菌 Fungi	硅藻 Diatoms	生产量合计 Production summation
杂色特维摇蚊 <i>T. discoloripes</i>	115.2650 (87.56)	0.6256 (2.38)	4.4152 (10.06)	120.3058
波特真开氏摇蚊 <i>E. potthasti</i>	14.5079 (81.71)	0.5273 (2.97)	2.7202 (15.32)	17.7554

研究滞后不无关系。

表 6 不同水体摇蚊生产力和 P/B 系数比较

Table 6 Comparison of secondary production and P/B ratio with other studies of chironomids in different water bodies				
物种 Species	生产量 P (mgDW /m <sup>2</sup> )	P/B	环境 Habitat (Location)	来源 Source
<i>Cricotopus</i> spp.	1251	99	at upper site of Satilla River	Benke, <i>et al</i> , 1984 <sup>[17]</sup>
<i>Thienon anninyyia</i> spp.	1274	136	at upper site of Satilla River	Benke, <i>et al</i> , 1984 <sup>[17]</sup>
<i>Polypedilum</i> spp.	3413	166	at upper site of Satilla River	Benke, <i>et al</i> , 1984 <sup>[17]</sup>
<i>Tany tarsini</i>	2397	176	at upper site of Satilla River	Benke, <i>et al</i> , 1984 <sup>[17]</sup>
<i>Corynoneura</i> spp.	400	200	at upper site of Satilla River	Benke, <i>et al</i> , 1984 <sup>[17]</sup>
<i>Synochironomus</i> spp.	423	65	at upper site of Satilla River	Benke, <i>et al</i> , 1984 <sup>[17]</sup>
<i>Chironomus</i> spp.	4920	81.1	in Douglas creek in southeastern Washington	Games, <i>et al</i> , 1992 <sup>[18]</sup>
<i>Paranetriocnemus</i> sp.	875	84.1	in Douglas creek in southeastern Washington	Games, <i>et al</i> , 1992 <sup>[18]</sup>
<i>Chaetocladus</i> sp.	426	121.7	in Douglas creek in southeastern Washington	Games, <i>et al</i> , 1992 <sup>[18]</sup>
<i>Heleniella</i> sp.	423	94.0	in Douglas creek in southeastern Washington	Games, <i>et al</i> , 1992 <sup>[18]</sup>
<i>Polypedilum</i> sp.	161	73.1	in Douglas creek in southeastern Washington	Games, <i>et al</i> , 1992 <sup>[18]</sup>
<i>Thienon anninyyia</i> sp.	75	83.6	in Douglas creek in southeastern Washington	Games, <i>et al</i> , 1992 <sup>[18]</sup>
<i>Birillia flavifrons</i>	68	75.0	in Douglas creek in southeastern Washington	Games, <i>et al</i> , 1992 <sup>[18]</sup>
<i>C. plumosus</i>	536	2.92	Banyoles 湖 (7m)	Prat & Rieradevall <sup>[19]</sup>
<i>T. inopertus</i>	909.5	5.2	南威尔士一水库	Potter & Learner <sup>[20]</sup>
<i>C. sylvestris</i>	5829	21.0	Hudson 河出海口	Menzie <sup>[8]</sup>
<i>O. lapponicus</i>	125	2.4	Char 湖	Welch <sup>[21]</sup>
<i>T. discoloripes</i> *	24061.16	10.5	in Heizhuchong Stream, Hubei, P. R. China	This study, 2005
<i>E. pothasti</i> *	3551.08	11.7	in Heizhuchong Stream, Hubei, P. R. China	This study, 2005

\* 干湿重比值<sup>[22]</sup>

## References

- [1] Benke A C. Baldi Memorial Lecture: Concepts and patterns of invertebrate production in running waters. *Verhandlung der Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 1993, **25**: 15~ 38
- [2] Covich A P, Palmer M A, Crowl T A. The Role of Benthic Invertebrate Species in Freshwater Ecosystems. *Bio Science*, 1999, **49** (2): 119~ 127.
- [3] Cai L. MPI of macrozoobenthos. *Chinese Journal of Environmental Sciences*, 2003, **23**(5): 625~ 629.
- [4] Georgian T and Wallace J B. Seasonal production dynamics in a guild of periphyton-grazing insects in a southern Appalachian stream. *Ecology*, 1983, **64**: 1236~ 1248
- [5] Benke A C and Wallace J B. Trophic basis of production among riverine caddisflies: implications for food web analysis. *Ecology*, 1997, **78**: 1132~ 1145.
- [6] Hynes H B N and Coleman M J. A simple method of assessing the annual production of stream benthos. *Limnology and Oceanography*, 1968, **13**: 569~ 573
- [7] Hamilton A L. On estimating annual production. *Limnology and Oceanography*, 1969, **14**: 771~ 782
- [8] Menzie C A. A note on the Hynes method of estimating secondary production. *Limnology and Oceanography*, 1980, **25**(4): 770~ 773
- [9] Benke A C and Wallace J B. Trophic basis of production among net-spinning caddisflies in a southern Appalachian stream. *Ecology*, 1980, **61**: 108~ 118
- [10] Whittaker R H. *Communities and ecosystems*. Second edition. Macmillan, New York, USA, 1975
- [11] Wallace J B and Benke A C. Quantification of wood habitat in subtropical Coastal Plain streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1984, **41**: 1643~ 1652
- [12] Huryn A D and Wallace J B. Life history and production of stream insects. *Annual Review of Entomology*, 2000, **45**: 83~ 110
- [13] Benke A C and Jacobi D I. Production dynamics and resource utilization of snag-dwelling mayflies in a blackwater river. *Ecology*, 1994, **75**: 1219~ 1232
- [14] Johnson B R, Tarter D C. Life history and trophic basis of production of the mayfly *Callibaetis fluctuans* (Walsh) (Ephemeroptera: Baetidae) in a mitigated wetland, West Virginia, USA. *Wetlands*, 2000, **20**(2): 397~ 405
- [15] Hall R O JR, Likens G E, Malcom H M. Trophic basis of invertebrate production in 2 streams at the Hubbard Brook Experimental Forest. *Journal of the North American Benthological Society*, 2001, **20**(3): 432~ 447.
- [16] Salas M and Dudgeon D. Life histories, production dynamics and resource utilization of mayflies (Ephemeroptera) in two tropical Asian forest streams. *Freshwater Biology*, 2003, **48**: 485~ 499
- [17] Benke A C, Arsdall T C, Gillespie D M. Invertebrate productivity in a subtropical blackwater river: the importance of habitat and life history. *Ecological Monographs*, 1984, **54**(1): 25~ 63
- [18] Games W L, Cushing C E, Smith S D. Secondary production estimates of benthic insects in three cold desert streams. *Great Basin Naturalist*, 1992, **52**(1): 11~ 24
- [19] Prat N and Rieradevall M. Life cycle and production of Chironomidae (Diptera) from Lake Banyoles (NE Spain). *Freshwater Biology*, 1995, **33**: 511~ 524
- [20] Potter D W B and Learner M A. A study of the benthic macroinvertebrates of a shallow eutrophic reservoir in South Wales with emphasis on the Chironomidae (Diptera): their life-histories and production. *Archiv für Hydrobiologie*, 1974, **74**: 186~ 226
- [21] Welch H E. Ecology of Chironomidae (Diptera) in a polar lake. *Journal of Fishery Research Boards of Canada*, 1976, **33**: 227~ 247.
- [22] Yan Y. Bioenergetics and secondary production of macrozoobenthos in shallow lakes. PhD. Dissertation. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 1998

## 参考文献

- [3] 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.
- [22] 闫云君. 浅水湖泊大型底栖动物生态能量学及生产量的研究. 博士论文, 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 1998