

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2010.00569

胡家溪中华新米虾种群动态、周年生产量及营养基础分析

江 晶 温芳妮 邓 山 顾 鹏 闫云君

(华中科技大学生命科学与技术学院, 教育部分子生物物理重点实验室, 武汉 430074)

摘要: 2006年4月至2007年3月间对清江流域二级河流-胡家溪大型底栖动物群落的优势种中华新米虾 [*Neocaridina denticulata sinensis* (Kemp)] 进行为期1周年的调查研究。结果表明, 中华新米虾的生活史为1年2代, 中华新米虾的种群密度峰值分别出现在7月(31 ind/m²)、10月(35 ind/m²)、12月(20 ind/m²)和次年的2月(20 ind/m²), 生物量峰值则出现在4月(1.76 g/m²)、7月(4.74 g/m²)和次年2月(2.38 g/m²)。采用体长频率法(Size-frequency method)测算的周年生产量和P/B分别为67.40 g/m²(湿重)和4.7。通过对中华新米虾前肠内含物组成的分析测定了各类食物类型的比例及对生产量的贡献率, 结果表明, 无形态碎屑和动物组织为其主要食物类型, 分别占前肠内含物的79.9%和12.5%, 对生产力的贡献率分别为62.50%和34.18%。

关键词: 中华新米虾; 生产量; 营养基础; 胡家溪

中图分类号: Q966.28 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2010)03-0569-06

大型底栖动物是河流生态系统中重要的生态类群, 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等生态作用, 是河流生态系统物质循环和能量流动的重要环节, 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。目前, 河流大型底栖动物群落结构与功能已成为水生态研究的热点领域之一^[1]。而目前我国有关大型底栖动物的研究主要集中在水质及环境监测上, 河流大型底栖动物群落功能的研究尚处于起步阶段^[2]。中华新米虾是低级(1—3级)河流中的优势大型底栖动物之一, 目前国内外对其分类、遗传、解剖、发育和酶学等方面开展了相关研究工作^[3—10], 但有关其生态学, 特别是测定其在生态系统中的功能尚未见报道。本文报道了2006年至2007年对清江流域上游胡家溪中华新米虾的种群动态、生产量和营养基础的有关研究结果。

1 材料与方法

1.1 采集点和采样时间

胡家溪是长江支流清江的一条二级支流, 位于

长阳土家族自治县境内(111°03′-111°35′E, 30°27′-30°28′N), 流域面积约50 km²。胡家溪两侧为山脉, 植被覆盖率较高, 河两岸着生灌木和杂草。流域地区为典型亚热带气候, 雨季一般自4月开始, 9月底或10月初结束。河两岸尚未建设工业设施, 为农田和居舍。全年水温变化范围在10—28℃之间。

根据河流生境类型(底质、水流速度、水生植物分布等)从上游至下游选择了6个采样点(图1)。1站(S1)所在处河两岸生长茂密灌木和杂草, 河面较窄, 约2 m宽, 部分被遮蔽, 水流较缓, 底质为粗沙; 2站(S2)位于一支流汇入口, 河面较窄, 水流较缓, 河底以细沙为主; 3站(S3)在一小瀑布下方, 水流较急, 河底以布满苔藓的巨石为主; 4站(S4)位于一堰塘下游浅水区, 地势平缓, 水流缓慢, 底质为石灰岩, 河边杂草较少; 5站(S5)河面变宽, 河面约3 m宽, 河底以卵石为主, 腐殖质较多, 水流较急; 6站(S6)位于一排污口的下游, 河面约4 m宽, 水流较急, 河底碎石较多。采样时间一般为每个月的5日左右, 为期一年, 即2006年4月至2007年3月。

收稿日期: 2008-11-11; 修订日期: 2009-10-13

基金项目: 国家自然科学基金(30640024, 30870427)资助

作者简介: 江晶(1984—), 女, 湖北武汉人; 硕士研究生; 研究方向为水生生态学。E-mail: jingjingiaiv@163.com

通讯作者: 闫云君(1969—), 男, 教授, 博士生导师; E-mail: yanyunjun@tom.com

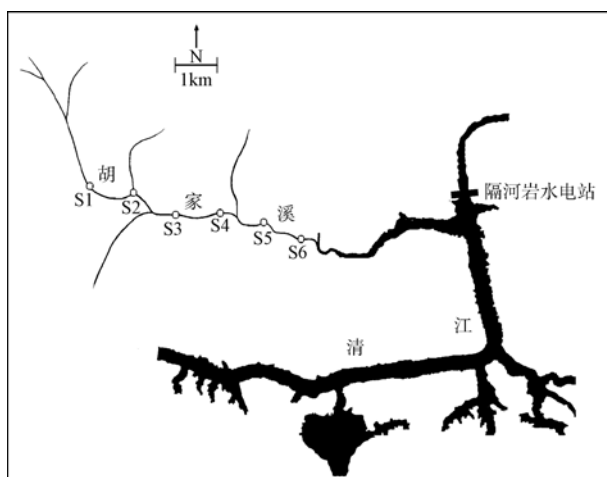


图 1 胡家溪及采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites at Hujiaxi Stream

表 1 胡家溪的理化性质(均值±标准差)

Tab. 1 Main physico-chemical characteristics of Hujiaxi Stream (mean±standard error)

pH	悬浮物 Suspended solids (mg/L)	总磷 Total P(mg/L)	总氮 Total N(mg/L)	氨氮 NH ₄ -N (mg/L)	亚硝酸盐氮 NO ₂ -N (mg/L)	硝酸盐氮 NO ₃ -N (mg/L)	溶解氧 DO (mg/L)	高锰酸盐指数 Permanganate index (O ₂ mg/L)	BOD (mg/L)
7.4±0.8	5.3±0.9	0.064±0.009	1.362±0.23	0.89±0.08	0.175±0.035	0.45±0.05	6.28±0.68	4.2±0.85	3.3±0.53

1.4 生活史

中华新米虾的生活史属于不完全变态类型, 可以通过其体长变化和采样各月龄期的分布频率, 了解种群发育动态, 从而获得种群生活史的状况。

1.5 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, 测算中华新米虾的平均体重。1993 年, Benke^[11]对文献报道的底栖动物次级生产量进行了总结分析, 其中生产力测定方法主要涉及减员累计法、瞬时增长法和 Allen 曲线法以及体长频率法等, 在统计的 2000 多份报告中, 使用体长频率法的占 67.4%。闫云君等^[12]以纹沼螺为模式生物验证了使用减员累计法、瞬时增长法、Allen 曲线法和体长频率法测定的次级生产量相差在 5% 以内。因此, 在本研究中采用体长频率法(Size-frequency method)^[13,14]测算周年生产量, 其计算公式:

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

式中, CPI (Cohort production interval) 为一个同龄组完成生活史所需时间。多数情况下, 忽略校正系数 i (Pe/P), 令其等于 1, 原因是 Pe/P 在实际计算非常困难, 而且造成的误差极小^[14, 15]。由此, $365/CPI$ 即是每年所完成的世代数。

1.2 河流的理化性质

胡家溪的理化性质(表 1)。由于胡家溪的各个采样点理化性质一周年内变化不大, 故在表 1 中列出理化性质的周年平均值。根据《地表水环境质量标准基本项目标准限值》(GB3838-2002), 可判断该水质为清洁类型。

1.3 标本采集及处理

定量采集使用 60 目的 Surber 网, 每样点采样面积为 30 cm×30 cm, 每样点 1 次, 1 个重复, 样本经筛洗后带回实验室, 置于白磁盘中挑选, 以 10% 福尔马林固定保存。标本鉴定、计数和称重后, 换算成每平方米面积的含量。底栖动物鉴定工作参考相关文献[3, 4]。

1.6 生产量的营养基础分析

依照 Wallace 和 Benke 的方法^[16, 17]进行生产量的营养基础分析, 用肠内含物分析法估算中华新米虾的各类前肠内含物比例, 并在考虑各食物类型同化率的基础上, 估算其对生产量的贡献及取食量的大小。具体分析方法如下: 在体视显微镜下取出每个个体的前肠或胃, 去除肠壁及其他杂质, 捣碎, 洗入 50 mL 的烧杯中, 于磁力搅拌器上搅拌, 用 0.45 μm 的滤膜进行真空抽滤, 在滤膜表面滴 1—3 滴二甲苯, 置于培养皿中, 加盖静置 24h, 除去过量二甲苯, 用 10 mL 蒸馏水将滤物洗入培养皿中, 压片, 用卢戈氏碘液染色, 在显微镜中计数。每次实验取 20 只中华新米虾个体提取肠内含物, 混合压片, 每一个压片随机选取 30 个视野观察计数, 一个样本共取约 500 个视野, 重复 2 次, 试验结果取平均。根据文献[14, 15]食物颗粒可分为无形态碎屑、植物组织、丝状藻类、硅藻、真菌和动物组织等 6 大类, 为了便于比较, 我们将中华新米虾的肠内含物也分为上述 6 类。

2 结 果

2.1 中华新米虾的体长体重关系

中华新米虾体长体重关系(图 2), 由图 2 可知体

湿重(W_w , mg)与体长(L , mm)的回归方程为:
 $\lg W_w=3.0291\lg L-1.8168$ 。

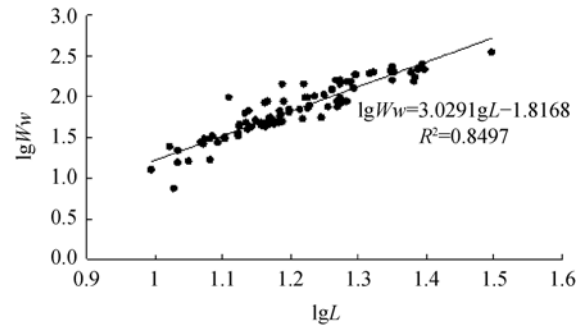


图2 胡家溪中华新米虾的体长体重关系

Fig. 2 Relationship between body length and body weight of *N. denticulata sinensis* in Hujiaxi Stream

2.2 中华新米虾的现存量周年动态

中华新米虾的现存量周年动态(图3)。中华新米虾的密度和生物量的变化趋势较为一致。种群密度较大值分别出现在7月(31 ind/m²)、10月(35 ind/m²)、12月(20 ind/m²)、2月(20 ind/m²)。生物量较大值出现在4月(1.76 g/m²)、7月(4.74 g/m²)、次年2月(2.38 g/m²)。密度和生物量的周年平均值分别为13 ind/m², 1.19 g/m²。

2.3 中华新米虾的生活史

中华新米虾种群的体长频率分布逐月动态(图4), 由图4可以看出, 该种群在4—5月有较多大个体出现, 6月开始交配产卵, 在7月有较多的小个体出现。因此可粗略划分出两个世代, 即7—10月为一个世代、11月至次年6月一个世代。

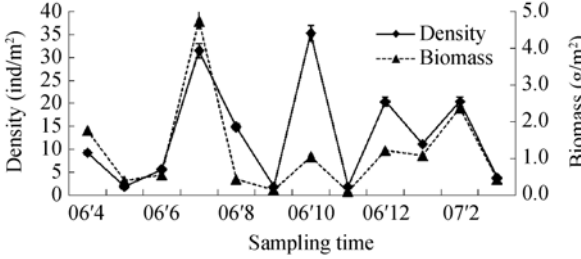


图3 胡家溪中华新米虾的现存量周年动态

Fig. 3 Annual variation of standing stock of *N. denticulata sinensis* in Hujiaxi Stream

2.4 中华新米虾的周年生产量

中华新米虾一年完成2个世代, 周年生产量为其同龄群生产量的2倍。根据体长频率法测算的同龄群生产量和周年生产量(表2)。由表2可知, 同龄群P/B系数为2.36, 周年P/B系数为4.72。同龄群生产量为33.70 g/m², 周年生产量湿重为67.40 g/m²; 换算成干重为13.48 g/m²。

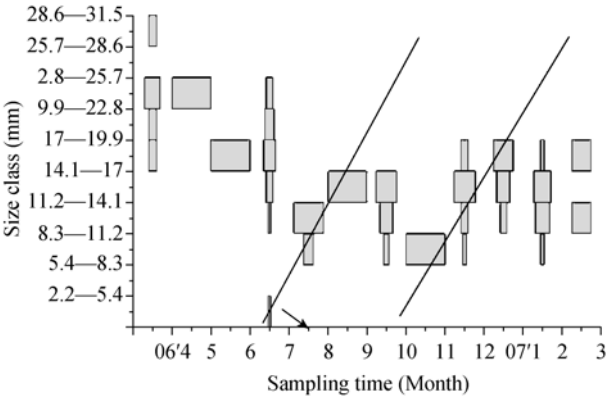


图4 胡家溪中华新米虾种群的体长频率分布逐月动态

Fig. 4 Monthly size-frequency distributions for *N. denticulata sinensis* in Hujiaxi Stream

表2 胡家溪中华新米虾的周年生产量
Tab. 2 Annual production (g/m² wet weight) of *N. denticulata sinensis* in Hujiaxi Stream

体长组 Size class (mm)	密度 Density (No./m ²)	体均重 Mean weight (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 Weight loss (g/m ²)	生产量 Production (g/m ²)
2.2—5.4	9.26	1.19	0.0110	9.26	0.00	0.00	0.00
5.4—8.3	0.00	—	—	—11.11	—	—	—
8.3—11.2	11.11	23.05	0.2561	—20.37	30.62	—0.62	—6.24
11.2—14.1	31.48	40.67	1.2804	—12.96	54.12	—0.70	—7.02
14.1—17	44.44	72.03	3.2011	7.41	93.57	0.69	6.93
17—19.9	37.04	121.56	4.5022	25.93	154.39	4.00	40.03
19.9—22.8	11.11	196.08	2.1787	0.00	196.45	0.00	0.00
22.8—25.7	11.11	196.83	2.1870	11.11	0.00	0.00	0.00
25.7—28.6	0.00	—	—	—1.85	—	—	—
28.6—31.5	1.85	345.60	0.6400	1.85	—	—	—
现存量=14.2600				同龄群生产量=33.70			
周年 P/B=4.72				周年生产量=33.70×2=67.40			

2.5 中华新米虾的生产量动态

中华新米虾的生产量动态(图 5)。由图 5 可知,中华新米虾生物量和日均产量都在 2006 年的 7 月达到最大值,分别为 4714.18 mg/m^2 、 $62.16 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$ 。

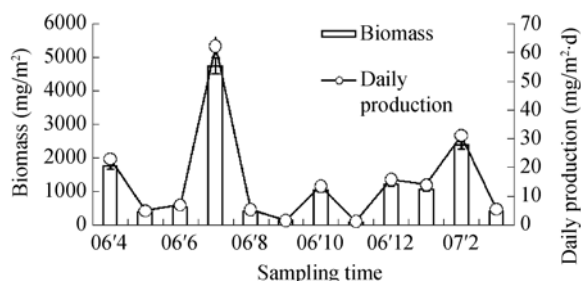


图 5 胡家溪中华新米虾的日均产量及生产量动态

Fig. 5 Temporal pattern of interval biomass and mean daily production for *N. denticulata sinensis* in Hujiaxi Stream

2.6 营养基础分析

中华新米虾的各类前肠内含物比例(图 6),其食物类型包括无形态碎屑、动物组织、植物碎屑和藻类。其中,无形态碎屑占肠内含物的比例最大,达到 79.9%,动物组织次之,占 12.5%,植物组织和藻类分别为 7.1%和 0.5%;而在对中华新米虾的生产力的贡献上,无形态碎屑和动物组织分别为 62.50%和 34.18%,植物碎屑和藻类则分别为 2.73%和 0.59%。

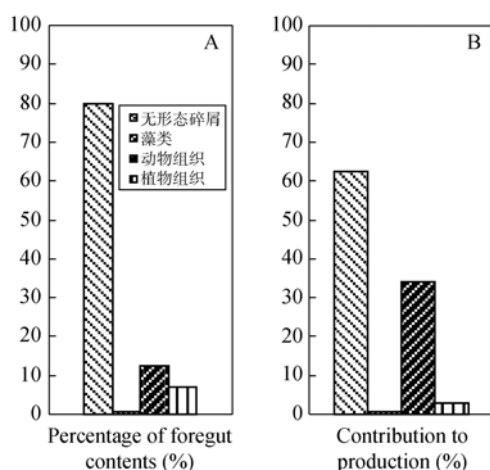


图 6 胡家溪中华新米虾的前肠内含物比率(A)及生产力贡献率(B)

Fig. 6 Percentages of foregut content ingredients (A) and contribution to production (B) for *N. denticulata sinensis* in Hujiaxi Stream

3 讨论

中华新米虾在湖泊、池塘和河沟中都有分布,在水生生态系统的物质代谢和能量流动中发挥着重

要作用。目前,国内外对中华新米虾的分类、遗传、解剖、发育和酶学开展了较细致的研究工作,如张建业利用系统进化分析与表型特征相结合对其进行分类鉴定,而有关其生态学研究报道较少,仅见谈奇坤等^[18]和秦海明等^[19]对其在湖泊中的分布和现存量有报道,有关其生活史、食性以及生态系统中的功能国内外尚无报道,本文初次报道了低级河流中的中华新米虾的生物学和生产力,以及其营养动态,为可持续利用该资源奠定了理论基础。

生产量动态可以准确反映物种利用资源的时间分配状况,从生产量动态来看,中华新米虾种群在 4 月、7 月、次年 2 月生物量和日均产量达到峰值,这一方面可能是由于中华新米虾世代更替,个体数目较多,成年个体较大;另一方面,此阶段食物和营养比较丰富,而 9 月、11 月的中华新米虾生产量明显低于其余各月,这可能是由于秋季雨水较多,食物被水流冲走,因此其种群生物量一直维持在较低水平;另一方面,11 月小个体较多,生物量相对也较小,水温较低,中华新米虾个体发育较缓,故而生产量也较小。

中华新米虾属于杂食性动物,主要取食无形态碎屑、动物组织、植物纤维和藻类,无形态碎屑和动物组织在中华新米虾前肠内含物中的比率最高,相应对生产力贡献率也最大,而藻类所占比例很小,仅为 0.5%,其对生产力的贡献几乎可以忽略。但一些文献中认为中华新米虾主要取食藻类^[19],这与本研究的结果存在较大差异,可能的解释是中华新米虾的取食习性随环境和食物种类、数量的变化而有所不同,但这需要进一步的研究确定。

参考文献:

- [1] Covich A P, Palmer M A, Crowl T A. The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems [J]. *BioScience*, 1999, **49**: 119—127
- [2] Cai L Z. Macrozoobenthos pollution index (MPI) [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 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]
- [3] Liu R Y. Economical Shrimps in Northern China [M]. Beijing: Science Press. 1995, 25—27 [刘瑞玉. 中国北部经济虾类. 北京: 科学出版社. 1995, 25—27]
- [4] Cai Y X. A revision of the genus *Neocaridina* (Crustacea: Decapoda: Atyidae) [J]. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 1996, **21**(2): 129—160 [蔡奕雄. 新米虾属的修订(甲壳亚门:十

- 足目: 匙指虾科). 动物分类学报, 1996, 21(2): 129—160]
- [5] Dalian College of Aquaculture (Eds.), Freshwater Biology [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press. 1978, 291—334 [大连水产学院主编. 淡水生物学. 北京: 中国农业出版社. 1978, 291—334]
- [6] Liang X Q, Fang J Z, Yang H Q. Hydrobiology (Morphology and Taxonomy) [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press. 1995, 200—252 [梁象秋, 方纪祖, 杨和荃. 水生生物学 (形态和分类). 北京: 中国农业出版社. 1995, 200—252]
- [7] Zhang J Y, Jiang G L, Wang N, et al. Study on the trypsin gene from *Neocaridina denticulata sinensis* [J]. *Marine Sciences*, 2007, 31(2): 39—41 [张建业, 姜国良, 王宁, 等. 中华新米虾胰蛋白酶基因的研究. 海洋科学, 2007, 31(2): 39—41]
- [8] Xue J Z, Wu H X, Chen Z F. Studies on the blood circulation and cardiac rhythm of *Neocaridina denticulata sinensis* [J]. *Journal of Hangzhou Teachers College*, 1996, 6: 34—38 [薛俊增, 吴惠仙, 陈樟福. 中华新米虾血液循环及心率研究. 杭州师范学院学报, 1996, 6: 34—38]
- [9] Xue J Z, Zheng L, Chen Z F. Primary study of the embryo development of *Neocaridina denticulata sinensis* [J]. *Journal of Hangzhou Teachers College*, 1995, 6: 79—83 [薛俊增, 郑璐, 陈樟福. 中华新米虾胚胎发育的初步研究. 杭州师范学院学报, 1995, 6: 79—83]
- [10] Tian L X, Yang L F. Chinese Economical Insecta (Volume 49) [M]. Beijing: Science Press. 1996, 15—21 [田立新, 杨莲芳. 中国经济昆虫志(第四十九册). 北京: 科学出版社. 1996, 15—21]
- [11] Benke A C. Baldi Memorial Lecture: Concepts and patterns of invertebrate production in running waters [J]. *Verhandlung der Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 1993, 25: 15—38
- [12] Yan Y J, Liang Y L, Wang H Z. Production of gastropods in lake biandantang II. annual production of *Parafossarulus striatulus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2001, 25(1): 36—41 [闫云君, 梁彦岭, 王洪铸. 保安湖扁担塘螺类生产力的研究. II. 纹沼螺的周年生产量. 水生生物学报, 2001, 25(1): 36—41]
- [13] Hynes H B N, Coleman M J. A simple method of assessing the annual production of stream benthos [J]. *Limnology Oceanography*, 1968, 13: 569—573
- [14] Hamilton A L. On estimating annual production [J]. *Limnology Oceanography*, 1969, 14: 771—782
- [15] 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
- [16] Wallace J B, Benke A C. Quantification of wood habitat in subtropical Coastal Plain streams [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1984, 41: 1643—1652
- [17] Benke A C, Wallace J B. Trophic basis of production among riverine caddisflies: Implications for food web analysis [J]. *Ecology*, 1997, 78: 1132—1145
- [18] Tan Q K, Zhu Q S. Shrimps in Chaohu Lake and its adjacent water bodies [J]. *Journal of Anhui Normal University (Natural Science)*, 1982, 1: 80—85 [谈奇坤, 朱清顺. 巢湖及其周围水域的虾类. 安徽师范大学学报(自然科学版), 1982, 1: 80—85]
- [19] Qin H M, Zhang T L, Li Z J, et al. Species composition, spatial distribution and biomass of shrimp community in the Biandantang lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, 29(4): 379—384 [秦海明, 张堂林, 李钟杰, 等. 扁担塘虾类群落组成、空间分布和生物量估算. 水生生物学报, 2005, 29(4): 379—384]

POPULATION DYNAMICS, ANNUAL PRODUCTION AND TROPHIC BASIS ANALYSIS OF THE DOMINANT SPECIES *NEOCARDINA DENTICULATA SINENSIS* (KEMP) IN HUJIAXI STREAM

JIANG Jing, WEN Fang-Ni, DENG Shan, GU Peng and YAN Yun-Jun

(Key Laboratory of Molecular Biophysics, Ministry of Education; College of Life Science and Technology,
Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Macrozoobenthos community plays an important role in material cycle and energy flow in riverine ecosystem. During the period of April 2006 to March 2007, an investigation on population dynamics, annual production, and trophic basis analysis of a dominant macrozoobenthic species *Neocardina denticulata sinensis* (Kemp) in a second order river (Hujiaxi Stream) of Qingjiang River Basin was conducted. From the upper to the lower reach of Hujiaxi Stream, we chose six types of habitats to collect quantitative samples. Station 1 (S1) was in the middle of a peaceful flowing section with grit bottom, station 2 (S2) was at a branch away with silver sand, station 3 (S3) was under a waterfall of the riffle with large boulders, station 4 (S4) was at the lower reach of a weir with slowly flowing water and cornbrash, station 5 (S5) was at a riffle with much litter and many cobbles on the bed, station 6 (S6) was at the lower reach of a sewage outlet with gravel-sand bottom. At each station, samples were taken with a Surber net (60 mesh), and the specimens were kept in 10% formalin for later processing. The life cycle of *N. denticulata sinensis* was analyzed by the monthly size-class frequency distribution, the annual production were estimated by size-frequency method, the trophic basis analysis followed the method employed by Wallace and Benke (1997). The results showed that *N. denticulata sinensis* appeared to develop two generations per year. The density of its population reached its peaks in July (31 ind/m²), October (35 ind/m²), December (20 ind/m²) and February (20 ind/m²) of next year. The biomass reached its peaks in April (1.76 g/m²), July (4.74 g/m²) and February (2.38 g/m²) of next year, respectively. The annual production and the annual *P/B* ratio of *N. denticulata sinensis* estimated with size-frequency method were 67.40g/m², 4.72. The proportions of various food types as well as their contribution to production with foregut content analysis were also examined. The results showed that amorphous detritus and animal materials were the most important food types, accounting for 79.9% and 12.5 % of foregut content, and contributing 62.50% and 34.18% of the production, respectively.

Key words: *Neocardina denticulata sinensis* (Kemp); Production; Trophic basis; Hujiaxi Stream