

九华河水生昆虫群落结构和
水质生物评价*

杨莲芳 李佑文 戚道光 孙长海 田立新

(南京农业大学)

Q968.8

摘 要

1989年6月、8月、10月对安徽九华河水系3、4、5级支流5个基点采用扫网、刷石等综合定性取样法,共采得水生昆虫9目、49科、86属、124种,计8445头。其中:毛翅目12科、41种;蜉蝣目10科、26种;鞘翅目5科、16种;双翅目7科、14种;襀翅目4科、9种;鳞翅目5科、8种;半翅目4科、5种;广翅目1科、3种;鳞翅目1科、2种。3、4级支流Shannon多样性指数大于4,种丰富度大于60,水质极清洁;5级支流Shannon多样性指数大于3,种丰富度29,水质较清洁。3级支流以毛翅目、蜉蝣目为主,科级水平生物指数最高(2.58—2.59);4级支流以毛翅目、蜉蝣目和双翅目为主,多样性指数最高(5.54);5级支流以蜉蝣目、双翅目为主。本文还根据“河流连续概念”对各支流水生昆虫群落结构、季节性变化、毛翅目取食功能类群与支流级别的关系等作了初步分析,并提供了必要的物理、化学参数。

关键词: 水生昆虫群落, 生物指数, 水质评价, 河川。

以蜉蝣目、襀翅目、毛翅目昆虫为主体的底栖水生昆虫群落的研究及其在水质监测中的应用在北美已有将近30年的历史^[1]。近年来,美国在应用各种多样性指数、生物指数评价水质的基础上,又提出综合定性采样法^[2]和科级水平生物指数^[3]评价法,以寻找一条快速、有效评价大量的小溪、河流和湖泊的途径。

本项工作旨在采用上述新技术,研究我国安徽省九华河水系上、中游段的底栖昆虫群落结构,并对水生昆虫多样性指数、丰富度、科级水平生物指数评价我国3—5级支流的可行性作一初步探讨。

一、调查与统计方法

在九华山水系选3、4、5级支流,其中3、4级支流各设2个基点,5级支流设一个基点(图1),于6月、8月、10月进行取样调查。取样均用综合定性取样法,即用D形抄网取样、定量刷石、定时检查各种类型基质,每点每次捕10网,刷10块石头,并随机检查水中落叶、石块、草根等15分钟。所获昆虫标本在野外立即检出,保存于80%酒精中。

多样性测定采用Shannon-Weiner指数法。虫样均鉴定至科、属,并区分到种。各点的丰富度以3次调查所得种类的总和表示(不包括重复种)。科级水平生物指数(Family Biotic

* 本研究为自然科学基金资助项目。

本文得到张孝骞教授的热心帮助,并修改文稿,特此致谢。

本文于1990年10月6日收到。

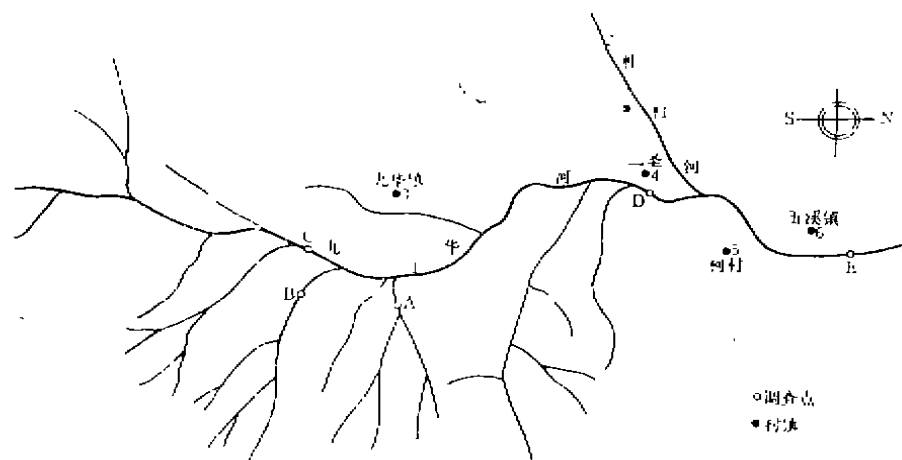


图 1 九华河采样点示意图

Fig.1 Sketch map of Jiu-hua river showing location of sampling sites
 1. The Jiu-hua River, 2. Tee Ducun village, 3. The Jiu-hua town, 4. The Ersheng village,
 5. The Kecun village, 6. The Wuxi town.
 A,B点间距1.5公里, B,C点间距0.5公里, C,D点间距8公里, D,E点间距12公里
 交流级别参考标准(河宽): 3级: 4—8米(A、B点); 4级: 10—25米(C、D点);
 5级: 25米以上(E点)

Index)参照美国现行的底栖水生昆虫8目70科耐污值根据公式 $FBI = \frac{\sum n_i \cdot t_i}{N}$ 计算得出, 其中 n 代表每一个科的个体数, N 代表各科个体总数, t 代表各科的耐污值。

二、研究结果

1. 水生昆虫类群的一般特征

经统计, 5个取样点共获水生昆虫9目、49科、86属、124种, 计6445头。其中毛翅目、蜉蝣目和双翅目的种类占总类群的60%, 个体数占总个体数的83.23%, 为3大优势类群(表1)。3级支流(A、B点)海拔700米, 为山地型, 毛翅目与蜉蝣目占优势, 两目的个体总

表 1 各目水生昆虫、科、属、种及个体数百分比

Table 1 The numbers and percentages of families, genera, species and individuals in nine aquatic insect orders

目 Orders	科 Family		属 Genus		种 Speies		个体 Individuals	
	数 Number	%	数 Number	%	数 Number	%	数 Number	%
Coleoptera (C)	5	10.20	11	12.79	16	12.90	436	6.79
Diptera (D)	7	14.30			14	11.29	927	14.38
Ephemeroptera (E)	10	20.40	18	20.93	26	20.97	3321	51.63
Hemiptera (H)	4	8.16	5	6.91	5	4.03	129	2.00
Lepidoptera (L)	1	2.04	1	1.16	2	1.62	4	0.06
Megaroptera (M)	1	2.04	3	3.49	3	2.42	169	2.62
Odonata (O)	5	10.20	8	9.30	8	6.45	58	0.87
Plecoptera (P)	4	8.16	9	10.47	9	7.26	287	4.45
Trichoptera (T)	12	24.49	31	36.05	41	33.06	1116	17.32
合 计(9) Total	49		86		124		6445	

数合占总个体数的70%。襀翅目数量高于其余3点,与双翅目平均各占10%。4级支流分山地型(C点,海拔700米)和平地型(D点,海拔50米);C点的水环境同A、B点,其优势类群与A、B点相似。D点双翅目数量急剧上升,与毛翅目、蜉蝣目并列为优势群落,各占30%左右,而襀翅目数量下降明显,仅占总数的0.6%,5级支流(E点,平地型,海拔50米)仅蜉蝣一目就占总数的76%。5个采样点的鞘翅目数量变化较小(表2)。

表2 不同级别支流水生昆虫数量及比例

Table 2 The Ratios of aquatic insect orders in different class tributaries

样点	A		B		C		D		E	
支流级别 Tributary order	3		3		4		4		5	
虫数及百分率 Numbers and ratios	数量 Number	%	数量 Number	%	数量 Number	%	数量 Number	%	数量 Number	%
鞘翅目 (C)	56	8.59	45	6.90	121	9.39	73	4.53	141	7.30
双翅目 (D)	70	8.24	90	11.79	67	4.43	438	27.19	272	14.08
蜉蝣目 (E)	238	28	297	38.92	819	63.58	495	30.73	1474	78.29
半翅目 (H)	17	2	10	1.31	30	2.33	65	4.03	7	0.36
鳞翅目 (L)	1	0.12	3	0.38	0	0	0	0	0	0
广翅目 (M)	14	1.85	8	1.05	23	1.79	121	7.51	2	0.10
蜻蜓目 (O)	15	1.76	16	2.10	21	1.63	2	0.12	2	0.10
襀翅目 (P)	136	18	60	7.86	75	5.82	9	0.59	5	0.26
毛翅目 (T)	303	35.66	234	30.67	142	11.02	408	25.3	29	1.50
合计 Total	850		783		1288		1611		1932	

在所得的9目昆虫中,毛翅目的科、属、种类最为丰富。现以其中数量最多的8个科为例,比较5个采样点内各科的分布及数量差异。纹石蛾科分布最广,在各点都占绝对优势;多距石蛾科、角石蛾科和原石蛾科为第二位广布种;鳞石蛾科为山地型第二位优势种;短石蛾科和舌石蛾科仅局限在3级支流(表3)。

表3 各级支流毛翅目科数的比较

Table 3 A comparison of individuals of the major eight caddisfly families in each site

样点 Sites	A	B	C	D	E
科别 Family	3	3	4	4	5
Glossosomatidae	25	9	0	0	0
Hydrostomatidae	140	94	118	365	25
Lepidastomatidae	77	54	3	1	0
Limnephilidae	2	17	0	6	0
Polycentropodidae	20	7	10	7	0
Rhyacophilidae	7	6	0	12	0
Stenopsychidae	2	7	2	8	0
Brachycentridae	17	21	0	0	0
合计 Total	290	215	133	399	25

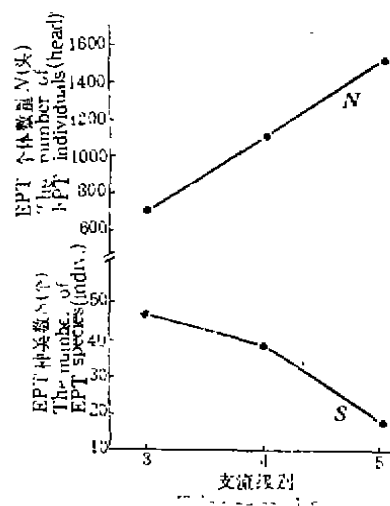


图2 3至5级支流EPT种数(S)和总虫数(N)比较
Fig.2 The number of species and individuals of EPT in third, fourth and fifth order tributaries

比较耐污能力最差的3大类群, 蜉蝣目、襀翅目和毛翅目(简称EPT)的种类、数量变化与支流级别的关系, 发现低级别支流种类丰富, 但个体数偏少; 随着支流级别的提高, 个体数急剧上升而种的丰富度反而下降(图2)。

以A、C、E点为代表, 观察6至10月3、4、5级支流EPTD(D代表双翅目)发生量与季节性变化的关系可明显看出: (1) 随着支流级别的增加, 各类群发生量的季节性变化幅度加大(图3)。(2) 3、4级支流EPT 3类群由6至10月基本呈递增趋势, 而D的数量呈递减趋势。5级支流EPTD 4类群均呈递增趋势。由图3还可看出: 蜉蝣目、双翅目的数量随支流级别的增加而明显增加, 毛翅目、襀翅目的数量随支流级别的增加而明显减少。

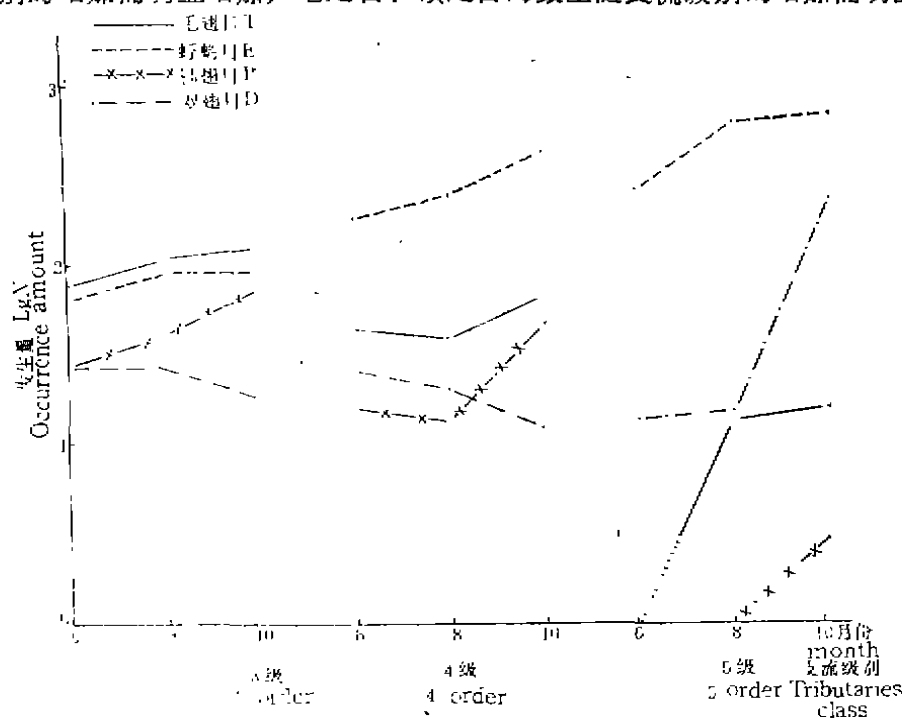


图3 3至5级支流EPTD群落数量的季节变化

Fig. 3 Seasonal variation of EPTD communities in third to fifth orders

T, Trichoptera, E, Ephemeroptera, P, Plecoptera, D, Diptera.

2. 群落多样性指数、科级生物指数和EPT丰富度对水质的评价

由表2可见, 3种方法评价水质的结果基本吻合, 仅在清洁度次序上略有差异。按多样性指数法测定, 最佳点位于4级支流的D点, 3级支流水质虽极清洁, 但就其最适于昆虫发生的水环境而言, 4级支流优于3级支流。用科级生物指数法测定, 水质最佳点位于3级支流的A、B点, 表明3级支流群落结构中耐污力低的敏感种最多。按EPT丰富度测定法, A点最佳, D点略低于B、C点, 5级支流E点明显较差。这一结果反映偏碱水质和27℃以上水温对EPT种类的丰富度有明显的抑制作用(表4)。

三、分析与讨论

1. 在无外来干扰因子的情况下, 具有相同物理环境的同级支流, 其群落结构相似, 1至5级支流, 随着其级别的增加, 河流内生物群落由异营型逐渐转变为自养型, 其昆虫种类

表 4 多样性指数、科级水平生物指数和EPT丰富度水质评价比较*

Table 4 The comparison of water quality assessment by using of Diversity Index, Family Biotic Index and EPT Species Richness

支流级别 Tributary order		3		4		6
水质评价 Water quality assessment		A	B	C	D	E
多样性 指数 Diversity Index	指数值(H)	4.86	4.89	4.58	5.54	3.78
	水质状况 Assessment	清 洁	清 洁	清 洁	清 洁	清 洁
多样性 指数 Diversity Index	清洁度次序 Sequence	3	2	4	1	5
科级 生物 指数 Family biotic index	指数值(FBI)	2.58	2.59	3.43	3.51	3.63
	水质状况 Assessment	最 清 洁 Extremely clean			很 清 洁 Very clean	
	清洁度次序 Sequence	1	2	3	4	5
EPT 丰富 度 EPT species richness	种 类 数 Species number	47	41	41	39	18
	水质状况 Assessment	很 清 洁 Very clean	很 清 洁 Very clean	很 清 洁 Very clean	清 洁 Clean	尚 清 洁 Fair clean
	清洁度次序 Sequence	1	2	2	4	5

* Shannon 多样性指数评价标准: >3, 清洁; 2—1, 轻污染; <1, 重污染^[4]EPT 丰富度评价标准: >41, 很清洁; 41—32, 清洁; 23—16, 尚清洁; <16, 污染^[2](Lenat, 1988)

FBI 评价标准:

0—3.50, 最清洁; 3.51—4.50, 很清洁; 4.51—5.50, 清洁; 5.51—6.50, 一般^[3] 6.51—7.50, 轻污染; 7.51—8.50, 污染; 8.50—10.00, 严重污染;

表 5 各基点6月、8月、10月的水温与pH值

Table 5 The temperature and pH value at each site in June, August and October

支流级别 Tributary order		3		4		5
时间Date (月/日)		A	B	C	D	E
水温 (°C)	6/26	13	12	12	22	28
	8/26	20	20	20	23	27.5
	10/24	16	16	18	17	19
pH	6/26	6.9	6.8	7	7.5	8.75
	8/26	7.5	6.9	6.9	7.45	8.4
	10/24	6.63	6.47	6.73	6.71	7.86
海拔 Altitude (m)		700	700	700	50	50

的多样性有递增趋势^[5]。如3级支流A、B点均远离旅游点, 周围无居民, 河床理化性质相似且稳定(表5、6), 季节性变化小, 故多样性指数与科级生物指数十分接近。进入4级支流D点, 多样性指数明显增加至高峰, 这是由于该点既接受了由上游流入的经微生物加工后的细粒营养能源, 又由于河面变宽, 水生植物光合作用充分, 使水中含氧量及其它各种营养元素如N、K、Ca等(表6)明显增加。5级支流E点位于五溪镇旁, 其上游接受了由杜村河流入的一支流, 该点硝态N含量为A点的23倍, 夏季平均水温达27.25°C, 比A点高出近10余度, 多样性指数明显低于其余各点(表4、5)。由此说明, 当存在外界干扰因素时(如旅游、

表 6 各采样点主要化学成分*

Table 6 Hydrochemical characteristics in each study site

项 目		溶解氧 DO	NO ₃ -N	Ca	Mg	Na	K	Cl	Fe	Zn, Cu, P
Items		(mg/l)	(10 ³ μg/l)	(10 ³ μg/t)	(10 ³ μg/l)	(10 ³ μg/l)	(10 ³ μg/l)	(10 ³ μg/l)	(10 ³ μg/l)	
3	A	8.98	0.905	1.468	0.333	1.7	0.177	0.745	未 检 出	未 检 出
	B	8.55	3.243	2.447	0.666	1.9	0.631	1.915		
4	C	8.89	2.703	1.575	0.368	2.1	0.354	1.822		
	D	9.95	2.762	4.277	1.193	4.0	0.708	2.280		
5	E	10.62	20.930	9.660	3.263	5.7	1.416	2.984	10	

* NO₃-N, Cl: 用离子选择电极测定;
溶解氧: 野外固定后用碘量法测定;
Ca, Mg等元素: 用火焰原子吸收法测定;

民用污水的排入等), 群落结构反应灵敏。

2. 对水质敏感度较高的昆虫类群EPT丰富度以山塘最高(如A、B、C点)。D点位于山脚, 数量仍接近山地, 但在进入距离D点12公里的平原区E点后, 其种类数降至A点的1/3。随着河流伸入江湖沿海, EPT类群将会迅速被其它耐污能力较强的类群取代(如双翅目、鞘翅目、半翅目及贝类等等)。

3. 以毛翅目为例分析其取食功能类群由A至E点的变化梯度与河流物理梯度、自然生态能量平衡的关系。3级支流A、B点, 以撕食粗颗粒状($>10^3\mu\text{m}$)的活的或死的植物组织为生的撕食型种类(Shredders)比例较大, 如鳞石蛾科的 *Lepidostoma* sp. 和短石蛾科的 *Microsema* sp., 平均占A、B两点毛翅目总数的33%。以滤食较细颗粒状有机质($<10^3\mu\text{m}$)为生的集食性种类(Collectors), 如纹石蛾科的 *Ceratopsyche* spp., 占毛翅目总数的45%, 撕食型和集食型的比为1:1.36。这是由于3级支流水温低、流速快、河内落叶、树枝或其它有机物质残渣有相当一部分没有得到分解, 只能被撕食型昆虫利用。河流进入4级支流点, 水温明显上升, 集食型毛翅目增加至90%, 撕食型种类仅占2%, 该点内集食型蚋科(Simuliidae)为主的双翅目群落数量突然增加也是证明之一。当河流进入E点后, 采样点内全部毛翅目种类均为集食型。这说明上游的粗颗粒有机物质经过微生物的利用后已逐渐分解变细, 同时上游水生生物的次生产物也作为河流本身的能源流入下游, 为集食型昆虫的生长创造了良好条件。上述结果与“河流连续概念”中提供的支流级别与昆虫取食类型分布模形总趋势基本相符。

4. 3种生物评价的方法就其准确性, 应用范围、所花费的时间和所需的技术力量而论, 各有其优缺点。多样性指数评价法由于以生物分类单位为基础, 适用范围广, 既适用于水质清洁区, 也适合于受各种不同因子影响的各种水体; 由于所有分类单位要区分到种, 较实际地反映水体的群落结构, 评价水质准确度较高; 其缺点是没有考虑到虫体本身耐污能力的差异, 尤其是耐污种替代敏感种的问题, 有时对水质的评价可能会比实际值偏高, 且该方法花时多, 要求鉴定技术高。科级指数评价法将虫体本身的耐污值作为一个重要参数, 增加了评价的准确性, 昆虫仅需鉴定至科, 省时、省力^[7]; 缺点是(1)目前只能借鉴北美水

生昆虫学家提出的 8 目 70 余科的经典忍耐值, (2) 同一科内, 不同属、种间耐污能力有时差异也较大。这些不足是我们在推广科级生物指数评价法前必须解决的。EPT 丰富度评价法仅以蜉蝣目、襀翅目、毛翅目 3 个敏感类群的种类数作为评价标准, 工作方法简单, 适于山区及其与平原交界区。由于该法不考虑种的个体数, 对反映群落结构的变化敏感性不如多样性指数, 其综合反应各种类型昆虫对水质耐污指数的监测作用, 也不如科级生物指数全面。

5. 对于综合采样法的几点看法:

准确而高效率的取样方法是水生生物群落研究中十分重要的先决条件, 综合取样法是一种较好的定性取样法, 能较全面地反映水体中不同生境内的昆虫结构。搜集枯枝落叶有利于发现双翅目、鞘翅目及部分襀翅目幼虫; 刷石法对部分毛翅目种类特别见效; 而用抄网在植物根垫部、河边及急流处取样可采到这些生境的特有种。这比单纯使用抄网或 Peterson 采泥器定点采样能更合理地反映水体的昆虫群落结构。但综合取样法也有其缺点, 主要是: (1) 主观因素较强, 在分布不均匀的情况下, 检查结果波动很大; (2) 用该方法调查, 要求河床基质以石块为主, 水深不超过 40—50cm。

参 考 文 献

- (1) Worf, D.L., 1980, *Biological Monitoring for Environmental Effects*, p.97—113, Lexington Books D.C.Heath and company Lexington, Massachusetts, Toronto.
- (2) Lenat, D.R., 1988, Water quality assessment of stream using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrates, *J. North Am. Benthol. Soc.* (7), 222—223.
- (3) Hilsenhoff, W.L., 1988, Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index, *J. North Am. Benthol. Soc.* (7): 65—68.
- (4) 黄玉瑞、滕德兴等, 1982, 利用大型无脊椎动物种类多样性指数监测运河污染, 《动物学集刊》(二), 第 133 页。
- (5) Vannote, R.L., Minshall, G.W., et al., 1980, The river continuum concept, *Can. J. Fish. Aquat. Soc.* 37, 130—137.
- (6) Resh, V.H., et Rosenberg, 1985, *The Ecology of Aquatic Insects*, p. 134—163, Praeger, New York.
- (7) Resh, V.H., 1983, Variability, accuracy and taxonomic costs of rapid assessment approaches in benthic biomonitoring, *Bull. North Am. Benthol. Soc.* 5(1): 1—6.

COMMUNITY STRUCTURE OF AQUATIC INSECT AND BIOMONITORING OF WATER QUALITY IN JIUHUAHE RIVER

Yang Lian-Fang Li You-Wen Qi Dao-Guang
Sun Chang-Hai Tian Li-Xin
(Nanjing Agricultural University)

Benthic aquatic insects were sampled by sweep nets and brushing stones at 5 sites of the tertiary, quarternary and quinary tributaries of the Jiuhahe

River in Anhui province during June, August and October, 1989. Total 6445 individuals which belong to 124 species of 86 genera in 49 families under 9 orders of aquatic insect were collected. They can be classified by 41 species of 31 genera in 12 families of Trichoptera, 26 species of 18 genera in 10 families of Ephemeroptera, 16 species of 11 genera in 5 families of coleoptera, 14 species of 14 genera in 7 families of Diptera, 9 species of 9 genera in 4 families of plecoptera, 8 species of 8 genera in 5 families of Odonata, 5 species of 5 genera in 4 families of Hemiptera, 3 species of 3 genera in 1 family of Megaroptera, and 2 species of 1 genus in 1 family of Lepidoptera.

In the tertiary and quaternary tributaries, there is a Shannon diversity index more than 4 with a species richness over 60, indicating that they have an extremely clean water quality. The quinary tributary has a Shannon diversity index over 3 and a species richness of 29, indicating a cleaner water quality. In the tertiary tributary, Trichoptera and Ephemeroptera are dominant with the best biodiversity index (2.58—2.59) at family level, in the quaternary tributary, Trichoptera, Ephemeroptera and Diptera are dominant with the highest diversity index (5.54), and in the quinary tributary, Ephemeroptera and Diptera are dominant.

An preliminary analysis has been also made, based on the concept of "river in continuation", for the community structure and seasonal variation of aquatic insect in various tributaries, and the relation of the predatory function clusters of Trichoptera to the levels of tributary involved. The necessary physical and chemical parameters are provided.

Key words: aquatic insect, community structure, biomonitoring, water quality.