

凉水、帽儿山低级溪流中水生昆虫 的群落特征及水质生物评价

李金国, 王庆成*, 严善春, 姚 琴, 乔树亮, 吕跃东, 韩壮行

(东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040)

摘要:在东北林业大学凉水国家级自然保护区和帽儿山实验林场, 对 3 种类型低级溪流中水生昆虫进行采集、鉴定, 分析水生昆虫群落组成、季节优势集中性和取食功能群, 并应用指示生物法、Shannon-Weiner 多样性指数、群落相似性系数和 BI 指数对溪流水质进行生物评价。共采集到水生昆虫 4907 个, 分别隶属于 8 目 38 科, 其中, 毛翅目、蜉蝣目、襀翅目和双翅目为四大优势类群, 个体数量占水生昆虫总数量的 91.13%。原始林溪流中水生昆虫个体数量最多, 占总数的 58.98%, 次生林溪流次之, 农田溪流最少。次生林溪流水生昆虫物种多样性要高于原始林和农田溪流, 且其各种取食功能群比例较均衡。齿角石蛾科、鳞石蛾科、新蜉科和黑襀科昆虫可以作为溪流清洁水质的指示生物。水生昆虫季节优势集中性与 Shannon-Weiner 多样性指数水质评价结果之间具有相关性, 即随溪流水质污染程度的加重, 水生昆虫的物种多样性逐渐减少。群落相似性系数的分析表明, 原始林溪流和次生林流水质对水生昆虫的群落组成没有影响, 农田溪流则产生中等影响。生物指数 (BI) 评价结果显示除了农田溪流 10 月的水质为轻污染外, 其余时间 3 种溪流的水质都能达到清洁标准以上。

关键词:水生昆虫; 群落特征; 水质; 生物评价; 低级溪流

文章编号: 1000-0933(2007)12-5008-11 中图分类号: Q143 文献标识码: A

Community characteristics of aquatic insects and bioassessment for water quality in lower order streams in Liangshui and Maoershan watersheds, Heilongjiang, China

LI Jin-Guo, WANG Qing-Cheng*, YAN Shan-Chun, YAO Qin, QIAO Shu-Liang, LÜ Yue-Dong, HAN Zhuang-Xing

School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5008 ~ 5018.

Abstract: Aquatic insects in lower order streams under landscapes with different vegetations in Liangshui National Natural Reserve and Maoershan Experimental Forest Farm were collected and identified to analyze the community composition, seasonal dominant concentration and foundational feeding group, in May, August and October, 2006. The stream water quality was assessed by biological indicator using Shannon-Weiner diversity index, community similarity index and biotic index. Totally 4907 aquatic insect individuals were collected and identified to 38 families, 8 orders. Trichoptera, Ephemeroptera, Plecoptera and Diptera were dominant groups, accounting for 91.13% of all the aquatic insects collected. Most aquatic insects were found in old growth forest streams in Liangshui, accounting for 58.98% of the total, much more

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30372077)

收稿日期: 2007-02-11; 修订日期: 2007-10-29

作者简介: 李金国 (1981 ~), 男, 吉林伊通人, 硕士生, 主要从事水生昆虫研究。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wqnefu@163.com

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30372077)

Received date: 2007-02-11; **Accepted date:** 2007-10-29

Biography: LI Jin-Guo, Master candidate, mainly engaged in aquatic insect research.

than that found in second growth forest streams in Maoershan, and the least were found in farmland streams in Maoershan. The aquatic species diversity in second growth streams was greater than that in the old growth and farmland streams, and the percentages of foundational feeding group in second growth streams were more balanced. The species in Odontoceridae, Neophemeridae and Capniidae were selected as biological indicators for high stream water quality. There was relationship between seasonal dominant concentration of aquatic insects and the assessment results for water quality with Shannon-Weiner diversity index, the species diversity reduced gradually with the increasing of water pollution level. Community similarity index indicated that the composition of aquatic insect community was not influenced by water quality in old growth and second growth streams, but moderate influence was found in farmland streams. The results of biotic index analysis suggested that water quality of all streams surveyed was good at anytime except for farmland stream which was slightly polluted in October.

Key Words: aquatic insect; community characteristic; water quality; bioassessment; lower order streams

水生昆虫作为大型底栖无脊椎动物的重要组成部分,其生长、繁殖、种类分布和群落结构受水体质量好坏直接或间接影响,同时,具有生活周期长,生活场所比较固定,以及个体大,易于采集和识别等优点,因而在水质生物评价中得到广泛应用^[1~3]。

目前,利用大型底栖无脊椎动物评价水质在发达国家广泛开展,例如在美国应用大型无脊椎动物科级和属级指示者的耐污值对溪流进行评价^[4],在德国利用底栖无脊椎动物发展多元评价系统对溪流进行评价^[5]。国内在此方面的研究始于 20 世纪 80 年代,且将研究地集中在较大的水域,如长江、珠江、安徽九华河和丰溪河^[6]、南京秦淮河^[1]、洞庭湖^[2]、京津地区河流^[7],以及辽河等流域,但对溪流中水生昆虫的群落特征和水质生物评价研究甚少,只有童晓立对广东南昆山溪流水生昆虫的群落组成及特点进行描述,并应用 Shannon-Weiner 多样性指数、EPT 种类丰富度法、生物指数和科级水平生物指数对溪流水质进行评价^[8],以及王备新利用底栖动物完整性指数对安徽黄山地区溪流健康进行评价^[9],但所有研究地均在我国南方。

本文以黑龙江省凉水和帽儿山流域的低级溪流水生昆虫为研究对象,了解不同类型溪流水生昆虫的群落特征,并采用适合的生物评价方法,对溪流水质进行生物评价,为东北地区进一步研究水生昆虫在水生生态系统中的作用提供基础数据和理论支持。

1 研究地区概况与方法

1.1 研究地的自然概况

本文野外调查在东北林业大学凉水国家级自然保护区和帽儿山实验林场辖区内进行(图 1)。

凉水国家级自然保护区位于黑龙江省伊春市带岭区,面积 1.2 万 hm^2 。保护区内有完整的原始森林景观。研究区域属于黑龙江省东北部小兴安岭南坡达里带岭支脉的东坡,为典型的低山丘陵地貌。地理坐标为东经 $128^{\circ}47'8'' \sim 128^{\circ}57'19''$,北纬 $47^{\circ}6'49'' \sim 47^{\circ}16'10''$ 。本区地处欧亚大陆东缘,具有明显的温带大陆性季风气候特征,春季来的迟缓,大风天多,降水较少;夏季短,降雨集中在 6~8 月份,占全年降水量的 60% 以上,气温较高;秋季降温急剧,多出现早霜;冬季漫长,多风雪,严寒而干燥。区内植被群落类型复杂多样,分布有大片较原始的红松针阔叶次生林,是我国目前保存下来最为典型和完整的原始红松针阔叶次生林分布区之一,也是中国和亚洲东北部很具代表性的温带原始红松针阔叶次生林区。野生动植物多样性高,其中,有被子植物 418 种、裸子植物 8 种、蕨类 36 种、苔藓类 107 种、地衣类 89 种,属于国家重点保护野生植物的有水曲柳(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)、黄菠萝(*Phellodendron amurense* Rupr.)和胡桃楸(*Juglans mandshurica* Maxim.)等。凉水国家级自然保护区被誉为“红松故乡”和“天然生物实验室”^[10~12]。

帽儿山实验林场位于黑龙江省尚志市帽儿山镇境内,面积 2.6 万 hm^2 。在场区范围内,森林和农田镶嵌分布,有完整的森林景观及农田景观。研究区域属于长白山系张广才岭西坡小岭余脉,为松嫩平原向张广才岭过渡的低山丘陵区,平均海拔高 300 m,坡度一般 $6 \sim 15^{\circ}$ 。地理坐标为东经 $127^{\circ}30' \sim 127^{\circ}34'$,北纬 $45^{\circ}20'$

~45°25'。气候为大陆性季风气候,四季较为分明,春秋季风很强;夏季短促、气温较高,年平均降雨量 700 ~ 800 mm,雨量集中于 7、8 月份;秋季温度略高于春季,天气变化程度不及春季显著;冬季漫长、寒冷干燥。植被属长白植物区系,原地带性顶极群落为红松阔叶林,现有主要植被类型为硬阔叶混交林为主的天然次生林,是东北东部山区较典型的天然次生林区,现已形成天然林、人工林镶嵌分布的生态景观。主要森林乔木种有水曲柳(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)、山杨(*Populus davidiana* Dode)、枫桦(*Betula costata* Trantv.)、白桦(*B. platyphylla* Suk.)、黄菠萝(*Phellodendron amurense* Rupr.)、胡桃楸(*Juglans mandshurica* Maxim.)、榆树(*Ulmus pumila* L.)、蒙古栎(*Quercus mongolica* Fisch.)等。草本植物种类繁多^[12]。

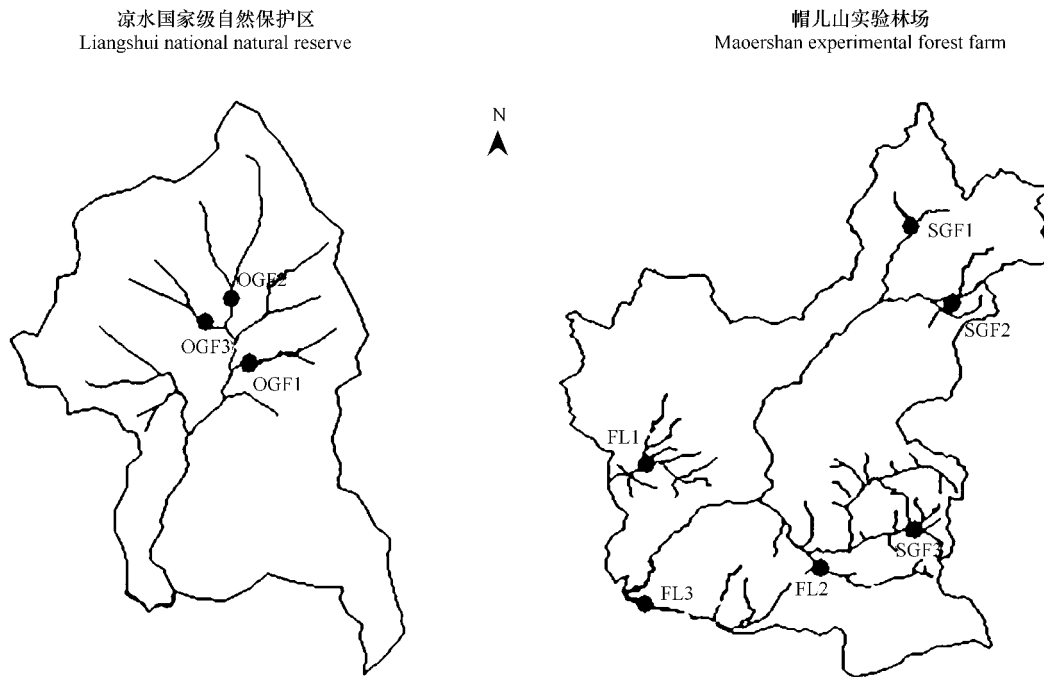


图 1 凉水、帽儿山流域溪流采样位置示意图

Fig. 1 Locations of the sampling sites in stream of Liangshui and Maoershan watershed

图中 OGF1、OGF2 和 OGF3 代表原始林溪流;SGF1、SGF2 和 SGF3 代表次生林溪流;FL1、FL2 和 FL3 代表农田溪流 OGF1、OGF2 和 OGF3 stand for the streams in old growth forest; SGF1、SGF2 和 SGF3 and FL1、FL2 和 FL3 stand for the streams in second growth forest, and farmland, respectively

1.2 研究方法

1.2.1 研究河段的确定

根据溪流集水区内的植被不同,凉水保护区内的溪流两岸植被为原始林,故将溪流定名为原始林溪流类型;帽儿山实验林场内,把两岸植被为次生林的溪流定名为次生林溪流类型,把两岸为农田的溪流定名为农田溪流类型。每种类型选择 3 条低阶溪流,其中,原始林溪流和次生林溪流均为 2 级溪流,农田溪流类型溪流中有 2 条为 2 级溪流,1 条为 3 级溪流。每条溪流选取具有典型代表性的 50 m 长的一段,利用随机数表,选取 3 个样点。于 2006 年 5 月、8 月和 10 月份 3 次采集水生昆虫。

1.2.2 水生昆虫的采集与鉴定

水生昆虫的采集方法参考 Barbour 的方法,并做改进^[13]。本文水生昆虫的采集均用 D 形抄网(0.3 m 宽,40 目尼龙纱),在急流中采 1 个样,采样面积约 0.5 m² 左右,采样时用脚搅动网前约 1.67 m 内的底质,用刷子刷下粘附在石块上的底栖动物;在稳水区和堤岸边用 D 形抄网采集,采集长度为 5 m,采样面积约 1.5 m²;枯枝落叶样用采样桶采集;同时,根据实际情况采集目测样,即在采样点附近拣取石块和圆木,采集附着的水生昆虫。昆虫标本在野外迅速检出后立即保存于 75% 的酒精中。

在水质生物学评价中,究竟将水生昆虫鉴定至科级、属级还是种级,目前尚无定论^[14],本研究的鉴定水平定在科级。

1.2.3 群落特征分析

(1) 优势集中性分析

优势集中性

$$C = \sum P_i^2$$

式中, $P_i = N_i/N$, N_i 为某物种的个体数, N 为所有物种的个体数。

(2) 水生昆虫取食功能群的划分

功能群用以描述在群落中功能相似的所有物种的集合,其组成及其之间的相互作用对群落生产力及其稳定性具有重要影响^[15]。在水生生态系统中,以水生昆虫为主的大型底栖无脊椎动物对物质分解起重要作用,尤其是维持溪流生态系统功能的完整性有着至关重要的作用^[16,17]。本文采用的是 Cummins 的取食功能群的划分方法^[18]。

1.2.4 溪流水质的生物评价

(1) 指示生物的确

指示生物是在一定的自然地理范围内,能反映并指示环境或其中某一因子特征的生物种、属或群落^[19]。

(2) Shannon-Weiner 多样性指数

Shannon-Weiner 多样性指数公式: $H = - \sum P_i \log_2 P_i$

式中, $P_i = N_i/N$ (N_i 为某物种的个体数, N 为所有物种的个体数), H 值越大表明水质状况越好。

(3) 群落相似性系数分析

相似性指数是测定两个群落组成相似程度的指数。一般认为在环境条件相近的情况下,群落种类的组成也趋于一致。通过比较一些特殊种的丰度(共同拥有种)或所有种的丰度,可得出污染地区的污染程度及其对生物的影响程度^[20]。

根据群落中有无各个物种来估计群落相似性系数:

$$S = 2c/(a+b)$$

式中, S 为相似性系数; a 为样本 A 中的种数; b 为样本 B 中的种数; c 为两个样本中共有的种数。

利用所得数据,根据 Lenat 研究北美山地溪流底栖动物时,提出的共有分类单元水质评价标准进行水质生物评价^[21]。

(4) BI 指数溪流水质评价

BI 指数是一个用来分析生物群落与水质关系的参数,它考虑到了生物的生理反应,引入了生物的耐污值。所谓的耐污值就是某类底栖生物对水质污染的敏感程度,一般以 0~10 来表示,数值越大,耐污能力越强。该方法在评价时既考虑了生物种类多样性和个体数量,又考虑到生物本身对污染的忍耐能力的差异。本文耐污值采用 Hilsenhoff、Lenat 和王建国的研究结果^[21~23]。BI 指数公式:

$$BI = \sum n_i a_i / N$$

式中, n_i 为第 i 个分类单元的个体数; a_i 为第 i 个分类单元的耐污值; N 为各分类单元的个体总数。

2 结果与分析

2.1 不同类型低级溪流中水生昆虫的群落特征

2.1.1 低级溪流中水生昆虫的群落结构

共采集水生昆虫 4907 个,经鉴定,隶属于 8 目 38 科,其中,毛翅目 11 科,蜉蝣目 7 科,襀翅目 3 科,双翅目 5 科,鞘翅目 6 科,半翅目 3 科,广翅目 1 科,蜻蜓目 2 科(见表 1)。

毛翅目、襀翅目、蜉蝣目和双翅目的个体数量之和占水生昆虫总数的 91.13%,科数约占整个水生昆虫总科数的 70%,为四大优势类群(表 1)。其中,毛翅目最多,个体数量占总数的 31.67%,科数占总科数的

28.95% ;其次是襀翅目,个体数量占总数的 28.47% ,科数占总科数的 7.89% ;再者是蜉蝣目,个体数量占总数的 17.30% ,科数占总科数的 18.42% ;最后是双翅目,个体数量占总数的 13.69% ,科数占总科数的 13.16% 。其它类群按照个体数量的多少,依次为鞘翅目、广翅目、半翅目和蜻蜓目。

表 1 凉水、帽儿山流域 3 种类型低级流水生昆虫科及个体数的百分比

Table 1 The percentages of aquatic insect family and quantity in three kinds of lower order streams

昆虫纲 Insecta	科数 Numbers of family	比例 Percentage (%)	数量 Quantity	比例 Percentage (%)
蜉蝣目 Ephemeroptera	7	18.42	849	17.30
襀翅目 Plecoptera	3	7.89	1397	28.47
毛翅目 Trichoptera	11	28.95	1554	31.67
双翅目 Diptera	5	13.16	672	13.69
鞘翅目 Coleoptera	6	15.79	226	4.61
广翅目 Megaloptera	1	2.63	201	4.10
半翅目 Hemiptera	3	7.89	5	0.10
蜻蜓目 Odonata	2	5.26	3	0.06
合计 Total	38	100	4907	100

2.1.2 不同类型流水生昆虫的群落组成

原始林流水生昆虫种类及个体数量最多,共采集 6 目 29 科 2894 个标本,其次是次生林溪流,共采集 6 目 28 科 1604 个标本,农田溪流最少,共采集 7 目 16 科 409 个标本。不同类型流水生昆虫各科数量百分比见表 2。凉水原始林溪流和帽儿山次生林溪流的生境保存较完整,河岸生境稳定,覆盖自然植被,包括树木、林下灌木或非木本大型植物,种类丰富,覆盖度高,没有水土流失迹象,相反,农田溪流的生境遭到较大程度的破坏,河岸受侵蚀严重,临近河岸带的区域受放牧或耕作影响严重。由此可见,不同类型溪流的生境条件影响水生昆虫的种类和数量。

表 2 凉水、帽儿山流域 3 种类型低级流水生昆虫各科数量的百分比

Table 2 The quantity percentages of aquatic insect family in three kinds of lower order streams (%)

目 Order	科 Family	原始林溪流 Old growth forest stream	次生林溪流 Second growth forest stream	农田溪流 Farmland stream
毛翅目 Trichoptera	原石蛾科 Rhyacophiliidae	12.16	6.42	5.38
	鳞石蛾科 Lepidostomatidae	0.52	2.37	—
	沼石蛾科 Limnephilidae	6.74	7.86	8.07
	舌石蛾科 Glossosomatidae	0.35	10.60	—
	短石蛾科 Brachycentridae	4.15	7.11	4.40
	等翅石蛾科 Philopotamidae	—	0.19	—
	齿角石蛾科 Odontoceridae	0.07	—	—
	瘤石蛾科 Goeridae	0.03	2.62	1.22
	乌石蛾科 Uenoidae	0.03	—	—
	纹石蛾科 Hydropsychidae	—	—	36.92
	石蛾科 Phryganeidae	0.21	1.18	1.96
蜉蝣目 Ephemeroptera	短丝蜉科 Siphonurodidae	1.00	0.25	1.47
	新蜉科 Neophemeridae	0.03	—	—
	扁蜉科 Heptageniidae	0.07	5.42	—
	细裳蜉科 Leptophlebiidae	0.21	0.06	—
	四节蜉科 Baetidae	7.22	3.37	—
	小蜉科 Ephemerellidae	0.03	0.19	—
	蜉蝣科 Ephemeridae	10.78	7.36	3.91

续表

目 Order	科 Family	原始林溪流 Old growth forest stream	次生林溪流 Second growth forest stream	农田溪流 Farmland stream
襀翅目 Plecoptera	叉襀科 Nemouridae	36.87	7.11	2.93
	黑襀科 Capniidae	0.14	—	—
	大襀科 Pteronarcyidae	4.80	3.80	—
双翅目 Diptera	大蚊科 Tipulidae	2.76	3.18	24.45
	摇蚊科 Chironomidae	1.94	12.16	6.11
	螺科 Ceratopogonidae	0.38	—	—
	虻科 Tabanidae	—	0.31	—
	蚋科 Simuliidae	3.94	2.18	—
鞘翅目 Coleoptera	平唇水龟科 Hydraenidae	0.03	0.69	—
	小粒龙虱科 Noteridae	0.03	0.19	—
	水黾甲科 Hydroscaphidae	—	0.06	—
	沼梭甲科 Haliplidae	0.76	0.12	—
	水龟甲科 Hydrophilidae	0.62	8.48	—
	龙虱科 Dytiscidae	0.31	1.37	—
半翅目 Hemiptera	跳蝻科 Saldidae	—	0.06	—
	负子蝻科 Belostomatidae	—	—	0.49
	龟蝻科 Gerridae	—	—	0.49
广翅目 Megaloptera	泥蛉科 Sialidae	3.80	5.30	1.47
蜻蜓目 Odonata	大蜻科 Macromiidae	—	—	0.49
	蜻科 Libellulidae	—	—	0.24

由表 2 可见,在原始林溪流中,襀翅目叉襀科个体数量占据绝对优势,个体数占该类型溪流水生昆虫总数的 2/5,其次为毛翅目原石蛾科和蜉蝣目蜉蝣科,分别占该类型溪流水生昆虫总数的 12.16% 和 10.78%,上述 3 科约占原始林溪流水生昆虫总数的 60%;次生林溪流中,优势类群的前 3 位依次是双翅目摇蚊科、毛翅目舌石蛾科和鞘翅目水龟甲科,分别占次生林溪流水生昆虫总数的 12.16%、10.60% 和 8.48%;在农田溪流中,毛翅目纹石蛾科也占绝对优势,个体数占该类型溪流水生昆虫总数的 36.92%,双翅目大蚊科占 24.45%,毛翅目沼石蛾科占 8.07%,这 3 科水生昆虫的个体数占该类型溪流水生昆虫总数的 2/3。

2.1.3 急流区和稳水区水生昆虫群落组成比较

由于 5 月份溪流的流量较少,而 8 月份溪流的流量又较大,导致急流区和稳水区的形成不是非常明显,所以,利用 10 月份的采样数据,比较急流区和稳水区水生昆虫群落组成之间的差别,结果见表 3。在这 3 种类型溪流中,急流区水生昆虫的个体数量要远远多于稳水区,基本都在 2 倍以上。一些水生昆虫的幼虫主要生活在急流区,例如毛翅目等翅石蛾科和纹石蛾科,双翅目虻科和蚋科,蜉蝣目短丝蜉科、扁蜉科和小蜉科,以及蜻蜓目大蜻科,这些种类具有对流水条件的适应机制,如扁平的形体等,能抵御水流冲刷,同时,急流区的特殊理化性质也能为这些种类提供生存所必须的条件。有些种类却只生活在稳水区,如毛翅目瘤石蛾科、蜉蝣目细裳蜉科和半翅目负子蝻科等。

2.1.4 不同类型低级溪流水生昆虫群落的优势集中性

3 种类型低级溪流水生昆虫群落的优势集中性的季节变化趋势是一致的,都是由集中到多样,再集中的过程,在 8 月份达到最低值,也说明此时,水生昆虫的多样性最高(见表 4)。因为 8 月份,降雨量大,径流充沛,加速了物质循环,为水生昆虫提供了丰富的食物,同时,适宜的温度,也促进了水生昆虫的生长与繁殖。原始林溪流和次生林溪流水生昆虫群落的优势集中性在 5 月份最高,尤其是原始林溪流,达到了 0.4368。

次生林溪流水生昆虫群落的优势集中性始终低于原始林溪流和农田溪流,说明次生林溪流中水生昆虫的物种多样性要好于原始林溪流和农田溪流。农田溪流水生昆虫群落的优势集中性在 8 月份和 10 月份比原始

林溪流和次生林溪流都要大,说明农田溪流的水生昆虫物种多样性差,只有较少种类的水生昆虫存在。

表 3 凉水、帽儿山流域溪流急流区和稳水区中水生昆虫群落组成及数量比较

Table 3 The compares of community constitutes and qualities of aquatic insect between riffle and pool

目 Order	分类单元 Taxa	原始林溪流 Old growth forest stream		次生林溪流 Second growth forest stream		农田溪流 Farmland stream	
	科 Family	急流区 Riffle	稳水区 Pool	急流区 Riffle	稳水区 Pool	急流区 Riffle	稳水区 Pool
毛翅目 Trichoptera	原石蛾科 Rhyacophiilidae	173	30	54	12	2	—
	沼石蛾科 Limnephilidae	5	22	7	6	3	2
	舌石蛾科 Glossosomatidae	2	2	45	14	—	—
	短石蛾科 Brachycentridae	52	7	38	18	—	11
	等翅石蛾科 Philopotamidae	—	—	3	—	—	—
	瘤石蛾科 Goeridae	—	—	—	4	—	3
	纹石蛾科 Hydropsychidae	—	—	—	—	132	—
	石蛾科 Phryganeidae	—	—	4	7	5	2
鞘翅目 Coleoptera	平唇水龟科 Hydraenidae	1	—	7	2	—	—
	水龟甲科 Hydrophilidae	15	3	81	55	—	—
	沼梭甲科 Haliplidae	2	20	—	—	—	—
	小粒龙虱科 Noteridae	—	1	1	1	—	—
	龙虱科 Dytiscidae	—	—	8	13	—	—
双翅目 Diptera	大蚊科 Tipulidae	29	8	4	1	8	52
	摇蚊科 Chironomidae	6	14	173	6	9	2
	蠓科 Ceratopogonidae	4	7	—	—	—	—
	蚋科 Simuliidae	4	—	7	1	—	—
蜉蝣目 Ephemeroptera	短丝蜉科 Siphonurodae	27	—	—	—	—	—
	扁蜉科 Heptagniidae	2	—	7	—	—	—
	细裳蜉科 Leptophlebiidae	—	5	—	1	—	—
	四节蜉科 Baetidae	125	43	43	11	—	—
	小蜉科 Ephemerellidae	1	—	—	—	—	—
	蜉蝣科 Ephemeridae	8	5	—	3	—	—
襀翅目 Plecoptera	叉襀科 Nemouridae	409	257	30	6	—	—
	大襀科 Pteronarcyidae	106	31	44	10	—	—
广翅目 Megaloptera	泥蛉科 Sialidae	6	43	21	57	—	3
半翅目 Hemipter	负子蝻科 Belostomatidae	—	—	—	—	—	2
蜻蜓目 Odonata	大蜻科 Macromiidae	—	—	—	—	2	—
科数合计 Total of family	19	16	18	19	7	8	
个体合计 Total of individual	977	498	577	228	161	77	

表 4 凉水、帽儿山流域 3 种类型低级溪流水生昆虫群落季节优势集中性

Table 4 Dominant concentrations of aquatic insect community in three kinds of lower order streams

溪流类型 Kinds of stream	5 月 May	8 月 August	10 月 October
原始林溪流 Old growth forest stream	0.4368	0.1501	0.2491
次生林溪流 Second growth forest stream	0.2766	0.0989	0.1168
农田溪流 Farmland stream	0.2813	0.1552	0.3773

2.1.5 不同类型低级溪流水生昆虫取食功能群的比较

将不同类型溪流水生昆虫的取食功能群按季节划分结果见表 5。

表 5 凉水、帽儿山流域每种类型溪流水生昆虫在 5、8 和 10 月份的取食功能群百分比

Table 5 The percentages of functional feeding group of every kind stream in May, Aug. , and Oct. (%)

溪流类型 Kinds of stream	时间 Time	撕食者 Shredder	收集者 Gatherer	滤食者 Filterer	刮食者 Scraper	捕食者 Predator
原始林溪流 Old growth forest stream	5 月 May	85.38	1.83	1.04	1.57	10.18
	8 月 August	24.81	35.71	20.46	0.29	18.73
	10 月 October	47.05	13.97	6.78	0.41	31.80
次生林溪流 Second growth forest stream	5 月 May	16.04	2.83	12.26	58.49	10.38
	8 月 August	30.74	18.47	17.03	24.96	8.80
	10 月 October	6.34	29.44	8.94	9.81	45.47
农田溪流 Farmland stream	5 月 May	50.00	0.00	16.67	8.33	25.00
	8 月 August	19.05	20.41	42.18	0.00	18.37
	10 月 October	2.10	4.62	85.29	1.26	6.72

由表 5 可见,对于原始林溪流撕食者来讲,它们所占的比例随季节先降后升;而次生林溪流的撕食者所占比例是先升后降;农田溪流则是一直下降。收集者和滤食者都是以细颗粒有机物(fine particulate organic matter, FPOM)为食,原始林溪流中,二者之和随季节变化先升高后下降;在次生林溪流和农田溪流中二者之和则是一直上升。捕食者的比例在原始林溪流中随季节变化一直升高;在次生林溪流中是先下降后升高;农田溪流中则是一直下降。刮食者在原始林溪流和农田溪流中的比例随季节先降后升,而在次生林溪流中则一直下降。

2.2 溪流水质的生物评价

2.2.1 指示生物

毛翅目齿角石蛾科、蜉蝣目新蜉科和襁翅目黑襁科仅在原始林溪流中采集到,根据其耐污值(分别为 0、0 和 1),确定这 3 科水生昆虫对原始林溪流水质洁净具有指示作用。毛翅目鳞石蛾科在原始林溪流和次生林溪流中采到,其耐污值为 1,对污染也非常敏感,该科水生昆虫也可确定其对原始林和次生林溪流水质清洁具有指示作用。

2.2.2 Shannon-Weiner 多样性指数

由不同类型溪流水生昆虫的 Shannon-Weiner 多样性指数和相应的水质评价结果(表 6)可知,原始林溪流 8 月份的水质、次生林溪流 8 月份和 10 月份的水质属于清洁;原始林溪流 10 月份的水质、次生林溪流 5 月份的水质属于轻污染;原始林溪流 5 月份、农田溪流 5 月份和 8 月份的水质属于中污染;农田溪流 10 月份的水质属于重污染。

表 6 凉水、帽儿山流域 3 种类型溪流水生昆虫的 Shannon-Weiner 多样性指数及水质评价结果

Table 6 Shannon-Weiner diversity index and the results of water quality assessment in three kinds of streams

溪流类型 Kinds of stream	采样时间 Time of sampling	多样性指数 Diversity index	水质状况 Water quality
原始林溪流 Old growth forest stream	5 月 May	1.6918	中污染 Fair
	8 月 August	3.1592	清洁 Good
	10 月 October	2.7569	轻污染 Good-fair
次生林溪流 Second growth forest stream	5 月 May	2.6514	轻污染 Good-fair
	8 月 August	3.6100	清洁 Good
	10 月 October	3.4984	清洁 Good
农田溪流 Farmland stream	5 月 May	1.0375	中污染 Fair
	8 月 August	1.2618	中污染 Fair
	10 月 October	0.7926	重污染 Poor

根据水生昆虫群落季节优势集中性可知(表 4),原始林溪流中水生昆虫群落季节优势集中性的顺序

是 5 月份 > 10 月份 > 8 月份, 结合 Shannon-Weiner 多样性指数评价原始林溪流水质的结果, 发现随水质污染程度的加深, 水生昆虫群落的优势集中性逐渐变大, 即随水质污染程度的加深, 水生昆虫的物种多样性逐渐减少。次生林溪流和农田溪流都符合这一规律。

2.2.3 群落相似性系数分析

根据北美山地溪流底栖动物共有分类单元水质评价标准, 不同类型溪流水生昆虫之间的群落相似性系数结果见表 7。由表 7 可见, 10 月份原始林溪流和次生林溪流的水生昆虫群落相似性系数为 83.72%, 大于 70%, 说明原始林溪流和次生林溪流水质对水生昆虫群落组成没有影响。原始林溪流和次生林溪流在 5 月份和 8 月份的群落相似性系数、次生林溪流和农田溪流在 8 月份和 10 月份的群落相似性系数, 以及原始林溪流和农田溪流在 5 月份与 8 月份的群落相似性系数, 都大于等于 50%, 且小于等于 70%, 说明两者的水质有轻微的差别, 对水生昆虫群落组成产生了轻微的影响。次生林溪流和农田溪流在 5 月份的水生昆虫群落相似性系数、原始林溪流和农田溪流在 10 月份的水生昆虫群落相似性系数, 都小于 50%, 且大于 30%, 说明两者的水质对水生昆虫的群落组成产生了中等程度的影响。

表 7 凉水、帽儿山流域不同类型溪流水生昆虫群落相似性系数
Table 7 Similarity index of aquatic insects in different kinds of streams

相似性系数 Similarity index	5 月 May	8 月 August	10 月 October
原始林溪流与次生林溪流 Old growth forest stream and Second growth forest stream	0.5926	0.7000	0.8372
次生林溪流与农田溪流 Second growth forest stream and Farmland stream	0.4545	0.5882	0.5000
原始林溪流与农田溪流 Old growth forest stream and Farmland stream	0.6316	0.6250	0.4242

2.2.4 BI 指数

按照山地溪流 BI 指数水质评价标准, BI 指数计算结果及水质生物评价结果见表 8。由表 8 可见, 原始林溪流 5 月份和 10 月份的水质, 次生林溪流、农田溪流 5 月份的水质, 属于最清洁; 原始林溪流 8 月份的水质, 次生林溪流 8 月份和 10 月份的水质, 农田溪流 8 月份的水质, 属于清洁; 农田溪流 10 月份的水质, 属于轻污染。可见, 原始林溪流和次生林溪流水质均能达到清洁标准, 农田溪流水质则随季节逐渐变差。

表 8 凉水、帽儿山流域 3 种类型溪流 BI 指数的水质评价结果
Table 8 Assessment results of water quality with BI in three kinds of streams

溪流类型 Kinds of stream	采样时间 Time of sampling	BI 指数 Biotic index	水质状况 Water quality
原始林溪流 Old growth forest stream	5 月 May	2.45	最清洁 Excellent
	8 月 August	3.29	清洁 Good
	10 月 October	2.27	最清洁 Excellent
次生林溪流 Second growth forest stream	5 月 May	1.67	最清洁 Excellent
	8 月 August	2.98	清洁 Good
	10 月 October	4.72	清洁 Good
农田溪流 Farmland stream	5 月 May	1.88	最清洁 Excellent
	8 月 August	4.03	清洁 Good
	10 月 October	4.87	轻污染 Good-fair

3 讨论

3.1 东北山区低级溪流水生昆虫群落特征

毛翅目、襀翅目和蜉蝣目为东北山区溪流水生昆虫的三大优势类群, 其个体数量之和占水生昆虫总数的 91.13% (表 1), 而童晓立研究广东南昆山溪流水生昆虫的群落结构与本研究结果一致^[8], 上述三大类群个体数占总数的 79%。可见, 毛翅目、襀翅目和蜉蝣目三大敏感类群广布于我国南方和北方溪流中, 而此 3 类正

是溪流水质生物评价应用最广泛的类群。但是,由表 1 可知本文采集毛翅目 11 科 11 种、蜉蝣目 7 科 7 种和襁翅目 3 科 3 种,而童晓立在南昆山溪流采集毛翅目 12 科 30 种、蜉蝣目 9 科 30 种和襁翅目 2 科 12 种,可见本研究水生昆虫的物种多样性比南方小。水质是导致这种差异的一个重要因素^[26],本文农田溪流的水质较差,降低了水生昆虫的物种多样性,而南昆山溪流均为清洁水质,为水生昆虫提供了良好的条件,同时,水温是另外一个重要的影响因子^[27],北方的水温较低,限制了水生昆虫的繁殖和生存。

本文首次依据溪流的集水区、集水区内的主要植被,以及溪流两岸土地利用状况不同将溪流分成原始林溪流、次生林溪流和农田溪流。物种丰富度作为群落特征的一个综合描述受众多因素的影响,例如,环境稳定性、生态系统生产力和异质性,以及生物因素等^[24]。原始林溪流水生昆虫物种丰富度最大,其次是次生林溪流,农田溪流最少。其中,原始林溪流水生昆虫种类和次生林溪流基本相近,但是其数量是次生林溪流的 1.8 倍,而上述两者分别是农田溪流水生昆虫数量的 7.1 倍和 3.9 倍,导致农田溪流水生昆虫种类和数目最少的原因是多方面的,比如有机污染、生境退化和杀虫剂的大量应用等^[25]。

3.2 水质生物评价方法的选取及评价结果比较

不同的生物指数只反映生物群落特征的某一侧面,本文选取了群落结构、功能与有关的指数和与生物耐污能力有关的 BI 指数,能更全面的对水质进行评价,增加评价的有效性。

指示生物表明原始林溪流水质清洁,次生林稍差,但也能达到清洁标准,农田溪流水质最差;BI 指数评价结果表明 3 种类型溪流在 5 月份和 8 月份水质能达到清洁标准以上,在 10 月份,原始林好于次生林,农田溪流水质最差(表 8),这个结果和指示生物法的结果基本一致。

除了 8 月份原始林溪流水质、8 月份和 10 月份次生林溪流水质评价结果相同外,Shannon-Weiner 多样性指数与 BI 指数评价结果存在差异,即 Shannon-Weiner 多样性指数评价结果均比 BI 指数评价结果差,比如 5 月份原始林溪流水质多样性指数评价结果为中污染(表 6),而 BI 指数评价结果则为最清洁(表 8)。由于 Shannon-Weiner 多样性指数评价标准采用王备新的分级标准,此标准是按照南方溪流特点制定,标准较高,导致评价结果产生偏差,制定适合于北方溪流的评价标准有待于进一步研究;BI 指数引进了水生昆虫的耐污值,更能准确的反应北方山区低级溪流的水质标准,适合于在此地区应用。群落相似性系数是比较两者之间的相似程度,与 Shannon-Weiner 多样性指数和 BI 指数的量纲不一致,难以得出简单明确的综合评价结果。

References:

- [1] Wang B X, Yang L F. Bioassessment of Qinhuai River using a river biological index. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10):2082—2091.
- [2] Dai Y Z, Tang S Y, Zhang J B. The distribution of zoobenthos species and bioassessment of water quality in Dongting Lake. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(2):277—282.
- [3] Wang B X, Yang L F. Advances in rapid bioassessment of water quality using benthic macroinvertebrates. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2001, 24(4):107—111.
- [4] Daren M C, Michael R M, Stephen R M, *et al.* Estimation and application of indicator values for common macroinvertebrate genera and families of the United States. *Ecological Indicators*, 2007, 7: 22—33.
- [5] Jorgen B, Claudia R J, Armin Z, *et al.* Assessing streams in Germany with benthic invertebrates: Development of a multimetric invertebrate based assessment system. *Limnologia*, 2004, 34:416—432.
- [6] Ke X, Yang L F, Sun C H, *et al.* Diversity of aquatic insects and bioassessment of water quality of Fengxi river in Anhui Province. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1996, 19(3): 37—43.
- [7] Ren S Z. The characteristics of benthic macroinvertebrate community and water quality in Beijing-Tianjin area. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11(3):262—268.
- [8] Tong X L, Hu H J, Chen S Y. Use of aquatic insects to evaluate water quality in the stream of Mt. Nankun. *Journal of South China Agricultural University*, 1995, 16(3):6—10.
- [9] Wang B X, Yang L F, Hu B J, *et al.* A preliminary study on the assessment of stream ecosystem health in south of Anhui Province using benthic index of biotic index integrity. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6):1481—1489.
- [10] Dong W H, Yin X Q. Dynamic characteristics of soil collembolans in the birch forest of Xiao xinganling. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24

- (3):278—282.
- [11] Niu J Z, Yu X X, Gao J R. Landscape dynamics in Liangshui nature reserve, northeast China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2003, 23 (3):74—78.
- [12] Mou P, Wang Q C, Anne E. Hershey, *et al.* Land-use, stream order and stream water physical and chemical qualities. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7):1486—1492.
- [13] Barbour M T, Gerritsen J, Griffith G E, *et al.* A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 1996, 15(2):185—211.
- [14] Bailey R, Norris R H, Reynoldson T B. Taxonomic resolution of benthic macroinvertebrate communities in bioassessments. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 2001, 20(2):280—286.
- [15] Grime J P. Biodiversity and ecosystem function: the debate deepens. *Science*, 1997, 277: 260—261.
- [16] Early S K, Newell R L, Medina V F. Use of macroinvertebrate and chemical indices to assess water quality of an irrigation wastewater. *Journal of Freshwater Ecology*, 2002, 17(2):191—197.
- [17] Wallace J B, Webster J R. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annual Review of Entomology*, 1996, 41: 115—139.
- [18] Cummins K W, Klug M J. Feeding ecology of stream invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1979, 10:147—172.
- [19] Zhao Y B, Xu W D, Guo Y X. Biological indicative function and water environment. *Water Resources Protection*, 2002, 2:11—16.
- [20] Xiong Y Q. Progress on biological methods for water quality assessment and monitoring. *Shanghai Environmental Sciences*, 2000, 19(2):79—81.
- [21] Lenat D R. A biotic index for the southeastern United States: derivation and list of tolerance values, with criteria for assigning water quality ratings. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 1993, 12(3):279—290.
- [22] Hilsenhoff W L. Rapid field assessment of organic pollution with a family level biotic index. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 1988, 7(1):65—68.
- [23] Wang J G, Huang H B, Yang M X, *et al.* Tolerance values of benthic macroinvertebrates and bioassessment of water quality in the Lushan nature reserve. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2003, 9(3):279—284.
- [24] Young S P, Regis C, Arthur C, *et al.* Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters. *Ecological Modelling*, 2003, 160: 265—280.
- [25] Norbert B, Thomas K, Holger K, *et al.* Macroinvertebrate community structure in agricultural streams: impact of runoff-related pesticide contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, 60: 37—46.
- [26] Michael S, Ian S, Litay R, *et al.* Relationship between macroinvertebrate fauna and environmental variables in small streams of the Dominican Republic. *Water Research*, 2004, 38:863—874.
- [27] Arthur C, Regis C. Sensitivity of aquatic insect species richness to disturbance in the Adour Garonne stream system (France). *Ecological Indicators*, 2003, 3:135—142.

参考文献:

- [1] 王备新,杨莲芳.用河流生物指数评价秦淮河上游水质的研究. *生态学报*,2003,23(10):2082~2091.
- [2] 戴友芝,唐受印,张建波.洞庭湖底栖动物种类分布及水质生物学评价. *生态学报*,2000,20(2):277~282.
- [3] 王备新,杨莲芳.大型底栖无脊椎动物水质快速生物评价的研究进展. *南京农业大学学报*,2001,24(4):107~111.
- [6] 柯欣,杨莲芳,孙长海,等.安徽丰溪河水生昆虫多样性及其水质生物评价. *南京农业大学学报*,1996,19(3):37~43.
- [7] 任淑智.京津地区及邻近地区底栖动物群落特征与水质等级. *生态学报*,1991,11(3):262~268.
- [8] 童晓立,胡慧建,陈思源.利用水生昆虫评价南昆山溪流的水质. *华南农业大学学报*,1995,16(3):6~10.
- [9] 王备新,杨莲芳,胡本进,等.应用底栖动物完整性指数 B-IBI 评价溪流健康. *生态学报*,2005,25(6):1481~1489.
- [10] 董伟华,殷秀琴.小兴安岭白桦林土壤跳虫的动态特征. *生态学杂志*,2005,24(3):278~282.
- [11] 牛健植,余新晓,高甲荣.凉水自然保护区景观动态研究初探. *北京林业大学学报*,2003,23(3):74~78.
- [12] 牟溥,王庆成,Anne E Hershey,等.土地利用、溪流级别与溪流河物理化学性质的关系. *生态学报*,2004,24(7):1486~1492.
- [19] 赵怡冰,许武德,郭宇欣.生物的指示作用与水环境. *水资源保护*,2002,2:11~16.
- [20] 熊昀青.水质评价和监测的生物学方法进展. *上海环境科学*,2000,19(2):79~81.
- [23] 王建国,黄恢柏,杨明旭,等.庐山地区底栖无脊椎动物耐污值与水质生物学评价. *应用与环境生物学报*,2003,9(3):279~284.