

doi: 10.7541/2013.111

淮河中游浮游甲壳动物群落结构的季节动态

邓道贵 杨 威 孟小丽 葛 茜 金显文 胡振东

(淮北师范大学生命科学学院, 资源植物生物学安徽省重点实验室, 淮北 235000)

摘要: 2007年1—12月对淮河中游浮游甲壳动物群落结构的季节动态进行研究。共记录浮游甲壳动物24种, 其中枝角类8属13种、桡足类9属11种。枝角类在4月和9月形成两个峰值, 即 (28.2 ± 21.6) ind/L和 (40.8 ± 10.1) ind/L, 其优势种分别为僧帽溞 *Daphnia cucullata* 和脆弱象鼻溞 *Bosmina fatalis*。捕食性桡足类—近邻剑水蚤 *Cyclops vicinus vicinus*、广布中剑水蚤 *Mesocyclops leuckarti* 和台湾温剑水蚤 *Thermocyclops taihokuensis* 分别在4月、5月和6月形成较大的密度。汤匙华哲水蚤 *Sinocalanus dorrii* 和中华窄腹剑水蚤 *Limnoithona sinensis* 分别在5月和8月占优势。小型浮游植物($\leq 20 \mu\text{m}$)生物量在4月达到最大值, 之后快速下降, 而较大浮游植物($> 20 \mu\text{m}$)生物量从4月上升, 到7月达到最大值。典型冗余分析(RDA)显示, 溞属 *Daphnia* 的仲春下降与捕食性桡足类(尤其是近邻剑水蚤)的摄食压力、浮游植物生物量的季节变化密切相关。

关键词: 淮河; 浮游甲壳动物; 溞属; 群落结构; 季节动态

中图分类号: Q145⁺.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2013)05-0869-07

淮河属我国七大水系之一, 介于长江和黄河两流域之间, 全长约1000 km, 总落差约200 m。发源于河南省桐柏山、伏牛山, 跨河南、安徽、山东、江苏4省, 为我国东部南北方的天然分界线, 淮河干流以南为亚热带气候、以北是暖温带气候。淮河流域安徽段地处淮河中游, 流经阜阳、六安、淮南、蚌埠、滁州5市, 长约420 km。该地区水系复杂, 除淮河干流外, 两岸分布着一连串的天然与人工湿地, 鱼类资源十分丰富^[1]。淮河年径流量主要集中在6—9月, 冬春干旱少雨, 最大与最小月径流量的比为30。自20世纪80年代以来, 由于工农业废水和生活污水的不断排入, 淮河水质持续处于污染状态^[2]。胡巍巍等调查还发现, 淮河干流区上游水质较好, 下游次之, 中游为平原地带、污染最严重^[3]。

浮游甲壳动物是水体生态系统中食物链的重要组成部分, 水温、食物的数量和质量、营养盐浓度及鱼类的捕食压力等是影响浮游甲壳动物群落结构季节动态的重要因素^[4—7]。另外, 由于浮游甲壳动物对水质变化敏感, 可以作为水体污染和监测的指示动物^[8]。有关淮河浮游生物的研究仅见少量的

报道^[9]。本文研究了淮河中游(安徽段)浮游甲壳动物群落结构的季节变化及其与环境因子的关系, 探讨溞属种类季节动态的作用机制, 以期为淮河渔业资源的可持续利用、水质监测提供参考。

1 材料与方法

1.1 采样时间和采样点设置

2007年1月—12月对淮河中游干流进行了调查研究。在安徽寿县($32^{\circ}35.45'N$, $116^{\circ}41.55'E$)、淮南市($33^{\circ}40.23'N$, $117^{\circ}0.77'E$)、蚌埠市($32^{\circ}56.91'N$, $117^{\circ}20.25'E$)和五河县($33^{\circ}8.13'N$, $117^{\circ}53.62'E$)共设4个采样点(图1), 每月采集1次标本。

1.2 理化指标的测定

水温和透明度在采样时直接用温度计、Secchi透明度盘测得。用硅钼黄分光光度法测定可溶性的二氧化硅(SiO_2), 用钼酸铵分光光度法测定总磷(TP)^[10]。

1.3 浮游甲壳动物样品的采集与处理

采集浮游甲壳动物定性标本时, 将13#浮游生物网($112 \mu\text{m}$)在水中做 ∞ 形回旋多次, 收集样品。在

收稿日期: 2012-07-11; 修订日期: 2013-05-19

基金项目: 国家自然科学基金(31070387); 淡水生态与生物技术国家重点实验室开放项目(2007PB02)资助

通信作者: 邓道贵, 男, 安徽巢湖人; 教授, 博士; 主要从事浮游生物生态学研究。E-mail: dengdg@263.net

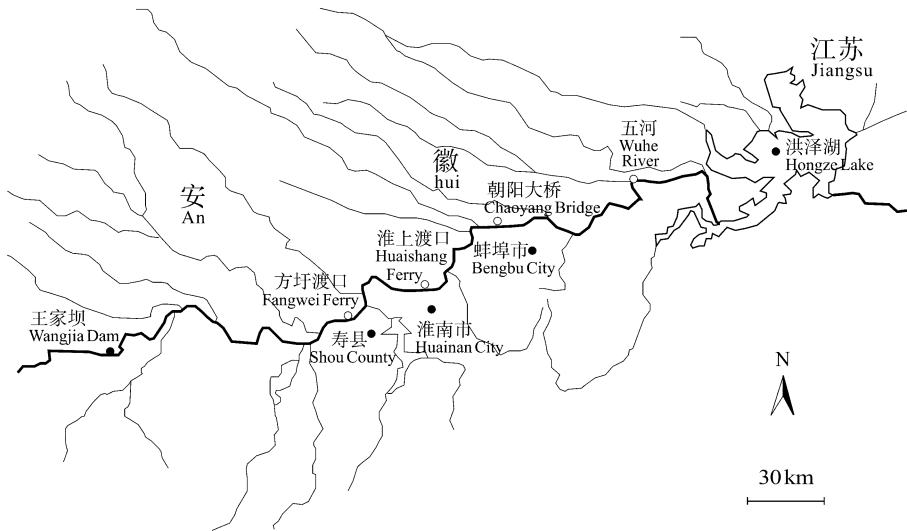


图1 淮河中游采样点位置

Fig. 1 Sampling stations in the middle reaches of the Huaihe River

采集定量标本时,根据采样点的水深,用 5 L 有机玻璃采水器分表层、1.5 m、2.5 m 和底层进行采样,每层取 10 L 水样,再用 25# 浮游生物网(64 μm)过滤,过滤后的标本用 5% 甲醛溶液固定、保存。枝角类的鉴定主要参照《中国动物志·淡水枝角类》^[11],桡足类参照《中国动物志·淡水桡足类》^[12]。

1.4 浮游植物样品的采集与处理

用 2.5 L 有机玻璃采水器分表层、1.5 m、2.5 m 和底层采集混合水样。用 Lugol's 试剂固定的 1 L 浮游植物水样带回实验室,沉淀 48h 后,吸取上清液,浓缩至 30 mL。显微镜下计数。浮游植物生物量的估算参照章宗涉和黄祥飞的研究方法^[13]。浮游植物的鉴定主要参照《中国淡水藻类—系统、分类及生态》^[14]。

1.5 浮游甲壳动物的物种多样性

Shannon-Weiner 指数 (H'): $H' = -\sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$ 。式

中 s 代表种类数, p_i 代表第 i 种密度占总密度中的比例。

1.6 浮游甲壳动物的优势度

物种优势度 (D) = $N_i \times f/N$, 其中 N_i 为某种类的平均密度, N 为总平均密度, f 为频率。优势度 $D > 0.02$ 的物种确定为优势种。

1.7 浮游甲壳动物与环境因子间的冗余分析(RDA)

由于浮游甲壳动物和理化指标的原始数据变异程度较大,因此,原始数据通过 $\log_{10}(x+1)$ 转换以满足方差分析所需的正态性。利用统计软件 CANOCO 4.5 对淮河浮游甲壳动物的物种先进行去趋势对应分析(Detrended Correspondence Analysis, DCA)以检

验其第 1 轴的梯度长,其结果为 2.336,因此选择典型冗余分析(Redundancy analysis, RDA)。通过蒙特卡罗置换检验(Monte Carlo Permutation test)对环境变量进行自动筛选。最后选出象鼻溞属 *Bosmina* sp.、网纹溞 *Ceriodaphnia* sp.、溞属 *Daphnia*、短尾秀体溞 *Diaphanosoma brachyurum*、微型裸腹溞 *Moina micrura*、中华窄腹剑水蚤 *Limnithona sinensis*、近邻剑水蚤 *Cyclops vicinus vicinus*、广布中剑水蚤

Mesocyclops leuckarti、汤匙华哲水蚤 *Sinocalanus dorrii* 和台湾温剑水蚤 *Thermocyclops taihokuensis* 等浮游甲壳动物及捕食性桡足类、梅尼小环藻 *Cyclotella meneghiniana*、裸藻属 *Euglena* sp.、直链藻属 *Melosira* sp.、颤藻属 *Oscillatoria* sp.、小席藻 *Phormidium tenue*、栅藻属 *Scenedesmus* sp.、透明度、溶解氧、二氧化硅、水温、总磷等环境因子进行 RDA 分析。

2 结果

2.1 淮河中游理化因子和浮游植物的季节变化

淮河中游各采样点理化指标的年平均值见表 1。透明度在各采样点均较低(< 0.5 m)。水温呈现夏秋季较高、冬春季较低,平均范围为 5.2—31.6 $^{\circ}\text{C}$ 。溶解氧在冬季和初春较高,在温暖季节较低。4 个采样点总磷的年平均值均在 0.11 mg/L 以上,蚌埠采样点的总磷年平均值(0.17 mg/L)最大。二氧化硅在 4 个采样点的年平均值差异较小。

淮河中游浮游植物生物量在各采样点的年平均值见表 1,即寿县 $>$ 五河 $>$ 淮南 $>$ 蚌埠。小型浮游植物(< 20 μm)生物量在春夏季节较高(优势种类为梅尼小环藻 *Cyclotella meneghiniana*、裸甲藻 *Gymnodinium aerucyinosum*、新月藻属 *Closterium* sp. 和裸藻属 *Euglena* sp.),而在秋冬季节较低。较大型浮游植物(> 20 μm)生物量从 4 月上升,到 7 月达到最大值(优势类群为直链藻属 *Melosira*),而后快速下降,并在秋、冬季节保持较低的生物量。

表 1 淮中游理化指标和浮游植物生物量的年平均值

Tab. 1 Annual average value of physical-chemical parameters and phytoplankton biomass in the middle reaches of the Huaihe River

指标 Parameters	五河 Wuhe station	蚌埠 Bengbu station	淮南 Huainan station	寿县 Shouxian station
透明度 Transparency (m)	0.43 ± 0.19	0.40 ± 0.12	0.40 ± 0.11	0.41 ± 0.12
水温 Temperature ()	18.9 ± 8.5	19.2 ± 8.8	19.7 ± 9.1	19.3 ± 9.5
溶解氧 Dissolved oxygen (mg/L)	7.53 ± 2.4	7.91 ± 2.7	7.80 ± 2.6	8.07 ± 2.8
二氧化硅 SiO ₂ (g/L)	1.41 ± 0.84	1.56 ± 0.81	1.46 ± 0.68	1.60 ± 0.93
总磷 Total phosphorus (mg/L)	0.11 ± 0.07	0.17 ± 0.06	0.16 ± 0.09	0.14 ± 0.06
浮游植物生物量 Phytoplankton biomass (mg/L)	1.17 ± 1.30	0.85 ± 0.74	1.13 ± 1.06	1.54 ± 1.17

2.2 淮中游浮游甲壳动物的种类和优势种

共记录淮中游浮游甲壳动物 24 种, 其中枝角类 8 属 13 种、桡足类 9 属 11 种(表 2)。在 4 个采样点均采集到的枝角类有 9 种, 即僧帽蚤 *Daphnia cucullata*、蚤状蚤 *D. pulex*、隆线蚤 *D. carinata*、透明蚤 *D. hyalina*、脆弱象鼻蚤 *Bosmina fatalis*、短尾秀体蚤 *Diaphanosoma brachyurum*、微型裸腹蚤 *Moina micrura*、颈沟基合蚤 *Bosminopsis deitersi*、角突网纹蚤 *Ceriodaphnia cornuta*; 桡足类有 6 种, 即广布中剑水蚤 *Mesocyclops leuckarti*、近邻剑水蚤 *Cyclops vicinus vicinus*、台湾温剑水蚤 *Thermocyclops taihokuensis*、中华窄腹剑水蚤 *Limnoithona sinensis*、汤匙华哲水蚤 *Sinocalanus dorrii*、球状许水蚤 *Schmackeria forbesi*。大型蚤和方形网纹蚤仅在寿县采样点采集到。根据物种的优势度 $D = 0.02$ 为优势种的原则, 僧帽蚤、脆弱象鼻蚤和短尾秀体蚤均为淮中游枝角类的优势种, 但僧帽蚤仅在淮南段占优势, 而脆弱象鼻蚤在淮中游均为优势种。广布中剑水蚤、台湾温剑水蚤、近邻剑水蚤、中华窄腹剑水蚤和汤匙华哲水蚤均为淮中游桡足类的优势种, 但广布中剑水蚤仅在五河段和寿县段占优势(表 2)。

2.3 淮中游浮游甲壳动物密度的季节动态

淮中游浮游甲壳动物密度呈现明显的季节变化, 其变动范围为 7.9—58.0 ind./L, 年平均值为 13.2 ind./L。浮游甲壳动物密度在春季(4 月)和秋季(9 月)形成两个峰值, 即(55.5±34.1) ind./L 和

表 2 淮中游浮游甲壳动物的种类组成和优势度

Tab. 2 Species structure and distribution of crustacean zooplankton in the middle reaches of the Huaihe River

种类 Species	五河 Wuhe station	蚌埠 Bengbu station	淮南 Huainan station	寿县 Shouxian station
枝角类 Cladocera				
僧帽蚤 <i>Daphnia cucullata</i>	0.00459	0.01454	0.04266	0.01932
蚤状蚤 <i>D. pulex</i>	0.00312	0.00324	0.00516	0.00188
隆线蚤 <i>D. carinata</i>	0.00047	0.00044	0.00003	0.00021
透明蚤 <i>D. hyalina</i>	0.00003	0.00117	0.00093	0.00069
大型蚤 <i>D. magna</i>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00004
脆弱象鼻蚤 <i>Bosmina fatalis</i>	0.23003	0.39672	0.30558	0.23443
短尾秀体蚤 <i>Diaphanosoma brachyurum</i>	0.05109	0.01306	0.03270	0.04720
微型裸腹蚤 <i>Moina micrura</i>	0.00968	0.00489	0.00962	0.01364
颈沟基合蚤 <i>Bosminopsis deitersi</i>	0.00115	0.00232	0.00566	0.00860
角突网纹蚤 <i>Ceriodaphnia cornuta</i>	0.01153	0.00434	0.00479	0.00607
方形网纹蚤 <i>C. quadrangula</i>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001
卵形盘肠蚤 <i>Chydorus ovalis</i>	0.00001	0.00001	0.00002	0.00000
矩形尖额蚤 <i>Alona rectangula</i>	0.00000	0.00014	0.00022	0.00024
桡足类 Copepod				
锯缘真剑水蚤 <i>Eucyclops serrulatus serrulatus</i>	0.00019	0.00003	0.00010	0.00000
广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	0.02595	0.00710	0.00031	0.02492
台湾温剑水蚤 <i>Thermocyclops taihokuensis</i>	0.08079	0.04983	0.07376	0.09607
近邻剑水蚤 <i>Cyclops vicinus vicinus</i>	0.05673	0.06765	0.06927	0.14933
中华窄腹剑水蚤 <i>Limnoithona sinensis</i>	0.04950	0.08921	0.10711	0.01374
汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>	0.12815	0.10069	0.10220	0.03691
球状许水蚤 <i>Schmackeria forbesi</i>	0.00121	0.00313	0.00165	0.00014
指状许水蚤 <i>S. inopinus</i>	0.00005	0.00000	0.00002	0.00004
大型中镖水蚤 <i>Sinodiaptomus sarsi</i>	0.00009	0.00000	0.00125	0.00003
小剑水蚤属一种 <i>Microcyclops sp.</i>	0.00000	0.00004	0.00000	0.00009
一种猛水蚤 Harpacticoida	0.00000	0.00001	0.00000	0.00000

(58.0±23.0) ind./L(图 2)。淮河中游枝角类和桡足类密度也呈现明显的季节变化。枝角类在春季(4月)和秋季(9月)形成两个峰值,即(28.2±21.6) ind./L和(40.8±10.1) ind./L。其优势种分别为僧帽溞和脆弱象鼻溞。桡足类密度最大值(27.3±16.1) ind./L出现在4月,其优势种为近邻剑水蚤(图 2)。

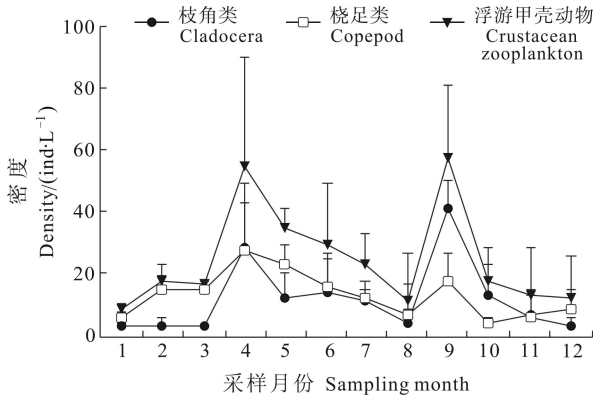


图 2 淮河中游浮游甲壳动物密度的季节变化

Fig. 2 Seasonal variations of crustacean zooplankton densities in the middle reaches of the Huaihe River

Daphnia 在 4 月形成较高的密度, 其中在淮南采样点密度最高(35.8 ind./L), 其他季节较低或消失。象鼻溞在温暖季节形成较大的密度, 并在 9 月各采样点中出现最大值。捕食性桡足类在春夏季节均保持较高的种群密度, 种类有近邻剑水蚤、广布中剑水蚤和台湾温剑水蚤。近邻剑水蚤 4 月在各采样点均有较高的密度, 最大值(33.8 ind./L)出现在淮南采样点。广布中剑水蚤 5 月在五河和寿县采样点密度较高, 分别为 27.5 和 17.1 ind./L。台湾温剑水蚤在 6 月和 7 月形成较高的种群密度。汤匙华哲水蚤和中华窄腹剑水蚤分别在 5 月和 8 月具有较高的种群密度, 其他月份较低或缺乏(图 3)。

在淮河中游, 香农-威纳多样性指数的平均变化范围为 1.45—2.41, 年平均值为 1.85。香农-威纳多样性指数的最大值(2.41)出现在 6 月, 最小值(1.45)出现在 3 月(图 4)。

2.4 淮河中游浮游甲壳动物与环境因子之间的相互关系

典型冗余分析(RDA)的前选和蒙特卡罗置换检验(Monte Carlo Permutation test)表明(表 3), 影响淮河中游浮游甲壳动物的环境因素有: 捕食性桡足类、梅尼小环藻 *C. meneghiniana*、裸藻属 *Euglena* sp.、直链藻属 *Melosira* sp.、颤藻属 *Oscillatoria* sp.、小席藻 *P. tenue*、栅藻属 *Scenedesmus* sp.、透明度、溶解

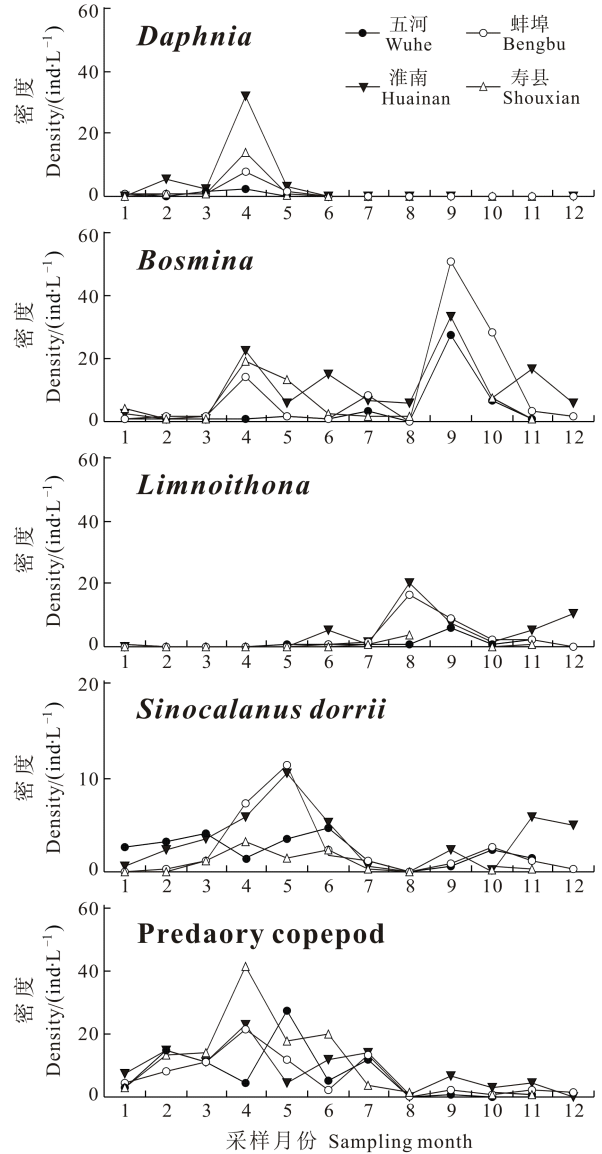


图 3 淮河中游浮游甲壳动物优势种密度的季节动态

Fig. 3 Seasonal dynamics of dominant species densities of crustacean zooplankton in the middle reaches of the Huaihe River

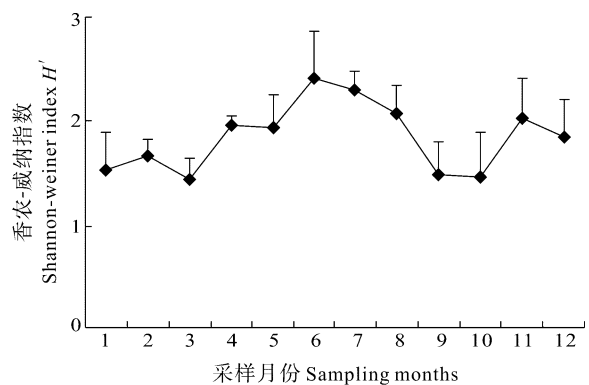


图 4 淮河中游香农-威纳指数的季节变化

Fig. 4 Seasonal variations of shannon-weiner index in the middle reaches of the Huaihe River

氧、二氧化硅、水温、总磷(图 5)。第一、二轴共解释了浮游甲壳动物数据 80.6%的方差值。

表 3 淮河中游浮游甲壳动物和环境因子的冗余分析结果
Tab. 3 Redundancy analysis between crustacean zooplankton and environmental factors in the middle reaches of the Huaihe River

排序轴 Axes	1	2	3	4
特征值 Eigenvalues	0.327	0.146	0.061	0.030
物种-环境相关系数 Species-environment correlations	0.901	0.852	0.710	0.513
累积变异百分比 Cumulative percentage variance:				
物种 Species data	32.7	47.2	53.3	56.3
物种-环境 of species-environment relation	55.7	80.6	90.9	96.1

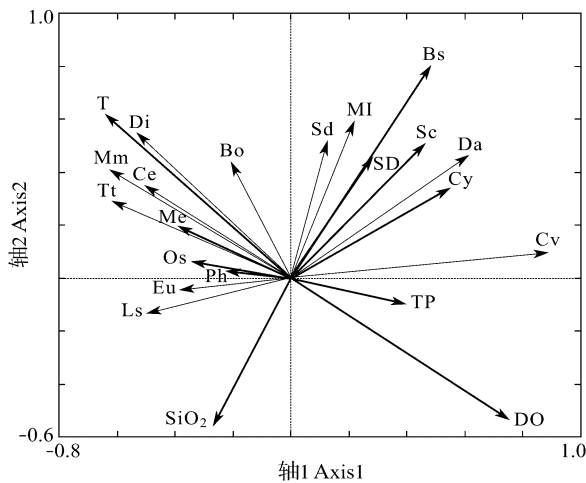


图 5 淮河中游浮游甲壳动物优势种与理化因子的冗余分析
Fig. 5 Redundancy analysis between crustacean zooplankton and physical-chemical parameters in the middle reaches of the Huaihe River
Bo: 象鼻溞 *Bosmina*, Ce: 网纹溞 *Ceriodaphnia* sp., Cv: 近邻剑水蚤 *C. vicinus vicinus*, Da: 溞属 *Daphnia*, Di: 短尾秀体溞 *D. branchyurum*, Ls: 中华窄腹剑水蚤 *L. sinensis*, MI: 广布中剑水蚤 *M. leuckarti*, Mm: 微型裸腹溞 *M. micrura*, Sd: 汤匙华哲水蚤 *S. dorrii*, Tt: 台湾温剑水蚤 *T. taihokuensis*, Bs: 捕食性桡足类 predatory copepod, Cy: 梅尼小环藻 *Cyclotella meneghiniana*, DO: 溶解氧 Dissolved oxygen, Eu: 裸藻属 *Euglena*, Me: 直链藻属 *Melosira*, Os: 颤藻属 *Oscillatoria*, Ph: 小席藻 *Phormidium tenue*, SD: 透明度 Transparency, Sc: 栅藻属 *Scenedesmus*, SiO₂: 二氧化硅, T: 水温 Temperature, TP: 总磷 Total phosphorus

溞属 *Daphnia* 与捕食性桡足类、浮游植物(尤其是栅藻和梅尼小环藻等小型种类)、溶解氧和总磷呈正相关。几种小型枝角类(如微型裸腹溞、网纹溞、脆弱象鼻溞、短尾秀体溞等)与水温、丝状藻类(小席藻、颤藻和直链藻等)呈正相关关系(图 5)。

3 讨论

Daphnia 仲夏减弱(Midsummer decline)是水体

浮游甲壳动物季节演替的一个普遍现象, 通常受多种生态因子的制约^[4, 15-18]。在德国的 Bautzen 水库, Benndorf, *et al.*通过 18 年的研究发现, 水温的变化是控制 *Daphnia* 仲夏减弱发生和持续的关键诱因^[4]。Hülsmann 和 Weiler 结合 Bautzen 水库的野外调查和室内培养实验发现, *Daphnia galeata* 在达到高密度之后, 其繁殖力和补充群体大大降低。并认为在食物条件恶化和补充群体较低的情况下, 相同年龄的峰值群体(Peak cohort)成熟、衰老和死亡是引起 *Daphnia* 仲夏减弱的决定因素^[16]。Deng, *et al.*认为, 浮游植物优势种和生物量的季节演替是造成巢湖浮游甲壳动物的季节动态和 *Daphnia* 仲夏减弱的重要原因^[5]。此外, 铜绿微囊藻的毒害作用是造成美国 Winnebago 湖中 *Daphnia* 仲夏减少的重要原因^[18]。淮河中游 *Daphnia* 在春季(4 月)形成较高密度, 而后快速下降。一方面小型浮游植物生物量(主要种类为梅尼小环藻和栅藻)在春季(4 月)达到最大值, 有利于 *Daphnia* 的生长、生殖, 形成较大种群; 另一方面, 较大型浮游植物(> 20 μm)生物量从 4 月上升, 到 7 月达到最大值(优势种类为丝状的直链藻)。因此, 4 月后, 淮河中游恶化的食物资源不利于 *Daphnia* 的生长与繁殖。此外, 近邻剑水蚤、广布中剑水蚤等捕食性桡足类在春季(4 月和 5 月)具有较高的种群密度, 也将对 *Daphnia* 种群产生较大的摄食压力。杨宇峰等认为, 近邻剑水蚤对浮游甲壳动物具有较强的捕食能力^[19]。RDA 分析显示, *Daphnia* 与捕食性桡足类(尤其是近邻剑水蚤)呈显著的正相关。因此, 我们认为浮游植物和捕食性桡足类是导致淮河中游 *Daphnia* 密度春末下降或消失的重要因素。

水体富营养化通常是影响浮游甲壳动物季节动态的另一个重要因素。在富营养型的水体中, 浮游甲壳动物的数量一般都在 10—100 ind./L, 有时可高达 1000 ind./L 以上^[20]。而在贫营养的水体中, 浮游甲壳动物的密度均较低^[21-23]。2000—2008 年, 淮河干流蚌埠闸水域硝态氮(NO₃-N)和氨态氮(NH₄-N)年均值分别为(2.03±1.16) mg/L 和(0.88±1.03) mg/L^[24]。在本次调查中, 除 12 月(0.085 mg/L)外, 淮河中游总磷的月平均值均大于 0.1 mg/L, 最大值(0.275 mg/L)出现在 2 月。因此, 淮河中游水体已呈现较高的富营养化状态。与之相对应的是, 淮河中游浮游甲壳动物的密度较高(范围为 7.9—58.0 ind./L, 年平均值为 13.2 ind./L)。

淮河中游浮游甲壳动物的最大密度(58.0 ind./L)出现在秋季(9月),这与大多数河流中浮游甲壳动物在夏秋季节密度较高相一致^[7, 25—27]。钱塘江流域浮游甲壳动物的生物量在夏秋季节较高、春冬季节较低的特点,与较高的水温和叶绿素 *a* 大小密切相关^[27]。另外,尽管可食性浮游植物在夏季(6—8月)具有较高的生物量,但淮河中游浮游甲壳动物的密度相对较低,我们认为这可能与该流域在夏季处于丰水期,泥沙大、水体透明度低(<0.4 m)而不利于浮游甲壳动物的生长与繁殖有关。

参考文献:

- [1] Wang S, Bao F Y, Xiao M S, *et al.* The current situation and protection countermeasures of fish resources in the important wetland of Huaihe river basin in Anhui [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, **23**(8): 563—567 [王松, 鲍方印, 肖明松, 等. 淮河流域(安徽段)重要湿地鱼类资源现状及保护措施. 中国农学通报, 2007, **23**(8): 563—567]
- [2] Li B, Pu P M. Study on the evolution tendency of water quality in Huai River basin and Hongze Lake [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, **12**(1): 67—73 [李波, 濮培民. 淮河流域及洪泽湖水质的演变趋势分析. 长江流域资源与环境, 2003, **12**(1): 67—73]
- [3] Hu W W, Wang G X, L Ü Y X. Water quality variation and reasons analysis on the main stream of Huaihe river in recent years [J]. *Environmental Protection Science*, 2009, **35**(1): 109—111, 114 [胡巍巍, 王根绪, 吕玉香. 近年来淮河干流区水质变化及原因分析. 环境保护科学, 2009, **35**(1): 109—111, 114]
- [4] Benndorf J, Kranich J, Mehner T, *et al.* Temperature impact on the midsummer decline of *Daphnia galeata*: an analysis of long-term data from the biomanipulated Bautzen Reservoir (Germany) [J]. *Freshwater Biology*, 2001, **46**: 199—212
- [5] Deng D G, Xie P, Zhou Q, *et al.* Field and experimental studies on the combined impacts of cyanobacterial blooms and small algae on crustacean zooplankton in a large, eutrophic subtropical Chinese lake [J]. *Limnology*, 2008, **9**: 1—11
- [6] Yang W, Deng D G, Meng X L, *et al.* The community structure of crustacean zooplankton in the lower reaches and its tributary of the Ganjiang River [J]. *Ecological Science*, 2011, **30**(5): 547—552 [杨威, 邓道贵, 孟小丽, 等. 赣江下游及其支流浮游甲壳动物的群落结构. 生态科学, 2011, **30**(5): 547—552]
- [7] Lu M, Xie P. Studies on the structure of crustacean zooplankton in Houhu region of Lake Donghu, Wuhan [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, **26**(2): 123—129 [鲁敏, 谢平. 武汉东湖后湖区浮游甲壳动物群落结构的研究. 水生生物学报, 2002, **26**(2): 123—129]
- [8] Jiang Y, Yao J X, Pang K, *et al.* Community structure characteristics of zooplankton in argun drainage area in autumn [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis* (online first), 2010, (1): 12—18 [姜英, 姚锦仙, 庞科, 等. 额尔古纳河流域秋季浮游动物群落结构特征. 北京大学学报(自然科学版), 2010, (1): 12—18]
- [9] Deng D G, Xu Z H. The preliminary study of crustacean zooplankton of Bengbu region in Huaihe River [J]. *Journal of Huaibei Coal Industry Teachers College*, 2006, **27**(1): 40—43 [邓道贵, 许忠浩. 淮河蚌埠段水域浮游甲壳动物的初步研究. 淮北煤炭师范学院学报, 2006, **27**(1): 40—43]
- [10] Huang X F. Survey Observation and Analysis of Lake Ecology [M]. Beijing: Standards Press of China. 1999, 45—57 [黄祥飞. 湖泊生态调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社. 1999, 45—57]
- [11] Jiang X Z, Du N S. Fauna Sinica: Crustacea: Freshwater Cladocera [M]. Beijing: Science Press. 1979, 79—273 [蒋燮治, 堵南山. 中国动物志·淡水枝角类. 北京: 科学出版社. 1979, 79—273]
- [12] Research Group of Carcinology, Institute of Zoology, Academia Sinica. Fauna Sinica: Crustacea: Freshwater Copepoda [M]. Beijing: Science Press. 1979, 53—420 [中科院动物所甲壳动物研究组. 中国动物志·淡水桡足类. 北京: 科学出版社. 1979, 53—420]
- [13] Zhang Z S, Huang X F. The Research Method of Fresh Water Plankton [M]. Beijing: Science Press, 1991, 333—344 [章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社. 1991, 333—344]
- [14] Hu H J, Wei Y X. The Freshwater Algae of China. Systematics, Taxonomy and Ecology [M]. Beijing: Science Press. 2006, 27—915 [胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类—系统、分类与生态. 北京: 科学出版社. 2006, 27—915]
- [15] Threlkeld S T. The midsummer dynamics of two *Daphnia* species in Wintergreen Lake, Michigan [J]. *Ecology*, 1979, **60**: 165—179
- [16] Hülsmann R, Weiler W. Adult, not juvenile mortality as a major reason for the midsummer decline of a *Daphnia* population [J]. *Journal of Plankton Research*, 2000, **22**(1): 151—168
- [17] Hülsmann S. Recruitment patterns of *Daphnia*: a key for understanding midsummer declines[J]? *Hydrobiologia*, 2003, **491**: 35—46
- [18] Trabeau M, Bruhn-Keup R, Medermott C, *et al.* Midsummer decline of a *Daphnia* population attributed in part to cyanobacterial capsule production [J]. *Journal of Plankton Research*, 2004, **26**(8): 949—961
- [19] Yang Y F, Yang J X, Huang X F. Feeding of *Cyclops vicinus* on zooplankton [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1998, **22**(1):

- 71—78 [杨宇峰, 杨家新, 黄祥飞. 近邻剑水蚤对浮游动物的摄食. 水生生物学报, 1998, 22(1): 71—78]
- [20] Wolfenbarger W C. Influences of biotic and abiotic factors on seasonal succession of zooplankton in Hugo Reservoir, Oklahoma, USA [J]. *Hydrobiologia*, 1999, 400: 13—31
- [21] Zhao S Y, Han B P. Structural analysis of zooplankton community in a large deep oligotrophic reservoir—Xinfengjiang Reservoir, South China [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2007, 19(3): 305—314 [赵帅营, 韩博平. 大型深水贫营养水库—新丰江水库浮游动物群落分析. 湖泊科学, 2007, 19(3): 305—314]
- [22] Wu L, Feng W S, Chen X J. Community structure characteristics of zooplankton in Yili region of Xinjiang in summer [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 163—172 [吴利, 冯伟松, 陈小娟. 新疆伊犁地区夏季浮游动物群落结构特征. 应用生态学报, 2008, 19(1): 163—172]
- [23] Yao J J, Chu S L, Shen K G, *et al.* Preliminary study on zooplankton in Huaxi river [J]. *Journal of Hydroecology*, 2009, 2(4): 29—34 [姚俊杰, 褚素兰, 沈昆根, 等. 贵阳市花溪河大型浮游动物的初步研究. 水生态学杂志, 2009, 2(4): 29—34]
- [24] Sun P, Han X Y, Zhou T. Water quality variations for twenty years at Bengbu gate in Huaihe River [J]. *ZhiHuai*, 2009, (12): 4—6 [孙璞, 韩小勇, 周涛. 以蚌埠闸为例分析淮河二十年来水质变化状况. 治淮, 2009, (12): 4—6]
- [25] Li G G. Community structure of planktonic crustacean in the Xixi River, Hangzhou [J]. *Journal of Zhejiang Wanli University*, 2000, 13(1): 18—21 [李共国. 杭州西溪河浮游甲壳动物的群落结构. 浙江万里学院学报, 2000, 13(1): 18—21]
- [26] Burger D F, Hogg I D, Green J D. Distribution and abundance of zooplankton in the Waikato River, New Zealand [J]. *Hydrobiologia*, 2002, 479: 31—38
- [27] Yu J, Yu H Y, Yao J L, *et al.* The seasonal variation and distribution of planktonic crustaceans in Qiantang River [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2010, (4): 61—71 [俞建, 于海燕, 姚建良, 等. 钱塘江流域浮游甲壳动物的分布与季节变化. 海洋湖沼通报, 2010, (4): 61—71]

SEASONAL VARIATIONS OF CRUSTACEAN ZOOPLANKTON COMMUNITY STRUCTURE IN THE MIDDLE REACHES OF THE HUAIHE RIVER

DENG Dao-Gui, YANG Wei, MENG Xiao-Li, GE Qian, JIN Xian-Wen and HU Zhen-Dong

(School of Life Science, Huaibei Normal University, Anhui Key Laboratory of Resource and Plant Biology, Huaibei 235000, China)

Abstract: Seasonal dynamics of community structure of crustacean zooplankton were studied throughout 2007. Twenty-four species were recorded, including eight genera and thirteen species for cladocerans and nine genera and eleven species for copepod. Two peaks of cladoceran density were observed in April and September, (28.2 ± 21.6) ind./L and (40.8 ± 10.1) ind./L, respectively. The dominant species were *D. cucullata* and *B. fatalis*, respectively. The predatory copepod were *C. vicinus vicinus*, *M. leuckarti* and *T. Taihokuensis*, and their peak densities occurred in April, May and June, respectively. The relationship between predatory copepod density and *Daphnia* density was significant ($r=0.541$, $n=48$, $P<0.01$). *S. dorrii* and *L. sinensis* were dominant species in May and August, respectively. The maximum edible phytoplankton ($\leq 20 \mu\text{m}$) biomass appeared in April and then declined rapidly, while inedible phytoplankton ($> 20 \mu\text{m}$) biomass increased from April and peaked in July. Redundancy analysis (RDA) showed that mid-spring decline of *Daphnia* density was related to the feeding pressure of predatory copepod (especially *C. vicinus vicinus*) and seasonal variation of phytoplankton biomass.

Key words: Huaihe River; Crustacean zooplankton; *Daphnia*; Community structure; Seasonal variation