

花姬蛙蝌蚪对藻类的捕食效应

魏刚^① 夏品华^② 高喜明^① 成刚^① 徐宁^① 张之全^① 张景涿^①

(^① 贵阳学院生态研究中心 贵阳 550005;

^② 贵州师范大学 贵州省山地环境信息系统与生态环境保护重点实验室 贵阳 550001)

摘要:对花姬蛙(*Microhyla pulchra*)蝌蚪捕食藻类的效应进行了初步研究。结果表明,随着蝌蚪密度的增加,对蓝藻的总捕食量显著增加,但每只蝌蚪的平均捕食量随蝌蚪密度的增加而下降。文中讨论了蝌蚪在水资源环境保护中控制蓝藻暴发的意义。

关键词:两栖动物;花姬蛙;蝌蚪;捕食;藻类

中图分类号:Q958 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2010)06-30-05

Tadpoles of *Microhyla pulchra* Preying on Algae

WEI Gang^① XIA Pin-Hua^② GAO Xi-Ming^① CHENG Gang^①

XU Ning^① ZHANG Zhi-Quan^① ZHANG Jing-Zhuo^①

(^① Ecological Research Centre, Guiyang University, Guiyang 550005;

^② Guizhou Key Laboratory for Mountainous Environmental Information and Ecological Protection, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: The predatory effect of the tadpoles of *Microhyla pulchra* on algae was studied. The result shows that the predatory capability of tadpoles on Cyanophyta increased significantly, but the average predatory capability of each tadpole decreased significantly as the tadpole density increased. The paper also discussed the significance of controlling Cyanophyta by tadpole.

Key words: Amphibia; *Microhyla pulchra*; Tadpole; Predation; Algae

随着湖泊流域人类活动的加剧,大量的营养盐通过各种途径进入水体,导致藻类和水生植物生产力增加、水质下降,从而使水的用途受到影响,国际经济发展合作组织(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)将这种现象定义为湖泊的富营养化。我国目前66%以上的湖泊、水库处于富营养化的水平,其中重富营养和超富营养化的占22%,使得富营养化成为我国湖泊目前与今后相当长一段时期内的重大水环境问题^[1]。湖泊富营养化的一个重要表现形式就是许多藻类,尤其是蓝藻过度生长,形成藻类的水华^[2]。

由于水体富营养化的过程是水体自养型生物(主要是浮游植物)在水体中形成优势的过

程。所以目前的研究也着重于与这些生物生长需求有关的营养成分,如磷、氮、二氧化碳、硅、钾、钠、铁等,其中磷和氮在水体富营养化的限制因素中起了重要作用^[3-6]。水体中的浮游植物群落大小是由捕食和营养盐共同控制的,且这种变化具有季节性。一般而言,春季捕食的影响较大,而夏季营养盐的限制更严重些^[7]。浮游动物所能摄食的最大食物颗粒,取决于其

基金项目 筑农科(No. 2008 038) 黔科合SZ字[2009]3002, 黔科合J字[2010]2109项目;

第一作者介绍 魏刚,男,博士,教授;研究方向:两栖动物学; E-mail: wg198553@126.com。

收稿日期:2010-08-02,修回日期:2010-09-12

体积的大小^[8]。浮游动物在摄食时,对直径小于 50 μm 的藻类具有选择性。而当藻类细胞聚集形成较大的群体后,就可以有效地抵御原生动物、浮游动物的捕食^[9]。目前对蓝藻水华综合控制技术以水文调节与污染源控制为主要手段^[10]。近年逐渐采用挺水和沉水植物水质改善技术、生态网膜水质改善技术、生态浮床控制藻类水华技术、人工附着介质改善水质技术等。已有 3 种两栖动物蝌蚪即昭觉林蛙 (*Rana chaochiaoensis*)、牛蛙 (*R. catesbeiana*) 和 1 种角花蟾 (*Ceratophrys cranwell*) 食物包含藻类的报道^[11-12],但未见利用蝌蚪控制蓝藻水华的报道。本文报道花姬蛙 (*Microhyla pulchra*) 蝌蚪控制藻类效果的初步研究结果。

1 材料与方法

1.1 材料 花姬蛙蝌蚪采自贵州省望谟县城郊 (E106°09'26" ,N25°17'23")。

1.2 方法 用 300 目的尼龙布围绕 600 mm × 600 mm × 600 mm 的木框制作成养殖箱。2009 年 6 月 30 日用 7 个养殖箱捆绑成一排,固定在

直径 50 mm 的塑料管(内塞塑料泡沫)围成的矩形框内,矩形框固定在贵阳市郊红枫湖湖湾边缘的浅水区木桩上。每只养殖箱各加入湖水 10 L,分别放入 0、40、60、80、100、120、140 只蝌蚪 24 d 取水样。参照《中国淡水藻类》^[13]鉴定水样中藻类门类,浮游植物定量在 Olympus 显微镜下用浮游植物框(0.1 ml)计数,分类阶元到门。捕食量(*PN*)及捕食率(*PR*)的计算方法为: $PN = CN - TN$, *CN* = 对照养殖箱(蝌蚪密度为 0)的藻类密度, *TN* = 蝌蚪养殖箱的藻类密度,即蝌蚪对藻类的捕食剩余量; $PR = PN/CN$ 。各参数间的回归和相关性分析应用 SPSS 相应模块完成^[14]。

2 结果与讨论

2.1 不同密度花姬蛙蝌蚪对藻类的捕食效果

不同密度花姬蛙蝌蚪对藻类的捕食量(*PN*)和捕食率见表 1。将蝌蚪对藻类捕食剩余量(*TN*)与蝌蚪密度作一元线性回归分析,结果见表 2。对 $P < 0.05$ 的藻类捕食剩余量与蝌蚪密度的关系作回归图(图 1)。

表 1 花姬蛙蝌蚪对藻类捕食量(*PN*)和捕食率
Table 1 The quantity and predation rate of tadpoles on algae

蝌蚪密度 Tadpole density (个/L)	蓝藻 Cyanophyta		绿藻 Chlorophyta		硅藻 Bacillariophyta		隐藻 Cryptophyta		甲藻 Dinophyta	
	捕食量 Predation quantity	捕食率 Predation rate								
0*	68.945	0	5.390	0	1.804	0	4.004	0	0.330	0
4	36.131	0.524	2.376	0.441	1.386	0.768	2.970	0.742	0.176	0.533
6	45.120	0.654	1.056	0.196	1.122	0.622	2.552	0.637	0.154	0.467
8	47.694	0.692	4.576	0.849	1.738	0.963	3.388	0.846	0.308	0.933
10	50.050	0.726	2.554	0.474	0.800	0.443	0.906	0.226	0.112	0.339
12	53.171	0.771	3.608	0.669	1.320	0.732	2.574	0.643	0.176	0.533
14	61.927	0.898	4.862	0.902	1.782	0.988	3.806	0.951	0.308	0.933

捕食量单位: 1×10^6 个细胞/L。* 本行捕食量数据为对照组的藻类密度实测数据。

The unit of predation quantity: 1×10^6 cells/L. * The data of predation quantity in the first row indicate the factual mensuration of collator.

随着花姬蛙蝌蚪密度的增加,蓝藻的剩余量逐渐减少,即对蓝藻捕食量逐渐增加,捕食率

也逐渐增加;但对其他藻类的捕食量和捕食率则有所波动。相关性检验表明捕食蓝藻剩余量

与蝌蚪密度极显著相关 ($P < 0.01$) ,捕食绿藻
 剩余量与蝌蚪密度显著相关 ($P < 0.05$) ;而对

硅藻、隐藻和甲藻的捕食剩余量与蝌蚪密度不
 相关 ($P > 0.05$) 。

表 2 花姬蛙蝌蚪密度与对藻类捕食剩余量的一元回归模型

Table 2 Regression models of relationships between tadpoles density and remainder of algae

藻类 Algae	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlated index	P
蓝藻 Cyanophyta	$Y = -3.827X + 56.454$	0.917	0.004
绿藻 Chlorophyta	$Y = -0.305X + 5.024$	0.824	0.023
隐藻 Cryptophyta	$Y = -0.162X + 2.940$	0.570	0.182
硅藻 Bacillariophyta	$Y = -0.087X + 1.310$	0.680	0.093
甲藻 Dinophyta	$Y = -0.015X + 0.271$	0.676	0.096

Y = 藻类密度; X = 蝌蚪密度。 Y = Algae density; X = Tadpoles density.

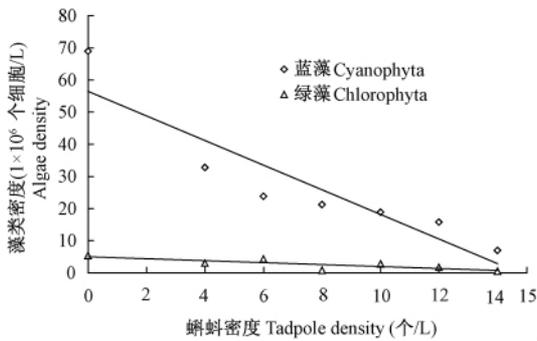


图 1 花姬蛙蝌蚪密度对蓝藻、绿藻捕食
 剩余量的一元回归

Fig.1 Linear regression of tadpoles density and
 remainder of Cyanophyta and Chlorophyta

用逐步引入-剔除 (stepwise) 回归方法进行
 捕食藻类剩余量与蝌蚪密度的多元线性回归

分析 ,回归模型外的变量为绿藻、硅藻、隐藻、甲
 藻 ,模型内的变量仅有蓝藻 ,回归方程为 : $Y =$
 $-0.220X + 13.635$,式中 , Y = 藻类密度 , X = 蝌
 蚪密度 ,相关系数 = 0.917 , $P = 0.004$ 。

2.2 花姬蛙蝌蚪密度对捕食藻类的干扰效应

捕食者在一定的空间范围内 ,常对邻近同种
 的其他个体的存在有着明显的反应 ,这种相互
 干扰作用常随捕食者的密度增加而对猎物的捕
 食量减少 ,捕食作用率下降^[15-16]。对不同密度
 养殖箱中平均每只花姬蛙蝌蚪对藻类的捕食量
 进行分析 ,结果见表 3。不同密度养殖箱中每
 只花姬蛙蝌蚪与对藻类捕食量的一元回归分析
 结果见表 4。由表 4 可见 ,仅捕食蓝藻的量与
 花姬蛙蝌蚪密度极显著相关 ,捕食其他藻类的
 量与花姬蛙蝌蚪密度均不相关。

表 3 不同密度养殖箱中平均每只花姬蛙蝌蚪对藻类的捕食量

Table 3 Mean quantity of algae predated on average by tadpole at different density

蝌蚪密度 (个/L) Tadpole density	蓝藻 Cyanophyta	绿藻 Chlorophyta	硅藻 Bacillariophyta	隐藻 Cryptophyta	甲藻 Dinophyta
4	9.033	0.594	0.347	0.743	0.044
6	7.520	0.176	0.187	0.425	0.026
8	5.962	0.572	0.217	0.424	0.039
10	5.005	0.255	0.080	0.091	0.011
12	4.431	0.301	0.110	0.215	0.015
14	4.423	0.347	0.127	0.272	0.022

捕食量单位 : 1×10^6 个细胞/L。 The unit of predation quantity : 1×10^6 cells/L.

用逐步引入-剔除回归方法进行藻类捕食量
 与蝌蚪密度的多元回归分析 ,回归模型外的变量
 为绿藻、硅藻、隐藻、甲藻 ,模型内的变量也仅有

蓝藻 ,回归方程为 : $Y = -1.909X + 20.575$,式
 中 , Y = 藻类密度 , X = 蝌蚪密度 ,相关系数 =
 0.953 , $P = 0.003$ 。

表 4 不同密度养殖箱中平均每只花姬蛙蝌蚪与对藻类捕食量的一元回归模型
Table 4 Regression models between mean quantity of algae predated on average by each tadpole at different density

藻类 Algae	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlated index	<i>P</i>
蓝藻 Cyanophyta	$Y_1 = -0.475X + 10.3400$	0.9527	0.003
绿藻 Chlorophyta	$Y_1 = -0.016X + 0.5255$	0.3669	0.474
甲藻 Dinophyta	$Y_1 = -0.002X + 0.0476$	0.7111	0.113
隐藻 Cryptophyta	$Y_1 = -0.047X + 0.7875$	0.7836	0.065
硅藻 Bacillariophyta	$Y_1 = -0.021X + 0.3667$	0.8094	0.051

Y_1 = 平均每只蝌蚪捕食量; X = 蝌蚪密度。 Y_1 = Predation quantity of average every tadpole; X = Tadpoles density.

将与蝌蚪密度极显著相关的蓝藻捕食量与蝌蚪密度绘成平滑图(图 2),从图 2 可以看出,平均每只蝌蚪的捕食量随着自身密度的增加而减少。在蝌蚪密度较小的情况下,捕食量下降较快;随着蝌蚪密度的增多,捕食量下降减缓。

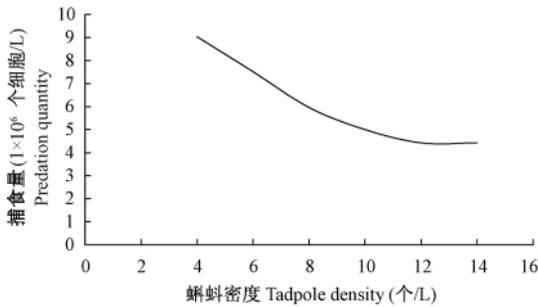


图 2 花姬蛙蝌蚪自身密度对蓝藻捕食效应的关系
Fig.2 The relationship between tadpoles density and predation quantity of Cyanophyta

一般来说,同种捕食者集群会提高或降低捕食效率。前者主要适合猎物逃生几率大时,如部分大型捕食者,通过集体狩猎,一方面使猎物逃生的几率大为减少,提高狩猎成功率;另一方面还可以扩展狩猎范围,捕捉较大的猎物。后者主要适合猎物逃生几率小的捕食者。如朱建国等^[17]对异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)捕食作用及种内拥挤效应的比较研究表明,随着天敌密度增加,平均捕食率下降。赵紫华等^[18]对凹带食蚜蝇(*Metasyrphus corollae*)、黑点食蚜盲蝽(*Deraeocoris punctulatus*)、多异瓢虫(*Hippodamia variegata*)、中华草蛉(*Chrysopa intima*)捕食功能反应的研究也表明,随着捕食者密度的增加,总的捕食量增加,但平均每一头

捕食者的捕食量下降,说明在捕食空间和被捕食者密度不变的情况下,各种捕食者的捕食量随自身密度的增加而下降,其原因是种内干扰所至。藻类对于捕食者蝌蚪来说逃生的几率很小,在捕食空间和藻类密度不变的情况下,同样由于种内干扰平均每只蝌蚪的捕食量也随自身密度的增加而下降。

2.3 蝌蚪在水资源环保中控制蓝藻暴发的意义 富营养化治理过程中存在的问题是物理方法治理需要的成本通常很高,化学方法虽然能在短期内迅速控制湖面的水华现象,但沉淀到湖底的藻类仍然会在条件适宜的时候再度暴发,而且化学药剂的使用会对湖泊造成二次污染。生物治理效果相对于以上 2 种方法要好,但需要的周期要长一些,而且生物治理也要考虑生物种群对地理环境的适应及生物入侵对湖泊生态等情况的影响^[19]。如利用水生植物修复技术需控制水生植物的种植密度,否则会过度繁殖,适得其反^[20]。又如武汉东湖主要通过大量放养滤食性的鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)来治理蓝藻水华,放养密度达到 46 ~ 50 g/m³ 就能控制水华的发生^[21]。但鱼类放养也会影响水体氮、磷释放进程,促进浮游生物小型化,不利于正常的系统演替、平衡规律,而且鱼类对于湖泊边缘浅水区的蓝藻治理效果也有限。

利用蝌蚪治理蓝藻有其优势。因为蝌蚪期(变态前)一般为 50 d 左右,变态后即上岸,对水环境污染较小。不同蛙类繁殖时间不同,有些蛙类卵在 2 月开始孵化出蝌蚪,有些蛙类蝌

蚪在 9 月左右变态为幼蛙上岸,即不同蛙类蝌蚪期总体上时间跨度较长。而蓝藻一般 3 月复苏 8 月暴发^[10]。不同蛙类蝌蚪期总体时间与蓝藻的主要发展时间存在较大重叠。因此,在蓝藻发生初期利用蝌蚪捕食蓝藻的生物学特性就有可能控制蓝藻暴发。蝌蚪通常活跃于湖泊边缘的浅水区,对于浅水区的蓝藻治理效果可能较好,可作为滤食性鱼类治理蓝藻的补充方法。蝌蚪变态后上岸可捕食湖岸带植被害虫,也可以捕食农田害虫,减少农药污染。所以用蝌蚪治理蓝藻符合生态系统食物链自然规律,是水质富营养化综合治理技术之一。因此利用蝌蚪治理蓝藻的研究有较大的理论意义和实践意义。

致谢 中国科学院南京地理与湖泊研究所濮培民先生提供固定养殖箱的材料并指导固定养殖箱使用,谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] 黄漪平. 太湖水环境及其污染控制. 北京: 科学出版社, 2001, 1-298.
- [2] Shapiro J. Blue green algae: why they become dominant. *Science*, 1972, 179: 382-384.
- [3] Hayakawa K. Seasonal variations and dynamics of dissolved carbohydrates in Lake Biwa. *Organic Geochemistry*, 2004, 35: 169-179.
- [4] 孔繁翔, 高光. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考. *生态学报*, 2005, 25(3): 590-595.
- [5] 徐恒省, 洪维民. 太湖蓝藻水华预警监测技术体系的探讨. *中国环境监测*, 2008, 24(2): 62-65.
- [6] 余博识, 吴忠兴, 朱梦灵. 水果湖湾蓝藻水华的形成及其对东湖影响的评价. *水生生物学报*, 2008, 32(2): 286-289.
- [7] Vanni M J, Temte J. Seasonal patterns of grazing and nutrient limitation of phytoplankton in a eutrophic lake. *Limnol Oceanogr*, 1990, 35: 697-709.
- [8] Burns C W. The relationship between body size of filter feeding Cladocera and the maximum size of particle ingested. *Limnol Oceanogr*, 1968, 13: 675-678.
- [9] Lynch M, Shapiro J. Predation, enrichment and phytoplankton community structure. *Limnol Oceanogr*, 1981, 38: 798-817.
- [10] 吴沿友, 李萍萍, 王宝利. 红枫湖百花湖水水质及浮游植物的变化. *农业环境科学学报*, 2004, 23(4): 745-747.
- [11] 周伟, 李明会, 张兴宇. 同一生境牛蛙与昭觉林蛙蝌蚪的食性比较. *动物学研究*, 2005, 26(1): 89-95.
- [12] Vera C M F. Morphology and feeding in tadpole of *Ceratophrys cranwelli* (Anura: Leptodactylidae). *Acta Zoologica*, 2005, 86: 1-11.
- [13] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态. 北京: 科学出版社, 2006, 1-651.
- [14] 苏金明, 傅荣华, 周建斌. 统计软件 SPSS 系列. 北京: 电子工业出版社, 2002, 1-358.
- [15] 上官小霞, 沈文君. 星豹蛛捕食棉蚜功能性反应研究. *山西农业科学*, 2001, 29(1): 70-73.
- [16] 李国强, 陈明, 罗进仓, 等. 星豹蛛对棉蚜的捕食功能研究. *甘肃农业大学学报*, 2006, 41(4): 68-70.
- [17] 朱建国, 丁灿, 况荣平. 异色瓢虫不同变异类型捕食作用及种内拥挤效应的比较研究. *思茅师范高等专科学校学报*, 1996, 1: 79-82.
- [18] 赵紫华, 张蓉, 贺达汉. 宁夏枸杞主要天敌对枸杞蚜虫的捕食功能反应. *宁夏大学学报: 自然科学版*, 2009, 30(3): 275-277.
- [19] 张镇, 刘桂民. 当前我国湖泊富营养化治理的进展及思考. *工业安全与环保*, 2007, 33(10): 50-52.
- [20] 司友斌, 包军杰, 曹德菊, 等. 香根草对富营养化水体净化效果研究. *应用生态学报*, 2003, 14(2): 277-279.
- [21] 刘建康, 谢平. 揭开武汉东湖蓝藻华消失之谜. *长江流域资源与环境*, 1999, 8(3): 312-319.