

桂林地区克氏原螯虾对泽蛙蝌蚪的捕食

武正军 蔡凤金 贾运锋 鲁建鑫 蒋勇福 黄乘明*

(广西师范大学生命科学学院广西环境工程与保护评价重点实验室, 桂林 541004)

摘要: 克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)已入侵我国江苏、湖北、江西、安徽等多个省(市)。为研究克氏原螯虾对其生境中主要两栖动物泽蛙(*Rana limnocharis*)的影响, 我们于2006年5–6月对广西桂林地区自然生境中克氏原螯虾和泽蛙蝌蚪的数量和密度进行了调查, 7月在室内进行了克氏原螯虾对泽蛙蝌蚪和饰纹姬蛙(*Microhyla ornata*)蝌蚪的捕食实验。野外调查结果表明克氏原螯虾的密度与泽蛙蝌蚪的密度呈显著负相关。室内实验结果表明克氏原螯虾对泽蛙蝌蚪的捕食强度与克氏原螯虾体长呈显著正相关, 且对泽蛙蝌蚪的捕食强度高于饰纹姬蛙蝌蚪。表明克氏原螯虾对两栖类幼体有比较严重的危害, 应加强监测, 采取相应措施预防和控制其危害。

关键词: *Procambarus clarkii*, *Rana limnocharis*, *Microhyla ornata*, 捕食, 外来物种

Predation impact of *Procambarus clarkii* on *Rana limnocharis* tadpoles in Guilin area

Zhengjun Wu, Fengjin Cai, Yunfeng Jia, Jianxin Lu, Yongfu Jiang, Chengming Huang*

The Guangxi Key Laboratory of Environmental Engineering, Protection and Assessment, College of Life Science, Guangxi Normal University, Guilin 541004

Abstract: *Procambarus clarkii* has invaded many provinces in China, such as Jiangsu, Hubei, and Anhui. In order to evaluate its effect on *Rana limnocharis*, we investigated the population density of *P. clarkii* and *R. limnocharis* in their natural habitat in Guilin between May and June in 2006. As a comparison, we also carried out indoor experiments to study *P. clarkii* predation on the tadpole of *R. limnocharis* and *Microhyla ornata*. The field investigation showed that there was a significantly negative correlation between the density of *P. clarkii* and that of *R. limnocharis* tadpoles, while indoor experiments showed that the number of *R. limnocharis* tadpoles preyed by *Procambarus clarkii* was positively correlated with *P. clarkii*'s body length, and more *R. limnocharis* tadpoles were preyed than *M. ornata* tadpoles. Our results suggest that *P. clarkii* is likely to endanger amphibian larva, therefore, it should be monitored and controlled.

Key words: *Procambarus clarkii*, *Rana limnocharis*, *Microhyla ornata*, predation, alien species

两栖类是生态系统的重要组成部分, 其种群数量下降将对其他的生物有机体产生重要影响 (Blaustein *et al.*, 1994), 因此已成为全世界普遍关注的热门话题 (Barinaga, 1990; Wyman, 1990)。外来物种通过直接捕食并与本地两栖类竞争资源, 已成为一些本地两栖类种群数量下降或灭绝的原因之一 (Alford & Richards, 1999; 武正军和李义明, 2004)。

克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)又名克氏螯

虾、红色沼泽克氏原螯虾或淡水龙虾, 隶属于甲壳纲十足目螯虾科, 原产美国南部和墨西哥北部, 1929年由日本引入中国南京附近 (薛俊增等, 1998)。近年来, 克氏原螯虾作为食用虾在江苏、湖北、江西、安徽等十几个省(市)推广养殖, 并在河流、池塘、沟渠、水田等水体中建立了野外种群, 在部分地区还成为优势种 (李振宇和解焱, 2002)。克氏原螯虾为杂食性动物, 取食水生植物、底栖动物、小鱼虾、蝌蚪、小蛙等 (唐鑫生, 2001; 李振宇和解焱, 2002)。

收稿日期: 2007-08-22; 接受日期: 2008-01-21

基金项目: 广西环境工程与保护评价重点实验室研究基金、广西高校人才小高地建设创新团队资助计划和广西师范大学博士科研启动项目。

*通讯作者 Author for correspondence. E-mail: cmhuang@ioz.ac.cn

在引入地可使湿地生态系统的生境质量下降, 直接或间接影响其中的动植物群落, 并导致物种多样性下降(Rodríguez *et al.*, 2005)。

克氏原螯虾可从以下几方面影响两栖类种群, 并导致两栖类种群数量下降: (1)直接捕食两栖类的卵和幼体, 使其死亡率增加。如克氏原螯虾对美国加州南部山区肥渍螭(*Taricha torosa*)卵和幼体的捕食, 导致该地区肥渍螭种群下降(Gamradt & Kats, 1996; Gamradt *et al.*, 1997; Kats & Ferrer, 2003); (2)影响两栖类的幼体, 使它们的活动减少, 微生境利用改变(Cruz & Rebelo, 2005); (3)通过对成体的攻击, 改变成体的繁殖行为来阻止其成功交配以及产卵(Gamradt *et al.*, 1997); (4)破坏水体中的水生植物, 使两栖类的产卵场受到破坏。一些研究表明, 即使水体中的克氏原螯虾密度较低(低于1只/m²), 也能完全破坏水体中的水生植物(Rodríguez *et al.*, 2005); (5)捕食水体中的大型无脊椎动物, 使其种群数量下降, 导致两栖类的食物减少 (Rodríguez *et al.*, 2005)。

克氏原螯虾已导致西班牙西北部Chozas湖中83%的两栖类物种消失(Rodríguez *et al.*, 2005), 伊比利亚半岛西南部两栖类物种丰富度也呈下降趋势(Cruz *et al.*, 2006)。尽管在我国对克氏原螯虾的生物学特征已有一些研究, 如克氏原螯虾的标准代谢(温小波等, 2003)、种群生长模型(唐建清等, 2003)以及其对几种人工洞穴的选择性(唐建清等, 2004)等, 但是对其生态危害的研究较少, 仅见戴强等(2004)在室内条件下研究了仙姑弹琴蛙(*Rana daunchina*)蝌蚪对克氏原螯虾的反捕食反应。克氏原螯虾对两栖类自然种群的生态危害尚未见报道。为研究克氏原螯虾对本地两栖类的生态危害, 作者于2006年5-6月在广西桂林地区调查了克氏原螯虾对泽蛙(*R. limnocharis*)蝌蚪的捕食, 同时在7月进行了室内捕食试验。

1 材料与方法

1.1 野外调查

桂林地区平均海拔150 m, 属典型的“喀斯特”岩溶地貌。亚热带季风气候, 气候温和, 雨量充沛, 光照充足, 四季分明。年平均降雨量1,900 mm, 平均温度19.3℃。最冷月平均气温7.9℃, 最热月平均气温28.3℃。调查地点选择在桂林市朝阳乡欧家村、

灵川县道光村、临桂县大律村等三处。这3个村的地貌均以平原(约占70%)为主, 间有低丘(约30%)。欧家村在桂林市东郊, 紧靠桂林市; 道光村在桂林市北郊, 紧邻临川县城, 距桂林市15 km; 大律村在桂林市西郊, 紧邻临桂县城, 距桂林市12 km。

在3个自然村各选取9块水稻田进行调查。在每块水稻田的中心处沿水平和垂直方向各拉一条直线, 将水稻田划分为4块, 随机选取其中的一块作为样方调查。在样方四周围上纱网, 测量样方面积, 记录每个样方中的克氏原螯虾和泽蛙蝌蚪的数量。克氏原螯虾的鉴别依据《甲壳动物学(下)》(堵南山, 1992), 泽蛙蝌蚪的鉴别依据《中国两栖动物图鉴》(费梁, 1999)。

1.2 室内捕食实验

克氏原螯虾采自3个自然村的水田和沟渠。泽蛙蝌蚪采自欧家村的水田, 发育阶段为25-32期(Gosner, 1960), 用小金鱼料饲养于实验室。饰纹姬蛙(*Microhyla ornata*)蝌蚪采自广西师范大学半塘尾一个充满积水的低洼坑, 发育阶段也为25-32期(Gosner, 1960), 用小金鱼料饲养于实验室。

取9只大小不等的克氏原螯虾, 测量体长后放入9个编好号的塑料盆(直径50 cm, 高20 cm)中。盆中保持约3 cm的水深。实验分两个阶段: 第1阶段进行克氏原螯虾对泽蛙蝌蚪的捕食实验, 第2阶段进行克氏原螯虾对泽蛙蝌蚪和饰纹姬蛙蝌蚪的选择性捕食实验。

第1阶段: 在每个有克氏原螯虾的盆中放入10只泽蛙蝌蚪。每隔6-7 h观察记录蝌蚪被捕食的情况, 蝌蚪被捕食后, 随即向盆中添加同数量的蝌蚪, 保持其为10只。实验共进行3天, 统计每天每只克氏原螯虾捕食的泽蛙蝌蚪数量。

第2阶段: 在每个有克氏原螯虾的盆中放入10只泽蛙蝌蚪和10只饰纹姬蛙蝌蚪。每隔6-7 h观察记录蝌蚪被捕食的情况, 蝌蚪被捕食后, 随即向盆中添加同种相同数量的蝌蚪, 保持每种蝌蚪均为10只。实验共进行3天, 分别统计每只克氏原螯虾捕食的泽蛙蝌蚪和饰纹姬蛙蝌蚪的数量。

1.3 数据处理

由于自然生境中克氏原螯虾的密度不符合正态分布(K-S 检验, $Z=1.407$, $P=0.038$), 而泽蛙蝌蚪的密度符合正态分布(K-S 检验, $Z=1.258$, $P=0.084$)。因此用非参数检验中的Spearman相关来

检验克氏原螯虾密度与泽蛙蝌蚪密度的相关性。克氏原螯虾的体长(K-S 检验, $Z=0.368$, $P=0.999$)和捕食的泽蛙蝌蚪数量(K-S 检验, $Z=0.460$, $P=0.984$)均符合正态分布,用Pearson相关来检验克氏原螯虾体长与捕食的泽蛙蝌蚪数量的相关性。用 χ^2 检验来分析克氏原螯虾对泽蛙蝌蚪和饰纹姬蛙蝌蚪捕食数量的差异。所有统计分析均在SPSS11.5软件中进行。

2 结果

2.1 野外调查

野外共调查了27个样方,总面积262.47 m²。其中22个样方中有克氏原螯虾,总计101只,平均密度为0.42±0.50只/m²(mean±SD, 以下同); 24个样

方有泽蛙蝌蚪,总计296只,平均密度1.53±1.92只/m²(表1)。克氏原螯虾密度与泽蛙蝌蚪密度呈显著负相关($r=-0.601$, $P=0.001$)。

2.2 室内捕食实验

克氏原螯虾对泽蛙蝌蚪的捕食实验结果见表2。除2号克氏原螯虾第3天没有捕食泽蛙蝌蚪外,其余各只每天均捕食泽蛙蝌蚪,7号克氏原螯虾第1天捕食最多,达11只。从3天的平均值来看,最少的为1.33±0.58 只/天,最多的为9.00±2.00 只/天。从图1可知,克氏原螯虾平均每天取食的泽蛙蝌蚪数与其体长呈显著正相关关系($r=0.906$, $P=0.01$)。

表3表明克氏原螯虾对泽蛙和饰纹姬蛙蝌蚪的捕食有选择性。克氏原螯虾既捕食泽蛙蝌蚪又捕食

表1 自然生境调查样方中克氏原螯虾和泽蛙蝌蚪的数量和密度

Table 1 Number and density of *Procambarus clarkii* and *Rana limnocharis* tadpole in transects of natural habitat

| 样方编号 Plot | 面积 Area (m ²) | 克氏原螯虾数 Number of <i>Procam- barus clarkii</i> | 克氏原螯虾密度 Density of <i>Procambarus clarkii</i> (ind./ m ²) | 泽蛙蝌蚪数 Number of <i>Rana limnocharis</i> tadpole | 泽蛙蝌蚪密度 Density of <i>Rana limnocharis</i> tadpole (ind./m ²) |
|--------------|---------------------------------|--|---|--|---|
| 1 | 4.40 | 0 | 0 | 40 | 9.09 |
| 2 | 4.25 | 7 | 1.65 | 2 | 0.47 |
| 3 | 5.75 | 10 | 1.74 | 0 | 0 |
| 4 | 11.00 | 3 | 0.27 | 1 | 0.09 |
| 5 | 13.50 | 3 | 0.22 | 14 | 1.04 |
| 6 | 7.75 | 0 | 0 | 19 | 2.45 |
| 7 | 9.60 | 1 | 0.10 | 8 | 0.83 |
| 8 | 7.00 | 2 | 0.29 | 5 | 0.71 |
| 9 | 8.00 | 0 | 0 | 11 | 1.38 |
| 10 | 6.00 | 1 | 0.17 | 20 | 3.33 |
| 11 | 4.50 | 6 | 1.33 | 0 | 0 |
| 12 | 3.20 | 2 | 0.63 | 3 | 0.94 |
| 13 | 16.00 | 1 | 0.06 | 7 | 0.44 |
| 14 | 27.56 | 8 | 0.29 | 13 | 0.47 |
| 15 | 5.40 | 1 | 0.19 | 6 | 1.11 |
| 16 | 6.25 | 0 | 0 | 11 | 1.76 |
| 17 | 7.00 | 0 | 0 | 14 | 2.00 |
| 18 | 12.15 | 2 | 0.16 | 25 | 2.06 |
| 19 | 5.94 | 3 | 0.51 | 0 | 0 |
| 20 | 3.84 | 4 | 1.04 | 7 | 1.83 |
| 21 | 4.00 | 3 | 0.75 | 8 | 2.00 |
| 22 | 39.00 | 32 | 0.82 | 9 | 0.23 |
| 23 | 8.32 | 1 | 0.12 | 11 | 1.32 |
| 24 | 5.98 | 1 | 0.17 | 32 | 5.35 |
| 25 | 14.00 | 3 | 0.21 | 20 | 1.43 |
| 26 | 12.00 | 3 | 0.25 | 8 | 0.67 |
| 27 | 10.08 | 4 | 0.40 | 2 | 0.20 |
| 合计Total | 262.47 | 101 | 0.42±0.50* | 296 | 1.53±1.92* |

*mean±SD

表2 克氏原螯虾对泽蛙蝌蚪的室内捕食实验结果
Table 2 Results of *Procambarus clarkii* predation on *Rana limnocharis* tadpole from indoor predation experiment

| 克氏原螯虾编号 No. of <i>Procambarus clarkii</i> | 克氏原螯虾体长 Length of <i>Procambarus clarkii</i> (cm) | 克氏原螯虾每天捕食的泽蛙蝌蚪数 Number of <i>Rana limnocharis</i> tadpole preyed by <i>Procambarus clarkii</i> per day (mean ± SD) |
|--|--|---|
| 1 | 3.6 | 1.33 ± 0.58 |
| 2 | 4.4 | 1.33 ± 1.15 |
| 3 | 4.7 | 1.67 ± 0.58 |
| 4 | 5.4 | 3.00 ± 1.00 |
| 5 | 6.1 | 3.33 ± 0.58 |
| 6 | 6.5 | 4.67 ± 1.53 |
| 7 | 6.9 | 9.00 ± 2.00 |
| 8 | 7.7 | 5.00 ± 2.00 |
| 9 | 8.2 | 6.00 ± 1.00 |

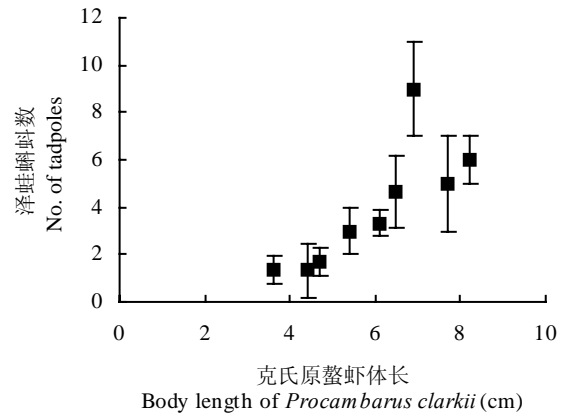


图1 克氏原螯虾每天取食的泽蛙蝌蚪数(mean ± SD)与其体长关系图($r=0.906, P=0.01$)
Fig. 1 Relationship between average number of *Rana limnocharis* tadpoles preyed by *Procambarus clarkii* per day (mean ± SD) and body length of *Procambarus clarkii* ($r=0.906, P=0.01$).

表3 克氏原螯虾对泽蛙和饰纹姬蛙蝌蚪的选择性捕食结果
Table 3 Results of selective predation on *Rana limnocharis* and *Microhyla ornata* tadpoles by *Procambarus clarkii*

| 克氏原螯虾编号 No. of <i>Procambarus clarkii</i> | 克氏原螯虾体长 Length of <i>Procambarus clarkii</i> (cm) | 被捕食的泽蛙蝌蚪个体数 Tadpoles of <i>Rana limnocharis</i> preyed by <i>Procambarus clarkii</i> | 被捕食的饰纹姬蛙蝌蚪个体数 Tadpoles of <i>Microhyla ornata</i> preyed by <i>Procambarus clarkii</i> |
|--|--|---|---|
| 1 | 3.6 | 3 | 1 |
| 2 | 4.4 | 4 | 2 |
| 3 | 4.7 | 4 | 1 |
| 4 | 5.4 | 6 | 3 |
| 5 | 6.1 | 7 | 4 |
| 6 | 6.5 | 7 | 4 |
| 7 | 6.9 | 8 | 8 |
| 8 | 7.7 | 7 | 2 |
| 9 | 8.2 | 10 | 6 |

饰纹姬蛙蝌蚪, 但更倾向于捕食泽蛙蝌蚪 ($\chi^2=37.66, df=8, P<0.01$)。

3 讨论

野外调查发现泽蛙蝌蚪的密度与克氏原螯虾的密度呈显著负相关, 表明克氏原螯虾的存在导致了泽蛙蝌蚪种群数量下降。推测有以下几个原因: (1)克氏原螯虾直接捕食泽蛙蝌蚪。室内实验表明克氏原螯虾几乎每天均捕食泽蛙蝌蚪; (2)克氏原螯虾破坏水体中的水生植物, 使泽蛙的产卵场受到破坏。在部分样方中克氏原螯虾的密度较高(表1), 完全能破坏水体中的水生植物(Rodríguez *et al.*, 2005),

这可能导致泽蛙的产卵场减少, 使蝌蚪数量下降。本研究同时还表明克氏原螯虾也可以直接捕食饰纹姬蛙蝌蚪, 因此在自然生境中, 克氏原螯虾也可能导致饰纹姬蛙种群密度下降。

但是, 本研究还不能排除另外一种可能性: 泽蛙蝌蚪的密度与克氏原螯虾的密度呈显著负相关是由于两者生境选择不同造成的。(1)春夏季, 泽蛙多在水稻田及水沟等较浅的水体产卵, 一般不在较深的水体如池塘、河流等地产卵(黄美华, 1990), 而克氏原螯虾在较深的水体数量也较高(李振宇和解焱, 2002), 因此, 不同水体中克氏原螯虾和泽蛙蝌蚪的关系可能有变化。(2)水稻田中常使用农药, 泽

蛙蝌蚪对农药比较敏感(潘道一和梁雪明, 1996), 而克氏原螯虾耐污能力较强(朱玉芳等, 2003), 因此水稻田是否使用农药可能对泽蛙蝌蚪和克氏原螯虾的密度关系有影响。(3)水体中其他捕食动物的存在也可能对泽蛙蝌蚪和克氏原螯虾的关系产生影响, 如捕食性鱼类和牛蛙(*R. catesbeiana*) (Wu *et al.*, 2005), 既能捕食两栖类又能捕食克氏原螯虾。要明确克氏原螯虾对泽蛙蝌蚪的影响还需进一步的实验和野外研究。

克氏原螯虾对泽蛙蝌蚪的捕食多于对纹姬蛙蝌蚪的捕食, 可能与不同种类蝌蚪逃避敌害的能力、皮肤的分泌物等有关, 但这些还需进一步的研究。

个体越大的克氏原螯虾捕食的泽蛙蝌蚪数量越多。其他类似实验也得到同样结果, 如对牛蛙(Wu *et al.*, 2005; 王彦平等, 2006; Wang *et al.*, 2007)、小毛足鼠(*Phodopus roborovskii*)(宛新荣等, 2007)等的研究。原因主要是因为个体大的捕食者的代谢率高, 因此能量的消耗也多(Wang *et al.*, 2007)。

除对两栖类造成严重影响外, 克氏原螯虾还可对水稻、大型水生植物、软体动物、本地虾等造成严重危害, 降低当地的物种多样性(Cruz & Rebelo, 2007)。由于克氏原螯虾的适应能力强, 可利用的栖息地广(Cruz & Rebelo, 2007), 因此控制其种群数量增长和扩散难度很大。鉴于克氏原螯虾为人们喜食的食物, 因此可大力提倡人工捕捉, 同时严格控制人为因素造成的扩散, 严防克氏原螯虾入侵新的栖息地。

参考文献

- Alford RA, Richards SJ (1999) Global amphibian declines: a problem in applied ecology. *Annual Review of Ecology System*, **30**, 133–165.
- Barinaga M (1990) Where have all the froggies gone? *Science*, **247**, 1033–1034.
- Blaustein AR, Wake DB, Sousa WP (1994) Amphibian declines: judging stability, persistence, and susceptibility of populations to local and global extinctions. *Conservation Biology*, **8**, 60–71.
- Cruz MJ, Rebelo R (2005) Vulnerability of southwest Iberian amphibians to an introduced crayfish, *Procambarus clarkii*. *Amphibian-Reptilia*, **26**, 293–303.
- Cruz MJ, Rebelo R (2007) Colonization of freshwater habitats by an introduced crayfish, *Procambarus clarkii*, in Southwest Iberian Peninsula. *Hydrobiologia*, **575**, 191–201.
- Cruz MJ, Rebelo R, Crespo EG (2006) Effects of an introduced crayfish, *Procambarus clarkii*, on the distribution of South-western Iberian amphibians in their breeding habitats. *Ecography*, **29**, 329–338.
- Dai Q (戴强), Dai JH (戴建洪), Li C (李成), Liu ZJ (刘志君), Wang YZ (王跃招) (2004) Anti-predator behavior of tadpoles of *Rana daunchina* to a novel crawfish (*Procambarus clarkii*). *Biodiversity Science* (生物多样性), **12**, 481–487. (in Chinese with English abstract)
- Du NS (堵南山) (1992) *Carcinology* (II) (甲壳动物学(下)). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Fei L (费梁) (1999) *Atlas of Amphibians of China* (中国两栖动物图鉴). Henan Science and Technology Publishing House, Zhengzhou. (in Chinese)
- Gamradt SC, Kats LB (1996) Effects of introduced crayfish and mosquitofish on California newts. *Conservation Biology*, **10**, 1155–1162.
- Gamradt SC, Kats LB, Anzalone CB (1997) Aggression by non-native crayfish deters breeding in California newts. *Conservation Biology*, **11**, 793–796.
- Gosner KL (1960) A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica*, **16**, 183–190.
- Huang MH (黄美华) (1990) *Fauna of Zhejiang: Amphibian, Reptilia* (浙江动物志: 两栖爬行类). Zhejiang Science and Technology Publishing House, Hangzhou. (in Chinese)
- Kats LB, Ferrer RP (2003) Alien predators and amphibian declines: review of two decades of science and the transition to conservation. *Diversity and Distributions*, **9**, 99–110.
- Li ZY (李振宇), Xie Y (解焱) (2002) *Invasive Alien Species in China* (中国外来入侵种). China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese)
- Pan DY (潘道一), Liang XM (梁雪明) (1996) The susceptibility of marsh frog (tadpole) and spiders to pesticides and classification of acute toxicity. *Acta Zoologica Sinica* (动物学报), **42**, 154–160. (in Chinese with English abstract)
- Rodríguez CF, Bécáres E, Fernández-Aláez M, Fernández-Aláez C (2005) Loss of diversity and degradation of wetlands as a result of introducing exotic crayfish. *Biological Invasions*, **7**, 75–85.
- Tang JQ (唐建清), Song SL (宋胜磊), Lu J (吕佳), Ge JC (葛家春), Huang C (黄成) (2003) A study on growth model and ecological parameters of *Cambarus clarkii*. *Journal of Nanjing Normal University (Natural Science)* (南京师大学报(自然科学版)), **26**, 96–100. (in Chinese with English abstract)
- Tang JQ (唐建清), Song SL (宋胜磊), Pan JL (潘建林), Lu J (吕佳), Huang C (黄成) (2004) The preference to artificial caves by *Procambarus clarkii*. *Fisheries Science* (水产科学), **23**(5), 26–28. (in Chinese with English abstract)
- Tang XS (唐鑫生) (2001) *Procambarus clarkii*. *Bulletin of Biology* (生物学通报), **35** (9), 19–20. (in Chinese)

- Wan XR (宛新荣), Liu W (刘伟), Wang GH (王广和), Zhong WQ (钟文勤) (2007) Food consumption and feeding characters of *Phodopus roborovskii* on Hunshandake sandy land of Inner Mongolia. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **26**, 223–227. (in Chinese with English abstract)
- Wang YP (王彦平), Wang YH (王一华), Lu P (陆萍), Zhang F (张方), Li YM (李义明) (2006) Diet composition of post-metamorphic bullfrogs (*Rana catesbeiana*) in the Zhoushan Archipelago, Zhejiang Province. *Biodiversity Science* (生物多样性), **14**, 363–371. (in Chinese with English abstract)
- Wang YP, Guo ZW, Pearl CA, Li YM (2007) Body size affects the predatory interactions between introduced American bullfrogs (*Rana catesbeiana*) and native anurans in China: an experimental study. *Journal of Herpetology*, **41**, 514–520.
- Wen XB (温小波), Ku YM (库夭梅), Luo JB (罗静波) (2003) Studies on the physioecology of *Procambarus clarkii*. I. Standard metabolism. *Journal of Hubei Agricultural College* (湖北农学院学报), **23**, 41–43. (in Chinese with English abstract)
- Wu ZJ (武正军), Li YM (李义明) (2004) Causes and conservation strategies of amphibian population declination. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **23**, 140–146. (in Chinese with English abstract)
- Wu ZJ, Li YM, Wang YP, Michael JA (2005) Diet of introduced bullfrogs (*Rana catesbeiana*): predation on and diet overlap with native frogs on Daishan Island, China. *Journal of Herpetology*, **39**, 668–674.
- Wyman RL (1990) What's happening to the amphibians? *Conservation Biology*, **4**, 350–352.
- Xue JZ (薛俊增), Wu HX (吴惠仙), Zhang LP (张丽萍) (1998) Study on the morphology and dissection of *Procambarus clarkii* for crustacean experiment. *Journal of Hangzhou Teachers College* (杭州师范学院学报), (6), 67–71. (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF (朱玉芳), Cui YH (崔勇华), Ge ZQ (戈志强), Hong FS (洪法水), Xu YX (许雅香) (2003) Biological accumulations of heavy metals in *Cambarus clarkii*. *Reservoir Fisheries* (水利渔业), **23**(1), 11–12. (in Chinese)

(责任编辑: 闫文杰)