

吕敬才, 张海波, 代亮亮, 等. 克氏原螯虾摄食对沉水植物生长和群落结构的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(21): 298–301.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.21.072

# 克氏原螯虾摄食对沉水植物生长和群落结构的影响

吕敬才<sup>1</sup>, 张海波<sup>2</sup>, 代亮亮<sup>1</sup>, 蒋玄空<sup>1</sup>, 苏以江<sup>2</sup>, 袁 果<sup>1</sup>

(1. 贵州省生物研究所, 贵州贵阳 550009; 2. 贵阳阿哈湖国家湿地公园管理处, 贵州贵阳 550007)

**摘要:**为阐明克氏原螯虾摄食对沉水植物生长和群落结构的影响, 通过室外模拟试验, 研究克氏原螯虾摄食对 4 种沉水植物轮叶黑藻 (*Hydrilla verticillata*)、篦齿眼子菜 (*Potamogeton pectinatus*)、竹叶眼子菜 (*Potamogeton malaianus*) 和苦草 (*Vallisneria spiralis*) 影响。结果表明, 克氏原螯虾摄食对沉水植物的生物量有一定影响, 试验结束时, 对照组中的沉水植物总生物量增加了 27.2%, 55、75、95 mm 螯虾组中的沉水植物总生物量分别下降了 0.2%、50.9%、66.9%, 沉水植物的生物量随克氏原螯虾体长的增加而降低。克氏原螯虾对轮叶黑藻株高的影响最为明显, 对苦草株高的影响较小。不同形态克氏原螯虾均喜食轮叶黑藻, 对轮叶黑藻的摄食喜好程度优于篦齿眼子菜和竹叶眼子菜, 对苦草的摄食选择性最低。由结果可见, 克氏原螯虾的入侵严重地影响沉水植物的群落结构, 从而影响水体生态系统功能, 应加强对种群动态的监测, 采取相应措施控制其危害。

**关键词:**克氏原螯虾; 入侵生物; 沉水植物; 摄食作用; 群落结构

**中图分类号:** X171.1; S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)21-0298-04

沉水植物作为淡水湖泊主要的生物组成部分, 对维护湖泊生态系统、控制湖泊富营养化具有重要的生态价值<sup>[1]</sup>。不仅影响着水中的鱼虾类、底栖动物、浮游生物的组成和分布, 而且可以增加空间生态位, 提高水下光照和溶解氧含量, 起到消浪和净化水质的作用, 是水体生物多样性赖以维持的基础<sup>[2-4]</sup>。然而, 沉水植物的生长、生存及繁殖受到光照、营养盐、水流、温度、潮汐等多种环境因子的影响, 这些影响因子的多样性与复杂性, 增加了沉水植物恢复重建的难度<sup>[5-7]</sup>。研究表明, 动物摄食是影响沉水植物生长的重要因子之一, 其中草食性鱼类、螺类、螯虾类等水生动物的摄食对沉水植物生长的影响很大, 甚至会出现毁灭性的破坏<sup>[8-11]</sup>。螯虾作为生态系统中的外来入侵物种, 其通过选择性摄食可以改变沉水植物群落结构的组成, 使生态系统的生境质量下降, 从而影响整个生态系统的功能。

克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*) 属节肢动物门、甲壳纲、十足目、螯虾科<sup>[12]</sup>, 原分布于美国南部和墨西哥北部, 20 世纪 20 年代末作为经济食用虾被引入我国, 后因管理不善逃逸至各类水体<sup>[13]</sup>。克氏原螯虾具有适应能力强、生长迅速、繁殖率高等特点, 能迅速在湖泊、河流、水塘、农田等各种水体建立起野外自然种群<sup>[14-15]</sup>。克氏原螯虾为杂食性动物, 摄食对象广泛, 包括大型水生植物、浮游藻类、底栖动物、本地鱼虾、两栖动物、无机及有机碎屑等<sup>[12, 14, 16-18]</sup>。克氏原螯虾入侵自

然湿地后对大型水生植物造成了严重的破坏, 常常使得这些湖泊由清澈的、沉水植物占优势的状态转变为浑浊的、浮游植物占优势的状态, 食物网的结构和营养等级都发生了深刻的变化, 对水生生态系统造成一定风险<sup>[17, 19]</sup>。同时, 克氏原螯虾通过食物竞争和捕食可直接或间接影响动植物群落, 使湿地生态系统的生境质量下降, 并导致物种多样性下降<sup>[17, 20]</sup>。因此, 分析克氏原螯虾入侵对沉水植物多样性的影响过程将有助于进一步理解其入侵后生物多样性的变化过程。目前, 克氏原螯虾对轮藻、金鱼藻、伊乐藻、穗状狐尾藻等大型植物多样性方面的影响已有研究报道<sup>[9-21]</sup>, 关于克氏原螯虾对沉水植物群落结构的影响有待深入研究。因此, 本研究试图在特定植物组成的沉水植物群落基础上, 以入侵生物克氏原螯虾对沉水植物群落结构的影响为研究实例, 结合其摄食特性差异, 深入分析克氏原螯虾对沉水植物的影响, 尤其是沉水植物群落物种多样性的变化规律, 旨在为克氏原螯虾入侵的生态风险评价提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

克氏原螯虾采集于贵阳阿哈湖国家湿地公园 (26.54°N, 106.67°E), 饲养于贵州省生物研究所水生动物室外养殖池。试验时选择 55、75、95 mm 3 种不同体长的克氏原螯虾作为供试材料, 试验前使其饥饿 24 h。沉水植物为轮叶黑藻 (*Hydrilla verticillata*)、篦齿眼子菜 (*Potamogeton pectinatus*)、竹叶眼子菜 (*Potamogeton malaianus*) 和苦草 (*Vallisneria spiralis*), 均采集于贵阳阿哈湖国家湿地公园。

### 1.2 试验设计

试验在露天人工砌试验池进行, 每个试验池长 90 cm, 宽 70 cm, 高 100 cm, 水深 60 cm。试验前先挑选生长旺盛、大小相似的沉水植物移栽在装有 14 cm 厚底泥的塑料盆中 (口径 13 cm, 高 15 cm), 每盆种植 3 株。然后将塑料盆放置于贵阳

收稿日期: 2018-07-26

基金项目: 贵阳阿哈湖国家湿地公园管理处项目 (编号: 2016); 贵州省科学技术基金 (编号: [2016] 1141); 贵州省生物研究所科技计划 (编号: 2017SWS02)。

作者简介: 吕敬才 (1988—), 男, 贵州贵阳人, 硕士, 助理研究员, 主要从事动物生态学与生物生态修复技术研究。Tel: (0851) 83844315; E-mail: lvjingcaiweh@163.com。

通信作者: 袁 果, 硕士, 高级工程师, 主要从事湿地生态学与生态修复研究。Tel: (0851) 83844315; E-mail: 875932286@qq.com。

阿哈湖国家湿地公园河流中,待沉水植物生长稳定 1 周后置于试验池内,每种沉水植物每个试验池放置 2 盆。试验分为 55、75、95 mm 3 种不同形态克氏原螯虾处理组和 1 个对照组,不同形态克氏原螯虾处理组投放活动能力强的螯虾 4 尾(雌雄比为 1:1),每组试验均重复 3 次。为了保持试验过程中池内水的流动性,每个试验池的进水量与排水量几乎保持一致。试验时间为 2017 年 9 月 15 日至 9 月 30 日,平均温度为 24 ℃。

### 1.3 测定指标和方法

在整个试验过程中,每 3 d 记录 1 次试验池内沉水植物株高、被捕食株数及剩余株数、水温 and 克氏原螯虾的生长情况。试验结束时,将沉水植株取出,用水冲洗掉底泥,先测定沉水植物株高、分株数量等形态指标,然后称量沉水植物的湿质量,称量时先用蒸馏水洗净沉水植物,沥干 30 min,再用滤纸吸水后放入电子天平称量。

克氏原螯虾对沉水植物的摄食选择性指数:

$$F = \frac{r_i - p_i}{r_i + p_i}$$

式中: $F$  表示选择性指数; $r_i$  为某种沉水植物被摄食量占总摄食量的百分比; $p_i$  为试验池沉水植物的总量中同一种沉水植物的质量百分比。

### 1.4 数据处理

采用 Excel 2007 和 Origin 9.0 整理绘图,采用 SPSS 12.0 对试验数据进行相关性分析,不同处理组数据采用单因素方差分析(one-way ANOVA),并应用 Tukey's 多重两两比较平均数之间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 克氏原螯虾对沉水植物生物量的影响

试验结束时,95 mm 螯虾组中沉水植物总生物量为 35.0 g/m<sup>2</sup>,明显低于 75 mm 螯虾组(46.2 g/m<sup>2</sup>)、55 mm 螯虾组(91.1 g/m<sup>2</sup>)和对照组(131.27 g/m<sup>2</sup>)(图 1)。55 mm、75 mm 和 95 mm 螯虾组中的沉水植物总生物量分别下降了 0.2%、50.9% 和 66.9%,而对照组中的沉水植物总生物量有所增加,增加了 27.2%。方差分析结果显示,克氏原螯虾对沉水植物总生物量有显著影响( $P < 0.05$ ),沉水植物总生物量随克氏原螯虾体长的增长而降低,表明克氏原螯虾的存在不利于沉水植物的生长。

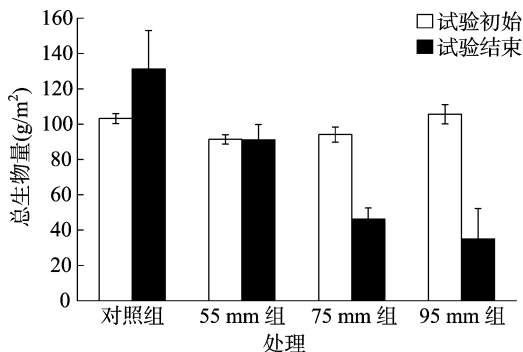
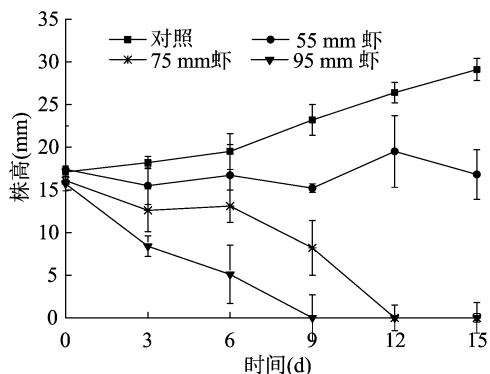


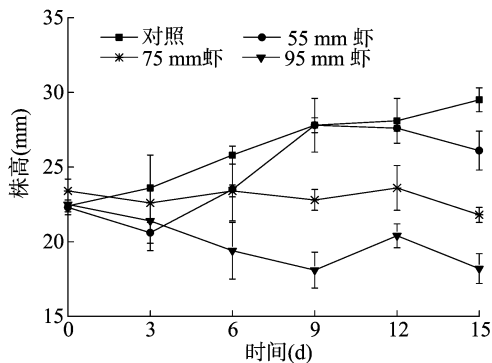
图1 不同形态克氏原螯虾对沉水植物总生物量的影响

### 2.2 克氏原螯虾对沉水植物株高的影响

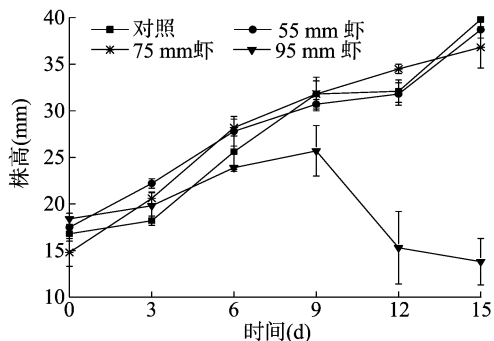
由图 2-a 可知,试验结束时,75 mm 和 95 mm 螯虾组中轮叶黑藻株高均下降了 100%,55 mm 螯虾组中轮叶黑藻株



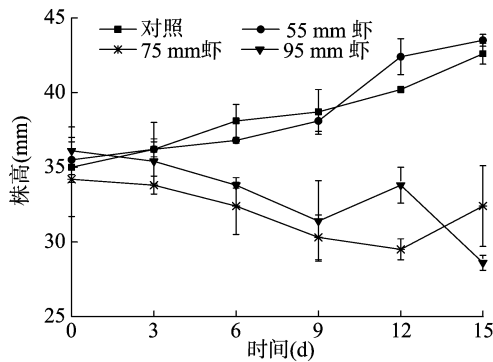
a. 克氏原螯虾对轮叶黑藻株高的影响



b. 克氏原螯虾对篦齿眼子菜株高的影响



c. 克氏原螯虾对竹叶眼子菜株高的影响



d. 克氏原螯虾对苦草株高的影响

图2 不同形态克氏原螯虾对不同沉水植物株高的影响

高仅下降了3.6%,对照组轮叶黑藻株高增长了41.2%。经分析,试验组与对照组轮叶黑藻株高存在显著差异( $P < 0.05$ )。3种形态克氏原螯虾对篦齿眼子菜和竹叶眼子菜株高具有一定影响(图2-b,图2-c),对照组和55 mm 螯虾组篦齿眼子菜和竹叶眼子菜的株高无显著差异,但在75 mm 和95 mm 螯虾组中,篦齿眼子菜和竹叶眼子菜的株高显著低于其他处理组( $P < 0.05$ )。对于苦草,对照组和55 mm 螯虾组苦草株高分别增长了17.8%和18.4%,75 mm 和95 mm 螯虾组苦草株高分别下降了5.6%和26.2%(图2-d)。结果表明,克氏原螯虾对沉水植物株高具有明显的影响,克氏原螯虾的存在不利于沉水植物株高的增长。

### 2.3 克氏原螯虾对不同沉水植物的摄食选择性

克氏原螯虾对不同沉水植物的摄食选择存在显著差异( $P < 0.05$ ),不同形态克氏原螯虾对不同沉水植物的选择性指数不同。由图3可知,3种形态克氏原螯虾对轮叶黑藻的选择性指数均大于0。其中95 mm 螯虾组对沉水植物轮叶黑藻、篦齿眼子菜和竹叶眼子菜的选择性指数大于0,对苦草的选择性指数小于0;55 mm 和75 mm 螯虾组除了对轮叶黑藻的选择性指数大于0外,对篦齿眼子菜、竹叶眼子菜和苦草的选择性指数均小于0。克氏原螯虾对轮叶黑藻的喜好程度优于篦齿眼子菜和竹叶眼子菜,对苦草的选择性最低,表明克氏原螯虾并不喜好苦草。

## 3 结论与讨论

螺类、螯虾类、草食性鱼类等动物的摄食是影响沉水植物生长的主要因素之一<sup>[9-11]</sup>。有研究发现,克氏原螯虾对荷兰泥炭湖沉水植物生长具有显著影响,克氏原螯虾的引入能急剧降低轮藻(*Chara virgata*)、伊乐藻(*Elodea nuttallii*)和穗状

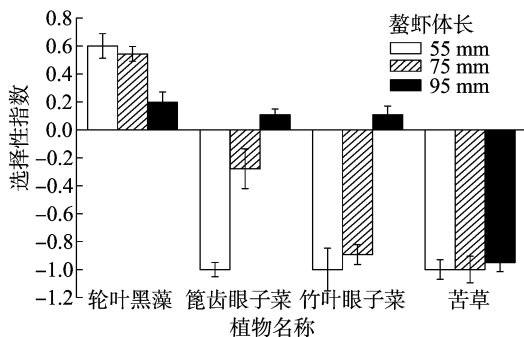
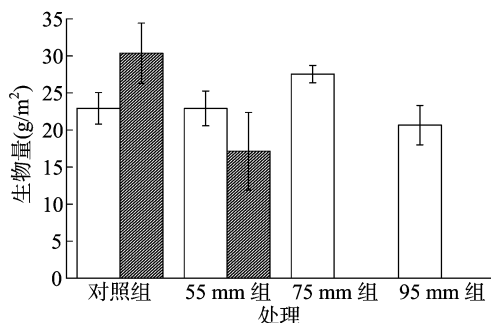
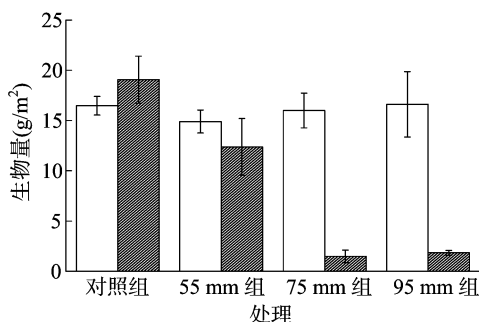


图3 克氏原螯虾对不同沉水植物的摄食选择性

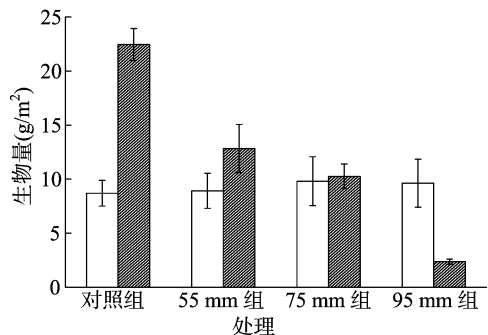
狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)等沉水植物的生物量<sup>[9]</sup>。本研究发现,克氏原螯虾对轮叶黑藻生物量的影响最为明显,试验结束时,95 mm 和75 mm 螯虾组中轮叶黑藻生物量下降了100.0%,55 mm 螯虾组轮叶黑藻的生物量基本未发生变化,对照组轮叶黑藻的生物量增加了32.4%。与轮叶黑藻相似的是,不同形态克氏原螯虾对篦齿眼子菜均有一定影响,其影响主要集中在茎上;试验过程中发现,篦齿眼子菜的茎常被克氏原螯虾咬断,可能与篦齿眼子菜的茎比较纤细有关;对竹叶眼子菜和苦草生物量的影响最小(图4)。克氏原螯虾极喜食轮叶黑藻,可能与轮叶黑藻叶片较为细嫩、分支结构细小,而苦草和竹叶眼子菜外表宽大而坚硬不利于克氏原螯虾的摄食有关。与轮叶黑藻相比,苦草和竹叶眼子菜具有较高的粗纤维含量<sup>[10]</sup>,克氏原螯虾无法轻易咬断植物纤维,从而导致其对苦草和竹叶眼子菜生物量的影响较小。研究表明,克氏原螯虾对不同种类沉水植物的生物量具有明显的影响,克氏原螯虾的引入可大幅度降低沉水植物的生物量,其生物量随着克氏原螯虾体长的增加而下降。



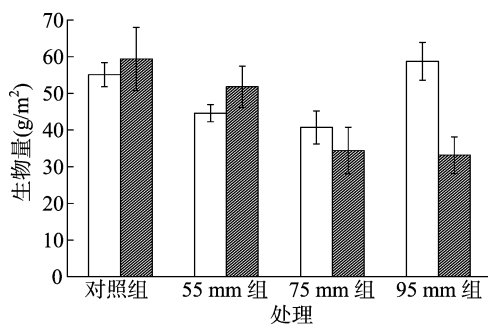
a. 江克氏原螯虾对轮叶黑藻生物量的影响



b. 克氏原螯虾对篦齿眼子菜生物量的影响



c. 克氏原螯虾对竹叶眼子菜生物量的影响



d. 克氏原螯虾对苦草生物量的影响

□ 试验初始 ■ 试验结束

图4 不同形态克氏原螯虾对不同种类沉水植物生物量的影响

试验中影响沉水植物株高的因素与克氏原螯虾对沉水植物的选择性摄食有关。本研究发现,克氏原螯虾对不同沉水植物的选择性摄食及对不同沉水植物茎和叶片的影响有所不同,从而对不同沉水植物株高的影响不同。克氏原螯虾对4种供试植物中的轮叶黑藻和篦齿眼子菜的摄食性高,导致轮叶黑藻和篦齿眼子菜的株高增长率下降。本研究发现,克氏原螯虾极喜摄食轮叶黑藻,对轮叶黑藻株高的影响最为明显,在试验进行到9 d时,轮叶黑藻株高几乎为0,且随着克氏原螯虾体长的增加,其摄食量变大,轮叶黑藻株高下降幅度愈来愈明显。而克氏原螯虾对苦草的影响不显著,可能是由于克氏原螯虾对沉积物和苦草的扰动阻碍了苦草生长,但具体原因还有待于进一步研究。

研究结果表明,小体型克氏原螯虾的引入可造成沉水植物株高下降,大体型的克氏原螯虾处理组对沉水植物株高的负面影响更严重,整体上不同形态克氏原螯虾处理组均会使沉水植物的株高明显降低,随着形态体长的增大,对株高的负面影响不断增加,可能的原因是克氏原螯虾的个体生长使得其摄食量逐渐增加,导致生物量急剧下降,最终导致沉水植物株高显著降低,说明克氏原螯虾形态越大,对沉水植物株高的危害性也越大。

克氏原螯虾对供试沉水植物的摄食选择存在较大差异,不同形态克氏原螯虾对不同沉水植物的选择性指数不同。当轮叶黑藻、苦草、竹叶眼子菜和篦齿眼子菜同时存在时,克氏原螯虾偏爱摄食轮叶黑藻,对轮叶黑藻的选择比例均超过80%,其次为篦齿眼子菜和竹叶眼子菜,对苦草的选择比例最低。有研究表明,水生动物对植物的摄食作用往往具有一定的选择性,这与植物的形态结构、营养价值、酚类化合物等有一定的关系,酚类化合物含量的高低可能是影响水生动物摄食的一个重要原因<sup>[11]</sup>。Gao等研究发现,轮叶黑藻的酚类化合物含量较高,是苦草的179倍<sup>[22]</sup>,轮叶黑藻酚类化合物含量较高可能是克氏原螯虾偏爱摄食轮叶黑藻的一个重要原因。Cronin等研究发现,螯虾对大型水生植物的摄食有明显的选择性,更喜食具有细小分支结构的水生植物,如轮藻、金鱼藻等<sup>[21]</sup>。在本试验中,由于轮叶黑藻、苦草、竹叶眼子菜和篦齿眼子菜形态结构差异明显,克氏原螯虾偏向摄食轮叶黑藻,可能由于轮叶黑藻叶较嫩、较短,有利于克氏原螯虾摄食,而克氏原螯虾对苦草的选择性最低,可能由于苦草叶面宽大、厚实,不利于克氏原螯虾摄食,但具体原因还有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 谢贻发. 沉水植物与富营养湖泊水体、沉积物营养盐的相互作用研究[D]. 广州:暨南大学,2008.
- [2] 孔杨勇,夏宜平,陈煜初. 沉水植物的研究现状及其园林应用[J]. 中国园林,2005(6):65-68.
- [3] Valiranta M, Weckstrom J, Siitonen S, et al. Holocene aquatic ecosystem change in the boreal vegetation zone of northern Finland[J]. Journal of Paleolimnology, 2011, 45(3):339-352.
- [4] 李 强,王国祥,宋仲容. 沉水植物生长恢复研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,2013:1-193.
- [5] Havens K E, Sharfstein B, Brady M A, et al. Recovery of submerged plants from high water stress in a large subtropical lake in Florida[J]. Aquatic Botany, 2003, 78(1):67-82.
- [6] Md H, Moss B. Factors influencing the return of submerged plants to a clear-water, shallow temperate lake[J]. Aquatic Botany, 2004, 80(3):177-191.
- [7] 王 华,逢 勇,刘申宝,等. 沉水植物生长影响因子研究进展[J]. 生态学报,2008,28(8):3958-3968.
- [8] Catarino L F, Ferreira M T, Moreira I S. Preferences of grass carp for macrophytes in Iberian drainage channels[J]. Journal of Aquatic Plant Management, 1997, 36:79-83.
- [9] Jessica E M, Dorenbosch M, Immers A K, et al. Invasive crayfish threaten the development of submerged macrophytes in lake restoration[J]. PLoS One, 2013, 8(10):e78579.
- [10] 孙 健,贺 锋,张 义,等. 草鱼对不同种类沉水植物的摄食研究[J]. 水生生物学报,2015,39(5):997-1002.
- [11] 何日利,刘正文. 福寿螺牧食对沉水植物群落结构的影响[J]. 安全与环境学报,2016,16(3):338-342.
- [12] 唐鑫生. 克氏原螯虾[J]. 生物学通报,2001,35(9):19-20.
- [13] 薛俊增,吴惠仙,张丽萍. 克氏原螯虾外部形态和各器官系统的解剖[J]. 杭州师范学院学报,1998(6):69-73.
- [14] 李振宇,解 焱. 中国外来入侵种[M]. 北京:中国林业出版社,2002:1-211.
- [15] 王苏益,柯尊伟,蔡亚非,等. 克氏原螯虾在舟山群岛永久性静水水体中的分布及其影响因素[J]. 生态学杂志,2010,29(6):1175-1180.
- [16] Cruz M J, Rebelo R. Vulnerability of southwest Iberian amphibians to an introduced crayfish, *Procambarus clarkii* [J]. Amphibian Reptilia, 2005, 26(3):293-303.
- [17] Rodriguez C F, Becares E, Fernandez-Alaez M, et al. Loss of diversity and degradation of wetlands as a result of introducing exotic crayfish[J]. Biological Invasions, 2005, 7(1):75-85.
- [18] 武正军,蔡凤金,贾运锋,等. 桂林地区克氏原螯虾对泽蛙蝌蚪的捕食[J]. 生物多样性,2008,16(2):150-155.
- [19] Gamradt S C, Kats L B. Effect of introduced crayfish and mosquitofish on California newts[J]. Conservation Biology, 1996, 10(4):1155-1162.
- [20] Hobbs H H, Jass J P, Huner J V. A review of global crayfish introductions with particular emphasis on 2 North-American species (Decapoda, Cambaridae) [J]. Crustaceana, 1989, 56(3):299-316.
- [21] Cronin G, Lodge D M, Hay M E, et al. Crayfish feeding preferences for fresh water macrophytes: the influence of plant structure and chemistry[J]. Journal of Crustacean Biology, 2002, 22(4):708-718.
- [22] Gao Y N, Liu B Y, Xu D, et al. Phenolic compounds exuded from two submerged freshwater macrophytes and their allelopathic effects on *Microcystis aeruginosa* [J]. Polish Journal of Environmental Studies, 2011, 20(5):1153-1159.