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*

王苏盆[1,2] 柯尊伟[2] 蔡亚非[1**] 李义明[2]

([1] 安徽师范大学生命科学学院, 生物环境与生态安全安徽省高校省级重点实验室, 安徽芜湖 241000; [2] 中国科学院动物研究所, 北京 100080)

摘 要 为了解克氏原螯虾在永久性静水水体(水库和池塘)中的分布及其影响因素和它对两栖动物多样性的影响,于2008年5—8月,利用样线法与目视遇测法以及网捕法,对舟山群岛中的8个岛屿(岱山、六横、秀山、佛渡、桃花、虾峙、册子和普陀山)上的86个水库和池塘中的克氏原螯虾分布和影响其分布的因素进行了调查,调查的因素包括外来种牛蛙(*Rana catesbeiana*)、水体的面积、最大水深、水体周边植被的覆盖率、鱼的出现率、人口足迹以及当地蛙的密度和物种多样性。结果表明:1)83.7%的研究水体(72/86)有克氏原螯虾的分布,克氏原螯虾和牛蛙共同分布的水体占53.5%;2)克氏原螯虾的密度在各个岛屿上的分布是不均匀的;3)基于信息标准(AIC_c)的最小满足模型(Minimum Adequate Model)显示,克氏原螯虾的分布与水体的最大水深和牛蛙的密度呈正相关,而与其他因素没有关系。克氏原螯虾的入侵对舟山群岛永久性静水水体蛙类物种多样性的直接影响可能不大,但由于克氏原螯虾是牛蛙的重要食物,它的分布可能潜在地助长外来种牛蛙的密度。

关键词 入侵种; 永久性静水水体; 分布; 牛蛙密度; 当地蛙多样性

中图分类号 Q145 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)6-1175-06

Distribution of introduced red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in permanent lentic water bodies on Zhoushan Archipelago of China and related affecting factors.

WANG Su-pen[1,2], KE Zun-wei[2], CAI Ya-fei[1], LI Yi-ming[2] ([1]*College of Life Sciences, Anhui Normal University, Provincial Key Laboratory of Biotic Environment and Ecological Safety in Anhui, Wuhu* 241000, *Anhui, China*; [2]*Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100080, *China*). *Chinese Journal of Ecology*,2010,**29**(6):1175-1180.

Abstract: In order to understand the habitat selection and spatial distribution of red swamp crayfish (*Procambarus clarkia*) and its influence on native amphibian diversity, an investigation was made in 86 reservoirs and ponds on eight islands (Daishan, Liuheng, Xiushan, Fodu, Taohua, Xiazhi, Cezi, and Putuo Mountain) of Zhoushan Archipelago in May - August 2008 by the methods of transect line, visual encounter survey, and net catching. Based on the investigation, the distribution and density of the crayfish in the water bodies were studied, with the related affecting factors analyzed. The results showed that 83.7% (72/86) of the water bodies had the distribution of *P. clarkia*, and 53.5% of them had the co-occurrence of *P. clarkia* and American bullfrog Rana catesbeiana. The density of *P. clarkia* in its invaded water bodies differed the islands. The minimum adequate model based on information criterion (AIC_c) displayed that the occurrence of *P. clarkia* was positively correlated maximum water depth and *R. catesbeiana* density. It was suggested that the occurrence of the crayfish might have little direct effects on the native frog species richness in permanent lentic water bodies. As an important ingredient of bullfrog diet, the crayfish's distribution could potentially promote the density of bullfrog co-occurred with the crayfish.

* 安徽省教育厅重点项目(KJ2009A039)和国家自然科学基金资助项目(30870312)。

** 通讯作者 E-mail: caiyafeinau@163.com

收稿日期: 2009-10-20 接受日期: 2010-03-12

Key words: invasive species; permanent lentic water body; distribution; American bullfrog density; native frog diversity.

外来种入侵不但会威胁到全球的生物多样性(Wilcove *et al.*,1998),而且还会造成巨大的经济损失(Pimentel *et al.*,2000)。了解生物入侵、扩散和危害的机制是生态学面临的一大挑战(Soule,1990; Lovei,1997)。外来种已广泛分布于世界各地并且已与当地种发生着复杂的生态关系,不同的外来种也可能分布于同一栖息地,它们之间也可能存在相互作用。因此,了解外来种的分布及其影响因素对揭示外来种的潜在生态影响和预测外来种的未来分布区是至关重要的(Simberloff & von Holle,1999; Richardson *et al.*,2000)。

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。该物种是分布于美国南部和墨西哥北部的土著种,因世界各地广泛地引种饲养而入侵到野外,目前,它已入侵除澳洲和南极洲以外的各大洲(Campos,2005)。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)。它的入侵已导致西班牙西北部 Chozas 湖中 83% 的两栖类物种消失(Rodriguez *et al.*,2005),伊比利亚半岛西南部两栖类物种丰富度下降(Cruz *et al.*,2006)。对于有尾目,它能捕食美国加州南部山区肥渍螈(Taricha torosa)卵和幼体,导致该地区肥渍螈种群下降(Gamradt & Kats,1996; Gamradt *et al.*,1997; Kats & Ferrer,2003)。对于无尾目,它能通过捕食它们的成体,改变成体的繁殖行为,阻止其成功交配以及产卵(Gamradt *et al.*,1997),而且还能影响到它们的幼体行为,使其活动减少,微生境利用改变(Cruz & Rebelo,2005)。同时,克氏原螯虾还能危害水体中的水生植物,使两栖类的产卵场地受到破坏。另外,它还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。研究表明,即使水体中的克氏原螯虾密度较低时(低于 1 尾 · m^{-2}),也能完全毁坏水体中的水生植物(Rodriguez *et al.*,2005)。

中国的克氏原螯虾于 1929 年由日本引入中国南京附近(薛俊增等,1998)。随后,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自然繁殖种群,在部分地区还成为优势种群(李振宇和解焱,2002)。在我国,克氏原螯虾的生物学特征已进行了较多研究,如克氏原螯虾的产卵适宜生态环境(孙瑞杰等,2008)、标准代谢(温小波和库夭梅,2003)、种群生长模型(唐建清和宋胜磊,2003)以及人工洞穴的选择性等研究。实验室控制实验显示,克氏原螯虾能影响仙姑弹琴蛙(*Rana daunchina*)蝌蚪的行为(戴强等,2004)。武正军等(2008)在广西桂林地区发现,克氏原螯虾能捕食泽蛙(*R. limnocharis*)蝌蚪;在暂时性水体如水稻田里,泽蛙密度与克氏原螯虾的密度呈负相关。这种负相关可能是克氏原螯虾危害两栖无尾动物种群的结果,但也有可能是泽蛙与克氏原螯虾栖息地利用的差异所造成的。因此,克氏原螯虾是否危害两栖无尾动物种群需要进一步研究。

克氏原螯虾已入侵舟山群岛的多个永久性静水水体,如水库和池塘(Wu *et al.*,2005;王彦平等,2006)。永久性静水水体是舟山群岛重要的淡水资源,是两栖动物重要的栖息地。作者于 2008 年 5—8 月期间对舟山群岛的 8 个岛屿(岱山、六横、秀山、佛渡、桃花、虾峙、册子和普陀山)上的 86 个水库和池塘进行了研究,以探讨影响克氏原螯虾在这些岛屿上的永久性静水水体中的分布率、密度大小的因素及其对当地两栖动物的潜在危害。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

舟山群岛是中国最大的群岛(29°32′N—31°04′N,121°30′E—123°25′E),位于浙江省东部(图 1)。舟山群岛共有大小岛屿 1339 个,呈东北-西南向排列,陆地总面积为 1371 km^2。本区属亚热带季风性海洋气候,冬季平均气温 5.1 ℃,夏季平均气温 26.7 ℃,年平均降雨量为 1200 ~ 1400 mm,雨量充沛、四季分明。植被主要为中亚热带常绿阔叶林。地形主要以丘陵(约占 70%)和平原(约占 30%)为主(章风池和周永孚,1992)。舟山群岛共有 10 种土著两栖类物种(顾辉清和金贻郎,1985;李义明和李典谟,1998),其中泽蛙、黑斑蛙(*R. nigromaculata*)和蟾蜍(*Bufo bufo gargarizans*)是池塘和水库中分布最广、数量最多的两栖类。

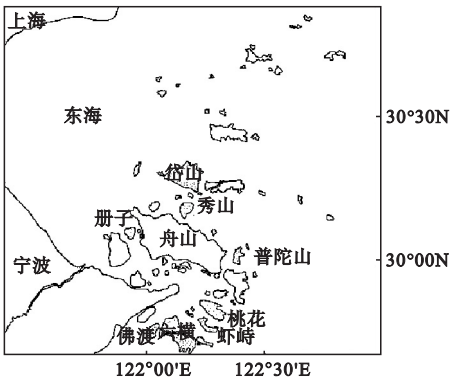


图 1 舟山群岛克氏原螯虾分布示意图

Fig. 1 Distribution of *Procambarus clarkii* on Zhoushan Archipelago

克氏原螯虾和另一个外来种——美国牛蛙(*Rana catesbeiana*)在 8 个岛屿(岱山、六横、秀山、佛渡、桃花、虾峙、册子和普陀山)上建立了自然繁殖种群(武正军等,2004)。岛屿上静止性水体如池塘和水库较多,而流动性水体如河流较少。不同岛屿的池塘和水库在水深、水域面积、植被盖度等方面存在差异(Li *et al.*,2006)。淡水鱼类和当地虾类是池塘和水库的常见水生生物。

1.2 研究方法

在 8 个岛屿上寻找永久性静水水体如水库和池塘,收集每个水体中克氏原螯虾分布和密度、牛蛙分布和密度、当地蛙密度和多样性以及水体周边植被盖度、水体的面积、最大水深及人口足迹等数据。采用样线法与目视遇测法以及网捕法研究克氏原螯虾的分布和密度,牛蛙分布和密度,当地蛙密度和多样性以及水体周边植被盖度,水体的面积和最大水深(Thoms *et al.*,1997)。

于 2008 年 5—8 月,每晚 19:00—24:00,携带 GPS、记录本、记录笔和手电筒(12 V),用 GPS 记录各个水库坐标,收集以下数据:1)克氏原螯虾和牛蛙的分布:沿每个水体的岸边仔细寻找水体里是否分布有克氏原螯虾和牛蛙,每个水体研究 3 个夜晚,克氏原螯虾和牛蛙的分布定义为二分变量,一个水体中任何一个夜晚发现有克氏原螯虾或牛蛙,定义为 1,3 个夜晚均未发现定义为 0。2)克氏原螯虾、牛蛙、当地蛙及当地鱼的密度:将每个水体可达到的岸边均匀地分为 5 个长度相等的小段,在每一小段随机确定一个 2 m×10 m 的样线,样线沿岸边设置(在 2 m 的宽度中,一半宽度在水面,而另一半宽度在岸上),手持电筒,统计每个样线中克氏原螯虾、牛蛙、当地蛙及鱼的个体数,在水深的地方用网捕法计数。计算每个水体中它们的平均密度及当地蛙的物种丰富度。3)水体特征:用 GPS 标记每个水体的形状,计算它们的表面积。对于有大坝的水体,确定水体的最大水深度为水面高度减去坝最低处的海拔高度,对于比较浅的水体(通常没有坝),实际测量水体的最大深度。在研究克氏原螯虾和牛蛙及当地蛙的密度的同时,用目测法估计每个样线水面部分植被的盖度(%),计算每个水体植被盖度的平均值。

人口足迹(the human footprint)数据是从 last-of-the-wild web site 上获得。人口足迹是建立在 GIS 基础上一种数据变量,整合了人口密度、土地改造(如公路、铁路修建)、人类可接近的环境、电力基础设施等 4 种类型数据。人口足迹与生态足迹(the ecological footprint)有本质上的区别,其描述的是一个动态的人类影响自然的过程。

1.3 数据分析

比较有克氏原螯虾分布与没有其分布的水体在牛蛙分布和密度、当地常见种泽蛙、黑斑蛙和蟾蜍的密度、当地蛙密度和物种丰富度、鱼类密度、水体特征如表面积、最大深度和植被盖度方面的差异。水体表面积进行 $\log_{10}$ 转换。由于部分变量是非正态分布的,用非参数统计来检验这些差异。用 Mann-Whitney U 检验来判别连续变量如牛蛙密度、当地常见种泽蛙、黑斑蛙和蟾蜍的密度、当地蛙密度和物种丰富度、鱼类密度、水体特征如表面积、最大深度和植被盖度的差异,用 χ^2 检验确定百分数变量如牛蛙分布的差异。P 值<0.30 的变量保留进入后续分析(贾非等,2005)。利用 Kruskal Wallis 检验确定岛屿间克氏原螯虾分布水体中,其密度是否有差异,然后用 Mann-Whitney U 开展两两岛屿间密度差异的检验。

考虑到水体分布在各岛屿上的空间聚集性,用线性混合模型(linear mixed model)来研究克氏原螯虾分布与环境变量间的关系,如:当地蛙密度和物种丰富度、鱼类密度、人口足迹、植物覆盖度等各种因素对克氏原螯虾分布的影响,然后以 AIC 信息标准(Akaike's Information Criterion)确定最小满足的模型。*AIC* 值的计算公式为:

$$AIC=2k-2\ln L$$

k 为回归等式中自变量的个数+3。

$$AIC_c=AIC+2K(K+1)/(n-K-1)$$

n 为样本数;当 $n/k>40$ 时,一般采用 AIC 值作为模型预测准确性的判定指标;当 $n/k<40$ 时,一般使用 AIC_c 值(Burnham *et al.*,1998)。以克氏原螯虾分布作为依赖变量,以岛屿为聚集变量,以环境变量和岛屿编码作为固定变量和随机变量,首先建立选择变量($P<0.3$)的可能组合所构成的不同模型,然后选择 AIC_c 值最小的模型,即为最小满足的模型。用 *R* 软件(2.8.1)进行所有的统计分析。

2 结果与分析

2.1 克氏原螯虾在舟山群岛主要岛屿入侵概况

在研究的86个水库中,有72个水体被克氏原螯虾入侵(图1),14个水体未被入侵,入侵率为83.7%。克氏原螯虾在研究的所有岛屿都有分布。与牛蛙共同入侵的水体占研究水体的53.5%。

2.2 克氏原螯虾入侵水体与非入侵水体特征

Mann-Whitney *U* 检验显示(表1),克氏原螯虾入侵水体与未入侵水体仅在最大水深方面有显著差异,克氏原螯虾入侵水体的水深(3.026±1.848) m显著高于非入侵水体的水深(1.814±1.831)m,其他研究因素无显著差异。

各岛屿入侵水体的克氏原螯虾密度如图2。Kruskal Wallis Test 显示,各个岛屿的克氏原螯虾密度存在显著差异($\chi^2 = 22.052$, $P = 0.002$)。利用 Mann-Whitney *U* 进行两两岛屿间差异的检验(表2),结果发现,六横岛的密度显著高于岱山岛、佛渡岛、普陀山、虾峙岛和秀山岛。

2.3 克氏原螯虾分布与牛蛙、当地种及其他研究因素的关系

以克氏原螯虾分布为因变量,最小满足的模型包括牛蛙密度和最大水深(表3),克氏原螯虾分布与牛蛙密度和最大水深呈正相关,其中克氏原螯虾分布和最大水深间的关系显著,而牛蛙密度虽然进入最小模型,但 *P* 值不显著。

表1 克氏原螯虾入侵水体与非入侵水体特征

Tab.1 Characteristics of *Procambarus clarkia* invaded sites and non-invaded sites water bodies

变量	入侵水体	非入侵水体	*Z*	*P*
牛蛙分布	61.1%(44/72)	42.9%(6/14)	3.115	0.078
牛蛙密度(只·m^{-2})	0.141±0.297*	0.019±0.024	−1.379	0.168
泽蛙密度(只·m^{-2})	0.043±0.064	0.066±0.085	−1.653	0.098
黑斑蛙密度(只·m^{-2})	0.031±0.049	0.040±0.055	−1.401	0.161
蟾蜍密度(只·m^{-2})	0.044±0.088	0.025±0.065	−0.927	0.354
当地蛙密度(只·m^{-2})	0.114±0.158	0.216±0.341	−1.654	0.098
当地蛙多样性(种·m^{-2})	0.656±0.683	0.839±0.716	−1.138	0.225
鱼密度(尾·m^{-2})	0.710±0.686	0.914±0.855	−0.673	0.051
植被(%)	1.673±1.689	1.871±1.695	−0.709	0.478
水体面积(m^2)	3.767±0.459	3.491±0.796	−1.705	0.088
最大水深(m)	3.026±1.848	1.814±1.831	−2.882	0.004
人口足迹	31.222±5.829	32.714±7.640	−0.947	0.334

*代表:均数±标准差。

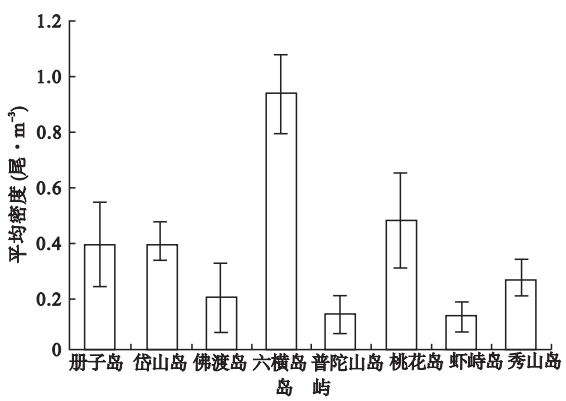


图2 克氏原螯虾在各个岛屿入侵水体里的密度

Fig.2 Density of *Procambarus clarkia* in invaded water bodies in islands

表2 岛屿间入侵水体克氏原螯虾密度的比较

Tab.2 Comparison on density of Procambarus clarkia in invaded water bodies among islands

岛屿	秀山	虾峙	桃花	普陀山	六横	佛渡	岱山
册子	−0.820(0.412)	−1.605(0.108)	−0.092(0.926)	−1.549(0.121)	−1.458(0.145)	−1.671(0.095)	−0.283(0.777)
岱山	−0.378(0.706)	−0.859(0.390)	−0.368(0.713)	−1.238(0.216)	−3.167(0.002)	−1.559(0.119)	–
佛渡	−1.492(0.136)	−0.864(0.387)	−1.949(0.051)	−0.528(0.597)	−3.061(0.002)	–	–
六横	−2.612(0.009)	−2.427(0.015)	−1.929(0.054)	−2.967(0.003)	–	–	–
普陀山	−1.099(0.272)	−0.426(0.670)	−1.592(0.111)	–	–	–	–
桃花	−1.061(0.289)	−1.697(0.090)	–	–	–	–	–
虾峙	−1.276(0.202)	–	–	–	–	–	–

表 3 基于 AIC 信息标准的最小满足模型
Tab. 3 Minimum adequate model based on the Akaike's Information Criterion (AIC_c)

变量	回归系数 (β)	标准误	Z 值	P 值	K	AIC	AIC_c
牛蛙密度(只·m^{-2})	30.703	25.142	1.2212	0.22	5	72.03	57.03
最大水深(m)	0.547	0.274	1.99	0.046*			

3 讨 论

3.1 克氏原螯虾在永久性静水水体中分布及栖息地选择

有关克氏原螯虾分布,国外只粗略地报道了其单独分布,或与其他种螯虾的共同分布(Campos,2005;Ohtaka *et al.*,2005),国内也只是报道了其粗略的分布在哪些省份,具体的入侵程度并不是很清楚(李振宇和解焱,2002)。本研究表明,克氏原螯虾已经广泛分布在舟山群岛的永久性静水水体中,并且在各个岛屿的永久性静水水体中的密度分布有显著性差异,其原因可能是各个岛屿间人为捕杀压力存在差异。但确切原因还有待进一步研究。

本研究还发现,克氏原螯虾的分布与永久性静水水体的最大水深呈正相关,表明克氏原螯虾比较偏向于生活在较深永久性静水水体中(3.026 ± 1.848) m。推测有以下几个原因:1)克氏原螯虾是杂食性物种(Correia,2003),在较深的永久性静水水体中生活着大量的物种,能够提供给克氏原螯虾较丰富的食物,使克氏原螯虾更容易生存;2)在较深的永久性静水水体中,当克氏原螯虾在遇到人类捕杀或者天敌时,有更大的躲避空间;3)自然灾害对于水体的破坏以及对于水体中生物的影响是巨大的,甚至会导致物种的绝灭(Gamradt *et al.*,1997)。在大旱年,浅水体很容易干涸,这对于生活在水体中的生物是毁灭性的打击。而在较深的永久性静水水体中克氏原螯虾种群生存及后代的繁衍会得到更多的保障。

3.2 克氏原螯虾与牛蛙的相互关系

对于克氏原螯虾入侵的状况,鲜有与脊椎动物共同入侵的报道(Cruz & Rebelo,2005),而在本研究的最小化模型中,牛蛙密度与最大水深共同进入模型。可能的原因是克氏原螯虾是牛蛙的食物(Wu *et al.*,2005;王彦平等,2006),在克氏原螯虾分布的水体更容易吸引牛蛙入侵。但这 2 种入侵种之间的关系,不是很清楚,还需要进一步研究。

3.3 克氏原螯虾与舟山群岛当地群落关系

研究发现,克氏原螯虾的分布与当地蛙密度和物种丰富度、鱼类密度、人口足迹、植物覆盖度等其他生态因素无直接关系,这与已有研究结果不一致。如泽蛙蝌蚪的密度与克氏原螯虾的密度呈显著负相关(武正军等,2008),克氏原螯虾导致加利福尼亚蝾螈种群衰萎(Gamradt*et al.*,1997)等。可能的原因是克氏原螯虾在中国入侵时间较长(薛俊增等,1998),而物种的入侵时间作为入侵种对当地物种影响力的重要参考因素,在植物中已有研究(Strayer *et al.*,2006)。植物入侵中的归化(naturalized)现象早已提出(Gladstones & Collins,1983;Sax,2002),但在动物入侵中,这种现象还未见报道。因此推测,克氏原螯虾在舟山群岛建立的野外种群,已融于当地的群落,建立起一种新的动态平衡。但要明确这种可能性,还需要进一步研究。

3.4 克氏原螯虾的管理建议

克氏原螯虾作为入侵种,对当地物种的影响均为负面报道(Hobbs *et al.*,1989;Anastacio & Marques,1995;Lodge *et al.*,2000;Harper *et al.*,2002;Geiger *et al.*,2005)。本研究表明,克氏原螯虾的分布与当地的两栖类、鱼、植被无直接关系,但可能还存在间接的影响,对于当地种可能还存在潜在的危害,因此还要保持高度警惕。当地虾类是舟山群岛池塘和水库的常见水生生物,可能会对克氏原螯虾产生影响,它们之间的互作作用很复杂,需要进一步研究。考虑到克氏原螯虾的经济价值,在控制它扩散的同时,不能片面地将它看作入侵危害种,而简单地进行灭绝处理,需要更理智地看待近期入侵水体和长久入侵水体差别性,提出更为客观科学的治理方法。

致谢 在研究期间得到刘宣的协助;数据分析时得到徐峰的指导;撰写过程得到白昌明的帮助,在此表示感谢!

参考文献

戴 强, 戴建洪, 李 成, 等. 2004. 仙姑弹琴蛙蝌蚪对陌生捕食者克氏原螯虾的反捕反应. 生物多样性, **12**(5): 481–487.

顾辉清, 金贻郎. 1985. 舟山群岛两栖动物地理分布研究. 两栖爬行动物学报, **4**(1): 30–35.

贾 非, 王 楠, 郑光美. 2005. 白马鸡繁殖早期栖息地选

择和空间分布. 动物学报, **51**(3): 383-392.
李义明, 李典谟. 1998. 影响舟山群岛蛙类物种多样性的主要因素分析. 动物学报, **44**(2): 150-156.
李振宇, 解 焱. 2002. 中国外来入侵种. 北京:中国林业出版社.
孙瑞杰, 龚世园, 马艳霞, 等. 2008. 克氏原螯虾产卵适宜生态环境的研究. 淡水渔业, **38**(4): 16-19.
唐建清, 宋胜磊. 2003. 克氏原螯虾种群生长模型及生态参数的研究. 南京师大学报 (自然科学版), **26**(1): 96-100.
唐鑫生. 2001. 克氏原螯虾. 生物学通报, **36**(9): 19-20.
王彦平, 王一华, 陆 萍, 等. 2006. 舟山群岛变态后牛蛙的食性研究. 生物多样性, **14**(5): 363-371.
温小波, 库夭梅. 2003. 克氏原螯虾的生理生态学研究. 湖北农学院学报, **23**(1): 41-44.
武正军, 蔡凤金, 贾运锋, 等. 2008. 桂林地区克氏原螯虾对泽蛙蝌蚪的捕食. 生物多样性, **16**(2): 150-155.
武正军, 王彦平, 李义明, 等. 2004. 浙江东部牛蛙的自然种群及潜在危害. 生物多样性, **12**(4): 441-446.
薛俊增, 吴惠仙, 张丽萍. 1998. 克氏原螯虾替代对虾进行甲壳动物学实验的形态解剖. 涪陵师范专科学校学报 (自然科学版), **14**(4):76-80.
章风池, 周永孚. 1992. 舟山市志. 杭州: 浙江人民出版社.
Anastacio PM, Marques JC. 1995. Population biology and production of the Red Swamp Crayfish *Procambarus clarkii* (Girard) in the Lower Mondego River Valley, Portugal. *Journal of Crustacean Biology*, **15**: 156-168.
Burnham KP, Anderson DR, Burnham KP, *et al*. 1998. Model selection and inference: A practical information-theoretic approach. New York: Springer-Verlag.
Campos MR. 2005. *Procambarus* (*Scapulicambarus*) *clarkii* (Girard, 1852), (Crustacea: Decapoda: Cambaridae). Una langostilla no nativa en Colombia. *Academia Colombiana de Ciencias exactas Físicas y Naturales*, **111**:295-302.
Correia AM. 2003. Food choice by the introduced crayfish *Procambarus clarkii*. *Annales Zoologici Fennici*, **40**: 517-528.
Cruz MJ, Rebelo R. 2005. Vulnerability of Southwest Iberian amphibians to an introduced crayfish, *Procambarus clarkii*. *Amphibia-Reptilia*, **26**: 293-303.
Cruz MJ, Rebelo R, Crespo EG. 2006. Effects of an introduced crayfish, *Procambarus clarkii*, on the distribution of southwestern Iberian amphibians in their breeding habitats. *Ecography*, **29**: 329-338.
Gamradt SC, Kats LB. 1996. Effect of introduced crayfish and mosquitofish on California newts. *Conservation Biology*, **10**: 1155-1162.
Gamradt SC, Kats LB, Anzalone CB. 1997. Aggression by nonnative crayfish deters breeding in California newts. *Conservation Biology*, **11**: 793-796.
Geiger W, Alcorlo P, Baltanas A, *et al*. 2005. Impact of an introduced Crustacean on the trophic webs of Mediterranean wetlands. *Biological Invasions*, **7**: 49-73.
Gladstones JS, Collins WJ. 1983. Subterranean clover as a naturalized plant in Australia. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*, **49**: 191-202.
Harper DM, Smart AC, Coley S,*et al*. 2002. Distribution and abundance of the Louisiana red swamp crayfish *Procambarus clarkii* Girard at Lake Naivasha, Kenya between 1987 and 1999. *Hydrobiologia*, **488**: 143-151.
Hobbs HH, Jass JP, Huner JV. 1989. A review of global crayfish introductions with particular emphasis on two North American species (Decapoda, Cambaridae). *Crustaceana*, **56**: 299-316.
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 YM, Wu ZJ, Duncan RP. 2006. Why islands are easier to invade: Human influences on bullfrog invasion in the Zhoushan archipelago and neighboring mainland China. *Oecologia*, **148**: 129-136.
Lodge DM, Taylor CA, Holdich DM, *et al*. 2000. Nonindigenous crayfishes threaten North American freshwater biodiversity: Lessons from Europe. *Fisheries*, **25**: 7-20.
Lovei GL. 1997. Biodiversity: Global change through invasion. *Nature*, **388**: 627-628.
Ohtaka A, Gelder SR, Kawai T, *et al*. 2005. New records and distributions of two North American branchiobdellidan species (Annelida: Clitellata) from introduced signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus*, in Japan. *Biological Invasions*, **7**: 149-156.
Pimentel D, Lach L, Zuniga R, *et al*. 2000. Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *Bioscience*, **50**: 53-65.
Richardson DM, Allsopp N, D'Antonio CM, *et al*. 2000. Plant invasions: The role of mutualisms. *Biological Reviews*, **75**: 65-93.
Rodriguez CF, Becares E, Fernandez-Alaez M, *et al*. 2005. Loss of diversity and degradation of wetlands as a result of introducing exotic crayfish. *Biological Invasions*, **7**: 75-85.
Sax DF. 2002. Native and naturalized plant diversity are positively correlated in scrub communities of California and Chile. *Diversity and Distributions*, **8**: 193-210.
Simberloff D, von Holle B. 1999. Positive interactions of nonindigenous species: Invasional meltdown. *Biological Invasions*, **1**: 21-32.
Soule ME. 1990. The onslaught of alien species, and other challenges in the coming decades. *Conservation Biology*, **4**: 233-239.
Strayer DL, Eviner VT, Jeschke JM, *et al*. 2006. Understanding the long-term effects of species invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, **21**: 645-651.
Thoms C, Corkran CC, Olson DH. 1997. Basic amphibian survey for inventory and monitoring in lentic habitats. *Northwest Fauna*, **4**: 35-46.
Wilcove DS, Rothstein D, Dubow J, *et al*. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *Bioscience*, **48**: 607-615.
Wu ZJ, Li YM, Wang YP, *et al*. 2005. Diet of introduced Bullfrogs (*Rana catesbeiana*): Predation on and diet overlap Anastacio PM, Marques JC gs on with native frogs on Daishan Island, China. *Journal of Herpetology*, **39**: 668-674.

作者简介 王苏盆,男,1983年生,硕士研究生。主要从事空间生态与入侵生态学研究。E-mail: wsp.1983@yahoo.com.cn

责任编辑 李凤芹