

长江江豚种群生存力分析及其对保护区规划的启示

吴斌, 王伟萍, 贺刚, 王海华*

(江西省水产科学研究所, 江西 南昌 330039)

摘要: 在现有条件下, 构建 1 个初始种群数量为 20 头、环境容纳量为 100 头的保护区, 长江江豚种群在未来 100 年的内禀增长率为 $-0.0536 \sim 0.1378$, 周限增长率为 $0.9478 \sim 1.1477$, 净增殖率为 $0.6602 \sim 2.5870$, 雌性平均世代为 $6.90 \sim 7.75$ a, 雄性平均世代为 $7.77 \sim 8.52$ a, 平均现存种群数量为 $14.21 \sim 30.09$ 头, 平均种群数量为 $1.51 \sim 19.10$ 头, 平均遗传多样性为 $0.4820 \sim 0.4919$, 灭绝概率为 $0.3704 \sim 1.0000$, 平均首次灭绝时间为 $19.1 \sim 59.5$ a。只有当保护区环境容纳量达到 160 头时, 在未来 100 年内长江江豚种群的存活概率才能达到 95%, 此时的 MVP 为 $38 \sim 41$ 头。进一步的模拟分析发现环境容纳量相对不限的条件下, 最小的 MVP 为 22 头, 而满足 MVP 为 22 头的最小环境容纳量为 366 头; 同时得到了在不同环境容纳量水域长江江豚种群 MVP, 并对最小可存活种群下长江江豚未来 100 年的生存动态进行了分析。基于上述研究结果, 提出了相关的长江江豚种群保护和管理建议。

关键词: 长江江豚; 保护区; 种群生存力; 漩涡模型; 环境容纳量

中图分类号: S965.199 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8581(2020)06-0093-06

Analysis of Population Viability of Yangtze River Finless Porpoise and Its Enlightenment to Protected Area Planning

WU Bin, WANG Wei-ping, HE Gang, WANG Hai-hua*

(Jiangxi Fisheries Research Institute, Nanchang 330039, China)

Abstract: A protected area with an initial population of 20 heads and an environmental capacity of 100 heads was constructed under the existing conditions. The intrinsic rate of increase of the Yangtze finless porpoise population in the next 100 years will be $-0.0536 \sim 0.1378$. The increment rate would be $0.9478 \sim 1.1477$. The net reproductive rate will be $0.6602 \sim 2.5870$. The average generation of females will be 6.90 to 7.75 a, the average generation of males will be $7.77 \sim 8.52$ a. The average number of existing populations will be $14.21 \sim 30.09$. The average population will be $1.51 \sim 19.10$. The average genetic diversity will be $0.4820 \sim 0.4919$. The extinction probability will be $0.3704 \sim 1.0000$, and the average first extinction time (year) will be $19.1 \sim 59.5$ a. When the environmental capacity reaches 160 heads, the survival probability of Yangtze finless porpoise in the next 100 years will reach more than 95%. At the time, the MVP will be $38 \sim 41$ heads. Further simulations show that the minimum MVP will be 22 heads under the condition that the environmental capacity is relatively unlimited, and the minimum environmental capacity for a MVP of 22 will be 366 heads. At the same time, MVP of Yangtze finless porpoise population in different environmental capacity waters will be obtained. The survival dynamics of the Yangtze River finless porpoise in the next 100 years under the MVP was analyzed. Relevant protection and management recommendations were proposed based on the research results.

Key words: Yangtze finless porpoise; Protected area; Population viability; Vortex model; Environmental capacity

江豚被誉为“水中大熊猫”, 在长江流域生活了 2500 万年, 是长江流域仅剩的淡水豚类。2017 年 5 月 9 日, 江豚被列为一级国家保护动物; 2018 年 7 月 24 日, 农业农村部发布信息, 长江江豚仅剩约 1012 头。1999 年张先锋等采用漩涡模型 Vortex

7.3 模拟了江豚种群在各种因素影响下的生存状况, 预测了江豚种群的灭绝概率。近 20 年来, 长江江豚发生了一些新变化, 种群趋于向受人为扰动较少的江段集中, 在过半数水域其种群数量持续下降或没有被发现, 种群分布呈碎片化特征。建

收稿日期: 2020-01-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(31972795); 江西省农牧渔业科研计划“社会化参与拯救长江江豚”豚越计划项目。

作者简介: 吴斌(1984—), 江西南昌人, 助理研究员, 硕士, 从事水产科学研究。* 通信作者: 王海华。

立精准养护、精细管护、精心救护的就地或迁地保护区对长江江豚保护具有重要意义,而在财力、物力、人力相对有限的条件下,保护区面积的规划是其中的重要因子,而保护区面积与环境容纳量密切相关,环境容纳量又与种群生存力密切相关,基于相关软件可以很好地对此进行量化分析。

种群生存力分析多用于模拟孤立小种群的生存动态过程,可以预测种群数量的变化和灭绝概率^[1-2]。漩涡模型(vortex model)的预测能力相对较全面^[3]。国内学者已经利用漩涡模型对白鳍豚(*Lipotes vexillifer*)^[4]、长江江豚(*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*)^[5]、大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)^[6]、獐(*Hydropotes inermis*)^[7]、普氏野马(*Equus przewalskii*)^[8]、川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)^[9]、猕猴(*Macaca mulatta*)^[10]等的种群动态进行了模拟和研究。本研究利用漩涡模型(Vortex 10.3.7.0)对长江江豚的种群生存力及其致危因素进行了分析,并探讨了在保护区条件下长江江豚种群的生存动态和管护对策。

1 基础数据及选择参数来源

根据 Vortex 10.3.7.0 要求的数据输入格式、顺序,利用张先锋等(1999)的“长江江豚种群生存力分析”中的数据作为基础模拟参数。此外,公开资料显示:在 2006 年考察时,长江干流估算有 1225 头江豚,到 2012 年降到了 505 头,其种群数量年下降速率大概是 13.7%,属于急剧下降;到 2017 年,其种群数量约为 445 头,在 2012~2017 年这 5 年期间只降低了 60 头左右,其快速下降的趋势得到了初步的遏制或者缓解,江豚的年生殖率为 20%。为此,我们确定了中低死亡率和高死亡率两种情景。新生幼豚的雄性占比是影响种群增长的关键因子,而水环境内分泌干扰物问题日益严重,特别是对处于食物链顶端的江豚,因此,我们采取极端化模拟,即出生时性比(雄性所占比例)设为 0.50、0.25、0.75 三种情况。江豚寿命设定为 25 a。张先锋等(1999)^[5]研究指出,保护区内饲养种群的最小可存活种群为 20 头,因此我们设定建立的迁地或就地长江江豚保护区的初始头数也为 20,环境容纳量为 100 头,种群没有捕捞和补充。同时随着计算机计算能力的提升以及由于初始头数相对较小,为了进一步提升精度和可信度,我们将迭代次数设定为 10000,为前人同类研究的 10 倍,具体见

表 1 和表 2。参考 Reed 等(2009)的研究结果,本研究将 MVP 定义为以 95% 的概率健康存活 100 年所需要的最小种群数量。估算方法为:分析不同初始种群数量(Initial population size, N_i) 在 100 年内的种群生存力,当种群存活概率达到 95% 时 N_i 即为 MVP;采取中低死亡率,将出生时性比(雄性所占比例)设定为 50%。

表 1 长江江豚种群的基础模拟参数

项目	参数
模拟时间/a	100
模拟的种群数	1
是否近交衰退	是
近交衰退类型	杂种优势
致死当量	3.14
繁殖率标准差与存活率标准差是否相关	是
灾害种类数	1
单配(M)、多配(P)或雌雄同体(H)	一夫多妻
雌性成熟年龄/a	4
雄性成熟年龄/a	5
最大繁殖年龄/a	15
每胎最多产仔数	1
是否繁殖密度制约	是
P(0)/%	70
P(K)/%	25
B	2
A	2
每胎 1 仔的比率/%	100

注:表中数据来源于张先锋等(1999)^[5]的论文“长江江豚种群生存力分析”。

2 结果与分析

2.1 长江江豚种群未来 100 年的生存动态

通过 Vertex 模拟计算可知,当初始种群数量为 20 头时,不同情景下江豚种群未来 100 年的内禀增长率 r 为 $-0.0536 \sim 0.1378$,周限增长率 λ 为 $0.9478 \sim 1.1477$,净增殖率 R_0 为 $0.6602 \sim 2.5870$,雌性平均世代为 $6.90 \sim 7.75$ a,雄性平均世代为 $7.77 \sim 8.52$ a,平均现存种群数量为 $14.21 \sim 30.09$ 头,平均种群数量为 $1.51 \sim 19.10$ 头,遗传多样性为 $0.4820 \sim 0.4919$,灭绝概率为 $0.3704 \sim 1.0000$,平均首次灭绝时间为 $19.1 \sim 59.5$ a,具体见表 3。

2.2 长江江豚种群的最小可存活种群估计

我们设置初始环境容纳量为 100 头,此后每次增加 5 头;设置初始头数为 50 头,此后按照需要每次增减 1 头,开始进行模拟,采取渐进逼近的方法获得各环境容纳量下的最小可存活种群 MVP。当环境容纳量增至 160 头时,初始头数 50 头种群的存活概率达到 95% 以上,不难发现,在环境容纳量

为 160 头的水域, MVP 为 38~41 头, 具体结果见表 4。为了进一步探讨不同环境容纳量下 MVP 的变化, 我们先设定环境容纳量为 1000, 以求取在现有条件下最小的 MVP; 设初始头数为 20 头, 此后按照需要每次增减 1 头, 开始进行模拟, 不难发

现, 当环境容纳量为 1000 时, MVP 为 22, 具体结果见表 5。同理, 我们采取渐进逼近的方法发现, 满足 MVP 为 22 的最小环境容纳量为 366 头, 同时得到了在不同环境容纳量水域长江江豚种群的 MVP, 具体见表 6。

表 2 长江江豚种群选择模拟参数

项目	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4	情景 5	情景 6
模拟次数	10000					
灾害种类数	2					
灾害 1 发生概率/%	10					
灾害 1 严重性: 对繁殖率的影响/%	90					
灾害 1 严重性: 对生存率的影响/%	90					
灾害 2 发生概率/%	10					
灾害 2 严重性: 对繁殖率的影响/%	90					
灾害 2 严重性: 对生存率的影响/%	90					
环境容纳量/头	100					
初始头数/头	20					
寿命/a	25					
出生时性比(雄性所占比例)	0.50	0.25	0.75	0.50	0.25	0.75

年龄组/a	死亡率/%					
	中低死亡率情景			高死亡率情景		
	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4	情景 5	情景 6
0~1	20	20	20	30	30	30
1~2	20	20	20	30	30	30
2~3	15	15	15	15	15	15
3~4	15	15	15	15	15	15
4~5	15	15	15	15	15	15
>5	15	15	15	15	15	15

表 3 长江江豚种群在未来 100 年不同情景下的模拟结果

项目	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4	情景 5	情景 6
内禀增长率	0.0763	0.1378	-0.0195	0.0380	0.0969	-0.0536
周限增长率	1.0793	1.1477	0.9806	1.0388	1.1017	0.9478
净增殖率	1.7247	2.5870	0.8623	1.3205	1.9807	0.6602
雌性平均世代/a	7.14	6.90	7.58	7.31	7.06	7.75
雄性平均世代/a	7.99	7.77	8.37	8.13	7.91	8.52
现存种群数量/头	17.44±10.80	30.09±11.68	0.00±0.00	14.21±9.45	26.08±11.87	0.00±0.00
种群数量/头	3.35±8.24	19.10±17.09	0.00±0.00	1.51±5.26	12.89±15.31	0.00±0.00
灭绝概率	0.8124	0.3704	1.000	0.8976	0.5136	1.0000
遗传多样性	0.4896±0.1940	0.4919±0.1882	0.0000±0.0000	0.4877±0.1976	0.4820±0.1946	0.0000±0.0000
平均灭绝时间/a	54.8	59.5	21.2	51.1	58.7	19.1

表 4 在环境容纳量 160 头下长江江豚种群 MVP 的模拟分析结果

初始头数	PE	初始头数	PE
50	0.0498	41	0.0522
49	0.0493	40	0.0570
48	0.0502	39	0.0555
47	0.0501	38	0.0548
46	0.0523	37	0.0595
45	0.0533	36	0.0563
44	0.0505	35	0.0603
43	0.0512	34	0.0582
42	0.0545	33	0.0648

2.3 在最小可存活种群下长江江豚未来 100 年的生存动态

我们以环境容纳量为 200 头、MVP 为 25 头为例, 对长江江豚未来 100 年的种群生存动态进行分析, 结果(图 1~图 3) 显示: 内禀增长率 r 为 0.0497, 周限增长率 λ 为 1.0510, 净增殖率 R_0 为 1.4344, 雌性平均世代为 7.25 a, 雄性平均世代为 8.09 a, 即平均每 7~8 年左右种群基因更替 1 次; 平均现存种群数量为(62.85±20.22) 头, 平均种群数量为(59.50±24.20) 头, PE 为 0.0535, 遗传多样性为 0.7353±0.1047。随着时间的推移, 种群数量

先增加后减少,遗传多样性降低;灭绝概率为 0.0535,平均首次灭绝时间为 53.3 a。

表 5 在环境容纳量 1000 头下长江江豚种群 MVP 的模拟分析结果

初始头数	PE
19	0.0818
20	0.0583
21	0.0598
22	0.0451
23	0.0419

表 6 在不同环境容纳量下长江江豚种群 MVP 的模拟结果

环境容纳量/头	PE	MVP/头
170	0.0467	35
180	0.0463	29
190	0.0548	26
200	0.0535	25
210	0.0516	25
220	0.0542	24
230	0.0446	24
240	0.0531	23
366	0.0488	22

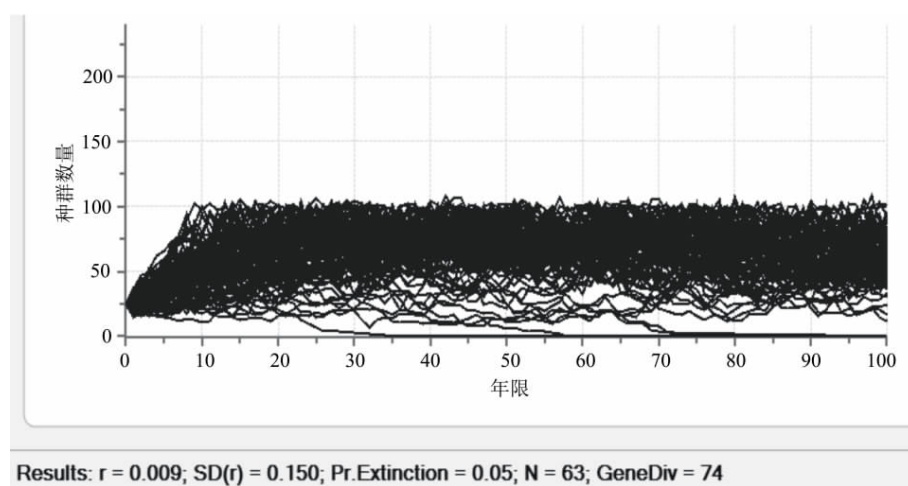


图 1 在最小可存活种群下长江江豚的模拟结果

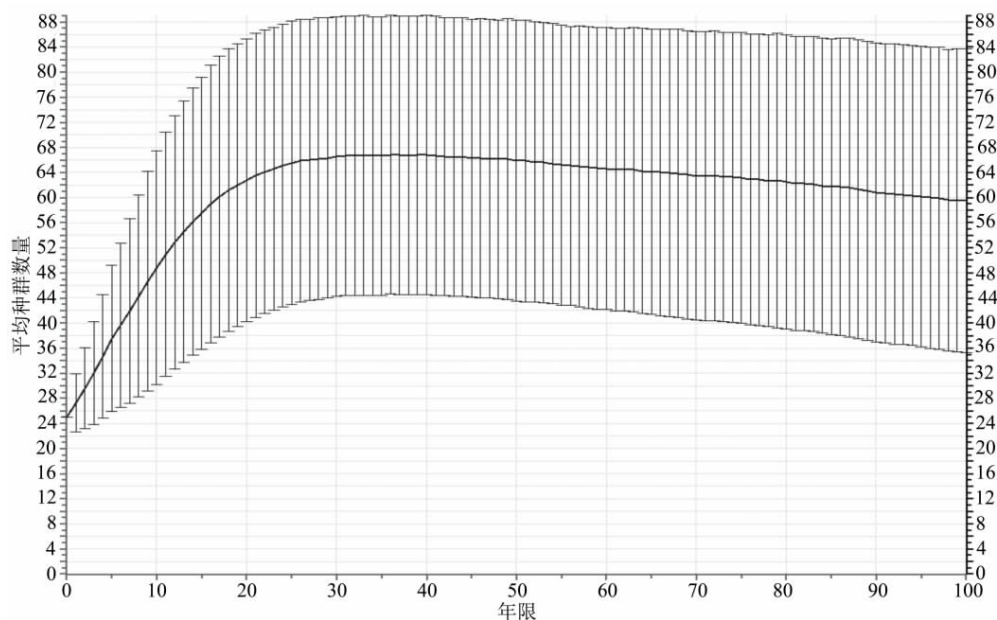


图 2 未来 100 年在最小可存活种群下长江江豚的平均种群数量

3 讨论

在当前的自然生境条件下,构建环境容纳量为 100 头、初始头数为 20 头的迁地或就地保护区,长江江豚种群在未来 100 年内的灭绝概率已达

37.04%以上,是一个较脆弱的群体。新生幼豚雄性占比(SR)是影响种群灭绝概率的重要因子,在一定范围内,新生幼豚雄性占比越低,对种群存活越有利,当 SR 为 0.75 时,灭绝概率为 100.0%;当 SR 为 0.50 时,灭绝概率为 81.24%~89.76%;而当

SR 为 0.25 时,灭绝概率为 37.04%~51.36%。死亡率也是影响种群灭绝概率的另一个重要因子,死亡率越低,灭绝概率越小,特别是在新生幼豚雄性占比较低的情况下,在高死亡率下灭绝概率为 51.36%,在中低死亡率下灭绝概率为 37.04%。因此,我们在开展江豚保护工作时,特别是在江豚种群相对较小的水域或一些环境内分泌干扰污染相对严重的水域,一要强化新生幼豚性比的研究;二要高度重视生境改善,切实改善江豚的生存状况,特别是要提高新生江豚的存活率^[11]。经过本研究模拟发现,只有当环境容纳量达到 160 头时,在未来 100 年内的长江江豚种群存活概率才能达到 95% 以上,此时的 MVP 为 38~41 头,提示我们在开展长江保护区规划时,需要科学深入进行环境容纳量研究,环境容纳量不宜小于 160 头;同时,由于 MVP 为 38~41 头,相对较大,表明在当前长

江江豚数量相对较少、碎片化分布趋势明显的形势下,强化碎片化分布水域长江江豚种群的互联互通,对江豚种群数量达到 40 头左右水域的长江江豚就地保护意义重大。进一步的模拟发现在环境容纳量相对无限的现有条件下,最小的 MVP 为 22 头,与张先锋等(1999)的研究结果类似。而满足 MVP 为 22 头的最小环境容纳量为 366 头;同时得到了不同环境容纳量水域长江江豚种群的最小 MVP。上述结果表明:一方面,22 头左右是长江江豚的重要临界数量,特别是在一些碎片化分布长江江豚种群的自然水域以及一些半自然保护区;另一方面,在长江流域“共抓大保护、不搞大开发”的大背景下,长江江豚分布密集,数量 22 头以上、环境容纳量 366 头左右的水域是保护的重中之重,特别是在管护力量相对有限的情景下。

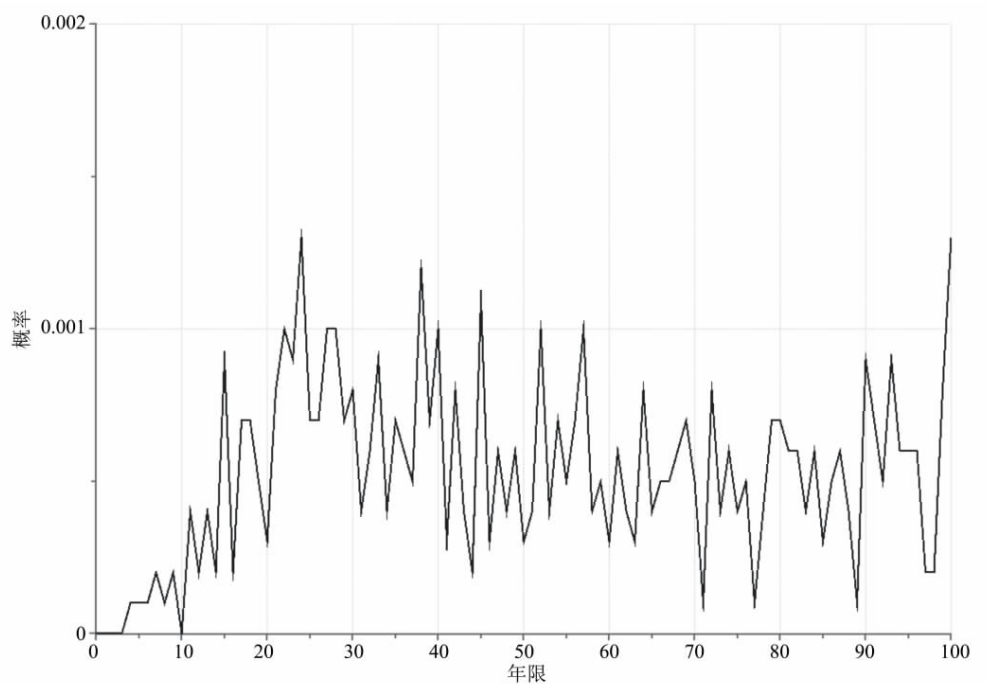


图3 未来 100 年在最小可存活种群下长江江豚首次灭绝时间(年)的概率

种群生存力分析模型在保护生物学研究中具有重要的应用价值,可以用于评估物种的生存力。本文模型使用的参数是通过系统整理前人的长江江豚研究结果获得的,在应用于建立就地或迁地长江江豚种群存在一定的误差,导致预测准确性降低,精度还有进一步提高的空间。但是本文首次应用迭代 1 万次的方法进行相关模拟和估计,迭代次数为前人研究的 10 倍,这在一定程度上减小了系统误差,能够为长江江豚特别是保护区长

江江豚种群的就地或迁地保护工作提供一定借鉴和保护管理依据。

参考文献:

- [1] Brook B W, Burgman M, Frankham R. Differences and congruencies between PVA packages: the importance of sex ratio for predictions of extinction risk [J]. Conservation Ecology, 2000, 4(1): 920.
- [2] Brook B W, O'grady J J, Chapman A P, et al. Predictive accuracy of population viability analysis in conservation bi-

- ology [J]. Nature, 2000, 404(6776) : 385-387.
- [3] 田瑜, 鄢建国, 寇晓军, 等. 种群生存力分析(PVA) 的方法与应用 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(11) : 257-267.
- [4] 张先锋, 王丁, 王克雄. 漩涡模型及其在白暨豚种群管理中的应用 [J]. 生物多样性, 1994, 2(3) : 133-139.
- [5] 张先锋, 王克雄. 长江江豚种群生存力分析 [J]. 生态学报, 1999, 19(4) : 529-533.
- [6] 张泽钧, 胡锦矗, 吴华, 等. 唐家河大熊猫种群生存力分析 [J]. 生态学报, 2002, 22(7) : 990-998.
- [7] 缪沪君, 李言阔, 叶晶, 等. 鄱阳湖区獐种群生存力分析 [J]. 四川动物, 2015(1) : 133-140.
- [8] 裴鹏祖, 王亮, 邵亚平, 等. 安西极旱荒漠国家级自然保护区重引入普氏野马繁殖成效与种群生存力分析 [J]. 兽类学报, 2018(2) : 128-138.
- [9] 张宇, 李佳, 薛亚东, 等. 气候变化背景下湖北川金丝猴种群生存力分析 [J]. 生态学杂志, 2018(11) : 3333-3341.
- [10] 楚原梦冉, 咎启杰, 杨琼, 等. 广东内伶仃岛猕猴种群动态及种群生存力分析 [J]. 野生动物学报, 2019(2) : 259-266.
- [11] 周钊, 郑劲松, 陈敏敏, 等. 天鹅洲迁地保护江豚群体的遗传评估与发展预测 [J]. 水生生物学报, 2012, 36(3) : 403-411.
- [12] Lacy R C, Borbat M, Pollak J P. Vortex: a stochastic simulation of the extinction process: version 9.95 [J]. Brookfield: Chicago Zoological Society, 2009.

(责任编辑: 黄荣华)