

A Preliminary Analysis on Population Viability for *Triplophysa venusta*

Xiangwei Wu¹, Guanghua Li², Baoliang Bi¹, Hongman Yu³, Lingfu Kong^{1*}, Yun Leng^{2*}, Yu Zhang⁴, Zhiwu Jiang⁴

¹College of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming Yunnan

²Yunnan Academy of Fisheries Science, Kunming Yunnan

³College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming Yunnan

⁴Yunnan Huadian Ludila Hydropower Co., Ltd., Kunming Yunnan

Email: xwwu@ynau.edu.cn, wzklf@sina.com, lengyun871@126.com

Received: Aug. 28th, 2015; accepted: Sep. 27th, 2015; published: Sep. 30th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Triplophysa venusta is one of the indigenous fish species in Yunnan province. As one of the main components of the fish fauna in Qinghai-Tibet plateau and playing an important role in the study of fish evolution, it has become the main protective fish in Yunnan province. However, its population had decreased dramatically in recent years caused by the hydropower station constructed on the Jinsha River and the continuous drought beginning in 2009 in Yunnan province. The population viability analyses were made by the vortex model, and consequently the population dynamics within the following 100 years were also predicted in *T. venusta*. Our results suggested that the population had a 54.8% extinct probability in the next 100 years, with an extinct time of 61.4 years under current conditions. The female fecundity, mortality of 0 - 1 age individuals, and catastrophes were the key factor influencing the long-term population survival. The survival probability of *T. venusta* population could rise to 100% within the next 100 years when the current mortality of 0 - 1 age individuals decreased by 20% or the frequency and severity of catastrophes to survival decreased by 20%. The carrying capacity of the population habitats had almost no effect on the population survival, even by increasing 50% of the current carrying capacity. Altogether, our study displays that the most effective measures to protect *T. venusta* population from extinction are enhancing the fishery management, protecting the population habitats, diminishing the occurrence of catastrophes, cutting the mortality of 0 - 1 age individuals, and rising the fecundity of mature individuals.

Keywords

Triplophysa venusta, Population Viability Analysis, Vortex Model, Indigenous Fish,

*通讯作者。

秀丽高原鳅种群生存力初步分析

武祥伟¹, 李光华², 毕保良¹, 于虹漫³, 孔令富^{1*}, 冷云^{2*}, 张宇⁴, 姜志武⁴

¹云南农业大学动物科学技术学院, 云南 昆明

²云南省渔业科学研究院, 云南 昆明

³云南农业大学农学与生物技术学院, 云南 昆明

⁴云南华电鲁地拉水电有限公司, 云南 昆明

Email: xwwu@ynau.edu.cn, wzlkf@sina.com, lengyun871@126.com

收稿日期: 2015年8月28日; 录用日期: 2015年9月27日; 发布日期: 2015年9月30日

摘要

秀丽高原鳅是云南省鹤庆县金沙江水系的土著鱼类, 是青藏高原鱼类区系的主要组成部分之一, 为当地的重点保护对象。但由于金沙江流域修建水电站, 加之云南连年干旱, 导致其种群数量急剧减少。本文采用漩涡模型分析了其种群生存力, 对该种群100年内的种群动态进行了模拟。结果显示, 按照当前种群的生存状况, 未来100年内秀丽高原鳅种群灭绝概率为54.8%, 平均灭绝时间为61.4年, 100年内至少灭绝一次。秀丽高原鳅种群对繁殖率、低龄个体的死亡率和各种原因引起的灾害事件比较敏感, 它们是影响种群长期存活的关键性因素。若0~1龄个体的死亡率降低20%, 或者灾害事件的发生频率或影响程度降低20%, 则100年内种群的存活概率为100%。秀丽高原鳅种群对环境容纳量不敏感; 环境容纳量增加50%时, 种群灭绝概率未降低, 仅使平均种群数量增加157尾。本文的结果表明, 加强渔政管理, 保护秀丽高原鳅种群的栖息繁殖场所, 减少灾害事件的发生频率与影响程度, 降低低龄个体的死亡率, 增加性成熟个体的繁殖成功率是直接有效的管理办法。

关键词

秀丽高原鳅, 种群生存力分析, 漩涡模型, 土著鱼类, 生物保护

1. 引言

秀丽高原鳅(*Triplophysa venusta*)属鳅科(*Cobitidae*), 条鳅亚科(*Noemacheilinae*), 高原鳅属(*Triplophysa*)鱼类, 主要分布于云南省鹤庆县的金沙江水系漾弓江流域[1] [2]。秀丽高原鳅适应了高原水环境特点, 其所在类群与裂腹鱼亚科构成了青藏高原鱼类区系的主体, 对研究青藏高原鱼类区系的划分与进化具有重要意义[3]。但目前, 金沙江上已建设多个大型水电站, 可对原河流生态系统产生了显著的负面影响, 鱼类繁殖量迅速降低[4]。此外, 始于2009年末的连年干旱已使云南境内的湖泊、河流水量急剧减少甚至干涸, 严重破坏了鱼类生境, 对秀丽高原鳅种群长期健康存活产生了较大影响[5]。但水电站与干旱对鱼类种群存活概率和种群数量的影响机制还不明确[6] [7]。种群生存力分析即是利用数学模型与软件程序, 研究种群动态与命运, 分析计算种群灭绝的概率, 它可识别种群变化的生态学过程, 发现致危原因, 为鱼类种群动态的变化机制研究提供可靠参数[8]。

漩涡模型是进行种群生存力分析的常用工具[9]。该模型全面概括了种群统计、环境、遗传与灾害随机性,引入种群密度制约、年龄结构、性别比例与繁殖体制等因素的作用,并包含了环境容纳量、人工种群捕获与补充等过程,最大限度的模拟了种群的真实动态[10]。目前,国内学者已使用该模型对陆生动物种群进行了生存力模拟分析[11]-[14]。但鱼类种群生存力分析的报道较少,目前仅有江豚(*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*) [15]、白鳍豚(*Lipotes vexillifer*) [16]、中华鲟(*Acipenser sinensis*) [17]和中甸叶须鱼(*Ptychobarbus chungtienensis chungtienensis*) [18]。本文采用漩涡模型分析了秀丽高原鳅的种群生存力,对该种群在 100 年内的命运和种群动态进行了模拟,并通过影响因子的敏感性分析确定了影响该种群存活的关键性因素,为秀丽高原鳅种群的保护、渔政管理和人工增殖放流提供了理论依据。

2. 材料方法

2.1. 研究对象

为了研究秀丽高原鳅种群生存力及计算种群生存力分析所用的相关参数,2013年3月~2014年2月作者对分布于云南省鹤庆县漾弓江流域清水河中的秀丽高原鳅群体进行了12次调查采样,采用网捕等方法获得标本568尾,随机抽取258尾,测量体重、全长、体长等,并解剖记录性别、性腺发育程度、怀卵量等参数。

2.2. 种群生存力分析模型

采用漩涡模型和种群生存力分析软件 Vortex (version 9.99)分析秀丽高原鳅种群生存力,软件的主要参数如表1所示。

2.2.1. 年龄设置

采用耳石磨片方法鉴定秀丽高原鳅年龄[19](图1),并根据解剖数据。具有IV期性腺的雌雄个体均为3龄,最大个体为8龄。

2.2.2. 性比设置

解剖的258尾标本中,可确定235尾标本的性别;其中成年雌雄鱼(3龄及以上)分别为71尾和98尾,未成年(2~3龄)雌雄鱼分别为24尾和42尾,由此可计算该种群总的雌雄比为1:1.48,未成年个体中雌雄比为1:1.75,成年个体中雌雄比为1:1.38。由于1龄个体捕获几率较小,可能出现统计偏差;因此,本文根据死亡率由2龄个体数量推算1龄个体的数量(表2),得出当前种群1龄个体为1533尾,由此计算种群的成幼比为1:1.56。此外,本文以2龄个体的性比作为受精孵化后的性比,即雄鱼比例为60%。

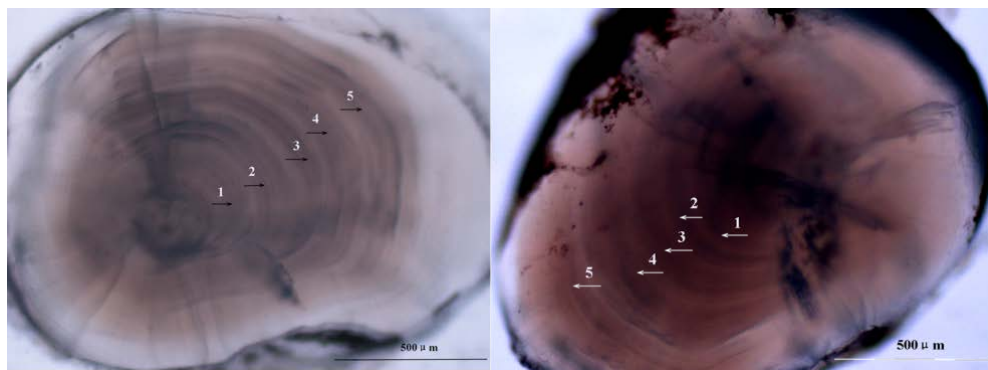


Figure 1. Annuli profiles on the otolith of *T. venusta*. The annuli are shown by arrows

图1. 秀丽高原鳅耳石磨片与年轮特征。箭头示年轮

Table 1. Parameters and corresponding values of the vortex model
表 1. 漩涡模型的主要参数及其数值

参数 Parameters	数值 Value	参考文献
模拟次数 Times simulated	500 次	[10] [17] [18]
模拟时间 Years simulated	100 年	本文
灭绝定义 Extinction definition	单性	[10] [17] [18]
模拟种群数 Population simulated	1 个	本文
是否近交衰退 Inbreeding depression (Y/N)	N	本文
灾害种类数 Types of catastrophes	表 3	本文
雌性性成熟年龄 Age of first offspring for females	3 龄	本文
雄性性成熟年龄 Age of first offspring for males	3 龄	本文
最大繁殖年龄 Maximum age of reproduction	8 龄	本文
出生时性比 Sex ratio at birth (in % males)	60	本文
每窝繁殖的最大数量 Maximum number of progeny per brood	1570	本文
是否繁殖密度制约 Density dependent reproduction (Y/N)	Y	本文
密度制约因素 P(0) % breeding at low density	49.6	本文
密度制约因素 P(K) % breeding at carrying capacity	1.76	本文
阿利效应参数 A Allee parameter, A	0.5	[10] [17] [18]
坡度参数 B Steepness parameter, B	1	[10] [17] [18]
每年成功繁殖一次的概率% Distribution of 1 broods per year	90	本文
每雌体每窝的后代平均数量 Number of offspring per female per brood	500	本文
标准差 Standard deviation	50	本文
不同年龄组死亡率% Mortalities in different ages	雌雄相同	本文
1 龄/2 龄/3 龄/3+龄 1 age/2 ages/3 ages/3+ ages	80/35/35/10	本文
参加繁殖的雄性成鱼比例% males in breeding pool	51.9	本文
年龄分布 age distribution	表 2	本文
初始种群大小 Initial population size	5000 尾	本文
环境容纳量 K 值 Carrying capacity (K)	40,000 尾	本文
未来 K 值是否变化 Future change in K? (Y/N)	Y	本文
未来的影响时间 Over how many years?	5	本文
每年 K 值增加或减少的比例% annual increase or decrease	-2	本文
收获 Harvest (Y/N)	N	本文
补充 Supplementation (Y/N)	N	本文

Table 2. Age distribution in *T. venusta*
表 2. 秀丽高原鳅种群的年龄分布

年龄 Age	雌鱼(尾) Female	雄鱼(尾) Male
1	613	920
2	394	591
3	254	380
4	209	314
5	172	259
6	143	213
7	118	177
8	97	146

2.2.3. 近交衰退设置

当一个种群中的个体具有较大数量时(大于 500),种群内近交的可能性极小,可忽略近交衰退效应[20]。本文研究对象数量较大,因此不考虑种群的近交衰退效应。

2.2.4. 个体最大繁殖量设置

解剖最大性成熟雌鱼(8 龄)怀卵约 4500 粒。本文作者在金沙江龙开口水电站进行秀丽高原鳅人工繁育实验显示其受精率约为 70%,孵化率约为 50%,据此可推算 1 尾雌鱼最多可繁殖出 1570 尾初孵仔鱼。因此,设定每个雌性个体成功繁殖的后代数位 1570 尾,标准差设定为 10% [10]。此外,由于生存环境的变化,雌鱼可能由于未找到合适的产卵基质或繁殖场所而繁殖失败,本文作者实地调查发现,当存在干旱、人为捕捞、栖息地遭破坏时该种群的繁殖失败率约为 10%。

2.2.5. 繁殖密度制约设置

野外调查表明秀丽高原鳅栖息于龙潭或小河中,容纳量有限,参加繁殖的雌鱼比例 $P(N)$ 会随着种群大小 N 的变化而变化,即繁殖率出现繁殖密度制约。 $P(0)$ 与 $P(K)$ 分别为种群数量接近于 0 和达到环境容纳量时参加繁殖的雌鱼占有雌鱼的比例。当种群数量极小时无密度制约,所有性成熟雌鱼均参加繁殖,因此 $P(0)$ 约等于正常情况下雌性成鱼占有雌鱼的比例,即 49.6% (表 2)。 $P(K)$ 约等于每年产卵繁殖雌鱼的最大数量与达到环境容纳量时的雌鱼总数的比例。通过实地调查,本文估计秀丽高原鳅环境容纳量约为 40,000 尾,其总体雌雄比为 1:1.48,则雌鱼总数约为 23,870 尾。调查发现,秀丽高原鳅繁殖时间约 60 天,假设每尾鱼 1 天完成产卵,1 天内可在小河中捕获性成熟雌鱼约 7 尾,则 $P(K) = (60 \times 7)/23,870 = 1.76\%$ 。

2.2.6. 环境容纳量设置

由于自然条件的制约,准确计算环境容纳量较为困难。本文根据经验和实际调查估算秀丽高原鳅环境容纳量为 40,000 尾。云南的连续干旱已导致栖息地迅速减少,因此,未来几年其环境容纳量会呈减小趋势。本文设定未来 5 年内环境容纳量减少 2%/年,之后处于较稳定状态。

2.2.7. 灾害设置

本文设定 3 类灾害事件:第一类为干旱,云南的连年干旱对种群的影响较大。干旱的发生概率约为 2.5%,即平均 40 年左右发生一次,种群繁殖率和存活率均约下降 60%。第二类为病害,野生个体具有水

霉病、烂鳃病、烂尾病等；调查发现几乎每年都会发生病害，但病害致死率较低，因此本文设定病害的发生概率为 90%，使种群的繁殖率和存活率下降均约 10%。第三类为人类活动，秀丽高原鳅栖息地处于人类活动较频繁地区，修建水坝、道路、取水等均可对种群造成影响，因此本文设定人类活动发生概率为 90%，可使种群的繁殖率和存活率下降均约 40%。灾害参数如表 3 所示。

2.2.8. 参加繁殖的雄性设置

根据实际调查和解剖数据，本文设定参加繁殖的雄鱼与雄鱼总数的比例为 51.9%。

2.2.9. 捕获与补充设置

由于渔业管理的加强，秀丽高原鳅捕获事件较少发生。本文设定，现阶段无捕获与人为补充现象。

2.2.10. 死亡率设置

根据捕获的各年龄段个体的分布情况，设定不同年龄段的死亡率，其中 0~1 龄死亡率由人工繁殖实验估算得出(表 1)。

2.2.11. 初始种群数量与年龄分布设置

根据实地调查结果，本文设定秀丽高原鳅初始种群数量约为 5000 尾。其年龄分布使用漩涡模型中的自定义模式，根据解剖的标本的年龄分布计算种群的年龄分布(表 2)。

2.3. 敏感性分析

通过分析死亡率、繁殖的比例、灾害、环境容纳量等影响种群动态的因子，确定它们对秀丽高原鳅种群的影响程度。根据调查研究获得的基础数据，每个因子设置 4~6 个水平梯度进行分析(表 4~7)。

3. 结果

3.1. 自然种群模拟结果

当前秀丽高原鳅种群内禀增长率 $r = -0.011$ ，周限增长率 $\lambda = 0.989$ ，净生殖率 $R_0 = 0.957$ ，雌雄世代长度均为 4.02 年，即平均每 4.02 年种群基因更替一次。1000 次模拟结果显示，当前条件下种群数量达到环境容纳量之前的增长率为 $r = -0.057$ (标准差 $SD = 0.659$)。后续的 100 年中种群的灭绝概率为 54.8%，平均灭绝时间为 61.4 年，表明 100 年内秀丽高原鳅种群至少灭绝一次(表 8)。

后续的 100 年中种群数量呈先短暂增加后快速下降的趋势，灭绝概率逐渐增大(图 2)。第 1~14 年内种群数量大于初始种群数量的 5000 尾，最高为 5499 尾；但第 15~100 年内种群数量逐渐下降。其中，第 30 年种群数量为 3824 尾，灭绝概率已达 5%。

3.2. 敏感性分析

3.2.1. 环境方差的敏感性分析

当 0~1 龄、1~2 龄、2~3 龄与+3 龄个体的死亡率降低 20%时，种群存活概率由 45.2%分别迅速增至 100%、59.6%、60.8%和 48.6% (图 3(A1)~(D1))，平均种群数量由 1395 尾分别增至 25,726 尾、2885 尾、2934 尾和减小至 1313 尾(图 3(A2)~(D2))。由此表明，低龄个体的死亡率对种群生存影响更大。当繁殖率增加 20%时，种群存活概率由 45.2%迅速升至 80.8%，平均种群数量由 1395 尾快速增至 6701 尾(图 3(E1)和图 3(E2))。因此，种群生存力对繁殖率也比较敏感。

3.2.2. 灾害的敏感性分析

结果表明灾害对秀丽高原鳅种群的长期存活具有重要影响。当发生频率和严重程度均分别降低 20%

Table 3. The catastrophes and their frequencies and influence
表 3. 漩涡模型中设置的灾害种类及其发生概率与影响程度

灾害类型 Type of catastrophe	干旱 Drought	病害 Disease	人类活动 Human activities
发生概率/% Probability of occurrence	2.5	90	90
灾害后种群繁殖率/% Probability of reproduction	40	90	60
灾害后种群存活概率/% Probability of survival	40	90	60

Table 4. Different environmental variation for PVA in *T. venusta*
表 4. 秀丽高原鳅种群生存力分析的环境方差参数

方差类别 Type of variation	繁殖率 (%) Percentage of female breeders	0~1 龄死亡率 Mortality at age 0~1 (%)	1~2 龄死亡率 Mortality at age 1~2 (%)	2~3 龄死亡率 Mortality at age 2~3 (%)	+3 龄死亡率 Mortality at age 0~1 (%)
极大方差(20%) Higher variation	42.00	96.00	42.00	42.00	12.00
大方差(10%) High variation	38.50	88.00	38.50	38.50	11.00
基准值 Baseline	35.00	80.00	35.00	35.00	10.00
小方差(-10%) Low variation	31.50	72.00	31.50	31.50	9.00
极小方差(-20%) Low variation	28.00	64.00	28.00	28.00	8.00

Table 5. Different influence of catastrophe for PVA in *T. venusta*
表 5. 秀丽高原鳅种群生存力分析的灾害影响程度参数

参数 Parameters	基准水平 Baseline	减少 20% 20% decrease	减少 40% 40% decrease	减少 60% 60% decrease	增加 20% 20% increase	增加 40% 40% increase	增加 60% 60% increase
影响程度 Severity	0.6	0.48	0.36	0.24	0.72	0.84	0.96
发生概率 Probability	90	90	90	90	90	90	90

Table 6. Different frequencies of catastrophe for PVA in *T. venusta*
表 6. 秀丽高原鳅种群生存力分析的灾害发生频率参数

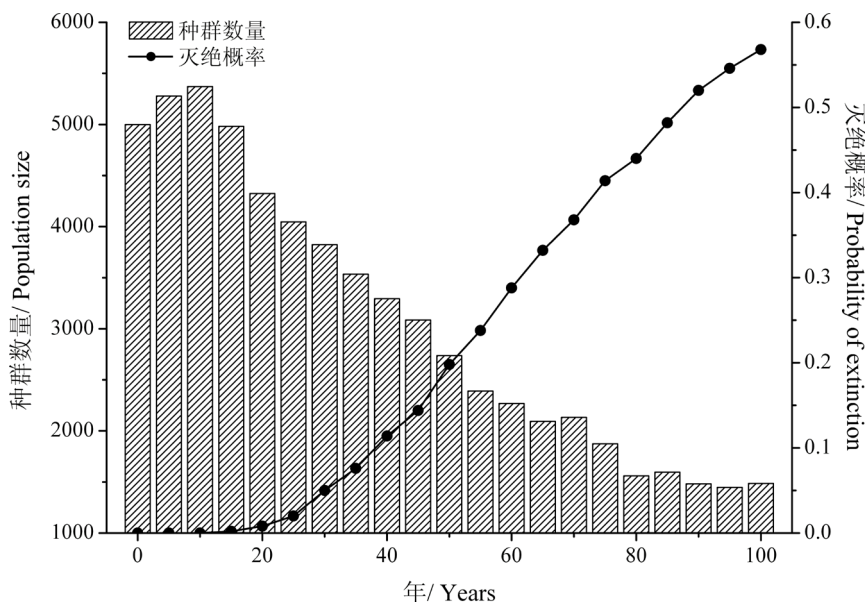
参数 Parameters	基准水平 Baseline	减少 20% 20% decrease	减少 40% 40% decrease	减少 60% 60% decrease	增至 95% Increase to 95%	增至 100% Increase to 100%
发生概率 Probability	90	72	54	36	95	100
影响程度 Severity	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

Table 7. Different values of carrying capacity for PVA in *T. venusta*
表 7. 秀丽高原鳅种群生存力分析的环境容纳量参数

基准值 Baseline	减少 75% 75% decrease	减少 50% 50% decrease	减少 25% 25% decrease	增加 25% 25% increase	增加 50% 50% increase
40,000	10,000	20,000	30,000	50,000	60,000

Table 8. Results of PVA in the future 100 years for *T. venusta***表 8.** 秀丽高原鳅 100 年内种群生存力模拟结果

内禀增长率	瞬时增长率	标准差	灭绝概率/%	现存种群数量/ N_{ext}	标准差/ N_{ext}	平均种群数量/ N_{all}	标准差/ N_{all}	中位灭绝时间/年	平均灭绝时间/年
-0.011	-0.057	0.659	0.548	3085.96	6575.38	1394.89	4675.31	94	61.4

**Figure 2.** Trends of population size and probability of extinction in the future 100 years for *T. venusta***图 2.** 秀丽高原鳅 100 年内种群数量和灭绝概率的变化趋势

时, 种群存活概率由 45.2% 分别快速增至 97.8% 和 100% (图 3(F1)和图 3(G1)), 平均种群数量由 1395 尾分别增至 27,319 尾和 17,250 尾(图 3(F2)和图 3(G2)), 种群几乎脱离了灭绝的危险。

3.2.3. 环境容纳量的敏感性分析

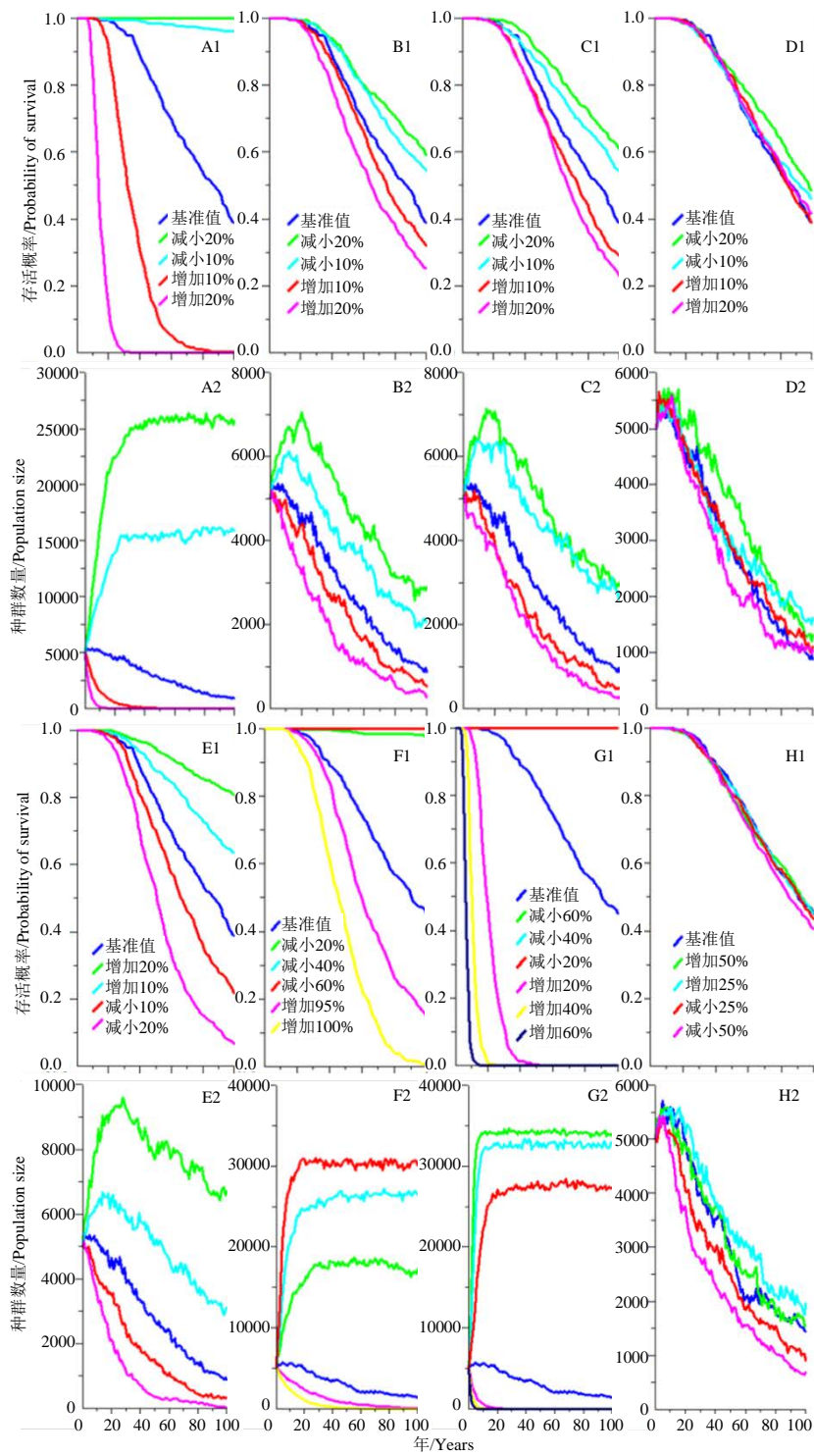
当环境容纳量增加 50% 时, 种群存活概率保持当前水平(45.2%)未变化, 平均种群数量由 1395 尾微增至 1552 尾(图 3(H1)和图 3(H2))。环境容纳量的增加并没有显著增加种群的存活概率和种群数量。

4. 讨论

总体上, 当前情况下的秀丽高原鳅种群是一个较脆弱的群体, 在后续的 100 年中其灭绝概率达到了 54.8%。但分析表明, 通过采取降低低龄个体的死亡率、减少灾害的发生频率与影响程度和提高繁殖率等措施, 能够提高该种群的种群数量和存活概率。

秀丽高原鳅低龄个体的死亡率成为种群存活与发展的关键性限制因素, 与已报道的黄腹角雉和黑长臂猿种群生存力相似[13] [21]。尤其是 0~1 龄的个体, 其死亡率减少 10%, 即可使该种群在后续 100 年中的任何时间点存活概率大于 90%, 基本脱离了灭绝风险。此外, 繁殖率大小对种群数量的增加和存活概率也有较大影响。因此, 在渔业管理中, 加强渔政执法管理, 努力降低秀丽高原鳅低龄个体的死亡率, 减少对秀丽高原鳅产卵繁殖场、栖息地等环境的破坏, 将是最直接有效的管理办法之一。

对江豚、白暨豚、中华鲟和中甸叶须鱼种群生存力的研究均表明灾害是影响种群长期健康存活的另一关键因素[15]-[18]。本文作者实地调查发现秀丽高原鳅种群数量呈快速下降趋势, 威胁其生存的主要因



A1~H1: 0~1 龄个体死亡率、1~2 龄个体死亡率、2~3 龄个体死亡率、3+龄个体死亡率、繁殖比例、灾害发生频率、灾害影响程度、环境容纳量对种群存活概率的影响；A2~H2: 0~1 龄个体死亡率、1~2 龄个体死亡率、2~3 龄个体死亡率、3+龄个体死亡率、繁殖比例、灾害发生频率、灾害影响程度、环境容纳量对种群数量的影响。

Figure 3. Trends of population size and survival probability under different factors in the following 100 years for *T. venusta*

图 3. 不同影响因子下秀丽高原鳅种群存活概率和种群数量的变化趋势

素为水电站和干旱。秀丽高原鳅的栖息水域主要集中在龙潭和小河中,环境容纳量相对较小。水电站使秀丽高原鳅的栖息环境发生较大变化,与性腺发育与繁殖相关的水文条件消失,繁殖量迅速减少;水电站还导致秀丽高原鳅栖息地大量消失,种群被迫集中到少数残存的栖息地中,造成生存空间拥挤,并且更易受到人类活动的影响[6]。并且,连续干旱使秀丽高原鳅栖息的龙潭、河流水量大量减少,甚至干涸,进一步挤压了秀丽高原鳅的生存空间。此外,历次调查采样均发现有患病个体,病害的发生也一定程度上影响秀丽高原鳅种群生存力。本文的结果表明灾害的发生频率与影响程度对秀丽高原鳅种群生存力的影响同样重要。

环境容纳量的增加未提高种群的存活概率。但已有的研究表明增加环境容纳量可显著提高一个种群的基因杂合度,尤其对小种群更为明显[21]。一个种群如要长期生存(大于100年),必须有足够的遗传变异,以适应变化的环境和经受遗传漂变的损失[21][22]。小种群基因突变率较低,基因杂合度水平对小种群的长期存活较重要。而秀丽高原鳅种群数量较大,环境容纳量的改变对种群的基因杂合度和存活概率影响较小。

综上所述,为了使秀丽高原鳅种群长期存活并健康发展,本文提出以下保护措施:1) 加强渔业管理,降低性成熟雌鱼的死亡率,提高繁殖率,降低低龄个体的死亡率;2) 加强秀丽高原鳅栖息、繁殖场所的保护,禁止人为捕捞,杜绝人为影响等灾害性事件的发生;3) 实施秀丽高原鳅人工增殖放流,逐步恢复原有群体规模。

5. 总结

秀丽高原鳅是云南省金沙江水系典型的土著鱼类,是适应了高原水环境特点的鱼种类群的代表。本文使用漩涡模型模拟了秀丽高原鳅在未来100年内的种群生存力,结果表明以当前秀丽高原鳅种群生存状况,未来100年内种群灭绝概率为54.8%,平均灭绝时间为61.4年;繁殖率、低龄个体死亡率以及灾害事件等因素对秀丽高原鳅种群生存影响较大,减少灾害事件的发生频率与影响程度、降低低龄个体的死亡率、增加性成熟个体的繁殖成功率可大幅度提高秀丽高原鳅种群存活概率。

基金项目

云南华电鲁地拉水电有限公司(LDL2011/023(P)); 云南省科学技术厅(2013HB125); 云南省教育厅科研基金(2013C125); 云南省科技厅应用基础研究项目(2014FD019)。

参考文献 (References)

- [1] 朱松泉, 曹文宣 (1988) 云南省条鳅亚科鱼类两新种和一新亚种(鲤形目: 鳅科). *动物分类学报*, **13**, 95-100.
- [2] 大理州农业信息网. <http://www.ynagri.gov.cn/dl/news9063/20131204/4470762.shtml>
- [3] 陈宜瑜 (1998) 中国动物志·硬骨鱼类·鲤形目(中卷). 科学出版社, 北京.
- [4] Dudgeon, D. (2000) Large-scale hydrological changes in tropical Asia: Prospects for riverine biodiversity. *BioScience*, **50**, 793-806. [http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0793:LSHCIT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0793:LSHCIT]2.0.CO;2)
- [5] Matthews, W.J. and Marsh-Matthews, E. (2003) Effects of drought on fish across axes of space, time and ecological complexity. *Freshwater Biology*, **48**, 1233-1255. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01087.x>
- [6] Xie, P. (2003) Three-Gorges Dam: Risk to ancient fish. *Science*, **302**, 1149. <http://dx.doi.org/10.1126/science.302.5648.1149b>
- [7] Bond, N.R., Lake, P.S. and Arthington, A.H. (2008) The impacts of drought on freshwater ecosystems: An Australian perspective. *Hydrobiologia*, **600**, 3-16. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-008-9326-z>
- [8] Shaffer, M.L. (1990) Population viability analysis. *Conservation Biology*, **4**, 39-40. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00265.x>
- [9] Brook, B.W., O'Grady, J.J., Chapman, A.P., Burgman, M.A., Akcakaya, H.R. and Frankham, R. (2000) Predictive ac-

- curacy of population viability analysis in conservation biology. *Nature*, **404**, 385-387.
<http://dx.doi.org/10.1038/35006050>
- [10] Miller, P. and Lacy, R.C. (2005) VORTEX: A stochastic simulation of the extinction process. Version 9.50 User's Manual. Conservation Breeding Specialist Group (SSC/IUCN), Apple Valley.
- [11] 李欣海, 李典谟, 雍严格, 张坚 (1997) 佛坪大熊猫种群生存力分析的初步报告. *动物学报*, **3**, 285-293.
- [12] 侯万儒, 张泽钧, 胡锦涛 (2001) 卧龙自然保护区黑熊种群生存力初步分析. *动物学研究*, **5**, 357-361.
- [13] 范鹏飞, 蒋学龙 (2007) 无量山大寨子黑长臂猿(*Nomascus concolor jingdongensis*)种群生存力. *生态学报*, **2**, 620-626.
- [14] 肖文, 霍晟, 向左甫, 崔亮伟 (2005) 黑白仰鼻猴种群生存力初步分析. *动物学研究*, **1**, 9-16.
- [15] 张先锋, 王克雄 (1999) 长江江豚种群生存力分析. *生态学报*, **4**, 529-533.
- [16] 张先锋, 王丁, 王克雄 (1994) 漩涡模型及其在白暨豚种群管理中的应用. *生物多样性*, **3**, 133-139.
- [17] Gao, X., Brosse, S., Chen, Y.B., Lek, S. and Chang, J.B. (2009) Effects of damming on population sustainability of Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*: Evaluation of optimal conservation measures. *Environmental Biology of Fishes*, **86**, 325-336. <http://dx.doi.org/10.1007/s10641-009-9521-4>
- [18] 王伟营, 赵婷怡, 蒋万胜, 陈小勇 (2012) 中甸叶须鱼种群生存力初步分析. *水生态学杂志*, **5**, 47-53.
- [19] 曾霖, 唐文乔 (2010) 两种无鳞高原鳅年龄鉴定方法探讨. *动物学杂志*, **1**, 94-103.
- [20] Lacy, R.C., Borbat, M. and Pollak, J.P. (2009) Vortex: A stochastic simulation of the extinction process. Version 9.95, Chicago Zoological Society, Brookfield.
- [21] 桂小杰, 向左甫, 李立 (2007) 黄腹角雉人工种群生存力初步分析. *动物学研究*, **6**, 626-633.
- [22] Lande, R. and Barrowclough, G.F. (1987) Effective population size, genetic variation and their use in population management. In: Soule, M.E., Ed., *Viable Population for Conservation*, Cambridge University Press, Cambridge, 87-124.
<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511623400.007>