

基于灰色理论探究生态环境对鱼类优势种群的影响

王璐¹, 朱家明², 张淑慧², 刘佩麟³

(1. 安徽财经大学 金融学院, 安徽 蚌埠 233030; 2. 安徽财经大学 统计与应用数学学院, 安徽 蚌埠 233030;
3. 安徽财经大学 管理科学与工程学院, 安徽 蚌埠 233030)

摘要:为探究生态环境变化对鱼类优势种群的影响,以楠溪江 2007—2011 年鱼类打捞数据为依据,运用灰色理论建立平均肥满度、灰色关联度分析和灰色预测等模型,并借助 Matlab 和 Excel 软件编程,探讨生态环境对鱼类生存状况的影响. 各鱼类的生态状况显示,鲫鱼最佳,河川沙塘鳢等 16 种鱼中等,中华花鳅、泥鳅和鲢鱼较差. 建议采取改善水体质量,培植相关植物,确保鱼类生物多样性等措施,进一步改善鱼类的生态环境.

关键词:楠溪江; 鱼类; 生态环境; 肥满度; 灰色关联度分析; 灰色预测

中图分类号:S931.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-5639(2017)03-0089-06

DOI:10.14091/j.cnki.kmxyxb.2017.03.021

Effect of Ecological Environment on Dominant Population of Fish Based on Grey Theory

WANG Lu¹, ZHU Jiaming², ZHANG Shuhui², LIU Peilin³

(1. College of Finance, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu, Anhui, China 233030;
2. College of Statistics and Applied Mathematics, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu, Anhui, China 233030;
3. College of Management Science and Engineering, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu, Anhui, China 233030)

Abstract: In order to explore the effect of the ecological environment change on the dominant population of fish, based on the data of fish salvage in Nanxi River during the period of 2007—2011, the statistical model for average fatness, grey relational analysis model and grey prediction model were established by using Grey Theory. With the help of MATLAB and EXCEL software programming, the effect of ecological environment on fish living condition was studied. The ecological status of different fish showed that crucian carp was the best, snakehead and other sixteen kinds were medium but Loach, Cobitis sinensis, Catfish were the poorest. It is suggested that the water quality be improved, the relevant vegetation planted to ensure the diversity of fish and the ecological environment.

Key words: Nanxi river; fish; ecological environment; fatness; grey relational analysis; grey prediction

2017 年 3 月 7 日,在十二届全国人大五次会议记者发布会上,农业部韩长赋就“推进农业供给侧结构性改革”等问题回答中外记者提问时强调,要把生态和资源保护放在渔业发展的突出位置^[1]. 目前,在我国水利工程建设快速发展的大背景下,对鱼类生态环境的保护日益受到社会各界的广泛关注,比如国内学术界就水利设施对鱼类影响颇为关注. 2017 年 3 月,三峡集团将近 75 亿元投向环保,工程周期注重生态^[2];江苏太湖对小型鱼类

资源生态进行调控研究,并取得重要进展^[3]. 因此,本文通过定量分析楠溪江各种鱼类数据,对鱼类生长状况进行评价和预测,获得各种鱼类多年后的生态趋势. 最后结合国内外相关文献,给出有利于鱼类和谐共生、可持续生长的建议,以期鱼类生态环境保护提供参考依据.

1 数据来源及文献综述

本文数据来源于浙江省渔业统计数据中有关温

收稿日期:2017-03-11

基金项目:安徽财经大学金融学院大学生科研创新基金项目(JRXY201704);国家自然科学基金资助项目(11601001).

作者简介:王璐(1997—),女,陕西延安人,本科生,主要从事金融数学建模分析研究;朱家明(1973—),男,安徽宿州人,副教授,硕士,数学建模实验室主任,主要从事数学建模分析研究.

州市永嘉县楠溪江 2007—2011 年鱼类打捞数据.

关于鱼类生态环境问题,国内外有许多学者进行了大量的研究,其中史赞荣^[4]运用多元排序方法对长江口全局鱼类群落结构与环境因子关系进行研究;邹淑珍^[5]以保护鱼类资源为主要目标,建立基于工程水利枢纽群的生态优化调度模型,以期弥补工程建设对鱼类带来的负面影响,并提出了对策措施;管伟等^[6]采用 Bray-Curtis 聚类方法,对福建省莆田市南日岛南部海域鱼类群落进行划分,并在此基础上分析了不同群落鱼类种类数、数量密度、生态类群和多样性特征,讨论了水团变化对鱼类群落格局划分及多样性特征的影响. 综上所述,不同学者采用了不同的方法和模型,探讨鱼类种群的环境状况. 而本文另辟蹊径,将鱼类生态环境简化为鱼类生长状况加以描述,以便通过对各种鱼类的生长情况来间接反映其生态环境,从而简化研究方法.

2 基于平均肥满度模型探讨鱼类基本生长情况

2.1 研究思路

通过已知的鱼体体长和鱼体质量(鱼体重量,下同)数据引入肥满度的概念,以反映各种鱼类的基本生长状况,从而间接反映其生态环境.

2.2 平均肥满度模型

肥满度指鱼体质量与鱼体体长立方数的比值,是反映鱼类肥瘦程度和生长情况的指标^[7]. 肥满度计算公式为:

$$k = (w/l^3) \times 100,$$

其中: w 为体质量,单位 g ; l 为体长,单位 cm .

下面计算每年各种鱼类的平均肥满度,以此说明各种鱼类的基本生长情况. 首先用上式计算出各

种类鱼的肥满度. 然后再计算出各种类鱼的年平均肥满度,即

$$\bar{k} = k/n,$$

其中 n 为每年每类鱼的数量.

最后通过统计汇总得到年平均肥满度数据,绘制表格.

2.3 求解与分析

基于以上方法,分别作出唇鱼骨和黑线 can 体长体质量的数据拟合图,如图 1 和图 2 所示.

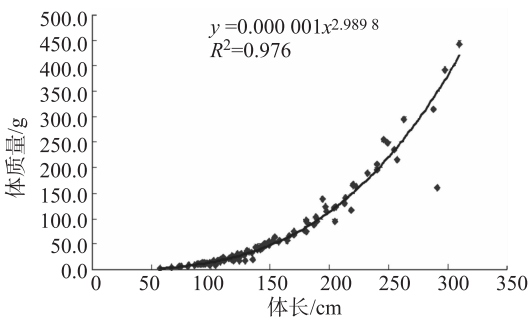


图1 唇鱼骨体长体质量数据拟合

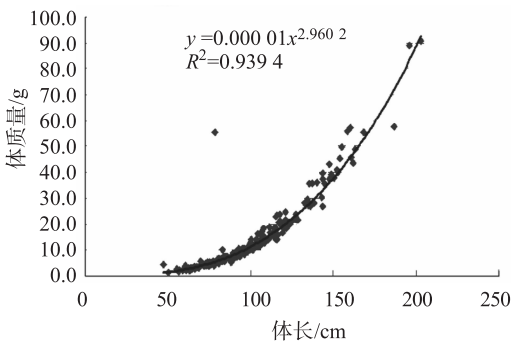


图2 黑线can的体长体质量数据拟合

通过体长体质量的数据,得到以下各种鱼类年平均肥满度数据,见表 1.

表 1 各鱼类年平均肥满度数据										g/cm^3
年份	黑线 can	盎堂拟鲮	棒花鱼	薄鳅	唇鱼骨	粗唇鲮	大眼华鳊	河川沙塘鳢	花鱼骨	鲫鱼
2007	1.15	1.44	2.09	1.74	1.41	1.49	2.62	2.61	1.52	3.36
2008	1.18	1.42	1.88	1.36	1.47	1.48	1.82	2.30	1.40	3.18
2009	1.12	1.40	1.78	1.18	1.41	1.49	1.75	2.33	1.57	3.29
2010	1.13	1.36	1.81	1.71	1.52	1.48	1.83	2.42	1.43	3.23
2011	1.31	1.23	1.90	1.32	1.54	1.31	1.86	2.33	1.44	3.03
年份	尖头塘鳢	宽鳍鳊	马口鱼	麦穗鱼	泥鳅	鲢鱼	温州光唇鱼	小鲈	原缨口鳅	中华花鳉
2007	2.52	1.72	1.66	1.80	1.03	1.10	2.03	2.31	2.01	1.06
2008	2.04	1.73	1.55	1.73	1.04	0.94	2.01	2.39	1.91	1.06
2009	1.71	1.66	1.55	2.12	0.92	0.91	1.88	2.27	1.63	1.21
2010	1.71	1.80	1.76	2.26	1.02	0.76	2.02	2.47	1.59	0.93
2011	1.59	1.76	1.53	1.76	0.87	0.77	2.16	2.06	1.82	1.01

注:肥满度可以准确衡量这类鱼当下的体质肥瘦.特别是当样本数足够多,误差小时,其便是一个非常重要的判断指标.

3 基于灰色关联度分析鱼类基本生长情况

3.1 研究思路

对于鱼类基本生长状况的分析,还可运用肥满度灰色关联度分析方法进行研究.该方法就是对系统动态过程发展的量化分析,因而适合此处建模.通过运行 Matlab 软件,可得到不同鱼类的基本生态状况.

3.2 建立肥满度灰色关联度模型

定义1 设有序列 $x = (x(1), x(2), \dots, x(n))$, 则称映射,

$$f: k \rightarrow y,$$

$$f(x(k)) = y(k), k = 1, 2, \dots, n, \dots,$$

为序列 x 到序列 y 的数据变换.

1) 当 $f(x(k)) = x(k)/x(1) = y(k)$, $x(1) \neq 0$ 时,称 f 是初始化变换;

2) 当 $f(x(k)) = x(k)/\bar{x} = y(k)$, $\bar{x} = 1/n \sum_{k=1}^n x(k)$ 时,称 f 是均值化变换;

3) 当 $f(x(k)) = x(k)/\max_k x(k) = y(k)$ 时,称 f 是百分比变换;

4) 当 $f(x(k)) = x(k)/\min_k x(k) = y(k)$, $\min_k x(k) \neq 0$ 时,称 f 是倍数变换.

接下来进行关联分析:

定义2 选取参考数列 $x_0 = \{x_0(k) | k = 1, 2, \dots, n\} = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}$, 其中 k 表示时刻. 假设有 m 个比较数列: $x_i = \{x_i(k) | k = 1, 2, \dots, n\} = \{(x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n))\}$, $i = 1, 2, \dots, m$, 称 $\xi_i(k) = \min_s \min_t |x_0(t) - x_s(t)| + \rho \max_s \max_t |x_0(t) - x_s(t)| \times (|x_0(t) - x_i(t)| + \rho \max_s \max_t |x_0(t) - x_s(t)|)^{-1}$ 是 k 时刻比较数列对参考数列 x_0 的关联系数.

其中 $\rho \in [0, 1]$ 为分辨系数, $\min_s \min_t |x_0(t) - x_s(t)|$ 为两级最小差, $\max_s \max_t |x_0(t) - x_s(t)|$ 为两级

最大差. 对于一般情况,分辨系数 ρ 与分辨率呈正相关. 若分辨系数较大,则说明分辨率也较大.

关联系数指在某时刻,比较数列与参考数列的关联程度. 而每个时刻均有其对应的关联数,信息相对分散,不利于我们后继对模型的分析比较. 由此给出关联度的定义.

定义3 $r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$ 为数列 x_i 对参考数列 x_0

的关联度.

3.3 模型求解与检验

在求解关联度之前,要对数据进行初始化处理^[8]. 因为关联系数的计算要求量纲相同,所以对数据进行无量纲化. 另外,在模型建立中,为便于比较,本文对给定数列进行了相应变换,变换后所有数列具有公共交点. 变换过程如下:

给定数列 $x = \{x(1), x(2), \dots, x(n)\}$, 称

$$\bar{x} = \{1, x(2)/x(1), \dots, x(n)/x(1)\},$$

为原始数据 x 的初始化数列.

依照问题的要求,选取各种鱼类 2007—2011 年的体长和体质量计算出肥满度,以数据高低作为参考数列. 首先,将主要鱼类进行编号,见下表 2.

其次,将肥满度各个数列的初始化数列代入计算,易计算出各数列由大到小的排序为: 10, 8, 18, 17, 7, 14, 11, 3, 19, 12, 13, 5, 9, 4, 6, 2, 1, 20, 15, 16.

排序情况表明,鲫鱼生长状况最好,从而可以推测鲫鱼的基本生态状况比较优越^[9]; 河川沙塘鳢、小鲈、温州光唇鱼、大眼华鲮、麦穗鱼、尖头塘鳢、棒花鱼、原缨口鳅、宽鳍鱲、马口鱼、唇鱼骨、花鱼骨、薄鳅、粗唇鲮、盎堂拟鲮、黑线 *can* 的生长状况中等; 而中华花鳅、泥鳅、鲶鱼的肥满度较差,原因是中华花鳅与泥鳅体型较小,此外其生存环境几乎都是淤泥,导致其基本生态状况不佳.

表2 主要鱼类编号

鱼类	黑线 can	盎堂拟鲮	棒花鱼	薄鳅	唇鱼骨	粗唇鲮	大眼华鲮	河川沙塘鳢	花鱼骨	鲫鱼
编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
鱼类	尖头塘鳢	宽鳍鱲	马口鱼	麦穗鱼	泥鳅	鲶鱼	温州光唇鱼	小鲈	原缨口鳅	中华花鳅
编号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

4 基于灰色预测模型预测各鱼类的生态趋势

4.1 研究思路

对于鱼类的生态趋势而言,线性回归分析、BP

人工神经网络、马尔科夫链、灰色系统等都可对其进行预测. 但马尔科夫链和线性回归分析需要很多基础数据, BP 人工神经网络则是一个非线性优化算法. 而灰色系统适用于贫数据建模, 与本方案中数据

缺乏、信息不确定等特征相契合,因此采用灰色系统^[10-12]无疑是本研究最好的方法.

4.2 建立灰色预测模型

1)数据检验与处理. 计算数列的级比.

$$\lambda(k) = x^{(0)}(k-1)/x^{(0)}(k), k=2,3,\cdots,n.$$

数列可以作为模型 GM(1,1)的数据进行灰色预测的条件是,当所有级比都在可容覆盖($e^{-2/n+1}$, $e^{2/n+1}$)内. 若不符合条件,则对数列进行变换处理,使其落入可容覆盖内.

2)建立模型. 得到预测值.

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - u/a)e^{a(-k)} + u/a, k=2, 3, \cdots, n.$$

而 $\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)} - \hat{x}^{(1)}(k).$

3)检验预测值.

(a)应用残差检验. 计算残差:

$$\varepsilon(k) = x^{(0)}(k)/x^{(0)}(k), k=2,3,\cdots,n,$$

若 $\varepsilon(k) < 0.2$, 认为达到一般要求;若 $\varepsilon(k) < 0.1$, 则认为达到较高要求.

(b)级比偏差值检验. 先计算级比 $\lambda(k)$, 然后利用发展系数 a 求出相应的级比偏差:

$$\rho(k) = 1 - (1 - 0.5a)/(1 + 0.5a)\lambda(k),$$

若 $\rho(k) < 0.2$, 认为达到一般要求;若 $\rho(k) < 0.1$, 则认为达到较高要求.

4)预测预报. 根据模型 GM(1,1)所得结论, 结合实际, 可给出相应的预测预报.

5)模型的求解.

第 1 步 进行级比判断.

(a)首先构建各鱼类肥满度动态时间序列:

$$x^{(0)} = [x^0(1), x^0(2), x^0(3), x^0(4)].$$

(b)其次计算级比 $\lambda(k)$:

$$\lambda(k) = x^{(0)}(k-1)/x^{(0)}(k), k=2,3,\cdots,n.$$

(c)最后进行级比判断:

由于所有的 $\lambda(k) \in [0.67, 1.49]$, 故 $x^{(0)}$ 可以用作为 GM(1,1)的数据.

第 2 步 建立 GM(1,1)模型.

(a)对原始时间序列进行一阶累加处理, 运用

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$$
 处理可得:

$$x^{(1)} = [x^1(1), x^1(2), x^1(3), x^1(4)].$$

(b)针对一阶累加生成的数据序列, 建立相应的一元一阶动态模型 GM(1,1)的微分方程:

$$dx^{(1)}(t)/dt + ax^{(1)}(t) = u.$$

上式经过拉普拉斯变换和拉普拉斯逆变换可得:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{u}{a})e^{a(-k)} + \frac{u}{a}, k=1,$$

$$2, \cdots, n-1,$$

待定参数为 $\hat{a} = (a, u)^T$.

(c)利用矩阵公式 $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n$, 并结合实际情况, 构造数列矩阵 B 及 Y_n .

由矩阵 B 及 Y_n , 借助 Matlab 可求出 a 与 u 的值. 则灰色 GM(1,1)预测模型的解如下:

$$x^{(1)}(k+1) = 17.3092e^{ak} - k.$$

4.3 求解与分析

利用 Matlab 编程, 预测结果如表 3 所示.

表 3 各鱼类肥满度预测结果

g/cm³

年份	黑线 can	盎堂拟鲮	棒花鱼	薄鳊	唇鱼骨	粗唇鲮	大眼华鳊	河川沙塘鳢	花鱼骨	鲫鱼
2007	1.150	1.440	2.090	1.740	1.410	1.490	2.620	2.610	1.520	3.360
2008	1.123	1.444	1.829	1.333	1.437	1.517	1.785	2.318	1.463	3.258
2009	1.163	1.381	1.838	1.372	1.468	1.464	1.805	2.336	1.461	3.207
2010	1.205	1.321	1.847	1.412	1.501	1.414	1.825	2.354	1.459	3.157
2011	1.248	1.264	1.856	1.453	1.534	1.365	1.845	2.372	1.457	3.108
2012	1.293	1.209	1.866	1.495	1.568	1.318	1.866	2.390	1.455	3.059
2013	1.339	1.156	1.874	1.538	1.602	1.272	1.887	2.408	1.453	3.012
2014	1.387	1.106	1.885	1.583	1.638	1.228	1.908	2.426	1.451	2.965
2015	1.437	1.058	1.893	1.628	1.673	1.186	1.930	2.445	1.450	2.918
2016	1.488	1.013	1.904	1.675	1.710	1.144	1.951	2.464	1.447	2.873
2017	1.541	0.968	1.912	1.724	1.748	1.105	1.973	2.482	1.446	2.828
2018	1.596	0.926	1.923	1.774	1.787	1.066	1.995	2.502	1.443	2.784
2019	1.653	0.887	1.931	1.825	1.825	1.030	2.017	2.520	1.441	2.741
2020	1.713	0.847	1.942	1.878	1.866	0.994	2.040	2.540	1.440	2.698
年份	尖头塘鳢	宽鳍鳊	马口鱼	麦穗鱼	泥鳅	鲶鱼	温州光唇鱼	小鲈	原缨口鳅	中华花鳊
2007	2.520	1.720	1.660	1.800	1.030	1.100	2.030	2.310	2.010	1.060
2008	1.974	1.703	1.576	1.936	1.024	0.947	1.927	2.414	1.787	1.117
2009	1.825	1.726	1.590	1.957	0.982	0.875	1.986	2.335	1.754	1.073
2010	1.687	1.749	1.605	1.978	0.941	0.809	2.047	2.258	1.721	1.030

续表 3										g/cm ³
年份	尖头塘鳢	宽鳍鳐	马口鱼	麦穗鱼	泥鳅	鲶鱼	温州光唇鱼	小鲈	原缨口鳓	中华花鳅
2011	1.560	1.772	1.619	1.999	0.902	0.748	2.109	2.184	1.688	0.990
2012	1.442	1.796	1.634	2.021	0.865	0.691	2.173	2.111	1.656	0.951
2013	1.334	1.820	1.649	2.042	0.829	0.639	2.240	2.041	1.626	0.913
2014	1.233	1.844	1.665	2.064	0.795	0.590	2.308	1.974	1.595	0.877
2015	1.140	1.869	1.679	2.087	0.762	0.546	2.378	1.910	1.565	0.842
2016	1.055	1.894	1.695	2.109	0.730	0.504	2.451	1.846	1.536	0.809
2017	0.974	1.919	1.711	2.132	0.700	0.466	2.525	1.785	1.507	0.777
2018	0.902	1.945	1.726	2.154	0.671	0.431	2.603	1.726	1.479	0.747
2019	0.833	1.971	1.742	2.178	0.643	0.398	2.682	1.670	1.451	0.717
2020	0.770	1.997	1.758	2.201	0.616	0.368	2.763	1.614	1.424	0.689

下面进行灰色预测模型检验. 由 GM(1,1) 预测模型可求出上述鱼类肥满度原始数据列的预测值, 将原始数据与预测值进行比较, 得到残差时间序列. 残差检验结果见表 4.

表 4 各鱼类肥满度预测模型相对误差值											g/cm ³
年份	黑线 can	盎堂拟鲮	棒花鱼	薄鳅	唇鱼骨	粗唇鲮	大眼华鳊	河川沙塘鳢	花鱼骨	鲫鱼	
2008	0.048	0.017	0.027	0.020	0.023	0.025	0.019	0.008	0.045	0.024	
2009	0.039	0.014	0.033	0.163	0.041	0.017	0.031	0.003	0.069	0.025	
2010	0.066	0.029	0.020	0.174	0.013	0.045	0.003	0.027	0.020	0.023	
2011	0.047	0.027	0.023	0.100	0.004	0.042	0.008	0.018	0.012	0.026	
年份	尖头塘鳢	宽鳍鳐	马口鱼	麦穗鱼	泥鳅	鲶鱼	温州光唇鱼	小鲈	原缨口鳓	中华花鳅	
2008	0.033	0.016	0.017	0.119	0.015	0.007	0.041	0.010	0.064	0.054	
2009	0.067	0.040	0.026	0.077	0.067	0.038	0.056	0.028	0.076	0.113	
2010	0.013	0.028	0.088	0.125	0.077	0.064	0.013	0.086	0.082	0.108	
2011	0.019	0.007	0.058	0.136	0.037	0.029	0.024	0.060	0.072	0.020	

从表 4 观察到, 整体的预测精度合格. 由此可知, 灰色 GM(1,1) 模型适合用于未来几年各鱼类肥满度的预测, 其预测值具有可靠性.

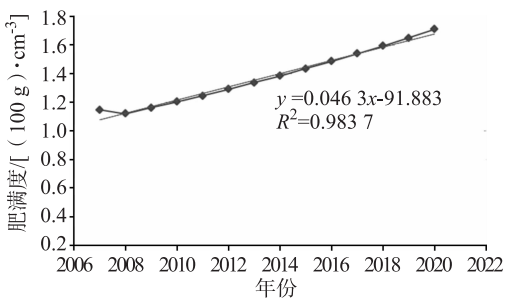


图3 黑线can的未来肥满度预测

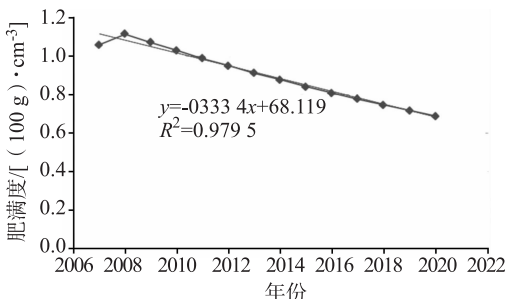


图4 中华花鳅的未来肥满度预测

从预测的结果来看, 对于黑线 can、棒花鱼、薄鳅、唇鱼骨、大眼华鳊、河川沙塘鳢、宽鳍鳐、马口鱼、麦穗鱼、温州光唇鱼这几种鱼而言, 随着肥满度增加, 生态

趋势更好. 选取黑线 can 为代表作出预测趋势图 (图 3), 从图 3 可明显看出它的肥满度逐年递增, 说明它所处的生态环境逐渐变好. 选取中华花鳅为代表作出预测趋势图 (图 4), 从图 4 可明显看出它的肥满度逐年递减, 说明它处的生态环境在逐渐变差.

5 小结及建议

研究结果表明, 鲫鱼生态状况最佳, 河川沙塘鳢等 16 种鱼生态状况中等, 而中华花鳅、泥鳅、鲶鱼的生态状况较差.

- 鲫鱼的生长状况最佳, 其原因可能有以下 2 点:
- 1) 环境适应性强. 鲫鱼对水环境的要求不高, 适应性非常强, 几乎不受水的深浅度、水流程度、水温高低的影响^[13].
 - 2) 鲫鱼的性腺发育较快, 成熟较早, 且个体大、生长快, 繁殖力很强, 是优势种群^[14].

对于中华花鳅、泥鳅、鲶鱼等鱼类而言, 其生态环境逐年变差. 中华花鳅属于小型底栖鱼类, 多生存于江河溪流的水流缓慢处, 底质为沙石或泥沙, 要求水体质量清澈, 而本文分析的中华花鳅与泥鳅的生存环境多为泥沙, 由于生存环境逐年恶化, 导致其生态状态不佳. 为改善鱼类生态环境, 建议采取以下措施:

1)改善水体质量.利用水生植物改善水体质量,水生植物可去除水体中氮、磷等营养物质,向水体中释放化感物质以抑制浮游藻类生长,为微生物和浮游动物提供附着基质和栖息场所^[15].此外,可采取多种措施,进一步改善水体质量.

2)培植相关植物.浮叶和漂浮植物如凤眼莲、浮萍耐污能力较好,它们不仅可用来净化富营养化废水,还可遏制底泥营养盐向水体的释放.

3)保持鱼类生物多样性.对于鱼类的养殖方式,应保持合适的放养密度,多种鱼类混合放养,确保鱼类生物多样性.

【参考文献】

- [1]韩晓余.韩长赋谈水产养殖和保护水域生态环境:“十三五”期间沿海减少2万艘渔船[EB/OL]. [2017-03-25]. http://news.cnr.cn/zl2017/2017h/lhzb/nyb/zbkx/20170307/t20170307_523641949.shtml.
- [2]张文良.工程周期注重生态、梯级水电绿色开发:三峡集团近75亿元投向环保[EB/OL]. [2017-03-25]. <http://news.gscn.com.cn/system/2017/03/02/011623360.shtml>.
- [3]太湖管理委员会办公室.江苏太湖小型鱼类资源生态调控研究取得重要进展[EB/OL]. [2017-03-25]. http://www.shuichan.cc/news_view-309523.html.

- [4]史赞荣.长江口鱼类群落多样性及基于多元排序方法群落动态的研究[D].上海:上海海洋大学,2012.
- [5]邹淑珍.赣江中游大型水利工程对鱼类及其生态环境的影响研究[D].南昌:南昌大学,2011.
- [6]管伟,徐兆礼,陈佳杰.福建南日岛南部水域鱼类群落结构及多样性[J].生态学报,2017(9):1-10.
- [7]360百科.肥满度[EB/OL]. [2017-03-25]. <http://baike.so.com/doc/2262435-2393565.html>.
- [8]司守奎.数学建模算法与应用[M].2版.北京:国防工业出版社,2011.
- [9]吴礼斌.经济数学实验与建模[M].2版.北京:国防工业出版社,2013.
- [10]邓聚龙.灰色理论基础[M].武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [11]360百科.灰色系统[EB/OL]. [2017-03-25]. <http://baike.so.com/doc/6775047-6990374.html>.
- [12]姚俊英,朱红蕊,南极月,等.基于灰色理论的黑龙省暴雨洪涝特征[J].灾害学,2012,27(1):59-63.
- [13]360百科.鲫鱼[EB/OL]. [2017-03-25]. <http://baike.so.com/doc/1089392-1152762.html>.
- [14]袁杰,曹玉萍,谢松.衡水湖鲫鱼的生态学特性[J].河北大学学报,2004,24(3):5:294-298.
- [15]陈斌.杭州西溪国家湿地公园水质改善的生态措施[J].杭州科技,2008(6):63-64.

(上接第78页)

【参考文献】

- [1]周美娟.人体组织学与解剖学[M].北京:高等教育出版社,1999:6.
- [2]罗克.家禽解剖学与组织学[M].福州:福建科学技术出版社,1983:26-28.
- [3]曹艳茹.动物粪便放线菌多样性及生物活性研究[D].陕西:西北农林科技大学,2012.
- [4]ROOKS M G, GARRETT W S. Gut microbiota, metabolites and host immunity[J]. Nature Reviews Immunology, 2016, 16:341-352.
- [5]ZHERNAKOVA A, KURILSHIKOV A, BONDER M J, et al. Population-based metagenomics analysis reveals markers for gut microbiome composition and diversity [J]. Science, 2016, 352:565-569.
- [6]LEY R E, HAMADY M, LOZUPONE C, et al. Evolution of mammals and their gut microbes[J]. Science, 2008, 320:1647-1651.
- [7]田新朋,张偲,李文均.海洋放线菌研究进展[J].微生物学报,2011,51(2):161-169.
- [8]ZHU L, WU Q, DAI J, et al. Evidence of cellulose metabo-

- lism by the giant panda gut microbiome[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2011, 108(43):17714-17719.
- [9]KALTENPOTH M, WINTER S A, KLEIHSMER A. Localization and transmission route of *Coriobacterium glomerans*, the endosymbiont of pyrrhocorid bugs[J]. Federation of European Microbiological Societies Microbial Ecology, 2009, 69:373-383.
- [10]ANDERSON R C, RASMUSSEN M A, JENSEN N S, et al. *Denitrobacterium detoxificans* gen. nov., sp. nov., a ruminal bacterium that respire on nitro-compounds[J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2000, 50:633-638.
- [11]贾文文.南大西洋深海放线菌的分离与多样性分析[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
- [12]黄路枝,胡兆农,郭正彦,等.土壤稀有放线菌的选择性分离及其抗菌活性研究[J].农药学报,2007,9(1):59-65.
- [13]曾庆飞.根结线虫拮抗放线菌的筛选及菌株 HA10002 和 DA09202 活性物质的研究[D].海口:海南大学,2011.
- [14]刘小凤,罗勇,傅俊英. DNA 测序技术的专利计量研究[J].现代生物医学进展,2010,10(6):1173-1181.