

华容东湖围栏生态因子的灰关联分析*

杨品红¹ 徐黎明² 覃忠元³ 张倩⁴ 潘莹⁵
王晓艳² 李梦军² 谢春华²

(1. 湖南文理学院生命科学学院 常德 415000; 2. 湖南省水产工程技术研究中心 常德 415000; 3. 大湖股份千店工程事业部 常德 415000; 4. 大湖水殖股份有限公司 常德 415000; 5. 南京市水产科学研究所 南京 210036)

提要 采用灰色系统关联度分析方法,以空间理论数学为基础,依规范性、偶对称性、整体性和接近性原则,计算并分析了华容东湖围栏 12 个生态因子的关联度,关联序结果为:总磷>总氮>氮磷比>氨氮>浮游植物>硝酸氮>酸碱度>浮游动物>水温>透明度>溶解氧>水深。结果表明,总磷、总氮(包括氨氮和硝酸氮)和氮磷比是湖泊水体的优势影响因子。通过灰关联分析发现,围栏内水体水质良好,水体的氮磷比及溶解氧都适于浮游生物的生长繁殖,对围栏养殖鳙鱼苗种天然饵料的培育、增加渔产潜力都有重要作用。

关键词 华容东湖; 围栏; 生态因子; 灰关联分析

中图分类号 Q147 doi: 10.11693/hyhz20140400093

东湖为长江中游的一个中型浅水湖泊,湖泊面积 3500hm²,位于湖南省华容县境内,属洞庭湖水系,为湿润大陆季风气候,光照充足,雨量适度,温暖湿润。东湖属丘陵地区,为天然湖泊,水草生长十分茂盛,水下生物非常丰富,周边居民稀少,无任何厂矿企业,无污染,水质清澈,透明度高,悬浮物少,重金属及有毒物质含量检测不出,非常适合鱼类生长,为当地优势品牌“东湖源”胖头鱼的主要原料供应基地。“东湖源”胖头鱼被评为湖南名牌农产品,在全国各大水产品市场有较强的品牌影响力。每年有部分产品进入香港市场,深受消费者欢迎,具有良好的市场开拓潜力。为了进一步开发“东湖源”胖头鱼资源,形成优势品牌,将东湖南部湖区 67hm² 设置成围栏,专项用于培育鳙鱼苗种。本文对围栏内的水体进行实时监控,使用灰色理论的关联度分析法对华容东湖围栏水体的影响因素进行定量描述,力求找出影响养殖水体环境变化的主要因子,并以此为依据作用于渔业生产,对围栏养殖鳙鱼水体调节、天然饵料的

培育、增加渔产潜力都有其重要的作用。

灰关联分析是对一个系统发展变化的定量描述和比较的方法,其目的是寻求系统中各因素间的主要关系,找出影响目标值的主要因素(刘思峰等,2004)。可将湖泊环境视作一个灰色系统,其中影响水质变化的参数包括确定性因素(如水体的理化因子)和不确定性因素(如气象条件、太阳辐射等),利用灰关联分析法对样本量的大小没有太高要求,分析时也不需要典型的分析规律,且量化结果与定性分析一致,具有广泛的实用性(易德生等,1992)。冯利华(1999)利用灰关联分析方法预测新疆伊犁河水资源的变化趋势,赵秀春(2009)用灰关联计算结果全面系统的评价了大沽河干流青岛段水质总体状况与变化趋势,张春洁等(2013)利用灰关联分析方法评价大辽河营口段生态供水水质,陈娟等(2013)利用灰关联分析评价黄家湖水质都取得了较好的效果。本文利用灰关联分析法分析围栏内优势影响因子,为围栏内水生态的平衡及增加渔产潜力提供科学依据。

* 湖南省湖南文理学院——大湖股份水产院士工作站项目,2013年;国家淡水渔业工程技术湖南中心项目,2013年;环洞庭湖水产健康养殖及加工湖南省重点实验室项目,2013—2014年;湖南省高校水生生物保育与利用创新团队支持计划,2011—2014年;湖南省高校水生生物产学研示范基地项目及湖南省动物学重点建设学科项目资助,2011—2014年。杨品红,博士,教授, E-mail: yph588@163.com

收稿日期: 2013-10-23, 收修改稿日期: 2013-12-29

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析方法

1.1.1 采样频率及采样点 于 2005—2008 年 4—9 月, 每 20 天采样 1 次, 对华容东湖围栏进行 37 次采样调查。按采样方案设计技术规定(HJ495-2009), 选取围栏中心处作为采样点。

1.1.2 监测项目 总氮(TN)、总磷(TP)、氮磷比(TN/TP)、氨氮(NH₄⁺-N)、硝酸氮(NO₃⁻-N)、透明度(SD)、水深(WD)、水温(WT)、溶解氧(DO)、酸碱度(pH)、浮游动物和浮游植物。

1.1.3 水质监测方法 pH(用 HI9224 型测定)、溶解氧和水温(用 HI9141 型测定)、水深和透明度均在现场测定, 用有机玻璃采水器采取表层(水表以下 0.5m)、中层(中间水深)和底层(距水底 0.5m 处)3 层混匀水样装瓶带回实验室用于氨氮、硝酸氮、总磷和总氮的监测, 加适量鲁哥式液固定用于浮游生物计数的水样(章宗涉等, 1991)。氨氮、硝酸氮、总磷和总氮采用 C200 系列多参数台式离子浓度分析仪测定, 上述仪器均为意大利哈纳 9804 系列产品。用 NOVEL XSZ-N107 型显微镜分类统计浮游动物和浮游植物, 结果以每升水中浮游生物细胞数表示。

1.2 灰关联分析方法

灰关联分析是对一个系统发展变化的定量描述和比较的方法, 是有参考系有测度的整体比较, 其分析步骤如下(邓聚龙, 1985; 易德生等, 1992)。

1.2.1 参考数列和比较数列的选定 在水环境系统中, 某种因素造成水环境事故发生的机率为 100% 是最严重的情况, 因此把参考数列定义为(万星等, 2005), 将透明度、水深、水温、溶解氧、pH、氨氮、硝酸氮、总磷、总氮、氮磷比、浮游动物和浮游植物 12 个指标作为比较序列, 故有 $N=12, n=37$ 。

1.2.2 原始数据预处理 为弱化各原始数据的随机性, 消除量纲, 合并数量级, 使其具有可比性, 等效性和同序性, 对原始数据进行预处理—无量纲化(刘燕东等, 2005)。

有以下方法可对时间序列(或经济序列)原始数据进行预处理:

$$(1) \text{ 初值化变换: } X_i(k) = X_i^{(0)}(k) / X_i^{(0)} \quad (1)$$

$$(2) \text{ 均值化变换: } X_i(k) = X_i^{(0)}(k) / \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_i^{(0)}(k) \quad (2)$$

而对于空间序列(或指标序列)的原始数据预处理的主要方法有:

效果测度变换:

对于越大越好的指标(如溶解氧、透明度), 采用上限测度:

$$X_i(k) = X_i^{(0)}(k) / \max \{ X_i^{(0)}(k) \} \quad (3)$$

对于越小越好的指标(如总磷、总氮), 采用下限测度:

$$X_i(k) = X_i^{(0)}(k) / \min \{ X_i^{(0)}(k) \} \quad (4)$$

对于取中间值较优指标(如氮磷比和 pH 等), 采用平均值测度:

$$X_i(k) = X_i^{(0)}(k) / \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_i^{(0)}(k) \quad (5)$$

1.2.3 关联系数 当 $t = k$ 时, $\bar{x}_0(k)$ 与 $\bar{x}_i(k)$ 的关联系数为 $\zeta_{0i}(k)$ ($i = 1, 2, \dots, 37$):

$$\zeta_{0i}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \rho \Delta_{\max}} \quad (6)$$

式中, Δ_{\max} 、 Δ_{\min} 分别为各个时刻绝对差中的最大值和最小值, 即: $\Delta_{\max} = \max \{ |\bar{x}_0(k) - \bar{x}_i(k)| \}$, $\Delta_{\min} = \min \{ |\bar{x}_0(k) - \bar{x}_i(k)| \}$, $\Delta_{0i}(k)$ 为 k 时刻两个序列的绝对差, 即 $\Delta_{0i}(k) = |\bar{x}_0(k) - \bar{x}_i(k)|$; ρ 为分辨系数(提高关联系数之间的差异显著性), 取值准则参照吕峰(1997)。

1.2.4 关联度及关联序 比较数列对参考数列的关联系数有多个, 因信息过于分散而难以比较, 因此将各个时刻的关联系数集中处理后所得的平均值, 作为比较数列对参考数列的关联度(γ_{0i})(侯晓亮等, 2011):

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_{0i}(k) \quad (\text{各符号意义同前}) \quad (7)$$

关联序是根据关联度大小的排序得出。但由于初值化、均值化处理和分辨系数的变动都不具有序数效应(水乃翔等, 1992), 因此不能仅对某一特定的值、某种特定的无量纲处理方式所求得关联度序就快速下结论。笔者用初值化、均值化和效果测度变换三种方法对华容东湖围栏水体水环境影响因素监测结果进行分析。

2 结果与分析

2.1 华容东湖围栏水体生态因子监测结果

华容东湖围栏生态因子监测结果见表 1。除围栏的总氮有 2 次、pH 有 1 次超出标准(总氮 1.0mg/L; 总磷 0.05mg/L; 氨氮 1.0mg/L; pH 6—9; 溶解氧 5mg/L)外, 其余均在《地表水环境质量标准(GB3838-

表 1 华容东湖围栏生态因子监测结果
Tab.1 The ecological factor of the experimental results on net enclosure in the Donghu Lake

结果	SD(cm)	WD(m)	WT(°C)	DO(mg/L)	pH	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	TN/TP	Phyt. (10 ⁴ ind./L)	Zoop. (ind./L)
最大值	110	4.3	34.2	13.38	9.68	0.435	0.569	0.050	1.173	190.4	6085.8	24100
最小值	25	1.4	20.1	6.41	7.44	0	0	0.003	0.045	1.5	167.4	4200
平均值	61	2.7	28.1	9.65	8.71	0.065	0.239	0.030	0.308	17.3	1045.9	11766

Phyt.表示 phytoplankton; Zoop.表示 zooplankton

2002)》类水范围内。在 2005—2008 年监控时间段内, 围栏内水体水质良好, 溶解氧丰富, 浮游生物量多, 适宜鳙鱼苗种的生长。

2.2 华容东湖围栏生态因子关联度及关联序

华容东湖围栏生态因子关联度及关联序见图 1 (图中数字为关联序)。初值化关联度在 0.929792—0.965906 之间, 关联序: 总磷>氨氮>浮游植物>水温>

浮游动物>酸碱度>水深>溶解氧>透明度>总氮>硝酸氮>氮磷比; 均值化关联度在 0.9624707—0.9625019 之间, 关联序: 氮磷比>总磷>总氮>浮游植物>硝酸氮>浮游动物>溶解氧>透明度>酸碱度>水深>水温>氨氮; 效果测度变换关联度在 0.8699610—0.9036088 之间, 关联序: 总磷>总氮>氮磷比>硝酸氮>氨氮>透明度>酸碱度>水温>溶解氧>水深>浮游动物>浮游植物。

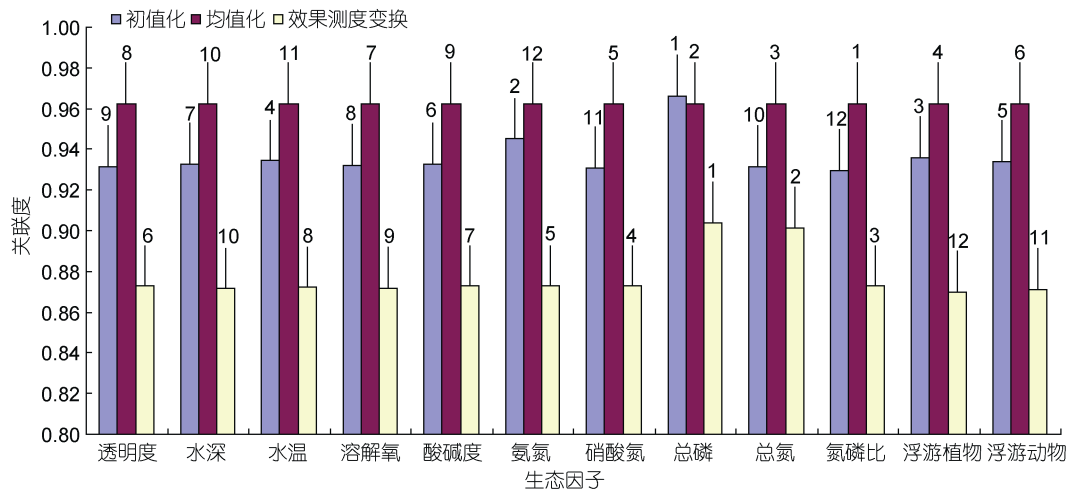


图 1 华容东湖围栏生态因子关联度及关联序

Fig.1 Correlative degree and correlation order of ecological factor for the net enclosure in Donghu Lake

综合考虑初值化关联序、均值化关联序和效果测度变换关联序得: 总磷>总氮>氮磷比>氨氮>浮游植物>硝酸氮>酸碱度>浮游动物>水温>透明度>溶解氧>水深。东湖围栏表现为总磷、总氮(包括氨氮和硝酸氮)和氮磷比是优势影响因素, 透明度、溶解氧、水深则是相对次要的影响因子。

3 讨论

3.1 优势影响因素与浮游植物

浮游植物生长最重要的营养物质是氮和磷, 但氮和磷同时又是常见的限制营养元素(Reynolds, 1984; Gurbuz *et al*, 2002; Vadas *et al*, 2005), 因此氮和磷对浮游植物的生长具有主导作用。

不同种类的浮游植物的最适氮磷比值相差很大, 从 4 : 1 到 40 : 1 不等(吴世凯等, 2005; 丰茂武等, 2008; 陈文煊等, 2008), 同时, 浮游植物的优势种类在不同的水域和同一水域的不同时间对氮磷比值的要求也不同。许多研究发现水生植物生长最常缺的是磷, 其次是氮(裘松, 1982; 樊启学, 1991)。Redfield 定律认为, 藻类细胞组成的原子比率 N : P = 16 : 1, 如果氮磷比大于 16, 磷是限制性因素; 如果氮磷比小于 10, 氮则为限制性因素; 如果氮磷比在 10—20 之间, 限制性因素则变得不确定(Li *et al*, 2001)。湖泊等淡水中浮游植物的生长适合此规律(Schanz *et al*, 1983)。华容东湖围栏氮磷比平均值为 17.3 : 1(表 1), 据此可判断东湖围栏氮和磷的限制性并不确定, 说明东湖围栏

氮磷比适宜浮游植物生长。

3.2 溶解氧与 pH

华容东湖围栏水体溶解氧非常丰富,年平均值为 9.65mg/L(表 1)。丰富的溶解氧对于有机物质的分解和营养盐类的再生、湖泊中水生生物的生长、发育、繁殖都非常有利,因此湖泊中的浮游动物、浮游植物的含量也都较高(表 1),有助于培育丰富的饵料生物,促进鳙鱼苗种的快速生长。水生植物的快速生长破坏了湖泊水体中 $\text{H}_2\text{O} + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$ 的盐类水解平衡,随着植物体对水中 CO_2 利用的增加, $[\text{OH}^-]$ 一瞬间增大,之后 OH^- 又打破了 $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ 的电离平衡,致使水中 HCO_3^- 转化成 CO_3^{2-} ,导致 pH 较高。东湖围栏的平均 pH 为 8.71(表 1),稍高于鱼类生长的最适 pH。

4 结语

通过灰关联分析发现,围栏内水体水质良好,水体的氮磷比及溶解氧都适于浮游生物的生长繁殖,对围栏养殖鳙鱼苗种天然饵料的培育、增加渔产潜力都有重要作用。但围栏内的 pH 稍高于鱼类生长的最适 pH。如何在增加水中溶解氧,促进浮游生物生长繁殖的同时,又能使水体的 pH 保持在最适宜鱼类生长的范围(7.5—8.5)(杨品红等, 2010),有待进一步研究。

参 考 文 献

万 星, 丁 晶, 张少文等, 2005. 基于灰色理论的水环境影响因素分析. 人民黄河, 27(5): 36—38

丰茂武, 吴云海, 冯仕训等, 2008. 不同氮磷比对藻类生长的影响. 生态环境, 5: 23—26

水乃翔, 董太事, 沙 震, 1992. 关于灰关联度的一些理论问题. 系统工程, 10(6): 23—26

邓聚龙, 1985. 灰色控制系统. 武汉: 华中理工大学出版社, 1—235

冯利华, 1999. 水资源变化趋势的灰色聚类预测. 资源科学, 21(3): 11—15

吕 峰, 1997. 灰色系统关联度之分辨系数的研究. 系统工程理论与实践, 6: 49—54

刘思峰, 觉耀国, 方志耕等, 2004. 灰色系统理论及其应用

(3 版). 北京: 科学出版社, 1—376

刘燕东, 黄川友, 张金燕, 2005. 地表水主要指标与水环境质量的灰色关联分析. 东北水利水电, 23(24): 40—41

杨品红, 王志陶, 徐黎明, 2010. 能效渔业状态下津市西湖生态因子与浮游植物量的灰关联模型 {GM(L, N)}. 海洋与湖沼, 41(3): 403—409

吴世凯, 谢 平, 王松波等, 2005. 长江中下游地区浅水湖泊群中无机氮和 TN/TP 变化的模式及生物调控机制. 中国科学(D 辑), 22: 124—127

张春洁, 金 鑫, 2013. 灰关联分析法在大辽河营口段生态供水水质评价中的应用. 吉林水利, 5: 46—49

陈 娟, 杨象梁, 2013. 灰关联分析法在黄家湖水水质评价的应用. 环境科学与管理, 38(4): 76—78

陈文煊, 王志红, 2008. 不同形态氮对富营养化水源藻华暴发的潜在影响. 给水排水, 9(14): 25—27

易德生, 郭 萍, 1992. 灰色理论与方法. 北京: 石油工业出版社, 1—224

赵秀春, 2009. 灰关联分析法在大沽河青岛段水质评价中的应用. 水生态学杂志, 5: 115—118

侯晓亮, 谭晓慧, 2011. 灰色关联理论在边坡稳定性分析中的应用. 路基工程, 3: 16—18

章宗涉, 黄祥飞, 1991. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 64—66

裘 松, 1982. 湖泊富营养化调查和监测的若干问题. 环境科学丛刊, 2(5): 8—18

樊启学, 1991. 水库施肥养鱼(一). 水利渔业, 2: 47—50

Gurbuz H, Kivrak E, 2002. Use of epilithic diatoms to evaluate water quality in the Karasu River of Turkey. Journal of Environmental Biology, 23(3): 239—246

Li R X, Zhu M Y, Chen S *et al*, 2001. Responses of phytoplankton on phosphate enrichment in mesocosms. Acta Ecologica Sinica, 21(4): 603—607

Reynolds C S, 1984. The ecology of freshwater phytoplankton (Cambridge studies in ecology) PP. Cambridge University: Cambridge, Great Brliain, 157—183

Schanz F, Juon H, 1983. Two different methods of evaluating nutrient limitation of periphyton biomass using water from the river Rhine and eight of its tributaries. Hydrobiologia, 102: 187—195

Vadas P A, Kleinman P J, Sharpley A N *et al*, 2005. Relating soil phosphorus to dissolved phosphorus in runoff: a single extraction coefficient for water quality modeling. Journal of Environmental Quality, 34(2): 572—580

GRAY CORRELATION ANALYSIS ON NET ENCLOSURE ECOLOGICAL FACTORS IN DONGHU LAKE IN HUARONG COUNTY, HUNAN PROVINCE

YANG Pin-Hong¹, XU Li-Ming², QIN Zhong-Yuan³, ZHANG Qian⁴, PAN Ying⁵,
WANG Xiao-Yan², LI Meng-Jun², XIE Chun-Hua²

(1. *Department of Life Science, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, China*; 2. *Hunan Aquatic Engineering Technology Research Center, Changde 415000, China*; 3. *Qiandian Engineering Division of Dahu Co., Ltd., Changde 415000, China*; 4. *Dahu Aquaculture Co., Ltd., Changde 415000, China*; 5. *Nanjing Fishery Science Research Institute, Nanjing 210036, China*)

Abstract Based on space mathematical theory, according to the principles of normalization, symplectic symmetry, integrality, and accessibility, we calculated the gray system correlation degree for 12 ecological factors of net enclosure in Donghu Lake in Huarong County, Hunan Province, China. The correlation order of importance is as follow: total phosphorus > total nitrogen > phosphorus-nitrogen ratio > ammonia nitrogen > phytoplankton > nitrate nitrogen > pH value > zooplankton > water temperature > transparency > dissolved oxygen > water depth, showing that total phosphorus, total nitrogen (including ammonia nitrogen and nitrate nitrogen), and phosphorus-nitrogen ratio were dominant factors in the lake during study. Analysis showed that the water quality in the pen was good, phosphorus-nitrogen ratio, and dissolved oxygen were suitable for plankton growth and proliferation, which is important to the natural-food cultivation for bighead fry and for the potential of increasing fishery production in the lake.

Key words Donghu Lake in Huarong County; net enclosure; ecological factors; gray correlation analysis