



基于食物网拓扑结构的鱼类关键种识别—以竺山湖为例

任可成, 任浣, 赵冬福, 崔伟, 徐东坡*

上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306
中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 无锡 214081



摘要:关键种对维持湖泊生态系统稳定具有重要意义, 但识别关键种存在一定的困难。为识别湖泊生态系统中的关键种, 本文以竺山湖为例, 于2019年11月至2020年10月每月对该水域进行了鱼类样本采集, 共采集鱼类种类48种, 并基于食性划分出39个功能群。以摄食关系为基础构建了竺山湖食物网拓扑结构图, 并利用网络分析法计算该食物网39个功能群的网络指数, 结合Key Player Problem运算的结果进行了分析。研究结果显示, 蒙古鲌 (*Culter mongolicus*)、翘嘴鲌 (*Culter alburnus*)、大银鱼 (*Protosalanx hyalocranius*) 和陈氏短吻银鱼 (*Salangichthys tangkahkei*) 在食物网的网络分析结构中处于最高位置, 与其他功能群的联系密切, 对食物网的控制能力最强, 是竺山湖食物网的关键种。其中, 蒙古鲌、翘嘴鲌、大银鱼为关键捕食者, 蒙古鲌、翘嘴鲌去除后对食物网的破坏性最大, 大银鱼在食物网传递信息的速度最快; 陈氏短吻银鱼是关键饵料鱼类, 决定较高营养阶层物种结构的能力最强。本研究初步构建了竺山湖食物网拓扑结构, 丰富了对竺山湖食物网方面的研究, 以期对湖泊生态系统的科学有效管理和生物多样性保护提供参考。

1. 引言

关键种是在食物网中具基石作用并且生物量占比相对低的物种, 如何准确识别湖泊食物网关键种至关重要, 对于科学管理湖泊生态系统具有重要意义。实施太湖生态修复, 维护湖泊生态系统健康, 实现湖泊资源可持续发展, 是国家战略需求。

本研究拟通过网络分析法构建太湖多个湖区中富营养化最严重、受人类活动干扰最多、生境破坏程度最大的竺山湖食物网拓扑结构, 识别该食物网中的关键种, 以便为科学管理湖泊生态系统、确保湖泊生态渔业可持续发展、保护湖泊生态系统生物多样性提供理论依据。

2. 竺山湖食物网拓扑结构构建

本研究运用网络分析法来构建竺山湖食物网拓扑结构, 该方法包括关键性指数、拓扑重要性指数、在网络中寻找关键角色的程序, 借助于社会网络分析的中心性指数等; 该方法将同一营养级物种之间的影响考虑在内, 其中节点中心性指数量化了节点及其局部或中尺度邻域的位置重要性, 而其他指标则提供了整个食物网网络的宏观信息。

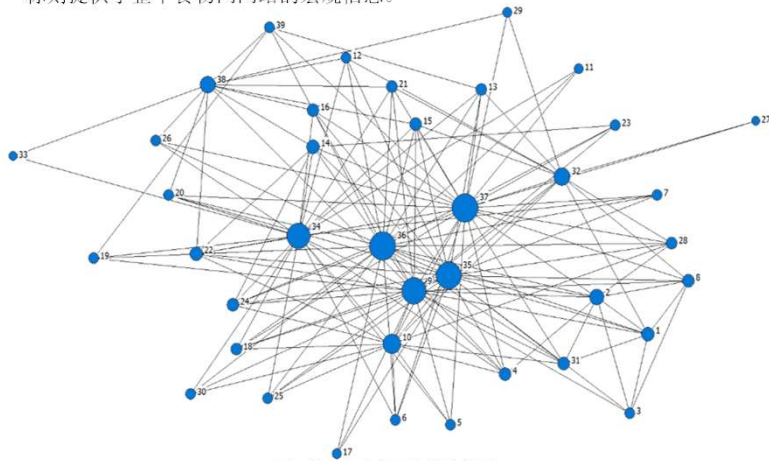


图2 竺山湖食物网拓扑结构图

1.刀鲚; 2.大银鱼; 3.陈氏短吻银鱼; 4.间下鲛; 5.棒花鱼; 6.鲶、贝氏鲶; 7.鳊; 8.达氏鲌; 9.蒙古鲌、翘嘴鲌; 10.红鳍原鲌; 11.草鱼; 12.三角鲂、团头鲂; 13.黄尾鲌、细鳞鲌; 14.花鲢; 15.鲫; 16.鲤; 17.鲢、鳙; 18.麦穗鱼; 19.中华鲮; 20.青鱼; 21.黑鳍鳊、华鳊; 22.蛇鮈类; 23.吻鮈类; 24.银鮈类; 25.鱖类; 26.泥鳅、大鳞副泥鳅; 27.刺鳅; 28.虾虎鱼类; 29.黄颡鱼类; 30.似鳊; 31.似鲢; 32.虾类; 33.蟹类; 34.水生植物; 35.浮游动物; 36.浮游植物; 37.小型底栖; 38.软体动物; 39.碎屑

3. 竺山湖食物网节点度及中心性指数分析

Table 2: Network indices of food web topology structure of Zhushan Lake. The table contains columns for various network indices (k, k_{in}, k_{out}, IC, CC, H, H_{in}, BC, D_{out}, H_{out}, D_F, D_R) and rows for 39 functional groups. Values are color-coded from green (low) to red (high).

表2 竺山湖食物网拓扑结构重要性的网络指数

鱼类中, 蒙古鲌、翘嘴鲌的 D 、 D_{in} 、 IC 、 CC 、 H 、 H_{in} 最大, 分别为24、24、4.373、0.663、2.149、1.149; 大银鱼的 BC 最大, 为12.83; 陈氏短吻银鱼的 D_{out} 和 H_{out} 最大, 分别为4、1.025。

4. 竺山湖食物网离散度和可适度

表1 竺山湖食物网各功能群的KP-sets分布

Table 1: Distribution of KP-sets for functional groups in Zhushan Lake food web. Columns include KPP, k, The KP-set for k, and F values.

KPP-1: K 的取值为 $\{K \in \mathbb{N}, K \geq 0\}$, 计算 K 每个取值情况下的 F 和 D_F , 即从食物网中筛选并删除 K 个功能群, 计算功能群从食物网网络中消失时对食物网网络结构的离散程度; 当 $K=7$ 时, 鱼类功能群首次出现, 为蒙古鲌、翘嘴鲌, 此时 $F=0.331$ 。距离权重离散度: 当 $K=3$ 时, $D_F=0.474$, 该功能群为蒙古鲌、翘嘴鲌。

KPP-2: 取 $K=1\sim 3$, 计算 K 每个取值情况下的 D_R , 即选择1~3个功能群来最大程度的控制和影响食物网网络结构。当 $K=2$ 时, $D_R=0.962$, 此时的功能群为蒙古鲌、翘嘴鲌。

5. 竺山湖食物网关键性指数和拓扑重要性指数

鱼类中, 蒙古鲌、翘嘴鲌的 K 和 K_{td} 最高 (图3), 均为24.16, 即蒙古鲌、翘嘴鲌的 K 全部来源于 K_{td} 。陈氏短吻银鱼的 K_{bu} 最高, 为0.67。竺山湖食物网中的所有鱼类功能群的拓扑重要性指数随着传递距离的增加而降低, 鱼类功能群的拓扑重要性指数和其间摄食关系数量的相关性随着信息传递距离的增加而增加。

6. 结论

通过研究发现, 蒙古鲌、翘嘴鲌、红鳍原鲌、大银鱼、花鲢 (*Hemibarbus maculatus*) 在食物网中属于高级捕食者; 浮游植物、小型底栖、浮游动物、水生植物、虾类、软体动物、陈氏短吻银鱼 (位于食物网的底层, 翘嘴鲌和蒙古鲌具有最大的 D 、 D_{in} 、 IC 、 CC 、 H_{in} 值; 大银鱼具有最高的 BC 值, 陈氏短吻银鱼的 D_{out} 、 H_{out} 和 K_{bu} 最高。

结合网络中心性指数、拓扑重要性指数、关键性指数和KPP运算结果, 各指数中最大的为本研究的关键种, 确定蒙古鲌、翘嘴鲌、大银鱼、陈氏短吻银鱼为竺山湖食物网的关键种。

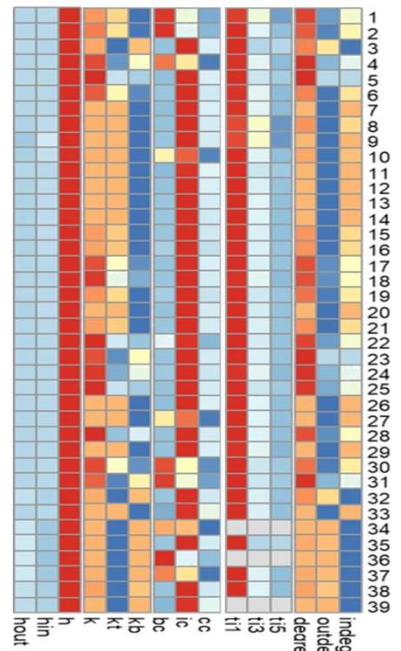


图3 竺山湖食物网各功能群网络分析指标热图