

不同中华鳖养殖模式浮游植物功能群特征及水环境评价

侯德昌, 张莹莹, 魏文志* (扬州大学动物科学与技术学院, 江苏扬州 225009)

摘要 为探究不同中华鳖养殖模式中水环境的状况, 对不同中华鳖养殖模式的浮游植物功能群特征和水环境进行分析和评价, 为中华鳖的养殖生产和尾水处理提供指导。通过逐月检测中华鳖高密度养殖、生态养殖、莲鳖套养、菱鳖套养 4 种养殖模式的水质指标和浮游植物群落结构, 结果显示, 莲鳖套养模式中透明度(SD)最高($P < 0.05$), 高密度养殖模式亚硝酸氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$)、总磷(TP)、化学需氧量(COD_{Mn})和叶绿素 a(Chl a)最高($P < 0.05$), 菱鳖套养模式氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、总氮(TN)最高($P < 0.05$), RDA 分析显示影响浮游植物功能群分布的主要环境因子为 Chl a、TP、SD、 COD_{Mn} 、DO。4 种中华鳖养殖模式共检测出 9 个门 54 属浮游植物, 浮游植物的丰度为高密度养殖 > 生态养殖 > 莲鳖套养 > 菱鳖套养, 在 4 种养殖模式中, Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰度指数和 Pielou 均匀度指数呈现相同的趋势, 莲鳖套养和生态养殖优于高密度养殖和菱鳖套养模式, 浮游植物优势功能群高密度养殖为 S1、M 和 P, 生态养殖为 Lo、J 和 Y, 莲鳖套养为 Y、J 和 W1, 菱鳖套养为 Lo 和 J, 表明生态养殖和莲鳖套养水环境状况较好, 高密度养殖最差。

关键词 中华鳖; 浮游植物; 功能群; 水环境

中图分类号 X 824

文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)09-0096-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.09.023

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Phytoplankton Community Structure and Water Environment Evaluation in Different Culture Modes of *Pelodiscus sinensis*

HOU De-chang, ZHANG Ying-ying, WEI Wen-zhi (College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009)

Abstract In order to explore the water environment of different culture modes of Chinese soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*), the characteristics of phytoplankton functional group and water environment were analyzed and evaluated in this experiment, providing guidance for the culture production and the treatment of tail water of *Pelodiscus sinensis*. The water quality indices and phytoplankton community structure of four breeding patterns i. e., high-density farming of *Pelodiscus sinensis*, ecological farming, lotus-pelodiscus farming, water chestnut-pelodiscus farming, were detected monthly. The results showed that transparency (SD) of lotus-pelodiscus farming was the highest ($P < 0.05$), and the highest values of nitrite nitrogen ($\text{NO}_2^- - \text{N}$), total phosphorus (TP), chemical oxygen demand (COD_{Mn}) and chlorophyll a (Chl a) were found in high density farming, while the highest values of ammonia nitrogen ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) and total nitrogen (TN) were found in water chestnut-pelodiscus farming ($P < 0.05$). RDA analysis showed that the main environmental factors affecting the distribution of phytoplankton functional groups were Chl a, TP, SD, COD_{Mn} and DO. A total of 54 genera of phytoplankton belonging to 9 phyla were detected in four culture modes of *Pelodiscus sinensis*, and the abundance of phytoplankton was high density farming > ecological farming > lotus-pelodiscus farming > water chestnut-pelodiscus farming. Similarly, the Shannon-Wiener diversity index, Margalef abundance index and Pielou evenness index all showed the same trend among the four breeding patterns. Thus, the lotus-pelodiscus farming and ecological farming were better than the high density farming and water chestnut-pelodiscus farming. The dominant functional groups of phytoplankton were S1, M and P in high density farming, Lo, J and Y in ecological farming, Y, J and W1 in lotus-pelodiscus farming, Lo and J in water chestnut-pelodiscus farming. Experimental data indicate that ecological farming and lotus-pelodiscus farming of aquaculture model were better than high density farming.

Key words *Pelodiscus sinensis*; Phytoplankton; Functional group; Water environment

中华鳖为爬行动物, 主要分布在除青海、新疆和西藏外的其他各地区。中华鳖肉质鲜美, 营养丰富, 是滋补药膳的佳品, 其背甲、肉、血、卵、肝、胆等均可入药, 对潮热盗汗、阴虚阳亢、热病后期伤阴、抽搐、腹部肿块等具有良好的功效^[1]。近年来人们对优质中华鳖的需求日益增大, 由传统的高密度养殖模式^[2]发展为生态养殖^[3]、莲鳖套养^[4]、菱鳖套养^[5]等多种模式。

浮游植物是指水中浮游生活的微小植物, 通常指浮游的藻类。浮游植物作为淡水生态系统中的初级生产者, 具有个体小、生活周期短、对周围环境变化敏感等特点^[6]。浮游植物功能群是将对环境具有相同敏感性的浮游植物归为同一功能群类^[7], 利用浮游植物功能群评价水环境状况, 是评价水质好坏的重要方法^[8]。

目前已有研究养殖池塘浮游植物功能群特征报道, 石

楷等^[9]研究了浅水刺参 2 种不同底质养殖池塘浮游植物功能群特征, 杨卓等^[10]研究了鲢鳙和绿狐尾藻处理后的罗非鱼养殖池塘浮游植物功能群特征, 刘乾甫等^[11]研究了珠江三角洲地区精养淡水鱼塘浮游植物功能群特征并评价了水环境状况, 认为浮游植物功能群能很好地反映池塘环境状况。但关于中华鳖养殖池塘浮游植物功能群特征的研究尚未见报道。笔者研究了 4 种不同中华鳖养殖模式的浮游植物功能群结构, 并进行了水环境的评价, 以期中华鳖的养殖生产和尾水处理提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验地点与池塘管理 4 种不同养殖模式试验池塘均在江苏省扬州市地区, 池塘面积 1 hm^2 左右, 水深 1.0~1.5 m。鳖的养殖方式为 5 月中旬投放幼鳖, 以投喂饲料为主, 日投喂量为整体重的 3%~5%, 上午和下午各投喂 1 次。高密度养殖: 放幼鳖 6 300 kg/hm^2 ; 生态养殖: 3 月上旬池塘种植轮叶黑藻、芦苇等水生植物, 占池塘面积的 70% 左右, 放幼鳖 640 kg/hm^2 ; 莲鳖套养: 3 月中旬池塘中种植莲, 莲占池塘面积的 70% 左右, 放幼鳖 640 kg/hm^2 ; 菱鳖套养: 3 月上旬池塘

基金项目 江苏省海洋与渔业科技创新与推广(Y2018-24)。

作者简介 侯德昌(1996—), 男, 山东济宁人, 硕士研究生, 研究方向: 生物饵料与水环境。* 通信作者, 副教授, 博士, 从事生物饵料与水环境研究。

收稿日期 2022-01-13

种植菱,菱占池塘面积的 60%左右,放幼鳖 640 kg/hm²。

1.2 水样测定方法 采集时间为 5—10 月,每月的 15 日左右,在每一个养殖模式中挑选一个池塘采取水样,水样采集方式为每个池塘对角线上的 3 个点,溶氧仪(HACH, HQ30d)现场测定溶解氧(DO)和水温(WT), pH 计(Mettler Toledo, FG2-FK)现场测定 pH, 萨氏盘现场测定透明度(SD)。2 L 柱状采水器采集表层水(水面下 0.5 m),带回实验室测定氨氮(NH₄⁺-N)、亚硝酸氮(NO₂⁻-N)、总氮(TN)、总磷(TP)、化学需氧量(COD_{Mn})和叶绿素 a(Chl a)等水质指标,具体测定方法参照《水和废水监测(第四版)》^[12]。

1.3 浮游植物水样的采集及处理方法 浮游植物的采集和水样的采集同时进行,定性样品用 25#浮游生物网(孔径 64 μm)在表层水中做∞字形来回拖动,注入样品瓶中,鲁哥氏液固定。定量样品采集使用有机玻璃采水器采 1 L 水样至水样瓶中,鲁哥氏液固定后,实验室检测。

1.4 数据处理 数据用平均值±标准差(Means±SD)表示,

SPSS 18.0 进行 one-way ANOVA 分析,显著水平为 $P < 0.05$,采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Margalef 丰富度指数(D')、Pielou 均匀度指数(J')对浮游植物的多样性进行评价^[13]。浮游植物功能群与水环境的关系采用典范对应分析方法,浮游植物功能群丰度值和各环境因子(pH 除外)进行 log10($x+1$)转换使之呈正态分布,采用 Canoco 5 软件进行显著性检验和作图。

2 结果与分析

2.1 水体理化指标 以不同养殖模式下各月及每个池塘对角线上 3 个点的水质指标进行单因素方差分析,并进行多重比较。结果显示,莲鳖套养模式中 SD 显著高于其余 3 种养殖模式($P < 0.05$);菱鳖套养模式中 NH₄⁺-N 和 TN 显著高于其余 3 种养殖模式($P < 0.05$);高密度养殖模式 NO₂⁻-N 和 Chl a 显著高于其余 3 种养殖模式($P < 0.05$);高密度养殖模式和菱鳖套养模式中 TP 和 COD_{Mn} 显著高于生态养殖模式和莲鳖套养模式($P < 0.05$) (表 1)。

表 1 不同中华鳖养殖模式水质理化指标

Table 1 Physical and chemical indexes of water quality in different culture modes

养殖模式 Culture mode	溶解氧 DO mg/L	pH	透明度 SD m	氨氮 NH ₄ ⁺ -N mg/L	亚硝酸氮 NO ₂ ⁻ -N mg/L	总氮 TN mg/L	总磷 TP mg/L	化学需氧量 COD _{Mn} mg/L	叶绿素 a Chl a μg/L
高密度养殖 High density farming	6.37±1.55 a	7.70±0.14 a	0.17±0.07 c	0.50±0.06 b	0.12±0.08 a	1.44±0.32 b	0.88±0.19 a	18.19±2.60 a	44.84±17.10 a
生态养殖 Ecological farming	5.47±0.59 a	7.54±0.13 a	0.29±0.02 b	0.57±0.07 b	0.03±0.01 b	0.84±0.18 c	0.12±0.01 b	10.94±1.42 b	11.91±3.22 b
莲鳖套养 Lotus-pel- odiscus farming	5.07±0.39 a	7.60±0.12 a	0.52±0.03 a	0.28±0.03 c	0.04±0.02 b	0.51±0.14 c	0.11±0.00 b	9.50±0.91 b	5.93±2.13 b
菱鳖套养 Water chestnut- pelodiscus farming	2.89±0.44 b	7.49±0.13 a	0.33±0.03 b	1.19±0.03 a	0.02±0.00 b	2.61±0.13 a	0.65±0.11 a	15.63±0.56 a	6.67±1.73 b

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference ($P < 0.05$)

2.2 不同养殖模式浮游植物群落结构 共记录的浮游植物 9 门 54 属,其中蓝藻门 11 属,隐藻门 3 属,甲藻门 1 属,裸藻门 4 属,金藻门 3 属,定鞭藻门 1 属,黄藻门 1 属,硅藻门 6 属,绿藻门 24 属。

高密度养殖模式蓝藻门、硅藻门、绿藻门丰度和浮游植物总丰度较高,显著高于其余 3 种养殖模式($P < 0.05$);莲鳖

套养模式隐藻门、甲藻门、金藻门、定鞭藻门浮游植物丰度最高,显著高于其余 3 种养殖模式($P < 0.05$);生态养殖模式黄藻门丰度最高,显著高于其余 3 种养殖模式($P < 0.05$);高密度养殖和莲鳖套养模式裸藻门中丰度较高,显著高于生态养殖和菱鳖套养 2 种养殖模式($P < 0.05$) (表 2)。

表 2 4 种养殖模式中不同养殖模式浮游植物丰度

Table 2 The abundance of phytoplankton in different culture modes in the four culture modes

养殖模式 Culture mode	蓝藻门 Cyanophyta	隐藻门 Cryptophyta	甲藻门 Pyrrophyta	裸藻门 Euglenophyta	金藻门 Chrysiophyta	定鞭藻门 Haptophyta	黄藻门 Xanthophyta	硅藻门 Bacillariophyta	绿藻门 Chlorophyta	总计 Total
高密度养殖 High density farming	2 535.48± 154.45 a	48.55± 20.72 b	0.00± 0.00 c	28.72± 3.29 a	0.00± 0.00 c	0.00± 0.00 c	4.10± 0.00 b	392.00± 25.21 a	245.95± 3.55 a	3 254.80± 207.22 a
生态养殖 Ecological farming	138.73± 12.47 b	34.43± 4.38 b	0.41± 0.14 b	15.65± 2.31 b	1.31± 0.13 b	0.72± 0.00 b	17.65± 9.16 a	12.71± 3.93 b	55.44± 1.26 c	277.05± 33.78 b
莲鳖套养 Lotus-pel- odiscus farming	60.43± 1.41 c	78.13± 9.57 a	1.33± 0.32 a	25.29± 2.79 a	4.17± 0.62 a	1.59± 0.86 a	1.16± 0.46 c	17.58± 0.93 b	76.80± 1.87 c	266.47± 18.84 b
菱鳖套养 Water chestnut- pelodiscus farming	139.29± 6.49 b	1.63± 0.52 c	0.00± 0.00 c	5.63± 0.46 c	1.72± 0.43 b	0.00± 0.00 c	0.00± 0.00 d	12.62± 0.42 b	97.95± 1.07 b	258.84± 9.38 b

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

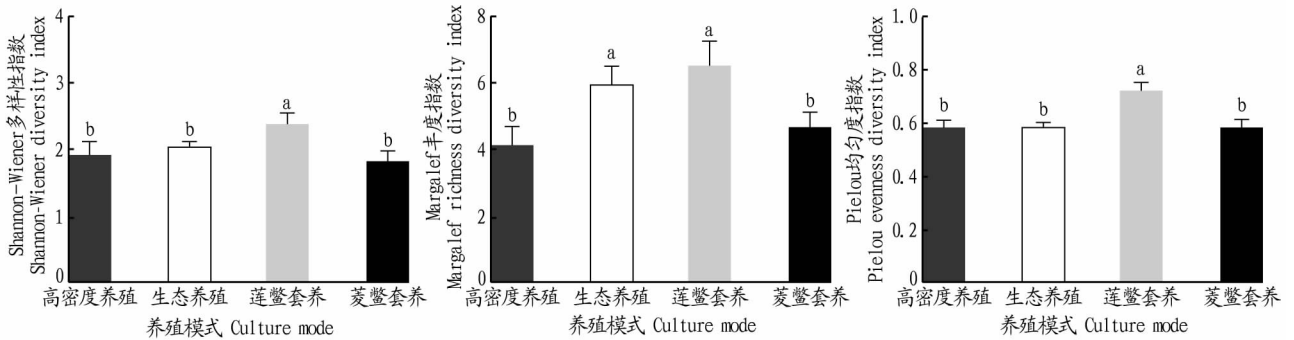
Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference ($P < 0.05$)

2.3 浮游植物的多样性指数 由图 1 可知,莲鳖套养模式

中 Shannon-Wiener 多样性指数显著高于高密度养殖、生态养

殖和菱鳖套养($P<0.05$);生态养殖和莲鳖套养 Margalef 丰度指数显著高于高密度养殖和菱鳖套养($P<0.05$)。莲鳖套养模式中 Pielou 均匀度指数显著高于高密度养殖、生态养殖和

菱鳖套养($P<0.05$)。综合比较,4 种养殖模式中,生态养殖和莲鳖套养 2 种养殖模式浮游植物多样性指数较高,说明生态养殖和莲鳖套养模式的水环境较好。



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference at 0.05 level

图 1 4 种养殖模式浮游植物多样性指数

Fig. 1 Phytoplankton diversity index of four culture modes

2.4 浮游植物形态功能群分类 根据 Reynolds 等^[14]提出的功能群 FG 分类方法,对 4 种不同养殖模式中的浮游植物进行功能群分类,将具有相似生态特征的归为一个功能群。

选取 4 种模式中总相对丰度占比>10%的为优势功能群,反映该养殖模式中水质状况,优势功能群共有 9 个,分别是 Y、J、M、P、S1、W1、C、D、Lo(表 3)。

表 3 中华鳖养殖模式中优势功能群及其主要代表种类

Table 3 Dominant functional groups and their main representative species in the culture pond

优势功能群 Dominant function group	主要浮游植物种类 Major phytoplankton species	优势功能群 Dominant function group	主要浮游植物种类 Major phytoplankton species
Y	隐藻属 <i>Cryptomonas</i> sp.	W1	裸藻属 <i>Euglena</i> sp.
J	栅藻属 <i>Scenedesmus</i> sp.、空星藻属 <i>Coelastrum</i> sp. 蹄形藻属 <i>Kirchneriella</i> sp.、十字藻属 <i>Crucigenia</i> sp.	C	小环藻属 <i>Cyclotella</i> sp.
M	微囊藻属 <i>Microcystis</i> sp.	D	针杆藻属 <i>Synedra</i> sp.
P	直链藻属 <i>Aulacoseira</i> sp.	Lo	平裂藻 <i>Merismopedia</i> sp.
S1	浮丝藻属 <i>Planktothrix</i> sp.		

4 种养殖模式中不同浮游植物的丰度表现不同的相对比例(图 2)。高密度养殖以 S1、M 和 P 为优势功能群,分别占比 58.1%、19.4%和 16.0%;生态养殖以 Lo、J 和 Y 为优势功能群,分别占比 57.6%、18.5%和 15.8%;莲鳖套养以 Y、J 和 W1 为优势功能群,分别占比 48.4%、21.2%和 15.7%;菱鳖套养以 Lo 和 J 为优势功能群,分别占比 72.7%和 13.1%。C 和 D 出现在 4 种养殖模式中,但比例均低于 5.0%。

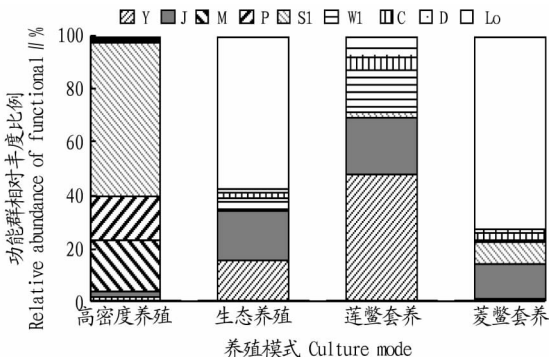


图 2 4 种养殖模式浮游植物功能群相对丰度

Fig. 2 Relative abundance of phytoplankton functional groups in four aquaculture models

2.5 浮游植物功能群与环境因子的关系 通过对浮游植物数据去趋势分析(DCA),DCA 分析结果显示,梯度轴长度(lengths of gradient)为 1.80,小于 3,浮游植物群落分布更接近线性模型,因此选择冗余分析(RDA)。轴 1 和轴 2 的特征值分别为 0.493 和 0.083,共解释了浮游植物 57.6%的变量;前 2 个环境因子与物种轴之间的相关系数分别为 0.957 和 0.743,拟合度较好,能较好地反映浮游植物与环境之间的关系。

根据环境因子的选择和蒙特卡罗检验显示,5 个环境因子(Chl a、TP、SD、COD_{Mn}、DO)与浮游植物的种类及丰度显著相关($P<0.05$),分别解释了 36.7%、32.2%、28.1%、18.4%、11.8%的变量(表 4)。

由浮游植物功能群和水质指标的 RDA 排序图(图 3)可知,优势功能群分为 3 组,M、P、S1 为一组,与 Chl a、TP 和 COD_{Mn} 密切正相关;Y、W1 为一组,与 DO 和 SD 密切正相关;Lo 为一组,与 NH₄⁺-N 密切相关。

3 结论与讨论

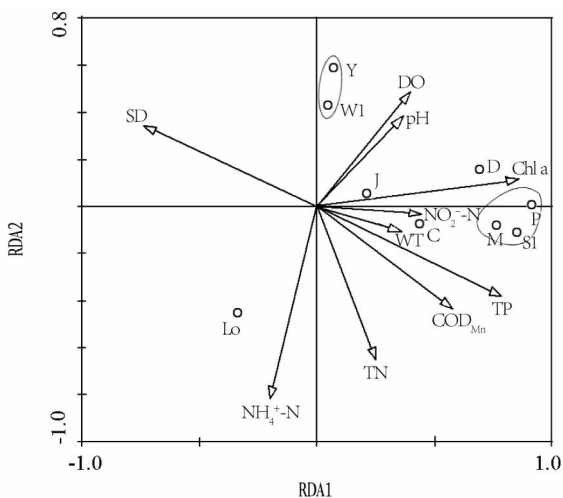
4 种不同的中华鳖养殖模式水质指标存在明显差异。单养模式鳖的放养密度高,需要大量投饵,大量的饲料进入池塘,鳖的粪便和吃剩的饲料带来大量的 N 和 P,引起水体

的富营养化及浮游植物丰度的增加,浮游植物利用水体中 CO_2 [15], 释放 DO, 使高密度池塘 CO_2 含量降低和 DO 含量增加, CO_2 的下降导致水中 pH 升高, 生态养殖、莲鳖套养、菱鳖套养由于水生植物对光照的遮挡, 进入水体内的光照减弱, 使水环境处于低光照状态 [16], 水生植物产生化感物质能够抑制浮游植物的生长, 因此, 高密度养殖 DO、pH 高于生态养殖、莲鳖套养、菱鳖套养 3 种养殖模式。透明度间接反映了水中浮游生物的数量, 高密度养殖的透明度显著低于其余 3 种养殖模式。Chl a 的含量与浮游植物的生物量呈正相关 [17], 显示了高密度养殖模式下 Chl a 含量显著高于生态养殖、莲鳖套养、菱鳖套养 3 种养殖模式。同时, 生态养殖、莲鳖套养和菱鳖套养模式中通过水生植物对氮、磷的吸收, 其池塘中 TN、TP 的含量低于高密度养殖 [18]。

表 4 浮游植物-环境因子关系中各环境因子的占比

Table 4 The proportion of environmental factors in the relationship between phytoplankton and environmental factors

变量 Variables	方差解释 Variance explained//%	相关性 Pertinence
叶绿素 a (Chl a)	36.7	0.002
总磷 (TP)	32.2	0.002
透明度 (SD)	28.1	0.002
化学需氧量 (COD_{Mn})	18.4	0.006
溶解氧 (DO)	11.8	0.040
亚硝酸氮 ($\text{NO}_2^- - \text{N}$)	11.8	0.052
氨氮 ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)	8.2	0.096
pH	8.2	0.112
温度 (T)	7.4	0.148
总氮 (TN)	7.3	0.158



注: Y. 隐藻属 *Cryptomonas* sp., J. 栅藻属 *Scenedesmus* sp., 空星藻属 *Coelastrum* sp., 蹄形藻属 *Kirchneriella* sp., 十字藻属 *Crucigenia* sp., M. 微囊藻属 *Microcystis* sp., P. 直链藻 *Aulacoseira* sp., S1. 浮丝藻 *Planktothrix* sp., W1. 裸藻属 *Euglena* sp., C. 小环藻属 *Cyclotella* sp., D. 针杆藻属 *Synedra* sp., Lo. 平裂藻属 *Merismopedia* sp.

图 3 浮游植物功能群与水质指标的 RDA 排序图

Fig. 3 RDA sequence diagram of phytoplankton functional groups and environmental factors

TN、TP 含量高的水体易引起水华蓝藻的暴发 [19], 绿藻门、硅藻门和隐藻门的种类也能成为水华蓝藻中的优势种

类 [20], 该研究表明, 高密度养殖因为其高含量的 TN 和 TP, 蓝藻门的丰度显著高于其他 3 种养殖模式, 同时绿藻门、硅藻门和隐藻门的丰度也显著高于其余 3 种养殖模式。隐藻门、甲藻门、金藻门和黄藻门因为适应营养程度较低的水体中, 而主要存在于生态养殖和莲鳖套养的池塘中 [21-24]。

浮游植物多样性能够很好地评价水环境状况, 广泛应用于水环境评价中 [11]。在水体中检测出浮游植物种类越多, 分布越均匀, 说明该水体多样性指数高, 群落稳定性高, 水环境状况好 [25]。4 种模式 Shannon 多样性指数、Margalef 丰富度指数、Pielou 均匀度指数的变化趋势是一致的, 莲鳖套养模式最好, 其次是生态养殖、菱鳖套养, 高密度养殖模式最差。

浮游植物对水环境敏感, 不同水环境条件下, 浮游植物种群结构及优势种类差异明显。研究表明, 因为磷化合物微溶于水, TP 是淡水中浮游植物生长的限制因子 [26], COD 是反映水体中有机质和还原性无机物含量的指标, 与浮游植物的生长呈正相关关系 [27], 该研究结果显示 TP 和 COD 显著影响了浮游植物的结构和丰度, 而 Chl a、SD 和 DO 的含量与浮游植物丰度直接相关。功能群 M、P、S1 聚在一起, 显示与 TP 和 Chl a 呈显著正相关关系。M 的优势种类为微囊藻, 适宜在高营养盐的环境中生存 [28]。P 的优势种类为直链藻, 适应较高营养盐浓度的水体 [29]。S1 的优势种类为浮丝藻, 适应中度营养盐及浑浊的环境, 在富营养化水体中易生长繁殖 [30]。M、P、S1 为高密度养殖模式的优势种类, 说明高密度养殖模式富营养化程度高, 水环境差。功能群 Y 和 W1 聚在一起, 它们的优势种隐藻和裸藻均为适应低营养盐环境的藻类 [31-32], 主要出现在生态养殖和莲鳖套养的水体中, 说明生态养殖和莲鳖套养模式水体富营养化程度较低。Lo 单独存在, 能够适应贫营养到富营养的水体环境 [33], 在生态养殖和菱鳖套养中成为优势种, 也存在于高密度养殖和莲鳖套养的池塘。功能群 C 和 D 适宜春、冬季低温和低光照 [34-35], 夏季无法大量繁殖, 4 种养殖模式中丰度均不高。功能群 J 适宜中度营养化水体 [36], 在 4 种养殖模式中均存在, 在莲鳖套养和生态养殖模式中占比高于高密度养殖和菱鳖套养模式。该研究结果表明, 生态养殖和莲鳖套养模式在水环境状况和浮游植物优势功能群组成方面优于高密度养殖和菱鳖套养模式。

参考文献

- [1] 王道尊, 冯峰, 谭玉钧. 中华鳖生化组成的分析: I. 一般营养成分的含量及肌肉脂肪酸的组成 [J]. 水生生物学报, 1997, 21(4): 299-302, 304.
- [2] 吴斌, 方春林, 贺刚, 等. 中华鳖 3 种养殖模式营养成分和重金属含量分析与比较 [J]. 中国饲料, 2020(5): 42-45.
- [3] 邢阿宝, 崔海峰, 俞晓平, 等. 茭白田套养中华鳖多级种养模式的作用与功能评价 [J]. 核农学报, 2018, 32(5): 1031-1039.
- [4] 朱徐燕, 任国华, 周波, 等. 莲藕-甲鱼套养的关键技术 [J]. 浙江农业科学, 2017, 58(3): 482-483, 488.
- [5] 周世明. 池塘混养菱鳖技术 [J]. 科学养鱼, 2018(3): 39-41.
- [6] 陈思, 李芝彤, 蔡文贵, 等. 虾鳖混养池塘浮游植物群落结构的变化特征 [J]. 南方水产科学, 2020, 16(3): 79-85.
- [7] 张俊芳, 胡晓红, 马沛明, 等. 汤浦水库浮游植物功能群季节演替及关键驱动因子 [J]. 水生生态学杂志, 2021, 42(3): 55-62.
- [8] 杨威, 张菲云, 孙雨琛, 等. 淮南北湖浮游植物功能群的季节演替及影响因子研究 [J]. 中国环境科学, 2020, 40(7): 3079-3086.
- [9] 石楷, 王敏, 邢荣莲, 等. 浅水刺参养殖池塘两种底质中微藻形态功能群及其密度影响因素 [J]. 应用海洋学报, 2020, 39(3): 329-338.

子是相对湿度、1月均温、平均最低气温、年平均温度,直径短边与年平均温度呈显著负相关($P < 0.05$),生长在年平均温度较低的地区金钗石斛直径短边较为粗壮;叶长与1月均温呈显著负相关($P < 0.05$),1月均温较低的地区适宜金钗石斛叶片长度的生长;叶宽与年平均温度呈显著正相关($P <$

0.05),年平均温度较高的地区适宜金钗石斛叶片宽度的生长。多糖含量与年平均温度呈显著负相关($P < 0.05$),年平均温度较低的地区适宜多糖含量的积累。此外,仿野生附树栽培时附主品种也可能会影响到石斛的品质,可进一步开展研究。

表 19 不同栽培点金钗石斛活性成分含量差异分析($n=3$)

Table 19 Difference analysis of active component content of *Dendrobium nobile* in different cultivation points

种质 Germplasm	多糖 Polysaccharide			石斛碱 Dendrobine		
	平均值 Mean//%	P 值 P value	CV//%	平均值 Mean//%	P 值 P value	CV//%
G1	16.76	0.000	33.18	0.93	0.026	13.00
G2	13.91	0.003	24.77	1.00	0.011	16.01
G3	14.35	0.000	45.19	1.13	0.000	17.64
G4	12.83	0.002	17.07	0.90	0.000	8.33
G5	18.32	0.000	35.20	0.79	0.000	10.82
G6	11.22	0.000	9.62	0.51	0.000	12.88
G7	10.84	0.000	10.79	0.94	0.007	7.71

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:2020年版一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2020:94-97.
- [2] 张进强,周涛,肖承鸿,等. 金钗石斛拟境栽培技术评价与原理分析[J]. 中国中药杂志,2020,45(9):2042-2045.
- [3] 安凤娟,何宇新. 金钗石斛多糖的研究进展[J]. 安徽农业科学,2014,42(13):3857-3862.
- [4] 张晓敏,孙志蓉,陈龙,等. 金钗石斛的化学成分和药理作用研究进展[J]. 中国现代应用药学,2014,31(7):895-899.
- [5] 黄芯琦,钟可,杨婷婷,等. 道地药材金钗石斛采收品质评价[J]. 贵州中医药大学学报,2020,42(6):16-22.
- [6] 黄芯琦,钟可,韩楷,等. 不同产地金钗石斛的性状及显微特征统计研究[J]. 中草药,2020,51(8):2226-2231.
- [7] 陈志辉,罗明,魏刚,等. 不同产地金钗石斛 HPLC 特征图谱的比较[J]. 广东药学院学报,2014,30(6):707-712.
- [8] 刘姣姣. 金钗石斛生物碱对脂多糖诱导的 BV2 细胞 NF- κ B/NLRP3 通路的作用及作用机制[D]. 遵义:遵义医科大学,2020.
- [9] 周金鑫. 基于 Nrf2 抗氧化信号通路的激活研究金钗石斛生物碱对 CCl₄ 诱导的肝线粒体氧化损伤的保护作用[D]. 遵义:遵义医科大学,2020.
- [10] 李洙锐. 赤水金钗石斛活性多糖的分离纯化、结构鉴定及其抗病毒活性的研究[D]. 贵阳:贵州大学,2020.
- [11] 朱南南,孙志蓉,杨春宁,等. 金钗石斛干鲜品的质量比较研究[J]. 天津中医药,2015,32(11):689-692.
- [12] 杨婷婷,钟可,黄芯琦,等. 黔产道地金钗石斛不同部位多糖含量的测定[J]. 贵州科学,2021,39(1):18-22.
- [13] 杨卓,陈日钊,李文红,等. 鲢鳙+绿狐尾藻处理的罗非鱼养殖池塘浮游植物群落特征及水质评价[J]. 西南农业学报,2021,34(4):880-888.
- [14] 刘乾甫,赖子尼,高原,等. 珠江三角洲地区精养淡水鱼塘浮游植物功能群特征[J]. 中国水产科学,2018,25(1):124-136.
- [15] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [16] 朱浩,刘兴国,陈晓龙,等. 大蓬湖湿地修复区浮游植物群落结构与水质环境因子分析[J]. 江苏农业科学,2020,48(11):270-274.
- [17] REYNOLDS C S, HUSZAR V, KRUK C, et al. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton [J]. Journal of plankton research, 2002, 24(5):417-428.
- [18] ENGEL F, ATTERMEYER K, AYALA A I, et al. Phytoplankton gross primary production increases along cascading impoundments in a temperate, low-discharge river: Insights from high frequency water quality monitoring [J]. Scientific reports, 2019, 9:6701-6714.
- [19] 王松波,余俊爽,曹艳敏,等. 光照和营养盐对浮游动物和浮游植物生物量及其营养联系的影响[J]. 生态环境学报,2018,27(6):1122-1127.
- [20] 俞秀霞,孙琳,陈长平. 厦门港叶绿素的时空分布及其与水环境因子关系的多元分析[J]. 海洋科学,2021,45(6):49-62.
- [21] 向速林,朱梦圆,朱广伟,等. 太湖东部湖湾大型水生植物分布对水质的影响[J]. 中国环境科学,2014,34(11):2881-2887.
- [22] 常孟阳,李晨露,董静,等. 蓝藻水华暴发期间养殖池塘浮游藻类动态变化[J]. 渔业科学进展,2019,40(1):36-45.
- [23] 黄亚男,纪道斌,龙良红,等. 三峡库区典型支流春季特征及其水华优势种差异分析[J]. 长江流域资源与环境,2017,26(3):461-470.
- [24] 何森华,丘泓欣,邓婉璐,等. 广东孔江国家湿地公园水体中的浮游植物群落结构特征[J]. 湿地科学,2021,19(2):218-225.
- [25] 王国涛,陈斌斌,王敏,等. 浙南大罗山天河水库浮游植物群落结构的季节变化及对水质的指示作用[J]. 应用生态学报,2021,32(6):2227-2240.
- [26] 魏洪祥,蒋相辉,张涛,等. 水丰水库浮游植物群落特征及水质评价[J]. 生态学杂志,2021,40(2):402-411.
- [27] 邱伟建,钱程远,黄晓峰,等. 莲花荡浮游植物群落结构与环境因子的相关性[J]. 环境科学与技术,2018,41(S2):1-8.
- [28] 宋勇军,戚菁,刘立恒,等. 程海湖夏冬季浮游植物群落结构与富营养化状况研究[J]. 环境科学学报,2019,39(12):4106-4113.
- [29] XIE L Q, XIE P. Long-term (1956-1999) dynamics of phosphorus in a shallow, subtropical Chinese lake with the possible effects of cyanobacterial blooms [J]. Water research, 2002, 36(1):343-349.
- [30] 于洋,彭福利,孙聪,等. 典型湖泊水华特征及相关影响因素分析[J]. 中国环境监测,2017,33(2):88-94.
- [31] 孙凯峰,肖爱凤,刘杰伟,等. 氮磷浓度对惠氏微囊藻和斜生栅藻生长的影响[J]. 南方水产科学,2017,13(2):69-76.
- [32] CELESTINO LADU J L, LUKAW Y S, KENYI D D. Predicting the effects of water temperature, pH, nitrogen and phosphorus on the abundance of Melosira in Jebel Aulia Reservoir-Sudan, using multiple regression model [J]. Nature and science, 2012, 10(9):158-163.
- [33] 杨鸿雁,杨劲,刘毅,等. 云贵高原富营养化湖泊杞麓湖浮游生物群落的季节性演替及其驱动因子分析[J]. 环境科学研究,2020,33(4):876-884.
- [34] 黄享辉,胡朝,雷腊梅,等. 南亚热带典型中小型水库浮游植物功能类群季节演替特征[J]. 生态环境学报,2013,22(2):311-318.
- [35] 朱华清,吕锡武. 刚毛藻表流湿地裸藻水华的形成与消退[J]. 环境化学,2018,37(12):2638-2644.
- [36] 李晓莉,陶玲,毛梦哲,等. 温度和氮磷浓度对平裂藻和栅藻生长及竞争的影响[J]. 水生生物学报,2015,39(6):1217-1223.
- [37] 杨丽,张玮,尚光霞,等. 淀山湖浮游植物功能群演替特征及其与环境因子的关系[J]. 环境科学,2018,39(7):3158-3167.
- [38] 李星醇,于洪贤,窦华山,等. 呼伦湖及其周围水域春季浮游植物功能群及其影响因子[J]. 水产学杂志,2020,33(3):31-41.
- [39] 王博涵,李文香,项珍龙,等. 济南地区河流浮游植物功能群与环境因子的关系[J]. 大连海洋大学学报,2015,30(5):524-530.

(上接第 99 页)