

王 朋,徐钢春,聂志娟,等.大口黑鲈池塘工程化循环水养殖系统中溶解氧浓度变动规律及浮游动植物的响应特征[J].江苏农业科学,2020,48(2):177-183.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.02.032

# 大口黑鲈池塘工程化循环水养殖系统中溶解氧浓度变动规律及浮游动植物的响应特征

王 朋<sup>1</sup>,徐钢春<sup>1,2</sup>,聂志娟<sup>2</sup>,王裕玉<sup>2</sup>,徐 跑<sup>1,2</sup>

(1.南京农业大学无锡渔业学院,江苏无锡 214081;

2.中国水产科学研究院淡水渔业研究中心/农业农村部淡水渔业和种质资源利用重点实验室,江苏无锡 214081)

**摘要:**以高温季节 8 月为重点,研究池塘工程化循环水养殖系统中溶解氧浓度在水平、垂直方向的变动规律与浮游动植物的响应特征,及其在 7—11 月的季节变化,旨在为大口黑鲈池塘工业化生态养殖中溶解氧监测和生态调控提供科学依据。结果显示:在 8 月,溶解氧浓度最高值出现在 14:00,且在低密度组(15 000 尾/110 m<sup>2</sup>)中持续至 18:00;高密度组(25 000 尾/110 m<sup>2</sup>)中的溶解氧浓度、浮游动植物密度均普遍高于低密度组。在昼夜变化中,除净水区外,各水平位点的溶解氧浓度普遍随深度的增加而逐渐降低。溶解氧浓度、浮游动植物密度和水温相互之间存在显著或极显著相关性,但相关性的方向不完全相同。在 7—11 月,溶解氧浓度与浮游植物密度存在极显著的相关性( $r=0.616$ ,  $P<0.01$ ),栅藻、平裂藻、裸藻、隐藻和十字藻在多个月份中占据着数量优势;浮游动物密度呈现“M”形波动,轮虫数量远多于枝角类和桡足类,异尾轮虫在 9 月的占比达 37%,在其余月份,臂尾轮虫的占比达 37%~64%;溶解氧昼夜差值逐渐缩小,每个月份溶解氧的昼夜变化皆与水温呈极显著的相关性( $0.814\leq r\leq 0.933$ ,  $P<0.01$ )。综合分析可知,在大口黑鲈池塘工程化循环水养殖中,溶解氧浓度在水平、垂直方向上的昼夜变动主要与水温相关,同时与浮游动植物存在一定的相关性;在季节变化中溶解氧浓度与浮游植物具有极显著相关性。

**关键词:**溶解氧;浮游动植物;池塘工程化循环水养殖;昼夜变化;季节变化

**中图分类号:** S964.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)02-0177-06

在传统池塘高密度养殖模式下,由于养殖对象、浮游生物和分解者共存一池,在养殖期间,随着饲料、光电等外源性能量的不断输入,池塘生态极易失衡<sup>[1]</sup>。池塘工程化循环水养殖系统分为推水区、养殖区、集污区和净化区等功能分区,在减少用药、节约人工、便于管理、提高摄食率等方面具有显著优势,兼顾了生态效益和经济效益,在江苏省内得到了大力推广。然而,在小面积养鱼、大面积净水的池塘工程化循环水养殖模式下,大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)在水槽内的合理养殖密度仍

处于探索阶段,其中溶解氧含量及其变动更成为限制大口黑鲈养殖密度的主要因素。

溶解氧除直接为养殖动物提供生命所必需的氧分子外,还与水体浮游植物、浮游动物、生物群落和水质变化具有显著相关性。在传统池塘养殖模式下,溶解氧的来源主要是浮游植物的光合作用,其消耗途径主要是浮游生物的呼吸作用和有机质的氧化分解。但是在池塘工程化循环水养殖中,水槽前端底部铺设切割式增氧曝气盘进行微孔增氧并辅助推水,使水槽内的溶解氧有了新的来源。同时,高密度养殖中鱼类的呼吸作用消耗了大量溶解氧。因此,池塘工程化循环水养殖中溶解氧浓度(dissolved oxygen content,简称 DOC)的变动必然会呈现出传统养殖模式下所不具有的新特征。本研究通过对池塘工程化循环水养殖中不同区位、不同深度溶解氧含量的昼夜和季节变化及浮游动植物的响应特征研究,并分析溶解氧含量、浮游动植物密度和水温之间的相关性,以期对池塘工业化生态

收稿日期:2018-11-22

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(16)1004]。

作者简介:王 朋(1992—),男,山东东平人,硕士研究生,主要从事池塘工程化流水生态养殖的研究。E-mail:1819657147@qq.com。

通信作者:徐 跑,博士,研究员,博士生导师,主要研究方向为鱼类遗传育种、淡水特色水产品绿色生态养殖、大水面净水渔业。

E-mail:xup@ffrc.cn。

养殖中溶解氧的监测、水质管理和生态调控提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计与样本采集

大口黑鲈池塘工程化循环水养殖系统(图 1)建在中国水产科学研究院淡水渔业研究中心扬中实验基地,水槽(图 2)为不锈钢框架结构,每条水槽的规格为长×宽×高=22 m×5 m×2.5 m,水槽养鱼区占水面的 4.0%。水槽采用对角循环对流、能耗最低的循环流水设计模式,集污区采用 3 m 的单轨集污方式,集污区外在工程施工中设置 20 m 长的集污带。净化区采用水下放养花白鲢、鳊鱼,水上种植水葫芦及吊养珍珠蚌的方式进行水质净化利用。

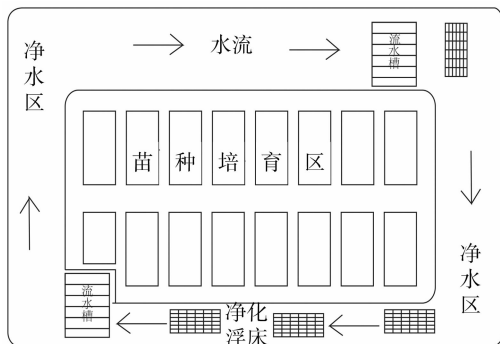


图1 大口黑鲈池塘工程化循环水养殖系统

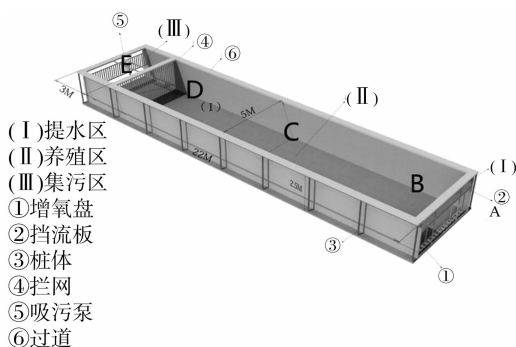


图2 流水槽结构示意图

鲈鱼放养规格为 10 g/尾,低密度组、高密度组分别放养 15 000、25 000 尾。养殖全程投喂浮性膨化饲料,采用人工投喂的方式,每天投喂 3 次(06:00、11:00、16:00),按照体质量的 4% 进行投喂,饲料粒径随鱼体的生长作适时调整。

在 8 月,分别在水槽前端的净水区、后端的集污区和养殖区的前、中、后选取样点,每个水平位点按照从前到后的顺序依次编号为 A、B、C、D、E(图 2)。每个样点分别选取 0.5、1.0、1.5 m 3 个梯度深度,

用便携式溶氧仪[哈希水质分析仪(上海)有限公司]依次测定各深度处的溶解氧含量,并用采水器和 300 目浮游生物网采集浮游动植物样本。取 1 L 水样作为浮游植物样本,取 12 L 水样并过滤浓缩至 100 mL 作为浮游动物样本。每隔 4 h 采集 1 次,持续时间为 24 h。采样时间为 7—11 月,每月月初进行采样。除 8 月外,其余月份在溶解氧含量最高和最低时,在 A、E 2 个水平位点的各 3 个垂直深度处采集浮游动植物样本。

采集到的浮游植物样本需立即用鲁哥氏碘液固定,浮游动物样本用 4 mL 福尔马林溶液固定,暂时盛置于塑料瓶中。待 1 次采集完成后带回实验室用电子显微镜进行人工计数和种类识别。

### 1.2 数据统计

浮游动植物样本在实验室静置时间不低于 48 h,利用负压将上清液小心吸出,并对吸出的上清液进行镜检,以确保浓缩效果,依据浮游动植物的多寡确定浓缩量。浮游动植物种类通过对比浮游生物计数仪(讯数科技有限公司)中的数据库并参照《中国淡水生物图谱》进行鉴别。

1 L 水中各类浮游动物数量( $N_1$ )的计数可参照下式:

$$N_1 = \frac{V_1 \cdot P}{V_2 \cdot C}$$

式中: $V_1$  为水样沉淀浓缩后的体积,mL; $C$  为计算框的容积,mL; $V_2$  为采水样体积,L; $P$  为镜视各类浮游动物数量(2 次计数均值),个。

选取数量最多的 5 种浮游植物进行分类计数并计算总体数量,同一样品的 2 片计数结果与其均数之差如果不大于其均数的 10%,即视为有效。

1 L 水样中浮游植物的数量(细胞数) $N_2$ 可按下式计算:

$$N_2 = \frac{A}{a \cdot n} \cdot \frac{\mu}{V} \cdot P$$

式中: $A$  为计算框面积, $\text{mm}^2$ ; $a$  为每个视野的面积, $\text{mm}^2$ ; $n$  为每片镜视的视野数; $\mu$  为 1 L 水样沉淀浓缩后的体积,mL; $V$  为计算框的容积; $P$  为每片镜视计算出的各类浮游植物数量(细胞数),个。

### 1.3 数据分析

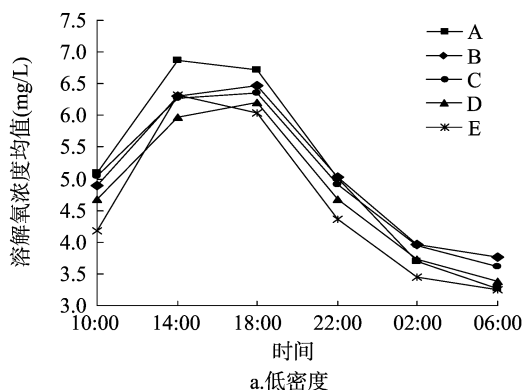
用 SPSS(Ver 20.0)软件的 Pearson 相关分析方法分析溶解氧含量、水温和浮游动植物密度的相关性, $r$  表示 Pearson 相关系数,\* 表示相关性显著( $P < 0.05$ ),\*\* 表示相关性极显著( $P < 0.01$ )。用

Excel 对各月份浮游动、植物的组成和占比作图,分析 8 月份溶解氧含量、浮游动植物密度的水平变化、垂直变化、日变化及 7—11 月的季节变化规律。

## 2 结果与分析

### 2.1 溶解氧浓度的昼夜变化

对 8 月份各水平位点不同深度的溶解氧浓度取均值,低密度组、高密度组溶解氧浓度的昼夜变动



情况见图 3。综合比较可知,低、高密度组不同水平位点溶解氧浓度皆在 06:00 到达最低值,且 A 点的溶解氧浓度昼夜差值最大。不同的是,低密度组的 A、E 2 点在 14:00 时的溶解氧浓度到达最高值,至 18:00 缓慢下降,水槽内溶解氧浓度的整体水平基本不变,B、C、D 3 个位点的溶解氧浓度则在 18:00 到达最高值;高密度组各位点的溶解氧浓度均在 14:00 时达到最高值,具有一致性。

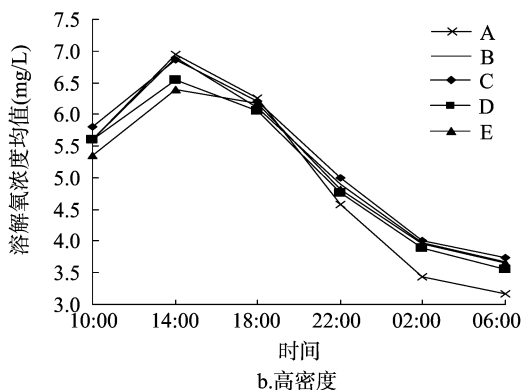


图3 低、高密度组在 8 月份不同水平位点的溶解氧浓度的昼夜变化

### 2.2 溶解氧浓度的垂直和水平变化

由图 4 可以看出,在同一时间段内,水体的溶解氧浓度同时具有水平和垂直差异。在不同位点、同一位点的不同深度,其溶解氧浓度到达最高值的时间不完全一样,不同位点溶解氧浓度的垂直差异也不尽相同,但是各水平位点及其不同深度的溶解氧浓度均在 06:00 出现最低值。整体来看,溶解氧浓度在各水平位点普遍随着深度的增加而下降,且在昼夜水平变化下呈现由 A 到 E 逐渐降低的趋势,但 A 点在无日照时(22:00 至次日 06:00)的相对降幅最大,在同一水平下溶解氧浓度逐步降为最低值,且 A 点溶解氧浓度在垂直深度上差异最大。此外,从昼夜变化来看,在 22:00, A 点的溶解氧浓度最高值出现在 1 m 深度处。在 22:00—06:00,其余各水平位点溶解氧浓度均随深度增加而逐渐降低,且随着时间推移,垂直差异变小或基本持平。在日照期间(06:00—18:00),高密度组的溶解氧浓度在 A 点 0.5 m 深度处于所有位点的最高值。随着时间推移, A 点 1.5 m 深度处的溶解氧浓度由同一水平的最低值上升至同一水平位点的最高值,垂直差异逐渐缩小,而低密度组 A 点 3 个垂直深度的溶解氧浓度均高于其他位点的同一水平。

### 2.3 溶解氧浓度和浮游动植物密度的昼夜变化

为了便于直观比较分析,现将各时段所得水平

位点、垂直位点的数据值取均值,并将浮游动物密度扩大  $10^5$  倍,结果如图 5 所示。综合分析可知,高密度组的溶解氧浓度、浮游动物和浮游植物密度均普遍高于低密度组。在 02:00—06:00,溶解氧浓度、浮游植物和浮游动物密度均下降。在 06:00—18:00,浮游植物密度先增后减,然后基本持平,并在 10:00 到达顶峰。从 06:00 开始,溶解氧浓度随浮游植物的增加而增加,在 14:00 达到顶峰,与浮游植物密度峰值存在 4 h 的延迟。在 14:00—20:00,低密度组浮游植物密度高于高密度组,与之对应的,低密度组溶解氧浓度在 16:00—22:00 高于高密度组,即溶解氧浓度与浮游植物的响应存在 2 h 的迟滞。浮游动物密度在高密度组 02:00—18:00 时间段与低密度组 02:00—22:00 时间段的增减变化具有相似性,均为先减后增、中间持平的状态,但高密度组的持平状态时间明显低于低密度组。

### 2.4 溶解氧含量与浮游动植物密度的季节变化

2.4.1 浮游动物密度的季节变化 对 7—11 月的浮游动物(枝角类、桡足类和轮虫)密度进行统计分析。如图 6 所示,在浮游动物中,轮虫始终占据主导地位,数量优势明显。从轮虫的绝对数量来看,8 月 > 10 月 > 7 月 > 9 月 > 11 月,但是相对多度则不同,表现为 8 月 > 9 月 > 10 月 > 11 月 > 7 月。异尾轮虫的数量在 9 月占据主要地位(占比达 37%),

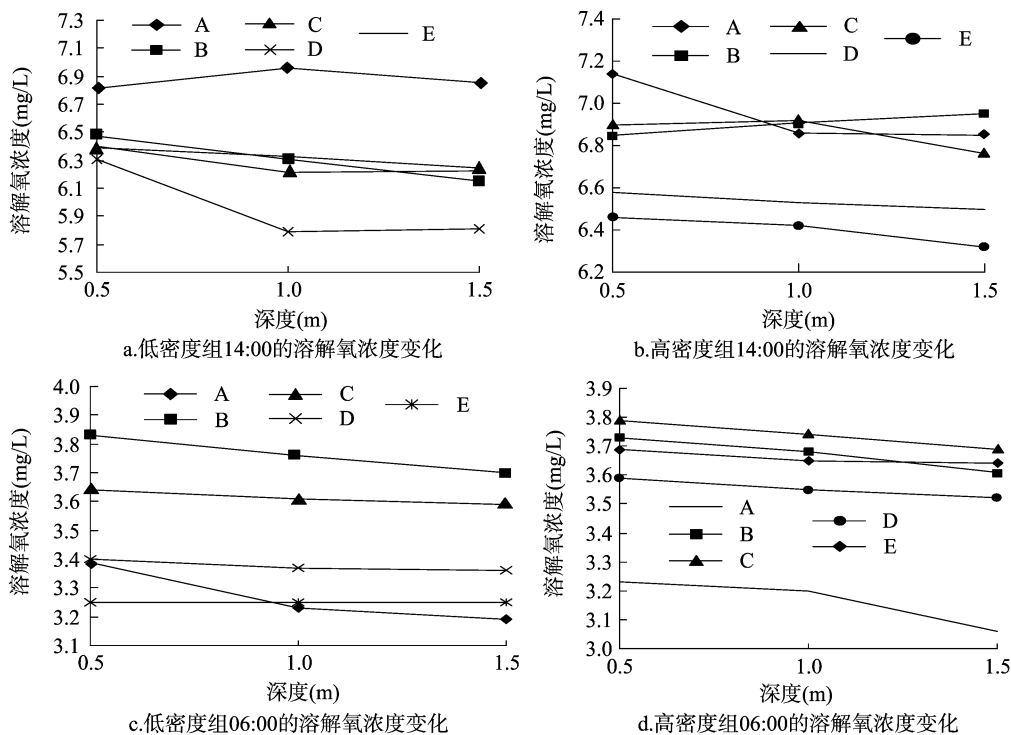


图4 低、高密度组各水平位点 DOC 在 14:00 和 06:00 的垂直变化

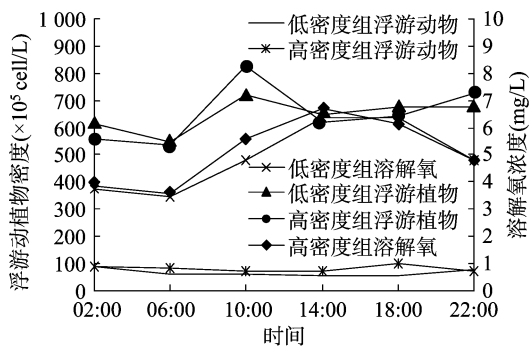


图5 低、高密度组溶解氧浓度与浮游动植物的昼夜变化

在其余月份,臂尾轮虫属在数量上始终占据主导地位,占比为 37% ~ 64%。此外,三肢轮虫、多肢轮虫和晶囊轮虫在轮虫统计中也占据一定的地位。晶囊轮虫、多肢轮虫在 7 月的占比分别高达 18%、20%,异尾轮虫在 8 月的占比达到 19%,多肢轮虫、三肢轮虫在 9 月的占比分别为 15%、21%,三肢轮虫在 10 月的占比为 27%,晶囊轮虫、三肢轮虫、异尾轮虫在 11 月也占有较高的比重,分别为 27%、16%、30%。另外,还有一些种类在不同月份中的占比不高,数量不多,但是各月份间的差异却极明显。如 8 月的多突囊足轮虫,9、11 月的裂纹龟甲轮虫。相对于其他月份,无节幼体在 10 月的数量明显增加。

2.4.2 浮游植物密度的季节变化 从图 7 可以看出,浮游植物密度以 11 月最高,为  $902 \times 10^5$  cells/L,

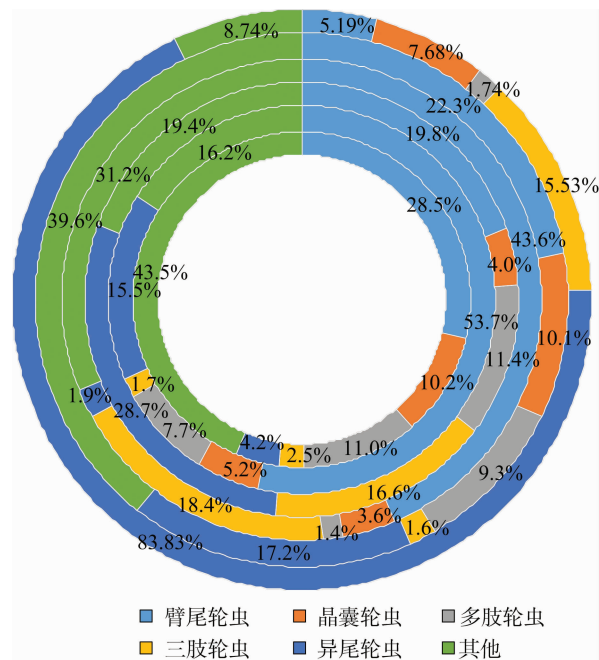


图6 7—11 月轮虫占比的变化

8、7 月次之,且二者间差别不大(分别为  $62.3 \times 10^5$ 、 $62.4 \times 10^5$  cells/L),9、10 月最低(分别为  $13.6 \times 10^5$ 、 $11.4 \times 10^5$  cells/L)。其中,平裂藻、栅藻在 7、8、9、10 月均占据优势地位(占比分别为 4%、5%、6%、2% 和 3%、3%、7%、4%),裸藻在 7、9、11 月,隐藻、十字藻在 9、10、11 月占据优势(占比分别为

4%、5%、12%、24%、17%、14%、4%、5%、4%)。相对于其他月份,鞘丝藻数量在 7 月具有明显优势(占比为 5%);在 8 月,双星鼓藻、色球藻在绝对数值、相对多度上均占有明显优势,分别为  $113 \times 10^5$  cells/L、18% 和  $207 \times 10^5$  cells/L、32%,从 9 月起,十字藻数量增多并占据优势。直链藻、拟气球藻数量在 11 月急剧增加并占据优势,分别为 32%、11%。

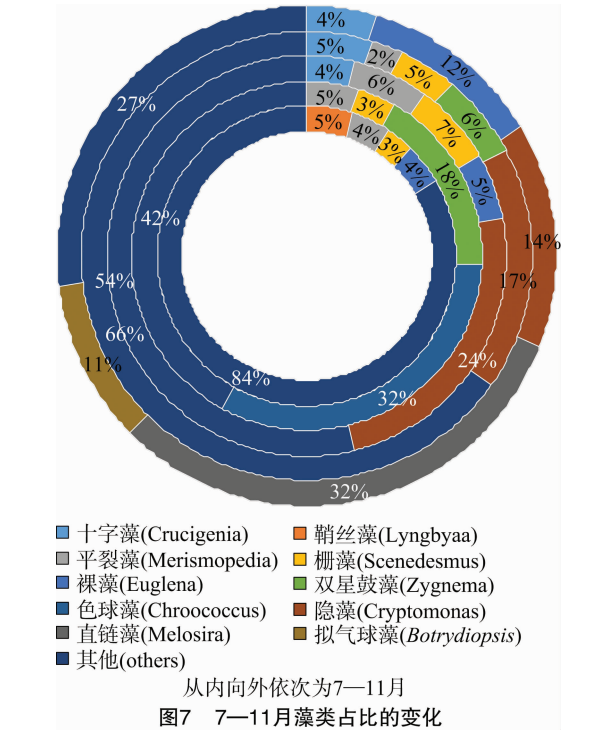


图7 7—11月藻类占比的变化

2.4.3 溶解氧浓度和浮游动植物密度的季节变化趋势 为了便于直观比较分析,现将各月溶解氧浓度和浮游动植物密度取均值,并将浮游动物密度扩大  $10^5$  倍后制图。由图 8 可知,在 8—11 月,浮游植物密度与溶解氧浓度的变化趋势具有一致性,呈先减后增中间持平的状态,但在 7—8 月,溶解氧浓度呈递减状态,低密度组的浮游植物密度却基本持平。在 7 月,高密度组的溶解氧浓度低于低密度组,浮游植物密度明显高于低密度组。在 8—11 月,高密度组溶解氧浓度略高于低密度组,且浮游植物密

度略低于低密度组。在 7—11 月,溶解氧浓度的昼夜差值逐渐缩小。浮游动物密度在低、高密度组内皆呈现“M”形变化,二者的变化趋势一致且高密度组明显高于低密度组。

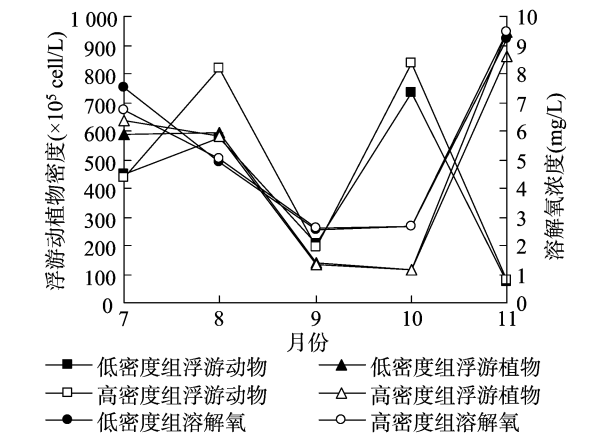


图8 7—11月低、高密度组中溶解氧浓度与浮游动植物密度的变化

2.5 各因素之间的相关性分析

对 8 月的数据进行双变量相关性分析(表 1),发现溶解氧浓度与浮游动物密度之间存在显著负相关( $r = -0.172, P < 0.05$ ),溶解氧含量与浮游植物密度和水温之间存在极显著正相关( $r = 0.314、0.819, P < 0.01$ );浮游动物密度与浮游植物密度和水温之间存在极显著负相关( $r = -0.214、-0.283, P < 0.01$ )。浮游植物密度与水温和水温之间存在极显著正相关性( $r = 0.329, P < 0.01$ )。

对 7—11 月溶解氧浓度、水温和浮游动植物密度的相关性分析结果(表 2)表明,在 7—11 月,每个月内溶解氧浓度的昼夜变化皆与水温呈极显著正相关( $0.814 \leq r \leq 0.933, P < 0.01$ ),不同月份的相关系数不同。但从季节变化分析,溶解氧浓度与水温和浮游动物密度呈极显著负相关( $r = -0.221, r = -0.348, P < 0.01$ )。此外,溶解氧浓度与浮游植物密度呈极显著正相关( $r = 0.612, P < 0.01$ ),浮游动物密度与水温和水温呈极显著正相关( $r = 0.541, P < 0.01$ )。浮游动物密度与浮游植物密度不具有显著相关性。

表 1 8 月溶解氧浓度、浮游动植物密度和水温之间的相关性分析

变量类别	溶解氧浓度			浮游动物密度			浮游植物密度			水温		
	相关系数	P 值	N(个)	相关系数	P 值	N(个)	相关系数	P 值	N(个)	相关系数	P 值	N(个)
溶解氧浓度	1.000		180	-0.172 *	0.021	180	0.314 **	0.000	180	0.819 **	0.000	180
浮游动物密度	-0.172 *	0.021	180	1.000		180	-0.214 **	4.000	180	-0.283 **	0.000	180
浮游植物密度	0.314 **	0.000	180	-0.214 **	0.004	180	1.000		180	0.329 **	0.000	180
水温	0.819 **	0.000	180	-0.283 **	0.000	180	0.329 **	0.000	180	1.000		180

注: \*\* 表示相关性极显著( $P < 0.01$ ); \* 表示相关性显著( $P < 0.05$ )。下同。

表 2 7—11 月溶解氧浓度、浮游动植物密度和水温之间的相关性分析

变量类别	溶解氧浓度			浮游动物密度			浮游植物密度			水温		
	相关系数	P 值	N(个)	相关系数	P 值	N(个)	相关系数	P 值	N(个)	相关系数	P 值	N(个)
溶解氧浓度	1.000		276	-0.348 **	0.000	276	0.612 **	0.000	276	-0.221 **	0.000	276
浮游动物密度	-0.348 **	0.000	276	1.000		276	-0.110	0.069	276	0.541 **	0.000	276
浮游植物密度	0.612 **	0.000	276	-0.110	0.069	276	1.000		276	0.109	0.070	276
水温	-0.221 **	0.000	276	0.541 **	0.000	276	0.109	0.070	276	1.000		276

3 讨论

对杂交鲟幼鱼的研究发现,随着养殖密度的增加,幼鱼摄食量降低<sup>[2]</sup>。对施氏鲟不同养殖密度的研究发现,高密度组的特定生长率、最终体质量和体质量增幅都显著低于中、低密度组<sup>[3]</sup>。高养殖密度对中华鲟的生长、摄食和行为存在显著的负面作用<sup>[4]</sup>,但是提高溶解氧水平可以缓解养殖密度带来的拥挤胁迫<sup>[5]</sup>。对罗非鱼的研究发现,其生长与摄食随着溶解氧浓度的降低而降低<sup>[6]</sup>。因此,在池塘工业化高密度流水养殖中,确保溶解氧较高的浓度对水产养殖具有重要意义。

在集约化养殖中,随着养殖密度的增加,鱼类的呼吸耗氧率升高,水呼吸和底泥呼吸耗氧率相对降低。在本试验中,受浮游植物密度的影响,高密度组在 8 月的溶解氧水平要普遍高于低密度组,可见在池塘工程化循环水养殖中,水呼吸,尤其是浮游植物的呼吸作用仍然是水体耗氧的主要方向。水体溶解氧浓度的变动是多种因素共同作用的结果,风速、太阳辐射、水体盐度、水温、pH 值和 COD 都是影响溶解氧浓度的重要因素。浮游植物是溶解氧重要的生产者和消费者,是水体溶解氧浓度变动的主要原因。透明度、水温、总磷、总氮及其他生命必需矿物元素对浮游植物生长具有显著影响。此外,海拔、季节和养殖系统对细菌和丝状蓝藻多度皆具有显著影响。

8 月时,高密度组的溶解氧水平普遍要高于低密度组,但这并不意味着高密度水槽养殖对鱼类生长无负面影响。在传统养殖池塘中,溶解氧浓度在上下层间差异显著。水循环可以提高初级生产力并减弱水温及溶解氧的分层现象,而水深几乎对所有的水质参数具有显著影响<sup>[7]</sup>。相对于静水池塘,溶解氧浓度和水温在具有水平和垂直流动的水塘 75 cm 处趋于均衡<sup>[8]</sup>。在本试验中,由于进水区提气推水,水槽内水体上下混合,溶解氧浓度虽存在随深度增加而逐渐降低的趋势,但在上中下层水体

中差异并不显著。水体深度及水流速度对水体生态具有重要影响。在浅水池塘中,营养物质通过饲喂、施肥和鱼类排泄大量交换,对鱼塘的水质管理和浮游生物群体具有直接影响<sup>[9]</sup>。浮游动物数量在夏秋季节与水体 DOC 含量具有显著相关性。在本试验中,浮游动物密度与溶解氧含量和水温显著相关,在对沙湖、南四湖、横山水库的研究中也得到了类似结论。受浮游植物密度锐减的影响,DOC 水平在 9、10 月最低。Kurt 等对美国俄勒冈州图拉丁河的研究发现,在夏季的中后期,发生水华及藻类光合作用不足是导致溶解氧水平降低的主要原因<sup>[10]</sup>。在 8 月的昼夜变化中,浮游动、植物密度具有弱负相关性,有研究认为,产毒素的浮游植物可能促进浮游动物存活并降低二者间的相互作用<sup>[11]</sup>。同时,剑水蚤和多肢轮虫对某些藻类存在捕食现象。季节和盐度对轮虫、原生动物和桡足类的影响最大,但季节变化对底栖植物无显著影响<sup>[12]</sup>。对 2 个热带池塘的研究发现,浮游生物群落规模和生物量在空间和季节中变化巨大,浮游植物密度与溶解氧含量具有正相关性<sup>[13]</sup>。在 7—11 月的季节变化中,可能受浮游植物种类与数量的影响,浮游动物的数量对浮游植物不足以形成捕食压力,二者在统计学上并不具有相关性。

参考文献:

[1] 文乐元,肖光明,王锡荣. 淡水养殖水质调控技术[J]. 湖南农业,2008(7):16-17.  
[2] 程佳佳,李吉方,温海深,等. 养殖密度对杂交鲟幼鱼生长、肌肉组分和血液生理生化指标的影响[J]. 中国水产科学,2015,22(3):433-441.  
[3] 倪 蒙. 放养密度和低氧对施氏鲟福利状况的影响及生理机制[D]. 青岛:中国海洋大学,2015:1-3.  
[4] 张建明,郭柏福,高 勇. 中华鲟幼鱼对慢性拥挤胁迫的生长、摄食及行为反应[J]. 中国水产科学,2013,20(3):592-598.  
[5] 董晓煜,张秀梅,张沛东. 溶解氧与养殖密度对褐牙鲈幼鱼血细胞数量及血红蛋白含量影响的研究[J]. 海洋水产研究,2008,29(6):40-46.  
[6] Abdel T M, Hagra A E, Elbaghdady H A M, et al. Dissolved oxygen



邓平, 张立强, 艾桃山, 等. 3 种中草药对克氏原螯虾肝胰腺抗氧化系统及组织结构的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(2): 183-187.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.02.033

## 3 种中草药对克氏原螯虾肝胰腺抗氧化系统及组织结构的影响

邓平<sup>1,2</sup>, 张立强<sup>1,2</sup>, 艾桃山<sup>1,2</sup>, 喻运珍<sup>1,2</sup>, 余少梅<sup>2</sup>, 罗杨志<sup>2</sup>, 郑青<sup>2</sup>

(1. 武汉市农业科学院, 湖北武汉 430207; 2. 武汉中博水产生物技术有限公司, 湖北武汉 430070)

**摘要:**以平均体质量为(6.45 ± 0.14) g 克氏原螯虾为研究对象, 分别投喂含 1% 姜黄素、肝胆利康散、穿梅三黄散的配合饲料, 饲养 42 d 后检测并比较不同中草药对克氏原螯虾肝胰腺抗氧化应激指标和组织结构的影响。结果表明, 3 种中草药均显著提高了克氏原螯虾肝胰腺 SOD 和 CAT 活性, 其中姜黄素对 CAT 活性的促进作用更显著; 3 种中草药均明显降低了肝胰腺的 MDA 含量, 但对 GSH-Px 活性无显著影响。组织学观察发现 3 种中草药对克氏原螯虾肝胰腺未造成明显损失。由此可见, 饲料中添加 1% 剂量的 3 种中草药可明显增强克氏原螯虾肝胰腺的抗氧化能力, 且安全可靠。

**关键词:**克氏原螯虾; 肝胰腺; 抗氧化; 组织结构; 中草药

**中图分类号:** S942.1; S942.2<sup>+</sup>6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1302(2020)02-0183-05

克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*), 俗称小龙虾, 是中国淡水虾类中的重要资源<sup>[1]</sup>。其肉味鲜美、营养丰富, 深受广大消费者喜爱, 成为国内广泛养殖的一种重要经济水生动物<sup>[2]</sup>。随着克氏原螯虾集约化养殖规模的扩大, 病害问题日趋严重<sup>[3]</sup>, 而抗生素等化学药物的滥用不仅会造成致病菌多重抗

药性, 还会引发药物残留等问题, 危害环境和食品安全。因此, 寻求绿色环保、安全高效的免疫强剂对克氏原螯虾养殖产业的可持续发展具有重要意义。

目前, 有关中草药促进甲壳动物非特异免疫功能的报道已见于克氏原螯虾<sup>[4]</sup>、凡纳滨对虾<sup>[5-6]</sup>、罗氏沼虾<sup>[7]</sup>、斑节对虾<sup>[8]</sup>、中华绒螯蟹<sup>[9]</sup>等。姜黄素、肝胆利康散和穿梅三黄散具有保肝护肝作用, 姜黄素和肝胆利康散还能提高水产养殖动物肝胰脏的抗氧化能力<sup>[10-12]</sup>, 而 3 种中草药对克氏原螯虾的肝胰腺是否具有保护作用还未见报道。本试验通过连续投喂 3 种中草药制剂姜黄素、肝胆利康散、穿梅

收稿日期: 2018-10-31

基金项目: 湖北省重大科技创新项目(编号: 2018ABA103); 武汉市农业科学院创新项目(编号: CX201810)。

作者简介: 邓平(1979—), 女, 湖北枝江人, 博士, 工程师, 主要从事水产养殖生态学研究。E-mail: sssdp@126.com。

通信作者: 张立强, 博士, 高级工程师, 主要从事鱼类病害研究。E-mail: 280585404@qq.com。

level and stocking density effects on growth, feed utilization, physiology, and innate immunity of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. Journal of Applied Aquaculture, 2014, 26(4): 340-355.

[7] Carpenter K E, Fast A W, Corre V L, et al. The effects of water depth and circulation on the water quality and production of *Penaeus monodon* in earthen ponds[R]. 1988; 21-24.

[8] Green B. Effect of mechanical pond circulation on dissolved oxygen and temperatures profiles in channel catfish ponds[M]//Aquaculture America Book of Abstracts, U S Department of Agriculture, Washington, 2006; 116.

[9] Sipaúba - Tavares L H, Donadon A R V, Milan R N. Water quality and plankton populations in an earthen polyculture pond [J]. Brazilian Journal of Biology, 2011, 71(4): 845-855.

[10] Kurt D C, Stewart A. R. Plankton communities and summertime

declines in algal abundance associated with low dissolved oxygen in the Tualatin River, Oregon [R]. Reston, Virginia, America. U S Geological Survey, 2013; 2-5.

[11] Gilbert J J, Hampton S E. Diel vertical migrations of zooplankton in a shallow, fishless pond: a possible avoidance-response cascade induced by notonectids [J]. Freshwater Biology, 2001, 46(5): 611-621.

[12] Kyewalyanga M, Mwandya A W. Influence of environmental variables on planktonic and phytobenthic communities in earthen ponds at Makoba, Zanzibar [J]. Western Indian Ocean Journal of Marine Science, 2004, 3(2): 123-133.

[13] Jana B, De U K, Das R N. Environmental factors affecting the seasonal changes of net plankton in two tropical fish ponds in India [J]. Schweizerische Zeitschrift Für Hydrologie, 1980, 42(2): 225-246.