

文章编号: 1674-5566(2018)06-0884-10

DOI:10.12024/jsou.20180302249

施肥对幼蟹池塘养殖水质影响的初步探究

张 勇^{1,2,3,4}, 马旭洲^{1,2,3,4}, 王 昂^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学 水产科学国家及实验教学示范中心, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 3. 上海市水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 上海高校知识服务平台 上海海洋大学水产动物遗传育种协同创新中心, 上海 201306)

摘 要: 为了探究施肥对河蟹幼蟹养殖水质的影响, 于 2016 年 6—10 月在上海崇明幼蟹培育基地选择 6 口池塘进行研究。实验设置不施肥处理组 and 施肥处理组, 并对以上处理组和水源的水温(T)、溶解氧(DO)、pH、化学需氧量(COD_{Mn})、总磷(TP)、磷酸盐(PO₄³⁻-P)、总氮(TN)、铵态氮(NH₄⁺-N)、硝酸盐(NO₃⁻-N)、亚硝酸盐(NO₂⁻-N)、钙镁总硬度和叶绿素 a(Chl. a) 进行监测。结果表明, 幼蟹池塘水质变化具有明显季节特征, 其中 6 月和 9 月两组池塘水质因子较为平稳, 7—8 月两组池塘 COD_{Mn}、Chl. a 出现显著升高而 DO 显著下降, 养殖末期(10 月)两组池塘除总硬度和 DO 大幅下降, 剩余水质因子显著升高。实验中水源和两组池塘的水温和 pH 差异不显著(P > 0.05)。水源 DO 和 NO₃⁻-N 显著高于施肥与不施肥池塘(P < 0.05), 不施肥池塘的 TP、PO₄³⁻-P、Chl. a 和总硬度均显著低于施肥池塘(P < 0.05)。幼蟹池塘施肥后会引起 TN、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N 和 COD_{Mn} 短暂性显著升高(P < 0.05)。研究发现, 对比两组池塘的综合效益, 得出两者差异不显著。池塘施肥会因 N、P 营养元素积累过多, 造成施肥池塘水质劣于不施肥池塘。因此, 池塘养蟹采用不施肥的策略更符合生态养殖的理念。

关键词: 幼蟹; 生态养殖; 施肥; 水质规律

中图分类号: S 966.16 **文献标志码:** A

河蟹学名中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*), 属甲壳动物纲(Crustacea)、十足目(Decapoda)、方蟹科(Grapsidae)、绒螯蟹属(*Eriocheir*), 是我国极为重要的水产经济类甲壳动物, 养殖面积一直居我国特种水产养殖前列^[1]。随着河蟹养殖产业的壮大, 养殖模式不断革新, 在生态养殖的理念下, 某些养殖技术环节是否一定需要存在争论, 其中传统观念施肥一直是幼蟹养殖过程的重要环节。一方面通过施肥可以为水生植物提供必要的营养元素, 也可以培育浮游植物改善水体的溶氧环境, 并在促进浮游植物繁殖的同时, 促进浮游动物生长, 为仔蟹提供鲜活饵料^[2]; 但另一方面施肥也会导致养殖水体耗氧有机物和营养盐的积累与富集^[3], 加之养殖池塘面积较小, 水体

自净能力有限, 养殖池塘的径流、淋溶和换排水, 极易增加养殖水体乃至周围水域环境的富营养化和蓝藻水华的暴发机率。当前国内外学者对于施肥在水产养殖应用进行了大量的研究, 主要集中在施肥种类、施肥方法和施肥频率等^[4,5]。然而涉及幼蟹养殖中是否需要施肥的问题却缺乏研究。

当前对于幼蟹养殖水体是否需要施肥的问题缺乏研究, 目前池塘在生产上依旧靠经验进行施肥, 施肥造成环境问题日趋严重, 不仅与当前倡导的生态养殖理念背道而驰, 而且严重制约了河蟹产业的可持续发展。所以探寻幼蟹养殖池塘是否要施肥的研究势在必行。

收稿日期: 2018-03-24 修回日期: 2018-05-20

基金项目: 上海市现代农业产业技术体系(沪农科产字[2018]第 4 号); 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心项目(ZF1206)

作者简介: 张 勇(1991—), 男, 硕士研究生, 研究方向为河蟹生态养殖。E-mail: 184873152@qq.com

通信作者: 马旭洲, E-mail: xzma@shou.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 实验地点

实验在上海福岛水产养殖专业合作社进行。养殖地点在上海市崇明区新河镇新建村,位于北纬 31°73′、东经 121°40′。池塘水源为长江支流。

1.2 实验材料

实验蟹为中华绒螯蟹,其苗种由上海市河蟹产业技术体系苗种基地提供;实验池塘分为施肥池塘和不施肥池塘两组,各有 3 个重复。6 口面积为 2 333 m² 的幼蟹培育池并排排列,均由同一河道同一进水渠进水。防逃设施齐全,均有单独的进排水口,为半封闭式养殖模式。

1.3 实验设计

实验以池塘外河道水(A 组)为空白对照,设不施肥池塘(B 组)、施肥池塘(C 组)。沉水植物伊乐藻(*Elodea nuttallii*)均种在池底四周,靠岸,水较浅的地方,池塘中间水较深的地方移栽浮水水生植物水花生(*Alternanthera philoxeroides*),用毛竹打桩固定,两者约占池塘面积的 50%。实验肥料为常州宏宝生物科技有限公司生产的多功能生物型水产发酵肥,主要成分为 N、P、K 元素、有机质、活性微生物和微量元素。具体施肥情况见表 1。两组池塘在幼蟹下塘前每口塘均施肥 20 kg 培养饵料生物为水生植物提供必要营养元素。实验从 2016 年 6 月 1 日至 2016 年 10 月 30 日共 150 天,对池塘水质指标进行监测。

所有池塘除施肥区别外,其他日常管理极力保持一致。5 月下旬,每口池塘投放 0.005 g/只大眼幼体 5.25 kg,实验池塘水位相同,定期清除水花生,保持其面积约占池塘的 50%。

表 1 平均每口池塘的施肥情况

Tab.1 Average amount of fertilizer applied to each pond kg

处理 Treatment	5 月 20 日 20th May	6 月 7 日 7th June	7 月 6 日 6th July	9 月 15 日 15th Sept
B	20	0	0	0
C	20	40	40	40

1.4 采样与分析方法

实验期间,每月采样两次,共采样 9 次,采样在 8:00~9:30 进行。在池塘四周靠岸边约 1.0 m 处 30 cm 深处各采集中层水 1.0 L,同一池塘分

别采取 4 点,然后混合池塘 4 点水样后取其中的 1.0 L 作为水样。在河道进水泵四周固定 4 个点采集水源水。用专业的有机玻璃采水器采集水样。水温(T)和溶解氧(dissolved oxygen, DO)用 YSI550A 便携式溶氧仪现场测定,pH 采用 pHSJ-3F 型实验室 pH 酸度计测定。其他水质指标检测方法均参照《水和废水监测分析方法》(第四版)^[6]。化学需氧量(Chemical oxygen demand)用高锰酸钾法(COD_{Mn});总磷(total phosphorus, TP)和磷酸盐(PO₄³⁻-P)用钼锑抗分光光度法;总氮(total nitrogen, TN)用过硫酸钾氧化紫外分光光度法;硝酸盐(NO₃⁻-N)采用紫外分光光度法;亚硝酸盐(NO₂⁻-N)用 N-(1-萘基)-乙二胺光度法;铵态氮(NH₄⁺-N)用纳氏试剂光度法;总硬度用 EDTA 滴定法;钙镁总硬度统计分析时将其换算成以 CaCO₃ 表示硬度。叶绿素 a 用丙酮分光光度法(chlorophyll a, *Chl. a*)。

1.5 统计分析

所有数据均在 Excel 中统计,并用 SPSS 20.0 和 OriginPro 9.1 进行单因素方差分析和聚类分析。

2 结果

2.1 实验池塘氮、磷输入量

实验周期结束后,对两组池塘的饲料投喂量和两组池塘施肥量进行统计,通过对饲料和肥料中相应氮磷比例进行换算,得出两组池塘饲料和施肥输入的氮、磷量(表 2)。

表 2 池塘投饵和施肥输入实验池塘的氮、磷量

Tab.2 Inputted nitrogen and phosphorus contents in the pond by feeding and fertilizing

处理 Treatment	氮输入/(kg/hm ²) Nitrogen input			磷输入/(kg/hm ²) Phosphorus input		
	饲料 Feed	肥料 Fertilizer	总氮量 Total	饲料 Feed	肥料 Fertilizer	总氮量 Total
B	101.1	0.8	101.9	64.6	2.8	67.4
C	101.1	5.6	106.7	64.6	19.6	84.2

2.2 幼蟹生产数据

不施肥池塘幼蟹总产量为 1 635 kg,施肥池塘幼蟹总产量为 1 680 kg。两组池塘差异不显著($P>0.05$),见表 3。

表 3 不同处理组幼蟹收获生产数据

Tab. 3 Harvested production of juvenile crab from different treatment groups

处理 Treatment	总产量/kg Total production	单产量/kg Single production	回捕率/% Recovery rate	变异系数 Coefficient of variation
B	1 635	545 ± 29 ^a	35	0.05
C	1 680	560 ± 40 ^a	36	0.07

2.3 池塘物理指标变化

试验期间水温(T)变化范围为 19.1 ~ 30.3 °C, 其中 6—8 月的水温持续升高, 9—10 月的水温随季节变化而逐渐下降。水源和两组幼蟹池塘的水温差异较小(图 1)。DO 绝大部分时间低于 5.0 mg/L, 水源和两组幼蟹池塘 DO 波动范围较大。水源 DO 显著高于两组幼蟹池塘($P < 0.05$), 不施肥池塘 DO 显著高于施肥池塘($P < 0.05$), 见图 2。

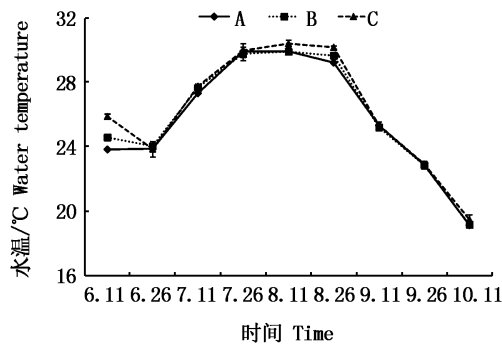


图 1 不同处理组池塘水温的变化动态

Fig. 1 The change of mean water temperature in different treatment groups

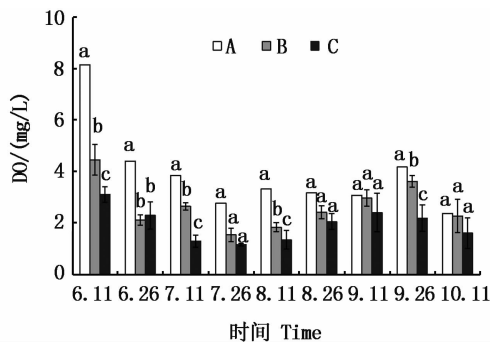


图 2 不同处理组溶氧的变化动态

Fig. 2 The change of mean dissolved oxygen in different treatment groups

同列数据后不同小写字母表示同一时间不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

The different letters indicated significant levels among the different treatments from the same measured date

2.4 池塘化学指标变化

pH 波动的范围为 7.15 ~ 7.98, 呈先下降后

不断升高的趋势, 水源和两组幼蟹池塘 pH 无显著差异 ($P > 0.05$), 见图 3。总硬度变化范围为 0.023 ~ 0.195 mg/L, 两组幼蟹池塘总硬度均呈先下降后升高再持续下降的趋势。施肥池塘总硬度显著高于不施肥池塘 ($P < 0.05$), 水源在养殖中后期 9—10 月总硬度显著高于两组幼蟹池塘 ($P < 0.05$), 见图 4。

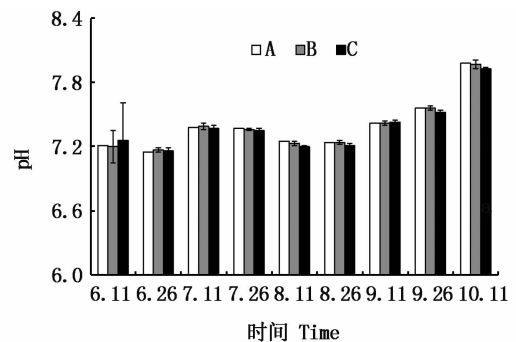


图 3 不同处理组 pH 的变化动态

Fig. 3 The change of pH in the different treatment groups

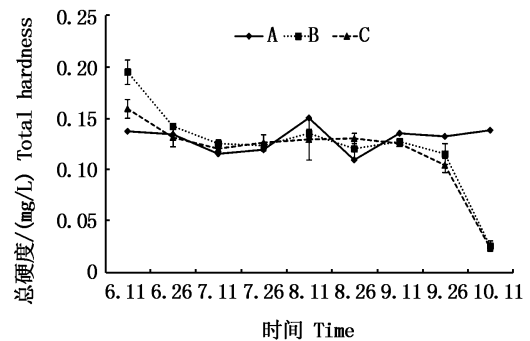


图 4 不同处理组总硬度的变化动态

Fig. 4 The change of total hardness in the different treatment groups

2.5 池塘营养盐、富营养化和有机污染物指标变化

养殖周期末对水源(A)、不施肥幼蟹池塘(B)和施肥幼蟹池塘(C)各阶段所监测的营养盐指标、富营养化指标和有机污染物指标进行方差分析和统计(表 4)。

表 4 不同处理组水质因子的对比

Tab. 4 Comparison of water quality factors among the different treatment groups

项目 Item	处理 Treatment	6 月 11 日 11th June	6 月 26 日 26th June	7 月 11 日 11th July	7 月 26 日 26th July	
TN/(mg/L)	A	1.032 ^b	1.037 ^b	1.083 ^a	1.036 ^b	
	B	1.034 ± 0.003 ^b	1.044 ± 0.003 ^a	1.083 ± 0.002 ^a	1.037 ± 0.002 ^b	
	C	1.049 ± 0.002 ^a	1.048 ± 0.005 ^a	1.085 ± 0.001 ^a	1.045 ± 0.002 ^a	
NH ₄ ⁺ -N/(mg/L)	A	0.083 ^b	0.084 ^{ab}	0.084 ^b	0.089 ^a	
	B	0.082 ± 0.000 ^b	0.086 ± 0.001 ^a	0.084 ± 0.001 ^b	0.086 ± 0.002 ^a	
	C	0.088 ± 0.002 ^a	0.087 ± 0.001 ^a	0.087 ± 0.002 ^a	0.086 ± 0.000 ^a	
NO ₂ ⁻ -N/(mg/L)	A	0.013 ^b	0.013 ^a	0.013 ^b	0.010 ^a	
	B	0.013 ± 0.004 ^b	0.011 ± 0.000 ^a	0.012 ± 0.001 ^b	0.009 ± 0.000 ^a	
	C	0.054 ± 0.127 ^a	0.013 ± 0.02 ^a	0.017 ± 0.01 ^a	0.010 ± 0.004 ^a	
NO ₃ ⁻ -N/(mg/L)	A	0.003 ^b	0.010 ^a	0.007 ^a	0.005 ^a	
	B	0.003 ± 0.001 ^b	0.007 ± 0.000 ^b	0.004 ± 0.000 ^b	0.004 ± 0.000 ^b	
	C	0.005 ± 0.001 ^a	0.006 ± 0.002 ^b	0.004 ± 0.000 ^b	0.004 ± 0.005 ^b	
TP/(mg/L)	A	0.068 ^c	0.094 ^a	0.085 ^b	0.07 ^c	
	B	0.094 ± 0.001 ^b	0.085 ± 0.000 ^b	0.087 ± 0.003 ^b	0.076 ± 0.002 ^b	
	C	0.128 ± 0.005 ^a	0.093 ± 0.002 ^a	0.095 ± 0.000 ^a	0.082 ± 0.005 ^a	
PO ₄ ³⁻ -P/(mg/L)	A	0.023 ^b	0.029 ^a	0.027 ^a	0.024 ^b	
	B	0.026 ± 0.001 ^{ab}	0.027 ± 0.002 ^a	0.024 ± 0.001 ^b	0.024 ± 0.001 ^b	
	C	0.032 ± 0.005 ^a	0.028 ± 0.001 ^a	0.027 ± 0.003 ^a	0.035 ± 0.002 ^a	
Chl. a/(mg/L)	A	0.09 ^a	0.024 ^a	0.048 ^a	0.021 ^b	
	B	0.012 ± 0.003 ^a	0.004 ± 0.000 ^b	0.027 ± 0.001 ^b	0.026 ± 0.005 ^b	
	C	0.017 ± 0.007 ^a	0.023 ± 0.007 ^a	0.048 ± 0.022 ^a	0.039 ± 0.010 ^a	
COD _{Mn} /(mg/L)	A	6.63 ^c	7.17 ^a	7.36 ^a	8.15 ^a	
	B	7.01 ± 0.12 ^b	7.23 ± 0.05 ^a	7.25 ± 0.10 ^b	9.02 ± 0.24 ^a	
	C	10.01 ± 0.16 ^a	7.18 ± 0.11 ^a	7.27 ± 0.10 ^{ab}	9.97 ± 0.17 ^a	
项目 Item	处理 Treatment	8 月 11 日 11th Aug	8 月 26 日 26th Aug	9 月 11 日 11th Sept	9 月 26 日 26th Sept	10 月 11 日 11th Oct
TN/(mg/L)	A	1.046 ^b	1.037 ^a	1.004 ^a	1.006 ^a	1.000 ^a
	B	1.052 ± 0.002 ^{ab}	1.042 ± 0.003 ^a	0.991 ± 0.009 ^b	1.017 ± 0.003 ^a	1.007 ± 0.003 ^b
	C	1.048 ± 0.003 ^b	1.047 ± 0.010 ^a	0.986 ± 0.003 ^b	1.023 ± 0.020 ^a	1.014 ± 0.004 ^b
NH ₄ ⁺ -N/(mg/L)	A	0.084 ^a	0.084 ^a	0.082 ^b	0.085 ^b	0.091 ^a
	B	0.084 ± 0.000 ^a	0.085 ± 0.000 ^a	0.084 ± 0.003 ^a	0.088 ± 0.001 ^a	0.097 ± 0.005 ^a
	C	0.084 ± 0.000 ^a	0.084 ± 0.000 ^a	0.085 ± 0.004 ^a	0.090 ± 0.005 ^a	0.098 ± 0.003 ^a
NO ₂ ⁻ -N/(mg/L)	A	0.010 ^a	0.010 ^a	0.012 ^a	0.012 ^a	0.018 ^b
	B	0.010 ± 0.000 ^a	0.010 ± 0.000 ^a	0.013 ± 0.002 ^a	0.012 ± 0.002 ^a	0.027 ± 0.002 ^a
	C	0.010 ± 0.000 ^a	0.010 ± 0.001 ^a	0.012 ± 0.010 ^a	0.014 ± 0.01 ^a	0.029 ± 0.006 ^a
NO ₃ ⁻ -N/(mg/L)	A	0.007 ^a	0.007 ^a	0.008 ^a	0.008 ^a	0.003 ^b
	B	0.005 ± 0.000 ^b	0.003 ± 0.000 ^b	0.003 ± 0.000 ^b	0.005 ± 0.000 ^b	0.003 ± 0.002 ^b
	C	0.005 ± 0.002 ^b	0.003 ± 0.001 ^b	0.003 ± 0.000 ^b	0.004 ± 0.000 ^b	0.005 ± 0.000 ^a
TP/(mg/L)	A	0.066 ^b	0.070 ^b	0.068 ^b	0.062 ^c	0.068 ^c
	B	0.068 ± 0.003 ^b	0.070 ± 0.001 ^b	0.068 ± 0.001 ^b	0.064 ± 0.001 ^b	0.080 ± 0.001 ^b
	C	0.080 ± 0.002 ^a	0.080 ± 0.001 ^a	0.072 ± 0.001 ^a	0.079 ± 0.001 ^a	0.088 ± 0.001 ^a
PO ₄ ³⁻ -P/(mg/L)	A	0.026 ^b	0.023 ^b	0.026 ^b	0.024 ^b	0.027 ^a
	B	0.026 ± 0.000 ^b	0.023 ± 0.000 ^b	0.023 ± 0.000 ^b	0.024 ± 0.000 ^b	0.028 ± 0.004 ^a
	C	0.035 ± 0.000 ^a	0.028 ± 0.001 ^a	0.031 ± 0.003 ^a	0.026 ± 0.001 ^a	0.029 ± 0.006 ^a
Chl. a/(mg/L)	A	0.024 ^b	0.052 ^b	0.104 ^a	0.106 ^a	0.155 ^b
	B	0.022 ± 0.013 ^b	0.061 ± 0.016 ^{ab}	0.101 ± 0.001 ^a	0.131 ± 0.025 ^a	0.237 ± 0.037 ^b
	C	0.044 ± 0.011 ^a	0.099 ± 0.033 ^a	0.112 ± 0.054 ^a	0.133 ± 0.028 ^a	0.321 ± 0.069 ^a
COD _{Mn} /(mg/L)	A	9.66 ^b	10.13 ^b	9.54 ^a	9.09 ^b	9.05 ^b
	B	10.91 ± 0.14 ^a	10.58 ± 0.13 ^a	9.59 ± 0.16 ^a	10.15 ± 0.18 ^a	10.89 ± 0.25 ^a
	C	11.01 ± 0.25 ^a	10.60 ± 0.10 ^a	9.57 ± 0.11 ^a	10.30 ± 0.21 ^a	10.94 ± 0.22 ^a

注:同列数据后不同小写字母表示同一时间不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Notes: The different letters indicated significant levels among the different treatments from the same measured date

2.5.1 营养盐元素变化

TN 变化范围为 0.986 ~ 1.085 mg/L, 均呈先升高后降低趋势。实验期间两组幼蟹池塘大部分时间 TN 差异不显著 ($P > 0.05$, 表 4)。NH₄⁺-N 呈平稳后期显著上升的趋势。其中池塘施肥后 NH₄⁺-N 显著高于不施肥池塘 ($P < 0.05$)。其他时间两组幼蟹池塘 NH₄⁺-N 无显著差异 ($P > 0.05$, 表 4)。NO₂⁻-N 呈平稳后期显著升高趋势。池塘施肥后 NO₂⁻-N 显著高于不施肥池塘 ($P < 0.05$)。其他时间两组幼蟹池塘 NO₂⁻-N 无显著差异 ($P > 0.05$)。养殖末期 10 月水源 NO₂⁻-N 显著低于两组幼蟹池塘 ($P < 0.05$, 表 4)。NO₃⁻-N 的变化范围为 0.003 ~ 0.010 mg/L, 其中水源 NO₃⁻-N 显著高于两组幼蟹池塘 ($P < 0.05$), 施肥池塘在 6 月 11 日和 10 月 11 日 NO₃⁻-N 显著高于不施肥池塘 ($P < 0.05$)。其他时间段两组幼蟹池塘 NO₃⁻-N 无显著差异 ($P > 0.05$)。TP 的变化范围为 0.06 ~ 0.128 mg/L。并表现出和 PO₄³⁻-P 大体一致趋势。PO₄³⁻-P 变化范围均为 0.023 ~ 0.035 mg/L, 其中施肥池塘 PO₄³⁻-P 显著高于不施肥池塘和水源 ($P < 0.05$), 见表 4。

2.5.2 富营养化指标变化

Chl. a 的变化范围为 0.004 ~ 0.321 mg/L, 其随养殖时间延长呈显著升高趋势(表 4)。其中施肥池塘 Chl. a 显著高于不施肥池塘和水源 ($P < 0.05$), 6 月下旬和 7 月上旬水源显著高于两组幼蟹池塘 ($P < 0.05$)。

2.5.3 有机污染指标变化

COD_{Mn} 变化范围为 6.63 ~ 11.01 mg/L; 两组幼蟹池塘均呈先上升后下降再升高趋势(表 4)。池塘施肥后短时间内 COD_{Mn} 显著高于不施肥池塘 ($P < 0.05$), 其他时间两组幼蟹池塘 COD_{Mn} 无显著差异 ($P > 0.05$)。养殖中后期(9—10 月)水源 COD_{Mn} 显著低于两组幼蟹池塘 ($P < 0.05$), 见表 4。

2.6 水质指标时间尺度的聚类分析

根据养殖周期采样时间的变化对水源和幼蟹池塘水质指标进行聚类分析后得出, 无论是水源(图 5a) 还是不施肥池塘(图 5b) 和施肥池塘(图 5c) 均可以分成 3 个部分及春秋养殖期(6 月和 9 月)、夏高温养殖期(7—8 月) 以及冬养殖末期(10 月份)。幼蟹养殖周期的水质变化具有一定的季节性特征。

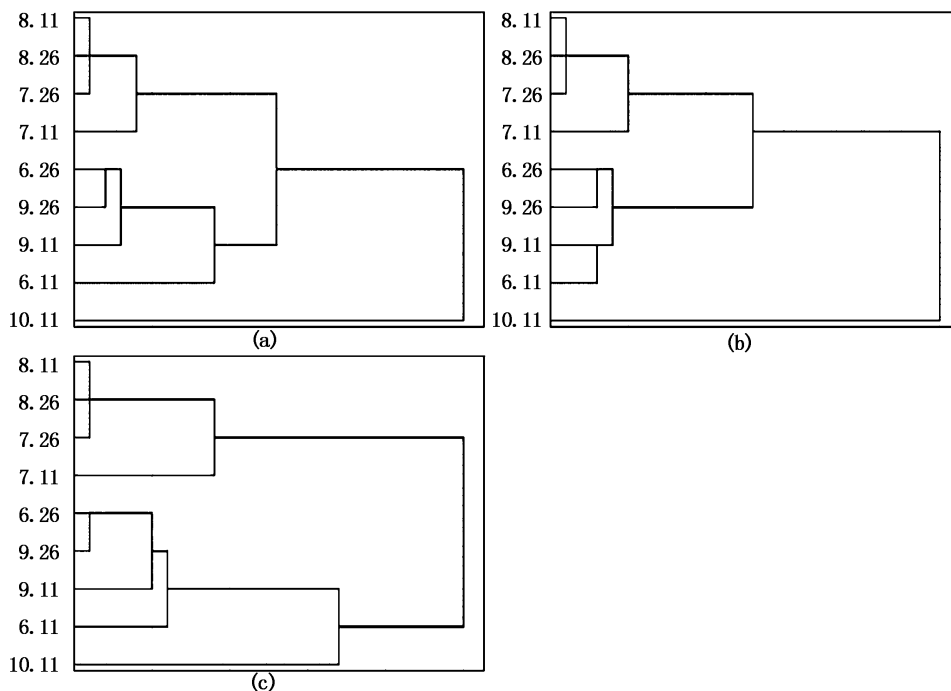


图 5 水质指标时间尺度聚类分析

Fig. 5 Time scale cluster analysis of water quality indexes

3 讨论

3.1 两组幼蟹池塘养殖模式比较

养殖池塘 N、P 营养盐和有机质的沉积主要取决于不同养殖模式下的饲养管理。传统养殖模式水体施肥一直是养殖周期必要的环节。而本实验通过严格控制两组池塘饲料投喂,优化放养密度,在养殖末期得出水源除溶氧和总氮外均达到地表水环境标准的 II 级标准,而总氮则达到地表水环境标准的 III 级标准。结果表明,水源的总体水质状况优于幼蟹池塘(表 4),而两组池塘饲料投喂量相同前提下(池塘投饵累积量小于 $1\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$),不施肥池塘 N、P 营养盐、富营养化和有机污染指标均低于施肥池塘(表 4),并达到地表水环境标准的 III 级以上标准^[7],且水质因子总体未出现超标现象。说明实验期间水源水质优良且投饵管理较为适中,不会对幼蟹池塘水质造成不良影响。研究发现,施肥与不施肥池塘养殖末期幼蟹产量、回捕率和变异系数均未有显著性差异(表 3)。这表明不施肥池塘未因缺少施肥而造成综合效益的下降,且总体水质优于施肥池塘。池塘施肥会造成 N、P 过多积累(表 2),过多 N、P 积累是影响施肥池塘水质变化的重要因素。有学者研究发现,饲料和施肥的使用对池塘水体 N、P 影响不同^[8],通常投饵会促使水体 N 的含量升高,水体施肥会造成 P 的含量升高^[9],这与本实验中两组幼蟹池塘 TN 大部分时间未有显著差异,而施肥池塘 TP 和 PO_4^{3-} -P 显著高于不施肥池塘的结果相一致。WANG 等^[10]研究得出,养殖中未被摄食的饵料以及水产动物所产生排泄物以有机质存在,其作用和功能在一定程度上和有机肥作用相似,因此在投喂配合饲料养殖模式下可大幅降低池塘施肥。李志波等^[11]则认为过多 N、P 积累并不能被充分利用,其中一部分可在水中分解形成可溶性 N、P 营养元素,另一部分则沉积于池塘底质中,沉积于池塘底质 N、P 可受水体微生物分解代谢对池塘水体产生不利影响,进而危害幼蟹生长。河蟹属底栖动物可搅动底质,会提高沉积有机物和 N、P 的扩散范围^[12],同时还会促进底质厌氧有机物和氧气接触,催化其氧化分解^[13]并向水中释放 N、P^[14],从而破坏池塘水生态系统稳定。

3.2 施肥对幼蟹池塘水质因子和水源环境的影响

实验中幼蟹养殖池塘的水质变化主要受到投饵、施肥以及换排水的剧烈影响,处于波动之中^[8]。本实验结果表明,施肥不会对幼蟹池塘水温 and pH 产生显著影响。水温是河蟹生长重要的影响因素之一^[15],河蟹对温度适应范围较广,在 $1\sim 35\ ^\circ\text{C}$ 条件下均可生存^[1],养殖周期水温满足幼蟹生长。而实验中两组幼蟹池塘水体 pH 较为稳定,且水体呈弱碱性,利于幼蟹正常生长。

养殖期间,施肥池塘 DO 显著低于不施肥池塘,并随养殖时间延长,两组幼蟹池塘 DO 均呈下降趋势。这表明池塘施肥会造成池塘水体 DO 下降的风险^[16]。施肥虽可为水体的浮游植物提供必要的 N、P 营养元素,同时也造成了需氧有机物负荷增加^[17],促使 DO 下降。本研究中随着养殖时间延长有机物持续性积累,导致养殖后期 DO 下降^[18]。通常水温也是水体 DO 的负相关因素^[19],高温可提高微生物活动促进有机物分解导致 DO 下降^[13],因此在高温季节需要注意 DO 对河蟹产生不利影响。

本研究发现,池塘施肥会造成短时间内 TN、 NH_4^+ -N、 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 显著升高。范翠琴等^[2]研究表明水体施肥会促使水体 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 迅速升高并在 3 天后达到高峰一周后迅速下降趋于稳定。因此需要关注施肥造成的短期影响,池塘施肥会引起需氧有机物聚集,促使 DO 下降,并进一步引起有机氮的厌氧分解产生 NH_4^+ -N 和 NO_2^- -N^[8]。 NO_2^- -N 积累同时还受到温度^[20]、pH^[21]的影响,pH 为 $7\sim 9$,水温为 $30\ ^\circ\text{C}$ 时活动最强^[18]。 NO_2^- -N 极不稳定且危害巨大。极易造成水产动物中毒缺氧死亡^[22]。但研究发现,两组池塘 TN、 NH_4^+ -N、 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 大部分时间无显著差异,这表明施肥提高了浮游植物丰富度,并促进浮游植物去除和利用 NH_4^+ -N^[23],同时也反映了水中 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 硝化和反硝化作用^[24-25]进行顺利。随着养殖时间的深入幼蟹池塘持续性残饵有机物积累分解和幼蟹生长代谢排氨^[15]作用,引起养殖后期幼蟹池塘 TN、 NH_4^+ -N、 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 显著升高,因此在养殖后期需要密切关注 N 升高对幼蟹带来不利影响。

本研究得出,施肥会引起池塘 TP、 PO_4^{3-} -P 和 *Chl. a* 的含量显著升高。池塘中 N、P 主要来源于配合饲料、动物排泄物和施肥所产生^[26]。本实验两组池塘饲料投喂和放养密度相同前提下,得出施肥池塘 TP、 PO_4^{3-} -P 和 *Chl. a* 含量依然显著高于不施肥池塘。而相关学者研究发现,池塘 N 主要来源于饲料输入和养殖生物的排泄^[9],这表明影响两组池塘 TP 变化最主要因素是施肥。但也有学者研究得出施肥不会对草鱼-鲢鱼混养池塘 TP 和 PO_4^{3-} -P 产生显著性差异^[23],研究表明浮游植物吸收利用 P 元素明显^[27],白鲢以浮游植物为主食,且套养密度高^[23]。导致草鱼-鲢鱼混养池塘消耗 P 显著从而促使 TP、 PO_4^{3-} -P 稳定。本实验发现,施肥可造成 TP 升高和 DO 下降,并能进一步促使池塘底质厌氧菌参与离子氧化还原和有机质矿化引起 PO_4^{3-} -P 升高^[18]。P 是水体富营养化的重要因子,也是浮游植物必需生长元素。*Chl. a* 可表示水体中浮游植物变化,间接反映出池塘水体富营养程度^[28]。研究表明,水体藻类的生长受到 N、P 营养盐、光照强度、T 和 pH 等综合影响^[29]。其中 N、P 是影响水体中浮游植物生物量和 *Chl. a* 含量的关键性因素^[30]。过多 P 元素积累会促使 *Chl. a* 显著性升高^[28]。*Chl. a* 过高不仅会影响浮游植物的群落结构和均匀度,还增加蓝藻水华的暴发机率^[28-29]。

研究表明,池塘施肥后有机物在短时间内快速聚集,是促进水体短时间 COD_{Mn} 含量上升的重要原因^[12]。但实验期间大部分时间两组幼蟹池塘 COD_{Mn} 并无显著差异。据相关研究表明池塘持续性投饵造成有机物积累是池塘 COD_{Mn} 升高的最主要因素^[26], COD_{Mn} 是水体有机污染物含量的一项重要指标,能够反映水体的污染程度,并证实水温越高养殖水体内的水生生物代谢活动能力增强,有机物积累更加丰富^[31]。而养殖后期持续性饲料积累导致池塘有机负荷增加促使了池塘 COD_{Mn} 升高。这一结果与 GREEN 和 BOYD^[32] 得出的结论一致。

养殖期间,通过对水源监测发现,水源 NO_3^- -N 显著高于幼蟹养殖池塘,且实验周期中水源 PO_4^{3-} -P 和 *Chl. a* 有个别时间点存在超标的现象。 NO_3^- -N 过高表明河道 DO 含量较高硝化作用强,因其水生植物密度低,水生植物则可以吸收利用 NO_3^- -N^[33] 因缺乏水生植物导致 NO_3^- -N 升高。水

源 PO_4^{3-} -P 和 *Chl. a* 超标说明幼蟹养殖对外界水源产生了不良影响,有学者研究表明,河蟹养殖周期中日常换排水会造成 11.64%~12.90% 和 6.41%~8.45% 的 N、P 排放到天然水体中造成水源的污染^[34]。李青青等^[35] 得出池塘施有机肥可通过池塘土壤径流、淋溶等多种途径侵蚀水源。由此可见施肥造成环境问题日趋严峻。

本实验周期末发现,不施肥池塘在养殖后期也会出现 NH_4^+ -N、 COD_{Mn} 和 *Chl. a* 含量升高的现象,这说明养殖后期幼蟹育肥上市对饲料需求增高,增量投饵会对水质产生不利影响,有关养殖后期适应的饲料投喂量与河蟹增长和水域生态环境之间关系有待于进一步探讨研究。本研究可见,幼蟹池塘水质总体指标相对良好。这表明池塘中套种水生植物的重要性,王文林等^[36] 证实,伊乐藻可吸收 TP 起到净化水质的作用,正常时伊乐藻对 TP 去除率能达到 32%,而衰亡后去除率仅有 11.2%,且水生植物衰亡还会释放 N、P。因此保持池塘中水体植物的密度,并做到定时清除多余和衰亡的水生植物以保证池塘水质稳定。

3.3 幼蟹池塘季节性特征

研究发现,两组幼蟹池塘的水质变化呈现显著的季节性特征。水质因子季节性变化幅度超过两组幼蟹池塘之间的水质因子变化差异。这与王小冬等^[17] 监测结果相一致。其中 N、P 不间断输入和自然气候因素,是影响幼蟹池塘水质变化的主要因素^[12]。随着养殖时间的持续,两组幼蟹池塘 COD_{Mn} 和 *Chl. a* 呈上升趋势,而 DO 和总硬度呈下降趋势,在养殖后期 9—10 月两组幼蟹池塘 TN、 NH_4^+ -N 和 NO_2^- -N 呈显著上升趋势。基本与王高龙等^[15] 得出的结果相似。根据水质变化的季节性特点,需要合理控制各阶段的饲料投喂严控施肥,避免过多的 N、P 积累造成水体的 DO 下降和 NH_4^+ -N、 NO_2^- -N 和 COD_{Mn} 的升高对河蟹生长产生危害。尤其需要在高温季节防控。高温季节河蟹生长代谢加快,对饲料的需求量升高,导致河蟹排泄物增多从而造成水质恶化。与 COD_{Mn} 等变化相反,总硬度随着时间深入呈不断下降的趋势。河蟹属于甲壳动物,生长蜕壳需要大量 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} ^[37],随着河蟹生长蜕壳增重对 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 需求增大导致养殖后期水体硬度的下降。实践养殖中常使用生石灰来清除病害物

和提高水体硬度,考虑到生石灰也可同时增加水体 pH^[11],当水体 pH 偏高时需要避免造成 NH₃ 中毒^[38],故需要结合池塘水质条件合理优化生石灰使用方案。综上可得根据季节变化的差异,制定日常管理对提高河蟹养殖环境效益和经济效益具有一定指导意义。

4 结论

综上所述研究得出,在投喂饲料的养殖模式下幼蟹池塘施肥会造成池塘水体 TP、PO₄³⁻-P 和 *Chl. a* 显著高于不施肥池塘,水质因子过高有破坏池塘水环境稳态造成富营养化的风险。通过对两组幼蟹池塘的综合效益分析得出,两者未有显著差异(表 3),幼蟹池塘施肥不仅生产成本增高,还会造成 N、P 元素积累过多,从而对幼蟹生长产生不利影响。故而更推荐不施肥幼蟹养殖模式去饲养,这不仅符合生态养殖的理念,更维护了河蟹幼蟹池塘生态环境的平衡,对河蟹健康可持续发展具有重要的价值意义。

参考文献:

- [1] 王武,王成辉,马旭洲. 河蟹生态养殖[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2013: 1-36.
WANG W, WANG C H, MA X Z. Ecological culture of Chinese mitten crab [M]. 2nd ed. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2013: 1-36.
- [2] 范翠翠,吴朝霞,孙文涛,等. 不同比例氮肥施用对稻田蟹生长及营养价值的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(19): 417-422.
FAN C C, WU Z X, SUN W T, et al. Effect of different ratios of nitrogen fertilizers on the growth and nutrition value of crabs in paddy field [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(19): 417-422.
- [3] 崔志辉,周小玉,张根芳,等. 鲢鳙混养对三角帆蚌生长和养殖水质影响的围隔实验[J]. 水产学报, 2012, 36(2): 278-283.
CUI Z H, ZHOU X Y, ZHANG G F, et al. Effect of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and bighead carp (*Aristichthys nobilis*) on growth and culturing water quality for pearl mussel (*Hyriopsis cumingii*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(2): 278-283.
- [4] GIAP D H, YI Y, LIN C K. Effects of different fertilization and feeding regimes on the production of integrated farming of rice and prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) [J]. Aquaculture Research, 2005, 36(3): 292-299.
- [5] TABINDA A B, AYUB M. Effect of high phosphate fertilization rate on pond phosphate concentrations, chlorophyll a, and fish growth in carp polyculture [J]. Aquaculture International, 2010, 18(3): 285-301.
- [6] 国家环境保护总局. 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: 1-730.
State Environmental Protection Administration of China. Methods for the monitoring and analysis of water and wastewater [M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 1-730.
- [7] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. GB 3838-2002 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 3838-2002 Environmental quality standards for surface water[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [8] 戴杨鑫,唐金玉,王岩,等. 不同施肥方法对鱼蚌综合养殖水体水化学的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(3): 407-416.
DAI Y X, TANG J Y, WANG Y, et al. Effect of three fertilization programs on the chemical water quality for integrated culture of freshwater pearl mussel and fish [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(3): 407-416.
- [9] 王岩,齐振雄,张鸿雁. 不同单养及混养海水实验围隔水化学的研究[J]. 水产学报, 1999, 23(4): 350-356.
WANG Y, QI Z X, ZHANG H Y. Studies on water chemistry of seawater experimental enclosures with different monoculture and polyculture [J]. Journal of Fisheries of China, 1999, 23(4): 350-356.
- [10] WANG Y, WANG W L, QIN J G, et al. Effects of integrated combination and quicklime supplementation on growth and pearl yield of freshwater pearl mussel, *Hyriopsis cumingii* (Lea, 1852) [J]. Aquaculture Research, 2009, 40(14): 1634-1641.
- [11] 李志波,季丽,李丹丹,等. 罗非鱼精养池塘水质变化规律和沉积物产污系数研究[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(5): 168-174.
LI Z B, JI L, LI D D, et al. Changing rule of water quality and pollutants producing coefficient of sediment in tilapia intensive pond [J]. Environmental Science and Technology, 2015, 38(5): 168-174.
- [12] HÖHENER P, GÄCHTER R. Nitrogen cycling across the sediment-water interface in an eutrophic, artificially oxygenated lake [J]. Aquatic Sciences, 1994, 56(2): 115-132.
- [13] GRANALI W. The influence of chironomus plumosus larvae on the oxygen uptake of sediment [J]. Archiv fur Hydrobiologie, 1979, 87(4): 385-403.
- [14] HARGREAVES J A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds [J]. Aquaculture, 1998, 166(3/4): 181-212.
- [15] 王高龙,马旭洲,王武,等. 上海松江泖港地区成蟹养殖对水质的影响[J]. 安全与环境学报, 2016, 16(3): 299-

304.
WANG G L, MA X Z, WANG W, et al. Effect of *Eriocheir sinensis* growing on the water quality in Maogang Town, Songjiang District, Shanghai [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2016, 16(3): 299-304.
- [16] BOYD C E, MASSAUT L. Risks associated with the use of chemicals in pond aquaculture [J]. *Aquacultural Engineering*, 1999, 20(2): 113-132.
- [17] 王小冬, 王岩, 王伟良, 等. 不同放养和管理模式下三角帆蚌养殖水体的水化学特征[J]. *水产学报*, 2008, 32(2): 303-308.
WANG X D, WANG Y, WANG W L, et al. Water chemistry for culturing freshwater pearl mussel, *Hyriopsis cumingii* under different stocking and management models[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2008, 32(2): 303-308.
- [18] 戴恒鑫, 马旭洲, 李应森, 等. 湖南大通湖河蟹池塘生态养殖模式对水质净化的试验研究[J]. *安全与环境学报*, 2012, 12(5): 89-94.
DAI H X, MA X Z, LI Y S, et al. Purification effect of the ecological culture pattern of *Eriocheir sinensis* on the water quality in Datong Lake, Hunan [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2012, 12(5): 89-94.
- [19] IBRAHIM N, EL NAGGAR G. Water quality, fish production and economics of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, and african catfish, *Clarias gariepinus*, monoculture and polycultures[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2010, 41(4): 574-582.
- [20] JEBERG M V, JENSEN F B. Extracellular and intracellular ionic changes in crayfish *Astacus astacus* exposed to nitrite at two acclimation temperatures[J]. *Aquatic Toxicology*, 1994, 29(1/2): 65-72.
- [21] CHEN J C, CHENG S Y. Recovery of *Penaeus monodon* from functional anaemia after exposure to sublethal concentration of nitrite at different pH levels[J]. *Aquatic Toxicology*, 2000, 50(1/2): 73-83.
- [22] 余瑞兰, 聂湘平, 魏泰莉. 分子氨和亚硝酸盐对鱼类的危害及其对策[J]. *中国水产科学*, 1999, 6(3): 73-77.
YU R L, NIE X P, WEI T L. Toxicity of molecular ammonia & nitrite to fishes and the control measures [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1999, 6(3): 73-77.
- [23] 季英杰, 邓岗, 陈杰玉, 等. 发酵有机肥对主养草鱼池塘水质调控效果研究[J]. *水生生物学报*, 2018, 42(1): 171-181.
JI Y J, DENG M, CHEN J Y, et al. The effects of fermented organic fertilizer on water quality in polyculture ponds dominated with grass carp[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, 42(1): 171-181.
- [24] 贺纪正, 张丽梅. 氨氧化微生物生态学与氮循环研究进展[J]. *生态学报*, 2009, 29(1): 406-415.
HE J Z, ZHANG L M. Advances in ammonia-oxidizing microorganisms and global nitrogen cycle[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 406-415.
- [25] 李平, 张山, 刘德立. 细菌好氧反硝化研究进展[J]. *微生物学杂志*, 2005, 25(1): 60-64.
LI P, ZHANG S, LIU D L. Study progress of bacterial aerobic denitrification[J]. *Journal of Microbiology*, 2005, 25(1): 60-64.
- [26] 戴晓玲, 杨芳, 赵天龙, 等. 基于综合水质标识指数法的混养鱼塘水体富营养化评价和特征分析[J]. *水产科技情报*, 2014, 41(3): 113-119.
DAI X L, YANG F, ZHAO T L, et al. Eutrophication evaluation and characteristics analysis of mixed fish ponds based on integrated water quality index method[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2014, 41(3): 113-119.
- [27] 江敏, 卢柳, 邢斌, 等. 滴水湖水体叶绿素 a 与水质因子的多元分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(3): 451-456.
JIANG M, LU L, XING B, et al. Multianalysis between chlorophyll a and other environmental factors in Dishui Lake [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(3): 451-456.
- [28] ACOSTA-NASSAR M V, MORELL J M, CORREDOR J E. The nitrogen budget of a tropical semi-intensive freshwater fish culture pond[J]. *World Aquaculture Society*, 1994, 25(2): 261-270.
- [29] 缪灿, 李堃, 余冠军. 巢湖夏、秋季浮游植物叶绿素 a 及蓝藻水华影响因素分析[J]. *生物学杂志*, 2011, 28(2): 54-57.
MIAO C, LI K, YU G J. Analysis of phytoplankton chlorophyll-a concentration in summer and autumn in Chaohu Lake and the impact factors of cyanobacterial blooms [J]. *Journal of Biology*, 2011, 28(2): 54-57.
- [30] TERZIYSKI D, GROZEV G, KALCHEV R, et al. Effect of organic fertilizer on plankton primary productivity in fish ponds [J]. *Aquaculture International*, 2007, 15(3/4): 181-190.
- [31] 吴伟, 范立民, 瞿建宏, 等. 池塘河蟹生态养殖对水体环境的影响[J]. *安全与环境学报*, 2006, 6(4): 50-54.
WU W, FAN L M, QU J H, et al. Effect of river crab eco-culture in ponds on water environment [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2006, 6(4): 50-54.
- [32] GREEN B W, BOYD C E. Chemical budgets for organically fertilized fish Ponds in the Dry Tropics [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1995, 26(3): 284-296.
- [33] 谭洪新, 罗国芝, 朱学宝, 等. 水栽蔬菜对养鱼废水的水质净化效果[J]. *上海水产大学学报*, 2001, 10(4): 293-297.
TAN H X, LUO G Z, ZHU X B, et al. Effect of hydroponic vegetables on water quality purification of aquaculture waste water [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2001, 10(4): 293-297.
- [34] 戴修赢, 蔡春芳, 徐升宝, 等. 饵料结构对河蟹养殖池塘氮、磷收支和污染强度的影响[J]. *水生态学杂志*, 2010, 3(3): 52-56.

- DAI X Y, CAI C F, XU S B, et al. Effects of food composition on nitrogen and phosphorus budgets and pollution intensity in Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*) culture pond[J]. *Journal of Hydroecology*, 2010, 3(3): 52-56.
- [35] 李青青,熊远辉,王克雄,等. 长江新螺段江豚保护水域水质的时空变化[J]. *水生态学杂志*, 2015, 36(1): 1-8.
- LI Q Q, XIONG Y H, WANG K X, et al. Temporal and spatial variation of surface water quality in the Xinluo section (Yangtze finless porpoise protection area) of the Yangtze River[J]. *Journal of Hydroecology*, 2015, 36(1): 1-8.
- [36] 王文林,王国祥,李强,等. 菹草-伊乐藻群落对富营养化水体水质的净化效果[J]. *南京师大学报(自然科学版)*, 2006, 29(4): 111-116.
- WANG W L, WANG G X, LI Q, et al. Purification effect of *Potamogeton crispus-Elodea nuttallii* community on eutrophic water body quality[J]. *Journal of Nanjing Normal University (Natural Science Edition)*, 2006, 29(4): 111-116.
- [37] 张家国,饶光慈,王志忠,等. 河蟹蚤状幼体对蛋白质、脂肪、复合矿物质及维生素的适宜需求量研究[J]. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2001, 20(s1): 66-70.
- ZHANG J G, RAO G C, WANG Z Z, et al. Studies on the appropriate requirements of Chinese Mitten crab from zoea to megalopa for protein, fat, compound mineral and vitamin [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2001, 20(s1): 66-70.
- [38] DANIELS H V, BOYD C E. Chemical budgets for polyethylene-lined, brackishwater ponds [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1989, 20(2): 53-60.

Preliminary study on the effect of fertilization on the water quality of crab culture pond

ZHANG Yong^{1,2,3,4}, MA Xuzhou^{1,2,3,4}, WANG Ang^{1,2,3,4}

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai 201306, China; 4. Shanghai University Knowledge Service Platform, Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: To explore the effect of fertilization on the water quality of juvenile crab culture ponds, a field experiment was carried out in Chongming, Shanghai from June to October, 2016. Two groups with three replications each were set: (1) unfertilized group and (2) fertilized group. Water temperature (T), dissolved oxygen (DO), pH, chemical oxygen demand (COD_{Mn}), total phosphorus (TP), phosphate (PO₄³⁻-P), total nitrogen (TN), nitrate (NO₃⁻-N), nitrite (NO₂⁻-N), ammonia nitrogen (NH₄⁺-N), total hardness and chlorophyll a (*Chl. a*) of headwaters were monitored seasonally. The result indicated that water quality in the ponds had significant seasonal variation. The water quality factors were comparatively steady in June and September. COD_{Mn} and *Chl. a* increased significantly in July and August, while the DO decreased markedly. In the end of crab cultivation, most of the water quality factors increased significantly in two groups, but the total hardness and DO decreased greatly. There was no significant difference in T and pH between headwater and pond water ($P > 0.05$). DO and NO₃⁻-N of headwater were higher than ponds ($P < 0.05$). TP, PO₄³⁻-P, *Chl. a* and total hardness in unfertilized ponds were lower than fertilized ponds ($P < 0.05$). The juvenile crab ponds after fertilizing would cause temporary increase of TN, NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N and COD_{Mn}. The study found that the difference of comprehensive benefits of two groups is not obvious. The fertilized group increased the N and P accumulation in pond and then aggravated the water pollution, having no more benefits than unfertilized group. Therefore, non-fertilization is more suitable for ecological cultivation.

Key words: juvenile crab; ecological farming; fertilization; water quality regulation