

文章编号: 1674 - 5566(2014)03 - 0366 - 08

## 不同河蟹放养密度对养蟹稻田水环境及水稻产量影响的研究

孙文通<sup>1,2,3</sup>, 张庆阳<sup>1,2,3</sup>, 马旭洲<sup>1,2,3</sup>, 王 武<sup>1,2,3</sup>, 王 昂<sup>1,2,3</sup>

(1. 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; 2. 上海市水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 水产动物遗传育种中心, 上海 201306)

**摘 要:** 为研究稻蟹共作对水环境和水稻产量的影响, 在水稻本田期、返青期、分蘖期、拔节期、扬花期和灌浆期分别采集不同河蟹放养密度的稻蟹共作稻田(低密度, 仔蟹放养密度 18 ind/m<sup>2</sup>; 高密度, 仔蟹放养密度 54 ind/m<sup>2</sup>) 和不养蟹稻田(CK) 水体的水样, 分析不同稻田的水质和水稻产量。结果表明: 在水稻生长周期, 不养蟹稻田溶解氧含量高于养蟹稻田, 其中扬花期, 不养蟹稻田显著高于养蟹稻田( $P < 0.05$ ); 低密度养蟹稻田和高密度养蟹稻田差异不显著( $P > 0.05$ )。分蘖期, 高密度养蟹稻田氨氮含量最高, 不养蟹稻田和高密度养蟹稻田呈显著差异( $P < 0.05$ )。灌浆期时, 不养蟹稻田总磷含量最高, 不养蟹稻田和养蟹稻田呈显著的差异( $P < 0.05$ ), 低密度养蟹稻田和高密度养蟹稻田差异不显著( $P > 0.05$ )。水稻生长周期, 从分蘖期开始缺乏磷肥, 从扬花期和灌浆期开始缺乏氮肥。分蘖期放养蟹苗比较适宜, 此期以后亚硝酸盐和氨氮含量迅速下降, 低于仔蟹的安全浓度。低密度养蟹稻田水稻产量最高, 且与不养蟹稻田和高密度养蟹稻田呈差异显著( $P < 0.05$ ), 不养蟹稻田和高密度养蟹稻田水稻产量差异显著( $P < 0.05$ ), 不养蟹稻田水稻产量最低。

**研究亮点:** 在水稻生长 6 个主要时期, 对稻田水进行采样, 比较分析不同河蟹放养密度稻田水环境及水稻产量, 对蟹稻共作的作用机理做进一步的阐释, 探讨出对水稻生长最有利的最合适的河蟹放养密度, 为蟹稻共作的进一步研究及蟹稻共作模式的推广提供基础资料。

**关键词:** 稻蟹共作; 溶解氧; 磷酸盐; 氨氮; 亚硝酸盐; 总磷; 水稻产量

**中图分类号:** S 181; X 832

**文献标志码:** A

稻蟹共作是利用稻蟹共生使能量和物质朝有利于水稻和河蟹生长的方向流动, 使稻蟹共生生态系统内的物质和能量完成良性循环, 从而增加收入和合理利用资源的功能体系<sup>[1]</sup>。以田面水养蟹为主的稻田复合生态农业形式或模式, 已成为一项提高水稻栽培产量和生态经济效益的技术措施<sup>[2-3]</sup>; 稻蟹共作是在稻田养鱼和稻田养鸭基础上发展起来的一种综合利用方式, 研究表明稻蟹共作具有较高的经济价值和生态效益<sup>[4]</sup>。稻田养蟹技术充分发挥了稻田的种植、养殖和生态功能, 开辟了水稻、水产可持续发展的新途径。稻蟹共作不仅不会对水体造成污染, 反而会对水

体有一定的净化作用<sup>[1]</sup>。水稻给河蟹提供一个有利的生存环境; 河蟹捕食杂草和害虫, 降低了田间病害的发生率, 河蟹的养殖需要投喂饵料, 河蟹摄食饵料产生的粪便为水稻提供了肥料, 促进了水稻生长。

近年来, 随着生态农业的发展, 稻蟹共作已成为一种有效的农业增产增收模式, 稻蟹共作模式在我国北方地区迅速发展。目前关于稻蟹共作的技术研究比较多<sup>[5-7]</sup>, 但是关于稻蟹共作不同放养密度河蟹稻田水质的基础研究较少<sup>[8]</sup>。本试验研究了不同河蟹放养密度对稻蟹共生生态系统水质及其水稻产量的影响, 以期对稻蟹共

收稿日期: 2013-09-21 修回日期: 2014-01-05

基金项目: 国家星火计划项目(2011GA680001); 上海市中华绒螯蟹产业技术体系(D8003-10-0208); 欧盟 FP7 亚欧水产平台(245020); 上海高校知识服务平台水产动物遗传育种中心(ZF1206)

作者简介: 孙文通(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为稻田种养新技术。E-mail: lqzswt@sina.com

通信作者: 马旭洲, E-mail: xzma@shou.edu.cn

作稻田水质管理提供理论依据,同时为确定有利于水稻生长更好的河蟹放养密度提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地点和土壤

本试验于 2012 年的 5 月至 10 月在辽宁省盘锦市盘山县坝墙子镇姜家村(40°40′~41°27′N、121°31′~122°28′E)进行。该区属暖温带大陆性半湿润气候,全年日照时数 2 744 h,年太阳总辐射为  $5.77 \times 10^9 \text{ J/m}^2$ ,年平均气温为 8.4 °C,无霜期 174 d,年降雨量为 631 mm。常年四季分明,雨热同季,干冷同期,温度适宜,光照充裕。全年种植一季水稻,地势低洼,平均海拔为 3.6 m,土壤为褐土,中等肥力<sup>[9]</sup>,适合水稻和河蟹的生长。

### 1.2 试验材料

试验水稻品种为盐丰 456。试验蟹种为中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)仔蟹,由辽宁盘锦市盘山县河蟹技术研究所提供。

### 1.3 田间设置及管理

#### 1.3.1 试验设计

在同一田块中,设置 9 个正方形单元格(图 1),长 7.07 m,土壤肥力相当,单元格面积 50 m<sup>2</sup>(包括环沟,不包括田埂)。试验设计采用拉丁方试验设计,使各处理间除去试验因素外,其他因素尽量处于同一水平。试验按照河蟹不同放养密度设置 3 个处理组,每个处理 3 个平行,处理组 A:不养蟹稻田,水稻一穴两株(CK,以下简称不养蟹);处理组 B:低密度养蟹稻田,水稻一穴两株,放养仔蟹 900 只(以下简称低密度);处理组 C:高密度养蟹稻田,水稻一穴两株,放养仔蟹 2 700 只(以下简称高密度)。河蟹放养规格为每只(0.083±0.010) g。

|   |   |   |
|---|---|---|
| A | C | B |
| B | A | C |
| C | B | A |

图 1 试验田块分布图

Fig.1 Test rice fields distribution

#### 1.3.2 田间管理

2012 年 5 月 12 日每个单元格施稻蟹专用肥 2.5 kg,作为基肥,基肥中 N 占 20%,P 占 6%,K

占 3%。2012 年 5 月 23 日进水泡田,6 月 1 日 9 个单元格进行插秧,6 月 27 日往单元格里放养河蟹苗,10 月 23 日水稻收割。

在离田埂 0.6 m 的周边开挖环沟,环沟开口 0.5~0.6 m,底宽 0.3 m,深 0.3 m,进、排水口对角设置,同时加高四周的田埂,埂高 0.5~0.6 m,顶宽 0.5 m 以上,做到坚固、夯实、平坦。同时在田埂上围上一周的塑料雨布,雨布高 40 cm,防止河蟹逃跑。水田部分种植水稻采用大垄双行栽培模式,宽行 40 cm,窄行 20 cm,穴距 16 cm,约 199 800 穴/hm<sup>2</sup>。在每个田块的四周投喂河蟹专用配合饲料,主要组分为粗蛋白≥36%,粗纤维≤9%,粗脂肪≥4%,粗灰分≤16%,钙 1.0%~2.5%,食盐 0.5%~3.0%,添加剂 1.0%。在水稻收割前几天收获河蟹。水稻全生育期,不使用农药除草、除虫,其他田间管理措施与常规大田相同。

### 1.4 田间取样及分析方法

采样方式为 S 型 5 点采样法,采样时间从 6 月 3 日起,每隔 15 天采一次样,至 8 月 28 日。在水稻的整个生长周期一共采集 6 次水样,分别在水稻生长的本田期(6 月 3 日至 18 日)、返青期(6 月 19 日至 22 日)、分蘖期(6 月 23 日至 7 月 13 日)、拔节期(7 月 14 日至 8 月 10 日)、扬花期(8 月 11 日至 18 日)、灌浆期(8 月 19 日至 10 月 5 日)进行,每次均为上午采集水样,采样时尽量选择无风的晴天,如果遇到连续的阴雨天,采样时间提前几天或者延后几天,以保证雨水对水样分析结果影响最小。用 50 mL 医用注射器,不扰动土层,抽取田面水,注入 500 mL 集水瓶,所有水样采集后立即送回实验室进行分析。

溶解氧和水温采用美国 YSI 550A 便携式溶解氧测定仪直接测定。pH 采用 pH 计测定。磷酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、总磷的测定,按照《水和废水检测分析方法(第四版)》进行。试验结果均以每次测得的 3 次重复分析的平均值与标准差来表示,试验数据采用 EXCEL 和 SPSS 17.0 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 溶解氧、温度和 pH 变化规律

#### 2.1.1 溶解氧的变化规律

溶解氧是中华绒螯蟹养殖过程中最重要的

水环境因子<sup>[10]</sup>。一方面河蟹的正常生长和代谢需要溶解氧,另一方面,养殖过程中产生的粪便分解也需要消耗氧气,如果氧气缺乏,容易形成一些中间产物,如氨、亚硝酸盐和硫化氢等,这些有害物质均会对河蟹的生长和蜕壳产生直接危害。影响稻田溶解氧变化的主要因素有:光照强度、光合作用强度、风速、水温、生物及非生物耗氧、大气复氧和逸散等,其中光照强度和光合作用强度是其中最重要的两个影响因素。

在水稻生长期,水体溶解氧总体呈先上升后下降的趋势,进入7月份,光照强度增强,随着大气温度的升高,水温也开始升高,水中浮游植物光合作用旺盛,使水中溶氧增加,并缓慢达到峰值。之后随着光照强度的减弱,水中浮游植物光合作用强度减弱,水中的溶解氧缓慢下降(图2),但即使下降至谷值2.73 mg/L,对河蟹的正常生长也不会造成影响,因为水中溶解氧偏低时,河蟹可以爬到田埂上活动。不养蟹稻田溶解氧的含

量高于养蟹稻田,随着河蟹放养密度的加大,溶解氧含量降低。扬花期,不养蟹稻田溶解氧含量与养蟹稻田呈显著的差异( $P < 0.05$ ),水稻生长的其他时期差异不显著( $P > 0.05$ ),低密度与高密度水体溶解氧含量差异不显著( $P > 0.05$ ,表1)。

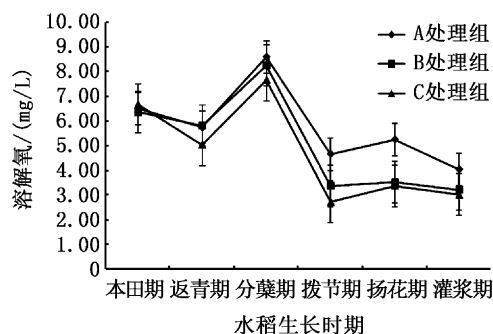


图2 河蟹不同放养密度水体中溶解氧的变化规律

Fig. 2 The periodic variation of dissolved oxygen at different stocking density of crab

表1 河蟹不同放养密度水环境因子的对比

Tab. 1 The contrast of water environment factors at different stocking density of crab

| 指标                                      | 处理组 | 6月3日                     | 6月19日                     | 7月10日                      | 7月26日                    | 8月12日                    | 8月28日                    |
|---|-----|--------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| DO/(mg/L)                               | A   | 6.52 ± 0.42 <sup>a</sup> | 5.76 ± 1.10 <sup>a</sup>  | 8.62 ± 1.17 <sup>a</sup>   | 4.68 ± 0.61 <sup>a</sup> | 5.26 ± 1.11 <sup>a</sup> | 4.06 ± 0.52 <sup>a</sup> |
|   | B   | 6.38 ± 0.54 <sup>a</sup> | 5.83 ± 0.62 <sup>a</sup>  | 8.28 ± 1.35 <sup>a</sup>   | 3.38 ± 1.14 <sup>a</sup> | 3.53 ± 0.35 <sup>b</sup> | 3.23 ± 0.54 <sup>a</sup> |
|   | C   | 6.69 ± 0.46 <sup>a</sup> | 5.05 ± 1.03 <sup>a</sup>  | 7.68 ± 0.80 <sup>a</sup>   | 2.73 ± 0.75 <sup>a</sup> | 3.38 ± 0.69 <sup>b</sup> | 3.03 ± 0.10 <sup>a</sup> |
| 温度/°C                                   | A   | 20.5 ± 0.2 <sup>a</sup>  | 23.8 ± 0.2 <sup>a</sup>   | 26.5 ± 0.4 <sup>a</sup>    | 27.2 ± 0.3 <sup>a</sup>  | 27.6 ± 0.4 <sup>a</sup>  | 20.6 ± 0.1 <sup>a</sup>  |
|   | B   | 20.7 ± 0.4 <sup>a</sup>  | 23.6 ± 0.1 <sup>a</sup>   | 26.2 ± 0.4 <sup>a</sup>    | 26.8 ± 0.1 <sup>a</sup>  | 27.5 ± 0.1 <sup>a</sup>  | 20.6 ± 0.0 <sup>a</sup>  |
|   | C   | 20.7 ± 0.4 <sup>a</sup>  | 23.6 ± 0.2 <sup>a</sup>   | 26.0 ± 0.7 <sup>a</sup>    | 27.0 ± 0.2 <sup>a</sup>  | 27.6 ± 0.2 <sup>a</sup>  | 20.7 ± 0.1 <sup>a</sup>  |
| pH                                      | A   | 7.77 ± 0.06 <sup>a</sup> | 7.82 ± 0.05 <sup>a</sup>  | 8.43 ± 0.13 <sup>a</sup>   | 6.85 ± 0.10 <sup>a</sup> | 7.32 ± 0.16 <sup>a</sup> | 7.54 ± 0.04 <sup>a</sup> |
|   | B   | 7.65 ± 0.06 <sup>a</sup> | 7.70 ± 0.13 <sup>a</sup>  | 8.34 ± 0.25 <sup>a</sup>   | 6.79 ± 0.20 <sup>a</sup> | 7.20 ± 0.09 <sup>a</sup> | 7.57 ± 0.02 <sup>a</sup> |
|   | C   | 7.86 ± 0.21 <sup>a</sup> | 7.92 ± 0.23 <sup>a</sup>  | 8.31 ± 0.22 <sup>a</sup>   | 6.80 ± 0.16 <sup>a</sup> | 7.18 ± 0.08 <sup>a</sup> | 7.52 ± 0.02 <sup>a</sup> |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/(mg/L)  | A   | 3.70 ± 1.32 <sup>a</sup> | 13.36 ± 5.03 <sup>a</sup> | 9.81 ± 0.49 <sup>a</sup>   | 2.09 ± 0.75 <sup>a</sup> | 1.71 ± 0.22 <sup>a</sup> | 0.90 ± 0.58 <sup>a</sup> |
|   | B   | 3.68 ± 0.45 <sup>a</sup> | 12.81 ± 1.67 <sup>a</sup> | 10.96 ± 1.56 <sup>ab</sup> | 2.08 ± 0.55 <sup>a</sup> | 1.75 ± 0.13 <sup>a</sup> | 2.08 ± 1.55 <sup>a</sup> |
|   | C   | 3.44 ± 1.40 <sup>a</sup> | 11.95 ± 3.00 <sup>a</sup> | 12.63 ± 2.06 <sup>b</sup>  | 2.17 ± 1.11 <sup>a</sup> | 2.14 ± 0.27 <sup>b</sup> | 1.88 ± 1.43 <sup>a</sup> |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N/(mg/L)  | A   | 0.21 ± 0.01 <sup>a</sup> | 0.09 ± 0.01 <sup>a</sup>  | 0.13 ± 0.11 <sup>a</sup>   | 0.03 ± 0.01 <sup>a</sup> | 0.06 ± 0.04 <sup>a</sup> | 0.02 ± 0.00 <sup>a</sup> |
|   | B   | 0.16 ± 0.02 <sup>a</sup> | 0.10 ± 0.02 <sup>a</sup>  | 0.06 ± 0.03 <sup>a</sup>   | 0.02 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.04 ± 0.01 <sup>a</sup> | 0.03 ± 0.00 <sup>a</sup> |
|   | C   | 0.21 ± 0.04 <sup>a</sup> | 0.10 ± 0.03 <sup>a</sup>  | 0.28 ± 0.17 <sup>b</sup>   | 0.03 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.03 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.03 ± 0.00 <sup>a</sup> |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/(mg/L)  | A   | 0.25 ± 0.06 <sup>a</sup> | 0.15 ± 0.04 <sup>a</sup>  | 0.13 ± 0.03 <sup>a</sup>   | 0.07 ± 0.01 <sup>a</sup> | 0.01 ± 0.01 <sup>a</sup> | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> |
|   | B   | 0.16 ± 0.02 <sup>a</sup> | 0.10 ± 0.05 <sup>a</sup>  | 0.11 ± 0.06 <sup>a</sup>   | 0.08 ± 0.03 <sup>a</sup> | 0.02 ± 0.02 <sup>a</sup> | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> |
|   | C   | 0.23 ± 0.11 <sup>a</sup> | 0.10 ± 0.03 <sup>a</sup>  | 0.12 ± 0.02 <sup>a</sup>   | 0.10 ± 0.01 <sup>a</sup> | 0.03 ± 0.03 <sup>a</sup> | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P/(mg/L) | A   | 0.47 ± 0.07 <sup>a</sup> | 1.43 ± 0.55 <sup>a</sup>  | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>   | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> |
|   | B   | 0.50 ± 0.05 <sup>a</sup> | 1.29 ± 0.28 <sup>a</sup>  | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>   | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> |
|   | C   | 0.36 ± 0.11 <sup>a</sup> | 1.43 ± 0.57 <sup>a</sup>  | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>   | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> |
| TP/(mg/L)                               | A   | 0.97 ± 0.19 <sup>a</sup> | 2.83 ± 0.93 <sup>a</sup>  | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>   | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.02 ± 0.03 <sup>a</sup> | 0.10 ± 0.08 <sup>a</sup> |
|   | B   | 0.97 ± 0.10 <sup>a</sup> | 2.62 ± 0.55 <sup>a</sup>  | 0.02 ± 0.03 <sup>a</sup>   | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.01 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.04 ± 0.07 <sup>b</sup> |
|   | C   | 0.76 ± 0.15 <sup>a</sup> | 2.77 ± 0.92 <sup>a</sup>  | 0.02 ± 0.03 <sup>a</sup>   | 0.00 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.01 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.05 ± 0.08 <sup>b</sup> |

注:在同一列,不同的上标字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.1.2 温度的变化规律

杨凤萍等<sup>[11]</sup>认为,形成河蟹生长差异的主要原因与河蟹生长条件尤其是不同生长发育阶段的温度条件有关。胡安霞和张岭<sup>[12]</sup>研究表明,在自然环境中对河蟹生长发育影响最大的是温度。温度对河蟹生长发育的影响主要体现在摄食、性早熟和蜕壳等方面。本试验测量的是稻田水体上层温度,因为稻田水体比较浅,上下层水温差异不明显。稻田水体的温度随着外界环境温度的改变而改变。稻田水体温度总体呈先上升后下降的趋势,水温在 20~27 °C 波动(图 3),河蟹最适宜生长温度为 20~25 °C,当水温超过 30 °C 时,河蟹摄食明显减少。在 7、8 月份炎热的夏季稻田水温有时超过 25 °C,这时要注意河蟹防暑,及时更换稻田水。

养蟹稻田与不养蟹稻田水温无显著差异( $P > 0.05$ ),与稻鸭共作能够降低稻田表层水体的温度不相一致<sup>[13]</sup>,低密度和高密度水温也无显著差异( $P > 0.05$ ,表 1)。

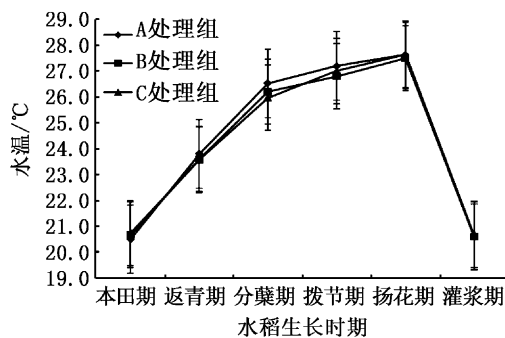


图 3 河蟹不同放养密度水体中温度的变化规律  
Fig. 3 The periodic variation of temperature at different stocking density of crab

### 2.1.3 pH 的变化规律

pH 在稻蟹共作周期中不断发生变化。在水稻生长周期中,pH 波动在 6.76~7.89(图 4),稻田水体基本呈弱碱性,较适宜河蟹和水稻的生长。只有第四次采样时,即拔节期时,水体 pH 呈现弱酸性,此时正值夏季,进入降雨季节,稻田水体容易受到降雨的影响,盘锦市雨水呈弱酸性,pH 为 6.0~6.5。也有可能因为进入夏季,稻田中河蟹生长代谢旺盛,消耗了水体中的氧气,产生了大量的 CO<sub>2</sub>,从而使水体 pH 降低。

养蟹稻田的 pH 较对照田稍低,较适宜水稻的生长和分蘖。养蟹稻田 pH 与不养蟹稻田 pH

无显著差异( $P > 0.05$ ),低密度与高密度无显著差异( $P > 0.05$ ,表 1)。

## 2.2 氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐、磷酸盐和总磷的变化规律

### 2.2.1 氨氮的变化规律

稻田水体的氨氮多来自生物代谢和有机物的分解还原,水体中氨氮含量的高低是水体是否受到有机污染的重要标志之一<sup>[14]</sup>。在水稻生长周期,氨氮总体呈先上升后下降的趋势,水稻返青期和分蘖期稻田水体氨氮含量较高,返青期施用过一次追肥,氨氮含量最高达 13.36 mg/L,此时稻田水对于河蟹的毒害作用较大,应注意选择氨氮含量降至较低时,再往稻田里放养幼蟹。之后经过水中浮游植物和水稻的吸收,以及微生物的分解,氨氮含量逐渐降低(图 5)。

分蘖期氨氮含量,高密度显著高于不养蟹稻田( $P < 0.05$ );高密度与低密度差异不显著( $P > 0.05$ );低密度与不养蟹稻田差异不显著( $P > 0.05$ )。扬花期氨氮含量,高密度显著高于不养蟹和低密度稻田( $P < 0.05$ );低密度与不养蟹稻田差异不显著( $P > 0.05$ ,表 1)。

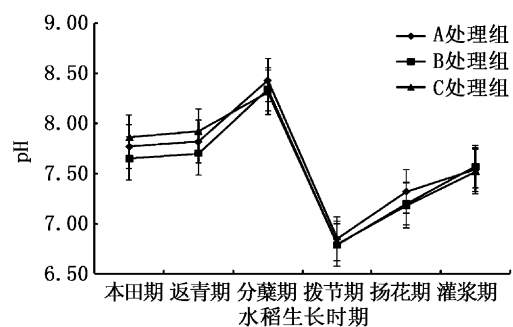


图 4 河蟹不同放养密度水体中 pH 的变化规律  
Fig. 4 The periodic variation of pH at different stocking density of crab

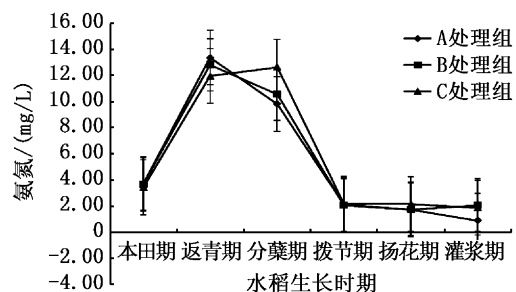


图 5 河蟹不同放养密度水体中氨氮的变化规律  
Fig. 5 The periodic variation of ammonia nitrogen at different stocking density of crab

### 2.2.2 亚硝酸盐的变化规律

亚硝酸盐是水体中有机物分解的中间产物,极不稳定,在微生物的作用下,溶氧充足时易转化为毒性较低的硝酸盐,也可在缺氧时转化为毒性较强的氨氮。水体亚硝酸盐含量过多,会对养殖动物产生危害。水体亚硝酸盐含量高于 0.1 mg/L,就会对水产养殖动物正常生长产生危害。

水稻整个生长周期,稻田水体亚硝酸盐含量一直呈下降趋势,高密度高于不养蟹和低密度,可能主要由于河蟹密度的增加,消耗了水中的溶氧,从而使亚硝酸盐氮不能转化成硝酸盐。水稻处于返青期,亚硝酸盐氮含量不高于 0.1 mg/L,此时放养蟹苗比较适宜,不会对河蟹正常生长产生影响(图 6)。水稻处于分蘖期,高密度亚硝酸盐达到峰值(0.28 ± 0.17) mg/L,与不养蟹和低密度呈显著差异( $P < 0.05$ ),此时应该注意稻田周围通风,以增加稻田水溶氧,从而将亚硝酸盐转化为无毒害的硝酸盐。水稻生长的其他时期,不养蟹(CK)、低密度和高密度无显著差异( $P > 0.05$ ,表 1)。

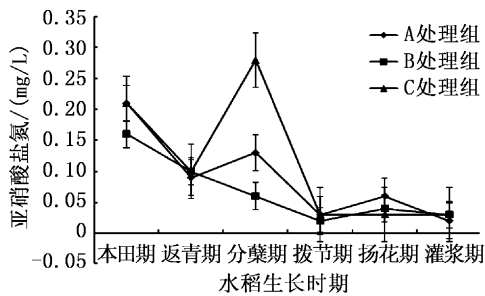


图 6 河蟹不同放养密度水体中亚硝酸盐的变化规律

Fig. 6 The periodic variation of nitrite at different stocking density of crab

### 2.2.3 硝酸盐的变化规律

水体硝酸盐可以直接或间接地反映水田的氮肥供应能力。水体硝酸盐主要是由施肥和亚硝酸盐转化而来,可以直接被水中的浮游植物和水稻吸收。在水稻生长周期,硝酸盐含量呈一直下降的趋势。不养蟹硝酸盐含量高于低密度和高密度,但差异不显著( $P > 0.05$ );低密度与高密度差异不显著( $P > 0.05$ )。在水稻生长后期,稻田水体硝酸盐含量很低,特别在灌浆期,硝酸盐含量为 0(图 7),说明此时水稻生长缺乏氮肥。水稻吸收的氮肥有部分来自土壤<sup>[15]</sup>,但水体硝酸盐的缺乏,一定程度上说明水稻生长后期缺乏氮

肥。

### 2.2.4 磷酸盐的变化规律

磷酸盐的含量可以直接或间接地反映水田的磷肥供应能力。在水稻整个生长期,磷酸盐呈先上升后急剧下降的趋势,在返青期时,施过一次追肥,稻田水体中磷酸盐含量最高达 1.43 mg/L,施肥后水体中磷酸盐含量急剧上升,达到峰值,一周后稻田水体中磷酸盐含量急剧下降,降至很低(图 8),这与李成芳等<sup>[16]</sup>研究结果相一致,以至于采用国标方法根本检测不到磷酸盐,这是由于水中颗粒或表土对田面水 P 素的固定、P 素的淋失以及水稻生长的吸收,因此稻田水体中磷酸盐浓度随时间推移下降明显。从分蘖期往后,稻田水体中磷酸盐含量为 0,说明水稻生长的后期缺乏磷肥。水稻整个生长周期中,不养蟹(CK)、低密度和高密度之间,稻田水体中磷酸盐浓度均无显著差异(表 1,  $P > 0.05$ )。

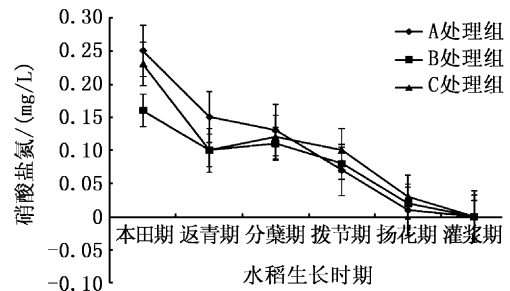


图 7 不同河蟹放养密度水体中硝酸盐的变化规律

Fig. 7 The periodic variation of nitrate at different stocking density of crab

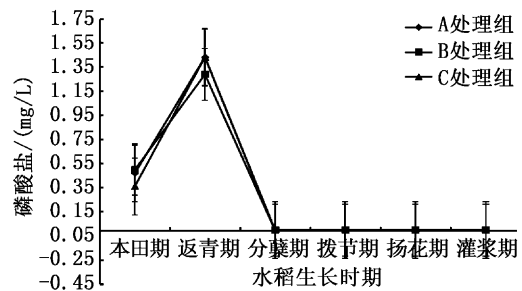


图 8 河蟹不同放养密度水体中磷酸盐的变化规律

Fig. 8 The periodic variation of phosphate at different stocking density of crab

### 2.2.5 总磷的变化规律

总磷一方面从基质土中释放出来,另一方面以磷酸盐形式沉降被底部基质吸附或者以可溶性盐的形式被植物吸收<sup>[17]</sup>。在水稻生长周期中,

总磷总体呈先上升后下降的趋势(图9),跟磷酸盐的变化趋势基本一致,在一定程度上,稻田水体中磷酸盐含量的变化可以反映出总磷含量的变化。在拔节期,稻田水体总磷含量为0 mg/L,水稻生长后期,总磷和磷酸盐含量均很低,也反映出水稻生长的后期缺乏磷肥。由表1可知,不养蟹总磷含量高于低密度和高密度,只有在灌浆期,呈显著差异( $P < 0.05$ );其他时期差异不显著( $P > 0.05$ )。低密度与高密度在水稻生长的全周期中差异不显著( $P > 0.05$ )。

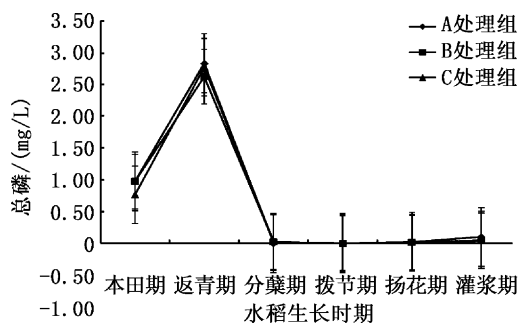


图9 河蟹不同放养密度水体中总磷的变化规律  
Fig.9 The periodic variation of total phosphorus (TP) at different stocking density of crab

### 2.3 不同河蟹放养密度对水稻产量的影响

水稻收获后,将收获的水稻放在田埂上晒干,脱谷,对每个田块水稻进行称重,做好记录。低密度水稻产量最高,达到 $(1.128 \pm 0.015)$  kg/m<sup>2</sup>,且与不养蟹和高密度均存在显著的差异( $P < 0.05$ ,表2)。低密度河蟹的觅食等活动,翻动土壤,改善土壤的物理结构,促进微生物的活动,又因河蟹粪便中含有丰富的易降解有机碳<sup>[18]</sup>,有利于微生物增殖,因此促进养分循环及土壤原有养分的活化,增加了土壤的养分,从而使水稻生长更好。高密度可能因为河蟹放养密度过高,在水稻本田期和返青期,河蟹的活动使部分秧苗受到一定的破坏,从而使水稻最终产量低于低密度。不养蟹因为缺乏河蟹扰动土壤、河蟹粪便和残饵提供的养分,水稻产量低于低密度和高密度,这与吕东锋等<sup>[8]</sup>研究结果相一致。

## 3 结论

### 3.1 稻蟹共作生态系统中不同河蟹放养密度对水环境因子的影响

在稻蟹共作生态系统中,不养蟹溶解氧含量

高于低密度和高密度,只有在扬花期,不养蟹稻田与养蟹稻田呈显著差异( $P < 0.05$ );低密度和高密度差异不显著( $P < 0.05$ )。在水稻生长周期,水温在20~27℃之间波动,养蟹稻田和不养蟹稻田差异不显著( $P < 0.05$ );低密度和高密度差异不显著( $P < 0.05$ )。在水稻生长周期,养蟹稻田pH和不养蟹稻田差异不显著( $P < 0.05$ ),低密度和高密度差异不显著( $P < 0.05$ )。

表2 不同河蟹放养密度下的水稻产量  
Tab.2 Rice yield at different stocking density of crab

| 处理组 | 水稻产量(kg/m <sup>2</sup> )   |
|-----|----------------------------|
| A   | 1.012 ± 0.016 <sup>a</sup> |
| B   | 1.128 ± 0.015 <sup>b</sup> |
| C   | 1.071 ± 0.015 <sup>c</sup> |

注:在同一列,不同的上标字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

在水稻生长周期,分蘖期高密度养蟹稻田氮含量最高,不养蟹和高密度呈显著差异( $P < 0.05$ )。分蘖期高密度亚硝酸盐含量高于不养蟹和低密度,且呈显著差异( $P < 0.05$ ),不养蟹和低密度差异不显著( $P < 0.05$ )。在水稻生长周期,养蟹稻田和不养蟹稻田硝酸盐含量差异不显著( $P < 0.05$ )。养蟹稻田和不养蟹稻田磷酸盐含量差异不显著( $P < 0.05$ );低密度和高密度差异不显著( $P < 0.05$ )。灌浆期不养蟹稻田和养蟹稻田总磷含量呈显著差异( $P < 0.05$ ),低密度和高密度差异不显著( $P < 0.05$ )。

### 3.2 水稻生长期对N肥、P肥的需要

一般情况下,水稻根内含N量15 g/kg以上,新根才能不断发生。叶片含N量高于25 g/kg,新叶才能生长,N还能促进水稻分蘖。稻苗含氮量低于25 g/kg分蘖生长停止,含氮量超过30 g/kg,分蘖才能迅速进行<sup>[19]</sup>。氮肥能明显促进茎、叶生长和分蘖原基的发育,所以植株体内含氮量越高,叶面积增长越快,分蘖数越多。稻田水体中,硝酸盐含量在一定程度上能反映稻田供应氮肥的能力。本试验中,特别在扬花期,稻田水体硝酸盐含量已经很低,在灌浆期,稻田水硝酸盐含量为0,说明水稻生长的后期缺乏氮肥,可以在拔节期,往稻田里施少量的氮肥,以使水稻在扬花期和灌浆期能更好地生长,从而使水稻产量更高。不养蟹硝酸盐含量高于低密度和高密度,但差异不显著( $P < 0.05$ )。

P是水稻体内核酸、核蛋白、磷脂的组成成

分,这些物质都是细胞核和膜的组成成分,缺 P 会影响细胞的分裂和分化。分蘖期,当茎叶含磷量( $P_2O_5$ )低于 25 g/kg,则分蘖受阻。磷素在水稻生长的整个周期需求量不大,以分蘖期吸收量最大。本试验分蘖期以后稻田中磷酸盐含量急剧减少,水体中基本测不出磷酸盐,说明水稻生长的后期缺乏磷肥。不养蟹磷酸盐含量高于低密度和高密度,但差异不显著( $P < 0.05$ )。

### 3.3 蟹苗放养的最佳时期

从分蘖期开始,稻田水体亚硝酸盐和氨氮含量急剧下降,亚硝酸盐和氨对仔蟹的安全浓度分别为 0.112 mg/L 和 5.12 mg/L<sup>[20]</sup>,此时期往稻田里放养蟹苗比较合适,之后亚硝酸盐和氨氮含量下降很快,不会对河蟹的正常生长产生影响,可保证蟹苗成活率。

### 3.4 施肥后关于磷肥的流失

在本试验过程中发现了一个很有趣的现象,在返青期施用过一次追肥后,从分蘖期后,稻田水体中再也检查不出磷酸盐了,说明从分蘖期后,水稻对于磷肥的缺乏要比氮肥更严重,这与李成芳等<sup>[16]</sup>的研究相似,即施肥后田面水中磷酸盐含量立即达到最大值,一周后迅速下降。在水稻分蘖期,可以施用少量的磷肥,以防止水稻生长后期磷肥的缺乏。关于磷肥具体流失的途径,后续有待进一步的试验来探讨。

### 3.5 不同河蟹放养密度对水稻产量的影响

低密度水稻产量最高为(1.128 ± 0.015) kg/m<sup>2</sup>,且与不养蟹和高密度呈显著差异( $P < 0.05$ )。不养蟹和高密度水稻产量呈显著差异( $P < 0.05$ ),不养蟹水稻产量最低。在实际的稻蟹共作中,如果养殖户想得到更高的水稻产量,可以采用低密度养蟹稻田模式;如果想得到更高的河蟹产量,可以考虑高密度养蟹稻田模式。

感谢上海海洋大学徐敏对于样品采集和水质测定分析时给予的帮助,感谢盘山县河蟹技术研究所于永清副所长对试验给予的指导和帮助。

### 参考文献:

- [1] 王昂,王武,马旭洲,等. 养蟹稻田水环境部分因子变化研究[J]. 湖北农业科学,2011,50(17):3514-3519.
- [2] PANDA M M, GHOSH B C, SINHABABU D P. Uptake of nutrients by rice under rice-cum-fish culture in intermediate deep water situation ( up to 50-cm depth) [J]. Plant and Soil, 1987,102:131-132.
- [3] YUAN X Q. Role of fish in pest control in rice farming [C]//de la CRUZ C R, LIGHTFOOT C, COSTA-PIERCE B A, et al. Rice Fish Research and Development in Asia. ICLARM Conf Proc, 1992:235-243.
- [4] 王纛. 稻田种养模式生态效益研究[J]. 生态学报,2000,20(2):311-316.
- [5] 李应森,王武,张士凯,等. 渔业科技入户河蟹养殖成果之五稻田生态养蟹—盘山模式[J]. 科学养鱼,2010(9):14-16.
- [6] 兰永福. 北方稻田养蟹技术总结[J]. 科学养鱼,2010(1):23.
- [7] 秦玉丽,吴良成. 稻田养蟹技术[J]. 河南农业科学,2004,(10):85.
- [8] 吕东锋,王武,马旭洲,等. 稻田生态养蟹的水质动态变化与水稻生长关系的研究[J]. 江苏农业科学,2010(4):233-235.
- [9] 胡续丽,张振和,任春梅,等. 盘锦地区耕地土壤养分情况简述[J]. 垦殖与稻作,2006(s1):70-71.
- [10] 何义进,周群兰,刘勃,等. 不同增氧方式对中华绒螯蟹的养殖池塘水质的影响[J]. 渔业现代化,2009,36(4):23-26.
- [11] 杨凤萍,霍中洋,张洪程,等. 稻渔共作复合生态模式下中华绒螯蟹生长特点及其影响因素[J]. 江苏农业科学,2007(5):167-171.
- [12] 胡安霞,张岭. 气象条件对河蟹生态养殖的影响及气象服务要点[J]. 农技服务,2009,26(2):122-123.
- [13] 全国明,章家恩,陈瑞,等. 稻鸭共作对稻田水体环境的影响[J]. 应用生态学报,2008,19(9):2023-2028.
- [14] 杨品红,谢春华,王晓艳,等. 超大珍珠养殖池与鱼池水质昼夜变化规律比较研究[J]. 水利渔业,2007,27(2):76-78.
- [15] KYAW K M, TOYOTA K, OKAZAKI M, et al. Nitrogen balance in a paddy field planted with whole crop rice ( *Oryza sativa* cv. Kusahonami ) during two rice-growing season [J]. Biology and Fertility of Soils, 2005,42(1):72-82.
- [16] 李成芳,曹凌贵,汪金平,等. 稻鸭、稻鱼共作对稻田 P 素动态变化的影响[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(2):126-131.
- [17] 王磊,兰淑澄. 固定化硝化菌去除氨氮的研究[J]. 环境科学,1997,18(2):18-20,23.
- [18] ROCHETTE P, VAN BOCHOVE E, PREVOST D, et al. Soil carbon and nitrogen dynamics following application of pig slurry for 19th consecutive year. II. Nitrous oxide fluxes and mineral nitrogen [J]. Soil Science Society of America Journal,2000,64(4):1396-1403.
- [19] 浙江大学. 作物营养与施肥[M]. 北京:农业出版社,1987.
- [20] 江敏,臧维玲,朱正国,等. 亚硝酸盐和氨对河蟹蚤状幼体的毒性研究[J]. 水产科技情报,1997,24(3):126-130.

## A study on effects of different crab stocking density on water environment and rice yield

SUN Wen-tong<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Qing-yang<sup>1,2,3</sup>, MA Xu-zhou<sup>1,2,3</sup>, WANG Wu<sup>1,2,3</sup>, WANG Ang<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai University Knowledge Service Platform, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** To determine the effects of rice-crab culture systems on water environment and rice yield in paddy fields, periodic sampling was conducted in rice-crab culture systems with different crab densities (18 ind/m<sup>2</sup>, low density (LD); 54 ind/m<sup>2</sup>, high density (HD)) and non-crab paddy field (CK) at six key growth stages (seeding stage, reviving stage, tillering stage, elongation stage, flowering stage, filling stage). The samples were analyzed for water quality and rice yield. The results revealed that the dissolved oxygen concentration of CK was higher than that in stocking crab paddy field in the rice-growing cycle. It was significantly different ( $P < 0.05$ ) between CK and stocking crab paddy field, when the rice was only in flowering stage. There was no significant difference ( $P > 0.05$ ) between LD and HD. At tillering stage, the ammonia nitrogen concentration of HD was significantly higher than CK ( $P < 0.05$ ). At filling stage, the total phosphorus (TP) concentration of CK was the highest, and it was significantly different ( $P < 0.05$ ) between CK and stocking crab paddy field. It was not significantly different ( $P > 0.05$ ) between LD and HD. It was lack of phosphate fertilizer from the beginning of tillering stage. It was lack of nitrogen fertilizer from the beginning of flowering stage and filling stage. It was appropriate to stock larval crab in paddy field, when rice was in tillering stage. Because concentration of nitrite and ammonia nitrogen decreased rapidly below the crab safe concentration. The rice yield of LD was significantly higher than that in CK and HD ( $P < 0.05$ ). The rice yield of CK was the lowest, and it was significantly different ( $P < 0.05$ ) between CK and HD.

**Key words:** rice-crab culture; DO; phosphate; ammonia nitrogen; nitrite; TP; rice yield