

文章编号: 1674-5566(2015)01-0068-06

## 稻蟹共作系统对稻田水体丝状藻类的影响

张庆阳<sup>1,2</sup>, 马旭洲<sup>1,2</sup>, 王 昂<sup>1,2</sup>, 王 武<sup>1,2</sup>, 于永清<sup>3</sup>, 李星星<sup>4</sup>

(1. 上海海洋大学 省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室 上海 201306; 2. 上海高校知识服务平台上海海洋大学水产动物遗传育种中心, 上海 201306; 3. 盘锦市盘山县河蟹技术研究所, 辽宁 盘锦 124000; 4. 遵义市水产站, 贵州 遵义 563000)

**摘 要:** 在稻蟹共作稻田, 采集放养不同密度幼蟹(60 ind/m<sup>2</sup>, 低密度, T1; 90 ind/m<sup>2</sup>, 中密度, T2; 120 ind/m<sup>2</sup>, 高密度, T3)的稻蟹共作稻田和常规稻田(不放蟹, CK)的丝状藻类, 测其干重量, 研究稻蟹共作对稻田丝状藻类的影响。试验结果表明: 在整个试验阶段, 养蟹田丝状藻类的生物量显著低于常规稻田( $P < 0.05$ ), 说明幼蟹对稻田丝状藻类的生物量有明显的控制作用。6月17日, CK与T1的丝状藻类干重明显高于另两个处理( $P < 0.05$ ), 而T3明显低于其他处理( $P < 0.01$ ); 7月17日各处理丝状藻类的生物量均达到试验阶段的最大值, 并且各处理间差异显著( $T3 < T2 < T1 < CK$ ,  $P < 0.05$ ;  $T3, T2 < T1 < CK$ ,  $P < 0.01$ ); 8月15日, 各处理间有显著差异( $T3 < CK$ ,  $T2 < CK$ ,  $T1 < CK$ ,  $P < 0.01$ ;  $T2 < T1$ ,  $P < 0.05$ )。根据本实验结果, 稻蟹共作稻田大眼幼体的适宜放养密度为90 ind/m<sup>2</sup>, 研究结果可为稻田生物防治丝状藻类提供理论指导, 促进稻蟹共作技术的发展和推广。

**研究亮点:** 丝状藻类大量发生时, 争夺水体营养, 降低水温, 对水稻种植的危害极大。多数化学除草剂对青苔防除效果良好, 但是, 化学除草剂易产生副作用, 而且对粮食品质也有严重影响。稻蟹共作是一种生态型种养新模式, 是一种典型的立体生态农业。本研究表明稻田放养一定密度的河蟹可以有效控制丝状藻类的生长, 达到生物防治丝状藻类的目的。

**关键词:** 稻蟹共作; 中华绒螯蟹; 丝状藻类; 生物防治; 放养密度

**中图分类号:** S 966.12

**文献标志码:** A

稻田杂草是影响水稻生长和产量的主要因素之一<sup>[1-3]</sup>, 辽宁盘锦地区水稻田的杂草主要包括: 水绵、稗、浮萍、野慈姑、鸭舌草、矮慈姑和眼子菜等<sup>[1]</sup>。目前对稻田杂草的防治主要采用化学除草剂<sup>[4-5]</sup>, 较少采用生物防控<sup>[6]</sup>。近年来, 稻田养蟹在我国北方兴起, 河蟹对稻田中大型杂草(野慈姑、眼子菜和鸭舌草等)的生物防治已有相关研究<sup>[7]</sup>, 但对低等水生植物丝状藻类(水绵)的生物防控未见报道。

丝状藻类是一类低等水生植物的俗称, 在分类上, 属于孢子植物(Ascosporum plantarum)、绿藻门(Chlorophyta), 包括水绵属(*Spirogyra*)、新月

藻属(*Closterium*)、衣藻属(*Chlamydomonas*)和水网藻属(*Hydrodictyon*)等, 以水绵属为主<sup>[8]</sup>。水绵属主要分布于淡水, 作为鱼类和其他水生动物的主要饵料具有重要意义, 但大量发生时, 影响淡水水生动物养殖和水生植物种植, 成为有害生物<sup>[9]</sup>。辽宁省盘锦地区的稻田为淡水轻盐环境, 适合丝状藻类发生, 因此其成为北方稻田影响水稻生产的主要杂草之一<sup>[8]</sup>。辽宁省盘锦地区稻田从水稻移栽初期的6月中旬开始发生丝状藻类, 如不进行任何处理, 7月中旬稻田水体布满青苔, 生物量最高<sup>[9]</sup>。因此, 丝状藻类的危害主要集中在水稻的分蘖期。通常采取喷洒化学药物

收稿日期: 2014-08-16 修回日期: 2014-10-20

基金项目: 上海市重点学科项目(Y1101); 上海市高校知识服务平台上海海洋大学水产动物遗传育种中心(ZF1206); 美国国际发展署 AquaFish CRSP 项目; 上海市科委西部地区科技合作项目(11395800200); 欧盟 FP7 亚欧水产平台项目(245020)

作者简介: 张庆阳(1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为稻田种养新技术。E-mail: zqy\_2014@126.com

通信作者: 马旭洲, E-mail: xzma@shou.edu.cn

的方法防治稻田丝状藻类,主要有:无机盐类除草剂,三苯氮类除草剂和复混型除草剂,多数化学除草剂对丝状藻类防除效果良好,但是,化学除草剂易产生副作用,而且对粮食品质也有严重影响<sup>[10-12]</sup>。中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)是我国水产养殖最重要的养殖品种之一<sup>[13-14]</sup>。本文初探了中华绒螯蟹幼蟹对稻田丝状藻类的影响,旨在获得生物防治稻田丝状藻类最适的河蟹放养密度。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与设 计

试验地点:试验地点选择在辽宁省盘锦市盘山县坝墙子镇姜家,位于北纬 $40^{\circ}40' - 41^{\circ}27'$ 、东经 $121^{\circ}31' - 122^{\circ}28'$ ,年平均气温 $8.4^{\circ}\text{C}$ ,无霜期 $174\text{ d}$ ,年降雨量 $612\text{ mm}$ 。全年种植一季水稻,土壤为褐土<sup>[15]</sup>,中等肥力(有机质 $2.51\%$ ,全氮 $143.00\text{ mg/kg}$ ,全磷 $66.47\text{ mg/kg}$ ,有效磷 $14.24\text{ mg/kg}$ ,pH为 $7.27$ )<sup>[16]</sup>。

试验材料:水稻品种为“盐丰456”,4月18日播种育秧,5月26日移栽,水稻生长 $137\text{ d}$ 。试验河蟹大眼幼体为辽宁省盘山县河蟹技术研究所提供的辽河水系中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*),其平均规格为 $0.005\text{ g/只}$ ( $20\text{ 万只/kg}$ ),试验用地选择每年都有大量丝状藻类生长的田块。

试验设计:试验组分为3个处理:处理一(T1)、处理二(T2)和处理三(T3)分别为大眼幼体放养密度 $60\text{ ind/m}^2$ 、 $90\text{ ind/m}^2$ 和 $120\text{ ind/m}^2$ 的养蟹田,对照组为不养蟹的常规稻田(CK)。每个处理设3个平行,栽培管理方式一致。6月初插秧结束,6月9日将大眼幼体( $20\text{ 万只/kg}$ )按照各处理放养密度放入各试验围隔,此时各田块均未出现丝状藻类。大眼幼体入田初期不进行投喂,7月初当大眼幼体长至三期幼蟹时开始投喂,每天投喂一次,投饵率为幼蟹体重的 $4\%$ 左右。在各处理田距水面 $0.10\text{ m}$ 处设置照度记录仪,监测每天 $6:00 - 18:00$ 的光照强度,并且测定整个实验阶段每天 $9:00$ 各处理组的水温。

### 1.2 田间管理及设置

在同一块田,设置12个正方形围隔,每个围隔面积 $500\text{ m}^2$ ,在离田埂 $0.6\text{ m}$ 的周边开挖梯形

环沟,环沟上宽 $0.6\text{ m}$ ,底宽 $0.3\text{ m}$ ,深 $0.3\text{ m}$ ,进排水口对角设置,同时加高四周田埂,埂高 $0.6\text{ m}$ ,顶宽 $0.5\text{ m}$ 。在四周田埂用塑料薄膜建立防逃网,高 $0.5 - 0.7\text{ m}$ ,以防止河蟹窜逃和外来生物进入稻田。水稻种植采用宽窄行种植模式,宽行 $0.40\text{ m}$ ,窄行 $0.20\text{ m}$ ,穴距 $0.16\text{ m}$ ,穴数约 $199\ 800\text{ 穴/hm}^2$ ,移栽前施有机无机复合肥(稻蟹专用肥,氮、磷、钾总养分含量 $>29\%$ ) $900\text{ kg/hm}^2$ 作为基肥,不施追肥。水稻生长期间,不使用农药除草、除虫。

### 1.3 采样方法

6月中旬至8月中旬每隔15天采一次样,共采样5次,每次 $8:00 - 9:00$ 采样,用高为 $0.4\text{ m}$ 的薄铁板制成的长 $\times$ 宽 $\times$ 高为 $1.6\text{ m} \times 0.6\text{ m} \times 0.4\text{ m}$ ,截面为 $1.0\text{ m}^2$ 采样框,采样时在每个围隔内随机选3个点将采样框下端插入泥中 $0.05\text{ m}$ ,然后取出采样框中的丝状藻类,挑出杂质,除去过多水分,放入烘干箱烘干,称其干重。

### 1.4 统计分析

用单因素方差分析对数据进行统计分析,采用LSD多重比较检验平均值的差异显著性。统计分析软件为SPSS19.0。

## 2 结果与分析

### 2.1 水稻的生长对稻田中光照的影响

在水稻生长过程中,由于水稻的分蘖和拔节造成稻田光照强度不断降低,可以将光照强度分为三个阶段:第一阶段为6月17日至7月8日,每天的最高照度 $60\ 000\text{ lx} - 66\ 000\text{ lx}$ ,平均照度 $30\ 000\text{ lx} - 40\ 000\text{ lx}$ ;第二阶段为7月8日至7月29日,每天的最高照度 $50\ 000\text{ lx} - 60\ 000\text{ lx}$ ,平均照度 $32\ 000\text{ lx} - 22\ 000\text{ lx}$ ;第三阶段为7月29日至8月15日,最高照度 $47\ 660\text{ lx}$ ,平均照度 $22\ 000\text{ lx}$ 以下(图1)。

第一阶段处于水稻的分蘖期,随着水稻分蘖数量的增加,叶片对稻田光照的遮挡逐渐增强,稻田的光照强度不断下降;第二阶段处于水稻的拔节中期,随着水稻植株的不断长高,对光照的遮挡愈加增强;第三阶段处于水稻的拔节末期和抽穗扬花期,随着水稻叶片和稻穗的不断增长,对光照的遮挡达到了最大,此时期稻田的光照强度最小。

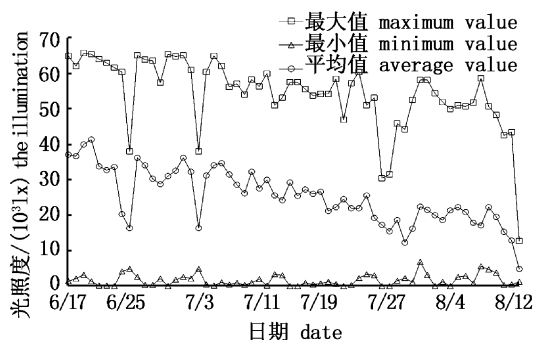


图1 水稻的生长对稻田中光照的影响  
Fig. 1 The influence of growth of rice on the illumination in the paddy fields

## 2.2 不同密度幼蟹对稻田青苔的影响

整个试验阶段,养蟹田丝状藻类平均干重显著低于常规稻田( $P < 0.05$ ,表1),说明河蟹对稻田丝状藻类的生长有明显的抑制作用。6月17日各处理已出现一定数量的丝状藻类,CK与 $T_1$ 丝状藻类的平均干重显著高于另两个处理( $P < 0.05$ ); $T_3$ 显著低于其他处理( $P < 0.01$ ); $T_1$ 低于CK,但差异不显著( $P > 0.05$ )。这可能是由于大眼幼体6月9日放入稻田至6月17日经历2~3次脱壳,成活率为65%左右,此时 $T_1$ 幼蟹的密度为39 ind/ $m^2$ 左右,数量少且规格较小的幼蟹对丝状藻类的抑制不明显,导致丝状藻类繁殖的速度远超幼蟹对其的摄食速度。 $T_2$ 和 $T_3$ 放养密度高于 $T_1$ ,所以对丝状藻类的抑制效果明显。6月17

表1 不同时期不同养蟹密度处理稻田单位面积丝状藻类的平均干重

Tab. 1 In different periods, the unit area of the average dry weight of Spirogyra in different treatment  $g/m^2$

|                   | $T_1$                      | $T_2$                      | $T_3$                     | CK                         |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 6月17日 June 17th   | 11.72 ± 1.37 <sup>Bc</sup> | 5.58 ± 2.30 <sup>Bb</sup>  | 0.44 ± 0.57 <sup>Aa</sup> | 13.40 ± 1.56 <sup>Bc</sup> |
| 6月28日 June 28th   | 16.44 ± 1.72 <sup>Bc</sup> | 7.21 ± 2.25 <sup>Ab</sup>  | 0.83 ± 0.54 <sup>Aa</sup> | 22.90 ± 1.23 <sup>Bd</sup> |
| 7月17日 July 17th   | 37.85 ± 1.45 <sup>Bc</sup> | 18.10 ± 1.33 <sup>Ab</sup> | 1.13 ± 1.03 <sup>Aa</sup> | 46.91 ± 5.35 <sup>Bd</sup> |
| 7月30日 July 30th   | 13.67 ± 2.59 <sup>Ab</sup> | 3.05 ± 1.75 <sup>Ab</sup>  | 0 ± 0 <sup>Aa</sup>       | 34.77 ± 5.15 <sup>Bc</sup> |
| 8月15日 August 15th | 9.91 ± 2.01 <sup>Ab</sup>  | 0.71 ± 0.67 <sup>Aa</sup>  | 0 ± 0 <sup>Aa</sup>       | 27.75 ± 2.83 <sup>Bc</sup> |

注:同行肩标小写英文字母,相同者表示差异不显著( $P > 0.05$ ),不同者表示差异显著( $P < 0.05$ )。同行肩标大写英文字母,相同者表示差异不显著( $P > 0.01$ ),不同者表示差异极显著( $P < 0.01$ )。下同。

Note: Within rows those Spirogyras with different superscripts mean significantly different at  $P < 0.05$  or  $P < 0.01$ . The same as below.

## 2.3 养蟹田与非养蟹田水体温差的变化

采样初期各处理之间水温差较小,但是随着气温的升高,以及各处理丝状藻类生物量的变化,CK和 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 的水温差呈现先逐渐变大而后变小的趋势。6月21日至7月3日 $T_2$ 、 $T_3$ 与 $T_1$ 、CK之间的水温差较大(1.10~1.69 $^{\circ}C$ ), $T_1$

日至6月28日随着气温的不断升高,各处理丝状藻类的生物量均增加,尤其CK增长量最大,而且各处理间丝状藻类平均干重差异显著( $T_3 < T_2 < T_1 < CK, P < 0.05$ )。7月17日各处理丝状藻类平均干重均达到试验阶段的最大值,且各处理间差异显著( $T_3 < T_2 < T_1 < CK, P < 0.05$ ;  $T_3 < T_1 < CK, T_2 < T_1 < CK, P < 0.01$ ),CK青苔的生物量最大,覆盖面积为65%~75%,平均干重(46.91 ± 5.35)g。7月17日至7月30日由于水稻的分蘖和拔节对水体有一定的遮挡,导致CK丝状藻类的生物量虽有所降低,但仍显著高于养蟹田( $CK > T_1, CK > T_2, CK > T_3, P < 0.01$ );养蟹田由于水稻的遮挡,丝状藻类接受的光强降低,其生长受到影响,而且此时幼蟹个体较大,对丝状藻类摄食量较多,导致丝状藻类生物量迅速减少,但是由于各处理放蟹密度不同,各组丝状藻类生物量产生显著差异( $T_2 < T_1, P > 0.05$ ;  $T_3 < T_2, P < 0.05$ )。7月30日 $T_3$ 青苔已消失,而CK青苔的平均干重最高,各处理间有显著差异( $T_3 < CK, T_2 < CK, T_1 < CK, P < 0.01$ ;  $T_2 < T_1, P < 0.05$ ), $T_1$ 相对于7月17日青苔减少得并不明显,这是因为河蟹个体不断增大,投喂的饲料量增加,河蟹对食物有一定的选择性,导致对青苔的摄食降低,此外 $T_1$ 河蟹密度较低,导致7月30日至8月15日 $T_1$ 青苔生物量减少也并不明显。

与CK之间的水温差较小;7月5日至7月29日随着放蟹密度的增加,养蟹田的水温随之升高( $T_1 < T_2 < T_3$ ), $T_3$ 与CK水温差最大(2.37~2.93 $^{\circ}C$ ), $T_2$ 与CK水温差次之(0.76~2.19 $^{\circ}C$ ),而 $T_1$ 与CK水温差最小;7月31日至8月15日各处理间水温差相对前一阶段有所降低(图2)。

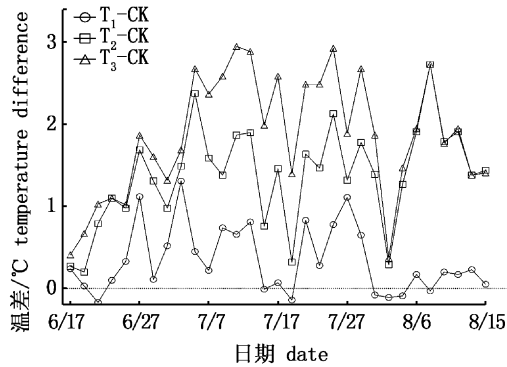


图2 实验阶段养蟹田与 CK 水温差的变化

Fig. 2 The water temperature difference of rice-crab culture systems and CK in experimental stage

造成以上结果的原因可能是由于不同密度的幼蟹影响稻田丝状藻类的生物量所致。7月5日至7月29日由于各处理丝状藻类生物量的差异(表1),造成对水体覆盖面积的差异,进而影响

各处理的水温。6月17日至7月8日处于水稻的分蘖期,而此时丝状藻类的生物量呈现增加趋势,当丝状藻类的覆盖面积超过水体50%造成平均水温降低2~3°C,持续一段时间会造成水稻有效分蘖降低<sup>[8]</sup>,最终影响水稻产量。

#### 2.4 水稻和河蟹的产量

T2和T3水稻产量显著高于CK( $P < 0.05$ ),T2和T3也高于T1,但是差异不显著( $P > 0.05$ )。由于受到丝状藻类的影响,常规稻田的产量最低,T1的水稻产量也较低,而另两个处理(T2和T3)由于受丝状藻类的影响较小,所以水稻产量较高。幼蟹不同放养密度会影响蟹种的产量和个体规格,T1蟹种产量低于T2和T3,并且差异显著( $P < 0.05$ ),T3河蟹的个体平均重量显著低于T1( $P < 0.05$ ),T2高于T3而低于T1,但是差异不显著( $P > 0.05$ ,表2)。

表2 不同处理水稻和河蟹的产量

Tab. 2 Yields of rice and crab in different treatments.

| 项目 item                                | T <sub>1</sub>             | T <sub>2</sub>             | T <sub>3</sub>             | CK                        |
|----------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 水稻产量/(g/m <sup>2</sup> ) rice yields   | 0.92 ± 0.02 <sup>Aab</sup> | 0.99 ± 0.04 <sup>Ab</sup>  | 1.00 ± 0.07 <sup>Ab</sup>  | 0.84 ± 0.05 <sup>Aa</sup> |
| 一龄蟹种产量/(g/m <sup>2</sup> ) crab yields | 85.50 ± 0.56 <sup>Aa</sup> | 89.96 ± 0.73 <sup>Ab</sup> | 92.23 ± 0.73 <sup>Ab</sup> | -                         |
| 一龄蟹种规格/g crab size                     | 9.50 ± 2.66 <sup>Ab</sup>  | 7.14 ± 0.95 <sup>Aab</sup> | 5.49 ± 0.22 <sup>Aa</sup>  | -                         |
| 一龄蟹种数量/(只/m <sup>2</sup> ) crab amount | 9 ± 1.5                    | 12 ± 2                     | 17 ± 4                     | -                         |

### 3 结论

稻蟹共作是一种生态型种养新模式,是典型的立体生态农业。其特点是根据水稻和中华绒螯蟹的生物学特性和生长特点,充分利用稻田各种资源,应用现代科学方法,把河蟹养殖业和水稻种植业巧妙地结合起来,形成多物种共存、多级质能循环转化的立体种养新技术,使有限的资源相互配合,实现经济、社会、生态效益的协调统一,“水稻+水产=粮食安全+食品安全+生态安全+农民增收+企业增效,1+1=5”<sup>[17]</sup>。本实验结果表明,90 ind/m<sup>2</sup>(T<sub>2</sub>)和120 ind/m<sup>2</sup>(T<sub>3</sub>)的河蟹放养密度能有效控制稻田水体中丝状藻类的生长,提高水稻产量,减少稻田除草农药的使用,为生物防治稻田丝状藻类提供了新方法,为粮食安全和食品安全问题的解决提供了新思路。而河蟹对稻田其他生物的影响还有待于进一步研究。

有研究表明,河蟹的养殖密度对水稻产量的影响较小<sup>[18-19]</sup>。而本实验结果显示,无蟹稻田(CK)水稻产量显著低于T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>。其原因可能有以下四点:第一,由于不同密度的河蟹直接影响丝状藻类的生长,从而间接影响稻田水温,导致各处理水温的差异,尤其在水稻的分蘖期,水温低会影响水稻的有效分蘖数量,最终影响水稻产量<sup>[8]</sup>。第二,丝状藻类生长过程会吸收大量氮、磷<sup>[20-21]</sup>,所以丝状藻类的大量生长与水稻形成竞争关系,大量吸收稻田的无机盐,从而影响水稻的生长和产量。第三,据报道,丝状藻类体含有大量钙和磷<sup>[22]</sup>,直至丝状藻类死亡分解后,钙和磷才会被释放。河蟹摄食丝状藻类,一方面抑制其生长,水稻吸收的营养物质相对增加;另一方面河蟹大量摄食丝状藻类后,钙和磷暂时被储存河蟹体内,随着河蟹的代谢这些物质被缓慢排出,被水稻吸收利用,河蟹在此充当了“缓控释肥”的载体。第四,由于养蟹田投喂饲料,残饵分

解后成为水稻的肥料,从而增加水稻的营养。

河蟹的产量受放养密度的影响,虽然 T1 蟹种个体规格最大,但是产量低并且不能有效抑制丝状藻类的爆发性生长;T<sub>3</sub> 蟹种产量虽然较高,但个体规格最小,不利于翌年成蟹的养殖;T<sub>2</sub> 的放养密度为 90 ind/m<sup>2</sup>,不但能有效控制丝状藻类的生长,而且蟹种个体规格适中,蟹种的产量和水稻产量适中,使得综合效益最大。根据本实验结果,养蟹稻田大眼幼体的最适放养密度为 90 ind/m<sup>2</sup>,但本试验处理较少,放蟹密度梯度较大,选择最优的放蟹密度和放蟹数量对稻田丝状藻类防治效果的影响还需在以后的试验中逐步完善。

### 参考文献:

- [1] 王晓红. 辽宁省水稻杂草群落研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2005.  
WANG X H. Study on weed community of rice fields in Liaoning province [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2005.
- [2] 温广月, 沈国辉, 钱振官, 等. 杂草稻对水稻生长及产量的影响[J]. 杂草科学, 2011, 29(2): 51-59.  
WEN G Y, SHENG G H, QIAN G Y, et al. Effects of weedy rice (*Oryza sativa* f. *spontanea*) on the growth and yield of rice (*Oryza sativa*) [J]. Weed Science, 2011, 29(2): 51-59.
- [3] 王长方, 王俊, 陆永良, 等. 稻田野慈姑生物学特性及其对水稻产量影响[J]. 福建农业学报, 2011, 26(4): 601-604.  
WANG C F, WANG J, LU Y L, et al. Biological characteristics of and rice yield affected by *Sagittaria trifolia* Linn [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2011, 26(4): 601-604.
- [4] 强胜, 马波. 综观以化学除草剂为主体的稻田杂草防治技术体系[J]. 杂草科学, 2004(2): 1-15.  
QIANG S, MA B. In the technology system of paddy weed control with herbicides subject [J]. Weed Science, 2004(2): 1-15.
- [5] 何永福, 罗会刚, 江健, 等. 贵州省水稻田杂草化学防除现状及策略[J]. 贵州农业科学, 2002, 30(4): 66-68.  
HE Y F, LUO H G, JIANG J, et al. Status and strategy of chemical control of weed in paddy field in Guizhou [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2002, 30(4): 66-68.
- [6] 尤国生. 稻-鸭共作对山区水稻田杂草控制效果及增产效应的研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2013.  
YOU G S. A Study on Weed control and yeild-improving effects of rice-duck farming [D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2013.
- [7] 吕东锋, 王武, 马旭洲, 等. 河蟹对北方稻田主要杂草选择性的初步研究[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(2): 188-192.  
LÜ D F, WANG W, MA X Z, et al. Selectivity of Chinese mitten handed crab formajor weeds in the northern paddy fields [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2011, 26(2): 188-192.
- [8] 魏雅冬, 佟德利, 孙军德, 等. 稻田青苔发生危害及防除技术研究进展[J]. 辽宁农业科学, 2008(4): 30-31.  
WEI Y D, TONG D L, SUN J D, et al. Rice paddies moss harm and control technology research progress [J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2008(4): 30-31.
- [9] 张子丰, 韩逢春, 赵献涛, 等. 寒地稻区藻类的发生, 危害及防除[J]. 杂草科学, 1999(2): 8-9.  
ZHANG Z F, HAN F C, ZHAO X T, et al. Cold was the occurrence of algae, harm and control [J]. Weed Science, 1999(2): 8-9.
- [10] WATANABE M F. Release of heptapeptide (microcystin) during the process of microcystis aeruginosal [J]. Natural Toxins, 1992, 1: 48-53.
- [11] KENEFICK S L, HRUDEY S E. Toxins release from microcystis aeruginosa after chemical treatment [J]. Water Science & Technology, 1993, 27(3/4): 433-440.
- [12] 袁俊峰. 中性柠檬酸菌对集中常见藻类生长的他感作用[J]. 淡水渔业, 1999, 29(4): 12-15.  
YUAN J F. On common neutral citric acid bacteria algae growth of his feeling [J]. Freshwater Fishery, 1999, 29(4): 12-15.
- [13] 王武. 鱼类增殖学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 596-613.  
WANG W. Culture and enhancement of fish [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 596-613.
- [14] 李应森, 李思发, 王江玲, 等. 长江和辽河水系中华绒螯蟹湖泊放养生长性能的比较[J]. 水产科学, 2001, 20(5): 1-3.  
LI Y S, LI S F, WANG J L, et al. Comparative study on growth performance of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* from the Changjiang and Liaohe Rivers in lakes [J]. Fisheries Science, 2001, 20(5): 1-3.
- [15] 明岗, 梁国庆, 张夫道, 等. 中国土壤肥力演变[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006.  
MING G, LIANG G Q, ZHANG F D, et al. Evolution of soil fertility China [M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2006.
- [16] 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, 47(s1): 70-71.  
HU X L, ZHANG Z H, REN C M, et al. Soil nutrient of paddy field in Panjin [J]. Reclaiming and Rice Cultivation, 2006, 47(s1): 70-71.
- [17] 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.  
WANG W, WANG C H, MA X Z, The Chinese mitten crab ecological farming [M]. 2nd. Beijing: China Agriculture

- Press, 2013.
- [18] LI X D, DONG S L, LEI Y Z, et al. The effect of stocking density of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* on rice and crab seed yields in rice-crab culture systems [J]. *Aquaculture*, 2007, 273(4): 487–493.
- [19] 李岩,王武 马旭洲,等. 稻蟹共作对稻田水体底栖动物多样性的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(7): 838–843.
- LI Y, WANG W, MA X Z, et al. Effect of rice-crab culture system on zoobenthos diversity in paddy field [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(7): 838–843.
- [20] 马军,雷国元. 水绵(*Spirogyra*)的除磷特性及其对微藻生长的抑制作用[J]. *环境科学学报*, 2008, 28(3): 476–483.
- MA J, LEI G Y. Characteristics of phosphorus removal and growth in hibition of micro-algal species by *Spirogyra* [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(3): 476–483.
- [21] 韩福山,傅华龙,陈维群. 稻田常见丝状藻类对土壤肥力的影响[J]. *四川大学学报:自然科学版*, 1991, 28(3): 361–365.
- HAN F S, FU H L, CHEN W Q. The effect of filament alfae in rice field on the soilfertility [J]. *Journal of Sichuan University: Natural Science*, 1991, 28(3): 361–365.
- [22] SCHUETTE H A, ALDER H. A note on the chemical composition of *Chara* from Green lake, Wisconsin Trans [J]. *Wisconsin Academy Science*, 1929, 24: 141–145.

## Effect of rice-crab culture system on *Spirogyra* in paddy field

ZHANG Qingyang<sup>1,2</sup>, MA Xuzhou<sup>1,2</sup>, WANG Ang<sup>1,2</sup>, WANG Wu<sup>1,2</sup>, YU Yongqing<sup>3</sup>, LI Xingxing<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai University Knowledge Service Platform, Shanghai Ocean University Aquatic Animal Breeding Center, Shanghai 201306, China; 3. Crab Technology Institute of Panshan County, Panjin 124000, Liaoning, China; 4. Fisheries Station of Zunyi City, Zunyi 563000, Guizhou, China)

**Abstract:** Rice-crab culture system is a new ecological complex that combines rice culture with that of *Eriocheir sinensis*. The growth of *Spirogyra* will seriously affect the growth of rice and rice yield. To determine the effects of rice-crab culture systems on *Spirogyra* in paddy fields, periodic sampling was conducted in rice-crab culture systems with different megalopa densities (60 ind/m<sup>2</sup>, T<sub>1</sub>; 90 ind/m<sup>2</sup>, T<sub>2</sub>; 90 ind/m<sup>2</sup>, T<sub>3</sub>) and in conventional paddy field (CK) at five key dates (June 17th, June 28th, July 17th, July 30th and August 15th). The results show that the average dry weight of *Spirogyra* of the rice-crab culture fields and the conventional paddy fields were significantly different in the whole experiment period, and this shows the difference crab stocking density had obvious control action on the biomass of *Spirogyra* in the paddy fields. A certain amount of *Spirogyra* appeared on June 17, especially the average dry weight of *Spirogyra* of conventional paddy field (CK) and rice-crab culture field with low density of megalopa (T<sub>1</sub>) were obviously higher than that of the other two treatments ( $P < 0.05$ ), and the average dry weight of *Spirogyra* of rice-crab culture field with high density of megalopa (T<sub>3</sub>) was significantly lower than other treatments ( $P < 0.01$ ); On July 17th, the CK maximum biomass of *Spirogyra*, an average of dry weight 46.91 ± 5.35 g, and area covered in 65%–75%, and other treatments also reached a maximum of the whole experiment period, and significant difference of different treatments (T<sub>3</sub> < T<sub>2</sub> < T<sub>1</sub> < CK,  $P < 0.05$ ; T<sub>3</sub> < T<sub>1</sub> < CK, T<sub>2</sub> < T<sub>1</sub> < CK,  $P < 0.01$ ); Sampling results on August 15, that there was no moss in rice-crab culture field with high density of megalopa (T<sub>3</sub>), the T<sub>2</sub> lowest biomass of *Spirogyra*, the highest amount of in the CK, there were significant differences in different treatments (T<sub>3</sub> < CK, T<sub>2</sub> < CK, T<sub>1</sub> < CK,  $P < 0.01$ ; T<sub>2</sub> < T<sub>1</sub>,  $P < 0.05$ ). The study provided additional theoretical guidance about biological control of *Spirogyra* and sustainable development of rice-crab culture systems. It provided another means of promoting the development of rice-crab culture technology.

**Key words:** rice-crab culture system; *Eriocheir sinensis*; *Spirogyra*; biological control; stocking density