

文章编号: 1674 - 5566(2014)06 - 0834 - 08

稻蟹共作系统对浮游甲壳动物群落的影响

张庆阳^{1,2,3}, 吕东锋⁴, 马旭洲^{1,2,3}, 王 昂^{1,2,3}, 王 武^{1,2,3}

(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; 4. 正谷(上海)农业发展有限公司, 上海 200120)

摘 要: 在水稻的返青期、分蘖期、拔节期、扬花期和灌浆期, 对稻蟹共作水环境的浮游甲壳动物群落进行研究。本实验设置了 4 个处理: 单株/穴养蟹田(T1), 双株/穴养蟹田(T2), 四株/穴养蟹田(T4)和双株/穴不养蟹田(CK)。各处理均设 3 个平行。通过收集和分析实验田的浮游甲壳动物, 经鉴定: 枝角类有 13 种、桡足类有 5 种, 共 18 种, 其中 4 种为优势种。枝角类平均密度呈现先升高后下降趋势, 分蘖期升至峰值, 不养蟹田灌浆期下降至较低水平, 养蟹田扬花期下降至较低水平随后上升但上升幅度不大, 返青期和分蘖期各处理之间无显著差异($P > 0.05$), 而拔节期、扬花期和灌浆期养蟹田和不养蟹田之间差异极显著($P < 0.01$)。桡足类平均密度总体呈上升趋势, 返青期平均密度极低, 仅为 0.48 ind/L, 平均生物量变化趋势与密度变化趋势基本相同。水稻的不同栽培模式对浮游甲壳动物有一定的影响。从生产的角度分析 T1 的栽培模式综合收益最大, 因此, T1 更有益于稻蟹共作生态系统。

研究亮点: 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。浮游动物是水体生态系统重要的组成部分, 对稻蟹共作生态系统平衡有一定的维持作用。对不同栽培模式的浮游动物种类构成和生物量的变化进行比较分析, 可以反映出水体的环境质量变化, 为稻蟹共作生态养殖模式提供基础资料。

关键词: 稻蟹共作; 浮游甲壳动物; 密度; 生物量; 多样性指数

中图分类号: S 966.16

文献标志码: A

稻蟹共作是指在稻田内既种稻又养殖河蟹, 是将种植业和养殖业有机结合的生态农业模式, 具有稻蟹互利的生态作用, 稻蟹共作在我国已经有近 30 年的发展历程^[1]。该技术应用农业生态学的食物链理论、生态位理论和种间互利共生理论, 融传统的精细耕作农业、现代低耗高效农业、无公害农业和立体农业于一体, 采取种植、养殖相结合的方法, 重建了稻蟹互利共生和安全生长的稻田生态系统。

稻蟹共作系统中河蟹为稻田除去杂草, 减少虫害; 稻田土质松软、溶氧充足、水温适宜, 能为河蟹提供良好的栖息、隐蔽场所^[2]。稻田的杂草、小型水生动植物、昆虫以及其他物质和能源

充分地被河蟹所利用, 通过河蟹的生命活动, 达到为稻田除草、灭虫、疏土和增肥的目的, 生产出无公害稻米以及消费者喜食的河蟹, 对稳定粮食生产、食品安全、增加农民收入等起到了积极作用^[3-4]。

在水生生态系统中浮游动物群落起着非常重要的作用, 浮游动物丰度的变化可以指示水体营养状态, 所以经常被用作监控水质富营养化的一个敏感工具^[5-6]; 同时浮游动物群落在静水食物链中还居于中心位置^[7]。目前, 关于稻田养蟹的技术研究较多^[8-10], 但对稻田水体浮游动物的研究较少^[11-12], 稻蟹共作模式对水体浮游甲壳动物的变化还未见报道。本研究通过比较不同

收稿日期: 2014-03-17 修回日期: 2014-05-19

基金项目: 国家星火计划项目(2100GA680001); 上海中华绒螯蟹产业技术体系(D8003-10-0208); 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); 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: xuzhouma@126.com

栽培模式水体浮游甲壳动物的种类、平均密度、平均生物量和多样性指数,来填补这一空缺,从而完善稻蟹共生生态系统的理论知识。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验地点:选择在辽宁省盘锦市盘山县坝墙子镇姜家村,位于北纬 40°40′-41°27′、东经 121°31′-122°28′,年平均气温 8.4 °C,无霜期 174 d,年降雨量 612 mm。全年种植一季水稻,土壤为褐土^[13],中等肥力(有机质 2.51%,全氮 143.00 mg/kg,全磷 66.47 mg/kg,有效磷 14.24 mg/kg, pH 为 7.27)^[14]。

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,水稻生长期为 137 d,期间不烤田。试验幼蟹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* H. Milne-Edwards),平均规格为 0.174 g/只,6 月 26 日(水稻分蘖期)投入稻田,10 月 8 日(水稻成熟期)收获,与水稻的共生期为 105 d。

试验设计:本试验按照种养模式分为 4 个处理,A:单株/穴养蟹田(T1),B:双株/穴养蟹田(T2),C:四株/穴养蟹田(T4),D:双株/穴不养蟹田(CK)。各处理均设置 3 个平行。蟹种在 2012 年 6 月 26 日放入试验田培养 105 d,每天一次投喂颗粒饲料(32%粗蛋白),每天的投饲量为蟹种体重的 4%。

1.2 田间管理及设置

在同一块田中,设置 12 个正方形单元格,在离田埂 0.6 m 的周边开挖梯形环沟,环沟上宽 0.6 m,底宽 0.3 m,深 0.3 m,进排水口对角设置,同时加高四周田埂,埂高 0.6 m,顶宽 0.5 m。在四周田埂用塑料膜建立防逃网,围网高度为 50~70 cm,以防止河蟹窜逃和外来生物进入稻田内。水稻种植采用宽窄行种植模式,宽行 40 cm,窄行 20 cm,穴距 16 cm,穴数约 199 800 穴/hm²,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 kg/hm² 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 采样与计数方法

采样时间选择在 2012 年 6 月-10 月,在水稻返青期、分蘖期、拔节期、扬花期和灌浆期各采

样一次,在 8:00-10:00 进行。各单元分别取 10 L 水样,用 25 号浮游生物网过滤,把过滤物洗入 250 mL 采样瓶中并保存在 4% 甲醛溶液中。

枝角类和桡足类计数^[15]用 1 mL 浮游动物计数框,分若干次全部计数。种类鉴定主要依据韩茂森和束蕴芳^[16]、梁象秋等^[17]的著作。所有数据均在 Excel 中建立数据库,并用 SPSS 19.0 进行方差分析和差异显著性检验。

1.4 计算公式

水生生物群落多样性指数分析运用 Margalef 多样性指数^[18]:

$$d = (S - 1) / \ln N \quad (1)$$

式中: d 为多样性指数; S 为样品种类数; N 为样品总个数(ind/L)。

2 结果

2.1 浮游动物的群落构成

2012 年 6 月至 9 月,采集和分析了 T1、T2、T4 和 CK 水体的枝角类和桡足类,经鉴定:枝角类 4 属,13 种,桡足类 2 属,5 种(表 1)。稻田的浮游甲壳动物种类较大面积水体少得多^[19-21]。

在稻蟹整个生长期,4 个处理间的浮游甲壳动物种类组成差异较小。双卵裸腹溞仅在 T4 出现,而长额象鼻溞仅在 CK 出现,其余各种在 4 种稻田均出现。多刺裸腹溞、微型裸腹溞、大型溞和广布中剑水蚤为各处理的优势种。

2.2 平均密度

水稻的拔节期,T2 枝角类的平均密度显著高于其他养蟹田($P < 0.01$),其他养蟹稻田之间无显著差异($P > 0.05$),T1 桡足类的平均密度与其他处理差异显著($T2 > T1, T4 > T1, CK > T1, P < 0.05$);在水稻的扬花期,各处理枝角类的平均密度差异显著($CK > T4, T1 > T2, P < 0.05$),T2 与 T4、CK 差异显著($T2 < T4, T2 < CK, P < 0.01$),T1 桡足类的平均密度显著高于其他处理($P < 0.05$);在水稻的灌浆期 T4 和 T2 枝角类的平均密度显著高于 T2 和 CK($P < 0.05$),同时 T4 和 T1 枝角类的平均密度高于 CK 并且差异极显著($P < 0.01$,表 2)。

水稻各个生长期浮游甲壳动物的密度变化趋势显示:养蟹田枝角类的平均密度变化趋势基本相同,峰值均出现在分蘖期,谷值出现在扬花期,而不养蟹田的峰值也出现在分蘖期,但谷值

出现在灌浆期(图 1);桡足类的平均密度变化趋势除了 T1 的变化较为剧烈,其他处理变化趋势基本一致(图 2)。

表 1 不同栽培模式浮游甲壳动物种类组成

Tab. 1 The species composition of crustacean zooplankton in different cultivation patterns

属	种类	处理				
		T1	T2	T4	CK	
裸腹溞属 <i>Moinidae</i>	微型裸腹溞 <i>Moina micrura</i>	*	*	*	*	
	多刺裸腹溞 <i>Moina macrocopa</i>	*	*	*	*	
	双卵裸腹溞 <i>Moina geei</i>	-	-	+	-	
盘肠溞属 <i>Chydoridae</i>	圆形盘肠溞 <i>Chydorus sphaericus</i>	+	+	+	+	
	卵形盘肠溞 <i>Chydorus ovalis</i>	+	+	+	+	
枝角类 Cladocera	刺齿平直溞 <i>Moina micrura</i> Kurz	+	+	+	+	
	大型溞 <i>Daphnia magna</i> Straus	*	*	*	*	
	隆线溞 <i>Daphnia carinata</i> King	+	+	+	+	
	蚤状溞 <i>Daphnia pulex</i> Leydig emend, Scourfield	+	+	+	+	
	鸚鵡溞 <i>Daphnia (Ctenodaphnia) psittacea</i>	+	+	+	+	
	透明溞 <i>Daphnia hysline</i>	+	+	+	+	
	僧帽溞 <i>Daphnia cucullata</i>	+	+	+	+	
	象鼻蚤属 <i>Bosminidae</i>	长额象鼻蚤 <i>Bosminida longirostris</i>	-	-	-	+
中剑水蚤属 <i>Cyclopidae</i>	广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	*	*	*	*	
	英勇剑水蚤 <i>Cyclops strenuus</i>	+	+	+	+	
	华哲水蚤 <i>Centropagidae</i>	汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>	+	+	+	+
		无节幼体 Nauplius	+	+	+	+
		桡足幼体 Copepodid	+	+	+	+
合计	6(4+2)	18(13+5)	16(11+5)	16(11+5)	17(12+5)	17(12+5)

注: T1 为单株/穴养蟹田; T2 为双株/穴养蟹田; CK 为双株/穴不养蟹田; T4 为四株/穴养蟹田。表中“+”代表有此浮游动物;“-”表示无此浮游动物;“*”表示此浮游动物为优势种。

表 2 不同栽培模式对浮游甲壳动物平均密度的影响

Tab. 2 Effects of different cultivation patterns on average density of crustacean zooplankton ind/L

	T1	T2	T4	CK	F 值	
枝角类 Cladocera	返青期	166.63 ± 70.50	272.70 ± 51.39	296.70 ± 180.63	292.53 ± 179.41	0.621
	分蘖期	685.70 ± 28.30	567.43 ± 209.54	792.70 ± 98.01	602.83 ± 124.75	1.722
	拔节期	35.33 ± 9.84	30.83 ± 2.42	36.77 ± 24.82	177.10 ± 51.00	18.444**
	扬花期	28.07 ± 0.85	6.83 ± 3.11	37.20 ± 15.95	59.10 ± 9.66	15.729**
	灌浆期	156.43 ± 11.81	70.37 ± 32.33	158.37 ± 77.20	51.92 ± 6.44	7.417*
桡足类 Copepoda	返青期	0.17 ± 0.06	0.77 ± 0.72	0.63 ± 0.42	0.33 ± 0.31	1.136
	分蘖期	16.87 ± 9.39	9.23 ± 6.01	7.57 ± 6.20	13.80 ± 4.98	1.155
	拔节期	4.37 ± 0.40	8.13 ± 0.42	7.33 ± 4.34	10.97 ± 3.61	2.742
	扬花期	42.30 ± 16.95	23.30 ± 4.19	26.87 ± 3.02	20.47 ± 5.02	3.353
	灌浆期	23.47 ± 2.90	24.97 ± 4.51	37.80 ± 21.86	39.17 ± 23.08	0.791

注: * F(2, 6) 0.05 = 5.14; ** F(2, 6) 0.01 = 10.92, 下同。

2.3 平均生物量

在水稻各个生长阶段,各处理枝角类的平均生物量:拔节期 CK 高于养蟹田,并且差异极显著 ($P < 0.01$),养蟹田之间无显著差异 ($P > 0.05$);扬花期 CK 显著高于其他养蟹田 ($P < 0.01$),养蟹田之间无显著差异 ($P > 0.05$)。分蘖期 T4 桡足类的平均生物量显著低于其他处理 ($P <$

0.05),扬花期 CK 显著低于其他养蟹田 ($P < 0.05$,表 3)。

实验结果显示,拔节期 CK 枝角类的平均生物量明显高于养蟹田,并且拔节期和扬花期养蟹田枝角类的平均生物量较低,扬花期最低。养蟹田枝角类的生物量变化趋势基本一致,而不养蟹田则呈先升高后降低,灌浆期降至最低水平(图 3)。

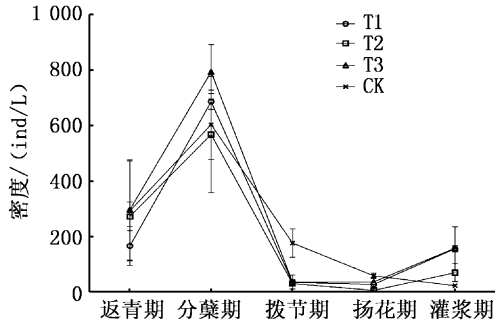


图1 枝角类密度在水稻生长阶段的变化
Fig.1 Variation of density of Cladocera in rice growth stages

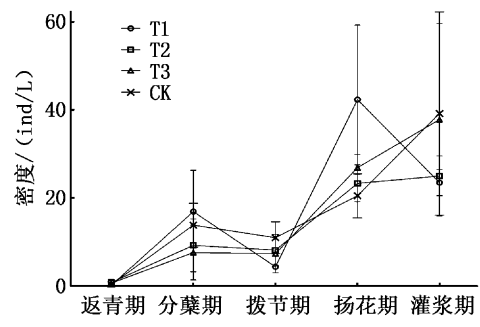


图2 桡足类密度在水稻生长阶段的变化
Fig.2 Variation of density of Copepoda in rice growth stages

表3 不同栽培模式对浮游甲壳动物平均生物量的影响

Tab.3 Effect of different cultivation patterns on average biomass of crustacean zooplankton mg/L

	T1	T2	T4	CK	F 值	
枝角类 Cladocera	返青期	15.05 ± 12.86	30.08 ± 19.31	31.16 ± 18.36	37.42 ± 17.41	0.917
	分蘖期	50.62 ± 12.92	47.38 ± 19.58	70.00 ± 3.67	54.24 ± 4.35	2.072
	拔节期	4.18 ± 1.49	8.67 ± 6.20	7.86 ± 7.08	21.86 ± 3.65	6.879 *
	扬花期	6.90 ± 6.92	1.23 ± 1.06	3.25 ± 2.18	18.22 ± 2.84	11.184 * *
	灌浆期	25.57 ± 8.34	25.30 ± 22.66	35.35 ± 30.57	5.77 ± 0.70	1.215
桡足类 Copepoda	返青期	0.004 ± 0.003	0.05 ± 0.05	0.04 ± 0.03	0.02 ± 0.02	1.704
	分蘖期	0.77 ± 0.61	0.32 ± 0.15	0.11 ± 0.09	0.79 ± 0.18	3.220
	拔节期	0.81 ± 0.35	0.41 ± 0.25	0.43 ± 0.24	0.46 ± 0.30	1.308
	扬花期	2.90 ± 1.91	1.45 ± 0.20	1.98 ± 0.64	0.93 ± 0.23	2.032
	灌浆期	1.16 ± 0.56	1.37 ± 0.60	2.46 ± 1.33	2.42 ± 1.75	1.019

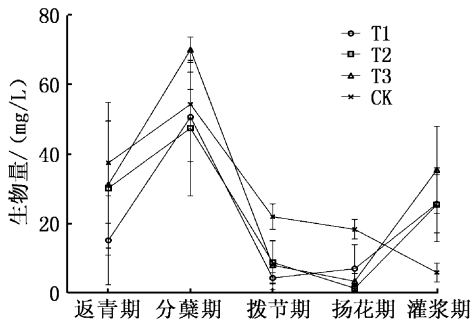


图3 枝角类生物量在水稻生长阶段的变化
Fig.3 Variation of biomass of Cladocera in rice growth stages

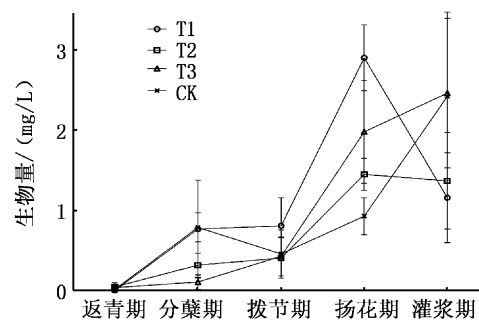


图4 桡足类生物量在水稻生长阶段的变化
Fig.4 Variation of biomass of Copepoda in rice growth stages

桡足类的生物量在较低水平的范围内变化 [0.004 ± 0.003 ~ 2.90 ± 1.91 (mg/L)], 并且除 T1 外其他处理桡足类的生物量在灌浆期达到峰值, 且变化趋势相似, 而 T1 桡足类的生物量则是在扬花期达到峰值并且变化较为剧烈(图 4)。

2.4 多样性指数

水稻拔节期 CK 枝角类的多样性指数明显低于养蟹田 ($P < 0.05$), 其他生长阶段各处理枝角

类的多样性指数差异不显著 ($P > 0.05$)。水稻返青期桡足类的多样性指数除 T1 的值较低外, 其他处理均为零; 但拔节期 T1 和 T2 大于 T4 和 CK, 并且差异极显著 ($P < 0.01$); 扬花期 CK 的多样性指数明显低于养蟹田 ($P < 0.01$), 养蟹田则是 T4 的多样性指数显著低于 T1 和 T2 ($P < 0.05$); 灌浆期 CK 的多样性指数依然低于养蟹田 ($P < 0.01$), 但是养蟹田之间则恰好与扬花期时

相反(表4)。

从水稻生长期的变化趋势看:枝角类的多样性指数在 $0.51 \pm 0.4 \sim 1.95 \pm 0.31$ 变化,除 T2 外,其他处理的变化趋势基本相同,且灌浆期多

样性指数的数值十分接近(图5);桡足类的多样性指数除拔节期 T1 的峰值较高外,其他时期各处理均处于较低水平,并且变化趋势相似(图6)。

表4 不同栽培模式对浮游甲壳动物多样性指数的影响

Tab.4 Effects of different cultivation patterns on diversity indices of crustacea zooplankton

		T1	T2	T4	CK	F 值
枝角类 Cladocera	返青期	1.04 ± 0.36	1.25 ± 0.05	1.32 ± 0.19	1.53 ± 1.50	1.639
	分蘖期	0.61 ± 0.41	0.51 ± 0.48	0.70 ± 0.38	0.69 ± 0.59	0.119
	拔节期	1.90 ± 0.30	1.75 ± 0.50	1.95 ± 0.31	1.30 ± 1.30	2.405
	扬花期	1.30 ± 0.45	1.88 ± 0.62	1.04 ± 0.34	0.99 ± 0.81	2.161
	灌浆期	1.45 ± 0.21	1.50 ± 0.42	1.55 ± 0.07	1.51 ± 1.44	0.049
桡足类 Copepoda	返青期	0.21 ± 0.36	0.00	0.00	0.00	1.000
	分蘖期	0.47 ± 0.11	0.64 ± 0.14	0.71 ± 0.43	0.51 ± 0.54	0.627
	拔节期	1.58 ± 0.29	1.11 ± 0.25	0.89 ± 0.17	0.70 ± 0.77	8.069
	扬花期	0.83 ± 0.11	0.74 ± 0.14	1.11 ± 0.16	0.67 ± 0.65	7.576
	灌浆期	0.95 ± 0.04	1.05 ± 0.25	0.66 ± 0.08	0.49 ± 0.44	6.704

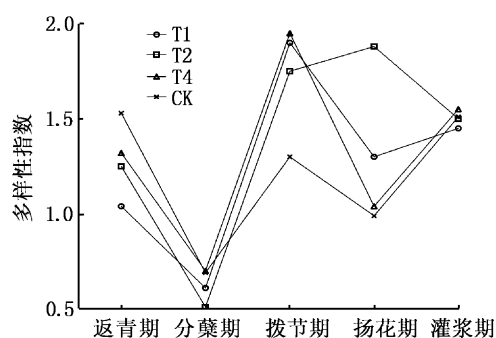


图5 枝角类多样性指数在水稻生长阶段的变化
Fig.5 Variation of diversity indexes of Cladocera in rice growth stages

2.5 不同栽培模式对水稻和河蟹产量的影响

养蟹田水稻产量显著高于 CK ($P < 0.01$), 养蟹田之间无显著差异 ($P > 0.05$); 成穗率、穗粒

数和结实率均为 T1 和 T2 显著高于 T4 和 CK ($P < 0.05$), 但有效穗数则是 T4 显著高于其他处理 ($P < 0.01$, 表5)。

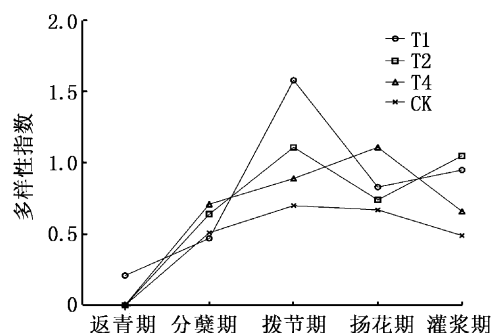


图6 桡足类多样性指数在水稻生长阶段的变化
Fig.6 Variation of diversity indexes of Copepoda in rice growth stages

表5 不同栽培模式对水稻产量构成的影响

Tab.5 Effects of different cultivation patterns on rice yield components

	有效穗数/(穗/穴)	成穗率/%	穗粒数/(粒/穗)	结实率/%	千粒重/g	产量/(kg/hm ²)
T1	13.84 ± 3.91	72.61 ± 1.32	161.21 ± 27.46	93.31 ± 1.52	26.17 ± 1.09	9487.15 ± 670.23
T2	15.03 ± 3.70	72.16 ± 1.52	155.68 ± 24.44	92.15 ± 1.37	25.78 ± 1.25	9461.33 ± 375.14
T4	17.71 ± 3.65	76.07 ± 0.98	135.97 ± 18.56	89.63 ± 2.13	25.32 ± 2.21	9877.59 ± 1015.4
CK	14.86 ± 3.25	73.09 ± 1.14	136.83 ± 25.04	85.37 ± 1.74	25.76 ± 0.84	8484.27 ± 260.37

T4 幼蟹增长率显著低于 T1 和 T2 ($P < 0.01$), T1 幼蟹成活率显著高于 T2 和 T4 ($P < 0.01$)。幼蟹产量最高的是 T1 (T1 > T2 和 T4,

$P < 0.01$)。但是各处理间的幼蟹早熟率无显著差异 ($P > 0.05$, 表6)。

表 6 不同栽培模式对河蟹的影响
Tab. 6 Effects of different cultivation patterns on crab

	T1	T2	T4
比生长速率 /%	5.33 ± 0.05	5.39 ± 0.06	5.16 ± 0.03
早熟率 /%	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.01	0.02 ± 0.01
成活率 /%	57.07 ± 2.82	43.04 ± 1.17	35.11 ± 6.69
扣蟹产量 / (kg/hm ²)	1 065.37 ± 287.24	814.92 ± 162.51	806.94 ± 130.83

3 讨论

3.1 稻田浮游甲壳动物的变化规律

稻田枝角类的密度呈现先升高后下降趋势:分蘖期升至峰值;不养蟹田灌浆期下降至较低水平;养蟹田扬花期下降至较低水平随后上升,但上升幅度不大。桡足类的生物密度总体呈上升的趋势。

分析其原因:(1)温度是影响枝角类种群数量的重要因子^[22-24]。在一定范围内,温度越高,对枝角类的生长和发育越有利^[25],从返青期至分蘖期,平均温度 26.8 °C,较高的温度促进了枝角类的增殖。由于 2012 年降水频繁导致拔节期和扬花期平均温度仅为 22.3 °C,抑制了枝角类的生长;(2)水体溶解氧和 pH 也影响枝角类的生长^[26]。水稻分蘖期,稻田光照充足,水体溶解氧较高,pH 也处于正常水平,此时水质有利于枝角类的生长;拔节末期,水稻的生长使阳光遮蔽,导致水体浮游植物光合作用减弱,降低了水体产氧能力,势必影响枝角类和桡足类的生存。(3)水体的浑浊度影响浮游动物的摄食率和繁殖^[27-28]。稻田水位较低,拔节末期,由于受到降雨的扰动,水体的浑浊度升高从而影响了浮游动物的密度。(4)水体磷含量对淡水浮游动物的食物质量有较大影响,进而影响浮游动物的种群大小^[26],稻田由于施有机肥和河蟹饲料的投加,随着时间的推移,水中磷酸盐的含量会逐渐升高,因此也可能对枝角类和桡足类存在一定的抑制作用。

另外,生物量变化趋势与密度变化趋势基本一致。由此可见,生物量的高低与枝角类和桡足类的密度有较大关联。

3.2 河蟹对于浮游甲壳动物的影响

养蟹稻田与不养蟹稻田枝角类的密度和生物量差异显著,尤其是在拔节期和扬花期,养蟹稻田枝角类密度和生物量都显著低于非养蟹田

(表 2,3)。河蟹的放养时间为分蘖期和拔节期之间,根据变化趋势,各处理枝角类密度和桡足类密度在分蘖期之后均有下降趋势,但是养蟹稻田水体枝角类密度和生物量骤然下降,而不养蟹田则下降得较缓慢。据报道河蟹幼蟹对枝角类有摄食行为,根据浮游动物的昼夜垂直变化规律,其夜晚分布在水体底层,河蟹在光照较差的夜晚摄食,所以河蟹幼蟹进入稻田后,大量摄食枝角类,造成枝角类密度和生物量下降。

而在灌浆期养蟹稻田枝角类密度和生物量均高于不养蟹田,但无显著差异,为什么会出现这一现象。原因可能是由于随着河蟹的生长,枝角类的适口性下降,另外河蟹会选择更容易获得的配合饲料。与养蟹田相比,不养蟹田水体的营养较低,导致灌浆期出现养蟹稻田枝角类密度和生物量均高于不养蟹田。各处理桡足类密度和生物量在水稻整个生长期呈上升趋势,河蟹的加入对其影响不明显,产生这种现象的原因可能是,桡足类较枝角类运动速度快不易被河蟹摄食。根据灌浆期枝角类密度和生物量的变化,我们可以推测河蟹对枝角类的影响主要是摄食,竞争关系不明显,但是要想明确河蟹对浮游甲壳动物群落的影响还有待于进一步研究。

3.3 水稻的不同栽培模式对浮游甲壳动物的影响

水稻的不同栽培模式对枝角类密度的影响表现在水稻的扬花期和灌浆期,各处理枝角类密度差异显著(T4 > T2, T1 > T2, P < 0.05)。扬花期和灌浆期,幼蟹正处快速生长阶段,饲料投喂量增加,致使稻田水体氮磷浓度增加, BENNDORF 等^[27]和 SMITH 等^[28]的研究表明,磷含量对枝角类的食物质量有显著影响,进而影响枝角类的密度。由于水稻的栽培方式不同,对水体的氮磷吸收利用差异,最终导致了各处理枝角类密度的差异。

由于稻田水体本身就是富营养的水质,所以

稻田中的浮游甲壳动物种类少,优势种单一,多数是肥水种^[20-21]。因此,水稻的不同栽培模式对浮游甲壳动物的生物多样性影响差异不显著。

3.4 水稻的不同栽培模式对稻田养蟹综合效益的影响

研究结果显示,T1 的幼蟹成活率最高并且产量显著高于其他养蟹田,水稻产量仅低于 T4,综合效益最高,CK(非养蟹田)综合效益最低。T1 优势显著,主要原因可能是空间更开阔所致;首先,单株/穴栽培方式水稻生长过程中产生的无效分蘖少,对稻田水体遮挡面积小,水体接受阳光照射面积较其他处理相对大,浮游植物光合作用强,水体溶解氧较高,这对河蟹的生长比较有利,并且可以加快物质循环,降低水体亚硝酸盐含量,减少对河蟹的毒害作用。其次,水稻无效分蘖少,对水体营养盐的利用率高,并且可以减少水稻之间的相互遮挡,光合作用比其他处理高,有效穗数、成穗率、穗粒数、结实率和千粒重相对较高,所以 T1 的综合效益最高。

4 结论

稻田各处理浮游甲壳动物平均密度和平均生物量的总体变化趋势显示,浮游甲壳动物平均密度和平均生物量变化受环境因素的影响较大,其中温度是主要因子;研究发现影响养蟹田和不养蟹田浮游甲壳动物平均密度和平均生物量差异的主要因素是河蟹的摄食。根据本实验的结果,水稻的不同栽培模式对浮游甲壳动物产生一定程度和一定时期的影响。但是,从生产的角度分析,T1 河蟹的成活率和产量最高,并且综合收益最大。因此,T1 更有益于稻蟹共作生态系统。

参考文献:

- [1] 朱清海,魏德生,徐清云. 辽宁省盘锦市稻田养蟹持续发展水平的能值分析[C]. 中国土壤学会第十一届全国会员代表大会暨第七届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会论文集(下), 2008: 259-263.
- [2] 姚成田,周世新,杨晓东. 稻田养蟹生态农业模式的建立[J]. 辽宁气象, 2005(2): 14.
- [3] 闫志利,林瑞敏,牛俊义,等. 我国稻蟹共作技术研究的现状与前景展望[J]. 北方水稻, 2008, 38(2): 5-8, 27.
- [4] 马达文. 稻田养殖河蟹[M]. 北京:科学技术文献出版社, 2000: 14-26.
- [5] 陈光荣,钟萍,张修峰,等. 惠州西湖浮游动物及其水质的关系[J]. 湖泊科学, 2008, 20(3): 351-356.
- [6] WHITMAN R L, NEVERS M B, GOODRICH M L, et al. Characterization of Lake Michigan coastal lakes using zooplankton assemblages[J]. Ecological Indicators, 2004, 4(4): 277-286.
- [7] HANAZATO T. Pesticide effects on freshwater zooplankton: an ecological perspective[J]. Environmental Pollution, 2001, 112(1): 1-10.
- [8] 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.
- [9] 兰永福. 北方稻田养蟹技术总结[J]. 科学养鱼, 2010(1): 23.
- [10] 秦玉丽,吴良成. 稻田养蟹技术[J]. 河南农业科学, 2004(10): 85.
- [11] 王 纓,雷慰慈. 稻田种养模式生态效益研究[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 311-316.
- [12] 曹凌贵,汪金平,邓 环. 稻鸭共生对稻田水生动物群落的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2644-2649.
- [13] 徐明岗,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: 248-468.
- [14] 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, 1(47): 70-71.
- [15] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.
- [16] 韩茂森,束蕴芳. 中国淡水生物图谱[M]. 北京:海洋出版社, 1995: 156-294.
- [17] 梁象秋,方纪祖,杨和荃. 水生生物学(形态与分类)[M]. 北京:中国农业出版社, 1995: 149-363.
- [18] 孔繁翔. 环境生物学[M]. 北京:高等教育出版社, 2001: 162-163.
- [19] 俞存根,陈小庆,胡颖琰,等. 舟山渔场及邻近海域浮游动物种类组成及群落结构特征[J]. 水生生物学报, 2011, 35(1): 183-193.
- [20] 俞建,于海燕,姚建良,等. 钱塘江流域浮游甲壳动物的分布与季节变化[J]. 海洋湖沼通报, 2010(4): 61-71.
- [21] 王先云,王丽卿,盖建军,等. 千岛湖浮游甲壳动物垂直分布与昼夜垂直移动[J]. 动物学杂志, 2010, 45(5): 95-104.
- [22] 李静,陈非洲. 太湖夏秋季大型枝角类(Daphnia)种群消失的初步分析[J]. 湖泊科学, 2010, 22(4): 552-556.
- [23] DUMONT H J. Biogeography of rotifers[J]. Hydrobiologia, 1983, 14: 19-30.
- [24] DUSSART B H, FEMANDO C H, MATSUMURA-TUNDISI T, et al. A review of systematics, distribution and ecology of tropical freshwater zooplankton[J]. Hydrobiologia, 1984, 113(1): 77-91.
- [25] RINKE K, VIJVERBERG J. A model approach to evaluate the effect of temperature and food concentration on individual life history and population dynamics of Daphnia[J]. Ecological Modeling, 2005, 186(3): 326-344.
- [26] JÜRGEN B, JOHANNES K, THOMAS M, et al. Temperature impact on the midsummer decline of Daphnia galeata—an

- analysis of long-term data from the biomanipulated Bautzen Reservoir (Germany) [J]. *Freshwater Biology*, 2001, 46 (2):199–211.
- [27] BENNDORF J, KRANICH J, MEHNER T, et al. Temperature impact on the midsummer decline of *Daphnia galeata*: an analysis of long-term data from the biomanipulated Bautzen Reservoir (Germany) [J]. *Freshwater Biology*, 2009, 46: 199–211.
- [28] SMITH A S, ACHARYA K, JACK J. Overcrowding, food and phosphorus limitation effects on ephippia production and population dynamics in the invasive species *Daphnia lumholzi* [J]. *Hydrobiologia*, 2009, 618(1): 47–56.

The impact of rice-crab culture system on crustacean zooplankton community

ZHANG Qing-yang^{1,2,3}, LÜ Dong-feng⁴, MA Xu-zhou^{1,2,3}, WANG Ang^{1,2,3}, WANG Wu^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Agriculture, P. R. China, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai University Knowledge Service Platform, Shanghai Ocean University Aquatic Animal Breeding Center, Shanghai 201306, China; 4. Shanghai Organic and Beyond Corporation, Shanghai 200120, China)

Abstract: During the tilling, tillering, jointing, flowering and filling stages, a study was carried out on community of crustacean zooplankton in water environment of rice-crab culture model. This experiment included four treatments: a single seedling transplant of rice-crab culture (T1), a double seedling transplant of rice-crab culture (T2), a four seedling transplanting of rice-crab (T4) and a double seedling transplant of paddy without crab (CK). There were 3 parallel groups in each treatment. After being identified, 13 species of Cladocera and 5 species of Copepoda were found, and four species were dominant. Cladocera average density presented downward trend after rising first, rose to its highest in tillering stage, not crab filling paddy field down to a low level to filling stage. Crab filling paddy field in flowering went down to lower levels, then rose but rose slightly. During the tilling and tillering stages no significant differences were observed between the groups ($P > 0.05$), while in jointing stage, flowering and filling periods, no significant differences were observed between paddy fields ($P < 0.01$); The copepods density in general is on the rise trend, reviving an average density is very low, only 0.48 ind/L during tilling stage. Average trend of changes in biomass and the trend of density were basically the same. Different cultivation patterns of rice have a certain impact on crustacean zooplankton. From the perspective of the production model analysis, the single seedling transplant of rice-crab culture method may be more beneficial to rice-crab culture ecosystem.

Key words: rice-crab culture; crustacean zooplankton; density; biomass; diversity index