

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20201105

· 研究报告 ·

稻蟹生态种养产出量及经济效益试验研究*

马亮¹, 董立强¹, 田春晖², 李跃东¹, 孙富余^{2*}

(1. 辽宁省水稻研究所, 沈阳 110101; 2. 辽宁省农业科学院植物保护研究所, 沈阳 110161)

摘要 [目的] 为研究不同模式下插秧密度对水稻产量及稻蟹种养经济效益的影响, [方法] 于2017—2018年大田试验条件下, 以辽粳401为试验材料, 利用稻蟹种养传统模式(M1)、稻蟹种养优化模式(M2)2种模式及行株距为30cm×16cm(S1)、30cm×18cm(S2)、30cm×20cm(S3)3种移栽密度, 分析不同处理下的水稻产量、河蟹产量、河蟹规格及稻田效益。[结果] 传统模式在30cm×18cm移栽密度下2年的水稻产量分别为最高的1.07569万kg/hm²、1.05336万kg/hm²; 优化模式下, 大于100g的雄蟹、雌蟹的数量及规格均高于传统模式, 其中在30cm×18cm(S2)、30cm×20cm(S3)数量、规格较高; 优化模式下18cm株距密度综合效益分别为2017年最高的5.39854万元/hm²、2018年次高的5.19586万元/hm², 这来源于相对较高的稻谷产量和河蟹收益, 而河蟹收益主要由雄蟹大于100g收益和雌蟹小于100g收益两部分组成。[结论] 稻蟹种养优化模式采用30cm×18cm移栽密度, 可在保障水稻产量的同时提高河蟹的规格和产量, 从而获得较高的稻田生态种养效益。

关键词 水稻 稻蟹种养优化模式 稻田养蟹 产量 密度 效益

中图分类号: S511; S966.9 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9121[2020]11038-11

0 引言

稻蟹种养是生态农业的一种主要形式, 已成为我国粮食安全、食品安全、生态安全、农业增效、农民增收的一项重要途径^[1-3]。地处辽宁滨海盐碱地区的盘锦市拥有12万hm²稻田, 一半以上采用稻田养蟹模式。近年来“减肥少药, 降成本、保质增效稳产量”的方针指导着农业生产^[4-6], 使得盘锦稻蟹种养成为一大品牌^[7]。河蟹捕食稻田虫类和草类不仅减少水稻病虫害^[8-9]、净化水体^[10-11], 摄食后产生粪便还可为水稻提供生长所需的肥料^[12], 达到稻田生态减施的目的, 为水稻种植业可持续发展开辟了新途径^[13-14]。

随着农业科技的不断革新和进步, 大量专家学者对稻蟹种养进行了研究^[15-20], 主要趋向于生态环境、水体、水质、土壤变化、植保效应以及河蟹的生长发育等方面, 对水稻产量及综合效益研究颇为少见。稻蟹生态种养传统模式虽然保证了水稻产量, 但稻蟹共生环境空间配置不利制约着河蟹的产出, 辽宁盘锦地区新兴移栽12行空1行的栽植方式, 即稻蟹生态种养优化模式, 能够提高河蟹规格和产量, 但存在水稻产量降低的风险。文章以2种稻蟹种养模式和3种水稻移栽密度的配置为切入点, 研究比较水稻产量、河蟹生长规格及产出量、综合效益, 以期为不同种养模式下稻蟹产量和综合收益提供理论参考, 为辽宁滨海盐碱稻区稻蟹生态种养方法优化提供新思路。

收稿日期: 2020-04-08

作者简介: 马亮(1980—), 男, 河北省邯郸人, 硕士、副研究员。研究方向: 水稻病虫害防控和优质栽培技术研究

*通讯作者: 孙富余(1964—), 男, 内蒙古赤峰人, 硕士、研究员。研究方向: 农作物病虫害绿色防控及无公害食品安全控害生产技术研究。Email: laassfy@163.com

*资助项目: 国家重点研发计划资助项目“北方水稻化肥农药减施技术集成研究与示范”(2018YFD0200200); 辽宁省农业科学院院长基金(青年基金2020-QN-2411)

1 材料与方法

1.1 试验设计

大田试验于 2017 年 4 月至 2018 年 10 月在辽宁省盘锦市盘山县坝墙子镇姜家村辽宁省水稻研究所项目合作试验基地(北纬 41.17°、东经 122.26°)进行。试验采用 2 种稻蟹种养模式,即稻蟹生态种养传统模式(ERC,图 1, M1, 简称传统模式)、稻蟹生态种养优化模式(OERC,图 2, M2, 简称优化模式);3 种植密度分别为 30cm×16cm(S1)、30cm×18cm(S2)、30cm×20cm(S3),试验采用随机区组试验设计,宽 24 m、长 50 m,每个小区 1 200 m²,即 M2 模式 6 个种植单元、传统移栽 80 行,3 次重复,每个小区放养健康扣蟹 850 只(雌雄各半),平均放养密度为 7 083.3 只/hm²,在各个试验小区进水管进出口捆绑尼龙防逃网,保证水流的同时,防止河蟹外逃,每个小区单独肥水管理,以田间 80cm 宽度筑田埂分隔,各小区放置防逃网间隔螃蟹,防逃网内田埂上每隔 3m 设置一个投料点便于河蟹固定取食,生育期内河蟹饵料约 250g/只,各试验小区每次投放相同质量饵料,小区内不同投料点的投放量以上一次河蟹食用量及时间动态调整。缓苗后优化模式的 3 个处理的空行处用专用开沟器挖掘宽 30cm、深 20cm 养殖沟,用以河蟹游隙与环境避难。2 种模式均在秸秆还田的基础上,采用性引诱剂协同赤眼蜂投放及微生物防治剂防控水稻主要病虫害。

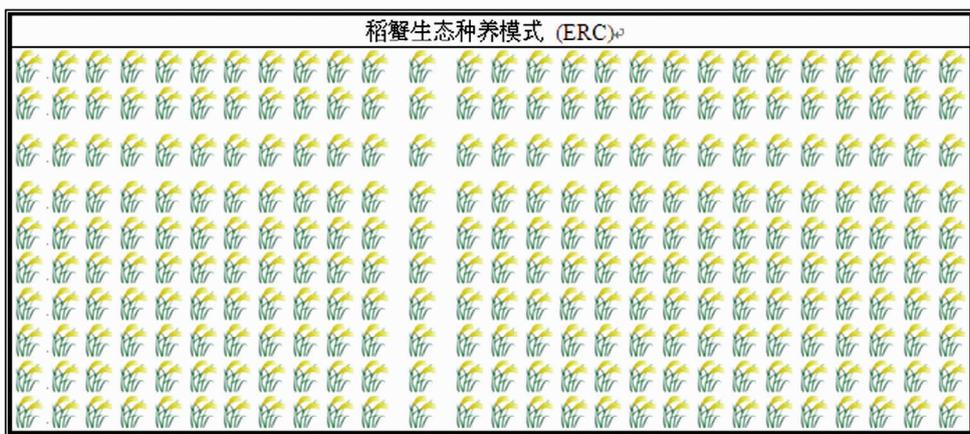


图 1 传统稻蟹生态种养模式 (M1)

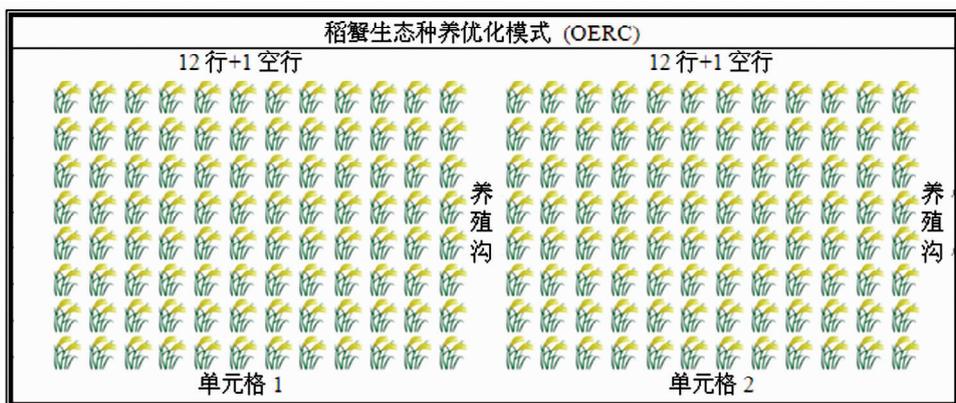


图 2 稻蟹生态种养优化模式 (M2)

分别于 2017 年 5 月 18 日、2018 年 5 月 20 日移栽,螃蟹于移栽前 10d 投放试验田,选用久保田 6 行高速 SPV-6CMD 乘坐式水稻插秧机插秧,为保障河蟹生长发育所需环境、降低水体内 NH₄⁺ 浓度,试验区

内施肥量较当地正常移栽减少 30%，即稻田旋地时一次性施入 1 050 kg/hm² 稻田种养专用肥料（N：P：K = 20：7：9），中后期不再施肥。

1.2 试验材料

试验品种为辽粳 401，由辽宁省水稻研究所提供，生育期 158d 左右，属于辽宁省中晚熟品种，株高 105.2 cm，株型紧凑，分蘖力中等，半紧穗型，为近些年辽宁省主栽品种。

河蟹（中华绒螯蟹（*Eriocheir sinensis*），文中简称河蟹）由盘山县河蟹研究所提供，平均投放规格为 180 只/kg 扣蟹。

1.3 测定、调查项目

1.3.1 生长动态

三叶一心期优化模式小区分别按照边 1 行、边 2 行、边 3 行、边 4 行、边 5 行、边 6 行顺序，每行选择长势一致的、具有代表性的连续 15 穴，调查基本苗数，于拔节期、抽穗期和成熟期用相同方法调查一次分蘖；传统种养模式去除边行调查。

1.3.2 水稻产量及其构成因素

成熟期，按小区实际面积计算产量，测定稻谷水分含量，然后折合计算为 14.5% 含水量的稻谷产量；优化模式每个小区分别按照边 1 行、边 2 行、边 3 行、边 4 行、边 5 行、边 6 行顺序，每行选取连续 10 穴室内考种，计算单位面积有效穗数、每穗粒数、结实率和千粒重；传统种养模式去除边行进行上述测定。

1.3.3 河蟹的收获与计算

于收获前 10d 用陷阱法收捕螃蟹^[21]，收捕后整体称重，随后分拣雄雌蟹，选取雄、雌蟹各 30 只，测量体长、体重，统计河蟹数量、产量，计算河蟹回捕数量占放养数量的百分比，得出回捕率。

1.4 数据分析方法

使用 Microsoft Excel 2013 进行数据处理和图表绘制，利用 SPSS（版本 19.0）软件进行比较分析。

该研究中水稻田边行优势明显，文中调查数据均为边 1 行、边 2 行、边 3 行、边 4 行、边 5 行、边 6 行的平均数。2017 年度较为平稳，无极端天气及自然灾害，2018 年度我国北方 8

表 1 2014—2018 年稻田输出产品价格 元/kg

年份	稻谷	雄蟹		雌蟹	
		<100g	>100g	<100g	>100g
2014	3.12	44	48	48	54
2015	2.86	46	50	50	58
2016	2.92	48	50	50	64
2017	3.02	50	56	56	70
2018	2.72	50	60	60	80
恒定价格	2.93	47.6	52.8	52.8	65.2

月遭遇高温，对水稻颖花数及成粒数略有影响。当前地区稻蟹种养、交易市场均以河蟹 100g 为等级划分点，该研究中所涉及河蟹规格的分析讨论均以此为依据。文中所述实际价格为相应等级当年出售时市场定价，恒定价格为近 5 年相应等级产品价格的平均值（表 1）。

2 结果与分析

2.1 水稻的变化

2.1.1 水稻茎蘖动态的影响

对水稻茎蘖动态分析可知（图 3），2017 年、2018 年相同处理茎蘖动态变化规律势一致，各处理均表现为先增加后降低的趋势。2017 年 M1 模式生育期内基本苗数均为 S1 最高、S3 最低，S1 抽穗期达到最高为 485.3 万/hm²，成熟期为 404 万/hm²，成穗率为 83.2%；M2 模式在抽穗期茎蘖数达到最高，从大到小依次为 S1 > S2 > S3，分别为 458.5 万/hm²、455.6 万/hm²、452.1 万/hm²，成熟期 386.4 万/hm²、385.9 万/hm²、385.2 万/hm²，成穗率分别为 84.2%、84.7%、85.2%。

2018 年茎蘖数较 2017 年略有增加，M1、M2 模式茎蘖数均为抽穗期最高，且各生育期均为 S1 > S2 > S3 的规律，抽穗期分别为 459.5 万/hm²、456.3 万/hm²、453.4 万/hm²，成熟期分别为 387.3 万/hm²、

386.5 万/hm²、386.4 万/hm², 说明适当的降低密度仅在营养生长期影响水稻茎蘖数, 对生殖生长期分蘖数影响较小, 未对成熟期有效穗造成显著性差异。

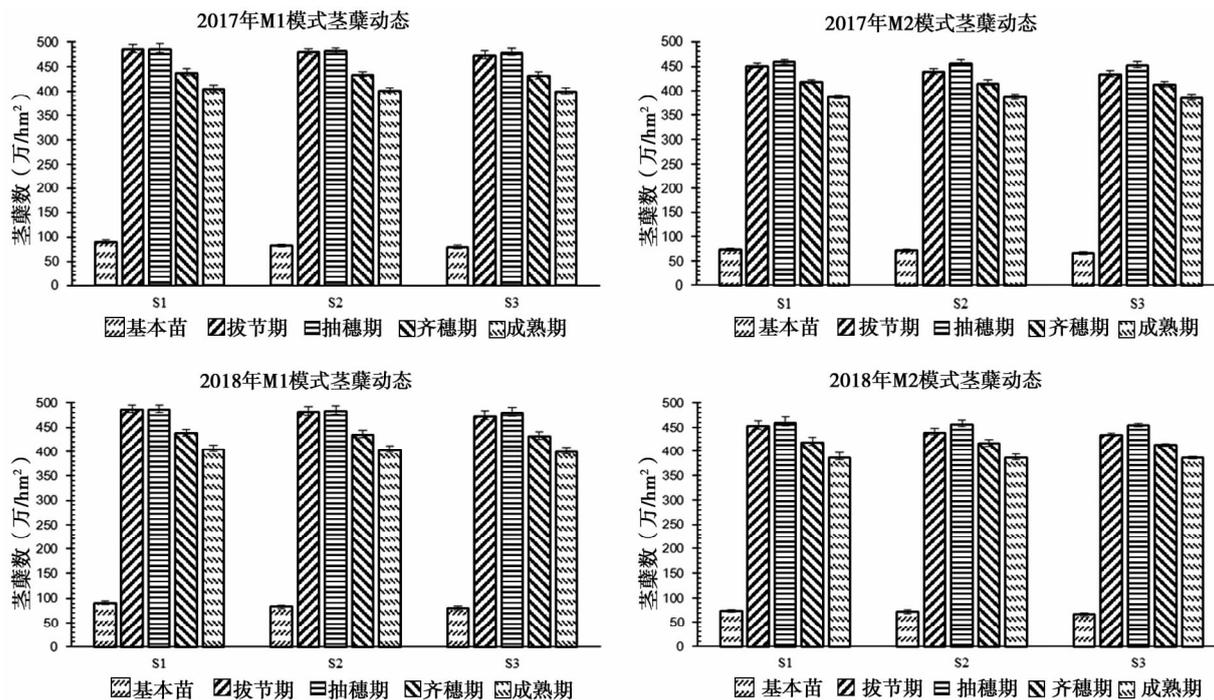


图 3 密度对不同模式下水稻茎蘖动态的影响

2.1.2 水稻产量及其构成因素的影响

2017 年、2018 年不同种养模式密度对产量及其构成因素分析可知 (表 2), 2017 年实际产量各处理之间产量差异不显著, 其中 M1S2 处理产量最高为 1.076 54 万 kg/hm², M2S2 处理产量次之为 1.075 69 万 kg/hm², M2S3 处理产量最低为 1.058 59 万 kg/hm², 总体产量表现为 S2 最高, S3 最低; 千粒重 M1 处理总体低于 M2 处理, 其中 M1S1 处理与 M2 模式下均差异显著; 颖花数、实粒数、结实率在各处理之间差异不显著, 总体表现为相同密度下 M2 > M1, 这与优化模式下较好的通风透光有利于籽粒形成有关; 穗长、一级枝梗数均为 M1S1 处理最低, 且与 M2 模式下处理差异显著; 有效穗数 M1 模式下的处理均高于 M2 模式, 其中 M1S1 最高为 404.0 万穗/hm², 较 M2S3 处理高出 28.8 万穗/hm², 这也最终影响了实际产量。

2018 年实际产量总体略低于 2017 年度, 且各处理之间产量差异不显著, 其中 M1S2 处理产量最高为 1.053 36 万 kg/hm², M2S2 处理产量次之为 1.051 90 万 kg/hm², M2S1 处理产量最低为 1.040 99 万 kg/hm²; 千粒重总体上 M2 模式大于 M1 模式, 与 M1S1 和 M1S2 处理差异达到显著水平, 两者相差 1.0g/千粒; 颖花数、实粒数、结实率、一级枝梗数各处理之间差异不显著, 其中颖花数、实粒数、结实率均为 M2S3 最高, 一级枝梗数为 M2S2 最高; 穗长 M2 模式显著高于 M1 模式; 有效穗数略低于 2017 年, 各处理之间变化规律一致; 该年度虽然有效穗数增加, 但由于相应处理实粒数减小, 从而实际产量降低。

2.2 河蟹的变化

2.2.1 雄蟹数量及规格的影响

对雄蟹的数量及规格分析可知 (表 3) 雄蟹的数量以单只 100g 以上的规格居多, 2017 年度 M2S2、M2S3 处理回捕率高于其他处理, 其中 M1S1、M1S2 达到显著水平, 最高较最低高出 4.2%; 单只 100g 以下的数量 M2 模式显著低于 M1 模式, 重量、体长、体宽均为 M2S3 处理最高, 且显著高于 M1 模式下所有处理。单只 100g 以上的数量 M2S2、M2S3 处理显著高于其他处理, 其中最高较最低相差 240.4 只/hm², 重量、体长、体宽均为 M2S2、M2S3 处理较高, 显著高于 M1S1、M1S2; 其中河蟹单只重量最高处理较最

表 2 密度对不同模式下水稻产量及其构成因素的影响

年份	处理	有效穗数 (万/hm ²)	穗长 (cm)	一级枝梗数 (个)	颖花数 (个)	实粒数 (个)	结实率 (%)	千粒重 (g)	实际产量 (万 kg/hm ²)
2017	M1S1	404.0a	17.3b	11.9b	148.0a	133.4a	90.2a	20.8c	1.073 03a
	M1S2	400.9a	17.5ab	12.4ab	149.6a	136.5a	91.2a	21.0bc	1.076 54a
	M1S3	398.3ab	17.7ab	12.5ab	150.3a	137.3a	91.4a	21.2abc	1.064 64a
	平均	401.1	17.5	12.3	149.3	135.7	90.9	21.0	1.071 40
	M2S1	386.4b	18.3a	12.6a	149.2a	134.3a	90.0a	21.8ab	1.071 63a
	M2S2	382.9b	18.3a	12.6a	152.3a	137.2a	90.1a	22.0a	1.075 69a
	M2S3	375.2b	18.3a	12.6a	153.3a	140.0a	91.3a	21.9a	1.058 59a
	平均	381.5	18.3	12.6	151.6	137.2	90.5	21.9	1.068 64
2018	M1S1	404.9a	17.3b	11.2a	141.2a	127.1a	90.1a	20.7c	1.041 92a
	M1S2	402.4a	17.3b	11.4a	143.4a	129.3a	90.3a	20.7c	1.053 36a
	M1S3	399.0ab	17.1b	11.3a	142.7a	130.1a	91.2a	20.8bc	1.046 49a
	平均	402.1	17.2	11.3	142.4	128.8	90.5	20.7	1.047 26
	M2S1	387.3b	18.4a	11.6a	143.0a	129.2a	90.4a	21.3ab	1.040 99a
	M2S2	383.5b	18.8a	11.7a	145.9a	132.0a	90.5a	21.7a	1.051 90a
	M2S3	377.4b	18.8a	11.6a	146.1a	133.5a	91.4a	21.5a	1.037 12a
	平均	382.7	18.7	11.6	145.0	131.6	90.8	21.5	1.043 34

注：标以不同小写字母的值在同一年份同一栏内同一模式 5% 水平上差异显著 (LSD 检验)；平均为同一模式 3 种密度的平均数值

表 3 密度对不同模式下雄蟹数量及规格的影响

年份	处理	单只 100g 以下				单只 100g 以上				回捕率 (%)
		数量 (只/hm ²)	重量 (g)	体长 (mm)	体宽 (mm)	数量 (只/hm ²)	重量 (g)	体长 (mm)	体宽 (mm)	
2017	M1S1	385.0a	89.5c	43.3b	49.6b	1 410.3c	110.9b	51.0b	54.6b	53.2b
	M1S2	374.9a	89.3c	43.6b	49.7b	1 433.7c	110.9b	51.1b	55.1b	53.6b
	M1S3	349.9b	91.9c	44.5b	49.8b	1 529.1b	114.1ab	52.3ab	55.6b	55.7ab
	平均	369.9	90.2	43.8	49.7	1 457.7	112.0	51.5	55.1	54.2
	M2S1	305.3c	92.5bc	45.6ab	50.9ab	1 564.6b	114.5ab	52.2ab	56.4b	55.4ab
	M2S2	280.0d	96.8ab	47.2a	51.8ab	1 649.6a	118.8a	53.4a	61.4a	57.2a
	M2S3	284.9d	97.4a	47.3a	52.5a	1 650.7a	119.0a	53.4a	61.5a	57.4a
	平均	290.1	95.6	46.7	51.7	1 621.6	117.4	53.0	59.8	56.7
2018	M1S1	284.9a	87.9b	42.5c	48.7ab	1 470.2b	112.1b	51.5a	56.4c	52.0b
	M1S2	274.9a	88.0b	42.2c	48.6ab	1 495.3b	112.6b	52.0a	56.7c	52.5b
	M1S3	260.0b	88.0b	42.7c	47.7b	1 512.3b	113.3ab	51.7a	56.8c	52.5b
	平均	273.3	88.0	42.5	48.3	1 492.6	112.7	51.7	56.6	52.3
	M2S1	249.1bc	90.1b	43.8bc	49.8ab	1 547.7b	114.0ab	52.4a	57.5bc	53.2b
	M2S2	242.3cd	93.3a	45.8ab	50.1ab	1 703.8a	118.5a	53.6a	60.1ab	57.7a
	M2S3	232.7d	94.0a	46.1a	50.7a	1 725.5a	118.9a	53.5a	62.7a	58.0a
	平均	241.4	92.5	45.2	50.2	1 659.0	117.1	53.2	60.1	56.3

注：标以不同小写字母的值在同一年份同一栏内同一模式 5% 水平上差异显著 (LSD 检验)；平均为同一模式 3 种密度的平均数值

低相差 8.1g，导致最终雄蟹整体产出量 13.4kg/hm² 的差异。

2018 年度 100g 以上雄蟹数量、回捕率均较 2017 年度明显增加，其中 M2S2、M2S3 处理回捕率显著高于其他处理，最高较最低高出 6.0%；单只 100g 以下的数量 M2 模式显著低于 M1 模式，其中 M2S3 最低、M2S2 次之；M2S3、M2S2 重量显著高于其他处理；体长、体宽均为 M2 模式大于 M1 模式，部分达到

显著水平。单只 100g 以上的数量 M2S2、M2S3 处理显著高于其他处理;对应的 M2S2、M2S3 处理单只重量也高于其他处理,其中相对 M1S1、M1S2 处理达到显著水平,最高较最低相差 6.8g/只,使得雄蟹产出量相差 11.7kg/hm²;各处理之间体长差异不显著;M2 模式下的体宽显著高于 M1 模式。

2.2.2 雌蟹数量及规格的影响

对雌蟹的数量及规格分析可知(表 4),雌蟹数量以单只 100g 以下规格的居多,2017 年度雌蟹回捕率差异不显著,51.0%~52.8%;单只为 100g 以下的各处理之间差异不显著,M1S3 处理最高,为 1 735.4 只/hm²,M2S3 处理最低,为 1 667.2 只/hm²;单只重量、体长 M2 模式均高于 M1 模式,其中 M2S2、M2S3 达到显著水平;各处理间体宽差异不显著。单只 100g 以上的数量 M2S2、M2S3 显著高于其他处理;重量、体长、体宽均为 M2S2、M2S3 较高;这与适当降低移栽密度增加河蟹活动区域有关。

表 4 密度对不同模式下雌蟹数量及规格的影响

年份	处理	单只 100g 以下				单只 100g 以上				回捕率 (%)
		数量 (只/hm ²)	重量 (g)	体长 (mm)	体宽 (mm)	数量 (只/hm ²)	重量 (g)	体长 (mm)	体宽 (mm)	
2017	M1S1	1 675.3a	82.7c	40.1b	45.9a	46.8c	102.6b	47.2a	50.3b	51.0a
	M1S2	1 718.3a	82.9c	40.5b	46.0a	46.7c	103.0b	47.4a	51.3b	52.3a
	M1S3	1 735.4a	84.7c	41.2b	46.2a	47.4c	105.8ab	48.2a	51.5b	52.8a
	平均	1 709.7	83.4	40.6	46.0	47.0	103.8	47.6	51.0	52.0
	M2S1	1 714.5a	85.5bc	41.3b	47.1a	61.8b	105.9ab	48.6a	52.4b	52.6a
	M2S2	1 668.5a	89.8ab	43.7a	48.0a	101.7a	110.0a	49.3a	56.9a	52.5a
	M2S3	1 667.2a	90.0a	43.7a	48.2a	102.2a	110.0a	49.4a	56.9a	52.4a
	平均	1 683.4	88.4	42.9	47.8	88.6	108.6	49.1	55.4	52.5
	2018	M1S1	1 718.5a	81.0c	39.3c	45.0ab	60.1c	103.7b	47.7a	52.3b
M1S2		1 749.2a	81.5c	39.8c	45.2ab	60.2c	104.6ab	48.2a	52.6b	53.6ab
M1S3		1 771.9a	81.3c	39.6c	44.3b	71.4b	105.0ab	47.9a	52.6b	54.6ab
平均		1 746.5	81.3	39.6	44.8	63.9	104.4	47.9	52.5	53.6
M2S1		1 762.6a	83.8bc	40.5bc	46.1ab	72.3b	105.4ab	48.3a	53.1b	54.4ab
M2S2		1 780.2a	86.8ab	42.2ab	46.4ab	95.3a	109.8a	49.1a	57.2a	55.6a
M2S3		1 769.9a	89.7a	42.6a	46.9a	96.2a	109.9a	49.3a	57.9a	55.3ab
平均		1 770.9	86.8	41.8	46.5	87.9	108.4	48.9	56.1	55.1

注:标以不同小写字母的值在同一年份同一栏内同一模式 5% 水平上差异显著 (LSD 检验);平均为同一模式 3 种密度的平均数值

2018 年回捕的雌蟹数量较 2017 年略有增加,各处理间单只 100g 以下的数量差异不显著,均在 1 718.5~1 780.2 只/hm²;单只重量 M2S3 最高、M2S2 次之,分别为 89.7g、86.8g,单只平均较 M1S1 分别高出 8.7g、5.8g,形成了 15.4kg/hm²、10.3kg/hm² 的雌蟹产出量差异;对应的体长、体宽 M2S3、M2S2 处理也保持了较高的水平。单只 100g 以上的数量 M2S3、M2S2 处理显著高于其他处理,M1S1 数量最低,分别较最高相差 36.0 只/hm²;重量 M2S3、M2S2 较高与最低的 M1S1 处理差异达到显著水平;各处理之间体长差异不显著;体宽 M2S3、M2S2 处理显著高于其他处理。

2.3 综合收益的变化

2.3.1 稻蟹种养输出产品综合效益分析

对稻田输出产品效益分析可知(表 5),2017 年度总收益为 M2S2 处理最高、M2S3 次之、M1S1 最低,分别为 5.398 54 万元/hm²、5.354 09 万元/hm²、5.098 10 万元/hm²,各项收益对总收益贡献率为稻谷收益 > 雄蟹规格 100g 以上的收益 > 雌蟹规格 100g 以下的收益 > 雄蟹规格 100g 以下的收益 > 雌蟹规格 100g 以上的收益;其中稻谷收益各处理之间差异不显著,雄蟹 100g 以下的、雌蟹 100g 以上的虽各处理之间差异显著,其构成收益所占的贡献率较低,对总收益影响较小。雄蟹 100g 以上的、雌蟹 100g 以下的均为 M2S3 最高,分别为 1.099 73 万元/hm²、0.840 07 万元/hm²,占总收益的 20.5%、15.7%;总收益最高的

M2S2 处理, 稻谷收益、雄蟹 100g 以上的收益、雌蟹 100g 以下的收益分别为 3.248 59 万元/hm²、1.096 97 万元/hm²、0.839 24 万元/hm², 分别占总收益的 60.2%、20.3%、15.5%。

2018 年较 2017 年稻谷价格下降、河蟹价格上涨, 总收益整体降低, M2S3 处理最高、M2S2 次之、最低为 M1S1, 分别为 5.197 89 万元/hm²、5.195 86 万元/hm²、4.833 39 万元/hm²; 各项收益贡献率同 2017 年一致, 稻谷收益各处理之间差异不显著, 雄蟹 100g 以下的、雌蟹 100g 以上的与 2017 年一致贡献率较低。市场销售中雄蟹 100g 以下的规格价格较低, 消费者青睐度不高, M2S2、M2S3 配置降低 100g 以下规格的雄蟹比例, 同等条件下提高 100g 以上规格的雄蟹的数量增加收益。传统稻蟹种养中 100g 以上规格的雌蟹数量较少, 该研究中 M2 模式下此规格雌蟹可显著增加, 从而总收益提高, 在回捕率相似条件下 M2 模式增加雌蟹整体重量从而进一步提高收益。

表 5 不同模式处理下稻田输出产品实际收益

年份	处理	稻谷收益 (万元/hm ²)	雄蟹收益 (元/hm ²)		雌蟹收益 (元/hm ²)		总收益 (万元/hm ²)
			<100g	>100g	<100g	>100g	
2017	M1S1	3.240 55a	0.172 30a	0.875 95c	0.775 69c	0.033 61c	5.098 10b
	M1S2	3.251 15a	0.167 33ab	0.890 16c	0.797 61bc	0.033 65c	5.139 90ab
	M1S3	3.215 21a	0.160 79b	0.976 83b	0.823 03ab	0.035 10c	5.210 96ab
	平均	3.235 64	0.166 81	0.914 31	0.798 78	0.034 12	5.149 66
	M2S1	3.236 33a	0.141 28c	1.003 42b	0.821 46ab	0.045 80b	5.248 29ab
	M2S2	3.248 59a	0.135 43c	1.096 97a	0.839 24ab	0.078 31a	5.398 54a
	M2S3	3.196 95a	0.138 68c	1.099 73a	0.840 07a	0.078 65a	5.354 09ab
	平均	3.227 29	0.138 46	1.066 71	0.833 59	0.067 59	5.333 64
2018	M1S1	2.834 09a	0.125 20a	0.988 79c	0.835 42d	0.049 89c	4.833 39b
	M1S2	2.865 14a	0.120 86a	1.009 70bc	0.854 94cd	0.050 34c	4.900 98b
	M1S3	2.846 45a	0.114 36b	1.027 80bc	0.863 69cd	0.059 99b	4.912 29b
	平均	2.848 54	0.120 14	1.008 76	0.851 35	0.053 41	4.882 20
	M2S1	2.831 50a	0.112 19b	1.058 18b	0.886 04bc	0.060 98b	4.948 89ab
	M2S2	2.861 18a	0.112 95b	1.211 20a	0.926 90ab	0.083 64a	5.195 86a
	M2S3	2.820 96a	0.109 38b	1.230 57a	0.952 46a	0.084 52a	5.197 89a
	平均	2.837 88	0.111 51	1.166 65	0.921 80	0.076 38	5.114 21

注: 标以不同小写字母的值在同一年份同一栏内同一模式 5% 水平上差异显著 (LSD 检验); 平均为同一模式 3 种密度的平均数值

综合年收益受当年稻谷和螃蟹价格影响, 若以当年价格计算收益, 不能准确地反映出各个处理年际间表现的稳定性, 该分析以“单一变量”原则, 用近 5 年平均价格来计算年收益, 通过比较分析可知 (表 6), 2 年的总收益均为 M2S2 最高、M2S3 次之, 不同处理间稻谷收益差异未达到显著水平、而各等级河蟹均差异较大。稻谷收益占总收益的 60.4%~63.4%, 说明恒定价格下稻谷收益年度间保持较为平稳的收益。雄蟹大于 100g 和雌蟹小于 100g 在河蟹回捕中占比最高, 两种规格的河蟹为近几年消费者青睐度较高、市场行情较好的产品, 两者的收益分别占总收益的 17.5%~20.3% 和 15.3%~16.0%, 且不同处理间差异较大、河蟹单价高, 对不同模式、密度下收益差异影响较大。当河蟹数量恒定下雄蟹小于 100g 的数量越低说明雄蟹规格越高, 相应的收益越高。在稻蟹生态种养生产上培育 100g 以上雌蟹数量占比较小, 而 M2S2、M2S3 配置下仍可显著提高此规格雌蟹的数量以增加收益, 说明利用模式、密度合理配置, 提高河蟹规格是增加收益的重要渠道。

2.3.2 输出产品效益相关性分析

对 2017 年度稻田输出产品效益相关性分析可知 (表 7), 各处理稻谷收益差异不显著, 总收益为贡献率相对固定, 河蟹的数量和规格差异较大, 引起总体收益的差异。雄蟹大于 100g、雌蟹小于 100g、雌蟹

大于 100g 的收益与总收益极显著正相关, 而雄蟹小于 100g 与其他项目收益均为极显著负相关, 说明保障稻谷产量的基础上提高 100g 以上规格的雄蟹和雌蟹产出量, 是增加总收益的重要因素。

表 6 近 5 年平均价格条件下不同处理稻田输出产品效益比较

年份	处理	稻谷收益 (万元/hm ²)	雄蟹收益 (元/hm ²)		雌蟹收益 (元/hm ²)		总收益 (万元/hm ²)
			< 100g	> 100g	< 100g	> 100g	
2017	M1S1	3.127 47a	0.164 03a	0.825 90c	0.731 36c	0.031 31c	4.880 07c
	M1S2	3.141 46a	0.159 30b	0.839 29c	0.752 03bc	0.031 34c	4.923 43c
	M1S3	3.120 52a	0.153 07c	0.921 01b	0.776 00ab	0.032 69c	5.003 29bc
	平均	3.128 96	0.158 76	0.861 83	0.752 92	0.031 77	4.934 24
	M2S1	3.139 24a	0.134 50d	0.946 08b	0.774 52ab	0.042 66b	5.037 00abc
	M2S2	3.152 41a	0.128 93e	1.034 29a	0.791 28a	0.072 94a	5.179 86a
	M2S3	3.102 37a	0.132 03de	1.036 89a	0.792 07a	0.073 26a	5.136 61ab
	平均	3.131 11	0.131 81	1.005 67	0.785 89	0.062 95	5.117 42
2018	M1S1	2.996 47a	0.119 19a	0.870 13c	0.735 17c	0.040 66c	4.761 62b
	M1S2	3.087 51a	0.115 06b	0.888 53c	0.752 35bc	0.041 03c	4.884 48b
	M1S3	3.067 15a	0.108 87c	0.904 46bc	0.760 05bc	0.048 89b	4.889 43b
	平均	3.049 42	0.114 34	0.887 43	0.748 95	0.043 52	4.843 65
	M2S1	3.051 63a	0.106 81cd	0.931 20b	0.779 72b	0.049 70b	4.919 06b
	M2S2	3.082 80a	0.107 53cd	1.065 86a	0.815 67a	0.068 16a	5.140 02a
	M2S3	3.038 87a	0.104 13d	1.082 90a	0.838 17a	0.068 88a	5.132 95a
	平均	3.056 98	0.106 13	1.026 40	0.810 98	0.062 23	5.062 72

注: 标以不同小写字母的值在同一年份同一栏内同一模式 5% 水平上差异显著 (LSD 检验); 平均为同一模式 3 种密度的平均数值

表 7 2017 年稻田输出产品效益相关性分析

相关系数	稻谷收益	雄蟹收益		雌蟹收益		总收益
		< 100g	> 100g	< 100g	> 100g	
稻谷收益	1					
雄蟹收益 (< 100g)	0.27	1				
雄蟹收益 (> 100g)	-0.46	-0.95 **	1			
雌蟹收益 (< 100g)	-0.47	-0.89 **	0.95 **	1		
雌蟹收益 (> 100g)	-0.33	-0.87 *	0.93 **	0.79 *	1	
总收益	-0.32	-0.94 **	0.99 **	0.94 **	0.94 **	1

注: *、** 分别表示相关达 0.05 和 0.01 显著水平

表 8 2018 年稻田输出产品效益相关性分析

相关系数	稻谷收益	雄蟹		雌蟹		总收益
		< 100g	> 100g	< 100g	> 100g	
稻谷收益	1					
雄蟹收益 (< 100g)	0.3	1				
雄蟹收益 (> 100g)	-0.17	-0.76 *	1			
雌蟹 (< 100g)	-0.26	-0.85 *	0.98 **	1		
雌蟹 (> 100g)	-0.19	-0.80 *	0.99 **	0.97 **	1	
总收益	-0.09	-0.76 *	1.00 **	0.97 **	0.98 **	1

注: *、** 分别表示相关达 0.05 和 0.01 显著水平

2018 年稻田输出产品效益相关性分析可知 (表 8), 2018 年较 2017 年稻谷价格下降 0.3 元/kg, 河蟹

价格上升,说明价格降低一定程度上影响总收益;雄蟹大于100g、雌蟹小于100g、雌蟹大于100g的收益与总收益极显著正相关、雄蟹小于100g与总收益呈极显著负相关,说明降低100g以下在雄蟹中的比例、培育大规格河蟹是形成高收益的重要途径。

3 讨论

3.1 水稻产量及其构成的影响

稻田养蟹是辽宁省滨海盐碱地区一种绿色安全、生态环保的特色品牌农业模式^[13,21],优化模式是利用空垄处良好通风透光为水稻、河蟹提供必要的生态环境因子^[1-2,22]。不同密度下优化模式虽较传统模式基本苗数少,但分蘖能力、成穗率、千粒重等性状良好,最终并未造成显著的水稻产量差异。该研究中相同模式下不同株距所对应的水稻产量由高至低为:18cm > 16cm > 20cm,2018年常规模式18cm > 20cm > 16cm,水稻产量差异来源于成熟期有效穗数及千粒重,传统模式在18cm密度下2年度的水稻产量分别为最高的1.07654万kg/hm²、1.05336万kg/hm²,均高于相同株距优化模式;白伟等对春玉米比空栽植模式研究表明^[22-23],比空栽植可增加穗位叶绿素含量、提高群体光合速率,从而提高单位产量;该研究中水稻在优化模式下7.7%的面积为养殖沟区域,使之栽植基本苗数少,成熟期有效穗数减少,但最终水稻产量较传统模式未造成显著性降低,说明优化模式通过优化单元格间水稻群体结构,增加边际效应,弥补有效栽植面积减少带来的部分损失。Oehme M等^[24]和崔荣阳等^[25]研究认为种养模式生物的活动直接增加了田面水和土壤的有效养分,其觅食田间浮萍杂草,使更多的养分被水稻吸收,增加水稻产量,该研究中优化模式较传统模式增加了河蟹的活动区域,河蟹频繁的活动,为水稻提供养分、降低病虫害,使水稻产量得到提升,进一步降低差异形成。

3.2 河蟹产量及其规格的影响

合理地放养密度、优良的水质、适宜的温度、充足的光照是高规格河蟹生长发育所需的栖息环境^[1,4,9],综合稻蟹种养的立体农业模式,协调水稻与河蟹的光、温、水、气、肥,使得环境因素的利用率达到最大,其中优化模式在一定的水稻栽植区域内为河蟹提供栖息环境,提高了成活率,促进高规格的河蟹产出。该研究中雄蟹大于100g最高较最低产出量2017年、2018年分别相差13.4kg/hm²、11.7kg/hm²,雌蟹小于100g产出量最高较最低相差10.3kg/hm²;郭海松等对不同水稻栽植密度下稻田养鱼研究表明^[26],采用相对较低密度(30cm×30cm)栽培模式可以在保证水稻不减产的同时获得更快的田鱼生长速率,该研究中优化模式下30cm×18cm的移栽密度综合效益最高,与之结论相似,说明稻田生态种养高效益是通过保障水稻产量基础上增加共生物收益实现的。张庆阳等^[8]研究认为单株/穴插秧方式的养蟹田栽培模式综合收益最大,更有益于稻蟹共作生态系统,Xu Q等研究表明^[27]优化稻蟹种养模式比普通稻田环境负载率降低9%~34%,且提高水稻、河蟹8%~12%的产量。该研究中优化模式在栽植12行后空1行挖掘养殖沟,为河蟹提供优良的栖息环境,有利于河蟹生长发育。

3.3 综合收益的影响

受市场价格影响,2018年稻谷收益低于2017年,2018年河蟹价格高于2017年,综合来看2018年较2017年稻谷收益下降。2种模式下总收益主要来源于稻谷收益在54.3%~63.6%,雄蟹大于100g收益为17.2%~23.7%,雌蟹小于100g收益为15.2%~18.3%。研究中优化模式下的18cm株距综合收益最高,该配置在保障稻谷产量的基础上,通过提高100g以上规格的雄蟹和雌蟹产出量,降低100g以下在雄蟹中的比例、培育大规格河蟹,形成了高收益。李嘉尧等研究^[28]认为稻蟹、稻鱼2种养模式的平均利润为水稻单作的2.43~3.92倍,化肥成本减少2.8%~49.2%,农药成本减少3.2%~83.6%;张庆阳等^[29]研究认为稻蟹共作稻田大眼幼体放养90头/m²,可为稻田生物防治丝状藻类,减少化学药剂适用,这与该研究中肥料减施30%且实现化学农药零投入,实现节本增效的目的相吻合。受历史、社会因素等影响,河蟹收获时期恰逢中秋佳节,河蟹市场行情较好,且表现为连年价格走高的趋势,相对大规格的河蟹“膏满黄肥”,消费者青睐度较高,而雌蟹味道鲜美更为消费者喜爱,市场收益高,该研究的稻蟹生态种养优

化模式可提高此阶段的市场需要产品的输出,为稻蟹生态种养综合收益提供保障。

农业增效农民增收农村增绿指明了未来发展的实践方向,稻田养蟹既增加了农民的收入,又提高了效益,还降低了污染,有力推进了农业的发展。周江等对湖南不同季别稻作系统分析表明^[30],仅以市场价值作为依据评价,会低估了稻田生态系统的真实价值,该研究中优化模式 18cm 密度综合效益最高,且生育期内无化肥农药输入,降低了生态污染。寇祥明等对不同生态种养模式效益分析表明^[31],稻田生态种养可在一定程度上改善稻米品质,并提高水稻种植的经济效益,为水稻的优质生产提供了一条较好的生态技术途径,该研究优化模式在保障产量的同时提高了河蟹的规格和产量,提高了总效益。

4 结论

该研究中 2 种模式水稻产量差异不显著,相同株距密度下传统种养模式略高于优化模式,优化模式下稻田通风透光条件良好、河蟹栖息环境改善保证了回捕率和生长规格,雄蟹大于 100g、雌蟹整体的数量及规格均高于传统种养模式。综上所述,稻蟹生态种养优化模式下 18cm 株距配置具有相对平稳的稻谷产量以及大于 100g 的雄蟹和雌蟹的产出量,可获得稻蟹生态种养高收益。

参考文献

- [1] 徐敏, 马旭洲, 王武. 稻蟹共生系统水稻栽培模式对水稻和河蟹的影响. 中国农业科学, 2014, 47 (9): 1828 - 1835.
- [2] 魏莉丽, 吴一平, 刁斌, 等. 水稻种植示范区化肥减施增效技术采纳意愿的调查研究——基于沙洋县问卷调查的分析. 中国农业资源与区划, 2018, 39 (9): 31 - 36.
- [3] 章家恩. 近 10 多年来我国鸭稻共作生态农业技术的研究进展与展望. 中国生态农业学报, 2013, 21 (1): 70 - 79.
- [4] 孙富余, 田春晖, 孙文涛, 等. 稻蟹综合种养模式化肥农药生态减施技术应用. 农业经济, 2019, 39 (1): 9 - 11.
- [5] Wang A, Ma X Z, Jing Xu, et al. Methane and nitrous oxide emissions in rice-crab culture systems of northeast China. Aquaculture and Fisheries, 2019, 4 (4) 134 - 141.
- [6] 张成龙, 陈晨, 秦诗乐. 中国水稻加工环节成本结构及影响因素分析. 中国农业资源与区划, 2019, 40 (11): 216 - 223.
- [7] 吕杰, 姜飞强, 韩晓燕. 盘锦市农户水稻种植规模效率研究. 农业经济, 2016, 36 (7): 47 - 49.
- [8] 张庆阳, 吕东锋, 马旭洲, 等. 稻蟹共作系统对浮游甲壳动物群落的影响. 上海海洋大学学报, 2014, 23 (6): 834 - 841.
- [9] 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. 中国生态农业学报, 2013, 21 (7): 838 - 843.
- [10] 王昂, 戴丹超, 马旭洲, 等. 北方稻蟹共作对水体氮素淋溶损失的影响. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2019, 45 (3): 332 - 342.
- [11] Dong Y, Jiang H W, Yu Y Q, et al. Water-temperature characteristics of rice-field - crab "panshan mode". Agricultural Science & Technology, 2010, 11 (4): 152 - 155.
- [12] 王耀晶, 安辉, 闫颖, 等. 不同稻蟹生产模式下土壤腐殖质组成及特性研究. 土壤通报, 2013, 44 (2): 343 - 347.
- [13] 孙文涛, 孙富余, 官亮, 等. 一次性施肥对稻田蟹及水稻产量的影响. 土壤通报, 2012, 43 (2): 429 - 434.
- [14] 安辉, 刘鸣达, 王厚鑫, 等. 不同稻蟹生产模式对稻蟹产量和稻米品质的影响. 核农学报, 2012, 26 (3): 581 - 586.
- [15] 张庆阳, 马旭洲, 王昂, 等. 稻蟹共作系统对稻田水体丝状藻类的影响. 上海海洋大学学报, 2015, 24 (1): 68 - 73.
- [16] 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. 大连海洋大学学报, 2011, 26 (2): 188 - 192.
- [17] 安辉, 刘鸣达, 王耀晶, 等. 不同稻蟹生产模式对土壤活性有机碳和酶活性的影响. 生态学报, 2012, 32 (15): 4753 - 4761.
- [18] 李艳蕾, 晏群. 稻鳅共生种养模式试验研究. 中国农业资源与区划, 2018, 39 (5): 54 - 60.
- [19] 朱冰莹, 董佳, 陆长婴, 等. 太湖地区河蟹“养殖—净化”复合系统氮磷循环模拟模型研究. 农业资源与环境学报, 2017, 34 (2): 134 - 144.
- [20] 薛志成. 摸清习性巧捕河蟹. 渔业致富指南, 2002, 5 (16): 30 - 30.
- [21] 王强盛. 稻田种养结合循环农业温室气体排放的调控与机制. 中国生态农业学报, 2018, 26 (5): 633 - 642.
- [22] 白伟, 孙占祥, 郑家明, 等. 辽西地区不同种植模式对春玉米产量形成及其生长发育特性的影响. 作物学报, 2014, 40 (1): 181 - 189.
- [23] 白伟, 孙占祥, 郑家明, 等. 辽宁省西部地区玉米田间优化配置效应研究. 华北农学报, 2013, 28 (6): 166 - 173.
- [24] Oehme M, Frei M, Razzak M A, et al. Studies on nitrogen cycling under different nitrogen inputs in integrated rice-fish culture in Bangladesh. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2007, 79 (2): 181 - 191.
- [25] 崔荣阳, 刘宏斌, 毛昆明, 等. 洱海流域稻鸭共作对稻田温室气体排放和水稻产量的影响. 环境科学学报, 2019, 39 (7): 2306

-2314.

- [26] 郭海松, 徐冠洪, 刘其根. 青田稻—鱼共生系统水稻密度对水稻生长及产量构成的影响. 上海海洋大学学报, 2019, 28 (6): 890-901.
- [27] Xu Q, Wang X, Xiao B, et al. Rice-crab coculture to sustain cleaner food production in Liaohe River Basin, China: An economic and environmental assessment. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 208 (2019): 188-198.
- [28] 李嘉尧, 常东, 李柏年, 等. 不同稻田综合种养模式的成本效益分析. 水产学报, 2014, 38 (9): 1431-1438.
- [29] 张庆阳, 马旭洲, 王昂, 等. 稻蟹共作系统对稻田水体丝状藻类的影响. 上海海洋大学学报, 2015, 24 (1): 68-73.
- [30] 周江, 向平安. 湖南不同季别稻作系统的生态能值分析. 中国农业科学, 2018, 51 (23): 4496-4513.
- [31] 寇祥明, 谢成林, 韩光明, 等. 3 种稻田生态种养模式对稻米品质、产量及经济效益的影响. 扬州大学学报 (农业与生命科学版), 2018, 39 (3): 70-74.

EXPERIMENTAL STUDY ON THE YIELD AND ECONOMIC BENEFIT OF RICE-CRAB ECOLOGICAL CULTIVATION *

Ma Liang¹, Dong Liqiang¹, Tian Chunhui², Li Yuedong¹, Sun Fuyu^{2**}

(1. Liaoning Rice Research Institute, Shenyang 110101, Liaoning, China;

2. Institute of Plant Protection, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, Liaoning, China)

Abstract In order to investigate the effects of transplanting density on rice yield and rice-crab ecological cultivation economic benefit under different treatments, field experiments with two ecological rice-crab cultivation modes i. e. conventional mode (ERC, M1) and optimized ecological rice-crab cultivation mode (OERC, M2) and three row distances, including 30cm × 16cm (S1), 30cm × 18cm (S2) and 30cm × 20cm (S3), were set up and the rice yield, crab yield, crab specifications and paddy field benefits under different treatments were analyzed by using Liaojing 401 as the experimental material from 2017 to 2018. The highest yield was 10 756.9 kg/hm² and 10 533.6 kg/hm² under the row distance of 30cm × 18cm of conventional ecological rice-crab cultivation mode in two years, respectively. The number and specifications of male and female crabs which were more than 100 g of optimized ecological rice-crab cultivation mode were higher than those of conventional ecological rice-crab cultivation mode under the density of 30 cm × 18 cm. Among them, the quantity and specifications of 30cm × 18cm (S2) and 30cm × 20cm (S3) were higher. The comprehensive benefit of 18 cm transplanting density under optimized ecological rice-crab cultivation mode was 53 985.4 Yuan/hm² in 2017 and 51 958.6 Yuan/hm² in 2018, respectively, which was the highest and the second highest because of the relatively high yield of rice and the income of crab, while the income of river crab mainly consisted of the income of male crab more than 100 g and that of female crab less than 100 g. In summary, 30cm × 18cm under the optimized ecological rice-crab cultivation mode can not only guarantee the yield, but also improve the specifications and yield of crab, so as to obtain higher benefits of ecological cultivation in paddy fields.

Keywords rice; optimized ecological rice-crab cultivation mode; crab culture in paddy field; yield; density; benefit