

池塘养殖尾水灌溉稻蟹共生稻田中水稻的生长

沈玺钦, 李奎, 刘凯, 顾芸, 石伟, 管卫兵

Study on the rice growth in rice-crab culture system irrigated by pond tail water

SHEN Xiqin, LI Kui, LIU Kai, GU Yun, SHI Wei, GUAN Weibing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20200302950>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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

Effects of rice density of Qingtian rice-fish coculture system on rice growth and yield composition

上海海洋大学学报. 2019, 28(6): 890 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190202542>

ETS微生物菌肥对养蟹稻田水环境及稻蟹产量的影响

Effects of ETS microbial fertilizer on water environment and total yield of rice-crab fields

渔业现代化. 2017, 44(2): 20 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9580.2017.02.004>

不同水稻栽培密度下青田稻-鱼共生系统的土壤肥力

Investigation of soil fertility of Qingtian rice-fish coculture system under different rice cultivation densities

水产学报. 2020, 44(5): 805 <https://doi.org/10.11964/jfc.20190111647>

稻蟹共作与蟹单作模式下中华绒螯蟹肠道及养殖环境细菌群落组成比较

A comparative study of microbiota from the intestine of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) and their culture environment, between rice-crab co-culture and crab monoculture models

上海海洋大学学报. 2017, 26(5): 682 <https://doi.org/10.12024/jsou.20170301999>

不同施肥模式下的稻-克氏原螯虾田块水体菌群初探

A preliminary study on the water bacteria of rice-crayfish co-culture paddy field in different fertilization modes

上海海洋大学学报. 2020, 29(4): 516 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190302549>

施肥对幼蟹池塘养殖水质影响的初步探究

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

上海海洋大学学报. 2018, 27(6): 884 <https://doi.org/10.12024/jsou.20180302249>

文章编号: 1674-5566(2021)04-0644-09

DOI:10.12024/jsou.20200302950

池塘养殖尾水灌溉稻蟹共生稻田中水稻的生长

沈玺钦¹, 李奎¹, 刘凯¹, 顾芸¹, 石伟², 管卫兵^{1,3}

(1. 上海海洋大学 海洋生态与环境学院, 上海 201306; 2. 银川科海生物技术有限公司, 宁夏 银川 750000; 3. 淮安市苏泽生态农业有限公司, 江苏 淮安 223218)

摘要: 为了探求新型稻渔共作模式对水稻生长及产量的影响, 在宁夏回族自治区银川市贺兰县光明渔村开展了新型稻渔共作模式的实践。不同情况下稻田灌溉模式影响了水稻的生长以及产量。实验分为每隔 5 天灌溉 1 次鱼塘水, 每隔 7 天灌溉 1 次鱼塘水以及不灌溉鱼塘水。水稻种植品种为“吉宏 6 号”, 水稻平均亩产 544.97 kg, 总体旱田亩产量高于水田, 不同灌溉周期亩产量 5 d 灌溉 1 次 > 7 d 灌溉 1 次 > 不灌溉鱼塘水。地上部分生物量旱田大于水田。灰色关联度分布为 0.576 ~ 0.907。各水稻根茎秆构成因子与水稻产量关联度由强到弱排序依次为: 根长(0.907) > 秆基部外径(0.863) = 穗基部外径(0.863) > 秆长(0.846) > 株高(0.829) > 穗长(0.776), 其中, 与水稻产量关联度最大的根茎秆构成因子是根长, 关联度最小的是穗长; 水稻产量构成因子与水稻产量关联度由强到弱排序依次为: 有效穗数(0.869) > 穗粒数(0.847) > 生物量(0.813) > 结实率(0.806) > 千粒质量(0.759) > 每公顷穴数(0.715) > 根干质量(0.625) > 成穗率(0.576), 其中, 与水稻产量关联度最大的产量构成因子是有效穗数, 关联度最小的是成穗率。

关键词: 稻蟹共生; 灌溉模式; 池塘尾水; 产量构成

中图分类号: S 966.1; S 511 **文献标志码:** A

新型稻渔共作模式是将传统的种稻、养鱼技术有机组合在一起而形成的一种新型生态循环生产模式。在这一新型生产模式中种稻与养鱼的种养结合可以实现物质的能量流动、循环处理, 是提高鱼类、水稻产量, 改善农业生态的重要形式之一^[1]。

关于宁夏地区稻田养蟹技术的研究较多: 郑岚萍等^[2]运用试验基地定位综合研究、关键单项技术攻关与辅助模拟试验相结合的方法, 在宁夏中卫、青铜峡、贺兰、金凤区、平罗等 5 个不同区域开展不同的放养模式实验, 研究了稻蟹生态种养水稻安全优质高效栽培技术、稻蟹生态种养河蟹优质高效养殖技术; 沈涛^[3]和金满洋等^[4]研究了宁夏地区稻田养蟹技术。近年来有关稻田养蟹的生产试验报道极为丰富, 大多数从常规的水产养殖的角度进行分析, 主要集中于蟹的放养密度、水体生态环境和浮游生物方面的研究, 而关于稻蟹共作模式中水稻的具体栽培调控的研究

较少^[5]。同样的稻虾共作模式对水稻生长也存在一些问题, 也有许多人提出了应对措施^[6], 稻虾模式可以明显增加水稻抗倒伏能力, 增加米粒品质^[7], 优化产量构成因素^[8-9]。汪本福等^[10]采用灰色关联度法筛选水稻品种比较成功。

郭海松等^[11-12]对青田稻鱼系统各个方面做了详尽完整的研究, 谷婕等^[13]、张剑等^[14]、吴敏芳等^[15]、林传政等^[16]研究了稻鱼系统水稻产量构成。稻鸭共作可以明显提高产量收入^[17-18], 增加地上部分生物量^[19-20]。

本文开展池塘养殖尾水灌溉稻蟹共生稻田中水稻生长的研究, 研究其生物量、秆长、株高、秆基部外径等关键时期生长规律, 总结出水稻产量与水稻根茎秆构成、产量构成之间的量化关系, 得出了科学的实验结果, 为宁夏回族自治区推行稻田综合种养、水稻生产提供实际参考意见, 找到生产关键时期水稻增产增收的关键构成因素。

收稿日期: 2020-03-07 修回日期: 2020-06-05

基金项目: 宁夏银川市农牧局 2017 年农业科技项目(D-8006-18-0008); 宁夏科技重点研发计划项目(2020ZDYF0860)

作者简介: 沈玺钦(1995—), 男, 硕士研究生, 研究方向为资源生态和恢复生态。E-mail: 309812407@qq.com

通信作者: 管卫兵, E-mail: wbguan@shou.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 实验条件

实验地点为宁夏回族自治区银川市贺兰县光明渔村。年平均气温 8.5 ℃ 左右,年平均降雨量 200 mm 左右。试验池塘为光明渔村的 14 口精养池塘,鱼塘与沟渠相通。鱼塘总进水口处安装水泵,从沟渠中抽取稻田净化后的清水注入鱼塘,鱼塘中的肥水再从出水口排入沟渠中,鱼塘通过进出水口以及沟渠连接为一个整体。该系

统总面积约为 19.33 hm²,如图 1 所示。试验稻田均与沟渠相通。各个稻田开有环沟,沟深 1.0~1.5 m,环沟里养有大眼幼体或者扣蟹。该系统总面积约为 51.73 hm²(如图 1 所示,1 号~14 号田为稻蟹共生水稻田)。沟渠系统贯穿整个试验基地,沟渠与池塘以及稻田连接处安装阀门方便控制水量。通过水泵抽水使养殖鱼塘和稻田系统的水不断循环,从而使鱼塘系统和稻田系统联通成一个整体(如图 1 所示,a、b 沟渠为循环沟渠系统连接鱼塘和稻田)。

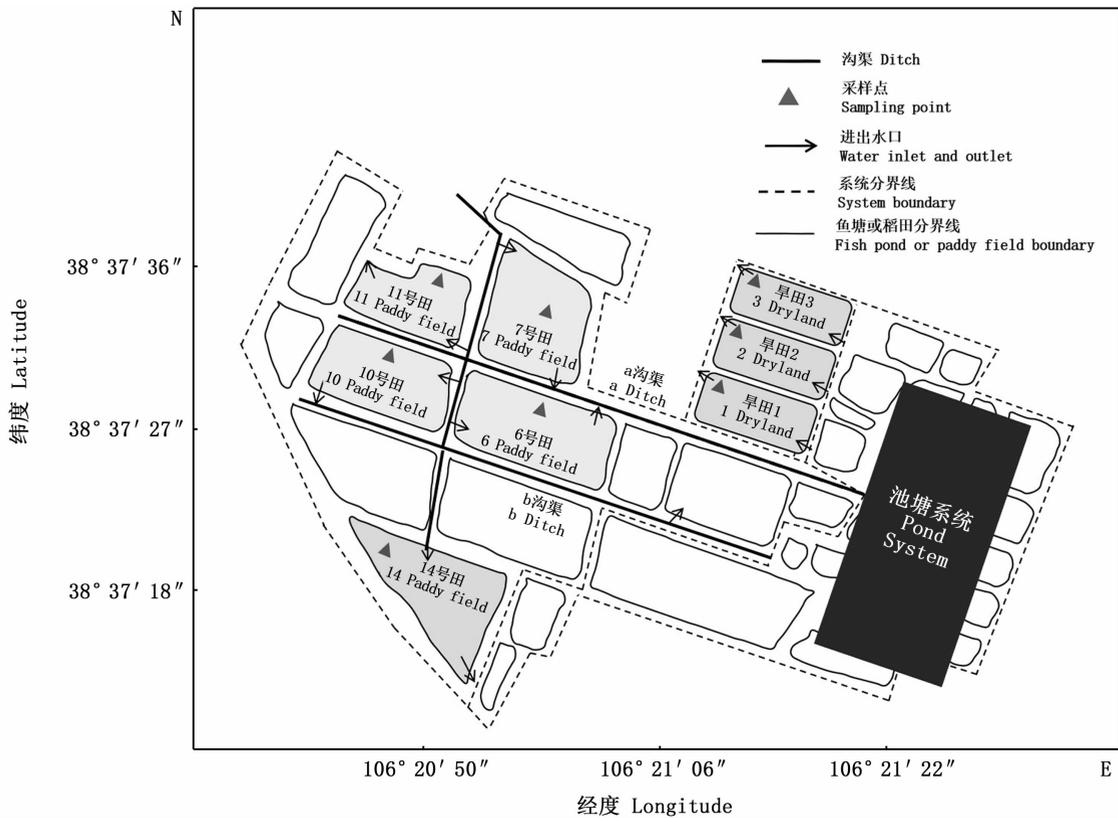


图 1 实验点地形图

Fig. 1 Topographic map of the experiment site

1.2 实验设计

采用 5 点采样法,即在每块田的四边以及对角线中间取 1 m² 样方随机采样。水稻品种为“吉宏 6 号”,全生育期一般 138 d,属中晚熟香型水稻品种。株型紧凑,分蘖力适中,谷粒圆形。水稻于 5 月 15 日左右播种,9 月 28 日左右收割。水稻播种前各田块施有机肥,生长期间追两次磷肥。大型杂草人工拔除。灌溉方式为抽鱼塘水灌溉,各田块对角线开口,作为进水口和出水口。

各块田边设有螃蟹防逃网,网高 0.5 m。旱田 1、7 号田、11 号田每隔 5 天灌溉 1 次鱼塘水,旱田 2、6 号田、14 号田每隔 7 天灌溉 1 次鱼塘水,旱田 3、10 号田作为原始样本田不灌溉鱼塘水,灌溉唐徕渠引进的黄河水。6 号田、7 号田、10 号田、11 号田、14 号田为稻蟹共生稻田,旱田 1、旱田 2、旱田 3 为普通稻田,每个实验组均有 1 块旱田。水流方向如图 1 所示,田块实验设计原则为循环沟渠沿线田块,鱼塘尾水灌溉进入方便。各组灌溉水

量与稻田齐平后关闭阀门保水,保证水稻充分吸收池塘尾水的营养物质,稻蟹系统发挥其功能作用。2台水泵中1台8英寸口径水泵功率5 000 W,另一台水泵六寸口径功率3 000 W,用于抽鱼塘水灌溉稻田,鱼塘尾水通过a、b沟渠进入稻田,通过各个阀门控制水量,水量加满环沟与稻田齐平。环沟深1.0~1.5 m,宽4~5 m。养殖品种为中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*),1号至5号田养殖扣蟹,其他田块在5月1日放苗大眼幼体,旱田无环沟不作养殖。水稻生物量的测算方法为每块稻田用5点采样法选择5穴水稻,取其地上部分洗净后60℃、48 h烘干并称重。在水稻分蘖盛期(7月15日)、抽穗期(8月13日)、齐穗

期(8月26日)、成熟期(9月28日)进行水稻根茎秆构成各要素的测定,采样方法为5点采样法。各个生长时期水稻现场生长情况如图2所示。黄河水银川段Ⅲ类水质占83.8%^[21],水质明显好于池塘养殖尾水,光明渔村养殖旺季池塘尾水氨氮平均质量浓度为1.128 mg/L,亚硝酸盐平均质量浓度为0.157 mg/L,磷酸盐平均质量浓度为1.563 mg/L。灰色关联分析法是邓聚龙教授于1982年提出的针对抽象系统的分析方法,该方法根据因素数据的几何形状、发展态势接近的程度来衡量各个因素之间的关联性^[22],本实验采用灰色关联度分析法分析水稻产量与各个因素之间的关系。



图2 各个时期水稻现场生长情况

Fig. 2 Rice field growth in various periods

2 结果

2.1 各稻田地面上部生物量、秆长、株高、秆基部外径动态变化

由图3可知,旱田地上部分生物量明显高于其他田块,10号田因成熟前期麻雀较多,破坏水稻严重。本实验中,旱田水稻生物量到成熟期平

均达到115.86 g/穴,而水田水稻生物量在成熟期平均值只有55.04 g/穴,差异十分明显。7号田和11号田为每隔5天灌溉1次,生物量在同比于其他水田较高,平均值达到68.9 g/穴。黄河水质较好但缺少水稻生长所需的营养物质,故10号田和3号旱田在只灌溉黄河水的情况下水稻长势不如其他灌溉鱼塘水的田。由图4可知各

田块秆长在抽穗期过后便不再增长,相对于其他指标秆长在抽穗期过后还算比较稳定。由图 5 可知,各个田块株高在抽穗期达到峰值,最高可达 110 cm 左右,抽穗期之后略有减少。由图 6 可知,水稻秆基部外径在抽穗期达到峰值,最高可达 9.5 mm 左右,抽穗期到成熟期略有减少。

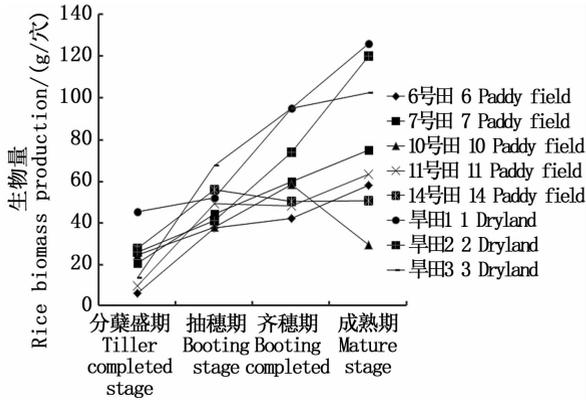


图 3 各稻田地面上部生物量动态变化
Fig. 3 Dynamic changes of biomass above each paddy field

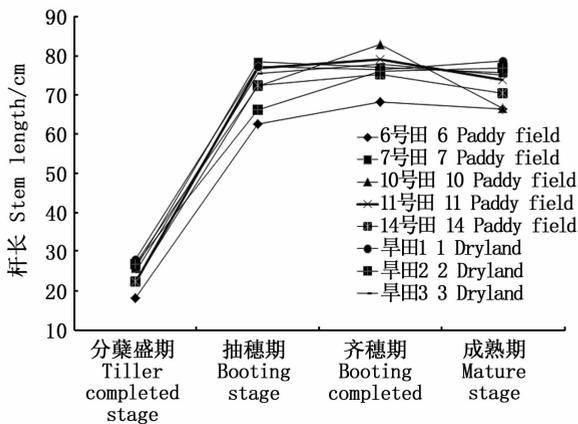


图 4 各田块秆长动态变化
Fig. 4 Dynamic changes of stem length of each paddy fields

2.2 水稻产量与水稻根茎秆构成、产量构成关系

水稻产量与水稻根茎秆构成、产量构成因素关系的分析采用灰色关联分析法,结果如表 1。根据表 1 可知灰色关联度总体分布为 0.576 ~ 0.907。各水稻根茎秆构成因子与水稻产量关联度排序依次为根长(0.907) > 秆基部外径(0.863) = 穗基部外径(0.863) > 秆长(0.846) > 株

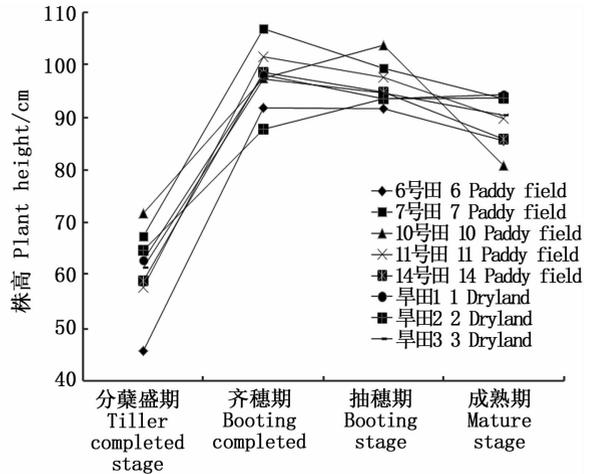


图 5 各田块株高动态变化
Fig. 5 Dynamic changes of plant height of each paddy fields

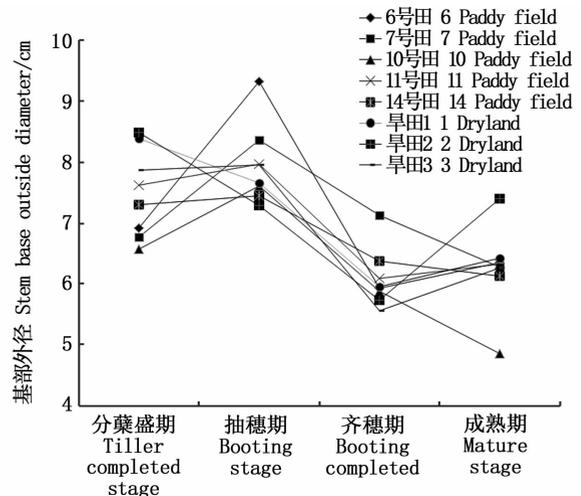


图 6 各田块秆基部外径动态分布
Fig. 6 Dynamic changes of stem base outside diameter of each paddy field

高(0.829) > 穗长(0.776),与水稻产量关联度最大的根茎秆构成因子是根长,关联度最小的是穗长;水稻产量构成因子与水稻产量关联度排序依次为:有效穗数(0.869) > 穗粒数(0.847) > 生物量(0.813) > 结实率(0.806) > 千粒质量(0.759) > 每公顷穴数(0.715) > 根干质量(0.625) > 成穗率(0.576),与水稻产量关联度最大的产量构成因子是有效穗数,关联度最小的是成穗率。根茎秆构成因子与水稻产量的关联度相对更加密切,为 0.776 ~ 0.907。

3 讨论

3.1 稻蟹共生水稻生长指标的探讨

中华绒螯蟹是掘穴动物,会降低土壤的紧实度,这有利于水稻的扎根和各个时期的生长过程,生物扰动在物理因子化学因子上都会有益于水稻生长^[23],最终稻蟹共作会优于传统单作。氮元素在土壤中 95% 是以有机态呈现的,所以运用稻蟹共生系统将有机氮转换为无机氮让水稻吸收^[24],这是基本的原理思路。各块田秆基部外径、穗基部外径、根长、株高在抽穗期后都有不同程度的减小,为稻穗的成长做好准备。刘蕾蕾^[25]研究表明,由于气温的升高会导致水稻的生育期降低,因此水稻的产量会随着气温的升高而降

低。因为宁夏气候原因,8 月底、9 月初气温已经较低了,水田在水稻生长的中后期生物量没有跨越式增长。旱田水稻因为前中期生长得较粗壮,抽穗期后即使气温降低了许多也不影响生物量的增加。陈斌^[26]研究表明,相对于旱田,水田的穗粒数、千粒重较高,产量也较高^[26],这与本文结果不符,原因是各地气候不同,种植时间有差异。本实验中,旱田水稻生物量到成熟期平均达到 115.86 g/穴,而水田水稻生物量在成熟期平均值只有 55.04 g/穴,差异十分明显,符合杨生龙等^[27]的研究结果,可见水稻的种植模式对水稻的生长以及产量影响很大。在稻蟹共生模式下,种植模式的差异还是影响水稻生长及产量指标的关键因素。

表 1 关联度矩阵
Tab.1 Correlation matrix

关联矩阵 Correlation matrix	水稻根茎秆构成因子、产量构成因子 Rice root stem component and yield component				
	穗长 Panicle length	秆基部外径 Stem base outside diameter	株高 Plant height	秆长 Stem length	根长 Root length
	0.776	0.863	0.829	0.846	0.907
水稻产量 Yield	根干质量 Root dry mass	千粒质量 1 000-grain mass	穗基部外径 Panicle base outside diameter	成穗率 Panicle setting rate	结实率 Seed setting rate
	0.625	0.759	0.863	0.576	0.806
	穗粒数 Grain number per rice ears	生物量 Rice biomass production	有效穗数 Panicle number	每公顷穴数 Hills per hectare	
	0.847	0.813	0.869	0.715	

3.2 灌溉鱼塘尾水对水稻的影响

鱼塘尾水直灌稻田可以节省 20% 的肥料^[28],即使不施肥也能获得较高产量,如果施以牛粪等则更加生态环保又高产。水稻对于水体的营养吸收有着很重要的作用,水稻由于它本身作为粮食作物特殊的性质受到许多学者的青睐,在考虑经济效益同时又净化水体的双重条件下大家都选择用水稻来净化水体^[29]。杨生龙等^[30]发现灌溉水量的不同对水稻产量及千粒重、结实率有一定的影响。灌溉鱼塘水可以去除 30% 的总氮和 20% 的总磷,省水节肥,减少鱼病,增强水稻吸收^[31]。稻田每隔 5 天灌溉 1 次鱼塘水、每隔 7 天灌溉 1 次鱼塘水和不灌溉鱼塘水对水稻的生长和产量也有一定的影响。7 号田和 11 号田为每隔 5 天灌溉 1 次,生物量同比其他水田较高,平均值达到 68.9 g/穴。黄河水水质较好但缺少水

稻生长所需的营养物质,故 10 号田和 3 号旱田在只灌溉黄河水的情况下水稻长势不如其他灌溉鱼塘水的稻田。陈柏湘^[32]将养殖废水直灌稻田得到的结果为生物量、产量等不如传统稻田,说明仅灌溉鱼塘水没有水泵循环还是效果不好的。宁夏地区纬度高,夏季生长期短,再加上品种为精品米有较高的品质要求,故相较于其他中低纬度地区种植的水稻生物量、千粒重以及产量虽相对较小,但最后出米品质高,以蟹田米品牌出售效益好。循环灌溉鱼塘尾水对水稻的生物量产量优于灌溉黄河水且节省肥料,故在实际生产时优先灌溉鱼塘尾水。

3.3 稻蟹共生系统中水稻根茎秆、产量构成因子分析

叶定池等^[33]研究表明,通过提高水稻的有效穗数可以有效地改善水稻的品质。本实验中有

效穗数与水稻产量关联度最高,达到 0.869。孔飞扬等^[34]通过通径分析得出直播水稻产量与穗粒数的关系最相关,其次为有效穗数。赵霞等^[35]通过通径分析对自贡地区水稻产量构成因子进行分析,研究表明,在提高穗粒数、结实率的前提下,还需提高有效穗数才是达到水稻增产的重要保障。孙占慧等^[36]提出,提高穗粒数可以实现水稻高产的目标。在本实验中,水稻产量构成因子与水稻产量关联度由强到弱排序依次为:有效穗数(0.869) > 穗粒数(0.847) > 生物量(0.813) > 结实率(0.806) > 千粒质量(0.759) > 每公顷穴数(0.715) > 根干质量(0.625) > 成穗率(0.576),其中,与水稻产量关联度最大的产量构成因子是有效穗数,为 0.869,关联度最小的是成穗率,为 0.576,总体上与前人的研究结果一致。穆平等^[37]对水田、旱田水稻产量构成因子的分析表明,结实率、穗粒数对旱田的水稻产量影响较大,千粒重、有效穗数对旱田的水稻产量的影响较小,提高旱田水稻产量的有效措施是保证旱田水稻的结实率、穗粒数。实验场地中所灌溉的鱼塘水带来的磷酸盐被水稻吸收后增加它们的结实率,使得米粒更加饱满。水稻的有效穗数和穗粒数与产量的关联度最大,说明抽穗期穗的生长情况以及当时的气候好坏,光照养料是否充足可以影响最后的产量结果,水稻抽穗后的一个时期以及扬花期是水稻产量的关键时期。成穗率影响较小和有效穗数影响较大形成了鲜明的对比,水稻产量并不光看成穗率,而取决于实际每穴水稻的有效穗数,成穗率高不一定产量高,而有效穗数多才能决定高产。

刘桃菊等^[38]研究表明,适当增加水稻根长可以提高水稻的产量。根是水稻生长的基础,水稻早期如果扎根不好的话会影响整个生长过程的生长以及最终的产量。各水稻茎秆根构成因子与水稻产量关联度由强到弱排序依次为:根长(0.907) > 秆基部外径(0.863) = 穗基部外径(0.863) > 秆长(0.846) > 株高(0.829) > 穗长(0.776),其中,与水稻产量关联度最大的根茎秆构成因子是根长,为 0.907,关联度最小的是穗长,为 0.776。宁夏春季气温较低,最能考验水稻的扎根和早期生长。将鱼塘水灌入稻田,增加稻田里的氮含量,让水稻长得更粗更壮。BERG^[39]通过对越南湄公河三角洲农业区农业实践的考

察表明,单一种植水稻模式是不具有长期可持续性的,其会对周围环境造成负面影响,导致生产成本增加和环境退化,最终会制约农业的发展。而农业和水产养殖耦合形成的稻鱼一体化养殖有助于控制农业化学品的使用,减少对环境的负面影响,农民的长期利益得以保障。所以在实际生产中,水稻的扎根时期应更加呵护,尽量减小气候温度对水稻扎根的影响。

RIVERA-FERRE 等^[40]将条纹鲇鱼(*Pangasianodon hypophthalmus*)池塘养殖废水作为水稻-罗非鱼-绿豆综合养殖系统的养分输入,研究了水稻和绿豆品种在不同无机肥和河水组合以及条纹鲇鱼池塘养殖条件下的生长情况。结果表明,与单一栽培相比,集成系统产生的经济效益和环境效益都很大。DWIYANA 等^[41]通过相关性和回归分析对印度尼西亚稻鱼系统和单一水稻种植系统的生产力和经济效益进行了分析,研究表明,稻鱼系统中有较高的生产力与经济价值;ZHANG 等^[42]发现稻蟹混养模式中,水稻对蟹养殖导致的污染有明显的吸收作用,能显著改善蟹的生存条件,同时在一定程度上能提高水稻产量。因此稻蟹共生是提升稻田生态系统生产力的一个好办法。

池塘养殖尾水灌溉稻蟹共生稻田是一种新的农业生产模式,无论对农民降低成本增加收入还是稻田生态系统本身都是有益的。宁夏地区气候温度等都处于特殊的位置,本文立足于水稻生长过程基础研究,希望对宁夏地区稻蟹共生模式水稻品质产量作出贡献。

参考文献:

- [1] 王妹,蔡新华. 稻渔共作生态高效种养模式研究[J]. 科学养鱼, 2017(3): 80-81.
WANG M, CAI X H. Study on the ecologically efficient breeding and cultivation models of rice-fish cooperative farming[J]. Scientific Fish Farming, 2017(3): 80-81.
- [2] 郑岚萍. 宁夏稻蟹生态种养技术研究及示范推广[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
ZHENG L P. Studied and extended about the technology of rice-crab ecological planting and breeding system in Ningxia [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2013.
- [3] 沈涛. 中卫市稻田养殖扣蟹技术[J]. 渔业致富指南, 2011(16): 40-41.
SHEN T. Techniques for culturing crabs in rice fields in Zhongwei City[J]. Fishery Guide to be Rich, 2011(16): 40-41.

- [4] 金满洋, 张朝阳, 刘瑾冰, 等. 青铜峡市稻田河蟹生态种养新技术试验总结[J]. 宁夏农林科技, 2010(5): 4-6.
JIN M Y, ZHANG C Y, LIU J B, et al. A summary of new techniques for ecological breeding of paddy field crab in Qingtongxia City [J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2010(5): 4-6.
- [5] 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[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(6): 890-901.
GUO H S, XU G H, LIU Q G. Effects of rice density of Qingtian rice-fish coculture system on rice growth and yield composition [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(6): 890-901.
- [6] 程晋玲. 长丰县稻虾综合种养中水稻生产存在的问题及应对技术措施[J]. 现代农业科技, 2020(7): 61-62.
CHENG J L. Problems and countermeasures of rice production in the comprehensive cultivation of rice and shrimp in Changfeng County [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020(7): 61-62.
- [7] 石世杰, 李纯杰, 曹凑贵, 等. 稻虾共作模式下不同播期对水稻产量和品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(2): 25-32.
SHI S J, LI C J, CAO C G, et al. Effects of different sowing date on yield and quality of high quality rice in rice-crayfish ecosystem[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2020, 39(2): 25-32.
- [8] 李丽娜, 闫淋淋, 曹凑贵, 等. 稻虾共作系统中水稻生长及养分吸收对秸秆还田与投食的响应[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(2): 8-16.
LI L N, YAN L L, CAO C G, et al. Effects of straw returning and crayfish feeding on rice growth and nutrient uptake in rice-crayfish ecosystem [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2020, 39(2): 8-16.
- [9] 彭成林, 袁家富, 贾平安, 等. 长期稻虾共作模式对不同施氮量下直播水稻产量和氮肥利用效率的影响[J]. 河南农业科学, 2020, 49(4): 15-21.
PENG C L, YUAN J F, JIA P A, et al. Effects of long-term integrated rice-crayfish model on yield and nitrogen use efficiency of direct-seeding rice under different nitrogen application rates [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2020, 49(4): 15-21.
- [10] 汪本福, 张枝盛, 李阳, 等. 灰色关联度法在湖北省稻虾专用优质水稻品种筛选中的应用[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(24): 70-73.
WANG B F, ZHANG Z S, LI Y, et al. Application of grey correlation degree analysis in screening of special rice varieties for rice-shrimp in Hubei Province [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2018, 57(24): 70-73.
- [11] 郭海松, 罗衡, 李丰, 等. 不同水稻栽培密度下青田稻-鱼共生系统的土壤肥力[J]. 水产学报, 2020, 44(5): 805-815.
GUO H S, LUO H, LI F, et al. Investigation of soil fertility of Qingtian rice-fish coculture system under different rice cultivation densities [J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(5): 805-815.
- [12] 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[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(6): 890-901.
GUO H S, XU G H, LIU Q G. Effects of rice density of Qingtian rice-fish coculture system on rice growth and yield composition [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(6): 890-901.
- [13] 谷婕, 吴涛, 王忍, 等. 稻鱼生态系统对水稻产量及其构成因素的影响[J]. 作物研究, 2019, 33(5): 378-381.
GU J, WU T, WANG R, et al. Effects of rice-fish ecosystem compound breeding model on rice yield and its component factors [J]. Crop Research, 2019, 33(5): 378-381.
- [14] 张剑, 胡亮亮, 任伟征, 等. 稻鱼系统中田鱼对资源的利用及对水稻生长的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(1): 299-307.
ZHANG J, HU L L, REN W Z, et al. Effects of fish on field resource utilization and rice growth in rice-fish coculture [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(1): 299-307.
- [15] 吴敏芳, 郭梁, 王晨, 等. 不同施肥方式对稻鱼系统水稻产量和养分动态的影响[J]. 浙江农业科学, 2016, 57(8): 1170-1173.
WU M F, GUO L, WANG C, et al. Effects of different fertilization methods on rice yield and nutrient dynamics in rice-fish system [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2016, 57(8): 1170-1173.
- [16] 林传政, 吕泽林, 周远清, 等. 不同稻鱼共生方式对水稻性状及稻鱼产量的影响[J]. 耕作与栽培, 2015(6): 19-21, 43.
LIN C Z, LYU Z L, ZHOU Y Q, et al. Effects of different rice/fish intergrowth on rice traits and yield of rice and fish [J]. Tillage and Cultivation, 2015(6): 19-21, 43.
- [17] 孙宇, 顾辉杰, 王培玉, 等. 稻鸭综合种养模式下水稻产量与效益分析[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2020, 41(1): 71-75.
SUN Y, GU H J, WANG P Y, et al. An analysis of relative economic benefits in rice-duck farming fields [J]. Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition), 2020, 41(1): 71-75.
- [18] 禹盛苗, 欧阳由男, 张秋英, 等. 稻鸭共育复合系统对水稻生长与产量的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1252-1256.
YU S M, OUYANG Y N, ZHANG Q Y, et al. Effects of rice-duck farming system on *Oryza sativa* growth and its yield [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(7): 1252-1256.
- [19] 梁玉刚, 胡雅林, 陈奕沙, 等. 稻鸭共育对水稻生长后期农艺性状及产量的影响[J]. 作物研究, 2019, 33(5): 382-387.

- LIANG Y G, HU Y L, CHEN Y S, et al. Effect of rice-duck farming on agronomic characters and yield in the late growth stage[J]. *Crop Research*, 2019, 33(5): 382-387.
- [20] 吴涛, 黄璜, 谷婕, 等. 稻鸭复合种养模式对水稻产量及其构成因素的影响[J]. *作物研究*, 2018, 32(4): 286-289.
- WU T, HUANG H, GU J, et al. Effects of rice-duck compound breeding model on rice yield and its component factors[J]. *Crop Research*, 2018, 32(4): 286-289.
- [21] 魏金梅, 何彤慧. 银川段黄河水质与城市化水平的灰色关联分析[J]. *水资源研究*, 2010, 31(2): 13-14, 30.
- WEI J M, HE T H. Grey relation analysis of water quality and urbanization level of the Yellow River in Yinchuan Section[J]. *Journal of Water Resources Research*, 2010, 31(2): 13-14, 30.
- [22] 邓聚龙. 本征性灰色系统的主要方法[J]. *系统工程理论与实践*, 1986, 6(1): 60-65.
- DENG J L. Main methods of intrinsic grey system [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 1986, 6(1): 60-65.
- [23] 倡国涵. 长期稻虾共作模式下稻田土壤肥力变化特征研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- SI G H. Study on change characteristics of soil fertility in paddy fields under long-term integrated rice-crayfish model [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017.
- [24] 王昂. 稻蟹共作系统氮素迁移与转化特征的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- WANG A. Migration and transformation of nitrogen in rice-cray culture systems [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [25] 刘蕾蕾. 气候变化、品种更新和管理措施对我国水稻生育期及产量影响的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- LIU L L. Effects of climate change, cultivars improvement and management practices on rice growth duration and production in China [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [26] 陈斌. 不同灌溉处理对早稻产量形成和品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- CHEN B. Effects of different irrigations on yield formation and quality of aerobic rice[D]. Beijing: China Agricultural University, 2004.
- [27] 杨生龙, 贾志英. 不同水分处理对水稻和早稻产量及产量构成因子的影响[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(31): 17410-17412, 17418.
- YANG S L, JIA Z Y. Effect of different water treatments on yield and yield components of lowland rice and aerobic rice [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(31): 17410-17412, 17418.
- [28] 周元, 朱建强, 李谷, 等. 稻田对池塘养殖肥水的吸收利用效果研究[J]. *灌溉排水学报*, 2011, 30(5): 78-81.
- ZHOU Y, ZHU J Q, LI G, et al. The nutrients in the fertile water from fish pond assimilated and utilized by paddy field [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2011, 30(5): 78-81.
- [29] 孙志萍, 秦琳, 刘耀斌, 等. 水稻对富营养化水体生态修复效应及其研究进展[J]. *中国水稻科学*, 2018, 32(5): 509-518.
- SUN Z P, QIN L, LIU Y B, et al. Advances in restoration effects of rice growing on eutrophic water [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2018, 32(5): 509-518.
- [30] 杨生龙, 王兴盛, 强爱玲, 等. 不同灌溉方式对水稻产量及产量构成因子的影响[J]. *中国稻米*, 2010, 16(1): 49-51.
- YANG S L, WANG X S, QIANG A L, et al. Effects of different irrigation methods on rice yield and yield components [J]. *China Rice*, 2010, 16(1): 49-51.
- [31] 范鸿志, 朱建强. 稻田表面流处理对池塘养殖水的净化效果[J]. *长江大学学报(自然科学版)*, 2013, 10(5): 61-63.
- FAN H Z, ZHU J Q. Purification effect of surface flow treatment of paddy field on pond aquaculture water [J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2013, 10(5): 61-63.
- [32] 陈柏湘. 稻田对池塘养殖废水的净化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- CHEN B X. Study on rice field for the treatment of pond effluents [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009.
- [33] 叶定池, 吴春赞, 林华, 等. 水稻产量构成因子与稻米品质性状的关系[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(3): 204-206.
- YE D C, WU C Z, LIN H, et al. Study on relationship between factor of rice yield components and quality [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(3): 204-206.
- [34] 孔飞扬, 江立庚, 文娟, 等. 直播水稻产量、产量构成因子和干物质积累的变化特点及其相互关系[J]. *华中农业大学学报*, 2018, 37(5): 11-17.
- KONG F Y, JIANG L G, WEN J, et al. Changes and relationships of yield, yield components and dry matter accumulation of direct-seeded rice [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2018, 37(5): 11-17.
- [35] 赵霞, 刘然方, 邓学东, 等. 自贡地区杂交水稻新组合产量及构成因子的通径分析[J]. *农业科技通讯*, 2016(6): 104-107.
- ZHAO X, LIU R F, DENG X D, et al. Path analysis of yield and component factors of new hybrid rice combinations in Zigong Area [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2016(6): 104-107.
- [36] 孙占慧, 张树林, 徐正进. 辽宁省水稻产量构成因子的相关分析[J]. *沈阳农业大学学报*, 2003, 34(1): 8-11.
- SUN Z H, ZHANG S L, XU Z J. Correlation analysis of rice yield structure in Liaoning Province [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2003, 34(1): 8-11.

- [37] 穆平, 张洪亮, 姜德峰, 等. 利用水、旱稻 DH 系定位产量性状的 QTL 及其环境互作分析[J]. 中国农业科学, 2005, 38(9): 1725-1733.
- MU P, ZHANG H L, JIANG D F, et al. QTL mapping and interactions between QTL and environment for yield and its components using a DH population derived from a lowland and upland rice cross[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(9): 1725-1733.
- [38] 刘桃菊, 戚昌瀚, 唐建军. 水稻根系建成与产量及其构成关系的研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1416-1419.
- LIU T J, QI C H, TANG J J. Studies on relationship between the character parameters of root and yield formation in rice [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(11): 1416-1419.
- [39] BERG H. Rice monoculture and integrated rice-fish farming in the Mekong Delta, Vietnam—economic and ecological considerations[J]. *Ecological Economics*, 2002, 41(1): 95-107.
- [40] RIVERA-FERRE M G, MASSO M D, VARA I, et al. Local agriculture traditional knowledge to ensure food availability in a changing climate: revisiting water management practices in the Indo-Gangetic Plains [J]. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 2016, 40(9): 965-987.
- [41] DWIYANA E, MENDOZA T C. Determinants of productivity and profitability of rice-fish farming systems [J]. *Asia Life Sciences*, 2008, 17(1): 21-42.
- [42] ZHANG J, HU L L, REN W Z, et al. Rice-soft shell turtle coculture effects on yield and its environment [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 224: 116-122.

Study on the rice growth in rice-crab culture system irrigated by pond tail water

SHEN Xiqin¹, LI Kui¹, LIU Kai¹, GU Yun¹, SHI Wei², GUAN Weibing^{1,3}

(1. *College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 2. *Yinchuan Kehai Biotechnology Co., Ltd., Yinchuan 750000, Ningxia, China*; 3. *Huai'an Suze Ecology and Environment Co., Ltd, Huai'an 223218, Jiangsu, China*)

Abstract: In order to explore the significant effects of new rice-fish culture modes on rice growth and yield, the practice of a new rice-fishing culture model was carried out in Guangming Fishing Village, Helan County, Yinchuan City, Ningxia Hui Autonomous Region. Rice paddy irrigation patterns affect rice growth and yield under different conditions. The experiment divides the fish pond water once every 5 days, irrigates the fish pond water every 7 days and does not irrigate the fish pond water. Rice planting variety is "Jihong 6". The average yield per mu of rice is 1089.93/667m². The overall yield per mu is higher than that of paddy fields. The irrigation period is 5 d for irrigation once >7 d for irrigation once > no irrigation of fish pond water. The upper part of the biomass is larger than the paddy field. There were different degrees of correlation between rice yield and yield components, and the overall correlation of gray correlation was from 0.576 to 0.907. The correlation between The root stem constituent factors and rice yield from strong to weak is: root length (0.907) > stem base outside diameter (0.863) = panicle base outside diameter (0.863) > stem length (0.846) > Plant height (0.829) > panicle length (0.776), the root stem constituent factor with the highest correlation with rice yield is root length, and the smallest correlation is the length of the stem; the correlation between rice yield component and rice yield is from strong to weak. The order of ordering is: effective panicle number (0.869) > grain number per ear (0.847) > biomass (0.813) > seed setting rate (0.806) > thousand grain weight (0.759) > hills per hectare (0.715) > root dry weight (0.625) > panicle setting rate (0.576), the yield component with the highest correlation with rice yield is the effective panicle number, and the smallest correlation is the panicle setting rate.

Key words: rice-crab culture; irrigation model; pond tail water; yield composition