

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.

DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2020.02.004

稻虾共作模式下不同播期对水稻产量和品质的影响

石世杰¹,李纯杰¹,曹凑贵^{1,2},汪金平¹,江洋¹

1.华中农业大学植物科学技术学院/双水双绿研究院,武汉 430070;

2.主要粮食作物产业化湖北省协同创新中心,荆州 434025

摘要 以象牙香珍、天两优 953、鄂中 5 号、天源梗 036 及泰优 390 等 5 个水稻品种为试验材料,在稻虾共作系统中,研究不同播期(5 月 21 日、6 月 6 日和 6 月 21 日)对水稻的生育期、倒伏指数、水稻产量及产量构成和稻米品质的影响。结果表明:随着播期的推迟,影响全生育期缩短的主要因素是播种至拔节时期的推迟,大部分水稻品种的抗倒伏能力逐渐增加;5 个水稻品种中天源梗 036、天两优 953 和泰优 390 的抗倒伏能力较好;随着播期推迟,5 个水稻品种产量均呈现增加的趋势,其中造成水稻产量升高的主要构成因子是单位面积有效穗和千粒重;随着播期的推迟,5 个水稻品种的整精米率呈升高的趋势,5 个品种的垩白率、垩白度呈降低的趋势。

关键词 稻虾共作;生态农业;播期;生育期;产量;稻米品质;倒伏指数

中图分类号 S 511:S 966.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2020)02-0025-08

水稻是世界上最主要的粮食作物之一,世界上近 50% 的人口以水稻为主食,可见,水稻的安全生产十分重要^[1]。在水稻种植的过程中,化肥、农药的大量施用使得肥料中的养分不能被有效利用,还会造成农业面源污染;虽然水稻取得了高产,但却是以破坏生态环境为代价^[2]。如何协调环境保护和增产增收之间的关系,成为农业发展需要解决的问题,稻虾共作模式应运而生。稻虾共作模式是生态农业模式的一种,是指在稻田里面开挖环形沟,在沟中养殖小龙虾,在稻田里面种植水稻的一种生态种养模式。利用水稻与小龙虾的互作关系,减少化肥、农药的施用,具有增粮、增肥、节地、节肥、节工和节资的特点。作为现代农业的发展新模式,其发展势不可挡^[3]。随着稻虾共作模式的迅速发展,一些问题也相继出现。目前,稻虾养殖还是以农民自己零星放养为主,一些问题比如重虾轻稻等相继出现,如何协调好种稻和养虾的关系还需要研究。在稻虾共作系统中,不同播期可以影响水稻的产量和品质,播种日期推迟导致水稻生育期缩短,全生育期温度和光照不够导致水稻减产,还会增加后期低温阴雨或者水稻倒伏的风险,但播种日期提前也不一定能提高水稻产量。不同水稻品种适宜的播期也不同,如何在稻虾

共作模式下选择合适的播期,获得高产与优质的稻米成为我们需要解决的问题。本试验以 5 个优质水稻品种为材料,探讨不同播期对优质水稻品种的生育期、水稻产量及产量构成、水稻稻米品质的影响,以期稻虾共作模式提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验田概况

试验于 2017 年在湖北省鄂州市峒山村华中农业大学基地进行。

供试水稻品种为:象牙香珍,常规迟熟晚稻,株型适中,生长势强,为高档特优超泰香米品种,米质达国标优质二级,2013 年通过了湖南省审定。天两优 953,两系杂交中熟偏迟晚稻,株型株高适中,属中熟偏迟粳型晚稻品种,2016 年通过湖北省审定。鄂中 5 号,高档优质中粳稻。天源梗 036,中熟偏迟梗型晚稻,株型适中。泰优 390,三系杂交迟熟晚稻,株型适中,生长势强。

供试虾为克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*),俗称小龙虾,在动物分类学上隶属节肢动物门(Arthropoda)、甲壳纲(Crustacea)、十足目(Decapoda)、螯蛄科(Astacidae)、原螯虾属(*Procambarus*)。

收稿日期:2019-07-02

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(2662017JC007);国家重点研发计划专项(2018YFD0301304);湖北省现代农业产业体系项目
石世杰,硕士。研究方向:作物栽培生理。E-mail: 1297296172@qq.com

通信作者:江洋,博士,副教授。研究方向:水稻栽培生理。E-mail: jiangyang@mail.hzau.edu.cn

1.2 试验设计

试验采用二因素裂区试验,播期为主区,品种为副区,共 60 个小区,每小区面积为 250 m^2 。设置 3 个播期,播期分别为 5 月 21 日、6 月 6 日和 6 月 21 日,每个播期设 3 个重复,品种为象牙香珍、天两优 953、鄂中 5 号、天源梗 036 及泰优 390。栽培方式为直播。

2017 年 4 月份投放虾苗,每个小区投放 50 kg 虾苗,虾苗适应环境后在环形沟开始投食配合饲料,投食饲料按小龙虾体质量的 2% (每小区 0.6 kg/d) 投食半个月,中期按 3% 投食半个月,后期按 5% 投食半个月。稻田水、肥、药管理统一按当地标准。水稻收割后到第 2 年移栽前,稻田一直处于覆水状态。

基肥于播种前 2~3 d 施入,每 667 m^2 施用纯硫基复合肥(N-P-K:26-10-16)30 kg,耙平后待播种。追肥 2 次,分蘖期、抽穗灌浆期提前 5~7 d 每 667 m^2 使用纯硫基复合肥(N-P-K:26-10-16)15 kg,用作追肥促进分蘖、幼穗分化及灌浆结实。

1.3 生育期的调查

定期观察记载分蘖期、拔节期、齐穗期及成熟期等主要生育期。

1.4 气象数据

本研究中的气象数据来源于湖北省鄂州市气象站。

1.5 倒伏指数的测定

于水稻齐穗后 25 d,各小区选取代表性植株 10 穴,并保持不失水,从中找出主茎和 2 个大蘖,测定株高、各节间基部至穗顶的长度、倒伏指数、穗长及各节间的长度,各节基与鞘的鲜质量及穗质量等形态指标。

1.6 产量及产量构成因子的测定

于成熟期在每个小区选取前、中、后 3 个点,每个点选 5 m^2 区域作为测产区,人工收割测产。脱粒后的谷粒自然晒干,用风选机去除杂质和空瘪粒,待测产谷粒的水分晒干至 14% 以下,称其质量,并同时使用谷物水分测量仪(PM-8188New)测定谷物含水量,最终换算为含水量为 14.0% 的水稻产量。

成熟期取 12 苑样品的稻穗经人工脱粒后自然晒干。用 NP-4350 型风选仪分开饱满籽粒和空瘪粒,自然风干后每个小区分别取饱满籽粒 5 份,每份 30 g;瘪粒 5 份,每份 5 g,然后分别计数每份小样的粒数。样品烘干后称质量,最终用于计算产量构成因子。

1.7 稻米品质的测定

从实收样品中,取代表性稻谷 50 g,用 NP-4350 型风选机风选。参照国家标准《GB/T1798—1999 优质稻谷》进行精米率、整精米率、垩白粒率、垩白度等品质性状的测定。

2 结果与分析

2.1 水稻全生育期气象数据

从湖北省鄂州市气象站获知,本研究试验地水稻全生育期温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,最高温度集中在 7—8 月;全生育期的日照时数未出现极端现象;降水量方面,水稻生育期内 7 月上旬和 8 月中旬出现强降雨,9 月份雨量密集,雨量过多会造成水稻倒伏,而且后期温度相对降低,会对水稻生长发育造成一定影响。

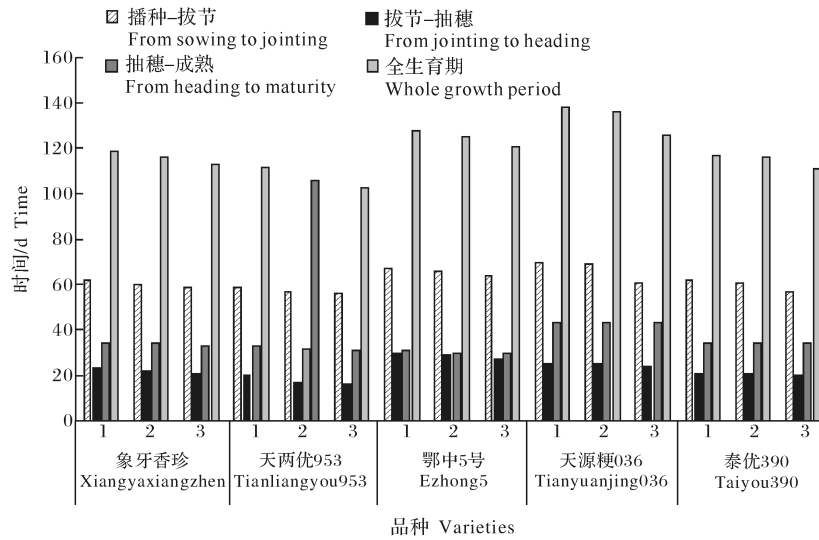
2.2 播期对稻虾共作水稻全生育期主要生育阶段的影响

由图 1 可以看出,随着播期的推迟,主要生育时期、全生育期明显缩短。5 个品种拔节期、抽穗期、成熟期随着播期的推迟,分别减少 1~8、0~2、0~1 d,全生育期缩短 1~10 d。5 个品种的 3 个播期中天两优 953 的全生育期最短,表现为主要生育期相对于其他品种而言较短。对全生育期进行进一步的分析可知,5 个品种的全生育期的缩短主要是播种—拔节这一阶段时间缩短,随着播种时间的推迟,水稻营养生长期不断缩短,而生殖生长期渐渐趋于稳定。

2.3 播期对稻虾共作水稻倒伏指数及相关指标的影响

从图 2 可以看出,随着播期的推迟,象牙香珍、天两优 953、鄂中 5 号、天源梗 036 的第 1 节间和第 2 节间逐渐减小且差异达到显著水平。

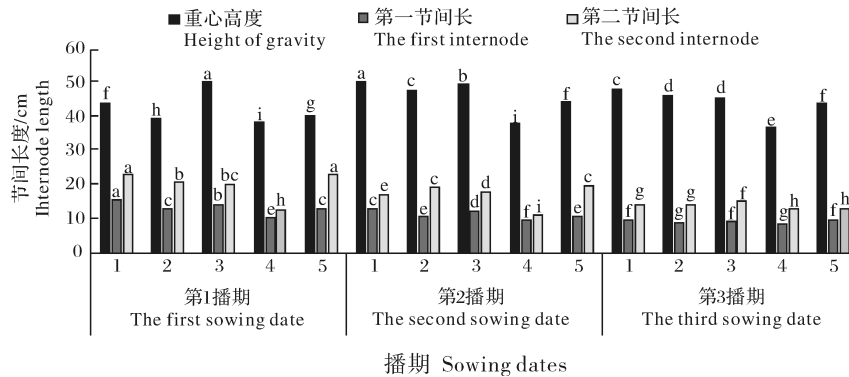
从图 3 可知,象牙香珍的倒伏指数在第 2 播期和第 3 播期条件下最大,且与第 1 播期下的倒伏指数达到显著水平。天两优 953 的倒伏指数在第 2 播期和第 3 播期条件下最大,且与第 1 播期下的倒伏指数差异达到显著水平。鄂中 5 号的倒伏指数在第 1 播期和第 3 播期条件下最大,且与第 2 播期下的倒伏指数差异达到显著水平。随着播期的推迟,第 3 播期条件下的第 2 节间最大且与其他 2 个播期差异达到显著水平。天源梗 036 的倒伏指数在第 2 播期和第 3 播期条件下最大,且与第 1 播期下的倒伏指数达到显著水平。泰优 390 各节间倒伏指数没有



1.第 1 播期 The first sowing date; 2.第 2 播期 The second sowing date; 3.第 3 播期 The third sowing date.

图 1 播期对稻虾共作水稻主要生育期的影响

Fig.1 The effects of sowing time on the number of days in rice's main fertility stage in rice-crayfish co-culture system



1.象牙香珍 Xiangyaxiangzhen; 2.天两优 953 Tianliangyou953; 3.鄂中 5 号 Ezhong5; 4.天源梗 036 Tianyuanjing036; 5.泰优 390 Taiyou390; 不同字母表示处理间差异达到 5% 显著水平 (LSD), 下同。different letters mean significantly different among different treatments at 0.05 levels (LSD), the same in tables as follows.

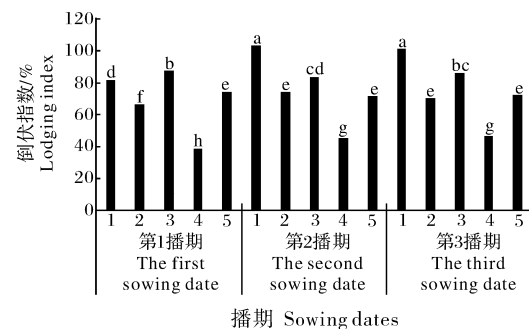
图 2 不同播期水稻品种节间长度

Fig.2 The comparison of internode length of different rice varieties under different sowing dates

差异。从图 3 可见,随着播期的推迟,大部分水稻品种的倒伏指数是逐渐增加的,第 1 节间相对较短,倒伏指数相对较小的品种,抗倒性好,综合比较 3 个播期各指标可发现,抗倒性相对较好的品种是天源梗 036、天两优 953 和泰优 390。

2.4 不同播期对稻虾共作水稻产量的影响

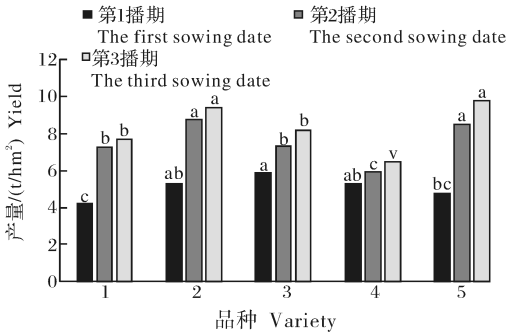
5 个品种在 3 个播期条件下均正常成熟。由图 4 可知,产量在播期、品种及播期与品种间的差异达到显著水平。5 个水稻品种的产量随播期的推迟而有所增加,水稻产量第 3 个播期与第 1 个播期比象牙香珍增加 45.03%,天两优 953 增加 43.76%,鄂中 5 号增加 28.20%,天源梗 036 增加 18.21%,泰优



1.象牙香珍 Xiangyaxiangzhen; 2.天两优 953 Tianliangyou953; 3.鄂中 5 号 Ezhong5; 4.天源梗 036 Tianyuanjing036; 5.泰优 390 Taiyou390.

图 3 不同播期水稻品种倒伏指数

Fig.3 The comparison of lodging index of different rice varieties under different sowing dates



1.象牙香珍 Xiangyaxiangzhen; 2.天两优 953 Tianliangyou953; 3.鄂中 5 号 Ezhong5; 4.天源梗 036 Tianyuanjing036; 5.泰优 390 Taiyou390.

图 4 不同播期对稻虾共作水稻产量的影响
Fig.4 Effects of different sowing dates on rice yield in rice-crayfish co-culture system

390 增加 51.42%。播期每推迟 1 d 产量增加分别为：象牙香珍 0.12 t/hm²、天两优 953 0.138 t/hm²、鄂中 5 号 0.08 t/hm²、天源梗 036 0.04 t/hm²、泰优 390 0.17 t/hm²，产量增加幅度为泰优 390>天两优 953>象牙香珍>鄂中 5 号>天源梗 036。

不同播期对稻虾共作水稻产量及其构成因子的影响结果(表 1)显示：稻虾共作的水稻产量及产量构成因子均随播期的推迟而有所变化；每个品种的有效穗、每穗粒数、千粒重、结实率及实际产量均随播期的变化，差异达到显著或极显著水平。

2.5 不同播期对稻虾共作稻米品质的影响

从表 2 可以看出，随着播期的推迟，象牙香珍、天两优 953 天源梗 036 及泰优 390 的精米率差异达

表 1 播期对稻虾共作水稻产量构成因子的影响

Table 1 The effects of sowing time on rice yield and its components in rice-crayfish co-culture system

播期 Sowing date	品种 Variety	穗数/ (万穗/hm ²) Panicles	每穗粒数 Spikelets per panicle	千粒重/g 1 000- grain weight	结实率/% Filled grain percent	实际产量/ (t/hm ²) Harvest yield
第 1 播期 The first sowing date	象牙香珍 Xiangyaxiangzhen	19.97Cc	84.51Bb	18.49Cc	89Bb	4.26Cc
	天两优 953 Tianliangyou953	15.23Cc	99.49Aa	27.19Cc	92Cc	5.32Cc
	鄂中 5 号 Ezhong5	18.15Cc	88.3A Bab	23.09Cc	92Aa	5.88Bb
	天源梗 036 Tianyuanjing036	18.18Cc	70.94Bb	30.27Aa	83Cc	5.30Bb
第 2 播期 The second sowing date	泰优 390 Taiyou390	19.63Cc	90.36Aa	22.78Cc	84Bb	4.78Cc
	象牙香珍 Xiangyaxiangzhen	27.12Bb	87.59ABab	19.11Bb	90Bb	7.30Bb
	天两优 953 Tianliangyou953	18.73Bb	105.67Aa	28.39Bb	94Bb	8.79Bb
	鄂中 5 号 Ezhong5	23.55Bb	80.66Bb	23.98Bb	93Aa	7.37Aa
第 3 播期 The third sowing date	天源梗 036 Tianyuanjing036	20.97Bb	81.70Aa	31.82Aa	90Bb	5.94ABab
	泰优 390 Taiyou390	22.53Bb	93.27Aa	23.95Bb	93Aa	8.60Bb
	象牙香珍 Xiangyaxiangzhen	28.62Aa	90.40Aa	20.75Aa	93Aa	7.75Aa
	天两优 953 Tianliangyou953	20.82Aa	109.25Aa	31.58Aa	96Aa	9.46Aa
	鄂中 5 号 Ezhong5	30.09Aa	89.68Aa	24.69Aa	81Bb	8.19Aa
	天源梗 036 Tianyuanjing036	23.15Aa	86.93Aa	31.14Aa	92Aa	6.48Aa
	泰优 390 Taiyou390	25.75Aa	99.50Aa	25.72Aa	94Aa	9.84Aa

注：同列数值后不同的小写或大写字母分别表示在 0.05 或 0.01 水平上差异显著。下表同。Note:Figures followed by different lowercase or uppercase within the same column mean significant difference at 0.05 or 0.01 levels.The same as follows.

到极显著水平，4 个品种的精米率均随着播期的推迟而升高。象牙香珍、天两优 953、鄂中 5 号、天源梗 036 及泰优 390 的整精米率随着播期的推迟而升高，其中，象牙香珍、天两优 953 及泰优 390 的整精米率在 3 个播期之间差异达到显著水平；鄂中 5 号第 3 个播期与第 1、2 播期的整精米率达到显著性差异，天源梗 036 的整精米率第 1 个播期与第 2、3 播期达到显著差异。随着播期的推迟，象牙香珍、天两

优 953、鄂中 5 号、天源梗 036 及泰优 390 的垩白率、垩白度均有所下降；其中，象牙香珍、鄂中 5 号及天源梗 036 的垩白率在 3 个播期之间的差异均达到显著水平；泰优 390 第 1 个播期的垩白率与第 2、3 播期达到显著水平；天两优 953 第 1 个播期的垩白率与第 2、3 播期达到显著性差异。随着播期的推迟，象牙香珍、天两优 953、天源梗 036 及泰优 390 的垩白度均有下降的现象，且象牙香珍的垩白度随

播期推迟差异达到显著水平,天两优 953 的垩白度 源粳 036 与泰优 390 的垩白度在第 1 播期与第 2、3 在第 3 个播期与第 1、2 播期间达到显著性差异,天 播期间差异达到显著水平。

表 2 不同播期对稻虾共作稻米品质的影响

Table 2 Effects of different sowing time on rice quality in rice-crayfish co-culture						%
播期 Sowing date	品种 Variety	精米率 White rice rate	整精米率 Head rice rate	垩白率 Chalk white rate	垩白度 Chalk white degree	
第 1 播期 The first Sowing date	象牙香珍 Xiangyaxiangzhen	82.83c	71.76c	8.80a	4.57c	
	天两优 953 Tianliangyou953	83.28c	64.51c	17.03a	4.47a	
	鄂中 5 号 Ezhong5	84.34b	73.89b	3.13a	0.60a	
	天源粳 036 Tianyuanjing036	85.80c	73.54b	9.77a	3.23a	
第 2 播期 The second Sowing date	泰优 390 Taiyou390	84.29c	74.79c	10.43a	2.70a	
	象牙香珍 Xiangyaxiangzhen	85.36b	78.21b	5.40b	1.13b	
	天两优 953 Tianliangyou953	85.52b	75.60b	12.50b	3.87a	
	鄂中 5 号 Ezhong5	85.77ab	74.52b	2.30b	0.53a	
	天源粳 036 Tianyuanjing036	86.93a	81.48a	8.90b	2.73b	
	泰优 390 Taiyou390	85.20b	81.20b	8.50b	2.03b	
第 3 播期 The third sowing date	象牙香珍 Xiangyaxiangzhen	87.11a	83.81a	2.47c	0.53a	
	天两优 953 Tianliangyou953	86.83b	83.41a	5.8 b	1.50b	
	鄂中 5 号 Ezhong5	87.40a	77.18a	1.33c	0.50a	
	天源粳 036 Tianyuanjing036	87.65a	85.30a	2.57c	1.87b	
	泰优 390 Taiyou390	86.48a	84.10a	7.10 b	1.67b	

3 讨 论

3.1 稻虾共作模式下不同播期对水稻品种倒伏指数的影响

倒伏一直是制约水稻生产的一个重要因素。后期水稻的倒伏不仅影响水稻的产量和品质,还给水稻的收割带来一定的困难。水稻的倒伏分为根倒和茎倒。水稻发生根倒主要由根系扎入太浅,泥土松软,经过风雨的侵袭,根倒就自然发生,这种倒伏主要与栽培措施有关。茎倒则主要与水稻自身特性有关,水稻茎秆纤细、重心过高,后期营养物质转运至穗部,造成水稻茎秆不堪重负而发生倒伏。前人关于水稻倒伏原因的研究较多,总结起来,分为内因和外因 2 种。造成水稻倒伏的内因主要与水稻自身的品种特性有关,如水稻的抗倒性强弱、水稻的生育期长短等;造成水稻倒伏的外因主要与水稻的栽培措施和环境气象等因子有关,栽培措施如栽培方式、施肥量、田间病虫害以及水分的管理,气象因子如暴风雨等恶劣天气均是引起倒伏的重大原因^[4]。外在的气象因子不可控,故只能针对水稻自身特性来选择适应的环境条件。有学者采用灰色关联度分析方法

研究表明与抗倒力矩关联最密切的是水稻茎秆的形态、生理指标等^[6]。还有人 对水稻的株高进行研究后认为,引起水稻倒伏的并不一定就是水稻植株过高,而是与水稻的茎秆韧性及水稻茎秆的组成成分有关^[6]。由此,有学者对水稻倒伏与茎秆形态关系作了进一步的阐述,认为株高过高将加大水稻倒伏的危险性,缩短增粗水稻茎秆基部节间,增加茎秆节间宽度,能有效增强水稻抗倒伏能力^[7];周勇等^[8]认为水稻茎秆基部宽度越大,水稻抗倒伏能力越强;肖应辉等^[9]认为水稻抗倒伏指数与茎秆基部宽度显著性相关,抗倒伏能力受茎秆性状的影响显著。

本研究对 5 个水稻品种倒伏相关指标进行比较发现,稻虾共作模式下抗倒能力最好的是天源粳 036,天两优 953 和泰优 390 次之,抗倒能力相比较弱的水稻品种是鄂中 5 号和象牙香珍。对于同一水稻品种,在不同播期条件下的抗倒伏能力进行分析可知,象牙香珍、天源粳 036 与天两优 953 在第 1 播期条件下的抗倒伏能力最好,随着播期推迟抗倒伏能力逐渐减弱,且第 2 播期与第 3 播期条件下的倒伏指数没有显著差异。鄂中 5 号在第 2 播期条件下最好,泰优 390 在 3 个播期条件下的倒伏指数没有

显著性差异。

3.2 稻虾共作模式下不同播期对水稻品种产量及产量构成因子的影响

本研究结果显示,随着播期的推迟,5 个水稻品种的产量均有所增加,并且差异达到极显著水平。有研究指出,对于大多数品种,水稻的产量随播期推迟而有所增加^[10]。但是,有的试验研究中水稻品种的产量随播期的推迟出现降低的趋势,分析造成这种差异的原因,是由于籼稻和粳稻品种随播期推迟会表现出不同的变化趋势,并且设置的播期处理的不同,对水稻的产量也会造成不同的影响^[11]。

从水稻产量构成因子来分析,随着播期的推迟,象牙香珍和天两优 953 的有效穗、千粒重及结实率均有所增加,且差异达到极显著水平,与水稻产量的变化趋势保持一致,而其每穗粒数也随着播期的推迟出现增加的趋势,但差异并未达到显著水平,故可得出影响象牙香珍、天两优 953 的产量的主要构成因子是有效穗、千粒重及结实率;泰优 390 的有效穗、千粒重随着播期的推迟而增加,差异达到极显著水平,其第 1 播期的结实率与第 2、3 播期达到极显著差异,每穗粒数虽然随着播期的推迟有所增加,但差异并未达到显著水平,因此,影响泰优 390 的产量构成因子主要是有效穗和千粒重;鄂中 5 号和天源梗 036 的有效穗随着播期的推迟均有所增加,差异达到极显著水平,每穗粒数和千粒重均有所增加,但差异并不显著,其中天源梗 036 的结实率随着播期的推迟有所升高,差异达到极显著水平,故可得出,影响鄂中 5 号的产量构成因子主要是有效穗,影响天源梗 036 的产量构成因子是有效穗和结实率。结合试验地的气象资料可看出,5 个水稻品种在营养生长阶段的积温及日照时数随着播期的推迟变化不大;但在营养生长后期,第 1、2 播期遭受持续高温天气,不利于稻穗的发育,影响到水稻产量;适当推迟播期,可以降低作物遇到高温的频率,保证作物正常生长,进而提高水稻产量。而且在实际生产中,第 1、2 播期的水稻因生长发育后期遭受恶劣天气,出现了部分倒伏,影响到水稻的正常灌浆结实,进而影响了水稻的产量。

3.3 稻虾共作模式下不同播期对稻虾共作稻米品质的影响

稻米品质的优劣主要受品种本身遗传因素控制

和环境因素的影响^[12]。不同播期对稻米品质的影响主要在于水稻的灌浆结实期所处的气候条件不同,使水稻的灌浆程度不同,进而影响水稻稻米品质。本试验通过研究不同播期对稻米品质的影响时发现,随着播期的推迟,水稻的垩白率及垩白度均有所下降。程方民等^[13]研究了 20 个不同类型的水稻品种,通过分期播种,发现同一品种晚播相对于早播稻米品质相对较好。秦阳等^[14]研究显示,在米质性状中,水稻的垩白是受播期影响最大的性状,推迟中早熟或中熟品种播期,水稻产量变化较小,而米质有了明显改善。褚旭东等^[15]研究认为稻米碾米品质、外观品质及营养品质均受到播期的影响,一定程度上推迟播期可以提升籼稻稻米品质。谢成林等^[16]在研究总结优质稻米生产技术时指出播期对稻米品质因品种而不同,对于早熟和中熟品种,推迟播期能改善稻米品质,但对于晚熟品种结果却相反。因此,适当推迟播期是有利的,还可以节省水资源,但对于中晚熟水稻品种推迟播期则米质下降,不适宜晚播。

本研究在稻虾共作系统中探讨不同播期对不同优质稻米品质的影响,结果表明,随着播期的推迟,象牙香珍、天两优 953、天源梗 036 及泰优 390 的整精米率和整精米率均升高,且差异达到显著水平,鄂中 5 号也表现出相同的趋势,但差异并不显著,也就是说,随着播期的推迟 5 个水稻品种的加工品质均得到了改善。参照农业部优质食用稻米标准(NY 20—1986),可以看出 5 个水稻品种的整精米率和整精米率均达到一级标准;5 个水稻品种的垩白率和垩白度均随播期的推迟而下降,差异达到显著水平,鄂中 5 号表现出相同的趋势,但并未出现显著性差异,说明推迟播期,5 个水稻品种的外观品质得到提高,对照农业部优质食用稻米标准(NY 20—1986)可看出,只有鄂中 5 号 3 个播期条件下的垩白率及垩白度达到了一级标准,象牙香珍和天源梗 036 的垩白率在第 3 个播期达到一级标准,在第 1、2 播期达到二级标准,泰优 390 在第 2、3 播期达到二级标准,天两优 953 在第 3 个播期达到二级标准;垩白度,只有鄂中 5 号 3 个播期条件下达到一级标准,象牙香珍的垩白率在第 3 个播期达到一级标准,在第 2、3 播期达到二级标准,其他 3 个水稻品种 3 个

播期条件下均为二级标准。因此,适当推迟播期能在一定程度上改善稻米品质,这与朱李阳^[10]的研究结果一致。

综上所述,在稻虾共作模式下,随着播期的推迟,5个参试水稻品种的产量、品质和倒伏指数都有不同程度的提高,但是过于推迟播期水稻的抗倒伏能力减弱,会发生水稻减产的风险。在3个播期处理条件下,天两优953和泰优390的水稻产量表现均优于象牙香珍、鄂中5号及天源梗036;5个品种中抗倒性表现比较好的品种有天源梗036、天两优953及泰优390,但天源梗036的全生育期相对较长,不适宜稻虾共作,故从产量角度考虑,较好的水稻品种为天两优953和泰优390。鄂中5号虽然抗倒伏能力较弱,但是稻米外观品质极佳。因此,适宜稻虾共作模式的水稻品种是泰优390、天两优953和鄂中5号,且水稻最适宜的移栽或播种期为6月中旬。

参考文献 References

- [1] 王延涛,杨帆.对农业现代化的几点认识[J].农业经济,2004(1):45-46. WANG Y T, YANG F. Some understanding of the modern agriculture [J]. Agricultural economy, 2004(1): 45-46 (in Chinese).
- [2] 彭文冲.现代农业生产中存在的问题及对策[J].北京农业,2015(29):179-180. PENG W C. Problems in modern agricultural production and countermeasures[J]. Beijing agriculture, 2015(29): 179-180 (in Chinese).
- [3] 陈灿,郑华斌,黄璜,等.新时期传统稻鱼生态农业文明发展的再思考[J].作物研究,2016,30(6):619-624. CHEN C, ZHENG H B, HUANG H, et al. Rethinking of traditional rice-fish eco-agriculture civilization development in the new period[J]. Crop research, 2016, 30(6): 619-624 (in Chinese with English abstract).
- [4] 杨长明,杨林章,颜廷梅,等.不同养分和水分管理模式对水稻抗倒伏能力的影响[J].应用生态学报,2004(4):646-650. YANG C M, YANG L Z, YAN T M, et al. Effects of nutrient and water regimes on lodging resistance of rice[J]. Chinese journal of applied ecology, 2004(4): 646-650 (in Chinese with English abstract).
- [5] 华泽田,郝宪彬,沈枫,等.东北地区超级杂交粳稻倒伏性状的研究[J].沈阳农业大学学报,2003(3):161-164. HUA Z T, HAO X B, SHEN F, et al. Lodging traits of north Japonica super hybrid rice[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2003(3): 161-164.
- [6] 罗茂春,田翠婷,李晓娟,等.水稻茎秆形态结构特征和化学成分与抗倒伏关系综述[J].西北植物学报,2007(11):2346-2353. LUO M C, TIAN C T, LI X J, et al. Relationship between morpho-anatomical traits together with chemical components and lodging resistance of stem in rice(L.) [J]. Acta botanica boreali-occidentalia sinica, 2007(11): 2346-2353 (in Chinese with English abstract).
- [7] 王焱,魏中伟,邵平,等.水稻茎秆特性与抗倒伏关系的研究现状[J].湖北农业科学,2015,54(9):2054-2057. WANG Y, WEI Z W, SHAO P, et al. Research status on relationship between culm characteristics and lodging resistance of rice[J]. Hubei agricultural sciences, 2015, 54(9): 2054-2057 (in Chinese with English abstract).
- [8] 周勇,崔国昆,张言周,等.水稻抽穗期主效 QTL qHd8.1 的精细定位[J].中国水稻科学,2012,26(1):43-48. ZHOU Y, CUI G K, ZHANG Y Z, et al. Fine mapping of a major QTL qHd8.1 for heading date in rice[J]. Chinese journal of rice science, 2012, 26(1): 43-48 (in Chinese with English abstract).
- [9] 肖应辉,罗丽华,闫晓燕,等.水稻品种倒伏指数 QTL 分析[J].作物学报,2005(3):348-354. XIAO Y H, LUO L H, YAN X Y, et al. Quantitative trait locus analysis of lodging index in rice(*Oryza sativa* L.) [J]. Acta agronomica sinica, 2005(3): 348-354.
- [10] 朱李阳.播期和昼夜高温对水稻产量和稻米品质的影响及其生理机制[D].武汉:华中农业大学,2011. ZHU L Y. Effects of sowing date and high day and night temperatures on yield and quality of rice[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011 (in Chinese with English abstract).
- [11] 王文婷.播期对直播稻产量形成与品质的影响[D].扬州:扬州大学,2015. WANG W T. Effects of direct-seeding date on yield formation and rice quality[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [12] 游晴如,黄庭旭,马宏敏.环境生态因子对稻米品质影响的研究进展[J].江西农业学报,2006(3):155-158. YOU Q R, HUANG T X, MA H M. Advances in effects of environmental ecological factors on rice quality[J]. Acta agriculturae Jiangxi, 2006(3): 155-158 (in Chinese with English abstract).
- [13] 程方民,钟连进.不同气候生态条件下稻米品质性状的变异及主要影响因子分析[J].中国水稻科学,2001,15(3):28-32. CHENG F M, ZHONG L J. Variation of rice quality traits under different climate conditions and its main affected factors [J]. Chinese journal of rice science, 2001, 15(3): 28-32 (in Chinese with English abstract).
- [14] 秦阳,蒋文春,张城,等.不同水稻品种播期与品质的关系[J].沈阳农业大学学报,2004(4):328-331. QIN Y, JIANG W C,

- ZHANG C, et al. Relationship between sowing date and quality traits in different rice varieties[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2004(4):328-331(in Chinese with English abstract).
- [15] 褚旭东,石军,王志,等.不同播期对 15 个籼稻品种稻米品质的影响[J].陕西农业科学,2010,56(1):9-11. CHU X D, SHI J, WANG Z, et al. Influence of sowing time on the quality on rice [J]. Shaanxi journal of agricultural sciences, 2010, 56(1):9-11 (in Chinese).
- [16] 谢成林,唐建鹏,姚义,等.栽培措施对稻米品质影响的研究进展[J].中国稻米,2017,23(6):13-18. XIE C L, TANG J P, YAO Y, et al. Research progress on effects of cultivation method on quality of rice[J]. China rice, 2017, 23(6):13-18(in Chinese).

Effects of different sowing date on yield and quality of high quality rice in rice-crayfish ecosystem

SHI Shijie¹, LI Chunjie¹, CAO Cougui^{1,2}, WANG Jinping¹, JIANG Yang¹

1. Shuangshui Shuanglü Institute/College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Hubei Collaborative Innovation Center for Grain Industry, Jingzhou 434025, China

Abstract Rice varieties including Xiangyaxiangzhen, Tianliangyou953, Ezhong5, Tianyuanjing036, and Taiyou390 were used to study effects of sowing date on the growth period, lodging index, yield, yield components and quality of rice in the rice-crayfish ecosystem. The results showed that the main factor affecting the shortening of whole growth period was the delay of the period from sowing to jointing and the lodging resistance of most rice varieties gradually increased with the delay of sowing date. Tianyuanjing036, Tianliangyou953 and Taiyou390 had good lodging resistance. The yield of 5 rice varieties increased with the delay of sowing date. The main factors affecting rice yield are the effective panicle and 1000-grain weight per unit area. The brown rice rate, white rice rate of 5 rice varieties increased and the chalkiness and chalky rice rate of 5 rice varieties decreased with the delay of sowing time.

Keywords rice-crayfish farming system; ecological agriculture; sowing date; growth period; yield; rice quality; lodging index

(责任编辑:张志钰)