

不同栽培方式对2个水稻品种农艺性状、细菌性条斑病抗性和经济效益的影响

许 星¹, 张 锋¹, 王林萍^{2*}

(1. 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002; 2. 福建农林大学经济学院, 福州 350002)

摘要 试验设计了抗病品种‘甬优15’与感病品种‘D优151’在单作、间作条件下施用3个不同水平追肥量, 组成12组不同的栽培条件。结果表明, 两个品种均为随施肥量增加, 分蘖数、株高、穗长增加; 有效穗数、每穗实粒数、千粒重、结实率先增加后减少。两个品种均以间作条件下施用2水平施肥量(675 kg/hm²)产量最高, ‘甬优15’为9.62 t/hm², ‘D优151’为8.24 t/hm²。‘甬优15’间作对比单作在施肥量675 kg/hm²时发病率降低0.8个百分点, 病情指数降低0.9; ‘D优151’发病率降低16.3个百分点, 病情指数降低3.6。两个品种间作条件下施用450 kg/hm²追肥量时经济效益最佳; ‘甬优15’的施肥增产率、边际产量、产值、净收益、新增纯收益率和边际成本报酬率为6.42%, 7.73 kg/kg, 24 050元/hm², 9 725元/hm², 15.43%, 9.67元/元; ‘D优151’为4.77%, 5.07 kg/kg, 20 850元/hm², 6 525元/hm², 13.97%, 6.33元/元。结果表明, 两个品种在间作条件施用450 kg/hm²追肥量, 不仅可以获得最高水稻产量和较好的细菌性条斑病抗性, 还可以获得最佳经济收益。

关键词 间作; 施肥量; 性状; 抗性; 经济效益

中图分类号: S 474.1 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2017429

Effects of different cultivation conditions on the traits, resistance to bacterial leaf streak, and economic benefits of two rice varieties

XU Xing¹, ZHANG Feng¹, WANG Linping²

(1. College of Plant Protection, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. College of Economics, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract The effects of different cultivation conditions on rice traits, bacterial leaf streak resistance, and related economic benefits were investigated in the field. The two rice varieties, *i. e.*, the disease-resistant cultivar ‘Yongyou 15’ and the susceptible cultivar ‘D-you 151’, were studied under the conditions of monocropping and intercropping at three different fertilization levels, thereby generating a total of 12 treatments. We found that higher amounts of fertilizers (675 kg/hm²) increased the number of tillers, plant height, and panicle length of the two rice cultivars, whereas the effective panicle number, grain number per panicle, 1 000-grain weight, and seed setting rate increased initially but decreased subsequently. At the same fertilization level, all tested crop traits cultivated in the intercropping manner were better than those cultivated in the monocropping manner for both cultivars. Both cultivars cultivated in the intercropping manner with 450 kg/hm² topdressing produced the highest yield. The yield of ‘Yongyou 15’ was 9.62 t/hm², whereas that of ‘D-you 151’ was 8.24 t/hm². Bacterial leaf streak disease incidence and index increased in rice plants treated with higher amounts of fertilizers, whereas intercropping between the two cultivars resulted in a significant reduction in both parameters. The findings of the present study showed that intercropping and application of 675 kg/hm² fertilization to ‘Yongyou 15’ resulted in a 0.8 percentage points and 0.9 reduction in disease incidence and index, respectively. For ‘D-you 151’, the disease incidence and index decreased by 16.3 percentage points and 3.6, respectively. The two cultivars cultivated in the intercropping manner yielded significantly higher economic benefits than those cultivated in the monocropping manner, including the increase in yield by fertilization, marginal yield, output value, net proceeds and the improvement in the percentage of net proceeds, and marginal rate of return. Additionally, rice plants cultivated in

收稿日期: 2017-11-08 修订日期: 2018-01-19

基金项目: 福建省产业支撑科技重大项目(2012N4001)

* 通信作者 E-mail: lnpingwang@fafu.edu.cn

the intercropping manner and the application of 450 kg/hm² topdressing gained the best economic benefit. For ‘Yongyou 15’, yield increase by fertilization, marginal yield, output value, net income, increased net benefit rate, and marginal cost rate of return were 6.42%, 7.73 kg/kg, 24 050 yuan/hm², 9 725 yuan/hm², 15.43%, and 9.67 yuan/yuan, respectively. The corresponding values for ‘D-you 151’ were 4.77%, 5.07 kg/kg, 20 850 yuan/hm², 6 525 yuan/hm², 13.97%, and 6.33 yuan/yuan, respectively. Our findings indicate that the two cultivars grown in the intercropping manner and the treatment with level-2 topdressing improve the host resistance to bacterial leaf streak, thus lead to a higher crop yield and the best economic benefits.

Key words intercropping; fertilization amount; traits; resistance; economic benefit

水稻是福建省种植面积最大的粮食作物,其产量构成因素主要由有效穗数、穗粒数和千粒重等性状组成。水稻细菌性条斑病 *Xanthomonas campestris* pv. *oryzicola* 是福建省水稻主要病害之一,属国内植物检疫对象,对水稻产量可造成重要影响。而水稻品种差别、施肥量等不但影响水稻产量,还可以影响其发病率,对水稻产量间接造成影响^[1-2]。例如,施肥量越大,分蘖及每穗枝梗数往往也随之增加^[3];但是施肥量过大,水稻的抗病性便会降低,同时会造成植株徒长,株高增加,倒伏概率升高,进而导致水稻减产^[4-5]。过量的施肥通过硝化反硝化、挥发、径流、淋洗等一系列过程进入环境,不仅会带来诸如富营养化等环境问题,而且降低了肥料的增产率与经济效益^[6-10]。目前,已有许多学者对不同施肥量对水稻产量、经济与生态环境效益以及施肥增产率的影响做了大量研究^[11-13],但关于品种间作条件下施肥量对水稻性状、细菌性条斑病抗性和经济效益的研究鲜见报道。近年来国内外学者在水稻品种间(混)作方面展开研究,发现水稻品种混合种植不仅能够控制病虫害发展^[14-17],还能使水稻产量提高 8.9%~14.9%^[18]。本试验在水稻品种单作、间作条件下,利用不同施肥量对水稻性状、细菌性条斑病抗性以及经济效益的影响进行研究,为水稻增产、抗病,获得更高效益提供理论依据和农业技术实践措施^[19]。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点设在福建福清水稻种植实验基地,位置约 119°25′37″E,25°33′21″N,海拔约 4.6 m。本区域年活动积温在 6 000~6 600℃,年均降雨量 1 050~1 500 mm,雨热同季,属于亚热带季风气候,春夏湿润多雨日照短,7—9 月多台风雷阵雨天气,极有利于细菌性条斑病的发生流行^[20-21]。试验地供试土壤为典型壤土,耕层土壤有机质 18.875 g/kg,全氮

1.155 g/kg,全磷 0.672 g/kg,全钾 9.225 g/kg,碱解氮 107.15 mg/kg,有效磷 58.425 mg/kg,速效钾 167.5 mg/kg,pH 5.05,土壤容重为 1.23 g/cm³。

1.2 试验材料

供试水稻品种:抗病品种‘甬优 15’,感病品种‘D 优 151’。

供试肥料:基肥采用六国化工硫酸钾型复合肥(安徽六国化工股份有限公司生产;氮、磷、钾比例为 16:16:16);追肥采用芭田樵夫硫酸钾型复合肥(深圳市芭田生态工程股份有限公司生产;氮、磷、钾比例为 20:10:20)。

1.3 试验设计

试验采用裂区处理,主处理区设 3 种栽培方式,分别为‘甬优 15’单作、‘D 优 151’单作和品种间作(‘甬优 15’与‘D 优 151’间作比例为 5:1)。副处理区设置 3 个施肥水平,基肥施用六国化工复合肥,用量 225 kg/hm²。除基肥外,使用芭田樵夫复合肥在苗期、分蘖期、孕穗期追肥 3 次,追肥总施用量分别为 375、450、675 kg/hm²,分别表示为施肥量 1 水平、2 水平、3 水平,各时期追肥量具体见表 1。试验共 12 个处理,其中间作条件下,分别将两个品种单独作为处理,分别为间作‘甬优 15’、间作‘D 优 151’。每个处理设置 3 次重复,处理区面积共 1.8 hm²,每个小区面积 66.7 m²。排布如图 1。

‘甬优15’和‘D优151’间作 Intercropping of ‘Yongyou 15’ and ‘D-you 151’								
1	2	3	1	2	3	1	2	3
‘甬优15’单作 Monoculture of ‘Yongyou 15’								
1	2	3	1	2	3	1	2	3
‘D优151’单作 Monoculture of ‘D-you 15’								
1	2	3	1	2	3	1	2	3

图中1代表1水平施肥量;2代表2水平施肥量;3代表3水平施肥量
1 represents the level 1 of fertilizer; 2 represents the level 2 of fertilizer;
3 represents the level 3 of fertilizer

图 1 各处理区分布图

Fig. 1 Distribution of different treatment areas

表 1 主处理区各水平基肥与各时期追肥施肥量(kg/hm²)

Table 1 Amounts of base fertilizer at different level and topdressing at different stages used in the whole plots (kg/hm ²)					
水平 Level	基肥 Base fertilizer	苗肥 Seedling fertilizer	分蘖肥 Tillering fertilizer	穗肥 Panicle fertilizer	总量 Total amount
1	225	91.25	192.5	91.25	600
2	225	112.50	225.0	112.50	675
3	225	168.75	337.5	168.75	900

1.4 栽培管理方式

水稻于 2015 年 5 月 17 日浸种,5 月 20 日下种,6 月 10 日插秧,10 月 10 日—12 日收获,水分管理、用药等田间管理均按当地常规栽培措施进行,2~3 株/穴,株行距 30 cm×20 cm。‘甬优 15’与‘D 优 151’间作比例为 5:1,其间作方式如图 2。

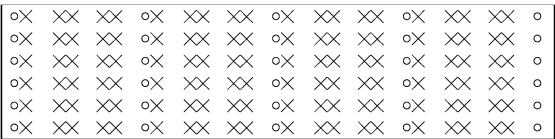


图 2 水稻品种间作示意图

Fig. 2 Schematic diagram of intercropping manner of rice cultivars

1.5 采样时间与测定方法

分蘖期连续选择 5 穴调查记录分蘖数,成熟期每小区采用五点取样法,测定株高、穗长,每点选 1 m² 测定实际产量,取回后进行考种,并按叶、茎鞘、穗洗净后置于烘箱中,在 105℃ 下杀青 30 min 后,75℃ 烘干至恒重,利用电子天平过称测定样品干物重。

福建农林大学植物保护学院绿色水稻栽培研究课题组于 2015 年 5 月—10 月调查水稻细菌性条斑病发病情况,水稻细菌性条斑病的发病率和病情指数均参考全国农业技术推广服务中心编著的《农作物有害生物测报技术手册》中的测报调查方法进行。病害严重度分级标准:0 级,无病斑;1 级,病斑面积占叶面积的 1/5 以下;2 级,病斑面积占叶面积的 1/5~1/3;3 级,病斑面积占叶面积的 1/3~1/2;4 级,病斑面积占叶面积的 1/2 以上。

发病率=病株(叶、穗)数/调查总株(叶、穗)数×100%;

病情指数=Σ(各级病叶数×各级代表值)/调查总叶数×最高一级代表值×100。

1.6 数据分析与处理

运用 SPSS 20.0 和 EXCEL 2013 进行数据处理。

方差分析采用单因素方差分析(One-way ANOVA)($P=0.05$),计算均值,均值差异显著性分析采用 LSD 法($P=0.05$)进行多重比较。

施肥增产率为处理区与对照区(品种单作,1 水平施肥量)作物产量之差与对照区作物产量之比;边际产量为增加单位施肥用量所增加的粮食产量;收益=产值-(劳动力成本+物质成本);新增纯收益率=[(处理区收益-对照区收益)/对照区收益]×100%;边际成本报酬率=(处理区产值-对照区产值)/(处理区成本-对照区成本)^[22]。

2 结果与分析

2.1 不同栽培条件对水稻性状的影响

2.1.1 不同栽培条件对‘甬优 15’性状的影响

施肥量对‘甬优 15’的性状有不同程度的影响。从表 2 中可以看出,无论是间作还是单作,随施肥量增加,‘甬优 15’的分蘖数、株高、穗长等性状均有改善与增加,在施肥量达到 3 水平时达到最大值;有效穗数、每穗实粒数、千粒重、结实率等性状先升高后降低,但在施肥量达到 2 水平后,数值变化较小。‘甬优 15’在 2 水平施肥量时,有效穗数、每穗实粒数、千粒重及结实率等性状最优,间作条件下比单作条件下性状更优,有效穗数、每穗实粒数、千粒重及结实率分别高出 0.48%、1.09%、0.28%、2.69%。

表 2 的数据表明,同样的施肥量,‘甬优 15’在间作条件下比单作条件下各项性状更优,在 3 水平施肥量时,分蘖数、株高、穗长等性状呈最大值;而在 2 水平施肥量时,有效穗数、每穗实粒数、千粒重及结实率等性状最优。

2.1.2 不同栽培条件对‘D 优 151’性状的影响

施肥量对‘D 优 151’的性状有不同程度的影响。从表 2 中可以看出,无论是单作还是间作,随施肥量增加,‘D 优 151’的分蘖数、株高、穗长等性状均有改善与增加,在施肥量达到 3 水平时达到最大值;有效穗数、每穗实粒数、千粒重、结实率等性状先

增加后降低,但在施肥量达到 2 水平后,数值变化较小。‘D 优 151’在 2 水平施肥量时,有效穗数、每穗实粒数、千粒重及结实率等性状最优,间作条件下比单作条件下性状更优,有效穗数、每穗实粒数、千粒重及结实率分别高出 0.18%、0.03%、0.47%、0.44%。

表 2 的数据表明,同样的施肥量,‘D 优 151’在间作条件下比单作条件下各项性状更优,在 3 水平施肥量时,分蘖数、株高、穗长等性状呈最大值;而在 2 水平施肥量时,有效穗数、每穗实粒数、千粒重及结实率等性状最优。

表 2 不同栽培条件对‘甬优 15’、‘D 优 151’性状的影响¹⁾

品种 Variety	单间作 Monoculture or intercropping	施肥量水平 Fertilizer level	分蘖数/个 Number of tillers	株高/cm Plant height	穗长/cm Spike length	有效穗数/ 万穗·(hm ²) ⁻¹ Effective spike number	每穗实粒数/粒 The number of grains per panicle	千粒重/g Thousand-grain weight	结实率/% Seed-setting rate
甬优 15 Yongyou 15	单作 Monoculture	1	17.54 c	118.34 b	25.34 a	154.24 b	310.50 c	28.38 a	78.04 b
	单作 Monoculture	2	18.42 b	119.60 a	25.40 a	156.82 a	314.20 b	28.88 a	78.12 b
	单作 Monoculture	3	19.32 b	120.12 a	25.98 a	156.10 ab	314.14 b	28.76 a	78.10 b
	间作 Intercropping	1	17.80 bc	118.74 ab	25.35 a	156.68 a	317.10 a	28.62 a	79.72 a
	间作 Intercropping	2	18.88 b	119.62 a	25.74 a	157.58 a	317.64 a	28.96 a	80.22 a
	间作 Intercropping	3	23.08 a	120.44 a	26.04 a	156.74 a	317.50 a	28.78 a	79.98 a
D 优 151 D-you 151	单作 Monoculture	1	18.28 b	110.06 b	25.18 a	252.98 c	267.54 a	29.64 a	79.84 a
	单作 Monoculture	2	19.94 ab	110.50 ab	25.34 a	256.38 a	268.88 a	29.90 a	79.89 a
	单作 Monoculture	3	20.12 a	112.28 a	25.40 a	254.52 b	267.72 a	29.80 a	79.86 a
	间作 Intercropping	1	18.98 b	109.80 b	25.24 a	254.76 b	267.66 a	29.92 a	80.18 a
	间作 Intercropping	2	20.28 a	111.08 ab	25.54 a	256.84 a	268.96 a	30.04 a	80.24 a
	间作 Intercropping	3	21.00 a	112.40 a	25.62 a	254.94 b	268.28 a	29.98 a	80.14 a

1) 不同处理中各变量平均值后面不同的字母表示该平均值之间有显著性差异($P<0.05$)。下同。
Statistically significant differences ($P<0.05$) in the average of the variables between different treatments are indicated by different letters. The same below.

2.2 不同栽培条件对水稻产量和细菌性条斑病抗性的影响

本试验共 12 种处理,见表 3。从表中可以看出,不同栽培条件下水稻产量和细菌性条斑病抗性间存在较为显著的差异($P<0.05$)。

从表 3 可知,两个品种无论单作或间作,2 水平施肥量处理时产量最高。‘甬优 15’单作条件下对比 1 水平、3 水平施肥量处理时分别提高 2.43%、1.54%,‘D 优 151’提高 3.52%、1.48%;‘甬优 15’间作条件下对比 1 水平、3 水平施肥量处理时分别提高 5.25%、2.34%,‘D 优 151’提高 1.96%、0.97%。且均达到显著性差异($P<0.05$)。

随施肥量增加,发病率和病情指数也逐渐提高。试验表明,‘甬优 15’和‘D 优 151’两个品种无论是间作还是单作,在 3 水平施肥量时发病率和病情指数均达到最高(表 3)。就发病率而言,‘甬优 15’各级施肥量间作与单作相比较,1 水平降低 0.8 百分点,2 水平降低 0.8 百分点,3 水平降低 0.6 百分点;‘D 优 151’各级施肥量间作与单作相比较,1 水平降低 12.3 百分点,2 水平降低 16.3 百分点,3 水平降

低 13 百分点。且均达到显著性差异($P<0.05$)。就病情指数而言,‘甬优 15’各级施肥量间作与单作相比较,1 水平降低 0.5,2 水平降低 0.9,3 水平降低 0.8;‘D 优 151’各级施肥量间作与单作相比较,1 水平降低 2.3,2 水平降低 3.6,3 水平降低 3.0,且均达到显著性差异($P<0.05$)。

对于‘甬优 15’的 6 种处理相比较,产量以间作条件下 2 水平施肥量时最高,为 9.62 t/hm²。对细菌性条斑病的抗性,以间作条件下 1 水平施肥量时最强,发病率为 4.0%,病情指数为 1.1。对于‘D 优 151’的 6 种处理相比较,产量以间作条件下 2 水平施肥量时最高,为 8.34 t/hm²。对细菌性条斑病的抗性,以间作条件下 1 水平施肥量时最强,发病率为 15.3%,病情指数为 4.9。

由表 3 的数据可以看出,无论是单作还是间作,‘甬优 15’和‘D 优 151’均在 2 水平施肥量时产量最高,但随施肥量增加,其发病率和病情指数也逐渐提高。相同施肥量下,2 个品种间作条件下的产量均高于单作条件,而且间作条件下能显著降低 2 个品种细菌性条斑病的发病率($P<0.05$)。

表 3 不同栽培条件对‘甬优 15’、‘D 优 151’产量和细菌性条斑病抗性的影响

Table 3 The effects of different cultivation conditions on the yield and bacterial leaf streak resistance of the ‘Yongyou 15’ and ‘D-you 151’ rice cultivars

品种 Variety	单间作 Monoculture or intercropping	施肥量水平 Fertilizer level	产量/t · (hm ²) ⁻¹ Yield	发病率/% Incidence	病情指数 Disease index
甬优 15 Yongyou 15	单作 Monoculture	1	9.04 e	4.8 c	1.6 d
	单作 Monoculture	2	9.26 c	7.9 b	2.8 b
	单作 Monoculture	3	9.12 d	10.2 a	3.0 a
	间作 Intercropping	1	9.14 d	4.0 d	1.1 e
	间作 Intercropping	2	9.62 a	7.1 c	1.9 d
	间作 Intercropping	3	9.40 b	9.6 b	2.2 c
D 优 151 D-you 151	单作 Monoculture	1	7.96 d	27.6 c	7.2 c
	单作 Monoculture	2	8.24 b	35.9 b	8.7 b
	单作 Monoculture	3	8.12 c	40.3 a	9.8 a
	间作 Intercropping	1	8.18 c	15.3 e	4.9 e
	间作 Intercropping	2	8.34 a	19.6 d	5.1 d
	间作 Intercropping	3	8.26 b	28.3 bc	6.8 c

2.3 不同栽培条件对‘甬优 15’、‘D 优 151’经济效益的影响

水稻的经济效益是指水稻收获销售后除去生产成本之后获得的收益。根据当地实际市场情况,其中对照区(品种单作,施肥量水平 1 区)生产成本为 14 175 元/hm²,物料费共计 7 575 元/hm²;人工费共计 6 600 元/hm²。由于施肥量不同,施肥量水平 2

区生产成本为 14 325 元/hm²,施肥量水平 3 区生产成本为 14 775 元/hm²。水稻价格按照福建省福清市水稻收购价格 2.5 元/kg 计算(2 个品种收购价格一致)。

通过计算得到不同栽培条件对‘甬优 15’、‘D 优 151’的施肥增产率、边际产量、产值、净收益、新增纯收益率和边际成本报酬率(表 4)。

表 4 不同栽培条件对‘甬优 15’、‘D 优 151’经济效益的影响

Table 4 The effects of different cultivation conditions on the economic benefits of ‘Yongyou 15’ and ‘D-you 151’ rice cultivars

品种 Variety	单间作 Monoculture or intercropping	施肥量水平 Fertilizer level	施肥增产率/% Yield increase by fertilization	边际产量/ kg · kg ⁻¹ Marginal yield	产值/ 元 · (hm ²) ⁻¹ Output value	净收益/ 元 · (hm ²) ⁻¹ Net income	新增纯收益率/% Increased net benefit rate	边际成本报酬率/ 元 · 元 ⁻¹ Marginal cost rate of return
甬优 15 Yongyou 15	单作 Monoculture	1	—	—	22 600	8 425	—	—
	单作 Monoculture	2	2.43	2.93 b	23 150	8 825	4.75 b	3.67 b
	单作 Monoculture	3	0.88	0.36 d	22 800	8 025	-4.75 e	0.33 d
	间作 Intercropping	1	1.11	—	22 850	8 675	2.97 d	—
	间作 Intercropping	2	6.42	7.73 a	24 050	9 725	15.43 a	9.67 a
	间作 Intercropping	3	3.98	1.60 c	23 500	8 725	3.56 c	1.5 c
D 优 151 D-you 151	单作 Monoculture	1	—	—	19 900	5 725	—	—
	单作 Monoculture	2	3.52	3.73 b	20 600	6 275	9.61 b	4.67 b
	单作 Monoculture	3	2.01	0.71 d	20 300	5 525	-3.49 d	0.67 d
	间作 Intercropping	1	2.76	—	20 450	6 275	9.61 b	—
	间作 Intercropping	2	4.77	5.07 a	20 850	6 525	13.97 a	6.33 a
	间作 Intercropping	3	3.77	1.33 c	20 650	5 875	2.62 c	1.25 c

两个品种施肥增产率随着施肥用量的增加呈先升高后降低的趋势,以 2 水平施肥量为界限,表明过量施肥会降低施肥的增产效应,‘甬优 15’的施肥增产率以间作条件下 2 水平施肥量最高,为 6.42%,比单作条件下相同施肥量高出 3.99 百分点;‘D 优 151’的施肥增产率以间作条件下 2 水平施肥量最高,为 4.77%,比单作条件下相同施肥量高出 1.25 百

分点,‘甬优 15’单作和间作情况下最高边际产量分别为 2.93、7.73 kg/kg,‘D 优 151’单作和间作情况下最高边际产量分别为 3.73、5.07 kg/kg。其对应施肥量均为 2 水平,均具有显著性差异($P<0.05$)。

两个品种水稻的产值和净收益均随着施肥量的增加呈先增加后减少的趋势,均以 2 水平施肥量最高,表明过量施肥,不仅不能获得理想的收益,且带

来了巨大的资源浪费。

从新增纯收益率和边际成本报酬率可以看出,2水平施肥量处理显著高于1水平和3水平施肥量处理,表明‘甬优15’和‘D优151’在间作条件下2水平施肥量处理的新增纯收益率均最高,分别为15.43%、13.97%;显著高于单作同水平施肥量处理,均具有显著性差异($P<0.05$)。‘甬优15’的边际成本报酬率以间作条件下2水平施肥量处理最高,为9.67元/元,比单作条件下相同处理高6元/元;‘D优151’的边际成本报酬率以间作条件下2水平施肥量处理最高,为6.33元/元,比单作条件下相同处理高1.66元/元,均具有显著性差异($P<0.05$)。

本研究表明,2个品种均以间作条件下2水平施肥量(675 kg/hm^2)经济效益最佳,其中‘甬优15’施肥增产率、边际产量、产值、净收益、新增纯收益率和边际成本报酬率分别为6.42%、7.73 kg/kg、24 050元/ hm^2 、9 725元/ hm^2 、15.43%、9.67元/元;‘D优151’为4.77%、5.07 kg/kg、20 850元/ hm^2 、6 525元/ hm^2 、13.97%、6.33元/元。

3 结论与讨论

水稻的产量及其性状构成因子大多都通过基因型和环境共同作用表现出来^[23]。就单一品种而言,需要根据产量特性建立合理的栽培技术体系,协调作物性状、产量与抗病性之间的关系,达到高产稳产^[24-25]。Mew等^[26]研究表明,水稻品种间作或混作不需要进行额外育种,其性状、产量及其构成因子已经具有超过多系品种的优势。同时,施肥量也是影响水稻性状、产量及其构成因子重要的因素^[27]。探索有效的水稻栽培及生态防控技术,是植保工作者任务的重中之重。已有研究表明,大面积种植遗传单一的水稻品种,在降低了稻田生态系统多样性的同时,还导致水稻品种抗性的降低而造成病害流行^[28]。理论和实际观察均表明,作物遗传上的异质性或多多样性布局可以在大面积上抑制病害的发生^[29]。

本试验表明,施肥量与品种间作对水稻性状、产量和细菌性条斑病抗性均具有不同程度的影响。两个水稻品种的分蘖数、株高、穗长等性状均随施肥量增加逐渐增加,产量随施肥量的增加呈先增加后减少的趋势,发病率与病情指数随施肥量的增加而增加。试验数据表明,两个水稻品种在间作条件下产量比单作条件下显著增高,但产量增幅不同,这与品

种的遗传性状及植株高度差等因素^[30]关系密切。在水稻品种间作条件下,‘甬优15’、‘D优151’的产量与细菌性条斑病抗性皆有不同程度的提高,这与品种的遗传性状、间作比例、间作品种等因素有关。

从经济效益方面考虑,随施肥用量的增加其经济效益呈先增加后降低的趋势,品种间作比单作经济效益显著提高。当间作条件施肥量达2水平(追肥施用量 450 kg/hm^2)时,两个水稻品种新增纯收益率显著高于其余各处理,获得最大的经济效益。该肥料用量既可以保持较高的水稻产量和较低的发病率,同时也减轻了农田肥料过量投入对环境带来的潜在威胁。‘甬优15’与‘D优151’的间作处理能有效地提高性状、细菌性条斑病抗性和经济效益,不过应通过进一步探讨间作比例、间作品种、密度、施肥量等栽培特性制定优化栽培方案。水稻品种多样性混间栽理论和技术备受国内外专家的高度关注,它不仅有着重要的社会效益和经济效益,而且有很高的学术价值。但多样性混间栽与细菌性条斑病控制的机理,最佳品种多样性搭配以及该技术的生态学效应都有待进一步的研究和阐明。

参考文献

- [1] 侯雯嘉,耿婷,陈群,等.近20年气候变暖对东北水稻生育期和产量的影响[J].应用生态学报,2015,26(1):249-259.
- [2] 杨久,丁鲲,卢义宣,等.云南籼粳交错区水稻农艺性状与产量相关及通径分析[J].西南农业学报,2011,24(2):391-394.
- [3] 吴祖章,莫江华.配方施肥对早稻农艺性状和产量的影响[J].广西农学报,2008,23(4):15-17.
- [4] YANG Hechuan, WU Liquan, HAN Xinfeng, et al. Effects of different nitrogen fertilizer levels on lodging and yield of rice [J]. Agricultural Science & Technology, 2012(7): 1456-1459.
- [5] GRAVOIS K A, HELMS R S. Path analysis of rice yield and yield components as affected by seeding rate [J]. Agronomy Journal, 1992, 84: 1-4.
- [6] PENG S. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 96 (1): 37-47.
- [7] 居静,吴海波,陈永林,等.日本产包膜控释氮肥对稻米品质的影响[J].江苏农业科学,2015,43(2):67-70.
- [8] 尹娟,勉韶平.稻田中氮肥损失途径研究进展[J].农业科学研究,2005,26(2):76-80.
- [9] 马松,许自成,苏永士,等.控释肥对土壤肥力与生物活性的影响[J].浙江农业科学,2010(5):1067-1069.
- [10] CHOUDHURY A T M A, KENNEDY I R. Nitrogen fertilizer losses from rice soils and control of environmental pollution

- problems [J]. Soil Science and Plant Analysis, 2005, 36(11/12):1625-1639.
- [11] 杨梢娜. 杭嘉湖平原稻田不同施氮水平下氮素利用效率及环境效应研究[D]. 杭州:浙江农林大学, 2010.
- [12] 郭井祥. 不同施肥量对水稻产量效益的影响[J]. 北方水稻, 2009, 39(4):36-37.
- [13] 刘文忠. 稻-菌-鱼复合生态系统水稻产量性状及经济效益分析[J]. 黑龙江农业科学, 2013(10):24-27.
- [14] HAN Guangyu, LANG Jie, SUN Yan, et al. Intercropping of rice varieties increases the efficiency of blast control through reduced disease occurrence and variability [J]. Journal of Integrative Agriculture 2016, 15(4): 795-802.
- [15] JI Y F, ZHENG Y, TANG L, et al. Effects of optimized nitrogen application on rice (Huangkenuo and Hexi 41) yield and rice blast under intercropping [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2009:82-86.
- [16] 毛建辉, 何明, 何忠全. 抗感品种混植对水稻主要病害的效应[J]. 植物病理学报, 1991, 21(2):155-160.
- [17] 刘红敏, 宁万光, 徐畅, 等. 不同品种水稻间作栽培对褐飞虱发生及水稻产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(4):124-126.
- [18] 刘二明, 朱有勇, 肖放华, 等. 水稻品种多样性混栽持续控制稻瘟病研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(2):164-168.
- [19] AKITA K, TANAKA N. Effects of planting density and planting patterns of young seedlings transplanting on the growth and yield of rice plants [J]. Japanese Journal of Crop Science, 1992, 61 (1):80-86.
- [20] 刘浩官, 陈元洪, 罗克昌, 等. 福建水稻病虫综合防治[J]. 福建省农科院学报, 1997, 12 (3):21-25.
- [21] 董鹏, 吴冠清, 陈观浩. 水稻细菌性条斑病发病率与病情指数关系初步研究[J]. 广东农业科学 2008(5):58-59.
- [22] 汪军, 王建德, 张刚. 太湖地区稻麦轮作体系下秸秆还田配施氮肥对水稻产量及经济效益的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2):265-270.
- [23] 周鸿凯, 曹珠平, 叶昌辉, 等. 杂交水稻产量性状品质性状的因子分析[J]. 热带作物学报, 2009, 30(2):148-152.
- [24] 王飞, 姚明华, 李宁. 不同栽培处理方式对秋辣椒产量及发病率的影响[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(11):2840-2841
- [25] 齐春燕. 不同密度和叶龄移栽对水稻生长发育及产量的影响[D]. 吉林:吉林农业大学 2005.
- [26] MEW T W, BORROMEO E, HARDY B. Exploiting biodiversity for sustainable pest management [R]. International Rice Research Institute Press, 2001:143-157, 159-167.
- [27] PENG S, GARCIA F V, LAZA R C, et al. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice [J]. Field Crops Research, 1996, 47(2/3):243-252.
- [28] 沈嘉炜, 刘志超, 蔡尤俊, 等. 水稻品种多样性对褐飞虱及蜘蛛的影响[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(3):327-332.
- [29] ZHU Y Y, CHEN H R, FAN J H, et al. Genetic diversity and disease control in rice [J]. Nature, 2000, 406(6797): 718-722.
- [30] 周念, 章家恩, 罗明珠. 不同水稻品种混种植模式及其应用效果研究概述[J]. 广东农业科学, 2011(9):9-12.

(责任编辑:田 喆)

(上接 52 页)

- [15] NIU Dongdong, WANG Chunjuan, GUO Yahui, et al. The plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus cereus* AR156 induces resistance in tomato with induction and priming of defence response [J]. Biocontrol Science and Technology, 2012, 22(9): 991-1004.
- [16] 东秀珠, 蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 57-59.
- [17] LI Mei, WANG Yongjun, GUO Yanbin, et al. Induced systemic resistance and growth promotion in tomato by an indole-3-acetic acid-producing strain of *Paenibacillus polymyxa* [J]. Annals of Applied Biology, 2014, 165(2): 270-279.
- [18] FANG Rui, LIN Jia, YAO Shanshan, et al. Promotion of plant growth, biological control and induced systemic resistance in maize by *Pseudomonas aurantiaca*, JD37 [J]. Annals of Microbiology, 2013, 63(3): 1177-1185.
- [19] JIANG Chunhao, FAN Zhihang, XIE Ping, et al. *Bacillus cereus* AR156 extracellular polysaccharides served as a novel micro-associated molecular pattern to induced systemic immunity to Pst DC3000 in *Arabidopsis* [J]. Frontiers in Microbiology, 2016, 7(9):1-16.
- [20] SIDDIQUI I A, EHETSHAMULHAQUE S, SHAUKAT S S. Use of rhizobacteria in the control of root rot-root knot disease complex of mungbean [J]. Journal of Phytopathology, 2001, 149(6): 337-346.
- [21] LAL S, TABACCHIONI S. Ecology and biotechnological potential of *Paenibacillus polymyxa*: a minireview [J]. Indian Journal of Microbiology, 2009, 49(1): 2.
- [22] DU Nanshan, SHI Lu, YUAN Yinghui, et al. Isolation of a potential biocontrol agent *Paenibacillus polymyxa* NSY50 from vinegar waste compost and its induction of host defense responses against Fusarium wilt of cucumber [J]. Microbiological Research, 2017, 202: 1-10.
- [23] RYU C M, KIM J, CHOI O, et al. Improvement of biological control capacity of *Paenibacillus polymyxa* E681 by seed pelleting on sesame [J]. Biological Control, 2006, 39(3):282-289.
- [24] 童蕴慧, 郭佳萍, 徐敬友, 等. 拮抗细菌诱导番茄植株抗灰霉病机理研究[J]. 植物病理学报, 2004, 34(6): 507-511.
- [25] LIU Hu, LIU Kai, LI Yuhuan, et al. Complete genome sequence of *Paenibacillus polymyxa* YC0136, a plant growth-promoting rhizobacterium isolated from tobacco rhizosphere [J]. Genome Announcements, 2017, 5(6): 1635-1636.
- [26] KIM J F, JEONG H, PARK S Y, et al. Genome sequence of the polymyxin-producing plant-probiotic rhizobacterium *Paenibacillus polymyxa* E681 [J]. Journal of Bacteriology, 2010, 192(22): 6103-6104.

(责任编辑:田 喆)