

杂草稻竞争对不同株型栽培稻形态和产量的影响

冯桂荣

(辽宁省康平县乡村振兴发展中心, 沈阳 110500)

摘要:本研究以栽培稻沈农265、辽盐16和杂草稻WR04-12为试验材料,探究杂草稻竞争对不同株型栽培稻形态和产量的影响。结果表明,杂草稻竞争对沈农265和辽盐16株高的影响不显著。杂草稻竞争对辽盐16分蘖数、叶面积指数及叶片数、叶长和宽、茎长影响比对沈农265的影响大。杂草稻竞争使沈农265分蘖数降低,对栽培稻沈农265叶面积指数、叶片数产生了显著影响。在拔节期、齐穗期、灌浆期、成熟期,杂草稻密度为6株/m²和12株/m²时,沈农265叶面积指数比对照分别下降6.47%、23.79%; 15.33%、36.00%; 24.77%、40.43%; 43.31%、41.95%。同时,杂草稻竞争使沈农265倒二叶、倒三叶叶宽变窄,茎部第二、三节长增加。杂草稻密度为6株/m²、12株/m²时,沈农265的实际产量分别比对照降低了25.90%、49.77%,穗数的减少是沈农265产量降低的主要因素。辽盐16产量受杂草稻密度影响小于沈农265。分蘖力强的栽培稻品种更能够适应与杂草稻的竞争。

关键词:杂草稻;株型;栽培稻;形态;产量

中图分类号:S451;S511

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2025)02-0008-08

Effects of Weed Rice Competition on the Morphology and Yield of Cultivated Rice with Different Plant Types

FENG Gui-rong

(Rural Revitalization and Development Center of Kangping County, Liaoning Province, Shenyang 110500, China)

Abstract: In this study, cultivated rice Shennong 265 and Liaoyan 16 were used to study the effects of weed rice competition on morphology and yield of rice. The results showed that the competition of rice had no significant effect on the plant height of Shennong 265 and Liaoyan 16. The competition of weed rice had less effect on the tiller number, leaf area index, and leaf number, length, and width, and stem length of Liaoyan 16 than Shennong 25. Weed rice competition reduced the tiller number of Shennong 265 and had a significant effect on the leaf area index, leaf number, length, leaf width, and stem length of cultivated rice Shennong 265. During the jointing period, heading period, grain filling period, when there were 6 and 12 weed rice plants per square meter, the leaf area index of Shennong 265 decreased by 6.47%, 23.79%; 15.33%, 36.00%; 24.77%, 40.43%; 43.31%, 41.95% compared to the control, respectively. Additionally, weed rice competition reduce the width of the second and third leaves from the top and increased the length of the second and third internodes of the stem in Shennong 265. When there were 6 and 12 weed rice plants per square meter, the actual yield of Shennong 265 decreased by 25.90% and 49.77% compared to the control, respectively, and the decrease in panicle number was the main factor contributing to the yield reduction of Shennong 265. The yield of Liaoyan 16 was much less affected by the density of weed rice than that of Shennong 265. Cultivated rice varieties with strong tillering ability were better able to adapt to competition with weed rice.

Key words: Weed rice; Plant type; Cultivated rice; Morphology; Yield

杂草稻(*Oryza sativa* L. f. *spontanea*),又名红稻,像杂草一样伴随栽培稻生长的水稻植株^[1],是一种兼有野生稻和栽培稻特性的杂草类型,一般生长在稻田间或其周边^[2]。目前,杂草稻已经成

为影响稻田生态系统的重要杂草之一,在很多国家水稻生产均受到不同程度的危害^[3-6]。Diarra^[7]、Eleftherohorinos^[8]等研究发现杂草稻不同密度及其生态类型对栽培稻产量的影响不同。在作物-杂草复合系统中,作物与杂草相互影响、相互作用的研究比较多,杂草稻作为一种比较特殊的杂草,对不同株型栽培稻的形态和产量影响的研究

收稿日期:2024-03-06

基金项目:辽宁省教育厅项目(L2012473)

作者简介:冯桂荣(1977-),女,农艺师,从事农业技术推广工作。

还未见报道。本研究选用了两个不同株型的栽培稻品种,一种属于直立穗型,一种属于弯曲穗型,研究不同株型栽培稻品种对杂草稻竞争的响应,以明确杂草稻对不同株型栽培稻形态和产量的影响,为杂草稻的防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

栽培稻选用两个不同株型的品种,分别为沈农265、辽盐16;杂草稻为WR04-12。栽培稻沈农265株型紧凑,株高100~105 cm,分蘖力中等,茎蘖紧凑,叶片直立、叶角较小、穗颈弯曲度在0~10°之间。辽盐16株型较松散,叶片长且较披散,弯曲穗型,分蘖力强,株高105~110 cm。WR04-12分蘖力中等,叶片具有披散、长、窄的特点,穗型松散、穗弯曲,株高110~120 cm。

1.2 试验设计

试验于2021-2022年在沈阳康平县张强镇官宝村试验田进行。试验采用完全随机区组设计,设2个因素:栽培稻品种、杂草稻密度,其中栽培稻品种为沈农265、辽盐16;杂草稻密度设3个水平,0株/m²、6株/m²、12株/m²,分别用CK、处理I、处理II表示。小区面积9 m²,杂草稻在栽培稻栽

插1 d后移栽,模拟杂草稻在田间的自然分布。栽培稻4月20日进行播种,5月25日移栽。施尿素26 kg/667 m²、过磷酸钙26 kg/667 m²,氯化钾8.5 kg/667 m²。

1.3 测定方法与内容

每个小区栽培稻、杂草稻各定点10穴,挂牌标记,7 d测定1次株高;于分蘖始期,每隔7 d调查1次分蘖数;在分蘖期、拔节期、齐穗期、灌浆期、成熟期,每个待测材料分别选取6穴,采用长宽系数法(系数为0.75)测定叶面积,计算出叶面积指数。齐穗20 d,每个小区选取6穴,分别测定功能叶的长、宽、绿叶数及节长、节粗。

收获前,取水稻植株5株进行室内考种,其余全部收获,自然风干,测产。

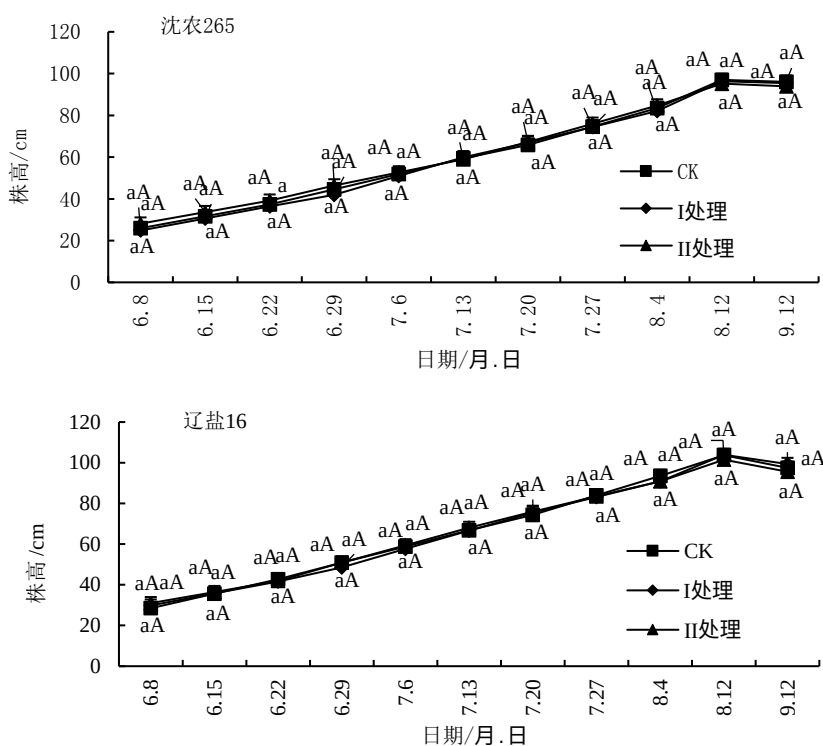
1.4 数据分析

采用Excel 2010、DPS 8.01软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 杂草稻竞争对不同株型栽培稻形态特征的影响

2.1.1 杂草稻竞争对栽培稻株高和分蘖数的影响
由图1可以看出,栽培稻株高的动态变化基



注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$);大写字母不同表示差异极显著($P<0.01$),下同。

Note: Different lowercase letters indicate a significant difference($P<0.05$); different uppercase letters indicate a highly significant difference($P<0.01$), the same below.

图1 杂草稻对栽培稻株高的影响

Fig.1 The effect of weed rice on the plant height of cultivated rice

本表现为先升高后降低的趋势。杂草稻密度对栽培稻株高的影响不显著。

从图2可以看出,栽培稻沈农265,移栽前期各处理的分蘖数相差不大;6月15日,处理Ⅱ的分蘖数比对照降低14.6%;6月29日后,处理Ⅱ栽培稻的分蘖数与处理Ⅰ和CK存在显著差异;7月6日后,处理Ⅰ的分蘖数与对照差异显著。7月6日,处理Ⅰ、处理Ⅱ条件下沈农265的分蘖数比对

照分别减少10.11%、33.15%;8月12日,处理Ⅰ、处理Ⅱ沈农265的分蘖数分别比对照极显著降低18.30%、43.79%。随杂草稻密度的增加,沈农265的分蘖数明显下降,各处理的分蘖数基本表现为:处理Ⅱ<处理Ⅰ<CK。栽培稻辽盐16的分蘖数受杂草稻密度影响不明显。栽培稻辽盐16在与杂草稻的竞争中以其较强的分蘖力对杂草稻起到了抑制作用。

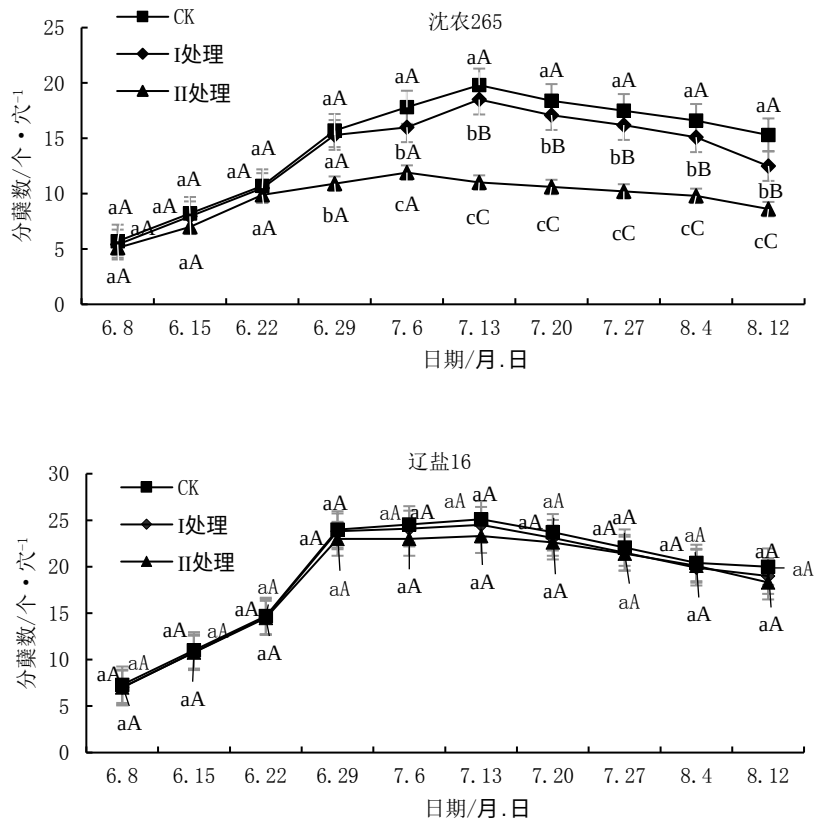


图2 杂草稻对栽培稻分蘖数的影响

Fig. 2 The effect of weed rice on the number of tillers of cultivated rice

2.1.2 杂草稻竞争对不同株型栽培稻叶片形态的影响
靠近稻穗的3张叶片被称为水稻的高光效

叶片,对产量的贡献最大^[9],因此研究杂草稻对栽培稻高光效叶片的影响十分必要。由表1可知,杂草稻竞争使栽培稻沈农265倒二叶叶长、倒三

表1 杂草稻对齐穗20 d栽培稻功能叶片大小的影响

Table 1 The effect of weed rice on the size of the functional leaves of cultivated rice at the time of heading 20 d

品种	处理	剑叶		倒二叶		倒三叶	
		长/cm	宽/cm	长/cm	宽/cm	长/cm	宽/cm
沈农265	CK	29.20aA	1.58abA	27.30aA	1.46aA	32.30aA	1.40aA
	I	28.77aA	1.57aA	28.50aA	1.45bA	34.90aA	1.33bA

续表 1
Continued Table 1

品种	处理	剑叶		倒二叶		倒三叶	
		长/cm	宽/cm	长/cm	宽/cm	长/cm	宽/cm
辽盐 16	II	27.40aA	1.46bA	29.27aA	1.36bA	32.93aA	1.26bA
	CK	31.43aA	1.48aA	37.63aA	1.28aA	41.67aA	1.13aA
	I	29.40aA	1.48aA	36.93aA	1.26aA	41.57aA	1.09aA
	II	25.80aA	1.47aA	33.37aA	1.24aA	37.80aA	1.08aA

注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$);大写字母不同表示差异极显著($P<0.01$),下同。
Note: Different lowercase letters indicate a significant difference($P<0.05$); different uppercase letters indicate a highly significant difference($P<0.01$), the same below.

叶叶长增加,与对照差异不显著。处理 I 条件下沈农 265 倒二叶、倒三叶叶宽分别比对照降低 0.69%、5.00%,与对照差异显著。处理 II 条件下栽培稻沈农 265 倒二叶、倒三叶叶宽分别比对照降低 6.85%、10.00%,与对照差异显著。杂草稻竞争使栽培稻辽盐 16 叶长、叶宽略有降低,各处理之间差异不显著。

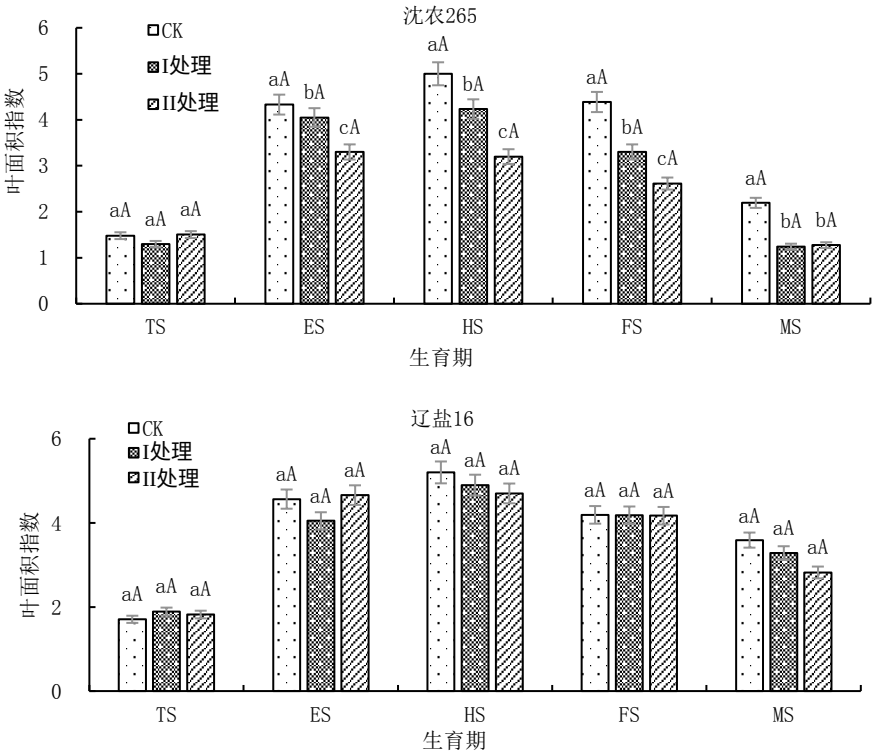
由表 2 可知,杂草稻竞争对沈农 265 叶片数的影响较大。齐穗期处理 I、处理 II 叶片数分别比对照减少 9.46%、20.27%,与对照差异极显著;灌浆期分别比对照减少 14.89%、25.53%,与对照差异显著。杂草稻竞争对栽培稻辽盐 16 叶片数影响较小,叶片数略有减少,但处理间差异不显著。

表 2 杂草稻对栽培稻叶片数的影响
Table 2 The effect of weed rice on the number of leaves of cultivated rice

品种	处理	齐穗期叶片数	灌浆期叶片数
沈农 265	CK	74aA	47aA
	I	67bB	40bAB
	II	59bB	35bB
辽盐 16	CK	89aA	65aA
	I	77aA	61aA
	II	75aA	60aA

2.1.3 杂草稻竞争对不同株型栽培稻叶面积指数的影响
由图 3 可知,各处理中沈农 265 叶面积指数均在齐穗期达到峰值。杂草稻竞争对栽培稻叶面积指数产生了显著影响。拔节期、齐穗期、灌浆期、成熟期,处理 I、处理 II 沈农 265 的叶面积指数分别比对照降低了 6.47%、23.79%; 15.33%、36.00%;

24.77%、40.43%; 43.31%、41.95%。方差分析结果表明,拔节期、齐穗期、灌浆期、成熟期处理 I、处理 II 沈农 265 叶面积指数与对照差异显著。齐穗期和成熟期杂草稻竞争使辽盐 16 的叶面积指数下降,但各处理之间差异不显著。杂草稻对不同株型栽培稻叶面积指数影响不同,对沈农 265 的影响程度大于辽盐 16。



注: TS, 分蘖期; ES, 拔节期; HS, 齐穗期; FS, 灌浆期; MS, 成熟期。

Note: TS, tillering stage; ES, elongation stage; HS, heading stage; FS, filling stage; MS, maturity stage.

图3 杂草稻对栽培稻叶面积指数的影响

Fig. 3 The effect of weed rice on the leaf area index of cultivated rice

2.1.4 杂草稻竞争对不同株型栽培稻茎秆性状的影响

由表3可知,杂草稻竞争对栽培稻沈农265茎部第二、三节节长影响较大,表现为随杂草稻密度增大节长变长,处理I、处理II的第二节节长分别比对照增加了7.02%、7.92%;第三节节长分别比对照增加了7.99%、8.83%,与对照差异显著。沈农265第二、三节茎粗随杂草稻密度增大而降低,但处理间差异不显著。辽盐16的第三节节长

在杂草稻竞争下变长,处理I、处理II分别比对照增长10.57%、11.18%,与对照差异极显著,其余节长受杂草稻影响不显著。辽盐16第二节茎粗处理I、处理II与对照差异显著。杂草稻与栽培稻争夺营养,使栽培稻养分供应减少,部分茎秆节长增加,茎秆变细,茎秆是栽培稻高光效群体的主要支撑系统,茎长增加、茎粗降低容易倒伏,降低比叶重,加速结实期叶面积衰退速度,进而影响产量。

表3 杂草稻对栽培稻节长和节粗的影响

Table 3 The effect of weed rice on the internode length and internode thickness of cultivated rice

品种	处理	节长 / cm				茎粗 / cm		
		第一节	第二节	第三节	第四节	第一节	第二节	第三节
沈农265	CK	24.66aA	16.66bA	15.51bB	12.92aA	0.34aA	0.35aA	0.40aA
	I	24.95aA	17.83aA	16.75aA	13.11aA	0.34aA	0.34aA	0.35aA
	II	24.88aA	17.98aA	16.88aA	12.21aA	0.33aA	0.32aA	0.32aA
辽盐16	CK	32.08aA	19.57aA	13.06bB	8.28aA	0.32aA	0.33aA	0.31aA
	I	32.50aA	19.560aA	14.44aA	9.23aA	0.30aA	0.28bA	0.31aA
	II	31.04aA	18.63aA	14.52aA	8.52aA	0.29aA	0.29bA	0.28aA

2.2 杂草稻竞争对不同株型栽培稻产量及其构成因素的影响

由表4可知,从产量构成因素来看,沈农265在处理I、处理II条件下有效穗数分别比对照降低17.62%、42.95%,差异极显著。有效穗数的降低是导致产量下降的重要因素之一。辽盐16的穗粒数受杂草稻影响较明显,处理I、处理II比对照降低了12.05%、6.62%,差异极显著。沈农265的

结实率随杂草稻密度的增加而降低,处理之间差异不显著。沈农265和辽盐16的千粒重受杂草稻密度影响不显著。

沈农265的产量受杂草稻密度影响较大。6株/m²、12株/m²杂草稻处理下,栽培稻沈农265、辽盐16的实际产量分别比对照降低了25.90%、49.77%和11.75%、27.61%。由此可见,相同密度杂草稻处理下,辽盐16产量受影响低于沈农265。

表4 杂草稻对栽培稻产量及其构成因素的影响
Table 4 The impact of weed rice on the yield and its components of cultivated rice

品种	处理	有效穗数/万穗·hm ⁻²	穗粒数/粒	结实率/%	千粒重/g	理论产量/t·hm ⁻²	实测产量/t·hm ⁻²
沈农265	CK	379.09aA	143.23aA	94.94aA	22.86aA	11.75aA	10.85aA
	I	312.29bB	132.57aA	94.15aA	21.83aA	8.51bB	8.04bA
	II	216.26bB	140.10aA	92.81aA	22.45aA	6.29cC	5.45cA
辽盐16	CK	505.17aA	94.17aA	85.75aA	26.35aA	10.97aA	9.96aA
	I	481.80bA	82.82bB	86.29aA	26.13aA	8.99bB	8.79bB
	II	458.42bA	87.94bB	80.50bB	26.730aA	8.66bB	7.21bB

3 讨 论

植株形态是预测植物竞争能力的有效指标之一,研究植株形态对种间竞争力有重要意义。在作物与杂草竞争中,作物株高、叶面积扩展速度、叶面积指数、叶夹角、植冠郁闭速度等形态性状被认为与作物干扰能力有关。

株高是反映竞争力的重要指标之一,株高在作物的纵向光照竞争中起重要作用。研究表明,早期建立地上部的竞争优势会使植物对光产生一种长期的优先选择^[10],具有较大初始高度的植物在光资源竞争时具有优势^[11]。Donald^[12]提出,在混合群体中,植株高大有利于在竞争中占优势地位。余柳青等^[13]的研究发现,水稻与无芒稗的竞争力与水稻植株高度成正比。高秆栽培稻的竞争力强于矮秆栽培稻的竞争力。Stauber等^[14]研究了不同株高栽培稻对稗草的竞争力,发现具有较高植株高度的水稻株型对杂草的竞争力强,株高为96 cm的Newbonnet比植株高度为82 cm的Lemont具有更强的竞争潜力,减产的幅度明显降低。本研究结果表明,杂草稻密度对栽培稻株高影响较小。杂草稻株高较高在与栽培稻的竞争中

占据一定的优势,能截获较多的光照,来满足自身生长发育的需要,同时,高大的植株对栽培稻具有一定的遮蔽作用,这种遮蔽作用可能降低水稻单叶的净光合速率,并降低栽培稻穗部光合效率。合理的水稻群体结构是水稻获得高产的基础^[15-17]。分蘖强弱对竞争有重要作用。就作物本身而言,个体茎蘖松散对生存是有利的。钱前等^[18]认为具有分蘖角度可控的水稻在生育前期能够抑制田间杂草生长,使营养生长阶段处于优势,在分蘖盛期可减少纹枯病等病害发生。黑麦草(*Lolium perenne*)分蘖能力强、建植速度快、能够迅速覆盖地面,从而成为强有力的潜在竞争者^[19]。余柳青等^[13]以不同株形水稻浙辐802等基因系为材料,研究了水稻与无芒稗杂草的竞争时发现,水稻与无芒稗竞争力与水稻分蘖角度成正比。李贵等^[20]通过田间小区试验对比水稻品种与稗草、莎草科杂草和阔叶杂草的生态竞争关系后指出,利用一些具有分蘖强、长势旺盛、群体整齐度好等农艺性状的水稻品种将有利于杂草生态管理策略的完善。Leopoldo等^[21]研究表明,分蘖力强的栽培稻品种在竞争中占有优势。本试验中,杂草稻竞争导致栽培稻沈农265的分蘖力迅速降低,栽

培稻辽盐 16 分蘖数受杂草稻的影响较小,造成这种现象的主要原因是杂草稻具有较强的分蘖力,在与分蘖力中等的沈农 265 竞争中占据空间、肥水等资源优势,抑制了栽培稻沈农 265 的分蘖力;而辽盐 16 具有很强的分蘖能力,而且分蘖期茎蘖松散,这使栽培稻辽盐 16 在竞争中占有优势,反而抑制了杂草稻的分蘖。分蘖数与有效穗数密切相关,本试验中不同密度杂草稻竞争下栽培稻沈农 265 产量下降的主要影响因素就是有效穗数的减少。

植物叶片的数量和排列方式对植物的竞争会产生重要影响。在混合群落中,叶片松散型排列,有利于遮蔽弱小的非同类邻株,夺取更多的光照、水分和养分^[22]。20 世纪 90 年代,国际上发现一个新株型水稻材料 Nerica,它具有较强抗草害能力^[23]。该水稻营养生长阶段前期轻薄和披垂的叶片使其能够迅速覆盖地表并建立较大的截光面积。Martin 等^[24]通过研究稗与稻对光照的竞争关系时指出,增加水稻叶面积指数的早期增长速度有利于提高水稻的竞争力。本研究中,栽培稻辽盐 16 叶披散,叶片较多,在生育前期叶面积迅速扩展,叶片较长,叶子铺开面积较大,能够建立较大的截光面积,遮蔽杂草稻,使杂草稻的生长受到限制,在形态上具体表现为叶片数减少,叶面积指数降低,剑叶长、倒二叶长、倒三叶长及倒二叶宽有所降低。而栽培稻品种沈农 265,具有叶片直立,叶片角度小,叶面积在齐穗期小于杂草稻叶面积,在与杂草稻的竞争中处于劣势,表现为叶面积指数降低、叶片数减少、倒二叶、倒三叶叶宽显著降低。

从本研究结果可以看出,分蘖力强的水稻品种更能够适应与杂草稻的竞争,2016–2017 年在丹东地区进行的栽培稻与杂草稻竞争的试验也证明了这一结论。选用在形态上与杂草稻具有竞争力的品种或筛选对杂草稻有化感作用的水稻品种来控制杂草稻具有十分重要的意义^[25],利用水稻与杂草稻的生态竞争关系来控制杂草稻危害可减少化学除草剂使用量,是稻田杂草稻可持续管理的一种重要方式。

参考文献:

- [1] TANG L H, MARITIME H. Genetics characteristics and origin of weedy rice[A]. Paper on origin and dissemination of cultivated rice in China[C]. Beijing: China Agricultural University Press, 1996: 211–218.
- [2] 徐珂珂,李新月,鲁焕,等.干旱胁迫下杂草稻和栽培稻种子萌发及幼苗根的部分生长和生理生化指标的比较[J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(1): 86–88.
- XU K K, LI X Y, LU H, et al. Comparison on seed germination and some growth and physiological and biochemical indexes of roots of seedlings of *Oryza sativa* f. *spontanea* and *O. sativa* under drought stress[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2022, 31(1): 86–88. (in Chinese)
- [3] 吴云艳. 杂草稻竞争对栽培稻氮素积累量、氮素利用率及产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(2): 241–244.
- WU Y Y. Effect of weedy rice competition on the nitrogen accumulation, nitrogen utilization efficiency and yield of cultivated rice[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2018, 34(2): 241–244. (in Chinese)
- [4] 陈雷,金曼,张维乐,等. 杂草稻的特性及其危害与防治研究进展[J]. 作物学报, 2020, 46(7): 969–977.
- CHEN L, JIN M, ZHANG W L, et al. Research advances on characteristics, damage and control measures of weedy rice[J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(7): 969–977. (in Chinese)
- [5] 王蓓,孙莉,肖婷,等. 浙江省杂草稻种子逆境萌发能力鉴定[J]. 浙江农林大学学报, 2024, 41(4): 688–695.
- WANG B, SUN L, XIAO T, et al. Identification of seed germination ability of weedy rice under stress in Zhejiang Province[J]. Journal of Zhejiang Agricultural and Forestry University, 2024, 41(4): 688–695. (in Chinese)
- [6] 李其勇,李星月,朱从桦,等. 杂草稻的竞争优势及耐逆性研究进展[J]. 中国农学通报, 2019, 35(31): 115–123.
- LI Q Y, LI X Y, ZHU C H, et al. Research progress of competitive advantage and stress tolerance of weedy rice[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(31): 115–123. (in Chinese)
- [7] DIARRA A R J, SMITH R J, TALBERT R E. Growth and morphological characteristics of red rice(*Oryza sativa*) biotypes[J]. Weed Science, 1985, 33: 310–314.
- [8] ELEFTHEROHORINOS I G, DHIMA K V, VASILAKOGLU I B. Interference of red rice in Greece[J]. Weed Science, 2002, 50: 167–172.
- [9] 杜丹,吴云艳,石跃,等. 不同硅肥对港梗 308 形态特性和产量的影响[J]. 中国种业, 2021(2): 66–69.
- DU D, WU Y Y, SHI Y, et al. Effect of different silicon fertilizers on the morphological characteristics and yield of Ganggeng 308[J]. China Seed Industry, 2021(2): 66–69. (in Chinese)
- [10] SEKIMURA T, ROOSE T, LI B, et al. The effect of population density on morphology of herbs in relation to light capture by leaves[J]. Ecological Modeling, 2000, 28(1): 156–161.
- [11] 陈旭波,章雨希,张亚芬,等. 入侵植物藿香蓟表型可塑性对种间竞争的响应[J]. 植物科学学报, 2023, 41(1): 37–43.
- CHEN X B, ZHANG Y X, ZHANG Y F, et al. Response of phenotypic plasticity of invasive *Ageratum conyzoides* L. to interspecific competition[J]. Plant Science Journal, 2023, 41(1): 37–43. (in Chinese)
- [12] DONALD C M. The breeding of crop ideotypes[J]. Eophytica, 1968, 17: 385–403.
- [13] 余柳青,陆永良,周勇军,等. 相同遗传背景不同植株形态水稻等基因系与杂草的竞争及化感作用[J]. 应用生态学

- 报, 2005, 16(4): 721-725.
- YU L Q, LU Y L, ZHOU Y J, et al. Competition and allelopathy of rice isogenic lines having similar genetic background but different plant morphology against weed[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(4): 721-725. (in Chinese)
- [14] STAUBER L G, SMITH J R, RONALD E T, et al. Density and spatial interference of barnyardgrass(*Echinochloa crusgalli*) with rice(*Oryza sativa*)[J]. Weed Science, 1991, 39: 163-168.
- [15] 金峰, 邵玺文, 李彦利, 等. 株行距配置对吉林省水稻生长发育动态及物质生产的影响[J]. 东北农业科学, 2016, 41(5): 17-23.
- JIN F, SHAO X W, LI Y L, et al. Effects of row-spacing on growth and development, photosynthetic ratio and matter production of rice in Jilin Province[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2016, 41(5): 17-23. (in Chinese)
- [16] 张海涵, 滕祥勇, 王思楠, 等. 不同行距对旱直播粳稻产量及抗倒伏能力的影响[J]. 东北农业科学, 2024, 49(6): 23-29.
- ZHANG H H, TENG X Y, WANG S N, et al. Effect of row distances on yields and lodging resistance of Japonica rice cultivars under dry direct-sowing[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(6): 23-29. (in Chinese)
- [17] 孙日丹, 孙海波, 赵鑫, 等. 种植密度对水稻湿润覆膜栽培群体结构及产量的影响[J]. 东北农业科学, 2024, 49(4): 1-4.
- SUN R D, SUN H B, ZHAO X, et al. Effect of planting density on population structure and yield of rice under wet film mulching[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(4): 1-4. (in Chinese)
- [18] 钱前, 何平, 滕胜, 等. 水稻分蘖角度的 QTLs 分析[J]. 遗传学报, 2001, 28(1): 29-32.
- QIAN Q, HE P, TENG S, et al. QTLs analysis of tiller angle in rice[J]. Acta Genetica Sinica, 2001, 28(1): 29-32. (in Chinese)
- [19] 赵林, 李保平, 孟玲, 等. 不同氮、磷营养水平下紫茎泽兰和多年黑麦草苗期的相对竞争力[J]. 草业学报, 2008, 17(2): 145-149.
- ZHAO L, LI B P, MENG L, et al. The relative competitive ability of perennial *Lolium perenne* and the invasive alien weed, *Eupatorium adenophorum*(Compositae) at different nitrogen and phosphorus levels in the seedling stage[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2008, 17(2): 145-149. (in Chinese)
- [20] 李贵, 吴竞仑, 王一专, 等. 不同水稻品种抑制杂草的差异性研究[J]. 中国水稻科学, 2008, 22(6): 669-672.
- LI G, WU J L, WANG Y Z, et al. Inhibitory effect of different rice varieties on weeds in paddy field[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2008, 22(6): 669-672. (in Chinese)
- [21] LEOPOLDO E, ESTORNINOS I R, DAVID R, et al. Growth response of rice(*Oryza sativa*) and red rice(*O. sativa*). in a replacement series study[J]. Weed Technology, 2002, 16: 401-406.
- [22] 陈温福, 徐正进. 水稻超高产育种理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 204-207.
- CHEN W F, XU Z J. Rice super-high-yield breeding theory and method[M]. Beijing: Science Press, 2008: 204-207. (in Chinese)
- [23] JOHN L L, MARTIN J K. Applications of an ecophysiological model for irrigated rice (*Oryza sativa*)-*Echinochloa* competition [J]. Weed Science, 1996, 44: 52-56.
- [24] MARTIN R A, WILLIAM K L, DEBRAP P P. Intensity of intra and interspecific competition in coexisting shortgrass species[J]. Journal of Ecology, 2001, 89: 40-47.
- [25] 阮仁超, 韩龙植, 曹桂兰, 等. 不同类型稻种资源对稗草化感潜力差异评价[J]. 植物遗传资源学报, 2005, 6(4): 365-372.
- RUAN R C, HAN L Z, CAO G L, et al. Evaluation of allelopathic potential for different type of rice germplasm on barnyard-grass[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2005, 6(4): 365-372. (in Chinese)

(责任编辑: 范杰英)