

不同行距对旱直播粳稻产量及抗倒伏能力的影响

张海涵¹, 滕祥勇¹, 王思楠¹, 陈莫军¹, 林秀云^{1*}, 孙强¹, 李海波²

(1. 吉林省农业科学院水稻研究所, 吉林 公主岭 136100; 2. 吉林省农作物新品种引育中心, 长春 130000)

摘要: 选用3个粳稻品种(系), 设置4个播种行距, 研究水稻旱直播不同行距对产量及其构成因素、穗部性状、茎秆物理特性和抗倒伏性的影响。结果表明: (1) 水稻产量随行距的加大先增后降, 3个粳稻品种(系)均在20 cm行距处理产量最高; 有效穗数随着行距的增加而减小, 穗粒数、千粒重、结实率随行距的增加呈增加趋势。(2) 随着行距的加大, 不同品种(系)穗长, 着粒密度, 一、二次枝梗数以及实粒数均呈增加趋势, 一、二次枝梗比值, 一、二次枝梗粒数比值随着行距的加大而降低。(3) 随着行距增加, 整株鲜重、穗重、穗下节间/秆长增加, 相对重心高降低; 茎秆基部节间N1、N2的鲜重, 节间粗, 干重逐渐增大, 节间长逐渐缩短。(4) 随着行距增加, 单茎抗推力与N1、N2节间抗折力, 弯曲力矩均呈增加趋势, 倒伏指数降低。(5) 相关分析表明: N1、N2、N3节间抗折力与穗长、每穗粒数、着粒密度、一次枝梗数、二次枝梗数、单茎抗推力、基部节间鲜重、干重、茎粗、弯曲力矩呈显著或极显著正相关, 与相对重心高呈负相关。适宜的行距, 有利于控制基部节间配置比例, 优化穗部性状, 在提高产量的同时, 有助于提高水稻旱直播抗倒伏能力。

关键词: 旱直播; 粳稻; 行距; 产量; 抗倒伏性

中图分类号: S511.042

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)06-0023-07

Effect of Row Distances on Yields and Lodging Resistance of Japonica Rice Cultivars under Dry Direct-Sowing

ZHANG Haihan¹, TENG Xiangyong¹, WANG Sinan¹, CHEN Mojun¹, LIN Xiuyun^{1*}, SUN Qiang¹, LI Haibo²

(1. Rice Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling, 136100; 2. Jilin Province Crop Introduction and Breeding Center of New Varieties, Changchun 130000, China)

Abstract: In order to identify the suitable sowing distance and high-yielding characteristic of dry direct-sowing rice, and clarify the effect of sowing density on plant type and lodging resistance. A field experiment was conducted using rice cultivar with 3 types of japonica rice under 4 row spaces, to study the effects of different row spacing on rice yield, component factors, panicle traits, stem physical characteristics and lodging resistance. The results showed that: (1) With increasing row spaces, yield of the three rice cultivar increased firstly and then decreased, productive panicle number decreased, the full grains per panicle, 1 000-seed weight and seed setting rate increased; and the yield of the three rice varieties was the highest at 20 cm row spaces. (2) With increasing row spaces, panicle length, grain density, No. of primary branch, No. of secondary branch, No. of grains of primary branch and No. of grains of secondary branch showed a tendency of increase; but it showed a decreasing tendency in ratio of No. of primary branch to No. of secondary branch and ratio of No. of grains of primary branch to No. of grains of secondary branch. (3) The fresh plant weight, grain weight per panicle and ratio of neck internodes length to stalk length gradually increased, the relative gravity center height gradually were debased, and the fresh weight, culm diameter and dry weight of basal 1st, 2nd internode gradually were enhanced, and the internode length were gradually shortened with decreasing row spaces. (4) The breaking resistance and bending moment of basal 1st, 2nd and internodes and Anti-thrust per stem were increased with decreasing planting density, but lodging index was decreased. (5) The correlation analysis showed that the breaking resistance of N1, N2, N3 internodes had significant or extremely significant with panicle length, density of grain setting, particle density, first branch number per panicle, second branch num-

收稿日期: 2024-06-08

基金项目: 吉林省水稻产业技术体系项目(JARS-2024-0201); 吉林省农业科技创新工程项目(CXGC2021ZY009)

作者简介: 张海涵(1988-), 男, 研究实习员, 硕士, 主要从事水稻直播栽培技术研究。

通信作者: 林秀云, 女, 博士, 研究员, E-mail: linxiuyun1965@163.com

ber per panicle, anti-thrust per stem, and the fresh weight, dry weight, culm diameter, while it showed a negative correlation with the ratio of gravity center height. The suitable row space is beneficial to control the proportion of basal internode allocation, optimize the panicle character, and improve the yield and lodging resistance of rice in drought direct seeding.

Key words: Dry direct-sowing; Japonica rice; Row space; Yield; Lodging resistance

水稻旱直播技术是指没有育苗及移栽过程,旱整地后,种子经包衣处理直接播种,待秧苗4叶期后建立水层的轻简栽培技术^[1]。由于直播稻在本田中直接发芽出苗,且播种较浅,根系集中分布在表层土壤中;同时,直播稻起始苗数多,中后期群体较大,通风透光不畅,容易造成基节间细长,在灌浆后期易发生倒伏^[2-4]。适宜的种植密度有利于水稻构建合理冠层结构,优化群体质量,实现高产优质^[5-6]。前人研究发现,随直播栽培密度的降低,水稻有效穗数降低,每穗粒数、着粒密度、一次枝梗数和二次枝梗数及其粒数、结实率等产量构成因素增大,相对重心高降低,基部节间厚度、粗度和干重增加,节间长度缩短,抗折能力增加。适宜的播栽密度在确保水稻较高抗倒伏能力的同时,协调各产量构成因素获得较高产量^[7-9]。然而,目前大部分研究主要针对移栽种植,关于旱直播条件下水稻产量及抗倒性影响因素的研究较少。本试验研究了不同行距对3种粳稻品种(系)产量及其构成、穗部性状、茎秆物理特性的影响,以期早直播稻高产群体构建提供理论基础。本试验采用了田间抗推力测量与茎秆基部节间抗折能力测量两种鉴定方法对比研究,以期探讨更简便实用的抗倒伏能力测量方法。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与 设计

2022年在吉林省农业科学院水稻研究所实验基地,以吉粳305、通禾829、吉粳352等3个优质粳稻品种(系)为材料进行试验。

采用两因素裂区设计,品种(系)为主区,行距为副区。采用旱直播穴播的种植方式,穴距为12 cm,设4个不同行距15、20、25、30 cm,相应播种量分别为666万粒/hm²、500万粒/hm²、400万粒/hm²、333万粒/hm²。小区面积15 m²,3次重复,共36个小区。

试验地土质为壤土,肥力中等,N施用量为150 kg/hm²,底肥40%,分蘖肥30%,调节肥10%,穗肥20%;P₂O₅施用量为70 kg/hm²,底肥全部施入;K₂O施用量为100 kg/hm²,底肥和穗肥各50%,

其他田间管理按照高产田要求实施。

1.2 测定项目及 方法

1.2.1 单茎抗推力

参照陈桂华等^[10]的方法,于齐穗后25 d,各小区选取长势一致的植株,用YYD-1茎秆强度测定仪,在离地面20 cm处将植株整株推至与地面呈45°,记录该过程中最大的推力值(N),连续测量10穴,并记录每穴的分蘖数。

1.2.2 茎秆物理性状和抗倒性状

齐穗后25 d,每小区分别随机选取10个有代表性的单茎(基部第1节间长度>4 cm),保持不失水,测定株高,重心高,穗长,各节间的长度、粗度,基部第1、第2、第3节间(N1、N2、N3)抗折力及节间基部到穗顶的长度和鲜重,然后将各节间置于105℃烘箱杀青30 min,于80℃烘干至恒重并称取干重。

参照濂古秀生等^[11]的方法计算水稻基部各节间的弯曲力矩、折断弯矩和倒伏指数。

弯曲力矩=节间基部至穗顶的长度(cm)×该节间基部至穗顶的鲜重(g)

折断弯矩=抗折力×两支点间距×1 000/4(抗折力F以单位kg计,两支点间距为5 cm)

倒伏指数=(弯曲力矩/折断弯矩)×100%

用YYD-1茎秆强度测定仪,将待测定的节间茎秆(保留叶鞘)水平放置在两支点上(间距5 cm),在节间中点施力使其折断,力的大小即为该节间抗折力。

1.2.3 产量及穗部性状调查

成熟期每小区取长势均匀地块,连续普查20穴,统计每穴有效穗数,按平均穗数每小区取6穴进行考种,包括穗长、一次枝梗数、二次枝梗数、一次枝梗粒数、二次枝梗粒数、千粒重等,并实收测产,参照胡亚杰等^[12]的方法进行。

2 结果与分析

2.1 不同行距对产量及其构成因素的影响

由表1可知,行距对水稻产量具有较大影响,随着行距的增加,3个水稻品种(系)的产量均呈现先增后降趋势,在20 cm行距时,吉粳352、通禾

表1 不同行距条件下旱直播粳稻产量及产量构成因素

品种	行距/cm	有效穗数/ $\times 10^4$ 穗 \cdot hm $^{-2}$	每穗粒数	千粒重/g	结实率/%	产量/t \cdot hm $^{-2}$
吉粳352	15	724.76a	50.66c	27.55a	91.92c	9.29ab
	20	559.04b	67.10b	27.57a	93.13b	9.63a
	25	457.96c	71.79ab	27.86a	94.80a	8.69b
	30	379.47d	75.72a	28.11a	94.66a	7.64c
通禾829	15	831.59a	53.88b	21.77b	94.10a	9.19ab
	20	636.61b	72.44a	22.31ab	94.22a	9.71a
	25	516.00c	78.13a	22.68a	94.92a	8.70ab
	30	468.93c	76.25a	22.23ab	94.86a	7.55b
吉粳305	15	736.54a	56.37c	24.37a	91.65b	9.25a
	20	568.57b	75.53b	24.75a	93.78a	9.94a
	25	481.04c	79.70a	25.33a	93.97a	9.12a
	30	415.28c	82.89a	25.08a	93.90a	8.11b

注:小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$),下同

829和吉粳305的产量分别达到最大值9.63 t/hm 2 、9.71 t/hm 2 和9.94 t/hm 2 。从产量构成因素来分析,有效穗数随着行距的加大逐渐减小,其中,吉粳352处理间差异显著;随着行距的加大,3个水稻品种(系)的每穗粒数、千粒重、结实率等指标呈增加趋势。结果表明,随着行距的增大,植株间竞争压力降低,有助于产量构成因素的改善,每穗粒数、千粒重、结实率等指标的提高有助于产量提高,但是,随着行距的进一步加大,单位面积有效穗数成为影响产量的主要因素,产量随有效

穗数的降低而降低。

2.2 不同行距对水稻株型的影响

2.2.1 穗部构成特征

由表2可知,随着行距的加大,3个水稻品种(系)穗长、穗重、着粒密度、一次枝梗数、二次枝梗数、一次枝梗实粒数、二次枝梗实粒数以及结实率均呈增大趋势,一、二次枝梗比值,一、二次枝梗粒数比值呈降低趋势。说明较大的行间距有助于穗粒数的增加,二次枝梗数、二次枝梗实粒数对穗粒数的增加起主要作用。

表2 不同行距条件下粳稻穗部性状

品种	行距/cm	一次枝梗						二次枝梗				
		穗长/cm	穗重/g	着粒密度/(粒 \cdot cm $^{-1}$)	一、二次枝梗数比值	一、二次枝梗粒数比值	枝梗数	实粒数	结实率/%	枝梗数	实粒数	结实率/%
吉粳352	15	12.86a	1.32a	3.78b	1.21a	2.24a	6.66a	31.29a	94.49a	5.77b	14.64c	91.50ab
	20	13.56a	1.60a	4.20ab	0.91ab	1.71ab	6.96a	33.48a	94.48a	7.93ab	19.69bc	90.72b
	25	13.94a	1.77a	4.75a	0.79b	1.38b	7.80a	36.60a	95.23a	9.98a	26.40ab	94.21a
	30	14.36a	1.95a	5.04a	0.69b	1.23b	7.89a	38.09a	95.39a	11.51a	30.45a	93.83ab
通禾829	15	13.95b	1.16b	3.92c	0.92a	1.75a	6.53b	32.56b	94.63a	7.38b	19.00b	93.38a
	20	14.57ab	1.37b	4.27ab	0.79ab	1.49ab	7.11ab	35.63ab	95.15a	9.07ab	23.35ab	92.82a
	25	15.35a	1.74a	4.95a	0.66b	1.21b	7.81a	39.60a	95.36a	11.96a	32.81a	94.38a
	30	15.31a	1.72a	4.89ab	0.69b	1.23b	7.94a	39.18ab	95.11a	11.56a	31.92a	94.51a
吉粳305	15	15.36a	1.55a	4.00b	0.86a	1.56a	7.29a	35.00b	93.60a	8.46b	21.44c	89.46b
	20	15.18a	1.59a	4.21b	0.83a	1.48a	7.38a	36.20b	94.91a	8.90b	23.67bc	92.09a
	25	15.94a	1.87a	4.58a	0.76a	1.37a	7.91a	39.92a	94.70a	10.38ab	28.48ab	92.19a
	30	15.92a	1.88a	4.76a	0.66b	1.15b	7.81a	37.80ab	94.01a	11.98a	33.45a	93.73a

2.2.2 植株茎秆特征

通过表3可以看出,行距增加后,水稻品种

(系)植株鲜重均有所增加,株高、相对重心高略有降低,穗下节间长、秆长变化不大,但穗下节间/

表3 不同行距条件下粳稻植株物理性状的变化

品种	行距/cm	株高/cm	植株鲜重/g	重心高度/cm	相对重心高/%	穗下节间长/cm	秆长/cm	穗下节间/秆长/%
吉粳352	15	89.93a	8.076a	47.65a	58.82a	29.10a	68.40a	42.62c
	20	88.53a	8.15a	45.97a	56.78a	29.53a	66.53a	44.38b
	25	86.07a	9.46a	48.73a	56.99a	31.43a	69.17a	45.46ab
	30	86.27a	9.50a	47.30a	55.93a	31.00a	67.77a	45.74a
通禾829	15	99.47a	8.74b	49.03a	51.68a	31.15a	77.70a	40.19a
	20	96.47a	9.58ab	47.40a	50.98a	31.67a	75.73a	41.82a
	25	96.90a	10.84a	48.87a	51.09a	32.77a	76.53a	42.81a
	30	95.70a	10.56a	47.20a	50.27a	31.93a	74.90a	42.67a
吉粳305	15	95.97a	9.77a	48.63a	52.59a	32.43a	75.26a	43.20a
	20	94.50a	10.64a	46.23a	49.95a	31.77a	75.88a	42.06a
	25	93.80a	10.80a	46.70a	51.49a	31.67a	73.17a	43.29a
	30	95.03a	10.83a	46.63a	51.19a	31.87a	73.13a	43.59a

秆长呈现增加趋势,表明行距的变化一定程度上影响了水稻植株茎秆特征。

测量早直播粳稻基部节间生长特性发现(表4),与行距15 cm相比,行距增加后,各基部节间的

鲜重、节间粗、干重等指标均有不同程度增加,节间长略为缩短,以N1、N2节间变化较为明显。表明行距的变化对基部N1、N2节间的影响较大,较大的行距有助于改善水稻基部节间的生长。

表4 不同行距条件下粳稻基部节间的生长特性

品种	行距/cm	基部节间鲜重/g			基部节间长/cm			基部节间粗/cm			基部节间干重/g		
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
吉粳352	15	0.97a	1.09a	1.13a	6.77a	12.20a	18.86a	0.16a	0.18a	0.12a	0.19a	0.27a	0.31a
	20	0.93a	1.00a	1.07a	6.63a	10.87a	18.37a	0.18a	0.18a	0.15a	0.21a	0.25a	0.30a
	25	1.03a	1.12a	1.32a	5.80a	11.07a	19.23a	0.23a	0.22a	0.16a	0.20a	0.26a	0.34a
	30	1.05a	1.15a	1.24a	5.88a	10.77a	18.50a	0.21a	0.22a	0.16a	0.25a	0.28a	0.34a
通禾829	15	1.01a	1.06a	1.38a	6.42a	11.45a	19.93a	0.21a	0.20a	0.15a	0.27a	0.31a	0.40b
	20	1.20a	1.29a	1.53a	6.35a	12.28a	20.08a	0.24a	0.22a	0.17a	0.31a	0.38a	0.49ab
	25	1.26a	1.37a	1.70a	6.38a	12.17a	20.83a	0.27a	0.25a	0.19a	0.34a	0.43a	0.51ab
	30	1.19a	1.68a	1.61a	6.15a	12.53a	19.68a	0.27a	0.23a	0.17a	0.40a	0.46a	0.55a
吉粳305	15	1.07a	1.32a	1.57a	6.63a	13.62a	21.29a	0.21a	0.21a	0.14a	0.23b	0.38b	0.48b
	20	1.33a	1.68a	1.67a	6.91a	14.72a	20.48a	0.26a	0.23a	0.16a	0.42a	0.55ab	0.62a
	25	1.32a	1.54a	1.63a	5.88a	13.24a	20.08a	0.26a	0.25a	0.17a	0.35ab	0.44ab	0.52b
	30	1.39a	1.61a	1.60a	6.00a	13.52a	19.52a	0.25a	0.24a	0.16a	0.44a	0.57a	0.57ab

2.3 不同行距对水稻抗倒伏能力的影响

由表5可知,3个水稻品种(系)田间实地测量单茎抗推力,与行距15 cm相比,行距20 cm、25 cm、30 cm均有所增加,表明自然条件下适当扩大行距有助于提高水稻的单茎抗推能力。通过测量发现,不同水稻品种基部节间抗折力以N1最大,N2次之,N3最小。行距增大,基部N1、N2节间抗折力和弯曲力矩呈增大趋势;倒伏指数呈减小趋势,吉粳352和通禾829在30 cm行距时达到最小值。表明较大的行距降低了播种密度,使植株间竞争压力降低,从而增加了基部节间生物量和抗折能力,而抗折力的增加速度大于弯曲力矩,因此

使倒伏指数降低,提高了水稻植株的抗倒伏能力。

2.4 水稻基部节间的抗倒能力与穗部构成、茎秆主要物理性状的相关性

3个水稻品种(系)穗部构成、茎秆主要物理性状与其茎秆抗折力及倒伏指数间的相关分析(表6)表明,N1、N2、N3抗折能力与穗长、每穗粒数、一次枝梗数、二次枝梗数、单茎抗推力、整株鲜重、基部节间鲜重、基部节间干重、基部节间粗、弯曲力矩呈显著或极显著正相关,N1抗折能力与着粒密度呈极显著正相关,N2、N3抗折能力与着粒密度呈正相关,未达到显著水平,N1、N2、N3抗折能力与相对重心高呈极显著负相关或负

表5 不同行距条件下粳稻单茎抗推力、基部节间抗折力、弯曲力矩和倒伏指数的变化

品种	行距 /cm	单茎抗推力 /kg	抗折力/kg			弯曲力矩/cm·g			倒伏指数/%		
			N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
吉粳352	15	0.39b	9.92a	5.32a	3.40a	697.90a	579.64a	414.54a	66.26a	74.10a	103.00a
	20	0.40b	9.78a	5.75a	3.91a	676.91a	560.68a	415.47a	62.17a	64.75a	92.34a
	25	0.44ab	12.60a	6.36a	4.47a	814.52a	691.36a	518.54a	63.01a	76.93a	101.77a
	30	0.51a	13.72a	7.47a	5.13a	805.58a	675.13a	504.81a	58.82a	74.11a	71.28a
通禾829	15	0.37b	9.91a	6.57a	4.91a	828.97a	699.33a	527.06b	77.30a	89.12a	100.17a
	20	0.50a	11.17a	7.74a	5.46a	894.12a	749.00a	546.43ab	68.45a	80.68a	78.06a
	25	0.59a	13.00a	8.37a	6.05a	1032.65a	866.03a	642.62a	70.98a	74.53a	102.80a
	30	0.59a	12.72a	7.99a	6.14a	988.55a	822.07a	576.91ab	63.54a	74.21a	77.52a
吉粳305	15	0.47a	11.85a	7.69a	5.70a	919.50a	782.87a	565.43a	70.99a	91.57a	81.19a
	20	0.56a	13.65a	8.71a	6.87a	1003.55a	824.64a	563.74a	62.79a	70.85a	71.36a
	25	0.54a	14.03a	8.17a	6.34a	990.55a	831.52a	591.95a	63.69a	73.64a	76.83a
	30	0.65a	15.12a	8.96a	6.31a	991.60a	827.92a	581.03a	60.87a	73.24a	85.04a

表6 基部节间抗折力和倒伏指数与穗部性状、茎秆主要物理性状的相关性分析

参数	抗折力			倒伏指数		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3
穗长	0.79**	0.94**	0.93**	-0.26	0.08	-0.54
穗粒数	0.86**	0.77**	0.71*	-0.40	-0.22	-0.39
着粒密度	0.72**	0.50	0.41	-0.50	-0.35	-0.24
一次枝梗数	0.87**	0.64**	0.59*	-0.56	-0.29	-0.40
二次枝梗数	0.82**	0.73**	0.64*	-0.40	-0.22	-0.35
产量	-0.49	-0.24	-0.15	0.36	0.07	0.13
单茎抗推力	0.88**	0.92**	0.85**	-0.37	-0.24	-0.49
株高	-0.01	0.50	0.55	0.70*	0.52	-0.05
整株鲜重	0.87**	0.94**	0.94**	-0.18	-0.05	-0.46
相对重心高	-0.44	-0.85**	-0.90**	-0.27	-0.24	0.45
穗下节间/秆长	0.36	-0.12	-0.22	-0.74**	-0.43	-0.10
基部节间鲜重	0.80**	0.86**	0.93**	-0.20	-0.14	-0.37
基部节间长	-0.54	0.67*	0.66*	0.36	0.09	-0.13
基部节间粗	0.73**	0.86**	0.70*	-0.08	-0.09	-0.21
基部节间干重	0.68*	0.88**	0.95**	-0.18	-0.09	-0.51
弯曲力矩	0.73**	0.94**	0.88**	-0.67*	-0.59*	-0.43

注：“*”和“**”分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平上有统计学意义

相关,与稻谷产量呈负相关,与株高、穗下节间/秆长相关性不高。N1、N2、N3倒伏指数与产量呈正相关,N1、N2倒伏指数与株高呈正相关或显著正相关;N1、N2、N3倒伏指数与穗粒数、着粒密度、一次枝梗数、二次枝梗数、单茎抗推力、整株鲜重、基部节间粗、基部节间干重等指标呈负相关,与弯曲力矩呈显著负相关或负相关,N1倒伏指数与穗下节间/秆长呈极显著负相关,说明影响稻株基部节间抗倒伏能力的强弱与穗部构成、茎秆物理性状关系密切。

3 讨论

3.1 不同行距条件下水稻产量及其形成特征

种植密度是农业生产中重要的栽培指标,对作物生理生态活性、肥料利用率、光合效率、群体结构和产量构成等具有重要调控作用。研究发现,适当减少栽插密度,能有效增加单株有效穗数和穗粒数,协调个体与群体而获得水稻的高产^[12-14]。邢志鹏等^[9]研究发现,不同种植方式显著影响了水稻叶形、叶姿、穗部特征及产量。移栽

种植下水稻产量的形成来源于穗粒数,而直播种植下水稻产量的形成主要来源于有效穗数,直播条件下,有效穗数的增多可以提高水稻群体产量,充分发挥小穗、多穗的产量构成优势,有利于实现稳产、高产^[3,15]。本研究发现,随着播种行距增加,3个水稻品种(系)的每穗粒数、结实率、千粒重均逐渐增大,有效穗数逐渐降低,产量先增后降,在行距为20 cm时达到最大值。这说明行距的增大降低了株间竞争,有利于改善农田小气候和冠层结构,优化群体质量,提高对光能的利用,进而使产量增加,但随着行距进一步加大,每穗粒数、结实率及千粒重的增加不足以弥补单位面积有效穗数的降低,从而导致产量的降低。水稻直播产量构成特点为“穗多粒少”,种植宜以主茎成穗为主,适当降低行距增加播量,将有助于有效穗数的增加,确保较高的产量。

3.2 不同行距条件下水稻株型特征和茎秆抗倒伏性状

穗部性状与产量关系密切,是水稻株型指标的重要组成部分^[6-17],本研究发现,随着早直播行距增大,穗长、着粒密度、实粒数、一次枝梗数、二次枝梗数及结实率等指标均增加,一、二次枝梗数比值及一、二次枝梗粒数比值降低,这与前人的研究结果一致^[7]。可见,播种密度的降低,有助于提高每穗粒数和改善穗部性状,二次枝梗数及二次枝梗数实粒数的增加在这一过程中起主要作用。

水稻自身的抗倒伏能力是由茎秆的形态性状决定的。与株高、重心高度、茎粗、茎壁厚和节间长等形态指标及充实度等关系密切^[18-20]。种植密度可以影响植株茎秆性状,进而影响其抗倒伏能力^[21]。许俊伟等^[22]研究发现,随着密度的增加,不同类型水稻茎秆的倒伏指数均逐渐增大,茎壁厚度、茎粗、单位节间干重都呈下降趋势。本研究发现,随着播种行距的加大,植株鲜重、穗下节间/秆长增加,株高、相对重心高降低,基部节间鲜重、干重、茎粗增加,基部节间长降低,抗折力及弯曲力矩增加,倒伏指数降低,这与许俊伟等^[22]研究结果一致。说明播种行距的增加,有利于改善水稻株型特征,提高植株抗倒伏能力。

3.3 水稻产量构成因素、株型特征与抗倒伏能力相关性分析

基部节间抗折能力和植株自身负荷重量等多种因素共同决定了水稻的抗倒伏能力大小^[10,23]。龚竹娟等^[24]研究发现,穗部性状对倒伏指数有极

大的影响,穗颈角、穗长、单穗鲜质量和穗重心均与倒伏指数呈极显著正相关。张忠旭等^[25]研究发现,降低穗位高度,增加穗长和穗颈长等,可以提高水稻植株的抗倒性。郭长春等^[17]研究发现,穴直播优质杂交水稻抗倒能力与穗部构成、茎秆主要物理性状显著相关。本研究验证了这一论点,通过相关性分析发现,植株鲜重、节间鲜重、节间干重、节间粗等茎秆特征指标与抗折力呈显著或极显著正相关,与倒伏指数呈负相关;穗长、穗粒数、着粒密度、一次枝梗数、二次枝梗数等穗部特征指标与基部节间抗折力呈显著正相关,与倒伏指数呈负相关;弯曲力矩与抗折力呈极显著正相关,与倒伏指数呈显著负相关。这表明水稻植株包括茎秆及穗部性状在内的株型特征与抗倒伏能力关系密切,合理的播种密度不仅有助于优化茎秆形态,改善穗部构成,提高水稻产量,还将有助于增强植株的抗倒伏能力,最终达到高产抗倒伏的目标。

目前,对于水稻抗倒伏能力的鉴定,最常用的指标是节间抗折力和倒伏指数,但陈桂华等^[10]认为,该鉴定方法存在一定缺陷,在田间正常生长情况下测定的整株抗推力更能代表田间的实际抗折能力。本研究发现,单茎抗推力与基部节间N1、N2、N3抗折力呈极显著正相关($r=0.88$, $r=0.92$, $r=0.85$),与基部节间N1、N2、N3倒伏指数呈负相关($r=-0.37$, $r=-0.24$, $r=-0.49$),这表明两种鉴定方式具有较强的相关性。

4 结 论

水稻早直播种植以主茎成穗为主,有效穗数对产量贡献率最大,适当缩小行距提高播种密度将有助于产量的提高,然而,随播种密度的增大水稻抗倒伏能力减小,权衡这两方面因素,认为行距20 cm是吉粳352、通禾829和吉粳稻305较理想的播种密度。随着行距增大,利于改善穗部性状、提高穗粒数,同时还利于缩短基部节间长度,增加基部节间粗度和重量,提高抗折力,降低倒伏指数。

参考文献:

- [1] 王金明,林秀云,李彦利,等.吉林省水稻机械早直播生产技术规程[J].农业与技术,2019,39(24):4-5,10.
- [2] 滕祥勇,王金明,李鹏志,等.水稻抗倒伏性的影响因素及评价方法研究进展[J].福建农业学报,2021,36(10):1245-1254.
- [3] 张喜娟,王文龙,孟英,等.种植方式对寒地水稻抗倒伏性

- 状的影响[J]. 中国农学通报, 2024, 40(3): 16-25.
- [4] 张志财, 贾维东, 林秀云, 等. 吉林省水稻直播技术现状、问题及对策[J]. 北方水稻, 2017, 47(6): 47-50.
- [5] 肖楠, 丛琳, 孙晓森, 等. 行距对不同穗型旱直播粳稻产量及光合特性的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2018, 49(1): 8-13.
- [6] 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.
- [7] 胡雅杰, 曹伟伟, 钱海军, 等. 钵苗机插密度对不同穗型水稻品种产量、株型和抗倒伏能力的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(5): 743-757.
- [8] 闫川, 丁艳锋, 王强盛, 等. 行株距配置对水稻茎秆形态生理与群体生态的影响[J]. 中国水稻科学, 2007(5): 530-536.
- [9] 邢志鹏, 吴培, 朱明, 等. 机械化种植方式对不同品种水稻株型及抗倒伏能力的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1): 52-62.
- [10] 陈桂华, 邓化冰, 张桂莲, 等. 水稻茎秆性状与抗倒性的关系及配合力分析[J]. 中国农业科学, 2016, 49(3): 407-417.
- [11] 濑古秀生. 水稻の倒伏に関する研究[J]. 九州農業試験場彙報, 1962(7): 419-495.
- [12] 吴春赞, 叶定池, 林华, 等. 栽插密度对水稻产量及品质的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(9): 190-191.
- [13] 李倩, 刘小进, 封伟, 等. 种植密度和品种对荞麦抗倒伏能力和产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(10): 39-42, 45.
- [14] 王宇, 王志兴, 钟鸣, 等. 播种量对滨海稻区水稻旱直播产量及经济效益的影响[J]. 东北农业科学, 2024, 49(1): 7-11.
- [15] 唐志强, 张丽颖, 何娜, 等. 机械旱直播对水稻生育进程、光合特性及产量的影响[J]. 作物杂志, 2021(5): 87-94.
- [16] 徐正进, 陈温福, 韩勇, 等. 辽宁水稻穗型分类及其与产量和品质的关系[J]. 作物学报, 2007, 33(9): 1411-1418.
- [17] 郭长春, 张桥, 孙永健, 等. 不同产量水平的杂交水稻品种穴直播茎秆抗倒特性及其差异性比较[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2019, 45(2): 143-156.
- [18] 吴晓然, 张巫军, 伍龙梅, 等. 超级杂交水稻抗倒能力比较及其对氮素的响应[J]. 中国农业科学, 2015, 48(14): 2705-2717.
- [19] 吴泽芳, 衡艳, 邱丹, 等. 33份水稻材料的抗倒伏性评价[J]. 西南农业学报, 2016, 29(4): 736-744.
- [20] 田文强, 张强斌, 王泓懿, 等. 播量对超晚播冬小麦基部节间性状、机械强度及倒伏率的影响[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(11): 1482-1494.
- [21] 刘佳欣, 吴周周, 周婵婵, 等. 水稻倒伏性状与抗倒途径研究进展[J]. 中国稻米, 2023, 29(6): 44-48, 55.
- [22] 许俊伟, 孟天瑶, 荆培培, 等. 机插密度对不同类型水稻抗倒伏能力及产量的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(11): 1767-1776.
- [23] 王在满, 郑乐, 张明华, 等. 不同播种方式对直播水稻倒伏指数和根系生长的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(4): 725-728.
- [24] 龚竹娟, 黄云, 魏朝富. 株行距配置对水稻群体生态及抗倒伏性的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(17): 61-65.
- [25] 张忠旭, 陈温福, 杨振玉, 等. 水稻抗倒伏能力与茎秆物理性状的关系及其对产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 1999, 30(2): 81-85.

(责任编辑:范杰英)