

郭保卫, 许 轲, 魏海燕, 等. 钵苗机插水稻茎秆的抗倒伏能力[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(6): 1280-1287.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.06.014

钵苗机插水稻茎秆的抗倒伏能力

郭保卫, 许 轲, 魏海燕, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 张玉雪, 石晓旭

(扬州大学农业部长江流域稻作技术创新中心/扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏 扬州 225009)

摘要: 水稻钵苗机插较毯苗机插增产优势明显, 研究其抗倒伏特性可为水稻钵苗机插高产栽培提供理论指导。试验以籼粳杂交稻、杂交粳稻、籼型杂交稻及常规粳稻为材料, 通过与毯苗机插水稻对比, 研究钵苗机插水稻茎秆的抗倒伏特征。结果表明, 不同机插方式水稻间抗倒伏能力差异显著, 茎秆倒伏指数表现为钵苗机插 < 毯苗机插, 基部节间抗折力、弯曲力矩和抗倒伏能力均表现为钵苗机插 > 毯苗机插。钵苗机插水稻相对重心高度稍低, 抽穗期、成熟期单茎干物质和单穗质量大。钵苗机插水稻基部1~3节间长度短, 粗度、节间干质量和单位干质量大。相关分析结果表明, 抗折力、弯曲力矩与倒伏指数呈极显著负相关, 基部1~4节间的抗折力与株高、重心高度、节间粗度、节间干质量、单位节间干质量、单茎干质量、单茎叶鞘干质量及弯曲力矩呈显著或极显著正相关, 与相对重心高度呈极显著负相关。钵苗机插水稻茎秆粗壮, 基部节间抗折力大, 抗倒伏能力强。

关键词: 水稻; 钵苗机插; 茎秆; 抗倒伏能力

中图分类号: S511.01

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2016)06-1280-08

Culm lodging resistance characteristics of bowl seedling mechanical-transplanting rice

GUO Bao-wei, XU Ke, WEI Hai-yan, ZHANG Hong-cheng, DAI Qi-gen, HUO Zhong-yang, ZHANG Yu-xue, SHI Xiao-xu

(Innovation Center of Rice Cultivation Technology in Yangtze Valley, Ministry of Agriculture / Key Laboratory of Crop Genetic and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The bowl seedling mechanical-transplanting rice had higher yield than the blanket seedling mechanical-transplanting rice, so it's important to study the lodging resistance characteristics of the bowl seedling mechanical-transplanting rice for providing the theoretical guidance for high yield cultivation. The experiments used *indica/japonica* hybrid rice, *japonica* hybrid rice, *indica* hybrid rice and conventional *japonica* rice as materials. By comparing with the blanket seedling mechanical-transplanting rice, the lodging resistance of the bowl seedling mechanical-transplanting rice was studied. The results showed that the differences of culm lodging resistance between two transplanting treatments were very significant. The lodging index of the bowl seedling mechanical-transplanting rice was inferior to blanket seedling mechanical-

transplanting rice, however, the breaking force (BF) of the basal four internodes, bending moment (BM) and the lodging resistance were higher than blanket seedling mechanical transplanting rice. And the bowl seedling mechanical transplanting rice had slightly lower ratio of gravity center height to plant height, heavier dry weight of stem and single panicle weight at the heading stage and the maturation stage. Compared with blanket seedling mechanical-

收稿日期: 2016-04-30

基金项目: 江苏省农业自主创新基金重点项目[CX(15)1002]; 公益性行业(农业)科研专项(201303102); 扬州大学科技创新培育基金项目(2015CXJ042); 江苏省农业三新工程项目[SXGC(2015)325]

作者简介: 郭保卫(1984-), 男, 江苏新沂人, 博士, 讲师, 主要从事作物高产优质栽培研究与教学。(E-mail)gbwxy@126.com

transplanting rice, the length of the 1st-3rd basal internodes of bowl seedling mechanical-transplanting rice was shorter, and culm diameter, dry weight of the internodes and dry weight per unit internode were higher. The results of correlation analysis showed that the breaking resistance had very significantly negative correlation with lodging index. The breaking resistance of the 1st, 2nd, 3rd, 4th internode had very significantly or significantly positive correlation with plant height, gravity center height, wall thickness, dry weight of culm, dry weight of leaf sheath, dry weight of unit internode and bending moment, and had very significantly negative correlation with the ratio of gravity center height to plant height. The bowl seedling mechanical-transplanting rice had stronger culm, so it had stronger stem lodging resistance.

Key words: rice; bowl seedling mechanical-transplanting; culm; lodging resistance

中国水稻生产已经由追求高产的单一目标转向追求高产、优质、高效、生态、安全的“十字”综合目标^[1]。倒伏是水稻生产中普遍存在的问题,水稻发生倒伏后,不仅收获费工费时,而且产量明显降低并严重影响稻米品质,成为实现水稻生产“十字”综合目标的重要限制因素之一^[2-4]。水稻的倒伏不但可以导致产量下降,而且引起食味品质变劣^[5-6],还给收割脱粒带来不便,出现落粒、穗芽现象,增加稻谷损失率^[7]。在水稻倒伏的类型上普遍认为有两种,一种是基部倒伏,另一种是折秆倒伏^[5]。水稻植株茎秆抗倒伏能力的提高在品种改良中得到重要体现,新品种的抗倒性与高产性能能够协调提高^[8],高产品种由于茎秆物理与化学成分的改善,茎秆抗折力显著提高,抗倒性强^[9],水稻植株的抗倒性与节间的长短、粗细、干质量、节间壁厚度等茎秆物理性状关系密切^[10-11]。机插秧是水稻生产的发展方向,目前生产上大面积应用的常规毯状小苗机插,仍存在秧龄弹性小,密生生态下秧苗素质低,移栽植伤重等问题,制约了水稻个体生产潜力的发挥和群体对温光资源的充分利用^[12-14]。水稻钵苗机插作为南方稻区一种新兴的机插秧技术,能够实现带土钵壮秧、行株距有序、无植伤精确移栽,且秧苗素质高,秧龄弹性大,栽后缓苗期短,活棵发苗快^[15-16]。钵盘育苗有利于培育壮苗,栽后7 d,与常规毯苗机插相比钵苗机插的单株苗高、叶面积、干物质量等极显著提高^[17]。前人在水稻钵苗机插高产形成方面已有较多研究,相关的抗倒伏能力也有一定研究^[18-20],但有关研究选择的品种类型较少,且研究的是长秧龄下钵苗机插水稻。排除长秧龄秧苗本身的优势,关于同毯苗机插相同秧龄的钵苗机插水稻的抗倒伏特征研究还较少。因此,本试验采用4种类型水稻品种,研究与毯苗机插相同秧龄的钵苗机插水稻抗倒伏性的各项指标,旨在阐明相同秧龄下钵苗机插水稻较毯苗机插水稻的抗倒性优势及其机理,为水

稻钵苗机插高产栽培提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2014年在扬州大学试验农场进行。土壤为砂壤土,地力中等,前茬小麦,土壤全氮含量为0.09%,碱解氮含量为86.1 mg/kg,速效磷含量为30.5 mg/kg,速效钾含量为85.7 mg/kg。供试品种为籼粳杂交稻甬优2640、甬优15号,杂交粳稻甬优8号、常优5号,杂交籼稻扬两优6号、两优培九,常规粳稻武运粳24号、宁粳3号。

移栽方式为钵苗机插和毯苗机插(对照)。钵苗机插秧采用亚美柯钵苗高速插秧机配套的448孔钵盘育秧,对照毯苗机插采用毯壮苗。播种密度为常规粳稻每孔4粒,籼粳杂交稻与杂交粳稻每孔3粒,杂交籼稻每孔2粒。两种机插方式为人工模拟,钵苗机插行株距:33.0 cm×12.0 cm,毯苗机插行株距30.0 cm×13.3 cm。2种机插方式均是5月25日播种,6月15日移栽,秧龄20 d。3次重复,每个小区16 m²。

氮肥用量(纯氮)270 kg/hm²,基肥与穗肥比例6:4,磷肥用量(P₂O₅)150 kg/hm²(全部做基肥),钾肥用量(K₂O)225 kg/hm²(50%做基肥、50%做促花肥)。

1.2 测定项目及指标

1.2.1 节间农艺指标 齐穗后期在处理小区中分别随机选取20个有代表性的单茎,测定其株高、重心高度、节间长度、节间粗度、穗长以及基部1、2、3、4节间的抗折力。

1.2.2 抗折力测定 齐穗后期将待测定的带有叶鞘的节间茎秆置于自制的测定器上,支点间距为5 cm,将节间中点与测定器中点对应,在节间中点挂一盘子,逐渐向盘中加入砝码至茎秆快要折断还未断时,开始向盘中逐渐加入沙子直至茎秆折断,此时

沙子、砝码和盘子的总质量即为该节间的抗折力(g)。

1.2.3 重心高度测定 将包括穗子、叶片和叶鞘的地上部新鲜茎秆,水平横置于刀口上,并左右移动茎秆使其平衡卧于刀口上,此时茎秆与刀口的接触点即为重心,重心至茎秆基部的距离即为重心高度(cm)。

水稻基部各节间的弯曲力矩、抗折力、倒伏指数计算如下:弯曲力矩($\text{cm} \cdot \text{g}$)=节间基部至穗顶的长度(cm) \times 该节间基部至穗顶的鲜质量(g);倒伏指数 $[(\text{cm} \cdot \text{g})/\text{g}] = \text{弯曲力矩}(\text{cm} \cdot \text{g})/\text{抗折力}(\text{g}) \times 100$ 。

1.2.4 产量测定 成熟期采用五点法每小区普查 50 穴,计算单位面积穗数,并按平均穗数取 5 穴测定每穗粒数、结实率和千粒质量,计算理论产量,并实收核产。

1.3 数据处理

运用 Microsoft Excel 软件录入数据、计算,用 DPS 软件作统计分析。

2 结果与分析

2.1 钵苗机插水稻茎秆的抗倒伏能力

2 种机插方式水稻基部第 1 节间(N_1)、基部第 2 节间(N_2)、基部第 3 节间(N_3)、基部第 4 节间(N_4)的抗折力、弯曲力矩表现为钵苗机插>毯苗机插,倒伏指数呈现钵苗机插<毯苗机插。不同类型水稻品种 N_1 、 N_2 、 N_3 的抗折力表现为籼粳杂交稻>杂交籼稻>杂交粳稻>常规粳稻,籼粳杂交稻的 N_4 节间抗折力较强,其他 3 类型品种互有强弱。就倒伏指数而言, N_1 、 N_2 的倒伏指数表现为籼粳杂交稻<杂交籼稻、常规粳稻<杂交粳稻, N_3 、 N_4 的倒伏指数则表现为籼粳杂交稻<杂交籼稻、杂交粳稻<常规粳稻(表 1)。

对水稻植株倒伏指数与茎秆各节间抗折力、弯曲力矩进行相关性分析,结果表明,水稻植株倒伏指数与 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 的茎秆抗折力极显著相关,与弯曲力矩极显著或显著相关(表 2)。

表 1 不同机插方式水稻茎秆基部抗折力、弯曲力矩与倒伏指数

Table 1 The breaking resistance, bending moment and lodging index of basal internode in rice under different mechanical transplanting ways

品种类型	品种	机插方式	基部第 1 节间			基部第 2 节间			基部第 3 节间			基部第 4 节间		
			抗折力 (kg)	弯曲力矩 ($\text{cm} \cdot \text{g}$)	倒伏指数 [($\text{cm} \cdot \text{g}$)/g]	抗折力 (kg)	弯曲力矩 ($\text{cm} \cdot \text{g}$)	倒伏指数 [($\text{cm} \cdot \text{g}$)/g]	抗折力 (kg)	弯曲力矩 ($\text{cm} \cdot \text{g}$)	倒伏指数 [($\text{cm} \cdot \text{g}$)/g]	抗折力 (kg)	弯曲力矩 ($\text{cm} \cdot \text{g}$)	倒伏指数 [($\text{cm} \cdot \text{g}$)/g]
籼粳杂交稻	甬优 15	钵苗机插	4.95Aa	2 421.2Aa	69.1Aa	2.83Aa	2 640.3Aa	93.4Bb	1.98Aa	2 001.7Aa	101.1Bb	1.18Aa	1 250.4Aa	105.9Bb
		毯苗机插	4.87Bb	3 396.3Ab	69.7Aa	2.73Bb	2 598.8Ab	95.3Aa	1.79Ab	1 976.4Aa	110.4Aa	1.02Bb	1 204.8Aa	118.1Aa
	甬优 2640	钵苗机插	3.94Aa	2 852.7Aa	72.4Bb	2.41Aa	2 354.4Aa	97.7Ab	1.52Aa	1 576.5Aa	103.7Bb	0.82Aa	1 040.3Aa	126.3Bb
		毯苗机插	3.41Bb	2 726.8Ab	80.0Aa	2.37Ab	2 326.4Aa	98.2Aa	1.29Bb	1 464.0Ab	113.1Aa	0.76Bb	997.8Ab	132.0Aa
杂交粳稻	甬优 8 号	钵苗机插	2.80Aa	2 475.0Aa	88.5Ab	1.79Aa	1 923.0Aa	107.2Bb	1.11Aa	1 148.1Aa	103.2Bb	0.53Aa	707.1Aa	132.9Bb
		毯苗机插	2.62Bb	2 370.3Bb	90.5Aa	1.61Bb	1 803.6Ab	111.7Aa	1.02Bb	1 102.3Aa	108.1Aa	0.49Ab	689.6Aa	140.7Aa
	常优 5 号	钵苗机插	2.90Aa	2 222.4Aa	76.6Aa	1.74Aa	1 883.1Aa	108.1Bb	1.06Aa	1 112.7Aa	105.2Bb	0.79Aa	941.8Aa	119.2Bb
		毯苗机插	2.59Bb	2 108.9Ab	81.5Bb	1.60Bb	1 768.5Ab	110.4Aa	0.92Bb	1 073.8Ab	117.2Aa	0.75Aa	903.4Ab	125.5Aa
常规粳稻	宁粳 3 号	钵苗机插	2.18Aa	1 775.7Aa	81.6Bb	1.47Aa	1 523.9Aa	103.4Bb	0.90Aa	1 052.7Aa	117.5Bb	0.51Aa	727.4Aa	143.3Aa
		毯苗机插	2.04Bb	1 738.4Aa	85.3Aa	1.37Bb	1 488.0Ab	108.9Aa	0.81Bb	982.4Bb	121.3Aa	0.48Ab	699.0Aa	145.0Aa
	武运粳 24	钵苗机插	2.70Aa	2 089.4Aa	77.4Bb	1.65Aa	1 722.5Aa	104.5Bb	1.02Aa	1 177.1Aa	115.0Bb	0.52Aa	718.5Aa	138.2Aa
		毯苗机插	2.49Bb	1 992.7Ab	79.9Aa	1.55Bb	1 638.7Ab	106.0Aa	0.91Ab	1 097.3Bb	120.3Aa	0.49Ab	687.6Ab	140.3Aa
杂交籼稻	扬两优 6 号	钵苗机插	3.42Aa	2 755.0Aa	80.5Ab	2.19Aa	2 223.9Aa	101.5Ab	1.38Aa	1 477.5Aa	106.9Bb	0.81Aa	1054.6Aa	130.2Ab
		毯苗机插	3.27Bb	2 685.3Bb	82.0Aa	2.15Ab	2 199.0Aa	102.2Aa	1.25Aa	1 404.1Aa	112.7Aa	0.68Ab	947.5Ab	138.5Aa
	两优培九	钵苗机插	3.13Aa	2 472.3Aa	79.0Bb	1.91Aa	1 973.2Aa	103.4Aa	1.07Aa	1 149.5Aa	107.4Bb	0.59Aa	845.1Aa	143.7Ab
		毯苗机插	2.91Bb	2 370.9Ab	81.4Ab	1.85Bb	1 939.6Aa	104.6Aa	0.93Ab	1 086.3Ab	116.8Aa	0.53Ab	781.1Ab	147.4Aa

同一列中不同大小写字母分别表示差异达 0.01 和 0.05 显著水平。

表2 倒伏指数与抗折力、弯曲力矩间的关系

Table 2 Correlation coefficients among the lodging index, breaking resistance and bending moment

项目	基部第1节间		基部第2节间		基部第3节间		基部第4节间	
	抗折力	弯曲力矩	抗折力	弯曲力矩	抗折力	弯曲力矩	抗折力	弯曲力矩
倒伏指数	-0.779 **	-0.615 *	-0.901 **	-0.840 **	-0.653 **	-0.526 *	-0.914 **	-0.823 **

*、** 分别表示相关性达到 0.05 和 0.01 显著水平。

2.2 不同机插水稻的茎秆充实度

N_1 、 N_2 、 N_3 节间长度在不同机插方式间均表现为钵苗机插<毯苗机插,而 N_4 节间长度表现为钵苗机插略长于毯苗机插。基部四节间的粗度均表现为钵苗机插>毯苗机插(表3)。不同类型品种间基部节

间长度和粗度无明显规律。节间干质量和单位节间干质量在不同机插方式间表现为钵苗机插>毯苗机插(表4),不同类型品种间大体上表现为籼粳杂交稻>杂交粳稻>杂交籼稻>常规粳稻。

表3 不同机插水稻的节间长度与粗度

Table 3 Internodes length and culm wall thickness of rice under different mechanical transplanting ways

品种类型	品种	机插方式	节间长度 (cm)				节间粗度 (cm)			
			N_1	N_2	N_3	N_4	N_1	N_2	N_3	N_4
籼粳杂交稻	甬优 15	钵苗机插	3.05	11.34	18.86	26.86	0.88	0.82	0.76	0.60
		毯苗机插	3.34	11.58	18.32	25.32	0.85	0.80	0.72	0.58
	甬优 2640	钵苗机插	3.07	8.44	14.26	19.78	0.72	0.68	0.62	0.52
		毯苗机插	3.95	8.66	14.68	19.38	0.63	0.62	0.60	0.51
杂交粳稻	甬优 8 号	钵苗机插	4.16	9.76	16.34	17.57	0.73	0.73	0.69	0.54
		毯苗机插	4.44	9.58	14.60	17.03	0.70	0.69	0.65	0.52
	常优 5 号	钵苗机插	3.16	10.90	16.88	19.76	0.68	0.64	0.61	0.51
		毯苗机插	3.68	9.96	16.76	19.16	0.67	0.61	0.59	0.50
常规粳稻	宁粳 3 号	钵苗机插	2.18	7.70	13.14	18.55	0.58	0.55	0.48	0.44
		毯苗机插	2.26	7.98	13.68	18.05	0.57	0.53	0.46	0.48
	武运粳 24	钵苗机插	2.13	7.70	13.16	17.70	0.61	0.57	0.51	0.47
		毯苗机插	2.21	7.36	13.26	16.64	0.60	0.56	0.50	0.44
杂交籼稻	扬两优 6 号	钵苗机插	3.34	7.82	15.66	19.84	0.72	0.70	0.65	0.50
		毯苗机插	3.68	9.36	14.80	19.46	0.70	0.68	0.62	0.50
	两优培九	钵苗机插	3.48	8.34	16.76	19.58	0.74	0.72	0.67	0.51
		毯苗机插	3.58	9.03	16.55	19.12	0.70	0.69	0.65	0.50

N1 ~ N4 分别表示从基部向上第 1 至第 4 节间。

2.3 不同机插水稻的植株性状与株型

2 种机插方式水稻的株高、单蘖干质量、茎鞘干质量、单穗干质量表现为钵苗机插>毯苗机插,不同机插方式间单蘖干质量和茎鞘干质量达显著或极显

著差异。抽穗期、成熟期单茎干质量和单穗干质量不同品种间表现为籼粳杂交稻>杂交粳稻,杂交籼稻>常规粳稻(表5)。相对重心高度为钵苗机插<毯苗机插,不同类型品种间无明显规律。

表 4 不同机插水稻的节间干质量

Table 4 The dry weight of culm and unit internode in rice under different transplanting ways

品种类型	品种	机插方式	节间干质量(g)				单位节间干质量 (mg/cm)			
			N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄
籼粳杂交稻	甬优 15 号	钵苗机插	0.105	0.231	0.297	0.315	38.18	20.37	15.75	11.73
		毯苗机插	0.101	0.228	0.284	0.296	35.56	19.69	15.50	11.69
	甬优 2640	钵苗机插	0.098	0.196	0.255	0.223	31.96	23.22	17.88	11.27
		毯苗机插	0.092	0.192	0.245	0.217	23.29	22.17	16.69	11.20
杂交粳稻	甬优 8 号	钵苗机插	0.098	0.205	0.258	0.234	23.56	21.00	15.79	13.32
		毯苗机插	0.103	0.200	0.251	0.224	23.20	20.88	17.19	13.15
	常优 5 号	钵苗机插	0.090	0.199	0.245	0.218	28.48	18.21	14.51	11.03
		毯苗机插	0.096	0.198	0.223	0.209	26.09	19.86	13.31	10.91
常规粳稻	宁粳 3 号	钵苗机插	0.076	0.152	0.178	0.167	34.86	19.74	13.55	9.00
		毯苗机插	0.078	0.148	0.174	0.161	34.51	18.55	12.72	8.92
	武运粳 24	钵苗机插	0.080	0.156	0.182	0.170	37.56	20.26	13.83	9.60
		毯苗机插	0.082	0.151	0.179	0.165	37.10	20.52	13.50	9.92
杂交籼稻	扬两优 6 号	钵苗机插	0.094	0.179	0.207	0.197	24.85	22.92	13.22	9.93
		毯苗机插	0.089	0.181	0.191	0.192	23.10	19.28	12.91	9.87
	两优培九	钵苗机插	0.084	0.181	0.211	0.206	24.14	21.73	12.59	10.52
		毯苗机插	0.086	0.180	0.203	0.199	24.02	19.93	12.27	10.41

N1 ~ N4 分别表示从基部向上第 1 至第 4 节间。

表 5 不同机插水稻的主要植株性状

Table 5 Main agronomic characteristics of rice under different mechanical transplanting ways

品种	机插方式	株高 (cm)	重心高度 (cm)	相对重心 高度(%)	抽穗期单茎 干质量(g)	成熟期单茎 干质量(g)	单穗干质量 (g)
甬优 15	钵苗机插	146.5Ab	77.0Aa	52.5Ab	7.27Aa	11.35Aa	7.26Aa
	毯苗机插	140.2Bb	75.5Ab	53.9Aa	7.14Bb	11.11Bb	6.98Bb
甬优 2640	钵苗机插	125.3Aa	64.3Aa	51.3Aa	7.23Aa	11.42Aa	6.94Aa
	毯苗机插	122.6Bb	63.4Ab	51.7Aa	7.15Ab	11.29Bb	6.69Ab
甬优 8 号	钵苗机插	119.2Aa	59.8Aa	50.2Bb	6.67Aa	10.57Aa	6.57Aa
	毯苗机插	114.7Bb	59.4Aa	51.8Aa	6.55Bb	10.30Bb	6.41Bb
常优 5 号	钵苗机插	134.6Aa	71.2Aa	52.9Bb	5.20Aa	8.30Aa	5.25Aa
	毯苗机插	130.4Bb	69.5Ab	53.3Ab	5.11Bb	8.10Bb	5.10Ab
宁粳 3 号	钵苗机插	96.7Aa	39.3Aa	40.7Ab	4.85Aa	7.60Aa	4.16Aa
	毯苗机插	93.2Bb	38.5Aa	41.3Ab	4.65Bb	7.29Bb	4.04Bb
武运粳 24	钵苗机插	109.3Aa	46.1Aa	42.2Bb	4.98Aa	7.80Aa	4.33Aa
	毯苗机插	105.6Bb	46.4Aa	43.9Ab	4.86Bb	7.66Ab	4.22Bb
扬两优 6 号	钵苗机插	137.7Aa	76.1Aa	55.3Ab	6.62Aa	10.17Aa	6.20Aa
	毯苗机插	132.6Bb	74.8Ab	56.4Aa	6.51Ab	10.00Ab	6.00Ab
两优培九	钵苗机插	136.1Aa	73.5Aa	54.0Ab	6.55Aa	9.87Aa	6.20Aa
	毯苗机插	131.2Bb	72.4Ab	55.2Aa	6.47Ab	9.73Ab	5.94Bb

同一列中不同大小写字母分别表示差异达 0.01 和 0.05 显著水平。

2.4 抗倒伏特性与茎秆主要物理性状的相关性

相关分析结果(表6)表明, N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 节间的抗折力与株高、重心高度、节间长度、节间干质量、单茎干质量、单茎茎鞘叶干质量、弯曲力矩呈显著或极显著正相关,与相对重心高度呈极显著的负相关关系。除 N_4 外, N_1 、 N_2 、 N_3 抗折力与单位节间干质量

呈显著或极显著正相关。 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 节间的倒伏指数与株高、重心高度、节间长度、节间干质量、单位节间干质量、单茎干质量、单茎茎鞘叶干质量、弯曲力矩呈负相关关系,部分达显著或极显著水平,与相对重心高度呈正相关。

表6 抗折力和倒伏指数与茎秆主要物理性状的相关系数

Table 6 Correlation coefficients of breaking resistance, lodging index and main physical characteristics of rice culm

指 标	抗折力				倒伏指数			
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_1	N_2	N_3	N_4
株高	0.760 **	0.740 **	0.676 **	0.756 **	-0.526 *	-0.490	-0.639 **	-0.638 **
重心高度	0.687 **	0.667 **	0.594 *	0.700 **	-0.455	-0.387	-0.612 *	-0.611 *
相对重心高度	-0.747 **	-0.742 **	-0.776 **	-0.629 **	0.667 **	0.875 **	0.406	0.395
节间长度	0.379	0.521 *	0.592 *	0.921 **	0.025	-0.240	-0.555 *	-0.782 **
节间干质量	0.878 **	0.778 **	0.720 **	0.774 **	-0.532 *	-0.545 *	-0.780 **	-0.736 **
单位节间干质量	0.683 **	0.731 **	0.762 **	0.829 **	-0.222	-0.430	-0.764 **	-0.810 **
单茎干质量	0.967 **	0.866 **	0.503 *	0.271	-0.743 **	-0.832 **	-0.576 *	-0.419
单茎茎鞘叶干质量	0.819 **	0.867 **	0.792 **	0.621 *	-0.350	-0.680 **	-0.689 **	-0.436
弯曲力矩	0.816 **	0.860 **	0.782 **	0.614 *	-0.343	-0.670 **	-0.677 **	-0.425
弯曲力矩	0.970 **	0.991 **	0.986 **	0.976 **	-0.615 *	-0.840 **	-0.526 *	-0.823 **

*, ** 分别表示相关性达到 0.05 和 0.01 显著水平。

2.5 不同机插水稻的产量及其构成因素

不同机插水稻的产量均表现为钵苗机插>毯苗机插,且差异极显著。不同机插水稻的有效穗数、每

穗粒数和颖花量均表现为钵苗机插>毯苗机插。钵苗机插的结实率、千粒质量与毯苗机插的无显著差异(表7)。

表7 不同机插水稻的产量及其构成

Table 7 Yield and its components of rice under different mechanical transplanting ways

品种	机插方式	有效穗数 ($\times 10^4$, 1 hm ²)	每穗粒数	颖花量 ($\times 10^4$, 1 hm ²)	结实率 (%)	千粒质量 (g)	理论产量 (kg, 1 hm ²)	实收产量 (kg, 1 hm ²)
甬优 15	钵苗机插	207.0Aa	265.1Aa	54 882.0Aa	83.6Ab	27.3Aa	12 523.5Aa	12 099.0Aa
	毯苗机插	204.0Aa	254.1Bb	51 829.5Bb	84.1Aa	27.4Aa	11 943.0Bb	11 554.5Bb
甬优 2640	钵苗机插	222.0Aa	263.9Aa	58 582.5Aa	90.2Aa	26.2Aa	13 843.5Aa	13 281.0Aa
	毯苗机插	217.5Aa	252.5Bb	54 912.0Bb	90.3Aa	26.4Aa	13 087.5Bb	12 774.0Bb
甬优 8 号	钵苗机插	220.5Aa	245.5Aa	54 133.5Aa	85.9Aa	26.7Aa	12 414.0Aa	11 935.5Aa
	毯苗机插	217.5aa	240.4Bb	52 287.0Bb	85.2Aa	26.6Aa	11 853.0Bb	11 448.0Bb
常优 5 号	钵苗机插	286.5Aa	192.8Aa	55 240.5Aa	85.2Ab	27.1Aa	12 759.0Aa	12 483.0Aa
	毯苗机插	280.5Ab	185.7Bb	52 089.0Bb	86.8Aa	27.3Aa	12 337.5Bb	11 862.0Bb
宁粳 3 号	钵苗机插	322.5Aa	156.2Aa	50 374.5Aa	94.5Aa	26.5Aa	12 615.0Aa	12 348.0Aa
	毯苗机插	318.0Aa	150.7Bb	47 922.0Bb	93.3Ab	26.7Aa	11 938.5Bb	11 629.5Bb
武运粳 24	钵苗机插	313.5Aa	160.8Aa	50 400.0Aa	94.7Aa	26.8Aa	12 793.5Aa	12 453.0Aa
	毯苗机插	307.5Aa	156.1Bb	47 995.5Bb	94.5Aa	26.9Aa	12 201.0Bb	11 827.5Bb
扬两优 6 号	钵苗机插	199.5Aa	229.7Aa	45 828.0Aa	82.8Aa	26.9Aa	10 201.5Aa	9 804.0Aa
	毯苗机插	196.5Ab	220.6Bb	30 000.0Bb	82.5Aa	27.1Aa	9 693.0Bb	9 430.5Bb
两优培九	钵苗机插	204.0Aa	246.0Aa	50 160.0Aa	78.7Aa	25.1Aa	9 910.5Aa	9 306.0Aa
	毯苗机插	202.5Aa	234.8Bb	47 550.0Bb	78.3Aa	25.2Aa	9 379.5Bb	9 046.5Bb

3 讨论

机插钵苗育秧采用配套钵盘与专用播种机精量穴播,与毯状育秧相比播种量少,秧苗个体生长空间增大^[21],钵苗机插秧苗健壮,且移栽植伤轻、缓苗期短,早生快发,促进了个体生长,提高了茎秆质量,利于大穗形成^[22]。

水稻茎秆倒伏往往发生在基部第 1 至第 3 节间,与基部节间抗折力及其承受质量有关。前人关于水稻抗倒伏进行了较多的研究,李杰等^[23]研究结果表明,与机插稻和直播稻相比较,手栽稻抗折力和弯曲力矩极显著提高,倒伏指数极显著下降。郭保卫等^[24]通过有序摆栽与撒抛、机插比较,认为有序摆栽水稻的茎秆抗折力、节间粗度、节间壁厚度、茎秆干质量、单位节间干质量等方面均高于撒抛,且重心高度较低,最终茎秆抗倒伏能力显著高于撒抛和机插。张洪程等^[17]通过对淮稻 8 号的抗倒性研究发现,与毯苗机插相比,钵苗机插水稻基部节间的抗倒性明显提高,倒伏指数降低 7.0%~16.8%。本试验中 4 种类型水稻品种钵苗机插的茎秆抗折力高于毯苗机插,其基部第 1 至第 3 节间长度短,茎秆粗,这样的节间配置提高了茎秆的抗倒伏能力,基部第 4 节间略长于毯苗机插,上部节间长,特别是穗下节间长度提高,有利于高产的形成。一般认为基部节间长,抗折力小,但本试验中,对不同类型品种的相关性分析结果表明,对籼粳杂交稻、杂交粳稻等株型高大、茎秆粗壮的品种而言,其节间长度长,抗折力也大,这主要是其节间较粗壮的缘故,说明节间长度、节间粗度等指标综合影响节间的抗折力。杂交籼稻品种在抽穗期茎秆抗折力高于常规粳稻品种,实践中发现后期由于早衰,成熟期杂交籼稻的抗倒伏能力反而比常规粳稻差,而籼粳杂交稻、杂交粳稻后期都能保持较强茎秆支撑能力,这也与粳稻品种后期绿叶持续时间长、光合功能期长有关。

马殿荣等^[25]认为在高产、超高产栽培中,应使群体保持适当的株高,并在一定的范围内适当增加株高,以增加水稻群体的生物产量。本试验中水稻钵苗机插个体茎秆健壮,株高高,且抗折力强,可见在一定范围适当提高株高,可以提高茎秆的抗倒能力。张庆等^[26]研究氮高产高效与低产低效两类品种株型特征认为,与氮低产低效型品种比较,氮高产高效型品种顶部 3 张叶片的叶长和披垂度显著减

少,叶宽、比叶重和群体叶面积指数显著或极显著增加,这种株型既利于光合物质生产与积累,同样利于群体通风透光和提高抗倒能力。本试验中,与毯苗机插水稻相比,钵苗机插水稻株高增加,重心高度增加,但相对重心高度并未增加,抽穗后单茎干质量和单穗干质量均较重,说明钵苗机插提高各类型水稻品种的茎秆支撑能力,这种强支撑体系使得钵苗机插水稻在承载更多颖花量和籽粒质量的同时,还能保持较强的抗倒伏能力,这种优势在籼粳杂交稻和杂交粳稻等大穗型品种上表现更为突出。钵苗机插水稻提高了高效叶面积,延缓了叶面积衰减率^[18],强源也是大库容品种得以充分灌浆充实的保证。钵苗机插利于强源扩库壮茎秆,最终形成穗大粒多强支撑的高产群体,这是其高产形成优势。

参考文献:

- [1] 凌启鸿,张洪程,丁艳锋,等. 水稻高产技术的新发展——精确定量栽培[J]. 中国稻米, 2005, 11(1): 3-7.
- [2] 苏仕华,王珏,孙成亮,等. 水稻倒伏对产量影响的调查与分析[J]. 北方水稻, 2008, 38(6): 41-43.
- [3] SETTER T L, LAURELES E V, MAZAREDO A M. Lodging reduces yield of rice by self-shading and reductions in canopy photosynthesis[J]. Field Crops Research, 1997, 49(2/3): 95-106.
- [4] 李荣田,姜廷波,秋太权,等. 水稻倒伏对产量影响及倒伏和株高关系的研究[J]. 黑龙江农业科学, 1996(1): 13-17.
- [5] 李文熙. 水稻倒伏的原因及减轻危害的对策[J]. 韩国作物学, 1991, 36(5): 490-496.
- [6] 松江勇次. 移栽和倒伏时期对稻米食味理化特性的影响[J]. 日本作物学会纪要, 1991, 60(4): 490-496.
- [7] 王以荣,何高,吴玲,等. 水稻成熟初期遇台风暴雨倒伏的补救方法探讨[J]. 上海农业科技, 2005(1): 25-26.
- [8] 董明辉,张洪程,戴其根,等. 不同粳稻品种倒伏指数及其相关农艺性状的分析[J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(2): 120-123.
- [9] 李敏,张洪程,杨雄,等. 不同氮利用效率基因型水稻茎秆特性比较[J]. 作物学报, 2012, 38(7): 1277-1285.
- [10] 李爽,王晓玲,许凤英. 不同抗倒性超级稻的基部节间与抗倒性产量的相关性分析[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2011, 8(1): 213-216.
- [11] 李红娇,张喜娟,李伟娟,等. 不同穗型粳稻品种抗倒伏性的比较[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(2): 191-196.
- [12] 张洪程,戴其根,苏祖芳. 机栽小苗水稻生育规律及高产途径的研究[J]. 江西农业大学学报, 1989, 11(增): 63-71.
- [13] 张洪程,李杰,戴其根,等. 机插稻“标秧、精插、稳发、早搁、优中、强后”高产栽培精确定量关键技术[J]. 中国稻米, 2010, 16(5): 1-6.
- [14] 张洪程,赵品恒,孙菊英,等. 机插杂交粳稻超高产形成群体特

- 征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 39-44.
- [15] 陈俊岩. 水稻钵育苗摆栽机械化技术试验分析[J]. 湖南农机, 1999(6): 25-27.
- [16] 孙志勇. 水稻钵育苗与机械摆栽在农业生产中的应用[J]. 农民致富之友, 2003(5): 24.
- [17] 张洪程, 朱聪聪, 霍中洋, 等. 钵苗机插水稻产量形成优势及主要生理生态特点[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 50-59.
- [18] 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.
- [19] 周兴根, 张洪程, 常 勇, 等. 淮北地区麦茬钵苗机插水稻的增产优势及其形成特征[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(3): 564-573.
- [20] 谢成林, 周兴涛, 姚 义. 不同机插方式水稻高产群体特征及其产量研究[J]. 作物杂志, 2014(3): 109-111.
- [21] 郭月明, 林 伟. 日本钵育摆栽机械超高产栽培试验研究[J]. 价值工程, 2010, 29(6): 59.
- [22] 王圣田, 栾 云. 钵育摆栽技术综述[J]. 黑龙江科技信息, 2009(13): 111.
- [23] 李 杰, 张洪程, 龚金龙, 等. 不同种植方式对超级稻植株抗倒伏能力的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(11): 2234-2243.
- [24] 郭保卫, 朱大伟, 许 轲, 等. 有序摆抛栽对超级稻植株抗倒伏能力的影响[J]. 中国水稻科学, 2015, 29(14): 45-55.
- [25] 马殿荣, 陈温福, 徐正进, 等. 不同栽培方式对水稻群体形态特征的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2005, 36(4): 392-395.
- [26] 张 庆, 殷春渊, 张洪程, 等. 水稻氮高产高效与低产低效两类品种株型特征差异研究[J]. 作物学报, 2010, 36(6): 1011-1021.

(责任编辑:姜华珏)