

引用格式:

郭荟, 方希林, 方畅宇, 杨宁俊, 陈威, 邹燕, 谭珣, 雷苑, 屠乃美. 硅肥对优质晚稻抗倒伏特性及产量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(5): 1-7.

GUO H, FANG X L, FANG C Y, YANG N J, CHEN W, ZOU Y, TAN X, LEI Y, TU N M. Effect of silicon fertilizer on lodging resistance and yield of high quality late rice[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2024, 50(5): 1-7.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



硅肥对优质晚稻抗倒伏特性及产量的影响

郭荟¹, 方希林², 方畅宇¹, 杨宁俊¹, 陈威¹, 邹燕¹, 谭珣³, 雷苑³, 屠乃美^{1*}

(1.湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128; 2.赣州职业技术学院现代农林工程学院, 江西 赣州 341008; 3.永州烟草公司宁远县分公司, 湖南 永州 425601)

摘要: 以优质晚稻桃优香占、玉针香为供试材料, 设置 4 种施硅肥处理, 分别记为 CK、T1、T2、T3, 对应施硅肥量分别为 0、75、150、225 kg/hm², 进行大田试验, 研究不同处理下优质晚稻成熟期植株茎秆抗倒伏特性、养分含量以及产量的差异。结果表明: 与不施硅肥相比, T2、T3 处理下茎秆基部节间折断弯矩显著增加, 桃优香占的增幅为 8.96%~11.11%, 玉针香的增幅为 13.02%~16.29%; 2 个晚稻品种的基部节间倒伏指数较不施硅肥处理的显著降低, 桃优香占的降低 12.02%~19.51%, 玉针香的降低 12.68%~22.31%; 施用硅肥能改善上 3 叶形态, 提高茎中的硅含量, 桃优香占的提高 2.01%~23.27%, 玉针香的提高 1.19%~11.33%; 此外, 施硅肥可提高水稻产量, 以 T1 的增产效果最好, 桃优香占和玉针香 T1 的实际产量较 CK 的分别增加 6.81% 和 11.95%。考虑本试验在当季并未发生实质性倒伏, 结合产量和成本效应, 建议桃优香占和玉针香的施硅肥量为 75 kg/hm²。

关键词: 优质晚稻; 硅肥; 倒伏性状; 产量

中图分类号: S511.062

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2024)05-0001-07

Effect of silicon fertilizer on lodging resistance and yield of high quality late rice

GUO Hui¹, FANG Xilin², FANG Changyu¹, YANG Ningjun¹, CHEN Wei¹,
ZOU Yan¹, TAN Xun³, LEI Yuan³, TU Naimei^{1*}

(1.College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Modern College of Agriculture and Forestry Engineering, Ganzhou Polytechnic, Ganzhou, Jiangxi 341008, China; 3.Yongzhou Tobacco Company Ningyuan County Branch, Yongzhou, Hunan 425601, China)

Abstract: Using Taoyouxiangzhan and Yuzhenxiang of high-quality late rice as experimental materials, field tests were conducted to investigate silicon fertilization on its lodging resistance and yield. Four silicon application treatments were set up: CK, T1, T2 and T3, corresponding to silicon application amounts of 0, 75, 150 and 225 kg/hm². The results showed that the basal internode breaking moment of stems increased significantly under T2 and T3 treatment compared with no silicon application, and the percentage of Taoyouxiangzhan increased by 8.96% to 11.11%, and that of Yuzhenxiang increased by 13.02% to 16.29%. The internode lodging index of late rice was significantly lower than that of no silicon treatment, and the decrease of Taoyouxiangzhan was 12.02% to 19.51%, and that of Yuzhenxiang was 12.68% to 22.31%. The application of silicon fertilizer could improve the morphology of the upper three leaves and increase the silicon content in stems with the percentage of Taoyouxiangzhan increased by 2.01% to 23.27% and the percentage of Yuzhenxiang increased by 1.19% to 11.33%. In addition, silicon application could increase the yield with

收稿日期: 2024-01-26

修回日期: 2024-09-27

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(201503123)

作者简介: 郭荟(1996—), 女, 江西赣州人, 硕士研究生, 主要从事作物高产高效栽培理论与技术研究, 1355491278@qq.com; *通信作者, 屠乃美, 博士, 教授, 主要从事作物高产高效栽培理论与技术研究, tnm505@163.com

T1 application showing the best yield increase effect. The actual yields of T1 of Taoyouxiangzhan and Yuzhenxiang increased by 6.81% and 11.95% respectively compared to the CK. Considering that there was no substantial lodging in the current season during this experiment, combined with the yield and cost-effectiveness, the recommended silicon application amounts for the test varieties Taoyouxiangzhan and Yuzhenxiang were 75 kg/hm².

Keywords: high quality late rice; silicon fertilizer; lodging character; yield

优质水稻因其米质上乘,深受市场青睐和消费者喜爱,但容易倒伏,严重影响其产量和品质,不利于产业良好发展。水稻倒伏除与品种特性有关外,施肥、种植密度、气象条件等也对水稻抗倒伏能力有一定影响。研究^[1]表明,水稻施硅肥可有效调节植株养分供给,增加抵抗病虫害和抗倒伏能力。BRAHMA等^[2]的研究结果表明,水稻细胞壁中的SiO₂与纤维骨架结合形成硅沉积物,这种沉积物可以加厚茎秆的细胞壁,使维管束加粗,从而增强水稻抗倒伏能力。也有研究^[3]表明,施硅肥可增强水稻抗倒伏能力主要得益于增加了茎秆粗度、茎壁厚度,提高了茎秆中的SiO₂、纤维素含量,降低了半纤维素含量。范存留等^[4]研究表明,改善水稻茎秆的质地结构、增加基部节间的充实度是提高水稻抗倒伏能力的关键。可见,合理施用硅肥对水稻安全生产具有重要意义。桃优香占和玉针香是近年来湖南省选育的典型代表性优质稻品种,种植面积逐年递增,但很少有研究关注和分析硅肥用量对2个品种抗倒伏能力和产量的影响。为此,笔者以2个优质晚稻品种为供试材料,研究硅肥不同施用量下的机插晚稻抗倒伏特性和产量差异,以期为优质晚稻高产高效生产提供合理施硅肥方案。

1 试验地概况

试验于2021年在湖南省浏阳市河东农场进行。土壤基本理化性质为:pH为5.02,全氮(N)、全磷(P)、全钾(K)质量分数分别为1.15、1.02、12.40 g/kg,有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、有效硅质量分数分别为29.99、147.55、16.20、150.00、78.14 mg/kg,属于缺硅土壤。

2 材料与方法

2.1 材料

供试品种:桃优香占(杂交籼稻)株型紧凑,茎秆柔韧度好,抗倒伏能力较强^[5];玉针香(常规籼稻)植株较高,抗倒伏能力差^[6]。

供试肥料:微纳米硅肥(SiO₂含量80%)购于黑龙江省齐齐哈尔市松土肥业有限公司。

2.2 试验设计

试验采用随机区组设计,设置4个施硅肥处理:CK,不施硅肥;T1,施硅肥75 kg/hm²;T2,施硅肥150 kg/hm²;T3,施硅肥225 kg/hm²。3次重复。小区间筑田埂,用塑料薄膜包裹,防止水分互窜,各小区进行单排单灌。于6月24日播种,7月19日机插,株行距为14 cm×25 cm。各处理均施氮肥180 kg/hm²、磷肥75 kg/hm²、钾肥150 kg/hm²。其中,基肥(犁田前1 d)、分蘖肥(移栽后第10天)和穗肥(幼穗分化第3期)的施用比例为5:3:2,基肥、分蘖肥的钾肥施用比例为5:5;硅肥、磷肥作基肥一次性施入。

2.3 指标的测定

2.3.1 植株性状和倒伏性状的测定

成熟期前1周选取长势一致的20个主茎,分别测定其上3叶的张角、叶长、叶宽、重心高度、株高、节间长、节间粗、节间壁厚和基部第1、第2、第3、第4节间(记为N1、N2、N3、N4)的抗折力。按杨世民等^[7]的方法测定重心高度,用茎秆强度测定仪(型号YYD-1A,托普仪器有限公司)测定抗折力。按雷小龙等^[8]的方法计算倒伏指数,按刘玉喜等^[9]的方法计算弯曲力矩、节间折断弯矩、比茎重。

2.3.2 植株氮、磷、钾、硅养分含量的测定

计算水稻成熟期的平均分蘖数,每小区按平均分蘖数取样9株,选取长势一致且具有代表性的植株,带回室内,将茎洗净装入信封袋,置于烘箱,105℃杀青30 min,80℃烘干至恒重。将烘干样品粉碎过筛(孔径0.154 mm)。采用H₂SO₄-H₂O₂消煮法,用连续流动分析仪测定茎秆的氮、磷含量^[10];采用FP 640火焰分光光度计测定茎秆钾含量;采用高压灭菌-分光光度计法^[11]测定茎秆硅含量。

2.3.3 产量的测定

理论产量的测定：各小区分别选取 9 穴水稻(平均有效穗数一致)进行室内考种，主要考察每穗粒数、结实率、千粒质量等产量构成因子。

实际产量的测定：各小区收获 50 苑水稻，重复取样 3 次，用小型脱粒机获得籽粒，晾晒后称重。

2.4 数据处理与分析

采用 Excel 2016 进行数据处理；采用 DPS 7.05 进行单因素差异显著性分析，选用 Duncan's 新复极差法进行显著性检验。

3 结果与分析

3.1 硅肥对优质晚稻植株性状的影响

3.1.1 对株高和重心高度的影响

由表 1 可知，施硅肥后，晚稻的株高、重心高度均有不同程度的降低。在 T3 处理下，桃优香占的株高较 CK 的显著降低 5.98%，重心高度显著降低 8.84%；玉针香的株高较 CK 的显著降低 5.78%，重心高度显著降低 6.75%。其他施硅肥处理与 CK 处理差异不显著。

表 1 硅肥处理下供试晚稻的株高和重心高度

品种	处理	株高	重心高度
桃优香占	CK	100.83a	49.80a
	T1	98.40ab	48.20ab
	T2	97.60ab	47.60ab
	T3	94.80b	45.40b
玉针香	CK	119.98a	54.09a
	T1	118.91ab	52.80ab
	T2	118.02ab	52.95ab
	T3	113.05b	50.44b

同列不同字母示同一品种处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

3.1.2 对主茎节间长和比茎重的影响

从表 2 可以看出，晚稻的 N1、N2 节间长随着施硅肥量的增加呈逐渐降低的趋势。在 T3 处理下，桃优香占的 N1 节间长较 CK 的显著降低 16.39%，N2 节间长显著降低 14.54%；玉针香的 N1 节间长较 CK 的显著降低 13.49%，N2 节间长显著降低 11.29%。T1、T2 处理对 N1、N2 节间长均无显著影响。施硅肥对桃优香占和玉针香的 N3、N4 节间长无显著影响。

表 2 硅肥处理下供试晚稻的主茎节间长和比茎重

品种	处理	节间长/cm				比茎重/(mg cm ⁻¹)			
		N1	N2	N3	N4	N1	N2	N3	N4
桃优香占	CK	7.20a	13.00a	17.70	35.90	26.89b	23.81b	22.60	10.59
	T1	6.96a	12.96ab	17.50	35.25	27.99ab	25.66ab	23.71	10.81
	T2	6.65ab	12.35ab	17.45	35.23	28.96ab	25.70ab	24.01	10.75
	T3	6.02b	11.11b	17.50	35.36	29.79a	26.61a	24.14	10.52
玉针香	CK	10.60a	16.30a	23.06	37.00	25.42b	23.88b	20.62	11.59
	T1	10.43ab	16.06ab	23.00	36.93	26.82ab	25.15ab	20.70	11.55
	T2	9.98ab	15.98ab	23.03	36.83	27.05ab	25.41ab	20.85	11.68
	T3	9.17b	14.46b	23.14	36.91	28.85a	26.93a	20.66	11.79

同列不同字母示同一品种处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

施硅肥处理提高了晚稻 N1、N2 的比茎重，2 个品种 N1、N2 的比茎重均以 T3 处理的最高，在 T3 处理下，桃优香占 N1、N2 的比茎重较 CK 的分别显著增加 10.78%、11.76%；玉针香 N1、N2 的比茎重较 CK 的分别显著增加 13.49%、12.77%。T1、T2 处理对 N1、N2 的比茎重无显著影响。此

外，施硅肥对 N3、N4 的比茎重无显著影响。

综上所述，施硅肥缩短了晚稻 N1、N2 的节间长，增加了 N1、N2 的比茎重，T3 处理对 N1、N2 的节间长和比茎重影响最大。施硅肥对穗下 2 节间的长度和比茎重的影响均较小。

3.1.3 对各节间粗和节间壁厚的影响

从表3可知,2个供试晚稻N1、N2的节间粗随着施硅肥量的增加而增加,N1的节间粗均表现为T2和T3处理显著高于CK的。在T2、T3处理下,桃优香占的N1节间粗较CK的分别显著增加8.90%、11.49%,玉针香的N1节间粗较CK的分别显著增加9.85%、11.34%,T2和T3处理间无显著差异。在T3处理下,桃优香占的N2节间粗较

CK的显著增加8.57%,玉针香的N2节间粗较CK的显著增加8.89%,其他3个处理间无显著差异。施硅肥对晚稻N3、N4节间粗无显著影响。

桃优香占、玉针香的T3处理的N1节间壁厚均显著高于CK的,分别增加11.76%、8.82%,其他施硅肥处理间无显著差异。施硅肥对晚稻N2、N3、N4节间壁厚无显著影响。

表3 硅肥处理下供试晚稻的主茎节间粗和节间壁厚

品种	处理	节间粗				节间壁厚			
		N1	N2	N3	N4	N1	N2	N3	N4
桃优香占	CK	6.18b	5.72b	4.68	4.21	1.36b	1.14	0.88	0.74
	T1	6.20b	5.69b	4.69	4.25	1.38b	1.15	0.91	0.73
	T2	6.73a	5.71b	4.71	4.24	1.40b	1.14	0.89	0.74
	T3	6.89a	6.21a	4.73	4.23	1.52a	1.16	0.91	0.74
玉针香	CK	5.38b	5.06b	4.24	3.33	1.02b	0.96	0.83	0.62
	T1	5.50b	5.07b	4.22	3.34	1.05b	1.01	0.85	0.60
	T2	5.91a	5.12b	4.23	3.35	1.04b	1.02	0.89	0.63
	T3	5.99a	5.51a	4.25	3.32	1.11a	0.97	0.87	0.61

同列不同字母示同一品种处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

3.1.4 对优质晚稻上3叶形态的影响

从表4可以看出,除T3处理显著增加了桃优

香占剑叶叶长外,施硅肥处理对桃优香占倒2叶、倒3叶和玉针香上3叶的叶长均无显著影响。

表4 硅肥处理下供试晚稻的主茎叶长、叶宽、叶张角

品种	处理	叶长/cm			叶宽/cm			叶张角/(°)		
		剑叶	倒2叶	倒3叶	剑叶	倒2叶	倒3叶	剑叶	倒2叶	倒3叶
桃优香占	CK	36.30b	48.28	52.04	1.76b	1.48b	1.20	12.00a	24.20a	34.40
	T1	36.32b	48.70	52.50	1.78b	1.48b	1.18	11.80a	23.80a	34.48
	T2	36.44b	48.42	51.80	1.82b	1.52b	1.26	10.55b	23.40a	34.26
	T3	41.54a	49.54	52.28	1.94a	1.64a	1.24	10.20b	21.00b	32.20
玉针香	CK	40.32	44.42	49.46	1.52b	1.22b	0.96	15.60a	26.14	41.60
	T1	40.26	43.62	48.96	1.58b	1.24b	0.94	15.10a	25.94	41.60
	T2	40.32	44.00	49.20	1.58b	1.22b	0.96	14.64a	26.29	42.20
	T3	40.98	43.90	49.72	1.70a	1.34a	1.00	13.00b	25.36	41.00

同列不同字母示同一品种处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

叶宽方面,与CK相比,施硅肥增加了2个晚稻品种剑叶和倒2叶的叶宽,但2个品种仅在T3处理时与CK差异显著。其中,施硅肥使桃优香占和玉针香剑叶叶宽分别增加1.14%~10.23%、3.95%~11.84%,倒2叶叶宽分别增加0~10.81%、0~9.84%。施硅肥处理对桃优香占和玉针香倒3叶的叶宽无显著影响。

与CK比较,2个晚稻品种叶的张角随施硅肥量的增加逐渐减小。施硅肥处理使桃优香占剑叶张角和倒2叶张角分别降低1.67%~15.00%和1.65%~13.22%,其中,T3处理与CK的差异显著;施硅肥处理使玉针香剑叶的张角降低3.21%~16.67%,T3与CK的差异显著。施硅肥对桃优香占倒3叶和玉针香倒2叶、倒3叶的张角均无显著影响。

3.2 施硅肥对优质晚稻茎秆力学与倒伏特性的影响

如表 5 所示, 与不施硅肥相比, 施硅肥降低了晚稻 N1、N2 的弯曲力矩, 但仅有 T3 处理的 N1 弯曲力矩与 CK 的差异显著, 其中, 桃优香占的弯曲力矩显著下降 11.35%, 玉针香的弯曲力矩显著下降 9.72%。各处理对晚稻 N2、N3、N4 的弯曲力矩均无显著影响。玉针香的弯曲力矩大于桃优香占的。

施硅肥提高了 2 个晚稻品种 N1、N2 节间的折

断弯矩, T2 和 T3 处理的 N1 折断弯矩均与 CK 的差异显著, 在 T2 和 T3 处理下, 桃优香占 N1 节间的折断弯矩较 CK 的分别显著增加 8.96%、10.11%; 玉针香 N1 节间的折断弯矩较 CK 的分别显著增加 13.35%、16.29%, T2 和 T3 处理间的折断弯矩无显著差异。在 T3 处理下, 桃优香占 N2 节间的折断弯矩较 CK 的显著增加 11.11%, 玉针香 N2 节间的折断弯矩较 CK 的显著增加 13.02%, 其他硅肥处理间无显著差异。施硅肥对晚稻 N3、N4 的折断弯矩无显著影响。

表 5 硅肥处理下供试晚稻的主茎节间弯曲力矩和折断弯矩

品种	处理	弯曲力矩				折断弯矩			
		N1	N2	N3	N4	N1	N2	N3	N4
桃优香占	CK	13.22a	11.24	7.83	4.65	13.06b	11.43b	9.21	7.24
	T1	13.01a	11.16	7.60	4.60	13.31b	11.50b	9.24	7.25
	T2	12.67a	11.06	7.71	4.43	14.23a	11.64b	9.30	7.24
	T3	11.72b	10.88	7.67	4.54	14.38a	12.70a	9.47	7.23
玉针香	CK	15.54a	12.19	8.37	4.72	10.19b	9.83b	8.77	6.50
	T1	14.99a	12.34	8.51	4.86	10.87b	10.25b	8.80	6.51
	T2	15.23a	12.09	8.25	4.74	11.55a	10.37b	8.89	6.49
	T3	14.03b	12.03	8.36	4.79	11.85a	11.11a	8.98	6.58

同列不同字母示同一品种处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

从表 6 可知, 施硅肥降低了晚稻 N1、N2 节间的倒伏指数, 2 个晚稻品种 N1 的倒伏指数在 T2 和 T3 处理时显著低于 CK 的, 在 T2 和 T3 处理下, 桃优香占 N1 节间的倒伏指数分别显著下降 12.02%、19.51%, 玉针香 N1 节间的倒伏指数分别显著下降 13.49%、22.31%, T2 和 T3 处理间无显

著差异。与 CK 相比, T3 处理显著降低了 2 个晚稻品种 N2 的倒伏指数, 其中桃优香占和玉针香 N2 节间的倒伏指数较 CK 的分别显著降低了 12.95%、12.68%。施硅肥对 N3、N4 的倒伏指数无显著影响。

表 6 硅肥处理下供试晚稻的主茎节间倒伏指数

品种	处理	倒伏指数/%			
		N1	N2	N3	N4
桃优香占	CK	101.21a	98.39a	85.00	64.18
	T1	97.74a	97.05a	82.22	63.51
	T2	89.04b	95.07a	82.85	61.18
	T3	81.46b	85.65b	81.07	62.71
玉针香	CK	152.41a	124.03a	95.39	72.67
	T1	144.39ab	120.37a	96.73	74.57
	T2	131.85b	116.56ab	92.81	72.95
	T3	118.40b	108.30b	93.07	72.85

同列不同字母示同一品种处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

3.3 施硅肥对茎秆中养分含量的影响

从表 7 可以看出, 与 CK 相比, 施硅肥处理增加了桃优香占和玉针香茎秆中氮的质量分数, 其中 T3 处理的氮质量分数增幅显著, 分别增加 5.61%、9.01%。硅肥的施用对晚稻茎秆中磷的质

量分数无显著影响。硅肥施用对桃优香占茎秆中钾的质量分数无显著影响, 但 T1 处理显著增加了玉针香茎秆的钾质量分数, 增加 6.74%。与 CK 相比, 施硅肥后, 桃优香占茎秆中硅的质量分数增幅 2.01%~23.27%, 玉针香茎秆中硅的质量分数随着

施硅肥量的增加而增加,增幅为 1.19%~11.33%,但 仅有 T3 处理与 CK 存在显著差异。

表 7 硅肥处理下供试晚稻的茎秆中氮、磷、钾、硅的质量分数

品种	处理	氮	磷	钾	硅
桃优香占	CK	7.31bc	1.37	9.50	34.25b
	T1	7.11c	1.42	9.53	35.17b
	T2	7.65ab	1.34	9.57	34.94b
	T3	7.72a	1.42	9.50	42.22a
玉针香	CK	8.77c	2.30	8.46b	30.19b
	T1	9.24ab	2.34	9.03a	30.55b
	T2	9.07bc	2.21	8.54ab	30.62b
	T3	9.56a	2.37	8.60ab	33.61a

同列不同字母示同一品种处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

3.4 施硅肥对优质晚稻产量及产量构成因素的影响

从表 8 可知,施硅肥对 2 个晚稻品种的产量均有不同程度的提高,桃优香占和玉针香的理论产量和实际产量均在 T1 处理时最高,其中,实际产量较 CK 的分别增加 6.81%、11.95%。从产量构成因素来看,桃优香占的结实率在 T1 处理时最高,但与 CK 的差异不显著;玉针香的结实率在 T3 处理

下最高,且显著高于 CK 的。施硅肥对 2 个晚稻品种的千粒质量无显著影响。桃优香占和玉针香的有效穗数均在 T1 处理时最高,较 CK 分别显著提高了 5.55%和 4.07%。桃优香占 T2 处理的每穗粒数最高,且显著高于 CK 的;施硅肥对玉针香的每穗粒数影响显著,较 CK 的增加 6.19%~10.50%。

表 8 硅肥处理下供试晚稻的产量及产量构成因素

品种	处理	结实率/%	千粒质量/g	有效穗数/ ($\times 10^4 \text{ hm}^{-2}$)	每穗粒数	理论产量/ ($\text{kg (667 m}^2\text{)}^{-1}$)	实际产量/ ($\text{kg (667 m}^2\text{)}^{-1}$)	综合增产/%
桃优香占	CK	0.82ab	28.31	400.20b	104.83c	650.61c	648.71b	
	T1	0.85a	28.37	422.43a	107.04c	724.52a	692.90a	9.09
	T2	0.81b	28.77	365.26c	123.90a	702.12ab	671.24ab	5.70
	T3	0.78bc	28.65	397.02b	114.19b	676.78bc	662.42b	3.07
玉针香	CK	0.72b	28.67	423.79b	83.06b	483.67b	473.98b	
	T1	0.73b	28.44	441.02a	91.78a	558.61a	530.63a	13.72
	T2	0.73b	28.47	436.02a	91.09a	547.60a	517.80a	11.23
	T3	0.77a	28.45	403.85c	88.20a	522.46ab	511.43a	7.96

同列不同字母示同一品种处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

4 结论与讨论

倒伏是水稻产量损失和品质劣化的重要影响因素之一。生产中常通过选择抗倒伏品种^[12]、调整种植密度^[13]、改进施肥方案^[14]以及优化田间水分管理^[15]等栽培措施来实现水稻抗倒和株叶形态构建。顾汉柱等^[16]认为品种是水稻抗倒伏能力的决定因素,且不同品种间抗倒伏性存在较大差异,株型偏矮、节间短、茎秆粗壮、穗颈节紧凑、根系发达的品种一般不易倒伏。本研究中,桃优香占抗倒伏能力强,这主要得益于桃优香占的株高、重心高度较低,基部第 1、第 2 节间较短、较粗、壁较厚。本研究中,2 个品种均未发生

实质性倒伏,表明倒伏发生与否除与抗倒能力有关外,还存在复杂的倒伏机制。关于施肥处理对水稻株叶形态的影响,韦还和等^[17]研究发现随着施硅肥量的增加,上 3 叶的叶长和叶宽随之递增,而叶夹角和披垂度随之递减,硅肥的施用提高了上部高效叶叶面积以及叶片的直挺度,提高了水稻的光能利用率。本研究中,株叶形态受硅肥施用量的影响,上 3 叶的叶宽、叶长随着硅水平的提高而增加,上 3 叶张角则随硅水平的提高而降低,与文献^[17]的结果基本一致。

茎秆作为水稻重要的支撑结构,其基部节间的抗折力大小直接反映了水稻的抗倒伏能力。在本研究中,与对照相比,增施硅肥显著提高了基

部第 1、第 2 节间的折断弯矩,降低了基部节间的弯曲力矩,提高了晚稻的抗折力。研究^[18-19]表明,倒伏特性与茎秆形态存在显著相关性。本研究中,硅肥处理降低了水稻的株高和重心高度,缩短了基部第 1、第 2 节间长,增加了基部第 1、第 2 节间的茎间粗、壁厚和比茎重(节间充实度),这可能是增施硅肥降低 2 个品种倒伏指数的主要原因。但硅肥处理对基部第 3、第 4 节的形态特性无显著影响,这或许与硅元素在茎秆中转移和运输到高位节受限有关,关于其具体机制,有待进一步探究。

营养元素的吸收是作物生长的必要环节。本研究中,在施氮比例一致条件下,施硅肥提升了晚稻茎秆中的氮质量分数,这可能是由于硅具有协同效应的原因^[20],但从茎秆中硅元素的吸收量来看,高施硅肥量(225 kg/hm²)才促进了硅的吸收,这或许与试验田基础地力缺硅有关。关于施硅肥对产量的影响,李卫国等^[21]研究指出,施用硅肥可提高千粒质量、结实率、穗粒数、有效穗数,从而增产;但也有研究^[17]表明,施用过多的硅肥降低了结实率。本研究结果表明,硅肥的施用提高了有效穗数、每穗粒数和结实率,对千粒质量无显著影响。研究结果的差异可能与硅肥水平设置以及试验品种对硅肥的响应程度有关;从实际产量来看,本研究中,施硅肥有一定的增产效果,2 个品种均在 T1(75 kg/hm²)处理时增产最明显。因此,在实际生产中,综合增产效果、抗倒伏能力优化以及成本控制等因素,且本试验在当季并未发生实质性倒伏,建议在本试验施 N、P、K 肥的背景下,2 个品种均采取施硅肥 75 kg/hm²的方案,能够实现高产高效生产。

参考文献:

- [1] 王茂辉, 聂金泉, 任勇, 等. 不同硅肥用量对水稻生长的影响研究[J]. 广东农业科学, 2020, 47(2): 61-67.
- [2] BRAHMA R, AHMED P, CHOUDHURY M. Silicon nutrition for alleviation of abiotic stress in plants: a review[J]. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 2020, 9: 1374-1381.
- [3] 林熊. 硅对水稻茎秆强度的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- [4] 范存留, 杨国涛, 范永义, 等. 钾、硅肥处理对杂交水稻 II 优 838 抗倒伏性的作用研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2015, 37(4): 623-632.
- [5] 李行圣. 桃优香占在巢湖地区的种植表现及高产栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2022(11): 188-190.
- [6] 温鑫, 许凤英, 宋文杰, 等. 施氮量对直播虾稻抗倒性的影响[J]. 福建农业学报, 2022, 37(3): 291-301.
- [7] 杨世民, 谢力, 郑顺林, 等. 氮肥水平和栽插密度对杂交稻茎秆理化特性与抗倒伏性的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(1): 93-103.
- [8] 雷小龙, 刘利, 苟文, 等. 种植方式对杂交水稻植株抗倒伏特性的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(10): 1814-1825.
- [9] 刘玉喜, 熊佳铭, 吴建军, 等. 苗期不同叶龄喷施高效唑对优质籼稻倒伏性状的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(3): 1-9.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M] (3 版). 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 戴伟民, 张克勤, 段彬伍, 等. 测定水稻硅含量的一种简易方法[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(5): 460-462.
- [12] 王泓超, 凌波, 陈小玲, 等. 水稻种质资源茎秆抗倒伏性状的评价与分析[J]. 西南农业学报, 2024, 37(7): 1442-1449.
- [13] 杜杰, 陈小荣, 钟蕾, 等. 种植密度对自动调节力差异型双季稻产量、抗倒伏性及杂草发生的影响[J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(5): 951-960.
- [14] 徐文波, 王荣基, 蒋明金, 等. 减氮对机插杂交籼稻茎秆生长及抗倒伏特性的影响[J]. 中国稻米, 2021, 27(5): 70-75.
- [15] STUBBS C J, ODUNTAN Y A, KEEP T R, et al. The effect of plant weight on estimations of stalk lodging resistance[J]. Plant Methods, 2020, 16(1): 1-18.
- [16] 顾汉柱, 王琛, 张瑛, 等. 水稻茎秆抗倒伏评价及其生理机制研究进展[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(21): 1-7.
- [17] 韦还和, 孟天瑶, 李超, 等. 施硅肥量对甬优系列籼粳交超级稻产量及相关形态生理性状的影响[J]. 作物学报, 2016, 42(3): 437-445.
- [18] 刘立军, 王康君, 葛立立, 等. 早种水稻基部节间性状与倒伏的关系及其生理机制[J]. 作物学报, 2012, 38(5): 848-856.
- [19] 文廷刚, 王伟中, 杨文飞, 等. 水稻茎秆形态特征与抗倒伏能力对外源植物生长调节剂的响应差异[J]. 南方农业学报, 2020, 51(1): 48-55.
- [20] PATI S, PAL B, BADOLE S, et al. Effect of silicon fertilization on growth, yield, and nutrient uptake of rice[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2016, 47(3): 284-290.
- [21] 李卫国, 任永玲. 氮、磷、钾、硅肥配施对水稻产量及其构成因素的影响[J]. 山西农业科学, 2001, 29(1): 53-58.

责任编辑: 毛友纯
英文编辑: 柳 正