

不同氮素梯度下硅钾互作对寒地粳稻倒伏抗性的影响

孙 兵,肖明纲,迟立勇,李明贤

(黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为在龙江地区粳稻生产中科学合理用肥,降低水稻的倒伏风险,以龙庆稻1号为供试材料,在不同氮肥施入梯度下,研究硅钾肥共同作用对水稻茎秆基部节间结构特征和抗倒伏能力的影响。结果表明:当钾元素单独作用时,钾肥施入量与茎秆 I1、I2、I3 节间抗折力呈正相关,钾肥施入量为 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时(N_1K_2),钾元素利用率最高,I1、I2、I3 节间抗折力较对照(N_1K_0)分别提高 9.86%、10.14%、13.24%,当硅元素单独作用时,硅肥施入量与 I1、I2 茎秆节间抗折力呈显著正相关,对 I3 节间影响不显著,当硅肥施入量为 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时(N_1S_3),对 I1、I2 节间抗折力提升最为显著,分别较对照(N_1S_0)提高 15.26%、19.69%。氮钾硅肥共同作用时,当氮肥施入量为 $100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $\text{N}_1\text{K}_3\text{S}_1$ 的硅钾元素利用率最高,I1、I2 节间抗折力较对照分别提高 13.43%、26.27%,当氮肥施入量为 200、250 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $\text{N}_2\text{K}_1\text{S}_3$ 和 $\text{N}_3\text{K}_1\text{S}_3$ 的硅钾元素利用率最高,I1、I2 节间抗折力较对照分别提高 10.72%、12.20%、16.76%、10.43%。

关键词:水稻;氮钾硅肥;抗倒伏;茎秆结构

中图分类号:S511.062 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2016)05-0034-07 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.05.0034

水稻是中国主要的粮食作物,国内有超过 50% 的区域以大米为主食^[1-4],中国人口众多,国情致使国家粮食安全问题必须上升到一个新的高度,目前改善环境、保护生态等近年来几乎被人们忽略的词汇,又重新回到人们的视野,并引起重视,从保护生态环境的角度出发,耕地面积不宜进一步扩大,那么解决中国人民口粮问题的主要途径就要靠提高作物单产^[5-10]。

倒伏是水稻生育末期普遍发生的严重影响水稻产量和品质的生理性现象,普遍发生在乳熟期至蜡熟期,自身穗重和极端的自然天气(例如狂风、暴雨)均会导致水稻倒伏现象的发生,倒伏目前已被公认为实现水稻高产的重要限制因素之一^[11-14]。水稻植株在发生倒伏后,正常的根冠结构遭到严重的破坏,光合作用及干物质合成能力明显下降,阻碍养分吸收和运输,并且倒伏的植株极易受真菌及病毒的侵害^[15-18]。Setter 等人指出^[4],水稻生长过程中,若有 2% 的植株发生倒伏,曾最终会减产 1%。

解决水稻倒伏的方法众多,包括相关基因 QTL 精细定位,通过定向育种增强水稻茎秆抗折力,培育矮秆品种等,但这些方法均具有研发时间长,生产转化慢等缺点^[19-23]。肥料是水稻生长过程中必不可少的营养元素,伴随水稻的一生,目前已知硅钾元素均对提高水稻抗倒伏能力有积极的作用,而氮元素则会增加水稻倒伏风险,本研究针对不同氮肥施入梯度下,利用硅钾肥搭配施用来充分提高水稻茎秆的抗倒伏能力,从而降低水稻在生产过程中的倒伏风险^[24-29],为龙江地区粳稻生产中科学合理用肥提供理论依据,对实现水稻增产增收具有实际意义,在生产中通过合理的栽培措施,科学施肥方法增强水稻的抗倒伏能力对水稻高产具有重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 材料

供试水稻为龙庆稻 1 号,该品种适宜一区早熟积温区种植,茎秆抗倒伏能力较弱,品质极优。供试肥料为尿素(N, 46.4%)、磷酸二铵(P_2O_5 , 38.5%)、硫酸钾(K_2O , 50%)、二氧化硅(SiO_2 , 28%)。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2014-2015 年在黑龙江省农业科学院民主示范园区进行,试验方式为第一年盆栽试验,第二年田间试验。土壤有机质

收稿日期:2016-04-11

基金项目:黑龙江省农业科学院青年基金资助项目(NQ008)

第一作者简介:孙兵(1983-),男,黑龙江省哈尔滨市人,硕士,助理研究员,从事水稻栽培及育种学研究。E-mail:bingbing7581@sina.com。

42.38 g·kg⁻¹,全氮 1.54 g·kg⁻¹,速效磷(P₂O₅) 43.5 mg·kg⁻¹,速效钾(K₂O) 189 mg·kg⁻¹,pH 6.08。本试验共选择 3 种氮肥用量分别为纯氮含量 150、200、250 kg·hm⁻²,4 种钾肥用量分别为纯钾含量 0、100、150、200 kg·hm⁻²及 4 种硅肥含量分别为纯硅含量 0、50、100、150 kg·hm⁻²,当硅钾肥单独作用时,钾肥与硅肥的 4 种不同处理分别在纯氮含量为 150 kg·hm⁻²下进行,共计 8 个处理,当氮钾硅肥共同作用时,氮肥处理分别为 150、200、250 kg·hm⁻²,钾肥处理分别为 100、150、200 kg·hm⁻²,硅肥处理分别为 50、100、150 kg·hm⁻²,每种氮、钾、硅处理分别与其它两种元素随机组合,共计 27 个处理,当氮肥施入量为 150 kg·hm⁻²时 N₁K₁S₁为对照,当氮肥施入量为 200 kg·hm⁻²时 N₂K₁S₁为对照,当氮肥施入量为 250 kg·hm⁻²时 N₃K₁S₁为对照。4 月 15 日前后阳光棚内播种,水稻幼苗长至 4 叶 1 心时移栽至田间后进行小区试验,小区为在田间用塑料池埂子围成的 4 m×4 m 的正方形区域,平均每穴面积 0.039 6 m²,模拟田间土壤肥力情况,施肥方式:氮、钾、硅肥按比例混合后分基肥、返青肥、蘖肥 3 次施入,比例为 5:3:2,磷肥 45 kg·hm⁻²,全部一次性作基肥施入,每个处理 3 次重复。在抽穗后 30 d 进行取样,每个处理取 4 穴,每穴取 3 个主要分蘖,即每

个处理共取 12 个主要分蘖,通常与水稻抗倒伏关系紧密的是较低的节间,因此本试验把第 I1、I2、I3 节间作为主要研究对象。

1.2.2 调查项目及方法 茎秆主要物理性状的测定:测量各处理样本株高、重心高度、节间长度、基部节直径等。产量的测定:取每个处理中心区域 2 m×2 m 范围内的所有植株进行产量测定。节间抗折力的测定:节间抗折力采用 YYD-1 茎秆强度测量仪测定。确保茎秆节间中点与测定器中心位置重合(支点间距 5 cm),将节间水平放置在两支点上,在节间中点施力使其折断,力的大小即为该节间抗折力。倒伏指数(LI,lodging index):弯曲力矩/抗折力(g)×100,弯曲力矩=节间基部至穗顶长度(cm)×该节间基部至穗顶鲜重量(N)。

2 结果与分析

2.1 不同钾肥处理对水稻茎秆抗倒伏能力的影响

由表 1 可知,施钾量与 I1、I2、I3 节间直径均呈显著正相关,其中 I1 与 I2 节间变化最为显著,N₁K₃分别较 N₁K₀提高了 10.20%和 15.91%,而对株高、中心高度、产量及节间长度的影响均不显著。

表 1 不同钾肥处理下样品茎秆主要物理性状比较

Table 1 Comparison on physical properties of stem under different potassium concentration									
处理 Treatments	株高/cm Plant height	重心高度/cm Gravity center height	小区产量/kg Yield	节间长度/cm Internode length			节间直径/mm Internode diameter		
				I1	I2	I3	I1	I2	I3
N ₁ K ₀	98.3 a	45.4 a	3.01 a	4.2 a	11.4 a	18.8 a	4.9 a	4.4 a	4.2 a
N ₁ K ₁	97.9 a	45.2 a	3.03 a	4.3 a	11.1 a	18.9 a	4.9 a	4.6 ab	4.1 a
N ₁ K ₂	98.0 a	45.4 a	3.01 a	3.9 a	10.8 a	20.5 a	5.1 ab	5.0 b	4.2 a
N ₁ K ₃	97.4 a	45.2 a	3.05 a	4.1 a	11.0 a	19.3 a	5.4 b	5.1 b	4.3 a

不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著;I1、I2、I3 分别表示基部向上第 1、2、3 伸长节间,下同。
Different lowercases mean significant difference at 0.05 level;I1,I2,I3 mean the first, second and third internode from the base. The same below.

从表 2 看出,I1、I2 的节间抗折力均是处理 N₁K₃最高,I1、I2 节间的不同处理中 N₁K₃分别较 N₁K₀提高了 11.27%、10.87%,I3 节间抗折力是处理 N₁K₂最高,比对照 N₁K₀提高 13.24%说明钾肥施入量与样品节间抗折力呈显著正相关,倒伏指数与钾肥施入量呈显著负相关,然而从表 2

中数据可以看出,对于 I1、I2 节间而言,处理 N₁K₃相对 N₁K₂的提升已经趋于平缓,在统计学上差异不显著,而 N₁K₂相对 N₁K₁的提升较大,说明钾肥浓度为 150 kg·hm⁻²时钾元素的利用效率最高,而对于 I3 节间而言,N₁K₂较 N₁K₀节间抗折力提升 13.24%,且高于 N₁K₃。

表 2 不同钾肥处理下样品茎秆节间抗折力、倒伏指数比较

Table 2 Comparison on resistance and lodging index of internode under different potassium concentration

不同处理 Treatments	I1		I2		I3	
	抗折力/g	倒伏指数	抗折力/g	倒伏指数	抗折力/g	倒伏指数
	Breaking resistance BR(N)	Lodging index(LI)	Breaking resistance BR(N)	Lodging index(LI)	Breaking resistance BR(N)	lodging index (LI)
N ₁ K ₀	8.52 a	115.95 a	8.28 a	99.17 a	4.38 a	67.59 a
N ₁ K ₁	8.83 ab	108.47 b	8.67 b	95.58 b	4.48 a	65.11 a
N ₁ K ₂	9.36 b	90.11 c	9.12 c	81.21 c	4.96 a	63.35 b
N ₁ K ₃	9.48 b	87.38 c	9.18 c	80.12 c	4.90 a	59.18 c

2.2 不同硅肥处理对水稻茎秆抗倒伏能力的影响

结果表明,随着硅肥施入量增加对茎秆主要物理性状影响差异均不显著(见表 3)。I1、I2 的节间抗折力与硅肥施入量呈显著正相关(见表 4),处理 N₁S₃中茎秆 I1、I2 的节间抗折力较对照

N₁S₀分别提升 15.26%、19.69%,I3 的节间抗折力与对照相比差异不显著,对倒伏指数的影响差异不显著,硅肥单独作用时,处理 N₁S₃对茎秆 I1、I2 的节间抗折力提升都很明显,因此可提高硅肥施入量做进一步试验。

表 3 不同硅肥处理下样品茎秆主要物理性状比较

Table 3 Comparison on physical properties of stem under different silicon concentration

处理 Treatments	株高/cm Plant height	重心高度/cm Gravitycenter height	小区产量/kg Yield	节间长度/cm Internode length			节间直径/mm Internode diameter		
				I1	I2	I3	I1	I2	I3
N ₁ S ₀	98.3 a	45.4 a	2.98 a	4.2 a	11.4 a	18.8 a	4.9 a	4.4 a	4.2 a
N ₁ S ₁	97.6 a	44.9 a	3.00 a	4.1 a	11.1 a	18.0 a	4.7 a	4.4 a	3.9 a
N ₁ S ₂	99.5 a	45.3 a	2.97 a	4.1 a	10.8 a	17.7 a	5.0 a	4.5 a	4.0 a
N ₁ S ₃	98.2 a	44.5 a	2.98 a	3.9 a	10.9 a	17.5 a	4.8 a	4.4 a	4.1 a

表 4 不同硅肥处理下样品茎秆节间的抗折力、倒伏指数比较

Table 4 Comparison on resistance and lodging index of internode under different silicon concentration

不同处理 Treatments	I1		I2		I3	
	抗折力/g	倒伏指数	抗折力/g	倒伏指数	抗折力/g	倒伏指数
	Breaking resistance BR(N)	Lodging index(LI)	Breaking resistance BR(N)	Lodging index(LI)	Breaking resistance BR(N)	Lodging index(LI)
N ₁ S ₀	8.52 a	115.95 a	8.28 a	99.17 a	4.38 a	67.59 a
N ₁ S ₁	8.69 ab	111.56 ab	8.56 ab	96.33 ab	4.44 a	65.81 a
N ₁ S ₂	9.27 b	102.15 b	9.32 b	91.19 b	4.41 a	66.33 a
N ₁ S ₃	9.82 c	96.06 c	9.91 c	86.83 c	4.47 a	65.15 a

2.3 不同氮钾硅肥共同作用下对水稻茎秆抗倒伏能力的影响

从表 5 看出,在氮钾硅肥共同作用下,供试水稻样品的株高,I1 节间长度无显著差异,重心高

度,产量,I2、I3 节间长度则与氮元素的施入量呈显著正相关,I1、I2 节间直径与钾元素施入量成显著正相关,在试验数据中硅元素的施入对所调查的表观物理性状影响差异不显著。

表 5 不同氮钾硅元素互作处理下对样品茎秆主要物理性状比较

Table 5 Comparison on physical properties of stem under different nitrogen potassium silicon concentration

不同处理 Treatments	株高/cm Plant height	重心高度/cm Gravity center height	小区产量/kg Yield	节间长度/cm Internode length			节间直径/mm Internode diameter		
				I1	I2	I3	I1	I2	I3
N ₁ K ₁ S ₁	98.8 a	45.2 a	3.03 a	4.2 a	11.5 a	17.7 a	4.8 a	4.5 a	4.2 a
N ₁ K ₁ S ₂	98.9 a	44.9 a	2.98 a	4.2 a	11.3 a	17.5 a	4.9 a	4.4 a	3.9 b
N ₁ K ₁ S ₃	100.1 a	45.1 a	2.96 a	4.1 a	11.3 a	17.9 a	4.9 a	4.5 a	4.2 a
N ₁ K ₂ S ₁	98.2 a	45.8 a	2.99 a	4.0 a	11.1 a	18.0 a	5.0 a	4.9 ab	4.1 ab
N ₁ K ₂ S ₂	99.5 a	44.7 a	2.98 a	4.3 a	11.4 a	17.7 a	5.1 a	4.8 ab	4.3 a
N ₁ K ₂ S ₃	98.5 a	45.1 a	3.02 a	4.2 a	11.5 a	17.9 a	4.9 a	5.1 b	3.9 b
N ₁ K ₃ S ₁	99.1 a	45.3 a	3.03 a	3.9 a	11.2 a	17.8 a	5.3 b	5.0 b	4.0 a
N ₁ K ₃ S ₂	98.9 a	45.5 a	2.97 a	3.9 a	11.3 a	18.1 a	5.5 b	5.1 b	4.1 a
N ₁ K ₃ S ₃	98.8 a	45.1 a	3.00 a	4.1 a	11.4 a	17.8 a	5.2 b	5.1 b	4.3 a
N ₂ K ₁ S ₁	99.4 a	47.0 b	3.25 b	4.3 a	11.8 a	18.9 ab	4.7 a	4.5 a	3.9 b
N ₂ K ₁ S ₂	99.1 a	46.8 b	3.31 b	4.2 a	12.2 ab	18.4 ab	4.9 a	4.6 a	4.2 a
N ₂ K ₁ S ₃	99.3 a	47.4 b	3.27 b	4.3 a	12.1 ab	18.7 ab	4.7 a	4.5 a	4.1 a
N ₂ K ₂ S ₁	100.5 a	46.7 b	3.26 b	4.1 a	12.2 ab	18.4 ab	5.1 b	5.0 b	4.2 a
N ₂ K ₂ S ₂	99.9 a	46.9 b	3.30 b	4.4 a	12.0 ab	18.8 ab	4.9 a	4.9 ab	3.8 b
N ₂ K ₂ S ₃	100.1 a	47.3 b	3.29 b	4.3 a	11.8 ab	18.4 ab	4.9 a	4.8 ab	4.3 a
N ₂ K ₃ S ₁	99.7 a	47.1 b	3.28 b	4.2 a	12.4 ab	18.5 ab	5.3 b	4.9 ab	4.1 a
N ₂ K ₃ S ₂	98.9 a	47.0 b	3.27 b	4.2 a	11.9 ab	18.7 ab	5.5 b	5.1 b	4.0 ab
N ₂ K ₃ S ₃	99.6 a	47.5 b	3.31 b	4.3 a	12.1 ab	18.9 ab	5.6 b	4.9 ab	4.2 a
N ₃ K ₁ S ₁	100.5 a	47.9 b	3.51 c	4.3 a	12.9 b	18.7 ab	4.9 a	4.6 a	4.1 a
N ₃ K ₁ S ₂	100.4 a	48.0 b	3.55 c	4.4 a	12.3 b	19.0 b	4.9 a	4.5 a	4.0 ab
N ₃ K ₁ S ₃	100.5 a	47.7 b	3.53 c	4.2 a	12.7 b	18.9 b	4.9 a	4.7 a	4.3 a
N ₃ K ₂ S ₁	100.8 a	48.2 b	3.59 c	4.5 a	12.6 b	19.2 b	5.2 b	5.1 b	3.9 b
N ₃ K ₂ S ₂	100.9 a	47.6 b	3.54 c	4.4 a	12.8 b	19.1 b	4.9 a	5.2 b	4.2 a
N ₃ K ₂ S ₃	99.9 a	47.8 b	3.53 c	4.4 a	12.5 b	19.0 b	5.0 b	5.1 b	4.1 a
N ₃ K ₃ S ₁	102.5 a	47.9 b	3.54 c	4.2 a	13.0 b	18.8 b	5.2 b	5.2 b	4.0 ab
N ₃ K ₃ S ₂	101.1 a	48.1 b	3.60 c	4.3 a	12.7 b	19.4 b	5.3 b	5.1 b	4.3 a
N ₃ K ₃ S ₃	100.8 a	47.7 b	3.52 c	4.3 a	12.6 b	19.6 b	5.4 b	5.1 b	4.0 ab

从表 6 看出,在氮钾硅肥共同作用下,氮肥施入量的增加与 I1、I2 节间抗折力呈负相关,与倒伏指数呈正相关,当氮肥施入量为 150 kg·hm⁻²时,钾肥的施入对提升水稻茎秆抗折力的优势要强于硅肥,N₁K₃S₁的 I1、I2 节间抗折力较对照 N₁K₁S₁分别提高 13.43%、26.27%,而 N₁K₃S₃的 I1、I2 节间抗折力较对照 N₁K₁S₁分别提高 14.15%、27.92%,从数据可知,处理 N₁K₃S₃对 I1、I2 节间

抗折力的提升较 N₁K₃S₁分别只提高了 1%左右,因此按各种元素的利用效率而言,施用 N₁K₃S₁为最适宜的肥力配比,但当氮肥施入量为 200 和 250 kg·hm⁻²时,硅肥的施入对提升水稻茎秆抗折力的优势则强于钾肥,N₂K₁S₃和 N₃K₁S₃对 I1、I2 节间抗折力较对照 N₂K₁S₁和 N₃K₁S₁分别提高 10.72%、12.20%、16.76%、10.43%,而 N₂K₃S₃和 N₃K₃S₃则对 I1、I2 节间抗折力较对照 N₂K₁S₁

和 N₃K₁S₁ 分别提高 14.47%、12.73%、17.76%、13.58%，从数据可知，处理 N₂K₃S₃ 对 I1、I2 节间抗折力的提升较 N₂K₁S₃ 分别只提高了 3.75%、0.53%，处理 N₃K₃S₃ 对 I1、I2 节间抗折力的提升较 N₃K₁S₃ 分别只提高了 1.00%、3.15%，提升效

果均不构成 5% 的显著差异，因此按各种元素的利用效率而言，施用 N₂K₁S₃ 和 N₃K₁S₃ 为最适宜的肥力配比，充分降低了倒伏指数，硅钾共同作用时对茎秆 I3 抗折力影响不显著。

表 6 不同氮钾硅肥处理下样品茎秆节间的抗折力、倒伏指数比较

Table 6 Comparison on resistance and lodging index of internode under different nitrogen potassium silicon concentration

不同处理 Treatments	I1		I2		I3	
	抗折力/g	倒伏指数	抗折力/g	倒伏指数	抗折力/g	倒伏指数
	Breaking resistance BR(N)	Lodging index(LI)	Breaking resistance BR(N)	Lodging index(LI)	Breaking resistance BR(N)	Lodging index(LI)
N ₁ K ₁ S ₁	9.68 a	122.16 b	7.88 ab	128.53 b	4.71 ab	80.28 ab
N ₁ K ₁ S ₂	9.99 ab	117.23 b	7.93 ab	127.87 b	4.79 ab	79.17 a
N ₁ K ₁ S ₃	10.37 b	104.98 ab	7.99 ab	127.02 b	4.86 b	77.57 a
N ₁ K ₂ S ₁	10.25 b	106.83 ab	8.68 b	118.76 ab	4.85 b	77.68 a
N ₁ K ₂ S ₂	10.66 c	100.27 ab	8.82 b	116.63 ab	4.81 ab	77.92 a
N ₁ K ₂ S ₃	10.67 c	100.01 ab	9.01 bc	114.07 ab	4.92 b	75.19 a
N ₁ K ₃ S ₁	10.98 c	97.52 a	9.95 c	103.83 a	4.95 b	74.51 a
N ₁ K ₃ S ₂	10.87 c	96.13 a	9.91 c	103.16 a	4.84 b	76.88 a
N ₁ K ₃ S ₃	11.05 c	92.25 a	10.08 c	100.51 a	4.76 ab	78.12 a
N ₂ K ₁ S ₁	9.33 a	138.87 bc	7.62 a	142.69 c	4.89 b	85.38 b
N ₂ K ₁ S ₂	9.79 a	133.17 bc	8.03 ab	137.04 bc	4.90 b	85.17 b
N ₂ K ₁ S ₃	10.33 b	127.52 b	8.55 b	130.88 b	4.95 b	84.53 ab
N ₂ K ₂ S ₁	9.39 a	137.08 bc	7.82 a	139.11 bc	4.78 ab	88.06 b
N ₂ K ₂ S ₂	10.46 bc	125.99 b	8.27 ab	133.97 bc	4.69 ab	88.29 b
N ₂ K ₂ S ₃	10.58 bc	124.81 b	8.58 b	130.29 b	4.85 b	86.85 b
N ₂ K ₃ S ₁	9.42 a	137.75 bc	7.87 ab	138.27 bc	4.77 ab	87.07 b
N ₂ K ₃ S ₂	10.56 bc	125.03 b	8.52 b	131.04 bc	4.98 b	83.35 ab
N ₂ K ₃ S ₃	10.68 c	123.05 b	8.59 b	130.12 c	4.51 a	91.83 bc
N ₃ K ₁ S ₁	9.01 a	148.13 c	7.29 a	152.17 c	4.99 b	90.47 bc
N ₃ K ₁ S ₂	9.73 a	140.26 c	7.67 a	144.57 c	4.75 ab	95.83 c
N ₃ K ₁ S ₃	10.52 bc	132.29 b	8.05 ab	136.23 bc	4.92 b	90.69 bc
N ₃ K ₂ S ₁	9.17 a	146.21 c	7.45 a	148.18 c	4.57 a	99.17 c
N ₃ K ₂ S ₂	9.68 a	148.68 c	7.82 a	140.21 bc	4.79 ab	90.83 bc
N ₃ K ₂ S ₃	10.59 bc	131.51 b	8.21 ab	132.85 bc	4.85 b	89.54 b
N ₃ K ₃ S ₁	9.32 a	144.57 c	7.51 a	146.33 c	4.67 a	97.17 c
N ₃ K ₃ S ₂	9.85 a	138.91 bc	7.93 ab	138.98 bc	4.58 a	99.39 c
N ₃ K ₃ S ₃	10.61 c	130.14 b	8.28 ab	131.37 bc	4.89 b	91.28 bc

3 讨论与结论

3.1 讨论

本研究供试水稻品种选择龙庆稻 1 号,该品

种茎秆抗倒伏能力较弱,正常种植情况下,田间倒伏比例在 20%~40%,因此在试验过程中,不同处理在视觉感官上也可帮助试验结果进行进一步

直观的佐证,并在形态与各项指标数据相对应时有明显作用。该试验不同处理中,当氮肥施入量为 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,所有处理均未发生倒伏,氮肥施入量为 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, $\text{N}_2 \text{ K}_1 \text{ S}_1$, $\text{N}_2 \text{ K}_2 \text{ S}_1$, $\text{N}_2 \text{ K}_3 \text{ S}_1$, $\text{N}_2 \text{ K}_1 \text{ S}_2$ 均发生不同程度的倒伏,氮肥施入量为 $250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,则除 $\text{N}_3 \text{ K}_1 \text{ S}_3$, $\text{N}_3 \text{ K}_2 \text{ S}_3$, $\text{N}_3 \text{ K}_3 \text{ S}_3$ 外,其它处理均发生不同程度的倒伏,从样品植株的生理性倒伏现象结合调查数据可知,当倒伏指数大于 138 时,即发生倒伏现象,节间抗折力作为评价茎秆抗折能力的指标,对于倒伏而言具有重要的参考价值,但最终水稻是否发生倒伏需要结合节间抗折力,节间长度及穗重等多重因素,因此考察水稻植株的综合性状才能准确的判断水稻发生倒伏的风险,并加以防范。

从本试验数据分析可知,当施氮量为 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时且只有钾元素单独作用时,施钾量与 I1、I2、I3 节间直径均呈显著正相关,而当只有硅元素单独作用时,硅肥施入量与 I1、I2、I3 节间直径无明显相关性,但 I1、I2、I3 节间抗折力结果表明,钾肥、硅肥的施入量均与 I1、I2、I3 节间抗折力呈显著正相关,因此可说明钾元素的施入可以改变水稻节间表观形态(使茎秆变粗),从而提高茎秆抗倒伏能力,而硅元素的施入则主要是提高水稻茎秆的韧性,改变水稻微观形态(如细胞结构等),从而提高茎秆抗倒伏能力。

氮钾硅共同作用下,当施氮量为 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, $\text{N}_1 \text{ K}_3 \text{ S}_1$ 的 I1、I2 节间抗折力分别为 10.98、9.95 g, $\text{N}_1 \text{ K}_1 \text{ S}_3$ 的 I1、I2 节间抗折力分别为 10.37、7.99 g,当施氮量为 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, $\text{N}_2 \text{ K}_1 \text{ S}_3$ 的 I1、I2 节间抗折力分别为 10.33、8.55 g, $\text{N}_2 \text{ K}_3 \text{ S}_1$ 的 I1、I2 节间抗折力分别为 9.42、7.87 g,当施氮量为 $250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, $\text{N}_3 \text{ K}_1 \text{ S}_3$ 的 I1、I2 节间抗折力分别为 10.52、8.05 g, $\text{N}_3 \text{ K}_3 \text{ S}_1$ 的 I1、I2 节间抗折力分别为 9.32、7.51 g,结果表明,当施氮量较低时($150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),钾施入量的增加对提升茎秆 I1、I2 节间抗折力效果更为显著,而当施氮量逐渐增高(达到 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),硅施入量的增加对提升茎秆 I1、I2 节间抗折力效果更为显著。

3.2 结论

当钾元素单独作用时,随着钾肥施入量的增加,I1、I2、I3 节间直径随之增加,茎秆节间抗折力

提高,当硅元素单独作用时,对茎秆表观物理性状影响不显著,但随着硅肥施入量的增加,I1、I2、I3 节间抗折力提高。

当氮钾硅共同作用时,在低氮施入条件下($150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),钾元素的增加对提升茎秆 I1、I2 节间抗折力更为显著,因此生产中可多增施钾肥配合少量硅肥,在高氮(200 、 $250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)施入条件下,硅元素的增加对提升茎秆 I1、I2 节间抗折力更为显著,可在生产中增施硅肥配合少量钾肥施用。

硅钾共同作用时对茎秆 I1、I2 节间抗折力提升较硅钾元素单独作用时效果更显著。

参考文献:

- [1] 刘立军,袁莉民,王志琴,等.旱种水稻倒伏生理原因分析与对策的初步研究[J].中国水稻科学,2002,16(3):225-230.
- [2] 周继勇,肖层林,王仁祥.水稻抗倒性研究进展[J].作物研究,2006(5):388-392.
- [3] 濑古秀生.水稻的倒伏に关する研究[J].九州农试学报,1962(7):419-495.
- [4] 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: 95-106.
- [5] 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.
- [6] 程式华,胡培松.中国水稻科技发展战略[J].中国水稻科学,2008,22(3):223-226.
- [7] 莫永生,蔡中全.水稻株高、基部第二伸长节间茎粗和茎壁厚度的初步遗传分析[J].植物遗传资源学报,2007,8(1):91-94.
- [8] 肖立,罗俊英,陈泽.施氮量和栽插密度对杂交稻金优 527 抗倒伏能力的影响[J].安徽农学通报,2009,15(9):153-154.
- [9] 陈晓光,石玉华,王成雨,等.氮肥和多效唑对小麦茎秆木质素合成的影响及其与抗倒伏性的关系[J].中国农业科学,2011,44(17):3529-3536.
- [10] 张丰转,金正勋,马国辉,等.水稻抗倒性与茎秆形态性状和化学成分含量间相关分析[J].作物杂志,2010(4):15-19.
- [11] 广华容,邓达胜,杨成明等.杂交中籼新组合 II 优 838[J].杂交水稻,1996(5):31.
- [12] 申广勤,石英尧,黄艳玲,等.水稻抗倒伏特性及其与茎秆性状的相关性研究[J].中国农业科学,2007,23(12):58-62.
- [13] 梁康迳,林文雄,王雪仁,等.水稻茎秆抗倒性的遗传及基因型×环境互作效应研究[J].福建农业学报,2000,15(3):9-15.
- [14] 关伟,钱晓刚.超级杂交稻茎秆形态与抗倒伏相关性研

- 究[J]. 耕作与栽培, 2008(2):10-12.
- [15] Berzonsky W A, Hawk J A, Pizzolato T D, et al. Anatomical characteristics of three inbred lined and two maize synthetics recurrently selected for high and low stalk crashing strenghthen[J]. Crop Science, 1986, 26: 482-488.
- [16] 雷小龙, 刘利, 刘波, 等. 杂交水稻 F 优 498 机械化种植的茎秆理化性质与抗倒伏性[J]. 中国水稻科学, 2014, 28(6):612-620.
- [17] Hirano K, Okuno A, Hobo T, et al. Utilization of stiff culm trait of rice smos1 mutant for increased lodging resistance[J]. Plos One, 2014, 9(7):1-9.
- [18] Islam M S, Peng S B, Visperas R M, et al. Lodging-related morphological traits of hybrid rice in a tropical irrigated ecosystem[J]. Field Crops Research, 2007, 101:240-248.
- [19] Duan C N, Wang B C, Wang P Q, et al. Relationship between the minute structure and the lodging resistance of rice stems[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2004, 35(3/4):155-158.
- [20] Zhang J E, Quan G M, Huang Z X, et al. Evidence of duck activity induced anatomical structure change and lodging resistance of rice plant[J]. Agroecology and Sustainable Food Systems, 2013, 37(9):975-984.
- [20] 刘立军, 袁莉民, 王志琴, 等. 旱种水稻倒伏生理原因分析与对策的初步研究[J]. 中国水稻科学, 2002, 16(3): 225-230.
- [22] Zhang J, Li G H, Song Y P, et al. Lodging resistance characteristics of high-yielding rice populations[J]. Field Crops Research, 2014, 161(5):64-74.
- [23] 王秀凤, 党立华, 都华, 等. 水稻茎秆抗倒性构成因素的研究[J]. 北方水稻, 2008, 38(2):16-21, 39.
- [24] 黄增奎. 小麦施钾的抗倒伏效应[J]. 土壤通报, 1989(3): 122-123.
- [26] 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.
- [27] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学, 2002, 35(9):1095-1103.
- [28] 郭玉华, 朱四光, 张龙步. 不同栽培条件对水稻茎秆生化成分的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2003, 34(2):89-91.
- [29] 游晴如, 马宏敏, 杨东, 等. 水稻倒伏性研究进展[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(6):84-86.

Effect of Silicon and Potassium Interaction on Lodging Resistance of *Japonica* Rice Under Different Nitrogen Gradient

SUN Bing, XIAO Ming-gang, CHI Li-yong, LI Ming-xian

(Crop Tillage and Cultivation Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Haerbin, Heilongjiang 180086)

Abstract: In order to use fertilizer scientifically and rationally for the production of *japonica* rice in longjiang region, and reduce rice lodging risk. Taking Longqingdao 1 as material, the effect of different amounts of potassium and silicon fertilizer on the features of stalk basal internode structure and lodging resistance was studied under the gradient of different nitrogen fertilizer application. The results showed that when the potassium element alone, the amount of K was positively correlated to stem internode resistance of I1, I2 and I3. When the amount of potassium fertilizer was $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ($\text{N}_1 \text{K}_2$), the utilization rate of potassium was the highest, breaking resistance of basal internode I1, I2 and I3 were increased by 9.86%, 10.14% and 13.24% respectively compared with the control group ($\text{N}_1 \text{K}_0$). When the silicon element alone, breaking resistance of basal internode I1 and I2 was positively correlated with silicon fertilizer application amount, no significant effect on I3, when the silicon fertilizer application quantity was $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ($\text{N}_1 \text{S}_3$), breaking resistance of basal internode I1 and I2 was the most significant improvement, increased 15.26% and 19.69% compared with the control group ($\text{N}_1 \text{S}_0$). When the interaction of nitrogen silicon and potassium fertilizer, when the amount of nitrogen fertilizer was $100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, the highest utilization rate of silicon and potassium was $\text{N}_1 \text{K}_3 \text{S}_1$, breaking resistance of basal internode I1 and I2 were increased by 13.43% and 26.27% respectively compared with the control group, when the amount of nitrogen fertilizer was $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, the highest utilization rate of silicon and potassium was $\text{N}_2 \text{K}_1 \text{S}_3$ and $\text{N}_3 \text{K}_1 \text{S}_3$, breaking resistance of basal internode I1 and I2 were increased by 10.72%, 12.20%, 16.76% and 10.43% respectively compared with the control group.

Keywords: rice; nitrogen silicon and potassium fertilizer; lodging resistance; stem structure