

水稻不同生育期茎秆生化成分的变化及其与抗倒伏能力的关系

杨艳华^{1,2}, 朱镇¹, 张亚东¹, 陈涛¹, 赵庆勇¹, 周丽慧¹, 姚姝¹, 王才林^{1,*}

¹江苏省农业科学院粮食作物研究所, 江苏省优质水稻工程技术研究中心, 国家水稻改良中心南京分中心, 南京210014; ²江苏大学生命科学研究院, 江苏镇江212013

摘要: 以抗倒伏品种‘南粳44’、‘武运粳7号’与不抗倒伏品系‘宁7412’为试验材料, 通过对水稻不同生育期茎秆硅、钾、钙、镁含量及可溶性糖含量的测定, 结合氮钾肥配比试验, 研究了水稻不同生育期茎秆硅、钾、钙、镁含量及可溶性糖含量的变化及其与茎秆抗倒伏能力的关系。结果表明: 水稻茎秆的硅、钙、镁含量及可溶性糖含量随生育进程呈上升趋势, 而茎秆的钾含量呈现先降后升的趋势。在不同施肥水平条件下, 水稻茎秆的硅、钾、钙、镁含量及可溶性糖含量存在一定的差异。抗倒伏品种‘南粳44’和‘武运粳7号’茎秆基部抗折力较强, 施肥对水稻茎秆基部抗折力有一定的影响。水稻生殖生育期茎秆的硅含量、可溶性糖含量与茎秆基部抗折力呈极显著正相关($P < 0.01$), 与水稻抗倒伏能力的强弱有一定的关系。

关键词: 水稻; 生化成分; 抗折力; 倒伏指数; 抗倒性

Changes of Stem Biochemical Components in Different Growth Stages of Rice and Their Relationship with Lodging Resistance

YANG Yan-Hua^{1,2}, ZHU Zhen¹, ZHANG Ya-Dong¹, CHEN Tao¹, ZHAO Qing-Yong¹, ZHOU Li-Hui¹, YAO Shu¹, WANG Cai-Lin^{1,*}

¹Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Jiangsu High Quality Rice R & D Center, Nanjing Branch of China National Center for Rice Improvement, Nanjing 210014, China; ²Institute of Life Sciences, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China

Abstract: Changes of SiO₂, K₂O, calcium, magnesium, and soluble sugar contents in different growth stages of rice and their relationship with lodging resistance were investigated through nitrogen, potassium fertilizers test with three rice cultivars (‘Nanjing 44’ and ‘Wuyunjing 7’, lodging resistance; ‘Ning 7412’, easy lodging). The results indicated that SiO₂, calcium, magnesium, and soluble sugar contents were basically increased with the development process. However, K₂O content showed the trend of high-low-high. The SiO₂, K₂O, calcium, magnesium, and soluble sugar contents showed some differences in different fertilizer application level. Meanwhile, application of nitrogen and potassium fertilizer had obvious effect upon resistance snapping of rice basal stems. Correlation analysis showed that resistance snapping of rice basal stems was very significantly positive correlated to SiO₂ and soluble sugar contents in rice stem of the reproductive stage ($P < 0.01$), which had a certain relationship with lodging resistance of rice.

Key words: rice; biochemical components; resistance snapping; lodging index; lodging resistance

近年来, 随着超高产水稻品种的选育和推广种植, 加上化肥施用量的不断增加, 倒伏问题日趋加重, 引起育种学家的重视。研究表明, 水稻茎秆的化学组成与抗倒伏能力有密切关系(李扬汉1979)。钾、硅对促进水稻茎秆的健壮生长发育和茎秆细胞壁硅质化, 增强茎秆的抗倒伏能力有着重要的作用。马国辉等(2000)对‘培矮64S/E32’和‘汕优63’的抗倒生理和形态机能的研究中证实了这一点。已有研究认为, 水稻茎秆基部节间贮存的可用性糖与倒伏及茎秆细胞充实度密切相关(Takaya等1987; Hoshikawa和Wang1990)。但是, 与

水稻抗倒伏相关的其他营养元素, 如钙、锌和镁的研究报道尚不多见。‘南粳44’是由江苏省农科院粮食作物研究所育成的早熟晚粳稻品种, 2007年1月通过江苏省品种审定委员会审定。在近几年的示范推广中均表现出很好的高产抗倒伏特性(樊宝贵等2009; 邱金美等2009), 已成为江苏省晚粳稻的主栽品种。‘武运粳7号’是常州市武进区农业科

收稿 2011-07-18 修定 2011-10-17

资助 江苏省农业科技自主创新基金(CX10J401)。

* 通讯作者(E-mail: clwang@jaas.ac.cn; Tel: 025-84390307)。

学研究所育成的一个高产稳产、综合性状优良的早熟晚粳稻品种,多年来的种植结果表明,该品种的抗倒性较好。‘宁7412’为江苏省农科院粮食作物研究所育成的一个早熟晚粳稻新品系,近几年试种结果表明,该品系的抗倒性差。上述3个品种(系)均属早熟晚粳,株高均在100 cm左右,产量水平相似。本试验以上述3个品种(系)为试验材料,通过氮、钾肥试验,从茎秆生化成分上调查分析水稻不同生育期茎秆硅、钾、钙、镁含量及可溶性糖含量的变化及其与水稻抗倒性之间的关系,进而探讨‘南粳44’、‘武运粳7号’抗倒伏的原因和机理,以期为抗倒伏高产水稻新品种的选育和水稻高产栽培提供理论依据。

材料与方法

1 试验材料

江苏省农业科学院粮食作物研究所育成的早熟晚粳稻(*Oryza sativa* L.)品种‘南粳44’和新品系‘宁7412’,常州市武进区农业科学研究所育成的‘武运粳7号’。‘南粳44’和‘武运粳7号’的抗倒性好,‘宁7412’的抗倒性差。

2 试验设计

试验于2009年在江苏省农科院试验田进行。土壤质地为偏酸性壤土,试验前取土样请中科院南京土壤所测定,pH值6.19,有机质含量1.65%,碱解氮 $110 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $37.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $94 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。田块保水力较强,排灌方便。磷肥(P_2O_5) $15 \text{ kg}\cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 作基肥一次施入。氮肥(尿素,含氮量 $\geq 46.4\%$)分3次施入,移栽后7 d施60%,移栽后15 d施20%,孕穗期施20%。钾肥(氯化钾, $\text{K}_2\text{O}\geq 60\%$)分2次施入,移栽后7 d施50%,7月中旬施50%。5月10日播种,6月12日移栽,株行距 $20 \text{ cm}\times 26.7 \text{ cm}$ 。试验处理小区面积 9.6 m^2 ,每处理15行,每行12株。随机区组排列,重复3次。氮钾肥配比采用二次饱和D-最优设计,试验结构矩阵见表1。

3 试验方法

3.1 取材

插秧后2周对主茎进行挂牌标记,并于分蘖期、抽穗期、灌浆期和成熟期(蜡熟期)对每个处理分别取样,每次取10株,用于测定硅、钾、钙、镁含量及可溶性糖含量。取样茎秆经去根去穗洗

表1 试验结构矩阵及氮钾肥配比结果

Table 1 Test structure matrix and the results of nitrogen-potassium ratio

处理	编码	尿素/kg·667 m ⁻²	编码	氯化钾/kg·667 m ⁻²
T1	-1	0	-1	0
T2	1	50	-1	0
T3	-1	0	1	35
T4	-0.1315	21.71	-0.1315	15.20
T5	1	50	0.3945	24.40
T6	0.3945	34.86	1	35

净后置于烘箱内105 °C杀青30 min,80 °C下烘干至恒重,然后将样品粉碎,过60目筛。

3.2 茎秆抗折力和倒伏指数

茎秆抗折力(resistance snapping, RS)测定参考濂古秀生(1962)的方法。测定部位为茎秆基部第2节间,时期为抽穗后35 d。田间取回茎秆,保留叶鞘、叶片和稻穗,并保持不失水。自行设计了测定抗折力的简单器材。将茎秆基部第2节间(去除叶鞘,并保持不失水)置于测定器上,用便携式电子称(感量1 g)测抗折力(g),然后测定基部第2节间至穗顶的长度(cm)和鲜重(g),每次测10株,重复3次,取平均值。

弯曲力矩=节间基部至穗顶长度(cm)×该节间基部至穗顶鲜重(g)。倒伏指数(lodging index, LI)=弯曲力矩/抗折力×100。倒伏指数越大,则茎秆越易倒伏,以倒伏指数200为抗倒伏的临界值(濂古秀生1962)。

3.3 生理生化指标测定

硅含量:硅钼蓝比色法;钾、钙、镁含量:原子吸收法。由南京农业大学农学院测试中心完成。可溶性糖含量:蒽酮比色法(赵世杰等1998)。

3.4 统计分析

用SPSS 17.0软件对数据进行差异显著性分析(95%置信区间)和相关分析。

实验结果

1 水稻不同生育期茎秆的硅和钾含量

从分蘖期到成熟期,水稻茎秆的硅含量呈逐渐升高的趋势,成熟期达到最高,‘南粳44’和‘武运粳7号’成熟期茎秆的硅含量显著高于其他生育时

期($P<0.01$)。易倒伏品种‘宁7412’茎秆硅含量全生育期变化不大,各生育期差异不显著。水稻茎秆的硅含量表现为抗倒伏品种显著高于易倒伏品种,‘南粳44’成熟期茎秆的硅含量最高,其次为‘武运粳7号’,二者分别为‘宁7412’茎秆硅含量的1.48倍

和1.34倍。3个水稻品种(系)茎秆的 K_2O 含量在全生育期均呈现先降后升的趋势(表2),即分蘖期、成熟期水稻茎秆的 K_2O 含量相对较高;而抽穗期和灌浆期茎秆的 K_2O 含量则相对较低,与分蘖期和成熟期茎秆的 K_2O 含量差异显著($P<0.05$)。

表2 不同生育期3个水稻品种(系)茎秆的硅和钾含量

Table 2 The SiO_2 and K_2O contents of the stems in different growth stages of rice

品种(系)	SiO_2 含量/%				K_2O 含量/%			
	分蘖期	抽穗期	灌浆期	成熟期	分蘖期	抽穗期	灌浆期	成熟期
‘南粳44’	10.45 ^b	11.65 ^a	12.08 ^a	16.84 ^a	1.88 ^a	1.41 ^a	1.32 ^a	1.76 ^b
‘武运粳7号’	11.99 ^a	11.47 ^a	12.58 ^a	15.24 ^b	1.78 ^a	1.40 ^a	1.30 ^a	1.77 ^b
‘宁7412’	9.91 ^b	10.18 ^b	10.71 ^b	11.38 ^c	1.78 ^a	1.38 ^a	1.38 ^a	2.00 ^a

通过Duncan检验,同列不同小写字母表示3个品种(系)之间差异显著($P<0.05$)。表3、4同。

2 水稻不同生育期茎秆的钙和镁含量

由表3可知,水稻茎秆的钙含量随生育进程呈显著上升的趋势,即成熟期>灌浆期>抽穗期>分蘖期,各生育时期差异显著($P<0.01$),其中成熟期茎秆的钙含量最高,为灌浆期的1.58~2.17倍。值得注意的是,‘南粳44’成熟期茎秆的钙含量显著高于

其他生育时期,也明显高于‘武运粳7号’和‘宁7412’。比较而言,3个水稻品种(系)分蘖期、抽穗期和灌浆期茎秆的镁含量变化不大,差异不显著($P>0.05$),成熟期茎秆的镁含量显著升高,约为分蘖期、抽穗期和灌浆期的2倍左右,3个品种(系)间各生育期镁含量的差异不显著(表3)。

表3 不同生育期3个水稻品种(系)茎秆的钙和镁含量

Table 3 The calcium and magnesium contents of the stems in different growth stages of rice

品种(系)	钙含量/ $mg \cdot g^{-1}$ (DW)				镁含量/ $mg \cdot g^{-1}$ (DW)			
	分蘖期	抽穗期	灌浆期	成熟期	分蘖期	抽穗期	灌浆期	成熟期
‘南粳44’	0.83 ^a	1.03 ^a	1.61 ^a	3.50 ^a	0.61 ^a	0.58 ^{ab}	0.58 ^{ab}	1.13 ^a
‘武运粳7号’	0.88 ^a	0.99 ^a	1.80 ^a	2.84 ^b	0.60 ^a	0.53 ^b	0.54 ^b	1.07 ^a
‘宁7412’	0.81 ^a	1.06 ^a	1.72 ^a	2.73 ^b	0.64 ^a	0.62 ^a	0.61 ^a	1.16 ^a

3 水稻不同生育期茎秆的可溶性糖含量

由表4可看出,‘南粳44’和‘武运粳7号’茎秆的可溶性糖含量在从分蘖期到灌浆期的生育进程呈升高的趋势,在灌浆期达到最高值,此后成熟期较灌浆期则略有下降。易倒伏品种‘宁7412’茎秆的可溶性糖含量随着生育进程呈下降的趋势,成熟期茎秆的可溶性糖含量最低,显著低于抗倒伏品种‘南粳44’和‘武运粳7号’,不同生育期差异不显著。

4 水稻植株抗倒伏能力的评价及施肥与水稻抗倒伏的关系

由于倒伏指数综合考虑了株高、鲜重等形态特性和茎秆抗折力等力学特性,因此可作为衡量

表4 不同生育期3个水稻品种(系)茎秆的可溶性糖含量

Table 4 The soluble sugar content of the stems in different growth stages of rice

品种(系)	可溶性糖含量/ $mg \cdot g^{-1}$ (DW)			
	分蘖期	抽穗期	灌浆期	成熟期
‘南粳44’	172.5 ^a	187.7 ^{ab}	256.9 ^a	209.5 ^b
‘武运粳7号’	166.0 ^a	215.4 ^a	267.8 ^a	257.9 ^a
‘宁7412’	185.0 ^a	170.6 ^b	136.3 ^b	128.3 ^c

和评价作物抗倒伏能力的一个重要参数。倒伏指数越低,茎秆的抗倒伏能力越强;反之,倒伏指数越大,则茎秆的抗倒伏能力就越弱(孙旭初1987;张忠旭等1999;杨惠杰等2000;马均等2004;杨长明

等2004; Baker等1998)。由图1可以看出,‘南粳44’和‘武运粳7号’的倒伏指数极显著小于‘宁7412’ ($P<0.01$), 表明‘南粳44’和‘武运粳7号’茎秆的抗倒伏能力显著强于‘宁7412’ (图1), 与3个品种(系)实际田间种植情况的表现一致, 说明倒伏指数可作为衡量作物抗倒伏能力强弱的一个重要指标。

研究结果表明, 施肥与水稻抗倒伏强弱存在一定的关系。由图1可看出, 不同施肥水平条件下水稻茎秆的倒伏指数存在明显差异。在单施钾肥(T3处理)条件下, 水稻茎秆的倒伏指数均显著低于

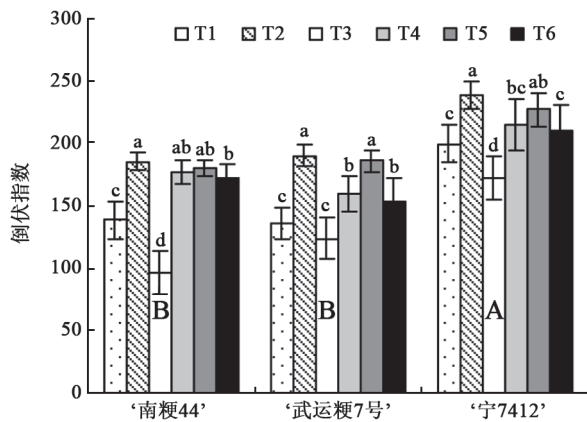


图1 不同施肥水平对水稻茎秆倒伏指数的影响

Fig.1 Effects of fertilizer level on lodging index of rice stems

通过Duncan检验, 不同小写字母表示同一品种(系)不同处理之间差异显著($P<0.05$); 不同大写字母表示3个品种所有处理之间差异显著。图2同。

其他施肥模式, 表明该施肥水平条件下水稻茎秆的抗倒伏能力最强。在单施氮肥(T2处理)条件下, 水稻茎秆倒伏指数最大, 抗倒伏能力最弱, 两种施肥水平水稻茎秆的倒伏指数相差达38.6%~92.2%。田间实际观测调查表明, ‘南粳44’和‘武运粳7号’在不同施肥水平条件下的表观倒伏率[表观倒伏率=倒伏面积(m^2)/总面积(m^2) $\times 100\%$]均为0, 未出现倒伏; 易倒伏品系‘宁7412’ T2处理的倒伏指数最大, 表观倒伏率约为27.6%, 出现一定程度的倒伏, 与施高氮肥密切相关, 表明施肥对水稻抗倒伏能力有一定的影响。

5 施肥对水稻不同生育期茎秆硅、钙、镁含量及可溶性糖含量的影响

为了进一步说明施肥对水稻不同生育期茎秆硅、钙、镁含量及可溶性糖含量的影响, 我们以水稻灌浆期、成熟期茎秆硅含量、可溶性糖含量的变化为例探讨了施肥的影响。由表5可知, 不同施肥水平对水稻植株茎秆硅含量、可溶性糖含量有一定影响。施高氮肥条件(T2处理)下, 水稻茎秆的硅含量大部分低于其他施肥处理, 成熟期这种趋势更加明显。施高钾肥条件(T3处理)下, 水稻茎秆基部抗折力较强, 倒伏指数最小, 茎秆内的硅含量相应较高, 说明施用钾肥对水稻植株茎秆硅的吸收有一定影响, 且茎秆硅含量的多少与水稻抗倒伏能力的强弱密切相关。不同施肥水平显著影响水稻植株茎秆的可溶性糖含量(表5)。3个水稻

表5 施肥对水稻灌浆期、成熟期茎秆硅含量和可溶性糖含量的影响

Table 5 Effects of fertilization on the SiO_2 and soluble sugar contents of the stems in filling and maturity stages of rice

时期	处理	SiO_2 含量/%			可溶性糖含量/ $mg \cdot g^{-1}$ (DW)		
		‘南粳44’	‘武运粳7号’	‘宁7412’	‘南粳44’	‘武运粳7号’	‘宁7412’
灌浆期	T1	12.42 ^b	12.03 ^c	11.33 ^{ab}	264.9 ^a	286.4 ^a	147.8 ^{ab}
	T2	11.39 ^c	11.27 ^d	9.82 ^c	241.6 ^b	248.4 ^a	134.2 ^b
	T3	14.38 ^a	12.26 ^{bc}	11.54 ^a	263.6 ^a	266.4 ^a	165.8 ^a
	T4	11.30 ^c	12.25 ^{bc}	10.94 ^b	249.3 ^b	266.9 ^a	143.1 ^b
	T5	11.84 ^{bc}	12.65 ^b	9.67 ^c	272.7 ^a	280.5 ^a	92.2 ^c
	T6	11.17 ^c	15.00 ^a	10.93 ^b	249.5 ^b	258.3 ^a	134.5 ^b
成熟期	T1	17.27 ^b	16.10 ^b	12.25 ^{ab}	235.5 ^a	293.0 ^a	126.8 ^b
	T2	16.72 ^b	14.50 ^c	9.85 ^c	194.6 ^{bc}	258.5 ^b	117.5 ^b
	T3	18.43 ^a	17.46 ^a	12.59 ^a	249.4 ^a	291.6 ^a	181.7 ^a
	T4	15.57 ^c	14.67 ^c	11.58 ^b	182.0 ^c	242.8 ^b	107.1 ^b
	T5	15.33 ^c	13.56 ^d	10.33 ^c	184.9 ^c	249.3 ^b	125.6 ^b
	T6	17.69 ^{ab}	15.15 ^c	11.66 ^b	211.0 ^b	212.0 ^c	111.3 ^b

通过Duncan检验, 同一列相同生育期不同小写字母表示不同处理之间差异显著($P<0.05$)。

品种(系)茎秆的可溶性糖含量以单施钾肥(T3处理)和不施肥(T1处理)较高, 重施氮肥条件(T5处理)下水稻茎秆的可溶性糖含量则相对偏低(表5)。试验结果表明, 施肥对茎秆其他元素的含量同样也有一定的影响。

6 水稻茎秆基部抗折力及其与茎秆硅、钾、钙、镁含量及可溶性糖含量的相关性

水稻茎秆的倒伏通常表现为基部第1或第2伸长节间的折断, 因此茎秆基部机械强度即抗折力是衡量水稻品种抗倒伏强弱的重要指标(孙旭初1987; 张忠旭等1999; 杨长明等2004; 周丽华2006)。从不同品种(系)之间茎秆基部抗折力来看, 抗倒伏品种‘南粳44’和‘武运粳7号’茎秆基部抗折力极显著大于易倒伏品系‘宁7412’ ($P<0.01$) (图2)。相关性分析表明, 倒伏指数与茎秆基部抗折力呈极显著负相关($r=0.940^{**}$), 因此倒伏指数和茎秆基部抗折力均可用于衡量作物抗倒性强弱的指标。由图2可以看出, 施肥对水稻茎秆基部抗折力存在一定的影响, 在单施钾肥(T3处理)条件下, 水稻植株茎秆基部抗折力显著大于其他施肥模式($P<0.05$); 在氮钾肥配施(T4、T5和T6处理)条件下, 水稻植株茎秆基部抗折力均大于单施氮肥(T2处理), 只是这种差异在部分处理之间未达到显著水平。由图2还可看出, 钾肥可以提高水稻茎秆基部抗折力, 进而增强作物的抗倒伏能力。氮肥则降低水稻茎秆基部抗折力, 增加作物倒伏。

从表6可以看出, 水稻茎秆基部抗折力与水稻各生育期茎秆的硅含量, 与抽穗期、灌浆期和成

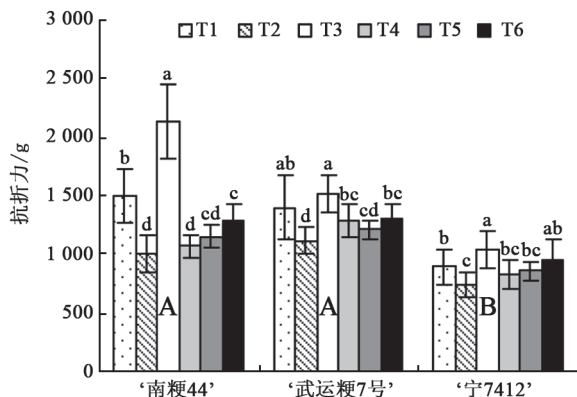


图2 不同施肥水平对水稻茎秆基部抗折力的影响

Fig.2 Effects of fertilizer level on resistance snapping of rice basal stems

表6 水稻茎秆基部抗折力与茎秆硅、钾、钙、镁含量及可溶性糖含量的相关性

Table 6 The relationship between resistance snapping of rice basal stem and SiO₂, K₂O, calcium, magnesium, and soluble sugar contents

项目	水稻茎秆基部抗折力与各生育期生理指标相关系数			
	分蘖期	抽穗期	灌浆期	成熟期
硅含量	0.696 ^{**}	0.892 ^{**}	0.710 ^{**}	0.806 ^{**}
钾含量	0.749 ^{**}	0.333	0.156	-0.249
钙含量	0.016	-0.041	0.271	0.682 ^{**}
镁含量	-0.608 ^{**}	-0.689 ^{**}	-0.806 ^{**}	-0.609 ^{**}
可溶性糖含量	-0.290	0.781 ^{**}	0.686 ^{**}	0.745 ^{**}

^{**}表示在0.01水平上差异显著。

熟期茎秆的可溶性糖含量, 与分蘖期茎秆的K₂O含量、成熟期茎秆的钙含量均呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与水稻各生育期茎秆的镁含量呈极显著负相关 ($P<0.01$)。多数情况下, 茎秆基部抗折力与茎秆硅含量的相关系数大于与茎秆K₂O含量、可溶性糖含量和钙、镁含量(与灌浆期茎秆镁含量的相关系数除外)的相关系数, 说明与茎秆其他生理生化指标相比, 茎秆的硅含量对倒伏的影响程度更大。

讨 论

研究表明, 水稻不同生育期茎秆的硅、钾、钙、镁含量及可溶性糖含量变化较大。水稻茎秆的硅、钙、镁含量及可溶性糖含量基本上随着生育进程呈升高的趋势, 而茎秆K₂O含量呈先降低后升高的趋势, 分蘖期和成熟期茎秆K₂O含量较高, 差异不显著 ($P>0.05$)。易倒伏品系‘宁7412’茎秆的硅含量全生育期变化不大, 各生育期差异不显著, 其茎秆的可溶性糖含量随着生育进程而呈现下降的趋势, 成熟期茎秆的可溶性糖含量仅为分蘖期的69.4%。抗倒伏品种‘南粳44’和‘武运粳7号’生殖生长期茎秆的硅含量、可溶性糖含量显著高于易倒伏品系‘宁7412’。本研究结果表明, 不同施肥水平对水稻茎秆的硅、钾、钙、镁含量及可溶性糖含量有一定的影响。钾肥有助于增加水稻茎秆的硅、钾、钙含量及可溶性糖含量, 提高水稻茎秆基部的抗折力, 降低水稻茎秆的倒伏指数, 从而提高水稻植株的抗倒伏能力。氮肥则降低水稻茎秆基部的抗折力, 增加倒伏。本研究表明, 水稻茎秆

基部抗折力与水稻茎秆的硅含量、镁含量分别呈极显著正相关或负相关($P<0.01$), 与水稻生殖生长期茎秆的可溶性糖含量呈极显著正相关($P<0.01$), 与成熟期茎秆的钙含量呈极显著正相关($P<0.01$)。

倒伏是水稻自身品种特性、种植密度、施肥、灌溉、气象条件等自身内因和外界环境条件综合作用的结果。研究表明, 对水稻抗倒伏能力影响较大的是基部节间的长度、粗度、壁厚和截面积等, 这些性状的优化组合是提高水稻品种抗倒伏能力的关键(杨艳华等2011)。水稻茎秆解剖结构观察发现, 相同视野范围内抗倒伏品种‘南粳44’和‘武运粳7号’基部节间的维管束数目较多, 维管束鞘较厚, 细胞层数较多, 细胞排列紧密、体积较小; 而不抗倒伏品系‘宁7412’的维管束数目偏少, 维管束鞘较薄, 细胞层数较少, 细胞体积大(结果未显示)。从解剖结构还可看出, ‘南粳44’和‘武运粳7号’茎秆内的贮藏物质明显多于‘宁7412’(结果未显示)。本研究侧重于探讨茎秆生化成分与抗倒伏能力的关系, 从本研究结果看, 与水稻抗倒伏能力关系较为密切的是水稻茎秆的硅含量及可溶性糖含量。水稻是典型的喜硅作物, 茎叶中硅含量通常占干物重的10%~20%, 高产水稻的硅含量更高, 这是由其遗传特性决定的。硅被水稻吸收后, 与体内的果胶酸、糖脂等结合, 形成稳定性强且溶解度低的单硅酸或多硅酸复合物沉积在木质化的细胞壁中, 进而增强了细胞壁的机械强度和稳固性, 使植物茎秆强度增大, 机械性能改善, 提高抗倒伏能力(宫海军等2004; Hossain等1999)。从生理学角度看, 茎秆中贮藏物质的含量及组成成分决定作物的抗倒性能, 尤其是生育后期茎秆中足量的贮藏物质对维持茎秆强度有重要的作用(罗茂春等2007)。水稻茎秆中充实的物质主要是蔗糖和多糖等碳水化合物, 这些物质的积累, 能促进纤维素及半纤维素的形成, 使茎壁增厚、弹性增强, 进而增强其抗倒性(罗茂春等2007)。Sato (1957)提出, 抗倒性大的品种在茎秆内有较多的淀粉残留, 并发现茎秆内淀粉含量高的水稻品种几乎都抗倒伏, 本研究结果与其一致。本试验表明, 水稻生殖生长期茎秆的硅含量、可溶性糖含量与茎秆基部抗折力关系密切, 呈极显著正相关($P<0.01$), 且抗倒伏品种显著高于

易倒伏品种。因此, 我们认为水稻生殖生育期茎秆的硅含量及可溶性糖含量与水稻抗倒伏能力强弱的关系较为密切。水稻成熟期茎秆的钙含量与水稻茎秆基部抗折力呈极显著正相关($r=0.682^{**}$)。由于钙是植物体细胞壁和细胞间层的主要组成成分, 能使植株或个体具有一定的机械强度。钙的大量积累有利于细胞壁钙化, 进一步提高其保护和支撑的作用, 增强茎秆的抗倒伏能力。因此, 本研究认为水稻成熟期茎秆的钙含量在一定程度上与水稻抗倒伏能力的强弱也有一定的关系。

综合来讲, 品种本身的抗倒伏能力对倒伏的影响更大, 抗倒伏品种‘南粳44’和‘武运粳7号’具有较强的茎秆机械强度(抗折力)和一定的茎秆生理学基础。在水稻育种工作中, 一方面可以通过茎秆生化成分进行抗倒性品种的选育, 另一方面可以通过合理施肥提高茎秆中碳水化合物的积累, 以及增施硅肥和钾肥等增强茎秆的抗倒伏能力。这为水稻抗倒伏品种的选育提供了便捷有效的方法, 为解决水稻品种选育过程中抗倒性的问题以及高产、优质粳稻品种的选育提供了重要的理论依据。

参考文献

- 樊宝贵, 李德剑, 李杰, 钱正长, 周有炎, 刘国林(2009). “南粳44”丰产高效栽培技术研究与应用. 上海农业科技, (4): 42~44
- 宫海军, 陈坤明, 王锁民, 张承烈(2004). 植物硅营养的研究进展. 西北植物学报, 24 (12): 2385~2392
- 濂古秀生(1962). 水稻の倒伏に関する研究. 九州农试学报, (7): 419~495
- 李扬汉(1979). 禾本科作物的形态与解剖. 上海: 上海科学技术出版社
- 罗茂春, 田翠婷, 李晓娟, 林金星(2007). 水稻茎秆形态结构特征和化学成分与抗倒伏关系综述. 西北植物学报, 27 (11): 2346~2353
- 马国辉, 邓启云, 万宜珍, 王学华(2000). 超级杂交稻抗倒生理与形态机能研究I. 培矮64S/E32与汕优63植株钾、硅和纤维素含量差异. 湖南农业大学学报(自然科学版), 26 (5): 329~331
- 马均, 马文波, 田彦华, 杨建昌, 周开达, 朱庆森(2004). 重穗型水稻植株抗倒伏能力的研究. 作物学报, 30 (2): 143~148
- 邱金美, 王金明, 徐辉, 任建萍, 黄婷, 曹兵(2009). 高产、优质粳稻“南粳44”特征特性及栽培技术. 上海农业科技, (2): 29
- 孙旭初(1987). 水稻茎秆抗倒性的研究. 中国农业科学, 20 (4): 32~37
- 杨长明, 杨林章, 颜廷梅, 欧阳竹(2004). 不同养分和水分管理模式对水稻抗倒伏能力的影响. 应用生态学报, 15 (4): 646~650
- 杨惠杰, 杨仁崔, 李义珍, 姜照伟, 郑景生(2000). 水稻茎秆性状与抗倒性的关系. 福建农业学报, 15 (2): 1~7

- 杨艳华, 朱镇, 张亚东, 陈涛, 赵庆勇, 周丽慧, 姚姝, 张颖慧, 董少玲, 王才林(2011). 不同水稻品种(系)抗倒伏能力与茎秆形态性状的关系. *江苏农业学报*, 27 (2): 231~235
- 张忠旭, 陈温福, 杨振玉, 华泽田, 高日玲, 高勇, 赵迎春(1999). 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. *沈阳农业大学学报*, 30 (2): 81~85
- 赵世杰, 刘华山, 董新纯(1998). *植物生理学实验指导*. 北京: 中国农业科学出版社
- 周丽华(2006). 杂交稻茎秆生理特性对其抗倒伏能力的影响. *河南农业科学*, (10): 20~23
- Baker CJ, Berry PM, Spink JH, Sylvester-Bradley R, Griffin JM, Scott RK, Clare RW (1998). A method for the assessment of the risk of wheat lodging. *J Theor Biol*, 194 (4): 587~603
- Hossain KA, Horiuchi T, Miyagawa S (1999). Effects of powdered rice chaff application on Si and N absorption, lodging resistance and yield in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Plant Prod Sci*, 2 (3): 159~164
- Hoshikawa K, Wang SB (1990). Studies on lodging in rice plants. I. A general observation on lodged rice culms. *Jpn J Crop Sci*, 59 (4): 809~814
- Sato K (1957). Studies of the starch contained in the tissues of rice plant (IV). Starch content in the culm related to lodging. *Jpn J Crop Sci*, 26 (1): 19
- Takaya J, Omori K, Taketani S, Kobayashi Y, Tashiro Y (1987). Solubilization, purification, and characterization of (H⁺, K⁺) ATPase from hog gastric microsomes. *J Biochem*, 102 (4): 903~911