

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2012.06.022

# 水稻茎秆解剖结构与抗倒伏能力关系的研究

杨艳华<sup>1,2</sup>, 朱 镇<sup>2</sup>, 张亚东<sup>2</sup>, 赵庆勇<sup>2</sup>, 周丽慧<sup>2</sup>, 王才林<sup>2\*</sup>

(1. 江苏大学生命科学研究院, 江苏 镇江 212013; 2. 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)

**摘 要:** 利用石蜡切片法研究了抗倒伏水稻品种南粳 44、武运粳 7 号与不抗倒伏水稻品种系宁 7412 基部茎秆解剖结构及其与水稻抗倒伏能力的关系。结果表明: 抗倒伏水稻品种南粳 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; 而不抗倒伏水稻品种系宁 7412 基部节间的维管束数目偏少, 维管束鞘较薄, 细胞层数较少, 细胞体积大。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。这些茎秆解剖结构的差异可用于区分不同水稻品种(系)的抗倒性强弱, 可以作为抗倒伏水稻品种的选育指标和筛选依据, 为水稻抗倒伏品种的选育提供了理论依据。

**关键词:** 水稻; 抗倒性; 解剖结构

中图分类号: Q944.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2012)06-0834-06

## Relationship between anatomic structure of the stem and lodging resistance of rice

YANG Yan-Hua<sup>1,2</sup>, ZHU Zhen<sup>2</sup>, ZHANG Ya-Dong<sup>2</sup>,  
ZHAO Qing-Yong<sup>2</sup>, ZHOU Li-Hui<sup>2</sup>, WANG Cai-Lin<sup>2\*</sup>

(1. Institute of Life Sciences, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China; 2. Institute 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)

**Abstract:** The anatomic structure of the stem was investigated and analyzed through the paraffin method with three rice cultivars (lines) (Nanjing 44, Wuyunjing 7, lodging resistance; Ning 7412, easy lodging). Compared with Ning 7412, Nanjing 44 and Wuyunjing 7 had more developed mechanics tissue, such as more and larger vascular bundles, thicker bundle sheath cell, and more cell layers. It was also found that the basal internodes of Nanjing 44 and Wuyunjing 7 had more storage substance than Ning 7412. The differences of the stem anatomical structure could be used to distinguish the lodging resistance among different rice cultivars (lines), which lay a scientific theoretical basis for rice breeding of lodging resistance.

**Key words:** rice; lodging resistance; anatomic structure

水稻是我国第一大粮食作物, 产量占粮食总产量的 43.7% 左右, 也是我国加入 WTO 后唯一有优势的粮食作物。近年来, 随着世界人口的不断增长和人民生活水平的提高, 增加水稻产量、提升稻米品

质成为人们日益关注的问题。倒伏是水稻生产中普遍存在的问题, 也是水稻高产和优质的重要限制因素。水稻倒伏分“根倒伏”和“茎倒伏”两种。“根倒伏”一般发生在蜡熟期, 而“茎倒伏”一般发生在抽穗

收稿日期: 2012-05-10 修回日期: 2012-08-24

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金(CX-09-634); 江苏大学高级专业人才培养启动基金(11JDG049)[Jiangsu Self-innovation Fund for Agricultural Science and Technology(CX-09-634); Promotion Fund for the Talents of Jiangsu University(11JDG049)]

作者简介: 杨艳华(1973-), 女, 山东济宁人, 博士, 研究方向为植物分子系统与分子进化、植物蛋白质组、遗传育种, (E-mail) yanhuayang@126.com.

\* 通讯作者: 王才林, 博士, 研究员, 研究方向为水稻遗传育种, (E-mail) clwang@jaas.ac.cn.

以后。水稻倒伏主要是“茎倒伏”,其茎秆结构与倒伏密切相关。水稻茎秆显微结构是其功能的基础,目前关于水稻植株的形态性状、茎秆化学组分与抗倒伏能力关系的研究较多(杨惠杰等,2000;张明聪等,2010;彭世彰等,2009),而对茎秆显微结构与倒伏关系的研究则相对较少。

在株高相差不大的情况下,茎秆机械组织发达、细胞壁厚、木质化程度高的水稻品种抗倒性强(Chuanren 等,2004;Ishimaru 等,2008)。南粳 44 是由江苏省农科院粮食作物研究所于 2004 年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。本研究拟根据水稻品种(系)抗倒性的差异,通过石蜡切片观察 3 个抗倒性不同水稻品种(系)茎秆基部第 2、3 节间解剖结构的特征和差异,分析水稻基部第 2、3 节间解剖结构与水稻抗倒性的关系,进一步阐明抗倒伏水稻品种的抗倒机制,为水稻抗倒伏品种的选育提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 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新品种南粳 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。

### 1.2 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,测定值:pH 值 6.19、有机质含量 1.65%、碱解氮 110 mg/kg、速效磷 37.7 mg/kg、速效钾 94 mg/kg。田块保水力较强,排灌方便。磷肥( $P_2O_5$ )15 kg/667 m<sup>2</sup> 作基肥一次施入。氮肥(尿素,含氮量≥46.4%)30 kg/667m<sup>2</sup> 分 3 次施入,移栽后 7 d 施 40%,移栽后 15 d 施 30%,孕穗期施 30%。钾肥(氯化钾, $K_2O$ ≥60%)10 kg/667m<sup>2</sup> 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 cm×26.7 cm,常规大田管理。

### 1.3 水稻茎秆与抗倒性相关的解剖结构指标的选择

参考有关禾本科植物茎秆解剖结构与抗倒性关系的研究成果(王勇等,1998;张喜娟等,2009),结合试验材料自身的特点,选取维管束和气腔数目、维管束长度和宽度、表皮和基本组织厚度、维管束鞘细胞层数、厚度、相邻两维管束间距等解剖结构指标。

### 1.4 解剖结构的测定——石蜡切片法

抽穗后 15 d 取材(水稻茎倒伏易发期),每个品种(系)取 10 株,选用主茎。每个品种(系)取基部第 2、3 节间。用刀片在各节间中部切取长 0.3~0.5 cm 的横切环,以 FAA 固定液(福尔马林 5 mL,冰醋酸 5 mL,70%的酒精 90 mL)固定 2 d,然后用 15%的氢氟酸脱硅软化 25 d,用石蜡切片法制片,切片厚度 12 μm,选取视野中具有代表性的部分在 Zeiss A 显微镜下进行拍照。用图象处理软件(Axiovision Rel. 4. 6)计算大、小维管束数目及维管束鞘细胞层数,并测量表皮和基本组织的厚度、大维管束长度、宽度(由于水稻茎秆中的大、小维管束是协同发育的,因此我们仅测定了大维管束长度、宽度和相邻维管束间距)、维管束鞘细胞厚度、相邻维管束间距等相关解剖结构指标。切片时每个品种(系)取 6 个材料,每个材料切 3 片,表 2~4 中所列数据为平均值。

### 1.5 统计分析

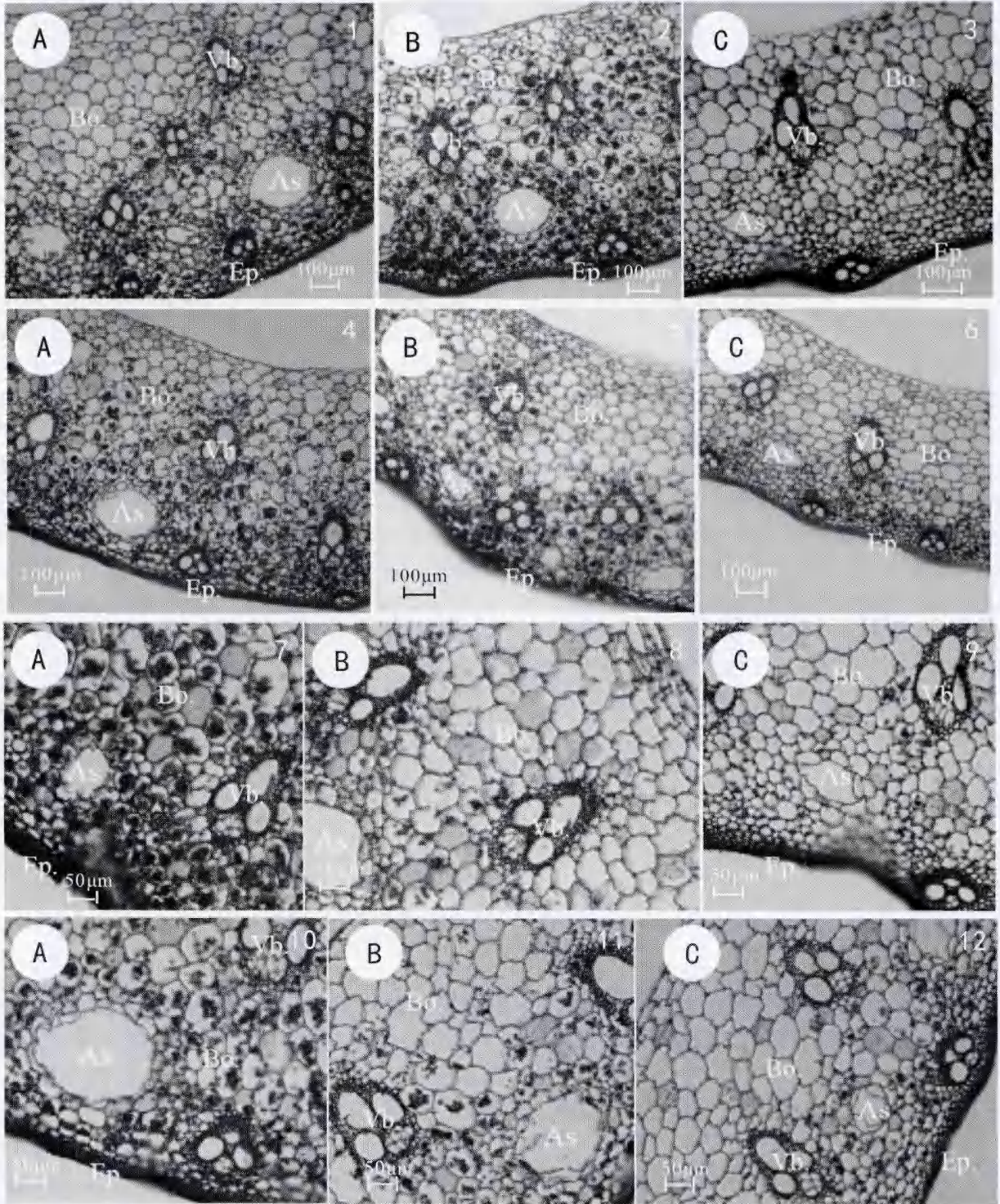
用 SPSS17.0 软件对数据进行差异显著性分析(95%置信区间),数据均为统计 18 个数值的平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 表皮和基本组织细胞层数和厚度

水稻茎的横切面上可分为表皮、基本组织和维管束三种组织系统。表皮位于茎的最外层,由长细胞、短细胞和气孔器有规律地排列而成,外覆角质膜,与机械组织起到保护和支撑的作用。基本组织主要由薄壁细胞组成,是构成茎秆结构的基础,它既是贮藏营养物质的场所,又是增加茎秆抗压强度的成分。

由图版 I 可以看出,南粳 44、武运粳 7 号基部第 2、3 节间的细胞较小,形状规则,细胞层数较多;宁 7412 基部第 2、3 节间的细胞相对较大,形状不规则,细胞层数较少。抗倒伏品种南粳 44、武运粳 7 号基部第 2、3 节间表皮和基本组织的细胞层数差别



图版 I 南梗 44、武运梗 7 号和宁 7412 的显微结构 1-6. 基部第 2 节间( $\times 10$ ); 7-12. 基部第 3 节间( $\times 20$ )。A. 南梗 44; B. 武运梗 7 号; C. 宁 7412。Ep. 表皮; Bo. 基本组织; Vb. 维管束; As. 气腔。

Plate I Microstructure of the stems of Nanjing 44, Wuyunjing 7, and Ning 7412 1-6. The second basal internode( $\times 10$ ); 7-12. The third basal internode( $\times 20$ ). A. Nanjing 44; B. Wuyunjing 7; C. Ning 7412. Ep. Epidermis; Bo. Basic organization; Vb. Vascular bundle; As. Air space.

不大,但与易倒伏品系宁 7412 基部第 2、3 节间表皮和基本组织的细胞层数差异明显。就表皮和基本组

织厚度而言,南梗 44、武运梗 7 号基部第 2、3 节间表皮和基本组织的厚度均显著大于易倒伏品系宁

7412(表2,表3,图版I:1-6),表现为南粳44>武运粳7号>宁7412(表3)。

## 2.2 维管束和气腔

水稻茎的维管束为有限外韧维管束,散生于基本组织中,没有皮层和中柱之分,排列为内、外两环,外环维管束较小,内环维管束较大,为基本组织所包围。维管束包括维管束鞘、初生韧皮部和初生木质部三部分。维管束鞘是坚强的厚壁机械组织,包围着初生木质部和初生韧皮部。维管束之间的基本组织中有大型的裂生通气道,形成良好的通气组织(气腔)。

2.2.1 维管束和气腔数目 由表1可以看出,3个水稻品种(系)基部第2、3节间横切面上维管束的分布

均表现为大维管束数目多,而小维管束数目少。抗倒伏品种南粳44、武运粳7号基部第2节间大、小维管束的数目显著多于易倒伏品系宁7412。比较而言,南粳44、武运粳7号基部第3节间的大维管束数目大于宁7412,但武运粳7号基部第3节间大维管束的数目与宁7412差异不显著,二者小维管束的数目与宁7412差异显著(表1)。气腔是水稻内部结构对其生长环境的一种适应。南粳44和武运粳7号基部第2、3节间的气腔相对较大,周边细胞排列较为紧密,而宁7412基部节间的气腔则相对较小,周边细胞排列较为疏松(图版I:1-12)。就气腔数目而言,南粳44和武运粳7号基部第2、3节间气

表1 不同水稻品种(系)的大维管束、小维管束和气腔数目

Table 1 The number of big vascular bundle, small vascular bundle, and air space in different rice cultivars

品种(系) Cultivar (line)	大维管束 Big vascular bundle		小维管束 Small vascular bundle		气腔 Air space	
	基部第2节间	基部第3节间	基部第2节间	基部第3节间	基部第2节间	基部第3节间
南粳44 Nanjing 44	36 a	33.7 a	29 b	32.3 a	26 b	26 a
武运粳7号 Wuyunjing 7	36 a	32.7 ab	32 a	34 a	32 a	26 a
宁7412 Ning 7412	29 b	30 b	27 c	27 b	21 c	22 b

注:通过Duncans检验,不同字母表示不同处理之间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Note: The different letters indicate that the differences are significant at the 0.05 level in the same column. The same as below.

表2 不同水稻品种基部第2节间与第3节间的解剖结构

Table 2 The anatomic structure of the second basal internode and the third basal internode in different rice cultivars

品种(系) Cultivar (line)	表皮和基本组织 Epidermis and fundamental tissue		大维管束 Big vascular bundle			维管束鞘细胞 Vascular bundle sheath cell		
	细胞层数	厚度 ( $\mu\text{m}$ )	宽度 ( $\mu\text{m}$ )	长度 ( $\mu\text{m}$ )	相邻维管束 间距( $\mu\text{m}$ )	细胞层数	厚度 ( $\mu\text{m}$ )	
第2节间	南粳44 Nanjing 44	25~28	938.0 a	124.6 a	186.3 a	269.4 a	4~6	31.9 a
	武运粳7号 Wuyunjing 7	26~29	904.9 a	112.5 ab	171.9 a	238.5 a	4~6	33.9 a
	宁7412 Ning 7412	18~23	638.0 b	101.9 b	198.0 a	288.7 a	3~4	19.1 b
第3节间	南粳44 Nanjing 44	21~25	854.9 a	125.0 a	180.2 ab	262.5 ab	3~5	29.8 a
	武运粳7号 Wuyunjing 7	22~26	676.5 b	115.2 a	166.8 b	244.1 b	3~4	27.7 a
	宁7412 Ning 7412	17~22	550.3 c	104.0 b	190.1 a	287.6 a	2~4	17.1 b

腔的数目显著大于宁7412,其中武运粳7号基部第2节间的气腔数目显著大于南粳44(表1)。

2.2.2 维管束长度和宽度 维管束长度和宽度是评价茎秆质量优劣的良好指标(王勇等,1998)。在本研究中,我们于水稻抽穗后15 d取材,通过石蜡切片观察、测量3个抗倒性不同的水稻品种(系)基部第2、3节间大维管束的长度和宽度。测量结果表明,易倒伏品系宁7412基部第2、3节间大维管束的长度均大于抗倒伏品种南粳44、武运粳7号,武运粳7号大维管束长度最小(表2)。3个水稻品种(系)基部第2节间维管束的长度差异不显著(表2)。就维管束宽度而

言,抗倒伏品种南粳44、武运粳7号基部第2、3节间大维管束的宽度显著大于易倒伏品系宁7412( $P < 0.05$ ),表现为南粳44>武运粳7号>宁7412,与张喜娟等(2009)的研究结果一致(表2)。

2.2.3 维管束长度、宽度/相邻维管束间距 由表3可以看出,3个水稻品种(系)维管束宽度与相邻维管束间距的比值差异显著。抗倒伏品种南粳44和武运粳7号维管束宽度与相邻维管束间距的比值在0.46~0.48,显著大于不抗倒伏品系宁7412。抗倒伏品种南粳44和武运粳7号维管束长度与相邻维管束间距的比值同样大于易倒伏品系宁7412,但差

异不显著(表3)。较大的维管束长、宽与相邻维管束间距比值表明抗倒伏品种南粳44和武运粳7号的维管束排列较为紧密,相邻两维管束的间隙较小;而不抗倒伏品系宁7412的维管束排列相对较为疏松,相邻两维管束的间隙较大。

### 2.3 维管束鞘细胞层数和厚度

维管束包括维管束鞘、初生韧皮部和初生木质部三部分。在维管束中,主要起支持作用的是维管

束鞘,它包围了整个维管束,由厚壁纤维细胞组成,构成茎秆的支柱,可以抵抗来自各个不同方向的压力,使水稻茎秆的抗压强度和抗倒伏能力均得到加强,起到骨架的作用(Sherratt等,2003)。抗倒伏品种南粳44和武运粳7号的维管束鞘较厚,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的维管束鞘细胞层数较少,维管束鞘较薄(图版1:7-12)。由表2可以看出,抗倒伏品种南

表3 不同水稻品种维管束宽度、长度与相邻维管束间距的比值

Table 3 The ratios of vascular bundle width and length with the distance of adjacent vascular bundles

品种(系) Cultivar (line)	维管束宽/相邻维管束间距 The ratio of vascular bundle width with the distance of adjacent vascular bundle		维管束长/相邻维管束间距 The ratio of vascular bundle length with the distance of adjacent vascular bundle	
	基部第2节间	基部第3节间	基部第2节间	基部第3节间
	南粳44 Nanjing 44	0.461 a	0.479 a	0.692 a
武运粳7号 Wuyunjing 7	0.469 a	0.472 a	0.721 a	0.683 a
宁7412 Ning 7412	0.354 b	0.362 b	0.686 a	0.661 a

粳44和武运粳7号维管束鞘细胞层数和厚度与不抗倒伏品系宁7412差异显著。

## 3 结论与讨论

水稻茎秆有支持地上部的功能,且有贮藏和运输养料的作用(李扬汉,1979)。影响植物茎秆机械强度的因素很多,其中包括形态性状、解剖特征和茎秆化学组分等。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)。从茎秆贮藏物质来讲,在水稻抽穗后21d,茎秆中贮藏的淀粉等干物质逐渐向籽粒转移,茎秆的抗折断力随之降低(杨惠杰等,2000;Sato,1957)。本研究也证实,抗倒伏水稻品种南粳44和武运粳7号茎秆内的贮藏物质明显多于宁7412,促进了节间充实。

本研究中,我们侧重于探讨不同抗倒性水稻品种(系)基部茎秆解剖结构的特点及其与抗倒伏能力的关系。从本研究结果看,研究的3个不同抗倒性的水稻品种(系)基部茎秆第2、3节间的维管束数目、维管束鞘细胞厚度、维管束宽与相邻维管束间距比值、细胞大小及层数等指标均表现出一定的差异。已有研究表明,水稻茎秆的抗倒性与茎秆的机械强度成正比,茎秆机械强度除了与茎粗、茎壁厚有关之外,还与维管束的数目、大小、分布等有密切关系,维管束数目愈多,抗倒伏能力愈强(徐正进等,1996;Chuanren等,2004;Ishimaru等,2008;Kaack等,

2003;Kashiwagi等,2004;Wang等,2006)。本研究结果显示,抗倒伏水稻品种南粳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;而易倒伏水稻品系宁7412基部节间的维管束数目偏少,维管束鞘较薄,细胞层数较少,细胞体积大。因此维管束数目、维管束鞘细胞厚度、维管束宽与相邻维管束间距的比值、细胞大小及层数等解剖结构特征为抗倒伏水稻品种的选育提供了科学依据。

总之,抗倒伏水稻品种在形态性状、生理特性和解剖结构上均显著区别于易倒伏水稻品种,进而使其具有较强的抗倒伏能力。就水稻茎秆解剖结构而言,抗倒伏水稻品种南粳44、武运粳7号基部节间的维管束数目、维管束鞘细胞厚度、维管束宽与相邻维管束间距的比值均显著大于易倒伏品系宁7412,具有节间短、茎秆粗、茎壁厚、机械组织发达、维管束数目多等众多结构优势,抗倒伏水稻品种正是通过其茎秆内部解剖结构的变化来提高其抗倒性的。这些茎秆解剖结构的差异可用于区分不同水稻品种(系)的抗倒性强弱,可作为抗倒伏水稻品种的选育指标和筛选依据,对高产育种中抗倒伏性状的选育有一定的实用价值,并为今后开展后续研究奠定了一定的理论基础。

### 参考文献:

- 李扬汉. 1979. 禾本科作物的形态与解剖[M]. 上海:上海科学技术出版社  
Chuanren D, Bochu W, Wang PQ, et al. 2004. Relationship be-

- tween the minute structure and the lodging resistance of rice stems[J]. *Coll Surf*, **35**(3-4):155-158
- Ishimaru K, Togawa E, Ookawa T, et al. 2008. New target for rice lodging resistance and its effect in a typhoon[J]. *Planta*, **227**(3):601-609
- Kgaqek K, Schwarz KU, Brander PE. 2003. Variation in morphology, anatomy and chemistry of stems of *Miscanthus* genotypes differing in mechanical properties[J]. *Indust Crops Prod*, **17**(2):131-142
- Kashiwagi T, Ishimaru K. 2004. Identification and functional analysis of a locus for improvement of lodging resistance in rice[J]. *Plant Physiol*, **134**(2):676-683
- Peng SZ(彭世彰), Zhang ZL(张正良), Pang GB(庞桂斌). 2009. Mechanical evaluation and cause analysis of rice-stem lodging resistance under controlled irrigation in cold region(控制灌溉条件下寒区水稻茎秆抗倒伏力学评价及成因分析)[J]. *Transac Chin Soc Agric Engin* (农业工程学报), **25**(1):6-10
- Sherratt MJ, Baldock C, Haston JL, et al. 2003. Fibrillin microfibrils are stiff reinforcing fibers in compliant tissues[J]. *J Mol Biol*, **332**(1):183-193
- Wang J, Zhu JX, Lin QQ, et al. 2006. Effects of stem structure and cell wall components on bending strength in wheat[J]. *Chin Sci Bull*, **51**(7):815-823
- Wang Y(王勇), Li QQ(李晴祺), Li ZH(李朝恒), et al. 1998. Studies on the culm quality and anatomy of wheat varieties (小麦品种茎秆的质量及解剖学研究)[J]. *Acta Agron Sin*(作物学报), **24**(4):452-458
- Xu ZJ(徐正进), Chen WF(陈温福), Zhang LB(张龙步), et al. 1996. Differences and inheritance of neck vascular bundles between different rice types (水稻穗颈维管束性状的类型间差异及其遗传的研究)[J]. *Acta Agron Sin*(作物学报), **22**(2):167-172
- Yang HJ(杨惠杰), Yang RC(杨仁崔), Li YZ(李义珍), et al. 2000. Relationship between culm traits and lodging resistance of rice cultivars (水稻茎秆性状与抗倒性的关系)[J]. *Fujian J Agric Sci*(福建农业学报), **15**(2):1-7
- Yang YH(杨艳华), Zhu Z(朱镇), Zhang YD(张亚东), et al. 2011. A study on stalk morphological traits, the constitution of plant height and their relationships with lodging resistance (不同水稻品种(系)抗倒伏能力与茎秆形态性状的关系)[J]. *Jiangsu J Agric Sci*(江苏农业学报), **27**(2):231-235
- Zhang MC(张明聪), Liu YY(刘元英), Luo SG(罗盛国), et al. 2010. Effects of integrated nutrient management on lodging resistance of rice in cold area (养分管理对寒地水稻抗倒伏能力的影响)[J]. *Sci Agric Sin*(中国农业科学), **43**(21):4536-4542
- Zhang XJ(张喜娟), Li HJ(李红娇), Li WJ(李伟娟), et al. 2009. The lodging resistance of erect panicle japonica rice in northern China (北方直立穗型粳稻抗倒性的研究)[J]. *Sci Agric Sin*(中国农业科学), **42**(7):2305-2313

( 上接第 815 页 Continue from page 815 )

2004. Changes of endogenous hormones contents in fruit, seeds and their effects on the fruit development of *Rosa roxburghi* (刺梨果实与种子内源激素含量变化及其与果实发育的关系)[J]. *Sci Agric Sin*(中国农业科学), **37**(5):728-733
- Feng M(冯美), Zhang N(张宁), Song CB(宋长冰). 2005. The study on the fruit growth development of *Lycium barbarum* (宁夏枸杞果实生长发育初探)[J]. *Seed*(种子), **24**(10):63-65
- Li WD(李文钊), Wang XL(王锡林), Luo YF(罗蕴芳). 1979. The preliminary observation of blossom and fruit morphological development of fruit of *Lycium barbarum* (宁夏枸杞开花结果形态发育的初步观察)[J]. *Ningxia J Agric & Fore Sci Technol* (宁夏农林科技), **6**:32-35
- Liu BH(刘丙花), Jiang YM(姜远茂), Peng FT(彭福田), et al. 2008. Dynamic changes of endogenous hormone contents in the pulp and seeds of sweet cherry fruit during growth and development(甜樱桃红灯果实发育过程中果肉及种子内源激素含量变化动态)[J]. *J Fruit Sci*(果树学报), **25**(4):593-596
- Qu ZZ(曲泽洲), Wang YH(王永惠), Zhou JG(周吉桂), et al. 1964. The relationship between fruit development and cell division and growth of jujubes(枣果实发育与细胞分裂和增长的关系)[J]. *J Agric Univ Hebei*(河北农业大学学报), **3**(1):1-15
- Xiao JQ(肖家欣), Peng SA(彭抒昂). 2007. Study on changes in concentrations of four endogenous hormones in different fruit positions during citrus fruit growth and development(柑橘果实生长发育过程中果实不同部位的4种内源激素含量变化的研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **27**(5):775-779
- Xu XF(许雪峰), Luo GG(罗光国), Peng YB(彭宜本). 1995. Dynamics and characteristics of berry growth and development of grape(*Vitis vinifera* cv. Muscat Hamburg)(玫瑰香葡萄浆果生长发育动态及其变化特点)[J]. *Acta Horti Sin*(园艺学报), **22**(4):318-322
- Ye LQ(叶力勤). 2009. The development period and characteristic observation of fruit of *Lycium barbarum* (枸杞果实发育时期及特性观察)[J]. *Ningxia J Agric & Fore Sci Technol* (宁夏农林科技), **2**:18-19