

杨波, 秦德荣, 刘艳, 等. 超级稻连粳7号的抗倒伏机理[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(6): 1212-1218.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.06.003

## 超级稻连粳7号的抗倒伏机理

杨波, 秦德荣, 刘艳, 卢百关, 王宝祥, 李健, 迟铭, 刘金波, 徐大勇  
(江苏徐淮地区连云港农业科学研究所/江苏省现代作物生产协同创新中心, 江苏 连云港 222001)

**摘要:** 培育抗倒能力强的超高产品种是水稻高产、优质、安全生产的重要课题。本研究旨在探讨超级稻连粳7号的抗倒生理特性, 为超高产育种提供理论依据。以抗倒伏超级稻连粳7号为试验材料, 不抗倒品种中粳12-9为对照, 设置不同氮素水平, 以倒伏指数作为衡量植株抗倒伏能力的指标。在齐穗后25 d, 研究水稻基部第1节间(I1)、第2节间(I2)、第3节间(I3)、第4节间(I4)抗倒伏能力和主要物理性状的差异, 并对倒伏指数、抗折力与茎秆主要物理性状进行相关分析, 结果表明超级稻连粳7号倒伏指数低、抗倒伏能力强的主要原因是: (1) I1和I2短, 在试验范围内株高增高幅度小; (2) 叶鞘干质量大, 单位节间干质量大, 茎秆的充实度好; (3) 基部节间抗折力与茎壁厚、茎秆干质量、叶鞘干质量、单位节间干质量、节间至顶鲜质量呈显著或极显著正相关, 与株高、重心高度、相对重心高度、茎秆粗、节间基部至顶长无显著相关关系。超级稻连粳7号基部节间短, 茎秆充实程度好是抗折力大、倒伏指数小、抗倒伏能力强的直接原因。

**关键词:** 超级稻; 抗倒伏能力; 倒伏指数; 茎秆物理性状

**中图分类号:** S511.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)06-1212-07

## Lodging resistance mechanism of super rice Lianjing 7

YANG Bo, QIN De-rong, LIU Yan, LU Bai-guan, WANG Bao-xiang, LI Jian, CHI Ming, LIU Jin-bo, XU Da-yong

(Lianyungang Institute of Agricultural Sciences of the Xuhuai District of Jiangsu Province/Jiangsu Collaborative Innovation Center for Modern Crop Production, Lianyungang 222001, China)

**Abstract:** It is an important subject to develop lodging-resistant varieties for the high-yielding, high-quality and safe production of rice. The lodging-resistant mechanism of rice Lianjing 7 was studied using lodging index as a measuring standard of lodging resistance. None-lodging-resistant medium *Japonica* rice Zhongjing 12-9 was set as control. Lianjing 7 showed short basal internode 1 (I1) and internode 2 (I2), small increase of plant height, heavy dry matter of internode per unit and leaf sheath, and good stem plumpness. The basal internode breaking-resistance exhibited positive correlations with stem wall thickness, stem dry matter, leaf sheath dry matter, dry matter of internode per unit, and fresh weight from inter-

node to plant top, and no correlations with plant height, gravity center height, stem diameter, and the length from basal internode to top. The short basal internode and good stem plumpness might have contributed to the strong breaking-resistance, small lodging index and strong lodging resistance of Lianjing 7.

**Key words:** super rice; lodging resistance; lodging index; physical characteristic of stem

收稿日期: 2015-09-30

基金项目: 中央财政农业技术推广基金项目[TG(14)062]; 江苏省农业三新工程项目[SXGC(2015)138]; 江苏省科技厅项目(BE2014314-2); 国家水稻产业体系项目(CARS-01-01A)

作者简介: 杨波(1978-), 男, 江苏灌云人, 高级农艺师, 从事水稻育种工作。(E-mail)819495823@qq.com

通讯作者: 徐大勇, (E-mail)xudayong3030@sina.com

水稻倒伏是水稻生产中亟需解决的重要问题,尤其是在中国沿海稻区。水稻倒伏可分为根倒伏和茎倒伏两种情况,一般多发生于抽穗后。前人的研究表明,水稻发生倒伏的敏感时期是齐穗后21~30 d,发生倒伏的敏感节位多在茎秆基部的2~3个节间<sup>[1-4]</sup>。倒伏发生除了与自然因素(如台风或暴风雨等)有关外,水稻品种自身的农艺性状和栽培管理措施也是重要影响因素。植株的抗倒伏性与株高、重心、茎基粗、节间长度、节间粗度、茎壁厚度、茎秆质量等茎秆物理性状以及茎秆横切面积、大小维管束数目和面积等茎秆组织解剖结构关系均十分密切<sup>[5]</sup>;此外,植株的抗倒伏性还受茎秆中硅、钾、纤维素、木质素、淀粉、可溶性糖等化学成分含量的影响<sup>[6-8]</sup>。影响水稻倒伏的因素有很多,水稻品种的遗传特性和生理性状是最主要的影响因素<sup>[1,9]</sup>。

连梗7号是江苏徐淮地区连云港农业科学研究所选育的超级稻品种,目前是江苏省黄淮稻区推广面积最大的品种,其突出特点是抗倒性好,尤其是在沿海稻区表现尤为突出。本研究以倒伏指数作为衡量植株抗倒伏能力的指标,在齐穗后25 d,对株高、节间长度、节间粗度、茎壁厚度、节间干质量等茎秆物理性状和茎秆抗折力、弯曲力矩等力学特性进行测定与计算,并对它们与植株抗倒伏能力的关系进行研究与分析,旨在探讨连梗7号抗倒伏能力和相关机理,为水稻抗倒伏育种提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地点及供试品种

试验于2013年和2014年在连云港市东辛农场进行。试验地前茬为空茬,土壤类型潮盐土,质地较黏。0~20 cm土层有机质含量22.34 g/kg,全氮1.79 g/kg,速效磷12.80 mg/kg,速效钾121.60 mg/kg。

以抗倒伏品种连梗7号为材料,易倒伏品种中梗12-9(2012年国家区试品种)为对照。

### 1.2 试验方法

设品种为A因素,即A1:连梗7号、A2:中梗12-9;设氮肥为B因素,分为3个水平(纯氮),B1:150 kg/hm<sup>2</sup>、B2:300 kg/hm<sup>2</sup>、B3:450 kg/hm<sup>2</sup>。试验采用二因素裂区设计,重复3次,小区面积15 m<sup>2</sup>。5月11日播种,6月15日移栽,移栽叶龄6.5~7.0叶,单株平均带分蘖1.1个,栽插行株距为23 cm×

13 cm,3~4本栽插,活棵后调查基本苗数,连梗7号为1 hm<sup>2</sup>1.02×10<sup>6</sup>,中梗12-9为1 hm<sup>2</sup>1.06×10<sup>6</sup>。

氮肥的基肥、蘖肥、穗肥的施用比例为3:3:4,分蘖肥于移栽后7 d一次性施入,穗肥分别于倒四叶和倒二叶各施50%。以过磷酸钙施入磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)112.4 kg/hm<sup>2</sup>,以氯化钾施入钾肥(K<sub>2</sub>O)112.4 kg/hm<sup>2</sup>,做基肥一次性施入。田埂用塑料薄膜包埂以防氮肥互串。水分管理及病虫草害防治参照当地大田管理。

### 1.3 测定项目与方法

齐穗后25 d,不同施氮量每小区分别随机选取20个有代表性的单茎,测定株高、重心高度、穗长、各节间长度、节间中部粗度和茎壁厚度以及基部第1节间(I1)、第2节间(I2)、第3节间(I3)、第4节间(I4)的抗折力和节间基部到穗顶的长度、鲜质量。

**重心高度:**将新鲜茎秆地上部(包括穗子、叶片和叶鞘),水平横置于刀口上,并左右移动,直至其平衡卧于刀口上,这时与刀口的接触点即为重心,测量重心至茎秆基部的距离即为重心高度(cm)。

**不同施氮量水稻基部各节间的弯曲力矩(BM)、抗折力(BR)和倒伏指数(LI)的计算参照**古秀生等<sup>[10]</sup>的方法。弯曲力矩(cm·g)=节间基部至穗顶的长度(cm)×该节间基部至穗顶的鲜质量(g);倒伏指数[(cm·g)/g]=弯曲力矩(cm·g)/抗折力(g)×100;抗折力:将待测定的节间茎秆(保留叶鞘)置于自制的测定器上,该节间中点与测定器中点对应(支点间距为5 cm),在节间中点挂一盘子,逐渐加入砝码至茎秆将要折断还没折断时,逐渐向盘中加入砂子直至茎秆折断,此时砝码、砂子及盘子的质量之和即为该节间的抗折力(g)。

上述测定项目完成后,将各节间茎秆和叶鞘分别装袋,置于恒温箱内,105℃杀青30 min,然后80℃烘干至恒质量,测定各节间茎秆及叶鞘干质量,计算茎秆充实度(单位长度节间茎秆干质量)。

### 1.4 数据统计与分析

取2年的平均数,使用Microsoft Excel 2007进行数据处理,DPS软件进行其他统计分析。

## 2 结 果

### 2.1 超级稻连梗7号不同施氮量条件下的产量构成及表现

表1表明连梗7号在正常施氮量及超高施氮量

情况下均未出现倒伏,而对照均出现不同程度的倒伏。中高肥力条件下连梗7号颖花量达 $1\text{ hm}^2 4.8 \times 10^8$ 朵,产量达 $11.7\text{ t/hm}^2$ 的超高产水平,同时具有相对较低的倒伏指数。

表1 不同施氮量对超级稻连梗7号倒伏率、产量及其构成因素的影响

Table 1 Lodging percentage, grain yield and its components of super rice under different N applications

处理	倒伏率 (%)	有效穗数 ( $\times 10^4$ , $1\text{ hm}^2$ )	每穗粒数	总颖花量 ( $\times 10^4$ , $1\text{ hm}^2$ )	结实率 (%)	千粒质量 (g)	理论产量 ( $\text{kg/hm}^2$ )	实收产量 ( $\text{kg/hm}^2$ )
A1B1	0	281.4Cc	139.4ABab	39 227.2Cc	95.3Bb	27.3Aa	10 205.7Cc	9 829.5Cc
A1B2	0	322.4Bb	149.2Aa	48 094.6Aa	94.3Bc	27.2Aa	12 336.1Aa	11 755.7Aa
A1B3	0	348.1Aa	139.1ABab	48 406.8Aa	92.9Cd	26.9Aab	12 096.9Aa	11 718.7Aa
A2B1	20	283.5Cc	127.3Bb	36 089.6Bd	96.5Aa	27.1Aab	9 437.9Dd	9 150.0Dd
A2B2	70	312.0Bb	142.9ABa	44 584.8Bb	94.5Bc	26.8Aab	11 291.6Bb	11 232.4Bb
A2B3	100	343.5Aa	126.7Bb	43 521.5Bb	91.2De	26.5Ab	10 518.3Cc	10 226.4Cc

A1:连梗7号;A2:中梗12-9;B1:施纯氮 $150\text{ kg/hm}^2$ 、B2:施纯氮 $300\text{ kg/hm}^2$ 、B3:施纯氮 $450\text{ kg/hm}^2$ 。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。

## 2.2 不同施氮量对超级稻连梗7号茎秆抗倒伏能力的影响

由表2可知,从品种间差异来看I1、I2在抗折力、弯曲力矩、倒伏指数均存在极显著差异。超级稻连梗7号抗折力强、弯曲力矩大、倒伏指数小。I1至I3因不同施氮量影响倒伏指数差异均达极显著水平,说明施氮量越高,品种抗倒伏能力越差。由表

3知,各节间倒伏指数与茎秆抗折力呈显著或极显著负相关,基部节间其相关性更高;I1、I4倒伏指数与弯曲力矩呈负相关,但相关性没达到显著水平。各节间抗折力与弯曲力矩呈极显著正相关,即茎秆自身抗倒性对倒伏指数起主要作用,提高品种抗倒伏能力应以增强基部茎秆抗折力为主攻目标。

表2 超级稻连梗7号各节间抗折力、弯曲力矩和倒伏指数

Table 2 Breaking resistance (BR), bending moment (BM) and lodging index (LI) of each basal internode of super rice Lianjing 7

处理	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 (g)	弯曲力矩 ( $\text{cm} \cdot \text{g}$ )	倒伏指数 [ $(\text{cm} \cdot \text{g})/\text{g}$ ]	抗折力 (g)	弯曲力矩 ( $\text{cm} \cdot \text{g}$ )	倒伏指数 [ $(\text{cm} \cdot \text{g})/\text{g}$ ]	抗折力 (g)	弯曲力矩 ( $\text{cm} \cdot \text{g}$ )	倒伏指数 [ $(\text{cm} \cdot \text{g})/\text{g}$ ]	抗折力 (g)	弯曲力矩 ( $\text{cm} \cdot \text{g}$ )	倒伏指数 [ $(\text{cm} \cdot \text{g})/\text{g}$ ]
A1	2 294.2Aa	2 032.9Aa	88.6Bb	1 034.1Aa	1 697.1Bb	164.1Bb	399.4Aa	1 487.9Aa	372.5Aa	234.4Aa	1 096.8Aa	467.9Aa
A2	1 673.3Bb	1 805.5Bb	107.9Aa	756.2Bb	1 726.9Aa	228.4Aa	418.3Aa	1 181.6Bb	382.5Bb	210.1b	896.9Bb	426.9Bb
A1B1	3 068.2Aa	2 033.4ABb	66.3Ee	1 818.8Aa	1 830.9Bb	100.7Dd	571.4Aa	1 508.8Aa	264.1Dd	199.0Cc	1 123.9Aa	564.7Aa
A1B2	1 980.7Cc	1 999.1Bc	100.9Cc	1 002.7Bb	1 770.3Cc	176.6Cc	406.4Dd	1 421.8Bc	349.8Cc	236.4ABb	1 044.7Bb	441.9BCcd
A1B3	1 833.7Dd	2 066.3Aa	112.7Bb	579.9De	1 867.4Aa	322.0Bb	220.4Ff	1 533.1Aa	695.6Aa	267.8Aa	1 121.8Aa	419.0Cd
A2B1	2 007.6Bb	1 767.9Cd	88.1Dd	804.4Cc	1 570.5Dd	195.2Cc	440.5Cc	1 085.3Cd	246.4Dd	231.9BCd	1 034.8Bb	446.1BCbc
A2B2	1 732.4Ee	1 573.7De	90.8Dd	703.6Cd	1 393.0Ee	198.0Cc	496.2Bb	1 057.9Cc	213.2Ee	199.2Cc	720.2Dd	361.7De
A2B3	1 279.4Ff	2 074.9Aa	162.2Aa	461.6Ef	1 840.0Bb	398.6Aa	318.3Ee	1 401.7Bc	440.3Bb	199.1Cc	935.7Cc	469.9Bb

A1、A2、B1、B2、B3见表1注。同一列中品种间不同大小写字母分别表示差异达0.01和0.05显著水平;同一列中不同品种与氮肥用量组合间不同大小写字母分别表示差异达0.01和0.05显著水平。

## 2.3 不同施氮量对超级稻连梗7号茎秆各节间长度和株高的影响

由表4知,超级稻连梗7号的I1、I2、I3、I4长较对照品种中梗12-9短,穗下节间较对照品种中梗12-9长,重心高度、相对重心高度两品种间无显著差异。

对构成株高的节间数、节间长度和穗长分析发现,随着施氮量的增加品种间各节间均变长,超级稻连梗7号主要是I3变长,对照品种中梗12-9主要是I1、I2变长。超级稻连梗7号I1至I4的长度均小于对照品种中梗12-9且差异极显著,穗长及穗下节间明显长于对照品种中梗12-9且差异极显著。

表3 倒伏指数、抗折力和弯曲力矩间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients among the LI, BR and BM

品种	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
连梗7号	倒伏指数	-0.510*	-0.150	-0.631**	0.070	-0.704**	0.212	-0.774**	-0.552**
	抗折力		0.791**		0.634**		0.632**		0.828**
中梗12-9	倒伏指数	-0.801**	-0.249	-0.795**	0.423	-0.621**	0.379	-0.100	0.937**
	抗折力		0.334		0.200		0.342		0.258

\*、\*\* 分别表示相关性达到0.05和0.01显著水平。

表4 不同施氮量对超级稻连梗7号茎秆各节间长度和株高的影响

Table 4 Internode length and plant height of super rice under different N applications

处理	节间长 (cm)					穗长 (cm)	株高 (cm)	重心高度 (cm)	相对重心高度 (%)
	I1	I2	I3	I4	I5				
A1	3.61Bb	9.01Bb	15.53Bb	19.67Bb	31.80Aa	18.52Aa	98.47Aa	43.91Aa	44.59Aa
A2	4.89Aa	13.62Aa	16.62Aa	20.62Aa	25.50Bb	15.15Bb	96.74Aa	44.13Aa	45.62Aa
A1B1	2.62De	7.40Ff	12.92Ff	20.70Dd	32.00Aa	19.20Aa	94.84Ee	40.84Dd	43.06Cc
A1B2	4.08Cd	9.56Ee	16.66Dd	19.82Ee	31.82Aa	18.82Aa	100.76BCb	44.30Bb	43.97Cc
A1B3	4.12Cc	10.08Dd	17.00Cc	18.50Ff	31.58Aa	17.54Bb	99.82Cc	46.58Aa	46.67Bb
A2B1	4.00Cd	11.52Cc	15.08Ee	21.86Aa	25.66Ab	13.60Cc	92.80Dd	40.10Ee	43.21Dd
A2B2	4.46Bb	13.40Bb	16.28Bb	20.08Bb	26.94Aab	15.94Bb	97.10Bb	44.50Cc	45.83Bb
A2B3	6.14Aa	15.94Aa	18.51Aa	19.92Cc	23.90Ab	15.92Bb	100.33Aa	47.78Aa	47.62Aa

A1、A2、B1、B2、B3 见表1注;I1~I5 分别表示从基部向上第1至第5节间。同一列中品种间不同大小写字母分别表示差异达0.01和0.05显著水平;同一列中不同品种与氮肥用量组间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 不同施氮量对超级稻连梗7号茎秆粗度、茎壁厚度和茎鞘干质量等茎秆充实度性状的影响

由表5知超级稻连梗7号茎秆粗度和茎壁厚度

与对照品种中梗12-9无明显差异,各节间粗度和茎壁厚度随施氮量的增加而变大,当达到高肥时反而下降。

表5 不同施氮量对超级稻连梗7号茎秆粗度和茎壁厚度的影响

Table 5 Stem diameter and stem wall thickness of super rice under different N applications

处理	茎秆粗度 (cm)				茎壁厚度 (mm)			
	I1	I2	I3	I4	I1	I2	I3	I4
A1	0.573Aa	0.476Bb	0.411Ab	0.388Ab	1.032Aa	0.851Aa	0.740Aa	0.672Aa
A2	0.580Aa	0.498Aa	0.436Aa	0.398Aa	1.073Aa	0.851Aa	0.746Aa	0.649Ab
A1B1	0.597Aa	0.476Dd	0.441Bb	0.419Aa	1.040BCc	0.832Dd	0.684Ff	0.628De
A1B2	0.566Cc	0.490BCc	0.408Cd	0.390Cd	1.060Bb	0.880Aa	0.804Aa	0.704Aa
A1B3	0.555Dd	0.462Ee	0.386De	0.355Ef	0.996Dd	0.840CDd	0.732Dd	0.684Bb
A2B1	0.576Bb	0.510Aa	0.431Bc	0.399Bc	1.040BCc	0.836Dd	0.760Bb	0.608Ef
A2B2	0.597Aa	0.497Bb	0.468Aa	0.414Ab	1.150Aa	0.865Bb	0.753Cc	0.673Cc
A2B3	0.566Cc	0.487Cc	0.408Cd	0.381De	1.030Cc	0.852BCc	0.725Ee	0.665Cd

A1、A2、B1、B2、B3 见表1注;I1~I4 见表4注。同一列中品种间不同大小写字母分别表示差异达0.01和0.05显著水平;同一列中不同品种与氮肥用量组间不同大小写字母分别表示差异达0.01和0.05显著水平。

由表 6 知,连梗 7 号茎秆干质量 I1、I2 与对照品种中梗 12-9 差异不显著, I3 小于对照品种中梗 12-9, I4 大于对照品种中梗 12-9。品种间叶鞘干质量与单位节间干质量表现为极显著差异。I1、I2、I3、I4 叶鞘干质量超级稻连梗 7 号分别比对照品种中梗 12-9 增加 30.58%、15.45%、5.54%、7.75%; 超级稻连梗 7 号 I1、I2、I3、I4 单位节间干质量分别比

对照品种中梗 12-9 增加 39.90%、80.32%、106.73%、253.84%。单位节间干质量在品种间和同一氮肥水平下差异极显著,叶鞘干质量差异显著。连梗 7 号茎秆充实度高,包裹茎秆的叶鞘质量大,茎秆的机械强度大,对植株地上部的质量负载有着良好的支撑作用,抗倒伏能力强。

表 6 不同施氮量超级稻连梗 7 号各节间茎秆干质量、叶鞘干质量和单位节间干质量的影响

Table 6 The dry weight of stem and leaf sheath and internode per unit in super rice of Lianjing 7 under different N applications

处理	茎秆干质量(g)				叶鞘干质量(g)				单位节间干质量(mg/cm)			
	I1	I2	I3	I4	I1	I2	I3	I4	I1	I2	I3	I4
A1	0.135Aa	0.156Aa	0.183Bb	0.227Aa	0.269Aa	0.411Aa	0.419Aa	0.403Aa	39.90Aa	27.30Aa	29.50Aa	34.11Aa
A2	0.128Aa	0.168Aa	0.239Aa	0.194Bb	0.206Bb	0.356Bb	0.397Ab	0.374Bb	28.52Bb	15.14Bb	14.27Bb	9.64Bb
A1B1	0.156Aa	0.162Abc	0.208Bb	0.278Aa	0.340Aa	0.472Aa	0.434ABa	0.438Aa	62.90Aa	51.10Aa	64.80Aa	77.65Aa
A1B2	0.128Aab	0.162Abc	0.170Bc	0.218Bb	0.322Aa	0.424Ab	0.442Aa	0.424Aab	31.37Cc	16.95Cc	12.36Dd	15.84Bb
A1B3	0.120Ab	0.144Ac	0.172Bc	0.184BCc	0.144Cc	0.336Bc	0.382BCbc	0.346BCc	25.42Ee	13.85Dd	11.33Ee	8.84Ee
A2B1	0.136Aab	0.184Aab	0.216Bb	0.222Bb	0.250Bb	0.422Ab	0.418ABa	0.402Ab	34.00Bb	19.33Bb	14.32Cc	11.77Cc
A2B2	0.136Aab	0.198Aa	0.324Aa	0.196BCc	0.234Bb	0.344Bc	0.410ABCa	0.392ABb	26.46Dd	13.25Ee	18.39Bb	9.37Dd
A2B3	0.112Ab	0.122Bd	0.176Bc	0.164Cc	0.134Bb	0.302Bc	0.362Ccb	0.328Cc	25.11Ff	12.84Ff	10.10Ff	7.78Ff

A1、A2、B1、B2、B3 见表 1 注; I1~I4 见表 4 注。同一列中品种间不同大小写字母分别表示差异达 0.01 和 0.05 显著水平; 同一列中不同品种与氮肥用量组合间不同大小写字母分别表示差异达 0.01 和 0.05 显著水平。

## 2.5 超级稻连梗 7 号抗倒伏特性与茎秆主要物理性状的相关性

通过茎秆主要物理性状与茎秆抗折力和倒伏指数间的相关分析结果(表 7)表明,在试验范围内,超级稻连梗 7 号 I1、I2 抗折力与株高、重心高度、相对重心高度、茎秆粗无明显相关关系,与节间长显著负相关,与茎壁厚呈显著正相关,与茎秆干质量、叶鞘干质量、单位节间干质量、节间基部至顶鲜质量、弯曲力矩呈显著或极显著正相关。超级稻连梗 7 号 I1 倒伏指数与株高、重心高度、相对重心高度、节间长、茎秆粗、弯曲力矩无明显相关关系,与茎秆干质量、叶鞘干质量、单位节间干质量、节间基部至顶鲜质量呈显著的负相关关系,与茎壁厚呈极显著的负相关关系。超级稻连梗 7 号 I1、I2 倒伏指数与株高、重心高度、相对重心高度、节间长、弯曲力矩无明显相关关系,与茎壁厚、茎秆干质量、叶鞘干质量、单位节间干质量、节间基部至顶鲜质

量呈显著或极显著的负相关。对照品种中梗 12-9 I1 抗折力与株高、重心高度、相对重心高度呈显著负相关,与茎秆干质量、叶鞘干质量呈显著正相关,与节间基部至顶鲜质量呈极显著正相关,与节间长、茎秆粗、茎壁厚、单位节间干质量、节间基部至顶长、弯曲力矩无显著相关关系。对照 I2 抗折力与株高、重心高度、相对重心高度呈极显著负相关,与节间长、茎秆粗呈显著负相关,与叶鞘干质量、节间至顶鲜质量呈极显著正相关,与单位节间干质量、节间基部至顶长呈显著正相关,与茎壁厚、茎秆干质量、弯曲力矩无显著相关关系。对照品种中梗 12-9 I1 倒伏指数与株高和重心高度呈极显著正相关,与节间基部至顶鲜质量呈显著负相关。对照品种中梗 12-9 I2 倒伏指数与株高、重心高度、节间长、茎秆粗、茎秆干质量呈极显著正相关,与叶鞘干质量呈显著负相关,与节间基部至顶鲜质量呈极显著负相关。

表7 抗折力和倒伏指数与茎秆主要物理性状的相关系数( $n=18$ )Table 7 Correlation coefficients between breaking resistance, lodging index and main physical characteristics of rice stem ( $n=18$ )

品种	项目	抗折力				倒伏指数			
		I1	I2	I3	I4	I1	I2	I3	I4
连梗7号	株高	-0.132	-0.138	-0.345	-0.157	0.490	0.341	0.263	-0.154
	重心高度	0.174	-0.168	0.115	0.174	-0.183	0.347	0.082	-0.187
	相对重心高度	0.053	-0.061	-0.246	0.053	-0.072	0.088	-0.116	-0.073
	节间长	-0.545*	-0.475*	-0.225	-0.243	0.447	0.439	0.481	-0.118
	茎秆粗	0.033	0.295	0.078	0.246	-0.076	-0.519*	-0.110	0.157
	茎壁厚	0.531*	0.468*	0.396	0.265	-0.717**	-0.639**	-0.570*	0.090
	茎秆干质量	0.801*	0.491*	0.289	0.672**	-0.473*	-0.479*	-0.360	-0.454
	叶鞘干质量	0.554*	0.811**	0.663**	0.772**	-0.513*	-0.483*	-0.076	0.048
	单位节间干质量	0.840**	0.617**	0.733**	0.521*	-0.469*	-0.632**	-0.241	-0.384
	节间基部至顶长	-0.130	0.031	-0.052	0.826**	0.497*	0.206	0.051	0.297
	节间基部至顶鲜质量	0.907**	0.927**	0.944**	0.919**	-0.487*	-0.582*	-0.530*	-0.337
	弯曲力矩	0.791**	0.634**	0.368	0.828**	-0.150	-0.071	-0.212	-0.352
	中梗12-9	株高	-0.543*	-0.771**	-0.300	-0.200	0.738**	0.754**	0.665**
重心高度		-0.472*	-0.841**	-0.375	-0.172	0.516**	0.643**	0.583*	-0.081
相对重心高度		-0.567*	-0.657**	-0.336	-0.108	0.140	0.346	0.318	-0.263
节间长		-0.219	-0.568*	-0.591**	-0.613**	0.240	0.487**	0.389	0.091
茎秆粗		-0.412	-0.512*	-0.718**	-0.016	0.211	0.664**	0.813**	0.437
茎壁厚		0.088	0.347	0.169	0.345	0.216	-0.117	0.166	-0.321
茎秆干质量		0.449*	0.401	0.466	0.556**	0.021	0.660**	0.955**	0.512*
叶鞘干质量		0.525*	0.838**	0.696**	0.789**	-0.002	-0.491*	-0.112	0.081
单位节间干质量		0.416	0.532*	0.617**	0.641**	-0.295	-0.316	-0.318*	0.397
节间基部至顶长		0.417	0.536*	0.813**	0.644**	-0.294	-0.312	-0.316	0.395
节间基部至顶鲜质量		0.901**	0.943**	0.938**	0.903**	-0.497*	-0.695**	-0.524*	-0.290
弯曲力矩		0.334	0.201	0.342	0.258	-0.249	0.432	0.379	0.937**

I1~I4 见表4注。\*、\*\* 分别表示相关性达到0.05 和0.01 显著水平

### 3 讨论

#### 3.1 氮肥因素对超级稻连梗7号抗倒伏能力的影响

基部节间的倒伏指数与施氮量呈极显著正相关,随着施氮量的增加,倒伏指数增大,抗倒伏能力减弱<sup>[11]</sup>。超级稻连梗7号 I1、I2 与对照品种中梗12-9 相比均表现为抗折力大,倒伏指数小。

#### 3.2 超级稻连梗7号植株抗倒伏能力与植株性状的关系

抗倒伏能力与株高、节间长、节间粗度和茎壁厚等植株性状关系十分密切。在试验范围内超级稻

连梗7号基部节间的抗折力与株高、重心高度、茎秆粗的相关性均未达到显著水平。有研究者指出,株高与植株抗倒伏能力并无直接关系,倒伏指数与其关系不大,可能与试验所用的材料和测定的节间部位等有关<sup>[12]</sup>。抗折力与茎壁厚度、茎秆干质量、叶鞘干质量和单位节间干质量呈显著或极显著正相关,与基部节间长呈显著负相关。说明基部节间短,茎壁厚而充实,叶鞘干质量和单位节间干质量大有利于增强其抗倒性,在淮北地区生产中遇到台风等不利气象条件下不易发生倒伏。

此外,植株的抗倒伏能力与茎秆的组织解剖结构特征、化学成分、相关的 QTL 性状等也有一定的

关系<sup>[13]</sup>。同时根系生长特性与抗倒伏能力的关系也是值得进一步探索的重要内容。

#### 参考文献:

- [1] 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]. 中国农学通报, 2007, 23(12):58-62.
- [2] 李红娇, 张喜娟, 李伟娟, 等. 超高产粳稻品种抗倒伏性的初步研究[J]. 北方水稻, 2008, 38(2):22-27.
- [3] 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.
- [4] 华泽田, 郝宪彬, 沈枫, 等. 东北地区超级杂交粳稻倒伏性状的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2003, 34(3):161-164.
- [5] 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.
- [6] 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]. 中国农学通报, 2007, 23(12):58-62.
- [7] ISHIMARU K, TOGAWA E, OOKAWA T, et al. New target for rice lodging resistance and its effect in a typhoon[J]. Planta, 2008, 227(3):601-609.
- [8] 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.
- [9] 王丹, 吕小红, 付立东, 等. 不同收获期对水稻茎秆抗倒伏性状的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(9):61-63.
- [10] 瀬古秀生, 佐本啓智, 鈴木嘉一郎. 水稻の倒伏に及ぼす二、三栽培条件の影響(II) [J]. 日本作物学会紀事, 1959, 27(2):173-176.
- [11] 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.
- [12] 霍中洋, 董明辉, 张洪程, 等. 不同粳稻品种倒伏指数及其相关农艺性状分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2003, 25(3):234-237.
- [13] XU Y B. Global view of quantitative trait loci; rice as a model [C]//KANG M S. Quantitative genetics, genomics and plant breeding. Louisiana State University: USA Publication, 2002.

(责任编辑:姜华珏)