

杂交粳稻及其亲本抗倒伏性的相关分析

兰彩霞^{1,2}, 郭玉华¹, 赵鑫闻¹, 赵东霞¹, 雒 鸪¹

(1. 沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110161; 2. 中国农业科学院, 北京 100081)

摘要:对 11 个杂交粳稻组合与其相应的 12 个亲本在形态、物质生产和材料力学特性方面的性状指标与倒伏指数进行相关分析。结果表明:在杂交粳稻中,与倒伏指数达到显著正相关的形态性状指标为株高和倒二节长,而倒三叶基角和其张开角则与倒伏指数呈显著负相关。材料力学指标茎基弯折与倒伏指数达到极显著负相关。在亲本品种中,与倒伏指数相关性达到显著水平的形态指标是重心高度和倒二节长,茎基弯折与倒伏指数同样为显著负相关。因此,在杂交粳稻的抗倒伏选育过程中,应适当降低株高,选择较短的倒二节长,同时也应适当的增大对倒三叶基角和张开角的选择;而在亲本品种(常规稻)中,在缩短倒二节长的前提下,适当的降低重心高度,对选育具有抗倒伏特性水稻品种具有重要意义。

关键词:水稻;杂交粳稻;抗倒伏;倒伏指数

中图分类号: S511.03 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2010)02-0178-04

Correlation of Lodging Resistance Traits in Japonica Hybrid Rice and Their Parents

LAN Cai-xia^{1,2}, GUO Yu-hua¹, ZHAO Xin-wen¹, ZHAO Dong-xia¹, LUO Dong¹

(1. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2. The Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: We analysis the correlation of morphology, production of physical and mechanics of material with lodging index in 11 hybrid Japonica rice and their parents. In hybrid Japonica rice, plant height and length of second stem section from top (LSSS) have a significant correlation with lodging index, basal angles of third leaf from top (BATL), stretch angles of third leaf from top (SATL) and break power of basal stem (BPBS) have a significant negative correlation with lodging index; In their parents, the height of the centre gravity (HTCG) and LSSS have a significant correlation with lodging index, BPBS also has a significant negative correlation with lodging index. Therefore, we should pay attention to reduce plant height, short LSSS and propriety increase the BATL and SATL in hybrid Japonica rice breeding program on lodging resistance, whereas parent cultivars besides select short LSSS, also should think much of low HTCG.

Key words: Rice; Hybrid Japonica; Lodging-resistance; Lodging index

水稻是亚太地区主要粮食作物之一。在中国过去 40 年里,由于杂交水稻的成功选育和半矮生品种的广泛应用,使其产量翻三番^[1-3]。为了进一步突破水稻产量的最高值,一些新株型育种策略已被提出,即理想的形态、大的圆锥花序、强的光合作用及抗倒伏^[4]。然而,倒伏又是水稻生产中普遍存在的问题,可极大影响产量、降低稻米品质、导致光和作用降低、呼吸作用增强、影响营养的运输和碳水化合物在稻米中的积累,以及增强病虫害的危害^[5]。倒

伏是一个复杂的现象,它由多个性状因素所构成,如形态性状和生化成分等。其形态性状主要有基部节间长度及厚度、株高、茎秆壁厚度、叶片的张开角和基角等^[6-8]。目前,关于这些性状的一些数量性状位点(QTL)已被定位^[9-11],但像其他复杂性状一样,水稻倒伏及其相关性状是一个遗传综合体。目前研究相对局限,使通过改良倒伏性而获得高产受到严重制约。所以深入开展水稻在抗倒伏性上的研究,进一步提高水稻品种的抗倒伏能力,对实现水稻

收稿日期: 2009-12-28

基金项目: 辽宁省北方粳稻育种重点实验室资助

作者简介: 兰彩霞(1983-),女,内蒙古乌兰察布人,在读硕士,主要从事水稻遗传育种研究。

通讯作者: 郭玉华(1957-),女,辽宁沈阳人,教授,博士,博士生导师,主要从事水稻遗传育种研究。

高产、稳产、优质有着极为重要的意义。然而在前人的研究中由于所选材料不同,导致其与倒伏性状间相关的性状指标不尽相同,尤其是在株高方面存在较大的争议^[12-14]。本试验以 11 个北方杂交粳稻组合及其亲本为试材,初步探讨了与倒伏相关的性状指标及其杂交粳稻和亲本品种在抗倒伏性上的异同,旨在为东北地区杂交粳稻抗倒伏性的育种实践提供比较直观的选择依据。

1 材料和方法

选用 11 个具有代表性的杂交粳稻品系或组合: 5215、2015、1052、9952、9946、3006、5273、5206、5238、5218、T418。与其 12 个亲本: 52B、20B、105B、99B、30B、C2106、C52、C415、C418、C237、C73、C746 为试材。于 2005 年在沈阳农业大学稻作室试验地进行种植,采用随机区组设计,3 次重复,栽双苗,行距为 30 cm ×13.3 cm,4 行区,小区行长 4 m。4 月 19 日育苗,5 月 25 日移栽,田间管理同生产田。

在齐穗后 29 d 每穴取 2 个最高茎秆,每个品种选有代表性的 10 个茎秆进行测量,具体测定指标如下:穗长、叶(张开角及其基角)、株高、重心高度、各节间长(命名按其生长的顺序,如最后一节为倒一节)、每株鲜质量、倒一叶、倒二叶和倒三叶的长与宽等。重心高度的测量方法是将保持新鲜并且未受过弯折的植株水平放在食指指尖上,不断调整支点的位置直到其达到平衡,从第一节末端至平衡时的

支点位置即为重心高度。弯折力(g)测定方法是截取基部 9 cm 长的一段茎秆,用便携式电子秤(感量 1 g)来获得所施加的最大力(g),支点间距离为 8 cm。接着在弯折的茎秆中间截断,用游标卡尺测量椭圆形中空茎秆的长短轴的内径和外径,用以下公式计算各项参数: 全株加在基部节间的弯距(WP, g·cm), $WP = SL \times FW$, 式中 SL 表示基部节间折断部位到主茎顶端的距离(cm), FW 表示基部节间折断部位到主茎顶端的鲜质量(g); 折断时的弯距(M, g·cm), 表示基部节间的抗折强度,即代表折断一定长度的基部节间所需要的力,其值越大说明该茎秆的抗倒伏能力越强。 $M = L \times F/4$, 式中 L 表示使基部被测节段折断时所施加的力(g), F 表示两支点间的距离(cm); 表示易发生倒伏程度的倒伏指数 $= WP/M^{[15]}$, 其值越大表明抗倒伏能力越差。本研究所有数据均采用国际通用统计软件 SAS 进行分析。

2 结果与分析

2.1 杂交粳稻的抗倒伏指标与倒伏指数的相关分析

由表 1 可知,在形态指标方面:株高与倒伏指数的相关系数达到极显著正相关水平,倒二节长与倒伏指数为显著正相关,而倒三叶基角和倒三叶张开角与倒伏指数的相关系数为显著负相关;在材料力学特性方面:茎基弯折与倒伏指数为极显著负相关。结果显示:在杂交粳稻中,株高越高,其倒伏指数越大,即抗倒伏性越差。

表 1 杂交粳稻的倒伏指数与形态、物质生产、材料力学的相关分析

Tab 1 Correlation of morphology, production of physical and mechanics of material with lodging index in hybrid Japonica rice												
品种 Variety	倒三叶 基角 BATL*	倒三叶 张开角 SATL*	重心高度 /cm HTCG*	株高 /cm Plant height	倒二节长 /cm LSSS*	倒三节长 /cm LTSS*	倒一叶宽 /cm WOLL*	茎基弯折 /g BPBS*	长轴外径 /cm LOAC*	短轴外径 /cm SOAC*	穗部干质量 /g DWOE*	茎秆干质量 /g DWOS*
5215	11.3	11.0	54.98	129.47	23.67	22.43	2.01	777.5	0.9096	0.7066	2.927	2.008
2015	14.2	15.4	52.77	126.81	24.98	19.18	1.83	1 018.4	0.7706	0.6122	2.747	1.826
1052	17.8	17.8	50.55	114.62	21.78	21.11	2.11	1 466.1	0.9048	0.7386	3.253	2.313
9952	15.8	18.2	50.00	112.50	22.36	17.95	2.08	1 227.5	0.7632	0.6014	3.170	2.316
9946	24.6	24.6	57.19	119.99	21.04	20.95	1.91	1 302.4	0.7093	0.5714	3.737	2.229
3006	19.8	22.7	51.75	116.45	21.84	20.53	1.94	1 006.1	0.8566	0.6850	3.247	2.617
5273	13.0	12.8	53.70	123.69	25.65	17.94	2.00	931.0	0.7976	0.6400	3.306	2.169
5206	11.2	12.6	53.67	128.89	24.87	20.85	2.04	901.6	0.8669	0.6938	2.776	1.992
5238	13.6	14.4	50.67	119.22	24.18	19.37	1.74	974.8	0.8032	0.6412	2.576	1.750
5218	11.9	16.0	54.08	125.63	26.23	18.85	2.06	1 050.0	0.8640	0.6766	3.390	2.191
T418	14.6	16.2	52.61	123.43	24.70	20.43	1.74	786.6	0.7687	0.6120	2.603	1.809
F 值	-0.67*	-0.65*	0.39	0.83**	0.64*	0.26	-0.05	-0.87**	0.38	0.28	-0.37	-0.32
F values	-0.67*	-0.65*	0.39	0.83**	0.64*	0.26	-0.05	-0.87**	0.38	0.28	-0.37	-0.32

注: *. 显著水平: $P < 0.05$; **. 极显著水平: $P < 0.01$ 。下同。
Note BATL*. Basal angles of third leaf from top; SATL*. Stretch angles of third leaf from top; HTCG*. The height of the centre gravity; LSSS*. Length of second stem section from top; LTSS*. Length of third stem section from top; WOLL*. Width of the last leaf; BPBS*. Break power of basal stem; LO-AC*. The long of axis crust; SOAC*. The short axis crust; DWOE*. The dry weight of ear; DWOS*. The dry weight of stem; CS Correlative sequence. The same below.

2.2 亲本的抗倒伏指标与倒伏指数的相关分析

相关分析显示(表 2):在亲本品种(常规稻)

中,与倒伏指数达到显著正相关的形态指标是重心高度和倒二节长,茎基弯折与倒伏指数为显著负相

关,而株高与倒伏指数的相关性没有达到显著水平。长,其抗倒伏性越差,而株高对其影响并不显著。从而表明,在亲本品种中,重心高度越高,倒二节越

表 2 供试亲本的倒伏指数与形态、物质生产、材料学的相关分析

Tab 2 Correlation of morphology, production of physical and mechanics of material with lodging index in their parents												
品种 Variety	倒三叶 基角 BATL	倒三叶 张开角 SATL	重心高度 /cm HTCG*	株高 /cm Plant height	倒二节长 /cm LSSS*	倒三节长 /cm LTSS*	倒一叶宽 cm WOLL	茎基弯折 /g BPBS*	长轴外径 /cm LOAC*	短轴外径 /cm SOAC*	穗部干质量 /g DWOE*	茎秆干质量 /g DWOS*
52B	17.3	17.3	52.16	118.91	26.66	19.03	1.91	629.3	0.7790	0.6508	2.543	1.642
20B	19.7	28.8	51.55	120.01	24.43	17.93	1.51	834.6	0.7168	0.6084	2.099	1.612
105B	30.5	33.1	47.43	107.23	19.20	16.60	1.83	819.5	0.7726	0.6234	2.431	1.707
99B	16.5	22.3	49.81	104.99	19.81	19.79	1.94	613.2	0.6662	0.5444	2.564	1.459
30B	18.4	18.4	48.80	107.88	21.39	20.49	2.79	619.9	0.6598	0.5218	2.623	1.730
C2106	23.7	26.8	46.71	111.09	22.00	18.65	1.82	851.4	0.7620	0.5882	2.415	1.828
C52	10.9	11.3	52.52	119.41	22.95	20.07	2.25	1626.5	0.9392	0.7720	4.520	2.857
C415	10.8	12.7	55.68	130.08	22.77	21.00	2.35	1499.2	1.0696	0.8147	4.018	2.708
C418	9.2	11.0	45.57	108.55	16.74	16.68	2.21	1653.7	0.9310	0.7798	3.784	2.209
C237	30.2	32.5	45.71	114.04	19.02	17.55	1.75	1306.9	0.9208	0.7606	2.943	2.036
C73	17.0	20.3	57.15	130.63	23.54	17.90	2.40	1725.1	0.9846	0.7764	5.383	3.158
C746	26.2	49.7	59.79	123.93	22.77	19.22	1.82	818.3	0.8730	0.7258	4.522	3.018
F值 F values	0.27	0.47	0.62*	0.27	0.58*	0.36	0.04	-0.57*	-0.26	-0.26	0.04	0.10

3 讨论

3.1 株高对抗倒伏性的影响

株高是造成水稻倒伏的重要影响因子^[16-18]。大量研究结果表明,株高与倒伏指数呈显著或极显著正相关^[13,16,19-21]。茎秆的抗折断力与株高的平方成反比^[22,23]。即株高过高使植株的重心增高,受力的力臂增大,力矩增加,当受力的力矩大于植株的抗折力矩时,即发生倒伏。本研究结果显示,在杂交粳稻中,株高与倒伏指数的相关性达到极显著正相关水平,而亲本品种中,其与倒伏指数的相关性却不显著。这一点与前人研究是一致的,即株高未必是水稻倒伏性的最为重要的决定因素^[13,24-25],即使在同一株高下,不同品种间其倒伏程度也不尽相同^[16,25,26],从而表明在亲本品种中存在着比株高更为重要的性状指标来影响倒伏。

3.2 茎秆性状对抗倒伏性的影响

决定水稻抗倒性的最直接因素是构成基部茎秆材料的数量和质量^[15]。茎秆机械强度越大,品种倒伏指数越小。而茎秆的机械强度不仅取决于秆的粗细和节间长短,也取决于基部茎秆组织结构和充实度及化学组成^[27]。本试验就其茎秆的节间长短来看,不论在杂交粳稻还是亲本品种(常规稻)中,倒二节长与倒伏指数的相关性均已达到显著正相关水平。这一点与以往研究是相悖的,即茎秆基部的3个伸长节间与弯曲力矩和抗折力有密切关系^[28]。而茎基弯折与倒伏指数在不同品种间,均达到显著负相关,这一点与以往研究是一致的^[15],即在杂交粳稻和亲本品种(常规稻)中,基部弯折力越强,

其倒伏指数越小,而抗倒伏性越强。

3.3 水稻抗倒伏性状的遗传效应及基因定位

研究表明,与抗倒伏性相关的性状在水稻的12条染色体上均有分布^[11]。其中,第1染色体、第6染色体的短臂和第10染色体是水稻抗倒伏QTL分布最多的区域。比如第1染色体上存在影响株高、第3节长、第4节长、节间数、第1节间干质量、倒伏指数及单株生物产量等性状的QTL^[29];而第6染色体上有控制株高、茎粗、基部抗倒伏能力、茎秆壁厚度及抽穗期等性状的QTL^[28,29];其中第6和第10染色体上的QTL在所有节间的生长过程均有重要作用^[11]。Zhu等^[11]推测,这些QTL在稻米形成过程中发挥着决定性作用。同时,众多QTL研究结果表明,对于控制同一性状的不同QTL,其有利的等位基因往往分散于不同亲本中^[31],从而有助于通过对亲本的选择来提高水稻抗倒伏能力^[32]。因此,在水稻抗倒伏相关性状QTL的研究基础上,通过分子标记辅助选择聚合有利等位基因并结合表型选择,对选育出具有抗倒的水稻新品种是可行的。

4 结论

在杂交粳稻抗倒伏育种实践中,适当降低株高,结合选择较短的倒二节长,同时也应适当的增大对倒三叶基角和张开角的选择,提高经济系数,从而获得抗倒伏性较强的杂交粳稻的育种目标是可行的。而在亲本品种(常规稻)的抗倒伏育种过程中,应缩短对倒二节长的选择,同时适当的降低重心高度对抗倒伏性的提高有很大作用。同时,将已有水稻抗倒伏相关性状的分子标记与本试验得出与倒伏指

数关系密切的性状指标相结合对选育抗倒品种显得尤为重要。

参考文献:

- [1] Khush G S Green revolution: the way forward [J]. Nat Rev Genet, 2001, 2(10): 815 - 822
- [2] Khush G S Productivity improvements in rice [J]. Nutr Rev, 2003, 61(6): 114 - 116
- [3] Spielmeier W, Ellis M H, Chandler P M. Semi dwarf (sd-1), "green revolution" rice, contains a defective gibberellin 20-oxidase gene [J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 2002, 99(13): 9043 - 9048
- [4] Khush G S, Peng S B. Improving yield potential by modifying plant type [M] // Denning G L, Mew T W. China and RRI Improving China's Rice Productivity in the 21st Century. International Rice Research Institute, Manila, Philippines, 1996: 104.
- [5] Hitaka H. Studies on the lodging of rice plants [J]. J Agric Res Quart, 1969, 4(3): 1 - 6
- [6] Chang T T, Vergara B S. Ecological and genetic information on adaptability and yielding ability in tropical varieties [M] // International Rice Research Institute. Rice Breeding. International Rice Research Institute, Manila, Philippines, 1972: 431 - 453.
- [7] Hojyo Y. Lodging and stiffness of culms in crops [J]. Nogyo Gijyutsu, 1974, 29: 157 - 162
- [8] Matsuda T, Kawahara H, Chonan N. Histological studies on breaking resistance of lower internodes in rice culm. IV. The rules of each tissue of internode and leaf sheath in breaking resistance [J]. Proc Crop Sci Jpn, 1983, 52: 355 - 361.
- [9] Li Z K, Luo L J, Mei H W, et al. Over dominant epistatic loci are the primary genetic basis of inbreeding depression and heterosis in rice. I Biomass and grain yield [J]. Genetics, 2001, 158: 1737 - 1753.
- [10] Yano M, Sasaki T. Genetic and molecular dissection of quantitative traits in rice [J]. Plant Mol Biol, 1997, 35: 145 - 153.
- [11] Zhu L H, Zhong D B, Xu J L, et al. Differential expression of lodging resistance related QTLs in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Plant Science, 2008, 175: 898 - 905.
- [12] 关玉萍, 沈枫. 水稻抗倒伏能力与茎秆物理性状的关系及对产量的影响 [J]. 吉林农业科学, 2004, 29(4): 6 - 11.
- [13] 杨惠杰, 杨仁崔, 李义珍. 水稻茎秆性状与倒伏性的关系 [J]. 福建农业学报, 2000, 15(2): 1 - 7.
- [14] 艾治勇, 马国辉. 水稻倒伏研究现状 [J]. 作物研究, 2004(5): 334 - 338
- [15] 兰彩霞, 郭玉华, 赵东霞, 等. 杂交粳稻及其亲本抗倒伏的材料学特性研究 [J]. 作物杂志, 2006, 6: 34 - 36
- [16] 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]. 西南农业大学学报, 2003, 25(3): 234 - 237.
- [17] 马均, 马文渡, 田彦华, 等. 重穗型水稻植株抗倒伏能力的研究 [J]. 作物学报, 2004, 30(2): 143 - 148
- [18] 郭玉华, 朱四光, 张龙步, 等. 不同栽培条件对水稻茎秆材料学特性的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2003, 34(1): 4 - 7.
- [19] 李荣用, 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.
- [20] 孙旭初. 水稻茎秆抗倒性的研究 [J]. 中国农业科学, 1987, 20(4): 32 - 37.
- [21] Yoshida S. Physiological aspect of grain yield [J]. Ann Rev Plant Physiology, 1972, 23: 437 - 464.
- [22] 杨守仁. 水稻理想株型育种的理论和方法初论 [J]. 中国农业科学, 1984, 17(3): 6 - 12
- [23] 北条良夫, 星川清亲. 作物的形态与机能 [M]. 郑丕尧, 周殿玺译. 北京: 中国农业出版社, 1983: 411 - 427.
- [24] Ookawa T, Ishihara K. Varietal difference of physical characteristics of the culm related to lodging resistance in paddy rice [J]. Jpn J Crop Sci, 1992, 61: 419 - 425.
- [25] Eason D L, White E M, Pickles S J. The effect of weather, seed rate and cultivar on lodging and yield in winter wheat [J]. J Agric Sci, 1993, 121: 145 - 156
- [26] Terashima K, Akita S, Sakai N. Eco-physiological characteristics related with lodging tolerance of rice in direct sowing cultivation. I. Comparison of the root lodging tolerance among cultivars by the measurement of pushing resistance [J]. Jpn J Crop Sci, 1992, 61: 380 - 387.
- [27] 董明辉, 张洪程, 戴其根, 等. 不同粳稻品种倒伏指数及其相关农艺性状的分析 [J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(2): 120 - 123.
- [28] 邓文, 青先国, 马国辉, 等. 水稻抗倒伏研究进展 [J]. 杂交水稻, 2006, 26(6): 6 - 10
- [29] 林鸿宣, 庄杰云, 钱惠荣, 等. 水稻株高及其构成因素数量性状基因座位的分子标记定位 [J]. 作物学报, 1996, 22(3): 257 - 263.
- [30] 黄成, 姜树坤, 刘梦红, 等. 水稻抽穗期的 QTL 剖析 [J]. 华北农学报, 2009, 24(3): 7 - 9.
- [31] Xu Y. Quantitative trait loci: separating, pyramiding, and cloning [J]. Plant Breed Rev, 1997, 15: 85 - 139.
- [32] 张秋英, 欧阳由男, 戴伟民, 等. 水稻基部伸长节间性状与倒伏相关性分析及 QTL 定位 [J]. 作物学报, 2005, 31(6): 712 - 717.