

大豆远缘杂交后代植株倒伏与农艺性状的关系

谢甫缙,曹海潮,张惠君,王海英,敖雪

(沈阳农业大学农学院,辽宁沈阳110161)

摘要:采用44个远缘杂交大豆后代为材料,对植株的倒伏级别和农艺性状进行了相关分析、灰色关联度分析,并分析了亲本配合力。通过分析大豆倒伏与相关农艺性状的关系,试图为抗倒伏大豆育种亲本选配提供理论依据。结果表明:44个 F_3 代远缘杂交大豆株系中,植株倒伏性分离广泛,组合间有显著性差异。亲本中俄亥俄当代品种以及辽宁当代品种中部分品种配合力较高,有利于抗倒伏品种的选育。株高、茎粗、分枝数和植株重量平衡点是影响倒伏的主要因素。

关键词:大豆;倒伏;平衡点;相关分析;灰色关联度

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-9841(2009)05-0795-06

Relationship Between Lodging and Agronomic Traits of Soybean Progenies from Distant Pedigree

XIE Fu-ti, CAO Hai-chao, ZHANG Hui-jun, WANG Hai-ying, AO Xue

(Agriculture College of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, Liaoning, China)

Abstract: Lodging is one of the common problems that are difficult to manage in high yielding culture of soybean, which not only affects the soybean yields but also affects the seed quality. In this experiment, the lodging scores and agronomic traits in F_3 generation of 44 crosses were measured. Correlation analysis and grey related degree analysis were used to analyze the relationship between soybean lodging scores and related agronomic traits. Combining ability has been measured on the parent lines. The relationship between soybean lodging and the related agronomic traits was studied in order to offer the information for the parent selection in the soybean breeding of lodging resistance. The results indicated that soybean lodging scores separated widely in the F_3 generation of 44 crosses. Significant differences existed between crosses. Some of current Ohio cultivars and current Liaoning cultivars had higher combining ability. These parents were beneficial to the soybean lodging-resistant breeding. Plant height, stem diameter, branch number and the balance point of plant weight were the main factors of affecting soybean lodging.

Key words: Soybean; Lodging; Balance point of plant weight; Correlation analysis; Grey related analysis

倒伏是作物高产栽培经常遇到的问题,随着作物生产水平的提高,人们越来越重视作物品种的抗倒性研究。一个品种的抗倒性是否合适,对产量潜力的充分发挥有很大影响^[1-2]。抗倒性太强,往往植株矮小,营养体不能充分生长,难以获得高产。抗倒性太弱,植株支撑不住营养体的重力,产量将大幅度降低^[3-6]。随着大豆产量水平的提高,倒伏不仅对产量的影响越来越大^[7],也严重影响大豆的品质性状。因此,研究大豆倒伏性状对于实现大豆高产优质有重要意义。前人对作物品种抗倒性形成的原

因及其与外界条件^[8-9],特别是与栽培技术的关系^[10-12]、植株农艺性状与品种抗倒性的关系进行了一些研究^[13-16]。王勇等对小麦种质抗倒伏性状的研究结果表明,株高和重心高度对抗倒伏性十分重要,对于株高较高的材料,重心高度对抗倒伏性有较大影响^[17]。李荣田等的研究表明,株高过高特别是下部2个节间过长是水稻倒伏的重要原因^[18]。朱新开等指出,小麦植株高矮并不完全代表某一品种抗倒能力的强弱,还应与该品种茎秆性状联系起来统一考虑^[2]。然而,关于大豆植株

收稿日期:2009-04-01

基金项目:辽宁省科技厅科技基金资助项目(2008201004);辽宁省教育厅创新团队资助项目(2006T116)。

作者简介:谢甫缙(1966-),男,教授,博士生导师,研究方向为大豆株型育种与栽培。E-mail:snssoybean@yahoo.com.cn。

农艺性状和植株重量平衡点与倒伏级别关系的研究较少。在大豆远缘杂交试验基础上,针对不同株系倒伏性状的差异,研究亲本的配合力,分析了大豆植株倒伏与农艺性状和植株重量平衡点的关系,试图为大豆抗倒伏育种和高产栽培提供理论依据。

表1 杂交组合亲本来源

Table 1 Origin of experimental parents

组号 Group	品种 Cultivar	试材来源 Origin
俄亥俄当代品种 Current cultivars of Ohio	HS93-4118, OhioFG1, Darby, Kottman	美国俄亥俄州 Ohio State, USA
辽宁当代品种 Current cultivars of Liaoning	辽豆11号, 辽豆12号, 沈农94-11, 沈豆4号 Liaodou 11, Liaodou 12, Shennong 94-11, Shendou 4	中国辽宁省 Liaoning, China
辽宁20年代老品种 Old cultivars of Liaoning	Shingto, Mukden, Harbinsoy, Boone	美国大豆种质资源库 Illinois soybean gene bank

1.2 方法

2008年种植12个亲本品种和44个远缘杂交F₃代株系,单行种植,行长4m,每行36株,株距11cm,垄距60cm,正常田间管理。在鼓粒末期,每个品种(系)连续取样4株,调查植株重量平衡点、株高、分枝数、主茎鲜重、分枝鲜重、根鲜重、茎粗、根干重、主茎干重、分枝干重等性状。测定植株重量平衡点时,用剪刀从子叶节处将植株剪断,然后将植株地上部分水平放置,用食指检测其重量平衡点,然后测定子叶节到重量平衡点的高度,即为植株重量平衡点。在成熟期测定每个品种(系)的倒伏级别。倒伏级别的评价标准为:植株与垂直方向夹角为0度时是1级倒伏;0~15度为2级;15~30度为3级;30~45度为4级;大于45度为5级。相关分析采用SPSS 15.0分析,一般配合力分析、灰色关联度分析采用DPS 7.05数据处理系统进行分析。

2 结果与分析

2.1 远缘杂交大豆亲本及F₃代的倒伏性

在鼓粒末期对亲本品种和44个远缘杂交F₃代株系的倒伏级别进行了测定,结果见表2、3。

从表2中可以看出,44个远缘杂交F₃代株系倒伏性状分离广泛,倒伏级别为1.0~1.9的有7个株系;倒伏级别为2.0~2.9的有11个株系;倒伏级别为3.0~3.9的有16个株系;倒伏级别为4.0~4.9的有8个株系;倒伏级别为5的有2个株系。方差

1 材料与方法

1.1 材料

采用辽宁当代品种,俄亥俄当代品种,辽宁20世纪20年代老品种各4个为亲本,配置了3种类型杂交组合的F₃代,共44个株系。

分析表明,3组杂交组合间倒伏度有明显差异($P < 0.05$)。根据表2的结果,将各株系按照血缘关系进行加权平均,计算出各品种杂交F₃代各株系倒伏级别的平均表现,其结果与亲本倒伏级别的表现共同列于表3。从表3可知,12个亲本中,俄亥俄当代品种倒伏级别最低,平均值为2.1,其次为辽宁当代品种,倒伏级别平均值为2.7,辽宁20年代品种倒伏级别最高,平均值为4.1,说明大豆育种进程中,抗倒伏改良是卓有成效的。就亲本品种而言,Kottman的F₃后代各株系倒伏级别平均值最低(2.3);沈豆4号的F₃后代各株系倒伏级别平均值最高(3.8)。

2.2 杂交组合亲本倒伏级别一般配合力相对效应值表现

一般配合力(GCA)是指一个亲本自交系与其他多个自交系杂交后遗传给子代性状的平均表现,它主要是由基因的加性效应决定的,是能够稳定遗传的部分。因此,通过亲本一般配合力的测定,可以反映亲本的利用价值,预测杂交种后代的表現。

倒伏级别一般配合力相对效应值分析结果表明(图1),倒伏级别的GCA相对效应值为正值的亲本有沈农9411(15.46),沈豆4号(0.99),Harbinsoy(0.71),OhioFG1(15.74),Mukden(4.63),Harbinsoy(12.04)和Boone(6.02),说明这些亲本对后代倒伏级别的影响为正向影响;表现为负值的亲本有

表2 远缘杂交大豆后代的倒伏级别
Table 2 Lodging score of soybean progeny from wide pedigree

辽宁当代品种 × 俄亥俄当代品种 Lnew × Onew			辽宁当代品种 × 辽宁 20 年代老品种 Lnew × Lold			俄亥俄当代品种 × 辽宁 20 年代老品种 Onew × Lold		
母本 Female parent	父本 Male parent	倒伏级别 Lodging score	母本 Female parent	父本 Male parent	倒伏级别 Lodging score	母本 Female parent	父本 Male parent	倒伏级别 Lodging score
辽豆 11 Liaodou 11	HS93-4118	3.0	辽豆 11 Liaodou 11	Mukden	4.0	HS93-4118	Shingto	2.3
辽豆 11 Liaodou 11	OhioFG1	2.8	辽豆 11 Liaodou 11	Harbinsoy	4.1	HS93-4118	Mukden	1.5
辽豆 11 Liaodou 11	Darby	3.0	辽豆 11 Liaodou 11	Boone	3.0	HS93-4118	Harbinsoy	2.5
辽豆 11 Liaodou 11	Kottman	1.8	辽豆 12 Liaodou 12	Shingto	3.0	HS93-4118	Boone	1.2
辽豆 12 Liaodou 12	HS93-4118	2.0	辽豆 12 Liaodou 12	Mukden	3.8	OhioFG1	Shingto	1.1
辽豆 12 Liaodou 12	OhioFG1	4.0	辽豆 12 Liaodou 12	Harbinsoy	3.9	OhioFG1	Harbinsoy	1.8
辽豆 12 Liaodou 12	Darby	2.0	辽豆 12 Liaodou 12	Boone	4.0	Darby	Shingto	2.2
辽豆 12 Liaodou 12	Kottman	3.2	沈农 9411 Shennong 9411	Shingto	3.4	Darby	Mukden	3.8
沈农 9411 Shennong9411	HS93-4118	2.8	沈农 9411 Shennong 9411	Mukden	4.0	Darby	Harbinsoy	3.8
沈农 9411 Shennong9411	OhioFG1	3.2	沈农 9411 Shennong 9411	Harbinsoy	5.0	Darby	Boone	3.2
沈农 9411 Shennong9411	Darby	2.8	沈农 9411 Shennong 9411	Boone	3.9	Kottman	Shingto	2.5
沈农 9411 Shennong9411	Kottman	3.9	沈豆 4 号 Shendou 4	Shingto	5.0	Kottman	Mukden	1.8
沈豆 4 号 Shendou 4	HS93-4118	3.8	沈豆 4 号 Shendou 4	Mukden	4.0	Kottman	Harbinsoy	1.5
沈豆 4 号 Shendou 4	OhioFG1	3.4	沈豆 4 号 Shendou 4	Harbinsoy	4.4			
沈豆 4 号 Shendou 4	Darby	2.7	沈豆 4 号 Shendou 4	Boone	4.0			
沈豆 4 号 Shendou 4	Kottman	2.6						
平均值 Average		2.9	平均值 Average		4.1	平均值 Average		2.2

辽豆 11 (- 10.07), 辽豆 12 (- 6.38), Darby (- 8.37), Kottman (- 8.09) 和 Shingto (- 22.69)。说明由其配制的组合可降低后代的倒伏级别。结合表 3 中各亲本的倒伏级别表现,可以看出,俄亥俄当代品种中的 Darby 和 Kottman,以及辽宁当代品种中的辽豆 11 和辽豆 12 品种倒伏级别较低,而从配合力上看又具有降低倒伏级别的效应,适宜作为亲本

进行抗倒伏育种;而辽宁 20 年代老品种中 Mukden, Harbinsoy 和 Boone 品种倒伏级别较高,其配合力又表现为较高的正值,不利于抗倒伏育种。

2.3 农艺性状与倒伏级别的相关性

在鼓粒末期测定了植株重量平衡点、株高、分枝数、主茎鲜重、分枝鲜重、根鲜重、茎粗、根干重、主茎干重、分枝干重等性状,与各株系成熟时测定的倒伏

表3 不同远缘杂交大豆亲本及其F₃代的倒伏级别
Table 3 Lodging score of parents and F₃ generations

品种 Cultivar	倒伏级别 Lodging score	F ₃ 代平均表现 Mean of F ₃ generation	F ₃ 代倒伏级别变幅 Range of lodging score in F ₃ generation	
俄亥俄当 代品种 Onew	HS93-4118 OhioFG1 Darby Kottman	3.0 2.5 1.4 2.8 1.3	2.5 2.7 2.8 2.3	1.2-3.8 1.1-4.0 2.0-3.8 1.5-3.9
辽宁当 代品种 Lnew	辽豆11 Liaodou 11 辽豆12 Liaodou 12 沈农9411	2.0 3.1 2.3 3.2	3.1 3.2	1.8-4.1 2.0-4.5
辽宁20 年代 老品种	Shingto Mukden Harbinsoy Lold Boone	3.9 3.9 4.3 4.2	2.9 3.6 3.5 3.4	1.1-5.0 1.5-4.8 1.5-5.0 1.2-4.5

表4 远缘杂交大豆后代农艺性状与倒伏级别的相关性

Table 4 Relationship between lodging score and agronomic traits of soybean progeny from wide pedigree

	平衡点 BP	株高 PH	分枝数 NB	主茎鲜重 FWS	分枝鲜重 FWB	根鲜重 FWR	茎粗 SD	根干重 DWR	主茎干重 DWS	分枝干重 DWB
倒伏级别 LS	-0.20	0.60**	0.35*	-0.17	0.20	-0.11	0.36*	0.07	-0.07	0.16

**0.01水平上显著*0.05水平上显著,下同。

** Correlation is significant at the 0.01 level * Correlation is significant at the 0.05 level.

BP; Balance point of plant weight; PH; Plant height; NB; Number of branch; FWS; Fresh weight of main stem; FWB; Fresh weight of branches; FWR; Fresh weight of root; SD; Stem diameter; DWR; Dry weight of root; DWS; Dry weight of main stem; DWB; Dry weight of branches; LS; Lodging score. Same as below.

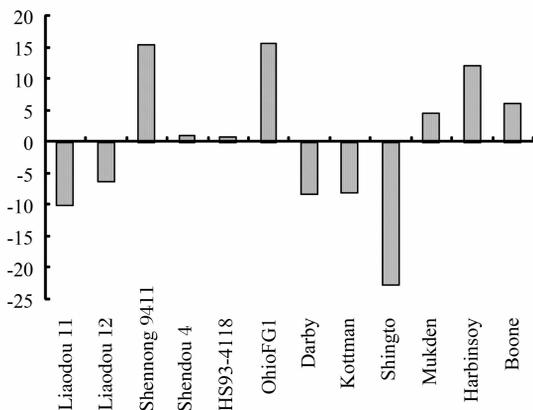


图1 杂交组合亲本倒伏级别一般配合力相对效应值

Fig. 1 Relative value of GCA of lodging score of 12 soybean parents

级别进行了相关分析(表4)。从表4中可以看出,大豆的倒伏级别与株高呈极显著正相关($r=0.60$, $P<0.01$),与分枝数($r=0.35$)、茎粗($r=0.36$)呈显著正相关($P<0.05$)。

2.4 农艺性状与倒伏级别的灰色关联度分析

徐巧珍等认为灰色关联度与相关分析相比,其结果更能真实地反映出各性状间的相互关系^[19]。将杂交组合后代各株系的植株重量平衡点、株高、分枝数、主茎鲜重、分枝鲜重、根鲜重、茎粗、根干重、主茎干重、分枝干重等性状与倒伏级别进行了灰色关联度分析(表5)。从表5可以看出,各株系农艺性状与倒伏级别的关联序依次是茎粗>株高>分枝数>平衡点>根干重>主茎干重>分枝干重>根鲜重>分枝鲜重>主茎鲜重。按照灰色关联度分析原则,关联度大的数列与参考数列最为密切,关联度小的数列与参考数列关系较为疏远。茎粗、株高、分枝数、平衡点是影响植株倒伏的主要因素,与倒伏的关系较为密切。株高和茎粗与平衡点关联度最大,分别为0.70和0.69,说明这3个性状间关联度较大,性状间关系密切。

2.5 农艺性状与倒伏级别的偏相关分析

当有多个变量存在时,为了更好的研究任何2个变量之间的关系,就必须使与这2个变量有联系的其它变量都保持不变。偏相关系数是在控制了其它1个或多个变量的影响下,计算2个变量的相关性。将杂交组合后代各株系植株的平衡点、株高、分枝数、主茎鲜重、分枝鲜重、根鲜重、茎粗、根干重、主茎干重、分枝干重等性状与倒伏级别进行了偏相关分析(表6)。从表6看出,在控制其它因素的影响时,大豆植株倒伏级别与大豆株高呈极显著正相关($r=0.55$, $P<0.01$),与植株主茎鲜重、平衡点呈显著负相关($P<0.05$,说明植株高大的品种易倒伏,而主茎鲜重较大、平衡点相对较高的主茎型的大豆品种不易倒伏。

表5 远缘杂交大豆后代农艺性状与倒伏级别的灰色关联度分析

Table 5 Grey related analysis between the lodging score and agronomic traits of the soybean progeny from wide pedigree

	平衡点 BP	株高 PH	分枝数 NB	主茎鲜重 FWS	分枝鲜重 FWB	根鲜重 FWR	茎粗 SD	根干重 DWR	主茎干重 DWS	分枝干重 DWB	倒伏级别 LS
平衡点 BP	1.00	0.70	0.48	0.58	0.41	0.50	0.69	0.58	0.61	0.40	0.47
株高 PH	0.67	1.00	0.43	0.55	0.38	0.48	0.65	0.57	0.53	0.37	0.49
分枝数 NB	0.40	0.39	1.00	0.39	0.47	0.38	0.45	0.44	0.42	0.45	0.42
主茎鲜重 FWS	0.60	0.60	0.48	1.00	0.43	0.60	0.62	0.63	0.76	0.40	0.43
分枝鲜重 FWB	0.44	0.45	0.58	0.45	1.00	0.47	0.48	0.45	0.43	0.61	0.46
根鲜重 FWR	0.50	0.52	0.46	0.58	0.44	1.00	0.56	0.61	0.56	0.38	0.43
茎粗 SD	0.67	0.67	0.51	0.58	0.42	0.54	1.00	0.58	0.57	0.40	0.51
根干重 DWR	0.57	0.61	0.51	0.61	0.41	0.60	0.60	1.00	0.65	0.38	0.45
主茎干重 DWS	0.65	0.60	0.52	0.78	0.43	0.60	0.63	0.68	1.00	0.42	0.49
分枝干重 DWB	0.38	0.39	0.51	0.37	0.55	0.37	0.40	0.37	0.37	1.00	0.42
倒伏级别 LS	0.46	0.53	0.49	0.41	0.42	0.42	0.53	0.45	0.45	0.43	1.00

表6 农艺性状与倒伏级别的偏相关分析

Table 6 Partial correlation analysis between the lodging score and agronomic traits of the soybean progeny from wide pedigree

	平衡点 BP	株高 PH	分枝数 NB	主茎鲜重 FWS	分枝鲜重 FWB	根鲜重 FWR	茎粗 SD	根干重 DWR	主茎干重 DWS	分枝干重 DWB
倒伏级别 LS	-0.34*	0.55**	0.12	-0.35*	0.02	0.08	-0.03	0.22	0.31	-0.19

3 讨论

配合力的高低对亲本的选育、杂交种的组配有十分重要的意义。一般配合力主要由基因的加性效应决定,是能够稳定遗传和固定的部分。一般配合力越高,表示亲本所含的有利基因位点越多,是进行选择的重要指标。前人对作物的各种农艺性状及品质性状等的一般配合力进行过研究,并已应用于育种实践^[20-21],但对于品种抗倒性的一般配合力研究较少。邹德堂等对水稻的倒伏指数进行了一般配合力分析,结果表明,倒伏指数的遗传以加性效应为主,倒伏指数的一般配合力在早期世代间较稳定^[22]。根据大豆倒伏级别一般配合力(GCA)相对效应值估测结果可以看出,亲本中 Darby、Kottman、辽豆 11 和辽豆 12 品种倒伏级别较低,而从配合力上看又具有降低倒伏级别的效应,适宜作为亲本进行抗倒伏育种。

田佩占研究发现,大豆抗倒伏性的正向因素是秆强韧度,负向因素是秆所承担的力矩,即大豆植株所具有的重力及重心位置的距离(力臂)的乘积^[28]。在研究中,将其定义为植株重量平衡点,即大豆植株重心;平衡点位置为从子叶节到大豆重心的距离。在控制其它因素时,对大豆植株平衡点和倒伏级别做偏相关分析,结果表明,平衡点与大豆植株倒伏级别呈显著负相关,平衡点相对较高的主茎型大豆品种不易倒伏。按力学原理,平衡点越高越容易倒伏,而研究结果证明,平衡点相对较高的主茎

型大豆植株更抗倒,说明大豆植株倒伏是众多因子的综合结果,评判植株的抗倒能力不能仅根据某一性状来判断。

灰色关联度分析表明,茎粗、株高、分枝数、平衡点是影响植株倒伏的主要因素,而相关分析显示,大豆的倒伏级别与株高呈极显著正相关。说明株高是影响大豆植株倒伏的主要因素,植株矮化有利于抗倒伏,这与以往研究结果相同^[23]。然而,就矮秆品种来讲其生物产量明显低于高秆品种。生物产量是经济产量的基础,如果只靠降低株高来增加抗倒能力,势必会降低生物产量从而影响经济产量的提高。Wilcox 的研究表明,与有限型品种相比,通过降低株高来获得既高产又抗倒的无限型品种更为困难^[24]。结果表明,对于植株较为高大的高产品种,可以通过减少分枝数等来提高抗倒伏能力。

大豆植株茎粗与倒伏级别的关系,不同研究者的结论有所不同^[23,25-26]。Nagata 的结果表明,降低种植密度,无限型品种株高有所降低,而茎粗没有明显的增加,抗倒伏性有所增加;有限型品种株高降低,茎粗有所增加,其抗倒伏性增加程度较无限型品种大^[27]。试验采用的均是亚有限品种(系),结果表明,茎粗与株高、分枝数呈显著正相关。灰色关联度分析也表明,茎粗与株高的关联度最大。说明,对于亚有限型大豆品种而言,植株茎粗的增加往往伴随着株高的增加和分枝数的增多,而植株高大又易于倒伏。因此,在改良亚有限型大豆品种抗倒伏性时,仅对茎粗进行选择,恐怕难于奏效。

参考文献

- [1] Islam N, Evans E J. Influence of lodging and nitrogen rate on the yield and yield attributes of oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 1994, 88(5): 530-534.
- [2] 朱新开, 王祥菊, 郭凯泉, 等. 小麦倒伏的茎秆特征及对产量与品质的影响[J]. *麦类作物学报*, 2006, 26(1): 87-92. (Zhu X K, Wang X J, Guo K Q, et al. Stem characteristics of wheat with stem lodging and effects of lodging on grain yield and quality [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2006, 26(1): 87-92.)
- [3] Noor R B M, C E Caviness. Influence of induced lodging on pod distribution and seed yield in soybeans [J]. *Agronomy Journal*, 1980, 72: 904-906.
- [4] Woods S J, M L Swearingin. Influence of simulated early lodging upon soybean seed yield and its components [J]. *Agronomy Journal*, 1977, 69: 239-242.
- [5] Weber C R, Fehr W R. Seed yield losses from lodging combine harvesting in soybeans [J]. *Agronomy Journal*, 1966, 58: 287-289.
- [6] Cooper R L. Influence of early lodging on yield of soybean [J]. *Agronomy Journal*, 1971, 63: 449-450.
- [7] Johnston T J, Pendleton J W. Contribution of leaves at different canopy levels to seed production of upright and lodged soybeans [J]. *Crop Science*, 1968, 8: 291-292.
- [8] Jim B. Reduced lodging for soybean in low plant population is related to light quality [J]. *Crop Science*, 2001, 41: 379-384.
- [9] 田保明, 杨光圣, 曹刚强, 等. 农作物倒伏及其影响因素分析 [J]. *中国农学通报*, 2006, 22(4): 163-166. (Tian B M, Yang G S, Cao G Q, et al. The performance of lodging and root cause analysis for lodging resistance in crops [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(4): 163-166.)
- [10] 谢甫锦, 董钻, 王晓光, 等. 大豆倒伏对植株性状和产量的影响 [J]. *大豆科学*, 1993, 12(1): 81-85. (Xie F T, Dong Z, Wang X G, et al. Effect of lodging on soybean yield formation [J]. *Soybean Science*, 1993, 12(1): 81-85.)
- [11] 贺春林, 李卫东, 薛应离. 夏大豆品种抗倒伏性的遗传研究 [J]. *河南农业大学学报*, 1993, 27(2): 196-200. (He C L, Li W D, Xue Y L. Genetic study on lodging resistance of soybean varieties [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 1993, 27(2): 196-200.)
- [12] Tripathi S C, Sayre K D, Kaul J N. Planting systems on lodging behavior, yield components, and yield of irrigated spring bread wheat [J]. *Crop Science*, 2005, 45: 1448-1455
- [13] Zuber U, Winzele H r, Messmer M M, et al. Morphological traits associated with lodging resistance of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2001, 182(1): 17-24.
- [14] 黄艳玲, 石英尧, 申广勤, 等. 水稻茎秆性状与抗倒伏及产量因子的关系 [J]. *中国农学通报*, 2008, 22(4): 203-206. (Huang Y L, Shi Y Y, Shen G L, et al. Study on the relationship between rice lodging resistance and culm traits & the yield factors. [J] *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 22(4): 203-206.)
- [15] Esehie H A, Maranville J W, Ross W M. Relationship of stalk morphology and chemical composition to lodging resistance in sorghum [J]. *Crop Science*, 1977, 17: 609-612.
- [16] Islam M S, Peng S, Visperas R M, et al. Lodging-related morphological traits of hybrid rice in a tropical irrigated ecosystem [J]. *Field Crops Research*, 2007, 101(2): 240-248.
- [17] 王勇, 李斯深, 李安飞, 等. 小麦种质抗倒性的评价和抗倒性状的相关与通径分析 [J]. *西北植物学报*, 2000, 20(1): 79-85. (Wang Y, Li S S, Li A F, et al. Evaluation of lodging resistance and relation and path analysis of lodging resistance traits in wheat [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2000, 20(1): 79-85.)
- [18] 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. (Li R T, Jang Y B, Qiu T Q, et al. Study on effects of lodging to yield and relationship between lodging and plant height in rice. [J] *Heilongjiang Agricultural Science*, 1996, 1: 13-17.)
- [19] 徐巧珍, 张学江, 沈金雄. 不同类型大豆性状间的灰色关联度分析 [J]. *中国油料作物学报*, 1994, 16(4): 41-45. (Xu Q Z, Zhang X J, Shen J X. Analysis of grey related degree among soybean characters in different types [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 1994, 16(4): 41-45.)
- [20] Zhou M X, Li H B, Mendham N J. Combining ability of waterlogging Tolerance in barley [J]. *Crop Science*, 2007, 47: 278-284.
- [21] Leffel R C, Weiss M G. Analyses of diallel crosses among ten varieties of soybeans [J]. *Agronomy Journal*, 1958, (50): 528-534.
- [22] 邹德堂, 崔成焕, 赵宏伟, 等. 水稻倒伏指数的配合力分析 [J]. *东北农业大学学报*, 1997, 28(4): 328-333. (Zou D T, Cui C H, Zhao H W, et al. Combining ability analysis of lodging in rice [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 1997, 28(4): 328-333.)
- [23] Mancuso N, Caviness C E. Association of selected plant traits with lodging of four determinate soybean cultivars [J]. *Crop Science*, 1991, 3: 911-914.
- [24] Wilcox J R, T Sedyama. Interrelationships among height, lodging and yield in determinate and indeterminate soybeans. [J] *Euphytica*, 1981, 30: 323-326.
- [25] 周蓉, 涂赣英, 沙爱华, 等. 大豆种质的倒伏性调查及其相关农艺性状分析 [J]. *大豆科学*, 2007, 26(1): 41-44. (Zhou R, Tu G Y, Sha A H, et al. Analysis of lodging and some related agronomic characters in soybean germplasm [J]. *Soybean Science*, 2007, 26(1): 41-44.)
- [26] 杨庆凯, 桂明珠, 武天龙. 大豆品种抗倒伏能力与产量、植株形态、茎解剖性状的相关分析 [J]. *大豆科学*, 1986, 5(2): 113-116. (Yang Q K, Gui M Z, Wu T L. An analysis about relationship of lodging to agronomic characters and stem anatomy in soybean [J]. *Soybean Science*, 1986, 5(2): 113-116.)
- [27] Nagata T. Studies on the significance of the indeterminate growth habit in breeding soybeans. V. On the varietal difference in lodging resistance in different planting rates [J]. *Japanese Journal of Breeding*, 1968, 18: 235-240.
- [28] 田佩占. 大豆品种的抗倒伏性问题 [J]. *吉林农业科学*, 1986, 3: 25-30. (Tian P Z. Some problems concerning the resistance to lodging in soybean cultivars [J]. *Jilin Agricultural Science*, 1986, 3: 25-30.)