

# 大豆种质倒伏抗性评价方法研究

周 蓉,王贤智,张晓娟,沙爱华,吴学军,涂赣英,邱德珍,周新安

(中国农业科学院油料作物研究所,武汉 430062)

**摘要** 取30份南方春大豆种质为材料,以测定植株茎秆性状和根系性状建立4类不同构成因子的抗倒指数。分析表明,实际倒伏程度与抗倒指数呈极显著负相关,尤其与结荚期多因子抗倒指数 $[(根重 \times 茎秆强度) / (林高 \times 茎重 \times 分枝数) \times 100]$ 相关性最为密切。茎秆强度对抗倒指数的直接效应最大,而茎重则具有较大的负效应。以抗倒指数作为综合指标评价大豆种质根倒伏抗性具有较高的准确性。

**关键词** 大豆种质;倒伏;抗倒指数;评价方法

**中图分类号** S565.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2007)04-0484-06

## EVALUATION METHOD OF LODGING RESISTANCE IN SOYBEAN GERMPASM

ZHOU Rong, WANG Xian-zhi, ZHANG Xiao-juan, SHA Ai-hua, WU Xue-jun, TU Gan-ying, QIU De-zhen, ZHOU Xin-an

(Oil Crops Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062)

**Abstract** Lodging was the major constraint of soybean production. The objective of this study was to achieve evaluation method in terms of root lodging resistance of soybean cultivars. Four index of lodging resistance (ILR) made up of different components were designed based on the mechanics as a comprehensive index to determine lodging resistance of 30 spring soybean cultivars. The ILR had significant negative correlation with percentage of prostrate plant. And the ILR test at podding stage with more components,  $(\text{root weight stem intension}) / (\text{plant height top weight branch number}) \times 100$ , was closely related to percentage of prostrate plant. The stem intension had positive effect on the ILR, but the top weight had the negative effect. The test results showed that the ILR might be used as an indicator to evaluate the lodging resistance of soybean objectively and accurately.

**Key words** Soybean germplasm; Lodging; Index of lodging resistance; Evaluation method

大豆倒伏会引起一定程度的产量损失和品质下降等问题,在南方肥水条件较好、生产力较高的地区,倒伏已成为大豆高产、稳产、优质的重要限制因

素之一。大豆倒伏可分为根部倒伏和茎部倒伏等类型,南方春夏季多雨地区(如江汉平原)主要表现为根部倒伏。倒伏是一个综合而复杂的现象,作物受

收稿日期:2007-01-25

基金项目:国家自然科学基金项目(30671313)

作者简介:周蓉(1957-),女,研究员,主要从事大豆种质资源研究。

通讯作者:周新安,博士,研究员。E-mail: xazhou@public.wh.hb.cn

外界风雨等气候因素影响而引起倒伏,生长条件和栽培措施等也会引发或加重倒伏程度,但不同基因型存在抗倒伏能力差异。长期以来,国内外学者对作物倒伏进行了大量研究,提出了一些评价抗倒伏的方法,包括单一性状评价和综合指标评价方法等<sup>[1~8]</sup>。目前国内外对大豆倒伏的评价和鉴定主要采用田间直观评价方法,依据植株的倾斜程度或倒伏株率划分倒伏级别<sup>[9~13]</sup>,评价结果直观、真实,方法简便,但受制于大豆生长期间是否出现有利于倒伏的气候条件,如果试验材料全部未发生倒伏时,就难以对品种抗倒性进行科学评价。因此,开展大豆抗倒伏相关性状指标研究,建立有效的抗倒性评价方法,对于深入评价和发掘大豆抗倒伏种质资源具有重要意义。本研究以南方春大豆种质为材料,研究根倒伏与茎秆和根系性状的关系,探讨适宜大豆抗倒性评价和鉴定的方法,为抗倒性遗传研究和品种改良奠定基础。

## 1 材料和方法

供试材料为我国南方春大豆资源中随机抽取的28个春大豆种质,包括早熟(80 d左右)、中熟(90 d左右)、晚熟(100 d左右)类型,其中地方品种19个,育成品种(系)9个,以已知的重倒伏品种中豆32和抗倒伏品种中豆29作对照。田间试验设在中国农科院油料作物研究所试验农场(武昌),2006年4月3日播种,随机区组排列,2次重复,3行区,行长3.3 m,行距0.4 m,株距0.1 m,栽培管理同一般大田。田间形态性状调查和室内考种项目及标准均按照参考文献<sup>[13]</sup>提供的方法,调查的形态性状主要包括株高、分枝数、茎秆强度、地上部重量(茎重)和地下部重量(根重)等。

茎秆强度用日本产秆强测定器(DIK-7401, Daiki Soil & Moisture)测定,选择最大测定强度为1 000 g。按使用说明将测定器在茎秆距地面20 cm处用力缓慢推动茎秆,使茎秆倾斜并与地面呈45°,记录此时测定器上显示的测定值。在每个试验小区中间行随机测定10株,取平均值换算成茎秆强度。根据测定器功能,显示测定值为40时茎秆对仪器的反作用力即为1 000 g,换算公式为茎秆强度=测定值÷40×1 000,其单位为g/茎,测定值越大则茎秆强度越大。试验在开花后期、结荚中期和成熟期分

别在田间测定茎秆强度,然后在每个试验小区中间行随机取样3株正常植株测定形态性状,以子叶节为界将植株分解为地上部和地下部,并立即放入烘箱(105℃)杀青30 min,随后80℃烘至恒重,冷却后称重。以测定的性状平均值计算抗倒指数。

根据作物倒伏的力学原理<sup>[6,7]</sup>,试验设计了4种类型的抗倒指数:①抗倒指数=茎秆强度/(株高×茎重)×100;②抗倒指数=茎秆强度/(株高×茎重×分枝数)×100;③抗倒指数=(根重×茎秆强度)/(株高×茎重)×100;④抗倒指数=(根重×茎秆强度)/(株高×茎重×分枝数)×100。

倒伏性调查参照文献<sup>[13]</sup>方法,在开花后期、结荚中期和成熟期观察并记录每小区倒伏植株(主茎与地面倾斜角度小于30°)占该小区全部植株的比率。田间倒伏分级标准:1级为不倒伏(小区植株无倒伏);2级为轻倒(0<倒伏植株比率≤25%);3级为中倒(25%<倒伏植株比率≤50%);4级为重倒(50%<倒伏植株比率≤75%);5级为严重倒伏(倒伏植株比率>75%)。以成熟期调查各材料平均值作统计数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 农艺性状的方差分析

对全部试验数据进行方差分析的结果表明,在开花后期、结荚中期和成熟期测定的各种茎秆和根系性状,包括株高、分枝数、茎秆强度、茎重(鲜重和干重)和根重(鲜重和干重)等,品种间差异均达到极显著水平,而不同熟期(早、中、晚)之间差异也达到显著或极显著水平(表1)。产量性状的方差分析表明,单株粒重、单株荚数和百粒重的品种间差异极显著,不同熟期之间仅单株荚数的差异极显著,而单株粒重和百粒重的差异并不显著。供试材料生长期雨水充足,尤其生长中后期雨水较多,2006年6月20日、6月24日、7月6日、7月10日均发生较大程度的降雨,所有参试品种在生育后期均发生不同程度的倒伏。在开花后期、结荚中期、成熟期及雨后调查倒伏植株比率,结果平均倒伏程度以花期较低(0~6.4%),结荚期上升(2.6%~78.8%),成熟期达到最大程度(5.9%~90.2%)。以成熟期田间倒伏植株比率进行方差分析,结果显示品种间差异极显著,不同熟期之间差异不显著(表1)。

表1 试验材料农艺性状方差分析的F值  
Table 1 F value in ANOVA of various traits of the test

项目 Item	生育期 Growth stage	株高 Plant height	分枝数 Branch number	茎干重 Top dry weight	茎鲜重 Top fresh weight	根干重 Root dry weight	根鲜重 Root fresh weight	茎秆强度 Stem intension	单株粒重 Seed weight per plant	单株荚数 Pod number per plant	百粒重 100-seed weight	倒伏率 Rate of prostrate
品种间 Between cultivars	花期 Flowering stage	5.964**	7.294**	3.167**	3.258**	4.916**	6.015**	5.319**				
	结荚期 Podding stage	10.789**	4.885**	3.821**	4.184**	8.690**	3.734**	11.240**				
	成熟期 Maturity stage	5.725**	3.820**	11.276**	11.656**	10.159**	9.890**	31.009**	5.932**	7.730**	26.785**	4.550**
熟期间 Between maturity	花期 Flowering stage	9.675**	3.363*	3.992**	10.615**	6.912**	11.081**	9.308**				
	结荚期 Podding stage	4.047**	3.974*	20.183**	13.185**	26.481**	13.723**	14.049**				
	成熟期 Maturity stage	0.872**	3.853*	15.139**	20.615**	16.442**	20.346**	26.265**	1.048	19.764**	1.637	0.872

注:\*,\*\*为5%和1%差异显著水平。

Note:\*,\*\* represent significant at the 5% and 1% levels, respectively.

## 2.2 大豆种质抗倒指数的建立

田间调查表明,大豆根倒伏发生在开花以后,为了寻找测定性状值及建立抗倒指数的最适时期,以不同生育期测定植株地上部和地下部性状及估算抗倒指数。试验以测定的性状值设计4类不同的抗倒指数,其前2类指数未包括根系性状,第3类指数未包括分枝数,第4类指数则包括了根重、茎秆强度、株高、茎重和分枝数等性状。估算抗倒指数结果表明,同一生育期不同品种的抗倒指数不同,其差异达极显著水平(花期  $F = 5.354^{**}$ , 结荚期  $F = 12.280^{**}$ , 成熟期  $F = 12.665^{**}$ )。同一品种在不同生育期的抗倒指数不同,表现前期和中期较高,后

期有所降低,这与植株生长后期茎秆强度下降而其他性状测定值相应增加有关。将估算的各种类型抗倒指数分别与实际倒伏程度(成熟期田间倒伏植株比率)进行相关分析,结果不同生育期测定的各类抗倒指数(茎重分别以干重和鲜重估算)均与实际倒伏程度呈显著或极显著负相关关系(表2),即抗倒指数越大,实际倒伏程度就越小。将各类型抗倒指数作比较,以结荚期的多因子抗倒指数[(根重 $\times$ 茎秆强度)/(株高 $\times$ 茎重 $\times$ 分枝数) $\times 100$ ](采用茎干重)与实际倒伏程度的相关性最为密切( $r = 0.680^{**}$ ),表明本试验条件下以结荚期测定多因子抗倒指数作为综合指标评价种质抗倒性具较高的准确性。

表2 不同抗倒伏指数与倒伏程度的相关系数

Table 2 Correlation coefficient between the index of lodging resistance (ILR) from different types and percentage of prostrate plant

测定时期 Determine time	抗倒指数 1a ILR 1a	抗倒指数 1b ILR 1b	抗倒指数 2a ILR 2a	抗倒指数 2b ILR 2b	抗倒指数 3a ILR 3a	抗倒指数 3b ILR 3b	抗倒指数 4a ILR 4a	抗倒指数 4b ILR 4b
开花期 Flowering stage	-0.525**	-0.519**	-0.531**	-0.624**	-0.469**	-0.490**	-0.647**	-0.562**
结荚期 Podding stage	-0.624**	-0.651**	-0.646**	-0.620**	-0.532**	-0.534**	-0.680**	-0.649**
成熟期 Maturity stage	-0.631**	-0.650**	-0.610**	-0.620**	-0.398*	-0.455*	-0.477**	-0.551**

注:抗倒指数1=茎秆强度/(株高 $\times$ 茎重) $\times 100$ ;抗倒指数2=茎秆强度/(株高 $\times$ 茎重 $\times$ 分枝数) $\times 100$ ;抗倒指数3=(根重 $\times$ 茎秆强度)/(株高 $\times$ 茎重) $\times 100$ ;抗倒指数4=(根重 $\times$ 茎秆强度)/(株高 $\times$ 茎重 $\times$ 分枝数) $\times 100$ ;a:茎干重;b:茎鲜重。

Note:ILR means index of lodging resistance; a means top dry weight and b means top fresh weight

### 2.3 以抗倒指数评价大豆种质根倒伏抗性

根据上述分析,多因子抗倒指数针对大豆根倒伏特征,除了包括茎秆的作用力等因子外,还综合了根系因子,比其他指数类型评价大豆根倒伏抗性更为客观和全面;另外,结荚期茎秆发育成熟,茎秆强度高于花期和成熟期,因此试验进一步以结荚期的多因子抗倒指数分析供试材料的抗倒性。30 个种质的测定结果表明,抗倒指数最小值为 1.0422,最大值为 21.5962(表 3),方差分析表明不同品种的抗倒指数差异达极显著水平( $F=12.280, P=0$ ),而不同熟期之间抗倒指数的差异不显著( $F=1.845, P=0.167$ )。依抗倒指数大小可将供试材料划分为高、中、低组,即抗倒指数高( $>11$ )的材料有 4 个,抗倒指数低( $<4$ )的材料有 15 个,抗倒指数居中(4.0216~10.9634)的材料有 11 个。将各材料的抗倒指数与田间倒伏程度对比,其抗倒指数高的 4

个材料(黄角豆,龙豆 4 号,建财乡紫皮豆和中豆 29)表现倒伏程度极低(5.88%~13.15%),说明这些指数较高材料的抗倒伏能力较强。在抗倒指数较低(1.0422~3.6024)的材料中,大多数材料的茎秆强度较低,田间倒伏植株比率高,表现多为严重倒伏和重倒,少量为中倒级别,说明这些抗倒指数低的材料抗倒伏能力较差。在抗倒伏指数处于中间水平的材料中,大部分材料倒伏株率较高,为中倒至重倒伏级别。然而参试材料中有 2 个种质(泥豆和 86-49)表现抗倒伏指数较低而倒伏植株比率也较低(18.96%和 23.35%),均属轻倒级别,分析认为可能与其植株较矮、生物量较小等因素有关,有待进一步分析研究。从总体上看,抗倒指数愈高的种质其抗倒伏能力愈强,表明采用多因子抗倒指数来评价大豆种质的根倒伏抗性是基本准确可靠的。

表 3 不同种质的抗倒指数及其构成因子

Table 3 The index of lodging resistance and its components of soybean

种质名称 Cultivar name	株高 Plant height (cm)	分枝数 Branch number	茎重 Top weight (g/stem)	根重 Root weight (g/stem)	茎秆强度 Stem intension (g/stem)	抗倒指数 Index of lodging resistance	倒伏程度 Rate of prostrate (%)	倒伏级别 Lodging score
泰兴黑豆	48.75	2.99	19.74	1.23	24.38	1.0422	88.28	5
油春 596	40.82	4.00	23.51	1.12	40.94	1.1945	49.38	3
灰 33	31.42	2.67	17.22	0.99	28.75	1.9703	86.62	5
高安早黄豆	48.80	3.00	13.31	0.96	43.75	2.1554	75.36	5
洪湖六月爆	65.17	3.00	27.61	1.55	76.25	2.1895	84.09	5
8905-2	36.92	2.67	15.89	1.02	36.88	2.4016	52.29	4
查黄豆	84.09	5.50	44.63	3.77	132.50	2.4200	81.08	5
鸳鸯豆	74.25	4.17	27.32	1.43	155.00	2.6203	90.19	5
单 3	50.79	2.17	14.93	1.37	31.88	2.6543	29.67	3
油 14	30.92	1.00	13.88	0.80	14.61	2.7234	60.05	4
六月黄	41.42	2.67	18.29	1.14	50.87	2.8670	48.22	3
湘春 10 号	73.83	3.67	20.46	1.79	93.13	3.0070	45.63	3
泥豆	51.95	3.00	27.49	1.35	112.50	3.5449	18.96	2
早白黄豆	73.45	3.17	23.59	1.88	105.00	3.5939	75.72	5
八月炸子	58.05	5.17	44.45	2.75	174.75	3.6024	45.47	3
黑嘴黄豆	60.80	3.34	31.35	2.09	122.50	4.0216	57.83	4
中豆 35	64.25	3.34	26.14	1.94	132.50	4.5824	26.32	3
86-49	40.99	2.34	15.41	1.04	66.25	4.7425	23.35	2
白毛豆-49	2.05	3.34	30.84	2.15	218.13	4.9462	73.11	4
七月林	55.37	4.34	32.23	1.89	207.50	5.0636	29.42	3
六十早	67.75	2.67	23.38	1.72	128.75	5.2361	55.00	4
中豆 32	66.47	4.00	37.32	2.46	250.63	6.2136	53.22	4
惠豆 803	64.67	2.67	36.96	2.81	145.00	6.3845	60.73	4
中江红黄豆	51.42	3.33	21.73	1.38	173.75	6.4442	62.03	4
84-70	71.17	2.00	25.99	1.99	188.13	10.1199	32.55	3
白水豆	60.69	1.84	28.29	2.16	168.13	10.9634	47.69	3
建财乡紫皮豆	36.95	2.34	21.97	1.19	207.50	12.9988	8.35	2
龙豆 4 号	53.92	2.17	30.62	2.72	176.25	13.3808	5.88	2
中豆 29	47.50	1.84	17.07	1.46	147.50	14.4344	13.02	2
黄角豆	41.17	2.83	40.21	3.73	271.25	21.5962	13.15	2

## 2.4 不同性状对抗倒指数的影响

茎秆强度、株高、分枝数、茎重和根重是组成大豆种质抗倒指数的主要因素,为了进一步明确影响抗倒指数的主要性状,将抗倒指数与其构成因子进行相关分析和通径分析。结果表明,对大豆抗倒伏贡献最大的是茎秆强度,其次是根重;对易倒伏贡献大小依此为茎重、株高和分枝数(表4)。茎秆强度对抗倒指数的影响无论是从相关程度还是相对效应来看,作用极为明显,正向直接效应最大( $P_{1 \rightarrow y} = 0.824$ ),茎秆强度每增加一个标准单位,可使抗倒指数平均提高0.824个标准单位,并且通过根重对抗倒指数还有较大的间接正效应( $P_{1 \rightarrow 5 \rightarrow y} = 0.522$ );虽然受到了一定的茎重的间接负效应( $P_{1 \rightarrow 4 \rightarrow y} = 0.419$ )影响,但是3效应的共同作用使茎秆强度与抗倒指数仍表现极显著相关( $r_{3y} = 0.685^{**}$ ),即茎秆强度越大,品种抗倒指数就越大,抗倒性越强。根重与抗倒指数有较大的正向直接效应( $P_{5 \rightarrow y} = 0.789$ ),然而与其相关系数( $r_{5y} = 0.452^*$ )之间有较大的差异,这是由于根重除了通过茎秆强度对抗倒指数有较大的间接正效应( $P_{5 \rightarrow 1 \rightarrow y} = 0.545$ )外,还通过茎重有一个较大的间接负效应( $P_{5 \rightarrow 4 \rightarrow y} =$

0.543),因而相关系数被缩小。同理,株高与抗倒指数存在直接负效应( $P_{2 \rightarrow y} = -0.393$ ),并通过茎重还有一定的间接负效应( $P_{2 \rightarrow 4 \rightarrow y} = -0.311$ ),但通过根重和茎秆强度又均有较大的间接正效应( $P_{2 \rightarrow 5 \rightarrow y} = 0.401$ 和 $P_{2 \rightarrow 1 \rightarrow y} = 0.339$ ),多种效应的共同作用使株高与抗倒指数的相关系数受到削弱,未达到显著水平( $r_{2y} = -0.116$ ),表明植株较矮的品种不一定抗倒能力就强。分枝数与抗倒指数的相关系数为 $-0.345$ ,直接通径系数为 $-0.324$ ,两个系数较为接近,说明分枝数过多对增强抗倒性有一定的不利影响。茎重与抗倒指数有较大的直接负效应( $P_{4 \rightarrow y} = -0.607$ ),而相关系数为不显著正相关( $r_{4y} = 0.264$ ),这两个系数相互矛盾的结果是由于茎重通过根重和茎秆强度对抗倒指数都有较强的间接正效应( $P_{4 \rightarrow 5 \rightarrow y} = 0.705$ 和 $P_{4 \rightarrow 1 \rightarrow y} = 0.569$ ),它们混杂在茎重和抗倒指数的遗传相关中,不仅掩盖了茎重对抗倒指数的负效应,而且将其夸大为正,说明茎重本身对抗倒指数的作用是不稳定的,主要通过其它2个性状对抗倒指数起作用,因此用单一的茎重作评价指标并不可靠,必须结合其它性状作综合评价。

表4 大豆种质抗倒指数与其构成因子的通径系数

Table 4 Path coefficient of the index of lodging resistance and its components in soybean

项目	Item	$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$	$X_3 \rightarrow Y$	$X_4 \rightarrow Y$	$X_5 \rightarrow Y$	$r_{iy}$
茎秆强度	$X_1 \rightarrow$	0.824	-0.162	-0.079	-0.419	0.522	0.685**
Stem intension							
株高	$X_2 \rightarrow$	0.339	-0.393	-0.152	-0.311	0.401	-0.116
Plant height							
分枝数	$X_3 \rightarrow$	0.202	-0.184	-0.324	-0.378	0.339	-0.345
Branch number							
茎重	$X_4 \rightarrow$	0.569	-0.201	-0.202	-0.607	0.705	0.264
Top weight							
根重	$X_5 \rightarrow$	0.545	-0.199	-0.139	-0.543	0.789	0.452*
Root weight							

## 2.5 抗倒指数与产量性状的关系

在本试验条件下,产量性状包括单株粒重、单株荚数和百粒重等品种间差异极显著。相关分析表明,抗倒伏指数与产量性状不存在相关性。供试材料中豆35、中豆32和七月林等品种表现单株产量较高(18~16g/株),其茎秆强度较高(132.5~250.63g/茎),株高(55.37~66.47cm)和分枝数(3.3~4.3)适中,抗倒指数属中等水平(4.5824~

6.2136);除中豆32的倒伏程度达53%外,中豆35和七月林的倒伏程度均低于30%。中豆35和中豆32是当地推广的中熟新品种,具有较高的产量潜力,改进抗倒性将更有利于这些高产品种在高肥水地区推广应用;七月林是来源于鄂西北的晚熟种质。试验鉴定的4个高抗倒伏种质(黄角豆,龙豆4号,建财乡紫皮豆和中豆29)其产量处于中等或低产水平(6.29~10.91g/株),这是由于这些材料植株较

矮、分枝较少所致,可作为强秆抗倒伏资源利用。

### 3 讨论

从本试验农艺性状调查可以看出,不同种质之间测定的各项形态性状指标均有差异,在未发生倒伏时很难以某一个性状指标来确定各个材料的抗倒伏性差异。例如,一般认为高秆植株易倒伏,但实际上有些较矮的植株也易发生倒伏。根据作物倒伏的力学原理,作用于茎秆的力与茎秆长度成比例<sup>[6,7]</sup>,以及植株地上部与地下部生长的相关性,提出以植株地上部和地下部重量、茎秆强度、株高及分枝数等因子组成综合指标——抗倒指数来评价大豆根倒伏抗性,其与大豆种质的实际倒伏程度具较高的一致性,能够正确反映大豆种质之间的差异,适合作为评价大豆种质抗倒伏能力的指标。

从通径分析结果可以进一步了解不同形态性状对于抗倒指数的相对重要性。虽然研究中有的性状与抗倒指数的相关系数被削弱了,而有的性状直接通径系数与相关系数的作用相反,但茎秆强度对抗倒伏能力的贡献仍然是最大的,表明茎秆强度是提高大豆抗倒伏能力的最重要因素。因此,筛选大豆抗倒伏种质应当把茎秆强度作为主要指标之一。

不同生育期的调查发现,花期植株茎秆强度较小,可能茎秆尚未完全发育成熟;成熟期有 2/3 材料的茎秆强度下降,可能与茎秆物质大量向籽粒运转有关;而结荚期茎秆发育成熟,茎秆强度明显高于花期和成熟期,因此测定茎秆强度和其他农艺性状宜在结荚后期至成熟前进行,对于易倒伏种质来说,应在发生倒伏之前测定。另外,一些研究认为地上部重量采用鲜重比干重更为合适<sup>[1~4]</sup>,本研究将鲜重

和干重测定指标比较后认为,多因子综合指数以干重作指标的测定结果与倒伏的相关性更为密切(表 2)。

### 参 考 文 献

- [1] 马均,马文波,田彦华,等. 重穗型水稻植株抗倒伏能力研究[J]. 作物学报,2004,30(2):143-148.
- [2] 王莹,杜建林. 大麦根倒伏抗性评价方法及其倒伏系数的通径分析[J]. 作物学报,2001,27(6):941-945.
- [3] 蒲定福,周俊儒,李邦发,等. 根倒伏小麦抗倒伏性评价方法研究[J]. 西北农业学报,2000,9(1):58-61.
- [4] Menchey E K, Aycock Jr M K. Anther-derived dihaploid for lodging improvement in tobacco [J]. Crop Science, 1998, 38: 698-701.
- [5] Kato A. Relationship between root lodging and five nondestructively determined traits in maize (*Zea mays* L.) [J]. Maydica, 1998, 43(1):65-74.
- [6] 王勇,李晴棋. 小麦品种抗倒伏性评价方法研究[J]. 华北农业科学,1995,10(3):84-88.
- [7] 莱利 J. 小麦育种理论与实践[M]. 庄巧生,杨作民译. 北京:农业出版社,1982. 111-123.
- [8] 堀内久满,古贺义昭. 水稻抗倒伏性与育种[J]. 农业技术,1989,44(9):41-45.
- [9] 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.
- [10] 谢甫缙,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.
- [11] 谢甫缙,胡凤新,赵庆祥,等. 不同倒伏程度对大豆生育性状和产量性状的影响[J]. 辽宁农业科学,1994,(5):43-46.
- [12] Board J. Reduced lodging for soybean in low population is related to light quality [J]. Crop Science, 2001, 41: 379-384.
- [13] 邱丽娟,常汝镇,刘章雄,等. 大豆种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社. 2006.
- [8] 吕秀珍,刘忠堂,何煜. <sup>60</sup>Co $\gamma$ 射线照射大豆风干种子当代贮藏效应的研究[J]. 原子能农业应用,1983(4):15-19.
- [9] 黄建昌,肖艳. <sup>60</sup>Co $\gamma$ 射线与 GA<sub>3</sub> 复合处理对番木瓜的遗传诱变效应研究[J]. 核农学报,2003,17(5):332-335.
- [10] 闫洪睿,张雷,鹿文成. 黑龙江省高纬度地区大豆辐照诱变效应研究[J]. 核农学报,2003,17(6):430-433.
- [11] 郝再彬,吴东岚. 矮秆大豆突变体的获得. 核农学报,2004,18(3):204-206.
- [12] 杜连恩,魏玉昌. 大豆化学诱变育种及其规律的研究[J]. 华北农学报. 1989,4(2),39-43.
- [13] 徐克学. 生物数学[M]. 北京:科学出版社,1999. 12-102.
- [14] 李向华,常汝镇. 中国春大豆品种聚类分析及主成分分析[J]. 作物学报. 1998,24(3),326-331.
- [15] 薛柏,孟丽芬. <sup>60</sup>Co $\gamma$ 射线照射大豆植株的诱变效果[J]. 大豆科学,2000,(2):150-153.

(上接 483 页)