

不同大豆品种鼓粒期茎秆力学特性与抗倒伏性差异研究

徐 瑶,张 锐,董守坤,马春梅,龚振平

(东北农业大学 农学院,黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要:大豆在鼓粒期最易发生倒伏,且对产量损失影响很大,倒伏已经成为大豆高产稳产的重要限制因素,为探讨大豆的抗倒伏性与植株形态指标和茎秆力学特性的关系,选用了 30 个大豆品种为试验材料,在鼓粒期对大豆形态指标和茎秆基部挫折力等力学特性进行测定,研究了大豆株型差异和茎秆力学特性对大豆茎秆抗倒伏倒伏性的影响。结果表明:在大豆鼓粒期,大豆品种的抗倒伏性与株高、鲜重和茎粗均呈现显著负相关,而与茎粗/株高呈显著正相关,茎粗/株高能更好的反映品种的抗倒伏性;随大豆株高的增加,大豆茎秆的挫折力、弯矩和重力矩均增加,并且重力矩对倒伏的影响更大,供试大豆品种中高秆品种的抗倒伏性比矮秆品种差;株高相近的大豆品种的抗倒伏性与茎秆挫折力关系较大,而株高相差较大的大豆品种的抗倒伏性与株型关系密切。

关键词:大豆;株高;茎秆力学特性;抗倒伏性
中图分类号:S565. 1 **文献标识码:**A **DOI:**10. 11861/j. issn. 1000-9841. 2017. 06. 0905

Study on the Differences of Mechanical Properties and Lodging Resistance Among Different Soybean Varieties in Seed-filling Period

XU Yao,ZHANG Rui,DONG Shou-kun,MA Chun-mei,GONG Zhen-ping

(College of Agriculture,Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Soybean lodging always happens in the seed-filling period which has the great influence on yield loss and becomes the limit factor in high and state yield of soybean. This study selected 30 soybean varieties as the materials, and measured the morphological and mechanical properties of base stem to analyze the effect of those characteristic on soybean lodging resistance. The results showed that the height, fresh weight and stem diameter were significantly negative correlated with soybean lodging resistance, but the ratio of stem to plant height was significantly positive correlated with soybean lodging resistance, the stem diameter/height could better reflect the lodging resistance. With height increasing, the break force, bending moment, and gravitational moment were increased, and gravitational moment had a greater impact on lodging resistance. The lodging resistance of short varieties was stronger than that of tall varieties. The lodging resistance had a closer relation with stem break force among similar height soybean varieties. The lodging resistance of soybean varieties with high difference of plant height is closely related to plant type.

Keywords: Soybean; Plant height; Mechanical properties; Lodging resistance

倒伏是作物生产中普遍存在的问题,已成为高产稳产的重要限制因素之一。严重倒伏可造成大量花、荚脱落,瘪荚率、瘪粒率大幅升高,百粒重下降,结荚期发生严重倒伏会造成 50% 以上的减产。李永忠^[1]研究表明,作物的株高、近地节间长度、茎粗、单位茎节重量及茎秆的力学性能等因素与茎倒伏相关。陈喜凤等^[2]认为,大豆株高、重心高度随群体密度增加而升高,茎秆压碎强度、植株抗倒指数逐渐降低。何晓丽等^[3]和吴晓强等^[4]研究认为,随着大豆株高增高,茎秆的平均弹性模量和惯性矩

越小,越容易发生倒伏。范冬梅等^[5]通过比较定位主茎节数,茎粗和茎秆重 QTL,得出这些形态性状为倒伏的相关性状,而且具有较大的遗传相关性。

大豆在 R5 期最易发生倒伏,且产量损失最大^[6]。本试验选用 30 个大豆品种作为供试材料,在鼓粒期对植株形态指标和茎秆基部挫折力、转角、弯矩等力学特性进行了测定,较系统地研究了大豆品种间株型与抗倒伏特性的关系及茎秆力学特性和抗倒伏性差异,旨在为选育抗倒伏品种及大豆高产栽培提供理论依据。

收稿日期:2017-05-25
基金项目:国家科技支撑计划(2014BAD11B01);黑龙江省重大科技项目(GA14B101)。
第一作者简介:徐瑶(1989-),女,博士,主要从事大豆抗倒伏特性及倒伏机制的研究。E-mail:xuyao0217@163.com。
通讯作者:龚振平(1966-),男,教授,博导,主要从事保护性耕作及大豆生理的研究。E-mail:gzyx2004@163.com。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2014年在东北农业大学香坊实验实习基地进行。选用了30个可以在哈尔滨市正常成熟的大豆品种(系),试验大豆品种均购于育种单位(表1)。供试大豆品种采用小区种植,每个小区4行,行长5 m,垄宽0.65 m,3次重复。试验于5月9日播种,垄上双行(行距10 cm),使用播种板在垄上压出播种穴,每穴播种两粒,在出苗后定苗,密度为25万株·hm⁻²。施磷酸氢二铵(P₂O₅:46%)和硫酸钾(K₂O:52%)分别为150和75 kg·hm⁻²,播种时一并施入。土壤为黑土,有机质:31.38 g·kg⁻¹;速效氮:87.25 mg·kg⁻¹;速效磷:61.24 mg·kg⁻¹;速效钾:193.72 mg·kg⁻¹。在大豆生育时期进行常规田间管理。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 取样方法 在大豆生育期达到R5~R6期时进行取样,取样选择在小区内长势均匀密度一致的中间行,在大豆茎秆子叶痕下方2 cm处剪下,连续取样10株,并放入低温保鲜箱保存,作为测定茎秆挫折力的试验材料。

1.2.2 形态指标测定 用直尺量取植株的株高H,即子叶痕与生长点之间的长度;使用游标卡尺量取基部的茎粗,取4次重复平均值代表大豆植株基部茎粗D;用天平称量大豆植株的整株鲜重M;茎粗/株高为茎秆基部茎粗与株高的百分比(D/H×100%)。

1.2.3 茎秆力学指标测定 在李金才等^[7]方法的基础上加以改进。将大豆植株子叶痕以上的20 cm茎秆剪下,将叶子去除后放置于大豆茎秆挫折力测量仪上,进行大豆茎秆挫折力测定(图1)。调整测量仪的两支点距离为5 cm,推力在茎秆上的作用点与上端支点距离为L(本试验中L=5 cm)。摇动测量仪手柄施加推力,推力传感器显示推力大小(推力传感器为温州海宝仪器有限公司生产,型号:HG-100)。当外推力逐渐变大时,茎秆会发生形变,当传感器显示推力达到最大且稳定时,此时表明茎秆已经折断,最大推力为茎秆弯折的挫折力F,茎秆挫折力作用点最大水平位移y,其形变产生的转角θ。

1.3 数据分析

当施加茎秆上的挫折力为F时,弯矩为F·L;植株自身重力对茎秆的重力力矩为1/2 H·Mg,抗倒伏系数等于弯矩与重力力矩之比。

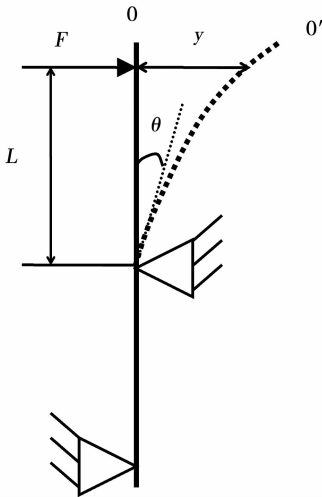


图1 大豆茎秆挫折力测定示意图
Fig. 1 Soybean stem break force measurement schema

抗倒伏系数 $Q = \frac{2FL}{MgH}$ (1)

当茎秆折断时,茎秆弯曲后的曲线0'与起始位置直线0之间的夹角为转角。

$\theta \approx \frac{180^\circ}{\pi} \arctan \frac{y}{L}$ (2)

(1)、(2)式中,D:茎秆基部茎粗;H:植株株高;F:挫折力;L:推力作用点与上端支点的距离;M:植株鲜重;y:最大位移;其中g=9.8 N·kg⁻¹

所有数据使用软件SPSS 21和Excel 2007进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 大豆品种间形态指标差异

参试植株形态特性见表1。在30个供试大豆品种中,株高的变幅为38.2~134.1 cm,变异系数为5.44%。其中株高30.0~49.9 cm有6个品种;50.0~69.9 cm有5个品种;70.0~89.9 cm有8个品种;90.0~99.9 cm有5个品种;100~109.9 cm有4个品种;大于110 cm的有2个品种。

鲜重变幅为48.08~170.55 g,变异系数为5.30%。茎粗的变化范围为5.25~8.93 mm,变异系数为2.51%;茎粗/株高的变幅为0.61%~1.33%,变异系数为4.66%。供试品种包含的株型种类丰富,具有代表性。在大豆进入鼓粒期,株高与鲜重均基本达到最大值,所以株高不同的大豆,鲜重的差异也比较大,虽然大豆的茎粗差异不大,但茎粗/株高的比值的差异比较明显。株高越高的大豆品种,植株鲜重越大、茎粗越粗、而茎粗/株高随株高的增高而降低。

表 1 供试大豆品种形态指标

Table 1 Morphological properties of soybean varieties

品种 Variety	株高 Plant height/cm	植株鲜重 Fresh weight/g	茎粗 Diameter/mm	茎粗/株高 Diameter/height/%
合农 60 Henong 60	38.2 ± 1.57	83.19 ± 5.58	7.21 ± 0.19	1.91 ± 0.07
黑河 28 Heihe 28	41.4 ± 0.64	53.11 ± 3.50	5.48 ± 0.21	1.33 ± 0.05
黑河 35 Heihe 35	47.5 ± 1.36	62.66 ± 6.08	5.99 ± 0.36	1.26 ± 0.06
黑河 41 Heihe 41	48.9 ± 1.31	48.08 ± 2.06	5.50 ± 0.12	1.13 ± 0.02
黑河 20 Heihe 20	49.6 ± 1.76	51.27 ± 4.05	5.25 ± 0.15	1.06 ± 0.03
东大一号 Dongda 1	49.9 ± 1.58	75.02 ± 5.28	6.48 ± 0.18	1.31 ± 0.04
黑河 49 Heihe 49	55.7 ± 1.13	82.44 ± 1.88	5.87 ± 0.18	1.06 ± 0.03
北丰 11 Beifeng 11	62.5 ± 1.04	114.55 ± 5.67	7.18 ± 0.25	1.15 ± 0.04
黑河 27 Heihe 27	63.8 ± 1.64	115.81 ± 10.38	7.04 ± 0.32	1.12 ± 0.07
黑河 29 Heihe 29	65.5 ± 2.47	118.10 ± 5.60	7.58 ± 0.24	1.16 ± 0.03
黑河 43 Heihe 43	67.2 ± 1.69	113.21 ± 5.84	7.24 ± 0.17	1.08 ± 0.04
丰收 10 号 Fengshou 10	70.4 ± 1.70	99.75 ± 6.72	6.55 ± 0.18	0.93 ± 0.03
垦鉴豆 Kenjiandou	76.5 ± 1.09	122.29 ± 4.83	7.68 ± 0.11	1.01 ± 0.02
合丰 50 Hefeng 50	80.5 ± 1.75	152.84 ± 7.69	8.78 ± 0.30	1.09 ± 0.04
黑农 37 Heinong 37	81.7 ± 1.99	139.94 ± 5.36	7.55 ± 0.19	0.93 ± 0.04
黑农 42 Heinong 42	81.8 ± 2.12	112.88 ± 4.40	8.07 ± 0.19	0.99 ± 0.03
东农 53 Dongnong 53	82.1 ± 0.37	134.23 ± 6.46	8.49 ± 0.29	1.04 ± 0.04
黑农 48 Heinong 48	83.3 ± 1.31	140.78 ± 9.69	7.87 ± 0.33	0.95 ± 0.04
垦丰 16 Kenfeng 16	85.5 ± 1.87	126.79 ± 6.93	7.74 ± 0.26	0.91 ± 0.03
北豆 5 号 Beidou 5	91.7 ± 1.63	108.88 ± 7.78	7.18 ± 0.34	0.79 ± 0.04
吉育 69 Jiyu 69	91.9 ± 1.18	147.66 ± 10.53	8.47 ± 0.28	0.92 ± 0.03
吉育 79 Jiyu 79	93.7 ± 2.83	105.89 ± 7.12	7.43 ± 0.26	0.80 ± 0.04

续表 1

品种 Variety	株高 Plant height/cm	植株鲜重 Fresh weight/g	茎粗 Diameter/mm	茎粗/株高 Diameter/height/%
小粒豆 Xiaolidou	95.3 ± 1.33	130.72 ± 8.98	7.89 ± 0.32	0.83 ± 0.03
丰收 9 号 Fengshou 9	97.7 ± 1.51	141.94 ± 11.59	7.01 ± 0.26	0.72 ± 0.02
黑农 51 Heinong 51	101.0 ± 2.37	99.07 ± 6.66	7.30 ± 0.22	0.73 ± 0.03
嫩丰 18 Nenfeng 18	102.8 ± 2.61	107.36 ± 7.41	7.31 ± 0.23	0.71 ± 0.03
黑农 40 Heinong 40	103.7 ± 2.45	142.06 ± 9.65	8.78 ± 0.23	0.85 ± 0.03
吉育 47 Jiyu 47	105.4 ± 1.81	147.50 ± 7.81	8.93 ± 0.16	0.85 ± 0.02
紫花四 Zihua 4	113.7 ± 1.98	170.55 ± 9.10	8.46 ± 0.24	0.66 ± 0.08
黑农 19 Heinong 19	134.1 ± 2.46	159.40 ± 7.88	8.12 ± 0.20	0.61 ± 0.02

2.2 不同株高范围大豆品种的茎秆力学特性差异

2.2.1 挫折力、弯矩及转角 由表 2 可见,挫折力的变幅为 8.21 ~ 26.10 N,变异系数为 5.68%;弯矩的变幅为 0.41 ~ 1.31 Nm,变异系数为 5.68%;转角的变幅为 14.02° ~ 19.59°,变异系数为 1.59%。株高在 30.0 ~ 49.9 cm 的 6 个大豆品种的挫折力、弯矩、转角的平均值分别 9.98 N、0.49 Nm 和 16.75°; 50.0 ~ 69.9 cm 的 5 个大豆品种的挫折力、弯矩、转角的平均值分别为 13.79 N、0.69 Nm 和 16.58°; 70.0 ~ 89.9 cm 的 8 个大豆品种的挫折力、弯矩、转角的平均值分别为 17.78 N、0.89 Nm 和 14.94°; 90.0 ~ 99.9 cm 的 5 个大豆品种的挫折力、弯矩、转角的平均值分别为 17.39 N、0.87 Nm 和 15.72°; 100 ~ 109.9 cm 的 4 个大豆品种的挫折力、弯矩、转角的平均值分别为 18.16 N、0.91 Nm 和 16.22°; 大于 110 cm 的 2 个大豆品种的挫折力、弯矩、转角的平均值分别为 21.55 N、1.08 Nm 和 14.56°。挫折力和弯矩的基本变化趋势为株高越高的品种,挫折力和弯矩越大;茎秆转角的变化趋势与挫折力和弯矩相反,呈现株高越高的品种,转角越小的变化趋势。当大豆茎秆受到外力达到茎秆的挫折时,株高越高的品种,转角越小,表明茎秆的弹性形变越小,越易发生挫折。

2.2.2 重力矩 供试的 30 个大豆品种的重力矩变幅为 0.11 ~ 1.05 Nm,变异系数为 9.24%。株高在

30.0 ~ 49.9 cm 的 6 个大豆品种重力矩的平均值为 0.13 Nm; 50.0 ~ 69.9 cm 的 5 个大豆品种的重力矩的平均值为 0.34 Nm; 70.0 ~ 89.9 cm 的 8 个大豆品种的重力矩的平均值为 0.51 Nm; 90.0 ~ 99.9 cm 的 5 个大豆品种的重力矩的平均值为 0.58 Nm; 100 ~ 109.9 cm 的 4 个大豆品种的重力矩的平均值为 0.61 Nm; 大于 110 cm 的 2 个大豆品种的重力矩的平均值为 1.00 Nm。由于株高越高的品种,其植株鲜重也越大,因此大豆的重力矩的变化规律为株高越高的品种,重力矩也越大。在大豆发生倒伏,茎秆弯曲时,茎秆同时受到外力和自身重力的共同作用,重力矩越大的品种,更加容易发生倒伏。

2.2.3 抗倒伏系数 抗倒伏系数由茎秆的弯矩和重力矩计算而得出,抗倒伏系数的变幅为 0.86 ~ 4.61,变异系数为 8.40%。株高在 30.0 ~ 49.9 cm 的 6 个大豆品种的抗倒伏系数的平均值为 3.64; 50.0 ~ 69.9 cm 的 5 个大豆品种的抗倒伏系数的平均值为 2.14; 70.0 ~ 89.9 cm 的 8 个大豆品种的抗倒伏系数的平均值为 1.72; 90.0 ~ 99.9 cm 的 5 个大豆品种的抗倒伏系数的平均值为 1.48; 100 ~ 109.9 cm 的 4 个大豆品种的抗倒伏系数的平均值为 1.50; 大于 110 cm 的 2 个大豆品种的抗倒伏系数的平均值为 1.25。株高越高的品种,抗倒伏系数越小。抗倒伏系数是茎秆力学特性的综合指标,株高越高的品种,越易发生倒伏。

表 2 供试大豆品种茎秆力学特性

Table 2 Mechanical properties of soybean varieties

品种 Variety	挫折力 Break force /N	弯矩 Bending moment /Nm	转角 Angle /°	重力矩 Gravity moment /Nm	抗倒伏系数 Lodging-resistance coefficient
合农 60 Henong 60	9. 80 ±0. 80	0. 49 ±0. 04	19. 56 ±0. 60	0. 16 ±0. 01	3. 27 ±0. 32
黑河 28 Heihe 28	10. 19 ±1. 32	0. 51 ±0. 07	17. 15 ±2. 12	0. 11 ±0. 01	4. 61 ±0. 30
黑河 35 Heihe 35	13. 76 ±2. 69	0. 69 ±0. 13	14. 54 ±1. 08	0. 15 ±0. 02	4. 34 ±0. 39
黑河 41 Heihe 41	9. 47 ±0. 81	0. 47 ±0. 04	18. 49 ±2. 14	0. 12 ±0. 01	4. 12 ±0. 31
黑河 20 Heihe 20	8. 45 ±0. 88	0. 42 ±0. 04	14. 02 ±0. 74	0. 13 ±0. 01	3. 37 ±0. 19
东大一号 Dongda 1	8. 21 ±1. 19	0. 41 ±0. 06	16. 77 ±0. 66	0. 19 ±0. 02	2. 15 ±0. 18
黑河 49 Heihe 49	12. 23 ±0. 54	0. 61 ±0. 03	18. 25 ±1. 18	0. 23 ±0. 01	2. 72 ±0. 10
北丰 11 Beifeng 11	12. 74 ±1. 15	0. 64 ±0. 06	15. 55 ±0. 70	0. 35 ±0. 02	1. 82 ±0. 15
黑河 27 Heihe 27	11. 79 ±1. 62	0. 59 ±0. 08	16. 69 ±0. 71	0. 36 ±0. 03	1. 62 ±0. 13
黑河 29 Heihe 29	17. 10 ±2. 13	0. 85 ±0. 11	16. 49 ±1. 08	0. 38 ±0. 03	2. 18 ±0. 12
黑河 43 Heihe 43	15. 10 ±0. 93	0. 76 ±0. 05	15. 94 ±0. 87	0. 37 ±0. 02	2. 05 ±0. 11
丰收 10 号 Fenghou 10	10. 49 ±1. 07	0. 53 ±0. 05	19. 59 ±1. 04	0. 35 ±0. 03	1. 51 ±0. 10
垦鉴豆 Kenjiandou	15. 68 ±1. 08	0. 78 ±0. 05	17. 00 ±0. 80	0. 46 ±0. 02	1. 71 ±0. 09
合丰 50 Hefeng 50	23. 93 ±2. 21	1. 20 ±0. 11	16. 76 ±0. 83	0. 61 ±0. 04	1. 96 ±0. 13
黑农 37 Heinong 37	20. 12 ±1. 30	1. 01 ±0. 06	16. 77 ±0. 64	0. 56 ±0. 02	1. 80 ±0. 09
黑农 42 Heinong 42	17. 04 ±1. 38	0. 85 ±0. 07	16. 52 ±0. 68	0. 46 ±0. 02	1. 88 ±0. 12
东农 53 Dongnong 53	21. 82 ±2. 46	1. 09 ±0. 12	16. 73 ±0. 78	0. 54 ±0. 03	1. 99 ±0. 14

续表 2

品种 Variety	挫折力 Break force /N	弯矩 Bending moment /Nm	转角 Angle /°	重力矩 Gravity moment /Nm	抗倒伏系数 Lodging-resistance coefficient
黑农 48 Heinong 48	15.29 ± 1.73	0.77 ± 0.09	14.98 ± 0.56	0.57 ± 0.04	1.31 ± 0.09
垦丰 16 Kenfeng 16	17.88 ± 1.83	0.90 ± 0.09	17.96 ± 0.76	0.53 ± 0.03	1.65 ± 0.10
北豆 5 号 Beidou 5	13.27 ± 1.54	0.66 ± 0.08	16.18 ± 0.83	0.49 ± 0.03	1.34 ± 0.10
吉育 69 Jiyu 69	26.10 ± 2.60	1.31 ± 0.13	15.07 ± 0.51	0.66 ± 0.05	1.96 ± 0.16
吉育 79 Jiyu 79	17.64 ± 2.24	0.88 ± 0.11	17.32 ± 0.81	0.48 ± 0.03	1.78 ± 0.16
小粒豆 Xiaolidou	17.99 ± 1.73	0.90 ± 0.09	14.56 ± 0.70	0.61 ± 0.04	1.49 ± 0.12
丰收 9 号 Fengshou 9	11.95 ± 1.53	0.60 ± 0.08	15.47 ± 0.70	0.68 ± 0.06	0.86 ± 0.05
黑农 51 Heinong 51	13.04 ± 1.52	0.65 ± 0.08	16.66 ± 0.35	0.49 ± 0.03	1.31 ± 0.07
嫩丰 18 Nenfeng 18	16.15 ± 1.39	0.81 ± 0.07	15.47 ± 0.56	0.54 ± 0.04	1.51 ± 0.10
黑农 40 Heinong 40	21.70 ± 2.85	1.09 ± 0.14	16.02 ± 1.93	0.73 ± 0.06	1.62 ± 0.22
吉育 47 Jiyu 47	21.78 ± 2.91	1.09 ± 0.15	16.73 ± 1.98	0.69 ± 0.09	1.58 ± 0.06
紫花四 Zihua 4	22.16 ± 3.01	1.11 ± 0.15	14.4 ± 1.76	0.95 ± 0.06	1.50 ± 0.17
黑农 19 Heinong 19	20.95 ± 1.71	1.05 ± 0.09	14.73 ± 0.58	1.05 ± 0.06	0.99 ± 0.05

2.3 大豆抗倒伏性指标的相关性

2.3.1 大豆形态指标与力学指标的相关性 由表 3 可见,株高、鲜重、茎粗与挫折力、重力矩、弯矩均呈现极显著正相关;株高和鲜重与转角为极显著负相关,茎粗与转角的相关性没有达到显著水平;茎粗/株高与株高、鲜重呈极显著负相关,与重力矩呈极显著负相关,与转角呈极显著正相关。说明株高、鲜重、茎粗对茎秆的力学特性都有明显影响,可以成为茎秆抗倒力学的定量指标。

2.3.2 大豆各指标与抗倒伏系数的相关性 由表 3

可见,株高、鲜重和茎粗均与抗倒伏系数呈显著负相关,其中株高的相关系数最大,说明大豆株高对品种的抗倒伏性影响最大;茎粗/株高与抗倒伏系数呈显著正相关,说明与茎粗相比,茎粗/株高更能够反映抗倒伏株型的特点。挫折力和弯矩与抗倒伏系数呈负相关,转角与抗倒伏系数呈现正相关,但都没有达到显著水平;其中重力矩与抗倒伏系数呈显著负相关,说明大豆出现倒伏是由于受到自身重力和外力的共同作用,并且大豆自身对发生倒伏的可能性影响更大。

表3 形态指标与力学特性间的相关性

Table 3 The correlation between morphological and mechanical properties

	株高 Height	鲜重 Fresh weight	茎粗 Diameter	茎粗/株高 Diameter /height	挫折力 Break force	重力矩 Gravity moment	弯矩 Bending moment	转角 Angle
鲜重 Fresh weight	0.662 **							
茎粗 Diameter	0.581 **	0.867 **						
茎粗/株高 Diameter/Height	-0.795 **	-0.298 **	-0.098					
挫折力 Break force	0.486 **	0.782 **	0.810 **	-0.105				
重力矩 Gravity moment	0.881 **	0.908 **	0.770 **	-0.556 **	0.674 **			
弯矩 Bending moment	0.486 **	0.782 **	0.810 **	-0.105	0.999 **	0.675 **		
转角 Angle	-0.150 **	-0.164 **	-0.088	0.173 **	0.031	-0.147 *	0.031	
抗倒伏系数 Lodging-resistance factor	-0.685 **	-0.547 **	-0.378 **	0.647 **	-0.037	-0.600 **	-0.038	0.075

* 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平存在显著性差异。
* and ** indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

3 讨 论

3.1 大豆抗倒性与形态指标的关系

已有研究证明,大豆的抗倒性与株高、茎粗、茎秆强度、地上部和地下部生物量等密切相关^[8-10]。钟开珍等^[11]与杨世民等^[12]研究认为,基部茎秆的倒伏指数与株高、重心高度和基部各节间长度呈正相关,而与茎粗、茎质量呈负相关。

本试验供试的 30 个大豆品种中,试验结果表明品种的株高越高,鲜重越大,越易发生倒伏;品种间的株高和鲜重的增加幅度大于茎粗的增加幅度,表明育种者在选育抗倒伏品种时,在重视品种株高的同时,还应关注株高和茎粗对抗倒伏性的共同作用。

3.2 大豆抗倒性与茎秆力学特性的关系

王勇等^[13]研究表明,在株高相差较大的情况下,株高和重心高度对抗倒性是十分重要的,这已被矮化育种的实践所证实;在株高相差不大的情况下,机械强度与抗倒性的关系最密切。本试验的供试品种中,株高在 30.0~49.9、50.0~69.9、70.0~89.9、90.0~99.9、100~109.9 cm 和大于 110 cm 范围内的大豆品种平均挫折力和平均抗倒伏系数分别为 9.98 N 和 3.64、13.79 N 和 2.14、17.78 N 和 1.72、17.39 N 和 1.48、18.16 N 和 1.50、21.55 N 和

1.25。随株高的增加茎秆挫折力增加,而抗倒伏系数下降,说明矮秆品种的抗倒伏能力强于高秆品种。株高相近的品种间比较,挫折力大的品种抗倒伏系数相应较大,如本试验中矮秆品种黑河 35 和黑河 41 株高分别为 47.5 和 48.9 cm,挫折力分别为 13.76 和 9.47 N,抗倒伏系数分别为 4.34 和 4.12;高秆品种黑农 40 和嫩丰 18 的株高分别为 103.7 和 102.8 cm,挫折力分别为 21.70 和 16.15 N,抗倒伏系数分别为 1.62 和 1.51。说明在株高相近的品种间茎秆强度大的品种抗倒伏能力强,这与王勇等^[13]的试验结果一致。

本试验中,抗倒伏系数与重力矩呈极显著负相关,所以重力矩对抗倒伏系数的影响更大。而抗倒伏系数与茎秆挫折力、弯矩、转角没有达到显著相关水平,但值得一提的是,重力矩与茎秆挫折力、弯矩呈极显著正相关,表明品种间重力矩的增加幅度大于挫折力的弯矩的增加幅度,而在品种选育中没有关注转角与抗倒伏性的关系。

4 结 论

研究表明:大豆株高、鲜重、茎粗与茎粗/株高等均是反映大豆茎秆抗倒伏性的形态特性,大豆茎秆的抗倒伏性与大豆株高、鲜重、茎粗均成极显著

负相关,而与茎粗/株高呈极显著正相关,茎粗/株高能更好的指示植株茎秆的抗倒伏特性。随着大豆品种的株高、鲜重和茎粗增加,茎秆的基部挫折力、弯矩和重力矩越大,但重力矩对茎秆抗倒伏性的影响大于弯矩,表现出高秆品种抗倒伏性较矮秆品种差。株高相近的大豆品种间,抗倒伏能力与茎秆挫折力相关;在株高相差较大的大豆品种间,抗倒伏能力与株型关系密切。

参考文献

[1] 李永忠. 玉米根茎倒伏的调查研究[J]. 国外农学-玉米, 1990(2): 5-9. (Li Y Z. Investigation on roots of corn roots [J]. Foreign Agronomy-Crops, 1990(2): 5-9.)

[2] 陈喜凤,孙宁,谷岩,等. 不同群体结构下大豆植株抗倒性能的比较[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(1): 33-41. (Chen X F, Sun N, Gu Y, et al. Comparison on lodging-resistance characters of soybean in different population structures [J]. Journal of South China Agricultural University, 2015, 36(1): 33-41.)

[3] 何晓莉,吴晓强,张立峰. 大豆茎秆压缩力学特性的研究[J]. 农机化研究, 2010(11): 164-169. (He X L, Wu X Q, Zhang L F. Research of mechanics characteristics for soybean stalks compression [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010(11): 164-169.)

[4] 吴晓强,何晓莉,吕桦. 大豆茎秆压缩力学特性随株高的变化规律[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(2): 721-725, 739. (Wu X Q, He X L, Lyu H. Compressive mechanical property of soybean stem with the variation of its plant height [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2011, 39(2): 721-725, 739.)

[5] 范冬梅,杨振,马占洲,等. 多环境条件下大豆倒伏性相关形态性状的 QTL 分析[J]. 中国农业科学, 2012, 45(15): 3029-3039. (Fan D M, Yang Z, Ma Z Z, et al. QTL analysis of lodging-resistance related traits in soybean in different environments [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(15): 3029-3039.)

[6] Board J. Reduced lodging for soybean in low plant population is

related to light quality [J]. Crop Science, 2001, 41: 379-384.

[7] 李金才,魏凤珍,尹均. 播种密度对冬小麦茎秆形态特征和抗倒指数的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(5): 662-666. (Li J C, Wei F Z, Yin J. Effects of planting density on characters of culm and culm lodging resistant index in winter wheat [J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(5): 662-666.)

[8] 周蓉. 大豆抗倒伏性评价体系的建立及主要农艺性状 QTL 定位[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009. (Zhou R. Evaluation of lodging resistance and QTL mapping of some agronomic traits in soybean (*Glycine max* L.) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009.)

[9] 黄中文,赵团结,喻德跃,等. 大豆抗倒伏性的评价指标及其 QTL 分析[J]. 作物学报, 2008, 34(4): 605-611. (Huang Z W, Zhao T J, Yu D X, et al. Lodging resistance indices and related QTLs in soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(4): 605-611.)

[10] 周蓉,王贤智,陈海峰,等. 大豆倒伏性及其相关性状的 QTL 分析[J]. 作物学报, 2009, 35(1): 57-65. (Zhou R, Wang X Z, Chen H F, et al. QTL analysis of lodging and related traits in soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(1): 57-65.)

[11] 钟开珍,梁江,韦清源,等. 大豆种质倒伏性遗传及其与主要农艺性状的相关分析[J]. 大豆科学, 2012, 31(5): 703-706. (Zhong K Z, Liang J, Wei Q Y, et al. Heredity of lodging and its correlation with agronomic traits in soybean germplasm [J]. Soy Bean Science, 2012, 31(5): 703-706.)

[12] 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. (Yang S M, Xie L, Zheng S L, et al. Effects of nitrogen rate and transplanting density on physical and chemical characteristics and lodging resistance of culms in hybrid rice [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(1): 93-103.)

[13] 王勇,李晴祺. 小麦品种抗倒性评价方法研究[J]. 华北农学报, 1995, 10(3): 84-88. (Wang Y, Li Q Q. Study on evaluation method of lodging resistance of wheat varieties [J]. Acta Agriculturae Broeali-Simica, 1995, 10(3): 84-88.)