

超高产大豆根系相关性状的比较研究

杨光¹, 张惠君¹, 宋书宏², 王文斌², 敖雪¹, 谢甫绋¹

(1. 沈阳农业大学 农学院, 辽宁 沈阳 110866; 2. 辽宁省农业科学院 作物研究所, 辽宁 沈阳 110161)

摘要: 为明确大豆根系相关性状与产量的关系, 为高产品种选育和栽培提供理论依据, 在大田条件下, 对超高产大豆品种和普通大豆品种的根系活力、根系伤流量、根系干重、产量及倒伏指数进行了比较研究。结果表明: R4 ~ R6 期根系活力、根系伤流量和根系干重均处于较高水平。R1 ~ R6 期超高产大豆品种根系活力、根系伤流量、根系干重均极显著高于普通大豆品种。V3 ~ R4 期施用适量或 R6 ~ R8 期施用高量的磷酸二铵对 3 个根系性状具有显著促进作用, 但施肥对大豆产量和倒伏指数影响不显著。R1 ~ R6 期根系活力、根系伤流量、根系干重三者间均呈显著正相关, 且均与产量呈显著正相关, 而与倒伏指数呈显著负相关。与普通大豆品种相比, 在 R1 ~ R6 期超高产大豆品种根系性状优势明显, 这可能是其产量较高的原因之一。

关键词: 超高产大豆; 根系活力; 根系伤流量; 根系干重

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2013)02-0176-06

Comparison on Some Root Related Traits of Super-High-Yielding Soybean

YANG Guang¹, ZHANG Hui-jun¹, SONG Shu-hong², WANG Wen-bin², AO Xue¹, XIE Fu-ti¹

(1. Agronomy College of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2. Crop Institute of Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract: Super-high-yielding soybean cultivar needs more nutrients and water than common cultivar to produce more biomass for high grain yield. The super high-yielding soybean may have specific root morphology and function to coordinate root and shoot. However, fewer research have been done for the root related traits because of soil restrictions. For the purpose of understanding the relationship of soybean root traits and yield, provide basis for high yield breeding and cultivation, the comparative study on root activity, root bleeding sap, root dry weight, yield and lodging score of super-high-yielding cultivar and common soybean cultivar was carried out under field condition. The results showed that soybean cultivars maintained higher root bleeding sap, root dry weight and root activity at R4 to R6 stage. From R1 to R6 stage, super high-yielding soybean cultivar had a significantly higher root activity, root bleeding sap and root dry weight, compared with the common soybean cultivar. The medium and high levels of fertilization of diammonium phosphate significantly promoted the three measured root traits from V3 to R4 and R6 to R8, respectively, while fertilizer had no significant impact on yield and lodging score. Root activity, root bleeding sap and root dry weight from R1 to R6 stage showed a significant positive correlation. From R1 to R6 stage root activity, root bleeding sap, and root dry weight were significantly positively correlated with yield and negatively correlated with lodging score. Super-high-yielding soybean cultivar had a stronger root physiological activity than common cultivar at R1-R6 stages, which was one of reasons that super-high-yielding cultivar had a higher productivity.

Key words: Super-high-yield soybean; Root activity; Root bleeding sap weight; Root dry weight

根系是植物的营养器官, 起固着植株体于地面的作用, 同时也是植株体养分吸收和氨基酸、激素等微量活性物质合成与转化的重要器官^[1-3]。根系受品种遗传特性和环境条件共同作用, 对作物产量形成有重要影响^[4-5]。因此, 了解根系的生理特性对于评价栽培技术和品种特性有着重要的参考价值。长期以来, 围绕大豆产量形成, 对地上部分器官结构和功能及其叶片光合系统调节控制做了大量深入研究, 然而, 由于土壤的客观限制, 人们对作物地下部根系性状研究较少^[6-8]。黄中文等^[9]研究表明, 大豆地下部和地上部生物量与产量显著相关, 随生长进程的推进, 相关系数逐渐增加。杨秀

红等^[10]研究表明, 大豆品种根系性状与地上部性状存在相关关系, 随生长进程的推进相关关系趋于明显。金剑等^[2]研究表明, 大豆生殖生长期根系性状与产量间有很好的正相关。张含彬等^[11]研究表明, 根系性状因不同施肥量而异, 造成根系对地上部的供养能力不同, 最终影响籽粒产量。超高产品种形成高额的籽粒产量, 需要生产和积累比普通品种更多的生物产量。为了满足地上部物质生产所需的水分和养分, 超高产大豆根系的形态和功能也可能存在特异性, 这样才能保证根冠的协调性。本试验以曾经在实践中创造过超高产典型的大豆品种辽豆 14(2000年辽宁省农业科学院获得 4 923 kg · hm⁻²产

收稿日期: 2013-01-11

基金项目: 国家自然科学基金(31071355); 辽宁省科技厅攻关项目(2011201020); 国家“十一五”科技支撑计划(2011BAD35B06-2)。

第一作者简介: 杨光(1987-), 女, 在读硕士, 主要从事大豆栽培生理研究。E-mail: ouyanghui@ yahoo. cn。

通讯作者: 谢甫绋(1966-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事大豆株型育种和栽培研究。E-mail: snssoybean@ yahoo. com. cn。

量)、中黄 35 (2007 年新疆农垦科学院获得 $5\,577\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 产量)、沈农 12 (2010 年沈阳农业大学获得 $4\,545\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 产量) 和普通大豆品种辽豆 11 为试材,在田间条件下设 5 个施肥水平,比较研究了不同生育时期超高产品种的几个根系相关性状,试图为超高产品种选育和栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种共 4 份,分别为超高产大豆品种辽豆 14、中黄 35、沈农 12 和普通大豆品种辽豆 11。

1.2 试验设计

大田试验于 2012 年在沈阳农业大学试验地进行,土壤基础肥力为有机质 $18.90\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $2.10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全磷 $0.087\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全钾 $22.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $74.26\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $1.71\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $149.34\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, pH 5.5。以磷酸二铵为供试肥料,播种时一次性施入,田间施肥量 ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 分别为低肥 0 和 75 (N1, N2), 中肥 150 (N3), 高肥 225 和 300 (N4 和 N5)。试验采用裂区设计:施肥处理为主区,品种为副区,3 次重复。小区行长 6 m,行距 0.6 m,5 行区,株距 0.11 m,小区面积 18 m^2 ,种植密度为 $15\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。5 月 1 日播种,苗期 (V3)、始花期 (R1)、鼓粒中期 (R4)、鼓粒末期 (R6)、成熟期 (R8) 取样,9 月 26 日收获,常规田间管理。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 根系活力测定 参照李合生^[12]和金锦子等^[13]的 TTC 法。

1.3.2 根系伤流量 伤流液参照熊庆娥^[14]的方法收集并略有改动。取样前将大豆子叶节附近用蒸馏水洗净擦干,然后在子叶节处剪断,套上离心管 (管内充脱脂棉,管口保鲜膜密封,花期前用 5 mL 离心管,鼓粒中期之后用 10 mL 离心管),从 18:00 到次日 6:00 收集 12 h 后称重。

1.3.3 根系干重 参照董钻^[15]报道的取根方法。按 $0.44\text{ m}\times 1.20\text{ m}\times 0.50\text{ m}$ (长×宽×高) 挖根,然

后清水浸泡冲洗根部,最后 80°C 恒温下烘干至恒重。

1.3.4 倒伏指数 参照邱丽娟等^[16]和肖万欣^[17]的方法,在大豆成熟期收获前,每小区连续选 2 m 行长,分别测定每株的倒伏级别。倒伏级别的评价标准 (植株与垂直方向夹角): 0° 为 1 级倒伏, $0\sim 15^\circ$ 为 2 级, $15\sim 45^\circ$ 为 3 级, $45\sim 60^\circ$ 为 4 级, 大于 60° 为 5 级。

1.4 数据分析

所有数据均用 Microsoft Excel 2003 进行计算, DPS (2005) 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 根系活力

根系活力是客观反映根系生命活动的生理指标,泛指根系的吸收、合成、氧化和还原能力等^[18]。大豆植株根系活力在全生育期呈单峰曲线变化, R4 期达到最高峰,而后下降 (图 1)。其中中黄 35、辽豆 14 和沈农 12 的平均峰值为 165.1 、 156.5 和 $139.38\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$, 辽豆 11 平均峰值为 $148.271\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 。

从表 1 可以看出,沈农 12 根系活力在全生育期上升速率和下降速率均小于其他 3 个品种;除沈农 12 以外的超高产大豆品种根系活力在 V3 ~ R4 期上升速率大于普通大豆,在 R4 ~ R6 期下降速率小于普通大豆品种。除沈农 12 外,超高产大豆品种根系活力在 V3 期低于普通大豆品种,但 R1 ~ R6 期超高产大豆品种根系活力极显著高于普通大豆品种;R8 期中黄 35 根系活力极显著小于其他大豆品种,这可能与其生育期短有直接关系。可见,在 R1 ~ R6 期超高产大豆品种具有良好的根系吸收、合成、氧化及还原能力。

在 V3 ~ R6 期大豆植株根系活力在施肥处理间和品种间有极显著差异,其中中肥处理极显著高于其他施肥处理;在 R8 期大豆植株根系活力在不同施肥处理下无显著性差异,其根系活力均处于较低水平。可见,施肥对大豆根系活力有较大影响,中肥对其有促进作用,高肥对其前期有抑制而后期有促进作用。

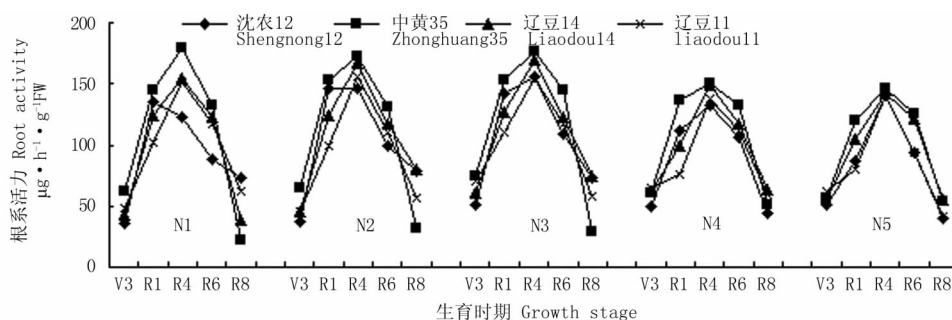


图 1 不同施肥处理条件下大豆品种根系活力的动态变化

Fig. 1 Dynamics of soybean root activity under different fertilizer treatments

表 1 不同生育时期大豆品种根系性状的比较

Table 1 Comparison on root traits of soybean cultivars at different growth stages

| 根系性状 Root trait | 品种 Cultivar | 生育时期 Growth stage | | | | |
|---|------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | | V3 | R1 | R4 | R6 | R8 |
| 根系活力 Root activity/ $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ | 沈农 12 Shennong 12 | 45.09 cC | 124.19 bB | 139.38 dD | 99.13 dD | 61.87 aA |
| | 中黄 35 Zhonghuang 35 | 63.86 aA | 141.24 aA | 165.10 aA | 133.42 aA | 37.80 cB |
| | 辽豆 14 Liaodou 14 | 53.30 bBC | 115.92 bB | 156.50 bB | 120.24 bB | 62.26aA |
| | 辽豆 11 Liaodou 11 | 58.31 abAB | 93.56 cC | 148.27 cC | 109.99 cC | 55.48 bA |
| | | | | | | |
| 根系伤流量 Root bleeding sap weight/g | 沈农 12 Shennong 12 | 2.91 abAB | 3.30 aA | 4.19 aA | 2.72 bB | 0.07 aA |
| | 中黄 35 Zhonghuang 35 | 2.85 abAB | 3.39 aA | 4.05 aA | 3.01 aA | 0.06 bB |
| | 辽豆 14 Liaodou 14 | 2.72 bB | 3.29 aA | 3.45 bB | 1.91 cC | 0.06 bB |
| | 辽豆 11 Liaodou 11 | 3.18 aA | 2.90 bB | 2.96 cC | 1.23 dD | 0.05 cC |
| | | | | | | |
| 根系干重 Root dry weight/g | 沈农 12 Shennong 12 | 0.59 bB | 2.06 abAB | 7.50 aA | 5.42 abAB | 5.27 aA |
| | 中黄 35 Zhonghuang 35 | 0.63 bB | 2.17 aA | 6.14 bB | 5.77 aA | 5.07 aA |
| | 辽豆 14 Liaodou 14 | 0.60 bB | 2.04 bAB | 5.61 cC | 5.33 abAB | 5.05 aA |
| | 辽豆 11 Liaodou 11 | 0.71 aA | 1.92 cB | 4.23 dD | 4.91 bB | 4.58 bB |
| | | | | | | |

同列数值标以不同大、小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平上差异显著。

Values within a column followed by different capital and lowercase letters are significantly different at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

2.2 根系伤流量

根系伤流强度可视为根系生理活性指标,反映作物吸收水分、养分状况,根系活力和根系物质代谢情况,还能反映地上部生长的盛衰^[19-20]。大豆植株根系

伤流量在全生育期呈先缓慢上升后迅速下降的趋势,于 R4 期达峰值,在 R8 期大豆根系伤流量趋近于零;其中超高产大豆品种单株根系伤流量平均峰值为 3.896 g,普通大豆品种的为 2.96 g(图 2)。

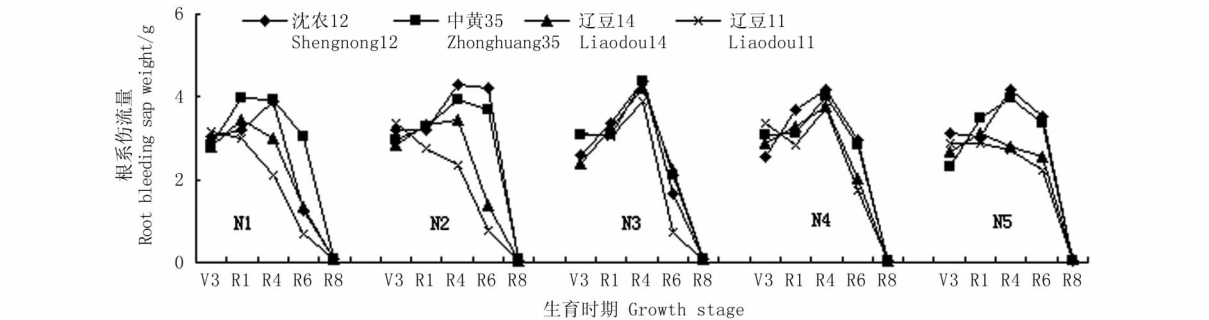


图 2 不同施肥处理条件下大豆品种根系伤流量的动态变化

Fig.2 Dynamics of soybean root bleeding sap weight under different fertilizer treatments

V3 期超高产大豆品种根系伤流量低于普通大豆品种,但 R1 ~ R8 期极显著高于普通大豆品种;超高产大豆品种根系伤流量在 V2 ~ R4 期上升速率大于普通大豆品种,在 R4 ~ R8 期下降速率与普通大豆品种无显著性差异。可见,超高产大豆品种根系具有较强吸收水分、养分能力,其变化趋势与根系活力在大豆 V3 ~ R8 期变化趋势相一致(表 1)。

R4 ~ R6 期大豆植株根系伤流量在施肥处理间有显著性差异,其中 R4 期的中肥处理极显著高于其他施肥处理,R6 期的高肥处理极显著大于其他施肥处理;其他生育时期大豆植株根系伤流量在不同施肥处理下无显著性差异。可见,施肥对大豆根系伤流量在 R1 ~ R6 期有明显影响,施用中肥对其前期和中期有促进作用,施用高肥对其后期有明显促进作用。

2.3 根系干重

根系干重是根系性状的重要指标,对作物产量形

成有重要影响^[21]。如图 3 所示,大豆植株根系干重在全生育期呈单峰曲线变化,于 R4 期达峰值后下降(N5 处理除外);在 N5 处理下,大豆植株根系干重在全生育期呈上升趋势,于 R8 期达最大;超高产大豆品种平均峰值为 6.42 g,普通大豆品种为 4.23 g。

超高产大豆品种根系干重在 V3 期较低,但 R1-R8 期极显著高于普通大豆品种(表 1);在 V3 ~ R4 期超高产大豆品种根系干重增长速率大于普通大豆品种,其后下降速率低于普通大豆品种。可见,超高产大豆具有较大根系,同时其变化趋势与根系活力和根系伤流量的变化趋势一致。

R4 期大豆植株根系干重在高肥处理下极显著高于其他施肥处理;在其他生育时期,施肥对大豆植株根系干重无促进作用。

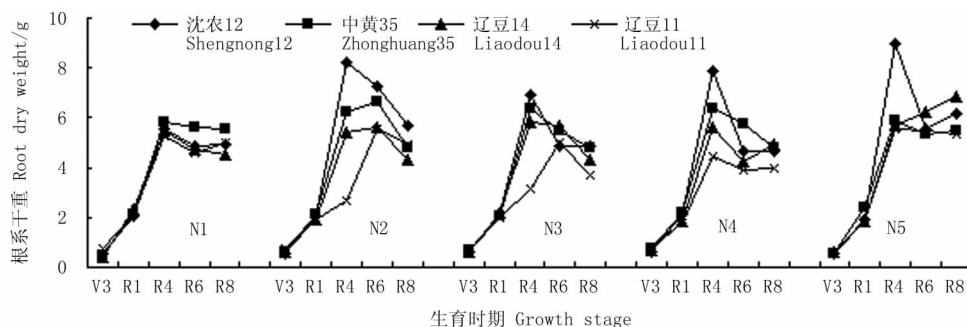


图 3 不同施肥处理条件下大豆品种根系干重的动态变化

Fig. 3 Dynamics of soybean root dry weight under different fertilizer treatments

2.4 倒伏指数和产量

作物倒伏与根系性状有关,促进根系发育能增强作物抗倒伏能力^[22-23]。如图 4 所示,超高产大豆品种倒伏指数小于普通大豆品种,

其产量高于普通大豆品种,均达到极显著差异水平。4 个品种的倒伏指数和产量在不同施肥处理下无显著性差异。可见,超高产大豆品种具有抗倒伏能力,但施肥对其影响不大。

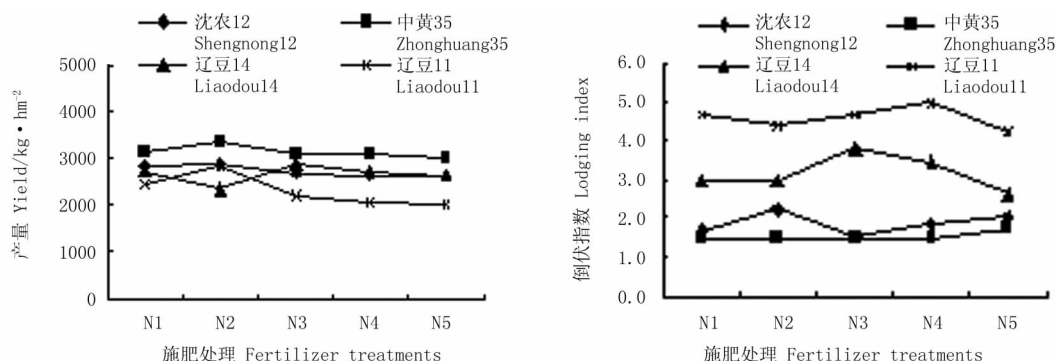


图 4 不同施肥处理条件下大豆品种产量和倒伏指数的比较

Fig. 4 Comparison on yield and lodging index of soybean cultivars under different fertilizer treatments

2.5 根系性状、产量、倒伏指数间的相关性

如表 2 所示,R1 期大豆植株根系活力、根系伤流量、根系干重三者之间呈显著正相关,R4 ~ R6 期三者之间的相关系数小于 R1 期;根系活力和根系干重与产量呈显著正相关,可初步用来判断大豆产

量高低;根系伤流量与产量呈正相关,可辅助判断大豆产量高低;3 个根系性状与倒伏指数均呈显著负相关;在 R8 期大豆产量与倒伏指数呈极显著负相关。

表 2 不同生育时期大豆品种根系性状、产量、倒伏指数的相关系数

Table 2 Correlation coefficient of soybean root trait, yield and lodging index at different growth stages

| 生育时期 Growth stage | 性状 Trait | 产量 Yield | 倒伏指数 Lodging index | 根系活力 Root activity | 根系伤流量 Root bleeding sap weight |
|----------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| R1 | 根系活力 Root activity | 0.81 ** | -0.83 ** | - | - |
| | 根系伤流量 Root bleeding sap weight | 0.49 | -0.64 ** | 0.59 * | - |
| | 根系干重 Root dry weight | 0.57 * | -0.51 * | 0.58 * | 0.55 * |
| R4 | 根系活力 Root activity | 0.60 * | -0.50 * | - | - |
| | 根系伤流量 Root bleeding sap weight | 0.43 | -0.54 * | 0.45 | - |
| | 根系干重 Root dry weight | 0.47 | -0.71 ** | 0.26 | 0.41 |
| R6 | 根系活力 Root activity | 0.79 ** | -0.80 ** | - | - |
| | 根系伤流量 Root bleeding sap weight | 0.62 * | -0.78 ** | 0.44 | - |
| | 根系干重 Root dry weight | 0.45 | -0.53 * | 0.24 | 0.51 * |
| R8 | 产量 Yield | - | -0.81 ** | - | - |

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。

* and ** indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

3 讨 论

美国植物生态学家 Weaver 早在 20 世纪 30 年代就已提出植株根系的重要性,他认为要科学理解作物生产就必须全面地认识作物根系发育、根群分布、不同生育时期根系吸收水分养分活力以及不同环境下根系的变化^[3,24]。

本试验中,大豆植株的根系活力、根系伤流量和根系干重在全生育期变化趋势一致,均呈单峰曲线变化,并于 R4 期达峰值;其中超高产大豆品种峰值高于普通大豆品种。这与大豆地上部光合速率和叶绿素含量在全生育期变化趋势相一致^[17,25]。

超高产大豆根系活力、根系伤流量、根系干重在 V3 期较低,但在 R1 ~ R6 期极显著高于普通大豆;超高产大豆倒伏指数极显著低于普通大豆,产量极显著高于普通大豆,植株倒伏指数与产量呈极显著负相关。这与超高产大豆品种地上部光合速率和叶绿素含量高于普通大豆品种的结论相吻合^[17]。可见在 R1 ~ R6 期超高产大豆品种与普通大豆品种相比具有较好的根系性状、较小的倒伏指数,积累了更多干物质,从而形成较高的籽粒产量。

播期一次性施入磷酸二铵对植株全生育期根

系性状有一定促进作用。中肥对 V3 ~ R4 期大豆根系活力、根系伤流量、根系干重的促进作用显著高于其他施肥处理,R6 ~ R8 期高肥对大豆 3 个根系性状影响显著。但施肥对大豆产量和倒伏指数影响不显著。

R1 期大豆根系活力、根系伤流量、根系干重三者之间相关系数高于 R4 ~ R6 期;R1 ~ R6 期根系活力和根系干重与产量呈显著正相关,根系伤流量与产量呈正相关;3 个根系性状与倒伏指数呈显著负相关。可见 R1 ~ R6 期较大根系活力、根系伤流量、根系干重有助于提高植株抗倒伏能力,增加大豆的籽粒产量。因此,可根据 R1 ~ R6 期的植株根系活力、根系伤流量、根系干重来判断大豆品种的高产特性。

参考文献

- [1] 盖钧镒.大豆育种应用基础和技术研究进展[M].南京:江苏科学技术出版社,1990. (Gai J Y. Soybean breeding application basis and technology research progress[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1990.)
- [2] 金剑,刘晓冰,王光华,等.大豆生殖生长期根系形态性状与产量关系研究[J].大豆科学,2004,23(4):253-257. (Jin J, Liu X B, Wang G H, et al. Relation of root morphology trait and yield at

- reproductive stage of soybean[J]. Soybean Science, 2004, 23(4): 253-257.)
- [3] 向小亮, 宁书菊, 魏道智. 根系的研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(17): 105-112. (Xiang X L, Ning S J, Wei D Z. Advances of research on roots[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(17): 105-112.)
- [4] 李迪秦, 段春奇, 秦建权, 等. 施 N 对超级杂交稻中后期根系活力和产量的影响[J]. 作物研究, 2009, 23(2): 71-73. (Li D Q, Duan C Q, Qin J Q, et al. Effect on root activity and yield of super high yielding hybrid rice by N at the mid-later stages[J]. Crop Research, 2009, 23(2): 71-73.)
- [5] 何志鸿, 杨庆凯, 刘中堂. 大豆窄垄密植高产栽培[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2000. (He Z H, Yang Q K, Liu Z T. High yield cultivation of soybean narrow-row and close planting [M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 2000.)
- [6] 苗以农, 朱长甫, 石连旋, 等. 从大豆产量形成生理特点探索特异高产株型的创新[J]. 大豆科学, 1999, 18(4): 342-346. (Miao Y N, Zhu C F, Shi L X, et al. Exploring the ideal plant type for high yielding via physiological characteristics in yield form action in soybean[J]. Soybean Science, 1999, 18(4): 342-346.)
- [7] Kumudini S, Hume D J, Chu G. Genetic improvement in short-season soybean: II. Nitrogen accumulation, remobilization and partitioning[J]. Crop Science, 2002, 42: 140-145.
- [8] Spaeth T C, Sinclair T R, Ohnuma T, et al. Radiation and duration deoendence of high soybean yields: measurements and simulation [J]. Field Crops Research, 1987, 16: 297-307.
- [9] 黄中文, 赵团结, 盖钧镒. 大豆不同产量水平生物量积累与分配的动态分析[J]. 作物学报, 2009, 35(8): 1483-1490. (Huang Z W, Zhao T J, Gai J Y. Dynamic analysis of biomass accumulation and partition in soybean with different yield levels[J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(8): 1483-1490.)
- [10] 杨秀红, 吴宗璞, 张国栋. 大豆品种根系性状与地上部性状的相关性研究[J]. 作物学报, 2002, 28(2): 72-75. (Yang X H, Wu Z P, Zhang G D. Correlations between characteristics of roots and those of aerial parts of soybean varieties[J]. Acta Agronomica Sinica, 2002, 28(2): 72-75.)
- [11] 张含彬, 任万军, 杨文钰, 等. 不同施氮量对套作大豆根系形态与生理特性的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(1): 107-112. (Zhang H B, Ren W J, Yang W Y, et al. Effects of different nitrogen levels on morphological and physiological characteristics of relay-planting soybean root [J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(1): 107-112.)
- [12] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 119-120. (Li H S. The experiment principle and technology of plant physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 119-120.)
- [13] 白宝璋, 金锦子, 白崧, 等. 玉米根系活力 TTC 测定法的改良[J]. 玉米科学, 1994, 2(4): 44-47. (Bai B Z, Jin J Z, Bai S, et al. Improvement of TTC method determining root activity in corn [J]. Journal of Maize Science, 1994, 2(4): 44-47.)
- [14] 熊庆娥. 植物生理实验教程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003: 36-42. (Xiong Q E. Plant physiology experiments tutorial [M]. Chengdu: Sichuan Science Technology Publishing House, 2003: 36-42.)
- [15] 董钻, 沈秀瑛. 作物栽培学总论(北方版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. (Dong Z, Shen X Y. Crops cultivation (North edition) [M]. Beijing: Agricultural Press, 2000.)
- [16] 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. (Qiu L J, Chang R Z, Liu Z X, et al. Germplasm description specifications and data standards of soybean [M]. Beijing: Agricultural Press, 2006.)
- [17] 肖万欣. 不同肥密处理对超高产大豆干物质生产和养分吸收的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009. (Xiao W X. Effect of different fertilizer level and planting density on dry matter production and nutrient absorption of super-high-yielding soybean cultivar [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2009.)
- [18] 王芳, 刘鹏, 朱靖文. 镁对大豆根系活力叶绿素含量和膜透性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(2): 235-239. (Wang F, Liu P, Zhu Q W. Effect of magnesium (Mg) on root activity, chlorophyll content and membrane permeability of soybean [J]. Journal of Agro-environment Science, 2004, 23(2): 235-239.)
- [19] 沈波, 王熹. 粳籼亚种间杂交稻根系伤流强度的变化规律及其与叶片生理状况的相互关系[J]. 中国水稻科学, 2000, 14(2): 122-124. (Shen B, Wang X. Changes of root exudate of indica-japonica hybrid and its relation to leaf physiological traits [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2000, 14(2): 122-124.)
- [20] 王熹, 陶龙兴, 黄效林, 等. 灌溉稻田水稻旱作物法研究——水稻的生育与生理特性[J]. 中国农业科学, 2004, 37(9): 1274-1281. (Wang X, Tao L X, Hang X L, et al. Study on non-flooding farming technique in irrigated paddy field-physiological and developmental characteristics of rice [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(9): 1274-1281.)
- [21] 董桂春, 王余龙, 吴华, 等. 水稻主要根系性状对施氮时期反应的品种间差异[J]. 作物学报, 2003, 29(6): 871-877. (Dong G C, Wang Y L, Wu H, et al. Varietal differences in response of main root traits to nitrogen application time in rice [J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(6): 871-877.)
- [22] 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.)
- [23] 王曙明. 大豆倒伏问题应引起高度重视[J]. 大豆科技, 2009(1): 7. (Wang S M. Soybean lodging problem should be attached [J]. Soybean Technology, 2009(1): 7.)
- [24] 杨秀红, 吴宗璞, 张国栋. 大豆根系的研究[J]. 东北农业大学学报, 2002, 33(2): 203-208. (Yang X H, Wu Z P, Zhang G D. Research of soybean on roots [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2002, 33(2): 203-208.)
- [25] 张伟, 谢甫缙, 张惠君, 等. 超高产大豆品种辽豆 14 号的冠层特性与产量性状研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(11): 2460-2467. (Zhang W, Xie F T, Zhang H J, et al. Canopy and yield characteristics of super-high-yielding soybean cv. Liaodou No. 14 [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(11): 2460-2467.)