

磷酸二铵对超高产大豆和普通大豆品种根系形态的影响

杨光<sup>1,2</sup>, 谢甫锦<sup>2</sup>, 丁国华<sup>3</sup>, 杜艳丽<sup>2</sup>, 刘澍才<sup>1</sup>, 高德学<sup>1</sup>, 那艳斌<sup>1</sup>, 孙会杰<sup>1</sup>

(1. 辽宁省经济作物研究所, 辽宁 辽阳 111000; 2. 沈阳农业大学 大豆研究所, 辽宁 沈阳 110866; 3. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**在大田条件下,对超高产大豆品种和普通大豆品种的根系干重、根系总长度、根系直径、根系表面积、根系体积、根尖数、产量及倒伏指数进行了比较研究。结果表明:在全生育期,除大豆根系直径外,其他根系形态指标都呈单峰曲线变化;适量的磷酸二铵可显著提高大豆植株根系干重、根系总长度、根系直径、根系表面积、根系体积和根尖数,其中超高产大豆品种根干重上升幅度更大;根系形态指标的提高有利于促进根系干物质积累,提高产量。不同施肥处理对超高产大豆品种倒伏指数影响较小,超高产大豆品种在不同施肥处理下产量显著高于普通大豆。

**关键词:**超高产大豆;根系形态;施肥处理;产量  
**中图分类号:**S565.1      **文献标识码:**A      **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2015.01.0065

Effect of Different Diammonium Phosphate Levels on Root Morphology and Yield of Super - high Yield Soybean and Common Soybean Cultivars

YANG Guang<sup>1,2</sup>, XIE Fu - ti<sup>2</sup>, DING Guo - hua<sup>3</sup>, DU Yan - li<sup>2</sup>, LIU Shu - cai<sup>1</sup>, GAO De - xue<sup>1</sup>, NA Yan - bin<sup>1</sup>, SUN Hui - jie<sup>1</sup>

(1. Institute of Economic Crop of Liaoning, Liaoyang 111000, China; 2. Soybean Research Institute of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 3. Crop Tillage and Cultivation Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

**Abstract:** Super - high - yield soybean cultivar needs more nutrients and water than common cultivar to produce more biomass for high grain yield. The super high - yield soybean may have specific root morphology to coordinate high yield. Comparative study on super - high - yield cultivar and common soybean cultivar root length, root diameter, root dry weight, root surface area, root volume, root tips area, yield and lodging score was carried out under field condition. The results showed that root length, root dry weight, root surface area, root volume and root tips area of soybean cultivars showed the single peak curve in soybean growth stage. The right amount of fertilizer significantly increased root length, root dry weight, root surface area, root volume and root tips area of soybean cultivars, which super - high yield soybean had higher root dry weight. The better root morphology improved more dry matter accumulation, whereas these did not caused significant high yield. The different levels of fertilizer had no effect on lodging score of super - high yield soybean, and super - high yield soybean had higher yield of all levels of fertilizer in experiment.

**Keywords:** Super - high - yield soybean; Root morphology; Fertilizer level; Yield

超高产大豆品种形成高额的籽粒产量,需要生产和积累比普通大豆品种更多的生物产量,因此其根系的形态和功能可能存在特异性,以保证根冠的协调性。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<sup>2</sup> 产量)、中黄 35(2007 年新疆农垦科学院获得 5 577 kg · hm<sup>2</sup> 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大豆品种根系形态差异,以期科学估算产量、适时实施栽培措施和合理选育高产品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试大豆品种共 3 份,分别为超高产大豆品种

辽豆 14、中黄 35 和普通大豆品种辽豆 11。品种主要特性见表 1。

1.2 试验设计

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 g · kg<sup>-1</sup>、全氮 2.10 g · kg<sup>-1</sup>、全磷 0.087 g · kg<sup>-1</sup>、全钾 22.2 g · kg<sup>-1</sup>、碱解氮 74.26 mg · kg<sup>-1</sup>、速效磷 1.71 mg · kg<sup>-1</sup>、速效钾 149.34 mg · kg<sup>-1</sup>,pH5.5。以磷酸二铵为供试肥料,播种时一次性施入,田间施肥量分别为低肥(0, 75 kg · hm<sup>2</sup>)、中肥(150 kg · hm<sup>2</sup>)和高肥(225, 300 kg · hm<sup>2</sup>),记为 N1 ~ 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<sup>2</sup>,密度为 15 万株 · hm<sup>2</sup>。5 月 1 日播种,9 月 26 日收获,常规田间管理。

收稿日期:2014 - 04 - 25  
基金项目:国家自然科学基金(31171570,31071355);辽宁省科技厅资助项目(201401677 - 3)。  
第一作者简介:杨光(1987 -),女,博士,主要从事大豆栽培生理研究。E - mail:ouyanghui@163.com。  
通讯作者:谢甫锦(1966 -),男,教授,博导,主要从事大豆株型育种和栽培研究。E - mail:sns soybean@sohu.com。

表 1 供试品种情况  
Table 1 Soybean cultivars for experiments

品种 Cultivar	生长习性 Growth habit	生育期 Maturity/d	株高 Plant height/cm	百粒重 100 - seed weight/g	蛋白质含量 Protein content/%	脂肪含量 Fat content/%	育成年份 Released year
中黄 35 Zhonghuang 35	有限 Determinate	121	78	17 - 18.5	38.9	23.5	2006
辽豆 14 Liaodou 14	亚有限 Semi - determinate	131	106	16 - 18	37.5	22.0	2003
辽豆 11 Liaodou 11	亚有限 Semi - determinate	135	110.3	21 - 23	39.4	22.8	1996

1.3 测定项目与方法

分别于苗期、始花期、鼓粒中期、鼓粒末期和成熟期,以大豆植株为长方形中心按 0.44 m × 1.2 m × 0.5 m (长 × 宽 × 高)挖根。然后清水浸泡冲洗根部,洗根部时下面放置 100 目的筛子收集脱落根系<sup>[8]</sup>。

1.3.1 根干重 取根后 105 ℃ 杀青 0.5 h,在 80 ℃ 下烘根至恒重,测定根干重。

1.3.2 根系形态指标 用根系扫描仪(Epson expression 10000XL)对根系形态进行扫描:将洗好后的根系放入树脂玻璃槽内,放入 1 ~ 2 cm 清水使根系充分展开,之后进行根系扫描。用根系形态分析软件(WINRHIZO Pro 2007c)分析根系长度、根系直径、根系表面积、根系体积和根尖数。

1.3.3 倒伏指数 参照邱丽娟等<sup>[9]</sup>和肖万欣<sup>[10]</sup>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° ~ 15°为 2 级,15° ~ 45°为 3 级,45° ~ 60°为 4 级,大于 60°为 5 级。

1.4 数据分析

所有数据均用 Excel 2003 进行计算,DPS 6.50

软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对大豆根系总长度的影响

由图 1 可知,在各施肥处理下,植株根系总长度在全生育期都呈单峰曲线变化,苗期至始花期根系总长度增长缓慢,始花至鼓粒中期增长加快,于鼓粒中期达最大值后下降,鼓粒末至成熟期下降明显。经方差分析表明,苗期所有施肥处理根系总长度(RL)均显著大于对照,其中辽豆 11 在 N1、N2 及 N4 处理下显著大于中黄 35 和辽豆 14;始花期 N3 处理下植株 RL 显著大于其他处理,辽豆 11 的 RL 在各处理下均显著大于超高产大豆品种;鼓粒中期 N4 处理下植株 RL 显著大于其他处理,辽豆 11 在 N1、N2、N3 处理下 RL 显著大于超高产大豆品种;鼓粒末期及成熟期 N5 处理下 RL 显著大于其他处理,辽豆 11RL 在鼓粒末期除对照外与超高产大豆无显著差异,成熟期随着施肥量增加超高产大豆品种与普通大豆品种的 RL 差距逐渐缩小,在 N5 施肥处理下辽豆 14RL 显著大于辽豆 11,这说明在生育后期高肥处理可以延缓超高产大豆品种根系衰老。

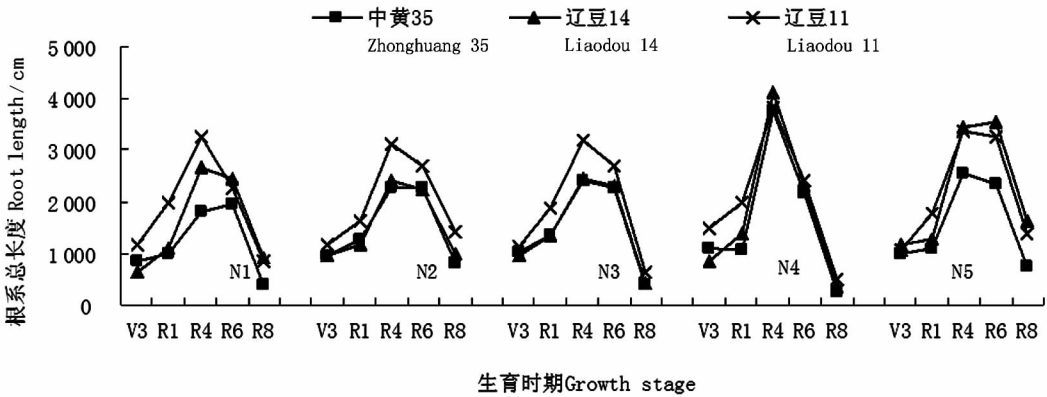


图 1 不同磷酸二铵施肥处理条件下大豆品种根系总长度的动态  
Fig.1 Dynamics of soybean root length under different fertilizer treatments

2.2 不同施肥处理对超高产大豆和普通大豆品种根系直径的影响

如图 2 所示,超高产大豆品种根系直径在苗期各处理下基本低于普通大豆品种;始花期超高产大豆品种根系直径基本大于普通大豆品种;鼓粒中期 N4 处理下植株根系直径显著大于其他处理,且超高产大豆品种根系直径基本大于普通大豆品种,其中中黄 35 根系直径除对照外均显著大于辽豆 11,说明施用一定量的肥料有利于超高产大豆品种根系增

粗。鼓粒末期各施肥下根系直径无显著差异,超高产大豆品种根系直径基本上大于普通大豆。苗期至始花期超高产大豆品种根系直径增长速率高于普通大豆,后期超高产大豆和普通大豆品种根系直径增长速率基本相同,这说明超高产大豆品种前期根粗发展较快,较粗的根系可生长更多的根瘤及根毛,有利于氮的固定和水分、养分的吸收,为高产提供必要的物质基础,更重要的是较粗的根系使植株抗倒伏能力增强,这是大豆高产的必备条件。

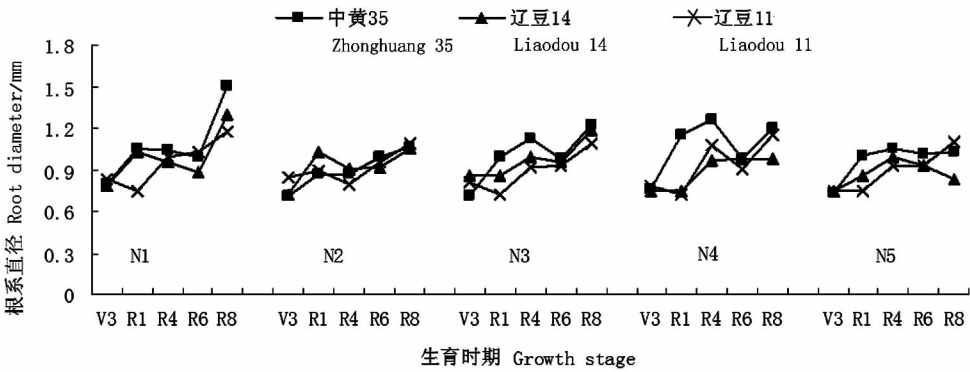


图 2 不同磷酸二铵施肥处理条件下大豆品种根系直径的动态  
Fig.2 Dynamics of soybean root diameter under different fertilizer treatments

2.3 不同施肥处理对超高产大豆和普通大豆品种根系表面积的影响

如图 3 所示,在不同施肥处理下,大豆植株根系表面积在全生育期均呈单峰曲线变化,于鼓粒中期

达最大值后下降。在 N4 处理下各品种于鼓粒中期根系表面积达最大,中黄 35,辽豆 14 和辽豆 11 分别为 531. 83,659. 93 和 752. 47 cm<sup>2</sup>。

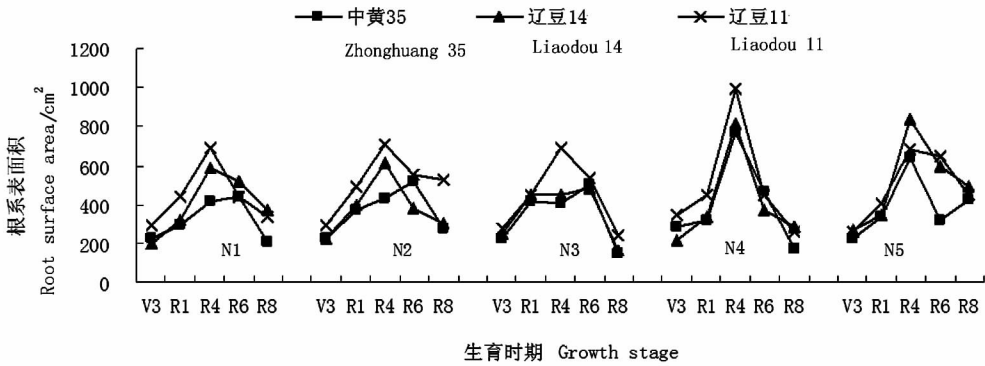


图 3 不同磷酸二铵施肥处理条件下大豆品种根系表面积动态  
Fig.3 Dynamics of soybean root surface area under different fertilizer treatments

普通大豆品种辽豆 11 在苗期至成熟期根系表面积均显著大于超高产大豆品种辽豆 14 和中黄 35,说明普通大豆品种须根较多;苗期大豆植株根系表面积在 N4 处理下显著高于其他施肥处理;始花期大豆植株根系表面积在 N2、N3 处理下最大;鼓粒中期在 N4 处理下最大;鼓粒末期和成熟期则在 N5 处理下最大。从全生育期看,施用一定量肥料促进大豆根系表面积增加,尤其是对超高产大豆品种根

系生育后期影响较大。  
2.4 不同施肥处理对超高产大豆和普通大豆品种根系体积的影响  
大豆植株根系体积在各肥料处理下,随着生育进程呈单峰曲线变化,于鼓粒中期达最大值后下降。在 N4 施肥条件下鼓粒中期不同品种根系体积达最大值,中黄 35、辽豆 14 和辽豆 11 分别 9. 93,10. 86 和 12. 79 cm<sup>3</sup>。

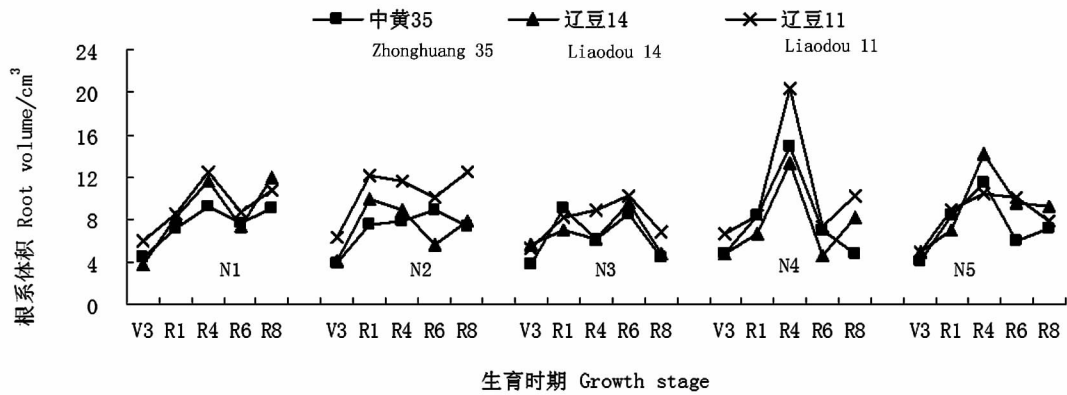


图 4 不同磷酸二铵施肥处理条件下大豆品种根系体积的动态

Fig. 4 Dynamics of soybean root volume under different fertilizer treatments

普通大豆品种辽豆 11 根系体积在全生育期显著大于超高产大豆品种辽豆 14 和中黄 35, 这与根系表面积和根系总长度变化一致, 说明超高产大豆较普通大豆品种根系更粗, 须根更少, 这也是超高产大豆具有较强的抗倒伏能力的原因之一。

苗期至始花期大豆植株根系体积在各施肥处理间无显著差异, 鼓粒中期 N4 处理有利于根系体积的增大, 鼓粒末期的根系体积以 N3 处理的较大。从全生育期看, 苗期和始花期施肥对普通大豆和超高产大豆根系体积变化的影响不显著, 鼓粒中至鼓粒末期施肥可以延缓大豆根系衰减, 但对普通大豆和超高产大豆影响不同, 对于普通大豆品种而言, 施肥促进其根系体积变大, 但是增加的是须根, 须根吸肥、吸水能力强, 这导致其地上部更加繁茂, 而须根增多并没有增强其抗倒伏能力, 致使其倒伏愈加严重, 难以实现产量增加, 而超高产大豆根系直径较

粗, 根细胞排列紧密, 根质地较硬, 施肥增加了其须根数量, 同时又不影响其抗倒伏能力, 促进了其产量提高。

2. 5 不同施肥处理对超高产大豆和普通大豆品种根尖数的影响

如图 6 所示, 大豆植株根尖数在全生育期呈单峰曲线变化, 于鼓粒中期达最大值后下降。鼓粒中期不同品种根尖数最大值: 中黄 35 为 16 224. 30、辽豆 14 为 18 465. 25 和辽豆 11 为 22 476. 35。苗期至始花期 N4 处理下大豆植株根尖数最大; 苗期至鼓粒中期超高产大豆辽豆 14、中黄 35 根尖数小于普通大豆品种辽豆 11; 鼓粒后期至成熟期 N5 处理下大豆植株根尖数最大, 鼓粒末期至成熟期超高产大豆品种根尖数显著大于普通大豆品种, 这与根系表面积变化规律不一致, 可能是因为超高产大豆品种根系在后期衰老慢, 根系活力较大(数据未列出)。

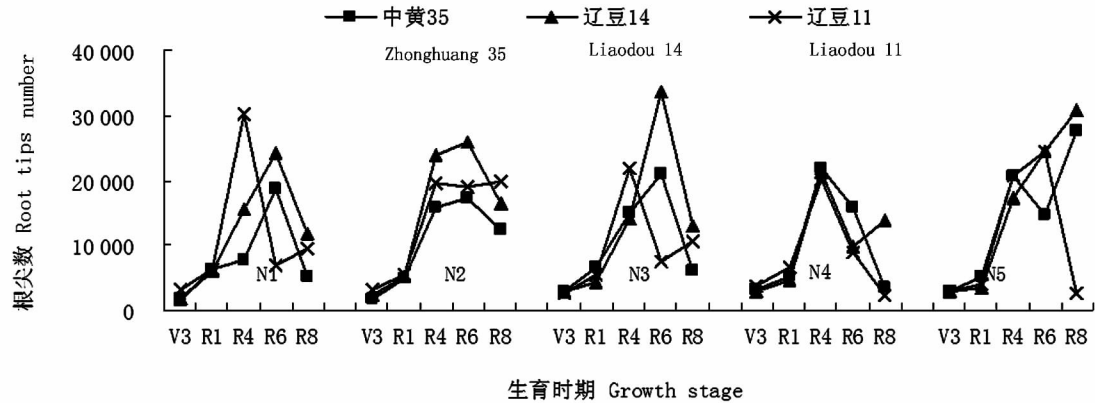


图 5 不同磷酸二铵施肥处理条件下大豆品种根尖数的动态

Fig. 5 Dynamics of soybean root tips under different fertilizer treatments

2. 6 不同施肥处理对超高产大豆和普通大豆品种根系干重的影响

如图 6 所示, 除 N5 处理外, 各施肥处理大豆植株根干重在全生育期呈单峰曲线变化, 于鼓粒中期

达最大值后缓慢下降; 鼓粒中期中黄 35、辽豆 14 和辽豆 11 根干重分别为 6. 14, 5. 61 和 4. 23 g, 各处理间差异显著。超高产大豆品种根干重在苗期低于普通大豆品种, 但在始花期及以后极显著高于普通

大豆品种,且苗期至鼓粒中期超高产大豆品种根干重增长速率高于普通大豆品种,鼓粒中至成熟期下降速率低于普通大豆品种。在不同生育时期施肥处理植株根干重显著大于对照,其中,苗期 N4 处理、始花期 N3 和 N5 处理、鼓粒中期 N4 和 N5 处理、鼓

粒末期施 N2、N3 和 N5 处理、成熟期 N5 处理各品种的平均根干重最大。从全生育期看,施用一定量肥料促进了大豆根系干物质积累,尤其是鼓粒中期正值大豆鼓粒关键时期,施用一定量肥料有利于根系发育,为高产提供物质基础。

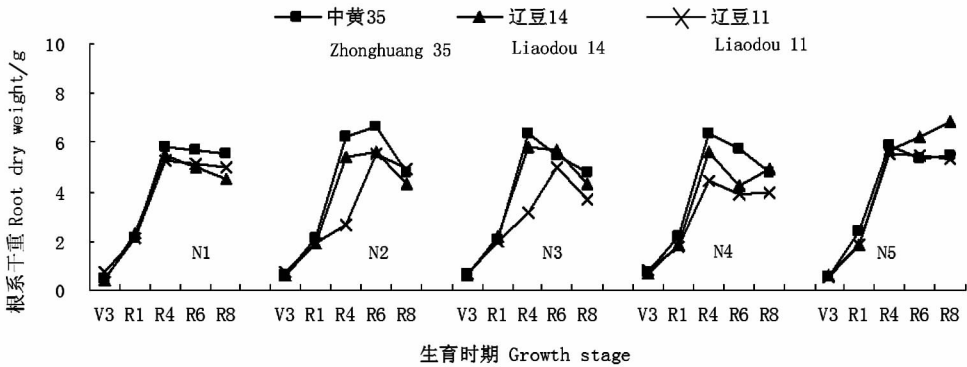


图 6 不同磷酸二铵施肥处理条件下大豆品种根干重的动态

Fig. 6 Dynamics of soybean root dry weight under different fertilizer treatments

2.7 倒伏指数和产量

作物的抗倒伏能力与根系相关且对产量有较大影响,发达的根系能增强作物抗倒伏能力<sup>[10-11]</sup>。大豆倒伏指数在施肥处理间差异不显著( $P>0.05$ );在品种间差异显著( $P<0.01$ )。普通大豆品种倒伏指数大于超高产大豆品种,辽豆 11(4.6) $>$ 辽豆 14(3.2) $>$ 中黄 35(1.5)。超高产大豆品种产量大于普通大豆品种,为中黄 35(3 104.84 kg·hm<sup>2</sup>) $>$ 辽豆 14(2 624.7 kg·hm<sup>2</sup>) $>$ 辽豆 11(2 297.08 kg·hm<sup>2</sup>)。试验表明不同肥料处理下超高产大豆品种的倒伏指数均小于普通大豆品种,差异极显著。超高产大豆中黄 35 和辽豆 14 在各种施肥条件下均具有极强的抗倒伏能力。

快<sup>[12]</sup>,多数根系参数在生育期呈单峰变化,鼓粒期达最大值<sup>[13]</sup>。适量施氮肥可以增加大豆根长、根系表面积、根系体积和大豆根冠比,高施氮肥则对其有抑制作用<sup>[14]</sup>。本试验研究结果表明:在各施肥处理下,普通大豆品种辽豆 11 的根系总长度、根系表面积、根系体积在全生育期均显著大于超高产大豆品种辽豆 14 和中黄 35,但超高产大豆品种辽豆 14 和中黄 35 的根系直径、根系干重在始花期及以后各施肥处理下均显著大于普通大豆品种辽豆 11,且在生育后期超高产大豆品种根尖数在各施肥处理下显著多于普通大豆品种,超高产大豆品种的产量在各施肥处理下均显著大于普通大豆品种而倒伏指数均显著小于普通大豆品种,以上结果说明超高产大豆品种和普通大豆品种根系发育对各施肥处理的响应不同,普通大豆品种辽豆 11 在各施肥处理下须根增加,致使其根系总长度、根系体积和根系表面积显著高于超高产大豆品种辽豆 14 和中黄 35,须根增加有利用水分和养分的吸收,为后期产量的形成奠定物质基础,但是大豆产量性状是一个数量性状由多基因控制,且易受环境影响,这也就决定了它的复杂性,单单几个指标对其的影响不是决定性的,超高产大豆品种根系直径、根干重、后期根尖数显著大于普通大豆品种,后期衰老速度显著慢于普通大豆品种,且超高产大豆品种的倒伏指数显著小于普通大豆品种等综合因素决定了超高产大豆品种的产量要高于普通大豆品种。此外,普通大豆品种根体积较大,根系较长,但是根干重较小,这说明普通大豆品种与超高产大豆品种比根系密度较小,这可能是普通大豆

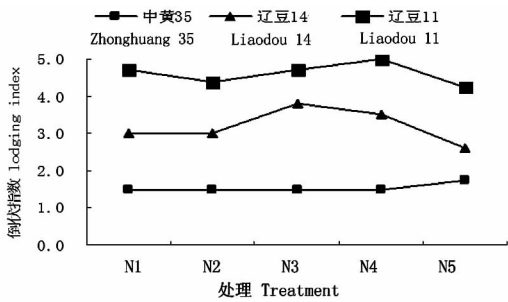


图 7 不同磷酸二铵施肥处理条件下大豆品种倒伏指数

Fig. 7 Lodging index under different fertilizer treatments

3 讨论

大豆根系向下生长速率在始花至鼓粒期最

品种抗倒伏能力弱的重要原因,而大豆品种抗倒伏能力直接关系到产量的高低。严君等<sup>[15]</sup>研究表明使用一定量的肥料对根尖数增加有促进作用,尤其是硝态氮促进作用显著高于生物固氮。本试验结果表明:苗期至鼓粒中期普通大豆品种根尖数高于超高产大豆品种,鼓粒末至成熟期低于超高产大豆品种。超高产大豆品种后期根尖数较多使其在鼓粒期能够积累更多干物质有利于产量的形成,同时保持了根系的活力,使其自身在抗倒伏方面维持一个较高的水平,产量最终的形成提供了保障。超高产大豆品种根干重、根系直径在苗期较低,但在始花至鼓粒末期极显著高于普通大豆品种;其中超高产大豆品种最大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<sup>[16]</sup>。

从全生育期看,施用一定量肥料促进了大豆根系干物质积累,尤其是在鼓粒中期大豆鼓粒关键期,大豆植株根干重在 高肥处理 (225 kg · hm<sup>2</sup> 磷酸二铵和 300 kg · hm<sup>2</sup> 磷酸二铵) 下极显著高于其他施肥处理,较发达的根系可为大豆后期籽粒灌浆提供更多的水分和养分支持,为高产打下了坚实的基础。鼓粒中期大豆植株根系直径在 225 kg · hm<sup>2</sup> 磷酸二铵施肥处理下极显著高于其他施肥处理。从全生育期看,施用一定量肥料在前期对大豆根系直径影响不大,后期 225 kg · hm<sup>2</sup> 磷酸二铵施肥处理对延缓根系衰老起到一定作用,高肥对大豆根系直径有一定抑制作用,这与严君等<sup>[15]</sup>研究结果一致。

参考文献

[1] Costa C, Dwyer L M, Hamilton R I, et al. A sampling method for measurement of large root systems with scanner based image analysis[J]. Agronomy Journal, 2000, 92: 621 - 627.

[2] 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. )

[3] 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. )

[4] 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]. Soybean Science, 2009, 25(17): 105 - 112. )

[5] 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. )

[6] 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. )

[7] Liedgens M, Soldati A, Stamp P, et al. Root development of maize (*Zea mays* L.) as observed with Minirhizotrons in lysimeters [J]. Crop Science, 2000, 40: 1665 - 1672.

[8] 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. Crop culture pandect (North edition)[M]. Beijing: Agricultural Press, 2000. )

[9] 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. )

[10] 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: 89. (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: 89. )

[11] Mitchell R L, Russell W J. Root development and rooting patterns of soybean *Glycine max* (L.) Merrill evaluated under field conditions [J]. Agronomy Journal, 1971, 63(3): 313 - 316.

[12] Kaspar T C, Stanley C D, Taylor H M. Soybean root growth during the reproductive stages of development [J]. Agronomy Journal, 1978, 70: 1105 - 1107.

[13] Stoffella P J, Sandsted R F, Zobel R W, et al. Hymens root characteristics of black beans[J]. Crop Science, 1979, 19: 823 - 830.

[14] 王树起, 韩晓增, 乔云发, 等. 施氮对大豆根系形态和氮素吸收积累的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(6): 1069 - 1073. (Wang S Q, Han X Z, Qiao Y F, et al. Root morphology and nitrogen accumulation in soybean (*Glycine max* L.) under different nitrogen application levels[J]. Chinese Journal of Eco - Agriculture, 2009, 17(6): 1069 - 1073. )

[15] 严君, 韩晓增, 祖伟. 不同形态氮肥对大豆根系形态及磷效率的影响[J]. 大豆科学, 2010, 29(6): 1003 - 1007. (Yan J, Han X Z, Zu W. Effects of nitrogen forms on root morphology and phosphorous efficiency in soybean (*Glycine max* L.) [J]. Soybean Science, 2010, 29(6): 1003 - 1007. )

[16] 孙广玉, 何庸, 张荣华, 等. 大豆根系生长和活性特点的研究[J]. 大豆科学, 1996, 15(4): 317 - 321. (Sun G Y, He Y, Zhang R H, et al. Studies on growth and activities of soybean root [J]. Soybean Science, 1996, 15(4): 317 - 321. )