

大豆生殖生长期根系形态性状与产量关系研究

金 剑^{1,2} 刘晓冰^{2,3} 王光华² 李艳华² 潘相文² S. J. Herbert³

(1. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨 150040;
3. 美国麻省大学植物与土壤科学系, 阿姆斯特市 01003)

摘要 以稳定的大豆新品系进行连续2年的生殖生长期根系形态性状的比较研究。结果表明, 生殖生长期根系形态性状存在较明显的基因型差异, 尤其在R₅期后, 产量较高的海-560的根系生物量、根体积和根长均大于观-009; 施肥有效地促进根系生长, 降水较多的年份土壤中的根系密度较高, 施肥增强这种趋势, 尤以0~30 cm内的土层显著; 根系性状与产量间存在显著的相关关系, 其中根长与产量的关系更为密切。在雨养农业中, 选育根系强大的品种, 并根据气候变化因地制宜的科学施肥, 协调水肥关系, 提高水分及养分利用率, 对于提高作物产量是十分必要的。

关键词 大豆; 产量; 根系; 生殖生长期

中图分类号 S 565.131.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2004)04-0253-05

根作为作物的三大营养器官之一, 不断地从土壤中吸收养分和水分, 对植物的生长发育有极其重要的作用, 然而有关作物地下部根系的研究远不及地上部广泛^[1,2]。在雨养农业中, 气候、土壤养分与土壤水分是决定农业生产力的重要因素^[3], 所以在特定的环境条件下, 培育高效基因型, 并充分运用农艺措施, 发挥基因潜力, 促进根系发育, 进而提高作物产量是十分必要的。大豆(*Glycine max*)根系生长呈S型曲线变化, 是一个“慢—快—慢”过程, 即慢生长、快速生长和衰老三个阶段^[4,5]。傅金民等^[6]研究表明, 大豆生育的中前期良好的根系生长对提高产量有积极作用, 准确了解作物根系的发育特征对科学地估计产量是至关重要的。大豆自开花至鼓粒中期是根系旺盛生长和大量营养元素吸收的高峰期, 也是产量形成的重要时期。所以, 在黑土区的大田条件下研究大豆生殖生长期根系的生长状况, 对于深刻认识大豆根系发育与产量形成关系, 提高大豆生产力, 以及应用水肥调控措施, 提高水分和肥料利用率, 具有重要的现实意义。本研究利用2个稳定的大豆新品系进行连续2年的施肥与不施肥的比较研究, 监测生殖生长期根系的生长动态, 旨在明确黑土区大豆生殖生长期根系性状与产量关系, 探讨施肥措施对根系的影响。

1 材料与方法

试验于2001、2002年在中科院海伦生态实验站(北纬47°26', 东经126°38')进行。作物有效生长期为120~130天, 生长期≥10℃的有效积温为2400~2500℃, 全年日照时数2600~2800小时。2001年和2002年4月份~9月份降雨量如表1。土壤为典型中层黑土, 地势平坦, 肥力均匀, 0~20cm耕层土壤: 有机质50.64 g/kg、全氮2.56 g/kg、全磷0.61 g/kg、全钾26.0 g/kg、速效氮229.8 mg/kg、速效磷9.45 mg/kg、速效钾180 mg/kg、pH6.80; 0~29 cm耕层土壤物理性状: 容重1.08 g/cm³、田间持水量8.64%、饱和持水量56.39%、总孔隙度53.65%(数据由中国科学院海伦生态试验站及网络气象台站提供)。

表1 2001年和2002年4—9月份降雨量(mm)
Table 1 Rainfall from April to September in 2001 and 2002 (mm)

年份	4月	5月	6月	7月	8月	9月	合计
Year	Apr.	May	June	July	August	Sep.	Sum
2001	14.9	25.6	4.7	108.2	72.1	11.5	237.0
2002	44.4	24.6	143.4	169.4	81.1	5.0	467.9

• 收稿日期: 2004-05-20

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KZCX2-SW-416-3; KZCX3-SW-NA-04)

作者简介: 金剑(1974-), 男, 助研, 在读博士, 主要从事作物生理生态研究。E-mail: jinjian29@hotmail.com

试验以稳定品系海-560和观-009为材料,同时设置施肥区和无肥区,共4个处理,H₁:海-560+施肥,H₀:海-560+无肥;G₁:观-009+施肥;G₀:观-009+无肥。随机区组,3次重复,每小区面积为17.5m²,密度为27.6万株/hm²,田间保苗数为21.3万株/hm²,垄作方式,垄宽0.67m。播种前在施肥区施底肥,尿素50kg·hm²(N 46%)、二铵50kg·hm²(N 18%、P₂O₅ 46%)、三元素150kg·hm²(N 18%、P₂O₅ 16%、K₂O 16%),其它各项田间管理同大田。分别于R₁、R₅和R₇期采用挖土块法^[7,8]对根系进行取样,即在采样点挖一个土壤剖面,然后再在土壤剖面上挖取0.2m³(长×宽×深=80cm×60cm×50cm)的土块,并确保在取样区面积内有10株大豆。用慢流水冲洗,洗净根系,在子叶痕处将植株剪断,对根系性状进行测定。根干重的测定用烘干法,根体积的测定用排水法^[9],根长的测定用Newman(1966)法^[10,11]。收获后考种、测产。

用Microsoft-excel进行数据统计分析,用Sigma-plot 2000软件绘图。

2 结果与分析

2.1 根系形态性状的动态变化

2.1.1 根系生物量

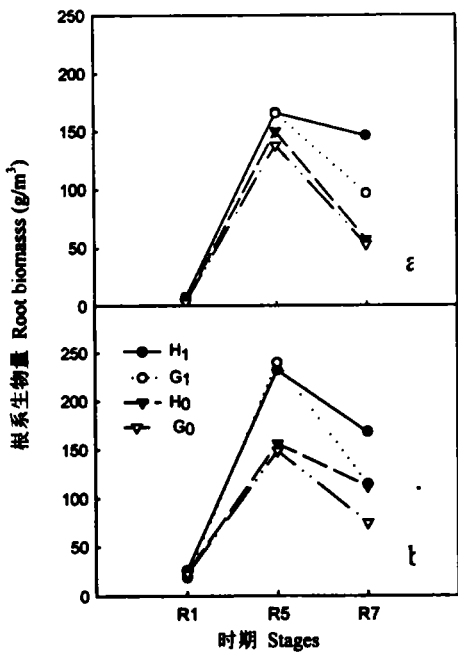


图1 生殖生长期根系生物量动态变化,a) 2001;b) 2002
Fig.1 Dynamic of root biomass during reproductive stage, a) 2001; b) 2002

生殖生长期50cm土层以上的根系生物量变化如图1,各处理的根量均在R₅期达到最大值,而后下降。各处理间表现为R₁期的根系生物量差异不大,而在R₅—R₇期,海-560高于观-009,施肥处理高于无肥处理。2001年和2002年R₅期施肥处理较无肥处理的分别高14.9%和54.8%,并且2002年的施肥处理和无肥处理分别比2001年高31.4%和23.0%,说明施肥处理对根系生物量的影响在年际间有较大的差异,这可能与年际间明显的降雨量差异(表1)而导致的肥料利用率不同有关。R₅期后二品系间差异明显,2001年和2002年H₁比G₁分别高19.2%和15.8%,2002年H₀较G₀高18.5%,2001年的H₀与G₀无甚大差异,可见,海-560在生殖生长后期仍能维持较大的根量。

2.1.2 根体积

在生殖生长期根体积与根系生物量有相似的变化趋势(图2),即R₅期根系体积最大,明显高于R₁期和R₇期,且在50cm以上单位土壤体积内的根体积在施肥与不施肥处理间亦存在明显差异。在R₅期,2001年和2002年的施肥处理根体积较无肥处理分别高32.6%和57.1%。在同一施肥水平下,2001年和2002年生殖生长期H₁的根体积分别比G₁高46.2%和17.6%,2001年H₀与G₀的根体积差别不大,但2002年H₀比G₀高18.0%,说明此

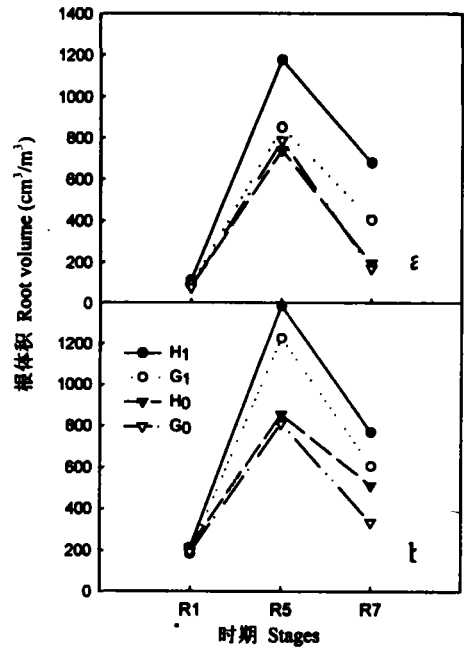


图2 生殖生长期根体积动态变化,a) 2001;b) 2002
Fig.2 Dynamic of root volume during reproductive stage, a) 2001; b) 2002.

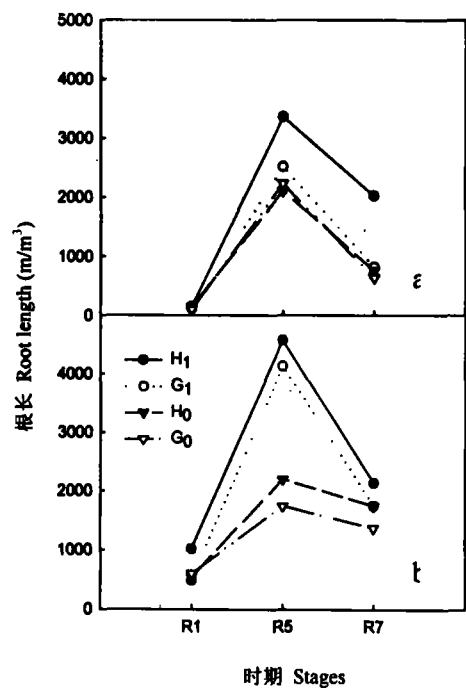


图 3 生殖生长期根长动态变化,a) 2001;b) 2002

Fig. 3 Dynamic of root length during reproductive stage. a) 2001; b) 2002

时期海—560 的根系比观—009 有更广泛的分布,而且施肥增加根量及其与土壤的接触面积。

2.1.3 根长

不同基因型的根长在生殖生长期存在着明显的差异,同时也受到施肥条件的显著影响,表现出海—560 大于观—009,施肥处理大于无肥处理(图 3)。根系生长在始粒期(R_s 期)达到最大后,各处理的根长下降幅度不同,H₁ 和 G₁ 下降 47.6%和 61.4%,H₀ 和 G₀ 下降 41.8%和 49.4%(2 年平均结果)。可见,观—009 较海—560、施肥处理较无肥处理在生育后期根系死亡率大。年际间根长的差异也较大,2002 年施肥和无肥处理的根长分别较 2001 年高 56.6%和 35.6%,海—560 和观—009 分别比 2001 年高 42.6%和 56.6%。

2.2 R_s 期根系垂直分布

自现蕾期始,大豆根系大量生长,到鼓粒期,根系中新生根的生长已基本停止,此时根量最大,根系的基本形态呈钟罩型^[6,12]。本研究,中,R_s 期各处理的根系在土壤中的分布表现出相似的变化规律,均呈指数分布曲线,随着土壤深度的增加,根密度呈下降的趋势,而且递减幅度非常大,40—50cm 土层的根密度仅为 0—10cm 的 1.0%—5.2%(图 4)。各处理大部分根系都分布在 0—30cm 的耕层内,占总根量的 96.7%以上,2001 年和 2002 年分别在 668—

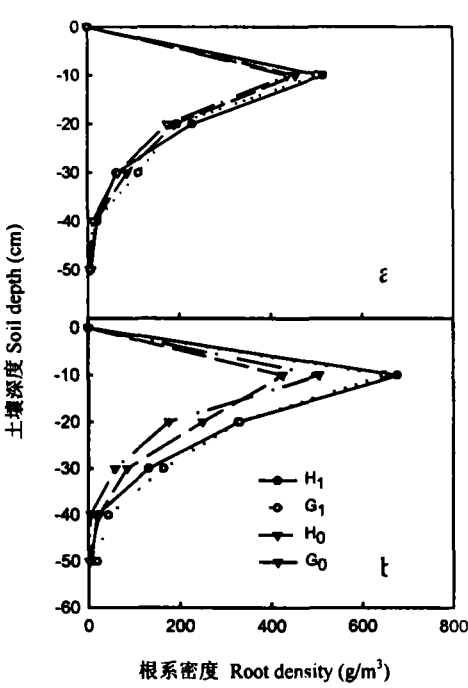


图 4 R_s 期根系密度垂直分布,a) 2001;b) 2002

Fig. 4 Profiles of root biomass density at R_s stage. a) 2001; b) 2002

808g/m³ 和 740—1144g/m³ 范围内变化,而且 30cm 以内土层的根密度随施肥处理呈现增加的趋势,2001 年和 2002 年施肥处理较无肥处理分别高 14.6%和 52.0%,但随着深度的继续增加(30cm 以下),根密度受肥料的影响变小。在 R_s 期各土壤层次上,同一肥料处理的不同品系的根系密度相差不大,且互有交叉,并没有表现出明显的基因型差异,说明 R_s 期的根系密度与基因型间所表现的产量差异关系不大。

2.3 产量与根系性状关系

不同年份、不同处理间的产量性状及产量存在较为明显的差异(表 2),2002 年的产量普遍比 2001 年高 45.4%—63.1%,这主要是由于 2002 年 4—9 月份降雨量明显比 2001 年高,尤其是 2002 年 6、7 月份的降雨量分别是 2001 年的 30.5 倍和 1.6 倍(表 1),进而引起产量的差异。二年试验施肥处理均表现出增产效果,2001 年和 2002 年增产 16.3%和 13.0%,而且基因型间的产量差异也比较明显,除 2001 年无肥处理二基因型的产量差异不大外,2001 年和 2002 年 H₁ 的产量比 G₁ 高 13.4%和 16.9%,2002 年 H₀ 的产量比 G₀ 高 4.5%。单位面积的荚数和粒数与产量有相同的变化趋势,是影响产量的主要因素,荚多、粒多,则产量性状优。

生殖生长期根系形态性状与产量关系密切,相

表 2 大豆产量及产量性状
Table 2 Soybean yield and yield components

处理 Treatments	荚数(m ²) No. of pod	粒数(m ²) No. of seed	百粒重(g) 100-seed weight	产量(g/m ²) Yield				
	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002
H ₁	577	688	1084	1640	17.8	18.3	193	304
G ₁	460	484	916	1086	19.5	23.8	179	260
H ₀	466	594	871	1453	18.0	17.7	157	255
G ₀	424	435	848	973	19.2	24.8	163	244

关分析表明(表 3),生殖生长期根系性状与产量之间关系密切,达显著水平,并且不同的根系性状间也存在着极显著的相关关系,说明生殖生长期的大豆根系生长状况很大程度上影响产量的高低。

表 3 生殖生长期根系形态性状及产量的相关关系

Table 3 Correlation—ship among root morphological traits and yield				
	根重 Root weight	根体积 Root volume	根长 Root length	产量 Yield
根重 Root weight	1			
根体积 Root volume	0.978**	1		
根长 Root length	0.977**	0.983**	1	
产量 Yield	0.753*	0.775*	0.801*	1

3 讨论

刘晓冰等^[13]指出,解析根系与产量形成之间的关系是根研究中重要的问题。董钻^[14]研究表明,作物自身的正常生长发育是地上部光合作用与地下部根群吸收水分、养分相统一的系统过程,强大的根系势必促进地上部的同化作用。本研究发现具有产量差异的二个基因型在生殖生长期根系形态性状存在较明显的差异,尤其在 R₆ 期后,产量较高的海—560 的根系生物量、根体积和根长均大于观—009,而且在降雨量有较大差异的二年试验中都表现相同的趋势,所以,选育具有根系强大,生殖生长期分布广,衰老死亡缓慢的品种将有利于对水分和养分的吸收,促进地上部干物质积累和产量形成,这与 Hudak^[13]和杨秀红^[7]的研究结果相一致。

尽管遗传背景控制植物根系生长发育的模式,但土壤环境和气候条件也是重要的影响因子^[11,16]。二年的试验结果表明,施肥处理较无肥处理、2002 年较 2001 年根系生物量、体积、根长均较高,尤其是 0—30 cm 土壤耕层的根系性状增长明显,可见,适当

的施肥能有效地促进根系生长。年际间由于 2002 年生长季的降雨量明显多于 2001 年(表 1),所以较多的降水也较大幅度地提高了土壤中的根系密度,而且施肥增强了这种趋势。水和肥作为调节作物生产力的两个重要因素都是通过影响根系—土壤关系来发挥作用的,所以,在雨养农业中如何根据气候变化因地制宜的进行科学合理施肥,协调水肥关系,调控根系发育,扩大根系吸收空间,提高水分及养分利用率,进而提高作物产量是十分必要的。

根系性状间存在显著的相关关系。根系生物量与根体积、根长之间,根体积与根长之间都存在线性相关关系,而且各根系性状与产量之间的相关系数以根长为最高,根长与产量的关系更为密切,这也进一步证实了 Costa 等^[17]的研究结果。

研究表明^[8],大豆开花结荚期根系内氨基酸含量高峰的出现是防止花荚脱落的生理适应的表现,而根系内氨基酸含量高峰的出现又必须以含糖量的增加为基础。根系内的可溶性糖含量、伤流液电导率、导管数目、导管面积、渗透吸水能力等都是反映根系机能的重要生理指标^[19,20]。所以,大豆根系与产量关系还需从根系生理生化特性、根系解剖结构与根系机能的关系进行深入探讨。

参 考 文 献

1 Markus L, Alberto S, Peter S et al. Root development of maize (Zea mays L.) as observed with Minirhizotrons in Lysimeters [J]. Crop Sci., 2000, 40: 1665—1672

2 Zoon F C, Van Tienderen PH. A rapid quantitative measurement of root length and root branching by microcomputer image analysis[J]. Plant and Soil, 1990, 126: 301—308

3 Liu XB, Herbert SJ, Jin J, et al. Responses of photosynthetic rates and yield/quality of main crops to irrigation and manure application in the black soil area of Northeast China[J]. Plant and Soil, 2003, 00: 1—6

4 王法宏. 大豆抗旱性品种特性的研究[J]. 莱阳农学院学报, 1990, 7(3): 196—199

- 5 孙广玉. 大豆根系生长和活性特点的研究[J]. 大豆科学, 1996, 15(4), 317—320
- 6 傅金民, 董钻. 大豆根系生长与产量的关系[J]. 大豆科学, 1987, 6(4), 261—279
- 7 宇万太, 于永强. 植物地下生物量研究进展[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6), 927—932
- 8 Migue R. The vertical distribution of belowground biomass in grassland communities in relation to grazing regime and habitat characteristics[J]. J Veget Sci., 1995, 6, 63—72
- 9 杨秀红, 吴宗璞, 张国栋. 对肥水条件反应不同的大豆品种根系性状的比较研究[J]. 中国油料作物学报, 2001, 23(3), 23—25
- 10 Newman EI. A method of estimating the total length of root in a sample[J]. Journal of Applied Ecology, 1966, 3, 139—145
- 11 Merrill SD, Tanaka DL, Hanson JD. Root length growth of eight crop species in Haplustoll soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 2002, 66, 913—923
- 12 金剑, 刘晓冰, 王光华. 大豆[*Glycine max* (L.) Merrill 根系研究进展[J]. 大豆科学, 2002, 21(3), 223—227
- 13 刘晓冰, 王光华. 根系研究的现状与展望[J]. 世界农业, 2001, (9), 42—44
- 14 董钻. 盆栽条件下大豆冠根比研究初报[J]. 吉林农业科学, 1982, 4, 22—26
- 15 Hudak, CM. Root distribution and soil moisture depletion pattern of a drought—resistant soybean plant introduction[J]. Agron. J., 1996, 88, 478—485
- 16 Zobel RW. Soil environmental constraints to root growth[J]. Adv. Soil Sci., 1992, 19, 27—51
- 17 Costa C, Dwyer LM, Hamilton RI, et al. A sampling method for measurement of large root systems with scanner—based image analysis[J]. Agron. J., 2000, 92, 621—627
- 18 金莹完. 大豆根系的生理生化合成功能与花荚脱落关系的初步研究[J]. 吉林农业科学, 1984, (3), 43—48
- 19 任其云. 玉米苗期根系生态生理的研究[J]. 作物学报, 1982, (3), 169—178
- 20 王法宏, 郑丕尧, 王树安, 等. 大豆不同抗旱性品种根系性状的比较研究, I 形态特征及解剖组织结构[J]. 中国油料, 1989, (1), 32—37

STUDY ON RELATIONSHIP BETWEEN ROOT MORPHOLOGY DURING REPRODUCTIVE STAGE AND YIELD IN SOYBEAN

Jin Jian^{1,2} Liu Xiaobing^{2,3} Wang Guanghua² Li Yanhua² Pan Xiangwen² S. J. Herbert³

(1. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039; 2. Northeast Institute of Geography and Agro—ecology, Chinese Academy of Sciences Harbin, 150040;

3. Department of Plant and Soil Sciences, University of Massachusetts, Amherst, MA, 01003 USA)

Abstract Using soybean lines that had been stable in genetic background, a compare experiment on root morphology during reproductive stage was conducted for two years. The results showed that there was difference on root morphological characteristics in two genetic types, especially after R₅ stage, the root biomass, root volume and root length of high yielding line Hai—560 were higher than that of Guan—009; fertilizer improved root growth and root density in soil was high in large rainfall year, which fertilizer application enhanced this trend as well, especially in 0 ~ 30 cm soil layer; there was significant relationship between yield and root traits, among which root length had closer relation with yield. In rain—fed agriculture, breeding strong—root soybean cultivar and adjusting fertilizer application with climate change and local conditions was quite necessary for regulating the relationship between water and fertilizer and increasing use efficiency of water and nutrients to obtain high yield.

Key words Soybean; Yield; Root; Reproductive stage