

不同滴水量对大豆根系生长和花荚形成的影响

章建新, 朱倩倩, 王维俊

(新疆农业大学 农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:为揭示滴水量对大豆根系生长和花荚形成的影响规律,以中黄35为材料,研究了4种滴水量对0~100 cm土层含水量、0~60 cm土层根系干重密度和侧根长密度、花数、腔数、产量和水分利用效率的影响。结果表明:增加滴水量显著提高0~40 cm土层含水量下限,增加总耗水量,降低大豆对60~100 cm土层储水消耗;显著增加生育期间根系干重密度和侧根长密度,增幅随土层变深迅速减小,增加各生育时期根系伤流量;增加总花数、腔花比值、总腔数、总粒数和粒重,最终提高大豆产量和水分利用效率。适宜滴水处理实现节水高产在于花荚期建立了发达根系、增加总花数、提高腔花比。滴水量 $2\,602.5\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理获得最高产量($6\,120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),0~60 cm根干重和侧根长峰值依次为 $137.37\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $740\text{ m}\cdot\text{m}^{-2}$;总花数 $3\,707\text{ 万朵}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、腔花比0.85、总腔数 $3\,159.4\text{ 万个}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、总粒数 $2\,868.0\text{ 万个}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、水分利用效率 $1.47\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。伊宁地区春大豆适宜滴水量为 $2\,602.5\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右。

关键词:大豆;滴灌;超高产;根系;花数;水分利用效率

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2013)05-0609-05

Effect of Drip Irrigation Quantities on Roots Growth and Formation of Flowers and Pods in Soybean

ZHANG Jian-xin, ZHU Qian-qian, WANG Wei-jun

(College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Several soybean yield records are obtained in Xinjiang under irrigation in recent years. However, the response of soybean root growth and yield formation to drip irrigation are less documented. Soybean *cv.* Zhonghuang 35 was planted in Yining, and four total irrigation amount of $1\,477.5$, $1\,852.5$, $2\,227.5$ and $2\,602.5\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ were applied. Increasing irrigation amount enhanced lower limit of water content in 0–40 cm soil layer and total water consumption, decreased storage water consumption in 60–100 cm soil layer, increased root dry weight density, lateral root length density and bleeding sap amount at each growth stage, promoted total flower, cavity and seed number, ratio of cavity to flower, as well as seed weight. Hence, increased yield and water use efficiency (WUE). The high-yielding and water-saving effect of appropriate drip irrigation attributed to establishing well-developed roots and increasing total flower number and cavity to flower ratio from flowering to podding stage. Treatment of irrigation $2\,602.5\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ obtained highest yield of $6\,120\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, and the peak of root dry weight and lateral root length was $137.37\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ and $740\text{ m}\cdot\text{m}^{-2}$; total flower, cavity and seed number were $3\,707$, $3\,159$ and $2.868\times 10^7\cdot\text{ha}^{-1}$, respectively; cavity to flower ratio was 0.85 and WUE was $1.47\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. The suitable quantities of drip irrigation for spring soybean was about $2\,602.5\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ in Yining region.

Key words: Soybean; Drip irrigation; Super-high-yield; Root; Flower number; Water use efficiency

大豆需水量较高,在豆类作物中对缺水最敏感^[1]。面临全球农业灌溉用水日益匮乏的现状,实现节水与高产的统一是大豆生产急需解决的关键问题。滴灌技术是局部灌溉技术,具有土壤湿润区小、灌水频繁等特点^[2]。近年,滴灌大豆在新疆创造了全国大豆高产纪录^[3-4],初步显示出滴灌大豆节水增产潜力。根系是作物重要的吸收和代谢器官,其生长状况不仅直接控制着作物根系吸收水分和养分的能力,而且还制约着作物地上部生长发育^[5]。在一定水分范围内,根系生长与土壤水分状况呈正相关^[6],侧根发生部位受不同深度土壤含水量的影响^[7]。深层根系具有提水作用,不仅延缓植株衰老,而且对产量的提高有显著作用^[8]。而关于滴灌大豆栽培根系

形态生理特征尚不清楚。为此,初步研究了不同滴水量对大豆根系生长、分布、花荚形成和产量的影响,旨在探讨滴灌节水高产大豆根系时空分布与耗水特征,为滴灌大豆节水高产栽培提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2012年在新疆伊犁地区伊宁县科技示范园区(萨地克于孜乡)进行。试验地为壤土,前茬作物为玉米。土壤有机质 $20.10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $36.97\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $15.25\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $193.05\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。翻地前施磷酸二铵 $150.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。供试大豆品种为中黄35。2012年4月14日抢墒人

收稿日期:2013-04-07

基金项目:国家自然科学基金(31160266,31060179)。

第一作者简介:章建新(1962-),教授,博士生导师,主要从事大豆高产栽培生理研究。E-mail:zjxin401@126.com。

工播种。按宽行 50 cm、窄行 30 cm 的宽窄行播种。4 月 28 日出苗,第一复叶全展时定苗,株距 8.3 cm,理论保苗 $30.0 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。6 月 7 日喷施 15% 多效唑可湿性粉剂 $0.225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,6 月 15 日再次喷施 $0.42 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。6 月 8 日开始开花,6 月 8 日人工开沟施尿素 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,6 月 9 日滴头水,8 月 31 日前后完熟。

设 $1477.5 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (W_1)、 $1852.5 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$

(W_2)、 $2227.5 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (W_3)、 $2602.5 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (W_4) 4 种滴水处理。田间按顺序排列,每小区长 10 m,宽 2.4 m (6 行),面积 24.0 m^2 ,3 次重复。田间按 1 管 2 行将毛管布置于窄行间。用水表控制滴水量,每次滴水时间和滴水量见表 1。大豆播种至成熟期间 (4~8 月) 各月降水量依次为 3.5, 14, 27, 22, 37 mm, 累计降水量为 103.5 mm。

表 1 各滴水处理的灌水时间和灌水量

Table 1 Irrigation time and quantities of different drip water treatments

处理	灌水时间 Irrigation date (month-day)					总滴水
Treatment	06-09	06-21	07-03	07-22	08-15	Total quantities of drip water / $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$
W_1	225	225	300	427.5	300	1477.5
W_2	300	300	375	502.5	375	1852.5
W_3	375	375	450	577.5	450	2227.5
W_4	450	450	525	652.5	525	2602.5

1.2 测定项目与方法

将 0~100 cm 土层以 20 cm 为间隔平均分为 5 层,分别于播种前和大豆生育期间 (从第一次滴水后开始每隔 5 d 测定 1 次,直到完熟期) 在处理小区中间的宽行 1/2 行距处,用土钻分层取土样,烘干称重法测定,每处理重复 2 次;分别在 6 月 23 日、7 月 23 日、8 月 10 日和 8 月 24 日,取各处理 0~20、20~40、40~60 cm 根样,取样土体积为 $40 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ (长×宽×高,长度起于宽行 1/2 行距处,止于相邻窄行 1/2 行距处),重复 2 次,收集各土层中全部根,洗净泥土、去除杂质,获得各处理根样,将主根与侧根分开,用交叉法测定侧根长度,烘干法测定总根干重;分别在 6 月 3 日、6 月 29 日、7 月 22 日、8 月 25 日用称重法测定各处理根系伤流量;自始花期开始,各处理选取生长整齐一致、具代表性连

续 5 株挂牌,每 2 d 调查 1 次主茎开花数,直至整株开花结束,统计单位面积总花数;成熟期各处理选取具代表性连续 15 株,逐株测定荚数、粒数和总腔数,计算产量结构、腔花比值、结实率;成熟期每小区分别收获 4.8 m^2 (仅收中间 4 行) 人工脱粒称重,随机取样 100 g,在 80°C 下烘至恒重,计算籽粒含水量,最终计算含水量 13.5% 的折合产量。

1.3 数据分析

应用 Excel 2007 进行数据处理、SPSS 13.5 软件统计分析数据, SigmaPlot 10.0 和 Excel 2007 绘图。

2 结果与分析

2.1 滴水量对 0~100 cm 土壤含水量的影响

处理间 0~100 cm 土层土壤含水量差异达显著水平,均表现为 $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$ (图 1)。其中,处

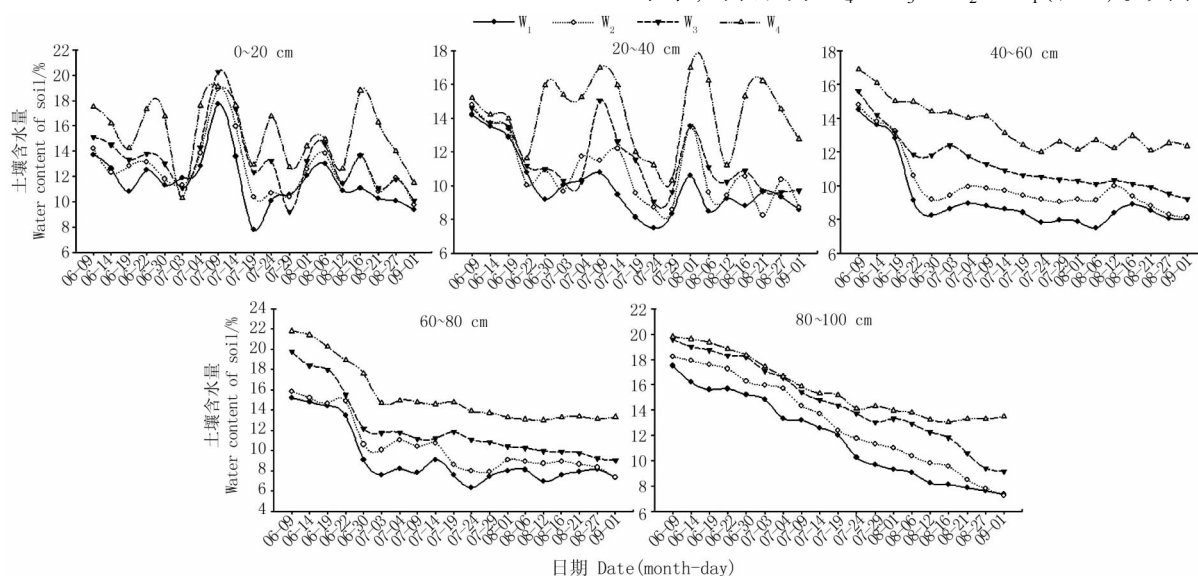


图 1 各处理土壤含水量动态变化

Fig. 1 Changes of soil water content in different drip water treatments

理间 0~20 和 20~40 cm 土层含水量差异大,并且滴水前后起伏变化大。在开花结荚期间,处理间土壤含水量的下限差异很大;处理间 40~60 和 60~80 cm 土层含水量差异较大,滴水前后起伏变化小;处理间 80~100 cm 土层含水量差异变小,滴水前后无起伏变化;20~60 cm 土层含水量上限明显低于 0~20 和 80~100 cm 土层。说明滴水处理仅直接影响 0~40 cm 土层含水量,花荚期 20~60 cm 土层因耗水较多,滴水的补偿明显少于 0~20 cm 土层而导致含水量较低。增加滴水量能够显著提高 0~40 cm 土层含水量下限,显著减少大豆中后期对 60~100 cm 土层水分消耗量。

2.2 滴水量对根系干重及干重密度的影响

在大豆开花结荚期间,各处理根系干重随着生育进程的后移迅速增加,均在 8 月 10 日前后达到峰值后迅速降低。根系干重随着滴水量的增加而增加,表现为 $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$ (图 2)。0~60 cm 土

层根干重密度随土层深度的增加而迅速下降;不同滴水处理 0~20 和 20~40 cm 土层的根系干重密度差异达显著水平,多表现为 $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$,生育中期 40~60 cm 土层根系干重密度随滴水量增加,呈现先增后降的变化趋势(图 3)。增加滴水量对 0~20 cm 土层根系干重密度增长的促进作用显著大于 20~40 和 40~60 cm 土层。

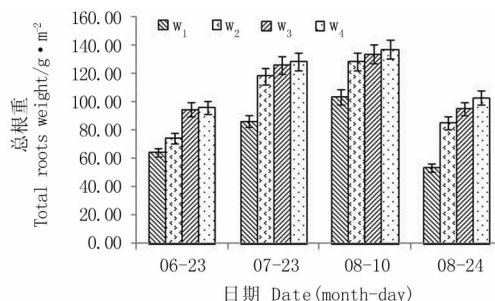


图 2 各处理 0~60 cm 大豆总根干重动态变化
Fig. 2 Changes of total soybean root dry weight among all treatments in 0-60 cm soil layer

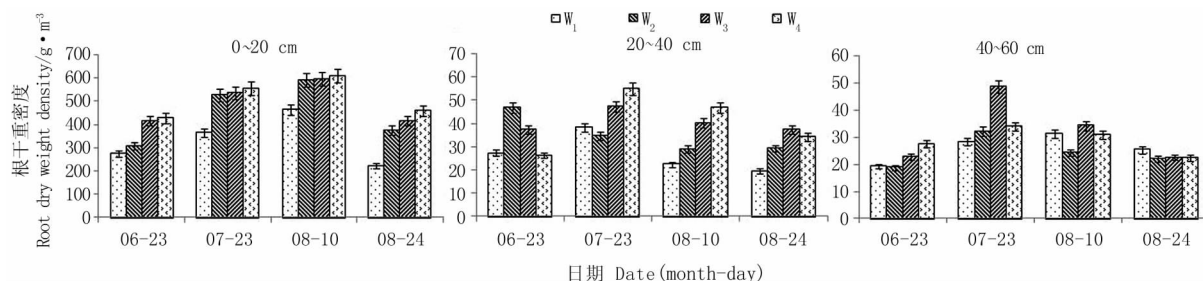


图 3 各处理不同土层大豆根系干重密度的动态变化

Fig. 3 Changes of soybean root dry weight density among all treatments in different soil layer

2.3 滴水量对侧根长、侧根长密度和伤流量的影响

如图 4 所示,不同滴水处理 0~60 cm 土层的侧根长度处理间差异均随生育进程后移逐渐增大,并在 8 月 10 日前后达到最大值后迅速减小。在 6 月 23 日~8 月 10 日,处理间总侧根长的差异达到显著水平,均表现为 $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$ 。各生育时期 0~20 cm 土层侧根长密度明显大于 20~40 和 40~60 cm 土层,以 8 月 10 日前后处理间侧根长密度差异最大;在 8 月 24 日,处理间 0~20、20~40 cm 土层侧根长密度差异变为不显著,但 40~60 cm 土层的侧根长密度差异仍达显著水平(图 5)。由图 6 可知,增加滴水量可显著增加各生育时期的根系伤流量,以 6 月 29 日、7 月 22 日和 8 月 25 日的增幅较大。由于增加滴水量显著增加了开花结荚期间单位面积总根长和根长密度,显著延缓鼓粒期间 40~60 cm 土

层根长密度衰减,因而导致相应时期根系伤流量的显著增加。

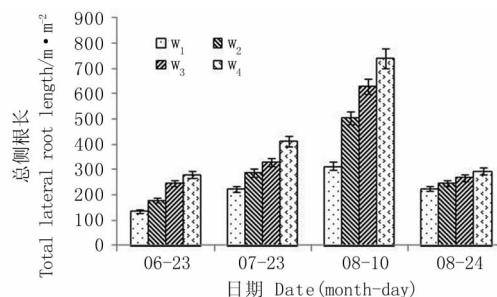


图 4 各处理 0~60 cm 大豆总侧根长动态变化

Fig. 4 Changes of soybean total lateral root length among all treatments in 0-60 cm soil layer

2.4 滴水量对花、荚形成和产量的影响

由表 2 和表 3 可见,增加滴水量能够显著增加单株花数、单位面积总花数、单株荚数和单位面积总

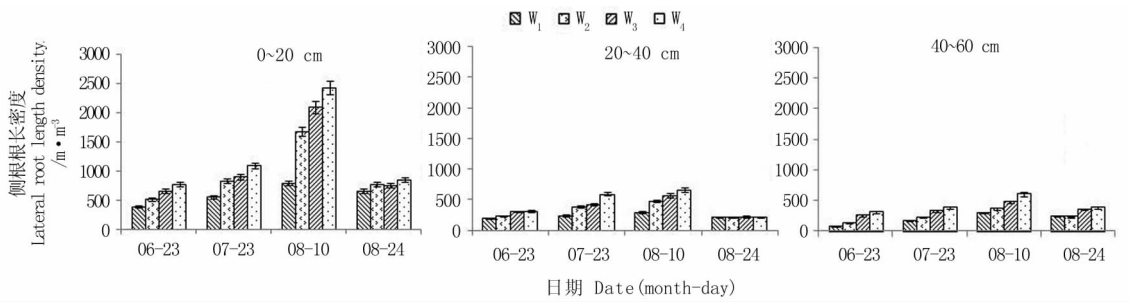


图 5 各处理不同土层侧根长密度动态变化

Fig. 5 Changes of soybean lateral root length density among all treatments in different soil layer

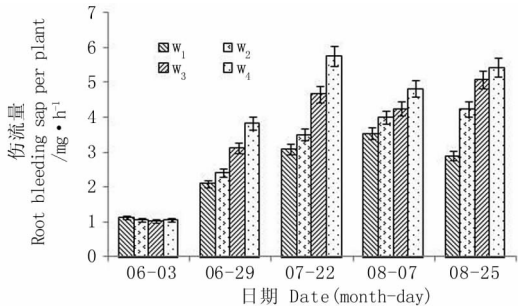


图 6 各处理根系伤流量的动态变化

Fig. 6 Changes of soybean root bleeding sap among all treatments

腔数,进而显著增加单株粒数和单位面积总粒数,最终显著增加产量。腔花比值也随着滴水量增加而提高,处理间结实率无显著差异。其中,W₄处理较 W₁ 处理单株花数增加 32.89%、腔花比值提高 0.28、单株腔数增加 100%、单株粒数增加 98.4%,产量由 2 756.3·hm⁻² (W₁) 增加到 6 120 kg·hm⁻² (W₄),增幅 122.0%。可见,增加滴水量主要在于增加了单株花数和腔花比,进而增加单株腔数,最终增加单株粒数而大幅度增加产量。

表 2 不同滴水量处理的花荚数

Table 2 Flowers and pods number of soybean under different drip irrigation treatments

处理 Treatment	总株数 Total plants / × 10 ⁴ plant·hm ⁻²	单株花数 Flowers per plant	总花数 Total flowers / × 10 ⁴ flower·hm ⁻²	单株腔数 Cavities per plant	总腔数 Total cavities / × 10 ⁴ cavity·hm ⁻²	腔花比值 The ratio of cavities and flowers
W ₁	30.12 a	95.8 d	2885.5 d	54.23 d	1633.4 c	0.57 c
W ₂	28.94 a	113.4 c	3282.8 c	92.48 c	2676.3 b	0.82 b
W ₃	28.53 a	122.2 b	3486.4 b	104.45 b	2979.9 ab	0.85 a
W ₄	29.12 a	127.3 a	3707.0 a	108.49 a	3159.4 a	0.85 a

表 3 不同滴水量处理大豆产量构成因素比较

Table 3 Comparison on yield components of soybean under different drip irrigation treatments

处理 Treatment	收获株数 Harvest plant number / × 10 ⁴ plant·hm ⁻²	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	总粒数 Total seeds number / × 10 ⁴ seed·hm ⁻²	结实率 Seed setting rate /%	百粒重 100-seed weight /g	产量 Yield /kg·hm ⁻²
W ₁	30.12 a	36.62 c	49.63 d	1494.9 d	91.5 a	19.17 c	2756.3 d
W ₂	28.94 a	39.93 b	85.55 c	2475.7 c	92.5 a	20.97 b	5022.8 c
W ₃	28.53 a	41.91 ab	94.21 b	2687.9 b	90.2 a	21.54 ab	5526.2 b
W ₄	29.12 a	43.20 a	98.49 a	2868.0 a	90.7 a	22.12 a	6120.0 a

产量和百粒重为 13.5% 含水量。

Water content of the yield and 100-seed weight were 13.5%.

2.5 滴水量对耗水构成和水分利用效率的影响

由表 4 可见,随着滴水量增加,大豆对土壤储水的消耗量大幅度降低,而总耗水量呈现大幅度增加趋

势,灌溉水利用效率则呈先增后降的变化趋势,以 W₂ 处理最高,为 2.71。水分利用效率 (WUE) 随滴水量的增加而显著提高,以 W₄ 处理最高,为 1.47。

表 4 不同滴水量处理的耗水构成和水分利用效率

Table 4 The water consumption components and WUE of different drip irrigation treatments

处理 Treatment	总滴水 Total drip water /m ³ ·hm ⁻²	土壤储水消耗 Soil storage water consumption /m ³ ·hm ⁻²	降水 Precipitation /m ³ ·hm ⁻²	总耗水 Total water use /m ³ ·hm ⁻²	水分利用效率 WUE /kg·m ⁻³	灌水利用效率 Irrigation use efficiency /kg·m ⁻³
W ₁	1477.5	1088.1 a	1035	3600.6 d	0.77 c	1.87 d
W ₂	1852.5	871.5 b	1035	3759.0 c	1.34 b	2.71 a
W ₃	2227.5	608.4 c	1035	3870.9 b	1.43 a	2.48 b
W ₄	2602.5	525.3 d	1035	4162.8 a	1.47 a	2.35 c

3 结论与讨论

大豆根系干重 85% 分布在垂直方向的 0 ~ 10 cm,根系适宜取样深度为 50 cm^[9]。水分亏缺显著降低根干重、根系吸收表面积、根伤流量和根活力^[10],且对大豆根系分布、根长度、产量都有很大影响^[11-13]。开花期、结荚期和鼓粒期干旱对产量影响最大^[14]。本试验结果表明,增加滴水量能够显著提高 0 ~ 40 cm 土层含水量下限;显著促进开花结荚期间 0 ~ 20 cm 土层根系干重密度和侧根长密度增长,延缓鼓粒期根系干重密度和根长密度的衰减,显著增加各生育时期根系伤流量。大豆开花结荚期伴随着根系的旺盛生长,鼓粒期伴随着根系衰老。可见,大豆开花结荚期干旱减产严重的主要原因是干旱严重抑制此期根系的生长,同时降低成花数和腔花比值,大幅度减少腔数和粒数。因此,适宜滴水量处理通过促进根系健壮生长,进而增加单位面积总花数、提高腔花比值,增加单位面积总腔数、总粒数和粒重,最终获得了超高产;在增加大豆总耗水量的同时,大幅度降低 60 ~ 100 cm 土层储水的消耗,提高了水分利用效率。基于以上结果,建议伊犁地区晚熟春大豆适宜滴水量为 2 602.5 m³·hm⁻²左右。在本试验的中后期,各处理 60 ~ 100 cm 土层含水量均呈现明显下降的趋势,表明在大豆生育中后期各处理根系仍能不同程度吸收消耗 60 ~ 100 cm 土壤储水,暗示着 60 ~ 100 cm 土层仍有根系分布。本文未测定 60 ~ 100 cm 土层根系干重和长度。有关大豆深层根系分布、生理特性及其与产量的关系有待进一步研究。

参考文献

[1] 张明才,何钟佩,田晓莉,等. SHK-6 对干旱胁迫下大豆叶片生理功能的作用[J]. 作物学报,2005,31(9):1215-1220. (Zhang M C, He Z P, Tian X L, et al. Effects of plant growth regulator SHK-6 on physiological function of soybean leaves under water deficiency[J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(9): 1215-1220.)

[2] 张一平. 土壤水分热力学[M]. 北京:科学出版社,2006:46-64. (Zhang Y P. Thermodynamics of soil water[M]. Beijing: Science Press, 2006: 46-64.)

[3] 罗赓彤. 中黄 35 在新疆创大面积高产纪录[J]. 大豆科学, 2009, 28(6): 1118. (Luo G T. Zhonghuang35 set high yield records for big area in Xinjiang[J]. Soybean Science, 2009, 28(6):

1118.)

[4] 叶兴国,肖文言,颜清上. 根植黑土地,香飘黄淮海—贺大豆遗传育种家王连铮先生八十岁华诞[J]. 大豆科学,2010,29(6): 909-914. (Ye X G, Xiao W Y, Yan Q S. Professor Wang Li-anzheng's soybean breeding achievements: from Northeast to North of China-Dedication to the 80th Birthday of professor Wang Li-anzheng, a famous soybean breeder in China[J]. Soybean Science, 2010, 29(6): 909-914.)

[5] Marschner H, Kirkby E A, Cakmak I. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients[J]. Journal of Experimental Botany, 1996, 47: 1255-1263.

[6] Turner N C, Begg J E. Plant-water relations and adaptation to stress[J]. Plant and Soil, 1981, 58(1-3): 97-113.

[7] Taylor H M, Klepper B. Water relations of cotton. I. root growth and water use as related to top growth and soil water content[J]. Agronomy Journal, 1974, 66: 584-588.

[8] 王法宏,王旭清,刘素英,等. 根系分布与作物产量的关系研究进展[J]. 山东农业科学, 1997(4): 48-51. (Wang F H, Wang X Q, Liu S Y, et al. A review on relation between distribution of crop root and yield[J]. Journal of Shandong Agricultural Science, 1997(4): 48-51.)

[9] 孙广玉,张荣华,黄忠文. 大豆根系在土层中分布特点的研究[J]. 中国油料作物学报, 2002, 24(1): 45-47. (Sun G Y, Zhang R H, Huang Z W. Soybean root distributions in meadow-blackland and albic-soil[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2002, 24(1): 45-47.)

[10] 沈融,章建新,古丽娜,等. 亏缺灌溉对大豆根系生长和养分积累及产量的影响[J]. 大豆科学, 2011, 30(1): 62-66. (Shen R, Zhang J X, Gu L N, et al. Effect of deficit irrigation on root development, nutrient accumulation and yield in soybean[J]. Soybean Science, 2011, 30(1): 62-66.)

[11] 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. (Jin J, Liu X B, Wang G H. Research progress of soybean root[J]. Soybean Science, 2002, 21(3): 223-227.)

[12] Dadson R B, Hashem F M, Javaid I. Effect of water stress on the yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes in the delmarva region of the United States[J]. Agronomy and Crop Science, 2005, 191: 210-217.

[13] Hudak C M, Patterson R P. Vegetative growth analysis of adrought-resistant soybean plant introduction[J]. Crop Science, 1995, 35: 464-471.

[14] 赵宏伟,李秋祝,魏永霞. 不同生育时期干旱对大豆主要生理参数及产量的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(3): 329-332. (Zhao H W, Li Q Z, Wei Y X. Effect of drought at different growth stages on main physiological parameters and yield in soybean[J]. Soybean Science, 2006, 25(3): 329-332.)