

不同滴水处理对大豆根系生长及耗水特性的影响

崔可夫, 章建新, 朱倩倩, 段丽娜

(新疆农业大学 农学院, 新疆 乌鲁木齐 830056)

摘要:为揭示滴水量对大豆根系生长的影响规律,以中黄35为材料,采用管栽方法研究了9次(W_1)、11次(W_2)、13次(W_3)、15次(W_4)4种滴水处理(总滴水量依次为21.0、25.8、30.6、35.4 kg·管⁻¹)对0~100 cm土层含水量、根系干重分布和耗水等的影响。结果表明:随着滴水次数和总滴水量增加,直接增加0~40 cm土层含水量,间接减少40~100 cm土层贮水消耗量,增加总耗水量;开花前滴水抑制开花前40~60 cm、60~80 cm土层根系生长,增加开花结荚期滴水次数和总滴水量明显促进花荚期20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm土层根系生长,增加结荚至成熟期根系总量,提高根系伤流量和0~20 cm土层根系活力,提高产量、产量与根干重比值和水分利用效率。因此,花前15 d适度干旱促进根系生长,开花期后增加滴水次数和总滴水量可促进根系生长,提高产量和水分利用效率;少量多次滴灌方式不利于40 cm以下土层大豆根系生长。

关键词:滴水量;大豆;根系;耗水特性

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2014.06.0848

Effects of Different Drip Irrigation Treatments on Root Growth and Water Consumption Characteristics of Soybean in Each Soil Layer

CUI Ke-fu, ZHANG Jian-xin, ZHU Qian-qian, DUAN Li-na

(College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830056 China)

Abstract: To reveal the influence of drip water quantities on root growth of soybean, taking Zhonghuang 35 as tested material, using tube plant method by 9(W_1), 11(W_2), 13(W_3), 15(W_4) times of different drip irrigation quantities treatments (total amount of drip water were 21.0, 25.8, 30.6 and 35.4 kg·tube⁻¹, respectively) the water content, root dry weight distribution and water consumption of soil layer in 0-100 cm were studied. The results showed that with the increase of drip times and the total amount of drip water, soil water content in 0-40 cm was increased directly, soil water consumption in 40-100 cm was indirectly reduced and the total water consumption was increased; root growth in 40-60 cm and 60-80 cm was inhibited before flowering when dripping before flowering, increasing dripping times and total amount of dripping water at flowering and pod stages could obviously promote root growth in 20-40 cm, 40-60 cm and 60-80 cm at flowering and pod period, and increase the total amount of root from pod to mature stages, root flux activity and root activity in 0-20 cm, increase the yield, the ratio of yield and root dry weight and water use efficiency of soybean. It is beneficial to promote root growth when it was moderate drought fifteen days before flowering period, moreover increase times and total amount of drip irrigation after flowering period could promote root growth, and increase the yield and water use efficiency; repeated-small drip irrigation is detrimental to the root growth of 40 cm below.

Key words: Drip water quantities; Soybean; Root; Water consumption characteristics

新疆地处西北内陆干旱区,作物生产完全依靠灌溉。由于水资源严重匮乏,发展节水灌溉是作物生产的必然选择。大豆需水量较高,在豆类作物中对缺水最敏感^[1]。实现节水与高产统一是大豆生产急需解决的关键问题。新疆采用膜下滴灌技术与超高产品种中黄35结合,创造了全国春大豆高产纪录^[2]。滴灌技术是一种局部灌溉技术,具有土壤湿润区小、灌水频繁等特点^[3],在干旱地区发展迅速。根系是作物的重要吸收和代谢器官,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和产量形成^[4]。大豆主根最大入土深度可达100 cm以上^[5],85%干重集中分布在0~10 cm^[6]。苗期干旱胁迫增加大豆根体积、根长、根总表面积,此后干旱胁迫均减缓根系的发育^[7]。花荚期后随着水分亏缺加重,根干重、根系吸收表面积、根伤流、根活力均呈现明显降低的变化趋势^[8]。盆栽试验研究结果表明,土壤水分对大豆根系生长及生理活性影响很大^[8-11],然而,盆栽试验不能反映田间根系性状的垂直分布状况,且有关滴灌大豆的相关研究较

收稿日期:2014-03-13

基金项目:国家自然科学基金(31160266,31060179)。

第一作者简介:崔可夫(1988-),男,硕士,主要从事作物生理研究。E-mail:stephen150@sina.com。

通讯作者:章建新(1962-),教授,博导,主要从事大豆高产栽培生理研究。E-mail:zxjin401@126.com。

少^[12-13],不同滴水处理对大豆根系形态生理特征分布的影响尚不清楚。为此,采用管栽方法系统地测定不同滴水处理对中黄 35 根系干重、根系活性等在 0~100 cm 土层分布及耗水的影响,以期揭示土壤水分对大豆根系形态生理性状分布及产量的影响规律,为滴灌大豆高产栽培提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验条件及管理

试验于 2012 年在新疆农业大学气象站进行,供试大豆品种为中黄 35,晚熟亚有限结荚习性。2011 年秋将直径 25 cm,高 100 cm 的 PVC 管沿直径线纵向剖开后,再对接复原管形,用胶带粘管缝和铁丝箍紧,整齐排列在 95 cm 深的坑内。大田 0~100 cm 土层按每 20 cm 分 1 层取土,共分 5 层,分别过筛(1 cm×1 cm)各层土后,按田间土层顺序回填管内。0~20 cm 土层有机质 1.91%,碱解氮

69.83.1 mg·kg⁻¹,速效磷 24.0 mg·kg⁻¹,速效钾 273.0 mg·kg⁻¹。入冬前灌足水。试验于 4 月 15 日播种,4 月 28 出苗。一对真叶期定苗,每管留 2 株苗。5 月 29 日和 6 月 8 日各喷 1 次 200 mg·L⁻¹多效唑。始花期后分 2 次随水滴入每次滴入尿素 2 g·管⁻¹,共 4 g·管⁻¹。播种时 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 土层含水量依次为 17.44%、15.0%、11.85%、12.34%、12.97%。播种至收获期间遇雨搭塑料棚遮雨。8 月 22 日收获测产。

1.2 试验设计

试验设 9 次(W₁)、11 次(W₂)、13 次(W₃)15 次(W₄)4 种滴水处理,每处理种 20 管,共 80 管。各处理除最后 2 次按 2.1 kg·管⁻¹·次⁻¹滴水外,其余均按 2.4 kg·管⁻¹·次⁻¹,具体滴水日期和总滴水量见表 1。

表 1 不同滴水处理的滴水日期(日/月)和总滴水量
Table 1 Date and total water amount under different drip irrigation treatments

处理 Treatment	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	滴水总量 Total water amount per tube/kg
W ₁	20/5	14/6	26/6	4/7	12/7	21/7	28/7	8/8	16/8							21.0
W ₂	26/5	8/6	17/6	26/6	3/7	10/7	17/7	24/7	31/7	8/8	16/8					25.8
W ₃	23/5	3/6	11/6	19/6	27/6	3/7	7/7	13/7	19/7	25/7	31/7	7/8	14/8			30.6
W ₄	20/5	29/5	6/6	13/6	20/6	27/6	2/7	6/7	11/7	16/7	21/7	26/7	31/7	6/8	12/8	35.4

1.3 测定项目与方法

播种时 0~100 cm 土层分 5 层,每 20 cm 分 1 层取土样,用烘干法测定各层土壤含水量,分别在每次浇水前、浇水后 12 h 左右,加测 1 次 0~20 cm 和 20~40 cm 土层含水量;分别在 6 月 8 日、6 月 22 日、7 月 8 日、7 月 23 日、8 月 8 日、8 月 22 日各处理取 3 管,去铁丝箍,沿管缝豁开,按每 20 cm 分 1 层,共分 5 层取土样,分别测定各土层含水量;将各土层中的根系检出,洗净,捡净杂质后,分别测定各土层根系活性和根干重。根活性用 TTC 法^[14],根干重在恒温干燥箱中 80℃ 烘干后称重。成熟期每处理取 4 管粒重的平均值计产。

1.4 数据分析方法

采用 Excel 2007 进行数据处理,SPSS 13.5 统计数据,SigmaPlot 10.0 和 Excel 2007 绘图。

2 结果与分析

2.1 不同滴水处理对土壤含水量的影响

如图 1 所示,不同滴水处理对 0~40 cm 土层含

水量有明显影响。随着滴水次数增加,相应增加 0~40 cm 土层含水量的“谷”“峰”变化次数,明显提高大豆生育期间 0~40 cm 土层含水量的下限,并缩短 0~40 cm 土层含水量处于下限的持续时间,其中 0~20 cm 土层含水量增幅多大于 20~40 cm 土层,40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 土层含水量开始下降的时间明显推迟;各处理 40~60 cm、60~80 cm 和 80~100 cm 土层含水量分别在 6 月 22 日、7 月 8 日、7 月 23 日后均停止下降,趋于稳定,在停止下降之前,处理间差异明显,多表现为 W₄>W₃>W₂>W₁。因而,增加滴水次数和总滴水量仅直接增加 0~40 cm 土层含水量,并明显推迟 40~100 cm 土壤贮水开始下降的时间,各处理分别在 6 月 22 日、7 月 8 日、7 月 23 日前后依次耗尽 40~60 cm、60~80 cm、60~100 cm 各土层的贮水。

2.2 不同滴水处理对根系干重的影响

如图 2 所示,6 月 8 日总根干重表现为 W₁>W₂>W₃>W₄,W₄的 6 月 8 日 40~60 cm 和 60~80 cm 土层的根干重分别仅为 W₁的 32%、52%,差

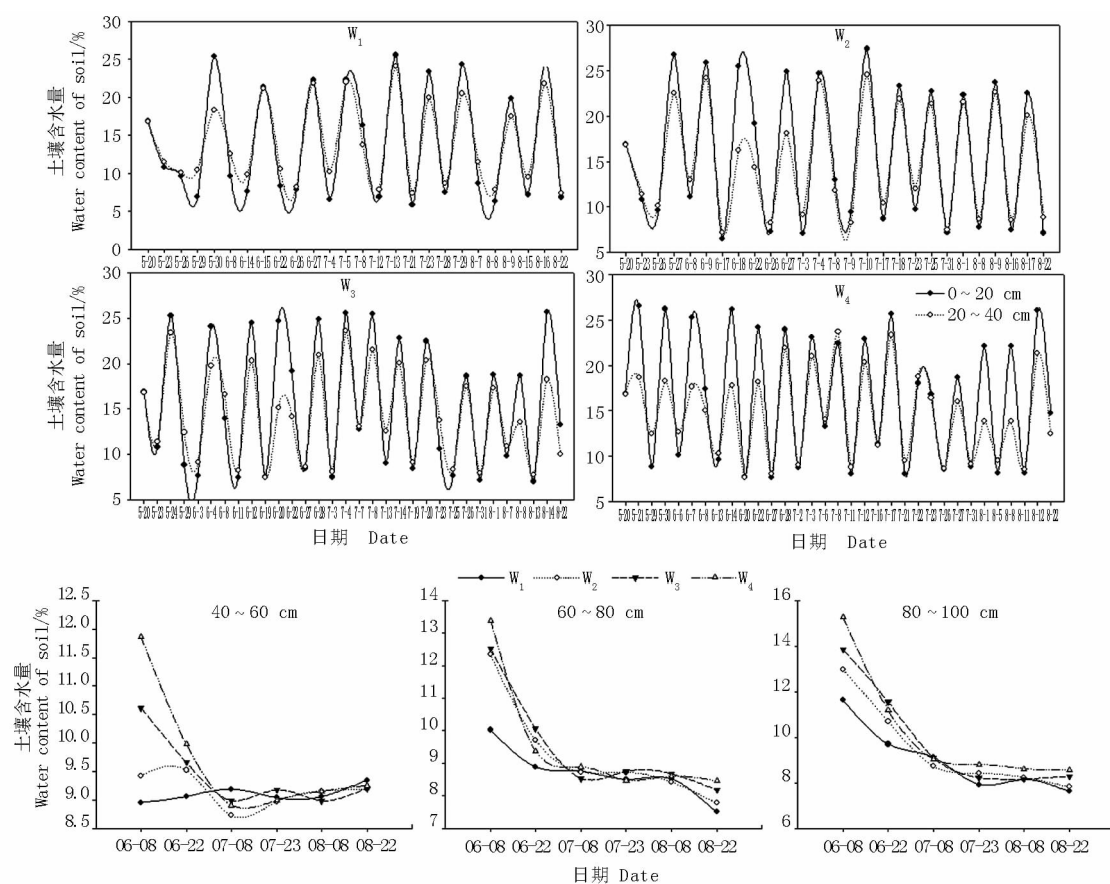


图1 不同滴水处理下的各土层含水量

Fig.1 Soil water content in each soil layer under different drip irrigation treatments

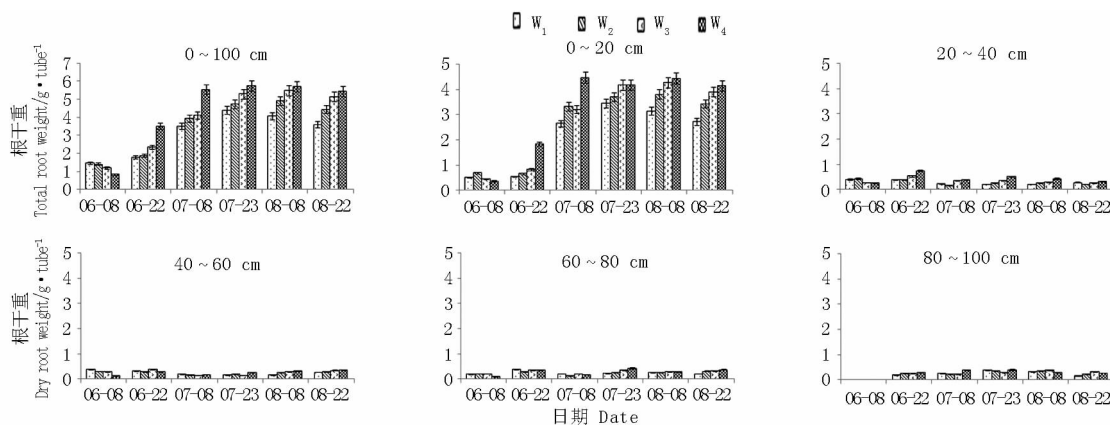


图2 不同滴水处理下的根系总重和各层干重

Fig.2 Total dry weight and each layer dry weight of roots under different drip irrigation treatments

异达显著水平;6月22日以后总干重均表现为 $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$,7月23日根总干重达峰值时 W_4 比 W_1 增加30.5%,其中, W_4 的0~20 cm土层根干重比 W_1 增加20.7%,差异达显著水平;60~80 cm土层根干重表现为6月8日 W_1 (W_2 和 W_3) $> W_4$,7月23日 $W_4 > W_3$ (W_1 和 W_2),差异达显著水平;60~80 cm土层根干重处理间差异表现无规律;从不同土层根干重来,20~40 cm和40~60 cm土层根干重自6月22日后表现下降趋势,40~60 cm土层根干重在7月23日后又呈现增加趋势,20~40 cm、40~

60 cm、60~80 cm、80~100 cm土层7月23日 W_4 根干重比 W_1 增加144.0%、70.4%、91.9%、4.9%。可见花前滴水明显抑制开花前40~60 cm和60~80 cm土层根系生长,花荚期增加滴水次数和总滴水量对花荚期20~40 cm土层根系生长的相对促进作用最大,其次是60~80 cm、40~60 cm土层,增加结荚至成熟期间根系总干重。

2.3 不同滴水处理对根系伤流量和活性的影响

如图3所示,处理间根系伤流量差异显著,随着滴水次数增加,根系伤流量显著增加,7月8日、7月

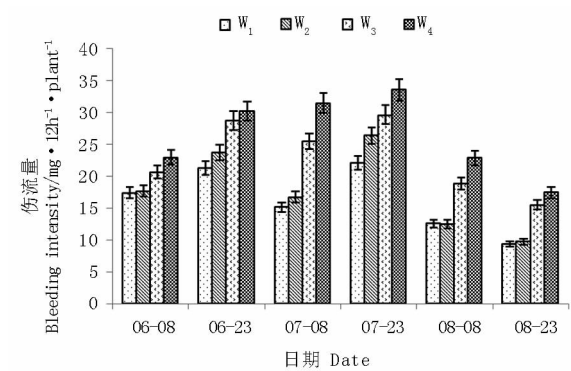


图3 不同滴水处理处理下的根系伤流量

Fig.3 Root flux activity under different drip irrigation treatments

23 日、8 月 8 日 W_4 分别较 W_1 增加 107.7%、52.0%、81.6% ;根系活力除 6 月 8 日 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层、6 月 23 日 20 ~ 40 cm 土层表现为 $W_1 > W_2 > W_3 > W_4$,其余时期的根系活性多表现为 $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$,以 0 ~ 20 cm 土层 7 月 23 日 ~ 8 月 23 日处理间根系活性差异显著, W_4 较 W_1 增幅大(见图 4); 7 月 8 日后 40 ~ 60 cm、60 ~ 80 cm、80 ~ 100 cm 土层根系活力差异均不显著(结果未列出)。可见,苗期较低的土壤水分有利于提高开花期的根系活性,开花结荚期较高土壤水分大幅度提高结荚至成熟期间 0 ~ 20 cm 土层根系活力。

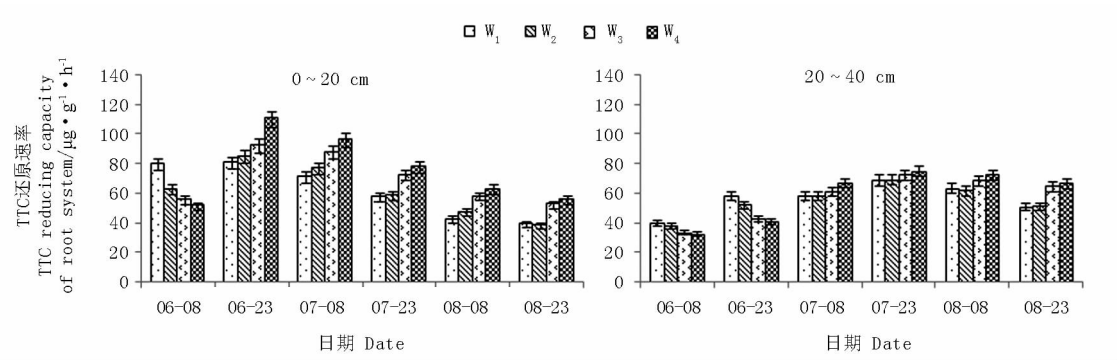


图4 不同滴水处理下的根活性

Fig.4 Root activity under different drip irrigation treatments

2.4 不同滴水处理的产量和耗水特征

如表 2 所示,每管粒数和产量处理间差异显著,随着滴水次数和总滴水量的增加,每管粒数明显增加,百粒重无显著变化,导致产量大幅度增加,土壤耗水量明显减少,总耗水量明显增加,水分利用效

率呈现增加的趋势,灌水利用效率呈现降低的趋势,产量与根干重比值明显增加。因此,增加滴水次数和总滴水量,促进根系生长和根系生理功能发挥增加单株粒数是产量、水分利用效率提高的重要原因。

表 2 不同滴水处理的产量和耗水特征

Table 2 Yield and water consumption characteristics of soybean under different drip irrigation treatments

处理 Treatment	粒数/管 Seeds No. per tube	百粒重 100-seed weight /g	产量 Yield per tube/g	土壤耗水量 Water consumption per tube/kg	灌水量 Irrigation amount per tube/kg	总耗水量 Total water consumption per tube/kg	水分 利用效率 Water use efficiency /kg·m ⁻³	灌水 利用效率 Irrigation water use efficiency /kg·m ⁻³	产量/根干重 Production /root dry weight
W_1	115.7 dD	17.4 aA	20.1 dD	3.7	21.0	24.7	0.81	0.96	4.6
W_2	139.5 cC	17.2 aA	24.0 cC	3.4	25.8	29.2	0.82	0.93	5.1
W_3	162.4 bB	17.6 aA	28.5 bB	2.4	30.6	33.0	0.86	0.93	5.5
W_4	182.5 aA	18.5 aA	32.5 aA	1.8	35.4	37.2	0.87	0.92	5.9

同列不同大小写字母表示数据在 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 水平差异显著(LSD 法检验)。下同。根干重为 7 月 23 日测定值。
Values with different capital and lowercase letters in the same column show significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$, respectively. The same below. Root weight was measured on 23rd July.

3 讨 论

根系在植物对于干旱胁迫的响应过程中起着关键的作用^[15],当根系感受水分环境的变化后会根据水分状况做出适应性反应^[16]。营养生长期随着土

壤含水量的增加,根生物量、根表面积逐渐增加,花荚期 80% 田间持水量处理的根生物量、根体积显著高于 60%、50% 田间持水量处理,鼓粒期处理间根系性状差异不显著^[11]。花荚期后随着水分亏缺加重,根干重、根系吸收表面积、根伤流、根活力均呈现明显降低的变化趋势^[7-8]。本研究结果表明:少

量多次滴水模式仅不断补充0~40 cm土层含水量,40 cm以下土层水分得不到滴水补充,随着大豆生育进程的后移,40~100 cm土层水分不断降低,而40~80 cm土层水分降低早于80~100 cm土层。因此,自开花、结荚期后易导致40~60 cm土层的含水量明显低于0~40 cm、60~80 cm、80~100 cm土层,导致40~60 cm土层的根系生长受抑制,40~60 cm土层根重占总重的2.7%~4.5%(7月23日)低于60~80 cm的5.0%~7.4%和80~100 cm的5.2%~8.4%。因此,花、荚期应适当增加每次滴水量,增加土壤湿润深度,避免40~60 cm土层根系生长受抑制。

土壤水分对根系性状的分布有明显的影响。本研究结果表明,花前0~15 d较低土壤水分(0~20 cm土层含水量16.9%~6.9%,20~40 cm土层含水量16.8%~10.4%)比较高土壤水分(0~20 cm土层含水量10.1%~26.5%,20~40 cm土层含水量12.5%~18.7%)有利于40~60 cm土层根系生长,并提高开花期(6月8日)0~20 cm土层根系活力。因此,开花前控水有利于深层根系生长和浅层根系活力提高;开花后增加滴水次数和总滴水量明显促进花、荚期20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm土层根系生长,增加结荚至成熟期间的总根干重(7月23日各处理0~20 cm土层根干重占总干重的72.5%~78.9%),并提高结荚至成熟期间的浅层(0~20 cm)根系活力,最终明显提高产量和水分利用效率。可见,20~80 cm土层根系生长状况与大豆产量形成密切相关。有关大豆深层根系生长与大豆产量形成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,2005,31:1215-1220. (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 Crop Science, 2005, 31: 1215-1220.)
- [2] 叶兴国,肖文信,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华诞[J]. 大豆科学,2010,29(6):909-914. (Ye X G, Xiao W Y, Yan Q S. Professor Wang Lianzheng's soybean breeding achievements: from northeast to north of China—Dedication to the 80th birthday of professor Wang Lianzheng, a famous soybean breeder in China[J]. Soybean Science, 2010, 29(6): 909-914.)
- [3] 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.)
- [4] 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.
- [5] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京:中国农业出版社,1999. (Dong Z. Soybean yield physiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999.)
- [6] 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.)
- [7] 刘丽君,林浩,唐晓飞,等. 干旱胁迫对不同生育阶段大豆产量形态建成的影响[J]. 大豆科学,2011,30(3):405-412. (Liu L J, Lin H, Tang X F, et al. Drought stress influence soybean yield morphogenesis in different growth stages[J]. Soybean Science, 2011, 30(3): 405-412.)
- [8] 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.)
- [9] 刘莹,蔡祈明. 大豆根系形态及苗期耐旱根系性状的研究[J]. 河北工程大学学报(自然科学版),2009,26(3):81-84. (Liu Y, Cai Q M. Root morphology and root traits related to drought tolerance at vegetation stage in soybean (*Glycine max* L. Merr.) [J]. Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition), 2009, 26(3): 81-84.)
- [10] 赵艳玲,刘克礼,刘玲玉. 施磷对水分胁迫下大豆根系特性的影响[J]. 阴山学刊,2007,21(4):58-61. (Zhao Y L, Liu K L, Liu L Y. Effect of phosphorus application on the root of soybean (*Glycine max* L. Merr.) in drought[J]. Yinshan Academic Journal, 2007, 21(4): 58-61.)
- [11] 闫春娟,王文斌,孙旭刚,等. 干旱胁迫对大豆根系发育影响初报[J]. 大豆科学,2012,31(6):924-926. (Yan C J, Wang W B, Sun X G, et al. Effect of drought stress at different growth stages on root development of soybean[J]. Soybean Science, 2012, 31(6): 924-926.)
- [12] 孙丹丹,张忠学. 滴灌大豆不同灌水量的产量与水分效应分析[J]. 东北农业大学学报,2012,43(5):100-104. (Sun D D, Zhang Z X. Study on soybean yield and water use efficiency in different drip irrigation amount[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2012, 43(5): 100-104.)
- [13] 章建新,朱倩倩,王维俊. 不同滴水量对大豆根系生长和花荚形成的影响[J]. 大豆科学,2013,31(5):609-613. (Zhang J X, Zhu Q Q, Wang W J. Quantities on roots growth and formation of flowers and pods in soybean[J]. Soybean Science, 2013, 31(5): 609-613.)
- [14] 张宪政,陈凤玉,王荣富,等. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1994:198-200. (Zhang X Z, Chen F Y, Wang R F, et al. Plant physiology experiments[M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1994: 198-200.)
- [15] Christmann A, Elmar W W, Erwin G, et al. A hydraulic signal in not-to-shoot signaling of water shortage[J]. The Plant Journal, 2007, 52: 167-174.
- [16] Kondo M, Pablico P P, Aragones D V, et al. Genotypic and environmental variations in root morphology in rice genotypes under up-land field condition[J]. Plant Soil, 2003, 255: 189-200.