

大豆水分生理生态研究进展

闫春娟,宋书宏,王文斌,董 钻

(辽宁省农业科学院 作物研究所,辽宁 沈阳 110866)

摘 要:水在大豆的一生中扮演着重要的角色,水对于调节大豆植株体内的新陈代谢,促进蛋白质的合成,提高酶活性以及碳氮代谢等方面都起着重要的作用。该文总结了大豆的需水规律,综述水分对田间小气候的调节作用以及对大豆养分吸收利用的促进作用,阐述水分对病虫害发生的影响,并概括水分对大豆生理特性及产量品质的影响,以期为高效利用水资源的旱地农业生产提供理论依据。

关键词:水分;大豆;研究概况

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-9841(2010)03-0514-05

Research Outline of Water Physiology and Ecology in Soybean

YAN Chun-juan, SONG Shu-hong, WANG Wen-bin, DONG Zuan

(Crop Institute of Liaoning Academy of Agricultural Science, Shenyang 110866, Liaoning, China)

Abstract:Soil water content plays a vital role in the growth and development of soybean, which has positive effect on yield and quality of soybean. Soil moisture also have an important effect on regulating carbon and nitrogen metabolism, promoting protein synthesis, increasing enzymic-activity in soybean. Plant can carry out life activities only on the condition that a certain amount of moisture is contained in the cell. This paper summarized the water requirement rules of soybean elucidated the important regulating function of moisture on field micro-climate and accelerating soybean nutrient absorption and utilization, summed up the influence of field humidity on disease and pest of soybean, and also formulated the significant effect of soil moisture on physiological characteristics, yield and quality of soybean. The aim is to provide theory evidences for the efficient use of water resources in dry land agricultural production.

Key words:Water; Soybean; Research outline

大豆是一种需水较多的作物,每形成 1 g 干物质需要消耗 600 ~ 800 g 水,生产 1 kg 大豆籽粒,耗水量达 2 kg 左右^[1]。在大豆生长发育过程中,水主要通过满足大豆的生理生态需水,从而维持植株的正常生命活动。水对大豆的生态作用主要表现为,水分可以调节大豆植株体内的温度,维持田间湿度,调节田间小气候。水对大豆的生理作用是至关重要的,可以概括为以下几个方面:1. 水是细胞的重要组成部分。2. 水直接参与植物体内重要的代谢过程,在光合作用、呼吸作用、有机物质合成和分解的过程中均有水的参与。3. 水是许多生化反应和物质吸收、运输的良好介质。4. 水能使植物保持固有的姿态。5. 细胞的分裂和延伸生长都需要足够的水。因此在大豆的一生中充分满足其生理生态需水,是获得大豆高产稳产的重要环节之一。关于大豆水分生理生态的研究由来已久,该文从大豆的需水规律,水分对田间小气候的调节作用,对肥料吸收的促进作

用,对病虫害发生的影响,以及水分对大豆生理特性及产量品质的影响等各方面进行综述,以期为高效利用水资源的大豆生产实践提供理论依据。

1 大豆的需水规律

大豆的需水量,随品种、气候、土壤、营养条件、生长季节长短和其它农业措施的变化而变化。世界上比较认同的大豆一生的需水量在 450 ~ 700 mm 之间,而我国在 500 ~ 600 mm 之间^[2]。大豆不同生育时期对水分的需求及其生理作用是不同的。大豆发芽时要求水分充足,只有大豆种子达到 50% 左右的含水量才能萌发,当土壤含水量低于 -6.6×10^5 Pa,不能正常发芽^[1]。而幼苗期干旱可以促进根系深扎,便于中耕除草,对大豆生长发育有利。大豆开花结荚期需水量最多,此时期,一方面营养生长与生殖生长并进,光合作用、呼吸作用、物质运输与转化都迅速达到高峰,需水量大增;同时蒸腾作用也逐渐增

强,耗水量也大增。大豆不同生育时期的耗水量不同,一般1株大豆从出苗到开花,一昼夜仅消耗100~150 g水,从开花到鼓粒平均则要消耗300~500 g水,开花到鼓粒期间的耗水量占全生育期耗水量的60%~70%。

2 水分可以调节大豆植株体内的温度,维持田间湿度,调节田间小气候

大豆对温度的适应性较广,但大豆在不同生育期间对温度有严格的要求。温度过低或过高均影响大豆植株的正常生长发育,而水为植株的体温调节器,水分子具有很高的汽化热和比热,因此,在环境温度波动大的情况下,植株体内大量的水分可维持体温相对稳定。温度过低会造成植物根系吸水能力下降,并引起萎蔫^[3],此时适宜的水分供应有利于根系吸水,对大豆植物萎蔫现象起到一定的缓解作用。温度过高引起蒸腾加强与细胞脱水,进而造成植株的旱害,因此栽培大豆时控制淋水或灌溉,可使细胞含水量不同,缓解高温对植株的影响。同时水分还可以增加大气湿度、改善土壤及土壤表面大气的湿度等,调节田间小气候。

3 水分能促进大豆对其它肥料的吸收利用

关于水分与肥料间相互促进与颀抗的关系,国内外已做了大量研究并取得了诸多成果^[48],适宜的水分供应能促进大豆对肥料的吸收利用,而土壤水分胁迫会降低植株的肥料利用率^[9-11]。水分主要是通过提高土壤养分的含量和促进大豆植株的吸收能力来提高肥料利用率的。李永孝等的研究指出,适宜供水处理比缺水处理植株的 N 、 P_2O_5 、 K_2O 绝对含量提高1~2倍^[3]。即土壤水分的多少严重影响到肥效的发挥,一般而言当土壤水分含量在田间持水量的60%到接近田间持水量的范围内,施肥效果显著^[12]。一方面适宜水分能促进土壤有机物质的矿化和释放,增加土壤有效养分的含量供应,一定含水量范围内,土壤有机氮的矿化量随水分含量增高而增高,二者之间近乎成比例关系;另一方面水分影响有效养分通过扩散和质流向根系的迁移速率,从而利于大豆植株吸收养分,水分既可增加氮素的可移动性和可吸收性,又可影响钾养分的扩散,进而加速营养物质在土壤中的迁移,提高肥料利用率。水分还能增加大豆植株对养分的吸收利用,水分亏缺不仅影响养分运输,还影响植株的生理代谢,代谢功能紊乱,有机质降解,光合速率下降,抑制根系生长,从

而降低根系的吸收面积和吸收能力。

4 水分对大豆病虫害的影响

大豆病虫害是限制大豆产量和品质提高的重要因素之一。根据文献统计,世界范围内大豆发生的病害种类多达70余种,虫害100余种。在我国,已报道的大豆病害有40余种,虫害近80种。我国主要大豆病害有大豆根腐病、大豆菌核病和大豆灰斑病等。许多研究都表明土壤水分含量及空气湿度与大豆诸多病害发生密切相关^[13-15]。一般而言,多雨的年份,湿度偏大,易发生病害。已有报道认为土壤含水量与大豆的疫霉根腐病发病率成正相关^[16]。张俊华等^[17]的研究则指出当土壤含水量在15%~40%之间变化时,大豆疫霉根腐病发病率逐渐升高,当土壤含水量达到40%时发病率达到最高,土壤含水量再升高,发病率下降。邹永久等的研究则指出,耕层土壤水分可加重或抑制连作大豆植株病害的发生。土壤水分不足,大豆病害加剧,而水分充足(相对含水维持在70%左右时),植株健壮,病害很轻^[18]。由此可见水分对病害的影响因病害种类而异。大豆虫害主要有蛱蝶、地老虎、食心虫、大豆蚜虫、草地螟、豆秆黑潜蝇等,一般干旱少雨气候条件下易发生虫害,孙丽华指出高温、干旱、少雨气候条件致使大豆蚜虫危害猖獗^[19]。

5 水分对大豆生理特性及产量品质的影响

5.1 水分对大豆生理特性的影响

水在作物的一生中扮演着重要的角色,植物的一切正常生命活动都必须在细胞含有一定的水分状况下才能进行^[20]。水分胁迫会破坏植株体内正常的新陈代谢,不利于蛋白质的合成,降低酶活性,并影响碳氮代谢等^[21-23]。

已有研究表明随着干旱胁迫强度加大,大豆体内的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(POD)和过氧化物酶(CAT)活性下降。而随着随干旱胁迫时间的延续,它们的活性表现出先升高后降低的趋势^[24]。另一研究结果则认为随着干旱胁迫的增强,大豆体内的SOD、CAT和POD活性表现为先升后降趋势,并指出耐旱品种比不耐旱品种具有更高的SOD、CAT和POD活性^[25]。

水是光合作用的原料,而蒸腾作用会消耗大量的水,因此水分胁迫会影响大豆植株的光合生理特性^[26-28]。大豆光合速率变化趋势很大程度上依赖于水分供应的多少^[29],干旱和涝害胁迫条件下均降低植株的光合效率,并且干旱引起光合值下降的程度

更大些,土壤涝害增大了大豆植株的蒸腾速率^[30],水分胁迫对气孔导度的影响与对光合速率的影响具有相似的模式^[31],并且水分胁迫对大豆气孔变化的影响因品种而异,一般而言气孔开张能力表现为:抗旱品种>中抗品种>弱抗品种^[32]。土壤水分胁迫会降低大豆植株的叶水势,并表现为一定的阈值反应^[33-35]。而轻度水分胁迫下,光合能力的降低主要是由于叶水势降低所引起的气孔收缩,即气孔限制因素。已有研究表明花期干旱,使大豆的叶绿素荧光参数 Fv/Fm 、 $Fv/F0$ 、NPQ 值下降,但 ETR 值升高^[36]。土壤干旱和根际渍水均会导致叶片叶绿素含量的降低^[1,37-38],但有些研究者认为干旱胁迫对叶绿素浓度的影响具有两重性,即轻度干旱促进叶绿素的浓缩;重度干旱促进叶绿素的分解^[39]。重度水分胁迫条件下,光合能力的降低主要是由于叶绿素含量下降,叶绿体结构破坏,ATP 和 RuBP 水平降低^[40-41],以及激素和代谢活动受到抑制等所引起的非气孔限制因素。植物水分利用效率(WUET)反映了 CO_2 同化作用和植株水分消耗的关系,为瞬时净光合速率与蒸腾速率的比值^[42]。王磊等认为一定程度干旱提高了大豆植株的水分利用效率^[33];而武向良等的研究则指出开花期灌溉提高了大豆植株的水分利用效率^[43];魏永霞等根据不同的播前土壤含水量,确定了水分利用效率的最优区间^[44]。

叶面积指数(LAI)是群体结构的重要量化指标,它既是衡量群体组成大小和植株生长繁茂程度的重要参数,也是衡量群体光合作用强弱的指标之一。叶面积下降,则限制了光能的截获,影响干物质的积累^[45-47]。适宜的水分可提高植株的叶面积指数^[39]。

土壤水分有利于干物质的积累,并影响干物质在根冠间的分配比例^[48],在土壤水分亏缺条件下,根系生长通常快于地上部分生长,即保持较高的根冠比,这是因为根系从土壤中所获得的营养和水分将优先保证根系生长的需要,根冠比值(R/S)变大;而土壤水分过多,使得土壤孔隙变小,限制根呼吸,限制了根的生长,使根冠比下降。

5.2 水分对大豆产量的影响

大豆产量是单株荚数、每荚粒数、百粒重的综合体现,这些因素在大豆的发育期间先后表现出来,只有这些性状综合表现良好,产量才能相应的提高。土壤水分状况通过影响植株的这些性状而最终影响大豆产量的形成。关于水分对大豆产量的影响前人已作了大量研究并取得了诸多成果^[49-50],土壤干旱和涝害都将影响大豆籽粒产量形成,但干旱引起的减产程度大于涝害,且不同生育时期涝害,籽粒减产

程度相似;而不同生育时期干旱,产量损失大小结果为:鼓粒期>荚期>花期>营养生长期^[51]。

5.3 水分对大豆品质的影响

大豆是人类优质蛋白和食用油脂的重要来源,具有极高营养价值,其蛋白质含量约40%左右,脂肪含量约20%左右。水分对大豆蛋白质及脂肪含量的影响,则因地区与年际间的变化而各异,胡明祥等^[52]认为降雨量与大豆蛋白质含量呈正相关,而与脂肪含量呈负相关。Rosell 进行 5 a 试验,结果表明,1 a 在鼓粒期严重水分胁迫下引起蛋白质含量下降、脂肪含量上升;另外 3 a 则是蛋白质含量提高、油分含量下降;而降雨充足的 1 a 则无显著影响^[53]。有研究指出大豆不同生育时期土壤水分状况对品质的影响不同,营养生长期,蛋白质含量表现为土壤水分越充足,蛋白质含量越高,而花期、荚期控水条件下土壤水分田间持水量的 65%~100% 蛋白质含量最优;脂肪含量则是水分田间持水量的 65% 时值最优^[39]。总之,土壤水分对蛋白质及脂肪含量的影响因不同的气候、土壤肥力、降雨时期而不尽相同,适宜的土壤水分更有利于蛋白质及脂肪的形成。一般而言,低纬度的高温、多雨和日照时数较短等条件有利于蛋白质的合成,而高纬度温度较低、雨量偏少和日照时数较长则有利于脂肪的合成。

6 展望

水是大豆植株生长的重要环境条件。植物的一切正常生命活动只有在细胞含有一定量水分的条件下才能进行。陆生植物一方面不断地从土壤中吸取水分,以保持其正常的含水量;另一方面,它的地上部分(尤其是叶片)又不可避免地以蒸腾作用方式散失水分,以维持体内外的水分循环及适宜的体温。根系吸收的水分除极少部分参与体内的生化代谢过程外,绝大部分通过蒸腾作用散失到周围环境中。植物正常的生命活动就是建立在对水分不断地吸收、运输、利用和散失的过程之中。水分能够提高大豆植株对不良环境的抵抗能力,维持大豆体内新陈代谢的正常运行,促进各项生理指标的良好运作,并最终促进产量品质的形成,因此水分在大豆一生中扮演着不可替代的角色。而如何根据不同的气候条件来进行合理水分调控,以及确定水分胁迫条件下各种激素、酶、营养元素等的变化已成为当前以及今后一段时期内研究的热点问题。

参考文献

[1] 许忠仁,张贤泽.大豆生理与生理育种[M].哈尔滨:黑龙江科

- 学技术出版社,1989:63-64;231-237. (Xu Z R, Zhang X Z. Soybean physiology & physiology breeding[M]. Harbin: Heilongjiang Technology Press, 1989:63-64,231-237.)
- [2] 陶延怀,司振江,孙艳玲,等. 大豆生态需水的变化规律研究[J]. 黑龙江水专学报,2005,32(2):1-4. (Tao Y H, Si Z J, Sun Y L, et al. Exploration of change law of soy's life-require water[J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 2005,32(2):1-4.)
- [3] 李永孝,崔如,丁发武,等. 夏大豆植株氮、磷、钾含量与水肥的关系[J]. 作物学报,1992,18(6):463-474. (Li Y X, Cui R, Ding F W, et al. Relationship between the contents of N P K and water supply and fertilizer in summer soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 1992, 18(6):463-474.)
- [4] Zizhen L, Hong L. Research on the regulation of water and fertilizers and a crop growth model of spring wheat in farmland of semi-arid regions[J]. Ecological Modeling, 1998, 107:279-287.
- [5] Chowdary V M, Rao N H, Sarma P B S. A coupled soil water and nitrogen balance model for flooded rice fields in India[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2004, 103:425-441.
- [6] Liu W Z, Zhang X C. Optimizing water and fertilizer input using an elasticity index: A case study with maize in the loess plateau of China[J]. Field Crops Research, 2007, 100:302-310.
- [7] 李法云,宋丽,官春云,等. 辽西半干旱区农田水肥耦合作用对春小麦产量的影响[J]. 应用生态学报,2000,11(4):535-539. (Li F Y, Song Li, Guan C Y, et al. Coupling effect of water and fertilizers on spring wheat yield in semiarid area of western Liaoning province[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000,11(4):535-539.)
- [8] Dobermann A, Cassman K G, Mamaril C P, et al. Management of phosphorus, potassium, and sulfur in intensive, irrigated lowland rice[J]. Field Crops Research, 1998, 56:113-138.
- [9] 裴宇峰,韩晓增,祖伟,等. 水氮耦合对大豆生长发育的影响. I 水氮耦合对大豆产量和品质的影响[J]. 大豆科学,2005,24(2):106-111. (Pei Y F, Han X Z, Zu W, et al. Effects of water-nitrogen coupling on the growth and development of soybean. I Effect of water and nitrogen fertilizer coupling on yield and quality of soybean[J]. Soybean Science, 2005,24(2):106-111.)
- [10] Flavio H, Gutiérrez B, Grant W T. Phosphorus nutrition and water deficits in field-grown soybeans[J]. Plant and Soil, 1999, 207:87-96.
- [11] 郭亚芬,腾云,张忠学,等. 东北半干旱区大豆水肥耦合效应试验研究[J]. 东北农业大学学报,2005,36(4):405-411. (Guo Y F, Teng Y, Zhang Z X, et al. Study on couple effect of water and fertilizer of soybean in northeast semiarid area[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2005,36(4):405-411.)
- [12] 汪德水. 旱地农田肥水协同效应与耦合模式[M]. 北京:气象出版社,1999:22. (Wang D S. The collaboration effect and coupling model of water and fertilizer in dry soil[M]. Beijing: Weather Press, 1999:22.)
- [13] 左豫虎,薛春生,韩文革,等. 大豆疫霉菌对大豆幼苗的侵染特性[J]. 植物保护学报,2002,29(4):377-378. (Zu Y H, Xue C S, Han W G, et al. The infections characteristics of Phytophthora sojae to soybean seedlings[J]. Acta Phytophylacica Sinica, 2002, 29(4):377-378.)
- [14] 王佐魁,陈申宽,闫任沛,等. 呼蒙农区大豆新病害一大豆疫病[J]. 内蒙古农业科技,2000,3:43. (Wang Z K, Chen S K, Yan R P, et al. The new soybean disease in Hulunbeir agricultural districts[J]. Inner Mongolia Agricultural Science & Technology, 2000, 3:43.)
- [15] 朱振东,王晓鸣,戴法超. 大豆疫霉根腐病在我国的发生与防治[J]. 植物保护,1999,4:47-49. (Zhu Z D, Wang X M, Dai F C. The occurrence and prevention of phytophthora root rot of Soybean[J]. Plant Protection, 1999,4:47-49.)
- [16] Wrather J A, Anderson T R, Arsyad D M, et al. Soybean disease loss estimate for the top 10 soybean producing countries in 1994[J]. Plant disease, 1997, 81(1):107-110.
- [17] 张俊华,刘学敏,张艳菊,等. 接种体密度、土壤含水量和土壤温度对大豆疫霉根腐病发生的影响[J]. 中国油料作物学报,2008,30(3):342-345. (Zhang J H, Liu X M, Zhang Y J, et al. Effect of inoculum density, soil water content and soil temperature on soybean Phytophthora sojae[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2008,30(3):342-345.)
- [18] 邹永久,韩丽梅,付慧兰,等. 土壤水分胁迫对大豆连作植株生长及病害影响[J]. 大豆科学,1997,16(2):131-135. (Zou Y J, Han L M, Fu H L, et al. Effects of soil moisture stress on plant growth and diseases in soybean successive cropping[J]. Soybean Science, 1997,16(2):131-135.)
- [19] 孙丽华. 2008年商丘市大豆生长中后期主要病虫害发生及防治[J]. 现代农业科技,2009,1:144-145. (Sun L H. The occurrence and prevention of main soybean diseases and insect pests of Shangqiu city in 2008[J]. Modern Agriculture Science & Technology, 2009,1:144-145.)
- [20] 王忠. 植物生理学[M]. 北京:中国农业出版社,2000:63-66. (Wang Z. Plant Physiology[M]. Beijing: Agricultural Press, 2000:63-66.)
- [21] Sharkey T D, Seemann J R. Mild water stress effects on carbon-reduction-cycle intermediates, ribulose biphosphate carboxylase activity, and spatial homogeneity of photosynthesis in intact leaves[J]. Plant Physiology, 1989, 89:1060-1065.
- [22] Asha S, Rao K N. Effect of simulated water logging on the levels of amino acids in groundnut at the time of sowing[J]. Plant Physiology, 2002, 7:288-291.
- [23] Yong T, Zongsuo L, Hongbo S, et al. Effect of water deficits on the activity of anti-oxidative enzymes and osmoregulation among three different genotypes of Radix Astragali at seeding stage[J]. Colloids and Surfaces B, 2006, 49:60-65.
- [24] 李志刚,董丽杰,宋书宏,等. 磷素和干旱胁迫对大豆叶片活性氧和保护酶系统的影响[J]. 作物杂志,2007(6):35-37. (Li Z G, Dong L J, Song S H, et al. The effect of phosphorus and drought stress on active oxygen and protection enzyme system in soybean leaf[J]. Crops, 2007(6):35-37.)
- [25] 王启明,郑爱珍,吴诗光. 干旱胁迫对花荚期大豆叶片保护酶活性和膜脂过氧化作用的影响[J]. 安徽农业科学,2006,34(8):1528-1530. (Wang Q M, Zheng A Z, Wu S G. Effects of drought—stress on protective enzyme activity and membrane lipid peroxidation in leaf of soybean flowering-podding period[J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2006,34(8):1528-1530.)
- [26] Shou H X, Zhu D H, Chen C X, et al. The initial study of responses and physiological indexes for drought resistance in eight soybean varieties under drought condition[J]. Acta Agric Zhejiangensis, 1991, 6:278-281.
- [27] Pimentel C, Hebert G, da Silva J V. Effects of drought on O₂ evolution and stomatal conductance of beans at the pollination stage[J]. Environmental and Experimental Botany, 1999, 42:155-162.
- [28] Ohashi Y, Nakayama N, Saneoka H, et al. Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, fluorescence and stem diameter of soybean plants[J]. Biologia Plantarum, 2006, 50(1):138-141.

- [29] 张秋英,刘晓冰,金剑,等. 水肥耦合对大豆光合特性及产量品质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(1):47-50. (Zhang Q Y, Liu X B, Jin J, et al. Influence of water and fertilizer coupling on photosynthetic characters and yield/quality of soybean[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003,21(1):47-50.)
- [30] 韩晓增,裴宇峰,王守宇,等. 水氮耦合对大豆生长发育的影响. II 水氮耦合对大豆生理特征的影响[J]. 大豆科学,2006,25(2):103-108. (Han X Z, Pei Y F, Wang S Y, et al. Effects of water-nitrogen coupling on the growth and development of soybean. II Effects of water-nitrogen coupling on the physiological characteristics of soybean[J]. Soybean Science, 2006, 25(2):103-108.)
- [31] 孙广玉,邹琦,程炳嵩. 大豆光合速率和气孔导度对水分胁迫的响应[J]. 植物学报,1991,33(1):43-49. (Sun G Y, Zou Q, Cheng B S. Responses of photosynthetic rate and stomatal conductance to water stress in soybean leaves[J]. Acta Botanica Sinica, 1991,33(1):43-49.)
- [32] 高彦萍,冯莹,马志军,等. 水分胁迫下不同抗旱类型大豆叶片气孔特性变化研究[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(2):77-79. (Gao Y P, Feng Y, Ma Z J, et al. Stomatal character changes of soybean leaves under water stress[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007,25(2):77-79.)
- [33] 王磊,张彤,丁圣彦. 干旱和复水对大豆光合生理生态特性的影响[J]. 生态学报,2006,26(7):2073-2078. (Wang L, Zhang T, Ding S Y. Effect of drought and rewatering on photosynthetic physioecological characteristics of soybean[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006,26(7):2073-2078.)
- [34] 王磊,胡楠,张彤,等. 干旱和复水对大豆(*Glycine max*)叶片光合及叶绿素荧光的影响[J]. 生态学报,2007,27(9):3630-3636. (Wang L, Hu N, Zhang T, et al. Effects of drought and rewatering on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of the soybean leaf[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007,27(9):3630-3636.)
- [35] 张恒月,郭屹立,王磊,等. 干旱和复水对大豆叶片光合生理特性及产量的影响[J]. 河南大学学报(自然科学版),2009,39(9):183-188. (Zhang H Y, Guo Y L, Wang L, et al. Effects of drought and rewatering on leaf photosynthetic physiology characteristics and yield of soybean[J]. Journal of Henan University (Natural Science), 2009,39(9):183-188.)
- [36] 孙海峰,战勇,林海容,等. 花期干旱对不同基因型大豆叶绿素荧光特性的影响[J]. 大豆科学,2008,27(1):56-60. (Sun H F, Zhan Y, Lin H R, et al. Response of chlorophyll fluorescence to drought stress at flowering in different soybeans[J]. Soybean Science, 2008,27(1):56-60.)
- [37] 王春艳,陈香兰,王连敏,等. 根际渍水对大豆叶绿素含量的影响[J]. 中国油料作物学报,1990(1):27-30. (Wang C Y, Chen X L, Wang L M, et al. The influence of water-logged roots on chlorophyll content in soybean plants(*Glycine Max.* L) [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1990(1):27-30.)
- [38] 白志英,李存东,孙红春,等. 干旱胁迫对小麦叶片叶绿素和类胡萝卜素含量的影响及染色体调控[J]. 华北农学报,2009,24(1):1-6. (Bai Z Y, Li C D, Sun H C, et al. The effect and chromosomal control on chlorophyll content and corticoid content under drought stress in wheat(*Triticum aestivum* L) [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2009,24(1):1-6.)
- [39] 闫春娟. 水钾耦合对大豆生理特性及产量品质的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2008:46. (Yan C J. Effect of water-potassium coupling on physiological characteristics, yield and quality of soybean[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2008:46.)
- [40] Ebukanson G J. Retardation of chloroplast ATPase activity in maize seedling by drought stress[J]. Plant Physiology, 1987, 129:187-189.
- [41] Gimenez C, Mitchell V G, Lawlor D W. Regulation of photosynthetic rate of two sunflower hybrids under water stress[J]. Plant Physiology, 1992, 98:516-524.
- [42] 赵鸿,杨启国,邓振镛,等. 半干旱雨养区小麦光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(1):125-130. (Zhao H, Yang Q G, Deng Z Y, et al. Characteristics of photosynthesis, transpiration and water use efficiency of wheat leaf in semi-arid rain feed region[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007,25(1):125-130.)
- [43] 武向良,高聚林,王志刚,等. 不同时期灌溉对大豆叶片生理特性及水分利用效率的影响[J]. 大豆科学,2007,26(5):695-699. (Wu X L, Gao J L, Wang Z G, et al. Effect of irrigation at different growth stages on water use efficiency and leaf physiological characteristics of soybean[J]. Soybean Science, 2007, 26(5): 695-699.)
- [44] 魏永霞,张忠学,王立敏. 东北半干旱旱灌区有限供水对大豆水分利用效率的影响研究[J]. 灌溉排水学报,2006,25(5):6-13. (Wei Y X, Zhang Z X, Wang L M. Influence of limited water supply on WUE of soybean in northeast semi-arid and anti-drought irrigation condition region[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006,25(5):6-13.)
- [45] James E. Board soybean cultivar differences on light interception and leaf area index during seed filling[J]. Agronomy, 2004, 96:305-310.
- [46] Xiaobing L, Jian J, Herbert S J, et al. Yield components, dry matter, LAI and LAD of soybeans in Northeast China[J]. Field Crops Research, 2005, 93:85-93.
- [47] Hunt T E, Higley L G, Witkowski J F. Soybean growth and yield after simulated bean leaf beetle injury to seedlings[J]. Agronomy, 1994, 86:140-146.
- [48] 闫春娟,韩晓增,王守宇,等. 水钾耦合对大豆干物质积累和产量的影响[J]. 大豆科学,2007,26(6):862-867. (Yan C J, Han X Z, Wang S Y, et al. Effect of water-potassium coupling on dry matter accumulation and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2007,26(6):862-867.)
- [49] 赵宏伟,李秋祝,魏永霞,等. 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, et al. Effect of drought at different growth stages on main physiological parameters and yield in soybean [J]. Soybean Science, 2006,25(3):329-332.)
- [50] Xiaobing L, Herbert S J. 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, 2004, 261:55-60.
- [51] 韩晓增,乔云发,张秋英,等. 不同土壤水分条件对大豆产量的影响[J]. 大豆科学,2003,22(4):269-272. (Han X Z, Qiao Y F, Zhang Q Y, et al. Effect of various soil moisture on the yield of soybean[J]. Soybean Science, 2003,22(4):269-272.)
- [52] 胡明祥,于德洋,孟祥勋. 不同生态区域环境对中国大豆品质的影响[J]. 大豆科学,1990,9(1):37-49. (Hu M X, Yu D W, Meng X X. The effect of different ecogeographic environment on the seed quality of soybean in China[J]. Soybean Science, 1990,9(1):37-49.)
- [53] Rosell I A. Effects of moisture stress on the oil and protein component of soybean seeds[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1988, 39:163-170.