

盆栽条件下水肥调控对大豆生长和产量的影响

张立军, 孙旭刚, 王昌陵, 闫春娟, 王文斌, 宋书宏

(辽宁省农业科学院 作物研究所, 辽宁 沈阳 110161)

摘要:采用重量法在分枝期对盆栽大豆进行水分调控,探讨了不同水分(轻度干旱、适宜、渍害)和施肥(不施肥、施肥)组合处理对大豆生长和产量的影响。结果表明:W2F1处理(适宜水分、施肥)大豆叶面积、根、茎、叶干重均明显高于其他处理;W3F1处理(渍害、施肥)成熟期株高、根瘤个数和根瘤重显著高于其他处理,而单个根瘤重则以W1F0(轻度干旱、不施肥)最高;W2F1处理单株荚数、百粒重及产量均明显高于其他处理,虽然W3F1处理单株粒数最高,但最终产量仍不及W2F1处理,W1F0(轻度干旱、不施肥)处理产量最低。因此,适宜的土壤水分和施肥能够促进大豆生长发育,尽管施肥在一定程度上抑制了根瘤数目,但仍能获得较高产量。分枝期干旱严重抑制了大豆干物质积累和根瘤发育,施肥并不能改善干旱对大豆干物质积累、根瘤发育、产量构成因子造成的损失。分枝期渍害并施肥有利于叶面积、根瘤重、单株粒数的增加,但干物质积累、百粒重及产量均降低。

关键词:大豆;水肥调控;根瘤;产量

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2014.03.0398

Regulation Effect of Water and Fertilizer on Growth and Yield in Soybean under Pot Experiment Condition

ZHANG Li-jun, SUN Xu-gang, WANG Chang-ling, YAN Chun-juan, WANG Wen-bin, SONG Shu-hong

(Crop Institute of Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract: The weighing method was used to regulate the water in branch stage of soybean in the condition of pot planting to understand the effect of different water condition (drought stress, normal water and waterlogging) and fertilizer treatment (no-fertilizer and fertilizer) on the growth and yield of soybean. The result showed that the leaf area, dry weight of root, stem and leaf under the condition of W2F1 treatment (normal water and fertilizer), were higher than other treatments. The plant high, nodule number and nodule weight were higher under the condition of W3F1 (waterlogging and fertilizer) than other treatments, W1F0 (drought stress and no fertilizer) had the most of nodule weight than other treatments. The pod number per plant, 100-seed weight and yield under the condition of W2F1 were more than other treatments, although that W3F1 had the most number of pod per plant. The W1F0 (drought stress and no fertilizer) had the least yield. Therefore, suitable water and fertilizer could promote the growth of soybean. Although the fertilizer could inhibit the nodulation, then the high yield could get. If drought stress happened in branch stage, could inhibit the drought matter accumulation and nodule development. Fertilizer could not invert the lost of drought stress. Waterlogging and fertilizer treatment was good for the increasing of leaf area, nodule weight and seed number per plant, no better for drought matter accumulation, 100-seed weight and yield.

Key words: Soybean; Water and fertilizer controlling; Root nodule; Yield

水和肥都是作物高产的重要条件,而我国水资源严重不足^[1],如何把二者有效的结合起来^[2],以达到节本、增效之目的,是近年来众多学者研究的新兴课题^[3-5]。水肥耦合^[6-7]是20世纪80年代提出的田间管理新概念,至今仍是大多数学者研究的热点,其核心是强调水和肥的有机结合,改善作物的营养条件,促进作物根系的生长发育,提高对养分的运输和吸收能力,进而提高植物的水肥利用效率而实现高产。

大豆是喜肥、喜水的作物之一,董钻^[8]研究表明,每生产100 kg大豆籽粒,从土壤中要摄取N、

P₂O₅和K₂O分别为8.71~9.29 kg、1.97~2.47 kg和3.24~3.63 kg,而每形成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 t左右^[9]。不同生育时期对水肥管理有不同要求,其中分枝期是大豆营养生长向生殖生长的转折点,是水肥利用关键时期,能够直接影响到大豆生物产量的积累。研究表明,大豆水肥的合理使用对大豆结瘤固氮^[10-12]、农艺性状、产量等都有着重要影响^[13-14]。但前人的研究多集中于水与某单一元素肥料耦合的效果,或全生育期控水下水肥耦合的效果^[15],而关于分枝期水肥耦合效果方面的研究不多。本文

收稿日期:2013-09-09

基金项目:辽宁省科技攻关项目(200820105)。

第一作者简介:张立军(1980-),男,助理研究员,主要从事大豆育种、生理生化及栽培研究。E-mail:zhanglj_8005@163.com。

通讯作者:宋书宏(1964-),男,博士,研究员,主要从事大豆栽培育种研究。E-mail:sshun@163.com。

是在大豆分枝期进行水分调控,探讨施肥与否对大豆生长及产量的影响,从而为大豆水肥高效利用栽培技术体系的建立和大豆的田间管理提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

采用盆栽试验,于2010年在辽宁省农业科学院试验基地进行。供试品种为辽豆21。选用普通瓷盆,规格为34 cm(上口直径)×28 cm(下口直径)×23 cm(高),桶底有直径2 cm左右的孔,置于玻璃防雨棚内,防止雨水淋入。土壤取自辽宁省农业科学院试验田0~20 cm的表层土壤,前茬作物为大豆,土壤类型为棕壤,有机质 $12.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $1.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效氮 $114 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷 $0.85 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $16.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,全钾 $24.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $116 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,pH6.8。

每盆装烘干土15.0 kg,5月12日播种,每盆播种5~6粒,V1期保苗2株。各处理在分枝期前后均按照适宜水分水平进行水分管理,在分枝期(6月4日~7月2日)采用重量法进行水分调控,每2 d用台秤测定土壤水分,补充至设定值。试验设土壤水分和施肥两个因素,其中土壤水分设置3个水平,W1:土壤含水量20%(轻度干旱胁迫水平,以下简称干旱);W2:土壤含水量30%(适宜水分水平);W3:土壤含水量50%(渍害水平)。施肥设置2个水平,F0:无肥水平;F1:有肥水平(施肥量为纯N $0.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,纯 P_2O_5 $0.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,纯 K_2O $0.10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。总计6个处理,每处理6盆,6次重复。

1.2 测定项目与方法

在初花期(7月2日)对各处理进行取样测定相关生长指标,在成熟期(9月11日)对各处理取样考种,测定产量及相关因子。

干物质积累采用烘干法;株高采用直尺测量;根瘤数目采用人工记数法;大豆产量构成因子和产量采用人工记数和称量。

1.3 数据处理

利用Excel 2003和SPSS 19.0进行数据分析。

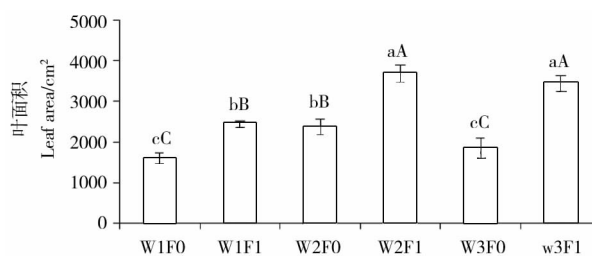
2 结果与分析

2.1 水肥互作对大豆生长的影响

2.1.1 叶面积

如图1所示,不同水分和施肥处理

对初花期大豆叶面积影响表现为 $W2F1 > W3F1 > W1F1 > W2F0 > W3F0 > W1F0$ 。其中,W2F1和W3F1处理极显著大于其他处理($P < 0.01$),但二者间差异不显著。W1F1和W2F0处理极显著大于W3F0和W1F0处理($P < 0.01$),二者间差异不显著;W3F0和W1F0处理极显著小于其他处理($P < 0.01$),同样二者间差异不显著。综合分析可知,在相同水分条件下,施肥能够促进大豆叶面积的增加($P < 0.01$);而在相同施肥处理条件下,适宜的土壤水分含量有利于大豆叶面积的增加。



大小写字母分别代表0.01和0.05水平的差异显著性。下同。

Different capital and lowercase letter mean significant at 0.01 and 0.05 level. The same below.

图1 水肥互作对大豆叶面积的影响

Fig. 1 Effects of water-fertilizer interaction on leaf area in soybean

2.1.2 株高 由表1可以看出,水分及水肥互作对大豆花期株高的影响分别达到极显著和显著水平,但施肥对其基本没有影响。具体表现:不施肥(F0)条件下,3种控水处理差异不显著,而施肥(F1)情况下,干旱处理则极显著地矮于适宜水分和渍害处理;而相同的控水条件下,施肥与否对花期株高无影响。

成熟期株高受水肥调控的影响较大,均达到了极显著水平,但二者的互作效应不显著。W3F1处理最高,除与W2F1差异不显著外,与其他处理均达显著水平;W1F0处理最低,除与W1F1处理差异不显著外,与其他处理差异均达到显著水平。在不施肥(F0)情况下,干旱处理显著低于适宜水分和渍害处理;在施肥(F1)条件下,适宜水分处理高于干旱处理,但未达显著水平,渍害处理却极显著地高于其他处理。除渍害条件下,施肥处理显著高于不施肥处理外,其他同一控水条件下施肥与否对株高影响不显著。

表 1 不同水肥处理对大豆株高的影响

Table 1 The effect of different treatment on the plant high of soybean

处理	花期株高		成熟期株高	
Treatment	Plant height at flowering stage		Plant height at mature stage	
W1F0	46.83 ± 4.48 bcAB		95.6667 ± 3.0551 cC	
W1F1	40.33 ± 4.73 cB		102.0000 ± 5.0083 bcBC	
W2F0	53.67 ± 7.49 abA		104.3333 ± 3.0551 bABC	
W2F1	53.33 ± 0.29 abA		108.6667 ± 1.4434 abAB	
W3F0	47.17 ± 2.52 abcAB		106.3333 ± 3.7859 bAB	
W3F1	55.33 ± 2.08 aA		114.0000 ± 2.9297 aA	
方差分析 ANOVA				
W	8.8435 **	0.0061	15.3964 ***	0.0009
F	0.0485	0.8302	12.8943 **	0.0049
W × F	4.4358 *	0.0418	0.3240	0.7306

数据为平均值 ± 标准差;不同大、小写字母分别表示差异达 1%、5% 显著水平;*, **, *** 分别表示差异达 0.05, 0.01 和 0.001 水平。下同。

The data was means ± standard error; Values followed by a different letter are significantly different at 1% (capital letter) and 5% (lowercase letter) probability levels, respectively; *, **, *** mean significant difference at 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively. The same bellow.

2.1.3 根瘤 由表 2 可以看出,不同处理根瘤数相差较大,变化范围为 181 ~ 582,其中,W3F1 处理极显著高于其他处理($P < 0.01$),而 W1F1 处理个数最少,和其他处理差异也均达到了显著水平($P < 0.01$)。综合分析可知,与施肥相比,根瘤数在很大程度上取决于土壤水分状况。值得注意的是,在适宜水分条件下,本试验设置的施肥量对根瘤个数略有抑制作用,但未达到显著水平。

与根瘤数相似,W3F1 处理根瘤重极显著高于其他处理($P < 0.01$),而 W1F1 处理极显著低于其他处理。W1F0 处理极显著高于 W1F1 处理($P < 0.01$),说明干旱条件下施肥对根瘤重起负作用;

W2F1 处理根瘤重小于 W2F0 处理,但未达到显著水平,说明水分适宜条件下施肥不利于根瘤重的增加;而 W3F1 处理根瘤重极显著大于 W3F0 ($P < 0.01$),说明渍害条件下施肥有利于根瘤重的增加。

比较不同处理单个根瘤重可知,W1F0 处理极显著大于其它他处理($P < 0.01$),而 W1F1 处理极显著小于其他处理($P < 0.01$),其他处理介于二者之间。综合比较可知,干旱对单个根瘤重的影响显著,特别是干旱条件下施肥能够显著降低单个根瘤重。而在水分适宜条件下,施肥对单个根瘤重影响不显著。渍害条件下,施肥同样不利于单个根瘤重的增加。

表 2 水肥互作对大豆根瘤数、根瘤重和单个根瘤重的影响

Table 2 Effects of water-fertilizer interaction on nodule number, nodule weight and single nodule weight

处理	根瘤数		根瘤重		单个根瘤重	
Treatment	Nodule number per pot		Nodule weight/g·pot ⁻¹		Single nodule weight/mg	
W1F0	181.00 ± 13.52 cCD		0.75 ± 0.06 cCD		4.16 ± 0.06 aA	
W1F1	112.00 ± 19.92 dD		0.13 ± 0.02 dE		1.14 ± 0.14 dC	
W2F0	360.67 ± 29.02 bB		1.11 ± 0.08 bB		3.08 ± 0.26 bcB	
W2F1	310.00 ± 47.63 bB		0.95 ± 0.10 bBC		3.07 ± 0.24 bcB	
W3F0	207.67 ± 16.25 cC		0.67 ± 0.14 cD		3.21 ± 0.41 bB	
W3F1	582.00 ± 11.53 aA		1.57 ± 0.04 aA		2.69 ± 0.12 cB	
方差分析 ANOVA						
W	127.4512 ***	0.0001	101.4632 ***	0.0001	4.8470 *	0.0338
F	40.9738 ***	0.0001	0.7553	0.4052	107.4881 ***	0.0001
W × F	119.2491 ***	0.0001	114.0725 ***	0.0001	66.9587 ***	0.0001

2.1.4 干物质积累 从表 3 可以看出,水、肥对大豆花期干物质积累的影响达到了极显著水平,但二者互作对花期茎、叶干重影响不大。比较初花期各处理大豆干物质积累可知,W2F1 处理根、茎、叶干物质积累均表现出极显著高于除 W3F1 以外的其他处理($P<0.01$),说明适宜的土壤水分并施肥有利于

于大豆花期干物质的积累。W3F0 处理根干重最低、W1F0 处理茎干重最低。相同控水条件下施肥可显著促进大豆花期各器官干物质的积累(除 W1 条件下施肥对花期根、茎干重影响未达显著水平外)。

表 3 水肥互作对花期大豆干物质积累的影响

Table 3 Effects of water-fertilizer interaction on soybean dry matter accumulation at flowering stage(g)

处理 Treatment	根干重 Root dry weight		茎干重 Stem dry weight		叶干重 Leaf dry weight	
W1F0	6.65 ±0.71 bcC		6.920 ±0.93 dD		7.95 ±0.39 cC	
W1F1	7.00 ±0.68 bcBC		9.49 ±1.39 cdCD		11.30 ±1.36 bBC	
W2F0	7.80 ±0.98 bBC		11.70 ±1.29 bcBC		10.86 ±1.10 bBC	
W2F1	10.65 ±0.20 aA		17.30 ±1.81 aA		15.55 ±1.55 aA	
W3F0	5.56 ±0.84 cC		8.51 ±1.14 dCD		7.93 ±1.66 cC	
W3F1	9.60 ±1.60 aAB		14.26 ±1.38 bAB		14.51 ±1.44 aAB	
方差分析 ANOVA						
W	9.3808 **	0.0051	30.9141 ***	0.0001	9.8721 **	0.0043
F	27.2678 ***	0.0004	49.2063 ***	0.0001	54.6679 ***	0.0001
W × F	5.5293 *	0.0241	2.4165	0.1393	2.0337	0.1815

从表 4 可以看出,在分枝期进行水分调控,施肥对大豆成熟期根干重有很大影响,达到了极显著水平($P<0.01$),但二者互作对其影响未达到显著水平。具体表现:W2F1 处理组合值最高,其次为 W2F0,而 W1F0 处理组合值最低。在 F0(无肥)条件下,W2 极显著高于 W1、W3(W1 与 W3 无显著差异),说明在不施肥的情况下,只有水分适宜才最有利于根系的发育,干旱和渍害均不利于根系的生长;在 F1(有肥)条件下,W3 处理的根干重显著低

于 W1、W2(W1、W2 差异不显著);在 W1 条件下施肥处理的根干重极显著高于不施用肥料处理,而在 W2 和 W3 条件下,施肥与否对大豆根系影响不大。

水、肥及二者互作对成熟期茎干重的影响均达到了显著水平。具体表现:W2F1 处理的茎干重极显著高于其他处理,W1F0 处理茎干重最低。只有在 W2(适宜水分)条件下,施肥才可显著增加茎干重;而在 W1 和 W3 水平条件下,施肥与否对大豆茎干重的影响均未达到显著水平。

表 4 水肥互作对成熟期大豆干物质积累的影响

Table 4 Effects of water-fertilizer interaction on soybean dry matter accumulation at maturity stage(g)

处理	根干重		茎干重	
Treatment	Root dry weight		Stem dry weight	
W1F0	16.7400 ± 1.92 dC		26.6000 ± 0.57 cB	
W1F1	23.3500 ± 1.83 abAB		31.0933 ± 9.03 bcB	
W2F0	25.5400 ± 1.72 abA		32.7500 ± 2.80 bcB	
W2F1	25.9800 ± 2.61 aA		58.5300 ± 4.87 aA	
W3F0	18.0333 ± 2.01 cdBC		—	
W3F1	21.4733 ± 2.22 bcABC		40.0167 ± 2.63 bB	
方差分析 ANOVA				
W	13.7842 * *	0.0013	15.7061 * * *	0.0008
F	11.0191 * *	0.0078	28.2715 * * *	0.0003
W × F	2.8598	0.1042	6.9022 *	0.0131

2.2 水肥互作对大豆产量构成因子和产量的影响

由表 5 可知, 荚数 W2F1 > W3F1 (二者间差异不显著) 显著高于其他处理, 且 W3F0 处理次之; 与荚数不同, 粒数以 W3F1 处理最高, 极显著高于其他处理, 其他处理之间无显著差别; 百粒重则以 W2F1 处理最大, 极显著高于其他处理; 产量以 W2F1 处理

最高, 显著高于其他处理 (W3F1 处理除外)。值得注意的是, W1 条件下, 施肥可显著提高百粒重, 而对荚数、粒数及产量的影响不显著; W3 条件下施肥对百粒重影响不显著, 而对荚数、粒数及产量的影响显著; W2 条件下, 施肥对粒数基本没有影响, 但能显著提高荚数、百粒重及产量。

表 5 水肥互作对大豆产量及其构成要素的影响

Table 5 Effects of water-fertilizer interaction on final yield and yield components in soybean

处理	荚数		粒数		百粒重		产量	
Treatment	Pod number per pot		Seed number per pot		100-seed weight/g		Yield/g·pot ⁻¹	
W1F0	126.67 ± 7.57 bB		250.00 ± 13.00 bB		15.99 ± 0.88 cB		40.03 ± 3.95 cC	
W1F1	125.67 ± 6.03 bB		242.00 ± 7.21 bB		17.46 ± 0.54 bB		42.26 ± 2.35 cBC	
W2F0	130.67 ± 7.51 bB		254.33 ± 14.01 bB		17.64 ± 0.56 bB		44.81 ± 1.05 bcABC	
W2F1	158.00 ± 7.21 aA		263.67 ± 5.51 bB		19.68 ± 0.79 aA		51.90 ± 2.50 aA	
W3F0	137.67 ± 7.51 bAB		256.33 ± 10.60 bB		16.03 ± 0.48 cB		41.12 ± 2.78 cBC	
W3F1	154.67 ± 10.02 aA		299.33 ± 19.03 aA		16.31 ± 0.36 cB		48.86 ± 3.66 abAB	
方差分析 ANOVA								
W	10.3994 ***	0.0036	8.6877 **	0.0065	6.6710 *	0.0144	28.5307 ***	0.0001
F	13.3134 ***	0.0045	5.5545 *	0.0402	13.2549 **	0.0045	20.0262 **	0.0012
W × F	4.3729 *	0.0432	5.7015 *	0.0223	2.3060	0.1501	3.3890	0.0752

3 结论与讨论

许多研究表明, 氮、磷、钾肥和土壤水分能够促进大豆产量的形成, 是实现大豆优质高产的主要栽培措施之一^[16-19]。本研究是在盆栽条件下, 通过对分枝期进行水分调控, 来研究施肥与否对大豆株高、根瘤、生物产量以及部分产量性状的影响。结果表明:

同一水分调控条件下施肥能够极显著增加大豆叶面积; 在无肥条件下适宜水分处理的叶面积最大, 极显著高于其他处理, 而在施肥条件下, 干旱处理极显著低于其他处理。

成熟期大豆株高变化的总体趋势是有肥高于无肥, 高土壤水分含量的高于低土壤水分含量的, 但只有渍害水平下施肥与不施肥处理的株高差异达到了显著水平。花期株高以干旱施肥处理最低, 渍害施肥处理最高, 二者差异达极显著水平。

水、肥及二者互作对大豆根瘤的影响都达到了极显著水平。根瘤数和根瘤重量均以渍害有肥处理最高, 干旱有肥处理最低, 根瘤单重以干旱无肥处理最高, 干旱有肥处理最低。无肥条件下适宜水分处理根瘤最多, 有肥条件下根瘤数则随水分含量增加而增多。这一结论说明干旱条件下, 施用肥料

极大地抑制了根瘤的形成与个体的发育, 而渍害条件下, 施肥使得根瘤的大小显著下降, 但根瘤个数极显著地增加, 根瘤重也随之极显著地增大, 这与 Serraj 等^[20]的研究结论基本吻合。

大豆花期和成熟期干物质的积累均以 W2F1 处理最高, 无论在干旱、渍害, 还是适宜水分条件下施肥均能提高大豆花期和成熟期干物质的积累。除干旱条件下, 施肥对花期根、茎干重影响不显著外, 其他所有同等水分条件下施肥对花期根、茎、叶干重的影响均达到极显著水平。虽然同一水分条件下施肥能在一定程度上提高成熟期的根、茎干重, 但只有干旱条件下施肥对成熟期根干重的影响和适宜水分条件下施肥对成熟期茎干重的影响达到了极显著水平, 其他同一水分条件下施肥对成熟期的根、茎干重影响不显著。从本试验结果可以看出, 同一水肥条件对同一器官不同时期干重影响显著性是不同的。

本试验结果亦表明, 适宜水分条件下施肥, 荚数、百粒重增加极显著, 产量提高显著; 渍害条件下施肥使荚数、粒数和产量的增加均达到显著水平, 但对百粒重没有影响; 干旱条件下施肥对产量构成因子的影响与渍害条件下施肥的结果恰好相反。最终产量以 W2F1 处理组合最高, 说明只有适宜的

水分加上合理的施肥能够获得较高生物产量,单一追求高水分或高肥力均不是最理想的选择。

参考文献

- [1] 王海艺,韩烈保,黄明勇. 干旱条件下水肥耦合作用机理和效应[J]. 中国农学通报,2006,22(6):124-128. (Wang H Y, Han L B, Huang M Y. Mechanism and effect of water and fertilizer coupling under drought stresses[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2006,22(6):124-128.)
- [2] 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):83-84,94-95. (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):83-84,94-95.)
- [3] 姜妍,刘燕,刘伟,等. 不同施肥处理对滴灌大豆干物质积累及产量与效益的影响[J]. 作物杂志,2011(5):61-64. (Jiang Y, Liu Y, Liu W, et al. Effects of different fertilization treatments on dry matter accumulation, yield and benefit of soybean under drip irrigation[J]. Crops,2011(5):61-64.)
- [4] 李伏生,陆申年. 灌溉施肥的研究和应用[J]. 植物营养与肥料学报,2000,6(2):233-240. (Li F S, Lu S N. Study on the fertigation and its application[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2000,6(2):233-240.)
- [5] 毛洪霞. 滴灌大豆需水规律及灌溉制度研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(5):112-117. (Mao H X. Research on soybean water requirement and schedule of drip irrigation[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2009,27(5):112-117.)
- [6] 乔云发,韩晓增,苗淑杰,等. 黑土区水肥耦合对大豆产量的影响[J]. 大豆通报,2007(1):25-27. (Qiao Y F, Han X Z, Miao S J, et al. Effects of water and fertilizer coupling on yield of soybean at black soil area[J]. Soybean Bulletin,2007(1):25-27.)
- [7] 张丽华,赵洪祥,谭国波,等. 水肥耦合对大豆光合特性及产量的影响[J]. 大豆科学,2010,29(2):268-271. (Zhang L H, Zhao H X, Tan G B, et al. Influence of water and fertilizer coupling on photosynthetic characters and yield of soybean[J]. Soybean Science,2010,29(2):268-271.)
- [8] 董钻,谢甫绶. 大豆氮磷钾吸收动态及模式的研究[J]. 作物学报,1996,22(1):89-95. (Dong Z, Xie F T. Studies on dynamics and models of N, P, K absorption in soybeans[J]. Acta Agronomica Sinica,1996,22(1):89-95.)
- [9] 许忠仁,张贤泽,杜维广,等. 大豆生理与生理育种[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1989. (Xu Z R, Zhang X Z, Du W G, et al. Soybean physiology & physiology breeding[M]. Harbin: Heilongjiang Science & Technology Press,1989.)
- [10] Rhine M D, Stevens G, Shannon G, et al. Yield and nutritional responses to waterlogging of soybean cultivars[J]. Irrigation Science,2010,28:135-142.
- [11] Wright J A, Shirmohammadi A, Magette W L, et al. Water table management practice effects on water quality[J]. Transactions of the ASAE,1992,35:823-830.
- [12] Nathanson K, Lawn R J, de Jabrun P L M, et al. Growth, nodulation and nitrogen accumulation by soybean in saturated soil culture[J]. Field Crops Research,1984,8:73-92.
- [13] Ashraf M A, Ahmad M S A, Ashraf M, et al. Alleviation of waterlogging stress in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) by exogenous application of potassium in soil and as a foliar spray[J]. Crop and Pasture Science,2011,62:25-38.
- [14] Matsuo N, Takahashi M, Nakano H, et al. Growth and yield responses of two soybean cultivars grown under controlled groundwater level in southwestern Japan[J]. Plant Production Science,2013,16:84-94.
- [15] 闫春娟,王文斌,孙旭刚,等. 水肥互作对大豆生理特性、根瘤固氮及产量的影响[J]. 大豆科学,2011,30(2):229-232. (Yan C J, Wang W B, Sun X G, et al. Effect of water-fertilizer interaction on physiological characteristics, nitrogen fixation and yield of soybean[J]. Soybean Science,2011,30(2):229-232.)
- [16] Rosolem C A, Nakagawa J. Residual and annual potassic fertilization for soybeans[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,2001,59:143-149.
- [17] Flavio H, Gutiérrez-boem, Grant W T. Phosphorus nutrition and water deficits in field-grown soybeans[J]. Plant and Soil,1999,207:87-96.
- [18] Liu X B, Jin 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.
- [19] 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 Agriculturae Zhejiangensis,1991,6:278-281.
- [20] Serraj R, Sinclair T R, Purcell L C. Symbiotic N_2 fixation response to drought [J]. Journal of Experimental Botany, 1999, 50: 143-155.