

## 水肥耦合对大豆光合特性及产量的影响

张丽华,赵洪祥,谭国波,闫伟平,方向前,孟祥盟,边少锋

(吉林省农业科学院 农业环境与资源研究中心,吉林 长春 130124)

**摘 要:**在不同化肥施用量条件下,在大豆开花和结荚期分别进行灌水,研究水肥耦合对大豆光合特性及产量的影响以及不同处理的水分利用效率。结果表明:肥量相同的条件下,大豆蒸腾速率和气孔导度的变化趋势一致,即花期+荚期灌水最高,然后依次为荚期灌水、花期灌水、对照;光合速率是荚期灌水最高,其次是花期+荚期灌水,再次花期灌水,对照的光合速率最低;产量随灌水的变化趋势也是荚期灌水最高,然后依次是花期+荚期灌水、花期灌水,对照产量最低。水分处理相同条件下,产量随肥量的增加而增加,高肥结荚期灌水产量最高;水分利用效率是荚期灌水最高,花期灌水居中,花期+荚期灌水最低。因此,在大豆栽培学上通过适当增加肥量,结荚期进行灌水,可以明显提高大豆叶片光合速率、水分利用效率及产量。

**关键词:**大豆;水肥耦合;光合特性;产量;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(2010)02-0268-04

## Influence of Water and Fertilizer Coupling on Photosynthetic Characters and Yield of Soybean

ZHANG Li-hua, ZHAO Hong-xiang, TAN Guo-bo, YAN Wei-ping, FANG Xiang-qian, MENG Xiang-meng, BIAN Shao-feng

(Environment & Source Research Center, Jilin Academe of Agricultural Sciences, Changchun 130124, Jilin, China)

**Abstract:** Water and fertilizer are key factors affecting the growth and development of soybean. A field experiment was carried out to study the effects of water and fertilizer coupling on soybean photosynthetic characteristics and yield of soybean. Three base fertilizer treatment of 200, 400 and 600 kg · ha<sup>-1</sup> soybean compound fertilizer; and 30 mm irrigation treatment at flowering, podding, and both flowering and podding were applied. The photosynthetic traits of transpiration rate (*Tr*), Stomatal conductance (*G<sub>s</sub>*) and net photosynthetic rate (*P<sub>n</sub>*) at podding stage, the yield traits at harvest as well as water use efficiency (WUE) were measured. Under the same fertilizer treatment, *Tr* and *G<sub>s</sub>* was highest at flowering and podding irrigation treatment, then was irrigation at podding, flowering and control; while *P<sub>n</sub>* and seed yield was highest at podding irrigation treatment, then was irrigation at flowering and podding, flowering and control. Under the same irrigation treatment, seed yield increased with fertilizer amount, and highest yield was obtained under higher fertilizer and podding irrigation treatment. The WUE was highest for flowering irrigation, with flowering and podding irrigation the lowest. Results suggest that moderate base fertilizer and irrigation at podding could improve *P<sub>n</sub>*, WUE and yield in soybean obviously.

**Key words:** Soybean; Water and fertilizer coupling; Photosynthetic character; Yield; Water use efficiency

水肥是影响大豆生长发育的主要因素,二者相互作用共同对作物产量产生影响<sup>[1]</sup>。大豆对水分的敏感性大于肥料<sup>[2-4]</sup>。在一定水分范围内(300 mm~700 mm)随着耗水量增加产量明显增加,二者呈极显著正相关,干旱或水分过多均导致产量降低。花荚期干旱是造成大豆减产的限制性因子,荚期较花期敏感,花期干旱可减产17.70%~25.92%,荚期干旱可减产23.77%~33.89%<sup>[5]</sup>。因此,大豆灌水的有效时期为开花至鼓粒期,其中结荚至鼓粒期需水量最大、对水反应最敏感,此期灌水增产效果最明显<sup>[6-9]</sup>。该试验在不同肥力条件

下,分别在大豆盛花期和盛荚期灌水(30 mm),研究水肥耦合对大豆产量、光合性能及水分利用效率的影响,为指导大豆生产的水肥管理提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试材料

大豆品种吉育88。

#### 1.2 试验设计

试验在吉林省农业科学院(公主岭院区)进行,试验地薄层黑壤土,耕层0~40 cm,有机质含量

收稿日期:2009-12-10

基金项目:国家科技支撑计划重点资助项目(2006BAD521B01-2)。

第一作者简介:张丽华(1974-),女,副研究员,研究方向为作物栽培学与耕作学。E-mail:zhanglh\_3161@163.com。

通讯作者:边少锋,研究员。E-mail:bsf8257888@sina.com。

22.4 g · kg<sup>-1</sup>, 全氮 1.54 g · kg<sup>-1</sup>, 速效磷 42.1 mg · kg<sup>-1</sup>, 速效钾 120.3 mg · kg<sup>-1</sup>, pH6.43。设 3 个施肥水平, 即大豆专用复合肥 (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 10:15:20) 每公顷用量分别为高肥 (H) 600 kg、中肥 (M) 400 kg 和低肥 (L) 200 kg, 为了确保不烧种, 播种时, 高肥施入 300 kg、中肥施入 250 kg, 低肥 1 次性施入, 剩余肥量在出苗后起垅时追施。水分处理分为 4 个水平, 即开花期 (f) (7 月 10 日) 灌水、结荚期 (p) (7 月 30 日) 灌水、开花期 (7 月 10 日) + 结荚期 (7 月 30 日) 灌水, 每次灌水量 30 mm, 生育期内不灌水为对照。共 12 个处理。8 行小区, 行长 4.5 m, 小区面积 20.9 m<sup>2</sup>, 密度 24 万株 · hm<sup>-2</sup>。随机区组设计, 3 次重复。

1.3 测定项目与方法

利用烘干法, 测定大豆播种前和收获后 0 ~ 50 cm 土层内的土壤含水率, 以此计算出大豆不同水肥处理的水分利用效率。水分利用效率的计算公式为:  $WUE = Y/\Delta C = Y/(P - \Delta W)$ 。式中:  $WUE$  为作物水分利用效率 (kg · mm<sup>-1</sup> · hm<sup>-2</sup>);  $Y$  为产量 (kg · hm<sup>-2</sup>);  $\Delta C$  为作物耗水量 (mm);  $P$  为作物生育期内降雨量 + 灌水量 (mm) 之和, 降雨量用 TRM-ZS2 自动气象站监测;  $\Delta W$  为作物收获时与播种时土壤储水量之差 (mm)。8 月 4 日 (结荚期) 利用 LCpro + 型便携式光合仪测定大豆顶部叶片的蒸腾速率 ( $Tr$ )、气孔导度 ( $G_s$ ) 和净光合速率 ( $P_n$ ); 9 月 15 日收获, 选取各小区中间 10 m<sup>2</sup> 实收测产, 然后折算为公顷产量, 同时测定单株粒数、单株粒重、百粒重及籽粒的含水率。采用 DPS 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 水肥耦合对大豆光合特性的影响

在相同肥力条件下, 蒸腾速率与气孔导度变化趋势一致 (表 1), 即开花期 + 结荚期灌水 > 结荚期灌水 > 开花期灌水 > ck, 这主要与结荚期灌水后的土壤含水量有关。而光合速率的变化趋势是结荚期灌水 > 开花期 + 结荚期灌水 > 开花期灌水 > ck。开花期 + 结荚期灌水使植株生长过于茂密, 中下部叶片通风透光能力下降, 致使叶片蒸腾速率高而光合速率降低, 影响了光合产物的形成。由于各光合指标是在大豆结荚期灌水后测定的, 此时花期灌水的植株也表现出缺水状态, 而结荚期灌水植株的旱情得以明显缓解, 所以, 荚期灌水大豆叶片的光合速率与蒸腾速率均高于花期灌水。在水分处理相同的情况下, 蒸腾速率、光合速率及气孔导度随着施肥量的增加而增加, 高肥结荚期灌水效果最佳。

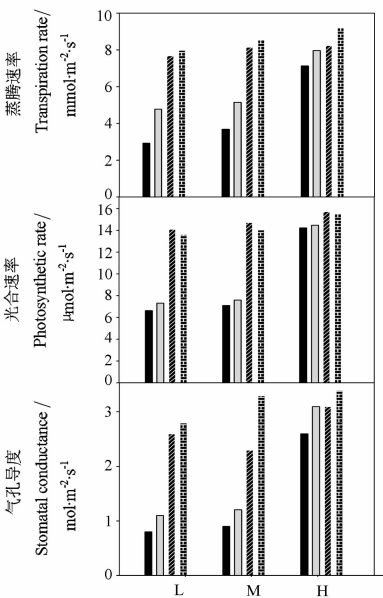


图 1 水肥耦合对大豆光合特性的影响  
Fig.1 Influence of water and fertilizer coupling on photosynthetic characteristics

表 1 光合性状方差分析

Table 1 Analysis of variance on photosynthetic characteristics

处理 Treatments		蒸腾速率	气孔导度	光合速率
		Transpiration	Stomatal	Photosynthetic
		rate	conductance	rate
		/mmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup>	/mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup>	/μmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup>
低肥 Low fertilizer	ck	2.92eD	0.08dC	6.63bB
	f	4.77deBCD	0.11cdABC	8.10bB
	P	7.69abcAB	0.26abcABC	14.1aA
	fp	7.99abAB	0.28abABC	13.64aA
中肥 Mid fertilizer	ck	3.68eCD	0.09dBC	7.11bB
	f	5.15bcdeBCD	0.12bcdABC	7.58bB
	P	8.15aAB	0.23abcdABC	14.71aA
	fp	8.56aAB	0.33aA	14.04aA
高肥 High fertilizer	ck	7.13abcdABC	0.26abcABC	14.22aA
	f	7.96abAB	0.31aAB	14.49aA
	P	8.23aAB	0.31aA	15.72aA
	fp	9.21aA	0.34aA	15.55aA

表中 ck 表示生育期内不灌水, f, p, fp, 分别表示花期灌水、荚期灌水、花期和荚期均灌水。

ck indicates non-irrigate, f, p, fp indicates irrigate at flowering, podding and flowering plus podding

蒸腾速率、气孔导度和光合速率, 低肥、中肥区开花期 + 结荚期灌水和结荚期灌水之间差异不显著, 开花期灌水与对照间差异不显著, 而结荚期灌水与开花期灌水之间差异达到显著或极显著水平 (表 1)。结荚期灌水显著提高了大豆叶片的蒸腾速率与气孔导度。武向良研究表明, 不同生育时期灌水, 大豆叶片叶绿素含量差异显著, 开花期和结荚期灌水有利于大豆叶片叶绿素含量的提高, 而且结

荚期高于开花期<sup>[6]</sup>。大豆叶绿素含量在一定范围内与表观光合速率呈密切正相关,所以,荚期灌水叶片的光合速率显著高于花期灌水。高肥区内各水分处理之间的光合指标差异不显著。这是由于土壤肥力调节的结果,在一定的施磷肥范围内,大豆叶片的净光合速率随施氮量的增加而提高,因为大豆所需磷素营养得到补充后,可促进大豆根系的生长,提高土壤水分利用效率,进而提高光合速率。另外,大豆叶片光合速率的变化与叶片全氮含量大致呈同一趋势,并且在结荚期最高<sup>[10]</sup>,这也是结荚期灌水光合速率高于其它处理的原因。肥力促进植株对土壤水分的吸收,这种拉力作用提高了叶片的蒸腾速率与气孔导度。

2.2 水肥耦合对大豆产量性状的影响

表2 水肥耦合对大豆产量性状的影响  
Table 2 Effects of water and fertilizer coupling  
on yield traits of soybean

处理 Treatments	产量 Yield / kg · hm <sup>2</sup>	单株粒重 Grain weight per plant/g	百粒重 100-grain weight/g	单株粒数 Grains per plant
Lck	1466.2dE	5.75bA	14.3aA	54.9defBCDE
Lf	1506.5dDE	5.93bA	13.5aA	53.4efCDEF
Lp	1824.1bB	7.20abA	13.5aA	56.6bcdefBCD
Lfp	1634.3cC	6.44abA	14.1aA	47.8gEF
Mck	1608.0cCD	6.25abA	13.9aA	55.4cdefBCDE
Mf	1622.9cC	6.42abA	14.0aA	57.4bcdeABCD
Mp	1942.8aA	7.60aA	14.0aA	60.4abcdABC
Mfp	1642.9cC	6.52abA	13.6aA	61.0abcABC
Hck	1627.1cC	6.42abA	13.9aA	51.4fgDEF
Hf	1646.7cC	6.47abA	13.8aA	46.5gF
Hp	1972.8aA	7.73aA	13.9aA	62.2abAB
Hfp	1644.3cC	6.54abA	14.3aA	65.1aA

表中产量、粒重及百粒重的籽粒含水率为14%。  
Moisture content of yield, grain weight, 100-grain is 14%

在化肥用量相同的条件下,由于灌水时期不同,大豆的产量具有明显差异,结荚期灌水较其它

各时期灌水差异达到极显著水平。因为此时土壤水分已成为大豆生长发育的限制性因子,结荚期灌水前土壤含水量为15.4%,加之天气干旱少雨,大豆又是对水分非常敏感的作物,所以灌水能立即被植物吸收利用。前人研究表明,结荚鼓粒期是大豆产量形成的关键时期,该时期适当的灌水对于大豆产量及品质的形成都是至关重要的<sup>[11]</sup>。与花期灌水相比,结荚期灌水增产显著<sup>[12]</sup>。低肥花期+荚期灌水与花期灌水、对照间差异显著。中、高肥花期+荚期灌水、花期灌水与对照间差异不显著。表明花期灌水对大豆的增产作用小,原因是花期正逢雨季,土壤水分不是影响产量形成的限制因素,因为大豆开花结荚期的适宜土壤含水量应保持在18%~20%左右,而花期灌水前土壤含水量为17%,灌水后7d又遇降雨。所以灌水时期应因作物需求及土壤墒情而定。水分处理时期相同的情况下,高肥产量较中肥产量虽然有所增加,但差异并不显著。除低肥花期+荚期灌水外,高、中肥与低肥产量之间差异却达到极显著水平。表明增加肥量可以促进大豆根系对土壤水分的吸收,从而提高产量。花期灌水与对照间差异不显著,大豆开花后即进入营养生长和生殖生长并进时期,这时雨热同季,加上营养充足,植株生长速度快,此时再额外灌水,势必导致营养生长过于旺盛,甚至徒长,致使大豆群体荫蔽,通风透光能力差,影响生殖生长,从而影响光合产物的形成与积累,进而影响产量的提高,所以花期雨水充足的情况下,灌水与不灌水的作用是等效的。中、高肥荚期灌水的单株粒重显著高于其它各处理,与产量的变化趋势一致。荚期灌水和花期+荚期灌水的单株粒数要明显多于花期灌水,而花期灌水与对照差异不显著。各处理的百粒重差异不显著。

表3 不同施肥量对水分利用效率的影响  
Table 3 Effects of different levels of fertilization of soil on WUE

处理 Treatment	0~50 cm 土壤 储水量差值(ΔW) D-value of 0~50 cm soil moisture content /mm	降灌水量(P) Total rain water and irrigation/mm	作物耗水量(ΔC) Crop water consumption/mm	耗水强度 Water deprivation density/mm · d <sup>-1</sup>	产量(Y) Yield/kg · hm <sup>-2</sup>	水分利用效率(WUE) Water use efficiency /kg · mm <sup>-1</sup> · hm <sup>-2</sup>
Lck	-7.89	213.6	221.49	1.73	1466.2	6.62
Lf	-8.10	243.6	251.70	1.97	1506.5	5.99
Lp	-8.36	243.6	251.96	1.97	1824.1	7.24
Lfp	-9.36	273.6	282.96	2.21	1634.3	5.78
Mck	-8.38	213.6	221.98	1.73	1608.0	7.24
Mf	-7.97	243.6	251.57	1.97	1622.9	6.45
Mp	-7.87	243.6	251.47	1.96	1942.8	7.73
Mfp	-7.80	273.6	281.40	2.20	1642.9	5.84
Hck	-8.29	213.6	221.89	1.73	1627.1	7.33
Hf	-8.03	243.6	251.63	1.97	1646.7	6.54
Hp	-8.11	243.6	251.71	1.97	1972.8	7.84
Hfp	-6.87	273.6	280.47	2.19	1644.3	5.86

### 2.3 不同施肥量对水分利用效率的影响

从表3可以看出,耗水强度从高至低依次是灌水 60 mm(2次) > 灌水 30 mm(1次) > 不灌水,与土壤含水量成正比,与土壤肥料用量不相关;从水分利用效率上看,水、肥作为作物生长的两大限制性因子,其对作物产量的影响实际上是互相促进、互相制约的<sup>[13]</sup>。在土壤水分较低时,施肥虽能提高产量,但此时水分是主要限制性因子<sup>[14]</sup>。在水分处理相同条件下,水分利用效率依次为高肥 > 中肥 > 低肥,表明施肥可以促进作物对水分的吸收;相同肥量情况下,水分利用效率次序为荚期灌水 > ck > 花期灌水 > 花期 + 荚期灌水;付尧等研究表明,大豆结荚期和鼓粒期的水分利用效率与产量关系比较密切,相关系数分别为 0.825 和 0.738,达显著水平<sup>[15]</sup>。从水肥耦合角度分析,增加施肥量能提高水分利用效率,同时水分也促进了肥料的吸收。

### 3 结论

在大豆结荚期灌水叶片净光合速率、水分利用效率最高,增产显著。而大豆开花期灌水、花期 + 荚期灌水的增产幅度、光合速率和水分利用效率相对于结荚期灌水降低,所以结荚期是大豆生产中最适宜的灌水时期。灌水量方面,结荚期灌水 30 mm,可以显著增加产量。大豆对肥料也较敏感,虽然高、中肥量间的产量差异不显著,但与低肥量的产量差异达极显著水平。结果表明,施肥 400 ~ 600 kg · hm<sup>-2</sup>,结荚期灌水 30 mm,大豆叶片光合速率、水分利用效率及产量均最高。因此,大豆栽培学上,可以通过增加施肥量和结荚期灌水提高大豆光合指标、水分利用效率及产量。

### 参考文献

- [1] 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.)
- [2] 王景伟,朱铁林,王海泽. 水肥耦合对大豆生长发育的正交设计实验研究[J]. 大豆通报,2007(6):17-20. (Wang J W, Zhu T L, Wang H Z. Study of orthogonal design on water and fertilizer coupling on the growth of soybean[J]. Soybean Bulletin, 2007(6):17-20.)
- [3] 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.)
- [4] 郭亚芬,滕云,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,2005,26(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, 2005,26(4):405-411.)
- [5] 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,2003,11(4):269-272. (Han X Z, Qiao Y F, Zhang Q Y, et al. Effects of various soil moisture on the yield of soybean[J]. Soybean Science, 2003,11(4):269-272.)
- [6] 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.)
- [7] 王彦宇,王延宇. 大豆生育期需水量与产量效应关系[J]. 吉林农业科学,1995(2):29-31. (Wang Y W, Wang Y Y. Relationship between water requirements and yield growth stage in soybean[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 1995(2):29-31.)
- [8] 徐淑琴,宋军,吴砚. 大豆需水规律及喷灌模式探讨[J]. 节水灌溉,2003(3):23-25. (Xu S Q, Song J, Wu Y. Preliminary study water requirement regulation of soybean and sprinkler irrigation patterns[J]. Water-saving Irrigation, 2003(3):23-25.)
- [9] 周侠,齐淑云,王巨国. 浅析灌水对大豆产量的影响[J]. 大豆通报,2003(6):11-12. (Zhou X, Qi S Y, Wang J G. Preliminary analysis effects of irrigation on yield of soybean[J]. Soybean Bulletin, 2003(6):11-12.)
- [10] 郑殿峰,张晓艳,李建英,等. 大豆群体光合特性的研究现状[J]. 大豆科学,2007,26(3):412-416. (Zheng D F, Zhang X Y, Li J Y, et al. The recent research concerning photosynthetic characters in soybean population[J]. Soybean Science, 2007,26(3):412-416.)
- [11] 毛洪霞. 不同水分处理对滴灌大豆生长及产量的影响[J]. 耕作与栽培,2007(6):9-13. (Mao H X. Effects of different water treatments on growth and yield of soybean of dripping irrigation[J]. Tillage Cultivation and Planting, 2007(6):9-13.)
- [12] 林国强,胡润芳. 不同灌水方式对春大豆籽粒产量的影响[J]. 大豆通报,2005(1):8. (Lin G Q, Hu R F. Effects of irrigation methods on grain yield of spring soybean[J]. Soybean Bulletin, 2005(1):8.)
- [13] 宿庆瑞,迟凤琴,李茂松,等. 大豆抗旱节水生理及水肥一体化栽培技术研究初报[J]. 中国农学通报,2006,22(8):225-228. (Su Q R, Chi F Q, Li M S, et al. Preliminary studies on resisting drought and saving water physiology of soybean and integrative water and fertilizer planting technology[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006,22(8):225-228.)
- [14] 陈洪松,邵明安,张兴昌. 黄绵土坡耕地大豆的水肥产量效应[J]. 应用生态学报,2003,14(2):211-214. (Chen H S, Shao M A, Zhang X H. Effect of soil water and fertilizer on soybean yield on loess slope land[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003,14(2):211-214.)
- [15] 付尧,张忠学. 黑龙江省西部半干旱区大豆不同水肥因素效应试验研究[J]. 灌溉排水学报,2009,28(3):132-134. (Fu Y, Zhang Z X. Water and fertilizer effects on soybean in semiarid western region of Heilongjiang Province[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2009,28(3):132-134.)