

# DA-6 对干旱胁迫下花生生理及生长指标的影响

于俊红, 彭智平\*, 杨少海, 黄继川, 詹愈忠

(广东省农业科学院土壤肥料研究所; 广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室, 广东 广州 510640)

**摘要:** 通过盆栽试验研究花生干旱胁迫条件下盛花期使用 DA-6 对生理指标和生长指标的影响。结果表明, 使用 DA-6 能减缓干旱胁迫对花生造成的伤害, 增强花生光合产物的积累和水分利用能力, 提高花生的养分吸收量和荚果产量。与干旱胁迫对照比较, 喷施 DA-6 叶片的光合速率和蒸腾速率增加 48.9% 和 26.6%, 土施 DA-6 叶片的光合效率和蒸腾速率增加 47.8% 和 68.0%, 喷施后水分利用效率有明显提高; 另外, 喷施和土施 DA-6, 脯氨酸含量显著降低 35.1% 和 62.0%, MDA 含量下降 44.9% 和 34.2%, 花生荚果的产量增加 7.9% 和 18.3%, 籽粒粗脂肪含量也有显著提高。综合来看, 喷施 DA-6 提高水分利用效率和花生籽粒粗脂肪含量的效果最好。因此, DA-6 可作为节水农业上具有应用潜力的可提高作物抗旱性的新型化学调节物质。

**关键词:** DA-6; 干旱胁迫; 花生

**中图分类号:** S565.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0168-05

近年来, 化学调节物质在农业上的应用越来越广泛, 由于其投入少、见效快、效果明显, 已成为一项新的经济实用的增产技术<sup>[1,2]</sup>。新型植物生长调节剂 DA-6 (diethyl aminoethyl hexanoate) 的有效成分为二烷氨基乙醇羧酸酯, 具有安全<sup>[3]</sup>、价格低廉、使用方便等优点, 在农业生产上有广阔的应用前景。研究表明, DA-6 可扩大植物叶面积, 提高叶绿素含量和光合速率<sup>[4~7]</sup>, 延长叶片功能期, 促进植物碳水化合物的合成与积累, 提高作物产量, 提高作物中可溶性蛋白、可溶性糖和 Vc 的含量, 改善作物的品质<sup>[5,8~10]</sup>。另有报道, DA-6 能够降低植物体内膜脂过氧化产物含量, 延缓衰老<sup>[7]</sup>。但目前对 DA-6 的抗旱生理效应的研究尚未见报道。

花生是一种抗旱性相对较强的作物, 在热带亚热带地区秋花生生长季节的降雨量偏少, 季节性干旱是花生生产的主要制约因素<sup>[13,14]</sup>。本试验以花生为试验材料, 研究使用 DA-6 对花生抗旱生理和产量的影响, 为 DA-6 在节水农业上的应用提供依据。

## 1 材料与试验方法

### 1.1 试验设计

供试花生品种为粤油 7 号, 抗旱性中等, 由广东省农业科学院作物研究所花生研究室提供。供试土壤为河流冲积物发育的水稻土, 有机质含量为 21.2 g/kg, pH 值为 5.84, 有效 N 为 77.6 mg/kg, 有

效 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 130.19 mg/kg, 有效 K<sub>2</sub>O 为 137.0 mg/kg, 土壤田间持水量为 25%。盆栽试验在广东省农科院土壤肥料研究所网室进行, 每盆装土 11 kg。每盆使用相同种类等量的化学肥料, 氮、磷和钾用量分别为 N 0.3 g (尿素), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.105 g (磷酸二铵) 和 K<sub>2</sub>O 0.27 g (氯化钾)。试验采用的化学调节物质 DA-6 (二烷氨基乙醇羧酸酯) 由河南新感觉化工有限公司提供, 有效成分含量为 98%。

试验前选取饱满的花生种子, 浸种 24 h, 2007 年 9 月 5 日播种, 每盆播 4 粒, 出苗后间至每盆 3 株。

试验设置如下处理: (1) 正常供水对照 (以下简称 CK): 正常供水, 土壤水势控制在 -20~40 kPa 范围内; (2) 干旱胁迫对照 (以下简称 DS): 控制水分在土壤水势为 -80 kPa 左右; (3) 干旱胁迫+叶面喷 DA-6 (以下简称 D-S): 土壤水势控制在 -80 kPa 左右, 并在盛花期 (出苗后 30 d) 按有效成分叶面喷施 40 mg/kg 的 DA-6 水溶液; (4) 干旱胁迫+土施 DA-6 (以下简称 D-F): 土壤水势控制在 -80 kPa 左右, 盛花期按有效成份每 kg 土壤施 4 mg 的 DA-6。每个处理设 12 个重复, 随机排列。

### 1.2 测定项目及方法

(1) 各处理在使用 DA-6 后 2 d 采用美国产 LI-6400 光合仪测定主茎倒数第 3 个叶片的光合速率 [Pn, μmol/(s·m<sup>2</sup>)], 蒸腾速率 [Tr, mmol/(s·m<sup>2</sup>)], 并计算叶片 WUE (Pn/Tr)。

收稿日期: 2008-05-31

基金项目: 广东省农业领域重点科技攻关项目 (00144191110312033); 广东省科技厅农业攻关项目 (2007A020300004-5)

作者简介: 于俊红 (1978-), 女, 河南许昌人, 助研, 硕士, 主要从事作物生理方面的研究。E-mail: yyjh-2002@163.com。

通讯作者: 彭智平, E-mail: ytifei@yahoo.com.cn。

(2) 在使用 DA-6 后 2 d 采集主茎倒数第 3 个叶片,参照文献[15]的方法测定脯氨酸和丙二醛含量。将每个处理 9 片复叶,分 3 份立即称其鲜重,放于桌面上自然失水,4 h 后再次称重,然后烘干,计算离体叶片失水率<sup>[13]</sup>。

(3) 在花生收获期测定花生主茎高度、每盆花生荚果干重,并采用索氏提取法分析粗脂肪含量。

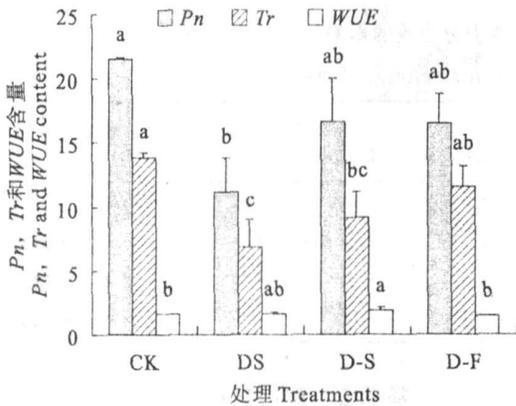
### 1.3 数据处理及分析

所有数据处理及分析采用 Excel 和 SAS 8.1。

## 2 结果与分析

### 2.1 DA-6 对干旱胁迫下花生光合速率、蒸腾速率和水分利用效率的影响

2.1.1 对叶片光合效率的影响 光合作用受干旱胁迫影响明显(图 1),CK 的光合速率为  $21.51 \mu\text{mol}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ 。干旱胁迫下,DS 的光合速率下降至  $11.19 \mu\text{mol}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ ,比 CK 相对减少 47.9%。处理 D-S 和 D-F 光合速率分别为  $16.67$  和  $16.54 \mu\text{mol}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ ,明显高于 DS,相对增加 48.9% 和 47.8%,与 CK 的差异不显著。说明在干旱胁迫条件下,使用 DA-6 可显著提高花生叶片的光合效率。



注:显著性分析采用 Duncan's Multiple Range Test,不同字母表示差异达到 0.05 显著水平,下同。

Note: Different letters indicate differences assessed by Duncan's Multiple Range Test ( $P < 0.05$ ), meant the same below.

图 1 DA-6 对花生光合速率 $[\mu\text{mol}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)]$ 、蒸腾速率 $[\text{mmol}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)]$ 和水分利用效率(WUE)的影响

Fig.1 Effect of DA-6 on  $P_n$ ,  $T_r$  and WUE

2.1.2 对叶片蒸腾速率的影响 从图 1 还可看出,干旱胁迫条件下 DS、D-S 和 D-F 的蒸腾速率比 CK 有明显下降,下降幅度分别为 50.2%、34.4% 和 16.4%,达到显著水平。D-F 的蒸腾速率比 DS 有显著的增加,增加幅度为 68.0%,而 D-S 的蒸腾速率虽然比 DS 高,但差异不显著。干旱胁迫可显著

降低花生叶片的蒸腾速率,而在干旱胁迫下土施 DA-6,可明显提高蒸腾速率。

2.1.3 DA-6 对单叶水分利用效率的影响 单叶水分利用效率是光合速率和蒸腾速率的比值,CK 和 DS 的单叶水分利用效率分别为  $1.55 \mu\text{mol}/\text{mmol}$  和  $1.61 \mu\text{mol}/\text{mmol}$ ,后者略高但差异不明显。D-S 单叶水分利用效率最高为  $1.88 \mu\text{mol}/\text{mmol}$ ,比 DS 有明显提高。

### 2.2 DA-6 对干旱胁迫下离体叶片失水率的影响

离体叶片失水率反映叶片保水能力,与抗旱性紧密相关<sup>[13]</sup>,失水率越低则保水能力越强。干旱胁迫使离体叶片失水率迅速下降,尽管 DA-6 处理后花生离体叶片失水率均显著低于正常供水对照,但其数值显著高于干旱胁迫对照,说明干旱胁迫经 DA-6 处理后,叶片的失水状况相对缓解,叶片的含水量上升,离体叶片失水率随之上升。其中叶喷 DA-6 处理离体叶片失水率最低,为 16.1%,差异达到显著水平(图 2)。

### 2.3 DA-6 对干旱胁迫下叶片丙二醛含量和脯氨酸含量的影响

2.3.1 对丙二醛含量的影响 丙二醛(MDA)是膜脂过氧化产物,其含量可指示干旱胁迫对质膜的伤害程度,丙二醛含量高表明膜受伤害的程度大。从图 3 可看出,CK 的丙二醛含量为  $15.71 \text{mmol}/\text{g}\cdot\text{Fw}$ ,干旱胁迫使叶片丙二醛的含量上升至  $20.62 \text{mmol}/\text{g}\cdot\text{Fw}$ ,上升幅度达 31.2%,达显著水平。干旱胁迫后经喷施 DA-6 和土施 DA-6 处理,丙二醛的含量比 DS 分别下降 44.9% 和 34.2%,差异显著。其中 D-S 处理丙二醛的含量为  $11.36 \text{mmol}/\text{g}\cdot\text{Fw}$ ,明显低于 CK,降低幅度为 27.6%。表明使用 DA-6 缓解了植株体内的氧化胁迫状况,有效保护膜结构,保护正常生理代谢的进行。

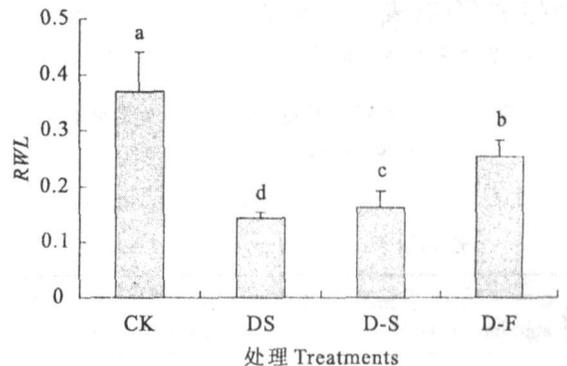


图 2 DA-6 对离体叶片失水率的影响

Fig.2 Effect of DA-6 on rate of water loss (RWL) of leaf samples

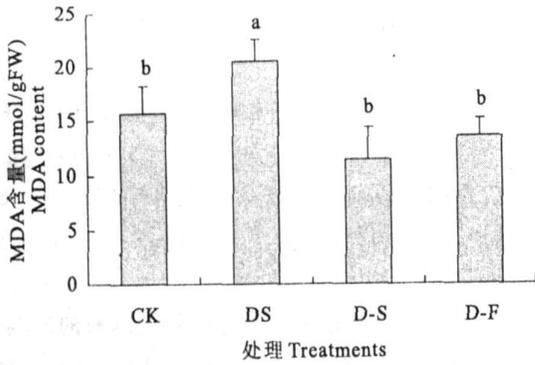


图 3 DA-6 对叶片丙二醛含量的影响

Fig. 3 Effect of DA-6 on the content of MDA in leaves

2.3.2 对脯氨酸含量的影响 渗透调节是植物适应干旱胁迫的重要生理机制,脯氨酸是干旱胁迫下细胞质中积累最多的有机渗透调节物质。由图 4 可知,处理 CK 脯氨酸含量为  $48.41 \mu\text{g/g}\cdot\text{FW}$ ,干旱胁迫条件下处理 DS 的脯氨酸含量急剧上升,达  $215.91 \mu\text{g/g}\cdot\text{FW}$ ,增加 4.5 倍。在喷施和土施 DA-6 后,脯氨酸含量达到 140.22 和  $82.11 \mu\text{g/g}\cdot\text{FW}$ ,比 DS 降低 35.1% 和 62.0%,比 CK 提高 189.6% 和 69.6%,其中处理 D-F 与 CK 的差异不显著,但比处理 DS 有显著降低;处理 D-S 比 CK 有明显提

高。表明干旱胁迫条件下,DA-6 处理可减少脯氨酸的积累,使植株体内的水分缺失状况得到缓解。

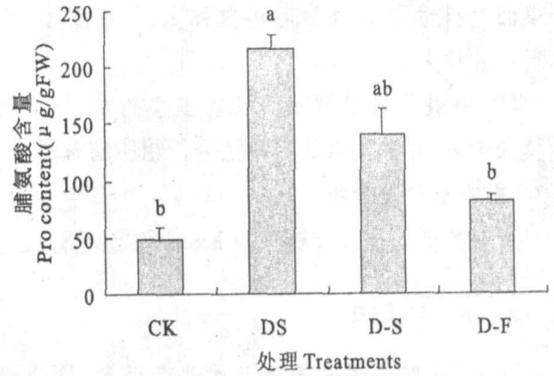


图 4 DA-6 对干旱胁迫下叶片脯氨酸含量的影响

Fig. 4 Effect of DA-6 on the content of proline in leaves

## 2.4 DA-6 对干旱胁迫下花生养分吸收的影响

在干旱胁迫条件下,植物各种营养元素的吸收受到影响(表 1),各种养分吸收量均下降。DA-6 喷施促进氮、钾、钙和镁的吸收,DA-6 土施促进氮、磷、钾和钙的吸收。其中土施促进养分吸收的效果优于喷施。可能是土施 DA-6 显著提高蒸腾速率,促进了根际的质流和元素扩散,从而促进营养元素吸收。

表 1 DA-6 对干旱胁迫条件下花生养分吸收的影响

Table 1 The effect of DA-6 on the nutrient absorption of peanut

处理 Treatments	N 吸收量(g/盆) N absorption(g/pot)	P 吸收量(g/盆) P absorption(g/pot)	K 吸收量(g/盆) K absorption(g/pot)	Ca 吸收量(g/盆) Ca absorption(g/pot)	Mg 吸收量(g/盆) Mg absorption(g/pot)
CK	$1.31 \pm 0.04_a$	$0.26 \pm 0.01_a$	$0.58 \pm 0.03_a$	$0.85 \pm 0.06_a$	$0.17 \pm 0.01_a$
DS	$1.21 \pm 0.05_b$	$0.20 \pm 0.01_c$	$0.52 \pm 0.03_b$	$0.63 \pm 0.06_b$	$0.16 \pm 0.01_a$
D-S	$1.24 \pm 0.03_{ab}$	$0.2_c$	$0.57 \pm 0.02_a$	$0.67 \pm 0.03_b$	$0.18 \pm 0.01_a$
D-F	$1.27 \pm 0.03_{ab}$	$0.22 \pm 0.01_b$	$0.59 \pm 0.02_a$	$0.69 \pm 0.04_b$	$0.16 \pm 0.01_a$

## 2.5 DA-6 对干旱胁迫下花生产量和品质的影响

在干旱胁迫条件下,植株的生长和产量受到不同程度的影响(表 2)。干旱胁迫下处理 DS 的株高比 CK 减少 7.9 cm,降低 63.7%,荚果产量比 CK 降

低 7.9 g/株,降低 27.9%,籽粒的粗脂肪含量比 CK 降低 0.04 个百分点,差异均达显著水平。干旱胁迫下使用 DA-6 后,株高与处理 DS 无显著差异。荚果产量比处理 DS 增加 1.6 和 3.7 g/株,相对增加 7.9% 和 18.3%。使用 DA-6 比处理 DS 粗脂肪含量都有显著提高。

表 2 DA-6 对干旱胁迫条件下花生的株高、产量和粗脂肪含量的影响

Table 2 The effect of DA-6 on the plant height, pod yield and rough fat content of peanut

处理 Treatments	株高(cm) Plant height	荚果重(g/株) Pod yield(g/plant)	粗脂肪含量(%) Rough fat content
CK	$21.8 \pm 1.5_a$	$28.22 \pm 3.8_a$	$0.495 \pm 0.004_a$
DS	$13.9 \pm 1.3_{bc}$	$20.29 \pm 3.4_b$	$0.458 \pm 0.007_c$
D-S	$12.5 \pm 0.8_c$	$24.02 \pm 3.1_{ab}$	$0.485 \pm 0.009_{ab}$
D-F	$14.8 \pm 0.9_b$	$21.89 \pm 2.5_b$	$0.484 \pm 0.001_{ab}$

## 3 讨论

DA-6 是植物生长调节剂的新型产品,有广谱的生理作用。以往对 DA-6 的研究显示,在正常栽培条件下,喷施 DA-6 具有促进叶片光合作用,改善农产品品质的效果<sup>[4~7]</sup>。本试验在干旱胁迫条件下的研究表明,喷施及土施 DA-6 能够提高花生叶片的光合速率,叶片光合速率比干旱对照提高

48.9%和47.8%,这与正常栽培条件下喷施DA-6的研究结果是一致的<sup>[4~7]</sup>。

使用DA-6提高光合速率的同时,尽管也提高了花生叶片的蒸腾速率,喷施及土施提高幅度达68.0%和60.3%,但单叶水分利用效率有所提高,其中叶喷DA-6处理最高达1.88  $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ ,高于正常供水对照和干旱胁迫对照,以叶喷DA-6处理离体叶片失水率最低,为16.1%,表明使用DA-6,尤其是叶喷DA-6处理,显著降低离体叶片失水率,改善叶片的水分状况,增加叶片的保水能力,提高花生的抗旱性,具有一定的抗旱调节作用。

渗透调节是植物适应干旱胁迫的重要生理机制,干旱胁迫使植物体内积累脯氨酸等物质调节细胞内的渗透压以适应干旱胁迫。干旱胁迫后经过DA-6处理,脯氨酸含量较正常供水处理仍然有显著提高,提高幅度达69.6%~189.6%,但比干旱胁迫对照有明显下降,下降幅度达35.0%~61.9%,表明干旱胁迫促进脯氨酸积累,使用DA-6可减少脯氨酸积累,这是由于使用DA-6使植株体内的水分缺失状况得到缓解,正如上面提到的,使用DA-6可使叶片失水率降低,提高了叶片的保水能力,使作物相对处于“非水分胁迫状态”。也可能是使用DA-6在促进脯氨酸积累的同时促进了其他渗透调节物质的积累,这方面有待于进一步的研究。

大量研究一致认为,干旱胁迫引起膜脂过氧化作用,导致植物细胞膜受到伤害,常伴随膜脂过氧化产物MDA的产生。在本试验条件下,使用DA-6叶片MDA含量比正常供水对照和干旱胁迫对照都有不同程度的下降,下降幅度分别达13.6%~27.6%和34.1%~44.9%。使用DA-6比正常供水对照的MDA含量有所下降,显示DA-6具有优异的保护细胞膜完整性的功能,为提高花生的抗旱性奠定基础。

DA-6在干旱胁迫条件下促进花生养分吸收量的提高,其荚果产量和籽粒粗脂肪含量比干旱胁迫对照也有所提高。叶喷DA-6处理荚果产量比干旱胁迫对照提高18.8%,籽粒的粗脂肪含量提高6个百分点,达显著水平,表明在干旱胁迫条件下使用DA-6也具有提高花生经济产量和改善品质的效果。

维持良好的膜功能和正常的光合作用,是化学调节物质抗旱作用效果的重要生理基础,综合使用DA-6对花生光合、抗逆、保水、提高产量和质量等方面的效应,DA-6具备现有的抗旱化学调节物质所具有的生理作用和效果。

抗旱节水化控技术的研究已有几十年历史,目前已发现了100余种具有提高作物抗旱性的化学调节物质,其中以有效成分黄腐酸为主的叶面喷施剂在生产上得到较为广泛的使用。但其他化学调节物质由于有效期短、药效不稳定、广谱性差、价格较高等原因影响了它们在节水农业的应用。因此,寻找价廉、广谱、药效好的物质成为节水农业研究的重要方向之一。综合以上比较,使用DA-6可提高水分利用效率,且DA-6具有价格较低,使用浓度低的特点,因此,DA-6可作为节水农业应用领域又一具有提高作物抗旱性的新型化学调节物质。关于DA-6诱导花生抗旱节水的生理机制,特别是DA-6可能启动的激素调控机理,值得进一步深入研究。

致谢:杨林香、黄玉莲、林志军参与本试验的部分工作,在此表示感谢。

#### 参考文献:

- [1] 潘瑞炽,李玲.植物生长发育的化学控制[M].广州:广东高等教育出版社,1995.
- [2] Swain S M, Reid J B, Kamiya Y. Gibberellins are required for embryo growth and seed development in pea[J]. Plant J, 1997, (12):1329-1338.
- [3] 郑先富,孙炳剑,刘玲,等.己酸二乙氨基乙醇酯急性毒性研究[J].河南农业大学学报,2006,40(1):74-76.
- [4] 陈敏资.二烷基乙醇羧酸酯对紫罗兰生理活性的影响[J].园艺学报,1995,22(2):201-202.
- [5] 梁广坚,李芸瑛,邵玲.DA-6和BR+GA<sub>3</sub>对菠菜生长和光合速率的影响[J].园艺学报,1998,25(4):356-360.
- [6] 吕建洲,薛秀春,张爱莲.DA-6对圆柏生长及生理活性的调控[J].植物研究,2000,20(1):73-78.
- [7] 苗鹏飞,刘国杰,李绍华,等.DA-6对秋季草莓叶片光合速率和植株生长的影响[J].应用生态学报,2007,18(12):2722-2726.
- [8] 张明才,何钟佩,王玉琼,等.植物生长调节剂DTA-6在甜豌豆上的应用效果[J].农药学报,2001,3(4):53-58.
- [9] 王俊平,翟志席,何钟佩.DTA-6对紫花苜蓿粗蛋白和氨基酸含量的调控作用[J].中国农业大学学报,2003,8(3):25-28.
- [10] 谭晓红,王贵禧,陈金印,等.采前DA-6和DCPTA处理对冬枣果实品质发育的影响[J].林业科学研究,2007,20(4):485-489.
- [11] 山仓.节水农业与作物高效用水[J].河南大学学报(自然科学版),2003,33(1):1-5.
- [12] 山仓,邓西平,张岁岐.生物节水研究现状及展望[J].中国科学基金,2006,2:66-71.
- [13] 王育红,姚宇卿,吕军杰,等.花生抗旱指标研究初报[J].干旱地区农业研究,2002,20(3):89-92.
- [14] 严美玲,矫岩林,李向东,等.苗期灌水量对花生生理特性和产量的影响[J].应用生态学报,2007,18(2):347-351.
- [15] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.

出版社, 2000.

- [16] 周 天, 胡永军, 周晓梅, 等. DA<sup>-6</sup> 对野大麦幼苗光合作用和生长的影响[J]. 草业科学, 2004, 21(4): 31-34.

- [17] 李秧秧, 黄占斌. 节水农业中化控技术的应用研究[J]. 节水灌溉, 2001, (3): 4-7.

## Influence of DA<sup>-6</sup> on physiological and growth targets of peanut under drought stress

YU Jun-hong, PENG Zhi-ping<sup>\*</sup>, YANG Shao-hai, HUANG Ji-chuan, ZHAN Yu-zhong  
(Soil and Fertilizer Research Institute, GAAS; Guangdong Key Laboratory of Nutrient Cycling  
and Farm Land Conservation, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** A pot culture experiment was carried out to study the effect of DA<sup>-6</sup> on physiology and growth targets of peanut during flowering stage under drought stress. The results indicated that the application of DA<sup>-6</sup> could alleviate harm to peanut caused by drought stress, strengthen accumulation of the photosynthetic product and capacity of water utilization and promote the amount of nutrient absorption and pod yield. Compared with the drought stress control, the net photosynthetic speed and the transpiration rate was increased by 48.9% and 26.6% after DA<sup>-6</sup> spraying, and 47.8% and 68.0% after DA<sup>-6</sup> applying to soil. The water utilization efficiency of DA<sup>-6</sup> spray was also distinctly enhanced. Furthermore, the proline content was significantly reduced by 35.1% and 62.0% in DA<sup>-6</sup> spray and soil application treatment, MDA content was decreased by 44.9% and 34.2%, while the peanut pod yield was increased by 7.9% and 18.3%, the rough fat content was also significantly enhanced. In all treatments, DA<sup>-6</sup> spray had the most significant effect in improving water utilization efficiency and rough fat content. Therefore, DA<sup>-6</sup> could be a new potential chemical regulator to strengthen the crops drought resistance in water saving agriculture.

**Key words:** DA<sup>-6</sup> (diethyl aminoethyl hexanoate); drought stress; peanut

(上接第 151 页)

## Development and validation of surface fertigation flow and solute transport model

LI Zhi-xing, XU Di, LI Yi-nong  
(National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research,  
China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

**Abstract:** The surface fertigation solute transport model is developed with zero-inertia model as irrigation flow model and one dimension ADE equation as surface solute transport equation, and solving them separately with the methods of Preissman format finite difference and characteristic curve. It provides an effective model tool to optimize designation of technical parameters combination for fertigation. The research results show that there is good agreement between the measured data and the predicted result by the model, so the suggested model could offer an important tool for optimization of technique factors combination for fertigation; in the fertigation experiment, the research results with both the solutes of ammonia nitrogen and Br<sup>-</sup> are similar, so the research results in both conditions can be referred to by each other.

**Key words:** surface fertigation; flow; solute transport; advection-diffusion