

干旱胁迫对大豆生理生态及产量的影响

崔维佳^a, 常志云^{a,b}, 李宁^a

(北京师范大学 a. 民政部/教育部减灾与应急管理研究院;

b. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 针对干旱灾害对农业生产带来减产问题, 研究干旱条件下大豆的生理生态的变化特征, 为粮食高产提供依据。从大豆开花期开始, 通过小区试验对冀豆 12 号进行控制干旱时间和不同程度土壤水分处理, 研究不同处理下大豆叶绿素、叶面积和光合作用率、产量及其品质的变化规律。结果表明: 干旱时间越长, 大豆生理生态特征呈下降趋势; 且在短时间处理后及时复水处理, 其生理生态特征有回升趋势; 在土壤含水量占田间含水量的 40% ~ 50% 时, 大豆的叶绿素含量和叶面积指数最大; 土壤含水量低于 30% 时, 叶绿素含量和叶面积指数最低; 对照处理净光合速率远高于各时间和水分处理, 并且在处理结束后, 植株净光合速率会有反升的现象; 在不同处理条件下, 产量随胁迫时间加长和土壤水分减少而减少, 但千粒重却与之相反; 蛋白质含量将会上升, 而脂肪含量及脂肪蛋白总量会下降。

关键词: 干旱胁迫; 冀豆; 生理特征; 产量和品质

中图分类号: S152.75

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)04-0020-05

Effect of drought stress on physiology ecology and yield of soybean

CUI Weijia^a, CHANG Zhiyun^{a,b}, LI Ning^a

(a. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education;

b. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;)

Abstract: Aimed at the decrease of the crop yield caused by drought stress, this paper focused on the physiological ecological characteristics of soybean. The variations of soybean leaf chlorophyll, leaf area, photosynthetic rate, yield and quality are studied through control dry time and varying degrees of soil moisture treatments from the stage of flowering. The results show that the physiological and ecological characteristics of soybean will drop if the dry time is longer and it has recovery trend when the soybean is irrigated timely in a short period of drought time. The chlorophyll content and leaf area are maximum when the soil moisture content is 40% to 50%, and when soil water content is lower than 30%, they are minimum. The photosynthetic rate under control group is higher than that in time and water treatments, and the value of photosynthetic rate will increase if stop the processing. The yield of soybean will reduce with longer time stress and lower water stress, but the grain weight is contrary. The protein content will increase and the fat content will decrease.

Key words: drought stress; soybean; physiological feature; yield and quality

大豆是我国的主要粮食作物和经济作物, 干旱缺水是影响其生长和发育的主要因素之一。据统计, 我国 50 多年来受旱面积和受旱成灾面积呈快速上升趋势, 有 77.4% 的省区旱灾增加, 重灾年成灾面积达 4000 多万 hm^2 。每年因干旱损失的粮食占粮食总损失的 15%, 高达 50 亿 kg。随着人类社会经济的快速发展, 粮食危机日趋严重, 积极探讨粮食高产以及干旱等自然灾害带来的粮食减产已成为当

今热点话题。干旱胁迫常常影响植物生长发育, 导致作物严重减产。大豆叶片是反映大豆植物水分状况的重要指标, 大豆受到干旱胁迫时, 叶片相对含水量会下降^[1-2], 叶绿素含量明显减少, 且叶面积也有减小趋势^[3-6]。干旱也会影响大豆净光合速率, 研究表明, 干旱会破坏叶绿体活性, 同时影响气孔导度, 使得净光合速率下降^[7-9]。干旱胁迫下豆荚数明显减少, 并且结荚长度也减少^[10-11], 进而减少产

收稿日期: 2013-01-30; 修回日期: 2013-04-07

基金项目: 国家 973 计划项目(2012CB955402); 科技部国际科技合作项目(S2012GR0231)资助

作者简介: 崔维佳(1977-), 男, 黑龙江七台河人, 博士研究生, 研究方向: 自然灾害风险管理。

量^[12-13]。对于大豆品质方面,受到胁迫的大豆其油酸含量上升,亚油酸含量下降,蛋白质含量会上升,而脂肪含量及脂肪蛋白含量会下降^[14-16]。水分对大豆生长产生重要影响,但在不同时期下需水量不同,如苗期水分过多则不利于大豆生长。而开花期与鼓粒期大豆营养生长和生殖生长同时进入关键时期,需要大量水分使之正常生长。研究这段时间内干旱胁迫对大豆生理生态的影响很有意义。

目前许多学者就大豆干旱问题做了深入研究,但其研究多集中在单一性状,使得鉴定大豆的干旱程度及抗旱性存在局限。为此,本研究从大豆开花期开始采用人工干旱模拟实验,探讨大豆在干旱时生理生态变化规律,同时对不同处理产量和品质进行了深入比较,该研究有助于加强大豆的田间管理,进而减少大豆的干旱损失。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2011年5月至2011年9月在北京师范大学良乡实验基地进行。大豆品种:冀豆12号。土壤类别:当地土壤(褐土),基础肥力为全氮0.19 g/kg,全磷0.48 g/kg,全钾18.3 g/kg,pH 7.72。容重为1.5 g/cm³。播种前土壤含水量采用烘干法测定。该地区是典型的暖温带季风气候,四季分明,降水偏少,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,春、秋短促。年平均气温5~20℃。年降水400~800 mm,主要集中在7、8月份。

试验设置了试验组和对照组两部分,试验组为6个长11 m,宽3 m的水泥池小区,各小区相隔1 m。对照组为小区北面的试验小区。从大豆开花期开始,试验组小区利用防雨篷消除降雨影响。除水分控制外,试验组和对照组处理措施一致。

试验共设有7个处理,A1(短时间干旱)处理干旱13d(7月2日-7月14日);A2(中度时间干旱)处理干旱26d(7月2日-7月27日);A3(长时间干旱)处理干旱40d(7月2日-8月9日);充分供水的B1处理(高水分);2处理(中度水分);B3处理(低水分)。B1、B2、B3处理对应的土壤含水量分别为田间持水量的60%以上,40%~50%和低于30%;对照组(S)分条件分为正常供水。试验期内各处理土壤水分变化趋势如图1。

1.2 测定项目和方法

大豆测量指标有叶绿素、叶面积、净光合速率、产量及品质等。

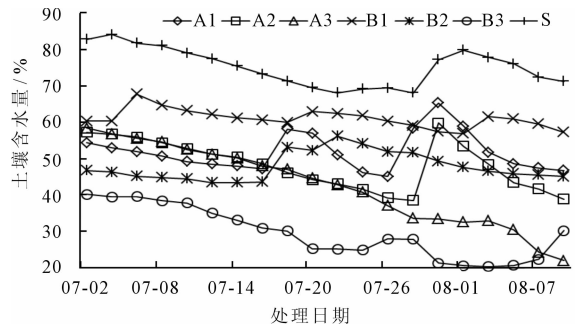


图1 不同小区土壤含水量的变化趋势(2011年)

叶绿素含量的测定:用SPAD-502叶绿素计。每个小区选取27株,选择每株上部成熟的叶子为测量叶片。在处理开始后每隔5 d测量一次叶绿素含量。

叶面积测定:用叶面积仪-1242。每个小区选取27株,选择每株上部成熟的叶子为测量叶片。在处理开始后每隔5 d测量一次叶面积的测定。

净光合速率:用Li-6400便携式光合作用测定仪(USA),每隔15 d在田间进行活体测定,仪器装有LED红蓝光源,光量子通量密度(PFD)为1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,对选定植株上部成熟叶片进行测量,每棵植株测量3次。

大豆产量及品质测定,大豆产量主要观测大豆的豆荚数目、单株产量以及千粒重变化。其品质主要观测蛋白质(GB 5009.5-2010),脂肪(GB/T 5009.6-2003)含量。由农业部农产品质量检验检测中心(北京)检验。应用的主要仪器有半自动凯氏定氮仪、电热恒温鼓风干燥箱等。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下大豆叶绿素含量的变化

由图2可以看出,随着生育进程,大豆的叶绿素含量均呈先增大后减小的变化。与对照相比,A1、A2、A3处理均有所下降。在开始阶段,A1处理下降幅度最大,下降5%。在处理15 d后,由于A1解除处理,其叶绿素含量持续回升,而A2、A3处理叶绿素含量持续下降。待处理后期,A3处理均低与其余两个处理,其中在处理30 d时比对照下降7.3%。由图可以看出干旱并没有改变叶绿素含量的变化趋势,在开始处理的阶段,叶绿素含量均上升,且变化规律相对杂乱,可能原因是在大豆刚开始受到干旱胁迫时,不同的个体其抗旱能力不同导致差异性出现。

由图3可知,在第15 d时,B1处理下降最大,降幅为10.8%。在处理第20 d时,B3处理最小,其次是B1处理,分别降低了10.7%、6%。处理45 d

时,B3 相对对照组减小最少。整个过程中,B2 处理下的叶绿素平均含量最高,B3 处理下的大豆叶绿素含量最小。但整体趋势和图 2 表现的相似。在开始阶段变化规律杂乱,但是随着试验的进行,呈现出水分越少,叶绿素的相对含量越低的趋势。

综合图 2 图 3,可以发现,在处理开始阶段,水分最好的 A1 和 B1 处理,叶绿素含量均低于处于中间水平的 A2 和 B2 处理。得出,叶绿素的含量多少与土壤水分并不是完全对应的关系,其叶绿素含量的最大值并不是水分最多条件,即当水分过多反而会影响大豆植株的生长。但是当土壤水分严重缺失时,其叶绿素含量最少。这与丛建鸥等^[17]对冬小麦进行干旱胁迫时的结论相仿。

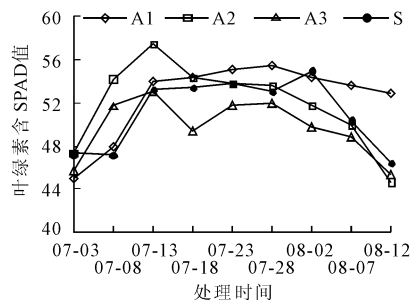


图 2 不同干旱时间对大豆叶绿素的影响

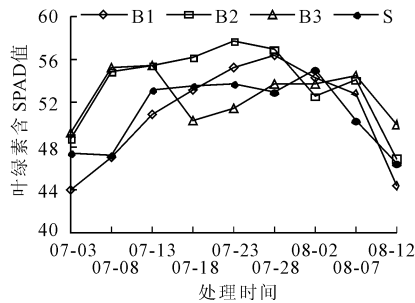


图 3 不同水分控制下大豆叶绿素的变化

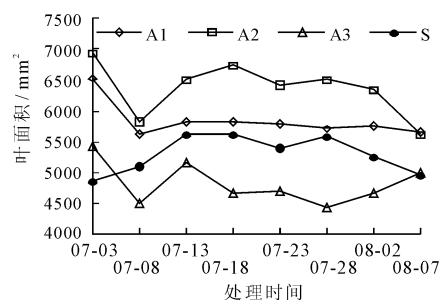


图 4 不同干旱时间对大豆叶面积的影响

由图 5 可以看出,B3 处理的叶面积指数远远小于对照组,平均下降 32%。在处理开始阶段,三处理均有略微的下降,这是作物对干旱胁迫的反应。在以后各处理阶段,叶面积变化趋势都相似,都是先增大后减小。其中,B1 处理水分最多,叶面积指数却处于中间水平,而不是最高水平;B2 处理水分适中,其叶面积的平均水平却处于最高;B3 处理水分最少,叶面积指数也最小,始终处于最差水平。

综上所述,A1、B1 处理是水分条件相对最大的处理,而叶面积的水平始终处于中间水平,而不是最高水平;A2 和 B2 水分条件中等,叶面积指数最大;A3 和 B3 水分条件最差,叶面积变化最小,始终处于低于其他处理。由此可见,大豆叶面积的最大水平既不是水分充足供给,也不是水分缺乏,而是水分条件适中。原因是在大豆在受到干旱胁迫时,其会对此胁迫有所响应,即适应胁迫生长,对于植株的叶面积而言,其在干旱适中时其适应能力最强,响应也最为明显。

2.3 干旱胁迫下大豆净光合速率的变化

净光合速率是光合系统功能的直接体现,也是植株光合系统是否正常的指标^[18]。干旱时间对大

2.2 干旱胁迫下大豆叶子形态特征的变化

由图 4 看出,A1、A2、A3 处理叶面积指数均小于对照组,在第 25 d 时分别降低 22%、13.1%、36.6%。其中 A3 处理下降的最大。大豆在受到干旱胁迫处理时,叶面积指数首先呈下降趋势,随着处理的进行,叶面积的变化趋势和正常处理的叶面积变化趋势相一致。在控制干旱时间的试验中开始阶段,大豆植株受到胁迫时叶面积都有减小的趋势,这是大豆植株对干旱胁迫的生理反应;当植株在开花期受到干旱胁迫时,植株的光合产物主要向地下部分输送,使得叶面积有减小的趋势。当消除处理时,大豆的叶面积并没有迅速增大的趋势,而是按照正常的生长趋势生长。

豆净光合速率的影响见图 6。处理 15 d 后,经处理后的小区净光合速率明显降低。相比对照组各处理降低 62.5%。处理 30 d 时,A2、A3 处理净光合速率继续降低,但趋势减缓,降低至 $5 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,而 A1 处理下的大豆的净光合速率却有一定的回升。原因是植物体在受到干旱胁迫时,其生理变化将会出现适应性的变化,一旦恢复到正常状态,将会发生强烈的反复变化,甚至超过正常时的状态。在处理 45 d 时,A2 的变化趋势和 A1 处理相似。从图 6 看出,水分越高,其净光合速率越大,相反,水分越低,其净光合速率越小。

由图 7 可以看出,在水分控制 15 d 时,不同试验处理下的大豆净光合速率已有明显变化,B3 相对于对照组降低最大,其次是 B2、B1,分别降低 79.6%、61.3% 和 33.5%。在处理 30 d 时,各处理仍然有所下降,但下降趋势明显减缓。在处理后的第 45 d,B2、B3 处理的净光合速率出现回升的现象,原因是该时期处于灌浆期,需较高的净光合速率才能满足。

结合图 6、图 7 发现,在处理后的 45 d 时,不同处理下大豆的净光合速率均有不同程度的回升迹象,原因是在结荚-鼓粒期进行干旱处理时,其光合

产物主要向地上部分输送,即植株茎秆、叶片等鲜重比例上升,该时期叶子生长旺盛,使得净光合速率有回升趋势^[19]。图7同图6结果有相似之处:即水分条件越高,其净光合速率越大,反之,其净光合速率越小。结合图2、3发现,大豆的净光合速率与叶绿

素的含量有一定联系,在叶绿素含量最小时,净光合速率最低。但叶绿素含量最高时,净光合速率却不是最大,说明影响大豆净光合速率的因素除叶绿素的含量多少外,还有别的因素影响植株的净光合速率^[20]。

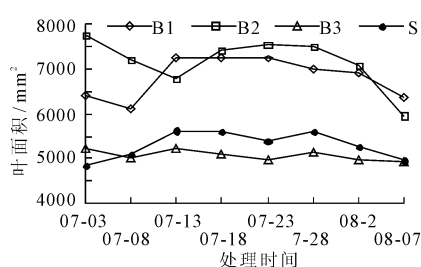


图5 不同水分控制下大豆叶面积的变化

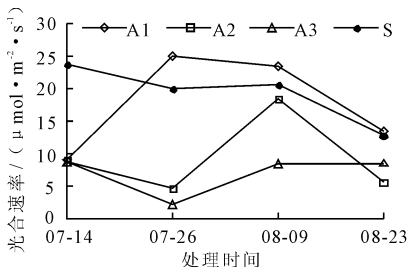


图6 不同干旱时间对大豆净光合速率的影响

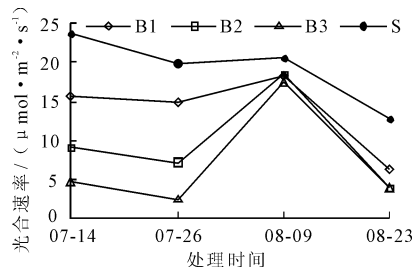


图7 不同水分控制下大豆净光合速率的变化

总结上述可得,大豆遭受干旱胁迫后,光合强度均大幅度下降,并且随干旱的加强而降低。在解除干旱胁迫后,净光合速率又有回升的趋势。

2.4 干旱胁迫下大豆产量和品质的变化

表1是各种处理方式大豆产量及品质影响。

表1 各种处理方式大豆产量及品质影响 g, %

处理方式	豆荚数	单株粒数	总粒重	千粒重	蛋白质	脂肪
S	84.8	129.2	33.5	241.4	40.15	14.85
A1	82.8	158.3	35.8	233.7	40.5	16.00
A2	54.6	94.0	26.8	259.7	41.7	15.35
A3	37.6	67.2	18.8	266.2	43.9	15.25
B1	66.3	112.0	25.3	201.4	41.5	16.35
B2	57.7	105.1	26.9	247.7	41.6	16.00
B3	37.3	62.3	15.3	251.6	41.5	15.20

注:豆荚数、单株粒数、总粒重均为该处理下的平均值。

从表1可以看出,不同方式的干旱处理均使大豆产量因子及其产量下降。在受到干旱程度越深时,其豆荚数、单株粒数和总粒重越少。而千粒重却随干旱的加强而增大,与先前试验结果不尽相同。原因可能是在灌浆期间水分供给不足,延长大豆的生长时间,使得成熟期的大豆子粒中还有大量水分,从而影响了千粒重的变化。对品质分析结果表明,大豆在受到干旱胁迫时,蛋白质含量将会上升,而脂肪含量会下降。

3 讨论

农作物耐旱性的机制十分复杂,单纯从某一方面研究干旱胁迫对农作物照成的伤害机理是远远不够的。植株的株高、叶面积、叶绿素以及净光合速率

等包含的信息十分丰富。因此深入研究大豆在干旱时的生理生态变化情况,可以全面了解胁迫对大豆的影响。

水分可以影响大豆植株叶子的生长状况。研究表明,水分条件中等时,叶绿素含量和叶面积指数最高,在水分条件最差时,叶绿素含量和叶面积指数最小。大豆生长对干旱胁迫极为敏感,当长期处于水分缺失状态时,植株体内会产生水分亏缺现象,并且影响到正常的生理代谢活动;当不同时期受到干旱胁迫时,植株光合作用产物分配趋势不同^[21],导致中等水分条件下,叶绿素含量和叶面积指数最高。

不少研究表明,干旱胁迫下,气孔阻力(R_s)增加会导致气孔关闭,影响 CO_2 向叶绿体供应,同时,干旱胁迫会引起叶绿体活性下降,导致植株净光合速率下降。本试验表明,大豆净光合速率随胁迫强度的增加和胁迫时间的加长而减小,并且,在生长期,去除干旱胁迫处理时,叶绿体活性加强和气孔阻力减小,植株净光合速率会有回升趋势。

对于大豆产量分析表明,干旱会导致产量下降,而千粒重增加。由于在大豆受到干旱时,其单株豆荚数及豆荚中大豆粒数均显著减小^[10],同时,干旱会使农作物的生长速率减缓,使得成熟时期的大豆中含有较多水分,导致千粒重随干旱加强而加大。对大豆品质分析,蛋白质含量将会上升,而脂肪含量及脂肪蛋白总量会下降,这与张敬容^[14]实验结果相符。

因为本试验条件和时间的影响,本研究只进行了一季试验,相关趋势性结论还需通过后续试验进一步细化验证。另外,试验只考虑了水分因素,对于大田应用显得不够充分,并不能完全解释农田复杂

生态系统。应该在此基础上进行不同品种之间的差异试验或其他因素进行耦合试验,使试验更具有现实意义。

参考文献:

- [1] 蒲伟凤,李桂兰,张敏,等. 干旱胁迫对野生和栽培大豆根系特征及生理指标的影响[J]. 大豆科学,2010,29(4):615-622.
- [2] Goldman I L, Carter T E, Pteron R P. A detrimental interaction of subsoil aluminum and drought stress on the leaf water status of soybean[J]. *Agronomy Journal*, 1989, 81(3):461-463.
- [3] 赵桂范. 干旱对合丰42不同部位叶片发育的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2009(1):29-30.
- [4] 谢甫绵,董钻,孙艳环,等. 不同生育时期干旱对大豆生长和产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报,1994,25(1):13-16.
- [5] 马原松,王启明,吴诗光,等. 干旱胁迫下大豆苗期生理生化指标的研究[J]. 安徽农业科学,2005,46(1):45-48.
- [6] 王启明,马原松,吴诗光. 干旱胁迫对不同生育期大豆叶片质膜透性的影响[J]. 安徽农业科学,2005,33(9):1587-1588.
- [7] Boyer J S. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean[J]. *Plant Physiology*, 1970,46(2):236-239.
- [8] 马忠明. 有限灌溉条件下作物水分关系的研究[J]. 干旱地区农业研究,1998,16(2):75-79.
- [9] 孔照胜,武云帅,岳爱琴,等. 不同大豆品种抗旱性生理指标综合分析[J]. 华北农学报,2001,16(3):40-45.
- [10] 高中超,周宝库,张喜林. 大豆对干旱胁迫生理生化的响应[J]. 大豆通报,2007(5):27-29.
- [11] Bassetti P, Westgate M E. Emergence, elongation and senescence of maize silks[J]. *Corp Science*, 1993,33(2):271-275.
- [12] 李贵全,杜维俊,孔照胜,等. 不同大豆品种抗旱性生理生态的研究[J]. 山西农业大学学报,2000,20(3):197-200.
- [13] 白伟,孙占祥,刘晓晨,等. 苗期水分胁迫对大豆器官平衡和产量的影响[J]. 大豆科学,2009,28(1):59-62.
- [14] 张敬荣. 不同供水量及各生育期干旱对大豆油脂脂肪酸含量的影响[J]. 东北农业大学学报,1995,26(1):82-88.
- [15] Masoumi H, Darvish F, Daneshian J, et al. Chemical and biochemical responses of soybean (*Glycine max L.*) cultivars to water deficit stress[J]. *Australian Journal of Crop Science*, 2011,5(5):544-553.
- [16] 任印军,陈若礼,张存岭,等. 降水量对夏大豆生长发育的影响[J]. 安徽农学通报,2005,11(4):58-59+128.
- [17] 丛建鸥,李宁,许映军,等. 干旱胁迫下冬小麦产量结构与生长、生理、光谱指标的关系[J]. 中国生态农业学报,2010,18(1):67-71.
- [18] 周建,杨立峰,郝峰鸽,等. 低温胁迫对广玉兰幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北植物学报,2009,29(1):136-142.
- [19] 布都会,朱建楚,高莉,等. “Li-6400光合作用测定仪”在小麦上应用的商榷[J]. 麦类作物学报,2004,24(1):92-94.
- [20] 王磊,王鹏程,张彤,等. 结荚期短期干旱和复水对大豆(*Glycinemax*)叶片光合和产量的影响[J]. 生态学报,2009,29(6):3328-3334.
- [21] 刘峰,宁海龙,刘剑利,等. 干旱胁迫对亚有限大豆植株鲜重建成与分配的影响[J]. 大豆科学,2011,30(4):609-612+620.
- [6] 王艳君,姜彤,许崇育. 长江流域蒸发皿蒸发量及影响[J]. 自然资源学报, 2005, 20(6): 864-870.
- [7] 朱国锋,何元庆,蒲焘,等. 1960-2009年横断山区潜在蒸发量时空变化[J]. 地理学报, 2011, 66(7): 905-916.
- [8] 张瑞钢,莫兴国,林忠辉. 滹沱河上游山区近50年蒸散变化及主要影响因子分析[J]. 地理科学, 2012, 32(5): 628-634.
- [9] 刘健,曹升乐,翟建青,等. 近50年山东省蒸发皿蒸发量变化趋势及影响因素分析[J]. 山东大学学报(工学版), 2010, 40(6): 129-133.
- [10] Zhang Q, Xu C Y, Chen X. Reference evapotranspiration changes in China: natural processes or human influences [J]. *Theor Appl Climatol*, 2011, 103: 479-488.
- [11] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements[R]. Rome, Italy: FAO, 1998.
- [12] Alexandris S, Kerkides P, Liakatas A. Daily reference evapotranspiration estimates by the “Copais” approach [J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 82: 154.
- [13] Mc Aneney K J, Itier B. Operational limits to the Priestley-Taylor formula [J]. *Irrig Sci*, 1996, 17: 37-43.
- [14] Martin S. The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 103: 99-108.

(上接第19页)