

调亏灌溉对海岛棉花铃期光合及 叶绿素荧光特性的影响

郭仁松, 林 涛, 田立文, 崔建平, 徐海江

(新疆农业科学院经济作物研究所/农业部荒漠绿洲作物生理生态与耕作重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830091)

摘 要: 在新疆自然生态条件下, 利用膜下滴灌技术, 以正常灌溉量(CK)为对照, 设正常灌溉量的 75%、50%、25% 三个处理, 研究调亏灌溉对海岛棉花铃期光合及叶绿素荧光特性的影响, 旨在为新疆海岛棉节水灌溉技术的发展提供理论依据。结果表明, 花后 30 d 海岛棉出现光合作用的高峰, 此时随着调亏程度的增加蒸腾速率(Tr)显著降低, 轻度调亏(W1)的净光合速率(P_n)和气孔导度(G_s)下降不显著, 但中度(W2)、重度调亏(W3)则显著下降。海岛棉开花后 10~30 d 实际光量子产量(Φ_{PSII})、光化学猝灭系数(qP)显著增大, 随着调亏程度增大, 最大光化学效率(F_v/F_m)、 Φ_{PSII} 显著下降。W1 在开花 30 d 后, 与 CK 相比 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 、 qP 、NPQ 下降不明显, 而 W2、W3 显著下降。因此, 分析认为在海岛棉开花后 30 d 内, 不宜进行调亏灌溉, 而 30 d 后可轻度调亏灌溉。

关键词: 调亏灌溉; 海岛棉; 光合性能; 荧光特性; 新疆

中图分类号: S311 文献标志码: A

Effect of regulated deficit irrigation on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics in flowering and boll-forming stages of island cotton

GUO Ren-song, LIN Tao, TIAN Li-wen, CUI Jian-ping, XU Hai-jiang

(Institute of Economic Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Physiological Ecology
and Tillage of Desert Oasis, Ministry of Agriculture, Urumqi, Xinjiang 830091, China)

Abstract: In order to provide the theoretical basis for water-saving irrigation of island cotton in Xinjiang, under the natural ecological conditions, using the technology of drip irrigation pipes under plastic film, with the normal irrigation (CK) as control, set up three treatments as 75%, 50%, 25% of the normal irrigation amount, studied the effects of regulated deficit irrigation(RDI) on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics in flowering and boll-forming stage of island cotton. The results showed that: The peak of photosynthesis of island cotton appeared at 30 days after flowering, at this time with increasing RDI degree, the transpiration rate (Tr) will be significantly decreased. The net photosynthetic rate (P_n) and stomatal conductance (G_s) did not significantly decrease by the mild RDI (W1), but they were significantly declined by the moderate (W2) and severe RDI (W3). After flowering 10~30 days, the actual light quantum yield (Φ_{PSII}) and coefficient of photochemical quenching (qP) will be significantly increased, but with increasing RDI degree, the maximal photochemical efficiency (F_v/F_m) and Φ_{PSII} will be significantly decreased. After flowering 30 days, the W1 treatment compared with CK the F_v/F_m , Φ_{PSII} , qP , NPQ did not significantly decrease, but the W2 and W3 treatments significantly decreased. Therefore, through analysis, we considered during 30 days after flowering of the island cotton was unsuitable to carry out RDI, and after 30 days it can be carried out the mild RDI.

Keywords: regulated deficit irrigation; island cotton; photosynthetic characteristics; fluorescence characteristics; Xinjiang

收稿日期: 2014-03-10
基金项目: 新疆农业科学院院长基金项目(xjnky-2012-x02); 农业部荒漠绿洲作物生理生态与耕作重点实验室开放课题(25107020-201201); 国家棉花产业技术体系长绒棉育种科学家岗位项目(CARS-18-07)
作者简介: 郭仁松(1982—), 男, 山东德州人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为棉花高产栽培生理生态。E-mail: songgr08@163.com。
通信作者: 田立文(1965—), 男, 安徽肥东人, 研究员, 主要从事棉花高产栽培生理生态研究。E-mail: tianliwen@163.net。

新疆地处欧亚大陆腹地,属极端干旱地区,水资源短缺和分布不均匀一直是制约新疆农业发展的瓶颈,发展节水农业实现水资源的合理高效利用,是新疆农业可持续发展的必然选择^[1-2]。调亏灌溉是根据作物生长过程的生理特性,在作物生长发育的某一阶段施加一定程度的有益亏水度,调节光合产物向不同器官的分配比例,从而提高所需收获的产量而舍弃部分营养器官的生长量和有机物的总量,以达到节水增产和提高作物品质的目的^[3-4]。自调亏灌溉概念提出以来,绝大部分研究以林木为主,较少涉及到大田作物,直到 20 世纪 90 年代后期,国内外学者才开始在大田作物上进行试验,证明了调亏灌溉对大田作物也是一种非常有效的节水增产方法^[5-9]。

有关调亏灌溉对膜下滴灌棉花生长的影响,国内外已有少量研究。申孝军等^[10]研究认为适时适度的水分亏缺降低了棉花总生物量,但亏水补偿效应不但提高了生殖器官比例,而且有利于光合产物向经济产量的转移,水分利用效率明显提高。裴冬等^[11]通过盆栽试验研究认为陆地棉苗期和吐絮期重度亏缺,蕾铃期中度亏缺有利于棉花产量形成。孟兆江等^[12]指出陆地棉苗期轻、中度调亏,蕾期轻度调亏,花铃期不调亏,吐絮期中度调亏,可有效提高棉花产量及品质。已有调亏灌溉对棉花研究多以陆地棉为对象,但针对新疆海岛棉的研究尚未见报道。因此,本文以新疆膜下滴灌技术为基础,研究调亏灌溉对新疆海岛棉花铃期光合、荧光变化特征的

影响,为海岛棉节水灌溉技术的发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2011 年 4—10 月在新疆阿瓦提县农科院试验基地进行,地理位置 80°21'20"E,40°27'40"N。阿瓦提县位于天山南麓,塔里木盆地西北边缘,属暖温带大陆性干旱气候,多年平均降水量 46.7 mm,多年平均蒸发量 1 890.7 mm。试验地土质为壤土,0~20 cm 土壤全氮 0.72 g·kg⁻¹,碱解氮 30.8 mg·kg⁻¹,速效磷 36.5 mg·kg⁻¹,速效钾 305 mg·kg⁻¹,有机质 9.8 g·kg⁻¹。

1.2 试验设计

采用单因素随机区组设计,以正常灌水量(3 600 m³·hm⁻²)为对照,设 3 个亏缺梯度,轻度亏缺(正常灌水量的 75%,2 700 m³·hm⁻²),中度亏缺(正常灌水量的 50%,1 800 m³·hm⁻²),重度亏缺(正常灌水量的 25%,900 m³·hm⁻²),分别以 CK、W1、W2、W3 表示,重复 3 次,共 12 个小区。棉花采用覆膜人工点播,1 膜 4 行,每小区 3 膜,小区长 8 m,宽 4.5 m,面积为 36 m²。灌溉方式采用膜下滴灌,每膜 2 条滴灌带,滴管带出水口与棉花行距离为 10 cm,棉花于 4 月 15 日播种,进入开花期(6 月 15 日)即开始灌水,全生育期调亏灌溉(见表 1),以水表和球阀控制水量,每隔 7~8 d 滴灌一次,施肥与其它管理同常规大田,供试品种新海 24 号。

表 1 试验小区调亏灌溉时间及灌溉量/m³

Table 1 The time and irrigation amount of regulated deficit irrigation

处理 Treament	灌溉时间(M-d) Irrigation time									
	06-15	06-23	06-30	07-07	07-14	07-21	07-28	08-05	08-13	08-21
CK	12.95	12.95	12.95	12.95	12.95	12.95	12.95	12.95	12.95	12.95
W1	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72
W2	6.48	6.48	6.48	6.48	6.48	6.48	6.48	6.48	6.48	6.48
W3	3.24	3.24	3.24	3.24	3.24	3.24	3.24	3.24	3.24	3.24

1.3 测定指标及方法

1.3.1 光合参数 分别于海岛棉开花期后 10、20、30、40、50、60 d,每处理选择长势均匀一致的棉株在 11:00~13:00 用 TPS-2 型光合仪(英国)测定棉花标记的倒四主茎叶的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)和气孔导度(G_s),每处理测 6 株,重复 3 次。

1.3.2 叶绿素荧光参数 用 PAM2100 调制式荧光仪同期测定棉株标记叶片的叶绿素荧光参数。选择晴天在 11:00~13:00,在自然光强下叶片的同一部位打一个强饱和脉冲光(4 000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$),脉冲

时间 0.7 s,测定光下实际量子产量(Φ_{psII})、光化学猝灭系数(q_P)、非光化学猝灭系数(NPQ);再利用暗适应叶夹在同一测定部位使叶片暗适应 30 min 后,打一个强饱和脉冲光(4 000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$),脉冲时间 0.7 s,测定最大光化学效率(F_v/F_m),重复 3 次。

1.4 数据处理

采用 DPS7.05 数据统计分析软件,对数据进行单因素方差分析,处理间差异显著均在 $P<0.05$ 水平采用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 调亏灌溉对海岛棉花铃期光合特性的影响

2.1.1 净光合速率 净光合速率(P_n)是指叶片在单位时间单位面积同化的二氧化碳与呼吸消耗的差,是叶片在单位时间内积累的光合产物^[13]。由图 1 可知,不同处理在海岛棉在开花后 10~30 d, P_n 保持较高水平,其中 CK、W1、W2 P_n 缓慢增加,至开花后 30 d 达到峰值,以 CK 最高,为 $36.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,随着调亏程度的增加 P_n 分别下降 1.4%、7.4%、22.1%,30 d 后各处理呈下降趋势,而 W3 则是开花后 P_n 一直下降。表明调亏灌溉降低海岛棉叶片 P_n ,但轻度调亏影响不显著,调亏程度加大 P_n 显著降低。

2.1.2 蒸腾速率 蒸腾速率(Tr)作用能反映植株叶片水分散失的能力,同时也能反映叶片生理活性。海岛棉开花后 Tr 与灌溉量成正比,即灌溉量愈少 Tr 愈小,且各处理呈显著性差异,整个铃期表现一

致(图 1)。在 0~30 d 各处理 Tr 呈下降趋势,30 d 后逐渐上升,至 60 d 达到最大值后下降。水分蒸腾越快用于蒸腾的热量就越多,它在叶片吸收的总热量中所占比例也越大,这种情况下蒸腾与光合作用之比即蒸腾系数就会上升,而水的利用率就会降低。说明海岛棉开花后 10~30 d 蒸腾速率逐渐下降,水分利用效率上升,而 30 d 后则反之。

2.1.3 气孔导度 气孔作为水分和 CO_2 进出叶片的通道,对光合作用具有重要的调节作用,通常在干旱、高温等逆境条件下,叶片气孔都有不同程度的关闭。如图 1 所示,开花后各处理气孔导度(G_s)变化趋势表现不一致,CK 与 W1 在 10~30 d 呈逐渐上升趋势,至 30 d 达到峰值,此时随着调亏程度的增加气孔导度显著降低,与对照相比 W1、W2、W3 降低幅度分别为 4.27%、15.9%、55.01%。W2 峰值出现在 20 d, W3 则在 10 d 后开始下降。表明随着水分调亏程度的增大, G_s 峰值逐渐提前,且峰值显著下降。

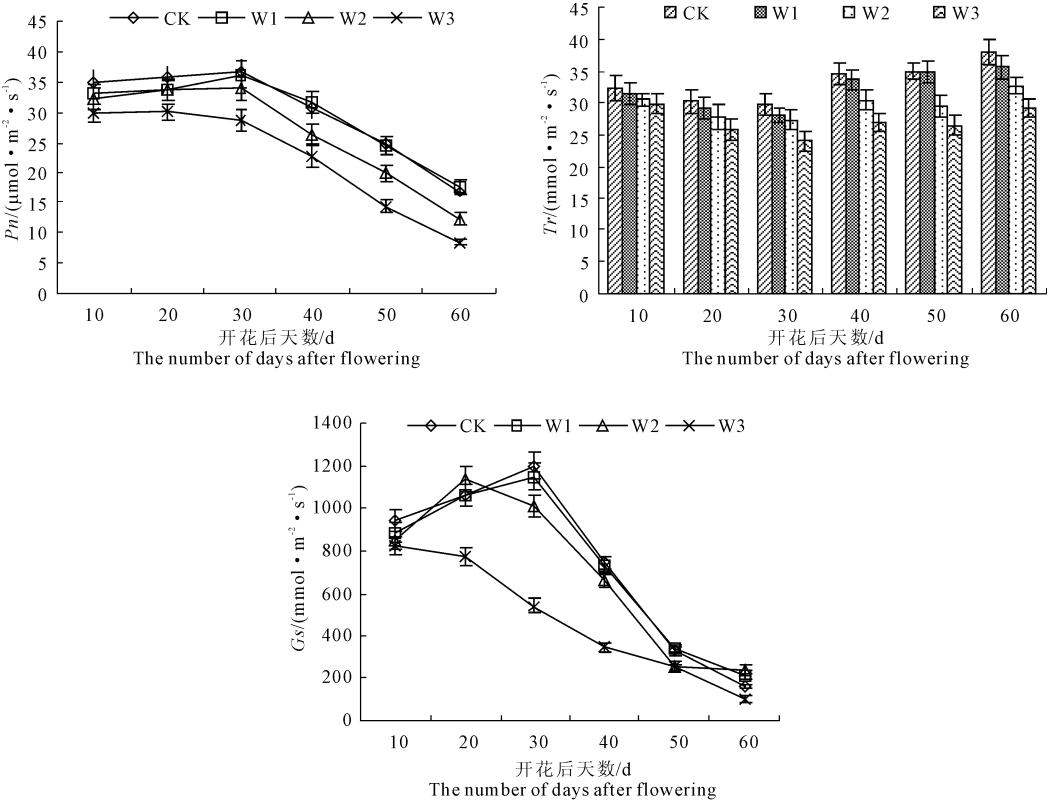


图 1 调亏灌溉对海岛棉花铃期光合性能的影响

Fig.1 Effect of RDI on photosynthetic characteristics in flowering and bollforming stage of island cotton

2.2 调亏灌溉对海岛棉花铃期叶绿素荧光特征的影响

2.2.1 最大光化学效率 最大光化学效率(F_v/F_m)反映 PSII 原初最大光化学效率。由图 2 可知,

海岛棉开花后 F_v/F_m 呈先增加后降低的变化趋势,不同处理峰值出现在花后 20 d,以 W1 峰值最大,其次是 CK。除花后 20 d,50 d W1 高于 CK 外,整个花铃期 F_v/F_m 均随着调亏程度的逐渐增大呈下

降趋势。说明花后 20 d 前后是海岛棉 *PSII* 原初最大光化学效率最高的阶段,并且轻度调亏利于原初光能效率的提高,而调亏灌溉程度加大, *Fv/Fm* 显著 ($P < 0.05$)降低。

2.2.2 实际量子产量 Φ_{PSII} 代表任意光照下的 *PSII* 的实际量子产量,反映作物叶片实际光合效率。由图 2 可知,不同处理海岛棉 Φ_{PSII} 在开花后 30 d 达到峰值,除 20 d 时 W1 高于 CK,其它时段随着水分调亏程度的增加, Φ_{PSII} 呈下降趋势,W2、W3 下降显著 ($P < 0.05$)。说明调亏灌溉使海岛棉实际光量子产量降低,轻度调亏差异不显著,但随着调亏程度增加叶片实际光量子产量显著 ($P < 0.05$)下降,不利于光合作用的进行。

2.2.3 光化学猝灭系数 光化学猝灭系数(*qP*),即由于光化学反应所引起的荧光猝灭,可以反映 *PSII* 原初电子受体 Q_A 的氧化还原状态和 *PSII* 开放中心

的数目,其值越大,说明 *PSII* 的电子传递活性越大。不同处理在开花后 0 ~ 20 d *qP* 变化不明显,30 d 时 *qP* 迅速增大,W1 高于其它处理,而 60 ~ 70 d 时 W1、W2、W3 *qP* 均低于 CK。表明轻度调亏增加 30 ~ 50 d 阶段海岛棉叶片 *PSII* 的电子传递活性,但抑制后期 *PSII* 的电子传递活性,调亏程度增大显著 ($P < 0.05$)降低叶片 *PSII* 的电子传递活性。

2.2.4 非光化学猝灭系数 非光化学猝灭系数(*NPQ*)是 *PSII* 天线色素吸收的不能用于光合电子传递而以热能的形式耗散掉的光能部分,反映光系统对过剩光能的耗散能力。由图 2 可知,花后时间推移,长绒棉 *NPQ* 逐渐降低,30 d 左右达到最小值,此后逐渐上升。从不同调亏灌溉程度来看,花后 20 d 正常灌溉光能热耗散小,而后期调亏灌溉各处理热耗散能力较强。

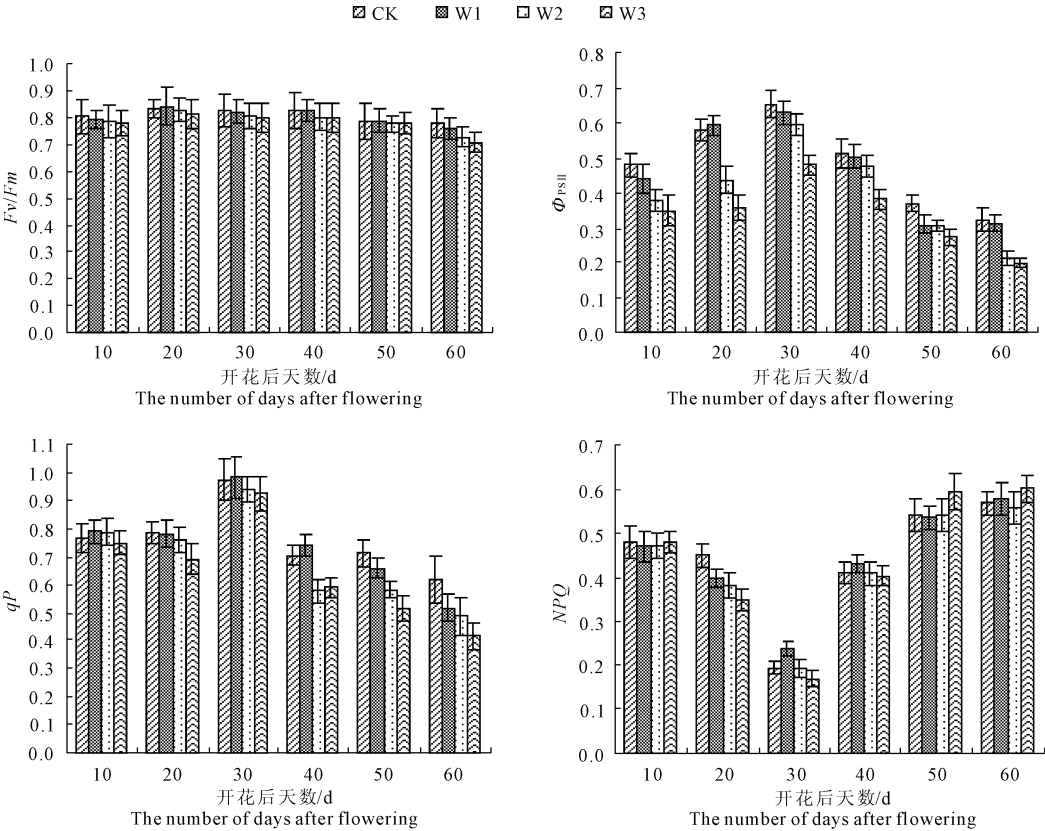


图 2 调亏灌溉对海岛棉花铃期叶绿素荧光参数的影响

Fig.2 Effect of RDI on chlorophyll fluorescence characteristics in flowering and boll-forming stage of island cotton

3 讨论与结论

调亏灌溉与作物的光合特性密切相关。孟兆江等^[14]研究认为适时适度的水分亏缺能显著降低小麦旗叶的 *Tr*,而 *Pn* 也呈下降趋势,但与对照相比未达显著水平。Attipalli^[15]研究认为,水分亏缺条件下

植物叶片气孔关闭, *Gs* 下降是 *Pn* 下降的主要原因。本试验结果与之相符,调亏灌溉对海岛棉花铃期 *Tr* 影响显著,随着调亏程度增大, *Tr* 显著下降。而 *Pn* 和 *Gs* 表现不同,轻度调亏对 *Pn* 和 *Gs* 影响不显著,当调亏程度逐渐增大,海岛棉叶片气孔关闭, *Gs* 显著下降,从而 *Pn* 降低。其水分调亏程度越大, *Pn*

下降幅度越大,这也可能是水分亏缺抑制了棉花地上部分的生长,叶面积指数降低,蒸腾速率降低的原因。研究还发现海岛棉开花后 30 d 内 P_n 保持较高水平,这一阶段不宜进行水分调亏。

已有研究表明水分亏缺对棉花叶绿素荧光特性有显著影响,刘瑞显等^[16]对棉花花铃期干旱胁迫研究认为,水分亏缺使 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 、 qP 降低, NPQ 增大。吴甘霖等^[17]研究发现随着水分亏缺程度的增大, F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 、 qP 下降速度加剧。本试验研究结果表明海岛棉在开花后 30 d 出现一个光合作用高峰, Φ_{PSII} 、 qP 显著增大,随着调亏程度增大, F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 显著下降。水分轻度调亏下在开花后 20~30 d 阶段,与 CK 相比 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 、 qP 、NPQ 有不同程度的增加。分析认为,调亏灌溉使海岛棉 PS II、 F_v/F_m 和 qP 下降, PS II 反应中心电子传递受阻,从天线色素捕获的光能用于光化学反应的数量减少, PS II 反应中心的光化学活性降低,从而导致 PS II、 Φ_{PSII} 下降, P_n 显著降低,同时导致过刺激发能的增大,剩余光能会以热的形式散失, NPQ 有增大趋势。说明水分亏缺对海岛棉叶片 PS II 活性中心产生伤害,抑制光合作用的原初反应,这是影响光合速率下降的主要原因。因此,本试验研究认为在海岛棉开花后 30 d 内,不宜进行调亏灌溉,而 30 d 后可轻度调亏灌溉。

参 考 文 献:

[1] 张振华,蔡焕杰,杨润亚,等.沙漠绿洲灌区膜下滴灌作物需水量及作物系数研究[J].农业工程学报,2004,20(5):97-100.

[2] 马富裕,李蒙春,杨建荣,等.花铃期不同时段水分亏缺对棉花群体光合速率及水分利用效率影响的研究[J].中国农业科学,2002,35(12):1467-1472.

[3] Mitchell P D, Jerie P H, Chalmers D J. The effects of regulated water deficits on pear growth, flowering, fruit growth and yield[J]. J. Amerl Socl Hort, Scil, 1984,109(5):604-606.

[4] 康绍忠,史文娟,胡笑涛,等.调亏灌溉对玉米生理生态和水分利用效率的影响[J].农业工程学报,1998,14(4):81-87.

[5] 孟兆江,卞新民,刘安能,等.调亏灌溉对夏玉米光合生理特性的影响[J].水土保持学报,2006,20(3):182-186.

[6] 王育红,姚宇卿,吕军杰,等.调亏灌溉对冬小麦光合特性及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(3):59-62.

[7] 胡相明,赵艳云.小麦调亏灌溉研究及其应用前景展望[J].山东农业科学,2010,(11):47-50.

[8] 谭念童,林 琪,姜 雯,等.限量灌溉对旱地小麦旗叶光合特性日变化和产量的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(4):805-811.

[9] Mitchell P D, Chalmer D J. The effect of Regulated water supply on peach tree growth and yields[J]. J Amer Soc Hort Sci, 1982,107(5):853-856.

[10] 申孝军,陈红梅,孙景生,等.调亏灌溉对膜下滴灌棉花生长、产量及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2010,29(1):40-43.

[11] 裴 冬,张喜英,亢 茹,等.调亏灌溉对棉花生长、生理及产量的影响[J].生态农业研究,2000,8(4):52-55.

[12] 孟兆江,卞新民,刘安能,等.棉花调亏灌溉的生理响应及其优化农艺技术[J].农业工程学报,2007,23(12):80-84.

[13] 王育红,姚宇卿,吕军杰,等.调亏灌溉对冬小麦光合特性及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(3):59-62.

[14] 孟兆江,卞新民,刘安能,等.调亏灌溉对棉花生长发育及其产量和品质的影响[J].棉花学报,2008,20(1):39-44.

[15] Attipalli R R, Kolluru V C, Munusamy V. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants[J]. J Plant Physiol, 2004,161(11):1189-1202.

[16] 刘瑞显,王友华,陈兵林,等.花铃期干旱胁迫下氮素水平对棉花光合作用与叶绿素荧光特性的影响[J].作物学报,2008,34(4):675-683.

[17] 吴甘霖,段仁燕,王志高,等.干旱和复水对草莓叶片叶绿素荧光特性的影响[J].生态学报,2010,30(14):3941-3946.

(上接第 112 页)

[12] 陈克克.中药党参的研究概况[J].西安文理学院学报(自然科学版),2008,(2):33-39.

[13] Schmidhalter U, Oertli J J. Germination and seedling growth of carrots under salinity and moisture stress [J]. Plant and Soil, 1991, 132:243-251.

[14] 鱼小军,王彦荣,龙瑞军.光照、盐分和埋深对无芒隐子草和条叶车前种子萌发的影响[J].生态学杂志,2006,25(4):395-398.

[15] 叶文斌,樊 亮.党参和黄芪种植地土壤水浸液对玉米化感作用研究种子[J].种子,2013,32(4):29-33,36.

[16] 叶文斌,樊 亮,员汉伯. Pb^{2+} 对甘肃纹党种子萌发和幼苗生理特性的影响[J].西北农业学报,2012,21(12):142-148.

[17] Leather G R, Einhellig F A. Bioassays in the study of allelopathy [C]//Putnam A R, Tang C S. The Science of Allelopathy. New York:John Wiley & Sons, 1986:133-145.

[18] Michel B E, Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000[J]. Plant Physiology, 1973,51(5):914-916.

[19] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会.现代植物生理学实验指南[M].北京:科学出版社,1999.

[20] Küpper H, Küpper F, Spiller M. In situ detection of heavy metal substituted chlorophylls in water plants[J]. Photosynth Res,1998,58(2):123-133.

[21] Gichner T, Patková Z, Száková J, et al. Toxicity and DNA damage in tobacco and potato plants growing on soil polluted with heavy metals [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2006,65(3):420-426.

[22] Ma H Y, Liang Z W, Kong X J, et al. Effects of salinity, temperature and their interaction on the germination percentage and seedling growth of *Leymus chinensis* (Trin) Tzve[J]. Acta Ecological Sinica, 2008,28(10):4710-4717.