

调亏灌溉对棉花生长发育及其产量和品质的影响

孟兆江^{1,2}, 卞新民^{1,*}, 刘安能², 庞鸿宾², 王和洲²

(1. 南京农业大学农学院, 南京 210095; 2. 中国农科院农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003)

摘要:在移动式防雨棚下, 采用子母盆栽土培法, 以美棉 99B 为试验材料进行调亏灌溉 (Regulated Deficit Irrigation, 缩写 RDI) 试验研究, 旨在了解 RDI 对作物不同生育阶段生长发育特性、经济产量 (Y) 和水分利用效率 (WUE) 以及经济产品品质的影响, 寻求适宜的调亏生育阶段 (时期) 和调节亏水度, 为建立棉花 RDI 指标与模式提供理论依据。试验采用二因素 (水分调亏阶段和调节亏水度) 随机区组设计。结果表明, 适时适度的水分调亏具有根系下扎的诱导效应, 抑制植株营养体冗余生长, 促进生殖生长, 有利于光合产物向子棉运转与分配, 提高经济产量; 能够改善部分品质指标。棉花 RDI 的适宜指标是: 苗期轻、中度调亏, 0~40 cm 土层湿度控制下限为田间持水量的 60%FC (Field capacity) 或 50%FC; 蕾期轻度调亏, 0~40 cm 土层湿度控制下限为 60%FC; 花铃期不宜调亏, 应保证充足供水, 0~40 cm 土层湿度应不低于 75%FC; 吐絮期可中度调亏, 0~40 cm 土层湿度可控制在 50%~55% FC。

关键词:棉花; 调亏灌溉; 生长发育; 纤维品质

中图分类号: S512.1; Q945.11 **文献标识码:** A

文章编号: 1002-7807(2008)01-0039-06

Effect of Regulated Deficit Irrigation on Growth and Development Characteristics in Cotton and Its Yield and Fiber Quality

MENG Zhao-jiang^{1,2}, BIAN Xin-min^{1,*}, LIU An-neng², PANG Hong-bin², WANG He-zhou²

(1. Agricultural College, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China; 2. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang, Henan 453003, China)

Abstract: Under the condition of mobile rain-proof shelter, by cultivating in pots filled with soil, with cotton (*Gossypium hirsutum* cv. 99B) as material, the experiment in Regulated Deficit Irrigation (RDI), aimed at investigating the effects of RDI on growth and development dynamic of plants, unginned cotton yield and fiber quality, was conducted during the growing season from 2004 to 2006, seeking for the right stages of RDI and the amount of water deficit, offering theoretical basis for the establishment of RDI model in cotton. A two-factor (RDI stages and the amount of water deficit) randomized-block design was adopted in cultivating in pots. The results showed that there was an inducing effect of RDI on amount of roots of cotton distributed in deeper layer of soil. RDI was able to inhibit the excess vegetative growth and promote reproductive growth of cotton. Under appropriate amount of water deficit at some growing stages, the proportion of photosynthetic products distributed in the unginned cotton tended to increase, unginned yield was increased and some of fiber quality indices were improved. The suitable indices of RDI for water-saving and high-yield in cotton as follows: the optimum stage of regulated water deficit is seedling stage, the amount of water deficit is 50%FC (Field Capacity)~60%FC, or regulated water deficit at budding stage, the amount of water deficit is 60%

收稿日期: 2007-02-06

作者简介: 孟兆江 (1958-), 男, 副研究员, 在读博士, zjmeng@mail.china.com; * 通讯作者, bjxlml@sina.com

基金项目: 国家“十五”科技攻关资助项目 (2001BA508B02-02)

FC, or regulated water deficit at boll-opening stage, the amount of water deficit is 50%FC~55%FC.

Key words: cotton; regulated deficit irrigation; growth and development; fiber quality

20世纪70年代中期国际上提出了调亏灌溉(Regulated Deficit Irrigation, 缩写RDI)^[1]问题,其基本概念是基于作物的生理生化作用受到遗传特性或生长激素的影响,在作物生长发育的某些阶段主动地施加一定程度的水分胁迫(即人为让作物经受适度的缺水锻炼),从而影响其光合产物向不同组织器官的分配,达到提高其经济产量而舍弃营养器官的生长量及有机合成物的总量,同时因营养生长减小还可提高作物种植密度,提高总产量,改善产品品质。RDI自提出迄今,国内外学者对此做了大量研究工作^[2-14]。但纵观国内外研究文献,国外相关研究主要集中在果树方面,国内对大田作物小麦和玉米的研究报道较多,而以棉花为对象的RDI研究报道资料较少,尤其是RDI对棉花生长发育特性和产品品质的影响研究甚少。协调棉株营养生长和生殖生长之间的关系,即协调根、茎、叶、枝生长和蕾、花、铃发育之间的关系,是“协调生长栽培理论”(即营养生长过旺,抑制生殖生长,表现为疯长或贪青晚熟;营养生长过弱,又限制生殖生长或脱落早衰)的重要内容^[15]。因此,借鉴果树RDI研究的成果^[1],根据棉花的生物学特性,开展棉花RDI研究更具重要的理论价值和实践意义。本研究试图通过了解RDI对棉花不同生育阶段生长发育动态和最终的经济产量及品质的影响,为开发一套节水、省工、高产、优质的棉花RDI模式提供理论依据和技术参数。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试棉花品种为美棉99B,由中国农业科学院棉花研究所提供。

1.2 试验方法

试验于2004—2006年在中国农科院农田灌溉研究所商丘试验站移动式防雨棚下进行。试验采用盆栽土培法,盆为圆柱形,分母、子盆,母盆内径31.0 cm,高38 cm,埋入土中,上沿高出地面5.0 cm;子盆内径29.5 cm,高38 cm。子盆底部铺5 cm厚的砂过滤层,以调节下层土壤通气状况和水分条件。为防止土壤表面水分过量蒸发和土壤板结,子盆两侧各置放直径3 cm的细管用于供

水(细管周围有小孔)。每子盆装耕层土壤干重28 kg中壤土,有机质 $9.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $0.98 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮 $44.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $6.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $112 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤质地为壤土,容重 $1.34 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,田间持水量26%;每盆混入200 g优质农家肥,全生育期每盆放N 5.6 g, P_2O_5 2.8 g, K_2O 4.2 g,其中1/2 N基施,1/2追施。精选种子,浸后播种,营养钵育苗,每钵3粒。当棉苗长至5片真叶时由苗床移植至盆中,每盆2株,缓苗后每盆留苗1株,并开始水分处理。采用二因素随机区组设计,棉花设置4个水分调亏阶段:苗期(I),蕾期(II),花期(III),吐絮期(IV);每个水分调亏阶段设置3个水分调亏程度:轻度调亏(L),中度调亏(M)和重度调亏(S),相对含水量(占田间持水的百分数)分别为60%~65%FC, 50%~55%FC和40%~45%FC;共12个处理组合,重复4次;另设全生育期保持适宜土壤水分处理4盆作为对照(CK),土壤水分控制下限分别为60%FC(苗期)、60%FC(蕾期)、70%FC(花铃期)和60%FC(吐絮期);调亏阶段灌水按处理设计水平(低于下限灌至上限),其余阶段按对照水平控制水分。缓苗后开始水分处理,用磅秤称重法测定土壤含水量,用水量平衡法确定蒸发蒸腾量,每天或隔天称重,当各盆土壤水分低于设计标准时用量杯加水,记录各盆每次加水量,由水量平衡方程计算各时期总的耗水量。试验共用母、子盆各52个,子盆放置于母盆内,便于称重而不粘泥土。

1.3 观测项目与方法

在作物主要生育期,各处理选有代表性的植株3株(盆)挂牌标记,进行株高、棉铃直径、根系参数等项目观测。株高用直尺测量,从土壤表面量至主茎顶端,打顶后量至主茎最高处,每5 d测量一次。为实现对棉株生殖生长动态的定位监测,本试验以棉铃直径增长动态代表棉株生殖生长动态,即在棉花初花期对1、2、3果枝第1、2果节当天开的花挂牌标记,从结铃期起用千分卡尺测量棉铃直径,每株测量5个棉铃,每5 d测量一次,直至吐絮期。根系参数调查采用整盆冲洗法,即将盆灌满水浸泡24 h后,冲洗泥土并用0.50 mm网筛过滤,接着浸泡于1%刚果红溶液中3

min,取出后用冷水冲洗,再浸泡于95%的乙醇溶液中3 min,用水冲洗后,活根染成红色或淡红色,死根和其它杂质为褐色或无色,拣出死根和杂质后,测定根系参数。其中,根干重采用烘干称重法测定;根长采用交叉截获法测定(Newman, 1966),即用透明玻璃制成一个浅盘(盘子大小为30 cm×40 cm),将一张方格纸置于盘底,湿根和少量水一起倒入盘内,用镊子或针把根在方格纸上分散开,使之不相重叠,计数根与方格上纵横线条的交叉点数。根长=11/14×交叉点数×方格间距(cm)。子棉产量选3个重复,实收实测。每处理取正常吐絮棉铃轧花后称20 g左右进行品质检验。

1.4 数据处理及分析方法

数据取3年平均值,将所得数据分类整理,采用Excel和DPS分析软件处理分析。

2 结果与分析

2.1 棉花 RDI 策略的建立

了解和掌握作物植株在不同生长发育阶段对水分供给量的响应,利用光合产物的分配在不同的组织器官间具有倾斜性的生理特点,采取RDI的灌水策略是近年来国内外作物灌溉学科发展的方向。

由充分供水条件下棉株营养生长曲线和生殖生长(棉铃生长)曲线(图1)可以看出,棉株生长发育动态可分为三个阶段:在06-13—07-18之间为棉株营养体缓慢生长阶段,在此期间对植株施加水分胁迫对生殖生长影响较小,而对营养生长影响较大;在07-18—08-02之间为植株营养生长与生殖生长并进旺盛生长阶段,在此期间不宜施加水分胁迫;在08-02以后为营养生长与生殖生

长缓慢或基本停止阶段,此阶段施加适度水分胁迫,对营养生长和生殖生长均无不利影响,而对棉铃顺畅吐絮有利。

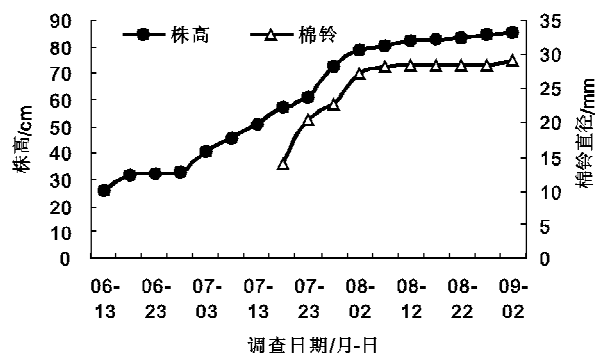


图1 充分供水棉株营养生长与生殖生长曲线
Fig. 1 The curve of vegetation and reproduction growth in cotton under full irrigation

2.2 RDI 对植株生长特性的影响

2.2.1 RDI 对根系的调控作用。水分是影响根系生长的主要环境因子之一。根据盆栽测定结果(表1),苗期、蕾期不同程度的调亏处理与对照(全生育期适宜水分)相比,根系长度均有明显增加(13.64%~42.42%),而根干重和根条数有所降低,降幅分别为10.98%~21.73%和12.62%~19.90%。这是因为作物根系具有向水生长的特性,当土壤表层水分亏缺时能够向深层延伸;作物苗期的生长以根系建成为主,根系有较强可塑性,其生长对水分变化敏感,当水分充足时,根量大且分布较浅,当水分亏缺时,根量减少且分布较深。花期以后以生殖生长为主,根系生长对水分反应较为迟钝,收获时的根系形态仍以苗期的形态为主。苗、蕾期的中度亏水,根系分布较深,表明了适时适度的RDI对根系下扎的诱导效应。

表1 不同处理的根系参数

Table 1 The parameters of root system under different treatments

调亏阶段	苗期					蕾期			花铃期			吐絮	
	CK	L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S
根干重/g	9.11	8.11	7.56*	7.52*	7.13*	7.60*	7.49*	8.37	8.66	8.41	8.91	8.78	8.63
根数/条	20.6	18.0	16.5*	17.2*	17.5*	17.5*	16.5*	17.5*	12.5**	14.5**	19.0	17.5*	16.5*
根平均长/cm	13.2	17.7**	18.8**	15.65*	16.6*	17.6**	15.0*	14.5	12.06	12.01	12.9	14.01	11.5
根长密度/cm·cm ³	0.023	0.029	0.028	0.024	0.030	0.026	0.022	0.028	0.023	0.022	0.024	0.023	0.020

注:CK-对照;L-轻度亏缺;M-中度亏缺;S-重度亏缺; **表示处理与CK差异达0.01显著水平,*表示与CK差异达0.05显著水平。下表同。

2.2.2 调亏灌溉对株高的影响。图2A是各生育阶段水分调亏结束时测定的株高。可以看出,

在调亏期间随水分调亏度加重,株高逐渐降低。但不同阶段调亏情况又有所不同,苗期、蕾期和花

铃期调亏期间株高降低明显,吐絮期次之。苗期各水分调亏处理株高降低幅度为 15.6%~29.2%;其中,轻度调亏与对照差异达显著水平 ($P=0.05$),中、重度调亏达极显著水平 ($P=0.01$)。蕾期各调亏处理株高降幅为 9.4%~21.4%;其中,轻度调亏与对照差异不显著,中度调亏达显著水平,重度调亏达极显著水平。花铃

期各调亏处理株高降幅 9.2%~18.3%;其中,轻度调亏降低不显著,中、重度调亏降低达显著水平。吐絮期各调亏处理株高降幅为 2.8%~5.0%,与对照差异均不显著。收获时除重度调亏处理株高仍较明显的低于对照外,轻、中度调亏处理株高均接近或超过对照(图 2B),显示出适度调亏复水后的补偿或超补偿生长效应。

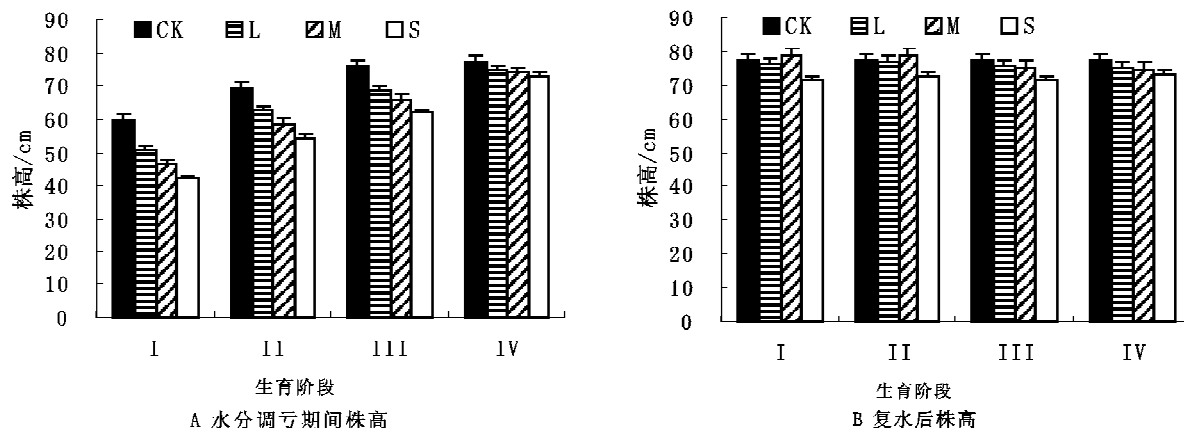


图 2 DRI 对棉花株高的影响

Fig. 2 Effect of RDI on plant height in cotton

2.2.3 调亏灌溉对棉铃生长的影响。苗期重度水分调亏棉铃直径显著低于对照(图 3),轻度调亏低于对照,而中度调亏在 07-18-07-28 期间棉铃直径增长较对照快,此后有所减慢,但最终接近或超过对照;蕾期调亏与苗期调亏有十分相似的

趋势(图 4)。说明适度水分调亏不会明显抑制生殖生长甚或有促进作用。至于花铃期和吐絮期水分调亏对棉铃生长的影响以及不同阶段水分调亏对棉铃数变化的影响尚需进一步试验研究。

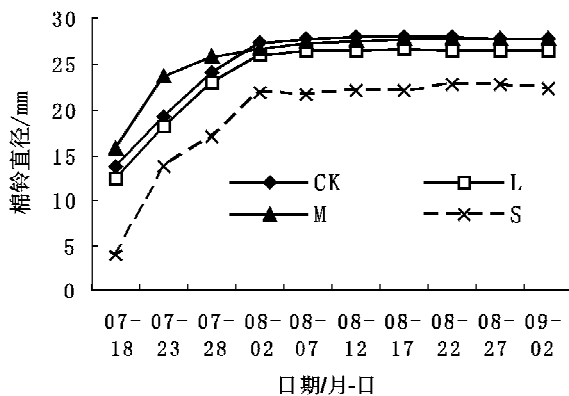


图 3 苗期 RDI 对棉铃生长的影响
Fig. 3 Effect of RDI at seedling stage on boll growth of cotton

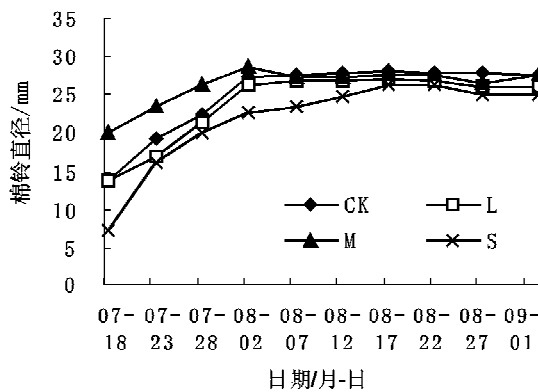


图 4 蕾期 RDI 对棉铃生长的影响
Fig. 4 Effect of RDI at budding stage on boll development of cotton

2.3 RDI 对棉花产量和品质的影响

经济产量在苗期各调亏处理均高于对照,但随调亏度加重产量逐渐降低;蕾期只有轻度调亏高于对照;花铃期各调亏处理均显著低于对照;吐絮期的中度调亏高于对照,其它处理显著低于对照(图 5)。在所有处理中,以苗期的轻度调亏经

济产量最高(53.64 g),比对照(42.32 g)提高 26.75%,并节水 2.90%;其次是苗期中度调亏(49.59 g)和吐絮期的中度调亏(45.55 g),分别比对照增产 17.18%和 7.63%,且节水 7.50%和 5.65%,苗期重度调亏比对照略有增产,但节水 10.22%。

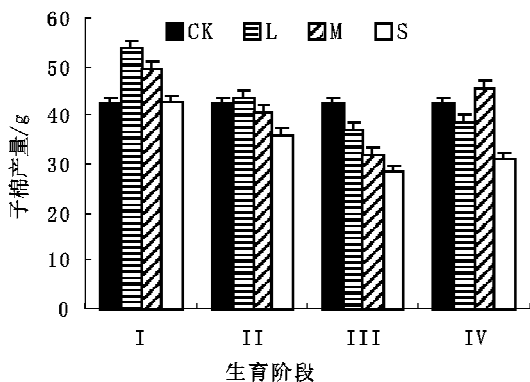


图5 RDI对子棉产量的影响
Fig. 5 The effect of RDI on unginnged cotton yield

棉花品质是棉花经济价值的重要指标,因其属于受多基因控制的数量性状,除受品种遗传特性的影响外,受环境因子的影响也较大。本试验

棉花品质检验结果显示(表 2),在蕾期的重度水分调亏显著提高衣分,其余阶段调亏基本没有影响。上半部平均长度在苗期各调亏处理均较对照显著增加,蕾期中度调亏较对照显著增加,轻、重度调亏与对照无显著差异;花铃期各调亏处理均与对照无显著差异,吐絮期重度调亏显著增加,轻、中度调亏与对照无显著差异。苗期各调亏处理和蕾期中度调亏处理显著增加断裂比强度;各阶段水分调亏有降低伸长率趋势,而对整齐度指数和麦克隆值无显著影响。综合分析水分调亏对各项品质指标的影响,认为适度水分调亏对棉花纤维品质基本无不利影响,其中苗期和蕾期的轻、中度调亏显著改善棉花纤维部分品质指标。

表 2 调亏灌溉对棉花纤维品质的影响

Table 2 The effect of RDI on fiber quality in cotton

调亏阶段	苗期				蕾期			花铃期			吐絮		
调亏度	CK	L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S
衣分/%	0.43	0.42	0.42	0.43	0.46*	0.42	0.54**	0.41	0.44	0.42	0.42	0.45	0.45
上半部平均长度/mm	27.6	28.6*	28.4*	28.1*	28.7	29.2*	27.7	28.6	28.4	28.2	27.7	27.2	28.8*
整齐度指数/%	85.2	85.6	85.4	85.4	85.8	85.2	84.6	85.3	84.9	82.3	84.5	83.7	85.1
断裂比强度/(cN·tex ⁻¹)	26.5	28.6*	28.6*	28.2*	27.5	28.2*	26.3	26.7	27.6	27.6	26.5	27.5	26.4
麦克隆值	5.0	5.1	4.4	4.3	4.9	5.1	5.5	5.0	5.2	4.2	4.9	4.8	5.3
伸长率/%	6.4	5.8**	6.3	6.3	6.1	5.8	6.2	6.3	6.0*	6.3	6.1*	6.3	6.1*

2.4 棉花 RDI 指标与模式

RDI 指标主要包括适宜调节亏水度、调亏生育阶段(时期)和调亏历时(d)等。根据上述信息,将本试验条件下的棉花调亏灌溉模式初步概括为

二种类型(表 3),可为进一步的田间试验提供参考,并可在生产实践中根据不同降水年型、区域水资源状况、农艺措施和决策目标等灵活运用。

表 3 棉花 RDI 指标与模式

Table 3 Indices and model of RDI in cotton

调亏类型	调亏阶段	调亏度/%	历时/d	比 CK 增产/%	节水/%	WUE 提高/%
高产节水型	苗期	50~60	20	17.18~26.75	2.90~7.50	27.69~30.77
较高产节水型	蕾期	60~65	20	3.14	4.55	9.23
	吐絮期	50~55	20	7.63	5.65	15.38

3 结论与讨论

棉株营养生长和生殖生长之间关系的协调性是植株个体和群体达到高产运作的一个重要依据。根据棉花的生物学特性,借鉴国内外果树调

亏灌溉技术研究成果与生产经验,实施棉花调亏灌溉研究相对于其它作物的调亏灌溉研究更具科学价值和实践意义。

试验研究表明,适时适度的水分调亏具有对根系下扎的诱导效应,抑制植株营养体冗余生长,

促进生殖生长,有利于光合产物向产品(子棉)运转与分配,提高经济产量,能够改善部分品质指标^[16-18]。这为调亏灌溉技术的实施提供了理论依据。但本研究仅限于 RDI 对植株生长发育特性、产量和部分品质指标影响的初步探讨,而对植株叶片光合生理生化基础,仍需要进一步研究,以期从分子水平阐释 RDI 节水高产、优质高效机制。

本试验条件下初步确定的棉花节水高产优质高效调亏灌溉指标与模式是:苗期轻、中度调亏,0~40 cm 土层湿度控制下限为田间持水量的 60% 或 50%;蕾期轻度调亏,0~40 cm 土层湿度控制下限为 60%;花铃期不宜调亏,应保证充足供水,0~40 cm 土层湿度应不低于 75%;吐絮期中度调亏,0~40 cm 土层湿度可控制在 50%~55%。但值得提出的是:由于以上试验结果是在盆栽条件下获得的,尽管采用了严格的控制方法加以模拟,但仍与田间试验和大田生产存在较大差异,因而结果有一定局限性,只是初步的、基础性的和可行性的探索,还需要进一步采用多种试验设计与处理技术相结合的方法,深入研究调亏灌溉对作物生态生理影响的机制。

参考文献:

- [1]曾德超,彼得·杰里. 果树调亏灌溉密植节水增产技术的研究与开发[M]. 北京:北京农业大学出版社,1994. 5-6, 13-14.
- [2] CHALMERS D J, Van den Ende B. Productivity of peach trees factors affecting dry-weight distribution during tree growth[J]. *Ann Bot*, 1975, 39:423-432.
- [3] CHALMERS D J, Wilson I B. Productivity of peach trees: tree growth and water stress in relation to fruit growth and assimilate demand[J]. *Ann Bot*, 1978, 42:285-294.
- [4] CHALMERS D J, Mitchell P D, Heek L. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning[J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 1981, 106(3):307-312.
- [5] 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.
- [6] 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 Amer Soc Hort Sci*, 1984, 109(5):604-606.
- [7] 康绍忠, 史文娟, 胡笑涛. 调亏灌溉对玉米生理指标及水分利用效率的影响[J]. *农业工程学报*, 1998, 14(4):82-87.
- [8] 孟兆江, 刘安能, 庞鸿宾, 等. 夏玉米调亏灌溉的生理机制与指标研究[J]. *农业工程学报*, 1998, 14(4):88-92.
- [9] 郭相平, 刘才良, 邵孝侯, 等. 调亏灌溉对玉米需水规律和水分生产效率的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 1999, 17(3):92-96.
- [10] 郭相平, 康绍忠. 玉米调亏灌溉的后效性[J]. *农业工程学报*, 2000, 16(4):58-60.
- [11] 黄兴法, 李光永, 王小伟, 等. 充分灌与调亏灌溉条件下苹果树微喷灌的耗水量研究[J]. *农业工程学报*, 2001, 5:43-47.
- [12] 郭相平, 康绍忠, 索丽生. 苗期调亏处理对玉米根系生长影响的试验研究[J]. *灌溉排水*, 2001, 20(1):25-27.
- [13] 李光永, 王小伟, 黄兴法, 等. 充分灌与调亏灌溉条件下桃树滴灌的耗水量研究[J]. *水利学报*, 2001, 9:55-58.
- [14] 梁森, 韩莉, 李慧娴, 等. 水稻旱作栽培方式及调亏灌溉指标试验研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2002, 20(2):13-19.
- [15] 杨铁钢, 谈春松, 郭红霞. 棉花营养生长和生殖生长关系研究[J]. *中国棉花*, 2003, 30(7):13-16.
- [16] 唐薇, 罗振, 温四民, 等. 干旱和盐胁迫对棉苗光合抑制效应的比较[J]. *棉花学报*, 2007, 19(1):28-32.
- [17] 刘灵娣, 李存东, 孙红春, 等. 干旱对棉花叶片碳水化合物代谢的影响[J]. *棉花学报*, 2007, 19(2):129-133.
- [18] 辛承松, 董合忠, 唐薇, 等. 不同肥力滨海盐土对棉花生长发育和生理特性的影响[J]. *棉花学报*, 2007, 19(2):124-128. ●