

膜下滴灌棉花的土壤干旱诊断指标与灌水决策

胡晓棠¹, 李明思², 马富裕²

(1. 石河子大学农学院; 2. 石河子大学水利与建筑工程学院)

摘要: 通过利用烘干法和中子仪法对膜下滴灌棉花和常规沟灌棉花的土壤干旱情况进行诊断试验, 该文对所选两种干旱诊断指标—作物适宜土壤含水率和作物缺水指标 CW SI 的特点进行了研究。试验和分析表明, 两种灌水方式下的棉花生长对土壤水分环境的要求是一致的。另外, 两种指标所反映出的规律也基本相同。但是, 因膜下滴灌棉花的耐旱性弱, 受旱风险大, 在生产中进行灌水决策时, 其干旱诊断指标应比常规灌时灌水量稍大。

关键词: 节水灌溉; 膜下滴灌; 干旱诊断; 棉花

中图分类号: S275.5

文献标识码: A

文章编号: 100226819(2002)0120049205

膜下滴灌技术不仅能防止深层渗漏, 而且利用塑料薄膜覆盖可减少地面蒸发, 增温保湿, 改善作物水热环境, 是一种能提高田间水分利用率的节水灌溉方式。然而, 水热环境的改变将导致作物根系分布的变化, 从而影响作物根区土壤水分消耗速度, 使得该技术下的作物灌溉制度与常规灌不同。为了制定合理的灌溉制度, 保证作物正常生长, 有必要了解作物在该技术条件下的土壤干旱诊断指标。本文以棉花为例, 研究以烘干法和中子仪法为土壤水分监测手段的膜下滴灌棉花的干旱诊断指标以及以该指标为指导的灌溉效果。

1 作物受旱诊断指标及其原理

诊断作物受旱的指标可分为: 土壤指标、植物指标和气象指标^[1,3]。其中, 土壤指标是最为传统的指标, 尽管它是一种间接诊断作物水分亏缺的指标, 但可直接用于指导灌溉。另外, 膜下滴灌技术对于解决土壤干旱十分有效, 很适合采用土壤指标来诊断作物干旱。

根据文献[1]、[3]可知, 作物任一时刻的田间实际腾发量 ET_a 为

$$ET_a = K_H K_c ET_0 = K_H ET_p \quad (1)$$

式中 ET_0 ——参考作物潜在腾发量, 可根据气象因子利用 Penman—Monteith 公式计算出; K_c ——作物系数, 试验表明它与作物叶面积指数 LAI 呈线性关系; ET_p ——作物最大可能腾发量, 是指土壤充足供水情况下该作物的最大腾发量, 只与作物本

身和气象因子有关; K_H ——土壤水分修正系数, 有多种表达式, 如较简单的 Thornthwaite 线性表达式为

$$K_H = (H - H_p) \div (H - H_p) \quad (2)$$

式中 H ——计算时段内作物根系活动层的平均土壤含水率; H_p ——凋萎系数; H ——作物腾发开始受影响时的土壤临界含水率。

当土壤含水率超过 H 时, 可视为对作物充足供水, 作物达到最大腾发量 ET_p 。而当土壤含水率小于 H 时, 作物腾发量将小于 ET_p , 逐渐表现出土壤干旱^[3]。所以, 在土壤含水率的一定变化范围内(即适宜土壤含水率范围), 作物可正常生长。但作物不同生育阶段要求有不同的土壤临界含水率, 所以, 其适宜土壤含水率范围也不同。文献[2]给出了常规栽培及灌溉下棉花不同生育阶段所要求的土壤适宜含水率范围, 如表 1 示。

表 1 棉花适宜土壤含水率(占田间持水量百分比)

Table 1 The soil moisture content suitable for growing cotton (percentage of field moisture capacity) %

生育阶段	播种	苗期	蕾期	花铃期	絮期
适宜土壤水分	70~80	55~70	60~70	70~80	55~70
造成干旱指标		50~55	55	55	50

灌溉决策中田间干旱诊断的目的是保持土壤水分始终在作物适宜含水率范围, 避免其降到干旱成灾的含水率水平。因此, 可通过田间测定的土壤含水率与作物适宜土壤含水率对比来诊断作物不同生育阶段的土壤干旱。

另外, 根据作物腾发量与土壤含水率的关系, 可用作物缺水指标 CW SI 诊断作物不同生育阶段的土壤干旱^[3,4,7]。缺水指标 CW SI 的表达式为

$$CW SI = 1 - ET_a \div ET_p \quad (3)$$

在某时段, 当比值 $ET_a \div ET_p$ 达到一定数值时作

收稿日期: 2001207230 修订日期: 2001211220

基金项目: 本文系新疆生产建设兵团重大科技项目攻关计划“干旱区棉花膜下滴灌综合配套技术研究与示范”(GKB99NKYGF16NJ)部分内容

作者简介: 胡晓棠, 女, 讲师, 新疆石河子石河子大学农学院农业科学系, 832003

物就会受旱。这样,可通过田间测定 ET_a 和 ET_p 来诊断作物的土壤干旱。

2 试验材料与方法

2.1 试验地基本情况

课题试验地位于石河子大学农学院实验场二连二号地, (东经 85°59' 北纬 44°19'), 海拔 433~437 m。平均地面坡度 0.6%, 南高北低, 面积 6.32 hm²。其中对照田(常规沟灌)面积 1.18 hm², 膜下滴灌面积 5.14 hm²。分布三种土壤, 分别是: 轻壤土、中壤土和重壤土。田间持水率(占干土重百分比)分别为: 19.5%、20.7%、21.35%, 平均 20.52% (相应的 0~60 cm 土层含水量分别为: 185、193、198mm, 平均 192mm)。干容重分别为: 1.58、1.55、1.546 g/cm³, 平均 1.56 g/cm³。供试棉花品种为“新陆早 7 号”, 宽窄行种植。保苗 195 000 株/hm²。滴灌田采用“干播湿出”方式播种, 即田间低墒播种, 滴水出苗。对照田冬灌蓄墒, 带墒播种。

2.2 烘干法试验方式

1998 年和 1999 年在膜下滴灌棉田中对土壤相对田间持水率分别为 40%~80%、50%~70%、60%~80% 和 70%~95% 四种情况进行了试验。其中, 在 40%~80% 这一处理中, 使棉花蕾期土壤相对田间持水率保持在 40% 左右, 而花铃期则保持在 80% 左右。以上各处理对应的土壤分别为轻壤土、壤土、重壤土和中壤土, 取样深度 60 cm, 每 10 cm 取一样, 测土壤含水量。

2.3 中子仪法试验方式

采用美国 CPN 公司生产的 503DR. 9 中子水分探测仪及澳大利亚 ICT 公司为之配套的 PROBE 灌溉决策软件, 测时段内土壤的平均日耗水率。探测铝管埋在棉花根系区内, 埋深 120 cm。从地面 20 cm 以下每 10 cm 读一数, 20 cm 以上采用 MP 水分探头测土壤水分。平时每 3 d 测一次, 降雨及灌水前后加测。对于膜下滴灌来说, 所测根区土壤耗水率可近似为棉花根系吸水率。1999 年和 2000 年对膜下滴灌田和对照田同时进行观测。滴灌平均湿润比 60%。

3 试验结果与分析

3.1 烘干法诊断结果分析

文献[5]描述了利用土壤相对田间持水率指标对膜下滴灌条件下及不同土壤含水率条件下棉花的生长及根系耗水状况的评价结果, 从产量的角度分析得出棉花膜下滴灌时的适宜土壤含水率为田间持水率的 60%~80%, 如表 2 示。

表 2 土壤含水率及棉花成铃数(1998 年, 1999 年)

Table 2 Soil moisture content and the quantities of cotton boll (1998, 1999)

相对田间持水率/%	50~70	60~80	70~95	蕾期肋追
单株成铃数	6	7	7	4

这一结果与常规沟灌时棉花所要求的土壤适宜含水率范围一致, 说明两种灌水方式下棉花要求的土壤水分环境是一样的。因此, 常规灌溉下诊断棉花土壤干旱的土壤适宜含水率指标完全可用于膜下滴灌条件。但是在试验中注意到, 由于滴灌棉花根系生长特点, 其抗旱能力较弱, 受土壤干旱的风险较大, 棉花耗水率的波动与土壤含水量的波动同步(如图 1 所示), 所以在其需水的最敏感期(盛花结铃期或整个花铃期)保持土壤含水率在相对田间持水率的 70%~90% 对产量没有危害。

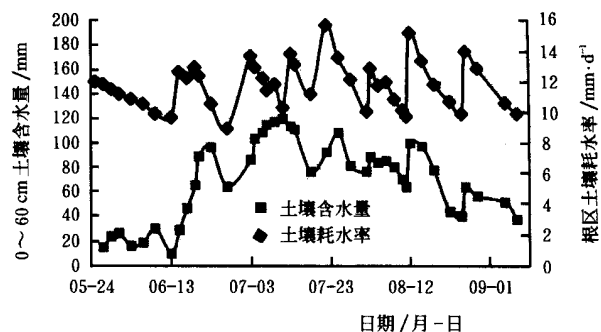


图 1 膜下滴灌棉花根区土壤耗水率与相对土壤含水率(2000 年)

Fig. 1 Relative soil moisture content and its consumption for the cotton with drip irrigation under mulch (2000)

3.2 中子仪法诊断结果分析

图 1 是 2000 年用中子仪在重壤土上测出的正常供水情况下膜下滴灌土壤含水量与相应根区土壤耗水率的对照。图中反映出, 灌水后 0~60 cm 土层含水量基本都在 170 mm 水平, 平均含水率为田间持水率的 85.8%。而灌水前 0~60 cm 土层最低含水量基本都在 120 mm 左右, 即平均含水率为田间持水率的 60.6% 左右。根区土壤耗水率的变化与土壤含水量变化基本同步(7 月 7 日~14 日间极端高温例外)。因此, 可用腾发量指标诊断土壤干旱。另外, 灌水后可用中子仪立即测出棉花该时段最大腾发量 ET_p 。

为了能对每次灌水时间作出决策, 以烘干法所测出的适宜土壤含水率下限为依据, 用中子仪测出每次灌水前正常生长的棉花腾发量下限 ET_a , 以此可确定用以灌水决策的 ET_a 、 ET_p 值及 $CW SI$ 值。

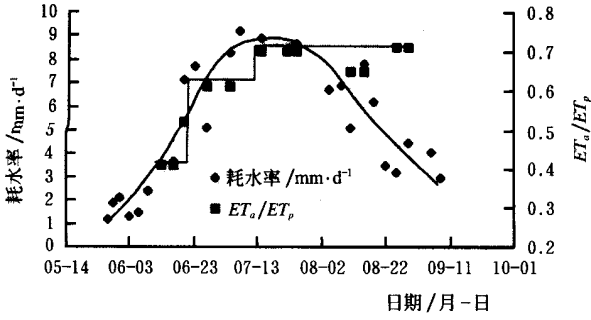


图 2 膜下滴灌棉花根区土壤耗水率及 $ET_a \div ET_p$ 值

Fig 2 The soil moisture consumption for drip irrigated cotton under mulch and the value of $ET_a \div ET_p$

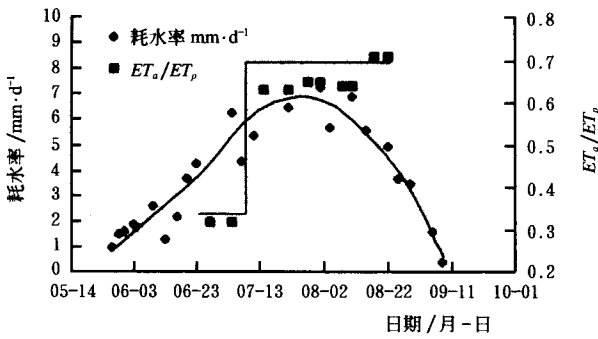


图 3 常规沟灌棉花根区土壤耗水率及 $ET_a \div ET_p$ 值

Fig 3 The soil moisture consumption for furrow irrigated cotton and the value of $ET_a \div ET_p$

根据 1999 年和 2000 年试验, 对膜下滴灌棉花和常规沟灌棉花的 $ET_a \div ET_p$ 进行对比, 如图 2、3 示。图中给出了中壤土上供水充足情况下棉花根区土壤最大耗水率(相当于 ET_p) 及用以灌水决策的 $ET_a \div ET_p$ 比值。可以看到, 膜下滴灌棉花苗期的

$ET_a \div ET_p$ 达到 0.40 时就应该灌水, 蕾期为 0.6~0.7, 花铃期为 0.7~0.8, 而且轻壤土和重壤土上的几个小区的试验也都反映出膜下滴灌棉花花铃期 $ET_a \div ET_p = 0.7 \sim 0.8$ 就应该灌水。因此, 要求这一时期灌水频繁。采用地面沟灌的棉花进入蕾期才灌水, 此时 $ET_a \div ET_p = 0.3 \sim 0.4$, 花铃期 $ET_a \div ET_p = 0.6 \sim 0.7$ 。两种灌水方式下棉花的作物缺水指标 CW SI 值如表 3 示。

表 3 膜下滴灌棉花与常规沟灌棉花各生育阶段 CW SI 值对照

Table 3 CW SI for the growing periods of the cotton irrigated respectively with drip and furrow technique

棉花生育阶段	苗期	蕾期	花铃期
膜下滴灌	0.6	0.4~0.3	0.3~0.2
常规沟灌		0.7~0.6	0.4~0.3

两种灌水方式的作物缺水指标 CW SI 值在棉花需水旺盛的花铃期十分接近, 仅在蕾期常规沟灌棉花的 CW SI 值明显大于膜下滴灌棉花, 这可能与前一种灌水方式对棉花的抗旱能力的锻炼有关。这一试验结果与用土壤适宜含水率指标诊断的结果是一致的。试验还揭示出膜下滴灌棉花的耐旱性不如常规沟灌棉花, 特别是在耗水率较大的生育阶段, 这不仅与滴灌灌水浅有关, 更主要的与膜下滴灌棉花的根系分布较浅有关。如图 4 所示, 膜下滴灌棉花的侧根主要分布在地表层, 而且根量很大, 不象沟灌棉花那样侧根在深度上分布相对均匀。所以, 前者棉花对表层土壤水分的消耗较后者快, 加之滴灌本身灌水浅, 因此受旱风险大, 对土壤水分波动的敏感性高。

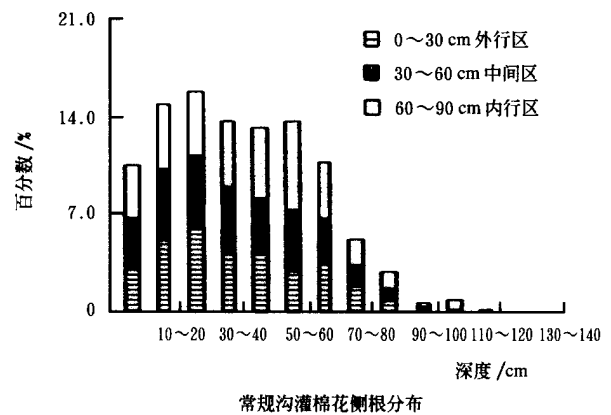
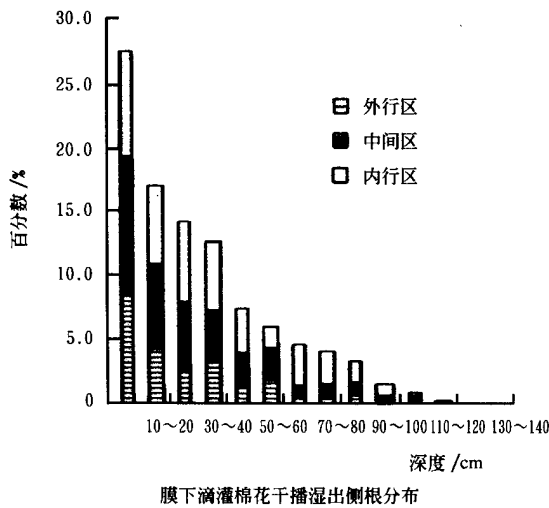


图 4 膜下滴灌棉花与常规沟灌棉花侧根分布对比

Fig 4 The distribution of cotton roots corresponding respectively to drip irrigation under mulch and the furrow irrigation

3.3 土壤适宜含水率与CW SI的关系

土壤适宜含水率指标和作物缺水指标CW SI都可用来对作物的土壤干旱进行诊断,两者之间存在着一定的对应关系。表4反映了针对膜下滴灌棉花的土壤干旱采用适宜土壤水分指标和CW SI诊断的对应关系。表中显示CW SI与适宜土壤水分的关系是一单调降曲线。当土壤含水率大于田间持水率的60%时,随着土壤含水率的增大CW SI平缓下降。当土壤含水率小于田间持水率的60%时,随着土壤含水率的减小CW SI增加较快。相对于田间持水率60%的土壤含水率对应于CW SI=0.4~0.5,而且这一指标界限对棉花生长发育起着关键作用。在关键生育期,当CW SI大于0.4时,棉花就可能受旱。如表5是常规沟灌棉花花铃期CW SI值与单株成铃数。生长正常的棉花花铃期CW SI都在0.4以下,而受旱棉花CW SI在0.4以上,产量相差明显。

表4 适宜土壤水分与CW SI的对应关系

Table 4 The relationship between the CW SI and the soil moisture suitable for cotton growing

生育阶段	苗期	蕾期	花铃期
适宜土壤水分(占田持%)	55~70	60~70	70~80
$ET_a/\delta ET_p$	0.4	0.6~0.7	0.7~0.8
CW SI	0.6	0.4~0.3	0.3~0.2

表5 沟灌棉花CW SI

Table 5 CW SI for furrow irrigated cotton

日期 (日/月)	14207~ 22207	28207~ 01208	08208~ 11208	18208~ 22208	单株 铃数
生长正常	0.37	0.35	0.36	0.29	5.4
CW SI值	0.43	0.56	0.48	0.43	4

3.4 灌水决策

以上述干旱诊断指标所做的灌水决策如图5所示。可以看出棉花膜下滴灌的灌水周期随着生育阶段和耗水率而变。在棉花耗水高峰的花铃期耗水速度快,土壤水分很快就降到临界值,因此灌水周期都小于7d,而且灌水次数增多,表现出“浅灌勤灌”特点。而蕾期耗水率相对较小,土壤水分维持时间较

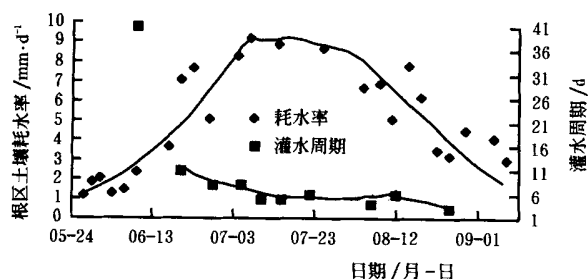


图5 膜下滴灌棉花灌水决策

Fig. 5 Irrigation scheme of drip irrigation under mulch for cotton

长,灌水周期都大于10d。相比之下,常规沟灌棉花花铃期平均灌水周期为12d。

4 结论与讨论

烘干法和中子仪法都是以测土壤水分指标来间接估算作物水分亏缺的,对于因土壤干旱引起的棉花水分亏缺诊断较为可靠。生产中可以根据使用方式选择相应的、较简单的干旱诊断指标。作物生长过程中,烘干法不能定点观测,加之土壤的空间变异性,要测得较可靠的土壤耗水率 ET ,需较长的时间间隔或较大的含水率变差,否则,无法消除因变换取样点而产生的误差。所以,以“作物适宜土壤含水率”作为干旱诊断指标可适用于烘干法。中子仪法虽也能采用上述指标,但在该条件下中子仪需在田间对土壤水分特性进行测定,使用很不方便。因中子仪能定点连续观测,利用PROBE软件测 ET 值较方便,只要给出棉花各时期最大腾发量 ET_p 曲线,就能用“作物缺水指标CW SI”作为干旱诊断指标,它很适用于中子仪法。

本研究选取的两种诊断指标,膜下滴灌棉花和常规沟灌棉花各生育阶段的指标值非常接近,说明两种灌水方式下棉花所要求的土壤水分环境是一致的。但由于膜下滴灌棉花的根系浅,抗旱能力弱,受旱风险大,所以在生产中进行灌水决策时,其干旱诊断指标可比常规灌时略取保守,以便安全实施灌水。在整个灌溉过程中,膜下滴灌棉花将因灌水浅而灌水频繁,属“浅灌勤灌”类型。

[参考文献]

- [1] 康绍忠,蔡焕杰. 农业水管理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996, 12: 101~118, 172~174.
- [2] 陈玉民,郭国双,王广兴等. 中国主要作物需水量与灌溉[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995, 2: 236~243.
- [3] 中国农业科学院. 中国农业气象学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999, 11: 78~84, 283~287, 396~400.
- [4] 康绍忠,梁银丽,蔡焕杰等. 旱区水—土—作物关系及其最优调控原理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998, 3: 78~82.
- [5] 李明思,胡晓棠,郑旭荣. 膜下滴灌条件下棉花耗水强度与土壤水分的关系[A]. 见: 中国农业工程学会、农业水土工程专业委员会, 农业高效用水与水土环境保护[C]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2000, 11: 179~183.
- [6] 赵聚宝,徐祝岭等. 中国北方旱地农田水分开发利用[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996, 6: 2~9.
- [7] 裴步祥. 蒸发和蒸散的测定与计算[M]. 北京: 气象出版社, 1989, 5: 185~190.

Liu Qunchang, Xu Di, Xie Chongbao, Huang Bin (National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research Beijing, Beijing 100044, China)

Abstract: Field experiments on surge flow and continuous flow irrigation were conducted. And a computer model SRFR was used to simulate the surface flow phases under continuous and surge water application. The effect of each factor such as infiltrability, geometrical size of the field, field slope, intake flow rate and microtopography, etc. on performances of both irrigation systems was separately evaluated by means of simulations and observations to determine field parameters and conditions adaptable to the application of surge irrigation.

Key words: surge irrigation; field adaptability; irrigation parameters; irrigation efficiency; water distribution uniformity

Genetic Optimization Layout and Artificial Neural Networks Optimal Design of Pressurized Tree Water-Pipe Network (41)

Zhou Rongmin¹, Lei Yanfeng¹, Lin Xingcui² (1. College of Environment & Hydraulics, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Northwest Science & Technology University of Agriculture & Forestry, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract: Single Parent Genetic Algorithms (SPGA) and the method of Hopfield Neural Networks (HNN) were respectively applied to optimal layout and optimal design of pressurized tree pipe network which were able to acquire an optimal design scheme with minimum annual cost on the basis of the least cost optimal tree layout. And the study shows that the method is feasible and effective and can reduce the cost of pipe network project and improve the design level and design efficiency.

Key words: tree water pipe network; optimal design; optimal layout; single parent genetic algorithms; Hopfield Neural Networks

Lateral Layout of Drip Irrigation Under Plastic Mulch for Cotton (45)

Cai Huanjie, Shao Guangcheng, Zhang Zhenhua (The College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest Science & Technology University of Agriculture & Forestry, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract: The field experiments were conducted at the Experimental Station of Soil Amelioration, Shihezi, Xinjiang Uygur Autonomous Region from May to August in 2000. It showed that the lateral distance of 110 cm could meet the water demand of cotton growth. Through the comparison of plant height, leaf area, root length, cotton yield and quality for 3 different lateral distances, the lateral distance of 110 cm, i.e., one lateral controls 4 rows of cotton, is better than other 140cm and traditional distance (average 70 cm), which can save one-third of lateral and reduce the investment of system to a large extent.

Key words: cotton; drip irrigation under plastic mulch; lateral layout

Drought Diagnosis Indexes and Drip Irrigation Decision Making for Cotton Under Mulch (49)

Hu Xiaotang¹, Li Mingsi², Ma Fuyu¹ (1. Agricultural College, Shihezi University, Shihezi Xinjiang 832003, China; 2. Water Conservation and Architectural Engineering College, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: Based on experiments by using the methods of weighing soil moisture through drying and neutron probe, the soil drought condition was diagnosed for the cotton which was irrigated respectively with drip irrigation under mulch and furrow irrigation. By using two selected indexes of drought diagnosis, the soil moisture content suitable for growing crop and the crop water stress index (CWSI) were evaluated. According to the experiments and analyses, it is revealed that the soil moisture conditions required by the growing cotton, do not change with the irrigation techniques. In its high water demand period, the cotton, whether it was irrigated with drip irrigation under mulch or with furrow one, has almost identical index for drought diagnosis. Due to its poor drought tolerance and its high drought danger, however, the cotton irrigated with the drip irrigation under mulch should be given more water for the drought diagnosis compared with the one irrigated with furrow technique when the irrigation scheme decision is made for the cotton.

Key words: water-saving irrigation; drip irrigation under mulch; drought diagnosis; cotton