

干旱区不同地下水埋深膜下滴灌 灌溉制度模拟研究

杨鹏年¹, 吴彬¹, 王水献², 董新光³, 刘磊⁴

(1. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000;
3. 新疆水利厅, 新疆 乌鲁木齐 830000; 4. 南京南瑞集团公司水利水电技术分公司, 江苏 南京 211106)

摘要: 通过在新疆巴州灌溉试验站进行的膜下滴灌棉花灌溉制度试验, 得出了适合当地的常规滴灌制度。为进一步研究浅层地下水对灌溉的补偿效应, 利用 Hydrus 软件对不同地下水埋深下膜下滴灌棉花生育期耗水量进行了模拟。通过引入关键点土壤含水率的概念, 提出了膜下滴灌棉花受水分胁迫的标准。结果表明: 地下水对棉花的耗水具有一定的补偿作用, 地下水埋深越浅, 则所需的灌溉定额越小。当地下水埋深小于 1.5 m 时, 滴灌定额为 $3\ 300\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$; 当地下水埋深为 2.0 m 时, 滴灌定额为 $4\ 500\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$; 当地下水埋深很大而对作物根区没有补给时, 棉花完全依赖于灌溉所需的滴灌定额则为 $5\ 550\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。考虑到干旱区内具有较高的潜在蒸发势, 会导致土壤的次生盐渍化, 从而危及作物的生长, 1.5~3.0 m 的地下水埋深是灌区内较理想的水位区间。

关键词: 膜下滴灌; 棉花; 灌溉定额; 地下水埋深; 模拟; Hydrus

中图分类号: S275.6 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)03-0076-07

Research on irrigation schedule of cotton drip irrigation under plastic film based on the different ground water table in arid areas

YANG Peng-nian¹, WU Bin¹, WANG Shui-xian², DONG Xin-guang³, LIU Lei⁴

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;

2. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China;

3. Xinjiang Water Resources Bureau, Urumqi, Xinjiang 830000, China;

4. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing, Jiangsu 211106, China)

Abstract: Through the irrigation schedule experiment of drip irrigation cotton under plastic film in Korla Irrigation Experiment Station, Xinjiang, has obtained the suitable local conventional drip irrigation schedule. In order to further study the compensation effect of shallow groundwater to the irrigation, we use the Hydrus software to simulate the water consumption in growing stage of drip irrigation cotton under plastic film with different groundwater table. Through drawing into the concept of key point soil water content, put forward the criterion of cotton water stress by the drip irrigation under plastic film. The results showed that: The ground water has a certain compensating function for the cotton water consumption, the shallower groundwater table, the smaller irrigation quota required. When the groundwater table was less than 1.5 m, the drip irrigation quota was $3300\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$. When the groundwater table was 2.0 m, the drip irrigation quota was $4500\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$. When the groundwater table was so biger and no any compensation, the cotton growth totally rely on the drip irrigation, the drip irrigation quota was $5550\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$. Considered the high evaporation potential in the arid area, it will cause the soil salinity to damage crop growth, the ground water table of 1.5 m to 3.0 m was the desired depth. This conclusion is not only the complementary and improvement to the conventional cotton irrigation schedule, but also this proposed method will have the guide and reference role for management and establishing the crop consumption quota of drip irrigation under plastic film in arid area.

Keywords: drip irrigation under plastic film; cotton; irrigation quota; depth of groundwater table; simulation; hydrus

收稿日期: 2013-12-01

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201301102); 新疆维吾尔自治区“十二五”重大科技专项(201130103-3); 新疆维吾尔自治区水文学及水资源重点学科基金(xjswszzyzdk20101202)

作者简介: 杨鹏年(1966—), 男, 甘肃武威人, 副教授, 博士, 主要从事干旱区节水与地下水资源利用研究。E-mail: Ypn10@163.com。

作物对地下水的利用主要有两种方式,一种是由作物的根系直接吸取毛细上升水;另一种是由潜水上升至根系层转变为土壤水后被作物吸收利用,以何种形式为主则取决于地下水位的高低。土壤水是作物直接的水分来源,作物的生理生化过程是在土壤水的介入下进行的。无论是大气降水、地表水,还是地下水都是通过土壤这个载体变成储存在土壤中的水分后,才便于作物的吸收利用。作物在整个生长发育过程中对水分的需求是连续的,而灌溉和大气降水都是间歇性的供水,但由其转化而成的土壤水则可以实时满足作物对水分的需求。

地下水通过影响作物的根系生长,进而影响作物冠层的光合作用和根冠关系,对作物的水分利用效率发生作用。L. N. Namken 等用蒸渗仪研究棉花的耗水,发现在地下水埋深 0.91 m、1.83 m 和 2.74 m 时,在高水分处理下,作物所利用的地下水量占总用水量的 54.4%、26.4% 和 17.3%^[1]。杨建锋通过 1998 年在中科院山东禹城试验场的试验分析表明:潜水对玉米灌浆期蒸发蒸腾、土壤水分分布、土水势变化有着显著的作用。当地下水埋深在 0.7~1.3 m 之间变动时,玉米蒸发蒸腾量的 15.69% 是由地下水蒸发所贡献的^[2]。王晓红(2002—2003 年)在武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室灌溉排水实验场进行的冬小麦不同地下水埋深条件下,有作物生长的潜水蒸发量与作物之间关系的研究结果表明:有作物的潜水蒸发与种植的作物种类和生长发育阶段密切相关,在幼苗期,潜水蒸发量与裸地相近,随着作物生长进入盛期以后,潜水蒸发强度逐渐增加。有作物的潜水蒸发量可达到裸地潜水蒸发量的 2~4 倍,该比值随潜水埋深的增加(在一定范围内)而增加。有作物生长的地下水利用量远远大于裸地地下水利用量^[3-4]。到目前为止,直接考虑作物生长发育阶段对潜水蒸发量影响的研究较少,而考虑埋深与土质因素对潜水蒸发运动影响的研究则相对较多^[5-6]。

有作物农田的潜水利用程度随着潜水埋深而变化,一般埋深越浅、作物覆盖度越小,利用率就越低,反之则越高。在有作物的条件下,农田潜水蒸发量的一部分为作物根系所吸收利用,成为有效潜水蒸发量;另一部分通过裸间土面逸入大气,成为无效潜水蒸发量。当潜水埋深 0.5 m 时,潜水蒸发量的利用率棉花为 55%;当潜水埋深大于 2.0 m 时,各类有作物农田的潜水蒸发量利用率基本都可以达到 80%~100%。由此可见,当潜水埋深下降至一定深度后,潜水蒸发量的绝大部分即可以转变为作物的

有效供水,大量减少水分的无效损失^[7]。

近年来,膜下滴灌棉花在新疆得到了快速发展。采用这项新技术后,棉花的发育生长特征与常规的大田沟灌会有一些的差异。实践中多借鉴沟灌的灌溉制度,因此灌水定额仍然较大,不仅造成了水分的深层渗漏,同时还造成了肥料的浪费与环境污染,降低了滴灌所能带来的效益。本文通过在新疆库尔勒巴州灌溉试验站开展的膜下滴灌条件下不同灌溉水量与周期的组合试验与棉田生育进程的监测,确定出了适应当地干旱气候下的棉花滴灌制度^[8]。

1 膜下滴灌棉花灌溉试验

试验地点位于新疆库尔勒市西尼尔镇,地处 41°35'N, 86°09'E, 地表高程在 895~903 m 之间。区域内光热资源丰富,降雨少,温差大,多年平均降水量 62.7 mm, 多年平均蒸发量 2 788 mm(Φ20 cm 蒸发皿),属暖温带大陆性荒漠气候。试验区土壤质地为砂质壤土,土壤肥力较低,地下水埋深在 1.6 m 左右,变化不大。

试验于 2008 年 3 月—2008 年 10 月间进行,种植模式采用一管四行播种方式,间距为 20、40、20、60 cm(见图 1),品种为新陆中 21 号,常规栽培管理。播种时间为每年的 4 月中旬,采用干播湿出的方式,播种数天后即灌水 300~450 m³·hm⁻²。小区试验处理的每公顷棉田的灌水量分别为 3 000、3 750、4 500、5 250 m³,灌水周期分别为 5、7、10 d。6 月中旬开始滴头水,此后进入常规滴灌过程。



图 1 膜下滴灌种植模式及取样剖面图(单位:cm)

Fig.1 The planting mode and sample section(Unit:cm)

根据试验区研究的结果及两年的示范效果,初步确定库尔勒灌区及周边尉犁县灌区膜下滴灌棉花的灌溉定额为 4 500 m³·hm⁻²,播种时间为 4 月 5 日~5 月 15 日左右,棉花在苗期基本上不灌水,谓之蹲苗,主要是对棉花进行抗旱胁迫以促进根系的发育,进入蕾期后的第一水的灌溉时间大致是在 6 月初开始,根据试验及调查的结果,确定出的灌溉制度如下表 1 所示。

在不同的地下水位下,棉花所需要的灌溉水量是不同的。地下水位越低,所需的灌溉水量就越高,反之亦然。由于大田试验条件下地下水位的波动难以控制,因此在试验中部分处理表现出了灌溉水量

较低而棉花产量未明显下降的现象。通过分析,这与试验中地下水位较高有很大的关系。因此,上述试验的结果只在类似地下水埋深的区域较为可靠。

如果要进行不同地下水位下的试验,则需设置较多的试验处理。

表 1 膜下滴灌棉花常规灌溉制度

Table 1 The conventional irrigation schedule of cotton under film drip irrigation

灌水次数/次 Irrigation times	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计 Total
滴灌时间 Date(m-d)	06-10	06-20	06-30	07-08	07-16	07-24	07-31	08-08	08-16	08-24	08-31	09-07	
生育期 Growth stage	蕾期 Bud stage			花铃期 Flower and boll stage				吐絮期 Boll opening stage					
灌水比 Ratio of irrigation/%	8.5	8.3	8.3	8.3	10	10	10	8.3	8.3	8.3	6.7	5	100
滴灌水量/($m^3 \cdot hm^{-2}$) Volume of drip irrigation	382.5	373.5	373.5	373.5	450	450	450	373.5	373.5	373.5	301.5	225	4500

不同地下水埋深下的灌溉定额应有所不同。通过制定科学合理的灌溉制度,发挥土壤水库的调节作用与作物在不同生育阶段对缺水的耐受潜力,可提高水分的利用率。现行灌溉方案在制定的过程中通常不考虑作物对地下水的作用,抑或是将其作为保证供水安全的储备。因此,本文利用 Hydrus 软件对膜下滴灌棉花在不同地下水埋深下的耗水量进行了模拟,得出了棉花免受水分胁迫的耗水量,为优化大田试验方案、增强常规试验的目的性提供指导^[9-10]。

2 模型的建立

目前使用的滴灌带通常每隔 25~30 cm 就有一个滴头,滴水约 50 min 后,湿润锋就会产生交汇。从条田尺度来看,膜下滴灌可概化为线源滴灌,土壤水主要在垂直于滴灌带的剖面上运移。因此,可将小区尺度上的三维土壤水分运动概化为单条滴灌带作用下的剖面二维流。在保证精度的前提下,简化了模拟的工作量。本文利用 Hydrus 软件进行了模拟,模拟时段从 6 月初的第一次滴灌开始后一致持续到 9 月初结束,期间棉花经历了蕾期、花铃期吐絮期等生育阶段,灌水周期也因棉花各生理阶段对水的敏感性不同而进行调整^[11]。

2.1 初始条件

棉花自 4 月中旬播种后至 6 月初第一水前,大约要经过 2 个月的苗期,在此期间,棉苗以消耗前期的灌溉水分为主,通常不需灌溉。可视为定水位下自由蒸发与排泄条件下的剖面土壤含水率的消退过程,通过 Hydrus 软件计算后作为第一次滴灌前的初始含水率分布。由于土壤含水率受最近一次灌溉的影响最大,而之前更早期灌溉对现状含水率的残余影响则很小,亦即土壤具有无后效性。因此,初始含

水率的误差对后续模拟计算精度的影响可忽略。

2.2 边界条件

研究区土质以壤质砂土为主,渗透能力较强,灌溉时不产生地表径流,因此上边界确定为通量已知的第二类边界条件,并在棉花生育期内逐日输入包括灌水量、作物潜在棵间蒸发量及潜在蒸腾量的上边界通量值。模拟区的下边界则设为定水位埋深,以模拟滴灌与不同地下水埋深组合作用后对根层土壤含水率的影响^[12]。

2.3 根系吸水模型选取

根系作为植物整体的感知器官及根土界面中的资源捕获器官,首先承受土壤水分和地下水位等环境要素变化的影响,其行为直接关系到地上株体的生长状况、土壤中水分和养分的分布和运移。本次模拟在运用 Richards 方程模拟土壤水分运动的基础上增加了对根系吸水的考虑。由于 Feddes 模型表达形式较简单,且考虑了根系密度以及土壤水势对作物根系吸水速率的影响,在实际应用中比较方便^[13]。

2.4 蒸发与蒸腾量的确定

在实际灌溉决策时,土壤含水率的下限通常要高于凋萎系数,上限则接近于田间持水量。超过田间持水量范围的供水量除了增加深层渗漏损失外,还大量增加作物的“奢侈”蒸腾和土面蒸发损失,属无效用水。据国内有关单位进行的土壤水分与作物地上部分的生长关系试验结果表明,在土壤水分分为 60%~80% 的田间持水量范围内,作物生长速度均正常,只有低于 50% 田间含水量时,生长速度则在不同的生育阶段表现为不同程度的降低。依据试验期间观测得到的土面蒸发量,同时结合类似地区已有的作物耗水资料,最终确定出试验区棉花在不同生育阶段蒸腾量的结果,参见表 2^[14]。

表 2 生育期膜下滴灌棉花耗水量

Table 2 Cotton water consumption in growth stages under film drip irrigation

生育期(月-日) Growth period(m-d)	04-15~06-10	06-10~07-10	07-10~08-24	08-24~09-10	合计 Total
	苗期 Seedling stage	蕾期 Bud stage	花铃期 Flower and boll stage	吐絮期 Boll opening stage	
持续时间 Duration time/d	56	30	45	12	143
膜外土面蒸发量 Soil evaporation/(mm·d ⁻¹)	0.6	1.8	1.6	1.5	183
膜内根区蒸腾量 ET of root zone/(mm·d ⁻¹)	0.3~2	2~4	4~6~5	5~4	585

2.5 膜下滴灌棉花根系分布特征

图 2 所示为试验得到的根系的根长密度在垂直方向上的分布。从图中可以看出滴灌棉花的根长密度在生长期内随时间逐渐增大,主要集中在离地面 20~30 cm 内,根长密度在吐絮期时达到 130.05 mm·cm⁻³,而在 30 cm 以下根系锐减,在 40 cm 以下,利用根钻取根未发现根系,说明在滴灌情况下棉花根系主要集中在 30 cm 以上。

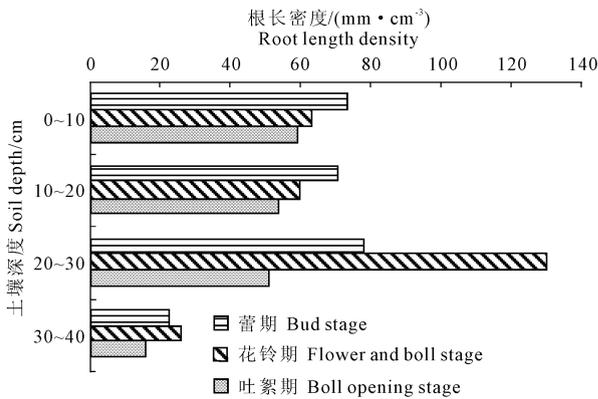


图 2 膜下滴灌棉花根系分布特征

Fig.2 Cotton root distribution under drip irrigation

2.6 模拟结果的判别标准

通过对不同地下水位下膜下滴灌棉花生育期的

模拟,目的是要找到一种灌溉策略,这种策略应充分考虑到地下水与土壤水间的互相转化关系,以进一步提高水分的有效利用率。对作物来说,土壤含水率与根系吸水具有密切的关系。当土壤含水率大于田间持水量时,会影响根系的呼吸作用,在造成吸水障碍的同时还会增大无效蒸发;当土壤含水率过小时,土壤水基质势降低,同样引发吸水困难。棉花适宜的土壤含水率下限(相对田间持水量)参见表 3^[15]。

据此,本文提出利用关键点处的含水率动态作为判断模拟方案优劣的标准。关键点是指棉花窄行中间处 30 cm 深度处的土壤含水率,此处根系密度最大,同时又是窄行处内外两行棉花吸水的共同区域,可作为判断棉花受到水分胁迫与否的代表性点。实际上,常规的灌水方法大都会一定时段内形成对根系的水分胁迫,但差异则在于这一现象所持续的时间上,如沟灌后会造成分近似饱和状态同样对作物根系不利。对于可控性较高的滴灌来说,则可以对灌溉进行主动调控而减少此类不利影响。根据这一原则,则模拟结果中关键点土壤含水率大于上限或小于下限的持续时间可认为是根系受到水分胁迫的时间,统计后得到的总时段可作为各方案优劣的判别标准^[16-17]。

表 3 棉花生育期适宜土壤含水率下限值

Table 3 The lower limit of soil water content in cotton growth period

生育期 Growth period	苗期 Seedling stage	蕾期 Bud stage	花铃期 Flower and boll stage	吐絮期 Boll opening stage
相对含水率 Relative water content	0.55θ _f	0.6θ _f	0.7θ _f	0.55θ _f
绝对含水率 Absolute water content	0.122	0.133	0.155	0.122
湿润深度 H Depth of wetted soil/cm	20	40	40~60	40

2.7 模拟情景设置

现状制定棉花滴灌周期的方法是:根据气候与生育阶段确定出日均土壤水消耗量及一次滴灌水量,从而确定出灌水周期。事实上,在土壤水的蒸发蒸腾过程中,地下水却会对其产生不同程度的补给,而使原来计算的灌水周期延长。从另一个方面来

看,通过减少部分灌水量而维持原来的灌水周期也是可行的。因此在确定模拟的方案时要考虑到地下水与土壤水间的转化性,以灌水量与地下水埋深为两个要素进行,即分别在现状灌水量的条件下,来模拟整个生育期内土壤水的动态过程,故可形成如下的模拟方案集,并从中寻找可行的滴灌方案^[18]。

表 4 不同地下水埋深下膜下滴灌棉花生育期耗水方案模拟集

Table 4 The simulation scheme of cotton consumption in growth stages of different groundwater depth

现状灌水量 Irrigation quantity/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	地下水埋深 Depth of groundwater level/m				
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
3300	✓	✓	✓		
3900		✓	✓		
4500			✓	✓	✓

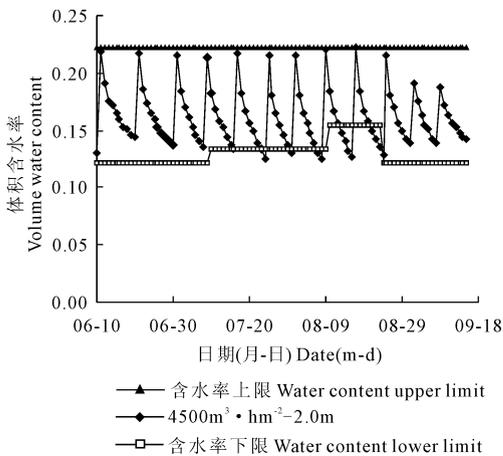
注:表中“✓”表示本文模拟的方案。

Note: “✓” in the table shows the simulation scheme.

3 模拟结果分析

3.1 膜下滴灌灌溉定额 $4500 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$

现以灌溉定额为 $4500 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 为例,对模拟结果进行论述,其它灌溉定额下的模拟过程类似。在上述的预设条件下,利用前述表 1 中确定的不同生育阶段的滴灌水量并输入模型。在地下水埋深为 2.0 m 的情景下,模拟膜下滴灌棉田生育期内关键点土壤含水率的动态变化过程,结果如图 3 所示。



注: $4500 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} - 2.0 \text{ m}$,表示灌溉定额为 $4500 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,地下水埋深为 2.0 m 。下同。

Note: $4500 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} - 2.0 \text{ m}$ means the irrigation quota is $4500 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, the depth of groundwater table is 2.0 m . The same as below.

图 3 常规滴灌窄行关键点土壤含水率动态

Fig.3 The dynamics of key point soil content under regular drip irrigation

由图 3 可以看出:在需水关键期(花铃期),根区关键点土壤含水率低于棉花所要求的下限值的累计时间为 12 d ,表明棉花受到了轻度的水分胁迫,可能会造成轻度的减产。

通过分析土壤水的动态变化过程可以发现,在灌溉定额不变与满足棉花对水分下限需求的前提下,通过优化生育期内灌水量的分配比例,在总水量不变的前提下,将原来花铃期的灌水时间从 8 d 调整为 5 d ,见表 5。将优化后的灌溉制度输入模型计算的结果见图 4。

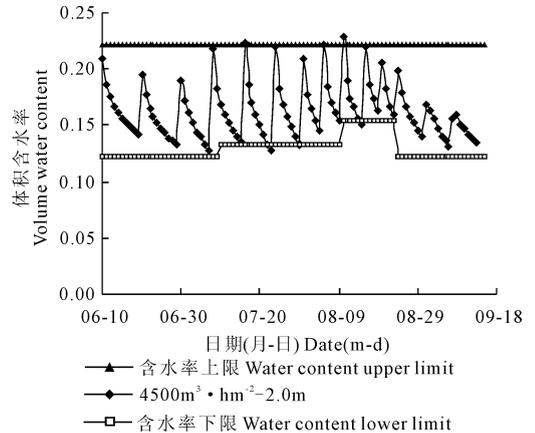


图 4 优化后的窄行关键点土壤含水率动态

Fig.4 The dynamics of key point soil content under optimized irrigation system

经过优化后,整个生育期内受到水分胁迫的时间减少为不连续的 2 d ,可以认为对棉花的生长与产量基本没有影响。亦即在质地为壤质沙土,地下水埋深 2.0 m 的条件下,生育期的滴灌水量 $4500 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 可以满足棉花的耗水。表明通过均衡供水,可以起到调控作物蒸腾量与受水分胁迫的时间、提高水分利用效率的目标。

采用上述的方法,对表 4 中确定的生育期滴灌方案进行模拟后的汇总结果见表 6。从表 6 中可以看出:在质地为壤质沙土,常规灌溉制度下,灌溉定额为 $3300 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,适应于地下水埋深不超过 1.5 m 的情景;当地下水位为 2.0 m 时,采用 $3900 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 的定额,即使在优化灌溉的条件下也会受到 10 d 的水分胁迫。采用 $4500 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 的定额则较合适;当地下水埋深超过 2.5 m 时,采用 $4500 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 定额会受到 (21 d) 中等强度的水分胁迫,此时的灌溉定额须大于 $4500 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ [19]。

3.2 地下水大埋深条件下棉花灌溉定额的模拟

若不考虑作物利用地下水而只依赖于灌溉而生长所需的灌溉定额是一种临界状态,此时土壤水的补给完全依赖于灌溉。在大埋深条件下,由于失去了地下水的上升补给作用,作物消耗的土壤水主要依靠周期性的灌溉来补充,在这种情况下,作物的灌

溉定额必然会增大。根据这一设想,本文采用试估校正法进行了在大埋深条件下耗水模拟,根层关键

点土壤含水率变化过程见图 5。

表 5 不同地下水埋深膜下滴灌棉花耗水方案模拟结果

Table 5 The simulation results of cotton consumption under different groundwater depth

灌水定额/(m ³ ·hm ⁻²) Irrigation quota	耗水方案 Water scheme	地下水埋深 Depth of groundwater level/m				
		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
3300	常规 General	√	√	* * (23 d)		
	优化 Optimized					
3900	常规 General		√	* * (16 d)		* * (37 d)
	优化 Optimized			* (10 d)		
4500	常规 General		√	* (12 d)	* * (26 d)	* * (37 d)
	优化 Optimized			* (2 d)	* * (21 d)	* * (33 d)

注:“√”为未受胁迫,*为轻度胁迫,* *为中度胁迫。括号为数字为受胁迫的天数。

Note: “√” shows without stress, * shows slight stress, * * shows medium stress. Figures in brackets refer to the number of days affected by stress.

表 6 膜下滴灌棉花优化灌溉制度

Table 6 The optimized cotton irrigation schedule of drip irrigation under plastic film

灌水次数/次 Irrigation times	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	合计 Total	
日期 Date(m-d)	06-10	06-20	06-30	07-08	07-16	07-24	07-31	08-05	08-10	08-15	08-20	08-24	08-31	09-07		
生育期 Growth stage	蕾期 Bud stage		花铃期 Flower and boll stage				吐絮期 Boll opening stage									
灌水比 Ratio of irrigation/%	6.7	5.8	5.9	9.5	9.8	9.8	8	9	9.5	8.2	5.5	5	3.8	3.5	100	
滴灌水量/(m ³ ·hm ⁻²) Volume of drip irrigation	301.5	261	265.5	427.5	441	441	360	405	427.5	369	247.5	225	171	157.5	4500	

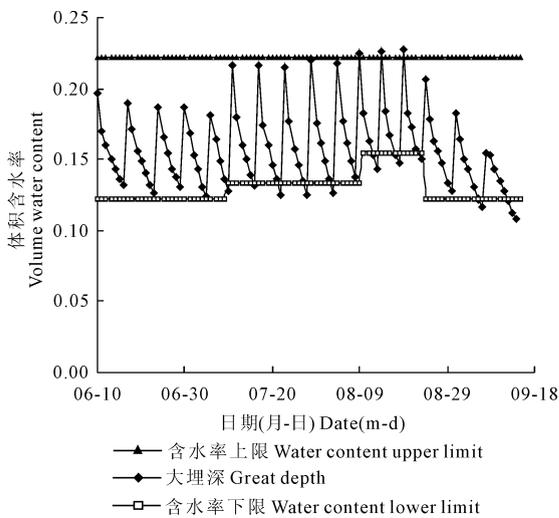


图 5 大埋深下窄行关键点土壤含水率动态

Fig.5 The dynamics of key point soil content under condition of great depth

从模拟结果来看,在大埋深条件下要想使棉花根系在整个生育期处于适宜的土壤含水率下,灌溉定额的下限值约为 5 550 m³·hm⁻²。尽管模拟期间土壤含水率处于下限的累计时间为 14 d,但大部分出现胁迫的时间均为 1 d 左右,处在棉花可以忍受的范围。连续 3 d 低于下限的情形出现在生育期的后期,此时对产量的影响已很小,表明这一水量可以基本满足棉花耗水的需要^[20]。

4 结 语

本文利用 Hydrus 软件,以关键点含水率作为棉花受水分胁迫的判断标准,对不同地下水埋深下的膜下滴灌棉花生育期的耗水进行了模拟,结果表明:不同地下水埋深对棉花耗水具有一定的补给作用,地下水埋深越浅,则所需的灌溉水量越小。对本文论述所在区域的干旱气候而言,当地下水埋深为 1.5 m 时,滴灌定额为 3 300 m³·hm⁻²;当地下水埋深为 2.0 m 时,滴灌定额为 4 500 m³·hm⁻²;当地下水埋深较大而对作物根区没有补给时,滴灌定额为 5 550 m³·hm⁻²。这一结论是对现有灌水制度制定的补充与完善。随着干旱区农业节水设施的大面积推广及农业用水总量的逐年降低,本文提出的方法不仅对目前正在开展的用水定额管理具有借鉴作用,同时对于干旱区膜下滴灌作物耗水定额的制定与管理也具有参考价值。

考虑到干旱区内具有较高的潜在蒸发势,当地下水埋深较小时,土壤母质及地下水中的盐分易在表层积累而导致土壤的次生盐渍化,危及作物的生长。因此,较小的潜埋深虽有利于耕作层保持一定的水分,但由此对作物所造成的盐分胁迫可能会大于水分胁迫的危害。所以,地下水埋深上限的确定还需要参照盐分积累程度的制约。目前的研究成

果表明:当地下水埋深小于 1.5~2.0 m 时,潜水蒸发速率会明显降低,对土壤次生盐渍化的贡献较小。结合前述的研究成果,1.5~3.0 m 的地下水埋深是灌区内较理想的水位区间^[21]。

参考文献:

- [1] Namken L N, Wiegand C L, Brown R G. Water use by cotton from low and moderately saline static water tables[J]. *Agronomy Journal*, 1969, 61(2): 305-310.
- [2] 杨建锋,李宝庆,李运生,等.浅地下水埋深区潜水对 SPAC 系统作用初步研究[J]. *水利学报*, 1999, (7): 28-33.
- [3] 王晓红,侯浩波.有作物的潜水蒸发规律试验研究和理论分析(I):有作物生长条件下的潜水蒸发规律试验研究[J]. *水力发电学报*, 2008, 27(4): 60-65.
- [4] Kruse E G, Champion D F, Cueval D L, et al. Crop water use from shallow, saline water tables[J]. *Transactions of the ASAE*, 1993, 36(3): 697-707.
- [5] Hutmacher R B, Ayars J E, Vail A D, et al. Uptake of shallow-groundwater by cotton: growth stage, groundwater salinity effects in column[J]. *Agricultural Water Management*, 1996, 31(3): 205-233.
- [6] Sepakhah A R, Kanooi A, Ghasemi M M. Estimating water table contribution to corn and sorghum water use[J]. *Agricultural Water Management*, 2003, 58(1): 67-79.
- [7] 沈振荣,汪林,于副亮,等.节水新概念——真实节水的研究与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2000:60-77.
- [8] 张林,吴普特,朱德兰,等.多点源滴灌条件下土壤水分运移模拟试验研究[J]. *排灌机械工程学报*, 2012, 30(2): 237-243.
- [9] 王水献,董新光,吴彬,等.干旱盐渍土区土壤水盐运动数值模拟及调控模式[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(13): 142-148.
- [10] 何雨江,汪丙国,王在敏,等.棉花微咸水膜下滴灌灌溉制度的研究[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(7): 14-20.
- [11] Genuchten M T V. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1980, 44(5): 892-897.
- [12] 王在敏,何雨江,靳孟贵,等.运用土壤水盐运移模型优化棉花微咸水膜下滴灌制度[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(17): 63-70.
- [13] Feddes R A, Hoff H, Bruen M, et al. Modeling root water uptake in hydrological and climate models[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2001, 82(12): 2797-2807.
- [14] 郭金强,危常州,侯振安,等.新疆棉花膜下滴灌耗水规律的研究[J]. *新疆农业科学*, 2005, 42(4): 205-209.
- [15] 郑旭荣,胡晓棠,李明思,等.棉花膜下滴灌田间耗水规律的试验研究[J]. *节水灌溉*, 2000, (5): 25-27.
- [16] 胡晓棠,陈虎,王静,等.不同土壤湿度对膜下滴灌棉花根系生长和分布的影响[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(5): 1682-1689.
- [17] Vrugt J A, Hopmans J W, Simunek J. Calibration of a two-dimensional root water uptake model[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2001, 65(4): 1027-1037.
- [18] Vrugt J A, van Wijk M T, Hopmans J W, et al. One-, two-, and three-dimensional root water uptake functions for transient modeling[J]. *Water Resources Research*, 2001, 37(10): 2457-2470.
- [19] 王淑芬,裴冬,贾金生,等.膜下滴灌棉花关键生育期不同灌水量、灌水次数对其生长、产量及水分利用效率的影响[J]. *华北农学报*, 2005, 20(5): 76-80.
- [20] 罗宏海,朱建军,赵瑞海,等.膜下滴灌条件下根区水分对棉花根系生长及产量的调节[J]. *棉花学报*, 2010, 22(1): 63-69.
- [21] 杨鹏年,吴彬,王水献.内陆干旱灌区地下水水位调控研究[J]. *节水灌溉*, 2010, (7): 57-58, 62.

(上接第 49 页)

参考文献:

- [1] Cattivelli L, Rizza F, Badeck FW, et al. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics[J]. *Field Crops Research*, 2008, 105: 1-14.
- [2] 山仓,黄占斌,张岁岐.节水农业[M].北京:清华大学出版社,2000:12-13.
- [3] 于健.棉花品种的抗旱遗传多样性分析及抗旱性评价[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2008:14-29.
- [4] Sambrook J, Russel D W, 黄培堂,等.分子克隆实验指南(第三版)[M].北京:科学出版社,2002:418-424.
- [5] 刘全义,张裕繁,严根土,等.我国棉花耐旱碱研究的现状及前景[J]. *干旱地区农业研究*, 1998, 16(1): 117-122.
- [6] 肖俊夫,刘祖贵,孙景生,等.不同生育期干旱对棉花生长发育及产量的影响[J]. *灌溉排水*, 1999, 18(1): 23-27.
- [7] Petterson D T, Highsmith M T. Competition of spurred anode (*Anode cristata*) and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) with cotton (*Gossypium hirsutum*) during simulated drought and recovery[J]. *Weed Science*, 1989, 37(5): 658-664.
- [8] 马富裕,杨建荣,李蒙春,等.花铃期土壤含水量对棉花群体生理和产量影响研究[J]. *石河子大学学报(自然科学版)*, 1998, 2(2): 93-98.
- [9] 章杰,刘江娜,邓小艳,等.干旱对特早熟陆地棉光合特性与产量的影响[J]. *新疆农业科学*, 2010, 47(7): 1397-1401.
- [10] 牟筱玲,鲍啸.土壤水分胁迫对棉花叶片水分状况及光合作用的影响[J]. *中国棉花*, 2003, 30(9): 9-10.
- [11] 程林梅,张原根,阎继耀,等.土壤干旱对棉花生理特性与产量的影响[J]. *棉花学报*, 1995, 7(4): 233-237.
- [12] 李志博,杨敏,张荣华.新疆棉花品种抗旱性初步评价及鉴定方法研究[J]. *新疆农业科学*, 2006, 43(6): 463-466.
- [13] 李志博,林海荣,魏亦农,等.新疆主栽棉花抗旱性生育期差异评价及鉴定体系的初步建立[J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(3): 84-90.
- [14] 余美,杨劲松,刘梅先,等.膜下滴灌灌水频率对土壤水盐转移及棉花产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 29(3): 18-23, 28.
- [15] 李志博,章杰,魏亦农,等.覆膜高密度下棉花抗旱性产量和品质指标的特征分析[J]. *核农报*, 2011, 25(3): 576-581.
- [16] 梁建兰,李志博,尚勋武,等.不同小麦品种搭配生产兰州拉面专用粉的灰色关联度分析[J]. *麦类作物学报*, 2009, 29(1): 63-68.
- [17] 付凤玲,李晚枕,潘光堂.模糊隶属法对玉米苗期耐旱性的拟合分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(1): 83-85, 125.
- [18] 席万鹏,王有科,孙飞达.利用隶属函数值法综合评价花椒的抗旱性[J]. *甘肃林业科技*, 2004, 29(1): 5-6.