

河套灌区玉米膜下滴灌灌溉制度研究

范雅君¹, 吕志远¹, 田德龙², 郭克贞², 徐冰², 李介钧³

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;
2. 中国水科院牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020; 3. 磴口县水务局, 内蒙古 磴口 015200)

摘 要: 为研究河套灌区膜下滴灌条件下玉米高产、节水、高效的灌溉制度, 通过两年的田间试验, 分析了膜下滴灌条件下玉米的耗水量规律, 用 Jensen 模型建立了玉米的水分生产函数, 并对玉米的灌溉制度进行了优化。结果表明: 膜下滴灌条件下玉米在苗期对水分的敏感性较弱, 此时期缺水对产量的影响较小; 在拔节—抽雄、抽雄—花期和花期—灌浆期对水分的敏感性较强, 此时期亏水将会减产。对玉米膜下滴灌灌溉制度优化得出: 灌溉定额为 275~325 mm, 玉米的产量较高; 对灌水量的分配为苗期—拔节灌水量为 20~40 mm, 拔节—抽穗的灌水量为 40~60 mm, 抽雄—开花的灌水量为 115 mm, 开花—灌浆的灌水量为 80 mm, 灌浆—乳熟的灌水量为 20~40 mm, 较本地常规地面灌每公顷节水 2 546.25~3 296.25 mm, 节水效果十分显著。

关键词: 玉米; 灌溉制度优化; 膜下滴灌; 水分利用效率

中图分类号: S275.6; S513.071 **文献标志码:** A

Irrigation regime for corn production with drip irrigation and plastic mulching in Hetao irrigation region

FAN Ya-jun¹, LU Zhi-yuan¹, TIAN De-long², GUO Ke-zhen², XU Bing², LI Jie-jun³

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Water Conservancy and Civil Engineering College, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;
2. Hydroelectric and Water Conservancy Science Institute. China's Scientific Research Institute in the Pastoral Areas of Water Conservancy, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China;
3. Dengkou County Water Authority, Dengkou, Inner Mongolia 015200, China)

Abstract: In order to propose a high-yielding and water-saving irrigation regime for corn production with drip irrigation and plastic mulching in Hetao irrigation region, two years of field experiment was conducted. Crop evapotranspiration for corn was measured, and crop water productivity was estimated using the Jensen model. Results showed that corn was tolerant to water stress at seeding stage when water shortage had less effect on corn growth. By contrast, corn plant was sensitive at stages of jointing to tasseling, tasseling to flowering and flowering to filling. Irrigation amount of 275~325 mm resulted in higher grain yield, with the distribution of irrigation being 20~40, 40~60, 115 and 80 mm at the stages of seedling to jointing, jointing to tasseling, tasseling to flowering, and flowering to filling, respectively. Compared with the usual surface irrigation, irrigation water saved ranged from 2 546.25 to 3 296.25 mm per hectare.

Keywords: corn; irrigation regime optimization; drip irrigation under plastic film mulching; water use efficiency

我国是一个水资源短缺的国家, 节水是我们国家的基本国策, 而节水的关键是农业节水^[1-2], 内蒙古河套灌区是我国三大灌区之一, 根据黄委会对水量的统一调度, 2010 年河套灌区引水量已减少到 40 亿 m³, 引水量减少了 20%^[3], 引水量的减少意味着农业节水措施迫在眉睫。膜下滴灌作为当今世界上

最先进和最节水的灌水技术, 在大田作物上的应用, 提高了灌溉水分利用效率, 为解决水资源严重短缺提供了一条新的思路^[4]。膜下滴灌技术是将浅频灌溉的滴灌技术与覆膜种植栽培技术相结合^[5], 不仅能防止灌溉水深层渗漏, 而且大幅度降低棵间土壤水分的无效蒸发, 同时起到了增温保墒, 改善作物水

收稿日期: 2014-05-05
基金项目: 中国水科院科研专项“干旱区引黄膜下滴灌条件下的作物高效节水技术研究”(MK2012J10); “十二五”农村领域国家科技计划课题(2011BAD29B03)
作者简介: 范雅君(1986—), 女, 内蒙古赤峰人, 硕士, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: fanyajun230@163.com。
通信作者: 吕志远(1955—), 男, 内蒙古呼和浩特人, 教授, 主要从事节水灌溉理论技术应用研究。E-mail: lzy690816@sohu.com。

热环境的目的^[6]。国内外许多学者对不同作物的耗水与需水规律进行了大量的研究。李明思等^[7]研究表明,膜下滴灌土壤表层耗水量最大,而且膜内窄行土壤耗水量远大于膜外土壤耗水量。郑国保等^[8]对不同灌水量下日光温室辣椒膜下滴灌耗水规律研究结果表明,在全生育期内,辣椒的耗水量增加,耗水强度也相应增加,各生育时期耗水量和耗水强度也呈增加趋势,各处理耗水量均表现为结果盛期>结果末期>营养生长期>结果前期;耗水强度表现为结果前期>结果盛期>结果后期>营养生长期;李玉义等^[9]的研究结果表明,膜下滴灌处理番茄总耗水量较常规沟灌降低 8.37%~59.33%,总耗水量也随滴灌量的增加而增加。张振华等^[10]研究了充分供水和水分胁迫条件下膜下滴灌棉花的需水规律,确定了膜下滴灌棉花作物系数 K_c 的分布规律,建立了水分胁迫条件下 CWSI 和作物实际蒸发蒸腾量 ET_a 的函数关系。

目前在河套灌区关于玉米膜下滴灌灌溉制度的研究较少,本文通过 Jensen 模型动态规划法对河套灌区膜下滴灌条件下玉米的灌溉制度进行优化,从而为灌区玉米膜下滴灌的发展提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

田间试验分别于 2012 年和 2013 年在内蒙古自治区巴彦淖尔市西南部磴口县坝楞村试验站(N40°24'32",E107°02'19",海拔 1 072 m)进行。该地处于河套平原西部,属中温带大陆性季风气候。其特征是冬寒漫长,春秋短暂,夏季炎热,降水量少,气候干

燥,风沙多,光照充足,热量丰富,温差大,无霜期短。年平均降雨量 144.5 mm,主要集中在 7、8 月份,月平均降雨量为 36.5 mm 和 46 mm,相对湿度 47%;年均蒸发量 2 381 mm,主要集中在 5、6 月份,平均蒸发量为 337.8 mm 和 375.4 mm,干燥度 4.08;年平均日照时数 3 209.5 h,光合有效辐射为 3 152.02 MJ·m⁻²。植物生长期≥10℃积温约为 3 100℃,是我国光能资源最丰富的地区之一,年均无霜期 142 d。每年的 11 月至翌年 5 月为历时 200 余天的持续风季,构成磴口地区最为显著的气候特征。该试验区土壤状况为有机质 17.48 g·kg⁻¹,全氮为 0.36 g·kg⁻¹,速效磷为 10.49 mg·kg⁻¹,速效钾 162.43 mg·kg⁻¹,pH 值 8.12。膜下滴灌采用地下水滴灌,地下水的矿化度为 1.35 g·L⁻¹。试验区土壤质地见表 1。

1.2 试验设计

玉米膜下滴灌非充分灌溉试验于 2012 年和 2013 年 4—9 月进行,供试品种为西单 6 号。试验采用 70 cm 地膜,一膜一带,一膜两行的种植模式,株距为 26 cm,行距 45 cm,膜间距 70 cm。底肥施磷酸二胺 375 kg·hm⁻²、碳铵 150 kg·hm⁻²,碳铵可抑制地膜下杂草的生长;拔节及抽穗期追肥,每次追肥 225 kg·hm⁻²。试验采用单因子 6 水平,分别是 330、270、240、180、180、135 mm,2 个重复设计,共 12 个小区处理,试验小区面积为 72 m²(3.6 m×20 m)。以玉米全生育期滴灌 330 mm 为对照,各生育阶段分别发生不同水分亏缺为处理,具体试验设计方案见表 2。小区布置采用田间对比试验方法,在各小区间留有 50 cm 宽,40 cm 高的小埂以供试验灌溉和观测,并设有保护区。

表 1 试验区土壤质地
Table 1 Soil texture of the experimental field

土层深度 Soil depth /cm	容重 Density /(g·m ⁻³)	土壤颗粒分布/% Soil particle size distribution			土壤类型 Soil type
		0.05~1 mm	0.002~0.05 mm	<0.002 mm	
0~20	1.476	9.69	69.82	9.73	粉砂壤土 Silt loam
20~40	1.461	13.14	77.00	9.81	粉砂壤土 Silt loam
40~60	1.453	2.80	83.35	13.62	粉砂壤土 Silt loam
60~80	1.432	0.47	84.53	14.95	粉土 Silt

1.3 测试项目与方法

含水率:采用 TRIME-PICO TDR 和土钻取土相结合的方法,以 TDR 观测为主,每 5 天测量一次,期间定期用取土烘干法进行校核,播前、灌水前后及降雨后加测,测量深度为 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm。

1.4 玉米耗水量、水分生产函数和水分利用效率的确定

试验区设有自动气象站(HOBO),每小时自动采集一次气象数据,包括:空气相对湿度、太阳辐射、最高气温、最低气温、露点温度、大气压、风速、风向及降雨量等。

1.4.1 耗水量的确定 在全生育期内土壤含水量以取土烘干法和 TDR 相结合进行测定,取土与测定层次为 0~10 cm,10~20 cm,20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm。膜下滴灌条件下玉米的实际耗水量用水量平衡法计算

$$ET_c = M_i + K_i + P_i - \Delta W_i + D_i \quad (1)$$

式中, ET_c 为阶段作物实际耗水量(mm); P_i 为第 i 阶段降雨量,通过气象站测得(mm); M_i 为第 i 阶段灌

水量,由每次的灌溉水量得出(mm); K_i 为第 i 阶段地下水补给量,试验区土壤即非纯粘土也不是纯砂土,土壤是粘土与砂土相间,故地下水利用量采用中夹粘土资料,见表 3^[3]; D_i 为第 i 阶段土壤水渗漏量,由于年蒸发量较大,考虑到渗漏量一般很少,故近似 $D = 0$ (mm); ΔW_i 为第 i 阶段土壤储水量变化,土壤储水量(mm) 由公式 $W = \sum_{i=1}^3 r_i h_i \theta_i$ 计算得到。

表 2 试验设计
Table 2 Experimental design

项目 Items	ym1	ym2	ym3	ym4	ym5	ym6
全生育期 Whole growth period	11	10	8	8	6	6
灌溉次数 /次 Irrigation times	拔节 Jointing	2	2	2	2	2
	抽穗 Heading	3	3	2	2	1
	花期 Flowering	1	1	1	1	1
	灌浆 Filling	2	2	2	2	1
	乳熟 Milky	2	2	1	1	1
灌水定额 Irrigation quota/(mm·次 ⁻¹)	30	27	30	22.5	30	22.5
灌溉定额 Irrigation quota/mm	330	270	240	180	180	135

注:秋浇一水后按上表开展小区试验。Note: after the fall of a water to carry out experiment as the table.

表 3 不同埋深下的地下水利用量计算结果/(m³·hm⁻²)
Table 3 Groundwater used in different depth

埋深/m Depth	月份 Month							
	3	4	5	6	7	8	9	10
1.0	157.95	189.75	242.55	897.30	616.50	395.55	291.30	336.90
1.5	62.70	40.20	51.30	104.10	586.05	233.40	171.90	193.20
2.0	41.85	36.30	48.15	142.35	406.65	280.65	240.00	238.35
2.5	128.55	34.95	39.75	50.25	47.10	91.05	48.75	142.65
3.0	63.45	44.85	78.30	15.45	3.75	6.60	39.75	43.20
3.5	44.40	63.45	63.90	47.85	13.95	44.70	56.70	80.55

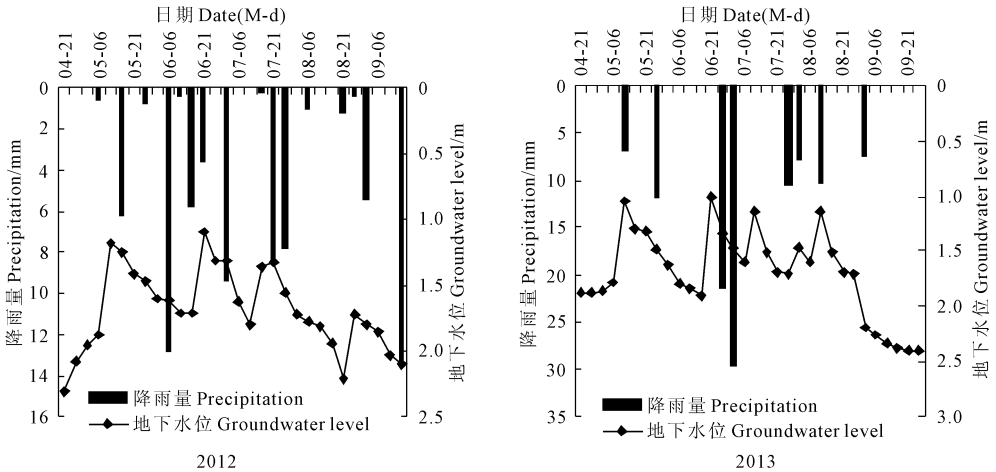


图 1 2012 年与 2013 年地下水及降雨量变化

Fig.1 Changes of groundwater and precipitation in 2012 and 2013

1.4.2 水分利用效率的确定 产量取每个小区长势均等的连续 10 株进行测产,再根据每小区的行距与株距计算出每小区的实际株数,然后再按面积折算确定。

水分生产函数采用动态规划法中的 Jensen 模型计算:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_{ai}}{ET_{mi}} \right)^{\lambda_i} \quad (2)$$

式中, Y_a 、 Y_m 分别为实际产量和最高产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); ET_{ai} 、 ET_{mi} 分别为对应实际产量和最高产量的阶段耗水量(mm); λ_i 为第 i 生育阶段的水分敏感指数。

作物水分利用效率采用下式计算

$$WUE = Y/ET_a \quad (3)$$

式中, WUE 为作物水分利用效率 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); Y 为作物产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

1.5 灌溉制度优化模型

(1) 阶段变量

阶段变量 n 为玉米各生育阶段的顺序编号, n 分别为 1, 2, 3, 4, 5。表示玉米的播种—拔节, 拔节—抽穗, 抽穗—花期, 花期—灌浆, 灌浆—乳熟。

(2) 决策变量

决策变量为各生育阶段的灌水量 m_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

(3) 状态变量

状态变量为各阶段初可用于分配的灌溉水量 q_i 及计划湿润层内可供作物利用的土壤水量 W_i , 其中 W_i 为土壤含水率的函数;

$$W_i = 10\gamma H(\theta - \theta_w) \quad (4)$$

式中, W_i 为计划湿润层内可供作物利用的总有效水量(mm); γ 为土壤容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); H 为计划湿润层深度(m); θ 为计划湿润层内土壤平均含水率(以占干土质量的百分数计); θ_w 为凋萎系数, 由实测土壤含水率资料得到。

(4) 系统方程

系统方程为描述状态转移过程中各变量之间的关系, 两个状态变量对应两个系统方程:

① 水量分配方程:

$$q_{i+1} = q_i - m_i \quad (5)$$

式中, q_i 、 q_{i+1} 分别为第 i 及第 $i+1$ 阶段初, 系统可用于分配的水量, 换算成单位面积水深(mm); m_i 为第 i 阶段的灌水定额。

② 计划湿润层土壤水量平衡方程:

$$W_{i+1} = W_i + P_i + K_i + M_i - ET_{ai} \quad (6)$$

式中, W_i 、 W_{i+1} 为第 i 阶段始末土壤计划湿润层内的储水量(mm); ET_{ai} 为第 i 阶段实际腾发量(mm); P_i 为有效降雨量(mm); K_i 为地下水补给量(mm); M_i 为灌溉水量(mm)。

(5) 目标函数

在可分配水量一定情况下, 采用 Jensen 模型, 追求单位面积的产量最大为目标, 即

$$F = \max\left(\frac{Y_a}{Y_m}\right) = \max \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_{ai}}{ET_{mi}} \right)^{\lambda_i} \quad (7)$$

式中各符号意义同前。

(6) 约束条件

约束条件包括灌水量约束, 土壤含水率约束和边界约束。

① 灌水量约束:

$$0 \leq m_i \leq q_i \quad (8)$$

$$\sum_i^n m_i = q \quad (9)$$

$$(ET_{\min})_i \leq (ET_a)_i \leq (ET_{\max})_i \quad (10)$$

式中, q 为全生育期单位面积可供水量(mm); $(ET_{\min})_i$ 、 $(ET_{\max})_i$ 分别为第 i 阶段的最小耗水量和最大耗水量(mm)。

② 计划湿润层土壤含水率约束:

$$\theta_w \leq \theta_i \leq \theta_f \quad (11)$$

式中, θ_i 为计划湿润层土壤平均含水率(占干土质量百分比); θ_f 为田间持水率(占干土质量百分比)。

③ 边界约束。土壤初始含水率约束:

$$\theta_1 = \theta_0 \quad (12)$$

$$q_1 = q \quad (13)$$

式中, θ_0 为初始计划湿润层土壤平均含水率(占干土质量百分比)。

(7) 递推方程

由于该模型有两个状态变量(q_i , W_i), 要有两个递推方程。采用逆序递推, 顺序决策, 其递推方程为: $f_i^*(q_i) = \max[R_i(q_i, m_i)f_{i+1}^*(q_{i+1})]$, $i = 1, 2, 3, \dots, n-1$

$$R(q_i, m_i) = \left(\frac{ET_{ai}}{ET_{mi}} \right)^{\lambda_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

$$f_n^*(q_n) = \left(\frac{ET_{ai}}{ET_{mi}} \right)^{\lambda_i}, i = n \quad (16)$$

式中, $R_i(q_i, m_i)$ 为 i 阶段在 q_i 状态下所得到的效益; $f_n^*(q_n)$ 为余留阶段的最大总效益; λ_i 为第 i 阶段的敏感系数。

2 结果与分析

2.1 不同水分处理玉米田间土壤水分动态变化

以玉米各生育阶段的延续时间为 x 轴, $0 \sim 60$ cm 土壤体积平均含水率的变化为纵轴, 绘制出各处理土壤水分动态变化曲线, 见图 2。

从图 2 中可以看出, 全生育期中各处理土壤含水率出现多个波峰点, 波峰点均是由灌水引起。6 月 7 日—6 月 22 日期间含水率受灌溉的影响较大, 此期间的含水率较其他时期高, 而在 7 月中下旬, 虽然期间有降雨和灌水, 但土壤含水率较 6 月低, 出现以上规律的原因是, 6 月 7—22 日大气温度较低, 地

面蒸发较弱, 同时玉米植株较小, 对水分需求也较小, 因此含水率随灌溉的增加有明显的变化; 而 7 月中下旬植株长高, 地面覆盖度增大, 相应作物蒸发蒸腾量变大, 作物对水分的利用量加大, 从而导致土壤水分变化较小。

从各处理土壤含水率变化过程可看出, 处理 ym1 土壤含水率较其他处理高, 可知含水率的变化随灌水定额的增加而变大, ym1 全生育期的平均含水率较 ym2、ym3、ym4、ym5、ym6 分别高 0.39%、1.23%、1.29%、1.38%、1.62%, 土壤含水率的大小与灌水定额密切相关。

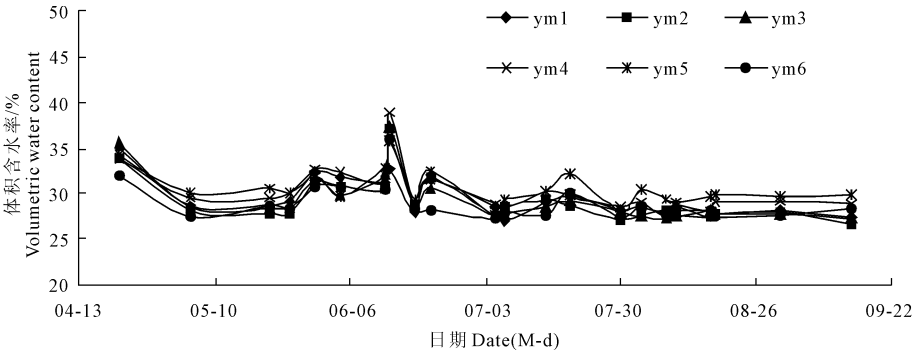


图 2 玉米生育期内 0~60 cm 土层平均土壤水分动态变化

Fig.2 Dynamics of soil moisture at 0~60 cm layer during corn growth period

2.2 不同水分处理下玉米生育期耗水量的分析

耗水量计算采用田间试验资料, 把玉米按 5 个生育阶段划分, 从播种到收获逐日逐阶段进行土壤含水率计算, 并逐日逐阶段进行有效降雨量分析, 然后计算出阶段耗水量和全生育期玉米的耗水量, 玉米的耗水量如图 3。

335.88~535.65 mm, 其中处理 ym1 的耗水量最大; 图 3 还显示, 玉米在拔节—抽穗这个阶段耗水量最大, 其次是抽穗—开花阶段, 此两个时期气温较高, 玉米生殖生长进入快速期, 相应的耗水量增大; 从抽穗—开花以后, 耗水量逐渐减少, 耗水量最小为开花—灌浆期, 灌浆量为 61~83.44 mm。

由图 3 可知, 玉米各处理全生育期耗水量为

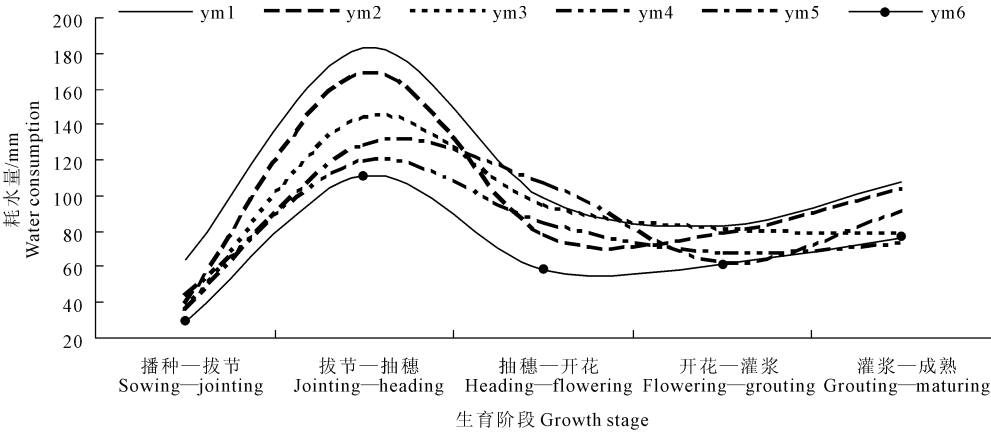


图 3 玉米膜下滴灌不同水分处理各生育期耗水量

Fig.3 Crop evapotranspiration at different stages for treatments of drip irrigation and plastic film mulching

2.3 不同水分处理下的产量和水分利用效率

从表 4 可知,玉米的产量随着耗水量的增大而增加,耗水量为 535.66 mm 时,玉米产量最高,为 12 871.83 kg·hm⁻²;在抽雄—花期和花期—灌浆期缺水的处理 ym5 和处理 ym6 产量均受到了较大的影响,与处理 ym1 相比产量分别降低 25.4% 和 36.1%,这是因为此时期的玉米正进入营养生长和生殖生长旺盛阶段,作物对水分的需求较大,此时期缺水,将会影响作物对生物量的累积,从而影响玉米

后期的生长发育。

从表 4 还可以看出,水分利用效率随着灌水量的增加,有降低的趋势;灌水量为 180 mm 的处理 ym5 的水分利用效率最高,为 2.93 kg·m⁻³,而灌水量为 270 mm 的处理 ym2,水分利用效率最低,为 2.69 kg·m⁻³;综合产量和水分利用效率的分析,在非充分膜下滴灌的条件下处理 ym3 为较优的灌水方案。

表 4 膜下滴灌条件下玉米耗水量、产量、水分利用效率

试验处理 Treatment	耗水量 Water consumption/mm						产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	水分生产率 Water productivity /(kg·m ⁻³)
	播种—拔节 Sowing— jointing	拔节—抽穗 Jointing— heading	抽穗—开花 Heading— flowering	开花—灌浆 Flowering— filling	灌浆—成熟 Filling— mature	全生育期 Growth period		
ym1	63.32	182.77	98.82	83.45	107.30	535.66	12871.83	2.83
ym2	39.49	168.15	77.14	78.18	102.81	465.77	12541.35	2.69
ym3	35.66	143.35	93.95	80.19	78.65	431.80	12069.75	2.79
ym4	35.25	127.71	106.30	61.18	90.94	421.39	11736.15	2.78
ym5	43.81	118.48	83.85	66.96	72.49	385.59	11296.50	2.93
ym6	28.52	111.41	57.96	61.82	76.17	335.88	9673.20	2.88

2.4 水分生产函数及灌溉制度优化

根据磴口试验站的实测资料推求出的敏感指标,得出 Jesen 模型下玉米的水分生产函数。其具体表达式为:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \left(\frac{ET_a}{ET_m}\right)_1^{0.0741} \times \left(\frac{ET_a}{ET_m}\right)_2^{0.2140} \times \left(\frac{ET_a}{ET_m}\right)_3^{0.8143} \times \left(\frac{ET_a}{ET_m}\right)_4^{0.3865} \times \left(\frac{ET_a}{ET_m}\right)_5^{0.0356}$$

根据 2012 年和 2013 年的试验数据,利用最小二乘法将 Jesen 模型转换为求解线性方程组,采用线性回归的方法再结合 MATLAB 软件即可求出不同年份各生育阶段的水分敏感指数,将两年进行平均,计算结果如表 5。由表 5 中的敏感指数可知,玉米在抽穗—花期对水分的敏感性最强,此时期缺水将会对产量造成严重减产;在苗期一定程度的缺水,对产量的影响较小。

利用表 5 的基本参数,以产量最大为目标进行灌溉制度优化,优化结果如表 6,从表 6 可以看出,随着灌水量的增加,玉米的产量也增加。在不同的供水条件下,灌水量主要集中在抽穗—开花和开花—灌浆期,苗期和成熟期灌水量较小。因此当灌水量较小时,应先满足对水分敏感性强的抽穗—开花和开花—灌浆这两个时期,从而获得理想的产量。

灌溉制度的优化结果表明:当灌水量达到 275 mm 时,再增加灌水量,相对产量的增幅变小;灌水量在 275 ~ 375 mm 之间时,玉米的实际产量接近甚至超过最大产量。其相应的优化灌溉制度为苗期—拔节灌水量为 25 ~ 30 mm,拔节—抽穗的灌水量为 40 ~ 60 mm,抽雄—开花的灌水量为 115 mm,开花—灌浆和灌浆—乳熟的灌水量分别为 80 mm 和 20 ~ 40 mm。最佳灌溉间隔时间为 7 d。

表 5 玉米优化灌溉制度参数

Table 5 Optimum irrigation regime for corn production				
生育阶段 Growth stage	阶段最大 耗水量 The maximum water consumption of stage	敏感指数 λ Sensitive index	有效降雨 量 P/mm Effective rainfall	地下水补 给量/mm Groundwater recharge
播种—拔节 Sowing—jointing	63.32	0.0741	18	2.38
拔节—抽雄 Jointing—heading	182.77	0.2140	6.2	8.24
抽穗—开花 Heading—flowering	98.82	0.8143	0	6.36
开花—灌浆 Flowering—filling	83.45	0.3865	16.2	7.93
灌浆—乳熟 Filling—mature	107.30	0.0356	5.4	5.82

表 6 玉米膜下滴灌优化灌溉制度

Table 6 Optimum irrigation regime for corn with drip irrigation and plastic mulching

灌溉定额 Irrigation quota /mm	灌水量 Irrigation amount/mm					Y_a/Y_m
	播种— 拔节 Sowing — jointing	拔节— 抽穗 Jointing — heading	抽穗— 开花 Heading — flowering	开花— 灌浆 Flowering — filling	灌浆~ 乳熟 Filling — mature	
75	0	0	60	15	0	0.266
125	0	20	65	30	10	0.394
175	15	20	80	50	10	0.541
225	15	35	95	65	15	0.721
275	15	40	115	80	25	0.916
300	25	60	115	80	20	0.992
325	30	60	115	80	40	1.018

3 结 论

通过两年的田间试验,对玉米膜下滴灌的耗水量、产量、水分利用效率进行了分析,结合 Jensen 模型建立了玉米水分生产函数,并对河套灌区玉米的灌溉制度进行了优化,得出结论如下:

- 1) 玉米的耗水规律为在拔节 – 抽雄阶段出现波峰,在其后几个阶段的耗水量逐渐减小,可见玉米在拔节—抽雄期的耗水量最大,而在苗期耗水量最小,这个时期亏水对产量的影响不明显。
- 2) 膜下滴灌条件下,玉米全生育期的耗水规律呈中间高两头低的变化,全生育期耗水量为 536 mm 时,其产量最高。以产量最大为目标函数,确定玉米的最优灌溉制度为:苗期—拔节灌水量为 20 ~ 40 mm,拔节—抽穗的灌水量为 40 ~ 60 mm,抽雄—开花的灌水量为 115 mm,开花—灌浆和灌浆—乳熟的

灌水量分别为 80 mm 和 20 ~ 40 mm。灌溉定额为 275 ~ 325 mm,较本地常规地面灌每公顷节水 2 546.25 ~ 3 296.25 mm,节水效果十分显著。

3) 在耗水量与产量的关系中,由于膜下滴灌灌水量较小,所需的耗水量较常规(畦灌)小,因此耗水量与产量关系呈上升阶段,这与胡顺军等^[11]研究结果一致。在本研究中,由于所用模型的局限性,对灌溉制度的优化没有具体到灌水日期,建议在后续的研究中改进模型,制定出更完善的灌溉制度。

参 考 文 献:

[1] 陈传友,王春元.水资源与可持续发展[M].北京:中国科学技术出版社,1999,1:11-15.

[2] 张 芮.制种玉米膜下滴灌调亏灌优化制度及土壤水热高效利用研究[D].兰州:甘肃农业大学,2007.

[3] 田德龙.河套灌区盐分胁迫下水肥耦合效应机理及模拟研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.

[4] 张振华.微源入渗特性规律与膜下滴灌作物需水量研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2002.

[5] 马富裕,严以绥.棉花膜下滴灌技术理论与实践[M].乌鲁木齐:新疆大学出版社,2002.

[6] 胡晓棠,李明思,马富裕.膜下滴灌棉花的土壤干旱诊断指标与灌水决策[J].农业工程学报,2002,18(1):49-53.

[7] 李明思,康绍忠,杨海梅.地膜覆盖对滴灌土壤湿润区及棉花耗水与生长的影响[J].农业工程学报,2007,23(6):49-54.

[8] 郑国保,孔德杰,张源沛,等.灌水量对日光温室辣椒膜下滴灌耗水规律的影响[J].农业科学研究,2010,31(4):50-52.

[9] 李玉义,逢焕成,陈 阜,等.膜下滴灌对加工番茄水分利用效率与品质的影响[J].灌溉排水学报,2009,(4):83-86.

[10] 张振华,蔡焕杰,杨润亚.水分胁迫条件下膜下滴灌作物蒸发蒸腾量计算模式的研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(5):148-151.

[11] 胡顺军,田长彦,王 方,等.膜下滴灌棉花水肥耦合效应研究初报[J].干旱区资源与环境,2005,19(2):192-195.