

喷灌条件下不同灌溉施肥对玉米 耗水和产量的影响

王海瑞¹, 吕志远¹, 汤鹏程², 苗 澍², 郭克贞², 任 杰²

(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)

摘要: 通过野外实测资料, 定量研究大型喷灌条件下不同灌水量(3个水平)和肥力(3个水平)处理对玉米耗水规律、产量和水分生产效率的影响。结果表明, 拔节期和灌浆期是玉米需水的关键阶段; 玉米不同处理在各生育期耗水量在 25.63 ~ 182.74 mm 之间变化, 变幅较大。相同肥力处理下, 玉米各生育期耗水量总体变化均呈现先升高后降低的变化趋势; 相同水分处理下, 玉米耗水量、产量随肥力的增加而增加; 对比分析发现, 产量对水量变化的敏感程度远高于施肥量变化的敏感程度; 玉米全生育期总耗水量与玉米产量之间呈现良好的抛物线关系 ($R^2 = 0.829$), 耗水量为 $4\ 673\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 时产量 Y 值最大, 为 $11\ 151\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在同等灌水和施肥条件下, 处理 SF-9 比 SF-10(CK)增产 8.40%, 水分生产效率提高 15.0%, 其它处理增产 7.89% ~ 54.51%, 喷灌条件下玉米增产效果明显。

关键词: 大型喷灌; 玉米; 需水规律; 肥力; 水分生产率; 产量

中图分类号: S275.5; S513 **文献标志码:** A

Effect of different irrigation and fertilization on water consumption and yield of corn under the condition of sprinkler irrigation

WANG Hai-rui¹, LV Zhi-yuan¹, TANG Peng-cheng², MIAO Shu², GUO Ke-zhen², REN Jie²

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Water Conservancy and Civil Engineering College, Hohhot,

Inner Mongolia 010018, China; 2. Hydroelectric and Water Conservancy Science Institute of China,

Institute of Water Conservancy Science in Pastoral Areas, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China)

Abstract: Through the actual measured data in field, quantitatively researched the effects of different irrigation amounts (three levels) and fertilities (three levels) to the water consumption rule, yield and water production efficiency of corn under the conditions of large scale sprinkler irrigation. The results showed that: The jointing stage and filling stage were the critical period of corn water requirements. The water consumption of corn in each growth stage with different treatments were change between 25.63 mm to 182.74 mm, the change range was rather big. Under the same fertility treatment, the overall variation of corn's water consumption in each growth stage was showed the change trend as first increase and then decrease. Under the same water treatment, the corn water consumption and yield were increased with the fertility increase. According to the comparison, found that the sensitivity of water to production was bigger than the sensitivity of fertilization. The relationship between total water consumption of corn in whole growth period with the yield was showed a good parabolic relation ($R^2 = 0.829$) and obtained when the water consumption was $4\ 673\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, the corn yield will be the highest as $11\ 151\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. Under the same condition of irrigation and fertilizaer, the yield of SF-9 treatment will be increased production of 8.4% than SF-10(CK), the water production efficiency will be increased 15%. Other treatments will be increased the production from 7.89% to 54.51%. Under sprinkler irrigation condition, the effect of increasing corn production was obvious.

Keywords: large-scale sprinkler irrigation; corn; water quirement regulation; fertility; water production efficiency; yield

收稿日期: 2015-10-27

基金项目: 国家科技支撑“东北四省(区)节水增粮高效灌溉技术研究与规模示范”(2014BAD12B03); 内蒙古自治区水利厅科技攻关“通辽平原玉米喷灌水肥一体化技术研究”(2015CD1543)

作者简介: 王海瑞(1989—), 男, 内蒙古鄂尔多斯人, 硕士, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: 672803722@qq.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.

内蒙古东部区是国家重要商品粮基地,地处半干旱地带,干旱是制约当地农业经济发展的主要因素。喷灌作为工程节水的灌溉形式普遍应用于实际中,改善了农田生产环境,调节作物生理过程,取得了一定增产节水的效果^[1-2]。喷灌条件下土壤水分的空间分布与传统灌溉有明显差异^[3-4],姚素梅等^[5]研究表明,喷灌有利于植株对干物质的积累,其干物质总量明显高于地面灌溉条件下。张玲^[6]认为大部分农艺性状、产量构成因素及叶片叶绿素含量对施肥水平的反应敏感,随施肥量的提高而明显得到促进。因此在喷灌条件下全面了解作物需水规律对于大力发展高效节水农业,缓解水资源短缺和提高作物水分利用效率具有重要意义^[7]。本试验利用大型喷灌机对玉米灌水量和施肥量进行控制,从而分析玉米的耗水规律,研究不同灌溉、施肥处理对玉米产量和水分生产效率的影响,得到水量和施肥量最佳融合点,为内蒙古东部地区节水增粮提供理论依据。

1 材料与方法

大型喷灌小区试验于2014年4—10月在内蒙古通辽市科左中旗保康镇巨宝山村(东经121°08′~123°32′,北纬43°32′~44°32′)进行。试验区在内蒙古东端、大兴安岭东南边缘、西辽河北岸,是松辽平原向内蒙古高原的过渡地带。试验区属于温带大陆性季风气候,夏季雨热同步,雨量较集中;秋季短促,降温快;冬季干冷漫长。全年最高气温35.8℃,最低气温-25.1℃,年平均气温7.1℃,无霜期为202 d,全年日照2 891.7 h,年平均降雨269.7 mm。对核

心试验田的土壤物理性状进行了测定,该试验区土层厚度0~100 cm田间持水量25.66%~29.35%,各层土壤平均干容重为1.554 g·cm⁻³,土壤类型为砂质壤土。

经过实际调研,玉米新品种京科968在当地具有较好的适应性和较高的产量水平,所以选用京科968为供试作物。试验采用正交试验法,根据示范区土壤特性和玉米需水、需肥规律,结合大型喷灌机主要技术参数,开展大型喷灌条件下玉米灌溉制度与水肥一体化田间试验研究。试验示范区面积120 m×252 m=3.024 hm²,采用平移喷灌机灌溉,2跨,每跨60 m,采用管道供水。试验采用4因素(水、氮、磷、钾)3水平(高、中、低)正交试验,具体试验因素水平设计如表1所示。试验共设9个不同正交设计处理与1个常规大田对照处理,共计10个试验处理。每个处理小区面积为25.0 m×50.0 m=1 250 m²,因小区面积大于300 m²,故设2次重复,共18个小区。试验小区之间隔离带宽1.5 m,边界保护区宽5~6 m。对照处理采用试验地附近当地农民种植地块。该处理所有耕作均按当地传统种植模式进行,同时观察各个生育期的生长状况及玉米产量。每个小区土壤水分、玉米生长状况以及产量观测点不少于2个。土壤含水率的测定采用烘干和仪器测定两种方法,烘干法使用土钻取土,烘箱烘干,仪器测定采用HH2型TDR土壤水分测定仪,共埋设TDR管48根。每个点分层0~20、20~40、40~60、60~80各测两次,从开始播种至收获结束每5天测一次,灌水与降雨前、后均加测一次。

表1 玉米灌溉施肥试验因素水平设计表

Table 1 The design table for experimental factors and levels of corn's irrigation and fertilizer

处理水平 Treatment	处理因素 Levels factors production target			
	W 全生育期灌水量/mm Total irrigation	N/(kg·hm ⁻²)	P ₂ O ₅ /(kg·hm ⁻²)	K ₂ O/(kg·hm ⁻²)
1	200(高 High)	300(高 High)	135(高 High)	225(高 High)
2	130(中 Medium)	225(中 Medium)	90(中 Medium)	150(中 Medium)
3	70(低 Low)	150(低 Low)	45(低 Low)	75(低 Low)

注:(1)表中N、P₂O₅、K₂O肥的施用比例通过三料复合肥与尿素进行调配。(2)本设计的低肥处理参照周边农民传统玉米种植的施肥量。

Note:(1) The application ratio of N、P₂O₅、K₂O fertilizer was mixed by the three compound fertilizer and urea. (2) Low fertilizer treatment was referenced with the local farmers traditional apply fertilizer rate of corn.

2014年,本试验区降雨多小雨,平均降雨深度小于3 mm的为无效降雨,玉米生育期内有效降雨量为244.04 mm,属于一般干旱年份。2014年玉米生育期降雨分布情况见表3。

本试验小区通过水分仪对各个小区的水分进行实时监测,当处理达到水分下限时,及时灌水达到田间持水量。通过控制喷灌机的行走速度控制灌水量,其中高水处理的实际灌水定额是49.05 mm,共

灌水 4 次,中水处理的灌水定额为 64.25 mm,共灌水 2 次,低水处理的灌水定额为 73.65 mm,共灌水 1 次,当地处理(SF-10)的灌水是当地农民使用指针喷灌机灌水,灌水量根据当地农民灌水经验得到,我们通过水表读数进行量测。2014 年各个生育期灌溉水量见表 4。

本文采用土壤水量平衡法^[8]计算不同处理的需水状况,总水量按如下公式计算:

$$ET = P + I - \Delta SWS + Q \quad (1)$$

式中, ET 为总需(耗)水量; P 为生长季的某一时段有效降雨量; I 为某一时段有效灌溉量; ΔSWS 为土壤储水量变化; Q 为地下水的补给量和渗漏量。地下水补给量和渗漏量计算将 0 ~ 80 cm 的土壤层看成一个整体,通过达西公式计算下边界的出流量。

$$Q = -K(h) \frac{dH}{dL} \quad (2)$$

式中, $K(h)$ 为非饱和导水率; dH 为土壤间的势能差; dL 为计算势能差的土壤间距,本文中为 20 cm。本研究中把作物根层土壤分为 4 层,依据如下公式计算土壤水储量 ΔSWS :

$$\Delta SWS = W_2 - W_1 \quad (3)$$

$$W_i = \sum_{i=20}^{i=80} \theta_i H_i \quad (4)$$

式中, W_1 为生育期前土壤贮水量(mm); W_2 为生育期后土壤贮水量(mm); θ_i 为距土壤地表 i cm($i = 20, 40, 60, 80$ cm) 处的体积含水率值。

表 2 正交试验 4 因素 3 水平处理设计表

Table 2 The design table for orthogonal text with 4 factors and 3 levels

处理编号 Treatment	W	N	P	K
SF-1	1	1	1	1
SF-2	1	2	2	2
SF-3	1	3	3	3
SF-4	2	1	1	1
SF-5	2	2	2	2
SF-6	2	3	3	3
SF-7	3	1	1	1
SF-8	3	2	2	2
SF-9	3	3	3	3
SF-10(CK)	以周边农民传统的玉米种植田块为对照处理 The local farmer traditional corn planting field was regarded as controll treatment			

表 3 不同生育阶段划分与降雨量

Table 3 Division of different growth stages and rainfall

项目 Item	生育期 Growth stages				
	播种 ~ 出苗 Sowing ~ Seeding stage	苗期 Seeding stage	拔节期 Jointing stage	抽雄期 Heading stage	灌浆期 Filling stage
生育期划分(月-日) Division of growth period(m-d)	04-27~05-20	05-20~06-24	06-24~07-23	07-23~08-15	08-15~09-28
降雨量 Rainfall/mm	0	3.2	196.03	0	44.81

表 4 玉米各生育期灌溉水量

Table 4 Irrigation amount of corn in each growth stage

处理 Treatment	灌水量 Irrigation amount/mm					
	总灌水量 Total irrigation	播种到苗期 Sowing ~ Seeding stage	苗期 Seeding stage	拔节期 Jointing stage	抽雄期 Heading stage	灌浆期 Filling stage
SF-1	196.20	49.05	49.05	0	49.05	49.05
SF-2	196.20	49.05	49.05	0	49.05	49.05
SF-3	196.20	49.05	49.05	0	49.05	49.05
SF-4	128.50	0	64.25	0	0	64.25
SF-5	128.50	0	64.25	0	0	64.25
SF-6	128.50	0	62.25	0	0	64.25
SF-7	73.65	0	0	0	0	73.65
SF-8	73.65	0	0	0	0	73.65
SF-9	73.65	0	0	0	0	73.65
SF-10(CK)	83.10	0	38.10	0	0	45.00

2 结果与分析

2.1 不同灌溉施肥处理玉米生育期耗水规律

2.1.1 各生育期的地下水补给量与渗漏量 大型喷灌条件玉米各生育期地下水的补给量和渗漏量是将0~80 cm的土壤层看成一个整体,通过达西公式计算下边界的出流量。2014年玉米各生育期内地下水的补给量和渗漏量如表5所示。

表5 大型喷灌条件玉米各生育期地下水的补给量和渗漏量

Table 5 Groundwater recharge and leakage in each growing stage of maize under condition of large scale sprinkling irrigation

处理 Treatment	地下水补给量和渗漏量 Ground water recharge and leakage/mm					
	总入渗量 Total cumulative infiltration	播种到苗期 Sowing~Seeding stage	苗期 Seeding stage	拔节期 Jointing stage	抽雄期 Heading stage	灌浆期 Filling stage
SF-1	-55.68	-24.20	-2.75	-2.91	-10.87	-14.95
SF-2	-40.00	-17.49	-4.11	-6.95	-3.97	-7.48
SF-3	-51.32	-16.16	-8.26	-3.43	-7.99	-15.49
SF-4	-7.92	-21.53	2.21	-0.22	12.18	-0.57
SF-5	-24.37	-32.92	0.01	2.62	4.73	1.18
SF-6	0.55	-32.87	9.08	-9.18	26.32	7.20
SF-7	16.04	-35.73	41.66	-11.05	18.68	2.48
SF-8	9.44	-40.95	43.57	-8.52	14.71	0.63
SF-9	12.98	-42.86	38.39	-9.73	40.57	-13.39
SF-10	4.29	2.46	-4.22	-17.01	15.01	8.04

2.1.2 喷灌条件下不同灌溉施肥处理玉米各生育期耗水规律 利用水量平衡公式对大型喷灌条件下玉米不同处理各生育阶段的耗水量进行计算,玉米各生育阶段耗水量如图1所示。

由图1A可以看出,在高水分处理下,SF-1、SF-2、SF-3处理各生育期的耗水量明显比SF-10(CK)高,施肥量对各生育期耗水量的影响比较大,说明高水分条件下肥量是敏感因素。由图1B可以看出,在中水分处理下,SF-4、SF-5、SF-6处理各生育期的耗水量高于SF-10(CK),各处理间相差没有高水分处理下变化大,施肥量对各生育期的耗水量影响不大。由图1C可以看出,在低水分处理下,SF-7、SF-8处理部分生育期的耗水量略高于SF-10(CK),SF-9的全生育期总耗水量低于SF-10(CK)。低水分处理中,施肥量对各生育期的耗水量基本没影响,甚至出现负作用,此水分下肥量不是敏感因素。从图1A~C整体耗水量比较看,高水分处理的(SF-1、SF-2、SF-3) > 中水分处理的(SF-4、SF-5、SF-6) > 低水分处理的(SF-7、SF-8、SF-9),

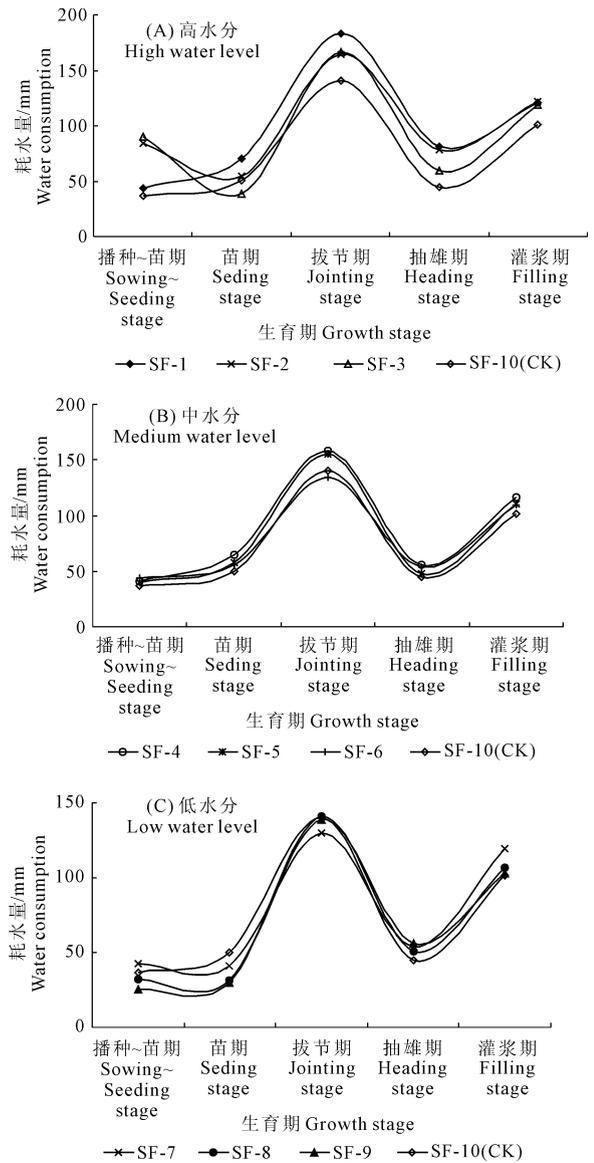


图1 不同施肥水平下玉米各生育期的耗水量

Fig.1 The corn water consumption in each growth stage under different fertilization level

全生育期总耗水量关系是 SF-2 > SF-1 > SF-3 > SF-4 > SF-5 > SF-6 > SF-7 > SF-10(CK) > SF-8 > SF-9 处理。各生育期的耗水量随灌水量的增加而增加。喷灌条件下玉米的全生育期耗水量总体变化均呈现先升高后降低最后又升高的变化趋势,各生育期的耗水量关系是拔节期 > 灌浆期 > 抽雄期 > 苗期 > 播种至出苗期。播种至出苗期和苗期植株覆盖度较低,气温较低,这一时段玉米耗水以土壤蒸发为主。随着作物的生长发育,耗水量不断增大,到拔节期达到最大。在拔节期玉米由快速生长期进入生长旺盛期,植物覆盖度开始达到最大,田间裸露地表不断减少,作物腾发量主要以作物蒸腾为主;同时,该阶段作物生长发育进入相对成熟的阶段,光合

作用较为活跃,蒸腾需水达到最大。另外 2014 年该地区降雨极不平衡,主要集中在拔节期,所以供水充足,耗水量也相应地比较大;抽雄期~灌浆期,玉米不同处理的耗水量达到全生育期的第二峰值,这是因为该阶段生殖生长和营养生长并进,生长旺盛,根茎叶逐渐健全,叶面积最大,地面覆盖达到最大,生长发育耗水剧增。玉米不同处理在各生育期耗水量在 25.63~182.74 mm 之间变化,变幅较大。

分析相同水分处理不同施肥量下玉米各生育期

耗水量的显著水平如表 6。高水分处理下,各生育期耗水量总体是 SF-1、SF-2 处理与 SF-3 处理差异极显著,总耗水量是 SF-2 处理与 SF-2、SF-3 处理差异显著;中水分处理下,各生育期耗水量总体是 SF-4 处理与 SF-5、SF-6 处理差异显著,总耗水量是 SF-4 与 SF-5 处理差异极显著,SF-5 处理与 SF-6 处理差异极显著;低水分处理下,各生育期的耗水量差异不显著。

表 6 不同施肥量对玉米各生育期耗水量的影响

Table 6 The influence of different fertilization level to the corn water consumption in each growth stage

处理 Treatment		差异显著性 Difference significant					
		播种到苗期 Sowing ~ Seeding stage	苗期 Seeding stage	拔节期 Jointing stage	抽雄期 Heading stage	灌浆期 Filling stage	全生育期 Whole growth period
高水 High water level	SF-1	43.96aA	70.28aB	182.74aA	81.68bB	120.72aA	451.87abA
	SF-2	84.59bB	54.76aAB	164.61aA	78.62bB	121.68aA	461.25bA
	SF-3	90.39bB	38.19aA	166.75aA	58.94aA	118.34aA	444.62aA
中水 Medium water level	SF-4	40.80aA	64.18bA	158.23bA	55.64aA	116.74aA	415.58bB
	SF-5	39.51aA	57.75aA	154.87bA	48.09aA	110.46aA	410.67aAB
	SF-6	43.97aA	55.65aA	134.47aA	53.45aA	109.79aA	410.33aA
低水 Low water level	SF-7	42.84aA	41.30aA	129.77aA	53.44aA	119.74bA	376.09aA
	SF-8	32.44aA	31.03aA	141.23aA	50.78aA	106.84abA	386.32aA
	SF-9	25.63aA	29.80aA	138.48aA	55.96aA	103.24aA	371.11aA

注:大写字母表示差异达 0.01 显著水平,小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

Note: Capital letters indicate significant differences at the level of 0.01, small letters indicate significant differences at the level of 0.05.

在大型喷灌条件下对玉米不同处理各生育阶段的耗水模数进行计算,结果见表 7。

由表 7 可知,2014 年玉米各生育期耗水模数与耗水量总体变化一致,拔节期和灌浆期较高,苗期、播种到苗期的比较低。这说明玉米在拔节期和灌浆

期生长速度快,叶面蒸腾大,耗水量也就大。这两个生育期总体呈现前期低、中期高、后期降低的变化趋势,其中拔节期和灌浆期的耗水量总和占玉米全生育期耗水量的 60% 以上。

表 7 2014 年玉米不同处理各生育期阶段耗水模数

Table 7 The corn's water consumption modulus for each growth stage under different treatment in 2014

处理 Treatment	耗水模数 Water consumption modulus/%				
	播种到苗期 Sowing ~ Seeding stage	苗期 Seeding stage	拔节期 Jointing stage	抽雄期 Heading stage	灌浆期 Filling stage
SF-1	8.80	14.07	36.59	16.36	24.17
SF-2	16.78	10.86	32.64	15.59	24.13
SF-3	19.13	8.08	35.28	12.47	25.04
SF-4	9.37	14.73	36.33	12.77	26.80
SF-5	9.62	14.06	37.71	11.71	26.90
SF-6	11.07	14.01	33.84	13.45	27.63
SF-7	11.07	10.67	33.52	13.81	30.93
SF-8	8.95	8.56	38.98	14.02	29.49
SF-9	7.26	8.44	39.22	15.85	29.24
SF-10(CK)	9.85	13.41	37.60	12.06	27.08

2.2 喷灌条件下玉米产量、水分生产率与耗水量的关系

玉米每消耗 1 m^3 水所能生产的子粒产量定义为水分生产率:

$$WUE = Y/ET \quad (5)$$

式中, Y 为玉米产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); ET 为玉米耗水量 ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)。

为了试验结果更加明显,本文以当地玉米产量为基础,计算各处理的水分生产效率和增产率,计算结果见表8。

表8 不同水分处理下玉米产量、水分生产率和增产率

Table 8 The corn's yield, water production efficiency and yield increasing rate under different water treatments

处理 Treatment	耗水量 Water consumption $/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	产量 Yield $/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	水分生产率 Water production efficiency $/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	增产率 Yield increasing rate/%
SF-1	4993.75	9247.50	1.85	54.51
SF-2	5042.55	8460.00	1.68	41.35
SF-3	4726.16	8432.50	1.78	40.89
SF-4	4355.81	10005.00	2.30	67.17
SF-5	4106.69	8655.00	2.11	44.61
SF-6	3973.26	8595.00	2.16	43.61
SF-7	3870.93	7590.00	1.96	26.82
SF-8	3623.21	6457.50	1.78	7.89
SF-9	3531.10	6487.50	1.84	8.40
SF-10(CK)	3734.21	5985.00	1.60	0.00

从表8可以看出, SF-4处理的产量最大,为 $10\,005 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, SF-4处理的水分生产率最大,为 $2.30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, SF-10(当地)处理的产量为 $5\,985.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, SF-10(当地)处理的水分生产率为 $1.60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,其中 SF-8、SF-9处理的耗水量低于当地灌水方式的 SF-10处理,而玉米产量高于 SF-10处理的产量,处理 SF-9比 SF-10(CK)增产 8.40% ,水分生产效率提高 15.0% ,其它处理增产在 $7.89\% \sim 54.51\%$,水分生产效率提高 $5\% \sim 43.75\%$ 之间,喷灌条件下增产效果明显。从表8还可以得出当耗水量接近时,产量随施肥量的增加而增加,其中低水处理时施肥量的增加对产量增加的速率最大。当施肥量一定时,随着耗水量的增加,产量逐渐增大,当耗水量增加到一定程度时,产量增加变缓,开始呈现“报酬递减”现象,当产量达到最大值后如继续增加耗水量,产量不增反降^[9]。高肥处理下产量随耗水量的增加的效率最大。综上所述,产量随灌水量增加的效率远高于随施肥量增加的效率,即产量对水量变化的敏感程度远高于施肥量变化的敏

感程度。

图2为玉米产量 Y 与玉米生育期总耗水量 ET 的关系曲线。由图可见,二者之间呈现良好的抛物线关系,其回归方程为:

$$Y = aET^2 + bET + c \quad (6)$$

式中, a 、 b 、 c 为回归系数。

由式(6)对图1中各点拟合得方程:

$$Y = -0.0031ET^2 + 28.04ET - 54369 \quad (7)$$

$$R^2 = 0.829$$

二次函数关系存在极值,所以一阶导数 $dY/dET = 0$ 处,玉米产量为最大值。由式(7)求得,得到 $ET = 4\,673 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 时产量 Y 值最大,为 $11\,151 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

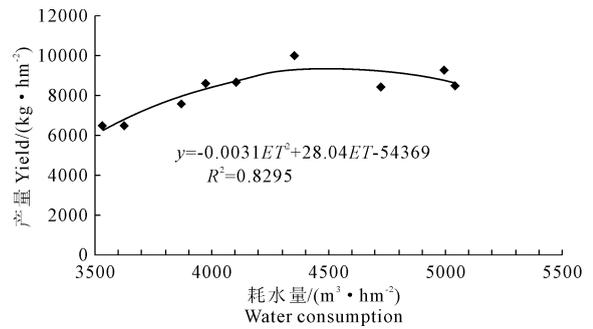


图2 玉米产量与耗水量的关系曲线

Fig.2 The relation curve of corn yield with water consumption

3 结论

1) 喷灌条件下,拔节期和灌浆期是玉米需水关键阶段。灌水定额越大,玉米各生育期的耗水量越大,玉米不同处理各生育期耗水量在 $25.63 \sim 182.74 \text{ mm}$ 之间变化,变幅较大。各生育期耗水量与耗水模数总体为拔节期 > 灌浆期 > 抽雄期 > 苗期 > 播种至出苗期,拔节期和灌浆期的耗水量总和占玉米全生育期耗水量的 60% 以上,耗水量总体呈现前期低、中期高、后期降低的变化趋势。

2) 喷灌条件下不同灌溉施肥处理玉米各生育期耗水规律。同肥力条件下,喷灌条件下玉米各生育期耗水量总体变化均呈现先升高后降低的变化趋势,玉米各生育期耗水量随灌水量的增加而增加;在高水分处理下,施肥量对各生育期耗水量的影响比较大,在中水分处理下,施肥量对各生育期的耗水量影响不大。低水分处理中,施肥量对各生育期的耗水量基本没影响,甚至出现负作用,此水分条件下肥量不是敏感因素。产量对水量变化的敏感程度远高于施肥量变化的敏感程度。

(下转第107页)

处理的地膜秸秆覆盖(T_{12})形成显著性差异($P < 0.05$)。综合考虑葡萄果粒大小(外观品质)、营养品质(可溶性固形物、 V_c)、产量、水分生产效率等指标,适度亏水处理的地膜覆盖处理(T_{22})葡萄新梢生长速度、果实大小重量、葡萄品质和产量及水分利用效率均达到最高水平,是设施延后栽培葡萄水分覆盖最佳管理模式。

对于未进行地表覆盖的处理(T_{11} 、 T_{21}),适度调亏灌溉(T_{21})和标准灌水(T_{11})相比,葡萄植株新梢生长速率、果实大小、重量和葡萄果实可溶性固形物含量、 V_c 含量均没有显著性差异($P > 0.05$),说明适度调亏灌溉后,葡萄在经受适度的干旱后存在着补偿效应,在其它条件不变的情况下,在节约大量用水的同时,葡萄的生长特性和品质不受影响,这与孟兆江等^[15]关于调亏灌溉的研究结果相一致。

参考文献:

- [1] 燕雪蒙,朱春云.西宁地区红地球葡萄设施延后栽培适应性探讨[J].青海大学学报(自然科学版),2012,30(3):39-42.
- [2] 张芮,成自勇,李毅,等.小管出流亏缺灌溉对设施延后栽培葡萄产量与品质的影响[J].农业工程学报,2012,28(20):108-113.
- [3] 徐淑伟,刘树庆,杨志新,等.葡萄品质的评价及其与土壤质地的关系研究[J].土壤,2009,41(5):790-795.
- [4] 康绍忠,蔡焕杰.作物根系分区交替灌溉和调亏灌溉的理论与实践[M].北京:中国农业出版社,2002.
- [5] 康绍忠.新的农业科技革命与21世纪我国节水农业的发展

[J].农业工程学报,1998,(1):13-14.

- [6] Zhai Sheng, Wang Juyuan, Liang Yinli. Effects of soilsurface mulching on cucumber production and water useefficiency in solar greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2005,21(10):129-133.
- [7] 吴兴,梁银丽.覆盖方式对温室辣椒结果期生长和水分利用的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(1):55-58.
- [8] Mohapatra B K, Lenka D, Naik D. Effect of plastic mulching on yield and water use efficiency in maize[J]. Annals of Agric Res, 1998,19:210-211.
- [9] 王友贞,袁江,许浒,等.水稻旱作覆膜的增温保墒效果及其对生育性状影响研究[J].农业工程学报,2002,18(2):29-31.
- [10] Chattopadhyay P K, Pathra S C. Effect of mulches on soil temperature in Pomegranate[J]. Indian J Hort, 1997,54(4):280-282.
- [11] Zhai Sheng, Wang Juyuan, Liang Yinli. Effects of soil surface mulching on cucumber production and water use efficiency in solar greenhouse[J]. Chinese transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005,21(10):129-133.
- [12] 陈素英,张喜英,刘孟雨.玉米秸秆覆盖麦田下的土壤温度和土壤水分动态规律[J].中国农业气象,2002,23(4):34-37.
- [13] 蔡太义,贾志宽,黄耀威,等.不同秸秆覆盖量对春玉米田蓄水保墒及节水效益的影响[J].农业工程学报,2011,27(13):238-243.
- [14] 王忠.植物生理学[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [15] 孟兆江,贾大林,刘安能,等.调亏灌溉对冬小麦生理机制及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2003,19(4):67-69.
- [16] 苏衍涛,王凯荣,刘迎新,等.稻草覆盖对红壤旱地土壤温度和湿度的调控效应[J].农业环境科学学报,2008,27(2):670-676.
- [17] 王国英,李宪松,齐国辉,等.不同土壤水分调控技术对土壤含水量和鸭梨果实品质的影响[J].河北农业大学学报,2003,26(1):24-27.

(上接第77页)

3) 分析同水分不同施肥量下玉米各生育期耗水量的显著水平。高水分处理下,各生育期耗水量差异极显著。中水分处理下,各生育期耗水量总体是显著的;低水分处理下,各生育期的耗水量差异不显著。

4) 玉米全生育期总耗水量与玉米产量之间呈现良好的抛物线关系($R^2 = 0.829$),得到水分生产函数 $Y = -0.003ET^2 + 28.04ET - 54369$,当耗水量为 $4\ 673\ m^3 \cdot hm^{-2}$ 时产量 Y 值最大,为 $11\ 151\ kg \cdot hm^{-2}$ 。在同等灌水量和施肥量条件下,处理 SF-9 比 SF-10(CK)增产 8.40%,水分生产效率提高 15.0%,其它处理增产 7.89%~54.51%,水分生产效率提高 5%~43.75%,喷灌条件下玉米增产效果明显,该成果可为以后内蒙古东部地区节水增粮提供充分的理论依据和技术支持。

参考文献:

- [1] 郭永忠,王峰,刘华,等.喷灌条件下不同节水措施对玉米的影响[J].西北农业学报,2009,18(1):285-289.
- [2] 迟道才,费良军,吕志远,等.节水灌溉理论与技术[M].北京:中国水利水电出版社,2009.
- [3] 聂安全,赵海祯,齐宏立,等.覆盖补水施肥对旱地小麦产量的影响[J].华北农学报,2001,16(1):92-98.
- [4] 杨晓光,陈阜,宫飞,等.喷灌条件下冬小麦生理特征及生态环境特点的试验研究[J].农业工程学报,2000,16(3):35-37.
- [5] 姚素梅,康跃虎,刘海军.喷灌与地面灌溉冬小麦干物质积累、分配和运转的比较研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):51-56.
- [6] 张玲.不同施肥量与施肥时期对冬油菜产量与养分吸收的影响[D].长沙:湖南农业大学,2010.
- [7] 冯绍元,王凤新,黄冠华.喷灌条件下花生水肥耦合效应的田间试验研究[J].农业工程学报,1998,(4):104-108.
- [8] 史海滨,田军仓,刘庆华,等.灌溉排水工程学[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [9] 董玉云,王宝成,等.膜孔灌溉玉米耗水特性和水分生产率试验研究[J].干旱地区农业研究,2004,32(5):7-11.