

不同灌溉制度对覆膜春玉米的耗水规律及产量的影响

刘玉洁^{1,2,3}, 李援农³, 潘 韬¹, 翟禄兴⁴, 杜子龙³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

3. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 4. 广西师范大学环境与资源学院, 广西 桂林 541004)

摘 要: 研究了不同灌水定额和灌水次数处理下覆膜玉米的耗水规律和产量, 试验结果表明: 灌溉定额相同时, 灌水次数的变化对产量有较大影响; 灌溉次数较多的处理土壤平均含水率波动幅度较小, 土壤水分能保持在一个比较稳定的范围。相同的灌水次数下, 适当增加灌溉定额在一定程度上可增加作物产量, 但超过一定值之后, 产量并无显著提高。玉米的耗水量随着灌溉水量的增加而增加, 玉米在拔节~抽雄、抽雄~乳熟期的耗水量最大, 对水分亏缺最敏感, 是需水关键期。水分利用效率随着灌溉量的增加而减少。

关键词: 膜孔灌溉; 玉米; 灌溉制度; 耗水规律; 产量

中图分类号: S513.071 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0067-06

膜孔灌溉技术是 20 世纪 80 年代新疆发展起来的一种地面灌水技术, 它改变了传统的大水漫灌方法, 通过株茎孔或膜孔直接对作物进行灌溉。膜孔灌溉主要应用的方法有膜畦膜孔灌、膜孔沟灌和膜孔膜缝灌。采用膜孔灌水技术, 最早是在棉花上进行的^[1~5], 以后逐渐发展到小麦、玉米、大豆、花生等作物^[6~11], 并且取得了节水和增产的双重效果。国内在膜孔灌溉理论与灌水技术要素的研究方面作了大量工作, 主要包括: 单点、多点膜孔入渗的研究^[12~17]; 田面入渗特性的研究以及田面水流运动规律的研究^[18~22]等。玉米作为北方旱区一种重要的粮食作物, 对其在膜孔灌溉条件下的试验研究并不多见。因此, 探索玉米在膜孔灌溉条件下的灌溉制度具有广泛的实践意义^[23,24]。本文在上年膜孔

灌溉技术要素实验研究的基础上, 通过大田试验研究膜孔灌溉条件下春玉米的需水规律和产量效应。以期对膜孔灌溉技术的大面积推广和应用提供一定的理论及技术依据。

1 试验材料及方法

1.1 研究区概况

试验于 2004 年 4 月~2005 年 10 月在甘肃武威市中心灌溉试验站进行。该站位于凉州区城东, 东经 102°52', 北纬 37°52', 海拔 1 581 m。多年平均降水量 180.9 mm, 蒸发量 1 901.8 mm, 初霜日期为 10 月 5 日, 终霜日期 5 月 3 日, 无霜期 155 d, 属典型的大陆性温带干旱气候。供试土壤性质如表 1 所示。

表 1 甘肃武威中心灌溉试验站土壤物理性质

Table 1 Soil basic properties of the central irrigation experiment station in Wuwei of Gansu

土壤物理性质 Soil basic properties	土层深度 Soil depth (cm)					平均 Mean
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	
容重 Bulk density (g/cm ³)	1.317	1.400	1.549	1.575	1.596	1.4874
比重 Specific density (g/cm ³)	2.632	2.608	2.642	2.572	2.601	2.611
孔隙度 Porosity (%)	49.82	45.93	41.2	38.76	38.63	42.868
田间持水率 Field capacity (%)	22.10	21.2	21.2	22.03	22.2	21.746

收稿日期: 2009-05-15

基金项目: 国家“863”计划现代节水农业技术及新产品专项(2002AA2Z4041)部分内容

作者简介: 刘玉洁(1982-), 女, 博士研究生, 主要从事作物-水分关系研究。E-mail: liuyujie-0714@tom.com。

* 通讯作者: 李援农(1962-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤入渗和农田灌溉技术研究。E-mail: liyuannong@163.com。

1.2 试验方法

供试品种为当地生产常用品种金穗 1 号。播前灌保墒水 $1\ 500\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ ，于四月下旬播种，统一施肥，保苗株数 $5\ 500\ \text{株}/666.7\ \text{m}^2$ 。试验设灌水次数和灌水定额二个因素，每个因素设三个水平，共有 9 个处理，每个处理三个重复，具体如表 3。灌水方式为小

畦灌。小区设计成长方形：长 $12\ \text{m}$ ，宽 $3\ \text{m}$ ，小区面积为 $36\ \text{m}^2$ 。随机区组排列，所有小区施肥水平、耕作措施和病虫害防治措施相同。玉米生育期间共降雨 $78.8\ \text{mm}$ ，其中有效降雨 $50.3\ \text{mm}$ ，为极干旱年。其中较大的降水为： $8.8\ \text{mm}$ （5 月 5 日）， $7.8\ \text{mm}$ （8 月 11 日）， $6.3\ \text{mm}$ （9 月 12 日）， $6.3\ \text{mm}$ （9 月 20）。

表 2 玉米各生育期出现时间

Table 2 Date of different growing stages of maize

播种~出苗 Sowing~ emergence	出苗~拔节 Emergence~ jointing	拔节~大喇叭口 Jointing~ big bell mouth	大喇叭口~抽雄 Big bell mouth~ tassel emergence	抽雄~灌浆 Tassel emergence ~filling	灌浆~乳熟期 Filling~ milky maturity	乳熟~成熟 Milky maturity ~maturity	成熟~收获 Maturity~ harvest
04-25~05-05	05-06~06-05	06-06~07-01	07-02~07-06	07-07~08-01	08-02~08-21	08-22~09-09	09-10~09-30

表 3 试验处理情况

Table 3 Experiment treatments

处理 Treatment	灌溉定额 Irrigation quota (m^3/hm^2)	灌水次数 Irrigation frequency (次)	灌水定额 Irrigation quota on each application (m^3/hm^2)
L1	3600	3	1200
L2	3600	4	900
L3	3600	5	720
L4	4500	3	1500
L5	4500	4	1125
L6	4500	5	900
L7	5400	3	1800
L8	5400	4	1350
L9	5400	5	1080

1.3 观测项目

土壤含水量采用取土烘干法，取样深度为 $1\ \text{m}$ ，每隔 $20\ \text{cm}$ 取 1 次土样，每 $10\ \text{d}$ 观测 1 次。灌前、灌后及有较大降雨量时加测（土壤含水率均为重量百分含量）。采用水量平衡法计算作物耗水规律，另观测作物自播种到成熟各生育期出现的时间、出苗率、株高、叶面积、干物重、百粒重等产量指标以及土壤温度。待风干脱粒后测定实际产量。在灌溉制度的分析中利用 Jensen 模型求解敏感指数，具体计算过程利用 matlab 软件。

2 结果与分析

2.1 土壤水分的变化动态

图 1 中 a, b, c, d, e, f 分别为灌溉定额为 $3\ 600\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 、 $4\ 500\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 、 $5\ 400\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 和灌水次数为 3 次、4 次、5 次下各处理全生育期内的土壤水分动态比较。从图中可以看到，灌溉定额相同时，灌水次数

的变化对土壤水分含量有较大影响，灌溉次数较多的处理土壤平均含水率波动幅度较小，尤其在拔节~抽穗期土壤水分能保持在一个比较稳定的范围。在玉米全生育期内灌溉定额为 $3\ 600\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 的处理土壤含水率明显低于灌溉定额为 $5\ 400\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 的处理，但灌溉定额为 $5\ 400\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 的处理与灌溉定额为 $4\ 500\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 的处理(d, e, f)土壤水分相差不大。灌溉定额相同时，灌水次数的变化对土壤水分含量有较大影响（5 次优于 3 次），进而影响作物的生长发育；而相同的灌水次数下，适当增加灌溉定额在一定程度上可提高土壤水分含量，但超过一定值之后，并不能使土壤水分含量显著提高。

玉米在全生育期内都要经历两次土壤水分消耗较大的时期：拔节~大喇叭口、抽穗~乳熟期，在这两个阶段里，土壤含水率分布呈 V 字型；在 6 月 14 日（拔节中期）和 8 月 16 日（灌浆后期）分别降至最低含水量（ $5.31\% \sim 8.30\%$ 和 $4.61\% \sim 8.25\%$ ），前者的土壤水分含量略高于后者，说明这两个生育时段是玉米需水的关键期。

2.2 耗水规律

播种~出苗期玉米需水较少，一般在 $20\ \text{mm}$ 左右，在这一阶段，玉米对土壤水分的需求并不高，再加上地膜的覆盖保墒作用，土壤中的水量蒸发很少，所以耗水量较小；但尽管如此，仍要保证适宜的土壤水分条件（一般保持在田间持水量的 $55\% \sim 60\%$ 为宜）以确保玉米的出苗率。否则土壤水分过低，种子不能吸收发芽所需的水分，且势必影响到土壤温度，萌发慢，出苗就低，且幼苗不齐不壮；这就依赖于播种前的保墒水。反之，若土壤水分含量过高，出苗率会随着土壤水分含量的增加而降低，因土壤含水量大、播种深、覆土厚、种子出苗慢或不出苗窒息而死。

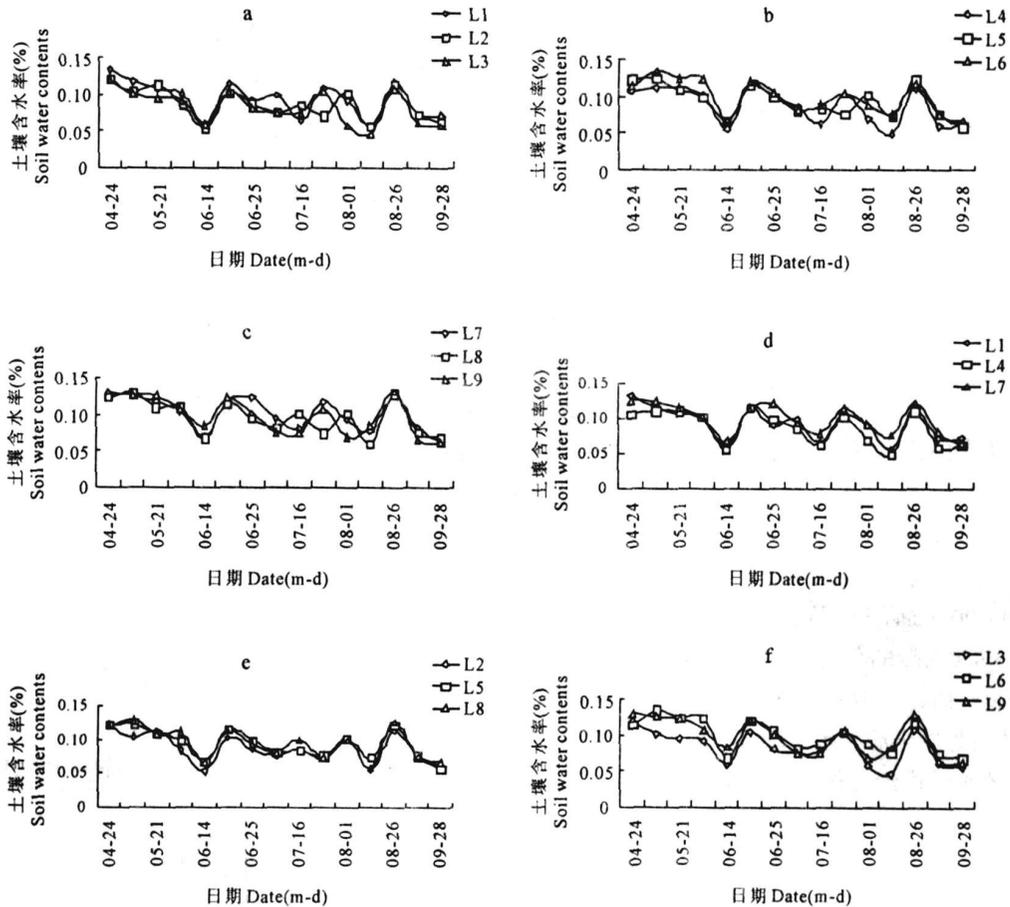


图 1 不同灌溉处理下的土壤含水率比较

Fig.1 Comparison of soil water content under different irrigation treatments

表 4 不同灌溉制度下玉米各生育期耗水量

Table 4 Water consumption under different irrigation treatments in different stages of maize

处理 Treatment	播种~出苗 Sowing~ emergence	出苗~拔节 Emergence~ jointing	拔节~抽穗 Jointing~ tassel emergence	抽穗~乳熟 Tassel emergence ~milky maturity	乳熟~成熟 Milky maturity ~maturity	总 ET (mm)
L1	26.42	66.24	110.56	276.33	21.99	501.54
L2	28.25	67.92	90.79	275.53	34.61	497.10
L3	29.84	50.64	149.40	239.25	34.17	503.30
L4	3.65	45.61	168.91	292.57	59.01	569.74
L5	5.81	58.25	133.21	319.34	80.57	597.19
L6	13.77	10.70	225.17	254.11	66.44	570.19
L7	9.86	49.77	199.78	325.47	97.68	682.56
L8	11.71	50.52	162.54	360.63	87.56	672.97
L9	14.38	45.46	248.71	272.83	110.32	691.69

玉米在苗期~拔节期,随着幼苗的不断增长,耗水也逐渐加大,但植株矮小,仍以生长根系为主且生长缓慢,其变化范围在 30~70 mm 之间;进入拔节期后玉米生长迅速,属于作物快速生长期,营养生长和生殖生长并行;耗水进入生育前期的高峰,比较不同处理在此生育期的耗水规律,不难发现,灌三次水的

处理(L1、L4、L7)在此时段内的耗水量均比其它处理高,最高可达 190 mm(L7),而灌溉 5 次的处理(L3、L6、L9)在此时段内的耗水量比灌溉 3 次、4 次的处理低,最低仅为 77 mm(L3),比 L7 低 113 mm。由于大喇叭口~抽穗生育时间较短,仅有 5 d,所以阶段耗水较少,此时灌溉 5 次的处理(L3、L6、L9),较其它

灌溉次数的处理耗水量多,在70~100 mm之间。各处理玉米在拔节~大喇叭口和大喇叭口~抽雄这两个生育期内的耗水量分别占到了生育期总耗水量的22.0%、18.3%、29.7%、29.6%、22.3%、39.4%、29.3%、24.1%、36.0%。

抽穗~灌浆、灌浆~乳熟这两个生育期是玉米需水最多的生育期,除要形成产量外,还要保持一定的绿叶面积,此时水分亏缺易造成雌雄花开期脱节,且会对玉米幼穗的营养生长产生抑制作用使穗长度变小,故应尽量避免该阶段的水分亏缺。这两个阶段的总需水量在240~360 mm之间,各处理在这两个生育期内的耗水量分别占到了整个生育期总耗水量的55.1%、55.4%、47.5%、51.4%、53.5%、44.6%、47.7%、53.6%、39.4%。随着玉米的逐渐成熟,其耗水量也呈下降趋势,在乳熟~收获期的耗水量在10~90 mm不等,随着灌溉定额的增长而增长,灌溉5 400 m³/hm²的处理较3 600 m³/hm²和4 500 m³/hm²的处理这一时段的耗水量平均多76 mm。这是因为由于灌溉水量较多,所以生育后期仍有较充足的水量供给生长。成熟~收获期玉米茎叶干枯,大部分根系也已死亡,所以水分消耗很少在10~30 mm之间。

灌溉3次的处理,由于二水时间(7月17日)和三水时间(8月17日)正值抽穗~灌浆、灌浆~乳熟中期,所以在这两个时段内的耗水量均较其它生育期高;而这两个生育期对后期产量的形成有很大的影响,所以虽然灌水次数较少,但能够保证玉米生育关键期的用水需求,使产量的形成有充足的水分保证。可见灌溉3次较灌溉4次、5次节水。灌溉4次的处理(L2、L5、L8)除大喇叭口~抽雄期的耗水量比灌溉5次的处理(L3、L6、L9)少外,其它生育期内的耗水量与灌溉5次的处理相差不大(前期差值小于10 mm,后期差值小于20 mm)。灌溉5次的处理,由于灌水次数最多,所以在生育期内(出苗~成熟)耗水量的分配较之3次、4次均匀。

各生育期内的灌水量、降雨量越多,其耗水量也越多。如灌水4次的情况下,在抽穗~灌浆期(07-07~08-01)内经历两次灌水(07-07,07-27),因而玉米在这个生育期内的耗水量最大。再比如,灌溉5次的情况下,在灌浆~乳熟期(08-02~08-21)经历两次灌水(08-02,08-21),故而玉米在这个生育期内的耗水量最大。玉米在拔节~抽雄、抽雄~乳熟期的耗水量占到了整个生育期耗水量的65%~85%,此时如果水分亏缺将会造成大幅度的减产,所以无论采用哪种灌溉制度必须要保证这两个生育时

段的供水。

2.3 产量与缺水敏感指数

由图2可看到,灌溉定额为3 600 m³/hm²时:灌水3次(L1)产量分别高于灌水4次(L2)12.06%、高于灌水5次(L3)3.78%,水分利用效率也最高,为2.73 kg/m³。灌溉定额为4 500 m³/hm²时,灌水4次(L5)时的产量最高,为15 072 kg/hm²,比同样灌溉定额下灌溉3次(L4)和灌溉5次(L6)产量分别高出6.14%、6.33%;其水分利用效率也比L4和L6分别高1.26%和1.54%。当灌溉定额为5 400 m³/hm²时,与灌溉定额为4 500 m³/hm²的处理相比产量差异并不显著,灌溉次数对产量形成影响的差异不大,最高产量(L7)与最低产量(L8)仅差148.26 kg/hm²,水分利用效率差值仅为0.0096 kg/m³。而相同的灌水次数下,适当增加灌溉定额在一定程度上可增加作物产量,但超过一定值之后,产量并无显著提高。

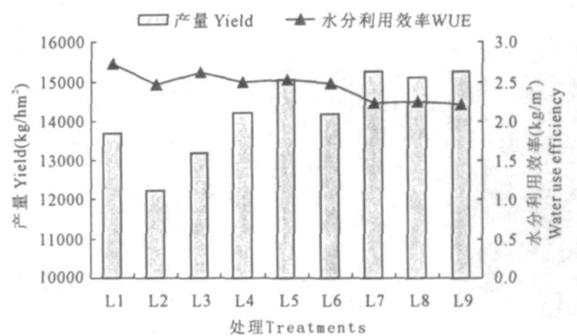


图2 产量与水分利用效率比较

Fig. 2 Comparison of maize yield and WUE of different treatments

灌溉定额相同时,灌水次数的变化对产量有较大影响。灌溉3次的情况下:灌溉定额为5 400 m³/hm²(L7)时比4 500 m³/hm²(L4)和3 600 m³/hm²(L1)分别提高7.52%、11.57%。灌溉4次的情况下:灌溉定额为5 400 m³/hm²(L8)时比4 500 m³/hm²(L5)和3 600 m³/hm²(L2)分别提高23.81%、0.32%。灌溉5次的情况下:灌溉定额为5 400 m³/hm²(L9)时比4 500 m³/hm²(L6)和3 600 m³/hm²(L3)分别提高15.71%、7.63%。

敏感指数大小的反应了作物和作物各生育时段对水分亏缺的敏感程度,其值越大,表明该时段缺水对作物产量的影响也越大。由表5,将玉米分为五个生育期,覆膜玉米在播种~出苗这一阶段的敏感指数最小,进入拔节期后逐渐增大,在抽穗~乳熟达到最大值,拔节~抽穗次之,此后敏感指数又迅速下降。说明覆膜玉米对水分亏缺最敏感的时期为拔节~抽穗;抽穗~乳熟期。这与之前对土壤水分动态

和耗水规律分析的结果一致。由此可以看出,覆膜玉米对水分亏缺最为敏感的时期是在抽穗期,其次是拔节和乳熟期。因而在制定灌溉制度时,应首先考虑覆膜玉米在抽穗期的供水,若抽穗时缺水则出现“卡脖旱”,严重影响夏玉米产量;其次是拔节和乳

熟期。若拔节~抽穗关键生长期缺水,对后期产量形成影响很大;灌浆后夏玉米产量已基本形成,对水分亏缺不如前几个生育阶段敏感。苗期玉米应灌好保墒水,才能保证苗全苗壮,在苗全苗壮基础上夏玉米可适当蹲苗。

表 5 各生育阶段的缺水敏感指数

Table 5 Water deficit sensitive index in different stages

生育阶段 Stage	播种~出苗 Sowing~ emergence	出苗~拔节 Emergence~ jointing	拔节~抽穗 Jointing~ tassel emergence	抽穗~乳熟 Tassel emergence ~milky maturity	乳熟~成熟 Milky maturity ~maturity
敏感指数(λ_i) Sensitive index	-0.014	0.0339	0.1638	0.1714	0.0233

3 结 论

1) 覆膜玉米生育期内经历两次土壤水分消耗较大的时期:拔节~大喇叭口、抽穗~乳熟,在这两个阶段里,土壤含水率分布呈“V”字型。玉米的耗水量随着灌溉水量的增加而增加,玉米在拔节~抽雄、抽雄~乳熟期的耗水量最大,这两个阶段的耗水量之和占到了整个生育期耗水量的 65%~85%;水分亏缺敏感指数也最大,对水分亏缺最敏感,是需水关键期。

2) 灌溉定额相同时,灌水次数的变化对产量有较大影响;相同的灌水次数下,适当增加灌溉定额在一定程度上可增加作物产量,但超过一定值之后,产量并无显著提高。

参 考 文 献:

[1] 魏一谦.兵团垦区棉花膜上灌技术试验与研究[J].新疆水利,1991,(5):13-23.
 [2] 徐志友.棉花膜上灌示范推广试验成果报告[J].新疆水利,1992,(5):49-51.
 [3] 徐首先.膜上灌水技术节水增产的原因和效益分析[J].农田水利与小水电,1992,(1):15-18.
 [4] 张振华,蔡焕杰.覆膜棉花调亏灌溉效应研究[J].西北农林科技大学学报,2001,29(6):9-12.
 [5] 何春梅.棉花平膜灌溉的节水增产试验研究[J].中国农村水利水电,2003,(1):8-10.
 [6] 张薇,司徒淞,王和洲.麦棉套种膜上灌溉节水增产机理研究[J].农业工程学报,1996,12(3):60-65.
 [7] 张光辉,朱立选.渭北旱塬膜上灌小麦研究初报[J].水土保持研究,1999,(6):64-67.

[8] 刘小兵,武朝宝,王爱林.玉米膜上灌需水量和地膜覆盖效应试验研究[J].山西水利科技,2004,8(3):29-30.
 [9] 高真伟,闫滨,闫胜利,等.水稻膜孔灌溉节水增产效果的田间试验研究[J].农业工程学报,2001,17(3):171-173.
 [10] 穆丽君,陈海军,裴连海.花生膜上灌节水增产机理研究.农业工程学报,1997,9(3):89-92.
 [11] 宋春联,周立奎.覆膜大豆膜上节水灌溉技术的应用[J].黑龙江水专学报,2005,9,32(3):62-63.
 [12] 聂新山,韩俊.膜孔渗吸速度初探[J].水土保持研究,1996,(3):18-22.
 [13] 李援农,范兴科,马孝义.膜孔灌溉条件下入渗规律的研究[J].干旱地区农业研究,2001,19(1):55-58.
 [14] 费良军,谭奇林,王文焰,等.充分供水条件下多因子点源入渗模型研究[J].西安理工大学学报,2000,16(1):19-22.
 [15] 费良军,吴军虎,王文焰,等.充分供水条件下单点膜孔入渗湿润特性研究[J].水土保持学报,2001,15(5):137-140.
 [16] 费良军,李发文,吴军虎.膜孔灌单向交汇入渗湿润体特性影响因素研究[J].水利学报,2003,5(5):62-68.
 [17] 费良军,李发文.膜孔灌单向交汇入渗数学模型研究[J].农业工程学报,2003,19(3):68-70.
 [18] 徐首先,魏玉强,聂新山,等.膜孔灌理论及应用技术初步研究[J].节水灌溉,1997,(2):23-29.
 [19] 门旗,米孟恩,陈祖森,等.膜孔沟灌水利特性和基本参数的研究[J].节水灌溉,1997,(2):8-12.
 [20] 门旗,米孟恩,陈祖森.膜孔灌溉评价方法的研究[J].灌溉排水,1996,15(1):29-33.
 [21] 吴军虎,费良军,王文焰,等.膜孔灌溉田面水流运动特性试验研究[J].西安理工大学学报,2001,17(1):52-56.
 [22] 费良军,谭奇林,王文焰.由膜孔灌水流推进和消退资料推求点源入渗参数[J].灌溉排水,1999,18(1):6-9.
 [23] 李援农,刘玉洁,李芳红,等.膜上灌水技术的生态环境效应研究[J].农业工程学报,2005,21(11):60-63.
 [24] 钱蕴璧,李英能,杨刚,等.节水农业新技术研究[M].郑州:黄河水利出版社,2002,291-293.

Study on effects of different irrigation treatments on evapotranspiration and yield in spring maize

LIU Yu-jie^{1,2}, LI Yuan-nong^{3*}, PAN Tao¹, ZHAI Lu-xing⁴, DU Zi-long³

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

3. *College of Hydraulic and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;*

4. *School of Environment and Resources, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004, China)*

Abstract: A study is made on the water-consuming law and yield of spring maize under treatments of different irrigation quota on each application and frequency. The experimental results show that with the same irrigation quota, irrigation frequency affects significantly maize yield and soil water content fluctuation of high irrigation frequency treatment changes more slowly than that of low irrigation frequency treatment, and soil water variation keeps in a stable range. With the same irrigation frequency, the yield improves with irrigation quota in some scope. Water consumption increases with irrigation quantity, the high soil water consumption time in the whole growing period are jointing~tassel emergence and tassel emergence~milky maturity stages. In these stages spring maize is sensitive to water stress. They are the critical stages of water requirement, and WUE decreases as the irrigation quantity increases.

Keywords: film-hole irrigation; maize; irrigation schedule; water-consuming law; yield

(上接第 66 页)

Effects of irrigation on winter wheat photosynthetic character and canopy structure

WANG Yi-tao¹, YI Ying^{2*}, ZHANG Jian-xin¹, HOU Li-bai², KANG Jian-tao¹, DONG Xiang-kai²

(1. *Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830000, China;*

2. *Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China)*

Abstract: Irrigation treatments are conducted in different growth stages of winter wheat to study their effects on winter wheat canopy structure, photosynthetic character and yield. The results show that two irrigation treatment (in winter period and jointing stage) the chlorophyll content and LAI of winter wheat always maintain a high level in the whole growth period, while they show an inverted “V”-type in the early filling stage and flowering stage. The effects of irrigation treatments on the DIFN are in opposite to the trends of LAI changes. Two irrigation treatment the winter wheat flag leaf net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate increase more significantly compared to one irrigation treatment (in winter or jointing stage), and intercellular CO₂ concentration decreases. The yield of all three varieties of P12, 138 and M808 reaches the maximum in the two irrigation treatment, reaching 5 045 kg/hm², 5 516 kg/hm² and 5 479 kg/hm², respectively.

Keywords: irrigation; winter wheat; canopy structure; photosynthetic character; yield character