

基于蒸发皿蒸发量的日光温室番茄滴灌灌水量研究

焦艳平¹, 赵 勇¹, 张艳红¹, 郑成海²

(1. 河北省水利科学研究院, 河北 石家庄 050057; 2. 国家半干旱农业工程技术研究中心, 河北 石家庄 050051)

摘 要: 在太行山山前平原日光温室覆膜滴灌条件下, 采用 $\phi 20$ cm 标准蒸发皿的水面蒸发量为控制灌溉参量, 研究了不同蒸发皿系数 ($K_{cp} = 0.4, 0.6, 0.8$ 和 1.0) 的灌水量对早春茬口普通番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. *commune* Bailey) 生长的影响。试验结果表明: 番茄的株高、叶面积和叶绿素都随着灌水量的提高趋于增加; 灌水量越大, 产量越高, 但灌溉水利用效率随之下降; 番茄果实的 Vc 含量随灌水量的增加而降低; 番茄果实的可溶性糖含量与灌水量的多少没有关系。综合考虑番茄产量、品质和灌溉水利用效率, 早春茬口日光温室覆膜滴灌条件下, 番茄的蒸发皿系数采用 0.8 较为适宜。

关键词: 日光温室; 番茄; 蒸发皿蒸发量; 滴灌; 产量; 灌溉水利用效率

中图分类号: S274.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)05-0133-06

蒸发皿蒸发量反映了温度、湿度、风速、太阳辐射以及平流等气象要素对蒸发力的综合影响, 已被广泛应用于不同尺度的农田观测。关于作物耗水量与蒸发皿水面蒸发量的关系, 国内外学者进行了大量研究。对于 A 级蒸发皿, 蒸发皿系数(作物耗水量与蒸发皿蒸发量比值)为 1.0 时, 大田地面灌溉辣椒总干物质质量最高^[1]。北京地区日光温室覆膜滴灌条件下, 樱桃西红柿在苗期、开花坐果期、盛果期和盛果后期的 A 级蒸发皿系数分别为 $0.10, 0.65, 1.76$ 和 2.06 ^[2]。对于 $\phi 20$ cm 标准蒸发皿, 山西太原棚室内, 黄瓜盛瓜期的耗水量和冠层顶部蒸发皿蒸发量基本一致^[3]。河北栾城大田滴灌条件下, 蒸渗仪测得的马铃薯腾发量与 $\phi 20$ cm 蒸发皿蒸发量存在非常好的相关性^[4]。在日本的遮雨棚内, 春季黄瓜高产的 $\phi 20$ cm 蒸发皿系数为 1.0 , 秋季蒸发皿系数为 1.75 时, 黄瓜的产量最高^[5]。西北地区温室甜瓜初花期合适的 $\phi 20$ cm 蒸发皿系数为 0.6 ^[6]。北京地区冬小麦返青后, 灌水间隔为 $5 \sim 7$ d 时, 喷灌水量可采用 $0.50 \sim 0.75$ 倍的 $\phi 20$ cm 标准蒸发皿蒸发量^[7]。

番茄作为世界范围内栽培最广、消费量最大的茄果类蔬菜, 是具有重要研究价值的的科研模式作物。本试验以早春茬口番茄为研究对象, 结合相关研究成果^[8-11], 研究日光温室覆膜滴灌条件下不同蒸发皿系数的灌水量对其生长和品质以及灌溉水利用效率的影响, 以期制定该条件下番茄适宜的灌溉计划。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2010 年 3 - 7 月在河北省水利科学研究院试验基地日光温室内进行。该基地位于河北石家庄市西北部太行山山前冲洪积平原, 海拔 81.5 m, 属暖温带半干旱大陆性季风气候区, 年均降雨量 600 mm 左右, 年均气温 13.0°C , 年均日照时数 $2\ 643$ h, 年均风速 1.8 m/s, 无霜期 199 d。日光温室内耕作层土壤质地为砂壤土, 土壤干容重 1.52 g/cm³, 田间持水率 0.175 m³/m³。

1.2 试验处理

供试日光温室长 50 m, 宽 7.5 m。温室内垄长 6.5 m, 垄宽 0.6 m, 垄高 0.15 m, 垄间距 1.4 m, 番茄株距 0.45 m, 小行距 0.4 m, 覆膜滴灌, 每垄双行种植, 中间铺设滴灌带, 滴头间距 0.3 m, 滴头工作流量 2.7 L/h。为防止不同处理间水分交换, 在处理间的垄沟内埋入 50 cm 深的塑料薄膜相隔。试验滴灌系统由一套施肥过滤首部系统控制, 系统包括球阀、水表、压力表、闸阀、筛网式过滤器、压差式施肥罐。番茄试验期内, 灌水量根据放置在番茄冠层顶部 $\phi 20$ cm 标准蒸发皿蒸发量计算:

$$W = K_{cp} \times A \times E_p$$

式中, W 为小区灌水量; K_{cp} 为蒸发皿系数, 本次试验设计 $K_{cp} = 0.4, 0.6, 0.8$ 和 1.0 ; A 为小区面积; E_p 为两次灌水时间间隔内的蒸发皿累积蒸发量, 灌水周期统一设为 2 d。每个处理 3 次重复, 每个重复一

收稿日期: 2011-02-25

基金项目: 河北省水利科研计划项目(2008-55); 中国河北省与荷兰王国南荷兰省合作项目“温室栽培与灌溉”

作者简介: 焦艳平(1970-), 女, 河北滦县人, 博士, 高级工程师, 主要从事农田水利与水资源方面的研究。E-mail: yanpingjiao@163.com。

条栽培垄,本试验共 12 个栽培垄。

供试番茄为无限生长硬果型粉果一代杂交种,品种为冀番 135。2010 年 3 月 25 日移栽,缓苗后全部蹲苗,5 月 4 日第一穗果径 2 cm 左右开始处理,6 月 1 日开始采摘,7 月 15 日拉秧结束试验。全生育期施腐熟干鸡粪 4 000 kg/hm²,化肥纯氮 350 kg/hm²,五氧化二磷 300 kg/hm²,硫酸钾 150 kg/hm²。在株高 25 cm 时使用线绳缠棵吊在温室内的钢丝上,单干整枝,第一花序上有 3~4 朵花开放时喷洒番茄灵(20~50 mg/kg)。第一花序果长成正常大小时打掉其下老叶,留 5~6 穗果打顶。

1.3 测试内容与方法

温室试验区中央番茄冠层顶部放置可调节高度的 ϕ 20 cm 标准蒸发皿,每日 08:00 观测蒸发量。每个处理在滴灌带下 0.2 m 深度处安装 1 支真空表式负压计,每日 8:00 观测读数。在每个处理的 3 垄小区内,固定 6 株作物,每 10 d 测 1 次株高;每 10 d 测定 1 次其中 3 株的所有叶片的叶长和叶宽,计算叶面积指数。叶绿素仪 SPAD-502 是一种手持式光谱仪,通过叶片对两种波长光吸收之间的差异来确定叶绿素的含量,可在田间无损检测植物叶片叶绿素含量,其测定结果是一个反映植物叶片中叶绿素含量的相对值。在每个处理的 3 垄小区内,每隔 10 d 各选取 20 片上部功能叶测定 SPAD 值。每个小区取第三花序 3 个成熟果实进行品质测定,Vc 含量用 2,6-二氯酚靛酚滴定法,可溶性糖用蒽酮比色法测定。

2 结果与分析

2.1 温室内环境变化

图 1 中所示为 08:00、14:00 温室内气温和地温的变化情况。番茄生育期内室内 08:00 平均气温 22.5℃,最低气温 12.0℃;14:00 平均气温 29.1℃,最高气温 41.5℃,最低气温 16.0℃。室内 08:00 地表下 10 cm 平均地温 20.6℃,10 cm 最低地温 15.0℃;14:00 地表下 10 cm 平均地温 23.0℃,最高地温 28.0℃,最低地温 16.5℃。

图 2 中所示为 08:00、14:00 和 20:00 时温室内空气湿度变化情况。室内 08:00 平均湿度 71%,最高湿度 100%,最低湿度 21%;14:00 平均湿度 52%,最低湿度 13%,最高湿度 100%;20:00 平均湿度 75%,最高湿度 100%,最低湿度 24%。不同时段温室内空气湿度均高于温室外平均湿度。

番茄生育期适宜温度范围 10℃~33℃,地温范围 18℃~23℃,最适宜空气湿度 50%~65%^[12]。试验中整个番茄生育期,温湿度基本控制在番茄生长较适宜的范围内。

2.2 不同处理的灌水量和土壤基质势的变化

不同处理的单次灌水量如图 3 所示,蒸发皿系数为 1.0 处理的灌水量和蒸发皿累积蒸发量相同。整个试验期蒸发皿累计蒸发量为 193 mm,日平均蒸发量为 2.7 mm,蒸发皿 2 日累积最大蒸发量达到 9.2 mm,2 日累积最小蒸发量为 1.0 mm,四个处理的累积灌水量分别达到 193、154、116 mm 和 77 mm。

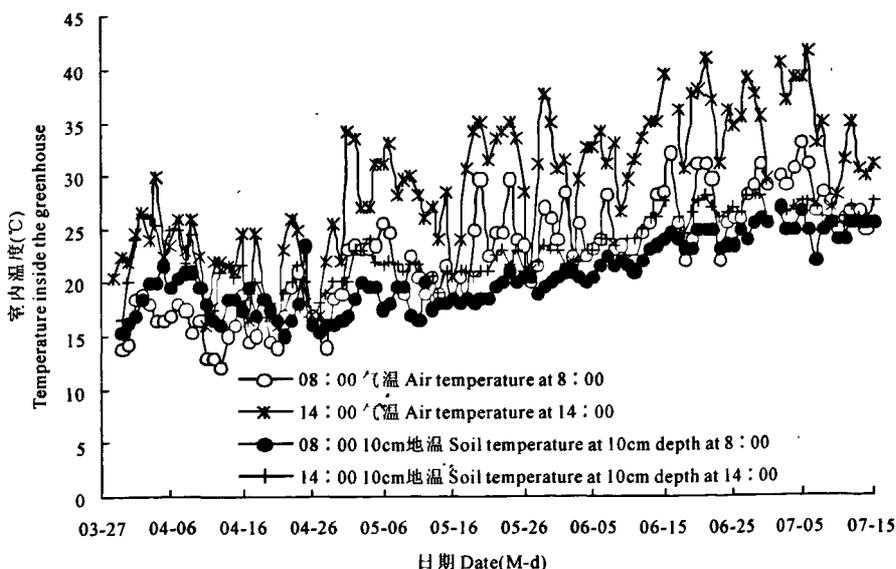


图 1 不同时刻温室内气温和地温的变化

Fig.1 The changes of air temperature and soil temperature at 0.1 m depth inside the greenhouse

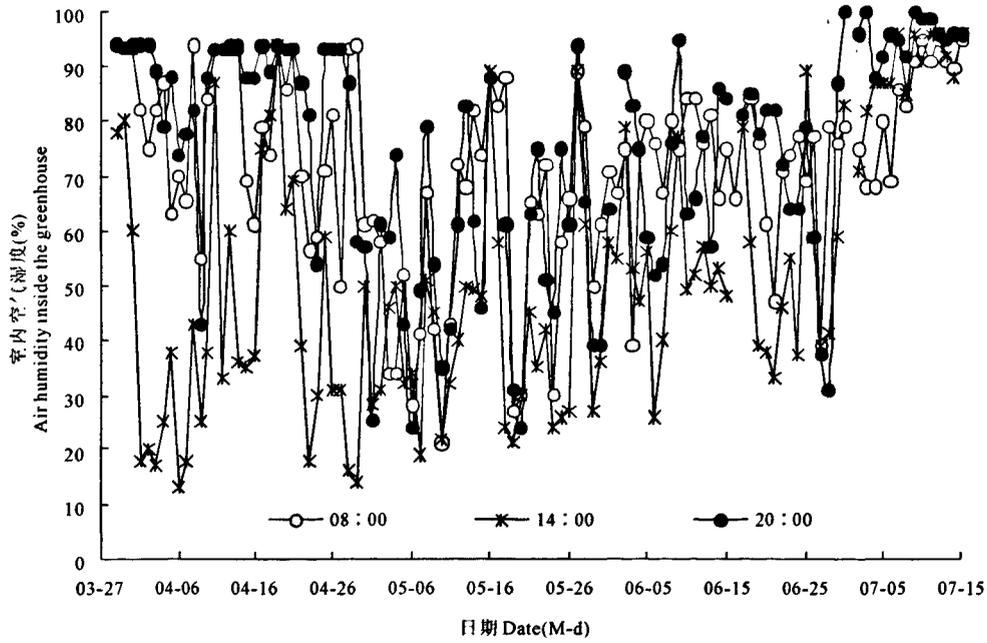


图 2 不同时刻温室内空气湿度的变化

Fig.2 The changes of air humidity inside the greenhouse

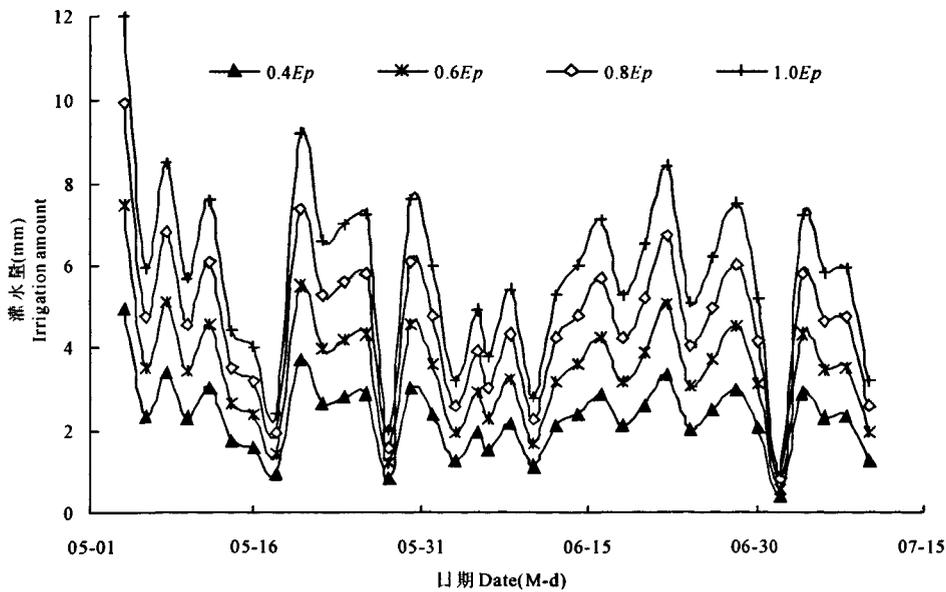


图 3 不同处理 2 日灌水量变化趋势

Fig.3 The changes of 2-days irrigation amount for different treatments

图 4 不同灌水量处理滴头正下方 20 cm 深度处土壤基质势的变化过程。温室内土壤水分不受降雨的影响,土壤基质势完全受覆膜滴灌水分控制。从图中可以看出,整个试验期,灌水量为 1.0Ep 处理的土壤基质势基本保持在 -10 ~ -20 kPa 范围内,属于田间持水量状态,说明该处理的每次灌溉都能及时充分地番茄进行灌溉,或者有部分水量产生了深层渗漏。番茄坐果前期,灌水量为 0.8Ep 处

理的土壤基质势保持在 -10 ~ -20 kPa 之间;坐果后期,随着植株营养生长和生殖生长进入盛期,0.8Ep 处理的土壤基质势有所下降,处于 -20 ~ -40 kPa 之间,对于沙壤土而言该基质势属于灌溉的临界值范围。灌水量为 0.6Ep 和 0.4Ep 处理的土壤基质势大部分低于 -40 kPa,土壤中有效水分开始缺乏,番茄容易发生水分胁迫,直接影响了茄果产量。

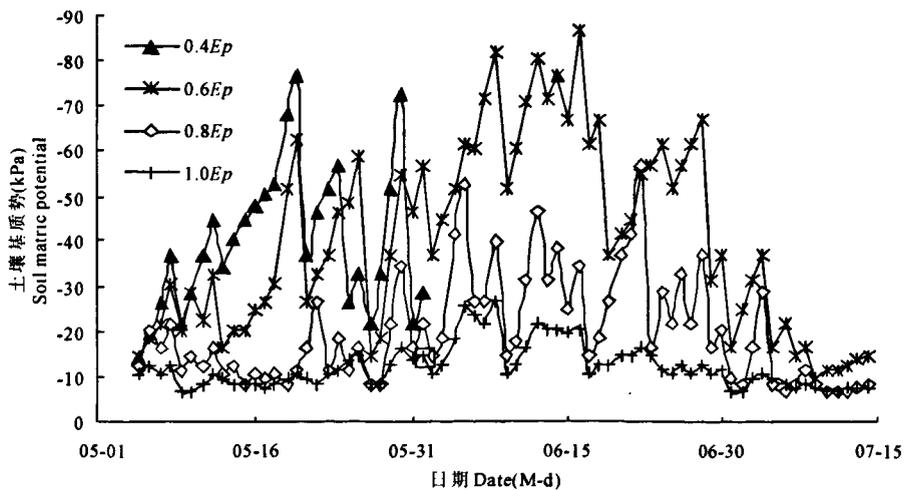


图 4 不同灌水处理土壤基质势的变化

Fig.4 The changes of soil matric potential in 0.2 m depth for different treatments

2.3 不同灌水量对番茄生长的影响

图 5 表示不同灌水处理番茄株高随时间的变化过程。可以看出,在番茄的整个生育期内,所有处理的株高变化趋势相似,随室内温度的提高和生育期的推进,株高不断增加,生长早期增加迅速,中后期由营养生长转变为生殖生长为主,植株第五花序后开始打顶,株高生长缓慢。灌水量越多,番茄株高越高,但不同处理之间株高差异不显著。

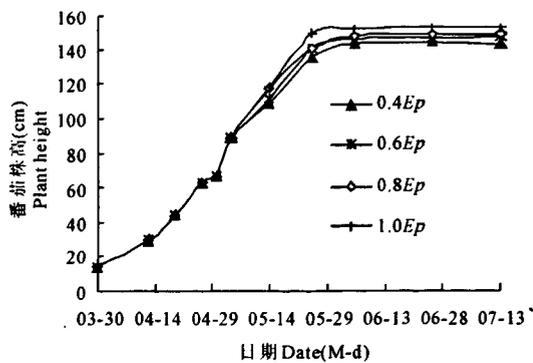


图 5 不同灌水处理番茄株高的变化

Fig.5 The changes of plant height during tomato growing periods for different treatments

从图 6 中可以看出,4 个处理的叶面积发展动态基本一致,随生育期的不断推移而增加,6 月以后,随着老叶的摘除以及打顶摘心,叶面积增加缓慢。灌水量越多,番茄植株枝叶生长越茂盛,叶面积指数越大。

2.4 不同灌水量对番茄叶绿素含量的影响

从图 7 中可以看出,整个生育期,可能受到温室中光温环境以及打顶摘心等农艺措施的影响,番茄 SPAD 读数出现跳跃变化,但总体趋势,灌水量越多,

SPAD 读数也越高,SPAD 读数的变化趋势直接影响了番茄后期产量的形成。

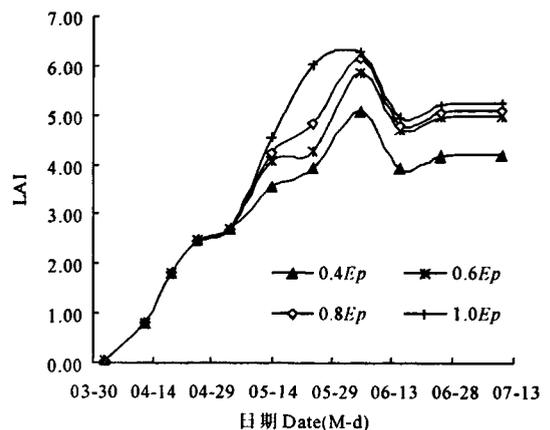


图 6 不同灌水处理番茄叶面积指数的变化

Fig.6 The changes of LAI during tomato growing periods for different treatments

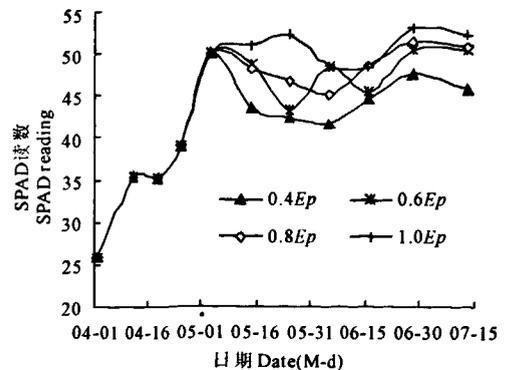


图 7 不同灌水处理番茄叶片 SPAD 读数的变化

Fig.7 The variation of SPAD reading during tomato growing periods for different treatments

2.5 不同处理对番茄产量、灌溉水利用效率和品质的影响

本茬口番茄生长处于光温因子逐渐提高的环境中,植株生长对水分的要求更为明显。从表1中可以看出,不同灌水量处理番茄产量随着灌水量的增加逐渐提高,但是1.0Ep和0.8Ep处理之间的产量

差异不显著;随着灌水量增加,灌溉水利用效率开始下降,0.4Ep处理灌溉水利用效率最高。从表1中可以看出,不同灌水量处理番茄果实可溶性糖含量之间差异不显著;随着灌水量的增加,果实Vc含量逐渐减少,各处理之间差异显著($P=0.05$)。

表1 不同处理对番茄产量和品质的影响

Table 1 The influence of different treatments on tomato yields, quality and irrigation water use efficiency

处理 Treatments	产量(t/hm ²) Yields	灌溉水利用效率[t/(hm ² ·mm)] Irrigation water use efficiency	Vc(mg/100g) The vitamin C content	可溶性糖(mg/g) The sugar content
0.4Ep	83.17c	1.08	17.605a	35.461a
0.6Ep	107.34b	0.93	14.477b	33.108a
0.8Ep	119.62a	0.78	13.636c	34.191a
1.0Ep	132.83a	0.69	12.047d	33.262a

3 讨论与结论

本试验是关于温室内蒸发皿蒸发量与番茄滴灌灌水量的关系研究,事先确定合理的灌水时间或灌水周期是本试验的研究基础。同种作物相同的生长环境和生育阶段,由于灌水时间不同,导致灌水总量相同但次灌水量不同,由此产生不同的蒸发皿系数。这是不同学者关于蒸发皿系数的研究报道出现不一致的主要原因^[8,9]。

干旱胁迫下,植物体内会主动积累一些可溶性糖,增加细胞液浓度,降低渗透势,提高对水分的吸收能力和保水能力,以适应干旱缺水的环境。相关试验表明,番茄果实的可溶性糖和可溶性固形物含量随着灌溉量的降低和土壤水分含量的减少而增加^[13,14]。本文关于番茄品质的试验和实验结果,依据一年的试验得出,不可避免带有局限性,所得结论需要进一步验证和完善。

华北区早春茬日光温室覆膜滴灌栽培条件下,利用 ϕ 20 cm标准蒸发皿蒸发量系数作为灌溉控制指标,灌水周期为2 d,番茄的株高、叶面积以及经济产量都随着灌水量的增加而提高,但灌溉水利用效率随之降低。蒸发皿系数为0.8时,番茄的产量、品质及灌溉水利用效率最为理想。

参考文献:

[1] Antony E, Singandhupe R B. Impact of drip irrigation on growth, yield and WUE of capsicum[J]. Agricultural Water Management,

2004, 65:121—132.

- [2] 郭占奎,刘洪禄,吴文勇,等.日光温室覆膜滴灌条件下樱桃西红柿耗水规律[J].农业工程学报,2010,26(9):53—58.
- [3] 王舒,李光水,孟国霞,等.日光温室滴灌条件下滴头流量和间距对黄瓜生长的影响[J].农业工程学报,2005,21(10):167—170.
- [4] 王凤新,康跃虎,刘士平.滴灌条件下马铃薯耗水规律及需水量的研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):9—15.
- [5] Yuan B Z, Sun J, Kang Y H, et al. Response of cucumber to drip irrigation water under a rain-shelter[J]. Agricultural Water Management, 2006,81(1/2):145—158.
- [6] 王加蓬,蔡焕杰,王健,等.温室甜瓜膜下滴灌初花期适宜蒸发皿系数研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):22—26.
- [7] 刘海军,黄冠华,王明强,等.基于蒸发皿水面蒸发量制定冬小麦喷灌技术[J].农业工程学报,2010,26(1):11—17.
- [8] Yuan B Z, Kang Y H, Nishiyama S. Drip irrigation scheduling for tomatoes in unheated greenhouse[J]. Irrig Sci, 2001, (20):149—154.
- [9] 赵伟霞,蔡焕杰,单志杰,等.无压灌溉日光温室番茄作物-皿系数研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):16—21.
- [10] 虞娜,张玉龙,邹洪涛,等.温室内膜下滴灌不同水肥处理对番茄产量和品质的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):60—64.
- [11] 刘浩,段爱旺,孙景生,等.温室滴灌条件下土壤水分亏缺对番茄产量及其形成过程的影响[J].应用生态学报,2009,20(11):2699—2704.
- [12] 李天来,张振武,张昕,等.棚室蔬菜栽培技术图解[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1999.
- [13] 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,2009,28(4):83—86.
- [14] 陈秀香,马富裕,方志刚,等.土壤水分含量对加工番茄产量和品质影响的研究[J].节水灌溉,2006,(4):1—4.

Study on tomato drip irrigation scheduling in solar greenhouse based on water surface evaporation of a 20 cm standard pan

JIAO Yan-ping¹, ZHAO Yong¹, ZHANG Yan-hong¹, ZHENG Cheng-hai²

(1. Hebei Provincial Academy of Water Resources, Shijiazhuang, Hebei 050057, China;

2. Semi-arid Agriculture Engineering and Technology Research Center of china, Shijiazhuang, Hebei 050051, China)

Abstract: Based on the irrigation interval of 2 days, this study was conducted to evaluate the effects of different pan coefficient ($K_{cp} = 0.4, 0.6, 0.8$ 和 1.0) on the growth and irrigation water use efficiency of tomato under mulch drip irrigation in solar greenhouse in 2010. Irrigation amount were determined by water surface evaporation (E_p) measured by a standard 0.2 m diameter pan. The results showed that the plant height, LAI and SPAD reading of tomatoes all increased with the increasing of irrigation amount. The higher irrigation amount lead to the increase of fruit yields, but the highest irrigation water use efficiency were achieved with the pan coefficient of 0.4. The content of the vitamin C decreased with the increasing of irrigation amount. The sugar content of the fruit had nothing to do with the irrigation amount. From the viewpoint of high yield, good fruit quality and water saving, the pan coefficient of 0.8 should be suggested as a guideline to irrigate tomatoes in solar greenhouse.

Keywords: solar greenhouse; tomato; pan evaporation; drip; yield; irrigation water use efficiency

(上接第 119 页)

Effects of controlled alternative furrow irrigation on physical properties and water use efficiency of summer maize

WANG Shun-sheng^{1,2}, FEI Liang-jun¹, SUN Jing-sheng³, GAO Chuan-chang², FU Yu-liang²

(1. Institute of Water Resources, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450008, China;

3. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453003, China)

Abstract: A study was made from June to September 2008 on the physical properties and water use efficiency of summer maize under treatments of different furrow irrigation and processing of water (80%, 70% and 60% of field water holding) on each application and frequency in Xinxiang of Henan Province. The experimental results show that controlled alternative furrow irrigation can effectively inhibit the growth of maize redundancy, so it is conducive to make photosynthetic production to the direction of yield formation; the irrigation amount is decreased by 33.3%, water consumption decreased by 22.04%, 21.05% and 23.88%, while the yield decreased by 2.85%, 3.99% and 9%; WUEI of conventional furrow irrigation and alternate furrow irrigation are the highest in treatment 70%, 1.74 and 2.50 kg/m³ in each irrigation; WUEET shows that 70% treatment for CFI is the highest (1.63 kg/m³), 80% treatment for AFI is the highest (2.05 kg/m³); in the same moisture treatment, AFI's water use efficiency is far greater than CFI, so it is a suitable water supply model for maize.

Keywords: controlled alternative furrow irrigation; summer maize; physical properties; yield; water use efficiency