

# 温室青椒开花座果初期耗水规律与影响因素分析\*

韩淑敏<sup>1,2</sup>, 崔建伟<sup>1</sup>, 王贺辉<sup>1</sup>, 高 强<sup>1</sup>, 常红梅<sup>3</sup>

(1 中国科学院 石家庄农业现代化研究所, 河北 石家庄 050021; 2 中国科学院 研究生院, 北京 100039;

3 河北省定州市西城区办事处, 河北 定州 073000)

[摘 要] 通过盆栽试验, 研究了膜下滴灌及滴灌情况下温室青椒开花座果初期的耗水规律, 分析了两种情况下土壤含水率、相对湿度、温度和叶面积指数(LA I)对青椒开花座果初期耗水量的影响。结果表明, 膜下滴灌、滴灌情况下, 植株平均耗水量分别为 0.87 和 2.0 mm/d, 地膜覆盖使耗水量减少了 51.3%; 利用蒸发皿测定的水面蒸发量能够很好地估算温室内的青椒耗水量, 两种情况下温室青椒开花座果初期蒸发皿系数分别为 0.39 和 0.82; 土壤含水率、温度与青椒耗水量同步变化, 相对湿度与耗水量异步变化, 叶面积指数(LA I)的增大使耗水量增加。

[关键词] 温室; 青椒; 开花座果初期; 耗水规律

[中图分类号] S641.307<sup>+</sup>.1; S316

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)06-0079-06

目前, 我国蔬菜种植主要集中在大中城镇郊区及一些有名的蔬菜产区, 种植面积从 1980 年的 316 万  $\text{hm}^2$  增加到 2002 年的 1 703 万  $\text{hm}^2$ , 大量的农业用水、居民用水和工业用水形成水资源紧缺的矛盾尤为突出。蔬菜是一类耗水量较大的作物, 灌溉对蔬菜的整个生育期至关重要, 生长过程中水分亏缺、水分过剩以及土壤水分波动太大都会影响蔬菜的产量和质量。最早针对蔬菜灌溉的研究是为了实现其高产、优质, 研究内容主要涉及蔬菜适宜灌溉指标、灌溉方式、土壤湿润层深度、灌水次数及耗水量特征、需水临界期、水分生产函数等<sup>[1~7]</sup>, 随着资源型缺水的日益加剧, 实现高效、节水型蔬菜灌溉已迫在眉睫。日光温室是适合我国国情的一种新兴高效节能蔬菜保护地栽培设施, 目前, 关于保护地蔬菜灌溉的研究主要集中于番茄、黄瓜等少数蔬菜作物<sup>[8~12]</sup>, 而对青椒精确灌溉的研究较少<sup>[13]</sup>。有研究表明<sup>[8, 14]</sup>, 利用水面蒸发量能够较精确地指导温室蔬菜灌溉, 本研究针对大田试验边界条件不易控制的特点, 利

用盆栽试验, 称重测定了温室滴灌青椒开花座果初期的日耗水量, 并得出了利用水面蒸发量灌溉青椒的指标, 以期对温室青椒的节水、稳产、优质生产提供参考。

## 1 材料和方法

**试验材料** 试验采用均质壤土, 速效氮、速效磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ )和速效钾( $\text{K}_2\text{O}$ )的施用标准分别为 450, 525 和 225  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 土壤被充分拌匀后, 控制其初始含水率为 15%。试验品种选用中国农科院蔬菜花卉所选育的早熟一代杂种中椒 7 号, 该品种抗病性强, 适于保护地和露地早熟栽培。

**试验设计与方法** 采用盆栽试验, 盆直径为 23.4 cm, 高为 24.6 cm, 土壤容重 1.4  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 移植于 2001-04-13 进行。试验分为滴灌、膜下滴灌两种情况, 每种情况以灌水量不同分为 3 个处理, 9 个重复。每次灌溉时青椒需水量估算采用的蒸发皿系数<sup>[15]</sup>如表 1。随着植株生长, 系数相应增大。

表 1 膜下滴灌和滴灌情况下温室青椒开花座果的初期蒸发皿系数( $K_p$ )

Table 1 Value of  $K_p$  in drip irrigation under plastic mulch and drip irrigation in early flowering and setting fruit for pepper

$K_p$	1	2	3	4	5	6	7	8
d-m 1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.63
d-m 2	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7
d-m 3	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8
d-l 1	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8
d-l 2	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9
d-l 3	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0

注: d-m, d-l 分别表示膜下滴灌、滴灌; 1~8 表示灌水次序。

Note: d-m, d-l represents drip irrigation under plastic mulch and drip irrigation respectively. From 1 to 8 shows the irrigation sequence

[收稿日期] 2002-12-16

[作者简介] 韩淑敏(1974—), 女, 河北满城人, 在职硕士, 主要从事农业节水研究。

滴灌、膜下滴灌的试验装置如图 1 所示, 为尽量减少土壤蒸发给试验带来的误差, 盖膜时应尽量密封好, 并在膜上盖一层干土。试验中的主要环境参数直接测定获得或通过测定的环境参数计算得出。从 04-17 开始, 每天 20:00 测定 20 cm 口径标准蒸发皿的水面蒸发量。每天 8:00、14:00 和 20:00 分别利

用干、湿球温度计测定干球温度和湿球温度, 用干球温度平均值表示当日的气温, 利用干、湿球温度及有关模型计算日相对湿度<sup>[16]</sup>。土壤含水率由盆中水重与干土重的比值计算。利用求积仪求得青椒叶面积与长宽之积的比例系数为 0.632, 叶面积指数(LAI)为植株所有叶面积之和与土壤表面积的比值。

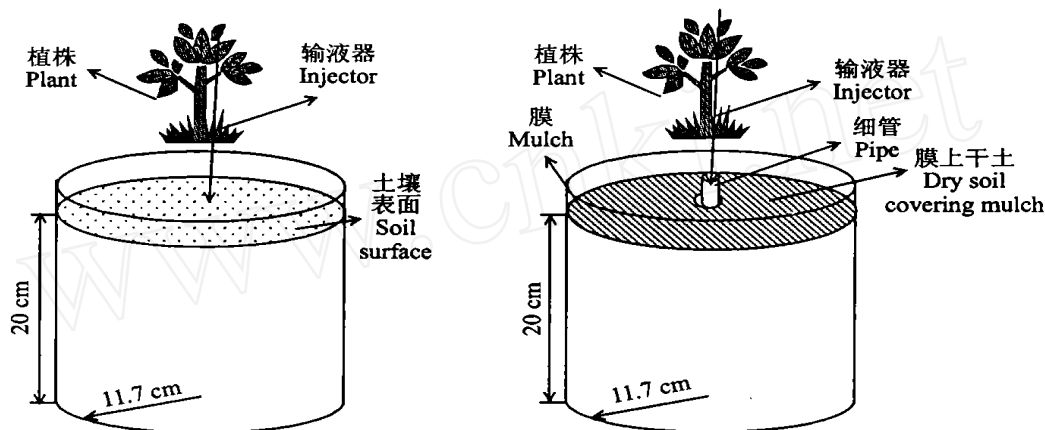


图 1 滴灌、膜下滴灌试验装置示意图

Fig 1 The schematics of drip irrigation and drip irrigation under plastic mulch

青椒耗水量测定采用称重法, 从 04-17 开始, 每天早上 8:00 称重。考虑连续 2 次称重期间有无灌水, 利用水量平衡法求青椒日耗水量。电子称测量精度为 5 g, 最大称量为 15 kg。

## 2 结果与分析

### 2.1 开花座果初期耗水量与水面蒸发量的关系

膜下滴灌、滴灌情况下, 温室青椒开花座果初期耗水量与温室内水面蒸发量的关系如图 2 所示。由图 2 可以看出, 地膜覆盖措施使土壤表面状况发生变化, 减少了棵间蒸发量, 从而降低了作物耗水量。

随着植株的生长, 耗水量增加, 膜下滴灌表现得更为明显, 这是由于地膜覆盖改善了作物生长的外界环境(例如作物生长初期的增温保墒作用), 使得覆膜情况下作物的长势普遍优于对照作物, 主要表现在叶面积指数的增加和株高的增长等方面, 从而增加了作物蒸腾消耗量<sup>[15]</sup>。膜下滴灌、滴灌情况下, 植株平均耗水量分别为 0.87 和 2.0 mm/d, 若忽略地膜覆盖时, 土壤蒸发对作物耗水量的影响及两种情况下的作物生长性状的差异, 可以认为覆膜情况下的作物耗水即为作物蒸腾, 则地膜覆盖使耗水量减少了 51.3%。

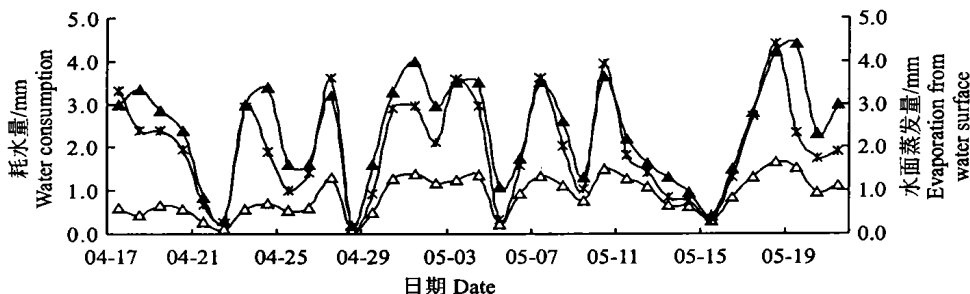


图2 膜下滴灌、滴灌情况下青椒开花座果初期耗水量与水面蒸发量的关系

—△—膜下滴灌; —×—滴灌; —▲—水面蒸发量

Fig.2 Relationship of water consumption and  $E_0$  in early flowering and setting fruit for pepper in drip irrigation under plastic mulch and drip irrigation

—△—Drip irrigation under plastic mulch; —×—Drip irrigation; —▲—Evaporation from water surface

水面蒸发过程与植株耗水过程基本同步, 说明

利用蒸发皿测定的水面蒸发量数据能够综合反映各

种环境变化的影响,并能很好地估算温室内的作物耗水量。膜下滴灌、滴灌情况下青椒开花座果初期蒸发皿系数的变化曲线如图3所示。

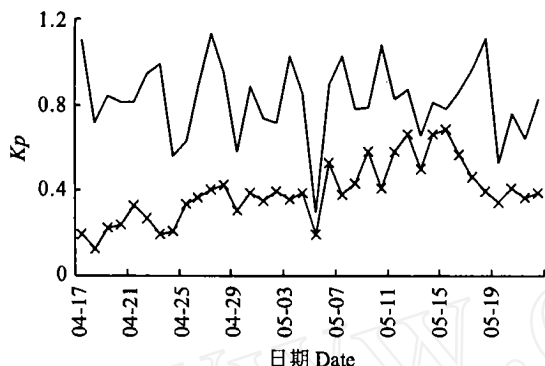


图3 膜下滴灌、滴灌情况下青椒开花座果初期蒸发皿系数 $K_p$ 的变化曲线  
—x— .膜下滴灌; — .滴灌

Fig.3 Evaporation pan index( $K_p$ ) in early flowering and setting fruit for pepper in drip irrigation under plastic mulch and drip irrigation

—x—.Drip irrigation under plastic mulch; —.Drip irrigation

由图3可以看出,由于覆膜情况下作物的长势普遍优于对照作物,使得膜下滴灌时的蒸发皿系数

呈上升趋势,而滴灌情况下该系数上升趋势不明显,据估算,两种情况下植株平均蒸发皿系数分别为0.39和0.82。

## 2.2 开花座果初期土壤含水率与耗水量的关系

由于棵间蒸发与蒸腾过程消耗的水分均直接来自于土壤,因此土壤水分状况与作物需水量的大小关系密切。膜下滴灌、滴灌情况下青椒开花座果初期土壤含水率对植株耗水量的影响如图4所示。由图4可以看出,滴灌比膜下滴灌时土壤水分变化剧烈,但两种情况下土壤含水率始终处于适宜青椒正常生长的范围内。在作物蒸腾不受土壤水分状况影响的条件下,土壤含水率越高时,两种情况下作物耗水量均增加,但土壤水分状况对膜下滴灌作物的耗水量影响不大,而在不覆膜时,由于土壤蒸发量会随着含水率的增加而增加,因此,滴灌情况下土壤水分状况对植株耗水量影响较大,尤其是在灌水当日(图4中峰值对应日期),土壤表面的充分湿润造成土壤表面蒸发量急剧增加,植株耗水量亦明显升高,当土壤逐渐变干时,耗水量则急剧下降。

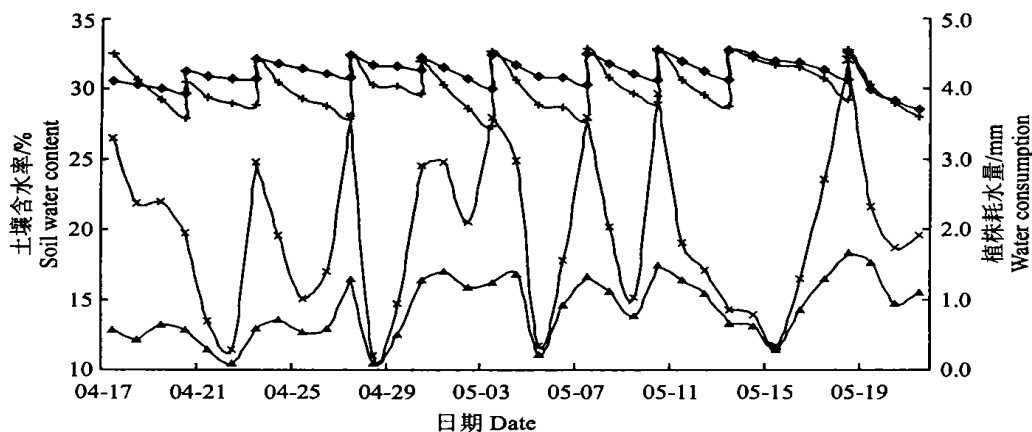


图4 膜下滴灌、滴灌情况下青椒开花座果初期土壤含水率与植株耗水量的关系

—●— .膜下滴灌时的土壤含水率; -○- .滴灌时的地下含水率;  
—▲— .膜下滴灌时植株耗水量; -x- .滴灌时植株耗水量

Fig.4 Relationship between soil water content and water consumption in early flowering and setting fruit for pepper in drip irrigation under mulch and drip irrigation

◆ .Soil water content in drip irrigation under plastic mulch; -○- .Soil water content in drip irrigation;  
—▲— .Water consumption in drip irrigation under plastic mulch; -x- .Water consumption in drip irrigation

## 2.3 开花座果初期温度、相对湿度与耗水量的关系

在空气湿度成为影响作物耗水量的限制因素时,空气湿度越低,叶面与大气之间的水势梯度越大,导致水汽扩散速率增大,植株蒸腾量增加;同时,在这样的条件下,棵间蒸发量也会增加。反之,空气湿度越高,植株蒸腾量、棵间蒸发量都会降低。膜下滴灌、滴灌情况下,青椒开花座果初期温度、相对湿

度对植株耗水量的影响如图5所示。由图5可以看出,相对湿度高时,植株耗水量降低,相对湿度低时,植株耗水量增加,二者呈异步变化,这种异步变化在滴灌情况下表现得尤为明显。

由图5还可以看出,温度升高时水分蒸发加快。这是因为温度升高,饱和水气压差增大,作物蒸腾、土壤蒸发量增加,植株耗水量增加。另外,温度与作

物一些代谢过程的强弱密切相关,在一定的范围内,温度越高,代谢越快,植株蒸腾越大。从能量的角度考虑,当其他因素相同时,高温环境下的植株蒸腾与

土壤蒸发需要能量较少,从而导致作物的耗水量较低温环境下高。

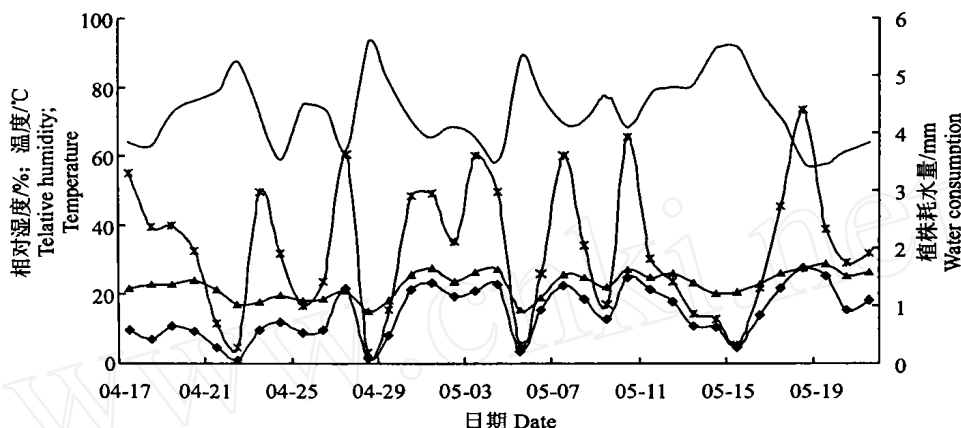


图5 膜下滴灌、滴灌情况下青椒开花座果初期相对湿度、温度与植株耗水量的关系

—△— .温度; — .相对湿度; —◆— .膜下滴灌耗水量; —×— .滴灌耗水量

Fig.5 Relationships among relative humidity, temperature and water consumption in early flowering and setting fruit for pepper in drip irrigation under mulch and drip irrigation

—△— .Temperature; — .Relative humidity; —◆— .Drip irrigation under plastic mulch; —×— .Drip irrigation

## 2.4 开花座果初期 LAI 与相对蒸腾强度、相对土壤蒸发强度的关系

蒸腾过程是作物体水分的散失过程,其数量与作物的生长发育状况密切相关。蒸发过程虽然主要在植株间进行,但作物生长状况对水分散失量也有很大影响。因此,作物需水量的大小与作物本身的生长发育状况关系密切<sup>[15]</sup>。通常用叶面积指数 LAI 来

描述作物冠层的发育状况,从而在一定程度上反映了植株需水量的大小。温室内膜下滴灌、滴灌情况下,青椒开花座果初期叶面积指数 LAI 对植株耗水量的影响如图 6 所示。由图 6 可以看出,两种灌溉情况下,植株耗水量均随 LAI 的增大而增加,但膜下滴灌时表现得更加明显,说明膜下滴灌更利于作物的正常生长。

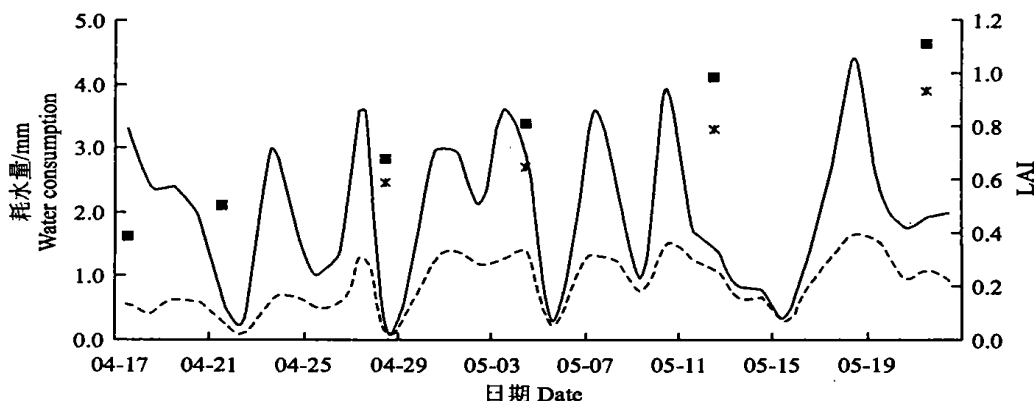


图6 膜下滴灌、滴灌情况下青椒开花座果初期叶面积指数 LAI 与植株耗水量的关系

--- .膜下滴灌; — .滴灌; ■ .膜下滴灌的 LAI; × .滴灌的 LAI

Fig.6 Relationship between LAI and water consumption in early flowering and setting fruit for pepper in drip irrigation under mulch and drip irrigation

--- .Drip irrigation under plastic mulch; — .Drip irrigation; ■ .LAI in drip irrigation under plastic mulch; × .LAI in drip irrigation

LAI 更能反映植株生长过程中蒸腾、蒸发量的变化。如果忽略覆膜导致植株生长性状的差异,用膜下滴灌情况下作物耗水量代表作物蒸腾量,则可用

滴灌与膜下滴灌两种情况下作物耗水量的差值代表棵间土壤蒸发量。同时,若用  $E_c$  表示作物蒸腾量,  $E_s$  表示土壤蒸发量,  $E_p$  表示水面蒸发量,则可用  $E_c/E_p$

表示相对蒸腾强度,  $E_s/E_p$  表示相对土壤蒸发强度。采用相对蒸腾强度和蒸发强度是为了消除气象因素的影响<sup>[17]</sup>。 $E_c/E_p$ ,  $E_s/E_p$  与叶面积指数(LAI)的关系如图7所示。由图7可以看出, 随植株的生长, 作

物群体不断加大, LAI 不断提高。同时,  $E_c/E_p$  随 LAI 的增加而升高, 而  $E_s/E_p$  随 LAI 的增加而下降。但在灌溉之后,  $E_s/E_p$  有大幅度上升, 尤其在灌溉当日表现更为明显。

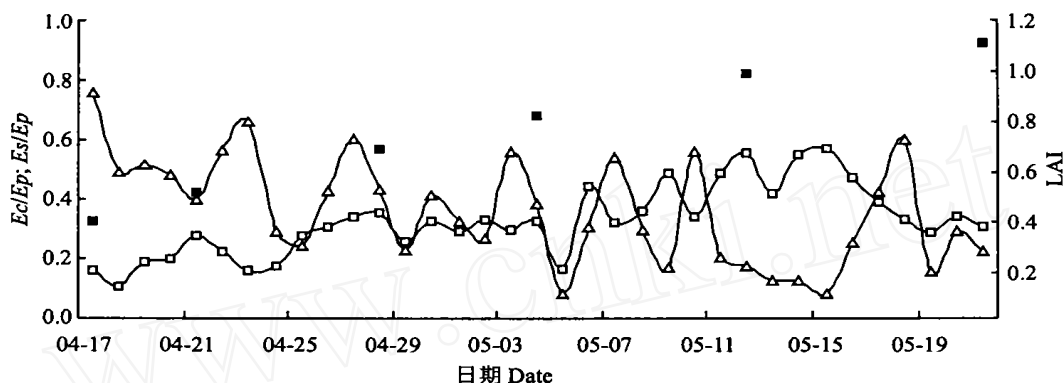


图7 滴灌条件下青椒开花座果初期LAI与相对蒸腾强度、相对土壤蒸发强度的关系

—□—  $E_c/E_p$ ; ■ LAI; —△—  $E_s/E_p$

Fig.7 Relationships among LAI, relative transpiration intensity and relative soil water evaporation intensity in early flowering and setting fruit for pepper under drip irrigation

### 3 结论与讨论

1) 滴灌与地膜覆盖结合使用, 是温室内种植蔬菜适宜采用的种植模式。本试验中, 膜下滴灌和滴灌情况下, 温室青椒开花座果初期平均耗水量分别为 0.87, 2.0 mm/d, 地膜覆盖使耗水量减少了 51.3%。蒸发皿系数分别为 0.39, 0.82。

2) 在影响作物耗水量的因素中, 土壤含水率、温度与青椒耗水量同步变化, 相对湿度与青椒耗水量异步变化, 滴灌情况下植株耗水量对以上影响因素的变化较为敏感。随植株叶面积指数(LAI)的增加, 耗水量也呈上升趋势。消除气象因素的影响后,

叶面积指数(LAI)对相对蒸腾强度( $E_c/E_p$ )和相对土壤蒸发强度( $E_s/E_p$ )的影响完全相反,  $E_c/E_p$  随 LAI 的增加而升高,  $E_s/E_p$  随 LAI 的增加而下降。

3) 本研究忽略了地膜覆盖情况下, 土壤蒸发对植株蒸腾的影响及由于覆膜引起的植株生长性状的差异; 利用直接称重法测定青椒开花座果初期的耗水量, 该方法的缺点是作物在盆中生长时所处的条件与大田中生长有明显差异; 耗水量测定过程中忽略了作物干物质量的增加。这都给试验带来一定的误差, 测定结果的代表性需要与大田试验进行对照研究, 并进行验证、修订, 才能用于指导生产。

### [参考文献]

- [1] 陆帼一. 蔬菜水分生理与灌溉指标的研究进展[J]. 长江蔬菜, 1989, (2): 1-20
- [2] Al-Jamal M S, Sammis T W, Ball S. Computing the crop water production function for onion[J]. Agric Water Manage, 2000, 46: 29-41.
- [3] Georges T Dodds, Leif Trenholm, Ali Rajabipour, et al. Yield and quality of tomato fruit under water-table management[J]. Amer Soc Hort Sci, 1997, 122(4): 491-498
- [4] Mendez J. Effect of four irrigation frequencies on the performance of two tomato varieties in an arid soil[J]. Abstract Horticulture, 1997, 3: 876
- [5] 吴兴波, 赵德岭, 李荣昌. 塑料大棚蔬菜膜下滴灌技术试验研究[J]. 灌溉排水, 1999, 18(1): 48-51.
- [6] Fabeiro C, Martin de Santa Olalla F, de Juan J A. Yield and size of deficit irrigated potatoes[J]. Agric Water Manage, 2001, 48: 255-266
- [7] 徐淑贞, 张双宝, 鲁俊奇, 等. 日光温室滴灌番茄需水规律及水分生产函数的研究与应用[J]. 节水灌溉, 2001, (4): 26-28
- [8] 原保忠, 康跃虎. 番茄滴灌在日光温室内耗水规律的初步研究[J]. 节水灌溉, 2000, (3): 25-27.
- [9] 曾向辉, 王慧峰, 戴建平. 温室西红柿滴灌灌水制度试验研究[J]. 灌溉排水, 1999, 18(4): 23-26
- [10] 许贵民, 姜竣业, 姚芳杰, 等. 大棚春番茄节水灌溉的研究[J]. 吉林农业大学学报, 1994, 16(1): 26-29

- [11] 栾时雨 塑料大棚黄瓜的灌水起点[J]. 灌溉排水, 1990, 9(1): 62- 63
- [12] 毛学森, 李登顺 日光温室黄瓜节水灌溉研究[J]. 灌溉排水, 2000, 19(2): 45- 47.
- [13] 高庆芳, 李秉柏, 郭 鹏 大棚辣椒需水量及节水灌溉研究[J]. 江苏农业科学, 1992, (1): 45- 47.
- [14] Locascio S T, Smatstria A G Water application scheduling by pan evaporation for drip-irrigation tomato[J]. Journal of the American Society for Horticulture Science, 1996, 12(1): 63- 68
- [15] 李英能 作物与水资源利用[M]. 重庆: 重庆出版社, 2001.
- [16] Ed Barnes, Relative Humidity. An Important Environmental Measurement[EB/OL]. <http://www.uswclars.ag.gov/exper/relhum.htm>, 2002-12-10
- [17] 刘 钰, Fernando R M, Pereira L S 微型蒸发器田间实测麦田与裸地土面蒸发强度的试验研究[J]. 水利学报, 1996, (6): 45- 49

## Water consumption pattern in early flowering and setting fruit for pepper and its factors under drip irrigation in Greenhouse

HAN Shu-m in<sup>1,2</sup>, CUI J ian-wei<sup>1</sup>, WANG He-hui<sup>1</sup>, GAO Q iang<sup>1</sup>, CHANG Hong-mei<sup>3</sup>

(1 Shijiazhuang Institute of Agricultural Modernization, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050021, China;

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3 West City Zone Office in Dingzhou of Hebei Province, Dingzhou, Hebei 073000, China)

**Abstract:** Experiment was done in pots Water consumption for pepper in early flowering and setting fruit under film drip irrigation and drip irrigation in greenhouse was studied. In addition, the effect of soil water content, relative humidity, temperature and leaf area index on water consumption in early flowering and setting fruit for pepper in greenhouse under film drip irrigation and drip irrigation was analyzed. Under two conditions, average water consumption was respectively 0.87 and 2.0 millimeters everyday and water consumption with mulch was 51.3% less than that without mulch. Water consumption in early flowering and setting fruit could be well estimated through the data of the evaporation from water surface measured by pan, the evaporation pan index was 0.39 and 0.82, respectively. The curves of soil water content, temperature and that of water consumption were synchronous, the curve of relative humidity and that of water consumption was asynchronous, water consumption enhanced as LAI increased.

**Key words:** greenhouse; pepper; early flowering and setting fruit; water consumption pattern