

不同灌水量和灌水频率对田间黄瓜 耗水特性及产量的影响

冀健红¹, 张 晔², 李艳丽², 刘新阳^{3*}, 赵 礼², 傅国强²
(1.河南水利与环境职业学院, 郑州 450008; 2.浙江省水利水电工程质量与
安全监督管理中心, 杭州 310012; 3.华北水利水电大学, 郑州 450045)

摘 要:【目的】确定大田黄瓜最适宜的灌溉频率和灌水量。【方法】试验于 2018 年在华北水利水电大学农业高效用水试验场进行, 以 20 cm 标准蒸发皿的累积蒸发量 (E_{20}) 作为灌水依据, 灌溉处理分为 2 个灌溉间隔 ($I_1:3\text{ d}$; $I_2:6\text{ d}$) 和 3 种水面蒸发系数 ($K_1:0.5$; $K_2:0.7$; $K_3:0.9$), 共 6 个处理, 对黄瓜耗水特性、产量构成和水分利用效率进行了分析。【结果】黄瓜整个生育期耗水量在 380~570 mm 之间波动, 黄瓜的产量在 18.2~46.1 t/hm² 之间波动。从不同灌水频率组合来看, I_2K_3 处理的产量最高, 其中, K_3 处理的早期产量最高, 而 I_1 与 I_2 处理的水分利用效率无明显差异。果实数与灌水量之间、耗水量与产量之间均呈正线性相关关系。【结论】建议对于田间黄瓜栽培, 灌溉间隔设置为 6 d, 蒸发皿系数选择 0.9 为宜。

关 键 词: 蒸发皿; 灌水间隔; 水面蒸发系数; 灌溉制度; 黄瓜

中图分类号: S275.9

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2020302

OSID:



冀健红, 张晔, 李艳丽, 等. 不同灌水量和灌水频率对田间黄瓜耗水特性及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(3): 63-69.

Ji Jianhong, ZHANG Ye, LI Yanli, et al. Effects of Irrigation Amount and Frequency on Water Consumption and Yield of Field Cucumber[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(3): 63-69.

0 引 言

【研究意义】合理的灌溉制度不仅可以为植物生长提供良好的水分条件, 同时可以更好了解植物对水分的敏感变化^[1-2]。现代农业耕作方法的增产主要取决于是否能够及时和充分地满足作物健康生长所需的灌溉用水, 因此, 为了获得单位面积的最高产量, 除了确定植物的水分消耗和灌溉间隔, 还需要确定植物在各个时期对水分的敏感程度^[3-4]。

【研究进展】20 cm 标准蒸发皿由于其操作简单, 近年来在制定作物灌溉制度时得到了广泛应用。研究发现, 植物水分的消耗与蒸发皿的蒸发量之间存在着密切关系^[5-7]。利用蒸发皿蒸发量作为一种灌溉参考, 并作为制定灌溉制度的依据是一种可靠的方法。此外,

由于 20 cm 蒸发皿最适合由植物、土壤和大气三者合成的合成体系, 因此, 常被参考用来制定作物的灌溉制度, 如 Liu 等^[8]认为当 20 cm 蒸发皿累积蒸发量达到 10 mm 时, 采用 0.9 作为蒸发皿系数进行灌水可以完全满足温室番茄的需水要求; Yuan 等^[9]认为大田马铃薯栽培蒸发皿系数可以采用 0.75, 其产量最优, 水分利用效率最高。刘海军等^[6]认为蒸发皿系数为 0.75 可以满足大田小麦的需水要求。在灌水频率方面, 滴灌灌水频率采用 8 d 可显著提高马铃薯的产量, 且水分利用效率较佳^[10-11], 而低频 (10 d) 灌溉则有助于棉花增产^[12]。对于番茄栽培, 建议灌水间隔设置为 6 d 可减少氮肥的流失, 从而增加产量^[13]。以往研究多是在灌水间隔或蒸发皿系数单个因素上考虑不同灌水条件对作物需水的影响, 较少考虑二者的综合效应。

黄瓜属于葫芦科, 是一种典型的蔬菜作物, 全世界种植面积约 240 万 hm², 每年黄瓜产量接近 4 000 万 t。因此, 黄瓜被认为是最重要的经济蔬菜之一^[14-15]。

【切入点】近年来, 在河南商丘地区种植广泛, 但大田栽培条件下, 由于所受环境因子较为复杂, 有关黄

收稿日期: 2020-06-05

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51309099); 浙江省水利厅重大科技项目 (RA1806); 浙江省水利厅专项经费项目 (5638896)

作者简介: 冀健红 (1985-), 女。高级工程师, 主要从事节水灌溉工程建设和管理等方面工作。E-mail: jianhongji@126.com

通信作者: 刘新阳 (1979-), 男。教授, 主要从事节水灌溉工程建设和管理等方面工作。E-mail: lxywd2008@126.com

瓜的需水规律研究较为少见,尤其是在不同蒸发皿系数和灌水频率组合条件下,黄瓜的耗水特性如何变化,还有待进一步研究。【拟解决的关键问题】确定不同的灌水时间间隔和水面蒸发系数对黄瓜耗水特性及产量构成的影响,进而利用蒸发皿制定适合大田黄瓜栽培的灌溉制度。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2018年5—9月在华北水利水电大学农业高效用水试验场(34°72'N, 113°65'E, 海拔110.4 m。)进行。试验区年均降雨量640 mm, 年均蒸发量1900 mm, 属暖温带大陆性季风气候, 多年平均气温14.5℃, 日照时间1870 h, 无霜期209 d。试验区土壤为壤土, 0~90 cm土壤平均体积质量为1.5 g/cm³, 田间持水率为21.5% (质量含水率)。

1.2 试验设计

试验在防雨棚下进行, 于2018年5月15日播种, 每穴平均播4粒黄瓜种子, 行距和株距分别为95和40 cm。灌溉处理包括2个灌水间隔 (I_1 :3 d; I_2 :6 d) 和3种水面蒸发系数 (K_1 :0.5; K_2 :0.7; K_3 :0.9)。参考20 cm标准蒸发皿的累积蒸发量进行灌溉, 蒸发皿放置在距地表高2 m的位置, 在灌水间隔内蒸发皿累积蒸发量与水面蒸发系数相乘得到各处理的单次灌水量。每个试验小区的面积是3.9 m×2.0 m, 并种植15棵黄瓜, 小区之间的间距为1 m。按完全随机设计, 重复3次。在播种前对每个小区施用磷酸二铵, 施用量为0.27 t/hm², 并在开花期(7月3日)和果实成熟期(7月29日)对每个小区施用68 g 尿素。采用滴灌灌水方式, 每个小区安装1块精度为0.001 m³的水表, 以便于精准控制灌水量。灌水计划在第1层果实坐果时开始, 到8月下旬停止(以果实减少80%作为截止日期)。

1.3 试验观测项目与方法

1.3.1 土壤含水率

在黄瓜整个生长期进行土壤水分的测量, 从黄瓜出苗开始, 采用TRIME-IPH时域反射仪每隔7~10 d对0~90 cm的土壤含水率进行测定(在每次灌水前后加测), 测量间隔深度为10 cm。为确保仪器测定的准确性, 采用取土烘干法对仪器进行矫正。

1.3.2 灌水量

灌水量(I_r)为20 cm蒸发皿的累积蒸发量与蒸发皿系数的乘积, 计算式为:

$$I_r = E_{20} \times K_c, \quad (1)$$

式中: I_r 为灌水量(mm); E_{20} 为20 cm蒸发皿的累积蒸发量(mm); K_c 为蒸发皿系数。

1.3.3 产量指标

在黄瓜收获时, 每个小区选择10株, 采用电子秤(精度为0.01 g)测量黄瓜的单果质量, 采用游标卡尺测量黄瓜中间部位的直径、采用卷尺测量其长度, 最后核算每次采摘的黄瓜个数。在本试验中, 将前4次采摘的黄瓜作为早期产量。

1.3.4 耗水量和水分利用效率

耗水量(ET)采用水量平衡法^[16]计算:

$$ET = I_r + P_r + U - D + (W_0 - W_1), \quad (2)$$

式中: ET 为耗水量(mm); I_r 为灌水量(mm); P_r 为降水量(mm); U 为地下水补给量(mm); D 为深层渗漏量(mm); W_0 、 W_1 分别为时段初和时段末90 cm土层内的储水量(mm)。由于试验是在防雨棚下进行的, 所以 $P_r=0$; 试验地的地下水埋深较深(在5.0 m以下), 可以忽略地下水补给量, 即 $U=0$; 因为所有处理单次灌水定额较小, 几乎不产生深层渗漏, 即 $D=0$ 。

水分利用效率(WUE)、灌溉水利用效率($IWUE$)和灌溉水补偿率(I_{rc})计算式^[17]为:

$$IWUE = \frac{Y}{I_r} \times 100, \quad (3)$$

$$WUE = \frac{Y}{ET} \times 100, \quad (4)$$

$$I_{rc} = \frac{I_r}{ET} \times 100, \quad (5)$$

式中: $IWUE$ 为灌溉水利用效率(kg/m³); WUE 为水分利用效率(kg/m³); I_{rc} 为灌溉水补偿率(%); Y 为黄瓜产量(t/hm²); ET 为作物耗水量(mm); I_r 为总灌水量(mm)。

1.3.5 数据分析与处理

数据统计分析采用DPS(v13.0)统计软件, 图表采用Excel进行绘制。

2 结果与分析

2.1 灌水前后土壤含水率的变化

黄瓜试验的灌水时间从7月15日开始, 8月26日结束。图1为0~90 cm各处理灌水前后土壤含水率变化, 灌溉前土壤含水率接近凋萎系数(WP , 8.5%), 灌水后接近田间持水率(FC , 32.3%)。其中 I_2 处理比 I_1 处理灌溉前的土壤含水率更接近 WP , 由于 I_2 处理的每次灌溉水量都比较大, 在每次灌溉之后 I_2 处理比 I_1 处理更接近 FC 。高蒸发皿系数的土壤含水率在灌溉前后均高于低蒸发皿系数处理。另一方面, 在相同的蒸发皿系数条件下, I_2 处理更靠近 FC 。此外, 由于 I_1 处理经常灌溉, 因此其蒸发损失要比 I_2 处理大得多。

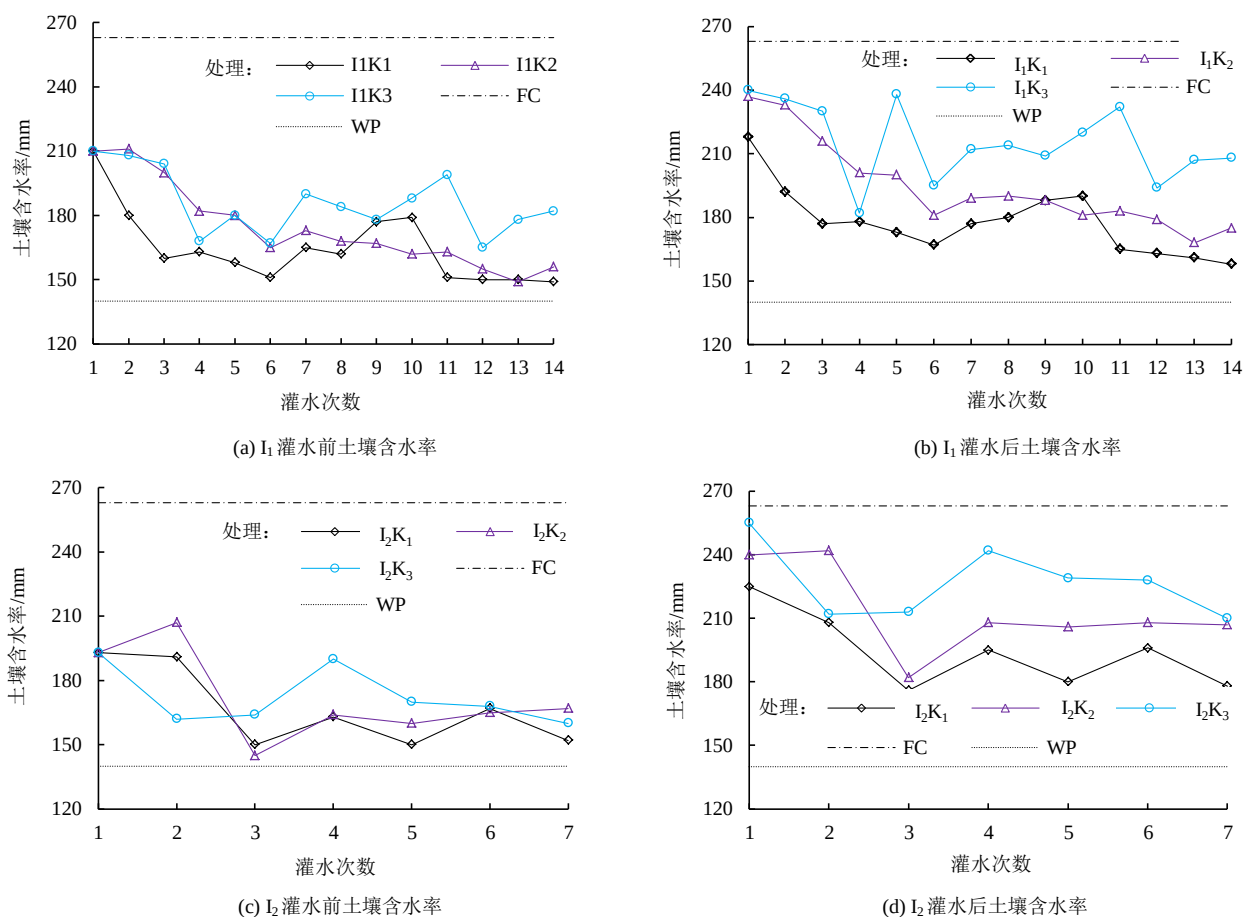


图1 不同处理全生育期土壤含水率变化

Fig.1 Changes of soil water content for different treatments over the whole growth period.

2.2 灌溉用水量、耗水量和水面蒸发量变化

表1给出了不同处理的灌溉水量(I_r)和耗水量(ET)的变化。从表1可以看出,播种到苗期,各处理的 I_r 在313.2~502.9 mm之间变化, ET 随着 I_r 的增加而增加。每隔3 d和6 d分别灌溉14次和7次,在

整个生育期内有680.3 mm的水量蒸发。其中 K_1 处理的灌溉水量最低,平均为315.7 mm, K_3 处理的灌溉水量最高,平均为498.5 mm。由于7月的太阳辐射较强,温度较高,因此,7月的水面蒸发量是最高的,灌溉水量也最多。

表1 不同处理的灌溉水量(I_r)、耗水量(ET)、水面蒸发量(E_{20})分布Table1 Distribution of irrigation amount (I_r), water consumption (ET) and water surface evaporation (E_{20}) of different treatments

处理	5月		6月		7月		8月		9月		合计	
	I_r	ET	I_r	ET	I_r	ET	I_r	ET	I_r	ET	I_r	ET
I_1K_1	15	31	68	52	135.3	178.1	94.9	131.9	-	8.6	313.2	401.6
I_1K_2	15	31	68	52	180.2	211.2	141.8	181.8	-	12.1	405.0	488.1
I_1K_3	15	31	68	52	230.2	271.3	189.7	129.7	-	11.8	502.9	495.8
I_2K_1	15	31	68	52	125.3	180.2	109.8	109.8	-	12.2	318.1	385.2
I_2K_2	15	31	68	52	172.1	210.3	159.7	161.7	-	16.2	414.8	471.2
I_2K_3	15	31	68	52	201.2	242.1	209.9	219.9	-	21.1	494.1	566.1
E_{20}	66.0		172.0		211.2		208.4		22.7		680.3	

2.3 产量和水分利用效率

表2为不同水分处理产量指标变化。黄瓜播种62 d后首次收获,生育期内共收获17次,持续到第122 d(9月6日)。 K_3 处理灌水量最大,植株耗水量最高,对应的早期产量也最多,同时 K_3 处理的总产量也最高。 K_1 处理的总产量最低,灌水量也最少。对

于 K_2 处理,虽然早期产量没有 K_1 处理高,但总产量在 K_1 处理与 K_3 处理之间,可见,黄瓜的产量会随着灌水定额的增加而增加。

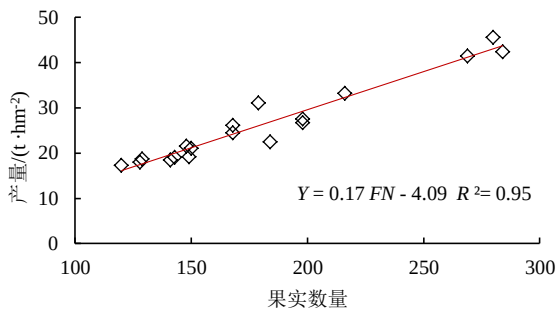
从表2可以看出, K_3 处理产量最高,2种灌溉频率的 $IWUE$ 和 WUE 也最高。在3 d灌水间隔条件下,随着灌水量的增大, $IWUE$ 和 WUE 出现了先减小后

增加的变化趋势。而在 6 d 灌水间隔条件下, K_1 和 K_2 处理的 $IWUE$ 和 WUE 没有明显的差异, 但均小于 K_3 处理。可见, 当灌水间隔相同时, 选用 0.9 的蒸发皿系数可使得灌溉用水效果达到最佳水平。在 2 种灌水间隔条件下, 灌水量越多, 相应的 I_{rc} 也就越高, 并且 6 d 灌水间隔的 I_{rc} 普遍高于对应的 3 d 灌水间隔。这可能是由于频繁灌溉的植物会消耗更多的水分, 从而使作物不易遭遇水分胁迫, 同时黄瓜属于浅根作物, 更容易得到灌溉水的补偿。所有处理的 I_{rc} 均高于 80% (除 I_1K_1 处理外), 说明各水分处理的黄瓜基本得到了灌溉补偿。

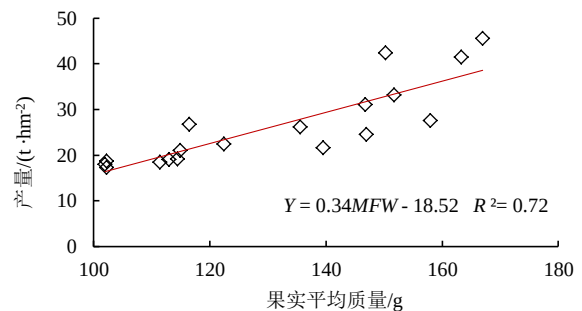
表 2 不同处理的产量指标及水分利用效率

Table 2 Yield index and water use efficiency of different treatment

指标	I_1K_1	I_1K_2	I_1K_3	I_2K_1	I_2K_2	I_2K_3
产量/(t·hm ⁻²)	18.2d	21.2cd	32.8b	18.4d	23.5c	46.1a
$IWUE$ /(kg m ⁻³)	55.5d	50.1e	62.7b	60.7b	59.2bc	97.3a
WUE /(kg m ⁻³)	45.3d	43.4d	66.2b	47.8c	49.9c	81.4a
$I_{rc}/\%$	79.7c	85.0ab	88.7a	83.1b	88.0a	89.9a
早期产量/(t·hm ⁻²)	1.21e	0.92e	4.49b	2.71c	1.70d	6.78a
果实直径/cm	3.51a	3.53a	3.51a	3.70a	3.45a	3.65a
果实长度/cm	14.4a	14.4a	15.1a	13.9a	15.2a	14.5a
果实数量	125f	145d	192b	140e	165c	277a
果实平均质量/g	112.3bc	114.5bc	136.5a	101.6c	116.8ab	127.3ab



(a) 果实数量与产量关系



(b) 果实平均质量与产量关系

图 2 黄瓜果实数量 (FN)、果实平均质量 (MFW) 与产量的关系

Fig.2 The relationship between the quantity and weight of cucumber fruit and yield

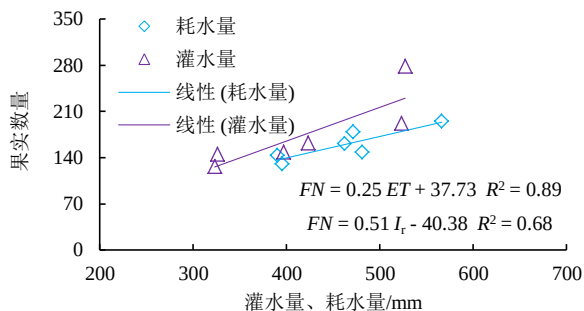
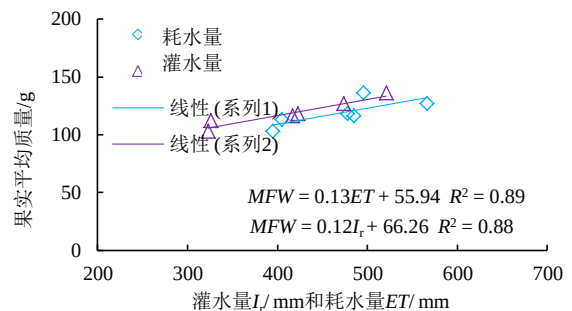
(a) I_r 、 ET 与果实数量关系(b) I_r 、 ET 与果实平均质量关系

图 3 灌水量、耗水量与黄瓜产量指数之间的相关性

Fig.3 The relationship between irrigation and water consumption and cucumber yield index

2.4 产量指标与收获产量的关系

为了分析各产量指标与收获产量之间的相关性, 图 2 给出了果实数量 (FN)、果实平均质量 (MFW) 与产量之间的关系。从图 2 可以看出, 随着 FN 和 MFW 的增加, 收获产量呈明显的增加趋势。其中, FN 对产量的贡献最大, 二者的回归方程为 $Y=0.17FN-4.09$, 相关系数 ($R^2=0.95$) 达到显著水平。MFW 与收获产量之间的回归方程为 $Y=0.34MFW-18.52$, 相关系数 ($R^2=0.72$) 未达到显著水平。

I_r 和 ET 也会影响 FN 和 MFW。从图 3 中可以看出, 随着 I_r 和 ET 的增加, FN 和 MFW 都有明显的增加趋势, 与 I_r 相比, ET 的增加对 FN 和 MFW 的影响最大, 相关系数 ($R^2=0.89$) 均达到了显著水平。从 I_r 对 FN 和 MFW 的影响来看, I_r 对 MFW 的影响高于 FN。因此, 2 种灌溉间隔期黄瓜果实的供水量越高, 黄瓜果实质量就越大。

图 4 给出了不同水分处理的灌水量、耗水量与黄瓜产量之间的关系。黄瓜产量与灌水量和耗水量呈线性正相关关系, 但耗水量与产量之间的相关性 ($R^2=0.82$) 要高于灌水量 ($R^2=0.78$)。说明黄瓜植株对水分胁迫非常敏感, 之前研究表明, 对于大多数的浅根作物而言, 其对水分胁迫的敏感程度均较高^[3]。

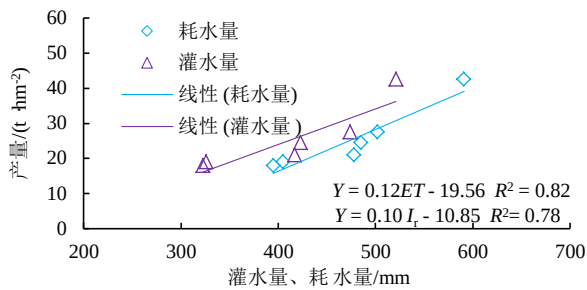


图4 灌水量和耗水量与黄瓜产量的相关性

Fig.4 The relationship between irrigation and water consumption and cucumber yield

2.5 不同处理耗水量与水面蒸发量的关系

表3为不同处理的累积 ET 在生长期与累积 E_{20} 之间的关系。 ET 与 E_{20} 呈线性正相关关系。因此，利用蒸发皿蒸发量来确定作物灌溉制度是可行的。本研究最佳灌溉处理(I_2K_3)的 ET/E_{20} 方程($ET=0.94E_{20}-33.88$)也是合理的。因此，将灌水间隔为6 d的累积蒸发量代入方程中可以得到相应的耗水量。

表3 不同处理累积耗水量与累积水面蒸发量的关系

Table 3 Relationship between consumption water consumption and consumption pan evaporation for different treatment

处理	线性方程	R^2
I_1K_1	$ET=0.90 E_{20}-77.98$	0.97
I_1K_2	$ET=0.85 E_{20}-51.02$	0.97
I_1K_3	$ET=0.81 E_{20}-57.63$	0.98
I_2K_1	$ET=0.79 E_{20}-51.40$	0.98
I_2K_2	$ET=0.78 E_{20}-27.43$	0.98
I_2K_3	$ET=0.94 E_{20}-33.88$	0.99

在图5可以看到，不同处理在整个生育期内 ET/E_{20} 的变化情况，水分最少的 I_1K_1 处理对应最小的 ET/E_{20} 比值。 ET/E_{20} 在植物生长初期较低，至灌水开始及早期开花结果后会有所提高，在生长中期，由于冠层扩大，连续的花序，果实成熟以及最后的果实收获导致 ET/E_{20} 呈上升趋势，之后进入平稳阶段，最后在生育期结束之前 ET/E_{20} 有所下降。说明冠层发育与植物耗水具有一定相关性。研究发现^[19]， ET/E_{20} 与植物冠层呈线性正相关，直到植物冠层覆盖了植物行内80%的土壤。

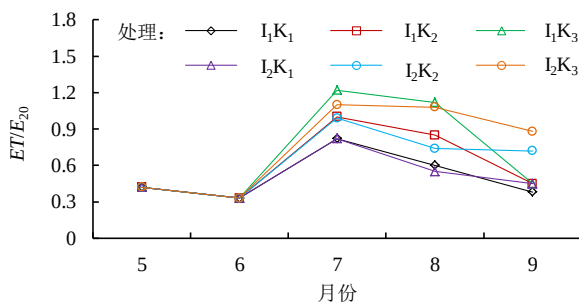

 图5 不同处理 ET/E_{20} 的变化

 Fig.5 The change of ET/E_{20} for different treatments

3 讨论

黄瓜在生长的过程中对水分变化十分敏感，水分胁迫不仅会影响黄瓜的外观品质，还会降低经济产量^[2-4]。当发生水分亏缺时，黄瓜的开花数量会减少，茎粗和长度等均有所降低。本研究认为，选用蒸发皿系数为0.9有利于黄瓜产量的提高，低于0.9时，产量及产量构成均会受到影响。增加灌水量会提高果实的平均质量，对提高产量贡献最大^[18]。对于大田黄瓜栽培，蒸发皿系数选择1.0时可增加产量，而采用该蒸发皿系数指导温室黄瓜灌水制度时，其 WUE 有所降低^[7]。在针对日光温室滴灌黄瓜的研究中发现蒸发皿系数选择0.8时可满足需水要求，但低于0.75则会显著抑制产量的形成^[2,21]。这可能是由于温室内辐射低、湿度大以及灌水方式的不同引起的。水分胁迫的减产效应还表现在其它蔬菜作物上，如番茄^[8-9]、哈密瓜^[20]和马铃薯^[10-11]等作物。

蔬菜作物的产量构成，除了对灌水量反应较为敏感外，灌水频率也是影响产量构成的重要因素。本研究得出，相同蒸发皿系数条件下，6 d灌水频率的产量要高于3 d。在类似的研究中同样发现，低频灌溉的产量要明显高于高频灌溉，这是因为高频灌溉会在地表形成一层水膜，从而抑制了作物根系的呼吸，最终影响产量的构成^[8,12-13]。

对于浅根作物，在整个生长过程中对水分胁迫的敏感程度还表现在 WUE 和 $IWUE$ 等方面^[3]，本研究认为，对于黄瓜栽培，较低的灌水量并不会提高 $IWUE$ ，而0.9蒸发皿系数处理的 WUE 和 $IWUE$ 最高。在类似对大田作物的研究发现，当灌水频率相同时， WUE 和 $IWUE$ 表现出先降低后升高的趋势；并且当土壤水分下限较低时，并不能获得较高的 WUE 和 $IWUE$ ，反而产量下降比较显著^[7,20]。出现这种现象的主要原因是亏缺灌溉明显抑制了作物的产量，尤其在黄瓜的营养生长期，亏缺灌溉不仅会造成植物体内大量脱落酸的形成，而且会出现黄瓜的落花和落果现象，从而影响产量^[3-4,7,20]。

小型水面蒸发皿具有简单易操作的特点，且能够代表一定条件下的气象状况，在一定条件下，作物的耗水量计算也可以通过建立耗水量与水面蒸发量的关系式来简单获得^[7]。本研究认为蒸发皿的累积蒸发量与大田黄瓜的累积耗水量呈良好的线性关系，二者之比(ET/E_{20})在整个生长阶段的变化趋势表现为：生育初期小，中期开始上升，后期趋于稳定或下降的变化趋势。在对温室滴灌番茄的研究中发现耗水量与水面蒸发量在初期和生育后期均比较小，而中期较大，二者呈显著性线性关系，相关系数在0.99以上^[8,22]。

因此,在进行灌溉制度设计时,可在作物生育初期和后期采用较低的蒸发皿系数(0.5),而在生育中期采用较高的蒸发皿系数(0.9)进行灌溉设计,从而实现节水增产的目的。

4 结 论

1) I_2K_3 处理的总收益最高, $IWUE$ 和 WUE 超过 80 kg/m^3 , 灌溉水补偿率接近 90%。当水面蒸发系数相同时, 灌水间隔为 6 d 处理的 $IWUE$ 和 WUE 均高于 3 d 处理。

2) 灌溉水量与果实数量、单果质量以及产量之间呈较好的正相关关系。2 种灌溉间隔的 K_3 处理早期产量均为最高。因此, 推荐黄瓜在田间管理条件下水面蒸发系数优先选用 0.9, 并以 6 d 作为灌溉间隔, 以实现黄瓜节水增产的目的。

参考文献:

- [1] 王洪博, 曹辉, 高阳, 等. 南疆无膜滴灌棉花灌溉制度对土壤水分和产量品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(5): 26-34.
WANG Hongbo, CAO Hui, GAO Yang, et al. The effects of drip-irrigation scheduling without mulching on soilmoisture, yield and quality of cotton in southern Xinjiang[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(5): 26-34.
- [2] 龚雪文, 孙景生, 刘浩, 等. 基于 20 cm 蒸发皿蒸发量制定的华北地区温室黄瓜滴灌灌水制度[J]. 应用生态学报, 2015, 26(11): 3 381-3 388.
GONG Xuewen, SUN Jingsheng, LIU Hao, et al. Irrigation scheduling with a 20 cm standard pan for drip-irrigated cucumber grown in solar greenhouse in the North China Plain[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(11): 3 381-3 388.
- [3] 邹志荣, 李清明, 贺忠群. 不同灌溉上限对温室黄瓜结瓜期生长动态、产量及品质的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(S2): 77-81.
ZOU Zhirong, LI Qingming, HE Zhongqun. Effects of different irrigation maximums on growth dynamics, yield and quality of cucumber during fruit-bearing stage in greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(S2): 77-81.
- [4] 马守臣, 张伟强, 段爱旺. 不同亏缺灌溉方式对冬小麦产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(8): 9-14.
MA Shouchen, ZHANG Weiqiang, DUAN Aiwang. Effects of different deficit irrigation modes on grain yield and water use efficiency of winter wheat[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(8): 9-14.
- [5] 赵长龙, 刘毅, 王金涛, 等. 不同材料蒸发皿及环境因素对水面蒸发测定的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(9): 108-115.
ZHAO Changlong, LIU Yi, WANG Jintao, et al. Pan materials and the working environment affect water evaporation measurements[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(9): 108-115.
- [6] 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计划[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 11-17.
LIU Haijun, HUANG Guanhua, WANG Mingqiang, et al. Sprinkler irrigation scheme of winter wheat based on water surface evaporation of a 20 cm standard pan[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(1): 11-17.
- [7] ERTEK A, ŞENSOY S, GEDIK İ, et al. Irrigation scheduling based on pan evaporation values for cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under field conditions[J]. Agricultural Water Management, 2006, 81(1/2): 159-172.
- [8] LIU H, DUANA W, LI F S, et al. Drip irrigation scheduling for tomato grown in solar greenhouse based on pan evaporation in North China plain[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(3): 520-531.
- [9] YUAN B Z, NISHIYAMA S, KANG Y H. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato[J]. Agricultural Water Management, 2003, 63(3): 153-167.
- [10] 秦军红, 陈有君, 周长艳, 等. 膜下滴灌灌溉频率对马铃薯生长、产量及水分利用率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(7): 824-830.
QIN Junhong, CHEN Youjun, ZHOU Changyan, et al. Effects of frequency of drip irrigation frequency under mulch on potato growth, yield and water use efficiency[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(7): 824-830.
- [11] 王英, 张富仓, 王海东, 等. 滴灌频率和灌水量对榆林沙土马铃薯产量、品质和水分利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(12): 4 159-4 168.
WANG Ying, ZHANG Fucang, WANG Haidong, et al. Effects of the frequency and amount of drip irrigation on yield, tuber quality and water use efficiency of potato in sandy soil of Yulin, northern Shaanxi, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(12): 4 159-4 168.
- [12] 余美, 杨劲松, 刘梅先, 等. 膜下滴灌灌水频率对土壤水盐运移及棉花产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 18-23, 28.
YU Mei, YANG Jinsong, LIU Meixian, et al. Effects of mulched drip irrigation frequency on soil water-salt transport and cotton yield[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(3): 18-23, 28.
- [13] 张志云, 赵伟霞, 李久生. 灌水频率和施氮量对番茄生长及水氮淋失的影响[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2015, 13(2): 81-90.
ZHANG Zhiyun, ZHAO Weixia, LI Jiusheng. Effects of drip irrigation frequency and nitrogen fertilizer on nitrate leaching and tomato growth[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2015, 13(2): 81-90.
- [14] 曹云娥, 张燕, 高艳明, 等. 不同营养液滴灌量对设施黄瓜生长、产量及品质的影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(12): 2 638-2 645.
CAO Yun'e, ZHANG Yan, GAO Yanming, et al. Effects of different nutrient liquid drip irrigation on growth, yield and quality of cucumber plants[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2018, 31(12): 2 638-2 645.
- [15] 李洋, 柳玉平, 张克峰, 等. 水分胁迫调控设施黄瓜光合 CO_2 传输机理解析[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(S2): 23-28.
LI Yang, LIU Yuping, ZHANG Kefeng, et al. Effect of soil water stress on photosynthetic CO_2 uptake and transport of cucumber in greenhouse[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(S2): 23-28.
- [16] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements[M]. Italy: Irrigation

- and Drainage Paper No. 56. FAO, 1998.
- [17] KANBER R, YAZAR A, KÖKSAL H, et al. Evapotranspiration of grapefruit in the eastern Mediterranean region of Turkey[J]. Scientia Horticulturae, 1992, 52(1/2): 53-62.
- [18] MANNINI P. Effects of different irrigation scheduling and systems on yield response of melon and cucumber[J]. Acta Horticulturae, 1988(228): 155-162.
- [19] 周继华, 安顺伟, 王克武, 等. 不同灌溉方式对大棚黄瓜生长、产量及水分生产效率的影响[J]. 作物杂志, 2012(3): 76-80.
- ZHOU Jihua, AN Shunwei, WANG Kewu, et al. Effects of different irrigation methods on plastic housecucumber growth, yield and water use efficiency[J]. 2012(3): 76-80.
- [20] 李毅杰, 原保忠, 别之龙, 等. 不同土壤水分下限对大棚滴灌甜瓜产
- 量和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 132-138.
- LI Yijie, YUAN Baozhong, BIE Zhilong, et al. Effects of drip irrigation threshold on yield and quality of muskmelon in plastic greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(6): 132-138.
- [21] ZHANG H X, CHI D C, WANG Q, et al. Yield and quality response of cucumber to irrigation and nitrogen fertilization under subsurface drip irrigation in solar greenhouse[J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(6): 921-930.
- [22] DOORENBOS J, KASSAM A H. Yield response to water irrigation-FAO irrigation and drainage[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979.

Effects of Irrigation Amount and Frequency on Water Consumption and Yield of Field Cucumber

JI Jianhong¹, ZHANG Ye², LI Yanli², LIU Xinyang^{3*}, ZHAO Li², FU Guoqiang²

(1. Henan Vocational College of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou 450008, China; 2. Zhejiang Water Conservancy and Hydropower Engineering Quality and Safety Supervision and Management Center, Hangzhou 310012, China; 3. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: 【Background】Optimal irrigation scheduling not only provides a suitable soil environment for plants to grow but can also reduce agrichemical leaching caused by excessive irrigation. Irrigation scheduling in modern agriculture is normally calculated based on the water a crop requires during different growth stages. In addition to determining water consumption by the crop and irrigation interval, knowing the sensitivity of the crop to soil moisture at different growth stages is also essential. 【Objective】The areas of field-cultivated cucumber have seen an increase over the past few years agricultural high efficiency water use test site of North China University of water resources and hydropower, but there is a lack of understanding of a suitable irrigation scheduling for it. The purpose of this paper to fill this knowledge gap. 【Method】The experiment was conducted in 2018 in a rainproof shelter; it consisted of two irrigation intervals: 3 days (I_1) and 6 days (I_2). Added to these were three irrigation amounts with each determined from evaporation measured from a 20cm pan multiplied by an evaporation coefficient - 0.5 (K_1), 0.7 (K_2) or 0.9 (K_3). Overall, there were six treatments. In each treatment we measured the change in soil water content, yield traits including diameter, weight and length of the fruits, water consumption, water use efficiency and irrigation water compensation rate. 【Result】Prolonging irrigation frequency as in I_2 made soil moisture approach the wilting point prior to next irrigation which topped up the soil moisture approximately to the field capacity. Water consumption by the cucumber over its whole growth season was between 380 and 570 mm, with its associated yield varying between 18.2 and 46.1 t/hm². I_2K_3 was most effective for improving yield; when other conditions were the same, K_3 increased the yield most. The irrigation frequency did not have a noticeable effect on water use efficiency. The yield traits varied with both irrigation amount and frequency, with the yield increasing with the irrigation amount. It was found that, similar as the linear increase in yield with water consumption, the fruit numbers were also positively proportional to irrigation amount. There was a linear positive correlation between the water consumption and the pan-evaporation in all treatments, indicating that the evaporation measured from the 20 cm pan is adequate to be used to determine the irrigation scheduling of the field cucumber. 【Conclusion】Combing irrigation interval of 6 days with the evaporation measured from the 20 cm pan multiplied a pan coefficient 0.9 as the irrigation amount in each irrigation was most effective to improve cucumber yield and its water use efficiency.

Key words: Pan evaporation; irrigation interval; pan evaporation coefficient; irrigation scheduling; cucumber

责任编辑: 陆红飞