

基于 E601-B 型蒸发器大棚西瓜膜下滴灌试验研究

任自力^{1,2}, 张显²

(1. 乐山职业技术学院 财经管理系, 四川 乐山 614000; 2. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以‘农科大 5’西瓜为试材,在不同生育阶段依据 E601-B 型蒸发器蒸发量控制灌水设置 3 个灌溉水平(K_p : 0.5Ep, 1.0Ep, 1.5Ep),研究大棚膜下滴灌条件不同生育阶段不同灌溉处理对西瓜产量、品质、需水量以及水分利用率的影响,分析灌水量、需水量与产量品质的关系以及需水规律。结果表明:在西瓜生长期,大棚内的平均温度和平均蒸发器蒸发量显著正相关($R^2 = 0.73, P < 0.05$),依此结论指导基于 E601-B 型蒸发器的棚室环境调控。T5 的灌溉处理(苗期、开花坐果期、果实膨大期、成熟期 K_p 分别为 1Ep, 1Ep, 1.5Ep, 0.5Ep)是基于 E601-B 型蒸发器大棚西瓜膜下滴灌的最优灌溉模式,可为西瓜科学灌溉提供参考。灌水量、需水量与果实产量呈对数显著正相关,相关系数分别为 0.79、0.64($P < 0.05$)。灌水量、需水量与植株鲜重呈线性显著正相关,相关系数分别为 0.80 和 0.50($P < 0.05$)。植株干重与灌水量、需水量的相关性不显著($P > 0.05$)。西瓜果实维生素 C 含量与全生育期需水量显著负相关($P < 0.05$);可溶性蛋白质含量与膨大成熟期灌水量显著正相关($P < 0.05$);可溶性固形物含量与膨大成熟期灌水量负相关。

关键词:西瓜;灌溉;产量;品质;E601-B 型蒸发器;大棚;节水高效农业

中图分类号:S 651;S 275 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)04-0034-07

西瓜(*Citrullus lanatus*)属葫芦科(Cucurbitaceae)西瓜属(*Citrullus* Schrad)一年生蔓性藤本植物,是世界上的重要的园艺作物、世界十大水果之一、夏季水果之王。西瓜营养丰富,保健作用突出,深受消费者喜爱。在我国西瓜已有二千多年栽培历史,自 2003 年以来,我国西瓜的栽培面积超过 250 万 hm^2 ,占世界总种植面积的 50%以上^[1]。长久以来,水资源匮乏一直限制着我国农业生产的发展,尤其在西北地区,农业用水不足严重阻碍了各种作物产量和品质的提高。另外,生产中缺乏科学的灌溉理论和技术指导,经验灌溉导致了农业用水的严重浪费。设施西瓜生产中水、肥管理也基本处于经验阶段,生产者为了获取高产和经济效益,盲目大水大肥导致病虫害发生严重^[2]。

西瓜是对水分敏感且需水量较大的作物,在生长发育的不同阶段对水分的需求特性存在较大差异,灌溉量对西瓜产量品质的形成影响重大^[3]。探求西瓜全生育期以及各个生长发育期的需水规律,找寻优化的灌溉方

案,确定科学的灌溉指标,对指导西瓜生产、缓解农业用水短缺、提高灌水利用效率等问题意义深远。设施栽培条件下西瓜的灌溉效应和机制是制定节水灌溉制度的基础^[4]。塑料大棚和膜下滴灌是当前西瓜设施栽培中应用最普遍的生产设施和灌溉方式,而基于此的研究较少。基于蒸发器和蒸发皿的灌溉试验是目前水分生理和节水灌溉领域的研究热点之一。

现以 E601-B 型蒸发器蒸发量为灌溉依据,研究了西瓜全生育期及不同生育阶段的需水量、水分利用率以及不同灌水处理对西瓜产量品质的影响,分析了灌水量、需水量与产量品质的关系,论证了大棚西瓜膜下滴灌的最优灌溉模式,以期指导西瓜科学灌溉和精准管理,实现节水高效、优质高产。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试西瓜品种为‘农科大 5’。2 月初育苗,西瓜幼苗约两叶一心时定植,整蔓授粉均按生产方式进行。

1.2 试验方法

1.2.1 试验大棚状况及栽培布局 试验大棚的长度、跨度、高度分别为 150、9、2.8 m,棚内土壤及环境条件均一,不同深度土壤容重见表 1。大棚内安装 E601-B 型蒸发器和 JL-18 环境因子记录仪分别记录蒸发量和温度。试验采用膜下滴灌,一条支管控制一行作物,支管长度与小区垄长相同,各支管处安装流量控制阀用以控制灌

第一作者简介:任自力(1986-),男,甘肃平凉人,硕士研究生,助教,现主要从事园艺植物生理生态等教学与科研工作。E-mail: renzl@nwsuaf.edu.cn.

基金项目:国家甜瓜产业技术体系岗位科学家资助项目(CARS-26-18);乐山职业技术学院自然科学科研资助项目(KY2014021)。

收稿日期:2014-11-11

溉量,如图 1 所示;种植垄宽 100 cm,高 15 cm,长度为 7.5 m,垄顶做成平顶,行间距 2 m,株距 50 cm,每垄种植西瓜 15 株;试验田间布局如图 1 和 2 所示。试验期间,测量土壤含水率,表层 0~20 cm,采用取土烘干法测定,用中子仪和 TDR200 测量深度分别为 30、50、70 cm 土壤含水率,用以计算需水量。

表 1 不同深度土壤容重

土壤深度 Soil depth/cm	0~10	10~20	20~30	30~50	50~100
土壤容重 Bulk density/(g·cm ⁻³)	0.922	0.929	1.279	1.421	1.543

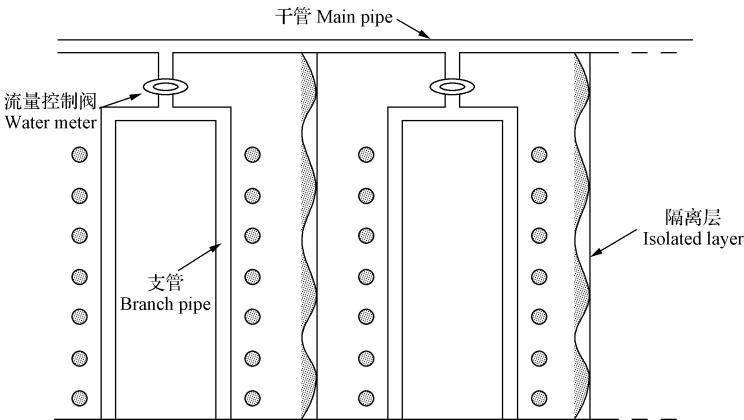


图 1 小区滴灌布局示意图

Fig. 1 The layout diagram of drip irrigation in experimental plot

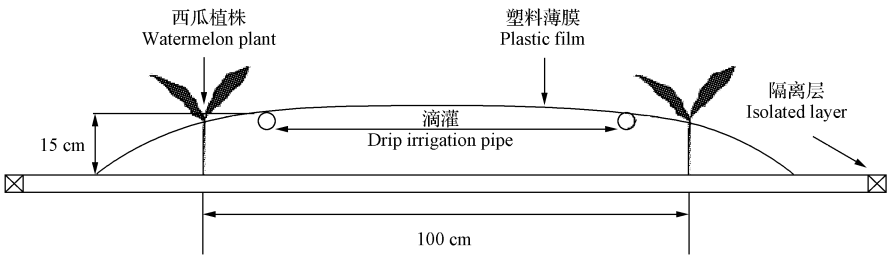


图 2 西瓜种植结构和膜下滴灌布置示意图

Fig. 2 The layout diagram of watermelon planted and drip irrigation under plastic film

1.2.2 灌溉处理及灌水量、需水量、水分利用率计算
试验在西瓜不同生育阶段设置 3 个不同的作物-蒸发皿系数 (K_{ep}) 进行灌溉处理, K_{ep} 分别为 0.5Ep、1.0Ep、1.5Ep,按照 4 因素 3 水平正交排列设计,如表 2 所示。每个处理设置 3 次重复。灌溉水量采用 E601-B 型蒸发器的蒸发量值控制,以每天 8:00 测定的蒸发量数值为灌溉依据,灌溉频率为 3 d/次。灌水量计算方法为: $I_r = K_{ep} \times A \times EP$ 。式中: I_r 为灌溉水量 (mL); K_{ep} 为作物-蒸发皿系数; A 为灌溉控制面积 (cm²); EP 为 2 次灌水时间间隔内的蒸发皿蒸发量 (mm)。作物需水量根据《灌溉试验规范》(SL13-90) 规定,作物实际需水量的计算公式为: $ET_{1-2} = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (\theta_{i1} - \theta_{i2}) + I_r + P + K + C$ 。式中: ET_{1-2} —时段需水量, mm; γ_i —第 i 层的土壤干容重, g/cm³; H_i —第 i 层的土壤厚度, cm; θ_{i1} 、 θ_{i2} —第 i 层土壤在计算时段始末的含水率; I_r 、 P 、 K 、 C —分别为时段内灌水量、降雨量、地下水补给量和排水量, mm。试

验在大棚中进行,由于地下水埋深很深,所以,地下水的补给量在计算作物需水量时不予考虑,即 $K=0$;试验采用的是膜下滴灌,滴灌灌水是定点定时定量的灌水,避免了深层渗漏产生,所以在计算过程中不考虑地下水排水量,即 $C=0$;由于该试验是在大棚中进行,避免了天然降雨的影响,所以在计算过程中 $P=0$ 。公式为: $ET_{1-2} = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (\theta_{i1} - \theta_{i2}) + I_r$ 。西瓜成熟后统一采摘,选取长势均一的 8~10 株分别记取果实产量以及植株生物量。滴灌水分利用效率 (IWUE) 以及水分利用效率 (WUE) 分别按照下式计算: $IWUE = (\frac{Y}{I_r}) \times 100$; $WUE = (\frac{Y}{ET}) \times 100$ 。式中: $IWUE$ —滴灌水分利用效率, $t \cdot hm^{-2} \cdot mm^{-1}$; WUE —水分利用效率, $t \cdot hm^{-2} \cdot mm^{-1}$; Y —西瓜果实产量, $t \cdot hm^{-2}$; I_r —灌水量, mm; ET —需水量, mm。

表 2 不同生育阶段西瓜灌溉处理

Table 2 Irrigation treatments of watermelon in plant different development phase

处理 Treatment	作物-蒸发器系数 Plant-pan coefficients(K_{cp})/Ep			
	苗期 Seedling stage	开花坐果期 Flowering and bearing stage	果实膨大期 Fruit development stage	成熟期 Fruit mature stage
1	0.5	0.5	0.5	0.5
2	0.5	1	1	1
3	0.5	1.5	1.5	1.5
4	1	0.5	1	1.5
5	1	1	1.5	0.5
6	1	1.5	0.5	1
7	1.5	0.5	1.5	1
8	1.5	1	0.5	1.5
9	1.5	1.5	1	0.5

1.3 项目测定

西瓜成熟后统一采摘,选取长势均一的 8~10 株分别记录果实产量以及植株生物量。植株干重测定采用烘干法,测定品质时选取各处理具有代表性的西瓜(大小、果色、形状等)3 个,洗净,取果肉进行测定。可溶性固形物含量测定采用折射仪;维生素 C 含量测定采用钼蓝比色法;可溶性蛋白质含量测定采用考马斯亮兰 G-250 染色法;果实纵横径、皮厚、肉厚用直尺测定。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 和 SPSS 12.0 软件进行处理分析,方差分析采用 LSD 多重比较法。

2 结果与分析

2.1 大棚内的温度和蒸发器蒸发量

从图 3 西瓜生长发育期大棚内的平均温度和平均蒸发器蒸发量可以看出,生长期内的平均温度变化区间为 22.49~29.90℃,平均温度变化起伏较小,原因在于白天正午温度较高时保持通风口开放,夜晚温度较低时保持通风口的关闭。生长期内蒸发器蒸发总量为 258.63 mm,平均蒸发量最大值(38.33 mm)和最小值(18.00 mm)分别出现在第 90 天内和第 10 天内。蒸发

器蒸发量的值比其它研究结果^[4-6]要高,这与蒸发器本身构造有关,也与大棚内高温低湿的环境条件有关。从图 4 平均温度(T)和平均蒸发器蒸发量(EP)在西瓜生长期内的关系可以看出,EP 与 T 呈显著正相关($P<0.05$),相关系数 0.7315,这与前人的研究成果相似^[6-8]。依此结论指导基于 E601-B 型蒸发器的棚室环境调控和精准管理。

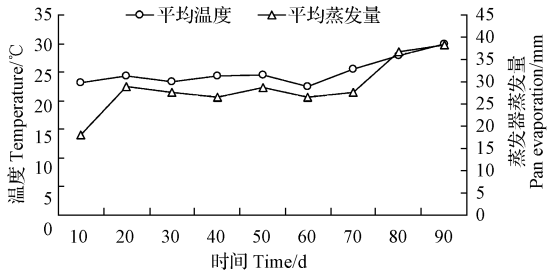


图 3 全生育期大棚内温度和蒸发器蒸发量(EP)随时间的变化

Fig. 3 Mean daily air temperature and pan evaporation(EP) in plastic shed during the growing period

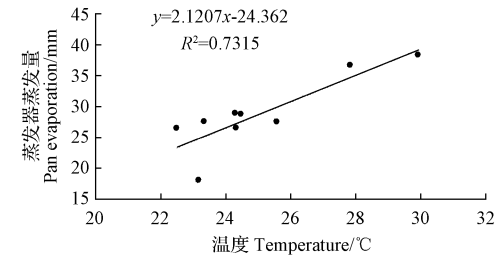


图 4 大棚内蒸发器蒸发量(EP)和温度(T)的关系

Fig. 4 Relationship between pan evaporation (EP) and air temperature (T) in plastic shed

2.2 不同处理的灌水量、需水量和蒸发器蒸发量

表 4 整理了从开始处理到收获期间,不同处理全生育期以及各个生育阶段的灌水量(I_r)、需水量(ET)、蒸发器蒸发量(EP)。各处理灌水量依据灌溉处理方案的

表 4 不同生长发育阶段不同处理的灌水量(I_r)、需水量(ET)、蒸发器蒸发量(EP)

Table 4 Irrigation water amount (I_r), plant evapotranspiration (ET) and pan evaporation (EP) under different treatments in plant different development phase

处理 Treatment	幼苗期 Seedling stage			开花坐果期 Flowering and bearing stage			果实膨大期 Fruit development stage			成熟期 Fruit mature stage			合计 Total		
	I_r /mm	ET/mm	EP/mm	I_r /mm	ET/mm	EP/mm	I_r /mm	ET/mm	EP/mm	I_r /mm	ET/mm	EP/mm	I_r /mm	ET/mm	EP/mm
T1	44.19	28.05	74.44	26.51	40.79	81.64	83.07	70.88	64.22	74.23	29.33	38.33	228.00	169.05	258.63
T2	44.19	28.00	74.44	53.02	60.83	81.64	166.14	101.37	64.22	148.47	35.24	38.33	411.81	225.43	258.63
T3	44.19	28.00	74.44	79.53	75.32	81.64	249.21	102.34	64.22	222.70	36.45	38.33	595.63	242.11	258.63
T4	88.37	29.37	74.44	26.51	45.35	81.64	166.14	100.33	64.22	222.70	38.22	38.33	503.72	213.27	258.63
T5	88.37	30.13	74.44	53.02	62.34	81.64	249.21	102.48	64.22	74.23	29.87	38.33	464.84	224.83	258.63
T6	88.37	28.33	74.44	79.53	78.63	81.64	83.07	69.57	64.22	148.47	33.47	38.33	399.44	210.00	258.63
T7	132.56	27.79	74.44	26.51	39.78	81.64	249.21	102.34	64.22	148.47	33.37	38.33	556.74	203.27	258.63
T8	132.56	28.03	74.44	53.02	63.94	81.64	83.07	71.70	64.22	222.70	32.97	38.33	491.35	196.64	258.63
T9	132.56	29.49	74.44	79.53	75.28	81.64	166.14	99.32	64.22	74.23	31.63	38.33	452.47	235.71	258.63

设计进行测算,并通过各处理的流量控制系统严格控制实施;需水量通过测定不同深度土壤灌水前后的含水量变化,依据需水量公式计算而来;生育阶段综合了西瓜生长发育的生理苗龄和形态苗龄进行划分。由表 4 可以看出,灌水总量依次为 $T3>T7>T4>T8>T5>T9>T2>T6>T1$, $T3$ 灌水量最大为 595.63 mm, $T1$ 最小为 228.00 mm;需水总量依次为 $T3>T9>T2>T5>T4>T6>T7>T8>T1$, 需水量最大值和最小值分别为 242.11 mm($T3$), 169.05 mm($T1$);蒸发器蒸发量在全生育期合计 258.63 mm, 苗期、开花坐果期、果实膨大期、成熟期分别为 74.44、81.64、64.22、38.33 mm。该试验的灌水总量较其它研究的要高一些^[8-10],这除了与试验本身的灌水方案设计有关,也与试验的地域和气候因素有关。

2.3 不同处理的产量指数、品质指数和水分利用率

由表 5 可知,果实产量依次为 $T4>T8>T5>T7>T3>T2>T9>T6>T1$, $T4$ (50.21 t/hm²) 的果实产量最高, $T1$ (30.83 t/hm²) 果实产量最低;植株鲜重依次为 $T3>T8>T7>T9>T5>T4>T6>T2>T1$, 植株干重依次为 $T8>T5>T9>T4>T3>T7>T2>T6>T1$ 。可见,灌水总量最多的 $T3$ 果实产量并未达到最高,但植株鲜重却最高;这可能是由于 $T3$ 的灌水量过多,导致植株的营养生长过剩,进而影响了果实的产量形成。而灌水总量最小的 $T1$ 果实产量、植株鲜重、植株干重均最低;原因可能是 $T1$ 灌水量较少,植株水分亏缺,导致了产量指数的降低。大量研究表明^[11-13],灌水适度的处理甚至要比灌水充裕的处理表现出更高的产量优势,这在该研究的部分处理间得到了印证, $T4$ 、 $T8$ 、 $T5$ 的灌水总量低于 $T3$ 、 $T7$,但其产量却高于 $T3$ 、 $T7$;灌水量 $T9$ 大于 $T2$,但产量 $T2$ 大于 $T9$ 。

滴灌水分利用效率(IWUE)为果实产量与滴灌灌水

总量的比值,水分利用效率(WUE)为果实产量与需水总量的比值。IWUE 反映的是灌溉系统的效率,而 WUE 反映的是作物自身的水分利用率。由表 5 可知,滴灌水分利用效率(IWUE) $T4$ 最高(0.57 t·hm⁻²·mm⁻¹), $T1$ 其次(0.15 t·hm⁻²·mm⁻¹),其它处理间差异不显著($P>0.05$)。水分利用效率(WUE) $T1$ 和 $T5$ 最大(0.22 t·hm⁻²·mm⁻¹), $T7$ 最小(0.15 t·hm⁻²·mm⁻¹)。可见,果实产量较高的 $T4$ 、 $T8$ 、 $T5$ 其水分利用率也相应较高,灌水总量最低的 $T1$ 滴灌水利用效率、水分利用效率均较高。大量研究表明,灌水量越小,作物的 IWUE 越高^[14-16]。该试验结果与这些研究并不完全一致, $T1$ 灌水量最小, $T1$ 的 IWUE(0.15),却显著低于灌水量较多的 $T4$ 的 IWUE(0.57), $T1$ 与其它处理的 IWUE 差异不显著($P>0.05$)。

由表 5 可知,不同灌溉处理对西瓜的果实形态有显著影响。这主要表现在处理之间果实的纵横径、果形指数、果皮厚等几项指标差异显著。果实横径 $T5$ 最大, $T1$ 最小。 $T5$ 的果实纵径最大, $T6$ 、 $T8$ 、 $T4$ 之间差异不显著($P>0.05$), $T1$ 果实纵径、横径都最小,相比 $T5$ 显著下降。西瓜的果型是果实外观品质的重要指标之一,通常以果形指数(纵径/横径)来表示。 $T6$ 果形指数最大,达 1.12,果型最扁。果皮厚度方面 $T9$ 最厚, $T2$ 最薄。西瓜果实中含有大量的可溶性糖、维生素 C、可溶性蛋白质等营养物质,这些营养物质的含量决定了西瓜的果实品质。由表 5 可知,维生素 C 含量 $T1$ 最高(11 364.6 mg/100g FW),其次 $T7$ (8 616.3 mg/100g FW),其它处理之间的维生素 C 含量差异不显著($P>0.05$);可溶性蛋白质含量 $T3$ 最高(42.78 mg/100g FW), $T9$ 最低(36.55 mg/100g FW)。可溶性固形物含量 $T5$ 最高(12.10%), $T3$ 最小(11.07%)。

表 5 不同处理的产量指数、品质指数和水分利用率

Table 5 Yield and quality of watermelon fruits, water use efficiency for different treatments

产量指数和品质指数 Yield and quality index	处理 Treatment								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
果实产量 Fruit yield/(t·hm ⁻²)	30.83e	47.74c	48.43bc	50.21a	49.33ab	43.86d	49.52ab	50.05a	45.40d
植株鲜重 Plant fresh weight/g FW	498.08g	595.29f	848.01a	662.78d	693.50c	615.26e	762.70b	774.88b	704.38c
植株干重 Plant dry weight/g DW	102.14f	110.40e	112.25d	114.4c	119.24b	109.78e	111.57e	123.18a	119.12b
水分利用效率 WUE/(t·hm ⁻² ·mm ⁻¹)	0.22a	0.19cd	0.17e	0.19c	0.22a	0.18d	0.15f	0.20b	0.16e
滴灌水分利用效率 IWUE/(t·hm ⁻² ·mm ⁻¹)	0.15b	0.10b	0.07b	0.57a	0.11b	0.10b	0.05b	0.08b	0.08b
果皮厚 Pericarp width/cm	1.02ab	0.83c	1.13a	1.07ab	1.13a	1.03ab	0.90bc	1.00abc	1.17a
果实横径 Fruit diameter/cm	18.43d	18.97cd	21.83ab	20.97bc	23.50a	22.40ab	19.37cd	20.80bc	21.17bc
果实纵径 Fruit length/cm	17.43d	18.67cd	21.27ab	20.30bc	22.73a	20.03bc	18.30cd	20.20bc	19.63bcd
果形指数 Fruit shape index	1.06ab	1.02b	1.03b	1.03b	1.04b	1.12a	1.06ab	1.03b	1.08ab
维生素 C 含量 Vitamin C content/(mg·(100g) ⁻¹ FW)	11 364.6a	7 662.8c	7 184.1c	7 124.3c	7 517.1c	7 392.8c	8 616.3b	7 090.3c	7 455.1c
可溶性蛋白质含量 Total soluble protein content/(mg·(100g) ⁻¹ FW)	39.01ab	39.03ab	42.78a	40.41ab	39.24ab	37.95b	40.47ab	40.76ab	36.55b
可溶性固形物含量 Total soluble solid content/%	11.63a	11.57b	11.07e	11.47c	12.10a	11.67b	11.33d	11.70b	11.57b

注:表中同行数据后不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著。

Note: Different lowercase letters after the same row show significant difference at 0.05 level.

综合分析西瓜产量指数、品质指数以及水分利用效率对于各处理的响应效益,从节水高效、优质高产的农

业生产新要求出发,该研究认为, $T5$ 的灌溉处理(苗期 K_p 为 1Ep,开花坐果期 K_p 为 1Ep,果实膨大期 K_p 为

1.5Ep,成熟期 K_{cp} 为 0.5Ep)是基于 E601-B 型蒸发器,大棚西瓜膜下滴灌的最优灌溉模式,可以为西瓜科学灌溉提供参考。

2.4 灌水量、需水量与产量的关系

大量研究表明^[17-19],西瓜产量与灌水量、需水量之间关系密切。郑健等^[19]研究认为,温室西瓜在滴灌条件下总产量与总耗水量之间呈二次函数关系。这与该研究的结果不完全一致,由表 6 可以看出,灌水量(I_r)、需

水量(ET)与果实产量、植株鲜重等产量指数均具有较高的相关性。其中,灌水量、需水量与果实产量呈对数显著正相关,相关系数分别为 0.7902、0.6415($P<0.05$),表明果实产量会随灌水量、需水量的增加而呈对数增加。灌水量、需水量与植株鲜重呈线性显著正相关,相关系数分别为 0.8027 和 0.5032($P<0.05$)。植株干重与灌水量、需水量的相关性不显著($P>0.05$)。

表 6 灌水量、需水量与产量的关系

Table 6 Correlations among irrigation water amount, plant evapotranspiration and yield components

因变量(Y) Dependent variable	自变量(X) Independent variable	函数关系 Function relationship 关系式 Equation	R^2	显著性 Significance
灌水量 Irrigation amount I_r /mm	果实产量 Yield/(t·hm ⁻²)	$y=20.10\ln(x)-77.27$	0.7902	$P<0.05$
	植株鲜重 Plant fresh weight/g	$y=0.86x+286.44$	0.8027	$P<0.05$
	植株干重 Plant dry weight/g	$y=0.03x+98.29$	0.2960	$P>0.05$
需水量 Evapotranspiration ET/mm	果实产量 Yield/(t·hm ⁻²)	$y=46.54\ln(x)-204.22$	0.6415	$P<0.05$
	植株鲜重 Plant fresh weight/g	$y=3.23x-13.62$	0.5032	$P<0.05$
	植株干重 Plant dry weight/g	$y=0.11x+89.22$	0.1512	$P>0.05$

注: $P<0.05$ 表示在 0.05 水平上显著。下同。

Note: $P<0.05$ show significant difference at 0.05 level. The same below.

2.5 灌水量、需水量与品质的关系

表 7、8 反映了灌水量、需水量与西瓜果实维生素 C 含量、可溶性蛋白质含量、可溶性固形物含量的关系。大量研究表明^[16-19],灌水量、需水量与作物品质存在一定的相关性,但这些研究大多是一些定性的论断,并没有对它们之间的关系进行具体分析。西瓜果实营养品质主要形成于果实的膨大期和成熟期,但又与西瓜的营养生长密切相关。因此,该文分别对全生育期、膨大成熟期的灌水量、需水量与西瓜果实营养品质的关系做了分析。研究表明维生素 C 含量会随灌水量的增加而降低^[20-21],这与该研究的结论一致,由表 7 可知,西瓜果实维生素 C 含量与灌水量线性负相关,并且与全生育

期灌水量的相关性($R^2=0.5302$, $P<0.05$)高于与膨大成熟期灌水量的相关性($R^2=0.2991$);西瓜果实可溶性蛋白质含量与灌水量线性正相关,并且与膨大成熟期灌水量的相关性($R^2=0.6036$, $P<0.05$)高于与全生育期灌水总量的相关性($R^2=0.3265$);有研究认为,灌水量增加会降低可溶性固形物的含量^[21-23],这在该研究中得到印证,由表 7 可知,可溶性固形物含量与灌水量线性负相关,并且与膨大成熟期灌水量的相关性($R^2=0.3103$)高于与全生育期灌水总量的相关性($R^2=0.2104$)。表 8 表明,西瓜果实维生素 C 含量与全生育期需水量显著负相关($R^2=0.5677$, $P<0.05$),并且高于其与全生育期灌水量的相关性,而与膨大成熟期需水量相关性不显著

表 7 灌水量和西瓜营养品质的关系

Table 7 Correlations between irrigation water amount and nutrition index

因变量(Y) Dependent variable	自变量(X) Independent variable	函数关系 Function relationship 关系式 Equation	R^2	显著性 Significance
灌水总量 Irrigation amount I_r /mm	维生素 C 含量 Vitamin C content/(mg·(100g) ⁻¹ FW)	$y=-0.0094x+12.20$	0.5302	$P<0.05$
	可溶性蛋白质含量 Total soluble protein content/(mg·(100g) ⁻¹ FW)	$y=0.0096x+35.18$	0.3265	$P>0.05$
	可溶性固形物含量 Total soluble solid content/%	$y=-0.0012x+12.12$	0.2104	$P>0.05$
膨大成熟期灌水量 Irrigation amount in fruit development and mature stage I_r /mm	维生素 C 含量 Vitamin C content/(mg·(100g) ⁻¹ FW)	$y=-0.0077x+10.37$	0.2991	$P>0.05$
	可溶性蛋白质含量 Total soluble protein content/(mg·(100g) ⁻¹ FW)	$y=0.0144x+35.04$	0.6036	$P<0.05$
	可溶性固形物含量 Total soluble solid content/%	$y=-0.0016x+12.08$	0.3103	$P>0.05$

表 8 需水量与西瓜营养品质的关系

Table 8 Correlations between plant evapotranspiration and nutrition index

因变量(Y) Dependent variable	自变量(X) Independent variable	函数关系 Function relationship 关系式 Equation	R^2	显著性 Significance
需水总量 Evapotranspiration ET/mm	维生素 C 含量 Vitamin C content/(mg·(100g) ⁻¹ FW)	$y=-0.0463x+17.81$	0.5677	$P<0.05$
	可溶性蛋白质含量 Total soluble protein content/(mg·(100g) ⁻¹ FW)	$y=0.0039x+38.75$	0.0023	$P>0.05$
	可溶性固形物含量 Total soluble solid content/%	$y=-0.0029x+12.18$	0.0523	$P>0.05$
膨大成熟期需水量 Evapotranspiration in fruit development and mature stage Et/mm	维生素 C 含量 Vitamin C content/(mg·(100g) ⁻¹ FW)	$y=-0.0356x+12.37$	0.1885	$P>0.05$
	可溶性蛋白质含量 Total soluble protein content/(mg·(100g) ⁻¹ FW)	$y=0.0287x+36.00$	0.0712	$P>0.05$
	可溶性固形物含量 Total soluble solid content/%	$y=-0.006x+12.32$	0.1279	$P>0.05$

($P>0.05$);可溶性蛋白质含量、可溶性固形物含量与需水量的相关性均不显著($P>0.05$)。综合分析认为,西瓜果实维生素 C 含量与全生育期需水量的显著负相关($R^2=0.5677$);可溶性蛋白质含量与膨大成熟期灌水量显著正相关($R^2=0.6036$);可溶性固形物含量与膨大成熟期灌水量负相关($R^2=0.3103$)。

3 结论

基于 E601-B 型蒸发器,通过对大棚西瓜膜下滴灌的不同灌溉处理试验,结合不同处理的灌水量、需水量、水分利用率、产量指数、品质指数等的综合分析比较,结果表明,在西瓜生长期,大棚内的平均温度和平均蒸发器蒸发量显著正相关($R^2=0.7315$, $P<0.05$),依此结论指导基于 E601-B 型蒸发器的棚室环境调控和精准管理。T5 的灌溉处理(苗期 K_p 为 $1E_p$,开花坐果期 K_p 为 $1E_p$,果实膨大期 K_p 为 $1.5E_p$,成熟期 K_p 为 $0.5E_p$)是基于 E601-B 型蒸发器大棚西瓜膜下滴灌的最优灌溉模式,可以为西瓜科学灌溉提供参考。灌水量、需水量与果实产量呈对数显著正相关,相关系数分别为 0.7902、0.6415($P<0.05$)。灌水量、需水量与植株鲜重呈线性显著正相关,相关系数分别为 0.8027 和 0.5032($P<0.05$)。灌水量、需水量与植株干重的相关性不显著($P>0.05$)。西瓜果实维生素 C 含量与全生育期需水量显著负相关($R^2=0.5677$, $P<0.05$);可溶性蛋白质含量与膨大成熟期灌水量显著正相关($R^2=0.6036$);可溶性固形物含量与膨大成熟期灌水量的负相关($R^2=0.3103$)。

参考文献

- [1] 王锋,康绍忠,王振昌.甘肃民勤荒漠绿洲区调亏灌溉对西瓜水分利用效率、产量与品质的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(4):124-129.
- [2] 肖娟,雷廷武,李光永,等.西瓜和蜜瓜咸水滴灌的作物系数和耗水规律[J].水利学报,2004(6):119-124.
- [3] 郑健,蔡焕杰,陈新明,等.调亏灌溉对温室小型西瓜水分利用效率及品质的影响[J].核农学报,2009,23(1):132-138.
- [4] 庞秀明.干旱荒漠绿洲区西瓜耗水规律与调亏灌溉模式的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2005.
- [5] 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.
- [6] Wang Z Y, Liu Z X, Zhang Z K, et al. Subsurface drip irrigation scheduling

for cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in solar greenhouse based on 20 cm standard pan evaporation in Northeast China[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 123(1):51-57.

- [7] 程智慧,陈学进,赖琳玲,等.设施番茄果实生长与环境因子的关系[J].生态学报,2011,31(3):742-748.
- [8] 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.
- [9] Faberio C, de Santa Olalla M F, Juan J A. Production of muskmelon (*Cucumis melo* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate[J]. Agricultural Water Management, 2002, 54:93-105.
- [10] Orgaz F, Fernandez M D, Bonachela S, et al. Evaporation of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse[J]. Agricultural Water Management, 2005, 72:81-96.
- [11] 刘明池,刘向莉.亏缺灌溉对番茄果实品质和产量的影响[J].中国蔬菜,2005(z1):46-48.
- [12] 夏秀波.水分对有机基质栽培番茄生长、生理特性、产量品质及水分利用率的影响[D].泰安:山东农业大学,2007.
- [13] 郑国保,孔德杰,张源沛,等.不同灌水量对日光温室番茄产量、品质和水分利用效率的影响[J].北方园艺,2011(11):47-49.
- [14] Sensoy S, Ertek A, Ibrahim Gedik, et al. Irrigation frequency and amount affect yield and quality of field-grown melon (*Cucumis melo* L.)[J]. Agricultural Water Management, 2007, 88:269-274.
- [15] 钱卫鹏,邹志荣,孟长军.大棚内膜下根系分区交替滴灌不同灌溉下限对甜瓜生长及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(3):138-141.
- [16] 王峰,杜太生,邱让建,等.亏缺灌溉对温室番茄产量与水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2010,26(9):46-52.
- [17] 李晋平,蔡焕杰,郑健,等.非充分灌溉下日光温室小型西瓜高产指标研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(2):121-127.
- [18] 谢忠奎,王亚军,陈士辉,等.黄土高原西北部砂田西瓜集雨补灌效应研究[J].生态学报,2003,23(10):2033-2039.
- [19] 郑健,蔡焕杰,王健,等.日光温室西瓜产量影响因素通径分析及水分生产函数[J].农业工程学报,2009,25(10):30-34.
- [20] 梁玉芹,刘云,杨军芳,等.不同灌水量对日光温室番茄产量与品质的影响[J].河北农业科学,2012,16(2):34-36.
- [21] 曾春芝.不同水分处理对大棚滴灌甜瓜产量与品质的影响[D].武汉:华中农业大学,2009.
- [22] 裴芸,别之龙.塑料大棚中不同灌水量上限对生菜生长、品质及生理特性的影响[J].农业工程学报,2007,23(9):207-210.
- [23] Ertek A, Sensoy S, Gedik I, et al. Irrigation scheduling based on pan evaporation values for cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under field conditions[J]. Agricultural Water Management, 2006, 81:159-172.

Study on Irrigation Experiment of Watermelon Drip Irrigation Under Film Based on E601-B Evaporator in Plastic Shed

REN Zi-li^{1,2}, ZHANG Xian²

(1. Department of Financial and Economic Management, Leshan Vocational and Technical College, Leshan, Sichuan 614000; 2. College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University of Science and Technology, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Taking watermelon cultivars named 'Nongkeda No. 5' as test materials, with irrigation water amount controlled by E601-B type evaporator/pan, the effects of different water supply conditions (K_p : 0.5Ep, 1.0Ep, 1.5Ep) in different growth stages on watermelon's yield, fruit quality, water use efficiency was studied, the relationship between irrigation water amount (Ir), evapotranspiration (ET) and yield, fruit quality, and water requirement regulation were analyzed. The

DOI:10.11937/bfyy.201504009

不同营养液配方对秸秆沼渣基质穴盘育苗的影响

王西芝, 王吉庆, 申晓芳, 闫一冰

(河南农业大学 园艺学院, 河南 郑州 450002)

摘 要:以“粉的帅2号”番茄品种为试材,以秸秆沼渣和珍珠岩为复合基质,本着材料易得的原则,研究了不同的营养液配方(以北方常用营养液配方为对照)对番茄穴盘育苗的影响,旨在筛选用于秸秆沼渣基质的简易育苗营养液配方。结果表明:在播种后13~28 d,处理T2(即尿素152.3 mg/L,磷酸二氢钾508.76 mg/L,硫酸钾291.67 mg/L,硝酸钙707.00 mg/L),在株高、单株叶面积、地上部鲜重、地下部鲜重上均表现为与CK差异不显著,在播种后33 d,处理T2的株高、茎粗、叶面积、地上部、地下部鲜重均略高于CK,地上部和地下部干重均与CK差异不大;营养液配方T2与对照配方育苗效果相近,不含有硝酸钾、硝酸铵和磷酸,配方简单,原料易得,配置方便,适合在生产中推广应用。

关键词:秸秆沼渣;营养液;番茄育苗

中图分类号:S 145.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)04-0040-04

草炭是现代园艺生产中广泛使用的重要育苗及栽培基质,在自然条件下草炭形成约需上千年时间,过度

第一作者简介:王西芝(1989-),女,硕士研究生,研究方向为蔬菜栽培生理。E-mail: xizhiwang666@163.com.

责任作者:王吉庆(1963-),男,河南汝洲人,博士,教授,硕士生导师,现主要从事蔬菜栽培生理等教学与科研工作。E-mail: wjq16@sina.com.

基金项目:河南省大宗蔬菜产业技术体系建设专项资助项目(S2010-03)。

收稿日期:2014-11-20

开采利用,使草炭的消耗速度加快,体现出“不可再生”资源的特点^[1-2]。况且,草炭地还是全球重要的聚碳系统,过度开采草炭会破坏湿地环境,加剧全球的温室效应^[3]。因此,草炭替代基质的研究受到国内外研究者的重视。大量的研究表明,许多农业及工业废弃物,如花生壳、锯末、椰子壳、蔗渣以及固体废弃物、下水道污泥等,均可用来发酵生产基质,作为草炭替代基质,用于园艺作物的栽培和育苗^[4-6]。秸秆沼渣是秸秆沼气的下脚料,是一种新的基质材料。有关穴盘育苗营养液配方的研究已有诸多报道,如日本园试通用营养液配方、Holland

results showed that a very significant positive correlation between daily mean temperature(T) and daily mean pan evaporation(EP) were showed, and the correlation coefficients was 0.73 ($P < 0.05$), which could be used to guide controlling environment in plastic shed based on E601-B type evaporator/pan. Treatment 5 (T5) was the best for watermelon production in plastic shed that irrigation K_p in watermelon plant seedling stage, flowering and fruit bearing period, fruit development stage and fruit mature stage respectively were 1, 1, 1.5, 1Ep, which could be used to provide information for precision management and scientific irrigation in plastic shed watermelon production. A very significant positive correlation between irrigation water amount, evapotranspiration and fruit yield, plant fresh weight (FW) were showed, and the correlation coefficients that respectively were 0.79, 0.64, 0.80, 0.50 ($P < 0.05$). Correlation between plant dry weight and irrigation water amount, evapotranspiration were not be found. A very significant negative correlation between vitamin C content and plant evapotranspiration was showed, and the correlation coefficients was 0.57 ($P < 0.05$). And correlation coefficient of total soluble protein content (TSP) and water irrigation amount in fruit development and mature stage was 0.60 ($P < 0.05$). A negative correlation between total soluble solid content and water irrigation amount in fruit development and mature stage was showed, and the correlation coefficient was 0.31.

Keywords: watermelon (*Citrullus lanatus*); irrigation; yield; fruit quality; E601-B type evaporator; plastic shed; water-saving and high-efficiency agriculture