

文章编号: 1672-3317(2023)11-0040-09

基质配比与灌溉量协同对西葫芦幼苗生长和耗水的影响

王研^{1,2}, 温江丽³, 范凤翠⁴, 郭文忠^{1*}, 李银坤¹, 李灵芝², 王若莹^{1,2}, 秦黎^{1,2}
(1.北京市农林科学院 智能装备技术研究中心, 北京 100097; 2.山西农业大学 园艺学院, 山西 太谷 030801; 3.北京农业职业学院, 北京 102442; 4.河北省农林科学院 农业信息与研究所, 石家庄 050000)

摘要:【目的】探明西葫芦幼苗生长的最佳基质条件和灌溉水平。【方法】以西葫芦‘农园1号’为试验材料, 设计4种育苗基质处理(按体积比设置为泥炭:珍珠岩=3:1(CK), 泥炭:蛭石:珍珠岩=3:1:1(T1), 泥炭:蛭石=2:1(T2)和泥炭:蛭石:珍珠岩:椰糠=2:1:1:1(T3)), 分别结合3种灌溉水平(设置为补充灌溉蒸腾蒸发量(Evapotranspiration, ET)的100%(I1)、75%(I2)和50%(I3)), 研究不同基质配比和灌溉水平协同对幼苗生长、耗水和水分利用的影响。T2处理基质的体积质量为0.22 g/cm³、持水孔隙度为53.29%, T3处理基质的体积质量为0.34 g/cm³、持水孔隙度为56.93%。【结果】T2处理基质的理化性状更能满足西葫芦育苗要求, T2I2处理的西葫芦幼苗茎粗最大, 同灌溉量下较其他基质配比显著增加了12.40%~26.98%, 在75%ET和50%ET灌溉条件下壮苗指数显著大于100%ET。而T3I3处理水分利用率最大, 同灌溉量下较其他基质配比提高11.87%~45.97%。幼苗单株总耗水量随灌溉量的增加而增加, 随基质体积质量的增加而减少。【结论】综合考虑幼苗生长和耗水规律, 当基质性状满足条件: 0.22 g/cm³≤体积质量≤0.34 g/cm³, 53%<持水孔隙度<56%, 采用75%ET灌溉, 可提高秧苗质量和水分利用率。

关键词: 灌溉量; 基质配比; 幼苗耗水; 生长指标; 水分利用率

中图分类号: S642.6

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022167

OSID:



王研, 温江丽, 范凤翠, 等. 基质配比与灌溉量协同对西葫芦幼苗生长和耗水的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(11): 40-48.

WANG Yan, WEN Jiangli, FAN Fengcui, et al. The Combined Effect of Substrate Composition and Irrigation Amount on Growth and Water Consumption of Zucchini Seedlings[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(11): 40-48.

0 引言

我国蔬菜育苗产业发展迅速, 常年生产的蔬菜约2/3采用育苗移栽, 全国育苗移栽蔬菜种苗需求量超过6800亿株^[1], 育苗是蔬菜栽培过程中的重要措施, 秧苗的强弱直接影响到蔬菜的生长和产量, 由传统育苗到设施育苗发展过程中灌溉限度一直是需要解决的问题。【研究意义】蔬菜幼苗期对水分比较敏感, 在穴盘育苗过程中, 根据幼苗生长发育规律, 及时准确地补充水分和养分, 对于蔬菜健壮穴盘苗的培育至关重要^[2]。影响幼苗耗水的因素有多种, 其中选择合适的栽培基质至关重要, 育苗基质是种苗生产的基础物质, 基质良好的理化性状可以为植物良好生长环境

提供重要保障, 能让蔬菜幼苗在培育过程中尽可能地避开周围环境和不良因素对幼苗的影响, 能为幼苗生长提供稳定协调的水、气、肥, 基质在育苗中可以固定作物根系、协调水分养分和氧气供给^[3], 因此基质性状对幼苗的生长具有重要作用。而基质栽培的缓冲性比土壤栽培差, 这就需要结合合理的灌溉决策体系, 既能满足作物的养分需求, 也减少了灌溉不足造成的基质中盐分积累, 影响作物正常生长^[4]。【研究进展】目前的研究主要集中于对育苗基质配方的筛选, 更多关注的是某种特定基质下幼苗的生长状况, 例如采用椰糠、泥炭、珍珠岩体积比3:1:1的基质^[5]或草炭、玉米秸秆和菌渣体积比5:2:3培育番茄幼苗^[6], 育苗效果好, 干物质积累快, 壮苗指数高; 用菌渣、有机肥、蛭石按8:1:1和7:1:2的比例混配基质用于辣椒育苗^[7], 幼苗生长表现较优; 泥炭土、炉渣、蛭石2:1:1和商品基质的理化性状均满足育苗基质要求, 甘蓝、番茄和黄瓜等蔬菜基质穴盘育苗的效果较好^[8]。对于不同材料配比下基质理化性状与

收稿日期: 2022-03-30 修回日期: 2023-07-27 网络出版日期: 2023-11-15

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFD1000300); 叶菜全程流水线自动生产系统与智能装备开发应用项目(2019BBF02010)

作者简介: 王研(1996-), 女, 山西吕梁人。硕士, 研究方向为园艺植物栽培生理与品质调控。E-mail: 1440964528@qq.com

通信作者: 郭文忠(1970-), 男, 宁夏中卫人。研究员, 博士, 主要从事设施园艺工程技术与智能装备等研究。E-mail: guowz@nrcita.org.cn

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

幼苗耗水规律的相关关系、不同性状对耗水的影响程度也是研究内容，基质气水比和含水率对幼苗的生长存在交互作用^[9]。在穴盘育苗中，不同基质配比的理化性状与灌溉量协同作用将直接影响幼苗生长发育和耗水特征，关于番茄、黄瓜等蔬菜在生长过程中耗水规律的研究已有报道，孟圆等^[10]研究发现 30 mm 的低灌水量更适合番茄的茎粗生长，在结果盛期时，40 mm 高灌水量会抑制番茄茎粗和地下部分的生长；各生育期的番茄干物质与灌水量成正比，灌水量影响产量和品质^[11]。黄瓜的耗水规律表现为开花前期与结瓜初期小、结瓜盛期大、结瓜后期小的变化规律，耗水高峰出现在盛瓜期^[12]。灌溉量显著影响植株的耗水强度^[13-14]，准确测定不同基质下植物耗水量，比较幼苗的耗水特性，为依据基质特性合理进行灌溉就显得极为重要。【切入点】西葫芦是中国设施栽培的主要蔬菜种类之一，其种植面积在瓜类蔬菜中仅次于黄瓜，西葫芦种植量对育苗量也提出较高的要求，育苗过程的管理显得尤为重要，特别是幼苗对水分的需求和供给管理。对于西葫芦幼苗灌溉研究尚未形成完善的系统，在不同育苗条件下幼苗的生长和耗水规律受显著影响。深入研究西葫芦的生长环境和水分需求，对于西葫芦幼苗培育的节水高效、实现高产稳产具有重要的意义。【拟解决的关键问题】常用的育苗基质有泥炭、蛭石、珍珠岩和椰糠等，本试验用 4 种原料以不同材料比例配制的育苗基质为介质，配成基质体积质量为 0.14、0.18、0.22、0.34 g/cm³，结合不同水分条件进行西葫芦育苗试验，研究幼苗生长发育和耗水规律对不同基质和灌溉量的响应特征，探明幼苗的水分利用与基质性状的关系，为蔬菜苗期系统化的水分管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设施

供试西葫芦品种为‘农园 1 号’，由山西农业大学西葫芦课题组提供，植株特性为早熟、长势强、茎蔓长、瓜码密，连续坐瓜能力强，产量高，适应性广，适宜我国北方早春保护地和露地地膜覆盖栽培。育苗基质材料有泥炭、蛭石、珍珠岩和椰糠，泥炭选用丹麦品氏泥炭土，蛭石、珍珠岩和椰糠均购于北京园艺公司。育苗穴盘选用 50 孔规格，其单孔容积 55 mL，穴孔深度 40 mm，上口径 48 mm，底部口径 23 mm。

试验于 2021 年 5 月在北京市农林科学院植物工厂育苗室内进行。育苗室昼/夜环境温度为 24 °C/18 °C，相对湿度为 70%~80%，CO₂ 物质的量浓度为 500 μmol/mol。采用 LED 灯作为光源，光照强度为 130 μmol/(m² s)，光照时间段为 07:00—19:00。

1.2 试验方法

试验设计 4 个基质处理（体积比），根据体积质量不同分别为泥炭：珍珠岩=3：1（CK）、泥炭：蛭石：珍珠岩=3：1：1（T1）、泥炭：蛭石=2：1（T2）和泥炭：蛭石：珍珠岩：椰糠=2：1：1：1（T3），将以上不同种类的基质按照不同的体积比混合均匀，取样风干用于基质理化性质的测定^[5]。取已知体积（V）的容器，称质量（m₁），装满待测量的风干混合基质，称质量（m₂），容器用双层纱布封口后完全浸没在水中 24 h，称其质量（m₃），取出后将容器倒置滤水，称其质量（m₄）。基质物理性状指标计算式如下：

$$\text{体积质量} = (m_2 - m_1) / V, \quad (1)$$

$$\text{总孔隙度} = (m_3 - m_2) / V \times 100\%, \quad (2)$$

$$\text{持水孔隙} = (m_4 - m_2) / V \times 100\%, \quad (3)$$

$$\text{通气孔隙} = (m_3 - m_4) / V \times 100\%, \quad (4)$$

$$\text{气水比} = \text{通气孔隙} / \text{持水孔隙}。 \quad (5)$$

用便携式 pH 计和电导率仪测定基质浸提液的 pH 值和 EC 值。各处理基质理化性质如表 1 所示。

表 1 不同基质理化性质

处理	体积质量/ (g cm ⁻³)	总孔 隙度/%	通气孔 隙度/%	持水孔 隙度/%	气水比	pH 值	EC/ (mS cm ⁻¹)
CK	0.14	64.95	18.24	46.71	0.39	5.98	0.47
T1	0.18	65.46	15.30	50.16	0.31	6.21	0.46
T2	0.22	69.42	16.14	53.29	0.30	6.18	0.48
T3	0.34	71.19	14.26	56.93	0.25	6.19	0.43

选择籽粒饱满、均匀一致的种子播种于 50 孔穴盘，放于育苗室内培养。待长出子叶开始灌溉 1/3 浓度山崎配方营养液（表 2），在每个处理日 09:00 称量灌溉后的穴盘质量和次日同一时间灌溉前的穴盘质量，计算质量之差即为幼苗单日的蒸腾蒸发量（ET），然后按照 100%ET（I1）、75%ET（I2）和 50%ET（I3）3 种水平进行灌溉，共 12 个处理，每个处理做 3 次重复（表 3）。

表 2 山崎配方

Table 2 Yamazaki recipe

化合物名称	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	KNO ₃	NH ₄ H ₂ PO ₄	MgSO ₄ ·7H ₂ O	Na ₂ Fe-EDTA	H ₃ BO ₃	MnSO ₄ ·4H ₂ O	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	CuSO ₄ ·5H ₂ O	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₁₂ ·4H ₂ O
化合物量/ (mg L ⁻¹)	826	607	115	483	20	2.86	2.13	0.22	0.08	0.02

表 3 试验处理

Table 3 Treatments

序号	处理	基质配比 (体积比)	补充灌溉蒸腾蒸发量 (ET) 的百分比/%
1	CK11	泥炭:珍珠岩 3:1	100
2	CK12	泥炭:珍珠岩 3:1	75
3	CK13	泥炭:珍珠岩 3:1	50
4	T111	泥炭:蛭石:珍珠岩 3:1:1	100
5	T112	泥炭:蛭石:珍珠岩 3:1:1	75
6	T113	泥炭:蛭石:珍珠岩 3:1:1	50
7	T211	泥炭:蛭石 2:1	100
8	T212	泥炭:蛭石 2:1	75
9	T213	泥炭:蛭石 2:1	50
10	T311	泥炭:蛭石:珍珠岩:椰糠 2:1:1:1	100
11	T312	泥炭:蛭石:珍珠岩:椰糠 2:1:1:1	75
12	T313	泥炭:蛭石:珍珠岩:椰糠 2:1:1:1	50

1.3 测定项目及方法

1) 生长指标的测定

每个处理选取标定的 5 株长势均匀西葫芦幼苗,用直尺测量植株的株高(茎基部到生长点的距离)、真叶叶长和叶宽;用游标卡尺测量茎粗(基部粗度为茎粗);用电子天平称量植株地上鲜质量、地下鲜质量,计算全株鲜质量;然后,在烘箱 105 °C 杀青 30 min 后在 85 °C 下烘干至恒质量,称量地上干质量、地下干质量,计算全株干质量;并计算叶面积^[15]、壮苗指数^[16]和生长函数 G 值^[17],计算式为:

$$\text{叶面积} = 0.5781 + 0.7748 \times (\text{叶长} \times \text{叶宽}), \quad (6)$$

$$\text{壮苗指数} = (\text{茎粗}/\text{株高} + \text{地下部干质量}/\text{地上部干质量}) \times \text{全株干质量}, \quad (7)$$

$$G \text{ 值} = \text{全株干质量}/\text{育苗时间}. \quad (8)$$

2) 水分利用率的计算

试验开始用称质量法每天记录幼苗灌水量和耗水量,二者之差即为幼苗有效供液量,然后计算水分利用率^[18]:

$$\text{水分利用率} = \frac{\text{幼苗单株干质量}}{\text{单株有效供液体积}}. \quad (9)$$

3) 相关系数和途径系数的计算

途径分析是简单相关分析的继续,在多元回归的基础上将相关系数加以分解,通过直接途径、间接途径系数分别表示某一变量对因变量的直接作用效果、通过其他变量对因变量的间接作用效果和综合作用效果^[19]。通过途径分析,不仅可以明确各自变量对因变量直接作用的方向与大小,而且还能明确两两相关自变量共同对因变量作用的方向与大小^[20-21]。间接途径系数计算式为:

$$\text{间接途径系数} = \text{直接途径系数} \times \text{相关系数}. \quad (10)$$

1.4 数据统计与分析

用 Microsoft Excel 2010 软件进行试验数据的统计和作图,用 IBM SPSS 25.0 软件进行数据差异显著性分析和相关性分析。差异显著性分析采用最小差异显著性 (LSD) 在 0.05 水平检验。

2 结果与分析

2.1 不同处理对西葫芦幼苗生长特性的影响

2.1.1 不同处理西葫芦幼苗生长指标的比较

表 4 为不同处理西葫芦幼苗的株高、茎粗、叶面积、单株鲜质量和干质量比较,由表 4 可知,随着灌溉量的减少,T2 处理和 T3 处理的幼苗株高逐渐增加,在 50%ET 条件下的株高显著高于 100%ET,分别增加了 24.58% 和 29.59%,不同灌溉量对 CK 和 T1 处理的幼苗株高影响差异不显著。不同基质配比下幼苗的茎粗对不同水分响应结果不同, T2 处理基质在 75%ET 条件下茎粗最大,较 100%ET 和 50%ET 处理显著增加了 9.54% 和 10.85%, T3 处理的幼苗在 100%ET 灌溉下茎粗最大,比 50%ET 灌溉处理显著增加了 11.43%,而不同灌溉量对 CK 和 T1 处理的幼苗茎粗影响差异不显著。幼苗的叶面积随灌溉量的减小而减小,相比于 100%ET 灌溉,在 50%ET 条件下,不同基质配比 CK、T1、T2 处理和 T3 处理的幼苗叶面积分别降低了 17.00%、15.00%、17.50% 和 30.08%,在 100%ET 灌溉条件下 T3 处理的幼苗叶面积显著大于另外 3 种基质配比,分别增加了 23.40%、18.07%、19.18%, T3 处理基质配比下幼苗叶面积总体大于其余处理的叶面积。基质处理极显著影响幼苗的生长指标,育苗基质与灌溉量交互对西葫芦幼苗株高、茎粗和叶面积有显著影响。

由表 4 可知,幼苗单株鲜质量和干质量随灌溉量的减少而减小,T1 处理和 T2 处理同 CK 相似,50%ET 灌溉下的幼苗单株鲜质量显著低于 100%ET 条件。例如,相比于 100%ET 灌溉条件,在 50%ET 灌溉条件下,幼苗单株鲜质量分别显著减少了 9.94%、14.06%、25.48%。CK 单株干质量随灌溉量的减少而减小,在试验灌溉条件下, T1 处理的幼苗干质量较 CK 降低了 1.70%~11.02%,在 100%ET 灌溉条件下, T3 处理幼苗的单株干质量最大,而在 100%ET 和 75%ET 灌溉条件下均是 T2 处理幼苗单株干质量最大,由此可

见在非充分灌溉条件下, 添加珍珠岩的基质培育幼苗鲜质量和干质量小于未添加珍珠岩的基质, 不同基质处理的幼苗单株鲜质量和干质量变化趋势不同, 说明

不同体积质量的基质对比对植株体内有机物的积累影响不同。基质与灌溉量单一处理和交互作用都对幼苗的鲜质量和干质量有极显著影响。

表 4 不同处理西葫芦幼苗生长指标的比较

Table 4 Comparison of the growth indices of different treated zucchini seedlings

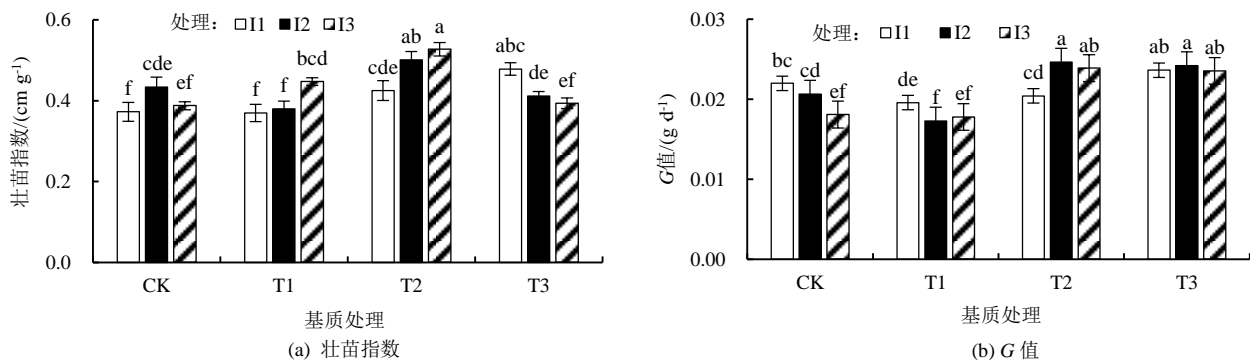
处理	株高/cm	茎粗/mm	叶面积/cm ²	单株鲜质量/g	单株干质量/g
CKI1	6.74±0.18abc	3.71±0.15de	137.23±3.93bc	6.44±0.01cd	0.48±0.01bc
CKI2	6.62±0.37bc	3.65±0.12de	129.02±3.46cd	5.86±0.01gh	0.45±0.01cd
CKI3	7.30±0.35ab	3.68±0.08de	113.91±5.08de	5.80±0.04h	0.40±0.00ef
T1I1	5.50±0.23d	3.77±0.19cde	135.96±4.70c	7.20±0.03b	0.43±0.01de
T1I2	5.60±0.35d	4.13±0.09bc	117.85±8.70de	6.60±0.03c	0.38±0.02f
T1I3	5.44±0.25d	4.13±0.10bc	115.62±4.47de	6.19±0.03ef	0.39±0.01ef
T2I1	6.02±0.26cd	4.24±0.16b	131.30±4.05cd	8.08±0.14a	0.53±0.01ab
T2I2	6.60±0.14bc	4.64±0.19a	126.31±1.99cde	7.90±0.10a	0.54±0.02a
T2I3	7.50±0.44ab	4.19±0.09b	108.33±2.39e	6.02±0.04fg	0.49±0.01cd
T3I1	5.88±0.20cd	4.06±0.11bcd	162.03±7.54a	6.47±0.01cd	0.52±0.02ab
T3I2	7.06±0.27ab	3.76±0.07cde	155.06±5.98ab	6.36±0.00de	0.53±0.02a
T3I3	7.62±0.37a	3.64±0.08e	113.29±4.22de	6.23±0.01e	0.52±0.01ab
<i>F</i> (T)	14.60**	16.02**	11.61**	292.54**	63.69**
<i>F</i> (I)	9.80**	1.30	33.66**	293.23**	18.74**
<i>F</i> (T×I)	2.33*	2.74*	3.14*	82.22**	5.14**

注 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), *和**分别表明 *F* 值检验显著性 $P<0.05$ 和 $P<0.01$, 下同。

2.1.2 不同处理西葫芦幼苗壮苗指标的比较

图1为不同处理幼苗壮苗指数和生长函数*G*值比较, 图中不同小写字母表示处理在 $P<0.05$ 水平差异显著, 下同。壮苗指标是衡量秧苗素质的重要指标, 不同基质和水分处理对壮苗影响不同 (*F* 值: 壮苗指数: $F(T)=12.25^{**}$, $F(I)=2.02$, $F(T\times I)=5.63^{**}$, *G* 值: $F(T)=63.31^{**}$, $F(I)=0.10$, $F(T\times I)=10.42^{**}$)。基质处理对幼苗的壮苗指数和*G*值有极显著影响, 而灌溉量对西葫芦幼苗的壮苗指标影响不显著, 二处理交互作用对幼苗的壮苗指标有极显著影响。由图1可知, CK幼苗在75%ET灌溉条件下壮苗指数最大, 与100%ET灌溉下的壮苗指数相比, 显著提高了16.48%; T1处理的幼苗在50%ET灌溉条件下壮苗指数最大, 比100%ET和75%ET灌溉下的壮苗指数分别显著提高

了20.89%和17.82%; T2处理壮苗指数随灌溉量的减少而增加, 75%ET和50%ET灌溉条件下的壮苗指数比100%ET灌溉下的幼苗壮苗指数分别显著提高了18.04%和24.07%; T3处理的幼苗壮苗指数随灌溉量的减少而降低, 相比于100%ET灌溉条件, 在75%ET和50%ET灌溉条件下的幼苗壮苗指数分别显著降低了13.90%和17.68%。在同一灌溉条件下, 不同基质处理的幼苗壮苗指数差异显著, 100%ET条件下T2处理和T3处理幼苗壮苗指数显著大于CK和T1处理, 75%ET和50%ET条件下均是T2处理基质幼苗壮苗指数最大, 分别比其他配比的基质提高壮苗指数15.58%~32.10%和17.84%~36.01%。随着灌溉量的减少, 基质对比对幼苗壮苗指数影响差异越显著, 且体积质量较大的基质对比利于壮苗的培育。



注 图中不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 下同。

图 1 不同处理西葫芦幼苗壮苗指标的比较

Fig.1 Comparison of robust seedlings of different treated zucchini seedlings

幼苗*G*值在基质配比和水分影响下差异显著, CK的幼苗*G*值随灌溉量的减少而减小, 在100%ET和75%ET灌溉条件下*G*值显著大于50%ET灌溉下的*G*值, 分别显著增加了21.64%和14.18%, T1处理的

幼苗*G*值在100%ET条件下最大, 75%ET和50%ET条件下差异不显著, T2处理的幼苗在100%ET灌溉条件下*G*值最小, 75%ET和50%ET灌溉条件下幼苗*G*值较100%ET灌溉条件下分别显著提高20.65%和

16.95%。在同一灌溉条件下,不同基质配比的幼苗 G 值差异显著,例如,在 100% ET 灌溉下, T_3 处理幼苗 G 值与 CK 差异不显著,均显著大于 T_1 处理和 T_2 处理,在 75% ET 和 50% ET 条件下 T_2 处理和 T_3 处理幼苗 G 值差异不显著,且显著大于 CK 、 T_1 处理。 T_3 处理基质配比体积质量最大,灌溉量对 G 值的影响最小,在非充分灌溉条件下,基质体积质量越大,灌溉量对幼苗 G 值的影响越小。从壮苗指标来看,选用 T_2 、 T_3 处理体积质量较大的基质更利于壮苗生长。

2.2 不同处理对西葫芦幼苗水分利用率的影响

图 2 为不同处理西葫芦幼苗水分利用率的比较 (F 值: $F(T)=93.02^{**}$, $F(I)=99.38^{**}$, $F(T \times I)=10.23^{**}$), 由图 2 可知, CK 幼苗在 3 种不同灌溉量下水分利用率差异不显著, T_1 、 T_2 、 T_3 处理基质配比下幼苗的水分利用率随灌溉量的减少而提高,相比于 100% ET 灌溉条件,在 75% ET 条件下的幼苗水分利用率分别提高了 6.38%、26.71%、16.01%,在 50% ET 条件下幼苗的水分利用率分别提高了 25.30%、41.14%、36.20%;灌溉量越少,不同基质配比下的幼苗水分利用率差异越大,例如在 100% ET 、75% ET 、50% ET 条件下, T_3 处理较 CK 水分利用率分别提高 13.63%、24.85%、36.96%。

2.3 不同处理下幼苗耗水规律研究

图 3 为不同基质处理下单株幼苗日耗水量的变化趋势,在播后 10 d, CK 、 T_1 、 T_2 处理的幼苗单株耗水量呈逐渐上升趋势,在 10 d 之后幼苗耗水开始出现波动,3 种基质处理出现的耗水量变化趋势一致,且随着幼苗生长,耗水变化幅度逐渐增大,说明在幼

苗不同时期对水分的需求不同。 T_3 处理幼苗单株日耗水量在播种 10 d 之内呈逐渐上升的趋势,在播后 10~15 d,单株幼苗日耗水量基本不变,播后 15 d 幼苗耗水量急剧上升,在播后 18 d 耗水量最大,之后耗水量出现下降趋势,说明随着幼苗的生长,其耗水量会随着需水量而出现波动。研究发现,幼苗植株较小时,叶片水分蒸腾量小于基质水分蒸发量,随着叶片的增长,对基质覆盖面积增大使基质水分蒸发减少,所以会出现单株幼苗日耗水量降低的现象。100% ET 条件下不同基质配比幼苗日耗水量 (Y) 与播后天数 (X) 可用指数函数表示,方程式为, CK : $y=5.247 2e^{0.056x}$ ($R^2=0.720 8$), T_1 处理: $y=4.415 7e^{0.072 7x}$ ($R^2=0.808 6$), T_2 处理: $y=4.287 2e^{0.070 1x}$ ($R^2=0.776 9$), T_3 处理: $y=3.940 1e^{0.078 3x}$ ($R^2=0.861 5$)。2 种材料混合基质幼苗单株日耗水量随幼苗的生长变化趋势较大,3 种和 4 种材料混合的基质培育幼苗单株日耗水量随幼苗的生长变化趋势较小,同一基质配比条件下,幼苗耗水量随灌溉量的减少而减小。

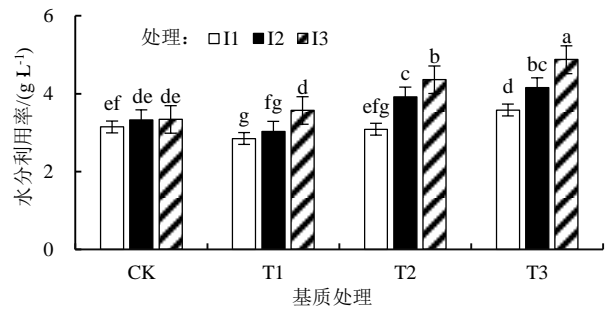


图 2 不同处理西葫芦幼苗水分利用率的比较
Fig.2 Comparison of water use efficiency of different treated zucchini seedlings

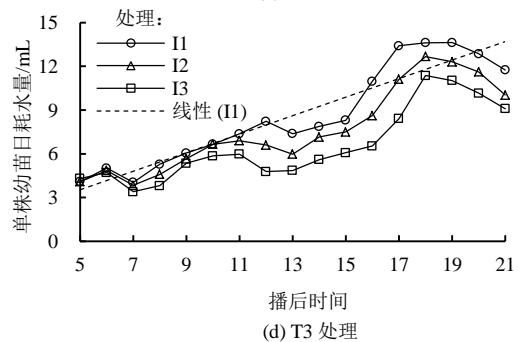
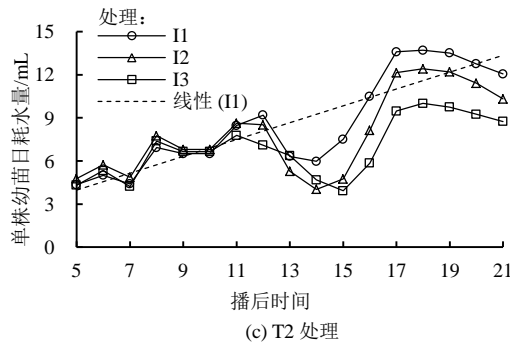
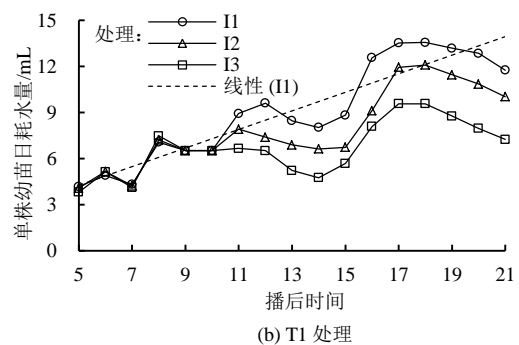
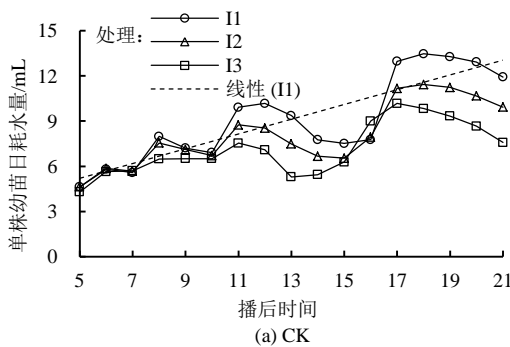


图 3 不同处理西葫芦幼苗单株日耗水量的变化

Fig.3 Changes in individual daily water consumption of different treated zucchini seedlings

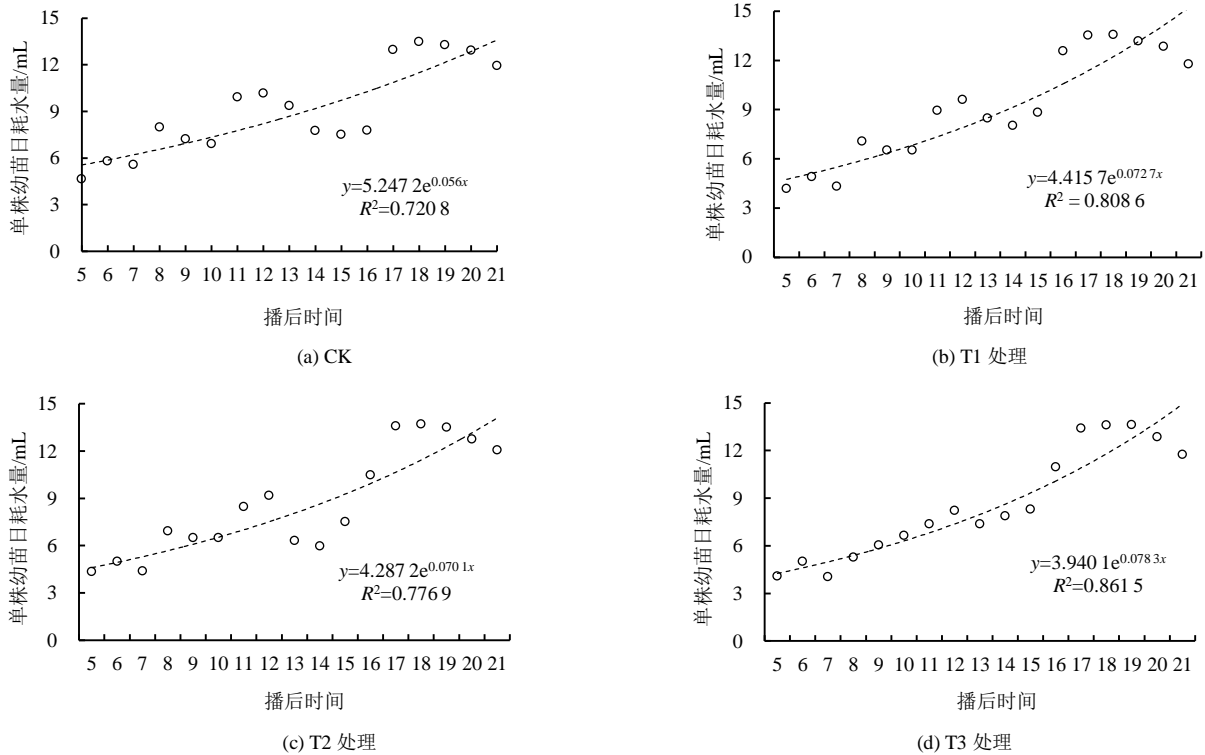


图 4 不同基质处理在 I1 条件下单株幼苗日耗水量拟合方程图

Fig.4 Fitting equation diagram of daily water consumption of single seedling under I1 condition under different substrate treatments

2.4 幼苗总耗水量与构成因素的相关分析和通径分析

本试验选取基质的体积质量 (X_1)、总孔隙度 (X_2)、通气孔隙度 (X_3)、持水孔隙度 (X_4)、气水比 (X_5)、pH 值 (X_6)、EC 值 (X_7) 和单株幼苗灌溉量 (X_8) 为幼苗总耗水量 (Y) 的构成因素, 表 5 为不同影响因素与幼苗总耗水量的相关关系, 表中可见总耗水量 (Y) 与基质的通气孔隙度 (X_3)、气水比 (X_5)、EC 值 (X_7) 和灌溉量 (X_8) 呈正相关关系, 其相关系数分别为 0.444、0.634、0.598 和 0.977, 单株幼苗总耗水量 (Y) 与基质体积质量 (X_1)、总孔隙度 (X_2)、持水孔隙度 (X_4) 和 pH 值 (X_6) 呈负相关关系, 其相关系数分别为 -0.814、-0.734、-0.815 和 -0.515, 说明影响幼苗耗水量的因素与多个基质性质和灌溉量都有关, 其中不能从单一因素指标衡量幼

苗总耗水量, 要综合多个指标分析。各因素之间均存在一定程度的相关关系, 基质体积质量与总孔隙度 ($r=-0.846^{**}$)、基质体积质量与持水孔隙度 ($r=-0.860^{**}$)、基质体积质量与气水比 ($r=-0.739^{**}$) 极显著负相关, 幼苗总灌溉量与基质 pH 值 ($r=0.688^*$) 显著正相关关系。

从表 5 可获得构成耗水量各因素 ($X_1 \sim X_8$) 与单株幼苗总耗水量 (Y) 之间的线性回归方程为:

$$Y = -85.067X_1 - 0.057X_2 + 2.224X_3 - 0.548X_4 - 124.684X_5 + 28.168X_6 + 8.083X_7 + 0.832X_8 - 89.713. \quad (11)$$

其 $F=23.463^*$ ($p<0.05$) 达显著水平, 说明 Y 关于 $X_1 \sim X_8$ 的通径分析是有意义的, 且总耗水量和各因素之间的多元回归关系可用式 (11) 表示。

表 5 单株幼苗总耗水量与影响因素的相关系数

Table 5 Correlation coefficient between total water consumption and influencing factors of individual seedlings

相关系数	体积质量	总孔隙度	通气孔隙度	持水孔隙度	气水比	pH 值	EC	灌溉量	总耗水量
体积质量	1								
总孔隙度	-0.846**	1							
通气孔隙度	-0.615*	0.238	1						
持水孔隙度	-0.860**	0.699*	-0.671*	1					
气水比	-0.739**	-0.399	0.967**	-0.806**	1				
pH 值	0.525	0.410	-0.315	0.378	-0.409	1			
EC	-0.670*	-0.374	0.730**	-0.638*	0.795**	0.074	1		
灌溉量	0.028	0.196	0.357	-0.357	0.315	0.688*	-0.257	1	
总耗水量	-0.814**	-0.734**	0.444	-0.815**	0.634*	-0.515	0.598*	0.977**	1
回归系数	-85.067	-0.057	2.224	-0.548	-124.684	28.168	8.083	0.832	-89.713

注 *表示相关性在 $P<0.05$ 水平上显著; **表示相关性在 $P<0.01$ 水平上显著。

由表 6 可知, 各因素对总耗水量的直接作用由大到小依次为灌溉量 (X_8) > 基质体积质量 (X_1) > 持水孔隙度 (X_4) > 总孔隙度 (X_2) > 气水比 (X_5) > 通气孔隙度 (X_3) > EC 值 (X_7) > pH 值 (X_6), 灌溉量对总耗水量的直接作用最大, 其直接通径系数为 0.944, 虽然通过基质体积质量、总孔隙度、气水比和 EC 值对总耗水量产生了间接负效应, 也通过基质的通气孔隙度、持水孔隙度和 pH 值对总耗水量产生正向间接效应, 而且灌溉量自身的正向作用仍较大, 最终与总耗水量呈正相关。基质的理化性质中体积质

量对幼苗总耗水量的直接影响程度最高 (直接通径系数为 -0.798), 虽然通过其他因素对耗水量产生间接正效应, 但是体积质量自身对耗水量产生的负效应最大, 其次是持水孔隙度 (直接通径系数为 -0.516), 通过体积质量对耗水量产生的间接影响大于其直接影响。综上所述, 各因素对幼苗总耗水量均有不同程度的影响, 灌溉量、基质体积质量和持水孔隙度的直接通径系数均达到显著水平, 说明增加基质的体积质量和持水孔隙度, 适当减少幼苗灌溉量, 可以减少幼苗期总耗水量。

表 6 单株幼苗总耗水量的通径分析

Table 6 Path analysis of total water consumption in individual seedlings

因素	直接通径系数	间接通径系数								总和	决定系数
		$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$	$X_3 \rightarrow Y$	$X_4 \rightarrow Y$	$X_5 \rightarrow Y$	$X_6 \rightarrow Y$	$X_7 \rightarrow Y$	$X_8 \rightarrow Y$		
X_1	-0.798		0.398	-0.263	0.444	0.338	0.087	-0.177	0.026	0.853	0.663
X_2	-0.470	0.675		0.102	-0.361	0.182	0.068	-0.099	0.185	0.752	0.539
X_3	0.427	0.491	-0.112		0.346	-0.442	-0.052	0.193	0.337	0.761	0.197
X_4	-0.516	0.686	-0.329	-0.287		0.368	0.062	-0.168	-0.337	-0.005	0.664
X_5	-0.457	0.590	0.188	0.413	0.416		-0.067	0.210	0.297	2.047	0.402
X_6	0.165	-0.419	-0.193	-0.135	-0.196	0.187		0.020	0.649	-0.087	0.265
X_7	0.264	0.535	0.176	0.312	0.329	-0.363	0.012		-0.243	0.758	0.358
X_8	0.944	-0.022	-0.092	0.152	0.184	-0.144	0.114	-0.068		0.124	0.955

3 讨论

蔬菜幼苗期对水分的需求严格, 不同水分供给对幼苗形态生长^[22]和耗水量^[23-24]也有不同影响, 合理的灌水量有利于保障蔬菜产量和提高水分利用效率^[25], 而农业生产用水量大, 传统灌溉方式会造成水资源浪费、降低生产效益, 灌溉量过少又会限制植株生长, 因此对育苗灌溉量的研究非常有必要。本试验中, 与 100% ET 灌溉条件相比, T1、T2、T3 处理幼苗在 75% ET 条件下的水分利用率分别提高了 6.38%、26.71%、16.01%, 在 50% ET 条件下幼苗的水分利用率分别显著提高了 25.30%、41.14%、36.20%; 同一基质处理的幼苗在 50% ET 灌溉下水分利用率大于其余灌溉条件, 75% ET 灌溉下的水分利用率大于 100% ET 处理, 而在 75% ET 灌溉下的壮苗指数较大。在日光温室中栽种的黄瓜在最佳灌溉水平下, 果实产量和水分利用率才能达到最佳效果^[26], 同样有研究^[27]认为以 80% ET 作为基础灌溉可显著提高番茄果实产量, 与地面灌溉相比还可节水 38%。

在基质育苗生产中, 选择最优基质条件以供工厂化育苗是日前研究的主要内容之一。以牛粪、秸秆等有机物料为主的基质体积质量适宜, 孔隙度大, 不仅可降低育苗成本, 还可提高茄子穴盘育苗的栽培效果^[28]。基质栽培的缓冲性比土壤栽培差, 这就需要结合合理的灌溉决策体系, 既能满足作物的养分需

求, 也减少了灌溉不足造成的基质中盐分积累, 影响作物正常生长^[4]。因此需要研究灌溉制度和基质配比协同作用下幼苗生长, 灌溉制度和基质配比协同作用影响幼苗的生长, 研究表明^[9], 在低气水比处理下, 任何灌溉水平幼苗总体长势均不好; 在中气水比处理下, 基质中的空气和水分要在一个协调的水平上才利于培育壮苗; 在高气水比处理下, 充足的水分可以使叶片更好地吸收养分, 提高壮苗指数。在水分胁迫条件下, 25% 和 50% 堆肥榛子壳可以与泥炭混合用作番茄幼苗栽培基质^[29]。

本试验中 CK 基质体积质量较小为 0.14 g/cm³, 结合 100% ET 或 75% ET 灌溉利于壮苗培育, 而 T2 处理基质体积质量较大为 0.22 g/cm³, 结合 75% ET 或 50% ET 灌溉有利于壮苗生长和水分高效利用。本试验中通过通径分析可知灌溉量对幼苗耗水为正向影响, 基质体积质量对幼苗耗水为负向影响, 且灌溉量对耗水的影响大于基质体积质量对幼苗耗水量的影响, 说明幼苗耗水量随灌溉量的增加而增加, 随基质体积质量的增加而减小。

4 结论

1) 在幼苗生长方面, 同一基质配比下随着灌溉量的减少, 幼苗的株高逐渐增加, 而叶面积逐渐减小。单株鲜质量均随灌溉量的减少而减小。

2) 在水分利用方面, T3I3 处理水分利用率最大, 总耗水量最小, 为 111 mL, 且幼苗单株总耗水量随灌溉量的增加而增加。

3) 综合考虑幼苗生长和耗水规律, T2 处理和 T3 处理基质性状为 $0.22 \text{ g/cm}^3 \leq \text{体积质量} \leq 0.34 \text{ g/cm}^3$, $53\% < \text{持水孔隙度} < 56\%$, 其持水孔隙度较大, 持水能力较强, 采用 75%ET 灌溉在保证幼苗生长的同时也能提高水分利用率, 达到节水的目的。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献:

- [1] 刘明池, 季延海, 武占会, 等. 我国蔬菜育苗产业现状与发展趋势[J]. 中国蔬菜, 2018(11): 1-7.
- [2] 褚群, 董春娟, 尚庆茂. γ -聚谷氨酸对番茄穴盘育苗基质矿质养分供应及幼苗生长发育的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(3): 855-862.
CHU Qun, DONG Chunjuan, SHANG Qingmao. Effects of γ -poly glutamic acid on substrate mineral nutrient supply and growth of tomato plug seedlings[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(3): 855-862.
- [3] MUSWATI C, SIMANGO K, TAPFUMANEYI L, et al. The effects of different substrate combinations on growth and yield of oyster mushroom (*pleurotus ostreatus*)[J]. International Journal of Agronomy, 2021, 2021: 1-10.
- [4] 岳焕芳, 李超, 李友丽, 等. 高品质番茄基质栽培灌溉决策研究[J]. 中国蔬菜, 2020(4): 56-60.
YUE Huanfang, LI Chao, LI Youli, et al. Studies on irrigation decision in substrate culture of high quality tomato[J]. China Vegetables, 2020(4): 56-60.
- [5] 周万管, 徐诚, 徐恒辉, 等. 工厂化番茄穴盘育苗基质筛选试验[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(5): 903-905.
ZHOU Wanguan, XU Cheng, XU Henghui, et al. Screening experiment of matrix formula for industrialized tomato plug seedlings[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2020, 61(5): 903-905.
- [6] 王晓娥, 范美青, 张欣, 等. 玉米秸秆与菌渣混合栽培基质对番茄育苗的影响[J]. 吉林工程技术师范学院学报, 2020, 36(2): 90-91, 96.
WANG Xiaoe, FAN Meiqing, ZHANG Xin, et al. Effects of corn stalk and fungus residue blended culture substrate upon tomato seedling cultivating[J]. Journal of Jilin Teachers Institute of Engineering and Technology, 2020, 36(2): 90-91, 96.
- [7] 杜彦梅, 辛贵民, 李龙, 等. 基于黑木耳菌渣的辣椒育苗基质筛选研究[J]. 北方园艺, 2019(13): 17-22.
DU Yanmei, XIN Guimin, LI Long, et al. Screening of pepper seedling substrate based on fungus residue of *auricularia auricula*[J]. Northern Horticulture, 2019(13): 17-22.
- [8] 扎富云. 蔬菜工厂化育苗不同配比基质筛选试验[J]. 现代农业科技, 2017(23): 49-50.
ZHA Fuyun. Screening experiment of different proportion substrates for vegetable industrial seedling raising[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2017(23): 49-50.
- [9] 宫彬彬, 赵峰, 王宁, 等. 育苗基质气水比和基质含水量对番茄幼苗生长的影响[J]. 河北农业大学学报, 2020, 43(3): 45-49.
GONG Binbin, ZHAO Feng, WANG Ning, et al. Effects of air-water ratio and water content of substrate on the growth of tomato seedlings[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2020, 43(3): 45-49.
- [10] 孟圆, 王哲, 夏辉, 等. 不同基质下番茄耗水规律及生长指标数学模拟研究[J]. 节水灌溉, 2020(12): 32-36.
MENG Yuan, WANG Zhe, XIA Hui, et al. Numerical simulation of water consumption and growth index of tomato under different substrates[J]. Water Saving Irrigation, 2020(12): 32-36.
- [11] 杨福鑫. 日光温室番茄需水规律与灌溉决策研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019.
YANG Fuxin. Study on tomato water demand and irrigation decision in solar greenhouse[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019.
- [12] 孔德杰, 张源沛, 郭生虎, 等. 不同灌水量对日光温室黄瓜耗水规律及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 42-47.
KONG Dejie, ZHANG Yuanpei, GUO Shenghu, et al. Effects of different irrigation amount on water consumption and water use efficiency of greenhouse cucumber[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(3): 42-47.
- [13] 邱权, 潘昕, 李吉跃, 等. 速生树种尾巨桉和竹柳幼苗耗水特性和水分利用效率[J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1401-1410
QIU Quan, PAN Xin, LI Jiyue, et al. Water consumption characteristics and water use efficiency of *Eucalyptus urophylla* \times *Eucalyptus grandis* and bamboo-willow seedlings[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(6): 1401-1410.
- [14] TAYADE D V, SONKAMBLE M A, RAMTEKE R P, et al. Effect of irrigation and fertigation levels on soil fertility and yield of watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.)[J]. International Journal of Plant & Soil Science, 2022: 85-95.
- [15] 毛丽萍, 郭尚. 回归相关法测定西葫芦叶面积研究[J]. 上海蔬菜, 2008(5): 74-75.
- [16] 李发远, 郭建林, 张国香, 等. FA、HIDS 对 CaCl_2 缓解低温弱光下西葫芦幼苗伤害的影响[J]. 腐植酸, 2020(6): 32-37, 60.
LI Fayuan, GUO Jianlin, ZHANG Guoxiang, et al. FA and HIDS on CaCl_2 alleviated the effects of low temperature and weak light on damage to summer squash seedlings[J]. Humic Acid, 2020(6): 32-37, 60.
- [17] 明村豪, 蒋芳玲, 王广龙, 等. 黄瓜壮苗指标与辐射热积关系的模拟模型[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 109-113.
MING Cunhao, JIANG Fangling, WANG Guanglong, et al. Simulation model of cucumber healthy indexes based on radiation and thermal effectiveness[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(9): 109-113.
- [18] 李倩, 田雅楠, 尚庆茂, 等. 潮汐灌溉供液高度对番茄穴盘苗水分和氮素利用效率的影响[J]. 华北农学报, 2019, 34(6): 126-132.
LI Qian, TIAN Ya'nan, SHANG Qingmao, et al. Effects of irrigation height on water and nitrogen use efficiency of tomato plug seedlings under ebb-and-flow irrigation[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2019, 34(6): 126-132.
- [19] 杜家菊, 陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报, 2010, 45(2): 4-6.
- [20] 张淮, 孙君艳. 通径分析新探索[J]. 河北农业科学, 2008, 12(4): 1-3, 11.
ZHANG Huai, SUN Junyan. New exploration on path analysis[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2008, 12(4): 1-3, 11.
- [21] CHATTERJEE S, MUKHERJEE D, CHOUDHURI P, et al. Path analysis and quality character studies in some mid late and late cauliflower (*brassica oleracea* var. *botrytis* L.) genotypes[J]. Current Journal of Applied Science and Technology, 2018, 31(1): 1-7.
- [22] 费良军, 汪爱科, 王龙飞, 等. 日光温室基质栽培樱桃西红柿滴灌试验研究[J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(12): 1070-1076.
FEI Liangjun, WANG Aike, WANG Longfei, et al. Experiment on substrate cultivation of cherry tomatoes in sunlight greenhouse with drip irrigation[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2016, 34(12): 1070-1076.
- [23] MAO X S, LIU M Y, WANG X Y, et al. Effects of deficit irrigation on yield and water use of greenhouse grown cucumber in the North China

- Plain[J]. *Agricultural Water Management*, 2003, 61(3): 219-228.
- [24] KUSLU Y, SAHIN U, KIZILOGLU F M, et al. Fruit yield and quality, and irrigation water use efficiency of summer squash drip-irrigated with different irrigation quantities in a semi-arid agricultural area[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13(11): 2 518-2 526.
- [25] 赵青松, 李萍萍, 郑洪倩, 等. 灌水量对有机基质栽培黄瓜生长及氮素利用的影响[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(12): 117-121.
ZHAO Qingsong, LI Pingping, ZHENG Hongqian, et al. Effects of irrigation amount on growth and nitrogen efficiency of cucumber cultivated in organic substrate[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(12): 117-121.
- [26] 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.
- [27] SINGH R, KUMAR S, NANGARE D D, et al. Drip irrigation and black polyethylene mulch influence on growth, yield and water-use efficiency of tomato[J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2009, 4: 1 427-1 430.
- [28] 周其宇. 不同配比基质对茄子幼苗生长的影响[J]. *安徽农业科学*, 2021, 49(7): 63-65, 73.
ZHOU Qiyu. The influence of different ratio of matrix on eggplant seedling growth[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2021, 49(7): 63-65, 73.
- [29] ÖZENÇ D B. Growth and transpiration of tomato seedlings grown in hazelnut husk compost under water-deficit stress[J]. *Compost Science & Utilization*, 2008, 16(2): 125-131.

The Combined Effect of Substrate Composition and Irrigation Amount on Growth and Water Consumption of Zucchini Seedlings

WANG Yan^{1,2}, WEN Jiangli³, FAN Fengcui⁴, GUO Wenzhong^{1*},
LI Yinkun¹, LI Lingzhi², WANG Ruoying^{1,2}, QIN Li^{1,2}

(1. Intelligent Equipment Technology Research Center of Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 3. Beijing Agricultural Vocational College, Beijing 102442, China; 4. The Institute of Agricultural Information and Economics, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: 【Objective】 Selecting a right substrate composition is of paramount importance for facility agriculture. This paper is to determine the optimal nursery substrate composition and irrigation amount for the cultivation of zucchini seedlings. 【Method】 Using Nongyuan NO.1 zucchini as the model plant, we compared four nursery substrate ratio: peat: perlite (3 : 1, CK), peat: vermiculite: perlite (3 : 1 : 1, T1), peat: vermiculite (2 : 1, T2), and peat: vermiculite: perlite: coconut bran (2 : 1 : 1, T3). The bulk density and porosity of T2 and T3 were 0.22 g/cm³ and 53.29%, and 0.34 g/cm³ and 56.93%, respectively. For each substrate, there were three irrigation treatments by setting the irrigation amount at 100% (I1), 75% (I1), and 50% (I2) of the evaporation capacity (ET). We evaluated the combined effect of substrate and irrigation amount on growth, water consumption and water use efficiency of the seedlings. 【Result】 Among the three substrates, the physical and chemical properties of T2 were the best for the zucchini seedling. Its combination with irrigation I2 gave the largest stem diameter, which was 12.40% to 26.98% greater compared to other substrates under the same irrigation amount. The vigor of the seedlings under irrigation I2 and I3 was significantly greater than that under I1. The combination of T3+I3 increased water use efficiency by 11.87% to 45.97%, respectively, compared to other two substrates under the same irrigation amount. The total water consumption per seedling increased with the increase in irrigation amount and decreased with the increase in substrate bulk density. 【Conclusion】 The experimental results show that the optimal substrate and irrigation for the growth of zucchini seedlings is bulk density between 0.22 g/cm³ and 0.34 g/cm³ and porosity between 53% and 56%. These, combined with the irrigation I2, can enhance seedling quality and improve its water use efficiency.

Key words: irrigation amount; substrate ratio; seedling water consumption; growth index; water use efficiency

责任编辑: 赵宇龙