

不同基质配比对设施小西瓜生长、产量及品质的影响

韦章静¹, 张跃星¹, 程诗晓¹, 张瑞青¹, 武岳²,
张勇¹, 马建祥¹, 张显¹, 李好¹

(1. 西北农林科技大学园艺学院 陕西杨凌 712100; 2. 蒲城县设施农业发展中心 陕西蒲城 715500)

摘要:为克服设施西瓜连作障碍、降低基质栽培成本并实现农业废弃物资源化利用,以酥小宝 2K-1 小西瓜为试材,采用设施基质槽培方式,比较园区土(CK)、3种单一基质和6种复配基质的栽培效果,测定并分析植株农艺性状、果实产量、品质及相关成本效益等指标,综合评价不同基质比对设施西瓜的影响。结果显示,单一基质花生壳、陕青基质以及陕青基质、蘑菇渣、鸡粪按体积比 75:15:10 复配的基质可促进植株生长;其中花生壳处理(T2)的果实单瓜质量在各基质处理中最大,为 1.55 kg,产量达 51.56 t·hm⁻²,植株成活率达 100%,果实中心可溶性固形物、番茄红素含量显著高于园区土处理;陕青基质处理(T1)的果实番茄红素含量仅次于花生壳处理,其他指标与花生壳处理相比均无显著差异;陕青基质、蘑菇渣、鸡粪按体积比 75:15:10 复配的基质处理(T6),其果实维生素 C 含量最高,且单株栽培成本仅为 3.00 元,较花生壳和陕青基质处理低 6.67%。结果表明,花生壳基质为设施小西瓜高产优质栽培的首选,其次为陕青基质;而陕青基质、蘑菇渣、鸡粪按体积比 75:15:10 复配的基质可兼顾生产成本与效益,三者复配可缓解设施西瓜连作障碍,为设施西瓜绿色栽培提供技术支持。

关键词:西瓜;基质配比;生长;产量;品质

中图分类号:S651

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)05-123-09

Effects of different substrate ratios on the growth, yield and quality of mini watermelon in greenhouse

WEI Zhangjing¹, ZHANG Yuexing¹, CHENG Shixiao¹, ZHANG Ruiqing¹, WU Yue², ZHANG Yong¹, MA Jianxiang¹, ZHANG Xian¹, LI Hao¹

(1. College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2. Facility Agriculture Development Center of Pucheng County, Pucheng 715500, Shaanxi, China)

Abstract: To overcome the continuous cropping obstacles in greenhouse watermelon cultivation, reduce the cost of substrate culture, and realize the resource utilization of agricultural waste, the mini watermelon Suxiaobao 2K-1 was used as the test material. A substrate trough cultivation system was adopted to compare the cultivation effects of field soil, three single substrates, and six compound substrates. Plant agronomic traits, fruit yield, quality, and related cost-benefit indicators were measured to comprehensively evaluate the effects of different substrate ratios on greenhouse watermelon. The results showed that the single substrate (peanut shell and Shanqing substrate), and the compound substrate mixed with Shanqing substrate, mushroom residue, and chicken manure in a volume ratio of 75:15:10, promoted plant growth. Among these, the peanut shell treatment achieved the best single fruit mass among different substrate treatment (1.55 kg), yield (51.56 t·hm⁻²), plant survival rate (100%), and significantly higher content of central soluble solids, and lycopene in the fruit compared to the field soil treatment. The Shanqing substrate treatment had a lycopene content second only to that of the peanut shell treatment, with no significant difference in other indicators compared to the peanut shell treatment. The treatment with Shanqing substrate, mushroom residue, and chicken manure mixed at a volume ratio of 75:15:10 had the highest fruit vitamin C content, with a cultivation cost per plant of only 3.00 yuan, which was 6.67% lower than that of the peanut shell and Shanqing substrate treatments. In conclusion, peanut shell substrate is the preferred choice for high-yield and high-quality cultivation of greenhouse mini-watermelon, followed by Shanqing substrate. The compound

收稿日期:2025-08-22;修回日期:2025-10-10

基金项目:国家重点研发计划(2023YFD2023703)

作者简介:韦章静,女,在读硕士研究生,研究方向为基质栽培生理。E-mail:sc18381338271@163.com

通信作者:李好,男,教授,研究方向为西瓜、甜瓜逆境抗性调控及机制等。E-mail:yuanyliliao123@163.com

mixture of Shanqing substrate, mushroom residue, and chicken manure (75:15:10) can reduce production cost while maintaining cultivation benefit. This compound substrate can overcome the continuous cropping obstacles of greenhouse watermelon, and provide technical support for the green cultivation of greenhouse watermelon.

Key words: Watermelon; Substrate ratio; Growth; Yield; Quality

西瓜是葫芦科西瓜属一年生蔓生草本植物,原产非洲,喜光耐热,具有清热解暑、利尿润肺等功能,深受消费者喜爱。我国作为世界上最大的西瓜生产国,种植面积、产量和消费量均居世界第一^[1]。随着设施农业的快速发展,西瓜设施栽培因能够改善品质、提高产量、增加反季节供应量并大幅提高经济效益而被广泛关注^[2]。特别是设施栽培的中小型西瓜,因其符合市场需求,深受消费者喜爱。然而,长期的单一西瓜种植导致了严重的连作障碍问题。连作障碍主要表现为土壤理化性质恶化、有益微生物数量减少、有害物质积累以及次生盐渍化等问题,这些因素显著降低了西瓜的长势、抗病能力、产量,影响了西瓜品质^[3]。为缓解连作障碍,无土栽培技术被广泛应用。基质栽培作为一种无土栽培技术,能够有效缓解连作障碍,减少土传病害的发生,同时降低农药和化肥的使用量,从而生产出高品质的果蔬产品^[2]。

世界上商业性无土栽培以基质栽培为主,其中荷兰的基质栽培占无土栽培总面积的90%以上,法国占81%,日本占80%以上,加拿大占80%,比利时占50%左右^[4]。我国基质栽培占比超95%,主要应用于设施园艺领域,涵盖番茄、黄瓜、甜椒、甜瓜、生菜等蔬菜作物及各类花卉植物,同时在园艺植物育苗中也有应用^[5-7]。因基质栽培理化性质可控,且在肥料利用率、水资源利用率和作物增产上具备优势,无土栽培面积持续扩大,已成为设施作物生产的重要栽培方式^[8-9]。然而,传统基质栽培成本较高,主要依赖于草炭等不可再生资源,这在一定程度上限制了其大规模推广^[10]。

近年来,利用农业废弃物作为基质原料的研究逐渐增多。例如,花生壳、椰糠、蘑菇渣、蚯蚓粪等农业废弃物经过发酵处理后,可作为基质材料用于无土栽培。这些材料不仅成本低廉,还能改善基质的理化性质,促进作物生长^[11-12]。研究发现,以花生壳和牛粪有机肥为材料复配西瓜栽培基质时,花生壳配比适宜范围为65%~75%^[13]。田溪等^[14]提出,在有机基质蔬菜栽培中,菌渣的比例一般控制在45%~65%,牛粪的比例控制在45%~25%,无机基质控制在10%~30%,发酵鸡粪用量为 $10\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。刘青等^[15]试验结果表明,添加20%的蚯蚓粪对小果型

西瓜品种琼丽的育苗效果最好,有利于壮苗和缩短育苗周期。孙桂芝等^[16]利用基质栽培种植小西瓜,与常规种植相比,基质栽培西瓜的产量增加29.7%,用水量降低29.6%,西瓜中维生素C含量提高8.9%,中心可溶性固形物含量提高0.7个百分点。同时,基质栽培有效减少了土传病害的发生,促进作物健康生长^[2]。此外,基质槽式栽培技术可通过滴灌系统实现水肥高效利用,进一步优化了作物的生长环境^[17]。

因此,笔者使用花生壳、蚯蚓粪、蘑菇渣等材料,以酥小宝2K-1西瓜为试验材料,采用基质槽式栽培方式,探讨不同基质比对设施小西瓜生长、产量和品质的影响,旨在筛选出适宜设施环境下小西瓜生长的基质配方,为设施西瓜的绿色、高效栽培提供理论依据和技术支持。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

供试西瓜材料为酥小宝2K-1,由安徽省百思农业科技有限公司提供。嫁接砧木采用东方正大旗舰白籽南瓜,由东方正大种子有限公司提供。育苗采用的穴盘规格为32孔穴盘,试验所用嫁接苗于西瓜幼苗2叶1心时采用靠接法进行嫁接,4叶1心时定植。发酵鸡粪[商业标准, $\text{N}+\text{P}_2\text{O}_5+\text{K}_2\text{O}$ 含量(w ,后同) $\geq 5\%$,有机质含量 $\geq 45\%$,有益菌含量 $\geq 2\text{ 亿}\cdot\text{g}^{-1}$]由鄂尔多斯市发财羊农牧业开发有限公司生产。蚯蚓粪(商业标准, $\text{N}+\text{P}_2\text{O}_5+\text{K}_2\text{O}$ 含量 $\geq 4\%$,有机质含量 $\geq 30\%$)由陕西硕农农业开发有限公司生产。蘑菇渣全部经充分发酵腐熟,由陕西省渭南市蒲城县香菇生产基地提供。陕青育苗基质由渭南市临渭区陕青营养基质加工厂生产,主要成分为草炭、蛭石和珍珠岩等;花生壳基质由丽水市云益农业科技有限公司提供。

1.2 试验设计

试验于2024年3—6月在陕西省渭南市蒲城县西北农林科技大学蒲城西瓜试验站的塑料拱棚内进行,采用随机区组设计,两端设有保护行,试验共设10个处理,每个处理3次重复,每次重复30株苗,其中CK(园土)为空白对照,种植嫁接苗,其他各处理均种植自根苗。定植采用双行品字形定

植法,槽内株距 40 cm,行距 20 cm。定植前按照深 20 cm、宽 40 cm 的规格开基质槽,每个基质槽间距为 150 cm,在基质槽内的槽底和槽壁铺设无纺布。按照不同配比将基质混匀填铺于基质槽中。槽内

安装 2 条滴灌带,间距 20~25 cm。具体处理见表 1。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 基质理化性质 基质物理性质测定包括容重、总孔隙度、持水孔隙度、通气孔隙度和气水比,

表 1 不同基质配比方案

Table 1 Different substrate ratio schemes

处理 Treatment	基质 Substrate	体积比 Volume ratio
CK	园土 Garden soil	100
T1	陕青基质 Shanqing substrate	100
T2	花生壳 Peanut shells	100
T3	蚯蚓粪 Earthworm castings	100
T4	蚯蚓粪:蘑菇渣 Earthworm castings:Mushroom residue	75:25
T5	蚯蚓粪:蘑菇渣 Earthworm castings: Mushroom residue	50:50
T6	陕青基质:蘑菇渣:鸡粪 Shanqing substrate:Mushroom residue:Chicken manure	75:15:10
T7	陕青基质:蘑菇渣:鸡粪 Shanqing substrate:Mushroom residue:Chicken manure	50:40:10
T8	花生壳:蘑菇渣:鸡粪 Peanut shells:Mushroom residue:Chicken manure	75:15:10
T9	花生壳:蘑菇渣:鸡粪 Peanut shells:Mushroom residue:Chicken manure	50:40:10

参考郭世荣^[18]的方法。取一面积为 V 的铝盒,称其质量为 $W0$,将自然风干的基质放入该铝盒中,使基质刚好与铝盒口平齐,称其质量为 $W1$,将铝盒口用纱布封住,使铝盒口朝下放入水中浸泡 24 h,从水中取出,取下纱布,称其质量为 $W2$,再次将铝盒口用纱布封住,倒置沥水 4 h,取下纱布称其质量为 $W3$ 。公式如下:

$$\text{容重} = (W1 - W0) / V;$$

$$\text{总孔隙度} / \% = (W2 - W1) / V \times 100;$$

$$\text{持水孔隙度} / \% = (W3 - W1) / V \times 100;$$

$$\text{通气孔隙度} / \% = (W2 - W3) / V \times 100;$$

$$\text{气水比} = \text{通气孔隙度} / \text{持水孔隙度}。$$

基质化学性质测定指标包括 pH 和 EC 值。将自然风干的基质与蒸馏水按体积比 1:5 混合,放入摇床中振荡 30 min,振荡完毕后静置 15 min,用滤纸过滤出上清液,每个基质配方 3 次重复。分别使用便携式 pH 计和电导率仪测定其 pH 和 EC 值。

1.3.2 植株农艺性状 定植后 15 d(伸蔓期)开始测量,测定指标为西瓜主蔓长度、茎粗、叶片数,10 d 后(开花坐果期)测量 1 次,每处理测 5 株,并计算其 10 d 内增长量,取平均值。主蔓长度用卷尺测定,从主茎子叶节点处起至生长点;茎粗使用数显游标卡尺进行测量,测量部位始终为主茎基部;叶片数采用目测法,从第一片真叶开始至生长点下完全展平真叶结束。

1.3.3 果实形态及产量 果实成熟后按小区采摘并统计各小区植株成活率,小区各处理单株产量的总和计为该处理产量,并折算为 $t \cdot \text{hm}^{-2}$ 。每处理选

取 9 个果实(同一授粉日期),计算平均单果质量,纵切果实,用直尺测量果实横径、纵径及果皮厚度,计算果形指数(纵径/横径),均取平均值。

1.3.4 果实品质 用数字折光仪分别测定果实中心和边部可溶性固形物含量;果实可溶性总糖含量用蒽酮比色法测定^[19];还原糖含量按照 3,5-二硝基水杨酸法测定^[19];可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定^[19];维生素 C 含量用钼蓝比色法测定^[19];可滴定酸含量用 NaOH 滴定,以消耗 NaOH 的量表示^[19]。采用分光光度法测定番茄红素含量^[20-21]。

1.3.5 栽培成本分析 根据市场调查筛选出适宜的基质,对每个基质配比进行成本分析(包括原料、人工和运输)。本试验各基质成本为:花生壳 400 元· m^{-3} 、陕青基质 400 元· m^{-3} 、鸡粪 700 元· m^{-3} 、蚯蚓粪 500 元· m^{-3} 、蘑菇渣 30 元· m^{-3} 。结合不同基质配比对小西瓜产量和品质的影响,综合分析栽培成本及产出效益。

1.4 数据处理

在对果实品质评价时,鉴于各项指标的计量单位存在差异,数据量纲也不尽相同,为此,采用隶属函数法^[22-23]对数据进行转换处理。

正相关指标(维生素 C、可溶性总糖、可溶性还原糖、可溶性蛋白、番茄红素含量),计算公式如下:

$$Q_i = (Q - Q_{\min}) / (Q_{\max} - Q_{\min});$$

而负相关指标(有机酸),计算公式如下:

$$Q_i = 1 - (Q - Q_{\min}) / (Q_{\max} - Q_{\min})。$$

式中, Q_{\max} 为所有处理该指标的最大值, Q_{\min} 为

所有处理该指标的最小值, Q_i 为该指标的隶属函数值, 值越大代表果实品质越优。

试验数据使用 Excel 2019 进行处理, 使用 Origin 2021 制图, 采用 IBM SPSS Statistics 24.0 进行统计分析, 采用 Duncan 新复极差法进行处理间差异显著性检验分析。

2 结果与分析

2.1 不同基质配比对基质理化性质的影响

由表 2 可知, 各处理基质的容重介于 0.21~

0.72 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 其中, T2 容重最低, 为 0.21 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, T3 容重最高, 为 0.72 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 均低于 CK 的 1.05 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。总孔隙度在 46%~63%, 以 T2 最高, T9 最低, 均高于 CK 的 36%。持水孔隙度在 43%~57%, T2 表现最优, T3 和 T4 较低, 均高于 CK。通气孔隙度方面, T7 最高, 为 9%, T9 最低, 为 2%。气水比在 0.06~0.20, 其中 T5 最高, 为 0.20, T9 最低, 为 0.06。基质 pH 介于 6.82~7.45, 属中性范围, T1 的 pH 最低, T9 最高, 均低于 CK 的 7.97。EC 值反映基质盐分状况, T6 最高, 达 2.32 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, T9 最低, 为 1.13 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, 均高于 CK。

表 2 不同基质配比对基质理化性质的影响

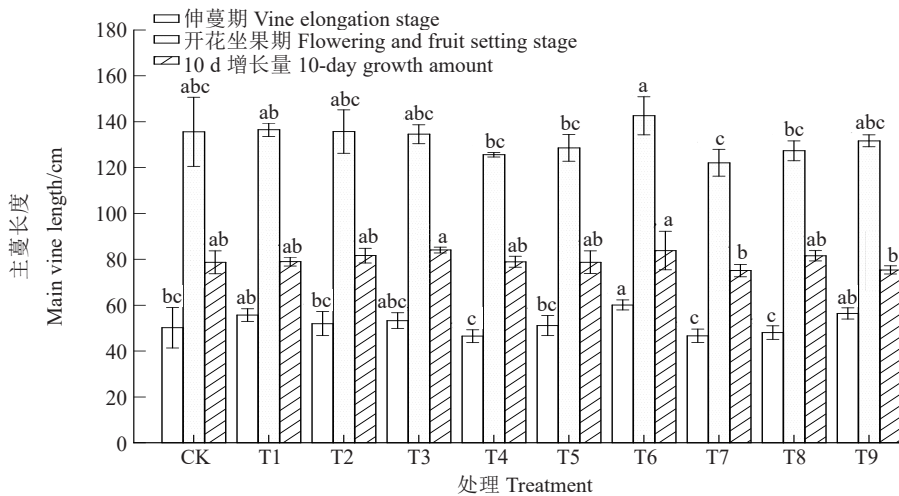
Table 2 Effects of different substrate proportions on physicochemical properties

处理 Treatment	容重 Bulk density/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	总孔隙度 Total porosity/%	持水孔隙度 Water-holding porosity/%	通气孔隙度 Aeration porosity/%	气水比 Air-water ratio	pH	EC/ ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$)
CK	1.05	36	30	6	0.19	7.97	0.79
T1	0.33	58	54	4	0.08	6.82	1.83
T2	0.21	63	57	6	0.11	6.90	1.28
T3	0.72	50	43	7	0.16	7.24	2.17
T4	0.68	49	43	6	0.15	7.38	1.70
T5	0.61	52	44	8	0.20	7.44	1.95
T6	0.46	53	49	3	0.07	7.06	2.32
T7	0.44	55	46	9	0.19	7.37	1.72
T8	0.34	59	55	4	0.07	7.38	1.40
T9	0.32	46	45	2	0.06	7.45	1.13

2.2 不同基质配比对西瓜农艺性状的影响

2.2.1 不同基质配比对西瓜主蔓长度的影响 由图 1 可知, 在伸蔓期, T6 表现优异, 显著高于 CK、T2、T4、T5、T7、T8 处理, 与 T1、T3、T9 处理无显著差异。进入开花坐果期后, T6 主蔓长度仍表现最

佳, 与 T4、T5、T7、T8 相比有显著差异, 与其他各处理相比差异不显著。从 10 d 增长量来看, T6 增长量最大, 显著高于 T7、T9 处理, 与其他处理比较无显著差异。综合来看, T6 在伸蔓期、开花坐果期及 10 d 增长量上表现最好, T1、T3 在各方面与 T6 相



注: 不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

图 1 不同基质配比对西瓜主蔓长度的影响

Fig. 1 Effects of different substrate ratios on main vine length of watermelon

比较都无显著差异且生长表现相近或优于 CK。

2.2.2 不同基质配比对西瓜茎粗的影响 由图 2 可知,在伸蔓期,T2 表现突出,显著高于 CK,与其他各处理相比无显著差异。在开花坐果期,T2 表现仍然最佳,T3、T4、T5、T9 表现较差,显著低于 T2,但均显著高于 CK。在 10 d 增长量上,T2 表现最好,与 CK、T9 相比有显著差异,与其他各处理相比差异不显著。综合来看,T2 的茎粗始终表现最优,在各方面相较于 CK 差异均显著。

2.2.3 不同基质配比对西瓜叶片数的影响 由图 3 可知,在伸蔓期,T1、T4 和 T5 的叶片数较多,除与 T6 差异显著外,与其他各处理均无显著差异。在开花坐果期,T1 表现最佳,且与 CK 相比差异显著,其余各处理除 T2 和 T6 外均表现良好。在 10 d 增长量上,T1 仍表现良好,各处理均高于 CK,且各处理间差异不显著。综合来看,T1 叶片数指标始终最优。

2.3 不同基质配比对西瓜果实形态及产量的影响

2.3.1 不同基质配比对西瓜果实形态的影响 由表 3

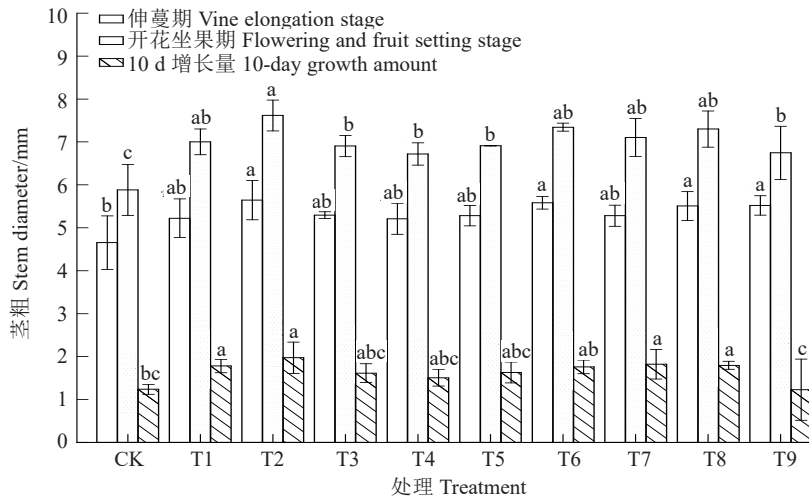


图 2 不同基质配比对西瓜茎粗的影响

Fig. 2 Effects of different substrate ratios on stem diameter of watermelon

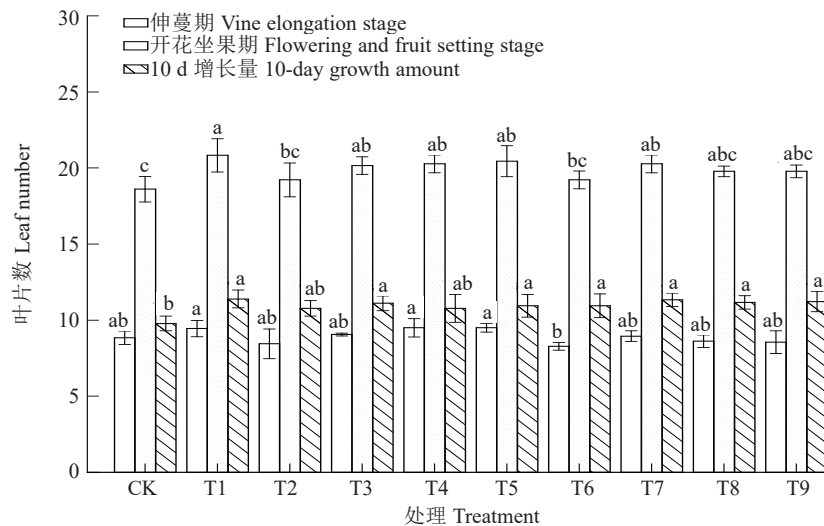


图 3 不同基质配比对西瓜叶片数的影响

Fig. 3 Effects of different substrate ratios on leaf number of watermelon

可知,果实横径方面,T2 值最大,达到 13.18 cm,其次为 CK 和 T1,三者之间无显著差异,T4 值最小,仅为 11.27 cm,显著低于除 T3、T5 外的其他处理。果实纵径的变化趋势与横径大致相同,其中 T2 仅次于 CK,CK>T2>T1,三者之间差异不显著,T4 值

最小,除与 T3、T5 处理差异不显著外,与其他处理均存在显著差异。在果形指数方面,CK 值最大,除 CK 外,其他各处理间差异不显著,且数值差异较小。在果皮厚度上,T4 的果皮厚度最厚,为 0.48 cm,而 T7 的果皮厚度最薄,为 0.40 cm,两者之间差异显

著,但二者与其他各处理相比均无显著差异。

2.3.2 不同基质配比对西瓜果实产量的影响 由表4可知,在单瓜质量方面,T2处理的单瓜质量为1.55 kg,仅次于CK的1.58 kg,其次为T1和T6,CK、T2、T1差异不显著。产量与成活率相关,T2的

成活率最高,达到了100%,其产量最大,为51.56 t·hm⁻²,高于CK,其次为T1和T6,CK、T2和T1之间无显著差异,各处理间产量大小关系为T2>CK>T1>T6>T8>T3>T7>T4>T9>T5。

表4 不同基质配比对西瓜产量的影响

表3 不同基质配比对西瓜形态指标的影响

Table 3 Effects of different substrate ratios on morphological indicators of watermelon

处理 Treatment	果实横径 Fruit transverse diameter/cm	果实纵径 Fruit longitudinal diameter/cm	果形指数 Fruit shape index	果皮厚度 Rind thickness/cm
CK	13.02±0.40 ab	17.96±0.75 a	1.38±0.03 a	0.46±0.01 ab
T1	12.79±0.32 abc	17.07±0.55 abc	1.33±0.01 ab	0.45±0.01 ab
T2	13.18±0.14 a	17.29±0.36 ab	1.31±0.02 b	0.42±0.07 ab
T3	11.81±0.15 ef	15.49±0.18 ef	1.31±0.02 b	0.45±0.01 ab
T4	11.27±0.21 f	14.81±0.29 f	1.31±0.01 b	0.48±0.02 a
T5	11.81±0.35 ef	15.48±0.70 ef	1.31±0.02 b	0.43±0.01 ab
T6	12.54±0.20 bcd	16.44±0.25 bcd	1.34±0.03 ab	0.45±0.03 ab
T7	11.92±0.49 e	16.21±0.61 cde	1.36±0.02 ab	0.40±0.05 b
T8	12.31±0.32 cde	16.07±0.74 bcde	1.33±0.09 ab	0.44±0.01 ab
T9	12.10±0.07 de	15.95±0.24 de	1.32±0.02 b	0.45±0.03 ab

注:同列数据后不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

Table 4 Effects of different substrate ratios on yield of watermelon

处理 Treatment	单瓜质量 Single melon mass/kg	成活率 Survival rate/%	产量 Yield/(t·hm ⁻²)
CK	1.58±0.18 a	97.62±3.37 a	51.41±6.86 a
T1	1.46±0.14 ab	94.74±7.44 ab	46.48±7.85 ab
T2	1.55±0.03 a	100.00±0.00 a	51.56±1.03 a
T3	1.15±0.07 cd	88.19±4.28 bc	33.79±1.82 de
T4	0.93±0.04 e	95.54±3.18 ab	29.68±1.25 de
T5	1.06±0.13 de	74.85±6.33 d	26.42±3.21 e
T6	1.33±0.03 bc	93.12±1.34 ab	41.34±0.73 bc
T7	1.15±0.13 cd	79.68±2.04 cd	30.64±4.07 de
T8	1.21±0.01 cd	86.36±2.20 bc	34.84±1.05 cd
T9	1.13±0.03 d	72.48±2.71 d	27.41±1.77 de

2.4 不同基质配比对西瓜果实品质的影响

2.4.1 不同基质配比对西瓜果实可溶性固形物含量的影响 由表5可知,T2的中心可溶性固形物含量最高,为13.14%,其次为T6、T3和T1,与T2相比无显著差异,均高于CK。边部可溶性固形物含量变化趋势与中心相同,T2最高,显著高于CK,T2>T6>T3>T1,三者之间无显著差异。在中边差方面,T8表现最好,仅为0.22百分点,显著低于T5,与其他处理相比无显著差异。

2.4.2 不同基质配比对西瓜果实其他内含物质含量的影响 由表6可知,在维生素C含量方面,T6

表5 不同基质配比对西瓜可溶性固形物含量的影响

Table 5 Effects of different substrate ratios on soluble solids content of watermelon

处理 Treatment	w(中心可溶性固形物) Central soluble solids content/%	w(边部可溶性固形物) Edge soluble solids content/%	中边差 Central-edge difference/百分点 Percentage point
CK	12.21±0.20 b	11.85±0.16 b	0.36±0.04 ab
T1	12.55±0.12 ab	12.21±0.13 ab	0.35±0.01 ab
T2	13.14±0.27 a	12.76±0.17 a	0.38±0.10 ab
T3	12.63±0.09 ab	12.22±0.12 ab	0.41±0.02 ab
T4	12.45±0.25 b	12.00±0.28 b	0.45±0.10 ab
T5	12.27±0.14 b	11.70±0.08 b	0.57±0.07 a
T6	12.65±0.10 ab	12.28±0.15 ab	0.37±0.17 ab
T7	12.23±0.20 b	11.89±0.22 b	0.34±0.03 ab
T8	10.69±0.68 c	10.47±0.80 c	0.22±0.17 b
T9	12.28±0.10 b	11.98±0.22 b	0.30±0.14 b

为4.23 mg·100 g⁻¹,显著高于其他处理,其次为T2、T1、T3、T4,均显著高于CK。在可溶性总糖含量方面,T2最高,为9.81 g·100 g⁻¹,显著高于T5,与其他处理相比差异不显著。在还原糖含量方面,T6含量最高,显著高于T7,与其他处理相比无显著差异。在可溶性蛋白含量方面,T1最高,为0.52 g·100 g⁻¹,T4和T9显著低于T1,其他处理与T1差异不显著。在有机酸含量方面,CK含量最高,其他处理均显著低于CK。在番茄红素含量方面,T2最高,为9.55 mg·100 g⁻¹,显著高于其他处理。

表6 不同基质配比对西瓜果实品质的影响
Table 6 Effects of different substrate ratios on fruit quality of watermelon

处理 Treatment	w(维生素 C) Vitamin C content/ (mg·100 g ⁻¹)	w(可溶性总糖) Total soluble sugar content/(g·100 g ⁻¹)	w(还原糖) Reducing sugar content/(g·100 g ⁻¹)	w(可溶性蛋白) Soluble protein content/(g·100 g ⁻¹)	w(有机酸) Organic acid content/%	w(番茄红素) Lycopene content/(mg·100 g ⁻¹)
CK	3.34±0.06 c	8.97±0.20 ab	7.75±0.01 ab	0.38±0.05 abc	0.05±0.00 a	8.53±0.20 b
T1	3.98±0.06 b	9.53±0.56 ab	8.04±1.33 ab	0.52±0.03 a	0.04±0.00 bc	8.55±0.50 b
T2	4.01±0.03 b	9.81±0.79 a	7.47±0.27 ab	0.44±0.14 abc	0.04±0.00 bc	9.55±0.39 a
T3	3.98±0.07 b	8.92±0.56 ab	8.38±0.02 a	0.47±0.08 ab	0.04±0.00 bc	8.38±0.52 b
T4	3.82±0.17 b	9.15±0.74 ab	8.28±0.54 ab	0.33±0.05 bc	0.04±0.00 bc	8.29±0.62 bc
T5	3.28±0.09 c	8.46±0.23 b	6.93±1.04 ab	0.43±0.02 abc	0.03±0.00 d	7.68±0.27 bc
T6	4.23±0.09 a	8.94±0.62 ab	8.48±0.23 a	0.45±0.04 abc	0.04±0.00 bc	8.43±0.31 b
T7	3.39±0.02 c	9.14±0.29 ab	6.70±0.58 b	0.44±0.02 abc	0.04±0.00 bc	8.18±0.12 bc
T8	3.47±0.23 c	8.70±0.49 ab	8.41±0.63 a	0.45±0.07 abc	0.04±0.00 bc	7.77±0.46 bc
T9	3.38±0.01 c	9.04±0.11 ab	7.91±0.93 ab	0.31±0.07 c	0.04±0.00 bc	7.42±0.08 c

2.4.3 不同基质配比对西瓜果实各品质指标隶属函数值及综合得分的影响 由于西瓜各品质指标间差异较大,因此使用隶属函数法对各品质指标进行综合评估并排序,结果如表7所示,各处理间排序结果为 T2>T1>T6>T3>T4>T8>T7>CK>T5>T9,其中 T2、T1 和 T6 在综合隶属函数值上差异较小,

均在4以上,明显优于其他各处理。

2.5 不同基质配比栽培成本分析

由表8可知,T3处理成本最高,但产量与品质均未达最优水平。T2在产量和品质上均表现最优,单株成本为3.20元。T1品质和产量均次之,但成本同为3.20元。T7、T9单株成本较低,为

表7 不同基质配比对西瓜果实各品质指标隶属函数值及综合得分的影响

Table 7 Effects of different substrate ratios on membership function values and comprehensive scores of each fruit quality indicator of watermelon

处理 Treatment	隶属函数值 Membership function value						综合隶属函数值	
	维生素 C 含量 Vitamin C content	可溶性总糖含量 Total soluble sugar content	可溶性还原糖含量 Soluble reducing sugar content	可溶性蛋白含量 Soluble protein content	有机酸含量 Organic acid content	番茄红素含量 Lycopene content	Comprehensive membership function value	排序 Rank
CK	0.06	0.38	0.59	0.32	0.00	0.52	1.88	8
T1	0.74	0.79	0.75	1.00	0.43	0.53	4.25	2
T2	0.77	1.00	0.44	0.63	0.52	1.00	4.36	1
T3	0.74	0.34	0.94	0.76	0.71	0.45	3.94	4
T4	0.57	0.51	0.89	0.10	0.34	0.41	2.81	5
T5	0.00	0.00	0.13	0.59	1.00	0.12	1.84	9
T6	1.00	0.35	1.00	0.68	0.58	0.47	4.09	3
T7	0.12	0.50	0.00	0.63	0.39	0.35	1.99	7
T8	0.20	0.17	0.96	0.68	0.43	0.16	2.61	6
T9	0.11	0.43	0.68	0.00	0.57	0.00	1.79	10

表8 不同基质配比栽培成本
Table 8 Cultivation costs of different substrate ratios

处理 Treatment	基质 Substrate	体积比 Volume ratio	单株成本 Cost per plant/Yuan
T1	陕青基质 Shanqing substrate	100	3.20
T2	花生壳 Peanut shells	100	3.20
T3	蚯蚓粪 Earthworm castings	100	4.00
T4	蚯蚓粪:蘑菇渣 Earthworm castings: Mushroom residue	75:25	3.06
T5	蚯蚓粪:蘑菇渣 Earthworm castings: Mushroom residue	50:50	2.12
T6	陕青基质:蘑菇渣:鸡粪 Shanqing substrate: Mushroom residue: Chicken manure	75:15:10	3.00
T7	陕青基质:蘑菇渣:鸡粪 Shanqing substrate: Mushroom residue: Chicken manure	50:40:10	2.26
T8	花生壳:蘑菇渣:鸡粪 Peanut shells: Mushroom residue: Chicken manure	75:15:10	3.00
T9	花生壳:蘑菇渣:鸡粪 Peanut shells: Mushroom residue: Chicken manure	50:40:10	2.26

2.26元,但产量与品质低于平均水平。T5虽成本最低,仅为2.12元,但产量和品质均较差。T6成本3.00元,较T1和T2降低6.67%,产量与品质下降幅度可控,可作为经济性与产出平衡的优化选项。

综合分析,T2以3.20元单株成本实现最优产出,为高产优质的首选方案;若需进一步降低成本,T6在成本降低至3.00元时仍可维持较高效益,是经济性替代方案。本试验结果表明,单纯追求低成本基质将导致产量与品质显著下降,合理优化基质配比是平衡成本与产出的关键。

3 讨论与结论

在基质栽培中,基质理化特性与栽培环境的长期稳定性共同决定了根系微环境的优劣。在本研究中,T2处理在植株成活率及农艺性状指标上表现优异,其根本原因在于花生壳基质具备优良且稳定的物理结构与化学特性。前人研究表明,花生壳发酵基质的孔隙度、pH和电导率等指标适宜根系生长发育^[1];花生壳基质总孔隙度达59.2%,容重 $0.461\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 处于适宜植株生长范围,阳离子交换量 $0.238\text{ me}\cdot\text{g}^{-1}$ 赋予其较好的保肥供肥能力,C/N值23.7,显示出较高稳定性^[24],而持水孔隙度(2~3.5 mm粒径达42.1%)和饱和持水量(471.2%)上的优势^[25],使其能在频繁灌溉下维持水气平衡,这些特性为西瓜根系生长提供了良好基础。然而,本研究的结果表明,西瓜植株死亡高峰并非出现在苗期,而是集中于开花坐果期后。这一现象揭示了基质性能的长期稳定性与西瓜生育需求的阶段性之间的匹配程度是决定植株存亡的关键。T2处理能满足果实膨大期的营养需求,而表现不佳的处理(如T5、T9)则在此阶段因结构退化、养分耗竭或盐分累积等而暴露出缺陷。

在开花坐果后,基质物理结构退化与养分供需失衡是导致植株衰退的两大核心机制。一方面,后期频繁灌溉加速了有机基质的分解与塌陷。蘑菇渣比例高的T9处理因结构稳定性差,通气孔隙度明显下降,引发根系缺氧,这与Noah等^[26]强调的基质通气性对根系呼吸的决定性作用,以及ROBLE-RO等^[27]关于基质压实导致容器中心区域根系缺氧死亡的论述相吻合。在本试验中,T5(74.85%)与T9(72.48%)的低成活率与T2(100%)形成鲜明对比,有力证实了维持基质结构长期稳定的重要性。另一方面,此阶段是西瓜的营养临界期,对氮、钾的

需求达到峰值。Cavalcante等^[28]研究指出,此阶段养分供应不足将严重危及植株生存。部分配比(如T5、T7、T9)的表现不佳,与李谦盛等^[29]提出的菇渣比例不宜超过40%及马海林等^[24]得出的菇渣的化学性能低于花生壳,若比例过高可能导致基质养分失衡,影响根系吸收的结论一致,根本原因在于组分比例失衡破坏了基质的理化平衡。T2物理结构退化慢,能长期保持较高的通气孔隙度,保障了根系的呼吸,同时养分的缓慢持久释放,则形成了长效供肥机制,与西瓜生长发育需肥规律良好匹配。

不同基质种类及配比对西瓜产量和品质的影响差异显著,这与基质的养分供应能力及配伍效应直接相关。T2处理在单瓜质量、产量及可溶性固形物含量等指标上表现突出,体现了花生壳基质持续改善微环境并释放养分的特性。这与孙治强等^[30]在以花生壳和鸡粪为原料的复合基质栽培番茄试验中的结论一致,研究发现,在栽培过程中,虽然部分养分含量呈下降趋势,但全磷含量有所上升,且基质中纤维素降解能促进养分释放,为番茄生长提供支持;朱巧莲等^[31]在金线莲栽培中也证实,33%泥炭土+67%花生壳的配比能显著提升株高、根长及总黄酮含量等品质指标,与本试验中花生壳基质提升西瓜品质的结果相似。

综合来看,由基质性能决定的微环境差异最终体现在作物产量与品质上。T2处理在单瓜质量、产量及可溶性固形物含量等方面的突出表现,是其持续优化根区环境并稳定释放养分的必然结果,这与花生壳基质在番茄^[29,32]、金线莲^[31]、黄瓜^[33]等作物上的应用效果一致,证实了花生壳基质在不同作物上的普适性。T6处理的较好表现则体现了科学复配通过组分间理化性质与养分的互补来提升整体效能的潜力。未来的研究应聚焦于基质组分在全生育期内的动态变化规律,通过优化配比与发酵工艺,提升其长期稳定性,并结合作物水肥需求模型,实现精准管理,从而推动设施农业的可持续发展。

综上所述,不同基质配比对设施小西瓜生长、产量及品质影响显著。其中,T2处理是设施小西瓜高产优质首选,成活率100%、产量 $51.56\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,果实品质优且单位成本产出效率最高;T1处理效果次之;T6处理比前两者成本低6.67%,为经济性替代方案。三者均可缓解西瓜连作障碍,可作为绿色高效栽培方案。

参考文献

- [1] 李干琼,王志丹.我国西瓜产业发展现状及趋势分析[J].中国

- 瓜菜,2019,32(12):79-83.
- [2] 汪小利,王震星,张卫华.草莓无土栽培及营养液配方研究进展[J].天津农业科学,2017,23(6):83-86.
- [3] 苏浩,张锐澎,吴思炫,等.连作障碍产生机理及防控现状[J].土壤,2024,56(2):242-254.
- [4] PETROVICH H F C. The development of agro-plasticulture in Latin America: 20 years of activities of the CIDAPA[C]. *Plasticulture*, 2018, 1252: 137-150.
- [5] JIANG W J, YU H J. Twenty years development of soilless culture in mainland China[J]. *Acta Horticulturae*, 2007, 759: 181-193.
- [6] 刘伟,余宏军,蒋卫杰.我国蔬菜无土栽培基质研究与应用进展[J].中国生态农业学报,2006,14(3):4-7.
- [7] JIANG W J, YU H J. Present situation and future development for protected horticulture in mainland China[J]. *Acta Horticulturae*, 2008, 770: 29-35.
- [8] SAVVAS D, GRUDA N. Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry-A review[J]. *European Journal of Horticultural Science*, 2018, 83(5): 280-293.
- [9] 蒋卫杰,邓杰,余宏军.设施园艺发展概况、存在问题与产业发展建议[J].中国农业科学,2015,48(17):3515-3523.
- [10] MESZKA B, MALUSA E. Effects of soil disinfection on health status, growth and yield of strawberry stock plants[J]. *Crop Protection*, 2014, 63: 113-119.
- [11] 孙治强,赵永英,倪相娟.花生壳发酵基质对番茄幼苗质量的影响[J].华北农学报,2003,18(4):86-90.
- [12] 黄楠,刘继培,赵跃,等.添加蘑菇渣在西瓜基质栽培中的应用效果[J].中国瓜菜,2021,34(7):39-42.
- [13] 周璐瑶,赵士文,杜清洁,等.不同花生壳基质配比对西瓜生长、产量和品质的影响[J].中国瓜菜,2022,35(6):29-34.
- [14] 田溪,杜正刚.金针菇菌渣在瓜菜有机基质栽培中的应用比例研究[J].甘肃农业,2011(4):95-96.
- [15] 刘青,吴健雄,李伯松.不同比例蚯蚓粪混配基质对西瓜育苗效果的影响[J].热带农业科学,2020,40(2):9-14.
- [16] 孙桂芝,马超.设施小型西瓜优质高效栽培技术在京郊的应用现状[J].园艺与种苗,2022,42(5):8-10.
- [17] 郑剑超,闫曼曼.不同基质配比对槽式栽培黄瓜光合特性及果实发育的影响[J].北方园艺,2019(8):21-25.
- [18] 郭世荣.无土栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [19] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [20] DAVIS A R, FISH W W, PERKINS-VEAZIE P. A rapid spectrophotometric method for analyzing lycopene content in tomato and tomato products[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, 28(3): 425-430.
- [21] 蔡燕,吴顺,刘汝然.西瓜番茄红素提取方法优化[J].光谱实验室,2011,28(1):75-78.
- [22] 杜清洁,李建明,潘铜华,等.滴灌条件下水肥耦合对番茄产量及综合品质的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(3):10-17.
- [23] 李建明,樊翔宇,闫芳芳,等.基于蒸腾模型决策的灌溉量对甜瓜产量及品质的影响[J].农业工程学报,2017,33(21):156-162.
- [24] 马海林,孙效鑫,杜振宇,等.花生壳基质与几种常用有机基质理化性质的比较研究[J].山东林业科技,2005(6):11-13.
- [25] 马力,张启翔,潘会堂.花生壳发酵过程及其不同粒径理化性质的研究[J].现代园艺,2009(7):12-14.
- [26] NOAH I B, FRIEDMAN S P. Review and evaluation of root respiration and of natural and agricultural processes of soil aeration[J]. *Vadose Zone Journal*, 2018, 17(1): 1-47.
- [27] ROBLERO M J M, PINEDA J P, LEÓN M T C, et al. Oxygen in the root zone and its effect on plants[J]. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 2020, 11(4): 931-943.
- [28] CAVALCANTE V S, PRADO R M D, VASCONCELOS R D L, et al. Growth and nutritional efficiency of watermelon plants grown under macronutrient deficiencies[J]. *HortScience*, 2019, 54(4): 738-742.
- [29] 李谦盛,郭世荣,李式军.利用工农业有机废弃物生产优质无土栽培基质[J].自然资源学报,2002,17(4):515-519.
- [30] 孙治强,卢继锋,张惠梅.花生壳和鸡粪复合基质中养分含量变化规律研究[J].上海交通大学学报(农业科学版),2008,26(5):454-457.
- [31] 朱巧莲,池冰婕,童晨晓,等.花生壳替代泥炭土对基质及金线莲生长和品质的影响[J].福建农业学报,2021,36(1):71-77.
- [32] 陈春林,王琳洋,单梦伟,等.发酵花生壳和牛粪替代草炭基质的番茄育苗效果分析[J].中国农业科技导报,2023,25(4):205-214.
- [33] 冯臣飞.有机废弃物作为黄瓜育苗基质不同配方的筛选[D].郑州:河南农业大学,2018.