

# 基于隶属函数法的设施甜瓜复配基质综合评价

许丽婷<sup>1</sup>, 朱雪荣<sup>1</sup>, 田永利<sup>2</sup>, 孟延<sup>1</sup>, 王永朝<sup>1</sup>, 问亚军<sup>1</sup>, 姜存英<sup>2</sup>, 师海斌<sup>3</sup>

(1. 渭南市农业科学研究所 陕西渭南 714000; 2. 富平县农业技术推广中心 陕西富平 711700;  
3. 蒲城县农业技术推广中心 陕西蒲城 715500)

**摘要:** 筛选出以农业废弃物为主要原料的设施甜瓜栽培基质配方, 为优化设施甜瓜基质栽培技术提供参考。将牛粪、羊粪、菇渣、菜籽油渣、珍珠岩为原料按不同体积比设置 6 个处理, 研究不同基质配方对甜瓜生育期植株株高、茎粗、叶片数、叶绿素含量、果实的形态指标、产量及品质的影响。结果表明, T3 处理( $V_{牛粪}:V_{菇渣}:V_{油渣}:V_{珍珠岩}=4:3:0.5:2$ ) 的甜瓜全生育期植株长势和叶片 SPAD 优于其他各处理, 苗期增加幅度最大, 且甜瓜产量、果实中维生素 C 含量、可溶性糖含量和可溶性固形物含量及固酸比、糖酸比均显著高于土壤栽培(TR)和商品基质栽培(CK), 且可滴定酸和有机酸含量均显著低于 TR 和 CK, 隶属函数平均值为 0.920, 高于其他处理。综上所述, 甜瓜在 T3 配方下的生长状况最好, 更适宜作为设施甜瓜的栽培基质。

**关键词:** 甜瓜; 复配基质; 品质; 隶属函数

中图分类号: S652

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)09-059-07

## Comprehensive evaluation of facility melon compound substrate based on membership function method

XU Liting<sup>1</sup>, ZHU Xuerong<sup>1</sup>, TIAN Yongli<sup>2</sup>, MENG Yan<sup>1</sup>, WANG Yongchao<sup>1</sup>, WEN Yajun<sup>1</sup>, JIANG Cunying<sup>2</sup>, SHI Haibin<sup>3</sup>

(1. Weinan Academy of Agricultural Sciences, Weinan 714000, Shaanxi, China; 2. Fuping County Agricultural Technology Extension Center, Fuping 711700, Shaanxi, China; 3. Pucheng County Agricultural Technology Extension Center, Pucheng 715500, Shaanxi, China)

**Abstract:** The research aimed to screen out the substrate formula of facility melon cultivation with agricultural waste as the main raw material, so as to provide reference for the substrate cultivation technology of facility melon. Taking cow dung, sheep dung, mushroom residue, rapeseed oil residue and perlite as raw materials, six treatments were set up according to different volume ratios. The effects of different matrix formulations on plant height, stem diameter, leaf number, SPAD, fruit morphological index, yield and fruit quality of melon during growth period were studied. The results showed that under T3 treatment (cow dung: mushroom residue: rapeseed oil residue: perlite = 4: 3: 0.5: 2), the plant growth and leaf SPAD of melon during the whole growth period were significantly better than those of other treatments, and the increase in seedling stage was the largest. The yield of melon, vitamin C content, soluble sugar content, soluble solids content, solid-acid ratio and sugar-acid ratio were significantly higher than soil cultivation (TR) and commercial substrate (CK, peat: vermiculite: perlite = 1: 1: 1), and the organic acid and titratable acid content were significantly lower than CK and TR. The average value of membership function was 0.920, which was higher than that of other treatments. In summary, under T3 formula, melon has the best growth status and T3 is more suitable as a cultivation substrate for facility melon.

**Key words:** Melon; Compound matrix; Quality; Membership function

陕西省西瓜甜瓜年播种面积稳定在 7.30 万  $\text{hm}^2$ , 其中甜瓜 2.42 万  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>, 以设施栽培为主。设施内种植地块相对固定, 轮作倒茬困难, 多数农户连年重茬种植, 但是甜瓜最多两茬就要轮作, 3 a(年)以上重茬地甜瓜枯萎病等土传病害发生严重, 导致甜

瓜产量和品质下降<sup>[2]</sup>。基质栽培不仅能解决土壤连作障碍问题, 还具有节水节肥等优点, 且对管理者的技术要求低, 是目前推广面积最大的一种无土栽培方式。因此筛选适宜甜瓜生产的基质进行无土栽培, 是解决枯萎病等土传病害问题的关键。

收稿日期: 2023-11-24; 修回日期: 2024-06-12

基金项目: 国家西瓜甜瓜产业技术体系建设专项(CARS-25)

作者简介: 许丽婷, 女, 农艺师, 研究方向为瓜菜栽培技术与应用。E-mail: 18793173905@163.com

通信作者: 问亚军, 男, 研究员, 主要从事西瓜甜瓜育种及栽培技术研究。E-mail: 1940572597@qq.com

朱迟<sup>[3]</sup>研究表明,在秸秆、羊粪、椰糠、蛭石体积比为4:3:2:1的复合基质栽培下提高了甜瓜维生素C和可溶性固形物含量,降低了总酸含量,同时提高了产量。肖守华等<sup>[4]</sup>研究表明,草炭、椰糠、蛭石体积比为6:3:1的复合基质甜瓜产量较高,且果实中含糖量连续两年最高。林晓红等<sup>[5]</sup>研究表明,菇渣、椰糠、珍珠岩、园土的体积比为1:1:1:1的基质更适宜草莓生长,最大单果质量较草炭、蛭石、珍珠岩体积比为2:1:1的基质提高26.8%。张翠芳等<sup>[6]</sup>研究表明,油渣处理能不同程度地提高核桃生产园土壤有机质、全量养分和速效养分含量。孙富强等<sup>[7]</sup>研究表明,施用油渣肥能显著提高红枣产量和单果质量,提高枣果的维生素C、还原糖和总糖含量。

基质原料的选择需因地制宜,一般筛选本地生产的农业有机废弃物,具有较高的可操作性和可推广性。目前,油渣、菇渣应用在甜瓜无土栽培基质中的研究鲜有报道。笔者以当地较多的牛粪、羊粪、菇渣、菜籽油渣、珍珠岩为原料,将其按体积比复配,研究不同复配基质对甜瓜植株生长、果实品质和产量的影响,并利用模糊数学隶属函数法进行综合评价,以期筛选出适合渭南地区设施甜瓜栽培的复配基质配方。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

研究区域位于陕西省关中渭河平原东部渭南市,属暖温带半湿润半干旱季风气候,四季分明,光照充足,雨量适宜。无霜期199~255 d,年均气温13℃,年降水量600 mm左右,年日照2200~2500 h。试验日光温室为全钢架装配型温室,跨度10 m,长度70 m,脊高4.6 m,可以满足春季甜瓜生长所需的温光环境需求。

### 1.2 材料

甜瓜供试品种为绿博特薄皮甜瓜,由宁夏金地丰种业有限公司选育,早熟性好,植株生长势健壮,连续坐果能力强,以子蔓结瓜为主,坐果后26~28 d成熟,抗病抗逆性好,耐低温、弱光。试验材料于2023年3月6日(3叶1心)定植,定植前基质浇透水,定植1周后浇缓苗水,伸蔓期灌2次水,坐瓜1周时浇膨瓜水,随水冲施2次高钾水溶肥+TE(西安现代科技实业有限公司生产),每小区每次1 kg,7月4日拉秧(采收两茬果实)。

### 1.3 试验设计

试验于2023年3—7月在渭南市农业科学研

究院孙镇试验站日光温室内进行。以牛粪、菇渣、油渣、蛭石为基本原料,按不同体积比组合配成栽培基质,试验采用随机区组设计,每个处理设置3次重复,共设以下6个处理(表1):常规栽培土壤(TR);草炭:蛭石:珍珠岩=1:1:1(商品基质,CK);牛粪:菇渣:菜籽油渣:珍珠岩=4:3:0.1:2(T1);牛粪:菇渣:菜籽油渣:珍珠岩=4:3:0.25:2(T2);牛粪:菇渣:菜籽油渣:珍珠岩=4:3:0.5:2(T3);牛粪:菇渣:羊粪:珍珠岩=4:3:0.25:2(T4)。试验采用半地下槽式栽培,栽培槽长7.5 m,高25 cm、宽40 cm,下挖10 cm。每个栽培槽填充0.75 m<sup>3</sup>基质。每个处理设3个小区,每个小区摆放3个种植槽。每个小区的种植面积为31.5 m<sup>2</sup>(7.5 m×4.2 m),株距30 cm、行距1.4 m,每小区种植90株。试验采用人工授粉或药剂授粉,保证坐瓜,单蔓整枝,在10~16节子蔓留瓜,第23~26节位摘心。

表1 试验设计

Table 1 Experimental design

处理 Treatment	基质种类 Substrate type	体积比 Volume ratio
土壤 Soil(TR)		
CK	草炭:蛭石:珍珠岩 Turf: Vermiculite: Perlite	1:1:1
T1	牛粪:菇渣:菜籽油渣:珍珠岩 Cow dung: Mushroom residue: Rapeseed oil residue: Perlite	4:3:0.10:2
T2	牛粪:菇渣:菜籽油渣:珍珠岩 Cow dung: Mushroom residue: Rapeseed oil residue: Perlite	4:3:0.25:2
T3	牛粪:菇渣:菜籽油渣:珍珠岩 Cow dung: Mushroom residue: Rapeseed oil residue: Perlite	4:3:0.50:2
T4	牛粪:菇渣:羊粪:珍珠岩 Cow dung: Mushroom residue: Sheep dung: Perlite	4:3:0.25:2

### 1.4 指标测定及方法

1.4.1 甜瓜生长指标测定 每小区选取有代表性植株5株,分别于甜瓜苗期(3月28日)、开花结果期(4月11日)、成熟期(4月25日),测定植株叶片数、株高、离地面10 cm处茎粗,使用SPAD502型便携式叶绿素仪测定第一片展平叶片的叶绿素含量。

1.4.2 甜瓜果实形态指标 采用游标卡尺测量果肉厚度、果实横径及纵径、果腔纵径及横径,果形指数=果实纵径/果实横径<sup>[8]</sup>。

1.4.3 产量 每小区选取有代表性植株5株,进行单株产量测定,记录单瓜质量和结果个数,从开始采收起累计,各小区分别称质量记录并求和,折算成667 m<sup>2</sup>产量。

1.4.4 品质指标测定 在甜瓜果实采收区,分别在植株相同坐果节位取样,选取同一天授粉且大小和色泽基本相同的果实进行品质测定。采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定可溶性蛋白含量<sup>[9]</sup>;采用钼蓝比色法测定维生素 C 含量<sup>[9]</sup>;采用蒽酮比色法测定可溶性总糖含量<sup>[10]</sup>;采用氢氧化钠滴定法测定可滴定酸和有机酸含量<sup>[9]</sup>;采用茚三酮显色法测定游离氨基酸含量<sup>[10]</sup>;采用糖酸一体机(PLA-BX/ACID 日本)测定可溶性固形物含量和糖酸比;固酸比为可溶性固形物与可滴定酸含量的比值。

1.4.5 隶属函数法综合评价 采用模糊数学隶属函数法<sup>[11]</sup>对不同基质栽培甜瓜的果实纵径、横径、果肉厚度、果腔纵径、横径、单果质量、产量、可溶性固形物含量等 17 个指标进行综合评价。

### 1.5 数据处理

采用 SPSS 19.0 软件进行数据统计分析,采用新复极差法(Duncan)比较不同处理间的差异显著

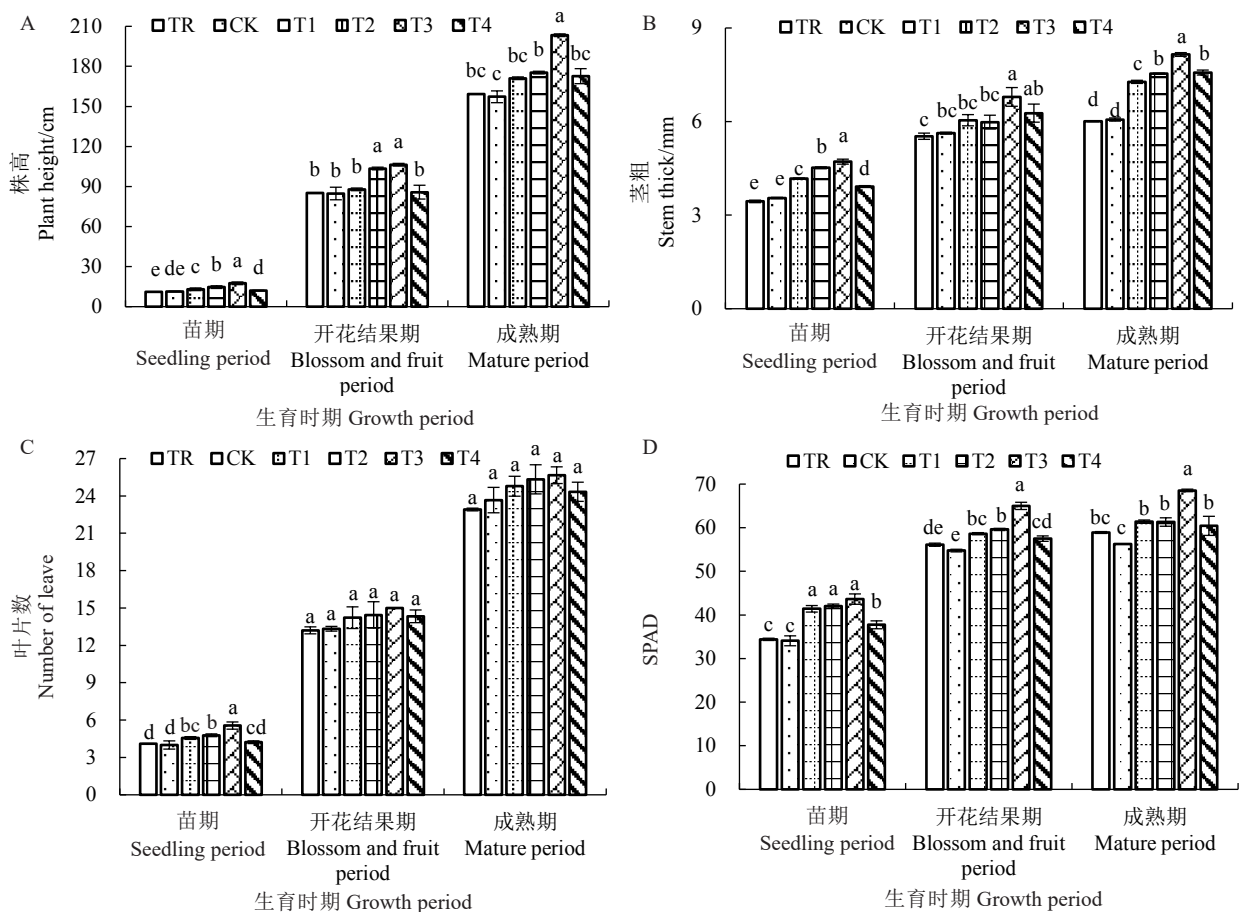
性;采用 Excel 2018 软件制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同配方对甜瓜植株生长指标和 SPAD 的影响

由图 1-A 可以看出,随着生育期的推进,各配方的甜瓜株高均呈逐渐升高趋势,在成熟期达到峰值。3 个生育时期中,均以 T3 配方甜瓜株高最大。在苗期,T3 较 CK 显著增加了 32.68%,较 TR 显著增加了 50.00%,CK 与 TR 间株高差异不显著。在开花结果期,T3 配方的株高较 CK 和 TR 分别显著增加了 25.42%和 24.99%;在成熟期,T3 较 CK 和 TR 分别显著增加了 29.33%和 27.62%。

由图 1-B 可以看出,随着生育期的推进,各配方下的甜瓜茎粗均呈逐渐上升趋势,在成熟期达到峰值。T3 配方的植株茎粗在苗期显著高于其他配方,T1、T2、T3、T4 配方分别较 CK 显著增加了



注:不同小写字母表示同一时期的不同处理在 0.05 水平差异显著。

Note: Different small letters indicate significant differences among different treatments of the same period at the 0.05 level.

图 1 不同配方栽培对甜瓜植株生长指标及 SPAD 的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on growth index and SPAD of melon plants

17.46%、27.32%、32.68%、10.42%；在开花结果期，T3配方的植株茎粗显著高于TR、CK、T1和T2配方，较CK、TR分别显著增加了20.60%、22.78%；在成熟期，T3配方的植株茎粗显著高于其他配方，较CK、TR分别显著增加了34.26%、34.26%。

由图1-C可以看出，随着生育期的推进，各配方的甜瓜植株叶片数均呈现逐渐增加的趋势，在成熟期达到峰值。T3配方的叶片数在苗期显著高于其他配方，较CK、TR分别显著增加了39.00%、35.27%，T1、T2配方较CK分别显著增加24.25%、30.25%；在开花结果期和成熟期，T3配方的甜瓜植株叶片数最多，但各处理间差异不显著。

由图1-D可以看出，随着生育期的推进，各配方的甜瓜叶片叶绿素含量(SPAD)呈逐渐上升的趋势，在成熟期达到峰值。3个生育时期，各配方的SPAD均高于CK和TR，其中T3配方的SPAD最高，CK最低。在苗期，T1、T2、T3、T4配方的SPAD较CK分别显著提高21.51%、24.41%、28.06%、10.74%，较TR分别显著提高20.35%、22.21%、26.83%、9.68%；在开花结果期，T3配方的SPAD较CK、TR分别显著提高18.70%、15.86%，T1、T2、T4

配方的SPAD较CK分别显著提高8.84%、7.06%、5.00%；在成熟期，T3配方的SPAD较CK、TR分别显著提高16.38%、12.32%，T1、T2、T4配方的SPAD较CK分别显著提高9.18%、9.02%、7.45%。

2.2 不同配方栽培对甜瓜果实形态指标的影响

由表2可知，不同种类基质配比栽培的甜瓜果实形态指标存在差异。T1~T4甜瓜果实的果实纵径与TR和CK无显著差异。T1~T4果实横径呈先增大再减小的趋势，T3果实纵径、横径均最大，分别为10.47 cm、10.35 cm，果实纵径较CK、TR分别增加18.57%、14.68%，果实横径较CK、TR分别显著增加41.20%、17.35%。CK的果形指数最大，为1.20，各处理间无显著差异。各处理的果腔纵径无显著差异，T3的果腔横径最小，显著低于TR和CK。T3处理的果肉厚度最大，为1.76 cm，分别比TR和CK显著增加91.30%、67.62%。

综上，T3基质配方栽培的薄皮甜瓜果实形态指标提升效果最佳，与土壤和商品基质相比，营养基质配方栽培可以显著增加薄皮甜瓜果实横径和果肉厚度。在牛粪、菇渣、珍珠岩比例相同的情况下，增加菜籽油渣的用量，可以增加果实纵径和果肉厚

表2 不同处理对甜瓜果实形态指标的影响

Table 2 Effects of different treatments on morphological indexes of melon fruit

处理 Treatment	果实纵径 Fruit longitudinal diameter/cm	果实横径 Equatorial diameter of fruit/cm	果形指数 Fruit shape index	果腔纵径 Longitudinal diameter of fruit cavity/cm	果腔横径 The transverse diameter of fruit cavity/cm	果肉厚度 Fruit thickness/cm
TR	9.13±0.12 a	8.82±0.39 b	1.04±0.05 a	7.30±0.45 a	6.35±0.44 a	0.92±0.02 d
CK	8.83±0.34 a	7.33±0.24 c	1.20±0.01 a	6.73±0.20 a	6.22±0.31 a	1.05±0.07 cd
T1	9.32±0.43 a	9.73±0.61 ab	0.96±0.07 a	7.03±0.24 a	5.97±0.43 ab	1.15±0.01 c
T2	9.63±0.38 a	9.97±0.34 ab	0.97±0.01 a	6.75±0.31 a	5.63±0.28 ab	1.44±0.45 b
T3	10.47±0.81 a	10.35±0.28 a	1.01±0.07 a	6.95±0.35 a	5.27±0.47 b	1.76±0.02 a
T4	9.73±0.53 a	10.30±0.14 a	0.97±0.02 a	6.35±0.17 a	6.20±0.28 a	1.69±0.41 a

注：同列不同小写字母代表差异显著(p<0.05)。下同。

Note: Different small letters in the same column represent significant differences(p < 0.05). The same below.

度；相同含量的羊粪和油渣相比，羊粪能够增加甜瓜果实纵径和横径，但差异不显著。由此来看，不同基质配比栽培甜瓜，可促进果实、果肉厚度的增大，但未改变果实基本的外观形态。

2.3 不同配方栽培对甜瓜产量的影响

由表3可知，不同基质配比栽培的甜瓜单瓜质量均有所增加，其中T3单瓜质量最大，为0.47 kg，比TR、CK分别显著提高17.50%、14.63%。T4添加羊粪处理单瓜质量与TR、CK相比有所增加，但差异均不显著。T3基质栽培产量最高，达到

表3 不同处理对甜瓜单瓜质量和产量的影响

Table 3 Effects of different treatments on single fruit mass and yield of melon

处理 Treatment	单瓜质量 Single fruit mass/kg	小区产量 Plot yield/ (kg·31.5 m <sup>2</sup> )	产量 Yield/ (kg·667 m <sup>2</sup> )
TR	0.40±0.01 b	117.21±0.82 c	2 461.41±1.92 c
CK	0.41±0.00 b	113.10±0.84 c	2 375.10±1.17 c
T1	0.43±0.02 ab	132.60±1.36 b	2 784.60±1.54 b
T2	0.43±0.03 ab	131.76±1.08 b	2 766.96±0.68 b
T3	0.47±0.01 a	149.85±1.33 a	3 146.85±0.69 a
T4	0.45±0.01 ab	144.48±0.72 ab	3 034.08±0.89 ab

表4 不同处理对甜瓜品质的影响  
Table 4 Effects of different treatments on the quality of melon

处理 Treatment	w(可溶性蛋白) Soluble protein content/ (mg·100 g <sup>-1</sup> )	w(维生素C) Vitamin C content/ (μg·g <sup>-1</sup> )	w(游离氨基酸) Free amino acid content/(μg·g <sup>-1</sup> )	b(有机酸) Organic acid content/ (mol·kg <sup>-1</sup> )	w(可溶性糖) Soluble sugar content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(可滴定酸) Titratable acid content/%	w(可溶性固形物) Dissolved solid content/%	固酸比 Solid acid ratio	糖酸比 Sugar-acid ratio
TR	17.56±1.27 b	170.27±5.05 d	960.48±0.51 a	23.67±1.11 a	41.92±0.01 d	1.07±0.16 a	10.30±0.42 d	9.93±1.06 b	40.69±2.32 b
CK	19.98±1.82 ab	188.72±0.84 b	1 611.66±3.87 b	23.04±1.77 a	43.12±0.05 d	0.98±0.12 a	11.90±0.10 c	12.62±1.72 b	44.31±1.49 b
T1	20.64±2.63 ab	190.87±0.53 b	1 504.40±2.55 c	22.02±2.55 a	61.05±0.09 b	0.84±0.21 ab	12.03±0.83 bc	16.33±1.29 b	83.07±2.81 b
T2	23.59±2.32 ab	193.48±1.53 b	1 611.66±0.66 b	21.42±2.16 a	62.36±0.33 b	0.78±0.03 ab	13.33±0.19 ab	17.08±0.51 b	79.88±6.86 b
T3	27.99±2.23 a	239.15±0.60 a	1 709.82±0.42 a	14.49±2.70 b	66.00±1.64 a	0.43±0.12 b	14.07±0.27 a	37.69±1.79 a	226.24±6.69 a
T4	23.74±1.71 ab	178.68±0.86 c	1 274.25±2.23 d	20.27±1.38 ab	54.35±0.89 c	0.77±0.18 ab	12.93±0.07 abc	18.40±1.71 b	75.16±2.32 b

3 146.85 kg·667 m<sup>-2</sup>,比 TR 和 CK 分别显著提高 27.85%、32.49%。

#### 2.4 不同配方栽培对甜瓜果实品质的影响

由表 4 可知,不同复配基质栽培的甜瓜果实间各品质指标均存在较大差异。与 TR 和 CK 相比,复配基质可以提高薄皮甜瓜可溶性蛋白、维生素 C、可溶性糖和可溶性固形物含量以及糖酸比、固酸比,降低有机酸和可滴定酸含量。T3 配方甜瓜果实中可溶性蛋白、维生素 C、可溶性糖和可溶性固形物含量以及糖酸比和固酸比均最大,除可溶性蛋白含量外,其他几个指标均显著高于 TR 和 CK;有机酸和可滴定酸含量均最低,均显著低于 TR 和 CK。在牛粪、菇渣、珍珠岩体积比相同的情况下,增加菜籽油渣的用量,可以提高果实维生素 C、游离氨基酸、可溶性糖和可溶性固形物含量及糖酸比、固酸比,降低有机酸和可滴定酸含量,进一步提高果实品质。

#### 2.5 不同基质栽培的甜瓜果实形态指标、产量和品质指标隶属函数值的比较

由表 5 可知,隶属函数综合评价指标各处理的综合评价系数均高于 CK、TR,T3 配方的综合指标评价系数最高,隶属函数平均值最大,为 0.920,明显优于其他处理,而 TR 的隶属函数平均值最小,仅有 0.087。

#### 2.6 甜瓜果实性状的相关性分析

对 6 个处理栽培的甜瓜 12 个果实品质和产量指标间的相关性进行分析,由表 6 可知,可溶性蛋白含量与固酸比呈现极显著正相关;维生素 C 含量与游离氨基酸含量、可溶性固形物含量、固酸比均呈显著正相关,与单瓜质量呈极显著正相关,与可溶性糖含量呈极显著负相关;游离氨基酸含量与可溶性糖含量、果肉厚度呈显著负相关,与可滴定酸含量呈显著正相关,与固酸比呈极显著正相关;有机酸含量与可溶性糖含量呈显著负相关,与可滴定酸含量、可溶性固形物含量、糖酸比均呈极显著正相关,与固酸比呈显著正相关;可溶性糖含量与可溶性固形物含量、糖酸比均呈极显著负相关,与固酸比呈显著负相关;可滴定酸含量与可溶性固形物含量、糖酸比、单瓜质量均呈显著正相关,与果肉厚度呈显著负相关;可溶性固形物含量与糖酸比呈极显著正相关;果形指数与其他指标均无显著相关性。

### 3 讨论与结论

甜瓜是高附加值园艺作物,有机基质无土栽培是提高甜瓜品质的途径之一<sup>[12]</sup>。本研究结果表明,复配基质提高了甜瓜植株生育期的株高、茎粗和叶

表5 不同处理隶属函数数值的比较  
Table 5 Comparison of membership function values of different treatment

处理 Treatment	果实纵径 Fruit longitudinal diameter	果实横径 Equatorial diameter of fruit	果形指数 Fruit shape index	果腔纵径 Longitudinal diameter of fruit cavity	果腔横径 The transverse diameter of fruit cavity	果肉厚度 Fruit thickness	单瓜质量 Single fruit mass	产量 Yield	可溶性蛋白含量 Soluble protein content	维生素C含量 Vitamin C content	游离氨基酸含量 Free amino acid content	有机酸含量 Organic acid content	可溶性糖含量 Soluble sugar content	可滴定酸含量 Titratable acid content	可溶性固形物含量 Dissolved solid content	固酸比 Solid acid ratio	糖酸比 Sugar-acid ratio	隶属函数平均值 Average value of membership function	综合评价排名 Comprehensive evaluation ranking
TR	0.18	0.49	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.087	6
CK	0.00	0.00	1.00	0.60	0.12	0.16	0.14	0.00	0.23	0.27	0.87	0.07	0.03	0.14	0.42	0.10	0.02	0.245	5
T1	0.30	0.79	0.00	0.28	0.35	0.27	0.43	0.41	0.30	0.30	0.73	0.18	0.47	0.36	0.46	0.23	0.23	0.358	4
T2	0.49	0.87	0.04	0.58	0.67	0.62	0.43	0.50	0.58	0.34	0.87	0.24	0.50	0.45	0.80	0.26	0.21	0.497	2
T3	1.00	1.00	0.21	0.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.920	1
T4	0.55	0.98	0.04	1.00	0.14	0.92	0.71	0.55	0.59	0.12	0.42	0.37	0.30	0.47	0.70	0.31	0.19	0.492	3

表6 甜瓜果实性状的相关性分析  
Table 6 Correlation analysis of melon fruit traits

指标 Index	可溶性蛋白含量 Soluble protein content	维生素C含量 Vitamin C content	游离氨基酸含量 Free amino acid content	有机酸含量 Organic acid content	可溶性糖含量 Soluble sugar content	可滴定酸含量 Titratable acid content	可溶性固形物含量 Dissolved solid content	糖酸比 Sugar-acid ratio	固酸比 Solid acid ratio	果肉厚度 Fruit thickness	果形指数 Fruit shape index	单瓜质量 Single fruit mass
可溶性蛋白含量	1											
维生素C含量	0.283	1										
游离氨基酸含量	0.195	0.494*	1									
有机酸含量	0.415	0.423	0.412	1								
可溶性糖含量	-0.172	-0.633**	-0.483*	-0.511*	1							
可滴定酸含量	0.325	0.430	0.532*	0.627**	-0.437	1						
可溶性固形物含量	0.155	0.474*	0.459	0.618**	-0.838**	0.551*	1					
糖酸比	0.210	0.450	0.423	0.756**	-0.774**	0.529*	0.971**	1				
固酸比	0.676**	0.544*	0.593**	0.578*	-0.503*	0.468	0.421	0.441	1			
果肉厚度	-0.080	-0.437	-0.534*	-0.337	0.340	-0.494*	-0.300	-0.267	-0.385	1		
果形指数	-0.307	-0.411	0.129	-0.398	0.299	-0.147	-0.379	-0.450	-0.077	0.216	1	
单瓜质量	0.431	0.614**	0.227	0.313	-0.369	0.528*	0.242	0.225	0.247	-0.049	-0.246	1

注: \*表示在 0.05 水平显著相关; \*\*表示在 0.01 水平极显著相关。

Note: \* indicates significant correlation at 0.05 level; \*\* indicates extremely significant correlation at 0.01 level.

绿素含量(SPAD),与土壤(TR)和CK相比,菜籽油渣体积比增加到0.5时,对株高、茎粗和SPAD的影响最为显著。其中,苗期甜瓜株高、茎粗、叶片数和SPAD增加幅度较大,原因可能是在配制基质时,菜籽油渣按体积比铺在混合好的牛粪、菇渣、珍珠岩上面起到了保墒作用。整体而言,使用了菜籽油渣的复配基质缓苗快,菜籽油渣的作用机制可能与聚谷氨酸、羧甲基纤维素、聚丙烯酰胺等有机物类似<sup>[13-16]</sup>,与基质混合、吸水饱和后可能会形成水凝胶,因而达到了基质减缓水分入渗保墒的目的。

无土栽培以利用人工制造的作物根系环境取代土壤环境,具有避免连作障碍、大幅度提高产量、显著改善品质等优点而被广泛应用<sup>[17]</sup>。李智琪等<sup>[18]</sup>研究表明,与商品基质相比,用醋糟:有机肥:蛭石:菌肥=3:1:1:0.2体积比栽培的博洋61和西州密25号植株长势旺盛,单株产量增加6.23%~13.13%。崔广禄<sup>[19]</sup>研究表明,商品基质:椰糠=7:3体积比栽培的小果型西瓜折合667 m<sup>2</sup>产量最高,为4 728.07 kg。王星林等<sup>[20]</sup>研究表明,草炭蛭石复配基质中配施蚯蚓粪可显著提高日光温室栽培的小果型西瓜产量。本试验结果表明,按 $V_{牛粪}:V_{菇渣}:V_{油渣}:V_{珍珠岩}=4:3:0.5:2$ 栽培甜瓜相较于土壤和商品基质明显提高了果实横径,显著提高了单瓜质量,从而提高了甜瓜产量,这与前人的研究结果一致。复配基质中菜籽油渣含量增加所表现出来的甜瓜产量的优势,可能与基质中使用植物油渣有助于改善基质的容重、孔隙度、pH、EC值等理化性质有关,相关的增产机制还有待于进一步研究。

研究表明,简易基质栽培提高了西瓜中的可溶性蛋白、可溶性糖以及番茄红素含量<sup>[21]</sup>。与商品基质相比,用醋糟:有机肥:蛭石:菌肥=3:1:1:0.2体积比栽培的博洋61和西州密25号甜瓜果实可溶性固形物含量提高13.41%~17.78%,果实有机酸含量降低12.56%~34.54%<sup>[18]</sup>。砻糠灰与商品栽培基质体积比为2:4的比例混合,栽培甜瓜果实可溶性糖、可溶性固形物、可溶性蛋白、葡萄糖含量等显著提高,改善了甜瓜品质<sup>[22]</sup>。在高等植物中,可溶性糖和可溶性蛋白可维持植物体细胞的渗透平衡,提高植物抗性<sup>[23]</sup>。本研究表明,复配基质较土壤栽培和商品基质可以提高薄皮甜瓜可溶性糖、维生素C和可溶性固形物含量及固酸比,且随着复配基质中油渣含量的增加有提高的趋势,同时降低有机酸和可滴定酸含量。可能是基质中掺混菜籽油渣有利于提高基质的饱和含水率,有效增强基质的持水、保肥保墒能力<sup>[24]</sup>。关于菜籽油渣提高甜瓜果实品质的机制还有待进一步研究。

综上所述,菜籽油渣复配基质适用于设施甜瓜基质栽培,可实现对草炭的部分替代,在 $V_{牛粪}:V_{菇渣}:V_{油渣}:V_{珍珠岩}=4:3:0.5:2$ 的混合比例下,甜瓜生长最优,隶属函数值排名最高,适宜在设施甜瓜基质栽培中推广应用。

### 参考文献

- [1] 朱雪荣, 问亚军, 马飞明, 等. 陕西省西甜瓜产业现状与问题对策[J]. 中国蔬菜, 2019(5): 12-16.
- [2] 蔡述江, 沐婵, 杨绍聪, 等. 关键施肥技术对设施甜瓜多茬连续种植的效果分析[J]. 农业科技通讯, 2021(2): 65-68.
- [3] 朱迟. 展示棚甜瓜无土栽培基质筛选及经济效益分析[J]. 黑龙江农业科学, 2022(12): 49-52.
- [4] 肖守华, 赵西, 肖真真, 等. 以椰糠为基质的设施甜瓜无土栽培基质配方筛选[J]. 山东农业科学, 2019, 51(1): 61-64.
- [5] 林晓红, 郑宜清, 魏泽平, 等. 菇渣复配基质对高架草莓生长及品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(11): 2687-2690.
- [6] 张翠芳, 潘存德, 王世伟. 油渣和生物炭对核桃生产园土壤肥力的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(18): 76-80.
- [7] 孙富强, 王渭玲, 徐福利. 施用沼肥和油渣对红枣林土壤硝态氮和红枣产量的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(1): 166-170.
- [8] 姜学新, 蒋秋梅, 师尧, 等. 不同节位留果对甜瓜果实品质和产量的影响[J]. 上海蔬菜, 2023(5): 53-55.
- [9] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [10] 赵依杰. 砧木对嫁接西瓜生长发育及其生理生化的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2007.
- [11] 梁昕景, 夏玲, 王学林, 等. 不同甜瓜品种生长特性及耐盐性比较[J/OL]. 分子植物育种, 1-20[2023-11-16]. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.s.20231116.1101.010>.
- [12] 孙锦, 李谦盛, 岳冬, 等. 国内外无土栽培技术研究现状与应用前景[J]. 南京农业大学学报, 2022, 45(5): 898-915.
- [13] 张灵芝, 李蒙, 李洪义, 等. 脱硫石膏与聚谷氨酸配施对盐碱化土壤的改良效果[J]. 水土保持通报, 2023, 43(6): 115-125.
- [14] 景鑫鑫. 改良剂对盐碱土壤修复的研究进展[J]. 河南农业, 2020(1): 17-19.
- [15] 史文娟, 王培华, 林凤妹, 等.  $\gamma$ -聚谷氨酸在农田系统应用的研究进展及展望[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(5): 1-7.
- [16] 石肖肖, 史文娟, 庞琳娜, 等.  $\gamma$ -聚谷氨酸对土壤氮运移特性的影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(3): 190-197.
- [17] 宫彬彬, 吴晓蕾, 王硕, 等. 复合功能性基质对甜瓜生长及果实品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2020(12): 35-42.
- [18] 李智琪, 李晴, 董相洁, 等. 以醋糟为主要成分的无土栽培基质筛选及其对甜瓜生长和果实品质的影响[J]. 山东农业科学, 2023, 55(9): 72-78.
- [19] 崔广禄. 不同基质对比对小果型西瓜生长、产量和品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(5): 33-36.
- [20] 王星林, 刘颖, 胡雨松, 等. 蚯蚓粪对日光温室袋培甜瓜生长及营养吸收的影响[J]. 核农学报, 2024, 38(2): 345-354.
- [21] 邢旭光, 张盼, 马孝义. 掺混菜籽油渣减少土壤入渗改善持水特性[J]. 农业工程学报, 2017, 33(2): 102-108.
- [22] 陈四明, 李清明, 于贤昌. 槽式有机基质栽培方式对西瓜生理特性、产量及品质的影响[J]. 山东农业科学, 2009(11): 38-41.
- [23] 李蒙, 葛文静, 申君, 等. 栽培基质中添加砻糠灰对甜瓜生长和果实品质的影响[J]. 西北植物学报, 2021, 41(10): 1736-1746.
- [24] ALWHIBI M S, HASHEM A, ABD ALLAH E F, et al. Increased resistance of drought by *Trichoderma harzianum* fungal treatment correlates with increased secondary metabolites and proline content[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(8): 1751-1757.