

# 栽培基质中添加砻糠灰对甜瓜生长和果实品质的影响

李 蒙<sup>1</sup>, 葛文静<sup>2</sup>, 申 君<sup>1\*</sup>, 刘松虎<sup>1</sup>

(1 信阳农林学院 园艺学院, 河南信阳 464000; 2 山西农业大学 园艺学院, 山西晋中 030620)

**摘 要:**为减少不可再生资源草炭的使用,降低无土栽培基质生产成本,以甜瓜品种‘羊角蜜’为试验材料,将砻糠灰和市售成品栽培基质按照不同体积比[1:5(T<sub>1</sub>),2:4(T<sub>2</sub>),3:3(T<sub>3</sub>),4:2(T<sub>4</sub>),5:1(T<sub>5</sub>)]进行混配,以未添加砻糠灰的市售成品栽培基质为对照(CK),研究不同配比基质的理化性质及其对甜瓜生长、叶片叶绿素含量、光合气体交换参数以及果实品质的影响。结果表明:(1)在市售栽培基质中添加一定量的砻糠灰可显著改善基质通气状况,提高混配基质的pH、电导率(EC),显著抑制基质中微生物数量。(2)与对照相比,适量砻糠灰混配基质能够显著促进甜瓜植株的生长,其中T<sub>2</sub>处理下,甜瓜植株的株高、根系活力、根冠比相比于CK分别显著提高了14.69%、19.73%、23.08%。(3)在T<sub>2</sub>处理下,甜瓜叶片叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率显著升高。(4)T<sub>2</sub>处理下甜瓜横径、纵径、单果重和单株产量与对照相比均显著提高,其单果重增幅达到20.3%,并且果实可溶性糖、可溶性固形物、可溶性蛋白、蔗糖、葡萄糖等含量显著增加,蔗糖合成酶活性和蔗糖磷酸合成酶活性有明显增强。研究发现,混配适量砻糠灰可有效改善栽培基质理化特性,显著促进甜瓜植株生长,提高甜瓜叶片光合作用能力,改善甜瓜果实品质,并以砻糠灰与市售成品栽培基质体积比为2:4的混配基质配方最为适宜,可替代传统基质用于甜瓜栽培。

**关键词:**砻糠灰;栽培基质;甜瓜;生长;果实品质

中图分类号:Q945.79

文献标志码:A

## Effect of Adding Rice Husk Ash to the Cultivation Substrate on the Growth and Fruit Quality of Melon

LI Meng<sup>1</sup>, GE Wenjing<sup>2</sup>, SHEN Jun<sup>1\*</sup>, LIU Songhu<sup>1</sup>

(1 College of Horticulture, Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang, Henan 464000, China; 2 College of Horticulture, Shanxi Agriculture University, Jinzhong, Shanxi 030620, China)

**Abstract:** In order to reduce the use of non-renewable resources of peat and the production cost of soilless culture substrates, with the melon variety “Yangjiaomi” as the test material, we mixed the rice husk ash and the commercial finished cultivation substrate according to different volumes[1:5(T<sub>1</sub>), 2:4(T<sub>2</sub>), 3:3(T<sub>3</sub>), 4:2(T<sub>4</sub>) and 5:1(T<sub>5</sub>)], and with the commercial finished cultivation substrate without added husked ash as CK, to study the physical and chemical properties of different substrates and their effects on melon growth, leaf chlorophyll content, photosynthetic gas exchange parameters and fruit quality. The re-

收稿日期:2021-05-31;修改稿收到日期:2021-08-31

基金项目:2021年度河南省高等学校重点科研项目(21B210009);信阳农林学院青年教师科研基金项目(2019LG006);河南省科技攻关计划项目(172102110263);2018年度信阳农林学院专业综合改革试点建设项目(ZYZHGG201803);信阳油茶炭疽病生防真菌资源开发研究(FCL202101)

作者简介:李 蒙(1989-),男,硕士,讲师,主要从事设施园艺与无土栽培研究。E-mail:limengnlf@163.com

\*通信作者:申 君,博士,副教授,主要从事设施蔬菜栽培与病虫害防治研究。E-mail:shenjun996@163.com

sult shows: (1) adding a certain amount of rice husk ash to the commercial finished cultivation substrate can significantly improve the aeration of the substrate, increase the pH and EC (electrical conductivity) of the mixed substrate and observably inhibited the number of microorganisms in the substrate. (2) Compared with CK, the right amount of rice husk ash mixed matrix can significantly promote the growth of melon plants. Among them, under  $T_2$  treatment, the plant height of the melon plant, root vitality and root shoot ratio significantly increased by 14.69%, 19.73%, and 23.08%, respectively. (3) Under  $T_2$  treatment, the chlorophyll content, net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate of melon leaves increased significantly. (4) The transverse diameter, longitudinal diameter, single fruit weight and yield per plant significantly increased compared with the control, the weight of single fruit of melon increased by 20.3%, and the contents of fruit soluble sugar, soluble solids, soluble protein, sucrose, glucose, etc. increased significantly, sucrose synthase and sucrose phosphate synthase activities had been significantly improved. The study found that mixing proper amount of rice husk ash can effectively improve the physical and chemical properties of cultivation matrix, observably increase the photosynthesis ability of melon leaves, and improve the quality of melon fruit. The mixture matrix formula with a volume ratio of 2:4 between rice husk ash and commercial finished cultivation substrate was the most suitable one, can replace the traditional substrate for melon cultivation.

**Key words:** rice husk ash; cultivation substrate; melon; growth; fruit quality

无土栽培是指不使用传统土壤,而是利用其他物质代替天然土壤的栽培技术<sup>[1]</sup>,具有设施简单、投资成本低、栽培管理简单、栽培技术容易掌握等优点<sup>[2]</sup>,目前世界上的无土栽培90%以上采用固体基质栽培的方法<sup>[3]</sup>。

传统市售成品栽培基质大多以草炭为主,而草炭是一种需要经过若干年地质年代才能演替形成、而且短期内不可再生的自然资源<sup>[4]</sup>。随着有机基质栽培的快速发展,寻求更加经济适用的栽培基质成为研究重点。砗糠灰是由稻谷壳炭化后制成的灰,钾元素含量丰富,具有良好的排水透气性,略偏碱性,是一种优质、环保且成本较低的栽培基质<sup>[5]</sup>。周毅飞<sup>[6]</sup>的研究表明在育苗基质中加入适当的砗糠灰可以有效促进黄瓜种子的萌发和幼苗的生长。李彦强<sup>[7]</sup>报道,使用砗糠灰作为樟树扦插基质对扦插苗高、地径及地上部分叶片生长有较好的促进作用。陈晓峰<sup>[8]</sup>的研究显示,使用砗糠灰作为多本菊扦插苗的生长基质,植株容易成活、根系生长茁壮、须根多。

甜瓜(*Cucumis melo* L.)果形优美、清甜爽口、营养丰富<sup>[9]</sup>,而甜瓜品种‘羊角蜜’的果皮薄,外脆内嫩<sup>[10]</sup>,市场需求量很大,具有较高的营养和经济价值。近年来,中国甜瓜栽培面积逐年递增,而因传统土壤栽培造成的连作障碍和土传病害等问题,制约了甜瓜产量。目前,关于甜瓜育苗和栽培基质配方的研究较多,而将砗糠灰与市售栽培基质混配,探讨其在甜瓜栽培上的应用效果的研究却鲜有报道。

本试验将砗糠灰与市售成品栽培基质按照不同

比例混配成复合栽培基质,研究复配基质的理化性质及其对甜瓜生长发育、叶片叶绿素含量、果实可溶性糖、可溶性蛋白、碳水化合物含量及关键代谢酶活性的影响,以期筛选出适宜甜瓜栽培的最佳砗糠灰复配基质配方,为砗糠灰在无土栽培中进一步的合理利用提供参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试材料甜瓜品种‘羊角蜜’种子购自河南豫艺种业公司,市售成品栽培基质由河南省信阳市绿地球生物科技有限公司生产,主要采用草炭、蛭石、珍珠岩按照1:1:1(体积比)比例混合制成,是目前市面上常用的瓜类栽培基质;砗糠灰购自河南省信阳市化玻试剂耗材有限公司,其基本理化性质为:容重 $0.21\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,通气孔隙41.2%,持水孔隙30.9%,总孔隙度为72.1%,pH为7.32,EC值为 $0.49\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。

### 1.2 试验设计

试验于2020年7~12月份在信阳农林学院智慧园艺试验基地进行。将砗糠灰与市售成品栽培基质按照1:5、2:4、3:3、4:2、5:1体积比分别混配成复合栽培基质 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ ,使用市售成品栽培基质为对照(CK)。使用成品育苗基质(主要成分为草炭:蛭石:珍珠岩=2:1:1)培育甜瓜幼苗,穴盘用清水洗净、消毒,将基质按体积比混匀后,装入50孔育苗穴盘中,种子播种前进行温汤浸种,随后放入25℃恒温箱中催芽至种子露白。播种

时每穴1粒种子,压穴后播种,浇透水并覆盖薄膜。幼苗长至五叶一心时,挑选长势良好且一致的幼苗移植到装好混配基质的栽培桶(上直径32 cm,下直径21 cm,高28 cm)中,每桶移植1株。试验共6组处理,每个处理重复5次,每重复1株,各处理共移栽30株。植株定植后,单株每日浇200~500 mL的1/2 Hoagland 营养液;开花结果期单株每日需浇1.0~2.5 L的Hoagland 营养液。病虫害防治等按有机栽培管理标准进行。

### 1.3 测定指标及方法

**1.3.1 栽培基质理化性质** 栽培前后分别采集复合栽培基质样品,参照郭世荣<sup>[11]</sup>的方法测定基质的容重、孔隙度、气水比,使用手持pH计测定pH值,采用基质悬液电导法测定电导率(EC)值。

**1.3.2 栽培基质微生物数量** 栽培后采集栽培基质样品测定微生物数量,检测及计数方法采用稀释平板法<sup>[12]</sup>。细菌使用 $10^{-4}$ 、 $10^{-5}$ 、 $10^{-6}$ 稀释度的菌悬液,以牛肉膏蛋白胨培养基培养;放线菌和真菌使用 $10^{-3}$ 、 $10^{-4}$ 、 $10^{-5}$ 稀释度的菌悬液,分别以改良高氏I号培养基和PDA培养。

**1.3.3 生长指标** 在甜瓜盛花期时,各处理分别随机选取3株,使用游标卡尺测量植株茎粗;直尺测量最大根长、株高、上下胚轴长;选取各处理生长点下第3片完全展开的功能叶使用叶面积扫描仪测定植株叶面积;采用排水法测定根体积;使用千分之一天平称量植株干、鲜重;TTC法测定根系活力。根据以上所测数据,按公式求得日均鲜重增长量(G值)、根冠比、壮苗指数。

$G \text{ 值} = \text{单株鲜重} / \text{苗龄}^{[13]}$ ;

$\text{根冠比} = \text{地下部干重} / \text{地上部干重}^{[14]}$ ;

$\text{壮苗指数} = (\text{茎粗} / \text{株高} + \text{地下部干重} / \text{地上部干重}) \times \text{单株干重}^{[15]}$ 。

**1.3.4 叶片光合色素含量** 叶绿素a、b含量及类胡萝卜素含量采用乙醇丙酮混合液浸提法测定<sup>[16]</sup>;叶绿素总量和类胡萝卜素含量的比值作为叶色指数<sup>[17]</sup>。

**1.3.5 光合气体交换参数** 在甜瓜盛花期,选取各处理生长点下第3片完全展开功能叶,采用便携式光合测定系统(Li-6400, USA),于9:00~11:00测定光合气体交换参数,包括净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )和胞间 $\text{CO}_2$ 浓度( $C_i$ ),每个处理测定3株。

**1.3.6 果实品质** 甜瓜果实成熟后,各处理随机选取3个果实进行品质指标测定。可溶性总糖、蔗糖、葡萄糖和淀粉含量使用蒽酮- $\text{H}_2\text{SO}_4$  比色法测

定<sup>[18]</sup>;可溶性固形物含量参照GB 12295-90折射仪法测定;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝染色法测定<sup>[19]</sup>;硝酸盐含量依据李合生<sup>[16]</sup>的5%水杨酸-硫酸方法测定。甜瓜果实中蔗糖合酶(SS)活性和蔗糖磷酸合成酶(PPS)活性参照张志良等<sup>[20]</sup>的方法测定;可溶性酸性转化酶(AI)活性参照刘玉凤等<sup>[21]</sup>的方法测定。

**1.3.7 果实产量** 各处理随机选取甜瓜植株3株,果实横径、纵径使用游标卡尺测量,并计算果形指数(纵径/横径);使用台秤测定单果重和单株产量。

### 1.4 数据处理

试验数据使用Microsoft Excel 2010制作图表,使用SPSS 20.0进行有关分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 砷糠灰对比对栽培前后基质理化性状的影响

由表1可知,在甜瓜栽培前,各处理的栽培基质容重在 $0.21 \sim 0.27 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 之间, $T_1$ 和 $T_2$ 处理相对较高,显著高于对照(CK)和其余处理,其余处理稍高于CK,但未达到显著差异水平,最小为CK。随着复合栽培基质中砷糠灰比例的增加,基质的持水孔隙则逐渐降低,通气孔隙、pH和EC值呈逐渐上升趋势,气水比也随之逐渐升高,且各处理与CK差异多达到显著水平,并以 $T_5$ 处理的通气孔隙和气水比最大,持水孔隙最小;同时,基质总孔隙度则呈现先升高后降低的趋势,并在 $T_2$ 处理达到最大值(65.58%),但仅 $T_4$ 和 $T_5$ 处理显著低于CK,其余处理均与CK无显著差异。另外,各处理基质的pH值在6.7~7.6之间,在适宜植株生长的范围之内。

在甜瓜栽培后,复合栽培基质的理化性状与栽培前变化较大,持水孔隙整体变大,其余指标整体变小;pH与EC值降低可能是由于栽培过程中植株不断吸收养分和淋洗作用导致。其中,各处理的基质容重在 $0.15 \sim 0.20 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , $T_1$ 和 $T_2$ 处理与对照相近,其余处理显著低于对照;随着复合栽培基质中砷糠灰比例的增加,基质通气孔隙和总孔隙度整体上逐渐降低,且 $T_2 \sim T_5$ 处理与对照差异显著,基质的其余指标均呈逐渐升高趋势,且多与对照差异达到显著水平。

### 2.2 砷糠灰对比对栽培后基质微生物数量的影响

表2显示。甜瓜栽培后各砷糠灰配比基质中的微生物数量均以细菌最多,其次为放线菌数量,数量最少的是真菌。各处理基质中微生物数量随着基质中砷糠灰比例的增加呈现不断降低的趋势;各类微

表 1 栽培前后不同砗糠灰配比基质理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of the substrates with different rice husk ash ratios before and after cultivation

| 时间<br>Time                   | 处理<br>Treatment | 容重<br>Bulk density<br>( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) | 通气孔隙<br>Aeration<br>pore/% | 持水孔隙<br>Water holding<br>pore/% | 总孔隙度<br>Total<br>porosity/% | 气水比<br>AP/WHP | pH 值<br>pH<br>value | EC 值<br>EC value<br>( $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) |
|------------------------------|-----------------|---|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------|---------------------|--|
| 栽培前<br>Before<br>cultivation | CK              | 0.21±0.01bc   | 18.48±5.86e                | 42.53±7.17a                     | 64.01±2.19a                 | 0.43±0.24e    | 6.73±0.06d          | 0.54±0.01d   |
|                              | T <sub>1</sub>  | 0.26±0.03a  | 25.36±0.55d                | 39.19±1.34ab                    | 64.55±0.88a                 | 0.65±0.09d    | 6.77±0.06d          | 0.89±0.07c   |
|                              | T <sub>2</sub>  | 0.27±0.01a  | 29.79±3.75c                | 35.79±1.02b                     | 65.58±1.30a                 | 0.83±0.24d    | 7.10±0.10c          | 0.99±0.02bc  |
|                              | T <sub>3</sub>  | 0.24±0.07ab   | 34.58±4.34b                | 29.32±1.23c                     | 64.90±1.81a                 | 1.18±0.45c    | 7.13±0.12bc         | 1.11±0.02b   |
|                              | T <sub>4</sub>  | 0.23±0.01b  | 38.17±1.23a                | 23.98±1.16d                     | 61.15±1.94bc                | 1.59±0.23b    | 7.27±0.06b          | 1.24±0.02a   |
|                              | T <sub>5</sub>  | 0.23±0.02b  | 43.23±6.68a                | 19.73±4.45d                     | 62.96±2.01b                 | 2.19±0.30a    | 7.57±0.12a          | 1.30±0.06a   |
| 栽培后<br>After<br>cultivation  | CK              | 0.17±0.03ab   | 17.71±1.17e                | 44.73±1.40a                     | 62.44±1.12b                 | 0.40±0.04e    | 6.27±0.06d          | 0.43±0.02e   |
|                              | T <sub>1</sub>  | 0.18±0.04ab   | 23.28±0.30d                | 41.36±2.02a                     | 64.64±2.32a                 | 0.56±0.02d    | 6.40±0.10d          | 0.70±0.07d   |
|                              | T <sub>2</sub>  | 0.20±0.01a  | 27.56±1.20d                | 37.13±1.30b                     | 64.69±0.11a                 | 0.74±0.04c    | 6.63±0.15c          | 0.82±0.02c   |
|                              | T <sub>3</sub>  | 0.16±0.01b  | 30.25±1.60c                | 32.99±1.08c                     | 62.25±0.73b                 | 0.92±0.04c    | 6.93±0.08b          | 0.95±0.05bc  |
|                              | T <sub>4</sub>  | 0.15±0.02b  | 33.52±0.37b                | 26.79±1.51d                     | 60.31±1.45c                 | 1.25±0.02b    | 7.07±0.06b          | 1.07±0.03b   |
|                              | T <sub>5</sub>  | 0.15±0.01b  | 38.24±0.97a                | 22.80±1.18e                     | 60.03±0.21c                 | 1.68±0.03a    | 7.23±0.05a          | 1.18±0.05a   |

注:CK 为市售成品栽培基质, T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub> 分别为砗糠灰与市售成品栽培基质按照 1:5、2:4、3:3、4:2、5:1 体积比混配成的复合栽培基质;同一列中不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著 ( $P<0.05$ );下同

Note: CK is the commercial finished cultivation substrate, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> and T<sub>5</sub> are the composite cultivation matrix mixed with rice husk ash and commercial finished cultivation substrate according to the volume ratio of 1:5, 2:4, 3:3, 4:2 and 5:1 respectively; Different letters indicate significant difference between treatments at 0.05 level ( $P<0.05$ ). The same as follows

表 2 栽培后不同砗糠灰配比基质的微生物数量

Table 2 The number of microorganisms in substrates with different rice husk ash ratio after cultivation

| 处理<br>Treatment | 细菌数量<br>Bacteria amount<br>( $\times 10^4$ CFU $\cdot$ g <sup>-1</sup> ) | 放线菌数量<br>Actinomycetes amount<br>( $\times 10^4$ CFU $\cdot$ g <sup>-1</sup> ) | 真菌数量<br>Fungi amount<br>( $\times 10^4$ CFU $\cdot$ g <sup>-1</sup> ) | 微生物总量<br>Total amount of microorganism<br>( $\times 10^4$ CFU $\cdot$ g <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|--|--|---|---|
| CK              | 6.55±0.05a   | 3.20±0.10a   | 2.25±0.06a  | 12.20±0.22a   |
| T <sub>1</sub>  | 4.65±0.10b   | 2.65±0.15b   | 1.50±0.05b  | 8.80±0.20b  |
| T <sub>2</sub>  | 4.20±0.25c   | 2.40±0.20bc  | 1.25±0.05b  | 7.85±0.45bc   |
| T <sub>3</sub>  | 3.75±0.70c   | 2.05±0.35c   | 1.00±0.03c  | 6.80±0.26c  |
| T <sub>4</sub>  | 3.15±0.40d   | 1.85±0.25c   | 0.80±0.15cd   | 5.80±0.37cd   |
| T <sub>5</sub>  | 2.80±0.55e   | 1.60±0.10d   | 0.58±0.20e  | 4.98±0.16d  |

生物数量在各处理基质间均存在明显差异,并以不含砗糠灰的 CK 处理量最高,砗糠灰含量最高的 T<sub>5</sub> 处理最少,CK 处理基质中细菌、放线菌和真菌数量分别约为其他处理的 2~3 倍、1~2 倍、1.5~4 倍;各处理基质中相应的微生物总量仍以 CK 最高, T<sub>1</sub> 次之, T<sub>5</sub> 最少。以上结果说明添加砗糠灰对栽培基质中各类微生物数量均有显著的抑制作用,且配比越高抑制作用越明显。

### 2.3 栽培基质砗糠灰比对甜瓜生长的影响

由表 3 来看,随着栽培基质中砗糠灰比例的增加,甜瓜幼苗的生长指标均呈现出先升后降的变化趋势,叶面积和单株鲜重在 T<sub>1</sub> 处理达到最大值,株高、茎粗、根长和单株干重均在 T<sub>2</sub> 处理达到最大值,而根体积在 T<sub>3</sub> 处理达到最大,但叶面积和根体

积的最大值均与相应的 T<sub>2</sub> 处理无显著差异;与对照相比,各生长指标在 T<sub>1</sub>—T<sub>5</sub> 处理下均不同程度地增加,且 T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 处理的增幅均达到显著水平,在 T<sub>5</sub> 处理下均不同程度降低,且降幅多达到显著水平。由此可知,成品基质中添加适当比例的砗糠灰对甜瓜植株的生长具有显著的促进作用,并以 T<sub>2</sub> 处理甜瓜的长势最佳,其株高、茎粗、根长等指标最优,生长量最大,干物质积累最多,生长情况明显优于其他处理。

同时,植物的根系具有吸收和代谢的功能,其生长发育直接影响植物产量的高低<sup>[22]</sup>。由图 1 可知,随着栽培基质中砗糠灰含量的增加,甜瓜植株的根系活力、壮苗指数、根冠比和 G 值均表现为先升高后降低的趋势,根系活力、壮苗指数、根冠比均在 T<sub>2</sub>



表 3 不同砻糠灰配比基质下甜瓜生长指标的变化

Table 3 The morphological indexes of melon plants under substrates with different rice husk ash ratios

| 处理<br>Treatment | 株高<br>Plant height<br>/cm | 茎粗<br>Stem diameter<br>/mm | 叶面积<br>Leaf area<br>/cm <sup>2</sup> | 根长<br>Root length<br>/cm | 根体积<br>Root volume<br>/cm <sup>3</sup> | 单株鲜重<br>Fresh weight<br>per plant/g | 单株干重<br>Dry weight<br>per plant/g |
|-----------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------------------|
| CK              | 146.95±2.58c              | 9.17±0.29c                 | 218.14±10.75cd                       | 100.73±7.35c             | 10.43±0.40c                            | 351.82±20.34c                       | 30.28±1.87c                       |
| T <sub>1</sub>  | 162.27±3.75b              | 9.47±0.28ab                | 266.58±12.17a                        | 101.00±6.44bc            | 11.18±0.61b                            | 402.43±20.10a                       | 35.38±2.01b                       |
| T <sub>2</sub>  | 168.53±5.65a              | 9.65±0.43a                 | 254.63±11.02ab                       | 125.43±6.54a             | 11.80±0.40ab                           | 388.20±21.54b                       | 37.42±2.00a                       |
| T <sub>3</sub>  | 157.43±6.12c              | 9.40±0.33b                 | 243.33±10.79b                        | 112.57±5.52ab            | 12.00±0.46a                            | 373.12±25.20b                       | 34.37±2.54b                       |
| T <sub>4</sub>  | 148.29±4.03c              | 9.30±0.17c                 | 229.38±10.33c                        | 105.80±8.59b             | 10.56±0.35bc                           | 361.95±27.63bc                      | 31.31±2.16c                       |
| T <sub>5</sub>  | 141.08±4.15d              | 8.97±0.17c                 | 207.46±10.19d                        | 93.10±7.26c              | 10.10±0.32d                            | 349.68±30.12d                       | 27.23±2.31d                       |

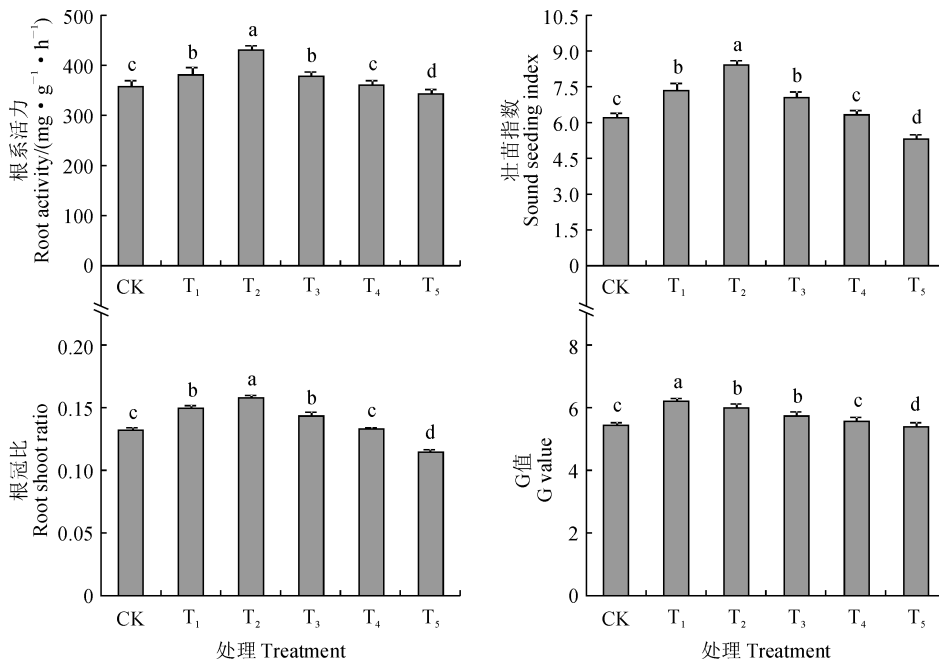


图 1 不同砻糠灰配比基质下甜瓜植株根系活力、壮苗指数、根冠比、G 值的变化

Fig. 1 The root active, sound seeding index, root shoot ratio and G value of melon plants under substrates with different rice husk ash ratios

处理下达到最大,分别比相应 CK 显著提高了 19.73%、35.42% 和 23.08%,而 G 值在 T<sub>1</sub> 处理下达到最大,比相应 CK 显著增加了 14.41%;另外,处理各根系指标在 T<sub>1</sub>—T<sub>3</sub> 下均显著高于对照,在 T<sub>4</sub> 处理下与对照相近,在 T<sub>5</sub> 处理下多显著低于对照。整体而言,适量的砻糠灰与市售基质混配可以一定程度提高甜瓜的根系活力、壮苗指数、根冠比和 G 值,并以 T<sub>2</sub> 处理的效果最佳。

#### 2.4 栽培基质砻糠灰对比对甜瓜叶片光合色素含量的影响

甜瓜植株叶片光合色素含量在不同处理间有明显差异(图 2);随着栽培基质中砻糠灰比例的增加,甜瓜叶片叶绿素 a 含量、叶绿素总量、类胡萝卜素含量和叶色指数均呈先升后降的变化趋势,且前三者均在 T<sub>2</sub> 处理下达到最大值;叶色指数则在 T<sub>3</sub> 处理

下达到最大值,但与 T<sub>2</sub> 处理无显著差异;叶绿素 b 含量呈现递减趋势,T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 处理最高但二者间无显著差异。各光合色素含量及叶色指数值在 T<sub>1</sub>—T<sub>3</sub> 处理下均显著高于其余处理和对照,在 T<sub>4</sub> 处理下均稍高于对照,在 T<sub>5</sub> 处理下均不同程度地低于对照。由此可知栽培基质中适量添加砻糠灰显著有利于叶片光合色素的合成、积累,从而提高叶片的光合能力。

#### 2.5 栽培基质砻糠灰对比对甜瓜叶片光合参数的影响

图 3 显示,随着栽培基质中砻糠灰比例的增加,甜瓜叶片的 P<sub>n</sub>、G<sub>s</sub>、T<sub>r</sub> 均呈现先升后降的变化趋势,且均在 T<sub>2</sub> 处理下最高,与 CK 相比分别显著提高了 17.09%、27.57%、27.72%,而其 C<sub>i</sub> 则表现出先降后升的趋势,并在 T<sub>2</sub> 处理下最低,较 CK 显著降低了 23.35%。与对照相比,T<sub>1</sub>—T<sub>4</sub> 处理叶片 P<sub>n</sub>、

$G_s$ 、 $T_r$  大多显著提高,其  $C_i$  均显著降低, $T_5$  处理除  $P_n$  显著降低,其余参数均无显著变化。由此得出,栽培基质中适量添加砒糠灰可以显著提高甜瓜叶片的净光合速率和蒸腾速率、增大气孔导度。

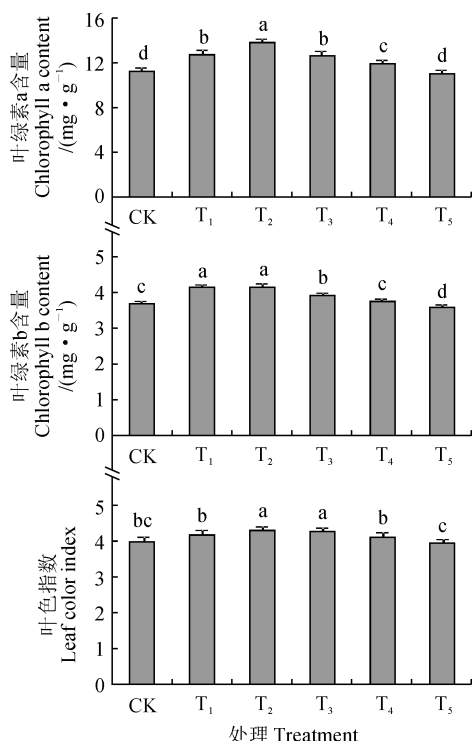


图2 不同砒糠灰配比基质下甜瓜植株光合色素含量的变化

Fig. 2 The photosynthetic pigment contents in leaves of melon plants under substrates with different rice husk ash ratios

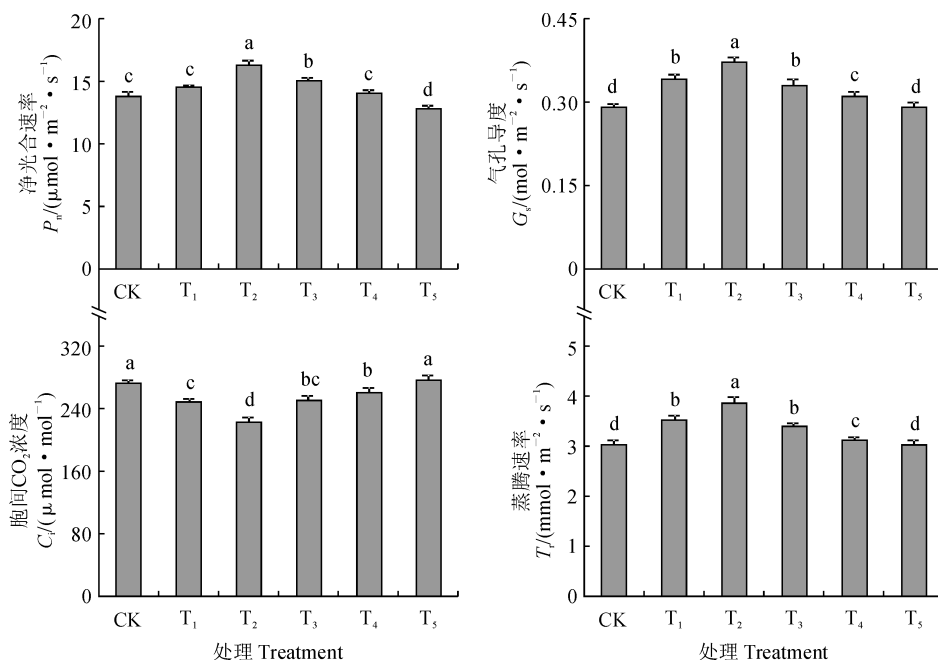


图3 不同砒糠灰配比基质下甜瓜叶片光合参数的变化

Fig. 3 The photosynthetic parameters in leaves of melon under substrates with different rice husk ash ratios

## 2.6 栽培基质砒糠灰配比对甜瓜果实品质和碳水化合物代谢关键酶活性的影响

由表4可知,随着栽培基质中砒糠灰添加比例的增加,甜瓜果实的蔗糖、可溶性总糖、葡萄糖、可溶性固形物、可溶性蛋白含量均呈现先升后降的变化趋势,并大多在  $T_2$  处理下达到最大值,果实淀粉含量却呈现先降后升的趋势,并在  $T_2$  处理下达到最小值,而果实硝酸盐含量变化不显著。与对照相比较,甜瓜果实的蔗糖、可溶性总糖、葡萄糖、可溶性固形物、可溶性蛋白含量在  $T_1$ — $T_4$  处理中均比对照不同程度的提高, $T_5$  处理均不同程度降低,且  $T_1$  和  $T_2$  处理的增幅均达到显著水平;果实淀粉含量在  $T_1$ — $T_3$  处理下均不同程度低于对照,在  $T_4$  和  $T_5$  处理下高于对照,但仅  $T_2$  和  $T_5$  的变化达到显著水平。其中,在  $T_2$  处理下,甜瓜果实中蔗糖、可溶性总糖、葡萄糖、可溶性蛋白和可溶性固形物含量比 CK 分别显著提高了 12.50%、26.96%、5.01%、25.76% 和 4.38%,而其淀粉含量比 CK 显著减少了 19.76%。整体而言,栽培基质中适量添加砒糠灰能显著提高“羊角蜜”甜瓜果实的蔗糖、可溶性总糖、葡萄糖、可溶性固形物、可溶性蛋白的含量,显著降低淀粉含量,而对硝酸盐含量无显著影响,有效改善了果实品质,并以  $T_2$  处理的施用效果最佳。

同时,从图4可知,各砒糠灰配比基质对甜瓜果实中碳水化合物代谢关键酶活性也有不同程度影响。随着栽培基质中砒糠灰比例的增加,甜瓜果实

表 4 不同砻糠灰配比基质下甜瓜果实品质的变化

Table 4 The fruit quality of melon grew in substrates with different rice husk ash ratios

| 处理<br>Treatment | 蔗糖含量<br>Sucrose content<br>/(mg·g <sup>-1</sup> ) | 可溶性总糖含量<br>Total soluble<br>sugar content<br>/(mg·g <sup>-1</sup> ) | 葡萄糖含量<br>Glucose content<br>/(mg·g <sup>-1</sup> ) | 淀粉含量<br>Starch<br>content<br>/(mg·g <sup>-1</sup> ) | 可溶性固形物含量<br>Soluble solid<br>content<br>/(mg·g <sup>-1</sup> ) | 可溶性蛋白含量<br>Soluble proteins<br>content<br>/(mg·g <sup>-1</sup> ) | 硝酸盐含量<br>Nitrates<br>content<br>/(mg·g <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|---|---|--|---|--|--|--|
| CK              | 6.08±0.14bc                                       | 95.63±0.75c   | 7.38±0.11b   | 4.20±0.16bc   | 14.38±0.35b  | 6.21±0.25c   | 1.14±0.05a   |
| T <sub>1</sub>  | 6.38±0.13b  | 114.50±0.76b  | 7.88±0.13a   | 3.79±0.14c  | 15.47±0.42a  | 6.79±0.33b   | 1.12±0.05a   |
| T <sub>2</sub>  | 6.84±0.12a  | 121.41±0.42a  | 7.75±0.12a   | 3.37±0.15d  | 15.01±0.37a  | 7.81±0.30a   | 1.08±0.08a   |
| T <sub>3</sub>  | 6.65±0.21b  | 109.07±0.13b  | 7.64±0.12a   | 4.14±0.23bc   | 14.76±0.35ab   | 6.52±0.17b   | 1.13±0.05a   |
| T <sub>4</sub>  | 6.24±0.18bc                                       | 99.75±0.44bc  | 7.45±0.10ab  | 4.41±0.14b  | 14.43±0.29b  | 6.33±0.21bc  | 1.14±0.06a   |
| T <sub>5</sub>  | 5.73±0.20c  | 87.54±0.25d   | 7.24±0.11b   | 5.07±0.33a  | 14.17±0.34c  | 6.06±0.20c   | 1.13±0.03a   |

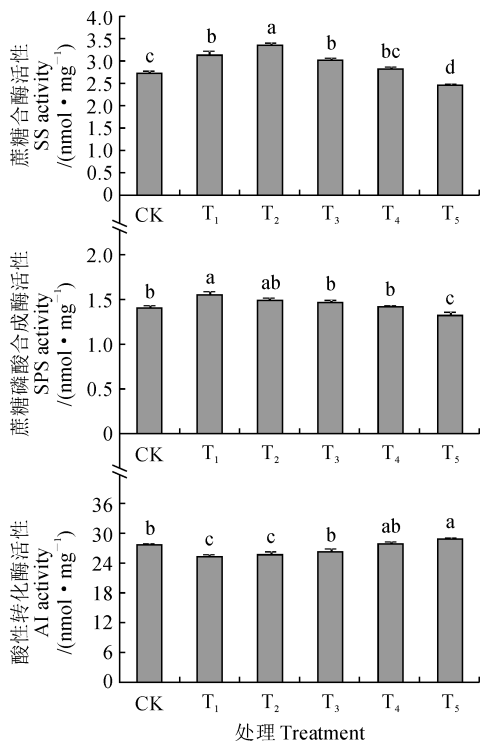


图 4 不同砻糠灰配比基质下甜瓜果实中碳水化合物代谢关键酶活性的变化

Fig. 4 The activities of key enzymes of carbohydrate metabolism in melon fruits under substrates with different rice husk ash ratios

中蔗糖合酶(SS)活性整体呈现先升高再降低的趋势,并在 T<sub>2</sub> 处理下最高,较 CK 显著提高了 22.71%;蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性逐渐减弱,最高的 T<sub>1</sub> 处理下比 CK 显著提高了 10.71%,T<sub>2</sub> 处理与 T<sub>1</sub> 处理无显著差异;酸性转化酶(AI)活性表现为逐渐升高的趋势,T<sub>5</sub> 处理最高,T<sub>2</sub> 处理比 CK 显著降低了 6.71%。由此可见,栽培基质中增加适量的砻糠灰可以有效提高甜瓜果实中碳水化合物代谢关键酶 SS 和 SPS 的活性,促进果实中碳水化合物

的积累。

## 2.7 栽培基质砻糠灰比对甜瓜果实形态和产量的影响

由表 5 可知,随着栽培基质中砻糠灰比例的增加,甜瓜果实的横径、纵径、单果重和单株产量均呈现出先升后降的变化趋势,并均在 T<sub>2</sub> 处理下达到最大值,此时分别比 CK 显著提高 20.06%、20.60%、23.33%和 15.56%;而甜瓜的果形指数在各处理组均无显著变化。与对照相比,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 处理下,果实横径和单果重差异不显著;各个处理间果形指数没有显著差异。不同处理下甜瓜果实的单果重有一定差异;T<sub>1</sub>—T<sub>4</sub> 处理的横径、纵径、单果重和单株产量均不同程度提高,T<sub>5</sub> 处理均不同程度降低,且 T<sub>1</sub>—T<sub>3</sub> 处理的增幅多达到显著水平。可见,栽培基质中适量添加砻糠灰有利于‘羊角蜜’甜瓜横径、纵径的增大以及单果重和单株处理的提高,并以 T<sub>2</sub> 处理的效果最为显著。

## 2.8 甜瓜生长指标与栽培基质特性的相关性分析

从表 6 可以看出,甜瓜生长指标中的植株茎粗与基质容重显著正相关,单株干重与 pH 显著负相关,与 EC 值极显著正相关;叶片中叶绿素含量与基质 EC 值呈显著正相关,而与基质中细菌及真菌数量显著负相关;果实品质指标蔗糖含量与总孔隙度、可溶性总糖与基质 EC 值、可溶性固形物含量与基质总孔隙度,以及葡萄糖含量与基质 EC 值和总孔隙度均呈显著正相关;果实产量指标单果重与基质 EC 值呈显著正相关;植株的株高、叶面积、根体积、可溶性蛋白含量、单株产量与基质理化指标相关性均未达到显著水平。可见,栽培基质中添加适当比例的砻糠灰有利于改善基质通气状况,降低基质中微生物的数量,提高基质营养含量,从而促进甜瓜幼苗地上部生长和根系的发育,改善果实品质。

表 5 不同砗糠灰配比基质下甜瓜果实产量的变化

Table 5 The fruit characteristics and yield of melon under substrates with different rice husk ash ratios

| 处理<br>Treatment | 横径<br>Transverse diameter<br>/cm | 纵径<br>Longitudinal diameter<br>/cm | 果形指数<br>Fruit shape index | 单果重<br>Single fruit weight<br>/kg | 单株产量<br>Yield per plant<br>/kg |
|-----------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| CK              | 6.28±0.24c                       | 21.07±0.75c                        | 3.36±0.16a                | 0.60±0.07bc                       | 1.85±0.39b                     |
| T <sub>1</sub>  | 7.48±0.12a                       | 23.10±0.76b                        | 3.31±0.04a                | 0.69±0.10a                        | 1.98±0.44ab                    |
| T <sub>2</sub>  | 7.54±0.17a                       | 25.41±0.42a                        | 3.37±0.05a                | 0.74±0.08a                        | 2.08±0.40a                     |
| T <sub>3</sub>  | 6.75±0.20b                       | 22.47±0.13b                        | 3.33±0.23a                | 0.66±0.14b                        | 2.00±0.32a                     |
| T <sub>4</sub>  | 6.44±0.18c                       | 21.38±0.44bc                       | 3.32±0.14a                | 0.63±0.12bc                       | 1.80±0.46b                     |
| T <sub>5</sub>  | 6.15±0.22c                       | 20.66±0.25d                        | 3.36±0.33a                | 0.57±0.08c                        | 1.77±0.51b                     |

表 6 甜瓜植株生长指标与基质特性指标的相关性分析

Table 6 Correlation analysis between growth indexes of melon and physicochemical properties of substrate

| 指标<br>Index                         | 容重<br>Bulk<br>density | 总孔隙度<br>Total<br>porosity | pH<br>pH value | EC<br>EC value | 细菌数量<br>Bacteria<br>amount | 放线菌数量<br>Actinomycetes<br>amount | 真菌数量<br>Fungi<br>amount |
|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 株高 Plant height                     | 0.56                  | 0.61                      | 0.52           | -0.23          | -0.12                      | -0.38                            | -0.23                   |
| 茎粗 Stem diameter                    | 0.84*                 | 0.37                      | 0.25           | 0.45           | 0.45                       | -0.19                            | 0.30                    |
| 叶面积 Leaf area                       | -0.63                 | 0.70                      | -0.76          | 0.45           | 0.51                       | -0.15                            | 0.29                    |
| 单株干重 Dry weight per plant           | -0.29                 | 0.47                      | -0.78*         | 0.93**         | 0.47                       | -0.18                            | -0.27                   |
| 根体积 Root volume                     | 0.76                  | 0.45                      | 0.50           | 0.75           | 0.24                       | -0.25                            | 0.11                    |
| 叶绿素含量 Total chlorophyll             | 0.63                  | 0.51                      | 0.49           | 0.84*          | -0.85*                     | -0.61                            | -0.79*                  |
| 蔗糖含量 Sucrose content                | 0.33                  | 0.78*                     | -0.11          | 0.52           | 0.22                       | 0.46                             | 0.55                    |
| 可溶性总糖含量 Total soluble sugar content | 0.59                  | 0.43                      | -0.25          | 0.80*          | 0.62                       | 0.53                             | 0.60                    |
| 可溶性蛋白含量 Soluble proteins content    | 0.51                  | 0.42                      | -0.37          | 0.67           | 0.64                       | 0.22                             | 0.42                    |
| 葡萄糖含量 Glucose content               | 0.48                  | 0.81*                     | -0.33          | 0.79*          | 0.34                       | 0.40                             | 0.46                    |
| 可溶性固形物含量 Soluble solid content      | 0.61                  | 0.82*                     | 0.11           | 0.77           | 0.52                       | 0.39                             | 0.45                    |
| 单果重 Single fruit weight             | 0.37                  | 0.54                      | -0.20          | 0.84*          | 0.33                       | 0.41                             | 0.28                    |
| 单株产量 Yield per plant                | 0.25                  | 0.31                      | -0.34          | 0.66           | 0.21                       | 0.14                             | 0.31                    |

注: \* 和 \*\* 分别表示不同指标间在 0.05 和 0.01 水平下显著相关和极显著相关

Note: \* and \*\* indicate significant correlation and extremely significant correlation at 0.05 and 0.01 levels, respectively

### 3 讨论与结论

无土栽培具有病虫害少、节水省肥、栽种方式灵活、可控性较高等传统土壤栽培难以超越的优越性,目前在设施农业中被广泛采用<sup>[23]</sup>。基质是无土栽培植株生长时营养的主要提供媒介,崔瑶等<sup>[24]</sup>的研究结果表明,不同的基质因其保温能力、持水透气性、养分含量的差异对植物种子萌发及植株生长的影响效果不同。甜瓜使用基质栽培,成苗率高,植株生长一致<sup>[25]</sup>。栽培前后基质的理化性质会发生变化,而基质理化性状是决定植株正常生长的重要指标<sup>[26]</sup>。本试验中,甜瓜栽培前各处理基质的理化性状满足或接近理想的栽培基质要求。基质在栽培中浇水和果实成熟后采集、风干等过程中的操作可能

会影响容重,使容重变小;气水比是衡量基质水气平衡的重要指标<sup>[27]</sup>,栽培后基质的气水比变小,孔隙的变化可能与根系的生长充盈基质有关。pH 和 EC 值是检测基质能否可供植株生长的重要指标,二者的减少可能是由于甜瓜在生长过程中不断吸收矿质营养元素而使基质趋向于更加适宜其生长的理化状态。由试验结果可知,在栽培基质中添加一定量的砗糠灰可以显著提高基质的容重、通气孔隙、pH、EC 值,改善基质的理化性状,为植株提供通气持水状况良好、养分充足的生长环境。

植株的株高、茎粗代表了植株的生长势<sup>[28]</sup>。干鲜重反映植物叶片光合作用和根吸收的产物多少,是植物生长发育的基础<sup>[29]</sup>。不同基质配方处理的作物根冠比反映作物地上、地下部生长的均衡度,壮



苗指数直接反映出作物的健壮程度<sup>[30]</sup>。本试验结果表明, T<sub>1</sub>—T<sub>4</sub> 栽培基质中的甜瓜植株干鲜重均高于对照, 且 T<sub>2</sub> 处理的株高、茎粗、根长以及干鲜重均最大; 同时, T<sub>2</sub> 处理的根系活力、壮苗指数、根冠比等也显著优于与其他处理; T<sub>5</sub> 处理的生长指标均低于 CK, 可能是由于砗糠灰自身 pH 中性偏碱且保水性差的原因, 造成根系无法正常吸收营养及生长。由此说明适量添加砗糠灰对栽培基质理化性状的改善具有一定作用, 可以促进甜瓜的生长, 但添加比例过高则会影响基质的理化性质, 对甜瓜的生长造成负面影响。

叶片光合色素含量可以直接反映作物光合作用能力的强弱, 叶片的叶绿素含量与作物的生长潜能有关<sup>[31]</sup>, 光合作用是大部分绿色植物生存的基础, 是作物最基本的生理活动<sup>[32]</sup>, 适当强度的光合作用有利于植株体内有机物的积累, 提高其品质和产量。净光合速率和气孔导度存在一定的线性关系, 即光合速率增强, 气孔导度增大, 而在光合作用受阻碍时, 气孔导度减小, 导致进入叶片内的 CO<sub>2</sub> 减少<sup>[33]</sup>。本试验中 T<sub>2</sub> 处理甜瓜植株叶片的叶绿素含量、类胡萝卜素含量均为最大, P<sub>n</sub>、G<sub>s</sub>、T<sub>r</sub> 均为最高, C<sub>i</sub> 最低, 因此叶片光合作用强, 作物的生长代谢能力强, 有助于体内的光合产物的积累。一般来说, 正常生长叶片的叶绿素与类胡萝卜素的含量比值(叶色指数)约为 4 : 1, 本研究所所有处理中 T<sub>5</sub> 的叶色指数(3.62)最低且不在正常范围内。因此, 基质中添加适当比例的砗糠灰可以提高甜瓜叶片光合色素的积累量, 有助于提高叶片的光合作用效率, 加速植株体内的新陈代谢, 使植株的光合产物满足同化与分配利用。

种子在萌芽过程中, 能够产生丰富的可溶性糖及蛋白质, 可溶性糖提供了植株生长所需的绝大部分能量<sup>[34]</sup>。蔗糖是源库碳水化合物代谢的枢纽, 与淀粉和果糖之间的相互转化, 对源库碳水化合物的合成和代谢具有重要意义<sup>[35]</sup>。植物中大多数化学反应依赖于酶的催化作用, 可溶性蛋白含量在一定程度上代表了酶的活性水平<sup>[36]</sup>。甜瓜果实中糖分积累主要由 SPS 和 AI 调控<sup>[37]</sup>。SS 能够催化尿苷二磷酸葡萄糖和果糖反应生成蔗糖<sup>[35]</sup>。SPS 是光合产物分配转化为蔗糖和淀粉的关键酶, 其与蔗糖的合成具有极显著的相关性<sup>[38-39]</sup>。转化酶(AI、NI)可以催化蔗糖分解为葡萄糖和果糖<sup>[40]</sup>。在高等植物中, 可溶性糖和可溶性蛋白质可维持植物体细胞

的渗透平衡, 提高植物生物抗性<sup>[41]</sup>。硝酸盐含量是衡量果蔬品质的重要指标之一<sup>[42]</sup>, 硝酸盐积累量越多, 会对植株造成生理上的不利影响, 从而影响果蔬长势。

本试验中 T<sub>2</sub> 处理的甜瓜果实中淀粉含量最低, 可溶性蛋白、可溶性总糖、蔗糖含量均为最高, 葡萄糖和可溶性固形物含量仅次于 T<sub>1</sub> 处理, 可以为植株的生长发育提供大量的能量, 有效促进甜瓜生长中的光合、呼吸作用, 增强生长代谢能力; 各处理硝酸盐含量无显著性差异。同时, T<sub>2</sub> 处理果实中的 SS 活性最高, SPS 活性与 T<sub>1</sub> 处理间无显著差异, AI 酶活性最低; T<sub>2</sub> 处理的果实横径、纵径、单果重均为最大。综上可知, T<sub>2</sub> 处理的甜瓜果实中碳水化合物积累量最大, 关键酶活性最适宜甜瓜果实中蔗糖等能源物质的积累, 果实产量最高, 生长状况最佳。因此, 在适宜的砗糠灰复配基质处理下, 甜瓜果实的可溶性糖、可溶性蛋白含量及蔗糖合成酶(SS)活性和蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性显著提高, 果实中的糖分积累量高、植株抗逆性较好、果品质量较优。

另外, 甜瓜生长、光合和品质指标与栽培基质理化特性的相关性分析结果表明, ‘羊角蜜’甜瓜植株的茎粗、单株干重受栽培基质理化性状的影响较大。在本试验中, 随着基质中砗糠灰比例的增加, 基质的容重先升后降、通气孔隙和 pH 变大、持水孔隙和 EC 值变小, 因此栽培基质中添加砗糠灰的比例不宜过高。整体而言, 当基质的容重较大、pH 较小、EC 值较大时, 更有利于甜瓜茎粗的增大、养分的累积、根系的延伸, 有助于植株健壮生长。叶片叶绿素含量与基质 pH 显著正相关, 与微生物含量均为负相关, 可能是由于微生物与甜瓜生长所需物质之间存在养分竞争关系。基质的孔隙度大、EC 值升高可以增加甜瓜果实中的蔗糖、葡萄糖、可溶性糖和可溶性蛋白含量, 有利于根系吸收营养输送给地上部生长利用、合成有机物, 增加果实产量。

综上所述, 砗糠灰与市售成品栽培基质在 2 : 4 (体积比)的混配比例下, 无论是在栽培基质容重、孔隙度、pH 值、EC 值等理化性质方面, 还是甜瓜的生长发育和果实可溶性蛋白、碳代谢物含量及关键酶活性等方面均明显的优于其他配比基质处理及对照, 甜瓜植株生长状况最佳, 可作为生产实际的栽培参考; 同时也表明砗糠灰可作为草炭的代替基质推广使用, 从而有效降低基质栽培成本。

## 参考文献:

- [1] 王新右. 不同配方栽培基质对日光温室黄瓜生长与生理的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2013.
- [2] 郭世荣. 固体栽培基质研究、开发现状及发展趋势[J]. 农业工程学报, 2005, **21**(S): 1-4.  
GUO S R. Research progress, current exploitations and developing trends of solid cultivation medium[J]. *Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, **21**(S): 1-4.
- [3] 文莲莲, 王久兴, 张雪松, 等. 不同基质配比对复合基质插管式立柱栽培苦苣生长的影响[J]. 农业工程技术, 2019, **39**(1): 42-44.  
WEN L L, WANG J X, ZHANG X S, *et al.* Effects of different substrate ratio on the growth of Chicory cultured by intu-bated column with composite substrate[J]. *Agricultural Engineering Technology*, 2019, **39**(1): 42-44.
- [4] 王秀雪, 惠成章, 张 维. 草炭替代物及其复配基质的理化性质研究[J]. 园艺与种苗, 2017, (11): 25-27, 34.  
WANG X X, HUI C Z, ZHANG W. Physicochemical properties of peat substitutes and their complex matrix[J]. *Horticulture & Seed*, 2017, (11): 25-27, 34.
- [5] 张 燕, 李 蒙, 王 平, 等. 砒糠灰泥配基质对辣椒幼苗生长的影响[J]. 浙江农业科学, 2020, **61**(3): 561-563.  
ZHANG Y, LI M, WANG P, *et al.* Effect of rice chaff mixture on pepper seedling growth[J]. *Journal of Zhejiang Agriculture Science*, 2020, **61**(3): 561-563.
- [6] 周毅飞. 不同育苗土配比对黄瓜幼苗生长的影响[J]. 上海蔬菜, 2012,(4): 73.  
ZHOU Y F. Effects of different soil ratio on cucumber seedling growth [J]. *Shanghai Vegetables*, 2012,(4): 73.
- [7] 李彦强, 胡晓健, 高 柱, 等. 大棚内不同基质扦插对香樟苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2015,(22): 58-60.  
LI Y Q, HU X J, GAO Z, *et al.* Effects of different substrates cutting in greenhouse on the growth of camphora seedlings[J]. *Northern Horticulture*, 2015,(22): 58-60.
- [8] 陈晓峰. 苏州地区多本菊提高扦插成活率试验研究[J]. 现代园艺, 2017,(12): 6-8.  
CHEN X F. Study on improving the cuttage survival rate of Chrysanthemum in Suzhou area[J]. *Contemporary Horticulture*, 2015,(22): 58-60.
- [9] 单桂芝. 甜瓜高产栽培技术要点分析[J]. 农业开发与装备, 2019,(3): 186-187.  
SHAN G Z. Key points of high-yield cultivation techniques for melon[J]. *Agricultural Development & Equipments*, 2019, (3): 186-187.
- [10] 刘永慧. ‘羊角蜜’甜瓜大棚高产栽培技术[J]. 中国瓜菜, 2017,**30**(3): 50-52.  
LIU Y H. High yield cultivation technology of ‘Yangjiaomi’ melon in greenhouse[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2017,**30**(3): 50-52.
- [11] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 140-142.
- [12] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 37-38.
- [13] 张 毅, 张 浩, 赵九州, 等. 不同基质对比对辣椒穴盘育苗效果的影响[J]. 北方园艺, 2011,(21): 9-12.  
ZHANG Y, ZHANG H, ZHAO J Z, *et al.* Effects of different proportion of substrate on the quality of pepper plug seedling[J]. *Northern Horticulture*, 2011,(21): 9-12.
- [14] 王思宇, 别之龙. 不同穴盘规格对南瓜育苗质量的影响[J]. 长江蔬菜, 2021,(6): 27-29.  
WANG S Y, BIE Z L. Effects of different plug sizes on quality of pumpkin seedlings[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2021,(6): 27-29.
- [15] 徐月明, 刘 萍, 王奎萍, 等. 混配蚯蚓粪复合基质对西葫芦育苗的影响[J]. 北方园艺, 2019,(12): 8-13.  
XU Y M, LIU P, WANG K P, *et al.* Effects of mixed wormcast matrix on seedling raising of pumpkin[J]. *Northern Horticulture*, 2019,(12): 8-13.
- [16] 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, 2001: 134-137, 184-185, 195-197.
- [17] 戴小红, 黄鹂鸣. 蚯蚓粪配比的泥炭基质特性及其栽培的小型西瓜幼苗生长状况[J]. 热带作物学报, 2019, **40**(9): 1 685-1 692.  
DAI X H, HUANG L M. Properties of peat based substrates mixed with vermicompost and growth of mini-watermelon seedlings cultivated in the mixed substrates [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2019, **40**(9): 1 685-1 692.
- [18] 侯俊峰, 黄 鑫, 侯阁阁, 等. 非结构性碳水化合物积累与小麦植株抗旱性及产量的关系[J]. 西北农业学报, 2017, **26**(11): 1 590-1 597.  
HOU J F, HUANG X, HOU G G, *et al.* Relationship between non-structural carbohydrate accumulation and drought resistance and grain yield of wheat [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2017, **26**(11): 1 590-1 597.
- [19] 崔桂宾. 干旱和 PEG 胁迫下小麦幼苗对褪黑素处理的生理响应及其蛋白质组学分析[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2019.
- [20] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 137-138.
- [21] 刘玉凤, 李天来, 焦晓赤. 短期夜间亚低温及恢复对番茄光合作用和蔗糖代谢的影响[J]. 园艺学报, 2011, **38**(4): 683-691.  
LIU Y F, LI T L, JIAO X C. Effects of short-term sub-low night temperature treatment and recovery on the photosynthesis and sucrose-metabolizing of tomato leaves [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, **38**(4): 683-691.
- [22] 张 蒲, 谢彦如, 唐 丹, 等. 椰糠、有机肥与沙子不同配比基质对番茄穴盘苗生长的影响[J]. 新疆农业科学, 2019, **56**(9): 1 645-1 651.  
ZHANG P, XIE Y R, TANG D, *et al.* Effects of different ratios of coconut bran, organic fertilizer and sand on seedling growth of tomato plug seedling[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2019, **56**(9): 1 645-1 651.
- [23] WANG Z Q, GAN D X, LONG Y L. Advances in Soilless Culture Research[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2013, **14**(2): 269-278.
- [24] 崔 瑶, 张青瑞, 施卫省. 育苗基质对紫云英种子萌发成苗的影响[J]. 土壤与作物, 2016, **5**(1): 36-41.

- CUI Y, ZHANG Q R, SHI W S. Effects of seedlings substrates on seed germination and seedling growth in *Astragalus L.* [J]. *Soils and Crops*, 2016, **5**(1): 36-41.
- [25] 武云霞, 窦宏涛, 卢于绒, 等. 甜瓜穴盘基质育苗技术[J]. 西北园艺(综合), 2019, (6): 15-16.  
WU Y X, DOU H T, LU Y R, *et al.* Seedling technology of melon with cavity disc substrate[J]. *Northwest Horticulture (Comprehensive)*, 2019, (6): 15-16.
- [26] 时振宇, 陈健, 贾凯, 等. 不同配比基质对黄瓜、番茄幼苗生长及品质的影响[J]. 天津农业科学, 2020, **26**(1): 76-81+90.  
SHI Z Y, CHEN J, JIA K, *et al.* Effects of different proportioning substrates on the growth and quality of cucumber and tomato seedlings[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2020, **26**(1): 76-81+90.
- [27] 王玉, 易丹丹, 王健, 等. 沼渣混配基质对黄瓜和番茄生长、产量及品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2019, (10): 47-53.  
WANG Y, YI D D, WANG J, *et al.* Effects of biogas residue mixed substrates on growth, yield and quality of cucumber and tomato [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2019, (10): 47-53.
- [28] 姜新, 欧智涛, 李一伟, 等. 不同栽培基质对‘甜查理’草莓生长及果实品质的影响[J]. 中国农学通报, 2019, **35**(33): 71-75.  
JIANG X, OU Z T, LI Y W, *et al.* Substrates affect the growth and fruit quality of ‘sweet charlie’ strawberry[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, **35**(33): 71-75.
- [29] 李妮, 敦惠宁, 左强, 等. 不同配比沼渣基质对茄果类蔬菜育苗效果的影响[J]. 北方园艺, 2015, (9): 43-45.  
LI N, DUN H N, ZUO Q, *et al.* Effect of biogas residue of different ratio on solanaceous fruit vegetable seeding [J]. *Northern Horticulture*, 2015, (9): 43-45.
- [30] 鲜开梅. 不同复配基质理化性质及其对辣椒幼苗生长发育的影响[J]. 长江蔬菜, 2014, (18): 60-64.  
XIAN K M. Physical and chemical properties of different compound substrates and their effects on growth and development of pepper seedlings[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2014, (18): 60-64.
- [31] 赵艳艳, 李少鹏, 刘晓强, 等. 自制有机生态型无土栽培基质育苗效果[J]. 青海大学学报, 2020, **38**(1): 15-21.  
ZHAO Y Y, LI S P, LIU X Q, *et al.* Effect on the seedling effect of self-made organic ecotype soilless substrate [J]. *Journal of Qinghai University*, 2020, **38**(1): 15-21.
- [32] CHAVES M M, FLEXAS J, PINHEIRO C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell[J]. *Annals of Botany*, 2009, **103**(4): 551-560.
- [33] 赵会娥, 贺立源, 章爱群, 等. 铝胁迫对植物光合作用的影响及其机理的研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2008, (1): 155-160.  
ZHAO H E, HE L Y, ZHANG A Q, *et al.* Advance in the study of effects of aluminum stress on plant photosynthesis and its mechanism[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2008, (1): 155-160.
- [34] 张东旭, 王娟, 张永芳, 等. 紫外辐照对科罗拉多蓝杉种子萌发和幼苗生理特征的影响[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2021, **57**(3): 90-95.  
ZHANG D X, WANG J, ZHANG Y F, *et al.* Responses of ultraviolet radiation on seed germination and physiological characteristics for seedlings of *Picea pungens* Englenan[J]. *Journal of Northwest Normal University (Natural Science)*, 2021, **57**(3): 90-95.
- [35] 刘春娟, 冯乃杰, 郑殿峰, 等. 植物生长调节剂 S<sub>3307</sub> 和 DTA-6 对大豆源库碳水化合物代谢及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2016, **49**(4): 657-666.  
LIU C J, FENG N J, ZHENG D F, *et al.* Effects of plant growth regulators S<sub>3307</sub> and DTA-6 on carbohydrate content and yield in soybean[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, **49**(4): 657-666.
- [36] KUČEROVÁ K, HENSELOVÁ M, SLOVÁKOVÁ Ľ *et al.* Effects of plasma activated water on wheat: Germination, growth parameters, photosynthetic pigments, soluble protein content, and antioxidant enzymes activity [J]. *Plasma Processes and Polymers*, 2019, **16**(3): 1 800 131.
- [37] 汤谧, 谢俊俊, 赵鸿飞, 等. 不同品种风味甜瓜果实品质比较[J]. 长江蔬菜, 2012, (18): 55-57.  
TANG M, XIE J J, ZHAO H F, *et al.* Comparison of fruit quality of different varieties and flavors of melon[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2012, (18): 55-57.
- [38] 杜鲜云, 程继鸿, 杨瑞, 等. 春化处理对‘北农1号’萝卜碳水化合物含量及相关酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2011, **44**(11): 2 303-2 309.  
DU X Y, CHENG J H, YANG R, *et al.* Effects of vernalization on carbohydrate content and sugar-metabolizing enzyme activities in radish(*Raphanus sativus* L.)[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, **44**(11): 2 303-2 309.
- [39] 刘翔宇, 李娟, 黄敏, 等. 柑橘砧木对砂糖橘果实糖积累的影响[J]. 中国农业科学, 2015, **48**(11): 2 217-2 228.  
LIU X Y, LI J, HUANG M, *et al.* Research on influences of rootstock on sugar accumulation in ‘shatangju’ tangerine fruits [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, **48**(11): 2 217-2 228.
- [40] 华明艳, 宋兰芳, 崔少杰, 等. 钾肥处理对草莓果实糖积累及相关酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2019, (16): 38-43.  
HUA M Y, SONG L F, CUI S J, *et al.* Effect of potassium fertilizer treatment on sugar accumulation and related enzyme activities in strawberry fruits [J]. *Northern Horticulture*, 2019, (16): 38-43.
- [41] MONA S A, 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): 1 751-1 757.
- [42] 周子渝, 田福, 顾璠璐, 等. 不同配比生物炭基肥对苦苣生长及品质的影响[J]. 现代园艺, 2021, **44**(3): 36-38.  
ZHOU Z Y, TIAN F, GU A L, *et al.* Effects of different ratio of biochar fertilizer on growth and quality of Chicory [J]. *Contemporary Horticulture*, 2021, **44**(3): 36-38.