

不同黄沙栽培模式对温室番茄生长、产量、光合特性及品质的影响

严宗山, 杨世梅, 张亚萍, 王 蕾, 陈 亮, 王翠丽, 张想平

(甘肃省农业工程技术研究院 甘肃武威 733006)

摘要: 为充分利用河西地区沙漠资源, 探索不同黄沙栽培模式下番茄生长情况, 筛选适宜于当地番茄生产的栽培模式。设置 3 种黄沙栽培模式: 黄沙调温栽培(T1)、黄沙地下槽式栽培(T2)和黄沙地上槽式栽培(T3), 以平地土壤栽培为对照(CK), 采用水肥一体化技术, 比较不同处理对温室番茄生长、产量、光合特性及品质的影响。结果表明, T2 处理产量(101 121.96 kg·hm⁻²)最高, 分别显著高于 T3 处理和 CK 16.14%、5.27%; T1 和 T2 处理较 CK 单株产量、单果质量、地下部鲜质量、单株生物量、根冠比、根长、净光合速率、叶片气孔导度、蒸腾速率、SPAD、可溶性蛋白质和维生素 C 含量均显著提高。与 CK 相比, T1 和 T3 处理可以显著提高可溶性固形物和可溶性糖含量, 而 T2 处理与 CK 无显著差异。通过灰色关联分析, T2 处理综合表现最好, 可以作为当地温室番茄最佳栽培模式在生产中进行推广。

关键词: 番茄; 黄沙栽培; 产量; 品质

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2023)12-100-07

Effects of different yellow sand cultivation modes on growth, yield, photosynthetic characteristics and quality of tomato in greenhouse

YAN Zongshan, YANG Shimei, ZHANG Yaping, WANG Lei, CEHN Liang, WANG Cuili, ZHANG Xiangping

(Gansu Academy of Agri-Engineering Technology, Wuwei 733006, Gansu, China)

Abstract: In order to fully utilize the desert resources in Hexi region, the growth of tomato under different cultivation modes of yellow sand was explored, and the cultivation modes suitable for local production were then selected. This study compared the effects of different treatments on the growth, yield, photosynthetic characteristics, and quality of greenhouse tomatoes by using the integrated technology of water and fertilizer. Three cultivation modes of yellow sand were set up: yellow sand temperature regulated cultivation (T1), yellow sand underground trough cultivation (T2), and yellow sand aboveground trough cultivation (T3), with flat soil cultivation as the control (CK). The results showed that T2 treatment had the highest yield, significantly higher than T3 treatment and CK treatment; T1 and T2 treatments significantly increased individual plant yield, individual fruit quality, fresh underground mass, individual plant biomass, root to shoot ratio, root length, net photosynthetic rate, leaf stomatal conductance, transpiration rate, SPAD, soluble protein, and vitamin C content compared to CK treatments. Compared with CK, T1 and T3 treatments can significantly increase the content of soluble solids and soluble sugars, while T2 treatment has no significant difference. Through grey correlation analysis, T2 treatment has the best comprehensive performance and can be promoted as the best cultivation mode for local greenhouse tomatoes in production.

Key words: Tomato; Yellow sand cultivation; Yield; Quality

番茄(*Solanum lycopersicum*)又名西红柿, 属茄科番茄属的一年或多年生草本植物, 株高 0.6~2.0 m, 一般 4~6 穗果, 单果质量 100~200 g, 果实呈

扁球状或者近似球状, 肉质多汁, 是世界范围内广泛种植的一种重要蔬菜作物^[1], 由于其营养价值丰富、口味佳, 深受消费者青睐。番茄原产南美洲, 属

收稿日期: 2023-06-13; 修回日期: 2023-09-22

基金项目: 甘肃省技术创新引导计划——东西协作专项(23CXNH0014)

作者简介: 严宗山, 男, 助理研究员, 主要从事设施蔬菜栽培工作。E-mail: 1351957796@qq.com

通信作者: 张想平, 男, 研究员, 主要从事设施农业及啤酒大麦育种研究。E-mail: gansuzxp@163.com

于喜温型果菜,在我国广泛栽培,富含人体所需的有机酸和可溶性糖等营养物质^[2]。番茄果实营养丰富,可鲜食、炒食,亦可整果罐藏或加工成番茄酱汁。有关研究表明,番茄中含有超强抗氧化活性的多酚类和番茄红素等特殊物质,可以促进人体生长发育,增强人体抵抗力,延缓人体衰老^[3]。

番茄作为温室蔬菜栽培面积第一的作物,随着温室栽培技术的兴起,其栽培技术成为科研工作者研究的热点。根据番茄种植方式不同可以分为土壤栽培和基质栽培。土壤栽培由于存在连作障碍严重、高水肥、成本较高的缺点,很多科研工作者开始研究番茄基质栽培。通过对土壤栽培与基质栽培比较发现,基质栽培相比于土壤栽培可以显著提高番茄光合速率、产量和品质^[4]。陈双臣等^[5]通过在土壤中添加腐熟的玉米秸秆、麦类秸秆、菇类废渣和锯末等农产废弃物等作为基质,并添加有机肥和土壤,与土壤配施有机肥相比,添加有机基质的栽培土中微生物数量增加和酶活性增强,利于番茄根系生长。冯海萍等^[6]研究表明,基质栽培与土壤栽培相比生长势更好,有利于提前上市。目前农作物秸秆、菇渣以及中药渣等农业废弃物造成环境污染现象较严重,故研究其在番茄基质栽培中的应用较多。韩道杰等^[7]研究表明,以发酵玉米秸秆、羊粪、大田土壤质量比为2:1:1配制基质,最有利于番茄生长。以菌渣、牛粪和稻壳质量比为4:3:3或3:3:4配制基质,番茄栽培效果较好,产量和维生素C含量较草炭和蛭石配比分别增加2.0%和6.3%^[8]。刘杰等^[9]将中药渣与牛粪配比研究其对番茄生长的影响,发现中药渣与牛粪4:1质量配比可以提高番茄品质。采用秸秆、菇渣等农业废弃物做栽培基质不仅可以合理利用废弃物,而且可以减少肥料用量,降低生产成本。虽然有机基质栽培番茄在产量、品质和节肥方面均有优势,但是有机基质存在透气性差的问题。通过将不同基质分层添加可以增加基质透气性,利于提高根系活力,增加单产^[10]。与有机栽培基质相比,黄沙透气性优势明显,贾靓等^[11]将黄沙与其他基质进行配比,发现沙与玉米秸秆、食用菌下脚料、商品基质和鸡粪以不同比例配制,增产效果优于仅用有机基质栽培。河西地区光热资源和黄沙资源丰富,发展戈壁设施农业具有得天独厚的优势,尤其适宜于番茄栽培,但针对黄沙栽培对番茄生长影响的研究较少。笔者通过设置不同黄沙栽培模式,以常规土壤栽培为对照,比较不同处理对番茄生长、产量、光合特性及品质的影响,筛选

最适宜设施番茄栽培的黄沙栽培模式,对河西地区番茄产业发展和当地经济增长具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验条件及材料

试验于2021年4—10月在甘肃省农业工程技术研究院试验基地日光温室内进行,年平均降水量100 mm,年均温度7.8℃,无霜期150 d左右。试验温室长80 m,宽7 m,脊高3 m。黄沙栽培基质为武威地区资源较多的沙漠黄沙,有机质含量(w ,后同)为 $3.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮含量为 $0.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮含量为 $21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷含量为 $29.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量为 $52 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。对照为沙壤土,土壤有机质含量 $151.37 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮含量为 $1.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮含量为 $91.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷含量为 $8.97 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量为 $184.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

温室前茬种植作物为番茄,本试验供试番茄品种为爱吉155(武威百利种苗有限公司提供),属中早熟品种,采用穴盘育苗,生育期内浇水施肥采用水肥一体化设备,于4月2日移栽定植,9月30日拉秧。

1.2 试验设计

试验设置3种不同类型的黄沙栽培模式,分别为黄沙调温栽培(T1)、黄沙地下槽式栽培(T2)和黄沙地上槽式栽培(T3),以平地土壤栽培为对照(CK)。每个处理3次重复,采用随机区组排列,每个重复包含2个种植槽,每个种植槽长6 m,行宽60 cm,每个种植槽按“品”字形与滴灌带采取“点对点”种植2行番茄,株距为40 cm。槽面铺设黑色防草地膜,槽内黄沙为风积沙,pH 7.0左右。

平地土壤栽培(CK):走道宽60 cm,走道之间种植带宽60 cm,常规土壤种植。

黄沙调温栽培(T1):走道宽60 cm,走道之间挖宽60 cm、深40 cm的U形槽,内覆塑料膜隔绝土壤,槽底平放直径12 cm的PVC圆管作为调温通道,圆管侧面每隔20 cm开孔,孔径5 cm,孔外裹阻沙网,防止细沙进入调温通道,PVC圆管北端弯管向上伸出地面接轴式风扇,南端弯头向下接排水道,槽内装满风积沙。调温通道可传导温度、气体交换和导出余水,排水道排出余水,防止沤根。在排水道一侧埋设储水罐收集余水,杀菌处理,防止污染环境。轴式风扇按设定温度自动启闭运行,将热风鼓入调温通道,提高根际温度,促进根系及植株生长,在番茄根际10~30 cm处调温范围为

19.43 °C~27.39 °C, 平均日较差为 3.96 °C。

黄沙地下槽式栽培(T2): 走道宽 60 cm, 走道之间挖宽 60 cm、深 40 cm 的 U 形槽, 内覆塑料膜隔绝土壤, 槽内装满风积沙。

黄沙地上槽式栽培(T3): 走道宽 60 cm, 走道之间用砖块码出畦面宽 60 cm、高 40 cm 的槽, 底部铺设塑料膜, 槽内装满风积沙。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 番茄生长指标测定 成熟期各个处理每个重复选取长势较好且一致的 10 株番茄植株进行相关指标的测定。用钢卷尺测量株高, 测定地面到番茄生长点的长度; 用游标卡尺于番茄茎基部测量茎粗; 用千分之一电子天平对植株地上部与地下部鲜质量分别进行称质量; 用直尺测量根长; 根冠比=地下部鲜质量/地上部鲜质量。

1.3.2 番茄产量及果形指标测定 在番茄成熟期, 统一进行番茄果实的采摘, 每个处理进行小区测产, 折算为 1 hm² 产量; 各处理每个重复选取长势较好且一致的 10 株番茄进行单株产量测定; 各处理每个重复选取大小一致且均一的番茄 10 个, 进行单果质量、果实纵径、横径测定; 果形指数=纵径/横径。

1.3.3 番茄叶片叶绿素含量测定 用手持式 SPAD-502 型叶绿素仪于盛果期测量叶片叶绿素含量。每处理随机选取 5 株(叶片)测量, 每个叶片重复测定 3 次。

1.3.4 番茄植株光合参数测定 选择晴朗无云的天气, 在 09:00-11:30 用 LI-6400XT 型便携式光合测定系统测定植株完全展开叶片的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i), 每个处理测定 3 株, 每株测定 1 个叶片, 每个叶片重复测定 3 次。

1.3.5 番茄品质指标测定 在番茄第 2 穗果成熟时, 选取成熟度基本一致的果实采用手持式糖度计测定可溶性固形物含量; 采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量; 采用钼蓝比色法测定还原型维生素 C 含量; 采用考马斯亮蓝 G-250 法测定可溶性蛋白质含量; 采用 NaOH 滴定法测定可滴定酸含量^[12]。

1.4 数据统计分析

采用 WPS 和 SPSS 22.0 进行数据整理和灰色关联度分析。

根据灰色系统理论原理^[13], 将 4 个处理的 23 个指标(Y, 产量; FWP, 单株产量; AFW, 单果质量; LD, 纵径; TD, 横径; FSI, 果形指数; PH, 株高; SD, 茎粗; AFW, 地上部分鲜质量; UFW, 地下部分鲜质量; BPP, 单株生物量; RSR, 根冠比; RL, 根长; P_n , 叶片净光合速率; T_r , 蒸腾速率; G_s , 气孔导度; C_i , 胞间 CO₂ 浓度; SPAD, 叶绿素含量; SSMF, 可溶性固形物含量; SSC, 可溶性糖含量; SPC, 可溶性蛋白质含量; VcC, 维生素 C 含量; STA, 可滴定酸含量) 视为同一灰色系统, 取各指标最优值构建一个理想的参考处理 x_0 , 以各处理的指标为比较数列 x_i , 计算各处理指标与参考处理相应指标之间的关联度, 从而确定不同处理的优劣。公式(1)如下:

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_k \min_i |x_0(k) - x_i(k)| + p \cdot \max_k \max_i |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + p \cdot \max_k \max_i |x_0(k) - x_i(k)|}$$

式中, $|x_0(k) - x_i(k)|$ 表示 x_0 数列与 x_i 数列在第 k 点的绝对差, 其中 $\min_k \min_i |x_0(k) - x_i(k)|$ 为二级最小差, $\min_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 为二级最大差, p 为分辨系数, 取值为 0.5。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式对番茄产量及果形的影响

由表 1 可知, T2 处理产量最高, 比 CK 显著增产 5.27%, T1 处理较 CK 增产 4.03%, T3 处理较 CK 显著减产 9.37%; 单株产量和单果质量变化范围分别为 2.71~3.12 kg 和 135.47~156.37 g, 其中 T2 处理均为最高, 与 T1 处理无显著差异, 二者显著高于 CK 和 T3 处理, 单株产量和单果质量分别较 CK 显著增加 9.47% 和 9.68%。

果实纵径和横径与果实大小和质量密切相关, T2 处理果实纵径和横径均最高, 分别为 59.43 和 79.87 mm, 与 T1 处理没有显著差异, 二者显著高于 CK 和 T3 处理; 果形指数反映果实商品特性, 不同黄沙栽培模式对果形指数没有显著影响, 但均高于

表 1 不同栽培模式对番茄产量及果形的影响

Table 1 Effect of different cultivation modes on tomato yield and fruit type

处理	产量/(kg·hm ²)	单株产量/kg	单果质量/g	果实纵径/mm	果实横径/mm	果形指数
CK	96 063.88±607.34 b	2.85±0.02 b	142.57±1.07 b	52.93±0.97 b	73.80±0.91 b	0.72±0.01 ab
T1	99 930.89±1 342.27 ab	3.09±0.01 a	152.33±1.40 a	57.30±0.51 a	78.70±0.57 a	0.73±0.01 ab
T2	101 121.96±1 306.56 a	3.12±0.01 a	156.37±0.82 a	59.43±0.32 a	79.87±0.15 a	0.74±0.01 a
T3	87 067.32±1 787.93 c	2.71±0.05 c	135.47±2.73 c	43.33±1.03 c	58.47±1.23 c	0.74±0.01 a

注: 同列数据后不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

CK。

2.2 不同栽培模式对番茄地上部生长的影响

由图1可知,T2处理株高显著高于T3处理和CK,与T1处理没有显著差异;T1处理茎粗显著高于CK和T3处理,T2处理高于CK,T3处理低于CK,但二者均与CK差异不显著,说明除T1处理茎粗显著增加外,其他栽培方式对茎粗影响较小。

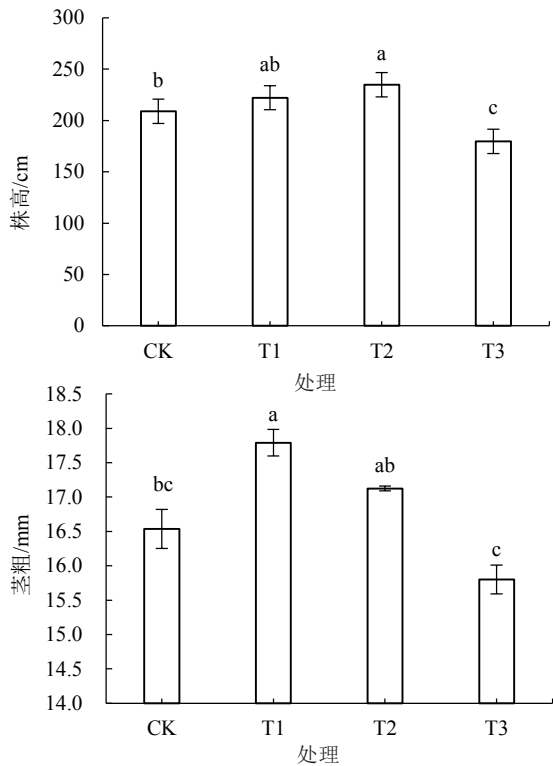


图1 不同栽培模式对番茄地上部生长的影响

Fig. 1 Effect of different cultivation modes on the growth of above-ground of tomato

2.3 不同栽培模式对番茄生物量及根系的影响

由图2可知,T2处理地上部鲜质量最大,较CK、T1和T3处理分别显著提高3.11%、1.74%和8.17%;T1处理地下部鲜质量最大,与T2处理没有显著差异,二者均显著高于T3处理和CK。T2处理单株生物量较CK、T1和T3处理分别显著提高4.12%、1.64%和9.74%。

T1处理根冠比最高,与T2处理无显著差异,但二者均显著高于T3处理和CK;T1处理根最长,显著高于T2、T3处理和CK,说明黄沙栽培对根部的影响较大,但由于T3地上部黄沙栽培地温过高,可能抑制根系生长。

2.4 不同栽培模式对番茄光合特性的影响

由表2可知,T1与T2处理净光合速率、叶片气孔导度、蒸腾速率和SPAD值均显著高于

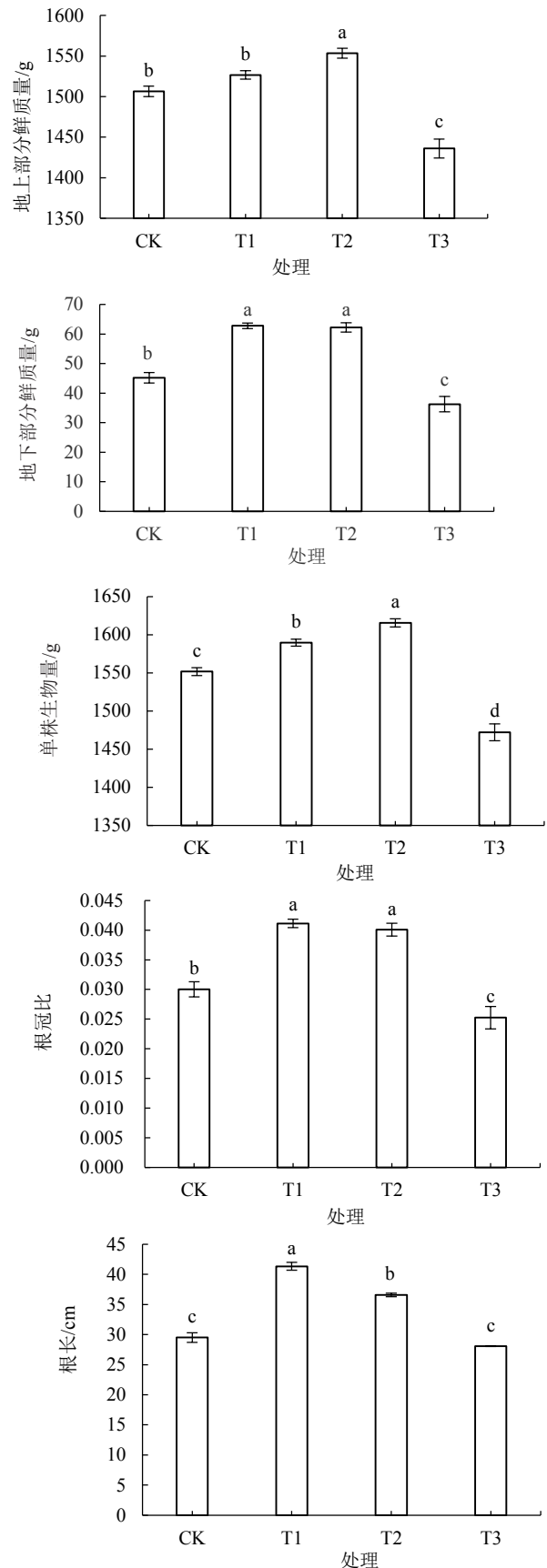


图2 不同栽培模式对番茄生物量及根系的影响

Fig. 2 Effect of different cultivation modes on biomass and root of tomato

表2 不同栽培模式对番茄叶片光合参数及叶绿素含量的影响

Table 2 Effects of different cultivation modes on photosynthetic parameters and chlorophyll content of tomato

处理	净光合速率/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	气孔导度/($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率/($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度/($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	叶绿素含量/SPAD
CK	13.06±0.10 b	0.21±0.01 b	5.03±0.09 b	286.45±2.10 a	36.13±1.35 b
T1	16.11±0.91 a	0.32±0.06 a	6.73±0.85 a	276.25±11.44 ab	43.83±0.90 a
T2	16.30±0.46 a	0.40±0.03 a	7.54±0.37 a	264.06±2.48 b	43.87±2.05 a
T3	10.07±0.27 c	0.18±0.01 b	4.30±0.03 b	282.96±4.15 ab	32.63±0.78 b

CK 和 T3 处理, T3 处理均低于 CK。T2 处理净光合速率、叶片气孔导度、蒸腾速率和 SPAD 值均最高, 分别为 $16.30 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.40 \text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $7.54 \text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 43.87, 分别较 CK 显著提高 24.81%、90.48%、49.90% 和 21.42%, 与 T1 处理差异不显著。3 种黄沙栽培模式胞间 CO_2 浓度均低于

CK, T2 处理与 CK 呈显著差异, 与其他处理差异不显著。

2.5 不同栽培模式对番茄品质的影响

由表 3 可知, 可溶性固形物和可溶性糖含量变化趋势一致, 均为 T1 和 T3 处理显著高于 T2 处理和 CK。T1 和 T2 处理的可溶性蛋白质与维生素 C

表3 不同栽培模式对番茄品质的影响

Table 3 Effect of different cultivation modes on quality of tomato

处理	w(可溶性固形物)/%	w(可溶性糖)/%	w(可溶性蛋白质)/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	w(维生素 C)/($\text{mg}\cdot 100 \text{g}^{-1}$)	w(可滴定酸)/%
CK	4.60±0.15 b	3.56±0.05 b	2.05±0.02 c	7.02±0.04 b	0.44±0.01 a
T1	5.43±0.09 a	3.82±0.06 a	2.17±0.02 b	7.18±0.03 a	0.42±0.01 b
T2	4.90±0.12 b	3.66±0.03 b	2.28±0.02 a	7.15±0.03 a	0.43±0.01 ab
T3	5.60±0.02 a	3.85±0.03 a	2.11±0.01 bc	6.97±0.04 b	0.40±0.01 b

含量均显著高于 CK, T3 处理与 CK 无显著差异。不同处理可滴定酸含量以 CK 最高, 显著高于 T1 和 T3 处理, 黄沙栽培不同处理间没有显著差异。综上可知, 与土壤栽培相比, 黄沙栽培可以提高番茄甜度, 降低酸度, 品质较好。

2.6 灰色关联分析

2.6.1 数据无纲化处理 由于各性状的量纲不同, 根据灰色系统理论, 需对各性状进行无纲化处理, 笔者采用初始值法进行处理, 即用 x_i 数列除以 x_0 对应的各指标, 得到各项指标数值都在 0~1 之间的新数列(表 4)。

2.6.2 各处理与最优处理间的关联系数分析 根据公式 $\Delta i(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$, 计算各点的绝对差, 其中, 最小绝对差值 $\min_i \min_k |x(k) - x_i(k)| = 0$, 最大绝对差值 $\min_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)| = 0.5324$ 。将各点绝对差值、最小绝对差值、最大绝对差值带入公式(1), 得出相应的关联系数(表 5)。

2.6.3 各处理加权关联系数 加权关联度系数为各处理指标关联系数与相对应指标权重系数的乘积, 即 $\zeta'_i(k) = \omega_i(k) \times \zeta_i(k)$, 式中 $\zeta_i(k)$ 为关联系数, $\omega_i(k)$ 为各指标的权重。根据公式 $\omega_i(k) = \frac{g_i}{\sum g_i}$, 计算各指标的权重, 式中 $g_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \zeta_i(k)$, $m=4$ 。

加权关联系数见表 6。

2.6.4 关联度分析 等权关联度为各处理性状关联系数的平均值, 既 $r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^m \zeta_i(k)$, $n=23$; 加权关联度为各品种营养品质性状关联系数与相对应指标的权重系数的乘积之和, 即 $r'_i = \sum_{k=1}^n \zeta'_i(k)$ 。根据各处理的等权关联度和加权关联度进行排序(表 7)。关联度值越大表示处理的综合性状越优, 等权关联度排名和加权关联度排名均为 T2 处理最优, T1 处理次之, T3 处理最差。

3 讨论与结论

黄沙孔隙度较大, 透气性较好^[14], 前人通过将秸秆、菌渣、鸡粪等有机基质中添加沙子作为番茄栽培基质, 栽培效果较好^[15-16]。何虎强^[17]在新疆石河子地区大棚沙槽栽培番茄, 配合水肥一体化技术, 结果表明, 番茄能够在黄沙中正常生长。谭占明等^[18]研究表明, 番茄黄沙栽培技术可以促进番茄提前上市, 降低成本。杨世梅等^[19]的研究结果表明, 不同黄沙栽培模式会影响作物产量。本研究结果表明, 黄沙地下槽式栽培和黄沙调温栽培方式产量分别较土壤平地栽培增产 5.27% 和 4.03%, 黄沙地上槽式栽培减产 9.37%; 黄沙地下槽式栽培和黄沙调温栽

表4 原始数据初始化
Table 4 Initialization of the original data

处理	Y	FWP	AFW	LD	TD	FSI	PH	SD	AFW	UFW	BPP	RSR	RL	P _n	G _s	C _i	T _r	SPAD	SSMF	SSC	SPC	V _c C	STA
CK	0.95	0.91	0.91	0.89	0.92	0.96	0.89	0.93	0.97	0.72	0.96	0.73	0.71	0.80	0.52	0.92	0.67	0.82	0.88	0.95	1.00	1.00	0.96
T1	0.99	0.99	0.97	0.96	0.99	0.98	0.95	1.00	0.98	1.00	0.98	1.00	1.00	0.99	0.81	0.96	0.89	1.00	0.88	0.95	1.00	1.00	0.96
T2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	0.99	1.00	0.97	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	0.97	0.91
T3	0.86	0.87	0.87	0.73	0.73	1.00	0.77	0.89	0.92	0.58	0.91	0.61	0.68	0.62	0.47	0.99	0.57	0.74	0.82	0.92	0.90	0.98	1.00

表5 各处理关联系数
Table 5 Grey correlation coefficients of the treatment

处理	Y	FWP	AFW	LD	TD	FSI	PH	SD	AFW	UFW	BPP	RSR	RL	P _n	G _s	C _i	T _r	SPAD	SSMF	SSC	SPC	V _c C	STA
CK	0.84	0.76	0.75	0.71	0.78	0.88	0.71	0.79	0.9	0.49	0.87	0.5	0.48	0.57	0.36	0.77	0.44	0.60	0.60	0.78	0.72	0.94	1.00
T1	0.96	0.97	0.91	0.88	0.95	0.93	0.83	1.00	0.94	1.00	0.94	1.00	1.00	0.96	0.58	0.88	0.71	1.00	0.68	0.84	1.00	1.00	0.88
T2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.88	1.00	0.97	1.00	0.91	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.68	0.84	1.00	1.00	0.88
T3	0.66	0.67	0.67	0.50	0.50	0.99	0.53	0.70	0.78	0.39	0.75	0.41	0.45	0.41	0.33	0.96	0.38	0.51	1.00	1.00	0.78	0.91	0.75

表6 各处理加权关联系数
Table 6 Equal correlation coefficients of the treatment

处理	Y	FWP	AFW	LD	TD	FSI	PH	SD	AFW	UFW	BPP	RSR	RL	P _n	G _s	C _i	T _r	SPAD	SSMF	SSC	SPC	V _c C	STA
CK	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.04	0.01	0.02	0.02	0.04	0.03	0.05	0.05
T1	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04
T2	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.03	0.02	0.04	0.03	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04
T3	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.05	0.02	0.03	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.04	0.01	0.02	0.04	0.05	0.04	0.05	0.03

表7 各处理的关联度及排名

处理	等权关联度	排名	加权关联度	排名
CK	0.699 5	3	0.718 9	3
T1	0.900 9	2	0.907 6	2
T2	0.936 4	1	0.940 3	1
T3	0.667 3	4	0.686 4	4

培单株产量和单果质量均高于CK,而黄沙地上槽式栽培低于CK。李宝石等^[20]研究认为,土壤沟嵌基质处理比土壤垄嵌处理抗低温能力更强,有利于番茄幼苗生长,说明地下沟嵌栽培优于垄上栽培,与笔者研究结果相似。

栽培模式直接影响植物的生长发育^[21-22]。黄沙调温栽培株高、黄沙地下槽式栽培茎粗均与CK无显著差异,黄沙地下槽式栽培株高、黄沙调温栽培茎粗均显著高于CK和黄沙地上槽式栽培;黄沙地下槽式栽培地上部鲜质量和单株生物量显著高于其他处理;黄沙调温栽培地下部鲜质量、根冠比均最高,与黄沙地下槽式栽培没有显著差异,均显著高于CK和黄沙地上槽式栽培,说明黄沙透气性好,有利于根系的生长发育。植物叶片光合作用产生的有机物为其提供生长发育的有利条件^[23],叶片的光合作用直接决定着植株的开花结果^[24]。笔者的研究表明,黄沙地下槽式栽培与黄沙调温栽培模式光合特性没有显著差异,P_n、G_s、Tr和SPAD值均显著高于CK,黄沙地上槽式栽培P_n、G_s、Tr和SPAD值均最低,长势差,可能是黄沙地上槽式栽培裸露于空气中,根际温度过高,抑制了番茄根系生长发育。

番茄品质受多种因素影响^[25-26],蒋洪丽等^[27]通过在土壤中添加蚯蚓粪肥提高番茄产量。樊煜^[28]研究表明,沙子栽培可溶性糖含量高于土壤栽培,是由于植株中糖分积累与其生长环境温度差有关,大温差条件下植株含糖量更高,沙子昼夜极差明显高于土壤。笔者的研究表明,与土壤栽培相比,黄沙栽培可以提高番茄甜度,降低酸度,品质较好,地上槽式栽培可溶性固形物和可溶性糖含量最高,是由于其昼夜温差较大,易于糖分积累。

灰色关联度分析法是建立在多个性状定量分析基础之上的,可靠性较强,可以较全面地反映一个处理综合性能的优劣^[13]。笔者通过对4个处理方式23个指标进行综合分析,表明4种栽培模式评分从高到低排名依次为黄沙地下槽式栽培、黄沙调温栽培、平地土壤栽培和黄沙地上槽式栽培。

综上所述,黄沙地下槽式栽培番茄的单株产量、

单果质量、地下部鲜质量、单株生物量、根长、根冠比、净光合速率、叶片气孔导度、蒸腾速率、SPAD、可溶性蛋白质和维生素C含量均显著高于平地土壤栽培,且胞间CO₂浓度最低,由灰色关联度综合分析结果可知黄沙地下槽式栽培表现最好。同时,黄沙地下槽式栽培较黄沙调温栽培可操作性更强,经济成本更低,因此,该栽培模式可应用于温室番茄生产。

参考文献

- [1] 张添棋. 番茄叶色突变体资源创制及基因定位[D]. 上海: 华东师范大学, 2022.
- [2] 王岩文, 雒娜, 王广印. 油菜素内酯及配施外源钙对日光温室越冬茬番茄生长、坐果及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(4): 43-48.
- [3] 贺会强. 日光温室春茬番茄施肥指标的研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [4] 刘中良, 高昕, 张艳艳, 等. 基质栽培与土壤栽培番茄品质产量的比较研究[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(1): 124-127.
- [5] 陈双臣, 刘爱荣, 贺超兴, 等. 有机土栽培和土壤栽培番茄根际基质微生物和酶活性的比较[J]. 土壤通报, 2010, 41(4): 815-818.
- [6] 冯海萍, 曲继松, 郭文忠, 等. 不同栽培方式下樱桃番茄基质栽培试验及效益分析[J]. 北方园艺, 2010(7): 38-39.
- [7] 韩道杰, 李坤, 许贞杭, 等. 基质配方对番茄生长、光合特性及产量品质的影响[J]. 北方园艺, 2008(6): 10-12.
- [8] 姚利, 张海兰, 杨正涛, 等. 平菇菌渣制备番茄栽培基质配方优化[J]. 黑龙江农业科学, 2021(9): 36-39.
- [9] 刘杰, 吴国瑞, 张金伟, 等. 保健型中药渣基质对日光温室袋培番茄产量及品质的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(7): 1687-1695.
- [10] 张金伟, 刘杰, 刘津冀, 等. 不同基质分层处理对日光温室袋培番茄生长和产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2020, 51(6): 762-767.
- [11] 贾靓, 陈修斌, 李翊华, 等. 河西走廊戈壁温室番茄无土栽培基质筛选[J]. 蔬菜, 2020(6): 53-56.
- [12] 崔盼, 陈一卓, 范幸超, 等. 椰糠复合基质对口感番茄果实品质的影响及评价[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(18): 128-133.
- [13] 王慧, 杨富, 姜超, 等. 燕麦品种(系)的营养品质综合评价[J]. 麦类作物学报, 2021, 41(2): 203-211.
- [14] 王登伟, 马如海, 黄春燕, 等. 黄沙基质番茄高产栽培关键技术[J]. 新疆农垦科技, 2019, 42(6): 18-21.
- [15] 曹凯, 余新, 赵艳艳, 等. 沙地番茄无土栽培基质的筛选[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(6): 147-152.
- [16] 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.
- [17] 何虎强. 大棚番茄黄沙栽培技术[J]. 石河子科技, 2014(5): 15-16.
- [18] 谭占明, 郑艳, 束胜, 等. 新疆设施番茄黄沙无土栽培种植模式[J]. 北方园艺, 2020(22): 166-169.
- [19] 杨世梅, 王世余, 严宗山, 等. 设施条件下不同黄沙栽培模式对番茄生长、产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2021(13): 25-29.
- [20] 李宝石, 王奇, 刘文科, 等. 日光温室嵌膜式基质栽培对根区温度及番茄生长和产量的影响[J]. 山东农业科学, 2021, 53(2): 24-28.
- [21] SAYRE K D, MORENO RAMOS O H. Applications of raised bed-planting system to wheat[R]. Wheat Program Special Report, WPSR No.31. Mexico: CIMMYT. 1997, 1-14.
- [22] 丁锦峰, 徐东忆, 丁永刚, 等. 栽培模式对稻茬小麦籽粒产量、氮素吸收利用和群体质量的影响[J]. 中国农业科学, 2023, 56(4): 619-634.
- [23] 赵云凤, 李婷, 黄家权. 番茄叶片颜色差异及其对光合作用的影响[J]. 分子植物育种, 2022, 20(4): 1310-1316.
- [24] 张楠楠. 不同植物生长调节剂对樱桃番茄促花、控旺影响的研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2020.
- [25] 张智, 景仕豪, 周楠, 等. 不同复合微生物菌剂及施用量对番茄生长和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2023, 51(9): 119-128.
- [26] 汪晓宇, 郭宁, 刘长梅, 等. CO₂加富与LED补光对樱桃番茄产量、品质及挥发性物质含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(23): 146-152.
- [27] 蒋洪丽, 雷琪, 吴淑芳, 等. 蚯蚓粪有机肥袋料栽培对番茄生长、产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(8): 191-197.
- [28] 樊煜. 不同栽培方式和不同间距对奶白菜生长的影响[D]. 太原: 太原理工大学, 2019.