

# 太阳能主-被动式相变蓄热墙体对温室番茄生长及产量性状的影响

张彩虹<sup>1</sup>, 姜鲁艳<sup>2</sup>, 刘涛<sup>3</sup>, 刘娜<sup>1</sup>, 王国强<sup>3\*</sup>

(1.新疆设施农业工程与装备研究中心, 新疆乌鲁木齐 830091; 2.新疆设施农业智能化管控技术重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830091; 3.新疆农业科学院农业机械化研究所, 新疆乌鲁木齐 830091)

**摘要** 为解决新疆冬季戈壁日光温室温度低、湿度高、作物生产效益低的问题,通过建立太阳能主-被动式相变蓄热墙体(以下称新型墙体)并进行试验实测,探讨该墙体对室内热环境和作物生长情况的改善效果。结果表明,新型墙体不仅可以有效提高开棚期间室内空气温度,而且可以有效改善关棚期间室内空气温度,并且随着时间的增长,改善效果越来越明显。普通墙体日光温室的土壤温度上升持续时间较新型墙体日光温室缩短3 h,室内空气温度峰值降低1.06 ℃。番茄叶片平均净光合速率提高28.14%,平均株高提高26.07%,最大茎粗提高44.21%,总产量提高28.0%。

**关键词** 太阳能主-被动式蓄热墙体;番茄;生长;产量性状

**中图分类号** S625 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)23-0194-05

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.23.049



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Effects of Solar Energy Active-passive Phase Changes Heat-storage Wall on the Growth and Yield of Tomato in Greenhouse

ZHANG Cai-hong<sup>1</sup>, JIANG Lu-yan<sup>2</sup>, LIU Tao<sup>3</sup> et al (1.Xinjiang Facility Agriculture Engineering and Equipment Research Center, Urumqi, Xinjiang 830091; 2.Xinjiang Key Laboratory of Intelligent Control Technology for Facility Agriculture, Urumqi, Xinjiang 830091; 3.Institute of Agricultural Machinery, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091)

**Abstract** In order to solve the problems of low temperature, high humidity and low production efficiency of crops of sunlight greenhouse in winter in Xinjiang, through the establishment of solar energy active-passive phase change thermal-storage wall (hereinafter referred to as new wall) and field test, the improvement effect of this wall on the indoor thermal environment and crop growth were discussed. The results showed that the new wall could not only effectively improve the indoor air temperature during shed-opening period, but it could also effectively improve the indoor air temperature during shed-closing period. With the increase of time, the improvement effect was more obvious. The duration of soil temperature rise in the ordinary wall solar greenhouse reduced 3 hours than that in the new wall solar greenhouse, the peak value of indoor air temperature decreased 1.06 ℃. The net photosynthetic rate of leaves increased by 28.14% on average, the average plant height increased by 26.07%, the maximum stem diameter increased by 44.21%, and the total yield increased by 28.0%.

**Key words** Solar active-passive thermal storage wall; Tomato; Growth; Yield characteristics

新疆戈壁设施农业的快速推进带动了戈壁日光温室产业的迅速发展。然而,复杂的自然条件、落后的农业建筑设计与建造理念、薄弱的基础研究以及温室墙体材料及其构筑方式、温室作物栽培环境条件以及温室建筑结构体系等现代园艺设施农业建筑环境设计理论和方法缺乏,致使冬季戈壁日光温室环境低温高湿、作物生产效益低<sup>[1-2]</sup>。能耗大是制约新疆日光温室冬季瓜果蔬菜生产发展的主要因素,日光温室冬季生产(包括春提早、秋延晚)加温(北疆)或补充加温(南疆)基本依靠燃煤来实现,增加了生产成本,加大了对环境的污染,无法实现设施农业产业的良性循环。据统计,在北纬35°~43°地区温室冬季加热耗能费用约占总生产成本的30%~70%。一座温室(面积0.67 hm<sup>2</sup>)要实现越冬生产,一般在北疆(塔城地区)需煤6~8 t,在南疆(喀什地区)需煤3~4 t,煤资源浪费严重。为了节约能源,最大限度地利用能源,合理增加温室后墙蓄放热是实现日光温室越冬生产的有效途径<sup>[2-4]</sup>。新疆冬季气温低,探讨后墙蓄热性能、材料特性对于实现日光温室实现周年生产具有重要的实践意义。

## 1 材料与与方法

### 1.1 试验地点及材料

试验分别于2015年10月8日至

2016年3月11日和2016年10月20日至2017年3月20日在乌鲁木齐西山农牧场戈壁日光温室内进行,试验地位于87.23°E 43.63°N。试验温室朝向均坐北朝南,东西延长,长度为25 m,跨度为8 m,脊高为3.76 m,北墙高度为2.46 m。前坡屋面采用0.12 mm厚的EVA薄膜;顶部通风口用来调控日光温室室内空气湿度和CO<sub>2</sub>浓度,开启时间为13:30—15:30;EVA薄膜外侧每天19:00至次日10:00铺设10 mm厚的毛毡保温被。2个温室北墙体的构筑方式不同,其中新型墙体日光温室的北墙采用新型日光温室主-被动式相变蓄热墙体(图1),墙体内表面贴有40 mm厚的相变材料,中间层由砌块和砖构成,其中砌块的厚度为190 mm,砌块和砖中间设有150 mm厚的空气通道,砖的厚度为370 mm,墙体外表面为100 mm厚的聚苯板保温材料,墙体顶部敷设有长16 m、宽0.6 m的太阳能集热器,每天11:00—17:30太阳能集热器产生热空气并在高1.9 m处以0.22 m/s的速度送入墙体内部竖向空气通道,在高0.2 m处从墙体内部竖向空气通道流出;普通墙体日光温室的北墙采用普通墙体(图2),由190 mm厚的砌块、370 mm厚的砖和100 mm厚的聚苯板保温材料组成。

**1.2 试验设计** 供试番茄品种为金鹏1号。试验温室和对照温室面积均为200 m<sup>2</sup>。定植前深翻土壤,起垄覆膜。2015年试验于2015年9月5日播种,2016年试验于2016年9月12日播种,待幼苗长至四叶一心时选取长势一致的幼苗按照株行距70 cm、35 cm进行定植。番茄整个生育期2个试验温室均按照统一的栽培管理制度进行田间管理,每3~5 d浇灌

基金项目 新疆农业科学院青年科技骨干创新能力培养项目(xjnkq-2019010)。

作者简介 张彩虹(1981—),女,甘肃张掖人,助理研究员,硕士,从事蔬菜栽培与生理研究。\*通信作者,研究员,硕士,从事设施农业综合技术研究。

收稿日期 2021-12-08

1 次相同质量的水,并随水施用相同质量的肥料。

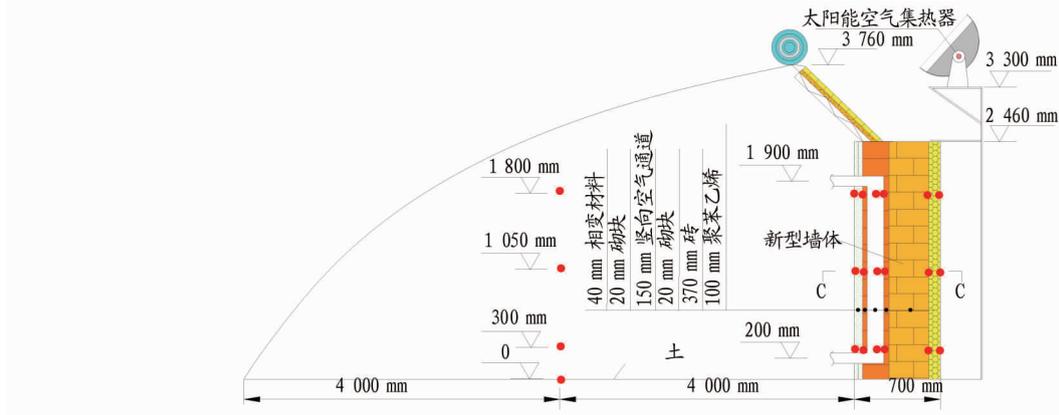


图1 新型墙体

Fig.1 New wall

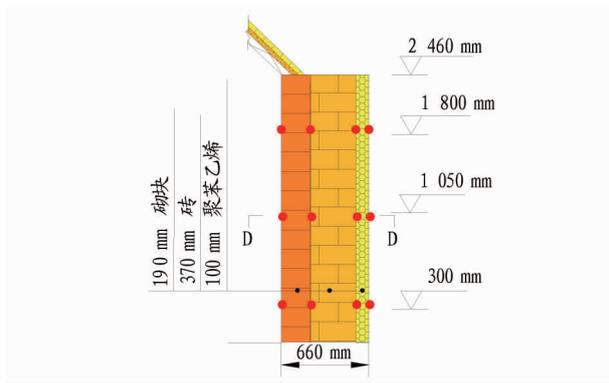


图2 普通墙体

Fig.2 The ordinary wall

### 1.3 测定指标与方法

**1.3.1 植株生长指标的测定。**在定植 30、40、50、60、70 d 后,使用直尺(东佳 01 型卷尺,测量精度为 $\pm 1$  mm)测量作物株高;使用游标卡尺(上工星游标卡尺,测量精度为 $\pm 0.05$  mm)测量作物的茎粗<sup>[5-8]</sup>。

**1.3.2 果实产量及品质的测定。**在果实成熟期,每个重复随机选取 10 株用天平(佰伦斯电子天平,测量精度为 0.1 g)测量单果重及单株产量,并换算成平均产量。分别在 2 个试验温室的前屋面区、中部、后墙区选取大小和色泽一致的果实进行品质分析。果实可溶性固形物含量使用阿贝折射仪测定<sup>[9]</sup>,可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定<sup>[9-10]</sup>,维生素 C 含量采用钼蓝比色法测定<sup>[11-12]</sup>。

**1.3.3 叶片净光合速率的测定。**在番茄开花坐果期选择某个晴天 10:00—12:00 使用 LI-6400 便携式光合作用仪测定叶片的净光合速率( $P_n$ ),使用开放气路,空气流量为 0.5 L/min,叶片温度 25 ℃,叶室内相对湿度 70%~75%, $CO_2$  浓度 360  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。测定时光强由强到弱,依次设定光量子通量密度[2 500、2 000、1 600、1 200、1 000、800、600、400、300、200、150、100、50、0  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]<sup>[13-16]</sup>。

**1.3.4 温度测定。**室内空气温度、墙体不同位置温度、10 cm 深度土壤温度均使用防辐射处理的 T 型热电偶进行测定,其测量精度为 $\pm 0.5$  ℃,并由 1 台数据采集仪(Agilent 34972A,美

国)、1 台电脑和配套软件进行记录,参数测试间隔均为 5 min。

**1.4 数据统计与分析** 使用 Excel 2010 软件进行数据整理及绘图,使用 SPSS 19 统计软件进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

**2.1 太阳能主-被动式相变蓄热墙体对温室内空气温度的影响** 由于试验跨度时间较大,选取 2016 年 2 月 27 日 10:00 至 2 月 28 日 10:00 一个完整蓄放热周期的温室空气温度进行分析。从图 3 可以看出,在太阳能集热器主动供热前(11:00前),由于 2 个温室均是由太阳辐射被动式加热,室内空气温度随着太阳辐射的增加而增加;在太阳能集热器主动蓄热开启(11:00)以后,太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室的室内空气温度升高速率进一步提高;13:00,温室内空气温度为 38.54 ℃,高于普通墙体日光温室(32.05 ℃);13:30,2 个温室顶部通风口开启,室内空气温度均有所降低,但是太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室室内空气温度为 34.52 ℃,高于普通墙体日光温室(28.65 ℃);13:30 至 15:30 日光温室通风口关闭,太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室室内空气温度均高于普通墙体日光温室;15:30 至 19:00(温室关帘时),2 个温室室内空气温度均随着太阳辐射的降低而降低,但是太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室室内空气温度均高于普通墙体日光温室。

在 2 个温室关帘(2 月 27 日 19:00)以后,温室室内空气温度逐渐下降,但是太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室室内空气温度下降速率小于普通墙体日光温室,2 个试验温室的室内空气温度差值随着时间的增加而逐渐变大,从关帘时的 0.32 ℃ 逐渐扩大到第 2 天揭帘时(2 月 28 日 10:00)的 1.38 ℃。整个试验期间太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室室内空气温度均高于普通墙体日光温室。

**2.2 太阳能主-被动式相变蓄热墙体对温室内土壤温度的影响** 从图 4 可以看出,太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室室内土壤温度在整个试验期间均高于普通墙体日光温室。早上开帘时(2 月 27 日 10:00),2 个试验温室室内土壤温度基本相同,太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室室内土壤温度为 20.30 ℃,普通墙体日光温室为 20.25 ℃。随着太阳辐

射的增加和室内空气温度的升高,2个试验温室的土壤温度均逐渐上升,下午关帘以后2个试验温室室内土壤温度逐渐降低。通过分析一天的室内土壤温度数据发现,在开帘期间(2月27日10:00—19:00),太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室的土壤温度较普通墙体温室最大值高1.81℃、最小值高

0.34℃、平均值高0.99℃;在关帘期间(2月27日19:00至2月28日10:00),太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室的土壤温度较普通墙体日光温室最大值高1.14℃、最小值高0.49℃、平均值高0.79℃。

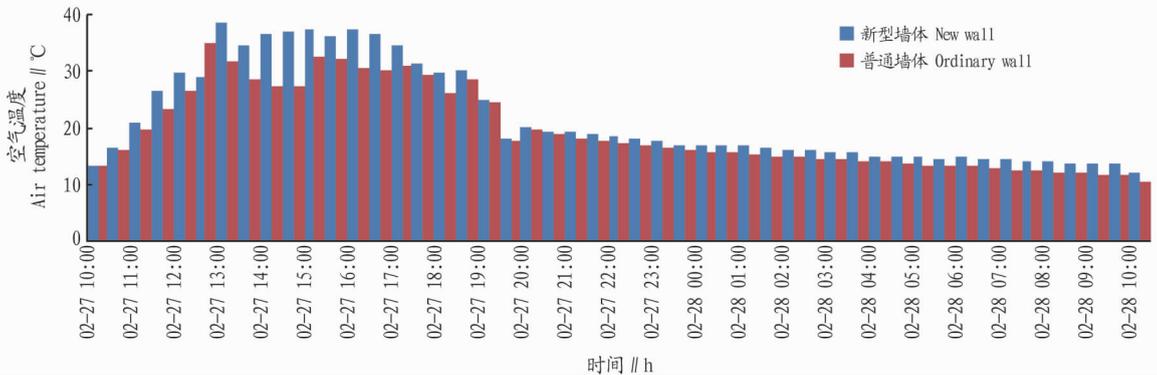


图3 太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室和普通墙体日光温室室内空气温度的比较

Fig.3 The comparison of indoor air temperature between solar energy active-passive heat-storage wall greenhouse and ordinary wall sunlight greenhouse

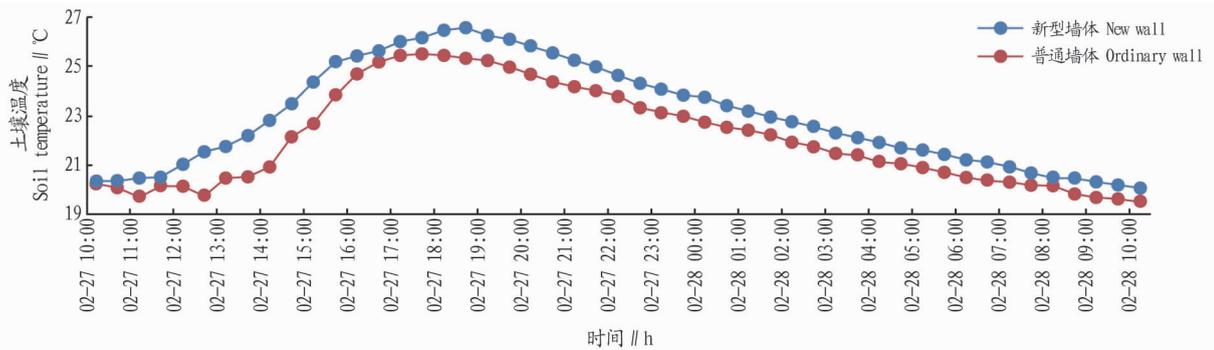


图4 太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室和普通墙体日光温室室内土壤温度的比较

Fig.4 Comparison of indoor soil temperature between solar energy active-passive thermal-storage wall greenhouse and ordinary wall sunlight greenhouse

此外,太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室室内土壤温度上升反应时间也比普通墙体温室迅速,且上升持续时间也较长。太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室的土壤温度10:30时温度开始上升,18:30达到最大值,为26.54℃;普通墙体温室的土壤温度12:30开始升高,17:30达到最大值(25.48℃),较太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室的土壤温度开始上升时间晚2h,峰值到达时间提前1h,上升持续时间缩短3h。

**2.3 太阳能主-被动式相变蓄热墙体对番茄生长的影响** 从图5可以看出,在定植40~90d,太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室番茄的株高均高于普通墙体日光温室,并且随着时间的增长,2个试验温室番茄株高的差值整体上呈现递增的趋势。在定植40d时,太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室番茄株高为55.84cm,而较普通墙体温室(49.70cm)提高了6.14cm;在定植80d时,太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室番茄株高为157.14cm,普通墙体温室番茄株高为107.94cm。整个生育时间内,太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室的平均株高较普通墙体日光温室高26.07%。

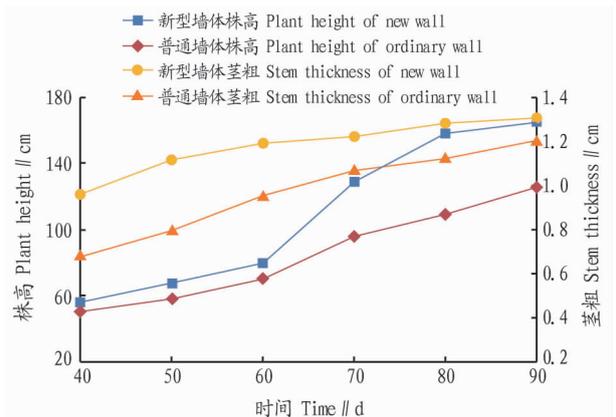


图5 太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室和普通墙体日光温室番茄株高和茎粗的比较

Fig.5 Comparison of plant height and stem thickness of tomato between solar energy active-passive thermal-storage wall greenhouse and ordinary wall sunlight greenhouse

作物茎粗是表征作物生长情况的另一个指标<sup>[17]</sup>。从图5可以看出,在测试期间太阳能主-被动式相变蓄热墙体温

室的作物茎粗明显高于普通墙体日光温室。其中,40、50、60 d时新型墙体日光温室的番茄茎粗较普通墙体日光温室分别增加44.21%、42.81%、26.51%。70 d以后,2个试验温室番茄茎粗的差值逐渐减小,但是太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室番茄茎粗仍高于普通墙体日光温室,分别高15.34%、14.44%和9.40%。究其原因,可能是室外温度逐渐升高,室内热环境需求的热量逐渐减少,从而逐渐弱化太阳能主-被动式相变蓄热墙体的热工性能发挥效果,逐渐使得2个日光温室番茄茎粗的差值逐渐减小。

**2.4 太阳能主-被动式相变蓄热墙体对番茄叶片净光合速率的影响** 试验测定选择在晴天10:00—12:00进行。从图6可以看出,当光量子通量密度为0~600  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室与普通墙体日光温室番茄的净光合速率( $P_n$ )差异不显著,但均随着温度的升高而呈逐渐增大的趋势。当光量子通量密度为800  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 后太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室番茄叶片净光合速率与普通墙体日光温室存在显著差异,平均值提高28.14%。该试验结果表明,太阳能主-被动式相变蓄热墙体提高了温室环境温度,在同等光照强度条件下促进番茄植株净光合速率的提高。

**2.5 太阳能主-被动式相变蓄热墙体对番茄产量的影响** 从图7可以看出,太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室的最高日产量和总产量均比普通墙体日光温室高,太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室番茄最高日产量133.02 kg,总产量

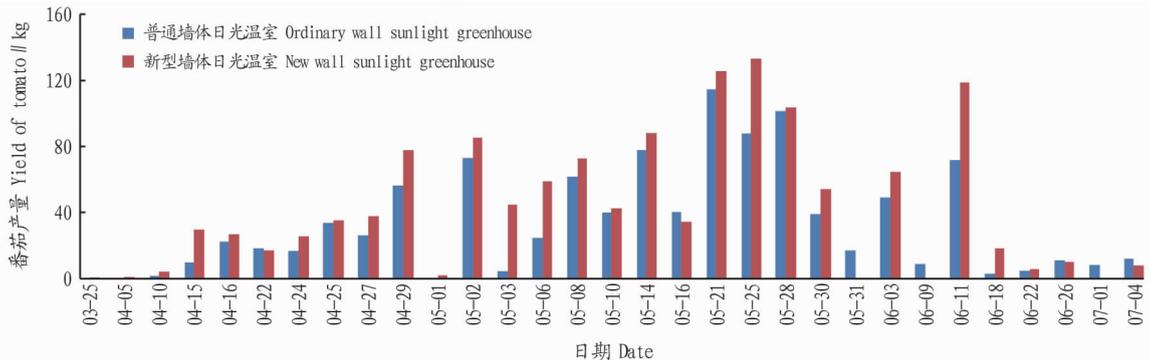


图7 太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室和普通墙体温室番茄产量的比较

Fig.7 Comparison of tomato yield between solar energy active-passive thermal-storage wall greenhouse and ordinary wall greenhouse

**2.6 太阳能主-被动式相变蓄热墙体对番茄果实品质的影响** 从表1可以看出,太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室和普通墙体日光温室在可溶性糖含量、可溶性固形物含量、 $V_c$ 含量以及番茄红素含量等方面均无显著差异。这可能是因为相同的条件下光照、水肥等条件均匀一致,3℃左右的温度对番茄生长发育的影响较大,但对番茄果实营养品质的影响不明显。

### 3 讨论

(1)前人研究结果表明,日光温室墙体热工性能的目的是维持室内热环境的舒适性。其中,室内空气温度是表征室内热环境舒适性的一个重要参数,直接影响作物的光合作用、蒸腾作用等生理作用<sup>[18-19]</sup>。在一定范围内,室内空气温度越高,室内环境舒适性越强<sup>[20]</sup>,墙体的热工性能越好。太

1327.19 kg;普通墙体日光温室番茄最高日产量为114.64 kg,总产量为1036.79 kg。太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室番茄总产量较普通墙体日光温室提高28.0%。此外,新型墙体太阳能主-被动式相变蓄热墙体还可以缩短日光温室果实的成熟期。太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室在3月25日开始果实成熟,日产量为0.69 kg;4月5日再次果实成熟,日产量为1.04 kg;普通墙体温室第一次果实成熟发生在4月10日。太阳能主-被动式相变蓄热墙体可以缩短果实生长期12 d。

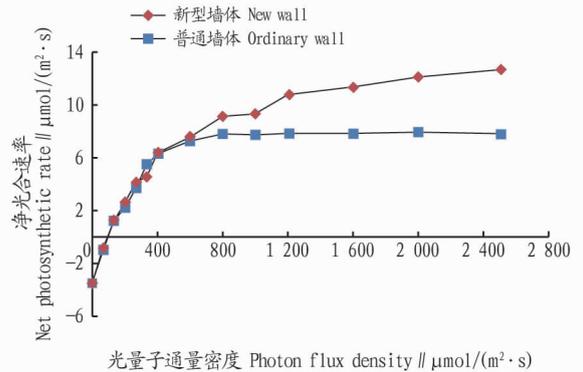


图6 太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室和普通墙体温室番茄叶片净光合速率的比较

Fig.6 Comparison of net photosynthetic rate of tomato leaves between solar energy active-passive thermal-storage wall greenhouse and ordinary wall greenhouse

阳能主-被动式相变蓄热墙体不仅可以有效提高白天室内空气温度,而且可以有效改善夜晚室内空气温度,且随着时间的增长,改善效果越来越明显。

表1 蓄热墙体对番茄营养品质的影响

Table 1 Effects of heat storage wall on the nutritional quality of tomato

处理 (Treatment)	可溶性糖含量 (Soluble sugar content) %	可溶性固形物含量 (Soluble solids content) %	$V_c$ 含量 ( $V_c$ content) mg/kg	番茄红素含量 (Lycopene content) mg/kg
蓄热墙体 (Heat storage wall)	2.92 a	4.78 a	17.87 a	144 a
普通墙体 (Ordinary wall)	2.90 a	4.80 a	17.91 a	144 a

注:同列相同小写字母表示差异显著( $P>0.05$ )

Note: The same lowercase letter in the same column indicated no significant difference ( $P>0.05$ )

(2)日光温室种植的主要目的是通过提高室内热环境,改善作物的生长情况,进而提高作物的产量<sup>[21-23]</sup>。新型墙体可以有效提高室内空气温度、土壤温度和墙体内部表面温度,增加作物舒适生长时间和日有效积温。该试验结果表明,由于新型墙体具有更佳的热工性能,可为作物生长营造更舒适的热环境,从而促进作物株高、茎粗等生长指标的增长,提高作物净光合速率,促进光合产物的积累,提高作物产量。

#### 4 结论

(1)太阳能主-被动式相变蓄热墙体不仅对日光温室室内土壤温度有明显的提升作用,而且对土壤温度的上升持续时间也有显著的改善作用。太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室的土壤温度较普通墙体温室最大值高 1.14 ℃、最小值高 0.49 ℃、平均值高 0.79 ℃。太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室内空气温度均高于普通墙体日光温室,最大值高 6.81 ℃,最小值高 0.32 ℃,平均值高 2.99 ℃。

(2)太阳能主-被动式相变蓄热墙体由于具有更佳的热工性能,可为作物生长营造更为舒适的热环境,从而促进作物株高的增长。太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室番茄叶片净光合速率与普通墙体日光温室存在显著差异。整个生育测试期间,太阳能主-被动式相变蓄热墙体温室番茄的平均株高较普通墙体日光温室高 26.07%,总产量提高 28.0%。

#### 参考文献

- [1] LI G J, BENOIT F, CEUSTERMANS N. Influence of day and night temperature on the growth, development and yield of greenhouse sweet pepper[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and life sciences), 2004, 30(5): 487-491.
- [2] 张浩, 李天来, 徐晶. 昼间亚高温对日光温室番茄生长发育、产量及品质的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1051-1055.
- [3] 李莉, 李佳, 高青, 等. 昼夜温差对番茄生长发育、产量及果实品质的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2700-2706.
- [4] 赵玉萍, 邹志荣, 白鹏斌, 等. 不同温度对温室番茄生长发育及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(2): 133-137.

(上接第 173 页)

贝母混伪品较多<sup>[8-9]</sup>。传统各类贝母均以粒小、均匀、完整、质坚实、色纯白、具有光泽者为佳,三大类川贝母优劣顺序为松贝、青贝、炉贝<sup>[14]</sup>。因此,有效鉴别川贝母与其他贝母的研究急需进一步深入。

通过研究表明,电子舌测得的味觉信息值可用于区分不同产地的贝母药材以及不同基原的川贝母药材;在主要化学成分上,可通过总多糖含量、多糖/生物碱含量的比值区分浙贝母与其他产地贝母药材。

人工栽培对川贝母药材的品质有一定影响。暗紫贝母野生品的生物碱含量较低,栽培品的含量有所升高;且野生品与栽培品的味觉信息值在酸味、咸味上差异较大,推测可能与生长年限、施用农家肥等有关。

#### 参考文献

- [1] 万德光, 彭成, 赵军宁. 四川道地中药材志[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2005: 22-35.
- [2] 彭成. 中华道地药材[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2011: 710-728.
- [3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[S]. 北京: 中国医药科技出版

- [5] 刘升学, 于贤昌, 刘伟, 等. 有机基质配方对袋培番茄生长及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(3): 184-188.
- [6] 孙丽丽, 邹志荣, 韩丽蓉, 等. 营养液滴灌频率对设施番茄生长与果实品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(3): 119-124.
- [7] 张钰, 郭世荣, 孙锦. 营养液浓度和用量对醋糟基质栽培番茄生长、产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013(3): 87-91.
- [8] 何诗行, 何堤, 许春林, 等. 不同 LED 光质对番茄幼苗生长特性的影响[J]. 农业机械学报, 2017, 48(12): 319-326.
- [9] 张宪政. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994.
- [10] JURCZYK B, RAPACZ M, POCIECHA E, et al. Changes in carbohydrates triggered by low temperature waterlogging modify photosynthetic acclimation to cold in *Festuca pratensis*[J]. Environmental and experimental botany, 2016, 122: 60-67.
- [11] 袁小康, 杨再强. 昼夜温差对番茄果实品质动态变化的影响及模拟[J]. 中国农业气象, 2017, 38(6): 353-360.
- [12] ISHII M, SASE S, MORIYAMA H, et al. Controlled environment agriculture for effective plant production systems in a Semiarid Greenhouse[J]. Japan agricultural research quarterly, 2016, 50(2): 101-113.
- [13] 丁兆堂, 卢国华, 徐坤. 环境因子对番茄光合特性的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2003, 34(3): 356-360.
- [14] 杜清洁, 代侃初, 李建明, 等. 亚低温与干旱胁迫对番茄叶片光合及荧光动力学特性的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1687-1694.
- [15] 刘金泉, 王灵茂, 尹春, 等. 高温、高湿及 CO<sub>2</sub> 施肥条件下黄瓜光合性能的变化[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(6): 2362-2364, 2375.
- [16] 杨利云, 段胜智, 李军蓉, 等. 不同温度对烟草生长发育及光合作用的影响[J]. 西北植物学报, 2017, 37(2): 330-338.
- [17] 毛丽萍, 任君, 张剑国, 等. 日光温室秋冬茬番茄果实发育期的适宜夜温[J]. 应用生态学报, 2014, 25(5): 1408-1414.
- [18] 程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等. 设施番茄果实生长与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2011, 31(3): 742-748.
- [19] 杨世琼, 杨再强, 王琳, 等. 高温高湿交互对设施番茄叶片光合特性的影响[J]. 生态学杂志, 2018, 37(1): 57-63.
- [20] 王艳芳, 李亚灵, 温祥珍. 高温条件下空气湿度对番茄光合作用及生理性状的的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(8): 3967-3968, 3981.
- [21] 郭建平, 高素华. 高温、高 CO<sub>2</sub> 对农作物影响的试验研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(1): 17-20.
- [22] EL-GIZAWY A M, GOMAA H M, EL-HABBASHA K M, et al. Effect of different shading levels on tomato plants I. Growth, flowering and chemical composition[J]. Acta horticulture, 1993, 323: 341-348.
- [23] SCHWARZ D, THOMPSON A J, KLÄRING H P. Guidelines to use tomato in experiments with a controlled environment[J]. Frontiers in plant science, 2014, 5: 1-16.

- [4] 赵军宁, 方清茂. 四川省道地药材生产区划[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2020: 522.
- [5] 冯文林, 伍海涛. 基于《黄帝内经》“甘入脾”理论指导下健脾中药的多糖成分调控 IBS-D 肠道菌群的机制研究[J]. 辽宁中医杂志, 2019, 46(1): 127-129.
- [6] 景芳邈, 刘颖璐, 杨宁, 等. 苦味受体及其研究进展[J]. 山东医药, 2012, 52(15): 85-88.
- [7] 付智慧, 李淑军, 刘鹏, 等. 电子舌在中药研究中的应用现状及前景展望[J]. 中成药, 2016, 38(11): 2454-2457.
- [8] 刘芳, 解达帅, 刘红梅, 等. 电子舌技术鉴别川贝母粉及其掺伪品[J]. 中成药, 2017, 39(9): 1977-1979.
- [9] 刘瑞新, 郝小佳, 张慧杰, 等. 基于电子眼技术的中药川贝母真伪及规格的快速辨识研究[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(14): 3441-3451.
- [10] 周琪, 雷乾娅, 赵军宁, 等. 川产道地药材川贝母(栽培品)鉴别与品质研究[J]. 世界中医药, 2020, 15(2): 225-230.
- [11] 卢翊鹏. 500 味常用中药材的经验鉴别[M]. 北京: 中国中医药出版社, 1999: 51-53.
- [12] 王虹, 穆卫东, 丁天保, 等. 不同产地贝母多糖与微量元素对比分析[J]. 辽宁中医药大学学报, 2009, 11(3): 177-178.
- [13] 汪少华, 乔家法. 不同产地浙贝母多糖含量的比较[J]. 中国现代应用药学, 2014, 31(10): 1256-1258.
- [14] 李冬连, 李成容, 黎萍, 等. HPLC-ELSD 同时测定瓦布贝母药材中 7 种异甾体生物碱[J]. 中国药理学杂志, 2019, 54(12): 1012-1017.