

# 哈茨木霉菌剂处理提高网纹甜瓜 (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Naud.) 的货架期品质

李婷<sup>1</sup>, 王瑞琪<sup>2</sup>, 张雪梅<sup>1</sup>, 时月<sup>2,3</sup>, 张静<sup>4</sup>, 王宇滨<sup>2,3</sup>, 郝敬虹<sup>4</sup>, 赵晓燕<sup>2,5</sup>, 张超<sup>2\*</sup>

(1. 北京市农业技术推广站, 北京 100029) (2. 北京市农林科学院农产品加工和食品营养研究所, 北京 100097) (3. 果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室, 北京 100097) (4. 北京农学院植物科学技术学院, 北京 102206) (5. 农业农村部蔬菜产后处理重点实验室, 北京 100097)

**摘要:** 该研究探讨了哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜货架期品质的影响。研究在网纹甜瓜种植过程中, 对甜瓜根部施用哈茨木霉菌剂 4 次 (每次剂量为 0.1 g/m<sup>2</sup>), 以根部施用清水为对照组, 比较果实在 10 °C 冷库中贮藏第 0、5、10 和 15 d 的感官得分、颜色、质地、口味和抗氧化能力等品质特征。结果表明: 哈茨木霉处理后果肉的口感甜糯, 质地均一, 果实最佳赏味期较对照组延长约 4 d; 哈茨木霉处理组果实可溶性固形物含量和 Vc 含量分别比对照组提高 15.20% 和 64.58%; 哈茨木霉组的 ORAC 值达到 667.80 (μmol/L)/100 g, 比对照组提高了 10.05%, 果实的抗氧化能力显著性提高; 并且哈茨木霉处理使果皮硬度提高 1.75 倍, 延缓果肉的软化现象, 使果实更加便于贮藏和运输。因此, 种植过程中在根部追施哈茨木霉菌剂有利于提高网纹甜瓜货架期品质。

**关键词:** 哈茨木霉菌剂; 网纹甜瓜; 货架期; 感官评价; ORAC 值

文章编号: 1673-9078(2022)07-160-168

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.7.1174

## Trichoderma Harzianum Enhance Shelf Life Qualities of Netted Melon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Naud.)

LI Ting<sup>1</sup>, WANG Ruiqi<sup>2</sup>, ZHANG Xuemei<sup>1</sup>, SHI Yue<sup>2,3</sup>, ZHANG Jing<sup>4</sup>, WANG Yubin<sup>2,3</sup>, HAO Jinghong<sup>4</sup>, ZHAO Xiaoyan<sup>2,5</sup>, ZHANG Chao<sup>2\*</sup>

(1. Beijing Agricultural Technology Extension Station, Beijing 100029, China) (2. Institute of Agri-food Processing and Nutrition, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China) (3. Beijing Key Laboratory of Fruits and Vegetable Storage and Processing, Beijing 100097, China) (4. College of Plant Science and Technology, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China) (5. Key Laboratory of Vegetable Postharvest Processing of Ministry of Agriculture and Rural Areas, Beijing 100097, China)

**Abstract:** The effect of *Trichoderma harzianum* treatment on shelf life qualities of netted melon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Naud.) was evaluated. *Trichoderma harzianum* agent was applied to the root of the netted melon during the planting for 4 times (each time with a dose of 0.1 g/m<sup>2</sup>) with water as the control. The fruits were stored in 10 °C after harvest immediately. The sensory, color, taste, texture, and antioxidant capacity of samples were evaluated at 0, 5, 10 and 15 days of storage. The results showed that the pulp of melons treated by *Trichoderma harzianum* showed the uniform texture with lower fiber content, and the best taste period of fruits was 4 days longer than that of

引文格式:

李婷,王瑞琪,张雪梅,等.哈茨木霉菌剂处理提高网纹甜瓜(*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Naud.)的货架期品质[J].现代食品科技,2022,38(7):160-168,+142

LI Ting, WANG Ruiqi, ZHANG Xuemei, et al. Trichoderma harzianum enhance shelf life qualities of netted melon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Naud.) [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(7): 160-168, +142

收稿日期: 2021-10-20

基金项目: 现代农业产业技术体系资助 (CARS-25); 西甜瓜产业技术体系北京市创新团队项目 (BAIC10-2021); 国家自然科学基金项目 (32172237); 北京市农林科学院协同创新中 (KJGX201915); 国家重点研发计划项目 (2019YFD1001904)

作者简介: 李婷 (1987-), 女, 硕士研究生, 高级农艺师, 研究方向: 设施西瓜甜瓜栽培技术与贮藏加工, E-mail: litingdream@126.com

通讯作者: 张超 (1978-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: zhangchao\_3@163.com

the control, and the soluble solid content and Vc content of fruits increased by 15.20%, and 64.58%, respectively. The ORAC value reached 667.80 ( $\mu\text{mol/L}$ )/100 g, which was 10.05% higher than that of the control. Moreover, *Trichoderma harzianum* treatment increased the hardness of peel by 1.75 times and delayed the softening of pulp which was more convenient for storage and transportation. Therefore, the application of *Trichoderma harzianum* during the planting of the melon improved the shelf-life qualities of the melon.

**Key words:** *Trichoderma harzianum*, melon, shelf life, sensory evaluation, ORAC value

网纹甜瓜 (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Naud.) 属于葫芦科甜瓜属植物, 果实布满致密网纹, 外观美丽; 口感甜糯香甜, 香气浓郁, 被誉为“甜瓜中贵族”, 深受消费者喜爱<sup>[1-3]</sup>。在货架期间, 网纹甜瓜果肉逐渐软化, 出现软糯香甜的特征, 展现出该果实的最佳赏味期, 该时期一般会持续 3~5 d, 随后果实会出现果肉纤维化、汁液渗出现象, 营养品质下降<sup>[4,5]</sup>, 因此, 延长果肉软糯香甜的最佳赏味期成为网纹甜瓜面临的主要问题。

研究者主要通过贮藏保鲜技术延长网纹甜瓜最佳赏味期。研究者发现低温贮藏 (0.50 °C) 可以延缓果实可溶性固形物含量下降、降低果实失重, 并有效维持果实硬度<sup>[6-8]</sup>; 气调贮藏 (3.00% O<sub>2</sub>+1.00% CO<sub>2</sub>) 可以维持果实 Vc 含量, 降低够丙二醛含量, 延长果实货架期<sup>[9,10]</sup>; 1-MCP 处理 (0.50  $\mu\text{L/L}$ ) 可以延缓甜瓜硬度和可滴定酸含量下降<sup>[11,12]</sup>; 使用 1-MCP<sup>+</sup> 杀菌剂联合处理不仅去除甜瓜表面病原微生物, 还降低甜瓜的呼吸速率与乙烯释放速率, 减缓可溶性固形物、可滴定酸含量、Vc 含量下降, 延长果实货架期<sup>[13]</sup>。哈茨木霉菌 (*Trichoderma harzianum*) 是一种通过改善根系微环境, 增强植物长势和抗病能力来提高果实产量和品质的生物防控菌<sup>[14-16]</sup>, 研究显示哈茨木霉菌剂有效维持蓝莓和番茄等果蔬的品质: 在采前喷施哈茨木霉菌剂显著抑制蓝莓果实的软化和腐烂, 延缓果实质地品质的劣变<sup>[17]</sup>; 并保持蓝莓贮藏期的贮藏品质和生物活性<sup>[18]</sup>; 延缓樱桃番茄果实的衰老进程, 保持较高的贮藏品质<sup>[19]</sup>等效果。同时, 哈茨木霉菌已经广泛的应用于农业生产领域, 其安全性已经获得生产的验证<sup>[20]</sup>。因而, 根部追施哈茨木霉菌剂也有望实现甜瓜的品质提升, 延长其最佳赏味期。但是, 哈茨木霉菌剂在维持网纹甜瓜品质方面的研究还鲜有报道。

本研究在网纹甜瓜种植过程中, 对根部施用哈茨木霉菌剂 4 次 (每次 0.1 g/m<sup>2</sup>), 以根部施用清水的处理作为对照组, 比较在 10 °C 下贮藏 15 d 货架期过程中, 果实的感官、颜色、质构、口味和抗氧化能力等品质特征, 以期为延长网纹甜瓜的货架期提供技术支撑。

## 1 材料与与方法

### 1.1 材料与仪器

哈茨木霉 (T22), 广西农保生物工程有限公司; 氢氧化钠、磷酸二氢钾、磷酸氢二钾、草酸、乙二醇四乙酸、钼酸铵、硫酸, 均为分析纯, 北京化工厂; 2,2'-偶氮二异丁基脒二盐酸盐, 西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司; 淀粉含量检测试剂盒, 北京索莱宝科技有限公司; Trolox、Vc、荧光素钠, 北京博奥拓达科技有限公司。

EOS 800D 型数码相机, 日本佳能公司; CM-700D 手持色差仪, 柯尼卡美能达公司; 阿贝折光仪, 广州爱宕科学仪器有限公司; 飞利浦打浆机, 飞利浦公司; ZDJ-5B-D 自动滴定仪, 上海雷磁公司; AL204 电子天平, 瑞士 Mettler Toledo 公司; TA-XT pLus 质构分析仪, 英国 StabLe Micro System 公司; SA402B 电子舌, 日本 INSENT 味觉分析系统; UV-1800 紫外分光光度计, 日本岛津; SpectraMax i3 酶标仪, 美国美谷分子。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 试验设计与分组

试验应用的网纹甜瓜品种为“阿鲁斯”, 设置 2 个处理组: 对照组和哈茨木霉处理组。处理方法: 在北京市通州区选择 2 个相邻的大棚, 每个大棚作为一个处理, 设 3 次重复, 各重复小区面积约 150 m<sup>2</sup>。网纹甜瓜于 2021 年 2 月 5 日定植, 定植的行距 1 m, 株距 0.4 m, 定植后连续施用菌剂两次, 每次的剂量为 0.1 g/m<sup>2</sup>, 具体是将哈茨木霉溶解与水中, 通过灌水施加与植株根部, 施加间隔时间为 7~10 d; 2021 年 4 月 2 日至 4 月 10 日采用熊蜂授粉, 在授粉后第 7 和 25 d, 分别施用菌剂一次, 两个处理的其它田间管理保持一致; 在授粉第 58 d 采收, 采收后立刻运输至北京市农林科学院蔬菜研究中心冷库, 贮藏温度为 10 °C, 湿度 50%, 贮藏 15 d, 每 5 d 取样一次, 每次随机选取 10 个果实评价感官得分、颜色、糖酸含量、电子舌风味、Vc 含量、质构和抗氧化性等品质特征。

#### 1.2.2 指标测定

##### 1.2.2.1 感官得分的评价方法

感官评价小组由 9 名评价员组成。在评价前向感官员介绍评价的目的和评价的标准。评分标准分为四

个方面,包括网纹甜瓜的香气、口感、果肉质地和总体接受度,每个方面采用9分制评分。最终的感官评分值为四个方面得分的平均值,即感官得分=(香气+

口感+果肉质地+总体接受度)÷4。在评价过程中,随机将样品送给评价员,评价员按照表1的评价标准对网纹甜瓜进行评价,工作人员最终计算感官评价得分。

表1 网纹甜瓜感官品质评价标准

Table 1 Sensory quality criteria of melon

评分	香气	口感	果肉质地	总体接受度
8~9分	甜瓜特有的香气,浓郁	甜度较高,多汁	果肉紧实,脆嫩	新鲜
6~7分	具有甜瓜香,味淡	味较甜	果肉较紧实,较脆	较为新鲜
4~5分	风味淡,较为清香	味微甜	果肉较软	一般
2~3分	无香味或风味异常	味淡	果肉软烂	较差
0~1分	无味/异味严重	无味或有异味	腐软	不可接受

### 1.2.2.2 果实颜色的评价方法

果实的颜色采用主观视觉和客观数据两种方式表征。主观视觉采用 Canon EOS600 进行拍照,在拍照过程中使用一致的曝光参数,观察果实的颜色和形态。客观数据采用色差仪测定果肉颜色,测定选择甜瓜切开后的截面的果肉中间部分,随机选取5个点,用手持色差仪读数,记录  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  值。 $\Delta E$  为两个样品对应  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  之差平方和的平方根,用于表示两个样品之间颜色的差异。

### 1.2.2.3 可溶性固形物、可滴定酸、糖酸比和淀粉含量的测定

将果实轴向均分为8瓣,去皮(厚度约0.5 cm),去籽,将1~2瓣果肉用飞利浦打浆机打浆20 s,用两层纱布进行过滤,滤液测定可溶性固形物含量和可滴定酸含量。可溶性固形物含量:在25℃环境下,将手持式糖度计使用蒸馏水调零后,测定滤液的可溶性固形物含量。可滴定酸含量:取滤液3 g,加入57 g水,用(标定过的)0.1 mol/L 氢氧化钠溶液进行电位滴定<sup>[1]</sup>。样品中可滴定酸含量计算参见公式(1)。

$$TA/\% = \frac{C \times V \times K}{M} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$C$ ——标定过的氢氧化钠溶液浓度, mol/L;

$V$ ——滴定时消耗的氢氧化钠标准溶液的体积, mL;

$K$ ——换算以苹果酸克数系数换算, 0.067;

$M$ ——质量, g。

糖酸比:计算甜瓜可溶性固形物含量和可滴定酸含量的比值,即甜瓜样品的糖酸比。

淀粉含量:采用淀粉含量检测试剂盒进行测定,具体步骤根据试剂盒说明书进行。

### 1.2.2.4 电子舌的测定

将果实轴向均分为8瓣,去皮(厚度约0.5 cm),去籽,将1~2瓣果肉用飞利浦打浆机打浆20 s,用两层纱布进行过滤,使用蒸馏水将样品进行稀释,保证

样品的 pH 值在 pH 4~7 之间,可溶性固形物含量为低于5°Brix,然后使用使用电子舌进行检测,检测条件为:传感器清洗时间5 min,样品测试时间30 s,回味测试时间30 s。传感器在刚开始测定时,感应强度会上下波动,测定1~2次后,传感器响应强度趋于稳定,因此每个样品平行测定4~5次,选取后3次的响应强度数据用于后续分析。

### 1.2.2.5 抗坏血酸含量的测定

标准曲线:准确称取抗坏血酸0.0500 g,用草酸-EDTA溶液定容50 mL配成1 mg/mL标准溶液,分别吸取0.2、0.3、0.4、0.5、0.6和0.7 mL的标准溶液于25 mL比色管。然后加入草酸-EDTA,使总体积为5 mL,再加入偏磷酸-乙酸溶液0.5 mL,硫酸1 mL,摇匀后加入2 mL钼酸铵溶液,之后蒸馏水定容25 mL。15 min后705 nm测吸光度,以mg/mL为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制曲线<sup>[21]</sup>。

样品测定:将果实切开后去皮,用飞利浦打浆机对果肉进行打浆20 s,用两层纱布进行过滤,准确称量滤液10 g,用草酸-EDTA溶液定容至25 mL,过滤后,取1 mL于25 mL比色管中,再加入0.5 mL的偏磷酸-乙酸溶液,5%的硫酸1 mL,摇匀后加入2 mL钼酸铵溶液,蒸馏水定容至25 mL。15 min后测定吸光值,根据标曲公式及下式计算样品中Vc含量(见公式2)。

$$Vc / (\text{mg} / \text{g}) = \frac{C \times V_1}{m \times V_2} \quad (2)$$

式中:

$C$ ——测定用样液中还原型抗坏血酸的含量, mg;

$V_1$ ——测定样液体积, mg;

$V_2$ ——样液定容体积, mL;

$m$ ——样品重量, g。

### 1.2.2.6 氧自由基吸收能力的测定

氧自由基吸收能力(Oxygen radical absorbance capacity, ORAC)参考Shi等<sup>[22]</sup>的方法稍作改动。吸

取荧光素钠稀溶液 200  $\mu\text{L}$  于 96 孔板中, 随后加入 0.5 mg/mL 浓度样品溶液 20  $\mu\text{L}$  振荡 5 min, 37  $^{\circ}\text{C}$  温育 10 min 后迅速加入 2,2'-偶氮二异丁基脒二盐酸盐溶液 20  $\mu\text{L}$  启动反应。以激发波长 485 nm, 发射波长 535 nm 进行测定并记录荧光值, 反应过程中每隔 1 min 测定一次荧光值 (记为  $F_n$ )。以测定时间为横坐标, 荧光值为纵坐标绘制甜瓜汁荧光衰退曲线。测定结果以样品相当于 Trolox 的含量表示。荧光衰退曲线下面积可以近似看作各梯形面积之和 AUC, 公式表达为:

$$\text{AUC} = 0.5 \times (f_0 + f_1) \times \Delta t + 0.5 \times (f_1 + f_2) \times \Delta t + \dots + 0.5 \times (f_{n-1} + f_n) \times \Delta t$$

式中:

$f_n$ ——第  $n$  个测定点时的相对荧光强度;

$\Delta t$ ——相邻两个测定点之间的时间间隔。

ORAC 值以 Trolox 当量表达, 其计算参见公式 (3)。

$$\text{ORAC 值} = \frac{\text{AUC}_{\text{Sample}} - \text{AUC}_{\text{AAPH}}}{\text{AUC}_{\text{Trolox}} - \text{AUC}_{\text{AAPH}}} \times \frac{C_{\text{Trolox}}}{C_{\text{Sample}}} \quad (3)$$

式中:

$\text{AUC}_{\text{Sample}}$ ——抗氧化剂作用下的荧光衰退曲线下面积;

$\text{AUC}_{\text{AAPH}}$ ——无抗氧化剂存在时自由基作用的荧光衰退曲线下面积;

$\text{AUC}_{\text{Trolox}}$ ——标准抗氧化剂作用下的荧光衰退曲线下面积;

$C_{\text{Trolox}}$ ——Trolox 的浓度, mg/mL;

$C_{\text{Sample}}$ ——样品浓度, mg/mL。

### 1.2.2.7 质构分析方法

使用 P/100 探头测定果皮硬度; 将完整果实平稳的放在测试台上, 从果实的赤道处下压, 测试前速度 5 mm/s; 测试速度 2 mm/s; 测试后速度 5 mm/s, 形变为 2%, 保持 1 s, 设定最小触发力 10 g, 记录应力变

化规律, 将下压过程中最大应力作为果皮硬度。

使用 P/5 探头测定果肉硬度和脆性指数; 从果实赤道处切下果肉环, 宽度约为 4 cm, 将果肉环均匀的分成 8 块, 分别将每块果肉果皮向下, 平稳的放在测试台上进行压缩试验, 压缩测试前速度 1 mm/s; 测试速度 2 mm/s; 测试后速度 5 mm/s, 形变为 80%, 设定最小触发力 5 g, 记录应力变化规律。果肉硬度: 选取应力变化时间的 25%~75% 部分作为统计区间, 计算统计区间内所有应力的平均值作为果肉硬度; 果肉脆性指数: 统计应力变化大于 10 g 力的峰, 以峰的数量作为果肉脆性指数。

## 1.3 数据统计与分析

样品测定平行三次, 计算平均值和标准偏差, 并以均值 $\pm$ 标准差表示; 采用 SPSS V 25.0 数据分析软件, 单因素方差分析比较组间差异 ( $p < 0.05$ ); 电子舌数据用 SIMCA-P+11 进行主成分分析, 其他图采用 Origin 9.1 绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜感官特性的影响

感官评价直接反映货架期期间果实品质变化情况, 表 2 显示处理组间果实的香气、口感、果肉质地和总体接受度在 15 d 货架期内的变化情况。随着货架期延长, 果实的香气、口感、果肉质地和总体接受度均逐步降低。与对照组相比, 哈茨木霉处理组的口感和果肉质地得分均较高, 果肉的口感绵软, 质地均一; 而香气和总体接受度与对照组接近。

表 2 哈茨木霉处理对网纹甜瓜感官品质的影响

Table 2 Effect of *Trichoderma harzianum* treatment on sensory qualities of melons

处理组	时间/d	香气/分	口感/分	果肉质地/分	总体接受度/分
对照组	0	5.89	5.44	5.44	5.00
	5	5.61	5.11	6.56	5.89
	10	7.00	7.44	6.89	7.39
	15	5.33	5.11	5.22	5.00
哈茨木霉处理	0	5.89	6.56	6.00	6.67
	5	6.33	6.94	6.22	6.67
	10	7.83	8.00	6.61	7.61
	15	5.56	6.44	5.67	4.89

图 1 显示并预测网纹甜瓜感官评价分值的变化趋势。网纹甜瓜的感官评价分值是香气、口感、果肉质地和总体接受度的平均值, 是果实综合特性的表征。

网纹甜瓜的评分在贮藏第 5~10 d 达到最佳, 随后评分迅速降低。若以大于 6.50 分作为果实最佳赏味期, 对照组和哈茨木霉组的最佳赏味期分别为 6.10~11.30 d

和 3.10~12.40 d, 两组最佳赏味期的持续时间分别为 5.20 和 9.30 d, 哈茨木霉组比对照组延长果实最佳赏味期 4.10 d。已有研究显示甜瓜果实在收获后约 7~10 d 出现乙烯释放和呼吸高峰, 同时果肉变软, 产生大量香气, 进入最佳赏味期<sup>[23-25]</sup>, 与本文哈茨木霉组 3.10~12.40 d 的最佳赏味期接近。

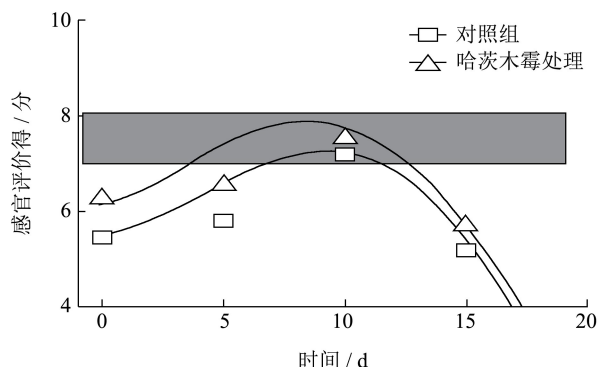


图 1 哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜感官得分的影响

Fig.1 Effect of *Trichoderma harzianum* treatment on sensory score of melons

## 2.2 哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜外观和颜色的影响

图 2 显示哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜果实外观

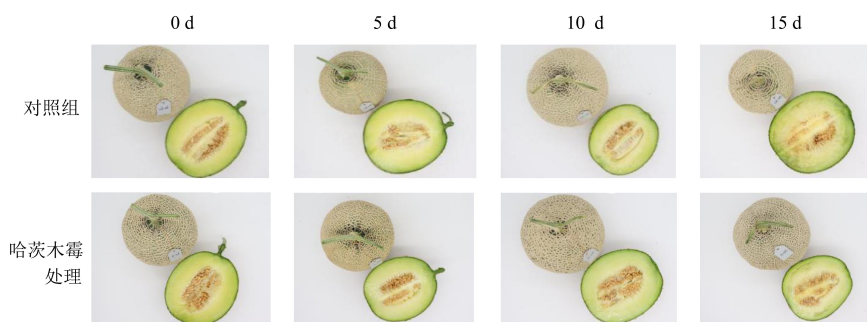


图 2 哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜果实外观的影响

Fig.2 Effect of *Trichoderma harzianum* treatment on appearance of melon

表 3 哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜果肉颜色的影响

Table 3 Effect of *Trichoderma harzianum* treatment on color of melons

处理组	时间/d	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
对照组	0	65.67±3.72 <sup>a*</sup>	-3.15±0.39 <sup>a</sup>	30.90±1.63 <sup>a</sup>	-
	5	64.94±2.81 <sup>a</sup>	-4.35±1.07 <sup>ab</sup>	29.19±1.77 <sup>a</sup>	2.21
	10	63.56±2.68 <sup>a</sup>	-3.88±0.51 <sup>c</sup>	26.27±3.54 <sup>a</sup>	5.13
	15	59.33±6.94 <sup>b</sup>	-3.92±0.72 <sup>d</sup>	21.53±0.89 <sup>b</sup>	11.33
哈茨木霉处理	0	63.44±2.56 <sup>a</sup>	-4.45±0.46 <sup>ab</sup>	29.71±0.86 <sup>a</sup>	-
	5	63.15±4.06 <sup>a</sup>	-4.30±0.38 <sup>c</sup>	26.65±1.83 <sup>a</sup>	0.29
	10	65.15±2.35 <sup>a</sup>	-4.61±0.35 <sup>bc</sup>	27.92±1.55 <sup>a</sup>	2.15
	15	56.85±3.97 <sup>b</sup>	-4.13±0.34 <sup>d</sup>	21.54±2.24 <sup>b</sup>	8.34

注: \*在同一列中, 具有不同的上标字母的数据具有显著性差异 ( $p < 0.05$ )。

的影响。在 15 d 的货架期中, 网纹甜瓜果皮的颜色和网纹未见显著性变化, 果柄萎蔫的现象明显, 但均未出现霉变现象。在货架期 0 d, 果实果肉靠近果皮处为黄绿色, 果心处为淡黄色, 果肉组织紧密, 硬度较高; 随着时间延长, 靠近果皮的绿色加深, 果心处淡黄色变浅, 出现汁液渗出, 果肉的组织疏松。对照组在第 5 d 后, 果肉出现软化和纤维化现象, 在 10 d 后, 果腔汁液渗出明显; 哈茨木霉组果实第 10 d 出现软化和纤维化现象, 在 15 d 后, 失去商品性。与张翠环等<sup>[26]</sup>研究的哈密瓜贮藏期间的生理品质变化规律相似。

表 3 显示网纹甜瓜果肉在货架期期间  $L^*$  值、 $a^*$  值和  $b^*$  值的变化。随着货架期延长, 对照组和哈茨木霉组的  $L^*$  值均下降大约 10%, 第 15 d 的  $L^*$  值与第 0 d 出现显著性差异 ( $p < 0.05$ );  $a^*$  值为 -3.15~-4.61 之间, 果肉颜色呈现浅绿色, 哈茨木霉组的  $a^*$  值的平均值小于对照组, 绿色更加显著;  $b^*$  值呈现下降趋势, 果肉原有的黄色越来越淡; 果肉与新鲜样品的  $\Delta E$  呈现逐渐增大趋势。在 15 d 的货架期中, 对照组的颜色变化较大, 原有的黄色逐渐变淡, 两个处理组第 15 d 的  $b^*$  值与第 0 d 出现显著性差异, 下降大约 30%; 哈茨木霉组在 15 d 的  $\Delta E$  为 8.34, 比对照组降低了 26.40%。因此, 哈茨木霉处理维持果肉原有的黄绿色, 延缓果肉颜色变化。

### 2.3 哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜口味的影响

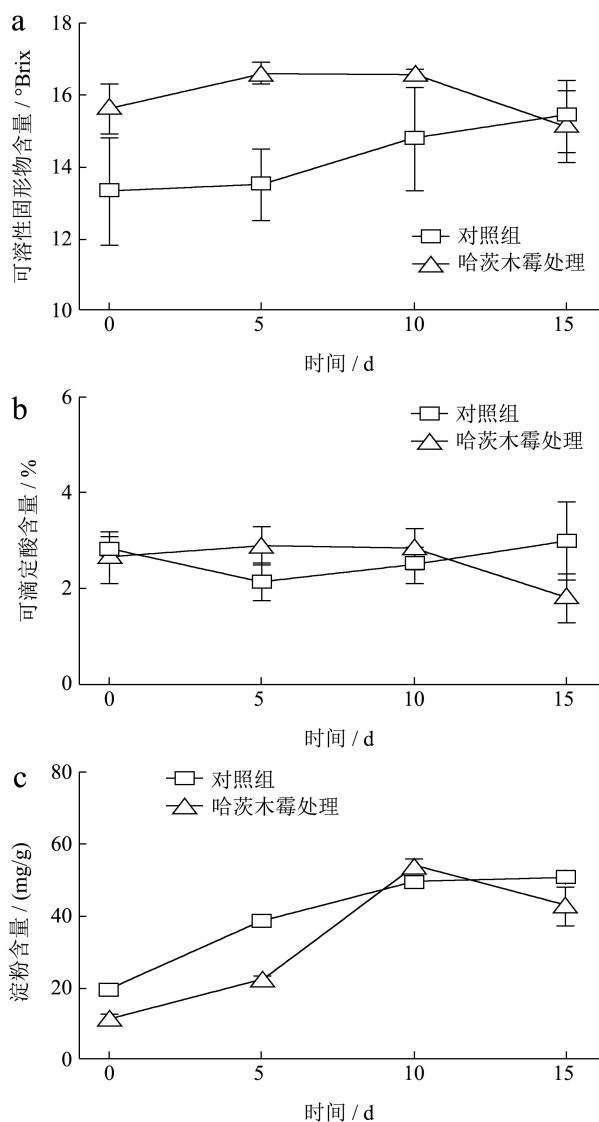


图3 哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜可溶性固形物含量 (a)、可滴定酸含量 (b) 和淀粉含量 (c) 的影响

Fig.3 Effects of *Trichoderma harzianum* treatment on soluble solid content (a), titratable acid content (b) and starch content (c) of melons

网纹甜瓜的口味主要与果实中的糖、酸和金属离子有关, 研究测定可溶性固形物含量、可滴定酸含量和淀粉含量来定量的表征果实的口味, 并进一步采用电子舌比较样品之间口味的差别。图3显示哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜可溶性固形物含量、可滴定酸含量和淀粉含量的影响。哈茨木霉组的可溶性固形物含量在15~16 °Brix, 而对照组呈现上升的趋势, 在货架期5~10 d, 哈茨木霉组的可溶性固形物含量比对照组提高了15.20%, 显著性高于对照组 ( $p < 0.05$ ), 在货架期第15 d与对照组未见显著性差异, 哈茨木霉组提高果实在最佳赏味期的可溶性固形物含量。在15 d的

货架期中, 哈茨木霉组的可滴定酸含量略有降低, 而对照组略有升高。

在15 d的货架期中, 网纹甜瓜的淀粉含量呈上升趋势, 这一结果与Qin等<sup>[27]</sup>结果一致, 淀粉含量的变化因甜瓜品种不同, 参与的糖-淀粉代谢的酶发挥作用不同。对照组淀粉含量由19.30 mg/g升高至50.60 mg/g, 提高2.62倍, 而哈茨木霉组淀粉含量由11.20 mg/g升高至42.50 mg/g, 提高3.77倍; 哈茨木霉组的淀粉含量及其含量提高率均低于对照组。原因可能在于哈茨木霉组中糖分以寡聚糖的形式存在比例较高, 向淀粉转化的速率低, 而对照组以淀粉等长链形式存在比例较高, 寡聚糖向淀粉转化的速率高<sup>[27-29]</sup>; 另一方面, 该结论也证实了哈茨木霉组中可溶性固形物含量高于对照组的结论。因此, 施用哈茨木霉提高网纹甜瓜的可溶性固形物含量。

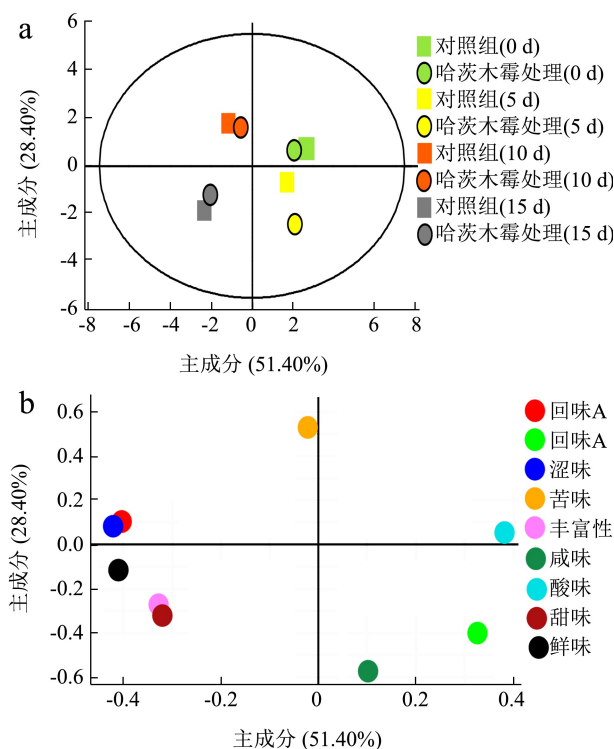


图4 哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜口味差异 (a) 和口味贡献 (b) 的影响

Fig.4 Effect of *Trichoderma harzianum* treatment on taste difference (a) and its contribution (b) of melons

采用电子舌比较哈茨木霉处理对网纹甜瓜酸、涩、苦、咸、鲜、甜、丰富性以及其回味的的影响, 并采用主成分分析的方法比较各样品之间口味的差别。图4显示主成分1和主成分2的方差分别为51.40%和28.40%, 累积方差为79.80%。因此, 主成分1和主成分2可以显示样品口味之间的差异。在15 d的货架期期间, 两个处理组果实的主成分1出现降低趋势, 该结论与感官评价得分的趋势一致, 其中, 哈茨木霉处

理组果实口味的主成分在第 0 和 5 d 略微降低,而在第 10 和 15 d, 逐渐减低, 口味变化十分明显; 在货架期的第 5、10 和 15 d, 哈茨木霉处理组的口味主成分 1 均高于对照组, 可以推测哈茨木霉处理组的口味均优于对照组。

网纹甜瓜口味的贡献可以分为 3 类, 其中, 酸味和回味 B 为对主成分 1 具有主要贡献, 苦味和咸味对主成分 1 贡献较小, 而其它味觉对主成分 1 具有负向贡献。该结论也印证了哈茨木霉处理对可滴定酸含量影响的结果, 随着果实可滴定酸含量降低, 果实的口味有所提高。分析该现象的原因在于网纹甜瓜的主要味觉为甜味, 对照组和哈茨木霉处理组的可溶性固形物含量在 15%~16%, 变化率不大, 而酸味等其它味觉变化率更大, 因而成为影响果实口味的主要因素。

## 2.4 哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜抗氧化能力的影响

力的影响

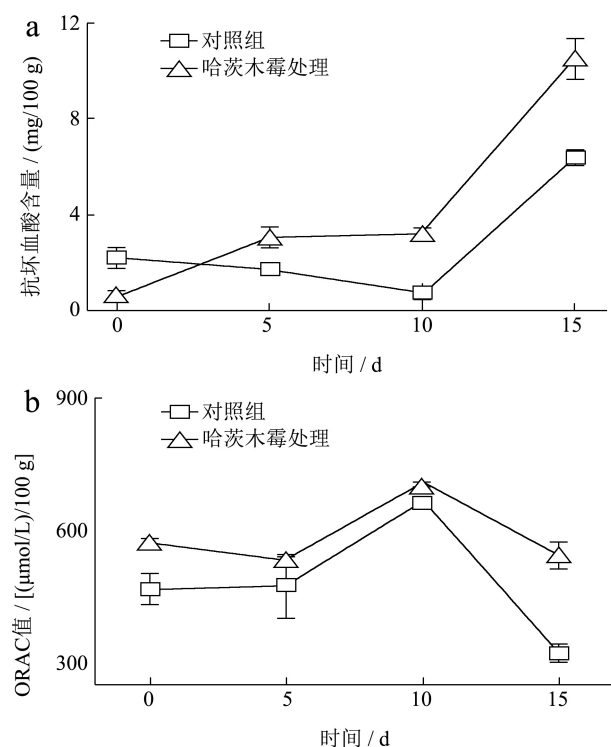


图 5 哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜抗坏血酸含量 (a) 和 ORAC 值 (b) 的影响

Fig.5 Effect of *Trichoderma harzianum* treatment on ascorbic acid content (a) and ORAC value (b) of melons

图 5 显示哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜抗坏血酸含量的影响, 货架期前期, 果实中抗坏血酸含量逐渐提高, 在 10 d 后, 抗坏血酸含量迅速提高。在货架期第 15 d, 对照组和哈茨木霉组的抗坏血酸含量分别为 6.38 和 10.50 mg/100 g, 哈茨木霉组的抗坏血酸含量

为对照组的 1.65 倍。该现象与任国翠等<sup>[30]</sup>研究现象基本保持一致。因此, 哈茨木霉菌剂处理提高网纹甜瓜中抗坏血酸含量。

ORAC 值反映了样品抗氧化的能力。在 15 d 的货架期中, 哈茨木霉组的 ORAC 值均高于对照组, 并且在第 10 d 达到最高, 随后逐渐降低。在第 10 d, 对照组和哈茨木霉组的 ORAC 值分别为 606.80 和 667.80 (μmol/L)/100 g, 哈茨木霉处理组的 ORAC 值比对照组提高了 10.05%。该结果与曹森等研究结论一致, 其研究发现在采前喷施哈茨木霉菌提高蓝莓抗氧化能力<sup>[18]</sup>; 值得注意的是, 在货架期期间果实中抗坏血酸含量逐渐上升, 但 ORAC 值前期逐渐上升, 在 15 d 出现下降现象, 二者变化规律不一致。该现象证实在网纹甜瓜中具有除了抗坏血酸外, 还有其它具有抗氧化能力的组分。因此, 哈茨木霉处理提高果实抗坏血酸含量, 其抗氧化能力在货架期第 10 d 达到最高。

## 2.5 哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜质构的影响

哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜果实质构的影响见图 6。在货架期期间, 果皮硬度逐渐降低, 在货架期第 10 d, 哈茨木霉组果皮的硬度显著性高于对照组, 在第 15 d, 哈茨木霉组果皮的硬度为对照组的 1.75 倍。曹森等<sup>[17]</sup>研究发现采前喷施哈茨木霉菌可以抑制果实软化, 与本文的结果一致; 类似的结果也出现在哈密瓜方面, 王小平等<sup>[31]</sup>研究发现采前杀菌剂处理抑制哈密瓜果肉硬度降低。

网纹甜瓜果肉的硬度随货架期的延长而降低, 对照组的果肉硬度由 6.70 N 降低至 0.86 N, 降低了 87.16%, 而哈茨木霉组的果肉硬度由 6.00 N 降低至 1.24 N, 降低了 79.33%。推测果肉软化可能与果胶、可溶性固形物含量、水分含量等多种因素有关, 张冉冉等<sup>[32]</sup>研究发现硬肉桃果实成熟过程中可溶性糖含量提高, 果肉的硬度降低。

果肉的脆性指数反映果肉的脆度, 指数数值降低显示果肉脆度降低, 糯性增强。网纹甜瓜的果肉脆性指数呈现降低的趋势, 对照组脆性指数在货架期前 5 d 保持稳定, 随后快速降低; 而哈茨木霉处理组果实的脆性指数缓慢降低, 逐渐呈现出果实糯性特征; 在 15 d 的货架期期间, 哈茨木霉组果肉脆性指数低于对照组, 果肉的糯性特征明显。因此, 哈茨木霉处理提高果皮硬度 1.75 倍, 延缓果肉硬度降低, 并提高果肉的糯性。

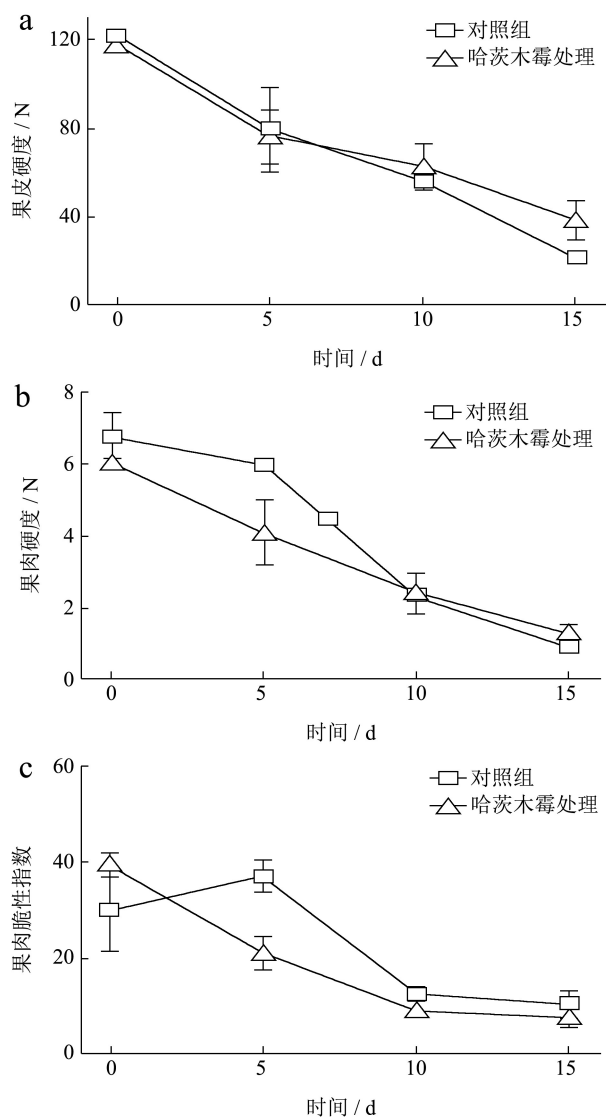


图6 哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜整果皮硬度 (a)、果肉硬度 (b) 和果肉脆性指数 (c) 的影响

Fig.6 Effects of *Trichoderma harzianum* treatment on peel hardness (a), pulp hardness (b) and pulp crispness index (c) of melons

### 3 结论

本研究在种植过程中,对网纹甜瓜根部施用哈茨木霉菌剂4次,在贮藏过程中,评价果实的感官、颜色、糖酸含量、Vc含量和ORAC值等品质特征。结果表明:哈茨木霉处理后果实果肉口感甜糯,质地均一,果实最佳赏味期延长4d;哈茨木霉处理后,果实可溶性固形物含量提高15.20%、Vc含量提高64.58%、ORAC值提高10.05%,抗氧化能力显著性提高;并且哈茨木霉处理使果皮的硬度提高1.75倍,延缓果肉的软化现象,更加便于果实的贮藏和运输。因此,根部追施哈茨木霉菌剂提高网纹甜瓜货架期品质。

### 参考文献

- [1] Yam R S W, Fan Y T, Lin J T, et al. Quality improvement of netted melon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus*) through precise nitrogen and potassium management in a hydroponic system [J]. *Agronomy-Basel*, 2020, 10(6): 816-820
- [2] Troncoso-rojas R, Corral-acosta Y, Sanchez-estrada A, et al. Postharvest treatment of isothiocyanates to control *Alternaria* rot in netted melon [J]. *Phytoparasitica*, 2009, 37(5): 445-451
- [3] Lester G E, Hodges D M. Antioxidants associated with fruit senescence and human health: novel orange-fleshed non-netted honey dew melon genotype comparisons following different seasonal productions and cold storage durations [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 48(3): 347-354
- [4] Sanchez-estrada A, Tiznado-herandez M E, Ojeda-contreras A J, et al. Induction of enzymes and phenolic compounds related to the natural defence response of netted melon fruit by a bio-elicitor [J]. *Journal of Phytopathology*, 2009, 157(1): 24-32
- [5] LESTER G E, Saftner R A, Hodges D M. Market quality attributes of orange-fleshed, non-netted honey dew melon genotypes following different growing seasons and storage temperature durations [J]. *Horttechnology*, 2007, 17(3): 346-352
- [6] 徐畅,李婧,姚军,等.采后甜瓜贮藏保鲜技术研究进展[J].农产品加工,2019,23(11): 83-86,90  
XU Chang, LI Jing, YAO Jun, et al. Research progress on storage and preservation technology of melon [J]. *Agricultural Products Processing*, 2019, 23(11): 83-86, 90
- [7] 杜红凤,单春会,安瑞丽,等.不同温度对哈密瓜采后贮藏品质及生理的影响[J].粮食与油脂,2018,31(10):31-34  
DU Hongfeng, SHAN Chunhui, AN Ruili, et al. Effects of different temperatures on postharvest storage quality and physiology of Hami melon [J]. *Grain and Oil*, 2018, 31(10): 31-34
- [8] 马文平,倪志婧,任贤,等.贮藏温度对果实品质及生理的影响[J].安徽农业科学,2011,39(24):14996-15000  
MA Wenping, NI Zhijing, REN Xian, et al. Effects of storage temperature on fruit quality and physiology [J]. *Anhui Agricultural Science*, 2011, 39(24): 14996-15000
- [9] 张慧杰,纪海鹏,张晓军,等.不同气体配比对哈密瓜采后贮藏品质的影响[J].食品研究与开发,2019,40(15):1-7  
ZHANG Huijie, JI Haipeng, ZHANG Xiaojun, et al. Effects



- of different gas ratios on postharvest storage quality of Hami melon [J]. Food Research and Development, 2019, 40(15): 1-7
- [10] 李萍,车凤斌,胡柏文,等.气调贮藏不同气体比例对哈密瓜 86-1 贮期品质及生理活性的影响[J].新疆农业科学,2010, 47(1):104-109  
LI Ping, CHE Fengbin, HU Bowen, et al. Effects of different gas ratios on storage quality and physiological activity of Hami melon 86-1 during controlled atmosphere storage [J]. Xinjiang Agricultural Science, 2010, 47(1): 104-109
- [11] 张少伟,李桂荣,郭卫丽,等.1-MCP 对‘西州密 25 号’果实硬度、可滴定酸和 SOD 活性的影响[J].中国瓜菜,2017,30(9): 17-20,50  
ZHANG Shaowei, LI Guirong, GUO Weili, et al. Effects of 1-MCP on fruit hardness, titratable acid and SOD activity of 'Xizhoumi 25' [J]. Chinese Melon and Vegetable, 2017, 30(9): 17-20, 50
- [12] 张翠环,耿新丽,张银欢,等.不同 1-MCP 处理对哈密瓜采收后贮藏品质的影响[J].保鲜与加工,2015,15(4):39-42  
ZHANG Cuihuan, GENG Xinli, ZHANG Yinhan, et al. Effects of different 1-MCP Treatments on postharvest storage quality of Hami melon [J]. Preservation and Processing, 2015, 15(4): 39-42
- [13] 苟赏菊,颜敏华,吴小华,等.1-MCP 复合杀菌剂处理对低温贮藏‘金红宝’甜瓜品质的影响[J].甘肃农业大学学报,2020, 55(5):66-72  
GOU Shangju, JIE Minhua, WU Xiaohua, et al. Effect of 1-MCP compound fungicide treatment on the quality of 'Jinhongbao' melon stored at low temperature [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2020, 55(5): 66-72
- [14] Bernal-vicente A, Pascual J A, Tittarelli F, et al. *Trichoderma harzianum* T-78 supplementation of compost stimulates the antioxidant defence system in melon plants [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(11): 2208-2214
- [15] Martinez-medina A, Roldan A, Albacete A, et al. The interaction with arbuscular mycorrhizal fungi or *Trichoderma harzianum* alters the shoot hormonal profile in melon plants [J]. Phytochemistry, 2011, 72(2-3): 223-229
- [16] Martinez-medina A, Roldan A, Pascual J A. Performance of a *Trichoderma harzianum* bentonite-vermiculite formulation against Fusarium wilt in seedling nursery melon plants [J]. Hortscience, 2009, 44(7): 2025-2027
- [17] 曹森,王瑞,吉宁,等.采前喷施哈茨木霉菌对采收后蓝莓质构性能影响[J].食品工业科技,2016,37(20):325-330  
CAO Sen, WANG Rui, JI Ning, et al. Effect of spraying *Trichoderma harzianum* before harvest on texture properties of blueberries [J]. Food Industry Science and Technology, 2016, 37(20): 325-330
- [18] 曹森,王瑞,赵成飞,等.采前喷施哈茨木霉菌对采收后蓝莓贮藏品质及生物活性的影响[J].江苏农业学报,2017,33(2): 424-431  
CAO Sen, WANG Rui, ZHAO Chengfei, et al. Effects of spraying *Trichoderma harzianum* before harvest on storage quality and bioactivity of blueberries [J]. Jiangsu Journal of Agriculture, 2017, 33(2): 424-431
- [19] 曹森,吉宁,马超,等.1-MCP 结合哈茨木霉菌对樱桃番茄贮藏的保鲜效果[J].食品工业科技,2019,40(1):262-268  
CAO Sen, JI Ning, MA Chao, et al. Preservation effect of 1-MCP combined with *Trichoderma harzianum* on cherry tomato storage [J]. Food Industry Science and Technology, 2019, 40(1): 262-268
- [20] 李玲,李俊辉,隋丽娜,等.哈茨木霉 124D 可湿性粉剂的急性毒理研究[J].农药,2021,60(6):420-423,435  
LI Ling, LI Junhui, SUI Lina, et al. Acute toxicological of *Trichoderma harzianum* 124D powder [J]. Pesticide, 2021, 60(6): 420-423, 435
- [21] Hernández-herrero J A, Frutos M J. Influence of rutin and ascorbic acid in colour, plum anthocyanins and antioxidant capacity stability in model juices [J]. Food Chemistry, 2015, 173: 495-500
- [22] Shi Y, Wang J, Wang Y, et al. Inlet temperature affects spray drying quality of watermelon powder [J]. Czech Journal of Food Sciences, 2018, 36(4): 316-323
- [23] Kano C, Carmello Q A D, Cardoso S D, et al. Nutrient uptake by greenhouse net melon [J]. Semin-Cienc Agrar, 2010, 31: 1155-1164
- [24] Vargas P F, Castoldi R, Charlo H C D, et al. Quality of net melon (*Cucumis melo* L.) in function of the culture system [J]. Cienc Agrotec, 2008, 32(1): 137-142
- [25] Monteiro R O C, Coelho R D, De Melo P C T, et al. Net melon performance as affected by the drip irrigation depth and mulching [J]. Horticultura Brasileira, 2008, 26(4): 447-451
- [26] 张翠环,姚军,郑贺云,等.不同包装材料对西州密 25 号哈密瓜贮藏保鲜的影响[J].农产品加工,2020,12:14-16  
ZHANG Cuihuan, YAO Jun, ZHENG Heyun, et al. Effects of different packaging materials on storage and preservation of Xizhoumi No. 25 Hami melon [J]. Agricultural Products Processing, 2020, 12: 14-16