

# 根部追施促生菌剂提高网纹甜瓜的品质

李 婷<sup>1</sup>, 时 月<sup>2</sup>, 陈艳利<sup>1</sup>, 温雪珊<sup>2,3</sup>, 聂 青<sup>1</sup>,  
王瑞琪<sup>2,3</sup>, 曲明山<sup>1</sup>, 赵晓燕<sup>2,4</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. 农业农村部蔬菜采后处理重点实验室 北京 100097)

**摘 要:** 为了研究在植株根部追施促生菌剂对网纹甜瓜品质的影响, 在定植后, 对网纹甜瓜根部分别追施枯草芽孢杆菌、哈茨木霉和链霉菌 4 次, 采收后以根部追施清水的果实作为对照组, 比较果实口味、颜色、外形、质构和抗氧化性能等品质特征。结果显示, 根部追施哈茨木霉处理提高甜瓜大小和甜味的均一性, 提高果实感官评分和中心可溶性固形物含量, 其中心可溶性固形物含量比对照组提高 17.29%; 哈茨木霉处理组果肉硬度为 5~10 N 的比例达到 70.10%, 其果肉品质和均一性显著高于对照组; 哈茨木霉处理同时提高果实的抗氧化性能, 其 ORAC 值(氧自由基吸收能力)比对照组提高 22.53%。因此, 定植后在根部追施哈茨木霉菌剂 4 次, 每次剂量 0.1 g·m<sup>-2</sup>, 可提高网纹甜瓜的品质。

**关键词:** 网纹甜瓜; 促生菌剂; 品质; ORAC 值; 感官评价

**中图分类号:** S652 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-2871(2022)02-012-08

## Root growth promoting microbes improves qualities of netted melon

LI Ting<sup>1</sup>, SHI Yue<sup>2</sup>, CHEN Yanli<sup>1</sup>, WEN Xueshan<sup>2,3</sup>, NIE Qing<sup>1</sup>, WANG Ruiqi<sup>2,3</sup>, QU Mingshan<sup>1</sup>, ZHAO Xiaoyan<sup>2,4</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. Key Laboratory of Vegetable Postharvest Processing of Ministry of Agriculture and Rural Areas, Beijing 100097, China)

**Abstract:** The effects of root growth promoting microbes on qualities of netted melon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Naud.) were studied. *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum*, and *Streptomyces* were applied to the roots of netted melon for 4 times after transplanting. Taste, color, shape, texture, and antioxidant of the treated fruits were compared with those of control. The results showed that *Trichoderma harzianum* improved the uniformity of fruit size and sweetness, increased sensory evaluation score and soluble solid content by 17.29% compared with that of the control. The proportion of pulp hardness of 5-10 N in *Trichoderma harzianum* treatment was the highest, up to 70.10%. The texture and uniformity of pulp were significantly higher than those in the control. The ORAC value of *Trichoderma harzianum* treatment was increased by 22.53% compared with that of the control. Therefore, the root dressing treatment of *Trichoderma harzianum* at 0.1 g·m<sup>-2</sup> for 4 times improved qualities of netted melons.

**Key words:** Muskmelon; Root growth promoting microbes; Quality; ORAC value; Sensory evaluation

网纹甜瓜 (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Naud.) 是葫芦科作物, 原产于非洲, 果实具有香、甜、软肉、肉细、汁多等特点, 深受消费者喜爱。网纹甜瓜生育期较长, 设施连年种植会导致病害多发, 此外对水分、肥料、温度和湿度等田间管理指标要求严格, 栽培技术门槛较高<sup>[1]</sup>, 合理的田间管理成为生

产高品质网纹甜瓜的必要条件。

生物防治技术在提高产品品质和安全性方面具有一定优势。促生菌剂是促进植物生长的微生物, 在植物根部定殖后通过促进植物营养吸收、诱导根表面激素产生或者分泌抗菌物质等来抑制危害性病原体的侵害, 从而影响植物的生长和成

收稿日期: 2021-10-12; 修回日期: 2021-12-09

基金项目: 现代农业产业技术体系(CARS-25); 西甜瓜产业技术体系北京市创新团队项目(BAIC10-2021); 北京市农林科学院协同创新中心(KJCX201915); 国家重点研发计划项目(2019YFD1001904)

作者简介: 李 婷, 女, 高级农艺师, 研究方向为设施西瓜甜瓜栽培技术与贮藏加工。E-mail: litingdream@126.com

通信作者: 张 超, 男, 研究员, 研究方向为农产品贮藏与加工。E-mail: zhangchao@nrcv.org

熟<sup>[2]</sup>。研究显示,促生菌剂在改善土壤环境<sup>[3-4]</sup>、增强作物抗病性<sup>[5-6]</sup>、提高作物产量和提升农产品品质<sup>[7]</sup>等方面均起到良好作用。常用的促生菌剂包括枯草芽孢杆菌、哈茨木霉和链霉菌等。其中,枯草芽孢杆菌是植物微生态环境中优势微生物种群,可以通过营养和空间位点竞争、分泌抗菌物质、发挥溶菌作用和诱导植物抗病性等方面发挥其促生作用<sup>[8]</sup>。研究显示,枯草芽孢杆菌在甜瓜叶面分泌的脂肽类抗生素表面活性素可激活枯草芽孢杆菌 Tas A 蛋白和 EPS 多糖基因的表达,从而形成生物膜成功定殖,保护植物的病斑组织<sup>[9]</sup>。哈茨木霉菌可以有效地防治由镰刀菌、腐霉菌等引起的病害,促进植物根系健康生长,提高植物抗病性和抗逆性<sup>[10]</sup>,在防治黄瓜白粉病、提高黄瓜品质方面效果显著<sup>[11]</sup>。链霉菌促进作物生长、控制病害的作用已经在多种植物中得到验证<sup>[12-14]</sup>。但是,目前还未见施用促生菌剂对网纹甜瓜品质影响方面的报道。

因此,笔者选择枯草芽孢杆菌、哈茨木霉和链霉菌做为促生菌剂,以根部追施清水作为对照组,比较果实的感官得分、口味、外观、质构、维生素 C 含量和抗氧化性等品质特征,以期为提高网纹甜瓜的品质提供技术支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计

试验品种为阿鲁斯网纹甜瓜,试验地点在北京市通州国际种业科技园。试验共设置对照组、枯草芽孢杆菌组、哈茨木霉组和链霉菌组 4 组。根际促生菌剂的使用方法:将各处理安排在 4 个相邻的大棚,每棚作为 1 个处理,设 3 次重复,每个大棚面积约 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,定植后分别连续施用清水、枯草芽孢杆菌、哈茨木霉和链霉菌 2 次,菌剂每次的剂量为 0.1 g·m<sup>-2</sup>,具体是将菌剂溶解于水中,通过灌水施加于植株根部,每次间隔 7~10 d;2021 年 4 月 2 日采用熊蜂授粉,在授粉后 7 d 和 25 d,分别施用清水、枯草芽孢杆菌、哈茨木霉和链霉菌 1 次,

各组其他田间管理保持一致;在授粉后 58 d 采收,采收后立刻运输至实验室,拍照记录果实外观形态,评价产品的感官评分、口味、外观、质构、维生素 C 含量和抗氧化性能等品质特征。

### 1.2 测定方法

1.2.1 材料与仪器 阿鲁斯网纹甜瓜由上海惠和种业有限公司提供;枯草芽孢杆菌(BIOWORKS)由美国拜沃股份有限公司提供,有效活菌数 100 亿·g<sup>-1</sup>;哈茨木霉(T22)01 由广西农保生物工程有限公司提供,有效活菌数 200 亿·g<sup>-1</sup>;链霉菌由河南好美特生物科技有限公司提供,有效活菌数 10 亿·g<sup>-1</sup>。2,2'-偶氮二异丁基脒二盐酸盐由西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司提供;Trolox、维生素 C、荧光素钠由北京博奥拓达科技有限公司提供。Canon EOS600 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)。

1.2.2 感官评价 感官评价小组由 10 名评价员组成。在评价前向感官员介绍评价的目的和评价标准。评分标准分为 4 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,根据将每个感官评价员评分的权重值加和取平均,分别对香气、口感、果肉质地和总体接受度赋予 21.5%、27.1%、20.0%和 31.4%的权重。最终的感官评分值采取加权法计算,即感官评分值=香气×21.5%+口感×27.1%+果肉质地×20%+总体接受度×31.4%。在评价过程中,工作人员随机将样品送给评价员,评价员按照表 1 的评价标准对果实品质进行打分,工作人员根据各项目权重计算获得最终感官评价分值。

1.2.3 口味测定 将果实切开后去皮,用飞利浦打

表 1 网纹甜瓜感官品质评价标准

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,软	新鲜
6~7 分	具有甜瓜香,味淡	味较甜	果肉较紧实,较软	较为新鲜
4~5 分	风味淡,较为清香	味微甜	果肉较软,或偏硬	一般
2~3 分	无香味或风味异常	味淡	果肉软烂,或硬	较差
0~1 分	无味/异味严重	无味或有异味	腐软	不可接受

浆机对果肉进行打浆 20 s,用两层纱布进行过滤,测定滤液 pH 和可溶性固形物含量,使用蒸馏水将样品进行稀释,保证样品的 pH 值为 4~7,可溶性固形物含量低于 5%,然后使用电子舌检测并记录样品的酸味、苦味、涩味、回味 B、回味 A、鲜味、丰富性、咸味和甜味,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。

1.2.4 拍照 用 Canon EOS600 拍照,每个样品拍照采用相同曝光参数,记录果实外观形态。

1.2.5 可溶性固形物含量和可滴定酸含量测定 用手持折光仪分别测定果实中心和边部可溶性固形物含量。取匀浆样品 3.00 g,加入 57.0 g 去离子水,用(标定过的)0.1 mol·L<sup>-1</sup> 氢氧化钠溶液进行电位滴定测定可滴定酸含量。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 为标定过的氢氧化钠溶液浓度(mol·L<sup>-1</sup>);V 为滴定时消耗的氢氧化钠标准溶液的体积(mL);K 为换算以柠檬酸克数系数换算,0.070;m 为质量(g)。

计算甜瓜中心可溶性固形物含量和可滴定酸含量的比值,作为甜瓜样品的糖酸比。

1.2.6 质构分析 (1)果皮硬度:使用 P/100 探头测定,将完整果实平稳地放在测试台上,从果实的赤道处下压,测试前速度 5 mm·s<sup>-1</sup>;测试速度 2 mm·s<sup>-1</sup>;测试后速度 5 mm·s<sup>-1</sup>,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,选择测试过程中最大力数值作为果皮硬度(N)。(2)果肉硬度:使用 P/5 探头进行测定,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,平稳地放在测试台上进行压缩试验,压缩测试前速度 1 mm·s<sup>-1</sup>;测试速度 2 mm·s<sup>-1</sup>;测试后速度 5 mm·s<sup>-1</sup>,形变为 80%,设定最小触发力 5 g,记录应力变化规律。选择下压行程中 25%~75%的区间作为统计区间,计算统计区间内所有应力的平均值作为果肉硬度,果肉硬度的拟合采用对数正态函数拟合。

1.2.7 维生素 C 含量测定 (1)标准曲线:准确称取抗坏血酸 0.050 0 g,用草酸-EDTA 溶液定容 50 mL

配成 1 mg·mL<sup>-1</sup> 标准溶液,分别吸取 0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、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,以质量浓度(mg·mL<sup>-1</sup>)为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制曲线。

(2)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 1.0 mL 于 25.0 mL 比色管中,再加入 0.5 mL 的偏磷酸-乙酸溶液,5%的硫酸 1.0 mL,摇匀后加入 2.0 mL 钼酸铵溶液,蒸馏水定容至 25 mL。15 min 后测定吸光值,根据标准曲线公式及公式(2)计算样品中维生素 C 含量。

$$\text{维生素 C 含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{C \times V_1}{m \times V_2}. \quad (2)$$

式中:C 为测定用样液中还原型维生素 C 的质量(mg);V<sub>1</sub> 为测定样液体积(mL);V<sub>2</sub> 为样液定容体积(mL);m 为样品质量(g)。

1.2.8 ORAC 值的测定 ORAC 值(氧自由基吸收能力)的测定参考 Huang 等<sup>[15]</sup>的方法并稍作改动。吸取荧光素钠稀释液 200 μL 于 96 孔板中,随后加入 0.5 mg·mL<sup>-1</sup> 样品溶液 20 μL 振荡 5 min,37 °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 μL 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<sub>n</sub>)。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,由公式(3)计算可得。

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

式中:f<sub>n</sub> 代表第 n 个测定点时的相对荧光强度,Δt 为相邻 2 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)。

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

式中:AUC<sub>Sample</sub>:抗氧化剂作用下的荧光衰退曲线下面积;AUC<sub>AAPH</sub>:无抗氧化剂存在时自由基作用的荧光衰退曲线下面积;AUC<sub>Trolox</sub>:标准抗氧化剂作用下的荧光衰退曲线下面积;C<sub>Trolox</sub>:Trolox 的质量浓度(mg·mL<sup>-1</sup>);C<sub>Sample</sub>:样品浓度(mg·mL<sup>-1</sup>)。

### 1.3 数据统计与分析

试验样品重复测定3次,结果采用平均值±标准差的方式表示;进行相关性分析和单因素方差分析采用 SPSS 25.0 计算;采用 Origin 9.1 软件制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 根部追施促生菌剂对网纹甜瓜感官品质的影响

感官评价直接反映果实品质和消费者喜好程度。由图1可知,哈茨木霉处理组具有最高的香气评分和较佳的口感,链霉菌处理组果肉质地评分和总体接受度最高,而枯草芽孢杆菌处理组的香气和总体接受度评分最低,均低于对照组。加权评分结果表明,链霉菌和哈茨木霉处理的感官评分均明显高于对照组。因此,链霉菌和哈茨木霉处理提高了网纹甜瓜的感官品质。

### 2.2 根部追施促生菌剂对网纹甜瓜口味的影响

由表2可知,枯草芽孢杆菌组和链霉菌组的各

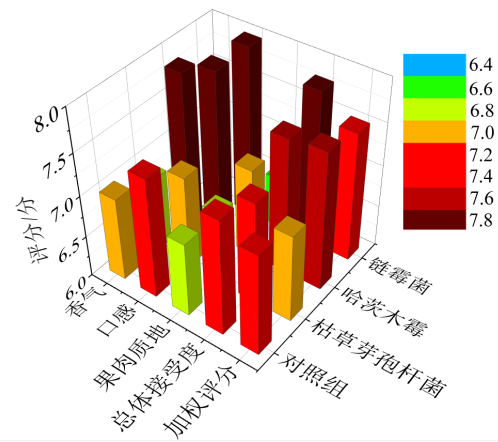


图1 根部追施促生菌剂对网纹甜瓜感官评分的影响

口味与对照组差异显著;而哈茨木霉组的苦味、鲜味和丰富性与对照组相似,酸味、涩味、回味A、回味B、咸味和甜味与对照组差异显著。

进一步分析网纹甜瓜感官品质和口味的相关性,结果发现,加权评分与果实的咸味、鲜味和苦味的相关性分别为0.81、0.59和0.45,咸味成为与加

表2 根部追施促生菌剂处理对网纹甜瓜口味的影响

处理	酸味	苦味	涩味	回味B	回味A	鲜味	丰富性	咸味	甜味
对照组	-50.05±1.86 d	6.81±0.25 a	-0.64±0.15 d	-0.03±0.66 a	-1.16±0.04 c	9.51±0.31 a	-0.86±0.36 b	7.10±0.12 b	-2.42±0.09 c
枯草芽孢杆菌	-34.23±1.17 a	6.39±0.10 b	1.59±0.08 a	-0.78±0.22 c	-0.56±0.06 a	6.96±0.04 b	-0.72±0.15 a	5.71±0.19 c	-1.77±0.07 a
哈茨木霉	-46.36±2.69 c	6.75±0.25 a	0.29±0.13 c	-0.34±0.42 b	-0.95±0.02 b	9.30±0.24 a	-0.84±0.27 b	7.99±0.08 a	-2.06±0.11 b
链霉菌	-42.44±2.34 b	6.56±0.20 b	0.53±0.13 b	-0.37±0.33 b	-0.84±0.04 b	8.50±0.13 b	-0.80±0.20 a	6.78±0.04 c	-2.79±0.05 d

注:同列数字后不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

权评分相关性最强的口味(图2-A);咸味与鲜味、苦味的相关性分别达到0.89、0.86,这也就成为加权评分与果实的咸味、鲜味和苦味相关性较高的原因。在图2-B更加明显地显示出咸味与加权评分具有明显的相关性,而甜味与加权评分没有明显的相关性。

### 2.3 根部追施促生菌剂对网纹甜瓜质量和外观的影响

由图3可知,对照组、枯草芽孢杆菌组、哈茨木霉组和链霉菌组果实的平均质量分别为1.96、2.06、1.92和2.03 kg,数据间未见明显差异。但是,从果实质量分布上可以发现对照组和枯草芽孢杆菌组的果实质量分布广,果实大小均一性差,而哈茨木霉组和链霉菌组果实的均一性更好,其果实质量集中在1.50~2.50 kg。

网纹是网纹甜瓜重要的外观品质特征。由图4可知,各处理组网纹甜瓜均有漂亮的网状裂纹形成,外形美观,具有良好的商品外观;果肉均呈

黄绿色,其中对照组的果肉稍偏黄,其他组果肉偏绿,未见明显差别;哈茨木霉和链霉菌处理组果皮较薄,与对照组相似,而枯草芽孢杆菌组果皮较厚。

### 2.4 根部追施促生菌剂对网纹甜瓜可溶性固形物和可滴定酸含量的影响

由表3可知,促生菌剂处理的果实中心可溶性固形物含量为15.05%~15.60%,组间未见显著性差异,而该数值均显著高于对照组13.30%的中心可溶性固形物含量。其中,枯草芽孢杆菌、哈茨木霉和链霉菌处理组中心可溶性固形物含量分别比对照组提高了15.04%、17.29%和13.16%。与中心可溶性固形物含量趋势类似,促生菌剂处理果实边部可溶性固形物含量为12.40%~13.15%,哈茨木霉组的边部可溶性固形物含量显著高于其他各组,比对照组、枯草芽孢杆菌组和链霉菌组边部可溶性固形物分别提高了23.71%、6.05%和2.33%。从表3可以看出,枯草芽孢杆菌处理组的中边可溶性固形物含

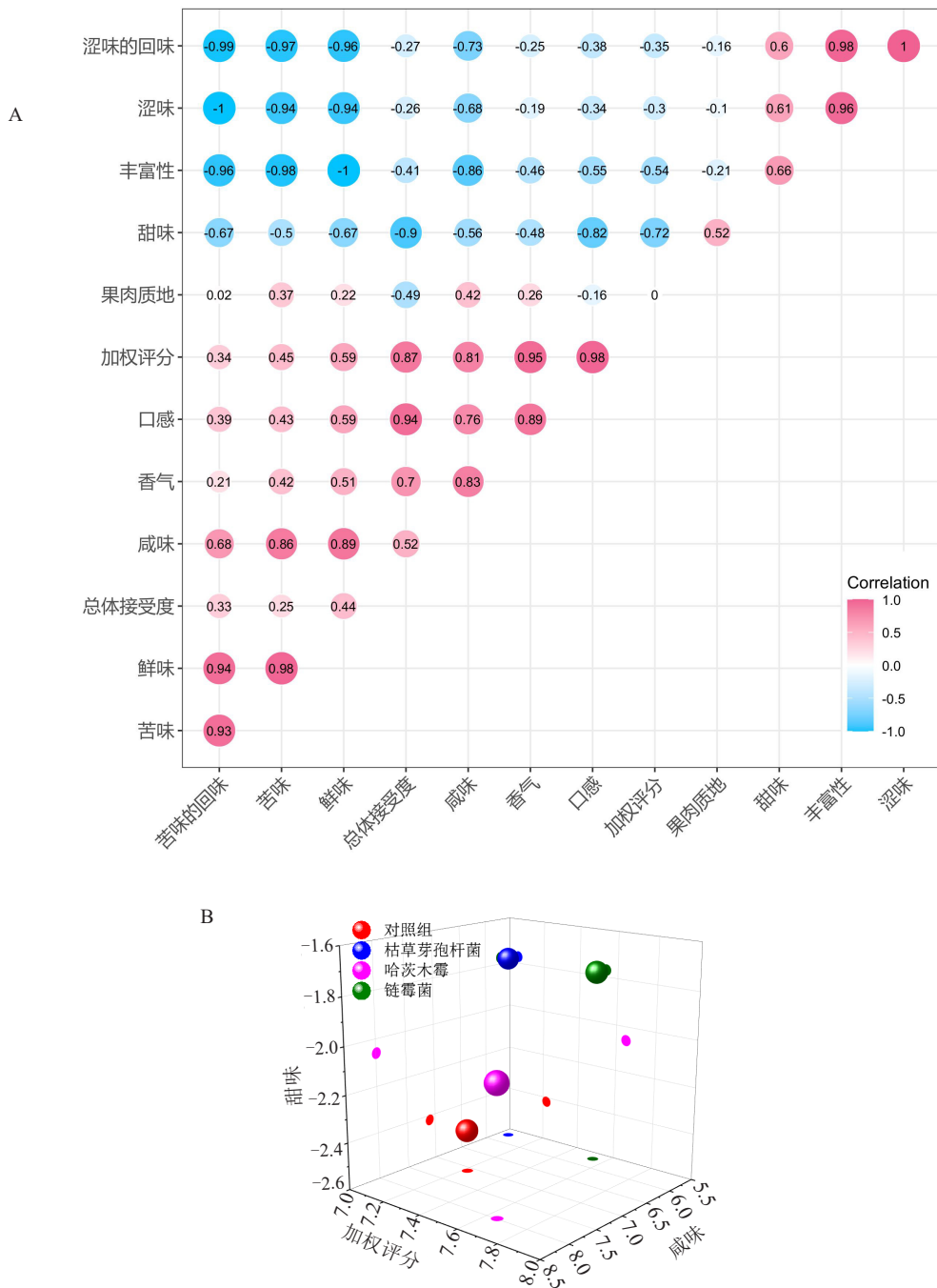


图2 根部追施促生菌剂对网纹甜瓜特性相关性(A)和加权评分、甜味和咸味相关性(B)的影响

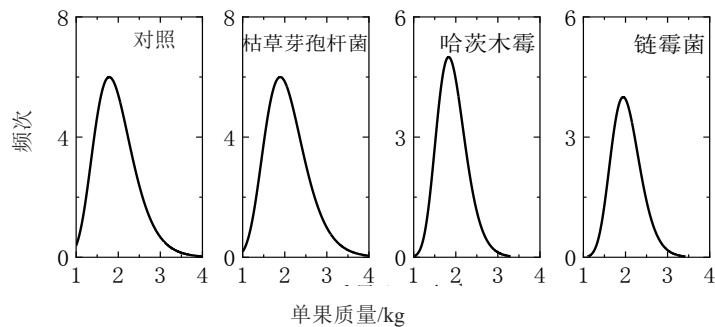


图3 根部追施促生菌剂对网纹甜瓜质量分布的影响



图4 根部追施促生菌剂处理对网纹甜瓜外观的影响

表3 根部追施促生菌剂处理对网纹甜瓜可溶性固形物和可滴定酸含量的影响

组别	w(中心可溶性固形物)/%	w(边部可溶性固形物)/%	中边可溶性固形物含量梯度/百分点	w(可滴定酸)/%
对照	13.30±1.50 b	10.63±0.63 c	2.67±1.64 b	2.82±0.26 a
枯草芽孢杆菌	15.30±1.10 a	12.40±1.32 b	2.90±0.70 a	2.39±0.59 a
哈茨木霉	15.60±0.70 a	13.15±1.30 a	2.45±0.25 c	2.65±0.53 a
链霉菌	15.05±1.15 a	12.85±0.64 b	2.20±0.00 c	2.73±0.15 a

量梯度显著高于对照组,而哈茨木霉和链霉菌处理组的中边可溶性固形物含量梯度显著低于对照组。因此,哈茨木霉和链霉菌处理组果肉可溶性固形物含量分布更加均匀,口感均匀性更好。各处理组可滴定酸含量无显著差异。

糖酸比是影响果实口感和丰富性的重要指标,由图5可以看出,枯草芽孢杆菌组和哈茨木霉组的糖酸比显著高于对照组,而链霉菌组的糖酸比与对照组没有显著差异。

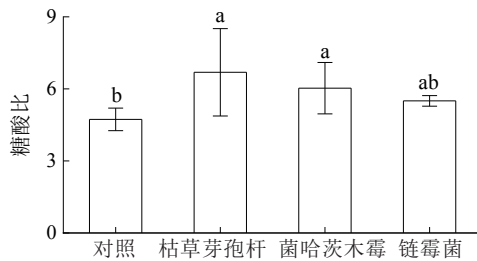


图5 根部追施促生菌剂对网纹甜瓜糖酸比的影响

### 2.5 根部追施促生菌剂对网纹甜瓜硬度的影响

网纹甜瓜果皮硬度与果实贮藏和运输具有密切的关系。由图6-A可以看出,哈茨木霉组果皮硬度与对照组没有显著性差异,但显著高于枯草芽孢杆菌组和链霉菌组,分别提高了24.27%和

23.37%。因此,哈茨木霉处理的网纹甜瓜更利于采后的运输和贮藏,降低果实机械性损伤的概率。

果肉硬度反映了果实的口感,图6-B显示对照组、枯草芽孢杆菌组、哈茨木霉组和链霉菌组的果肉硬度分别为6.70、5.88、6.01、6.07 N,对照组果肉硬度最高,比枯草芽孢杆菌组、哈茨木霉组和链霉菌组分别提高了13.95%、11.48%和10.38%;哈茨木霉组的果肉硬度分布更加集中,果肉的均匀性更好,而对照组和链霉菌组果肉硬度较分散,显示出果肉的均一性较差;果肉硬度在5~10 N之间的口感柔滑,品质更佳,对照组、枯草芽孢杆菌组、哈茨木霉组和链霉菌组中果肉硬度为5~10 N的比例分别为67.30%、66.10%、70.10%和56.10%,哈茨木霉组中果肉硬度为5~10 N的比例更高,品质更佳(图6-C)。因此,哈茨木霉处理更适合贮藏和运输,并且果肉均匀,品质更佳。

### 2.6 根部追施促生菌剂对网纹甜瓜维生素C含量和抗氧化能力的影响

维生素C是网纹甜瓜主要的营养成分,由图7-A可知,枯草芽孢杆菌组和哈茨木霉组的维生素C含量显著低于对照组,而链霉菌组的维生素C含量显著高于对照组。其中,链霉菌组的维生素C含量最高,为2.92 mg·100 g<sup>-1</sup>,分别是对照组、枯草芽

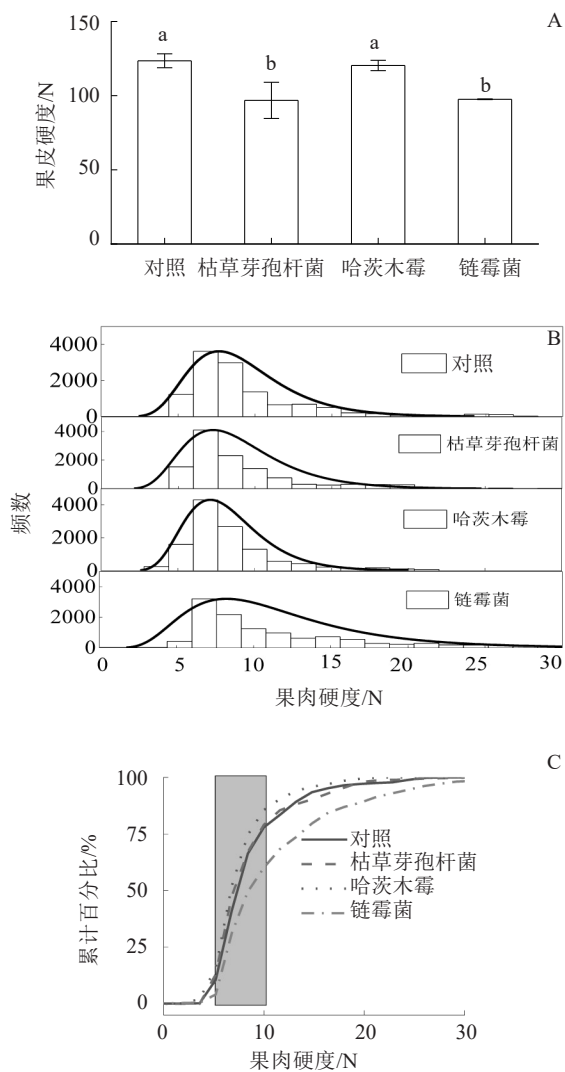


图6 根部追施促生菌剂对网纹甜瓜果皮硬度(A)、果肉硬度分布(B)和分布比例(C)的影响

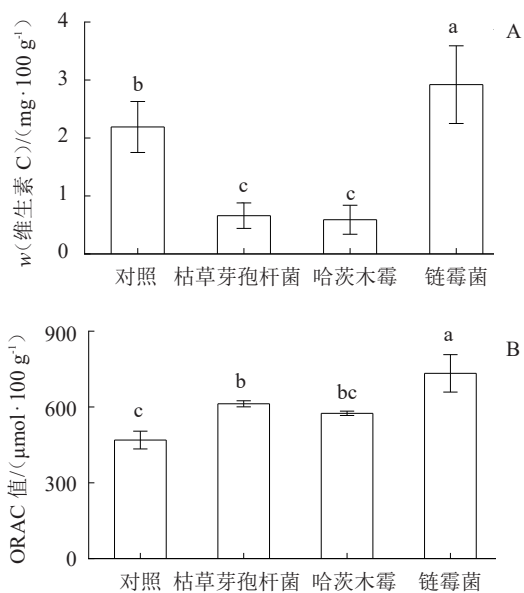


图7 根部追施促生菌剂对网纹甜瓜维生素C含量(A)和ORAC值(B)的影响

孢杆菌组和哈茨木霉组的1.33、4.42和4.95倍。因此,哈茨木霉处理不利于果实维生素C的积累。

从图7-B可以看出,各处理组果实ORAC值均明显高于对照组(469±35.1) μmol·100 g<sup>-1</sup>,其中链霉菌组的ORAC值最高(733±74.0) μmol·100 g<sup>-1</sup>,其次为枯草芽孢杆菌组(612±12.0) μmol·100 g<sup>-1</sup>和哈茨木霉处理组(575±8.55) μmol·100 g<sup>-1</sup>,其分别比对照组提高56.24%、30.56%和22.53%。因此,促生菌剂有利于提高网纹甜瓜的抗氧化能力。

### 3 讨论与结论

网纹甜瓜的口味和质构是影响果实品质的主要因素。在口味方面,一般研究均认为果实口味中的甜味是影响果实口味品质的主要因素,本试验中发现咸味是影响网纹甜瓜口味的主要因素,原因可能在于各处理组间果实的中心可溶性固形物含量无显著性差异,而咸味强度具有显著性差异;另一方面,试验显示咸味与甜味有互作效应,并具有抑制苦味作用,因而,咸味成为影响加权评分的最主要因素。另一方面,糖酸比表征果实口味的丰富性和丰满度,一般糖酸比越大果实口感越丰富<sup>[16-17]</sup>,本试验中枯草芽孢杆菌组和哈茨木霉组果实糖酸比较高,与感官评价中果实口感丰富的结果一致。在质构方面,果肉硬度在5~10 N之间的果实口感柔滑,品质更佳,会受到大多数消费者的认可。哈茨木霉组果肉硬度为5~10 N的比例在各个处理组中最高,品质更佳。相关的研究显示施加微生物菌剂有利于降低甜瓜果实的果皮厚度,果肉更加丰富,提升口感<sup>[7]</sup>,与本试验的结论一致。因此,在根部追施哈茨木霉可强化果实的口味和质构品质特性。

促生菌剂处理对果实可溶性固形物含量具有显著性影响,哈茨木霉组的边部可溶性固形物含量显著高于其他各组。并且已有研究结果显示西瓜可溶性固形物含量与哈茨木霉菌剂用量呈正相关<sup>[18]</sup>,充分证明网纹甜瓜可溶性固形物含量与哈茨木霉处理关系密切。本研究发现果肉中边可溶性固形物含量梯度在2.20~2.90个百分点,与优质网纹甜瓜中边可溶性固形物含量梯度在2.0~3.5个百分点的结果保持一致<sup>[19]</sup>。

网纹甜瓜抗氧化性能与维生素C含量、酚类物质含量等多种因素有关。研究显示各处理组果实中维生素C含量在0.62~2.92 mg·100 g<sup>-1</sup>之间,与苹果(1.02 mg·100 g<sup>-1</sup>)和梨(0.20 mg·100 g<sup>-1</sup>)<sup>[20]</sup>相近,但显著性高于一般厚皮甜瓜(0.02~0.08 mg·100 g<sup>-1</sup>)<sup>[21]</sup>,该

现象可能与甜瓜品种、栽培方式和采后处理条件等有关。其 ORAC 值在 469~733  $\mu\text{mol}\cdot 100\text{g}^{-1}$ , 该结果高于报道的哈密瓜(423~475  $\mu\text{mol}\cdot 100\text{g}^{-1}$ )、西瓜(187~550  $\mu\text{mol}\cdot 100\text{g}^{-1}$ )、葡萄(388  $\mu\text{mol}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ), 低于猕猴桃的 ORAC 值(771  $\mu\text{mol}\cdot 100\text{g}^{-1}$ )<sup>[22-23]</sup>。因此, 网纹甜瓜的抗氧化能力高于哈密瓜、西瓜和葡萄, 略低于猕猴桃, 具有较强的抗氧化能力, 并且根部追施促生菌剂能进一步提高网纹甜瓜的抗氧化性能。

研究结果显示, 在根部追施哈茨木霉后, 果实大小均一性、感官评分和中心可溶性固形物含量显著提高, 其中心可溶性固形物含量比对照组提高 17.29%; 果肉品质和均一性显著高于对照组; 同时, 哈茨木霉根部追施处理提高果实抗氧化性能, 其 ORAC 值比对照组提高 22.53%。因此, 哈茨木霉根部追施处理可提高网纹甜瓜的品质。

### 参考文献

- [1] 张容, 曹艺, 尹欢, 等. 上海精品网纹瓜的推广实践与思考[J]. 上海蔬菜, 2017(5): 71-73.
- [2] WU Z S, HUANG Y Y, LI Y, et al. Biocontrol of rhizoctonia solani via induction of the defense mechanism and antimicrobial compounds produced by bacillus subtilis SL-44 on pepper (*Cap-sicum annuum* L. ) [J]. Frontiers in Microbiology, 2019, 10: 2676.
- [3] QI Y Q, LIU H L, WANG J H, et al. Effects of different straw biochar combined with microbial inoculants on soil environment in pot experiment[J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 14685.
- [4] 李晶晶, 刘聪, 王鑫鑫, 等. 微生物菌剂对青椒生长品质和土壤养分状况的影响[J]. 北方园艺, 2021(13): 1-10.
- [5] 史伟杰, 张博超, 高华山, 等. 微生物菌剂对张家口坝上结球生菜生长的影响[J]. 蔬菜, 2020(10): 23-26.
- [6] 贾倩. 微生物菌剂在辣椒、番茄、黄瓜上的应用研究[J]. 农业科技与装备, 2018(3): 9-11.
- [7] 刘聪, 谯江兰, 仝少杰, 等. 微生物菌剂对设施甜瓜产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(19): 168-171.
- [8] 陈志谊. 芽孢杆菌类生物杀菌剂的研发与应用[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(5): 723-732.
- [9] HANSEN H, BJELLAND A M, RONSEN M, et al. *LitR* is a repressor of *syp* genes and has a temperature-sensitive regulatory effect on biofilm formation and colony morphology in *Vibrio* (*Aliivibrio*) *salmonicida* [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2014, 80(17): 5530-5541.
- [10] 刘丽萍. 新型土传病害防治菌剂: 特锐菌[J]. 中国花卉园艺, 2011(14): 37.
- [11] 赵柏霞, 闫建芳, 刘秋, 等. 黄瓜根际土壤细菌群落的 16S rDNA-PCR-DGGE 分析[J]. 中国蔬菜, 2015(12): 33-37.
- [12] HAN D D, WANG L Y, LUO Y P. Isolation, identification, and the growth promoting effects of two antagonistic actinomycete strains from the rhizosphere of *Mikania micrantha* Kunth [J]. Microbiol Research, 2018, 208: 1-11.
- [13] 李培谦, 冯宝珍, 李新秀, 等. 番茄灰霉菌拮抗放线菌 LA-5 的筛选及鉴定[J]. 应用生态学报, 2018, 29(12): 4127-4180.
- [14] 李晓芳, 田叶韩, 彭海莹, 等. 防治苦瓜枯萎病的拮抗放线菌分离筛选及鉴定[J]. 应用生态学报, 2020, 31(11): 3869-3879.
- [15] HUANG D J, OU B X, HAMPSCHE WOODILL M, et al. High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50 (16) : 4437-4444.
- [16] 李宝江, 林桂荣, 崔宽. 苹果糖酸含量与果实品质的关系[J]. 沈阳农业大学学报, 1994, 25(3): 279-283.
- [17] 焦晋华, 薛晓芳, 任海燕, 等. 影响枣果实风味品质的指标分析 [J]. 安徽农业科学, 2021, 49(3): 205-208.
- [18] 周池卉, 顾建芹, 顾艾节. 哈茨木霉菌剂在西瓜上的应用效果初探[J]. 上海农业科技, 2018(4): 80-81.
- [19] 李婷, 胡潇怡, 李金萍, 等. 微生物菌剂在深网网纹甜瓜上的应用效果比较[J]. 中国农学通报, 2020, 36(25): 45-52.
- [20] 杨诗谣, 李美英, 宋正蕊. 不同蔬菜水果中维生素 C(VC)含量检测分析[J]. 中国检验检疫, 2020, 28(2): 38-39.
- [21] 潜宗伟, 唐晓伟, 吴震, 等. 甜瓜不同品种类型芳香物质和营养品质的比较分析[J]. 中国农学通报, 2009, 25(12): 165-171.
- [22] MORALES-SOTO A, GARCIA-SALAS P, RODRIGUEZ-PEREZ C, et al. Antioxidant capacity of 44 cultivars of fruits and vegetables grown in Andalusia (Spain) [J]. Food Research International, 2014, 58: 35-46.
- [23] TAKEBAYASHI J, OKI T, WATANABE J, et al. Hydrophilic antioxidant capacities of vegetables and fruits commonly consumed in Japan and estimated average daily intake of hydrophilic antioxidants from these foods [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2013, 29(1): 25-31.