

# 水杨酸和低温复合处理对韭黄品质的影响

冯星星<sup>1</sup>, 仲念<sup>1</sup>, 万鹏<sup>1</sup>, 罗壮<sup>1</sup>, 曹修春<sup>2</sup>, 董玉玮<sup>1\*</sup>

(1. 徐州工程学院食品与生物工程学院, 徐州 221018; 2. 徐州山崎农产品技术研发有限公司, 徐州 221700)

**摘要:** **目的** 研究水杨酸(salicylic acid, SA)和低温复合保鲜对韭黄(*Allium tuberosum*)品质的影响。**方法** 在 SA 和低温复合保鲜下, 检测韭黄中蛋白质、维生素 C (vitamin C, VC)、水分、持水力、总酸的含量, 对韭黄中过氧化物酶(peroxidase, POD)酶活、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)酶活、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量、过氧化氢酶(hydrogen peroxide, CAT)酶活进行测定。用 TMS-Touch 质构仪检测韭黄的嫩度、硬度等变化情况。**结果** 经过 SA 和低温复合处理的韭黄, 蛋白质含量在第 14 d 最高, 第 28 d 降低至 21.99 mg/100 g; VC 含量一直下降, 最终下降至 15.07 mg/100 g; 水分在第 21 d 上升到最高, 为 92.66%; 持水力在第 28 d 增加到了 78%; 总酸含量一直升高, 最终达到 6.57 g/kg; POD 酶活在第 7 d 上升至 2105.36 U/g, 第 28 d 降低至 464.52 U/g; SOD 酶活在第 7 d 达到 76.53 U/g, 第 28 d 降至 61.24 U/g; MDA 含量增加至 8.55 mmol/gFW; CAT 酶活下降至 2.77 U/mg·prot; 第 28 d 韭黄的硬度为 24.28 N, 嫩度为 19.76 N/cm。**结论** SA 和低温复合保鲜能有效保持韭黄的贮藏品质, 对韭黄采收后的保鲜具有较好的参考价值。

**关键词:** 韭黄; 水杨酸; 营养物质; 保鲜; 品质

## Effects of salicylic acid and low temperature treatment on qualities of *Allium tuberosum*

FENG Xing-Xing<sup>1</sup>, ZHONG Nian<sup>1</sup>, WAN Peng<sup>1</sup>, LUO Zhuang<sup>1</sup>,  
CAO Xiu-Chun<sup>2</sup>, DONG Yu-Wei<sup>1\*</sup>

(1. School of Food and Bioengineering, Xuzhou University of Engineering, Xuzhou 221018, China; 2. Xuzhou Shanqi Agricultural Product Technology Research and Development Co., Ltd., Xuzhou 221700, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the effects of salicylic acid (SA) and low temperature compound preservation on the quality of *Allium tuberosum*. **Methods** Under the compound preservation of SA and low temperature, the content of protein, vitamin C (VC), moisture content, water holding capacity, total acid of *Allium tuberosum* were detected. The peroxidase (POD) enzyme activity, superoxide dismutase (SOD) enzyme activity, malondialdehyde (MDA) content, hydrogen peroxide (CAT) enzyme activity were detected. The changes of tenderness and hardness of *Allium tuberosum* were analyzed by TMS-Touch instrument. **Results** During 28 days of storage for SA and low temperature compound preservation of *Allium tuberosum*, the protein content was highest on the 14th day; and decreased to 21.99 mg/100 g on the 28th day, the VC content decreased all the time, reached 15.07 mg/100 g finally; the moisture increased on the 21th day, up to 92.66%; the water holding capacity reached 78% on the 28th day; the

基金项目: 江苏省科技计划项目—苏北科技专项(XZ-SZ202103)

Fund: Supported by the Jiangsu Province Science and Technology Program Project-North Jiangsu Science and Technology Special Project (XZ-SZ202103)

\*通信作者: 董玉玮, 博士, 教授, 主要研究方向为食品生物技术。E-mail: dongyuwei66@163.com

\*Corresponding author: DONG Yu-Wei, Ph.D, Professor, School of Food and Bioengineering, Xuzhou University of Engineering, Xuzhou 221018, China. E-mail: dongyuwei66@163.com

total acid content increased all the time, and reached 6.57 g/kg finally; the POD enzyme activity increased 2105.36 U/g on the 7th day, and then decreased to 464.52 U/g on the 28th day; SOD enzyme activity reached 76.53 U/g on the 7th day and decreased to 61.24 U/g on the 28th day; MDA content increased to 8.55 mmol/gFW; CAT enzyme activity decreased to 2.77 U/mg·prot; hardness was 24.28 N and tenderness was 19.76 N/cm on the 28th day. **Conclusion** SA and low-temperature preservation treatments can maintain the quality of *Allium tuberosum* effectively, which is a good reference value for maintain the quality of *Allium tuberosum* after harvest.

**KEY WORDS:** *Allium tuberosum*; salicylic acid; nutrients; preservation; quality

## 0 引言

韭黄(*Allium tuberosum*)是韭菜的宿根经过软化栽培后黄化生产的一种产品, 具有较高的营养价值和经济价值, 是一种高档的保健蔬菜<sup>[1]</sup>, 主要营养物质包括蛋白质、矿物质、维生素 B<sub>2</sub>、膳食纤维等<sup>[2-3]</sup>。韭黄能够辅助治疗便秘, 预防肺癌, 是消费者喜欢的蔬菜<sup>[4]</sup>。由于韭黄叶片组织脆嫩, 含水量高, 采后容易损伤, 失水萎焉和腐烂, 营养成分快速流失, 常温下只能保存 1~3 d<sup>[5]</sup>, 因此需要有效的方法对韭黄进行保鲜, 从而延长韭黄的食用期。韭黄保鲜常用的方法主要有物理保鲜<sup>[6-7]</sup>、化学保鲜<sup>[8]</sup>、生物保鲜<sup>[9]</sup>。研究表明单一的保鲜方法不能使韭黄长期保存。目前, 复合保鲜的方法在韭黄中的应用鲜有报道。

低温和生长调节剂复合保鲜法有很好的优势, 低温贮藏能够利用低温条件减缓或抑制反应进程<sup>[10]</sup>, 生长调节剂通过与植物激素受体结合, 影响基因的表达和蛋白质的合成, 从而调节植物的生长发育。目前, 生长调节剂中最常用的为 SA, SA 不仅能够影响植物生长发育, 适量浓度的 SA 能够抑制乙烯合成, 延缓果蔬成熟, 保持果蔬的色泽、品质和风味<sup>[11-13]</sup>。

本研究将低温与 SA 结合应用于韭黄保鲜, 探讨低温与 SA 复合处理对韭黄的保鲜作用, 以期有效延长韭黄贮藏期, 保持韭黄品质复合保鲜剂的开发和应用提供基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

韭黄(*Allium tuberosum*)是由徐州山崎农产品有限公司提供。

石英砂、碳酸钙、草酸(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 白陶土、2,6-二氯酚、氢氧化钠、牛血清蛋白、考马斯亮蓝(分析纯, 江苏佰耀生物科技有限公司); 四氯化碳、酚酞、硫酸铜、磷酸氢钠、磷酸氢钾(分析纯, 南京晚晴化玻仪器有限公司); 过氧化氢酶(hydrogen peroxide, CAT)检测试剂盒、丙二醛(malondialdehyde, MDA)检测试剂盒、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)检测试剂盒、过氧化物酶(peroxide, POD)检测试剂盒(南京建成生

物工程研究所)。

### 1.2 仪器与设备

754-紫外可见分光光度计(上海精密仪器有限公司); iMark 多功能酶标仪(美国 BIO-RAD 伯乐公司); FA2104N 电子天平(0.1 mg, 上海精密科学仪器有限公司); HH-4 数显恒温水浴锅(国华电器有限公司); TMS-Touch 质构仪(美国 FTC 公司); GXZ-DH 电热恒温干燥箱(上海跃进医疗器械厂); TDZ4 台式低速离心机(湖南赫西仪器装备有限公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 韭黄预处理

取韭黄新鲜部分, 洗净、晾干, 水温 55°C 漂烫 50 s, 接着放置在 1000 mg/L 的水杨酸溶液中冷却至 25°C 以下时捞出、晾干, 最后用保鲜袋包裹, 在 -20°C 冷藏, 每隔 7 d 测一次数据。

#### 1.3.2 蛋白质测定

用考马斯亮蓝(Bradford)法<sup>[14]</sup>测定。配制 0.01 mg/mL 标准蛋白溶液, 分别取 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 于试管中, 蒸馏水补足至 1 mL。在每个试管中加入 5 mL 0.01% 考马斯亮蓝溶液, 混匀静置 5 min, 于 595 nm 下测定吸光度。以蛋白质浓度(X, mg/100 g)为横坐标, 吸光度为纵坐标(Y), 绘制标准曲线, 计算得到回归方程为  $Y=0.7537X+0.0008$ ,  $r^2=0.9993$ 。按上述方法, 取 100  $\mu$ L 样品测得吸光度值, 经回归方程计算得样品蛋白质浓度。

#### 1.3.3 维生素 C 测定

采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法<sup>[15]</sup>测定。取 30 g 韭黄, 加入 150 mL 2% 的草酸溶液, 研磨成浆液。量取 50 mL 匀浆液加入 100 mL 容量瓶中, 用 1% 草酸溶液定容至刻度, 加入白陶土脱色、过滤, 弃最初 10 mL 滤液, 再吸取 10 mL 滤液放入 50 mL 锥形瓶中, 用标定过的 2,6-二氯酚靛酚溶液滴定至溶液变成粉红色且 15 s 内不褪色即为滴定终点。维生素 C (vitamin C, VC) 的计算公式如式(1):

$$X=(V-V_0)/WT \times 100 \quad (1)$$

式中, X 为每 100 g 韭黄中抗坏血酸的含量毫克数, mg/100 g; V 为滴定样液所消耗溶液体积, mL; V<sub>0</sub> 为滴定空白消耗溶液体积, mL; T 为单位溶液对应 VC 标准溶液的含量, mg/mL; W 为滴定过程中取用的滤液中所含样品的质量, g。

### 1.3.4 水分测定

用直接干燥法测定<sup>[16]</sup>。称取一定量的鲜韭黄,记录其重量,放入烘干箱内烘干,取出后称量其干重,用鲜重减去干重即得韭黄中所含水分重量。

### 1.3.5 持水力测定

用离心分离质量法检测<sup>[17]</sup>。取一定量韭黄放入 50 目铜网,制成帽状的铜网放入离心管中,4000 r/min 离心 10 min 后称重,比较离心前后韭黄样品的质量从而计算出持水力的大小。

### 1.3.6 总酸测定

用酸碱滴定法测定<sup>[18]</sup>。取一定量韭黄加水研磨获得试液。取 25 mL 试液与 40 mL 蒸馏水倒入 250 mL 锥形瓶中加入 0.2 mL 1% 酚酞指示剂,用 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液滴定,滴定至溶液呈微红色且 30 s 不褪色,即为滴定终点。总酸含量计算公式如式(2):

$$\text{总酸}/(\text{g}/\text{kg})=c \times (V_1 - V_2) \times K \times F \times 1000/m \quad (2)$$

式中,  $c$  表示 NaOH 标准液的浓度, mol/L;  $V_1$  表示滴定样品试液时消耗 NaOH 标准液的体积, mL;  $V_2$  表示滴定空白试液时消耗 NaOH 标准液的体积, mL;  $F$  表示试液稀释倍数;  $K$  表示酸的换算系数;  $m$  表示样品的质量, g。

### 1.3.7 POD 酶活

用 POD 试剂盒测定<sup>[19]</sup>。取韭黄 10 g, 放入研钵, 加入 10 mL, pH 7.0, 浓度为 0.1 mol/L 的磷酸盐缓冲液和微量石英砂在冰水浴条件下研磨, 再加入 40 mL 浓度为 0.05 mol/L, pH 6.8 的磷酸盐缓冲液, 溶出过氧化物酶, 过滤, 在滤液中加入活性炭脱色, 得 POD 提取液。POD 酶活通过测量 3 mL 反应混合液活性得到, 在 430 nm 测量其吸光度。POD 酶活的计算公式如式(3):

$$\text{POD 酶活} = D_2 \times dA / (0.001 \times F_{W1} \times dt) \quad (3)$$

注: 37°C 条件下, 每克组织蛋白每 min 催化 1  $\mu\text{g}$  底物的酶量定义为 1 个酶活力单位(U)。

式中,  $D_2$  表示韭黄提取酶液的稀释倍数;  $F_{W1}$  表示韭黄的鲜重, g;  $A$  表示 430 nm 下的吸光度变化;  $t$  表示吸光度变化所需的时间, min。

### 1.3.8 SOD 酶活测定

用 SOD 试剂盒测定<sup>[20]</sup>, 先制备待测液, 取 5 g 韭黄样品, 按重量(g):体积(mL)=1:9 加入浓度为 0.1 mol/L, pH 为 7.4 的磷酸缓冲液, 研磨制备匀浆液, 3500 r/min 离心 10 min, 取上清。于 96 孔板上, 选取对照孔、对照空白孔、测定孔、测定空白孔等 4 个孔, 同时在对照孔和对照空白孔中加入 20  $\mu\text{L}$  蒸馏水, 在测定孔和测定空白孔中加入 20  $\mu\text{L}$  待测样本。同时在 1、3 孔中添加 20  $\mu\text{L}$  的酶工作液, 并于 2、4 孔中添加 20  $\mu\text{L}$  的酶稀释液, 最后在全部孔中均添加 20  $\mu\text{L}$  的底物应用液, 充分混合均匀后, 在 37°C 的温度条件下持续孵育长达 20 min, 用酶标仪在 450 nm 处读数。

用 SOD 试剂盒进行测定。先制备待测液, 然后于 96 孔微孔板上, 选取对照孔、对照空白孔、测定孔、测定空

白孔 4 个孔, 接着按照试剂盒要求进行加样, 最后在 37°C 的温度条件下持续孵育长达 20 min, 用酶标仪在 450 nm 处读数。SOD 酶活计算公式如式(4)、(5):

$$\text{SOD 抑制率}/\% = 1 - (A_3 - A_4) / (A_1 - A_2) \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{SOD 酶活}/(\text{U}/\text{mg} \cdot \text{prot}) = \text{SOD 抑制率}/50\% \times 0.24 \text{ mL}/0.02 \text{ mL} \times \text{待测样本蛋白浓度} \quad (5)$$

注: 每 g 组织在 1 mL 反应液中 SOD 抑制率达 50% 时所对应的 SOD 量为 1 个 SOD 酶活力单位(U)。

式中,  $A_1$  为对照孔吸光度值;  $A_2$  为对照空白孔吸光度值;  $A_3$  为测定孔吸光度值;  $A_4$  测定空白孔吸光度值。

### 1.3.9 MDA 测定

用 MDA 试剂盒测定<sup>[21]</sup>。选取标签为空白、标准、测定和对照的 4 根试管, 空白管加 0.1 mL 无水乙醇, 标准管加 0.1 mL 10 mol/L 标准品, 测定管和对照管分别加 0.1 mL 样品。之后按照试剂盒添加所需试剂。接着在 95°C 下水浴 40 min 后, 3500~4000 r/min 离心 10 min, 得到上清液。最后在 532 nm 处测定吸光度值。MDA 含量计算公式如式(6):

$$\text{MDA 含量}/(\text{mmol}/\text{mg} \cdot \text{prot}) = (\text{OD}_1 - \text{OD}_2) / (\text{OD}_3 - \text{OD}_4) \times \text{标准品浓度}/\text{待测样品蛋白浓度} \quad (6)$$

式中,  $\text{OD}_1$  表示测定管吸光度值;  $\text{OD}_2$  表示对照管吸光度值;  $\text{OD}_3$  表示标准管吸光度值;  $\text{OD}_4$  表示空白管吸光度值。

### 1.3.10 CAT 酶活测定

用 CAT 试剂盒测定<sup>[22]</sup>。取 5 g 韭黄样品, 按重量(g):体积(mL)=1:9 的比例加入磷酸盐缓冲液, 冰水浴研磨得浆液, 然后 2500 r/min 离心 10 min, 取上清液, 备用。然后拿两根试管分别标记为对照管与测定管, 按照试剂盒步骤添加试剂, 最后在 405 nm、0.5 cm 光径下测定各管吸光度值。CAT 酶活计算公式如式(7):

$$\text{CAT 酶活}/(\text{U}/\text{mg} \cdot \text{prot}) = (\text{OD}'_1 - \text{OD}'_2) \times 271 / (60 \times 0.05 \times \text{待测样品蛋白浓度}) \quad (7)$$

注: 每 mg 组织蛋白每 s 分解 1  $\mu\text{mol}$  的  $\text{H}_2\text{O}_2$  为 1 个 CAT 酶活力单位(U)。

式中,  $\text{OD}'_1$  表示对照管吸光度值;  $\text{OD}'_2$  表示测定管吸光度值。

### 1.3.11 质构测定

用 TMS-Touch 质构仪测定<sup>[23]</sup>, 选用剪切模式。所用探头型号为直角切刀, 测定速度设为 20 mm/min, 触发力设为 5 N, 压缩形变程度设为 85%。将韭黄切段, 取其中一段放入测试台上, 确保探头作用于样品的过程中样品不会发生移动, 最后进行数据采集与分析。

## 1.4 数据处理

实验设置 3 个平行, 使用 SPSS 26.0 软件对数据进行统计分析, 运用 Origin 2019 软件进行制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 SA 处理和低温贮藏对韭黄蛋白质含量的影响

蛋白质的损失一直是绿色植物组织衰老的重要指标,

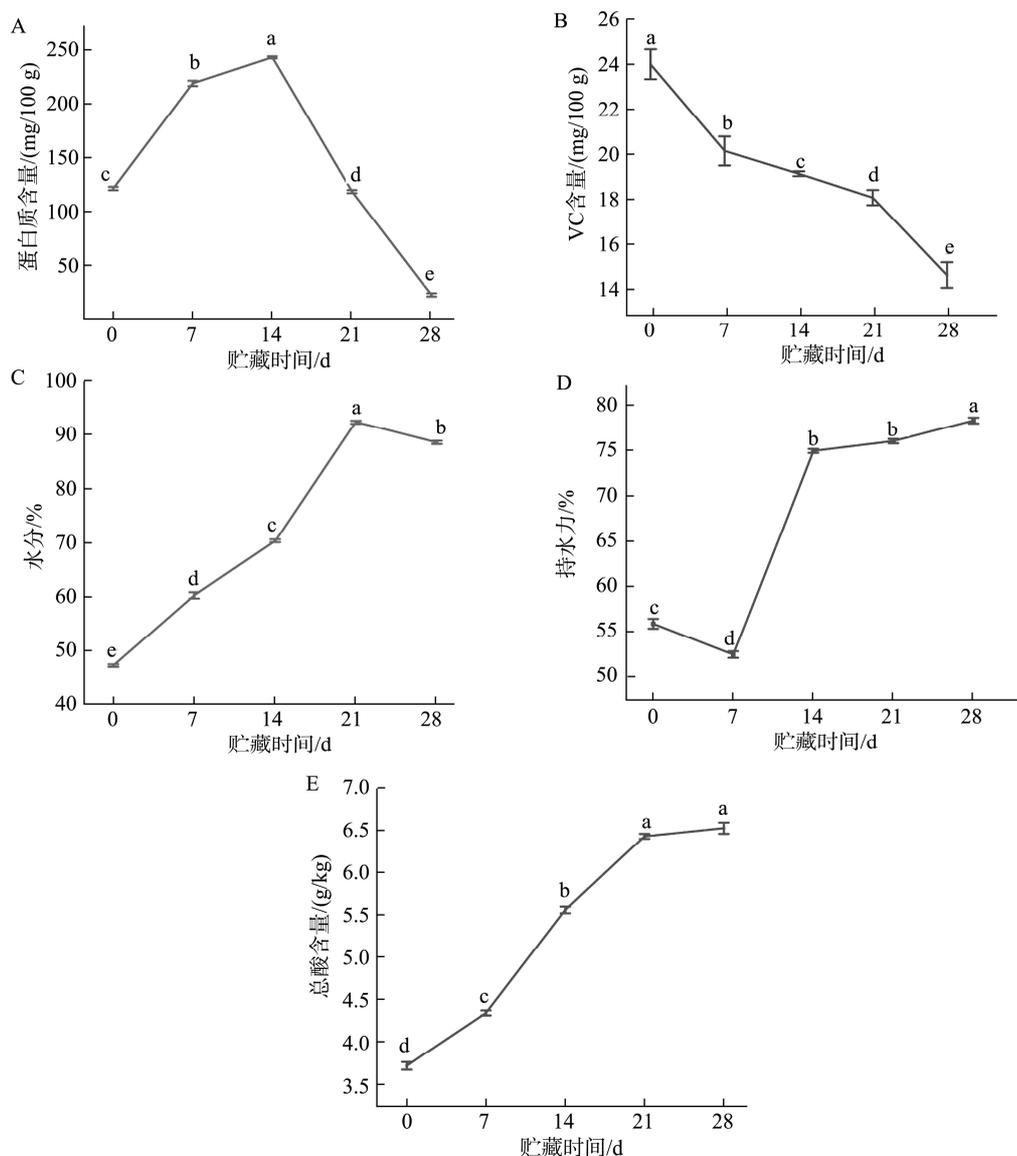
许多可溶性蛋白质是构成果蔬中酶的重要组成部分, 参与果蔬中多种生理生化代谢过程的调控, 与果蔬的生长发育、成熟衰老、抗病性、抗逆性密切相关。经 SA 处理和低温贮藏后, 韭黄蛋白质含量在 28 d 内的变化情况如图 1A 所示。

由图 1A 可知, 贮藏 0~28 d 韭黄的蛋白质含量有显著差异( $P<0.05$ )。韭黄在 28 d 贮藏期间, 蛋白质含量在第 14 d 最高为 245.24 mg/100 g, 第 28 d 最低。蛋白质含量由最初的 122.01 mg/100 g 降低至 21.99 mg/100 g。前 14 d 蛋白质含量迅速增加的原因可能是由于韭黄中游离氨基酸合成作用所导致的<sup>[24]</sup>, 后 14 d 蛋白质迅速下降的原因可能是

被多种酶逐渐分解, 这些酶可能是来自韭黄自身或者是微生物污染的酶类<sup>[25]</sup>。林玲等<sup>[26]</sup>在研究 SA 处理“杨小-2,6”蜜橘实验中发现, 蜜橘蛋白质含量在前 21 d 逐渐增加, 在 21 d 后又迅速下降, 最后蛋白质含量趋于稳定, 其实验结果与本研究中蛋白质含量变化趋势基本一致。

## 2.2 SA 处理和低温贮藏对韭黄 VC 含量的影响

VC 是一种抗氧化物, 能够增强植物的免疫能力。同时, VC 也具有解毒功能, 能够确保细胞的正常代谢<sup>[27]</sup>。VC 容易氧化, 在贮藏过程中呈逐渐下降趋势。经 SA 处理和低温贮藏后, 韭黄 VC 含量在 28 d 内的变化情况如图 1B 所示。



注: 不同字母表示具有显著性差异( $P<0.05$ ), 下同。

图1 SA 处理和低温贮藏对韭黄蛋白含量(A)、VC 含量(B)、水分含量(C)、持水力(D)和总酸含量(E)的影响  
Fig.1 Effects of SA treatment and low temperature for protein content (A), VC content (B), moisture content (C), water holding capacity (D) and total acid (E) of *Allium tuberosum* during storage

由图 1B 可知, 韭黄在 28 d 贮藏期间, VC 含量持续下降, 最终下降至 15.07 mg/100 g。在之前的研究中, 对-20℃未加水杨酸处理的韭黄检测其 VC 含量发现, 未用水杨酸处理的韭黄 VC 含量在第 28 d 下降至 12.09 mg/100 g, 下降速率高于水杨酸和低温复合处理的韭黄。VC 下降的原因可能是 VC 易氧化分解、被多种酶逐渐分解所导致的, 这些酶可能来自韭黄本身或者是微生物污染的酶类<sup>[28]</sup>。张晓萍等<sup>[29]</sup>在研究不同浓度 SA 处理冬枣实验中发现, 冬枣的 VC 含量随贮藏时间的延长而下降, 其实验结果与本研究的 VC 含量变化趋势基本一致。

### 2.3 SA 处理和低温贮藏对韭黄中水分的影响

水分对维持温度、物质运输、代谢活动、维持生长等有着重要意义<sup>[30]</sup>。经 SA 处理和低温贮藏后, 韭黄中的水分在 28 d 内的变化情况如图 1C 所示。

由图 1C 可知, 在贮藏 0~28 d 内韭黄水分的含量有较显著性差异( $P<0.05$ ), 在 0~21 d 韭黄中的水分含量呈现上升趋势, 第 21 d 上升至最高为 92.66%。在 21~28 d 呈现下降趋势, 最终在 28 d 水分降低到了 88.86%。在 0~21 d 韭黄水分上升的原因可能是受植物体内水分运输和平衡调节作用、SA 对植物细胞壁的合成和代谢等的影响<sup>[31]</sup>, 21~28 d 韭黄水分下降的原因可能是韭黄的呼吸作用逐渐减弱, 水分吸收也会减少, 以及韭黄变软从而导致水分下降<sup>[32]</sup>。高晓宁等<sup>[33]</sup>在研究 SA 处理对杜鹃花抗旱性实验中发现, SA 能提高杜鹃花的水分保持能力, 其结果与本研究中韭黄水分变化趋势一致。

### 2.4 SA 处理和低温贮藏对韭黄持水力的影响

持水力是一种保持水分的能力, 能够为植物提供充足的水分、维持植物形态、提高植物抗性等能力, 为生长代谢提供基础<sup>[34]</sup>。经 SA 处理和低温贮藏后, 韭黄的持水力在 28 d 内的变化情况如图 1D 所示。

由图 1D 可知, 在 0~7 d 持水力有下降趋势, 从 7~28 d 持水力一直呈现上升的趋势, 其中在 14~28 d 上升较为平缓, 最后持水力在第 28 d 增加到了 78%。前 7 d 持水力下降的原因可能的在贮藏初期, 韭黄水分可能会因为蒸发而导致持水力下降, 7~28 d 持水力上升的原因可能是韭黄在保鲜袋内, 蒸发的水分又被韭黄吸收<sup>[34]</sup>。叶利民等<sup>[35]</sup>在研究 SA 处理板栗实验中发现, 板栗的持水力随着贮藏时间延长而呈现上升趋势, 其结果与本研究持水力变化趋势基本一致。

### 2.5 SA 处理和低温贮藏对韭黄总酸的影响

总酸有防腐的作用, 能够抑制细菌和霉菌的生长, 从而防止果蔬腐败变质<sup>[36]</sup>。经 SA 处理和低温贮藏后, 韭黄的总酸含量在 28 d 内的变化情况如图 1E 所示。

由图 1E 可知, 韭黄在 28 d 的贮藏期间内, 总酸的含

量一直上升, 达到 6.57 g/kg。其中 0~21 d 内总酸含量上升趋势明显, 21~28 d 上升趋势接近平缓。这是由于贮藏期间韭黄以无氧呼吸为主, 消耗糖等物质生成总酸, 从而导致韭黄总酸含量上升<sup>[37]</sup>。黄广君等<sup>[38]</sup>在研究 SA 和壳聚糖处理荔枝实验中发现, 在贮藏期间总酸含量一直上升, 其实验结果与本研究中总酸含量变化趋势基本一致。说明 SA 和低温处理的韭黄在贮藏期间总酸处于积累的状态。

### 2.6 SA 处理和低温贮藏对韭黄 POD 酶活的影响

POD 酶主要功能是保护植物细胞免受过氧化氢的损害<sup>[39]</sup>。经 SA 处理和低温贮藏后, 韭黄的 POD 酶活在 28 d 内的变化情况如图 2A 所示。

由图 2A 可知, 韭黄在 0~28 d 贮藏期间, 前 7 d 韭黄的 POD 酶活显著上升, 在第 7 d 达到峰值, 为 2105.36 U/g, 14~21 d 内, POD 酶活显著下降( $P<0.05$ ), 21~28 d 内, POD 酶活升高, 第 28 d 达到 464.52 U/g。韭黄的 POD 酶活下降, 可能是由于组织代谢紊乱, 韭黄机体不能有效清除组织中的过氧化氢导致的<sup>[40]</sup>。蔡慧等<sup>[41]</sup>在研究 SA 处理软枣猕猴桃果实实验中发现, POD 活性同样呈现先上升后下降的趋势, 上升部分可能是受多酚氧化的影响, 其实验结果与本研究 POD 酶活变化趋势基本一致。

### 2.7 SA 处理和低温贮藏对韭黄 SOD 酶活的影响

SOD 能够清除氧自由基、保护膜结构、延缓衰老, 而 SA 处理则可以通过增加 SOD 酶活来降低氧自由基生成的速率<sup>[42]</sup>。经 SA 处理和低温贮藏后, 韭黄的 SOD 酶活在 28 d 内的变化情况如图 2B 所示。

由图 2B 可知, 韭黄在 28 d 贮藏期间, SOD 酶活呈现先上升后下降的趋势, 在 0~7 d 中 POD 酶活呈现增长趋势, 第 7 d 达到峰值为 76.53 U/g, 在 7~21 d POD 酶活迅速下降, 21~28 d POD 酶活缓慢下降, 第 28 d 降低至 61.24 U/g。在之前的研究中, 对-20℃未加水杨酸处理的韭黄检测其 SOD 酶活发现, 未用水杨酸处理的韭黄 VC 含量在第 28 d 下降至 56.42 U/g, 下降速率高于水杨酸和低温复合处理的韭黄。在前 7 d 内, 韭黄 SOD 酶活迅速上升的原因可能是细胞内氧化应激作用, 以清除过多的自由基, 保护细胞免受氧化损伤导致的, 在 7~28 d 内, 韭黄 SOD 酶活下降的原因可能是随着贮藏时间的延长, 一些内源性的保护机制可能会逐渐减弱或失效导致的<sup>[43]</sup>。胡永峰等<sup>[44]</sup>在研究 SA 处理梨枣树实验中发现, SOD 酶活也呈现先上升后下降的趋势, 其实验结果与本研究 SOD 酶活变化趋势基本一致。

### 2.8 SA 处理和低温贮藏对韭黄 MDA 的影响

MDA 是衡量氧化胁迫程度的常用指标之一, 能反映植物膜脂过氧化的程度<sup>[45]</sup>。经 SA 处理和低温贮藏后, 韭黄的 MDA 含量在 28 d 内的变化情况如图 2C 所示。

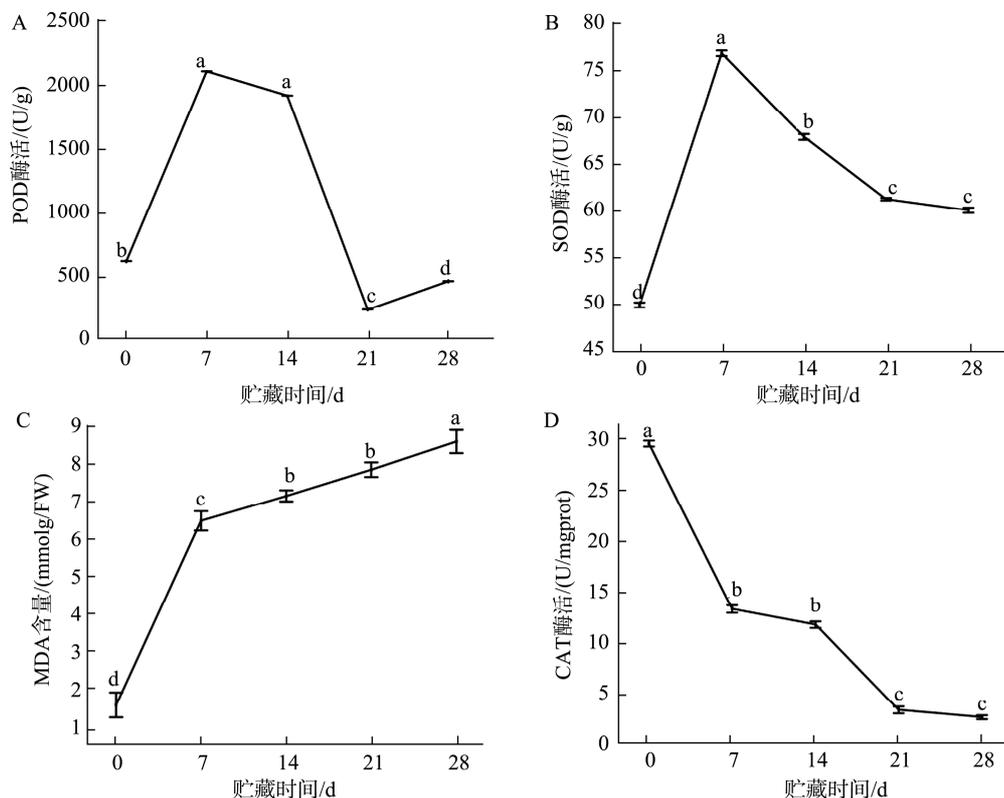


图 2 SA 处理和低温贮藏对韭黄 POD 酶活(A)、SOD 酶活(B)、MDA 含量(C)和 CAT 酶活(D)的影响  
Fig.2 Effects of SA treatment and low temperature for POD activity (A), SOD activity (B), MDA content (C), CAT activity (D) of *Allium tuberosum* during storage

如图 2C 所示, 韭黄在 28 d 的贮藏期间, 0~7 d 时 MDA 含量迅速增长, 7~28 d 时 MDA 含量的增加速度比 0~7 d 时减缓, MDA 的含量在 28 d 达到峰值为 8.55 mmol/g/FW, 说明随着贮藏时间的增加, SA 处理可以降低 MDA 的合成, 有利于防止韭黄膜脂过氧化反应的发生<sup>[46]</sup>。孙丽娜<sup>[47]</sup>在研究黄瓜叶片细胞膜质实验中发现, MDA 含量先迅速上升, 且随着时间增长 MDA 上升减缓, 其实验结果与本研究中的 MDA 含量变化趋势基本一致。

## 2.9 SA 处理和低温贮藏对韭黄 CAT 酶活的影响

CAT 酶能够抗氧化, 是生物防御体系的关键酶之一<sup>[48]</sup>。经 SA 处理和低温贮藏后, 韭黄的 CAT 酶活在 28 d 内的变化情况如图 2D 所示。

由图 2D 可知, 韭黄在 28 d 的贮藏期间内, 在 0~7 d、14~21 d 时 CAT 酶活迅速下降, 在 7~14 d、21~28 d 时 CAT 酶活下降趋势与 0~7 d、14~21 d 时 CAT 酶活下降趋势相比明显减缓较为平缓。在第 28 d, CAT 酶活下降至 2.77 U/mg·prot。CAT 酶活下降的原因可能是, 随着贮藏时间的延长, 韭黄的代谢活动逐渐降低, 使酶的合成和活性下降<sup>[49]</sup>。由图 2D 可知, 在一段时间内 CAT 酶活下降平缓, 说明经过 SA 处理能够在一定程度上抑制 CAT 酶活的下降。李红杰<sup>[50]</sup>在

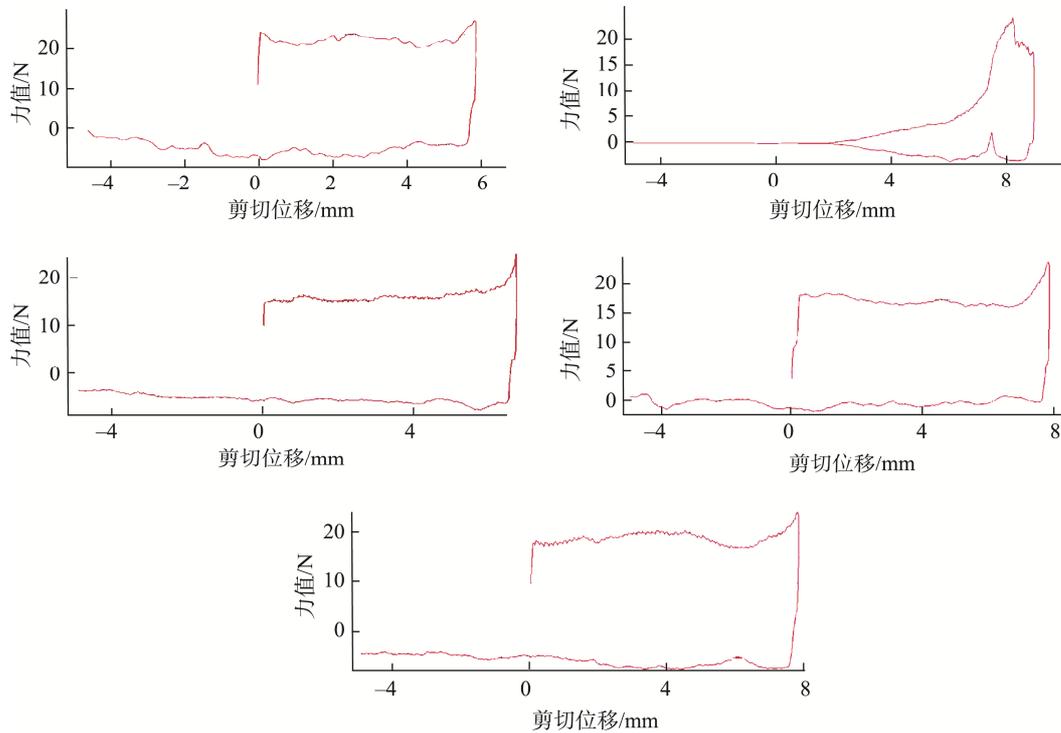
研究 SA 对冬瓜枯萎病的防治效果实验中发现, 在贮藏期间, 果肉中的 CAT 酶活会逐渐降低, 其实验结果与本研究中 CAT 酶活变化趋势基本一致。

## 2.10 SA 处理和低温贮藏对韭黄质构的影响

硬度表示使物体发生形变所需的力, 食品领域用来描述食物软硬、咀嚼所需力的大小的指标, 表示下压区段内的最大力量值, 即压缩时的最大峰值<sup>[51]</sup>。嫩度表示食物的咬开、咀嚼的难易程度和咀嚼后的残渣量描述<sup>[52]</sup>, 同时嫩度也受到各种因素的影响。在本研究中是指韭黄易切割的程度。经 SA 处理和低温贮藏后, 韭黄的 TPA 剪切实验特征曲线在 28 d 内的变化情况如图 3 所示。

经 SA 处理和低温贮藏后, 韭黄的质构性在 28 d 内的变化情况如图 4 所示。

食品的质构能够有效地影响食品的品质和口感。由图 4A 所示, 在 7~14 d 和 21~28 d 韭黄的硬度略有上升, 第 28 d 硬度为 24.28 N。由图 4B 所示, 在 14~28 d 时, 韭黄嫩度明显上升( $P < 0.05$ ), 第 28 d 嫩度为 19.76 N/cm。表明 SA 处理对韭黄质构有一定的影响。任邦来等<sup>[53]</sup>在研究 SA 对番茄实验影响的实验中发现, 随着贮藏时间的延长, 番茄果实的硬度呈现下降趋势, 其实验结果与本研究韭黄质构性变化趋势基本一致。



注: A~E 分别表示第 0、7、14、21、28 d 的变化情况。

图 3 TPA 剪切实验特征曲线

Fig.3 Characteristic curve of TPA shear experiment

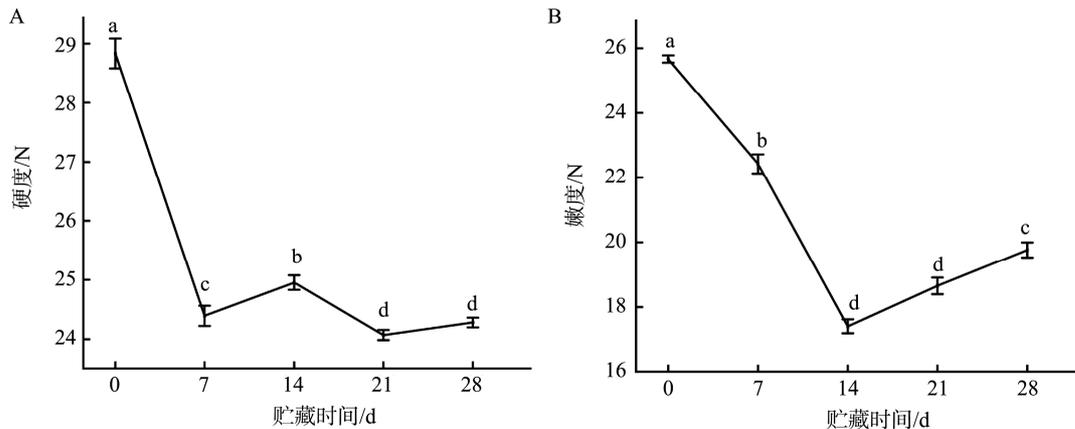


图 4 SA 处理和低温贮藏对韭黄硬度变化(A)和嫩度变化(B)的影响

Fig.4 Effects of SA treatment and low temperature for hardness (A) and tenderness (B) changes of *Allium tuberosum* during storage

### 3 结论

本研究通过 SA 和低温复合处理进行韭黄保鲜实验,以探索低温和 SA 复合处理作为韭黄未来保鲜方法的潜在应用价值。结果表明,在贮藏 0~14 d, SA 和低温复合保鲜对韭黄的蛋白质含量、VC 含量、总酸、POD 酶活、SOD 酶活、MDA 含量和 CAT 酶活维持在较高水平,同时能够维持韭黄的质构;14 d 后保鲜效果减弱。之前的研究表明,韭黄在常温下仅能保存 1~3 d<sup>[5]</sup>,本研究通过水杨酸和低温

复合保鲜有效延长了韭黄的存放时间。综上所述,SA 和低温复合保鲜能够有效延长韭黄品质,此技术有望应用于韭黄的保鲜和品质的保持,同时复合保鲜技术可作为后续果蔬保鲜的研究方向。

### 参考文献

- [1] 吴庆川,刘祥涛,王莺歌,等.韭黄栽培[J].安徽农学通报,2013,(23): 41-41,99.  
WU QC, LIU XT, WANG YG, et al. Cultivation of leek [J]. Anhui Agric Sci Bull, 2013, (23): 41-41, 99.

- [2] 付静, 白成禄. 韭黄的栽培技术[J]. 现代农业科学, 2009, 16(4): 80–81.  
FU J, BAI CL. Cultivation technology of leek [J]. Mod Agric Sci, 2009, 16(4): 80–81.
- [3] 高志华. 韭黄高产栽培技术[J]. 园艺与种苗, 2021, 41(6): 43–44.  
GAO ZH. Cultivation technology of leek with high yield [J]. Horticult Seed, 2021, 41(6): 43–44.
- [4] 黎淑贞. 韭黄营养价值高如何吃出好味道[J]. 家庭医学, 2022, (11): 40.  
LI SZ. How to eat leeks with high nutritional value and good flavor [J]. Home Med, 2022, (11): 40.
- [5] 贺中娟, 罗鹏举. 无公害“干”韭黄种植技术[J]. 长江蔬菜, 2008, (3): 23–24.  
HE ZJ, LUO PJ. Harmless “dry” leek planting technology [J]. Yangtze River Veget, 2008, (3): 23–24.
- [6] 侯建设, 李中华, 王建林. 韭菜薄膜包装的冷藏效果[J]. 中国蔬菜, 2003, (1): 17–18.  
HOU JS, LI ZH, WANG JL. Refrigeration effect of leek film packaging [J]. China Veget, 2003, (1): 17–18.
- [7] 王祖莲, 陈晴, 高佳, 等. 包装膜透气性对韭黄 MAP 冷藏保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 304–311.  
WANG ZL, CHEN Q, GAO J, *et al.* Influence of packaging film permeability on MAP refrigerated freshness preservation of leek [J]. Food Ind Sci Technol, 2021, 42(1): 304–311.
- [8] 蔡飞, 张丙云, 王阳. 不同浓度 1-MCP 对韭黄保鲜效果的影响[J]. 兰州理工大学学报, 2009, 35(3): 72–74.  
CAI F, ZHANG BY, WANG Y. Effects of different concentrations of 1-MCP on the freshness preservation of leek [J]. J Lanzhou Univ Technol, 2009, 35(3): 72–74.
- [9] 王乐. 丙二酸对韭黄及韭薹保鲜效果的研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2011.  
WANG L. Study on the effect of malonic acid on the preservation of leeks and chives [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2011.
- [10] 孟祥春, 黄泽鹏, 凡超, 等. 贮藏温度对无核黄皮保鲜期和品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(21): 8530–8535.  
MENG XC, HUANG ZP, FAN C, *et al.* Effect of storage temperature on the freshness and quality of drupe [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(21): 8530–8535.
- [11] ZHANG H, MA Z, WANG J, *et al.* Treatment with exogenous salicylic acid maintains quality, increases bioactive compounds, and enhances the antioxidant capacity of fresh goji (*Lycium barbarum* L.) fruit during storage [J]. LWT-Food Sci Technol, 2020, 140(12): 110837.
- [12] YANG C, DUAN WY, XIE KL, *et al.* Effect of salicylic acid treatment on sensory quality, flavor-related chemicals and gene expression in peach fruit after cold storage [J]. Postharvest Biol Technol, 2020, 161(3): 111089.
- [13] SE A, MR A, MJG A, *et al.* Enhancing antioxidant systems by preharvest treatments with methyl jasmonate and salicylic acid leads to maintain lemon quality during cold storage [J]. Food Chem, 2020, 338(15): 128044.
- [14] FARIAS E, YASUNAGA LK, PEIXOTO VR, *et al.* Comparison of two methods of tear sampling for protein quantification by Bradford method [J]. Pesquisa Vet Brasil, 2013, 33(2): 261–264.
- [15] GAO H, ZHANG ZK, CHAI HK, *et al.* Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit [J]. Postharvest Biol Technol, 2016, 118(3): 103–110.
- [16] 张黎利, 季一顺. 直接干燥法测定高粱中水分的不确定度评定[J]. 粮食科技与经济, 2022, 47(6): 73–76.  
ZHANG LL, JI YS. Uncertainty assessment of moisture in sorghum by direct drying method [J]. Grain Sci Econ, 2022, 47(6): 73–76.
- [17] 李川, 赵云龙, 王彦芳, 等. 离心分离技术在蚝汁处理中的应用[J]. 江苏调味副食品, 2022, (3): 24–26.  
LI C, ZHAO YL, WANG YF, *et al.* Application of centrifugal separation technology in oyster juice treatment [J]. Jiangsu Seasoned Foodstuffs, 2022, (3): 24–26.
- [18] 金晓丽, 王灵红, 广家权, 等. 酸碱指示剂滴定法测定白酒中总酸含量的不确定度评定[J]. 酿酒科技, 2022, (3): 127–132.  
JIN XL, WANG LH, GUANG JQ, *et al.* Uncertainty assessment of total acid content in white wine by acid-base indicator titration [J]. Brew Sci Technol, 2022, (3): 127–132.
- [19] 程艳, 陈璐, 米艳华, 等. 水稻抗氧化酶活性测定方法的比较研究[J]. 江西农业学报, 2018, 30(2): 108–111.  
CHEN Y, CHEN L, MI YH, *et al.* Comparative study of methods for the determination of antioxidant enzyme activities in rice [J]. Acta Agric Jiangxi, 2018, 30(2): 108–111.
- [20] 王丽娟. SOD 试剂盒检测原理及临床应用[J]. 中国实验诊断学, 2019, 23(5): 813–817.  
WANG LJ. Principle and clinical application of SOD kit assay [J]. Chin Exp Diagn, 2019, 23(5): 813–817.
- [21] 胡俊. MDA 试剂盒的原理、使用及注意事项[J]. 生物技术通报, 2022, 38(6): 176–180.  
HU J. Principle, use and precautions of MDA kit [J]. Biotechnol Bull, 2022, 38(6): 176–180.
- [22] 杨丽娟. CAT 试剂盒的制备及应用研究[J]. 生物技术通讯, 2018, 29(5): 776–780.  
YANG LJ. Preparation and application study of CAT kit [J]. Biotechnol Lett, 2018, 29(5): 776–780.
- [23] POON C, IP M, CHIU EH, *et al.* Evaluation of the TMS-Touch food property analyzer for measuring physical properties of food products [J]. J Food Eng, 2021, 279: 136–316.
- [24] 赵文静. 水杨酸对韭黄保鲜中蛋白质和氨基酸含量的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(16): 232–237.  
ZHAO WJ. Effect of salicylic acid on protein and amino acid content in preservation of leek [J]. Food Ind Sci Technol, 2020, 41(16): 232–237.
- [25] 郑铁松. 水杨酸对韭黄保鲜效果的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(15): 10–14.  
ZHENG TS. Effect of salicylic acid on the freshness preservation of leek [J]. Food Res Dev, 2021, 42(15): 10–14.
- [26] 林玲, 陈金印. 水杨酸处理对“杨小-2,6”蜜橘采后生理及贮藏效果的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(9): 194–197.  
LIN L, CHEN JY. Effects of salicylic acid treatment on postharvest physiology and storage effect of “Yang Xiao-2,6” honey orange [J]. Food Ferment Ind, 2009, 35(9): 194–197.
- [27] LIU H, LI Q, WANG H, *et al.* The roles of vitamin C in plants: From stress resistance to photosynthesis protection [J]. Trends Plant Sci, 2019, 24(9): 774–786.
- [28] WANG Y, LI Y, ZHANG H. The effect of salicylic acid on the preservation of yellow garlic: A possible mechanism of vitamin C degradation [J]. Food Chem, 2022, 375: 1307–1314.
- [29] 张晓萍, 王锋, 赵旗峰, 等. 不同浓度水杨酸处理对冬枣保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(6): 32–37.  
ZHANG XP, WANG F, ZHAO QF, *et al.* Effects of different concentrations of salicylic acid on the preservation effect of winter jujube [J].

- Storage Process, 2020, 20(6): 32–37.
- [30] 赵丽娟. 植物水分关系研究进展[J]. 生态学报, 2020, 40(20): 7271–7285.  
ZHAO LJ. Progress in the study of plant water relations [J]. J Ecol, 2020, 40(20): 7271–7285.
- [31] ZHU J, ZHANG Y, CHEN H. Salicylic acid regulates water balance and cell wall metabolism in *Arabidopsis thaliana* under salt stress [J]. J Ex Bot, 2019, 70(11): 2851–2865.
- [32] LI Y, WANG Y, ZHANG H. The effect of salicylic acid on water retention and quality retention of yellow garlic during storage [J]. J Sci Food Agric, 2021, 101(6): 2279–2287.
- [33] 高晓宁, 梁雯, 赵冰. 外源水杨酸对 2 个杜鹃花品种抗旱性的影响[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(3): 131–136, 177.  
GAO XN, LIANG W, ZHAO B. Effects of exogenous salicylic acid on drought resistance of two *Rhododendron* species [J]. J Northwest Fore Coll, 2018, 33(3): 131–136, 177.
- [34] WANG Y, LI Y, ZHANG H. The effect of salicylic acid on the water retention capacity of yellow garlic during storage [J]. J Agric Food Chem, 2022, 70(15): 5443–5450.
- [35] 叶利民, 徐芬芬. 水杨酸对冷藏板栗贮藏效果的影响[J]. 生物加工过程, 2011, 9(3): 57–60.  
YE LM, XU FF. Effect of salicylic acid on the storage effect of refrigerated chestnut [J]. Bioprocessing, 2011, 9(3): 57–60.
- [36] CHEN Y, GUO Y. The role of total acid in the preservation of fruits and vegetables [J]. J Food Process Pres, 2018, 42(2): 104–113.
- [37] 徐瑞, 朱丹, 孟宪军. 水杨酸处理对非黄保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(14): 298–302.  
XU R, ZHU D, MENG XJ. Effect of salicylic acid treatment on the freshness preservation of leek [J]. Food Sci, 2011, 32(14): 298–302.
- [38] 黄广君, 张金磊, 刘容, 等. 壳聚糖水杨酸盐的制备及其对荔枝保鲜的应用[J]. 食品科技, 2015, 40(8): 282–287.  
HUANG GJ, ZHANG JL, LIU R, *et al.* Preparation of chitosan salicylate and its application to lychee preservation [J]. Food Sci Technol, 2015, 40(8): 282–287.
- [39] KERSTNER FOD, OIIVEIRA S, GARDA JB. Mechanism of action, sources, and application of peroxidases [J]. Food Res Int, 2021, 143: 110266
- [40] LIU Y, CHEN L, WU Z, *et al.* The effect of salicylic acid on the preservation of yellow garlic: Changes in peroxidase activity and antioxidant capacity [J]. Postharvest Biol Technol, 2018, 138: 79–87.
- [41] 蔡慧, 王铭, 李亚东, 等. 水杨酸处理对贮藏软枣猕猴桃果实品质性状影响的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(2): 376–379.  
CAI H, WANG M, LI YD, *et al.* Effects of salicylic acid treatment on quality traits of stored soft date kiwifruit fruits [J]. Food Ind Sci Technol, 2012, 33(2): 376–379.
- [42] 张玉, 陈昆松, 张上隆. 乙酰水杨酸处理对猕猴桃果实成熟衰老的影响及其作用机理[J]. 植生与分子生物学学报, 2002, (6): 425–432.  
ZHANG Y, CHEN KS, ZHANG SL. Effects of acetylsalicylic acid treatment on kiwifruit fruit ripening and senescence and its mechanism of action [J]. J Plant Physiol Molecul Biol, 2002, (6): 425–432.
- [43] WANG L, LIU H, WANG X, *et al.* The effect of salicylic acid on the preservation of yellow garlic: Changes in superoxide dismutase activity and free radical levels [J]. Postharvest Biol Technol, 2020, 158: 1–10.
- [44] 胡永锋, 陈彦君, 定明谦, 等. 超氧化歧化酶在梨枣树上的应用研究[J]. 农业科技与信息, 2023, (9): 131–133, 142.  
HU YF, CHEN YJ, DING MQ, *et al.* Application of superoxide dismutase in pear jujube trees [J]. Agric Sci Inform, 2023, (9): 131–133, 142.
- [45] YUZE L, XIANGXIANG L, ZHIHAN C, *et al.* Probing the toxic effect of quinoline to catalase and superoxide dismutase by multispectral method [J]. Spectrochim Acta A, 2023. DOI: 10.1016/j.saa.2023.122449.293:122449
- [46] ZHAO X, CHEN H, LIU Y, *et al.* The effect of salicylic acid on the preservation of yellow garlic: Changes in malondialdehyde content and membrane lipid peroxidation [J]. Postharvest Biol Technol, 2019, 148: 153–160.
- [47] 孙丽娜. 水杨酸对盐胁迫下温室黄瓜叶片细胞膜质过氧化及透性的影响[J]. 江西农业, 2020, (10): 112–113.  
SUN LN. Effect of salicylic acid on cytoplasmic peroxidation and permeability of greenhouse cucumber leaves under salt stress [J]. Jiangxi Agric, 2020, (10): 112–113.
- [48] ZENG C, LIU W, HAO J, *et al.* Measuring the expression and activity of the CAT enzyme to determine Al resistance in soybean [J]. Plant Physiol Bioch, 2019, 144(0981–9428): 163–254.
- [49] CHEN X, WU Q, ZHAO J, *et al.* The effect of salicylic acid on the preservation of yellow garlic: Changes in catalase activity and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> content [J]. Postharvest Biol Tec, 2017, 124: 146–153.
- [50] 李红杰. 外源喷施水杨酸对冬瓜枯萎病的防治效果及机制[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(19): 95–99.  
LI HJ. Control effect and mechanism of exogenous spraying salicylic acid on winter melon wilt [J]. Jiangsu Agric Sci, 2018, 46(19): 95–99.
- [51] 李鹏飞, 吕晓玲, 吕远平. 食品质地与质构的表征方法及其在食品工程中的应用[J]. 食品与机械, 2018, 34(1): 165–168.  
LI PF, LV XL, LV YP. Characterization methods of food texture and texture structure and their applications in food engineering [J]. Food Mach, 2018, 34(1): 165–168.
- [52] WANG L, ZHANG H. Evaluation of tenderization of garlic shoots (*Allium sativum* L.) by Fourier transform near-infrared (FT-NIR) spectroscopy [J]. J Near Infrar Spectrosc, 2021, 29(3): 171–178.
- [53] 任邦来, 张燕. 水杨酸对番茄保鲜效果的影响[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(7): 37–40.  
REN BL, ZHANG Y. Effect of salicylic acid on the freshness preservation of tomato [J]. Chin Food Nutr, 2012, 18(7): 37–40.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

## 作者简介



冯星星, 博士, 讲师, 主要研究方向为食品生物技术。  
E-mail: fengxingxing112@163.com



董玉玮, 博士, 教授, 主要研究方向为食品生物技术。  
E-mail: dongyuwei66@163.com