

# 哈密瓜果实耐冷性与细胞膜脂肪酸的关系

张 婷<sup>1,2</sup>, 车凤斌<sup>2</sup>, 潘 俨<sup>2</sup>, 刘河疆<sup>3</sup>, 饶景萍<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup> 西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup> 新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所, 乌鲁木齐 830091;  
<sup>3</sup> 新疆农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 乌鲁木齐 830091)

**摘 要:** 以新疆哈密瓜 (*Cucumis melo* L.) 早熟品种‘西周密 25 号’、中熟品种‘新密 3 号’和晚熟品种‘新密 11 号’的果实为试材, 研究 3 °C (RH 75% ~ 80%) 低温贮藏过程中耐冷性与细胞膜脂肪酸的关系。结果表明: ‘新密 11 号’果实耐冷性强于‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’。3 °C 贮藏中后期‘新密 11 号’果实冷害指数、相对膜透性、LOX 活性显著低于‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’; 亚油酸 (C<sub>18:2</sub>) 和亚麻酸 (C<sub>18:3</sub>) 的相对含量、脂肪酸不饱和指数 (IUFA) 和不饱和度 (UFA/FA) 显著高于‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’; 棕榈酸 (C<sub>16:0</sub>) 和硬脂酸 (C<sub>18:0</sub>) 的相对含量多显著低于‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’。贮藏 49 d, ‘新密 11 号’果实冷害率和失重率较低, 好果率较高。哈密瓜果实冷害发生程度与亚油酸 (C<sub>18:2</sub>) 和亚麻酸 (C<sub>18:3</sub>) 相对含量分别呈显著负相关关系 ( $r = -0.851^*$  和  $r = -0.780^*$ )。

**关键词:** 哈密瓜; 低温; 耐冷性; 脂氧合酶; 脂肪酸

**中图分类号:** S 652.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2015) 12-2421-08

## Relationship Between Chilling Tolerance and Membrane Fatty Acids of Hami Melon

ZHANG Ting<sup>1,2</sup>, CHE Feng-bin<sup>2</sup>, PAN Yan<sup>2</sup>, LIU He-jiang<sup>3</sup>, and RAO Jing-ping<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup> College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; <sup>2</sup> Institute of Farm Product Storage and Processing, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; <sup>3</sup> Research Institute of Quality Standards & Testing Technology for Agro-products, Urumqi 830091, China)

**Abstract:** Hami melon (*Cucumis melo* L.) of 3 cultivars (early-ripening type ‘Xizhoumi 25’, mid-ripening type ‘Xinmi 3’ and late-ripening type ‘Xinmi 11’) were studied the relationship between chilling tolerance and membrane fatty acids during storage at 3 °C with 75% – 80% RH. The results showed that chilling tolerance of ‘Xinmi 11’ fruits were stronger than ‘Xizhoumi 25’ and ‘Xinmi 3’. The chilling injury index, relative membrane permeability, LOX activity of ‘Xinmi 11’ fruits were significantly lower than ‘Xizhoumi 25’ and ‘Xinmi 3’. The relative contents of linoleic acid (C<sub>18:2</sub>) and linolenic acid (C<sub>18:3</sub>) of ‘Xinmi 11’ fruits were significantly higher than ‘Xizhoumi 25’ and ‘Xinmi 3’ during storage at 3 °C, and the index of unsaturated fatty acids (IUFA) and unsaturated degree of fatty acids (UFA/FA) were higher correspondingly. But the relative contents of palmitic acid (C<sub>16:0</sub>) and stearic acid (C<sub>18:0</sub>) were lower. The chilling injury incidence, weight loss of ‘Xinmi 11’

收稿日期: 2015-09-21; 修回日期: 2015-12-11

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2011BAD27B01)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: dqr0723@163.com)

fruits were significantly lower than ‘Xizhoumi 25’ and ‘Xinmi 3’ after 49 days storage. There was a negative correlation between chilling injury and relative content of linoleic acid ( $C_{18:2}$ ) and linolenic acid ( $C_{18:3}$ ) of Hami melon ( $r = -0.851^*$  and  $r = -0.780^*$ ).

**Key words:** Hami melon; low temperature; chilling tolerance; lipoxygenase; fatty acid

哈密瓜 (*Cucumis melo* L.) 由于产季集中, 采收季节温度高, 果实衰老和品质劣变迅速, 货架期短 (李学文, 2011)。低温冷藏虽能显著抑制哈密瓜果实采后品质劣变, 延长其贮藏期。但哈密瓜对低温较敏感, 3℃以下贮藏容易发生冷害, 且品种间耐冷性差异较大 (Bi et al., 2003; Krarup et al., 2009; Edna et al., 2011; 张婷 等, 2014; 刘同业 等, 2015)。研究不同品种哈密瓜果实采后耐冷性及其发生机理, 具有重要的理论和实践意义。

研究发现, 质膜是植物冷害发生的原初部位 (Marangoni et al., 1996)。冷害导致脂肪酸组成和膜脂成分相对含量发生改变, 膜流动性降低, 细胞膜透性增大, 使植物组织出现各种生理失调和代谢紊乱, 严重时导致细胞死亡 (孔祥佳 等, 2012)。膜脂脂肪酸组分及相对含量与植物的耐冷性关系密切, 一般耐冷型植物的不饱和脂肪酸含量高于冷敏型植物 (Lee et al., 2005; Wonsheree et al., 2009), 已在水稻 (陈善娜 等, 1995)、桃 (Zhang & Tian, 2009)、枇杷 (Cao et al., 2011) 等植物上得到证实。本研究中以熟性不同的 3 个哈密瓜品种果实为试材, 分析其在低温贮藏过程中的耐冷性与细胞膜脂肪酸的关系, 以期新疆哈密瓜果实采后耐冷性评价指标的筛选和耐冷品种的选择提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

以早熟 ‘西周密 25 号’、中熟 ‘新密 3 号’ 和晚熟 ‘新密 11 号’ 哈密瓜果实为试材, ‘西周密 25 号’ 果实于 2014 年 6 月 10 日采自吐鲁番市火焰山附近, 成熟采收时可溶性固形物 (TSS) 含量 14.80% ~ 15.40%; ‘新密 3 号’ 果实于 2014 年 7 月 21 日采自石河子市 121 团, 采收时 TSS 含量 11.4% ~ 12.20%; ‘新密 11 号’ 果实于 2014 年 8 月 30 日采自阿勒泰市二牧场, TSS 含量 12.1% ~ 12.60%。

采收当天运回新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所冷库, 分别挑选健康的果实放入温度 ( $3 \pm 0.5$ )℃、相对湿度为 75% ~ 80% 的冷库中贮藏, 每品种 3 次重复, 每次重复 100 个果实。设置 3 组试验: ①入库当天及此后每 7 d 取 5 个果实测定相对电导率、脂肪酸组分及其相对含量, 用于 LOX 酶活性测定的样品保存于 -80℃超低温冰箱待测; ②每 7 d 取 5 个果实于 20℃常温下放置 3 d, 用于统计冷害指数; ③放置 20 个果实, 直至 49 d 贮藏结束时统计果实冷害率、失重率及好果率。应用 Excel 2003 和 SPSS 20.0 进行数据统计, 显著性差异比较采用 LSD 法。

### 1.2 测定指标与方法

冷害率 (%) = 冷害果实数/总果实数  $\times 100$ ; 失重率 (%) = [(入贮时质量 - 结束时质量) / 入贮时质量]  $\times 100$ ; 好果率 (%) = 完好果实数/总果实数  $\times 100$ 。

参考毕阳等 (2003) 的方法, 冷害程度分为 5 级: 0 级, 无冷害发生; 1 级, 冷害发生面积  $\leq 10\%$ ; 2 级, 冷害发生面积 11% ~ 25%; 3 级, 冷害发生面积 25% ~ 50%; 4 级, 冷害发生面积  $\geq 50\%$ 。

冷害指数 =  $\sum$  (冷害果实数 × 冷害级数) / (总果实数 × 最高冷害级数)。

用直径为 10 mm 的不锈钢打孔器沿果实的赤道面取果实圆片 15 个, 置于 50 mL 的小烧杯中, 加 40 mL 蒸馏水后缓慢搅拌 5 s 后, 用电导仪测定电导率  $P_0$ , 再测 10 min 后的电导率  $P_1$ , 之后将小烧杯置于沸水浴 10 min, 冷却加蒸馏水至 40 mL, 测定电导率  $P_2$ 。测定重复 3 次, 取平均值。相对膜透性 (%) =  $(P_1 - P_0) / (P_2 - P_0) \times 100$ 。

脂氧合酶 (LOX) 活性测定参照 Axelrod 等 (1981) 的方法略作修改。采用 3 mL 反应体系, 其中亚油酸钠母液 25  $\mu$ L, 50 mmol · L<sup>-1</sup> (pH 7.0) 磷酸缓冲液 2 775  $\mu$ L, 粗酶液 200  $\mu$ L。在室温 (25  $^{\circ}$ C) 下反应, 于 234 nm 处测定消光值。加酶液 15 s 后开始计时, 记录 2 min 内的 OD<sub>234</sub> 值变化, 酶活性以  $\Delta OD_{234} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$  表示, 重复 3 次。

膜质脂肪酸组分及相对含量测定参照刘河疆等 (2014) 方法略加修改。取果实赤道部位的鲜样, 切成薄片, 置于 50  $^{\circ}$ C 左右烘干至恒重, 各称取 3 份, 然后用研钵各自磨成 60 目粉状。每份称取 0.5 g 于 50 mL 干燥具塞磨口锥形瓶中, 加 0.4 mol · L<sup>-1</sup> 的氢氧化钾—甲醇溶液 2 mL 振摇 2.0 h, 加 4 mL 苯—石油醚 (1:1) 溶液振荡后静置 30 min, 然后慢慢地加蒸馏水使有机相分离。待分层后取有机相加入正己烷稀释定容至自动进样瓶, 进样量 0.5 mL, 进行气相色谱 FID 分析。

采用 Agilent 7890 B 型气相色谱进行测定。条件是: DB-FFAP 超高惰性石英毛细管柱 (30 m × 0.25 mm × 0.25  $\mu$ m); FID 检测器, 加热器为 250  $^{\circ}$ C, 空气流速为 300 mL · min<sup>-1</sup>, 氢气流速为 30 mL · min<sup>-1</sup>, 尾吹气流速为 30 mL · min<sup>-1</sup>; 载气为氮气, 恒流模式, 流量为 1.0 mL · min<sup>-1</sup>; 进样口温度为 200  $^{\circ}$ C, 分流进样模式, 分流比为 20:1; 程序升温: 130  $^{\circ}$ C 保持 1 min, 然后 10  $^{\circ}$ C · min<sup>-1</sup> 升至 250  $^{\circ}$ C, 保持 5 min, 检测结束。用 Sigma 公司提供的标准脂肪酸甲酯的色谱峰保留时间定性分析。膜脂脂肪酸组分定量分析采用对各组分峰面积积分, 用归一化法计算各组分的百分含量。膜脂脂肪酸不饱和指数 IUFA =  $[\sum_{i=1}^n (Si \times ti)] \times 100$ 。式中,  $Si$ : 膜脂不饱和脂肪酸相对含量;  $ti$ : 该不饱和脂肪酸所含不饱和键的数量。膜脂脂肪酸不饱和度 = 不饱和脂肪酸相对含量 (UFA) / 饱和脂肪酸相对含量 (FA)。

2 结果与分析

2.1 低温贮藏 49 d 后果实的冷害率、失重率及好果率

3 个品种哈密瓜果实在 3  $^{\circ}$ C 贮藏 49 d 后, ‘新密 3 号’冷害率最高达到 66.67%, ‘西周密 25 号’为 51.11%, ‘新密 11 号’仅为 3.70% (表 1)。

‘西周密 25 号’失重率最高, ‘新密 3 号’次之, ‘新密 11 号’最低。‘新密 11 号’好果率为 84.44%, 显著高于 ‘西周密 25 号’和 ‘新密 3 号’。

表 1 3  $^{\circ}$ C 低温贮藏 49 d 后果实的冷害率、失重率 and 好果率

Table 1 Chilling injury incidence, weight loss and accepted percentage of fruits after 49 days storage at 3  $^{\circ}$ C

品种 Cultivar	冷害率/% Chilling injury incidence	失重率/% Weight loss	好果率/% Accepted percentage
西周密 25 号 Xizhoumi 25	51.11 ± 1.04 b	9.70 ± 0.76 a	25.55 ± 3.85 b
新密 3 号 Xinmi 3	66.67 ± 1.80 a	7.91 ± 0.26 a	13.33 ± 3.33 b
新密 11 号 Xinmi 11	3.70 ± 0.31 c	4.81 ± 0.81 b	84.44 ± 1.93 a

注: 同列数据后小写字母表示存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。  
Note: Values followed by different lowercase letters within each column are significantly different at  $P < 0.05$ .

## 2.2 冷藏期间果实冷害指数的变化

低温环境中发生了冷害的果实移至常温后症状及生理反应会更明显。‘西周密 25 号’果实在 3 ℃ 贮藏 21 d 后移至常温 3 d 后出现冷害；‘新密 3 号’贮藏 7 d 后，移至常温 3 d 后出现冷害；‘新密 11 号’贮藏 42 d 后，移至常温 3 d 后出现冷害。‘新密 3 号’冷害出现最早，‘西周密 25 号’次之，‘新密 11 号’最晚。整个贮藏过程中，‘新密 11 号’果实冷害指数显著低于‘新密 3 号’和‘西周密 25 号’（图 1）。表明‘新密 11 号’对低温胁迫的耐性最强，‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’较弱。

## 2.3 冷藏期间果实相对膜透性的变化

由图 2 可以看出，3 个品种哈密瓜果实的相对膜透性随着低温贮藏时间的延长而增大。整个贮期内，‘新密 11 号’显著低于‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’（ $P < 0.05$ ），且上升幅度较小。可见，其受伤害程度较轻。

## 2.4 冷藏期间果实脂氧合酶（LOX）活性的变化

由图 3 可以看出，3 个品种哈密瓜果实在 3 ℃ 低温贮藏过程中，LOX 活性逐渐增大。‘新密 3 号’在贮藏的前 28 d 最高，整个低温贮藏期内，‘新密 11 号’显著低于‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’（ $P < 0.05$ ），‘西周密 25 号’与‘新密 3 号’无显著差异。

## 2.5 冷藏期间果实膜脂脂肪酸组分及相对含量的变化

经测定，哈密瓜果实脂肪酸主要由棕榈酸（ $C_{16:0}$ ）、棕榈烯酸（ $C_{16:1}$ ）及硬脂酸（ $C_{18:0}$ ）等 3 种饱和脂肪酸和油酸（ $C_{18:1}$ ）、反式亚油酸（ $C_{18:2}$ ）、亚油酸（ $C_{18:2}$ ）及亚麻酸（ $C_{18:3}$ ）等 4 种不饱和脂肪酸组成，约占总膜脂脂肪酸含量的 95% 以上。3 个品种在 3 ℃ 低温贮藏过程中脂肪酸组分未发生明显变化，但品种间相对含量

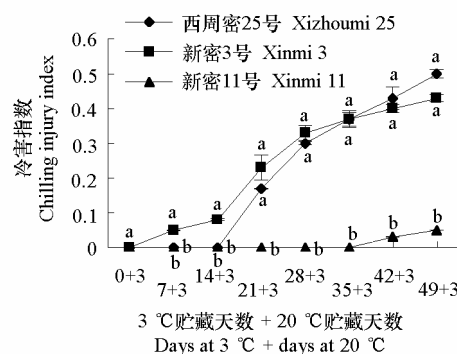


图 1 3 ℃ 冷藏期间果实冷害指数的变化

Fig. 1 Changes of chilling injury index of fruits during storage at 3 °C

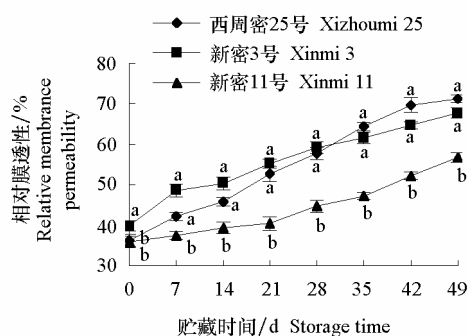


图 2 3 ℃ 冷藏期间果实相对膜透性的变化

Fig. 2 Changes of relative membrane permeability of fruits during storage at 3 °C

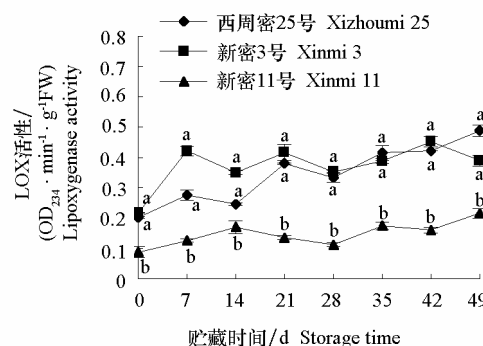


图 3 3 ℃ 冷藏期间果实脂氧合酶（LOX）活性的变化

Fig. 3 Changes of lipoxigenase (LOX) activity of fruits during storage at 3 °C

存在差异。

由图 4 可以看出, 3 个品种哈密瓜果实饱和脂肪酸以棕榈酸 ( $C_{16:0}$ ) 为主, 棕榈烯酸 ( $C_{16:1}$ ) 次之, 硬脂酸 ( $C_{18:0}$ ) 较少。随着低温贮藏时间的延长, 3 个品种 3 种饱和脂肪酸的相对含量均呈现上升的趋势。‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’棕榈酸 ( $C_{16:0}$ ) 在 0~35 d 低温贮藏期内维持较高水平, 两者间无显著差异 ( $P < 0.05$ ), 而‘新密 11 号’显著低于二者 ( $P < 0.05$ ), 贮藏 42 d 后, ‘新密 3 号’和‘新密 11 号’棕榈酸 ( $C_{16:0}$ ) 相对含量无显著差异。3 个品种果实低温贮藏过程中棕榈烯酸 ( $C_{16:1}$ ) 相对含量变化不明显, 基本维持在 4.96%~9.78%, 3 个品种间无显著差异 ( $P < 0.05$ ), 只有‘西周密 25 号’棕榈烯酸 ( $C_{16:1}$ ) 在贮藏 49 d 时相对含量骤然升高, 其原因有待于进一步研究。‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’硬脂酸 ( $C_{18:0}$ ) 在贮藏前期显著高于‘新密 11 号’ ( $P < 0.05$ ), 贮藏后期, ‘新密 3 号’与‘新密 11 号’间无显著差异, ‘西周密 25 号’显著高于‘新密 3 号’和‘新密 11 号’。

由图 5 可以看出, 3 个品种哈密瓜果实不饱和脂肪酸以亚油酸 ( $C_{18:2}$ ) 为主, 其次为亚麻酸 ( $C_{18:3}$ ), 反式亚油酸 ( $C_{18:2}$ ) 和油酸 ( $C_{18:1}$ ) 的相对含量较低。随着低温贮藏时间的延长, 3 个品种 4 种不饱和脂肪酸的相对含量均呈现逐渐下降的趋势。‘新密 11 号’和‘西周密 25 号’亚油酸 ( $C_{18:2}$ ) 相对含量在 0~21 d 低温贮藏期内显著高于‘新密 3 号’ ( $P < 0.05$ ), 贮藏 28~49 d, ‘新密 11 号’亚油酸 ( $C_{18:2}$ ) 相对含量显著高于‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’, 后两者间差异不显著 ( $P < 0.05$ ); ‘新密 11 号’亚麻酸 ( $C_{18:3}$ ) 相对含量在整个低温贮藏期多显著高于其他两个品种, 贮藏 28 d, ‘新密 3 号’亚麻酸 ( $C_{18:3}$ ) 相对含量骤然升高, 达到 17.81%, 其原因有待于进一步研究; ‘新密 11 号’油酸 ( $C_{18:1}$ ) 相对含量也较高, 贮藏 0~14 d, ‘西周密 25 号’油酸 ( $C_{18:1}$ ) 相对含量高于‘新密 3 号’, 但贮藏 21~49 d, 两者间差异不显著; ‘西周密 25 号’反式亚油酸 ( $C_{18:2}$ ) 相对含量较低 ( $P < 0.05$ ), 贮藏 42~49 d, ‘新密 3 号’和‘西周密 25 号’反式亚油酸 ( $C_{18:2}$ ) 相对含量差异不显著 ( $P < 0.05$ )。从整个低温贮藏过程中不饱和脂肪酸相对含量的变化幅度分析, 亚油酸 ( $C_{18:2}$ ) 的变化幅度最大, 为 4.31%~7.07%, 亚麻酸 ( $C_{18:3}$ ) 的变化幅度次之, 为 3.89%~5.09%, 而反式亚油酸 ( $C_{18:2}$ ) 及油酸 ( $C_{18:1}$ ) 的变化幅度较小。

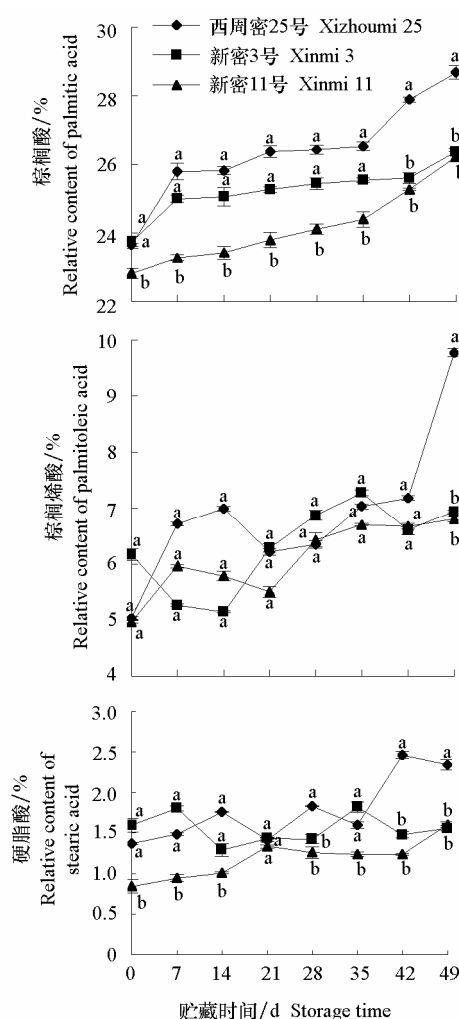


图 4 3℃冷藏期间果实饱和脂肪酸相对含量的变化  
Fig. 4 Changes of relative content of saturated fatty acid of fruits during storage at 3℃

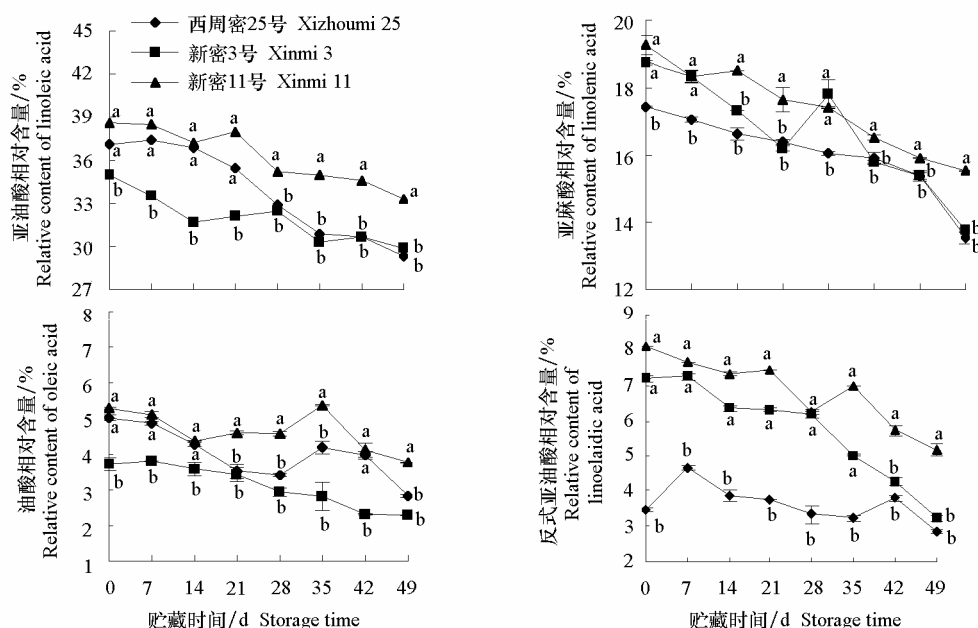


图5 3 °C冷藏期间果实不饱和脂肪酸相对含量的变化

Fig. 5 Changes of relative content of unsaturated fatty acid of fruits during storage at 3 °C

## 2.6 冷藏期间果实膜脂脂肪酸不饱和指数和不饱和度的变化

膜脂脂肪酸不饱和指数 (IUFA) 能反映膜的流动性。脂肪酸不饱和度 (UFA/FA) 可直接反映脂肪酸的构成比例的变化。由图 6 可以看出, 3 个品种哈密瓜果实在低温贮藏过程中 IUFA 和 UFA/FA 均呈逐渐下降趋势, 但 ‘新密 11 号’ 哈密瓜果实 IUFA 和 UFA/FA 显著高于 ‘西周密 25 号’ 和 ‘新密 3 号’, 后两者差异不显著 ( $P < 0.05$ )。

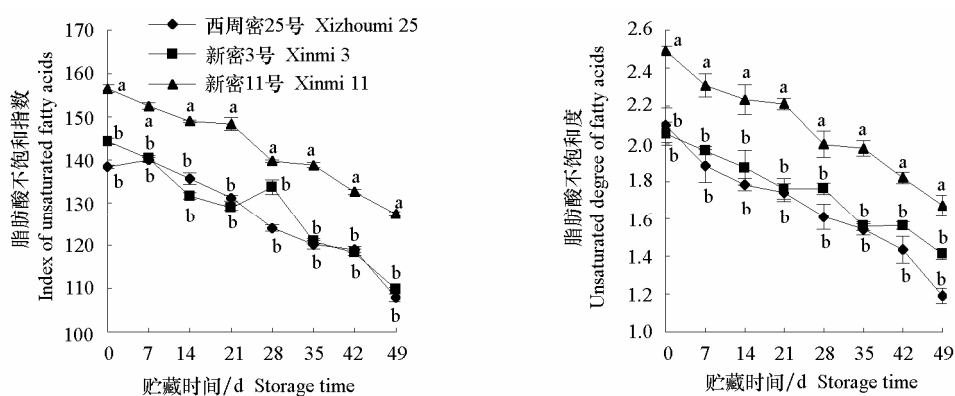


图6 3 °C冷藏期间果实脂肪酸不饱和指数 (IUFA) 和脂肪酸不饱和度 (UFA/FA) 的变化

Fig. 6 Changes of index of unsaturated fatty acids (IUFA) and unsaturated degree of fatty acids (UFA/FA) of fruits during storage at 3 °C

## 3 讨论

3 °C 贮藏下, ‘西周密 25 号’ (早熟) 和 ‘新密 3 号’ (中熟) 冷害出现时间较早, ‘新密 11 号’ (晚熟) 冷害出现较晚且冷害指数低, 表明其耐冷性较强。3 °C 贮藏 49 d 后, ‘新密 11 号’

冷害率和失重率显著低于‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’, 好果率显著高于其他两个品种。结果表明, ‘新密 11 号’耐冷性强。此外, 研究发现‘西周密 25 号’果实失重率高达 9.69%, 这与刘同业等 (2015) 在哈密瓜及赵云峰和郑瑞生 (2010) 在茄子上的研究结果一致。

冷害的发生促进植物体内 LOX 活性增强, 启动细胞膜的膜脂过氧化作用; 脂肪酸组分中的不饱和脂肪酸比例与膜脂过氧化程度有关, 冷害发生降低膜脂脂肪酸的不饱和程度, 加剧对植物组织细胞结构和功能的破坏 (生吉萍 等, 1999; Stark, 2005; Liavonchanka & Feussner, 2006)。本研究中发现, 3℃低温贮藏条件下, 3 个品种哈密瓜果实 LOX 活性上升, 亚油酸 (C<sub>18:2</sub>) 和亚麻酸 (C<sub>18:3</sub>) 等不饱和脂肪酸相对含量下降, 棕榈酸 (C<sub>16:0</sub>)、棕榈烯酸 (C<sub>16:1</sub>) 及硬脂酸 (C<sub>18:0</sub>) 等饱和脂肪酸相对含量增加, 膜脂脂肪酸不饱和指数 (IUFA) 和膜脂脂肪酸不饱和度 (UFA/FA) 下降, 表明细胞膜的流动性下降。3 个品种哈密瓜果实采后冷藏期间 LOX 活性和膜脂脂肪酸相对含量不同, ‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’ LOX 活性显著高于‘新密 11 号’, 棕榈酸 (C<sub>16:0</sub>) 及硬脂酸 (C<sub>18:0</sub>) 的相对含量显著低于‘新密 11 号’, 亚油酸 (C<sub>18:2</sub>)、亚麻酸 (C<sub>18:3</sub>)、反式亚油酸 (C<sub>18:2</sub>) 及油酸 (C<sub>18:1</sub>) 相对含量显著低于‘新密 11 号’, IUFA 和 UFA/FA 亦显著低于‘新密 11 号’, 这些结果与‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’果实膜完整性的丧失及冷害发生一致。可见, ‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’哈密瓜果实冷害的发生与细胞膜脂肪酸相对含量关系密切。进一步分析发现, 3 个品种哈密瓜果实 3℃低温贮藏过程中的冷害发生程度与亚油酸 (C<sub>18:2</sub>) 和亚麻酸 (C<sub>18:3</sub>) 分别呈显著负相关关系 ( $r = -0.851^*$  和  $r = -0.780^*$ ), 这与柿 (罗自生, 2006)、桃 (高慧和饶景萍, 2007)、橄榄 (孔祥佳 等, 2012) 及猕猴桃 (杨青珍, 2013) 等果实的研究结果相一致。是否可将亚油酸 (C<sub>18:2</sub>) 和亚麻酸 (C<sub>18:3</sub>) 的相对含量作为鉴定哈密瓜果实采后耐冷性的有效指标, 还需对耐冷性不同的哈密瓜品种进行进一步试验与探讨。

综上所述, ‘新密 11 号’哈密瓜果实在 3℃低温贮藏过程中, 相对膜透性、LOX 活性及亚油酸 (C<sub>18:2</sub>) 和亚麻酸 (C<sub>18:3</sub>) 等不饱和脂肪酸相对含量显著低于‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’, 贮藏 49 d 后, 其果实的冷害率和失重率较低, 好果率较高。表明‘新密 11 号’的耐冷性强于‘西周密 25 号’和‘新密 3 号’, 这种品种间的耐冷性差异与其本身的生理特性有关, 这可为今后选育耐冷性品种提供一定的理论依据。

## References

- Axelrod B, Chcesbrongh T M, Leakso S. 1981. Lipoxygenase from soybeans. *Methods in Enzymology*, 7: 443 - 451.
- Bi Yang, Tian Shi-ping, Lui Hong-xia, Zhao Jie, Cao Jian-kang, Li Yong-cai, Zhang Wei-yi. 2003. Effect of temperature on chilling injury, decay and quality of Hami melon during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 29: 229 - 232.
- Cao S F, Yang Z F, Cai Y T, Zheng Y T. 2011. Fatty acid composition and antioxidant system in relation to susceptibility of loquat fruit to chilling injury. *Food Chemistry*, 127: 1777 - 1783.
- Chen Shan-na, Li Ji-lan, Li Cong. 1995. The relation between the chilling resistences and the indeces of unsated fatty acid in biomembrance esters in dry embryos of rice varieties of Yunnan plateau. *Journal of Yunan University*, 17 (3): 2642 - 2648. (in Chinese)
- 陈善娜, 黎继岚, 李 聪. 1995. 云南高原水稻品种干胚膜脂脂肪酸的不饱和度与抗冷性的关系. *云南大学学报*, 17 (3): 2642 - 2648.
- Edna Fogelman, Ayse Kaplan, Zaccharia Tanami, Idit Ginzberg. 2011. Antioxidative activity associated with chilling injury tolerance of muskmelon (*Cucumis melo* L.) rind. *Scientia Horticulture*, 128: 267 - 273.
- Gao Hui, Rao Jing-ping. 2007. Effect of chilling injury on membrane fatty acid and enzymatic activity of stored nectarines. *Acta Botanica Borealo-Occidentalia Sinica*, 27 (4): 710 - 714. (in Chinese)
- 高 慧, 饶景萍. 2007. 冷害对贮藏油桃膜脂脂肪酸及相关酶活性的影响. *西北植物学报*, 27 (4): 710 - 714.
- Kong Xiang-jia, Lin He-tong, Chen Ya-ping, Wang Chun-hui, Lin Yi-fen, Chen Yi-hui. 2011. Effects of low temperature storage on postharvest

- physiology and quantity of ‘Changying’ Chinese olive fruit. *Packing and Food Machinery*, 29 (2): 1 – 5. (in Chinese)
- 孔祥佳, 林河通, 陈雅平, 王春辉, 林艺芬. 2011. 低温贮藏对“长营”橄榄果实采后生理和品质的影响. *包装与食品机械*, 29 (2): 1 – 5.
- Kong Xiang-jia, Lin He-tong, Zheng Jun-feng, Lin Yi-fen, Chen Yi-hui. 2012. Hot-air treatment induced chilling tolerance of cold-stored Chinese olive fruits and its relation to the metabolism of membrane lipids. *Scientia Agricultura Sinica*, 45 (4): 752 – 760. (in Chinese)
- 孔祥佳, 林河通, 郑俊峰, 林艺芬, 陈艺晖. 2012. 热空气处理诱导冷藏橄榄果实抗冷性及其与膜脂代谢的关系. *中国农业科学*, 45 (4): 752 – 760.
- Krarup Christian, Tohá Jaime, González Rodrigo. 2009. Symptoms and sensitivity to chilling injury of cantaloupe melons during postharvest. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69 (2): 125 – 133.
- Lee S H, Ahn S J, Im Y J, Cho K, Chung G C, Cho B H. 2005. Differential impact of low temperature on fatty acid unsaturation and lipoxygenase activity in figleaf gourd and cucumber roots. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 330: 1194 – 1198.
- Li Xue-wen. 2011. Study on 1-MCP and MeJA regulation and mechanism of quality of Hami melon fruit after harvest [Ph. D. Dissertation]. Nanjing: Nanjing Agricultural University. (in Chinese)
- 李学文. 2011. 1-MCP 和 MeJA 对哈密瓜采后品质调控及其机理研究 [博士论文]. 南京: 南京农业大学.
- Liavonchanka A, Feussner I. 2006. Lipoxygenases: Occurrence, functions and catalysis. *Journal of Plant Physiology*, 163 (3): 348 – 357.
- Liu He-jiang, Zhou Xiao-long, Qian Zong-yao, Wang Jian-mei, An Ran, Sun ting, Wang Cheng. 2014. Determination of fatty acids in *Agaricus blazei* Murill by gas chromatography. *Modern Scientific Instruments*, 156 (4): 137 – 139. (in Chinese)
- 刘河疆, 周晓龙, 钱宗耀, 王建梅, 安冉, 孙婷, 王成. 2014. 气相色谱法快速测定姬松茸中脂肪酸. *现代科学仪器*, 156 (4): 137 – 139.
- Liu Tong-ye, Zhang Ting, Che Feng-bin, Zi Wang-bei, Chao Xiang-xiang, Xu Bin. 2015. Studies on chilling injury physiology of ‘Xizhoumi No. 25’ Hami melon fruits at different storage temperature. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 52 (1): 26 – 32. (in Chinese)
- 刘同业, 张婷, 车凤斌, 晁王贝, 晁翔翔, 徐斌. 2015. 不同贮藏温度下西周密 25 号哈密瓜果实冷害生理的研究. *新疆农业科学*, 52 (1): 26 – 32.
- Luo Zi-sheng. 2006. Relationship between heat shock alleviating chilling injury and lipoxygenase of persimmon fruit. *Journal of Fruit Science*, 23 (3): 454 – 457. (in Chinese)
- 罗自生. 2006. 热激减轻柿果冷害及其与脂氧合酶的关系. *果树学报*, 23 (3): 454 – 457.
- Marangoni A G, Palma T, Stanley D W. 1996. Membrane effects in postharvest physiology. *Postharvest Biology and Technology*, 7 (3): 193 – 217.
- Wonsheer T, Kesta S, Doorn W G. 2009. The relationship between chilling injury and membrane damage in lemon basil (*Ocimum × citriodorum* leaves. *Postharvest Biology and Technology*, 51: 91 – 96.
- Sheng Ji-ping, Shen Lin, Luo Yun-bo. 1999. Lipoxygenases – Important enzymes in the ripening and senescence of fruits and vegetables. *Journal of Fruit Science*, 16 (1): 72 – 77. (in Chinese)
- 生吉萍, 申琳, 罗云波. 1999. 果蔬成熟和衰老中的重要酶——脂氧合酶. *果树科学*, 16 (1): 72 – 77.
- Stark G. 2005. Functional consequences of oxidative membrane damage. *Journal of Membrane Biology*, 205 (1): 1 – 16.
- Yang Qing-zhen. 2013. Physiological mechanism and regulation of chilling injury in postharvest kiwifruit [Ph. D. Dissertation]. Yangling: Northwest A & F University. (in Chinese)
- 杨青珍. 2013. 猕猴桃果实采后冷害发生生理机制及调控作用 [博士论文]. 杨凌: 西北农林科技大学.
- Zhang C F, Tian S P. 2009. Crucial contribution of membrane lipids unsaturation to acquisition of chilling-tolerance in peach fruit stored at 0 °C. *Food Chemistry*, 115 (2): 405 – 411.
- Zhang Ting, Chen Juan, Pan Yan, Xu Bin, Zheng Su-hui, Che Feng-bin. 2014. The influence on chilling injury and quality of postharvest 86-1 Hami melon (*Cucumis melo* L.) fruit under different storage temperatures. *Science and Technology of Food Industry*, 36 (3): 345 – 348. (in Chinese)
- 张婷, 陈娟, 潘俨, 徐斌, 郑素慧, 车凤斌. 2014. 不同贮藏温度对采后 86-1 哈密瓜果实冷害及品质的影响. *食品工业科技*, 36 (3): 345 – 348.
- Zhao Yun-feng, Zheng Rui-sheng. 2010. Effect of chilling injury on storage quality of postharvest eggplant fruits. *Food Science*, 31 (10): 321 – 325. (in Chinese)
- 赵云峰, 郑瑞生. 2010. 冷害对茄子果实贮藏品质的影响. *食品科学*, 31 (10): 321 – 325.