

# $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 射线辐照对“贵长”猕猴桃储藏品质的影响

石彬\*, 李咏富, 何扬波, 龙明秀, 田竹希, 罗其琪  
(贵州省农业科学院-贵州省现代农业发展研究所, 贵阳 550006)

**摘要: 目的** 研究不同剂量的  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线辐照对“贵长”猕猴桃储藏品质的影响。**方法** 以  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线作为辐照源, 选择不同的辐照剂量对“贵长”猕猴桃样品进行辐照处理, 并在储藏 60 d 内对样品中的维生素 C (vitamin C, VC) 含量、可溶性还原糖含量、果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量进行了检测, 并对其气味成分进行了分析。**结果**  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  辐照处理会影响“贵长”猕猴桃的储藏品质, 低于 4 kGy 的辐照处理对样品品质影响相对较小, 而 6 kGy 以上的辐照剂量会显著地加速样品成熟软化 ( $P < 0.05$ )。辐照处理对“贵长”猕猴桃的气味影响较小, 而硫化物、氮氧化物、芳香烃化合物及烷类是影响“贵长”猕猴桃挥发性气味成分。**结论** 当辐照剂量为 2~4 kGy 时, 储藏中“贵长”猕猴桃中 VC 等营养物质保存较好, 样品成熟老化速度减慢, 具有良好的保鲜效果。

**关键词:** 辐照; 贵长猕猴桃; 保鲜; 品质

## Effects of $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ ray irradiation on storage quality of "Guichang" kiwifruit

SHI Bin\*, LI Yong-Fu, HE Yang-Bo, LONG Ming-Xiu, TIAN Zhu-Xi, LUO Qi-Qi  
(Guizhou Academy of Agricultural Sciences-Guizhou Institute of Integrated Agricultural Development, Guiyang 550006, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the effect of different doses of  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  ray irradiation on the storage quality of "Guichang" kiwifruit. **Methods** Taking  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  rays as irradiation sources, different irradiation doses were selected for irradiation treatment of "Guichang" kiwifruit samples. The contents of vitamin C (VC), soluble reducing sugar, fruit hardness, soluble solids and titratable acids in the samples were determined within 60 d of storage, and its odor components were analyzed. **Results** The  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  irradiation treatment would affect the storage quality of "Guichang" kiwifruit. The irradiation treatment below 4 kGy had relatively little effect on the sample quality, while the irradiation dose above 6 kGy would significantly accelerate the maturation and softening of the sample ( $P < 0.05$ ). Irradiation treatment had little effect on the odor of "Guichang" kiwifruit, while sulfur compounds, nitrogen oxides, aromatic hydrocarbons and alkanes were the volatile odor components of "Guichang" kiwifruit. **Conclusion** When the irradiation dose is 2~4 kGy, the nutrients such as VC in the "Guichang" kiwifruit in storage are better preserved, the maturation and aging speed of the sample is slowed down, and it has a good preservation effect.

**基金项目:** 贵州省农业科学院青年科技基金项目(黔农科院青年基金[2018]73号)、贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2021]一般 123)

**Fund:** Supported by the Guizhou Academy of Agricultural Sciences Youth Science and Technology Fund Project (Guizhou Academy of Agricultural Sciences Youth Fund [2018] No.73), and the Guizhou Provincial Science and Technology Support Project (Qianke Support [2021] General 123)

\***通信作者:** 石彬, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品辐照加工。E-mail: 406140627@qq.com

\***Corresponding author:** SHI Bin, Master, Assistant Professor, Guizhou Institute of Integrated Agricultural Development, Guiyang 550009, China. E-mail: 406140627@qq.com

**KEY WORDS:** irradiation; "Guichang" kiwifruit; preservation; quality

## 0 引言

“贵长”猕猴桃产自贵州省修文县, 又名修文猕猴桃<sup>[1]</sup>, 是贵州省主要的猕猴桃品种之一。其果体修长、果肉翠绿, 具有果肉细嫩、肉质多浆、清甜爽口的独特品质, 深受人们喜爱。贵长猕猴桃除口感良好外, 还含有丰富的营养物质, 其中富含钙、钾、硒、锌、锗等微量元素及丰富的维生素 C (vitamin C, VC), 被誉为“水果之王”<sup>[2]</sup>, 具有显著的抗氧化作用<sup>[3-5]</sup>, 是一种具有保健功能的水果。然而猕猴桃受其自身生理特性的影响, 有明显的生理后熟过程, 采后极易变软腐烂<sup>[6]</sup>, 不耐贮藏, 每年有大量的猕猴桃因为储存不当而腐烂变质。猕猴桃因果实销售期短、无法满足市场长期供应的需求<sup>[7]</sup>, 且果实产期集中, 采后的贮藏保鲜是猕猴桃产业发展的必由之路<sup>[8]</sup>。目前猕猴桃主要的保鲜方法有: 气调保鲜<sup>[9]</sup>、低温保鲜<sup>[10]</sup>、化学试剂保鲜等<sup>[11]</sup>, 上述方法能够有效地延长猕猴桃的储藏时间, 但是其自身也存在耗能高、成本昂贵、有害化学残留等问题。因此研究一种相对方便、安全、成本低廉的保鲜方法显得十分必要。

辐照技术是一种从二十世纪八十年代兴起的保鲜技术, 主要是通过射线辐照食品, 以达到杀虫灭菌、抑制微生物生长、抑制呼吸作用、保持食品鲜度和卫生的目的<sup>[12]</sup>。 $^{60}\text{Co-}\gamma$  射线辐照是一种特殊的“冷杀菌”技术<sup>[13]</sup>, 它在常温下杀菌, 穿透性强, 在有效杀灭内部微生物的同时, 不会破坏食品的内部结构, 能够很好地保存风味, 且能耗少、无残留, 对环境无污染, 符合绿色安全保鲜的要求。近年来辐照技术已经广泛的应用于果蔬保鲜, 在西兰花、蓝莓、西洋芹、大蒜等<sup>[14-15]</sup>很多果蔬上都得到了应用, 但是由于猕猴桃的特性, 目前辐照技术用于猕猴桃保鲜的研究鲜见报道。鉴于此, 本研究利用  $^{60}\text{Co-}\gamma$  射线作为辐照源, 探究了不同剂量的  $^{60}\text{Co-}\gamma$  辐照对“贵长”猕猴桃品质的影响, 以期能为猕猴桃辐照保鲜研究提供理论依据, 为猕猴桃辐照保鲜技术的发展提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器与试剂

CT14RD 高速台式冷冻离心机(上海天美科学仪器有限公司); PEN3 便携式电子鼻(北京盈盛恒泰科技有限责任公司); TA20 多功能质构仪(上海保圣实业发展有限公司); WYT-J 型手持折光仪(成都豪创光电仪器有限公司); UV-5500(PC)型紫外可见分光光度计(上海元析仪器有限公司); FA1204C 电子分析天平(上海天美天平仪器有限公司)。

“贵长”猕猴桃, 采自贵州省修文县基地; 抗坏血酸标准品( $\geq 98.0\%$ )、草酸、2,6-二氯酚、碳酸氢钠、3,5-二硝基水杨酸(3,5-dinitrosalicylic acid, DNS)、氢氧化钠、丙三醇、葡萄糖标准品( $\geq 99.61\%$ )、酚酞试剂[分析纯, 阿拉丁试剂(上海)有限公司]。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 猕猴桃的处理

取新鲜采摘的“贵长”猕猴桃果实作为实验材料, 选取大小均一、成熟度一致、无损伤的果实, 以  $^{60}\text{Co-}\gamma$  作为辐照源进行不同剂量的辐照处理。

#### 1.2.2 维生素 C 含量测定

采用 2,6-二氯酚滴定法测定。称取 5 g 新鲜猕猴桃果肉, 剪碎加 2% 的草酸 5 mL, 置于研钵中研成浆, 定容至 100 mL, 充分混匀后, 5000 r/min 离心 10 min 后经 0.22  $\mu\text{m}$  滤膜过滤, 得待测液。用已标定的 2,6-二氯酚溶液滴定至终点, 采用以下公式计算样品中 VC 含量。

$$N = V_1 \times K \times V \times 100 / (W \times V_2)$$

式中:  $N$  为每 100 g 样品所含的 VC 的量, mg;

$V_1$  为滴定样品液所用去染料体积, mL;

$V_2$  为样品测定时所用滤液体积, 10 mL;

$V$  为样品提取液的总体积, 100 mL;

$K$  为 1 mL 染料能氧化抗坏血酸的质量, mg, 等于 0.055;

$W$  为称取样品重量, g。

#### 1.2.3 还原糖测定

采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定。配制 1 mg/L 的葡萄糖标准液与 DNS 试剂, 按表 1 的方法, 配制 6 组不同浓度葡萄糖标准液。充分混匀后于沸水中加热煮沸 5 min, 流水冲冷却后向各试管加入 4 mL 蒸馏水, 混匀。以管 1 为空白对照, 540 nm 波长下测定各管吸光度, 绘制吸光度-葡萄糖浓度曲线, 计算线性回归方程。根据结果, 测定各样品的还原糖含量。

表 1 葡萄糖标准液配制方法(mL)

Table 1 Preparation method of glucose standard solution (mL)

管号	1	2	3	4	5	6
1 mg/L 葡萄糖	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
蒸馏水	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
DNS	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

#### 1.2.4 果实硬度测定

选取大小均一、无机械损伤的猕猴桃样品进行测试, 每组测试选择 5 个样品, 每个样品测试 3 次, 计算平均值。选择 TPA 模式进行测试, 选择针型探头, 测试探头

量程: 50 N; 测定模式: 穿刺模式, 运行速度: 50 mm/min; 穿刺距离: 20 mm; 触发感应力: 0.038 N, 回程速度: 60 mm/min; 回程距离: 60 mm。

### 1.2.5 可溶性固形物测定

准确称取 10 g 新鲜猕猴桃果肉, 研磨成浆, 用双层滤纸过滤, 得到待测液体, 用折光仪进行测定, 计算可溶性固形物含量。每组实验重复 3 次。

### 1.2.6 可滴定酸测定

准确称取 10 g 新鲜猕猴桃果实研成糊状, 加入蒸馏水 30 mL 导入三角瓶中, 80 °C 水浴 30 min, 冷却、过滤; 取滤液 10 mL, 加入 3 滴酚酞, 用 0.1 mol/L NaOH 滴定至微红, 30 s 不褪色, 重复 3 次取平均值, 即为可滴定酸(titratable acidity, TTA)。

$$TTA(\%) = (A \times 0.1 \times K \times C) / (W \times D) \times 100$$

式中:  $K$ : 折算系数 0.067;  $A$ : 消耗 NaOH 的量, mL;  $C$ : 稀释总量, 30 mL;  $W$ : 样品重量, 10 g;  $D$ : 待测样品量, 10 mL。

### 1.2.7 气味测定

准确称取 3 g 新鲜猕猴桃样品, 加入 50 mL 顶空瓶中, 密封, 60 °C 水浴 10 min 后进行电子鼻测试。采样间隔时间 1 s; 传感器自动清洗时间 40 s; 传感器归零时间 5 s; 进样流量 600 mL/min; 检测分析时间 80 s。取 55~60 s 之间 6 个稳定的点进行气味成分分析, 每组重复分析 3 次。电子鼻不同传感器敏感物质如表 2 所示。

表 2 PEN3 电子鼻传感器敏感物质

Table 2 Sensitive substances PEN3 electronic nose sensor

编号	传感器	敏感物质
S1	W1C	芳烃化合物
S2	W5S	氮氧化物
S3	W3C	氨、芳香分子
S4	W6S	氢化物
S5	W5C	烯烃、芳族、极性分子
S6	W1S	烷类
S7	W1W	硫化物
S8	W2S	检测醇、部分芳香族化合物
S9	W2W	芳烃化合物、硫的有机化合物
S10	W3S	烷类和脂肪族

### 1.2.8 数据分析处理

采用 Origin 9.0 软件进行作图; 采用 SPSS 19.0 软件进行实验数据统计分析处理, 使用 Duncan 显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照对“贵长”猕猴桃中 VC 含量的影响

维生素 C (VC) 是猕猴桃中一种重要的营养成分, 同时

也是判断其成熟度的一个重要标志。VC 作为一种不稳定的有机酸, 容易被氧化分解, 而氧化的快慢与储藏条件有直接的关系<sup>[16]</sup>。选择  $^{60}\text{Co-}\gamma$  辐照处理后的“贵长”猕猴桃样品, 每隔 10 d 对样品中 VC 含量进行测定, 结果如图 1 所示。 $^{60}\text{Co-}\gamma$  辐照对样品中 VC 含量有显著的影响 ( $P < 0.05$ ), 当储藏时间为 0 d 时, 不同辐照剂量处理的样品中 VC 含量分别为 40.16、38.82、37.44、35.87、33.64 mg/100 g, 随着辐照剂量的增加, 样品中 VC 含量降低, 且各组样品 VC 含量之间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 随着储藏时间增加, 样品中 VC 含量降低, 辐照剂量为 0 kGy 的样品, 在储藏 30 d 内 VC 下降速度较快, 随后下降速度减慢, 表明未辐照的样品在 30 d 内存在 VC 氧化分解的高峰期。辐照样品 VC 下降相对较慢, 可能由于辐照加速了 VC 前期的分解过程, 储藏过程初始 VC 含量较低, 变化较慢。储藏时间达到 60 d 时, 辐照剂量为 2 kGy 和 4 kGy 的样品中 VC 含量分别为 30.65 mg/100 g 和 28.45 mg/100 g, 显著高于其他组 ( $P < 0.05$ )。而 0 kGy 与 8 kGy 处理的样品中 VC 含量最低, 分别为 21.41 mg/100 g 和 22.66 mg/100 g。表明 2~4 kGy 左右剂量的  $^{60}\text{Co-}\gamma$  辐照能有效延缓样品中 VC 的分解氧化; 而高剂量的辐照处理则会破坏样品中 VC, 不利于猕猴桃中 VC 的保存。

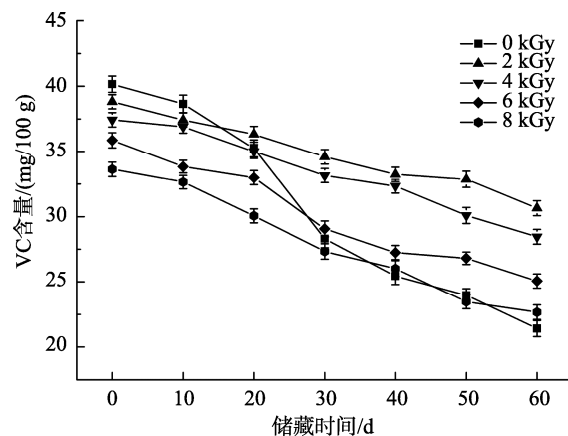


图 1 辐照样品中 VC 含量变化 ( $n=3$ )

Fig.1 Changes in VC content of irradiated samplest ( $n=3$ )

### 2.2 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照对“贵长”猕猴桃中可溶性还原糖的影响

猕猴桃在成熟过程中会伴随着糖分的积累和降解, 猕猴桃果实储藏初期会有一个糖分积累的过程, 后期还原糖作为呼吸作用底物被大量分解, 还原糖含量的变化会影响猕猴桃的口感和品质<sup>[17]</sup>。本研究在储藏 60 d 内, 对  $^{60}\text{Co-}\gamma$  不同剂量辐照处理的样品中还原糖含量进行了检测。还原糖浓度与 540 nm 处吸光值之间存在良好的线性关系, 相关系数为 0.9992, 线性拟合方程为  $Y=6.4052X-0.007$ 。由图 2 可知, 在 60 d 内, 各组样品中还原糖含量随储藏时间的增加而升高。0 d 时, 各组样品中可溶性还原糖含量分别为: 1.92、

1.96、2.03、2.08、2.12 g/100 g, 表明储藏初期, 随着辐照剂量的增加, 还原糖含量上升, 可能由于辐照加速了猕猴桃中淀粉等非还原性多糖的分解, 导致可溶性还原糖含量增加。储藏 60 d 后, 2、4、6、8 kGy 的样品内可溶性还原糖上升量分别为 0.58、0.58、0.59、0.56 g/100 g, 差异不明显( $P > 0.05$ )。而 0 kGy 的样品中可溶性还原糖上升量为 0.74 g/100 g, 显著高于其他样品( $P < 0.05$ )。60 d 后, 2 kGy 和 4 kGy 的样品中还原糖含量显著低于其他组( $P < 0.05$ )。结果表明在猕猴桃储藏过程中辐照处理能有效抑制猕猴桃果实的呼吸作用, 使可溶性还原糖含量的上升减慢。其中 2~4 kGy 左右剂量的辐照效果最好, 能有效减缓还原糖的上升速度, 有利于样品的储藏保鲜; 当辐照剂量大于 6 kGy 时, 样品中还原糖含量较高, 可能是由于高剂量的辐照加速了淀粉前期的降解。

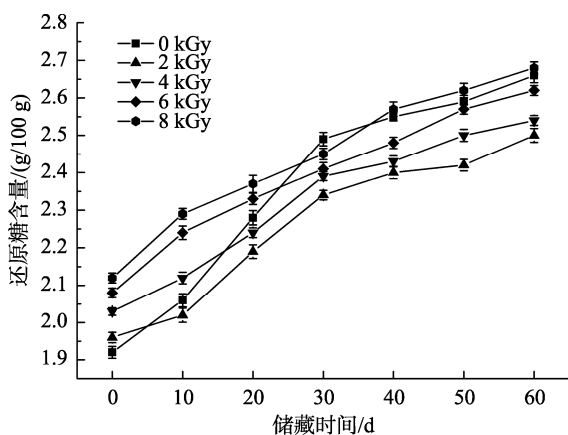


图 2 辐照样品中还原糖含量变化 (n=3)  
Fig.2 Change in reducing sugar concentration in irradiated samples (n=3)

### 2.3 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照对“贵长”猕猴桃果实硬度的影响

猕猴桃在储藏过程中的软化主要与果实内淀粉与果胶降解密切相关, 随着猕猴桃储藏的进行, 其果实中淀粉和果胶等物质逐渐分解, 猕猴桃也会随之成熟软化, 其质硬度也会发生很大的变化<sup>[10]</sup>。在储藏 60 d 内, 对不同剂量辐照处理的“贵长”猕猴桃样品进行硬度检测, 结果如图 3 所示, 猕猴桃的硬度随着储藏时间地增加而减小, 未经辐照处理的样品在储藏时间 30 d 内, 硬度迅速下降, 由 33.23 N 下降至 15.56 N, 表明 30 d 内为猕猴桃果实淀粉和果胶降解的一个高峰期, 该时期内, 猕猴桃果实软化较快, 与 2.1 中 VC 变化结果一致; 辐照处理样品的硬度相对下降较慢, 在储藏 0 d 时, 各组样品的硬度分别为 33.23、31.36、27.73、23.76、22.52 N, 随着辐照剂量的增加, 猕猴桃样品的硬度降低。储藏过程中, 2 kGy 和 4 kGy 处理的样品的硬度处于较高水平。在 60 d 后, 二者的硬度分别为 16.04 N 和 17.22 N, 之间不存在显著差

异( $P > 0.05$ ), 而 0、6、8 kGy 处理的样品硬度较低, 分别为 11.55、10.22、9.01 N, 显著低于 2 kGy 和 4 kGy 的样品( $P < 0.05$ )。结果表明相对于 0 kGy 的样品, 较大的辐照剂量会加速猕猴桃样品的成熟软化, 不利于样品的长期储藏, 而 2~4 kGy 左右辐照处理, 能够有效减缓猕猴桃前期硬度下降趋势, 延缓了果实的成熟软化。

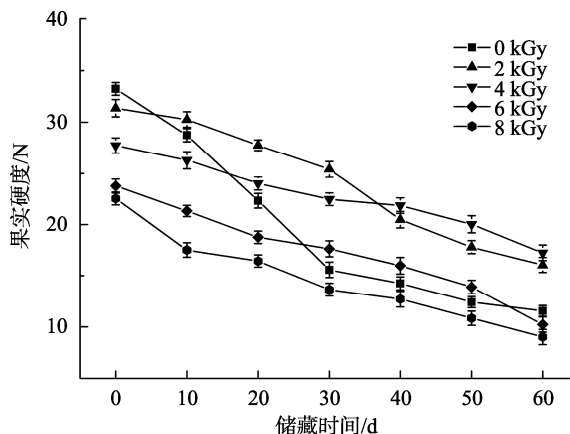


图 3 辐照样品中果实硬度变化 (n=3)  
Fig.3 Changes in fruit hardness in irradiated samples (n=3)

### 2.4 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照对“贵长”猕猴桃中可溶性固形物的影响

猕猴桃中可溶性固形物主要是可溶性糖类, 猕猴桃在成熟过程中, 淀粉会分解成更小分子的糖类, 因此可溶性固形物可以很好地衡量猕猴桃在储藏中的成熟情况<sup>[18-20]</sup>。在储藏 60 d 内, 每隔 10 d 对不同辐照处理的样品中可溶性固形物进行检测, 结果如图 4 所示。由结果可知, 样品储藏过程中, 可溶性固形物的含量升高。这是由于猕猴桃在储藏前期, 果实未完全达到成熟状态, 糖分的积累量大于呼吸消耗分解产生的可溶性糖类, 故随着储藏的进行, 可溶性固形物含量呈上升趋势。储藏时间为 0 d 时, 各组样品中可溶性固形物含量由小到大分别为 14.67%、14.86%、15.42%、15.86%、16.46%, 辐照剂量分别为 4、2、0、6、8 kGy, 其中 2 kGy 和 4 kGy 的样品可溶性固形物含量小于 0 kGy 的样品, 可能是由于低剂量的辐照能够抑制果实的呼吸作用; 而 6 kGy 和 8 kGy 中可溶性固形物含量大于 0 kGy 的样品, 表明高剂量的辐照处理加速分解产生可溶性固形物作用大于呼吸抑制作用。储藏 60 d 后, 各组样品的可溶性固形物含量由小到大分别为 17.33%、17.90%、19.02%、19.44%、19.90%, 辐照剂量分别为 2、4、6、8、0 kGy, 其中 0 kGy 的样品中可溶性固形物含量显著高于其他组( $P < 0.05$ ), 表明辐照能够减缓猕猴桃中可溶性固形物的升高。辐照剂量在 2 kGy 左右时, 样品中可溶性固形物较低, 表明低剂量的辐照能够有效减缓样品中可溶性固形物的生成; 随着辐照剂量的增

大, 样品中可溶性固形物含量升高, 辐照剂量大于 6 kGy 时, 可溶性固形物显著上升 ( $P < 0.05$ ), 表明高剂量的辐照处理不利于猕猴桃的储藏保鲜。

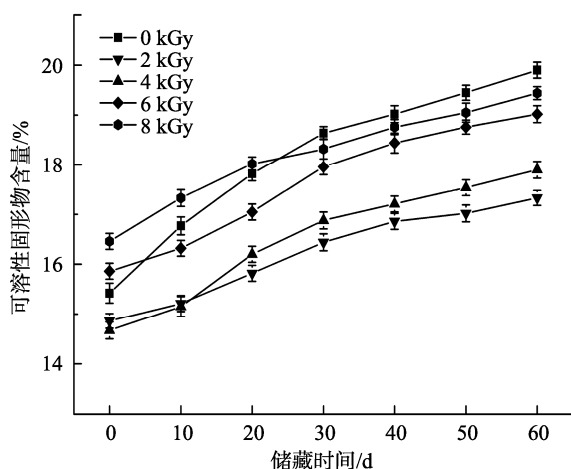


图 4 辐照样品中可溶性固形物含量变化 ( $n=3$ )

Fig.4 Changes in soluble solids content in irradiated samples ( $n=3$ )

## 2.5 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照对“贵长”猕猴桃中可滴定酸的影响

可滴定酸度是植物品质的重要构成性状之一, 可滴定酸与糖一样, 是果实成熟度的一个重要标志<sup>[21]</sup>。本研究在 60 d 内对不同辐照处理的样品中可滴定酸进行了检测, 结果如图 5 所示。结果表明, 猕猴桃样品中可滴定酸含量会随着储藏时间地增加而下降, 这是由于储藏过程中样品的呼吸作用增强, 导致可滴定酸消耗增加。在储藏 0 d 时, 各组样品中可滴定酸的含量分别为 4.72%、4.63%、4.52%、4.21%、4.01%, 储藏初期随着辐照剂量的增加, 样品中可滴定酸含量下降, 其中 0、2、4 kGy 的样品中可滴定酸的含量差异不大, 而 6 kGy 和 8 kGy 的样品中可滴定酸含量下降明显, 可能由于高剂量辐照破坏了样品自身的一部分有机酸结构, 加速了有机酸的分解。在 60 d 后, 各组样品中可滴定酸的含量分别为 3.00%、3.66%、3.74%、3.28%、3.19%。0 kGy 的样品储藏 60 d 过程中可滴定酸含量下降了 1.72%, 显著地高于辐照处理的各组样品 ( $P < 0.05$ ), 表明辐照有效抑制了样品呼吸对可滴定酸的消耗。2、4、6、8 kGy 的样品可滴定酸变化量分别为 0.97%、0.78%、0.93%、0.82%。其中 4 kGy 辐照剂量样品中可滴定酸含量下降最慢, 对可滴定酸保存效果最好, 2 kGy 辐照处理的样品次之, 而 6 kGy 和 8 kGy 处理的样品可滴定酸保存效果不理想。因此辐照剂量过低对猕猴桃呼吸抑制效果较弱, 而过高的辐照剂量则会加速可滴定酸的消耗。

## 2.6 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照对“贵长”猕猴桃中气味的影响

猕猴桃果实储藏过程中随着代谢的进行, 大分子物质开始分解, 细胞内部的挥发性气味成分开始生成, 而猕猴桃的气味也会发生变化。本研究通过电子鼻分析了

储藏 60 d 时不同辐照剂量处理的猕猴桃样品中气味变化情况, 其中载荷分析图、主成分分析图、线性判别分析图分别如图 6~8 所示。

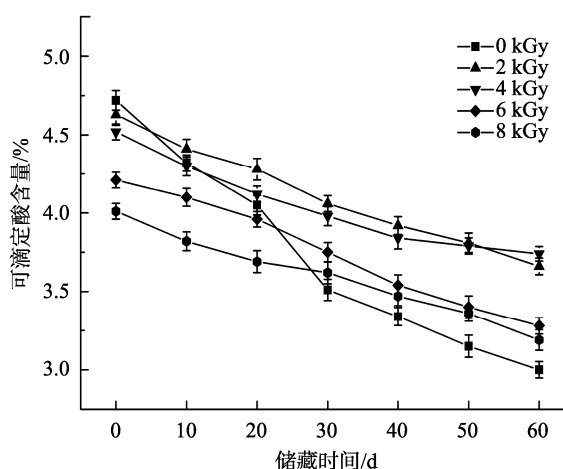


图 5 辐照样品中可滴定酸含量变化 ( $n=3$ )

Fig.5 Changes in titratable acid content in irradiated samples ( $n=3$ )

载荷分析主要用于反映因子和变量间的密切程度, 传感器的响应值越接近 1, 贡献率越大, 反之传感器响应值越接近 0, 则贡献率越小。图 6 结果表明, W1W 和 W5S 2 种传感器分别在第一、第二主成分的贡献率均超过 70%, 表明硫化物和氮氧化物分别对第一、第二主成分中贡献率最大, 是猕猴桃果实储藏中最主要的气味成分。而 W2W 传感器对第一主成分的贡献率 30% 左右、第二主成分贡献率均在 20% 左右, 贡献率仅次于 W1W 和 W5S, 表明芳香烃化合物、硫的有机化合物为猕猴桃气味中重要成分之一; W1S 对第一主成分和第二主成分贡献率均为 10% 左右, 对主成分贡献率有重要的影响, 表明烷类物质在猕猴桃主成分气味中有重要的贡献。而其他传感器的贡献率接近原点, 其影响可以忽略不计。结果显示“贵长”猕猴桃果实在储藏过程中主要贡献的挥发性风味成分主要为硫化物、氮氧化物、芳香烃化合物、硫的有机化合物及烷类化合物。

主成分分析图是以散点图为基础, 每个点代表一个样品的一次检验, 点与点之间的距离代表不同检测次数之间特征差异的大小。图 7 结果表明, 猕猴桃样品中第一主成分方差贡献率为 85.12%, 第二主成分方差贡献率为 14.20%, 累计方差贡献率为 99.32%, 表明提取猕猴桃果实中气味成分分子较完全, 无干扰成分<sup>[16]</sup>。储藏 60 d 后, 猕猴桃各组样品的总体气味成分并未完全分开, 相对于第二主成分, 不同辐照处理在第一主成分差异更大, 表明辐照处理对猕猴桃中硫化物、香烃化合物、硫的有机化合物等气味分子存在一定影响。其中 2 kGy 与 0 kGy 的样品在第一主成分上气味差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 而 4、6、8 kGy 的 3 组与 0 kGy 样品存

在显著差异( $P < 0.05$ ), 可能是辐照加速了猕猴桃中挥发性物质分解所致。

线性判别分析如图 8 所示, 结果表明, 第一主成分方差贡献率为 78.37%, 第二主成分方差贡献率为 7.33%, 总贡献率为 85.70%。各组猕猴桃样品在第二主成分上差异不大, 主要是第一主成分上的差异, 与主成分分析结果一致。各组猕猴桃样品中气味分子在第一主成分上贡献值随辐照剂量地增大而减小, 而 6 kGy 辐照的样品与 8 kGy 差异不明显, 可能是由于达到较高辐照剂量后, 对样品中气味分子的影响趋于稳定。

气味分析结果表明, 硫化物、氮氧化物、芳香烃化合物、硫的有机化合物及烷类化合物等“贵长”猕猴桃果实中主要的挥发性风味成分, 辐照处理会影响猕猴桃中硫化物、香烃化合物、硫的有机化合物等挥发性风味物质, 随辐照剂量的增加挥发性风味物质贡献减少, 2 kGy 左右较低的辐照剂量影响不显著( $P > 0.05$ ), 4 kGy 以上较高的辐照剂量会显著减少猕猴桃挥发性风味成分( $P < 0.05$ ), 影响猕猴桃样品的口感。

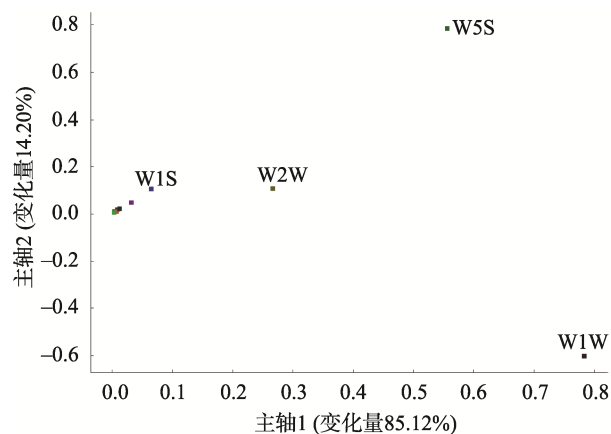


图 6 样品载荷分析图

Fig.6 Load analysis of irradiated samples

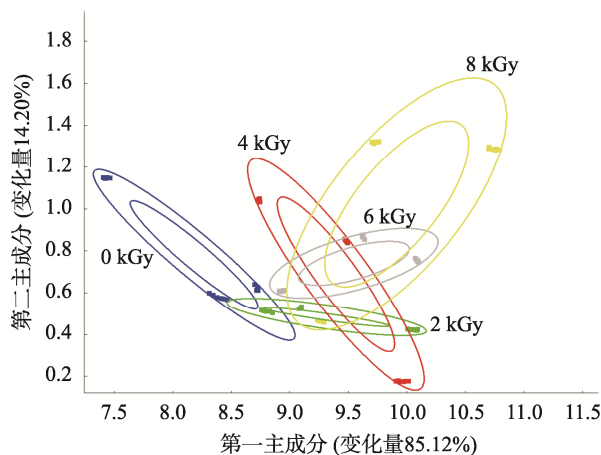


图 7 辐照样品主成分分析图

Fig.7 Principal component analysis of irradiated samples

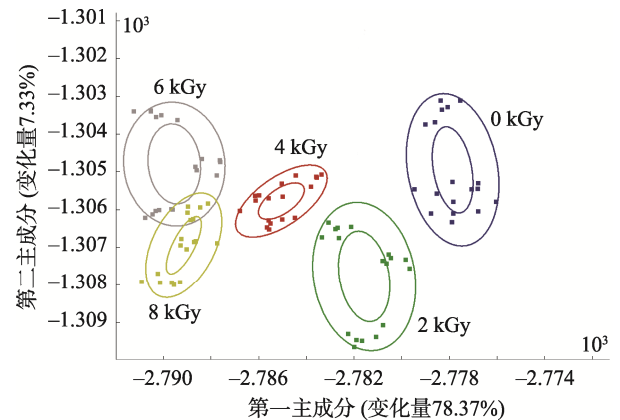


图 8 辐照样品线性判别分析图

Fig.8 Linear discriminant analysis of irradiated samples

### 3 结 论

本文研究了不同  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线剂量辐照处理对“贵长”猕猴桃储藏中生理特性的影响, 结果表明  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线辐照处理会导致猕猴桃的 VC、硬度、可滴定酸含量下降, 而“贵长”猕猴桃的可溶性还原糖含量、可溶性固形物则会受辐照处理影响而升高。“贵长”猕猴桃储藏中主要挥发性风味成分为硫化物、氮氧化物、芳香烃化合物及烷类等, 辐照处理主要影响猕猴桃中硫化物、香烃化合物、硫的有机化合物的含量。随辐照剂量的增加猕猴桃风味物质变少, 当辐照剂量达到 6 kGy 以上时, 储藏中果实香味明显变淡, 口感和风味受到影响。合适的辐照剂量对“贵长”猕猴桃保鲜十分重要, 当辐照剂量为在 2~4 kGy 左右时, 对猕猴桃的各生理指标影响较小, 能较好地抑制猕猴桃的呼吸作用, 缓解猕猴桃的成熟软化; 而当辐照剂量达到 6 kGy 以上时, “贵长”猕猴桃的生理指标变化较大, 猕猴桃的成熟速度加快, 不利于储藏。现阶段的研究对  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线辐照对果蔬保鲜的具体机制尚未明确, 有待进一步的探索。

### 参考文献

- [1] 王国立, 吴素芳, 黄亚欣, 等. 花粉直感对贵长猕猴桃坐果和果实品质的影响[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(11): 98-100.  
WANG GL, WU SF, HUANG YX, et al. Effect of pollen straightness on fruiting and fruit quality of *Actinidia chinensis* [J]. Guizhou Agric Sci, 2018, 46(11): 98-100.
- [2] SIVAKUMARAN S, HUFFMAN L, SIVAKUMARAN S, et al. The nutritional composition of Zespri® SunGold kiwifruit and Zespri® Sweet Green kiwifruit [J]. Food Chem, 2018, 238: 195-202.
- [3] 马云, 王笑成, 穆易君, 等. 不同品种软枣猕猴桃品质指标的主成分分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(5): 233-238.  
MA Y, WANG XC, MU YJ, et al. Analysis on principal components of different kinds of *Actinidia chinensis* [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(5): 233-238.
- [4] LATOCHA P, KRUPA T, JANKOWSKI P, et al. Changes in postharvest

- physicochemical and sensory characteristics of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* and its hybrid) after cold storage under normal versus controlled atmosphere [J]. *Postharv Biol Technol*, 2014, 88: 21–33.
- [5] TOMASZ K, PIOTR L, AGATA L. Changes of physicochemical quality, phenolics and vitamin C content in hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* and its hybrid) during storage [J]. *Sci Horticult*, 2011, 130(2): 410–417.
- [6] 贺艳娥, 周会玲, 刘焕, 等. 猕猴桃贮藏保鲜技术研究进展[J]. *农学学报*, 2019, 9(10): 33–37.  
HE YW, ZHOU HL, LIU H, *et al*. Advances in storage and preservation techniques of kiwifruit [J]. *J Agric*, 2019, 9(10): 33–37.
- [7] 康慧芳, 乔勇进, 刘晨霞, 等. 气调贮藏对“徐香”猕猴桃采后保鲜效果影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(2): 285–293.  
KANG HF, QIAO YJ, LIU CX, *et al*. Effect of controlled atmosphere storage on postharvest fresh-keeping of "Xuxiang" kiwifruit [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 4(2): 285–293.
- [8] 李明月, 万如意, 臧建磊, 等. 猕猴桃果实贮藏保鲜研究进展[J]. *现代农业科技*, 2018, 731(21): 255–256, 258.  
LI MY, WAN RY, ZANG JL, *et al*. Advances in freshness and storage of *Actinidia chinensis* fruit [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2018, 731(21): 255–256, 258.
- [9] 李玉琼. 采后猕猴桃气调保鲜贮藏技术的探讨[J]. *农技服务*, 2017, 34(24): 142.  
LI YQ. Study on modified atmosphere storage technology of postharvest kiwifruit [J]. *Agric Technol Serv*, 2017, 34(24): 142.
- [10] 吴小红. 猕猴桃冷藏保鲜工艺[J]. *西北园艺*, 2018, 255(5): 39–40.  
WU XH. Fresh-keeping process of *Actinidia chinensis* [J]. *Northwest Horticult*, 2018, 255(5): 39–40.
- [11] 孟文俊, 王增池. 猕猴桃鲜果采后贮藏保鲜研究进展[J]. *现代农村科技*, 2020, (4): 107–109.  
MENG WJ, WANG ZC. Research progress on postharvest preservation of kiwifruit [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2020, (4): 107–109.
- [12] 孟晓焯. 辐照保鲜的果蔬安全问题[J]. *中国果菜*, 2014, 34(5): 49.  
MENG XY. Safety of vegetables and fruits irradiated for preservation [J]. *China Fruit Veg*, 2014, 34(5): 49.
- [13] 黄曼, 刘丹. 辐照技术在粮食储藏中的应用[J]. *粮油食品科技*, 2005, 13(1): 26–27.  
HUANG M, LIU D. Application of irradiation technology in food storage [J]. *Sci Technol Cere Oil Food*, 2005, 13(1): 26–27.
- [14] FILHO J, SCOLFORO CZ, SARAIVA SH, *et al*. Physicochemical, microbiological and sensory acceptance alterations of strawberries caused by gamma radiation and storage time [J]. *Sci Horticult*, 2018, 238: 187–194.
- [15] RAMAKRISHNAN SR, JO Y, NAM HA, *et al*. Implications of low-dose e-beam irradiation as a phytosanitary treatment on physicochemical and sensory qualities of grapefruit and lemons during postharvest cold storage [J]. *Sci Horticult*, 2019, 245: 1–6.
- [16] 李国林, 孟繁博, 郑秀艳, 等. 红肉火龙果贮藏期间气味监测及桃吉尔霉对气味的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(18): 74–78.  
LI GL, MENG FB, ZHENG XY, *et al*. Odor monitoring during storage of red-meat pitaya and the effect of porcini on odor [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(18): 74–78.
- [17] 李艳杰, 孙先鹏, 郭康权, 等. 臭氧、保鲜剂对猕猴桃贮藏保鲜效果的比较[J]. *食品科技*, 2009, 34(2): 45–48.  
LI YJ, SUN XP, GUO KQ, *et al*. Comparison of ozone and fresh fruit storage [J]. *Food Sci Technol*, 2009, 34(2): 45–48.
- [18] BURDON J, PIDAKALA P, MARTIN P, *et al*. Fruit maturation and the soluble solids harvest index for 'Hayward' kiwifruit [J]. *Sci Horticult*, 2016, 213: 193–198.
- [19] 张忠, 马朝玲, 丁若琪, 等. 不同解冻方式对软儿梨果实品质与抗氧化物质含量的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(3): 236–244.  
ZHANG Z, MA CL, DING RJ, *et al*. Effects of different thawing methods on the fruit quality and antioxidant content of soft pears [J]. *Food Sci*, 2018, 39(3): 236–244.
- [20] 梁琨, 刘全祥, 潘磊庆, 等. 基于高光谱和 CARS-IRIV 算法的‘库勒香梨’可溶性固形物含量检测[J]. *南京农业大学学报*, 2018, 41(4): 760–766.  
LIANG K, LIU QX, PAN LQ, *et al*. The soluble solid content detection of 'Korla Xiang pear' based on high spectrum and CARS-IRIV algorithm [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2018, 41(4): 760–766.
- [21] 邱静, 邹礼根, 陈飞东, 等. 数字化控制气调保鲜对红阳猕猴桃品质的影响[J]. *浙江农业科学*, 2019, 60(11): 2080–2083.  
QIU J, ZOU LG, CHEN YD, *et al*. Effect of digital control on the quality of Hongyang kiwi fruit [J]. *Zhejiang Agric Sci*, 2019, 60(11): 2080–2083.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

## 作者简介



石彬, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品辐照加工。  
E-mail: 406140627@qq.com