

# 苹果的辐射效应和辐射保藏研究

赵克俭 路敦柱 万 虹

朱诏南 徐珊梅

(中国科学院生物物理研究所)

**提要** 本文研究了苹果的 $\gamma$ 辐射效应并着重研究了红香蕉苹果的辐射保藏效果。实验发现, $\gamma$ 辐射能使苹果呼吸强度增加而对乙烯生成量的影响则与苹果采摘后放置时间有关。综合各种因素,我们认为,300~500 Gy对苹果辐射保藏来说是合宜的。维生素C是不稳定的和不耐辐射的,而苹果中维生素C辐射效应很小,这主要是糖类和有机酸对维生素C有稳定作用和辐射保护作用。辐照对苹果中糖、酸无影响。照射后的苹果也没有测出长寿命自由基。辐射能使红香蕉苹果虎皮病发病率大大下降。品尝结果表明,辐照苹果都优于或等于对照的样品。

**关键词** 辐射保藏;呼吸速率;乙烯生成;维生素C;虎皮病。

## 引 言

近年来,辐射处理水果以延长贮存期,提高水果质量的研究报道已有不少<sup>[1]</sup>。但是每种水果辐照的最佳剂量现在仍是众说纷纭。的确,水果的品种繁多,成熟度不同,生长条件不同,每个研究者侧重指标不同,因此,辐照条件很难统一给出。这就需要我们针对水果的某些辐射效应进行研究,寻找一些基本规律,为最佳剂量和辐照条件的选择提供依据。

关于苹果的辐射保藏虽有一些报道,但由于种种原因,结论差异甚大。红香蕉苹果是我国的主要苹果品种之一,然而它很不耐贮存,采摘后在常温下很快就衰老变质。在冷库贮存,第二年的三、四月份质量也大为降低,硬度变小,虎皮病严重,风味骤变。本文研究了苹果的某些辐射效应,测试了红香蕉苹果中的营养成分的变化,观察了辐射保藏效果并就最佳剂量选择进行了讨论。

## 实验材料及方法

(1) 实验用的国光苹果、红香蕉苹果均为北京郊区出产。适于贮存成熟度采摘,从入库前商品中随机取样。放置不同时间进行辐照并进行各项指标分析。

(2) 贮存苹果是原筐辐照,每筐25 kg,每个苹果都以软纸包裹,装入聚乙烯塑料袋中(塑料袋厚6  $\mu\text{m}$ ),再置于筐内。照射剂量率为2 Gy/min,筐内苹果剂量不均匀度为1.35。照射后于冷库(0~1  $^{\circ}\text{C}$ )贮存。

(3) 用红外 $\text{CO}_2$ 分析仪测量苹果呼吸速率,用气相色谱法测定乙烯含量。用Bruker, ER-200 D-SRC型顺磁共振仪测ESR信号。

## 结 果 和 讨 论

### 1. 苹果的代谢速度

代谢速度快慢,标志着水果耐贮存的情况。从保藏的角度来看,不论采取什么措施,只要能

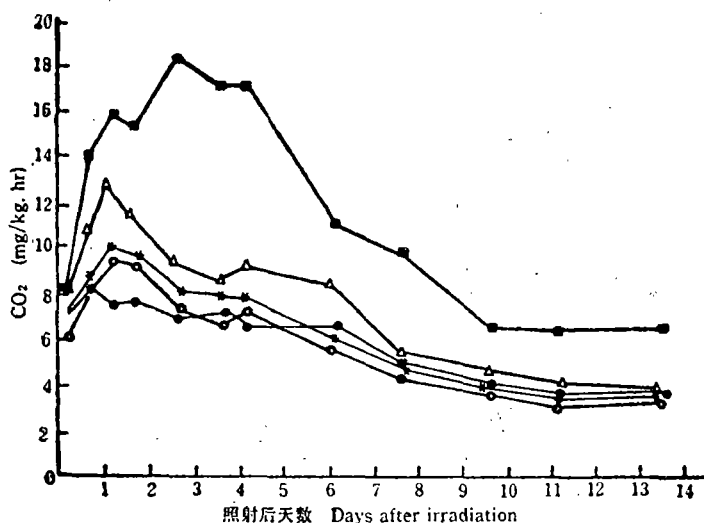


图1 苹果受不同剂量照射后,呼吸强度随剂量和放置时间的变化情况

● 0 Gy ○ 300 Gy \* 700 Gy △ 2000 Gy ■ 3000 Gy

Fig. 1 The change of respiratory rate of irradiated apple with various dose

(The apples were preserved at room temperature after treatment)

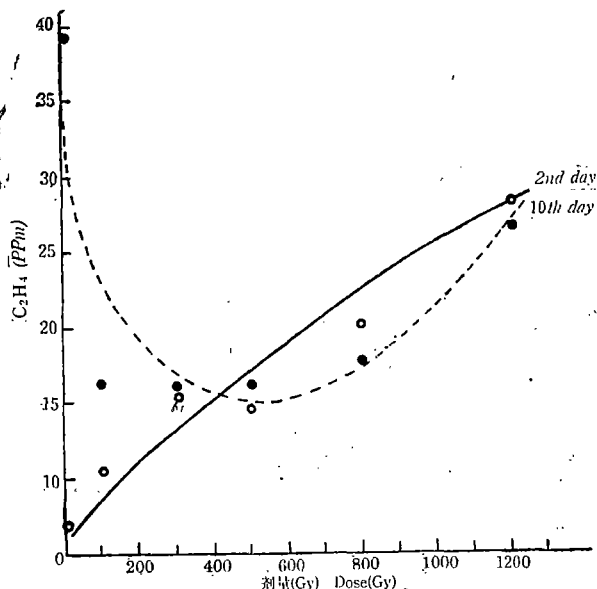


图2 苹果采摘后不同时间照射时乙烯的响应情况

Fig. 2 The ethylene response of apple to radiation  
(The apples were irradiated at different time after harvest and assay immediately after irradiation)

降低其呼吸速率,就有利于延长贮存期。图1是国光苹果采摘后5天,辐照不同剂量后呼吸速率变化情况。由图看出,苹果被照后,不论剂量大小,都能使呼吸速率增加。但当辐照剂量不超过800 Gy时,由辐射引起的呼吸速率增加,在5天左右(室温)又恢复到未照射的水平。关于其他苹果的一些辐射效应,我们将另文发表<sup>[2]</sup>。如果只就辐射对苹果的呼吸速率而言,辐射对苹果的贮存效果似无什么积极意义。

## 2, 苹果的乙烯生成量

虽说乙烯的形成过程和加速果蔬成熟的机理至今仍在进行研究,但乙烯对果蔬有催熟作用,这一点是肯定的。辐射对苹果中乙烯生成的影响如何,这也是很多人在研究的问题。图2是苹果采摘后不同时间辐照时乙烯的生成情况。由实验看出,照射时间不同,响应是不同的。刚采摘的苹果进行辐照时,其乙烯生成量随照射剂量增大而增加,而放置10天照射时,辐射则抑制乙烯的生成,辐射剂量越大,抑制作用越强。但超过800 Gy时,辐射对乙烯的生成则变成刺激作用。也可看出,刚采摘的苹果因辐照而使乙烯增加的趋势在照后第三天就发生变化,剂量低于500 Gy时,其乙烯含量开始下降。以后一直低于未照射苹果的水平。而在第10天照射的苹果,在所实验的剂量范围内,其乙烯含量都一直低于未照射的水平,见图3和图4。

## 3, 苹果中维生素C

水果和蔬菜是人体维生素C的主要提供者。已知维生素C是不稳定的,它对辐射又是非常敏感的,辐射能否引起苹果中维生素

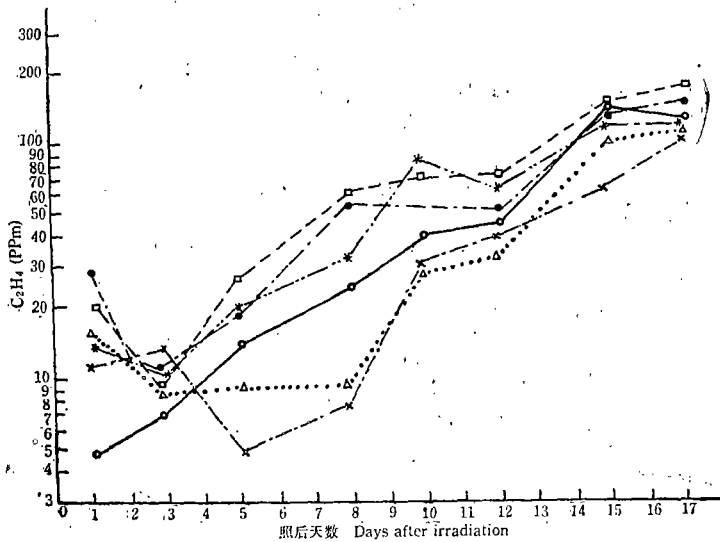


图3 苹果采摘后第二天进行照射, 乙烯含量变化情况

○—○ 0 Gy ×—× 100 Gy △—△ 300 Gy  
\*—\* 500 Gy □—□ 800 Gy ●—● 1200 Gy

Fig. 3 The change of ethylene of irradiated apple with various dose. The irradiation was applied at second day after harvest

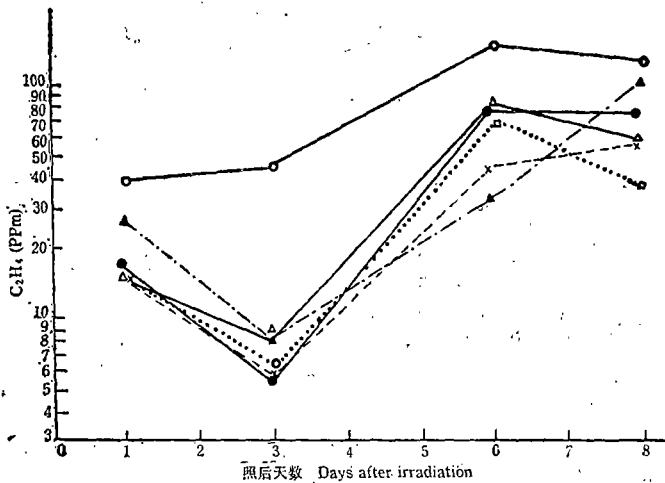


图4 苹果采摘后第10天进行照射, 乙烯含量变化情况

○—○ 0 Gy ●—● 100 Gy △—△ 300 Gy  
×—× 500 Gy □—□ 800 Gy ▲—▲ 1200 Gy

Fig. 4 The change of ethylene of irradiated apple with various dose. The irradiation was applied at 10th day after harvest

C的改变是人们所关注的。我们实验了红香蕉苹果辐照后维生素C的变化。表1是实验结果。可以看出, 苹果中维生素C还是比较稳定的。剂量为 $4.4 \times 10^2 \text{ Gy}$ 时, 才损失5%左右。这种照射后的效应能否长期存在下去呢? 我们也对照射过的苹果在冷库贮存8个月之后, 进行了维生素C的测定, 结果表明, 此时的维生素C含量照射与未照射的没有什么差别(见表2)。这可能是由于苹果经过几个月的自身变化和其他外界条件的影响, 而这些影响远远超过辐射因素所引起的变化。苹果中维生素C约含 $0.02 \text{ mg/g}$ , 由实验看出, 若无其他物质存在, 以此浓度进行辐照, 当剂量为 $1.3 \times 10^3 \text{ Gy}$ 时, 它至少要损失掉85%以上(见图5), 然而为什么辐照同样剂量时苹果中的维生素C损失不多呢? 这是由于很多糖类和有机酸对维生素C都有辐射保护作用, 特别是苹果酸不但对维生素C起稳定作用, 而且具有更大辐射保护作用。苹果是一个复杂的体系, 它含有很多糖类和有机酸, 而且由实验看出, 这些有机酸和糖类的辐射保护作用都具有相加性, 但不是各个绝对值的和。如图7所示。这种情况告诉我们, 维生素C虽说是不稳定的和不耐

辐射的, 但在苹果中它的稳定性和耐辐照性有了很大改善。由文献<sup>[3]</sup>得知, 在糖类存在下进行辐照, 维生素C含量有所降低, 但有相当一部分却转变成了脱氢维生素C。它仍有着同维生素C同样的生理功能, 虽说它的功效仅是维生素C的一半。因此, 就辐射保藏而言, 辐射引起苹果中维生素C的损失是不必担心的。

表 1 照射不同剂量后苹果中  
维生素 C 变化情况

Table 1 The change of ascorbic acid in  
apple with various irradiation dose

| 剂量(Gy)            | 剩余维生素 C(%)<br>Remains of ascorbic acid |
|-------------------|----------------------------------------|
| $2.1 \times 10^2$ | 100                                    |
| $4.4 \times 10^2$ | 95                                     |
| $6.8 \times 10^2$ | 85                                     |
| $1.0 \times 10^3$ | 75                                     |
| $2.1 \times 10^3$ | 70                                     |
| $3.6 \times 10^3$ | 60                                     |

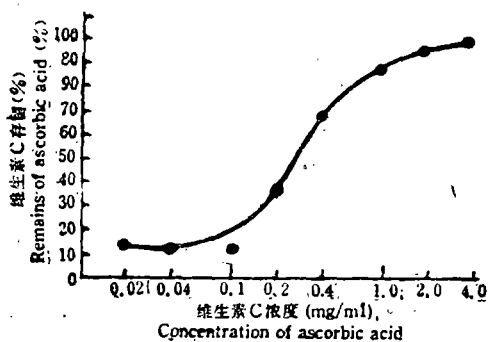


图 5 不同浓度维生素 C 的辐射效应  
剂量:  $13 \times 10^2$  Gy

Fig. 5 The radiation damage of ascorbic acid  
with different concentration in water  
Dose:  $13 \times 10^2$  Gy

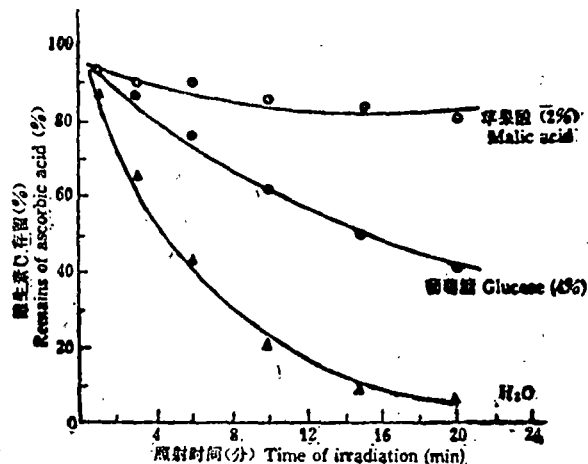


图 6 苹果酸和葡萄糖对维生素 C 的辐射保护效应  
剂量率: 450 Gy/min

Fig. 6 The radiation protection of malic  
acid and glucose to ascorbic acid  
Ascorbic acid: 0.4 mg/ml  
Radiation intensity, 450 Gy/min

表 2 照射过的苹果贮存 8 个月  
后维生素 C 变化的情况

Table 2 The change of ascorbic acid of irradiated  
apples after keeping 0—1°C for 8 months

| 剂量 (Gy)    | 维生素 C 含量<br>Content of ascorbic acid(mg/g) |
|------------|--------------------------------------------|
| Controlled | 0.021                                      |
| 200        | 0.022                                      |
| 300        | 0.018                                      |
| 500        | 0.023                                      |
| 800        | 0.020                                      |

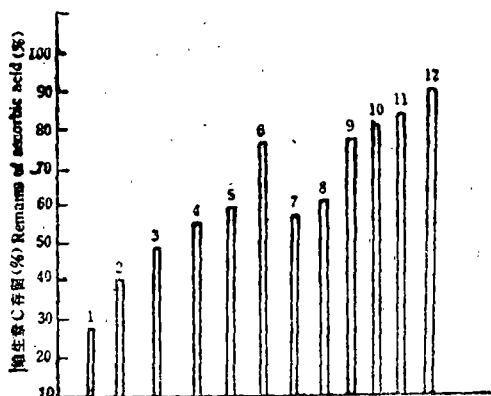


图 7 不同介质对维生素 C 的辐射保护作用

1. 柠檬酸 2. 果糖 3. 葡萄糖 4. 蔗糖
5. 乙醇 6. 苹果酸 7. 葡萄糖和柠檬酸
8. 蔗糖和柠檬酸 9. 葡萄糖和苹果酸
10. 蔗糖和苹果酸 11. 柠檬酸和乙醇
12. 苹果酸和乙醇(均为 2%)

Fig. 7 The radiation protection of different  
medium to ascorbic acid

- 1, Citric acid 2, Fructose 3, Glucose
- 4, Sucrose 5, alcohol 6, Malic acid
- 7, Glucose and citric acid
- 8, Sucrose and citric acid
- 9, Glucose and malic acid
- 10, Sucrose and malic acid
- 11, Citric acid and alcohol
- 12, Malic acid and alcohol (2%)

#### 4. 苹果中的糖和酸

苹果中所含糖和酸主要是蔗糖、果糖、葡萄糖、苹果酸、柠檬酸等。根据推断,在我们所使用的剂量范围内,不会引起这些糖和酸的变化,表 3 是我们对红香蕉苹果照射不同剂

量, 放置不同时间的含糖量和含酸量的测量结果。实验看出, 红香蕉苹果中含糖量随放置时间增长而增加, 而含酸量随放置时间增长而降低的规律不受辐射影响。

表 3 照射后的苹果含糖量和含酸量变化情况(%) (照射后贮存于 0~1℃)

Table 3 The changes of saccharide and acidity of irradiated apples after keeping 0—1℃ for various time (%)

| Dose(Gy)         | 日期 Date         |              |                 |              |                 |              |                 |              |
|------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
|                  | 27.Sep.85.      |              | 21.Nov. 85      |              | 3. Feb. 86      |              | 30. Apr. 86     |              |
|                  | 糖<br>Saccharide | 酸<br>Acidity | 糖<br>Saccharide | 酸<br>Acidity | 糖<br>Saccharide | 酸<br>Acidity | 糖<br>Saccharide | 酸<br>Acidity |
| 对照<br>Controlled | 9.64            | 0.27         | 7.77            | 0.24         | 10.00           | 0.22         | 9.98            | 0.17         |
| 200              | 8.89            | 0.27         | 9.62            | 0.22         | 9.52            | 0.22         | 9.38            | 0.17         |
| 300              | 9.00            | 0.26         | 9.14            | 0.21         | 9.30            | 0.22         | 9.80            | 0.19         |
| 500              | 8.58            | 0.27         | 8.52            | 0.24         | 9.48            | 0.19         | 10.30           | 0.17         |
| 800              | 8.89            | 0.27         | 7.82            | 0.24         | 9.85            | 0.23         | 9.56            | 0.15         |

## 5, 苹果硬度变化

果实的硬度在很大程度上受果肉的果胶物质及细胞壁的厚度等影响。一般说来, 辐照能使果肉内果胶降低, 但 philips<sup>[4]</sup>对苹果辐照 850 Gy 也没有发现果胶有大的变化。Mercier<sup>[5]</sup>观察到, 若剂量为 2000 Gy, 在较长一段时间内, 照射过的比未照射的硬度还要大。徐志成<sup>[6]</sup>等工作看出, 300~500 Gy 处理过的苹果存放半年后硬度比对照的高。我们观察了照射不同剂量后红香蕉苹果随放置时间硬度变化情况。结果见表 4。由表可以看出, 在所使用的剂量范围内, 苹果硬度没有因辐射而发生变化。

表 4 照射后的苹果硬度变化情况

(照射后贮存于 0~1℃)

Table 4 The change of firmness of irradiated apples after keeping 0~1℃

| 剂量(Gy)        | 硬度 Firmness 1 b/cm <sup>2</sup> |           |           |
|---------------|---------------------------------|-----------|-----------|
| Dose(Gy)      | 时 间 Date                        |           |           |
| 对照<br>Control | 1985.9.18                       | 1986.1.28 | 1986.4.20 |
| 200           | 17.9                            | 13.4      | 13.5      |
| 300           | 17.8                            | 15.3      | 12.5      |
| 500           | 17.7                            | 13.5      | 13.0      |
| 800           | 17.9                            | 13.8      | 14.0      |
|               | 18.0                            | 15.3      | 13.7      |

## 6, 红香蕉苹果的虎皮病

虎皮病的发病机制与控制方法至今还没有得到圆满解决, 而虎皮病对苹果贮存来说的确是一种严重病害。根据我们的观察, 红香蕉苹果采摘后在室温下贮存很快就衰老变质, 风味大减。在冷藏条件下, 第二年的三、四月间虎皮病严重发生。根据我们的实验, 在相同条件下, 冷库贮存 8 个月, 没经辐射的苹果发病率在 60% 左右, 而经辐照过的苹果完好率在 85% 以上。而且还发现经过辐照处理的苹果从冷库移入室温, 其抗虎皮病能力远超过没经辐照处理的苹果。例如将苹果在冷藏 7 个月, 移至室温存放 14 天(1986 年 4 月 4 日至 4 月 18 日), 从外表上看, 对照样品虎皮病极为严重, 已完全失去商品价值; 而辐照过的样品仍很完好, 颜色也仍很鲜艳。

## 7, 辐照苹果的长寿命自由基

苹果是一个复杂的含水体系。一般说来, 含水体系辐照后的一系列变化都是由自由基引起的。因此, 我们进行了苹果中自由基测量。苹果在常温照射, 然后以石英管取样, 以 Bruker ER

-200 D-SRC 型顺磁共振仪在常温和冰冻情况下测量。结果是:照射过与未照射过的样品在这两种测量条件下,均未发现有长寿命 ESR 信号。

## 品 尝

据前所述,辐照能够抑制虎皮病发生,且没有引起维生素 C、糖、酸的变化,也没有测得长寿命自由基。那么消费者对此反映如何呢?这是对成果的直接评价。因为苹果贮存初期各指标变化不大,尤其是无论照射与未照射的苹果此时都没有虎皮病发生,因此,我们将贮存至第二年(4月29日)的苹果以双盲法进行了品尝鉴定。每个苹果只编号,不注明其贮存经历。共10人参加。最后评比结果表明,照射过的苹果得分都高于或等于对照组的分数。

## 小 结

(1) 本文对苹果辐射保藏机理进行了研究。辐射能使苹果呼吸速率增加,从这一点看,辐射不利于苹果保藏。而辐射对苹果中乙烯的生成量,在刚采摘后和放置几天以后的响应有明显的差异,前者是刺激作用,后者是抑制作用。由实验看出,500 Gy 对苹果中乙烯有较大的抑制作用,而此时由辐照引起呼吸速率的增加在5天左右又降到对照的水平。实验也发现,剂量再大时有诱发苹果褐心病的趋势。综合各种因素考虑,我们认为300~500 Gy 对苹果的辐射保藏是较宜的。(2) 水果的主要营养成分之一,维生素 C 是不耐辐射的,也是不稳定的。在苹果中维生素 C 较为稳定而且辐射损伤不大,这是由于苹果中的糖类和有机酸,对维生素 C 起了稳定作用和辐射保护作用,因此,在辐射保藏剂量范围内,不会对维生素 C 造成明显的损失。(3) 辐照对苹果中糖、酸没什么影响,也没有长寿命自由基存在。苹果的硬度也没有因辐照而产生不利影响。品尝实验表明,辐照过的苹果质量较高,无任何异味,完全可以接受。(4) 辐照能够减少红香蕉苹果虎皮病的发生,而且辐照苹果从冷库取出后在室温下抗虎皮病能力也比对照的强,因而辐照提高了苹果的质量,延长了货架期。

## 参 考 文 献

- [1] 赵克俭,原子能农业译丛,1,1(1985).
- [2] 赵克俭,万虹,园艺学报,(待发表).
- [3] 赵克俭,路敦柱,徐珊梅,朱诏南,生物化学与生物物理进展,4,32(1984).
- [4] W. R. Philips, Gamma irradiation in Canada, 3, 39~41 (1964).
- [5] R. G. Mercier, K. F. Macqueen, Gamma irradiation in Canada, 5, 61~80(1967).
- [6] 徐志成,刘仁忠,赵德耀,焦新之,邱鸿宾,谷崇光,辐射研究与辐射工艺学报,3(3),59(1985).

(1986年7月18日收到)

## STUDY ON THE RADIATION PRESERVATION OF APPLE AND THE RADIATION EFFECTS ON IT

Zhao Kejian    Lu Dunzhu    Wan Hong

Zhu Zhaonan    Xu Shanmei

(Institute of Biophysics, Academic Sinica)

**ABSTRACT** The radiation effects on respiration and ethylene production in apple and its radiation preservation were reported in this paper. It shows that, when irradiation was applied immediately after harvest, the respiratory rate and ethylene production increases with the increasing of irradiation dose. When irradiation was applied after 7-10 days of storage, the respiratory rate still rises with the dose, while there is a decrease in ethylene production with the increasing of dose. If the irradiation dose is less than 800 Gy the rise of respiratory rate of irradiated apple caused by the irradiation came back to the level of the control within 5 days, but ethylene production of irradiated apple keeps a lower level. According to the above results, dose of 300-500 Gy may be recommended for radiation preservation of apple.

Ascorbic acid is unstable and is sensitive to radiation, but the radiation effects on ascorbic acid in apple is very small, because the saccharides and some organic acid in apple, especially malic acid are able to protect ascorbic acid in apple from radiation damage. From measuring the saccharides and acids in apple, it is obvious that there is no significant difference between irradiated and unirradiated apple.

Long-life free radical in apple was not detected after irradiation. Scald of apple reduced from 60% to less than 15% after cold storage for 8 months. The taste results indicated, tasting them without knowing which is irradiated or not, that the irradiated apple is superior to controlled sample.

**KEY WORDS** Radiation preservation; Respiratory rate; Ethylene production; Ascorbic acid; Radioprotection scald.