

# 辐照对无花果多糖分子量、结构及抗氧化活性的影响

李世超 杨小明 马海乐 刘伟民 张赫男

(江苏大学食品与生物工程学院 镇江 212013)

**摘要** 采用 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -射线对无花果多糖进行降解处理,以高效凝胶色谱测定多糖分子量,紫外光谱和红外光谱分析多糖结构。考察了无花果多糖浓度、辐照剂量和 $\text{H}_2\text{O}_2$ 浓度对其降解的影响,并比较不同辐照处理后多糖的抗氧化活性。结果表明:辐照剂量、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 浓度的增大对无花果多糖的降解起促进作用,而无花果多糖浓度的增加则对其降解起抑制作用;辐照后无花果多糖的羰基吸收峰增强,且在清除超氧阴离子、清除羟基自由基和还原能力方面比处理前有显著提高。

**关键词** 辐照,无花果多糖,结构,抗氧化活性

**中图分类号** TL99, O629.12

无花果为桑科(Moraceae)榕属(*Ficus L.*)多年生亚热带落叶小乔木或灌木的果实,又称寿果、蜜果,原产于西亚沙特阿拉伯、也门一带沙漠绿洲,是世界上人类栽培最古老的果树之一<sup>[1-2]</sup>。无花果多糖(*Ficus carica polysaccharides*, FCPS)是无花果水溶性部位的主要活性成分,研究发现 FCPS 可以显著改善免疫抑制小鼠的免疫功能,促进其免疫功能的恢复,对鲫鱼具有非特异性免疫调节功能,是较好的免疫调节剂<sup>[3-6]</sup>。我们前期也发现 FCPS 对超氧负离子、羟基自由基和 DPPH·具有良好的清除能力,为天然安全的抗氧化活性剂<sup>[7]</sup>。

氧化损伤是许多慢性疾病,如心脏病、肿瘤等的诱因,抗氧化活性成分能够避免细胞由于自由基的作用而被老化、损伤或产生 DNA 结构改变,从而达到保护机体的作用<sup>[8]</sup>。因此寻找对人体安全、高效的活性氧清除剂具有重要的意义,无花果多糖作为天然抗氧化剂具有很高的开发价值。研究表明水溶性多糖的抗氧化能力与其分子量分布有很大关系<sup>[9]</sup>,相对分子量大,分子体积也大,不利于多糖跨膜进入生物体内发挥作用,但分子量过低也无法形成产生活性的聚合结构。经测试 FCPS 的分子量范围在  $5.92 \times 10^5 - 2.0 \times 10^6$  Da 之间,为了研究分子量分布与结构变化对 FCPS 抗氧化活性产生的影响,本文拟通过 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -射线辐照处理<sup>[10-12]</sup>,使 FCPS 分子链断裂、分子量降低,以高效凝胶色谱、紫外、

红外光谱分析测定不同处理条件下 FCPS 的分子量分布、分子结构的变化,并就辐照处理前后的 FCPS 样品的抗氧化活性进行比较。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

FCPS 由本实验室制备,具体方法参照文献[13](略加修改):将脱脂后的无花果粉用热水浸提,再用 Sevag 法脱蛋白后,用乙醇沉淀得到无花果粗多糖,粗多糖复溶后透析、80%乙醇沉淀、冻干得到 FCPS<sup>[14]</sup>。

吩噻硫酸二甲酯(PMS),上海源聚生物科技有限公司;氯化硝基四氮唑(NBT),南京生兴生物科技有限公司;还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(NADH)、邻二氮菲、无水乙醇、双氧水、硫酸亚铁、铁氰化钾、三氯乙酸、三氯化铁,磷酸二氢钾、磷酸氢二钾、Tris-HCL,上海国药试剂公司;所有试剂均为分析纯,水为娃哈哈纯净水。

$^{60}\text{Co}$  辐照源,源强度为  $18.5 \times 10^{15}$  Bq,江苏省农业科学院原子能利用研究所;UV-2450 型紫外可见分光光度计,日本岛津;高效液相系统:ProStar210 泵、ProStar 355 RI 检测器,美国 VARIAN 公司;日本 TSK-GEL G4000PW(7.5×300 cm)凝胶柱;NEXUS670 傅里叶红外分光光度计, Nicolet 公司。

第一作者:李世超,女,1989年12月出生,2012年6月毕业于许昌学院食品科学与工程专业,目前为江苏食品大学食品与生物工程学院在读硕士研究生

通讯作者:杨小明,女,教授,研究方向为天然产物提取及活性, E-mail: zjyxm2003@hotmail.com

收稿日期: 收稿 2013-11-14; 修回 2014-1-19

## 1.2 方法

### 1.2.1 样品溶液的配制

用  $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 溶液将无花果粗多糖粉末配置成 0.5% 和 1% 的 FCPS 溶液。

### 1.2.2 辐照处理

样品分装于密封玻璃瓶, 于离辐照源一定距离的位置进行辐照处理, 辐照剂量为 20 kGy、50 kGy、80 kGy、120 kGy, 剂量率为  $4 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$ , 每个剂量分别检测 3 次。未经辐照的样品为对照。

### 1.2.3 分子量的测定

各取部分 FCPS 溶液, 离心, 上层清液过  $0.22 \mu\text{m}$  滤膜, 取  $10 \mu\text{L}$  进样, 高效液相色谱凝胶柱-RI (柱温  $35^\circ\text{C}$ , RI 检测器控温  $35^\circ\text{C}$ , 流动相为娃哈哈纯净水, 流速  $0.5 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ) 进行表征分析。

### 1.2.4 无花果多糖的结构分析

采用红外光谱和紫外光谱进行鉴定。红外光谱检测: 取 5 mg FCPS 冻干样品, KBr 压片后, 在  $400\text{--}40000 \text{ cm}^{-1}$  红外区扫描。紫外光谱检测: 将 FCPS 溶液以娃哈哈纯净水稀释一定倍数后, 在  $190\text{--}400 \text{ nm}$  范围扫描。

### 1.2.5 抗氧化活性

(1)清除超氧负离子的能力测试<sup>[15]</sup>: 反应体系: 1.5 mL 不同浓度样品溶液(溶解于 Tris-HCl),  $0.5 \text{ mL}$  NBT( $300 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  溶解于 Tris-HCl),  $0.5 \text{ mL}$  NADH ( $468 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  溶解于 Tris-HCl), 加入  $0.5 \text{ mL}$  PMS( $60 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )启动反应,  $25^\circ\text{C}$  水浴 5 min, 缓冲液为空白对照, 反应完成于  $560 \text{ nm}$  测定。清除率 SE 的计算公式:

$$SE = \frac{A_{\text{样}} - A_{\text{空}}}{A_{\text{样}}} \times 100\%$$

(2)清除羟基自由基的能力测试<sup>[16-17]</sup>: 取  $1 \text{ mL}$   $0.75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  邻二氮菲无水乙醇溶液于试管中依次加入  $2 \text{ mL}$   $0.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  PBS 和  $1 \text{ mL}$  蒸馏水, 充分混匀后, 加入  $1 \text{ mL}$   $0.75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  硫酸亚铁溶液, 混匀后, 加入  $1 \text{ mL}$  0.01% 双氧水, 于  $37^\circ\text{C}$  水浴 60 min 后, 在  $536 \text{ nm}$  测其吸光值, 所测得的数据为损伤管的吸光值 A (损)。未损伤管以  $1 \text{ mL}$  蒸馏水代替损伤管中  $1 \text{ mL}$  0.01% 的双氧水, 操作方法同损伤管, 可测得  $536 \text{ nm}$  未损伤管的吸光值 A (未)。样品管以  $1 \text{ mL}$  样品代替损伤管中的  $1 \text{ mL}$  蒸馏水, 操作方法同损伤管, 可测得  $536 \text{ nm}$  样品管的吸光值 A (样)。清除率 I 的计算公式:

$$I = \frac{A_{\text{样}} - A_{\text{损}}}{A_{\text{未}} - A_{\text{损}}} \times 100\%$$

(3)还原性的能力测试<sup>[18-19]</sup>:  $1 \text{ mL}$  样品测试液, 加入  $2.5 \text{ mL}$  磷酸盐缓冲液和  $2.5 \text{ mL}$  铁氰化钾, 混合均匀,  $50^\circ\text{C}$  反应 20 min。接着加入  $2.5 \text{ mL}$  三氯乙酸, 进行离心, 吸取上清液  $2.5 \text{ mL}$  与  $0.5 \text{ mL}$  三氯化铁混合, 在  $700 \text{ nm}$  处测定吸光度。溶液的吸光度越高, 表明还原能力越强。

## 2 结果与讨论

### 2.1 辐照对 FCPS 分子量分布的影响

#### 2.1.1 浓度对 FCPS 分子量的影响

0.5% 和 1% 浓度的 FCPS 水溶液样品经 80 kGy 剂量辐照处理后, 其高效凝胶色谱分析结果见图 1。由图 1 可知, 经 80 kGy 辐照后, 1% 和 0.5% FCPS 的出峰时间分别为 30 min 和 32 min, 在凝胶色谱分析中, 分子量越大的物质出峰越早。1% FCPS 的出峰时间早于 0.5% FCPS, 可知 1% 浓度溶液中的 FCPS 分子降解程度较低, 分子量相对较大。说明辐照后浓度越大的 FCPS 降解越不完全, 可能是由于溶液中含水量的不同进而影响辐照裂解效应的不同。

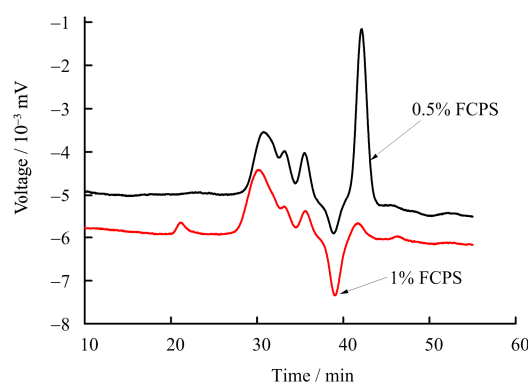


图 1 不同浓度 FCPS 辐照 80 kGy 后的分子量分布  
Fig.1 Dextran series of different concentration FCPS irradiated with 80 kGy

#### 2.1.2 不同吸收剂量对 FCPS 分子量的影响

影响多糖辐照降解的因素主要有辐照环境、吸收剂量、剂量率和辐照时间, 其中吸收剂量是影响其相对分子量的主要因素<sup>[20-21]</sup>。因此, 本实验对 1% FCPS 样品分别采用 20 kGy、50 kGy 和 80 kGy 剂量辐照, 得到其高效凝胶色谱分析结果见图 2。由图 2 可知, FCPS 经 20 kGy、50 kGy、80 kGy 吸收剂量

处理后出峰时间分别为 26 min、29 min 和 31 min。出峰时间越晚、分子量越小，即多糖分子量随着辐照剂量的增加逐渐减小。辐照剂量影响分子量的变化可能是由于多糖经辐照产生自由基，进而诱发链断裂，从而使大分子裂解成小分子，分子量就相对降低。

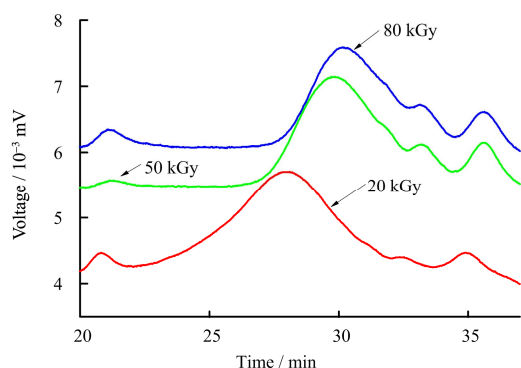


图2 1% FCPS 在不同吸收剂量下的分子量分布  
Fig.2 Dextran series of 1% FCPS at different absorbed doses

### 2.1.3 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 浓度对 FCPS 分子量的影响

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 降解多糖是目前应用最多的一种方法，它对降解后的产物影响小，无残毒<sup>[22]</sup>。1% FCPS 样品分别加入 0%、2%、4% 和 6% 浓度的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 后，再经 20 kGy 辐照处理，其高效凝胶色谱分析结果见图 3。由图 3 可知，加入 0%、2%、4% 和 6% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的无花果多糖样品的出峰时间分别为 27 min、29 min、30 min 和 31 min。因为 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 为强氧化剂，与多糖分子反应可切断多糖分子链，降低多糖分子量。但在通常试验条件下其反应速率较慢，在辐照条件下加入 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 可促进多糖的降解，减少辐照用量。由此可知随着加入 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 浓度的增加，辐照后 FCPS 的分子量逐渐降低。

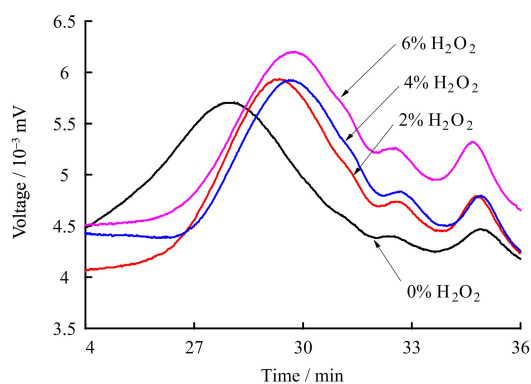


图3 含不同浓度过氧化氢的 1% FCPS 辐照 20 kGy 后的分子量分布

Fig.3 Dextran series of 1% FCPS with different concentration of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> irradiated with 20 kGy

## 2.2 辐照对 FCPS 结构的影响

### 2.2.1 红外光谱分析

为了分析辐照处理对 FCPS 结构的影响，将未处理与经不同剂量辐照处理的 1% FCPS 样品冻干后进行红外扫描，结果见图 4。

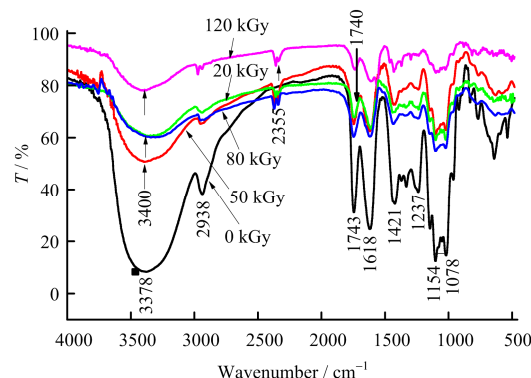


图4 1% FCPS 经不同吸收剂量处理后的红外图谱  
Fig.4 FT-IR spectra of 1% FCPS irradiated with different doses

由图 4 可知，未经处理的 1% FCPS 样品冻干粉红外扫描图，显示了无花果多糖具有典型的多糖特征吸收峰<sup>[23]</sup>：波数 3378 cm<sup>-1</sup> 处的 O-H 伸缩振动，2938、1421 cm<sup>-1</sup> 处的 C-H 伸缩振动与变角振动；1743、1618 cm<sup>-1</sup> 处有 -COO- 的伸缩振动，1154 cm<sup>-1</sup> 处的吸收峰为吡喃环内醚 C-O-C 吸收峰，1078 cm<sup>-1</sup> 处的吸收峰为吡喃环的 C-O-H 伸缩振动。因此推断无花果多糖为吡喃型糖链构型。而 1% FCPS 经不同剂量辐照处理后的红外扫描图，表明了无花果多糖溶液经辐照后结构发生了一定的变化，随着吸收剂量的增加，在 3400 cm<sup>-1</sup> 处的 O-H 吸收峰逐渐变小，说明在降解过程产生了新的成分，可能是一部分羟基被氧化成羰基。在 2355 cm<sup>-1</sup> 出现新峰是不对称累计双键的伸缩振动，可能是在辐照降解过程中开环所产生的。而在 1740 cm<sup>-1</sup> 处随着辐照强度的增强，吸收峰逐渐减少，可能是由于 -COO- 键断裂，产生了 C=O，并受氢键的影响，C=O 吸收峰向低波移动。

### 2.2.2 紫外光谱分析

1% FCPS 经不同辐照剂量处理后经紫外扫描分析结果见图 5。从图 5 可知，降解产物在 265 nm 处出现一个新的吸收峰，而且随着吸收剂量的增加，峰强度也逐渐增强，推测是 C=O 的吸收峰，与红外分析的结果是一致的，证明在降解过程中的确有 C=O 结构生成。由于多糖在高强度的  $\gamma$  辐射下能生

成自由基,而自由基会进一步结合并诱发链断裂,因此在重新结合的过程中形成了  $C=O$ ,故在 265 nm 处出现新的吸收峰且随着辐照剂量的增加吸收峰越来越大。

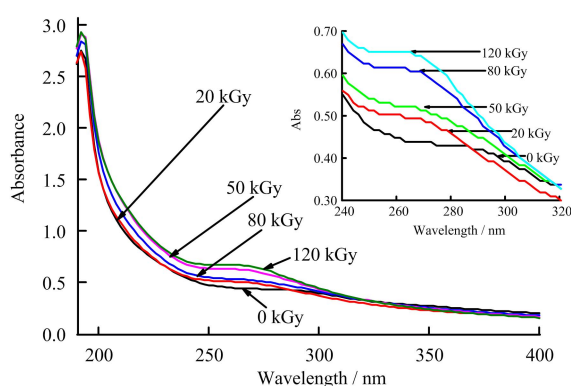


图5 不同剂量辐照后 1% FCPS 降解产物的紫外光谱  
Fig.5 UV spectra of 1% FCPS degradation production irradiated with different doses

## 2.3 抗氧化活性研究

### 2.3.1 清除超氧阴离子的能力的测试

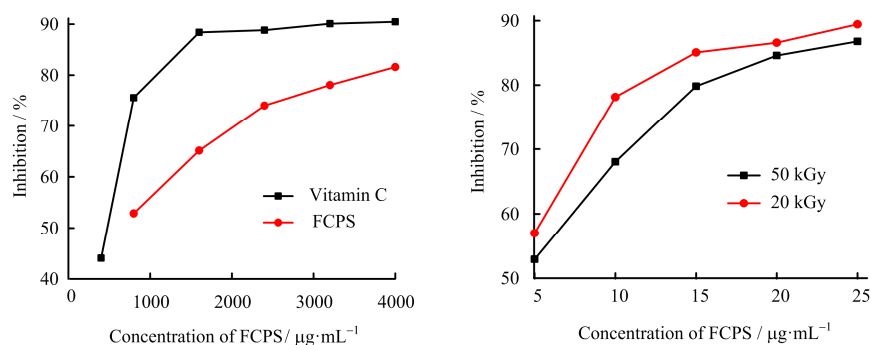


图6 1% FCPS (20 kGy、50 kGy)清除超氧阴离子的能力( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Fig.6 Scavenging activity of 1% FCPS (20 kGy, 50 kGy) on superoxide anion radicals ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

### 2.3.2 清除羟基自由基能力测试

羟基自由基是较强的氧化剂,几乎能和所有的细胞成分快速发生反应<sup>[9]</sup>。1% FCPS 样品分别经 20 和 50 kGy 剂量辐照处理后,其清除羟基自由基的能力见图 7。由图 7 可知,清除率为 10% 时,未辐照 FCPS 浓度为  $0.63 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ;经 20 kGy 和 50 kGy 辐照后,其达到 10% 清除率时的浓度分别为  $0.0089$  和  $0.0268 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。可见辐照后的多糖清除羟基自由基能力强于未处理的多糖。机体在进行新陈代谢时会产生大量的自由基,其中超氧阴离子自由基和羟基自由基最为常见,本试验通过测定 FCPS 清除超氧阴离子自由基和羟基自由基的能力,通过对图 7

超氧阴离子是其它活性氧的前体,可导致细胞死亡,酶失活,并能引起不饱和脂肪酸的过氧化<sup>[24]</sup>。因此,通过测定 FCPS 清除超氧阴离子的能力和半抑制浓度 (Half inhibitory concentration,  $IC_{50}$ , 即浓度-清除率二维曲线上读取的清除率为 50% 时对应的浓度值) 研究其抗氧化性。1% FCPS 采用 20 kGy 和 50 kGy 进行辐照处理,测定其对超氧阴离子的清除率,以抗氧化剂  $V_C$  和未经辐照处理的 FCPS 作为对照,结果如图 6 所示。从图 6 可知,FCPS 经 20 kGy 和 50 kGy 剂量辐照后,其清除超氧阴离子的  $IC_{50}$  分别约为  $0.0042 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  和  $0.003 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,而未经辐照的 FCPS 和  $V_C$  清除超氧阴离子的  $IC_{50}$  分别为  $0.62 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  和  $0.49 \text{ mL}^{-1}$ ,辐照后的 FCPS 清除超氧阴离子能力强于未辐照的 FCPS,甚至高于阳性对照品  $V_C$ ,而且经 50 kGy 辐照后的 FCPS 清除超氧阴离子的能力高于 20 kGy 辐照的,说明 FCPS 经过辐照处理后,其清除超氧阴离子的能力得到很大的提高。

和图 8 的分析可知经一定剂量辐照处理的 FCPS 清除超氧阴离子自由基和羟基自由基的能力均要强于未辐照的,小分子量 FCPS 具有更好的抗氧化性。因此可通过辐照来得到抗氧化性好的 FCPS。

### 2.3.3 还原能力测试

自由基作用于细胞会对机体产生损伤,具有还原力的物质则可通过氢原子破坏自由基的反应,从而可以保护机体<sup>[25]</sup>。1% FCPS 采用 20 kGy 和 50 kGy 进行辐照处理。进行还原能力测试,结果如图 8 所示 (横坐标为 FCPS 浓度,纵坐标为还原能力)。经回归分析,

1% FCPS (20 kGy):

$$y=0.134x+0.029 \quad (r=0.996) \quad (1)$$

1% FCPS (50 kGy):

$$y=0.106x+0.001 \quad (r=0.998) \quad (2)$$

当浓度为  $30 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  时, 经 20 kGy、50 kGy 剂量辐照处理 FCPS 样品的吸光度值分别为 0.42、0.32, 说明 20 kGy 的还原能力高于 50 kGy。

当未辐照处理的 FCPS 吸光度值为 0.32 时, 它的浓度为  $3.5 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$  (见图 8), 未辐照处理的 FCPS 达到与 50 kGy 处理后样品相同还原能力时, 其浓度是辐照后 FCPS 的浓度 116 倍。由此可知辐照后的无花果多糖溶液显示了较强的还原能力, 还原能力顺序为  $20 \text{ kGy} > 50 \text{ kGy} > \text{FCPS}$ 。

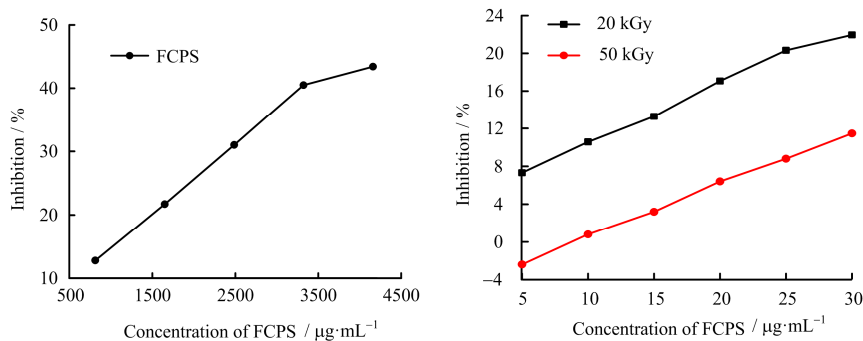


图 7 1% FCPS (20 kGy、50 kGy)清除羟基自由基的能力 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Fig.7 Scavenging activity of 1% FCPS (20 kGy, 50 kGy) on hydroxyl radicals ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

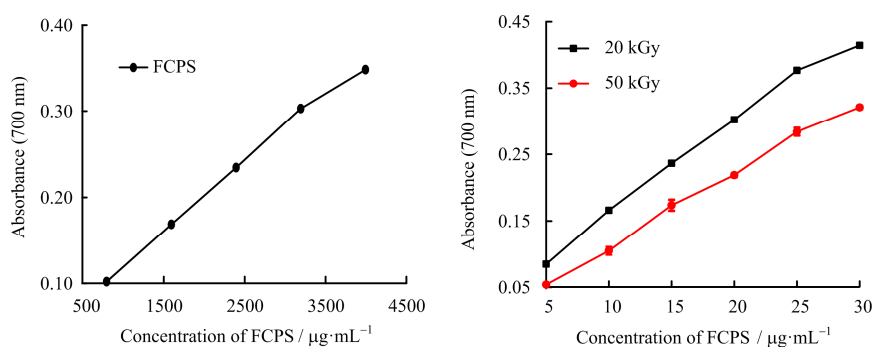


图 8 1% FCPS (20 kGy、50 kGy)的还原能力 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Fig.8 Reducing ability of 1% FCPS (20 kGy, 50 kGy) ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

### 3 结论

用辐照方法降解 FCPS,  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -射线可有效降低 FCPS 的分子量, 溶液浓度、吸收剂量及  $\text{H}_2\text{O}_2$  添加量都会影响辐照处理效果。在同样剂量下 FCPS 浓度越高, 分子量下降越少; 而增大辐照强度和  $\text{H}_2\text{O}_2$  浓度则对 FCPS 的降解起促进作用。因此, 可通过提高辐照强度和  $\text{H}_2\text{O}_2$  浓度获得低分子量的多糖。通过比较辐照前后 FCPS 的红外光谱和紫外光谱发现, 随着吸收剂量的增加, 在  $3400 \text{ cm}^{-1}$  处的 O-H 吸收峰逐渐变小, 可能是一部分羟基被氧化成羰基; 在  $265 \text{ nm}$  左右出现一个吸收峰, 并随着吸收剂量的增加而增高, 推测是产生 C=O 吸收峰, 说明辐照后 FCPS 裂解产生含羰基类化合物的小分子量物质。

辐照处理后, FCPS 在清除超氧阴离子、清除

羟基自由基和还原能力上比未辐照的 FCPS 有显著提高, 说明分子量小的 FCPS 具有更好的抗氧化性, 因此在经过辐照后 FCPS 仍保留抗氧化性且抗氧化性强于未辐照的 FCPS。辐照降解是降低 FCPS 分子量的有效方法, 综合考虑溶液浓度、辐照剂量、 $\text{H}_2\text{O}_2$  添加量对 FCPS 经辐照降解处理的影响, 认为在实际应用中, 20–50 kGy 的剂量可以增强 FCPS 的抗氧化性以满足需求。

流行病学调查表明, 许多疾病如癌症、衰老及心血管疾病的发生和发展与体内的活性氧自由基有密切的关系, 水果或蔬菜中存在着多种抗氧化成分, 并在体内也有发挥抗氧化作用的可能性<sup>[26-27]</sup>。本试验通过对 FCPS 进行辐照, 发现辐照后的 FCPS 具有更好的抗氧化性, 因此可以将它做为对人体安全、高效的活性氧清除剂。

## 参考文献

- 曹尚银. 无花果高效栽培与加工利用 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.  
Cao Shangyin. Efficient cultivation and Processing of *Ficus carica* L. [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002.
- 余德浚. 中国果树分类学 [M]. 北京: 农业出版社, 1982.  
YU Dejun. Chinese fruit tree taxonomic [M]. Beijing: Agriculture Press, 1982.
- 戴伟娟, 司端运, 王绍红, 等. 无花果多糖免疫药理作用的初步研究 [J]. 中国民族民间医药杂志, 2004,44(3): 160-161.  
DAI Weijuan, SI Duanyun, WANG Shaohong, et al. Preliminary study on immunopharmacological actions of *Ficus Carica* Polysaccharides [J]. Chinese Journal of Ethnomedicine and Ethnopharmacy, 2004, 44(3): 160-161.
- 戴伟娟, 司端运, 辛勤, 等. 无花果多糖预防性给药对荷瘤小鼠的影响 [J]. 中成药, 2001, 23(10): 740-741.  
DAI Weijuan, SI Duanyun, XIN Qin, et al. Effect of *Ficus Carica* polysaccharides on tumor-bearing mice [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2001, 23(10): 740-741.
- 汪开毓, 陈霞, 黄锦炉, 等. 无花果多糖对鲫鱼非特异性免疫功能的影响 [J]. 水生生物学报, 2011, 35(4): 630-637.  
WANG Kaiyu, CHEN Xia, HUANG Jinlu, et al. Effect of *Ficus Carica* polysaccharide on non-specific immune response in crucian carp [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2011, 35(4): 630-637.
- 王力男, 王勤, 苗明三. 无花果多糖对环磷酸酰胺致免疫抑制小鼠免疫功能的影响 [J]. 中医学报, 2010, 25(149): 676-678.  
WANG Linan, WANG Qin, MIAO Mingsan. Effects of *Ficus Carica* polysaccharide on the immune function of immunosuppressive mice induced by cyclophosphamide [J]. China Journal of Chinese Medicine, 2010, 25(149): 676-678.
- YANG Xiaoming, YU Wei, et al. Antioxidant and immunity activity of water extract and crude polysaccharide from *Ficus carica* L. fruit [J]. Plant Foods Human Nutrition, 2009(64): 167-173.
- 杜芹芹, 张旭, 宋凤瑞, 等. 人参与附子、黄连配伍的 HPLC-ESI-MS 研究及抗氧化活性测定 [J]. 高等学校化学学报, 2010, 31(7): 1332-1336.  
DU Qinqin, ZHANG Xu, SONG Fengrui, et al. HPLC-ESI-MS analysis of ginsenosides and antioxidant activity during combination of ginseng with aconitum *Carmichaeli* and *Coptis Chinensis* [J]. Chemical Journal of Chinese Universities, 2010, 31(7): 1332-1336.
- Yuan J F, Zhang Z Q, Fan Z C, et al. Antioxidant effects and cytotoxicity of three purified polysaccharides from *Ligusticum chuanxiong* Hort [J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 74(4): 822-827.
- 陈巍, 罗志刚, 李忠彦, 等. 物理方法在壳聚糖降解中的应用 [J]. 粮油食品科技, 2006, 14 (3): 56-57.  
CHEN Wei, LUO Zhigang, LI Zhongyan, et al. Application of physical methods for degradation of chitosan [J]. Science and Technology of Cereals, oils and Foods, 2006, 14(3): 56-57.
- Choi W S, Ahn K J, Lee D W, et al. Preparation of chitosan oligomers by irradiation [J]. Polymer Degradation and Stability, 2002, 78(5): 533-538.
- 赵军旗, 邓钢桥, 邹朝晖. 辐射加工技术在壳聚糖降解中的应用研究 [J]. 湖南农业学, 2007(1): 103-105.  
ZHAO Junqi, DENG Gangqiao, ZOU Chouhui. Application of Irradiation Processing Technology in the Degradation of Chitosan [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2007(1):103-105.
- 张秀丽, 杨小明, 何娟, 等. 无花果多糖的部分理化性质研究[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(11): 35-38.  
ZHANG Xiuli, YANG Xiaoming, HE Juan, et al. Partial properties of polysaccharides from pomace of *Ficus carica* L. [M]. Food Research and Development, 2012, 33(11): 35-38.
- Nishikimi M, Appaji N, Yagi K. The occurrence of superoxide anion in the reaction of reduced phenazine methosulphate and molecular oxygen [J]. Biochemistry Biophysics Rsearch Communication, 1972, 46(26): 849-854.
- Staub A M. Methods in carbohydr [J]. Chemistry, 1965, 15 (5): 5-11.
- 金鸣, 蔡亚欣, 李金荣. 邻二氮菲— $\text{Fe}^{2+}$ 氧化法检测  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ 产生的羟自由基 [J]. 生物化学与生物物理进展, 1996, 23(6): 553-555.  
JIN Ming, CAI Yaxin, LI Jinrong. 1, 10-Phenanthroline- $\text{Fe}^{2+}$  oxidative Assay of Hydroxyl Radical Produced by  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$  [J]. Progress in Biochemistry and Biophysics, 1996, 23(6): 553-555.
- 谷学新, 郇超. 一个新的测定 Fenton 反应产生的·OH

- 及清除的荧光方法 [J]. 分析科学学报, 2002, **18**(6): 460-463.
- GU Xuexin, TAI Chao. A new fluorimetric method for the determination of hydroxyl radical and the scavenging ability of some scavengers [J]. Journal of Analytical Science, 2002, **18**(6): 460-463.
- 18 Oyaizu M. Studies on products of browning reaction: Antioxidative of browning reaction prepared from glucosamine [J]. Japanese Journal of Nutrition, 1986, **44**: 307-315.
- 19 Mathew S, Abraham T E. In vitro antioxidant activity and scavenging effects of *Cinnamomum verum* leaf extract assayed by different methodologies [J]. Food Chemistry Toxicol, 2006, **44**(2): 198-206.
- 20 张卫东, 李正魁, 朱佳廷, 等. 壳聚糖电离辐射降解的研究 [J]. 核农学报, 2005, **19**(1): 55-57.
- ZHANG Weidong, LI Zhengkui, ZHU Jiating, *et al.* Study on radiation degradation of chitosan [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2005, **19**(1): 55-57.
- 21 李治, 刘晓非, 徐怀玉, 等. 壳聚糖的  $\gamma$ -射线辐照降解研究 [J]. 应用化学, 2001, **18**(2): 104-107.
- LI Zhi, LIU Xiaofei, XU Huaiyu, *et al.* Study on  $\gamma$ -ray irradiation degradation of chitosan [J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2001, **18**(2): 104-107.
- 22 赵海峰, 张敏卿, 曾爱武.  $H_2O_2$  氧化降解壳聚糖的研究 [J]. 化工进展, 2003, **2**: 160-164.
- ZHAO Haifeng, ZHANG Mingqing, ZENG Aiwu. Research of chitosan degradation by  $H_2O_2$  oxidation method [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2003, **2**: 160-164.
- 23 宁永成. 有机化合物结构鉴定与有机波谱学 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- NING Yongcheng. Organic compounds, structure identification and organic spectroscopy [M]. Beijing: Science Press, 2002.
- 24 Saknaka S, Iahihary Y. Comparison of antioxidant properties of persimmon vinegar and some other commercial vinegars in radical scavenging assays and on lipid oxidation in tuna homogenates [J]. Food Chemistry, 2008, **107**: 739-744.
- 25 Pan Y M, Wang K, Huang S Q, *et al.* Antioxidant activity of microwave-assisted extract of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) peel [J]. Food Chemistry, 2008, **106**: 1264-1270.
- 26 Eberhardt M V, Lee C Y, Liu R H. Antioxidant activity of fresh apples [J]. Nature, 2000, **405**(6789): 903-904.
- 27 Nicoli M C, Anese M, Parpinel M. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables [J]. Trends in Food Science and Technology, 1999, **10**(3): 94-100.

## Effects of irradiation on *Ficus carica* L. fruit polysaccharide molecular weight, structure and antioxidant activity

LI Shichao YANG Xiaoming MA Haile LIU Weimin ZHANG Henan

(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**ABSTRACT** The *Ficus carica* polysaccharides (FCPS) were degraded with  $^{60}Co$   $\gamma$ -ray irradiation. We adopted the high performance gel chromatography (HPGC) to determine molecular weight, and ultraviolet (UV) together with infrared spectrum (IR) to analyze the structure of FCPS in order to investigate the influence of FCPS concentration, irradiation dosage and  $H_2O_2$  concentration in the process of degradation, and compared the influence of different irradiation treatment on its antioxidant activity. The results show that the irradiation dosage and  $H_2O_2$  concentration can facilitate the degradation of FCPS while FCPS concentration has inhibitory effect on its degradation. After irradiation the carbonyl of FCPS absorption peak is enhanced, and the activity of FCPS on scavenging superoxide anion and scavenging hydroxyl radicals, as well as the reducibility has been significantly improved than those of the untreated.

**KEYWORDS** Irradiation, *Ficus carica* polysaccharides, Structure, Antioxidant activity

**CLC** TL99, O629.12