

# 不同品种荔枝果肉细胞抗氧化及抗增殖活性评价

刘冬<sup>1</sup>, 刘仁斌<sup>2</sup>, 孙海燕<sup>1</sup>, 吴丹玲<sup>1</sup>

(1. 深圳职业技术学院深圳市发酵精制检测系统重点实验室, 广东深圳 518055)

(2. 十堰市人民医院中医科, 湖北十堰 442000)

**摘要:** 为明确荔枝果肉的生物抗氧化和抗肿瘤保健功能, 采用 HepG2 人肝癌细胞模型对我国南方地区主要种植的 10 种代表性荔枝品种果肉的细胞抗氧化活性 (CAA 值) 和抗肿瘤细胞增殖活性进行了评价。结果表明, 10 种荔枝品种中, 妃子笑荔枝果肉具有最大的 CAA 值, 淮枝则最小; 妃子笑抗 HepG2 肿瘤细胞增殖活性最强, 糯米糍则最弱。荔枝果肉的 CAA 值与总多酚含量、总黄酮含量、多酚化学抗氧化能力指数 (ORAC 值) 之间都有极显著的正相关性 ( $p < 0.01$ ), 且与黄酮含量之间正相关性最大, 说明荔枝果肉中起生物抗氧化作用的主要成分是黄酮类化合物; 但荔枝果肉对 HepG2 肿瘤细胞的抗增殖活性与总多酚含量、总黄酮含量、ORAC 和 CAA 值之间均呈现较弱的负相关性 ( $p > 0.05$ ), 提示某些特殊酚类单体或其协同作用在抗肿瘤细胞增殖过程中发挥主要作用。

**关键词:** 荔枝; 多酚; 氧自由基吸收能力; 细胞抗氧化活性; 抗增殖活性

文章编号: 1673-9078(2018)02-53-58

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.2.009

## Evaluation of Cellular Antioxidant and Antiproliferative Activities of Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) Pulp from Different Cultivars

LIU Dong<sup>1</sup>, LIU Ren-bin<sup>2</sup>, SUN Hai-yan<sup>1</sup>, WU Dan-ling<sup>1</sup>

(1. Shenzhen Key Laboratory of Fermentation, Purification and Analysis, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China)

(2. Traditional Chinese Medical Science Section, Shiyan Renmin Hospital, Shiyan 442000, China)

**Abstract:** The cellular antioxidant activity (CAA) and antiproliferative activity of 10 representative litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) cultivars in southern China were evaluated by HepG2 model to investigate the bio-antioxidant and antineoplastic functions of different litchi cultivars in this study. The results showed that Feixixiao had the largest CAA value among the ten litchi cultivars and the Huaizhi was the smallest; Feixixiao had the strongest antiproliferative activity on HepG2 cells and the Nuomici was the weakest. The CAA value of litchi pulp exhibited a significant positive correlation with total polyphenols, total flavonoids and ORAC (oxygen radical absorption capacity) values ( $p < 0.01$ ), and had the highest correlation with total flavonoids, indicating that the main component of biological antioxidants in litchi pulp was flavonoids. However, there was a weak negative correlation between antiproliferative activity of litchi pulp and total polyphenols, total flavonoids, ORAC and CAA values, indicating that some special polyphenol individuals or their synergies played a key role in antiproliferation of tumor cells.

**Key words:** litchi; polyphenol; oxygen radical absorbance capacity; cellular antioxidant activity; antiproliferative activities

人体新陈代谢的过程中产生自由基, 在病理条件下, 人体自由基产生系统和清除系统失去平衡, 引起自由基过剩, 过剩的自由基会引起体内的生物大分子 (如脂类、蛋白质和 DNA) 的氧化损伤, 导致心脏病、白内障和早发性痴呆等慢性退行性疾病的发生, 甚至诱发肿瘤等恶性疾病<sup>[1]</sup>。实验研究和流行病学均表明, 水果蔬菜中含有的多酚类、黄酮类等抗氧化物果蔬食品可有效预防慢性退行性疾病和肿瘤的发生

收稿日期: 2017-09-18

基金项目: 深圳市科技计划项目 (JCYJ20140901162541286、JCYJ20160530173755124)

作者简介: 刘冬 (1968-), 男, 博士, 教授, 主要从事食品生物技术研究

通讯作者: 刘仁斌 (1971-), 男, 主任医师, 硕士, 主要从事中医临床

质能有效清除人体内过剩的自由基, 膳食摄入足量的<sup>[2]</sup>, 因此, 水果蔬菜的抗氧化和抗增殖活性评价一直是国内外食品科技工作者关注的热点领域。

荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.) 是我国南方地区主要的特色水果, 除含有多种维生素、有机酸和大量游离氨基酸外, 也富含多酚和活性多糖等生物活性物质, 具有抗氧化、抗肿瘤、抗辐射、抗菌、抗炎症及增强免疫力等多种生理功能<sup>[3]</sup>。迄今, 国内外对荔枝抗氧化作用及抗氧化活性成分的研究主要集中在荔枝核、荔枝壳好荔枝果肉多糖上, 对荔枝果肉多酚的研究主要集中在多酚的分离鉴定和体外化学抗氧化活性方面<sup>[3]</sup>。Zhang 等<sup>[4]</sup>测定了我国南方地区 13 种荔枝品种果肉总多酚、总黄酮和其中 6 种果肉多酚的含量, 并采

用 FRAP 法和 DPPH 自由基清除法评价了不同荔枝品种果肉的体外化学抗氧化活性; Lv 等<sup>[5]</sup>分析了妃子笑等三种荔枝果肉中总多酚、总黄酮和其中的 13 种多酚单体的含量, 并采用 ABTS 和 DPPH 自由基清除法评价了其体外化学抗氧化活性。

食物抗氧化活性评价方法主要有体外化学法、动物体内实验法和细胞学方法三种。体外化学评价方法中的 ORAC (Oxygen radical absorbance capacity) 法由于实验条件接近人体生理环境, 因此被视为目前抗氧化活性体外化学评价方法中最为准确的方法。但由于 ORAC 评价法是在体外试管中进行的, 不能体现食物中抗氧化剂的肠道消化吸收特性、生物利用度、新陈代谢和细胞生理条件等体内生理因素<sup>[6]</sup>, 评价结果能否用于预测抗氧化剂在人体内抗氧化能力, 仍然广受质疑。许多研究也表明, 许多在体外具有很高 ORAC 值的物质, 在体内甚至检测不到抗氧化效果<sup>[7]</sup>。采用动物模型体内评价食物的抗氧化能力是最准确的方法, 但由于耗时、耗药量大, 不适合用于食物抗氧化能力的初始阶段筛选研究。Wolfe 等<sup>[8]</sup>建立了一种基于人肝癌细胞 (HepG2) 模型的抗氧化活性细胞学定量分析方法 (cellular antioxidant activity assay, CAA), 该方法由于测定条件与体内生理条件相似且部分体现了抗氧化物质的吸收代谢特征, 测定结果具有较高的生物相关性, 因而成为当前评价食物抗氧化活性的广泛使用的方法。

综合分析文献报道, 迄今对荔枝果肉的抗氧化活性评价主要采用体外化学法, 利用细胞模型全面评价不同荔枝品种果肉的抗氧化活性的研究鲜见报道, 而有关荔枝果肉的抗增殖活性研究则未见报道。因此, 本研究拟采用细胞模型对我国南方地区主要种植的十种荔枝品种果肉的细胞抗氧化和抗增殖活性进行全面系统的评价, 研究结果可为进一步探索荔枝果肉的保健功能与活性成分间关系提供基础参考数据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

10 种荔枝鲜果均在最佳食用时间采摘并进行抗氧化、抗增殖活性评价研究。其中, 妃子笑、桂味、糯米糍、淮枝和黑叶产自广东省深圳市, 小米枝、鸡咀荔、白蜡、蜜糖糍产自广东省湛江市, 荔枝王产于海南省海口市。

HepG2 人肝癌细胞, 购自美国 ATCC 公司; Folin-ciocalteu 试剂 (AR)、没食子酸 (AR)、儿茶素 (AR)、荧光素钠盐 (AR)、Trolox (AR)、2',7'-二

氯荧光黄双乙酸盐 (DCFH-DA, AR)、二甲基亚砜 (DMSO, AR)、2,2'-偶氮二异丁基脒盐酸盐 (AAPH, AR)、Hepes (AR)、HBSS、槲皮素 (HPLC)、青链霉素混合液 (100×)、庆大霉素、氢化可的松、胰岛素、非必需氨基酸 (100×)、台盼蓝 (0.4%)、WME (1×)、FBS、胰酶, 均购自美国 Sigma-Aldrich 公司; 细胞培养瓶、96 微孔板, 购自美国 Corning 公司。其它试剂均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

HR25850 型组织捣碎机, 珠海飞利浦电器有限公司; T25 digital ULTRA-TURRAX 高速匀浆机, 德国 IKA 公司; 5810 R 型冷冻离心机, 德国 Eppendorf 公司。HERA Cell 240 型 CO<sub>2</sub> 细胞培养箱, 美国 Thermo 公司; BHC-II A2 生物安全柜, 苏净安泰空气技术有限公司; DM IRB 型荧光倒置显微镜, 德国 Leica 仪器有限公司; Spectra Max M2 型连续光谱密度荧光检测仪, 美国 Molecular 公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 荔枝果肉总多酚提取

荔枝果肉总多酚提取方法参考吴丹玲等<sup>[9]</sup>的方法。取冻存荔枝, 去梗、去皮、去核后, 按料液比 1:2 (*m/V*) 加入 90% 浓度的冷丙酮, 组织捣碎机 (预冷) 捣碎 3 min, 高速匀浆机 12000 r/min 匀浆 5 min (冰浴), 匀浆液在 4 °C、12000 r/min 下离心 10 min, 提取三次, 合并离心上清液于 45 °C 条件下真空旋转蒸发至干, 以超纯水重溶解浓缩物, 得荔枝果肉多酚提取液, 分装后置于 -80 °C 冰箱贮存待测。

#### 1.3.2 总多酚含量测定

多酚含量测定采用 Folin-ciocalteu 法<sup>[10]</sup>。分别取提取液及不同浓度的没食子酸标准溶液 100 μL 至已加入 400 μL 去离子水的试管中, 摇匀, 加入 100 μL Folin-ciocalteu 试剂, 混匀, 放置 6 min, 加入 1 mL 7% 浓度的 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液和 0.8 mL 去离子水, 混匀, 室温下反应 90 min, 在酶标仪上于 760 nm 测定吸收值。总酚含量用 mg 没食子酸当量/100 g 鲜果 (mg GAE/100 g 鲜果) 表示。

#### 1.3.3 总黄酮类含量测定

黄酮类含量测定采用氯化铝-亚硝酸钠比色法<sup>[10]</sup>。分别取提取液及不同浓度的儿茶素标准溶液 2 mL 到试管中, 加入 75 μL 5% 浓度的 NaNO<sub>2</sub> 溶液, 混匀静置 6 min 后加入 150 μL 10% 浓度的 AlCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O 溶液, 静置 5 min。加入 0.5 mL 的 1 mol/L 的 NaOH 溶液, 再加入去离子水使总液量达到 3.0 mL, 混匀后立刻在

酶标仪上于 510 nm 下测定吸收值。总黄酮类含量用 mg 儿茶素当量/100 g 鲜果 (mg GE/100 g 鲜果) 表示。

### 1.3.4 化学抗氧化活性测定

荔枝果肉化学抗氧化活性测定采用氧自由基吸收能力 (ORAC) 法<sup>[11]</sup>。分别精确移取 20  $\mu\text{L}$  的磷酸缓冲液 (空白)、不同质量浓度的样品液或 Trolox 标准液于 96 微孔板的相应孔中, 再将该 96 孔板置于已预热至 37  $^{\circ}\text{C}$  的酶标仪中, 孵化 10 min 后按 200  $\mu\text{L}$ /孔加 0.96  $\mu\text{mol/L}$  的荧光素钠盐溶液, 再于酶标仪中 37  $^{\circ}\text{C}$  孵化 20 min 后, 按 20  $\mu\text{L}$ /孔加入 119 mmol/L AAPH 溶液, 最后于激发波长 485 nm, 入射波长 520 nm 下立即读数, 每 4.5 min 进行一次读数, 共检测 2.5 h。化学抗氧化活性 (ORAC) 值用  $\mu\text{mol}$  Trolox 当量/100 g 鲜果 ( $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$  鲜果) 表示。

### 1.3.5 细胞培养

参照万红霞的方法<sup>[10]</sup>。HepG2 人肝癌细胞用生长培养基 (1 $\times$ WME 培养基含 5% 胎牛血清、10 mmol/L Hepes、5  $\mu\text{g/mL}$  胰岛素、0.05  $\mu\text{g/mL}$  氢化可的松、50 U/mL 青霉素、50  $\mu\text{g/mL}$  链霉素和 100  $\mu\text{g/mL}$  庆大霉素) 在 37  $^{\circ}\text{C}$ 、5%  $\text{CO}_2$  培养箱中传代培养, 本实验用细胞为 12~35 代之间。

### 1.3.6 细胞毒性实验

采用亚甲基蓝染色法<sup>[10]</sup>。100  $\mu\text{L}$  的 HepG2 单细胞悬液接种到 96 微孔透明板中 ( $4\times 10^4$  个/孔), 5%  $\text{CO}_2$ 、37  $^{\circ}\text{C}$  培养 24 h 后, 吸出生长培养基, 1 $\times$ PBS 清洗贴壁细胞, 加入 100  $\mu\text{L}$  不同浓度的荔枝多酚提取物 (不同浓度提取物用生长培养基稀释制备), 设空白对照组 (只加入生长培养基)。5%  $\text{CO}_2$ 、37  $^{\circ}\text{C}$  培养 24 h, 吸出提取物, 1 $\times$ PBS 清洗贴壁细胞, 加 50  $\mu\text{L}$ /孔亚甲基蓝溶液 (1 $\times$ HBSS 含 1.25% 戊二醛和 0.6% 亚甲基蓝), 5%  $\text{CO}_2$ 、37  $^{\circ}\text{C}$  培养 60 min, 吸出亚甲基蓝溶液, 将微孔板轻轻浸入去离子水中清洗三次至洗净细胞表面吸附的染料。将 96 孔板倒置在纸巾上控干水分, 加 100  $\mu\text{L}$ /孔洗脱液 (含 49% 1 $\times$ PBS、50% 无水乙醇、1% 冰醋酸)。将 96 孔板室温旋转震荡 20 min, 置于多功能酶标仪中测定 570 nm 处的吸收值。如果样品组比对照组的吸收值显著性减少 ( $p<0.05$ ) 即判断为水果提取物有细胞毒性。

### 1.3.7 细胞抗氧化活性测定

荔枝果肉的细胞抗氧化活性评价采用 Wolfe 的方法<sup>[8]</sup>。将 100  $\mu\text{L}$  对数生长期的 HepG2 细胞培养物接种到 96 孔黑壁透明底板中 ( $6\times 10^4$  个/孔), 于 37  $^{\circ}\text{C}$ 、5%  $\text{CO}_2$  条件下培养 24 h 后, 移去残余生长培养基, 1 $\times$ PBS 清洗 1 次。加入 100  $\mu\text{L}$  用处理培养基 (1 $\times$ WME 培养基含 2 mmol/L 的 L-谷氨酰胺、10 mmol/L 的

Hepes 和 25  $\mu\text{mol/L}$  的 DCFH-DA) 配制的不同稀释浓度荔枝果肉多酚提取物和槲皮素标准液, 空白组和对照组用处理培养基替代样品提取液。37  $^{\circ}\text{C}$ 、5%  $\text{CO}_2$  条件孵育 1 h 后, 移去残余处理培养基, 然后加入 100  $\mu\text{L}$ /孔 1 $\times$ PBS 清洗一次, 加入 100  $\mu\text{L}$ /孔 600  $\mu\text{mol/L}$  的 AAPH 溶液 (空白组用含 10 mmol/L Hepes 的 HBSS 溶液处理), 立即于发射波长 538 nm、入射光波长 485 nm 条件下测定每孔荧光值, 每 5 min 测定, 共测定 1 h。细胞抗氧化活性 (CAA 值) 以  $\mu\text{mol}$  槲皮素当量/100 g 鲜果 ( $\mu\text{mol QE}/100 \text{ g}$  鲜果) 表示。

### 1.3.8 细胞抗增殖实验

荔枝果肉的抗增殖活性评价采用万红霞的方法<sup>[10]</sup>。取 100  $\mu\text{L}$  对数生长期的 HepG2 细胞接于 96 孔白板中 ( $2.5\times 10^4$  个/孔), 于 37  $^{\circ}\text{C}$ 、5%  $\text{CO}_2$  下培养 4 h 后, 移去残余生长培养基, 1 $\times$ PBS 清洗 1 次。加入 100  $\mu\text{L}$  用生长培养基配制的不同浓度 (须在无细胞毒性浓度范围内) 荔枝果肉多酚提取物和对照组提取液 (对照组提取液为用去离子水替代荔枝果肉样品的提取液), 于 37  $^{\circ}\text{C}$ 、5%  $\text{CO}_2$  条件下培养 96 h, 按上述细胞毒性实验方法测定吸收值。荔枝果肉抗细胞增殖活性分别用细胞增殖抑制率 (%) 和半抑制浓度 ( $\text{IC}_{50}$ , mg 提取物/mL) 表示。

## 1.4 数据处理

每个样品 3 次重复实验, 实验结果表示为平均值  $\pm$ SD, 实验数据的显著性检验和相关性分析分别运用 SPSS 13.0 统计软件的 one-way ANOVA 法和双变量相关进行分析, 相关性用 Pearson 相关系数  $r$  表示,  $p<0.05$  视为有显著性。

## 2 结果与讨论

### 2.1 10 种荔枝品种果肉总多酚和总黄酮类含量比较

多酚是人体摄入抗氧化剂的最丰富的来源, 总多酚含量也是衡量食物抗氧化能力的最基础指标<sup>[15]</sup>。10 种荔枝品种果肉总多酚含量如表 1 所示, 可见, 荔枝品种不同, 多酚含量也不同, 多酚含量最高的妃子笑是最低的淮枝的 2.02 倍。迄今, 国内外研究者已从荔枝果肉中分离鉴定出没食子酸、咖啡酸、绿原酸、儿茶素、表儿茶素、原花青素 A2、原花青素 B2、A 型原花青素三聚体、B 型原花青素二聚体、B 型原花青素三聚体、槲皮素-3-O-芸香糖-7-O- $\alpha$ -L-鼠李糖苷、芦丁、芦丁-鼠李糖、香蜂草苷、香蜂草苷-鼠李糖、山

萜酚-芸香糖-鼠李糖苷、异鼠李素-3-O-芸香糖甙、异鼠李素-芸香糖-鼠李糖苷、山萜酚-芸香糖苷、原天竺葵素和原飞燕草素等 21 种多酚类化合物<sup>[3,4,12]</sup>。温叶杰等<sup>[13]</sup>的研究表明,荔枝果肉多酚提取物中以黄酮类化合物含量为主,其中槲皮素-3-O-芸香糖-7-O- $\alpha$ -L-鼠李糖苷含量最高,其次是原花青素 B2 和表儿茶素,三种黄酮类化合物含量总和占荔枝果肉多酚总含量的 72.05%。从表 1 也可看出,不同品种荔枝的果肉黄酮含量有较大差异,黄酮含量最高的妃子笑是最低的淮枝的 2.13 倍,且多酚与黄酮含量之间呈现极显著的相关性 ( $r$  值 0.926,  $p < 0.01$ )。

表 1 10 种荔枝品种果肉总多酚和总黄酮含量

Table 1 Total phenolics and flavonoids in pulp from ten litchi cultivars

品种	总多酚含量 (/mg GAE/100 g 鲜果)	总黄酮含量 (/mg CE/100 g 鲜果)
妃子笑	174.32±12.65 <sup>a</sup>	75.05±4.43 <sup>a</sup>
小米枝	156.28±4.17 <sup>ab</sup>	70.29±3.54 <sup>a</sup>
白蜡	138.51±11.15 <sup>bc</sup>	66.00±4.43 <sup>a</sup>
黑叶	134.93±13.05 <sup>bc</sup>	45.97±0.85 <sup>bc</sup>
鸡咀荔	133.11±10.01 <sup>bc</sup>	54.22±4.93 <sup>b</sup>
荔枝王	124.72±1.33 <sup>c</sup>	48.32±4.16 <sup>bc</sup>
糯米糍	122.23±8.94 <sup>cd</sup>	52.36±1.59 <sup>b</sup>
蜜糖糍	120.10±11.33 <sup>cd</sup>	46.48±2.22 <sup>bc</sup>
桂味	95.94±7.13 <sup>de</sup>	40.65±0.68 <sup>cd</sup>
淮枝	86.15±8.55 <sup>e</sup>	35.18±1.90 <sup>d</sup>

注: 同一列中数值后无共同字母代表有显著差异 ( $p < 0.05$ )。

## 2.2 10 种荔枝品种果肉化学抗氧化活性比较

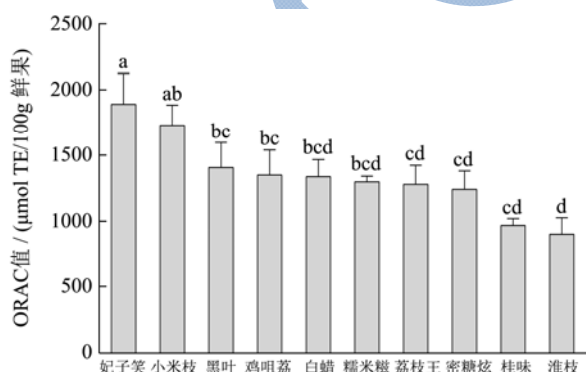


图 1 10 种荔枝品种果肉化学抗氧化 (ORAC) 活性 (平均值±SD, n=3)

Fig.1 ORAC value of pulp of ten litchi cultivars (mean±SD, n=3)

注: 柱形图上字母不同为差异显著 ( $p < 0.05$ )。

利用 ORAC 法对 10 种荔枝品种果肉的抗氧化活

性进行的评价 (图 1) 表明,妃子笑具有最大的化学抗氧化活性 ORAC 值 ( $1895.37 \pm 235.68 \mu\text{mol TE}/100 \text{g}$ ), 其后 ORAC 值由大到小的顺序是小米枝 ( $1733.37 \pm 154.74 \mu\text{mol TE}/100 \text{g}$ )、黑叶 ( $1410.44 \pm 192.81 \mu\text{mol TE}/100 \text{g}$ )、鸡咀荔 ( $1355.26 \pm 189.49 \mu\text{mol TE}/100 \text{g}$ )、白蜡 ( $1342.18 \pm 130.27 \mu\text{mol TE}/100 \text{g}$ )、糯米糍 ( $1301.96 \pm 42.94 \mu\text{mol TE}/100 \text{g}$ )、荔枝王 ( $1282.31 \pm 144.72 \mu\text{mol TE}/100 \text{g}$ )、蜜糖糍 ( $1244.19 \pm 142.00 \mu\text{mol TE}/100 \text{g}$ )、桂味 ( $977.00 \pm 51.71 \mu\text{mol TE}/100 \text{g}$ )、淮枝 ( $907.84 \pm 128.21 \mu\text{mol TE}/100 \text{g}$ )。许多研究都表明,食物的抗氧化活性 (ORAC 值) 与总多酚含量间有显著的正相关性<sup>[11,14,15]</sup>。本文的研究也表明,荔枝果肉 ORAC 值与多酚和黄酮含量之间具有极显著的正相关性 ( $r$  值分别为 0.984 和 0.903,  $p < 0.01$ )。

## 2.3 10 种荔枝品种果肉细胞抗氧化活性比较

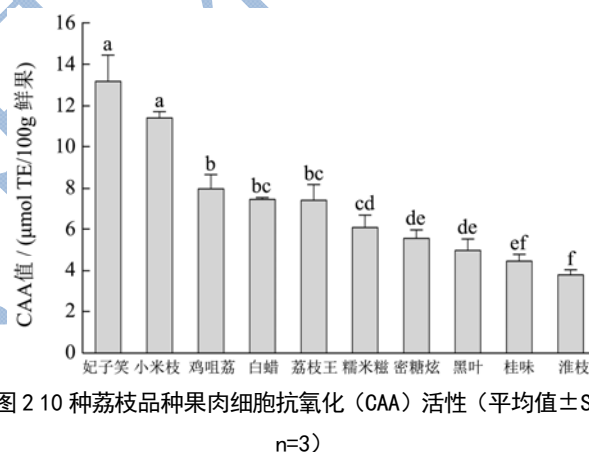


图 2 10 种荔枝品种果肉细胞抗氧化 (CAA) 活性 (平均值±SD, n=3)

Fig.2 CAA value of pulp from 10 litchi cultivars (mean±SD, n=3)

注: 柱形图上字母不同为差异显著 ( $p < 0.05$ )。

采用 CAA 方法对 10 种荔枝品种果肉的细胞抗氧化活性评价表明 (图 2),妃子笑具有最大的细胞抗氧化活性 CAA 值 ( $13.17 \pm 1.27 \mu\text{mol QE}/100 \text{g}$ ), 其后由大到小的顺序依次是小米枝 ( $11.42 \pm 0.30 \mu\text{mol QE}/100 \text{g}$ )、鸡咀荔 ( $7.97 \pm 0.69 \mu\text{mol QE}/100 \text{g}$ )、白蜡 ( $7.45 \pm 0.10 \mu\text{mol QE}/100 \text{g}$ )、荔枝王 ( $7.42 \pm 0.75 \mu\text{mol QE}/100 \text{g}$ )、糯米糍 ( $6.10 \pm 0.60 \mu\text{mol QE}/100 \text{g}$ )、蜜糖糍 ( $5.58 \pm 0.40 \mu\text{mol QE}/100 \text{g}$ )、黑叶 ( $4.99 \pm 0.56 \mu\text{mol QE}/100 \text{g}$ )、桂味 ( $4.45 \pm 0.36 \mu\text{mol QE}/100 \text{g}$ )、淮枝 ( $3.78 \pm 0.25 \mu\text{mol QE}/100 \text{g}$ ), 最大是最小的 3.78 倍。Wolfe 等<sup>[11]</sup>分析了 25 种水果 CAA 值与总多酚含量和 ORAC 值之间的相关性表明,水果多酚含量与 CAA 值、ORAC 值与 CAA 值之间都有良好的正相关性 ( $r$  值分别为 0.890 和

0.823,  $p < 0.05$ )。Song 等<sup>[14]</sup>对 27 种蔬菜的 CAA 值与总多酚含量和 ORAC 值之间的相关性研究则表明, 蔬菜多酚与 CAA 值之间呈现良好的正相关性 ( $r$  值 0.702,  $p < 0.05$ ), 但 ORAC 值与 CAA 值之间正相关性较弱 ( $r$  值 0.586,  $p > 0.05$ )。本文的研究表明, 荔枝果肉的 CAA 值与总多酚含量、总黄酮含量、ORAC 之间都有显著的正相关性 ( $r$  值分别为 0.907、0.929、0.927,  $p < 0.01$ ), 而且 CAA 值与黄酮含量之间正相关性最大, 说明荔枝果肉多酚中起细胞学抗氧化活性的主要成分可能是黄酮类化合物。Su 等人<sup>[16]</sup>研究表明, 荔枝果肉中细胞抗氧化活性的主要黄酮类物质是槲皮素-3-O-芸香糖-7-O- $\alpha$ -L-鼠李糖苷、原花青素 B2、表儿茶素和芦丁, 其中槲皮素-3-O-芸香糖-7-O- $\alpha$ -L-鼠李糖苷具有最强的细胞抗氧化活性。

### 2.4 10 种荔枝品种果肉抗肿瘤细胞增殖活性比较

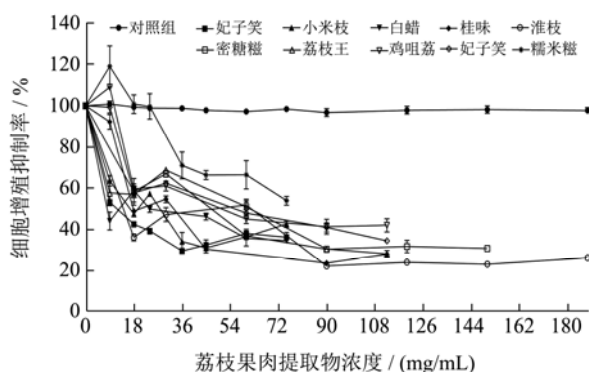


图 3 10 种荔枝品种果肉细胞增殖抑制率 (平均值±SD, n=3)

Fig.3 Antiproliferative activities of pulp from 10 litchi cultivars (mean±SD, n=3)

注: 柱形图上字母不同为差异显著 ( $p < 0.05$ )。

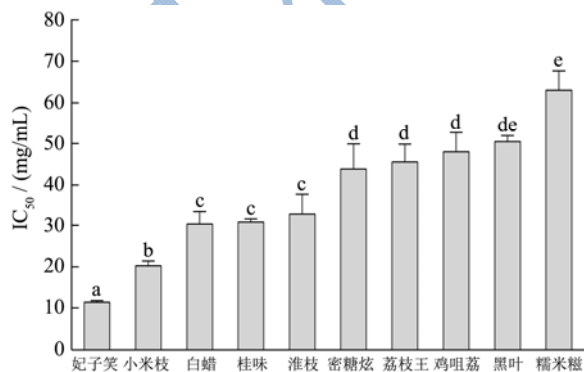


图 4 10 种荔枝品种果肉 IC<sub>50</sub> 值 (平均值±SD, n=3)

Fig.4 IC<sub>50</sub> of pulp from 10 lichi cultivars (mean±SD, n=3)

注: 柱形图上字母不同为差异显著 ( $p < 0.05$ )。

10 种荔枝品种果肉抗 HepG2 增殖活性实验结果如图 3 和图 4 所示, 可见 10 种荔枝果肉对 HepG2 细

胞增殖都有较强的抑制作用, 其中妃子笑的抑制作用最强 (IC<sub>50</sub> 达到 11.41±0.38 mg/mL), 其次是小米枝 (20.23±1.13 mg/mL)、白蜡 (30.51±3.04 mg/mL)、桂味 (30.89±0.84 mg/mL)、淮枝 (32.94±4.79 mg/mL)、蜜糖糍 (43.85±6.17 mg/mL)、荔枝王 (45.59±4.36 mg/mL)、鸡咀荔 (48.10±4.73 mg/mL)、黑叶 (50.56±1.50 mg/mL)、糯米糍 (63.10±4.69 mg/mL)。10 种荔枝品种果肉提取物对 HepG2 细胞的抗增殖活性 (IC<sub>50</sub>) 与多酚含量、黄酮含量、ORAC 和 CAA 值之间均呈现较弱的负相关性 ( $r$  值分别为 -0.404、-0.539、-0.433 和 -0.608,  $p > 0.05$ ), 说明不能简单用食物多酚含量、黄酮含量或抗氧化作用来解释其抗增殖作用, 提示可能某些特殊酚类单体或其协同作用在抗肿瘤细胞增殖过程中发挥主要作用<sup>[17,18]</sup>。因此, 需要进一步开展更深入的研究, 以探明这些起抗增殖活性的多酚类单体及其协同作用机制。

### 3 结论

本课题对我国岭南地区常见 10 种荔枝品种的果肉的细胞抗氧化活性和抗肿瘤细胞增殖活性进行了比较研究。研究表明, 荔枝果肉多酚含量、黄酮含量、化学抗氧化活性、细胞抗氧化活性和抗肿瘤细胞增殖活性随荔枝品种不同而不同。荔枝果肉的 CAA 值与总多酚含量、总黄酮含量、ORAC 之间都有显著的正相关性 ( $p < 0.01$ ), 且 CAA 值与黄酮含量之间正相关性最大, 说明荔枝果肉多酚中起细胞学抗氧化活性的主要成分可能是黄酮类化合物。但荔枝果肉对 HepG2 细胞的抗增殖活性与总多酚含量、总黄酮含量、ORAC 和 CAA 值之间均呈现较弱的负相关性 ( $p > 0.05$ ), 提示某些特殊酚类单体或其协同作用在抗肿瘤细胞增殖过程中发挥主要作用。

### 参考文献

- [1] Willcox J K, Ash S L, Catignani G L. Antioxidants and prevention of chronic disease [J]. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 2004, 44(4): 275-295
- [2] Lü J M, Lin P H, Yao Q, et al. Chemical and molecular mechanisms of antioxidants: experimental approaches and model systems [J]. J Cell Mol. Med., 2010, 14(4): 840-860
- [3] Ibrahim S R M, Mohamed G A. Litchi chinensis: medicinal uses, phytochemistry, and pharmacology [J]. J Ethnopharmacol, 2015, 174: 492-513
- [4] Zhang R F, Zeng Q S, Deng Y Y, et al. Phenolic profiles and antioxidant activity of litchi pulp of different cultivars cultivated in southern China [J]. Food Chem., 2013, 136(3):

- 1169-1176
- [5] Lv Q, Si M M, Yan Y Y, et al. Effects of phenolic-rich litchi(*Litchi chinensis* Sonn.) pulp extracts on glucose consumption in human HepG2 cells [J]. *J. Funct. Foods*, 2014, 7(1): 621-629
- [6] Badarinath A V, Rao K M, Madhu C, et al. A review on in-vitro antioxidant methods: comparisons, correlations and considerations [J]. *Pharm Technical Research*, 2010, 2(2): 1276-1285
- [7] Fernandez-Panchon M S, Villano D, Troncoso A M, et al. Antioxidant activity of phenolic compounds: from *in vitro* results to *in vivo* evidence [J]. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2008, 48(7): 649-671
- [8] Wolfe K L, Liu R H. Cellular antioxidant activity (CAA) assay for assessing antioxidants, foods, and dietary supplements [J]. *J. Agric. Food Chem.*, 2007, 55(22): 8896-8907
- [9] 吴丹玲,李艳,刘冬.荔枝果肉多酚提取条件优化研究[J].食品科技,2011,36(3):180-182,192  
WU Dan-ling, LI Yan, LIU Dong. The optimal extraction condition of polyphenols from litchi [J]. *Food Science and Technology*, 2011, 36(3): 180-182
- [10] 万红霞,刘仁斌,孙海燕,等.36种蔬菜抑制肝癌 HepG2 和结肠腺癌 Caco-2 细胞增殖活性评价[J].食品与生物技术学报,2015,34(9):995-1001  
WAN Hong-xia, LIU Ren-bin, SUN Hai-yan, et al. Antiproliferative activities of 36 vegetables in China on HepG2 and Caco-2 cells [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2015, 34(9): 995-1001
- [11] Wolfe K L, Kang X M, He X. Cellular antioxidant activity of common fruits [J]. *J. Agric. Food. Chem.*, 2008, 56(18): 8418-8426
- [12] 钟慧臻,徐玉娟,李春美,等.高效液相色谱-电喷雾离子阱质谱法测定荔枝果肉中酚类物质[J].广东农业科学,2010, 37(4):11-14  
ZHONG Hui-zhen, XU Yu-juan, LI Chun-mei, et al. Analysis of phenolic compounds in pulp of litchi by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2010, 37(4): 11-14
- [13] 温叶杰,肖娟,董丽红,等.荔枝果肉多酚不同极性分部的构成谱及其抗氧化活性比较[J].食品科学技术学报,2016,34(3):31-39  
WEN Ye-jie, XIAO Juan, DONG Li-hong, et al. Polyphenol components and antioxidant activities of three fractions extracted by different polar solvents from litchi pulp polyphenol extract [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 34(3): 31-39
- [14] Song W, Derito C M, Liu M K, et al. Cellular antioxidant activity of common vegetables [J]. *J. Agric. Food Chem.*, 2010, 58(11): 6621-6629
- [15] Neal O, Liu C S, Marke S, et al. Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat [J]. *Food Chem.*, 2010, 119(1): 249-257
- [16] Su D X, Ti H H, Zhang R F, et al. Structural elucidation and cellular antioxidant activity evaluation of major antioxidant phenolics in lychee pulp [J]. *Food Chem.*, 2014, 158(5): 385-391
- [17] Sun J, Chu Y F, Wu X Z, et al. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits [J]. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, 50(23): 7449-7454
- [18] Yang J, Liu R H. Synergistic effect of apple extracts and quercetin 3- $\beta$ -D-glucoside combination on antiproliferative activity in MCF-7 human breast cancer cells in vitro [J]. *J. Agric. Food Chem.*, 2009, 57(8): 8581-8586