

黄参籽多酚的组成及其对人结肠癌细胞 Lovo 的抑制作用

高春燕¹, 田呈瑞², 卢跃红³

(1. 大理学院公共卫生学院, 云南大理 671003) (2. 陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西西安 710062)
(3. 大理学院农学与生物科学学院, 云南大理 671003)

摘要: 采用超声波辅助提取技术从黄参籽中提取了游离酚和不溶性细胞壁结合酚, 并采用福林-酚法测定了其多酚含量。同时, 采用 HPLC-MS 对黄参籽多酚的组成进行了分析, 并采用 MTT 法测定了其对人结肠癌细胞 Lovo 的抑制作用。结果显示, 黄参籽中主要的酚类化合物是绿原酸、咖啡酸、木犀草素葡萄糖甙、芍药花素二葡萄糖甙、二咖啡酰奎尼酸葡萄糖甙和儿茶酸葡萄糖甙, 且不同的酚类化合物在游离酚和不溶性细胞壁结合酚提取物中的含量存在差异; 黄参籽多酚提取物对人结肠癌细胞的增殖具有显著的抑制作用, 且随着多酚浓度的增加, 抑制率上升, 呈剂量效应关系; 形态学的观察结果表明, 经黄参籽多酚提取物处理后细胞形态发生明显改变, 细胞固缩、干瘪, 体积变小, 甚至干枯脱落, 初步提示黄参籽多酚可以抑制人结肠癌细胞 Lovo 的生长。

关键词: 黄参籽; 多酚; 抗肿瘤活性; 人结肠癌细胞

文章编号: 1673-9078(2014)11-1-5

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.11.001

Polyphenolic Composition of *Sphallerocarpus gracilis* Seeds and Their Inhibitory Effect on Human Colon Carcinoma (Lovo) Cells

GAO Chun-yan¹, TIAN Cheng-rui², LU Yue-hong³

(1. College of Public Health, Dali University, Dali 671003, China)

(2. College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

(3. College of Agronomy and Biological Science, Dali University, Dali 671003, China)

Abstract: The free and insoluble cell wall-bound phenolics of *Sphallerocarpus gracilis* seeds were characterized by ultrasound-assisted extraction. The polyphenolic contents were determined by the Folin-Ciocalteu method and high-performance liquid chromatography-mass spectrometry (HPLC-MS), and the inhibitory effects of the polyphenolic extracts on human colon carcinoma (Lovo) cells were determined by an MTT assay. The results indicated that the dominant phenolic compounds in *S. gracilis* seeds were chlorogenic acid, caffeic acid, paeoniflorin-diglucoside, luteolin-glucoside, dicaffeoylquinic acid glucoside, and protocatechuic acid glucoside, and that the free and insoluble cell-wall-bound phenolic content in extracts differed. The phenolic extracts from *S. gracilis* seeds showed significant inhibitory effects on Lovo cells. Furthermore, the inhibition rate gradually enhanced with increasing phenolic concentrations, showing a dose-dependent effect. The morphology of cells changed substantially after treatment with polyphenolic extracts; cells were smaller, shriveled, and even dried and detached, preliminarily suggesting that polyphenolic extracts from *S. gracilis* seeds could inhibit the growth of Lovo cells.

Key words: *Sphallerocarpus gracilis* seeds; polyphenols; antitumor activity; human colon carcinoma cells

黄参 (*Sphallerocarpus gracilis*) 系伞形科, 芹亚科, 针果芹族, 迷果芹属多年生草本植物^[1], 高 50~120 cm, 生长在海拔 1700~4000 m 之间的河滩、田边、路旁, 主要分布在我国东北, 华北, 西北, 新疆至中

收稿日期: 2014-05-25

作者简介: 高春燕 (1981-), 女, 博士研究生, 主要从事植源性食品资源开发与利用的研究

通讯作者: 卢跃红 (1981-), 男, 硕士研究生, 讲师, 主要从事植物功能性成分分析及功能活性评价

亚, 蒙古, 西伯利亚等地^[2-4]。其全草入药, 有祛风除湿功效, 主治风湿性关节炎, 是一种传统的藏药^[5]。另据《晶珠本草》记载, 黄参治黄水病, 腰肾寒症。甘肃山丹的大黄山及祁连山北麓的洪积草原、半草原和山滩农田地, 海拔 2400~2900 m, 基本属高寒半干旱气候, 非常适宜于黄参的生长^[6]。黄参在此地大面积分布, 而且呈现出种群优势, 非常罕见。黄参肉质直根呈淡黄色, 有浓郁的胡萝卜气味, 具有很高的营养和药用价值, 是一种理想的保健食品, 当地群众

灾年曾用其救荒。黄参籽呈肾形、具棱，黑褐色，具有特殊的芳香气味。研究结果显示，黄参籽精油具有显著的抑菌活性，能抑制金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、肠炎沙门菌、鼠伤寒沙门菌等的生长繁殖，具有作为防腐剂应用于食品行业的潜力^[7]。

植物多酚是植物在正常发育过程中和对应激状态如感染、受伤、紫外线辐射做出反应的过程中合成的次生代谢产物，是一大类来源于酪氨酸途径和苯丙氨酸代谢途径的植物化学物^[8]。植物体内，多酚在组织、细胞和亚细胞水平的分布是不一致的。不溶性多酚主要分布在细胞壁，而可溶性多酚主要分布在植物细胞的液泡内。已有研究表明，植物多酚具有抗氧化、抑制微生物、影响酶的活性、抗增殖、抗肿瘤、抑制细胞毒素、保护四氯化碳肝损伤和抗电子辐射等作用^[9]。本试验从黄参籽中提取出了游离酚和不溶性细胞壁结合酚，对其酚类化合物的组成进行了分析，并测定了其抑制人结肠癌细胞 Lovo 的活性，以期为黄参资源的开发和利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 主要材料与试剂

黄参籽：于 2009 年 10 月采于甘肃山丹军马场（纬度：38° 77' N；经度：101° 08' E；海拔：2700 m），自然干燥后粉碎密封保存，备用；人结肠癌细胞 Lovo：美国细胞库。

咖啡酸、没食子酸、绿原酸、胰酶、二甲基亚砜（DMSO），美国 Sigma 公司；Folin-酚试剂，上海荔达生物科技有限公司；GIBCO DEME 培养基，美国英杰生命技术有限公司；牛血清，民海生物工程有限公司；其它试剂均为分析纯。

1.1.2 主要设备

722型可见分光光度计，上海光谱仪器有限公司制造；2406-2二氧化碳培养箱，美国SHELLAB公司；Agilent 1100 型高效液相色谱仪，美国Agilent公司；Esquire 6000型质谱仪，德国Bruker公司。

1.2 试验方法

1.2.1 黄参籽多酚的提取

黄参籽游离酚和不溶性细胞壁结合酚的提取按照文献^[10]的方法进行，并稍作修改。精密称取黄参籽粉末 3.0 g，80%的甲醇室温下超声波辅助提取 3 次，每次 10 min，合并滤液，旋转蒸发除去甲醇，水相用 HCL 将 pH 值调至 1~2，然后乙酸乙酯萃取，合并乙

酸乙酯相，旋转蒸发除去乙酸乙酯，剩余残留物用色谱甲醇定容，定义为游离酚。提取完游离酚后的黄参籽残渣加入 NaOH 于室温振荡水解 4 h。待水解完毕，用 HCL 将 pH 值调至 1~2，真空抽滤，滤液乙酸乙酯萃取，合并乙酸乙酯相，旋转蒸发除去乙酸乙酯，剩余残留物用色谱甲醇定容，定义为不溶性细胞壁结合酚。

1.2.2 黄参籽多酚含量的测定

分别吸取 0.00、0.04、0.06、0.08、0.10、0.12、0.14 mL 没食子酸标准溶液（200 μg/mL）于 10 mL 具塞试管中，然后加入 100 μL Folin-酚试剂，混匀，3 min 后，加入 2 mL Na₂CO₃，之后用蒸馏水定容至 5 mL 刻度处，置暗室反应 40 min。待反应结束后于 760 nm 处测定吸光值。每个试样平行测定 3 次，取平均值。以没食子酸浓度为横坐标，以吸光度为纵坐标，绘制标准曲线。得曲线方程： $y=0.1078x+0.0237$ （0~5.6 μg/mL），相关系数 $R^2=0.9992$ ，其中 y 为 760 nm 波长处的吸光度值，x 为没食子酸浓度（μg/mL）。样品中多酚含量的测定结果以毫克没食子酸（Gallic Acid）等量每克黄参籽干重表示（mg GAE/g）。

1.2.3 黄参籽多酚 HPLC-MS 分析

1.2.3.1 HPLC分析条件

Diamonsil C18 色谱柱（5 μm，250 mm×4.6 mm），流速 1 mL/min，进样量 10 μL，柱温 30 °C；280 nm 和 320 nm 波长下同时检测。流动相 A 为 100% 甲醇，B 为甲醇冰乙酸超纯水溶液（冰乙酸/甲醇/H₂O，1/10/89，V/V）。梯度洗脱程序如下：0~1 min：A 20%，1~16 min：A 20% 升至 38%，16~18 min：A 38%，18~30 min：A 38% 升至 60%，30~35 min：A 60%，35~40 min：A 60% 降至 20%，40~43 min：A 20%。以咖啡酸为标准物质制作回归曲线，得回归方程 $y=26591x-32552$ （10~50 μg/mL），相关系数 $R^2=0.9941$ ，各成分的含量以毫克咖啡酸（CA）等量每克黄参籽干重（mg CAE/g）来表示。

1.2.3.2 MS条件

阴离子模式，电喷雾离子化（ESI），干燥气体流速为 8.0 mL/min，干燥气体温度为 350 °C，压力 35 Psi，质谱数据的扫描范围为 50~850 m/z。

1.2.4 黄参籽多酚提取物对人结肠癌细胞 Lovo 抑制作用的测定

黄参籽多酚提取物对人结肠癌细胞 Lovo 的抑制作用采用 MTT 法进行测定。将冷冻干燥的多酚提取物，先用少量二甲基亚砜（DMSO）溶解，然后加入培养液（DMSO 终浓度小于等于 0.2%）配制多酚提取物母液，之后用培养液稀释成 500、250、125、62.5、31.25 μg GAE/mL。收集对数期细胞，调节细胞数为 8×10^4 个

/mL, 每孔接种 100 μ L, 调零孔加入 100 μ L 培养液, 边缘孔用 PBS 填充, 于 5% CO_2 , 37 $^\circ\text{C}$ 、饱和湿度培养箱中孵育 12 h。待培养结束, 小心吸出孔内培养液, 每孔加入 200 μ L 不同浓度的多酚提取物, 对照孔和调零孔加入 200 μ L 的培养液, 每个浓度做 4 个重复, 继续在 5% CO_2 , 37 $^\circ\text{C}$ 饱和湿度培养箱中孵育 20 h。孵育结束后, 在倒置显微镜下观察细胞形态变化并拍照。接下来, 每孔加入 20 μ L 的 MTT (5 mg/mL), 继续培养 4 h。待培养结束, 小心吸弃孔内培养液, 并加入 150 μ L 的 DMSO, 置摇床上低速震荡 10 min, 之后用酶标仪于 490 nm 波长下读板。各试样对人结肠癌细胞 Lovo 的抑制率按下式计算: 肿瘤细胞抑制率 (%) = $(1 - A_s / A_o) \times 100$, 式中 A_s 为试验组吸光值, A_o 为对照组吸光值。

2 结果与讨论

2.1 黄参籽多酚含量

采用 Folin-酚法对黄参籽游离酚和不溶性细胞壁结合酚提取物的多酚含量进行了测定, 结果见表 1。之前的研究结果显示^[11], 十月份和次年四月份采收的黄参根游离酚和不溶性细胞壁结合酚的多酚含量分别为 0.71 ± 0.01 和 0.35 ± 0.06 mg GAE/g, 0.61 ± 0.05 和 0.78 ± 0.01 mg GAE/g。由表 1 数据可以看出, 黄参籽游离酚和不溶性细胞壁结合酚的酚含量显著高于黄参根, 表明籽是黄参多酚类化合物的主要合成部位。

表 1 黄参籽多酚含量 (mg GAE/g)

Table 1 Phenolic content of <i>S. gracilis</i> seeds		
酚提取物	游离酚	不溶性细胞壁结合酚
含量/(mgGAE/g)	3.19 ± 0.15	3.60 ± 0.14

2.2 黄参籽多酚组成的分析

黄参籽游离酚和不溶性细胞壁结合酚的组成通过 HPLC-DAD 和 HPLC-MS 进行分析, 其液相色谱分离结果见图 1。由图 1 可以看出, 游离酚提取物 (a) 分离出的化合物多于不溶性细胞壁结合酚 (b)。黄参籽酚类化合物的鉴定主要通过与标准品比较保留时间和质谱碎片以及参考文献中的质谱数据。黄参籽多酚提取物共鉴定出 8 种化合物, 其质谱数据及鉴定结果见表 2。

峰 1 有一级质谱 (MS^1) 碎片 m/z 353 和二级质谱 (MS^2) 碎片 m/z 191, 可以得出其分子量为 354, 与标准品绿原酸的质谱数据相同。

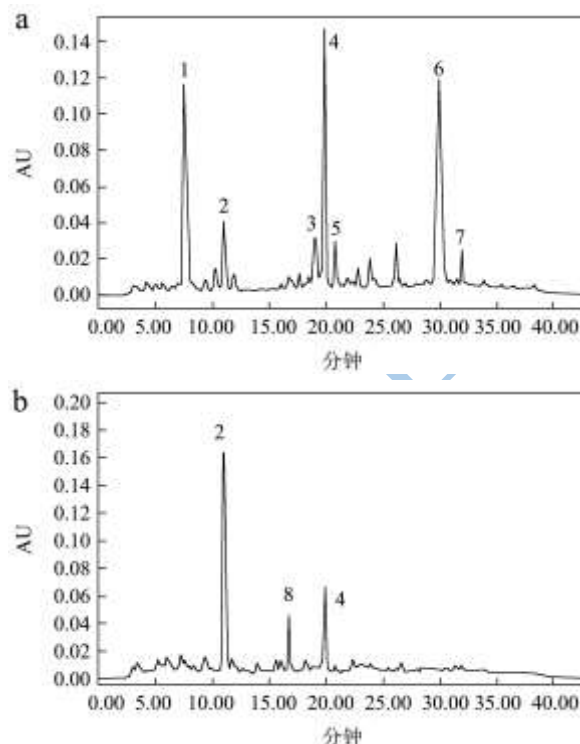


图 1 黄参籽游离酚 (a) 和不溶性细胞壁结合酚 (b) HPLC 色谱图 (280 nm)

Fig.1 HPLC chromatograms of free and insoluble cell-wall-bound phenolic extracts from *S. gracilis* seeds (280 nm)

注: 峰 1: 绿原酸; 峰 2: 咖啡酸; 峰 3 和峰 5: 芍药花素二葡萄糖甙; 峰 4: 木犀草素葡萄糖甙; 峰 6 和峰 7: 二咖啡酰奎尼酸葡萄糖甙; 峰 8: 儿茶酸葡萄糖甙。

绿原酸是由咖啡酸与奎尼酸生成的缩酚酸, MS^2 m/z 191 是解离后剩余奎尼酸的特征离子碎片。因此, 峰 1 被鉴定为绿原酸。峰 2 有一级质谱 (MS^1) 碎片 m/z 179 和二级质谱 (MS^2) 碎片 m/z 135, 可以得出其分子量为 180, 与标准品咖啡酸的质谱数据相同。 MS^2 m/z 135 是咖啡酸失去一个 CO_2 分子后的特征离子碎片 [179-44]。因此, 峰 2 被鉴定为咖啡酸。峰 3 和峰 5, 这两种化合物都有一级质谱 (MS^1) 碎片 m/z 624 和二级质谱 (MS^2) 碎片 m/z 564, 463, 301, 表明这两种化合物互为同分异构体, 与文献^[12]报道的芍药花素二葡萄糖甙的质谱数据相同。因此, 峰 3 和峰 5 初步鉴定为芍药花素二葡萄糖甙。峰 4 有一级质谱 (MS^1) 碎片 m/z 447 和二级质谱 (MS^2) 碎片 m/z 285, 与文献^[13]报道的木犀草素葡萄糖甙的质谱数据相同, 其失去一分子葡萄糖甙 (162 amu), 得木犀草素的特征离子碎片 m/z 285 [447-162]。因此, 峰 4 鉴定为木犀草素葡萄糖甙。峰 6 和峰 7, 都有一级质谱碎片 m/z 713

和二级质谱碎片 m/z 677、515、353、191、179，表明这两种化合物互为同分异构体。与文献^[13]报道的二咖啡酰奎尼酸葡萄糖甙的质谱数据相同。因此，峰6和峰7初步鉴定为二咖啡酰奎尼酸葡萄糖甙。峰8有一级质谱碎片 m/z 487 和二级质谱碎片 m/z 451。根据质谱数据推断出其二级质谱碎片 m/z 451，为487失去一个Cl原子所得^[487-36]，即可以确定其分子量为452，与文献^[14]报道的儿茶酸葡萄糖甙的分子量相同。因此，峰8初步鉴定为儿茶酸葡萄糖甙。

黄参籽游离酚和不溶性细胞壁结合酚提取物中酚

表2 黄参籽酚类化合物的质谱数据及鉴定结果

Table 2 Mass spectrum data and identification of phenolic compounds in *S. gracilis* seeds

峰号	保留时间/min	MS ¹ /(m/z)	MS ² /(m/z)	分子量	鉴定物质
1	7.5	353 [M-H] ⁻	191	354	绿原酸
2	11.1	179 [M-H] ⁻	135	180	咖啡酸
3	19.1	624 [M-H] ⁻	564, 463, 301	625	芍药花素二葡萄糖甙
4	19.9	447 [M-H] ⁻	285	448	木犀草素葡萄糖甙
5	20.8	624 [M-H] ⁻	564, 463, 301	625	芍药花素二葡萄糖甙
6	30.0	713 [M+Cl] ⁻	677, 515, 353, 191, 179	678	二咖啡酰奎尼酸葡萄糖甙
7	32.0	713 [M+Cl] ⁻	677, 515, 353, 191, 179	678	二咖啡酰奎尼酸葡萄糖甙
8	16.8	487 [M+Cl] ⁻	451	452	儿茶酸葡萄糖甙

表3 黄参籽多酚提取物中酚类化合物的含量

Table 3 Phenolic compounds in polyphenolic extracts from *S. gracilis* seeds

峰号	鉴定物质	含量/(mg CAE/g)	
		游离酚	不溶性细胞壁结合酚
1	绿原酸	0.65±0.03	-
2	咖啡酸	0.22±0.01	1.03±0.41
3	芍药花素二葡萄糖甙	0.19±0.02	-
4	木犀草素葡萄糖甙	0.61±0.03	0.27±0.04
5	芍药花素二葡萄糖甙	0.12±0.01	-
6	二咖啡酰奎尼酸葡萄糖甙	1.02±0.12	-
7	二咖啡酰奎尼酸葡萄糖甙	0.08±0.01	-
8	儿茶酸葡萄糖甙	-	0.18±0.04

注：“-”表示未检出。

2.3 黄参籽多酚对人结肠癌细胞 Lovo 的抑制

作用

黄参籽游离酚和不溶性细胞壁结合酚提取物对人结肠癌细胞 Lovo 增殖的抑制作用见表4。由表4的数据可以看出，在测试浓度范围内（31.25~500.00 μg GAE/mL），黄参籽游离酚和不溶性细胞壁结合酚提取物对人结肠癌细胞 Lovo 的增殖都表现出了一定的抑制作用，且随着多酚浓度的增加抑制率呈上升趋势，初

类化合物的含量见表3。由表3中数据可以看出，游离酚提取物共鉴定出7种化合物，其中含量较高的为绿原酸、木犀草素葡萄糖甙和二咖啡酰奎尼酸葡萄糖甙；不溶性细胞壁结合酚提取物共鉴定出3种化合物，其中含量较高的为咖啡酸。这主要是因为初级细胞壁中，羟基肉桂酸衍生物通过酯键与木质素和阿拉伯木聚糖结合^[15]。此外，不同的酚类化合物在黄参籽游离酚和不溶性细胞壁结合酚提取物中的含量是有差异的。如二咖啡酰奎尼酸葡萄糖甙在游离酚提取物中含量较高，然而在不溶性细胞壁结合酚提取物中却未检出。

步表明黄参籽多酚对结肠癌细胞 Lovo 增殖的抑制作用呈剂量效应关系。

表4 黄参籽多酚提取物对人结肠癌细胞 Lovo 的抑制作用

Table 4 Inhibitory effects of polyphenolic extracts from *S. gracilis* seeds on human colon carcinoma (Lovo) cells

组别	浓度/(μg GAE/mL)	抑制率/%
游离酚	31.25	13.43±2.02 ^d
	62.50	35.03±4.76 ^c
	125.00	64.66±7.89 ^b
	250.00	75.62±5.21 ^b
	500.00	97.07±8.90 ^a
不溶性细胞壁结合酚	31.25	10.80±2.90 ^d
	62.50	33.49±5.10 ^c
	125.00	62.50±8.09 ^b
	250.00	71.76±6.32 ^b
	500.00	91.20±9.86 ^a

注：不同字母表示差异有统计学意义（ $P < 0.05$ ）。

采用倒置显微镜观察了黄参籽多酚提取物处理前后，人结肠癌细胞 Lovo 形态的变化。

正常生长的人结肠癌细胞 Lovo 呈长梭形（纺锤形），贴壁生长，折光性良好，细胞轮廓明显、膜光滑完整、饱满、胞质均匀，显示细胞处于旺盛生长阶段（图2，A）。经黄参籽多酚提取物处理后，细胞形态发生了明显的改变。黄参籽多酚提取物低剂量（31.25

$\mu\text{g GAE/mL}$) 处理后, 细胞形态基本保持完整, 但是明显的出现了固缩、干瘪 (图 2, B3 和 C3); 黄参籽多酚中剂量 ($125 \mu\text{g GAE/mL}$) 处理后, 细胞数目明显减少, 形态明显改变, 固缩严重, 只有少数细胞保持短梭形 (图 2, B2 和 C2); 黄参籽多酚高剂量 ($500 \mu\text{g GAE/mL}$) 处理后, 细胞失去其完整性, 变为圆形 (图 2, B1 和 C1)。

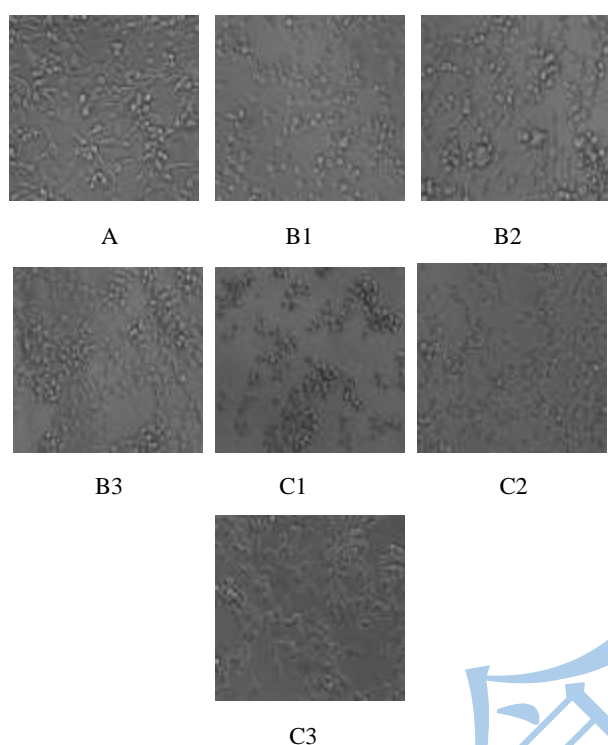


图 2 黄参籽多酚提取物对人结肠癌细胞 Lovo 形态的影响 (40 \times)

Fig.2 Effect of polyphenolic extracts from *S. gracilis* seeds on the morphology of human colon carcinoma (Lovo) cells (40 \times magnification)

注: A-正常对照; B1-黄参籽游离酚高剂量处理; B2-黄参籽游离酚中剂量处理; B3-黄参籽游离酚低剂量处理; C1-黄参籽不溶性细胞壁结合酚高剂量处理; C2-黄参籽不溶性细胞壁结合酚中剂量处理; C3-黄参籽不溶性细胞壁结合酚低剂量处理。

黄参籽多酚提取物中含有酚酸、黄酮类等化合物, 国内外许多学者报道了黄酮类化合物诱导肿瘤细胞凋亡的作用, 由此提示黄参籽多酚可能通过抑制肿瘤细胞的增殖, 诱导肿瘤细胞凋亡, 从而达到抗肿瘤的目的。但是, 对黄参籽多酚提取物诱导肿瘤细胞凋亡的机制, 还有待于进一步的深入研究。黄参籽多酚提取物可能通过其主要成分, 也可能通过其各成分之间的协同作用起到抑制人结肠癌细胞 Lovo 生长的作用。

3 结论

黄参籽游离酚和不溶性细胞壁结合酚的酚含量分

别为 3.19 ± 0.15 和 $3.60 \pm 0.14 \text{ mg GAE/g}$; 黄参籽多酚提取物共鉴定出 6 种酚类化合物, 分别为绿原酸、咖啡酸、芍药花素二葡萄糖甙、木犀草素葡萄糖甙、二咖啡酰奎尼酸葡萄糖甙、儿茶酸葡萄糖甙, 而且不同的酚类化合物在黄参籽游离酚和不溶性细胞壁结合酚提取物中的含量是有差异的; 黄参籽多酚提取物对人结肠癌细胞 Lovo 增殖具有显著的抑制作用, 而且随着多酚浓度的增加, 其抑制活性呈上升趋势, 呈剂量效应关系; 形态学的观察结果表明, 经黄参籽多酚提取物处理后细胞形态发生明显改变, 细胞固缩、干瘪, 体积变小, 甚至干枯脱落, 初步提示黄参籽多酚可以抑制人结肠癌细胞 Lovo 的生长。

参考文献

- [1] 吴征镒, 路安民, 汤彦承, 等. 中国被子植物科属综论 [M]. 北京: 科学出版社, 2003
WU Zheng-yi, LU An-min, TANG Yan-cheng, et al. Chinese angiosperm families and genera review [M]. Beijing: Science Press, 2003
- [2] 周以良主编. 黑龙江省植物志 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1998
ZHOU Yi-liang. Flora of Heilongjiang province [M]. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1998
- [3] 张定君, 邹卿, 唐谦. 黄参的生物学特性与栽培技术研究初报 [J]. 甘肃农业科技, 2000, 7: 44-45
ZHANG Ding-jun, ZOU Qing, TANG Qian. Study on biological characteristics and cultivation techniques of Huang Shen [J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2000, 7: 44-45
- [4] 中国科学院植物志编委会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 1878
Flora compilation committee of Chinese academy of science. Flora of China [M]. Beijing: Science press, 1878
- [5] 郭本兆. 青海经济植物志 [M]. 西宁: 青海人民出版社, 1987
GUO, Ben-zhao. Economic flora of Qinghai [M]. Xining: Qinghai people's press, 1987
- [6] 贾恢先, 邹卿, 叶相清, 等. 山丹黄参的分布及微量元素含量研究 [J]. 西北植物学报, 2001, 21(1): 188-190
JIA Hui-xian, ZOU Qing, YE Xiang-Qing, et al. Study on distribution and content of trace elements of Shan Huangshen [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2001, 21(1): 188-190
- [7] Gao C Y, Lu Y H, Tian C H, et al. Essential oil composition and antimicrobial activity of *Sphallerocarpus gracilis* seeds against selected food-related bacteria [J]. Food Control, 2011,

- 22(3-4): 508-516
- [8] Nacz M, Shahidi F. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis [J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2006, 41(5): 1523-1542
- [9] Shahidi F, Nacz M. Phenolics in food and nutraceuticals: sources, applications and health effects [M]. CRC Press, Boca Raton, FL, 2004
- [10] Xu G H, Ye X Q, Liu D H, et al. Composition and distribution of phenolic acids in Ponkan (*Citrus poonensis* Hort ex Tanaka) and Huyou (*Citrus paradisi* Macf. Changshanhuoyou) during maturity [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2008, 21(5): 382-389
- [11] Gao C Y, Lu Y H, Tian C H, et al. Main nutrients, phenolics, antioxidant activity, DNA damage protective effect and microstructure of *Sphallerocarpus gracilis* root at different harvest time [J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(1): 615-622
- [12] Sandhu A K, Gu L. Antioxidant capacity, phenolic content, and profiling of phenolic compounds in the seeds, skin, and pulp of *Vitis rotundifolia* (Muscadine Grapes) as determined by HPLC-DAD-ESI-MSⁿ [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(8): 4681-4692
- [13] Lin L Z, Hamly J M. Identification of the phenolic components of chrysanthemum flower (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) [J]. *Food Chemistry*, 2010, 120(1): 319-326
- [14] Amarowicz R, Estrella I, Hernández T, et al. Free radical-scavenging capacity, antioxidant activity, and phenolic composition of green lentil (*Lens culinaris*) [J]. *Food Chemistry*, 2010, 121(2): 705-711
- [15] Pericin D, Krimer V, Trivic S, et al. The distribution of phenolic acids in pumpkin's hull-less seed, skin, oil cake meal, dehulled kernel and hull [J]. *Food Chemistry*, 2009, 113(2): 450-456