

Folin-Ciocalteu 比色法测定石榴皮多酚含量条件的优化

杜丹丹, 李建科

(陕西师范大学 食品工程与营养科学学院, 陕西 西安 710062)

[摘要] 【目的】系统研究 Folin-Ciocalteu (FC) 比色法测定石榴皮中多酚含量的最佳反应条件, 为进一步开发利用石榴皮资源提供有效的测试手段。【方法】以没食子酸为标准物质, 考察 FC 试剂浓度、 Na_2CO_3 质量浓度、反应时间和反应温度 4 个因素对 FC 比色法测定石榴皮多酚含量的影响, 用 $L_9(3^4)$ 正交试验对测定条件进行优选, 并对 FC 比色法的测定效果进行评定。【结果】适宜的显色条件是: FC 试剂浓度为 0.6 mol/L, Na_2CO_3 质量浓度为 0.150 g/mL, 在 25 °C 避光条件下反应 50 min 后, 于 765 nm 处测吸光值。1~6 mg/L 没食子酸的吸光度值与其质量浓度呈良好的线性关系, 相关系数 $R^2 = 0.9958$ 。在优化条件下测得石榴皮中多酚含量为 287.46 mg/g, 平均回收率为 99.31%, 平均相对标准偏差(RSD)为 1.98%。【结论】FC 比色法具有试剂用量少、检测速度快、准确度高、精密度高、稳定性好等优点, 可用于石榴皮中多酚含量的测定。

[关键词] 石榴皮; 多酚; Folin-Ciocalteu 法

[中图分类号] TS207.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2011)05-0190-07

Determination optimization of polyphenols content in pomegranate peel extracts by Folin-Ciocalteu colorimetry

DU Dan-dan, LI Jian-ke

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

Abstract: 【Objective】The study was to investigate an optimal colorimetric method to determine polyphenols in pomegranate peel systematically, and to provide an effective way to estimate the polyphenols for the value of pomegranate peel. 【Method】Using gallic acid as standard to select the density of Folin-Ciocalteu, sodium carbonate solution, reaction time and reaction temperature as impacting factors, the orthogonal design test $L_9(3^4)$ was used to study optimized measurement conditions, and the method was evaluated at last. 【Result】The optimum colorimetric conditions were determined as follows: the concentration of Folin-Ciocalteu reagent and Na_2CO_3 were 0.6 mol/L and 0.150 g/mL, reaction 50 minutes in temperature 25 °C away from light. There was a good linearity between the absorbance and gallic acid concentration from 1—6 mg/L ($R^2 = 0.9958$) in 765 nm. The pomegranate peel polyphenols can obtain a yield of 287.46 mg/g in this method. The average spiked recovery was 99.31%, with a RSD of 1.98%. 【Conclusion】This method, with a little reagent, fast, accurate, sensitive and stable, can be used as an appropriate method to measure the polyphenols in pomegranate peel extracts.

Key words: pomegranate peel; polyphenols; Folin-Ciocalteu colorimetry

* [收稿日期] 2010-09-30

[基金项目] 西安市科技计划项目(NC09056)

[作者简介] 杜丹丹(1985—), 女, 陕西西安人, 在读硕士, 主要从事食品营养与卫生研究。E-mail: dudan1985@163.com

[通信作者] 李建科(1960—), 男, 陕西扶风人, 教授, 主要从事食品营养与安全研究。E-mail: jiankel@snnu.edu.cn

石榴多酚是从石榴皮中提取的多酚类化合物,其组成成分包括安石榴苷、没食子酸、儿茶素、绿原酸、表儿茶素、咖啡酸、芦丁等多种化合物^[1-2],含量约为石榴皮干质量的10%~30%^[3]。石榴皮多酚类物质的抗病毒、抗菌能力及对消化系统、心血管系统、免疫系统等方面的保健作用已越来越受到人们的关注^[4-6]。

多酚含量的测定方法有高锰酸钾法、薄层层析法、气相色谱法、高效液相色谱法、Folin-Ciocalteu 比色法(FC 比色法的)等多种方法^[7-9]。其中,高锰酸钾法简便易行,但被测液中的还原性物质易被氧化,故选择性不高;薄层层析法在分离效果、速度和准确定量等方面存在缺陷;气相色谱需要进行衍生化处理,操作比较麻烦;而高效液相色谱法成本较高,不适于大量的定量分析。相比较而言,Folin-Ciocalteu 比色法^[10-12]具有价格低、操作方便等优点。

目前,对石榴皮多酚含量测定及其测定过程中的主要影响因素尚缺乏系统的研究。本试验在采用超声波提取石榴皮多酚的基础上,对其含量测定条件进行了系统研究,以探索适合石榴皮多酚测定的方法,使石榴皮多酚含量测定日趋规范化、准确化和精确化,为石榴皮资源的高效开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料及试剂

石榴皮取自陕西临潼净皮甜石榴。没食子酸,纯度 $\geq 98\%$ (质量分数),天津一方科技有限公司;Folin-Ciocalteu 试剂(FC 试剂),Sigma 公司;其余试剂为国产分析纯。

1.2 主要仪器设备

高速万能粉碎机(FW400A),北京科伟永兴仪器有限公司;紫外可见分光光度计(TU-1810),北京普析通用仪器有限责任公司;离心机(TDL-4),上海安亭科学仪器厂;精密微量移液器(100~1 000 μL),德国 Eppendorf;旋转蒸发器(RE-52AA),上海亚荣生化仪器厂;电热恒温水浴锅(HH-S4),北京科伟永兴仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 实验原理 在碱性条件下,酚类物质能将钨钼酸还原(使 W^{6+} 变为 W^{5+})生成蓝色的络合物,颜色深浅与多酚含量呈正相关,因此可用 Folin-ciocalteu 比色法对多酚含量进行定量。

1.3.2 没食子酸标准溶液的配制 准确称取没食子酸标准品 0.025 g,用蒸馏水溶解并定容于 1 000

mL 容量瓶中,得质量浓度为 25 mg/L 的对照品标准溶液,避光保存备用。

1.3.3 石榴皮多酚的提取^[13] 将新鲜石榴手工去皮,在 40 $^{\circ}\text{C}$ 下鼓风干燥 40 h,用粉碎机粉碎 50 s(颗粒粒度 0.2~0.3 mm),将石榴皮粉末置于棕色瓶中,低温、干燥条件下保存。称取 9 g 石榴皮粉置于锥形瓶中,按料(g)液(mL)比为 1:25 加入体积分数 50% 的乙醇溶液,用保鲜膜封口,在膜上扎一些小孔,置于功率为 90 W 的超声波清洗器中,60 $^{\circ}\text{C}$ 条件下提取 1.5 h,过滤,滤液 4 000 r/min 离心 15 min,将上清液于 40 $^{\circ}\text{C}$ 下真空旋转蒸发回收乙醇后,冷冻干燥。将干燥后的粉末状石榴皮多酚用蒸馏水定容至 1 000 mL 的容量瓶,避光保存。准确吸取石榴皮多酚溶液 1 mL 于 25 mL 的容量瓶中,加水至标线,摇匀,备用。

1.3.4 最佳测定波长的确定^[14] 用移液枪分别吸取 1.0 mL 的没食子酸标准溶液和石榴皮多酚溶液于 25 mL 的棕色容量瓶中,分别加入 0.6 mol/L FC 试剂 1 mL,混匀,在 0.5~8 min 内加入 2 mL 质量浓度 0.15 g/mL Na_2CO_3 溶液,充分混匀后定容,25 $^{\circ}\text{C}$ 下避光放置 50 min 后进行紫外全波长(400~900 nm)光谱扫描,并设试剂空白对照。

1.3.5 石榴皮多酚含量测定的单因素试验 选用对石榴皮多酚含量测定时吸光度值有影响的 4 个因素(FC 试剂浓度(0.2,0.4,0.6,0.8,1.0 mol/L)、 Na_2CO_3 质量浓度(0.100,0.125,0.150,0.175,0.200 g/mL)、反应时间(30,40,50,60,70,80 min)和反应温度(20,25,30,35,40 $^{\circ}\text{C}$))进行单因素试验,按照 1.3.4 节的方法进行显色反应,测定波长 765 nm 处的吸光度值(A_{765})。

1.3.6 石榴皮多酚含量测定的正交试验 根据单因素试验结果,以 FC 试剂浓度(A)、 Na_2CO_3 质量浓度(B)、反应时间(C)和反应温度(D)作为影响因素,采用 $\text{L}_9(3^4)$ 正交试验考察其对石榴皮多酚含量测定的影响,对测定条件进行优化。正交试验因素及其水平设计见表 1。

1.3.7 石榴皮多酚含量的 FC 比色法测定 1)标准曲线的绘制。准确吸取没食子酸标准溶液 0.1,2,3,4,5,6 mL,将其放入 25 mL 的容量瓶中,分别加入 0.6 mol/L FC 试剂 1 mL,混匀,在 0.5~8 min 内加入 0.15 g/mL Na_2CO_3 溶液 2 mL,充分混匀后定容,25 $^{\circ}\text{C}$ 避光放置 50 min。以不加标准液的溶液为空白对照,测定 A_{765} 值,以没食子酸的质量浓度为横坐标(x)、 A_{765} 值为纵坐标(y),绘制标准曲线,求

其回归方程。

表 1 石榴皮多酚含量测定的正交试验因素与水平

Table 1 Factors and levels of orthogonal design on the determination of polyphenols in pomegranate peel

水平 Levels	因素 Factors			
	A	B	C	D
	FC 试剂浓度/(mol·L ⁻¹) FC concentration	Na ₂ CO ₃ 质量浓度/(g·mL ⁻¹) Na ₂ CO ₃ concentration	反应时间/min Reaction time	反应温度/℃ Reaction temperature
1	0.4	0.125	50	25
2	0.6	0.150	60	30
3	0.8	0.175	70	35

2)石榴皮中多酚含量测定。吸取石榴皮多酚溶液 1.0 mL,在上述相同的显色条件下测定其 A_{765} 值,通过上节得到的回归方程算出石榴皮溶液中多酚的浓度,再通过下式换算出石榴皮中的多酚含量:

$$M=\frac{(y+0.008\ 6)\times25\times25\times1\ 000}{0.121\ 9\times1\ 000\times m}。$$

式中: M 为石榴皮中多酚的含量(mg/g); y 为石榴皮多酚溶液的吸光度值;分子上第 1 个 25 为石榴皮多酚溶液定容的体积(mL),第 2 个 25 为测量时显色定容的体积(mL);分子上的 1 000 为提取石榴皮多酚后将其定容的体积(mL); m 为石榴皮样品的质量(g)。

1.4 FC 比色法测定效果的评定

1.4.1 精密度 精确吸取 10 份 0.5 mL 的石榴皮多酚溶液进行比色测定,计算多酚的浓度,检测 FC 法的精密度。

1.4.2 稳定性 以正交试验优化的反应时间 50

min 为参考,将显色后的石榴皮多酚溶液分别放置 70,80,90,100,110,120,130 和 140 min,进行比色测定,检测 FC 法的稳定性。

1.4.3 回收率 为了确定 FC 比色法测定石榴皮多酚含量的准确度,以 3 mg 的没食子酸作为加标量,设计高(2.19~2.30 mg)、中(1.06~1.20 mg)、低(0.82~0.92 mg)3 个平底水平 4 个梯度的石榴皮多酚溶液进行加标回收试验,测定回收率。

2 结果与分析

2.1 石榴皮多酚含量测定波长的选择

紫外全波长扫描结果(图 1 和图 2)显示,没食子酸标准溶液和石榴皮多酚溶液均在 765 nm 波长处有最大吸收峰,试剂空白在 400~900 nm 波长处未出现吸收峰。故取 765 nm 作为测定波长,以试剂空白作参照。

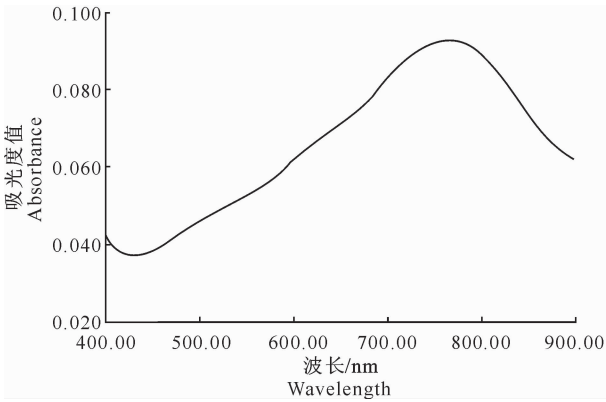


图 1 没食子酸标准溶液的紫外全波长扫描结果
Fig.1 Scanning spectra of standard gallic acid solution after reaction with Folin-Ciocalteu reagent

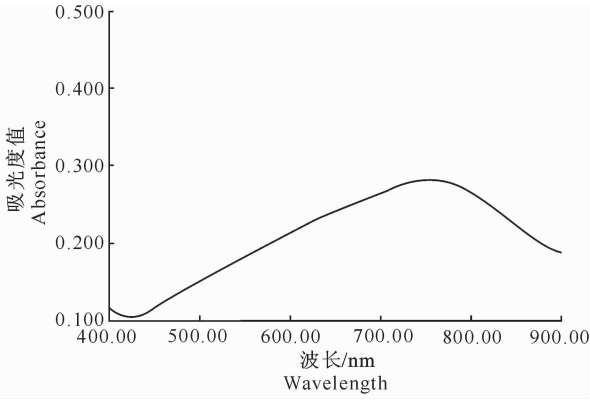


图 2 石榴皮多酚溶液的紫外全波长扫描结果
Fig.2 Scanning spectra of polyphenols in pomegranate peel extracts after reaction with Folin-Ciocalteu reagent

2.2 石榴皮多酚含量测定的单因素试验结果

2.2.1 FC 试剂浓度 由图 3 可见,FC 试剂浓度对石榴皮多酚溶液的 A_{765} 值有很大影响,随着 FC 试剂浓度的增大,石榴皮多酚溶液的 A_{765} 值也不断增大;当 FC 试剂浓度大于 0.8 mol/L 时, A_{765} 值趋于平缓。这说明当 FC 试剂浓度达到 0.8 mol/L 时,已

可满足显色用量,其浓度的增大不再对显色效果有任何作用。本着经济原则,选取 0.8 mol/L 作为 FC 试剂的最适浓度。
2.2.2 Na₂CO₃ 质量浓度 FC 试剂与酚类化合物反应后必须在碱性条件下才能显色。在 FC 比色法中,钨钼酸只有在碱性溶液中才能将多酚物质氧化,

使溶液显蓝色。体系中的 Na_2CO_3 溶液是显色的支持介质,显色反应对 Na_2CO_3 质量浓度有很强的依赖性,所以应慎重选择。从图 4 可以看出,随着 Na_2CO_3 质量浓度的增加,石榴皮多酚溶液的 A_{765} 值呈先上升后降低的变化趋势。在试验过程中,当 Na_2CO_3 的质量浓度小于 0.15 g/mL 时,溶液呈现

蓝绿色,说明碱性强度不够,显色效果不佳;当 Na_2CO_3 质量浓度大于 0.15 g/mL,尤其是达到 0.20 g/mL 时,溶液立刻变成白色,同时伴有沉淀生成,说明碱液质量浓度过大;而在 0.15 g/mL 时,溶液呈蓝色且澄清,同时 A_{765} 值最大,所以初步确定 Na_2CO_3 适宜的质量浓度为 0.15 g/mL。

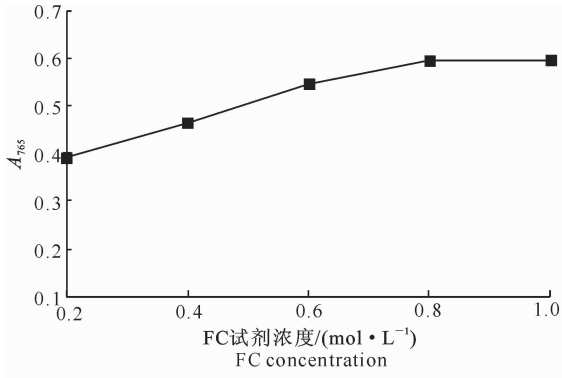


图 3 FC 试剂浓度对石榴皮多酚溶液吸光度的影响

Fig. 3 Effect of Folin-Ciocalteu reagent concentration on polyphenols determination

2.2.3 反应时间 由图 5 可知,反应时间对石榴皮多酚溶液 A_{765} 的影响不是很明显,在 30~70 min 内,随着反应时间的延长 A_{765} 值缓慢增加;在 70~80 min 内, A_{765} 值达到最大且趋于稳定,说明时间达到 70 min 后,试验体系才得以充分反应。为缩短试验周期,反应时间确定为 70 min 比较理想。

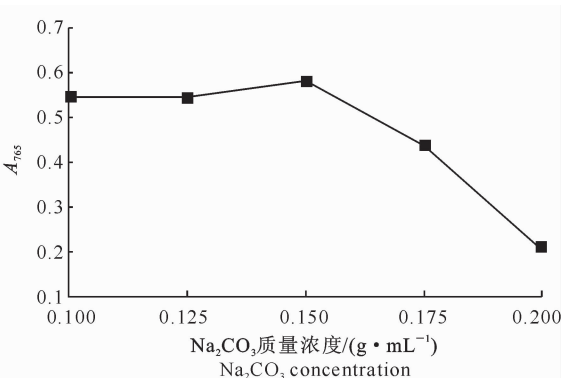


图 4 Na_2CO_3 质量浓度对石榴皮多酚溶液吸光度的影响

Fig. 4 Effect of Na_2CO_3 concentration on polyphenols determination

2.2.4 反应温度 从图 6 可见,在 20~35 °C,石榴皮多酚溶液 A_{765} 值的变化比较平稳;但当温度超过 35 °C 时, A_{765} 值随温度的升高而急剧下降,说明反应体系中生成的蓝色物质在 35 °C 以上时性质不稳定。可知温度达到 25 °C 时即可保证反应的顺利进行,故反应温度以 25 °C 为宜。

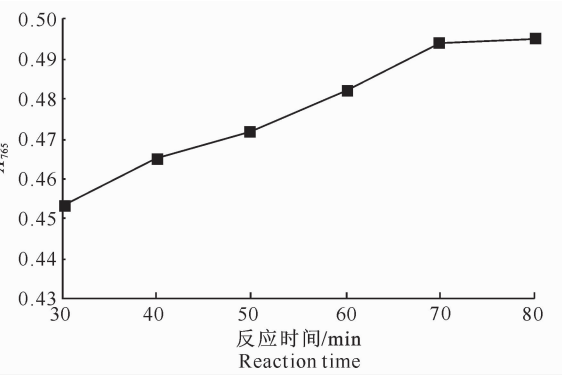


图 5 反应时间对石榴皮多酚溶液吸光度的影响

Fig. 5 Effect of reaction time on polyphenols determination

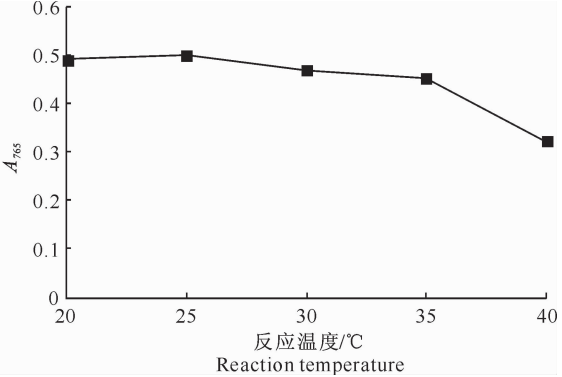


图 6 反应温度对石榴皮多酚溶液吸光度的影响

Fig. 6 Effect of reaction temperature on polyphenols determination

2.3 石榴皮多酚含量测定的正交试验结果

石榴皮多酚含量测定的正交试验结果见表 2。由表 2 可知,4 个因素对显色反应影响的大小顺序为 $B > D > A > C$,即 Na_2CO_3 质量浓度 > 反应温度 > FC 试剂浓度 > 反应时间。最优的测定条件为: $A_2B_2C_1D_1$,即:0.6 mol/L FC 试剂 1 mL,质量浓度

为 0.150 g/mL 的 Na_2CO_3 2 mL,25 °C 条件下反应 50 min。在此条件下进行验证试验,结果表明石榴皮多酚溶液显色非常充分。

2.4 石榴皮多酚含量的测定

2.4.1 没食子酸标准曲线的绘制 结果(图 7)显示,没食子酸标准曲线的回归方程为: $y =$

0.121 9x-0.008 6, 相关系数 $R^2=0.995\ 8$ 。表明 量浓度之间呈现良好的线性关系。
没食子酸质量浓度为 1~6 mg/L 时, 吸光度值与质

表 2 石榴皮多酚含量测定的正交试验结果

Table 2 Results of orthogonal test of polyphenols in pomegranate peel

试验号 No.	FC 试剂浓度(A) FC concentration	Na ₂ CO ₃ 质量浓度(B) Na ₂ CO ₃ concentration	反应时间(C) Reaction time	反应温度(D) Reaction temperature	A ₇₆₅
1	1	1	1	1	0.456
2	1	2	2	2	0.504
3	1	3	3	3	0.251
4	2	1	2	3	0.392
5	2	2	3	1	0.598
6	2	3	1	2	0.367
7	3	1	3	2	0.422
8	3	2	1	3	0.469
9	3	3	2	1	0.331
K ₁	1.211	1.270	1.292	1.385	
K ₂	1.357	1.571	1.227	1.293	
K ₃	1.222	0.949	1.271	1.112	
k ₁	0.404	0.423	0.431	0.462	
k ₂	0.452	0.524	0.409	0.431	
k ₃	0.407	0.316	0.424	0.371	
R	0.049	0.201	0.022	0.091	

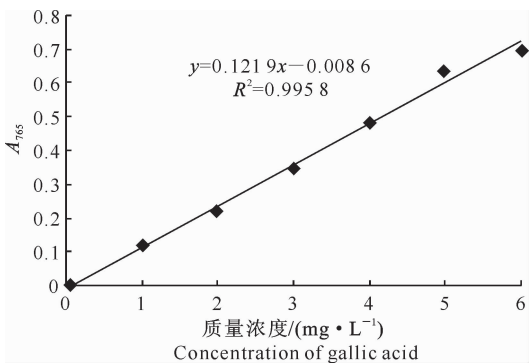


图 7 没食子酸质量浓度与吸光度的标准曲线

Fig. 7 Standard curve of gallic acid

2.4.2 石榴皮多酚含量的测定 取石榴皮多酚溶液 1.0 mL, 测定其 A₇₆₅ 值为 0.496, 计算出石榴皮多酚含量为 287.46 mg/g。

2.5 FC 比色法的测定效果

2.5.1 精密度 FC 比色法测定石榴皮多酚含量的精密度试验结果见表 3。从表 3 可以看出, 10 次重复测定的相对标准偏差为 0.08 %, 说明 FC 比色法测定石榴皮多酚含量的精密度较高, 所测结果可靠, 重复性好。

2.5.2 稳定性 表 4 表明, 随着显色后放置时间的延长, 溶液 A₇₆₅ 值呈下降趋势, 但在 120 min 内基本保持稳定。

2.5.3 回收率 从表 5 可以看出, FC 比色法测定石榴皮多酚含量的平均加标回收率为 99.31 %, 平均相对标准偏差为 1.98 %, 说明该分析方法准确可靠, 可用于石榴皮中多酚含量的测定。

表 3 FC 比色法测定石榴皮多酚含量的精密度

Table 3 Precision test of determination of polyphenols in pomegranate peel by FC

试验号 No.	实测浓度/ (mg · L ⁻¹) Measured	平均浓度/ (mg · L ⁻¹) Average	相对标准 偏差/% RSD
1	2.09	2.05	0.08
2	2.03		
3	2.04		
4	2.13		
5	2.07		
6	2.11		
7	1.87		
8	2.11		
9	2.08		
10	2.01		

表 4 FC 比色法测定石榴皮多酚含量的稳定性

Table 4 Stability test of determination of polyphenols in pomegranate peel by FC

加入显色剂后放置时间/min Reaction time	A ₇₆₅	加入显色剂后放置时间/min Reaction time	A ₇₆₅
70	0.456	110	0.454
80	0.455	120	0.450
90	0.458	130	0.447
100	0.455	140	0.444

表 5 FC 比色法测定石榴皮多酚含量的加标回收率

Table 5 Recovery test of gallic acid at three spike levels of polyphenols in pomegranate peel by FC

本底水平 Background level	本底量/mg Background	加标量/mg Spiked	测得总量/mg Total	回收率/% Recovery	相对标准偏差/% RSD
低 Low	0.87	3	3.65	94.32	3.45
	0.92	3	4.01	102.30	
	0.90	3	3.87	99.23	
	0.82	3	3.85	100.70	
中 Medium	1.06	3	4.01	98.77	1.31
	1.18	3	4.20	100.50	
	1.20	3	4.25	101.20	
	1.09	3	4.03	98.53	
高 High	2.30	3	5.33	100.60	1.19
	2.21	3	5.09	97.70	
	2.28	3	5.22	98.86	
	2.19	3	5.14	99.04	
平均 AVERAGE				99.31	1.98

3 讨论与结论

在石榴皮多酚含量测定试验中,影响测定效果的主要因素有:FC 试剂浓度、Na₂CO₃ 质量浓度、反应时间、反应温度。由于 FC 试剂也是福林酚方法测定蛋白含量所用的一种试剂,因此石榴皮中的蛋白对多酚的测定可能会造成一定的干扰。刘清等^[8]研究表明,当蛋白质质量浓度为 1 mg/mL 时,其对反应体系的吸光度值几乎没有影响。郑艺梅等^[15]研究发现,石榴皮中的粗蛋白质含量仅为 2.97%,据此推算本试验中石榴皮溶液显色时粗蛋白质量浓度不足 0.01 mg/mL,不可能对测定结果产生影响,因此本试验没有设计“蛋白”这一影响因素。

本试验参照国家标准 GB/T 8313—2008 关于茶叶中茶多酚的检测方法,对石榴皮中的多酚含量测定条件进行了系统研究,得出的最佳条件为:FC 试剂浓度为 0.6 mol/L,用量 1 mL;Na₂CO₃ 溶液质量浓度为 0.15 g/mL,用量 2 mL;在 25 ℃避光条件下反应 50 min,于 765 nm 处测吸光度值。没食子酸质量浓度为 1~6 mg/L 时吸光度值与质量浓度之间存在良好的线性关系,相关系数 $R^2=0.9958$ 。

用本试验建立的 FC 比色方法,在优化的试验条件下进行高、中、低 3 个本底水平下的加标回收率试验,测得高、中、低加标水平的平均回收率为 99.31%,平均相对标准偏差为 1.98%。FC 比色法具有试剂用量少、操作方便、灵敏度高、精密度高、稳定性好等优点,可以用于石榴皮中多酚含量的测定。

[参考文献]

[1] Ashtoukhy E Z, Amin N K, Abdelwahab O. Removal of lead (Ⅱ) and copper (Ⅱ) from aqueous solution using pomegran-

ate peel as a new adsorbent [J]. Desalination, 2008, 223(1/3): 162-173.

[2] Lu J J, Wei Y, Yuan Q P. Preparative separation of punicalagin from pomegranate husk by high-speed countercurrent chromatography [J]. Journal of Chromatography B, 2007, 857(1): 175-179.

[3] 张茜,贾冬英,姚开.大孔吸附树脂纯化石榴皮多酚[J].精细化工,2007,24(4):345-349.

Zhang Q, Jia D Y, Yao K. Purification of polyphenols from pomegranate peel by macroporous adsorbent resin [J]. Fine Chemicals, 2007, 24(4): 345-349. (in Chinese)

[4] Iqbal S, Haleema S, Akhtar M. Efficiency of pomegranate peel extracts in stabilization of sunflower oil under accelerated conditions [J]. Food Research International, 2008, 41(2): 194-200.

[5] Seeram N, Lee R, Hardy M, et al. Rapid large scale purification of ellagitannins from pomegranate husk, a by-product of the commercial juice industry [J]. Separation and Purification Technology, 2005, 41(1): 49-55.

[6] 李建科,李国秀,赵艳红.石榴皮多酚组成分析及其抗氧化活性[J].中国农业科学,2009,42(11):4035-4041.

Li J K, Li G X, Zhao Y H. Composition of pomegranate peel polyphenols and its antioxidant activities [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(11): 4035-4041. (in Chinese)

[7] 雷昌贵,陈锦屏,卢大新.食品中多酚类化合物的测定方法及其研究进展[J].食品与发酵工业,2007,33(1):100-104.

Lei C G, Chen J P, Lu D X. The advances in analytic methods of food polyphenols [J]. Food and Fermentation Industries, 2007, 33(1): 100-104. (in Chinese)

[8] 刘清,李玉,姚惠源. Folin-Ciocalteu 比色法测定大麦提取液中总多酚的含量[J].食品科技,2007,4(3):175-177.

Liu Q, Li Y, Yao H Y. Determination of total polyphenol in barleyseed extracts by Folin-Ciocalteu colorimetry [J]. Food Science and Technology, 2007, 4(3): 175-177. (in Chinese)

[9] Wilkinson A P, Wahala K, Williamson G. Identification and quantification of polyphenol phytoestrogens in foods and hu-

man biological fluids [J]. Journal of Chromatography B, 2007, 777(1/2): 93-109.

[10] 韩 菊,魏福祥. Folin-Ciocalteu 比色法测定苹果渣中的多酚 [J]. 食品科学, 2010, 31(4): 179-182.
Han J, Wei F X. Determination of polyphenols in apple pomace by Folin-Ciocalteu colorimetry [J]. Food Science, 2010, 31(4): 179-182. (in Chinese)

[11] 郭荣辉,张红良,李 晖. 吸光光度法测定苏木中总酚含量 [J]. 理化检验: 化学分册, 2004, 40(4): 213-216.
Guo R H, Zhang H L, Li H. Determination of total hydroxybenzene in caesalpinia sappan lignum by photometry [J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B, 2004, 40(4): 213-216. (in Chinese)

[12] Daeko, Oeckke, Young J K. Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(22): 6509-6513.

[13] 赵艳红,李建科. 响应曲面法建立超声波辅助提取石榴皮多酚数学模型 [J]. 农产品加工学刊, 2009, 166(3): 126-130.
Zhao Y H, Li J K. Mathematical model building of pomegranate peel polyphenols ultrasonic wave extraction with RSM [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2009, 166(3): 126-130. (in Chinese)

[14] 李巨秀,王柏玉. 福林-酚比色法测定桑椹中总多酚 [J]. 食品科学, 2009, 30(18): 292-295.
Li J X, Wang B Y. Folin-Ciocalteu colorimetric determination of total polyphenols in mulberry fruits [J]. Food Science, 2009, 30(18): 292-295. (in Chinese)

[15] 郑艺梅,刘长华,陈树坤. 石榴皮和石榴籽组分的差异性分析 [J]. 农产品加工学刊, 2008, 157(12): 36-49.
Zheng Y M, Liu C H, Chen S K. Study on the ingredient difference between granatum and pomegranate seed [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2008, 157(12): 36-49. (in Chinese)

(上接第 184 页)

[12] Lawless H T, Hildegard H. Sensory evaluation of food principles and practices [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2001.

[13] 张水华,徐树来,王永华. 食品感官分析与实验 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 69-130.
Zhang S H, Xu S L, Wang Y H. Food sensory evaluation and experiment [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 69-130. (in Chinese)

[14] 余 权,赵强忠,赵谋明. 乳化剂的复配比例和用量对花生乳稳定性影响的研究 [J]. 现代食品科技, 2009, 25(8): 903-906.
Yu Q, Zhao Q Z, Zhao M M. Effects of ratio and dosage of emulsifiers on stability of peanut milk [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 25(8): 903-906. (in Chinese)

[15] Anwesha S, Kelvin K T, Harjinder S. Colloidal stability and interactions of milk protein stabilized emulsions in an artificial saliva [J]. Food Hydrocolloids, 2008, 23(5): 1270-1278.