

doi:10.3969/j.issn.1006-4931.2022.12.017

5 °C贮藏条件下新鲜余甘子果实褐变相关指标研究*

李 蓉¹, 龙小妹¹, 陈 平², 范 源^{1,3,Δ}, 朱培芳¹

(1. 云南中医药大学中药学院, 云南 昆明 650500; 2. 四川省中医药科学院转化药理与临床应用研究所, 四川 成都 610041; 3. 云南中医药大学第二附属医院, 云南 昆明 650216)

摘要:目的 研究新鲜余甘子果实冷藏条件(5 °C)下褐变相关指标的变化。方法 将新鲜余甘子果实, 置5 °C下恒温贮藏, 采用高效液相色谱法测定贮藏20 d内酚类(水解单宁、黄酮)成分的含量, 测定多酚氧化酶(PPO)活性及pH, 计算褐变指数。结果 1-没食子酰基葡萄糖、没食子酸在第15天时, 3-没食子酰基葡萄糖在第19天时, 鞣花酸在第20天时、芦丁在第10天时含量最高; PPO活性在第14天时最强; 褐变指数在第9天和第10天时最高; pH范围为2.42~2.54。结论 5 °C贮藏条件下20 d内, 新鲜余甘子果实酚类成分含量、PPO活性和褐变指数呈曲线波动, pH相对平稳。5 °C贮藏条件可有效预防新鲜余甘子果实的褐变。

关键词: 5 °C贮藏; 余甘子; 果实; 水解单宁; 黄酮; 多酚氧化酶; 褐变指数; pH

中图分类号: R932; R927.2 文献标志码: A 文章编号: 1006-4931(2022)12-0072-05

Browning Indexes of Fresh - Picked Phyllanthi Fructus Under Storage Conditions at 5 °C

LI Rong¹, LONG Xiaomei¹, CHEN Ping², FAN Yuan^{1,3}, ZHU Peifang¹

(1. School of Traditional Chinese Medicine, Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, Kunming, Yunnan, China 650500; 2. Institute of Transnational Pharmacology and Clinical Applications, Sichuan Academy of Traditional Chinese Medicine, Chengdu, Sichuan, China 610041; 3. The Second Affiliated Hospital of Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, Kunming, Yunnan, China 650216)

Abstract: Objective To study the changes of browning indexes of fresh - picked Phyllanthi Fructus under storage conditions at 5 °C. **Methods** The fresh - picked Phyllanthi Fructus was stored at a constant temperature of 5 °C. The contents of phenolic compounds (hydrolyzed tannins and flavones) were determined by the high - performance liquid chromatography (HPLC) method within 20 d of storage after picking, the activity and pH of polyphenol oxidase (PPO) were determined, and the browning index was calculated. **Results** The contents of 1 - gallic glucose and gallic acid were the highest on the 15th day, the content of 3 -

*基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金[81360652]; 云南省科技厅科技计划项目[202101AZ070001-015]; 云南省科技计划项目[2017FF117(-008)]; 云南省万人计划“名医”专项。

第一作者: 李蓉, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为中药药理应用, (电子信箱)1754247187@qq.com。

Δ通信作者: 范源, 男, 博士, 教授, 研究方向为中药药理应用, (电子信箱)1647909799@qq.com。

- [6] 李慧娟, 杜成林, 王晓静. 垂盆草的研究进展[J]. 药学研究, 2015, 34(11): 661-663.
- [7] 蒋志涛, 王 雪, 王建春, 等. 垂盆草总黄酮及异鼠李素对乙酰氨基酚诱导的L02细胞损伤的保护作用[J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(6): 121-125.
- [8] 林远灿, 骆海莺, 刘慧芳, 等. 垂盆草总黄酮调控Smads通路抑制肝星状细胞活化的抗肝纤维化机制研究[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(3): 631-635.
- [9] 朱再标, 杨金凤, 郭巧生, 等. 不同光强对垂盆草生长和药材品质及抗氧化活性的影响[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(22): 4404-4409.
- [10] 汪茂鸣, 张 涛, 杨丽红, 等. 垂盆草提取物改善重症急性胰腺炎肺损伤的实验研究[J]. 中国中西医结合杂志, 2015, 35(2): 228-233.
- [11] 刘 燕, 刘彩霞, 邢玉仁. HPLC法测定不同产地垂盆草药材中木犀草苷的含量[J]. 中国药师, 2016, 19(3): 584-586.
- [12] 兰 杨, 姜 红, 张仕瑾, 等. 不同产地垂盆草中有效成分对比研究[J]. 亚太传统医药, 2020, 16(5): 50-52.
- [13] 郭廷东, 兰 杨, 姜 红, 等. 不同产地垂盆草 HPLC 指纹图谱研究[J]. 川北医学院学报, 2020, 35(3): 522-524.
- [14] 刘 燕, 刘彩霞, 邢玉仁. HPLC法测定不同产地垂盆草药材中木犀草苷的含量[J]. 中国药师, 2016, 19(3): 584-586.
- [15] 黄瑞松, 雷沛霖, 苏 青, 等. 壮药茉莉花瓣皮素和山柰素含量测定方法的建立[J]. 广西医科大学学报, 2013, 30(1): 38-41.
- [16] 秦 洁, 马果玉, 马剑平. 垂盆草颗粒质量标准研究[J]. 中成药, 2010, 32(1): 168-170.
- [17] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 223.
- [18] 杨海燕, 甘灿云. 正交试验法优选金铃子颗粒提取工艺[J]. 中国药师, 2019, 22(12): 2307-2309.
- [19] 贺延新, 刘素玲, 李郑林, 等. 正交试验法优选红桃消肿颗粒水提工艺[J]. 中国药业, 2015, 24(8): 57-58.
- [20] 陈春莺, 钱 芳. 正交试验法优选首乌颗粒的水提醇沉工艺[J]. 现代中药研究与实践, 2017, 31(1): 37-40.
- [21] 张 芹, 蒲维娅, 钱 芳. 正交试验法优选潜阳育阴颗粒水提醇沉工艺[J]. 中国中医药信息杂志, 2016, 23(12): 103-106.

(收稿日期: 2021-08-16; 修回日期: 2022-01-05)

gallic glucose was the highest on the 19th day, the content of ellagic acid was the highest on the 20th day and the content of rutin was the highest on the 10th day. The activity of PPO reached the maximum on the 15th day. The browning indexes were the highest on the 9th and 10th day, and the pH was relatively stable. **Conclusion** Within 20 d after storage at 5 °C, the changes of phenolic compounds, the activity of PPO and browning indexes of fresh - picked *Phyllanthi Fructus* fluctuate in a curve, and the pH is relatively stable, which indicated that storage at 5 °C could effectively prevent the browning of fresh - picked *Phyllanthi Fructus*.

Key words: storage at 5 °C; *Phyllanthi Fructus*; fruit; hydrolyzed tannin; flavone; polyphenol oxidase; browning index; pH

余甘子 *Phyllanthus emblica* L. 为大戟科叶下珠属植物,常以干燥成熟果实入药。以“菴摩勒”为药用之名,始载于《南方草木状》;以“余甘子”为药用之名,始载于《新修本草》^[1]。余甘子药材主要分布于热带及亚热带地区,是印度、中国、马来西亚等国常用中药材,已有700余年的药用历史^[2],具有抗氧化、调血脂和降血糖活性^[3],且是许多保肝配方的重要成分,还可用作抗微生物剂、抗肿瘤剂或抗炎剂^[4],并可改善金属诱导的致癌作用^[5]。中医学认为,中药鲜品可保存药材的大部分活性成分,故临床应用价值高,但其在贮藏过程中可发生褐变,导致中药活性成分含量或结构改变而影响药效^[6]。余甘子果实褐变会引起其感官变差及多酚和维生素C等营养物质含量减少。多酚氧化酶(PPO)能将物质氧化成醌类,从而引发褐变^[7]。目前对余甘子果实贮藏保鲜技术的探讨有限,仅对低温贮藏、涂膜、高压电场贮藏及添加酶抑制剂等措施有所研究^[8]。新鲜余甘子果实中酚类化合物含量较高,没食子酸为新鲜余甘子果实褐变的底物,可作为其发生早期褐变的指标之一^[9]。某些黄酮类化合物可与某些酚、醌、氨基酸或蛋白质直接聚合成褐色物质导致褐变^[10]。目前对新鲜中药褐变机制的报道较少。为此,本研究中将新鲜余甘子果实置5 °C恒温冰箱中冷藏,测定其贮藏20 d内酚类成分含量、PPO活性、pH、褐变指数等各项指标的变化情况,为新鲜果实类中药的贮藏和养护提供一定参考。现报道如下。

1 仪器与试剂

1.1 仪器

Agilent 1200型高效液相色谱仪(美国Agilent公司);YL-040S型语路超声波清洗机(深圳市即洁超声科技有限公司);D2KW-D型电热恒温水浴锅(上海爱朗仪器有限公司);S013-2100型旋转蒸发器(上海量壹科学仪器有限公司);T-1000型电子天平(上海浦春计量仪器有限公司);PHS-25型pH计(上海仪电科学仪器股份有限公司);Neofuge 15R型离心机(上海力申科学仪器有限公司);SPARK 10M型酶标仪(澳大利亚Tecan公司)。

1.2 试剂

1-没食子酰基葡萄糖(1-GG)对照品(上海叶源

生物科技有限公司,批号为K28J12B136898);没食子酸(GA)对照品(四川省维克奇生物科技有限公司,批号为wkq16081904);1,3,6-O-三没食子酰基葡萄糖(TGG)对照品(武汉天植生物技术有限公司,批号为CFS201802);鞣花酸(EA)对照品(大连美仑生物科技有限公司,批号为M0104AS);芦丁对照品(上海叶源生物科技有限公司,批号为Y24F11Y17051),含量均不小于98%;PPO活性检测试剂盒(北京索莱宝科技有限公司,批号为20210407);乙腈、甲醇为色谱纯,其余试剂均为分析纯,水为娃哈哈纯净水。余甘子果实(云南省临沧市云县新鲜采摘)。

2 方法与结果

2.1 水解单宁类成分含量测定

2.1.1 色谱条件

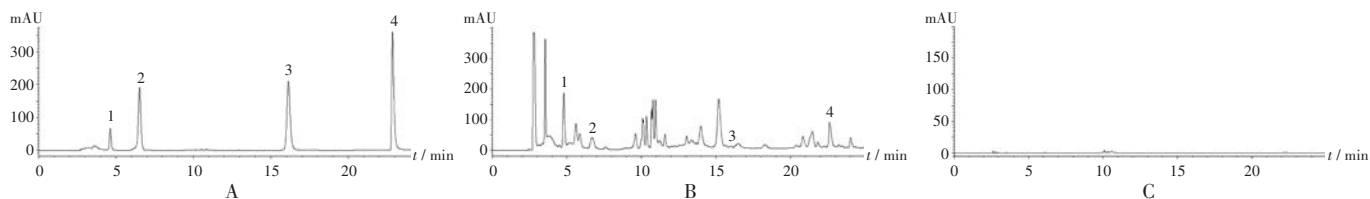
色谱柱:Agilent Zorbax C₁₈柱(250 mm × 4.6 mm, 5 μm);流动相:0.1%磷酸水溶液(A)-乙腈(B),梯度洗脱(0~5 min时5%B,5~6 min时5%B→15%B,6~15 min时15%B,15~25 min时15%B→30%B;流速:1.0 mL/min;检测波长:270 nm;柱温:25 °C;进样量:10 μL。

2.1.2 溶液制备

分别取1-GG,GA,TGG,EA对照品2.31,2.07,0.68,2.00 mg,精密称定,置10 mL容量瓶中,加甲醇溶解并定容,即得混合对照品溶液。取样品(去核)5 g,精密称定,加适量石英砂研磨,尽量捣碎,置具塞锥形瓶中,精密加入50%甲醇50 mL,称定质量,加热至70 °C回流1.5 h,称定质量,加50%甲醇补足缺失的质量;45 °C超声(功率240 W,频率40 kHz,下同)1 h,放冷,再次称定质量,加50%甲醇补足缺失的质量,摇匀,滤过,取续滤液,用旋转蒸发器70 °C下蒸干,残渣加甲醇溶解并定容至10 mL,经0.45 μm滤膜滤过,取续滤液,即得供试品溶液。以甲醇(分析纯)为阴性对照品溶液。

2.1.3 方法学考察

系统适用性试验:取混合对照品溶液、供试品溶液、阴性对照品溶液各适量,按2.1.1项下色谱条件进样测定,记录色谱图。结果理论板数按1-GG峰计应不低于3 000;分离度均大于1.5,基线分离良好。见图1。



1. 1-GG 2. GA 3. TGG 4. EA
A. 混合对照品溶液 B. 供试品溶液 C. 阴性对照品溶液

图1 高效液相色谱图

1. 1-GG 2. GA 3. TGG 4. EA

A. Mixed reference solution B. Test solution C. Negative reference solution

Fig. 1 HPLC chromatograms

线性关系考察:分别精密吸取2.1.2项下混合对照品溶液2,4,6,8,10,12 μL ,按拟订色谱条件进样测定,记录峰面积。以待测成分进样量($X, \mu\text{g}$)为横坐标、峰面积(Y)为纵坐标进行线性回归,得1-GG,GA,TGG,EA的回归方程分别为 $Y_1 = 2\,282.2X_1 + 3\,791.1$ ($R^2 = 0.999\,1$), $Y_2 = 1\,636.1X_2 + 17.098$ ($R^2 = 0.999\,2$), $Y_3 = 3\,459.6X_3 + 52.813$ ($R^2 = 0.999\,3$), $Y_4 = 1\,951.3X_4 + 16.8$ ($R^2 = 1.000\,0$)。结果表明,1-GG,GA,TGG,EA进样量分别在0.46~2.77 μg 、0.41~2.48 μg 、0.14~0.82 μg 、0.40~2.40 μg 范围内与峰面积线性关系良好。

精密度试验:取2.1.2项下混合对照品溶液适量,按拟订色谱条件连续进样测定6次,记录峰面积。结果1-GG,GA,TGG,EA峰面积的RSD分别为0.64%,0.22%,0.20%,0.25% ($n = 6$),表明仪器精密度良好。

稳定性试验:取2.1.2项下供试品溶液适量,分别于室温下放置0,2,4,6,8,10 h时按2.1.1项下色谱条件进样测定,记录峰面积。结果1-GG,GA,TGG,EA峰面积的RSD分别为3.02%,3.17%,3.60%,1.81% ($n = 6$),表明供试品溶液在室温放置10 h内基本稳定。

重复性试验:精密称取同一批样品适量,共6份,按2.1.2项下方法制备供试品溶液,再按2.1.1项下色谱条件进样测定,记录峰面积并计算含量。结果1-GG,GA,TGG,EA含量的RSD分别为0.36%,0.53%,

2.49%,0.67% ($n = 6$),表明方法重复性良好。

2.1.4 样品中水解单宁类成分含量变化

1-GG,GA,TGG,EA分别在样品贮藏第15天、第15天、第19天、第20天时含量最高,在贮藏第4天、第19天、第18天、第18天时含量最低。结果显示,1-GG及EA在第2天时含量增加,到第4天含量减少,后呈曲线大幅波动;GA及TGG在前4天内含量减少,后呈曲线小幅波动。详见图2。即5 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,样品中水解单宁类成分随贮藏时间的延长,含量总体仅小幅变化。

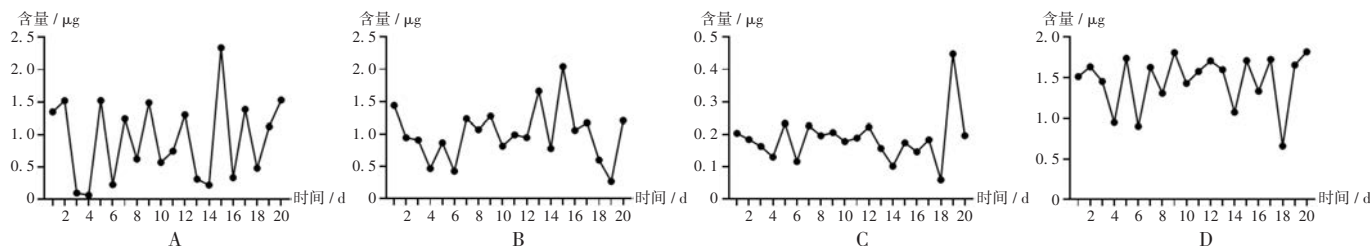
2.2 黄酮类成分含量测定

2.2.1 色谱条件

色谱柱:Agilent Zorbax C_{18} 柱(250 mm \times 4.6 mm, 5 μm);流动相:0.1%磷酸水溶液(A)-甲醇(B),梯度洗脱(0~2 min时,22%B,2~20 min时22%B \rightarrow 60%B);流速:0.8 mL/min;检测波长:327 nm;柱温:30 $^{\circ}\text{C}$;进样量:10 μL 。

2.2.2 溶液制备

取芦丁对照品0.80 mg,精密称定,置10 mL容量瓶中,加甲醇溶解并定容,经0.45 μm 微孔滤膜滤过,即得芦丁对照品溶液。取样品(去核)5 g,精密称定,加适量石英砂研磨,尽量捣碎,置具塞锥形瓶中。精密加入75%甲醇50 mL,45 $^{\circ}\text{C}$ 超声1 h,放冷,称定质量,用75%甲醇补足缺失的质量,摇匀,滤过,取续滤液,浓缩,加甲醇定容至10 mL,经0.45 μm 滤膜滤过,即得供试品溶液。

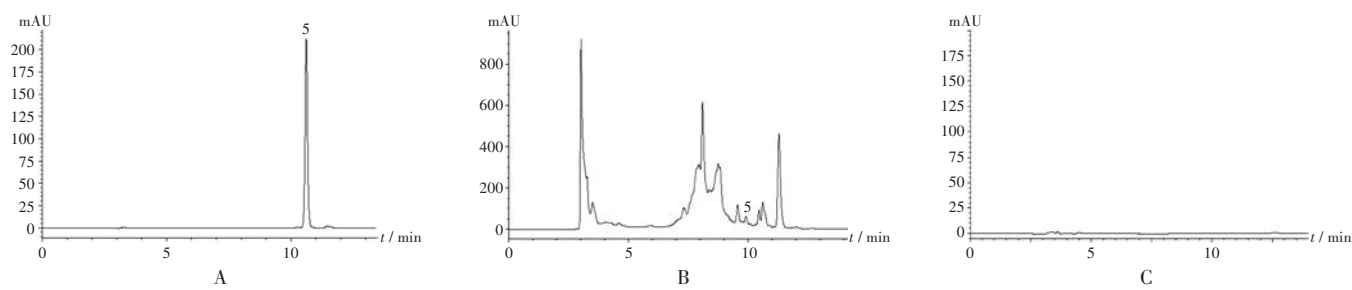


A. 1-GG B. GA C. TGG D. EA

图2 水解单宁类成分的含量变化

A. 1-GG B. GA C. TGG D. EA

Fig. 2 Content change of hydrolyzed tannins



A. 对照品溶液 B. 供试品溶液 C. 阴性对照品溶液

图3 芦丁的高效液相色谱图

5. Rutin

A. Mixed reference solution B. Test solution C. Negative reference solution

Fig. 3 HPLC chromatograms

2.2.3 方法学考察

系统适用性试验:取上述对照品溶液、供试品溶液及2.1.2项下阴性对照品溶液各适量,按2.2.1项下色谱条件进样测定,记录色谱图。结果,理论板数按芦丁峰计应不低于3000;分离度均大于1.5,基线分离良好。详见图3。

线性关系考察:分别精密吸取2.2.2项下芦丁对照品溶液2,4,6,8,10,12 μL ,按2.2.1项下色谱条件进样测定,记录峰面积。以芦丁进样量($X, \mu\text{g}$)为横坐标、峰面积(Y)为纵坐标进行线性回归,得芦丁的回归方程为 $Y = 1448X - 0.72 (R^2 = 0.9996)$ 。结果表明,芦丁进样量在0.16~0.94 μg 范围内与峰面积线性关系良好。

精密度试验:取2.2.2项下芦丁对照品溶液适量,按2.2.1项下色谱条件连续进样测定6次,记录峰面积。结果芦丁峰面积的RSD为0.28% ($n = 6$),表明仪器精密度良好。

稳定性试验:取2.2.2项下供试品溶液适量,分别于室温下放置0,2,4,6,8,10 h时按2.2.1项下色谱条件进样测定,记录峰面积。结果芦丁峰面积的RSD为3.92% ($n = 6$),表明供试品溶液在室温放置10 h内基本稳定。

重复性试验:称取同一批样品适量,精密称定,共6份,按2.2.2项下方法制备供试品溶液,再按2.2.1项下色谱条件进样测定,记录峰面积并计算含量。结果芦丁含量的RSD为0.24% ($n = 6$),表明方法重复性良好。

2.2.4 样品中芦丁含量变化

样品中芦丁含量在第10天达到最高,第4天含量最低,前4天内芦丁含量逐渐下降,后呈曲线波动,整体波动幅度较小。结果表明,黄酮类成分(芦丁)在5 $^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏,含量变化在一定范围内。详见图4。

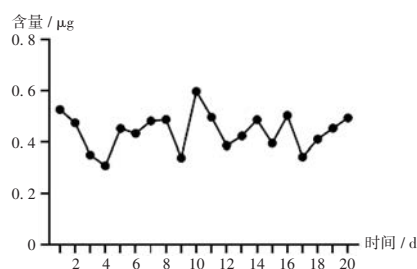


图4 黄酮类成分(芦丁)含量变化

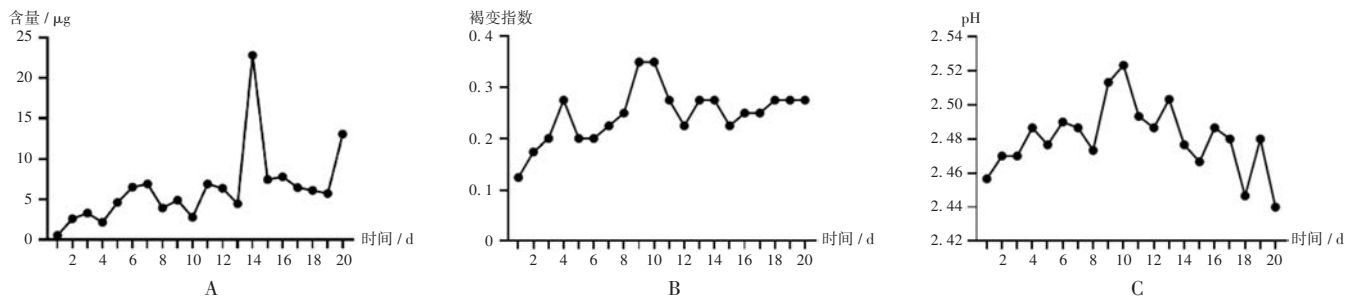
Fig. 4 Content change of flavones (rutin)

2.3 PPO 活性测定

取样品(去核)0.1 g,精密称定,置2 mL EP管中,加1 mL提取液,冰浴捣碎,4 $^{\circ}\text{C}$ 下、8 000 g 离心10 min,取上清液250 μL ,于常温水浴10 min,后迅速放入沸水水浴10 min,放冷,4 $^{\circ}\text{C}$ 下、5 000 g 离心10 min。加入试剂一600 μL ,试剂二150 μL ,提取液150 μL 。混匀,设置6个复孔,每孔100 μL ,磷酸盐缓冲液(PBS)封边,置96孔板。于410 nm波长处测定其吸光度(A),并计算PPO的活性,以反应液作对照,1 d测定1次。PPO活性计算公式, $\text{PPO} = (A_{\text{测定}} - A_{\text{对照}}) \times 60 / 0.1$ 。结果显示,PPO活性在第14天时最高,第1天时最低,整体呈曲线波动。详见图5 A。

2.4 褐变指数测定

将样品果心的中心部位横切,按横切面上果肉组织相应的褐变程度和面积来划分等级^[11]。无褐变为0级,果肉褐变面积 $\leq 25\%$ 为1级, $> 25\% \sim 50\%$ 为3级, $> 50\% \sim < 75\%$ 为3级, $\geq 75\%$ 为4级,每次统计10个果实。每次统计10个样品。余甘子褐变指数计算公式,褐变指数 = $\Sigma(\text{褐变级别} \times \text{级别果实数}) / \text{最高级别数} \times \text{统计果实数}$ (注:褐变指数为1时,可表示为完全褐变)。余甘子的褐变指数在第9天和第10天时达到最高,在第1天时最低,其变化呈曲线波动。但随着时间延长,褐变指数呈升高趋势,表明5 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏条件下,样品出现了轻微褐变。详见图5 B。



A. PPO活性 B. 褐变指数 C. pH

图5 PPO活性、褐变指数及pH变化

A. PPO activity B. Browning index C. pH

Fig. 5 Changes of PPO activity, browning indexes and pH

2.5 pH测定

取样品(去核)10 g,精密称定,加适量石英砂研匀,置三角瓶中,加20 mL水,80 °C下水浴30 min,冷却滤过,取续滤液,用pH计测定pH。pH在第10天时达最大,总体呈先上升后下降的波动趋势。详见图5 C。

3 讨论

通常认为,影响中药鲜品褐变的外界因素包括温度、湿度、贮藏时间等,中药自身的物质也会影响褐变的发生。余甘子果实所含化学成分较丰富,药理活性较多,故对其褐变进行有效抑制尤为重要。有研究表明,新鲜余甘子果实褐变多与酚类物质有关,水解单宁能在酸性、碱性条件下水解产生没食子酸、PGG等中间产物^[12-13]。没食子酸作为褐变的底物,可与PPO反应氧化为醌和水,醌再经酶促或非酶促氧化聚合,形成褐色物质,而产生褐变^[14]。新鲜余甘子果实中含有的黄酮类化合物绿原酸、芦丁在酶的催化下形成醌类物质,最终也形成不溶性的褐色多酚——黑色素,使其发生褐变^[15]。新鲜余甘子果实的贮藏及运输,极易影响其药效及质量,但诱发其褐变的因素及机制尚未明确。

此外,新鲜余甘子果实在5 °C下贮藏20 d过程中,样品存在一定的个体差异,所测结果呈现的贮藏过程中与褐变相关的各指标的变化趋势较平稳。

本研究结果表明,新鲜余甘子果实在5 °C下贮藏20 d的过程中,酚类化合物的含量、PPO活性和褐变指数呈曲线波动,其有效成分含量未出现明显变化,pH呈先升后降的波动趋势,表明5 °C可作为新鲜余甘子果实的最佳贮藏条件。

参考文献

[1] 赵中振,郭平,洪雪榕. 百草皆药[M]. 北京:中国中医药出版社,2019:70-71.
[2] ZHANG J, MIAO D, ZHU WF, et al. Biological Activities of Phenolics from the Fruits of *Phyllanthus emblica* L. (Euphorbiaceae) [J]. Chem Biodivers, 2017. doi: 10.1002/cbdv. 2017

00404.

[3] 何晓敏. 余甘子药理作用研究进展[J]. 中国中医药科技, 2014,21(5):593-595.
[4] 裴河欢,张美凤,李琦. 余甘子药理作用的研究与开发进展[J]. 当代医药论丛,2020,18(12):11-13.
[5] YANG B, KORTESNIEMI M, LIU P, et al. Analysis of hydrolyzable tannins and other phenolic compounds in emblic leaf-flower (*Phyllanthus emblica* L.) fruits by high performance liquid chromatography - electrospray ionization mass spectrometry [J]. Agric Food Chem, 2012,60(35):8672-8683.
[6] 陈平,张建博,龚建瑜,等. 中药鲜品褐变机制及防控的研究进展[J]. 现代中医药,2016,36(5):102-107.
[7] 谢征芸,谢杨,庄萌,等. 不同处理方式对余甘子果多酚氧化酶和过氧化物酶活性的影响[J]. 现代食品,2019(19):132-137.
[8] 陈军,陈洪彬,蒋璇靓,等. 余甘子贮藏与加工研究进展[J]. 食品工业科技,2021,42(11):342-347.
[9] 陈平. 余甘子褐变过程中多酚类与糖类化合物含量变化相关研究[D]. 昆明:云南中医学院,2017.
[10] POURCEL L, ROUTABOUL JM, CHEYNIER V, et al. Flavonoid oxidation in plants: from biochemical properties to physiological functions [J]. Trends Plant Sci, 2007,12(1):29-36.
[11] 乔沛,殷菲胧,王雨莹,等. 外源褪黑素处理对采后荔枝褐变及活性氧代谢的影响 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(6):282-287.
[12] PALMA - OROZCO G, ORTIZ - MORENO A, DORANTES - ALVAREZ L, et al. Purification and partial biochemical characterization of polyphenol oxidase from mamey (*Pouteria sapota*) [J]. Phytochemistry, 2011,72(1):82-88.
[13] 周国丽,邢仕萍,杨晓红,等. 不同 pH 条件下五倍子中没食子酸、单宁酸、β-PGG 含量测定及分析 [J]. 云南中医药杂志,2014,35(12):59-61.
[14] 蒋跃明. 果实褐变及控制 [J]. 植物杂志,1991(6):22-23.
[15] 郭晓梦,张一晟,王菁,等. 枸杞酒发酵过程中的褐变 [J]. 食品与生物技术学报,2020,39(11):41-48.

(收稿日期:2021-09-15;修回日期:2022-01-17)