

贮藏条件对红皮云杉种鳞多酚含量及抗氧化功能的影响

朱晓冉, 赵楠楠, 李德海, 符群

(东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要: 本试验以红皮云杉种鳞为原料, 研究 pH 值、光照、温度、金属离子及添加剂等贮藏条件对红皮云杉种鳞多酚含量及抗氧化功能的影响。试验结果显示, 4℃低温和避光条件下, 红皮云杉种鳞多酚最稳定, 保留率依次为 93.08%、87.23%, DPPH 自由基清除率依次为 80.65%、82.16%, 总还原力 OD 值依次为 0.854、0.798。酸性条件对红皮云杉种鳞多酚含量影响较小, 碱性条件破坏红皮云杉种鳞多酚, pH 2 条件下多酚保留率、DPPH·清除率和总还原力 OD 值分别是 pH 10 的 2.21 倍、4.56 倍、2.78 倍。添加钠、钾、钙离子对红皮云杉种鳞多酚含量和抗氧化功能无显著影响, 而铜、锌、铁离子能够显著降低多酚含量和抗氧化功能。浓度高于 30% 的蔗糖和 0.01% 苯甲酸钠能够延缓红皮云杉种鳞多酚的降解, 对抗氧化稳定性无显著影响。本试验在降解试验的基础上探究贮藏条件对红皮云杉种鳞多酚抗氧化功能的影响, 将为多酚的应用开创新的前景。

关键词: 红皮云杉种鳞; 多酚类物质; 降解; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2018)07-161-167

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.7.024

Effects of Storage Conditions on the Content and Antioxidant Activity of Polyphenols from *Picea koraiensis* Nakai Seed Scales

ZHU Xiao-ran, ZHAO Nan-nan, LI De-hai, FU Qun

(College of Forestry, Northeast Forest University, Harbin 150040, China)

Abstract: In this experiment, the effect of storage conditions, such as pH, light, temperature, metal ions and additives, on the content, anti-oxidative capacity and stability of polyphenol in the cone scale of *Picea koraiensis* Nakai were researched. The polyphenols in *Picea koraiensis* Nakai cone scale showed the highest stability with the content rates of 93.08% at 4℃ and relatively high stability in darkness with content rates of 87.23%. under these two conditions, the DPPH scavenging rates of phenol were 80.65% and 82.16%, respectively, and the total reducing capacity (OD value) of polyphenols in *Picea koraiensis* Nakai cone scales were 0.854 and 0.798, respectively. The effects of pH on these three parameters indicated that acidic conditions were more compatible than basic ones. The content rate, DPPH scavenging rate and total reducing capacity of the polyphenols at pH2 were 2.21, 4.56, and 2.78 times, respectively, than those at pH 10. Ions showed different effects depending on the kinds. The ions Na⁺, K⁺, and Ca²⁺ showed slight effect, while Cu²⁺, Zn²⁺, and Fe³⁺ had significant impacts on the polyphenols content and anti-oxidative ability. In terms of additives, sucrose solution with concentration higher than 30% and 0.01% sodium benzoate solution could retard the degradation of polyphenols in the cone scale, while their effects on the anti-oxidative ability were not significant. This research will provide a new prospect for the application of *Picea koraiensis* Nakai cone scale polyphenols.

Key words: *Picea koraiensis* seed scales; polyphenols; degradation; antioxidant activity

植物多酚是一种新型的天然抗氧化剂, 与植物活性成分抗氧化性显著相关^[1], 由于其低毒、来源广泛、

收稿日期: 2018-01-11

基金项目: 黑龙江省自然科学基金面上项目 (G2015062); 哈尔滨市科技局创新人才基金项目资助 (2017RAQXJ091)

作者简介: 朱晓冉 (1993-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 活性物质提取、功能性质等的研究

通讯作者: 李德海 (1976-), 男, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 食品化学及植物有效成分研究

无副作用且可有效拮抗体内过剩的自由基、维持自由基平衡、抑制氧化损伤等优点正受到广大研究者的青睐。植物多酚广泛存在于植物的根、皮、叶和果实中, 是植物体内复杂酚类次生代谢产物、芳香族羟基衍生生物的总称, 包括简单酚、香豆素类、萜醌类、夹氧杂蒽醌类、异黄酮类、黄酮类、木脂素类、单宁 (包括水解单宁和缩合单宁) 和酚酸类 (苯甲酸类和肉桂酸类) 衍生物等 13 类, 其独特的分子结构和理化性质赋予植物多酚抗氧化、抑菌、抗癌、抗衰老和防治糖尿

病、心脑血管疾病等多种生物功能^[2-4]。

红皮云杉 (*Picea koraiensis*) 又名虎尾松, 高丽云杉, 属松科云杉属常绿乔木, 是我国分布较广的树种之一, 主要分布在大兴安岭、小兴安岭、完达山和长白山林区等地区。研究表明松属植物含有大量的萜类、多酚类和生物碱等活性成分。目前对植物多酚提取及抗氧化活性的研究相对较多, 但对红皮云杉种鳞多酚类物质降解稳定性及体外抗氧化功能稳定性的研究尚未报道。Ali Liazid等^[5]通过四种提取技术提取松子多酚, 发现多酚抗氧化性和多酚含量有显著的量效关系。Yi J等^[6]研究发现松多酚能平衡氧化系统和抗氧化系统比例, 防止失调、降低由氧化引起的疾病发生率。植物多酚的稳定性将直接影响它的利用、运输和保存等各个环节, 温度、pH、光、金属离子和添加剂等因素均会对其产生影响^[7], 因此研究并改善红皮云杉种鳞多酚在食品加工贮藏过程中的稳定性, 对于深入研究其功能特性以及拓宽在食品工业中的应用具有重要的意义。

本试验以红皮云杉种鳞为原料, 分别研究红皮云杉种鳞多酚类物质在温度、光照条件、pH、金属离子和食品添加剂等不同处理条件下红皮云杉种鳞中多酚含量及抗氧化稳定性的变化, 从而推断影响红皮云杉活性物质稳定性的关键因素, 旨在充分利用红皮云杉树种资源, 减少多酚类物质在储藏期间活性成分损失, 为有效开发利用红皮云杉多酚类物质提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

长白山地区红皮云杉种鳞; DPPH, 美国 Sigma 公司; 没食子酸标准品、X-5 大孔树脂、亚硫酸钠、无水乙醇等其它试剂均为分析纯, 上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

电热恒温水浴锅 DK-S12 型, 上海森信试验仪器有限公司; JA2003 万分之分析天平, 上海良平仪器仪表有限公司; 旋转蒸发器 RE-52A, 上海亚荣生化仪器厂; RT-6000 酶标仪, 深圳雷杜生命科学股份有限公司; 紫外可见分光光度计 TU-1810PL, 北京普析通用仪器有限责任公司。

1.3 试验方法

1.3.1 红皮云杉种鳞多酚的提取与纯化

取适量红皮云杉种鳞样品置于一定体积分数的乙

醇溶液中, 室温下抽提后, 冷冻离心, 相同条件下复提, 收集提取液, 离心, 真空浓缩^[8], 将浓缩液用处理后的 X-5 大孔树脂纯化, 上样量为 1/3 柱体积, 流速为 2 倍体积/h, 60% 乙醇作为洗脱剂, 分段收集样品, 乙酸乙酯萃取后冻干于 -20 °C 冰箱中备用^[9]。

1.3.2 贮藏条件对红皮云杉种鳞多酚含量及抗氧化功能的影响

准确称取红皮云杉种鳞多酚冻干粉, 乙醇溶解配置成一定浓度的多酚样液, 分别考察光照条件、贮藏温度、pH 值、金属离子及添加剂对红皮云杉种鳞多酚保留率及体外抗氧化功能稳定性的影响。

1.3.3 红皮云杉种鳞多酚含量及保留率的测定

参照 Molan^[10]的方法, 采用福林-酚法, 以没食子酸标准溶液质量浓度为横坐标, 溶液吸光度为纵坐标, 得到标准曲线为 $y=0.0103x+0.0308$, $R^2=0.9995$ 。

$$\text{多酚含量} = \frac{C \times N \times V}{M}$$

式中: C 为提取液中多酚浓度, mg/mL; N 为稀释倍数, V 为提取液体积, mL; M 为原料质量, g。

$$\text{多酚保留率} = \frac{X}{X_0} \times 100\%$$

式中: X 为处理后多酚含量(mg/g); X_0 为处理前多酚含量(mg/g)。

1.3.4 DPPH 自由基清除能力的测定

参考 PRIOR^[11]的方法, 在 2 mL 样液中加入 2 mL 0.1 mmol/L DPPH 溶液, 混匀室温下避光静置 20 min 后, 在 517 nm 处测定吸光值, DPPH 清除率按下列公式计算。试验设 3 组平行, 结果取平均值。

$$\text{DPPH} \cdot \text{清除率} = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\%$$

式中: A_0 为样品空白组吸光值; A_1 为样品组吸光值; A_2 为对照组吸光值。

1.3.5 总还原力的测定

参考 You^[12]的方法, 并作出改动。样液 1.00 mL 加入 2.50 mL 1% 铁氰化钾溶液, 在 50 °C 下反应 20 min, 速冷后向溶液加入 2.50 mL 10% 的三氯乙酸溶液, 5 min 后, 加入 5 mL 去离子水, 0.50 mL 0.1% 三氯化铁溶液, 反应 30 min, 在 700 nm 处测定吸光值。

1.4 统计分析

数据结果以平均值±标准方差 (means±SD) 表示, 数据处理, 结果采用统计分析软件 SPSS 21.0 与 Origin 8.5 进行统计分析, 以 $p < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果与讨论

2.1 贮藏温度对红皮云杉种鳞多酚含量及抗氧化功能的影响

贮藏温度的高低会影响活性成分的含量和功能,因此本实验设计了几种贮藏温度对红皮云杉种鳞多酚含量和抗氧化功能影响的试验,结果如图1和2所示。

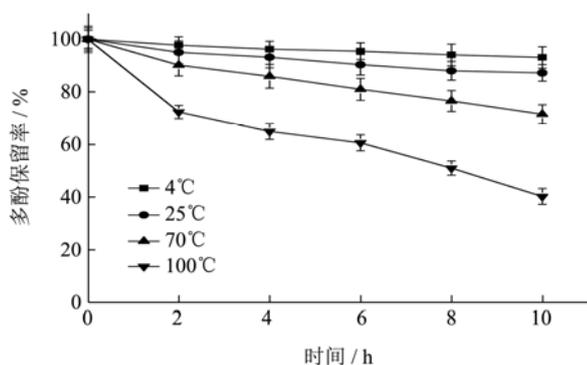


图1 温度对红皮云杉种鳞多酚含量的影响

Fig.1 Effect of temperature on the content of polyphenols

由图1可知,随着温度和时间的增加,总体上红皮云杉种鳞多酚的保留率逐渐降低,不同温度对多酚保留率的影响不同,4°C和25°C储存条件下的红皮云杉种鳞多酚含量损失差异不显著,当贮藏10h时,多酚保留率分别为93.08%和87.23%。在70°C和100°C下储存的多酚保留率下降显著,贮藏10h多酚保留率依次为61.45%和35.28%。红皮云杉种鳞多酚的不稳定性可能是因为多酚类物质含有多个酚羟基,具有很强的还原性,发生自身的氧化聚合,多酚类物质化学结构遭到破坏,导致保留率降低^[13],而低温下保存有良好稳定性,可能是因为低温抑制了多酚氧化酶与花青素褪色酶等酶的活性,减弱了对多酚的氧化作用,从而有效延缓了氧化、缩合及降解,因此低温储存多酚的稳定性较好。

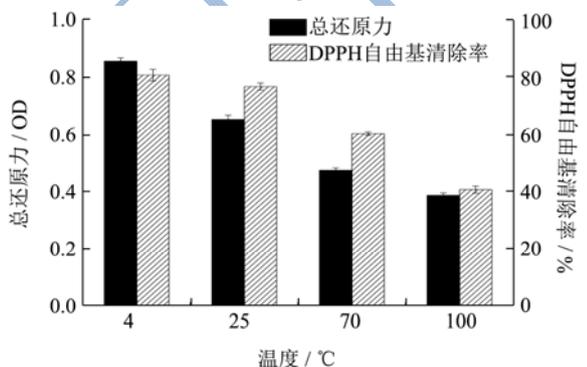


图2 温度对红皮云杉种鳞多酚抗氧化能力的影响

Fig.2 Effect of temperature on the antioxidant capacity of polyphenols

由图2可知,随着温度的升高,红皮云杉种鳞多

酚清除DPPH自由基和总还原力均降低,即体外抗氧化性呈减弱趋势,这可能是因为高温下多酚中的儿茶素特别是酯型儿茶素发生异构化或者氧化分解反应^[14],因此应将红皮云杉种鳞多酚类物质低温保存^[15]。

由图1、2发现,4°C下10h红皮云杉种鳞多酚的保留率是100°C的2.64倍,4°C下DPPH自由基清除率、总还原力依次为100°C的1.99倍、2.21倍,多酚保留率下降倍数与抗氧化能力下降倍数接近,这是因为红皮云杉种鳞多酚类物质的抗氧化性与多酚含量显著相关,在以后的研究中需要探究红皮云杉种鳞多酚抗氧化的量效关系。

2.2 不同光照条件对红皮云杉种鳞多酚含量及抗氧化功能的影响

光照会引起多酚类物质的降解,为了探究光照对红皮云杉种鳞多酚含量及抗氧化能力的影响,本试验比较了避光、室内自然光、直射太阳光、紫外线辐射条件下红皮云杉种鳞多酚含量和抗氧化功能的变化,试验结果如图3和4所示。

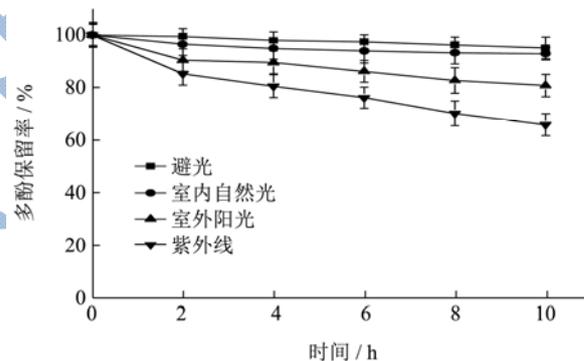


图3 光照对红皮云杉种鳞多酚含量的影响

Fig.3 Effect of light on the content of polyphenols

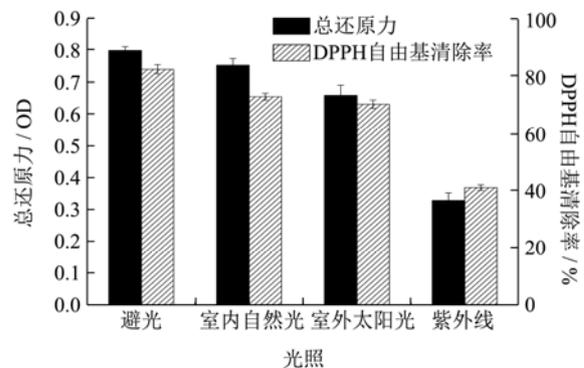


图4 光照对红皮云杉种鳞多酚抗氧化能力的影响

Fig.4 Effect of light on the antioxidant capacity of polyphenols

由图3可知,避光、室内自然光、直射太阳光、紫外线可使红皮云杉种鳞多酚发生不同程度的降解。避光下储存的红皮云杉种鳞多酚10d后的保留率为

95.15%，室外直射日光和紫外线辐射储存的红皮云杉种鳞多酚 10 d 的储存时间内多酚含量变化较大，保留率分别为 80.88% 和 65.95%，这主要因为光照破坏了多酚的结构，加快了多酚自身氧化聚合的速度，高凝轩等^[16]研究发现黑果腺肋花楸多酚在紫外线下会加速分解，与本试验结果一致，所以多酚应避免光保存。

由图 4 可知，红皮云杉种鳞多酚在 4 种光照条件下，抗氧化能力不同。室内自然光照射下 DPPH 自由基清除率、总还原能力是避光条件下的 94.23%、88.46%，说明散射光对红皮云杉多酚抗氧化能力有影响。在紫外辐射下，红皮云杉种鳞多酚的 DPPH 清除率、总还原力是避光条件下的 49.88%、41.10%，可能因为紫外线辐射破坏多酚的结构和理化性质，使多酚类物质发生自身的氧化聚合，特别在长时间紫外线照射下，抗氧化能力显著降低。避光下红皮云杉种鳞多酚的保留率、DPPH 自由基清除率、总还原力依次是紫外线辐射的 1.44 倍、2.00 倍、2.43 倍，下降趋势的差异性可能是因为紫外辐射能够破坏红皮云杉种鳞多酚类物质中的原花青素等物质。张卫波等^[17]研究发现米糠中原花青素在太阳光下照射 15 d 后相比避光条件下下降 34.31%，因此为了避免多酚抗氧化能力的损失，应将多酚物质避光保存^[18]。

2.3 不同 pH 条件对红皮云杉种鳞多酚含量及体外抗氧化功能的影响

为研究酸碱性和红皮云杉种鳞多酚含量及抗氧化能力的影响，本文选用 pH 2、pH 4、pH 6、pH 8、pH 10 进行试验，结果如图 5 和 6 所示。

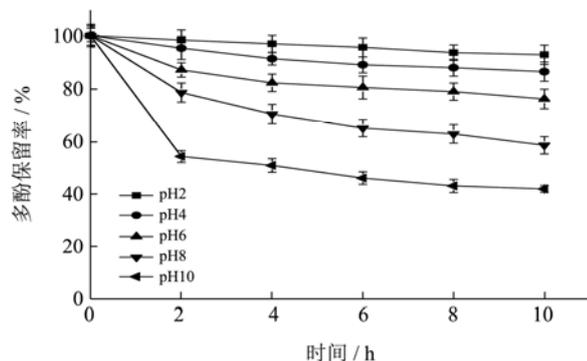


图 5 pH 对红皮云杉种鳞多酚含量的影响

Fig.5 Effect of pH value on the content of polyphenols

由图 5 可知，不同 pH 条件下，随着时间的延长，红皮云杉种鳞多酚含量都有不同程度的下降，在 pH 2、pH 4、pH 6 条件下，多酚含量变化很小，保留率分别为 92.84%、86.51%、76.23%。在 pH 8、pH 10

条件下，2 h 内多酚含量下降明显，2 h 后下降趋势平缓，溶液出现少量沉淀，红皮云杉种鳞多酚的保留率依次为 58.65%、42.05%。相比碱性条件，红皮云杉种鳞多酚在酸性条件下降解缓慢这可能是因为多酚含有多个酚羟基，呈弱酸性，酸性条件下氧化分解慢，碱性条件下多酚类物质分子结构遭到破坏，且含有的羟基数目越多，在碱溶液中反应越快，越不稳定^[19]。

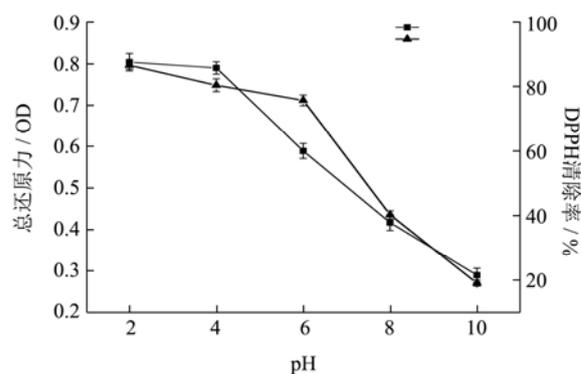


图 6 pH 对红皮云杉种鳞多酚抗氧化的影响

Fig.6 Effect of pH value on the antioxidant capacity of polyphenols

由图 6 可知，在 pH 2 和 pH 4 条件下，红皮云杉种鳞多酚总还原力和清除 DPPH 自由基能力较强，表明在此 pH 值范围内多酚稳定，有显著的抗氧化活性。在 pH 8 和 pH 10 条件下，红皮云杉种鳞多酚清除 DPPH 能力和总还原力显著下降，这是因为碱性条件破坏多酚结构，氧化生成醌类物质^[20]。由于多酚含酚羟基，呈弱酸性，因而酸性条件下有利于多酚抗氧化活性稳定，但随着 pH 的增大，OH⁻破坏了溶液的弱酸性，多酚氧化分解力度加剧，其稳定性越来越差，这与图 5 红皮云杉种鳞多酚稳定性的研究结果一致，但红皮云杉种鳞多酚保留率和抗氧化能力下降趋势不一致，pH 2 下多酚的保留率、DPPH 自由基清除率、总还原力依次是 pH 10 的 2.21 倍、4.56 倍、2.79 倍，这可能是因为碱性条件下红皮云杉种鳞多酚类物质中的原花青素等物质降解，导致抗氧化能力下降趋势大于多酚的降解趋势，因此在以后的研究中可探究贮藏条件对红皮云杉种鳞原花青含量及抗氧化功能的影响。

2.4 不同金属离子对红皮云杉种鳞多酚含量及体外抗氧化功能的影响

一些金属离子与多酚类物质会结合为络合物，产生沉淀，影响多酚结构及其抗氧化活性。本试验分别测定几种常见的金属离子对红皮云杉种鳞多酚降解及抗氧化能力的影响。结果如图 7、8、9 所示。

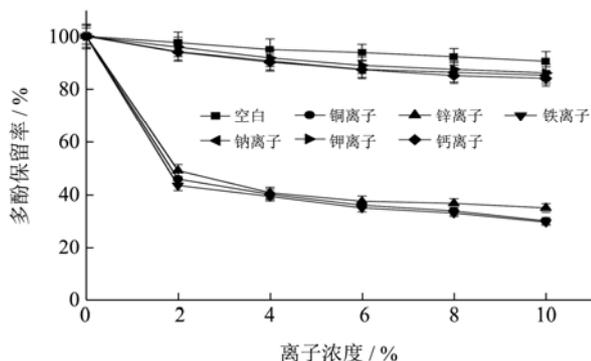


图7 金属离子对红皮云杉种鳞多酚含量的影响

Fig.7 Effect of metal ions on the content of polyphenols

由图7可知,添加不同的金属离子,对红皮云杉种鳞多酚降解的影响不同,其中钠、钾、钙离子对多酚含量影响较小,多酚保留率基本在85%以上。铜、锌、铁离子对多酚含量的影响显著,且三价铁离子使多酚溶液颜色迅速变深,多酚含量损失较大,保留率依次为30.29%、35.19%、29.86%,这可能是由于加入铜、锌、铁三种金属离子后,加速了溶液中多酚的氧化作用和催化反应,使多酚含量下降损失。马双双等^[21]研究发现 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 、 Sn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 这6种离子对莲子壳多酚具有显著的破坏作用。

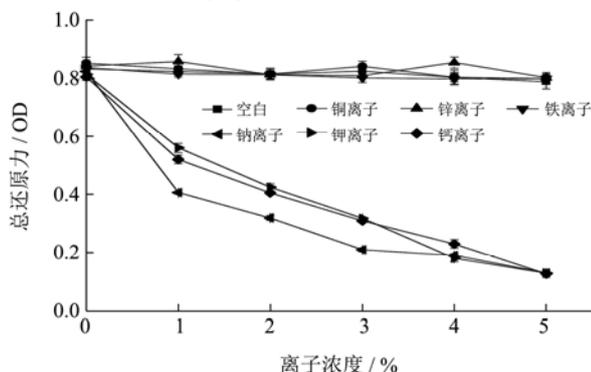


图8 金属离子对红皮云杉种鳞多酚总还原力的影响

Fig.8 Effect of metal ions on total antioxidant capacity of polyphenols

由图8可知,添加不同的金属离子,对总还原力的影响不同,其中钠、钾、钙离子对红皮云杉种鳞多酚总还原力影响作用较小,随着钠、钾、钙离子质量浓度的上升,总还原力无显著变化;添加铁、铜、锌离子显著影响红皮云杉种鳞多酚类物质总还原力,且随着铁、铜、锌离子质量浓度的上升,红皮云杉种鳞多酚类物质总还原力显著降低。

这可能是因为铁、铜、锌离子与红皮云杉种鳞多酚形成络合物,而且铁在d轨道上有空轨道,易于接受带有孤对电子的红皮云杉种鳞多酚,导致红皮云杉种鳞多酚给质子能力和表面疏水性降低,从而导致总还原力的降低^[22]。

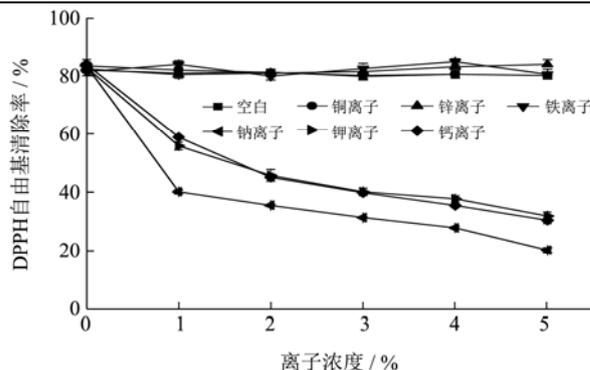


图9 金属离子对红皮云杉种鳞多酚 DPPH 自由基清除能力的影响

Fig.9 Effect of metal ions on the DPPH radical scavenging activity of polyphenols

由图9可知,添加不同的金属离子,对红皮云杉种鳞多酚清除DPPH自由基的能力影响不同。其中钠、钾、钙离子对红皮云杉种鳞多酚DPPH自由基清除能力影响作用较小,而添加铜、锌、铁离子对红皮云杉种鳞多酚DPPH自由基清除活性影响显著,且随着铜、锌、铁离子质量浓度的上升,红皮云杉种鳞多酚清除DPPH自由基活性显著下降,空白对照红皮云杉种鳞多酚清除DPPH自由基的清除率依次是添加5%的铜、锌、铁离子的2.59倍、2.75倍、4.10倍,这与吴冬青等的研究结果一致^[23],综上所述,在生产加工过程中应避免红皮云杉种鳞多酚与铜、锌、铁离子接触。

2.5 不同浓度的蔗糖溶液对红皮云杉种鳞多酚含量及抗氧化功能的影响

本试验研究不同浓度的蔗糖溶液对红皮云杉种鳞多酚稳定性及体外抗氧化功能的影响,结果如图10、11所示。

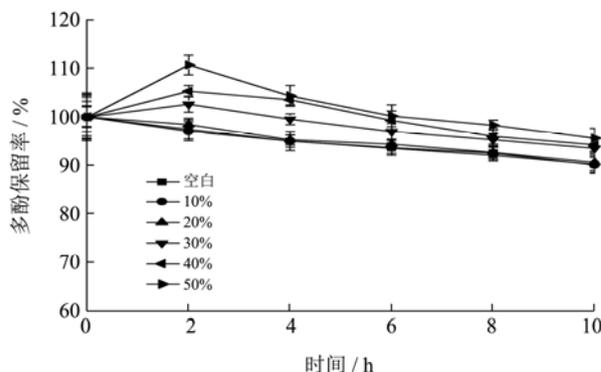


图10 蔗糖对红皮云杉种鳞多酚含量的影响

Fig.10 Effect of sucrose on the content of polyphenols

由图10可知,不同浓度蔗糖溶液对红皮云杉种鳞多酚有不同的影响。在一定浓度范围内,随着蔗糖溶液浓度的增加,蔗糖溶液对红皮云杉种鳞多酚起保护

作用,这可能是由于高浓度的蔗糖溶液降低水分活度,进而降低多酚的分解速率。雷月等^[24]的研究结果也表明适宜浓度的糖溶液能增强多酚的稳定性,因此可添加适宜浓度的蔗糖溶液,减少多酚的损失。

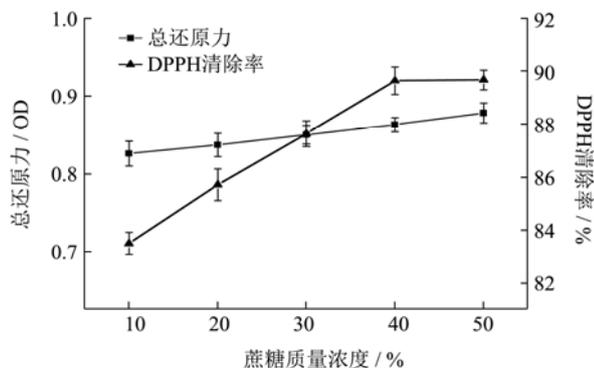


图 11 蔗糖对红皮云杉种鳞多酚抗氧化能力的影响

Fig.11 Effect of sucrose on the antioxidant capacity of polyphenols

由图 11 可知,随着蔗糖溶液浓度的上升,红皮云杉种鳞多酚清除 DPPH 自由基能力增强,但红皮云杉种鳞多酚总还原力在添加不同浓度蔗糖溶液吸光度数值上升缓慢基本不变,总还原能力无显著变化,说明红皮云杉种鳞多酚稳定性的变化对不同的抗氧化指标影响不一致,蔗糖对于多酚总还原力的影响不明显^[25]。

2.6 不同浓度的苯甲酸钠溶液对红皮云杉种鳞多酚含量及抗氧化功能的影响

本试验研究了在添加不同浓度苯甲酸钠的条件下 0~10 h 多酚含量的变化情况,不同浓度苯甲酸钠溶液对红皮云杉种鳞多酚体外抗氧化功能的影响,结果如图 12、13 所示。

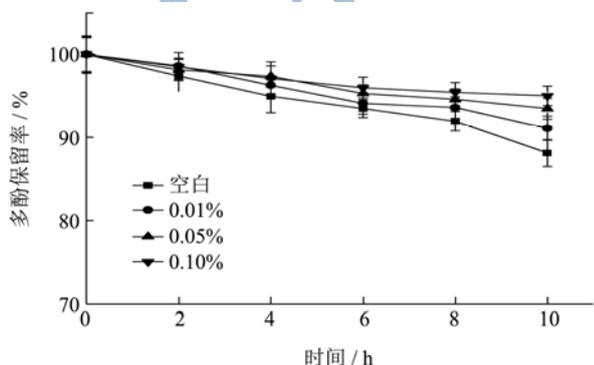


图 12 苯甲酸钠对红皮云杉种鳞多酚含量的影响

Fig.12 Effect of sodium benzoate on the content of polyphenols

由图 12 可知,不同浓度苯甲酸钠溶液对红皮云杉种鳞多酚稳定性的影响不同。在一定浓度范围内,随着苯甲酸钠浓度的增加,苯甲酸钠试验组的多酚保留率略

高于空白组,对红皮云杉种鳞多酚起到保护作用。在苯甲酸钠质量浓度为 0.1% 时,多酚保留率最大,为 95.08%。可能是由于苯甲酸钠能够有效抑制微生物,降低微生物对多酚的利用率^[26]。因此可添加适宜浓度的防腐剂苯甲酸钠,减少多酚的损失。

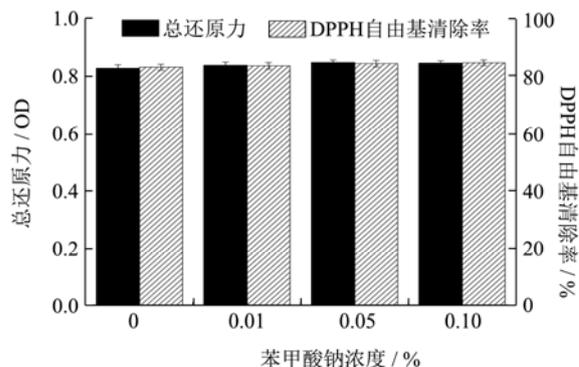


图 13 苯甲酸钠对红皮云杉种鳞多酚抗氧化能力的影响

Fig.13 Effect of sodium benzoate on the antioxidant capacity of polyphenols

由图 13 可知,添加不同浓度的苯甲酸钠对红皮云杉种鳞多酚总还原能力和 DPPH 自由基清除能力无显著影响,这是因为苯甲酸钠对红皮云杉多酚类物质的稳定性无显著影响,这与图 12 的贮藏稳定性的研究结果一致,汪志慧等^[27]研究发现氯化钠、蔗糖、葡萄糖等食品原料和苯甲酸钠、山梨酸钾等防腐剂对莲房原花青素的稳定性影响不明显,与本试验的结果一致。

3 结论

本试验研究了 pH 值、光照、温度、金属离子及添加剂对红皮云杉种鳞多酚含量及体外抗氧化功能稳定性的影响。结果表明贮藏条件对红皮云杉种鳞多酚含量及抗氧化功能具有显著影响,在 4 °C、避光条件、酸性条件下贮藏,红皮云杉种鳞多酚保留率最高,且总还原能力和清除 DPPH· 能力最强。此外添加钠、钾、钙离子对红皮云杉种鳞多酚含量和抗氧化功能无显著影响,而铜、锌、铁离子能够显著降低多酚含量和抗氧化功能。浓度超过 30% 的蔗糖溶液和 0.1% 苯甲酸钠溶液能够保护红皮云杉种鳞多酚类物质,但是随着浓度的增加抗氧化功能无显著差异。本试验为红皮云杉种鳞多酚稳定性机理研究奠定理论基础,并为有效开发利用红皮云杉多酚类化合物提供科学借鉴。

参考文献

[1] 赵楠楠,朱晓冉,李德海.红松壳多酚、黄酮和多糖含量及抗氧化活性相关性的研究[J].现代食品科技,2017,12:44-49
ZHAO Nan-nan, ZHU Xiao-ran, LI De-hai. Study on the

- correlation between contents of polyphenols, flavonoids, polysaccharides in pinus koraiensis seed putamina and their antioxidant activities [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 12: 44-49
- [2] Kim Y S, Shin D H. Volatile components and antibacterial effects of pine needle (*Pinus densiflora* S. and Z.) extracts [J]. *Food Microbiology*, 2005, 22(1): 37-45
- [3] Du W-X, Olsen C W, Avena-Bustillos R J, et al. Physical and antibacterial properties of edible films formulated with apple skin polyphenols [J]. *Journal of Food Science*, 2011, 76(2): M149
- [4] Zhang X L, Guo Y S, Wang C H, et al. Phenolic compounds from *Origanum vulgare* and their antioxidant and antiviral activities [J]. *Food Chemistry*, 2014, 152(2): 300
- [5] Ali Liazidc, Monica Schwarzza, Rosa M Varela B, et al. Evaluation of various extraction techniques for obtaining bioactive extracts from pine seeds [J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2010, 88: 247-252
- [6] Yi J, Hang Q, Wu Y, et al. Study on antitumor, antioxidant and immunoregulatory activities of the purified polyphenols from pinecone of *Pinus koraiensis*, on tumor-bearing S180 mice in vivo [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, 94: 735-744
- [7] Fischer U A, Carle R, Kammerer D R. Thermal stability of anthocyanins and colourless phenolics in pomegranate (*Punica granatum*, L.) juices and model solutions [J]. *Food Chemistry*, 2013, 138(2-3): 1800-1809
- [8] 邓心蕊,王振宇,刘冉,等.红皮云杉球果乙醇提取物的抗氧化功能研究[J].北京林业大学学报,2014,36(2):94-101
DENG Xin-rui, WANG Zhen-yu, LIU Ran, et al. Antioxidant activity of ethanol extract from *Picea koraiensis* cone [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2014, 36(2): 94-101
- [9] 库咏峰,黄品鲜,刘雄民,等.大孔吸附树脂法分离纯化肉桂总黄酮的工艺优化[J].食品科学,2013,34(24):19-24
KU Yong-feng, HUANG Pin-xian, LIU Xiong-min, et al. Optimization of purification of total flavonoids from cinnamon using macroporous resin [J]. *Food Science*, 2013, 34(24): 19-24
- [10] Molan A L, Flanagan J, Wei W, et al. Selenium-containing green tea has higher antioxidant and prebiotic activities than regular green tea [J]. *Food Chemistry*, 2009, 114(3): 829-835
- [11] Prior R L, Wilkes S E, Rogers T R, et al. Purified blueberry anthocyanins and blueberry juice alter development of obesity in mice fed an obesogenic high-fat diet [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2010, 58(7): 3970
- [12] You L J, Zhao M M, Cui C, et al. Effect of degree of hydrolysis on the antioxidant activity of loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) protein hydrolysates [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2009, 10(2): 235-240
- [13] Bouayed J, Hoffmann L, Bohn T. Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion and dialysis of apple varieties: Bioaccessibility and potential uptake [J]. *Food Chemistry*, 2011, 128(1): 14
- [14] 马梦君,胡文卿,傅丽亚,等.温度和质量浓度对茶多酚水溶液稳定性的影响[J].食品科学,2014,35(11):11-16
MA Meng-jun, HU Wen-qing, FU Li-ya, et al. Effect of concentration and temperature on the stability of tea polyphenols in aqueous solution [J]. *Food Science*, 2014, 35(11): 11-16
- [15] 杜健,杨颖,赵明烨,等.贮藏中香椿多酚抗氧化性的变化研究[J].北京林业大学学报,2011,33(2):120-125
DU Jian, YANG Ying, ZHAO Ming-ye, et al. Changes of antioxidant activity of phenolics in *Toona sinensis* during storage [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2011, 33(2): 120-125
- [16] 高凝轩,李斌,杜姗姗,等.黑果腺肋花楸多酚稳定性的研究[J].食品科学,2016,37(23):20-24
GAO Ning-xuan, LI Bin, DU Shan-shan, et al. Stability of polyphenols from *aronia melanocarpa* Fruits [J]. *Food Science*, 2016, 37(23): 20-24
- [17] 张卫波,杨豆,樊华,等.米糠中原花青素的微波提取及稳定性研究[J].饲料广角,2017,6:38-42
ZHANG Wei-bo, YANG Dou, FAN hua, et al. Microwave extraction and stability of proanthocyanidins from rice bran [J]. *Feed Wide Angle*, 2017, 6: 38-42
- [18] 田喜强,董艳萍,马松艳,等.紫薯花青素的稳定性及其抗氧化性研究[J].食品工业,2014,8:49-51
TIAN Xi-qiang, DONG Yan-ping, MA Song-yan, et al. Study on stability and antioxidation of anthocyanins from purple potato [J]. *Food Industry*, 2014, 8: 49-51
- [19] 楠极,栗丽萍.番石榴叶多酚提取液稳定性的研究[J].食品研究与开发,2016,37(18):32-35
NAN Ji, LI Li-ping. Study on stability of polyphenols extracting solution in guava leaves [J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(18): 32-35
- [20] Anna P, Krystyna P. Effect of pH and metal ions on DPPH radical scavenging activity of tea [J]. *International Journal of Food Sciences & Nutrition*, 2015, 66(1): 58-62
- [21] 马双双,刘莹,陈中惠,等.老熟莲子壳多酚的树脂法纯化及

- 稳定性研究[J].天然产物研究与开发,2014,26(2):238-243
- MA Shuang-shuang, LIU Ying, CHEN Zhong-hui, et al. Purification and stability of polyphenols from ageing lotus seed epicarp [J]. Natural Product Research and Development, 2014, 26(2): 238-243
- [22] 尹浩,陈娅,陶涛,等.莲房原花青素低聚体微乳液的稳定性及抗氧化活性分析[J].食品工业科技,2017,38(7):70-74
- YIN Hao, CHEN Ya, TAO Tao, et al. Stability of micromulsion encapsulating oligomeric procyanidins from lotus seedpods and antioxidant activity of Isopc in micromulsion [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(7): 70-74
- [23] 吴冬青,马兴元,黑进武,等.白药子黄酮的抗氧化稳定性[J].华西药学杂志,2017,32(5):511-513
- WU Dong-qing, MA Xing-yuan, HEI Jin-wu, et al. Antioxidant stability of flavonoids from Oriental stephania Root [J]. West China Journal of Medicine, 2017, 32(5): 511-513
- [24] 雷月,宫彦龙,朱速松,等.蓝靛果多酚冻干粉稳定性及其总抗氧化能力研究[J].食品工业科技,2017,13:78-84
- LEI Yue, GONG Yan-long, ZHU Su-song, et al. Study on stability and total antioxidant capacity of polyphenols from *Lonicera Caerulea* L. [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 13: 78-84
- [25] 张镜,刁树平.食品酸味剂、甜味剂及增稠剂对阴香花色苷稳定性的影响[J].食品工业科技,2013,34(22):266-270
- ZHANG Jing, DIAO Shu-ping. Influences of food sour agents, sweeteners, and thickeners on the stability of anthocyanin of *Cinnamomum burmannii* fruit [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(22): 266-270
- [26] 樊金玲,朱文学,巩卫东,等.蔗糖含量对牡丹花色苷热稳定性及降解动力学的影响[J].食品科学,2010,31(13):74-78
- FAN Jin-ling, ZHU Wen-xue, GONG Wei-dong, et al. Effect of Sucrose on thermal stability and degradation kinetics of peony anthocyanins [J]. Food Science, 2010, 31(13): 74-78
- [27] 汪志慧,孙智达,谢笔钧.莲房原花青素的稳定性及热降解动力学研究[J].食品科学,2011,32(7):77-82
- WANG Zhi-hui, SUN Zhi-da, XIE Bi-jun. Stability and thermal degradation kinetics of procyanidins from lotus seed pods [J]. Food Science, 2011, 32(7): 77-82