

不同处理方式对发芽花生中白藜芦醇积累的影响

靳雪雪, 周亚文, 章 钺, 陆晨浩, 邢常瑞, 王明洁, 何 荣, 袁 建*

(南京财经大学食品科学与工程学院, 南京 210000)

摘 要: **目的** 通过高效液相色谱法研究不同的胁迫试剂提高花生发芽过程中白藜芦醇的积累。**方法** 通过3种不同的花生发芽培养液(无菌去离子水, 600 $\mu\text{mol/L}$ CuSO_4 溶液和 10 mg/L 壳聚糖溶液)对花生发芽过程进行处理, 并且建立提取和净化花生中白藜芦醇的前处理方法。**结果** 不同胁迫试剂处理发芽花生对白藜芦醇的富集影响不同。用无菌去离子水对发芽花生处理 72 h 白藜芦醇含量最高为 130.2 ng/g , 用 600 $\mu\text{mol/L}$ CuSO_4 溶液对发芽花生处理 24 h 白藜芦醇含量最高为 568.7 ng/g , 用 10 mg/L 的壳聚糖溶液处理 5 d 后白藜芦醇含量最高为 383.6 ng/g 。**结论** 用 CuSO_4 和壳聚糖都可以作为胁迫试剂对发芽花生进行处理, 可以提高花生不同发芽阶段白藜芦醇的含量。

关键词: 白藜芦醇; 发芽花生; 高效液相色谱法; 胁迫剂

Effects of different treatments on accumulation of resveratrol in germinated peanut

JIN Xue-Xue, ZHOU Ya-Wen, ZHANG Cheng, LU Chen-Hao, XING Chang-Rui,
WANG Ming-Jie, HE Rong, YUAN Jian*

(College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210000, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the accumulation of resveratrol during peanut germination with different stress agents by high performance liquid chromatography. **Methods** The peanut germination process was treated by 3 different peanut germination mediums (sterile deionized water, 600 $\mu\text{mol/L}$ CuSO_4 solution and 10 mg/L chitosan solution), and the extraction and purification of resveratrol in peanuts was established. **Results** The treatment of germinated peanut with different stress reagents had different effects on the enrichment of resveratrol. The highest content of resveratrol in the treatment of germinated peanut was 130.2 ng/g with sterile deionized water after 72 h, and the highest content of resveratrol was 568.7 ng/g in the treatment of germinated peanut with 600 $\mu\text{mol/L}$ CuSO_4 solution after 24 h. After treatment with 10 mg/L chitosan solution for 5 d, the resveratrol content was up to 383.6 ng/g . **Conclusion** Both CuSO_4 and chitosan can be used as stress agents to treat germinated peanuts, which can increase the content of resveratrol in different germination stages of peanut.

KEY WORDS: resveratrol; germinated peanut; high performance liquid chromatography; stress reagents

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0401404, 2016YFD0401603)、江苏省高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)、江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX17-1218)

Fund: Supported National Key R&D Program (2017YFD0401404, 2016YFD0401603), Jiangsu Province University Advantage Project Construction Project Funding Project (PAPD), and Jiangsu Province Graduate Research and Practice Innovation Program(KYCX17-1218)

***通讯作者:** 袁建, 教授, 主要研究方向为食品质量安全评价与控制、粮油深加工。E-mail: 13611513715@163.com

***Corresponding author:** YUAN Jian, Professor, Xianlin Campus, Nanjing University of Finance and Economics, No. 3 Wenyuan Road, Qixia District, Nanjing 210000, China. E-mail: 13611513715@163.com

1 引言

白藜芦醇是主要的二苯乙烯植物抗坏血酸之一,可作为抗氧化剂^[1]和抗真菌剂,它也可以预防心血管疾病和癌症^[1],降低花生过敏的几率^[2,3]。现阶段已经发现白藜芦醇存在于 70 多种植物中(以中药材为主),但普遍含量低,提取困难,生产成本较高^[4]。花生中的白藜芦醇含量较高,但是,花生中的白藜芦醇含量受到诸多因素的影响^[4,5],例如花生的品种、生物因素、激素诱导和非生物胁迫等。

壳聚糖是一种天然的生长调节剂,对植物抗旱性提高有好的影响,可促进植物生长^[6]。研究表明,壳聚糖对提高种子发芽率有作用,当壳聚糖的浓度维持在 0%~1.5%范围内,花生发芽率随壳聚糖浓度升高而升高,浓度高于 1.5%后发芽率随壳聚糖浓度升高而下降^[7,8]。铜离子浓度对花生发芽的生物活性影响不同。低浓度铜溶液处理过的花生的发芽率、发芽指数、酶活力等有所增加,高浓度铜溶液处理过的花生的发芽率、发芽指数、酶活力等有所下降^[9,10]。经过铜处理的花生粒中白藜芦醇含量的增长明显,蛋白质含量、脂肪含量等均有所升高^[11],其原理是 Cu^{2+} 可以增强苯丙氨酸解氨酶的活性,从而影响白藜芦醇的合成^[10]。

花生发芽之后产生的生物活性物质多,准确定量检测发芽花生中的白藜芦醇含量需要经过一定的前处理。提取溶剂、提取温度、提取时间和净化方法都会对影响到白藜芦醇检测结果的准确性。高效液相色谱法和荧光法等^[11,12]目前是常用的检测白藜芦醇的方法^[13]。现有的提取方法主要包含有机溶剂提取法^[14]、超高压萃取^[15]和酶法提取法^[16]等。

本文研究花生发芽过程中,外界胁迫试剂壳聚糖和 CuSO_4 等对白藜芦醇含量的影响,以期为富含白藜芦醇的发芽花生的产品开发提供理论基础。

2 材料与方法

2.1 实验材料

2.1.1 实验试剂和材料

花生(山东中白沙公司);白藜芦醇标准品(99.9%,上海康九化工有限公司);壳聚糖(99.95%,美国 Sigma 公司);硫酸铜(五水合硫酸铜)、次氯酸、乙酸、乙腈、甲酸、甲醇(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);15 mL 离心管(美国 Nest biotechnology 公司);0.22 μm 有机溶剂微孔滤膜(天津市科亿隆实验设备有限公司)。

2.1.2 实验仪器

AR2140 电子分析天平(美国 METTLER TOLEDO 公司);PRACTUM224-1CN 电子天平(赛多利斯科学仪器(北京)有限公司);立式高压蒸汽灭菌锅(美国 STIK 施都凯);Bear/小熊 DYJ-A02G1 发芽机(广东小熊电器有限公司);

BCD-251WBSV 海尔冰箱(海尔股份有限公司);冷冻干燥机(美国 LABCONCO 公司);PiLot1-2LD 中试冻干机(北京博医康实验仪器有限公司);ZT-150 型高速多功能粉碎机(永康市展帆工贸有限公司);THZ-C 恒温振荡器(苏州培英实验室仪器设备有限公司);SL 16R 高速冷冻离心机(美国 Thermo scientific 公司);WH-2 微型旋涡混合仪(上海沪西分析仪器厂有限公司);SB 25-12 DTDN 超声波清洗机(宁波新芝生物科技股份有限公司);NexeraX2 SIL-30AC 超高效液相色谱(日本岛津公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 花生发芽培养

(1)花生发芽培养液的制备

花生发芽培养液分为 3 种,分别为:无菌去离子水,600 $\mu\text{mol/L}$ CuSO_4 溶液和 10 mg/L 壳聚糖溶液。

600 $\mu\text{mol/L}$ CuSO_4 溶液制备方法:用分析天平称取 0.15 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 粉末,用少量去离子水溶解,溶解后导入 1 L 容量瓶中用去离子水定容,获得 600 $\mu\text{mol/L}$ CuSO_4 。

10 mg/L 壳聚糖溶液制备:称取 0.01 g 壳聚糖粉末,倒入 100 mL 烧杯中,在烧杯中加入 15 mL 的 1%乙酸溶液,搅拌溶解,待壳聚糖溶液中无气泡后,转移到 1 L 容量瓶中,用去离子水定容,获得 10 mg/L 壳聚糖溶液。

3 种溶液均需要放入灭菌锅灭菌(灭菌条件为液体灭菌,120 $^{\circ}\text{C}$,25 min),待溶液冷却后使用。

(2)花生发芽前处理

选取 200 颗个体完整,大小相等,湿度适宜的花生粒。用去离子水清洗,用 0.5%的次氯酸钠溶液避光浸泡 30 min,清洗干净。50 $^{\circ}\text{C}$ 去离子水中避光浸泡 30 min,滤水,避光储存。

(3)花生发芽培养和冻干粉的制备

取颗粒饱满,大小相等完整的花生整齐、等距,间隔摆放在已灭菌的塑料育苗托盘上,将育苗盘压水盘依次放入已经装入培养液的发芽机中,避光,透气。23~28 $^{\circ}\text{C}$ 条件下培养,先泡种 5 h,之后每隔 4 h 浇一次水,48 h 换一次水,清洗发芽机。每日取 10 颗大小、形态相近的发芽花生冻干 36 h,磨粉,-20 $^{\circ}\text{C}$ 储存。

2.2.2 发芽花生中白藜芦醇提取条件优化

花生发芽之后产生的生物活性物质多,需要经过一定的前处理。本实验研究了提取溶剂、提取温度、提取时间和净化方法对检测结果的影响,最终确定了以下的前处理方法。

称取粉末 2.00 g,分别加 10 mL 95%乙腈溶液,避光,70 $^{\circ}\text{C}$ 震荡 30 min。静置 10 min,4 $^{\circ}\text{C}$,4500 r/min 离心 10 min。取 2 mL 上清液,10000 r/min,离心 5 min 后取上清过 C_{18} - AL_2O_3 柱子,等待溶液完全进入柱体之后,滴加 40%的乙腈水 1 mL,待完全进入柱体,再加 1 mL 的 40%乙腈水,过 0.22 μm 有机滤膜到棕色样品瓶中,4 $^{\circ}\text{C}$ 条件下保存。

2.2.3 白藜芦醇含量的检测

(1)色谱条件

高效液相色谱法检测白藜芦醇的高效液相色谱条件和梯度洗脱条件见表 1 和表 2。

表 1 高效液相色谱法检测白藜芦醇液相条件
Table 1 Liquid phase conditions of determination of resveratrol by high performance liquid chromatography

液相色谱条件	
色谱柱	C ₁₈
流动相 A	0.1%甲酸水溶液
流动相 B	甲醇
柱温	37 °C
流速	0.8 mL/min

表 2 高效液相色谱法检测白藜芦醇洗脱条件
Table 2 Elution conditions of determination of resveratrol by high performance liquid chromatography

时间/min	B 相/%
0~2	10
5	20
10	40
20	100
21	10
24	10

(2) 白藜芦醇标准曲线的建立

取白藜芦醇标准品, 用 40%乙腈溶液配置成 0.23 mg/mL 的标准储备液。将储备液进行一定梯度稀释, 配置 1000、500、200、100、50、20、0 ng/mL 的工作液。以白藜芦醇浓度为横坐标, 峰面积为纵坐标的标准曲线。

3 结果与分析

3.1 白藜芦醇标准曲线

通过 0、50、100、200、500、1000 ng/mL 6 个浓度梯度制作标准曲线。标准曲线如图 1 所示, 线性方程为 $Y=402.435X-1930.668$, $r^2=0.99972$, 因此在浓度范围为 0~1000 ng/mL 时, 该方法线性关系良好, 适合用于白藜芦醇的测定。

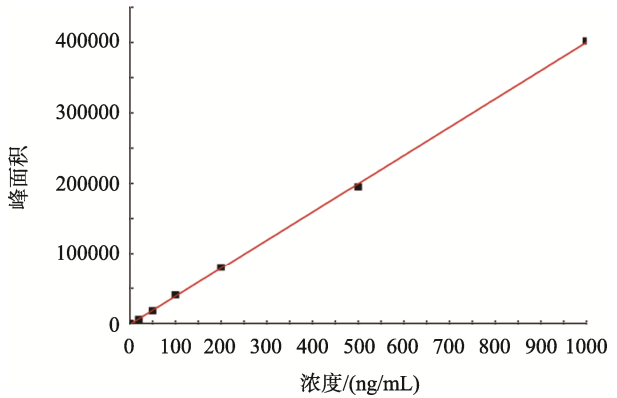


图 1 白藜芦醇标准曲线
Fig.1 Standard curve of resveratrol

3.2 提取方法对检测花生中白藜芦醇的影响

从王小庆等^[17]的研究得知, 温度在 35~75 °C 范围内, 花生中白藜芦醇的提取率变化不大, 但仍旧是缓慢上升趋势。故此, 本研究为防止白藜芦醇转化, 选择 70 °C 作为提取温度, 90%乙腈作提取剂。图 2 表示 500 ng/mL 的白藜芦醇未经任何前处理步骤直接在设定的液相条件下的检测结果。图 3 则表示 70 °C 下对 500 ng/mL 的标准品震荡 30 min 后的检测结果。对比两图发现白藜芦醇出峰时间和峰面积都没有发生改变, 说明该方法并不会破坏白藜芦醇本身的结构, 亦不会使其转化成同分异构体, 故此方法可行。

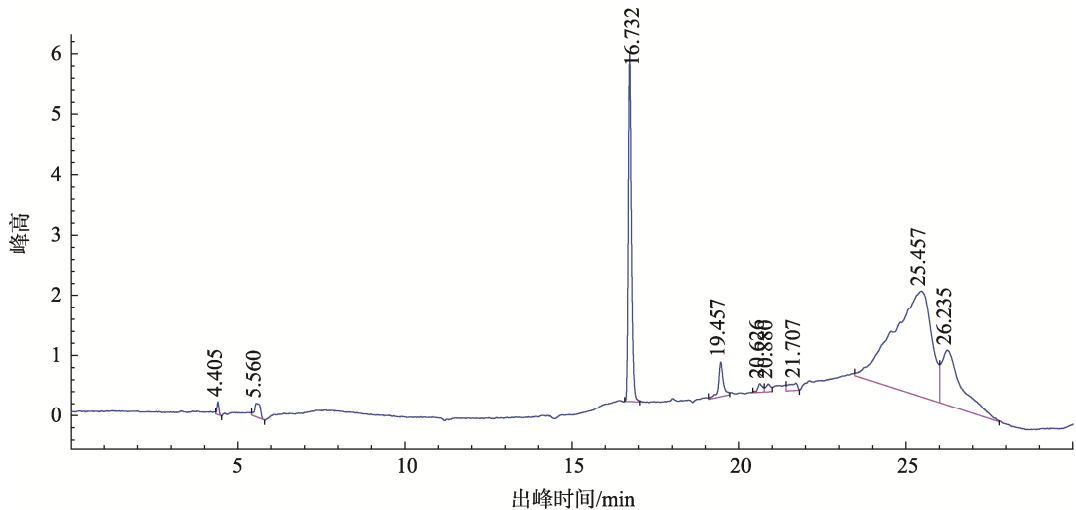


图 2 500 ng/mL 白藜芦醇标准品的色谱图
Fig.2 Chromatogram of the standard resveratrol solution of 500 ng/mL

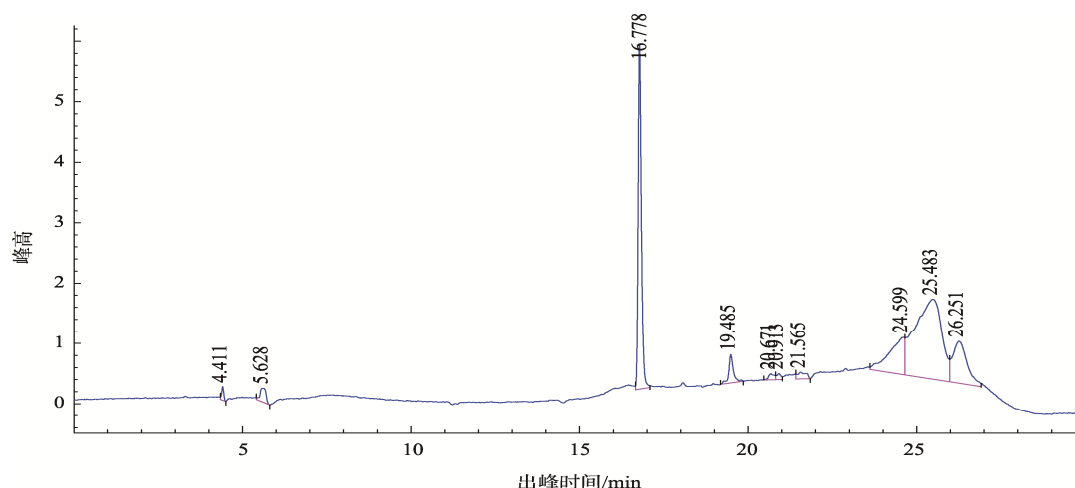


图3 500 ng/mL 白藜芦醇标准品 70 °C水浴 30 min 后的色谱图

Fig.3 Chromatogram of the standard resveratrol solution of 500 ng/mL with heat treatment at 70 °C for 30 min

为进一步验证该方法对实际样品的影响,对未发芽的花生和发芽 5 d 后的花生的加标样品进行检测。由于样品内所含物质多而杂,参考 Timothy 等^[18]提取花生中白藜芦醇的净化方法,用 C_{18} - AL_2O_3 柱子进行纯化,发现从样品中提取出的白藜芦醇出峰时间与加标后的样品出峰时间一致,说明该方法对实际样品提取到的白藜芦醇同样没有破坏,亦不会造成其转化。所以 70 °C 下震荡 30 min 的提取方法可取。

3.3 发芽花生提取后样品净化方法的确定

提取发芽 5 d 的花生样品,然后向提取液中添加 500 ng/mL 的标准品作为加标样品,然后研究净化方法对检测白藜芦醇的影响。

方法一:将加标样品用 10000 r/min, 5 min 离心 2 次后直接检测。

方法二:将加标样品用 10000 r/min, 5 min 离心 1 次后过 0.22 μ m 有机滤膜。

2 种方法的检测结果相似,下面以方法一为例图介绍。结果如图 4 所示:可以看出对于发芽 5 d 的花生提取液,离心 2 次的净化方法得到的色谱图中杂峰很多,干扰白藜芦醇的检测结果,故此方法不可取。

方法三:将加标样品用 10000 r/min, 5 min 离心 1 次后,过 C_{18} - AL_2O_3 柱子,得到的结果如图 5 所示,干扰白藜芦醇的杂峰完全被去除,15~20 min 内只留下 16.782 min 的白藜芦醇峰。

通过对发芽 5 d 花生的提取液的 3 种净化方法的对比分析,方法一和二不能去除杂峰,干扰白藜芦醇的检测,方法三则可以完全去除杂峰干扰,起到净化的作用,因此选择方法 3 对花生中白藜芦醇提取液进行净化。

出于对液相仪器进样系统的保护,选择在进样前将溶液用 0.22 μ m 有机滤膜过滤,因此最终的净化方法是:将提取样品溶液用 10000 r/min, 5 min 离心 1 次后,过 C_{18} - AL_2O_3 柱子,最后用 0.22 μ m 有机滤膜过滤,置于 4 °C

保存备用。

3.4 不同方式处理发芽花生中白藜芦醇积累的影响

将所得色谱峰面积代入回归方程中,得出白藜芦醇的含量。不同方式处理发芽花生中白藜芦醇含量如图 6。

经过去离子水处理的发芽花生。在前 2 天内的白藜芦醇含量缓慢增长,2 d 后在第 3 d 的时候白藜芦醇含量达到第一次顶峰 130.2 ng/g; 在第 4 天内又重新回落到第 2 天的值,4~5 天内含量基本保持不变。在 5 d 后迅速上升甚至高于第 3 天的含量。造成以上变化的原因可能有:在前两天时花生体内生成足够量的用于合成白藜芦醇的必需前体,培养到 3 d 时,达到激发白藜芦醇合酶的适宜环境条件,白藜芦醇合酶活性最高白藜芦醇含量达到峰值。

经过 $CuSO_4$ 处理过的发芽花生。与去离子水不同,经 $CuSO_4$ 处理过的发芽花生在 1 d 内白藜芦醇含量就急剧增长达到最高值,在第 2 天内又迅速回落,之后基本不会再上升到第 1 天内的含量。对于该现象的猜测可能是:第 1 天内的急剧上升,可能是因为 Cu^{2+} 促进了苯丙氨酸解氨酶的合成,从而促进了白藜芦醇的合成。1~2 d 的迅速回落,可能是由于 Cu^{2+} 过量对发芽花生产生毒害作用,抑制了白藜芦醇的合成。2~5 d 内以 Cu^{2+} 为原料合成的物质大量生成,减少了毒害作用,合成白藜芦醇的功能得到恢复。由于 6 d 后花生开始有根生长出来,不宜作为发芽花生产品使用,本实验不做继续研究。

经壳聚糖处理的发芽花生。从图 6 中可以看出经壳聚糖处理后的发芽花生,白藜芦醇含量在前 4 d 之内基本没有作用,与水相比,甚至有抑制作用。但是在第 5 d 时,白藜芦醇含量迅速上升,达到顶峰 383.6 ng/g。与水相比,经壳聚糖处理后白藜芦醇含量达到顶峰的时间延后了 5 d。前 4 d 内白藜芦醇的含量与水相比缓慢下降,可能是加入壳聚糖后,改变了香豆辅酶 A 和丙二酰辅酶 A 生成白藜芦醇所需的外界条件,导致其含量不升反降。

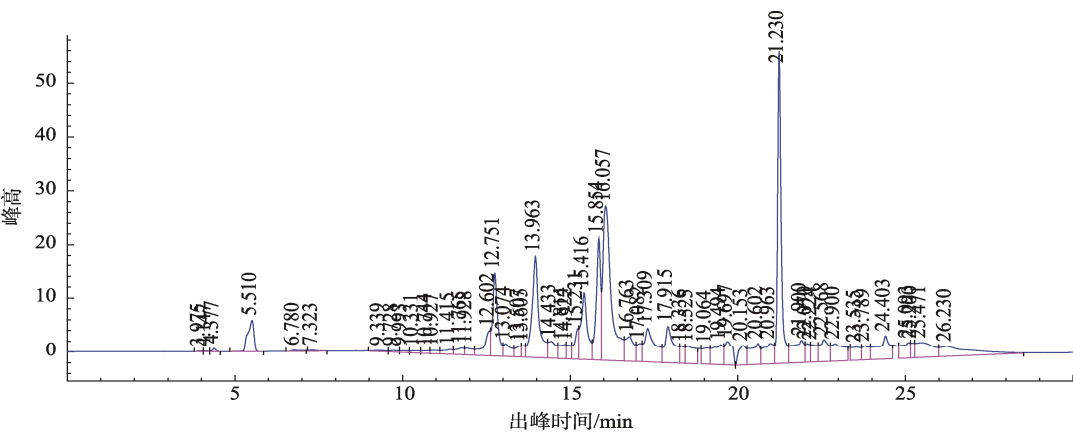


图 4 前处理方法一的色谱图
Fig.4 Chromatogram of pretreatment method 1

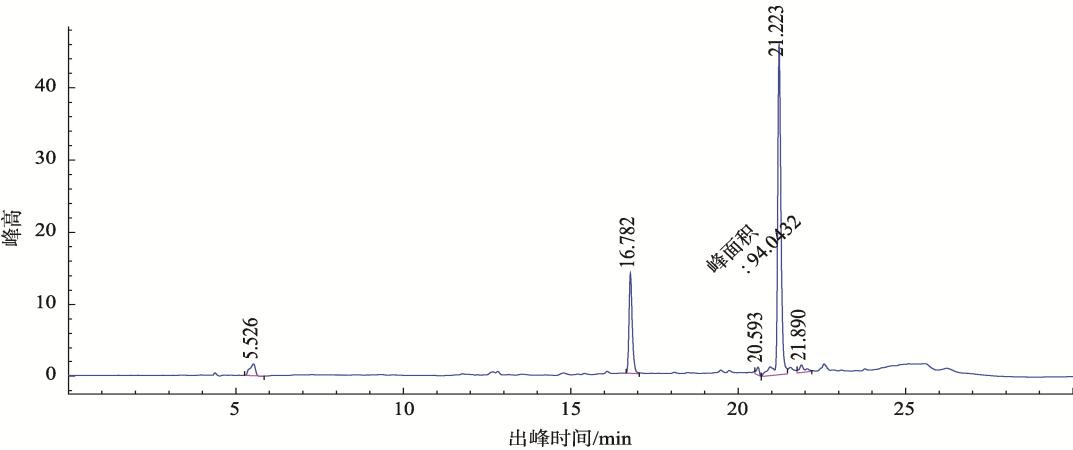


图 5 前处理方法三的色谱图
Fig.5 Chromatogram of pretreatment method 3

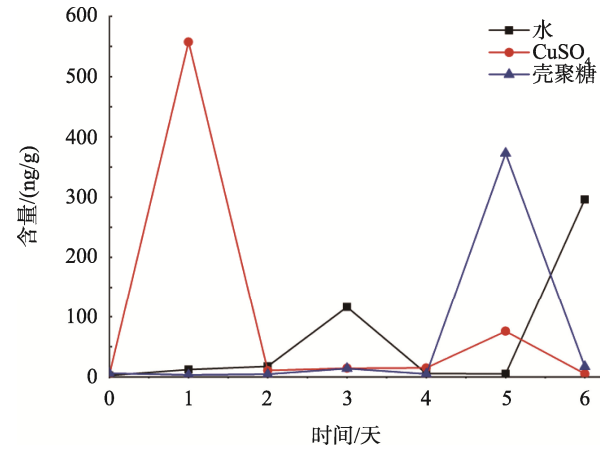


图 6 不同方式处理发芽花生中白藜芦醇含量
Fig.6 Content of resveratrol by different treatment methods in germinated peanuts

结果表明, 经过去离子水、CuSO₄、壳聚 3 种不同方式处理的发芽花生白藜芦醇含量最高值分别是 130.2、568.7、383.6 ng/g。但是综合经济、培养时间等方面, 最终

选择用 600 μmol/L CuSO₄ 溶液做发芽处理 1 d 最优。在鲍会梅等^[19]的研究结果中, 花生发芽后白藜芦醇含量呈现一个逐渐递增的趋势, 与本实验研究结果不同。Apinun 等^[20]研究结果中有 2 个品种的发芽花生在 2 d 白藜芦醇含量最高, 与本实验研究结果相同。陈贵娜等^[21]研究发现经过紫外辐射诱导处理后的花生幼苗中白藜芦醇含量会迅速达到一个峰值后又迅速下降, 不同部位的出峰时间和白藜芦醇含量也不同, 葡萄幼苗通过相同处理方式后白藜芦醇含量变化有 2 个峰值。王琴飞等^[22]研究表明, 胁迫试剂的种类与浓度的不同都会影响花生中白藜芦醇含量变化的峰值和出峰时间。综上, 说明白藜芦醇含量的变化可能与花生的品种、胁迫试剂的选用和胁迫处理的部位不同有关, 具体影响因素还需进一步研究。

4 结 论

本实验以白沙花生作为实验原料, 以乙腈溶液作为提取溶剂和流动相, 经过 3 种处理方式对比, 确定了方法 3

作为最终的净化方法,即将提取后的样品溶液加入 500 ng/mL 的标准品,然后对加标样品经 10000 r/min, 5 min 离心、 C_{18} - Al_2O_3 柱子、0.22 μm 有机滤膜一系列处理,最终利用高效液相色谱法检测花生中白藜芦醇含量。同时以去离子水作为参照组,确定了 $CuSO_4$ 和壳聚糖作为胁迫试剂可以提高发芽花生中白藜芦醇的含量。3 种不同处理方式表明:用水处理后得到的白藜芦醇含量最高值为 130.2 ng/g; $CuSO_4$ 处理后发芽花生中白藜芦醇的含量最高为 568.7 ng/g,较水处理增长了 4.37 倍,且只需要 1 d;而经壳聚糖处理后发芽花生中的白藜芦醇含量最高为 383.6 ng/g,较水处理增长了 2.95 倍,但是时间反而延长至 5 d。在 3 种处理方式中,根据发芽产品的需要,用 $CuSO_4$ 和壳聚糖都可以作为胁迫试剂对发芽花生进行处理以此来提高花生不同发芽阶段白藜芦醇的含量。

参考文献

- [1] Yu J, Qi JR, Zhang LL, et al. Using the relative abundance of characteristic product ions in UHPLC-ESI-QTOF-MS2 methods to identify isomers of resveratrol oligomers in extracts of Xinjiang winegrape stems [J]. J Chromatogr B, 2018, (1096): 88–94.
- [2] Howitz KT, Bitterman KJ, Cohen HY. Small molecule activators of sirtuins extend *Saccharomyces cerevisiae* lifespan [J]. Nature, 2003, (425): 191–196.
- [3] Rao H, Chen CK, Tian Y, et al. Germination results in reduced allergenicity of peanut by degradation of allergens and resveratrol enrichment [J]. Innov Food Sci Emerg, 2018, (5): 123–128.
- [4] Zhang QH, Bian YH, Shi YY, et al. An economical and efficient technology for the extraction of resveratrol from peanut (*Arachis hypogaea*) sprouts by multi-stage counter current extraction [J]. Food Chem, 2015, (179): 15–25.
- [5] 张煜梅. 花生及其制品中白藜芦醇(苷)检测方法 with 稳定性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
Zhang YM. Research on the detection method and stability of resveratrol and polydatin in peanut [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [6] Kumaraswamy RV, Kumari S, Choudhary RC, et al. Engineered chitosan based nanomaterials: Bioactivities, mechanisms and perspectives in plant protection and growth [J]. Int J Biol Macromol, 2018, (113): 494–506.
- [7] 刘孟娟, 丁红慈, 敦伟, 等. 种衣剂类型对花生种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 花生学报, 2013, (4): 47–51.
Liu M, Ding HC, Dun W, et al. Effects of seed coating types on seed germination and seedling growth of peanut [J]. J Peanut Sci, 2013, (4): 47–51.
- [8] 翟征秋, 孙会芳, 张瑞华. 重金属铬和铜对花生种子萌发和脂肪酶活性的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, (1): 70–71.
Zhai ZQ, Sun HF, Zhang RH, et al. Effects of heavy metal chromium and copper on seed germination and lipase activity of peanut [J]. J Anhui Agric Sci, 2009, (1): 70–71.
- [9] 王婷婷. 外源铜、钙、苯丙氨酸对花生白藜芦醇合成的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
Wang TT. Effects of exogenous copper, calcium and phenylalanine on synthesis of peanut resveratrol [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [10] 张坤驰, 逄晓南, 景伟文, 等. 无机铜试剂对棉花苯丙氨酸解氨酶活性的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2009, (3): 91–94.
Zhang KC, Di DN, Jing WH, et al. Effect of inorganic copper reagent on the activity of cotton phenylalanine ammonia lyase [J]. J Xinjiang Agric Univ, 2009, (3): 91–94.
- [11] Cooksey CJ, Garratt J, Richardss E. A dienylyl stilbene phytoalexin from *Arachis hypogaea* [J]. Phytochemistry, 2018, 27(4): 1015–1016.
- [12] Liiu CHY, Wang LJ, Wang JF. Resveratrols in Vitis berry skins and leaves: Their extraction and analysis by HPLC [J]. Food Chem, 2013, (136): 643–649.
- [13] Rudolf JL, Resurreccion AV, Saalia FK. Development of a reverse-phase high-performance liquid chromatography method for analyzing trans-resveratrol in peanut kernels [J]. Food Chem, 2015, (89): 623–638.
- [14] Wang LJ, Weller CL. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants [J]. Trend Food Sci Technol, 2016, (17): 300–312.
- [15] Yu S, Zha J, Zhan W, et al. Contents comparison of resveratrol and polydatin in the wild *Polygonum cuspidatum* plant and its tissue cultures [J]. China J Chin Mater Med, 2006, 31(8): 637–641.
- [16] Lin JA, Kuo CH, Chen BY. A novel enzyme-assisted ultrasonic approach for highly efficient extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. Ultrason Sonochem, 2013, (26): 258–264.
- [17] 王小庆, 李际强, 陈戈, 等. 花生中白藜芦醇提取率影响因素的研究[J]. 粮食储藏, 2013, (4): 32–34.
Wang XQ, Li JQ, Chen G, et al. Study on the factors affecting the extraction rate of resveratrol in peanut [J]. Grain Storage, 2013, (4): 32–34.
- [18] Sanders TH, McMichael RW. Occurrence of resveratrol in edible peanuts [J]. Agric Food Chem, 2000, (48): 1243–1246.
- [19] 鲍会梅. 花生发芽过程中成分变化的研究[J]. 食品研究与开发, 2016, (17): 42–45.
Bao HM. Study on the composition change of peanut during germination [J]. Food Res Dev, 2016, (17): 42–45.
- [20] Limmongkon A, Janhom P, Amthong A, et al. Antioxidant activity, total phenolic, and resveratrol content in five cultivars of peanut sprouts [J]. Asian Pac J Trop Biomed, 2017, 7(4): 332–338.
- [21] 陈贵娜. 紫外诱导对葡萄和花生幼苗中白藜芦醇及其衍生物含量的影响[D]. 海口: 海南大学, 2010.
Chen GN. Effect of UV induction on the content of resveratrol and its derivatives in grape and peanut seedlings [D]. Haikou: Hainan University, 2010.
- [22] 王琴飞, 许强, 张如莲, 等. 激素和非生物胁迫对花生叶片白藜芦醇及其代谢产物合成的影响[J]. 中国油料作物学报, 2015, (3): 301–309, 321.
Wang QF, Xu Q, Zhang RL, et al. Effects of hormone and abiotic stress on synthesis of resveratrol and its metabolites in peanut leaves [J]. Chin J Oil Crop Sci, 2015, (3): 301–309, 321.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



靳雪雪, 硕士, 主要研究方向为食品品质调控和安全快速检测方法研究。
E-mail: jinxuexue163@163.com



袁建, 教授, 主要研究方向为食品质量安全评价与控制、粮油深加工。
E-mail: 13611513715@163.com