

新疆红肉苹果多酚的超声波辅助提取工艺优化

Optimization on ultrasound-assisted extraction of polyphenols from red-flesh apple by response surface methodology

齐娜 李涵 张志宇 邓红 虎艳 郭玉蓉 孟永宏

QI Na LI Han ZHANG Zhi-yu DENG Hong HU Yan GUO Yu-rong MENG Yong-hong

(陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西 西安 710062)

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

摘要:利用响应面法优化超声波辅助提取新疆红肉苹果多酚的工艺条件。以新疆红肉苹果为试验原料,在单因素试验基础上选择提取时间、超声功率、提取温度及料液比 4 个因素进行响应面设计,采用 Box-Behnken 中心组合试验设计和响应面分析法,确定红肉苹果多酚的最佳提取工艺。结果表明,红肉苹果多酚的最佳提取参数为:料液比 1:4 (g/mL),超声功率 360 W,提取温度 62 °C,提取时间 20 min。在该最佳条件下,新疆红肉苹果多酚得率达到 2.135 mg/g。该结果可为苹果多酚的实际生产提供借鉴。

关键词:红肉苹果;多酚;超声辅助提取

Abstract: [Objective] Response surface methodology was used to optimize the extraction process condition of polyphenols from red-flesh apple with ultrasonic assistance. [Method] Using the red-flesh apple of XINJIANG as material, on the basis of single-factor experiment, four factors, including extraction time, ultrasonic power, extraction temperature and ratio of material-to-liquid were chosen to design the experiment with response surface method. With Box-Behnken design and response surface analysis, the optimum extracting conditions of polyphenols from red-flesh apple were determined. [Result] The optimal process parameters of polyphenol extraction were determined and they were as follows: extraction time and temperature were 20 min and 62 °C, ultrasound power and ratio of material-to-liquid was 360 W and 1:4 (g/mL) respectively. [Conclusion] The polyphenols yield was achieved to 2.135 mg/g for red-flesh apple of XINJIANG under the optimized conditions. This result can provide a reference for the actual production of polyphenols.

Keywords: red-flesh apple; polyphenol; ultrasound-assisted extraction

基金项目:农业部苹果产业体系建设项目(编号:CARS-28);中央高校科研业务专项经费项目(编号:GK201405005)

作者简介:齐娜,女,陕西师范大学在读硕士研究生。

通讯作者:邓红(1967—),女,陕西师范大学副教授,博士。

E-mail: hongden@snnu.edu.cn

收稿日期:2016-05-08

中国是苹果属植物的起源中心,全世界约 35 个苹果种里中国有 27 种。中国苹果不仅种植面积和产量世界第一,其野生苹果资源也非常丰富,新疆野苹果就是其中天然存着的第三纪孑遗物种,被认为是栽培苹果的祖先^[1-3]。新疆红肉苹果(Malus niedzwetzkyana Dieck)的枝、花、果皮及果肉均为红色,是一种在新疆有着悠久栽培历史的优良果树品种,更是新疆野苹果中的一种珍贵种质^[4-5],具有丰富的遗传多样性和很高的观赏与医用价值。

新疆红肉苹果具有较强的环境适应能力和抗旱、抗寒、抗病虫等特性,其外表及果肉全红吸引了很多人的注意,近年来人们发现新疆红肉苹果具备的生物功能和潜在利用价值非常高。新疆红肉苹果含有大量的花色苷^[6-7],还含有多糖、多酚等多种活性物质^{[8]6-7}。虽然新疆红肉苹果由于口感酸涩不能鲜食而不为广大消费者所知,但是其中的苹果多酚因其抗氧化能力强,而备受人们关注^{[8]6-7[9]}。苹果多酚,作为一种植物次生代谢产物,具有抗氧化、抗辐射、抗衰老、预防心脑血管疾病以及增强免疫力等生物活性与功效^[10-12]。目前,植物多酚的提取方法较多,主要有溶剂法、超声波辅助提取、超临界 CO₂ 流体萃取等^[13-14]。而其中的超声辅助提取方法具有效率高、能量低以及节省溶剂等特点,成为有效提取多酚、多糖等活性物质的新兴技术^[15]。

张小燕等^[16]研究发现新疆野苹果多酚物质遗传多样性极为丰富,从 30 株苹果中鉴定出原花青素、没食子酸、绿原酸、对羟基苯甲酸、儿茶素、根皮素等 13 种多酚物质。Wang Xiao-qian 等^[17]发现新疆红肉苹果的酚类物质具有很好的抗氧化能力,具有非常重要的食用与药用开发价值,但是国内外对于新疆红肉苹果多酚的提取工艺及功效等方面研究还是空白。本研究旨在探索可作为一种优质功能食品资源的新疆红肉苹果多酚的高效低耗提取工艺,为进一步研究其抗癌、调节免疫等生物活性提供依据。

为了充分利用新疆红肉苹果资源,本试验拟采取超声辅助法提取新疆红肉苹果多酚,在单因素试验的基础上,通过

响应面法优化提取相关参数,确定新疆红肉苹果多酚最佳工艺条件,以期新疆红肉苹果的资源利用及其多酚的进一步研究提供理论依据,也为苹果多酚在食品及医药行业的应用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

新疆红肉苹果:于2015年9月底购于新疆塔城(此时间为当地红肉苹果成熟采收季节);

乙醇、福林酚试剂、没食子酸标准品、无水碳酸钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

超声波机:SB25-12DTDN型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

循环水式多用真空泵:SHB-III型,郑州长城科工贸有限公司;

全波长酶标仪:Multiskan Go型,美国热电公司。

1.3 试验方法

1.3.1 多酚的提取 将红肉苹果去籽全果打浆,在取样分析其水分含量的基础上,称取25.0 g红肉苹果匀浆,按相应的比例加入乙醇(浓度75%),在确定的超声功率和温度下进行一定时间的提取,然后进行抽滤。将滤液加水定容(300 mL)后混匀,取2.5 mL稀释10倍,按照分析方法测定多酚含量,计算多酚的得率。

1.3.2 多酚含量的测定与得率计算 采用福林酚比色法测定新疆红肉苹果的多酚含量。

(1) 多酚标准曲线的绘制:以没食子酸为标准物质,根据参考文献[13]修改如下:配制0.00,0.01,0.02,0.03,0.04,0.05 mg/mL的没食子酸标准溶液,分别取上述不同浓度的没食子酸标准溶液0.5 mL,加1.0 mL的福林酚试剂,5 min后再加入Na₂CO₃(75 g/L)溶液2 mL,在水浴中(50 ℃)保持5 min后冷却1 h,在760 nm处测定吸光值,以没食子酸浓度为横坐标,吸光值为纵坐标,绘制标准曲线(见图1),得 $y=6.6099x+0.0072(R^2=0.9943)$,该方程可用于提取物中多酚的定量测定。

(2) 多酚含量的分析:吸取一定质量浓度的样品溶液0.5 mL,与1.3.2(1)相同的方法加入试剂后测定吸光值,以0.5 mL蒸馏水代替样品作空白,根据上述标准曲线计算含量。

(3) 多酚得率按式(1)计算:

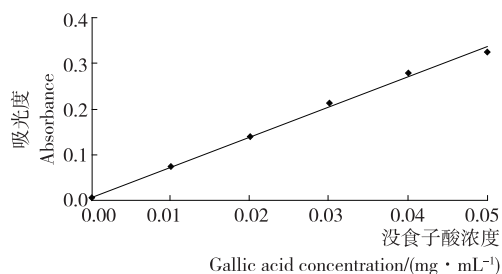


图1 没食子酸标准曲线

Figure 1 Standard curve of gallic acid

$$R = \frac{C \times V \times N}{W}, \quad (1)$$

式中:

R——多酚得率,mg/g;

C——样品液总酚浓度,mg/mL;

V——提取液体积,mL;

N——稀释倍数;

W——新疆红肉苹果原料重量,g。

1.3.3 多酚提取单因素试验 参考文献[13]和[18],分别选取提取时间、超声功率、提取温度和料液比4个因素做单因素试验,做3次重复,考察各个因素对新疆红肉苹果多酚得率的影响。

(1) 提取时间:以75%的乙醇为溶剂,超声功率为300 W,提取温度为60 ℃,料液比为1:4(g/mL),将提取时间分别设定为10,20,30,40,50 min,然后将提取液抽滤、定容,测定多酚的含量。

(2) 超声功率:以75%的乙醇为溶剂,提取时间为20 min,提取温度为60 ℃,料液比为1:4(g/mL),将超声功率分别设定为240,280,320,360,400 W,然后将提取液抽滤、定容,测定多酚的含量。

(3) 提取温度:以75%的乙醇为溶剂,提取时间为20 min,超声功率为360 W,料液比为1:4(g/mL),将提取温度分别设定为30,40,50,60,70 ℃,然后将提取液抽滤、定容,测定多酚的含量。

(4) 料液比:以75%的乙醇为溶剂,提取时间为20 min,超声功率为360 W,提取温度为60 ℃,将料液比分别设定为1:2,1:4,1:6,1:8,1:10(g/mL),然后将提取液抽滤、定容,测定多酚的含量。

1.3.4 多酚提取条件的响应面优化试验 在单因素试验结果的基础上,选定超声功率、提取时间和温度、料液比四因素为自变量,以多酚的得率为响应值(即试验指标),根据Box-Behnken原理进行4因素3水平的试验设计。

2 结果与分析

2.1 多酚提取的单因素试验结果

2.1.1 提取时间对多酚得率的影响 由图2可知,随着提取时间的增加,多酚得率则先升高后下降,在20 min时多酚得率最高。20 min后多酚得率逐渐下降可能是由于超声处理时间过长会导致多酚的氧化降解^[19-20],也可能有其他物质

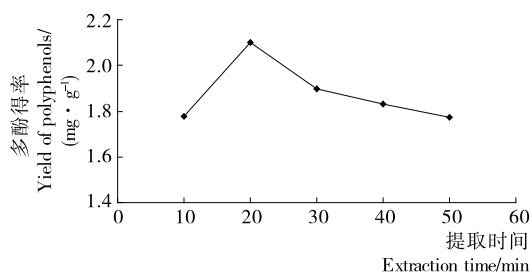


图2 提取时间对多酚得率的影响

Figure 2 Effect of extracting time on the yield of red-flesh apple polyphenols

溶出,影响多酚的得率。因此,提取时间选择 20 min 最佳。

王贤萍等^[21]的研究表明多酚的最佳提取时间为 60 min,而本试验的提取时间仅为 20 min,不仅提高了效率而且还避免了时间过长,造成多酚物质的氧化降解。

2.1.2 超声功率对多酚得率的影响 由图 3 可知,超声功率提高则多酚得率增大,当超声功率为 360 W 时,多酚得率达到最高,之后继续加大超声功率多酚得率降低。分析原因,可能是超声波的空化作用使得新疆红肉苹果的细胞壁更容易破碎,加快了苹果中多酚物质的溶出,增大多酚的得率^[22]。但是超声功率过高,会使多酚物质发生分解,使多酚得率下降。因此,超声功率选择 360 W 最佳。

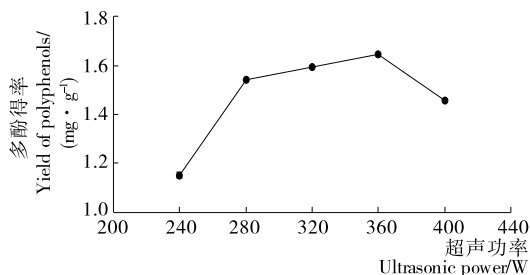


图 3 超声功率对多酚得率的影响

Figure 3 Effect of ultrasonic power on the yield of red-flesh apple polyphenols

超声辅助提取相对于其他方法具有高效、节能等特点,多酚得率会随着超声功率的增大而逐渐增大,但超声功率过高可能会引起其结构与活性的变化,本试验确定超声功率为 360 W,比许先猛等^[23]研究得出的最佳超声功率 600 W 要低,因而对多酚的破坏较小。但超声对多酚的具体影响还需要进一步研究确定。

2.1.3 提取温度对多酚得率的影响 由图 4 可知:随着温度的升高,新疆红肉苹果多酚得率逐渐增大,当温度达到 60 ℃ 时,多酚得率最高,再继续升高温度得率却逐渐降低。分析认为,温度升高,会使物质内的分子运动加快,酚物质的渗透与扩散的速度加快多,使多酚更容易溶出。但是温度过高(大于 60 ℃)时,会破坏多酚的结构,提取率急剧降低,这与任文霞等^[24]的试验结果一致。因此,提取温度选择 60 ℃ 最佳。

2.1.4 料液比对多酚得率的影响 由图 5 可知,随着溶剂用量的增大,新疆红肉苹果多酚得率呈现先上升后下降的趋

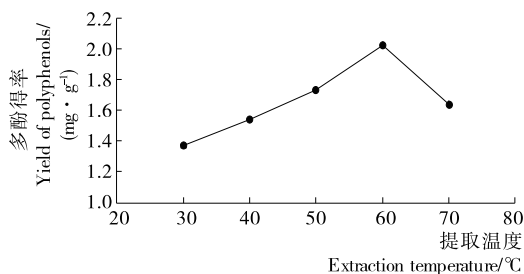


图 4 提取温度对多酚得率的影响

Figure 4 Effect of extracting temperature on the yield of red-flesh apple polyphenols

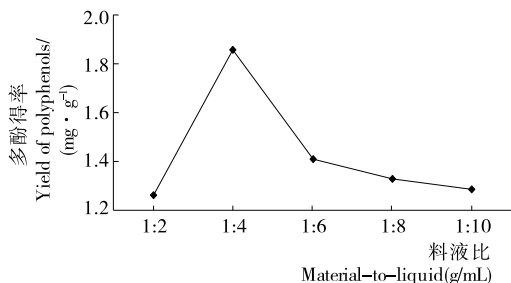


图 5 料液比对多酚得率的影响

Figure 5 Effect of material-to-liquid ratio on the yield of red-flesh apple polyphenols

势,当料液比为 1:4(g/mL)时,多酚得率最高。从提取效果与能源节省等方面综合考虑,溶剂的用量不宜过大。因此,料液比选择 1:4(g/mL)最佳。

2.2 多酚提取工艺条件的响应面优化试验结果

按照 1.3.4 的方法进行多酚提取条件的响应面优化试验,其试验因素与水平设计见表 1,试验结果见表 2。

表 1 响应面设计红肉苹果多酚提取试验的因子与水平

Table 1 The factors and levels in response surface design for polyphenol extraction of red-flesh apple

水平	X ₁ 提取时间/min	X ₂ 超声功率/W	X ₃ 提取温度/°C	X ₄ 料液比(g/mL)
-1	10	320	50	1:2
0	20	360	60	1:4
1	30	400	70	1:6

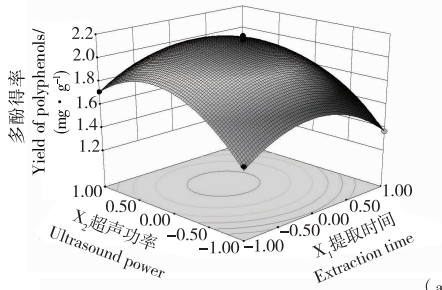
2.2.1 响应面回归模型的建立与分析 采用 Design-Expert 8.0.5 软件分析 4 个因素(提取时间、超声功率、提取温度、料液比)对多酚得率的影响,建立的二次回归模型:

$$Y = 2.13 + 0.026X_1 - 0.040X_2 + 0.13X_3 - 0.015X_4 - 0.042X_1X_2 + 0.025X_1X_3 + 0.086X_1X_4 - 0.003X_2X_3 - 0.011X_2X_4 + 0.012X_3X_4 - 0.288X_1^2 - 0.27X_2^2 - 0.32X_3^2 - 0.25X_4^2 \quad (2)$$

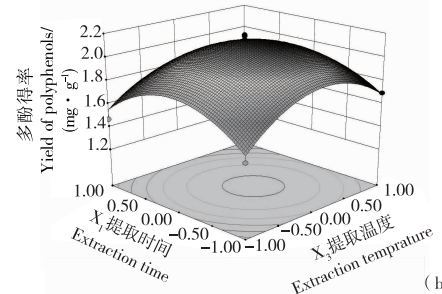
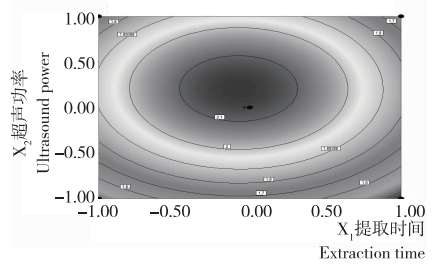
由表 3 可知,回归模型 $P < 0.0001$,具有极显著性。失拟性 $P = 0.3312 > 0.05$ 具有不显著性; $R^2 = 0.9303$, $R_{adj}^2 = 0.8607$,说明该模型拟合度较好,试验误差小。因此,可以用该模型反映响应值的变化,即用此回归模型可以准确分析和预测超声辅助提取新疆红肉苹果多酚的最佳工艺参数。

2.2.2 响应面模型分析因子间交互作用 图 6(a)~(c) 曲面相对比较陡,表明了超声功率与提取时间、提取温度与提取时间、提取时间与料液比之间的交互作用比较大,它们对多酚得率有一定影响,但不显著;图 6(d)~(f) 曲面相对比较平坦,说明提取温度与超声功率、料液比与超声功率、料液比与提取温度交互作用小,它们对多酚得率影响小。

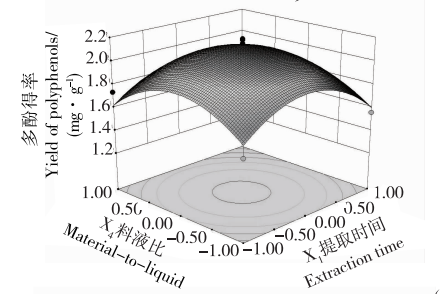
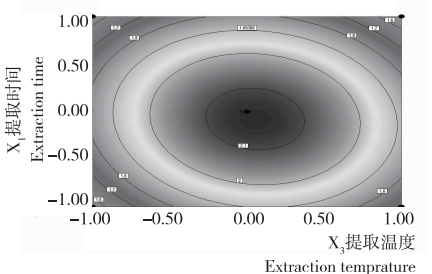
从图 6 总的来看,提取时间与其他因素的交互作用对新疆红肉苹果多酚的影响最为显著。超声功率、提取温度和料液比的交互作用对新疆红肉苹果多酚的影响显著性不明显,表现为曲线平滑。



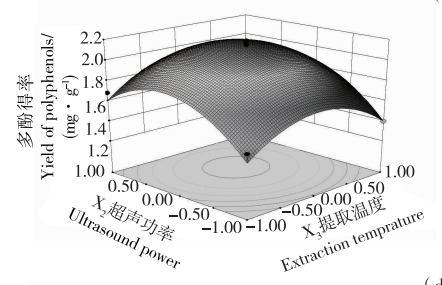
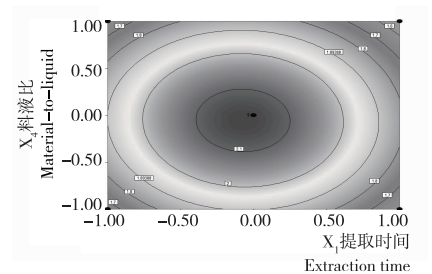
(a) 超声功率与提取时间



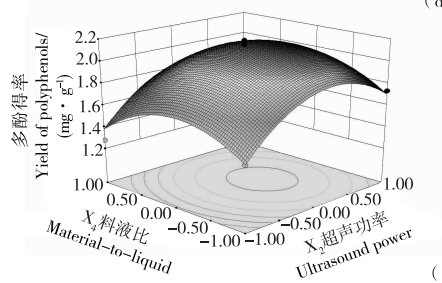
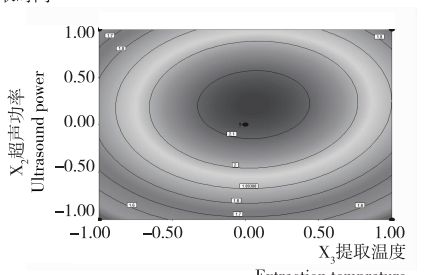
(b) 提取时间与提取温度



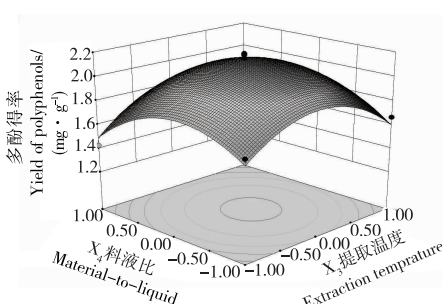
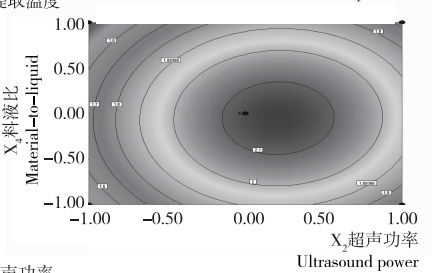
(c) 料液比与提取时间



(d) 超声功率与提取温度



(e) 料液比与超声功率



(f) 料液比与提取温度

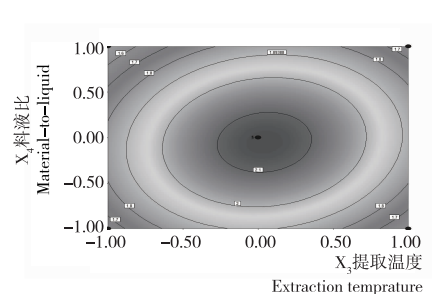


图6 试验各因素对多酚得率影响的响应面图

Figure 6 Response surface plots showing the effects of experimental factors on the yield of polyphenols

表 2 红肉苹果多酚提取试验的响应面试验设计与结果

Table 2 Response surface experimental design and results for polyphenol extraction of red-flesh apple

序号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y 多酚得率/ (mg·g ⁻¹)
1	0	1	0	-1	1.558
2	0	-1	0	-1	1.556
3	0	1	1	0	1.599
4	-1	0	1	0	1.685
5	1	1	0	0	1.505
6	-1	-1	0	0	1.492
7	-1	1	0	0	1.468
8	1	0	1	0	1.705
9	0	0	-1	1	1.278
10	0	1	-1	0	1.367
11	0	0	-1	-1	1.458
12	0	-1	-1	0	1.472
13	-1	0	0	1	1.428
14	0	-1	0	1	1.737
15	1	-1	0	0	1.696
16	0	1	0	1	1.695
17	0	0	1	1	1.602
18	0	-1	1	0	1.716
19	-1	0	0	-1	1.694
20	1	0	-1	0	1.399
21	0	0	1	-1	1.735
22	1	0	0	1	1.587
23	1	0	0	-1	1.664
24	-1	0	-1	0	1.481
25	0	0	0	0	2.150
26	0	0	0	0	2.119
27	0	0	0	0	2.176
28	0	0	0	0	1.998
29	0	0	0	0	2.187

2.2.3 最佳条件的确定以及回归模型的试验验证 利用 Design-Expert 8.0.5 软件对回归模型进行预测和分析,得到的最佳工艺参数为:提取时间 20.6 min,超声功率 356.8 W,提取温度 62.1 °C,料液比 1:3.98(g/mL),此时理论上多酚的最大得率为 2.140 mg/g。

为了结合实际生产的需要,将超声波辅助提取新疆红肉苹果多酚的各个因素进行调整,即提取时间和温度分别为 20 min、62 °C,超声功率 360 W、料液比 1:4 (g/mL);在此调整后的条件下进行验证(5 次平行实验),结果多酚得率平均为 2.135 mg/g,与理论预测值之间仅有 0.2% 的误差,证实本模型准确、有效。

苹果多酚易溶于有机溶剂,本试验采用乙醇作为提取溶剂,具有环保、无毒、安全等特点,并且还可回收利用,节省资源,这与贺金娜等^[25]的研究方法一致。

表 3 二次响应模型方差分析[†]

Table 3 ANOVA results for response surface quadratic model

方差来源	自由度	平方和	均方	F 值	P 值	显著性
回归模型	14	1.60	0.11	13.360	< 0.000 1	* *
X ₁	1	7.91×10 ⁻³	7.91×10 ⁻³	0.930	0.352	0
X ₂	1	1.90×10 ⁻²	1.90×10 ⁻²	2.220	0.158	2
X ₃	1	2.10×10 ⁻²	2.10×10 ⁻²	24.600	0.000 2	* *
X ₄	1	2.82×10 ⁻³	2.82×10 ⁻³	0.330	0.574	3
X ₁ X ₂	1	6.97×10 ⁻³	6.97×10 ⁻³	0.820	0.381	2
X ₁ X ₃	1	2.60×10 ⁻³	2.60×10 ⁻³	0.300	0.589	5
X ₁ X ₄	1	2.90×10 ⁻²	2.90×10 ⁻²	3.450	0.084	5
X ₂ X ₃	1	3.60×10 ⁻⁵	3.60×10 ⁻⁵	0.004	0.949	1
X ₂ X ₄	1	4.84×10 ⁻⁴	4.84×10 ⁻⁴	0.057	0.815	2
X ₃ X ₄	1	5.52×10 ⁻⁴	5.52×10 ⁻⁴	0.065	0.802	9
X ₁ ²	1	5.02×10 ⁻¹	5.02×10 ⁻¹	58.860	< 0.000 1	* *
X ₂ ²	1	4.81×10 ⁻¹	4.81×10 ⁻¹	55.880	< 0.000 1	* *
X ₃ ²	1	6.50×10 ⁻¹	6.50×10 ⁻¹	76.210	< 0.000 1	* *
X ₄ ²	1	4.21×10 ⁻¹	4.21×10 ⁻¹	49.330	< 0.000 1	* *
残差	14	1.20×10 ⁻¹	8.53×10 ⁻³			
失拟性	10	9.60×10 ⁻²	9.62×10 ⁻³	1.660	0.331	2
纯误差	4	2.30×10 ⁻²	5.81×10 ⁻³			
总差	28	1.71				

[†] * * 表示影响极显著(P<0.01);R²为 0.930 3,R²_{adj}为 0.860 7,S/N 为 11.391。

4 结论

(1) 试验以乙醇为溶剂通过 Box-Behnken 响应面优化并得到了提取新疆红肉苹果多酚的最佳工艺参数,在该条件下多酚的得率达到 2.135 mg/g;试验获得的回归模型也可以准确分析和预测超声辅助提取新疆红肉苹果多酚的得率;说明该工艺实际可行。

(2) 试验发现超声辅助可以提高提取效率,但对多酚物质也有影响,还需要进一步探讨超声对其组成和生物活性影响的相关性,以切实为多酚的工业化生产和应用提供指导。

参考文献

- [1] ZHOU Z Q, LI Y N. The RAPD evidence for the phylogenetic relationship of the closely related species of cultivated apple[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2000, 47(4): 353-357.
- [2] ROBINSON J P, HARRIS S A, JUNIPER B E. Taxonomy of the genus *Malus* Mill. (Rosaceae) with emphasis on the cultivated apple, *Malus domestica* Borkh[J]. Plant Systematics and Evolution, 2001, 226(1): 35-58.
- [3] HARRIS S A, ROBINSON J P, JUNIPER B E. Genetic clues to the origin of the apple[J]. Trends in Genetics, 2002, 18(8): 426-430.
- [4] 谢兵, 周杰, 朱树华. 新疆红肉苹果发育期间花青素代谢的研究[J]. 山东农业科学, 2015, 47(8): 25-29.
- [5] 张新忠, 王忆, 韩振海. 我国苹果属(*Malus* Mill.)野生资源利用的现状分析[J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(3): 8-15.

- [6] 王燕, 陈学森, 刘大亮, 等. ‘紫红1号’红肉苹果果肉抗氧化性及花色苷分析[J]. 园艺学报, 2012, 39(10): 1 991-1 998.
- [7] 王延玲. 新疆红肉苹果红色发育机理的初步研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011: 29-31.
- [8] 汪晓谦. 红肉苹果酚类代谢及其对逆境响应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [9] 玉江山·艾尼, 刘龙昌, 李文胜. 新疆古老栽培果树红肉苹果的分类、生物学特性与应用价值[J]. 林业实用技术, 2011(6): 63-64.
- [10] LIU Qin, QIU Yang, BETA T. Comparison of antioxidant activities of different colored wheat grains and analysis of phenolic compounds[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2010, 58(16): 9 235-9 241.
- [11] LI Fu-hua, ZHANG Xiao-li, ZHENG Shao-jie, et al. The composition, antioxidant and antiproliferative capacities of phenolic compounds extracted from tartary buckwheat bran [Fagopyrum tartaricum (L.) Gaerth][J]. Journal of Functional Foods, 2016, 22: 145-155.
- [12] 赵二劳, 史淑美, 王迎进, 等. 黄芩多酚超声提取工艺优化及其抗氧化性研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2012, 33(5): 30-33.
- [13] 李珍, 哈益明, 李安, 等. 响应面优化苹果皮渣多酚超声提取工艺研究[J]. 中国农业科学, 2013, 46(21): 4 569-4 577.
- [14] 吴添文. 响应面分析优化临界 CO₂ 萃取红枣多酚及其在卷烟中的应用[J]. 食品工业, 2015, 36(8): 131-136.
- [15] 杜若源, 谢晶, 王婷, 等. 超声波辅助提取银杏叶中总黄酮的工艺优化[J]. 食品与机械, 2014, 31(1): 167-170.
- [16] 张小燕, 陈学森, 彭勇, 等. 新疆野苹果多酚物质的遗传多样性[J]. 园艺学报, 2008, 35(9): 1 351-1 356.
- [17] WANG Xiao-qian, WEI Zhi-wei, MA Feng-wang. The effects of fruit bagging on levels of phenolic compounds and expression by anthocyanin biosynthetic and regulatory genes in red-fleshed apples[J]. Process Biochemistry, 2015, 50(11): 1 774-1 782.
- [18] WANG Xiao-qian, LI Cui-ying, LIANG Dong, et al. Phenolic compounds and antioxidant activity in red-fleshed apples[J]. Journal of Functional Foods, 2015, 18: 1 086-1 094.
- [19] 李倩, 李俦, 徐金龙, 等. 响应面法优化南酸枣皮中多酚提取工艺[J]. 食品工业科技, 2012, 33(20): 251-254.
- [20] 刘婷, 欧阳梦云, 王燕, 等. 刺葡萄酒渣中白藜芦醇的超声辅助提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 160-164.
- [21] 王贤萍, 张倩茹, 尹蓉, 等. 超声波辅助提取苹果多酚优化条件的研究[J]. 农产品加工, 2014(7): 12-15.
- [22] 李晓军, 潘宏利, 陈花, 等. 响应曲面法优化超声辅助提取金银花总黄酮[J]. 陕西师范大学学报, 2009, 37(2): 81-90.
- [23] 许先猛, 卢军, 宋武明. 苹果渣多酚超声提取工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(3): 36-38.
- [24] 任文霞, 李建科, 仇农学, 等. 超声波辅助提取苹果渣多酚工艺[J]. 食品与生物技术学报, 2008, 27(4): 20-23.
- [25] 贺金娜. 苹果多酚的制备、成分鉴定及其抗氧化性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014: 52.

(上接第 87 页)

术, 结合 PLC、RFID 及 OPC 技术, 利用现有的工厂自动化网络, 实现了滤棒应用的全过程实时防差错, 差错截止率 100%, 报警敏感度小于 2 s, 对于提高企业的精益管理水平起到了很好的示范作用, 具有较高的推广应用价值。也能为采用流程制造工艺的食品工业提供较好的借鉴。

参考文献

- [1] 浙江中烟工业有限责任公司, 张思荣. 现代卷烟工厂建设创新与实践[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [2] 谭鹏飞. 用于卷烟滤棒交换站的电信号自动交换系统: 中国, 200820202532.3[P]. 2008-10-29.
- [3] 李哲. 烟草行业滤棒设备数据采集方式初探[J]. 中国高新技术企业, 2011, 21(7): 135-136.
- [4] 王文, 刘剑锋, 张志远, 等. 基于 RFID 技术的滤棒输送环节纠错防错系统的设计与应用[J]. 自动化应用, 2013(10): 40-43.
- [5] 任毅, 东童童. “智能制造”对中国食品工业的影响及发展预判[J]. 食品工业科技, 2015, 36(22): 32-36.
- [6] 钱杰, 金振训, 朱立明, 等. 滤棒交换中心的数据分析与利用[J]. 科技通报, 2015, 3(11): 210-212.
- [7] 向晓波. 西门子 WINCC V7 从入门到提高[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012: 52-59.
- [8] 崔坚, 李佳, 杨光. 西门子工业网络通讯指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 117-119.

(上接第 120 页)

- [5] 邓学良, 周文化, 付希. 甘薯食品产业发展概况与前景分析[J]. 粮食与饲料工业, 2009(1): 15-16.
- [6] 王新龙, 罗红霞, 王福海, 等. 甘薯酶解工艺条件优化研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 228-231.
- [7] 吴广辉, 毕韬韬. 红薯营养价值及综合开发利用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(20): 189-192.
- [8] 王丽娟, 王琴, 温其标. 我国甘薯产业的发展现状[J]. 粮食加工, 2008, 33(1): 12-14.
- [9] 赵凯, 许鹏举, 谷广焯. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 534-536.
- [10] 尹建雄, 卢红, 谢强, 等. 3,5-二硝基水杨酸比色法快速测定烟草水溶性总糖、还原糖及淀粉的探讨[J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(6): 829-833, 838.
- [11] HU Qiu-long, TAN Lin, HENG Zhou, et al. Quantification of sugar compounds and uronic acids in enzymatic hydrolysates of lignocellulose using high-Performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection[J]. Energy Fuels, 2012, 26(5): 2 942-2 947.
- [12] 孟庆勇, 王亚飞, 揭新明, 等. 粗江蓠多糖的提取及光谱分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(10): 1 903-1 906.
- [13] 柳建良, 黄桂颖, 舒永培, 等. 贡柑不同采收期果实可溶性糖红外光谱学研究[J]. 西北农业学报, 2009, 18(1): 234-237.
- [14] 邓一清, 童银洪, 陈小丽, 等. 翡翠贻贝多糖的分离纯化及单糖组成[J]. 农业研究与应用, 2013(2): 1-8.
- [15] 马齐, 秦涛, 张强. 柿子霜成份检测分析[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(5): 143-145.
- [16] 夏延斌. 食品化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 28-29.