

柑橘皮渣中非水溶性抗氧化膳食纤维提取工艺优化

The optimization of extraction process of insoluble antioxidant dietary fiber from orange pomace

薛 山

XUE Shan

(闽南师范大学生物科学与技术学院, 福建 漳州 363000)

(College of Biological Science and Technology, Minnan normal university, Zhangzhou, Fujian 363000, China)

摘要:用酶法提取榨汁后剩余柑橘皮渣中的非水溶性抗氧化膳食纤维(IADF),并以提取物对 DPPH 自由基的清除能力作为抗氧化指标进行单因素和响应曲面优化试验。结果表明:在料液比 33.58:1(mL/g),蛋白酶用量 0.21 mL/g·皮渣,淀粉酶作用温度 67℃,糖化酶作用温度 64℃条件下,所提取的 IADF 抗氧化效果最显著,为 3.520 mmol Trolox / 100 g IADF。

关键词:柑橘;皮渣;非水溶性膳食纤维;抗氧化

Abstract: The enzymes-chemical method was used to extract the insoluble antioxidant dietary fiber (IADF) from the remaining orange pomace after oppressing juice. The single factor experiment and response surface optimization have carried out considering the clearance rate of DPPH free radical as the indicator. The results of response surface showed that the clearance rate of free radicals was best in the condition of liquid ratio 33.58 mL/g, protease dosage of 0.21 mL/g, amylase temperature of 67℃ and glucoamylase temperature of 64℃, and highest value was up to 3.520 mmol Trolox/100 g IADF.

Key words: orange; pomace; insoluble dietary fiber; antioxidant

柑橘是世界第一大、中国第二大水果。在柑橘加工过程会生成 40%~50% 的皮渣副产物,其中橘皮(黄皮层和白皮层)几乎为全果的 25%^[1]。膳食纤维(dietary fiber, DF)凭借其特殊的结构组成和生理功效得到了学术界的广泛关注。作为人体必不可少的“第七营养素”,膳食纤维因其丰富而独特的性质备受关注^[2]。然而,尽管诸多学者有研究果蔬(柑橘)^[3-4]以及粮食谷物^[5-6]中的膳食纤维提取,但是均以提取率为最终的指标,而忽略了膳食纤维中多酚物质所赋予其

的抗氧化性。据报道^[7-8],柑橘果皮中的膳食纤维中含有丰富的生物活性物质,主要包括酚酸和黄酮类化合物等自然抗氧化物质。

1998 年, Saura-Calixto^[9]基于此提出了一个新概念——抗氧化膳食纤维(antioxidant dietary fiber, ADF),即大量天然抗氧化剂结合到 DF 基质中的产物。ADF 按水中溶解性的不同分为水溶性膳食纤维(soluble antioxidant dietary fiber, SADF)和非水溶性膳食纤维(insoluble antioxidant dietary fiber, IADF),其中 IADF 中富含黄酮类(花色苷、黄烷、黄酮、黄酮醇、黄烷醇)、酚酸(没食子酸、阿魏酸)以及缩合单宁(聚合的原花色苷和分子量水解鞣质)等天然抗氧化成分^[10-12]。目前,植物性膳食纤维已被证实具有显著的抗氧化活性^[13],并且已广泛应用于食品保鲜与功能食品研发等领域^[14-15]。国外对于抗氧化膳食纤维的研究多集中于葡萄皮渣^[10]和芒果皮渣^[16]的应用研究,而有关柑橘皮渣中 ADF 的报道较少。从国内的研究情况来看,已有学者探讨了植物性食品中膳食纤维的抗氧化活性^[14],但 ADF 这一概念仅在湛小立等^[13]综述中有提出,而针对柑橘皮渣中 IADF 的研究暂未查阅到。此外,关于 IADF 的提取,国内外学者多以提取率为指标,而本试验以 IADF 的抗氧化性为基准,对 IADF 的提取方法进行优化,具有一定的创新性。本研究拟从 ADF 角度出发,以 DPPH 清除率为指标初步确定 IADF 的提取工艺,并通过单因素试验和响应面法优化提取工艺,以期日后柑橘皮渣中 IADF 的成分测定、提取利用及功能研究提供依据和参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

柑橘皮渣:重庆市柑橘研究所;

α -淀粉酶(中温):酶活 1 500 U/g,北京奥博生物技术有
限公司;

基金项目:2015 年福建省科协科技思想库研究项目(决策咨询类)重点项目(编号:FJKX-A1520);闽南师范大学博士科研启动基金(编号:2006L21513)

作者简介:薛山(1988—),女,闽南师范大学讲师,博士。

E-mail: yixunchenglion@sina.com

收稿日期:2015—12—30

酸性蛋白酶和糖化酶:酶活分别为 3 万 U/g 和 10 万 U/g,上海博蕴生物科技有限公司;

1, 1-二苯基苦基苯肼(DPPH):分析纯,美国 Sigma 公司;

甲醇、HCl、丙酮、无水乙醇、Na₂CO₃、NaOH、Na₂HPO₄和 NaH₂PO₄:分析纯,成都市科龙化工试剂厂。

1.1.2 主要仪器设备

数显恒温磁力搅拌器:85-2 型,金坛市易晨仪器制造有限公司;

台式离心机:TGL-16G 型,上海安亭科学仪器厂;

循环水式多用真空泵:SHB-III 型,郑州长城科工贸有限公司;

鼓风烘箱:DHG-9240A 型,上海一恒科技有限公司;

可见分光光度计:722 型,上海现科分光仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:HWS-26 型,上海齐欣科学仪器有限公司;

旋转蒸发器:RE-5298 型,上海亚荣生化仪器厂。

1.2 试验方法

1.2.1 柑橘皮渣预处理 将柑橘皮渣切碎(1 cm×1 cm),80 ℃烫漂 30 s,离心脱水后,于 65 ℃鼓风烘箱内干燥 48 h。干燥后的皮渣用粉碎机粉碎,过 60 目筛,密封于塑料袋中,置于阴凉干燥处备用。

1.2.2 柑橘皮渣化学组成的测定

- (1) 水分:参照文献[17]。
- (2) 总灰分:参照文献[18]¹⁻²。
- (3) 脂类:参照文献[18]⁴³⁻⁴⁶。
- (4) 粗蛋白:参照文献[18]³⁴⁻⁴²。
- (5) 可溶性糖:参照文献[19]。

(6) 可提多酚:根据 Sánchez-Alonso 等^[10]方法,修改如下:样品液的制备:称取 1.000 0 g 柑橘皮渣粉(干重),加入 40 mL 甲醇/水(体积比 1:1),用 HCl(3 mol/L)调 pH 至 2.0。将混合体系在室温搅拌 1 h,之后以 2 500×g 离心 10 min,收集上清液。向所得残渣中加入 40 mL 丙酮/水(体积比 7:3),在室温下振荡 1 h,再以 2 500×g 离心 10 min,重复两次操作。将所得上清液合并,于 50 ℃旋转蒸发,冷冻干燥后溶解于 10 mL 无水乙醇。

多酚的测定:取样品液 0.1 mL,加入 2 mL 蒸馏水和 1 mL Folin-Ciocalteu 试剂(稀释 10 倍),室温静置 6 min 后,向混合体系中加入 0.9 mL 75 mg/mL 的 Na₂CO₃溶液,定容至 10 mL。混合体系静置 2 h 后,于波长 750 nm 处测定吸光值,用蒸馏水作为空白对照。总多酚的量用没食子酸当量(GAE,mg/g·干重)来表示。

(7) 水溶性膳食纤维:参照 AOAC 法^[20]。

(8) 非水溶性抗氧化膳食纤维的制备:参照 Hassan 等^[20]方法,修改如下:称取脱脂的干燥样 1.000 0 g,溶于 50 mL pH 6.0(0.2 mol/L)的 PBS 中,加入 0.2 mL 的 α-淀粉酶溶液(50 mg α-淀粉酶溶解于 1 mL pH 6.0 的 PBS 中),盖上铝箔,于 60 ℃磁力搅拌 15 min,然后从水浴中移出,冷却到室温。用 0.325 mol/L 的盐酸调节混合体系 pH 至 2.0~

3.0,加入 0.2 mL 的蛋白酶溶液(50 mg 蛋白酶溶解于 1 mL pH 6.0 的 PBS 中),盖上铝箔,于 38 ℃磁力搅拌 0.5 h,去除样品中的蛋白质。待样品冷却至室温,用 0.275 mol/L 的 NaOH(约 10 mL)将上述溶液 pH 调节至 4.0~4.5,加入 0.3 mL/g 糖化酶溶液 1 mL,60 ℃水浴 30 min,将所得的混合体系过滤,过滤后所得的残渣分别用蒸馏水、丙酮洗涤,于 105 ℃烘至恒重即可(最终的结果应当用样品中残留的不能消化的蛋白质的含量和灰分的含量进行校正,总膳食纤维是消化后的残留物的质量减去不能消化的蛋白质和灰分质量的差值)。

1.2.3 单因素试验

(1) α-淀粉酶作用时间:考察 α-淀粉酶作用时间分别为 5,10,15,20,25 min 时,对 IADF 抗氧化性的影响。其他反应条件为:料液比 50:1(mL/g),α-淀粉酶溶液用量 0.1 mL/g·皮渣,α-淀粉酶作用温度 60 ℃,用 HCl 调节 pH 至 2.0~3.0,蛋白酶溶液用量 0.1 mL/g·皮渣,38 ℃水浴 30 min,NaOH 调节溶液 pH 至 4.2~4.6,糖化酶溶液 0.3 mL/g,60 ℃水浴 30 min。

(2) 蛋白酶作用时间:考察 38 ℃蛋白酶作用时间分别为 5,10,15,20,25 min 时,对 IADF 抗氧化性的影响。α-淀粉酶作用时间为 15 min,其他反应条件同 1.2.3(1)。

(3) 糖化酶作用时间:考察 60 ℃糖化酶作用时间分别为 5,10,15,20,25 min 时,对 IADF 抗氧化性的影响。蛋白酶作用时间为 10 min,其他反应条件同 1.2.3(2)。

(4) α-淀粉酶溶液用量:考察 α-淀粉酶溶液用量分别为 0.05,0.10,0.15,0.20,0.25 mL/g·皮渣时,对 IADF 抗氧化性的影响。糖化酶作用时间为 10 min,其他反应条件同 1.2.3(3)。

(5) 酸性蛋白酶溶液用量:考察蛋白酶溶液用量分别为 0.05,0.10,0.15,0.20,0.25 mL/g·皮渣时,对 IADF 抗氧化性的影响。α-淀粉酶溶液用量为 0.1 mL/g·皮渣,其他反应条件同 1.2.3(4)。

(6) 糖化酶用量:考察糖化酶溶液用量分别为 0.05,0.10,0.15,0.20,0.25 mL/g·皮渣时,对 IADF 抗氧化性的影响。酸性蛋白酶溶液用量为 0.20 mL/g·皮渣,其他反应条件同 1.2.3(5)。

(7) 料液比:考察料液比分别为 30:1,35:1,40:1,45:1,50:1(mL/g)时,对 IADF 抗氧化性的影响。糖化酶溶液用量为 0.15 mL/g·皮渣,其他反应条件同 1.2.3(6)。

(8) α-淀粉酶作用温度:考察 α-淀粉酶作用温度分别为 50,55,60,65,70 ℃时,对 IADF 抗氧化性的影响。其他反应条件同 1.2.3(7),料液比为 35:1(mL/g)。

(9) 糖化酶作用温度:考察糖化酶作用温度分别为 50,55,60,65,70 ℃时,对 IADF 抗氧化性的影响。α-淀粉酶作用温度为 65 ℃,其他反应条件同 1.2.3(8)。

1.2.4 试验优化设计 采用中心组合试验设计(central composite design,CCD)原理,结合单因素试验结果,以抗氧化性为响应值,对 α-淀粉酶溶液用量、α-淀粉酶作用时间、蛋白酶作用时间、糖化酶溶液用量和糖化酶作用时间进行优化。

在 α -淀粉酶用量(0.1 mL/g·皮渣)与作用时间(15 min)、蛋白酶作用时间(10 min)、糖化酶用量(0.15 mL/g·皮渣)与作用时间(10 min)固定条件下,考察料液比、酸性蛋白酶用量、淀粉酶作用温度、糖化酶作用温度对 DPPH 自由基清除率的影响。

1.2.5 非水溶性抗氧化膳食纤维对 DPPH· 的清除能力

采用以下基于固体粉末抗氧化测定的方法对 IADF 中结合态多酚的抗氧化性进行评价。试验均以溶于乙醇的 Trolox 溶液作为标准物绘制标准曲线。样品抗氧化能力用 Trolox 等价抗氧化能力(Trolox equivalent antioxidant capacity,TEAC)表示,即 Trolox $\mu\text{mol/g}$ IADF(干重),乙醇作为空白对照。

测定方法根据 Serpen 等^[21]报道,修改如下:取 10 mg IADF,加入 1.7 mL DPPH· 试剂以进行反应[0.024 mg/mL 的 DPPH 乙醇(95%)溶液]。测定操作以 DPPH· 的加入为起始,待混合物反应 0,15,25 min 时分别振荡 3 min,使得样品与 DPPH 试剂充分反应。将该混合物以 9 200×g 离心 2 min,收集上清液于 734 nm 处比色,测定吸光值。测定总时间准确控制为 30 min。

1.2.6 数据处理 用 SPSS16.0 和 Design Expert 7.1 进行数据分析。方差分析($P<0.05$ 为显著差异),用 Turkey’s HSD 进行分析,数据以平均值±标准偏差表示。

2 结果与讨论

2.1 柑橘皮渣中的化学成分

由表 1 可知,柑橘皮渣中总可提取酚含量有(2.56±0.03)%,可溶性糖含量约占 35%,基本与前人结果一致。膳食纤维含量近 80%,其中可溶性膳食纤维略高于王菁等^[22]的研究结果,可能是此次试验材料不是纯的柑橘皮,还包括榨汁后的瓢肉。

表 1 柑橘皮渣中的化学成分

Table 1 Components of orange pomace ($n=3$) %			
成分	含量	成分	含量
灰分	3.06±0.06	总多酚	2.56±0.03
脂肪	2.93±0.15	可溶性膳食纤维	40.54±0.65
粗蛋白	0.15±0.01	不溶性膳食纤维	38.54±0.39
可溶性糖	34.58±0.42	总膳食纤维	79.10±0.90

2.2 优化试验结果

根据单因素试验结果,按照中心组合试验设计,设定不同料液比、蛋白酶加入量、淀粉酶作用温度以及糖化酶作用温度(见表 2),进行四因素五水平的优化试验,结果见表 3。对表 3 数据进行多元回归拟合,获得抗氧化性(Y)的二次多项回归方程为:

$$Y=3.17+0.22X_1+0.24X_2+0.34X_3-0.062X_4-0.14X_1X_2-0.38X_1X_3+0.19X_1X_4+0.077X_2X_3+0.11X_2X_4-0.48X_3X_4-0.25X_1^2-0.27X_2^2-0.25X_3^2-0.58X_4^2。$$

(1)

表 2 中心组合设计因素水平表

Table 2 Factors and levels of central composite design				
水平	X ₁ 料液比 (mL/g)	X ₂ 酸性蛋白酶添 加量/(mL·g ⁻¹)	X ₃ 淀粉酶作 用温度/℃	X ₄ 糖化酶作 用温度/℃
−2	31:1	0.16	61	61
−1	33:1	0.18	63	63
0	35:1	0.20	65	65
+1	37:1	0.22	67	67
+2	39:1	0.24	69	69

表 3 抗氧化性的中心组合试验方案与结果

Table 3 Central composite design and results of antioxidant activity					
试验号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	TEAC/(10 ⁻² mmol Trolox·g ⁻¹ IADF)
1	−1	−1	−1	−1	0.987 332
2	1	−1	−1	−1	1.127 049
3	−1	1	−1	−1	1.304 024
4	1	1	−1	−1	1.210 879
5	−1	−1	1	−1	2.803 651
6	1	−1	1	−1	2.617 362
7	−1	1	1	−1	2.840 909
8	1	1	1	−1	2.477 645
9	−1	−1	−1	1	0.782 414
10	1	−1	−1	1	3.083 085
11	−1	1	−1	1	1.164 307
12	1	1	−1	1	2.887 481
13	−1	−1	1	1	1.136 364
14	1	−1	1	1	1.080 477
15	−1	1	1	1	2.757 079
16	1	0	0	0	1.387 854
17	−2	0	0	0	1.294 709
18	2	0	−1	0	2.924 739
19	0	−2	0	0	1.182 936
20	0	2	0	0	2.831 595
21	0	0	−2	0	1.192 250
22	0	0	2	0	2.999 255
23	0	0	0	−2	0.884 873
24	0	0	0	2	0.689 270
25	0	0	0	0	2.980 626
26	0	0	0	0	2.961 997
27	0	0	0	0	3.269 374
28	0	0	0	0	3.064 456
29	0	0	0	0	3.651 267
30	0	0	0	0	3.064 456

由方差分析可知,模型的 P 值极显著。拟合不足(Lack of Fit)检验的 P=0.059 6 ($P>0.05$),模型失拟不显著,未知

因素对试验结果干扰小。且 $R^2=87.78\%$ 说明模型拟合程度良好,试验误差小,模型选择合适。由此可用该模型来分析和预测不同反应条件下所制备的 IADF 的抗氧化性。由表 4 可知,方程中 X_3 、 $X_1 X_3$ 、 $X_3 X_4$ 、 X_2^2 、 X_3^2 对 DS 的影响极显著 ($P<0.01$), X_1 、 X_2 、 X_1^2 、 X_3^2 对 DS 的影响显著 ($P<0.05$), 说明该设计中因素对响应值的影响不是简单的线性关系,交互项和二次项都有显著影响。

由图 1(a)可知,在料液比小于 35.7 : 1(mL/g)时,随着料液比的增加,产品抗氧化性 IADF 的抗氧化性增加。当料液比大于 35.7 : 1(mL/g)以后,抗氧化性随着其用量增加有降低的趋势。同时,随着蛋白酶量的增加,更有利于 IADF

的提取,但当酶加入过多时($>0.21\text{ mL/g}\cdot\text{皮渣}$),抗氧化性出现下降的趋势。

由图 1(b)可知,当料液比一定时,淀粉酶作用温度的升高能够促进所提 IADF 的抗氧化性;当淀粉酶作用温度一定时,随着料液比的增加,所提 IADF 的抗氧化性明显增高。在料液比 34.68 : 1(mL/g),淀粉酶作用温度达 66.6 $^{\circ}\text{C}$ 时, IADF 的 DPPH · 清除率出现最大值。

由图 1(c)可知,当料液比一定时,随着糖化酶作用温度的升高,所提 IADF 的抗氧化性呈上升趋势;但温度过高后,可能会导致 DF 中的抗氧化物质如酚类被溶出,或者所提 IADF 中的结合酚被破坏。

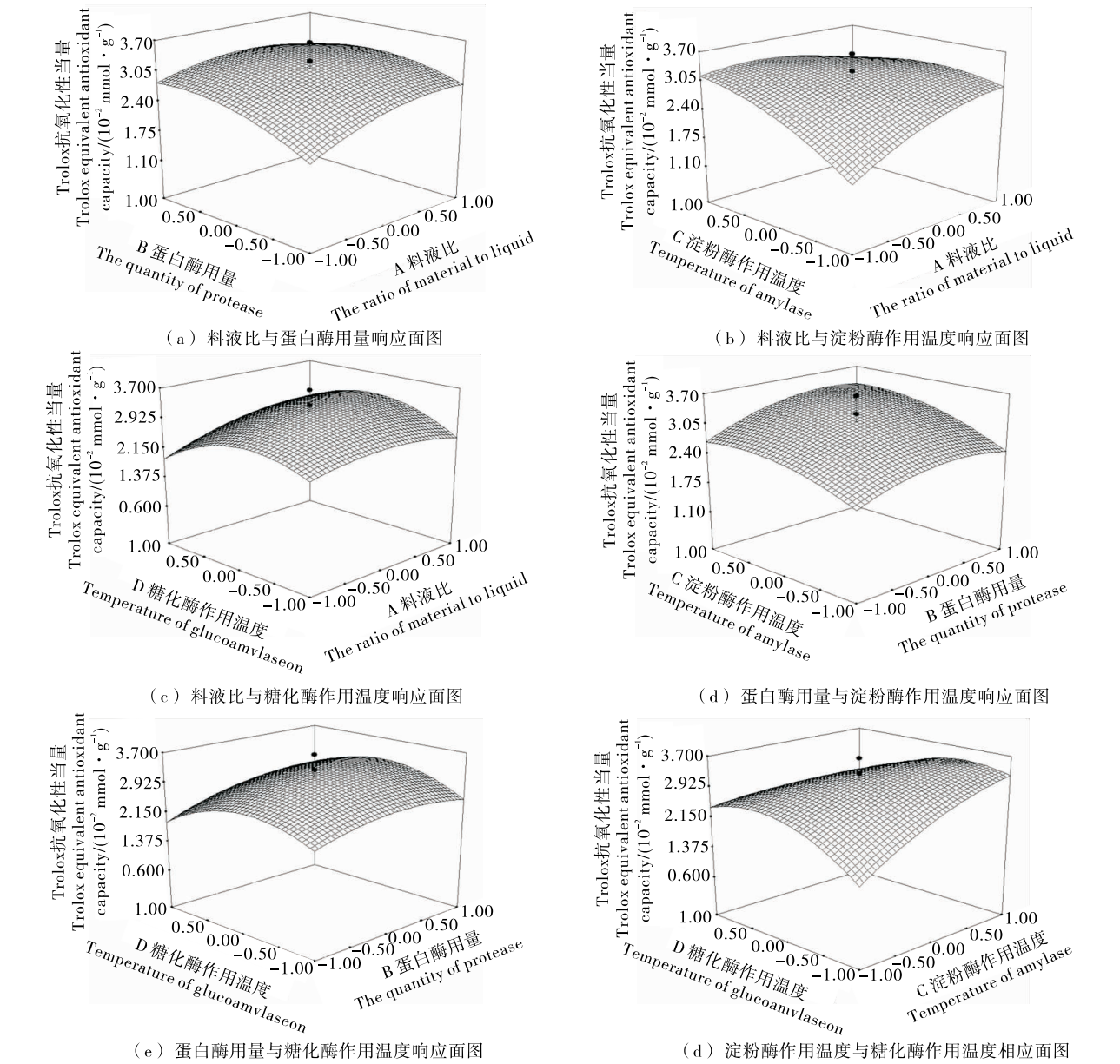


图 1 料液比、蛋白酶用量、淀粉酶作用温度、糖化酶作用温度交互响应面图

Figure 1 Interactive response surface for the ratio of material to liquid, the quantity of protease, temperature of amylase, and temperature of glucoamylase

表 4 抗氧化性的二次响应模型方差分析[†]

Table 4 ANOVA for Response Surface Quadratic Model of antioxidant activity					
方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	23.81	14	1.70	7.70	0.000 2 * *
X ₁	1.20	1	1.20	5.41	0.034 5 *
X ₂	1.36	1	1.36	6.15	0.025 5 *
X ₃	2.78	1	2.78	12.58	0.002 9 * *
X ₄	0.091	1	0.091	0.41	0.529 9
X ₁ X ₂	0.33	1	0.33	1.50	0.240 0
X ₁ X ₃	2.28	1	2.28	10.34	0.005 8 * *
X ₁ X ₄	0.60	1	0.60	2.72	0.119 8
X ₂ X ₃	0.096	1	0.096	0.43	0.520 0
X ₂ X ₄	0.21	1	0.21	0.93	0.349 4
X ₃ X ₄	3.67	1	3.67	16.62	0.001 0 * *
X ₁ ²	1.67	1	1.67	7.56	0.014 9 *
X ₂ ²	2.03	1	2.03	9.21	0.008 4 * *
X ₃ ²	1.72	1	1.72	7.77	0.013 8 *
X ₄ ²	9.14	1	9.14	41.38	< 0.000 1 * *
残差	3.31	15	0.22		
失拟	2.97	10	0.30	3.61	0.059 6
纯误差	0.34	5	0.069		
总变异	27.12	29			

[†] * * 为差异极显著(P<0.01); * 为差异显著(P<0.05)。

由图 1(d)可知,当淀粉酶作用温度控制在 66.5 ℃ 以下时,提高蛋白酶加入量,IADF 的抗氧化性有上升的趋势,当蛋白酶用量过高,会阻碍所提 IADF 抗氧化性的发挥。

由图 1(e)可知,当蛋白酶加入量一定时,随着糖化酶作用温度的增加,能够有效地提取 IADF,并且很可能对其结合的酚类等抗氧化物质起到活化作用。

由图 1(f)可知,淀粉酶作用温度一定时,随着糖化酶作用温度的升高,IADF 的抗氧化性上升。当淀粉酶的作用温度约在 67 ℃,糖化酶作用温度约在 64 ℃ 时,IADF 的 DPPH 清除率出现最大值。

利用 Design Expert 7.0 软件进行工艺参数的优化,得优化条件为:料液比 33.58∶1(mL/g),蛋白酶用量 0.21 mL/g·皮渣,淀粉酶作用温度 67 ℃,糖化酶作用温度 64 ℃。对此优化结果进行验证实验,测得产品抗氧化性为 3.520 mmol Trolox/100 g IADF,与预测值(3.556 mmol Trolox/100 g IADF)基本一致,再次验证了回归方程的正确性(相对误差 1%)。

ADF 的抗氧化性主要依赖于其中所含的多酚类物质,这些多酚物质分为可提取多酚(EPP)和不可提取多酚(NEPP),其中 EPP 较易提取,且具有很强的抗氧化活性^[10],而 NEPP 一般与膳食纤维、细胞壁、蛋白质结合紧密,难溶于有机溶剂和水。多数学者^[7,23]将抗氧化膳食纤维的抗氧化功能归结于其中的 EPP,但也有学者^[12]通过研究其中的 NEPP 发现,NEPP 猝灭过氧化自由基方面比单体酚有效15~30 倍。目前

来讲,文献对 EPP 和 NEPP 活性的报道不完全一致,推测其原因可能是与其中所含酚类的种类和含量有关。

3 结论

酶法能够有效提取柑橘皮渣中的 IADF。优化试验表明料液比 33.58∶1(mL/g),蛋白酶用量 0.21 mL/g·皮渣,淀粉酶作用温度 67 ℃,糖化酶作用温度 64 ℃ 条件下,所提取的 IADF 抗氧化效果最显著,为 3.520 mmol Trolox /100 g IADF。该研究从“ADF”这一概念出发,以 IADF 的抗氧化性为指标进行工艺优化,此内容尚未见有报道。因此,本课题的研究将为包括柑橘皮渣在内的植物性食品中 IADF 及其产品的研发、应用与推广提供理论参考和创新依据。除此之外,由于柑橘皮渣中 IADF 抗氧化活性可能与其中所含的酚类以及吸附螯合有机物的理化特性相关,具体的作用机理也将是日后进一步研究的方向。

参考文献

[1] 付复华,李忠海,单杨,等. 柑橘皮渣综合利用技术研究进展[J]. 食品与机械, 2009, 25(5): 178-184.

[2] 赵二劳,王璐. 膳食纤维的保健功能及其制备研究进展[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 165-168.

[3] 曾祥燕,赵良忠. 桔子皮渣水溶性膳食纤维提取工艺的优化[J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 193-196.

[4] 彭娅,彭荣,殷钟意,等. 柑橘皮渣水溶性膳食纤维的柠檬酸提取工艺优化[J]. 食品工业科技, 2015, 36(2): 243-247.

[5] 杜振亚,陈复生,布冠好. 小麦麸皮及其保健功能研究进展[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 253-256.

[6] 张根生,葛英亮,聂志强,等. 马铃薯渣不溶性膳食纤维超微粉碎改性工艺优化[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 186-189.

[7] CHAU C, HUANG Y. Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibre prepared from de peel of Citrus sinensis L. cv. Liucheng[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(9): 2 615-2 618.

[8] FIGUEROLA F, HURTADO M, ESTEVEZ A, et al. Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment[J]. Food Chemistry, 2005, 91(3): 395-401.

[9] 薛菲,陈燕. 膳食纤维与人类健康的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2014(2): 208-213.

[10] SÁNCHEZ-ALONSO I, JIMÉNEZ-ESCRIG A, SAURACALITO F, et al. Antioxidant protection of white grape pomace on restructured fish products during frozen storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(1): 42-50.

[11] SANCHEZ-ALONSO I, BORDERIAS A J, LARSSON K, et al. Inhibition of hemoglobin-mediated oxidation of regular and lipid-forti-fied washed cod mince by a white grape dietary fiber [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55 (13): 5 299-5 305.

[12] SÁNCHEZ-ALONSO I, BORDEÍAS A J. Technological effect of grape antioxidant dietary fibre added to minced fish muscle [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 43(6): 1 009-1 018.

(下转第 201 页)

参考文献

[1] DE BAETSS, VANDAMME E J. Extracellular *Tremella* polysaccharides: structure, properties and applications [J]. Biotechnology Letters, 2001, 23(17): 1 361-1 366.

[2] 马素云. 银耳多糖提取纯化、结构特征及溶液性质研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012: 1-3.

[3] 王斌, 连宾. 食药真菌多糖的研究与应用[J]. 食品与机械, 2005, 21(6): 96-100.

[4] CHEN Bin. Optimization of extraction of *Tremella Fuciformis* polysaccharides and its antioxidant and antitumour activities in vitro [J]. Carbohydrate polymers, 2010, 81(2): 420-424.

[5] WU Qiong, ZHENG Cheng, NING Zheng-xiang, et al. Modification of low molecular weight polysaccharides from *Tremella Fuciformis* and their antioxidant activity in vitro [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2007, 8(7): 670-679.

[6] WANG Xiao-mei, ZHANG Zhong-shan, ZHAO Ming-xing. Carboxymethylation of polysaccharides from *Tremella Fuciformis* for antioxidant and moisture-preserving activities [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 72: 526-530.

[7] 刘健影. 银耳多糖提取工艺优化及其在饮料中的应用[D]. 长春: 吉林农业大学, 2009: 5-12.

[8] GHORAI S, BANIK S P, VERMA D, et al. Fungal biotechnology in food and feed processing [J]. Food Research International, 2009, 42(5/6): 577-587.

[9] 崔蕊静, 张梅申, 刘绍军, 等. 无腥大豆中加入银耳浸提液生产酸豆奶的工艺研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 158-161.

[10] 惠秋沙. 玉米须保健饮料中多糖含量的测定[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(8): 103-105.

[11] 周国海, 张泳, 赵力超, 等. 蛹虫草多糖提取纯化工艺研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 220-224.

[12] 王玢. 银耳制品的制备及其生理功效研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2009.

[13] MENSOR L L, MENEZES F S, LEITÃO G G, et al. Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method [J]. Phytotherapy Research, 2001, 15(2): 127-130.

[14] ZHANG Min, CHEN Hai-xia, LI Jin-lei, et al. Antioxidant properties of Tartary buckwheat wheat extracts as affected by different thermal processing methods [J]. Food Science and Technology, 2010, 43(1): 181-185.

[15] 樊振江, 詹现璞, 栗亚琼, 等. 复合稳定剂对豇豆饮料稳定性的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 232-247.

[16] 李小鑫, 罗昱, 梁芳, 等. 浑浊型刺梨果汁饮料配方及其稳定性研究[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(7): 216-222.

[17] ZHANG Hui, WANG Zhang, XU Shi-ying. Optimization of processing parameters for cloudy ginkgo (*Ginkgo biloba* Linn.) juice [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(4): 1 226-1 232.

[18] 常秀莲. 两种芦荟活性成分及其热稳定性比较研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2006: 85-99.

(上接第 97 页)

[3] 胡向峰, 王黎明. 基于 SOPC 技术的高速数据采集系统的设计[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(6): 62-65.

[4] 赵擎天, 尉广军, 姚义. 基于 SOPC 的多路并行同步数字信号采集系统设计[J]. 军械工程学院学报, 2011, 23(3): 60-65.

[5] 曹乐平, 谢培甫. vfb 基于补偿模糊神经网络的立式转鼓水果分级系统设计[J]. 食品与机械, 2007, 23(2): 70-73.

[6] 施健, 何建国, 张冬, 等. 基于计算机视觉鲜枣大小分级系统研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 134-137.

[7] 党宏社, 宋晋国. 基于 ARM 的嵌入式水果大小检测与分级系统的实现[J]. 四川农业大学学报, 2011, 29(1): 89-92.

(上接第 155 页)

[13] 湛小立, 赵国华. 抗氧化膳食纤维研究进展[J]. 食品科学, 2009, 30(5): 291-294.

[14] 周小理, 钱韻芳, 周一鸣. 植物性膳食纤维抗氧化活性的研究与应用[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 158-160.

[15] 王思远, 刘学铭, 陈智毅, 等. 富含膳食纤维的柚皮粉制备及其特性研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 170-174.

[16] VERGARA V N, GRANADOS P E, AGAMA A E, et al. fibre concentrate from mango fruit: characterization, associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient [J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(4): 722-729.

[17] Association of Official Analytical Chemists. AOAC, Official Methods of Analysis, 18th ed[S]. USA, Gaithersburg: [s. n.], 2005.

[18] 全国文献工作标准化委员会第七分委会. GB/T 5009—2010 食品安全国家标准汇编[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.

[8] 李明, 赵勋杰. Sobel 边缘检测的 FPGA 实现[J]. 现代电子技术, 2009(16): 44-46.

[9] 展慧, 李小昱. 基于机器视觉的板栗分级检测方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 327-331.

[10] 袁江南. 一种图像边缘检测 FPGA 实现的快速设计方法[J]. 厦门理工学院学报, 2010, 18(1): 56-59.

[11] 安爱琴, 余泽通. 基于机器视觉的苹果大小自动分级方法[J]. 农机化研究, 2008(4): 163-166.

[12] 张辉, 曲仕茹. 基于 FPGA 硬件实现的图像边缘检测及仿真[J]. 计算机仿真, 2010, 27(3): 232-236.

[19] LIOBERA A, CANNELLAS J. Dietary fibre content and antioxidant activity of manto negro red grape (vitis vinifera): pomace and stem[J]. Food Chemistry, 2007, 101(2): 659-666.

[20] HASSAN F A, ISMAIL A, HAMID A A, et al. Characterisation of fibre-rich powder and antioxidant capacity of Mangifera pajang K. fruit peels[J]. Food Chemistry, 2011, 126(1): 283-288.

[21] SERPEN A, CAPUANO E, FOGLIANO V, et al. A new procedure to measure the antioxidant activity of insoluble food components[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(19): 7 676-7 681.

[22] 王菁, 蒲彪, 伍红梅. 柑橘果皮中主要功能性成分含量测定[J]. 食品工业科技, 2010, 31(3): 367-369.

[23] PÉREZ-JIMÉNEZ J, SERRANO J, TABERNEROM, et al. Effects of grape antioxidant dietary fiber in cardiovascular disease risk factors[J]. Nutrition, 2008, 24(7/8): 646-653.