

文冠果果壳皂甙的分离纯化 及其抗氧化活性研究

许柏艳¹, 李 金^{1,*}, 田 晶^{1,*}, 徐龙权²

(1.大连工业大学 生物工程学院, 辽宁大连 116034;

2.大连工业大学 现代教育技术部, 辽宁大连 116034)

摘要:采用 AB-8 大孔树脂对文冠果果壳皂甙进行纯化,研究了上样液质量浓度、乙醇体积分数、洗脱液流速和氢氧化钠质量分数对纯化效果的影响,进一步通过正交实验获得最佳工艺条件。实验结果表明,当上样液质量浓度为 30 g/L,乙醇体积分数为 70%,洗脱液流速为 2.0 BV/h,氢氧化钠质量分数为 0.20% 时,纯化后的文冠果果壳皂甙纯度为 67.81%,回收率为 64.04%,并具有较强的抗氧化活性,能够有效清除 DPPH 自由基。

关键词:文冠果果壳皂甙, AB-8 大孔树脂, 纯度, 回收率, 抗氧化活性

Study on purification of the saponin from *Xanthoceras sorbifolia* husk and analysis of the antioxidant activity

XU Bai-yan¹, LI Qian^{1,*}, TIAN Jing^{1,*}, XU Long-quan²

(1.School of Biological Engineering, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China;

2.Modern Education Technical Department, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract: AB-8 macroporous resin was used for the separation and purification of the *X. sorbifolia* husk saponin, and the effects of sample solution concentration, ethanol volume fraction, eluent flow rate and NaOH mass fraction were examined for the orthogonal design. Furthermore, the operating parameters were optimized to an overall consideration of purity and recovery, when the sample solution concentration was 30 g/L, ethanol volume fraction was 70%, eluent flow rate was 2.0 BV/h and NaOH mass fraction was 0.20%, the purity of the *X. sorbifolia* husk saponin was 67.81%, and the recovery ratio was 64.04%. Besides, the antioxidant activity of the *X. sorbifolia* husk saponin was analyzed, and it was indicated that the purified *X. sorbifolia* husk saponin could effectively scavenge DPPH free radical.

Key words: saponin of the *X. sorbifolia* husk; AB-8 macroporous resin; purity; recovery ratio; antioxidant activity

中图分类号: TS209

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2015)15-0252-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.15.044

文冠果,别名木瓜、文官果、僧灯毛道,是我国特有的珍稀木本油料作物,为无患子科文冠果属,分布于辽宁、河北、陕西等省,其干燥茎、枝能祛风除湿,消肿止痛,主要用于治疗风湿性关节炎等疾病,已列入《中华人民共和国药典》^[1]。文冠果果壳是文冠果进行油品加工后的主要废弃物,含有大量五环三萜类皂甙成分。与大多数皂甙的理化性质类似,文冠果果壳皂甙也是糖的衍生物,具有结构复杂,分子量较大,不易结晶,易吸潮,有苦味或辛辣味等特点;同时极性较大,易溶于热水、热乙醇、甲醇、正丁醇,难溶于丙酮、乙醚、乙酸乙酯等有机溶剂,并且具有发

泡性、溶血性和显色性。文献报道,文冠果果壳皂甙在抗炎、抗肿瘤、抑制 HIV 蛋白酶、改善学习记忆等方面具有独特的药理特性^[2-4],因此文冠果果壳资源的深度开发与高值化利用对食品、药品及保健品行业的发展具有非常重要的意义。

目前,皂甙的分离纯化方法主要有萃取法、硅胶柱层析法以及大孔吸附树脂法。萃取法需要使用大量的有机溶剂并且分离纯度不高^[5],而硅胶柱层析法对原料的预处理要求较为苛刻,分离成本也较高^[6]。与之相比,大孔吸附树脂法作为一种简便高效的方法,近来已被广泛地应用于分离纯化人参皂甙^[7]、大

收稿日期:2014-10-08

作者简介:许柏艳(1989-),女,硕士研究生,主要从事天然活性产物分离及生物转化方面的研究,E-mail:xu005693@126.com。

*通讯作者:李金(1982-),女,博士,讲师,研究方向:生物催化与生物分析,E-mail:liqian19820903@163.com。

田晶(1966-),女,博士,教授,研究方向:生物催化与生物分析,E-mail:tianjing@dlpu.edu.cn。

基金项目:辽宁省自然科学基金(2013020167)。

皂甙^[8]、黄芪皂甙^[9]、苦瓜皂甙^[10]、豆角皂甙^[11]等,纯化率达 54.61%~69.04%,并且具有稳定性高、选择性强、解吸条件温和、成本低廉、无污染、可再生等优点^[12]。大孔吸附树脂应用于皂甙类成分的富集纯化具有很好的效果,但其吸附性能及其解吸、纯化条件参数因所分离物质的理化性质不同而不同^[13]。本文以文冠果果壳为实验原料,采用 AB-8 大孔吸附树脂对文冠果果壳皂甙的分离纯化工艺进行深入研究,进一步分析了文冠果果壳皂甙对 DPPH 自由基的清除能力。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

文冠果果壳 内蒙古赤峰林场;AB-8 大孔树脂 南开大学化工厂;齐墩果酸 大连美仑生物技术有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH) 西安沃尔森生物技术有限公司;抗坏血酸(V_c)、香草醛、浓硫酸、正丁醇 天津市科密欧化学试剂有限公司;乙酸乙酯、氢氧化钠 天津市东丽区天大化学试剂厂;盐酸 辽宁新兴试剂有限公司;甲醇 北京化工厂;无水乙醇 大连市酒精厂。

T500 型电子天平 美国双杰兄弟(集团)有限公司;RE-52 旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;DHG-9076A 型电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司;Lambda-35 型紫外分光光度计 美国 PE 公司;HH-8 数显恒温水浴锅 江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司;SHZ-D 真空抽滤泵 巩义市英峪华仪器厂;TGL-16G 高速离心机 上海安亭科学仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 标准曲线的绘制 以齐墩果酸为标准物,采用香草醛-硫酸法于 537 nm 处进行测定^[14]。

1.2.2 文冠果果壳粗皂甙的提取 用微型植物粉碎机将文冠果果壳粉碎并过 20 目筛。用电子天平称取干燥至恒重的文冠果果壳粉末 200.0 g,置于 5000 mL 三角瓶中,加入 70% 的乙醇溶液 1400 mL,在 70 °C 下加热回流提取 4 h;然后用布氏漏斗进行抽滤,将滤液减压蒸馏回收乙醇至 20%,室温静置过夜;过滤除去胶质,继续回收乙醇得浸膏 26.0 g。将浸膏 8 倍水量溶解,3500 r/min 离心分离 15 min,取上清液。加入等体积的乙酸乙酯萃取 2~3 次,静置,待明显分层后,取下层液,称为萃取液 A;向萃取液 A 中加入等体积的水饱和正丁醇萃取 2~3 次,静置,待分层后,取上层液,称为萃取液 B;将萃取液 B 倒入 500 mL 烧瓶中,置于旋转蒸发器上,70 °C 下旋转蒸发,进一步烘干后得到粗皂甙粉末^[15-16]。用电子天平准确称量,得到的粗皂甙粉末为 5.275 g。依此计算:文冠果果壳皂甙得率(%) = 粗皂甙粉末质量(g)/文冠果果壳粉末质量(g) × 100。

1.2.3 文冠果果壳皂甙分离纯化工艺研究

1.2.3.1 单因素实验 分别配制浓度为 10、20、30、40、50 g/L 的文冠果果壳粗皂甙溶液,在树脂分离柱中吸附平衡 2 h 后,用 0.2% NaOH 溶液洗柱,除去样品中可能存在的单宁、黄酮等杂质;再用去离子水洗柱至流出液呈中性;最后用 80% 的乙醇以 2 BV/h 的

流速洗柱,将皂甙完全洗脱,收集洗脱液,确定最佳上样液浓度。其它操作条件不变,分别考察体积分数为 50%、60%、70%、80%、90% 的乙醇溶液对文冠果果壳皂甙分离纯化过程的影响。进一步研究洗脱液流速为 1、1.5、2、2.5、3 BV/h 时对皂甙纯化过程的影响。在此基础上,采用质量浓度为 0.1%、0.15%、0.2%、0.25%、0.3% 的 NaOH 溶液洗柱,考察不同浓度的 NaOH 溶液对皂甙纯化过程的影响。

1.2.3.2 正交实验 在单因素实验基础上,进一步采用 $L_9(3^4)$ 正交表(表 1),确定各因素的实验水平,对文冠果果壳皂甙纯化过程进行研究。每个实验平行测定 3 次,从而确定文冠果果壳皂甙的最佳分离纯化工艺条件。

表 1 正交实验因素与水平表

Table 1 Factors and levels of the orthogonal test

水平	因素			
	A 上样液 质量浓度 (g/L)	B 乙醇 体积分数 (%)	C 洗脱液 流速 (BV/h)	D NaOH 质量分数 (%)
1	20	70	1.5	0.15
2	30	80	2.0	0.20
3	40	90	2.5	0.25

1.2.4 文冠果果壳皂甙含量、纯度及回收率的计算

准确称取文冠果果壳粗皂甙 20 mg,置于 10 mL 容量瓶中,加入适量甲醇使其完全溶解,定容至刻度并摇匀,根据 1.2.1 中的标准曲线计算皂甙含量及纯度。

在 AB-8 大孔树脂分离纯化文冠果果壳皂甙的实验中,准确移取 100 μ L 洗脱液,按照 1.2.1 方法测定皂甙的质量浓度 C_1 (g/L),并乘以洗脱液体积 V_1 (L) 得到纯化后的总皂甙质量(g),再根据洗脱液干燥至恒重后的质量 m_1 (g)、上样液中文冠果果壳皂甙的质量浓度 C_0 (g/L) 和上样液体积 V_0 (L),即可计算出经大孔树脂分离纯化后文冠果果壳皂甙的纯度 P 和回收率 R:

$$P(\%) = (C_1 \times V_1) / m_1 \times 100 \quad \text{式(1)}$$

$$R = (C_1 \times V_1) / (C_0 \times V_0) \quad \text{式(2)}$$

1.2.5 文冠果果壳皂甙的 DPPH 清除活性分析 准确称取 DPPH 25.8 mg,用无水甲醇定容至 100 mL,得到质量浓度为 0.258 g/L 的 DPPH 母液,再稀释成质量浓度为 0.0515 g/L 的 DPPH 标准溶液,避光备用。取不同质量浓度的纯化后文冠果果壳皂甙溶液,并以 V_c 为阳性对照,根据文献方法计算出其对 DPPH 自由基的清除率^[17-18]。为了便于比较二者抗氧化活性的强弱,选用 IC_{50} 值(清除率为 50% 时的质量浓度值)作为其清除 DPPH 自由基能力的测定指标, IC_{50} 值越小,说明对 DPPH 自由基的清除能力越强。

1.3 数据统计分析

所有实验至少重复 3 次,采用 SPSS 17.0 进行实验设计和数据分析,并用 Origin 7.5 科学绘图软件进行制图。

2 结果与讨论

2.1 文冠果果壳皂甙测定的标准曲线

标准曲线为 $y = 0.0055x - 0.0090$, $R^2 = 0.9985$, x 为齐墩果酸标准品质量浓度 ($\mu\text{g}/\text{mL}$), y 为吸光值。

2.2 文冠果果壳皂甙的含量及纯度

采用乙醇回流法提取文冠果果壳皂甙, 得率为 2.64%, 纯度为 30.31%, 文冠果果壳皂甙含量为 0.80%, 与文献报道的文冠果果壳总皂甙含量基本一致^[15-16, 19-20]。

2.3 单因素实验

2.3.1 上样液质量浓度对文冠果果壳皂甙纯化效果的影响 如图 1 所示, 随着上样液质量浓度的增加, 文冠果果壳皂甙的纯度和回收率均呈现先增后减的规律, 且都在 30 g/L 时达最大值。这主要是由于, 上样液质量浓度较低时, 皂甙分子容易被树脂吸附, 使纯度和回收率增大; 而上样液质量浓度过高时, 树脂表面过量吸附的一些分子, 会阻碍部分皂甙分子进入树脂内部, 从而导致吸附率下降, 使纯度和回收率有所降低^[21]。据此选择上样液质量浓度 30 g/L 为较适宜的操作条件。

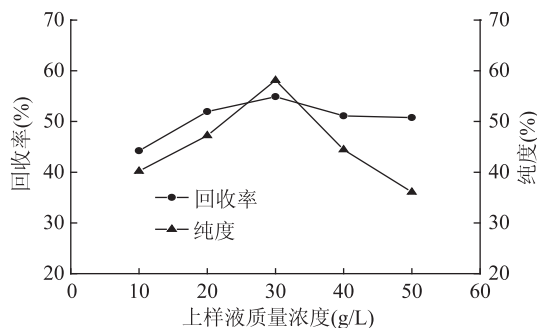


图 1 上样液质量浓度对皂甙纯化的影响
Fig.1 Effect of sample solution concentration on saponin purification

2.3.2 乙醇体积分数对文冠果果壳皂甙纯化效果的影响 由图 2 可知, 随着乙醇体积分数的增加, 大孔树脂吸附的皂甙更容易被洗脱下来, 因此皂甙的纯度和回收率逐渐升高。当乙醇体积分数达到 80% 时, 皂甙的回收率和纯度都达最大值, 分别为 54.90% 和 58.13%。进一步增加乙醇体积分数, 由于一些吸附在树脂上的非极性成分也被洗脱下来, 会使皂甙纯度和回收率均有所降低^[22]。因此, 选择 80% 为较适宜的乙醇体积分数。

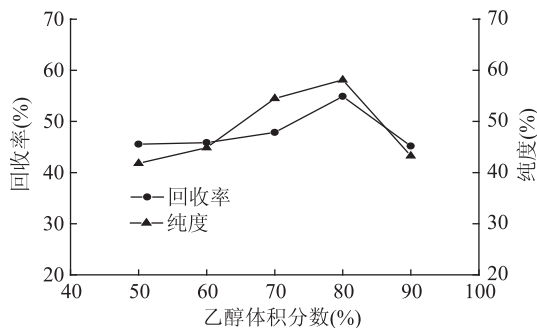


图 2 乙醇体积分数对皂甙纯化的影响
Fig.2 Effect of ethanol volume fraction on saponin purification

2.3.3 洗脱液流速对文冠果果壳皂甙纯化效果的影响 如图 3 可以看出, 洗脱液流速在一定程度上会影响皂甙的洗脱程度。较慢的流速可以使皂甙分子充分地溶于洗脱液中, 使总体洗脱量增加, 进一步提高回收率和纯度。当流速继续增大时, 部分皂甙分子可能来不及被洗脱液洗脱, 仍吸附在树脂柱上, 导致回收率和纯度降低。综合考虑纯度和回收率两个因素, 确定较适宜的洗脱液流速为 2.0 BV/h。

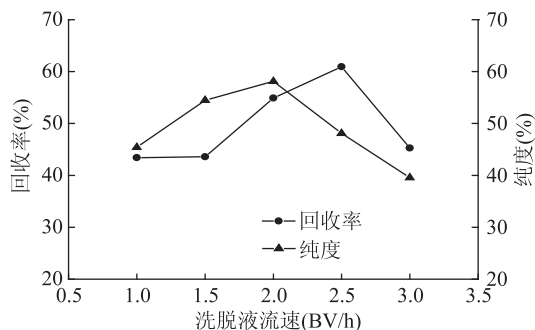


图 3 洗脱液流速对皂甙纯化的影响

Fig.3 Effect of eluent flow rate on saponin purification

2.3.4 NaOH 质量分数对文冠果果壳皂甙纯化效果的影响 如图 4 可知, NaOH 质量分数较低时, 粗皂甙中可能含有的单宁和黄酮等杂质解离不完全, 仍吸附在树脂上, 导致皂甙分子在树脂表面的吸附量下降, 回收率较低; 进一步用乙醇洗脱时, 这些杂质也被一同洗脱下来, 因此纯化效果较差; 当 NaOH 质量分数较高时, 由于单宁和黄酮类物质完全解离, 呈离子化状态而被洗脱除去, 同时部分皂甙分子也被洗脱下来, 所以回收率和纯度都降低^[22]。综合考虑回收率和纯度, 确定较适宜的 NaOH 质量分数为 0.20%。

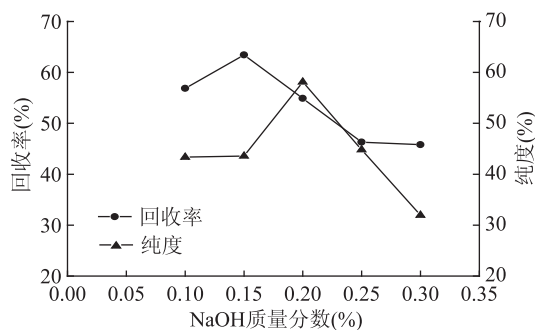


图 4 NaOH 质量分数对皂甙纯化的影响

Fig.4 Effect of NaOH mass fraction on saponin purification

2.4 正交实验结果与分析

在单因素实验基础上, 采用 $L_9(3^4)$ 正交设计方法, 实验结果如表 2 所示。

对于文冠果果壳皂甙的分离纯化过程, 希望能兼顾产品纯度和回收率。由表 2 中的正交实验结果, 综合考虑纯度以及回收率, 使其权重各占 50%, 通过综合得分 (Total Points, TP) 确定较优的分离纯化条件为 $A_2B_1C_2D_3$, 此时文冠果果壳皂甙的纯度为 66.26%, 回收率为 62.58%。

根据表 2 的极差分析可知, 文冠果果壳皂甙纯化效果影响因素的主次关系分别为, $A > B > D > C$,

并且 A₂B₁C₂D₂ 为较好条件,通过实验得出该操作条件下文冠果果壳皂甙的纯度为 67.81%,回收率为 64.04%,均高于正交实验 A₂B₁C₂D₃ 的结果。进一步由表 3 的方差分析结果可知,因素 A、B、D 均对文冠果果壳皂甙的纯化过程有显著性影响,而因素 C 对该过程无显著性影响。

表 2 正交实验结果

Table 2 Results of the orthogonal test

实验号	A	B	C	D	P (%)	R (%)	TP
1	1	1	1	1	44.76	49.23	72.82
2	1	2	2	2	40.11	54.82	73.75
3	1	3	3	3	37.21	49.00	66.94
4	2	1	2	3	66.26	62.58	99.62
5	2	2	3	1	60.82	41.22	78.59
6	2	3	1	2	46.13	63.05	84.81
7	3	1	3	2	51.35	60.79	86.98
8	3	2	1	3	46.59	49.69	74.56
9	3	3	2	1	34.79	46.97	63.50
K ₁	71.17	86.47	77.39	71.63			
K ₂	87.67	75.63	78.95	81.84			
K ₃	75.01	71.75	77.50	80.37			
R	16.50	14.72	1.56	10.21			

注:TP = (P_i/P_{max} × 50% + R_i/R_{max} × 50%) × 100, i = 1, 2, 3, ……9。

表 3 正交实验方差分析表

Table 3 Variance analysis of the orthogonal test

方差来源	偏差平方和	自由度	F	p
A	447.407	2	98.180	<0.05
B	349.362	2	76.665	<0.05
C	4.557	2	1.000	
D	182.744	2	40.102	<0.05
E(误差)	4.56	2		

注:α 为 F_{0.05}(2,2) = 19.0。

综上所述,采用 AB-8 大孔树脂分离纯化文冠果果壳皂甙的最佳工艺条件为 A₂B₁C₂D₂,即上样液质量浓度为 30 g/L,乙醇体积分数为 70%,洗脱液流速为 2.0 BV/h,NaOH 质量分数为 0.20%,此时文冠果果壳皂甙的纯度为 67.81%,回收率为 64.04%。

2.5 文冠果果壳皂甙的 DPPH 清除活性分析

实验结果如图 5 所示,由图 5 可以看出,随着文冠果果壳皂甙质量浓度的增加,其对 DPPH 自由基的清除率逐渐增大,说明皂甙质量浓度与抗氧化活性存在一定的量效关系。当质量浓度较低时,文冠果果壳皂甙的抗氧化活性较弱,其对 DPPH 自由基的清除率为相同浓度 V_c 清除能力的 29%~67%。当文冠果果壳皂甙质量浓度增加至 2.0 g/L 时,对 DPPH 自由基的清除率可达 90.17%。进一步得出 V_c 和文冠果果壳皂甙的 IC₅₀ 值分别为 0.154 g/L 和 0.41 g/L,说明纯化后的文冠果果壳皂甙具有较强的清除 DPPH 自由基的能力。

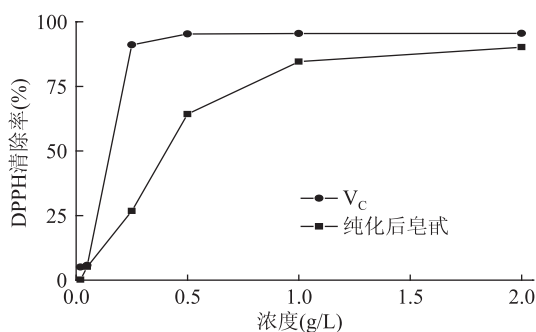


图 5 纯化后文冠果果壳皂甙与 V_c 对 DPPH 自由基的清除率

Fig.5 Comparison of DPPH free radical scavenging activity between purified X.sorbifolia husk saponin and V_c

3 结论

本实验采用乙醇回流法提取文冠果果壳皂甙,得率为 2.64%,皂甙含量为 0.80%。利用 AB-8 大孔树脂对文冠果果壳皂甙进行分离纯化,获得最佳纯化工艺条件为:上样液质量浓度 30 g/L,乙醇体积分数 70%,洗脱液流速 2.0 BV/h,NaOH 质量分数 0.20%。纯化后文冠果果壳皂甙的纯度为 67.81%,是纯化前皂甙纯度的 2.24 倍,同时皂甙的回收率可达 64.04%。实验结果表明,V_c 和文冠果果壳皂甙的 IC₅₀ 值分别为 0.154 g/L 和 0.41 g/L,说明纯化后的文冠果果壳皂甙具有较强的清除 DPPH 自由基的能力。这将为文冠果果壳的资源化利用及其在食品、保健品行业的深入开发提供基础数据。

参考文献

- [1] 马养民,王佩.文冠果化学成分研究进展[J].西北林学院学报,2010,25(4):170-174.
- [2] 张洪梅,周泉城.文冠果壳皂苷提取物抑制酪氨酸酶活性的研究[J].中国粮油学报,2013,28(5):54-56.
- [3] Ma CM, Nakamura N, Hattori M, et al. Inhibitory effects on HIV-1 protease of constituents from the wood of Xanthoceras sorbifolia [J]. Journal of Natural Products, 2002, 63 (2): 238-242.
- [4] 刘新霞,杨新爱,屈婵,等.文冠果果壳提取物对学习记忆障碍的改善作用[J].中药新药与临床药理,2007,18(1):23-25.
- [5] 何云,王艳荣,王彦华,等.苜蓿皂甙提取测定研究进展[J].广东农业科学,2008(1):82-84.
- [6] 胡森,钱国平,苏宝根,等.硅胶柱层析纯化青蒿素[J].华西药理学杂志,2005,20(4):283-285.
- [7] 蔡雄,刘中秋,王培训,等.大孔吸附树脂富集纯化人参总皂苷工艺[J].中成药,2001,23(9):631-633.
- [8] 范远景,王俊伟.大豆皂苷的提取和纯化工艺研究[J].安徽农业科学,2007,35(35):11354-11355.
- [9] 孙亦群,黄可儿.大孔吸附树脂纯化黄芪总皂苷的工艺优化研究[J].中成药,2011,33(11):1911-1914.
- [10] 李健,张令文,刘宁,等.大孔吸附树脂法纯化苦瓜皂苷工艺的研究[J].食品工业科技,2007,28(7):127-130.
- [11] 李健,吴佳慧,黎晨晨.豆角皂苷的纯化工艺研究[J].哈

(下转第 269 页)

高。因此,往鸡蛋干中添加三聚磷酸钠 0.174%,六偏磷酸钠添加量 0.141%,焦磷酸钠添加量 0.124%时,产品的硬度、弹性和亮度值 L^* 均较好。

表9 正交实验方差分析

因素	偏差平方和	自由度	F 比	F 值	显著性
A	0.088	2	0.044	17.222	0.055
B	0.120	2	0.060	23.348	0.041
C	0.237	2	0.119	46.278	0.021
误差	0.005	2	0.003		

3 结论

适当添加磷酸盐可显著改善全蛋液鸡蛋干的硬度、胶黏性、咀嚼性、弹性,适度提高内聚性和回复性,鸡蛋干的亮度值 L^* 和黄度值 b^* 也随磷酸盐添加量增大呈显著上升。经正交实验可知,当复合磷酸盐配方为:三聚磷酸钠添加量为 0.174%,六偏磷酸钠添加量为 0.141%,焦磷酸钠添加量为 0.124%时,全蛋液鸡蛋干的品质特性达到最佳。影响鸡蛋干质构和色泽的主次顺序为焦磷酸钠 > 六偏磷酸钠 > 三聚磷酸钠。目前,全蛋液中蛋白与蛋黄的相互作用对磷酸盐作用效果的影响研究还比较少,蛋黄中脂类对于全蛋液凝胶各项性能的影响也还需要进一步探讨。

参考文献

- [1] 王也,黄茜,马美湖.方便风味蛋制品研究进展[J].农产品加工(学刊),2014(5):70-72.
 [2] 林勉,刘通讯.磷酸盐品质改良剂在食品工业中的应用[J].食品与机械,1999(4):7-9.
 [3] 韩敏义,李巧玲,陈红叶,等.复合磷酸盐在食品中的应用

[J].中国食品添加剂,2004(3):93-96.

[4] Detienne N A, Wickeu L. Sodium chloride and tripolyphosphate effects on physical and quality characteristics of injected pork loins [J]. Journal of Food Science, 1999, 64(6): 1042-1047.

[5] 程春梅.磷酸盐在肉类加工中的应用[J].肉类工业,2007(11):33-34.

[6] 余秀芳.卤蛋加工技术与品质变化研究[D].武汉:华中农业大学,2011.

[7] 李云雁,胡传荣.实验设计与数据处理[M].北京:化学工业出版社,2008:134-136.

[8] 田锐花.多聚磷酸盐对牛肉加工特性的影响研究[D].南京:南京农业大学,2012.

[9] 周长旭.鸡蛋热诱导凝胶形成及凝胶特性的研究[D].南京:南京农业大学,2012.

[10] POYRAZO G LU O, ERTAŞ A H. Effect of sodium tripolyphosphate on some physical, chemical and sensorial properties of hamburgers [J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 1997, 21(3): 289-293.

[11] 朱晓龙.磷酸盐在肉类加工中的应用及检测[J].肉类工业,2003(7):36-41.

[12] 范劲松,李斌,范莹,等.三种磷酸盐对咸蛋清质构的影响[J].食品科技,2010,35(6):257-261.

[13] 王景成,周佳萍.蛋黄颜色的着色机理及改善措施[J].饲料博览,2008(6):17-18.

[14] 李树清,黄刚,王庆玉.皮蛋加工贮藏过程中蛋黄颜色变化机理的研究[J].食品科学,1992,13(2):18-22.

[15] Thorarinsdottir K A, Arason S, Bogason S G, et al. Effects of Phosphate on Yield, Quality, and Water-Holding Capacity in the Processing of Salted Cod (*Gadus morhua*) [J]. Journal of Food Science, 2001, 66(6): 821-826.

(上接第 255 页)

尔滨商业大学学报,2011,27(5):717-719.

[12] 王清亭,王晓东,赵兵.大孔树脂分离纯化文冠果种仁中总皂苷[J].食品工业科技,2013,34(10):219-224.

[13] 侯世祥,田恒康.大孔吸附树脂在中药复方分离纯化工艺中的应用[J].中药新药与临床药理,2000,11(3):131-132.

[14] 张崇禧,郑友兰,张春红,等.大孔树脂吸附人参总皂苷工艺及再生使用的研究[J].中国药学杂志,2003,38(9):661-664.

[15] 吴伟杰,李博生.泡沫分离法提取文冠果果皮皂苷的工艺条件[J].浙江农业科学,2010,4:816-819.

[16] 李光勋,王力华,陈玮.正交实验优选文冠果壳中文冠果壳皂苷提取工艺[J].食品科学,2009,30(2):58-60.

[17] 陈德力,肖曼,刘平怀.海南核果木抗氧化活性[J].精细化工,2011,28(11):1103-1106.

[18] 王金梅,张旭,康文艺.苍术及其麸炒品抗氧化活性研究[J].精细化工,2010,27(7):664-666.

[19] 李光勋,王力华,陈玮.分光光度法测定文冠果壳总皂苷含量研究[J].安徽农业科学,2008,36(8):3071-3072.

[20] 郭影,王世成,窦德强.不同产地文冠果果壳中总皂苷含量测定[J].辽宁中医药大学学报,2009,11(5):165-166.

[21] 梁桂娟.野木瓜总皂甙的分离纯化及抗氧化活性研究[D].贵州:贵州大学,2007.

[22] 常慧,田晶,徐龙权,等.AB-8 大孔吸附树脂纯化油茶皂苷[J].大连工业大学学报,2009,28(2):84-86.