

杨 恒, 时海波, 邹 烨, 等. 超声波辅助酸提鸡肺胶原蛋白的持油性和乳化性[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(4): 940-947.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.04.027

超声波辅助酸提鸡肺胶原蛋白的持油性和乳化性

杨 恒^{1,2}, 时海波², 邹 烨¹, 王道营¹, 徐为民¹, 李鹏鹏¹, 张新笑¹

(1. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2. 南京财经大学食品科学与工程学院, 江苏 南京 210023)

摘要: 以鸡肺为原料, 乙酸为提取剂, 采用超声波辅助酸提法提取胶原蛋白, 通过 Box-Behnken 试验设计分析法优化提取工艺。在单因素试验的基础上, 以超声波功率、料液比和提取时间为因素, 胶原蛋白得率为响应值, 设计响应面试验, 并比较常规酸提和超声波辅助酸提胶原蛋白的疏水性能、持油性能和乳化性能。结果显示, 鸡肺胶原蛋白的超声波辅助酸提最佳条件为超声波功率 365 W、料液比 1:90(质量体积比)、提取时间 320 min, 胶原蛋白得率占除杂后冻干鸡肺(干质量)的 39.55%, 其得率比常规酸提的提高了 3.71 倍; 超声波辅助酸提的胶原蛋白疏水性、持油性和乳化活性分别比常规酸提的提高了 64.0%、68.6% 和 32.4%。

关键词: 鸡肺胶原蛋白; 超声波辅助提取; 响应面; 蛋白质功能特性

中图分类号: **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)04-0940-08

The oil-holding capacity and emulsifying properties of collagen from chicken lung extracted by ultrasonic-assisted acid method

YANG Heng^{1,2}, SHI Hai-bo², ZOU Ye¹, WANG Dao-ying¹, XU Wei-min¹, LI Peng-peng¹, ZHANG Xin-xiao¹

(1. Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China)

Abstract: Using chicken lung as raw material and acetic acid as extractant, collagen was extracted by ultrasonic assisted acid method, and the extraction technology was optimized by Box-Behnken experimental design analysis. On the basis of the single factor experiment, the ultrasonic power, the ratio of material to liquid and the extraction time were taken as factors. The yield of collagen was the response value, and the response surface test was designed. The hydrophobic properties, oil-holding properties and emulsifying properties of collagen by conventional extraction and ultrasonic assisted extraction were compared respectively. The results showed that the optimal extraction conditions of chicken lung collagen were ultrasonic power of 365 W, ratio of material to liquid of 1:90, extraction time of 320 min, and the yield of collagen accounted for 39.55% of the lungs (dry weight) of freeze-dried chicken after decontamination. The yield of collagen by ultrasonic assisted extraction was 3.71 times higher than that

by conventional extraction, and the hydrophobicity, oil-holding and emulsifying properties of collagen by ultrasonic assisted extraction were 64.0%, 68.6% and 32.4% higher than those by conventional extraction, respectively.

Key words: collagen of proteins from chicken lung; ultrasonic-assisted extraction; response surface; functional properties

收稿日期: 2018-12-22

基金项目: 国家现代农业(肉鸡)产业技术体系建设专项(CARS-41); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(18)1006]; 江苏省自然科学基金项目(BK20180300); 江苏省农业科学院基本科研业务专项资金项目[ZX(18)3009]

作者简介: 杨 恒(1994-), 男, 浙江湖州人, 硕士研究生, 研究方向为肉品加工与质量控制。(E-mail) heng199491@126.com

通讯作者: 邹 烨, (E-mail) zouye@jaas.ac.cn

胶原蛋白是由3条 α -肽链相互缠绕而形成螺旋结构的纤维状蛋白质,是动物体内分布最广、含量最丰富的一种结构蛋白^[1],也是细胞外基质的主要成分,I型胶原蛋白是最常见的类型^[2]。胶原蛋白广泛分布于动物的皮肤、软骨、韧带、血管、肌腱等组织和器官中,具有调节细胞、支撑器官和保护机体的作用^[3],与组织间的传递和衰老等有密切的关系^[4]。

传统上胶原蛋白的主要来源是牛肌腱和猪皮肤,近年来也有从深海鱼和淡水鱼的加工副产物中提取胶原蛋白,例如蔡路昀等^[5]从鲮鱼皮中提取酸性胶原蛋白,杨平等^[6]利用酸法和酶法提取草鱼鳞胶原蛋白,Chen等^[7]从罗非鱼鳞片采用酸法提取胶原蛋白并利用胰蛋白酶水解以研究其酶解肽释放模式。但从鱼类中所提取的蛋白质变性温度较低。胶原蛋白作为生物科技产业重要的原料之一,在食品工业、生物制药业中有广泛应用^[8]。

中国每年肉鸡屠宰量高达 1.0×10^9 只^[9],作为其加工副产物的鸡肺大多都被当作废弃物,不仅污染环境,还浪费资源。通过前期预试验发现,鸡肺中含有较多的胶原蛋白,因此,如何快速有效地从鸡肺中提取胶原蛋白值得进一步研究。超声波是频率大于20 kHz的机械波,穿透性强却又作用温和,由于具有机械效应和空化效应特性而被广泛应用于食品加工^[10]。超声波辅助提取法因高效节能、绿色环保等特点常被应用在天然产物提取中,是一种极具潜力的食品加工技术^[11-13]。本试验以新鲜鸡肺为原料,乙酸为提取剂,采用超声波辅助酸法提取胶原蛋白,考察不同超声波功率、超声波时间和料液比对鸡肺胶原蛋白得率的影响。在单因素试验的基础上利用响应面分析法优化提取工艺,并比较传统酸法和超声波辅助酸法提取的胶原蛋白疏水性能、持油性能和乳化性能,以期对鸡肺的综合利用及其胶原蛋白的开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鸡肺购于江苏立华牧业股份有限公司,8-苯胺-1-萘磺酸(ANSA)购于上海源叶生物科技有限公司,花生油购于山东鲁花集团有限公司。异丙醇、 NaHCO_3 、乙酸、 NaCl 、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

超声波细胞粉碎机 SCIENTZ-IIID,宁波新芝生物科技股份有限公司产品;奥豪斯 ST20 笔式酸度计,美国奥豪斯公司产品;九阳料理机 JYL-D051,九阳股份有限公司产品;Gen5 全波长酶标仪,美国伯腾仪器有限公司产品;水浴摇床 SYC-6,上海新苗医疗器械制造有限公司产品;国华 78-1 磁力加热搅拌器,常州国华电器有限公司产品;Eppendorf 离心机 Centrifuge 5810R,德国 Eppendorf 艾本德股份公司产品;电子天平 PTX-FA210S,福州华志科学仪器有限公司产品;德国 Christ 实验室型冻干机 Alpha 1-2 LD plus,德国 Christ 公司产品。

1.3 方法

1.3.1 鸡肺脱脂 取一定量的新鲜鸡肺,先用清水浸泡并拣去大体积脂肪块,再冲洗3次除去表面杂质,匀浆后置于烧杯中,以料液比1:9(体积比)加入异丙醇溶液并充分搅拌,4℃下静置24 h,除去鸡肺中的脂肪,然后10 000 r/min 离心10 min 取沉淀,用蒸馏水冲洗至中性,充分沥干后-18℃冷冻保存,备用。

1.3.2 鸡肺中杂蛋白质和色素的去除 称取脱脂鸡肺80 g,用0.1 mol/L NaHCO_3 溶液(1:10,质量:体积)于20℃下连续磁力搅拌8 h,以去除杂蛋白质和色素,10 000 r/min 离心10 min,取沉淀。用蒸馏水洗涤3次,充分沥干后-40℃冷冻,置于冻干机冻干24 h,备用。

1.3.3 常规酸法提取胶原蛋白 称取除杂后的冻干鸡肺样品1.0 g,加入0.5 mol/L 乙酸溶液(料液比1:60,质量:体积),置于水浴摇床中20℃下提取4 h。然后以10 000 r/min 离心10 min,取上清液,得到酸性可溶性胶原蛋白(Acid-soluble collagen, ASC)粗提物。向酸性可溶性胶原蛋白粗提取液中加入 NaCl 至浓度为0.9 mol/L,4℃静置盐析24 h后离心收集沉淀。蛋白质沉淀用9倍体积的0.5 mol/L 乙酸复溶,再用0.1 mol/L 乙酸透析24 h(每隔8 h换1次0.1 mol/L 乙酸),最后冷冻干燥得到酸性可溶性胶原蛋白样品。

1.3.4 单因素试验 选取超声波功率(150 W、200 W、250 W、300 W、350 W、400 W)、料液比(1:50、1:60、1:70、1:80、1:90、1:100,质量体积比)及提取时间(2 h、3 h、4 h、5 h、6 h)3个因素进行单因素试验,分析各因素对鸡肺胶原蛋白得率的影响。

1.3.4.1 鸡肺胶原蛋白提取中超声波功率的确定

称取除杂后的冻干鸡肺样品 1.0 g, 加入 0.5 mol/L 乙酸溶液(料液比 1:60, 质量体积比), 超声波预处理 10 min(工作时间 2 s, 停歇时间 3 s), 超声波功率分别为 150 W、200 W、250 W、300 W、350 W 和 400 W。再置于水浴摇床中 20 ℃ 下提取 4 h, 然后分别以 10 000 r/min 离心 10 min, 取上清液。按方法 1.3.3 盐析和透析除杂, 最后冷冻干燥得到酸溶性胶原蛋白样品。计算胶原蛋白得率, 胶原蛋白得率 = (提取的胶原蛋白质量/除杂后冻干鸡肺样品质量) × 100%。

1.3.4.2 鸡肺胶原蛋白提取中料液比的确定 称取除杂后的冻干鸡肺样品 1.0 g, 加入 0.5 mol/L 乙酸溶液, 超声波预处理 10 min(工作时间 2 s, 停歇时间 3 s), 超声波功率为方法 1.3.4.1 确定的最佳功率, 料液比分别为 1:50、1:60、1:70、1:80、1:90 和 1:100, 质量体积比, 再置于水浴摇床中 20 ℃ 下提取 4 h, 然后分别以 10 000 r/min 离心 10 min, 取上清液。按方法 1.3.3 盐析和透析除杂, 最后冷冻干燥得到酸溶性胶原蛋白样品, 计算胶原蛋白得率。

1.3.4.3 鸡肺胶原蛋白提取中提取时间的确定 称取除杂后的冻干鸡肺样品 1.0 g, 加入 0.5 mol/L 乙酸溶液, 超声波预处理 10 min(工作时间 2 s, 停歇时间 3 s), 超声波功率为方法 1.3.4.1 确定的最佳功率, 料液比为方法 1.3.4.2 确定的最佳料液比, 再置于水浴摇床中 20 ℃ 下分别提取 2 h、3 h、4 h、5 h 和 6 h, 然后分别以 10 000 r/min 离心 10 min, 取上清液。按方法 1.3.3 盐析和透析除杂, 最后冷冻干燥得到酸溶性胶原蛋白样品, 计算胶原蛋白得率。

1.3.4.4 响应面法优化试验 在单因素试验的基础上, 根据 Box-Behnken 分析法设计三因素三水平试验方案, 以超声波功率(A)、料液比(B)和提取时间(C)三个因素, 胶原蛋白得率(Y)为响应值, 共计 17 次试验以优化提取工艺条件(表 1)。

1.3.4.5 胶原蛋白表面疏水性的测定 将制备的胶原蛋白样品配制成为 1.0 mg/ml 溶液, 用 0.2 mol/L 乙酸将样品溶液稀释 1 倍、2 倍、4 倍, 取 1.0 ml 稀释后的蛋白质溶液与 5 μl 8 mmol/L 8-苯胺-1-萘磺酸盐(ANS)磷酸盐缓冲液(0.01 mol/L, pH 7.0)混匀, 室温下避光保存 2 min 后测定荧光强度。激发波长 371 nm, 发射波长 467 nm, 发射波长范围 400~

600 nm, 扫描速率 240 nm/min, 狭缝宽度 10 nm。以蛋白质质量浓度(mg/ml)对荧光强度作图, 采用线性回归分析进行线性拟合, 直线的斜率即为蛋白质表面疏水性指数。

表 1 Box-Behnken 试验因素和水平

Table 1 Factors and levels used in Box-Behnken design

因素	水平		
	-1	0	1
超声波功率(W)	300	350	400
料液比(g/ml)	1:80	1:90	1:100
提取时间(h)	4	5	6

1.3.4.6 胶原蛋白持油性的测定 称取 0.5 g 样品于 15 ml 刻度离心管中, 加入 5 ml 花生油并搅拌 2 min, 于室温下静置 1 h, 然后以 5 000 r/min 离心 10 min, 仔细吸去上层未吸附的花生油后准确称质量。以每 1 g 蛋白质样品吸附油的质量表示吸油性(OHC), 持油性 = [(沉淀总质量-样品质量)/样品质量] × 100%。

1.3.4.7 胶原蛋白乳化性的测定 用 pH 7.0 的磷酸盐缓冲液(0.1 mol/L)配制胶原蛋白溶液, 使其质量浓度为 0.2%, 取 16 ml 此溶液并加入 4 ml 花生油, 使用均质机将混合液在 10 000 g 条件下均质 1 min 得到乳状液, 分别在 0 min 和 10 min 时从液体底部吸取 50 μl, 加入 5 ml 0.1% SDS 溶液, 混匀后以 0.1% SDS 溶液作为参比立即测定其在 500 nm 处的吸光度 A_0 , 10 min 后再测定吸光度 A_{10} 。计算乳化活性指数(EAI)和乳化稳定性指数(ESI), $EAI = \frac{2 \times 2.303}{c(1-\phi) \times 10^4} \times A_0 \times D$, $ESI = \frac{10 \times A_0}{A_0 - A_{10}}$, 式中, A_0 为 0 min 时的吸光度值, A_{10} 为 10 min 时的吸光度值, c 为样品质量浓度, ϕ 为大豆油的体积比例, D 为稀释倍数。

1.4 数据分析

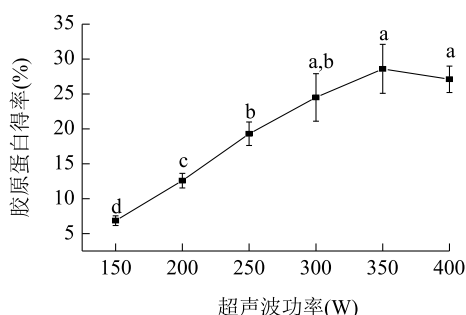
采用 Excel 2016、Origin 9.0、Design-Expert 8.0.6 对数据进行整理分析和作图, 用 SPSS 18.0 进行不同处理间差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 超声波功率对胶原蛋白得率的影响 由图 1

可以看出,随着超声波功率的增大,胶原蛋白得率显著增加,在功率为 350 W 时达到最大值。说明随着超声波功率的增加,声强也随之增大,导致胶原蛋白得率提高^[14]。但随着超声波功率的继续增大,胶原蛋白得率反而降低,这可能是由于过高功率的超声波产生的热效应、机械效应增强使得蛋白质结构被破坏^[15]。因此,鸡肺胶原蛋白提取的最佳超声波功率为 350 W。

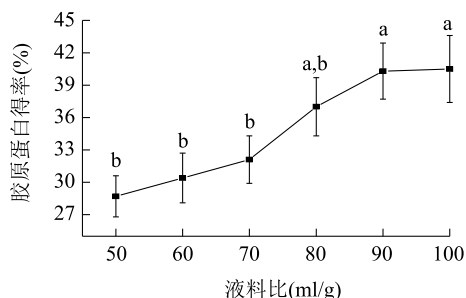


曲线上不同字母表示两者间具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

图1 超声波功率对鸡肺胶原蛋白得率的影响

Fig.1 Effect of ultrasonic power on the yield of collagen from chicken lung

2.1.2 料液比对胶原蛋白得率的影响 随着溶剂比例的增加,胶原蛋白得率呈上升趋势,在料液比 1:90(质量体积比)后趋于稳定(图 2)。当料液比较低时,体系黏度大不利于蛋白质的析出,提取不够彻底,因此适当增加料液比可提高胶原蛋白的提取率^[16],但当蛋白质的溶解度达到饱和时继续增加料液比并不会增加蛋白质的溶解量。从经济角度考虑,鸡肺胶原蛋白提取时,料液比选择为 1:90(质量体积比)^[17]。

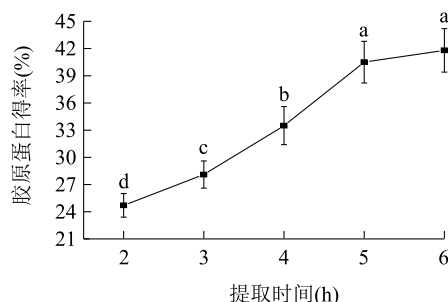


曲线上不同字母表示两者间具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

图2 料液比对鸡肺胶原蛋白得率的影响

Fig.2 Effect of solid-liquid ratio on the yield of collagen from chicken lung

2.1.3 提取时间对胶原蛋白得率的影响 由图 3 可以看出,随着提取时间的不断增加,胶原蛋白得率呈上升趋势,在 2~5 h 内得率显著增加,5~6 h 内略有增加。这可能是由于随着提取时间增加,样品与溶剂接触更充分,蛋白质能更多地溶解在提取液中,当蛋白质在提取液中趋于饱和时,得率变化不明显,这与李芳等^[18]的研究结果一致。考虑到提取时间过长不但不会大幅增加胶原蛋白的提取率,而且会增加能耗,降低效率,因此提取时间选择 5 h。



曲线上不同字母表示两者间具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

图3 提取时间对鸡肺胶原蛋白得率的影响

Fig.3 Effect of extraction time on the yield of collagen from chicken lung

2.2 响应面试验结果与分析

2.2.1 数学模型的建立及显著性分析 通过 Design-Expert 8.0.6 数据处理软件对表 2 结果进行回归拟合,得到 A(超声波功率)、B(料液比)、C(提取时间)3 个因素与 Y(胶原蛋白得率)之间的回归方程。进行方差分析,得到该回归方程的显著性分析结果(表 3)。从表 3 中可以看出,该模型的 P 值小于 0.000 1,说明该模型具有高度的显著性;失拟项 $P = 0.866 9$,大于 0.05,不显著,说明回归方程的拟合程度较好,可进行响应值的预测;模型的决定系数 $R^2 = 0.997 1$,大于 0.9,说明模型实际值与预测值拟合良好^[19],可解释胶原蛋白提取率响应值的变化;调整决定系数 $R^2_{Adj} = 0.993 3$,说明胶原蛋白得率能够在 99.33% 的程度上解释试验结果,利用该回归方程可较好地分析和预测最佳提取条件。 F 值表示的是超声波功率、料液比和提取时间 3 个因素对胶原蛋白得率的影响程度, F 值越大说明影响程度越大^[20]。由表 3 表明,3 个因素影响胶原蛋白得率的程度顺序为提取时间>超声波功率>料液比。

表 2 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 2 Box-Behnken design and experimental results

试验号	超声波功率 (A)	料液比 (B)	提取时间 (C)	胶原蛋白得率 (Y) (%)
1	0	0	0	41.30
2	-1	0	-1	27.10
3	0	-1	-1	31.49
4	0	1	-1	31.45
5	0	0	0	41.70
6	1	0	-1	31.17
7	-1	0	1	33.60
8	0	1	1	38.10
9	1	1	0	37.10
10	0	0	0	41.50
11	0	0	0	42.00
12	-1	1	0	33.40
13	1	-1	0	36.70
14	1	0	1	37.40
15	0	0	0	40.80
16	-1	-1	0	33.10
17	0	-1	1	38.10

表 3 回归模型方差分析

Table 3 Variance analysis of regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	324.96	9	36.11	264.33	<0.000 1 **
超声波功率(A)	28.77	1	28.77	210.59	<0.000 1 **
料液比(B)	0.05	1	0.05	0.40	0.547 9
提取时间(C)	84.44	1	84.44	618.13	<0.000 1 **
AB	2.50×10^{-3}	1	2.50×10^{-3}	0.018	0.896 2
AC	0.02	1	0.02	0.13	0.725 7
BC	4.00×10^{-4}	1	4.00×10^{-4}	2.93×10^{-3}	0.9584
A ²	82.49	1	82.49	603.91	<0.000 1 **
B ²	16.15	1	16.15	118.26	<0.000 1 **
C ²	93.65	1	93.65	685.63	<0.000 1 **
残差	0.96	7	0.14		
失拟项	0.14	3	0.05	0.24	0.866 9
纯误差	0.81	4	0.20		
总和	325.92	16			

$R^2 = 0.997\ 1$, $R^2_{Adj} = 0.993\ 3$, $CV = 1.02\%$ 。*: 差异显著($P < 0.05$), **: 差异极显著($P < 0.01$)。

2.2.2 因素间交互作用分析 利用 Design-expert 8.0.6 软件分析得到两两自变量为坐标的 3D 图和等高线图(图 4、图 5、图 6)。等高线图可以直观地反映两个变量交互作用的显著性程度。一般来说,等高线呈椭圆形,密集,曲面坡度陡峭,则表示两因素交互影响大,而等高线呈圆形,稀疏,曲面坡度平缓,则相反^[21-22]。而响应面图的陡峭程度可说明随着影响因素的变化,其响应值也随之变化^[23-24]。由图 4 可知,超声波功率与料液比对胶原蛋白得率存在交互作用,但与图 5、图 6 相比较,超声波功率和料液比的交互作用较弱,超声波功率对胶原蛋白得率的影响大于料液比。由图 5 可知,超声波功率和提取时间同样存在交互作用,提取时间对胶原蛋白得率的影响大于超声波功率。在响应面图中可以看出,料液比一定时,随着超声波功率的增加,胶原蛋白得率先增加后减小,这与大功率超声波会破坏蛋白质结构的结论一致。图 6 中响应面图的陡峭程度较大,表明料液比与提取时间对胶原蛋白得率的交互作用较大,而从等高线的疏密程度可知,提取时间对胶原蛋白得率的影响大于料液比。综合上述,3 个因素对胶原蛋白得率的影响程度大小顺序为:提取时间>超声波功率>料液比,这与方差分析的结论一致。

2.2.3 鸡肺胶原蛋白提取参数优化及模型验证

通过响应面法得到鸡肺胶原蛋白的最优提取工艺为:超声波功率 365.63 W、料液比 1:90.24(质量体积比)、提取时间 5.34 h, 预期胶原蛋白得率为 42.17%。考虑到实际工艺条件, 将参数调整为:超声波功率 365 W、料液比 1:90(质量体积比)、提取时间 320 min。为了进一步验证模型的可靠性, 在此条件下进行 3 次平行试验, 胶原蛋白得率为 39.55%, 与理论值较为接近, 说明该响应面模型可用于优化鸡肺胶原蛋白的提取。

2.3 鸡肺胶原蛋白的疏水性、持油性和乳化性

表面疏水性能够比较直观地反映蛋白质表面疏

水性基团在极性溶液环境中数量的多寡, 从而反映蛋白质结构的变化^[25]。蛋白质的表面疏水性与其空间构象及疏水性残基的暴露有很大关系^[26]。超声波辅助酸法提取的鸡肺胶原蛋白表面疏水性指数明显高于常规提取的胶原蛋白, 疏水性指数(H_0)达到了 2 280, 比常规提取的胶原蛋白疏水性指数提高 64.0%。这可能是由于超声波的空化效应有效地分散了蛋白质, 使蛋白质分子结构变得疏松, 埋藏在蛋白质球状分子内部的侧链解离, 更多的非极性基团暴露于分子表面^[27]。

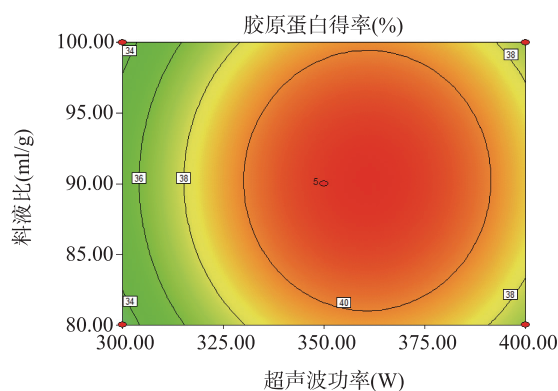
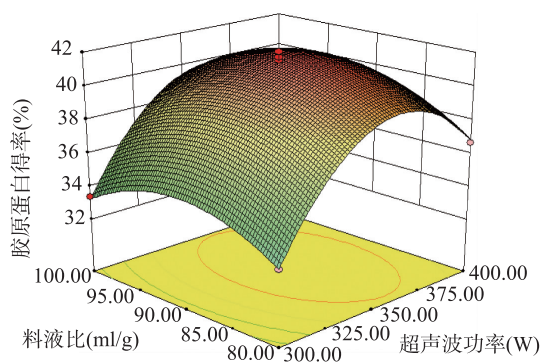


图 4 超声波功率与料液比对胶原蛋白得率的影响

Fig.4 Effects of ultrasonic power and solid-liquid ratio on the yield of collagen

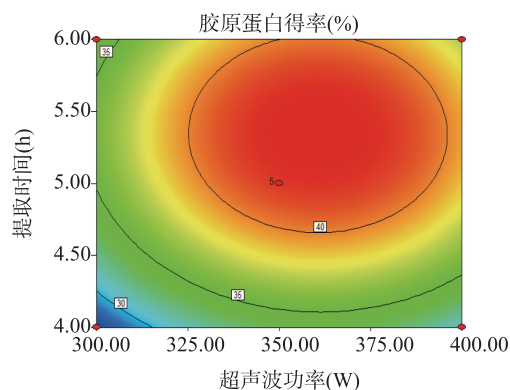
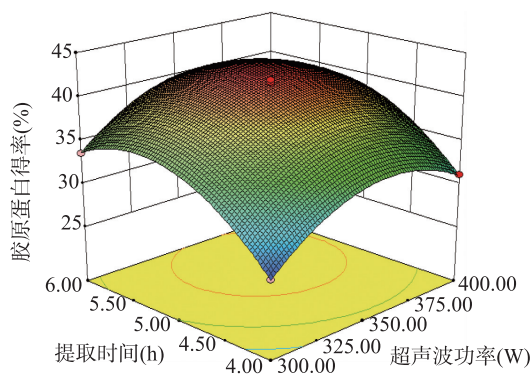


图 5 超声波功率与提取时间对胶原蛋白得率的影响

Fig.5 Effects of ultrasonic power and extraction time on the yield of collagen

持油性表示蛋白质吸附脂质的能力, 持油性越强说明蛋白质与脂质的结合能力越强^[28]。超声波辅助提取的胶原蛋白持油性为 314%, 比常规提取的胶原蛋白持油性(186%)提高了 69%。这是由于

适当功率的超声波处理使蛋白质内部的非极性基团暴露, 结构变得疏松, 与脂质接触的表面积增大, 持油性能增强^[29]。

蛋白质的乳化性是指蛋白质与水形成稳定乳状

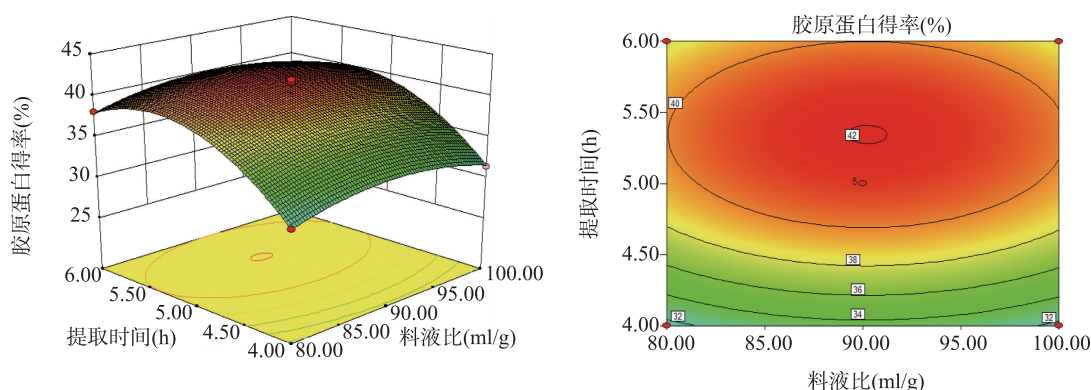


图 6 料液比与提取时间对胶原蛋白得率的影响

Fig.6 Effects of solid-liquid ratio and extraction time on the yield of collagen

液的能力^[30],是食品工业加工上的一个重要指标。由表 4 可知,超声波辅助提取的胶原蛋白的乳化活性和乳化稳定性比常规提取的分别提高了 32.4% 和 7.9%。这可能是由于超声波处理使胶原蛋白分子结构变得疏松,内部疏水基团暴露,更易与脂质结合^[31],同时超声波处理降低了蛋白质分散颗粒的粒

表 4 鸡肺胶原蛋白疏水性、持油性和乳化性

Table 4 The hydrophobicity, oil-holding and emulsifying properties of collagen from chicken lung

胶原蛋白提取方法	疏水性指数(H_0)	持油性(OHC)	乳化活性指数(EAI)(m^2/g)	乳化稳定指数(ESI)(min)
常规酸提法	1 390.57 \pm 15.89a	186.54 \pm 10.18a	4.35 \pm 0.25a	22.88 \pm 0.70a
超声波辅助酸提法	2 280.29 \pm 153.03b	314.56 \pm 2.30b	5.76 \pm 0.08b	24.68 \pm 0.54b

同一列中不同字母表示具有显著性差异($P < 0.05$)。

3 结论

以胶原蛋白得率为考察对象,通过单因素试验和响应面优化试验,对鸡肺胶原蛋白的提取工艺进行了优化,得到最佳提取工艺为:超声波功率 365 W、料液比 1:90(质量体积比)、提取时间 320 min,而影响鸡肺胶原蛋白得率的 3 个因素影响程度大小顺序为提取时间>超声波功率>料液比。超声波辅助提取鸡肺胶原蛋白得率可达 39.55%(占除杂后鸡肺干质量),符合响应面模型验证结果。与常规酸提法得率 8.39%相比,超声波辅助酸提法可明显提高胶原蛋白得率。

与常规酸提法提取的鸡肺胶原蛋白相比,超声波辅助酸提法提取的胶原蛋白的疏水性、持油性和乳化性显著提高($P < 0.05$),其原因是超声波处理可改变胶原蛋白分子结构,使其内部疏水基团暴露,从而提高其疏水性、持油性和乳化性能。因此,优化超声波辅助酸提法提取鸡肺胶原蛋白工艺可提高肉

径,有利于提高蛋白质对油滴的吸附能力,从而增强乳化性能^[32]。乳化活性与乳化稳定性两者密切相关,液滴粒径减小,比表面积增加,单位质量的乳化剂形成的乳化界面增大,乳化活性提高,有助于降低沉降速率从而增加乳化稳定性^[33]。

鸡副产物综合利用程度,增加副产物潜在价值,为肉鸡副产物的精深加工提高科学依据。

参考文献:

- [1] WU X, CAI L, CAO A, et al. Comparative study on acid-soluble and pepsin-soluble collagens from skin and swim bladder of grass carp (*Ctenopharyngodonidella*) [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2016, 96(3):815-821.
- [2] SUN L, LI B, SONG W, et al. Characterization of pacific cod (*Gadus macrocephalus*) skin collagen and fabrication of collagen sponge as a good biocompatible biomedical material [J]. Process Biochemistry, 2017, 63: 229-235.
- [3] PATI F, ADHIKARI B, DHARA S. Isolation and characterization of fish scale collagen of higher thermal stability [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(10):3737-3742.
- [4] 江晃荣.胶原蛋白在医学中的应用[J].健康指南:中老年,2011(1):57.
- [5] 蔡路昀, 马 帅, 曹爱玲, 等. 不同部位鳙鱼皮酸溶性胶原蛋白的提取及其特性[J]. 食品科学, 2017, 38(11):52-58.
- [6] 杨 平, 刘 影, 公丽艳, 等. 酸法和酶法提取草鱼鱼鳞胶原

- 蛋白的特性分析[J]. 食品工业, 2018, 39(7):129-132.
- [7] CHEN J, LI L, YI R, et al. Release kinetics of Tilapia scale collagen I peptides during tryptic hydrolysis[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 77: 931-936.
- [8] 王沥浩, 王文慧, 郭咏昕, 等. 胶原蛋白功能概述[J]. 黑龙江农业科学, 2014(3): 150-156.
- [9] 高薇薇, 邓海燕, 谢 苗, 等. 鸡血的利用现状与展望[J]. 肉类工业, 2004(2): 42-46.
- [10] 晋艳曦. 肉类嫩化新技术—声波嫩化[J]. 肉品卫生, 1999(6): 24-25.
- [11] 邹 烨, 蔡盼盼, 王 立, 等. 超声波辅助酶法提取中华鳖裙边胶原蛋白及其热稳定性能[J]. 食品科学, 2018, 39(2): 254-259.
- [12] 丁建英, 王晓飞, 张 丽, 等. 枇杷叶多酚超声波辅助提取工艺优化及其抗氧化性分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(2): 340-347.
- [13] XIONG G Y, ZHANG L L, ZHANG W, et al. Influence of ultrasound and proteolytic enzyme inhibitors on muscle degradation, tenderness, and cooking loss of hens during aging[J]. Czech Journal of Food Sciences, 2012, 30(3): 195-205.
- [14] 薛 芳, 颜 瑞, 王承明. 超声波辅助碱提取花生多糖的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 158-163.
- [15] 刘俊红, 袁冰倩, 李 爽, 等. 超声波-碱法提取小麦麸皮蛋白质的工艺研究[J]. 食品工业, 2018, 39(9): 5-8.
- [16] 王 芳, 陈晓燕. 超声波辅助花生蛋白提取工艺研究[J]. 化工设计通讯, 2017, 43(12): 133-134.
- [17] 韩丽丽, 杨志伟. 响应面优化超声波提取薏米蛋白工艺[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(12): 73-77.
- [18] 李 芳, 绪建荣, 侯伟伟, 等. 响应面法优化超声波辅助提取甜杏仁粕蛋白质的研究[J]. 食品工业, 2016(6): 149-152.
- [19] PIZZOLATO M, BOUTELIER T, DERICHE R. Perfusion deconvolution in DSC-MRI with dispersion-compliant bases[J]. Medical Image Analysis, 2017, 36: 197-215.
- [20] 王升力, 黄雪琴, 郭 诗, 等. 响应面法优化虾壳中虾青素提取工艺的研究[J]. 陕西农业科学, 2016, 62(2): 1-5.
- [21] BAO Z, CHEN Y Z, WEI X F, et al. Optimization of conditions for collagen extraction from the swim bladders of grass carp (*Ctenopharyngodonidella*) by response surface methodology[J]. International Journal of Food Engineering, 2010, 6(3): 61-64.
- [22] JIA J, MA H, ZHAO W, et al. The use of ultrasound for enzymatic preparation of ACE-inhibitory peptides from wheat germ protein[J]. Food Chemistry, 2010, 119(1): 336-342.
- [23] 万 阅, 齐计英, 曾 红, 等. 响应面法优化香菇多糖的超声波辅助提取工艺[J]. 生物技术通报, 2015, 31(1): 79-85.
- [24] 王 立, 邹 烨, 张 坤, 等. 响应面法优化超声波辅助碱提鸭肝蛋白工艺及其抗氧化性能[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 222-228.
- [25] 曹荣锬, 李佳泰, 王金晶, 等. 大米辅料啤酒中蛋白质疏水性与蛋白质泡沫稳定性的分析[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(9): 66-70.
- [26] GU X, LYDIA J C. Influence of sugars on the characteristics of glucono-d-lactone-induced soy protein isolate gels[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(2): 314-326.
- [27] 杨 勇, 毕 爽, 王中江, 等. 超声波处理对绿豆蛋白结构及功能特性的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(9): 69-73.
- [28] 刘 昕, 金明良, 覃小丽, 等. 超声波处理对鹰嘴豆蛋白乳化性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(5): 142-147.
- [29] 孙英杰. 超声波处理对大豆分离蛋白结构和功能性质影响研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- [30] 谢为峰, 罗丰收, 解超男, 等. 超声波处理对杏仁粕蛋白质理化和功能性质的改性研究[J]. 农产品加工, 2016(17): 1-3.
- [31] 温青玉, 杨 帆, 盛 威, 等. 小麦分离蛋白质理化性质及功能特性研究[J]. 河南农业科学, 2018, 47(5): 149-154.
- [32] 王笑宇, 韩 东, 陈子净, 等. 超声波处理对 β -伴大豆球蛋白乳化性能的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(6): 153-159.
- [33] LEAL-CALDERON F, THIVILLIERS F, SCHMITT V. Structured emulsions[J]. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 2007, 12(4): 206-212.

(责任编辑: 张震林)