

超声辅助提取核桃粕蛋白的工艺研究

邸红艳, 马海乐, 王洋, 叶晓非, 段玉清

(江苏大学食品与生物工程学院, 江苏镇江 212013)

摘要: 基于核桃粕资源浪费严重, 核桃粕蛋白不能被充分利用的现状, 本研究以核桃粕为原料, 利用超声波对核桃粕中蛋白质提取工艺进行探索并优化。在传统碱提的基础上, 利用六频狭缝式和五频 S 型超声波设备对核桃粕进行处理, 研究蛋白得率和纯度并对其做综合评分 (Y), 筛选最优超声波工作模式。在最优工作模式下, 对超声参数进行单因素及正交优化试验。试验结果表明: 最优超声工作模式为 20/28 kHz (五频 S 型超声波设备), 最佳超声参数为功率密度 120 W/L, 超声时间 30 min, 超声温度 55 °C, 料液比 1:25 (m/V), pH 9。在最优条件下, 蛋白得率可达 71.00%, 纯度可达 72.69%, Y 值可达 71.68%。五频 S 型超声波设备作为低功率的逆流发散式设备, 在核桃粕提取蛋白过程中可实现高效生产, 并制备高纯度的核桃蛋白。

关键词: 核桃粕; 超声提取; 蛋白; 正交试验

文章编号: 1673-9078(2019)07-164-172

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.7.023

Ultrasound-assisted Extraction of the Proteins from Walnut Meal

DI Hong-yan, MA Hai-le, WANG Yang, YE Xiao-fei, DUAN Yu-qing

(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Due to the current severe waste and underutilization of walnut meal protein, this study used walnut meal as the raw material to explore and optimize the extraction process of protein from walnut meal using ultrasonic wave. On the basis of traditional alkali extraction, the walnut meal was treated with six-frequency slit type and five-frequency S-type ultrasonic equipment, the protein yield and purity were studied and the comprehensive score (Y) was used to screen the optimal ultrasonic working mode. In the optimal working mode, the ultrasonic parameters were determined by single factor experiments and optimized by orthogonal experiments. The experimental results showed that the optimal ultrasonic working mode was 20/28 kHz using the five-frequency S-type ultrasonic equipment, with the optimum ultrasonic parameters as: power density 120 W/L, ultrasonic time 30 min, ultrasonic temperature 55 °C, at a material-to-liquid ratio of 1: 25 (m/V), pH 9. Under the optimal conditions, the protein yield reached 71.00%, with the purity as 72.69% and Y value as 71.68%. The five-frequency S-type ultrasonic equipment as a low-power counter-current and divergent device can effectively extract the proteins from walnut meal and enable the production of high-purity walnut protein.

Key words: walnut meal; ultrasonic extraction; protein; orthogonal experiments

核桃粕是核桃压榨制油的副产品, 其主要营养物质为核桃蛋白, 是一种良好的食品原料^[1]。有资料报道核桃渣中蛋白质达 43.8% (最高的有 53.89%^[2])。但长期以来核桃粕多直接作为动物饲料甚至直接丢弃, 未能实现资源高值化利用, 造成蛋白资源的严重浪费^[3]。目前市场上的核桃制品主要为核桃油、核桃乳、核桃粉和核桃干等^[4], 产品种类单一、深加工程度较低, 不能满足市场要求。为进一步提高核桃粕的综合

利用价值, 国内外研究学者对核桃粕蛋白提取方法进行了相关的探索。杨瑾^[5]等人利用碱溶酸沉工艺提取山核桃饼粕中的蛋白, 得出最佳提取工艺为 pH 9.0、料液比 1:25、碱提温度为 57 °C, 在此条件下山核桃蛋白提取率可达到 56.88%。敬思群^[6]以脱脂核桃粕为原料, 利用超声波细胞破碎仪辅助提取制备核桃蛋白, 确定了其最佳工艺条件为: 超声时间为 19 min, 超声温度为 46 °C, 液料比为 20:1, pH 为 8.6, 在此条件下核桃蛋白的浸出率达到 68.98%。

目前, 碱溶酸沉法作为一种操作简单、提取率高的方法, 被广泛应用于实际生产中^[7]。故本实验主要以碱溶酸沉为基础, 采用超声波技术对其蛋白提取工艺进行优化。国内外不少研究者使用的超声波设备大多为超声波细胞破碎仪和超声波清洗槽等, 工作模式单一, 无法在优化超声工作模式的基础上进一步进行

收稿日期: 2018-11-17

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0400303); 江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介: 邸红艳 (1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品物理加工技术

通讯作者: 马海乐 (1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品物理加工技术

超声参数的选择,且普遍存在超声功率过大、声场分布不均匀等问题,远远没有发挥超声波本身的作用效能,故难以达到最佳提取效果。

本研究使用的是课题组自主研发的六频狭缝式和五频S型超声波设备,具有多种频率组合,能产生范围更宽的频率谱。六频狭缝式超声波设备属于对置发散式超声,声波抵达边界发生漫反射,能有效减弱驻波效应,使声场分布更加均匀。五频S型超声波设备属于逆流发散式超声,由于底部不同的几何形状,能在多个频率组合下发生共振,超声空化效率更高,将其作用于核桃粕原料,会更有利于核桃蛋白的提取。

为了充分利用核桃粕原料,实现价值最大化的目的,本文以核桃粕为原料,在碱溶酸沉提取蛋白的基础上,对超声辅助提取工作模式及其参数进行优化,以期得到最优工艺参数,为核桃粕资源的综合利用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 原料

核桃粕(蛋白质质量分数为56.83%),产自辽宁长白仙子生物科技有限公司。

1.2 主要仪器设备

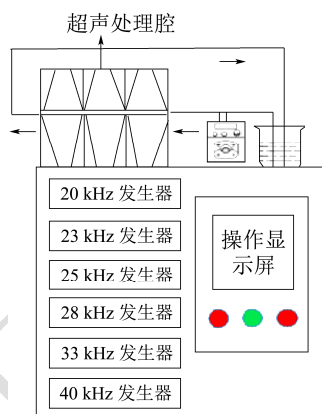


图1 六频狭缝式超声波设备图

Fig.1 Six-frequency slit-type ultrasonic equipment

六频狭缝式超声波设备、五频S型超声波设备,课题组自主研发;BS124S型电子天平,赛多利斯科学仪器有限公司;HH-S2数显恒温水浴锅,金坛市医疗仪器厂;PHS-25型数显式pH计,上海精密科学仪器有限公司;BT600S型蠕动泵,保定雷弗流体科技有限公司;JJ-1定时电动搅拌器,江苏金坛市中大仪器厂;UDK149全自动凯氏定氮仪,上海纤检仪器有限公司;DFT-100A手提式高速万能粉碎机,浙江温岭市林大机械有限公司;LD5-2A离心机,北京医用

离心机厂。

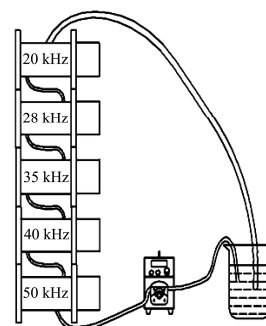


图2 五频S型超声波设备图

Fig.2 Five-frequency S-type ultrasonic equipment

1.3 实验方法

1.3.1 核桃蛋白的提取工艺

核桃粕→烘干(50℃烘箱处理48h)→粉碎→过筛(60目)→调pH至碱性→超声处理+搅拌→冷却至室温→4000 r/min离心20 min→取上清液→调节至酸性(1 mol/L HCl)→4000 r/min离心20 min→水洗沉淀至中性(用两倍沉淀质量的蒸馏水于40℃水洗2次)→真空冷冻干燥(-30℃干燥48h)→核桃蛋白

1.3.2 分析方法

1.3.2.1 得率

核桃粕经超声处理后,取上清液进行烘干至恒重,测定其中干物质的质量,进行得率计算,公式(1)如下:

$$\text{得率}(\%) = \frac{m}{M} \times 100 \quad (1)$$

式中: m-上清液中干物质质量, g; M-核桃粕取样量, g。

1.3.2.2 纯度

称取烘干后一定质量的干物质,利用凯氏定氮法对核桃蛋白质进行纯度测定。参照国标 GB 5009.5-2016。

1.3.2.3 多指标综合评分^[8]

核桃粕提取工艺,应在保证主要有效成分保留率的前提下,尽可能多的提高有效成分的纯度。因此,本实验以得率和纯度为指标,利用综合加权评分法确定最佳提取条件。因市场上核桃粕相对于其他豆粕、菜籽粕等成本较高,价格大约为其的六七倍,所以按其重要程度不同将得率和纯度赋予不同指标,得率权重系数设为0.6,纯度权重系数设为0.4。具体计算公式(2)如下:

$$\text{综合评分 } Y(\%) = (\text{蛋白得率} \times 0.6 + \text{蛋白纯度} \times 0.4) \times 100\% \quad (2)$$

本实验以此为最终提取的评价指标。

1.3.3 超声模式的筛选

表1 六频狭缝式超声工作模式

Table 1 The ultrasonic working mode of six-frequency slit-type

单频/kHz	双频组合/(kHz/kHz)	三频组合/(kHz/kHz/kHz)
20、23	20/23、20/25、20/28、20/33、20/40	20/23/25、20/23/28、20/23/33、20/25/28、20/25/33、20/25/40、
25、28	23/25、23/28、23/33、23/40、25/28	20/28/33、20/28/40、23/25/28、23/25/33、23/25/40、25/28/33、
33、40	25/33、25/40、28/33、28/40、33/40	25/28/40、28/33/40、20/33/40、23/33/40、25/33/40、23/28/40、23/28/33

表2 五频S型超声工作模式

Table 2 The ultrasonic working mode of five-frequency s-type

单频/kHz	双频组合/(kHz/kHz)	三频组合/(kHz/kHz/kHz)
20、28	20/35、20/40、20/52、20/28、28/35、	20/28/35、20/28/40、20/28/52、28/35/40、28/35/52、
35、40、52	28/40、35/40、35/52、40/52、28/52	35/40/52、20/35/40、20/40/52、28/40/52、20/35/52

试验主要使用六频狭缝式超声波设备和五频S型超声波设备进行模式的筛选,其工作模式如表1、2所示。

称取一定质量的核桃粕粉,按料液比1:25 (m/V) 配制悬浊液,在维持pH为9的条件下进行超声处理,处理条件为:单位体积超声功率40 W/L,超声时间20 min,超声温度55℃,以Y进行综合评分,筛选出最优的超声工作模式。

1.3.4 单因素试验

在最优的超声模式条件下,分别以超声功率密度、超声温度、超声时间和料液比为单因素进行逐步优化实验,测定其干物质的质量以及蛋白纯度,并以Y进行综合评分,考查各因素对其提取效果的影响。单因素试验设计如下:

超声功率密度:在pH为9.0、超声温度为55℃、超声时间为20 min、料液比为1:25 (m/V) 的条件下考察超声功率密度(40、60、80、100、120、140、160 W)对核桃蛋白提取效果的影响。

超声温度:在pH为9.0、超声功率密度为100 W/L、超声时间为20 min、料液比为1:25 (m/V) 的条件下考察超声温度(30、35、40、45、50、55、60℃)对核桃蛋白提取效果的影响。

超声时间:在pH为9.0、超声功率密度为100 W/L、超声温度为55℃、料液比为1:25 (m/V) 的条件下考察超声时间(10、15、20、25、30、35、40、50、60 min)对核桃蛋白提取效果的影响。

料液比:在pH为9.0、超声功率密度为100 W/L、超声温度为55℃、超声时间为30 min的条件下考察料液比(1:10、1:15、1:20、1:25、1:30、1:35)对核桃蛋白提取效果的影响。

1.3.5 正交试验

在单因素试验基础上,以超声功率密度、超声时间、超声温度为因素进行三因素三水平正交试验设计,以Y进行综合评分,考查各因素对其提取效果的影响。

1.3.6 数据处理

实验结果采用SPSS 19.0软件进行单因素方差分析,采用Tukey检验,显著性水平在 $p<0.05$ 条件下进行分析,用不同字母代表差异显著。图表采用Excel 2003绘制,数据用三次测定的平均值和标准误差的形式表示,重复试验三次。

2 结果与讨论

2.1 五频S型超声设备工作模式的筛选

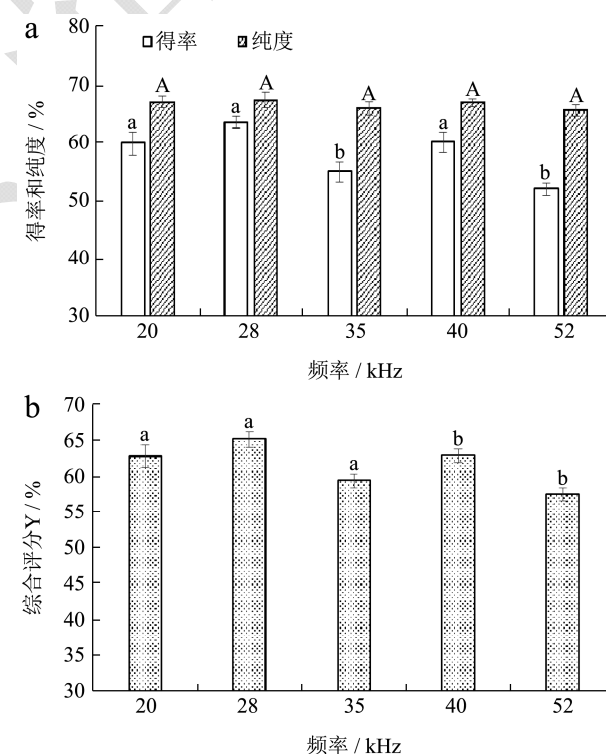


图3 单频对核桃蛋白提取效果的影响

Fig.3 Effect of single frequency on extraction of walnut protein

分别试验五频S型超声波设备中的单频、双频和三频超声处理对核桃蛋白得率和纯度的影响,实验结果如图3,4,5所示。从图3可知,五频S型超声波设备的5种单频模式作用于核桃粕原料,对提取过程

中的蛋白纯度影响不大 ($p>0.05$), 对得率和综合评分 Y 有一定影响。其中 28 kHz 超声频率的效果最明显 ($p<0.05$), Y 值可达 62.78%。表明 28 kHz 频率下产生的空化作用最有利于核桃粕蛋白的溶出。

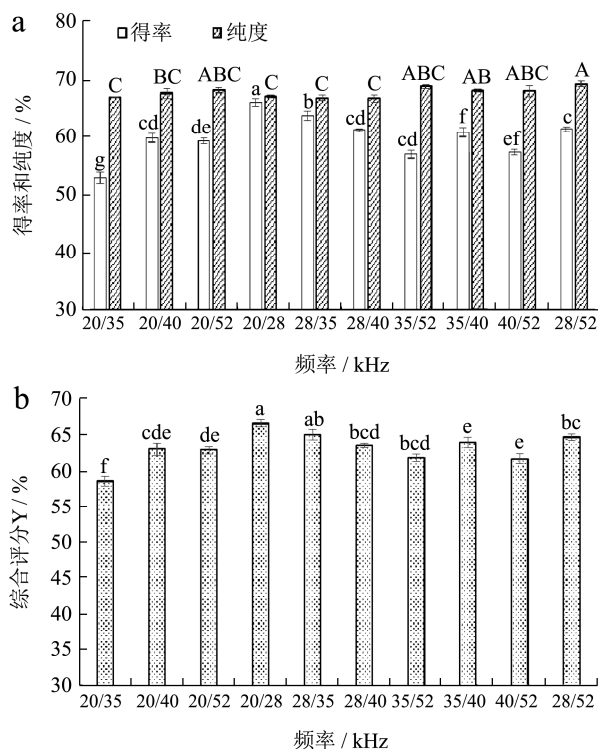


图4 双频对核桃蛋白提取效果的影响

Fig.4 Effect of double frequency on extraction of walnut protein

由图4可知, 五频S型超声波设备双频模式作用于核桃粕原料, 对提取过程中的蛋白纯度影响较小, 对得率和综合评分 Y 有较大影响。其中 20/28 kHz 超声频率可显著提高蛋白得率和综合评分 ($p<0.05$), 纯度无显著提高 ($p>0.05$), 此时 Y 值可达 66.46%, 优于单频 20、28 kHz 单独工作, 且与其他双频工作模式有显著性差异 ($p<0.05$)。可能原因为, 不同频率下的超声波的空化效应强弱不同, 多频率超声作用时, 不同波之间存在交互影响。在本实验中 20/28 kHz 组合对原料蛋白的处理具有协同作用, 这是由于双频超声组合辐射提供了一个更宽的频谱作用范围, 对声化学反应产物的提高具有明显的增强效应, 导致双频超声同时辐射的合效应均大于各频率超声单独辐射效应之和^[9,10]。但是 20/35 kHz 作用效果差于单频单独工作, 所以并不是超声频率组合越多越好。有研究表明当功率密度一定时, 液体空化效应随着频率的增加而降低^[11], 同时能量衰减加快^[12], 从而影响对底物预处理的效果, 金建^[13]也证实低频处理蛋白比高频效果好。

由图5可知, 五频S型超声波设备三频模式作用于核桃粕原料, 对提取过程中的蛋白纯度影响不大, 对得率和综合评分 Y 有一定的影响。其中 20/28/40

kHz 超声频率的提取效果最佳 ($p<0.05$), Y 值可达 63.56%, 但差于双频 20/28 kHz 提取效果。杨雪^[14]利用五频S型超声波设备预处理大米蛋白酶解产物, 结果发现双频S型超声波预处理大米蛋白效果优于三频和单频。王珂^[15]通过研究双频逆流聚能式超声、发散三频和对振双频预处理对玉米胚芽粕蛋白转化率的影响, 发现其双频超声组合的效果高于三频组合和对振双频。都与本实验研究结果一致。综上, 本研究选择双频 20/28 kHz 为五频S型超声波设备较优工作模式。

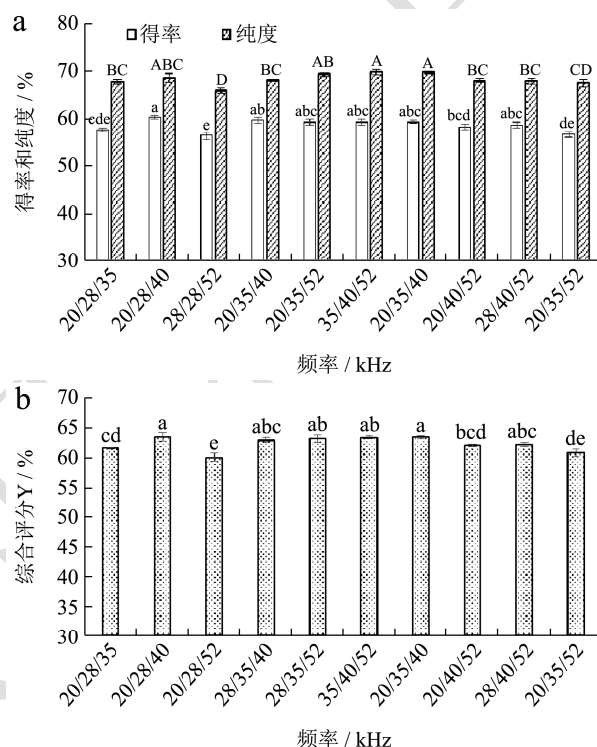


图5 三频对核桃蛋白提取效果的影响

Fig.5 Effect of three frequencies on extraction of walnut protein

2.2 六频狭缝式超声设备工作模式的筛选

从图6~10中可以看出, 将六频狭缝式超声设备应用于核桃粕蛋白的提取, 单频中 23 kHz 的提取效果最显著 ($p<0.05$), Y 值为 51.99%, 其他频率未显著提高 ($p>0.05$); 双频中 28/40 kHz 超声频率组合的提取效果最显著 ($p<0.05$), Y 值为 55.91%; 三频组合 23/25/28 kHz 效果最佳, Y 值为 50.05%。相比之下, 双频 28/40 kHz 的超声频率组合提取效果最显著 ($p<0.05$)。且部分不同频率及频率组合模式下蛋白纯度、得率及 Y 值存在一定的显著性差异。但是与五频S型超声设备相比, 六频狭缝式超声设备相对提取效果较差, 不论是单频还是双频和三频频率组合, 其超声处理后得到的 Y 值均不及五频S型超声处理的高。这是因为六频狭缝式超声设备自身结构特性造成的。因为本实验的评价指标为得率和纯度, 六频狭缝式超

声设备在处理物料时在最后流出阶段容易造成物料残留,所以会造成其蛋白得率和纯度的降低,提取效果不佳。综上,超声工作模式确定为五频S型超声20/28 kHz频率组合,后续实验在此模式下进行。

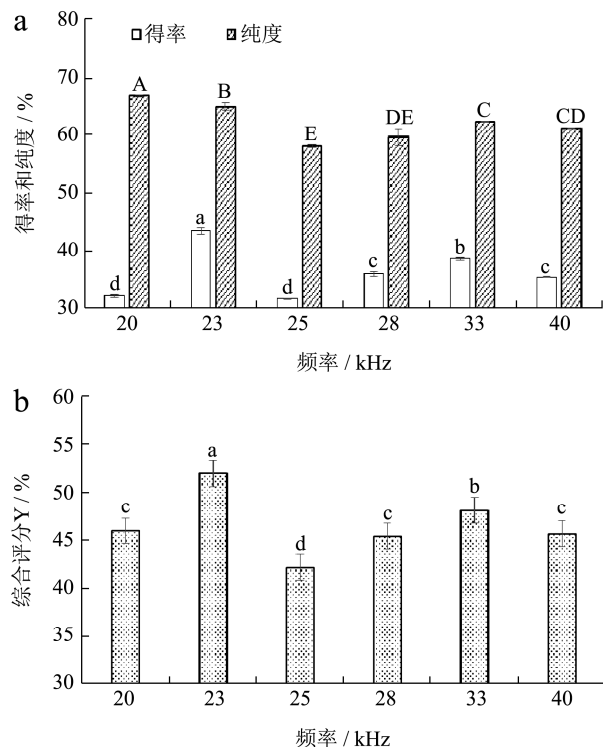


图6 单频对核桃蛋白提取效果的影响

Fig.6 Effect of single frequency on extraction of walnut protein

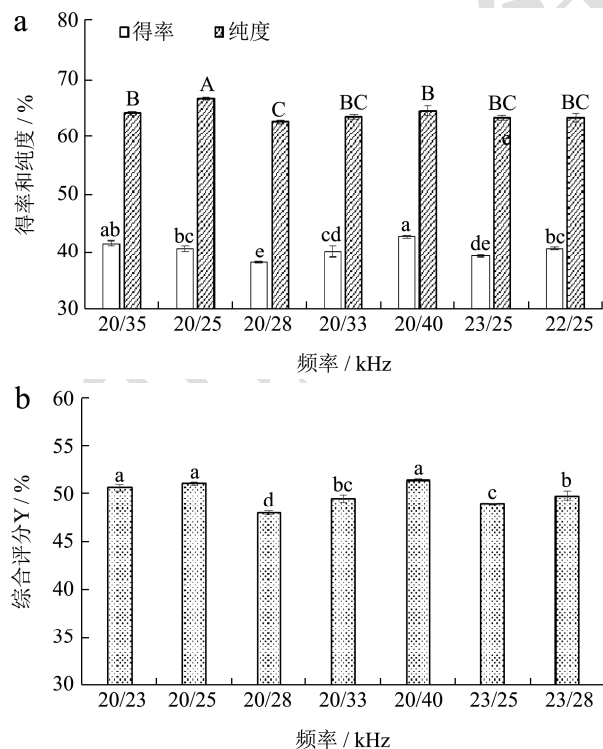


图7 双频对核桃蛋白提取效果的影响

Fig.7 Effect of double frequency on extraction of walnut protein

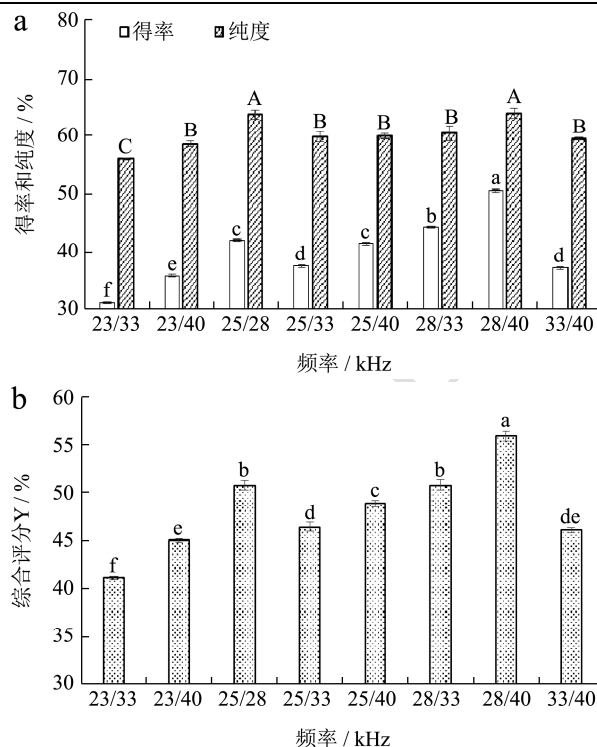


图8 双频对核桃蛋白提取效果的影响

Fig.8 Effect of double frequency on extraction of walnut protein

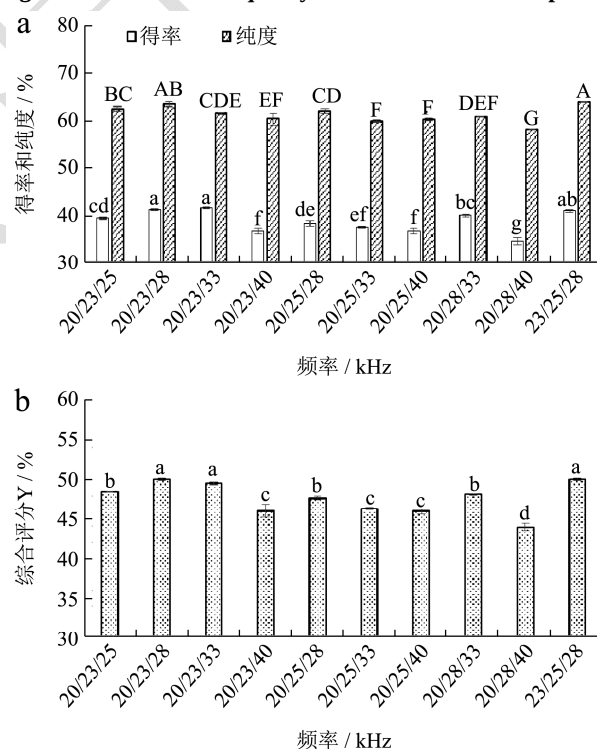


图9 三频对核桃蛋白提取效果的影响

Fig.9 Effect of three frequencies on extraction of walnut protein

2.3 超声波辅助提取核桃蛋白单因素实验

2.3.1 超声功率密度对核桃蛋白提取效果的影响

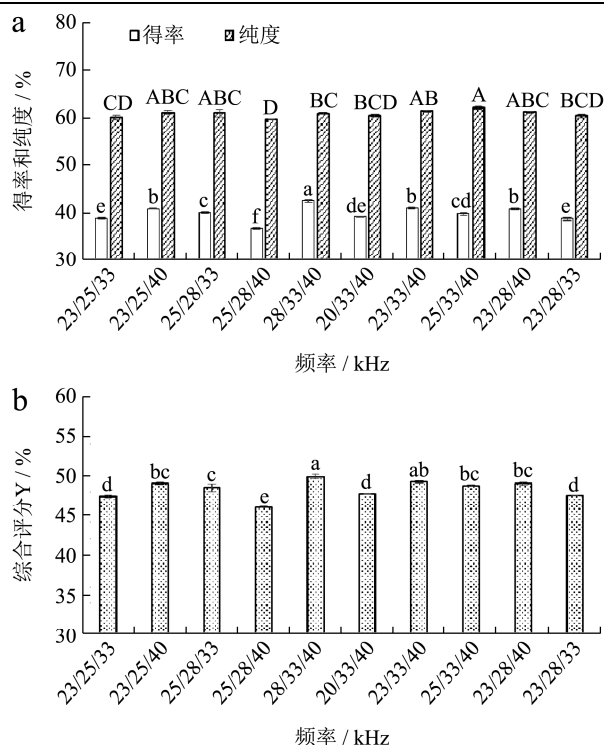


图 10 三频对核桃蛋白提取效果的影响

Fig.10 Effect of three frequencies on extraction of walnut

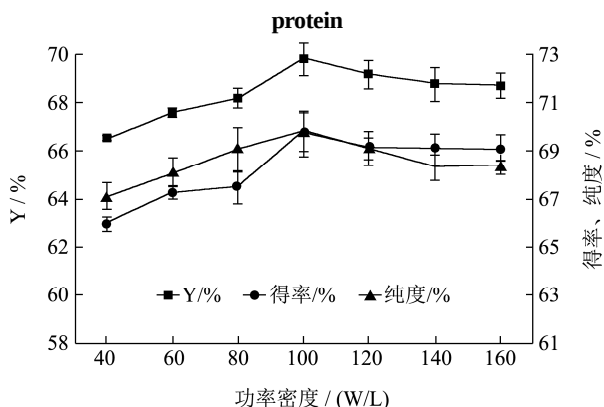


图 11 超声功率密度对核桃蛋白提取效果的影响

Fig.11 Effect of ultrasound power density on extraction of walnut protein

由图 11 可知, 超声功率密度在 40 W/L~100 W/L 时, 核桃蛋白得率和纯度呈上升趋势, Y 也随之增大, 增长幅度较明显, 这是因为随着超声功率密度的增大, 超声波的空化作用也增大, 使细胞迅速破碎, 从而增加细胞内容物溶出量, 蛋白质的溶解度就越高。当功率密度为 100 W/L 时, 得率、纯度以及 Y 值达到最大。继续增大超声功率密度时, 得率、纯度都出现下降趋势, 可能由于功率密度过大, 引起空化作用增强, 蛋白结构遭到破坏, 导致蛋白得率及纯度降低, 因此 Y 值降低。对于超声辅助提取核桃蛋白, 也有不少学者进行了研究。赵见军^[16]等人曾采用超声波破碎仪辅助提取核桃粕中蛋白, 得出超声功率为 150 W (功率密

度 2500 W/L) 时, 核桃粕蛋白最佳提取工艺为超声时间 60 min、超声温度 48 °C、液料比 25:1 (mL/g)、碱溶 pH 8.7, 并于 pH 5.0 时进行沉淀, 核桃粕蛋白质的提取率达 69.62%。王琳^[17]等人采用超声波技术辅助提取核桃蛋白, 得出其最佳提取工艺为超声时间 60 min, pH 9.60, 液料比 27:1 mL/g, 超声温度为 50 °C, 超声功率为 200 W, 此条件下核桃蛋白提取率为 72.6%。但相对于本实验, 他们的超声提取工艺存在设备老套、模式单一、功率密度过大等问题。本实验选用的五频 S 型超声设备则频率多选, 功率密度较低, 在提取方面不仅缩短了提取时间, 节约了能量, 而且在提取率方面也表现出了良好的效果。综上, 选取 100 W/L 作为蛋白浸提最佳功率。

2.3.2 超声温度对核桃蛋白提取效果的影响

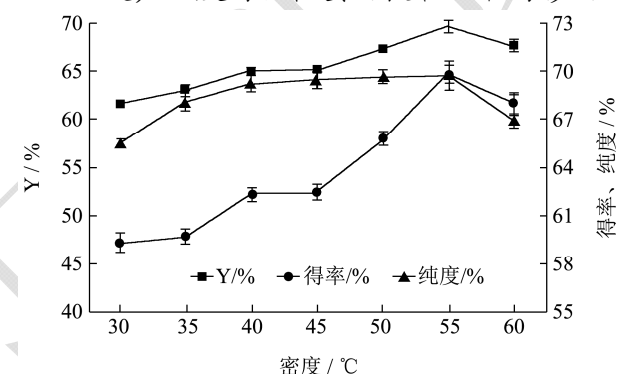


图 12 超声温度对核桃蛋白提取效果的影响

Fig.12 Effect of ultrasound temperature on extraction of walnut protein

由图 12 可知, 随着温度的升高, 核桃蛋白的得率和纯度呈上升趋势, 随之 Y 也呈上升趋势, 当温度达到 55 °C 时, Y 达到最大值, 超过 55 °C 时, Y 值呈下降趋势, 说明适当的升高温度可以提高蛋白的溶解度, 同时有利于超声波的空化作用, 因此得率和纯度提高, Y 值随之提高, 而温度过高时, 可能会出现蛋白质变性, 维持蛋白质空间作用的次级键破坏, 使得蛋白质分子间相互结合形成沉淀, 溶解度下降, 同时温度过高使得空化作用减弱, 不利于核桃蛋白的溶出。范方宇^[18]等人以碱溶酸沉为基础, 对核桃蛋白的提取工艺条件进行了优化, 得出在超声波处理条件下, 其最佳的处理温度为 55 °C, 此时核桃蛋白提取率达 55.83%。与本实验结果相符合。王丰俊^[19]等人运用响应面法优化核桃蛋白提取工艺研究, 确定了其较优工艺条件下提取温度为 65 °C 时, 核桃蛋白的提取率达 93.86%。温度与本实验结果相差较大, 可能是因为核桃种类或核桃粕前处理方式不同。但由姜莉^[20]等报道核桃蛋白变性温度为 67 °C, 温度过高时, 核桃蛋白质会变性, 因此温度应控制在 55 °C~65 °C。综上, 选择 55 °C

作为核桃蛋白提取的最佳温度。

2.3.3 超声时间对核桃蛋白提取效果的影响

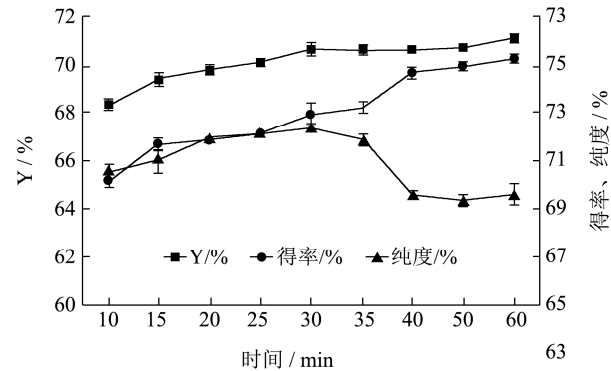


图 13 超声时间对核桃蛋白提取效果的影响

Fig.13 Effect of ultrasound time on extraction of walnut protein

由图 13 可知,随着时间的延长,蛋白得率一直升高,而蛋白纯度呈现先上升后下降的趋势,在超声时间为 30 min 时,蛋白得率达到最大值,由此 Y 值随着时间的延长一直呈上升趋势,在 30 min 后呈平缓趋势。这是因为适当的延长超声时间有利于超声空化作用的产生,使得溶质从溶剂中析出,蛋白溶解度增加,而随着时间的延长,长时间空化作用会使蛋白质结构遭到破坏,或者蛋白分子由于疏水性增加过大又会发生聚集折叠,导致溶解度下降^[21,22],因此得率降低。其中随着时间的延长也可能促进了除蛋白之外的其他成分的溶出,因此使得蛋白纯度降低。综上考虑,选择 30 min 作为最佳超声提取时间。

2.3.4 料液比对核桃蛋白提取效果的影响

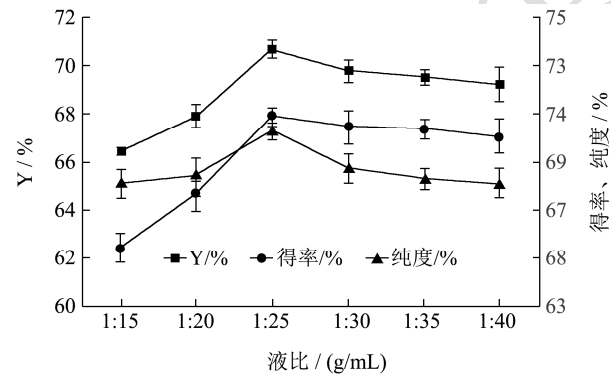


图 14 料液比对核桃蛋白提取效果的影响

Fig.14 Effect of solid-to-liquid ratio on extraction of walnut protein

由图 14 可知,随着料液比的增大,核桃蛋白的得率和纯度呈先上升后下降的趋势, Y 值也呈现相同的趋势。原因可能为:料液浓度低时,超声空化作用产生的作用力由于蛋白颗粒较少,而未充分相互碰撞,而适当的料液浓度使蛋白颗粒能够充分接受空化作用力,同时使蛋白之间发生强烈的碰撞,提高了超声波对蛋白的空化作用;然而,过高的料液浓度会影响物

料的质传热效果,影响了空化作用效果。同时料液比过大也会增加蛋白质提取后废水的后续处理难度,且提取液中蛋白质浓度会相对偏低,使蛋白质的回收变得困难。故综合考虑,选择 1:25 作最佳提取料液比。

2.4 超声波辅助提取核桃蛋白的正交试验结果

通过单因素试验筛选出对蛋白提取效果影响较大的三个因素为功率密度、温度、时间(分别以 A、B、C 表示),因此选取这三个因素为自变量,以综合评价指标 Y 为指标,进行三因素三水平正交试验,每个实验因素选取水平如表 3。

表 3 正交试验设计表 $L_9(3^4)$

Table 3 Orthogonal experimental design table $L_9(3^4)$

水平	A 功率密度 (W/L)	B 温度 /°C	C 时间 /min
1	80	50	25
2	100	55	30
3	120	60	35

通过试验所得正交试验结果如表 4。

表 4 正交试验结果

Table 4 Results of orthogonal test

试验号	A 功率密度 (W/L)	B 温度 /°C	C 时间 /min	Y/%
1	80	50	25	66.68
2	80	55	30	69.05
3	80	60	35	67.45
4	100	50	30	69.30
5	100	55	35	69.90
6	100	60	25	68.87
7	120	50	35	69.87
8	120	55	25	70.45
9	120	60	30	68.90
k1	203.18	205.85	206.00	
k2	208.07	209.40	207.25	
k3	209.22	205.22	207.22	
Ri	6.04	4.18	1.25	
优水平	A ₃	B ₂	C ₂	

从极差分析结果可以看出,各因素对蛋白提取效果影响的大小次序为: A>B>C,即超声功率密度对蛋白提取效果影响最大,其次是超声温度和超声时间。最优超声组合为: A₃B₂C₂,但这组水平不在正交表中,对该组水平进行三次验证试验,其结果为:蛋白得率 71.00%,蛋白纯度 72.69%, Y 为 71.68%,略高于正

交表中的最高平均值 70.45%。因此,应用五频 S 型超声波设备对其核桃粕原料进行处理,在频率为 20/28 kHz、pH 9,料液浓度为 1:25 的条件下,其最佳的超声提取参数为功率密度 120 W/L,超声温度为 55 ℃,超声时间为 30 min。

2.5 超声辅助提取与传统碱提核桃蛋白对比试验

本实验前期通过对料液比、温度、pH 和时间对传统碱提核桃蛋白工艺进行单因素及正交优化,得出最优条件为:料液比 1:20,温度 55 ℃,pH 9,时间 60 min。此时得率为 66.16%,纯度为 69.37%,Y 为 67.44%。

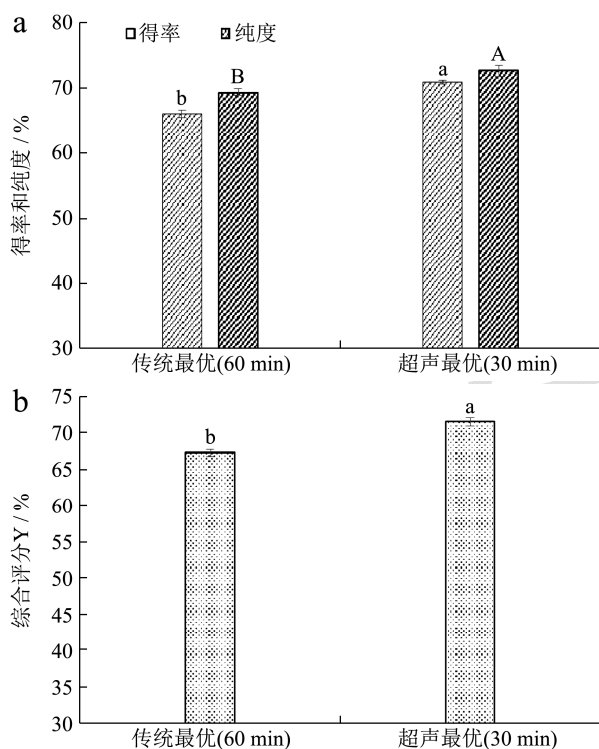


图 15 超声与传统碱提对核桃蛋白提取效果的影响

Fig.15 Effect of ultrasound and traditional alkali extraction on walnut protein extraction

将五频 S 型超声优化所得的试验结果与传统碱提所得的最优结果相比,如图 15。由图可知,五频 S 型超声设备显著提高了核桃蛋白的得率、纯度和综合评分 ($p < 0.05$),其中得率比传统碱提提高了 7.30%,纯度提高了 4.77%,综合评分 Y 提高了 6.27%,且提取时间缩短为传统碱提的一半,极大地提高了核桃粕蛋白生产效率。说明五频 S 型超声波设备在核桃粕蛋白提取方面具有显著的节能效果。

3 结论

超声波工作模式为 20/28 kHz (五频 S 型超声)能显著提高核桃粕蛋白的得率和纯度。在最佳超声参数为功率密度 120 W/L,超声时间 30 min,超声温度 55 ℃,料液比 1:25, pH 9 条件下,蛋白得率最高为 71.00%,纯度可达 72.69%。因此,五频 S 型超声辅助碱法从核桃粕中提取蛋白成分的效果好,成本低,对核桃产业副产物核桃粕的精深加工有一定的参考作用。

参考文献

- [1] 李榕.核桃粕中蛋白质和膳食纤维的综合利用[D].成都:四川大学,2015
LI Rong. Comprehensive utilization of protein and dietary fiber in walnut meal [D]. Chengdu: Xihua University, 2015
- [2] 张庆祝,丁晓雯,陈宗道,等.核桃蛋白质研究进展[J].粮食与油脂,2003,5:21-23
ZHANG Qing-zhu, DING Xiao-wen, CHEN Zong-dao, et al. Research progress of walnut protein [J]. Journal of Grain and Oil, 2003, 5: 21-23
- [3] 钟海雁,李忠海,袁列江,等.核桃生产加工利用研究的现状与前景[J].食品与机械,2002,4:4-6
ZHONG Hai-yan, LI Zhong-hai, YUAN Lie-jiang, et al. Status and prospects of research on walnut production, processing and utilization [J]. Food and Machinery, 2002, 4: 4-6
- [4] 寇文国,高洪庆.核桃产品的开发利用[J].中国油脂,2000,6:12-13
KOU Wen-guo, GAO Hong-qing. Development and utilization of walnut products [J]. Chinese Oil, 2000, 6: 12-13
- [5] 杨瑾,董明,曹彬彬,等.山核桃饼粕分离蛋白的提取工艺研究[J].食品工业科技,2012,33(5):280-284
YANG Jin, DONG Ming, CAO Bin-bin, et al. Study on the extraction process of isolated protein from pecan cake meal [J]. Food Industry Technology, 2012, 33(5): 280-284
- [6] 敬思群.响应面法超声波辅助提取核桃蛋白工艺优化[J].食品科技,2012,37(2):251-255
JING Si-qun. Optimization of extraction process of walnut protein by response surface method [J]. Food Science and Technology, 2012, 37(2): 251-255
- [7] TANG Xian ming, WANG Zhen yue, TANG Yi hua, et al. Optimization of extration proccess of *Rumex gemlini* by multiple guidelines grading method [J]. Journal of Chinese Medicinal Meternls, 2009, 32(9): 1460-1462
- [8] 吕飞,许宙,程云辉.米糠蛋白提取及其应用研究进展[J].食品与机械,2014,30(3):234-237

- LYU Fei, XU Zhou, CHENG Yun-hui. Progress in the extraction and application of rice bran protein [J]. Food and Machinery, 2014, 30(3): 234-237
- [9] Schoellhammer C M, Srinivasan S, Barman R, et al. Applicability and safety of dual-frequency ultrasonic treatment for the transdermal delivery of drugs [J]. Journal of Controlled Release, 2015, 202: 93-100
- [10] Rahimi M, Safari S, Faryadi M, et al. Experimental investigation on proper use of dual high-low frequency ultrasound waves-advantage and disadvantage [J]. Chemical Engineering & Processing Process Intensification, 2014, 78(4): 17-26
- [11] 李延盛. 超声化学[M]. 北京: 科学出版社, 1995
- LI Yan-sheng. Ultrasonic Chemistry [M]. Beijing: Science Press, 1995
- [12] Kentish S, Ashokkumar M. The Physical and Chemical Effects of Ultrasound [M]. New York: Springer Publishing Company, 2011
- [13] 金建. 基于计算机模拟与超声辅助酶法制备高生物利用度玉米蛋白的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2015
- JIN Jian. Study on the preparation of high bioavailability corn protein based on computer simulation and ultrasound-assisted enzyme [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2015
- [14] 杨雪, 李云亮, 王禹程, 等. 超声波预处理对大米蛋白酶解产物 ACE 抑制率的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(12), 150-156
- YANG Xue, LI Yun-liang, WANG Yu-cheng, et al. Effect of ultrasonic pretreatment on ACE inhibition rate of rice proteolytic products [J]. Chinese Journal of Food Science, 2018, 18(12), 150-156
- [15] 王珂, 马海乐, 李景, 等. 超声预处理辅助酶解玉米胚芽 ACE 抑制肽的研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(9): 11-15
- WANG Ke, MA Hai-le, LI Jing, et al. Study on ACE inhibitory peptides in maize germ by ultrasound preconditioning [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(9): 11-15
- [16] 赵见军, 张润光, 马玉娟, 等. 核桃粕中蛋白提取工艺的优化[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 40-46
- ZHAO Jian-jun, ZHANG Run-guang, MA Yu-juan, et al. Optimization of protein extraction process in walnut meal [J]. Food Science, 2014, 35(18): 40-46
- [17] 王琳, 李芳, 王文杰, 等. 核桃蛋白提取工艺优化及 SDS-PAGE 分析[J]. 食品工业, 2016, 37(10): 50-54
- WANG Lin, LI Fang, WANG Wen-jie, et al. Optimization of walnut protein extraction process and SDS-PAGE analysis [J]. Food industry, 2016, 37(10): 50-54
- [18] 范方宇, 王艳萍, 马艳娟, 等. 核桃蛋白提取工艺研究[J]. 农产品加工学刊, 2010, 5(3): 13-19
- FAN Fang-yu, WANG Yan-ping, MA Yan-juan, et al. Research on walnut protein extraction process [J]. Journal of Agricultural Product Processing, 2010, 5(3): 13-19
- [19] 王丰俊, 杨朝晖, 马磊, 等. 响应面法优化核桃蛋白提取工艺研究[J]. 中国油脂, 2011, 36(3): 33-37
- WANG Feng-jun, YANG Zhao-hui, MA Lei, et al. Study on optimization of walnut protein extraction process by response surface method [J]. China Fat, 2011, 36(3): 33-37
- [20] 姜莉, 陈金海, 徐怀德, 等. 胰蛋白酶对核桃蛋白水解条件的优化研究 [J]. 西北农林科技大学学报, 2008, 1(36): 201-207
- JIANG Li, CHEN Jin-hai, XU Huai-de, et al. Optimization of hydrolysis conditions of walnut protein by trypsin [J]. Journal of northwest Agriculture and Forestry University, 2008, 1(36): 201-207
- [21] Wang B, Atungulu G G, Khir R, et al. Ultrasonic treatment effect on enzymolysis kinetics and activities of ACE-inhibitory peptides from oat-isolated protein [J]. Food Biophysics, 2014: 1-9
- [22] Stathopoulos P B, Scholz G A, Hwang Y M, et al. Sonication of proteins causes formation of aggregates that resemble amyloid [J]. Protein Science A Publication of the Protein Society, 2004, 13(11): 3017-3027