

一种骨抽提复合搅拌热压装置的研制与应用

Design and test of hot pressing extraction equipment with composite rotary agitation and auto-discharging for bone extract

吴 婷^{1,2} 贾 伟^{1,2} 张春晖² 李 侠²

WU Ting^{1,2} JIA Wei^{1,2} ZHANG Chun-hui² LI Xia²

管 声¹ 韩 玲¹ 余群力¹

GUAN Sheng¹ HAN Ling¹ YU Qun-li¹

(1. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 兰州 730070; 2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193)

(1. Food Science and Engineering Department of Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

摘要:研制出一种复合旋转搅拌自卸渣式热压抽提装置,该装置包括罐体、复合搅拌装置、投料装置三部分。装置采用卧式搅拌提取,避免了常规提取方式中提取液与固体物料混合不均的难题,极大提高了加热速率和抽提效率;所采用的推进式刮板搅拌器和混合平桨式搅拌桨等距离相间间隔安装,电机可以实现正反转,自动执行提取过程和出渣过程;使用夹套与搅拌内轴两维度加热法,缩短了升温时间,节约了能耗。以鸡骨为原料进行热压抽提工艺优化试验,结果表明:骨胶原蛋白提取率高达 80% 以上,节省蒸汽 20%,升温时间从 1.5 h 缩短为 40 min。该装置解决了常规提取罐提取不彻底、不易分离油脂、通用性差、对厂房和辅助设备要求高的问题,设备自动化程度高,是一种安全、高效、节能的热压抽提装置。

关键词:畜禽骨;蛋白质;复合旋转搅拌;自卸渣;热压抽提

Abstract: Design a type of hot pressing extraction equipment with composite rotary agitation and auto-discharging, which consists of three parts: tank, composite rotary agitation device and feeding device. The equipment is a horizontal stirring extraction, to avoid the problem that the extract is mixed with the solid material irregularity in conventional extraction method, and greatly increase the heating rate and extraction efficiency. Propelled scraper agitator and mixing paddle type impeller installed spaced equidistant, and the motor can

forward and reverse, which make the extraction process and the process of tapping automatic. The use of two dimensional heating via jacket and stirring shaft, shorten the heating time and save energy. Hot-pressing extraction with chicken bone as raw material, and the results show that the extraction rate of bone collagen is more than 80% with almost 20% steam saving, and the heating time is from 1.5 h to 40 min. The equipment solves the problem such as conventional extraction tank extraction incompletely, extracting oil uneasy, poor universality, high demands on plant and ancillary equipment and so forth. The equipment is a high degree of automation, safe, efficient, energy-saving hot extraction equipment.

Keywords: livestock and poultry bone; protein; composite rotary agitation; auto-discharging; hot pressing extraction

中国每年产生大量废弃畜禽骨,畜禽骨中含有丰富的蛋白质、脂类、矿物质等营养成分,具有很高的开发价值。但是长期以来大量的畜禽骨没有得到合理的利用,只是被加工成附加值较低的产品^[1-3],如骨胶、骨油、饲料、肥料等,没有完全体现出骨的营养价值。近年来利用热压抽提的方法生产附加值较高的骨源食品,能够将畜禽骨中的营养成分充分利用,极大提高骨资源的综合利用^[4-6]。

目前,国内外的骨提取生产厂家使用的热压抽提设备大部分采用以下两种形式:一种是由提取植物性原料的下排渣提取罐改造而成;另一种是由上部大开盖采用吊笼方式的立式杀菌锅改造而来。下排渣提取罐的缺点是提取压力偏低、进出料效率低、提取率不高、通用性差;另外,对于小颗粒物料,在提取结束后,由于过滤面积限制易造成堵塞,不能满足多品种原料生产。而且出渣时,大量热废渣瞬时排出,冲击力很大,安全性较差,对生产环境易造成污染^[7-8]。

基金项目:国家现代农业(肉牛牦牛)产业技术体系资助项目(编号: CARS-38);农业部“引进国际先进农业科学技术”项目(编号: 2016-X31)

作者简介:吴婷,女,甘肃农业大学在读硕士研究生。

通讯作者:韩玲(1963—),女,甘肃农业大学教授,博士。

E-mail: hanling5@126.com

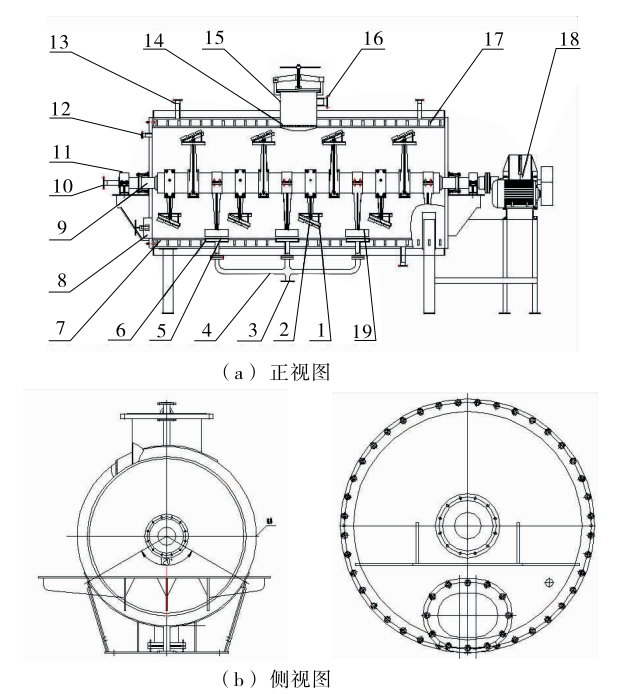
收稿日期:2016-03-27

李银等^[9]研制的上部大开盖的热压抽提罐配合吊笼的方式虽然解决了下排渣提取罐的缺点,但是原料充填率偏低、吊笼中心部位原料不易煮透,存在提取不完全、油水不易分离的弊端^[10]。另外,由于需要使用行车等起重设备,对厂房的高度和设备投入要求较高。本研究拟设计一种可食性动物骨的复合旋转搅拌自卸渣式热压抽提装置,以解决常规提取罐提取不彻底、不易分离油脂、通用性差、对厂房和辅助设备要求高的问题。

1 复合旋转搅拌自卸渣式热压抽提装置总体设计

1.1 结构组成

复合旋转搅拌自卸渣式热压抽提装置由罐体(内胆、夹套和保温层)、复合搅拌装置(搅拌轴、联轴器和正反转电机减速器)、投料装置三部分组成,结构见图 1。



1. 推进式搅拌器 2. 推进式搅拌器刮板 3. 出料口 4. 出料连接管 5. 出料口滤板 6. 出料口缓冲管 7. 夹套 8. 出渣口 9. 搅拌轴 10. 轴端进蒸汽口 11. 轴承 12. 压力表口 13. 夹套进蒸汽口 14. 投料口滤板 15. 投料口 16. 进水及排空口 17. 夹套加强筋 18. 电机减速器 19. 平桨混合搅拌

图 1 复合旋转搅拌自卸渣式热压抽提装置结构示意图
Figure 1 Structural diagram of hot pressing extraction e-
quipment with composite rotary agitation and
auto-discharging

1.2 工作原理

热压提取罐的工作原理是在较高温度与压力下,将破碎的鲜骨浸泡在水中,经过一定时间蒸汽加热,将骨中的蛋白质、脂肪、矿物质、风味物质等溶解、提取出来^[11]。本装备所设计的罐体为卧式,罐体的前后端设置有可拆卸的筒体法兰,内胆和夹套 7 之间具有间隙并设有加强筋 17,搅拌轴 9 上的推进式刮板搅拌器 2 和混合平桨式搅拌桨 19 与搅拌轴

9 通过抱箍形式连接,罐体外部的轴端通过联轴器与正反转电机减速器 18 相连接协同搅拌。首先,将所需提取的固体物料通过投料口 15 进入到罐体内部,在投料同时向罐内注水,直至工艺所要求容量。开启电机减速器 18,在其带动下搅拌轴 9 顺指针转动,三角形的推进式搅拌器 1 只起到混合作用不推进,而平桨混合搅拌 19 顺时针旋转,将不断投入物料通过搅拌作用分布到罐体内部。当投料量达到要求,安装投料口滤板 14 并盖紧投料口 15。

开启夹套进蒸汽口 13 阀门向夹套 7 内注入蒸汽,同时开启轴端进蒸汽口 10 向搅拌轴 9 注入蒸汽对罐内物料进行加热。当罐内物料温度达到 90 ℃时关闭进水排空口 16。在搅拌旋转时推进式搅拌器刮板 2 将与罐壁黏附的物料刮起防止结焦。夹套 7 内注入的蒸汽在夹套加强筋 17 的作用下增加了湍流程度,更加迅速加热内部物料,并且对内胆起到加强作用。观察压力表口 12 上的压力表,当温度达到要求,恒温阶段结束后关闭夹套进蒸汽口 13 和轴端进蒸汽口 10。打开出料口 3 阀门,料液经过出料口滤板 5 进入到出料口缓冲管 6 在经过出料连接管 4 汇集后进入下道工序,此时搅拌应一直不停。当料液排出完毕后,打开进水排空口 16 阀门,将剩余压力排空。

打开出渣口 8 的闸门,切换电机减速器 18 搅拌方向,使三角形的推进式搅拌器 1 开启推进模式,将内部提取剩余残渣从出渣口 8 排出。这样完成一次提取过程。

2 主要结构设计

2.1 罐体

罐体为卧式方式,包括内胆、夹套 7 和保温层。位于最内层的内胆包括筒体前后的平盖可拆卸封头、中间筒体,中间筒体有投料口 15 和出料口 3,筒体前端盖有出渣口 8。夹套 7 位于中间层,由夹套筒体、筒体法兰组成,夹套 7 套设在所述罐体内胆外周上形成一环腔,最外层为保温层以及保温层外包,保温层是由珍珠岩填充而成,内胆与夹套 7 之间具有间隙,且间隔设置有多加强筋 17,由于经常进行冷热交替使用,加强筋 17 可对夹套 7 进行加固,防止疲劳,夹套 7 靠近顶端处设有媒介入口,靠近底部位置设有媒介出口。

以一个容积为 1 500 L 的复合旋转搅拌自卸式热压抽提罐为例,对罐的关键结构参数进行设计计算。

2.1.1 夹套筒体(内压筒体)的厚度计算 夹套圆筒厚度按式(1)计算:

$$\delta = \frac{p_c D_i}{2[\sigma]'\varphi}, \tag{1}$$

式中:

δ ——计算厚度,mm;

p_c ——计算压力,MPa;

D_i ——夹套直径,mm;

φ ——焊接接头系数,常数,取 0.85;

$[\sigma]'$ ——容器元件材料在设计温度下的许用应力,MPa。

由于选用内筒材质为 0Cr18Ni9(304)根据压力容器与化工设计手册^[12],在 150 ~ 200 ℃ 工作环境中: $[\sigma]'$ =

130 MPa。

由此: $\delta = \frac{p_c D_i}{2[\sigma]'\varphi} = \frac{0.5 \times 1\,300}{2 \times 130 \times 0.85} = 2.94$,圆整后取 3 mm。

名义厚度按式(2)计算:

$\delta_n = \delta + C_1 + C_2,$ (2)

式中:

δ_n ——筒体的名义厚度,mm;

C_1 ——钢材厚度负偏差,mm;

C_2 ——腐蚀余量,mm。

查经 GB 3274—2007 查得 C_1 为 0.4 mm, C_2 为 1.5 mm。

由此: $\delta_n = \delta + C_1 + C_2 = 3 + 0.4 + 1.5 = 4.9$ mm,圆整后取 6 mm。

2.1.2 内胆圆筒(外压筒体)的计算 设 L 为圆筒计算长度,mm; D_0 为圆筒外直径,mm; A 和 B 为系数; δ_e 为筒体的有效厚度,mm; C_1 为钢材厚度负偏差,mm; C_2 为腐蚀余量,mm; δ_n 为筒体的名义厚度,是将设计厚度加上钢材厚度负偏差后向上圆整至钢材标准规格的厚度,即取整后的钢板厚度,mm; $[\rho]$ 为许用应力,MPa。通过逆推法对内胆圆筒厚度进行计算: $L/D_0 = 1\,000/1\,200 = 0.83$,取名义厚度 $\delta_n = 10$ mm,有效厚度 $\delta_e = \delta - C_1 - C_2 = 10 - 1 - 0.4 = 8.6$ mm,由于 $D_0/\delta_e = 1\,200/8.6 = 139.5$,根据 GB 150—2011 可得 $A = 9 \times 10^{-4}$, $B = 110$ MPa。则许用应力 $[\rho] = B/(D_0/\delta_e) = 110/139.5 = 0.78 \geq 0.5$,满足中国国标要求。

2.2 复合搅拌装置

复合搅拌装置设在罐体轴中心,其结构见图 2,包括搅拌轴 9 及其位于罐体轴中心部的推进式刮板搅拌器 1 和混合平桨式搅拌桨 19、联轴器和正反转电机减速器 18,搅拌轴 9 为空心厚壁管,可以通入蒸汽以实现加热,推进式刮板搅拌器 1 与混合平桨式搅拌 19 桨等距离相间隔安装,均布于罐体内部,搅拌轴 9 两端与筒体平盖法兰通过机械密封进行密封,搅拌轴 9 罐体外部两端安装在外部支撑架上,与支撑架通过轴承 11 连接。罐体后端轴通过联轴器与减速器和电机 18 连接,与筒体轴心在一条直线上。电机 18 可以实现正反转,实现提取过程和出渣过程的自动执行。搅拌轴 9 为空心厚壁管,可以通蒸汽实现加热功能,以增大内部加热面积。混合平桨式搅拌 19 桨所旋转路径与圆形放大缓冲短管的圆弧的滤板 5 位置一致,防止骨渣堵塞。罐体的顶部、中部和底部至少设置一个温度探头。

通过逆推法按扭转变形计算搅拌轴的轴径。轴转矩的

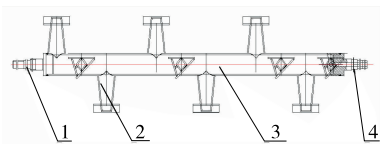


图 2 复合搅拌装置结构图

Figure 2 Structural diagram of composite rotary agitation device

刚度条件:

$\gamma = \frac{583.6 M_{n\max}}{G d^4 (1 - N_0^4)} \leq [\gamma],$ (3)

$M_{n\max} = \frac{9\,553 P_n}{n \eta},$ (4)

式中:

d ——搅拌轴直径,mm;

G ——轴的剪切弹性模量,MPa;

$M_{n\max}$ ——轴传递的最大转矩,N·m;

n ——搅拌轴转速,r/min;

P_n ——电机功率,kW;

η ——传动效率;

γ ——许用扭转角,°/m;

N_0 ——空心轴内径与外径之比。

暂取轴 d 为 60 mm,壁厚为 8 mm,搅拌轴转速 n 为 50 r/min,传动效率 η 为 0.9,则校核刚度:

$\gamma = \frac{583.6 \times 687.8}{7.9 \times 10^4 \times 60 \times (1 - 0.8^4)} = 0.14 < [\gamma] = 0.35。$

故 $d = 60$ mm,符合要求。

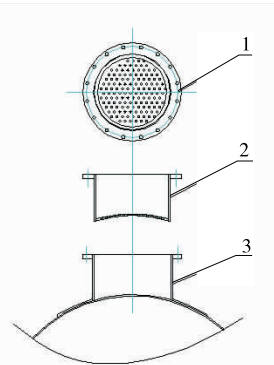
2.3 投料装置

投料装置结构见图 3。投料口 15 设置在筒体的中部,投料后能够均匀地分散到筒体中,投料口筒体侧部设置有排空口 16,罐体上部设置有安全阀口,投料口 15 底部设置有与筒体同圆弧度的滤板 14;出料口 3 设置在前端法兰的底部,其最低点与筒体最低点平行。筒体的出料口 3 设置有圆形放大缓冲短管 6,圆形放大缓冲短管 6 与筒体连接部分安装有与筒体同圆弧度的滤板 5,并且滤板可拆卸。

此处滤板 5 的设计有两个目的:① 在热压抽提过程中,随着搅拌的旋转能够有效避免物料在投料口 15 的堆积,防止物料不充分抽提;② 为了防止在泄压过程中,物料会随着二次蒸汽大量散失,而且由于滤网 14 设置在罐体上部,大大减轻了物料堵塞情况的发生。

3 装置性能试验

通过工艺预研与企业调研,确定料液质量比为 1 : 1 条件下,提取时间为 0~120 min,提取温度为 120,130,135 ℃ 3 个梯度,以鸡骨为原料进行热压抽提工艺的优化,并与常



1. 投料口俯视图 2. 投料口过滤网 3. 罐体投料孔

图 3 投料装置结构示意图

Figure 3 Structural diagram of feeding device

规提取方式进行比较研究。结果表明,热压抽提使得升温时间从 1.5 h 缩短为 40 min,提取时间越长温度越高,提取液中总固形物、总蛋白与胶原蛋白的提取率越高(表 1,图 4),褐

变程度加深(图 5),与董宪斌等^[13]研究结果一致。相对于白腾辉等^[14]和代建华等^[15]的研究,可显著提高鸡骨蛋白的抽提效率。

表 1 旋转搅拌抽提温度和时间对总固形物和蛋白含量的影响

Table 1 The effect of composite rotary agitation extraction temperature and time on total solids (TSS) and protein content ($n=3$)

时间/min	120 ℃		130 ℃		135 ℃	
	总固形物含量/%	蛋白含量/%	总固形物含量/%	蛋白含量/%	总固形物含量/%	蛋白含量/%
0	0.90±0.07	0.54±0.03	1.90±0.19	1.23±0.30	5.20±0.17	4.52±0.02
20	2.00±0.20	1.24±0.02	2.80±0.22	1.77±0.20	5.70±0.23	4.78±0.03
40	2.90±0.31	1.67±0.03	3.10±0.35	2.44±0.10	6.10±0.33	4.85±0.09
60	4.10±0.19	2.34±0.04	4.50±0.28	2.70±0.10	6.50±0.24	4.97±0.01
90	4.80±0.22	2.92±0.12	5.40±0.22	3.59±0.10	6.80±0.22	5.38±0.05
120	5.20±0.11	3.54±0.19	5.60±0.17	3.82±0.10	7.10±0.27	5.62±0.10

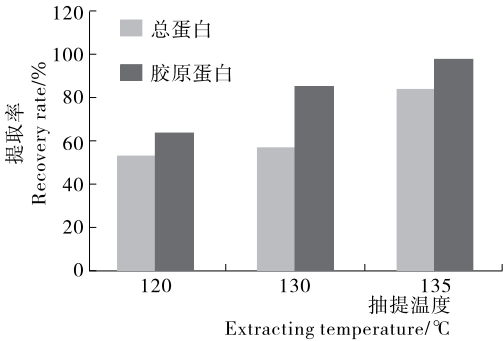


图 4 复合旋转搅拌热压抽提过程中提取率变化

Figure 4 Recovery rate during the composite rotary agitation extraction process

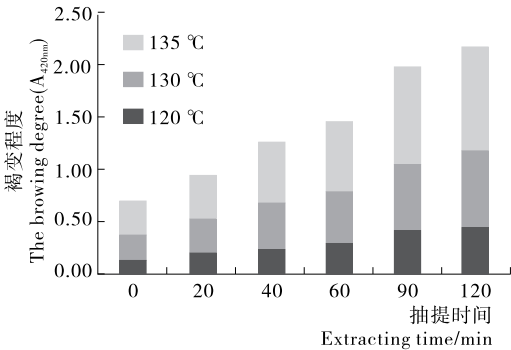


图 5 复合旋转搅拌热压抽提过程中褐变度变化

Figure 5 The browning degree during the composite rotary agitation extraction process

通过对提取效率、产品品质、能源动力消耗等多因素综合分析,确定鸡骨的提取工艺为:料液质量比 1 : 1,提取温度 130 ℃,时间 40~60 min。

4 结论

该套复合旋转搅拌自卸渣式热压抽提装置采用卧式搅拌提取及两项加热法,有效解决了常规提取罐提取不彻底、不易分离油脂、通用性差、对厂房和辅助设备要求高的问题;通过物理搅拌提高了加热速率和抽提效率。经生产验证表

明,该装置自动化程度高,安全、高效、节能。为骨提取及骨产品的研发提供了基础保障,具有一定的企业应用与推广价值。

参考文献

[1] 李鹏,王存堂,韩玲,等. 甘南牦牛肉质特性和营养成分分析[J]. 食品科学, 2010(22):414-416.

[2] 张春晖. 骨源食品加工技术[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 34-42.

[3] 夏秀芳. 畜禽骨的综合开发利用[J]. 肉类工业, 2007(5): 22-25.

[4] EASTIDGE M L. Major advance in applied dairy cattle nutrition[J]. Journal of Dairy Science, 2006, 89(4): 1 311-1 323.

[5] 吴立芳,马美湖. 我国畜禽骨骼综合利用的研究进展[J]. 现代食品科技, 2005, 21(1): 138-143.

[6] MCCURDY S M, JELEN P, FEDEC P, et al. Laboratory and pilot scale recovery of protein from mechanically separated chicken residue[J]. Journal of Food Science, 1986, 51(51): 742-747.

[7] 贾伟,蒋玉梅,李侠,等. 畜禽骨素热压抽提设备发展现状及前景[J]. 中国食品工业, 2011(8): 43-46.

[8] 魏化中,王友,杨红. 多功能提取罐控制系统研究[J]. 通用机械, 2006(1): 72-74.

[9] 李银,贾伟,张春晖,等. 可食性动物骨素热压抽提装置的研制[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 153-156.

[10] 王友,魏化中,张嘉琳. 提取罐下排渣门安全问题分析[J]. 通用机械, 2006(6): 55-58.

[11] 王启义. 机械设计基础[M]. 江西: 科学技术出版社, 2002: 132-207.

[12] 董大勤,袁风隐. 压力容器与化工设备实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 191.

[13] 董宪斌,李侠,张春晖,等. 分光光度法测定畜禽骨素中胶原蛋白含量[J]. 现代食品科技, 2013, 29(10): 2 538-2 541.

[14] 白腾辉,潘润淑,马亚萍,等. 鸡骨渣高压蒸煮提取鸡骨素的工艺优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 199-203.

[15] 代建华,赵永敢. 不同的提取工艺对鸡骨素出品率的影响[J]. 肉类工业, 2008(9): 25-28.