

应用微型旋流器分离豌豆浆液中的淀粉

Separation of pea slurry by Hydrocyclone

朱剑伟 华欲飞 张彩猛

ZHU Jian-wei HUA Yu-fei ZHANG Cai-meng

孔祥珍 陈业明 李兴飞

KONG Xiang-zhen CHENG Ye-ming LI Xing-fei

(江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122)

(School of Food Science and Technology, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要: 研究考察了不同进料压力、分股比、料液浓度条件下单级旋流器对豌豆浆液中淀粉的分离效果。试验结果表明, 进料压力 0.6 MPa, 底溢流分股比 0.32, 料液可溶性成分 2.86%, 不溶性成分 8.61% 时, 豌豆浆液中淀粉等不溶性成分进入底流的分离效率达到 84.50%, 蛋白质等可溶性成分物质进入溢流的分离效率达到 73.74%。

关键词: 水力旋流器; 豌豆蛋白; 旋流分离; 淀粉

Abstract: In wet processing, starch separation is one of the most important steps to prepare pea protein from pea slurry. The effect of single stage hydrocyclone on the separation of starch in pea slurry was investigated under different conditions such as feed pressure, stock ratio and feed liquid concentration. According to the experimental results, when the feed pressure was 0.6 MPa, the stock ratio of bottom overflow was 0.32, the soluble component was 2.86% and the insoluble component was 8.61%, the separation efficiency of starch and other insoluble components in pea slurry entering the bottom flow reaches 84.50%, and that of protein and other soluble components entering the overflow reached 73.74%. The operating conditions of the single-stage cyclone provide the basis for the separation process research of the multi-stage cyclone.

Keywords: hydrocyclone; pea protein; swirling separation; starch

豌豆的主要成分是淀粉和蛋白质, 其淀粉含量达 40%~45%, 蛋白含量达 20%~25%, 是植物蛋白的一个重要来源^[1]。豌豆蛋白产品的豆腥味一直是影响豌豆蛋

白应用的根源, 其纯度也是工艺中的一个难点。利用碱溶工艺^[2]以及无氧磨浆技术得到风味清淡的豌豆浆液, 该浆液中含有大量的不溶性组分, 严重制约着豌豆蛋白产品的工业化生产。为得到较纯净的豌豆蛋白浆液, 本课题组曾利用水力旋流器进行固液体系浆液的分离, 但豌豆蛋白质的分离效率却很低, 因为单级旋流时大量的蛋白质溶液进入底流, 严重影响豌豆蛋白质的回收, 豌豆中大量的纤维残渣进入旋流器内分离, 从而影响蛋白质的纯度。

Singh 等^[3]采用 10 mm 水力旋流器进行蛋白质—淀粉分离, 与常规方法相比, 旋流器分离所需时间减少了 70%。Emami 等^[4]运用水力旋流器进行淀粉和蛋白质的分离, 两次的旋流分离淀粉得率高达 99%, 含量为 89.80%~99.71%。前人^[5]研究中, 淀粉的分离效率一直是关注的重点, 在风味清淡的豌豆浆液中, 不仅仅要考虑不溶性组分的分离效率, 同时也要考虑蛋白浆液进入溢流的回收率, 从而降低成本。

本研究拟设计出最佳结构的水力旋流器, 在试验过程中研究结构参数以外对分离效果影响较大的操作参数(进料压力^[6]和分股比^[7])和物性参数(料液浓度^[8]), 为无氧磨浆工艺制造风味清淡的豌豆蛋白提供实际指导, 并为多级旋流器分离工艺研究提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

豌豆: 黄豌豆, 嫩江富民农副产品有限公司;

氢氧化钠: 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

打浆机: BLST4090B-073 型, 汇勋电器制品有限公司;

激光粒度分析仪: Microtrac-S3500 型, 美国

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(编号: 31801590); 江苏省自然科学基金(编号: BK20180609)

作者简介: 朱剑伟, 男, 江南大学在读硕士研究生。

通信作者: 华欲飞(1962—), 男, 江南大学教授, 博导, 博士。

E-mail: yfhua@jiangnan.edu.cn

收稿日期: 2019-02-10

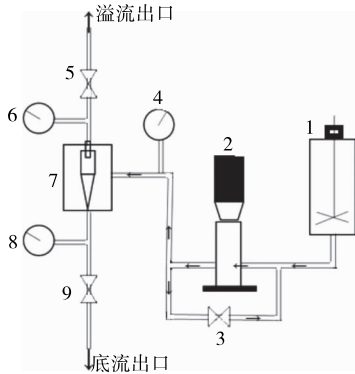
Microtrac 公司;

离心机:HitachiCR21G 型,日本日立公司;

强力电动搅拌器:90 型,上海沪西分析仪器厂;

pH 计:PHS-3C 型,上海精密科学仪器有限公司;

单级旋流装置(见图 1):规格见表 1,实验室自行组装。



1. 搅拌罐 2. 轻型立式多级离心泵(扬程 117 m,转速 2 900 r/min)
3. 卡箍式卫生球阀(1") 4. 耐震压力表(量程 0.0~1.0 MPa)
5. 卡箍式卫生球阀(3/4") 6. 耐震压力表(量程 0.0~0.6 MPa)
7. 旋流箱(内有 1 根旋流管) 8. 耐震压力表(量程 0.0~0.6 MPa) 9. 卡箍式卫生球阀(3/4")

图 1 单级旋流器装置

Figure 1 Single-stage cyclone device

表 1 旋流管的参数

Table 1 Parameters of the cyclone tube

参数	单位	尺寸
旋流器直径 D	mm	10
旋流圆柱长度 L	mm	40
底流口直径 Du	mm	2.2
旋流管锥角 θ	($^{\circ}$)	4
椎体长度 Lv	mm	111.7
溢流口直径 Do	mm	3.3
溢流口插入深度 h	mm	11
进料口面积 S	mm^2	1.4×3.6

1.3 方法

1.3.1 豌豆浆液制备 称取 5 kg 黄豌豆于室温 20~25 $^{\circ}\text{C}$ 下浸泡 12 h 后,吸胀后的豌豆质量为 9.5~10.0 kg,加入 4 mol/L 氢氧化钠溶液 200 mL 和不同量的水用豆浆机进行搅打 90 s,控制搅打浆液 pH 为 9.0~9.5。后经过滤去除纤维,滤液为豌豆浆液。其中不同的加水量(3,5,7 倍)所制备的浆液分别为浆液 A、B、C。

1.3.2 进料压力控制 控制旋流器装置的球阀 5、9 分别使溢流压力表 6 和底流压力表 8 稳定在固定的压力 0.05 MPa,控制球阀 3 改变旋流器的进料压力。将溢流、

底流的出料混合,测量旋流器处理量。

1.3.3 分股比控制 控制卡箍式卫生球阀 3 使进料压力稳定(即耐震压力表 4 值为 0.5 MPa),并且控制卡箍式卫生球阀 5 使耐震压力表 6 稳定在 0.1 MPa。控制卡箍式卫生球阀 9 调节耐震压力表 8 的压力变化,改变豌豆浆液在底流出口的流量,从而改变分股比的大小。

1.3.4 粒径分析 利用粒度分析仪测定豌豆浆液中不溶性成分物质粒径分布。根据张豪等^[9]测粒径分布的方法,修改如下:选用湿法模式测定,样品分析参数设定为不规则形状,折射系数 1.520。每次取 0.60 mL 豌豆浆液进行测定,每个样品重复 3 次观察粒径分布。

1.3.5 可溶性成分、不溶性成分含量测定 取样的浆液经 6 000 r/min 离心后去除不溶性沉淀,上清液中固形物的质量占整个浆液质量的比值定义为可溶性成分含量 C_s ;取样浆液经 6 000 r/min 离心后不溶性成分质量与浆液质量的比值定义为不溶性成分含量 C_i 。

1.3.6 旋流器参数 不溶成分分离效率 E_i 定义为底流的不溶性成分质量与豌豆浆液不溶性成分质量的比值;可溶性成分分离效率 E_s 定义为底流中可溶性组分质量与豌豆浆液可溶性组分质量的比值;分股比 S 定义为底流体积流量与溢流体积流量的比值^[10]。

1.3.7 统计分析 本试验数值表示为(平均值 $\pm$ 标准偏差),试验重复测定 3 次。采用 SPSS 20.0 中 ANOVA 的 Duncan 检验法进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 豌豆浆液中不溶性成分的粒径分布

豌豆浆液不溶性成分粒径分布曲线如图 2 所示。豌豆浆液中粒径大于 10 μm 的不溶性成分为 96.62%,故选用直径 D 为 10 mm 的旋流器。

2.2 进料压力对旋流器处理量的影响

由图 3 可知,旋流器的处理量随着进料压力的增大而增大。同时,试验结果表明,进料流量的增大使进入旋流器的豌豆浆液流速增大,不溶性成分颗粒在旋流管内

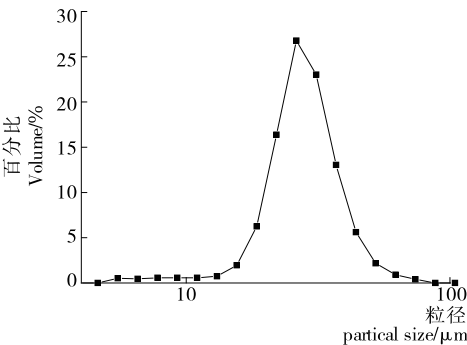


图 2 豌豆浆液不溶性成分粒径分布曲线

Figure 2 Particle size distribution curve of insoluble components

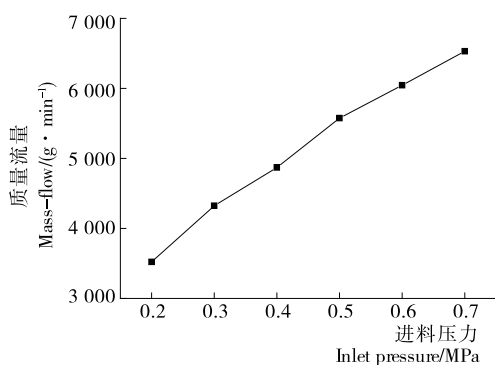


图 3 进料压力对处理流量的影响

Figure 3 Effect of feed pressure on treatment flow

做螺旋线涡运动所受向心力越大,颗粒越易贴着旋流器壁随着底流流出。而包含部分小颗粒不溶性成分的浆液则主要逆流向上从溢流出口流出。

2.3 进料压力对分离效率的影响

豌豆经浸泡完全后进行磨浆处理,得到可溶性成分含量为 4% 和不溶性成分含量为 8.6% 的豌豆浆液。经试验溢流底流两端实际分离情况取样后结果如图 4 所示,不溶性成分(主要为淀粉)在底流富集。豌豆浆液经不同进料压力旋流分离后的不溶性成分分离效率和可溶性成分分离效率如表 2 所示。

表 2 单级旋流器在不同进料压力下豌豆浆液可溶性和不溶性成分的分离效率[†]

Table 2 Effect of different feed pressures on separation efficiency

进料压力/MPa	可溶性成分/%	不溶成分/%
0.1	78.47±1.91 ^a	70.53±0.69 ^d
0.2	74.56±1.14 ^b	67.73±1.06 ^e
0.3	75.20±1.31 ^b	66.55±0.87 ^e
0.4	71.08±0.76 ^c	77.04±0.80 ^c
0.5	69.67±0.57 ^c	81.01±0.48 ^b
0.6	70.66±0.93 ^c	84.45±1.28 ^a
0.7	70.42±1.15 ^c	83.86±0.91 ^a

† 同列字母不同表示差异显著($P \leq 0.05$)。

随着豌豆浆液进料压力的不断增大,进料与溢流的压力差不断增大,0.1~0.3 MPa 进料压力下,底流不溶性成分分离效率呈下降趋势;0.4~0.6 MPa 进料压力下,底流不溶性成分分离效率呈上升趋势;0.6~0.7 MPa 时,底流不溶性成分物质分离效率基本稳定,无明显变化。

2.4 分股比对分离效率的影响

分股比是影响水力旋流器的一个重要因素,即底流体积流量与溢流体积流量之比。分股比对于底流出口的不溶性成分浓度会有明显的区别。由表 3 可知,随着分股比的增加,底流不溶性成分分离效率不断增加,溢流的

可溶性成分分离效率不断降低。由于耐震压力表 8 量程为 0.0~0.6 MPa,在 0.0~0.1 MPa 无法精确地截取试验压力,故选取 0.05 MPa。在不同的分股比条件下,可溶性成分分离效率与不溶性成分分离效率呈相反趋势。分股比增大意味着豌豆浆液通过旋流器底流的流量越大,豌豆浆液过多的进入底流导致溶于浆液的蛋白质进入底流,不利于淀粉-蛋白质的分离。若分股比过小,则底流的流量过少,会导致不溶性成分在底流处不易被排出而逆流向上从溢流旋流器流出,对于溢流级所获得的样品不溶性成分过多,无法起到很好的分离效果。实际的过程中采用 0.24~0.32 的分股比。

表 3 不同分股比下豌豆浆液可溶性和不溶性物质的分离效率[†]

Table 3 The outflow separation efficiency of soluble or insoluble substance in diverse spilt ratio

分股比	可溶性成分/%	不溶成分/%
0.05	90.30±1.18	32.72±0.77
0.10	85.46±1.02	44.50±1.17
0.16	82.69±0.29	51.41±0.45
0.24	78.41±0.45	58.73±0.75
0.32	73.74±0.49	78.64±0.98
0.69	57.49±0.36	88.11±0.80
1.01	48.08±0.27	91.07±1.01

2.5 豌豆浆液料液浓度对分离效果的影响

豌豆浆液 A、B、C 物性参数如表 4。由表 4 可知,不同豌豆浆液中,不溶性成分含量无显著性差异,基本稳定在 8.6%,将 3 种豌豆浆液进行旋流分离,所得到的不溶性成分分离效率如表 5 所示。

由表 5 可知,随着磨浆时水量的增加,豌豆浆液中可溶性成分浓度降低,浆液颜色明显变浅。对比 3 种豌豆浆液,豌豆浆液 C 的不溶性成分分离效率随着分股比的变化均高于豌豆浆液 A、B。而 3 种浆液的可溶性成分分离效率(E_s),每一个分股比条件下,豌豆浆液进入底流的占比一致。故制备豌豆浆液 C 中的加入 7 倍水的磨浆方式最优。

表 4 不同豌豆蛋白淀粉浆液的物性特质[†]

Table 4 Physical properties of pea protein starch slurry

豌豆浆液	可溶性成分含量	不溶性成分含量
A	5.80±0.10 ^a	8.63±0.10
B	4.08±0.16 ^b	8.57±0.08
C	2.86±0.10 ^c	8.61±0.07

† 同列字母不同表示差异显著($P \leq 0.05$)。

表 5 不同豌豆浆液在不同分股比下的不溶性成分的分离效率[†]
Table 5 Separation efficiency of underflow insoluble sediment

分股比	豌豆浆液 A/%	豌豆浆液 B/%	豌豆浆液 C/%
0.05	47.27±0.34 ^b	59.52±0.51 ^a	59.20±0.40 ^a
0.10	62.17±0.20 ^a	67.25±0.63 ^b	71.90±0.57 ^c
0.16	67.25±0.22 ^a	74.30±0.27 ^b	73.59±0.48 ^c
0.24	74.26±0.41 ^a	77.13±0.78 ^b	81.70±0.67 ^c
0.32	74.51±0.12 ^a	79.50±0.49 ^b	84.50±0.42 ^c
0.69	84.47±0.39 ^a	86.67±0.28 ^b	89.33±0.46 ^c
1.01	85.44±0.67 ^a	88.90±0.40 ^b	92.18±0.88 ^c

[†] 同列字母不同表示差异显著(P≤0.05)。

3 结论

本研究将微型旋流器应用于高品质豌豆蛋白的制备,提高了整个工艺的效率;旋流器占地面积少,提高了整个工艺的空间利用率。同时在已有微型旋流器结构的基础上,证明了装置的操作参数以及物性参数对旋流器的分离效率具有显著的影响。在赵启昂^[11]淀粉分离效率的基础上,为更好地获得纯净且高回收率的豌豆蛋白浆液,分股比的影响显著高于料液浓度和进料压力。豌豆浆液的前处理以及旋流器的进料压力也会对分离效率产生影响,合理地控制此因素,有利于提高生产效率、降低成本。本研究还将继续设计合理的旋流器连接方式对底流的豌豆浆液进行再次分离,从而使底流中豌豆蛋白质能更好地被回收,提高豌豆蛋白质的回收率。

(上接第 103 页)

C>D,最佳参数组合为 A₃B₃C₃D₂。C 因素水平直接影响生产效率,且其极差值 R 相对较小,为获取更高的生产效率,C 因素选择第 1 水平(25 mm/s),最终优选结果为 A₃B₃C₁D₂。该组合在表 2 所示正交试验方案中未有体现,针对该组合进行 20 次验证实验,柑橘果肉去除率达到 99%,未有出现果皮破损情况,综合评分达到 99.2 分。最终确定参数的最优组合是 A₃B₃C₁D₂。即喷嘴气孔直径 3 mm、吹气压力 0.65 MPa、喷嘴升降速度 25 mm/s、喷嘴旋转速度 150 r/min。

3 结论

本研究基于环切取盖、刀具开腔和高压吹气的原理,设计了柑橘去肉取皮机。利用多因素正交试验对机构控制参数进行优化,采用综合评分法获得最优参数组合为:喷嘴气孔直径 3 mm、吹气压力 0.65 MPa、喷嘴升降速度 25 mm/s、喷嘴旋转速度 150 r/min。试验表明机构运行稳定,果肉去除率 99%以上,生产效率是现有人工的 3 倍。但其工业化应用时设备结构和布局尚需进一步优化。

参考文献

[1] 师伟伟, 华欲飞. 豌豆粉丝厂废水中蛋白质的提取和性质研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(1): 120-124.
[2] CHAVAN U, MCKENZIE D. Functional properties of protein isolates from beach pea (Lathyrus maritimus L.)[J]. Food Chemistry, 2001, 74(2): 177-187.
[3] SINGH N. Hydrocyclone procedure for starch-protein separation in laboratory wet milling[J]. Cereal Chemistry, 1995, 72(4): 344-348.
[4] EMAMI S, TABIL L G, TYLER R T, et al. Starch-protein separation from chickpea flour using a hydrocyclone [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 82(4): 460-465.
[5] 俞建峰, 傅剑, 谢耀聪, 等. 淀粉分离用超重力微旋流装置分离性能研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 99-103.
[6] 吴永永, 钟平汝, 王高山, 等. 进料压力及含固量对铀矿浆分级性能的影响[J]. 铀矿冶, 2014, 33(4): 212-214.
[7] 黄军, 安连锁, 杨阳, 等. 结构参数对石膏旋流器分股比的影响分析[J]. 动力工程学报, 2011, 31(9): 678-681.
[8] 郭广东, 邓松圣, 张福伦. 操作参数对固-液-液三相水力旋流器分离效率的影响[J]. 石油矿场机械, 2010, 39(5): 17-19.
[9] 张豪, 孔祥珍. 磨浆工艺对速食豆腐粉浆料品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(11): 210-215.
[10] 庞学诗. 水力旋流器技术与应用[M]. 北京: 中国石化出版社, 2011: 145-150.
[11] 赵启昂. 微型旋流器分离大米淀粉过程的数值模拟及实验研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009: 20-28.

参考文献

[1] 期刊通讯员. 掀起全生晒柑普生茶新热潮[J]. 广东茶叶, 2017, 6(3): 39.
[2] 黄伟亮. 柑普茶历史文化探微: 从一首新会童谣说起[J]. 农业考古, 2016, 6(5): 27-32.
[3] 程磊. 柑普, 靠谱[J]. 茶世界, 2016, 12(12): 66-69.
[4] 蔡佳梓, 丁敏, 何新, 等. 新会柑普茶成分分析[J]. 广州化工, 2016, 44(18): 132-136, 168.
[5] 陈家宏. 一种多工位的挖肉机: 中国, 201710761740.0[P]. 2017-08-30.
[6] 黄赛健. 一种多工位的挖肉机: 中国, 201720048187.1[P]. 2017-12-05.
[7] 黄赛健. 多工位开果机: 中国, 201710029743.5[P]. 2017-01-07.
[8] 闻邦椿. 机械设计手册: 带链摩擦轮与螺旋传动[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015: 120-125.
[9] 熊学东, 石海强, 曹楠, 等. 采用坐标综合评定法优化相思木硫酸盐法制浆工艺[J]. 中国造纸学报, 2016, 31(1): 1-6.