

用 Aspen Plus 模拟反胶束萃取大豆蛋白过程中毛油脱溶操作

王 鑫^{1,2}, 于国萍^{1,*}, 杜成亮³, 吴志光⁴

(1. 东北农业大学食品学院, 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江出入境检验检疫局, 哈尔滨 150001
3. 黑龙江省政府办公厅, 哈尔滨 150001; 4. 哈尔滨工业大学教育部微纳米材料研究中心, 哈尔滨 150008)

摘 要: 利用反胶束技术萃取大豆蛋白的同时可以提取出大豆毛油, 但毛油中含有有机溶剂, 它们可以循环回收利用。在工业生产中, 为了获得回收有机溶剂所用脱溶操作的相关工艺参数, 该文基于 Aspen Plus 11.1 软件模拟了反胶束萃取大豆蛋白过程中毛油的脱溶操作。利用 Aspen Plus 模块化分析功能, 对油脂和溶剂的纯度、精馏塔的塔板数、再沸器和冷凝器的热负荷进行了分析, 结果显示: 减压蒸馏的回流比为 0.352, 塔顶馏出物流量为 10.348 kg/h 时, 油脂和溶剂的纯度分别可以达到 98.9%和 99.7%, 此时再沸器和冷凝器的实际热负荷分别为 1 398.824W 和-1 626.226 W。灵敏度分析模块显示: 随着塔板数的增加, 油脂和溶剂的浓度分别增大, 并确定了最佳塔板数为 5。在模拟计算的基础上, 进行成本分析, 每年可节约成本 127.2 万元, 并初步探讨了工业化装置设计的技术关键点, 以期工业设计放大脱溶装置提供可靠的数据。

关键词: 萃取, 设计, 工艺, Aspen Plus 模拟, 毛油, 脱溶, 大豆蛋白

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.03.037

中图分类号: TS214.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-03-0279-06

王 鑫, 于国萍, 杜成亮, 等. 用 Aspen Plus 模拟反胶束萃取大豆蛋白过程中毛油脱溶操作[J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 279—284.

Wang Xin, Yu Guoping, Du Chengliang, et al. Simulation by Aspen Plus on desolventizing of crude oil in soybean protein extracting process with reverse micelles[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(3): 279—284. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

碱溶酸沉法是传统的大豆蛋白生产方法, 但其生产过程需要加入大量的酸和碱, 生产成本较高。近几年来, 陈复生等学者^[1-8]研究了使用反胶束技术从植物原料中同时萃取蛋白质和油脂的工艺, 进行了实验室级别的动力学研究, 并且获得了一些工艺参数^[9-11]。反胶束技术萃取蛋白的优点之一就是所用的溶剂可以循环利用, 另外还可以在萃取蛋白的同时提取毛油。而将此工艺放大, 从实验室级别扩大到实现工业化生产还未见报道。一般工业化设计与放大前, 要先使用流程模拟软件来计算相关的流程和单元操作参数, 而在这些模拟软件中, Aspen Plus (先进过程工程系统) 是麻省理工学院和美国军方研发的, 基于工艺放大、稳态过程模拟、优化、

灵敏度分析和经济评价的大型流程软件^[12-13]。它提供了一套完整的单元操作模型, 用于模拟各种操作过程^[14-15], 从单个操作单元到整个工艺流程的模拟^[16-18], 已经广泛应用于石油、化工、聚合物、精细化工、医药等行业^[19-20], 是当今最流行的工艺放大模拟计算软件。本研究使用 Aspen Plus 11.1 软件绘制了反胶束技术模拟放大后的同时萃取大豆蛋白和大豆毛油的生产流程图, 并对反胶束法生产大豆蛋白过程中毛油的脱溶单元操作进行了模拟计算。

1 材料与方 法

1.1 试验材料及软件系统

丁二酸二异辛酯磺酸钠(AOT), 分析纯; 异辛烷, 分析纯; KCl, 分析纯; KH_2PO_4 , 分析纯; Na_2HPO_4 , 分析纯; 全脂大豆粉, 哈高科大豆食品有限责任公司, 蛋白质质量分数 35%, 油脂质量分数 18%; Aspen Plus 11.1 版本软件系统

1.2 生产流程绘制方法

采用 Aspen Plus11.1 软件流程绘制功能绘制。

1.3 物性方法及模块

采用 NRTL (活度系数) 的物性方法; 采用 Radfrac (严格法精馏) 模块来进行溶剂与油脂的分离模拟, 使用全凝器和减压蒸馏。

收稿日期: 2012-07-13 修订日期: 2012-12-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31071493)

作者简介: 王 鑫 (1984—), 男, 黑龙江绥化人, 东北农业大学讲师, 在读博士, 2012 年进入黑龙江出入境检验检疫局工作。主要从事蛋白质工程方向研究。哈尔滨 东北农业大学食品学院, 150030。
Email:wangxin_011@sina.com

*通信作者: 于国萍 (1963—), 女, 博士, 东北农业大学教授, 博士生导师。研究方向: 农产品精深加工。哈尔滨 东北农业大学食品学院, 150030。

1.4 质量纯度指标的约束方法

整个模拟过程的关键在于使精馏塔分离出的异辛烷与油脂的纯度均达到可回收的纯度, 即质量纯度(质量纯度即为相应物质所占质量分数)均不低于 98%。在精馏过程中, 可通过调节精馏塔的 2 个参数: 回流比和塔顶馏出物流量, 来达到目的分离度, 并计算达到目的分离度后, 精馏塔的板间距、塔径和塔高等参数, 以期工业化生产的设备选型做出依据和参考。利用 Aspen Plus 中的 Design Specs (设计规定) 模块来定义 2 个变量: 回流比和塔顶馏出物流量。求解目标变量设定为塔顶异辛烷纯度和塔底油脂的质量纯度。按照文献[2]中实验室级别的小试数据进行相应放大, 总进料物流条件: 异辛烷 10.35 kg/h (该股 1); 豆粉 0.5 kg/h; AOT 1.6 kg/h (该股 2); 1.2 mol/L KCl 溶液 0.064 kg/h (该股 3)。

1.5 灵敏度分析方法

利用 Aspen Plus 中的 Model Analysis (模型分析) 工具, sensitivity (灵敏度) 模块来分析塔板数与塔顶馏出物和塔底馏出物的关系, 塔板数从 1 逐渐增加, 直到出现干塔现象为止, 结合 1.4 中的约束方法来确定塔板数, 并用 Origin7.5 软件作图。

1.6 成本分析方法

采用成本分析中的因素分析法, 将影响成本的各种因素进行分解分析。

2 结果与分析

2.1 反胶束萃取大豆蛋白和提取大豆毛油的生产流程设计图

使用 Aspen Plus 11.1 软件画出整个生产的流程图, 通过即时回收异辛烷来达到循环生产的目的。

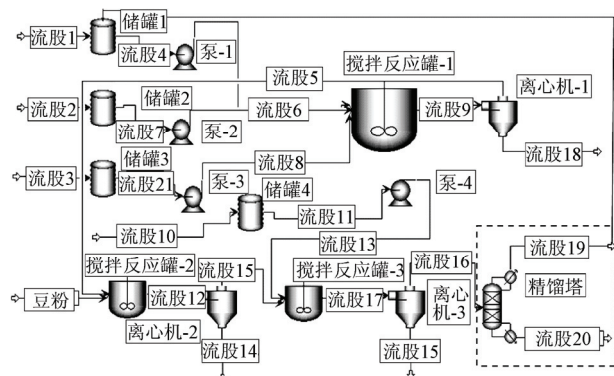


图 1 反胶束萃取大豆蛋白和毛油的工业流程

Fig.1 Industrial process of extracting soybean protein and crude oil by reverse micelles

对应表 1 中各名称的作用, 如图 1 所示: 储罐 1 中的异辛烷 (该股 4)、储罐 2 中的表面活性剂 AOT (该股 7) 和储罐 3 中的 KCl 溶液 (该股 21) 分别经泵-1、泵-2 和泵-3 流动至搅拌反应罐-1, 经

过离心机-1 处理后, 得到的反胶束溶液 (该股 5) 与豆粉一起进入搅拌反应罐-2, 得到的混合萃取液 (该股 12) 经过离心机-2 的除渣后, 萃取液 (该股 15) 流入搅拌反应罐-3。同时, 储罐 4 中的 KCl 经泵-4 (该股 13) 也进入搅拌反应罐-3, 进行蛋白的后萃工艺, 经离心机-3 后, 得到大豆蛋白 (该股 15) 和异辛烷与油脂的混合物 (该股 16), 该股 16 进入精馏塔, 分离出异辛烷 (该股 19) 和油脂 (该股 20)。塔顶分离出的异辛烷回到储罐 1, 实现生产所需溶剂的再循环。

图 1 中虚线框所示的脱溶装置是我们要模拟计算的单元操作, 此脱溶装置用来分离大豆毛油和异辛烷。本文主要模拟计算脱溶装置回收合格产物时 (纯度达标), 回流比、塔板数及再沸器和冷凝器相应的技术参数。

表 1 图 1 流程中各项标号的作用
Table 1 Effect of the label in process of Fig1

名称	作用	名称	作用	名称	作用
储罐 1	储存异辛烷	泵-1	调节储罐 1 流量	离心机-1	分离出反胶束溶液
储罐 2	储存表面活性剂(AOT)	泵-2	调节储罐 2 流量	离心机-2	分离出豆渣
储罐 3	储存 KCl 缓冲溶液	泵-3	调节储罐 3 流量	离心机-3	分离出大豆蛋白质
储罐 4	储存后萃 KCl 溶液	泵-4	调节储罐 4 流量	搅拌反应罐-2	萃取蛋白装置
精馏塔	脱溶装置	搅拌反应罐-1	反胶束制备器	该股	表示物料流动

2.2 Aspen Plus 模拟脱溶操作中大豆毛油和异辛烷的质量纯度计算结果

本单元操作中既要分离异辛烷和油脂, 得到产物大豆毛油, 同时分离出的异辛烷也要继续循环使用。因此, 设计目标是塔顶馏出物异辛烷和塔底馏出物毛油的质量纯度均要达 98% 以上。本模拟通过调节回流比和塔顶馏出物的流量来满足这个目标变量的约束。

在 Aspen Plus 软件的 Design Specs (设计规定) 模块中, 第一个操作变量回流比 Lower bound (下限) 和 Upper bound (上限) 分别定为 0.3 和 2, 步长为 0.002。设定依据为: 通常过大的回流比 (大于 2), 会导致蒸馏效率过低, 而过小的回流比 (小于 0.2) 会导致塔顶馏出物纯度低。第二个操作变量, 塔顶馏出物异辛烷的流量 Lower bound 和 Upper bound 分别定为 9.5 和 10.35 kg/h, 步长为 0.002 kg/h。设定依据为: 异辛烷进料该股 1 的流量是 10.35 kg/h, 以此为上边界, 塔顶馏出物流量应接近该股 1, 因此设定为 9.5 kg/h, 以此为下边界。精馏塔条件: 进料压力 1×10^5 Pa, 第一块塔板压力为 7×10^4 Pa, 塔板间压降为 6×10^2 Pa, 采用减压蒸馏全冷凝的方式。经过软件的模拟计算, 可以得

到如表 2 和表 3 的结果。

表 2 Design Specs 模块模拟结果
Table 2 Simulated result of Design Specs module

	馏出物流量 (Distillate Rate)/ (kg·h ⁻¹)	回流比 (Reflux Ratio)	异辛烷质量分 数计算值/% (Calculated value)	油脂质量分 数计算值/% (Calculated value)
下限 (Lower bound)	9.5	0.3	81.2	84.4
组合 1	9.8	0.34	83.2	91.4
组合 2	10.0	0.38	92.6	95.2
组合 3	10.2	0.4	94.6	92.4
组合 4	10.348	0.352	99.7	98.9
上限 (Upper bound)	10.35	2	97.3	91.2
终值 (Final value)	10.348	0.352	99.7	98.9

注：组合 1 表示当馏出物流量为 9.8 kg/h，回流比为 0.34 时，塔顶得到的异辛烷质量分数为 83.2%，塔底得到的油脂质量分数为 91.4%。其他组合同理。

使用 Aspen Plus 模拟时，回流比有 850 个取值，塔顶馏出物流量有 425 个取值，因此表 2 仅列出部分组合结果。

表 3 纯度计算值
Table 3 Calculated value of purity

质量分数 (Mass fraction)	目标(Target)	计算值 (Calculated value)	误差 (Error)
异辛烷	0.98	0.997	1.214×10^{-17}
油脂	0.98	0.989	2.942×10^{-14}

如表 2 和表 3 的结果所示：精馏塔在表 2 的条件下，异辛烷和毛油的质量纯度分别可达到：0.997 和 0.989，误差分别为 1.214×10^{-17} 和 2.942×10^{-14} 。模拟计算结果表明，异辛烷和毛油的质量纯度完全可以达到设计要求的 98% 以上。在此基础上，查看精馏塔再沸器和冷凝器的理论热负荷计算结果，按照每块塔板 Murphree（默弗里）效率为 65%，再沸器的板效率为 90%，求取实际再沸器的热负荷和冷凝器的冷量与温度。模拟结果见表 4：

表 4 再沸器和冷凝器的热负荷和温度

	理论热负荷/W	理论温度/K	实际热负荷/W	实际温度/K
冷凝器	-1 075.753	350.140	-1 626.226	382.252
再沸器	996.226	520.721	1 398.824	563.221

利用 Aspen Plus 软件中的 Tray Sizing（塔板尺寸）模块，来模拟计算脱溶装置的相关参数，得到运行结果，如表 5 所示。

表 5 脱溶装置的相关参数
Table 5 Relevant parameters of desolventizer

Column diameter (塔径)/m	Stage spacing (板间距)/m	Column height (塔高)/m
0.62	0.25	1.52

2.3 灵敏度分析

利用 Aspen Plus 中的 Model Analysis 工具，sensitivity 模块模拟数据，并用 Origin7.5 软件作图。得出异辛烷和大豆毛油纯度随塔板数变化的关系。如图 2 所示。

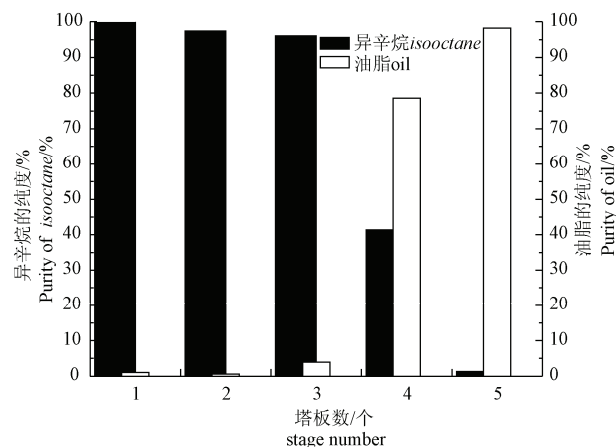


图 2 塔板数量与异辛烷、油脂纯度的关系

Fig.2 Relationship between stage number and isooctane, oil purity

异辛烷和油脂的混合液，在精馏塔第三块塔板处进料，其中，异辛烷约占 96%，油脂约占 4%^[2]，在此小试数据上进行 Aspen Plus 软件模拟。从图 2 可以看出，以进料口第三块塔板为中心（精馏塔从上至下，塔板序号依次增大），随精馏塔理论塔板数序号的增加，异辛烷的含量不断下降，油脂的纯度不断提高；即当理论塔板数为 5 时，在塔顶处，异辛烷的纯度可以达到 99.7%；在塔底处，油脂的纯度可以达到 98.9%。即精馏塔的理论塔板数为 5 时，分离效果可以达到所要求的目标分离度。

2.4 脱溶装置图

如图 3 所示：脱溶装置由塔体、塔板、再沸器和冷凝器（换热器）组成，饱和液体自上而下，气体自下而上，在板上鼓泡、接触传质。塔顶馏出的有机溶剂异辛烷循环至储罐-1，回收利用。

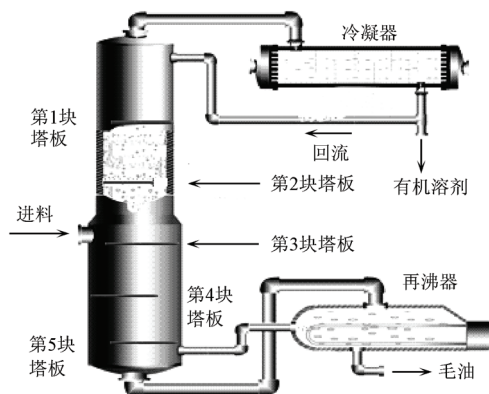


图 3 脱溶装置

Fig.3 Desolventizer

2.5 经济成本分析

按照 1.6 中的方法, 整个脱溶操作增加的成本项为: 一个精馏塔(设备成本)和配套线路(维护成本)。减少的成本项为: 溶剂成本。各成本项对应数值见表 6。

表 6 成本项对应数值

Table 6 Corresponding value of cost item

减少的成本		增加的成本	
溶剂成本/(元·a ⁻¹)	设备成本/元	维护成本/(元·a ⁻¹)	动力成本/(元·a ⁻¹)
1 359 727	18 600	1 200	68 200

其中设备成本报价、维护成本报价和溶剂成本报价均采用 5 个公司当年报价的平均值; 动力成本以最新工业电价计算(约计)。按市场异辛烷平均售价 1.8 万元/t, 脱溶操作按一天生产 20 h 计算(365 d), 一年可节约溶剂 75.54 t, 共计 136.0 万元, 因此每年共计可节约 127.2 万元。

3 讨 论

使用 Aspen Plus 软件模拟计算反胶束萃取大豆蛋白过程中毛油脱溶操作设备的关键参数, 根据此参数可直接进行设备的选购或制造, 可直接用于工业化生产。目前, 在萃取蛋白和提取油脂方面, 尚无利用软件模拟计算工艺参数的先例。而在国外的实际生产前, 都要用专门的流程模拟软件计算生产各个环节的参数值^[21-25], 并根据模拟结果进行设备参数的相关调整, 从而通过动态模拟计算完成类似于工艺实际搭建完成后得到的生产结果。在国外农产品加工领域、石油化工领域, 模拟结果与实际效果对应, 已经取得了十分满意的结果^[26-27], 例如: 苹果酒发酵工艺控制^[28]、原油多条件目标精馏^[29]、巴西朗姆酒生产工艺控制^[30], 但在国内农产品加工领域尚未有应用, 因此, 软件模拟计算工艺流程将在国内农产品加工中发挥越来越重大的作用, 并可以预见到 Aspen Plus、CAD、3Dmax 以及 Premiere 等软件的联用, 将有效推动计算机动态模拟工业化生产技术的发展。

4 结 论

1) 基于 Aspen Plus 软件相关模块的模拟计算, 可以得出反胶束萃取大豆蛋白过程中毛油脱溶操作的相关参数: 当回流比为 0.352 和馏出物流量为 10.348 kg/h 时, 可以达到分离异辛烷和油脂的质量纯度分别为 99.7%和 98.9%。此时脱溶装置的再沸器和冷凝器实际热负荷分别是 1 398.824 W 和 -1 626.226 W。脱溶塔的相关参数为塔径: 0.62 m, 板间距: 0.25 m, 塔高: 1.52 m。

2) 灵敏度分析表明: 随着精馏塔理论塔板数的增加, 纯度不断提高。当理论塔板数达到 5 时, 浓度分别可以达到规定的分离度。再增加理论塔板数, 使用软件模拟计算后, 发现会发生干塔的现象, 所以确定脱溶装置最后的塔板数为 5。

3) 基于 Aspen Plus 软件绘制了反胶束萃取大豆蛋白和提取大豆毛油的生产工艺流程图, 对有机溶剂的使用做到了循环利用。并绘制了脱溶装置的原理图, 说明了大豆毛油和有机溶剂分离的基本原理。

4) 通过使用软件模拟计算出的生产参数, 每年可为工业化生产节约 127.2 万元的成本, 并减少了异辛烷排放到环境造成污染后的处理成本。

[参 考 文 献]

- [1] Kinugasa T, Kondo A. Effects of ion species in aqueous phase on protein extraction into reversed micelles solution[J]. Separation and Purification Technology, 2003, 31(3): 251—259.
- [2] 高亚辉, 张书霞, 陈复生. AOT/异辛烷反胶束体系制备大豆蛋白产品研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(7): 151—154.
Gao Yahui, Zhang Shuxia, Chen Fusheng. The analysis research on product component of soybean protein extracted using reverse micelles[J]. Food Research and Development, 2010, 31(7): 151—154. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李润霞, 陈复生. CAB/正庚烷/正己醇反胶束体系后萃大豆蛋白的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(2): 101—105.
Li Runxia, Chen Fusheng. Study on Backward Extraction of Soybean Protein by CAB /n-Heptane /Hexanol Reverse Micelles [J]. Food Science, 2008, 29(2): 101—105. (in Chinese with English abstract)
- [4] 赵俊廷. 反胶束溶液同时萃取植物油料中的油和蛋白质一反萃工艺研究[J]. 中国油脂, 2001, 26(3): 31—34.
Zhao Juntao. Extraction simultaneously of oil and protein from material with reverse micelle: study on the process of backward extraction[J]. China Oils and Fats, 2001, 26(3): 31—34. (in Chinese with English abstract)
- [5] 张洁, 陈复生. SDS/异辛烷/正辛醇反胶束体系后萃大豆蛋白的研究[J]. 食品科学, 2005, 26(1): 222—226.
Zhang Jie, Chen Fusheng. Research on backward extracting soybean protein using sds/isooctane/octanol reverse micelles[J]. Food Science, 2005, 26(1): 222—226. (in Chinese with English abstract)
- [6] 杨宏顺, 陈复生. 反胶束中蛋白酶对前萃取蛋白和油脂的影响[J]. 大豆科学, 2003, 22(4): 257—260.
Yang Hongshun, Chen Fusheng. The effect of proteases in Reverse Micelles on the forward extraction of soybean

- protein and oil [J]. *Soybean Science*, 2003, 22(4): 257—260. (in Chinese with English abstract)
- [7] Liu Yang. Equilibria and kinetics of protein transfer to and from affinity-based reverse micelles of Span 85 modified with Cibacron Blue[J]. *Biochem Eng*, 2006, 28(3): 281—288.
- [8] Liu Bing, Yang Xuemin. Process simulation of formation and emission of NO and N₂O during coal decoupling combustion in a circulating fluidized bed combustor using Aspen Plus[J]. *Chemical Engineering Science*, 2012, 71(26): 375—391.
- [9] Arpornwichanop A. Reactive distillation systems for n-butyl acetate production from dilute acetic acid [J]. *Journal of industrial and engineering chemistry*, 2008, 14(6): 796—803.
- [10] Aires M. Optimizing the petroleum supply chain at Petrobras[J]. *Comput Aided Chem Eng*, 2004, 18(1): 871—876.
- [11] Cao C. Chance constrained programming models to refinery short-term crude oil scheduling problem[J]. *Appl Math Model*, 2009, 33(3): 1696—1707.
- [12] Rivero R. Exergy and economic analysis of a crude oil combined distillation unit[J]. *Energy*, 2004, 29(3): 1909—1927.
- [13] Liao L C, Yang T C. Expert system of a crude oil distillation unit for process optimization using neural networks[J]. *Expert Syst*, 2004, 26(2): 247—255.
- [14] Fabio R M. Computer simulation applied to studying continuous spirit distillation and product quality control[J]. *Food Control*, 2011, 22(4): 592—1603.
- [15] Raja Kumar, Vijaya Kumar Bulasara. Optimization of crude distillation system using aspen plus: Effect of binary feed selection on grass-root design[J]. *Chemical Engineering Research and Design*, 2010, 88(3): 121—134.
- [16] Zuo Guangzhi. Energy efficiency evaluation and economic analyses of direct contact membrane distillation system using Aspen Plus[J]. *Desalination*, 2011, 283(1): 237—244.
- [17] Damartzis Th. Energetic assessment of a combined heat and power integrated biomass gasification-internal combustion engine system by using Aspen Plus[J]. *Fuel Processing Technology*, 2012, 95(3): 37—44.
- [18] Silva, Amaral. An integrated methodology for environmental impacts and costs evaluation in industrial processes [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2009, 17(15): 1339—1350.
- [19] Chen Qi, Li Wen. An approach to potential environmental impact reduction in chemical reaction processes[J]. *Clean Technology Environmental Policy*, 2008, 10(1): 97—105.
- [20] Dejanovic I. Dividing wall column-A breakthrough towards sustainable distilling[J]. *Chemical Engineering and Processing*, 2011, 49(3): 559—580.
- [21] Dejanovic I. An effective method for establishing the stage and reflux requirement of three-product dividing wall columns[J]. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 2011, 2(5): 147-157.
- [22] Diggelen. Comparison of control strategies for dividing-wall columns[J]. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2010, 49(2): 288—307.
- [23] Premkumar R. Retrofitting conventional column systems to dividing wall columns[J]. *Chemical Engineering Research and Design*, 2009, 87(3): 47—60.
- [24] Ramirez N. Optimum design of Petlyuk and divided wall distillation systems using a shortcut model[J]. *Chemical Engineering Research and Design*, 2010, 88(4): 1405—1418.
- [25] Rangaiah G P. Procedure for quick design of dividing wall columns[J]. *Chemical Product and Process Modeling*, 2009, 4(1): 25—29.
- [26] Ho Y, Ward J. Quantifying potential energy savings of divided wall columns based on degree of remixing[J]. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2011, 50(2): 1473—1487.
- [27] Chu K T, Cadoret L. A new shortcut design method and economic analysis of divided wall columns[J]. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2011, 50(3): 9221—9235.
- [28] Madrera R R, Lobo A P. Effect of cider maturation on the chemical and sensory characteristics of fresh cider spirits[J]. *Food Research International*, 2010, 43(1): 70—78.
- [29] Inamdar S V. Multi-objective optimization of an industrial crude distillation unit using the elitist non-dominated sorting genetic algorithm[J]. *Chem Eng*, 2004, 82(5): 611—623.
- [30] Scanavini HF A, Ceriani R. Cachaca production in a lab-scale alembic: modeling and computational simulation[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2010, 33(1): 226—252.

Simulation by Aspen Plus on desolventizing of crude oil in soybean protein extracting process with reverse micelles

Wang Xin^{1,2}, Yu Guoping^{1,*}, Du Chengliang³, Wu Zhiguang⁴

(1. Food college, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2. Heilongjiang Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Harbin 150001, China;

3. Heilongjiang Provincial Government Office, Harbin 150001, China;

4. Ministry of Education, Micro/Nanotechnology Research Centre, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: Compared with other traditional methods, the disadvantages of high production costs and pollution prevention were overcome in the soy-protein extraction process by reverse micelles. Soybean crude oil, containing organic solvent, can be extracted together with soybean protein by reverse micelles. It is necessary to control the purity of the organic solvent that is recycled, as well as the purity of the soybean crude oil in the circulating production process. The Aspen Plus 11.1 software is used for simulating the desolventizing of crude oil in the soy-protein extraction process by reverse micelles, which is aimed at recycling the organic solvent. This work aims to study continuous and circulating spirit distillation by computational simulation, presenting some strategies of process control to regulate the purity of the solvent and the soybean oil. With the modular analysis function of Aspen Plus, the purity of the oil and solvent, the stage number of distillation column, and the heat load of the reboiler and the condenser were analyzed. A generalized model (based on the NRTL model) for estimation of activity coefficients is applied to the simulation of the extraction process. The equilibrium stage model based on the RADFRAC module of Aspen Plus is employed for the steady-state simulation of the improved process flowsheet, and therefore rigorous simulations allow the appropriate operating conditions to be established in the separating process. It is shown in the results that the reflux ratio of the vacuum distillation was 0.352, the distillate flow was 10.348 kg/h, and the purity of the oil and solvent can be 98.9% and 99.7% respectively, while the actual heat loads of the reboiler and the condenser were 1398.824 W and -1626.226 W, respectively. According to the sensitivity analysis, the concentration of oil and solvent grew respectively with the number of stages, and the optimal number of stages was seven. The cost was analyzed based on simulation calculations, in which the annual cost savings was ¥1 272 000. As an alternative to control the purity of solvent and soybean oil, the spirit distillation unit was highly efficient in the case of low contamination and production costs. Moreover, the reflux ratio and product flow rate have an important influence on the purity of spirit composition. The key parameters were provided for unit operations separating organic solvent from soybean oil. The technical key points for the industrialized installation design were discussed to provide reliable data for enlarged desolventizing devices in the industrial field.

Key words: extraction, design, processing, Aspen Plus simulation, crude oil, desolventizing, soybean protein