

新型发酵产品分离技术的研究进展与挑战

殷文锋

南京轩凯生物科技股份有限公司，江苏南京 210000

【摘要】为了促进发酵产品分离技术的创新与发展，对新型发酵产品分离技术的研究进行深入分析，具有重要的理论价值。通过详细介绍膜分离技术、色谱技术、离心分离技术和超临界流体萃取技术等新型分离技术的基础上，对这些技术在药品生产、食品工业及生物能源领域的应用进行了全面的解释和研究。其结果表明，这些新型发酵产品分离技术对于提高产品质量、降低成本、优化生产流程、实现环境可持续性等方面具有显著效果。文章对于发酵产品分离技术的未来研究和工业应用具有重要的参考意义和指导作用。

【关键词】发酵产品分离；膜分离技术；色谱技术；超临界流体萃取；环境可持续性

【中图分类号】TS210 **【文献标识码】**A **【DOI】**10.12325/j.issn.1672-5336.2024.07.038

引言

发酵产品由于其医药、食品及生物能源等领域的广泛应用，已成为生物工程和生物技术研究中的重要部分。随着市场需求的日益增长和应用领域的不断扩展，对发酵产品的纯化和分离技术提出了更高的要求。发酵产品的有效分离与提纯是提高产品质量和降低生产成本的关键步骤，因此，研究和发展新型高效的发酵产品分离技术具有重要的理论价值和应用前景。

1 新型分离技术的发展

1.1 膜分离技术

膜分离技术已经成为现代工业过程中不可或缺的分选方法，特别是在生物技术和制药行业中，它为处理液体混合物提供了一种高效且环保的解决方案。该技术的工作原理基于不同大小和物理性质的分子在半透膜中的透过性不同。通过选择适当的膜材料和孔径，可以实现高度选择性的分子分离，这对于发酵产品的后处理尤其重要^[1]。

在实际应用中，膜分离技术主要利用微滤（MF）、超滤（UF）、纳滤（NF）和反渗透（RO）等多种膜过程。这些技术各有侧重，例如，微滤和超滤主要用于较大分子或颗粒的去除，而纳滤和反渗透则能够去除更小的分子和离子。特别是纳滤和反渗透技术，它们不仅能提高产品的纯度，还能有效地回收有价值的生物活性分子，同时最小化有害物质的排放。

近年来，膜材料的研发进展为膜分离技术的应用开辟了新的可能。通过使用更耐用和选择性更高的膜材料，如聚砜、聚醚砜和聚酰亚胺，不仅提升了膜的化学稳定

性和机械强度，还有效延长了膜的使用寿命，并减少了由于膜污染或生物附着造成的堵塞问题。此外，膜的表面改性技术，如涂层和接枝，也被广泛研究和应用，以改善膜的亲水性和抗污染能力，从而提高分离效率和经济性。然而，膜分离技术面临的挑战依然存在。膜堵塞和性能衰减仍是限制其更广泛应用的主要因素。堵塞问题通常由膜表面或膜孔内的物质积累引起，这不仅降低了处理效率，还增加了清洗和维护的频率和成本。

1.2 色谱技术

色谱技术，作为一种成熟的分析和分离工具，在发酵产品的处理过程中发挥着核心作用。该技术通过利用不同化合物在固定相和移动相中的相对亲和力差异来实现分离，从而针对复杂的生物样品提供高效的分析和纯化解决方案。在发酵产物的分离中，特别是在液相色谱（HPLC）技术的应用，为分离高分子生物制品如蛋白质、酶、抗体及核酸等提供了极为有效的手段^[2]。

液相色谱技术通过精确控制移动相的流速和组成，以及通过选择适合的色谱柱，能够优化分离过程并提高目标物质的检测灵敏度和分离纯度。例如，反相液相色谱常用于蛋白质和小分子的分离，而离子交换色谱则优于分离带电的生物分子如核酸和蛋白质。此外，亲和色谱技术则专门用于纯化具有特定结合亲和力的生物分子，如通过标签或抗体特异性结合的蛋白质。

随着技术的进步，色谱技术的自动化和规模化成为发酵工业中越来越关注的焦点。自动化液相色谱系统可以连续操作，提高了样品处理的速度和重复性，减少了操作误差，使得工业规模的生物产品生产成为可能。例如，自动化样品加载和在线检测系统的集成，不仅提高了操

作者简介：殷文锋（1974.04—），男，汉族，江苏省南京市，硕士，工程师，研究方向：生物化工研发和产业化。

作效率,还优化了过程控制,从而保证了产品质量的一致性。

1.3 离心分离技术

离心分离技术是依赖于离心力场来实现不同密度物质间的分离,这种技术在生物工程和化工领域中有着广泛的应用。通过高速旋转,离心机能够迅速将固态颗粒或大分子聚合物从液体中分离出来,这对于发酵产品的初步处理尤为重要。例如,在制药和食品工业中,离心技术常用于从发酵液中分离细胞和其他固体杂质,为后续的纯化步骤提供预处理^[3]。

尽管离心分离技术在工业生产中的效率和速度方面具有明显优势,但它也存在一些技术挑战,特别是在能耗和物料处理的剪切敏感性方面。离心过程中的高能耗主要与设备的运行速度和处理量成正比,因此优化能效是提高其工业可持续性的关键。此外,离心过程中产生的高剪切力可能对蛋白质等敏感生物分子的结构和功能产生破坏,从而影响最终产品的质量和收率。

为了解决这些问题,研究人员和工程师正致力于优化离心设备的设计和操作条件。通过调整转速、处理时间以及采用更精细的温控系统,可以在保证分离效率的同时减少能耗和物料损伤。进一步的技术创新,如使用低剪切力设计的离心机和发展更高效的分离策略,也在进行。此外,通过集成智能控制系统,可以实时监控离心过程,确保操作条件始终保持在最优状态,从而提高整体的过程稳定性和产品质量。

1.4 超临界流体萃取技术

超临界流体萃取技术是一种利用超临界流体的特殊物理状态来进行高效分离的先进技术。超临界流体是指当物质处于其临界温度和临界压力之上时,其既不完全像液体那样具有高密度,也不完全像气体那样具有低黏度和高扩散性。这种独特的状态使得超临界流体具有强大的溶解能力,而且能迅速穿透固体物料,从而实现有效的萃取分离^[4]。

二氧化碳是最常用的超临界流体,主要因为它具有无毒、无腐蚀性、环保和经济等优点。在临界温度(31.1℃)和临界压力(73.8bar)以上,二氧化碳可以达到超临界状态,此时其溶解性和扩散性接近液体,而密度和黏度则更接近于气体。这使得超临界二氧化碳成为提取多种天然产物,如植物油、香料、色素和药物成分等的理想选择。

在发酵产品的处理中,超临界流体萃取技术展现出对生物活性物质的高效提取能力。该技术特别适合从发酵基质中分离和提纯那些对热和化学试剂敏感的物质,如抗生素、维生素和酶等。由于超临界萃取在较低的温度条件下进行,可以有效防止热敏感物质的热降解,保持其生物活性不受损失。

尽管超临界流体萃取技术在许多领域已经得到成功应用,但其在发酵产品分离中的应用还面临一些技术和经济上的挑战。例如,设备投资和运行成本相对较高,而且对操作条件的精确控制要求高,这在一定程度上限制了其在小规模生产或研究中的普及。因此,未来的研究需要进一步优化设备设计和萃取工艺,降低成本,同时扩大其在生物制品和发酵工业中的应用范围。通过这些改进,超临界流体萃取技术有望在生物技术领域发挥更大的作用,为生产更高纯度、更高活性的生物制品提供强有力的技术支持。

2 新型发酵产品分离技术的应用分析

2.1 在药品生产中的应用

新型发酵产品分离技术在制药工业中的应用十分广泛,特别是在关键领域如抗生素、疫苗和生物制剂的生产中,这些技术确保了产品的高质量和生物活性的保持。例如,膜分离技术在制药行业中用于从复杂的发酵液中去掉不必要的杂质和微生物。通过微滤或超滤等过程,不仅可以有效地清除较大的颗粒物,还可以保留所需的活性成分,从而提高了产品的纯度和安全性。这对于抗生素和生物制剂的生产尤为关键,因为这些产品对纯度和活性的要求极高^[5]。

色谱技术则在药品的精细分离过程中扮演着不可替代的角色。高效液相色谱(HPLC)和气相色谱(GC)技术能够根据分子的大小、极性和其他化学性质进行高度选择性的分离。这一点在疫苗生产中尤为重要,其中纯化的目标蛋白或病毒颗粒必须完全清除任何潜在的有害杂质。通过精确控制色谱条件,如流动相的pH和离子强度,可以极大地提高目标成分的纯化效率和选择性。

此外,超临界流体萃取技术也在药品生产中得到了应用,特别是在提取天然药物成分时。由于该技术能在较低的温度下操作,它特别适合提取热敏感的生物活性分子,如某些植物提取物和生物制剂。这种方法不仅能保持复杂分子的结构和功能不受破坏,还可以提高提取效率和降低溶剂残留。

2.2 在食品工业中的应用

超临界流体萃取技术在食品工业中的应用尤其显著。使用超临界二氧化碳作为溶剂的超临界流体萃取技术,特别适用于提取天然香料和油脂。这种技术的优势在于它能在较低的温度下进行操作,有效保护了热敏感性食品成分的结构和活性。此外,由于超临界流体萃取不涉及传统有害化学溶剂,因此可以减少对环境的影响并提高产品的消费者接受度。例如,从香草豆中提取香草素,或从柠檬和橙皮中提取柠檬烯,这些都是超临界萃取技术常见的应用案例。

离心分离技术在乳制品和酿酒行业中的应用同样重要。在乳制品行业,离心分离技术用于脱脂和清除乳中

的其他不溶性杂质,如细菌和体细胞,从而提高乳品的安全性和口感。在酿酒行业,该技术用于清除发酵液中的酵母和其他固体残留物,保证酒类产品的清澈和口感的一致性。通过这些过程,不仅提升了产品的质量,还优化了生产效率和成本效益。

除了上述技术,膜分离技术也在食品工业中扮演了重要角色。该技术主要用于浓缩果汁、提取和净化天然色素以及分离和纯化食品中的蛋白质和糖类。通过精确控制膜的孔径和操作条件,可以有效地分离出所需成分,同时保留其营养和感官特性。这些新型发酵产品分离技术的广泛应用不仅提高了食品工业的生产效率和产品质量,也满足了现代消费者对健康、天然及环保产品的需求。

2.3 在生物能源生产中的应用

新型发酵产品分离技术在生物能源产业中扮演着关键角色,特别是在生物燃料如生物乙醇和生物柴油的生产过程中。这些技术不仅优化了生产流程,而且提高了能源的可持续性和经济效益。

生物乙醇的生产主要依赖于发酵过程,其中糖类原料(如玉米糖浆或甘蔗汁)被转化为乙醇。在这个过程中,膜分离技术的应用尤其突出,它允许在较低能耗的条件下连续从发酵液中回收乙醇。这种技术利用特定孔径的膜过滤系统,能够有效地分离出乙醇和水混合物,同时避免了传统蒸馏方法中高温可能带来的能量消耗和物料损失。膜分离技术不仅提高了乙醇回收的效率,还降低了生产成本,使得生物乙醇的商业化生产更具竞争力。

通过这些先进的发酵产品分离技术,生物能源生产不仅能够提高能源的回收率和纯度,还能降低生产过程中的能耗和环境影响。随着技术的进一步发展和优化,预计未来生物能源的生产将更加高效和环保,为全球能源供应提供可持续的支持。

3 分离技术面临的主要挑战

3.1 技术效率与成本效益

在新型发酵产品分离技术的应用中,提高技术效率和成本效益是一大挑战。尽管现有的分离技术如膜分离、色谱技术和超临界流体萃取在特定应用中表现出优异的分离效果,但这些技术的能耗、设备和运营成本仍然较高。例如,膜分离技术虽然能有效回收和纯化目标产品,但膜的堵塞和频繁更换增加了运营成本。此外,色谱技术虽能实现高精度的分离,但色谱介质和高精度仪器的高成本也限制了其在大规模生产中的广泛应用。因此,开发更经济、更高效的分离材料和技术,以降低生产成本和提高操作效率,是当前研究和工业应用的重点。

3.2 环境影响与可持续性问题

新型发酵产品分离技术的环境影响和可持续性是一重要挑战。在分离过程中,需考虑到能源消耗、废物产生和化学溶剂的使用,这些因素均可能对环境造成负

面影响。例如,传统的化学萃取方法虽然成本较低,但常使用有毒化学溶剂,对环境和操作人员的健康构成威胁。超临界流体萃取技术虽然环保,但其高能耗和设备成本也是大规模应用的限制因素。因此,推动环境友好的分离技术,如使用生物可降解的溶剂或提高能源利用效率的方法,是实现可持续发展的关键。

3.3 设备和工艺的优化需求

为了应对效率和环境挑战,设备和工艺的优化成为必需。当前的分离技术常面临设备寿命短、维护成本高和操作复杂性大的问题。例如,膜技术需要定期清洗和更换膜元件以防止性能下降,而色谱系统则需要精确控制操作参数以维持分离效果。这些要求不仅增加了操作的复杂性,也提升了生产的技术门槛。因此,通过技术创新来优化现有设备,改进工艺流程,以及开发新材料和新技术,是提升分离技术应用的关键。这不仅能提高生产效率,还能降低操作难度和成本,推动分离技术在更广泛领域的应用。

4 结论

新型发酵产品分离技术在药品、食品及生物能源等关键行业占据核心地位,通过提升纯度、安全性和环保性,优化生产流程,促进可持续发展。膜分离、色谱及超临界流体萃取等技术,在提高效率和环保方面潜力巨大。然而,这些技术也面临效率、成本、环境可持续性及设备工艺优化的挑战。如膜分离技术的长期可持续性和维护成本需进一步研究,超临界流体萃取的高成本及操作复杂性限制其应用。

5 结束语

未来研究需聚焦于新材料、技术的开发,降低成本,提高分离效率,减轻环境负担。推动设备和工艺创新,提高设备耐用性,减少能耗,并探索环境友好型分离技术,以推动相关行业可持续发展。总之,通过技术创新和系统优化,新型发酵产品分离技术有望解决现有挑战,为更高效、环保的产业应用开辟新道路。

参考文献:

- [1] 陈龙祥,由涛,张庆文,等.膜分离技术在发酵及食品工业中的应用[J].中国酿造,2009(03):1-4.
- [2] 李怀江,姜智瑞.纳滤膜技术研究与探讨[J].发酵科技通讯,2007(04):7-8.
- [3] 杨旸.发酵崛起放眼丰原——发酵技术国家工程研究中心的飞跃[J].中国科技投资,2007(06):74-75.
- [4] 金卫华,刘铮,丁富新.电脱水技术应用于发酵产品固液分离的基础及特性[J].过程工程学报,2002(03):219-223.
- [5] 王平诸.膜技术在生物化工中的进展[J].河南化工,1993(12):2-5.