

艾的营养成分提取方法的探究

赵子悦¹, 郝文芳¹, 蒋亚莉^{2*}

(1.西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100;

2.西北农林科技大学医院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:艾具有抑菌、抗炎、平喘止咳、镇痛镇静等作用,在食品、中医学、农业等领域具有广泛的应用价值。该文对艾不同营养成分的提取方法进行了比较与分析,综述了不同提取方法的优势与缺点。从提取率方面来看,脂肪酸和矿质元素适合溶剂提取法,纤维和黄酮类物质适合酶工程提取法,新型辅助提取技术进一步的提高了艾营养成分的提取率,在多糖和维生素的提取方面尤为显著。但除多糖和黄酮类提取方法的研究较为全面,艾其他营养成分的提取方法研究较少,且多为单一的提取方法,需进一步探究艾营养成分的提取方法,为艾的进一步开发利用提供理论依据。

关键词:艾;营养成分;提取方法;黄酮;多糖

中图分类号: TQ461; R284.1

文献标志码: A

文章编号: 1008-021X(2025)06-0080-03

DOI: 10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2025.06.042

Exploration of the Extraction Method of Nutrients of *Argyi*ZHAO Ziyue¹, HAO Wenfang¹, JIANG Yali^{2*}

(1.College of Life Sciences, Northwes A&F University, Yangling 712100, China;

2.Hospital, Northwes A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: *Argyi* has the functions of antibacterial, anti-inflammatory, asthmatic and cough relieving, analgesic and sedative, and has wide application value in food, traditional Chinese medicine, agriculture and other fields. In this paper, the extraction methods of different nutrients of *Artemisia sinensis* were compared and analyzed, and the advantages and disadvantages of different extraction methods were summarized. In terms of extraction rate, fatty acids and mineral elements are suitable for solvent extraction, fiber and flavonoid substances are suitable for enzyme engineering extraction, and the new auxiliary extraction technology further improves the extraction rate of mugwood nutrients, especially in the extraction of polysaccharides and vitamins. However, the research on extraction methods except polysaccharide and flavonoids is relatively comprehensive, and the extraction methods of other nutrients of *Artemisia argyi* are few, and most of them are single extraction methods. It is necessary to explore the extraction methods of nutrients of *Artemisia argyi* to provide theoretical basis for further development and utilization of *Artemisia argyi*.

Key words: *Argyi*; nutrition facts; extraction method; flavone; polysaccharide

艾(*Artemisia argyi*)为菊科(Asteraceae)蒿属(*Artemisia* L.)植物,是多年生草本植物,全草或以叶入药,艾叶内服温经止血、散寒止痛,外用祛湿止痒、消毒杀菌^[1]。除用作中药饮片、涂搽、煎洗、烟熏外,中医利用艾绒为原料制成灸条应用于艾灸,在传染病的防治等领域发挥重要的作用^[2]。且利用艾灸联合耳穴贴敷治疗肺癌,可改善患者的中医证候,提高睡眠质量及生活质量^[3]。艾分布广泛,适应性强,几乎遍及全国,野生资源相当丰富。其主要分布于亚洲东部,如蒙古、朝鲜、俄罗斯和中国等地区。国内主产于湖北、湖南、安徽、山东、河北、浙江等地。形成了以北艾、海艾、蕪艾、祁艾为代表的“四大名艾”^[4]。

艾含有丰富的蛋白质、脂肪酸、多糖、粗纤维、黄酮、维生素和矿质元素,有很高的营养价值^[5]。近年来,国内外对艾的研究多见于化学成分和药理作用等方面,至今,对艾的营养成分提取方法的分析研究较少,这对艾优良品种的选育等实际生产方面极为不利。因此,本文对艾的营养成分提取方法进行梳理归纳和探讨,为今后更好的研究艾的营养成分提供依据,推动艾产业和促进中医药的发展。

1 艾的营养成分提取方法

1.1 蛋白质

艾的蛋白质通常利用 pH 值为 7.0~8.0 的磷酸盐缓冲液等

为溶剂结合超声波辅助提取法进行提取^[6],并可通过透析法、凝胶过滤等方法进一步纯化蛋白质。但对艾的蛋白质提取方法的研究较少,可根据不同的需求将新型、高效的植物蛋白质提取方法用于艾的蛋白质的提取。植物蛋白质的提取有干法蛋白提取技术、湿法蛋白提取技术和新型辅助细胞破坏技术。干法蛋白提取技术的蛋白质产量很高,但比湿法提取蛋白质消耗更多的能量,且有杂质和颗粒团聚的存在^[7]。湿法蛋白提取技术包括酶工程提取法等,酶工程提取法提取蛋白的得率高于碱溶法^[8],且对环境的影响小,条件温和无污染,供人类食用的产品质量好,但该方法加工时间长、成本高、能耗大^[7],在温度、pH 值等适宜的条件下可通过逐步提高 pH 值等方法进一步提升蛋白的得率。新型辅助细胞破坏技术有微波辅助提取法、超声辅助提取法、脉冲电场辅助提取法等多种技术^[9]。微波辅助提取植物蛋白质^[10]所用微波频率一般为 2 450 MHz,功率一般在 1 kW 之内,作用时间一般小于 5 min,环境大多数为碱性,该方法有加热均匀、热效率高、选择性好、节能省时等特点,且能够改善蛋白质部分功能性质。Wang Feng^[11]研究发现,通过超声辅助提取蛋白质可显著改善蛋白质的功能特性,增强其生物活性,具有有效混合、选择性萃取、能量传递速度快、萃取温度和热梯度降低、响应速度快、设备体积小、产量高等优点^[7],通

收稿日期:2024-11-12

基金项目:陕西林业科技创新重点专项(SXLK2022-02-2)

作者简介:赵子悦,女,本科在读,研究方向为药用植物资源学。

通信作者:蒋亚莉,女,本科,副主任药师,研究方向为中药学、中药饮片的炮制、鉴定以及调配。

常联合其他方法共同使用。脉冲电场辅助提取法^[12]的主要优点是时间短、在高电场强度下可以进行非热提取、连续化操作、能耗低、通常在水或乙醇等绿色溶剂中进行,能较大幅度地保持天然产物的营养成分,减少污染。在低电场强度下可提高天然产物的提取率,在1~25 kV/cm低电场强度下提取率增加显著^[13],该方法在食品工业、制药、轻工业中具有广泛的应用。新型蛋白质提取技术可能有助于提高艾的蛋白质的提取率及其营养和功能特性,针对不同的需要,选择合适的提取方法对艾的蛋白质进行提取。

1.2 脂肪酸

艾中脂肪酸可以通过多种方法组合进行提取,使用有机溶剂(如氯仿/甲醇^[14]或正己烷)进行萃取,随后通过超临界CO₂萃取等技术进一步提纯。但氯仿是一种致癌物,甲醇能损害视神经,不仅对人体产生危害而且污染环境。且溶剂提取的脂质中含有多种杂质,还需进一步的精炼,会造成脂质中活性成分等流失^[15]。还可利用压榨法、亚临界水提取法等植物脂肪酸的提取方法提取艾的脂肪酸^[16]。压榨法不涉及添加化学试剂和温度的变化,降低了对脂质的破坏,但仅依靠物理方法导致该技术出油率低。宁二娟^[17]研究发现超临界CO₂萃取法制备牡丹籽油的出油率为27.76%,亚临界水提取法的出油率为26.10%,压榨法等传统物理提取方法提取率较低,为9.75%,且品质较差。但相较于超临界CO₂萃取法,压榨法则具有设备投资少、易于工业化生产等特点^[18]。而利用溶剂提取法提取菜籽油时,出油率为32.01%^[19]。可见,利用溶剂提取法的提取脂肪酸的提取率最高。对于艾中脂肪酸的不同提取方法的分析比较少,可以通过对植物脂肪酸的提取方法的分析比较,找出适用于不同需要的提取方法。

1.3 多糖类

艾中多糖类化合物的提取方法主要有热水浸提法、超声提取法、超声波辅助酶法等^[20]。热水浸提法对环境破坏很小,但具有耗时长、提取率低、成本高等缺点,是一种传统的多糖提取方法^[21]。刘海军^[22]利用响应面法对艾叶多糖提取的热水浸提法进行优化,最佳工艺条件为料水比1:18(g:mL)、浸提温度97℃、浸提时间1.25 h、浸提3次,此条件下提取率为1.529%。超声提取法具有提取时间短、提取效率高、操作方便无污染等优点,常被用于提取植物中的多糖^[23]。戴喜来^[24]利用超声提取法提取多糖,最佳提取工艺条件为超声时间35 min、提取温度70℃、水料比40:1(mL:g),提取率可高达6.44%。超声波辅助酶法是利用酶的高效性和专一性提取多糖,具有反应温和、操作时间短、成本低等优点^[23]。陈卫^[25]利用超声波辅助酶法提取多糖,采用正交试验法优化提取工艺,最优提取工艺条件为料液比1:35(g:mL),纤维素酶用量1%(质量分数),超声时间25 min,此条件下艾叶多糖提取率为1.72%。其中,超声辅助提取法提取艾多糖时,提取率最高。

1.4 纤维

陈悟^[26]等人研究了一项艾中纤维素的提取工艺,步骤分别为原料准备,预水解,碱法蒸煮,氧脱木,碱精制,漂白。此工艺流程简单,生产效率高,成浆产率高,所用化学药品清洁环保,生产出的浆粕纤维素质量含量可得到93%以上。植物中膳食纤维的提取方法主要有溶剂提取法、酶工程提取法、物理提取法。溶剂提取法具有提取成本低、易于操作、避免环境污染等优点,包括水提法、酸提法、碱提法等。用优化后的碱提法提取刺梨(*Rosa roxbunghii*)果渣中的膳食纤维,提取率可达16.843%^[27]。华建新^[28]利用不同方法提取广佛手(*Citrus medica*)膳食纤维,通过比较得出酶工程提取法提取膳食纤维的得率最高,达到59.15%。付婉^[29]利用优化后的酶工程提取法提取黑木耳(*Auricularia auricula*)残渣中膳食纤维,可溶性膳食纤维提取率达到9.28%,不溶性膳食纤维提取率达到40.32%。

物理提取法具有操作简单、快捷方便、无污染等优点,但大多数只能用于提取水不溶性膳食纤维,主要有超声辅助提取法和微波辅助提取法。夏洁^[30]利用优化后的超声波辅助提取技术提取刺梨果渣水不溶性膳食纤维,提取率高达76.00%。综上,酶工程提取法是最常用且提取率最高的膳食纤维提取方法,可以使用酶工程提取法对艾的膳食纤维进行提取。

1.5 黄酮类

艾中黄酮类化合物提取方法主要包括酶工程提取法、亚临界水提取法、微波辅助提取法、超声辅助提取法等。再利用层析、铅盐沉淀、溶剂萃取、电泳等方法分离杂质纯化^[31]。不同的提取方法,提取到黄酮的提取率和成分有所区别。朱静^[32]用酶工程提取法提取野生陈艾黄酮,最佳提取工艺为酶添加量1.00 mg/g、料液比1:30(g:mL)、提取温度60℃、提取时间20 min,此时总黄酮得率为20.09%。张换平^[33]采用响应面法优化亚临界水提取法,最佳提取工艺为:提取温度127.3℃、提取时间20.8 min、液料比87.7:1(mL:g),此时,艾草总黄酮提取率为15.28%。杨理萍^[34]以蕲艾为原料,用微波辅助提取法提取总黄酮,应用响应面分析法进行工艺优化,最佳提取工艺为:微波功率400 W,微波时间5 min,料液比1:80(g:mL)。在此条件下,总黄酮得率可高达14.22%。闫克玉^[35]研究了超声波辅助萃取艾总黄酮的工艺条件最佳提取工艺为:用70 mL体积分数60%的乙醇浸泡24 h,在超声波功率为200 W的条件下,辅助萃取40 min。此时,总黄酮的萃取率达到13.42%。其中,酶工程提取法提取艾的黄酮类化合物的总黄酮得率最高。

1.6 维生素

研究较少针对艾中维生素提取方法的论文,但有相关的植物的维生素提取方法的分析研究。维生素的提取方法有超声辅助提取法、溶剂提取法等,张冰^[36]采用磷酸萃取法提取的维生素C,提取率高达7.66 mg/(100 g)。唐功^[37]用1.5 mL盐酸溶液提取猕猴桃(*Actinidia chinensis* Planch.)中的维生素C时,提取效果最好,提取率为78.73 mg/(100 g)。陈珊珊^[38]优化了超声辅助提取荆芥中维生素C,得出维生素C提取率24.39 mg/g。吴海燕^[39]优化了超声波辅助提取芥菜(*Capsella bursa-pastoris* (Linn.) Medic.)维生素C,维生素C的提取率为(54.88±0.22) mg/100 g。匙赢赢^[40]利用超声辅助提取麦麸(*Triticum aestivum* L.)中维生素B₁、维生素B₂,提取维生素B₁达到12.25 μg/g,提取维生素B₂达到7.92 μg/g。可见多数植物常用超声辅助提取法辅助相应的溶剂提取植物中的维生素,且提取率较高,可以用于艾中维生素的提取。

1.7 矿质元素

艾中的矿质元素一般用灰化法、无机酸浸提法、离子交换法等方法进行提取。灰化法有助于提高磷测定的准确性和简便性,用此方法磷回收率可达到97%~101%^[41]。无机酸浸提法有提取率高、准确度较高、重现性好、操作简便、快捷、成本低、试剂用量少等优点。利用该方法提取大米(*Oryza sativa*)和稻谷中Cd,提取率均可达到100%左右^[42]。无机酸提取Cu的提取率为96.59%,Pb的提取率为93.15%^[43]。离子交换法常用来提取钒、铷、铯等金属矿质元素。利用离子交换法提取水云母中的钾,提钾率高达98%^[44]。综合上述方法比较分析,植物中的矿质元素提取常用无机酸浸提法,且提取率高。可根据不同方法的优缺点选择相应的方法提取艾中的矿质元素。

2 结论与展望

综合上述内容分析,艾的营养成分可以利用溶剂提取法、酶工程提取法等方法进行提取,传统的溶剂提取法效率低且耗时长,但其适用于脂肪酸和矿质元素的提取。酶工程提取法用于纤维和黄酮类物质的提取时,提取率最高。这几种方法均有其优势与不足,可根据需要采取不同的提取方法。微波辅助提取法、超声辅助提取法等新高效辅助技术的应用,能在一定程

度上提高提取效率、提高提取物的质量,尤其是多糖和维生素的提取率显著增加。但超声辅助提取法受容器的影响,不适用于工业化生产,微波辅助提取法升温过快,不利于热敏性物质的提取^[45]。

随着中医药的迅速发展,人们对艾的关注度不断增高,艾的相关产业迅速发展。以艾为原材料生产的食品种类繁多、功能多样,能够保护肠胃、增强人体免疫力和抵抗力,对于亚健康人群的效果尤为显著^[46]。目前,艾的多糖和黄酮的提取方法方面已经有大量研究,并且研究出了不同提取方法的最佳提取工艺,但对艾的其他营养成分提取方法的研究较少,需要根据植物营养成分的提取方法,进一步研究艾的营养成分的提取,并用于工业化大量生产。此外,大多数研究集中在单一的提取方法,将两种或多种提取方法结合起来的的研究较少,而将两种或多种方法提取方法结合起来可以避免各个方法的缺点并发挥其优势,更好的满足实践需求,对艾的进一步开发利用提供理论基础。总而言之,艾的营养成分提取还需探究更好的提取方法和最佳工艺,不断促进我国中医药领域的发展与前进。

参考文献

- [1] 张元,康利平,郭兰萍,等.艾叶的本草考证和应用研究进展[J].上海针灸杂志,2017,36(3):245-255.
- [2] 薛莹,徐蓓,穆韵浓,等.艾灸防治疫病的研究进展[J].中国医药导报,2023,20(31):52-55.
- [3] 杨鹏远,周明丽,李洪霖.耳穴贴敷联合艾灸治疗肺癌临床研究[J].河南中医,2024,44(7):1116-1120.
- [4] 王秋亚,马世通.艾叶挥发油的化学成分分析及应用研究进展[J].粮食与油脂,2022,35(4):47-50.
- [5] 黄丽华,李芸瑛.艾叶的营养成分分析[J].食品研究与开发,2014,35(20):124-127.
- [6] 况伟,刘志伟,张晨,等.艾草抗氧化活性物质的提取分离[J].中国食品添加剂,2015(6):109-113.
- [7] LANGYAN S, YADAVA P, KHAN F N, et al. Sustaining protein nutrition through plant-based foods[J]. Frontiers in Nutrition, 2021, 8: 772573.
- [8] FETZER A, HERFELLNER T, STABLER A, et al. Influence of process conditions during aqueous protein extraction upon yield from pre-pressed and cold-pressed rapeseed press cake[J]. Industrial Crops and Products, 2018, 112: 236-246.
- [9] 李超,马航,吴冉,等.植物蛋白提取技术研究进展[J].现代食品,2023,29(11):12-19.
- [10] 陈丽云,李佳奇,商辉,等.微波辅助提取蛋白质的研究进展[J].当代化工研究,2022(4):153-155.
- [11] WANG F, ZHANG Y, XU L, et al. An efficient ultrasound-assisted extraction method of pea protein and its effect on protein functional properties and biological activities[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 127: 109348.
- [12] YU X, GOUYO T, GRIMI N, et al. Pulsed electric field pretreatment of rapeseed green biomass (stems) to enhance pressing and extractives recovery[J]. Bioresource Technology, 2016, 199: 194-201.
- [13] 李晓娟.脉冲电场在天然产物提取中的应用研究[J].现代食品,2020(17):108-113.
- [14] 韩菊,魏福祥,云自厚.采用低毒溶剂提取脂质[J].分析化学,2002(4):450-453.
- [15] 莫燕婷,曹清明.油茶籽油中组成成分及其影响因素研究进展[J].粮食与油脂,2023,36(9):10-13.
- [16] 任花.溶剂提取法提取葡萄籽油的工艺研究[J].轻工科技,2016,32(1):21-22.
- [17] 宁二娟,陈玲,王学方,等.不同提取工艺牡丹籽油功能成分及抗氧化活性研究[J].粮食与油脂,2023,36(1):62-66.
- [18] 叶美金,杨玉敏,易瑞,等.压榨法制备接骨木籽油工艺优化及其活性成分分析[J].中国油脂,2022,47(11):1-3.
- [19] 蒋新龙,蒋益花,张雨生.提取方法对紫云英籽油脂脂肪酸组成及氧化稳定性的影响[J].中国粮油学报,2020,35(7):79-83.
- [20] 楚三慧,张俊俊,杨冉,等.艾叶多糖提取方法及其药理作用研究进展[J].海峡药学,2021,33(11):41-44.
- [21] 李佳虹,赵俊益,杜昕,等.超声波辅助复合酶法提取茶树菇多糖工艺优化[J].生物化工,2023,9(4):69-73.
- [22] 刘军海,黄宝旭,蒋德超.响应面分析法优化艾叶多糖提取工艺研究[J].食品科学,2009,30(2):114-118.
- [23] 马丽媛,尚尔坤,张金凤,等.超声波辅助复合酶法提取芦荟多糖的研究[J].中国食品添加剂,2022,33(3):51-56.
- [24] 戴喜末,熊子文,罗丽萍.响应面法优化野艾蒿多糖的超声波提取及其抗氧化性研究[J].食品科学,2011,32(8):93-97.
- [25] 陈卫,谷彩花,叶兆伟,等.大别山艾叶多糖提取工艺优化及其吸湿保湿、抗氧化性能研究[J].化学试剂,2024,46(2):67-73.
- [26] 蔡光明,陈悟.一种天然艾草中提取纤维素的工艺:201510125516 3[P].2015-03-23.
- [27] 徐启红,任平国,姜楠.刺梨果渣可溶性膳食纤维提取工艺优化及理化性质研究[J].饲料工业,2024,45(17):120-126.
- [28] 华建新,卓思雨,田嘉瑜,等.不同方法提取广佛手膳食纤维性质的比较分析[J].现代食品科技,2023,39(12):234-245.
- [29] 付娆,徐曼旭,孙安敏,等.纤维素酶提取黑木耳残渣中膳食纤维的条件优化[J].食品工业,2014,35(1):41-44.
- [30] 夏洁,薛浩岩,贾祥泽,等.刺梨果渣水不溶性膳食纤维提取工艺优化[J].现代食品科技,2020,36(7):227-234.
- [31] 龚军,张茂美,刘宏伟,等.艾叶的化学成分及药理作用研究进展[J].广州化工,2018,46(4):10-12.
- [32] 朱静,杨玲玲,陈亚蓝,等.响应面优化酶辅助半仿生法提取野生陈艾总黄酮及其体外抗氧化性研究[J].粮食与油脂,2022,35(7):104-109.
- [33] 张焕平,张怡怡.响应面法优化亚临界水提取艾草总黄酮的工艺研究[J].中国食品添加剂,2024,35(5):134-140.
- [34] 杨理萍,刘梦婷,郑雯琪,等.响应面优化蕲艾总黄酮提取工艺及其抗氧化活性研究[J].保鲜与加工,2022,22(2):83-89.
- [35] 闫克玉,贾玉红,许志杰,等.超声波辅助萃取艾叶中总黄酮含量的最佳条件研究[J].中国食品添加剂,2007(3):73-76.
- [36] 张冰,张会娟,张全盛,等.樱桃中花色苷、维生素 C 及其蛋白提取工艺的优化[J].食品工业,2019,40(1):37-41.
- [37] 唐功,杨肖,黄小蓉,等.猕猴桃中维生素 C 提取工艺条件研究[J].西北民族大学学报(自然科学版),2019,40(3):34-38.

(下转第 85 页)

浓度可平稳控制在 100 mg/m^3 以下,最低可达到 60 mg/m^3 。

4 结语

现阶段 SCR 技术在烟气脱硝工艺中较为成熟且应用较广,氧化法、吸收法、联合脱硝等技术仍在不断发展,未来烟气脱硝工艺的研究可从以下几个方面进行展开:1) 由于 SCR 技术的成熟性和可靠性,不同行业可有针对性地研发适宜的宽温脱硝催化剂;2) 探寻更加高效的氧化剂、吸收剂,在脱除 NO_x 的同时实现烟气多污染物一体化脱除;3) 加大脱硝副产物的资源化利用,探索其附加值,从而降低系统运行成本、研发成本。未来新型脱硝技术的研发具有广阔的发展前景,通过改进传统的脱硝工艺有助于构建绿色、环保、高效的烟气脱硝工艺体系,以实现烟气污染物的深度脱除。

参考文献

- [1] 徐梦蝶,王建芳,葛璟麟,等.生物法烟气脱硝工艺研究进展[J].环境工程技术学报,2022,12(6):2049-2056.
- [2] 叶罗,周晓韡,王刚.百万千瓦级二次再热燃煤电厂全负荷脱硝技术研究[J].电站系统工程,2024,40(1):57-60.
- [3] 李国峰,全慧颖,郭凯凌,等.燃煤电厂脱硝反应应用低温 SCR 催化剂的制备及性能评价[J].化学与生物工程,2023,40(11):52-55.
- [4] ZHAN S H, ZHANG H, ZHANG Y, et al. Efficient NH_3 -SCR removal of NO_x with highly ordered mesoporous $\text{WO}_3(x)$ - CeO_2 at low temperatures[J]. Applied Catalysis B Environmental, 2017, 203:199-209.
- [5] LI S H, HUANG B C, YU C L. A CeO_2 - MnO_x coreshell catalyst for low-temperature NH_3 -SCR of NO [J]. Catal Commun, 2017, 98:47-51.
- [6] WANG F M, SHEN B X, ZHU S W, et al. Promotion of Fe and Co doped Mn-Ce/ TiO_2 catalysts for low temperature NH_3 -SCR with SO_2 tolerance[J]. Fuel, 2019, 249:54-60.
- [7] CHIU C H, HSI H C, LIN H P. Multipollutant control of $\text{Hg}/\text{SO}_2/\text{NO}$ from coal-combustion flue gases using transition metal oxide-impregnated SCR catalysts[J]. Catalysis Today, 2015, 2245:2-9.
- [8] CHEN C M, JIA W B, LIU S T, et al. Simultaneous NO removal and Hg_0 oxidation over CuO doped V_2O_5 - WO_3/TiO_2 catalysts in simulated coal-fired flue gas[J]. Energy Fuels, 2018, 32:7025-7034.
- [9] 李春晓,李坚,梁文俊,等.Cr 负载 V_2O_5 - WO_3/TiO_2 催化剂的低温 NH_3 -SCR 脱硝活性[J].高等学校化学学报,2019,40(7):1447-1455.
- [10] ALE-EBRAHIM H, POURRNOHAMMADBAGHER A, JAMSHIDI E. Study on simultaneous removal of NO_x and SO_2 with NaClO_2 in a novel swirl wet system[J]. Industrial Engineering

(上接第82页)

- [38] 陈姗姗,贾俊伟.响应面法优化超声辅助提取荆芥中维生素 C 工艺[J].食品工业,2024,45(4):13-16.
- [39] 吴海燕,施晓玲,袁秋梅,等.响应面优化超声波辅助提取芥菜维生素 C 工艺[J].粮油食品科技,2022,30(4):143-149.
- [40] 匙赢赢.麦麸中维生素 B_1 、维生素 B_2 提取与膳食纤维制备的研究[D].长春:吉林农业大学,2012.
- [41] 周毅,张福绥,杨红生,等.水环境中磷的灰化法提取[J].分析化学,2002(7):861-864.
- [42] 王越,张佳音.粮食中重金属前处理技术的研究[J].农业与技术,2020,40(3):35-36.
- [43] 赵桂生.酸提取技术在重金属迅速检测中应用分析[J].

Chemistry Research, 2011, 50:8278-8284.

- [11] ZHAO Y, GUO T X, CHEN Z Y, et al. Simultaneous removal of SO_2 and NO using M/NaClO_2 complex absorbent [J]. Chemical Engineering Journal, 2010, 160(1):42-47.
- [12] LIU X, WANG C A, ZHU T, et al. Simultaneous removal of NO_x and SO_2 from coal-fired flue gas based on the catalytic decomposition of H_2O_2 over $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$ [J]. Chemical Engineering Journal, 2019, 371:486-499.
- [13] LIU C L, LI J, YANG C L, et al. A composite absorption liquid for simultaneous desulfurization and denitrification in flue gas [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2019, 27(10):2566-2573.
- [14] 赵利明,陈海波.SCR 烟气脱硝技术在宝钢股份 4#烧结机的应用[J].烧结球团,2018,43(6):24-28.
- [15] 王其波.烧结灰 SCR 脱硝催化剂及其成型制备研究[D].武汉:武汉理工大学,2019.
- [16] 赵红艳.赤泥负载锰铈脱硝催化剂的制备及性能研究[D].济南:济南大学,2013.
- [17] 刘臣,胡兵,胡佩伟,等.球团烟气 SNCR 与嵌入式 SCR 耦合脱硝新技术[J].钢铁,2022,57(3):133-141.
- [18] 史夏逸,董艳苹,崔岩.烧结烟气脱硝技术分析比较[J].中国冶金,2017,27(8):56-59.
- [19] 赵利明.活性炭烟气净化技术在宝钢股份宝山基地 3#烧结机的应用[J].烧结球团,2017,42(6):5-10.
- [20] LIU F G, CAI M Y, LIU X L, et al. O_3 oxidation combined with semi-dry method for simultaneous desulfurization and denitrification of sintering/pelletizing flue gas [J]. Journal of Environmental Sciences, 2021, 104(1):253-263.
- [21] LI Y, CHE D, ZHAO H C, et al. Tributyl phosphate additive enhancing catalytic absorption of NO_2 for simultaneous removal of SO_2/NO_x in wet desulfurization system [J]. Journal - Energy Institute, 2020, 93(2):474-481.
- [22] 王勇.垃圾焚烧发电技术及应用[M].北京:中国电力出版社,2020.
- [23] 方熙娟.SNCR-SCR 脱硝技术在 500 t/d 垃圾焚烧炉的应用[D].北京:清华大学,2015.
- [24] 张亚,刘祥,王磊,等.固废脱硝技术处理垃圾焚烧烟气的工程应用[J].工业安全与环保,2024,50(6):69-71.
- [25] 朱传强,茹晋波,扈明东,等.垃圾焚烧电厂高分子非催化还原(PNCR)脱硝技术应用分析[J].工程热物理学报,2021,42(6):1600-1607.

(本文文献格式:赵文滔,吴贤豪,陈雨帆,等.烟气脱硝技术研究进展[J].山东化工,2025,54(6):83-85.)

轻工科技,2012,28(5):135-136.

- [44] 姚东辉,黄志良,李紫谦,等.氧化-柱撑/离子交换法水云母中的提钾研究[J].武汉工程大学学报,2017,39(6):607-610.
- [45] 沈俊颖,杨艳,易有金,等.梔子有效成分活性作用及其不同提取方法研究进展[J].中国食品添加剂,2024,35(4):318-326.
- [46] 沈宏桂.怀化地区野生食用艾蒿营养成分研究[J].现代食品,2023,29(7):196-198.

(本文文献格式:赵子悦,郝文芳,蒋亚莉,等.艾的营养成分提取方法的探究[J].山东化工,2025,54(6):80-82.)