

Doi: 10.20062/j.cnki.CN 37-1453/N.2024.03.006

干燥方式对互花米草植物盐提取率及品质特性的影响

颜宁^a, 刘苏慧^a, 申发^a, 王若菲^a, 于洋^b, 杨继松^c

(鲁东大学 a.资源与环境工程学院; b.水利工程学院; c.滨海生态高等研究院, 山东 烟台 264039)

摘要: 本文采用真空冷冻干燥(VFD)、鼓风加热干燥(HAD)、煮沸蒸发干燥(BED)3种不同干燥方式制备互花米草植物盐,分别从互花米草植物盐的提盐量、感官品质、复水性、溶解时间、微观结构等方面对互花米草植物盐干燥特性及品质进行对比、分析和评价。结果表明:VFD处理下的互花米草提取液提盐率为17.5%,高于BED处理(15%)和HAD处理(16.5%);不同干燥方式处理下,综合色泽、外观形态、气味、滋味、杂质方面的感官评价分析得出VFD处理更佳;VFD处理得到的植物盐复水程度最高,达到82%,溶解于水的时间最短;经电子显微镜观察结构显示,VFD处理后的植物盐颗粒更细小,结构更疏松,而其他两种干燥方式微观结构相近。综合分析可知,VFD是制备互花米草植物盐较适宜的方法。

关键词: 植物盐; 干燥方式; 干燥特性; 互花米草; 真空冷冻干燥

中图分类号: X37/TS363 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2024)03-0235-07

植物盐是从植物有机体中提取的新型低钠平衡保健盐,富含多种矿质元素和微量元素,对人体的微量元素平衡、机能调节、新陈代谢及健康具有一定促进作用^[1-2],具有绿色、无污染、无添加等特点。随着盐业体制改革方案不断修订,我国将逐渐取消食盐专营,涉盐企业将实现自主经营、公平竞争;另一方面,随着人们认知水平和对食品要求的不断提高,消费者不再局限于绿色、安全,而更多地关注食品的营养保健功能。因此,新型植物盐的开发和应用将会成为社会关注的热点。目前植物盐提取原料一般多使用含盐量高的盐生植物,如盐地碱蓬、白刺、海芦笋、杜氏盐藻等^[2]。

互花米草(*Spartina alterniflora*)属禾本科虎尾草族米草属多年生盐沼植物^[3],是一种适宜在海滩潮间带生长的耐盐、耐淹植物,于1979年引入中国^[4]。互花米草主要分布在我国大陆中部和南部沿海区域,集中在以江苏、上海、浙江、福建为中心的中国海岸带中部地区,在河口、海湾、三角洲等地入侵程度较高^[5],因其强大的适应力,引入后在我国沿海迅速蔓延。据统计,中国大陆

沿海地区互花米草的分布面积约为545.80 km²。自2020年开始,黄河三角洲开展了大规模的互花米草治理工程,采用贴地刈割、刈割+翻耕、刈割+围堰等物理方法^[6],投资约1亿元,但互花米草的扩散态势仍未有明显减缓的趋势,互花米草的防治与生态利用已经成为滨海环境生态保护过程中亟待解决的问题之一。采取刈割后的互花米草为原料提取植物盐,可以在解决生态入侵问题的同时,带来一定的经济效益,发挥其经济价值^[7-8]。

此外,大量实验表明,互花米草具有较高的营养价值,其提取物中含有多种有机营养物质和生物活性成分,如:糖类、氨基酸、蛋白质、类黄酮、有机酸类等^[9-10],这些物质具有增强机体免疫力、抗炎、降血糖、降血脂、降尿酸^[9,11-13]等多种功能,因此,互花米草是提取植物盐的理想原料。目前,对于互花米草在保健食品方面的研究开发还处在起始阶段^[14],对以互花米草提取植物盐方面的研究罕见报道^[15]。

目前不同植物原料的提盐方法各不相同,如榨汁式提取、干燥式浸提等,其中干燥是各种提取植物盐方法中重要的一环。研究表明,干燥方式

收稿日期: 2024-03-08; 修回日期: 2024-05-20

基金项目: 山东省自然科学基金青年基金(ZR2022QD093)

通信作者简介: 于洋(1989—),女,副教授,硕士研究生导师,博士,研究方向为重金属污染迁移、湿地生态保护。E-mail: yuyang8903@126.com

会对物料的干燥特性及品质产生显著影响^[16]。在食品加工过程中,常见的干燥方式有:微波干燥、喷雾干燥、真空冷冻干燥、太阳能干燥^[17]、热风干燥^[18]等。安朝丽等^[19]通过对不同干燥方式下滑子蘑产生的挥发性成分进行检测分析发现微波干燥处理后滑子蘑风味更佳;李青坪等^[20]从不同方法干燥对藕片品质影响多方面分析得出热风干燥为藕片干制的推荐方式;而在探究不同干燥方法对甘薯粉丝干燥特性及品质的影响^[21]中,不同方法干燥的甘薯粉丝优缺点分明,需要根据不同需求选择最佳方式。因此,需要根据物料种类和目的选择最合适的干燥方式。

但目前关于互花米草植物盐提取以及干燥方式对互花米草植物盐干燥特性及品质影响的研究尚未见报道。鉴于此,本研究采用真空冷冻干燥(vacuum freeze drying, VFD)、鼓风加热干燥(hot air drying, HAD)和煮沸蒸发干燥(boiling evaporation drying, BED)三种干燥方式对互花米草提取液进行干燥处理,并对处理后得到的植物盐提盐量、复水性、溶解时间和感官品质等指标进行了分析,探究不同干燥方法对互花米草植物盐干燥特性及品质的影响,以期为互花米草植物盐的提取和品质提升提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

新鲜互花米草:2021年9月23日采自黄河三角洲北岸潮滩处的互花米草地上部分;常温去离子水。

1.2 主要仪器与设备

FD-1C-50+型真空冷冻干燥机,博医康(北京)仪器有限公司;L530型医用离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;ME104E型电子天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;HH-G6型数显恒温水浴锅,常州普天仪器制造有限公司;DB-2AB型电热板,邦西仪器科技(上海)有限公司;DHG-9013A型电热鼓风干燥箱,上海-恒科学仪器有限公司;ULTS1368型医用低温冰箱,赛默飞世尔(苏州)仪器有限公司;FZ102型微型植物粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司。

1.3 植物盐提取与评价方法

1.3.1 样品预处理

选用无虫害、无病害、无污染的盐生植物互花米草地上部分,摘除枯萎部分,清洗并放于65℃的电热鼓风干燥箱中烘干24h后粉碎,称取20±0.01g互花米草粉末溶解于500mL常温去离子水中,置于80℃的水浴加热7h,然后经过过滤除渣、离心浓缩,得互花米草提取液,密封保存备用。

1.3.2 干燥实验

1.3.2.1 VFD处理

将制得的互花米草提取液放入超低温冰箱中,在-70℃条件下进行超低温结冰。随后将互花米草提取液结冰体置于提前预热1h的真空冷冻干燥机中干燥,在冷凝器温度为-50℃、真空度为5、物料温度为-30~-20℃的条件下进行真空冻干48h至粉末状,即可得到互花米草植物盐。

1.3.2.2 HAD处理

将制得的互花米草提取液置于干净的烧杯中,用保鲜膜密封并留孔,置于65℃电热鼓风干燥箱中恒温加热干燥,每隔10h取出称重,直至样品恒重,即可得到互花米草植物盐。

1.3.2.3 BED处理

将制得的互花米草提取液装入干净的陶瓷坩埚中,置于100℃电热板上进行BED处理,直至容器内出现大量互花米草植物盐晶体时停止加热,利用余热将剩余盐分析出,置于电热鼓风干燥箱中恒温加热24h,即可得到互花米草植物盐。

1.3.3 互花米草提盐率的测定

互花米草提盐率(E)由下式计算^[22]:

$$E = \frac{m}{m_0} \times 100\%, \quad (1)$$

其中: E 为互花米草提盐率(%), m 为干燥所得互花米草植物盐的质量(g), m_0 为地上部分互花米草粉末的质量(g)。

1.3.4 感官评价

取适量试样置于白色瓷盘中,挑选10名实验小组成员组成感官评价小组^[23],小组成员在早晨洗漱后保持口气清新,开始评价。依据“色泽、外观形态、气味、滋味、杂质”评价顺序,在自然光下观察色泽和状态,嗅其气味、品其滋味,最后分析评价,每一项以10分制打分,对不同干燥方式的互花米草植物盐进行描述,具体评分标准参考表1,综合上述评价分析制得表2。

表1 互花米草植物盐评价标准
Tab.1 Evaluation criteria of *S.alterniflora* phyto-salt

色泽	外观形态	气味	滋味	杂质	分数
颜色深,无光泽	颗粒状明显,具有大量结块	无话梅糖味	口味咸,颗粒感明显	有大量明显杂质	0~5
颜色较深,光泽不明显	颗粒状较明显,多数结块较小	有话梅糖味,但不明显	口味咸,颗粒感较重	有部分明显杂质	5~7
颜色暗淡,显示出一定光泽感	微粒状,有少量结块并且较小	有话梅糖味,并伴有不明显互花米草特有香气	口味咸,稍有颗粒感	有少量杂质	7~8
颜色偏淡,光泽感较明显	细粉状,无明显结块	有比较明显互花米草特有香气	口味咸,无明显颗粒感	基本无杂质	8~9
颜色淡,具有光泽感	细粉状,无结块	有互花米草特有香气	口味咸,入口即化	无肉眼可见杂质	9~10

表2 干燥方式对互花米草植物盐的感官影响
Tab.2 The sensory effects of drying methods on *S.alterniflora* phyto-salt

感官指标	真空冷冻干燥处理	鼓风加热干燥处理	煮沸蒸发干燥处理
色泽	灰棕色	浅棕色	深棕色
外观形态	细粉状、松散	颗粒状,有结块	微粒状,有结块
气味	伴有浓浓的互花米草特有香气	有淡淡的话梅糖味	较淡的话梅糖味
滋味	口感咸,入口即化	口感咸,颗粒感较重	口感咸,稍有颗粒感
杂质	无肉眼可见杂质	无肉眼可见杂质	无肉眼可见杂质

1.3.5 复水性的测定

将2 g不同方法干燥所得的互花米草植物盐置于50 mL常温去离子水中,用玻璃棒充分搅拌均匀,在室温下静置1 h,将混合液转移至离心机,3000 r·min⁻¹离心20 min,离心管倒置2 h收取残余液体,与上清液一并倒入烧杯中。再次进行VFD处理、HAD处理、BED处理,称量所得复水的互花米草植物盐,由下式计算可得复水程度(D)。

$$D = \frac{m_1}{m_2} \times 100\%, \quad (2)$$

其中:D为互花米草植物盐的复水程度(%) m_1 为重新溶于水中的互花米草植物盐含量(g) m_2 为溶于水前互花米草植物盐的含量(g)。

1.3.6 溶解时间的测定

各取1 g不同干燥方法得到的互花米草植物盐分别迅速置于50 mL常温去离子水中,用玻璃棒迅速搅拌,同时记录不同干燥方法得到的互花米草植物盐完全溶解所需要的时间。

1.3.7 微观结构观察

取少量不同干燥方式得到的互花米草植物盐放于载玻片上,用电子显微镜在80倍和400倍下观察不同方法所得植物盐的微观结构^[24],并采集图像。

1.4 数据统计分析

每组试验重复3次,结果取平均值,利用Origin 2022软件对原始数据进行整理、分析和

作图。

2 结果与讨论

2.1 干燥方式对互花米草提盐率的影响

不同干燥处理下互花米草提盐率如图1所示,总体上提盐率基本稳定在15%~18%左右。不同干燥方法所得的互花米草植物盐含量存在一定的差异,互花米草提盐率从大到小依次为:VFD处理、HAD处理、BED处理。

互花米草提盐率的高低受多种因素影响,如封闭性、蒸发时滤液溅出、提取工艺技术是否成熟等。VFD处理整个过程完全封闭,不与外界相接触,受外界因素干扰较少,这可能是其提盐率略高于其它两种方式的主要原因;HAD处理和BED干燥过程耗时长,处理过程中与外界存在较长时间的接触,板结硬化严重,实验结果易受外界条件变化影响,因此HAD处理和BED处理提盐率略低于VFD处理的结果。

2.2 干燥方式对互花米草植物盐感官评价的影响

不同干燥处理下互花米草植物盐感官评价结果如表2、图2所示,不同干燥方法对互花米草植物盐的感官品质影响较大。

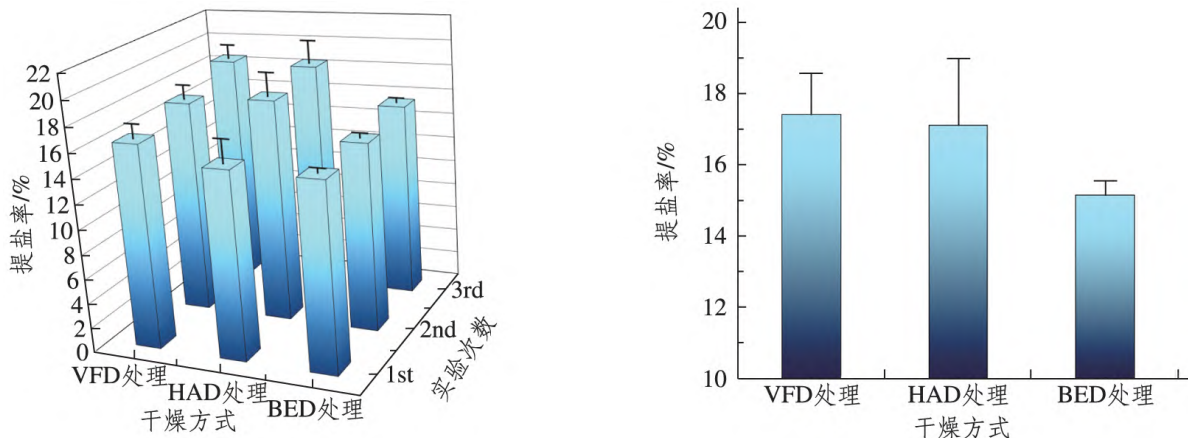


图1 干燥方式对互花米草提盐率的影响

Fig.1 The effects of drying methods on phyto-salt extraction rate of *S.alterniflora*

图2 不同干燥处理下的互花米草植物盐

Fig.2 *S.alterniflora* phyto-salt under different drying treatments

从色泽对比分析可得,经过三种方式干燥的互花米草植物盐颜色大致为棕色,与其提取液中含有的多种生物活性成分的颜色有关。张焕仕等^[25]对互花米草体内的生物活性成分进行了分离、纯化和鉴定,得到的18个单体化合物中有15个单体化合物颜色为黄色或棕色,如异戊基奎尼酸为黄色片状、4-氢-1-苯并吡喃-4-酮为棕色块状、苜蓿素为黄色块状。经过HAD处理和BED处理后所得互花米草植物盐颜色相近,而VFD处理后所得植物盐颜色较其他两种方式略浅,可能由于HAD处理和BED处理加热温度过高发生褐变,虽然互花米草中含有较多具有抗氧化作用的黄酮类物质^[10]较大程度地减少了酶促褐变,但由于互花米草含有羰基化合物和氨基化合物^[25]加热条件下相互作用发生美拉德反应,导致非酶促褐变植物盐颜色加深^[26];而VFD处理是将互花米草提取液冷冻成固态,水分以升华形式散失,最大程度上保证了互花米草提取液中

营养物质不被加热处理方法破坏,保留了互花米草提取液原有的颜色^[27]。

从外观形态对比分析可得,HAD处理和BED处理后所得互花米草植物盐形态相似,均为粒状,而VFD处理后的互花米草植物盐结构疏松,呈细粉状。HAD处理和BED处理可能由于温度过高,传热介质和物料间的温差过大,热量向物料传递的速率加大,水分外逸速率因而加快,使物料内部干燥也加速,造成严重的板结硬化,品质变差。而VFD处理在食品方面的应用优势之一就是能够保证并加强食品内部结构的稳定性,形成多气孔实现结构的疏松多孔^[28],从而可以保持植物盐疏松的细粉状结构。

从气味对比分析可得,VFD处理保留了互花米草原有的香味,HAD处理和BED处理后所得互花米草植物盐气味相似,可能是因为互花米草含有的多种氨基酸在加热条件下与葡萄糖反应产生焦糖香气^[29-30]。

从滋味对比分析可得,不同干燥方法所得植物盐均口感偏咸,VFD处理下的互花米草植物盐入口即化,而HAD处理和BED处理后的互花米草植物盐有颗粒感,并且HAD处理的颗粒感较BED处理下的更重,这与王瑞华等^[31]提取碱蓬植物盐所得实验结果一致。

从杂质对比分析可得,不同方法干燥下的互花米草植物盐均无肉眼可见杂质。

综上,VFD处理得到的植物盐在色泽、外观形态、气味、滋味、杂质等感官评价方面均优于HAD处理和BED处理。

2.3 干燥方式对互花米草植物盐复水性的影响

复水性^[31-32]是考察食品品质的一个重要方面,其反映不同物料结构的疏松程度,复水性能越好,物料的结构越疏松,复水性能越差,物料的结构越紧密^[33]。

不同干燥处理对互花米草植物盐复水性的影响结果如图3所示,不同干燥处理下植物盐的复水性能差异明显。VFD处理、HAD处理、BED处理比较,每2g互花米草植物盐的复水盐量分别为1.65、0.94和1.27g。其中,复水性能最好的是VFD处理下的互花米草植物盐,BED处理下的较次,而HAD处理后的互花米草植物盐复水性能最差。

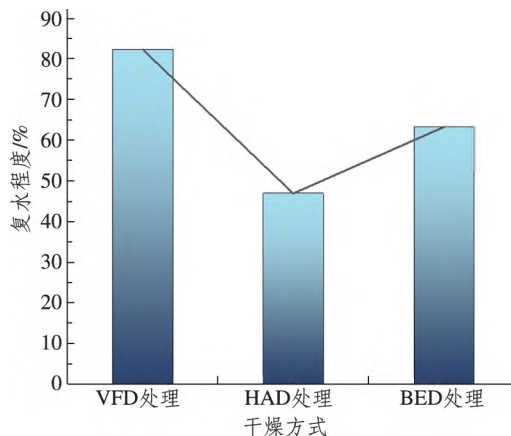


图3 干燥方式对互花米草植物盐复水性的影响

Fig.3 The effects of drying methods on phyto-salt rehydration of *S.alterniflora*

植物盐原材料性质和干燥方法的不同都会对互花米草植物盐的复水性能产生影响,复水性能取决于产品孔隙率和细胞破坏程度^[34]。VFD处理是在互花米草提取液冻结的状态下进行,整个

过程温度较低,水分以升华的形式散失能够保证植物盐不会因为内部水分流失而对外部结构造成影响^[35]。在吸收一定量水后又能迅速恢复为原有的液态,此外这种干燥方式使其内部生成多气孔,植物盐孔隙率大,能够提高复水速率,加速溶解^[28];而HAD处理与BED处理,处于高温条件下,产品板结硬化,结构破坏程度严重,孔隙率较VFD处理下低,复水速率慢。同时,由于HAD处理时间更长,对产品结构的破坏性也更强,导致其复水速率在三种干燥处理方式中最慢。对于复水性好的植物盐,应注意在运输储存的过程中进行严格的密封保存,避免因吸水对物料品质造成影响。

2.4 干燥方式对互花米草植物盐溶解时间的影响

不同干燥处理下互花米草植物盐的溶解时间如图4所示。由图4可知,HAD处理下植物盐的溶解时间最长,是VFD处理的6.71倍和BED处理的1.65倍,VFD处理下植物盐的溶解时间最短(<20s)。产品的溶解时间与干制产品的复水性有直接关系,复水性能越好,复水速率越快,溶解时间越短^[31]。

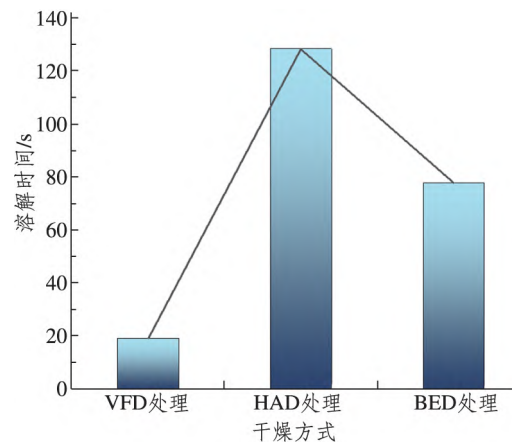


图4 干燥方式对互花米草植物盐溶解时间的影响

Fig.4 The effects of drying methods on salt dissolution time of *S.alterniflora*

2.5 干燥方式对互花米草植物盐微观结构的影响

不同干燥方式下互花米草植物盐微观结构见图5~6。如图5、6所示,3种干燥处理下植物盐微观结构差异明显。80倍电子显微镜下,VFD处理下的植物盐结晶状态不明显,但HAD处理和BED处理所得植物盐已初显结晶态;400倍电子显微镜下,VFD处理下的植物盐显示出结晶态,

HAD 处理和 BED 处理所得植物盐结晶态更明显。可能是由于 VFD 处理下水分以升华形式散失,形成多气孔,结构疏松,肉眼观察下呈粉状,结

晶微粒更小;而 HAD 处理和 BED 处理所得植物盐水分是在高温条件下,以蒸发形式散失,结构密实,肉眼观察下呈颗粒状,结晶微粒更大。

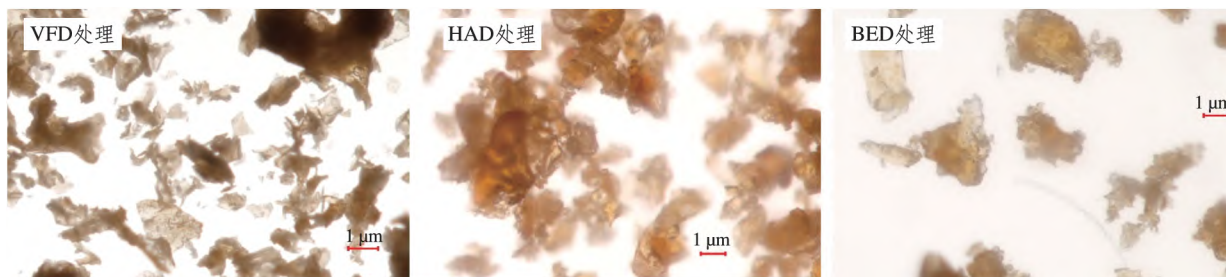


图5 80倍电子显微镜下不同干燥处理下互花米草植物盐图片

Fig.5 The phyto-salt images of *S.alterniflora* under different drying treatments under 80 × electron microscope

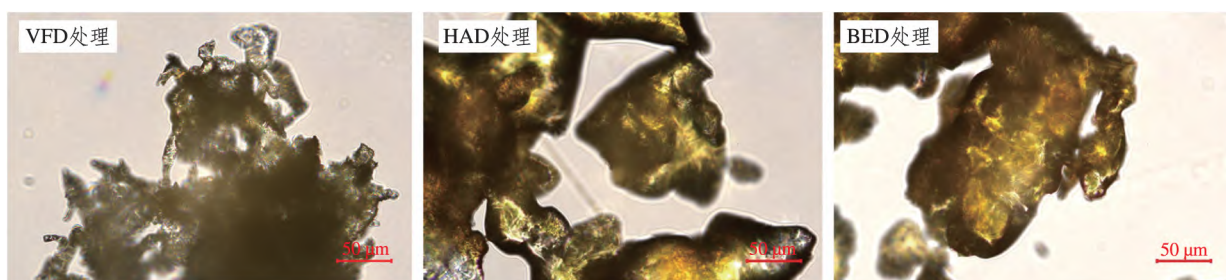


图6 400倍电子显微镜下不同干燥处理下互花米草植物盐图片

Fig.6 The phyto-salt images of *S.alterniflora* under different drying treatments under 400 × electron microscope

3 结论与展望

本研究发现,VFD处理、HAD处理和BED处理这3种干燥方式对互花米草植物盐含量、感官品质、复水性等品质指标具有显著影响。VFD处理后所得的互花米草提取盐含量最多,感官品质最好,复水性能最佳,溶解时间最短,微观结构差异明显。感官评价中,3种干燥处理所得植物盐在色泽和外观形态上各异,但从气味、滋味和杂质方面看,VFD处理更优于HAD处理和BED处理;复水性评价中,VFD处理下复水性能最佳,复水程度为HAD处理的1.75倍,BED处理的1.30倍,复水性能越好,溶解时间越短;VFD处理下的植物盐结晶态颗粒更细小,结构更疏松。从植物盐的色香味等各方面因素考虑,推荐采用VFD处理提取高品质互花米草植物盐。

随着国民健康意识的提升和人民生活水平的提高,植物盐或将成为营养保健方面的主流。我国具有丰富的植物资源,以天然植物作为原料提取植物盐,在更多、更高效、更先进的提取和干燥

方式下,未来植物盐市场将会朝着多元化、多样化的方向发展。但目前植物盐仍缺少相应的质量标准(如:国家标准、地方标准、行业标准等),未来应完善相应标准以促进植物盐市场的更大发展。

参考文献:

- [1] 冯立田,段建军,李慧娟.试论生物质盐[J].盐业与化工,2008,37(2):39-42.
- [2] 刘素华,刘清岱,刘好鑫,等.植物盐及其研究进展[J].中国食品添加剂,2016(4):195-199.
- [3] 左平,刘长安,赵书河,等.米草属植物在中国海岸带的分布现状[J].海洋学报(中文版),2009,31(5):101-111.
- [4] 张原.严防“绿色杀手”互花米草的生态危害[N].人民政协报,2022-08-08(6).
- [5] ZHANG X,XIAO X M,WANG X X et al.Continual expansion of *Spartina alterniflora* in the temperate and subtropical coastal zones of China during 1985-2020[J].International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2023,117:103192.
- [6] 张明亮.滨海盐沼湿地退化机制及生态修复技术研究进展[J].大连海洋大学学报,2022,37(4):539

- 549.
- [7] 谢宝华,韩广轩.外来入侵种互花米草防治研究进展[J].应用生态学报,2018,29(10):3464-3476.
- [8] 赵燕,王森,杨文清,等.中国互花米草防治措施研究进展及展望[J].生物安全学报,2022,31(3):210-216.
- [9] 罗彩林,温杨敏,郑晨娜.大米草和互花米草药用价值研究进展[J].亚太传统医药,2010,6(7):180-181.
- [10] 钦佩,姜允申,谢民.互花米草的营养成分[J].中国药理学杂志,1993,28(10):614.
- [11] 张焕仕,张鹤云,宰学明,等.三种互花米草天然化合物降尿酸作用研究[J].中国野生植物资源,2019,38(3):9-12.
- [12] 杨雨顺,钦佩,王小明,等.一款米草功能啤酒的降尿酸实验研究[J].中国野生植物资源,2023,42(7):61-67.
- [13] YANG Y S, WANG B, ZHOU K M, et al. Discovery of derivatives from *Spartina alterniflora*-sourced moiety as xanthine oxidase inhibitors to lower uric acid. [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2022, 73: 129807.
- [14] 白盼.互花米草专利技术研究进展及在保健食品中的应用[J].食品安全导刊,2021(9):143-144.
- [15] 梁嘉慧,戴子熠,左平,等.基于VOSviewer文献计量的互花米草研究进展分析[J].海洋开发与管理,2022,39(10):72-79.
- [16] YU D X, GUO S, WANG J M, et al. Comparison of different drying methods on the volatile components of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) by HS-GC-MS coupled with fast GC E-Nose [J]. Foods, 2022, 11(11):1611.
- [17] 夏亚男,侯丽娟,齐晓茹,等.食品干燥技术与设备研究进展[J].食品研究与开发,2016,37(4):204-208.
- [18] 任祥瑞,刘红开,赵晓燕,等.热风干燥温度对生姜片理化性质的影响[J].中国食品添加剂,2023,34(9):244-250.
- [19] 安朝丽,薛瑞奇,申公锦,等.不同干燥方式对滑子蘑挥发性风味成分的影响[J].食品研究与开发,2023,44(15):142-148.
- [20] 李青坪,李思影,江雪玉,等.不同干燥方式对藕片品质的影响[J].食品安全质量检测学报,2023,14(15):297-305.
- [21] 梁秋萍,严学迎.不同干燥方式对甘薯粉丝加工品质的影响[J].美食研究,2023,40(1):96-100.
- [22] 李煦,田鑫奥,倪睿杰,等.碱蓬植物盐提取工艺优化及其矿物质元素测定[J].食品安全质量检测学报,2022,13(22):7339-7347.
- [23] 宁小彬,杨傲林.电饭煲蒸煮糙米饭感官品质评价[J].标准科学,2023(7):93-97.
- [24] 易军鹏,贺健,董晶寅,等.不同干燥方式对酸菜干燥特性及品质的影响[J].食品与发酵工业,2023,49(12):128-135.
- [25] 张焕仕,赵飞,刘畅,等.互花米草生物活性成分的分离纯化和鉴定研究[J].中国野生植物资源,2021,40(12):19-22.
- [26] GAO P, ZHANG W Y, ZHAO X X, et al. The effect of Maillard reaction on flavour development of protein hydrolysates from cheese [J]. Food Chemistry, 2023, 437: 137569.
- [27] 张桂芝,吴小禾,黄裕豪,等.冻干技术在火龙果加工上的应用[J].现代食品,2021(15):92-95.
- [28] 路敏,陈媛媛.真空冷冻干燥技术在食品方面的应用研究[J].食品安全导刊,2022(29):168-170.
- [29] 史文慧,于淑娟,何树珍.正交实验法优化酱油用焦糖色素的制备工艺[J].食品工业科技,2012,33(4):320-322.
- [30] SUN A, WU W, P. SOLADOYE O, et al. Maillard reaction of food-derived peptides as a potential route to generate meat flavor compounds: a review [J]. Food Research International, 2022, 151: 110823.
- [31] 王瑞华,孙佳佳,戴华磊,等.不同干燥方式对碱蓬植物盐品质特性的影响[J].食品研究与开发,2018,39(18):102-106.
- [32] KIM S H, CHOI Y J, LEE H, et al. Physicochemical properties of jujube powder from air, vacuum, and freeze drying and their correlations [J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2012, 55(2):271-279.
- [33] 李佳运,杨锋,侯玉澄,等.五种地标腐竹理化指标及品质分析[J].中国调味品,2022,47(8):150-153.
- [34] 宋洪波,毛志怀.干燥方法对植物产品物理特性影响的研究进展[J].农业机械学报,2005,36(6):117-121.
- [35] ABDALLAH W, KAMAL M R. Influence of process variables on physical characteristics of spray freeze dried cellulose nanocrystals [J]. Cellulose, 2018, 25(10):5711-5730.

(下转第288页)

Research Progress on Removal of Antibiotic Resistance Genes Using Advanced Oxidation Processes with Persulfate Activated by Catalysts

YU Jianglong¹, LIU Yutao¹, ZHANG Shengxiao², LIU Junshen²

(1. Yantai Urban Drainage Service Center, Yantai 264000, China;

2. School of Chemistry and Materials Science, Ludong University, Yantai 264039, China)

Abstract: The irrational use of antibiotics has produced a large number of antibiotic resistance genes (ARGs), a kind of emerging pollutants, which have posed a threat to human health and ecological security. Therefore, new methods and technologies to control and remove these new pollutants are urgently needed. The production of sulfate radicals by activating persulfate (PS) based on catalysts is a new advanced oxidation process (AOP), which has the non-toxic, efficient, economical and environmentally friendly advantages. The removal of ARGs by this technology has become a research focus. According to the different catalyst types, the effect and research progress of these different advanced oxidation techniques for removing ARGs are reviewed in this paper. The influencing factors and existing problems in the process of removing ARGs are analyzed, and the future development is prospected.

Keywords: antibiotic resistance genes; advanced oxidation technology; persulfate; activation

(责任编辑 李维卫)

(上接第241页)

Abstract ID: 1673-8020(2024)03-0235-EA

Effect of Drying Method on Phyto-salt Extraction Rate and Quality Characteristics of *Spartina alterniflora*

YAN Ning^a, LIU Suhui^a, SHEN Fa^a, WANG Ruofei^a, YU Yang^b, YANG Jisong^c

(a. School of Resources and Environmental Engineering; b. School of Hydraulic Engineering; c. The Institute for Advanced Study of Coastal Ecology, Ludong University, Yantai 264039, China)

Abstract: Vacuum freeze drying (VFD), hot air drying (HAD) and boiling evaporation drying (BED) were used to prepare phyto-salt from *Spartina alterniflora*. The drying characteristics and quality of phyto-salt were analyzed and evaluated from salt extraction, sensory quality, rehydration, dissolution time and microstructure. The results showed that the salt extraction rate of *S. alterniflora* through VFD treatment was 17.5%, which was higher than that through BED treatment (15%) and HAD treatment (16.5%). Under different drying methods, the sensory evaluation analysis of color, appearance, odor, taste and impurities showed that VFD treatment was the best. The rehydration degree of phyto-salt obtained by VFD treatment was the highest, up to 82%, and the dissolution time in water was the shortest. Electron microscopy showed that VFD treated phyto-salt particles were smaller and more porous, while phyto-salt under the other two drying methods had similar microstructure. Above all, VFD is a suitable method for preparing *S. alterniflora* phyto-salt.

Keywords: phyto-salt; drying method; drying characteristics; *Spartina alterniflora*; vacuum freeze-drying

(责任编辑 李维卫)