

葡萄酒泥高价值产物开发及生物炼制研究概况

Research process of valuable product and biorefinery of wine lees

郭志君¹ 张王飞¹ 江璐¹ 房玉林²

GUO Zhi-jun¹ ZHANG Wang-fei¹ JIANG Lu¹ FANG Yu-lin²

(1. 茅台学院, 贵州 仁怀 564500; 2. 西北农林科技大学, 陕西 咸阳 712100)

(1. Moutai Institute, Renhuai, Guizhou 564500, China;

2. College of Enology, Northwest A & F University, Xianyang, Shaanxi 712100, China)

摘要:文章综述了葡萄酒泥中具开发潜力的高价值产物研究,以及可实现酒泥全面利用的生物炼制研究概况,分析了限制中国葡萄酒泥工业化开发利用的原因并提出了建议。

关键词:葡萄酒泥;高价值产物;活性成分;生物炼制

Abstract: In this paper, the development of high-value by-products and biorefinery of wine lees are summarized. On the basis, the reasons of industrialization of wine lees recycling in China were analyzed, and the solution were put forward. Valorization of wine lees could lead to highly efficiency bioprocesses and promote the clean production of wine industry.

Keywords: wine lees; valuable product; active ingredient; biorefinery

葡萄酒酿造过程中会产生大量的废弃物,如葡萄梗、葡萄皮渣、酒泥等,占葡萄酒产量的 20%~30%。葡萄酒废弃物富含高附加值化合物,经加工可作为食品添加剂或营养剂。

葡萄酒泥(简称“酒泥”)是葡萄酒发酵结束后、贮藏期间以及过滤或者离心后得到的沉淀物和残渣,占葡萄酒产量的 2%~6%^[1]。据国际葡萄与葡萄酒组织(OIV)^[2]统计,2019 年中国葡萄酒产量 83 万 t,产生废弃酒泥约 1.7~2.6 万 t。酒泥以酵母菌残体为主,富含酒石酸盐、蛋白质、多糖、多酚等物质,化学需氧量(COD)非常高且具有很高的生物降解性,直接排放污染环境^[3],也浪费生物资源。目前对果梗、皮渣、果籽等废弃物的开发利用研究较多^[4-6],中国关于酒泥开发利用研究重点关注

酒泥陈酿、传统农畜业及活性物质提取方面^[7-8]。酒泥陈酿可提高酒体圆润度、丰富香气^[9],但管理不当可能给酒带来异味和生物胺含量较高等负面影响,因此酒泥陈酿的应用并不普遍且酒泥消耗量有限;酒泥富含有机质可作为饲料有机肥源^[10-11],但酒泥中钾离子、多酚含量高,限制其在农畜业生产中的直接应用,改良措施可一定程度上解决酒泥在饲料中的抗营养问题^[12-14],但由于酒泥储运成本高而肥料或饲料价格低,商业应用前景有限;从酒泥中提取酒石酸的研究较充分^[15-17],且在意大利等主要葡萄酒产国已实现工业化。文章拟对当前酒泥潜在高价值产物开发和生物炼制的研究情况进行概述,以期充分开发酒泥经济价值、促进葡萄酒产业清洁生产提供参考。

1 酒泥高价值产物开发

1.1 制备发酵营养剂

酒泥作为动物营养品并不十分理想,但其含有丰富的可溶性糖、维生素、矿物质、氨基态氮、挥发酸及纤维素,可作为微生物代谢的养分来源或是营养补充剂,且加工处理方法简单、成本低于商业酵母提取物^[18],具有较高的开发利用价值。Dimou 等^[19]将酒泥中的酒精、酒石酸、多酚提取后,将剩余富含酵母细胞的固体部分用粗酶水解制备发酵营养剂,在 pH 5.5、温度 40 ℃、蛋白水解活性 24 U/mL、酒泥质量浓度 100 g/L 的条件下,酒泥中游离氨基氮(FAN)转化率最高,用 FAN 质量浓度为 700 mg/L 的酒泥水解物为营养源,甘油为碳源,并添加微量元素,培养钩虫贪铜菌(*Cupriavidus necator* DSM 7237)代谢产生高附加值的聚 3-羟基丁酸酯(PHB)达 30.1 g/L,充分证实了酒泥发酵营养剂开发的值。

酒泥制备的发酵营养剂还可用于培养戊糖乳杆菌(*Lactobacillus pentosus*)代谢生产乳酸^[20]、培养黑曲霉生产柠檬酸^[21],产率与其他合成介质的结果相当。但全酒泥作为发酵培养基的应用效果却较差^[22],可能因营养素

基金项目:贵州省教育厅自然科学研究项目(编号:黔教合 KY 字[2020]236)

作者简介:郭志君,女,茅台学院工程师,硕士。

通信作者:房玉林(1973—),男,西北农林科技大学教授,博士。

E-mail: fangyulin@nwsuaf.edu.cn

收稿日期:2021-01-05

过量、多酚等物质抑制了生物转化过程。所以用酒泥制备发酵营养剂应与乙醇、酒石酸或者多酚的提取相结合,制得高效营养剂同时也得到其他副产物,充分利用酒泥价值。

1.2 提取酚类物质

酚类物质是具有抗氧化活性并可起到辅助杀菌作用含有多个酚基团的一类活性物质^[23]。酒泥中酚类物质含量丰富^[24],根据葡萄酒类型及酿造工艺的不同,含量为 1.9~16.3 g/kg,其中小分子的酚类化合物(黄酮醇和吡喃花青素)生物活性强^[25],且价值较高。酒泥中的酚类物质一部分存在于液体馏分(残余葡萄酒),另一部分存在于酒泥固体部分,主要是酵母细胞壁吸附的酚类物质,这一部分因吸附作用力较弱,很容易从固体中回收。

酚类物质提取技术包括浸渍、微波辅助、超声辅助、高压、脉冲电场提取等^[26-28],其中超声辅助技术因萃取效率高、操作方便、成本低、对环境污染小等优点受到较大关注。Tao 等^[29]利用超声辅助提取酒泥中抗氧化活性物质,最佳提取条件为超声频率 40 kHz、声能密度 48 W/L、提取时间 25 min、温度 60 °C、料液比($m_{\text{酒泥}}:V_{\text{乙醇}}$)1:60 (g/mL)、乙醇体积分数 43.9%,此条件下每克干酒泥提取总酚 58.8 mg(以没食子酸计),高于常规浸渍对照组,而且表现出良好的储存稳定性。为获得纯度更高、价值也更高的小分子多酚,Meija 等^[30]利用微波辅助结合膜分离技术从红葡萄酒泥中提取酚类物质,采用总酚截留率最小(8%)的 Etna 01PP 膜进行纯化,最终得到高质量浓度(782.2 mg/L)小分子多酚活性物质。该技术从酒泥中提取高价值的食品级酚类物质,环境友好且适合工业生产,是酒泥提取酚类物质的有效方法之一。

1.3 提取酵母多糖

从酒泥中提取多酚后,剩余的废弃酵母除用于制备发酵营养剂,还可用于提取高价值的酵母多糖。酵母多糖是存在于酵母细胞壁中的一种高分子多糖物质,主要由 β -葡聚糖和甘露聚糖组成,占细胞壁干重的 90% 以上^[31]。酒泥中因含有大量酵母残体,可作为提取酵母多糖的廉价原料。

1.3.1 β -葡聚糖 β -葡聚糖(β -Glucans, β -G)占酵母细胞壁的 35%~55%^[32],是第一种被发现具有免疫活性的葡聚糖,被广泛应用于食品、医药和农业生产^[33]。从酵母细胞中提取 β -G 的传统方法是化学提取法,即用热碱或酸溶解蛋白质和一些杂多糖,不溶性残留物即为酵母葡聚糖。杨婷等^[34]采用质量分数 2% NaCl 溶液,在 pH 4.5、47.5 °C 下诱导酵母自溶,并用质量分数 3% KOH 溶液去除甘露聚糖,再在质量分数 3% NaOH 溶液、料液比($m_{\text{酵母细胞壁}}:V_{\text{NaOH 溶液}}$)1:40 (g/mL)、80 °C 的条件下提取 1.5 h, β -G 平均得率 19.4%。Varelas 等^[35]采用相似提

取方法,提高了自溶过程 NaCl 溶液浓度、pH、处理温度和自溶时间,红葡萄酒泥中 β -G 提取率 29%、白葡萄酒泥中 β -G 提取率高达 43%,说明化学提取工艺条件的改变对提取率有重要影响,且因红葡萄酒泥中酚类物质抑制多糖提取率,白葡萄酒泥更适合作为提取多糖原料。

酸或碱会导致 β -G 结构的强烈降解,化学提取法重现性较差、提取纯度低,为克服化学提取方法的局限性,Freimund 等^[36]提出了物理酶提取法,该方法先用热水破坏细胞壁基质的稳定性,再用有机溶剂提取细胞脂质成分、酶溶解剩余的蛋白质,最终得到不溶性成分即 β -G。程超等^[37]采用高压均质法和冻融法协同破碎酵母细胞壁,辅以复合蛋白酶和脂肪酶酶解技术,设定均质压力 70 MPa,酵母质量分数 13%,均质时间 34 min,冻融加水量 25%,酒泥中 β -G 提取率 13.2%,纯度 91.69%。该方法提取纯度高、不使用酸碱化学试剂、设备简单、运转成本较低,具有一定的工业化应用价值。

1.3.2 甘露聚糖 酵母细胞壁另一种重要多糖是甘露聚糖(Mannoproteins,MPs),MPs 由甘露糖和少量的蛋白质以共价键形式连接,是免疫功能最强的天然多糖之一^[38],被广泛应用于食品加工^[39]、葡萄酒生产^[40]等领域。提取方法与 β -G 相似,主要有化学提取、酶解提取和物理提取。

化学提取有酸法和碱法两种提取方法,酸法浸提可能导致多糖水解且产物中含有 β -G 等多糖杂质;碱法浸提产物纯度相对较高,杨学山等^[41]以酒泥为原料,按酵母细胞诱导自溶、KOH 提取、脱蛋白精制、乙醇醇析、丙酮、乙醚洗涤、透析、干燥的流程,在料液比($m_{\text{酵母自溶后的细胞壁}}:V_{\text{KOH 溶液}}$)1.0:17.5 (g/mL)、KOH 质量分数 3%、浸提时间 1.5 h、浸提温度 100 °C 的工艺条件,甘露聚糖提取率 18.4%。碱法过程中用到大量碱液,对环境有一定的污染^[42]。酶解提取是利用葡聚糖酶将 β -G 水解,从而使 MPs 释放到液相中,提高提取纯度,绿色环保且成本低,适合制备用于葡萄酒蛋白稳定的 MPs。但目前只有用酶解法从酿酒酵母或啤酒废酵母中提取 MPs 的研究报道,用酶解法从葡萄酒泥中提取 MPs 的研究还有待探索。物理法则是用热水浸提清除葡聚糖和部分水溶性蛋白质,离心后上清液用乙醇沉淀得甘露聚糖。李颖等^[43]将酒泥中的酵母细胞壁诱导自溶,用高温热水提取法,在料液比($m_{\text{酵母自溶后的细胞壁}}:V_{\text{水}}$)1:23 (g/mL)、温度 124 °C、浸提 5 h、浸提 3 次的最优条件下,MPs 提取率 14.3%。物理方法提取 MPs 纯度低于酶处理法^[44],不适合作为葡萄酒添加剂,但可用于其他食品添加,安全环保且适合工业化生产。

另外,采用 β -G 和 MPs 同时提取的方法可获得多糖混合物。石豪磊等^[45]用超声辅助一碱一酶复合方法,提取酒泥废酵母细胞壁总多糖,Iseppi 等^[46]用透析法代替乙

醇溶解,利用酶解法从酒泥中取提制备乳化剂的 MPs,产物中含有具有增稠作用的可溶性 β -G,提高了乳化剂稳定性。因此结合酵母多糖产物目标用途选择提取方法,更具实践意义。

1.4 其他

除酵母多糖外,还有酒泥中提取海藻糖^[47]、谷胱甘肽^[48]、SOD^[49]、白藜芦醇^[50]、角鲨烯^[51]等活性物质的研究报道,因提取率低、提取工艺复杂或提取试剂环境不友好等原因较难推广应用,但为酒泥开发利用提供了丰富的参考。

国外学者还进行了一些酒泥创新应用的研究,例如烧制轻砖时加入质量分数 5% 细酒泥,不降低轻砖的机械强度和物理性能且隔热性能增加^[52],适合保温轻砖的生产;冰激凌制作均质阶段加入 20 g/kg 的优质酒泥,其抗氧化性能显著提高,其风味、质地、口感和整体可接受性较高^[53],这些创新研究为提高酒泥经济价值提供了新思路。

2 生物炼制

以上研究表明酒泥具有较好的开发潜力,但各种利用方法都是独立的,未形成系统开发应用,只收回其中的一种或两种物质,不足以减少最终剩余废弃物对环境的污染,酒泥也未得到充分利用。为更充分地从酒泥中提取有价值化合物,国外学者开展了酒泥系统利用的研究,即生物炼制。生物炼制(Biorefinery)是指利用农业废弃物、植物基淀粉、木质纤维素等生物质原料,生产各种化学品、燃料和生物基材料的过程^[54],全方位、充分地利用食品供应链废弃物,是环境可持续发展的化学和能源经济转变的重要手段^[55]。生物炼制为酒泥综合利用和葡萄酒产业的可持续发展提供了新的思路。

2.1 生物炼制方法

酒泥的生物炼制过程如图 1 所示,即首先将酒泥离心成固体和液体两部分,液体部分蒸馏得到乙醇;固体部分依次提取多酚抗氧化剂和酒石酸;剩余富含酵母细胞的固体再酶解制得发酵营养剂;提取过程还可充分利用

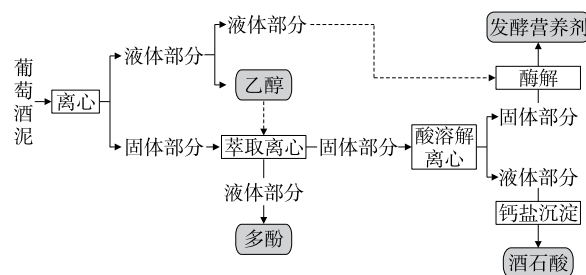


图 1 葡萄酒泥生物炼制过程示意图

Figure 1 Process flow diagram of the wine lees refining concept

自身副产物,如第一步分离得到的乙醇和残液可用于后续提取流程。

Dimou 等^[56]在实验室模拟生物炼制,以美乐葡萄酒泥为研究对象,10 °C 下将酒泥离心 15 min(12 000 g),蒸馏上清液,产生乙醇和无醇液体;沉淀物以体积分数 80% 丙酮和体积分数 60% 甲醇顺序萃取、离心,上清液中制得多酚化合物;残余固体加水溶解,再用 HCl(37%) 处理 10 min,离心得到溶解酒石酸;残余固体酶解制备发酵营养剂。最终得到质量分数 5.7% 乙醇、0.8% 多酚粗提物、6.5% 酒石酸盐、8.4% 酵母细胞,水和杂质分别占 62.9% 和 15.8%,酵母细胞水解后制备发酵营养剂。Kopsahelis 等^[57]在以上研究的基础上,细化了酒泥生物炼制过程中酚类物质提取研究,研究表明酒泥第一次分离得到的液相和固相部分提取的酚类物质成分不同,建议用酒泥炼制产生的乙醇进行酚类物质的萃取,减少化学试剂的使用,并创新地在酒泥酶解物中添加蛋白浓缩物(来自奶酪生产副产物乳清)培养弯曲隐球菌(*Cryptococcus curvatus*)和拉曼被孢霉菌(*Mortierella ramanniana*)制备生物油脂,为酒泥废弃物的生物炼制打开了新的思路。

2.2 生物炼制价值评估

生物炼制为酒泥综合利用提供了新思路,实际应用还须考虑处理成本和整体效益,即价值评估。评估方法主要是通过建立酒泥生物炼制厂模型,以产物、物质消耗和能源消耗为评价指标(如图 2 所示),利用现代统计分析方法进行评估。

Dimou 等^[56]利用 UniSim 软件建模,考量能源、物料、废弃物处理、固定资产投入、货币价值等因素,认为酒泥生物炼制经济价值与酒泥处理量相关。酒泥提取最高价值产物(抗氧化物质)的最低售价与酒泥处理量呈反比,500 kg/h 处理量的酒泥炼制厂,抗氧化物售价 122 美

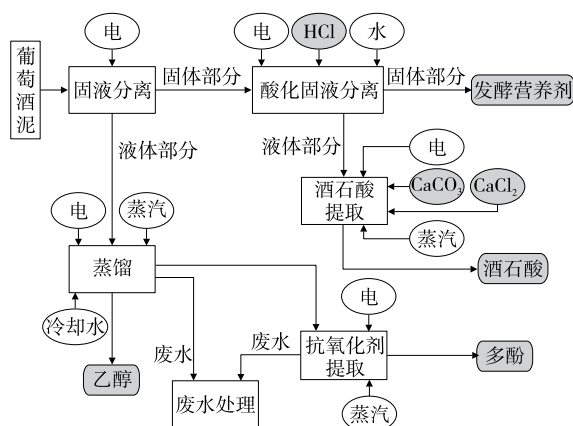


图 2 葡萄酒泥生物炼制过程能源及物料消耗

Figure 2 Energy and material consumption of the wine lees biorefinery

元才能维持投入产出平衡,如果处理量为 5 000 kg/h,则最低售价只需 11.1 美元。因此仅从投入产出角度考量,只有像意大利、法国、西班牙这样的主要葡萄酒产国,酒泥生物炼制才具有经济性。蒸汽是酒泥处理的主要能耗,每处理 1 t 酒泥耗蒸汽 5 104 kg,如用葡萄酒生产中的废弃葡萄枝条、果梗作为制备蒸汽的燃料,酒泥生物炼制的经济性将大幅度提升^[58]。综合考虑酒泥生物炼制过程有效减少酒泥污染物排放带来的环境效益和炼制厂创造就业机会带来的社会效益^[59],普遍认为酒泥生物炼制具可观前景。

3 中国葡萄酒泥开发存在的问题及应对措施

2000 年以来中国葡萄酒产量呈上升态势,葡萄酒工业生产日益重要,葡萄栽培及酿造工艺已达世界先进水平,但废弃物处置能力还较为落后,特别是酒泥几乎全部直接排放。分析中国葡萄酒泥开发存在的问题有以下三方面。

3.1 酒泥收集保存方法研究不足

中国葡萄酒生产集中在 8—11 月,酒泥集中在 11—12 月排放,非酿酒季节酒泥排放量少,而且中国葡萄酒产区分布广,多数大型酒厂相距较远。导致酒泥收集困难,液态酒泥易变质低温保存成本高,导致酒泥加工成本增加,经济效益差。

因此加强酒泥保存、预处理的研究,是推动中国酒泥资源综合利用工业化的首要任务。目前可参考啤酒泥回收的预处理方式,收集的酒泥先通过过滤、离心或陶瓷膜分离设备^[60]进行固液分离,液体部分蒸馏酒精,固体部分根据后续加工目的采用干燥或冷冻工艺处理,得到方便保存运输的固态或半固态酒泥。

3.2 酒泥开发利用研究不充分

中国学者对酒泥的开发利用研究较少,且主要为酒泥陈酿方式和效果、饲料添加效果及酒泥中废弃酵母活性成分提取工艺研究,而对酒泥直接应用的受限机理、产物价值、提取工艺是否环保等问题研究较少,对酒泥全链条开发研究几乎空白。

因此加强酒泥抗营养因子机理、高价值多酚提取、环境友好方法和生物炼制的深入研究是提升酒泥经济价值、促进中国酒泥资源综合利用的理论支撑。同时,处理成本与经济效益是酒泥能否被有效回收利用的重要因素之一,因此还应结合中国国情开展酒泥利用经济价值评估研究。

3.3 推动酒泥开发的政策法规不健全

目前中国还没有建立酒泥废弃物处理相关制度,因缺少约束葡萄酒生产企业缺乏废弃物处理的自觉性,学

者对酒泥应用研究也未提到迫切日程。另一方面,建立酒泥废弃物加工处理厂前期投入大、盈利难,绝大多数企业无力独立运营。

因此健全酒泥废弃物处理法规制度并配套扶持政策是中国葡萄酒泥综合利用的政策保障。借鉴国外经验,例如西班牙政府收取较高葡萄酒废弃物处理费,所得税费用于废弃物处理及科学研究,且非法排放造成环境污染的罚款金额逐渐增加,违规排放要缴纳 3 万~4 万欧元的罚金甚至受到刑事处罚^[18],因此企业和科研机构对酒泥废弃物的处置和利用研究十分重视而且取得较好效果。同时,还需国家层面出台扶持政策,支持和引导产区企业共建酒泥生物炼制厂,形成共担成本、共享收益、共促葡萄酒产业持久健康发展的新格局。

4 结语

葡萄酒泥直接排放污染环境,也浪费宝贵的生物资源。酒泥加工成微生物发酵营养剂、提取酵母多糖和多酚物质,可变废为宝创造较高的经济价值,酒泥生物炼制研究也充分展示了其整体利用的可行性。目前中国酒泥开发利用还处于起步阶段,面临产能不集中、研究不充分、政策法规不健全等问题。为解决葡萄酒生产过程酒泥环境污染问题、加强酒泥资源开发利用、促进中国葡萄酒产业健康发展,还需进一步加强酒泥开发利用的理论研究和生产实践探索。

参考文献

- [1] DA ROS C, CAVINATO C, PAVAN P, et al. Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of winery wastewater sludge and wine lees: An integrated approach for sustainable wine production[J]. *Journal of Environmental Management*, 2017, 203(P2): 745-752.
- [2] International Organisation of Vine and Wine. State of the vitivinicultural sector in 2019 report[R/OL]. (2020-04-22)[2020-10-07]. <http://www.oiv.int/js/pdfjs/web/viewer.html?file=/public/medias/7298/oiv-state-of-the-vitivinicultural-sector-in-2019.pdf>.
- [3] ZABANIOTOU A, KAMATEROU P, PAVLOU A, et al. Sustainable bioeconomy transitions: Targeting value capture by integrating pyrolysis in a winery waste biorefinery[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 172: 3 387-3 397.
- [4] NAYAK A, BHUSHAN B, RODRIGUEZ-TURIENZO L. Recovery of polyphenols onto porous carbons developed from exhausted grape pomace: A sustainable approach for the treatment of wine wastewaters[J]. *Water Research*, 2018, 145: 741-756.
- [5] PORTILLA Rivera O M, SAAVEDRA Leos M D, SOLIS Vicente E, et al. Recent trends on the valorization of winemaking industry wastes[J]. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 2021, 27: e100415.
- [6] COLODEL C, VRIESMANN L C, TEÓFILO R F, et al. Optimiza-

- tion of acid-extraction of pectic fraction from grape (*Vitis vinifera* cv. Chardonnay) pomace, a Winery Waste[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 161: 204-213.
- [7] 苏莹. 葡萄酒泥综合利用研究进展[J]. *酒钢科技*, 2016(1): 27-29, 26.
- [8] 高学峰, 杨继红, 王华. 葡萄及葡萄酒生产过程中副产物的综合利用研究进展[J]. *食品科学*, 2015, 36(7): 289-295.
- [9] 史红梅, 王咏梅, 陈万钧, 等. 不同酵母酒泥陈酿对贵人香葡萄酒质量的影响[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(20): 225-229, 234.
- [10] PARADELO R, MOLDES A B, BARRAL M T. Utilization of a factorial design to study the composting of hydrolyzed grape marc and vinification lees[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2010, 58(5): 3 085-3 092.
- [11] CÂMARA José S, LOURENÇO Sílvia, SILVA Catarina, et al. Exploring the potential of wine industry by-products as source of additives to improve the quality of aquafeed[J]. *Microchemical Journal*, 2020, 155: e104758.
- [12] 郑鹤龄, 张斌, 潘洁, 等. 葡萄酒泥农业应用效果研究[J]. *天津农业科学*, 2006(3): 47-48.
- [13] ALCAIDE E M, MOUMEN A, MARTÍN GARCÍA A I. By-products from viticulture and the wine industry: Potential as sources of nutrients for ruminants[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2008, 88(4): 597-604.
- [14] 范寰, 夏树立, 陈龙宾, 等. 微生物发酵技术在干红葡萄酒泥饲料化中的应用研究进展[J]. *保鲜与加工*, 2010, 10(5): 44-47.
- [15] 屈慧鸽, 宋建强, 张明. 超声波辅助提取葡萄酒泥中酒石酸的工艺优化[J]. *食品科学*, 2014, 35(20): 83-87.
- [16] KONTOGIANNOPOULOS K N, PATSIOS S I, KARABELAS A J. Tartaric acid recovery from winery lees using cation exchange resin: Optimization by response surface methodology [J]. *Separation and Purification Technology*, 2016, 165: 32-41.
- [17] 米思, 李华, 刘晶. 响应面法优化毛葡萄酒泥中 L(+)-酒石酸提取工艺[J]. *食品科学*, 2012, 33(8): 49-53.
- [18] DEVESA-REY R, VECINO X, VARELA-ALENDE J L, et al. Valorization of winery waste vs. the costs of not recycling[J]. *Waste Management*, 2011, 31(11): 2 327-2 335.
- [19] DIMOU C, KOPSAHELIS N, PAPADAKI A, et al. Wine lees valorization: Biorefinery development including production of a generic fermentation feedstock employed for poly(3-hydroxybutyrate) synthesis[J]. *Food Research International*, 2015, 73: 81-87.
- [20] RIVAS B, TORRADO A, MOLDES A B, et al. Tartaric acid recovery from distilled lees and use of the residual solid as an economic nutrient for lactobacillus[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(20): 7 904-7 911.
- [21] SALGADO J M, RODRÍGUEZ N, CORTÉS S, et al. Development of cost-effective media to increase the economic potential for larger-scale bioproduction of natural food additives by *Lactobacillus rhamnosus*, *Debaryomyces hansenii*, and *Aspergillus niger* [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(21): 10 414-10 428.
- [22] PÉREZ-BIBBINS B, TORRADO-AGRASAR A, SALGADO J M, et al. Potential of lees from wine, beer and cider manufacturing as a source of economic nutrients: An overview [J]. *Waste Management*, 2015, 40: 72-81.
- [23] 李浩, 彭喜洋, 吴萍莹, 等. 植物多酚对肠道微生物生态影响的研究进展[J]. *食品与机械*, 2019, 35(6): 222-226, 236.
- [24] BARCIA M T, PERTUZATTI P B, RODRIGUES D, et al. Occurrence of low molecular weight phenolics in *Vitis vinifera* red grape cultivars and their winemaking by-products from So Paulo (Brazil) [J]. *Food Research International*, 2014, 62: 500-513.
- [25] MATOS M S, RUT ROMERO-DÍEZ, LVAREZ A, et al. Polyphenol-rich extracts obtained from winemaking waste streams as natural ingredients with cosmeceutical potential[J]. *Antioxidants*, 2019, 8(9): 355.
- [26] CANADAS R, MARÍA González-miquel, EMILIO J González, et al. Hydrophobic eutectic solvents for extraction of natural phenolic antioxidants from winery wastewater [J]. *Separation and Purification Technology*, 2021, 254(1): e117590.
- [27] PEREZ-SERRADILLA J A, CASTRO L D. Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from wine lees and spray-drying of the extract[J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(4): 1 652-1 659.
- [28] ROMERO-DIEZ R, RODRIGUEZ-ROJO S, COCERO M J, et al. Phenolic characterization of aging wine lees: Correlation with antioxidant activities[J]. *Food Chemistry*, 2018, 259: 188-195.
- [29] TAO Yang, WU Di, ZHAGN Qing-an, et al. Ultrasound-assisted extraction of phenolics from wine lees: Modeling, optimization and stability of extracts during storage[J]. *Ultrasonics-Sonochemistry*, 2014, 21(2): 706-715.
- [30] MEJIA J A A, PARPINELLO G P, VERSARI A, et al. Microwave-assisted extraction and membrane-based separation of biophenols from red wine lees[J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2019, 117(9): 74-83.
- [31] DIMOPOULOU M, LONVAUD-FUNEL A, DOLS-LAFARGUE M. Polysaccharide production by grapes must and wine microorganisms[M]/KÖNIG H. *Biology of microorganisms on grapes, in must and in wine*. [S.l.]: Springer International Publishing, 2017: 293-314.
- [32] NERANTZIS E T, TATARIDIS P. Integrated enology-utilization of winery wastes for the production of high added value products[J]. *Journal of Science & Technology*, 2006(3): 79-89.
- [33] 刘芳. 酵母 β -葡聚糖的碳离子辐射防护效应及相关机理研究[D]. 兰州: 中国科学院大学(中国科学院近代物理研究所), 2019: 11.
- [34] 杨婷, 祝霞, 李颖, 等. 葡萄酒泥酵母 β -葡聚糖提取工艺条件优化[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(18): 286-289, 309.
- [35] VARELAS V, TATARIDIS P, LIOUNI M, et al. Valorization of

- winery spent yeast waste biomass as a new source for the production of β -glucan[J]. Waste and Biomass Valorization, 2016, 7(4): 807-817.
- [36] FREIMUND S, SAUTER M, KÄPPELI O, et al. A new non-degrading isolation process for 1, 3- β -D-glucan of high purity from baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 54(2): 159-171.
- [37] 程超, 张宏海, 盛文军, 等. 多重破壁技术提取葡萄酒泥废酵母 β -葡聚糖研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(4): 111-116.
- [38] MACHOVA E, BYSTRICKY S. Antioxidant capacities of mannans and glucans are related to their susceptibility of free radical degradation[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 61: 308-311.
- [39] DIKIT P, MANEERAT S, H-KITTIKUN A, et al. Mannoprotein from spent yeast obtained from Thai traditional liquor distillation: Extraction and characterization[J]. Journal of Food Process Engineering, 2012, 35(1): 166-177.
- [40] LI Si-jing, BINDON K, BASTIAN S, et al. Impact of commercial oenotannin and mannoprotein products on the chemical and sensory properties of shiraz wines made from sequentially harvested fruit[J]. Foods, 2018, 7(12): 204.
- [41] 杨学山, 祝霞, 李颖, 等. 正交试验优化葡萄酒泥酵母甘露聚糖提取工艺及其体外抗氧化作用[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 69-74.
- [42] 刘红芝, 王强, 周素梅. 酵母甘露聚糖分离提取及功能活性研究进展[J]. 食品科学, 2008, 29(5): 465-468.
- [43] 李颖, 杨婷, 祝霞, 等. 响应面法优化葡萄酒泥酵母甘露聚糖提取工艺条件[J]. 食品工业科技, 2015, 36(16): 294-298.
- [44] ISEPPI A D, LOMOLINO G, MARANGON M, et al. Current and future strategies for wine yeast lees valorization[J]. Food Research International, 2020, 137: e109352.
- [45] 石豪磊, 赵国正, 孔祥君, 等. 碱法破壁—酶法提取葡萄酒废酵母细胞壁多糖的工艺研究[J]. 中国酿造, 2018, 37(12): 82-86.
- [46] ISEPPI A D, CURIONI A, MARANGON M, et al. Characterization and emulsifying properties of extracts obtained by physical and enzymatic methods from an oenological yeast strain[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(13): 5702-5710.
- [47] 刘琦, 祝霞, 赵丹丹, 等. 葡萄酒泥酵母海藻糖提取工艺优化及对 3 株非酿酒酵母乙醇耐受性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2018, 53(4): 152-158.
- [48] 黄倩. 葡萄酒泥中谷胱甘肽的抗氧化应用[D]. 石河子: 石河子大学, 2020: 1.
- [49] ZHANG Xiao-ru, ZHANG Ya-xian, LI Hao. Regulation of trehalose, a typical stress protectant, on central metabolisms, cell growth and division of *Saccharomyces cerevisiae* CEN. PK113-7D[J]. Food Microbiology, 2020, 89(7): e103459.1-103459.10.
- [50] 史秋兰, 周艳春, 赵俭波, 等. 酶解法提取葡萄酒泥中白藜芦醇工艺研究[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(21): 35-37.
- [51] NAZIRI E, MANTZOURIDOU F, TSIMIDOU M Z. Recovery of squalene from wine lees using ultrasound assisted extraction: A feasibility study[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2012, 60(36): 9195-9201.
- [52] TAURINO R, FERRETTI D, CATTANI L, et al. Lightweight clay bricks manufactured by using locally available wine industry waste[J]. Journal of Building Engineering, 2019, 26: e100892.
- [53] SHARMA A K, KUMAR R, AZAD Z R A A, et al. Use of fine wine lees for value addition in ice cream[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(1): 592-596.
- [54] 郑理想. 纤维素乙醇发酵废水在生物炼制预处理过程中的循环利用[D]. 上海: 华东理工大学, 2020: 2.
- [55] CHERUBINI F. The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals[J]. Energy Conversion & Management, 2010, 51(7): 1412-1421.
- [56] DIMOU C, VLYSIDIS A, KOPSAHELIS N, et al. Techno-economic evaluation of wine lees refining for the production of value-added products[J]. Biochemical Engineering Journal, 2016, 116: 157-165.
- [57] KOPSAHELIS N, DIMOU C, PAPADAKI A, et al. Refining of wine lees and cheese whey for the production of microbial oil, polyphenol-rich extracts and value-added co-products[J]. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2018, 93(1): 257-268.
- [58] ANTONIO C, MOREIRA M T, FEIJOO G. Integrated evaluation of wine lees valorization to produce value-added products[J]. Waste Management, 2019, 95: 70-77.
- [59] ALINA Soceanu, SIMONA Dobrin, ANCA Sirbu, et al. Economic aspects of waste recovery in the wine industry. A multi-disciplinary approach[J/OL]. Science of The Total Environment. (2020-11-01) [2021-03-10]. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143543>.
- [60] 金作宏, 王素霞. 从啤酒废酵母泥中回收啤酒和啤酒酵母的研究[J]. 河北工业科技, 2016, 33(5): 404-409.