

黄酒糟蛋白质资源的开发利用研究进展

罗琳¹, 廖菲菲¹, 辛璇¹, 张猛猛^{2*}, 汪薇¹

(1. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东广州 510550)

(2. 仲恺农业工程学院化学化工学院, 广东广州 510550)

摘要: 黄酒糟是黄酒发酵醪经固液分离后获得的固态产物, 含有丰富的蛋白质。蛋白质具有乳化性、发泡性等理化性质, 可以影响添加进食品的颜色、风味、外形、质构等品质; 蛋白质还能用于制备活性肽, 如降压肽、抗氧化肽等, 这些肽可作为功能性食品、保健品的功能性成分。然而工业上大多把黄酒糟作为废弃物或饲料处理, 附加值较低, 对其中蛋白质资源的开发利用还不够充分。该文对黄酒糟蛋白的制备方法、理化性质、制备活性肽的潜力等方面的最新研究进展进行了综述, 分析了黄酒糟蛋白研究现状的不足, 以及未来的研究方向, 探讨了黄酒糟蛋白在食品领域潜在的应用价值, 以期对黄酒糟蛋白质资源的高值化利用提供参考。

关键词: 黄酒糟; 蛋白质; 理化性质; 活性肽

文章编号: 1673-9078(2025)05-364-371

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.5.0368

Research Progress of the Development and Utilization of Protein Resources in Yellow Wine Lees

LUO Lin¹, LIAO Feifei¹, XIN Xuan¹, ZHANG Mengmeng^{2*}, WANG Wei¹

(1. College of Food Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510550, China)(2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510550, China)

Abstract: Yellow wine lees is a solid product obtained from the solid-liquid separation after the fermentation of rice wine mash, containing abundant proteins. Proteins have physico-chemical properties such as emulsifying and foaming properties. Adding them to food can affect food's color, flavor, appearance, texture, and other qualities; Proteins can also be used to prepare active peptides, such as antihypertensive peptides and antioxidant peptides. These peptides can be used as functional ingredients in functional foods and health products. However, most of the industries treat yellow wine lees as waste or feed with low added value, and the development and utilization of protein resources in them are insufficient. This article reviews the latest research progress in the preparation methods, physicochemical properties, and potential for preparing active peptides of yellow wine lees protein. The gaps of the current research on yellow wine lees protein and future research directions are analyzed. The potential application value of yellow wine

引文格式:

罗琳,廖菲菲,辛璇,等.黄酒糟蛋白质资源的开发利用研究进展[J].现代食品科技,2025,41(5):364-371.

LUO Lin, LIAO Feifei, XIN Xuan, et al. Research progress of the development and utilization of protein resources in yellow wine lees [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(5): 364-371.

收稿日期: 2024-03-25

基金项目: 梅州市科技计划项目(2023A0304057); 广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室项目(KA2104501); 大学生创新创业训练计划项目(S202311347047)

作者简介: 罗琳(2002-), 女, 本科生, 研究方向: 食品微生物, E-mail: 1457790058@qq.com

通讯作者: 张猛猛(1989-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 功能性食品开发, E-mail: zhangmengmengscut@126.com

lees protein in the food field is discussed, in order to provide a reference for the high-value utilization of yellow wine lees protein resources.

Key words: yellow wine lees; protein; physicochemical properties; active peptide

酒糟作为酿酒过程中废弃的固态物质,在酿酒行业的副产物中占比最大。依据酒的品种类别,可以把酒糟分为白酒酒糟、黄酒酒糟、啤酒酒糟和青稞酒糟等。黄酒糟是黄酒酿造的主要副产物,是稻米等淀粉质经糖化发酵生产黄酒后固液分离的产物,含有丰富的蛋白质、肽、氨基酸、淀粉、糖、纤维素等物质^[1]。据统计,2019年我国黄酒产量大约为353.1万kL,其中黄酒糟产量就大约达48万t,但是大多数企业仅将其作为饲料使用或者当作废弃物处理,造成了极大的资源浪费^[1]。因此,若黄酒糟中的营养活性成分被开发,应用于食品、医药等领域的高附加值产品,对于黄酒糟资源的利用具有重要的科学意义。

蛋白质是黄酒糟的主要成分之一。按照酿造黄酒所使用的曲种分类可分为麦曲黄酒糟和红曲黄酒糟两类,麦曲黄酒糟蛋白质质量分数约为30%;红曲黄酒糟蛋白质质量分数约为40%^[2],这要高于白酒糟(12%~15%)^[3]、啤酒糟(24%~28%)^[4]和青稞酒糟(14.3%~21.8%)^[1]。蛋白质是食品的重要组成部分,具有多种理化性质和功能特性。在食品制作的过程中,可以根据功能性质的不同,选择适宜的蛋白质加入到食品中,从而影响食品的颜色、风味、外形、质构等食品品质。如赵志强^[5]曾报道,将花生蛋白添加到火腿、香肠、法兰克福肠、午餐肉等畜禽肉制品中,利用花生蛋白的持水性、吸油性、乳化性等特性,可保持肉汁,促进脂肪的吸收;黄清波^[6]发现大豆蛋白加到面食制品中,可以增强面制品的韧性,改善面制品的口感。此外,蛋白质还可以用于制备功能活性肽,在功能性食品领域有较大的应用潜力。目前已有研究利用鸡蛋蛋黄蛋白^[7]、绿豆蛋白^[8]等各种来源的蛋白质制备了降血压肽、抗氧化肽等活性肽,并以这些活性肽为核心功能成分,开发出降血压活性肽茶饮料、抗氧化肽口服液等功能性健康食品。并且黄酒糟和其他物质相比,营养价值更高,仅仅将黄酒糟用于饲料,会使很多高营养价值的物质不能充分发挥它的作用,导致流失。因此,黄酒糟蛋白在食品领域也具有较大的开发利用价值。

目前关于黄酒糟蛋白的提取制备、理化性质及

活性肽制备等方面已有一些报道。本文将对黄酒糟蛋白的理化性质、制备方法、利用现状等进行综述,以加深人们对黄酒糟蛋白的认识,为提高黄酒糟蛋白的利用率和附加值,解决黄酒糟资源浪费或利用不充分的问题奠定理论基础。

1 黄酒糟蛋白的提取方法

1.1 碱提酸沉法

碱提酸沉法主要是利用蛋白质的溶解度随溶液pH值的增加而增加,且在等电点下析出的特点,是常见的蛋白质提取方法^[9]。舒进^[10]利用碱提法从蛋白质含量约53%的黄酒糟干基中提取蛋白质,最佳提取工艺为碱浓度为0.1 mol/L,温度60℃,固液比12:1,时间4.5 h,提取率为81.01%,获得蛋白纯度为70.14%。姜健美^[11]利用碱提法从蛋白平均含量约30%的黄酒糟半干基中提取蛋白质,最佳提取工艺为固液比1:8,pH值11,反应时间3 h,温度为50℃,蛋白质得率约67%。

酒糟除了富含蛋白质外,还有淀粉、纤维等物质。酒糟干基含量中50%左右是蛋白质和粗淀粉,是酒糟的主要成分;粗纤维占酒糟干基含量约13%,是一类不溶于水及一般溶剂的杂质。酒糟中的蛋白质常与纤维素紧密结合,纤维类物质将蛋白包裹在内。因此在进行黄酒糟蛋白质提取时,常需要除去这些杂质的干扰。目前常用的方法是使用淀粉酶、葡萄糖酶、纤维素酶等酶制剂降解这些杂质^[12]。比如舒进^[10]将一类含有半纤维素酶,纤维素酶和果胶酶活力的混合酶制剂用于黄酒糟蛋白的提取中,使蛋白纯度从52.1%提升至55.6%。姜健美^[11]确立了纤维素酶在黄酒糟蛋白提取中最佳条件为料液比1:10,加酶量28 U/g,pH值为5,反应时间30 min,温度50℃,在此条件下纤维素的降解率为37.25%,所得蛋白质为从29.58%提升至39.93%。此外,为提高蛋白提取率和蛋白纯度,人们还会使用一些物理手段辅助提取,如超声、微波^[13]等。舒进^[10]用超声波粉碎机对黄酒糟原料进行预处理1 h,可将蛋白质的提取率从45%提升至75%左右。

从以上研究可以看出,人们在利用碱溶酸沉法制备黄酒糟蛋白时,往往还会结合酶法除杂、物理场辅助萃取等手段来提高蛋白质的提取率和纯度,但目前已报道的方法对黄酒糟蛋白的提取还不够充分。而且碱溶酸沉法提取蛋白质还有一定的缺陷,即蛋白质在高浓度的碱液下会发生不可逆的变性,严重影响蛋白质的消化率,破坏氨基酸的结构,从而使蛋白质失去营养价值。因此,开发高效、温和的蛋白质提取方法,是实现黄酒糟蛋白高值化利用的重要研究方向。

1.2 酶提法

酶法提取主要利用酶破坏细胞壁结构的特点,利用纤维素酶、果胶酶等碳水化合物酶和蛋白酶的高效、特异性,去除原料中除蛋白质以外的其他杂质,同时让大分子蛋白分解,变成易溶的小分子物质,进而让蛋白提取起来更加容易。与传统碱法提取相比,这被认为是一种更温和的提取方式,因为其提取率高且不会对蛋白造成损害。在酶提法制备黄酒糟蛋白的研究中,最常用的蛋白酶是碱性蛋白酶;此外,还有木瓜蛋白酶、中性蛋白酶、风味蛋白酶等。舒进以蛋白质的提取率为指标筛选出的最佳蛋白酶为碱性蛋白酶和木瓜蛋白酶,提取率最高为69.16%,蛋白纯度为72.41%^[10]。林晓婕等^[2]以纤维素酶和 α -淀粉酶酶解预处理黄酒糟,将风味蛋白酶和中性蛋白酶以1:2比例复合,蛋白提取率达63.62%。其他主要使用酶提法制备黄酒糟蛋白的报道如表1所示。

总体来说,目前采用酶法提取黄酒糟蛋白的提取率在70%左右(表1),要普遍高于碱提酸沉法。采用酶法提取蛋白质,操作条件温和,蛋白质提取率较高。但酶法提取操作成本高、加工时间长,距离能够大规模工业化应用还有一段距离。此外,目前新兴的植物蛋白提取技术还有反胶束萃取法、亚临界水法等,而物理场辅助萃取手段也多种多样,如脉冲电场辅助提取、高静水压辅助提取、静电分离等。但目前还未有研究使用这些手段进行黄酒糟蛋白的提取。这些新兴的提取技术可以大大提升提取效率,使蛋白的功能特性得到改善,更重要的是提升了蛋白的食用性和营养价值。因此,这些新兴的蛋白提取技术在制备黄酒糟蛋白质中的应用潜力值得深入探索。

表1 酶提法制备蛋白

Table 1 Protein prepared by enzymatic extraction

黄酒糟来源	最佳酶解工艺	参考文献
珍珠果原汁黄酒糟蛋白质平均含量为48.91% (干基)	碱性蛋白酶加酶量500 U/g, 料液比1:6, 温度55℃, pH值为9, 反应时间为3 h。可溶性蛋白含量为68.38%。	[14]
福建红曲黄酒糟蛋白质质量分数38.2%含水量10.3% (经60℃烘干粉碎)	中性蛋白酶和风味蛋白酶以2:1比例复合, 加酶量2 825 U/g, 固液比1:10, 温度52℃, pH值为6.15, 反应时间为3 h。辅助酶解手段: 纤维素酶和 α -淀粉酶酶解预处理黄酒糟蛋白提取率为63.62%。	[2]
黄酒糟粗蛋白含量约51.14%	碱性蛋白酶加酶量1 000 U/g, 6%的黄酒糟溶液, 温度50℃, pH值为10, 反应时间2 h。氨基酸态氮的增量达70.50%。	[15]
黄酒糟含水量约30% (经水洗和纤维素酶水解)	碱性蛋白酶活力单位6 000 u (加酶量1%), 料液比1:8, 温度50℃, pH值为10, 反应时间3 h。蛋白提取率为74.42%。	[16,17]
黄酒糟(半干基)蛋白平均含量约30%含水量约9%	碱性蛋白酶加酶量2 000 U/g, 料液比1:8, 温度为50℃, pH值为10, 反应时间3 h。蛋白提取率为74.42%。	[11]
黄酒糟(干基)蛋白质含量53%	木瓜蛋白酶3 473 U/100 g蛋白, 固液比13.9:1, 温度59.5℃, pH值为7.7, 反应时间4.8 h。蛋白质提取率为69.16%, 蛋白纯度为72.41%。	[10]
黄酒糟(干基)粗蛋白质含量45.8%	木瓜蛋白酶加酶量1.5%, 液固比13.8:1, 温度59.5℃, pH值为7.6, 反应时间4.7 h。蛋白质提取率为71.6%。	[18]
黄酒糟(干基)粗蛋白含量26.73%	碱性蛋白酶加酶量2.0%, 料液比1:10, 温度65℃, pH值为8.5, 反应时间4 h。蛋白提取率为72.25%。	[19]

2 黄酒糟蛋白的理化性质

2.1 黄酒糟蛋白的物质组成

蛋白质按照溶解性不同可分为清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白等。舒进等^[10]的研究表明,黄酒糟蛋白中谷蛋白含量占比最大,约占60%;球蛋白约占13%;清蛋白约占7%;醇溶蛋白约占4%;其余近25%为残余蛋白。黄酒糟蛋白质的分子量普遍偏小。刘晨星等^[20]发现黄酒糟蛋白分子质量在5 ku以下的占比5.33%,在5~10 ku间的占17.55%,在

10~15 ku 间的占 46.66%。舒进^[10]利用木瓜蛋白酶提取的黄酒糟蛋白相对分子质量范围大部分在 30 ku 以下, 在 24~26 ku 和 15~17 ku 附近存在比较明显的谱带, 14 ku 以下扩散比较严重, 而 40 ku 以上的谱带完全没有。其中可能的原因是分子量较大的蛋白质发生了酶解, 降解为小分子量的蛋白质或肽段。同样, 姜健美^[11]发现, 利用酶法提取的黄酒糟蛋白相对分子质量分布很广, 但 4.1 ku 以下为主要集中部分, 分子量分布在 20~35 ku 范围内的主要是由碱法提取的黄酒糟蛋白, 这进一步说明酶法提取的蛋白质分子量较小的原因是发生了降解。

提供氨基酸是蛋白质在人类膳食中的主要营养价值, 而黄酒糟蛋白质中富含多种氨基酸。郑国锋等^[21]研究发现, 黄酒糟中具备的氨基酸比较全面, 其中七种人体必须氨基酸, 苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸均具备且含量都比较高。刘晨星等^[20]发现, 黄酒糟蛋白中 7 种必需氨基酸在黄酒糟干物质中的占比分布如下: 苏氨酸 1.05%、缬氨酸 1.31%、蛋氨酸 0.42%、异亮氨酸 1.08%、亮氨酸 1.98%、苯丙氨酸 1.29%、赖氨酸 0.72%。李华等^[22]研究发现, 黄酒糟中七种必需氨基酸的含量占氨基酸总量的 36.60%, 为 111.7 g/kg (DW), 且黄酒糟中赖氨酸的必需氨基酸是黄酒糟中的限制性氨基酸, 得分为 62, 小于 100。黄酒糟中必需氨基酸(除赖氨酸外)含量都与鸡蛋相当, 为了保证食物中合理的必需氨基酸构成, 需要搭配某些富含赖氨酸的蛋白质和黄酒糟蛋白一起食用。不过林晓婕等^[2]研究发现红曲黄酒糟的第一限制性氨基酸为色氨酸。这与其他文献报道的赖氨酸为黄酒糟蛋白的第一限制性氨基酸不同, 其中可能的原因是酿造黄酒的原料不同。目前研究报道的黄酒糟蛋白的氨基酸组成如表 2 所示。此外, 有研究表明, 通过发酵或酶解处理能够改善黄酒糟蛋白的氨基酸组成。刘晨星等^[20]发现, 在用产朊假丝酵 JZ-1 以及一株枯草芽孢杆菌 JZ-2 对鲜黄酒糟进行固态发酵后, 结果表明, 在发酵 48 h 后, 黄酒糟干物质中含有的七种必需氨基酸的总含量显著升高, 占比从 7.7% 增加到 10.1%, 其中赖氨酸是发酵前的 1.65 倍。舒进^[10]通过比较碱提黄酒糟蛋白和酶解黄酒糟的氨基酸组成发现两者的蛋白氨基酸组成基本一致, 但是酶解蛋白产物的赖氨酸含量要高于碱法提取产品; 并且, 酶解产物中的必需氨基酸组成基本符合 WHO 标准, 而碱法产品的赖氨酸和苏氨酸较低于 WHO 标准。

表 2 不同种类黄酒糟蛋白氨基酸含量的分布 (%)

Table 2 Distribution of amino acid content of different kinds of distiller's grains protein

成分	未发酵黄酒糟 ^[22]	玉祁黄酒糟(干基) ^[21]	振太黄酒糟(干基) ^[21]	绍兴酿酒黄酒糟 ^[22]	红曲黄酒糟 ^[2]	碱提黄酒糟 ^[10]	酶解黄酒糟 ^[10]
苏氨酸	1.05	1.56	1.90	4.05	4.50	3.76	4.47
缬氨酸	1.31	1.63	2.18	5.76	6.73	6.53	5.61
蛋氨酸	0.42	0.39	0.63	2.86	/	2.36	3.42
异亮氨酸	1.08	1.31	1.67	5.12	4.47	5.21	4.86
亮氨酸	1.98	2.69	3.54	9.54	8.36	9.99	9.42
苯丙氨酸	1.29	1.62	2.29	5.66	/	6.24	4.66
赖氨酸	0.72	1.17	1.60	3.61	5.09	2.56	5.20
天冬氨酸	2.1	2.24	3.59	9.11	10.90	8.52	11.16
丝氨酸	1.15	1.58	2.15	5.22	5.42	4.83	3.96
谷氨酸	4.07	5.10	7.11	18.30	14.30	19.03	15.67
组氨酸	0.59	0.67	0.95	2.01	2.36	2.20	2.52
精氨酸	1.24	1.88	3.01	6.16	4.97	7.12	5.98
甘氨酸	1.17	1.27	1.75	4.35	6.04	4.20	6.88
脯氨酸	1.76	1.34	2.17	4.41	5.37	4.91	4.96
丙氨酸	1.45	1.79	2.29	6.58	5.32	5.85	7.16
半胱氨酸	0.37	0.19	0.23	2.26	/	1.08	0.57
酪氨酸	0.86	1.38	1.91	5.01	/	5.63	3.50

注: 未发酵黄酒糟中蛋白质氨基酸含量分布是其在黄酒糟干物质中的占比(%); 玉祁黄酒糟和振太黄酒糟中蛋白质氨基酸含量分布、碱提及酶解黄酒糟蛋白氨基酸含量分布、绍兴酿酒有限公司黄酒糟中蛋白质氨基酸含量分布是其在 100 g 蛋白质中的占比(g/100 g); 红曲黄酒糟蛋白质氨基酸分布是其在总的氨基酸含量中的占比(%).

2.2 溶解性

溶解性是指蛋白质在水溶液或食盐溶液中溶解的性能^[10]。饮料中可以将溶解度高的蛋白作为营养和功能性成分, 也可用来改善食品的质地和营养。如乳清蛋白、酪蛋白等具有相当高的溶解度, 使得其表现出良好的功能性质在乳状液、泡沫和凝胶中^[23]。舒进^[10]发现酶法提取的黄酒糟蛋白在不同 pH 值条件下, 都有着良好的溶解性, 平均数值分布在 90% 左右; 而碱法提取的产品溶解性质较差, 平均数值分布在 10% 左右。姜健美^[11]分别对酶法和碱法制备得到的黄酒糟蛋白进行溶解度的测定, 发现两者的氮溶解指数(水溶液中蛋白质总量/测量前固体中蛋白质质量)分别 93% 和 7%。这可能

是因为碱法制备的蛋白多为谷蛋白，易溶于碱性溶液，难溶于中性水溶液；而在溶液中溶解度较高的小分子蛋白或肽在酶法制备黄酒糟蛋白中占极大部分。与黄酒糟蛋白不同的是，大豆蛋白和花生蛋白是由可以溶于水的清蛋白和可以溶于中性稀盐溶液的球蛋白组成的^[24]，且温度在 60 °C 以下时，花生蛋白的溶解度随温度变化不大，当温度大于 60 °C 时，花生蛋白的溶解度随温度的升高而下降。而燕麦谷蛋白的溶解性为 21%^[25]。对于碱性蛋白酶水解的玉米谷蛋白，其溶解性可高达 97.28%^[26]。相比之下，黄酒糟蛋白的溶解性要较前三者强，但碱性蛋白酶水解的黄酒糟蛋白溶解性比碱性蛋白酶水解的玉米谷蛋白要低得多。

2.3 乳化性

乳化性是指油和水混合在一起形成乳状液的性能，是蛋白质重要的功能特性之一^[27]。蛋白质的乳化性可应用于以下几个方面：①用于食品的营养强化，作为功能性食品的原料；②用于乳品工业中替代乳蛋白；③用于调整食品的口感和结构^[28]。通过各种实验研究发现，黄酒糟蛋白也具有相应的乳化性。同时研究发现，由于提取方法不同，黄酒糟蛋白的乳化性能也会产生差异。姜健美^[11]通过实验比较，碱法制得的黄酒糟蛋白乳化性仅为 13%，而酶法制得的黄酒糟蛋白乳化性为 50%。明显低于酶法提取的黄酒糟蛋白。舒进^[10]发现碱法提取的黄酒糟蛋白乳化性质指数约为 0.18，乳化稳定性指数（ESI/min）为 7，而酶法提取的分别为 0.58 和 9。其中的原因可能是酶法提取的黄酒糟蛋白溶解性能得到显著改善。虽然酶法提取的黄酒糟蛋白乳化性能高于碱法提取，但在乳化性能稳定性方面，两种方法提取的蛋白并没有展现出显著的区别。作为食品中常用的乳化剂——大豆分离蛋白，其乳化性质指数为 1.2，乳化稳定指数为 33，两种方法提取的黄酒糟蛋白不论是在乳化能力还是乳化稳定性方面，都显著低于大豆分离蛋白。

2.4 起泡性

蛋白质的起泡性质是指蛋白质可以吸附在气-液界面，降低界面张力，同时对所形成的吸附膜产生必要的流变特性和稳定作用的性质。起泡性较好的蛋白质可以用于做食品的起泡剂。舒进^[10]采用酶法和碱法两种方法制取的黄酒糟蛋白，通过对比发

现碱法制取的黄酒糟蛋白发泡性约为 20%，酶法制取的黄酒糟蛋白起始的发泡性则约为 50%；而酶法提取的黄酒糟蛋白的泡沫稳定性也优于碱法提取的，其中的原因可能也与黄酒糟蛋白的溶解度的改变有关。姜健美^[11]也发现，酶法提取的黄酒糟蛋白的发泡性要优于碱法提取的黄酒糟蛋白，而且他们也认为这是由于酶法制得的黄酒糟蛋白的高溶解度。相比于其他植物蛋白，如燕麦谷蛋白（起泡性为 73.3%）^[25]、桑叶蛋白（起泡性为 119.81%）^[29]，黄酒糟蛋白的起泡性较弱。但张传军^[30]发现黄酒糟中残留的蛋白质其性质与啤酒泡沫蛋白相似，经木瓜蛋白酶酶法提取后，其蛋白可改善啤酒的起泡性和泡持值，作为啤酒泡沫强化剂^[17]，添加后的啤酒起泡性提高为 3.2 左右，泡持时间增加到了 410 s。这表示，黄酒糟蛋白的起泡性在食品工业中具有一定的应用潜力。

2.5 持水性

蛋白质的持水性取决于蛋白质与水之间的相互作用。蛋白质持水性能够用来保持食品水分不流失，对肉浆和焙烤面团的质构起着重要的作用。舒进^[10]研究发现碱法提取黄酒糟蛋白所带的净电荷数随着 pH 值的升高而增加，使蛋白质与蛋白质之间的相互作用力减弱而增强蛋白质与水之间的相作用力，使得吸水能力逐渐增强，在 pH 值为 8 时持水性最高为 2.1 g/g，在等电点附近蛋白质的吸水能力最弱，约为 1.7 g/g。同时通过研究还发现，随着 pH 值的升高，碱提黄酒糟蛋白和大豆分离蛋白一样，两者的持水能力逐渐增强，但大豆分离蛋白在等电点出的持水性为 3.45 g/g。

2.6 吸油性

蛋白质的吸油性可以通过提高食品对脂肪吸收和保留的能力，减少脂肪在加工过程中的损失，进而改善食品的适口性和风味^[10]。肉制品中可以加入高吸油性的蛋白，使肉制品形成乳状液和凝胶基质，阻碍脂肪的移动，推动脂肪吸收或结合的作用，脂肪和汁液在肉制品加工过程中的流失得到改善^[31]，同时肉制品外形也得到稳定。舒进^[10]研究发现碱法提取的黄酒糟蛋白的吸油能力为 1.72 mL/g。这与桑叶蛋白（1.68 mL/g）^[29]、芝麻蛋白（2.48 mL/g）的吸油性较为相近，但要显著低于燕麦谷蛋白（10.15 mL/g）^[25]。

3 制备活性肽

生物活性肽简称活性肽，又称功能肽，是指由不同的氨基酸分子组成和排列方式构成的，从二肽到复杂多肽的几何线性结构，具有生理功效，在人体内能发挥特殊的生理活性的不同肽类的总称。生物活性肽具有增强免疫，降血压、血脂、血糖，抗肿瘤、氧化等复杂多样的生理功能，促进矿物质吸收，消除疲劳，镇痛调节等。毛青钟等^[32]检测出黄酒糟中氨基酸和小分子肽类（两个、三个氨基酸肽）共 102 种。Cookman 等^[33]的研究结果表明蛋白酶法提取的蛋白 95% 以小于 10 ku 的多肽形式存在。Hu 等^[34]在以黄酒糟为底物进行固态发酵（SSF）时发现，发酵过程中有大量的短肽和游离氨基酸产生。刘晨星等^[20]发现黄酒糟中的多肽含量有大幅度提高，在使用产朊假丝酵母与枯草芽孢杆菌进行固态发酵后。姚凯勇^[35]研究发现，经发酵后的黄酒糟多肽含量分别比未发酵的高 40.9%。以上研究表明，黄酒糟蛋白能够用于制备小分子肽，但目前关于这些小分子肽功能活性的报道还较少，目前仅局限于血管紧张素转换酶（ACE）抑制活性。

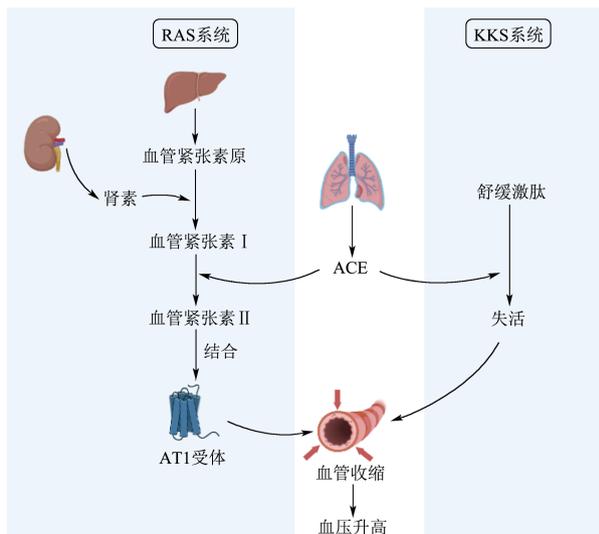


图 1 ACE 作用机制

Fig.1 ACE mechanism of action

ACE 是一种含锌二肽羧基酶。在肾素 - 血管紧张素系统中，它催化无活性的 AngI，转化为有升压活性的 AngII，使血压升高；在激肽释放酶 - 激肽系统中，它使舒缓激肽失活，导致血压升高^[36]（图 1）。所以，对于治疗高血压，心力衰竭、糖尿病合并高血压等疾病，ACE 成为理想靶点。目前临床上使用的卡托普利，氢氯噻嗪等常用降压药有较强的副作用。寻

找一种安全有效的降血压药物成为高血压防治中亟需解决的问题。降血压肽，可称作血管紧张素转化酶抑制肽，是一类生物活性肽的总称，能降低人体血压^[37]。降血压肽能阻碍 ACE 催化水解 AngI 成为血管紧张素，同时阻碍催化水解 BK 成为失活片段，因为 ACE 的亲合力比血管紧张素（AngI）或 BK 更强，从而起到降低血压的作用^[38,39]。He 等^[40]采用反相高效液相色谱法和 MOLDI-TOF-MASS 对黄酒废料中的 ACEi 肽进行了纯化和鉴定，成功分离到了两种新的生物活性肽 LIIPQH 和 LIPEH，它们均表现出显著的 ACE 抑制活性，能抑制血管紧张素转换酶（ACEEC.3），IC₅₀ 值分别为 120.10 μg/mL 和 60.49 μg/mL。林晓婕等^[2]从红曲黄酒糟中利用酶解法制备出高活性的天然 ACE 抑制肽组合物，肽含量达 16~23 mg/mL，85% 以上的 ACE 抑制率。杨淑纯等^[41]利用物理场辅助酶解、超滤和 G-15 凝胶色谱层析等分离法制备的黄酒糟多肽，在 0.5 mg/mL 浓度时 ACE 抑制活性为 93.63%，接近临床药物卡托普利（95.31%）。事实上，目前已有很多研究利用蛋白质制备出 ACE 抑制肽，并已生产出多种辅助调节血压的功能性食品和保健品。高血压是作为危害人类健康的主要疾病之一。2019 年最新发布的《中国高血压防治现状蓝皮书》中表明，我国平均新增高血压患者一千万人，高血压患病率呈持续增长趋势，患病人数达 2.445 亿。因此，利用黄酒糟蛋白开发具有 ACE 抑制功能的小分子肽具有广阔的市场空间。

4 黄酒糟蛋白的利用现状

4.1 在饲料中的应用

我国对优质蛋白饲料原料的需求量与日俱增，在养殖业和饲料工业的迅速发展的背景下。黄酒糟中具有丰富的蛋白质，是作为蛋白饲料原料的优质选择之一（图 2）。葛松涛等^[1]研究发现，黄酒糟作为牛饲料，可提高牛的采食量的，提高养分表观消化率和促进牛瘤胃发酵。呼慧娟^[42]分别用 9%、14% 的黄酒糟替代基础日粮的部分豆粕饲料，可促进猪的生长，获得较好的生长性能，减少了蛋白饲料的使用量；同时该添加量能改善粗灰分和磷的消化率，有助于减少无机磷的补充量、降低粪便中磷的排泄。

虽然黄酒糟可直接作为饲料使用，但也有研究通过添加蛋白酶或进行固态发酵等方式对酒糟进行预处理，然后再添加到饲料中^[1]。万茵等^[14]发现，

经碱性蛋白酶处理后的黄酒糟，可作为乳猪饲料的优质蛋白质原料，降低乳猪腹泻率，提高成活率。有研究发现黄酒糟在经过微生物固态发酵^[1]后，发酵产物中氨基酸总含量有所提高，用发酵后的黄酒糟做饲料，同样也能够提高黄酒糟蛋白做饲料的利用率。王建军等^[43]研究发现，利用米曲霉、热带假丝酵母和绿色木霉混菌固态发酵黄酒糟，优化后发酵产物中的氨基酸含量显著高于未发酵黄酒糟，且可以大大降低日粮成本，提高经济效益，如果用其替代部分蛋鸡日粮中的蛋白来源饲料。姚凯勇^[35]发现利用固态发酵后的黄酒糟替代奶牛日粮中的部分豆粕不仅可以降低饲料成本，缓解奶牛热应激，更重要的是并不影响奶牛生产性能和对奶牛瘤胃发酵及氮利用效率。赵建国等^[44]通过添加糖化酵母 Y II-5 (AEC 抗性突变株) 菌种，对大米黄酒糟进行固态发酵培养，发现发酵后的大米黄酒糟其真蛋白含量变为 41.40%，提高了 11.85%，相较于发酵前的大米黄酒糟真蛋白含量，同时发酵后的大米酒糟产物中 B 族维生素相当丰富，对畜禽的正常代谢起重要的作用。赵建国等^[45]还利用热带假丝酵母 Y-ct 对黄酒糟进行固态发酵培养，发现所得成品淀粉降解率 58.99%，粗蛋白增加率 44.62%，并且富含活性酶、活性生长因子和多种维生素，黄酒糟的饲用价值得到极大的提高。

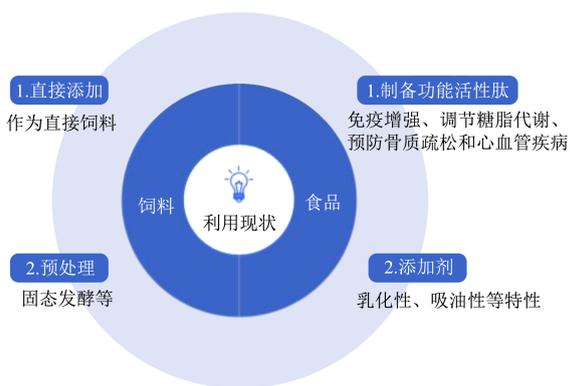


图2 黄酒糟蛋白利用现状

Fig.2 Current status of distiller's grains protein utilization

从以上研究可以看出，黄酒糟可以作为饲料用于养殖业，尤其对其进行发酵或酶解处理后，可显著提升其营养价值。但饲料的附加值较低，所带来的经济、社会效益有限。

4.2 在食品中的应用

蛋白质因其发泡性、乳化性功能特性在食品领域有着广泛的应用。虽然黄酒糟蛋白具有一定的

乳化性、吸油性等特性，但目前鲜有研究探究这些特性在食品中的应用价值。其中的主要原因可能是，黄酒糟蛋白的这些功能特性尚不满足食品工业的要求；另外，黄酒糟的酒糟味会导致食品风味较差，消费者接受度较低。随着后疫情时代的到来和中国人口老龄化的加剧，大健康产业的发展如火如荼。人们对具有免疫增强、调节糖脂代谢、预防骨质疏松和心血管疾病的功能性食品的需求越来越旺盛。黄酒糟蛋白是制备功能活性肽的优质原料，但目前对黄酒糟小分子肽功能性的开发还有所欠缺。因此，利用黄酒糟蛋白开发出具有不同功能活性的小分子肽，可成为黄酒糟蛋白在食品领域应用的重要途径之一。

5 结论与展望

黄酒糟中蛋白质含量丰富，具有巨大的开发潜力。目前对黄酒糟蛋白利用的研究主要集中在以动物饲料为基本用途上，尚未能充分发挥其价值。从目前的研究来看，黄酒糟蛋白具有一定的乳化性、发泡性等，但这些特性难以满足目前食品工业中的广泛需求；黄酒糟蛋白可以用于制备降压肽，但其在制备抗氧化肽、免疫活性肽等其他功能活性肽上的潜力尚不可知。未来对黄酒糟蛋白的高值化利用可集中在开发其作为具有多种功能性活性的小分子肽的制备原料上，探索其在功能性食品等方面的应用。

参考文献

- [1] 葛松涛,徐欢根,寿泉洪.黄酒糟资源开发利用研究进展[J].浙江畜牧兽医,2023,48(1):11-13.
- [2] 林晓婕,何志刚,梁璋成,等.红曲黄酒糟蛋白酶解物制备工艺优化及营养评价[J].中国粮油学报,2019,34(1):43-49.
- [3] 刘华南,彭忠利,张正帆,等.微生物发酵白酒糟生产蛋白饲料的研究进展[J].饲料研究,2015,3:32-36,43.
- [4] 杨燕红,薛业敏.利用啤酒糟生产营养食醋[J].中国酿造,1999,6:13-14.
- [5] 赵志强.花生蛋白质在食品中的应用[J].粮油食品科技,1993,3:19-20.
- [6] 黄清波.大豆蛋白质在食品中的应用[J].河南科技,1988,9:10-11.
- [7] 蓝泽林.蛋黄油脂提取副产物-蛋黄蛋白质综合利用的研究[D].无锡:江南大学,2009.
- [8] 姜颖俊,冯玉超,张舒,等.绿豆抗氧化肽的制备及理化特性分析[J].中国粮油学报,2023,38(3):75-85.
- [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] 舒进.黄酒糟蛋白提取及残渣蛋白体外消化性研究[D].无锡:江南大学,2005.
- [11] 姜健美.黄酒糟蛋白酶法提取工艺研究[D].杭州:浙江大学,2007.
- [12] 李清泉,李德海.大米蛋白的提取,特性及其应用的研究进展[J].食品工业科技,2020,41(19):347-351.
- [13] 高瑞.大米酒糟蛋白的提取及改性研究[D].广州:华南理工大学,2022.
- [14] 万茵,邓梦菲,邓可,等.碱性蛋白酶水解黄酒糟制备乳猪液体蛋白饲料研究[J].黑龙江畜牧兽医,2019,4:128-131.
- [15] 刘珊.霉菌种类,酶制剂和黄酒糟酶解物对黄酒发酵影响的研究[D].合肥:合肥工业大学,2019.
- [16] 楼芳菲,姜健美,傅明亮,等.黄酒糟蛋白的酶法提取工艺研究[J].中国食品学报,2009,9(1):112-117.
- [17] 邵明,王家林,张颖,等.废弃黄酒糟的开发利用[J].中国酿造,2011,9:15-18.
- [18] 舒进,过世东,方燕.黄酒糟蛋白质的酶法提取工艺研究[J].粮食与饲料工业,2005,6:30-31.
- [19] 左楠楠,王晓伟,金海如.酶法提取黄酒糟蛋白工艺研究[J].山西农业科学,2012,40(12):1305-1307,1318.
- [20] 刘晨星,陈诚,姚凯勇.发酵黄酒糟中蛋白营养成分及电泳分析[J].中国奶牛,2022,2:1-5.
- [21] 郑国锋,钱和.黄酒糟的成分分析和开发调味品可行性的研究[J].中国调味品,2007,4:20-25.
- [22] 李华,施佳慧.黄酒糟的氨基酸组成及脂类成分分析[J].安徽农业科学,2009,37(34):17142-17143.
- [23] 孙敬,董赛男.食品中蛋白质的重要性[J].肉类研究,2009,4:66-73.
- [24] 魏倩,张莹莹,阎欣,等.豆类蛋白和谷物蛋白的功能性对比[J].粮食加工,2018,43(1):36-41.
- [25] 王婵.燕麦麸皮蛋白的提取条件及其理化性质研究[D].天津:天津科技大学,2013.
- [26] 董原,刘晓兰,郑喜群,等.碱性蛋白酶水解时间对玉米谷蛋白理化性质及抗氧化活性的影响[J].中国粮油学报,2024,39(1):125-130.
- [27] 帕尔哈提·柔孜,古丽米热·阿巴拜克日,刘源,等.牛骨髓蛋白及其碱性蛋白酶酶解物的功能特性比较[J].现代食品科技,2024,40(5):43-52.
- [28] 欧文华,曹天翔,张冬梅,等.米糠蛋白乳化性能及其改性方法研究进展[J].食品与机械,2024,40(1):204-211,240.
- [29] 梁吉虹,俞燕芳,邓泽元,等.不同干燥方法对桑叶蛋白理化性质及营养特性的影响[J].食品研究与开发,2023,44(12):1-10.
- [30] 张传军.黄酒糟蛋白作为啤酒泡沫强化剂的研究[J].中国酿造,2009,5:108-111.
- [31] 吴高峻.大豆分离蛋白的功能特性[J].中国食品添加剂,1998,2:37-40,63.
- [32] 毛青钟,孙杰,嘉晓勤,等.绍兴加饭酒糟成分的检测[J].江苏调味副食品,2022,2:37-44.
- [33] DREW J. COOKMAN, CHARLES E GLATZ. Extraction of protein from distiller's grain [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(6): 2012-2017.
- [34] HU YUANLIANG, PAN LINA, DUN YAOHAO, et al. Conversion of yellow wine lees into high-protein yeast culture by solid-state fermentation [J]. Biotechnology, Biotechnological Equipment, 2014, 28(5): 843-849.
- [35] 姚凯勇.黄酒糟发酵工艺优化及其奶牛饲用效果研究[D].杭州:浙江大学,2019.
- [36] 马莹.乳清蛋白源ACE抑制肽的分离纯化与结构鉴定[D].天津:天津商业大学,2019.
- [37] 马凤,叶灏铎,夏珍,等.英红九号茶蛋白ACE抑制肽的制备、氨基酸组成及不同超滤组分的活性评价[J].现代食品科技,2023,39(7):237-245.
- [38] 罗浩怡,曾林,张雅琦,等.黄酒中多肽的研究进展[J].现代食品,2021,2:85-88.
- [39] 李西西,付玮琦,杨文清,等.橄榄提取物对肾素和血管紧张素转换酶的双重抑制作用[J].现代食品科技,2023,39(4):96-101.
- [40] HE Z Q, LIU G, QIAO Z J, et al. Novel angiotensin-I converting enzyme inhibitory peptides isolated from rice wine lees: purification, characterization, and structure-activity relationship [J]. Frontiers in Nutrition, 2021, 8: 746113.
- [41] 杨淑纯,王宏,白卫东.超声辅助酶解制备客家黄酒糟多肽工艺优化及ACE抑制活性研究[C]//中国食品科学技术学会第十九届年会.线上会议:中国食品科学技术学会,2022: 257-258.
- [42] 呼慧娟.黄酒糟对生长肥育猪饲用价值的研究[D].杭州:浙江大学,2010.
- [43] 王建军.混菌固态发酵黄酒糟生产蛋白饲料的研究[D].杭州:浙江大学,2007.
- [44] 赵建国,王素萍,陈曦.大米黄酒糟固态发酵生产优质酵母蛋白质饲料及其应用研究[J].粮食与饲料工业,2005,12:32-33.
- [45] 赵建国,钟世博,张明祥.热带假丝酵母固体发酵黄酒糟生产蛋白饲料的研究[J].粮食与饲料工业,2002,2:22-24.