

米糠蛋白乳化性能及其改性方法研究进展

Research progress on emulsifying properties and modification methods of rice bran protein

欧文华 曹天翔 张冬梅

OU Wenhua CAO Tianxiang ZHANG Dongmei

顾理浩 张婉萍 蒋汶

GU Lihao ZHANG Wanping JIANG Wen

(上海应用技术大学香料香精技术与工程学院, 上海 201418)

(School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China)

摘要:天然米糠蛋白的乳化性较差,限制了其在食品工业中的应用,需采用合适的方法对其进行改性。文章以米糠为研究对象,总结了米糠蛋白的组成、乳化性能以及改性方面的最新研究进展,提出通过改进米糠蛋白的改性工艺,或利用融合不同高新技术来改善米糠蛋白的乳化性能,并以此扩展米糠蛋白的开发利用思路,加速米糠蛋白在食品及化妆品中的应用进程。

关键词:米糠蛋白;蛋白质组成;蛋白质结构;乳化性能;改性方法

Abstract: Natural rice bran protein has poor emulsifiability, which limits its application in food industry, so it is necessary to adopt appropriate methods to modify it. In this review, the composition, emulsifying properties and modification of rice bran protein were summarized. The conclusion suggested that the emulsifying properties of rice bran protein could be improved by improving the modification technology of rice bran protein or by blending different high technologies, to expand the development and utilization of rice bran protein and accelerate the application process of rice bran protein in food and cosmetics.

Keywords: rice bran protein; protein composition; protein structure; emulsification performance; modification method

中国是世界上最大的大米生产国和消费国,预计

2023/2024 年中国大米产量为 1.49 亿 t^[1],每年至少产生 1 000 万 t 米糠。米糠是水稻加工的主要副产品,在水稻加工过程中,可产出 56% 的粳米以及 20% 的谷壳和 16% 的米糠。米糠含有丰富的油脂、蛋白质、纤维及其他功能性化合物等,可作为重要的功能性食品成分^[2]。尽管米糠有很好的营养价值和突出的应用前景,但超过 80% 的米糠却用于生产牛饲料或非食用油,只有不足 20% 的米糠被加工成食用油,因此米糠的利用率较低^[3]。

目前,在食品工业中使用较多的蛋白质为大豆蛋白和乳清蛋白,但全世界约有 0.3%~0.4% 的人群对大豆蛋白过敏,约有 1.6%~6.0% 的幼儿对乳清蛋白过敏^[4-5],研究人员开始寻找合适的蛋白质替代品^[6-7]。米糠蛋白是一种已知的优质蛋白质,具有完整的氨基酸组成和抗癌活性^[8],与此同时,由于米糠蛋白低致敏性和均衡的氨基酸组成^[9],使其被公认为适合婴幼儿和特殊群体的蛋白质来源。因此,米糠蛋白是一种合适的食品工业用蛋白。

米糠蛋白作为功能性食品配料和营养补充剂具有较高的开发潜力。由于具有较高的水和油结合能力,有助于减少水分损失并保持柔软的口感,因此米糠蛋白可用于烘焙食品、搅打配料和香肠等^[10]。在应用于合适的产品之前,可利用蛋白酶处理米糠蛋白,提高其蛋白质水解物的溶解度,改善其物理化学和功能特性^[11]。米糠蛋白水解物可应用于食品,如鱼汤、酱汁、肉汁、肉制品以及糖果中的营养补充剂、功能成分和风味增强剂^[12];米糠蛋白水解物也可用于化妆品制作。

米糠蛋白作为一种天然蛋白质,同时具有良好的亲水性和亲油性,说明其能够被用作乳化剂,有助于降低界面张力并稳定油水界面。蛋白质乳液的形成是通过蛋白质在界面上排列并重新定向,从而使疏水部分朝向油

基金项目:上海高校青年教师培养资助计划项目(编号:ZZ202212008);上海应用技术大学引进人才科研启动项目(编号:YJ2021-89)

作者简介:欧文华,男,上海应用技术大学副教授,博士。

通信作者:蒋汶(1991—),男,上海应用技术大学讲师,博士。

E-mail: jw@sit.edu.cn

收稿日期:2023-02-21 **改回日期:**2023-11-24

相,而亲水基团朝向水相。与此同时,界面上的蛋白质聚集在油滴周围形成一层黏弹性薄膜,通过静电和空间斥力有助于抑制油滴的聚合和絮凝^[13]。但米糠蛋白的刚性强,亲水基团和疏水基团被隐藏在高度卷曲的结构中,致使其乳液界面稳定性较差。因此,为了深度开发利用米糠蛋白,研究人员针对米糠蛋白的物理化学性质特别是乳化性能改性方法进行了深入研究。文章拟以米糠为研究对象,总结米糠蛋白的组成、乳化性能以及改性方法的最新研究进展,并提出利用多种高新方法相结合的技术来改善米糠蛋白的乳化性能,旨在为后期米糠蛋白的工业化应用提供依据。

1 米糠蛋白的组成及其乳化性

1.1 米糠蛋白的组成

按 Osborn 分类法,米糠蛋白根据其溶解度分为 4 个组分:白蛋白(34.5%)、球蛋白(33.2%)、谷蛋白(24.5%)和醇溶蛋白(4.8%)^[14]。在不同的水稻品种中,各类蛋白的比例会有所区别。此外,各类蛋白的比例、分子量和结构等对米糠蛋白的功能特性具有一定的影响。

表 1 列出了米糠蛋白、乳清浓缩蛋白和大豆分离蛋白的氨基酸组成,表明米糠蛋白所含氨基酸种类齐全,含有人体所需全部的 18 种氨基酸和 9 种必需氨基酸,属于全价蛋白质。将米糠蛋白的各必需氨基酸成分比例与世界卫生组织推荐的必需氨基酸标准模式进行比较,发现米糠蛋白中的 9 种人体必需氨基酸较为均衡,必需氨基酸含量均达到 FAO/WHO 的推荐模式值。此外,相对于乳清浓缩蛋白和大豆分离蛋白,米糠蛋白中的缬氨酸、精氨酸、甘氨酸、苯丙氨酸与酪氨酸含量较高,缬氨酸可以促进人体的正常生长,修复组织,调节血糖,并提供人体所需能量;精氨酸参与鸟氨酸循环,促进尿素形成,降低血氨浓度;甘氨酸为内源性抗氧化剂还原型谷胱甘肽组成的氨基酸;苯丙氨酸与酪氨酸可合成重要的神经递质和激素,参与机体糖代谢和脂肪代谢。

1.2 米糠蛋白的乳化性

将蛋白质应用于食品工业中,蛋白质的营养性是一个方面,此外,包括乳化性在内的一些物理化学性质对其应用的影响更为重要。表 2 为米糠蛋白与食品工业中最

表 1 米糠蛋白、乳清浓缩蛋白和大豆分离蛋白的氨基酸组成

Table 1 Amino acid composition of rice bran protein, whey protein concentrate and soybean protein isolate

组别	氨基酸	FAO/WHO 模式 ^[15]	米糠蛋白 ^[14]	乳清浓缩蛋白 ^[16]	大豆分离蛋白 ^[16]	
必需氨基酸	组氨酸	16.0	33.6	21.3	26.1	
	异亮氨酸	13.0	31.2	50.7	42.9	
	亮氨酸	19.0	72.6	109.9	71.6	
	赖氨酸	16.0	57.5	97.8	61.8	
	蛋氨酸+半胱氨酸	17.0	37.7	36.9	26.3	
	苯丙氨酸+酪氨酸	19.0	109.2	75.3	83.2	
	苏氨酸	9.0	35.3	51.4	37.3	
	色氨酸	5.0	15.4	19.2	14.8	
	缬氨酸	18.0	54.1	49.8	44.0	
	非必需氨基酸	天冬氨酸	8.8	98.7	110.8	109.0
		精氨酸	4.6	89.0	25.6	71.1
丝氨酸		5.3	42.7	44.7	50.1	
谷氨酸		17.5	153.6	174.0	191.0	
甘氨酸		2.0	62.4	16.7	38.9	
丙氨酸		2.6	61.7	45.7	43.3	
脯氨酸		6.1	47.8	43.2	44.1	

表 2 米糠蛋白及大豆蛋白的理化性质^[17]

Table 2 Physicochemical properties of rice bran protein and soy protein

蛋白质	吸水能力/ (g · g ⁻¹)	吸油能力/ (g · g ⁻¹)	起泡性/ %	泡沫稳定性/ %	表面疏水性
米糠蛋白	2.6 ± 0.0	5.0 ± 0.3	30.0 ± 1.4	74.3 ± 2.6	87.7 ± 2.5
大豆蛋白	3.1 ± 0.2	2.6 ± 0.1	20.5 ± 3.6	55.4 ± 4.8	53.0 ± 5.2

常见的大豆蛋白之间的理化性质对比。

由表 2 可知,大豆蛋白的吸水能力更佳,米糠蛋白的表面疏水性更佳,是由于米糠蛋白中更多的疏水基团暴露在外界^[18]。蛋白质结构的稳定依赖于其表面疏水性,且表面疏水性会影响蛋白质的凝胶性质^[19]。米糠蛋白的起泡能力与泡沫稳定性较大豆蛋白均更为出色,是因为米糠蛋白的溶解度更佳。

相关研究^[20-21]表明,除了蛋白质本身的性质会影响其乳化性外,提取方法和外界环境条件如贮藏时间、pH、离子强度及温度等均会影响其乳化性。Sun 等^[22]研究发现,未经超声处理提取的米糠蛋白乳化活性指数为 20 m²/g 左右,乳化稳定性为 14 min 左右;当超声功率为 200 W,超声时间为 10 min 时,米糠蛋白乳化活性指数为 27.5 m²/g 左右,乳化稳定性为 17.5 min 左右,说明超声提取工艺能够显著提升米糠蛋白的乳化性能。

随着米糠贮藏时间的延长,米糠油的酸值和米糠蛋白的巯基含量逐渐增加,表明米糠发生酸败以及米糠蛋白被氧化。Li 等^[23]研究表明,米糠酸败导致米糠蛋白被氧化,改变了米糠蛋白乳状液的稳定性和界面吸附蛋白质及界面未吸附蛋白质的结构,其中界面吸附蛋白质的柔韧性起着重要作用。在适度氧化条件下,界面吸附蛋白质的展开能力和柔韧性增强,增加了乳滴间的空间位阻和静电斥力,从而提高了乳状液的稳定性。然而,在过度氧化的条件下,界面吸附蛋白质的交联和聚集,柔韧性减弱,乳滴之间的空间位阻和静电斥力也减弱,导致乳滴聚集和絮凝,从而破坏了乳状液的稳定性。

吴彬等^[24]研究表明,米糠蛋白及其酶解产物在等电点即 pH 为 4 时,乳化性能最差,是由于乳液液滴表面电荷接近于零、静电斥力减弱,乳液会聚集和絮凝;随着 pH 的增加,米糠蛋白及其酶解产物乳化性能有所提升,直至 pH 为 7~8 时趋于稳定。

综上,米糠蛋白拥有优异的氨基酸组成,乳化性能较大豆蛋白更为优异,但其乳化性能仍不足以支撑其作为乳化剂直接应用于生产中;米糠蛋白的乳化性与其来源、加工以及环境条件密切相关,若要将米糠蛋白作为一种乳化剂应用于化妆品以及食品工业中,需要对米糠蛋白的结构、乳化性及改性工艺进行更加深入的研究,明确两者之间的关联,为米糠蛋白的广泛应用提供依据。

2 米糠蛋白的改性

2.1 物理改性

2.1.1 超声处理蛋白质 超声处理是常用的乳化方法之一,利用超声处理液体时,油/水体系在达到空化阈值时开始乳化。超声波能够提供新油/水界面形成所需的能量,因此,超声波能够使原本不够稳定的乳液稳定下来。蛋白质分子结构会在空化作用的引导下产生变化^[25],与

此同时,空化作用还会引起蛋白质分子间相互作用的变化,在油/水界面中,蛋白质的吸附能力得到改善以及蛋白质的乳化性得到提升^[26]。

Wang 等^[27]研究发现,与非超声处理的乳液相比,超声处理可以显著提高乳液的稳定性,随着超声功率的升高,乳液稳定性呈先上升后下降的趋势,且该乳液在超声功率为 300 W 时具有最佳的稳定性和乳化性能,此时乳化活性指数与乳化稳定性指数分别为 86.64 m²/g 和 94.23%。Sun 等^[22]研究表明,利用超声波辅助提取米糠蛋白所制备的乳液具有较高的稳定性。当超声功率为 200 W,提取时间为 10 min 时,界面蛋白量达到最高,为 7.8 mg/m²。若继续增加超声功率或提取时间,蛋白质样品的乳化性能呈下降趋势。

综上,适当强度的超声可提高米糠蛋白制备乳液的稳定性和乳化性能,是由于适当的超声处理可以有效改善米糠蛋白的表面疏水性,从而导致吸油能力的增加和吸水能力的降低。同时,超声波辅助提取可以打破二硫键,使蛋白质结构能够折叠,从而提高溶解性和发泡性能,而过强的超声处理会引起乳液液滴的絮凝和聚集。

2.1.2 高压处理蛋白质 高压处理蛋白质主要包括高压均质技术以及动态高压微射流技术。高压均质是一种非热加工技术^[28],是通过蛋白质乳液经高压阀流动时产生的强烈剪切力、空化和湍流作用使蛋白质的二级、三级结构发生改变,从而改变其功能性质^[29]。动态高压微射流技术通过剪切、撞击、高压、气蚀、振荡和膨化等过程,改变蛋白质分子的三级、四级结构,降低其粒径尺寸,从而提高蛋白聚集体的界面吸附稳定性及疏水作用,提高蛋白质的乳化特性^[30]。

Zhu 等^[31]研究表明,在 100,200 MPa 的高压下处理米糠蛋白,能够显著提高其溶解度和吸油能力;且米糠蛋白的吸水能力和发泡能力也随压力的增加而增加,在 500 MPa 时达到最大值。米糠蛋白的乳液稳定性和表面疏水性随压力的增加而增加,直至 500 MPa 时略有下降。米糠蛋白的表面疏水性因此获得提升,表明经高压处理的米糠蛋白具有良好的功能特性。周麟依等^[30]发现米糠蛋白热可溶性聚集体的乳化性能随空化微射流压强的升高呈先增大后减小的趋势。经 90 MPa 空化微射流处理后,米糠蛋白热可溶性聚集体的 3D 微观结构高度和颗粒大小、总游离巯基含量、平均粒径和 β 折叠含量降到最低,米糠蛋白的乳化性能最佳,表面疏水性提高了 798.05,乳化活性指数提高了 90.32 m²/g,乳化稳定性指数提高了 281.68 min。

综上,合理范围内的高压均质处理可改善米糠蛋白的功能特性,可能是由于高压均质展开米糠蛋白的部分结构,从而促进了外界环境与疏水基团的相互作用。高

压均质因其高效快捷的作用方式,经济性、便捷性和安全性,已被广泛应用到实际生产中。

2.1.3 其他物理改性 其他物理改性还包括对蛋白质进行干热处理、微波处理以及挤压稳定化处理等。王长远等^[32]研究发现经干热处理后,米糠蛋白的乳化性有所提升,且随着干热温度的升高,米糠蛋白的乳化性能先减小(<90 °C时)后增加。经90 °C干热处理的米糠蛋白热变性触发明显,大量 β -折叠结构转变为 β -转角和无规卷曲结构,此时米糠蛋白的乳化活性指数与乳化稳定性指数增大。郝天舒等^[33]研究发现,微波处理能够提升米糠蛋白的乳化性。当微波处理功率为296 W时,米糠蛋白的乳化活性指数最大,为54.6 m²/g。然而,在更高功率微波处理下,米糠蛋白的乳化性也有所降低。段庆松等^[34]发现经挤压

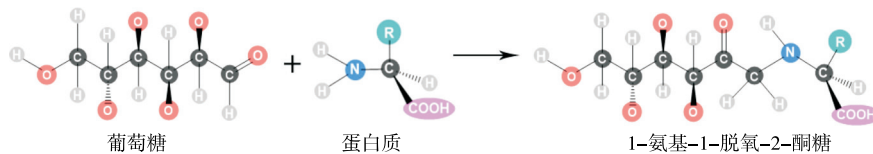


图1 蛋白质美拉德反应机理(以葡萄糖为例)

Figure 1 Mechanism of protein Maillard reaction (take glucose as an example)

赵悦琳等^[35]利用美拉德反应制备出米糠蛋白—阿拉伯木聚糖接枝复合物,当pH为10,接枝反应时间为48 min,糖蛋白比为2.2:1.0,反应温度为50 °C时,美拉德反应的效率最佳,米糠蛋白—阿拉伯木聚糖接枝复合物的产量最高,接枝度为34.01%。经美拉德反应得到的米糠蛋白—阿拉伯木聚糖接枝复合物拥有更优秀的持水性,其乳化性与乳化稳定性也得到显著提升。因此,通过美拉德反应糖基化米糠蛋白产物可显著提升其乳化性能,可能是由于糖基化产物引入多糖中的羟基,使其既能表现出糖类物质的亲水特性,又兼具蛋白质的大分子特性,可有效改善米糠蛋白的溶解性、持水性和乳化性等。

2.2.2 pH偏移处理蛋白质 pH偏移改性蛋白质是指在极端pH条件下使蛋白质结构展开,然后在中性环境中诱导蛋白重新折叠^[36]。图2为pH值转换过程对蛋白质表征特性的影响,蛋白质经历先展开再折叠过程,分子构象发生部分改变,乳化性从而改变。

尚平^[37]对比了不同pH对黄原胶稳定水包油乳状液稳定性的影响,发现乳状液稳定性随pH的增加呈先降低后升高的趋势,且乳状液在等电点附近时粒径最大,稳定性最差。吴晓娟等^[38]研究表明,pH碱性偏移将会造成米糠蛋白二级结构从有序化转变为无序化。pH碱性偏移会使米糠蛋白的持水性、起泡性、泡沫稳定性、乳化性及乳化稳定性显著下降,持油性显著提升;而随着处理时间的延长,米糠蛋白的持水性、起泡性、泡沫稳定性、乳化性及乳化稳定性不降反升,乳化性得到显著改善。当温度60 °C,pH 11,偏移处理5 h时,乳化性与乳化稳定性达

稳定化处理后,米糠谷蛋白的乳化活性显著提升,而米糠清蛋白和球蛋白的乳化活性有一定程度的降低。

综上,对包括干热处理、微波处理以及挤压稳定化处理在内的物理改性方法进行合理应用,均可提升米糠蛋白的乳化性能。米糠蛋白经物理改性后,能够促使米糠蛋白中的疏水基团暴露出来,使米糠蛋白乳化能力提升。

2.2 化学改性

2.2.1 美拉德反应 美拉德反应是一种自发的化学反应,其反应快速,反应条件简单;除蛋白质和多糖外,不需要其他试剂,以在没有化学试剂的情况下由温度升高引发。如图1所示,在美拉德反应的初始阶段,蛋白质和多糖可以通过还原糖的羰基与蛋白质的氨基缩合而共价连接。

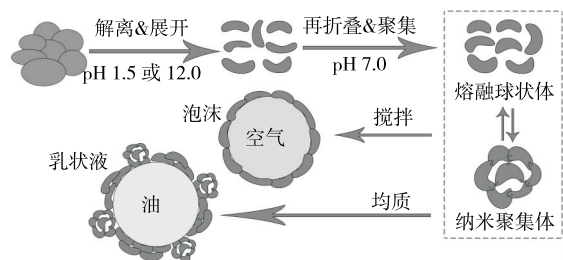


图2 pH值转换过程及其对蛋白质表面特性的影响

Figure 2 The pH conversion process and its effect on protein surface properties

到最大值,分别为60.28 m²/g和122.69 min。

综上,pH碱性偏移能够改善米糠蛋白的乳化性能及乳化稳定性,在等电点附近乳化性能及乳化稳定性最差,是由于等电点附近乳状液滴负电荷较少,相互之间的静电斥力减小,油滴之间相对较弱的静电斥力导致油滴之间发生大量聚集,利用高pH处理蛋白质可以使乳状液负电荷增加,蛋白质分子结构也会在此条件下展开,使蛋白质结构内部疏水基团暴露出来,从而改善乳状液的稳定性。

2.2.3 磷酸化反应 磷酸可以选择性地与蛋白质的侧链基团如丝氨酸、苏氨酸、酪氨酸中的一OH基团,赖氨酸的 ϵ -NH₂,组氨酸咪唑环的1,3个氮原子和精氨酸胍基的氮原子发生反应,图3为蛋白质分离物与三偏磷酸钠发生的磷酸酯化反应,在蛋白质分子表面引入更多的负电荷可增强蛋白质的水合作用,从而提高蛋白质的水溶性及乳化性^[39]。

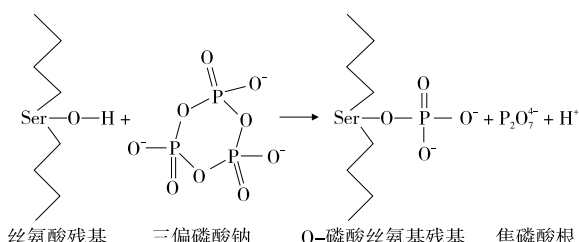


图 3 蛋白质分离物与三偏磷酸钠之间的磷酸酯化反应

Figure 3 Phosphorylation between protein isolates and sodium trimetaphosphate

Hu 等^[20]利用三偏磷酸钠对米糠蛋白进行改性,米糠蛋白的溶解性与乳化活性分别提高了 8.7, 8.1 倍。程文红^[40]利用三聚磷酸钠针对米糠谷蛋白进行磷酸化改性,改性前米糠谷蛋白溶解度为 19.98%,改性后的磷酸化米糠谷蛋白溶解度为 57.47%,提升了 187.63%;改性后磷酸化米糠谷蛋白的乳化活性及乳化稳定性也相比于改性前有所提升。综上,米糠蛋白经磷酸化反应后,其乳化活性显著提升,是由于通过磷酸化,大量的磷酸盐积累并被引入到米糠蛋白分子表面,增加了 Zeta 电位值的绝对值。同时,在碱性条件下,热处理蛋白质结构展开,未改性米糠蛋白中存在的不可溶性聚集物转变为磷化米糠蛋白质中的可溶性成分。此外,原本隐藏在米糠蛋白内部的疏水基团会暴露至分子表面,从而提升米糠蛋白的表面疏水性。

2.2.4 其他化学改性 除以上研究较多的化学改性方法外,还有一些其他的化学改性方法也能够改善米糠蛋白的乳化性能,如加入酰化试剂、2,2'-盐酸脲基丙烷及表没食子儿茶素没食子酸酯等。翟爱华等^[41]利用琥珀酸酐作为酰化试剂对米糠蛋白进行酰化改性,即在米糠蛋白分子上引入酰基,获得的米糠蛋白拥有更优秀的溶解性、乳化稳定性及起泡性,且随酰化程度的提升而提升;但米糠蛋白的乳化活性及泡沫稳定性随酰化程度的提升而下降。尤翔宇等^[42]将不同浓度 2,2'-盐酸脲基丙烷置于有氧条件下进行热分解,而后利用产生的过氧自由基氧化米糠蛋白,随着 2,2'-盐酸脲基丙烷浓度的上升,米糠蛋白的溶解性下降,而持水性、持油性、起泡能力、泡沫稳定性、乳化性及乳化稳定性均表现出先升高后降低的趋势,且在 2,2'-盐酸脲基丙烷浓度为 3 mmol/L 时表现出最佳性能,此时,米糠蛋白的乳化性及乳化稳定性分别为 26.47 m²/g 和 173.68 min。苗向硕等^[43]研究表明,表没食子儿茶素没食子酸酯会影响米糠蛋白的结构及功能性质,随着表没食子儿茶素没食子酸酯浓度的上升,米糠蛋白的溶解性下降,其持水性、持油性、起泡能力及泡沫稳定性均表现出先升高后降低的趋势,而米糠蛋白的乳化性及乳化稳定性呈先上升后下降再上升再下降的复杂趋

势。当 m 表没食子儿茶素没食子酸酯 : m 米糠蛋白 为 1 : 5 时,米糠蛋白的乳化性及乳化稳定性表现最佳,分别为 57.94 m²/g 和 44.57 min。

综上,加入酰化试剂、2,2'-盐酸脲基丙烷及表没食子儿茶素没食子酸酯均会影响米糠蛋白的乳化性能,且在适宜加入量下,米糠蛋白才能展现出最佳的乳化性能。米糠蛋白经这些化学改性后,其结构上的 β -折叠、无规卷曲、 α -螺旋及 β -转角含量改变,氨基酸侧链总量也发生改变,但不同化学改性方法造成的影响有所不同,改善米糠蛋白乳化性能的原因不存在统一性。

2.3 酶改性

由于食品安全、成本更低、反应更容易控制以及消费者和监管机构的可接受性,蛋白质的酶改性受到商业制造商的青睐。米糠蛋白常用的酶改性方法有酶水解和酶交联。酶水解是通过蛋白酶有限度地水解肽键和(或)酰胺键,进而改善其功能特性。酶交联是通过适当的酶引入交联键使米糠蛋白发生类蛋白质反应,产生流变学性质较好的物质^[44]。

目前,多数研究是利用酶水解米糠蛋白,适当减小其分子大小,改善其功能特性。藏小丹等^[45]分别利用胰蛋白酶、胰酶、碱性蛋白酶、风味蛋白酶及复合蛋白酶对米糠蛋白进行水解。研究表明,胰蛋白酶、碱性蛋白酶及复合蛋白酶水解的米糠蛋白具有更优秀的乳化性、乳化稳定性、起泡性及起泡稳定性;而碱性蛋白酶水解的米糠蛋白能够显著提升其 DPPH 自由基清除能力且有效抑制脂质体氧化反应的发生;总的来说,碱性蛋白酶水解的米糠蛋白的功能特性最佳。

于殿宇等^[46]研究表明,经转谷氨酰胺酶改性后的米糠蛋白持水力、持油性和溶解度分别提升了 162.0%, 114.0%, 31.1%, 乳化性和乳化稳定性分别提升了 52.7%, 25.4%。吴彬等^[24]研究表明,利用胰蛋白酶进行酶解可显著提升米糠蛋白的溶解度,而其起泡性、起泡稳定性、乳化性及乳化稳定性随水解度的提升先增加后减小,且在水解度为 3% 时达到最优的功能特性,此时,米糠蛋白酶解产物的乳化性及乳化稳定性分别为 55 m²/g 和 80 min。当水解度超过 3% 后继续提升,米糠蛋白水解产物相对分子质量下降,相对分子质量太低的肽可能不具有足够的两亲性,小肽能够快速迁移并在界面上吸附,但在降低界面张力方面效率较低,无法表现出良好的乳化性能^[47]。

Singh 等^[48]利用木瓜蛋白酶水解米糠浓缩蛋白,随着水解度的增加,米糠浓缩蛋白的结构柔韧性增加,其溶解度显著提高,但热稳定性和界面性能下降。然而,水解对抗氧化性能有极大的积极影响,尤其是自由基清除能力和还原能力,同时降低了金属螯合能力。米糠蛋白可

能用作抗氧化剂,但可能不适合作为功能性成分。Zang等^[49]研究表明,在pH 3~9范围内,米糠蛋白水解物的溶解度显著高于原始蛋白,显著改善了米糠蛋白水解物的乳化剂性能。当pH接近被吸附蛋白质的等电点或体系处于较高的盐浓度时,米糠蛋白水解物稳定的O/W乳状液容易聚集而不稳定。这一现象表明分子间的静电相互作用是维持乳液稳定性的重要因素。水解度为3%的米糠蛋白水解物表现出最好的贮藏稳定性和对高盐浓度和热处理的抗性。因此,米糠蛋白经酶适当水解后,能有效改善米糠蛋白乳化性能,不同酶水解的改善效果存在差异,但米糠蛋白经不同酶水解后,均使米糠蛋白埋藏的疏水基团暴露在分子外表面,从而提升米糠蛋白的表面疏水性及柔韧性,改善亲水亲脂平衡,达到提升米糠蛋白乳化性能的效果。

目前,利用酶进行共价交联改性方面的研究较少,但其也可以改善米糠蛋白的乳化性能。付薇^[50]利用转谷氨酰胺酶对改性后的米糠蛋白和乳清蛋白进行交联,得到的米糠蛋白-乳清蛋白改性接枝物的起泡及乳化特性较交联前有所提升。在最佳制备条件下,即反应时间为4.23 h、 $m_{\text{米糠蛋白}} : m_{\text{乳清蛋白改性物}}$ 为2:1、pH为7.58、反应温度为44.47℃时,接枝物的接枝度为85.62%,米糠蛋白-乳清蛋白改性接枝物起泡性提高了3.65%,起泡稳定性提高了10.84%,乳化性提高了34.81%,乳化稳定性提高了26.04%。

综上,无论是利用酶水解还是酶交联对米糠蛋白进行酶改性,只要控制合理的反应条件,均能够改善米糠蛋白乳化性能,但利用酶进行共价交联改性方面的研究较少,无法验证其准确性。

3 应用与展望

近年来,为了满足消费者对天然、健康和可持续食品配料的要求,寻求植物蛋白代替动物性乳化剂或合成乳化剂成为热点^[51]。天然米糠蛋白具有良好的营养价值且低致敏性能使其被广泛应用。米糠蛋白可以作为乳化剂应用于食品工业,然而其本身的乳化性能并不足以支撑其直接应用。随着现代科技的发展,现有技术可以通过物理、化学以及酶等方法对蛋白质进行改性使蛋白质的乳化性能得到提升,对于单一的改性方法,要得到理想乳化性质的蛋白质的关键在于对改性过程参数的设置。单一改性已被广泛应用于蛋白质中,已有研究人员^[52-54]开始利用多种技术相结合的方法改善蛋白质的乳化性能。在未来米糠蛋白的研究中,可以尝试完善米糠蛋白乳化性能的特异性改性工艺,例如利用电解技术结合糖醇化合物(如山梨醇、甘露醇等)对米糠蛋白进行改性,以提高其抗氧化能力和乳化稳定性^[55];还可以尝试利用多

种新方法相结合的技术来改善米糠蛋白的乳化性能,例如选取一种物理改性方法与一种化学改性方法或酶改性方法相结合,以此解决单一方法对蛋白质作用有限的问题,更好地改善蛋白质的乳化性能。

综上,米糠蛋白经改性后,其乳化等功能特性均得到显著改善,具有很大的市场前景。后续研究不仅需要思考实验室中如何改善米糠蛋白的功能特性,还需要考虑如何将实验室成果转化为工业化生产,加快改性米糠蛋白在食品及化妆品工业中的应用进程;此外,这些改性方法作为新兴及有前途的技术,在改善米糠蛋白物理和化学性能方面均显示出一定优势,但在改性过程中蛋白质内部发生的变化无法准确了解,这也是未来米糠蛋白应用需要解决的问题。相信随着科技发展,针对米糠蛋白改性方法研究的不断深入,米糠蛋白一定会在食品及化妆品工业中作为乳化剂被广泛应用。

参考文献

- [1] Foreign Agriculture Service. China rice area, yield and production [DB/OL]. (2023-11-09) [2023-11-23]. <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/Default.aspx?id=CH&crop=Rice>.
- [2] SHARIF M K, BUTT M S, ANJUM F M, et al. Rice bran: A novel functional ingredient[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2014, 54(6): 807-816.
- [3] BURLANDO B, CORNARA L. Therapeutic properties of rice constituents and derivatives (*Oryza sativa* L.): A review update[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2014, 40(1): 82-98.
- [4] 张楠. 糖基化修饰对大豆蛋白致敏性的影响及改性机理研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016: 1.
- ZHANG N. Research on glycation to soybean protein allergenicity and modification mechanism[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2016: 1.
- [5] 党慧杰. 超高压协同酶水解对乳清分离蛋白理化及致敏性的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021: 6-7.
- DANG H J. Effect of ultra-high pressure combined with enzymatic hydrolysis on the physicochemical and sensitization of whey protein isolate[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021: 6-7.
- [6] BOGAHAWATHTHA D, CHAU N H B, TRIVEDI J, et al. Impact of selected process parameters on solubility and heat stability of pea protein isolate[J]. *LWT*, 2019, 102: 246-253.
- [7] GLUSAC J, DAVIDESKO-VARDI I, ISASCHAR-OVDAT S, et al. Tyrosinase-crosslinked pea protein emulsions: Impact of zein incorporation[J]. *Food Research International*, 2019, 116: 370-378.
- [8] WATTANASIRITHAM L, THEERAKULKAIT C, WICKRAMASEKARA S, et al. Isolation and identification of antioxidant peptides from enzymatically hydrolyzed rice bran protein[J]. *Food Chemistry*, 2016, 192: 156-162.
- [9] HOU F, DING W, QU W, et al. Alkali solution extraction of rice

- residue protein isolates: Influence of alkali concentration on protein functional, structural properties and lysinoalanine formation [J]. *Food Chemistry*, 2017, 218: 207-215.
- [10] CAO X, WEN H, LI C, et al. Differences in functional properties and biochemical characteristics of congenetic rice proteins [J]. *Journal of Cereal Science*, 2009, 50(2): 184-189.
- [11] XIA N, WANG J M, GONG Q, et al. Characterization and In Vitro digestibility of rice protein prepared by enzyme-assisted microfluidization: Comparison to alkaline extraction[J]. *Journal of Cereal Science*, 2012, 56: 482-489.
- [12] FABIAN C, JU Y H. A review on rice bran protein: its properties and extraction methods[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2011, 51(9): 816-827.
- [13] STONE A K, AVARMENKO N A, WARKENTIN T D, et al. Functional properties of protein isolates from different pea cultivars [J]. *Food Science and Biotechnology*, 2015, 24 (3): 827-833.
- [14] 郑煜焱, 曾洁, 李晶, 等. 米糠蛋白的组成及功能性[J]. *食品科学*, 2012, 33(23): 143-149.
- ZHENG Y Y, ZENG J, LI J, et al. Composition and functionality of rice bran protein[J]. *Food Science*, 2012, 33(23): 143-149.
- [15] Joint FAO. Energy and protein requirements: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation[M]// Technical report series (WHO). Geneva: World Health Organization, 1985: 206.
- [16] 陈智仙, 张海波, 张双庆, 等. 3 种不同来源蛋白质的氨基酸组成及体外动态消化研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2019, 40(2): 62-68.
- CHEN Z X, ZHANG H B, ZHANG S Q, et al. Amino acid composition and in vitro dynamic digestion of three different sources of proteins[J]. *Journal of Henan University of Technology of China (Natural Science Edition)*, 2019, 40(2): 62-68.
- [17] 于枫, 贺雷雨, 孙丽慧. 稻米米糠蛋白乳化特性研究[J]. *食品科技*, 2020, 45(6): 224-230.
- YU F, HE L Y, SUN L H. Study on the emulsification characteristics of rice bran protein [J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(6): 224-230.
- [18] ZHANG Y, ZHOU X, ZHONG J, et al. Effect of pH on emulsification performance of a new functional protein from jackfruit seeds[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 93: 325-334.
- [19] NISHINARI K, FANG Y, GUO S, et al. Soy proteins: A review on composition, aggregation and emulsification [J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 39: 301-318.
- [20] HU Z, QIU L, SUN Y, et al. Improvement of the solubility and emulsifying properties of rice bran protein by phosphorylation with sodium trimetaphosphate[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 96: 288-299.
- [21] 周麟依, 孙玉凤, 吴非. 丙二醛氧化对米糠蛋白结构及功能性质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(12): 98-107.
- ZHOU L Y, SUN Y F, WU F. Effect of malondialdehyde oxidation on the structure and functional properties of rice bran protein[J]. *Food Science*, 2019, 40(12): 98-107.
- [22] SUN L H, YU F, WANG Y Y, et al. Effects of ultrasound extraction on the physicochemical and emulsifying properties of rice bran protein[J]. *International Journal of Food Engineering*, 2021, 17(5): 327-335.
- [23] LI H, LI F, WU X, et al. Effect of rice bran rancidity on the emulsion stability of rice bran protein and structural characteristics of interface protein[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 121: 107006.
- [24] 吴彬, 刘昆仑. 米糠蛋白酶解产物功能特性及乳液稳定性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(9): 2 940-2 946.
- WU B, LIU K L. Study on the functional properties of rice bran hydrolysate and the stability of lotion [J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2022, 13(9): 2 940-2 946.
- [25] WEN C, ZHANG J, YAO H, et al. Advances in renewable plant-derived protein source: The structure, physicochemical properties affected by ultrasonication[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2019, 53: 83-98.
- [26] HU H, FAN X, ZHOU Z, et al. Acid-induced gelation behavior of soybean protein isolate with high intensity ultrasonic pretreatments[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2013, 20(1): 187-195.
- [27] WANG S, WANG T, LI X, et al. Fabrication of emulsions prepared by rice bran protein hydrolysate and ferulic acid covalent conjugate: Focus on ultrasonic emulsification [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2022, 88: 106064.
- [28] LI Y, CHEN X, XUE S, et al. Effect of the disruption chamber geometry on the physicochemical and structural properties of water-soluble myofibrillar proteins prepared by high pressure homogenization (HPH)[J]. *LWT*, 2019, 105: 215-223.
- [29] CHA Y, SHI X, WU F, et al. Improving the stability of oil-in-water emulsions by using mussel myofibrillar proteins and lecithin as emulsifiers and high-pressure homogenization[J]. *Journal of Food Engineering*, 2019, 258: 1-8.
- [30] 周麟依, 王辰, 王中江恒, 等. 空化微射流对米糠蛋白热聚集体结构及特性的影响[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(3): 341-349.
- ZHOU L Y, WANG C, WANG Z J H, et al. Effect of cavitation microjet on the structure and properties of rice bran protein thermal aggregates [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2020, 51(3): 341-349.
- [31] ZHU S M, LIN S L, RAMASWAMY H S, et al. Enhancement of functional properties of rice bran proteins by high pressure treatment and their correlation with surface hydrophobicity[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2017, 10(2): 317-327.
- [32] 王长远, 郝天舒, 张敏. 干热处理对米糠蛋白结构与功能特性的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(7): 13-18.
- WANG C Y, HAO T S, ZHANG M. Effect of dry heat treatment on the structure and functional characteristics of rice bran protein[J].

- Food Science, 2015, 36(7): 13-18.
- [33] 郝天舒, 王长远. 微波处理对米糠蛋白结构及功能性的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(5): 774-779, 784.
HAO T S, WANG C Y. Effect of microwave treatment on the structure and functionality of rice bran protein[J]. Natural Product Research and Development, 2015, 27(5): 774-779, 784.
- [34] 段庆松, 段玉敏, 肖志刚, 等. 挤压稳定化处理对米糠各组分蛋白结构及功能性质的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(19): 283-290.
DUAN Q S, DUAN Y M, XIAO Z G, et al. Effect of extrusion stabilization treatment on the protein structure and functional properties of various components of rice bran[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(19): 283-290.
- [35] 赵悦琳, 田忠华, 刘东旭, 等. 米糠蛋白-阿拉伯木聚糖接枝复合物制备及其功能性质研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(17): 193-198.
ZHAO Y L, TIAN Z H, LIU D X, et al. Preparation and functional properties of rice bran protein-arabinoxylan graft composite[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(17): 193-198.
- [36] JIANG J, WANG Q, XIONG Y L. A pH shift approach to the improvement of interfacial properties of plant seed proteins[J]. Current Opinion in Food Science, 2018, 19: 50-56.
- [37] 高平. pH对黄原胶稳定水包油乳状液稳定性的影响[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(3): 207-211.
SHANG P. Effect of pH on the stability of xanthan gum stabilized oil-in-water emulsion[J]. China Food Additives, 2022, 33(3): 207-211.
- [38] 吴晓娟, 王晓娟, 张佳妮, 等. pH值碱性偏移结合热处理对米糠蛋白结构和功能性质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(4): 23-30.
WU X J, WANG X C, ZHANG J N, et al. Effect of pH value alkaline shift combined with heat treatment on the structure and functional properties of rice bran protein[J]. Food Science, 2021, 42(4): 23-30.
- [39] MOURE A, SINEIRO J, DOMÍNGUEZ H, et al. Functionality of oilseed protein products: A review[J]. Food Research International, 2006, 39(9): 945-963.
- [40] 程文红. 米糠谷蛋白磷酸化改性及性质的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2016: 33-38.
CHEN W H. Phosphorylated modification and properties of rice bran gluten[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2016: 33-38.
- [41] 翟爱华, 马国飞, 李丹. 琥珀酰化改性对米糠蛋白功能性质的影响[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(19): 1-6.
ZHAI A H, MA G F, LI D. Effect of succinylation modification on the functional properties of rice bran protein[J]. Food Research and Development, 2014, 35(19): 1-6.
- [42] 尤翔宇, 黄慧敏, 吴晓娟, 等. 过氧自由基氧化对米糠蛋白结构和功能性质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 34-41.
YOU X Y, HUANG H M, WU X J, et al. Effect of peroxide free radical oxidation on the structure and functional properties of rice bran protein[J]. Food Science, 2019, 40(4): 34-41.
- [43] 苗向硕, 吴伟, 吴晓娟. 表没食子儿茶素没食子酸酯对米糠蛋白结构和功能性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(3): 52-59.
MIAO X S, WU W, WU X J. Effect of epigallocatechin gallate on the structure and functional properties of rice bran protein[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(3): 52-59.
- [44] CHEN L, CHEN J, REN J, et al. Modifications of soy protein isolates using combined extrusion pre-treatment and controlled enzymatic hydrolysis for improved emulsifying properties[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 887-897.
- [45] 藏小丹, 董良伟, 李凤玉, 等. 酶种类对米糠蛋白酶解物抗氧化及加工特性的影响[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(6): 80-83.
ZANG X D, DONG L W, LI F Y, et al. Effect of enzyme types on the antioxidant and processing characteristics of rice bran proteasehydrolysates[J]. Cereals & Oils, 2018, 31(6): 80-83.
- [46] 于殿宇, 张欣, 邹丹阳, 等. 酶法改性对米糠蛋白凝胶硬度及功能性质的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(9): 139-146.
YU D Y, ZHANG X, ZOU D Y, et al. Effect of enzymatic modification on hardness and functional properties of rice bran protein gel[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(9): 139-146.
- [47] KLOMPONG V, BENJAKUL S, KANTACHOTE D, et al. Antioxidative activity and functional properties of protein hydrolysate of yellow stripe trevally (*Selaroides leptocephalus*) as influenced by the degree of hydrolysis and enzyme type[J]. Food Chemistry, 2007, 102(4): 1317-1327.
- [48] SINGH T P, SIDDIQI R A, SOGI D S. Enzymatic modification of rice bran protein: Impact on structural, antioxidant and functional properties[J]. LWT, 2021, 138: 110648.
- [49] ZANG X, YUE C, WANG Y, et al. Effect of limited enzymatic hydrolysis on the structure and emulsifying properties of rice bran protein[J]. Journal of Cereal Science, 2019, 85: 168-174.
- [50] 付薇. 米糠蛋白-乳清蛋白改性接枝物的制备及性质研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2016: 34-56.
FU W. Research the preparation and properties of rice bran protein-whey protein modification graft material [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2016: 34-56.
- [51] LI R, PENG S, ZHANG R, et al. Formation and characterization of oil-in-water emulsions stabilized by polyphenol-polysaccharide complexes: Tannic acid and β -glucan [J]. Food Research International, 2019, 123: 266-275.

(下转第240页)

2021(9): 65-73.
ZHANG H Z, LI L, YONG M Y, et al. Research progress in antihangover products[J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2021(9): 65-73.

[45] 邝铭晴, 李词周, 张辉, 等. 原榨刺梨汁的成分分析及精制刺梨液解酒益肝功能探究[J]. *饮料工业*, 2023, 26(2): 8-14.
KUANG M Q, LI C Z, ZHANG H, et al. Components analysis of raw *Rosa roxburghii* Tratt fruit juice and hepatoprotective effect evaluation of refined *Rosa roxburghii* Tratt fruit juice[J]. *Beverage Industry*, 2023, 26(2): 8-14.

[46] 王永岚, 王瑜, 万科, 等. 刺梨酵素化果醋对小鼠急性酒精性肝损伤的改善作用[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(4): 26-32.
WEN Y L, WANG Y, WANG K, et al. Ameliorative effect of fermented vinegar of *Rosa roxburghii* Tratt on acute alcoholic liver injury in mice[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2023, 39(4): 26-32.

[47] 黄颖. 刺梨解酒口服液研发及功能性评价[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020: 21-31.
HUANG Y. Development and functional evaluation of *Rosa roxburghii* Tratt anti-alcoholic oral liquid[D]. Guiyang: Guizhou University, 2020: 21-31.

[48] 张立强, 吴海霞, 刘慧慧, 等. 一种醒酒护肝组合物、具有醒酒护肝功效的饮料及其制备方法: CN114767826A[P]. 2022-07-22.
ZHANG L Q, WU H X, LIU H H, et al. The invention relates to composition of hangover and liver protection, beverage with hangover and liver protection effect and preparation method thereof: CN114767826A[P]. 2022-07-22.

[49] 罗鹏, 龚小川, 谭丽春, 等. 刺梨的化学组成和药理作用研究进展[J]. *山东化工*, 2022, 51(21): 90-94.
LUO P, GONG X C, TAN L C, et al. Advances in researches of chemical components and pharmacological effect from *Rosa roxburghii* Tratt[J]. *Shandong Chemical Industry*, 2022, 51(21): 90-94.

[50] 张怀山, 王梦柳, 谭晶晶, 等. 刺梨的医疗保健价值研究进展[J]. *农业开发与装备*, 2022(11): 137-139.
ZHANG H S, WANG M L, TAN J J, et al. Advances in research on the health care value of *Rosa roxburghii* Tratt[J]. *Agricultural Development & Equipments*, 2022(11): 137-139.

(上接第 211 页)

[52] 常慧敏, 田少君, 丁芳芳. 米糠蛋白的超声改性及在亚麻籽油微胶囊中的应用研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2020, 41(1): 19-25.
CHANG H M, TIAN S J, DING F F. Study on ultrasonic modification of rice bran protein and its application in flaxseed oil microcapsules[J]. *Journal of Henan University of Technology of China (Natural Science Edition)*, 2020, 41(1): 19-25.

[53] 朱珈庆, 李帅斐, 于雷, 等. 米糠蛋白碱法提取联合微波与酶法改性工艺的优化[J]. *粮食与油脂*, 2017, 30(7): 60-64.
ZHU J Q, LI S F, YU L, et al. Optimization of alkaline extraction of rice bran protein combined with microwave and enzyme modification process[J]. *Cereals & Oils*, 2017, 30(7): 60-64.

[54] 刘加艳, 任宇鹏. 米糠蛋白的静高压联合酶法改性工艺优化及其特性研究[J]. *中国油脂*, 2021, 46(7): 75-79, 91.
LIU J Y, REN Y P. Optimization of static high pressure combined enzymatic modification of rice bran protein and its characteristics [J]. *China Oils and Fats*, 2021, 46(7): 75-79, 91.

[55] 于殿宇, 李丹, 李婷婷, 等. 一种通过电解及糖醇化合物改性米糠蛋白功能性质的方法: CN201910869564.1[P]. 2019-11-19.
YU D Y, LI D, LI T T, et al. A method for modifying the functional properties of rice bran protein through electrolysis and sugar alcohol compounds: CN201910869564.1[P]. 2019-11-19.

信息窗

希腊拟制订啤酒和啤酒饮料法规

2024 年 1 月 16 日, 希腊发布 2024/0020/GR 号公告, 拟制订啤酒和啤酒饮料法规, 意见反馈期截至 2024 年 4 月 17 日。主要内容:

(1) 定义。

(2) 使用的原料、添加剂、酶和调味剂等。允许使用: 大麦或其他谷物的麦芽、淀粉类物质或其提取物、含糖物质、啤酒花及其提取物、酿造酵母和细菌培养物; (EC)1333/2008 法规附件 II 规定添加剂。

(3) 啤酒厂及特种啤酒生产许可证签发规定; 啤酒

生产企业的义务和权利等。

(4) 生产和进口啤酒的官方控制要求。现场定期和临时检查(生产条件、可追溯性、卫生和安全等)、抽样检测等。

(5) 过渡期规定。该规定自生效之日起给予相关企业 6 个月的过渡期; 过渡期内生产的啤酒及饮料可以继续销售, 直至保质期销售完毕。

(来源: <http://news.foodmate.net>)