DOI:10.12441/spyswjs.20250117001 [文章编号] 1673-1689(2025)03-0022-11

油料基饼粕中蛋白质资源挖掘及其在食品中的应用

王欣怡[1,2,3] 杜 薇[1] 马友水[4] 于 鲲[1,2,3] 杨丽萍[1,2,3] 侯志刚[1,2,3] 赵金龙[1,2,3]
吴晓伟[1,2,3] 李培燕[1,2,3*]

(1. 安徽科技学院食品科学与工程学院,安徽 滁州 239001; 2. 安徽科技学院全谷物营养与高值化利用联合共建学科重点实验室,安徽 滁州 239001; 3. 安徽科技学院功能农业与功能食品安徽省重点实验室,安徽 滁州 239001; 4. 安徽省凤阳县御膳油脂有限公司,安徽 凤阳 233100)

摘要:油料基饼粕作为榨油后宝贵的副产物,在我国年产量巨大,是优质的植物蛋白来源。然而,传统提取饼粕蛋白的方法存在提取时间长、有机溶剂消耗量大、提取率低等问题,严重限制了其在食品领域中的应用。因此,探索高效、快捷且安全的蛋白质提取方法,充分挖掘饼粕中的蛋白质资源,成为当前的主要任务。作者综述了油料基饼粕中蛋白质的提取方法、功能特性及其在食品中的应用,旨在为粮油加工副产物的高值化开发与利用提供理论支撑和实践指导。

关键词:油料;饼粕;蛋白质提取;功能特性;食品应用

Exploration and Food Applications of Protein Resources in Oilseed-based Cake Meal

WANG Xinyi[1,2,3] *DU Wei*[1] *MA Youshui*[4] *YU Kun*[1,2,3] *YANG Liping*[1,2,3] *HOU Zhigang*[1,2,3]
ZHAO Jinlong[1,2,3] *WU Xiaowei*[1,2,3] *LI Peiyan*[1,2,3*]

(1. College of Food Science and Engineering, Anhui Science and Technology University, Chuzhou 239001, China; 2. Associated Discipline Key Laboratory of Whole Nutrition and High-value Utilization, Anhui Science and Technology University, Chuzhou 239001, China; 3. Anhui Provincial Key Laboratory of Functional Agriculture and Functional Foods, Anhui Science and Technology University, Chuzhou 239001, China; 4. Anhui Fengyang Country Yushan Oil and Fat Co., Ltd., Fengyang 233100, China)

Abstract: As a valuable by-product after oil extraction, oilseed-based cake meal has a huge annual output in China and is a high-quality source of plant protein. However, conventional methods for extracting protein from cake meal often have problems such as long extraction time, high consumption of organic solvents, and low extraction rates, which greatly limit the application of such protein in the food industry. Therefore, developing efficient, rapid, and safe protein extraction methods and fully exploiting the protein resources in cake meal are the main tasks at present. The author reviews the extraction methods, functional properties, and food applications of the protein in oilseed-based cake meal, aiming to provide theoretical support and practical guidance for the high-value development and utilization of by-products in the grain and oil processing industry.

Keywords: oilseeds; cake meal; protein extraction; functional properties; food applications

我国油料作物资源十分丰富,大豆、花生、油菜籽、葵花籽、芝麻和棉籽等是制备食用植物油的主要原料。榨油后的饼粕富含蛋白质、纤维素、维生素、矿物质以及木质素类物质等营养成分,其中

基金项目:安徽省人社厅安科吴晓伟省级技能大师建设项目(811526);安徽省教科文卫体工会吴晓伟劳模创新工作室项目;凤阳县科技计划项目(2023CYL07);安徽科技学院绿色食品徽菜现代产业学院项目(822260);安徽科技学院引进人才项目(SPYJ202106);2023 年省级大学生创新创业训练计划项目(S202310879231)。

通信作者:李培燕(1990—),女,博士,讲师,主要从事粮油精深加工及副产物综合利用研究。E-mail:lipy@ahstu.edu.cn

收稿日期:2025-01-17 **修回日期:**2025-02-28

大部分饼粕中的蛋白质质量分数超过29%[1]。尽管饼粕营养物质丰富，但目前仅有少部分用于动物饲料和肥料生产，大部分被直接废弃，造成了资源的浪费[2]。随着“大食物观”提出“向植物、动物和微生物要能量、要蛋白质，全方位多途径开发食物资源”这一理念，油料基饼粕资源的开发利用展现出巨大潜力[3]。相关研究表明，油料基饼粕是宝贵的可再生原料，对推动循环经济模式向零废弃目标转型具有重要意义[4]。

合理利用加工副产物实现无废料生产已成为当前食品工业的重要课题。研究油料基饼粕中有益成分的提取及其在食品中的高值化利用，是实现“粮头食尾”的重要途径。韩竹涛[5]采用碱性蛋白酶提取高温豆粕中的蛋白质，在最佳条件下提取率达70.03%，但该方法存在酶成本高、pH调控困难等问题。Ahlström等[6]采用碱溶酸沉法提取冷榨菜籽粕中的蛋白质，最终提取率为52%，但该方法需要大量的酸碱溶液，不仅会对环境造成严重污染，还会破坏蛋白质结构。目前，这些技术虽广泛应用于饼粕蛋白的提取研究，但多数仅适用于实验室场景，在商业化应用中仍存在诸多挑战。尽管面临挑战，但饼粕蛋白作为一种潜在的食品原料，其独特的营养价值和功能性正日益受到关注。马治良等[7]研究发现，花生粕中的蛋白质富含精氨酸、谷氨酸等鲜味氨基酸，为开发增味剂提供了原料基础。吴兴雨等[8]以冷榨亚麻籽粕为原料，通过酶制剂提取亚麻籽蛋白，并成功研发出亚麻蛋白冰淇淋。然而，饼粕中存在的抗营养因子（如硫代葡萄糖苷、植酸等）[9]限制了其在食品领域中的应用。未来研究需聚焦于去除或降低这些抗营养因子的方法，同时最大限度保留蛋白质的营养与功能特性，从而推动饼粕蛋白在食品工业中的规模化应用。

作者从饼粕中蛋白质的提取方法、油料基饼粕蛋白的功能特性及其在食品中的应用3个方面，综述了油料基饼粕的最新研究进展，旨在为实现油料基饼粕的高值化利用提供理论依据和实践参考。

1 饼粕中蛋白质的提取方法

油脂生产过程中会产生大量的饼粕副产物。我国食用油行业长期聚焦于压榨工艺的优化改进，却忽视了饼粕资源的深度开发利用，导致大量植物蛋白资源被浪费。当前，全球蛋白质资源供需矛盾日益突出，因此学术界对饼粕中蛋白质的开发利用展开了广泛研究。饼粕蛋白的提取方法多样，主要包括传统的碱溶酸沉法、耦合物理技术（如超声波、微波或蒸汽闪爆）辅助碱溶酸沉法及酶解提取法等。这些提取方法各有优缺点：碱溶酸沉法具有处理量大、工艺简单、生产成本低的优点[10]，但存在提取后蛋白质色泽加深、酸碱试剂使用量大等问题[11]；超声波辅助提取法具有效率高、耗时短和成本低的优点[12]，但存在能耗高的缺点；蒸汽闪爆提取法具有能耗低的优点[13]，但存在成本较高、反应条件苛刻、难以实现工业化应用的缺点[14]；酶解提取法虽然具有提取周期短、无环境污染的优点，但存在成本高的缺点[15]。由于不同提取方法的技术特性差异显著，使得饼粕蛋白的提取率也呈现明显不同，见表1。

在油料作物加工中，提高蛋白质提取率和纯度至关重要，而影响饼粕蛋白提取率的因素较多。原料特性是关键影响因素之一，不同油料作物（如大豆、花生、油菜籽等）的蛋白质含量、氨基酸组成与结构各不相同。大豆富含必需氨基酸且结构复杂[42]，花生蛋白的氨基酸比例独特，这些差异直接影响后续加工中蛋白质的溶解与分离效率，进而对提取率产生影响。此外，原料中的抗营养因子（如大豆中的胰蛋白酶抑制剂等）会干扰蛋白质提取与利用，进一步增加了提取难度[43]。加工处理方式也会显著影响饼粕蛋白的提取率。如压榨法提油温度超过100 ℃会破坏蛋白质的二、三、四级结构，导致蛋白质变性，进而影响其溶解性与分离提取效率[44]。在有机溶剂浸出法中，溶剂渗入蛋白质分子内部，改变其微环境并破坏蛋白质的溶解性及分子间作用力，会引发蛋白质变性并降低提取率[45]。提高蛋白质提取率的核心原理是利用蛋白质在不同环境下的溶解特性差异实现高效分离。如蛋白质在等电点时溶解度最低，通过调节pH至等电点可促使蛋白质沉淀析出，从而提高蛋白质提取率[46]。综上，影响油料作物饼粕蛋白提取率的因素包括原料特性和加工处理方式。在实际应用中，需综合考虑原料特性、成本控制、环保要求及

表 1 不同油料基饼粕中蛋白质的提取方法

Table 1 Extraction methods of protein from cake meal produced from different oilseeds

提取方法	植物蛋白来源	提取条件	蛋白质提取率/%	参考文献
碱溶酸沉法	花椒种子	提取温度 40 ℃，提取时间 40 min，料液比 1 g∶20 mL，pH 10	33.40	[16]
	油菜籽	料液比 1 g∶10 mL，pH 9.0 的碱萃取和 pH 4.5 的酸沉淀	65.08	[17]
	葵花籽	料液比 1 g∶20 mL，温度 45 ℃，时间 30 min，提取液 pH 12	61.04	[18]
蒸汽闪爆结合碱溶酸沉法	花生	温度 60 ℃，pH 9.5，料水比 1 g∶12 mL，浸提时间 2 h	52.60	[19]
蒸汽闪爆辅助碱提取	大豆	料液比 1 g∶10 mL，提取时间 40 min，提取温度 60 ℃，提取液 pH 8.0~8.5	65.70	[20]
碱性电解水提取	芝麻	料液比 1 g∶10 mL，使用 1 mol/L 的 NaOH 将芝麻粕和水混合物的 pH 调至 12		[21]
	菜籽	温度 45 ℃，碱性电解水 pH 11.5，料液比 1 g∶10 mL，提取时间 60 min	59.34	[22]
超声波辅助碱法提取	棉籽	温度 45 ℃，超声功率 300 W，提取时间 18 min，NaOH 质量浓度 4 g/L	65.87	[23]
	芝麻	温度 70 ℃，功率 200 W，时间 1.2 h，pH 10	60.12	[24]
	核桃	体积比功率 120 W/L，超声时间 30 min，超声温度 55 ℃，料液比 1 g∶25 mL，pH 9	71.00	[25]
	油菜籽	超声功率 451 W，超声时间 84 min，超声温度 35 ℃，料液比 1 g∶24 mL，pH 11.5	71.33	[26]
	棉籽	pH 11.0，料液比 1 g∶20 mL，时间 20 min，温度 45 ℃，功率 600 W	87.64	[27]
超声波辅助碱溶酸沉法	葵花籽	体积比功率 220 W/L，温度 45 ℃，提取时间 15 min，1 mol/L NaOH（pH 8.0），1 mol/L HCl（pH 4.5）	54.26	[28]
	花生	料液比 1 g∶10 mL，超声间隙时间 2 s，超声工作时间 2 s，超声总时间 35 min，NaOH 溶液（pH 10），0.1 mol/L HCl（pH 4.41）	50.37	[29]
	菜籽	料液比 1 g∶50 mL，pH 12.5，温度 35 ℃，时间 30 min，提取 1 次	76.57	[30]
酶辅助碱法	油菜籽	质量分数为 1.25%~1.50% 的高蛋白酶 2.4 L，在 50 ℃下培养 3 h	>60	[31]
	山核桃	pH 10.0，碱性蛋白酶添加量 1 000 U/g，料液比 1 g∶16 mL，提取时间 1.5 h，提取温度 60 ℃	84.80	[32]
	香榧饼粕	添加木聚糖酶的质量分数为 1.30%，酶解温度 49 ℃，pH 5.1，酶解时间 2.5 h，碱提取时间 1 h	76.13	[33]
酶辅助水溶液提取	葵花籽	酶（Protex 7L、Protex 40E、Protex 6L、Protex 51FP），温度 37.5 ℃，时间 60 min，酶与底物的质量比为 0.2∶100	92.85	[34]
	葵花籽	料液比为 1 g∶10 mL，pH 6.5，离心 15 min	90	[35]
酶辅助反胶团法	核桃	pH 2~12，NaCl 浓度 0.1~1.0 mol/L	67.29	[36]
深共晶溶剂（deep eutectic solvents，DES）提取法	芝麻	DES 400 g，首先于 4 500 r/min 离心 10 min，再于 4 500 r/min 离心 3 次洗涤沉淀以除去盐；按 1 g∶50 mL 比例加入无水乙醇	93.30	[37]
	菜籽粕	6 g 菜籽粕与 60 g 溶剂混合，60 ℃、1 000 r/min 搅拌 2 h，1 h 后超声波（45 kHz，60 ℃，15 min）后搅拌 1 h，悬浮液在室温下放置过夜；混合物于 20 ℃、9 000 r/min 离心 10 min；收集上清液与乙醇混合，并在−4 ℃下贮存过夜以促进沉淀		[38]
	油菜籽	生物质与 DES 的质量比为 1∶9，于 3 500 r/min 离心 10 min	>40	[39]
微波辅助碱法	花生	料液比 1 g∶10 mL，pH 10，功率 480 W，提取时间 4 min	85.43	[40]
	大豆	料液比 1 g∶10 mL，功率 725 W，提取时间 8 min	52.85	[41]

产品应用需求，选择最优提取方法，以实现油料作物蛋白质的高效、绿色、经济提取。

2 饼粕蛋白的功能特性

蛋白质是一种重要的营养物质，具有多种功能特性。所谓功能特性，是指蛋白质在提取、制备、加工及贮存过程中表现出的理化性质，包括溶解性、吸水性、保水性、乳化性、吸油性、黏度、胶凝性和起泡性等。不同种类饼粕（核桃粕、花生粕、葵花籽粕、芝麻粕、油菜籽粕及棉籽粕等）蛋白在不同 pH 条件下的溶解性、持水性、起泡性和乳化性等功能特性的变化情况见表 2。

3 油料基饼粕蛋白在食品中的应用

油料基饼粕富含蛋白质，高效利用其中的蛋白质成分是实现其高附加值利用的关键。饼粕蛋

表2　不同种类饼粕蛋白的功能特性

Table 2　Functional properties of different types of cake meal proteins

功能特性	饼粕原料	理化性质	参考文献
溶解性	核桃粕	在pH 5(等电点附近)左右，蛋白质的正负电荷相等，净电荷为零，分子间斥力最小，容易发生凝聚沉淀，溶解度最低；当pH低于或高于等电点时，蛋白质氨基酸残基分别带正电荷或负电荷，分子间斥力增强，与水分子结合能力提高，溶解度增大	[47]
	花生粕	溶解度随pH升高先降低，达到等电点后再升高；因静电斥力减弱有助于蛋白质聚集体形成，高密度和大直径的聚集体会导致蛋白质沉淀	[48]
	葵花籽粕	蛋白质表面疏水区域越少，溶解性越好；溶液pH、温度、离子强度和有机试剂等外在因素也会影响溶解性；蛋白质变性改变疏水基团与亲水基团的比例，从而影响溶解性，盐溶效应和盐析效应同样对溶解性有重要作用	[49]
	芝麻粕	在pH为4.5时，芝麻蛋白溶解度最低，沉淀最多；在pH为4.5~11.0时，溶解度随pH升高而增加	[50]
持水性	核桃粕	强酸强碱会使核桃蛋白变性，暴露更多疏水位点，降低其保水性	[51]
	花生粕	在pH为4.5时，持水性最小；随着温度的升高持水性不断下降	[52]
	葵花籽粕	在pH为11.0时，水结合能力最强，在pH为5.0时，水结合能力最弱	[53]
起泡性	核桃粕	核桃蛋白的发泡性受pH影响，在碱性条件下发泡性能提升，这是由于可溶性蛋白的溶解度和表面活性增强	[54]
	葵花籽粕	在pH为3.0~5.0时，有较好的扩散性，在pH为7.0~9.0时，泡沫稳定性较高	[55]
	油菜籽粕	在pH为7时，蛋白质起泡性最高，但稳定性最低；其发泡性能受分子大小、多酚、植酸和热处理的影响	[56]
乳化性	花生粕	脂肪酶水解花生蛋白产生的水解物能形成稳定乳状液，乳化活性指数随水解程度增加而显著提高，但水解程度过高(10%~40%)时，乳化活性和乳液稳定性均会下降	[57]
	棉籽粕	乳化活性指数随超声波功率增加而提升，乳化活性与溶解度紧密相关，溶解度下降会导致乳化活性降低	[58]
	油菜籽粕	在pH为5.0和7.0时，乳化活性指数随盐含量增加而下降；无盐条件下，乳液稳定性最高，稳定时间为16.0~16.8 min	[59]

白可进行多元化再利用：1)作为营养强化剂与膳食补充剂；2)用作功能性食品配料；3)作为食品、非食品与保健产品的开发原料[60]。此外，饼粕蛋白具有多种功能特性(如持水性、乳化性、起泡性和溶解性等)，进一步拓宽了其在食品领域中的应用范围。目前，已有大量的研究尝试将油料基饼粕蛋白用于食品添加剂、配料、营养补充剂及植物蛋白肉、烘焙食品及面制品、休闲零食以及乳制品等领域，见图1。



图1　油料基饼粕蛋白在食品中的应用

Fig. 1　Food applications of protein from oilseed-based cake meal

3.1　饼粕蛋白作为食品添加剂在食品中的应用

饼粕蛋白可作为食品添加剂应用于食品领域。Fatkhullaev等[61]研发了一款大豆蛋白添加剂，在肉制品中使用可提高蛋白质含量，并显著改善凝胶性能。Chen等[62]采用脱脂核桃粕提取核桃蛋白并优化其抗氧化肽的制备工艺，发现核桃蛋白抗氧化肽可作为新型天然抗氧化剂，也可作为潜在的功能性食品添加剂应用于食品领域。Kumar等[63]发现从棉籽中分离出的蛋白质可作为食品工业的配料及营养补充剂。目前，饼粕蛋白已被开发为品质改良剂、天然抗氧化剂和营养补充剂等食品添加剂，后续可进一步挖掘其功能特性，开发兼具天然、安全与多功能性质的食品添加剂。

3.2　饼粕蛋白在乳制品中的应用

不同饼粕蛋白因具有多种功能特性，可用于乳制品生产。其对乳制品质构的影响主要通过以下3种机制：1)在乳制品加工或发酵过程中，油料基饼粕蛋白会通过氢键、疏水相互作用和离子桥与乳蛋白相互作用，形成紧密的复合网络结构，从而提升乳制品的硬度、黏性等质构特性；2)随着油料基饼粕蛋白替代量的变化，乳制品中蛋白质的二级结构发生改变，影响分子间相互作用，进而对

质构产生影响；3）油料基饼粕蛋白的相对分子质量和浓度会影响凝胶的形成：当浓度较高时形成致密凝胶，过量时会取代酪蛋白的主导地位，凭借自身结构锁住更多水分，最终改变产品的质构和稳定性[64]。脱脂芝麻蛋白粉可制成营养奶粉，经乳酸菌发酵开发芝麻酸奶；另外，将其加入冰激凌中，不仅能强化蛋白质的乳化性，还能提升乳制品的质构品质与营养价值，丰富消费者饮食体验，实现营养与口感的双重提升[65]。曾波[66]研发了以大豆蛋白和椰浆为主要原料，核桃蛋白、燕麦蛋白、巴旦木蛋白为辅料的复合发酵植物酸奶，该产品口感顺滑、黏稠度高、风味宜人。Xie 等[67]以大豆和羽扇豆为原料研发植物奶酪，通过芽孢杆菌和乳酸菌增强蛋白质水解度，释放谷氨酸并积累 γ-谷氨酰二肽等风味活性物质，改善了植物奶酪的口感与风味。梁海燕[68]以花生蛋白、青枣和纯牛奶为原料开发了一款具有抗氧化活性的酸奶。王鹤霖等[69]对以葵花籽蛋白为主要原料的酸奶进行研究，结果表明，该蛋白质可作为天然食品添加剂，在降低生产成本的同时提高了酸奶的稳定性。吴俊霞等[70]研发了一款以枸杞与大豆分离蛋白为主要原料的植物基酸奶，发现该酸奶具有稳定的凝胶结构，且功能特性优于脱脂动物基酸奶。当前饼粕蛋白在流体食品中的应用已取得一定的进展，但在功能机制、营养健康评价、生产工艺优化及市场接受度等方面的研究仍不深入。未来需深化理论基础研究、加强营养健康评价、优化生产工艺、丰富产品种类，并推动跨学科合作，以促进其在流体食品领域的创新发展，满足市场需求。

3.3 饼粕蛋白在饮品中的应用

蛋白质对饮品品质的影响显著，主要体现在口感、稳定性和营养价值等方面。蛋白质的添加不仅能使乳饮料的口感更加顺滑、醇厚，还能提升产品的营养价值；同时，其功能特性有助于形成稳定均匀的乳状液，从而提升产品的整体品质[71]。根据溶解性、持水性和乳化性等特点，可探究不同种类的饼粕蛋白在不同饮品中的适用性。宋旸等[72]研发了一款以香蕉汁和大豆分离蛋白为主要原料的饮品，结果显示该产品香甜可口、口感丝滑且营养丰富。刘瑞芳等[73]以脱脂核桃粕为原料，经磨浆制成核桃蛋白乳液后，再通过乳酸菌发酵制备核桃蛋白发酵乳，研究表明该产品营养丰富且易消化吸收。

3.4 饼粕蛋白在烘焙食品中的应用

利用饼粕蛋白的发泡性，可将其用于烘焙食品的开发。Zhou 等[74]研究了大豆蛋白和乳清蛋白对小麦粉流变特性及面包质量的影响，发现制作蛋白质强化烘焙产品时，选择具有合适功能特性和添加量的蛋白质对确保烘焙产品的特定功效并满足消费者需求至关重要。Monfared 等[75]研发了一款无麸质烘焙产品，通过添加芝麻分离蛋白和转谷氨酰胺酶，有效提升了产品品质，该方法可用于生产高品质无麸质蛋糕和面糊。谢晋等[76]用大豆分离蛋白替代部分鸡蛋清制作蛋糕，发现添加大豆分离蛋白可增加蛋糕的柔软度，使其口感更绵软。

3.5 饼粕蛋白在植物蛋白肉制品中的应用

植物蛋白肉作为创新食品，能有效缓解肉类短缺、减轻环境负担，是可持续发展的重要选择[77]。不同饼粕蛋白具有各自独特的风味、持油性和乳化性等，可用于开发植物蛋白肉。周娜等[78]利用高湿挤压技术制作大豆组织蛋白基素肉（人造鸭肉基料），发现该素肉口感良好、品质较佳。王彦丽等[79]以大豆蛋白和谷朊粉为原料、以辣椒为辅料研发了高水分植物蛋白肉，发现添加质量分数为 7% 的辣椒时，产品口感最佳。

3.6 饼粕蛋白在休闲零食中的应用

饼粕蛋白是一种互补性良好的优质蛋白质，是开发休闲零食的优质配料。李颖[80]研发了一款以花生蛋白粉、淀粉、白砂糖为原料的新型高蛋白质休闲零食，证实通过零食载体补充蛋白质是一种有效的途径。Lobato 等[81]研发了一款富含异黄酮和大豆蛋白的谷物棒，研究表明该产品可用于控制血脂异常。Huang 等[82]通过低水分挤出技术将大豆蛋白与胡萝卜渣、米粉和花椰菜边角料混合，制成高蛋白质、高纤维的零食，其蛋白质质量分数为 10.20%、纤维质量分数为 0.85%，消费者接受度高达 76%。Kahlon 等[83]以高粱、花生粉、秋

葵、墨西哥辣椒、姜黄、姜根为原料研发了高蛋白质无麸质零食，消费者感官评估显示其可接受性达88%。

3.7 饼粕蛋白在面制品中的应用

利用饼粕蛋白的溶解性和持水性等特性，可将其应用于面制品的开发。李颖[84]在馒头中加入花生蛋白粉作为营养剂，不仅改善了馒头的质量，还提高了消费者的蛋白质摄入量。Rachman等[85]在香蕉和木薯粉混合物中加入蛋清蛋白和大豆蛋白，研制出一款无麸质面食。邵娟娟等[86]分析了添加大豆分离蛋白的面条、面包、馒头等面制品的食用品质，发现添加大豆分离蛋白不仅能提高产品的蛋白质含量，还能改善产品的食用品质、面筋强度、流变学特性和营养价值。Li等[87]研究发现，水解大豆蛋白具有改善馒头品质的潜力。

综上所述，油料基饼粕蛋白在食品工业中展现出多元应用潜力[88]。作为食品添加剂，饼粕蛋白能提升食品的营养与口感，满足健康与美味的双重需求；在乳制品中，其植物蛋白特性使其成为乳糖不耐受者的理想选择；在饮品中，饼粕蛋白的加入既丰富了营养，又增强了产品的稳定性与口感；在烘焙领域，可改善面包质构并延长保鲜期；在植物蛋白肉方面，凭借其高度可塑性，饼粕蛋白可使产品质感接近传统肉类，契合素食及健康饮食的需求；在休闲零食与面制品中，饼粕蛋白可赋予产品高蛋白质、低脂肪特性，符合现代健康理念，且经合理加工后能进一步提升产品质构与口感。

随着全球食品行业对可持续、高营养原料的需求持续攀升，从油料基饼粕中提取蛋白质可将油料加工剩余物转化为高价值原料，不仅契合降本增效的需求，还能满足消费者对营养强化的追求。相关研究有望在解决行业资源浪费问题的同时，提升产品的营养品质[89]。在应用拓展方面，可围绕特殊人群营养需求和食品品质提升开展相关研究。针对老年人、运动员等特殊人群，设计含特定氨基酸组成、具有抗氧化和免疫调节功能的饼粕蛋白营养补充剂；利用饼粕蛋白的凝胶特性开发新型低脂肉制品，改善产品质地、口感并降低成本。通过深化上述研究，可推动油料基饼粕蛋白在食品领域的创新应用，助力食品产业的可持续发展。

4 展望

作者全面总结了饼粕中蛋白质的提取方法并详细分析了饼粕蛋白的功能特性及其在食品领域的潜在应用前景。当前在油料基饼粕蛋白的提取过程中普遍存在提取率低和纯化工艺复杂的问题。目前，碱溶酸沉法和超声波辅助法已广泛应用于油料基饼粕蛋白提取，而反胶束法、超临界CO_2流体萃取法、亚临界流体萃取法等新技术也在不断优化和研究中。因此，急需探索经济、高效且环保的方法，以实现从大量饼粕中高效提取和纯化蛋白质的目标。未来研究应结合多种加工工艺，开发兼具高出油率与高蛋白质保留率的综合技术，以提升饼粕蛋白的提取效率和应用价值。

饼粕蛋白应用潜力巨大，但当前利用程度有限，后续需加强其在食品中的应用研究，并推动实验室成果向工业化生产转化，以实现资源的最大化利用。此举不仅能使饼粕资源变废为宝、创造经济价值，还可助农增收、驱动产业链发展，契合“大食物观”策略。同时，研究者需深入探究饼粕蛋白的分子结构，明晰其性能特点，为未来应用奠定坚实的理论基础。

参考文献

[1] 姜夏雨，彭馨，刘金徽，等. 水禽非常规饲料原料的应用现状[J]. 动物营养学报，2023，35(7)：4159-4171.
JIANG X Y，PENG X，LIU J H，et al. Application status of unconventional feed ingredients of waterfowls [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition，2023，35(7)：4159-4171.(in Chinese)

[2] 王晓彤，杨波，杨光，等. 热处理对亚麻籽粕关键品质及营养组分的影响[J]. 食品与生物技术学报，2023，42(7)：95-103.
WANG X T，YANG B，YANG G，et al. Effects of heat treatment on key quality and nutritional components of flaxseed meal [J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2023，42(7)：95-103.(in Chinese)

[3] 侯姣靓，宋佳慧，章旋，等. 6种植物蛋白粉的冲泡特性与感官特性比较[J]. 食品与生物技术学报，2024，43(5)：64-71.

HOU J L, SONG J H, ZHANG X, et al. Comparison of brewing and sensory characteristics of six plant protein powders[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2024, 43(5): 64-71. (in Chinese)

[4] ZHAO T, YING P F, ZHANG Y H, et al. Research advances in the high-value utilization of peanut meal resources and its hydrolysates: a review[J]. Molecules, 2023, 28(19): 6862.

[5] 韩竹涛. 物理方法辅助酶法提取高温豆粕蛋白及对其特性的影响[D]. 长春: 吉林大学, 2023.

[6] AHLSTRÖM C, THUVANDER J, RAYNER M, et al. The effect of precipitation pH on protein recovery yield and emulsifying properties in the extraction of protein from cold-pressed rapeseed press cake[J]. Molecules, 2022, 27(9): 2957.

[7] 马治良, 徐同城, 刘丽娜, 等. 热榨花生粕中花生蛋白研究进展[J]. 中国食物与营养, 2014, 20(3): 31-33.
MA Z L, XU T C, LIU L N, et al. Research progress of peanut protein in hot pressed peanut meal[J]. Food and Nutrition in China, 2014, 20(3): 31-33. (in Chinese)

[8] 吴兴雨, 李新昊, 姚玥, 等. 亚麻蛋白冰淇淋品质影响因素及评价[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(5): 150-155.
WU X Y, LI X H, YAO Y, et al. Factors influencing the quality of flaxseed albumin ice cream and its evaluation [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2020, 28(5): 150-155. (in Chinese)

[9] 蒋舒婷, 贺颖, 仇丹, 等. 双低油菜籽分离蛋白提取方法对其功能性的影响[J]. 中国食品学报, 2023, 23(9): 140-148.
JIANG S T, HE Y, QIU D, et al. Effect of extraction methods on functional properties of canola protein isolate [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(9): 140-148. (in Chinese)

[10] 刘楚岑, 裴小芳, 周文化, 等. 油茶饼粕中主要成分及其综合利用研究进展[J], 食品与机械, 2020, 36(7): 227-232.
LIU C C, F X F, ZHOU W H, et al. Research progress on the main components and comprehensive utilization of Camellia oleifera cake. Food & Machinery, 2020, 36(7): 227-232. (in Chinese)

[11] 张可可, 胡楠, 李会珍, 等. 植物蛋白泡沫分离技术研究现状[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(24): 278-283.
ZHANG K K, HU N, LI H Z, et al. Advances in foam fractionation technology of plant protein[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(24): 278-283. (in Chinese)

[12] 张婧倩, 龙肇, 梁安源, 等. 超声预处理对米渣蛋白酶解特性的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(11): 138-143, 222.
ZHANG J Q, LONG Z, LIANG A Y, et al. Effect of ultrasonic pretreatment on the enzymatic hydrolysis characteristics of rice residue protein[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(11): 138-143, 222. (in Chinese)

[13] ZHANG Y P, YANG R J, ZHAO W, et al. Application of high density steam flash-explosion in protein extraction of soybean meal[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(2): 430-435.

[14] WANG C R, LIN M F, YANG Q Y, et al. The principle of steam explosion technology and its application in food processing by-products[J]. Foods, 2023, 12(17): 3307.

[15] 萨如拉, 文静, 于田田, 等. 超声波辅助酶法提取燕麦麸皮蛋白质的工艺研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2021, 37(1): 17-20.
SA R L, WEN J, YU T T, et al. Ultrasonic assisted enzymatic extraction of oat bran protein[J]. Journal of Chifeng University (Natural Science Edition), 2021, 37 (1): 17-20. (in Chinese)

[16] LUO Q Y, LI X M, ZHANG Z Q, et al. Extraction of *Zanthoxylum* seed protein and identification of its simulated digestion products[J]. LWT-Journal of Food Science and Technology, 2022, 161: 113412.

[17] ZHANG Z Y, HE S D, LIU H Y, et al. Effect of pH regulation on the components and functional properties of proteins isolated from cold-pressed rapeseed meal through alkaline extraction and acid precipitation [J]. Food Chemistry, 2020, 327: 126998.

[18] 张艳艳, 王冰蕊, 张少可, 等. 超声波对花生粕蛋白功能特性及结构特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2019, 34 (8): 48-53.
ZHANG Y Y, WANG B R, ZHANG S K, et al. Effect of ultrasonic on the functional and structural characteristics of peanut meal protein [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34 (8): 48-53. (in Chinese)

[19] 章玉清, 杨瑞金, 张文斌, 等. 蒸汽闪爆结合碱溶酸沉法提取高温花生粕中的蛋白质[J]. 食品工业科技, 2013, 34(14): 278-282, 286.
ZHANG Y Q, YANG R J, ZHANG W B, et al. Extraction of protein from high-temperature peanut meal using combination process with steam flash-explosion, alkaline-extraction and acid-precipitation [J]. Science

and Technology of Food Industry，2013，34（14）：278-282，286.（in Chinese）

[20] 张燕鹏. 蒸汽闪爆辅助提取高温豆粕中蛋白质的工艺及其机制研究[D]. 无锡：江南大学，2013.

[21] KOYSUREN B，OZTOP M H，MAZI B G. Sesame seed as an alternative plant protein source：a comprehensive physicochemical characterisation study for alkaline，salt and enzyme-assisted extracted samples[J]. International Journal of Food Science and Technology，2021，56（11）：5471-5484.

[22] 杨万富，黄桃翠，刘和平，等. 冷榨菜籽蛋白的碱性电解水提取工艺及其结构性能表征[J]. 农业工程学报，2021，37（23）：288-295.
YANG W F，HUANG T C，LIU H P，et al. Alkaline electrolyzed water extraction of rapeseed protein from cold rapeseed meal，and its structural characteristics functional properties[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2021，37（23）：288-295.（in Chinese）

[23] DABBOUR M，HAMODA A，MINTAH B K，et al. Ultrasonic-aided extraction and degossypolization of cottonseed meal protein：optimization and characterization of functional traits and molecular structure[J]. Industrial Crops and Products，2023，204：117261.

[24] 朱旻鹏，谢玉国，田将，等. 超声波辅助碱液提取芝麻饼粕蛋白工艺的研究[J]. 粮油加工，2007（8）：83-86.
ZHU M P，XIE Y G，TIAN J，et al. Study on extraction of protein from sesame cake by ultrasonic-aqueous alkali method[J]. Cereals and Oils Processing，2007（8）：83-86.（in Chinese）

[25] 邸红艳，马海乐，王洋，等. 超声辅助提取核桃粕蛋白的工艺研究[J]. 现代食品科技，2019，35（7）：164-172.
DI H Y，MA H L，WANG Y，et al. Ultrasound-assisted extraction of the proteins from walnut meal[J]. Modern Food Science and Technology，2019，35（7）：164-172.（in Chinese）

[26] DONG X Y，GUO L L，WEI F，et al. Some characteristics and functional properties of rapeseed protein prepared by ultrasonication，ultrafiltration and isoelectric precipitation[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture，2011，91（8）：1488-1498.

[27] 马梦婷，王艺静，王青林，等. 超声波辅助碱法提取棉籽蛋白工艺条件的优化[J]. 食品工业，2017，38（8）：66-71.
MA M T，WANG Y J，WANG Q L，et al. Optimization of ultrasonic-assisted alkaline extraction technology on cottonseed protein[J]. The Food Industry，2017，38（8）：66-71.（in Chinese）

[28] DABBOUR M，HE R H，MA H L，et al. Optimization of ultrasound assisted extraction of protein from sunflower meal and its physicochemical and functional properties[J]. Journal of Food Process Engineering，2018，41（5）：e12799.

[29] 王芳，陈晓燕. 超声波辅助花生蛋白提取工艺研究[J]. 化工设计通讯，2017，43（12）：133-134.
WANG F，CHEN X Y. Study on ultrasonic assisted extraction of peanut protein[J]. Chemical Engineering Design Communications，2017，43（12）：133-134.（in Chinese）

[30] 党斌，杨希娟，孙小凤. 碱提和超声波辅助提取菜籽蛋白比较研究[J]. 中国油脂，2012，37（3）：22-26.
DANG B，YANG X J，SUN X F. Comparison of extracting rapeseed protein by alkaline solution and ultrasonic-assisted method[J]. China Oils and Fats，2012，37（3）：22-26.（in Chinese）

[31] BAKER P W，CHARLTON A. A comparison in protein extraction from four major crop residues in Europe using chemical and enzymatic processes：a review[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies，2020，59：102239.

[32] 郭宜，汪卿卿，吴峰华，等. 山核桃饼粕蛋白的酶辅助碱法提取工艺优化[J]. 粮食与油脂，2023，36（5）：129-134.
GUO Y，WANG Q Q，WU F H，et al. Optimization of enzyme assisted alkaline extraction process of protein from hickory dregs[J]. Cereals & Oils，2023，36（5）：129-134.（in Chinese）

[33] 廖晖，吴峰华. 响应面法优化酶辅助碱法提取香榧饼粕蛋白工艺研究[J]. 浙江农业科学，2023，64（12）：2960-2965.
LIAO H，WU F H. Optimization of enzyme-assisted alkaline extraction of meal protein from *Torreya grandis* by response surface methodology[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences，2023，64（12）：2960-2965.（in Chinese）

[34] BAURIN D V，BAURINA A V，SHAKIR A V，et al. Optimization of enzyme assisted alkaline extraction of sunflower（*Helianthus annuus* L.）protein for alternative isolate production[J]. Chemical Engineering Transactions，2022，93：175-180.

[35] CAMPBELL K A，VACA-MEDINA G，GLATZ C E，et al. Parameters affecting enzyme-assisted aqueous extraction of extruded sunflower meal[J]. Food Chemistry，2016，208：245-251.

[36] HU H F，FAN T，ZHAO X Y，et al. Influence of pH and salt concentration on functional properties of walnut protein from different extraction methods[J]. Journal of Food Science and Technology，2017，54(9)：2833-2841.

[37] CAO P H，ZHANG C X，MA Y X，et al. Extraction of protein from sesame meal：impact of deep eutectic solvents on protein structure and functionality[J]. LWT-Food Science and Technology，2023，187：115366.

[38] ĐERMANOVIĆ B，MARIĆ A，SAKAČ M，et al. Impact of alkaline and deep eutectic solvent extraction on rapeseed protein isolates characteristics and *in vitro* digestibility [J]. Current Research In Food Science，2025：101075.

[39] GRUDNIEWSKA A，DE MELO E M，CHAN A，et al. Enhanced protein extraction from oilseed cakes using glycerol-choline chloride-deep eutectic solvents：a biorefinery approach[J]. Acs Sustainable Chemistry & Engineering，2018，6(11)：15791-15800.

[40] 孔涛，赵雪淞，刘民，等. 微波辅助碱法提取花生粕蛋白质工艺条件的优化[J]. 食品工业科技，2013，34(16)：255-257，261.
KONG T，ZHAO X S，LIU M，et al. Optimization of microwave-assisted alkaline extraction condition of protein from peanut meal[J]. Science and Technology of Food Industry，2013，34(16)：255-257，261.(in Chinese)

[41] OCHOA-RIVAS A，NAVA-VALDEZ Y，SERNA-SALDÍVAR S O，et al. Microwave and ultrasound to enhance protein extraction from peanut flour under alkaline conditions：effects in yield and functional properties of protein isolates[J]. Food and Bioprocess Technology，2017，10(3)：543-555.

[42] 芮昕，郭欣冉. 大豆致敏原表位与降敏加工：现状与未来[J]. 南京农业大学学报，2025，48(2)：249-262.
RUI X，GUO X R. Allergenic epitope and desensitization processing of soybean：current status and future features [J]. Journal of Nanjing Agricultural University，2025，48(2)：249-262.(in Chinese)

[43] 樊艳平. 绿豆胰蛋白酶抑制剂的提取纯化及抗豆象机理研究[D]. 太原：山西农业大学，2018.

[44] 刘粤龙. 水酶法工艺对花生油品质特性的影响研究[D]. 郑州：河南工业大学，2024.

[45] 王可可. 亚临界丁烷脱脂对燕麦全粉性质及其挂面品质影响[D]. 镇江：江苏大学，2018.

[46] 谢冕，张名位，邓媛元，等. 绿豆蛋白的结构、提取及其在食品中的应用[J]. 现代食品科技，2025，41(4)：97-108.
XIE M，ZHANG M W，DENG Y Y，et al. Structure，extraction methods，and application of mung bean protein [J]. Modern Food Science and Technology，2025，41(4)：97-108.(in Chinese)

[47] 汪正兴. 核桃粕蛋白的提取工艺优化及功能特性[D]. 合肥：安徽农业大学，2017.

[48] BOUKID F. Peanut protein：an underutilised by-product with great potential：a review[J]. International Journal of Food Science & Technology，2022，57(9)：5585-5591.

[49] 秦那日苏. 葵花籽蛋白脱色工艺及其结构、功能特性的研究[D]. 呼和浩特：内蒙古农业大学，2021.

[50] 吴甜甜. 蒸汽爆破预处理对芝麻粕蛋白结构与功能特性的影响[D]. 洛阳：河南科技大学，2022.

[51] HU H F，SUN Y L，ZHAO X Y，et al. Functional and conformational characterisation of walnut protein obtained through AOT reverse micelles[J]. International Journal of Food Science & Technology，2015，50(11)：2351-2359.

[52] 杨晓波. 花生分离蛋白的功能特性及其在可食性膜中的应用[D]. 武汉：华中农业大学，2011.

[53] SUBAŞI B G，VAHAPOĞLU B，CAPANOGLU E，et al. A review on protein extracts from sunflower cake：techno-functional properties and promising modification methods [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition，，2022，62(24)：6682-6697.

[54] MAO X Y，HUA Y F. Composition，structure and functional properties of protein concentrates and isolates produced from walnut (*Juglans regia* L.) [J]. International Journal of Molecular Sciences，2012，13(2)：1561-1581.

[55] KAUR R，GHOSHAL G. Sunflower protein isolates-composition，extraction and functional properties [J]. Advances in Colloid and Interface Science，2022，306：102725.

[56] TAN S H，MAILER R J，BLANCHARD C L，et al. Canola proteins for human consumption：extraction，profile，and functional properties[J]. Journal of Food Science，2011，76(1)：R16-R28.

[57] HARIHARAN S，PATTI A，ARORA A. Functional proteins from biovalorization of peanut meal：advances in process technology and applications[J]. Plant Foods for Human Nutrition，2023，78(1)：13-24.

[58] FU J Y，REN Y J，JIANG F，et al. Effects of pulsed ultrasonic treatment on the structural and functional properties of cottonseed protein isolate[J]. LWT-Food Science and Technology，2022，172：114143.

[59] CHMIELEWSKA A，KOZŁOWSKA M，RACHWAŁ D，

et al. Canola/rapeseed protein-nutritional value, functionality and food application: a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, , 2021, 61(22): 3836-3856.

[60] POJIĆ M, MIŠAN A, TIWARI B. Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 75: 93-104.

[61] FATKHULLAEV A, SAFAROV A, ATAZHANOVA A, et al. Production technology of soy protein additives for use in meat products[J]. E3S Web of Conferences, 2023, 389: 03041.

[62] CHEN Y S, LIANG Y Y, HE H, et al. Optimisation process of walnut protein hydrolysed as an antioxidant candidate [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2023, 17(6): 5845-5855.

[63] KUMAR M, POTKULE J, PATIL S, et al. Evaluation of detoxified cottonseed protein isolate for application as food supplement[J]. Toxin Reviews, 2022, 41(2): 412-419.

[64] 惠丹阳. 大豆蛋白部分替代牛乳蛋白对酸奶品质的影响研究[D]. 湘潭：湘潭大学，2023.

[65] 郑华丽，魏安池，牛新培. 芝麻饼粕蛋白应用进展[J]. 粮食与油脂，2012，25(8)：8-10.
ZHENG H L, WEI A C, NIU X P. Application progress of sesame cake protein[J]. Cereals & Oils, 2012, 25(8): 8-10.(in Chinese)

[66] 曾波. 发酵植物酸奶的研发[J]. 科技创新与应用，2019，9(22)：116-118.
ZENG B. Research and development of fermented vegetable yogurt[J]. Technology Innovation and Application, 2019, 9(22): 116-118.(in Chinese)

[67] XIE J, GÄNZLE M G. Selection of adjunct cultures for the ripening of plant cheese analogues [J]. Food Microbiology, 2024, 122: 104555.

[68] 梁海燕. 花生蛋白青枣酸奶的发酵工艺及品质特性研究[J]. 粮食与油脂，2023，36(2)：81-86.
LIANG H Y. Study on fermentation technology and quality characteristics of peanut protein green jujube yogurt[J]. Cereals & Oils, 2023, 36(2): 81-86.(in Chinese)

[69] 王鹤霖，刘文静，张雪，等. 葵花籽蛋白及乳粉蛋白复配制备凝固型酸奶[J]. 粮食与油脂，2018，31(1)：35-37.
WANG H L, LIU W J, ZHANG X, et al. Study on set yoghurt with sunflower seed protein and milk protein[J]. Cereals & Oils, 2018, 31(1): 35-37.(in Chinese)

[70] 吴俊霞，程建明，薛峰. 枸杞大豆蛋白植物基酸奶理化性质研究[J]. 食品与发酵工业，2023，49(10)：193-198.
WU J X, CHENG J M, XUE F. Physiochemical properties of plant-based yogurt prepared by wolfberry and soy protein[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(10): 193-198.(in Chinese)

[71] 陈鸽. 大豆蛋白对牛奶及乳饮料品质的影响[D]. 无锡：江南大学，2009.

[72] 宋旸，王存堂，李欢. 香蕉汁大豆分离蛋白饮品的研制及稳定性研究[J]. 食品工业科技，2021，42(14)：175-181.
SONG Y, WANG C T, LI H. Research on preparation and stability of banana juice-soybean protein isolate beverage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(14): 175-181.(in Chinese)

[73] 刘瑞芳，赵良启. 核桃蛋白发酵乳的发酵条件研究[J]. 山西农业科学，2015，43(3)：324-328.
LIU R F, ZHAO L Q. Study on the fermentation conditions of the walnut yogurt[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2015, 43(3): 324-328.(in Chinese)

[74] ZHOU J M, LIU J F, TANG X Z. Effects of whey and soy protein addition on bread rheological property of wheat flour[J]. Journal of Texture Studies, 2018, 49(1): 38-46.

[75] MONFARED M R, NOURI L, NAFCHI A M. The effects of sesame protein isolate and transglutaminase enzyme on the quality characteristics of gluten-free batter and cake [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2023, 17(5): 4881-4891.

[76] 谢晋，连家威，韩迪，等. 大豆分离蛋白对蛋糕品质及质构的影响[J]. 食品工业科技，2019，40(17)：19-24.
XIE J, LIAN J W, HAN D, et al. Effects of soy protein isolate on cake quality and texture[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(17): 19-24.(in Chinese)

[77] 尤晓颜，李亚春，段续. 人造肉生产工艺及其研究进展[J]. 食品与机械，2024，40(6)：221-226，240.
YOU X Y, LI Y C, DUAN X. Research progress in manufacturing technique of artificial meat[J]. Food & Machinery, 2024, 40(6): 221-226, 240.(in Chinese)

[78] 周娜，施嘉凤，覃慧林，等. 大豆蛋白-淀粉基人造鸭肉工艺研发[J]. 现代食品，2022，28(1)：83-86.
ZHOU N, SHI J F, QIN H L, et al. Soy protein-starch based simulation duck meat technology research and development[J]. Modern Food, 2022, 28(1): 83-86.(in Chinese)

[79] 王彦丽，刘萌，朱来景，等. 辣椒添加对植物蛋白肉感官特性的影响[J]. 中国调味品，2024，49(3)：28-32.
WANG Y L，LIU M，ZHU L J，et al. Effect of addition of chili on sensory characteristics of plant protein meat[J]. China Condiment，2024，49(3)：28-32.(in Chinese)

[80] 李颖. 高蛋白休闲食品的研制[J]. 粮油加工，2009(11)：114-116.
LI Y. Development of high protein snack food[J]. Cereals and Oils Processing，2009(11)：114-116.(in Chinese)

[81] LOBATO L P，PEREIRA A E I C，LAZARETTI M M，et al. Snack bars with high soy protein and isoflavone content for use in diets to control dyslipidaemia[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition，2012，63(1)：49-58.

[82] HUANG Y Y，LIU L L，SUN B Y，et al. A comprehensive review on harnessing soy proteins in the manufacture of healthy foods through extrusion[J]. Foods，2024，13(14)：2215.

[83] KAHLON T S，AVENA-BUSTILLOS R J，KAHLON A K，et al. Consumer sensory evaluation and quality of Sorghum-Peanut Meal-Okra snacks[J]. Heliyon，2021，7(5)：e06874.

[84] 李颖. 花生蛋白馒头加工工艺的研究[J]. 中国粮油学报，2009，24(9)：132-136.
LI Y. Application of peanut protein flour in steamed bread[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association，2009，24(9)：132-136.(in Chinese)

[85] RACHMAN A，BRENNAN M A，MORTON J，et al. Gluten-free pasta production from banana and cassava flours with egg white protein and soy protein addition[J]. International Journal of Food Science & Technology，2020，55(8)：3053-3060.

[86] 邵娟娟，张雅，张青，等. 大豆分离蛋白与小麦粉复配对面制食品品质影响的研究进展[J]. 粮食与油脂，2020，33(1)：4-5.
SHAO J J，ZHANG Y，ZHANG Q，et al. Research progress on the effect of soy protein isolate and wheat flour on the quality of flour based food[J]. Cereals & Oils，2020，33(1)：4-5.(in Chinese)

[87] LI W W，CAO W H，WANG P，et al. Selectively hydrolyzed soy protein as an efficient quality improver for steamed bread and its influence on dough components[J]. Food Chemistry，2021，359：129926.

[88] 张翔，王祖峰. 日本鳗鲡营养需求及饲料添加剂研究进展[J]. 大连海洋大学学报，2023，38(3)：543-552.
ZHANG X，WANG Z F. Progress in research on nutritional requirements and feed additives for Japanese eel (*Anguilla japonica*)：a review[J]. Journal of Dalian Ocean University，2023，38(3)：543-552.(in Chinese)

[89] 刘沛龙，刘昆仑，杨趁仙，等. 微生物发酵提升植物粕资源利用率的研究及应用进展[J]. 食品与发酵工业，2025，51(11)：385-394.
LIU P L，LIU K L，YANG C X，et al. Research and application progress of microbial fer mentation to enhance resource utilization of plant meal[J]. Food and Fermentation Industries，2025，51(11)：385-394.(in Chinese)

（责任编辑：刘冬梅）