DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250820003
引用格式: 冯思宇, 于丽娜, 宋昱, 等. 花生蛋白的提取、改性及应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(1): 270–279.
FENG SY, YU LN, SONG Y, *et al*. Research progress in the extraction, modification and application of peanut protein [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(1): 270–279. (in Chinese with English abstract).

花生蛋白的提取、改性及应用研究进展

冯思宇[1,2], 于丽娜[2*], 宋　昱[2], 高　远[2], 王鲁慧[2], 毕　洁[2], 江　晨[2], 王明清[2*], 邓祥元[1]

(1. 江苏科技大学生物技术学院, 镇江　212100; 2. 山东省花生研究所, 青岛　266100)

摘　要: 花生作为一种主要的油料作物, 其榨油后的饼粕含有丰富的蛋白质, 价值显著, 堪称“地下宝藏”。花生饼粕因种皮色素、植酸及致敏原等原因, 在食品工业中的利用率不足大豆粕的 1/3, 多被低价饲用, 潜力远未释放。然而, 花生蛋白不仅是全球重要的植物蛋白来源之一, 更在农业、食品、营养乃至生态体系中扮演着多重角色。本文阐述了花生蛋白的组成成分、营养特性及提取技术, 总结了花生蛋白的改性技术研究进展, 并进一步着重探讨了花生蛋白的功能活性及在多个核心领域(食品工业、医药行业以及精细化学品领域等)的应用, 同时对其未来的开发利用进行了展望, 旨在为花生蛋白的深入研究与实际应用提供有力的参考。

关键词: 花生蛋白; 提取; 改性; 功能特性; 应用

Research progress in the extraction, modification and application of peanut protein

FENG Si-Yu[1,2], YU Li-Na[2*], SONG Yu[2], GAO Yuan[2], WANG Lu-Hui[2], BI Jie[2], JIANG Chen[2], WANG Ming-Qing[2*], DENG Xiang-Yuan[1]

(1. *College of Biotechnology*, *Jiangsu University of Science and Technology*, *Zhenjiang* 212100, *China*; 2. *Shandong Peanut Research Institute*, *Qingdao* 266100, *China*)

ABSTRACT: As a major oilseed crop, peanut meal, the by-product after oil extraction, is rich in protein and holds significant value, often regarded as a “hidden treasure”. Due to the presence of seed coat pigments, phytic acid and allergens, the utilization of peanut meal in the food industry is less than 1/3 that of soybean meal. It is predominantly used as low-value feed, with its potential far from being fully realized. Nevertheless, peanut protein is not only one of the globally important plant-based protein sources but also plays multiple roles in agriculture, food, nutrition and even ecological systems. This paper delineated the composition, nutritional characteristics and extraction techniques

收稿日期: 2025-08-20
基金项目: 农业农村部农产品加工与贮藏重点实验室项目(S2023KFKT-02); 山东省农业科学院农业科技创新工程项目(CXGC2024D19); 山东省重点研发计划项目(2023TZXD074); 山东省自然科学基金项目(ZR2021MC049); 科技特派员科技服务乡村振兴典型案例(新技术新品种、新模式)推广应用项目(2022DXAL0102)

第一作者: 冯思宇(1999—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为花生精深加工。E-mail: 941126709@qq.com
***通信作者:** 于丽娜(1974—), 女, 研究员, 主要研究方向为粮油植物蛋白工程及功能食品。E-mail: lhtyln0626@163.com
王明清(1981—), 男, 副研究员, 主要研究方向为花生综合加工利用与质量安全。E-mail: mingqing201610@163.com

of peanut protein, summarized recent advances in modification technologies, and further discussed the functional properties of peanut protein along with its application prospects in several key sectors—such as the food industry, pharmaceutical field, and fine chemicals sector. Additionally, it prospected future development and utilization of peanut protein, aiming to provide a robust reference for further research and practical application of peanut protein.

KEY WORDS: peanut protein; extraction; modification; functional properties; application

0　引　言

花生作为全球范围内至关重要的油料作物, 蛋白质含量颇为丰富。中国拥有悠久的花生栽培历史, 且地域分布极为广泛。自 20 世纪 90 年代中期起, 中国花生总产量一直位居全球首位[1]。据统计, 2023 年中国花生种植面积达到 498 万公顷, 同比增长 6.3%; 产量达到 1923.07 万 t, 同比增加 4.9%[2]。花生在油料加工和经济效益方面具有重要地位, 是我国最重要的油料作物[3–4]。花生蛋白作为一种优质的植物蛋白, 不仅富含蛋白质, 还包含多种人体必需的氨基酸, 花生蛋白中不含胆固醇, 对优化人们的膳食结构具有深远意义[5]。尤其值得一提的是, 花生蛋白中谷氨酸和天冬氨酸含量较高, 有助于促进大脑细胞发育和提升记忆力[6]。与大豆蛋白相比, 花生蛋白虽然在赖氨酸含量和生物效价上不及大豆蛋白, 但其蛋白质消化率较高, 且赖氨酸利用率优于小麦、玉米等谷物, 是谷物膳食中良好的蛋白补充来源[7–8]。此外, 花生蛋白还展现出良好的溶解性、持水性、黏度、胶凝性和乳化性等功能特性, 这些特性使其在食品加工领域具备重要的应用价值和开发潜力[9]。

花生作为一种营养丰富的食材, 其主要构成成分为脂肪、蛋白质等, 以高油花生品种豫花 9719 为例, 其脂肪含量平均达到 51.51%, 而每 100 g 花生大约含有 25.81 g 的蛋白质, 使之成为植物性蛋白质的一个重要供给源。此外, 花生还富含活性多糖、有益矿质元素和维生素等其他多种营养成分[10–11]。本文综述了花生蛋白的提取工艺、改性技术的研究进展, 探讨了其生物活性如何助力花生蛋白在食品、医药及精细化工等多个关键领域的广泛应用, 并对其在未来的开发潜力与利用前景进行了分析与展望, 以期为花生蛋白的深入研究与生产中的实际应用提供理论参考。

1　花生蛋白的营养成分及含量

花生蛋白的构成主要包括花生球蛋白与伴花生球蛋白两大类, 后者又可细分为伴花生球蛋白I与伴花生球蛋白II, 它们共同占据了总蛋白含量的 75%左右[12]。此外, 花生蛋白中还含有约 10%的清蛋白成分, 而剩余的 90%则主要为碱性蛋白[13]。从营养价值角度来看, 花生蛋白与动物蛋白相差不大, 其蛋白质含量超过了鲫鱼、瘦猪肉及鸡蛋[14]。在溶解性方面, 花生蛋白能够溶于稀碱溶液, 同时也能在 10%的 NaCl 或 KCl 溶液中溶解[15]。作为一种重要的植物蛋白资源, 花生蛋白在食品工业中得到了广泛应用, 不仅作为食品添加剂使用, 更重要的是, 其诸多功能特性, 如吸水性、湿润性、膨胀性、黏附性、分散性、溶解度、黏度、胶凝性、乳化性及起泡性等, 均得到了充分的利用[16]。

此外, 花生蛋白不仅具备多种功能特性, 还含有丰富的氨基酸。花生蛋白含有 20 种氨基酸, 其中涵盖了 8 种人体不可或缺的必需氨基酸。相较于大豆蛋白, 花生蛋白中的赖氨酸展现出了超过 98%的高效利用率, 这一特性彰显了其卓越的营养价值。表 1 给出 5 种油料蛋白氨基酸含量的对比数据[17]。

表 1　5 种油料蛋白氨基酸含量(g/100 g)

Table 1　Amino acid content of 5 kinds of oilseed protein (g/100 g)

氨基酸种类	菜籽	亚麻籽	大豆	花生	葵花籽
蛋氨酸	0.76	1.36	2.44	0.58	1.43
色氨酸	2.89	4.64	1.39	0.67	1.71
赖氨酸	4.72	2.27	2.59	3.00	2.96
苏氨酸	3.79	3.35	7.92	2.72	3.58
缬氨酸	4.93	2.77	5.21	2.70	3.68
亮氨酸	8.25	8.32	11.22	5.03	6.54
异亮氨酸	3.15	4.89	5.05	2.50	2.82
苯丙氨酸	5.21	5.86	2.40	7.77	5.67
天冬氨酸	5.84	6.11	7.90	10.36	6.66
脯氨酸	4.21	3.70	3.89	1.20	5.01
精氨酸	5.82	5.24	4.92	9.31	6.89
丝氨酸	1.83	4.43	1.18	1.56	2.56
组氨酸	1.79	1.11	1.65	3.63	1.87
谷氨酸	9.85	10.33	11.25	11.45	10.55
甘氨酸	4.08	4.23	1.99	4.89	3.32
丙氨酸	2.20	1.89	5.52	3.69	3.78
酪氨酸	1.33	1.45	2.36	2.45	2.67
胱氨酸	1.67	1.44	2.36	1.38	0.00
TAA	70.33	71.33	83.23	74.86	71.69
TEAA	33.70	33.46	38.22	24.96	28.38
TNEAA	38.62	39.91	43.01	49.90	43.31
TEAA/TAA/%	47.92	46.90	47.05	33.34	39.59

注: 氨基酸总量(total amino acid, TAA); 必需氨基酸总量(total essential amino acid, TEAA); 非必需氨基酸总量(total non-essential amino acid, TNEAA)。

2 花生蛋白提取方法

当前，花生蛋白的提取技术呈现出多样化的特点，传统方法涵盖了压榨法、浸提法、酸沉淀法、碱溶-酸沉淀法、水提取法以及膜分离技术和低温预榨后水溶法等。尽管这些方法能够实现花生蛋白的提取，但它们在提取效率、操作复杂度、对蛋白质结构的潜在影响、环境友好度以及成本效益等方面均存在不同程度的局限[18]。鉴于这些挑战，持续探索和优化新型提取方法显得尤为重要。

近年来，超声波法和微波法等物理提取技术逐渐成熟，成为花生蛋白提取领域的主流趋势，这些技术能够在不损害蛋白质结构的前提下实现高效提取[19]。另外，蛋白酶解作为一种新兴技术，通过酶的作用将花生中的蛋白质温和地释放出来[20]。该方法以其温和的反应条件、简便的操作流程等优势，为克服传统提取方法的不足提供了新的视角和解决方案。

2.1 压榨法

压榨技术是一种利用机械作用力从花生中提取油脂的有效提取方法，该方法可以同时获取花生蛋白[21]。依据处理温度的不同，压榨技术进一步细分为热榨与冷榨两种方法。热榨工艺施加的高温处理导致花生粕内大部分蛋白质发生变性，进而造成水溶性蛋白含量缩减，其功能属性也随之显著降低[22]。而冷榨工艺是在温度不超过 60 ℃的条件下实施的，这样能较好地保留原料中的营养成分[23]。

2.2 浸出法

浸提工艺是对花生仁进行预处理，随后运用溶剂对其进行浸泡，以萃取其中的油脂，同时在该过程中获取花生蛋白[24]。根据操作流程的不同，浸提法进一步细化为直接浸提与预榨后浸提两种方法。直接浸出法是利用溶剂(如正己烷等有机溶剂)直接对花生原料进行浸泡，使花生中的油脂被溶剂溶解并分离出来，这一方法更适合处理某些含油量较低的油料作物[25]。预榨浸出法是先利用压榨法将油料中 80%~89%的油脂挤压出来，再利用浸出法将压榨后的饼粕中残存的油脂萃取出来，在压榨步骤之后实施浸出，可以更有效地去除油脂，并提升花生蛋白的质量。相较于冷榨法，预榨后浸出不仅出油率更高，而且所获得的花生蛋白也展现出更高的活性[26]。

2.3 碱溶酸沉法

碱溶酸沉技术是一种广泛应用的制备花生分离蛋白的手段，通过调整溶液酸碱度，能促使蛋白质在碱性环境下溶解，随后在酸性条件下析出[27]。孔涛等[28]利用碱溶酸沉法制备了花生分离蛋白并优化了工艺参数，包括匀浆与料液比例、碱提取液的 pH、提取温度、时间及酸沉淀的 pH，旨在提升蛋白质的纯度与回收效率，经过优化，花生粕蛋白质最高提取率可达 75.88%。

2.4 水剂法

水剂法是一种利用水相同时提取油料中油脂和保持天然特性的蛋白质的工艺。该方法通过调节 pH、温度等条件，使花生中的油脂和蛋白质分离，从而获得高纯度的花生蛋白和油脂的一种方法。徐航等[29]利用水剂法提取花生蛋白，然后将得到的富含花生蛋白的水相作为基料制备低脂花生蛋白饮料。结果表明：将脱皮花生粉碎至平均粒径 26 μm左右，在料液比 1:5 (g/mL)和 60 ℃的条件下提取 2 h，最终水相的蛋白质含量为 50.4 g/L，花生蛋白提取率达到 76.04%。

2.5 膜分离技术

膜分离技术是一种高效且环保的分离手段，广泛应用于花生蛋白的纯化流程中[30−31]。该技术利用具有选择透过性的膜作为分离媒介，通过在膜两侧施加压力等推动力，使原料中的不同组分选择性地透过膜，实现浓缩与分离的目的。

2.6 水酶法

水酶法制油技术是在传统水剂法制油的基础上，引入了包含纤维素酶、果胶酶及蛋白酶的复合酶体系，这一创新显著提升了油脂与蛋白质的提取效率与质量。具体而言，蛋白酶通过断裂大分子蛋白质的肽键，促使被蛋白质包裹的油脂得以释放，从而在提高花生油及花生蛋白产量的同时，还能获得品质优良且变性程度低的花生蛋白[32]。

2.7 超声波辅助提取法

ZHANG 等[33]的研究探讨了超声波预处理对胶束酪蛋白功能特性和结构的影响。经过 5 min 的超声波预处理，酪蛋白的溶解度从 84.14%显著提升至 91.03%。溶解度的增加归因于超声波处理改变了蛋白质的球形结构，使原本隐藏的亲水基团暴露于水中，从而增强了水与蛋白质间的相互作用。不仅如此，超声波处理还优化了酪蛋白的乳化性和凝胶性，这些功能特性的提升将有助于拓宽其在食品工业中的应用范畴。

2.8 微波辅助提取法

GUAN 等[34]的研究揭示了微波处理如何促进大豆分离蛋白与糖的接枝反应，发现高功率微波能够断裂蛋白分子中的非共价键和二硫键，增加大豆蛋白分子与其他反应物的碰撞频率，从而提高接枝反应的选择性。

2.9 酶解法

科研人员利用 4 种不同的蛋白酶对花生粕进行水解处理，以水解度作为评价指标进行了深入探究[35−36]。经综合评估，碱性蛋白酶在制备花生多肽方面展现出最优效果，这一结论亦得到了后续实验的验证与支持。肖怀秋等[37]进一步优化了碱性蛋白酶水解花生粕的工艺条件。值得注

意的是, 不仅酶的种类对花生蛋白水解效果有显著影响, 酶的添加量同样是一个关键因素。王进等[38]通过调整酶添加量, 深入探究其对水解效果的具体影响, 并对碱性蛋白酶水解花生粕的工艺条件进行了优化。

3　改性技术研究

3.1　物理改性技术研究

物理改性技术涉及热处理、冷冻处理、机械加工、磁场作用、电场作用、超声波处理、质构调整及低剂量辐射等多种方法, 旨在优化花生蛋白质的功能属性并提升其营养价值[39]。赵冠里等[40]的研究表明, 经干热焙烤处理后, 花生分离蛋白在 pH 7.0 条件下的溶解度较天然的花生蛋白提升 19%。该变化源于伴球蛋白受热聚集并部分变性, 其肽链伸展导致疏水区域暴露, 从而显著增强乳化能力。LI 等[41]先以超声预处理再结合加热, 促使花生分离蛋白与多糖发生糖基化反应。结果表明, 在 pH 3~9 区间内, 花生分离蛋白-葡聚糖复合物的溶解性能显著提升; 当 pH 升至 7 以上时, 花生分离蛋白-阿拉伯胶体系的溶解度亦获得同步改善。

张晓丽等[42]的研究表明, 经过物理改性处理的花生蛋白, 其氮溶解指数(nitrogen soluble index, NSI)值有所提升, 展现出良好的功能特性。然而, 相较于国外同类蛋白产品的 NSI 值及其功能特性, 国内改性花生蛋白仍存在显著差异。这表明, 尽管物理改性方法操作简便、易于实施, 成本降低, 但其改性效果仍有待提升, 尚未达到理想水平。

3.2　化学改性技术研究

在花生蛋白质改性过程中, 化学因素会促使蛋白质电荷状态及疏水基团暴露度发生变化, 这一动态调整进一步推动蛋白质结构的重构[43]。常见的化学改性方法包括磷酸化、酰化及糖基化等, 尽管这些方法能显著展示改性效果, 但通常伴随着高强度的反应历程, 从而对反应条件的精准调控提出了高标准要求。磷酸基作为人体必需营养成分, 主要通过膳食途径获取, 为了让人体更好地获得磷酸基, 对蛋白质进行磷酸化处理, 这样改性后的蛋白质可以更有效地为人体提供磷酸基。此外, 磷酸化改性还能在一定程度上优化蛋白质的功能特性。杨伟强等[44]利用超声辅助糖基化策略对花生浓缩蛋白进行修饰, 显著增强其乳化活性。研究指出, 在精确调控多糖投加量、体系 pH 及反应温度的条件下, 可定向优化糖基化产物的界面功能性质。阎杰等[45]发现, 于水相体系中实施乙酰化仅能得到低取代度产物; 若追求高酰化水平, 则需切换至非水介质。当乙酸酐与蛋白摩尔比 0.095 mol/g、温度 85 ℃、时间 20 min 时, 产物乙酰化度达 27.72 mol/kg, 功能性质随之显著增强。林伟静等[46]以木糖为糖基供体对花生蛋白进行改性, 并系统考察了温度对成膜性能的调控效应。结果显示, 升高反应温度可同步提升蛋白膜的溶解度、膨胀率、拉伸强度及断裂伸长率, 表明高温条件更利于获得综合性能优异的糖基化蛋白膜。YU 等[47]选取三聚磷酸钠作为反应介质, 结合微波技术, 对花生分离蛋白进行磷酸化改性。他们采用傅里叶变换红外光谱、X 射线衍射分析、差示扫描量热法、核磁共振技术以及扫描电子显微镜等多种先进手段, 对改性样品进行了全面的表征与分析。研究结果表明, 花生蛋白中的丝氨酸与苏氨酸羟基以及赖氨酸氨基与三聚磷酸钠发生了主要相互作用, 这一化学反应有效增强了蛋白质的乳化性能。

3.3　生物改性技术研究

生物改性技术主要利用生物学方法优化花生蛋白质的功能特性并提升其营养价值, 具体涵盖微生物改性与酶法改性两大类别, 其中酶法改性不仅能改良功能特性, 还能赋予花生蛋白更高的生物活性[48]。曹迪等[49]采用中性蛋白酶水解花生蛋白, 酶切作用破坏次级键, 使原本紧密的球状构象舒展、疏水位点外露, 溶解度、吸水率、吸油量、乳化活性和起泡力依次提升 61.4%、25.7%、161.7%、19.9% 和 32.3%, 显著拓展了花生蛋白的应用空间。熊柳等[50]则利用谷氨酰胺转氨酶交联花生分离蛋白, 经单因素响应面耦合优化, 在最佳工艺点获得 333.5 g/cm^2 的凝胶强度; 与此同时, 产物吸油率提高 27.4%, 持水率增加 61.2%, 综合质构特性得到同步强化。张兆丽[51]研究聚焦于酶法处理花生分离蛋白进行改性, 采用NSI作为评估指标, 深入分析了改性对功能特性的具体影响, 进而确定了碱性蛋白酶改性的最优条件。经过改性处理, 花生分离蛋白的若干关键功能特性, 诸如吸水能力和乳化性能, 均得到了明显的提升。

4　改性后花生蛋白的功能特性变化

4.1　溶解性

花生蛋白溶解度提升的核心并非简单的结构松散, 而是“分子热力学稳定性”与“溶剂化层重建”之间动态博弈的结果。适度热处理(90~110 °C, 5 min)首先瓦解 β-折叠片层间的氢键网络, 使游离巯基暴露率提高 30%~40%, 表面疏水性指数从 1200 跃升至 1800; 然而, 一旦表面疏水性超过 2000, 疏水作用力反占上风, 11S 组分迅速聚集, 溶解曲线出现“回落窗口”, 表明“暴露度”存在上限而非越高越好[52]。横向对比显示, 在相同超声参数下, 花生蛋白溶解度增幅较豌豆蛋白高 15%, 但脂质氧化标志物己醛亦高 2.1 倍, 需额外添加 0.05%迷迭香提取物以平衡风味[53]。综上, 未来工作应构建“能量输入-构象轨迹-溶解度/氧化平衡”三维响应面, 引入动力学回生项与风味阈值, 锁定不同食品基质中的“最优改性窗口”, 而非单纯追求溶解度峰值。

4.2　乳化性和乳化稳定性

乳化性能指的是蛋白质能够降低油水界面张力, 促

进乳化过程, 形成稳定乳状液的能力。而乳化稳定性则体现在蛋白质能稳定地分散于非连续相与连续相的界面, 有效防止非连续相的团聚, 进而维持乳状液的稳定。乳化能力的评价已超越“界面张力单一维度”。在三聚磷酸钠 0.4%、pH 8.5 条件下磷酸化, 花生蛋白负电荷密度升至 0.83 mol/g, 0.1 Hz 处的油-水界面弹性模量 E'由 11.4 mN/m 跃至 28.7 mN/m, 临界时间从 12 h 延长至 96 h, 首次实现乳化货架期的可计算预测[54]。经过改性处理, 花生蛋白的乳化性能及其乳化稳定性均会得到显著提升。改性花生蛋白凭借优越的乳化性能与乳化稳定性, 在乳化食品、饮料制造以及油脂替代产品开发等领域展现出了更为广阔的应用前景。

4.3 持水性和持油性

磷酸化使花生蛋白负电荷密度增至 0.83 mmol/g, 氢键网络重构, 持水率由 2.1 mL/g 提至 3.4 mL/g; 同时疏水位点适度暴露, 持油率升高 18%[55], 经过改性技术处理后, 花生蛋白的持水性与持油性得到了优化, 展现出增强的持水与持油能力。这使其更加契合于制造那些需要这些关键特性的食品, 诸如肉制品和面点类产品。

4.4 凝胶性

经磷酸化, 花生蛋白负电荷密度提至 0.83 mmol/g, 85 ℃下成胶时间减少3成, 储能模量 G'由 120 Pa 增至 310 Pa, 临界凝胶浓度降至 6%; 再经转谷氨酰胺酶(transglutaminase, TGase)交联, G'继续升高 45%, 持水率可达 96%, 适用于低糖布丁制备[56]。通过改性处理, 花生蛋白的分子结构及其相互作用模式得以调整, 进而增强了其形成凝胶的便捷性, 花生蛋白的凝胶性能有所提升, 这一凝胶性能的增强拓宽了改性花生蛋白在食品加工领域的应用范围。

4.5 成膜性

磷酸化后花生蛋白负电荷增至 0.83 mmol/g, 85 ℃成膜时间缩短 30%, 拉伸强度由 14 MPa 提至 26 MPa, TGase 交联使断裂伸长率增加 45%, 氧气透过量降低 32%, 适用于可食性包装[57]。此特性在食品包装材料的应用、食品保鲜手段的改进以及食品口感的提升等多个方面扮演着关键角色。通过对花生蛋白进行改性处理, 可以进一步增进其薄膜形成能力, 使之更适宜于制造需薄膜包裹的食品产品。

4.6 其他功能特性

除了前述的功能特性, 改性花生蛋白还可能展现出塑性、弹性及咀嚼性等多方面的新变化[58], 这些改进的功能特性极大地提升了改性花生蛋白在食品工业中的应用潜力与实用价值。

综上所述, 改性处理后的花生蛋白在功能特性上呈现出显著的变化, 这些变化预示着其在食品工业中将拥有更为广阔的应用前景与更高的价值。然而, 关于具体的改性手段及条件如何影响花生蛋白的功能特性, 仍有待深入研究和全面探索。

5 花生蛋白的应用

5.1 花生蛋白在食品中的应用

5.1.1 在乳制品中的应用

花生蛋白因其独特的浓郁香气及卓越的水溶性而备受瞩目, 同时, 其形成稳定胶体溶液的能力也尤为突出, 这些特性使之成为制备花生乳制品的首选材料。在加工流程中, 可以巧妙地运用花生蛋白的这些优点, 并辅以其他恰当的配料, 进一步丰富花生饮品的风味层次与营养构成。

将花生蛋白融入配方奶粉中, 能大幅提升奶粉的蛋白质含量, 进而增强其整体的营养价值。相较于众多传统奶粉成分, 花生蛋白在蛋白质含量上展现出显著优势, 是优化奶粉蛋白质配比的优选方案[59]。而在酸奶的制作环节中, 向牛奶中掺入花生蛋白粉, 可以明显改良产品的质地特性与感官体验。这一举措不仅让酸奶兼具了花生蛋白与牛奶的双重风味特征, 还充分展现了动物蛋白与植物蛋白在营养上的互补效应, 提升了整体的营养价值。这种结合方式促进了蛋白质的生物利用效率, 使得酸奶成为一款既营养丰富又口感独特的食品, 深刻体现了动物蛋白与植物蛋白在食品创新中的有效融合与利用[60]。

5.1.2 在肉制品中的应用

在肉类加工领域, 尤其是碎肉制品的生产过程中, 植物蛋白发挥着不可或缺的关键作用。其中, 花生蛋白因其卓越的吸水力、保水力、吸油力及乳化特性, 而被视为一种高效的肉制品黏结剂。吴广辉等[61]在花生火腿肠的研究开发中指出, 添加4%比例的花生蛋白, 能够显著提高肉糜的产量, 并对其质地结构产生积极影响, 相较于大豆蛋白, 花生蛋白在功能性指标上呈现出更为突出的表现。

5.1.3 在烘焙食品中的应用

在面条的制造流程中, 适量掺入花生蛋白粉, 不仅能增加面条整体的蛋白含量, 还能对面条的工艺性能产生明显的改善效果。具体而言, 当花生蛋白粉的添加量达到 5%时, 面条的表观质量达到最佳, 且其弯曲断裂率亦呈现最优化[62]。在蛋糕的烘焙过程中引入花生蛋白, 则能有效提升蛋糕的蛋白含量, 进而增强其营养价值。花生蛋白因其出色的保水性与吸油性, 在蛋糕制作中扮演了重要角色。添加花生蛋白的蛋糕, 质地更为细腻柔软, 且融入了花生特有的香气, 从而丰富了蛋糕的整体风味。同时, 花生蛋白的加入还优化了蛋糕的加工特性: 一方面, 其保水性有助于维持蛋糕的湿润度, 避免烘烤过程中过度干燥; 另一方面, 其吸油性有助于减少蛋糕中的油脂比例, 进而降低生产成本。此外, 花生蛋白还能提升蛋糕的蓬松度与结构稳定

性, 确保蛋糕在烘烤后保持形态, 不易塌陷或变形[63]。

5.1.4 在饮料中的应用

脱脂花生蛋白粉可用于制造多种固体饮料, 包括花生蛋白奶粉、花生糊及花生晶, 同时也能用于生产液体饮料, 如花生乳。作为一种完全蛋白, 花生蛋白富含人体所必需的 8 种氨基酸, 因此, 将其融入饮料中, 能大幅提升饮料的蛋白含量, 为消费者提供全面的营养补给。举例来说, 巴旦木与花生结合的植物蛋白饮料, 恰好满足了市场对高蛋白饮品的需求[64]。

5.1.5 在保健品中的应用

花生蛋白作为一种高质量的植物性蛋白质来源, 其氨基酸构成均衡且广泛, 涵盖了人体必需的 8 种氨基酸, 尤其是谷氨酸与天门冬氨酸含量颇丰, 对促进脑细胞成长及增强记忆力具有积极影响。花生蛋白粉具备乳化、起泡及增稠等特性, 这些特性能够优化食品的口感与风味。在保健品制备过程中, 花生蛋白的这些功能特性使其能与其他配料实现完美融合, 同时保持各自的物理化学及营养特性, 进而提升保健品的口感与消费者接受度。鉴于此, 花生蛋白常被采纳于营养补给品及特定医学配方食品等保健品中, 旨在提升产品营养价值。花生蛋白衍生的活性肽展现出卓越的生物活性, 能有效增强机体免疫能力, 具有保护机制, 能抵御人体内多种酶类(包括促酶、胃蛋白酶、胰酶、淀粉酶、消化酶)及酸碱环境的破坏, 保持完整形态进入小肠并被吸收, 进而进入循环系统发挥其效能。值得注意的是, 花生肽中的白藜芦醇含量较花生蛋白高出 20%, 白藜芦醇作为一种天然的化学预防物质, 对肿瘤具有抑制作用, 并能降低血小板凝聚, 预防和治疗动脉粥样硬化及心脑血管疾病[65]。因此, 花生蛋白及其活性肽在保健品领域的应用对于强化人体免疫力及疾病预防具有重要意义。除此之外, 花生蛋白还具备降低胆固醇及抗氧化衰老的保健效益。动物实验揭示, 花生肽能显著降低血浆总胆固醇水平, 同时提升高密度脂蛋白含量。此外, 花生肽还能减少肥胖大鼠腹部脂肪积累, 促进脂肪代谢。花生蛋白中所含的抗氧化成分能有效清除体内自由基, 发挥抗氧化作用, 延长细胞寿命。

5.2 花生蛋白在饲料中的应用

5.2.1 在宠物食品中的应用

基于氨基酸组成及必需氨基酸占比的考量, 花生蛋白在宠物食品所用植物性蛋白源中表现突出, 展现出明显优越性。该蛋白源不仅能有效补充宠物所需的蛋白质, 还因其无胆固醇特性, 对维护宠物心血管健康具有正面预防效应, 并能积极影响宠物骨骼健康及血压调节[66]。

5.2.2 在水产饲料中的应用

作为优质的植物性蛋白来源, 花生粕在替代杂食性鱼类饲料中的鱼粉或豆粕方面已有相关报道。研究指出, 在不牺牲生长性能、饲料转换效率及蛋白质保持率的前提下, 花生粕能够成功替代一定比例的鱼粉或豆粕, 但具体替代比例需根据鱼种而定, 例如鲤鱼饲料中的花生粕添加量需适度控制[67]。在特定比例范围内, 使用花生粕替代鱼粉并不会明显影响对虾的生长表现及饲料利用效率。当凡纳滨对虾饲料中的花生粕替代鱼粉比例低于 40%时, 其蛋白质利用效率得到显著提升。然而, 若替代比例过高, 则可能导致对虾的生长性能及饲料利用率出现下滑[68]。

5.2.3 在动物饲料中的替代作用

花生蛋白作为一种优质的植物性蛋白源, 在动物饲料中可充当鱼粉、豆粕等传统动物性蛋白的有效替代, 有助于缩减饲料成本。研究表明, 在部分替代动物性蛋白的情况下, 动物生长性能未受明显影响, 且在部分案例中还有所提升, 暗示花生蛋白中的特定营养成分可能对动物生长具有正面效应[69]。花生蛋白的广泛应用拓宽了饲料原料的选择范围, 减轻了对特定原料的过度依赖, 降低了饲料生产的潜在风险。

5.3 花生蛋白在其他方面的应用

5.3.1 在化妆品中的应用

花生蛋白在护肤产品如洗面乳、美容霜及化妆水的制备中展现出应用潜力[70], 其优良的乳化特性和黏稠度对于维持产品质地的稳定性至关重要, 促进了产品的顺畅涂抹与高效吸收。此外, 花生蛋白富含的营养组分能有效滋养肌肤, 针对皮肤干燥与粗糙现象加以改善, 赋予肌肤以光滑细腻的外观。作为其衍生物, 花生肽在抗氧化与抗衰老方面展现出更为突出的能力。花生肽因其小分子结构而易于渗透肌肤, 有效清除自由基、减轻皮肤老化迹象, 诸如皱纹与色斑等的作用。

5.3.2 在医药领域的应用前景

花生蛋白内含丰富的必需氨基酸、维生素族群、微量元素及矿物质, 其有效利用率极高, 达到 98%, 并且易于人体消化吸收。其中, 特定成分如抗氧化肽, 展现出抵御自由基损伤的能力, 有助于延缓细胞衰老进程[71]。另外, 花生蛋白还含有大量的多不饱和脂肪酸, 对降低体内胆固醇水平具有积极作用, 进而有助于心血管健康的维护[72]。鉴于花生蛋白的卓越营养价值和生物活性特性, 它被视为保健品开发中的关键成分。具体而言, 针对老年人群体、运动员以及免疫力提升需求者, 可以设计并开发提供全面营养支持的保健品。

6 结束语

花生蛋白虽凭“低致敏、非转基因”双重优势加速切入植物基赛道, 但规模化落地仍被“提取-改性”两大瓶颈阻滞: 现行低温压榨-碱溶酸沉工艺收率小于等于 55%, 且植酸-多酚共沉淀使纯度止步 75%, 直接推高成本并带来涩味[73], 功能优化仍局限单一化学修饰, 磷酸化与糖基化协同位点

随机，超高温灭菌下乳液难以维持乳化稳态，不能满足长保植物奶需求。面向 2030，研究重心将锁定 3 条颠覆路径：(1)“负压空化-酶膜耦合”绿色萃取 2.0：在线酶解植酸、膜电位截留多酚，同步实现 80%收率、90%纯度，碳排下降 1/4；(2)人工智能(artificial intelligence, AI)驱动的序列-构效模型：精准设计赖氨酸-谷氨酸双位点磷酸化+特定糖链长度，实现乳化稳定性提升 3 倍且耐高温 138 ℃；(3)微生物细胞进一步发酵：共表达转谷氨酰胺酶与疏水肽，原位诱导花生蛋白自交联，形成持水率大于等于 95%、凝胶强度大于等于 500 g/cm^2 的“自组装”花生蛋白，为 3D 打印培养肉支架提供可编程原料，助推花生蛋白从辅助填料升级为下一代植物基食品的结构单元。

花生蛋白正步入高值化赛道：其氨基酸谱与联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)/世界卫生组织(World Health Organization, WHO)参考模式吻合度高，致敏性低于大豆。靶向修饰可精确放大溶解、乳化与凝胶特性，已在植物奶、咖啡增白剂中部分取代酪蛋白酸钠，并为无麸质面团提供连续相骨架[74–75]，受控酶解-美拉德通路可定制挥发性风味库，实现减盐不减鲜。同步回收的种皮原花青素可作为天然抗氧化剂，推动全果零废弃。伴随碳足迹核算深入，其碳足迹仅为乳清蛋白的 12%，绿色溢价空间显著。展望下一代，通过高油-高蛋白协同育种与低温压榨-膜分离耦合技术，蛋白纯度有望突破 90%，生产成本预期压缩两成，为特医食品、运动营养及细胞培养肉提供可持续、低成本的功能蛋白基料。

综上所述，花生蛋白作为一种优质的植物性蛋白资源，在食品、保健品及饲料等多个领域展现出广泛的应用潜力与发展前景。随着研究的持续深化与技术的不断革新，花生蛋白的应用领域将进一步拓展，其发展前景将更加广阔。

参考文献

[1] 孙玉鼎. 花生产品出口贸易发展及其管理研究[J]. 商讯，2020(30): 9–10, 13.
SUN YD. Research on the development and management of peanut product export trade [J]. Business News, 2020(30): 9–10, 13.

[2] 中研普华产业研究院. 2025 年花生行业现状与发展趋势分析(2025 年第 2 期)[EB/OL]. (2025-02-24) [2025-02-24]. https://www.chinairn.com/hyzx/20250707/15113955.shtml
China Research & Consulting Group. Analysis of the current status and development trends of the peanut industry in 2025 (Issue 2, 2025) [EB/OL]. (2025-02-24) [2025-02-24]. https://www.chinairn.com/hyzx/20250707/15113955.shtml

[3] ZHANG WP, LI ZX, GAO SN, *et al*. Resistance vs. surrender: Different responses of functional traits of soybean and peanut to intercropping with maize [J]. Field Crops Research, 2023, 291: 108779.

[4] 宫旭洲. 我国花生产业加工现状及趋势[J]. 民主与科学，2024(5): 17–19.
GONG XZ. Current situation and trend of peanut industry processing in China [J]. Democracy & Science, 2024(5): 17–19.

[5] 卢选康，严鑫，陶宇，等. 227 个花生品种(系)蛋白质及 10 种主要氨基酸遗传多样性分析[J]. 山东农业科学，2024，56(10): 26–33, 42.
LU XK, YAN X, TAO Y, *et al*. Genetic diversity analysis of proteins and 10 major amino acids in 227 peanut varieties (lines) [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2024, 56(10): 26–33, 42.

[6] 王传堂，唐月异，周朋，等. 花生氨基酸品质改良途径的决策分析[J]. 山东农业科学，2020，52(6): 8–16.
WANG CT, TANG YY, ZHOU P, *et al*. Decision analysis of improvement approaches for amino acid quality of peanut [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2020, 52(6): 8–16.

[7] XU M, LUO J, LI Y, *et al*. First comprehensive proteomics analysis of lysine crotonylation in leaves of peanut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. Proteomics, 2021, 21(5): e2000156.

[8] DONG Q, ZHAO X, ZHOU D, *et al*. Maize and peanut intercropping improves the nitrogen accumulation and yield per plant of maize by promoting the secretion of flavonoids and abundance of *Bradyrhizobium* in rhizosphere [J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 957336.

[9] 王莹，王瑛瑶，刘建学，等. 花生蛋白水合性质的研究进展[J]. 食品工业科技，2014，35(13): 374–377.
WANG Y, WANG YY, LIU JX, *et al*. Research advances on the hydration properties of peanut protein [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(13): 374–377.

[10] MINGROU L, GUO S, HO CT, *et al*. Review on chemical compositions and biological activities of peanut (*Arachis hypogeae* L.) [J]. Journal of Food Biochemistry, 2022, 46(7): e14119.

[11] 王诗琦，闫超杰，于丽，等. 我国三大产区不同品种花生的特色成分分析[J]. 食品安全导刊，2024(2): 84–90.
WANG SQ, YAN CJ, YU L, *et al*. Analysis of characteristic components in different peanut varieties from China’s three major production areas [J]. China Food Safety Magazine, 2024(2): 84–90.

[12] LU ZX, HE JF, ZHANG YC, *et al*. Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60(15): 2593–2605.

[13] 董月婕，章绍兵，杨雨轩. 碱性 pH 偏移结合超声处理对花生蛋白结构与功能性质的影响[J/OL]. 河南工业大学学报(自然科版)，1–16. [2025-03-20]. DOI: 10.16433/j.1673-2383.202501180001
DONG YJ, ZHANG SB, YANG YX. Effect of alkaline pH-shift combined with ultrasonic treatment on the structure and functional properties of peanut protein [J/OL]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 1–16. [2025-03-20]. DOI: 10.16433/j.1673-2383.202501180001

[14] 郭晶，张佰良，王嘉豪，等. 广东省不同产地不同品种花生的营养成分研究[J]. 食品工业科技，2022，43(9): 293–300.
GUO J, ZHANG BL, WANG JH, *et al*. Nutritional composition study of peanut varieties from different producing areas in Guangdong Province [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 293–300.

[15] CUI S, MCCLEMENT DJ, XU X, *et al*. Peanut proteins: Extraction, modifications, and applications: A comprehensive review [J]. Grain & Oil Science and Technology, 2023, 6(3): 135–147.

[16] 张相风，郭兴凤，张倩，等. 醇法加工花生蛋白功能特性及组成研究[J]. 粮油食品科技，2025，33(1): 113–120.

ZHANG XF, GUO XF, ZHANG Q, *et al*. Study on functional characteristics and composition of peanut protein processed by enzymatic hydrolysis [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2025, 33(1): 113–120.

[17] 冶梓芩, 王进英, 马桂兰, 等. 不同油料蛋白品质特性对比研究[J]. 中国粮油学报, 2024, 39(12): 97–105.
YE ZC, WANG JY, MA GL, *et al*. Comparative study on quality characteristics of different oilseed proteins [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2024, 39(12): 97–105.

[18] 高凤, 马赫, 张文玉, 等. 复合酶法提取花生蛋白的工艺优化及性能评估[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(4): 69–77.
GAO F, MA H, ZHANG WY, *et al*. Process optimization and performance evaluation of composite enzyme method for peanut protein extraction [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(4): 69–77.

[19] 夏潇潇, 湛琴琴, 姜明敏, 等. 冷榨花生粉中蛋白质的超声波辅助提取试验研究[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(16): 220–222.
XIA XX, ZHAN QQ, JIANG MM, *et al*. Ultrasonic-assisted extraction of protein from cold-pressed peanut powder [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2019, 47(16): 220–222.

[20] LI H, YU J, AHMEDNA M, *et al*. Reduction of major peanut allergens Ara h 1 and Ara h 2, in roasted peanuts by ultrasound assisted enzymatic treatment [J]. Food ChemIstry, 2013, 141(2): 762–768.

[21] 刘沛龙, 刘昆仑. 花生蛋白糖基化修饰及其应用的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2023, 44(5): 1–9.
LIU PL, LIU KL. Research progress on glycosylation modification of peanut protein and its applications [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2023, 44(5): 1–9.

[22] 纪俊敏, 刘玉兰, 黄莲燕, 等. 不同制油工艺制备花生毛油及饼粕的品质分析[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(5): 82–87.
JI JM, LIU YL, HUANG LY, *et al*. Quality analysis of peanut crude oil and cake prepared by different oil-making processes [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(5): 82–87.

[23] 熊远夷, 吕亚萍, 郝明飞, 等. 不同加工方式高油酸花生油品质及其氧化特性研究[J/OL]. 中国油脂, 1–11. [2025-03-22]. DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240644
XIONG YY, LV YP, HAO MF, *et al*. Study on the quality and oxidation characteristics of high-oleic acid peanut oil under different processing methods [J/OL]. China Oils and Fats, 1–11. [2025-03-22]. DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240644

[24] 沈小刚. 花生蛋白的开发与利用[J]. 食品安全导刊, 2015(29): 27.
SHEN XG. Development and utilization of peanut protein [J]. China Food Safety Magazine, 2015(29): 27.

[25] 张业. 花生深加工研究[J]. 食品安全导刊, 2015(26): 73.
ZHANG Y. Research on deep processing of peanut [J]. China Food Safety Magazine, 2015(26): 73.

[26] 武汉轻工大学. 花生低温预榨、浸出、低温脱溶制备花生蛋白粉工艺研究[EB/OL]. (2025-03-22) [2025-03-22]. https://cxyc.whpu.edu.cn/index.htm
Wuhan Polytechnic University. Research on the process of peanut protein powder preparation by low-temperature pre-squeezing, extraction, and low-temperature solvent removal [EB/OL]. (2025-03-22) [2025-03-22]. https://cxyc.whpu.edu.cn/index.htm

[27] 耿军凤, 张丽芬, 陈复生. 超声波辅助提取对花生蛋白结构与功能特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(9): 61–69.
GENG JF, ZHANG LF, CHEN FS. Effects of ultrasonic-assisted extraction on the structure and functional properties of peanut protein [J]. Food Research and Development, 2020, 41(9): 61–69.

[28] 孔涛, 米平, 赵雪淞, 等. 碱法提取花生粕蛋白质工艺条件的优化[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(7): 277–279.
KONG T, MI P, ZHAO XS, *et al*. Optimization of protein extraction process conditions from peanut meal by alkali method [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(7): 277–279.

[29] 徐航, 李鹏飞, 汪明明, 等. 正交试验优化花生蛋白提取工艺及低脂花生蛋白饮料的研制[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 27–32.
XU H, LI PF, WANG MM, *et al*. Orthogonal experimental optimization of peanut protein extraction process and development of low-fat peanut protein beverage [J]. Food Science, 2015, 36(18): 27–32.

[30] 周丽珍, 李艳, 孙海燕, 等. 膜技术分离纯化花生蛋白酶解液制备活性短肽[J]. 中国油脂, 2014, 39(10): 24–29.
ZHOU LZ, LI Y, SUN HY, *et al*. Preparation of active short peptides from peanut protease hydrolysate by membrane separation and purification technology [J]. China Oils and Fats, 2014, 39(10): 24–29.

[31] 刘传富, 张兆静. 花生蛋白及其在食品中的应用[J]. 中国食物与营养, 2005(1): 24–25.
LIU CF, ZHANG ZJ. Peanut protein and its application in food [J]. Food and Nutrition in China, 2005(1): 24–25.

[32] 刘粤龙, 刘伟, 陈复生. 超声处理花生红衣对水酶法花生油提取及其品质的影响[J/OL]. 中国油脂, 1–16. [2025-03-22]. DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240228
LIU YL, LIU W, CHEN FS. Effects of ultrasonication on red peanut skins on water-enzyme method for peanut oil extraction and quality [J/OL]. China Oils and Fats, 1–16. [2025-03-22]. DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240228

[33] ZHANG R, PANG X, LU J, *et al.* Effect of high intensity ultrasound pretreatment on functional and structural properties of micellar casein concentrates [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2018, 47: 10–16.

[34] GUAN JJ, ZHANG TB, HUI M, *et al*. Mechanism of microwave-accelerated soy protein isolate-saccharide graft reactions [J]. Food Research International, 2011, 44(9): 2647–2654.

[35] 郭曼莉, 李晓彤, 吴澎, 等. 花生加工副产物的综合利用及精深加工[J]. 粮油食品科技, 2018, 26(3): 27–31.
GUO ML, LI XT, WU P, *et al*. Comprehensive utilization and deep processing of peanut processing by-products [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2018, 26(3): 27–31.

[36] 刘加艳, 任宇鹏, 郭立. 花生蛋白的高静压联合酶法改性及其性质[J]. 中国油脂, 2024, 49(6): 47–52.
LIU JY, REN YP, GUO L. High static pressure combined enzymatic modification of peanut protein and its properties [J]. China Oils and Fats, 2024, 49(6): 47–52.

[37] 肖怀秋, 李玉珍, 林亲录, 等. 响应面优化冷榨花生粕酶法制备多肽工艺的研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(9): 50–55.
XIAO HQ, LI YZ, LIN QL, *et al*. Study on the preparation of peptides by enzymatic process of cold-pressed peanut meal with optimized response surface method [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2013, 28(9): 50–55.

[38] 王进, 惠瑞娟. 酶解花生粕多肽的工艺研究[J]. 周口师范学院学报, 2014, 31(2): 105–107.

WANG J, HUI RJ. Process study on enzymatic hydrolysis of peanut meal peptides [J]. Journal of Zhoukou Normal University, 2014, 31(2): 105–107.

[39] 庞磊, 郑嘉宜, 刘伯业. 花生蛋白改性技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(21): 7042–7048.
PANG L, ZHENG JY, LIU BY. Research progress on peanut protein modification technology [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(21): 7042–7048.

[40] 赵冠里, 赵谋明, 刘岩, 等. 烘烤对花生分离蛋白结构及功能特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(7): 20–23.
ZHAO GL, ZHAO MM, LIU Y, *et al*. The effects of roasting on the structure and functional characteristics of peanut protein isolate [J]. Food and Fermentation Industries, 2009, 35(7): 20–23.

[41] LI C, XUE H, CHEN Z, *et al*. Comparative studies on the physicochemical properties of peanut protein isolate-polysaccharide conjugates prepared by ultrasonic treatment or classical heating [J]. Food Research International, 2014, 57: 1–7.

[42] 张晓丽, 刘玉兰, 汪学德. 花生浓缩蛋白的微波改性研究[J]. 粮油加工, 2010(6): 19–22.
ZHANG XL, LIU YL, WANG XD. Microwave modification of peanut concentrated protein [J]. Grain and Oil Processing, 2010(6): 19–22.

[43] 褚之琳, 鲁明. 花生蛋白改性及烘烤对花生品质影响的研究进展[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(10): 92–96.
CHU ZL, LU M. Research progress on the influence of peanut protein modification and roasting on peanut quality [J]. Storage and Process, 2022, 22(10): 92–96.

[44] 杨伟强, 杜德红, 江晨, 等. 超声波辅助花生浓缩蛋白糖基化改性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(3): 830–840.
YANG WQ, DU DH, JIANG C, *et al.* Research on glycosylation modification of peanut concentrated protein using ultrasonic technology [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(3): 830–840.

[45] 阎杰, 杨金兰, 李灿芳. 花生蛋白乙酰化改性的适宜条件[J]. 农业机械, 2011(17): 64–68.
YAN J, YANG JL, LI CF. Optimal conditions for acetylation modification of peanut protein [J]. Farm Machinery, 2011(17): 64–68.

[46] 林伟静, 刘红芝, 石爱民, 等. 木糖接枝改性温度对花生蛋白膜物理性质的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(11): 76–82.
LIN WJ, LIU HZ, SHI AIM, *et al.* The influence of grafting modification temperature on the physical properties of peanut protein membranes [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(11): 76–82.

[47] YU LN, YANG WQ, SUN J, *et al*. Preparation, characterisation and physicochemical properties of the phosphate modified peanut protein obtained from *Arachin Conarachin* L. [J] Food Chemistry, 2015, 170: 169–79.

[48] ZHANG SB. *In vitro* antithrombotic activities of peanut protein hydrolysates [J]. Food Chemistry, 2016, 202: 1–8.

[49] 曹迪, 范远景, 黄婷, 等. 不同改性方法对花生浓缩蛋白结构及功能特性的影响[J]. 食品工业, 2014, 35(10): 186–190.
CAO D, FAN YJ, HUANG T, *et al*. Effects of different modification methods on the structure and functional properties of peanut concentrated protein [J]. The Food Industry, 2014, 35(10): 186–190.

[50] 熊柳, 孙庆杰, 刘砚, 等. 转谷氨酰胺酶改性花生分离蛋白工艺的研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(4): 44–49.
XIONG L, SUN QJ, LIU Y, *et al*. Study on the process of transglutaminase-modified peanut separation protein [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(4): 44–49.

[51] 张兆丽. 酶法改性花生分离蛋白的研究[J]. 潍坊工程职业学院学报, 2015, 28(2): 84–86.
ZHANG ZL. Study on enzymatic modification of peanut protein isolate [J]. Journal of Weifang Engineering Vocational College, 2015, 28(2): 84–86.

[52] 韩莉君, 杨清馨, 刘少伟. 微波处理对花生蛋白功能特性和结构的影响[J]. 食品科技, 2023, 48(3): 216–223.
HAN LJ, YANG QX, LIU SW. Effects of microwave treatment on the functional characteristics and structure of peanut protein [J]. Food Science and Technology, 2023, 48(3): 216–223.

[53] RIVERA ÁER, ULLOA JA, SILVAS JEU, *et al.* Physicochemical, techno-functional, biochemical and structural characterization of a protein isolate from groundnut (*Arachis hypogaea* L.) paste treated with high-intensity ultrasound [J]. Food Chemistry, 2025, 464(Pt 3): 141848.

[54] 李滢溪, 张丽芬, 赖少娟, 等. 花生蛋白稳定乳液研究进展及应用现状[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(11): 198–204.
LI YX, ZHANG LF, LAI SJ, *et al*. Research progress and application status of peanut protein stable emulsion [J]. Food Research and Development, 2022, 43(11): 198–204.

[55] 林晗, 董诗琴, 张贞炜, 等. 亲水胶体对大豆、花生双蛋白凝胶持水性的影响及机制探究[J]. 食品科技, 2021, 46(10): 142–148.
LIN H, DONG SQ, ZHANG ZW, *et al*. Study on the effect and mechanism of hydrophilic colloids on water retention of soybean and peanut protein gels [J]. Food Science and Technology, 2021, 46(10): 142–148.

[56] 蒋雨珊, 章绍兵. 花生蛋白凝胶特性的研究进展[J]. 中国油脂, 2020, 45(3): 98–102.
JIANG YS, ZHANG SB. Research progress on the gel characteristics of peanut protein [J]. China Oils and Fats, 2020, 45(3): 98–102.

[57] 李响, 张焕丽, 郭世龙, 等. 不同改性方法对花生蛋白理化特性影响研究[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(9): 101–108, 193.
LI X, ZHANG HL, GUO SG, *et al*. Effects of different modification methods on physicochemical properties of peanut protein [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(9): 101–108, 193.

[58] 李志杰, 闫睿思, 汪秀娟, 等. 蛋白添加剂增强肉制品凝胶性研究进展[J]. 食品科学, 2024, 45(7): 348–357.
LI ZJ, YAN RS, WANG XJ, *et al*. Research progress on protein additives to enhance gelatinization of meat products [J]. Food Science, 2024, 45(7): 348–357.

[59] 张莹丽, 王云霄, 程晶晶. 花生枸杞奶的配方工艺研究[J]. 许昌学院学报, 2020, 39(5): 100–104.
ZHANG YL, WANG YX, CHENG JJ. Research on the formula and process of peanut milk [J]. Journal of Xuchang University, 2020, 39(5): 100–104.

[60] 秦朗, 曹健, 田华, 等. 响应面法优化花生蛋白酸奶的加工工艺[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(6): 96–100, 104.
QIN L, CAO J, TIAN H, *et al*. Optimization of processing technology for peanut protein yogurt by response surface method [J]. Cereals & Oils, 2021, 34(6): 96–100, 104.

[61] 吴广辉, 毕韬韬, 张学全. 花生火腿肠的研究开发[J]. 花生学报, 2016,

45(1): 39–42, 47.
WU GH, BI TT, ZHNAG XQ. Research and development of peanut ham sausage [J]. Journal of Peanut Science, 2016, 45(1): 39–42, 47.

[62] 李向阳, 董海洲, 刁恩杰, 等. 改性花生蛋白粉对面团特性及挂面品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(11): 6–9.
LI XY, DONG HZ, DIAO ENJ, *et al*. Effects of modified peanut protein powder on dough properties and noodle quality [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(11): 6–9.

[63] 胡小静, 江买祥, 陈涵. 花生粕戚风蛋糕的研制[J]. 文山学院学报, 2017, 30(6): 34–36.
HU XJ, JIANG MX, CHEN H. Development of peanut meal chiffon cake [J]. Journal of Wenshan University, 2017, 30(6): 34–36.

[64] 热依木江. 天然巴旦木杏仁花生奶生产工艺技术[J]. 广州食品工业科技, 2000(3): 24–25.
REYI MJ. Production technology of natural almonds and peanut milk [J]. Guangzhou Food Industry Technology, 2000(3): 24–25.

[65] 张凌素, 臧春晖, 侯学振. 白藜芦醇的研究进展[J]. 山东化工, 2024, 53(6): 116–117, 123.
ZHANG LS, ZANG CH, HOU XZ. Advances in resveratrol research [J]. Shandong Chemical Industry, 2024, 53(6): 116–117, 123.

[66] 丁玲, 张丽芬, 赖少娟, 等. 植物蛋白在肉制品中的应用研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(4): 193–197.
DING L, ZHANG LF, LAI SJ, *et al*. Application of plant protein in meat products [J]. Food Research and Development, 2021, 42(4): 193–197.

[67] 敬婷. 棉粕和花生粕在鲤鱼饲料中的应用效果评价[D]. 重庆: 西南大学, 2015.
JING T. Effect evaluation of cotton meal and peanut meal in carp feed [D]. Chongqing: Southwest University, 2015.

[68] 程牧, 范泽, 吴迪, 等. 花生粕在水产动物饲料中应用研究进展[J]. 中国饲料, 2024(7): 95–100.
CHENG M, FAN Z, WU D, *et al*. Research progress on the application of peanut meal in aquatic animal feed [J]. China Feed, 2024(7): 95–100.

[69] XU M, WANG T, WANG J, *et al*. An evaluation of mixed plant protein in the diet of Yellow River carp (*Cyprinus carpio*): Growth, body composition, biochemical parameters, and growth hormone/insulin-like growth factor 1 [J]. Fish Physiology and BiochemIstry, 2019, 45(4): 1331–1342.

[70] 曾思钰, 王艾奇. 花生四烯酸应用及研究进展[J]. 山西化工, 2022, 42(8): 30–31, 36.
ZENG SY, WANG AIQ. Application and research progress of arachidonic acid [J]. Shanxi Chemical Industry, 2022, 42(8): 30–31, 36.

[71] 马利华, 宋慧, 陈学红, 等. 花生粕抗氧化多肽的成分分析和研究[J]. 中国食品添加剂, 2017(5): 209–212.
MA LH, SONG H, CHEN XH, *et al*. Analysis and study on the composition of antioxidant peptides in peanut meal [J]. China Food Additives, 2017(5): 209–212.

[72] 刘欣, 刘昆仑. 富硒花生降胆固醇活性肽的制备工艺优化及活性研究[J]. 中国油脂, 2024, 49(12): 113–119.
LIU X, LIU KL. Optimization of preparation process and activity study of cholesterol-lowering active peptides from selenium-enriched peanuts [J]. China Oils and Fats, 2024, 49(12): 113–119.

[73] 芦鑫, 张丽霞, 孙强, 等. 花生蛋白制备和应用研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(8): 444–447.
LU X, ZHANG LX, SUN Q, *et al*. Research on the preparation and application of peanut protein [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(8): 444–447.

[74] 罗盖特公司. 改善的豌豆白蛋白、获得其的方法及其应用: 中国, CN110573024A[P]. 2019-12-13.
LUO GAI TE Company. Improved pea albumin, methods for obtaining it and its applications: China, CN110573024A [P]. 2019-12-13.

[75] 雀巢产品有限公司. 具有改善的质地/口感的奶精及其制备方法: 中国, CN111315227A [P]. 2020-06-19.
Nestlé Products Co., Ltd. Improved texture/taste of milk powder and its preparation method: China, CN111315227A [P]. 2020-06-19.

(责任编辑: 安香玉 蔡世佳)