刘凯悦, 毕金峰, 马有川, 等. 食品胶体与淀粉相互作用机制及在面制品中应用研究进展 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(1): 461−467. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024120020

LIU Kaiyue, BI Jinfeng, MA Youchuan, et al. Research Progress on the Interaction Mechanism between Food Colloids and Starch and Its Application in Flour Products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(1): 461−467. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024120020

· 专题综述 ·

食品胶体与淀粉相互作用机制及在面制品中应用研究进展

刘凯悦, 毕金峰, 马有川, 易建勇*

（中国农业科学院农产品加工研究所, 农业农村部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193）

摘　要: 淀粉是人类膳食中碳水化合物的重要来源，但天然淀粉存在溶解度低、糊化温度较低以及黏度较低等固有缺陷。食品胶体与淀粉相互作用可以有效改善淀粉的理化特性，已成为当前研究热点。本文首先介绍了食品胶体的概念和分类，重点分析了食品胶体与淀粉相互作用的四种主要机制：氢键作用、物理屏障/包裹作用、静电相互作用以及渗透作用。在此基础上，详细探讨了食品胶体对淀粉糊化、流变特性和老化行为的调控机理，并总结了其在面制品中的具体应用。本文为深入理解食品胶体改善淀粉理化特性的作用机理提供了一定的理论基础。

关键词: 食品胶体, 淀粉, 相互作用, 机制, 面制品

中图分类号: TS231　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)01−0461−07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024120020　　本文网刊:

Research Progress on the Interaction Mechanism between Food Colloids and Starch and Its Application in Flour Products

LIU Kaiyue, BI Jinfeng, MA Youchuan, YI Jianyong*

（Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China）

Abstract: Starch is an essential source of carbohydrates in the human diet; however, native starch has inherent drawbacks, including low solubility, low gelatinization temperature, and insufficient viscosity. The physicochemical properties of starch can be effectively improved through interactions with food colloids, and this has become a significant focus of recent research. In this review, the concept and classification of food colloids are introduced, and four major mechanisms of interaction between food colloids and starch are thoroughly analyzed: hydrogen bonding, physical barrier/encapsulation effects, electrostatic interactions, and osmotic effects. Based on these mechanisms, the regulatory effects of food colloids on starch gelatinization, rheological properties, and retrogradation behavior are systematically investigated, and their specific applications in flour-based products are summarized. This review provides a theoretical foundation for further understanding the mechanisms by which food colloids improve the physicochemical properties of starches.

Key words: hydrocolloids; starch; interaction; mechanisms; flour products

淀粉作为人类重要的基础能源, 其独特的物理化学性质和营养特性在食品科学研究和人类健康领域发挥着重要作用。然而, 天然淀粉存在溶解度低、易老化、热稳定性差以及糊化温度低等固有缺陷[1], 这些不足严重限制了其在食品工业中的应用。因此, 如何有效调控淀粉的物理化学性质成为当前亟待解

收稿日期: 2024−12−04

基金项目: 贵州省科技计划项目（黔科合中引地 (2024)025）; 石家庄市农业科技项目（24039）; 中国农业科学院农产品加工研究所创新工程（CAAS-ASTIP-2025-IFST）。

作者简介: 刘凯悦（2002−）, 女, 硕士研究生, 研究方向: 果胶结构和功能, E-mail: 3578156131@qq.com。

*** 通信作者:** 易建勇（1983−）, 男, 博士, 研究员, 研究方向: 果蔬加工质构品质形成机理及调控, E-mail: yijianyong515@126.com。

决的关键科学问题。

食品胶体是一类富含羟基、羧基等亲水基团的大分子物质，能够在特定条件下与水分子发生水化反应，在食品加工过程中表现出增稠、增粘、粘附、胶凝、稳定和乳化等功能，可以有效改善食品的硬度、脆性和致密性[2]。研究表明，将适宜的食品胶体引入淀粉基食品的生产中，不仅能显著提升淀粉基食品的品质和稳定性[1]，而且在优化食品加工技术及促进创新食品开发方面具有重要的意义。

近年来食品胶体与淀粉之间相互作用的研究持续增加，主要集中在对淀粉的糊化温度、糊化黏度、流变学行为和老化特性等物理化学性质的影响及相互作用机制方面（图 1）。在改善淀粉糊化方面，Liu 等[3] 发现 *Mesona chinensis* 多糖（MCP）的加入可以提高玉米淀粉、豌豆淀粉的糊化黏度，但 MCP 却降低马铃薯淀粉的糊化黏度。Zhang 等[4] 在甘薯淀粉中加入黄精多糖，不同分子量的黄精多糖可以增加或者降低甘薯淀粉的峰值黏度，提高糊化温度，降低淀粉的分解黏度和回生黏度。针对优化淀粉流变行为，*β*-葡聚糖可以增强豌豆淀粉的弹性和黏性，且豌豆淀粉与 *β*-葡聚糖的混合物为假塑性流体，具有良好的流动性[5]。Higiro 等[6] 利用 *κ*-角叉菜胶（*κ*-Carrageenan，KC）显著提高了木薯淀粉的稠度系数，有效提高了木薯淀粉的弹性和黏性。此外，可溶性大豆多糖的添加延缓了小麦淀粉凝胶硬度的增加，显示出其抗老化效果。可溶性大豆多糖通过形成“屏障”作用，阻止淀粉分子的氢键相互作用，从而抑制再结晶，延缓老化[7]。Xu 等[8] 发现 8% 的海带多糖通过干扰淀粉分子的重组，抑制淀粉的结晶化过程，从而延缓老化。许多学者也深入探究了食品胶体和淀粉相互作用的机制，Kong 等[9] 通过在复合凝胶中添加尿素和 NaCl 发现，水稻淀粉与 MCP 之间存在氢键作用和静电相互作用，且氢键作用占主导。此外，也有学者指出食品胶体和淀粉之间可以通过物理屏障作用/包裹作用、渗透作用等机制相互作用[10−11]。

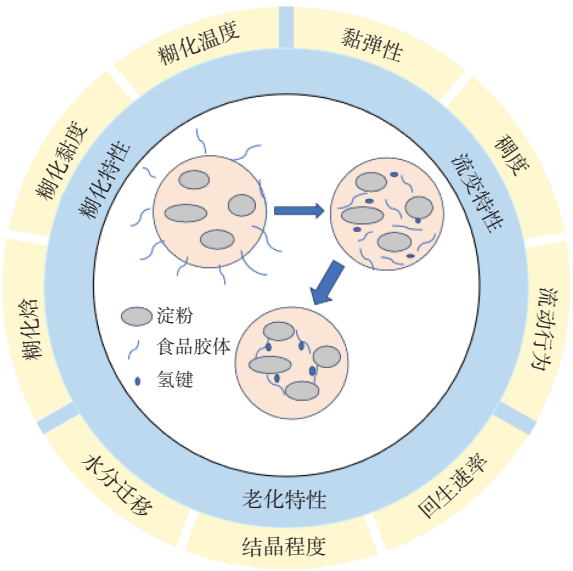


图 1 食品胶体对淀粉及其制品理化性质的影响

Fig.1 Effect of food colloids on the physicochemical properties of starch and its products

基于国内外研究学者的研究结果，本文重点综述了氢键作用、物理屏障作用/包裹作用、静电相互作用以及渗透作用等食品胶体与淀粉相互作用的机制，并总结两者相互作用在面制品中的应用。以期在食品加工过程中能够提高淀粉基食品品质，充分发挥食品胶体与淀粉相互作用在面制品中的品质改良作用。

1 食品胶体概念、分类

食品胶体（Food colloids）又可称为亲水胶体，富含羟基、羧基等亲水基团，可大量溶解于水中，主要包括多糖类或蛋白质类大分子物质，在食品加工过程中起到增稠、稳定、乳化以及结晶抑制等作用，调节食品体系的黏度、稳定性和硬度等指标，改善食品品质和口感[12]。

食品胶体有多种分类方式，可根据其化学结构、含水量多少、离子性质等许多方面进行分类，最为常见的是根据其来源进行分类，大致分为植物胶、动物胶、微生物胶、海藻胶和化学合成胶[13]。根据上述来源分类，每种来源列举了几种代表性的食品胶体（表 1）。

表 1 食品胶体的分类

Table 1 Classification of food colloids

分类	组成	食品胶体
植物胶	多糖类	淀粉
		果胶
		纤维素
		瓜尔胶
		菊粉
		阿拉伯胶
	蛋白质类	大豆蛋白
		玉米蛋白
		水稻蛋白
		小麦蛋白
动物胶	多糖类	明胶
		壳聚糖
		糖原
	蛋白质类	乳清蛋白
		卵清蛋白
微生物胶	多糖类	黄原胶
		葡聚糖
		凝胶多糖
		普鲁兰多糖
海藻胶	多糖类	结冷胶
		海藻酸钠
		卡拉胶
		琼脂
化学合成胶	多糖类	改性淀粉
		酰胺化果胶
		甲基纤维素
		海藻酸丙二醇酯
		羧甲基纤维素

2　食品胶体与淀粉相互作用机制

基于目前食品胶体与淀粉相互作用研究可知，许多学者认为两者相互作用影响淀粉理化性质的机制主要有氢键作用、物理屏障作用/包裹作用、疏水相互作用、渗透作用等[14−16]。

2.1　氢键作用

食品胶体加入后，通过氢键作用与淀粉形成致密的网络结构，致使两者之间的缠结和相互作用增强。一方面，氢键作用使得淀粉颗粒的稳定性增强，糊化所需能量增加，导致糊化温度升高；另一方面，氢键网络结构促使两者之间缠结增强，在一定程度上抑制了淀粉颗粒膨胀和直链淀粉浸出，延迟了糊化，增强复合凝胶的黏弹性。此外，氢键的存在阻碍了直链淀粉之间重排和结合，抑制了淀粉回生。如苹果果胶（Apple pectin，AP）利用氢键与小麦淀粉（Wheat starch，WS）相互作用。糊化初期，随着温度地升高，淀粉颗粒破裂，直链淀粉由于其线性结构更易浸出[17]。添加 AP 后，AP 通过氢键相互作用与 WS 发生交联，并对其出现包裹现象[9]。这种氢键相互作用加强了 WS 与 AP 之间的交联，减少了 WS 分子之间以及 WS 与水分子之间的接触，在一定程度上抑制了直链淀粉浸出，最终使得糊化温度升高。氢键相互作用使凝胶结构更加稳定，增加了糊化所需能量，如图 2 所示。

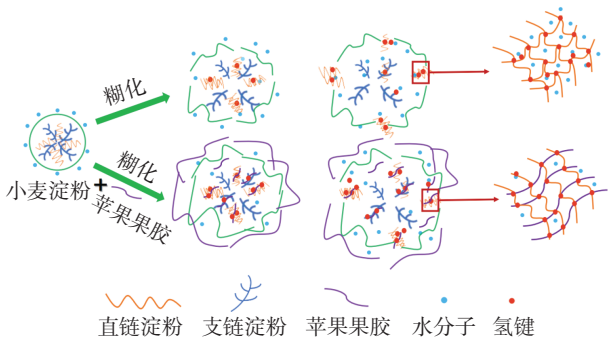


图 2　小麦淀粉和苹果果胶的相互作用

Fig.2　Interaction of wheat starch and apple pectin

这种氢键网络结构主要存在于淀粉和胶体的羟基之间或在淀粉和胶体间以 OH···π 的形式存在[9,18]。相较于其他分子间相互作用力，氢键相互作用在两者相互作用中占据主导地位。此外，食品胶体也会因其自身亲水性与水分子之间形成稳定的氢键网络结构，进一步影响淀粉糊化过程中水分迁移，最终影响淀粉的理化性质[19−20]。如 Guido 等[20] 发现果胶与淀粉竞争水分子，限制系统中水分子迁移，干扰水分子和淀粉之间的相互作用，最终限制淀粉颗粒地溶胀，降低凝胶的黏度。Zhou 等[21] 发现低聚糖通过争夺系统中水分子，削弱淀粉和水分子之间相互作用，增加淀粉的糊化焓。

氢键的形成与食品胶体的分子结构、分子量以及其在溶液中的浓度密切相关。较高的浓度和适当的分子量有助于增加氢键的数量，从而增强食品胶体与淀粉之间的相互作用。Kong 等[22] 在 WS 中加入不同浓度的冬虫夏草多糖（*Cordyceps polysaccharides*，CPS），发现高浓度 CPS 对 WS 短期回生抑制效果更显著。Zhao 等[7] 发现相较于低浓度的海藻酸钠，高浓度的海藻酸钠可通过氢键相互作用更有效地抑制 WS 膨胀，增加凝胶流动性。Zhang 等[23] 发现高分子量果胶降低淀粉糊化黏度，提高淀粉糊化温度，低分子量果胶可以降低淀粉凝胶的硬度。

2.2　物理屏障作用/包裹作用

随着食品胶体的加入，其逐渐与淀粉发生复合，包裹在淀粉颗粒表面，形成物理屏障。在淀粉和食品胶体发生氢键、渗透等其他相互作用的同时，都会发生包裹作用。这种屏障作用可以抑制淀粉溶胀和直链淀粉浸出，促使淀粉颗粒体积增大。最终提高复合凝胶的硬度和强度。同时，这种包裹作用可以限制水分子与淀粉颗粒接触，延缓淀粉糊化，降低糊化黏度。如 Nishala 等[10] 发现果胶可以包裹在马铃薯淀粉周围，阻碍直链淀粉分子聚集和重排，从而削弱直链淀粉分子之间的相互作用（图 3）。这种包裹作用提高了凝胶的 3D 打印性能、调节流变性质，也降低了凝胶的硬度和黏度。包裹层通过抑制直链淀粉和支链淀粉间的再结晶或阻止酶与淀粉分子之间接触，增加了抗性淀粉的含量，进而影响淀粉回生作用。与单独的淀粉相比，淀粉-果胶混合物的相对结晶度显著降低，且淀粉的晶型保持不变。

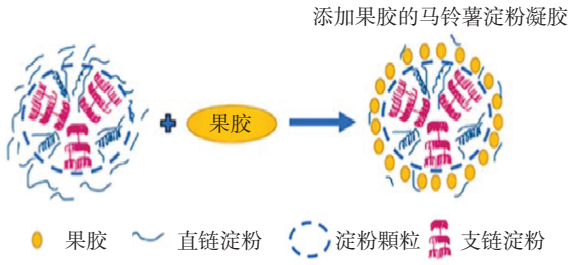


图 3　果胶与马铃薯淀粉通过物理屏障/包裹相互作用机理[10]

Fig.3　Mechanism of interaction between pectin and potato starch through physical barrier/envelope[10]

包裹层的形成主要是由于食品胶体的高亲水性使其与水分子结合。由于其高亲水性，这种胶体能够在淀粉颗粒周围形成稳定的水合层。所形成的水合层起到物理屏障的作用，能够有效抑制直链淀粉浸出以及淀粉与水分子、酶的接触，从而减缓淀粉水解和消化。这种作用的强弱与食品胶体的分子量、浓度、分支程度、亲水性以及其在溶液中的相互作用密切相关[7,24]。食品胶体通过这种机制影响淀粉水合和糊化过程，改善天然淀粉易回生、本身稳定性低、黏度低等问题。如 Yang 等[25] 发现海藻酸钠（Sodium alginate，AG）可以通过物理屏障作用，阻止淀粉分子在储存期间的靠近和重新排列，降低结晶度和回生率，从而改善淀粉的加工特性并延长其货架期。同

时，高浓度的 AG 可以促进淀粉糊化，增加淀粉的黏弹性。AG 对玉米淀粉和小麦淀粉的再结晶也有同样的抑制效果[26]。Cui 等[5] 发现 β-葡聚糖可以包裹在淀粉表面，提高了糊化参数，增强复合凝胶的稳定性。且高分子量的 β-葡聚糖对淀粉的包裹作用更强，凝胶体系更加稳定。

2.3 静电相互作用

由于本身结构特性，食品胶体在水溶液中带有正电荷或负电荷，与淀粉的极性基团可以发生静电相互作用[27]。因食品胶体带有电荷的不同，致使其与淀粉之间可能存在静电排斥或静电吸引。大多数多糖本身带有负电荷，与淀粉之间存在静电排斥。较弱的静电排斥力可以降低复合凝胶的强度和硬度，抑制凝胶回生，使复合凝胶表现出类固体行为。Tu 等[28] 发现带有正电的香菇多糖（*Lentinula edodes* polysaccharide，LEP）与带负电的直链淀粉发生静电相互作用。两者的相互作用减慢了淀粉糊化过程，限制淀粉糊化程度，降低淀粉的消化率。静电相互作用的存在增加了淀粉颗粒的有序结构，削弱了抗回生能力。Zhao 等[29] 发现可溶性大豆多糖带有正电与淀粉发生静电相互作用，进而加速淀粉回生，促进淀粉糊化，降低淀粉凝胶硬度。

盐（NaCl 或 KCl）影响静电相互作用但不影响氢键，因此许多研究利用其影响静电相互作用的强度，进一步探究静电相互作用对淀粉理化性质的影响[9,28]。静电相互作用在食品胶体和淀粉之间会产生静电屏蔽，其也是体系中较大的影响因素[27]。如 Kong 等[9] 添加不同浓度的 NaCl 降低 *Mesona chinensis* 多糖（MCP）和淀粉之间的静电排斥，发现低浓度的 NaCl 促进凝胶结构的形成，促进淀粉糊化，提高糊化温度，增加凝胶的热焓值。但随着 NaCl 含量增加，表面带有负电的淀粉和 MCP 被 Na 包裹，产生静电屏蔽效应，干扰淀粉和 MCP 之间的静电相互作用。这种屏蔽效应降低淀粉的糊化黏度，但提高淀粉的糊化温度，也在一定程度上促进了凝胶结构的形成。Yang 等[18] 探究不同浓度 NaCl 对银耳多糖与淀粉静电相互作用的影响。结果发现加入不同浓度的 NaCl 都可以降低复合凝胶的强度，但不同浓度之间的硬度区别不大，表明银耳多糖和淀粉之间存在较弱的静电相互作用。

2.4 渗透作用

当淀粉颗粒分散在食品胶体溶液中时，胶体分子能够通过颗粒的孔隙和通道渗透至其内部。淀粉糊化过程中，随着温度升高，淀粉颗粒发生破裂，食品胶体也会渗透到其内部，使淀粉和食品胶体相互作用。食品胶体与淀粉之间存在多种相互作用机制，但从渗透的角度进行探讨研究相对较少。胶体的吸附量与其浓度、分子量和聚合度有关。随着胶体浓度增加，吸附量也会增加，但在达到一定浓度后会趋于平稳。此外，胶体的分子量越小，越容易渗透到淀粉颗粒内部，从而影响淀粉的特性[30]。

果胶与 WS 通过渗透相互作用机理如图 4 所示。柑橘果胶、苹果果胶、无花果果胶均可以渗透到 WS 颗粒内部。这种渗透作用增强了颗粒的结构，使得在糊化过程中需要更高的糊化温度和热焓值来破坏这种结构。在加热和冷却过程中，果胶浓度的增加会导致淀粉-果胶分散体系的黏度增加。最终的黏度值随着果胶的分子量增加而降低，表明分子量和浓度等因素都是影响胶体能否渗透到淀粉颗粒内部的关键[11]。Chen 等[31] 发现果胶在马铃薯淀粉和豌豆淀粉中的渗透率较高。研究发现，果胶在一定程度上堵塞了颗粒的通道和孔隙，抑制了直链淀粉浸出，削弱水分子与淀粉的相互作用，限制了淀粉溶胀，也提高了糊化温度和焓值。Lascombes 等[32] 通过亚甲蓝分光光度法研究角叉菜胶和淀粉颗粒之间的物理化学相互作用，结果发现角叉菜胶可以部分渗透到淀粉颗粒中。角叉菜胶的渗透作用增强了淀粉凝胶的表观黏度和储能模量，进一步改善淀粉的流变特性。

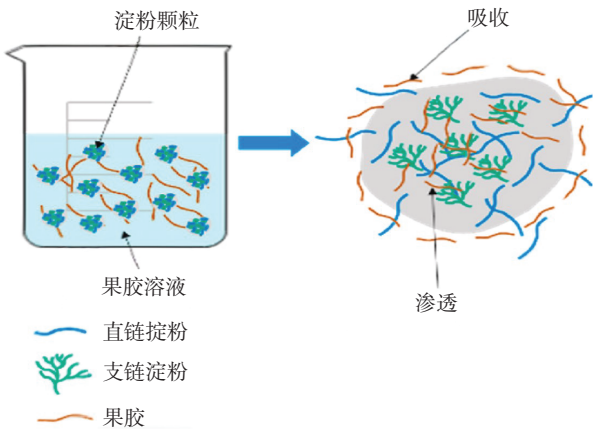


图 4 果胶与小麦淀粉通过渗透相互作用机理[11]

Fig.4 Mechanism of interaction between pectin and wheat starch through osmosis[11]

3 食品胶体和淀粉相互作用在面制品中的应用

许多食品胶体可以改变溶液的性质以形成凝胶或具有增稠、乳化、包衣和稳定等功能，因此在生产中被用作食品添加剂。由于食品胶体可以改善淀粉理化性质，将其添加到面制品中已成为研究热点[33]。食品胶体主要被广泛应用于面团、馒头、面包和面条等产品中，主要改善其持水能力、质地、外观和老化速度。下面总结了食品胶体在面团、馒头、面包等面制品中的应用。

3.1 在面团中应用

面团体系由水分、淀粉颗粒以及面筋蛋白构成。食品胶体对面团的改善主要集中在流变特性和老化等方面。在流变特性方面，食品胶体主要改善面团的黏度、弹性和稳定性。食品胶体可以增大或降低 G'和 G''，进而改善面团的弹性和黏性。食品胶体能够调节二硫键的含量以及与面筋蛋白相互作用，从而优化面筋网络的结构，最终提升面团的稳定性。此

外，由于其亲水性，胶体可以通过改变面筋蛋白和水之间的疏水相互作用进而影响面团的稳定性[34]。如 Li 等[35] 发现海藻酸钠、卡拉胶和黄原胶等阴离子亲水胶体显著增加 G'和 G''，使面团具有更高的粘弹性；但是高酯果胶和低酯果胶降低面团的 G'，表明对面团弹性具有负面影响。Zhang 等[36] 发现阿拉伯木聚糖和果聚糖的添加可以增加二硫键的含量、体系中的 G'和 G''，使面团的内部孔隙更小，结构更致密，面筋网络结构更稳定。Zhu 等[37] 发现羧甲基壳聚糖可以减少面团中游离水含量，抑制冰晶的形成和水分的再分布。羧甲基壳聚糖的酯化度越高，其对面团的保护效果越好。这表明食品胶体通过增加面团中的束缚水含量，减少冰晶的形成和水分的再分布，从而影响面团的水分状态，最终改善了面团的质地特性。Huang 等[38] 报道大豆壳多糖可以与面筋蛋白相互作用，减缓淀粉颗粒分解和面筋网络破坏，从而减少孔隙和改善面筋网络。大豆壳多糖也通过其高亲水性，与面团中水结合，减少游离水分子的含量，从而提高面团的硬度、弹性和黏性。

在老化方面，食品胶体与淀粉竞争水分子，在淀粉结晶过程中产生很强的相互作用，阻断淀粉分子之间的氢键，最后在一定程度上延缓了面团的老化。Fu 等[39] 发现海带多糖可能通过与水分子形成更多的氢键，从而降低淀粉的结晶度。这种作用干扰了淀粉与水分子之间的相互作用，最终导致面团的再结合和回生过程被推迟。Fan 等[40] 发现脱乙酰魔芋葡甘露聚糖能够阻碍淀粉分子与游离水的接触，抑制淀粉重新聚集，降低结晶度，延迟面团在储存条件下的老化。Li 等[41] 发现葡聚糖通过与淀粉和面筋的相互作用，形成稳定的水合层，抑制淀粉的重结晶和回生过程。高分子量的葡聚糖能够有效降低淀粉的回生度，减少面团老化现象。

3.2　在馒头和面包中的应用

对于馒头和面包等发酵面制品，食品胶体的加入可以降低或增加其硬度等其他质地特性，改善比容和水分含量，也可以在一定程度上延缓老化。胶体的使用可以导致质地特性地增强或削弱。如 Bai 等[42] 发现在馒头中添加芸豆多糖可以增加其弹性、韧性和咀嚼度，降低硬度，改善馒头的口感，使其更加柔软和有弹性。Guo 等[43] 发现甘草多糖可以增加馒头的比容、硬度和咀嚼型，有助于保持馒头中蛋白质网络的完整性，也显著降低了馒头的预期血糖指数，延缓了馒头的老化过程。Sim 等[44] 发现羧甲基纤维素、刺槐豆胶等在低水平下加入时，能够增加面团的强度和稳定性，有助于面团的形成，但在高水平下可能会阻碍面团发展，导致面团结构变弱，又或在高水平下可能导致面团变得过于坚硬。由于阿拉伯木聚糖（Arabinoxylans, AX）和阿拉伯半乳聚糖（Arabinogalactan, AG）含量增加，面包的硬度显著降低。此外，随着 AX 和 AG 含量增加，面包的压裂性也有所提高。Fu 等[45] 发现桑叶多糖的加入改善了面包的比体积，降低了面包在室内储存过程中的硬度，1% 的桑叶多糖显示出最好的效果。桑叶多糖也有利于延缓水的迁移和分布，减少水分损失。高甲氧基果胶（High-methoxy pectin, HMP）和低甲氧基果胶（Low-methoxy pectin, LMP）对馒头和面包品质的影响也有所不同[46]。添加 HMP 可以显著提高面包的比体积，使得面包更加蓬松；LMP 的添加对面包比体积的影响不明显，可能导致面包体积较小。

3.3　在面条中的应用

面条是重要的主食产品之一，具有广泛的消费群体。根据其含水量的不同，又将面条分为三种：低水分含量面条、中水分含量面条和高水分含量面条[47]。食品胶体可以改善面条的硬度和弹性等质地特性，也会影响面条的蒸煮损失率。如 Hu 等[48] 发现瓜尔豆胶地加入提高了面条的弹性和咀嚼性，降低了蒸煮损失和开裂率，同时蒸煮后的柔韧性和膨胀指数也都提高。Young 等[49] 发现阿拉伯胶添加改变了面条的硬度和内聚性，使其在烹饪过程中更加柔软和不易破碎，同时减少了表面的黏附性，改善了口感。而且，阿拉伯胶具有高膨胀能力，能够增加面条的水分吸收和膨胀指数，从而改善面条的质地和烹饪性能。Zhang 等[50] 发现随着银耳多糖添加量的增加，面条的硬度、黏附性和咀嚼性显著增加。但当银耳多糖添加量过多时，面条的各参数会出现相反的趋势。此外，银耳多糖可以降低煮面的淀粉消化率，提升面条风味。Wei 等[51] 发现海带多糖通过减少蒸煮损失并赋予更紧实的质地、提高吸水率和硬度，降低面条黏度等改善面条的品质。综上可知，适当的食品胶体及其用量对于提升面条的品质具有重要作用，选择合适的水胶体并确定其最佳添加量，对于保持和调整面条类产品的品质至关重要。

3.4　在饺子中的应用

除了上述几种面制品，食品胶体也被广泛应用于饺子皮和饺子等类似的面制品中。加入食品胶体后，饺子皮的开裂率、水分流失和烹饪损失都有显著降低，且质地特性和稳定性都得到提升。如 Zhu 等[37] 发现用羧甲基壳聚糖制成的饺子皮具有显著降低的开裂率、失水率和更理想的质地性能，饺子馅料的蒸煮损耗也得到了抑制。Gao 等[52] 发现添加 0.8% 奇亚籽胶显著降低饺子皮的烹饪损失以及饺子在冷冻和储存过程中的冷冻开裂率。万金虎[53] 发现黄原胶、卡拉胶、魔芋胶和瓜尔豆胶可以显著降低速冻饺子的破裂率和蒸煮损失率，进一步改善了速冻饺子的品质并提升其感官品质。陈洁等[54] 对饺子皮中添加不同比例的瓜尔豆胶进行了研究，发现瓜尔豆胶的添加有助于促进面筋网络的形成，从而显著改善速冻水饺的冻裂率、蒸煮损失率以及其他品质。

4　结论与展望

食品胶体通过氢键作用、物理屏障作用/包裹作

用、静电相互作用以及渗透作用等多种机制与淀粉发生相互作用,有效调节淀粉的理化特性。其中氢键作用在两者相互作用中占据主导地位。基于上述机制,食品胶体改善了淀粉糊化、流变和老化等特性。在糊化特性方面,食品胶体通过与淀粉竞争水分、形成物理屏障等方式,影响淀粉颗粒膨胀和直链淀粉浸出,从而改变淀粉的糊化温度和热稳定性。在流变特性方面,食品胶体利用上述机制改善淀粉的黏弹性和流动剪切行为,以符合所需流动特性。在老化方面,食品胶体能够抑制直链淀粉和支链淀粉的重排,抑制再结晶,最终延缓淀粉的老化。食品胶体的添加能够有效调控面制品的质地特性,包括口感柔和度、弹性、韧性以及整体结构稳定性。食品胶体对淀粉基食品的改良作用也为食品工业中产品的开发提供了新的思路和方法。

食品胶体改善淀粉理化性质研究持续增多,对两者相互作用机制和应用还需要开展以下工作:由于亲水胶体种类繁多、结构复杂以及添加量对产品的影响复杂,后续可以深入研究不同类型的食品胶体与淀粉相互作用的分子机制,建立作用机理与改性效果的构效关系,为食品胶体的合理选择和应用提供理论依据;构建食品胶体-淀粉-矿物元素多组分体系,分析矿物元素添加对体系营养价值和凝胶性能的协同调控作用及其在生产过程中的应用。此外,在应用方面,目前食品胶体对面制品的影响研究主要集中在含水量、流变和老化等方面,但对面团糊化特性的研究和报道很少且不深入,后续可以开展糊化特性方面的研究。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

[1] MAHMOOD K, KAMILAH H, SHANG P L, et al. A review: Interaction of starch/non-starch hydrocolloid blending and the recent food applications[J]. Food Bioscience, 2017, 19: 110−120.

[2] 杨镕, 臧一宇, 吴鹏, 等. 多糖类食品胶体的功能特性及其在食品加工中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2024, 45(5): 283−292. [YANG Rong, ZANG Yiyu, WU Peng, et al. Research progress on functional properties of polysaccharide-based food colloids and their application in food processing[J]. Food Science, 2024, 45(5): 283−292.]

[3] LIU Suchen, SHEN Mingyue, XIAO Yuehuan, et al. Effect of maize, potato, and pea starches with *Mesona chinensis* polysaccharide on pasting, gelatinization properties, granular morphology and digestion[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 108: 106047.

[4] ZHANG Mengyuan, GOLDING J B, PRISTIJONO P, et al. Effects of Huangjing polysaccharides on the properties of sweet potato starch[J]. Lwt, 2024, 204: 116474.

[5] CUI Yanmin, HAN Xuedong, HUANG Xin, et al. Effects of different sources of *β*-glucan on pasting, gelation, and digestive properties of pea starch[J]. Food Hydrocolloids, 2023, 135: 108172.

[6] HIGIRO J, HERALD T J, ALAVI S. Rheological study of xanthan and locust bean gum interaction in dilute solution[J]. Food Research International, 2006, 39(2): 165−175.

[7] ZHAO Kaifeng, JIA Ziyang, HOU Lili, et al. Study on physicochemical properties and anti-aging mechanism of wheat starch by anionic polysaccharides[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 253: 127431.

[8] XU Ning, YU Pei, ZHANG Hui, et al. Effects of *Laminaria japonica* polysaccharide and coumaric acid on pasting, rheological, retrogradation and structural properties of corn starch[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 263: 130343.

[9] KONG Jia, SHEN Mingyue, WANG Gang, et al. Effects of hydrogen bonding and electrostatic interactions on the formation of rice starch-*Mesona chinensis* polysaccharide gels[J]. Food Hydrocolloids, 2024, 156: 110322.

[10] NISHALA E W, FAN Meiqi, CHOI Y J, et al. Effect of pectin on printability and textural properties of potato starch 3D food printing gel during cold storage[J]. Food Hydrocolloids, 2023, 137: 108362.

[11] CHEN Ruiyun, WILLIAMS P A, CHONG Deng, et al. The interaction of pectin with wheat starch and its influence on gelatinization and rheology[J]. Food Hydrocolloids, 2023, 136: 108288.

[12] 张利, 杨迎伍. 食品品质改良剂: 亲水胶体[J]. 四川食品与发酵, 2002, 38(1): 30−33. [ZHANG Li, YANG Yingwu. The improver of food qulity-hydrocolloids[J]. Sichuan Food and Fermetation, 2002, 38(1): 30−33.]

[13] YANG Xi, LI Anqi, LI Xiuxiu, et al. An overview of classifications, properties of food polysaccharides and their links to applications in improving food textures[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 102: 1−15.

[14] RAVINDRAN G, MATIA-MERINO L. Starch-fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) polysaccharide interactions in pure and soup systems[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(3): 1047−1053.

[15] HAN Xu, LIANG Qiufang, RASHID A, et al. The effects of different hydrocolloids on lotus root starch gelatinization and gels properties[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 257: 128562.

[16] MA Mengjie, GU Zhengbiao, CHENG Li, et al. Effect of hydrocolloids on starch digestion: A review[J]. Food Chemistry, 2024, 444: 138636.

[17] MAGALLANES-CRUZ P A, DUQUE-BUITRAGO L F, del ROCÍO MARTÍNEZ-RUIZ N. Native and modified starches from underutilized seeds: Characteristics, functional properties and potential applications[J]. Food Research International, 2023, 169: 112875.

[18] YANG Fang, DU Qinling, MIAO Ting, et al. Interaction between potato starch and *Tremella fuciformis* polysaccharide[J]. Food Hydrocolloids, 2022, 127: 107509.

[19] XU Lei, REN Jinyun, WANG Xin, et al. Effects of sugar beet pectin on the pasting, rheological, thermal, and microstructural properties of wheat starch[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 253: 127328.

[20] GUIDO R, RODRÍGUEZ S D, del PILAR BUERA M. Modulation of the retrogradation kinetics of sweet potato starch by the addition of pectin, guar gum, and gallic acid[J]. Food Hydrocolloids, 2024, 146: 109211.

[21] ZHOU Danian, ZHANG Bao, CHEN Bo, et al. Effects of oligosaccharides on pasting, thermal and rheological properties of sweet potato starch[J]. Food Chemistry, 2017, 230: 516−523.

[22] KONG Xiangru, ZHU Zhenyuan, ZHANG Xiaojing, et al. Effects of *Cordyceps* polysaccharides on pasting properties and *in vitro* starch digestibility of wheat starch[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 102: 105604.

[23] ZHANG Bao, BAI Bin, PAN Yi, et al. Effects of pectin with different molecular weight on gelatinization behavior, textural prop-

erties, retrogradation and *in vitro* digestibility of corn starch[J]. Food Chemistry, 2018, 264: 58−63.
[24] FENG Tao, SHUI Mengzhu, CHEN Zhongqiu, et al. *Hericium erinaceus* *β*-glucan modulates *in vitro* wheat starch digestibility[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 96: 424−432.
[25] YANG Kai, LUO Xiaohu, ZHAI Yuheng, et al. Influence of sodium alginate on the gelatinization, rheological, and retrogradation properties of rice starch[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 185: 708−715.
[26] LI Qianqian, WANG Yusheng, CHEN Haihua, et al. Retardant effect of sodium alginate on the retrogradation properties of normal cornstarch and anti-retrogradation mechanism[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 69: 1−9.
[27] LUO Yu, SHEN Mingyue, HAN Xiuying, et al. Gelation characteristics of *Mesona chinensis* polysaccharide-maize starches gels: Influences of KCl and NaCl[J]. Journal of Cereal Science, 2020, 96: 103108.
[28] TU Juncai, ADHIKARI B, BRENNAN M A, et al. Interactions between sorghum starch and mushroom polysaccharides and their effects on starch gelatinization and digestion[J]. Food Hydrocolloids, 2023, 139: 108504.
[29] ZHAO Qizhu, TIAN Hao, CHEN Long, et al. Interactions between soluble soybean polysaccharide and starch during the gelatinization and retrogradation: Effects of selected starch varieties[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 118: 106765.
[30] 陈瑞云. 薜荔籽果胶自凝胶机制及其对淀粉性质影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2022. [CHEN Ruiyun. The gelation and the effect on starch physicochemical properties mechanism of pectin from creeping fig[D]. Nanchang: Nanchang University, 2022.]
[31] CHEN Ruiyun, WILLIAMS P A, SHU Jingxiang, et al. Pectin adsorption onto and penetration into starch granules and the effect on the gelatinization process and rheological properties[J]. Food Hydrocolloids, 2022, 129: 107618.
[32] LASCOMBES C, AGODA-TANDJAWA G, BOULENGUER P, et al. Starch-carrageenan interactions in aqueous media: Role of each polysaccharide chemical and macromolecular characteristics[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 66: 176−189.
[33] ZHANG Huijuan, LIU Shuchang, FENG Xuejia, et al. Effect of hydrocolloids on gluten proteins, dough, and flour products: A review[J]. Food Research International, 2023, 164: 112292.
[34] TANG Yu, YANG Yaxuan, WANG Qiming, et al. Combined effect of carboxymethylcellulose and salt on structural properties of wheat gluten proteins[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 97: 105189.
[35] LI Jinxin, ZHU Yunping, YADAV M P, et al. Effect of various hydrocolloids on the physical and fermentation properties of dough[J]. Food Chemistry, 2019, 271: 165−173.
[36] ZHANG Jing, XU Jinchuan, ZHANG Min. The influence of non-starch polysaccharides on the formation mechanism of wheat dough[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 282: 136268.
[37] ZHU Xiangwei, YUAN Peipei, ZHANG Ting, et al. Effect of carboxymethyl chitosan on the storage stability of frozen dough: State of water, protein structures and quality attributes[J]. Food Research International, 2022, 151: 110863.
[38] HUANG Xueying, WANG Shengnan, ZHANG Minghao, et al. Enhancing frozen dough quality: Investigating the impact of soy hull polysaccharide (SHP) on rheological properties and microstructure[J]. Food Chemistry, 2024, 454: 139853.
[39] FU Yang, LIU Xiaorong, XIE Qianran, et al. Effects of *Laminaria japonica* polysaccharides on the texture, retrogradation, and structure performances in frozen dough bread[J]. LWT, 2021, 151: 112239.
[40] FAN Jianwei, QIN Xiaoli, ZENG Zhilong, et al. Effects of deacetylated konjac glucomannan on the quality characteristics, staling and digestion of Chinese steamed bread[J]. Journal of Cereal Science, 2024, 117: 103910.
[41] LI Shunqin, SUN Ronghao, GONG Ying, et al. Effects of dextran molecular weight on starch retrogradation and technological properties of Chinese steamed bread: Based on the rubber/glass transition[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 270: 131887.
[42] BAI Zhouya, ZHANG Yunhui, LI Hongyan, et al. Effects of red kidney bean polysaccharide on the physicochemical properties of frozen dough and the resulting steamed bread quality[J]. Journal of Agriculture and Food Research, 2024, 16: 101063.
[43] GUO Dongqi, YIN Xiuxiu, CHENG Huan, et al. Fortification of Chinese steamed bread with *Glycyrrhiza uralensis* polysaccharides and evaluation of its quality and performance attributes[J]. Foods, 2022, 11(15): 2253.
[44] SIM S Y, NOOR AZIAH A A, CHENG L H. Quality and functionality of Chinese steamed bread and dough added with selected non-starch polysaccharides[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(1): 303−310.
[45] FU Yang, ZHOU Jianjun, LIU Dezheng, et al. Effect of mulberry leaf polysaccharides on the physicochemical, rheological, microstructure properties and *in vitro* starch digestibility of wheat starch during the freeze-thaw cycles[J]. Food Hydrocolloids, 2023, 144: 109057.
[46] CORREA M J, PÉREZ G T, FERRERO C. Pectins as breadmaking additives: Effect on dough rheology and bread quality[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(7): 2889−2898.
[47] 吴丹. 保鲜湿面品质的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2011. [WU Dan. Sdudies on properties of long life noodle[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2011.]
[48] HU Zhiyuan, GUO Wanxue, LIU Chong, et al. Effect of polysaccharide on rheology of dough, microstructure, physicochemical properties and quality of fermented hollow dried noodles[J]. LWT, 2024, 200: 116214.
[49] YOUNG B, KYUNG O, SOL J, et al. Influence of arabic gum on *in vitro* starch digestibility and noodle-making quality of Segoami[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 125: 668−673.
[50] ZHANG Lifan, CHEN Jie, XU Fei, et al. Effect of *Tremella fuciformis* on dough structure and rheology, noodle flavor, and quality characteristics[J]. LWT, 2022, 172: 114180.
[51] WEI Zhixi, OU Yujia, LAN Xiaoling, et al. Effects of laminarin on the structural properties and *in vitro* digestion of wheat starch and its application in noodles[J]. LWT, 2023, 178: 114543.
[52] GAO Haiyan, WANG Zhaojun, DAI Yunfei, et al. Effects of chia seed gum on the physicochemical properties of frozen dough and the quality of dumplings[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 253(Pt 6): 127280.
[53] 万金虎. 不同亲水胶体对速冻水饺皮品质影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009. [WAN Jinhu. The study of effect on property of quick-frozen dumpling by addition of different hydrocolloids[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.]
[54] 陈洁, 郭丽莹, 王春. 食用胶对速冻水饺品质影响的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(6): 135−138,145. [CHEN Jie, GUO Liying, WANG Chun. Effect of edible gelatins on the texture of quick-frozen dumplings[J]. Food Science and Technology, 2009, 34(6): 135−138,145.]