

植物多酚改善肌原纤维蛋白凝胶特性的研究进展

陈 骥¹, 张碧莹¹, 么紫瑶¹, 江 昕¹, 何思远¹, 秦立刚^{2*}, 陈 倩^{1*}

¹东北农业大学食品学院 哈尔滨 150030

²东北农业大学动物科学技术学院 哈尔滨 150030

摘要 肌原纤维蛋白是肌肉中最主要的蛋白质,其凝胶特性决定了肉制品的感官品质。植物多酚因独特的结构,可在热诱导过程中与肌原纤维蛋白相互作用,改变蛋白的结构并促进蛋白的交联聚集,故影响蛋白的成胶过程与凝胶特性。本文综述植物多酚在正常离子强度下、低离子强度以及氧化体系下促进肌原纤维蛋白热诱导凝胶形成过程及其机理,旨在为以绿色方法改善凝胶肉制品品质提供新思路。

关键词 肌原纤维蛋白; 植物多酚; 凝胶特性; 不同体系; 肉制品

文章编号 1009-7848(2023)11-0423-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.11.040

肌原纤维蛋白的凝胶特性是决定凝胶肉制品品质最重要的因素,优良的凝胶特性可以很好地分散并稳定油滴,提高产品的持水性能,从而赋予凝胶肉制品良好的质地与口感。然而,在氧化条件下肌原纤维蛋白过度、无序地交联聚集以及低盐处理下较差的蛋白溶解性,都会造成肌原纤维蛋白的凝胶特性发生劣变,除破坏产品感官品质外,还可能带来消化困难、营养品质下降甚至有害物质生成等缺陷^[1-2]。如何提升肌原纤维蛋白凝胶特性成为凝胶肉制品加工中亟待解决的问题。随着人们对绿色健康肉制品的关注,使用植物源生物活性物质是提升肉制品品质的有效手段^[3]。

植物多酚作为一种典型的天然添加剂,具有广谱的抑菌性^[4],可消除不良风味^[5],优良的抗氧化性以及抑制有害物质生成^[6]等功效,其中以抗氧化这一功能最为显著。此外,植物多酚独特的结构,可与肌原纤维蛋白发生相互作用,引起蛋白结构改变并与其它环境因素协同作用,在蛋白间构建错综复杂的共价交联模式,而这一过程对肌原纤维蛋白成胶过程以及凝胶特性具有显著影响^[7]。本文基于近年来有关植物多酚调控肌原纤维蛋白凝胶特性的研究,归纳总结不同体系下植物多酚与

肌原纤维蛋白的交互机理以及对蛋白凝胶特性的影响,分析其对肌原纤维蛋白凝胶特性的调控模式与调控机理,旨在为植物多酚改善凝胶肉制品品质以及相关理论体系的完善提供参考。

1 肌原纤维蛋白凝胶形成机理

作为肌肉组织的主要的成分之一,肌肉蛋白赋予肌肉良好的功能性质与感官品质,根据其溶解度可分为3类:胶原蛋白(不溶性)、肌浆蛋白(水溶性)与约占整体蛋白含量的55%~60%的肌原纤维蛋白(盐溶性)^[8]。除肌动蛋白与一些起固定作用的骨架蛋白外,肌球蛋白是肌原纤维蛋白最重要的组分,凭借其丰富的巯基含量与独特的结构,肌原纤维蛋白表现出优良的乳化与凝胶等功能特性,因此在加工肉制品的持水性、质地、色泽与风味等品质上起决定性作用^[9-10]。

1.1 肌原纤维蛋白的凝胶机理

肌原纤维蛋白凝胶是蛋白颗粒间作用力达到平衡状态后,形成的有序三维网络结构,具有良好的持水、持油性能^[11]。

热诱导是蛋白凝胶形成的有效且常用的方式。在宏观视角下,肌原纤维蛋白在受到热诱导时会经历变性、聚集与网络成型3个阶段:一些疏水基团和活性位点因热诱导下蛋白质结构的破坏与伸展而暴露,使得蛋白分子相互聚集,最后在蛋白分子之间的作用力达到平衡后形成稳定、有序且具有一定黏弹性的三维网络凝胶结构^[12]。热诱导

收稿日期: 2022-11-06

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32172232,31972139);
黑龙江省“百千万”工程重大科技专项(2021ZX12B05)

第一作者: 陈骥,男,本科生

通信作者: 秦立刚 E-mail: qinligang@neau.edu.cn

陈倩 E-mail: chenqianego7@126.com

凝胶的品质主要取决于此过程中蛋白质变性展开的速率,若变性展开速率大于交联聚集速率,则更易生成有序、致密的凝胶结构,有利于保持油滴或水滴在凝胶网络中的分散状态,反之则可能导致凝胶结构的无序化^[7]。在微观视角下,肌原纤维蛋白凝胶的形成主要与受热后肌球蛋白的结构变化有关。在大于 0.2 mol/L 的盐离子强度作用下,肌球蛋白细丝会解离成单体,并在热诱导下通过共价与非共价作用力形成凝胶网络^[13];温度较低时,肌球蛋白头部(S1 区)展开,大量疏水基团暴露,开始形成以“头-头”交联方式为主的肌球蛋白二聚体或多聚体;随着温度继续升高,聚集体逐渐增大,同时肌球蛋白尾部解螺旋,呈放射状分布;当温度足够高,以“尾-尾”交联为主要形式加强凝胶网络结构。每个结构变化行为都对应特定的温度范围,然而因存在蛋白来源、加热方式与升温速率

等多重因素,以温度划分的凝胶形成过程具有差异性^[14-15]。

1.2 维持凝胶稳定的分子作用力

肌原纤维蛋白凝胶的形成过程中,非共价相互作用力(氢键、疏水相互作用与静电相互作用)和共价相互作用力(二硫键)是决定凝胶特性的重要因素^[16]。加热条件下蛋白结构伸展,大量疏水基团暴露,形成肽链间的疏水作用力,这是维持凝胶结构最主要的作用力^[17]。然而,其它作用力同样参与到稳定蛋白结构的过程中,影响着凝胶品质。如王静宇等^[18]指出由蛋白表面所带电荷引起的静电相互作用表现为斥力,起到平衡其它引力的作用;Wu 等^[12]发现热诱导凝胶形成过程中总巯基和游离巯基含量降低,转化为二硫键,温度超过 50 °C 后极大促进蛋白交联,提高凝胶结构稳定性。

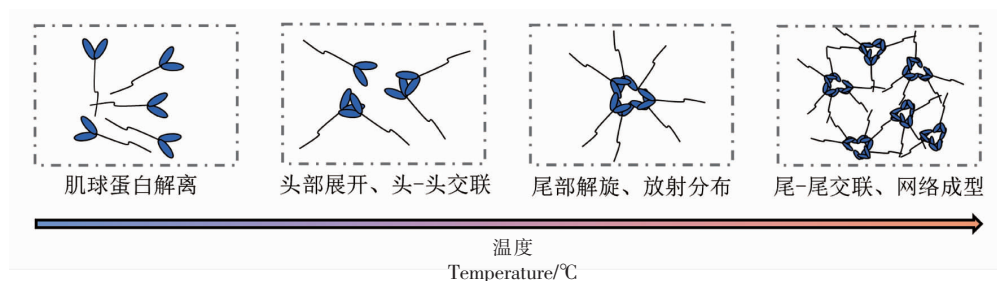


图 1 凝胶形成过程中肌球蛋白聚集模式

Fig.1 The aggregation pattern of myosin during gelation formation

2 植物多酚概述

2.1 植物多酚简介

植物多酚是植物在生长过程中的次级代谢产物,可以为维持植物健康生长提供保护,广泛分布于蔬果、谷物与其它农作物中^[19]。植物多酚的生理功能突出,主要在抗氧化^[20]、抗炎和抗癌^[21]、预防与改善慢性疾病以及调节肠道菌群^[22]等方面具有深远的开发应用价值,同时也是当下的研究热点。上述功能主要归因于其特殊的结构,即总体呈现出以芳香环为骨架,以单一或多羟基取代为特征的基本结构,天然状态下常以糖苷形式存在^[23]。不同种类的植物多酚在结构上存在规律性差异,如分子量、酚羟基含量等,这不仅成为重要的分类依据,也在实际应用中影响着植物多酚与其它食物组分的互作效果^[24]。

2.2 植物多酚种类

植物多酚主要由类黄酮类多酚和非类黄酮组成(图 1)。类黄酮具有典型的“C6-C3-C6”结构,即由含氧杂环连接的 2 个芳香环骨架,并根据杂环结构的不同可以细分为若干子类,即黄酮、黄酮醇、黄烷醇、黄烷酮、异黄酮和花青素^[25]。其中,代表性类黄酮有槲皮素、芦丁、儿茶素和花青素等,其来源广泛,在茶叶、全谷物和浆果类水果等农作物中均有较高含量,这也使类黄酮成为含量最多、分布最广的植物多酚种类^[23,25]。酚酸作为非类黄酮类多酚的主要种类,可分为苯甲酸型衍生物(C6-C1 结构)和肉桂酸型衍生物(C6-C3 结构),常见酚酸有没食子酸、绿原酸、咖啡酸和迷迭香酸等^[26]。此外,还有其它种类的非类黄酮类多酚,如以白藜芦醇为典型代表的芪类^[27]、由若干多酚

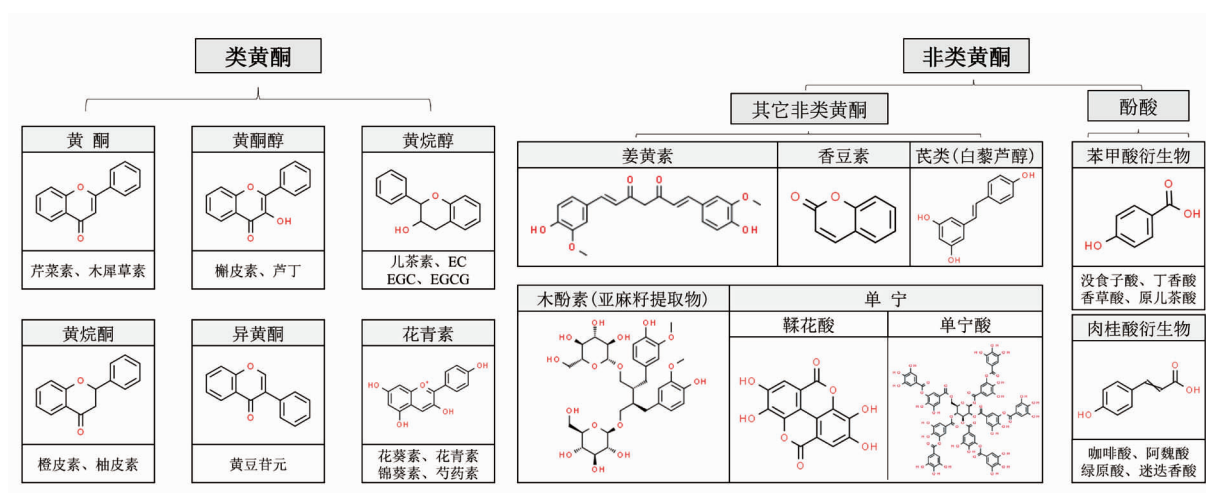


图 2 植物多酚“种类-结构骨架-代表物质”类别谱系

Fig.2 'Type-skeletal structure - typical compound' classification of plant polyphenols

单体共价交联形成的单宁类、以及木酚素类、姜黄素类和香豆素类等^[22,28]。

3 植物多酚对肌原纤维蛋白凝胶特性的影响

3.1 影响概述

3.1.1 正常离子强度下的影响 如上所述,肌原纤维蛋白受热后的展开与相互交联的行为,决定着凝胶的品质。近年来,已有很多研究证实适量添加植物多酚可以通过调节肌原纤维蛋白的变性与聚集过程,从而改善凝胶的质构、流变等多方面特性。杨豫松^[29]发现 0~1%的茶多酚可以显著提升羊肉肌原纤维蛋白凝胶的硬度、保水性等属性,且改善效果具有浓度依赖性;裘云乐等^[30]研究表明表没食子儿茶素没食子酸酯(Epigallocatechin gallate, EGCG)能够与鱼肌球蛋白结合,从而调控肌原纤维蛋白的结构特性与聚集行为,在 0.125~1 mg/mL 的添加范围内均能改善凝胶品质,其中在 0.5 mg/mL 用量时效果最佳;Xu 等^[31]将适量的槲皮素、槲皮苷、没食子酸、单宁、EGCG、表没食子儿茶素 6 种多酚分别与猪肉肌原纤维蛋白结合,发现蛋白的凝胶特性均得到改善,并且将 5 种多酚添加至猪肉丸后同样发现肉丸的质构特性、持水性以及抗氧化能力均得到提升。

目前普遍将植物多酚改善肌原纤维蛋白凝胶品质归因于如下几个方面:首先,少量的植物多酚

虽无法对蛋白的交联聚集等行为进行大幅调控,但已经可以改变肌原纤维蛋白的二级结构,诱导肽链适度伸展以暴露出更多的活性基团参与到凝胶的形成过程中,有利于蛋白之间的相互聚集^[23,32]。其次,在热诱导凝胶形成过程中,高温环境使植物多酚多以氧化态的形式存在,即具有较强亲电性质的醌类及其衍生物^[30]。适量的醌类物质对肌原纤维蛋白的交联效果具有突出贡献,通常以两种方式呈现(图 2);其一,醌类物质有利于促进肽链上的巯基向二硫键转化,从而提升蛋白间的交联程度,随后该醌类物质可还原成酚形态^[13]。其二,由于自身的亲电属性,醌类物质倾向于攻击肌原纤维蛋白中的亲核基团(主要为赖氨酸和半胱氨酸),在氨基或巯基的位点上与蛋白发生共价相互作用。这一反应过程最终形成“氨基-醌”或“巯基-醌”形式的加成产物^[33],且该产物极易被二次氧化,进而可与另一个亲核基团再次发生共价交联,形成“蛋白-多酚-蛋白”结构^[34]。这一过程可促进热诱导过程中肌原纤维蛋白的有序交联,从而改善凝胶的整体性能。此外, Strauss 等^[35]的报道中指出多酚与蛋白发生共价交联后,仍有可能与另一加成产物聚合形成二元酚结构,即“蛋白-多酚-多酚-蛋白”形式的聚合物。

若植物多酚的用量过大,则很可能引起肌原纤维蛋白过度、无序的聚集和交联,形成蛋白沉淀或破坏凝胶结构;与此同时伴随着巯基和氨基等

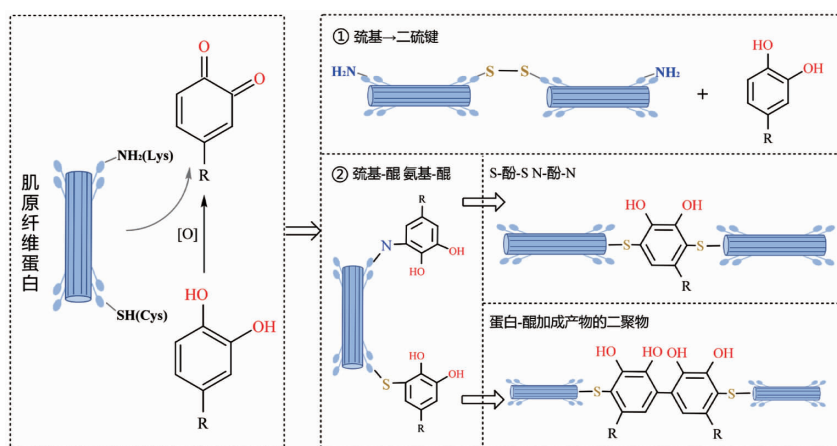


图3 植物多酚促进肌原纤维蛋白交联机理

Fig.3 Mechanism of plant polyphenols promoting cross-linking of myofibrillar proteins

反应性官能团的过度屏蔽,进一步抑制蛋白凝胶的形成^[23]。Jia等^[36]研究表明适量的芦丁可以提升猪肉肌原纤维蛋白的凝胶强度和持水性,而高剂量(200 $\mu\text{mol/g}$)下蛋白凝胶的上述指标均劣于对照组,并导致蛋白的沉淀,且升温过程中高剂量组始终维持为高黏度的蛋白溶液状态,难以形成凝胶;刘丹等^[37]也发现高剂量的丁香和桂皮提取物使猪肌原纤维蛋白凝胶的强度显著降低,甚至小于对照组。总体而言,植物多酚对肌原纤维蛋白凝胶特性的影响大致符合上述机理,会因不同种类植物多酚在结构、分子质量等方面存在差异,其各自与蛋白的互作方式也存在差异,从而对蛋白凝胶品质产生不同的影响效果^[38]。如Wang等^[39]的研究表明迷迭香酸对肌原纤维蛋白的影响基本符合上述规律;然而Hu等^[40]发现低剂量的茶多酚同样可以引起肌原纤维蛋白的过度交联,且对蛋白凝胶形成的抑制效果具有浓度依赖性,相似的现象在EGCG的引入后也有报道^[41]。植物多酚影响肌原纤维蛋白凝胶特性及其构效的关系目前尚未明确,仍需要在研究对象上更全面地涵盖植物多酚的种类,并进一步结合多元化的技术手段进行机理层面的深入探讨。

3.1.2 低离子强度下的影响 NaCl在肌原纤维蛋白凝胶的形成过程中扮演着十分重要的角色,其可以促进肌原纤维蛋白溶解,在热诱导下形成凝胶网络,保证产品的品质特性。然而,长期的高钠盐饮食会诱发人体心血管疾病^[42-43],若单纯降低

离子强度(减盐),肌原纤维蛋白溶解度下降,凝胶特性劣变,相应的产品品质也随之下落;若在食品加工中使用其它氯化物(K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等)替代食盐,不仅会给产品带来苦味、涩味和金属感,还会影响产品的质构特性。此外,一些物理减盐技术,如高压和微波处理虽可一定程度改善低盐凝胶肉制品的品质特性,但这其中也不乏操作繁琐、成本高昂等不利因素^[44]。因此,近年来在低盐体系下探讨植物多酚对肌原纤维蛋白凝胶特性影响的研究日益增多。

贾娜等^[45]发现迷迭香酸提取物中以酚酸为主的组分可以使猪肉肌球蛋白部分解螺旋,在NaCl用量为0.45 mol/L时可以有效改善减盐对肌原纤维蛋白凝胶特性产生的不利影响,具体表现在G'值、保水性与凝胶强度在减盐后都没有显著下降。然而,若NaCl用量过低,肌原纤维蛋白溶出量过少,植物多酚也无法对劣变的凝胶特性产生显著的改善作用。如Dai等^[46]研究发现迷迭香酸可以促进热诱导过程中肌原纤维蛋白二级/三级结构的展开,并使疏水基团暴露,从而增强蛋白间的相互作用强度。由此带来的凝胶特性提升现象仅在中、高NaCl浓度处理组中(>0.6 mol/L)有较好效果,在低NaCl浓度处理组中(<0.4 mol/L),虽然可以观测到迷迭香酸的加入使得凝胶强度、持水性等指标有所改善,但并没有统计学意义。相似的现象在陈雪珂^[47]的研究中也有报道:迷迭香酸虽然可以通过促进肌球蛋白相互交联来提升蛋白凝胶特

性,但在低浓度 NaCl(0.2 mol/L)条件下,加热很容易导致肌球蛋白不溶性纤维的快速、无序的聚集,很难形成稳定的化学键,使得肌球蛋白凝胶特性未得到显著提高。此外,Chen 等^[48]发现低浓度 EGCG 对低盐(0~0.2 mol/L)体系下的肌原纤维蛋白凝胶的蒸煮损失、凝胶强度等品质无显著影响,而高浓度 EGCG(1×10^{-3})反而使得体系的凝胶特性发生劣变。

综上,在适当的减盐体系下,适宜浓度的植物多酚对改善肌原纤维蛋白凝胶特性具有较好的效果,而对于过度减盐体系,仅通过添加植物多酚尚难解决凝胶特性劣变的问题。Xiong 等^[49]研究发现低剂量的 *L*-精氨酸协同氧化咖啡酸可以显著改善低盐(0.5%)条件下鱼肉肌原纤维蛋白的凝胶特性,这可能归因于 *L*-精氨酸通过与氨基酸残基的相互作用提升肌球蛋白的溶解性,有利于氧化咖啡酸和蛋白发生共价交联,从而形成良好的凝胶网络结构。一些常见的方法,如化学修饰(糖基化等)、物理手段(高压、超声处理等)以及外源添加剂(氨基酸、海藻酸钠等)均已被证实具有促进肌原纤维蛋白溶解的效果^[50],因此需要进一步挖掘植物多酚与上述方法联用对改善肌原纤维蛋白凝胶特性的潜力。

3.1.3 氧化条件下的影响 蛋白质的氧化是一种自由基诱导的链式反应,在肉制品加工及贮藏中普遍存在,直接影响着产品的加工特性和感官品质^[51]。一般认为,肌原纤维蛋白的过度氧化会使与凝胶相关品质的恶化,这一现象主要归因于被氧化的氨基酸侧链通过各种分子内共价相互作用而过度交联,从而更易形成紧致的凝块而失去了有序、稳定的凝胶结构^[52]。蛋白的氧化程度常通过羰基含量、聚合物含量的增加以及巯基含量、表面疏水性的降低等指标所表征^[53]。鉴于肉制品在实际的加工、贮藏和运输中极易受到不同程度的氧化影响,因此深入分析在氧化体系下植物多酚对肌原纤维蛋白凝胶特性的影响更具实际意义。

植物多酚的抗氧化效果已在肉制品加工中得以证实,这主要是由于植物多酚可以通过交换氢原子或电子来消除自由基,进而减少肌原纤维蛋白受自由基等氧化因子的攻击,保护蛋白凝胶的品质^[54]。大部分植物多酚,如在绿原酸^[55]、丁香提取

物^[56]和苹果多酚^[57]对肌原纤维蛋白凝胶品质均有提升作用。此外,已有研究发现适量的植物多酚与温和的氧化处理可以协同改善肌原纤维蛋白凝胶品质:Guo 等^[58]利用葡萄糖氧化酶构建了低强度的氧化体系,发现该条件下没食子酸对肌原纤维蛋白凝胶品质的改善效果优于未氧化组,且没食子酸添加量为 60 $\mu\text{mol/g}$ 时凝胶强度提升 53%,*G'* 值提升 83%;Jiang 等^[59]研究表明褐藻多酚对肌原纤维蛋白凝胶品质的改善效果具有浓度依赖性,对样品进行紫外辐照处理后,即引入了适度的氧化,该改善效果得到进一步增强,因此作者认为多酚辅助紫外辐照协同提升肌原纤维蛋白凝胶制品的质量具有可行性。相似的结果在 Pan 等^[60]的研究中也有报道:对样本进行超声预处理诱导自由基的产生,协同低浓度的没食子酸可以显著提升凝胶的流变特性。综上可知,适度的氧化可以促进肌原纤维蛋白结构的缓慢展开,暴露出更多的活性位点,与此同时氧化也会促进体系内的多酚向醌类及其衍生物的转变,从而更有利于与蛋白共价交联,形成有序、稳定的凝胶结构^[31]。因此,适度氧化协同植物多酚改善肌原纤维蛋白凝胶特性具有一定潜力,未来应进一步探索多酚种类及使用量、氧化的类型和程度与凝胶特性改善效果的关系。

值得注意的是,在氧化体系下植物多酚的使用量也需要进行优化,否则多酚的抗氧化作用可能会向促氧化的转变,从而引起蛋白的过度交联,使凝胶特性劣变。如 Li 等^[53]研究表明 10 $\mu\text{mol/g}$ 茶多酚可以有效缓解氧化带来的肌原纤维蛋白过度交联聚集的现象,而用量超过 20 $\mu\text{mol/g}$ 后,茶多酚反而起到促氧化的效果,加速了蛋白的变性、失稳与无序聚集,最终使其成胶能力和凝胶品质均显著下降。此外虽然植物多酚具有较强的抗氧化能力,但若施加较强的氧化条件,上述协同改善凝胶特性的效果将会消失,凝胶体系也会受到不同程度的损害,甚至二者会协同促进蛋白的过度交联,引起凝胶品质更大程度的劣变。例如相较于采用酶法和物理方法构建的氧化体系,以芬顿体系为代表的化学氧化方法具有更强的氧化效果,这归因于在体系中 Fe^{2+} 的催化下 H_2O_2 极易产生羟自由基^[13]。Chen 等^[56]构建了不同氧化时间的芬顿体

系,发现丁香提取物虽然可以有效抑制氧化对肌原纤维蛋白凝胶特性的损害效果,但在强氧化条件下(5 h),凝胶品质仍受到较大程度的损害;Huang等^[61]探究了芬顿氧化体系下桑葚多酚对肌原纤维蛋白凝胶特性的影响,结果表明桑葚多酚

和氧化处理共同促进蛋白凝胶的交联聚集。相较于未氧化的对照组,凝胶的流变性质变差,微观结构不再均一、有序。综上所述,为提升凝胶的综合品质,在凝胶肉制品实际生产中同时对氧化强度和植物多酚使用量进行严格控制十分重要。

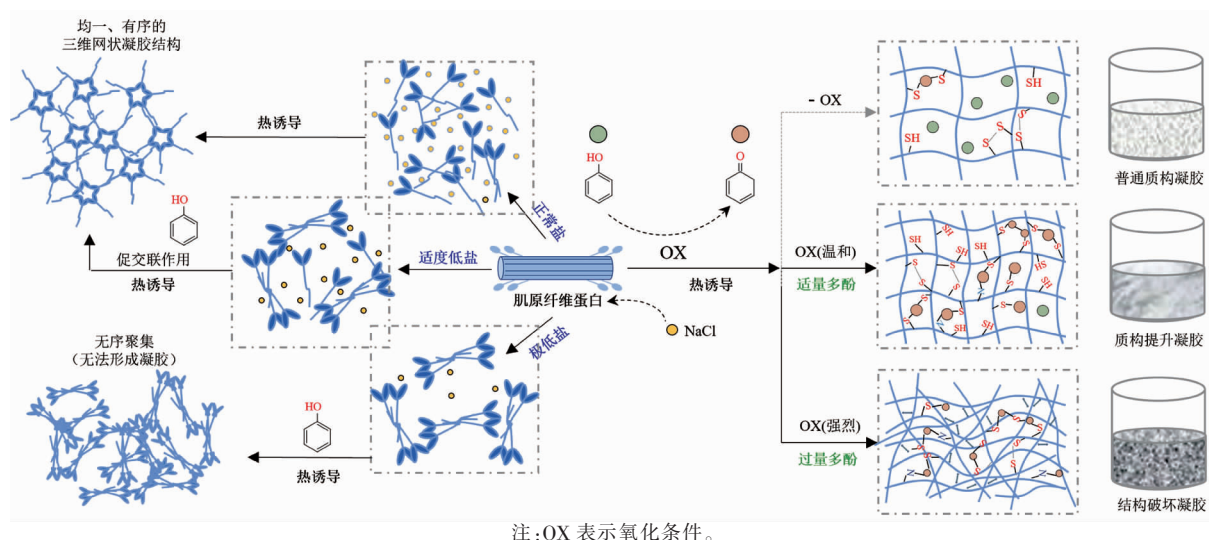


图4 氧化/低盐体系下植物多酚对肌原纤维蛋白凝胶的影响

Fig.4 The effects of plant polyphenols on myofibrillar protein gel under oxidative /low-salt system

3.2 常见植物多酚的影响

植物多酚主要包括酚酸、类黄酮以及其它非类黄酮多酚。然而,具有不同的化学结构(分子质量、羟基含量与修饰基团种类等)的植物多酚,无论是否属于同一子类,与肌原纤维蛋白的互动情况均不同,对蛋白凝胶特性的影响效果也存在不同程度的差异^[38]。以下列举了几种常见的植物多酚对肌原纤维蛋白凝胶特性的影响。

3.2.1 酚酸类植物多酚 酚酸及其衍生物在多种农作物中均有广泛的分布,约占总植物多酚种类的1/3,已被证实可以与乳清蛋白^[62]、大豆蛋白^[63]和米糠蛋白^[64]等多种来源的蛋白质互动并影响蛋白的功能特性。Tang等^[65]发现在氧化条件下,不同剂量的迷迭香酸对猪肉肌原纤维蛋白凝胶特性的影响效果不同:中等剂量(0.25 mmol/L)下迷迭香酸与肌原纤维蛋白的共价结合效果最佳,形成的“精氨酸/组氨酸-迷迭香酸-半胱氨酸”结构提升了蛋白凝胶的综合特性,而高剂量(1.25 mmol/L)下“迷迭香酸-半胱氨酸”结构占主导,降低了凝胶的持水性、强度和白度。没食子酸是一种常见的酚酸类

植物多酚,其分子质量较小,在与肌原纤维蛋白互动时其活性位点数量较少,因此获得了更小的空间位阻,比其它酚酸类多酚更具调控凝胶品质的潜力^[31]。Choi等^[66]利用氧化后的咖啡酸来促进肌原纤维蛋白的交联,提升了凝胶强度,从而制备出高质量的生物可降解食用膜,有效延长了新鲜猪肉的货架期。此外,许多研究表明添加适量富含酚酸的植物提取物(如椰子壳提取物^[67]、鼠尾草提取物^[68]和香辛料提取物^[37]等)也对肌原纤维蛋白凝胶的综合性能有一定的改善作用。

3.2.2 类黄酮类植物多酚 类黄酮种类和功能的多样性主要体现在结构骨架中C环结构的差异,同时还与A环和B环被糖基化、酰化等修饰的程度以及所含羟基数量有关^[69-70]。贾娜等^[71]研究表明槲皮素可以促进猪肉肌原纤维蛋白的疏水相互作用,并在氧化条件下以“巯基-醌”的模式提升蛋白的交联程度,从而抑制蛋白凝胶的氧化损害,表现为更加光滑、均匀的表面结构与更加致密的网络结构。儿茶素是茶叶提取物中最主要的类黄酮物质^[69],诸多研究已表明儿茶素易对肌原纤维蛋白

凝胶特性产生不利的影响。如 Jia 等^[72-73]发现氧化条件下儿茶素的添加会导致猪肉肌原纤维蛋白聚集体的形成,使得蛋白凝胶的强度、流变特性和保水性均下降,用量超过 50 $\mu\text{mol/g}$ 时甚至失去了形成凝胶的能力。作为儿茶素的衍生物,EGCG 是类黄酮中分子质量较大的多酚,因其具有丰富的羟基与活性位点,可以很好地发挥“桥接”作用,常作为影响肌原纤维蛋白凝胶特性的研究对象^[74]。然而,由于 EGCG 促进蛋白交联的能力过强,凝胶结构与品质易受到不同程度的损害^[38,48]。此外,与上述典型类黄酮相似,富含类黄酮的植物提取物(如茶多酚^[75]、葡萄籽提取物^[76]和桑葚多酚^[77]等)也被证实可以通过改变肌原纤维蛋白结构与交联聚集行为从而影响蛋白凝胶特性,具体效果因肌原纤维蛋白种类、多酚种类和处理条件等多种因素而异。

3.2.3 其它种类植物多酚 除酚酸外,仍有一些非类黄酮类多酚被用于调控肌原纤维蛋白凝胶特性。单宁作为一类多酚的聚合物,其含有丰富的结合位点,促进蛋白相互交联的能力很强^[13]。基于此,Nie 等^[78]将单宁类物质(单宁酸与原花青素)添加至鱼肉肌原纤维蛋白中,发现蛋白之间的交联聚集程度增加,从而制得了高强度、低透性的凝胶可食用膜。Xu 等^[11]研究发现单宁酸可以改善猪肉肌原纤维蛋白的乳化性和凝胶的质构,从而提升猪肉丸的感官品质。然而,在肉制品生产中,虽然白藜芦醇、姜黄素等非类黄酮的抗氧化潜力被广泛挖掘^[79-80],但在其对肌原纤维蛋白凝胶特性的影响上研究较少^[38],未来可进一步探索这一类多酚以及不同种类植物多酚在提升蛋白凝胶特性以及在肉制品中的应用效果。

4 结语与展望

在肌原纤维蛋白热诱导凝胶形成过程中,植物多酚可以与蛋白发生“巯基-醌”“氨基-醌”等共价相互作用以及多种非共价相互作用,使得肌原纤维蛋白结构解折叠,并增强蛋白间的交联程度,从而影响蛋白的凝胶特性,改变凝胶肉制品的感官品质。这一影响效果也同时被多重因素所影响,一方面与肌原纤维蛋白的种类、多酚的种类与用量等因素有关;另一方面也与热诱导温度、离子强

度和氧化程度等外界条件紧密相关。

虽然目前在多酚与肌原纤维蛋白相互作用方面已展开广泛的研究,但仍存在一些问题尚待深入探讨。其一,不同种类的植物多酚、肌原纤维蛋白,其自身的结构特性差异较大,凝胶形成所受影响的效果也存在差异,目前此方向上鲜有以香豆素、姜黄素等不常见多酚和禽类肌原纤维蛋白为研究对象的研究,因此研究对象的种类应继续拓宽;其二,应更多关注其它组分与植物多酚协同影响肌原纤维蛋白凝胶特性的可能性,如 β -环糊精^[81]与亚麻籽胶^[73]等多糖物质可以有效缓解植物多酚对凝胶体系的破坏效果;其三,缺乏在特殊环境下植物多酚与肌原纤维蛋白共价相互作用机理的探讨。目前关于“巯基/氨基-醌”共价交联及其所致的聚合物形成理论虽然基本完善,但在极端 pH 值、低盐以及不同种类氧化等条件下,这些共价相互作用是否得以调控以及是否有更复杂的共价交联产物生成尚未明确。此外,可以联合多种技术从微观的角度研究凝胶结构,并结合宏观现象总结规律,填补上述研究缺口。

参 考 文 献

- [1] UTRERA M, MORCUENDE D, ESTÉVEZ M. Temperature of frozen storage affects the nature and consequences of protein oxidation in beef patties[J]. *Meat Science*, 2014, 96(3): 1250-1257.
- [2] 彭林, 马良, 戴宏杰, 等. 多酚与肌原纤维蛋白相互作用机制及其对蛋白特性的影响研究进展[J]. *食品科学*, 2020, 41(11): 239-46.
PENG L, MA L, DAI H J, et al. Recent progress in understanding the interaction mechanism between polyphenols and myofibrillar protein and its effects on protein properties[J]. *Food Science*, 2020, 41(11): 239-246.
- [3] HUANG X, SUN L, DONG K, et al. Mulberry fruit powder enhanced the antioxidant capacity and gel properties of hammered minced beef: Oxidation degree, rheological, and structure [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2022, 154(2): 112648.
- [4] EFENBERGER-SZMECHTYK M, NOWAK A, CZYZOWSKA A. Plant extracts rich in polyphenols: Antibacterial agents and natural preservatives for

- meat and meat products[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 61(1): 149-178.
- [5] HUANG P M, WANG Z R, FENG X Y, et al. Promotion of fishy odor release by phenolic compounds through interactions with myofibrillar protein[J]. *Food Chemistry*, 2022, 387(23): 132852.
- [6] LI L, JI H. Protective effects of epicatechin on the oxidation and *N*-nitrosamine formation of oxidatively stressed myofibrillar protein[J]. *International Journal of Food Properties*, 2019, 22(1): 186-197.
- [7] GUO A Q, XIONG Y L. Myoprotein-phytophenol interaction: Implications for muscle food structure-forming properties[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, 20(3): 2801-2824.
- [8] XIONG Y L. *Food Proteins and their applications* [M]. Boca Raton: CRC Press, 2017: 341-92.
- [9] REISLER E. *Methods in enzymology*[M]. New York: Academic Press, 1982: 84-93.
- [10] 韩格, 孔保华. 功率超声对肌原纤维蛋白功能特性及肉品品质的影响研究进展[J]. *食品科学*, (2021-09-28) [2022-05-03]. <http://h-s.kns.cnki.net.neau.vpn358.com/kcms/detail/11.2206.TS.20210928.0001.002.html>.
- HAN G, KONG B H. Effect of power ultrasound on the functional properties of myofibrillar protein and meat quality: A review[J]. *Food Science*, (2021-09-28) [2022-05-03]. <http://h-s.kns.cnki.net.neau.vpn358.com/kcms/detail/11.2206.TS.20210928.0001.002.html>.
- [11] 包海蓉, 汤嘉慧, 郭全友, 等. 亲水胶体对肌原纤维蛋白凝胶特性的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(22): 276-280.
- BAO H R, TANG J H, GUO Q Y, et al. Advances in research of hydrocolloids on gel properties of myofibrillar proteins[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(22): 276-280.
- [12] WU M G, CAO Y, LEI S M, et al. Protein structure and sulfhydryl group changes affected by protein gel properties: Process of thermal-induced gel formation of myofibrillar protein [J]. *International Journal of Food Properties*, 2019, 22(1): 1834-1847.
- [13] ZHAO X, XU X L, ZHOU G H. Covalent chemical modification of myofibrillar proteins to improve their gelation properties: A systematic review[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, 20(1): 924-959.
- [14] SHARP A, OFFER G. The mechanism of formation of gels from myosin molecules [J]. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 1992, 58(1): 63-73.
- [15] SAMEJIMA K, ISHIOROSHI M, YASUI T. Relative roles of the head and tail portions of the molecule in heat-induced gelation of myosin [J]. *Journal of Food Science*, 1981, 46(5): 1412-1418.
- [16] CAO H W, FAN D M, JIAO X D, et al. Effects of microwave combined with conduction heating on surimi quality and morphology [J]. *Journal of Food Engineering*, 2018, 228(13): 1-11.
- [17] WANG X, WANG L M, YANG K, et al. Radio frequency heating improves water retention of pork myofibrillar protein gel: An analysis from water distribution and structure [J]. *Food Chemistry*, 2021, 350(18): 129265.
- [18] 王静宇, 胡新, 刘晓艳, 等. 肌原纤维蛋白热诱导凝胶特性及化学作用力研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(8): 300-306.
- WANG J Y, HU X, LIU X Y, et al. Advances in heat-induced gel properties and chemical forces of myofibrillar protein gel [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(8): 300-306.
- [19] NAYAK B, LIU R H, TANG J M. Effect of processing on phenolic antioxidants of fruits, vegetables, and grains - A review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2015, 55(7): 887-918.
- [20] ZHANG H, TSAO R. Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects [J]. *Current Opinion in Food Science*, 2016, 8(2): 33-42.
- [21] PATRA S, PRADHAN B, NAYAK R, et al. Dietary polyphenols in chemoprevention and synergistic effect in cancer: Clinical evidences and molecular mechanisms of action [J]. *Phytomedicine*, 2021, 90(11): 153554.
- [22] ARAVIND S M, WICHENCHOT S, TSAO R, et al. Role of dietary polyphenols on gut microbiota, their metabolites and health benefits [J]. *Food Research International*, 2021, 142(4): 110189.
- [23] 李亚丽, 许玉娟, 徐幸莲. 多酚对肌原纤维蛋白结构与功能特性的影响研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(19): 296-306.
- LI Y L, XU Y J, XU X L. Research progress on the effect of polyphenols on the structural and functional properties of myofibrillar protein [J]. *Food and*

- Fermentation Industries, 2021, 47(19): 296–306.
- [24] BUITIMEA-CANTÚA N E, GUTIÉRREZ-URIBE J A, SERNA-SALDIVAR S O. Phenolic-protein interactions: Effects on food properties and health benefits[J]. Journal of Medicinal Food, 2018, 21(2): 188–198.
- [25] LI Y T, HE D, LI B, et al. Engineering polyphenols with biological functions via polyphenol-protein interactions as additives for functional foods [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 110(4): 470–482.
- [26] LI T, LI X, DAI T T, et al. Binding mechanism and antioxidant capacity of selected phenolic acid- β -casein complexes[J]. Food Research International, 2020, 129(2): 108802.
- [27] PENG R M, LIN G R, TING Y W, et al. Oral delivery system enhanced the bioavailability of stilbenes: Resveratrol and pterostilbene[J]. BioFactors, 2018, 44(1): 5–15.
- [28] ZHANG L, MCCLEMENTS D J, WEI Z L, et al. Delivery of synergistic polyphenol combinations using biopolymer-based systems: Advances in physicochemical properties, stability and bioavailability [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60(12): 2083–2097.
- [29] 杨豫菘. 茶多酚对羊肉肌原纤维蛋白凝胶体系功能特性的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- YANG Y S. Effects of tea polyphenols on the functional properties of mutton myofibrillar protein gel[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agriculture University, 2019.
- [30] 裴乐芸, 邢倩, 邓泽元, 等. 植物多酚与鲢鱼肌球蛋白相互作用及其对肌原纤维蛋白结构和凝胶形成的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(5): 48–56.
- QIU Y L, XING Q, DENG Z Y, et al. The interaction of plant polyphenols with silver carp myosin and its effects on the structure and gel formation of myofibrillar protein[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(5): 48–56.
- [31] XU Q D, YU Z L, ZENG W C. Structural and functional modifications of myofibrillar protein by natural phenolic compounds and their application in pork meatball[J]. Food Research International, 2021, 148(10): 110593.
- [32] 贾娜, 林世文, 刘丹, 等. 芦丁诱导猪肉肌原纤维蛋白结构变化对蛋白凝胶特性的改善作用[J]. 食品科学, 2021, 42(8): 67–73.
- JIA N, LIN S W, LIU D, et al. Improvement effects of structural changes of pork myofibrillar protein induced by rutin on its gel properties[J]. Food Science, 2021, 42(8): 67–73.
- [33] ROHN S. Covalent interactions between proteins and phenolic compounds[J]. Encyclopedia of Food Chemistry, 2019, 2(2): 544–549.
- [34] RYSMAN T, VAN HECKE T, DE SMET S, et al. Ascorbate and apple phenolics affect protein oxidation in emulsion-type sausages during storage and *in vitro* digestion[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(20): 4131–4138.
- [35] STRAUSS G, GIBSON S M. Plant phenolics as cross-linkers of gelatin gels and gelatin-based coacervates for use as food ingredients[J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18(1): 81–89.
- [36] JIA N, ZHANG F X, LIU Q, et al. The beneficial effects of rutin on myofibrillar protein gel properties and related changes in protein conformation[J]. Food Chemistry, 2019, 301(32): 125206.
- [37] 刘丹, 贾娜, 杨磊, 等. 3种不同香辛料提取物对猪肉肌原纤维蛋白功能特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 14–19.
- LIU D, JIA N, YANG L, et al. Influence of three different spice extracts on functional characteristics of pork myofibrillar protein[J]. Food Science, 2017, 38(15): 14–19.
- [38] GUO A Q, JIANG J, TRUE A D, et al. Myofibrillar protein cross-linking and gelling behavior modified by structurally relevant phenolic compounds[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(4): 1308–1317.
- [39] WANG S X, ZHANG Y M, CHEN L, et al. Dose-dependent effects of rosmarinic acid on formation of oxidatively stressed myofibrillar protein emulsion gel at different NaCl concentrations[J]. Food Chemistry, 2018, 243(6): 50–57.
- [40] HU Y P, GAO Y F, SOLANGI I, et al. Effects of tea polyphenols on the conformational, functional, and morphological characteristics of beef myofibrillar proteins [J]. LWT –Food Science and Technology, 2022, 154(2): 112596.
- [41] CAO Y G, AI N, TRUE A D, et al. Effects of (-)-epigallocatechin-3-gallate incorporation on the physicochemical and oxidative stability of myofibrillar

- protein-soybean oil emulsions[J]. Food Chemistry, 2018, 245(8): 439-445.
- [42] 魏娜, 张建华, 夏杨毅. 香辛料对低钠盐肌原纤维蛋白氧化体系凝胶特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 47(12): 95-101.
- WEI N, ZHANG J H, XIA Y Y. The effect of spices on the gel properties of low-sodium myofibrillar protein in oxidation system[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(12): 95-101.
- [43] CANDO D, HERRANZ B, BORDERÍAS A J, et al. Different additives to enhance the gelation of surimi gel with reduced sodium content[J]. Food Chemistry, 2016, 196(7): 791-799.
- [44] MONTO A R, LI M Z, WANG X, et al. Recent developments in maintaining gel properties of surimi products under reduced salt conditions and use of additives[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021, 62(30): 1-16.
- [45] 贾娜, 谢振峰, 李儒仁, 等. 迷迭香提取物与 NaCl 协同改善肌原纤维蛋白凝胶特性[J]. 食品科学, 2018, 39(3): 28-33.
- JIA N, XIE Z F, LI R R, et al. Synergistic improvement of myofibrillar protein gel properties by combination of rosemary extract and NaCl[J]. Food Science, 2018, 39(3): 28-33.
- [46] DAI H J, CHEN X K, PENG L, et al. The mechanism of improved myosin gel properties by low dose rosmarinic acid addition during gel formation[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 106(9): 105869.
- [47] 陈雪珂. 肌球蛋白凝胶化过程中与迷迭香酸的相互作用机制及其对蛋白理化特性的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2019.
- CHEN X K. Interaction mechanism of myosin with rosmarinic acid during gelation and its effect on protein physicochemical properties [D]. Chongqing: Southwest University, 2019.
- [48] CHEN L, LEI N, WANG S X, et al. Emulsifying properties of oxidatively stressed myofibrillar protein emulsion gels prepared with (-)-epigallocatechin-3-gallate and NaCl[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(13): 2816-2826.
- [49] XIONG Z Y, SHI T, ZHANG W, et al. Improvement of gel properties of low salt surimi using low-dose L-arginine combined with oxidized caffeic acid[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 145(12): 111303.
- [50] WANG K, LI Y, ZHANG Y M, et al. Improving myofibrillar proteins solubility and thermostability in low-ionic strength solution: A review[J]. Meat Science, 2022, 189(7): 108822.
- [51] 刘昊天, 殷小钰, 汪海棠, 等. 基于蛋白氧化行为的肉及肉制品品质提升及劣变机制研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(21): 230-237.
- LIU H T, YIN X Y, WANG H T, et al. Quality improvement and deterioration of meat and meat products based on the protein oxidation: A review of recent research[J]. Food Science, 2020, 41(21): 230-237.
- [52] ZHANG W G, XIAO S, AHN D U. Protein oxidation: Basic principles and implications for meat quality[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2013, 53(11): 1191-201.
- [53] LI X P, LIU C K, WANG J X, et al. Tea polyphenols affect oxidative modification and solution stability of myofibrillar protein from grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. Food Biophysics, 2020, 15(4): 397-408.
- [54] CAO Y G, TRUE A D, CHEN J, et al. Dual role (anti-and pro-oxidant) of gallic acid in mediating myofibrillar protein gelation and gel *in vitro* digestion[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(15): 3054-3061.
- [55] CAO Y G, XIONG Y L. Chlorogenic acid-mediated gel formation of oxidatively stressed myofibrillar protein[J]. Food Chemistry, 2015, 180(15): 235-243.
- [56] CHEN H S, DIAO J J, LI Y Y, et al. The effectiveness of clove extracts in the inhibition of hydroxyl radical oxidation-induced structural and rheological changes in porcine myofibrillar protein[J]. Meat Science, 2016, 111(1): 60-66.
- [57] RYSMAN T, UTRERA M, MORCUENDE D, et al. Apple phenolics as inhibitors of the carbonylation pathway during *in vitro* metal-catalyzed oxidation of myofibrillar proteins[J]. Food Chemistry, 2016, 211(23): 784-790.
- [58] GUO A Q, XIONG Y L. Glucose oxidase promotes gallic acid-myofibrillar protein interaction and thermal gelation[J]. Food Chemistry, 2019, 293(24): 529-536.
- [59] JIANG D, SHEN P, PU Y, et al. Enhancement of gel properties of *Scomberomorus niphonius* myofibrillar protein using phlorotannin extracts under UVA

- irradiation[J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(7): 2050–2059.
- [60] PAN J F, LIAN H L, JIA H, et al. Ultrasound treatment modified the functional mode of gallic acid on properties of fish myofibrillar protein[J]. *Food Chemistry*, 2020, 320(19): 126637.
- [61] HUANG X, SUN L, LIU L, et al. Study on the mechanism of mulberry polyphenols inhibiting oxidation of beef myofibrillar protein[J]. *Food Chemistry*, 2022, 372(7): 131241.
- [62] XU H X, ZHANG T T, LU Y Q, et al. Effect of chlorogenic acid covalent conjugation on the allergenicity, digestibility and functional properties of whey protein[J]. *Food Chemistry*, 2019, 298(29): 125024.
- [63] MARINEA M, ELLIS A, GOLDING M, et al. Soy protein pressed gels: Gelation mechanism affects the *in vitro* proteolysis and bioaccessibility of added phenolic acids[J]. *Foods*, 2021, 10(1): 154.
- [64] PAN X, FANG Y, WANG L L, et al. Covalent interaction between rice protein hydrolysates and chlorogenic acid: Improving the stability of oil-in-water emulsions[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(14): 4023–4030.
- [65] TANG C B, ZHANG W G, ZOU Y F, et al. Influence of RosA-protein adducts formation on myofibrillar protein gelation properties under oxidative stress[J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 67(6): 197–205.
- [66] CHOI I, LEE S E, CHANG Y, et al. Effect of oxidized phenolic compounds on cross-linking and properties of biodegradable active packaging film composed of turmeric and gelatin[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 93(7): 427–433.
- [67] BUAMARD N, BENJAKUL S. Improvement of gel properties of sardine (*Sardinella albella*) surimi using coconut husk extracts [J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 51(9): 146–155.
- [68] LI Y Y, LIU H T, LIU Q, et al. Effects of zein hydrolysates coupled with sage (*Salvia officinalis*) extract on the emulsifying and oxidative stability of myofibrillar protein prepared oil-in-water emulsions [J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 87(2): 149–157.
- [69] XIAO J B, MAO F F, YANG F, et al. Interaction of dietary polyphenols with bovine milk proteins: Molecular structure-affinity relationship and influencing bioactivity aspects[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2011, 55(11): 1637–1645.
- [70] SANTHAKUMAR A B, BATTINO M, ALVAREZ-SUAREZ J M. Dietary polyphenols: Structures, bioavailability and protective effects against atherosclerosis[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2018, 113(3): 49–65.
- [71] 贾娜, 孙嘉, 刘丹, 等. 槲皮素对氧化条件下猪肉肌原纤维蛋白结构及凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(10): 45–51.
- JIA N, SUN J, LIU D, et al. Effect of quercetin on the structure and gel properties of pork myofibrillar protein under oxidative conditions[J]. *Food Science*, 2021, 42(10): 45–51.
- [72] JIA N, WANG L T, SHAO J H, et al. Changes in the structural and gel properties of pork myofibrillar protein induced by catechin modification [J]. *Meat Science*, 2017, 127(5): 45–50.
- [73] JIA N, LIN S W, ZHANG F X, et al. Improved effect of flaxseed gum on the weakened gelling properties of myofibrillar protein induced by catechin [J]. *Food Chemistry*, 2022, 372(7): 131136.
- [74] LV Y Q, FENG X C, WANG Y J, et al. The gelation properties of myofibrillar proteins prepared with malondialdehyde and (-)-epigallocatechin-3-gallate[J]. *Food Chemistry*, 2021, 340(7): 127817.
- [75] 李玲, 季慧, 康大成, 等. 氧化条件下茶多酚对猪肉肌原纤维蛋白理化和凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(2): 12–17.
- LI L, JI H, KANG D C, et al. Effect of tea polyphenols on physicochemical and gel properties of pork myofibrillar protein under oxidative conditions [J]. *Food Science*, 2019, 40(2): 12–17.
- [76] MUNIR S, HU Y, LIU Y M, et al. Enhanced properties of silver carp surimi-based edible films incorporated with pomegranate peel and grape seed extracts under acidic condition [J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2019, 19(1): 114–120.
- [77] CHENG J R, ZHU M J, LIU X M. Insight into the conformational and functional properties of myofibrillar protein modified by mulberry polyphenols[J]. *Food Chemistry*, 2020, 308(7): 125592.
- [78] NIE X H, ZHAO L M, WANG N N, et al. Phenolics-protein interaction involved in silver carp myofibrillar protein films with hydrolysable and condensed tannins[J]. *LWT-Food Science and Technolo-*

- gy, 2017, 81(8): 258–264.
- [79] JIN S J, WANG M, YANG H, et al. Dietary supplementation of resveratrol improved the oxidative stability and spatial conformation of myofibrillar protein in frozen–thawed duck breast meat[J]. *Food Bioscience*, 2021, 43(5): 101261.
- [80] JIN S J, YANG H, LIU F J, et al. Effect of dietary curcumin supplementation on duck growth performance, antioxidant capacity and breast meat quality[J]. *Foods*, 2021, 10(12): 2981.
- [81] ZHANG Y M, LV Y Q, CHEN L, et al. Inhibition of epigallocatechin–3–gallate/protein interaction by methyl– β –cyclodextrin in myofibrillar protein emulsion gels under oxidative stress[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(30): 8094–8103.

Improvement of Gelation Property of Myofibrillar Proteins Based on Plant Polyphenols: A Review

Chen Qi¹, Zhang Biying¹, Me Ziyao¹, Jiang Xin¹, He Siyuan¹, Qin Ligang^{2*}, Chen Qian^{1*}

¹College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030

²Collage of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Harbin 150030

Abstract Myofibrillar proteins are the most important proteins of muscle and their gelation properties have a decisive effect on the sensory quality of meat products. Due to the unique structural characteristics, plant polyphenols can interact with myofibrillar proteins during heat–induced gelation formation with the structural change and cross–linking of protein, which affects the gelation formation and gelation properties. In this article, the process and mechanism of the improvement of gelation formation of myofibrillar proteins based on plant polyphenols in the normal–ion strength system, low–ion strength system, and oxidative system were reviewed, aiming to provide a novel insight into the improvement of gelation properties of gel–type meat products based on environmental–friendly methods.

Keywords myofibrillar proteins; plant polyphenols; gelation property; different system; meat products