

鱼鳞胶原蛋白可食性膜研究进展

Research progress on fish scale collagen edible film

李岩胧¹ 肖 枫^{1,2} 康怀彬^{1,2}

LI Yan-long¹ XIAO Feng^{1,2} KANG Huai-bin^{1,2}

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023;

2. 食品加工与安全国家级实验教学示范中心, 河南 洛阳 471023)

(1. College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China; 2. National Demonstration Center for Experimental Food Processing and Safety Education, Luoyang, Henan 471023, China)

摘要:文章综述了鱼鳞胶原蛋白膜的制备工艺、性能(机械性能、热性能、阻隔性等)、改性方法以及应用方面的研究,指出通过分子共混等方式虽然可以显著提高膜的性能,但对一些关键因素研究不够深入,今后的研究必须从产业规模化和商业化的角度来解决膜的改性机制、老化机制、可食性、生物降解性、阻隔性、安全性等方面的问题。

关键词:胶原蛋白;鱼鳞;交联改性;可食性膜

Abstract: This study reviews the preparation process, properties (mechanical properties, thermal properties, barrier properties, etc.), modification methods, and applications of fish scale collagen films. The performance of the film can be significantly improved through molecular blending, but it is critical that the factors have not been studied in depth. Future research must solve the problems of film modification mechanism, aging mechanism, edibility, biodegradability, barrier property, safety, etc. from the perspective of industrial scale and commercialization, so as to make fish scales collagen films industrially feasible.

Keywords: collagen; fish scale; cross-linking modification; edible film

鱼鳞占鱼体重量的 1%~5%,主要由两部分组成:外层骨层(缺钙羟基磷灰石)和内层纤维层(I 型胶原纤维)^[1]。鱼鳞含有丰富的粗蛋白和灰分,其中蛋白质(主

要为胶原蛋白和角蛋白)含量约占鱼鳞干物质的 70%^[2],胶原蛋白约占鱼鳞干物质的 11.59%~38.30%^[3]。与哺乳动物胶原蛋白相比,鱼鳞胶原蛋白的安全性更高,不受疯牛病、口蹄疫、禽流感等畜禽疾病的影响^[4]。因此,以鱼鳞为原料制备胶原蛋白膜,可以实现对鱼类资源的综合利用,具有较高的应用价值和社会意义。

胶原蛋白一般存在于细胞外基质中,是具有三重螺旋超分子结构的蛋白质,是由 3 条左手螺旋的 α 链经氢键作用相互缠绕形成的右手螺旋体^[5]。肽链上有 Gly-X-Y 重复序列,X 和 Y 是脯氨酸和羟脯氨酸^[6],是胶原蛋白的特征氨基酸。

鱼鳞胶原蛋白具有良好的生物相容性和可降解性,符合可食性膜的要求,具有广阔的应用前景。近年来,众多学者开展了对鱼鳞胶原蛋白提取工艺和理化特性的研究^[7-9],对鱼鳞胶原蛋白膜的制备工艺和特性进行了较为深入的阐述^[10-12]。文章拟对鱼鳞胶原蛋白膜的制备方法、性能指标、改性方式及应用等方面的研究进行综述,旨在为鱼鳞胶原蛋白的开发利用提供参考。

1 鱼鳞胶原蛋白膜的制备

常用方法有:溶剂浇铸(湿法)和压塑或挤压(干法)^[13]。湿法是将所有成分溶解或分散后干燥成膜,如成膜液直接涂在食品表面形成涂层,或利用成膜液的液-液相分离或液-固相分离的作用固化成膜,或采用热诱导相分离法成膜。干法不使用溶剂,利用成膜成分的热塑性特性,使用高于材料熔点的温度加热,使其流动成型^[14],传统的干法工艺有压塑、注塑和挤出等,主要缺陷是起皱和撕裂,然而,适宜的含水量(5%~8%)和适当的基底材料可以减轻这些不利影响^[13]。近年来,纳米技术为可食性膜的制备提供了新的思路,纳米可食性膜在机械性能、阻隔性能等方面的优势,使其成为最有前途和最

基金项目:河南省自然科学基金项目(编号:162300410071);河南科技大学博士科研启动基金项目(编号:13480058)

作者简介:李岩胧,女,河南科技大学在读硕士研究生。

通信作者:康怀彬(1963—),男,河南科技大学教授,硕士。

E-mail: khbin001@163.com

肖枫(1979—),男,河南科技大学讲师,博士。

E-mail: xfeng@haust.edu.cn

收稿日期:2020-07-02

具吸引力的研究方向之一^[15]。

2 鱼鳞胶原蛋白膜的性能

范德华力、氢键和二硫键等分子间作用力,可以维持胶原蛋白分子结构稳定,影响胶原蛋白膜的性能。表征鱼鳞胶原蛋白膜性能的指标有拉伸强度(Tensile strength, TS)、断裂伸长率(Elongation at break, EAB)等机械性能指标,热变性温度(Thermal deformation temperature, Td)等热学性能指标,以及水蒸气透过性(Water vapor permeability, WVP)等耐水性指标。

2.1 机械性能

膜的物理结构和化学作用力能影响机械性能。常采用质构仪测定膜材料在受到静态或动态力时产生的压力或形变力变化,表征为各种机械指标,如 TS、EAB、硬度、脆度、弹性等。TS 和 EAB 是膜材料常用的机械性能指标。

Weng 等^[16]得出罗非鱼鳞胶原蛋白膜的 TS 与 EAB 分别为 48.85 MPa、12.11%,与巨鲶科鱼^[17](2.3 MPa、2.0%)、软骨鱼^[18](25.3 MPa、14.7%)相比,罗非鱼鳞胶原蛋白膜的机械性能更高,可能与鱼种、鱼体部位、生活环境等的不同有关。此外,TS 和 EAB 值与牛皮胶原蛋白膜^[19](49.2 MPa、13.7%)相似,表明鱼鳞胶原蛋白膜能替代哺乳动物胶原蛋白膜^[20]。而一些机械性能指标达到了聚酯(PET)^[21]等塑料薄膜的水平,显示了其实际应用的潜力。

2.2 热学性能

常用的分析方法主要有示差扫描量热法(Differential Scanning Calorimeter, DSC)和热重法(Thermogravimetric Analysis, TGA)。DSC 是确定蛋白质折叠与解折叠跃迁能量的技术,DSC 曲线的拐点和热吸收峰分别代表受测物质的玻璃化温度(Glass temperature, Tg)和热变性温度(Td)。TGA 是在程序控温下,测定质量随温度(或时间)的变化关系,可用于蛋白质膜中溶剂残留的确定及蛋白质热稳定性的评估。

研究表明,罗非鱼鳞胶原蛋白膜的 Td 为 116.0 °C^[16],而罗非鱼皮胶原蛋白膜的 Td 约为 90.0 °C^[22],表明鱼鳞胶原蛋白热稳定性更高。与草鱼^[23](64.1 °C)、秋刀鱼^[24](24.5 °C)、巨鲶科鱼^[17](37.8 °C)、鲟鱼^[25](54.3 °C)及墨鱼^[26](74.1 °C)相比,罗非鱼鳞依旧表现出更好的热稳定性,可能与鱼的品种、鱼体部位、生活环境、胶原蛋白的亚氨基酸组成和结构有关。然而,鱼鳞胶原蛋白膜与哺乳动物胶原蛋白膜的热稳定性存在较大差距,可使用改性技术进行改善。

2.3 阻隔性能

膜对水蒸气和氧气的阻隔能力是影响膜应用的重要指标。膜的阻水性可用水蒸气透过性和水接触角

(Contact angle, CA)等指标表征。中国常用杯式法^[27]检测 WVP,低 WVP 值表示高疏水性,能有效延长食品的货架期,还能影响膜内外的湿度交换^[22],改变膜的机械性能。一般使用角度测量仪测定水接触角,小的接触角($\theta < 90^\circ$)表示膜表面亲水,而大的接触角($\theta > 90^\circ$)表示膜表面疏水^[28],以上两者是评价膜阻隔性的重要性能指标^[29]。

研究表明,不同胶原蛋白膜的 WVP 有较大的差异,如:罗非鱼鳞^[16](1.8×10^{-8})、罗非鱼皮^[30](8.9×10^{-13})、鲟鱼^[25](3.58×10^{-11})、鳕鱼^[31](2.2×10^{-12})、三文鱼^[32](2.7×10^{-7})、牛皮^[33](4.31×10^{-8}),可能与蛋白质的亲疏水性基团比例、氨基酸种类等因素有关,如羟脯氨酸所占比例越高,亲水性越高。Dou 等^[28]和 Hosseini 等^[15]的研究表明胶原蛋白膜表面 $CA < 90^\circ$,加入疏水物质后,CA 增大,疏水性提高。因此,加入疏水性物质可以改善胶原蛋白膜的耐水性能。

氧气是引起食品劣变的关键因素,应用于食品包装的膜一般应具有较高的氧阻隔能力,常用库仑计标准方法检测氧气透过量^[34],也有学者^[35]使用过氧化值来表示氧气透过量。目前,有关胶原蛋白膜阻氧性能的研究较少,也是未来鱼鳞胶原蛋白膜需要加强研究的内容之一。

3 鱼鳞胶原蛋白膜的改性

鱼鳞胶原蛋白分子黏弹性低^[22],成膜后热稳定性差^[36],机械性能存在缺陷等限制了其应用范围,可采用分子共混、酶法交联、物理交联、化学交联等方法对胶原蛋白分子中的氨基和羧基进行修饰,使其产生分子内和分子间交联来改善性能,以此扩大应用范围。

3.1 分子共混

加入小分子或天然分子会引起膜分子间的静电引力、氢键、共价键或离子键等的变化,改变亲疏水作用,从而影响膜的性能。

3.1.1 小分子 相对分子质量 500 Da 以下的小分子可以作为增塑剂,降低膜网络结构的内部脆性和分子之间的静电引力^[18],增加膜的流动性、柔韧性及强度^[37]。甘油^[38-39]、脂肪酸^[40]和山梨醇^[10,41]等小分子具有可食用、价格低廉、膜相容性较好的优点^[40],较为常用。研究^[11]表明,巨鲶科鱼皮明胶膜经过山梨醇改性后,EAB 提高了 8%~10%,但阻湿性变弱,可能与山梨醇的亲水基较多有关。

3.1.2 天然分子 多糖类、脂类、蛋白类等天然分子在可食性膜中应用广泛。一般情况下,多糖的醛基、羟基等极性基团可与胶原蛋白中的极性基团产生较强的氢键、共价键交联。研究^[11,18]表明,鱼类胶原蛋白与壳聚糖交联后,胶原蛋白膜的 TS 提高,但 EAB 降低,是因为胶原蛋白与壳聚糖分子间吸引力升高使得胶原蛋白膜中的自由

空间减少,但也有研究^[42]认为是壳聚糖弱化了氢键作用,使膜结构中氢键数量降低的结果。

脂类物质极性弱、疏水性较强,可增加膜的柔韧性,改善膜的阻湿性,一般用作增塑剂;蛋白类是两性物质,存在亲水疏水作用,具有很好的成膜性^[43]。研究表明,罗非鱼鳞明胶膜中加入大豆分离蛋白共混后,EAB 提高了 27%,Td 提高约 10 ℃^[16];而鱼皮明胶膜加入玉米醇溶蛋白共混后,机械性能几乎无变化,但 WVP 明显降低^[32]。

此外,多糖类的淀粉^[44]、纤维素^[45]等,蛋白类的面筋蛋白^[40]、酪蛋白等,植物精油、多酚、有机酸等也常用来改善膜的性能。天然分子共混对胶原蛋白膜性能影响如表 1 所示,可以看出,与天然分子共混可以改善机械功能,还可以与一些功能性物质共混发挥多种功能,是非常重要的改性方式。虽然共混改性方法已被广泛应用,但是作用机制还有待进一步研究。

3.2 酶法交联

胶原蛋白分子间的共价键是由末端肽的赖氨酸或羟赖氨酸相互作用而形成。酶法交联可以在不破坏三螺旋结构并保持其特性的前提下,将末端肽切下,使三螺旋主体结构暴露出来与其他物质发生更稳定的交联。该法的优点是不会造成化学残留,缺点是交联的条件控制较困

难,因此在改性研究中应用较少。

研究^[16]表明,罗非鱼鳞胶原蛋白与大豆分离蛋白交联膜经转谷氨酰胺酶(质量分数 2%)处理后,膜强度明显升高,热变性温度由 118.4 ℃ 升高到 123.4 ℃;当转谷氨酰胺酶用量过多(质量分数>2%),高浓度酶使膜内亲水蛋白凝聚,无法形成致密的膜网络结构,从而降低了改性膜的强度。此外,酶还能引起蛋白结构的降解,也会影响膜的性能^[26]。

3.3 化学交联

胶原蛋白分子中氨基酸侧链残基的空间取向对胶原蛋白膜的交联度和物理性质起重要作用^[55]。化学交联是对胶原蛋白侧链进行修饰,形成共价交联,使结构更稳定,但化学交联存在潜在毒性危害,多数膜不可食用、不易降解,在可食性膜中应用受限。

常用的化学交联剂有碳二亚胺、环氧化合物、酰基叠氮化物和戊二醛等^[17,32,55],如戊二醛,能与胶原蛋白产生共价交联^[56],从而改善胶原蛋白膜的机械性能和稳定性^[12]。草鱼鳞胶原蛋白与戊二醛交联后,膜的 Td 由 64.1 ℃ 提高到 68.8 ℃^[23],罗非鱼鳞胶原蛋白与乙基二甲基碳二亚胺交联后,膜的 Td 提高了 14 ℃^[57]。此外,合成多聚体的交联也属于化学交联,如聚乙烯醇^[10]、聚乳酸^[30]等。

表 1 天然分子共混对胶原蛋白膜性能的影响

Table 1 Effect of natural molecular blending on collagen film performance

共混物质	物质分类	性能研究	文献
瓜尔豆胶	多糖	机械性能	[9]
咖啡酸	酚酸	机械性能、抗菌性	[36]
大豆分离蛋白	蛋白	机械、耐水功能	[16]
壳聚糖	多糖	机械性能	[11]
地瓜淀粉、红毛丹皮酚	多糖、多酚	耐水、热、机械性能	[22]
淀粉	多糖	耐水、机械性能	[41]
酪氨酸、槲皮素、阿魏酸、壳聚糖	多糖、蛋白、黄酮、有机酸	机械性能、耐水、热性能	[46]
玉米醇溶蛋白	蛋白	耐水、机械性能	[32]
七叶灵(秦皮甲素)	多糖	耐水、机械、抗氧化	[25]
棕榈油、罗勒精油	精油	机械、热、热封性能	[39]
虾青素	天然色素	抗氧化	[47]
壳聚糖、植物醇提物(肉桂、迷迭香等)	多糖、精油	热性能	[48]
表没食子儿茶素没食子酸酯	多酚	抗菌性能	[49]
玉米醇溶蛋白、壳聚糖、阿魏酸、没食子酸、己二酸、丁二酸	蛋白、多糖、有机酸	抗菌性、抗氧化性	[50]
海藻酸钠、茶多酚	多糖、多酚	机械性能、抗氧化性	[28]
可可脂	油脂	耐水性、机械性能	[51]
壳聚糖纳米颗粒、牛至精油	多糖、精油	机械性能、耐水、抗菌性	[15]
姜黄素	多酚	抗氧化性	[52]
香芹酚	多酚	抗菌性	[53]
血橙精油	精油	机械性能、抗氧化	[54]

3.4 物理交联

物理交联是借助声波^[10]、射线^[55]等物理因素进行改性,能有效避免化学物质污染,但是膜交联度通常较低,应用较少。

研究表明,超声波处理 45 min 后,鱼鳞胶原蛋白、山梨酸钾和聚乙烯醇共混膜的 TS 显著升高,WVP 略有降低^[10];经 60 kGy 电子束辐照处理,鱼明胶、壳聚糖和槲皮素共混膜的槲皮素的初始释放时间延长了 10 倍^[46];磁力作用处理对罗非鱼鳞胶原蛋白与碳二亚胺共混膜的性能影响很小,但交联度显著提高。综上所述,物理交联对其改性方法起辅助作用。

4 鱼鳞胶原蛋白膜的应用

由于胶原蛋白独特的理化特性,鱼鳞胶原蛋白可食性膜较多应用于食品、生物医药等领域。

4.1 食品领域

在食品领域,常用作食品包装材料。良好的水分、气体阻隔性能,适合的机械性能、感官特性和安全性是食品包装材料的基本要求^[57]。鱼鳞胶原蛋白膜具有阻隔氧气和水分渗透的作用^[14],也可以通过改性作用改善其机械性能、感官特性等,符合食用包装材料要求,常以薄膜或涂层的形式出现。此外,在鱼鳞胶原蛋白膜中加入抗氧化剂或抗菌剂,能制成活性食品包装材料,延长产品的货架期。

于林等^[58]发现白鲢鱼鳞胶原蛋白与茶多酚和壳聚糖交联膜能够有效阻碍石斑鱼中微生物的滋长,延长其货架期;甘钊生等^[59]用罗非鱼鳞胶原蛋白与绿茶提取物制备复合涂膜,能有效减少圣女果的失质量率和腐烂率,延长贮藏保鲜期;单梦圆等^[60]发现含有薄荷、桔子和柠檬精油的鱼鳞明胶复合膜能抑制冷藏过程中金枪鱼品质的劣变。天然的防腐物质已被广泛应用于食品的贮藏保鲜,这些物质直接加入到食品基质中可能会影响食品的感官质量,而与可食性膜复合后,可以在几乎不影响食品感官质量的情况下,将其缓释到食品表面,达到防腐保鲜目的。可食性膜还可以包埋精油、营养素、益生菌等物质,使其具有更多功能性^[61]。此外,纳米技术在可食性包装材料领域的应用已经展现出较大的潜力,是可食性膜研究的新方向。

4.2 生物医药领域

在生物医药领域,因为胶原蛋白具有良好的生物相容性、高生物降解性、低免疫原性等优点,可应用于组织工程再生、药物输送和疾病治疗等^[62]。

Jana 等^[9]发现,将头孢他啶药物,经离子相互作用与鱼鳞胶原蛋白和胺化羧甲基瓜尔胶交联制膜,有明显的抗菌效果,而且有良好的生物和血液相容性,可用于伤口愈合;Wang 等^[63]采用甲基化修饰和 1,4-丁二醇二缩水

甘油醚交联来改善鱼鳞胶原蛋白的机械性能和降解稳定性,利用小鼠模型证明了改性鱼鳞胶原蛋白能与周围组织良好结合。此外,鱼鳞胶原蛋白还可作为重金属吸附剂,沉积固化铅、镉等重金属。因此,鱼鳞胶原蛋白膜作为一种生物材料在生物医药领域具有广阔的应用前景。

5 问题与展望

(1) 目前对可食性膜的研究主要集中在不同的材料来源、增塑剂用量和相对湿度等因素对膜性能的影响。然而,可食性膜结构、酸碱浓度、结晶指数、内聚力等因素都会影响膜的性能,影响机制还有待探索。

(2) 工业化生产所需的胶原蛋白可食性膜性能与生产工艺条件密切相关,为了能够实现可食性膜的工业化生产,需要不断进行生产工艺优化的研究,以适应工业化生产。

(3) 通常用对水蒸气、氧气等的抵抗能力来反映可食性膜的阻隔性能,然而食品成分的渗透性,如食品中的挥发性风味物质和油脂等,对食品包装的应用也很重要,此方面的研究还有待加强。

(4) 纳米复合可食性薄膜的研究尚处于初级阶段,需要更多的研究来探索纳米材料的应用及其毒理学效应。

(5) 胶原蛋白可食性膜用于食品包装除了应具备足够的机械强度,还必须足够稳定,以提供较长的保护作用,然而膜的机械强度在其老化过程中会受到影响,所以,了解老化对其性能的影响,探索其性质随时间变化的机制至关重要。

(6) 未来的可食性膜将是多功能的,具有防腐、防油、防虫等多种作用,与现代包装新技术结合,如:活性食品包装、智能食品包装等,将更有利于其在食品领域的应用,此方面还需要进一步研究。此外,了解材料结构、性能和工艺之间的关系对设计多功能的可食性胶原蛋白膜也是非常重要的。

(7) 可食性膜的可食性和生物降解性缺乏明确证据支撑,成膜材料、添加剂类型、分子排列、结晶度指数等因素都会影响其消化特性,需要广泛的研究来评价上述性能。

(8) 对可食性膜的认识、公众意识和文化问题等都可能影响消费者对可食性膜的接受度。未来食用薄膜的研究也应考虑这些方面,以提高商业化的成功率。

参考文献

- [1] PATI F, ADHIKARI B, DHARA S. Isolation and characterization of fish scale collagen of higher thermal stability[J]. Journal of the Bioresour Technology, 2010, DOI: 10.1016/j.biortech.2009.12.133.
- [2] GIL-DURAN S, AROLA D, OSSA E A. Effect of chemical composition and microstructure on the mechanical behavior

- of fish scales from *Megalops Atlanticus*[J]. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 2016, 56: 134-145.
- [3] 顾杨娟, 李杰, 李富威, 等. 鱼鳞化学成分研究进展[J]. 山西农业科学, 2011, 39(11): 1 227-1 231.
- [4] DAVISON-KOTLER E, MARSHALL W S, GARCIA-GARETA E. Sources of collagen for biomaterials in skin wound healing[J]. Bioengineering (Basel), 2019, DOI: 10.3390/bioengineering6030056.
- [5] PARENTEAU-BAREIL R, GAUVIN R, BERTHOD F. Collagen-based biomaterials for tissue engineering applications[J]. Materials, 2010, 3(3): 1 863-1 887.
- [6] KIRKNESS M W, LEHMANN K, FORDE N R. Mechanics and structural stability of the collagen triple helix[J]. Curr Opin Chem Biol, 2019, 53: 98-105.
- [7] CHUAYCHAN S, BENJAKUL S, KISHIMURA H. Characteristics of acid- and pepsin-soluble collagens from scale of seabass (*Lates calcarifer*)[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(1): 71-76.
- [8] DUAN Rui, ZHANG Jun-jie, DU Xiu-qiao, et al. Properties of collagen from skin, scale and bone of carp (*Cyprinus carpio*)[J]. Food Chemistry, 2009, 112(3): 702-706.
- [9] JANA P, MITRA T, SELVARAJ T K R, et al. Preparation of guar gum scaffold film grafted with ethylenediamine and fish scale collagen, cross-linked with ceftazidime for wound healing application[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 153: 573-581.
- [10] LIANG Xue, FENG Shi-yi, AHMED S, et al. Effect of potassium sorbate and ultrasonic treatment on the properties of fish scale collagen/polyvinyl alcohol composite film[J]. Molecules, 2019, DOI: 10.3390/molecules24132363.
- [11] ELANGO J, ROBINSON J S, GEEVARETNAM J, et al. Physicochemical and rheological properties of composite shark catfish (*Pangasius pangasius*) skin collagen films integrated with chitosan and calcium salts[J]. Journal of Food Biochemistry, 2016, 40(3): 304-315.
- [12] LIU Hai-ying, ZHAO Lu, GUO Shi-dong, et al. Modification of fish skin collagen film and absorption property of tannic acid[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, DOI: 10.1007/s13197-011-0599-2.
- [13] DHUMAL C V, SARKAR P. Composite edible films and coatings from food-grade biopolymers[J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2018, 55(11): 4 369-4 383.
- [14] HASSAN B, CHATHA S A S, HUSSAIN A I, et al. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 109: 1 095-1 107.
- [15] HOSSEINI S F, REZAEI M, ZANDI M, et al. Development of bioactive fish gelatin/chitosan nanoparticles composite films with antimicrobial properties [J]. Food Chemistry, 2016, 194: 1 266-1 274.
- [16] WENG Wu-yin, ZHENG Hui-bin. Effect of transglutaminase on properties of tilapia scale gelatin films incorporated with soy protein isolate[J]. Food Chemistry, 2015, 169: 255-260.
- [17] ELANGO J, BU Yong-shi, BIN Bu, et al. Effect of chemical and biological cross-linkers on mechanical and functional properties of shark catfish skin collagen films[J]. Food Bioscience, 2017, 17: 42-51.
- [18] BEN SLIMANE E, SADOK S. Collagen from cartilaginous fish by-products for a potential application in bioactive film composite [J]. Mar Drugs, 2018, DOI: 10.3390/md16060211.
- [19] DING Cui-cui, ZHANG Min, LI Guo-ying. Preparation and characterization of collagen/hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) blend film[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 119: 194-201.
- [20] LIU Da-song, LIANG Li, REGENSTEIN J M, et al. Extraction and characterisation of pepsin-solubilised collagen from fins, scales, skins, bones and swim bladders of bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) [J]. Food Chemistry, 2012, 133(4): 1 441-1 448.
- [21] JEEVAHAN J J, CHANDRASEKARAN M, VENKATESAN S P, et al. Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 100: 210-222.
- [22] ZHUANG Yong-lang, RUAN Shi-yan, YAO Hang-hang, et al. Physical properties of composite films from tilapia skin collagen with pachyrhizus starch and rambutan peel phenolics [J]. Mar Drugs, 2019, DOI: 10.3390/md17120662.
- [23] HE Li, LAN Wen-ting, CEN Li-yuan, et al. Improving catalase stability by its immobilization on grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) scale collagen self-assembly films[J]. Materials Science & Engineering C, 2019, DOI: 10.1016/j.msec.2019.110024.
- [24] MORI H, TONE Y, SHIMIZU K, et al. Studies on fish scale collagen of Pacific saury (*Cololabis saira*) [J]. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl, 2013, 33(1): 174-181.
- [25] LIANG Cheng-yuan, JIA Min-yi, TIAN Dan-ni, et al. Edible sturgeon skin gelatine films: Tensile strength and UV light-barrier as enhanced by blending with esculetin [J]. Journal of Functional Foods, 2017, 37: 219-228.
- [26] JRIDI M, SOUSSI N, MBAREK A, et al. Comparative study of physico-mechanical and antioxidant properties of edible gelatin films from the skin of cuttlefish[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 61:

- 17-25.
- [27] 北京塑料研究所. 塑料薄膜和片材透水蒸气性试验方法—杯式法: GB/T 1037—1988[S/OL]. (1988-06-14)[2020-08-14]. <http://www.cssn.net.cn/cssn/front/723116.html>.
- [28] DOU Li-xue, LI Ba-fang, ZHANG Kai, et al. Physical properties and antioxidant activity of gelatin-sodium alginate edible films with tea polyphenols[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 118: 1 377-1 383.
- [29] LU Peng, TIAN Xiao-fei, LIU Yang, et al. Effects of cellulosic base sheet pore structure and soybean oil-based polymer layer on cellulosic packaging performance as a barrier for water and water vapor[J]. Bioresources, 2016, 11(4): 8 483-8 495.
- [30] NAGARAJAN M, PRODPRAN T, BENJAKUL S, et al. Properties and characteristics of multi-layered films from tilapia skin gelatin and poly (Lactic Acid) [J]. Food Biophysics, 2017, 12(2): 222-233.
- [31] OSULLIVAN A, SHAW N B, MURPHY S C, et al. Extraction of collagen from fish skins and its use in the manufacture of biopolymer films[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2006, 15(3): 21-32.
- [32] FAN Hui-yin, DUQUETTE D, DUMONT M J, et al. Salmon skin gelatin-corn zein composite films produced via crosslinking with glutaraldehyde: Optimization using response surface methodology and characterization[J]. Int J Biol Macromol, 2018, 120(Pt A): 263-273.
- [33] SCARTAZZINI L, TOSATI J V, CORTEZ D H C, et al. Gelatin edible coatings with mint essential oil (*Mentha arvensis*): Film characterization and antifungal properties[J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2019, 56(9): 4 045-4 056.
- [34] 中国包装总公司. 包装材料 塑料薄膜和薄片氧化透过性试验 库伦计检测法: GB/T 19789—2005[S/OL]. (2005-05-25)[2020-08-14]. <http://www.cssn.net.cn/cssn/front/7053533.html>.
- [35] 雷俊. 可食性膜的成膜性能及其应用研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2008: 20-21.
- [36] MANIKANDAN A, RAJA S T K, THIRUSELVI T, et al. Engineered fish scale gelatin: An alternative and suitable biomaterial for tissue engineering[J]. Journal of Bioactive and Compatible Polymers, 2018, 33(3): 332-346.
- [37] TAVASSOLI-KAFRANI E, SHEKARCHIZADEH H, MASOUDPOUR-BEHABADI M. Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans[J]. Carbohydr Polym, 2016, 137: 360-374.
- [38] VANIN F M, SOBRAL P J A, MENEGALLI F C, et al. Effects of plasticizers and their concentrations on thermal and functional properties of gelatin-based films[J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19(5): 899-907.
- [39] TONGNUANCHAN P, BENJAKUL S, PRODPRAN T, et al. Mechanical, thermal and heat sealing properties of fish skin gelatin film containing palm oil and basil essential oil with different surfactants [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 56: 93-107.
- [40] FAKHOURI F M, MARTELLI S M, CAON T, et al. The effect of fatty acids on the physicochemical properties of edible films composed of gelatin and gluten proteins[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 87: 293-300.
- [41] AL-HASSAN A A, NORZIAH M H. Starch-gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 26(1): 108-117.
- [42] HOSSEINI S F, REZAEI M, ZANDI M, et al. Preparation and functional properties of fish gelatin-chitosan blend edible films[J]. Food Chemistry, 2013, 136(3/4): 1 490-1 495.
- [43] DEHGHANI S, HOSSEINI S V, REGENSTEIN J M. Edible films and coatings in seafood preservation: A review[J]. Food Chemistry, 2018, 240: 505-513.
- [44] 周雨佳, 肖茜, 邓放明. 纳米淀粉的制备及其在可食性薄膜中的应用研究进展 [J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 229-232.
- [45] SHABANPOUR B, KAZEMI M, OJAGH S M, et al. Bacterial cellulose nanofibers as reinforce in edible fish myofibrillar protein nanocomposite films [J]. Int J Biol Macromol, 2018, 117: 742-751.
- [46] BENBETTAIEB N, KARBOWIAK T, BRACHAIS C H, et al. Coupling tyrosol, quercetin or ferulic acid and electron beam irradiation to cross-link chitosan-gelatin films: A structure-function approach[J]. European Polymer Journal, 2015, 67: 113-127.
- [47] VEERURAJ A, LIU Ling, ZHENG Jie-xia, et al. Evaluation of astaxanthin incorporated collagen film developed from the outer skin waste of squid *Doryteuthis singhalensis* for wound healing and tissue regenerative applications[J]. Materials Science and Engineering: C, 2019, 95: 29-42.
- [48] BONILLA J, BITTANTE A, SOBRAL P J A. Thermal analysis of gelatin-chitosan edible film mixed with plant ethanolic extracts[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2017, 130(2): 1 221-1 227.
- [49] CAO Jun, WANG Qi, MA Ting-ting, et al. Effect of EGCG-gelatin biofilm on the quality and microbial composition of tilapia fillets during chilled storage[J]. Food Chemistry, 2020, 305: 9.
- [50] CHENG Siang-ying, WANG Be-jen, WENG Yih-ming. Antioxidant and antimicrobial edible zein/chitosan composite films fabricated by incorporation of phenolic compounds and dicarboxylic acids[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(1): 115-121.
- [51] FADINI A L, ROCHA F S, ALVIM I D, et al. Mechanical

- properties and water vapour permeability of hydrolysed collagen-cocoa butter edible films plasticised with sucrose[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 30(2): 625-631.
- [52] MUSSO Y S, SALGADO P R, MAURI A N. Smart edible films based on gelatin and curcumin [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 66: 8-15.
- [53] NEIRA L M, MARTUCCI J F, STEJSKAL N, et al. Time-dependent evolution of properties of fish gelatin edible films enriched with carvacrol during storage [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 94: 304-310.
- [54] JRIDI M, BOUGHRIBA S, ABDELHEDI O, et al. Investigation of physicochemical and antioxidant properties of gelatin edible film mixed with blood orange (*Citrus sinensis*) peel extract [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2019, 21: 9.
- [55] CATALINA M, ATTENBURROW G E, COT J, et al. Influence of crosslinkers and crosslinking method on the properties of gelatin films extracted from leather solid waste[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 119(4): 2 105-2 111.
- [56] DEIBER J A, PEIROTTI M B, OTTONE M L. Rheological characterization of edible films made from collagen colloidal particle suspensions[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 1 382-1 392.
- [57] UMARAW P, VERMA A K. Comprehensive review on application of edible film on meat and meat products: An eco-friendly approach[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57(6): 1 270-1 279.
- [58] 于林, 陈舜胜, 王娟娟, 等. 茶多酚改性胶原蛋白-壳聚糖复合膜对冷藏斜带石斑鱼的保鲜效果[J]. 食品科学, 2017, 38(3): 220-226.
- [59] 甘钊生, 梁志. 鱼鳞胶原蛋白可食性复合涂膜对圣女果保鲜效果研究[J]. 农产品加工(下半月), 2019(8): 17-19.
- [60] 单梦圆, 宋琳璐, 胡奇杰, 等. 基于鱼鳞明胶的可食性保鲜膜对金枪鱼肉的保鲜作用研究[J]. 核农学报, 2019, 33(6): 1 137-1 145.
- [61] 萨仁高娃, 胡文忠, 修志龙, 等. 可食性活性涂膜在鲜切果蔬保鲜中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2015(7): 2 427-2 433.
- [62] LIM Y S, OK Y J, HWANG S Y, et al. Marine collagen as a promising biomaterial for biomedical applications[J]. Mar Drugs, 2019, DOI: 10.3390/md17080467.
- [63] WANG J K, YEO K P, CHUN Yong-yao, et al. Fish scale-derived collagen patch promotes growth of blood and lymphatic vessels in vivo[J]. Acta Biomaterialia, 2017, 63: 246-260.

(上接第 164 页)

- [5] 李俊伟. 基于机器视觉技术的新疆鲜葡萄及葡萄干品质分析研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014: 1-2.
- [6] 李少昆, 王崇桃. 图象及机器视觉技术在作物科学中的应用进展[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2002(1): 79-86.
- [7] 刘立波, 周国民. 基于图像评价的灯箱最佳成像环境因素确定方法[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(12): 4 836-4 838.
- [8] ZABAWA L, KICHERER A, KLINGBEIL L, et al. Counting of grapevine berries in images via semantic segmentation using convolutional neural networks[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2020, 164: 73-83.
- [9] 邱津怡, 罗俊, 李秀, 等. 基于卷积神经网络的多尺度葡萄图像识别方法[J]. 计算机应用, 2019, 39(10): 2 930-2 936.
- [10] 刘智杭, 于鸣, 任洪娥. 基于改进 K 均值聚类的葡萄果穗图像分割[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(24): 239-244.
- [11] 邵雪, 曾台英, 汪祖辉. 一种基于 NIQE 的印刷图像无参考质量评价方法[J]. 包装学报, 2016, 8(4): 35-39.
- [12] 邱园红. 基于机器视觉的产品在线质检图像质量评估及视觉系统参数优化[D]. 武汉: 华中科技大学, 2017: 2-3.
- [13] 刘立波, 周国民. 人眼视觉特性在植物叶片图像提取中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(19): 22-25, 30.
- [14] 孙翠霞, 刘有耀. 客观图像质量评价[J]. 计算机与数字工程, 2019, 47(9): 2 290-2 294.
- [15] 郭曙光. 远程印刷传输中印刷图像压缩方法研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2006: 31-32.

信息窗

欧盟评估一种食品酶的安全性

据了解,这种食品酶包含来自猪胰腺中的胰蛋白酶、胰凝乳蛋白酶、胰弹性蛋白酶和羧肽酶 B,旨在用于水解乳清蛋白,用作婴儿配方食品、后续配方食品和特殊医疗用途食品(管饲)的成分。

经过评估,专家小组认为,不能排除婴儿在食用水解乳制得的产品后对该食物酶产生过敏性致敏的风

险,但认为可能性很低。根据动物可食用部位食物酶的来源、申请人提供的数据以及对基于胰酶的制剂进行临床研究评估的支持下,专家小组得出结论,在预期的使用条件下,猪胰酶不会引起安全性问题。

(来源: <http://news.foodmate.net>)