

基于鱼皮明胶的可食膜改性及其应用

刘俊豪, 黄珊, 杨文鸽*

(宁波大学海洋学院, 浙江宁波 315211)

摘要:鱼皮明胶是一种资源丰富、具有良好成膜性的蛋白源,可食性鱼皮明胶膜的研制已成为食品包装领域的研究热点。本文介绍了鱼皮明胶的基本结构和特性,详细综述了鱼皮明胶可食膜的改性及其应用,旨在为鱼皮明胶可食膜的开发利用提供依据。

关键词:鱼皮明胶,可食膜,改性,应用

Modification and its application of edible film made from fish skin gelatin

LIU Jun-hao, HUANG Shan, YANG Wen-ge*

(School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Fish skin gelatin, as a kind of the protein sources, is abundant with good film-forming property. The edible film made from fish skin gelatin has become a research hotspot in the field of food packaging. In this paper, the basic structure and features of fish skin gelatin were introduced, then the modification and its application of edible film made from fish skin gelatin were reviewed in detail. It offered the scientific basis for the development and utilization of edible film based on the fish skin gelatin.

Key words: fish skin gelatin; edible films; modification; application

中图分类号: TS206.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)06-0373-05

我国水域辽阔,鱼类资源十分丰富,市场对鱼类加工品多样化需求不断增加,推动了我国水产品加工业的发展。在鱼类加工过程中会产生大量副产物,其重量约占鱼体总重的40%~55%,其中包括富含胶原蛋白的鱼皮,通常被加工为饲料或肥料,深度利用率较低^[1]。可食膜是以天然可食性物质(如蛋白质、多糖、脂类等)为原料,添加可食用的增塑剂、交联剂等,通过分子间的相互作用而形成的具有多孔网络结构的薄膜,能防止气体、水汽和溶质等的迁移,保持食品质量,延长食品货架期^[2]。近年来,利用鱼皮胶原蛋白获得的明胶制备可食膜为鱼皮的高值化利用开辟了一条道路。

然而与哺乳动物明胶相比,鱼皮明胶膜的机械强度和热稳定性较差,而限制了其应用范围。本文在介绍鱼皮明胶基本结构和特性的基础上,综述鱼皮明胶可食膜改性的研究进展及其在食品中的应用前景,旨在更好地生产满足市场需求的鱼皮明胶可食膜提供依据。

1 鱼皮明胶的结构和性质

明胶是胶原部分水解后得到的一种可溶性蛋白

混合物,其性能在很大程度上取决于明胶的氨基酸组成、分子结构及其分子量大小,而各种氨基酸的含量与鱼种有关,分子结构及其分子量大小则取决于胶原变性时的处理条件。

鱼皮明胶的氨基酸组成类似其胶原的氨基酸组成,包含18种氨基酸,富含甘氨酸、脯氨酸和羟脯氨酸,但不同来源的明胶,其氨基酸各组分的含量不同。总体上,鱼皮明胶的亚氨酸(脯氨酸和羟脯氨酸之和)含量比哺乳动物低,在温水性鱼类鱼皮明胶中为22%~25%,冷水性鱼类鱼皮明胶中约为17%,而一般陆生哺乳动物明胶的亚氨酸含量高达30%^[3-6]。由于亚氨酸中的吡咯环及由羟脯氨酸的羟基所形成的氢键有利于稳定明胶的螺旋结构,亚氨酸含量越高,明胶的稳定性越好,因此与哺乳动物明胶相比,鱼皮明胶往往具有凝胶强度低、热不稳定、流变性能差等缺点。哺乳动物来源明胶的凝胶强度约为200~300g,鱼皮明胶的凝胶强度因鱼的种类及生活环境不同而差异较大,一般鱼皮明胶的凝胶强度不超过270g,而一些冷水性鱼如狭鳕、沙门鱼等的凝胶强度仅在70~110g之间^[7];明胶凝胶具有热可逆性,哺乳动物明胶的凝胶化温度和熔化温度分别在20~25℃和28~31℃之间,而鱼皮明胶因亚氨酸含量较低,减弱了分子间肽链形成螺旋的稳定性,从而导致熔胶温度和凝胶温度较低(分别在8~25℃和11~28℃之间),特别是冷水性鱼鱼皮明胶,其凝胶化温度和熔化温度往往只有10℃左右^[8]。

收稿日期:2013-08-05 * 通讯联系人

作者简介:刘俊豪(1990-),男,硕士研究生,研究方向:水产品加工与高值化利用。

基金项目:海洋公益性行业科研专项(201305013);浙江省大学生新苗人才计划项目(2012)。

和所有哺乳动物明胶一样,鱼皮明胶是胶原在酸、碱、酶等作用下,或受到光、辐照、热等物理条件处理的变性产物,胶原在变性的过程中,维持其三螺旋稳定结构的范德华力、氢键、共价键及疏水作用遭到破坏的程度不一,故产生的明胶分子量分布及其分子结构存在很大差异。Zhang等^[9]从鲑鱼皮获得不同分子量的明胶,大分子量明胶膜的机械强度比小分子量明胶膜要高,但膜的延展性却相反;Carvalho等^[10]从大西洋比目鱼皮中得到两类不同分子量分布的明胶,发现低分子量分布的明胶膜延展性更好,但拉伸强度更差。

明胶的提取条件,包括提取时的温度、时间、溶剂种类、浓度等会对所提明胶特性产生影响。Gómez-Guillén等^[11]利用0.05mol/L醋酸在45℃下隔夜提取秘鲁鱿鱼皮中的明胶,所得明胶的凝胶强度为10g。为了增加鱿鱼皮明胶的凝胶强度,Giménez-Estaca等^[12]对提取工艺进行改进,用胃蛋白酶和0.05mol/L的醋酸在60℃下隔夜提取秘鲁鱿鱼皮中的明胶,所得明胶凝胶强度可以增至147g。

提取明胶时往往以明胶得率、凝胶强度、热稳定性等指标进行优化。Kasankala等^[13]利用响应面法优化草鱼鱼皮的明胶提取工艺,确定最佳提取条件为:先用1.19% HCl预处理草鱼鱼皮24h,进一步用52.61℃热水浸提5.12h,此时,预测明胶得率为19.83%,凝胶强度为267g。大量实验的结果都证明,并不是浸提时间越长,温度越高,明胶的提取率就能提高,选择合适的提取时间及提取温度能够有效的节约能源。

2 鱼皮明胶可食膜的改性研究

鱼皮明胶作为一种蛋白质,具有独特的分子结构和巨大的分子间交联潜力,成膜性好,可生物降解,含人体多种必需氨基酸,营养价值高,在食品中的用量不受限制,因而用明胶作可食膜较有优势,已成为可食包装中应用最广泛的动物蛋白质。但由于鱼皮明胶中亚氨酸的含量比哺乳动物低,导致鱼皮明胶可食膜的机械强度和热稳定性较低,水蒸气阻隔效果相对较弱,这些都影响了可食性鱼皮明胶膜的应用。大量研究表明,在鱼皮明胶中添加其他蛋白、脂类或多糖类等,通过共混改性可以改善其机械性能和抗水性,制备可食性鱼皮明胶复合膜,拓宽其在食品中的应用范围。

2.1 植物蛋白与多糖类物质对鱼皮明胶可食膜的改性

鱼皮明胶和其他高分子物质如植物蛋白、壳聚糖、纤维素、淀粉等共混成膜,不仅可改善其成膜性能,而且可制备出单一明胶膜所不具有的许多特性的复合膜,扩大其应用范围,降低制膜成本。将鱼皮明胶与植物蛋白共混制得的膜不但更加经济实惠,而且膜性能得到增强。如Denavi等^[14]将鲑鱼皮明胶与不同浓度的大豆分离蛋白(SPI)共混,发现SPI和鲑鱼皮明胶按1:3共混所成的膜,较100%鲑鱼皮明胶膜或100% SPI膜有更大的拉伸强度及水蒸气阻隔率,明胶和SPI复合膜优于单组份的蛋白膜。

近年来,许多学者利用鱼皮明胶与多糖(如壳聚

糖、卡拉胶、褐藻胶等)共混制膜。陈丽^[2]将不同比例的壳聚糖、褐藻胶和卡拉胶分别添加到狭鳕鱼皮明胶中,共混制备可食性复合膜,改善了狭鳕鱼皮明胶膜的性能,其中复合膜的粘度值随着三种多糖添加量的增加而增大,添加卡拉胶能显著提高其凝胶强度值,明胶-壳聚糖复合膜与明胶-褐藻胶复合膜的热变性温度比明胶膜分别提高10℃和8℃,三种复合膜的水溶性和水蒸气透过系数都比明胶膜低,有效改善了明胶膜阻水性差的缺点;杨忠丽^[14]利用改性魔芋葡甘聚糖与鱼皮明胶复合制备新型可食膜,结果显示明胶和糖按4:1比例制成膜的透明度最好,随着复合膜中明胶含量的增加,膜的抗张强度增强,断裂伸长率减小。

2.2 脂类物质对鱼皮明胶可食膜的改性

鱼皮明胶含较多的亲水性氨基酸,使明胶膜阻隔水的能力较差,无法包装一些含水量较高或对干燥条件有较高要求的食品,但可通过添加油或蜡等脂类物质增加鱼皮明胶膜的疏水区域,增强其隔水能力。Sztuka等^[15]比较了不同浓度的苋菜油、油菜籽油、羊毛脂、蜂蜡、石蜡对鳕鱼皮明胶可食膜水蒸气透过性的影响,发现随着这些疏水性物质添加量的增加,可食性膜水蒸气透过率逐渐减小,如当蜂蜡添加量为60%时,水蒸气透过率降低为1.09(g·mm/(m²·h·kpa)),比未添加时下降了3倍,若在此基础上继续添加卵磷脂,水蒸气透过率还可进一步降低;Bertan等^[16]发现巴西榄香脂结合硬脂酸、棕榈酸能有效提高明胶膜的隔水性能;Pérez-Mateos等^[17]向鳕鱼皮明胶膜中添加一定量葵花油,通过增大鱼皮明胶膜的疏水面积,有效降低其水蒸气透过率,但随着葵花油添加比例的增加,膜的机械强度下降了30%~60%。

2.3 增塑剂、交联剂对鱼皮明胶可食膜的改性

明胶主要依靠氢键等作用形成三维网络结构,体系经脱水而成膜,但仅依靠明胶分子相互交联形成的膜较脆、柔韧性不足。为降低明胶膜的脆性,提高其柔韧性,可向明胶成膜液中添加增塑剂,增塑剂分子通过影响明胶分子链间氢键的形成,并将水分吸收到明胶网络中,提高明胶膜网络结构的流动性,增加膜的柔韧性。

增塑剂的分子大小是影响其增塑效果的一个重要因素,一般情况下小分子增塑剂有更好的增塑效果,同时增塑剂与高分子成膜剂的亲和能力也会影响它的增塑效果。目前常用的增塑剂有甘油、山梨醇、乙二醇等。Vanin等^[18]比较了甘油、丙二醇、二甘醇、1,2-乙二醇等多元醇对明胶膜机械强度、热变性、水蒸汽透过率、透光率等性能的影响,发现甘油的增塑效果最明显;Jongjareonrak等^[19]利用鲷鱼皮明胶制膜,研究添加甘油、乙二醇、聚乙二醇对鱼皮明胶膜性质的影响,表明在相同的添加浓度下,不同增塑剂的增速效果是不一样的,乙二醇-明胶膜的抗拉伸强度值最高,甘油-明胶膜的断裂延伸率最高,且随着醇类物质添加量的增加,鱼皮明胶膜的透光率、水蒸汽透过率和断裂延伸率增加,但抗拉伸强度值和黄度值下降,当甘油添加量达75%时,膜的断裂

延伸率可达到98.14%。在实际应用中,可以根据实际需要选择合适的增塑剂对明胶膜的性质进行改进。

明胶含大量的亲水性氨基酸,这会导致其膜的耐水性能较差。交联剂能以特定的键和基团与明胶分子结合,或引起明胶分子内或分子间的交联反应,从而有利于改善膜的阻湿能力和机械性能。常见的交联剂有化学交联剂和酶交联剂等。通常使用的化学交联剂醛类,通过醛基与蛋白质分子上的氨基形成希夫碱而产生交联,形成网络结构,其中戊二醛由于价格低廉、交联效率高,已被应用于明胶蛋白膜的性质改良。如王晶等^[20]研究了戊二醛用量对明胶共混膜的影响,发现随着交联剂用量的增加,共混膜的拉伸伸长率、吸水性和保水性随之降低,共混膜的拉伸强度、撕裂强度、透水气性和透光率先增加后减小;陈书霖等^[21]发现在戊二醛的作用下,罗非鱼鱼皮明胶蛋白的 β 链、 γ 链及高于 γ 链的高分子组分之间易发生交联反应,戊二醛改性将使明胶蛋白膜的机械性能出现一定程度的下降,但膜的耐水性能、阻湿性能及阻隔紫外线能力均显著提高。

相对于戊二醛,酶交联剂在可食膜中往往具有更加好的改性效果。陶忠等^[22]比较了戊二醛和谷氨酰胺转氨酶(TGase)对白鲢鱼糜-明胶复合膜性能的影响,发现二者均可使成膜的蛋白分子之间发生交联形成高分子聚合物,戊二醛不能提高膜的机械强度,不改变膜的透明性,但可增加膜的耐水性能,使膜颜色发黄;TGase可改良膜的机械性能、耐水性能和透明性,而且不会影响膜的色泽。TGase作为常用的酶交联剂,能催化明胶蛋白Gln的 γ -氨基和Lys的 ϵ -氨基形成异肽键,提高明胶蛋白膜的机械性能和耐水性能。Liu等^[23]向鱼明胶中添加2% TGase,改性后的明胶凝胶强度显著提高,其膜的抗拉伸强度和断裂伸长率比对照组分别增加了38%和137.1%;Sztuka等^[24]研究了TGase改性对明胶-壳聚糖共混膜的水蒸气透过性、机械性质和水溶性的影响,改性后膜的水溶性降低,水蒸气透过率和机械性能有所改善;葛晓军^[25]分别利用TGase、壳聚糖及TGase与壳聚糖复合,研究对鱼皮明胶膜力学性能、水蒸气透过性的改善效果,认为壳聚糖与TGase的复合改性效果最好,与单一明胶膜相比,复合改性膜的热变性温度提高32.1℃,水蒸气透过性降低33.3%,拉伸强度、断裂伸长率为51.69MPa和38.35%,达到了GB10457食品塑料自粘保鲜膜的标准。

2.4 抗氧化剂和抗菌素对鱼皮明胶可食膜的改性

食品中的腐败气味主要源于其中的油脂酸败、微生物繁殖、蛋白降解等,酸败的食物不但影响感官品质,而且大大缩短了货架期。作为一种可食性包装材料,明胶膜不仅被要求具备良好的机械性能和水分阻隔能力,对其抗氧化和抗菌性也有更高的要求。

天然多酚提取物具明显的抗氧化性,用其替代合成抗氧化剂应用于食品已引起广泛的关注。研究表明,多酚类化合物很容易和鱼皮明胶混合成膜,可作为具有抗氧化活性的包装材料。Gómez-Guillén等^[26]利用生长在智利南部的一种野生灌木中提取的

两种富含多酚的提取物,与金枪鱼鱼皮明胶共混膜,制得的明胶复合膜具有更好的抗氧化性能;Giménez等^[26]和Núñez-Flores等^[27]分别在商用鱼皮明胶中添加绿茶提取物和水溶性木质素,同样得到了有抗氧化活性的共混膜。

此外,维生素E和植物精油也被用于制备具有抗氧化作用的明胶复合膜。Jongjareonrak等^[28]比较了维生素E和二丁基羟基甲苯(BHT)对鲷鱼皮明胶膜的影响,发现维生素E-膜比BHT-膜有更强的自由基清除能力;在罗非鱼鱼皮明胶膜中,Tongnuanchan等分别添加不同的柑橘类(包括佛手柑、泰国柠檬、柠檬和酸橙)精油^[29]和植物(包括姜、姜黄和姜蓼)根精油^[30],研究表明添加柠檬精油、姜黄和姜蓼根精油后明胶膜的水蒸气阻隔性增加,并显示出较高的抗氧化活性。

为增加鱼皮明胶膜的抗菌性能,可以在鱼皮明胶中添加溶菌酶或其他可食的抗菌酶、抗菌性物质。目前这方面的研究也有尝试,Masschalek^[31]发现添加了溶菌酶的鱼皮明胶膜能够明显抑制革兰氏阳性菌,如枯草芽孢杆菌和肺炎链球菌,但不能有效抑制大肠杆菌的生长,主要是因为溶菌酶无法进入革兰氏阴性细菌的脂多糖层。

3 鱼皮明胶可食膜在食品中的应用

可食膜的成膜物质主要有蛋白质、糖类、脂类等。其中,利用蛋白质制备的可食膜不仅机械性能好,而且隔氧性能也比多糖、脂类可食膜优越。而明胶是可食性包装中应用最广泛的动物蛋白质,可食性鱼皮明胶膜的开发日益受到人们的重视,其在食品中的应用前景广阔。

作为水解蛋白,鱼皮明胶本身具有一定的抗氧化作用,在食品表面形成涂层使食品表面有光泽,可以避免食品氧化、延缓淀粉老化、防止粉末状或颗粒状的糖类食品吸潮结块、防止外界颗粒状杂质对食物的影响等。如陈丽等^[32]对用狭鳃鱼明胶膜对面包进行涂膜处理,与空白组相比,各涂膜组水分含量和比容相对较高,面包色泽较好,原因在于涂膜后,面包表面形成了一层具有一定阻隔性能和机械性能的保护膜,能有效阻止水分蒸发,降低老化速度,保持面包品质;葛晓军^[25]将添加了TGase和壳聚糖的狭鳃鱼皮明胶复合成膜液涂膜保鲜南美白对虾,该复合膜可有效抑制对虾细菌生长、减缓TVB-N值的上升,经涂膜的对虾保鲜期比对照延长3d。明胶涂膜还能应用到果蔬、肉制品、鱼贝类等保鲜中,有效延长食品货架期、保证食品的天然风味和新鲜度,提高挥发性食品成分的保存性。

目前,鱼皮明胶可食膜已经被作为食品涂层材料、食品包装及肠衣替代物等,但在实际应用方面还有极大的提升空间,如可进一步添加可食的抗氧化剂、抗菌剂等物质,使明胶膜作为包装材料的同时赋有抗氧化、抗菌等功能,有效控制食品的氧化腐败和微生物的生长;可用于像比萨、蛋糕这些组成较复杂的层状食物,用可食膜将各层分开,避免不同水分含量和不同风味的组分之间的相互影响等。

4 展望

化学合成塑料包装不易分解腐烂,造成严重的“白色污染”,这已成为目前世界性的环保难题。随着人们对食品品质和保藏期要求的提高,以及人们环保意识的增强,可食性包装已成为食品包装领域的研究热点。明胶是可食性包装应用最广泛的动物蛋白质,但由于宗教信仰的原因和疯牛病的恐慌,猪、牛皮明胶的应用受到限制;在鱼皮中,明胶的含量最高可达蛋白总量的80%以上,较鱼体其他部位高许多。因此鱼皮明胶是一种资源丰富、安全、不受宗教信仰限制的蛋白源。

尽管鱼皮明胶膜的机械强度和热稳定性较低,水蒸气阻隔效果相对较弱,但通过向鱼皮明胶中添加一些物质,如各种可食的蛋白质、油脂、多糖、增塑剂和交联剂,可以改善明胶膜的机械性能和物理性质;还可进一步添加抗氧化剂、抗菌剂等物质,拓展明胶膜的生物学功能。利用鱼皮明胶制作可食膜,这不但将有助于水产加工副产物鱼皮的高值化利用,而且可为食品加工业提供安全、环保、可食、具有营养、保鲜等作用的多功能食品包装材料。

参考文献

- [1] 李晶. 水产品下脚料高值化利用技术研究现状[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(22): 11435-11437.
- [2] 陈丽. 可食性狭鳕鱼皮明胶复合膜的制备、性质与应用研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [3] Zied Z, Rafik B, Hafedh M, *et al.* Process for extracting gelatin from marine snail (*Hexaplex trunculus*): Chemical composition and functional properties[J]. *Process Biochemistry*, 2012, 47(12): 1779-1782.
- [4] Arnesen J A, Gildberg B. Extraction and characterization of gelatin from Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(1): 53-37.
- [5] Muralidharan N, Soottawat B, Thummanoon P. Characteristics and functional properties of gelatin from splendid squid (*Loligo formosana*) skin as affected by extraction temperatures[J]. *Food Hydrocolloids*, 2012, 29(2): 389-397.
- [6] Gómez-Estaca J, Montero P, Fernández-Martín F. Physico-chemical and film forming properties of bovine-hide and tuna-skin gelatin: a comparative study[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 90(4): 480-486.
- [7] 葛晓军. 鱼皮明胶的壳聚糖与酶法复合改性及其膜性能研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [8] Karim A A, Bhat R. Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins[J]. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23(3): 563-576.
- [9] Zhang S, Wang Y, Jiang M, *et al.* Characterization of edible film fabricated with channel catfish (*Ictalurus punctatus*) gelatin extract using selected pretreatment methods[J]. *Journal of Food Science*, 2007, 72(9): 498-503.
- [10] Carvalho R A, Sobral P J A, Thomazine M, *et al.* Development of edible films based on differently processed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) skin gelatin[J]. *Food Hydrocolloids*, 2007, 6(1): 1-7.
- [11] Gómez-Guillén M C, Turnay J, Fernández-Díaz M D, *et al.* Structural and physical properties of gelatin extracted from different marine species: a comparative study[J]. *Food Hydrocolloids*, 2002, 16(1): 25-34.
- [12] Kasankala L M, Xue Y, Weilong Y, *et al.* Optimization of gelatin extraction from grass carp (*Catopharyngodon idella*) fish skin by response surface methodology[J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(17): 3338-3343.
- [13] Denavi G A, Pérez-Mateos M, Añón M C, *et al.* Structural and functional properties of edible films made of soy proteins and cod skin gelatin[J]. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23(8): 2094-2101.
- [14] 杨忠丽. 鱼明胶及复合膜的制备与性质[D]. 武汉: 武汉工程学院, 2009.
- [15] Sztuka K, Kolodziejska I. The influence of hydrophobic substances on water vapor permeability of fish gelatin films modified with transglutaminase or 1-ethyl-3-(3-dimethylaminopropyl) carbodiimide(EDC)[J]. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23(3): 1062-1064.
- [16] Bertan L C, Tanada-Palmu P S, Siani A C, *et al.* Effect of fatty acids and Brazilianelemi on composite films based on gelatin[J]. *Food Hydrocolloids*, 2005, 19(1): 73-82.
- [17] Pérez-Mateos M, Montero P, Gómez-Guillén M C. Formulation and stability of biodegradable films made from cod gelatin and sunflower oil blends[J]. *Food Hydrocolloids*, 2009, 22(4): 53-61.
- [18] Vanin M, Sobral P J A, Menegalli F C, *et al.* Effect of plasticizers and their concentrations on thermal and functional properties of gelatin-based films[J]. *Food Hydrocolloids*, 2005, 19(5): 899-907.
- [19] Jongjareonrak A, Benjakul S, Visessanguan W, *et al.* Effect of plasticizers on the properties of edible films from skin gelatin of bigeye snapper and brownstripe red snapper[J]. *European Food Research and Technology*, 2006, 222(3-4): 229-235.
- [20] 王晶, 王江, 张可喜, 等. 交联剂的用量对淀粉-壳聚糖-聚乙烯醇-明胶共混膜的性能影响[J]. *化学工程师*, 2012, 25(8): 4-6.
- [21] 陈书霖, 陶忠, 吴菲菲, 等. 鱼皮明胶蛋白膜的制备及其性质改良[J]. *集美大学学报: 自然科学版*, 2012, 17(5): 335-338.
- [22] 陶忠, 郑惠彬, 翁武银. 化学交联与酶法交联对鱼糜-明胶复合膜性质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(5): 25-30.
- [23] Liu Z Y, Lu Y, Ge X J, *et al.* Effects of transglutaminase on rheological and film forming properties of fish gelatin [J]. *Advanced Materials Research*, 2011, 236-238: 2877-2880.
- [24] Sztuka K, Kolodziejska I. Effect of transglutaminase and EDC on biodegradation of fish gelatin-chitosan films [J]. *European Food Research and Technology*, 2008, 226(5): 1127-1133.
- [25] Gómez-Guillén M C, Ihi M, Bifani V, *et al.* Edible films made from tuna-fish gelatin with antioxidant extracts of two different murta ecotypes leaves[J]. *Food Hydrocolloids*, 2007, 21(7): 1133-1143.

(下转第382页)

- activity of spice essential oils[J]. Food Science and Biotechnology, 2011, 20(1):45-53.
- [21] Palmer S A, Stewart J, Fyfe L. Antimicrobial properties of plant essential oils and essences against five important food-borne pathogens[J]. Letters in Applied Microbiology, 1998, 26(2):118-122.
- [22] Chairgulprasert V, Prasertsongskun S, Wichaporn W. Chemical constituents of the essential oil and antibacterial activity of Zingiber wrayi var. halabala[J]. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 2005, 27(4):813-818.
- [23] Sabulala B, Danb M, Anil J J, et al. Caryophyllene-rich rhizome oil of Zingiber nimmonii from south India: chemical characterization and antimicrobial activity[J]. Phytochemistry, 2006, 67(22):2469-2473.
- [24] 刘瑜, 张卫明, 单承莺, 等. 生姜挥发油抑菌活性研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(3):88-90.
- [25] 张丹娟. 广西莪术和蓬莪术离体快繁及莪术油抑菌效应的初步研究[D]. 成都: 四川师范大学, 2008.
- [26] 魏玉平, 骆志成. 莪术挥发油体外抗念珠菌活性的研究[J]. 中国麻风皮肤病杂志, 2005, 21(7):524-526.
- [27] 桂蜀华, 蒋东旭, 袁捷. 花椒、高良姜挥发油体外抗真菌活性研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2005, 12(8):21-22.
- [28] 唐书谦, 叶庆俭, 钟白玉, 等. 姜黄挥发油、水浸出液体外抗真菌实验[J]. 第三军医大学学报, 1997, 19(6):89-91.
- [29] 吴斌. 姜黄油的提取、抑菌活性及姜黄色素的纯化研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2009.
- [30] 胡小军, 李凤侠. 姜黄油抑菌作用的研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(5):30-31.
- [31] 谢小梅, 龙凯, 钟裔荣, 等. 高良姜、草果防霉作用的实验研究[J]. 中国药业, 2002, 11(5):45-46.
- [32] 危英, 王道平, 杨付梅, 等. 花叶山姜挥发油化学成分及抗菌活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(9):1220-1224.
- [33] Knoblocha K, Pauli A, Iberla B, et al. Antibacterial and antifungal properties of essential oil components[J]. Journal of Essential Oil Research, 1989, 3(1):119-128.
- [34] 陈新, 刘晓静, 吴娇, 等. 益智果实挥发油化学成分及抑菌活性研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(22):366-371.
- [35] Cosentino S, Tuberoso C I G, Pisano B, et al. *In-vitro* antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian Thymus essential oils[J]. Letters in Applied Microbiology, 1999, 29(2):130-135.
- [36] Lambert R J W, Skandamis P N, Coote P J, et al. A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol[J]. Journal of Applied Microbiology, 2001, 91(3):453-462.
- [37] Devi K, Nisha S A, Sakthivel R, et al. Eugenol (an essential oil of clove) acts as an antibacterial agent against *Salmonella typhi* by disrupting the cellular membrane[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2010, 130(1):107-115.
- [38] Gustafson J E, Liew Y C, Chew S, et al. Effects of tea tree oil on *Escherichia coli*[J]. Letters in Applied Microbiology, 1998, 26(3):194-198.
- [39] Ultee A, Kets E P W, Smid E J. Mechanisms of action of carvacrol on the food-borne pathogen *Bacillus cereus*[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 65(10):4606-4610.
- [40] 张贇彬, 缪存铅, 宋庆, 等. 荷叶精油对肉类食品中常见致病菌的抑菌机理[J]. 食品科学, 2010, 31(19):63-66.
- [41] Nguefack J, Budde B B, Jakobsen M. Five essential oils from aromatic plants of Cameroon: their antibacterial activity and ability to permeabilize the cytoplasmic membrane of *Listeria innocua* examined by flow cytometry[J]. Letters in Applied Microbiology, 2004, 39(5):395-400.
- [42] Tyagi A K, Morphostructural A. Morphostructural damage in food-spoiling bacteria due to the lemon grass oil and its vapour: SEM, TEM, and AFM investigations[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2012.
- [43] El-Baroty G S, Abd El-Baky H H, Farag R S, et al. Characterization of antioxidant and antimicrobial compounds of cinnamon and ginger essential oils[J]. African Journal of Biochemistry Research, 2010, 4(6):167-174.
- [44] Sikkema J, De Bont J A M, Poolman B. Interaction of cyclic hydrocarbons with biological membranes[J]. The Journal of Biological Chemistry, 1994, 269(11):8022-8028.
- [45] Farag R S, Daw Z Y, Hewadi F M, et al. Antimicrobial activity of some Egyptian spice essential oils[J]. Journal of Food Protection, 1989, 52(9):665-667.
- [46] Abd El-Baky H H, El-Baroty G S. Chemical and biological evaluation of the essential oil of Egyptian Moldavian balm[J]. Global Journal of Biotechnology & Biochemistry, 2007, 2(2):74-80.
- [26] Giménez B, Moreno S, López-Caballero M E, et al. Antioxidant properties of green tea extract incorporated to fish gelatin films after simulated gastrointestinal enzymatic digestion[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 53(2):445-451.
- [27] Núñez-Flores R, Giménez B, Fernández-Martín F, et al. Physical and functional characterization of active fish gelatin films incorporated with lignin[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 30(1):163-172.
- [28] Jongjareonrak A, Benjakul S, Visessanguan W. Antioxidative activity and properties of fish skin gelatin films incorporated with BHT and α -tocopherol[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(3):449-458.
- [29] Tongnuanchan P, Benjakul S, Prodpran T. Properties and antioxidant activity of fish skin gelatin film incorporated with citrus essential oils[J]. Food Chemistry, 2012, 134(3):1571-1579.
- [30] Tongnuanchan P, Benjakul S, Prodpran T. Physico-chemical properties, morphology and antioxidant activity of film from fish skin gelatin incorporated with root essential oils[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 117(3):350-360.
- [31] Masschalk B, Michiels C W. Antimicrobial properties of lysozyme in relation to foodborne vegetative bacteria[J]. Critical Reviews in Microbiology, 2003, 29(3):191-214.

(上接第376页)