

## 多糖基智能包装膜及其在水产品保鲜中的应用

段孟霞, 俞珊, 孙继帅, 童彩玲, 赵建波, 姜海鑫, 庞杰, 吴春华\*

(福建农林大学食品科学学院 福州 350002)

**摘要** 智能包装作为一种新型的食品包装技术,能够灵敏地感知贮藏食品内环境气氛的变化,从而做出可视化响应,达到监测食品的质量和新鲜度的目的。近年来,针对水产品保鲜方面的智能包装材料研究报道较多,尤其以多糖为基质的食品智能包装应用于水产品保鲜方面的研究。本文首先对智能包装系统和多糖基智能包装进行概述,着重介绍几种具有代表性的多糖成膜特性的差异,以及多糖基智能包装膜中指示剂的性质和变色机理。其次,阐述多糖基智能包装膜应用于水产品保鲜方面的研究进展。最后,总结多糖基智能包装膜研究与应用方面所存在的问题,并对提高多糖基智能包装膜稳定性做研究展望。

**关键词** 多糖; 智能包装; 水产品; 应用

**文章编号** 1009-7848(2022)05-0412-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.05.042

随着社会的发展和进步,食品质量及安全问题越来越受到人们的关注,有关食品安全方向的研究也越来越多,智能包装就是其中之一<sup>[1]</sup>。传统的食品包装形式是以石油衍生物为基质构建的一种惰性系统,对食品免受微生物的污染以及物理化学的损害有一定的保护作用<sup>[2]</sup>。这种传统包装依据较低的价格和优良的性能,在市场上仍被广泛应用<sup>[3-4]</sup>。然而,其存在如下几个缺点:1)作用较小。对于食品品质的变化不能作出响应。2)传统包装的难降解性,给环境带来巨大的压力。3)传统包装中含有一些有害物质,会迁移到食品中,从而影响食品的安全性<sup>[5]</sup>。

基于以上问题,智能包装的出现,受到广泛的关注。智能包装作为一种新型的食品包装形式,可以通过监测食品周围环境的变化,监控食品品质的变化,并做出可视化的响应,向消费者传达有关食品质量的信息<sup>[6]</sup>。水产品由于含水量较高,易发生腐坏变质,因此智能包装膜在水产品中的应用具有非常实际的意义<sup>[7]</sup>。本文对智能包装系统进行概述,着重论述多糖基智能包装的组成及性质,并归纳总结多糖基智能包装膜在水产品中的应用情

况、存在问题,并对今后的研究方向做出展望。

### 1 智能包装概况

在现代食品生产与加工中,包装占有非常重要的地位,它是食品生产过程中的最后一个环节,同时也是保证食品品质及安全的关键环节。为改进传统包装所存在的缺点,智能包装应运而生。智能包装不仅可以向消费者提供食品质量信息<sup>[8-9]</sup>,也可以向食品运输中的工作人员实时提供食品质量信息,避免腐坏食品进入市场<sup>[10]</sup>。智能包装在传统的包装功能基础上进行了进一步的延伸。传统包装形式具有保护、交互、便捷、容纳等功能,而智能包装则是对交互功能的一种延伸<sup>[11]</sup>。常用的食品智能包装形式主要包括时间-温度型、气体指示型和新鲜度指示型 3 种<sup>[12]</sup>。

时间-温度型智能包装具有使用方便、监测效率高等特点。可以通过产品的时间温度信息来监测产品在各个环节的温度变化,保证食品的质量和安。时间-温度型智能包装在易腐坏变质产品的质量检测中有广泛的应用。根据其中指示剂颜色变化的机理不同,又可将时间-温度型智能包装分为物理型、化学型、生物型以及酶型。物理型时间-温度指示剂主要是依靠有色物质间的物理变化(如物理扩散)来实现的<sup>[13]</sup>。化学型时间-温度指示剂是依靠分子或化合物间的化学反应而产生颜色的变化<sup>[14]</sup>。生物型时间-温度指示剂通过检测微生物在特定温度时间下产生的酸性物质来标定指

收稿日期: 2021-05-08

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31801616);  
福建省自然科学基金项目(2019J01390)

作者简介: 段孟霞(1997—),女,硕士生

通信作者: 吴春华 E-mail: chwu0283@163.com

示剂颜色的变化<sup>[11]</sup>。酶型时间-温度指示剂变色机理主要是依靠生物酶的酶促反应和水解作用与温度有较高的关联度<sup>[11]</sup>。

气体指示型智能包装是通过监测食品包装内气体的变化从而做出反应,以提醒消费者谨慎食用。在食品生产的任何一个环节,食品内的气体都可能发生变化,这些变化就会导致食品内一系列反应的发生,如微生物的快速增长以及油脂的氧化<sup>[11]</sup>,从而危及食品的安全。

新鲜度指示型智能包装是以多糖、蛋白质等物质作为成膜基质,将天然色素加入其中,做成指示型包装膜,从而监测食品的品质。所制得的指示型包装膜中的天然色素可以感知食品周围环境的变化,如 pH 值的变化,从而做出相应的反应,较为常见的反应是颜色反应。当水产品及其它肉制品发生变质时,就会产生氨气、二甲胺、三甲胺等气体,最终导致食品周围的 pH 值发生变化,包装膜中的天然色素感知到这种变化,就会发生相应的颜色反应,如甘蓝花青素一般会随着 pH 值的增高,由紫红色变为蓝紫色再到蓝绿色。明显的颜色变化就会让消费者清楚地知道该食品是处在新鲜、中新鲜还是腐坏阶段,给消费者的食用带来参考。

## 2 多糖基智能包装概述

多糖基智能包装一般是由多糖和色素组成。多糖依靠良好的成膜特性,在智能包装中有广泛的应用,而色素基于良好的环境敏感性,在智能包装中常作为指示剂加入,最终制备出具有指示作用的多糖基智能包装膜。

### 2.1 多糖概述

多糖含量丰富,主要是由糖苷键连接而成,是一类复杂的碳水化合物,对 CO<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 的渗透具有选择性,这些特性使得多糖薄膜具有延长食品货架期的功能<sup>[13]</sup>。此外,多糖依靠着良好的成膜特性、凝胶特性及其它理化性能和丰富的含量,在智能包装中有广泛地应用。根据不同标准,可将多糖进行详细分类。首先,根据多糖的来源不同,可将其分为植物多糖、动物多糖和微生物多糖。大多数多糖是提取于动物和植物中,如在虾、蟹等的壳中提取的甲壳素和在植物中提取的纤维素等。另外,

还有一部分多糖是由微生物发酵产生,如普鲁兰、细菌纤维素等<sup>[14]</sup>。图 1 中举例表示了常见多糖的来源。其次,根据获得方式的不同可以分为天然多糖和改性多糖。天然多糖主要有甲壳素、纤维素和普鲁兰等,改性多糖有很多种,常见的有壳聚糖/胶原蛋白共混多糖、超声改性的卡拉胶以及湿热改性的淀粉等<sup>[15]</sup>。天然多糖与改性多糖都具有很好的生物相容性和可降解性,因此利用多糖做成的包装膜具有可降解的特点,不会对环境造成危害。自然界中可用于智能包装的多糖较为广泛,如壳聚糖、普鲁兰、纤维素、卡拉胶等。与脂类或蛋白质类相比,多糖作为包埋基质时,可以通过官能团与抗菌物质之间形成的氢键、静电相互作用等其它作用来达到所需目的,并且最终形成的纤维更容易抵抗高温,从而增加了抗菌物质的使用范围,另外,多糖除具有上述作用外,在食品加工中还具有增强食品风味的功能,使最终的产品更容易被消费者接受,多糖的这些性质和优势使得它在智能包装的制备方面具有非常大的应用潜力<sup>[16-17]</sup>。



图 1 举例说明几种多糖的来源

Fig.1 Illustrates the sources of several polysaccharides

2.1.1 植物源多糖 在自然界中,大多数多糖是提取于植物中。纤维素是最为典型的植物多糖,主要有纤维和晶须两种形式,易于改性,具有很好的生物降解性和相容性<sup>[18]</sup>。然而,由于未经改性的纤维素一般水溶性较差,因此纤维素在应用前一般都会进行改性处理以增强它的各项性能。除纤维素外,近年来对魔芋葡甘聚糖的研究也日益增多。魔芋葡甘聚糖作为一种在魔芋块茎中提取的天然

生物多糖,无毒无害,由 $\beta$ -1,4糖苷键以物质的量比为1.6:1或1.4:1连接D-甘露糖和D-葡萄糖组成,侧链则是通过 $\beta$ -1,6糖苷键连接,其具有非常好的成膜性能<sup>[19-20]</sup>。然而,单纯使用魔芋葡甘聚糖所制备的膜具有耐水性差、机械强度低、抗菌能力差等缺点。为改善其物理和化学功能,将魔芋葡甘聚糖与其它物质进行复配或对魔芋葡甘聚糖的结构进行修饰是十分必要的<sup>[21]</sup>。

**2.1.2 动物源多糖** 在自然界中,提取自动物的多糖相较于植物源多糖要少很多,尤其是应用于智能包装膜的多糖种类更少,而壳聚糖作为一种典型的动物多糖,其在智能包装中具有非常广泛的应用。壳聚糖是由从虾、蟹等的壳中提取的甲壳素经过脱乙酰化后得到的<sup>[22]</sup>,通常不溶于水,易溶于酸性溶液,其特点在于其主链上具有阳离子基团以及它对于真菌、细菌和酵母都具有一定的抗菌性能<sup>[23-25]</sup>。脱乙酰化得到的壳聚糖仍然保留着甲壳素的氨基,这使其具有了一些特殊的性质<sup>[26]</sup>,如生物降解性、相容性和抗菌性等<sup>[27-28]</sup>。此外,壳聚糖还具有乳化性、天然风味增强剂、颜色稳定性和脱酸等特点<sup>[29]</sup>。

**2.1.3 微生物多糖** 自然界中虽以动物多糖和植物多糖居多,但还含有一部分由微生物合成的微生物多糖,如普鲁兰、细菌纤维素等。普鲁兰是由普鲁兰细菌和淀粉合成<sup>[3]</sup>,并且是一种水溶性的胞外多糖<sup>[14]</sup>,呈现粉末状,在水溶液中即可溶解完全,无毒无害,具有非常好的可塑性和成膜性能。然而,在普鲁兰多糖的提取过程,其提取质量受培养条件的影响很大<sup>[14]</sup>,使得普鲁兰多糖成本变高,限制了其在食品、组织工程以及医药等多个领域的应用。

## 2.2 智能包装膜指示剂——色素的性质及变色机理概述

色素作为指示剂在智能包装膜中起着至关重要的作用,是智能包装膜监测食品变质的关键因素。根据色素的来源,可将其分为天然色素和合成色素。天然色素健康无毒,然而由于合成色素具有成本低,稳定性好等优点,在市场上仍然广泛应用<sup>[30-31]</sup>。表1中比较了两种色素具体的优缺点。为了提高食品的安全性,适应当今人们对健康饮食的追求,在食品生产和加工中使用天然色素取代

人工合成色素是将来食品生产的必然趋势,这就促进了对于天然色素的研究,从更多的食物中提取到了性能更优良的色素(见图2),并通过分子结构修饰、微胶囊化、添加稳定剂等方法来进一步提高天然色素的稳定性<sup>[32]</sup>,以期有更广泛的应用。

表1 天然色素与合成色素的优缺点比较

Table 1 Comparison of advantages and disadvantages between natural pigments and synthetic pigments

色素类型	安全性	成本	着色力	稳定性
天然色素	高	高	较好	差
合成色素	低	低	好	好



图2 举例说明几种天然色素的来源

Fig.2 Illustrates the sources of several natural pigments

花青素属于酚类化合物,在果蔬、花类等多种植物中具有分布广泛,是一种水溶性色素<sup>[33]</sup>。到目前为止,已有500多种花青素在自然界中被鉴定出来<sup>[34]</sup>,并且花青素也依靠其优良的抗菌性、抗氧化性和抗炎等特性取得了广泛的应用<sup>[35-36]</sup>。在各种生物特性中,花青素的抗氧化和抗菌活性对智能包装的开发尤为重要。花青素作为还原剂、给氢剂、单重态氧淬灭剂和金属螯合剂,显示出良好的抗氧化潜力<sup>[37]</sup>。花青素的抗菌机制主要是与细胞质的不稳定性、细胞膜的通透性、细胞外酶的抑制以及微生物生长所需的底物的剥夺有关<sup>[38-39]</sup>。此外,花青素依靠其对pH值变化的敏感性,在智能包装中得到了广泛的应用,其结构会因pH值的变化而改变,从而引起颜色的变化,因此可以有效的评价食品的新鲜度和质量<sup>[40-42]</sup>。

姜黄素属于双酚类化合物<sup>[43]</sup>,难溶于水,易溶于有机溶剂,大多提取于姜科植物的根茎中,姜黄素具有很多优良的性能,如抗氧化性和抗菌性等,

在糕点、糖果、冰淇淋等方面具有广泛地应用<sup>[44]</sup>。此外,姜黄素也属于天然色素的一种,在保证无

毒无害的前提下,对 pH 值也具有非常好的敏感性。随着周围环境中 pH 值的升高,姜黄素的颜色

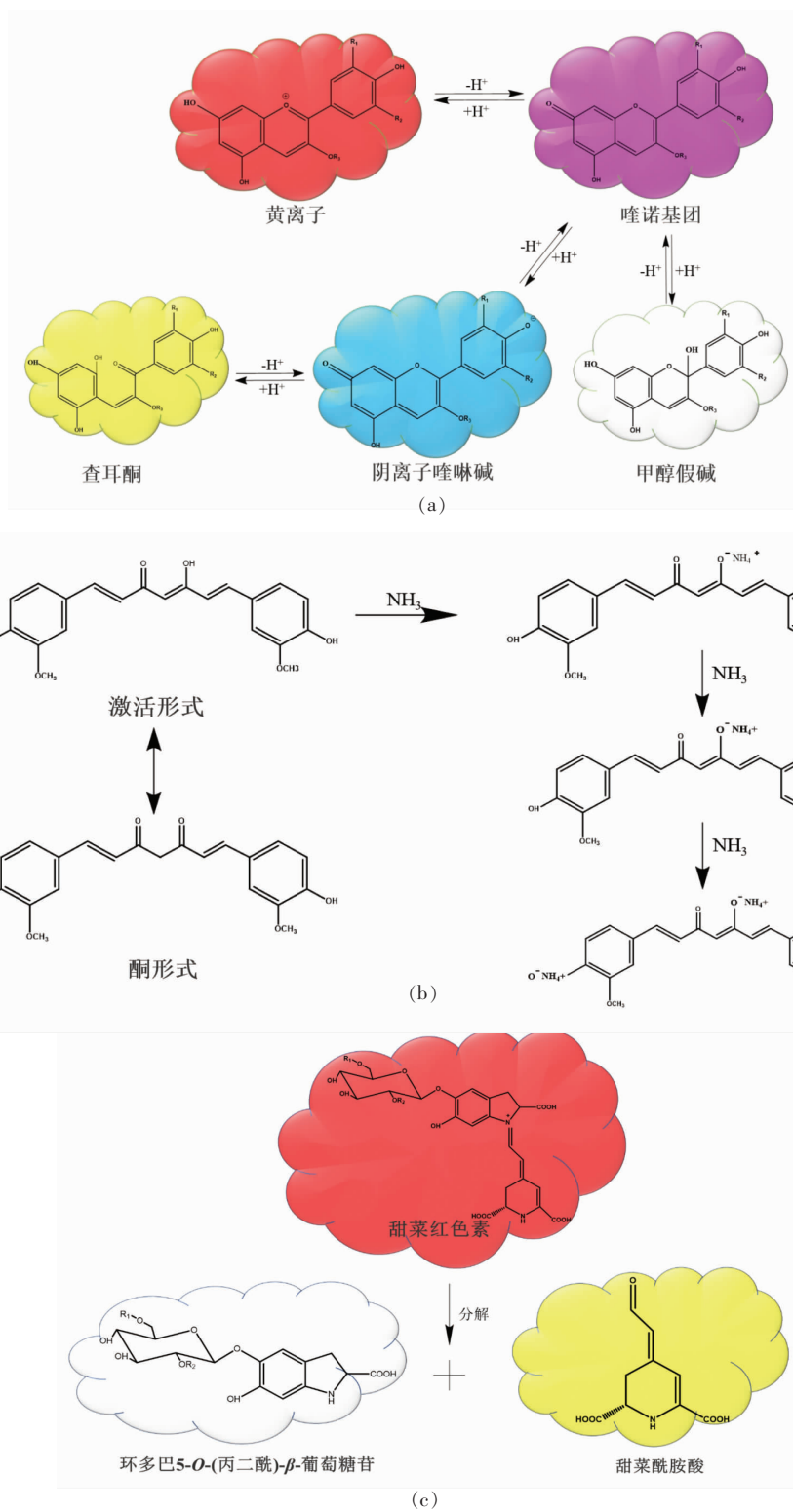


图 3 花青素(a)<sup>[48]</sup>、姜黄素(b)<sup>[49]</sup>以及甜菜素在碱性条件下(c)<sup>[50]</sup>的变色机理

Fig.3 Discoloration mechanism of anthocyanin (a), curcumin (b) and betaine under alkaline conditions (c)

呈现出由亮黄色到暗黄色再到棕色的变化。然而,由于其非常低的溶解度(11 ng/mL)和化学不稳定性,限制了其在食品、组织工程、医药等多个领域中的应用<sup>[45]</sup>。

甜菜素属于酚类色素,易溶于水,在甜菜根、火龙果、苋菜和多刺梨等植物中含量丰富,根据化学结构和颜色的不同,可分为甜菜红素和甜菜黄素<sup>[46]</sup>,甜菜红素主要是呈现红色和紫色,是由于其不同的取代方式所决定的,而甜菜黄素的颜色则取决于其氨基酸或胺的侧链结构<sup>[47]</sup>。两种类型的甜菜素在 pH(3.0~7.0)范围内都具有很好的稳定性,无毒无害。在食品加工或贮存过程中,甜菜素会发生水解、异构化、脱羧和脱糖基化等化学反应,从而产生颜色的变化。并有研究发现,甜菜素的稳定性会受到很多因素的影响,如其本身的结构、使用量、温度等<sup>[46]</sup>。

### 3 多糖基智能包装膜在水产品保鲜中的应用

基于多糖的智能包装膜具有很多优点,如具有致密的网状结构、成膜性好、膜的吸附性强。此外,多糖基智能包装膜属于可降解膜,对环境友好。水产品属于易腐败产品,对于储存条件有非常严格的要求,一旦周围环境发生变化或储存时间较长时,都很容易发生腐败变质,产生有毒物质,如果误食,就会影响身体健康。因此,多糖基智能包装膜在水产品中的应用具有非常实际的价值。

#### 3.1 以植物源多糖为基质的智能包装膜在水产品保鲜中的应用

植物多糖都具有非常好的成膜性、生物可降解性等优良性能,因此得到了广泛的应用。Listyarini 等<sup>[51]</sup>以纤维素纸为基质,将从芸香花中提取的花青素作为指示剂,使用浸涂法固定在基质上,制作成指示标签监测虾的新鲜度变化,发现 0 h 时指示剂标签呈现紫红色,而随着时间的延长,虾产生的挥发性氨气体增多。当到达 2 h 时,指示标签由原来的紫红色变为蓝紫色;当到达 17 h 时,指示剂标签变为黄灰色,此时的虾已腐烂变质,不宜食用;当到达 24 h 时,指示剂标签仍为黄灰色,明显的颜色变化即可清楚的知道虾的新鲜度。除纤维素外,还有一部分应用较少的植物多糖也具

有非常好的应用潜力,如塔拉胶和秋葵胶浆。Ma 等<sup>[52]</sup>将塔拉胶(TG)与聚乙烯醇(PVA)相结合,以姜黄素(CR)作为指示剂,制作了 NH<sub>3</sub> 指示膜(TPCr),用于虾的新鲜度监测,并在不同湿度的 NH<sub>3</sub> 环境中观察膜的颜色反应。结果发现,在不同湿度的 NH<sub>3</sub> 环境中的测试,湿度越大,膜的颜色变化越明显;在对虾的质量监测实验中发现,在虾变质前,膜的颜色呈现微黄色,虾变质后呈现橙红色。Kang 等<sup>[53]</sup>将秋葵胶浆(OMP)与聚乙烯醇相结合,加入玫瑰花青素(RAs)作为指示剂,制备了智能包装膜(PVA/OMP-RAs)来监测虾的新鲜度变化。结果发现,智能包装膜具有非常明显的颜色变化,从紫色(0 h)到蓝色(18 h)再到深绿色(24 h)最后到黄色(32 h),肉眼可清晰地分辨出来。

#### 3.2 以动物源多糖为基质的智能包装膜在水产品保鲜中的应用

壳聚糖作为一种动物源多糖,因其良好的性能,在智能包装膜方面的研究日益增多。针对单纯壳聚糖制成的膜机械性能较差等问题,近年来越来越多的研究者开始关注有关改善壳聚糖为基质的智能包装膜的性能方面的研究,目的在于将壳聚糖与其它多糖或可降解聚合物相结合,以提高膜的性能。Vadivel 等<sup>[54]</sup>将壳聚糖(CS)与聚乙烯醇(PVA)、木聚糖(CC)、羟磷灰石(nHA)混合作为原料,加入姜黄素(CR)作为抗氧化剂,制备了 PVA/CS/CC/nHA 复合膜(PCC),应用于鱼新鲜度监测,并通过紫外光谱、自由基清除能力、氨感分析、溶胀试验、体外生物降解、抗菌试验等多方面性能测试,对制备的混合膜进行了结构表征。结果表明,PCC 膜对鱼新鲜度的变化具有较好的敏感性,2 h 时智能膜颜色呈现稻草黄色,随着时间的延长,挥发性总氮(TVB-N)的含量也在逐渐增大,鱼类周围环境的 pH 增加,当到达 10 h 时,TVB-N 含量超过了限度,智能包装膜的颜色加深,当到达 18 h 时,智能包装膜的颜色继续加深,直到 24 h 测试结束。通过性能测试,表明该智能包装膜具有较好的抗氧化性能和抗菌性能,通过电镜可以观察到比较光滑致密的结构。Ge 等<sup>[55]</sup>以明胶和氧化甲壳素纳米晶体作为成膜基质,以从黑米糠中提取的花青素作为指示剂,制备了智能包装膜并用于虾和鱼新鲜度的监测。结果发现,智能包装膜由紫色

变为灰蓝色或棕色,不添加花青素的膜没有颜色反应,当花青素含量为100 mg时变色最明显。

### 3.3 以微生物多糖为基质的智能包装膜在水产品保鲜中的应用

微生物发酵产生的多糖一般成本较高,应用的广泛程度相比于植物多糖和动物多糖要少很多,其中,在智能包装膜方面应用最为广泛的微生物多糖主要是细菌纤维素和普鲁兰。Moradi等<sup>[56]</sup>

以细菌纤维素纳米纤维为基质,利用花青素为指示剂,在4℃条件下监测虹鳟鱼和普通鲤鱼的新鲜度变化。结果发现,指示标签呈现从红色到灰色的大色差,颜色变化非常明显。并且还对指示标签进行了对氨的敏感性测试,发现,在前4 min时,对氨的敏感性非常明显,当到达8 min时,对氨的敏感性达到最高,随后又开始下降。

表2 多糖基智能包装膜在水产品保鲜中的应用

Table 2 Application of polysaccharide-based intelligent packaging film in aquatic products preservation

多糖基质	辅料	色素	参考文献
纤维素纸	-	花青素	[51]
淀粉	聚苯胺醇	甜菜花青素	[50]
酸性染料改性的纤维素	聚乙烯醇	-	[18]
羧甲基纤维素/淀粉	-	紫甘薯花青素	[57]
淀粉	聚乙烯醇	紫甜土豆花青素和红甘蓝花青素	[58]
塔拉胶	聚乙烯醇	姜黄素	[52]
秋葵胶浆	聚乙烯醇	玫瑰花青素	[53]
树胶/阴离子纤维素纳米纤维	-	红甘蓝花青素	[59]
淀粉	聚乙烯醇	玫瑰花青素	[60]
氧化甲壳素纳米晶体	明胶	黑米糠花青素	[55]
壳聚糖/木聚糖	聚乙烯醇/羟磷灰石	姜黄素	[54]
壳聚糖	氧化甲壳素纳米晶体	黑米糠花青素	[61]
壳聚糖(外层)/结冷胶(内层)	聚乙烯醇(外层)	桑葚花青素	[62]
壳聚糖	-	茜素	[63]
壳聚糖纳米粒子	聚乙烯醇	桑葚花青素	[64]
细菌纤维素纳米纤维	-	花青素	[22]
细菌纤维素	-	海棠花青素	[65]

注:表中“-”表示无该添加物。

## 4 存在问题

多糖基智能包装膜凭借着优异的膜性能以及制备方法简单等优点,在食品安全领域迅速发展起来,然而由于多糖的一些特殊的理化性质,也限制了它的应用,主要包括以下几点:1)多糖溶解度高,吸水性强,以此为基础制备的智能包装膜极易吸收外界的水分,吸水后的包装膜会破坏原来的网状结构,并且会收缩变形,较难保存和应用;2)虽然多糖的成膜特性较好,但在制备出较光滑稳定的膜时还需要反复调整原料比例,因此多糖基智能包装膜的研究还仍处于起步阶段,距离商业化生产和大规模的应用还有一定距离;3)多糖基智能包装膜在监测食品变质方面灵敏度还需要进一步的加强,比如新鲜度型智能包装膜中加入的

指示剂(色素),在区分食品新鲜、中新鲜和腐败时存在显色不明显的问题。以上问题是当前研究中切实存在的,也是今后研究中需要改进和完善的。

## 5 结语

多糖在自然界中的含量丰富,生产成本较低,并且具有非常优异的性能,因此多糖基智能包装膜的制备和应用具有非常明显的优势,然而也仍然存在需要进一步改进的地方,如易吸水溶解、不稳定等。研究者通过将多糖与其它物质混合或不同类型多糖相互混合来进一步完善多糖基智能膜的特性,以期能够有更广泛地应用。在智能膜中添加的色素也是至关重要的因素,以天然色素代替人工合成色素,既能够提高食品的安全性,又能够

保证智能膜的颜色变化,然而其稳定性还有待提高。水产品由于水分含量较高,特别容易促进微生物的生长。尽管在较严格的条件下储存和保藏水产品,它也极易发生腐败变质。针对以上问题,接下来的研究应该更多的向多糖基智能包装膜改性和提高其稳定性方向侧重,以期可以尽快将科研成果投入到商业生产中,弥补当前食品包装的不足,提高食品包装的功能性,并进一步调整包装膜中指示剂的类型和含量,从而提高其灵敏度和准确性,以提醒消费者谨慎食用,在实际生产应用中具有非常重要的意义。

### 参 考 文 献

- [1] KALPANA S, PRIYADARSHINI S R, LEENA M M, et al. Intelligent packaging: Trends and applications in food systems[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 93: 145-157.
- [2] KHEZRAN A, SHAHBAZI Y. Application of nanocomposite chitosan and carboxymethyl cellulose films containing natural preservative compounds in minced camel's meat[J]. International Journal of Biological Macromolecules Structure Function & Interactions, 2018, 106: 1146-1158.
- [3] SUN J S, DU Y, MA J Q, et al. Transparent bio-nanocomposite films based on konjac glucomannan, chitosan, and TEMPO-oxidized chitin nanocrystals with enhanced mechanical and barrier properties[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 138: 866-873.
- [4] PORTA R. The plastics sunset and the bio-plastics sunrise[J]. Coatings, 2019, 9(8): 526.
- [5] 侯晓阳. 新型食品包装材料的发展概况及趋势[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(24): 6400-6405.  
HOU X Y. Development and tendency of novel food packaging materials [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(24): 6400-6405.
- [6] KUSWANDI B, NURFAWAIDI A. On-package dual sensors label based on pH indicators for real-time monitoring of beef freshness[J]. Food Control, 2017, 8291-100.
- [7] LIU X Y, WANG Y, ZHU L J, et al. Dual-mode smart packaging based on tetraphenylethylene functionalized polyaniline sensing label for monitoring the freshness of fish[J]. Sensor and Actuators B: Chemical, 2020, 323: 128694.
- [8] AZEREDO H M C. Betalains: Properties, sources, applications, and stability - A review[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2009, 44(12): 2365-2376.
- [9] CHEN S E, BRAHMA S, MACKAY J, et al. The role of smart packaging system in food supply chain [J]. Journal of Food Science, 2020, 85(3): 517-525.
- [10] GHAAANI M, COZZOLINO C A, CASTELLI G, et al. An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 51: 1-11.
- [11] 周云令, 魏娜, 郝晓秀, 等. 智能包装技术在食品供应链中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2020, 42(7): 1-14.  
ZHOU Y L, WEI N, HAO X X, et al. Progress in application of intelligent packaging technologies in food supply chain[J]. Food Science, 2020, 42(7): 1-14.
- [12] 赵艳云, 连紫璇, 岳进. 食品包装的最新研究进展[J]. 中国食品学报, 2013, 13(4): 1-10.  
ZHAO Y Y, LIAN Z X, YUE J. Recent development in food packaging[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(4): 1-10.
- [13] ERGINKAYA Z, KALKAN S, ÜNAL E. Use of antimicrobial edible films and coatings as packaging materials for food safety[M]// MALIK A, ERGINKAYA Z, AHMAD S, et al. New York: Springer, 2014: 261-295.
- [14] 陈艳欣. 多糖膜在食品包装中的应用[J]. 辽宁化工, 2020, 49(5): 561-562.  
CHEN Y X. Application of polysaccharide film in food packaging [J]. Liaoning Chemical Industry, 2020, 49(5): 561-562.
- [15] 汤陈鹏, 吕峰. 天然多糖改性方法研究进展[J]. 渔业研究, 2017, 39(2): 157-164.  
TANG C P, LÜ F. Research advance on modification of natural polysaccharide[J]. Journal of Fisheries Research, 2017, 39(2): 157-164.
- [16] WEN P, WEN Y, ZONG M H, et al. Encapsulation of bioactive compound in electrospun fibers and its potential application [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(42): 9161-9179.

- [17] 于栋, 王浩, 冯扬扬, 等. 静电纺丝技术包埋抗菌物质研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(2): 358-364.
- YU D, WANG H, FENG Y Y, et al. Research progress of the encapsulation of antimicrobial substances by electrospinning technique[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(2): 358-364.
- [18] DING L, LI X, HU L C, et al. A naked-eye detection polyvinyl alcohol/cellulose-based pH sensor for intelligent packaging[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 233: 115859.
- [19] SUN J S, JIANG H X, WU H B, et al. Multi-functional bionanocomposite films based on konjac glucomannan/chitosan with nano-ZnO and mulberry anthocyanin extract for active food packaging[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 107: 105942.
- [20] CHUA M, BALDWIN T C, HOCKING T J, et al. Traditional uses and potential health benefits of *Amorphophallus konjac* K. Koch ex N.E.Br[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2010, 128(2): 268-278.
- [21] LIU Z, LIN D H, LOPEZ-SANCHEZ P, et al. Characterizations of bacterial cellulose nanofibers reinforced edible films based on konjac glucomannan[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 145: 634-645.
- [22] FERREIRA A R V, ALVES V D, COELHO M, et al. Polysaccharide-based membranes in food packaging applications[J]. Membranes, 2016, 6(2): 22.
- [23] RINAUDO M. Chitin and chitosan: Properties and applications[J]. Progress in Polymer Science, 2006, 31(7): 603-632.
- [24] VAN D B L A M, KNOOP R J I, KAPPEN F H J, et al. Chitosan films and blends for packaging material[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 116: 237-242.
- [25] BABU R P, O'CONNOR K, SEERAM R. Current progress on bio-based polymers and their future trends[J]. Progress in Biomaterials, 2013, 2(1): 8.
- [26] 李冠辉, 莫奇勇, 胡稳, 等. 壳聚糖/纤维素纤维复合纸的制备及性能研究[J]. 中国造纸, 2020, 39(11): 1-9.
- LI G H, MO Q Y, HU W, et al. Study on preparation and properties of chitosan/cellulose fiber composite paper[J]. China Pulp & Paper, 2020, 39(11): 1-9.
- [27] MUJTABA M, MORSI R E, KERCH G, et al. Current advancements in chitosan-based film production for food technology: A review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 121: 889-904.
- [28] SOUZA V G L, PIRES J R A, RODRIGUES C, et al. Chitosan composites in packaging industry-current trends and future challenges[J]. Polymers, 2020, 12(2): 417.
- [29] KAHVE H I, DURAN A. The use of chitosan as a coating material[J]. Academic Journal of Science, 2016, 5(1): 167-172.
- [30] MACIEL V B V, FRANCO T T, YOSHIDA C M P. Alternative intelligent material for packaging using chitosan films as colorimetric temperature indicators[J]. Polímeros, 2012, 22(4): 318-324.
- [31] KAREL M. Chemical effects in food stored at room temperature[J]. Journal of Chemical Education, 1984, 61(4): 335.
- [32] 徐馨, 丁金龙. 提高天然色素稳定性方法的研究进展[J]. 中国调味品, 2018, 43(1): 175-179.
- XU X, DING J L. Research progress on improving the stability of natural pigment[J]. China Condiment, 2018, 43(1): 175-179.
- [33] WU C H, LI Y L, SUN J S, et al. Novel konjac glucomannan films with oxidized chitin nanocrystals immobilized red cabbage anthocyanins for intelligent food packaging[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 98: 105245.
- [34] COOK M D, WILLEMS M E T. Dietary anthocyanins: A review of the exercise performance effects and related physiological responses[J]. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 2019, 29(3): 322-330.
- [35] ONGKOWIJOYO P, LUNA-VITAL D A, MEJIA E G D. Extraction techniques and analysis of anthocyanins from food sources by mass spectrometry: An update[J]. Food Chemistry, 2018, 250: 113-126.
- [36] SINOPOLI A, CALOGER G, BARTOLOTTA A. Computational aspects of anthocyanidins and anthocyanins: A review[J]. Food Chemistry, 2019, 297: 124898.
- [37] HE J, GIUSTI M M. Anthocyanins: Natural colorants with health-promoting properties[J]. Annual Review of Food Science & Technology, 2010, 1(1): 163.



- [38] GENSKOWSKY E, PUENTE L A, PÉREZ -ÁLVAREZ J A, et al. Assessment of antibacterial and antioxidant properties of chitosan edible films incorporated with maqui berry (*Aristotelia chilensis*) [J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 64(2): 1057-1062.
- [39] KOOSHA M, HAMED I S. Intelligent chitosan/PVA nanocomposite films containing black carrot anthocyanin and bentonite nanoclays with improved mechanical, thermal and antibacterial properties [J]. Progress in Organic Coatings, 2019, 127: 338-347.
- [40] ZHANG J J, ZOU X B, ZHAI X D, et al. Preparation of an intelligent pH film based on biodegradable polymers and roselle anthocyanins for monitoring pork freshness [J]. Food Chemistry, 2019, 272: 306-312.
- [41] SOHAIL M, SUN D W, ZHU Z W. Recent developments in intelligent packaging for enhancing food quality and safety [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2018, 58(15): 2650-2662.
- [42] BHARGAVA N, SHARANAGAT V S, MOR R S, et al. Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 105: 385-401.
- [43] PAN K, LUO Y C, GAN Y D, et al. pH-driven encapsulation of curcumin in self-assembled casein nanoparticles for enhanced dispersibility and bioactivity [J]. Soft Matter, 2014, 10(35): 6820-6830.
- [44] 王美, 傅玉颖, 李欣, 等. 水溶性姜黄色素分散体系的稳定性研究 [J]. 中国食品学报, 2018, 18(11): 34-43.  
WANG M, FU Y Y, LI X, et al. Studies on the stability of dispersed system from water-soluble curcumin [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(11): 34-43.
- [45] ZHANG H C, WANG T, HE F L, et al. Fabrication of pea protein-curcumin nanocomplexes via microfluidization for improved solubility, nano-dispersibility and heat stability of curcumin: Insight on interaction mechanisms [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 168: 686-694.
- [46] RIBEIRO J S, VELOSO C M. Microencapsulation of natural dyes with biopolymers for application in food: A review [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 112: 106374.
- [47] DELGADO-VARGAS F, JIMÉNEZ A R, PAREDES-LÓPEZ O. Natural pigments: Carotenoids, anthocyanins, and betalains-characteristics, biosynthesis, processing, and stability [J]. Critical Reviews in Food Technology, 2000, 40(3): 173-289.
- [48] YONG H M, LIU J. Recent advances in the preparation, physical and functional properties, and applications of anthocyanins-based active and intelligent packaging films [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2020, 26: 100550.
- [49] ZHAI X D, WANG X Y, ZHANG J J, et al. Extruded low density polyethylene-curcumin film: A hydrophobic ammonia sensor for intelligent food packaging [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2020, 26: 100595.
- [50] QIN Y, LIU Y P, ZHANG X, et al. Development of active and intelligent packaging by incorporating betalains from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel into starch/polyvinyl alcohol films [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 100: 105410.
- [51] LISTYARINI A, SHOLIHAN W, IMAWAN C. A paper-based colorimetric indicator label using natural dye for monitoring shrimp spoilage [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 367(1): 012045.
- [52] MA Q Y, DU L, WANG L J. Tara gum/polyvinyl alcohol-based colorimetric NH<sub>3</sub> indicator films incorporating curcumin for intelligent packaging [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2017, 244: 759-766.
- [53] KANG S L, WANG H L, XIA L, et al. Colorimetric film based on polyvinyl alcohol/okra mucilage polysaccharide incorporated with rose anthocyanins for shrimp freshness monitoring [J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 229: 115402.
- [54] VADIVEL M, SANKARGANESH M, RAJA J D, et al. Bioactive constituents and bio-waste derived chitosan/xylan based biodegradable hybrid nanocomposite for sensitive detection of fish freshness [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2019, 22: 100384.
- [55] GE Y J, LI Y, BAI Y, et al. Intelligent gelatin/oxidized chitin nanocrystals nanocomposite films containing black rice bran anthocyanins for fish freshness monitoring [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 155: 1296-1306.
- [56] MORADI M, TAJIK H, ALMASI H, et al. A novel

- pH-sensing indicator based on bacterial cellulose nanofibers and black carrot anthocyanins for monitoring fish freshness[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 222: 115030.
- [57] JIANG G Y, HOU X Y, ZENG X D, et al. Preparation and characterization of indicator films from carboxymethyl-cellulose/starch and purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) anthocyanins for monitoring fish freshness[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 143: 359-372.
- [58] ZHANG K L, HUANG T S, YAN H, et al. Novel pH-sensitive films based on starch/polyvinyl alcohol and food anthocyanins as a visual indicator of shrimp deterioration[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 145: 768-776.
- [59] LIANG T Q, WANG L J. Preparation, characterization and application of a low water-sensitive *Artemisia sphaerocephala* krasch. Gum intelligent film incorporated with anionic cellulose nanofiber as a reinforcing component[J]. *Polymers*, 2020, 12(1): 502-508.
- [60] ZHAI X D, SHI J Y, ZOU X B, et al. Novel colorimetric films based on starch/polyvinyl alcohol incorporated with roselle anthocyanins for fish freshness monitoring[J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 69: 308-317.
- [61] WU C H, SUN J S, ZHENG P Y, et al. Preparation of an intelligent film based on chitosan/oxidized chitin nanocrystals incorporating black rice bran anthocyanins for seafood spoilage monitoring[J]. *Carbohydrate polymers*, 2019, 222: 115006.
- [62] 邹小波, 薛瑾, 黄晓玮, 等. 一种双层智能膜的制备及在指示三文鱼新鲜度中的应用[J]. *食品科学*, 2019, 40(23): 206-212.
- ZOU X B, XUE J, HUANG X W, et al. Development and application of an intelligent bilayer packaging film as a freshness indicator for salmon[J]. *Food Science*, 2019, 40(23): 206-212.
- [63] EZATI P, RHIM J W. pH-responsive chitosan-based film incorporated with alizarin for intelligent packaging applications[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 102: 105629.
- [64] MA Q Y, LIANG T Q, CAO L L, et al. Intelligent poly(vinyl alcohol)-chitosan nanoparticles-mulberry extracts films capable of monitoring pH variations[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 108: 576-584.
- [65] MOHAMMADALINEJHAD S, ALMASI H, MORADI M. Immobilization of echium amoenum anthocyanins into bacterial cellulose film: A novel colorimetric pH indicator for freshness/spoilage monitoring of shrimp[J]. *Food Control*, 2020, 113: 107169.

### Research Progress of Polysaccharide-based Intelligent Packaging Film and Its Application in Aquatic Product Preservation

Duan Mengxia, Yu Shan, Sun Jishuai, Tong Cailing, Zhao Jianbo, Jiang Haixin, Pang Jie, Wu Chunhua\*  
(College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002)

**Abstract** As a new food packaging technology, intelligent packaging can sense the change of internal environment and atmosphere of stored food sensitively and make visual response, so as to achieve the purpose of monitoring the quality and freshness of food. In recent years, there have been a lot of reports on intelligent packaging materials for aquatic product preservation, especially more and more researches on the application of polysaccharides based food intelligent packaging in aquatic product preservation. In this paper, firstly, the intelligent packaging system and the intelligent packaging of polysaccharides were summarized. And the differences in the film-forming characteristics of several representative polysaccharides were focused, as well as the properties and color-changing mechanism of indicators in the polysaccharides based intelligent packaging were described emphatically. Secondly, the progress of intelligent packaging based on polysaccharides applied in aquatic were reviewed. Finally, based on the current research progress, summed up the problems about the research and application of intelligent packaging film based on polysaccharide, and for the future studies about enhances the stability of polysaccharide based intelligent packaging film has made a further outlook.

**Keywords** polysaccharides; intelligent packaging film; aquatic products; application