

释放型食品抗氧化活性包装膜研究进展

陈晨伟, 段恒, 杨福馨, 李立, 顾志豪, 疏家伟

(上海海洋大学, 上海 201306)

摘要: **目的** 为释放型食品抗氧化活性包装膜开发及其在食品工业中的应用研究提供基础。**方法** 综述了释放型食品抗氧化活性包装膜的主要类型及其应用效果, 以及释放速率控制的国内外研究进展, 并对值得深入研究的问题进行了分析, 对其未来发展趋势进行了展望。**结果** 释放型食品抗氧化活性包装膜研究尚处于起步阶段, 还未建立系统的研究体系, 其实效性、安全性、抗氧化作用机理、激发机制、释放规律及相应理论模型构建等问题还未进行系统深入研究。**结论** 开发高效、安全、稳定、可控的控释抗氧化包装膜, 并与气调、辐照等其他保鲜包装技术相结合, 是食品活性包装技术的发展方向。

关键词: 食品活性包装; 抗氧化活性包装; 包装膜; 释放速率

中图分类号: TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)13-0036-07

Research Progress in Release-type Food Antioxidant Active Packaging Film

CHEN Chen-wei, DUAN Heng, YANG Fu-xin, LI Li, GU Zhi-hao, SHU Jia-wei

(Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: **Objective** To provide technical basis for the development of release-type antioxidant active food packaging film and its application in food industry. **Methods** The mold, its application effect, release rate control and the recent development of release-type antioxidant active food packaging film were reviewed. And the problems to be studied and the development trend of the release-type antioxidant active food packaging film were summarized. **Results** Research on this active film is still in the starting phase at the moment. The systemic research system had not yet been established, and the regulation effectiveness, safety, antioxidant mechanism, motivate mechanism, the release rule and its theoretical model have not been systematically and deeply studied. **Conclusion** Development of highly effective, safe, stable and controllable release-type antioxidant packaging film, and its combination with other fresh-keeping technologies, such as MAP, irradiation etc, are the future direction of food active packaging technology.

KEY WORDS: food active packaging; antioxidant active packaging; packaging film; release rate

随着人们对食品品质和安全性要求的提高, 食品包装也发生着巨大的变化, 各种新型包装技术不断发展, 活性包装便是其中一种非常具有发展潜力的包装技术。根据 Actipak 的定义, 活性包装是指通过改变包装食品环境条件来延长货架期或改善安全性和感官

特性, 同时保持食品品质不变的一种包装技术^[1]。

食品中的脂质氧化是食品变质酸败的主要原因之一^[2], 脂质氧化不仅降低了食品的营养价值, 缩短了货架期, 而且产生的某些氧化产物具有毒性, 会损害人体健康。由此, 如何防止食品中的脂质氧化, 在保

收稿日期: 2014-01-10

基金项目: 国家高技术研究发展 863 计划基金(2012AA092301); 上海市高校青年教师培养资助计划(B-5409-13-0014); 上海海洋大学青年科研基金(A-0209-13-0600429); 上海海洋大学骆肇尧大学生科技创新基金(A1-0204-13-001940)

作者简介: 陈晨伟(1983—), 男, 浙江台州人, 上海海洋大学讲师, 主要从事食品贮藏保鲜与包装研究。

通讯作者: 杨福馨(1958—), 男, 贵州人, 上海海洋大学教授, 主要从事包装工程理论与技术研究。

证食品品质、延长货架期上起着关键作用。塑料薄膜是食品包装的主要材料之一,目前国内外学者在以塑料薄膜为基材开发活性包装材料方面做了大量的研究,其中主要以抗菌活性包装膜^[3-6]为主,而对抗氧化活性包装膜的研究相对较少,特别在国内鲜有报道。为此,总结了释放型食品抗氧化活性包装膜的研究进展,并对值得深入研究的问题进行了分析,对其未来发展趋势进行了展望。

1 主要类型及应用效果

抗氧化活性包装体系一般由抗氧化剂、包装材料和食品等3部分组成。抗氧化剂通常涂布在包装材料表面,合成于包装材料内,固定在包装材料表面或被改良成包装材料。抗氧化活性包装根据抗氧化作用形式,可分为吸收型、固化型和释放型等3种类型^[7]。吸收型抗氧化包装主要是通过吸收包装环境内的O₂,从而抑制食品的氧化酸败,一般为小袋或衬垫形式。固化抗氧化包装系统不释放抗氧化剂,只抑制与包装接触的食品表面的氧化酸败。释放型抗氧化包装是通过扩散作用到达食品表面或包装顶部空间而抑制食品的氧化酸败。抗氧化剂可以是固体溶质,也可以是气体,但是固体溶质型抗氧化剂不能越过包装和食品间的空间迁移,而气态抗氧化剂可以穿过包装内的任何空间。

释放型抗氧化活性包装膜是塑料薄膜形式的释放型抗氧化活性包装系统,主要有2种形式:一是直接将抗氧化剂加入到塑料薄膜中;二是将抗氧化剂涂布或吸附于塑料薄膜表面。2种形式都可通过共混挤出吹塑、共混挤出流延、溶液流延、溶液流延涂布等方法制备得到。与直接向食品中添加抗氧化剂相比,通过包装材料向食品中缓慢释放抗氧化剂具有消耗抗氧化剂少,较长时间抑制氧化反应^[8]等优势。

1.1 抗氧化剂直接加入薄膜

抗氧化剂分为合成抗氧化剂和天然抗氧化剂等2种,早期研究主要集中在合成抗氧化剂方面。1987年,Hoojjat等人直接将合成抗氧化剂BHT加入高密度聚乙烯(HDPE)薄膜中,通过缓慢释放BHT到包装内部而成功延长了早餐燕麦食品的货架期^[9]。另有报道,将合成抗氧化剂BHT、BHA加入塑料包装材料中,有效控制了

干燥食品氧化气味的产生,如薄脆饼干、燕麦食品。随后,Kraft食品公司拓展了BHT的应用,将其加入到其他包装材料中,如涂蜡衬垫、纸板等^[10]。

聚乳酸(PLA)被认为是一种具备良好使用性能的生物可降解塑料,不少学者研究了以PLA为基材的抗氧化活性包装膜制备及相关性能影响。Majid Jamshidian^[11-12]等人通过挤出流延法制备了分别含有BHA、BHT、PG和TBHQ等4种合成抗氧化剂的PLA抗氧化活性薄膜,研究了抗氧化剂对PLA薄膜结构、力学性能、阻隔性能的影响。结果表明,抗氧化剂的加入降低了PLA薄膜的玻璃化转变温度和结晶度,降低了PLA薄膜的水蒸气、CO₂和O₂透过率,得出薄膜气体透过性主要取决于抗氧化剂的结构、添加量及其与PLA聚合物的兼容性。同时,指出了4种合成抗氧化剂应用于制备开发PLA抗氧化活性薄膜在技术上是安全的。在该研究基础上,Majid Jamshidian^[13]等通过溶液-流延法制备了分别含天然抗氧化剂抗坏血酸棕榈酸酯和 α -生育酚(α -Tocopherol)的PLA薄膜,结果表明两者均降低了PLA薄膜的弹性模量和抗拉强度,加入抗坏血酸棕榈酸酯降低了薄膜透明度,增加了薄膜表面粗糙度,而加入 α -生育酚对薄膜表面粗糙度基本没影响,降低了薄膜的结晶化温度,影响了PLA薄膜内部某些化学键的连接。由于该薄膜制备过程中抗坏血酸棕榈酸酯损失率为35%,因此不建议直接用来制备PLA抗氧化活性薄膜。但其未对抗坏血酸棕榈酸酯、 α -生育酚与PLA聚合物间的相互作用机理以及两者共同在PLA聚合物中的协同作用进行深入研究。Carla M.B. Goncalve^[14]等人研究表明, α -生育酚加入到PLA薄膜中明显增加了薄膜对O₂的吸收性能,而对CO₂的吸收性能没有明显影响。Francisca Manzanarez-López^[15]等人将含 α -生育酚的PLA薄膜应用于大豆油包装,结果表明,常温下PLA薄膜通过向大豆油中释放 α -生育酚有效抑制了大豆油的氧化。Youngjae Byun^[16]等人通过清除自由基DPPH试验对比了3种薄膜(纯PLA、含BHT PLA薄膜、含BHT和 α -生育酚 PLA薄膜)的抗氧化性,结果表明,含BHT和 α -生育酚的PLA薄膜具有最好的抗氧化性。M.van Aardt^[8]等人通过溶液-流延法制备得到分别含有 α -生育酚(2%)和BHT(1%)及BHA(1%)的PLGA可生物降解薄膜(PLA与PGA为50:50),评估了PLGA薄膜包装全脂奶粉与脱脂奶粉的效果(储藏于25℃,

光照条件),在一定程度上提高了其氧化稳定性。

除了以PLA为薄膜基材外,较多抗氧化活性膜的研究采用常用的LDPE、PP、EVOH等薄膜为基材,以天然抗氧化剂为活性物质。Wessling^[17-19]等人制备得到含 α -生育酚的LDPE薄膜,评估了薄膜对亚油酸的抗氧化性,结果表明含 3400×10^{-6} α -生育酚的LDPE薄膜可以有效抑制其氧化,在6℃下延长货架期15~20 d。Elena Torrieri^[20]等人将含 α -生育酚的LDPE薄膜,采用联合气调包装,用于包装蓝鳍金枪鱼鱼片,结果表明:LDPE抗氧化薄膜有效抑制了金枪鱼鱼片脂肪氧化,气调包装与活性包装相结合可作为生鲜食品包装的有效方式来延长其货架期。Marina Ramos^[21]等人将香芹酚(Carvacrol)、麝香草酚(Thymol)与PP树脂熔融共混,再通过实验室压片机制备得到具有抗菌和抗氧化活性的PP薄膜,研究了不同添加量对薄膜拉伸、阻隔等性能的影响。Carol López-de-Dicastillo^[22]等人采用溶液流延法制备得到具有抗氧化活性的EVOH薄膜,分别含有维生素C、肉桂酸、没食子酸丙酯和绿茶提取物等4种天然抗氧化剂,并将其应用于沙丁鱼包装,结果表明:4种薄膜均有效抑制了沙丁鱼脂质氧化,延长了保质期,但是含绿茶提取物的抗氧化膜效果最佳。Carol López-de-Dicastillo^[23]等人同时从可可粉中提取活性成分,制备了具有抗氧化和抗菌功能的EVOH薄膜,通过迁移试验验证了可可粉提取活性物质的释放性,并通过细胞毒性检测试验表明:该功能薄膜即使在含有高浓度的可可粉提取物时也无毒性,预示该功能薄膜在食品包装工业中可以安全使用。D.Granch—Restrepo^[24]等人研制了一种含有有机除氧剂的多层复合薄膜,该薄膜由含二氧化钛的高密度聚乙烯膜、乙烯乙烯醇聚合物膜以及含有丁基羟基苯甲醚、丁基羟基甲苯和 α -生育酚的低密度聚乙烯膜构成,将该薄膜用于包装全脂奶粉,结果表明:丁基羟基苯甲醚和丁基羟基甲苯可快速地从复合薄膜中扩散到奶粉中去,而 α -生育酚则具有缓释效果。该薄膜可有效抑制奶粉脂质氧化,且大大减少了奶粉中维生素A的损失。

国内学者沈洁^[25]等人将原花青素(PC)添加到醋酸纤维素(CA)制膜溶液中,制得具有抗氧化性的可降解包装薄膜,并将其应用于包装新鲜猪油,采用油脂氧化稳定性的检测方法(Schaal烤箱法),测试了薄膜在不同PC添加量时的抗氧化性,结果表明:当添加质

量分数为2%的PC时,薄膜的抗氧化性最佳,其对油脂的抑制率达到了37.65%,可在常温下延长油脂保质期两个多月。吕飞^[26]通过溶液流延法制备了含肉桂油的海藻酸钠薄膜,通过黑鱼的保鲜包装试验表明,含肉桂油的海藻酸钠薄膜对抑制脂肪氧化具有明显效果。彭勇^[27]等人为了开发新型的抗氧化活性包装材料,制备了壳聚糖/绿茶多酚构成的复合膜,通过DPPH自由基清除能力试验表明,绿茶多酚显著提高了壳聚糖复合膜的抗氧化能力。

1.2 抗氧化剂涂布或吸附于薄膜表面

Tomas Bolumar^[28]等人采用溶液流延法把迷迭香提取物涂布于家庭用低密度聚乙烯(LDPE)保鲜膜上,将其应用于鸡肉包装,同时联合高压处理和真空包装,有效抑制了鸡肉表面因高压处理造成的脂肪氧化。D.A. Pereirade Abreu^[29]等人从大麦壳中提取天然抗氧化物质(含有高含量对羟基肉桂酸(P-Coumaric acid)和阿魏酸(Ferulic acid)),将其涂布于LDPE薄膜表面,并应用于冷冻大青鲨包装,与对照试验样品相比,有效延缓了大青鲨的脂质水解,增加了肉质的氧化稳定性^[30]。同时,用于包装冷冻大比目鱼,经过180 d的贮藏试验,对照试样中的丙二醛质量分数比抗氧化活性包装试样多30%~50%^[31],结果表明:LDPE薄膜上的抗氧化涂层具有很好的抗氧化性能,在水或油性食品介质中不会与薄膜分开,可广泛应用于其他食品包装^[32]。Claudia Contini^[33]等人从柑橘中提取天然抗氧化物质制备抗氧化活性涂层,涂布于PET托盘表面,将其用于包装熟制火鸡肉,结果表明:含有抗氧化活性涂层的PET托盘包装的火鸡肉中的TBARS远低于对照组试样。

专利EP 1477519-A1^[34]介绍了一种食品抗氧化活性涂层的制备方法。基于该方法,Javier Camo^[35]等人制备得到含有不同牛至提取物浓度的抗氧化PP膜,结合气调包装将其用于包装生鲜牛排(贮藏温度为 $(1 \pm 1)^\circ\text{C}$),结果表明:抗氧化PP膜能较好地抑制脂肪氧化,抗氧化性能随着牛至提取物质量分数的增加而增加,但是质量分数超过4%时会产生较大的牛至气味,影响牛排感官特性,因而最优质量分数范围为1%~2%。Javier Camo^[36]等人同时研究了含迷迭香提取物的抗氧化膜裹包、含牛至提取物的抗氧化膜裹包、直接在肉表面喷洒迷迭香提取物等3种生鲜羊

排包装方式的抗氧化包装效果。3种方式均结合高氧气调(O_2 (70%)+ CO_2 (20%)+ N_2 (10%))包装,包装方式为PET托盘(PA/PE膜封口)包装。结果表明:对比对照试样,3种包装方式均增加了生鲜羊排的氧化稳定性,但前2种方式抗氧化效果较好。C. Nern^[37]等从迷迭香中提取了多种天然抗氧化物质,制备得到含气相挥发性抗氧化涂层的PP膜,并通过试验验证了其对于3种易氧化食品模拟物(抗坏血酸维生素C、硫酸亚铁(II)铵六水合物和亚麻籽油)的气相抗氧化性,为应用于非直接接触食品的抗氧化包装提供了研究思路。Maria Trzecińska^[38]等通过吸附的方法将没食子酸丙酯固载于壳聚糖中,制备得到含壳聚糖涂层的PE薄膜,通过清除自由基DPPH试验验证了薄膜的抗氧化性能,结果表明:该薄膜在储存150 d后仍保持50%的抗氧化性能。国内学者刘昭明^[39]等将生姜提取液涂布于牛皮纸上制备得到抗氧化纸,并将其与传统油炸食品酥角一起用塑料袋密封,结果表明:抗氧化纸具有良好的抗氧化作用,延长了油炸食品的保质期。

2 释放速率控制

控释技术是指在预定时间内控制某种活性物质的释放速率,并在某种体系内维持活性物质的质量分数^[40]。通过该技术,活性物质的质量分数能在较长时间内保持在有效范围内,延长了作用时间,提高了作用效果。控释包装(Controlled Release Packaging, CRP)是能够控制活性物质从基体包装材料中以可控的合适速率释放出来的包装,达到保证食品品质与安全,延长食品货架寿命的作用^[41]。Karen M. Schaich^[42]等通过一次性固定量添加和通过程序控制仪器缓慢释放添加等2种方式向亚油酸中添加抗氧化剂,结果表明:合理速率的缓慢释放添加模式可以延长氧化诱导期,并且提出了目标释放速率,指出控释活性包装有利于抑制脂质氧化。

通常添加到聚合物中抗氧化剂的总量是有限的,如果抗氧化剂释放速率过快或过慢,均不能在食品表面维持抑制氧化酸败的最佳质量分数,因此如何控制抗氧化剂的释放速率成为抗氧化活性包装中最关键的问题之一。现有的研究中有通过共混、多层复合、包埋、吸附等方法来改进控制抗氧化剂的释

放速率,同时研究证明了聚合物组分、聚合物交联度、温度、膜的孔隙率、食品组分等对释放速率具有一定的影响^[7]。

By Amanda LaCoste^[41]等人通过自己设计改造的挤出流延设备,采用树脂共混的方法制备含 α -生育酚的抗氧化膜,通过调整LDPE与PP树脂之间的比例来实现对 α -生育酚释放速率的控制,结果表明:随着PP树脂质量分数的增加, α -生育酚从薄膜向食品模拟物(酒精,95%)中释放的速率降低。Seyhun Gemili^[43]等人研发了一种以醋酸纤维素为成膜基材的分别含有抗坏血酸维生素C和L-酪氨酸的抗氧化膜,研究表明:不同的醋酸纤维素含量可以使薄膜表面结构形态不同,从而得到不同的抗氧化物质释放速率,以达到控释目的。Han^[44]等人设计了多层复合包装膜来控制释放速率,包装膜由控制释放层、膜基质层和阻隔层组成。内层用于控制活性物质扩散到食品表面的速率,中间基质层包含活性物质,而阻隔型外层则为了防止活性的外渗损失。另外,有研究^[45-46]证明了多层结构能够有效地控制抗菌剂、抗氧化剂的释放。

环糊精可以提高活性客体分子的物理化学稳定性,并能够实现对客体分子的控制释放,利用环糊精包合技术,国外有研究^[47-48]将 α -生育酚用 β -环糊精包合形成包合物,再将含 α -生育酚的包合物和未经包合处理的 α -生育酚分别加入到LDPE树脂中,通过挤出吹塑法制成具有抗氧化性的LDPE薄膜,研究表明经 β -环糊精包合是一种控制 α -生育酚从抗氧化活性薄膜中缓慢释放的有效方法,包合后的释放速率明显低于未经包合的。另外,有较多研究^[49-51]报道了利用包装材料中环糊精对抗菌剂的缓释性能,制备具有抗菌功能的长效活性包装材料。

L. Heirlings^[52]等人研究了LDPE、EVA等2种成膜基材对 α -生育酚的释放速率影响,LDPE较EVA稍慢。同时将 α -生育酚先吸附于纯二氧化硅介孔材料(SBA-15)中,再加入到LDPE薄膜中,结果表明:释放速率得到适当降低,但不明显。Nicola Gargiulo^[53]等人在L. Heirlings等人研究的基础上,将 α -生育酚吸附于胺功能化二氧化硅介孔材料(SBA-15)中,再加入到LDPE薄膜中, α -生育酚释放速率明显降低,与直接加入方式的释放速率相比,可使释放速率降低60%,其控释机理主要是通过缩小介孔材料的孔径和增加胺官能团引起的扩散阻力来实现。

3 结语

释放型食品抗氧化活性包装膜因其具有抑制易氧化食品酸败、延长食品货架期、保证食品质量与安全等多种优点,在食品工业中已展现出了常规包装不可比拟的优势,并引起了研究机构与产业界的广泛关注。目前释放型食品抗氧化活性包装膜的研究仍处于起步阶段,未建立系统的研究体系,有以下问题仍需要深入研究。

1) 释放型抗氧化活性包装膜的实效性,相关法律法规及建立适合测试其抗氧化性能的规范统一的操作方法。

2) 释放型抗氧化活性包装膜与易氧化食品间的抗氧化作用机理。

3) 释放型抗氧化活性包装膜的安全性问题及其释放活性物质对食品风味的影响。

4) 抗氧化剂与薄膜基材的相容性方面仍存在巨大挑战,薄膜成型挤压过程中所需的高温、高剪切力会破坏抗氧化剂的活性。理想状态是抗氧化剂能与基材良好地相容,并在薄膜加工过程中始终保持稳定,而且对薄膜的力学性能无负面影响或负面影响很小。

5) 抗氧化剂从食品包装材料到食品中的释放规律及相应理论模型构建。

6) 目前研究较多的是含有1种抗氧化剂的活性包装薄膜的制备、性能分析及其应用研究,但含有2种或2种以上抗氧化剂的抗氧化协同效应及其分配机理在包装膜中研究较少。

7) 现有研究的释放型抗氧化活性包装膜在制备完成后即处于释放状态,仍未解决其激发机制,使其在整个流通使用过程中处于可控状态。

活性包装是食品包装技术的发展方向之一,具有很大的发展潜力。释放型抗氧化活性包装膜作为其中一种活性包装技术,未来研究将呈现如下趋势。

1) 以高效、安全且能与薄膜基材良好相容的天然抗氧化剂为活性物质,制备抗氧化活性包装材料。

2) 研究抗氧化活性物质的释放规律及其影响因素,开发控释抗氧化活性包装膜,有效控制抗氧化活性物质的释放速率。

3) 研制智能化抗氧化包装系统,解决其激发机制,使其在整个流通使用过程中处于可控状态。

4) 释放型抗氧化活性包装膜的安全性问题,以及释放活性物质对食品风味的影响。

5) 基于某类别易氧化食品,研制安全、稳定、具有共性抗氧化效果的活性包装材料。

6) 研制具有抗氧化、抗菌等多种活性功能的包装材料,并与辐照、气调等其他保鲜包装技术相结合,全面抑制食品腐败,延长食品货架期。

参考文献:

- [1] 许文才,黄少云,李东立,等. 基于环糊精包合技术的活性包装研究进展[J]. 包装工程,2010,31(9):122—130.
XU Wen-cai, HUANG Shao-yun, LI Dong-li, et al. Research Progress of Active Packaging Based on Cyclodextrin Inclusion [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(9): 122—130.
- [2] 徐芳,卢立新. 油脂氧化机理及含油脂食品抗氧化包装研究进展[J]. 包装工程,2008,29(6):24—26.
XU Fang, LU Li-xin. Research Progress on the Oil Anti-oxidation Mechanism and Anti-oxidation Packaging of Fatty Food [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(6): 24—26.
- [3] 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 Yan-yun, LIAN Zi-xuan, YUE Jin. Recent Development in Food Packaging[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(4): 1—10.
- [4] 吕飞,叶兴乾,李俊,等. 食品活性包装研究进展[J]. 中国食品学报,2007,7(4):38—43.
LYU Fei, YE Xing-qian, LI Jun, et al. An Advance on Active Food Packaging Research[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2007, 7(4): 38—43.
- [5] 王长安,邹永德,陈晓翔. 抗菌食品包装研究进展[J]. 包装工程,2010,31(10):121—124.
WANG Chang-an, ZOU Yong-de, CHEN Xiao-xiang. Advances in Research of Antimicrobial Food Packaging [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(10): 121—124.
- [6] 韩春阳,王建清,李杨,等. 食品抗菌包装及其在鲜肉包装中的应用[J]. 包装工程,2013,34(19):24—27.
HAN Chun-yang, WANG Jian-qing, LI Yang, et al. Antimicrobial Packaging and Its Application in Fresh Meat Packaging [J]. Packaging Engineering, 2013, 34(19): 24—27.
- [7] JUNG H H. Antimicrobial Food Packaging[J]. Food Technology, 2000, 54(3): 54—65.
- [8] MARLEEN V A. Controlled Release of Antioxidants Via Biodegradable Polymer Films into Milk and Dry Milk Products [D]. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State Univer-

- sity, 2003.
- [9] MILTZ J, HOOJJAT P, HAN J K, et al. Food and Packaging Interaction[M]. USA: American Chemical Society, 1988.
- [10] OBINATA N. Controlled Release of Tocopherols from Polymer Blend Films[D]. New Jersey: New Brunswick Rutgers University, 2003.
- [11] JAMSHIDIAN M, TEHRANY E A, DESOBRY S. Release of Synthetic Phenolic Antioxidants from Extruded Poly Lactic acid (PLA) Film[J]. Food Control, 2012, 28: 445—455.
- [12] JAMSHIDIAN M, TEHRANY E A, CLEYMAND F. Effects of Synthetic Phenolic Antioxidants on Physical, Structural, Mechanical and Barrier Properties of Poly Lactic Acid film[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87: 1763—1773.
- [13] JAMSHIDIAN M, TEHRANY E A, IMRAN M, et al. Structural, Mechanical and Barrier Properties of Active PLA-antioxidant films[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 110: 380—389.
- [14] CARLA M B G, LILIANA C T, HELGA G, et al. Effect of Natural and Synthetic Antioxidants Incorporation on the Gas Permeation Properties of Poly (lactic acid) films[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116: 562—571.
- [15] FRANCISCA M L, HERLINDA S V, RAFAEL A, et al. Release of-Tocopherol from Poly(lactic acid) Films, and Its Effect on the Oxidative Stability of Soybean Oil[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104: 508—517.
- [16] YOUNGJAE B, YOUNG T K, SCOTT W. Characterization of an Antioxidant Polylactic Acid (PLA) Film Prepared with-tocopherol, BHT and Polyethylene Glycol Using Film Cast Extruder[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 100: 239—244.
- [17] WESSLING C, NIELSEN T, LEUFV N A, et al. Mobility of -tocopherol and BHT in LDPE in Contact with Fatty Food Simulants[J]. Food Additives and Contaminants, 1998, 15: 709—715.
- [18] WESSLING C, NIELSEN T, LEUFV N A, et al. Retention of -tocopherol in Low-density Polyethylene (LDPE) and Polypropylene (PP) in Contact with Foodstuffs and Food-simulating Liquids[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1999, 79(12): 1635—1641.
- [19] WESSLING C, NIELSEN T, LEUFV N A, et al. The Influence of-tocopherol Concentration on the Stability of Linoleic Acid and the Properties of Low-density Polyethylene[J]. Packaging Technology and Science, 2000, 13(1): 19—28.
- [20] ELENA T, PIER ANTIMO C, SILV C, et al. Effect of Modified Atmosphere and Active Packaging on the Shelf-life of Fresh Bluefintuna Fillets[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 105: 429—435.
- [21] MARINA R, ALFONSO J, MERCEDES P T, et al. Characterization and Antimicrobial Activity Studies of Polypropylene Films with Carvacrol and Thymol for Active Packaging[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109: 513—519.
- [22] CAROL L D, JOAQUIN G E, RAMN C, et al. Active Antioxidant Packaging films: Development and Effect on Lipid Stability of Brined sardines[J]. Food Chemistry, 2012, 131: 1376—1384.
- [23] MARTA C, CAROLINA L D, GRACIA L C, et al. Active Films Based on Cocoa Extract with Antioxidant, Antimicrobial and Biological Applications[J]. Food Chemistry, 2013, 139: 51—58.
- [24] GRANDA-RESTREPO D, PERAHA E, TRONCOSO-ROJAS R, et al. Release of Antioxidant from m-extmded Active Package Developed for Whole Milk Powder[J]. International Dairy Journal, 2009, 19(8): 481—488.
- [25] 沈洁, 王家俊, 刘幸幸, 等. 原花青素/ 醋酸纤维素可降解包装薄膜的结构与抗氧化性能[J]. 浙江理工大学学报, 2011, 28(6): 865—870.
- SHEN Jie, WANG Jia-jun, LIU Xing-xing, et al. The Research on the Structures and Antioxidation Properties of Pro-cyanidins Cellulose Acetate Packaging Membrane[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2011, 28(6): 865—870.
- [26] 吕飞. 生物抗菌包装体系及其对黑鱼品质影响的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- LYU Fei. Biological Antimicrobial Packaging and Its Effect on Snakehead Quality[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009.
- [27] 彭勇, 李云飞, 项凯翔. 绿茶多酚提高壳聚糖包装膜的抗氧化性能[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 269—276.
- PENG Yong, LI Yun-fei, XIANG Kai-xiang. Adding Green Tea Polyphenols Enhances Antioxidant of Chitosan Film[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(14): 269—276.
- [28] TOMAS B, MOGENS L A, VIBEKE O. Antioxidant Active Packaging for Chicken Meat Processed by High Pressure Treatment[J]. Food Chemistry, 2011, 129: 1406—1412.
- [29] PEREIRA D E, ABREU D A, VILLALBA R K, et al. Extraction, Purification and Characterization of an Antioxidant Extract from Barley Husks and Development of An Antioxidant Active Film for Food Package[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2012, 13: 134—141.

- [30] PEREIRA D E, ABREU D A, PASEIRO L P, et al. Natural Antioxidant Active Packaging film and Its Effect on Lipid Damage in Frozen Blue Shark (*Prionace glauca*) [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2011, 12: 50—55.
- [31] PEREIRA D E, ABREU D A, PASEIRO L P, et al. Evaluation of the Effectiveness of a New Active Packaging Film Containing Natural Antioxidants (from Barley Husks) that Retard Lipid Damage in Frozen Atlantic Salmon (*Salmo Salar L.*) [J]. Food Research International, 2010, 43: 1277—1282.
- [32] PEREIRA D E, ABREU D A, PASEIRO L P, et al. Lipid Damage During Frozen Storage of Atlantic Halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) in Active Packaging Film Containing Antioxidants [J]. Food Chemistry, 2011, 126: 315—320.
- [33] CLAUDIA C, MARIA G K, FEIDHLIM T O, et al. Development of Active Packaging Containing Natural Antioxidants [J]. Procedia Food Science, 2011(1): 224—228.
- [34] GARDES L O. Antioxidant Active Varnish: Sabinanigo, EP 1477519 A1[P]. 2004.
- [35] JAVIER C, ALBERTO L, DJAMEL D, et al. Display Life of Beef Packaged with an Antioxidant Active Film as a Function of the Concentration of Oregano Extract [J]. Meat Science, 2011, 88: 174—178.
- [36] JAVIER C, JOS A B, PEDRO R. Extension of the Display Life of Lamb with an Antioxidant Active Packaging [J]. Meat Science, 2008, 80: 1086—1091.
- [37] NERI' N C L, TOVAR L, SALAFRANCA J. Behaviour of a new Antioxidant Active Film Versus Oxidizable Model Compounds [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84: 313—320.
- [38] MARIA T, BOGDAN S, AURELIA G H. Application of Physicochemically Modified Polymeric Foil to Develop Antioxidant Packaging [J]. Polish Journal of Food and Nutrition Science, 2007, 57(2): 173—176.
- [39] 刘昭明, 蒋世云, 黄翠姬, 等. 食品抗氧化纸对油炸食品抗氧化效果的研究 [J]. 广西工学院学报, 1998, 9(4): 85—87.
- LIU Zhao-ming, JIANG Shi-yun, HUANG Cui-ji, et al. Antioxidative Effects of Food Antioxidative Paper on the Oil Fried Food [J]. Journal of Guangxi Institute of Technology, 1998, 9(4): 85—87.
- [40] 杨玲玲, 卢立新. 控释技术在抗菌包装中的研究进展 [J]. 包装工程, 2012, 33(13): 30—33.
- YANG Ling-ling, LU li-xin. Research Progress of Controlled Release Technology in Antimicrobial Packaging [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(13): 30—33.
- [41] BYAMANDA L, KAREN M S, DAVID Z, et al. Advancing Controlled Release Packaging Through Smart Blending [J]. Packaging Technology and Science, 2005, 18: 77—87.
- [42] ZHU Xun-tao, SCHAICH K M, CHEN Xi, et al. Target release Rate of Antioxidants to Extend Induction Period of Lipid Oxidation [J]. Food Research International, 2012, 47: 1—5.
- [43] SEYHUN G, AHMET Y L, SACIDE A A. Development of Antioxidant Food Packaging Materials with Controlled Release Properties [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 96: 325—332.
- [44] HAN J H. Modeling the Inhibition Kinetics and the Mass Transfer of Controlled Releasing Potassium Sorbate to Develop an Antimicrobial Polymer for Food Packaging [D]. West Lafayette: Purdue University, 1996.
- [45] MASTROMATTEO M, BARBUZZI G, CONTE A, et al. Controlled Release of Thymol From Zein Based Film [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009 (10): 222—227.
- [46] MASCHERONI E, CHALIER P, GONTARD N, et al. Designing of A Wheat Gluten/montmorillonite Based System As Carvacrol Carrier: Rheological and Structural Properties [J]. Food Hydrocolloids, 2010(24): 406—413.
- [47] SIR I, FENYVESI E, SZENTE L, et al. Release of Alpha-tocopherol from Antioxidative Low-density Polyethylene Film Into Fatty Food Simulant: Influence of Complexation in Beta-cyclodextrin [J]. Food Additives and Contaminants, 2006, 23(8): 845—853.
- [48] KOONTZ J. Control the Release of Natural Antioxidants from Polymer Packaging with Cyclodextrins [D]. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2008.
- [49] 李学红. 环糊精在抗菌食品包装中的基础应用研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2007.
- LI Xue-hong. Basic Application Research of Cyclodextrin Used in Antimicrobial Food Packaging [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [50] 钱亮亮. β -环糊精肉桂醛包合物在食品包装中的基础应用研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2007.
- QIAN Liang-liang. Basic Application Research of β Cyclodextrin CIN used in Food Packaging [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [51] CAROL L D, RAM N C, RAFAEL G, et al. Food Applications of Active Packaging EVOH Films Containing Cyclodextrins for the Preferential Scavenging of Undesirable Compounds [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104: 380—386.

进行包装生产,进行为期1个月的“水雾”面积跟踪,包装盒无“水雾”现象,达到了预期目标。由此,使用对“水雾”包装纸进行物理实验分析与化学组分分析相结合的方法,选择较适宜的油墨和美容温度,以降低五甲基庚烷、15烷、16烷、17烷的体积分数,可以从根本上解决包装盒“水雾”的物理现象,提高并稳定包装盒的外观质量。

参考文献:

- [1] 吕勇,余玉生. 镭射纸VOC超标影响因素分析与控制[J]. 包装工程,2010(9):57—60.
LYU Yong, YU Yu-sheng. Analysis and Control of Influencing Factors on Excessive Volatile Organic Compounds of Holographic Paper[J]. Packaging Engineering, 2010(9):57—60.
- [2] 董明. 关于烟包外观质量的改进研究[J]. 企业技术开发, 2012(1):41—43.
DONG Ming. Study and Improvement on the Appearance Quality of the Cigarette Packaging Box[J]. Enterprise Technology Development, 2012(1):41—43.
- [3] 魏力敏. 纸盒包装结构形态的趣味性设计[J]. 包装工程, 2007(12):190—191.
WEI Li-min. Interesting Design of Paper box Packaging Structural Form[J]. Packaging Engineering, 2007(12):190—191.
- [4] 冯树铭. 可热封聚酯薄膜(热封型PET)在香烟包装上的应用探讨[J]. 中国包装工业,2009(1):53—54.
FENG Shu-ming. Apply and Analysis on the Heat-sealable Polyester Film (heat sealing type PET) of Cigarette Packaging [J]. China Packaging Industry, 2009(1):53—54.
- [5] 涂志刚,张莉琼,等. BOPP薄膜光学性能的时效性及影响因素[J]. 塑料科技,2010,38(6):58—61.
TU Zhi-gang, ZHANG Li-qiong, et al. Study on Time-effectiveness and Influence Factors of Optical Properties of BOPP Film[J]. Plastics Technology, 2010,38(6):58—61.
- [6] 陈晓勇. 塑料薄膜雾度及其控制的研究进展[J]. 化学推进剂与高分子材料,2010,8(2):27—32.
CHEN Xiao-yong. Research Progress on Haze of Plastics Film and Its Control[J]. Chemical Propellants & Polymeric Materials, 2010,8(2):27—32.
- [7] 廖艳培,候明猷. GDX2包装机组小盒四面美容整形装置的改进[J]. 烟草科技,2011(11):27—29.
LIAO Yan-pei, HOU Ming-you. Improvement of Device for Cigarette Packet Side Shaping in GDX2 Packer[J]. Tobacco Science & Technology, 2011(11):27—29.
- [8] 陈潇博,胡国胜. 小包美容装置在盒外小包机中的设计与应用[J]. 机械工程师,2013(4):202—203.
CHEN Xiao-bo, HU Guo-sheng. Design and Apply on the Cosmetic Device of Cigarette Packet in the Packer[J]. Mechanical Engineer, 2013(4):202—203.
- [9] 邓九芳. 浅谈胶印油墨联结料的组成[J]. 科技情报开发与经济,2012(2):158—159.
DENG Jiu-fang. Analysis on Composition of Printing Ink Connection Material[J]. Technology and Development of Economy, 2012(2):158—159.
- [10] 娄丽丽,蒋平平. 水性油墨研究现状[J]. 化学新型材料, 2013(1):9—11.
LOU li-li, JIANG Ping-ping. Research Status of the Water-based Ink[J]. New Chemical Materials, 2013(1):9—11.
- [11] 刘丰杰. 凹印水墨在烟标印刷中的推广实践探析[J]. 今日印刷,2013(4):57—61.
LIU Feng-jie. Analysis on the Gravure Printing Ink in the Practice of Cigarette Brand Printing[J]. Print Today, 2013(4):57—61.
- [12] 杨志钢. 印刷油墨(光油)的固化干燥—工艺基础篇[J]. 印刷世界,2009(1):50—52.
YANG Zhi-gang. Curing and Drying on the Printing Ink-Process[J]. Printing World, 2009(1):50—52.
- [13] 刘激扬. 浅谈UV胶印[J]. 印刷技术,2007(34):30—31.
LIU Ji-yang. Analysis on the UV of Offset Printing[J]. Printing Technology, 2007(34):30—31.
- [14] 孙文顺,孟婕. UV胶印油墨在包装印刷中的应用[J]. 印刷质量与标准化,2013(11):54—55.
SUN Wen-shun, MENG Jie. Apply on the UV Ink of Offset Printing in the Packaging Printing[J]. Printing Quality & Standardization, 2013(11):54—55.
- [15] SAVCHENKO K, VELYCHKO O. Printing Ink's Characteristics[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2013(7):464—468.

(上接第42页)

- [52] HEIRLINGS L, SIRÓ I, DEVLIEGHERE F, et al. Influence of Polymer Matrix and Adsorption onto Silica Materials on the Migration of α -Tocopherol into 95% Ethanol from Active Packaging[J]. Food Additives and Contaminants, 2004, 21(11):1125—1136.
- [53] GARGIULO N, ATTIANESE I, BUONOCORE G G, et al. α -Tocopherol Release from Active Polymer Films Loaded with Functionalized SBA-15 Mesoporous Silica[J]. Microporous and Mesoporous Materials, 2013, 167:10—15.