生物可降解膜在肉品保鲜中的应用研究进展

李月明[1]，刘　飞[1]，姜雪晶[1]，张春江[1,2]，黄　峰[1,2]，张　雪[1,2]，张　泓[1,2,*]
（1.中国农业科学院农产品加工研究所主食加工技术研究院，黑龙江 哈尔滨　151900；
2.中国农业科学院农产品加工研究所，农业部农产品加工综合性重点实验室，北京　100193）

摘　要：肉类食品富含蛋白质，在生产、运输、包装、贮藏过程中容易因微生物作用而发生腐败变质，危害人类健康，包装材料在肉品保鲜中至关重要，安全的包装材料是肉品保鲜的重要内容之一。但当前使用的包装材料主要为非生物可降解材料，不仅污染环境，而且保鲜效果较差。生物可降解膜以其可降解、抗菌、稳定、安全等优点倍受关注。本文介绍了肉品保鲜中的问题与常用保鲜方法、生物可降解膜的概念、分类及其在肉品保鲜中的应用，以期为肉品保鲜技术研究提供参考。

关键词：生物可降解膜；肉品保鲜；抗菌；缓释

Application of Antibacterial Slow-Release Biodegradable Film in Meat Preservation: A Review

LI Yueming[1], LIU Fei[1], JIANG Xuejing[1], ZHANG Chunjiang[1,2], HUANG Feng[1,2], ZHANG Xue[1,2], ZHANG Hong[1,2,*]
(1. Institute of Staple Food Processing Technology, Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Harbin　151900, China; 2. Comprehensive Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture, Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing　100193, China)

Abstract: Meat is rich in proteins, which are susceptible to microbial decomposition and deterioration during meat production, transportation, packaging and storage, doing harm to people's health. So meat packaging materials are essential for meat preservation; however, most currently available meat packaging materials are non-biodegradable, not only causing environmental pollution, but also leading to limited effects on meat preservation. In recent years, interest has increased in biodegradable film because of its advantages such as degradable, stable and safe. This paper outlines problems in meat preservation and common meat preservation methods, and it also presents the concept, classification and application in meat preservation of biodegradable film. We hope this review will provide references for the development of meat preservation technologies.

Key words: biodegradable film; meat preservation; antibacterial; slow release
DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201706010
中图分类号：TS251.5　　文献标志码：A　　文章编号：1001-8123（2017）06-0051-04
引文格式：
李月明, 刘飞, 姜雪晶, 等. 生物可降解膜在肉品保鲜中的应用研究进展[J]. 肉类研究, 2017, 31(6): 51-54. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201706010.　http://www.rlyj.pub
LI Yueming, LIU Fei, JIANG Xuejing, et al. Application of antibacterial slow-release biodegradable film in meat preservation: a review[J]. Meat Research, 2017, 31(6): 51-54. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201706010. http://www.rlyj.pub

肉类食品富含人体所需营养物质且口感极佳，在人们的日常生活中必不可少[1-2]。我国肉类食品以生鲜肉和冷冻保鲜肉为主。生鲜肉易受微生物污染而腐败变质，需在低温条件下贮运和销售；冷冻保鲜肉在冻结时，肌肉细胞内及组织间隙形成冰晶，细胞膜被破坏，解冻时易造成大量汁液流失，使肉中的营养物质部分损失，肉品质下降[3-5]。肉品生产和销售环节使用的包装材料主要为非生物可降解材料，如乙烯-乙烯醇共聚物（ethylene-vinyl alcohol copolymers，EVOH）、尼龙/聚乙烯（polyamides/polyethylene，PA/PE）和聚偏氯乙烯（polyvinylidene chloride，PVDC）薄膜等，这些材料会造成严重的环境污染[6]。因此，生物可降解包装材料正

收稿日期：2017-01-07
作者简介：李月明（1990—），女，研究实习员，硕士，研究方向为老年食品加工与装备。E-mail：419760481@qq.com
*通信作者：张泓（1958—），男，研究员，博士，研究方向为传统食品加工与装备。E-mail：zhang.h07@hotmail.com

成为未来食品包装的需求。生物可降解包装材料包括完全可降解材料和部分可降解材料两大类，根据加工方式可将完全可降解材料分为天然材料和合成材料，前者包括废糖蜜、纤维素、淀粉等天然物质，后者包括聚乳酸（polylactide，PLA）、聚乙烯醇（polyvinyl alcohol，PVA）、聚碳酸亚丙酯（poly propylene carbonate，PPC）、聚丁二酸丁二酯（polybutylene succinate，PBS）等。目前，通常用壳聚糖、淀粉、羧甲基纤维素、魔芋葡甘聚糖、谷朊粉和胶原蛋白等作为制备可降解保鲜膜的基质[7-8]。近年来，可降解抗菌缓释膜在肉类保鲜中的应用已有相关报道，表明其可以有效延长肉品的保鲜期。本文对可降解抗菌缓释膜的概念、分类及其在肉类保鲜中的应用进行了综述。

1 肉品保鲜中的问题与常用保鲜方法

1.1 肉品保鲜中的问题

肉品货架期的影响因素主要体现在三方面[9]：1）运输过程中因不同程度的机械损伤导致肉品包装物破损，造成污染；2）由于酶的作用引发脂肪和蛋白质分解、氧化等，使产品品质下降；3）肉品中的细菌、真菌等腐败微生物的大量繁殖导致肉品腐败。如何降低这些因素造成的不良影响、保证肉类食品在较长时间内保持较高的新鲜度已经成为肉类企业亟待解决的问题。

1.2 不同保藏技术的利与弊

传统的肉品保藏技术主要有低温冷藏、加热处理、发酵处理及辐射保鲜等[10]，这些技术主要通过控制酶活性和微生物的生存环境（如水分活度、温度等）来减缓肉品的腐败变质速率。随着科技的进步，新型肉品保鲜技术也快速发展，主要有低温等离子体灭菌、真空包装、防腐保鲜剂和气调包装等技术[11]，且通常应用上述一种或多种方法达到肉品保鲜的目的。低温等离子体灭菌是一种新兴的环境友好型低温灭菌技术，其原理是在2 个电极之间施加高压脉冲电，产生较为均匀的脉冲电场但并不发生放电或击穿，起到灭菌的功效；真空包装技术通过排出包装袋内的空气抑制微生物的生长繁殖、降低脂肪的氧化速率及防止二次污染；防腐保鲜剂包括化学防腐剂和天然防腐剂；气调包装技术是用选择性气体（常用的有CO_2、O_2、N_2）置换包装内的气体，从而抑制微生物的生长，延长货架期[12]。不同肉品保藏技术的特点及使用时的优缺点如表1所示。

表1 不同肉品保藏技术的特点和利弊

Table 1 Advantages and disadvantages of different meat preservation technologies

名称	优势	劣势	工艺	特点
低温冷藏	减少肉品内部水分蒸发，使肉质柔软多汁；阻止微生物入侵和繁殖，延长肉品保鲜期	保鲜期短，仅为1～2 d	在−20 ℃条件下迅速冷却，使胴体深层温度在24 h内降至0～4 ℃	使肉品始终处于冷链控制之下，酶的活性和大多数微生物的生长繁殖受到抑制
加热处理	杀菌	不能有效防止油脂和肌红蛋白氧化，反而会加速其氧化	利用高温蒸气处理达到杀菌效果	通过加热产生的高温杀菌
发酵处理	产生特殊的风味物质、抑制腐败菌繁殖	只适用于发酵类肉制品	将植物乳杆菌[13]和木糖葡萄球菌混合发酵，接种到传统托尼斯发酵香肠中进行发酵处理	通过人为方法调节环境pH值，影响微生物的生长代谢
辐射保鲜	保鲜、杀菌	成本高、辐照剂量不好控制	用1×10^4 rad或更小剂量辐照食物	主要利用钴60、铯137等放射性元素的γ射线、电子加速和X-射线进行辐照保鲜
低温等离子体灭菌	可应用于不耐热材料	设备运行成本高	采用双极性高频脉冲电源，电压2～6 kV，脉宽25 μS，频率100～3 000 Hz，轴筒式不锈钢反应器内获得的场强为0.6～1.7 kV/cm	等离子体和脉冲电场是新兴的环境友好型低温灭菌技术，导电率高，保鲜效果佳
真空包装	抑制微生物生长繁殖、降低脂肪的氧化速率、防止二次污染	肉品颜色较差	0～5 ℃真空包装后，保鲜期21～28 d	降低包装内部氧气含量，抑制生物的呼吸作用，增强热传导性能
防腐保鲜剂	防霉、抑菌	成本高	质量浓度均为1 mg/mL的壳聚糖和三聚磷酸钠，0.5 mg/mL的山梨酸，保鲜期13 d	利用多糖类、蛋白质类、脂类以及它们的复合物结合抗菌剂，得到安全、无污染的防腐保鲜剂
气调包装	防霉、抑菌、保持肉品外形	成本高	20% CO_2、70% O_2、10% N_2，保鲜期10～12 d	应用CO_2、O_2、N_2代替包装内的气体环境，抑制微生物生长，延长食品货架期

2 生物可降解膜的概念及分类

表2 生物可降解膜的概念及分类

Table 2 Concept and classification of biodegradable film

名称	概念	分类	优点	缺点
可降解保鲜膜	以生物可降解物质为原料制成的具有一定包装保护功能和保鲜功能的薄膜	根据加工方式将完全可降解材料分为天然材料和合成材料	具有包装保护功能、保鲜功能，可降解	抗菌性能差、保鲜期短
可降解抗菌保鲜膜	一般是在成膜的基质材料中添加抗菌剂或抗菌基团，抑制或杀死细菌、真菌等微生物，延长食品的保质期[2]	根据抗菌剂分为有机抗菌剂型膜、无机抗菌剂型膜、天然抗菌剂型膜、细菌素型膜	抑菌效果好，保鲜时间较长	成本略高
可降解抗菌缓释膜	先将抗菌剂（如抗菌素类、植物精油类等）和载体树脂及其他助剂加工制成抗菌母粒，再将抗菌母粒与膜基质树脂单层挤出或流涎制备成膜	根据抗菌剂粒径分为纳米级缓释膜和非纳米级缓释膜	选择性基质缓慢释放，抑菌效果佳，保鲜时间较长	成本高

肉类食品是人体营养物质的重要来源，肉品包装材料的安全性是保证肉品质量的关键。目前，食品包装材料在国际上逐渐向可降解的包装材料发展，我国也将易降解、可再利用的包装材料纳入研究重点[14]。其中，以生物可降解材料为基质制备的可食性包装膜代替目前的塑料薄膜成为当前研究的热点，其具有巨大的发展潜力[15]。常用的生物可降解材料包括多糖类、蛋白质类、脂类以及它们的复合物，各成分通过分子间的相互作用交联成膜，

具有安全、无污染等特点[16-18]。由于这些生物可降解材料具有良好的机械强度和水蒸气屏蔽性，因此它们是可食性包装膜的重要基质成分。其中，以动植物多糖为基质的膜主要有淀粉膜、改性纤维素膜、动植物胶膜、壳聚糖膜和葡甘聚糖膜等[19-20]。本文将生物可降解膜分为3 类：可降解保鲜膜、可降解抗菌保鲜膜和可降解抗菌缓释膜，它们的概念及分类如表2所示。

3 生物可降解膜在肉品保鲜中的应用

3.1 可降解材料在肉品保鲜中的应用

目前，通常以壳聚糖、淀粉、羧甲基纤维素、魔芋葡甘聚糖、谷朊粉、胶原蛋白等作为制备可降解性保鲜膜的基质，且已有相关学者将其应用于肉品保鲜中。宋慧君[22]用明胶和壳聚糖制备的可降解复合膜具有较高的吸湿特性。吴琼[23]探讨了壳聚糖/海藻酸钠复合膜（C/A）、含蜂蜡的复合膜（B/C/A）及含丁香油的复合膜（C/C/A）对市售冷鲜肉保鲜效果的影响，发现3 种膜均可抑制腐败微生物的生长，减缓挥发性盐基氮（total volatile base nitrogen，TVB-N）值的升高和水分的蒸发。其中含蜂蜡的复合膜（B/C/A）和含丁香油的复合膜（C/C/A）可将冷却肉货架期延长1～2 d。滑艳稳[24]应用大豆蛋白和聚乙烯醇制备的可降解复合膜具有良好的热加工性、相容性和热塑性。张晓燕[14]以PPC和PVA为基材，在一侧膜中添加天然保鲜剂海藻糖（trehalose，TH），制备生物可降解性高阻隔PPC/PVA/PPC-TH复合薄膜，并结合现代包装技术，发现应用气调包装可使冷鲜肉的货架期达到24 d，应用真空包装可使冷鲜肉的货架期达到29～32 d。因此，将用可降解材料制备的保鲜膜应用于肉品保鲜具有良好的市场前景。

3.2 生物可降解膜中的抗菌物质

表3 抗菌物质的分类及优缺点

Table 3 Advantages and disadvantages of different types of antibacterial agents

种类	分类	优点	缺点
有机抗菌剂	主要包括醇类、酚类、有机金属、季胺盐类等物质	起效快，性质较稳定，操控性能好，对微生物具有特异性而被迅速推广	微生物容易出现耐药性及耐热性差的问题
无机抗菌剂	一类是无机化合物中含有抗菌离子，如银、铜、锌等；另一类是光催化类抗菌剂，如TiO_2、ZnO等	无毒或低毒、广谱抗菌、长效且无耐药性问题	成本高、易氧化变色
天然抗菌剂	从动、植物中提取，如壳聚糖、薄荷等	安全性较高、高效	不耐热、不耐高压，应用范围受到局限
细菌素	多肽或蛋白质，如乳酸链球菌素（nisin）等	耐高温、不会产生耐药性、广谱抗菌等	成本略高

生物可降解膜主要分为可降解保鲜膜、可降解抗菌保鲜膜和可降解抗菌缓释膜，其中起主要抗菌作用的物质包括有机抗菌剂、无机抗菌剂、天然抗菌剂和细菌素，将其加入到可降解膜基质中可以起到抑菌的功效。不同抗菌物质的分类及优缺点如表3所示。

3.3 抗菌物质在肉品保鲜中的应用

将有机抗菌剂、无机抗菌剂、天然抗菌剂、细菌素等加入到可降解膜基质中制备保鲜膜，并将其应用到肉品保鲜中具有抑菌功效[25-27]。张玉琴等[28]将Nisin添加到生物可降解性聚乳酸/聚乙烯醇/聚己内酯（poly l-lactide/polyvinyl alcohol/polycaprolactone，PLLA/PVA/PCL）中得到可降解抗菌保鲜膜，并结合真空包装技术探讨其对冷鲜肉贮藏期间品质的影响，结果表明，将添加Nisin制得的复合膜应用于冷鲜肉包装时，其保鲜期可达21～23 d，较不添加Nisin的复合膜包装可有效延长4～5 d，并能够有效保持贮藏期内肉品的色泽。张文敏等[29]探讨了乳酸钠对肉及肉制品的防腐保鲜作用，发现乳酸钠可与天然防腐剂Nisin、无机盐、有机酸及其盐共同作用于肉品，有效防止肉品腐败、延长其货架期。姜绍通等[30]将茶多酚和大蒜素添加到由淀粉、海藻酸钠、单甘酯制成的膜液中，研究其对冷鲜肉贮藏期的影响，结果表明，在0～4 ℃条件下，冷鲜肉可有效贮藏19 d。兰凤英等[31]应用醋酸和壳聚糖制备膜液，对酱牛肉进行涂膜，发现该膜液不仅可以有效抑制酱牛肉中微生物的生长，还能够改善酱牛肉的风味与品质。夏秀芳等[32]将香辛料提取液添加到不同配比的壳聚糖-淀粉复合膜中制备可降解抗菌保鲜膜，结果表明，在4 ℃条件下，冷却肉可贮藏28 d，且能够有效保持肉品的品质和色泽。

3.4 纳米缓释材料在肉品保鲜中的应用

壳聚糖作为纳米缓释材料方面的研究已有大量报道，并且壳聚糖纳米粒子本身也具有一定的抗菌性能，单独的壳聚糖膜或者将壳聚糖与其他天然大分子物质（淀粉、明胶、海藻酸盐等）混合制备的混合膜在食品中有许多应用[33]，并已被美国食品药品监督管理局（Food and Drug Administration，FDA）批准为食品添加剂应用于各种食品中。壳聚糖对革兰氏阴性细菌具有一定的抗菌性能，这是因为壳聚糖C2位的氨基带有正电荷，它可以与革兰氏阴性细菌表面的蛋白质或脂多糖发生作用，从而影响细菌的正常代谢过程，起到杀菌的效果，而天然防腐剂，如Nisin，主要对革兰氏阳性细菌起到杀菌的效果[34]。有研究将壳聚糖和Nisin混合，制备成可降解抗菌缓释膜，取得了较好的抗菌效果。壳聚寡糖与溶菌酶具有很好的协同作用，二者混合后可以完全杀灭鲜肉中的大肠杆菌、荧光假单胞菌和蜡样芽胞杆菌[35]。邓明等[36]在鲜肉中添加Nisin、乙二胺四乙酸（ethylenediaminetetraacetic acid，EDTA）和山梨酸钾复合保鲜剂，经真空包装后，于（4±1）℃条件下贮藏，发现3 种物质均有延长保鲜期的功效，其中Nisin的保鲜效果最佳，其次是EDTA。这些研究结果表明，将抗菌剂

与壳聚糖复合成纳米粒子有望发挥壳聚糖与抗菌剂的协同杀菌能力，从而延长薄膜包装肉品的贮藏期。

目前有研究表明，抗菌剂Nisin与不同的载体材料（蛋白质、多糖等）结合能达到缓释的效果，且能抑制食品中微生物的生长。将Nisin制成纳米粒子，作为抗菌缓释剂添加到可食性薄膜中，有望在确保食品安全的前提下，大大延长肉品的贮藏期。李江林等[37]将Nisin添加到由淀粉、羧甲基纤维素钠（carboxymethylcellulose sodium，CMC）、单甘酯制备的薄膜中制备可降解抗菌缓释膜，并研究其对黑椒烟熏牛肉品质的影响。结果表明，制得的可降解抗菌缓释膜可使黑椒烟熏牛肉在0～4 ℃条件下贮藏30 d。此外，还有相关学者应用纳米材料制备可降解抗菌缓释膜。温棚[38]将肉桂精油加入到PVA和PLA 2 种生物可降解材料的溶液中，利用静电纺丝技术制备可生物降解的抗菌纳米材料，探讨其在猪肉保鲜过程中的抑菌效果，发现2 种抗菌纳米纤维膜均可有效延长肉品的保鲜期。该研究将为开发新型可生物降解纳米抗菌包装材料提供依据，推动其在食品抗菌包装领域的应用。

4 结 语

生物可降解膜因其高效、稳定、安全、可降解、价格低廉等独特的优势倍受关注，在包装薄膜中添加可缓慢释放的抗菌物质可以有效抑制肉品表面微生物的生长，延长肉品货架期，并且能够保护环境。因此，生物可降解膜抗菌与缓释作用的研究及其在肉品包装和保鲜中的应用具有广阔的前景[39]。

参考文献：

[1] 李威娜, 徐松滨, 张玲, 等. 低温肉制品保鲜技术综述[J]. 食品工程, 2013(3): 13-15. DOI:10.3969/j.issn.1673-6044.2013.03.005.
[2] 张婷, 张德权, 田建文. 肉及肉制品非热力保鲜技术研究进展[J]. 食品工业, 2014, 35(12): 250-253.
[3] 侯召华, 曾庆升, 宁浩然, 等. 冷却肉储藏保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(1): 64-68. DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2015.01.014.
[4] 费楠, 李芳菲, 党苗苗, 等. 非热杀菌技术特点及在肉制品加工中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(2): 540-544.
[5] 李轶欣, 史东辉. 肉及肉制品的保鲜理论与防腐技术[J]. 肉类工业, 2010(2): 12-15. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2010.02.005.
[6] 吴明俊, 肖文理, 商贤火, 等. 对可生物降解液体地膜的探究[J]. 河南化工, 2015, 32(5): 26-30. DOI:10.3969/j.issn.1003-3467.2015.05.007.
[7] 刘琳. 可食性抗菌膜在肉类食品保鲜中的应用[J]. 肉类研究, 2007, 21(12): 44-47.
[8] 黄志成, 唐冰, 钟杰平, 等. 壳聚糖食品保鲜膜抗菌性及其应用的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(2): 140-145.
[9] 李湘利, 张子德, 刘静. 肉类保鲜机理研究现状及发展趋势[J]. 肉类工业, 2005(7): 15-17. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2005.07.007.
[10] 李晓波. 原料肉冷却保鲜过程中存在的问题及质量控制[J]. 农产品加工(学刊), 2014(9): 73-75. DOI:10.3969/jissn.1671-9646(X).2014.09.024.
[11] 刘俊轩, 苏霞, 何彦瑾, 等. 辐照保鲜技术对肉类及其制品影响的研究现状[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(10): 151-154.
[12] 王文勇. 浅谈肉类冷链运输改进策略与保鲜新技术的配合[J]. 肉类工业, 2016(1): 48-50. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2016.01.015.
[13] ESSID I, HASSOUNA M. Effect of inoculation of selected *Staphylococcus xylosus* and *Lactobacillus plantarum* strains on biochemical, microbiological and textural characteristics of a Tunisian dry fermented sausage[J]. Food Control, 2013, 32(2): 707-714. DOI:10.1016/j.foodcont.2013.02.003.
[14] 张晓燕. 可降解复合膜的制备及其在冷鲜肉保鲜中的应用[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015: 4-7.
[15] 郜海燕, 陈杭君, 穆宏磊, 等. 生鲜食品包装材料研究进展[J]. 中国食品学报, 2015, 15(10): 1-10.
[16] 马青青, 曹锦轩, 周光宏. 功能性可食用膜在生鲜肉和肉制品保鲜中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(7): 331-335.
[17] 孙中琦, 王雅立, 马真, 等. 多糖类纳米可食性保鲜膜的研究进展[J]. 包装与食品机械, 2015, 33(2): 54-58. DOI:10.3969/j.issn.1005-1295.2015.02.013.
[18] 李培迪, 张德权, 田建文. 天然保鲜剂在肉制品保鲜应用中的研究进展[J]. 食品工业, 2015, 36(2): 235-238.
[19] PADGETT T, HAN I Y, DAWSON P L. Incorporation of food-grade antimicrobial compounds into biodegradable packaging films[J]. Journal of Food Protection, 1998, 61(10): 1330-1335. DOI:10.4315/0362-028X-61.10.1330.
[20] GAN Quan, WANG Tao. Chitosan nanoparticle as protein delivery carrier-systematic examination of fabrication conditions for efficient loading and release[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2007, 59(1): 24-34. DOI:10.1016/j.colsurfb.2007.04.009.
[21] 许琦炀, 秦海容, 郭凡, 等. 茶多酚复合衬垫的性能及其对鲜肉的保鲜效果[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(1): 246-251. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201701041.
[22] 宋慧君. 明胶-壳聚糖基可生物降解膜的制备、结构与性能研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2015: 21-30.
[23] 吴琼. 壳聚糖/海藻酸钠复合保鲜膜的制备与应用研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014: 60-70.
[24] 滑艳稳. TG改性大豆蛋白/PVA生物降解薄膜研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2014: 38-39.
[25] SUNG S Y, SIN L T, TEE T T, et al. Antimicrobial agents for food packaging applications[J]. Trends in Food Science and Technology, 2013, 33(2): 110-123. DOI:10.1016/j.tifs.2013.08.001.
[26] MHALLA D, BOUAZIZ A, ENNOURI K, et al. Antimicrobial activity and bioguided fractionation of *Rumex tingitanus* extracts for meat preservation[J]. Meat Science, 2017, 125: 22-29. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.11.011.
[27] BELLES M, ALONSO V, RONCALES P, et al. A review of fresh lamb chilling and preservation[J]. Small Ruminant Research, 2017, 146: 41-47. DOI:10.1016/j.smallrumres.2016.12.003.
[28] 张玉琴, 梁敏, 齐小晶, 等. 高阻隔性可降解抑菌薄膜的制备及其在冷鲜肉中的应用[J]. 食品科技, 2016, 41(2): 140-146.
[29] 张文敏, 董庆利, 宋筱瑜, 等. 乳酸钠对肉及肉制品防腐保鲜作用的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 235-240. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201601041.
[30] 姜绍通, 吴洁方, 刘国庆, 等. 茶多酚和大蒜素在冷却肉涂膜保鲜中的应用[J]. 食品科学, 2010, 31(10): 313-316.
[31] 兰凤英, 李全福, 李育峰. 壳聚糖涂膜对酱牛肉贮藏性能的影响[J]. 食品研究与开发, 2015, 13(2): 133-135. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2006.09.044.
[32] 夏秀芳, 孔保华. 香辛料保鲜液与壳聚糖淀粉复合膜在冷却肉保鲜中的应用[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 590-595. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2007.11.144.
[33] SUKHTEZARI S, ALMASI H, PIRSA S, et al. Development of bacterial cellulose based slow-release active films by incorporation of *Scrophularia striata* Boiss. extract[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 156: 340-350. DOI:10.1016/j.carbpol.2016.09.058.
[34] QI Lifeng, XU Zirong, JIANG Xia, et al. Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles[J]. Carbohydrate Research, 2004, 339(16): 2693-2700. DOI:10.1016/j.carres.2004.09.007.
[35] TORRENT BURGUÉS J. Review on bibliography related to antimicrobials[R/OL]. (2017-02-09) [2017-02-17]. http://hdl.handle.net/2117/101534.
[36] 邓明, 哈益明, 严奉伟, 等. Nisin、EDTA和山梨酸钾在冷却肉贮藏保鲜中的交互效应分析[J]. 食品科技, 2005, 30(9): 66-70. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2005.09.022.
[37] 李江林, 贾刚, 陈勇源, 等, 石榴皮在黑椒烟熏牛肉涂膜保鲜中的应用[J]. 食品工业科技, 2014, 35(5): 309-313.
[38] 温棚. 静电纺聚合物/肉桂精油纳米纤维膜的制备及性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014: 61-62.
[39] KAALE L D, EIKEVIK T M, RUSTAD T, et al. Superchilling of food: a review[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 107(2): 141-146. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2011.06.004.