

山梨酸钾抗菌包装材料研究进展

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2019.06.002

于文喜^{1,2} 段华伟³
曾少甫⁴ 邓靖¹

1. 湖南工业大学
包装与材料工程学院
湖南 株洲 412007
2. 湖南工业大学
先进包装材料与技术
湖南省重点实验室
湖南 株洲 412007
3. 湖南工业大学
包装设计艺术学院
湖南 株洲 412007
4. 广东省食品工业
研究所有限公司
广东 广州 511442

摘要: 山梨酸钾作为防腐抗菌剂,在食品中被广泛应用;近年来,在抗菌材料领域也受到关注。山梨酸钾可以从材料内向包装食品表面释放,从而防止食品腐败,保证食品安全。归纳了山梨酸钾抗菌材料的抑菌性能测试方法,评价了山梨酸钾抗菌膜材的抑菌效果,概述了山梨酸钾释放动力学研究及山梨酸钾释放的理论模型,展望了山梨酸钾抗菌膜的发展前景,以期为山梨酸钾抗菌包装材料的进一步开发利用提供参考。

关键词: 山梨酸钾;抗菌包装;抗菌剂;释放动力学;模型

中图分类号: TS206.4

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2019)06-0007-10

引文格式: 于文喜,段华伟,曾少甫,等.山梨酸钾抗菌包装材料研究进展[J].包装学报,2019,11(6):7-16.

0 引言

食品腐败每年都会给社会造成巨大的浪费和经济损失,并随之带来的一系列食源性疾病也引起了世界各国的高度重视。活性抗菌包装的优点在于即不将抗菌物质喷雾或浸渍到食品表面,也不直接添加到食品内部,而是添加到食品包装膜材内部或固定在与食品接触的膜材表面达到对食品的防腐效果。抗菌包装材料(膜或涂层)已引起了材料科学、食品科学、包装工程、生物学和化学等领域专家的极大兴趣,并在乳制品、家禽、牛肉、三文鱼肉、面团、新鲜面食、烘焙产品、水果、蔬菜和饮料中有了应用^[1]。

本文对被公认为安全的(generally recognized as safe, GRAS)防腐剂山梨酸钾在抗菌包装材料中的应用、该抗菌材料的抑菌效果、材料内山梨酸钾的释放模型等方面进行综述,并对继续开发抗菌包装材料

的必要性进行论述。

1 山梨酸钾在食品中的应用

山梨酸钾属于山梨酸的钾盐,化学名称为 2,4-己二烯钾,其立体结构如图 1 所示。山梨酸及其钾盐能够被人体代谢系统所吸收,再迅速分解,从而生成二氧化碳与水,将其加入食品中能有效抑制细菌等微生物繁殖。它是由国际粮农组织与世界卫生组织共同推荐的一种安全高效的防腐剂,同时也是我国国标 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中允许使用的食品添加剂。近年来,山梨酸及其钾盐已在国内外食品行业中广泛应用,如蔬菜、水果、肉制品、水产制品、酱油、腌菜制品、糕点、饮料、蜜饯、糖果制品等。山梨酸钾的热稳定性比较好,抑菌、防腐效果是苯甲酸钠的 5~10 倍,毒性仅

收稿日期:2019-09-09

基金项目:湖南省教育厅科学研究基金资助项目(18C0507,18A256,18B290),湖南省自然科学基金资助项目(2018JJ4061)

作者简介:于文喜(1982-),男,吉林长春人,湖南工业大学教师,博士,主要从事食品包装与安全方面的教学与研究,

E-mail: yuwxman@163.com

是苯甲酸钠的 1/40。国际粮农组织 / 世卫组织食品添加剂联合专家委员会建议, 人体可对山梨酸钾的接受量为 0~25 mg/(kg·d)^[2]。

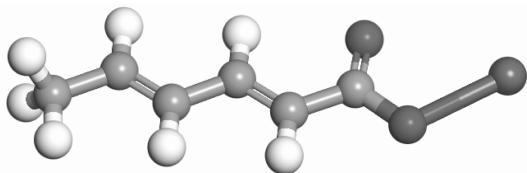


图1 山梨酸钾分子三维结构

Fig. 1 Schematic 3D diagram of potassium sorbate

延长食品保质期的同时保持食品品质一直是食品行业关心的话题。巴氏杀菌和加入防腐剂是常用于延长食品保质期的方法, 但经巴氏杀菌后食品营养成分会损失, 且杀菌能耗高; 大部分食品中加入的防腐剂存在毒性, 或与食品反应降低防腐效果, 从而又产生了食品安全隐患。即使是 GRAS 防腐剂山梨酸钾, 过量的摄入也会对人体健康产生危害^[3]。文献[2]的研究建议, 在食品工业中, 低浓度山梨酸钾可以作为安全防腐剂使用, 但依然有某些食品生产企业存在违规违法乱用、滥用防腐剂的现象^[4]。抗菌包装的出现为食品安全保鲜提供了新思路。

2 山梨酸钾在抗菌包装材料中的应用及抗菌效果研究

微生物的滋生主要从食品表面开始, 在食品表面喷洒或涂抹适量活性抗菌剂可抑制微生物生长。但表面的抗菌剂会向食品内部渗透, 导致抗菌剂浓度降低, 从而影响抗菌效果。抗菌包装是将具有防腐效果的抗菌剂与食品分离开, 将其固定在与食品接触的包装材料表面或加入到包装材料内部的一种食品包装方式。该包装可以在延长食品货架期的同时保证食品质量和安全, 保持食品营养和风味。抗菌包装材料中经常添加的抗菌剂主要有有机酸、壳聚糖、多肽(如乳酸链球菌肽)、乳过氧化物酶体系、植物提取物及其精油类^[5]和纳米银^[6-7]等。

测定抗菌包装膜材抑菌性能常用的方法是琼脂扩散法, 即制备涂布均匀的具有一定微生物浓度的琼脂菌板, 裁切固定大小的抗菌膜材置于菌板上, 固定温度下培养一段时间, 通过检测抑菌圈大小来评价抗菌膜材的抑菌效果。I. Arcan 等^[8]将直径 13 mm 的玉米蛋白 / 溶菌酶抗菌膜材置于含有李斯特菌的培养基表面, 在 37 °C 下培养 36 h 后发现该

膜材对李斯特菌有着明显的抑制作用, 抑菌圈直径达 12 mm。精油类抗菌膜材的抑菌圈实验表明, 其对微生物有明显的抑制作用, 如海藻酸钠 / 大蒜精油抗菌膜材对金黄色葡萄球菌、蜡状芽孢杆菌有较好的抑菌效果^[9]; 羟丙甲纤维素 / 丁香精油抗菌材料对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、单增李斯特氏菌有较好的抑菌效果^[10]。山梨酸钾抗菌膜材抑菌能力的研究也有较多报道, 其应用也逐渐推广到其它包装膜材中。Shen X. L. 等^[11]通过琼脂扩散法证实了马铃薯淀粉添加质量分数为 15% 的山梨酸钾抗菌膜材, 可以有效地抑制大肠杆菌的生长(抑菌圈直径为 5 mm); E. Chevalier 等^[12]在酪蛋白中添加质量分数为 10% 的山梨酸钾使得其抑菌圈的直径扩大了近 3 倍, 表现为对大肠杆菌很好的抑制作用; 小麦面筋蛋白^[13]、马铃薯淀粉^[14]、聚丙烯^[15]中添加山梨酸钾制备的活性包装膜材, 对黑曲霉也具有一定的抑制作用, 不同浓度山梨酸钾 / 山梨酸抗菌膜材对微生物的抑菌效果如表 1 所示。Y. Pranoto 等^[16]报道了壳聚糖基山梨酸钾抗菌膜材对金黄色葡萄球菌、李斯特菌和蜡样芽孢杆菌的抑菌活性, 通过抑菌圈法发现对 3 种微生物的抑菌效果相近。O. V. López 等^[17]利用琼脂扩散法, 证明了玉米淀粉 / 山梨酸钾抗菌膜材对假丝酵母菌有较好的抑菌效果。M. P. Junqueira-Gonçalves 等^[18]使用的琼脂扩散法与前面所述的方法不同, 将含有草莓灰霉菌菌丝的直径为 1.0 cm 的琼脂盘置于培养皿中心, 在 25 °C 下培养 3 d, 再将聚对苯二甲酸乙二醇酯 (polyethylene terephthalate, PET) / 山梨酸钾活性膜材以图 2 方式置于四周, 25 °C 下继续培养 5 d, 评估抑菌效果。结果表明, 该膜材的抑霉率随包装表面山梨酸钾浓度的增加而增加。

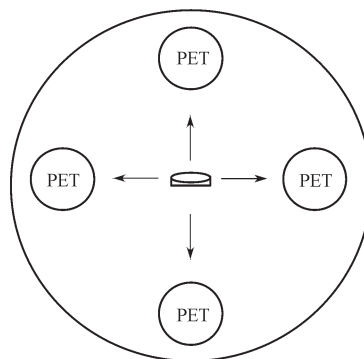


图2 琼脂扩散试验示意图

Fig. 2 Schematic representation of the agar diffusion test

表 1 不同含量山梨酸钾 / 山梨酸抗菌膜材对微生物的抑菌效果

Table 1 Antimicrobial effects of composite films with different contents of potassium sorbate or sorbic acid against microorganism

基 材	抗菌剂及其质量分数 /%	菌 种	抗菌膜直径 /mm	抑菌圈直径 /mm	参考文献
马铃薯淀粉	山梨酸钾 (15.0)	大肠杆菌	5.1	6.10	[11]
酪蛋白	山梨酸钾 (10.0)	大肠杆菌	15.0	58.00	[12]
小麦面筋蛋白	山梨酸钾 (10.0)	黑曲霉	20.0	29.00	[13]
小麦面筋蛋白	山梨酸钾 (10.0)	变红镰刀菌	20.0	43.00	[13]
马铃薯淀粉	山梨酸钾 (10.0)	黑曲霉	20.0	12.80	[14]
聚丙烯	山梨酸 (6.0)	黑曲霉	20.0	15.40	[15]
壳聚糖	山梨酸钾 (10.0)	金黄色葡萄球菌	17.0	22.04	[16]
壳聚糖	山梨酸钾 (10.0)	李斯特菌	17.0	24.33	[16]
壳聚糖	山梨酸钾 (10.0)	蜡样芽孢杆菌	17.0	24.15	[16]
玉米淀粉	山梨酸钾 (0.3)	假丝酵母菌	10.0	13.55	[17]
玉米淀粉	山梨酸钾 (0.3)	假丝酵母菌	30.0	42.08	[17]

第二种测定抗菌膜材抑菌性能的方法是琼脂平面培养法。Cao Y. 等^[19]将山梨酸钾添加到 β -环糊精共聚物内,使用琼脂平面培养法评估其抑菌性能,发现该膜材对酵母和金黄色葡萄球菌的繁殖有较好抑制作用。E. Kristo 等^[20]证实了制备的酪蛋白酸钠基山梨酸钾抗菌膜材对李斯特菌有较好的抑制作用。C. Arismendi 等^[21]将接种一定浓度拜氏接合酵母菌的木薯淀粉 / 山梨酸钾膜贴在半固体培养基表面, 25 ℃下培养 48 h 后回收菌落计数; 25 ℃下继续培养 5 d 后, 发现经抗菌膜材处理组的菌数繁殖明显低于空白组。其他的研究人员使用类似的方法也证明了载有山梨酸钾的木薯淀粉或木薯淀粉 / HPMC (hydroxypropyl methylcellulose) 膜能控制霉菌的生长^[22-23], 载有山梨酸钾的 LDPE (low density polyethylene) 膜材可以抑制酵母菌的生长^[24]。

第三种测定抗菌膜材抑菌性能的方法是试管菌液培养法, 即将抗菌膜材切片, 置于装有菌液的试管里培养一段时间, 检测菌液内微生物的繁殖情况。I. M. Jipa 等^[25]将聚乙烯醇 / 细菌纤维素 / 山梨酸钾抗菌膜材置于含有大肠杆菌菌液的试管内, 30 ℃下培养一段时间, 检测管内大肠杆菌含量。结果表明山梨酸钾 (质量分数为 0.5%) 抑制了大肠杆菌的繁殖。S. H. Fasihnia 等^[15]使用同样的方法证实了活性聚丙烯 / 山梨酸 (质量分数为 6%) 包装薄膜对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制作用^[15]。Lei J. Q. 等^[26]以此法比较了自组合法制备的 PET/PP / 山梨酸钾抗菌膜材对大肠杆菌、枯草杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制效果, 结果发现对前两者的抑制效果高于后者。

此外, 也有一些科研工作者采用直接评价抗菌包装膜材对食品保藏效果的方法。T. P. De Camargo

Andrade-Molina 等^[27]使用热塑性淀粉 / 对苯二甲酸丁二酯 / 山梨酸钾膜材包装面片, 发现面片表面霉菌生长明显降低, 面片保质期明显延长。也有研究报道了山梨酸钾涂膜可以控制开心果表面曲霉属真菌生长^[28]和延长草莓保鲜期^[29]。O. V. López 等^[17]制备的玉米蛋白 / 山梨酸钾抗菌膜材对乳酪的金黄色葡萄球菌、青霉菌、沙门氏菌都有一定的抑制作用。王佳奕等^[30]研究了离子凝胶法制备的山梨酸纳米微粒涂膜材料对冷却猪肉抑菌效果的影响, 发现经涂膜处理的冷却肉样的菌落总数、霉菌和酵母总数显著降低, 其货架期比空白对照组延长 5 d。

综上所述, 以山梨酸钾为抗菌剂制备的抗菌膜材对食品微生物生长有着显著的抑制效果。

3 山梨酸钾的释放研究

包装膜材内的抗菌活性物质的迁移 / 释放是一个自发的扩散过程, 抗菌剂从膜材内部向表面扩散, 并通过溶解、扩散作用从膜材 - 食品界面进入食品, 如图 3 所示。

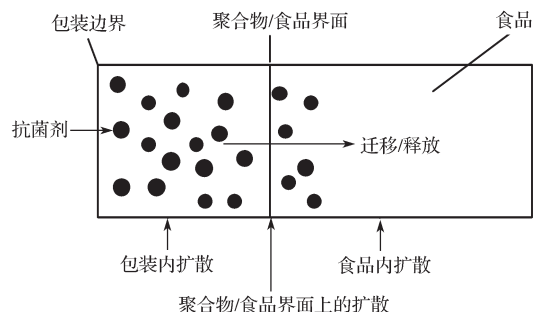


图 3 包装体系内抗菌剂释放过程

Fig. 3 Release process of antimicrobial agents in packaging system

抗菌剂在包装膜材中迁移/释放的关键参数是在食品和包装膜材间的分配行为及其扩散能力。为了抑制微生物的生长,抗菌物质必须到达细胞,这意味着抗菌物质要么从包装材料中释放出来,要么直接与食品接触,使食品表面的抗菌剂维持在理想浓度以上,从而抑制目标微生物生长。由此可知,研究包装膜材内抗菌活性物质向食品释放的规律可作为设计和优化抗菌包装体系的重要手段之一。常见的抗菌食品-包装体系如图4所示。

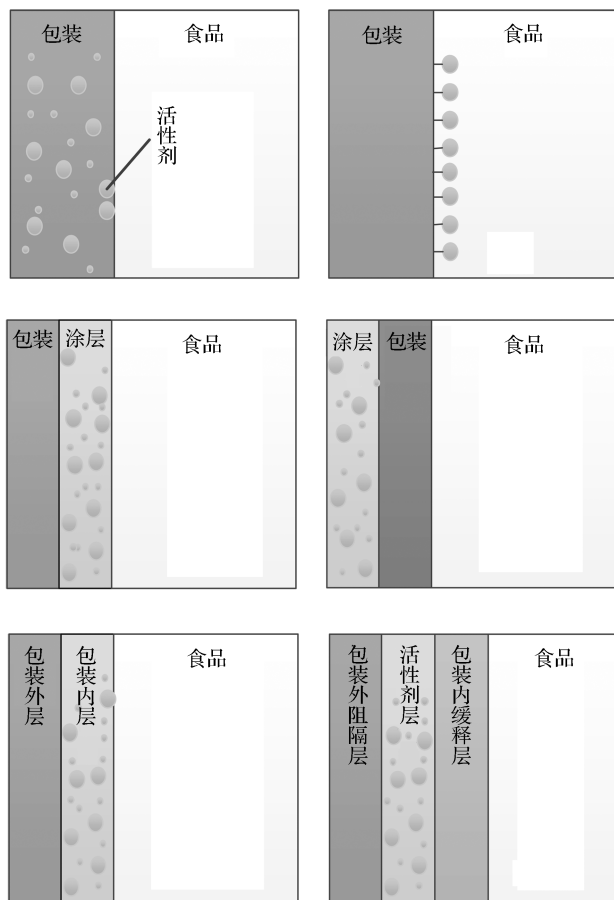


图4 抗菌食品-包装体系

Fig. 4 Antimicrobial food-packaging systems

科研人员尝试通过膜材改性调节(加快或减慢)抗菌剂的释放规律。S. M. Iconomopoulou等^[31]发现改变聚合物分子取向可实现对抗菌剂的可控释放。微胶囊或纳米级胶囊也可以选择性地控制活性剂释放^[32]。利用膜材的不对称性及孔隙度^[33-35]、改变膜基底比例^[36-37]或改变聚合物基质的交联程度^[38-40]等方式,均可调节抗菌剂释放速率。20世纪80年代,科研工作者已经开始研究了抗菌膜材内山梨酸/山梨酸钾的释放规律。A. Giannakopoulos等^[41]于1986

年探讨了山梨酸的释放并比较了水分活度对山梨酸扩散的影响。Han J. H.等^[42]发现山梨酸钾在LDPE膜中的扩散能力高于HDPE、CPP和POPET膜,建议使用LDPE膜作为控释层或抗菌剂保留层。G. G. Buonocore和M. Mastromatteo等^[43-44]开发了由内外两个控释层和包含活性剂的内层组成的多层膜调节山梨酸钾释放。M. Ozdemir等^[45]在聚合物内添加蜂蜡控制山梨酸钾的释放。H. Barzegar等^[14]通过添加纳米黏土延缓马铃薯淀粉基膜内山梨酸钾的释放。E. Chevalier等^[12]将蜡加入凝乳酪蛋白中,通过增大材料疏水性和降低材料溶胀来降低山梨酸钾释放。Lei J. Q.等^[26]在研究壳聚糖抗菌膜内山梨酸钾的释放过程时,发现山梨酸钾的释放速度随温度和酸度的增加而增加,随离子强度的提高而降低。Yu W. X.等^[46-48]通过调节抗菌膜基质比例,添加蒙脱土和CaCl₂调节山梨酸钾释放能力。S. Diblan等^[49]指出模拟物的pH值直接影响抗菌剂的扩散,而水分活度间接参与了膜内山梨酸钾的扩散,根据特定的扩散介质,膜结构可能会发生变化,从而加速或限制山梨酸钾释放。

4 数学模型在山梨酸钾释放过程中的应用

研究抗菌剂的释放模型有利于预测和评估其在包装膜材和食品两相间分配行为及向食品扩散的能力,从而进一步优化抗菌包装体系,降低试验成本。菲克第二定律是常用的释放模型之一,该模型认为抗菌剂的释放只发生在包装膜材厚度方向上,并假定扩散系数与抗菌剂浓度无关。菲克第二定律模型为^[50-51]

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial L_p^2}, \quad (1)$$

式中: D 为包装膜材内抗菌剂的扩散系数, cm^2/s ;

C 为膜材内抗菌剂质量浓度, mg/cm^3 ;

L_p 为释放方向上的距离, cm ;

t 为释放时间, s 。

根据食品/模拟物体积与包装膜材厚度之间的关系,包装体系一般分为两种:有限包装-无限食品体系($V_p \ll V_f$)和有限包装-有限食品体系(即包装膜材的体积 V_p 与食品/模拟物的体积 V_f 相比不可忽略)。

4.1 有限包装 - 无限食品模型

有限包装 - 无限食品体系考虑食品的体积无限大, 抗菌剂从一个有限体积的包装中释放到一个具有良好混合效果的无限体积的食品 / 模拟物中。在释放过程中, 食品 / 模拟物中抗菌剂的浓度始终为常数 $C_{F,0}$ 。考虑到抗菌剂在食品 / 模拟物与包装膜材间的分配系数 $K_{F,P}$ 为常数, 则在包装膜材和食品交界面上, 包装膜材一侧抗菌剂浓度 $C_{P,L}=C_{F,0}/K_{F,P}$ 也为常数。释放过程一直进行到膜材中的抗菌剂浓度由初始值 $C_{P,0}$ 降至平衡值 $C_{P,L}$ ^[50, 52-53]。初始条件和边界条件为

$$C = C_{P,0}, -l < x < l, t = 0;$$

$$C = C_{P,L}, x = 0, x = l, t > 0。$$

式中: $C_{F,0}$ 为食品 / 模拟物中抗菌剂的初始浓度;

$C_{P,L}$ 为包装膜材表面抗菌剂浓度;

l 为在假定包装膜材与食品 / 模拟物双面接触时的半厚。

将初始条件和边界条件代入菲克第二定律表达式 (1), 求得 t 时刻抗菌剂从包装膜材释放到食品 / 模拟物中的量。

$$\frac{M_{F,t}}{M_{F,\infty}} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 D t / l^2\right], (2)$$

式中: $M_{F,t}$ 为 t 时间抗菌剂释放到食品 / 模拟物中的质量;

$M_{F,\infty}$ 为释放达到平衡时抗菌剂释放到食品 / 模拟物中的质量。

4.2 有限包装 - 有限食品模型

有限包装 - 有限食品体系考虑包装体积有限、食品体积有限, 在这种情况下, 抗菌剂从有限体积的包装膜材释放到混合良好的有限体积的食品 / 模拟物中。初始时刻食品 / 模拟物中不含抗菌剂, 随着释放的发生, 抗菌剂在食品 / 模拟物中的浓度由 $C_{F,0}=0$ 升至平衡时的浓度 $C_{F,\infty}$, 该模型比有限包装 - 无限食品模型更实际。当抗菌剂释放过程停止时, 在包装材料与食品 / 模拟物间存在浓度梯度, 此时考虑分配行为。初始条件和边界条件为

$$K_{F,P} \left(\frac{V_F}{A} \right) \frac{\partial C}{\partial t} = -D \frac{\partial C}{\partial l}, x = l, t > 0;$$

$$C = C_{P,0}, -l < x < l, t = 0。$$

式中 A 为包装膜材与食品 / 模拟物接触的表面积。

将初始条件和边界条件代入菲克第二定律表达

式 (1) 中求得

$$\frac{M_{F,t}}{M_{F,\infty}} = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2\alpha(1+\alpha)}{1+\alpha+\alpha^2 q_n^2} \exp(-D q_n^2 t / l^2), (3)$$

式中: q_n 为方程 $\tan q_n = -\alpha q_n$ 的非零正根;

$$\alpha = M_{F,\infty} / M_{P,\infty} = K_{F,P} \cdot V_F / V_P, (4)$$

其中 $M_{P,\infty}$ 为释放平衡时抗菌剂在膜材内的质量。

考虑传质平衡, 则有

$$M_{P,0} = M_{F,\infty} + M_{P,\infty}, (5)$$

式中 $M_{P,0}$ 为释放开始时抗菌剂在膜材内的质量。

将式 (5) 代入式 (4) 整理得

$$M_{F,\infty} / M_{P,0} = \alpha / (1+\alpha), (6)$$

将式 (6) 代入式 (3) 得

$$\frac{M_{F,t}}{M_{P,0}} = \frac{\alpha}{1+\alpha} \left[1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2\alpha(1+\alpha)}{1+\alpha+\alpha^2 q_n^2} \exp(-D q_n^2 t / l^2) \right]. (7)$$

当 $M_{F,\infty} / M_{P,0} \rightarrow 1$, 即当 $\alpha \rightarrow \infty$ 时, 根据 $\tan q_n = -\alpha q_n$, 得 $q_n = \left(n + \frac{1}{2} \right) \pi$, 再代入式 (7) 得

$$\frac{M_{F,t}}{M_{P,0}} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 D t / l^2\right]. (8)$$

方程 (8) 可作为考虑传质平衡时抗菌剂释放率。

L. N. Remedio 等^[54] 应用菲克第二定律计算了壳聚糖基质中, 山梨酸钾扩散系数约为 $2 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。菲克模型同样被用于评估山梨酸钾在乳清分离蛋白膜^[45, 55-56]、壳聚糖^[57]、小麦面筋蛋白膜^[58]和 κ -卡拉胶膜^[59]等膜材内的扩散能力。在不同膜材内山梨酸钾的扩散系数见表 2。可以通过添加疏水性物质^[58]、蒙脱土^[47]、天然纤维、交联剂 (如 CaCl_2)^[60-61], 或者通过调节基材比例^[46] 改变山梨酸钾的扩散能力。在小麦面筋蛋白膜中添加一定量的疏水乙酰单甘油酯或蜂蜡, 可将山梨酸的扩散系数降低 20% ~ 50%^[58]; 在 PVA 膜内加入质量分数为 10% 的细菌纤维素可使山梨酸的扩散能力提高近 2 倍^[62]。在海藻酸钠中加入 CaCl_2 可使山梨酸钾扩散能力降低, CaCl_2 质量分数从 2% 提高到 7% 时, 山梨酸钾扩散系数降低近 67%^[60]; CaCl_2 可使聚合物分子链间产生类似蛋壳形态的疏水层而降低抗菌膜对山梨酸钾的扩散能力^[60-61]。

在抗菌剂的释放过程中, 当膜材发生松弛或抗菌剂在材料内部发生结晶现象时, 其释放规律会偏离菲克扩散模型。I. M. Jipa 和 M. Uz 等^[64, 66] 使用一级动力学方程联合菲克扩散模型 (7), 模拟醋酸纤维

膜内山梨酸钾 / 山梨酸在水性食品模拟物中的释放过程（方程 9）。他们认为在该体系中抗菌剂的释放过程分为两步，首先是结晶抗菌剂在膜材内溶解过程，可使用一级动力学方程（10）来描述，解晶的抗菌剂再释放到食品 / 模拟液内，可使用菲克扩散模型描述。方程如下：

$$M_{\text{Total}(t)} = M_{F,t} + M_{D,t}, \quad (9)$$

$$M_{D,t} = M_{D,\infty} [1 - \exp(1 - kt)]。 \quad (10)$$

式中： $M_{\text{Total}(t)}$ 为 t 时间抗菌剂释放到食品 / 模拟物中的总质量；

$M_{D,t}$ 为 t 时间通过晶体溶解从膜材释放到食品 / 模拟物中的抗菌剂质量；

$M_{D,\infty}$ 为释放平衡时，通过晶体溶解从膜材释放到食品 / 模拟物中的抗菌剂质量；

k 为晶体溶解常数。

S. Flores 等^[63] 在研究木薯淀粉膜材内山梨酸钾的释放过程时，将菲克模型（2）和一级动力学方

程（10）代入式（9）中，并定义 $X_F = \frac{M_{F,\infty}}{M_\infty}$ ， $M_\infty = M_{F,\infty} + M_{D,\infty}$ ，使用整理后的方程（11）来模拟山梨酸钾的释放过程。

$$M_{\text{Total}(t)} = M_\infty \left\{ X_F \left[1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp(-(2n+1)^2 \pi^2 Dt / l^2) \right] + (1 - X_F) \cdot [1 - \exp(1 - kt)] \right\}。 \quad (11)$$

式（11）中 $0 \leq X_F \leq 1$ ，当 X_F 等于 1 时，认为该释放过程遵循菲克扩散；当 X_F 等于 0 时，认为该释放过程符合一级动力学方程。M. Mastromatteo 等^[67] 在研究中，使用方程（11）模拟 PVA 材料中溶菌酶的释放过程。Yu W. X. 等^[47] 在研究羧甲基纤维素 / 低甲氧基果胶膜材内山梨酸钾的释放过程时，发现添加蒙脱土后，山梨酸钾的释放更适合使用联合模型（一级动力学方程（9）联合菲克扩散模型（3））模拟。

表 2 不同抗菌膜材内山梨酸钾释 / 山梨酸释放模型研究结果

Table 2 The release models of potassium sorbate or sorbic acid in various antimicrobial films

基底材料	食品 / 模拟物	释放温度 / °C	扩散系数 / (cm ² ·s ⁻¹)	参考文献
小麦面筋蛋白	琼脂培养基	30	$9.00 \times 10^{-8} \sim 1.50 \times 10^{-7}$	[13]
玉米淀粉	琼脂凝胶	4	3.00×10^{-8}	[17]
乳清分离蛋白	蒸馏水 - 甘油	25	$5.38 \times 10^{-7} \sim 9.76 \times 10^{-7}$	[45]
乳清分离蛋白 / 蜂蜜	蒸馏水 - 甘油	25	$6.36 \times 10^{-7} \sim 8.34 \times 10^{-7}$	[45]
果胶 / 羧甲基纤维素	体积分数为 95% 的乙醇	4	$2.60 \times 10^{-13} \sim 2.11 \times 10^{-12}$	[46]
果胶 / 羧甲基纤维素 / 蒙脱土	体积分数为 95% 的乙醇	4	$1.30 \times 10^{-11} \sim 9.60 \times 10^{-11}$	[47]
果胶 / 羧甲基纤维素 / CaCl ₂	体积分数为 95% 的乙醇	4	$3.20 \times 10^{-11} \sim 9.60 \times 10^{-11}$	[47]
果胶 / 羧甲基纤维素 / CaCl ₂	体积分数为 50% 的乙醇	4	$1.07 \times 10^{-9} \sim 5.21 \times 10^{-9}$	[48]
壳聚糖	蒸馏水	25	$1.91 \times 10^{-9} \sim 2.29 \times 10^{-9}$	[54]
乳清分离蛋白	磷酸盐缓冲溶液	15 ~ 35	$3.73 \times 10^{-9} \sim 5.72 \times 10^{-8}$	[55]
乳清分离蛋白	质量分数为 20% 的甘油水溶液	24	$1.16 \times 10^{-7} \sim 9.24 \times 10^{-7}$	[56]
壳聚糖	蒸馏水	25	$8.90 \times 10^{-9} \sim 5.84 \times 10^{-8}$	[57]
小麦面筋蛋白	蒸馏水	4, 25	7.50×10^{-8}	[58]
κ-卡拉胶	磷酸钠缓冲盐	5 ~ 40	$1.05 \times 10^{-9} \sim 6.42 \times 10^{-9}$	[59]
海藻酸钠	蒸馏水	25	$1.97 \times 10^{-7} \sim 3.94 \times 10^{-7}$	[61]
细菌纤维素	蒸馏水	室温	$7.70 \times 10^{-8} \sim 1.42 \times 10^{-7}$	[62]
木薯淀粉	saboureaud 肉汤	25	$8.96 \times 10^{-8} \sim 2.35 \times 10^{-6}$	[63]
细菌纤维素	蒸馏水	25	$4.70 \times 10^{-9} \sim 1.77 \times 10^{-8}$	[64]
壳聚糖 / 聚乳酸	蒸馏水	室温	4.96×10^{-9}	[65]

5 结论与展望

活性抗菌包装以其在延长食品货架期方面的显著效能，已成为食品包装工业的主要发展方向之一。相应地活性抗菌包装的抗菌性能、潜在的实用性也受到广泛关注。

现有的研究已证实高剂量山梨酸钾对人体健康的危害。食品行业内的相关从业人员，应改变山梨酸钾可作为无害防腐剂使用的观念，在食品生产过程中使用法定限量，以减少人们从饮食中对山梨酸钾添加剂的摄入量。同时还应该积极开发具有抗菌活性的山梨酸钾或其他抗菌食品包装，重视其在食品中的

应用研究。此外, 关于抗菌剂在包装材料中的应用, 还需要政府相关部门加强法律法规的建立, 加大生产监管力度, 食品抗菌包装才能安全、规范、有效地得到应用与推广。

参考文献:

- [1] WU Y M, WANG Z W, HU C Y, et al. Influence of Factors on Release of Antimicrobials from Antimicrobial Packaging Materials[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2018, 58(7): 1108–1121.
- [2] MOHAMMADZADEH-AGHDASH H, SOHRABI Y, MOHAMMADI A, et al. Safety Assessment of Sodium Acetate, Sodium Diacetate and Potassium Sorbate Food Additives[J]. *Food Chemistry*, 2018, 257: 211–215.
- [3] DEGHAN P, MOHAMMADIA, MOHAMMADZADEH-AGHDASH H, et al. Pharmacokinetic and Toxicological Aspects of Potassium Sorbate Food Additive and Its Constituents[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2018, 80: 123–130.
- [4] 王 丽, 张 毓, 陈翠岚. 我国食品防腐剂的应用及发展趋势 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2011, 2(2): 83–87.
WANG Li, ZHANG Yu, CHEN Cuilan. Application and Trend of Development on Food Preservations in China[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2011, 2(2): 83–87.
- [5] 于文喜, 胡长鹰, 王志伟. 天然可食 / 可降解抑菌膜研究进展 [J]. *功能材料*, 2015, 46(17): 17001–17007.
YU Wenxi, HU Changying, WANG Zhiwei. Recent Advances of Edible/Degradable Films from Natural Biopolymers Carrying Antimicrobial Active[J]. *Journal of Functional Materials*, 2015, 46(17): 17001–17007.
- [6] SADEGHNEJAD A, AROUJALIAN A, RAISI A, et al. Antibacterial Nano Silver Coating on the Surface of Polyethylene Films Using Corona Discharge[J]. *Surface and Coatings Technology*, 2014, 245: 1–8.
- [7] LAVORGNA M, ATTIANESE I, BUONOCORE G G, et al. MMT-Supported Ag Nanoparticles for Chitosan Nanocomposites: Structural Properties and Antibacterial Activity[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 102: 385–392.
- [8] ARCAN I, YEMENICIOĞLU A. Development of Flexible Zein-Wax Composite and Zein-Fatty Acid Blend Films for Controlled Release of Lysozyme[J]. *Food Research International*, 2013, 51(1): 208–216.
- [9] PRANOTO Y, SALOKHE V M, RAKSHIT S K. Physical and Antibacterial Properties of Alginate-Based Edible Film Incorporated with Garlic Oil[J]. *Food Research International*, 2005, 38(3): 267–272.
- [10] NONSEE K, SUPITCHAYA C, THAWIEN W. Antimicrobial Activity and the Properties of Edible Hydroxypropyl Methylcellulose Based Films Incorporated with Encapsulated Clove (*Eugenia Caryophyllata* Thunb) Oil[J]. *International Food Research Journal*, 2011, 18(4): 1531–1541.
- [11] SHEN X L, WU J M, CHEN Y, et al. Antimicrobial and Physical Properties of Sweet Potato Starch Films Incorporated with Potassium Sorbate or Chitosan[J]. *Food Hydrocolloids*, 2010, 24(4): 285–290.
- [12] CHEVALIER E, CHAABANI A, ASSEZAT G, et al. Casein/Wax Blend Extrusion for Production of Edible Films as Carriers of Potassium Sorbate: A Comparative Study of Waxes and Potassium Sorbate Effect[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2018, 16: 41–50.
- [13] TÜRE H, GÄLLSTEDT M, HEDENQVIST M S. Antimicrobial Compression-Moulded Wheat Gluten Films Containing Potassium Sorbate[J]. *Food Research International*, 2012, 45(1): 109–115.
- [14] BARZEGAR H, AZIZI M H, BARZEGAR M, et al. Effect of Potassium Sorbate on Antimicrobial and Physical Properties of Starch-Clay Nanocomposite Films[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 110: 26–31.
- [15] FASIHNIA S H, PEIGHAMBARDoust S H, PEIGHAMBARDoust S J, et al. Development of Novel Active Polypropylene Based Packaging Films Containing Different Concentrations of Sorbic Acid[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2018, 18: 87–94.
- [16] PRANOTO Y, RAKSHIT S K, SALOKHE V M. Enhancing Antimicrobial Activity of Chitosan Films by Incorporating Garlic Oil, Potassium Sorbate and Nisin[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2005, 38(8): 859–865.
- [17] LÓPEZ O V, GIANNUZZI L, ZARITZKY N E, et al. Potassium Sorbate Controlled Release from Corn Starch Films[J]. *Materials Science and Engineering: C*, 2013, 33(3): 1583–1591.
- [18] JUNQUEIRA-GONÇALVES M P, ALARCÓN E, NIRANJAN K. Development of Antifungal Packaging for Berries Extruded from Recycled PET[J]. *Food Control*, 2013, 33(2): 455–460.
- [19] CAO Y, LI J, LIU J, et al. Synthesis and Antimicrobial Applications of the Inclusion Complexes of β -Cyclodextrin Copolymers with Potassium Sorbate[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2018, 135(48): 46885.
- [20] KRISTO E, KOUTSOUMANIS K P, BILIADERIS C G.

- Thermal, Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of Sodium Caseinate Films Containing Antimicrobials and Their Inhibitory Action on *Listeria Monocytogenes*[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(3): 373–386.
- [21] ARISMENDI C, CHILLO S, CONTE A, et al. Optimization of Physical Properties of Xanthan Gum/Tapioca Starch Edible Matrices Containing Potassium Sorbate and Evaluation of Its Antimicrobial Effectiveness[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 53(1): 290–296.
- [22] ESPINEL VILLACRÉS R A, FLORES S K, GERSCHENSON L N. Biopolymeric Antimicrobial Films: Study of the Influence of Hydroxypropyl Methylcellulose, Tapioca Starch and Glycerol Contents on Physical Properties[J]. Materials Science and Engineering: C, 2014, 36: 108–117.
- [23] FLORES S, HAEDO A S, CAMPOS C, et al. Antimicrobial Performance of Potassium Sorbate Supported in Tapioca Starch Edible Films[J]. European Food Research and Technology, 2007, 225(3/4): 375–384.
- [24] HAN J H, FLOROS J D. Casting Antimicrobial Packaging Films and Measuring Their Physical Properties and Antimicrobial Activity[J]. Journal of Plastic Film & Sheeting, 1997, 13(4): 287–298.
- [25] MIHAELA JIPA I, DOBRE L, STROESCU M, et al. Preparation and Characterization of Bacterial Cellulose-Poly(Vinyl Alcohol) Films with Antimicrobial Properties[J]. Materials Letters, 2012, 66(1): 125–127.
- [26] LEI J Q, YANG L X, ZHAN Y F, et al. Plasma Treated Polyethylene Terephthalate/Polypropylene Films Assembled with Chitosan and Various Preservatives for Antimicrobial Food Packaging[J]. Colloids and Surfaces B-Biointerfaces, 2014, 114: 60–66.
- [27] DE CAMARGO ANDRADE-MOLINA T P, SHIRAI M A, GROSSMANN M V E, et al. Active Biodegradable Packaging for Fresh Pasta[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 54(1): 25–29.
- [28] SAYANJALI S, GHANBARZADEH B, GHIASSIFAR S. Evaluation of Antimicrobial and Physical Properties of Edible Film Based on Carboxymethyl Cellulose Containing Potassium Sorbate on Some Mycotoxigenic *Aspergillus* Species in Fresh Pistachios[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(4): 1133–1138.
- [29] 周民生, 张光杰, 李俊平. 可食性膜对贮藏期草莓的保鲜效果 [J]. 北方园艺, 2017(13): 147–151.
- ZHOU Minsheng, ZHANG Guangjie, LI Junping. Effect of Edible Film on Preservation of Strawberry During Storage[J]. Northern Horticulture, 2017(13): 147–151.
- [30] 王佳奕, 王 婧, 丁 武. 山梨酸纳米微粒在冷却猪肉保鲜中的应用 [J]. 食品科学, 2018, 39(9): 202–206.
- WANG Jiayi, WANG Qian, DING Wu. Application of Sorbic Acid Nanoparticles in Improving the Quality and Shelf-Life of Chilled Pork[J]. Food Science, 2018, 39(9): 202–206.
- [31] ICONOMOPOULOU S M, VOYIATZIS G A. The Effect of the Molecular Orientation on the Release of Antimicrobial Substances from Uniaxially Drawn Polymer Matrixes[J]. Journal of Controlled Release, 2005, 103(2): 451–464.
- [32] GUZEY D, MCCLEMENTS D J. Formation, Stability and Properties of Multilayer Emulsions for Application in the Food Industry[J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2006, 128/129/130: 227–248.
- [33] GEMILI S, YEMENICIOĞLU A, ALTINKAYA S A. Development of Cellulose Acetate Based Antimicrobial Food Packaging Materials for Controlled Release of Lysozyme[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 90(4): 453–462.
- [34] GEMILI S, YEMENICIOĞLU A, ALTINKAYA S A. Development of Antioxidant Food Packaging Materials with Controlled Release Properties[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 96(3): 325–332.
- [35] CHEN X, LU L X, QIU X L, et al. Blending Technique-Determined Distinct Structured Sodium Alginate-Based Films for Cinnamon Essential Oils Controlled Release[J]. Journal of Food Process Engineering, 2018, 41(8): e12905.
- [36] WANG H L, LIU H, CHU C J, et al. Diffusion and Antibacterial Properties of Nisin-Loaded Chitosan/Poly (L-Lactic Acid) Towards Development of Active Food Packaging Film[J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(8): 1657–1667.
- [37] WANG H L, ZHANG R, ZHANG H, et al. Kinetics and Functional Effectiveness of Nisin Loaded Antimicrobial Packaging Film Based on Chitosan/Poly (Vinyl Alcohol) [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 127: 64–71.
- [38] BUONOCORE G G, DEL NOBILE M A, PANIZZA A, et al. A General Approach to Describe the Antimicrobial Agent Release from Highly Swellable Films Intended for Food Packaging Applications[J]. Journal of Controlled Release, 2003, 90(1): 97–107.
- [39] BUONOCORE G G, NOBILE M A, PANIZZA A, et al. Modeling the Lysozyme Release Kinetics from Antimicrobial Films Intended for Food Packaging

- Applications[J]. *Journal of Food Science*, 2003, 68(4): 1365–1370.
- [40] BUONOCORE G G, SINIGAGLIA M, CORBO M R, et al. Controlled Release of Antimicrobial Compounds from Highly Swellable Polymers[J]. *Journal of Food Protection*, 2004, 67(6): 1190–1194.
- [41] GIANNAKOPOULOS A, GUILBERT S. Sorbic Acid Diffusivity in Relation to the Composition of High and Intermediate Moisture Model Gels and Foods[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2007, 21(4): 477–485.
- [42] HAN J H, FLOROS J D. Simulating Diffusion Model and Determining Diffusivity of Potassium Sorbate Through Plastics to Develop Antimicrobial Packaging Films[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1998, 22(2): 107–122.
- [43] BUONOCORE G G, CONTE A, CORBO M R, et al. Mono- and Multilayer Active Films Containing Lysozyme as Antimicrobial Agent[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2005, 6(4): 459–464.
- [44] MASTROMATTEO M, BARBUZZI G, CONTE A, et al. Controlled Release of Thymol from Zein Based Film[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2009, 10(2): 222–227.
- [45] OZDEMIR M, FLOROS J D. Analysis and Modeling of Potassium Sorbate Diffusion Through Edible Whey Protein Films[J]. *Journal of Food Engineering*, 2001, 47(2): 149–155.
- [46] YU W X, HU C Y, WANG Z W. Release of Potassium Sorbate from Pectin-Carboxymethyl Cellulose Films into Food Simulant[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017, 41(2): e12860.
- [47] YU W X, HU C Y, WANG Z W. Controlled Release of Potassium Sorbate from Pectin/Carboxymethyl Cellulose Active Films[C]//The 21st IAPRI World Conference on Packaging. Lancaster: DEStech Publications Inc., 2018: 10–20.
- [48] 于文喜, 胡长鹰, 王志伟. 多糖基膜内抑菌剂向食品模拟体系中释放的规律 [J]. *现代食品科技*, 2016(5): 71–78.
- YU Wenxi, HU Changying, WANG Zhiwei. Release Model of Antimicrobial Agent from Polysaccharide-Based Film into Food Stimulant[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016(5): 71–78.
- [49] DIBLAN S, KAYA S. Potassium Sorbate Diffusion in Multilayer Polymer Films: Effects of Water Activity and pH[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2018, 42(3): e13544.
- [50] CRANK J. *The Mathematics of Diffusion*[M]. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 1975: 4.
- [51] 于文喜. 果胶/纤维素基抗菌膜制备及抗菌剂释放研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2017.
- YU Wenxi. Preparation of Pectin/Cellulose Based Antimicrobial Films and Investigation of Antimicrobial Release[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.
- [52] 刘志刚, 王志伟. 塑料包装材料化学物向食品迁移的模型研究进展 [J]. *高分子材料科学与工程*, 2007, 23(5): 19–23.
- LIU Zhigang, WANG Zhiwei. Study on Mathematical Model for Predicting Migration of Chemical Substances from Plastic Packaging Materials[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2007, 23(5): 19–23.
- [53] CHUNG D, PAPADAKIS S E, YAM K L. Simple Models for Assessing Migration from Food-Packaging Films[J]. *Food Additives and Contaminants*, 2002, 19(6): 611–617.
- [54] REMEDIO L N, SILVA DOS SANTOS J W, VIEIRA MACIEL V B, et al. Characterization of Active Chitosan Films as a Vehicle of Potassium Sorbate or Nisin Antimicrobial Agents[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 87: 830–838.
- [55] 张玉亭, 雷 桥, 包建强, 等. 乳清蛋白抗菌薄膜中山梨酸钾的扩散性研究 [J]. *食品工业科技*, 2015, 36(13): 262–265.
- ZHANG Yuting, LEI Qiao, BAO Jianqiang, et al. Diffusivity of Potassium Sorbate in Antimicrobial Films of Whey Protein Isolate[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(13): 262–265.
- [56] FRANSSEN L R, RUMSEY T R, KROCHTA J M. Whey Protein Film Composition Effects on Potassium Sorbate and Natamycin Diffusion[J]. *Journal of Food Science*, 2006, 69(5): C347–C350.
- [57] 卢 鹏, 王志耕, 梅 林, 等. 壳聚糖抗菌膜中山梨酸钾迁移的数学模型及实验分析 [J]. *食品工业科技*, 2012, 33(2): 112–114.
- LU Peng, WANG Zhigeng, MEI Lin, et al. Analysis and Modeling of Potassium Sorbate Diffusion Through Chitosan Films[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(2): 112–114.
- [58] REDL A, GONTARD N, GUILBERT S. Determination of Sorbic Acid Diffusivity in Edible Wheat Gluten and Lipid Based Films[J]. *Journal of Food Science*, 1996, 61(1): 116–120.
- [59] CHOI J H, CHOI W Y, CHA D S, et al. Diffusivity of Potassium Sorbate in κ -Carrageenan Based Antimicrobial Film[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2005,

- 38(4): 417–423.
- [60] ZACTITI E M, KIECKBUSCH T G. Potassium Sorbate Permeability in Biodegradable Alginate Films: Effect of the Antimicrobial Agent Concentration and Crosslinking Degree[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(3): 462–467.
- [61] ZACTITI E M, KIECKBUSCH T G. Release of Potassium Sorbate from Active Films of Sodium Alginate Crosslinked with Calcium Chloride[J]. Packaging Technology and Science, 2009, 22(6): 349–358.
- [62] DOBRE L, STOICA-GUZUN A, STROESCU M, et al. Modelling of Sorbic Acid Diffusion through Bacterial Cellulose-Based Antimicrobial Films[J]. Chemical Papers, 2012, 66(2): 144–151.
- [63] FLORES S, CONTE A, CAMPOS C, et al. Mass Transport Properties of Tapioca-Based Active Edible Films[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81(3): 580–586.
- [64] JIPA I M, STOICA-GUZUN A, STROESCU M. Controlled Release of Sorbic Acid from Bacterial Cellulose Based Mono and Multilayer Antimicrobial Films[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 47(2): 400–406.
- [65] YOSHIDA C M P, BASTOS C E N, FRANCO T T. Modeling of Potassium Sorbate Diffusion Through Chitosan Films[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(4): 584–589.
- [66] UZ M, ALTINKAYA S A. Development of Mono and Multilayer Antimicrobial Food Packaging Materials for Controlled Release of Potassium Sorbate[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(10): 2302–2309.
- [67] MASTROMATTEO M, LECCE L, DE VIETRO N, et al. Plasma Deposition Processes from Acrylic/Methane on Natural Fibres to Control the Kinetic Release of Lysozyme from PVOH Monolayer Film[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104(3): 373–379.

(责任编辑: 邓光辉)

Advances in Antimicrobial Packaging Materials of Potassium Sorbate

YU Wenxi^{1,2}, DUAN Huawei³, ZENG Shaofu⁴, DENG Jing¹

(1. College of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;
2. Key Laboratory of Advanced Packaging Materials and Technology of Hunan Province, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China; 3. College of Packaging Design and Art, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China; 4. Guangdong Food Industry Institute Co., Ltd., Guangzhou 511442, China)

Abstract: Potassium sorbate has been widely used in food owing to its antimicrobial activity. In recent years, it has received great attention in the field of antimicrobial materials. It could provide active protection to food products by releasing antimicrobial agents onto food surface to prevent the product deterioration and ensure food safety. The methods of testing the antimicrobial properties of the films were summarized. The antimicrobial effect of films, the release kinetics of potassium sorbate and the theoretical model of potassium sorbate release were elaborated. Finally, the development prospect of potassium sorbate antimicrobial materials was proposed to provide further reference and utilization.

Keywords: potassium sorbate; antimicrobial packaging; antimicrobial agent; release kinetics; model