食品控释抗菌包装膜的控释机理研究进展

陈　曦[1,2]，　卢立新[*1,2]，　丘晓琳[1,2]，　唐亚丽[1,2]

（1. 江南大学 机械工程学院，江苏无锡 214122；2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室，江苏无锡 214122）

摘要：食品控释抗菌包装因其释放起始点和释放速率的可控性、针对不同食物和菌种的靶向性以及安全性已成为食品包装的研究热点。作者通过对前人综述和最新研究的总结，将食品控释抗菌包装的控释机理归纳为激发控释和调速控释两大类，对其中较为复杂的调速控释机理进行了深入的阐述，推进食品控释抗菌包装的进一步研究。

关键词：食品；控释；抗菌包装膜；机理

中图分类号：TS 261　**文章编号：**1673-1689(2020)01-0001-07　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2020.01.001

Advances in Mechanism Research on Controlled Release Antimicrobial Food Packaging Films

CHEN Xi[1,2]，　*LU Lixin*[*1,2]，　*QIU Xiaolin*[1,2]，　*TANG Yali*[1,2]

（1. School of Mechanical Engineering，Jiangnan University，Wuxi 214122，China；2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology，Wuxi 214122，China）

Abstract： Controlled release antimicrobial food packaging has drawn wide attention for its controllability of release starting point and release rate，safety，and targeting ability towards food and microbes. To promote research on controlled release antimicrobial food packaging，the latest advances in mechanism research on controlled release antimicrobial food packaging films are reviewed. The controlled release mechanism are classified as triggered-release and speed governing-release. Herein，the speed governing-release is deeply clarified owing to the complexity of mechanism.

Keywords： food，controlled release，antimicrobial packaging film，mechanism

由食品中微生物腐败导致的食品变质问题所引发的大量食品安全[1-3]和经济损失[4]问题已引起消费者、食品从业人员以及政府的高度关注。传统的抗菌方式是直接将抗菌剂添加到食品中，该方式虽然简便易行且成本低，但同时也带来了两大弊端：(1)食品的风味、口感会发生改变；(2)由于抗菌剂的释放不能够针对食品表面，而绝大多数的腐坏是从食品表面开始的，为保证保质期内抗菌保鲜效果极易出现抗菌剂加入过量的现象，不利于食用者的健康。为消除传统抗菌方法的弊端，满足消费者对食品品质、健康更高的要求，研究者们引入控释技术建立了食品控释抗菌包装体系。控释技术较早主

收稿日期：2018-03-27

基金项目：国家“十三五”重点研发计划项目(2016YFD0400701)。

作者简介：陈曦(1986—)，女，博士，主要从事食品包装技术研究。E-mail: 247614295@qq.com

*** 通信作者：**卢立新(1966—)，男，博士，教授，主要从事食品(农产品)包装技术研究。E-mail: lulx@jiangnan.edu.cn

要应用在药物释放系统中[5-7],直到最近 20 年才被引入食品抗菌包装体系[8],在食品包装中具有广泛的研究和应用前景[9]。

食品控释抗菌包装可以连续、缓慢、以一定动力学规律将抗菌剂从膜释放到食品表面,针对不同食品病原菌不同时间所需的抗菌剂浓度调控抗菌剂的释放速率,获得更好的食品品质、更长的保质期[10]。为达到更佳的食品保质效果,深入了解食品控释包装的关键技术——控释机理尤为重要。通过对前人研究的综述(部分最新研究见表 1),我们发现食品控释抗菌包装膜的控制释放过程可总结为:通过改变膜的制备过程中——膜组分(基材、抗菌剂以及各种添加剂)的种类和含量、膜组分间的结合方式、膜的制备方法与工艺参数等因素,使膜在接触不同的食品释放环境时,膜中抗菌剂的释放状态发生改变。其中, 释放状态的改变经历两个阶段:(1)激发控制释放,即抗菌剂从不释放到开始释放;(2)调速控制释放,即抗菌剂已开始释放,但释放的速率发生改变。

1 激发控释机理

激发控释是所有食品控释包装系统运作的必不可少的第一步,研究的是在包装保护食品的过程中, 如何通过环境的改变激发抗菌剂使其开始释放。其中,环境的改变既可以是外部环境,如温度、湿度、光照等,也可以是内部环境,如食品的 pH 值、食品中水分的变化等。最常用的激发机理为食品中的溶剂(如水分)使包装材料发生松弛(如溶胀)从而使其中的抗菌剂开始释放[9],这是绝大部分的生物质控释包装的激发机理, 因而此处不单独列举。其他激发机理的研究有:肖颖喆[11]等人利用聚乙烯醇膜遇水后自动产生微孔或微缝隙的机理,激发其中活性物质的释放;刘全校[12]等人利用水果新陈代谢产生的水汽以及被细菌侵蚀产生的有机酸(pH 值发生变化),激发膜中抗菌剂二氧化硫的释放;钱亮亮[13]等人利用环糊精包埋活性物质(肉桂醛)后环外亲水、环内疏水的湿度敏感性,激发其中抗菌剂肉桂醛的释放等。

2 调速控释机理

虽然激发控释是整个控释环节重要且必需的第一步,但由于其发生时间短暂、机理相对单一,因而控释包装的研究主要针对的是第二阶段调速控制释放。

控释包装中活性物质的释放机理,换句话说就是包装无定形聚合物中小分子的扩散机理。为阐明这一机理,学者们历经了从唯象的“经典”(“微观”)模型到“第一原理”出发的“原子”模型(计算机模拟)近一个世纪的研究。

在“经典”(“微观”)模型的研究历程中,Barrer[14-15]于 20 世纪 30 年代末 40 年代初提出的“活化区”模型、Meares[16]1954 年的“空穴”模型和 Brandt[17]的“能量分流”模型从扩散质小分子的角度出发,认为扩散质小分子的扩散能是由该分子的活化能提供的,且部分用于产生聚合物中的跃迁通道、部分用于其自身的跃迁。DiBenedetto[18-19]1963 年的“单元格”模型、Pace 和 Datyner[20-22]1979 年的“通道”模型也从扩散质小分子的角度出发,但认为扩散质小分子的扩散活化能全部用于产生聚合物中的跃迁通道、自身的跃迁不需要活化能。

与以上模型的研究思路不同,Fujita[23]、Cohen[24]和 Vrentas、Duda[25-26]等人从聚合物的角度出发,建立了“自由体积”理论与模型,认为聚合物链段和扩散质分子的运动都主要是由扩散质-聚合物系统中可用的自由体积来决定的,扩散的发生并不是激发过程的结果,而是聚合物链段运动引发的自由体积的再分布。

20 世纪 80 年代末发展起来的“原子”模型(MD 模拟)的结果验证了“经典”(“微观”)模型中的一些唯象假说:(1) 小分子在非晶结构中的扩散是以跳跃运动的方式进行的[27];(2)构成橡胶态聚合物自由体积的空穴是明显隔开的,在较长的时间中(典型为几百皮秒), 扩散质分子在一定小区域的受限空间即空穴中运动, 但不能超出所在的受限空间,每隔几皮秒就会被聚合物基体反弹[28];当相邻空穴间形成通道时,这种准静态期被扩散质分子的迅速跃迁打断,与在空穴中的停留时间相比,跃迁过程很短,且跃迁过程不需要活化能。

由以上微观机理的研究结果可得,控释包装中活性物质的释放速率主要由聚合物中能使活性物质跃迁的通道打开频率或者说自由体积再分布的难易程度决定的。影响引发自由体积再分布的聚合物链段运动的因素主要有:(1) 聚合物自身的结构;(2)聚合物中添加物(如活性物质、增塑交联等添加

剂)、接触并渗入聚合物中的食品成分与聚合物间的相互作用;(3)聚合物所处环境(如温度、湿度等)。

2.1 聚合物结构

聚合物自身的结构可以通过改变聚合物和添加剂的种类和含量、组分间的结合方式、制备工艺而发生改变。

2.1.1 聚合物和添加剂的种类和含量 Imran [29]等人通过改变聚合物的种类:羟丙基甲基纤维素HPMC、壳聚糖、酪蛋白酸钠、聚乳酸PLA,改变膜的结构;Moditsi[30]等人通过不同种类抗菌剂(纳他霉素、山梨酸钾)的分子体积不同,改变聚合物结构;Boonnattakorn [31] 等人通过控制乙烯-醋酸乙烯(EVA)膜中醋酸乙烯酯(VA)的含量,改变膜的结晶度及膜内的自由体积;Arcan[32]等人通过添加儿茶酚改变玉米醇溶蛋白膜的孔隙率;Yoshida[33]等人通过向壳聚糖膜中添加乳化剂棕榈酸,调节壳聚糖分子链间距;Mastromatteo[34]等人通过控制玉米醇溶蛋白膜中添加的小麦麸皮的含量,改变膜中微通道的数量;Gemili[35]等人通过控制醋酸纤维素(CA)膜制备过程中CA水溶液的浓度,改变膜的孔隙率。膜内自由体积越大、孔隙率越大、聚合物链间距越大、微通道数越多,则越有利于聚合物链段的运动,越容易实现自由体积的再分布,即活性物质跃迁通道产生的频率越高,从而提高活性物质的释放速率。

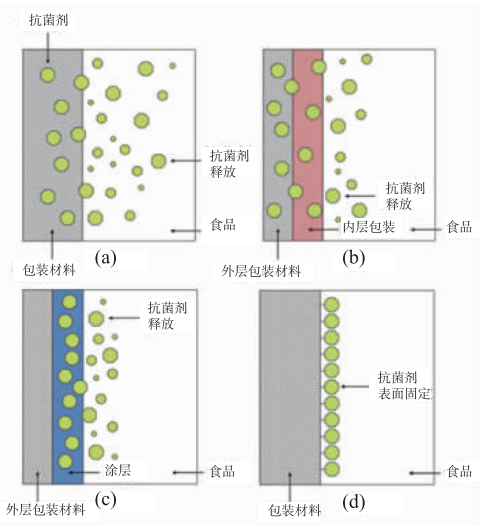
2.1.2 组分间的结合方式 膜组分间的结合方式从相对位置的角度可以分为:

1)抗菌剂直接共混在包装基材内或抗菌剂经包裹后共混在包装基材内(图1(a)),如Liu[36]等人将抗菌剂茶多酚经壳聚糖包裹为纳米微球后加入明胶膜中,利用壳聚糖包裹层增加茶多酚释放路径的曲折程度以及明胶膜结构的紧密程度;Gorrasi[37]等人通过用埃洛石纳米管搭载抗菌剂迷迭香精油后加入果胶膜中,利用埃洛石纳米管增加迷迭香精油释放路径的曲折程度。释放路径曲折程度的升高意味着活性物质跃迁频率的增加,因而降低了活性物质的释放速率。

2)含抗菌剂的单层包装基材与一层或多层、同种或不同种类包装基材的组合(图1(b)),如Uz[39]等人制备了醋酸纤维素多层膜;Mastromatteo[34]等人制备了玉米醇溶蛋白多层膜,增加了膜中抗菌剂的释放路径长度。增加的释放路径长度增加了活性物质在聚合物中的跃迁频率,从而降低了抗菌剂的释放速率。

3)抗菌剂分布在包装基材内表面的涂层内(图1(c)),如王建清[40]等人将牛至精油、肉桂精油、罗勒精油、迷迭香精油和PVA、玉米淀粉、乳化剂、水共混制备的抗菌涂层涂布在电晕处理后的聚乙烯膜表面,通过调节PVA涂层厚度改变膜的结构,实现抗菌剂的控释,其控释机理分析为PVA涂层厚度增加使其吸收水果、蔬菜中水蒸气受到溶胀破坏的速率降低,降低了涂层内精油的释放速率。

4)抗菌剂直接固定在包装基材内表面(图1(d)),如Hanusová[41]等人将葡萄糖氧化酶(GOX)经化学键合作用分别固定在聚酰胺膜和离子膜表面,改变膜的结构,同时由于GOX和聚酰胺膜间更强的化学键相互作用,使肽连接处的共价键更难断裂,因而与离子膜相比聚氨酯膜内的GOX释放量更小,达到控释的效果。



(a)抗菌剂共混在包装材料内;(b)多层包装;(c)抗菌剂分布在包装涂层内;(d)抗菌剂固定在包装材料表面

图1 食品抗菌控释包装系统分类示意图[38]

Fig. 1 Schematic diagram of classification of controlled release antimicrobial food packaging system

2.1.3 制备工艺 Fernández[42]等人发现热压法比溶液流延/溶剂蒸发法制备的PLA/银沸石共混膜具有更紧实、规则的微观结构;Baldino[43]等人发现应用超临界辅助相转化技术可以通过增加CO_2密度使醋酸纤维素膜中的孔变小;Moditsi[30]等人通过调节乳清分离蛋白膜制备过程的pH值,降低pH值至接近蛋白等电点时获得结构更紧密的蛋白膜。紧密的膜结构使聚合物链段运动变得困难,自由体积再分

布、活性物质跃迁通道的产生变得困难,从而降低了活性物质的释放速率。

2.2 组分间相互作用

聚合物中添加物(如活性物质、增塑交联等添加剂)、接触并渗入聚合物中的食品成分与聚合物间的相互作用可以通过改变聚合物和添加剂的种类和含量、组分间的结合方式而发生改变。

Imran[44]等人通过不同种类聚合物的亲水亲油性及带电性不同,使其与抗菌剂乳酸链球菌素间的相互作用及静电作用不同;Arcan[45]等人通过控制添加剂的种类(油酸、亚油酸、月桂酸),利用有机脂肪酸链长的不同改变其对抗菌剂溶菌酶的包裹力;Yu[46]等人通过控制低甲氧基果胶/羧甲基纤维素(CMC)膜中二者的组分比,改变膜的溶胀率;Buonocore[47]等人通过控制聚乙烯醇(PVOH)膜中交联剂乙二醛的含量,改变膜的交联度和溶胀率,从而改变膜组分间的相互作用。

Ozer[48]等人将抗菌剂溶菌酶先包裹到聚丙烯酸中再加入乳清分离蛋白膜中,通过增加聚丙烯酸含量、相对分子质量使其对溶菌酶的包裹性更好、与溶菌酶间的结合力更强;Chen[49]等人将抗菌剂肉桂精油经混合乳化剂组合(明胶、阿拉伯胶、羧甲基纤维素钠)包裹为微球后加入海藻酸钠膜中,利用不同乳化剂组合间静电结合力的不同实现对肉桂精油的控释。

组分间更大的相互作用力使聚合物链段运动更困难,聚合物内自由体积的再分布更困难、聚合物内抗菌剂跃迁通道的产生频率升高,从而降低抗菌剂的释放速率。

2.3 聚合物所处环境

Kashiri[50]等人将月桂酰精氨酸加入玉米醇溶蛋白膜中研究其在不同温度下向不同食品模拟液(水,体积分数3%乙酸溶液,体积分数10%乙醇)中释放速率,发现温度越高月桂酰精氨酸的释放速率越高,模拟液的影响不显著。根据分子热运动原理,温度越高,聚合物链段的运动越剧烈,则聚合物内自由体积的再分布越容易、聚合物内抗菌剂跃迁通道的产生频率越高,从而抗菌剂的释放速率越大。部分食品控释包装膜研究可归纳为表1。

综上,食品控释包装的调速控释机理从微观的角度可阐述为:膜制备过程中一系列因素(膜组分——膜基材、抗菌剂以及各种添加剂的种类和含量、膜组分间的结合方式、膜的制备方法与工艺参数等)或释放环境(食品的种类、水分含量、pH值、环境温湿度等)的改变,导致膜内结构(厚度、孔隙率、结晶度等)、膜组分即聚合物与添加剂、渗入的食品成分间的相互作用(静电相互作用、化学键相互作用等)、膜所处环境发生改变,使聚合物的链段运动、自由体积的再分布、聚合物内抗菌剂释放跃迁通道的产生频率发生改变,从而改变抗菌剂的释放速率。

表1 部分食品控释抗菌包装膜研究

Table 1 Latest study of controlled release antimicrobial food packaging

抗菌剂	控释包装膜	模拟物	温度/℃	扩散系数/(cm^2/s^{-1})	文献
乳酸链球菌素	HPMC,壳聚糖,酪蛋白酸钠,PLA	体积分数95%乙醇	4	1.27×10^{-13}~9.78×10^{-12}	[29]
山梨酸钾	WPI	水	25	3.11×10^{-7}~7.23×10^{-7}	[30]
纳他霉素				2.21×10^{-9}~8.48×10^{-9}	
溶菌酶	玉米醇溶蛋白	水	4	—	[32]
溶菌酶	玉米醇溶蛋白+儿茶酚	水	4	—	[45]
芒果苷	EVA	体积分数95%乙醇	23	4.82×10^{-11}~2.88×10^{-10}	[31]
山梨酸钾	低甲氧基果胶/CMC	体积分数95%乙醇	4	0.26×10^{-12}~2.11×10^{-12}	[46]
茶多酚	明胶	体积分数95%乙醇	4	0.38×10^{-13}~1.59×10^{-13}	[36]
		体积分数50%乙醇	25	0.39×10^{-11}~5.54×10^{-11}	
溶菌酶	WPI	乙酸钠缓冲液 pH=4.5	10	4.00×10^{-13}~1.54×10^{-9}	[48]
迷迭香精油	果胶	甲醇	室温	—	[37]
山梨酸	聚乙烯醇/细菌纤维素	水	25	0.24×10^{-8}~1.77×10^{-8}	[51]

3 结 语

综上所述,食品控释抗菌包装控释的激发机理主要为食品中溶剂引起聚合物基膜松弛后激发抗菌剂开始释放。控释的调速机理主要为通过控制聚合物基膜的微观结构、包装膜内各组分之间的相互作用以及包装膜所处环境,使聚合物的链段运动、自由体积的再分布、聚合物内抗菌剂跃迁通道的产生频率发生改变,从而调控抗菌剂的释放速率。

由于受到实验表征手段的限制,目前研究对控释机理的阐述仍较多局限于定性描述,无法对其中涉及的一些微观参数进行量化表征,因而很难建立准确的预测模型用于工业化生产。因此,需要开发新的测试方法或引入新的科学技术对控释机理中涉及的微观参数进行量化表征,结合智能技术以及计算机模拟技术对食品控释包装体系的控释机理进行更深入的研究,推进食品控释抗菌包装的发展。

参考文献:

[1] NETWORK A S,SITES U S. Vital signs:incidence and trends of infection with pathogens transmitted commonly through food—foodborne diseases[J]. **Morbidity & Mortality Weekly Report**,2011,55(14):392-395.

[2] PREVENTION(CDC). Incidence and trends of infection with pathogens transmitted commonly through food - foodborne diseases active surveillance network,10 U.S. sites,1996-2012[J]. **Morbidity & Mortality Weekly Report**,2013,62(15):283.

[3] MARDER E P,CIESLAK P R,CRONQUIST A B,et al. Incidence and trends of infections with pathogens transmitted commonly through food and the effect of increasing use of culture-independent diagnostic tests on surveillance-foodborne diseases active surveillance network,10 U.S. Sites,2013-2016[J]. **Morbidity & Mortality Weekly Report**,2017,66(15):397.

[4] 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 & Nutrition**,2016:1-14.

[5] NAGAI T. Drug delivery systems by controlled release[J]. **Journal of the Pharmaceutical Society of Japan**,1988,108(7):613-624.

[6] DANCKWERTS M,FASSIHI A. Implantable controlled release drug delivery systems:a review [J]. **Drug Development & Industrial Pharmacy**,2008,17(11):1465-1502.

[7] ZHU L Y,YAO S J. Study on the properties of complex films based on chitosan and sodium cellulose sulfate [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2012,31(2):166-170.

[8] FLOROS J D,NIELSEN P V,FARKAS J K. Advances in modified atmosphere and active packaging with applications in the dairy industry[J]. **Bulletin of the International Dairy Federation**,2000:22-28.

[9] MASTROMATTEO M,MASTROMATTEO M,CONTE A,et al. Advances in controlled release devices for food packaging applications[J]. **Trends in Food Science and Technology**,2010,21(12):591-598.

[10] BALASUBRAMANIAN A,ROSENBERG L E,YAM K,et al. Antimicrobial packaging:potential vs. reality—a review [J]. **Journal of Applied Packaging Research**,2009(3):193-221.

[11] 肖颖喆,赫喜海,王振中,等.聚乙烯醇缓释控释薄膜制造方法[P].中国:CN102391530A,2012.

[12] 刘全校,曹国荣,李东立,等.可受控释放杀菌剂的果蔬包鲜包装[P].中国:CN101601420A,2009.

[13] QIAN L L,JIN Z Y,DENG L. Preparation of inclusion complex of cinnamaldehyde and β-cyclodextrin by sealed thermal control method[J]. **Food and Fermentation Industries**,2007,33(12):13-16.

[14] BARRER R M,RIDEAL E K. Activated diffusion in membranes[J]. **Trans Faraday Soc**,1939,35(1):644-656.

[15] BARRER R M. Permeability in relation to viscosity and structure of rubber[J]. **Trans Faraday Soc**,1942,38(3):322-330.

[16] MEARES P. The diffusion of gases through polyvinyl acetate [J]. **Journal of the American Chemical Society**,1954,76(13):3415-3422.

[17] BRANDT W W. Model calculation of the temperature dependence of small molecule diffusion in high polymers [J]. **Journal of Physical Chemistry**,1959,63(7):1080-1084.

[18] DIBENEDETTO A T. Molecular properties of amorphous high polymers. I. A cell theory for amorphous high polymers[J]. **Journal of Polymer Science Part A:General Papers**,1963,1(11):3459-3476.

[19] DIBENEDETTO A T. Molecular properties of amorphous high polymers. II. An interpretation of gaseous diffusion through polymers[J]. **Journal of Polymer Science Part A:General Papers**,1963,1(11):3477-3487.

[20] PACE R J,DATYNER A. Statistical mechanical model for diffusion of simple penetrants in polymers. I. Theory[J]. **Journal of Polymer Science Part B:Polymer Physics**,1979,17(3):437-451.

[21] PACE R J,DATYNER A. Statistical mechanical model for diffusion of simple penetrants in polymers. II. Applications—nonvinyl polymers[J]. **Journal of Polymer Science Part B:Polymer Physics**,1979,17(3):453-464.

[22] PACE RJ,DATYNER A. Statistical mechanical model for diffusion of simple penetrants in polymers. III. Applications—vinyl and related polymers [J]. **Journal of Polymer Science Part B:Polymer Physics**,1979,17(3):465-476.

[23] FUJITA H. Diffusion in polymer-diluent systems[J]. **Advances in Polymer Science**,1961,3(1):1-47.

[24] COHEN M H,TURNBULL D. Molecular Transport in Liquids and Glasses[J]. **Journal of Chemical Physics**,1959,31(5):1164-1169.

[25] VRENTAS J S,DUDA J L,HUANG W J. Regions of Fickian diffusion in polymer-solvent systems[J]. **Macromolecules**,1986,19(6):1718-1724.

[26] VRENTAS J S,VRENTAS C M. Determination of Free-Volume Parameters for Solvent Self-Diffusion in Polymer-Solvent Systems[J]. **Macromolecules**,1995,28(13):4740-4741.

[27] TAKEUCHI H,TAKAHASHI K,NAKANO M. Mass transfer in single oil-impregnated microporous hollow fiber contactors[J]. **Ind. Eng. Chem. Res**,1990,29.

[28] MÜLLER-PLATHE F. Permeation of polymers—a computational approach[J]. **Acta Polymerica**,1994,45(4):259-293.

[29] IMRAN M,KLOUJ A,REVOL-JUNELLES A M,et al. Controlled release of nisin from HPMC,sodium caseinate,poly-lactic acid and chitosan for active packaging applications[J]. **Journal of Food Engineering**,2014,143(6):178-185.

[30] MODITSI M,LAZARIDOU A,MOSCHAKIS T,et al. Modifying the physical properties of dairy protein films for controlled release of antifungal agents[J]. **Food Hydrocolloids**,2014,39(2):195-203.

[31] BOONNATTAKORN R,CHONHENCHOB V,SIDDIQ M,et al. Controlled release of mangiferin using ethylene vinyl acetate matrix for antioxidant packaging[J]. **Packaging Technology & Science**,2015,28(3):241-252.

[32] ARCAN I,YEMENICIOĜLU 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.

[33] 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.

[34] 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.

[35] GEMILI S,YEMENICIOGLU 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.

[36] LIU F,AVENA-BUSTILLOS R J,CHIOU B S,et al. Controlled-release of tea polyphenol from gelatin films incorporated with different ratios of free/nanoencapsulated tea polyphenols into fatty food simulants[J]. **Food Hydrocolloids**,2017,62:212-221.

[37] GORRASI G. Dispersion of halloysite loaded with natural antimicrobials into pectins:characterization and controlled release analysis[J]. **Carbohydrate Polymers**,2015,127:47.

[38] BASTARRACHEA L,DHAWAN S,SABLANI S S. Engineering properties of polymeric-based antimicrobial films for food packaging:a review[J]. **Food Engineering Reviews**,2011,3(2):79-93.

[39] 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.

[40] 王建清, 刘光发, 张洪军. 一种湿敏性可控释放抗菌保鲜包装薄膜及其制备方法[P].中国:CN104945646A,2015.

[41] HANUŠOVÁK,V ÁPENKA L,DOBIÁŠJ,et al. Development of antimicrobial packaging materials with immobilized glucose oxidase and lysozyme[J]. **Central European Journal of Chemistry**,2013,11(7):1066-1078.

[42] FERNÁNDEZ A,SORIANO E,HERNÁNDEZ-MUÑOZ P,et al. Migration of antimicrobial silver from composites of polylactide with silver zeolites[J]. **Journal of Food Science**,2010,75(3):E186-193.

[43] BALDINO L,CARDEA S,REVERCHON E. Supercritical assisted enzymatic membranes preparation,for active packaging applications[J]. **Journal of Membrane Science**,2014,453(453):409-418.

[44] IMRAN M,KLOUJ A,REVOL-JUNELLES A M,et al. Controlled release of nisin from HPMC,sodium caseinate,poly-lactic acid and chitosan for active packaging applications[J]. **Journal of Food Engineering**,2014,143(6):178-185.
[45] ARCAN I,YEMENICIOGLU A. Controlled release properties of zein-fatty acid blend films for multiple bioactive compounds [J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**,2014,62(32):8238-8246.
[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 & Preservation**,2017,41(2).
[47] BUONOCORE G G,NOBILE M A D,PANIZZA A,et al. A general approach to describe the antimicrobial agent release from hi ghly swellable films intended for food packaging applicati ons [J]. **Journal of Controlled Release Official Journal of the Controlled Release Society**,2003,90(1):97-107.
[48] OZER B B P,UZ M,OYMACI P,et al. Development of a novel strategy for controlled release of lysozyme from whey protein isolate based active food packaging films[J]. **Food Hydrocolloids**,2016,61:877-886.
[49] CHEN X,LU L X,QIU X,et al. Controlled release mechanism of complex bio-polymeric emulsifiers made microspheres embedded in sodium alginate based films[J]. **Food Control**,2017,73:1275-1284.
[50] KASHIRI M,CERISUELO J P,DOMINGUEZ I,et al. Novel antimicrobial zein film for controlled release of lauroyl arginate (LAE)[J]. **Food Hydrocolloids**,2016,61:547-554.
[51] 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.

会 议 消 息

会议名称:第 10 届化学与化学工艺国际会议(ICCCP 2020)
会议时间:2020-02-26 至 2020-02-29
会议地点:日本,东京理科大学
主办单位:ICCCP 2020
会议官网:http://www.icccp.org/
会议简介:2020 年第 10 届化学与化学工艺国际会议将于 2020 年 2 月 26-29 日在日本东京理科大学召开。
投稿方式:1. 系统投稿:http://confsys.iconf.org/submission/icccp2020
2. 请将您的论文投至会议邮箱: icccp@cbees.org
出 版:被录用并注册成功的文章将根据论文主题发表到最合适的国际期刊,该论文集目前被 Chemical Abstracts Services (CAS), Ulrich's Periodicals Directory, CABI, Electronic Journals Library, Google Scholar, ProQuest, and Crossref 检索。
联 系 人:李女士
电 话: +86-28-87577778(中国大陆) / +852-3500-0137(中国香港)
邮 箱: icccp@cbees.org