

# 几种增塑剂与乳化剂对魔芋葡甘聚糖/ 乙基纤维素共混膜机械性质的影响

朱 芊,肖 满,陈 茜,姜发堂,严文莉\*

(湖北工业大学,生物工程与食品学院,湖北武汉 430068)

**摘 要:** 本文研究不同增塑剂或乳化剂的添加对魔芋葡甘聚糖/乙基纤维素复合膜(KE)机械性质的影响及其作用机理。结果表明,随着不同种类的增塑剂(癸二酸二丁酯、环氧大豆油、柠檬酸三乙酯)添加量的增加(5%~35%,w/w),复合膜的拉伸强度表现为先升高后降低( $p < 0.05$ ),而断裂伸长率呈现先降低后回升的趋势。乳化剂的添加(0.1%~0.9%,w/w)对于复合膜的拉伸强度不会产生显著影响,但其含量的增加会导致断裂伸长率先升高后降低( $p < 0.05$ )。癸二酸二丁酯添加量为20%时复合膜拉伸强度达到最大82.37 MPa。乳化剂司盘80添加量为0.7%时,断裂伸长率达到最大19.78%。基于以上结果,对增塑剂与乳化剂在KE膜上的作用机理进行了猜想并建立了假设模型。

**关键词:** 复合膜,增塑剂,乳化剂,拉伸强度,断裂伸长率

## Effects of plasticizers and emulsifiers on mechanical properties of konjac glucomannan/ethyl cellulose blend films

ZHU Qian, XIAO Man, CHEN Xi, JIANG Fa-tang, YAN Wen-li\*

(School of Biological Engineering and Food, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

**Abstract:** The impacts of the addition of different plasticizers and emulsifiers on mechanical properties of konjac glucomannan/ethyl cellulose (KE) blend films, and the mechanisms were mainly investigated in this study. Results indicated that the film had a first increase and later a decrease on tensile strength (TS) ( $p < 0.05$ ), and a first decrease but later increase trend on elongation ratio at breaking (EAB), with increased addition (5%~35%, w/w) of plasticizers (dibutyl sebacate, epoxidized soybean oil, and triethyl citrate). The addition (0.1%~0.9%, w/w) of emulsifiers (span 80, sucrose fatty acid ester, and Tween 80) did not show significant impact on TS of KE film, but would lead to a first increase and later a decrease on EAB ( $p < 0.05$ ). The TS of the blend film reached to 82.37 MPa when 20% dibutyl sebacate was added, as the EAB reached to 19.78% when 0.7% span 80 was added. Based on these results, a hypothesis model was proposed and an assumption of the mechanisms of plasticizers' and emulsifiers' impact on KE film was made.

**Key words:** blend film; plasticizers; emulsifiers; tensile strength; elongation at break

中图分类号:TS206.4

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2016)22-0320-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2016.22.054

目前,化学合成聚合物薄膜广泛应用于食品包装领域,由于其在自然环境中不能降解,食品塑料薄膜的大量使用导致了严重的环境污染问题。为了替代这种合成包装材料,可食性和可生物降解聚合物膜的研究和应用日益广泛<sup>[1]</sup>。随着人们对健康、营养、食品安全以及环境污染问题的关注,可食性食品包装膜是最具发展前景的食品包装方法之一,符合食品绿色包装的方向。

可食性包装膜是以天然可食性物质(如多糖、蛋白质和脂质等)为原料,通过不同分子间相互作用而

形成具有网络结构的薄膜,使用后丢弃在自然环境中可完全降解,不对环境产生污染<sup>[2]</sup>。天然高分子多糖作为成膜材料之一,已有广泛的研究报道,人们利用壳聚糖<sup>[3]</sup>、淀粉<sup>[4]</sup>和果胶<sup>[5]</sup>制备可食性膜并应用于食品包装。天然多糖魔芋葡甘聚糖(KGM)是一种可再生高分子多糖,易溶于水,可以吸收其自身体积80~100倍的水分,具有优良的成膜性<sup>[6-8]</sup>。乙基纤维素(Ethyl cellulose, EC)是纤维素碱化后与氯乙烷化学反应制备的具有热塑性、非离子型纤维素烷基醚,不溶于水,具有良好的机械性和成膜性<sup>[9]</sup>,被广泛应

收稿日期:2016-04-14

作者简介:朱芊(1991-),女,硕士研究生,研究方向:食品科学,E-mail:Athenaqq@126.com。

\* 通讯作者:严文莉(1980-),女,实验师,研究方向:食品胶体及生物膜,E-mail:ylily.girl@163.com。

基金项目:国家自然科学基金(31271832,31301428)。

用于药物的包埋<sup>[10]</sup>多糖基可食性膜的制备过程中,为了提高膜的机械性,会添加增塑剂和乳化剂<sup>[11]</sup>。对于乙基纤维素膜,为了改善膜的柔韧性,可以加入增塑剂<sup>[12]</sup>。

黎星等<sup>[13]</sup>通过以癸二酸二丁酯作增塑剂,将水溶性的魔芋葡甘聚糖和水不溶的乙基纤维素按7:3的比例共混成乳液,干燥后制备出一种机械性能好以及阻湿性强的多糖共混膜。万力等<sup>[14]</sup>在此基础上进一步对魔芋葡甘聚糖与乙基纤维素共混成膜机理的研究,结果显示复合乳液随着水分的蒸发,多糖分子逐渐浓缩聚集,最后愈合组装成膜,EC分子呈球形粒子均匀的分布在KGM连续相中。在该系列研究中,并未讨论增塑剂与乳化剂对KGM/EC复合膜机械性能的影响。因此,本文在KGM/EC的膜的制备过程中,分别添加不同种类和含量的增塑剂和乳化剂,分析其对膜拉伸强度和断裂伸长率的影响,讨论其作用机理。主要研究癸二酸二丁酯、环氧大豆油和柠檬酸三乙酯三种增塑剂和司盘80、蔗糖脂肪酸酯二种乳化剂对KGM/EC共混膜机械性质的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

魔芋葡甘聚糖 武汉力诚生物科技有限公司,食品级,纯度>95%;乙基纤维素、癸二酸二丁酯、环氧大豆油、柠檬酸三乙酯 国药集团化学试剂有限公司,均为分析纯;司盘80 天津市东丽区天大化学试剂厂,化学纯;蔗糖脂肪酸酯 杭州瑞霖化工有限公司,化学纯;吐温80 中国医药上海化学试剂站,化学纯;乙酸乙酯 西陇化工股份有限公司,分析纯。

TMS-PRO 质构分析仪 美国FTC公司;CH-1-S 千分手式薄膜测厚仪 上海六菱仪器厂;AR323CN 电子分析天平 奥豪斯(上海)有限公司;SZ-93 自动双重纯水蒸馏器 上海亚荣生化仪器厂;HH-2 型数显恒温水浴锅 国华电器有限公司;JJ-1 型增力电动搅拌器 江苏省金坛市医疗仪器厂;GZX-9030MBE 鼓风干燥箱 上海博讯实业有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 KGM/EC复合膜的制备 参照Li等<sup>[11]</sup>的方法。称取0.7 g KGM溶于100 mL去离子水中,在60℃水浴下,600 r/min搅拌2 h,制得KGM水溶液。将0.3 g EC溶于15 mL乙酸乙酯,分别加入占EC重量的5%、10%、15%、20%、25%、30%、35% (w/w)的癸二酸二丁酯、环氧大豆油、柠檬酸三乙酯,在60℃水浴下,500 r/min搅拌10 min,制得EC溶液。将EC溶液加入到KGM水溶液中,在60℃水浴下,900 r/min搅拌30 min,制得均相乳液。将复合乳液倒入15 cm×15 cm玻璃模具,置于烘箱中,60℃下干燥10 h后,再置于25℃,53%湿度条件下平衡48 h后揭膜。

将0.3 g EC溶于15 mL乙酸乙酯,再将乳化剂(司盘80、蔗糖脂肪酸酯、吐温80)按占乙酸乙酯重

量的0.1%、0.3%、0.5%、0.7%、0.9% (w/w)以及5% (占EC重量)癸二酸二丁酯加入乙酸乙酯中,在60℃水浴下,500 r/min搅拌10 min,制得EC溶液。将EC溶液加入到KGM水溶液中,在60℃水浴下,900 r/min搅拌30 min,制得均相乳液。将复合乳液倒入15 cm×15 cm玻璃模具,置于烘箱中,60℃下干燥10 h后,再置于25℃,53%湿度条件下平衡48 h后揭膜。

1.2.2 膜机械性质测定 根据国标《GB/T 13022-1991 塑料薄膜拉伸强度性能实验方法》的方法测定膜的拉伸强度(Tensile strength)和断裂伸长率(Elongation at break)<sup>[15]</sup>。取平整、无缺陷、无气泡的KGM/EC复合膜,用刀片裁成50 mm×10 mm的长条,并任取6个点,测定其膜厚。用质构仪测定膜的机械性时,设定有效拉伸长度为30 mm,拉伸速度为30 mm/min,读出膜断裂时的拉力读数和伸长量,相同实验条件下重复测定6次,记录数据,并代入公式(1)和公式(2),进行计算。

$$TS = \frac{P}{b \times d} \quad \text{式(1)}$$

式(1)中,TS为膜的拉伸强度(MPa);P为最大载荷(N);b为膜的宽度(mm);d为膜的厚度(mm)。

$$EAB = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

式(2)中,EAB为膜的断裂伸长率(%);L<sub>0</sub>为膜断裂前的长度(mm);L<sub>1</sub>为膜断裂后的长度(mm)。

### 1.3 数据处理

每个样品至少重复测定5次,取平均值±标准偏差。采用SPSS 19.0软件进行数据统计分析。均数之间比较采用T检验和ANOVA方差分析, $p < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 增塑剂对KGM/EC复合膜机械性质的影响

本实验选用癸二酸二丁酯(DBS)、环氧大豆油(ESO)和柠檬酸三乙酯(TEC)三种不溶或微溶于水(ESO 25℃下在水中溶解度<0.01 g),易溶于有机溶剂,且可用于食品包装材料的绿色安全性增塑剂,研究其对KGM/EC复合膜机械性质的影响。DBS具有水不溶性,与乙基纤维素相容性好,具有很好的安全性<sup>[16]</sup>;ESO是含有三元氧环的化合物<sup>[17]</sup>,TEC是乙烯基树脂,是环境友好型、安全的增塑剂类型之一,被用于可食性膜的制备<sup>[18-19]</sup>。

增塑剂对膜机械性的影响见图1。添加DBS、TEC、ESO作增塑剂后,KGM/EC共混膜拉伸强度均有显著性的提升( $p < 0.05$ )。其中随着DBS、TEC添加量的升高,复合膜拉伸强度先升高后降低。拉伸强度最高值均出现在DBS、TEC含量20%时,分别达到82.37 MPa和78.53 MPa。ESO的加入虽然也使拉伸强度得以提升,但拉伸强度随其添加量的增加无显著性变化。随着三种增塑剂的加入,复合膜的断裂伸长率均出现先下降后升高的趋势。

通过现有的三个关于增塑机理的理论:润滑理论、凝胶理论和自由体积理论,对与增塑剂作用机制

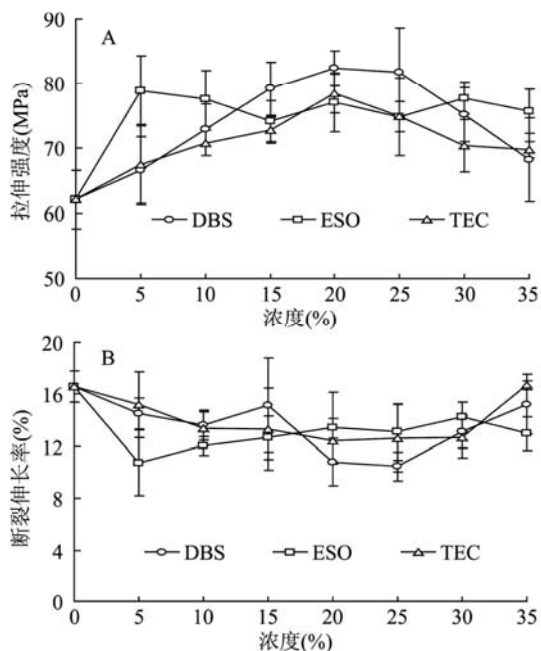


图1 不同增塑剂对KGM/EC复合膜拉伸强度(A)和断裂伸长率(B)的影响

Fig.1 Effects of plasticizers (DBS, ESO, and TEC) on tensile strength (A) and elongation at break (B) of KGM/EC blend films

的讨论,要求增塑剂与聚合物要具有好的相容性。一般要求聚合物能够容纳尽可能多的增塑剂并形成均一稳定的体系<sup>[20]</sup>。而增塑剂与聚合物的相容性又与增塑剂的极性和结构有关<sup>[21]</sup>。初步分析判断,所选增塑剂应该更多作用于同溶解性体系。由于所加入的增塑剂不溶于水而易溶于有机溶剂,根据相似相容原理,所选增塑剂的加入应该多作用于混合体系中溶于乙酸乙酯的EC分子。增塑剂DBS和TEC的添加,能减少EC链间的分子间相互作用,使得EC分子链移动性增加<sup>[22-23]</sup>,聚成球型的分子链<sup>[14]</sup>得到一定舒展,从而加强了KGM与EC分子之间的相互作用,使在成膜过程中KGM与EC分子紧密的结合在一起,形成空间网络结构,进而增强了膜的拉伸性能。但当添加过多增塑剂时,过多的增塑剂分子进入KGM/EC网络结构中,影响了KGM与EC的相互作用,使网络结构松散,从而降低了拉伸强度。而由于KGM/EC复合体系中,KGM与EC固形物含量比例为7:3,亲水性的KGM占大多数,而增塑剂主要起作用的EC分子只占到30%,对其的增加柔韧性和塑性的结果并不能反映到复合膜整体,反而因为增塑剂使互穿网络结构加强,复合膜强度更高,从而随着增塑剂量的增加,断裂伸长率与膜强度呈现相反趋势。

## 2.2 乳化剂对KGM/EC复合膜机械性质的影响

在本实验中向含5% DBS的KGM/EC复合乳液中添加司盘80、蔗糖脂肪酸酯和吐温80,当加入吐温80时,制备的膜厚薄不均,且加入量越多,出现厚薄不均的情况越严重。表明KGM/EC乳液出现了相分离,吐温80不适合作为该乳液的乳化剂。因此本实验主要选择司盘80和蔗糖脂肪酸酯作为研究对象。

由图2可以看出,随着司盘80用量的增加,KGM/EC复合膜的拉伸强度和断裂伸长率均出现先增加后降低的趋势,在司盘80添加0.7%时,膜的拉伸强度和断裂伸长率出现最大值(78.97 MPa, 19.78%)。KE膜的拉伸强度与断裂伸长率均在蔗糖脂肪酸酯添加量为0.1%时稍有提升(70.56 MPa, 18.25%),随着蔗糖脂肪酸酯用量的增加,拉伸强度从71 MPa降低到42 MPa,断裂伸长率由18.25%降低到8.04%。这可能是由于少量乳化剂对乳液共混起到促进作用,而当乳化剂所占复合物的比例过大,乳化剂分子的性质影响了膜的性能。

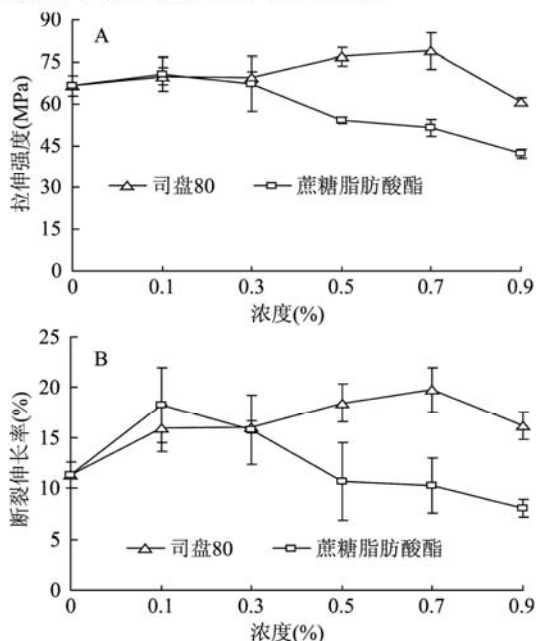


图2 不同乳化剂对KGM/EC复合膜拉伸强度(A)和断裂伸长率(B)的影响

Fig.2 Effects of emulsifiers on tensile strength (A) and elongation at break (B) of KGM/EC blend films

为了改善KGM/EC复合膜的机械性能,司盘80的最适加入比例为0.7%,蔗糖脂肪酸酯的最适加入比例为0.1%。根据GB2760-2007食品添加剂卫生使用标准,司盘80在食品中的最大使用量为3 g/kg,蔗糖脂肪酸酯在食品中的最大使用量为1.5 g/kg,而本实验中乳化剂的最适加入量司盘80 0.7% (0.945 g/kg总固形物含量)和蔗糖脂肪酸酯0.1% (0.135 g/kg总固形物含量)均在最大使用量范围内,符合食品添加剂卫生使用标准。

## 2.3 增塑剂与乳化剂对KGM/EC膜作用的机理分析与模型图

向KGM/EC膜中加入一定量的增塑剂(20%柠檬酸三乙酯与20%的癸二酸二丁酯)和乳化剂(0.7%司盘80)后,与纯的KGM膜和纯的EC膜进行比较,膜的拉伸强度和断裂伸长率都有提高,其机理解释见图3。在KGM/EC共混乳液中,两种多糖分子形成了均相体系,共混后乙基纤维素会形成球形油滴,与KGM形成稳定的复合乳液。EC球形油滴均匀分布在KGM水溶液中。增塑作用机理:柠檬酸三乙酯(TEC)或癸二酸二丁酯的脂溶性增塑剂分子

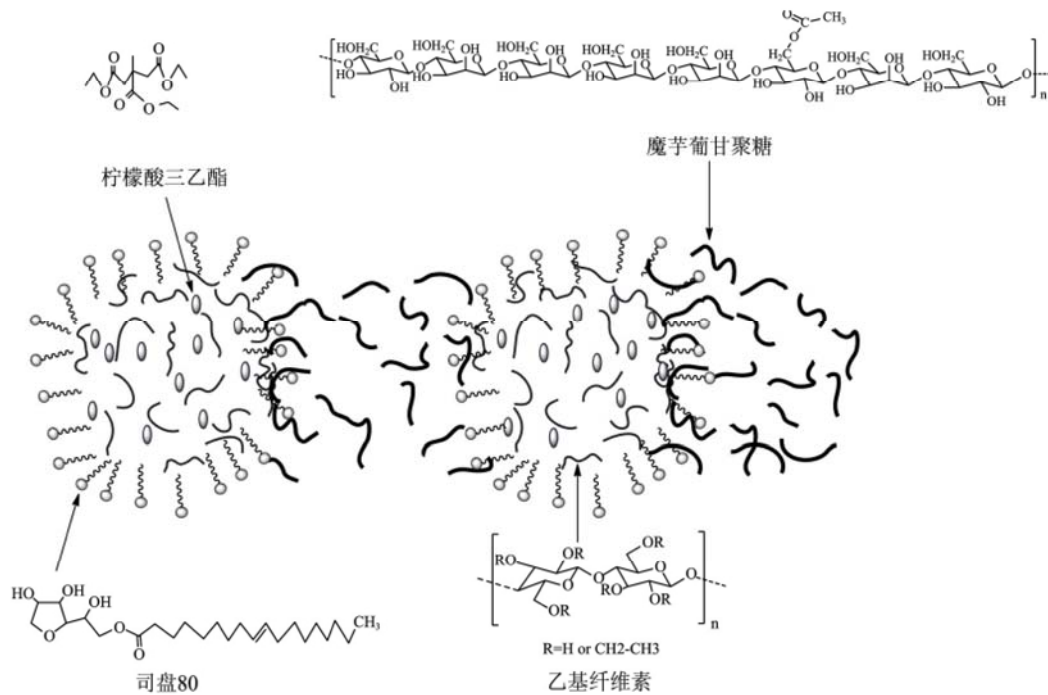


图3 KGM/EC膜中加入增塑剂和乳化剂作用机理模型图

Fig.3 The interaction model of KGM/EC blended films with plasticizers and emulsifiers

与 EC 分子间形成氢键,使 EC 分子之间的距离增大。乳化作用机理:司盘 80 吸附在油水界面,增加了 EC 油滴间距,防止出现小油滴聚集成大油滴而出现的相分离。EC 亲水的分子链片段渗透到水溶液中,在 O/W 界面与 KGM 的 -OH 基团反应,KGM 和 EC 分子间形成氢键相互作用。随着干燥过程的进行,水和乙酸乙酯慢慢从乳液中蒸发,多糖分子浓度增加,KGM 和 EC 分子间互相交联,相互扩散。相互交联缠绕的 KGM 分子和 EC 球形油滴会形成有序的网络结构。当水和乙酸乙酯蒸发完成时,形成致密均匀的薄膜。

### 3 结论

通过测定添加增塑剂(癸二酸二丁酯、环氧大豆油、柠檬酸三乙酯)和乳化剂(司盘 80、蔗糖脂肪酸酯)后的 KGM/EC 膜的拉伸强度和断裂伸长率,得出癸二酸二丁酯和柠檬酸三乙酯的添加量为 20% 时复合膜的拉伸强度最佳(82.37、78.53 MPa),增塑剂的加入使断裂伸长率呈现减弱趋势;环氧大豆油对于 KGM/EC 复合体系的作用与其添加量没有显著性关系。司盘 80 添加量为 0.7%,蔗糖脂肪酸酯的添加量为 0.1% 时,复合膜拉伸强度达到最优(78.97 MPa 和 70.56 MPa),同时断裂伸长率达到最佳(19.78%, 18.25%)。本文研究的增塑剂主要增强了 KGM/EC 复合膜的拉伸强度,而乳化剂的加入有助于改善其柔韧性。

### 参考文献

[1] Krochta J M, De Mulder - Johnston C. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities [J]. Food Technology, 1997, 51 (2) : 61-74.

[2] Falguera V, Quintero J P, Jiménez A, et al. Edible films and

coatings: structures, active functions and trends in their use [J]. Trends in Food Science & Technology, 2011, 22 (6) : 292-303.

[3] Dutta P K, Tripathi S, Mehrotra G K, et al. Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications [J]. Food Chemistry, 2009, 114 (4) : 1173-1182.

[4] Jiménez A, Fabra M J, Talens P, et al. Edible and biodegradable starch films: a review [J]. Food & Bioprocess Technology, 2012, 5 (6) : 2058-2076.

[5] Espitia P J P, Du W X, Avena-Bustillos R D J, et al. Edible films from pectin: physical - mechanical and antimicrobial properties - a review [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 35 (3) : 287-296.

[6] Jia D, Fang Y, Yao K. Water vapor barrier and mechanical properties of konjac glucomannan - chitosan - soy protein isolate edible films [J]. Food and Bioprocess Technology, 2009, 87 (1) : 7-10.

[7] Chen J, Liu C, Chen Y, et al. Structural characterization and properties of starch/konjac glucomannan blend films [J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 74 (4) : 946-952.

[8] Jiang Q G, Li B, Kennedy J F, et al. Quick dissolvable, edible and heatsealable blend films based on konjac glucomannan - gelatin [J]. Food Research International, 2006, 39 (5) : 544-549.

[9] Reki G S, Jambhekar S S. Ethylcellulose - a polymer review [J]. Drug Development and Industrial Pharmacy, 1995, 21 (1) : 61-77.

[10] Murtaza G. Ethylcellulose microparticles: a review [J]. Acta Poloniae Pharmaceutica, 2012, 69 (1) : 11-22.

[11] Peressini D, Bravin B, Lapasin R, et al. Starch - methylcellulose based edible films: rheological properties of film-forming dispersions [J]. Journal of Food Engineering, 2003, 59

(下转第 335 页)

and monoglycerides against *Helicobacter Pylori* [J]. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 2003, 36 (1-2) : 9-17.

[11] Kabara J J. Toxicological, bacteriocidal and fungicidal Properties of fatty-acids and some derivatives [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1979, 56 (11) : 760-769.

[12] 张璐. 脂肪酸及其衍生物抑菌活性定量构效关系研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010: 15-16.

[13] Gómez-López V M, Ragaert P, Ryckeboer J, et al. Shelf-life of minimally processed cabbage treated with neutral electrolysed oxidising water and stored under equilibrium modified atmosphere International [J]. *Journal of Food Microbiology*, 2007, 117 (1) : 91-98.

[14] 张春云. 延迟贮藏和热处理对红富士苹果虎皮病和品质的研究 [D]. 西安: 西北农林科技大学, 2013: 15-18.

[15] 王风霞, 陆文文, 杨利侠, 等. 低温及-处理对天水“花牛”苹果贮藏品质与生理变化的影响分析 [J]. *食品科学*, 2014, 35 (22) : 346-349.

[16] 郑丽静, 聂继云, 李明强, 等. 苹果风味评价指标的筛选研究 [J]. *中国农业科学*, 2015, 48 (14) : 2796-2805.

[17] 关军峰. 果实品质生理 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 15-17.

[18] Lu R. Multispectral imaging for predicting firmness and soluble solids content of apple fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2004, 31 (2) : 147-157.

[19] 聂继云, 李志霞, 李海飞, 等. 苹果理化品质评价指标研究 [J]. *中国农业科学*, 2012, 45 (14) : 2895-2903.

[20] 唐贵芳. 粉红女士苹果多酚氧化酶特性及品果汁防褐变方法的研究 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2009: 13-18.

(上接第 319 页)

[1]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2011, 31 (1) : 73-76.

[12] 郑瑞婷, 刘长海, 沈湘. 风味蛋白酶水解板栗蛋白工艺研究 [J]. *广东农业科学*, 2010 (4) : 146-148.

[13] P A Harnedy, M B Keeffe, R J FitzGerald. Purification and identification of dipeptidyl peptidase (DPP) IV inhibitory peptides from the macroalga *Palmaria palmate* [J]. *Food Chemistry*, 2015 (172) : 400-406.

[14] 许慧娇, 郝艳宾, 齐建勋, 等. 核桃蛋白酶解物体外抗氧化及降血压活性研究 [J]. *农产品加工·创新版*, 2009 (10) : 38-42.

[15] M R Marques, R A M S Freitas, A C C Carlos, et al. Peptides from cowpea present antioxidant activity, inhibit cholesterol synthesis and its solubilisation into micelles [J]. *Food Chemistry*, 2015 (168) : 288-293.

[16] Q J Yan, L H Huang, Q Sun, et al. Isolation, identification and synthesis of four novel antioxidant peptides from rice residue protein hydrolyzed by multiple proteases [J]. *Food Chemistry*, 2015 (179) : 290-295.

[17] 李学鹏, 王祺, 励建荣, 等. 海参酶解液的体外抗氧化活性研究 [J]. *食品工业科技*, 2014, 35 (24) : 100-103.

(上接第 323 页)

(1) : 25-32.

[12] Verhoeven E, De Beer TRM, Van den Mooter G, et al. Influence of formulation and process parameters on the release characteristics of ethylcellulose sustained-release mini-matrices produced by hot-melt extrusion [J]. *European Journal of Pharmaceutics & Biopharmaceutics*, 2008, 69 (1) : 312-319.

[13] Li X, Jiang F, Ni X, et al. Preparation and characterization of konjac glucomannan and ethyl cellulose blend films [J]. *Food Hydrocolloids*, 2015 : 229-236.

[14] 万力, 肖满, 倪学文, 等. 魔芋葡甘聚糖/乙基纤维素共混成膜机理的研究 [J]. *湖北工业大学学报*, 2016, 31 (1) : 81-84.

[15] GB/T 13022-1991 塑料薄膜拉伸强度性能实验方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.

[16] 汪多仁. 绿色增塑剂 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2011: 152.

[17] 梅允福, 季刚, 姜浒, 等. 绿色环氧大豆油增塑剂的性质、用途和绿色节能合成 [J]. *广州化工*, 2010, 38 (3) : 43-45.

[18] Park H M, Misra M, Drzal L T, et al. "Green "

nanocomposites from cellulose acetate bioplastic and clay: effect of eco-friendly triethyl citrate plasticizer [J]. *Biomacromolecules*, 2004, 5 (6) : 2281-2288.

[19] Yang D, Peng X, Zhong L, et al. "Green" films from renewable resources: properties of epoxidized soybean oil plasticized ethyl cellulose films [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 103 : 198-206.

[20] 张可喜, 杜杰. 材料合成与制备研究 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014: 22.

[21] 夏晓明, 宋之聪. 功能助剂 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 150.

[22] Aulton M E, Abdul-Razzak M H, Hogan J E. The mechanical properties of hydroxypropylmethylcellulose films derived from aqueous systems part 1: the influence of plasticisers [J]. *Drug Development & Industrial Pharmacy*, 2008, 7 (6) : 649-668.

[23] Rohera B D, Parikh N H. Influence of plasticizer type and coat level on surelease<sup>®</sup> film properties [J]. *Pharmaceutical Development & Technology*, 2002, 7 (4) : 407-420.

《食品工业科技》愿为企业铺路、搭桥!