

丁香精油微胶囊/大豆分离蛋白膜制备及其抗菌性研究

Preparation and antimicrobial activities of SPI/clove oil microcapsule films

董 增 曹稳根 王海潮 贾桂琪 张兴桃 高贵珍
DONG Zeng CAO Wen-gen WANG Hai-chao JIA Gui-qi ZHANG Xing-tao GAO Gui-zhen

(宿州学院生物与食品工程学院, 安徽 宿州 234000)

(School of Biotechnology and Food Engineering, Suzhou University, Suzhou, Anhui 234000, China)

摘要:采用饱和水溶液法,用 β -环糊精包埋丁香精油制备微胶囊抗菌剂,添加到大豆分离蛋白中制备抗菌性薄膜,测试添加不同量丁香精油微胶囊对制备抗菌膜机械性能和抑菌效果的影响。结果表明:所制的微胶囊包埋率为 $(67.42 \pm 3.82)\%$,具有缓释效果,添加较多量微胶囊抗菌剂的薄膜机械性能变差,但是对枯草芽孢杆菌和大肠杆菌具有较好的抑制效果。

关键词:丁香精油;微胶囊;大豆分离蛋白;机械性能;抗菌性
Abstract: Clove oil was loaded into β -Cyclodextrin (β -CD) using the saturated aqueous solution method. Antibacterial film was prepared by adding the microcapsule into Soy Protein Isolate (SPI) film, microcapsule embedding ratio, the mechanical properties of films and the bacteriostatic action to *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli* were determined. The results showed that the embedding ratio was $(67.42 \pm 3.82)\%$; the effect of bacteriostatic action to *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli* of film adding more microcapsule was better, but the mechanical properties were not very well.

Keywords: clove oil; microcapsule; soy protein isolate; mechanical properties; antibacterial

抑菌包装材料通常使用无机、有机和天然的成分作为抗菌剂,通过直接或者间接的方式达到抗菌的目的。由于人们对化学合成材料和防腐剂的担忧,天然大分子复合抗菌剂包装以其低毒、低环境污染受到广泛的关注^[1]。

天然抗菌剂主要有壳聚糖、有机酸、多肽(如乳酸链球菌肽)、一些植物提取物和精油类^[2]。丁香精油、肉桂精油等具有较高的抑菌活性,被广泛地应用于抗菌膜的研究^[3]。但由于精油类物质易挥发,对温度、光、热等不稳定,难溶于水等

特性,限制了其在复合材料中的应用^[4]。利用微胶囊技术对精油类物质进行包裹,可以增加其稳定性,并能起到缓释抑菌的效果^[5]。有研究通过添加精油类微胶囊提高材料的抗菌性,如岳淑丽等^[6]研制了肉桂精油微胶囊抗菌纸,并应用于圣女果的保鲜,结果表明添加 1.2 g/50 mL 肉桂精油胶囊抗菌纸对圣女果的保鲜效果最好;李芳等^[7]将制备的艾蒿油微胶囊添加到聚氨酯中,使聚氨酯的柔软度和力学性能改变,并对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌及黄曲霉菌具有一定的抑制性;含有丁香精油微胶囊的抗菌淀粉膜和聚乙烯醇抑菌膜也有报道^[8-9]。还有直接添加丁香精油制备具有优良抗氧化和抑菌性的大豆分离蛋白膜^[10],但是添加丁香精油微胶囊制备抗菌蛋白膜材料未见报道。

本试验采用 β -环糊精为壁材,丁香精油作为芯材制备丁香精油微胶囊,探讨微胶囊加入量对大豆分离蛋白膜机械性能和抑菌性的影响,为开发具有抗菌缓释的包装材料提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验材料

丁香:干制丁香香料,购买于安徽省亳州市;
大豆分离蛋白:谷神生物科技集团有限公司;
 β -环糊精:化学纯,国药集团化学试剂有限公司;
无水乙醇、石油醚、甘油:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;
山梨醇:生化试剂,阿拉丁生物试剂有限公司;
大肠杆菌、枯草芽孢杆菌:宿州学院生物与食品工程学院微生物实验室提供。

1.1.2 试验仪器

电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9053A 型,上海一恒科学仪器有限公司;
恒温振荡培养箱:BS-1EA 型,金坛市杰瑞尔电器有限公司;
洁净工作台:WT-2ND 型,北京王堂蓝翼科技有限公司;

基金项目:宿州区区域发展协同创新中心全国开放课题(编号:2014SZXTKF18);宿州学院学术技术带头人资助项目(编号:校人字[2016]3 号)

作者简介:董增(1986—),男,宿州学院助教,硕士。
E-mail: szxydz1986@163.com

收稿日期:2017—07—23

可见分光光度计:722型,上海元析仪器有限公司;
旋转蒸发器:RE 52-86A型,上海亚荣生化仪器厂;
循环水式多用真空泵:SHZ-DIII型,巩义市予华仪器有限公司;
数显酸度计:PHS-3C型,上海仪电科学仪器股份有限公司;
超声波细胞破碎仪:XO-250型,南京先欧仪器制造有限公司;
色差仪:WSC-S型,上海仪电物理光学仪器有限公司;
质构仪:TMS-PRO型,美国FTC公司。

1.2 试验方法

1.2.1 丁香油的提取 采用索氏抽提装置提取丁香油,以石油醚(60~90℃)作提取剂,在85℃的水浴锅中水浴加热回流2 h。提取液在40℃下旋转蒸发,除去石油醚,85℃干燥至恒重,即可得到粗丁香精油。将制好的粗丁香精油转移至棕色瓶中,4℃保存待用。

1.2.2 微胶囊制备 参考邓靖等^[11]饱和水溶液法制备丁香精油-β-环糊精微胶囊。称取一定量的β-环糊精按照1:6配比用蒸馏水搅拌溶解,配制体积比1:20的丁香精油与60%乙醇溶液,按照芯壁比1:6(mL/g)逐滴加入β-环糊精溶液中,用超声波细胞破碎仪65 W超声13 min混匀,60℃恒温30 min后取出,冷却至室温后4℃静置24 h,抽滤,用蒸馏水洗涤滤渣,除去表面未包合的β-环糊精,50℃干燥至恒重,即可得丁香精油微胶囊。

1.2.3 丁香油微胶囊化效果评价

(1) 微胶囊得率的测定:按式(1)计算微胶囊得率。

$$Y = \frac{m_3}{m_1 + m_2} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:

- Y——微胶囊得率,g;
- m₁——使用的丁香精油质量,g;
- m₂——β-环糊精质量,g;
- m₃——干燥后得到的微胶囊质量,g。

(2) 微胶囊包埋率的测定:参考刘楠楠等^[12]方法测定表面油含量;参考孙爱兰等^[13]方法测定总油含量。通过式(2)计算包埋率,重复试验3次。

$$EE = \frac{w_2 - w_1}{w_2} \times 100\%, \tag{2}$$

式中:

- EE——包埋率,%;
- w₁——表面油含量,g;
- w₂——总油含量,g。

(3) 丁香油微胶囊缓释性的测定:采用热重分析法。扫描温度:20~800℃;气氛:氮气;扫描速度:20℃/min。测定丁香精油微胶囊、β-环糊精的热重曲线以及热稳定性曲线。

1.2.4 膜的制备 参考Cho等^[14]的方法制备。称取5 g SPI溶解于90 mL蒸馏水中,加入1.25 g甘油和山梨醇(质量比1:1)作为增塑剂,用氢氧化钠溶液调pH为10,然后将混合液放入70℃水浴中加热搅拌30 min。分别制备10 mL含有

0.00,0.025,0.050,0.10,0.20 g的丁香油微胶囊溶液,然后将该溶液加入到SPI膜溶液中,分别记为SPI_{0.0}、SPI_{0.5}、SPI_{1.0}、SPI_{2.0}和SPI_{4.0}。膜液在8 000 r/min均质10 min,脱气,用4层纱布过滤除去膜液中的不溶物。然后取25 mL膜液分别延流在铝盘(直径9 mm)上,并在室温条件下干燥2 d后放入装有饱和NaBr溶液的干燥器中平衡48 h待性能测试。

1.2.5 膜性能测定

(1) 吸水率和膜溶解性的测定:分别将不同微胶囊含量的蛋白膜剪成20 mm×20 mm,干燥后称重记为m₁,将膜放入试管中,加入20 mL的蒸馏水,在25℃的环境下溶解24 h,然后将膜捞出,用滤纸擦掉其表面水分,称重记为m₂,放入干燥箱中干燥至恒重,称重记为m₃^[15]。膜的吸水率和溶解性分别按式(3)、(4)计算,重复操作3次。

$$WA = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\%, \tag{3}$$

$$WS = \frac{m_1 - m_3}{m_1} \times 100\%, \tag{4}$$

式中:

- WA——吸水率,%;
- WS——溶水率,%;
- m₁——膜的初始质量,g;
- m₂——吸水后膜质量,g;
- m₃——水溶后剩余膜质量,g。

(2) 抗拉强度与断裂伸长率的测定:根据文献^[16],用质构仪测定膜的抗拉强度(TS)和断裂伸长率(E)。每种膜平均测定3个样品,样品膜的尺寸为15 mm×120 mm。按式(5)、(6)计算膜的拉伸强度(TS)和断裂伸长率(E)。

$$TS = \frac{F_t}{D \times L}, \tag{5}$$

$$E = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%, \tag{6}$$

式中:

- F_t——最大拉力,N;
- L——膜样品的宽度,mm;
- D——样品的厚度,mm;
- E——膜的断裂伸长率,%;
- L₁——膜断裂后的长度,mm;
- L₀——膜断裂前的长度,mm。

(3) 透光性和色差的测定:将膜剪成适当大小贴在比色皿的表面,在600 nm下测其吸光度,不透明度为样品膜的吸光度与薄膜厚度的比值。SPI膜的颜色用色差仪测得,薄膜的色相和饱和度用式(7)、(8)计算:

$$H = \tan^{-1}(\frac{b^*}{a^*}), \tag{7}$$

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}, \tag{8}$$

式中:

- H——色相;
- C——饱和度;
- a*——红度;
- b*——黄度。

1.2.6 抑菌性能的测定 取 0.2 mL 浓度 10^6 个/mL 的大肠杆菌和金黄色葡萄球菌悬液涂布在培养基上,将经过紫外灭菌 30 min 的大豆分离蛋白膜(直径 10 mm)贴在接种的培养基上,37 ℃ 恒温培养 3 d,观察培养基表面菌落生长状况。

1.2.7 数据分析 所得数据均为 3 次重复试验的平均值,用 SPSS 进行数据分析,平均数之间显著性差异($P<0.05$)通过最小显著差值(Least Significant Difference)进行分析,用 Origin 8.5 作图。

2 结果与分析

2.1 微胶囊性能

2.1.1 丁香精油微胶囊化效果评价 本研究制备的微胶囊产品得率为 $(69.04\pm2.14)\%$,与邓靖等^[11]制备的微胶囊得率一致,产品为白色粉末状,有淡淡的丁香香味。微胶囊的包埋率 $(67.42\pm3.82)\%$,低于邓靖等^[11]制备的 76.86%包埋率,可能是在向 β -环糊精饱和溶液中滴加丁香油时,丁香油滴加速度和搅拌速度不一致造成的。丁香精油微胶囊化的效果见表 1。

表 1 丁香精油微胶囊化的效果

Table 1 Results of microencapsulation of clove essential oil

essential oil			%
微胶囊得率	表面油含量	包埋油含量	包埋率
69.04 ± 2.14	0.162 ± 0.003	0.50 ± 0.05	67.42 ± 3.82

2.1.2 微胶囊缓释性 丁香精油微胶囊和 β -环糊精的热失重曲线见图 1。由图 1 可知, β -环糊精的失重过程分为两个阶段:第一阶段在 20~120 ℃, β -环糊精的损失率为 18.97%,这一般是由于 β -环糊精中残留水分的挥发造成;随着温度的继续升高, β -环糊精的结合水或低分子量部分开始降解,在 300 ℃ 处有机成分迅速降解,在 400 ℃ 处降解完全。丁香精油微胶囊在 β -环糊精发生热降解过程之前一直处于缓慢、相对稳定的失重状态,可能是随着温度的升高,被包埋在 β -环糊精空腔中的丁香精油开始挥发^[17]。由此可推知,在 300 ℃ 之前的失重可能主要是丁香精油的损失,其失重率达到 16.02%。通过对 2 条热重曲线的比较可以推测出 300 ℃ 可

能是微胶囊中的丁香精油从 β -环糊精空腔中挥发出来的最终温度。说明丁香精油在被 β -环糊精包裹后,能有效降低丁香精油的挥发,从而达到了微胶囊的缓释效果。

2.1.3 微胶囊的差热分析 丁香精油微胶囊和 β -环糊精的差热分析曲线见图 2。由图 2 可知, β -环糊精在 50~100 ℃ 有一个吸热峰,峰温为 79.89 ℃,结构分析表明 β -环糊精含有 11 个结晶水,其中笼内 6 个,笼外 5 个,有试验^[18]证明笼外的 5 个结晶水可以通过恒温处理脱去。由此可知 β -环糊精在 79.89 ℃ 的吸热峰为脱去 6 个笼内水的吸热峰。在 292.26 ℃ 有一个大的放热峰,这是由于 β -环糊精的氧化分解。

在丁香精油- β -环糊精微胶囊的差热分析图谱中可以明显看到 β -环糊精脱去 6 个笼内水的吸热峰已经消失,说明丁香精油占据了 β -环糊精分子的笼内空间;同时出现了新的特征峰,可以推测出丁香精油与 β -环糊精之间并不是单纯的吸附,而是发生了分子间相互作用,从而形成了新的物相,即丁香精油- β -环糊精微胶囊^[19]。在 301.68 ℃ 时微胶囊的图谱上有一个很小的吸热峰,结合 TGA 曲线分析可知这可能是微胶囊中的丁香精油从 β -环糊精中脱去的吸热峰。在 300 ℃ 以后两者的峰型没有太大的差别,但是微胶囊的峰温稍高于 β -环糊精。说明微胶囊的热稳定性较高,在日常的生产加工中丁香精油微胶囊产品可以稳定地存在于加工产品中。

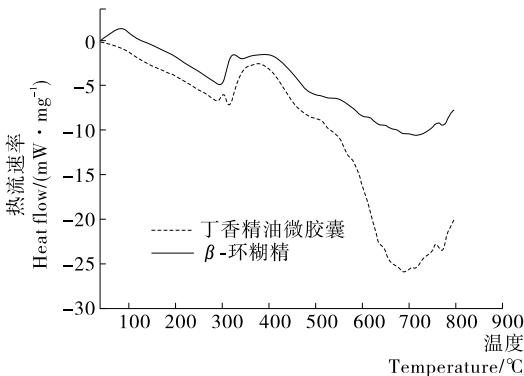


图 2 丁香精油微胶囊和 β -环糊精差热分析
Figure 2 DSC analysis of microcapsule of clove oil and β -Cyclodextrin

2.2 膜性能结果分析

2.2.1 膜的吸水性和水溶性 由表 2 可知,不同 SPI 抗菌膜的吸水性在 0.01 水平差异不显著,水溶性随着丁香精油微胶囊添加量的增加逐渐增加,表明添加丁香油微胶囊可以明显增加 SPI 膜水溶性,但是不同添加量在 0.05 水平上无显著差异。添加丁香精油微胶囊的膜水溶性增加的原因可能是添加的 β -环糊精有很好的亲水性,使得 SPI 膜的水溶性增加。

2.2.2 拉伸强度和断裂伸长率 大豆分离蛋白膜机械性能分析曲线见图 3。膜的拉伸强度主要是用来反映膜的强度,是判断膜性能好坏的一个指标。由图 3 可知,当丁香精油微胶囊添加量逐步增加时,膜的拉伸强度随之下降。膜的断裂

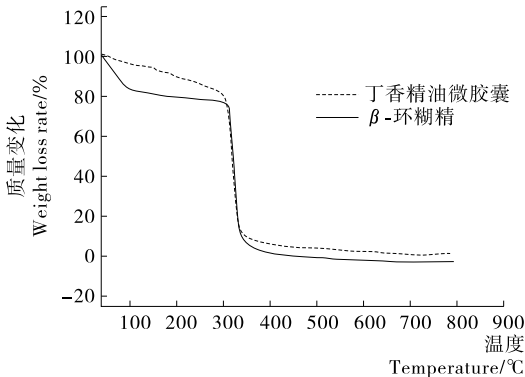


图 1 丁香精油微胶囊和 β -环糊精热重分析
Figure 1 TGA analysis of microcapsule of clove oil and β -Cyclodextrin

表 2 微胶囊添加量对 SPI 膜吸水性和水溶性的影响[†]

Table 2 Concentration of microcapsule effected on the water absorption and absolution of the film %

组别	吸水性	水溶性
SPI _{0.0}	1 299±289 ^{Aa}	29.567 5±1.501 8 ^{Aa}
SPI _{0.5}	1 424±148 ^{Aa}	37.557 0±0.295 0 ^{Bb}
SPI _{1.0}	1 501±183 ^{Aa}	39.167 7±0.837 8 ^{Bbc}
SPI _{2.0}	1 583±64 ^{Aa}	37.370 8±0.680 0 ^{Bb}
SPI _{4.0}	1 312±9 ^{Aa}	39.822 0±1.462 2 ^{Bc}

† 同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著。

伸长率主要是反映薄膜的脆度和延展性,性能好的膜不仅具有一定的强度也要有良好的柔韧性^{[20]23}。在添加量为 0.5% 时断裂伸长率有所增加,然而随着丁香精油微胶囊添加量的继续增加膜的断裂伸长率逐渐降低。可能是少量的丁香精油微胶囊在 SPI 中分散均匀,可与 SPI 良好地结合使 SPI 膜的机械性能提高,当微胶囊的添加量逐渐增高时与 SPI 之间的相容性变差,从而导致膜的机械性能降低。

2.2.3 膜不透明度和颜色的分析 大豆分离蛋白膜不透明度和颜色的测定结果见表 3。丁香精油微胶囊的添加使得 SPI 膜的色相与饱和度发生明显的改变,由于丁香精油微胶

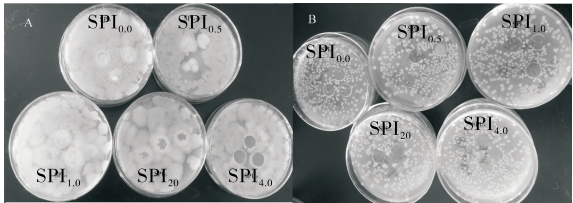
表 3 大豆分离蛋白膜不透明度和颜色的测定[†]

Table 3 Opacity, color analysis of SPI film (n=6)

组别	L^*	a^*	b^*	饱和度	色相	不透明度
SPI _{0.0}	47.85±0.74 ^a	-8.10±0.68 ^c	10.48±1.29 ^{ab}	-0.29±0.08 ^{ab}	13.25±1.40 ^a	1.19±0.14 ^a
SPI _{0.5}	46.86±2.85 ^a	-8.62±1.04 ^c	13.26±1.62 ^a	-0.03±0.06 ^{ab}	15.81±1.91 ^a	1.29±0.17 ^{ab}
SPI _{1.0}	48.14±1.74 ^a	-5.84±0.71 ^{bc}	4.61±0.74 ^{bc}	-1.01±0.34 ^{ab}	7.47±0.40 ^b	1.37±0.08 ^{ab}
SPI _{2.0}	45.35±0.79 ^a	-3.05±1.00 ^b	1.43±0.50 ^c	-2.59±1.05 ^b	3.79±0.81 ^c	1.44±0.05 ^b
SPI _{4.0}	47.56±0.32 ^a	1.25±0.34 ^a	-8.96±0.90 ^d	6.87±5.31 ^a	9.05±5.31 ^b	1.44±0.06 ^b

† 同列字母不同表示在 P<0.05 水平有显著差异。

2.2.4 微胶囊的添加量对 SPI 膜抗菌性能的影响 在 SPI 膜中丁香精油微胶囊的添加量分别为 0.0%,0.5%,1.0%,2.0%,4.0%。由图 4(a)可知,当微胶囊添加量<1.0%时,SPI 膜基本上完全被枯草芽孢杆菌覆盖,当含量在 2.0%时部分抑制枯草芽孢杆菌生长,在 4.0%时枯草芽孢杆菌不能够在 SPI 膜上生长。图 4(b)中,丁香精油微胶囊添加量为



(a) 枯草芽孢杆菌 (b) 大肠杆菌

图 4 微胶囊添加量对枯草芽孢杆菌和大肠杆菌抑菌性能的影响

Figure 4 Concentration of the microcapsule effected on the bacteriostatic action to *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli*

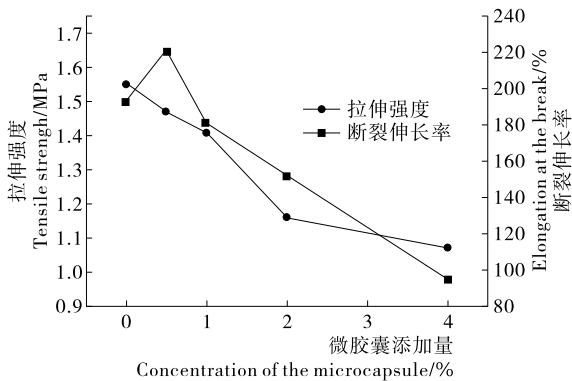


图 3 微胶囊添加量对膜拉伸强度和断裂伸长率的影响

Figure 3 Concentration of the microcapsule effected on the tensile strength and elongation at the break of the film

囊中的丁香精油存在色素的影响,SPI 膜的红色 a^* 随着微胶囊添加量的增加而增大,而 SPI 膜的亮度 L^* 值随着丁香精油微胶囊添加量的增加无明显差异; b^* 值从 $(-8.96 \pm 0.90) \sim (13.26 \pm 1.62)$ 的变化,表示 SPI 膜的颜色偏向黄色的程度;饱和度从 $(-2.59 \pm 1.05) \sim (6.87 \pm 5.31)$ 的变化,表示 SPI 膜趋向于自然色的程度;SPI 膜的不透明度随着丁香精油微胶囊添加量的改变而增加,可能与微胶囊团聚和对 SPI 膜色相的改变有关^{[20]24-25}。

3 结论

采取饱和水溶液法,以丁香精油作为芯材,以 β -环糊精为壁材,制得微胶囊的包埋率为 67.42%;经过热重分析和差热分析,可知丁香精油微胶囊具有一定的缓释作用。将制备的丁香精油微胶囊加入到大豆分离蛋白膜中,制备得到大豆分离蛋白抗菌膜,当添加浓度在 4% 时能够抑制枯草芽孢杆菌和大肠杆菌的生长。

参考文献

[1] 相丽英,李凤红,袁心苑,等.天然高分子基抗菌复合膜包装材料的研究进展[J].化工新型材料,2016,44(8):26-28.

(下转第 199 页)

向选择为主,但其选择性又会因滤嘴而异。总之,滤嘴不仅影响主流烟气中半挥发性成分的总量,同时也会影响其构成。

(4) 在后续工作中,可以针对不同香味物质在不同滤嘴上的选择性截留情况,结合滤嘴结构,进一步探讨其形成原因。

参考文献

[1] 王彦亭. 依靠科技进步,促进中式卷烟发展[J]. 中国烟草学报, 2005, 11(1): 8-12.

[2] 郑新章, 张仕华, 邱纪青. 卷烟降焦减害技术研究进展[J]. 烟草科技, 2003(11): 8-13.

[3] 金勇, 王诗太, 李克, 等. 卷烟滤嘴在降焦减害中的研究进展[J]. 烟草科技, 2016, 49(11): 98-106.

[4] 张国强, 黄朝章. 卷烟纸的透气度设计参数对卷烟主流烟气中氨释放量及焦油含量的影响[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2014, 29(5): 39-43.

[5] 黄小雷, 刘文, 陈雪峰, 等. 复合材料滤嘴棒与醋酸纤维滤嘴棒减害效果差异的机理分析[J]. 中国造纸, 2013, 32(10): 42-46.

[6] 李艳平, 文建辉, 彭斌, 等. 不同结构滤嘴的烟碱截留效率和空间分布模式[J]. 烟草科技, 2013(2): 57-61.

[7] 金勇, 王诗太, 李克, 等. 接装纸打孔参数对卷烟烟气焦油及7种有害成分释放量影响的PLS回归分析[J]. 烟草科技, 2016, 49(4): 37-44.

[8] 邱晔, 卢伟, 王建, 等. 造纸法烟草薄片对卷烟一氧化碳释放量影响研究[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2010, 32(S1): 130-133.

[9] 邱晔, 王建, 卢伟. 国内外造纸法烟草薄片的烟气主要有害物释

放量研究及其烟气危害性评估[J]. 现代科学仪器, 2010(3): 85-88.

[10] 东传斌, 朱红, 金钟国, 等. 异性同轴芯沟槽滤棒: 中国, CN202311167U[P]. 2012-07-11.

[11] 喻赛波, 金勇, 刘琦, 等. 一种可降低卷烟主流烟气中酚类化合物的沟槽滤棒纤维素纸添加剂及应用: 中国, CN103141941A[P]. 2013-06-12.

[12] 刘丁伟, 程传玲, 鲁平, 等. 沟槽滤嘴对卷烟主流烟气中简单酚类物质的截留行为研究[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(18): 4 348-4 350.

[13] 谢兰英, 钟科军, 刘琦, 等. 纤维素纸沟槽滤嘴选择性降低卷烟烟气中有害成分[J]. 烟草科技, 2017, 50(5): 45-52.

[14] 李海锋, 汤德芳, 王辉, 等. 沟槽滤嘴对中试低焦油卷烟主流烟气的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(28): 14 022-14 024.

[15] 王建民, 王晓斌, 苏东赢, 等. 沟槽滤嘴对卷烟感官品质及风格的影响[J]. 烟草科技, 2015, 48(7): 70-74.

[16] 国家烟草专卖局. GB/T 19609—2004 卷烟 用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油[S]. 北京: 中国国家标准化管理委员会, 2004: 1-14.

[17] 靳志富, 刘丁伟, 韩明, 等. 沟槽滤嘴截留挥发性烟气成分的同时蒸馏萃取条件研究[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2012, 27(2): 37-39.

[18] 宗东岳, 王建民, 靳志富. 沟槽滤嘴对卷烟香味物质的截留率研究[J]. 广东化工, 2014, 41(21): 39-40.

[19] DAVIS H, GEORGE W. A dimensionless measure of filter selectivity: geometrical factors in cigarette construction which influence this measure[J]. Beitr Tabakforsch Int, 1965, 3(3): 203-214.

(上接第122页)

[2] 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): 17 001-17 007.

[3] ZHANG Hong-cai, JUNG J Y, ZHAO Yan-yun. Preparation and characterization of cellulose nanocrystals films incorporated with essential oil loaded β -chitosan beads[J]. Food Hydrocolloids, 2017(69): 164-172.

[4] 刘晓伟, 王利强, 廖祝胜, 等. 微胶囊技术在食品包装中的研究进展[J]. 包装工程, 2017, 38(1): 149-155.

[5] 王卉, 张明凯, 胡锐, 等. 精油在食品抗菌包装中的应用研究进展[J]. 食品工业, 2015, 36(7): 219-222.

[6] 岳淑丽, 万达, 张义珂. 肉桂精油微胶囊抗菌纸的研制及对圣女果的保鲜效果研究[J]. 包装工程, 2015, 36(13): 47-51.

[7] 李芳, 王全杰, 肖振峰. 艾蒿油微胶囊的制备及其在聚氨酯中的抗菌性研究[J]. 中国皮革, 2012, 41(1): 25-29.

[8] 闫丹丹, 钱怡. 含微胶囊的抗菌淀粉膜制备工艺及性能研究[J]. 包装工程, 2016, 37(9): 26-30.

[9] 郝喜海, 孙森, 邓靖, 等. 丁香精油微胶囊抗菌包装薄膜[J]. 塑料, 2012, 41(1): 64-66.

[10] 张慧芸, 郭新宇, 康怀彬, 等. 添加适量丁香精油提高大豆分离蛋白膜性能[J]. 农业工程学报, 2014, 30(4): 247-254.

[11] 邓靖, 谭兴和, 薛琼. 丁香精油 β -环糊精微胶囊制备工艺条件的优化[J]. 包装工程, 2010(11): 19-22.

[12] 刘楠楠, 陈雪峰, 刘俊杰. 复凝聚法制备葱油香精微胶囊[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(2): 103-107.

[13] 孙爱兰, 谭天伟, 周荣琪, 等. 壳聚糖香精微胶囊的制备[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(3): 60-63.

[14] CHO S Y, LEE S Y, RHEE C. Edible oxygen barrier bilayer film pouches from corn zein and soy protein isolate for olive oil packaging[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(8): 1 234-1 239.

[15] 董增, 孙朋朋, 王海潮, 等. 可食性大豆分离蛋白膜制备与性质[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 187-191.

[16] 刘婧, 胡长鹰, 曾少甫. 壳聚糖/尼泊金酯共混膜的制备及性能研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 131-136.

[17] 余丽丽, 杨星昊, 李春成. 白术挥发油/ β -环糊精包合物的表征[J]. 中国药学杂志, 2005, 40(2): 13-16.

[18] 李伟, 张宁, 侯建平. β -环糊精与香精包合物的制备及紫外光谱和差热分析[J]. 天中学刊, 2000(5): 16-19.

[19] 程玉娇, 应丽莎, 李大虎, 等. 迷迭香大豆分离蛋白膜的制备及其性能[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 33-38.

[20] 孙森. 基于丁香精油/ β -环糊精微胶囊的聚乙烯醇抗菌膜的制备及性能研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2012.