

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.06.023

# 微射流均质对羧甲基纤维素—精油可食性膜性能的影响

Effects of micro-fluidization homogenization on properties of CMC-essential oil edible film

张慧芸 梁英 李鑫玲 康怀彬

ZHANG Hui-yun LIANG Ying LI Xin-ling KANG Huai-bin

(河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023)

(College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China)

**摘要:**采用微射流均质技术制备羧甲基纤维素(CMC)—精油纳米乳成膜液,研究微射流均质对成膜液理化特性及可食性膜物理和机械特性的影响,探讨 CMC-精油纳米乳成膜液理化特性与膜性能之间的关系。结果表明,微射流均质可显著降低 CMC-精油成膜液的平均粒径( $P < 0.05$ ),均质处理后不同精油纳米乳成膜液的 $\zeta$ -电势值不同,变化范围为 $-37.63 \sim -59.67$  mV。与 CMC 可食性膜相比,CMC-精油纳米乳可食性膜的水蒸气透过性显著降低( $P < 0.05$ )。CMC-肉桂和 CMC-牛至精油纳米乳可食性膜具有较高的透明度。CMC-牛至精油纳米乳可食性膜柔韧性最好。采用微射流均质处理 CMC-精油成膜液可使所成膜具有更好的物理和机械特性。

**关键词:**微射流均质;羧甲基纤维素;精油;可食性膜;性能

**Abstract:** It was focused on the evaluation of physical and mechanical properties of carboxymethyl cellulose-based edible films formed from nanoemulsions of EOs (essential oils) in this study. Nanoemulsions containing clove essential oil, cinnamon essential oil or oregano essential oil as dispersed phase and carboxymethyl cellulose solution as continuous phase were prepared. The average droplet size of nanoemulsions was reduced after the microfluidization homogenization treatment. The  $\zeta$ -potentials of nanoemulsions were between  $-37.63 \sim -59.67$  mV depending on the type of EO used. The films formed from clove and oregano essential oil nanoemulsions exhibited higher transparency and water vapor re-

sistance than those from cinnamon essential oil. The films formed from oregano essential oil exhibited higher flexibility than those from clove and cinnamon essential oil. The results indicated that it was suitable to use nanoemulsions with active components for the preparation of the edible films, with better physical and mechanical properties.

**Keywords:** microfluidization homogenization; carboxymethyl cellulose; essential oil; edible film; properties

可食性膜是以天然可食性物质为原料制得的具有多孔网络结构的保护性阻隔膜。羧甲基纤维素(carboxymethyl cellulose, CMC)可食性膜具有阻止水分、油脂迁移、防止氧及二氧化碳逸失、保留食品风味、提高机械强度、保持食品结构等作用<sup>[1]</sup>,近年来被广泛用于肉制品、禽蛋、果蔬等涂膜保鲜。可食性膜中可添加多种活性成分,如抗菌剂、抗氧化剂、精油和香辛料等。植物精油富含大量生物活性化合物,具有抗菌和抗氧化活性<sup>[2-4]</sup>。但强烈风味是限制精油添加到食品中的主要因素,由于达到有效抗菌剂量所需精油的风味可能会超过消费者的感官可接受水平<sup>[5]</sup>,且精油水溶性低,因此在水基产品中的分散性很差。研究<sup>[6]</sup>表明,通过减小液滴粒径可改善乳液稳定性,即产生液滴粒径范围为 $20 \sim 500$  nm 的纳米乳。近期研究表明,与常规乳液相比,将精油制备成纳米乳,提高了其物理性能<sup>[7]</sup>,同时具有较高的生物活性<sup>[8-10]</sup>,进而可制得具有一定物理化学和功能特性的可食性膜。

微射流均质是一种新兴的高压均质技术。与传统高压均质技术相比,其均质压力更高,碰撞能量更大,产品颗粒更细。已有人<sup>[4,11]</sup>研究了采用超声或高速均质制备纳米乳可食性膜的方法。但关于采用微射流均质处理多糖—精油成膜液制备纳米乳可食性膜的研究报道较少。

基金项目:河南省重大科技专项(编号:161100110800-06)

作者简介:张慧芸,女,河南科技大学副教授,博士。

通信作者:康怀彬(1963—),男,河南科技大学教授,硕士。

E-mail: khbin001@163.com

收稿日期:2019-01-18

因此,本试验拟采用微射流均质处理 CMC-精油成膜液,研究微射流均质处理对成膜乳液物理化学特性及可食性膜物理和机械性能的影响,探讨 CMC-精油纳米乳物理化学特性与可食性膜性能之间的关系。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

羧甲基纤维素:食品级, FH6 型,安丘雄鹰纤维素厂;

丁香精油(CAS 号:8000-34-8)、肉桂精油(CAS 号:8015-91-6)、牛至精油(CAS 号:8007-11-2):纯度 ≥ 95.0%,国药集团化学试剂有限公司;

吐温-80、甘油:分析纯,天津市德恩化学试剂有限公司;

大肠杆菌 *E. coli*(ATCC 25922):河南科技大学微生物实验室;

营养肉汤和琼脂培养基:北京陆桥技术有限责任公司。

### 1.2 仪器与设备

电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9003 型,上海精宏实验设备有限公司;

超高压微射流均质机:M-700 型,美国 Microfluidics 公司;

质构仪:5544Q6427 型,美国英斯特朗公司;

高速搅拌机:ZFS 型,上海臻煊机电科技有限公司;

色差计:Color i5 型,美国爱色丽 Xrite 公司;

数字式粘度计:DV-1 型,上海伦捷机电仪表有限公司;

动态光散射激光粒度仪:Zeta Sizer-3000HSA 型,英国 Malvern 公司;

Zeta 电位测定仪:Zeta Sizer-2000 型,英国 Malvern 公司。

### 1.3 方 法

1.3.1 成膜液的制备 根据文献[7],稍作修改,将 2 g/100 mL CMC 溶于 70 °C 双蒸水中,向 CMC 分散液中加入 0.5%(体积分数)甘油,0.5%(体积分数)吐温-80,2%(体积分数)精油,17 500 r/min 搅拌 3 min。将上述粗乳化液用泵泵入微射流均质机,120 MPa 循环 3 次。在微射流均质机出口处放置浸入冰水浴中的冷凝管,使处理过程中乳液的温度维持在 15 °C 以下。所有样品制备用水采用超纯水。未添加精油的纯 CMC 成膜液作为对照。

1.3.2 微射流均质处理对成膜乳液物理特性的影响

(1) 粒径:采用动态光散射激光粒度仪测定成膜乳液粒径和分散指数。为避免多重散射作用,成膜乳液采用超纯水稀释到 1:20。分散指数(PDI)值表示粒径分布的不均匀性,PDI 值接近 0 表示粒径均匀分布,PDI 值接近 1 表示粒径分布不均匀。

(2)  $\xi$ -电势:采用 Zeta 电位测定仪测定成膜乳液  $\xi$ -电势。

(3) 白度指数:根据文献[12],稍作修改,采用色差仪测定成膜乳液的颜色,将成膜液样品置于水平透明容器中测量,标准板的色度值为: $L=94, a=0.313, b=0.319$ 。测得  $L^*, a^*, b^*$  值,根据公式(1)计算成膜液白度指数。

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^{*2} + b^{*2})}, \quad (1)$$

式中:

WI——白度指数;

$L^*, a^*, b^*$ ——待测膜的色度值。

(4) 黏度:采用数字式黏度计测定。

1.3.3 可食性膜的制备 分别取 4 g CMC-精油纳米乳液和纯 CMC 成膜液倒入有机玻璃板上,60 °C 干燥 3 h 成膜后放入干燥器中平衡 48 h,待测。

1.3.4 微射流均质处理对可食性膜性能的影响

(1) 颜色值的测定:采用色差仪,参考文献[13],稍作修改,参照 CIELAB 系统测定膜的颜色。将膜样品置于标准校正板上测量,标准板的色度值为: $L=94, a=0.313, b=0.319$ 。每个膜样品均匀选择 5 个点进行测量,取平均值。按式(2)计算色差值  $\Delta E$ 。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L)^2 + (a^* - a)^2 + (b^* - b)^2}, \quad (2)$$

式中:

$\Delta E$ ——色差值;

$L^*, a^*, b^*$ ——待测膜的色度值;

$L, a, b$ ——标准板的色度值。

(2) 透明度测定:参考 Shiku 等<sup>[14]</sup>的方法稍作修改,将待测样品裁成矩形(10 mm×50 mm)贴于比色皿内侧,测定 600 nm 下的透光率,按式(3)计算透明度。

$$T = -\frac{\lg T_{600}}{X}, \quad (3)$$

式中:

T——透明度,%;

$T_{600}$ ——膜在 600 nm 处的透过率,%;

X——膜的厚度,mm。

透明度值越大,说明膜越不透明。

(3) 厚度测定:采用螺旋测微仪测量,将膜裁剪成大小相同的 3 个膜片,在膜上均匀选取 9 个点测量,取平均值。

(4) 水蒸气透过性测定:根据文献[15],采用拟杯子法,并稍作修改。将膜密封在装有 5 g 无水氯化钙的小锥形瓶瓶口,将锥形瓶放入相对湿度 80%、25 °C 恒温恒湿箱中,每隔 1 d 测定 1 次锥形瓶的增重量,直至平衡不变。按式(4)计算水蒸气透过系数。

$$WVP = \frac{M \times X}{t \times \Delta P \times A}, \quad (4)$$

式中:

WVP——水蒸气透过系数,  $g \cdot mm / (m^2 \cdot d \cdot kPa)$ ;

A——透过水分的膜面积,  $m^2$ ;

M——锥形瓶的增重量,  $g$ ;

t——水分透过时间,  $d$ ;

X——膜厚度,  $mm$ ;

$\Delta P$ ——膜两侧水蒸气压差,  $kPa$ 。

(5) 机械强度测定:参考 Yin 等<sup>[16]</sup>的方法稍作改进,测定可食性膜的拉伸强度和断裂伸长率,将膜裁剪成  $10 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  矩形,设定拉伸速度  $1 \text{ mm/s}$ ,初始夹距  $30 \text{ mm}$ 。按式(5)、(6)计算拉伸强度和断裂伸长率。

$$TS = \frac{F_t}{L \times D}, \quad (5)$$

式中:

TS——拉伸强度,  $MPa$ ;

$F_t$ ——最大拉力,  $N$ ;

L——膜样品的厚度,  $mm$ ;

D——膜样品的宽度,  $mm$ 。

$$E = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%, \quad (6)$$

式中:

E——膜的断裂伸长率, %;

$L_1$ ——膜断裂后的长度,  $mm$ ;

$L_0$ ——膜断裂前的长度,  $mm$ 。

#### 1.4 数据处理

所得数据取 3 次平行试验的平均值,采用 Statistix 8 进行数据分析(显著水平  $P < 0.05$ ),用 Origin pro 9.0 作图。

## 2 结果和讨论

### 2.1 CMC-精油纳米乳成膜液理化特性

2.1.1 粒径大小和粒径分布 动态光散射是通过分析散射光强度的波动测得粒径,其中大粒子的光散射比小粒子更强。CMC 与不同精油(丁香、肉桂、牛至)复合粗乳液的平均粒径分别为:  $(277.43 \pm 18.50)$ ,  $(460.05 \pm 22.52)$ ,  $(329.38 \pm 21.83) \text{ nm}$ 。如表 1 所示,CMC-丁香、CMC-肉桂、CMC-牛至精油纳米乳的平均粒径范围为  $(53.32 \pm 4.02) \sim (89.01 \pm 4.26) \text{ nm}$ ,多分散性指数范围为  $0.547 \sim 0.333$ 。表明 CMC-精油纳米乳的平均粒径在  $100 \text{ nm}$  以下,说明微射流均质使得纳米乳中的多数精油粒子具有纳米范围直径。另外,精油的类型显著影响 CMC-精油纳米乳的平均粒径 ( $P < 0.05$ )。CMC-丁香精油纳米乳粒径较大,表明精油与 CMC 相及非离子表面活性剂之间的亲和力不同,可能与精油的化学组成不同有关。精油组分中的表面活性物质可提高其水溶性,含有

表面活性成分的精油在油/水表面聚集,降低乳液的表面张力,使液滴在均质过程中容易被破坏。Edris 等<sup>[17]</sup>研究表明,精油的其他重要特性如极性和黏度可影响所形成液滴的粒径。

表 1 CMC-精油纳米乳成膜液的粒径和多分散指数<sup>†</sup>

Table 1 Droplet diameters and polydispersity index (PDI) values of nanoemulsions loaded with different EOs

纳米乳	平均粒径/nm	多分散指数
CMC-丁香精油	$89.01 \pm 4.26^a$	$0.333 \pm 0.021^c$
CMC-肉桂精油	$53.32 \pm 4.02^c$	$0.437 \pm 0.032^b$
CMC-牛至精油	$63.53 \pm 3.27^b$	$0.547 \pm 0.031^a$

<sup>†</sup> 同列字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

2.1.2  $\xi$ -电势 由表 2 可知,  $\xi$ -电势值变化范围为  $-37.63 \sim -59.67 \text{ mV}$ 。通常液滴的电荷取决于液滴周围吸附的表面活性剂的电荷,表面活性剂可能是阴离子、阳离子或非离子型。本研究采用的吐温-80 为非离子型表面活性剂,电荷的期望值应接近 0,但研究表明纳米乳中油滴具有高负电性  $\xi$ -电势。Dickinson<sup>[18]</sup>研究表明,在乳液连续相中添加离子型生物大分子可改变油滴的  $\xi$ -电势,多数生物大分子通常作为增稠剂而不是表面活性剂添加到乳液中,但其可以通过特定条件下不同类型的相互作用被部分吸附到油滴中。因此,添加非离子型表面活性剂的精油纳米乳之所以带负电荷是由于分散在连续相中带负电荷的 CMC 分子的吸附作用。

表 2 CMC-精油纳米乳成膜液的  $\xi$ -电势、白度和黏度<sup>†</sup>

Table 2  $\xi$ -potential, whiteness index and viscosity values of nanoemulsions loaded with different EOs

纳米乳	$\xi$ -电势/mV	白度	黏度/( $mPa \cdot s$ )
CMC-丁香精油	$-37.63 \pm 2.52^c$	$32.73 \pm 1.70^a$	$479.67 \pm 16.29^c$
CMC-肉桂精油	$-44.00 \pm 2.00^b$	$24.41 \pm 0.89^c$	$604.00 \pm 25.53^b$
CMC-牛至精油	$-59.67 \pm 2.08^a$	$27.36 \pm 0.94^b$	$752.33 \pm 45.72^a$

<sup>†</sup> 同列字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

液滴的电荷对纳米乳的稳定性起重要作用。当电荷足够大时产生的静电斥力会阻止液滴的聚集<sup>[18]</sup>。根据静电机制,纳米乳体系中液滴所带电荷高于  $+30 \text{ mV}$  或低于  $-30 \text{ mV}$  时是稳定的。因此,本研究所制得的纳米乳是稳定的。且精油种类显著影响所形成油滴的电荷 ( $P < 0.05$ )。CMC-牛至精油纳米乳  $\xi$ -电势最大,可能是精油中存在可电离组分,导致体系界面的油、表面活性剂和生物聚合链之间发生不同静电相互作用。Bonilla 等<sup>[19]</sup>研究也发现壳聚糖-罗勒精油乳液和聚糖-百里香精油乳液的  $\xi$ -电势不同。

2.1.3 白度 由表 2 可知,不同 CMC-精油纳米乳的白度差异显著 ( $P < 0.05$ )。乳液中油滴的粒径、浓度和折射率

直接影响乳液的光学性质<sup>[20]</sup>。纳米乳为轻微浑浊体系,由于小液滴散射光弱,当液滴粒径增加,光散射增强,乳液趋于不透明。精油纳米乳的白度值随液滴粒径减小而降低,表明纳米乳的光学特性取决于纳米乳的粒径大小。

2.1.4 黏度 由表 2 可知,CMC 成膜液的黏度为 867 mPa·s,CMC-精油纳米乳黏度显著降低。由于微射流均质产生的高剪切力可引起生物大分子链构象发生变化或降解,改变分子质量,从而对生物大分子黏度产生影

响。本研究与 Bonilla 等<sup>[19]</sup>的研究结果一致。且精油种类显著影响纳米乳的黏度( $P<0.05$ ),其中 CMC-牛至精油纳米乳黏度最高。精油是由不同组分组成的复杂混合物,可能导致 CMC 分子和油滴之间产生不同吸附动力学,改变连续相中生物大分子的最初浓度,从而改变乳液黏度<sup>[19]</sup>。

2.2 CMC-精油纳米乳可食性膜性能研究

表 3 为 CMC-精油可食性膜厚度、颜色值和透明度。

表 3 CMC-精油纳米乳可食性膜厚度、颜色值和透明度<sup>†</sup>

Table 3 Thickness, color and opacity value of CMC films and films made from EOs nanoemulsions

膜种类	厚度/ $\mu\text{m}$	颜色值				透明度
		$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$	
CMC	46.68±2.52 <sup>a</sup>	92.65±0.30 <sup>a</sup>	-0.26±0.02 <sup>b</sup>	1.30±0.08 <sup>c</sup>	16.43±1.07 <sup>b</sup>	8.31±0.33 <sup>c</sup>
CMC-丁香精油	44.54±3.53 <sup>a</sup>	86.69±0.29 <sup>b</sup>	-0.25±0.03 <sup>b</sup>	2.85±0.11 <sup>a</sup>	27.89±1.37 <sup>a</sup>	11.83±0.80 <sup>a</sup>
CMC-肉桂精油	37.43±2.65 <sup>b</sup>	82.39±0.38 <sup>c</sup>	-0.29±0.02 <sup>b</sup>	1.99±0.06 <sup>b</sup>	18.50±0.90 <sup>b</sup>	9.19±0.32 <sup>b</sup>
CMC-牛至精油	39.57±2.78 <sup>b</sup>	93.73±0.25 <sup>a</sup>	-0.47±0.05 <sup>a</sup>	2.78±0.05 <sup>a</sup>	27.69±0.85 <sup>a</sup>	9.27±0.16 <sup>b</sup>

<sup>†</sup> 同列字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

2.2.1 厚度、颜色值和透明度 由表 3 可知,与 CMC 可食性膜相比,CMC-肉桂精油和 CMC-牛至精油纳米乳可食性膜厚度显著降低( $P<0.05$ ),与纳米乳的粒径有关。另外,Bonilla 等<sup>[19]</sup>研究发现,由于干燥成膜过程中乳液中油相的损失,降低了膜基质中固形物浓度,使可食性膜厚度减小。

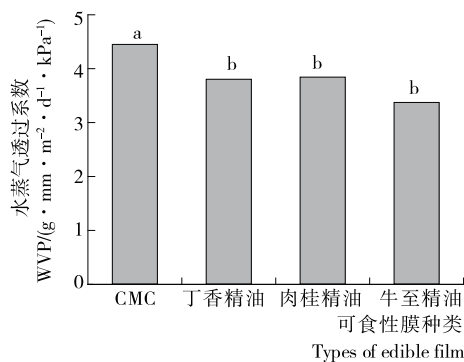
可食性膜的光学特性可改变食品的总体外观,影响消费者的可接受性。由表 3 可知,精油种类显著影响可食性膜的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值和色差值( $P<0.05$ )。CMC 膜和 CMC-牛至精油纳米乳膜亮度值较高,而 CMC-丁香精油和 CMC-肉桂精油纳米乳膜亮度值较低。 $a^*$  为负值表示偏绿色,其中 CMC-牛至精油纳米乳膜的  $a^*$  值最低,与其他膜相比差异显著( $P<0.05$ )。 $b^*$  值为正值表示偏黄色,CMC-丁香精油和 CMC-牛至精油纳米乳膜的  $b^*$  值较高,表明该膜具有类似的轻微绿—黄色调<sup>[21]</sup>。同理,CMC-丁香精油和 CMC-牛至精油纳米乳可食性膜色差值均较高。

透明度数值越大说明膜的透明程度越低。由表 3 可知,添加精油显著降低了膜的透明度,且精油种类显著影响膜的透明度( $P<0.05$ ),其中 CMC-丁香精油纳米乳可食性膜具有最高的透明度值,CMC-肉桂精油和 CMC-牛至精油纳米乳可食性膜透明度值较低。精油中的彩色成分和有序膜蛋白网络结构的破坏是导致膜透明度降低的最主要原因<sup>[22]</sup>。

2.2.2 水蒸气透过性 为防止或减少食品的脱水,作为包装或涂层的可食性膜必须控制水分从食品向周围环境的转移,因此,可食性膜的水蒸气透过性应尽可能低<sup>[23]</sup>。水蒸气的转移通过膜的亲水部分进行,渗透性取决于膜的亲水—亲脂比。因此,膜结构中存在脂质化合物可提

高膜的阻水性,阻止水蒸气通过膜。研究<sup>[24]</sup>表明,当油相比比例提高或油滴粒径减少时膜的阻水性提高。由于精油具有疏水性故可降低多糖基可食性膜的水蒸气透过性。由图 1 可知,与 CMC 可食性膜相比,CMC-精油纳米乳可食性膜的水蒸气透过性显著降低( $P<0.05$ )。不同精油纳米乳可食性膜水蒸气透过性的差异不显著( $P>0.05$ ),可能是由于纳米乳的粒径小使油相在膜结构中得到更好的分布。

2.2.3 机械特性 CMC 可食性膜的机械特性如图 2 所示,由图 2 可知,CMC-精油纳米乳膜与 CMC 膜的拉伸强度值差异不显著( $P>0.05$ )。Aguirrea 等<sup>[25]</sup>研究表明,向成膜液中添加精油会降低膜内凝聚力,从而降低拉伸强度。本研所得 CMC-精油纳米乳可食性膜具有较强的



字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )

图 1 CMC-精油纳米乳可食性膜水蒸气透过性  
Figure 1 Water vapor permeability (WVP) of CMC films and films made from EOs nanoemulsions

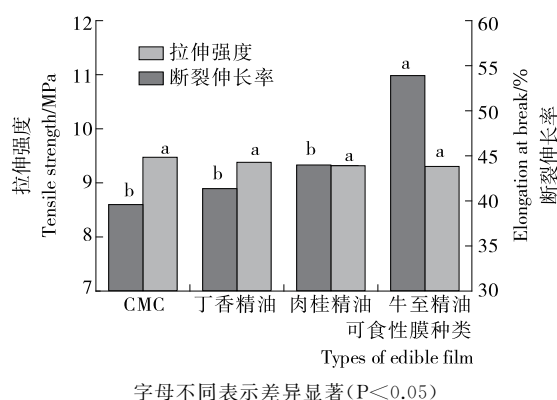


图2 CMC-精油纳米乳可食性膜拉伸强度和断裂伸长率  
Figure 2 Tensile strength (TS) and elongation at break (EAB) of CMC films and films made from EOs nanoemulsions

拉伸强度,可能是精油添加量较低和CMC-精油纳米乳粒径小的缘故。

由图2可知,CMC-牛至精油纳米乳可食性膜的断裂伸长率最大为 $(53.90 \pm 1.60)\%$ 。CMC-丁香精油和CMC-肉桂精油纳米乳可食性膜的断裂伸长率分别为 $(41.36 \pm 2.89)\%$ , $(43.99 \pm 3.76)\%$ ,且与CMC可食性膜差异不显著( $P > 0.05$ )。膜柔韧性的变化在一定程度上与膜结构中纳米乳的电荷有关。膜结构中带相同电荷分子之间的排斥力可增大聚合物分子之间的距离,起到增塑作用<sup>[25]</sup>。本研究中不同精油纳米乳所带电荷明显不同(见表2),因此形成具有不同柔韧性的可食性膜。另一方面,精油液滴粒径大小也可以影响膜的柔韧性,由于纳米乳可食性膜结构中油滴的表面积增大,生物聚合物网络结构异质性增加,因此降低了链间相互作用,提高了增塑效果。

### 3 结论

微射流均质处理可改善CMC-精油可食性膜的物理和机械性能,影响CMC-精油可食性膜性能的主要因素为成膜液液滴粒径和液滴所带电荷,纳米乳液滴粒径和 $\xi$ -电势的降低导致所成膜的阻隔性、颜色和机械特性发生相应变化。本研究可为运用微射流均质技术开发新型精油纳米乳可食性膜提供理论基础,但将所制备精油纳米乳可食性膜应用于食品保鲜中,研究其对食品贮藏期间品质的影响仍需进一步探讨。

#### 参考文献

[1] 刘珊, 赵谋明. 改性纤维素的性质及其在食品中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2004, 3(3): 73-76.  
[2] VIUDA-MARTOS M, EL GENDY N G S, SENDRA E, et al. Chemical composition and antioxidant and anti-listeria activities of essential oils obtained from some Egyptian plants[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(16):

9 063-9 070.  
[3] VIUDA-MARTOS M, RUIZ-NAVAJAS Y, FERNANDEZ-LOPEZ J, et al. Antibacterial activity of different essential oils obtained from spices widely used in Mediterranean diet[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 43(3): 526-531.  
[4] VIUDA-MARTOS M, RUIZ-NAVAJAS Y, SANCHEZ-ZAPATA E, et al. Antioxidant activity of essential oils of five spice plants widely used in editerranean diet[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2010, 25(1): 13-19.  
[5] LAMBERT R J W, SKANDAMIS P N, COOTE P J, et al. A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol[J]. Journal of Applied Microbiology, 2001, 91(3): 453-462.  
[6] SOLANS C, IZQUIERDO P, NOLLA J, et al. Nanoemulsions[J]. Current Opinion in Colloid and Interface Science, 2005, 10(3/4): 102-110.  
[7] SALVIA-TRUJILLO L, ROJAS-GRAÜ M A, SOLIVA-FORTUNY R, et al. Effect of processing parameters on physicochemical characteristics of microfluidized lemongrass essential oil-alginate nanoemulsions[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 30(1): 401-407.  
[8] MCCLEMENTS D J, RAO J. Food-grade nanoemulsions: formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2011, 51(4): 285-330.  
[9] LIANG Rong, XU Shi-qi, SHOEMAKER C F, et al. Physical and antimicrobial properties of peppermint oil nanoemulsions[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(30): 7 548-7 555.  
[10] SEVERINO R, FERRARI G, VU K D, et al. Antimicrobial effects of modified chitosan based coating containing nanoemulsion of essential oils, modified atmosphere packaging and gamma irradiation against *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella Typhimurium* on green beans[J]. Food Control, 2015, 50: 215-222.  
[11] BILBAO-SÁINZ C, AVENA-BUSTILLOS R J, WOOD D F, et al. Nanoemulsions prepared by a low-energy emulsification method applied to edible films[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(22): 11 932-11 938.  
[12] VARGAS M, CHÁFER M, ALBORS A, et al. Physicochemical and sensory characteristics of yoghurt produced from mixtures of cows' and goats' milk[J]. International Dairy Journal, 2008, 18(12): 1 146-1 152.  
[13] 叶文斌, 樊亮, 贡汉伯. 添加中草药对黄原胶-长角豆半乳甘露聚糖复合膜性质的影响[J]. 食品科学, 2012, 34(13): 24-28.  
[14] SHIKU Y, HAMAGUCHI P Y, BENJAKUL S, et al. Effect of surimi quality on properties of edible films based

- on Alaska Pollack [J]. Food Chemistry, 2004, 86 (4): 493-499.
- [15] 彭勇, 李云飞, 项凯翔. 绿茶多酚提高壳聚糖包装膜的抗氧化性能[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 269-276.
- [16] YIN Shou-wei, TANG Chuan-he, WEN Qin-biao, et al. Properties of cast films from Hemp (*Cannabis sativa* L.) and soy protein isolates a comparative study[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(18): 7 399-7 404.
- [17] EDRIS A E, MALONE C F R. Preferential solubilization behaviours and stability of some phenolic-bearing essential oils formulated in different microemulsion systems[J]. International Journal of Cosmetic Science, 2012, 34 (5): 441-450.
- [18] DICKINSON E. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23 (6): 1 473-1 482.
- [19] BONILLA J, ATARÉS L, VARGAS M, et al. Effect of essential oils and homogenization conditions on properties of chitosan-based films[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 26(1): 9-16.
- [20] CHANTRAPORNCHAI W, CLYDESDALE F, MCCLEMENTS D J. Influence of droplet size and concentration on the color of oil-in-water emulsions [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46 (8): 2 914-2 920.
- [21] JOUKI M, MORTAZAVI S A, YAZDI F T, et al. Characterization of antioxidant-antibacterial quince seed mucilage films containing thyme essential oil[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 99: 537-546.
- [22] HUSSEIN M H, RAZAVI S H, MOUSAVI M A. Antimicrobial, physical and mechanical properties of chitosan-based films incorporated with thyme, clove and cinnamon essential oils[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2009, 33(6): 727-743.
- [23] MA Xiao-fei, CHANG P R, YU Jiu-gao. Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites [J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 72(3): 369-375.
- [24] PÉREZ-GAGO M B, KROCHTA J M. Lipid particle size effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein/beeswax emulsion films [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(2): 996-1 002.
- [25] AGUIRREA A, BORNEOA R, LEON A E. Antimicrobial, mechanical and barrier properties of triticale protein films incorporated with oregano essential oil[J]. Food Bioscience, 2013, 1: 2-9.

(上接第 122 页)

0.997,即渗透时间越短,剥离力越大;剥离力与超纯水在接装纸反面的接触角负相关,且相关系数为 0.757,即接触角越小,剥离力越大。由此可见,剥离力与接装纸的吸湿性关系较大,吸湿性越好,剥离力越大。

### 3 结论

本研究发现,接装纸吸湿性(Cobb 值、渗透时间和接触角)与剥离力之间具有较好的线性相关性,接装纸翘边、粘连等上机适应性问题的产生是由于其表面疏水性涂层所引起,且反面(非印刷面)比正面(印刷面)的影响更为显著。通过进一步改进检测方法,有望实现针对接装纸上机适应性问题快速、简单和准确的预判断。

#### 参考文献

- [1] 陈华, 陈克复, 杨仁党, 等. 烟用接装纸的生产及发展趋势[J]. 纸和造纸, 2011, 30(1): 29-32.
- [2] OCONNOR R J, BANSAL-TRAVERS M, CUMMINGS K M, et al. Filter presence and tipping paper color influence consumer perceptions of cigarettes[J]. BMC Public Health, 2015, 15(1): 1 279-1 285.
- [3] 岳玉亭, 王云丰, 刘春亮. 烟用接装纸印刷适性的研究[J]. 造纸装备及材料, 2018, 47(2): 24-28.
- [4] 张晶, 马晓伟, 冯欣, 等. 接装胶及接装纸种类对胶水渗透性的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 98-101.
- [5] 栗勇伟, 乔建军, 马少军, 等. 卷接机组烟支搓接质量的研究及改进[J]. 烟草科技, 2012, 45(10): 24-27.
- [6] 梁洁, 翟继岚. 自透接装纸对降焦减害及感官质量的影响[J]. 中华纸业, 2017, 38(16): 54-57.
- [7] 荔亮. 接装纸吸水性对卷烟卷接质量的影响[J]. 科技创新与应用, 2014(10): 52-52.
- [8] 吴云影, 赖鹤盛, 倪泽萍, 等. 表面分子修饰方法制作超疏水纸[J]. 造纸科学与技术, 2011, 30(5): 19-22.
- [9] 司红燕, 商士斌, 刘鹤, 等. 接触角法测量马来海松酸改性双组分水性聚氨酯的表面能[J]. 林产化学与工业, 2016, 36(2): 1-8.
- [10] 邱宝平, 郭鹏. 接装纸和成型纸规格对卷烟感官质量的影响研究[J]. 轻工科技, 2018, 34(4): 107-109..
- [11] 董浩, 刘锋, 荆熠, 等. 不同类型烟用接装纸表面性能及其对卷接效果的影响[J]. 烟草科技, 2011, 44(4): 10-22.
- [12] FENG Nian-jie, ZHAI Hua-min, LAI Yuan-zong. On the Chemical Aspects of the Biodelignification of Wheat Straw with *Pycnoporus sanguineus* and Its Combined Effects with the Presence of *Candida tropicalis*[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 91: 315-322.
- [13] FAIX O. Classification of lignins from different botanical origins by FT-IR Spectroscopy[J]. Holzforschung, 1991, 45 (1): 21-27.