

· 包装材料 ·

脂质-CMC 可食性复合膜阻湿性能的影响因素研究

唐亚丽^{1,2}, 赵伟^{1,3}, 卢立新^{1,2}, 倪蕾¹

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 中国包装总公司食品包装技术与安全重点实验室, 无锡 214122; 3. 食品科学与技术国家重点实验室, 无锡 214122)

摘要: 利用羧甲基纤维素(CMC)为主要成膜材料,添加脂类物质及增塑剂,研究了脂质-CMC 可食性复合膜阻湿性能的影响因素。影响膜的阻湿性能的因素依次为:蜂蜡>CMC>硬脂酸>PEG400>水/乙醇体积比。随着蜂蜡、硬脂酸含量的增加,可食性膜的水蒸气透过率下降,且2种添加剂均会降低膜的机械性能和阻油性,提高其阻氧性;随着 CMC、乙醇、PEG400 的含量的增加,膜的水蒸气透率先下降后上升。结果表明具有较好阻湿性能包装膜的最佳配比为:水/乙醇体积比为 95:5,硬脂酸质量浓度为 0.02 g/mL,PEG400 质量分数为 1.5%,蜂蜡质量浓度为 0.004 g/mL,CMC 质量浓度为 0.03 g/mL。

关键词: 阻湿性能; 抗拉强度; 可食性膜

中图分类号: TB484.1; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)19-0025-07

Study on Moisture Barrier Performance of Lipid-CMC Edible Film

TANG Ya-li^{1,2}, ZHAO Wei^{1,3}, LU Li-xin^{1,2}, NI Lei¹

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Key Laboratory of Food Packaging Techniques&Safety of China National Packaging Corporation, Wuxi 214122, China; 3. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Wuxi 214122, China)

Abstract: Influencing factors on moisture barrier performance of lipids-CMC edible film were studied, which contained carboxymethyl cellulose as the main film material, and lipids and plasticizers as additives. The sequence of factors on water vapor transmission rate is beeswax> CMC content> stearic acid> PEG400> water/ethanol. The result indicated that with the increase in stearic acid and beeswax content, the film's water vapor transmission rate, mechanical properties, and oil resistance decreases, but its oxygen barrier increases; with the increment of CMC, ethanol and PEG400 content, film's water vapor transmission rate first decreased and then increased. The optimum composition ratio for water vapor barrier performance is water/ethanol (95/5), stearic acid (0.02 g/mL), PEG400 (1.5%), the wax (0.004 g/mL) and CMC (0.03 g/mL).

Key words: moisture barrier performance; tensile strength; edible film

可食性膜作为顺应人们对食品包装的方便化和无公害化需求而迅速发展起来的新型食品包装,已成为食品包装领域的一大热点,具有广阔的市场前景,专家预言未来的食品包装将属于可食包装^[1-5]。

对于果蔬而言,可食性膜最重要的功能是阻止水分迁移,从而防止果蔬因失水而导致的变质。果蔬只要失水超过 5%,就会失去其应有的商品价值。阻湿型可食性膜不仅能够保持水果的水分,阻止水分的迁

移,并且这类物质涂于水果表面还能够减少在运输过程中水果表面的擦伤,抑制水果在储存过程中褐斑病的产生^[6-7]。然而,大部分可食性膜的阻湿性远不如高分子膜,因此研究可食性膜的阻湿性能是一个重要的课题。

羧甲基纤维素(CMC)在食品工业中可做增稠剂、稳定剂、保水剂等,由于其具有防止水分、油脂迁移,防止气体逸散等功效^[8-9],广泛应用于肉制品、禽

收稿日期: 2012-06-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31000829);中央高校基本科研业务费专项资金资助(JUSRP11114)

作者简介: 唐亚丽(1982-),女,河北人,博士,江南大学副教授,主要从事食品包装研究。

蛋、果蔬的涂膜保鲜。脂类具有极低的极性及其疏水性,所以其对水蒸气的阻隔性能很好。脂质薄膜能够防止新鲜果蔬脱水,降低果蔬的腐烂和营养消耗,但成膜塑性差,在膜的形成过程中要加入一些增塑剂和乳化剂,来增加膜的柔韧性^[10-11]。威斯康星大学研究小组运用多糖和脂肪研制出了阻湿性不亚于聚乙烯薄膜的双层可食膜,脂质-蛋白质膜的阻湿性随膜内疏水性物质的增加而提高,并且与脂类的连续性有关^[12]。国内有关脂质-多糖复合膜的阻湿性能研究较少,笔者综合利用 CMC 的阻水性与脂质良好的疏水性,系统研究脂质-CMC 可食性复合膜阻湿性能的影响因素,为阻湿型可食性膜的研究提供一定理论依据。

1 试验

1.1 材料、仪器设备

材料:羧甲基纤维素、硬脂酸、蜂蜡、聚乙二醇(Polyethylene Glycol 400, PEG400)。

仪器设备:WFZ UV-2802H 型紫外可见分光光度计、PC 型智能拉力机、BTY-B1 透气性测试仪、TSY-T1 透湿性测试仪。

1.2 方法

1.2.1 膜的制备

称取 CMC 溶解到 100 mL 去离子水和无水乙醇的混合溶液中,依次加入蜂蜡、硬脂酸、PEG400,70 °C 水浴中搅拌至形成均匀的成膜液,脱气 20 min,将成膜液流延于玻璃板上,待其稳定后,置于 60 °C 的干燥箱内,将制成的膜储存在 25 °C、湿度为 40% 的恒温恒湿箱中。

1.2.2 膜性能测定

1) 透光率。将膜切成 50 mm×10 mm 的横条,贴于比色皿的表面,在波长 600 nm 光下测定其透光

率,以空的比色皿作为对照。

2) 抗拉强度和伸长率。按照 GB 1040“塑料拉伸性能试验方法”对可食性膜进行测定。

3) 阻隔性能。采用 BTY-B1 透气性测试仪和水蒸气透过性测试仪测试透氧系数与水蒸气透过率。将 5 mL 花生油加入试管,以膜封口。倒置于滤纸上,在干燥器中放置 3 d,称量滤纸质量变化。透油系数的计算公式:

$$P_{油} = \Delta m d / (S \times t)$$

式中: $P_{油}$ 为透油系数($g \cdot mm \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$); Δm 为滤纸的质量变化(g); d 为膜厚(mm); S 为封口处膜的面积; t 为放置时间(d)。

2 结果与讨论

脂质-CMC 可食性复合膜的主要影响因素有:水和乙醇的体积比,硬脂酸、PEG400、蜂蜡含量和 CMC 的浓度。设计 5 因素 4 水平正交实验进行分析(见表 1、表 2)。

2.1 透光率的分析

脂质-CMC 可食性复合膜的透明度很高,透光率高达 88.3%。加入蜂蜡后,薄膜颜色偏黄,表面略不光滑,从而降低了其透明度,其透光率只有 40% 左右。加入硬脂酸后,薄膜呈现白色、不透明,薄膜均匀、平整,可食性膜的透光度都低于 10%。乙醇的添加不但可以溶解脂质,还可以减少薄膜的干燥时间进而加快成膜,并且一定量的乙醇可以增加薄膜的光泽度。影响透明度的最主要因素是硬脂酸,其次是蜂蜡。

2.2 伸长率的分析

伸长率是评价可食性膜机械性能的一个重要指标,由表 2 可知影响膜伸长率的主要因素是蜂蜡、PEG400 和硬脂酸。随着蜂蜡含量的增加,断裂伸长

表 1 正交试验设计

Tab. 1 Orthogonal experiment design

水平	因素				
	A	B	C	D	E
	水/乙醇体积比	硬脂酸/(g·mL ⁻¹)	PEG400/%	蜂蜡/(g·mL ⁻¹)	CMC/(g·mL ⁻¹)
1	100:0	0	0	0	0.020
2	95:5	0.006	1	0.002	0.025
3	70:30	0.013	1.5	0.003	0.030
4	50:50	0.020	2	0.004	0.035

表 2 正交试验的结果

Tab.2 The result of the orthogonal experiment

试验号	A	B	C	D	E	伸长率 /%	透油率 /(g·mm·m ⁻² ·d ⁻¹)	透光率 /%	O ₂ 透过量 /(cm ³ ·m ⁻² ·d ⁻¹ ·MPa ⁻¹)
1	1	1	1	1	1	31.4	0.0945	88.3	637.741
2	1	2	2	2	2	32.1	1.974	6.6	101.21
3	1	3	3	3	3	33.3	2.143	3	70.39
4	1	4	4	4	4	34.8	2.233	1.8	30.76
5	2	1	2	3	4	28.4	1.841	30.7	80.19
6	2	2	1	4	3	26.7	2.011	5.62	30.06
7	2	3	4	1	2	38.5	2.125	9.44	121.47
8	2	4	3	2	1	33.78	2.207	3.21	50.44
9	3	1	3	4	2	26.2	1.890	38.8	70.35
10	3	2	4	3	1	30.19	1.993	7	60.98
11	3	3	1	2	4	32.31	2.179	5.43	90.07
12	3	4	2	1	3	37.6	2.077	4.17	100.59
13	4	1	4	2	3	27.3	1.834	57	120.37
14	4	2	3	1	4	30.19	1.763	13.4	171.78
15	4	3	2	4	1	24.78	2.201	5.27	45.54
16	4	4	1	3	2	28.05	2.217	2.9	77.71

率逐渐下降,这与前人研究结果相一致^[13]。其原因是蜂蜡在常温下成固体状态,并且在膜拉伸过程中的形变非常小。在 CMC 膜空间网络中,蜂蜡含量的逐渐升高导致膜的连续性下降,造成其延展性及形变能力下降,使膜更易断裂。PEG400 主要是起增塑的作用,使膜变得柔软进而提升了其伸长率。这是由于 PEG400 为极性低分子,进入 CMC 分子中产生氢键结合,从而减小了分子间的作用力,软化薄膜刚性结构,增加流动性,使薄膜变得柔软。硬脂酸的加入使得硬脂酸的憎水基团和 CMC 分子的亲水基团作用,削弱了 CMC 分子间的键合作用,从而软化了膜的刚性,增加了链的流动性,从而使膜的柔韧性提高,进而提高了膜的伸长率^[14-15]。

2.3 透油率的分析

只加 CMC 的空白可食性薄膜的阻油性最好,但随着硬脂酸的加入,薄膜的阻油性显著下降,这是因为根据相似相溶原理,硬脂酸和油脂都是非极性分子,因而容易互相作用,油脂容易吸附在复合膜上,从而使复合膜的阻油性能下降。

2.4 氧气透过量的分析

可食性膜可对气体进行选择交换,有效地阻止氧气的渗透,调节气体成分比例和含量,可以延长食品的货架寿命。按照迁移理论,气体分子之所以能透

过薄膜,是当气体分子被薄膜吸附后,分子受到高分子材料内的化学势能驱动,因而在高分子材料内部移动,最后从另一边释放出来(称“解吸附”)。由实验结果分析可知,硬脂酸和蜂蜡的加入会大大降低可食性膜的氧气透过量。这是由于脂质的添加会形成一层脂质层,进而减少气体通透性。

2.5 脂质-CMC 可食性复合膜抗拉强度的分析

通过极差分析可知,硬脂酸是影响可食性膜抗拉强度的主要因素,其次是 CMC 的浓度、水和乙醇的体积比、PEG400 和蜂蜡的含量。

2.5.1 水和乙醇体积比对可食性膜抗拉强度的影响

在一定的范围内随着乙醇的含量的增加,可食性膜的抗拉强度增加,但超过这个范围可食性膜的抗拉强度反而下降,水/乙醇的最佳体积比为 95/5,见图 1。这是因为加入的少量乙醇分子可以与水分子相互作用,从而减少了水分子与 CMC 分子间的作用,促进了 CMC 分子间的键合作用,进而提高薄膜的抗拉强度。乙醇用量过大时,乙醇与水的作用加强,会夺去 CMC 分子的结合水分,从而使 CMC 分子之间的相互作用增强,导致其凝聚沉积;另一方面,由于乙醇用量过大,使干燥速度过快,导致 CMC 分子在没有充分展开之前就被固定下来,这样形成的膜结构不均匀,并可能会产生孔、裂缝,从而降低其抗拉强度。完

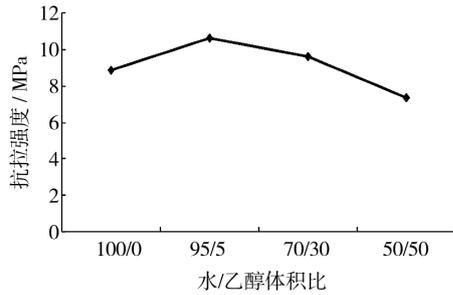


图1 水/乙醇体积比对抗拉强度的影响

Fig. 1 Effect of water / ethanol on tensile strength of the edible film

全不加乙醇时,由于脂质在膜液中分散相对不均匀,从而使抗拉强度有所降低。

2.5.2 硬脂酸的含量对可食性膜抗拉强度的影响

随着硬脂酸含量的增加,可食性膜的抗拉强度逐渐下降,见图2。由于硬脂酸分布于CMC网状结构

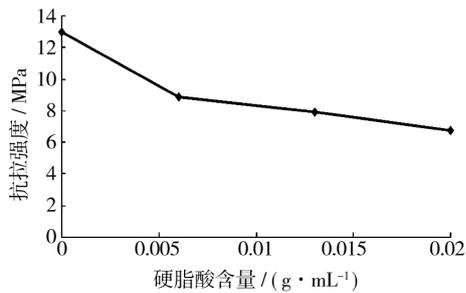


图2 硬脂酸的含量对抗拉强度的影响

Fig. 2 Effect of stearic acid on tensile strength of the edible film

的网眼缝隙中,从而削弱了CMC分子间的键合作用,硬脂酸层和CMC层应力不均,从而使抗拉强度降低。

2.5.3 PEG400的含量对可食性膜抗拉强度的影响

随着PEG400含量的增加可食性膜的抗拉强度逐渐下降,见图3,PEG400在可食性膜中起增塑的作用,PEG400为极性低分子,进入CMC分子中产生氢键结合,降低了其分子间作用力,软化了薄膜刚性结构,进而降低了其抗拉强度。

2.5.4 蜂蜡对可食性膜抗拉强度的影响

随着蜂蜡的增加,膜的抗拉强度有下降的趋势,见图4。这是由于蜂蜡的加入在可食性膜表面形成脂质层,进而降低了其抗拉强度。由于蜂蜡的含量较少,对抗拉强度的影响不显著。

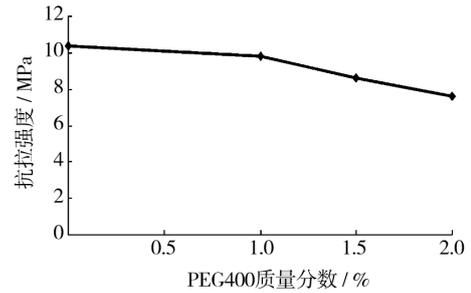


图3 PEG400质量分数对抗拉强度的影响

Fig. 3 Effect of PEG400 on tensile strength of the edible film

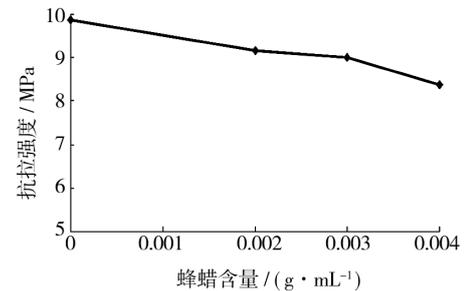


图4 蜂蜡含量对抗拉强度的影响

Fig. 4 Effect of wax on tensile strength of the edible film

2.5.5 CMC的含量对可食性膜抗拉强度的影响

可食性膜的抗拉强度随着CMC含量的增加而增加,见图5。这是由于CMC的含量高,膜较厚,CMC

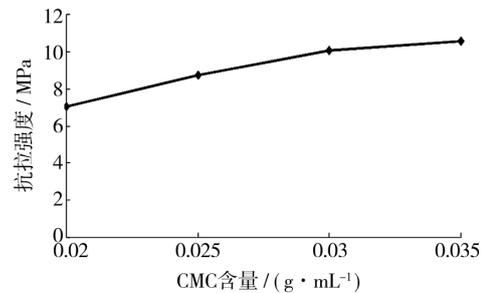


图5 CMC含量对抗拉强度的影响

Fig. 5 Effect of CMC on tensile strength of the edible film

分子间的作用力较大,从而抗拉强度大。

综上所述,硬脂酸的含量对膜的抗拉强度有显著的影响,随着硬脂酸、PEG400和蜂蜡含量的增加可食性膜的抗拉强度下降,但随着CMC含量的增加可食性膜的抗拉强度增加。

2.6 脂质-CMC可食性复合膜水蒸气透过率的分析

CMC可食性复合膜水蒸气的传输是通过“微孔模型”和“微路模型”。“微孔模型”暗示水蒸气的大量

传输是通过微孔,这发生在输水物质微粒与基质形成的胶体乳化干燥的过程中,而“微路模型”表明物质的大量传输是通过高聚物本身。见表 3,各因素的极差

$R_{蜂蜡} > R_{CMC} > R_{硬脂酸} > R_{PEG400} > R_{水/乙醇}$,见表 3。由表 3 可知,影响膜水蒸气透过率因素的主次顺序为蜂蜡、CMC、硬脂酸、PEG400 和水/乙醇体积比。

表 3 脂质-CMC 可食性复合膜水蒸气透过率的极差分析

Tab.3 Range analysis of moisture vapor permeability (MVP)

因素	水/乙醇 体积比	硬脂酸 /(g·mL ⁻¹)	PEG400 /%	蜂蜡 /(g·mL ⁻¹)	CMC /(g·mL ⁻¹)	MVP /(g·mm·m ⁻² ·d ⁻¹ ·Pa ⁻¹)
实验 1	1	1	1	1	1	0.8510
实验 2	1	2	2	2	2	0.0057
实验 3	1	3	3	3	3	0.0024
实验 4	1	4	4	4	4	0.0013
实验 5	2	1	2	3	4	0.0049
实验 6	2	2	1	4	3	0.0031
实验 7	2	3	4	1	2	0.01420
实验 8	2	4	3	2	1	0.0092
实验 9	3	1	3	4	2	0.0091
实验 10	3	2	4	3	1	0.0098
实验 11	3	3	1	2	4	0.0119
实验 12	3	4	2	1	3	0.0130
实验 13	4	1	4	2	3	0.0124
实验 14	4	2	3	1	4	0.0178
实验 15	4	3	2	4	1	0.0105
实验 16	4	4	1	3	2	0.0117
均值 1	0.215	0.219	0.219	0.224	0.220	
均值 2	0.008	0.010	0.010	0.010	0.010	
均值 3	0.011	0.009	0.009	0.007	0.008	
均值 4	0.013	0.008	0.011	0.006	0.009	
极差 R	0.207	0.211	0.210	0.218	0.212	

2.6.1 水/乙醇的体积比对膜 MVP 的影响

随着乙醇的含量的增加,膜 MVP 下降,但当乙醇的含量超过一定值时,MVP 反而有所上升,见图 6。乙醇的加入可以使脂质溶解更充分,使脂质分布

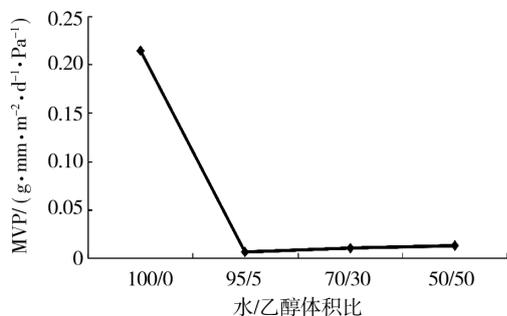


图 6 水/乙醇体积比对可食性膜 MVP 的影响

Fig.6 Effect of water / ethanol on moisture vapor permeability of the edible film

均匀,进而降低了 MVP;但是过多的乙醇的加入,会夺取与 CMC 结合的水分子,使 CMC 分子不能充分展开,这样形成的膜结构不均匀,并可能会产生孔、裂缝,宏观上表现为阻湿性的下降。

2.6.2 硬脂酸含量对膜 MVP 的影响

随着硬脂酸含量的增加,膜 MVP 逐渐下降,见图 7。这是因为硬脂酸的加入在薄膜的表面形成一层脂质层,这层脂质层的形成,减少了水蒸气在膜表面的吸附溶胀和水蒸气在膜内的扩散速度,从而大大提高了膜的阻湿性。

2.6.3 PEG400 的含量对可食性膜的影响

随着 PEG400 含量的增加,薄膜的 MVP 先下降后有一定上升,在本实验中其分隔点是 1.5%,见图 8。这是由于少量 PEG400 的加入可以削弱 CMC 分子间作用力,增加膜液的流动性,进而使 CMC 分子充分延展,使膜的结构更均匀紧密,进而降低其 MVP。

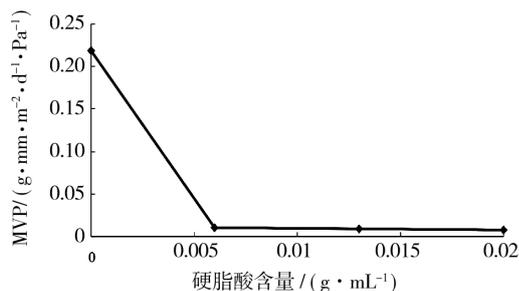


图7 硬脂酸含量对可食膜 MVP 的影响

Fig. 7 Effect of stearic acid on moisture vapor permeability of the edible film

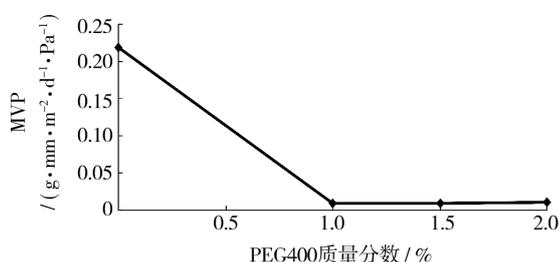


图8 PEG400 的含量对可食膜 MVP 的影响

Fig. 8 Effect of PEG400 on moisture vapor permeability of the edible film

而随着 PEG400 的继续增加,膜的结构会变得松散,并且其在基质中不易挥发,增加膜的极性,进而增加了膜的透水能力。

2.6.4 蜂蜡的含量对可食性膜 MVP 的影响

随着蜂蜡含量的增加,薄膜的 MVP 逐渐下降,见图 9,这是因为加入的蜂蜡在薄膜的表面形成一层

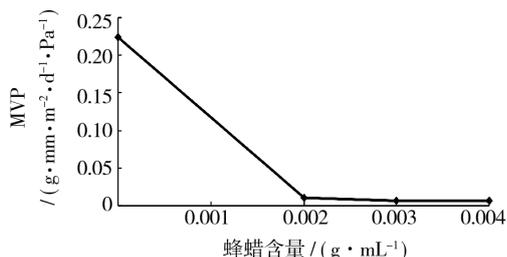


图9 蜂蜡的含量对可食膜 MVP 的影响

Fig. 9 Effect of wax on moisture vapor permeability of the edible film

脂质层,进而降低了薄膜的 MVP。随着蜂蜡含量的增加,薄膜的 MVP 下降较缓,蜂蜡含量的多少主要是对薄膜上面的那层脂质层的厚度起作用,厚度增加了对 MVP 固然有影响,但水蒸气仍可以通过比基质

更具亲水性的 CMC 而透过薄膜。硬脂酸的浓度比蜂蜡的浓度高,但阻水性却不如蜂蜡,这是由于蜂蜡的正交脂结晶比硬脂酸的六方型结晶有更好的阻隔性能^[16-17]。

2.6.5 CMC 的含量对可食性膜 MVP 的影响

首先 MVP 随着 CMC 浓度的增加而逐渐下降,随后随着 CMC 浓度的增加而稍微上升,见图 10。这

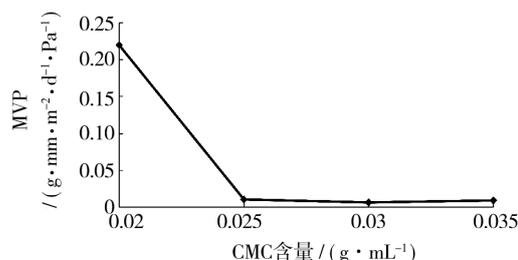


图10 CMC 含量对可食膜 MVP 的影响

Fig. 10 Effect of CMC on moisture vapor permeability of the edible film

是因为最初随着 CMC 的增加,膜的厚度增加,且 CMC 分子间的作用力增强,膜的结构紧密,进而降低了膜的 MVP。随着 CMC 的进一步增加,膜液粘度显著增加,流动性小,进而使其 MVP 上升。

3 结论

影响脂质-CMC 可食性复合膜阻湿性能的因素主次顺序为蜂蜡>CMC>硬脂酸>PEG400>水/乙醇体积比。随着蜂蜡、硬脂酸的含量的增加,膜的 MVP 下降;而随着 CMC、乙醇、PEG400 的增加,膜的 MVP 先下降后上升。对于膜的阻湿性,脂质-CMC 可食性复合膜的最佳配比组合为:水/乙醇体积比为 95:5,硬脂酸为 0.02 g/mL,PEG400 为 1.5%,蜂蜡为 0.004 g/mL,CMC 为 0.03 g/mL。在本研究中,脂质作为膜的主要阻水因子对膜的机械强度也有很大影响,一方面它可以大大提高膜的阻湿性,另一方面又会显著降低膜的机械性能,今后应该着重研究机械性能与阻湿性能方面均有显著效果的可食性膜。

参考文献:

- [1] 徐云升. 可食用膜的改性研究[J]. 食品工业科技, 2002, 23(10): 72-75.
XU Yun-sheng. Research of the Modification of Edible Film[J]. Science and Technology of Food Industry,

- 2002,23(10):72-75.
- [2] 李爱珍,邵秀芝,张建华.可食性包装膜的研究进展及其发展前景[J].包装与食品机械,2009,27(1):54-57.
LI Ai-zhen,SHAO Xiu-zhi,ZHANG Jian-hua. The Study Progress and Prospects of Edible Packaging Film[J]. Packaging and Food Machinery,2009,27(1):54-57.
- [3] 姚晓敏,高福成,闵锐.可食性包装开发现状及展望[J].食品研究与开发,1999,20(5):32-36.
YAO Xiao-min,GAO Fu-cheng,MIN Rui. Development Status and Prospect of Edible Films[J]. Food Research and Development,1999,20(5):32-36.
- [4] 王洪江,孙诚,黄利强.乳清蛋白添加量对交联羧甲基玉米淀粉可食膜阻隔性能的影响[J].包装工程,2011,32(1):46-49.
WANG Hong-jiang,SUN Cheng,HUANG Li-qiang. Effect of Whey Protein Addition on Barrier Properties of Cross-linked Carboxymethyl Modified Starch Edible Film[J]. Packaging Engineering,2011,32(1):46-49.
- [5] 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(2):4.
- [6] 林日高,李雁,周爱梅,等.可食性羧甲基纤维素膜成膜特性的研究 II:脂质对羧甲基纤维素膜的阻湿性和机械性能的影响[J].华南农业大学学报,2000,21(3):67-70.
LIN Ri-gao,LI Yan,ZHOU Ai-mei, et al. Studies on the Film-forming Property of Edible CMC Film II The Effects of Lipids on the Moisture Barrier Property and the Mechanic Property of CMC Film [J]. Journal of South China Agricultural University,2000,21(3):67-70.
- [7] 王晓玲,董海洲,侯汉学.可食性羧甲基纤维素膜制备及性能研究[J].粮食与油脂,2009(7):13-16.
WANG Xiao-ling, DONG Hai-zhou, HOU Han-xue. Study on Preparation and Properties of Carboxymethyl Cellulose Films[J]. Cereals & Oils,2009(7):13-16.
- [8] 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):73-76.
LIU Shan,ZHAO Mou-ming. Properties and Application in Food Industry of Modified Celluloses[J]. China Food Additives,2004(3):73-76.
- [9] 凌俊杰,王志耕,程华平,等.可食性膜降低油炸鱼块含油量的研究[J].食品科学,2011,32(2):62-65.
LING Jun-jie, WANG Zhi-geng, CHENG Hua-ping, et al. Effect of Edible Film Coating on Reducing Oil Uptake in Deep-fried Fish Blocks[J]. Food Science,2011,32(2):62-65.
- [10] 刘欣,周爱梅,林日高,等.可食性羧甲基纤维素膜成膜特性的研究 I:干燥温度、厚度、增塑剂种类和浓度等对膜性质的影响[J].华南农业大学学报,1999,20(4):75-79.
LIU Xin,ZHOU Ai-mei,LIN Ri-gao, et al. Studies on the Film-Formed Property of Edible CMC Film——I: The Effect of Temperature, Thickness and Plasticizer on the Property of CMC Film [J]. Journal of South China Agricultural University,1999,20(4):75-79.
- [11] 刘邻渭,王光慈,陈宗道.含脂改性纤维素可食性膜工艺和性质研[J].食品科学,1995,16(7):47-51.
LIU Lin-wei,WANG Guang-ci,CHEN Zong-dao. Study on the Technique and Properties of Edible Cellulose Films with Lipids [J]. Food Science,1995,16(7):47-51.
- [12] 陈新健.可食性小麦蛋白膜的透湿性能研究[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2000,26(6):471-473.
CHEN Xin-jian. Permeability Properties of Edible Wheat Gluten Films [J]. Journal of Huanan Agricultural University,2000,26(6):471-473.
- [13] 郭宽,张超,马越,等.可食性大豆蛋白膜的研制及在切分西瓜保鲜上的应用[J].保鲜与加工,2010,10(6):33-36.
GUO Kuan,ZHANG Chao,MA Yue, et al. Development of Edible Film Based on Soybean Protein Isolate and Its Application to the Storage of Fresh-Cut Watermelon [J]. Storage & Process,2010,10(6):33-36.
- [14] TALJA R A,HELÉN H,ROOS Y H, et al. Effect of Type and Content of Binary Polyol Mixtures on Physical and Mechanical Properties of Starch-based Edible Films [J]. Carbohydrate Polymers,2008,71(2):269-276.
- [15] 单成俊,陈正行.类脂物质对大米蛋白可食用膜的影响[J].食品与生物技术学报,2006,25(4):89-92.
SHAN Cheng-jun, CHEN Zheng-xing. Cipids Content Affecting the Properties of Rice Protein based Edible Film [J]. Journal of Food Science and Biotechnology,2006,25(4):89-92.
- [16] BERTUZZI M A,CASTRO Vidaurre E F,ARMADA M, et al. Water Vapor Permeability of Edible Starch Based Films [J]. Journal of Food Engineering,2007,80(3):972-978.
- [17] GHANBARZADEH B,ALMASI H,ENTEZAMI A A. Improving the Barrier and Mechanical Properties of Corn Starch-based Edible Films;Effect of Citric Acid and Carboxymethyl Cellulose [J]. Industrial Crops and Products,2011,33(1):229-235.