

改性牦牛乳酪蛋白可食性膜制备的研究

胡先望¹, 严晓娟¹, 陈朋¹, 吴润², 梁宁¹, 张鸣明^{1*}, 宋勇强¹

(1. 甘肃省商业科技研究所, 兰州 730010; 2. 甘肃农业大学动物医学院, 兰州 730070)

摘要: 以牦牛乳酪蛋白作为成膜基质, 氢氧化钠调节 pH, 添加脂肪类物质(如硬脂酸、软脂酸及其混合物)作为阻隔剂, 单硬脂酸小分子多元醇酯作为乳化剂, 研究各种成分的添加比例、甘油添加量、烘干温度、质量浓度比及成膜工艺参数对成膜的影响; 通过正交试验, 确定膜组分和成膜工艺的最优组合。结果表明: 当酪蛋白含量为 2.5%, 小分子多元醇酯含量为 1%, pH7.0, 烘干温度和湿度分别为 30℃、40%时, 改性膜形成一种新的结晶体, 此时形成的膜最优。

关键词: 牦牛乳酪蛋白; 可食性; 改性膜; 优化

中图分类号: TS201.21

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2014)06-0922-06

Preparation of modified edible film using Yak milk protein

HU Xianwang¹, YAN Xiaojuan¹, CHEN Peng¹, WU Run²,
LIANG Ning¹, ZHANG Mingming¹, SONG Yongqiang¹

(1. Gansu Institute of Business & Technology, Lanzhou 730010;

2. College of Veterinary Medicine, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070)

Abstract: Using yak cheese protein as a film-forming substrate, sodium hydroxide for pH adjustment, fatty substances (such as stearic acid, palmitic acid, and mixtures thereof) as a blocking agent, and a small molecule monostearate polyol ester as an emulsifier, we studied the effects of the appending proportion of various ingredients, glycerin content, drying temperature, the ratio of mass to concentration, and film-forming process parameters on the film formation. The optimal combination conditions of the ingredients and the film-forming component process were determined via an orthogonal experiment. The results showed that the blend system had a conditional miscibility and the optimal technical parameters were as follow: Yak casein at 2.5%, glycerin content at 1.0%, pH 7.0, drying temperature at 30℃, and humidity at 40%. A new crystal was formed and all the blend films showed a wonderful appearance.

Key words: Yak casein; edible; cling wrap film; optimization

随着人们环保观念的提升以及对食品质量的重视, 对食品包装的安全性也提出更高的要求。可食性膜是以天然可食性物质(如多糖、蛋白质、脂肪等)为成膜材料, 通过不同分子间相互作用而形成具有一定的力学性能、阻隔性能等的薄膜。它通过包裹、浸渍、涂布或喷洒等形式覆盖于食品表面(或内部)形成薄层, 对食品起到理化和机械保护, 并具有阻隔微生物作用^[1], 是一种理想的食品内包装材料^[2]。

可食性膜的功能与合成塑料包装相似, 具有选择性的透气和抗渗透能力, 可以阻止食品水分和风味物质的挥发, 保持食品的外观完整和原始风味, 同时也可用作食品风味料、营养强化剂、抗菌剂和抗氧化剂的载体等。在食品工业中可食性包装膜的应用范围涉及肉制品、水产品 and 果蔬的保鲜; 糖果和烘烤食品的保藏; 快餐食品的包装等。

20 世纪 90 年代以后, 以蛋白质为主要成膜基

收稿日期: 2013-11-08

基金项目: 甘肃省食品酶制剂共性关键技术研究创新团队(098TTCA013), 甘肃省技术与开发项目(1004TCYA013, 1305TCYA021)和甘肃省科技支撑计划(1204NKCA076)共同资助。

作者简介: 胡先望, 高级工程师。E-mail: hubeihxw@163.com

* 通信作者: 张鸣明, 工程师。E-mail: zmm0819@126.com

质的可食性膜成为保鲜膜研究领域的新热点^[3], 这种膜均一、致密、柔韧, 成膜液体易于附着在肉制品和水果表面形成保护膜, 从而延长成品货架期。牦牛乳在青藏高原地区来源广泛, 易获得, 价格低廉。牦牛乳中分离出的酪蛋白是一种质优且营养充足的动物蛋白, 可以促进人体对钙、铁的吸收, 是当地牧民制作藏粑主要食材。除营养功能外, 它还具有调节免疫系统^[4]、抑制胃液分泌及促进双歧杆菌生长^[5-7]的功能, 并且在动物消化道中经蛋白酶分解产生的潜在生物活性物质^[8-10]。酪蛋白溶液分子间存在多种作用力, 使得改性后的蛋白质在合适的载体表面具有良好的成膜性能。改性酪蛋白膜具有良好的通透和阻隔性能, 是一种很有发展前途的可食性膜。本研究对牦牛乳酪蛋白改性成膜的研究, 将对酪蛋白应用于食品保鲜包装方面具有一定的理论指导和实际意义^[11]。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

牦牛乳酪蛋白(食品级, 购于甘南州科瑞乳品有限公司), 小分子多元醇酯, 吐温-60, 豆油, 花生油, 胡麻油(均为食品级)。

抛光不锈钢板, 玻璃板, 塑料模具, 外径千分尺(规格: GBT1216-1985, 上海量具刀具厂); S3400N 扫描电镜(Hitachi, 日立公司); 恒温培养箱 HWS-150 型(上海森信实验仪器有限公司); 紫外分光光度计 TU-1800PC 型(南京东迈仪器有限公司); SX2-2.5-10 数显马福炉(上海绿宇生物科技有限公司); KQ3200DB 型数控超声波仪(昆山市超声仪器有限公司); 磁力搅拌器(上海南汇电讯器材厂); 电子分析天平(梅特勒-托利多仪器有限公司); 水蒸气蒸馏装置等。

1.2 试验方法

1.2.1 可食性牦牛乳酪蛋白膜制备 牦牛乳酪蛋白添加适量无离子水, 于 60℃ 水浴锅中边搅拌边加 10%NaOH 溶液至 pH 值 6.8~7.0; 磁力搅拌直至完全溶解。按比例添加增塑剂, 辅助添加植物油脂、乳化剂(吐温 60)、蜂蜡等, 高速剪切和均质后冷却至室温, 定容至 100 mL 并调整溶液 pH 6.0~8.0。取定量溶液涂于成膜介质上, 恒温箱中成膜。

1.2.2 透明度测定 将待测样品切成矩形, 贴于比色皿表面, 测定在 460 nm 波长下的透光率(%), 以透光率大小间接表示膜透明度。

1.2.3 成膜观察指标 对成膜的速度、膜色泽及完整率采用感官检验法, 评价时由 5 人采用双盲法对

各项指标打分, 每项指标均以 10 分为满分, 将 5 人的均值记入结果统计。

1.2.4 牦牛乳酪蛋白成膜方法的选择 将配制好的膜液, 定量涂于塑料(SL)板, 于 30~40℃ 恒温箱中干燥。以同样方法涂膜, 然后分别进行恒温干燥、自然干燥与微波炉干燥成膜, 对比这 3 种方式成膜的外观性质。

1.2.5 牦牛乳酪蛋白成膜介质的选择 将配制好的膜液, 分别涂于玻璃板, 不锈钢板及塑料模具材质板, 30~40℃ 干燥成膜, 对比在 3 种不同介质上所成膜的外观性质。

1.2.6 单因素试验设计 (1) 牦牛乳酪蛋白成膜温度的选择。将配制好的膜液, 定量涂于塑料(SL)板, 分别放置于 20℃、30℃、40℃、50℃ 和 60℃ 恒温恒湿箱中进行干燥, 对比这种介质上所成膜的外观性质。

(2) 牦牛乳酪蛋白成膜湿度的选择。将配制好的膜液, 定量涂于塑料(SL)板, 分别于 20%、30%、40%、50% 和 60% 恒温恒湿箱中进行干燥, 对比这种介质上所成膜的外观性质。

(3) 成膜 pH 值对牦牛乳酪蛋白成膜的影响。本试验分别考察了在 pH 值为 5.0、6.0、7.0、8.0 和 9.0 时的成膜情况, 测定在不同的 pH 时牦牛乳酪蛋白可食性膜的性能。

(4) 增塑剂对牦牛乳酪蛋白成膜的影响。小分子多元醇酯的影响。将配好的膜液分别加入 0.5、1.0、1.5 和 2.0 mL 3%(v/v)的小分子多元醇酯, 继续加热, 使之混合均匀, 并于 30℃~40℃ 下成膜。然后测定膜的透光率并观察其揭膜的完整性、膜的色泽及成膜速度。

植物油脂的影响。将配好的膜液分别加入 0.5、1.0、1.5 和 2.0 mL 3%(v/v)的豆油、花生油和胡麻油, 继续加热, 使之混合均匀, 并于 30~40℃ 下成膜, 然后测定膜的透光率并观察其揭膜完整性、膜的色泽和成膜速度。

1.2.7 电镜扫描分析 干燥样品膜, 剪成细条状, 固定于样品台上。真空镀金 10 min 后进行扫描, 加速电压为 10 kV。

1.2.8 正交设计 采用 $L_{16}(4^5)$ 正交设计, 以改性膜的感官测定为指标, 将 20 g 的成膜液, 涂于塑料(SL)板, 添加 1% 小分子多元醇酯和 1 mL 植物油脂, 恒温恒湿干燥 12 h 的条件下进行成膜, 考察酪蛋白浓度、温度、湿度、pH 对成膜的影响, 试验因素及水平见表 1。

表 1 正交试验因素水平
Table 1 Factors and levels for orthogonal experiment

水平 Level	因素 Factor			
	酪蛋白浓度/% Casein concentration	温度/°C Temperature	湿度/% Humidity	pH
1	0.5	20	20	6.0
2	2.5	30	30	7.0
3	5.0	40	40	8.0
4	7.5	50	50	9.0

2 结果与分析

2.1 牦牛乳酪蛋白成膜方式的选择

将牦牛乳酪蛋白的溶液分别在不同条件下干燥成膜, 其成膜性能如表 2 所示。

牦牛乳酪蛋白分子中富含含硫氨基酸, 蛋白质分子间以较强的二硫键、疏水键相连, 当浓度达到一定值时, 蛋白质分子凝聚, 分子间开始并不断形成网络结构, 脱水干燥到平衡状态, 就形成了牦牛乳酪蛋白薄膜。因此, 牦牛乳酪蛋白成膜的好坏除

了受溶剂浓度、用量等因素影响之外, 还受成膜条件、成膜介质的影响。对于上述 3 种成膜条件来说, 由于溶剂的挥发速度较慢, 有助于氢键、二硫键及疏水键的形成, 因而自然风干法成膜性能好, 但成膜时间较长, 必然在实际应用中受到限制; 而直接用微波炉加热, 由于温度很高, 成膜性能不理想; 所以综合各方面的因素考虑, 在恒温干燥箱内成膜, 温度和湿度均可调控且可以保持恒定不变, 是一种比较理想的成膜方法。

表 2 不同干燥条件的成膜性能
Table 2 Different film-forming properties under dry conditions

成膜条件 Film-forming condition	成膜性能 Film-forming property
恒温干燥箱 Electric oven drying	温度恒定, 成膜时间短, 膜均匀, 易剥离
微波炉 Microwave-drying	成膜时间短, 易剥离, 温度难控制, 膜较均匀
自然风干 Air-drying	膜均匀但成膜时间长

表 3 不同介质上的成膜性能
Table 3 Film performance on different media

成膜介质 Film-forming media	成膜性能 Film-forming property
塑料材质(SL)Plastic material	成膜速度稍慢, 膜均匀, 易剥离
不锈钢 Stainless steel	成膜迅速, 膜均匀, 不易剥离
玻璃 Glass	成膜慢, 膜不均匀, 强度差, 难剥离

表 4 不同温度下的成膜性能
Table 4 Film-forming performance under different temperatures

温度/°C Temperature	成膜速度 Film-forming speed	膜色泽 Film color	完整率 Intact rate	透光率/% Light transmittance
10	7	7	7	28.0
20	7	7	7	51.5
30	8	8	8	72.0
40	8	8	8	69.0
50	8	8	9	64.8
60	8	9	9	58.1

2.2 牦牛乳酪蛋白成膜介质的选择

在不同介质上牦牛乳酪蛋白成膜, 其成膜性能如表 3 所示。

在这 3 种介质中, 塑料材质(SL)表面光洁度高, 剥离性好, 成膜性最好。在另外 2 种介质上, 成膜

液中溶剂挥发不均匀, 所以成膜性差, 且膜性能也不好。因此, 以塑料材质为最好。

2.3 单因素试验结果

2.3.1 牦牛乳酪蛋白成膜温度的选择 将牦牛乳酪蛋白的溶液分别在不同温度下干燥成膜, 其成膜性

能如表 4 所示。

由表 4 可知, 牦牛乳酪蛋白有较好的耐热性, 使用温度优于普通塑料薄膜。在 20℃ 以下, 牦牛乳酪蛋白可在塑料材质板上形成不透明的薄膜, 透光率较差; 在 30~40℃ 牦牛乳酪蛋白可在塑料材质板上形成透明薄膜; 当温度提高至 60℃, 随温度提高, 成膜速度也加快, 但温度过高, 产品色泽较深, 蛋白质也易发生变性, 故温度选择 30~40℃ 为好。

2.3.2 牦牛乳酪蛋白成膜湿度的选择 将牦牛乳酪蛋白的溶液分别在不同湿度下干燥成膜。由试验可知, 牦牛乳酪蛋白膜的耐湿性一般。在 30% 的湿度以下, 可食性膜发生干裂不成型; 当湿度增至 60% 时, 随着湿度加大, 成膜速度减慢, 甚至不成膜, 故湿度选择为 30%~50% 较好。

2.3.3 牦牛乳酪蛋白成膜 pH 值的选择 成膜溶液的 pH 值对膜的机械性能和阻隔性能有非常大的影响。酸碱可以破坏蛋白质的盐键, 使蛋白质由原来

高度规则的紧密排列方式变为不规则的松散排列方式 (包括肽链的伸展)^[15-16]。试验研究表明, 在 pH5.0~6.0 时形成的膜强度很差或只是沉积在模具上并不形成完整的网络结构, 很难从模具上揭落。这是由于在弱酸条件下, 蛋白质分子没有展开, 没有相互作用交联形成网络结构。在 pH8.0~9.0 时, 牦牛乳酪蛋白已经能部分甚至全部溶解, 在加热时形成的膜较透明, 有一定的抗拉强度和较高的延伸率。而在 pH7.0 时形成的膜在烘干后能形成比较完整的膜, 易从模具上揭落, 但是膜的抗拉强度和延伸率都比较差。基于以上各种情况, 成膜溶液的 pH 较适范围为 6.0~8.0。

2.3.4 增塑剂对牦牛乳酪蛋白成膜的影响 (1) 小分子多元醇酯的影响。在牦牛乳酪蛋白成膜溶液中加入不同量的 0.5%~2%(v/v) 的小分子多元醇酯, 将溶解液成膜后测得膜性能如表 5 所示。

表 5 小分子多元醇酯添加量对膜性能的影响

Table 5 Effect of added amount of micro-molecule polyol ester on membrane performance

小分子多元醇酯添加量/% Added amount of micro-molecule polyol ester	成膜速度 Film-forming speed	膜色泽 Film color	完整率 Intact rate	透光率/% Light transmittance
0.0	8	8	7	62.0
0.5	8	8	8	70.6
1.0	8	9	9	68.1
1.5	8	7	7	57.0
2.0	—	—	不成膜	—

表 6 豆油添加量对膜性能的影响

Table 6 Added amount of soybean oil on membrane performance

豆油添加量/mL Added amount of soybean oil	成膜速度 Film-forming speed	膜色泽 Film color	完整率 Intact rate	透光率/% Light transmittance
0.0	8	8	7	69.7
0.5	8	8	8	69.1
1.0	8	9	8	66.4
1.5	7	7	7	64.5
2.0	7	7	7	57.2

以蛋白质为主要原料制备的可食性膜, 一般膜质脆且不易揭膜。若适当添加多元醇类的增塑剂^[12], 利用其保湿性来弱化高聚物分子之间的相互作用, 提高流动性并增加膜的柔韧性, 从而可以避免成膜时产生裂纹和孔洞。但增塑剂在赋予膜柔韧性的同时, 也可以改变膜的通透性。增塑剂存在于大分子聚合链之间, 增大了体系的自由体积, 能够削弱蛋白纤维与增稠剂分子间的次价键, 强化体系中的分子间作用力, 减小邻近聚合链间的相互作用, 从而降低弹性模量和断裂拉伸强度, 改善了膜的润

滑性能^[13]。试验结果表明: 小分子的多元醇酯是较为理想的增塑剂。

从表 5 可见, 添加小分子多元醇酯后, 成膜速度没有明显改变, 而膜的机械强度有所下降, 但在小分子多元醇酯的添加量为 1% 时, 膜的透明度有所提高。其他研究表明, 当多元醇含量大于成膜液质量 3% 时, 透光率相差不大, 曲线趋于平缓; 当多元醇含量在 4% 时, 抗拉强度达最大, 而断裂伸长率仅稍低于 2% 与 3% 水平^[14]。

表 7 花生油添加量对膜性能的影响

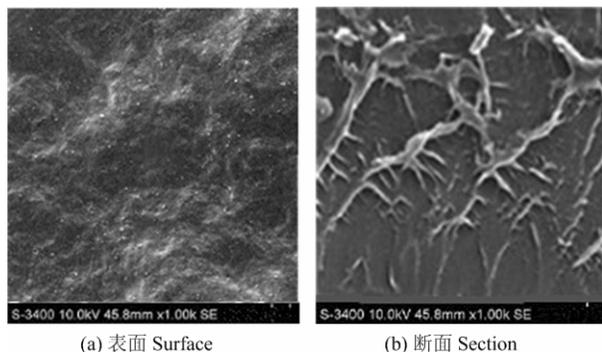
Table 7 Added amount of peanut oil on membrane performance

花生油添加量/mL Added amount of peanut oil	成膜速度 Film-forming speed	膜色泽 Film color	完整率 Intact rate	透光率/% Light transmittance
0.0	8	8	7	70.3
0.5	8	8	8	69.0
1.0	8	8	8	68.2
1.5	8	7	7	66.7
2.0	7	7	6	56.8

表 8 胡麻油添加量对膜性能的影响

Table 8 Added amount of linseed oil on membrane performance

胡麻油添加量/mL Added amount of linseed oil	成膜速度 Film-forming speed	膜色泽 Film color	完整率 Intact rate	透光率/% Light transmittance
0.0	8	8	7	71.0
0.5	8	8	8	69.3
1.0	8	9	9	65.0
1.5	8	7	7	60.9
2.0	8	7	7	55.0



(a) 表面 Surface

(b) 断面 Section

图 1 牦牛乳酪蛋白膜 SEM 照片

Figure 1 SEM photographs of the yak milk protein films

(2) 植物油脂的影响。在牦牛乳酪蛋白成膜溶液中加入不同量的豆油、花生油和胡麻油将溶液成膜后测得膜性能如表 6、表 7 和表 8 所示。

从表 6 至表 8 得知, 从成膜速度、膜色泽、完整率和透光率 4 个因素综合评定, 植物油脂中选择添加胡麻油较好。添加胡麻油后, 膜的透明度均降低, 另外随着添加量的增大, 膜透明度亦呈下降趋势。因此, 添加胡麻油对膜的透明度是不利的, 对于抗张强度来说, 添加量在 0.5 mL 时机械强度低于添加量在 1 mL 时, 但当添加量到达 2 mL 以上, 却不能成膜。所以说, 添加量 1 mL 较为合适, 但与未添加胡麻油的膜相比, 未添加的膜抗张强度更高。

根据上述增塑剂添加试验结果得知, 胡麻油可增加膜的抗张强度, 却降低了其透明度。增塑剂可以根据不同需要来选择添加, 如果对膜的机械强度要求较高而对其透明度不作要求时, 可选择添加胡

麻油; 反之, 对透明度要求较高, 而对机械强度的要求稍低时, 则宜选用小分子多元醇酯作为增塑剂。添加增塑剂对牦牛乳酪蛋白膜的性能指标也会产生一定的影响, 其中小分子多元醇酯可提高膜的透明度, 而胡麻油则可以提高膜的抗张强度。

2.4 扫描电镜图分析

图 1 为酪蛋白浓度 2.5%, pH7.0, 成膜条件为温度 30℃和湿度 40%时形成牦牛乳酪蛋白膜材料表面、断面的扫描电镜照片。由图 1(a)可看出, 牦牛乳酪蛋白可以形成均一、连续的膜。但是膜表面分散着细小的颗粒, 这是球晶颗粒被破坏后留下的结晶碎片, 这些结晶碎片会诱导蛋白分子重结晶的发生。由图 1(b)可看出, 膜的网络结构均匀致密, 褶皱较少, 无明显的孔洞。

2.5 正交试验数据分析

根据单因素试验结果, 确定出 4 种主要影响酪蛋白改性膜的因素, 按照正交表设计进行试验, 结果见表 9。

对以上正交试验结果进行极差分析结果可知: 对膜影响最大的因素是酪蛋白浓度($R=1.625$), 其次是湿度($R=1.125$), 再次是 pH($R=0.975$), 而最小的是温度($R=0.550$)。从极差分析中可以得出每个因素的最佳水平, 将其组合在一起即为最优组合: 酪蛋白浓度 2.5%, 温度 30℃, 湿度 40%和 pH7.0。验证试验表明, 按此组合成膜最佳。

通过表 10 方差分析可以得出温度范围和 pH 对成膜影响显著, 而酪蛋白浓度和湿度对成膜有极显著的影响。

表 9 正交试验结果

Table 9 Results of orthogonal test and range analysis

试验号 No.	因素 Factor				综合得分 Comprehensive score
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	6.8
2	1	2	2	2	8.4
3	1	3	3	3	8.5
4	1	4	4	4	8.1
5	2	1	2	3	9.3
6	2	2	1	4	8.9
7	2	3	4	1	8.6
8	2	4	3	2	9.6
9	3	1	3	4	9.2
10	3	2	4	3	9.0
11	3	3	1	2	7.9
12	3	4	2	1	7.2
13	4	1	4	2	8.1
14	4	2	3	1	7.5
15	4	3	2	4	7.6
16	4	4	1	3	6.7
K_1	7.950	8.350	7.575	7.525	
K_2	9.100	8.450	8.125	8.500	
K_3	8.325	8.150	8.700	8.375	
K_4	7.475	7.900	8.450	8.450	
R	1.625	0.550	1.125	0.975	

注: A 表示酪蛋白浓度 Casein concentration; B 表示温度 Temperature; C 表示湿度 Humidity; D 表示 pH.

综合评分标准为透明度、成膜速度、柔韧性及溶解速度, 满分分别为 2、2、3 和 3, 其中评分随着透明度和柔韧性的增大而增加, 随着成膜速度和溶解速度的增大而减小。

Comprehensive score is based on transparency, film-forming speed, flexibility and solution rate, and full score is 2, 2, 3 and 3, correspondingly. Of which, the score can be increased with increasing the transparency and flexibility, while it is decreased with increasing the film-forming speed and dissolution rate.

表 10 方差分析

Table 10 Analysis of variance

因素 Factor	Type III SS	DF	MS	F	Sig.
酪蛋白浓度 Concentration	5.653	3	1.884	452.200	0.000
温度 Temperature	0.708	3	0.236	56.600	0.004
湿度 Humidity	2.832	3	0.944	226.600	0.000
pH	2.552	3	0.851	204.200	0.001

3 讨论

正交试验得出的最优组合为酪蛋白浓度 2.5%, 温度 30℃, 湿度 40% 和 pH7.0, 此条件下成膜最优, 但由于这种寻优方法只是通过少量试验次数达到寻找最优组合, 因而试验结果具有一定的局部性。

单因素试验结果得出恒温干燥箱内成膜, 成膜介质以塑料材质为最好, 小分子多元醇酯作为增塑

剂添加量为 1% 时最优。

本试验研究了牦牛乳酪蛋白成膜特性, 并通过添加小分子多元醇类、类脂物质、小分子多元醇酯等物质增加蛋白质疏水基团来提高膜对水分子的阻隔性能, 达到对膜进行改性的目的。较其他成膜基质而言, 酪蛋白具有良好的成膜性能, 形成透明、柔软、有弹性的膜, 能有效抵抗表面机械损伤, 阻断微生物侵蚀。这种膜在较低湿度下对氧气、芳香物质和油脂具有优良的阻隔性, 同时膜本身也是一种蛋白营养成分。研究表明, 酪蛋白浓度、湿度、pH 等对膜的性能影响较大, 疏水类物质添加使牦牛乳酪蛋白可食性膜的疏水性得到了较大的提高, 而植物油脂添加则可以提高膜的抗张强度。

参考文献:

- [1] 马丹, 岳喜庆, 赵晓燕, 等. 可食性膜在肉制品保鲜加工中的应用研究[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(1): 126-129.
- [2] 李欣欣. 含脂马铃薯淀粉基可食膜的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2004.
- [3] 赵丽美. 变性淀粉-壳聚糖可食性膜的包装性能研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2007.
- [4] Otani H, Hata I. Inhibition of proliferative responses of mouse spleen lymphocytes and rabbit Peyer's path cells by bovine milk caseins and their digests[J]. Journal of Dairy Research, 1995, 62: 339-348.
- [5] Gyorgy P, Kuhn R, Rose G. Bifidus factor its occurrence in milk from different species and in other natural products [J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1954, 48: 202-208.
- [6] Gyorgy P, Jeanloz R W, Hubertus Y. Undialyzable growth factor for *Lactobacillus bifidus* var pennsylvanicus [J]. European Journal of Biochemistry, 1974, 43: 29-33.
- [7] Azuma N, Yamauchi K, Mistouka T. Bifidus growth-promoting activity of a glycomacropptide derived from human κ -casein [J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1985, 48: 2159-2162.
- [8] Cadée J A, Chang C Y, Chen C W, et al. Bovine casein hydrolysate (c12 Peptide) reduces blood pressure in prehypertensive subjects[J]. American Journal of Hypertension, 2007, 20(1): 1-5.
- [9] Miguel M, Contreras M M, Recio I, et al. ACE-inhibitory and antihypertensive properties of bovine casein hydrolysate [J]. Food Chemistry, 2009, 112(1): 211-214.
- [10] Karaki H, Sugano S. Nihypertensive effect of typtic hydrolysate of milk casein spontaneously hypertensive rats[J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1990, 26: 367-371.
- [11] 冯治平, 刘达玉. 改善花生分离蛋白成膜及保藏特性研究[J]. 食品科学, 2005, 26(1): 52-56.
- [12] Bertuzzi M A, Castro E F, Armada M, et al. Water vapor permeability of edible starch based films [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(2): 972-978.
- [13] 朱选, 许时婴. 可食用膜的通透性及其应用[J]. 食品与发酵工业, 1997, 23(3): 50-55.
- [14] 李爱珍, 邵秀芝, 刘兰图. 明胶—壳聚糖可食性复合包装膜性能影响因素[J]. 粮食与油脂, 2009 (7): 17-18.
- [15] 郑集, 陈钧辉. 普通生物化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [16] 徐寿昌. 有机化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993.