

蜂胶/纳米 SiO₂ 复合膜的制备和性能研究

张蓓¹, 韩鹏祥¹, 冯叙桥^{1,2,*}, 段小明¹

(1.渤海大学食品科学研究院, 辽宁省食品安全重点实验室, 辽宁锦州 121013;

2.沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866)

摘要:以明胶为基材, 添加适量的蜂胶和纳米 SiO₂ 制备分散均匀的蜂胶/纳米 SiO₂ 复合膜。采用单因素实验分别研究了明胶、蜂胶和纳米 SiO₂ 添加量对复合膜拉伸强度、断裂伸长率、透光率、水蒸气透过性、氧气透过性和二氧化碳透过性的影响, 对实验结果进行多指标主成分分析。获得膜综合性能优良的组合因素与水平为: 明胶添加量 2g/100mL, 蜂胶添加量 1.5g/100mL, 纳米 SiO₂ 添加量 0.03g/100mL。

关键词:明胶, 蜂胶, 纳米 SiO₂, 单因素实验, 主成分分析

Preparation and properties of propolis/nano-silica composite film

ZHANG Bei¹, HAN Peng-xiang¹, FENG Xu-qiao^{1,2,*}, DUAN Xiao-ming¹

(1.Food Science Research Institute of Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Jinzhou 121013, China;

2.College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Technological parameters using gelatin as base material to make evenly spread propolis/nano-silica composite film were optimized with the right amount of propolis and nano-silica. The influence of the added amount of gelatin, propolis and nano-silica on tensile strength, elongation, transmittance, water vapor permeability, oxygen permeability and carbon dioxide permeability of the composite film, were firstly investigated by single factor experiments, and the data were then analyzed by the method of principal component analysis. The results indicated that excellent comprehensive performance of the film was obtained by the formula that the added amount of gelatin, propolis and nano-silica were 2g/100mL, 1.5g/100mL and 0.03g/100mL, respectively.

Key words: gelatin; propolis; nano-silica; single-factor experiment; principal component analysis

中图分类号: TS206

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)17-0088-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2014.17.010

涂膜保鲜是一种重要的食品贮藏保鲜技术, 成膜材料对涂膜保鲜的效果起着决定性作用, 如何提高成膜剂的保鲜性能是涂膜保鲜技术面临的焦点问题^[1]。蜂胶(propolis)中含有大量的类黄酮、芳香酸及酯类等物质, 具有很强的抑菌、杀菌、抗氧化能力^[2], 因此, 蜂胶作为食品涂膜保鲜剂具有很大的发展前景。在实际应用中, 人们常将蜂胶与其它物质复合使用以提高蜂胶膜的保鲜性能。如 Pastor 等人^[3]在蜂胶溶液中加入具有良好成膜性的羟丙基甲基纤维素, 对葡萄进行涂膜保鲜取得了较好的效果。纳米 SiO₂ 是一种无毒、无味、无污染的无机非金属材料^[4], 目前已被列为食品添加剂^[5], 具有纳米粒子的表面、界面效应、小尺寸效应和量子隧道效应,

且稳定性、增稠性和触变性较好^[6]。近年来, 国外已经有用纳米 SiO₂ 保鲜果蔬的报道, 如 Yu 等^[6]在 1% 的壳聚糖中添加 0.04% 的纳米 SiO₂ 对采后红枣在室温下进行涂膜保鲜, 得到了较好的保鲜效果。

明胶分子有着优良的线性结构, 有利于与其他大分子结合成网络结构, 使其具有较好的成膜特性^[7]。因此, 研究在明胶溶液中加入蜂胶和纳米 SiO₂ 来改善复合膜的品质, 以期对果蔬、肉、鱼等食品的涂膜保鲜提供基础性研究资料及参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

蜂胶溶液 参考 Pastor 等人^[8]的方法制备(蜂胶含量为 6g/100mL); 纳米 SiO₂ 参考 Lai 等人^[9]的方法制备; 明胶食品级 购自万和食化配料添加剂公司; 乙醇、甘油、十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)、四甲氧基硅烷(TEOS)、氢氧化钠均为分析纯 购自新科试剂公司。

722N 型可见光分光光度计 上海精密科学仪器有限公司; DZF-6050 型真空干燥箱 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; HH-6 数显恒温水浴锅 国华

收稿日期: 2013-12-16 * 通讯联系人

作者简介: 张蓓(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏工程。

基金项目: 渤海大学人才引进基金项目(BHU20120301); 辽宁省科技厅重点项目(2008205001); 沈阳农业大学高端人才引进基金项目(SYAU20090107)。

电器有限公司; RJM-1.8-10 马弗炉 沈阳市长城工业电炉厂; DL-1 电子万用炉 北京市永光明医疗仪器厂; TA.XT-plus 质构仪 英国 Stable Micro Systems 公司; IT-09A-5 磁力搅拌机 Hol Plate Magnetic Stirrer; 0-150 游标卡尺 上海精密科学仪器有限公司; VAC-VBS 压差法气体渗透仪 济南兰光机电技术有限公司; WC/031 水蒸气透过率测试仪 济南兰光机电技术有限公司; DHG-9038A 型电热鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司; ML104/02 电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 蜂胶/纳米 SiO₂ 复合膜的制备 将一定量的明胶、纳米 SiO₂ 以及 1% 的甘油 (v/v) 加入蜂胶溶液中, 50℃ 下加热溶解后, 真空脱气, 冷却, 将成膜液均匀倒入 18 × 18 × 0.5 cm³ 亚克力 (聚甲基丙烯酸甲酯, PMMA) 成膜板中 (四边均用 18 × 0.5 × 0.5 cm³ 亚克力条围起), 于室温下干燥成膜。将制成的膜放在相对湿度 56%、温度 30℃ 的干燥器中保存^[10]。

1.2.2 机械特性的测定 参照 ASTM D882-02 的方法进行测定^[11], 并根据复合膜的实际情况稍作更改。将膜裁剪成长 60mm, 宽 22mm 的长条, 用质构仪测定样品的拉伸强度 (tensile strength, TS) 和断裂伸长率 (elongation, E), 拉引速度和初始夹距分别设定为 10mm/s 和 30mm。TS 和 E 的计算公式如下:

$$TS = F/S$$

$$E(\%) = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100$$

式中, TS 为膜的抗拉强度 (MPa); F 为膜断裂时的最大拉力 (N); S 为膜横截面积 (mm²); E 为断裂伸长率 (%); L₁ 为膜断裂时长度 (mm); L₀ 为膜样品长度 (mm)。

1.2.3 透光率的测定 将膜剪成 10mm × 44mm 的长条, 紧贴于可见分光光度计玻璃皿一侧, 以空白玻璃皿为对照, 在 600nm 波长处测定其透光率 (transmittance, T)^[12]。

1.2.4 水蒸气透过率的测定 根据文献 [13], 采用 WC/031 水蒸气透过率测试仪测定复合膜的水蒸气透过率 (water vapor permeability, WVP): 用取样器将膜裁剪成直径为 80mm 的圆形, 测试试样应厚度均匀并且没有皱折、褶皱、针孔以及污渍, 试样在实验前按照 GB/T 2918-1998^[14] 中的规定, 在温度 (23 ± 2)℃、相对湿度 (50% ± 5%) 的环境下放置 24h。设置实验参数为预热时间 4h、温度 38℃、湿度 90%、实验判断比例 10%、称重间隔 120min, 测试面积 33cm²。

1.2.5 透气性的测定 根据文献 [15], 采用 VAC-VBS 压差法气体渗透仪测定复合膜的透气性: 测试模式选择比例模式, 测定氧气透过率 (oxygen permeability, OP) 时比例为 10%; 测定二氧化碳透过率 (carbon dioxide permeability, CP) 的比例为 50%。测试面积为 28.27cm²、样品数量为 3 个。

1.2.6 数据处理 采用 Origin 7.5 进行绘图, 利用 SPSS 19.0 进行实验数据的多重比较 (LSD 和 Duncan 检验) 和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 明胶添加量 在蜂胶添加量 1g/100mL、纳米 SiO₂ 添加量 0.03g/100mL、甘油添加量 1% (v/v) 的条件下, 考察不同明胶添加量对膜性能的影响, 样品的均值、标准偏差及数据间差异达到显著水平 (p < 0.05, 以不同的小写字母表示) 如图 1 所示。

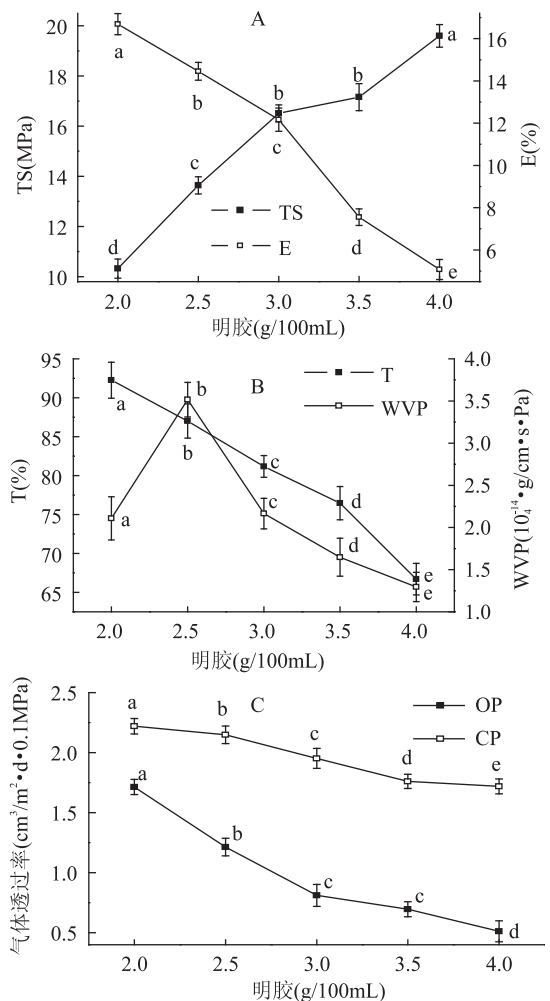


图 1 明胶添加量对复合膜性能的影响

Fig.1 Effect of added amount of gelatin on the composite film

可知, 明胶对复合膜的 E、T、WVP 以及 CP 均存在显著性影响 (p < 0.05), 而 TS 和 OP 在明胶添加量为 3~3.5g/100mL 的时候变化不明显 (p > 0.05), 在其它范围变化显著 (p < 0.05)。随着明胶添加量的增加, 蛋白质凝聚时产生的氢键、S-S 键增多, 疏水相互作用增大, 形成的蛋白膜致密性和连续性增加, 导致蛋白膜的 TS 变大, T、OP 和 CP 减小, 同时膜的柔韧性下降, 所以 E 逐渐减小^[16]。WVP 的变化是当明胶添加量较小的时候, 蛋白质的亲水性占主要优势, 随添加量的增加, WVP 逐渐增大, 随后因为明胶蛋白质凝聚时产生的氢键、S-S 键和疏水键占优势, 导致膜的疏水性增强, WVP 下降^[17]。因此, 适量的添加明胶可以显著改善复合膜的机械特性, 这与 Soradach^[18] 等人结果类似。

2.1.2 蜂胶添加量 固定明胶、纳米 SiO₂ 及甘油的添加量分别为 3g/100mL、0.03g/100mL 和 1% (v/v),

考察不同添加量的蜂胶对复合膜性能的影响,结果如图2所示。

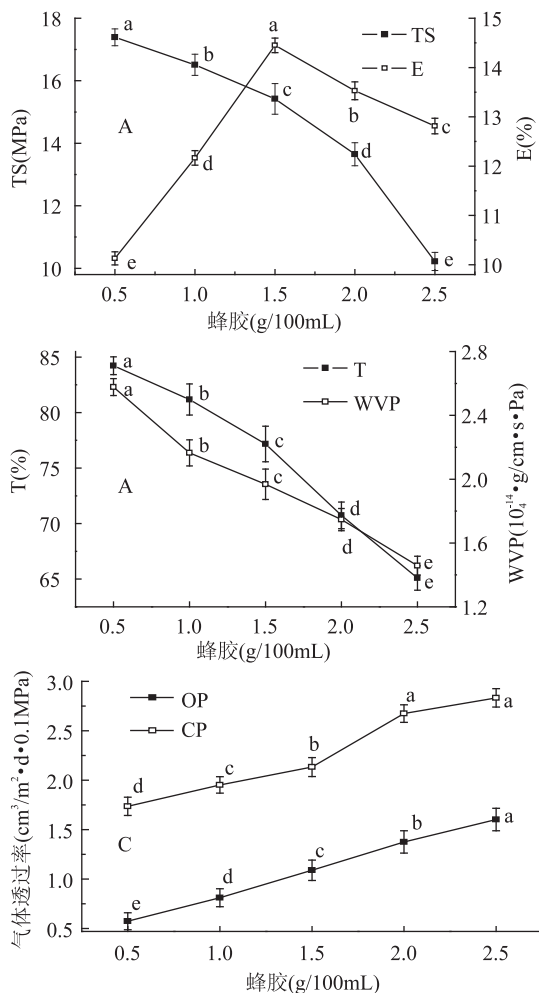


图2 蜂胶添加量对复合膜性能的影响

Fig.2 Effect of added amount of propolis on composite film

通过方差分析和多重比较知,蜂胶对 TS、E、T、WVP 以及 OP 均有显著性影响 ($p < 0.05$);蜂胶在 0.5~2g/100mL 之间变化时,CP 变化显著 ($p < 0.05$),而后随着蜂胶添加量的增加,复合膜的 CP 没有明显变化。蜂胶溶液的分散会破坏聚合物基质的紧密结构从而产生不连续区域^[19],复合膜多孔性增加,因此 TS 逐渐减小,OP、CP 和 E 逐渐增加,而当蜂胶添加量大于 1.5g/100mL 时,蜂胶对甘油的增塑作用产生负面影响,复合膜的延展性和形变能力下降,因此 E 逐渐减小^[20]。由于蜂胶是由多种具有不同折射率的物质组成的聚合物,具有较强的光散射行为,因此会降低复合膜的 T。蜂胶属于疏水性物质,随着蜂胶蛋白质基质中的疏水性物质的增加,亲水性物质所占的比例逐渐减小,聚合物基质与水蒸气的相互作用发生变化,因此复合膜的 WVP 逐渐减小^[19]。

2.1.3 纳米 SiO₂ 添加量 固定明胶、蜂胶及甘油的添加量分别为 3g/100mL、1g/100mL 和 1% (v/v),考察不同添加量的纳米 SiO₂ 对复合膜性能的影响。结果如图3所示。

当纳米 SiO₂ 添加量较小的时候,随着浓度的增加,膜液成膜固化时,有机相收缩,有机-无机相之间

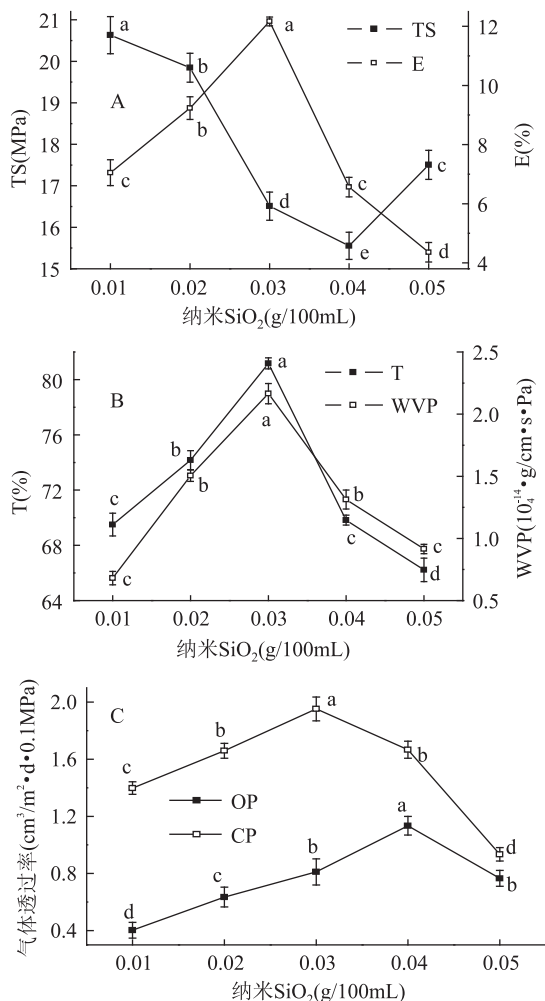


图3 纳米 SiO₂ 添加量对复合膜性能的影响

Fig.3 Effect of added amount of nano-silica on composite film

的界面应力松弛现象加剧,致使膜的微孔数增加,所以膜的 TS 降低,OP、CP 增加;而微孔的增加,有利于膜的拉伸形变,所以增加了膜的 E;当纳米 SiO₂ 添加量继续增加时,体系黏度逐渐增大,溶质浓度增加,致使膜的致密性增加,同时纳米 SiO₂ 的存在也会导致膜的孔隙率降低^[19],所以 TS 逐渐增加,而 E、OP、CP 逐渐减小。此外,TS 的增加也可能是由于当纳米粒子受到外力的作用时,其周围的剪切应力随之转移,使与纳米 SiO₂ 相连的区域产生局部屈服形变,增加了耗散冲击能^[21]。关于纳米粒子对薄膜 T 影响的机理鲜有报道,原因可能是薄膜的 T 与薄膜的折射率有关,当纳米 SiO₂ 添加量小于 0.03g/100mL 的时候,复合膜的折射率小于比色皿的折射率,此时薄膜具有增透作用。随着纳米 SiO₂ 添加量的增加,多光束干涉作用致使薄膜的 T 增加。当添加量大于 0.03g/100mL 的时候,薄膜的折射率大于比色皿的折射率,薄膜的 T 逐渐减小^[22]。纳米 SiO₂ 属于亲水性物质,添加一定量的纳米粒子,可增加聚合物材料的亲水性,因此 WVP 逐渐增大。然而,当添加量过大时,由于膜表面附着大量的纳米粒子,使表面粗糙度增大,这种粗糙表面增加了膜的疏水性,从而使 WVP 逐步减小^[19]。

2.2 主成分分析与综合模型构建

2.2.1 主成分分析 由于复合膜的各指标具有不同的量纲,且在数量级上具有较大的差别,为了消除由此给主成分分析结果带来的不合理影响,需要对数据进行标准化处理,从而使数据间具有可比性^[23],结果如表 1 所示。

表 1 复合膜主要品质指标标准化处理结果

Table 1 Standardized results of major quality indexes of composite film

变量	添加量 (g/100mL)	TS	E	T	WVP	OP	CP
明胶	2.00	-1.85	1.63	1.95	0.42	1.94	0.65
	2.50	-0.78	1.04	1.32	2.44	0.68	0.50
	3.00	0.16	0.43	0.61	0.50	-0.33	0.08
	3.50	0.37	-0.80	0.03	-0.24	-0.62	-0.33
	4.00	1.16	-1.46	-1.15	-0.74	-1.09	-0.42
蜂胶	0.50	0.44	-0.11	0.98	1.09	-0.93	-0.38
	1.00	0.16	0.43	0.61	0.50	-0.33	0.08
	1.50	-0.20	1.04	0.12	0.22	0.37	0.46
	2.00	-0.77	0.79	-0.66	-0.10	1.09	1.62
	2.50	-1.89	0.60	-1.35	-0.51	1.66	1.96
纳米 SiO ₂	0.01	1.49	-0.93	-0.81	-1.62	-1.36	-1.11
	0.02	1.24	-0.35	-0.25	-0.44	-0.78	-0.55
	0.03	0.16	0.43	0.61	0.50	-0.33	0.08
	0.04	-0.16	-1.06	-0.77	-0.72	0.48	-0.53
	0.05	0.48	-1.65	-1.21	-1.29	-0.45	-2.10

利用 SPSS 19.0 对复合膜主要品质指标标准化处理结果进行相关系数计算,结果见表 2。可知,TS 与 E、OP、CP 高度负相关(|r| > 0.7),E 与 T、WVP、OP、CP 高度正相关,T 与 WVP 高度正相关,WVP 与 CP 显著正相关(0.4 < |r| < 0.7),OP 与 CP 高度正相关。这与实际情况基本相符,即当膜基质的交联键加强时,形成的膜更加连续紧密,TS 增加;这同时也导致了膜柔韧性的下降,E 降低;膜连续紧密的结构导致微孔数减少,所以 OP、CP 下降。O₂ 与 CO₂ 均属于非极性分子,因此二者对同一种膜的透过性具有高度正相关性。

使用 SPSS 软件对不同变量对复合膜品质的影响进行主成分分析,得到的特征值和累积方差贡献率见表 3。由表 3 可知,主成分 1 的贡献率为 65.07%,主成分 2 的贡献率为 23.75%,二者的累积方差贡献率为 88.82%。

表 2 变量之间的相关矩阵

Table 2 Correlation matrix of 6 variables

项目	TS	E	T	WVP	OP	CP
TS	1	-0.72	-0.30	-0.39	-0.97	-0.76
E		1	0.67	0.67	0.69	0.77
T			1	0.80	0.21	0.18
WVP				1	0.27	0.40
OP					1	0.74
CP						1

表 3 特征值及累计方差贡献率

Table 3 Eigenvalue and cumulative contribution rates of 6 variances

特征值	方差率 (%)	累积方差贡献率 (%)
3.90	65.07	65.07
1.43	23.75	88.82
0.38	6.34	95.16
0.21	3.55	98.71
0.06	0.92	99.64
0.02	0.36	100.00

因子载荷可以反映各指标对主成分贡献率的大小^[24]。经 SPSS 软件处理,各主成分的载荷系数如表 4 所示。可知,主成分 1 在 TS 上有较高的负载荷,在 E、T、WVP、OP、CP 上有较高的正载荷,这说明主成分 1 越大,复合膜的 E、T、WVP、OP、CP 越大,TS 越小。主成分 2 在 T 和 WVP 上有较高的正载荷,即主成分 2 越大,膜的 T 和 WVP 越大。由主成分载荷系数表尚不能得出主成分表达式,还需要将载荷系数表中每列数据除以相应的特征根,经开根后才能得到主成分系数特征向量^[23],结果见表 5。

表 4 主成分载荷系数

Table 4 Loading coefficients of each principal component

项目	主成分 1	主成分 2
TS	-0.88	0.37
E	0.94	0.13
T	0.61	0.74
WVP	0.70	0.62
OP	0.84	-0.47
CP	0.83	-0.34

表 5 主成分的特征向量

Table 5 Eigenvectors of each principal component

项目	主成分 1	主成分 2
TS	-0.45	0.31
E	0.48	0.11
T	0.31	0.62
WVP	0.35	0.52
OP	0.42	-0.39
CP	0.42	-0.29

2.2.2 综合模型的构建 根据表 5 中主成分的特征向量可以构建主成分与复合膜各品质指标之间的线性关系式,具体如下:

$$F_1 = -0.45TS + 0.48E + 0.31T + 0.35WVP + 0.42OP + 0.42CP$$

$$F_2 = 0.31TS + 0.11E + 0.62T + 0.52WVP - 0.39OP - 0.29CP$$

以主成分函数表达式和各自的方差贡献率构建出复合膜品质指标的综合评价模型,表达式如下:

$$F = 0.73F_1 + 0.27F_2$$

利用上式计算出综合得分(图 4),从图中可知,随着明胶添加量的增加,复合膜的综合得分逐渐下降,说明明胶对复合膜的总体性能产生不利影响;随

着蜂胶添加量的增加,综合的得分先快速增加,当添加量超过 1.5g/100mL 时,综合得分变化不明显,为了节省成本,蜂胶的最适添加量为 1.5g/100mL;综合得分随着纳米 SiO₂ 添加量的增加呈现先增加后减小的趋势,因此,综合得分高的复合膜制备的工艺参数为:明胶添加量 2g/100mL、蜂胶添加量 1.5g/100mL、纳米 SiO₂ 添加量 0.03g/100mL。

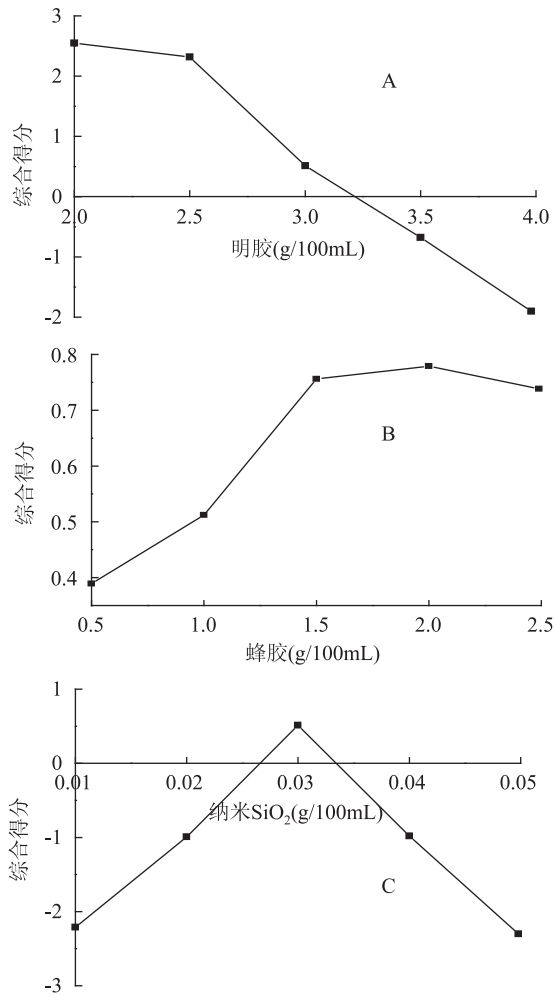


图4 添加量对复合膜综合得分的影响

Fig.4 Effect of added amount on comprehensive score of composite film

3 结论

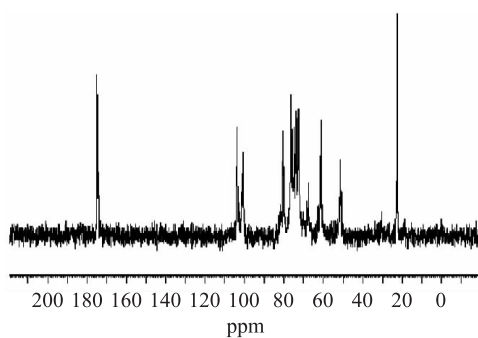
由单因素实验可知,明胶、蜂胶和纳米 SiO₂ 添加量对复合膜的各项指标均有显著影响。Bodini 等^[25]研究表明,在明胶中加入适量的蜂胶乙醇提取液可以显著的降低膜的 WVP,并改善膜的 E。陈鑫华^[26]研究表明,在壳聚糖和单甘脂为基质的膜中添加适量的 SiO₂ 可以显著降低膜的 WVP,提高膜的保鲜性能。以上研究均与本实验结果相同,这说明在膜中添加适量的蜂胶和纳米 SiO₂ 可以显著提高膜的品质,改善保鲜性能。另外,应用主成分分析研究了明胶、蜂胶以及纳米 SiO₂ 添加量对复合膜品质的影响,确定了反映复合膜品质的 2 个主成分因子,累积贡献率达到了 88.82%,即反映了全部信息的 88.82%。由综合评价模型可知,当明胶添加量 2g/100mL,蜂胶添加量 1.5g/100mL,纳米 SiO₂ 添加量 0.03g/100mL

时,复合膜的综合得分最高,这与单因素实验结果基本一致,因此,可以利用主成分分析确定纳米 SiO₂/蜂胶复合膜的最佳工艺配方。

参考文献

- [1] 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.
- [2] Kalogeropoulos N, Konteles S J, Troullidou E, *et al.* Chemical composition, antioxidant activity and antimicrobial properties of propolis extracts from Greece and Cyprus [J]. Food Chemistry, 2009, 116(2): 452-461.
- [3] Pastor C, Sánchez-González L, Marcilla A, *et al.* Quality and safety of table grapes coated with hydroxypropylmethylcellulose edible coatings containing propolis extract [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 60(1): 64-70.
- [4] 储艳兰, 张凯. 纳米二氧化硅的研究现状与进展 [J]. 赤峰学院学报: 自然科学版, 2013, 29(3): 122-123.
- [5] 王明力, 赵德刚, 陈汝材, 等. 纳米 SiO₂/单甘脂对壳聚糖保鲜涂膜改性的研究 [J]. 食品科学, 2007, 28(3): 96-99.
- [6] Yu Y, Zhang S, Ren Y, *et al.* Jujube preservation using chitosan film with nano-silicon dioxide [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 113(3): 408-414.
- [7] Simon - Lukasik K V, Ludeseher R D. Erythrosin B phosphorescence as a probe of oxygen diffusion in amorphous gelatin films [J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18(4): 621-630.
- [8] Pastor C, Sánchez-González L, Cháfer M, *et al.* Physical and antifungal properties of hydroxypropylmethylcellulose based films containing propolis as affected by moisture content [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 82(4): 1174-1183.
- [9] Lai C Y, Trewyn B G, Jęftinija D M, *et al.* A mesoporous silica nanosphere-based carrier system with chemically removable CdS nanoparticle caps for stimuli-responsive controlled release of neurotransmitters and drug molecules [J]. Journal of the American Chemical Society, 2003, 125(15): 4451-4459.
- [10] Al-Hassan A A, Norziah M H. Starch-gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers [J]. Food Hydrocolloids, 2012, 26(1): 108-117.
- [11] ASTM D 882 - 2001. Standard test methods for tensile properties for thin plastic sheeting [S]. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, 2001.
- [12] Lee J W, Son S M, Hong S I. Characterization of protein-coated polypropylene films as a novel composite structure for active food packaging application [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 86(4): 484-493.
- [13] GB/T 1037-1988 塑料薄膜和片材透水蒸气性实验方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1988.
- [14] GB/T 2918-1998 塑料试样状态调节和实验的标准环境 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [15] GB/T 1038-2000 塑料薄膜和薄片气体透过性实验方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [16] 李超, 李强, 李梦琴, 等. 制膜条件对可食性小麦面筋蛋白膜机械性能的影响 [J]. 广州食品工业科技, 2004, 20(4):

(下转第 96 页)

图6 硫酸软骨素的¹³C-NMR图谱Fig.6 ¹³C-NMR spectrum of chondroitin

用最强,两者经常被用于筛选、评价具有清除自由基能力的功能性食品和生化药品。图7显示,猪肺管硫酸软骨素的羟基自由基清除活性和超氧阴离子自由基清除活性都比较高,半数抑制浓度分别为8.77和0.94mg/mL,与鸡胸软骨和猪喉软骨硫酸软骨素差异不显著,它们分别为8.99,1.11,9.07和0.87mg/mL,超氧阴离子自由基清除活性高于羟基自由基清除活性。因此,猪肺管硫酸软骨素也可以作为预防关节炎、调节血脂和预防动脉粥样硬化的商品硫酸软骨素进行深度开发。

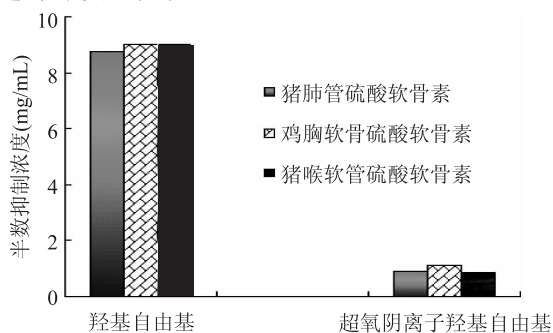


图7 猪肺管硫酸软骨素的自由基清除活性

Fig.7 Free radical scavenging activity of chondroitin sulfate

3 结论

猪肺管含有丰富的硫酸软骨素,可采用全酶法提取硫酸软骨素,得率为22.10%,该粗品中硫酸软

骨素含量为62.68%。DEAE-Sephacrose Fast Flow离子交换柱层析和Sephadex G-75分离纯化可用来对其进行精细纯化,产品纯度达97%以上。该硫酸软骨素的结构和抗氧化活性与鸡胸软骨/猪喉软骨硫酸软骨素一致,可作为硫酸软骨素提取的重要来源,同时也可以提高猪肺的综合利用效益,延伸农业副产物的产业链,降低环境污染。

参考文献

- [1] 徐宝成,刘建学,钟先锋,等.猪肺的加工利用现状及研究展望[J].肉类工业,2006,12:26-27.
- [2] 周霞云,于伟,江国永.中性蛋白酶酶解猪肺制备蛋白肽的工艺条件研究[J].饲料与畜牧:新饲料,2011,12:54-55.
- [3] 赵倩,杜江,陈明,等.超临界CO₂萃取猪肺表面活性物质的工艺研究[J].中国新药杂志,2004,13(12):1127-1130.
- [4] 郑川.猪肺肝素钠提取新技术[J].农村新技术,2000,12:31
- [5] 熊双丽,罗笑玲,黄妮.草鱼鱼鳞多糖的提取分离与初步鉴定[J].食品工业科技,2012,33(10):253-256.
- [6] Lauder RM, Huckerby T N, Nieduszynski I A, et al. Characterisation of oligosaccharides from the chondroitin/dermatan sulphates: ¹H and ¹³C NMR studies of oligosaccharides generated by nitrous acid depolymerisation [J]. Carbohydrate Research, 2011, 346: 2222-2227.
- [7] Wu G H, Hu T, Li Z Y, et al. In vitro antioxidant activities of the polysaccharides from Pleurotus tuber-regium (Fr.) Sing. [J]. Food Chemistry, 2014, 148: 351-356.
- [8] 李晓雁,黄海东,李军.鞘氨醇胶S s的降解及抗氧化活性的研究[J].食品工业科技,2013,34(20):99-101.
- [9] Xiong S L, Li A L, Huang N, et al. Antioxidant and immunoregulatory activity of different polysaccharide fractions from tuber of Ophiopogon japonicas [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 86: 1273-1280.
- [10] Mucci A, Schendtti N, Volp V. ¹H and ¹³C nuclear magnetic resonance identification and characterization of components of chondroitin sulfates of various origins [J]. Carbohydrate Polymers, 2000, 41: 37-45.
- [11] 8-11.
- [17] 贾祥祥.制备条件对玉米醇溶蛋白膜性能的影响研究[D].郑州:河南工业大学,2012:20-21.
- [18] Soradec S, Nunthanid J, Limmatvapirat S, et al. An approach for the enhancement of the mechanical properties and film coating efficiency of shellac by the formation of composite films based on shellac and gelatin [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 108(1): 94-102.
- [19] 湛含辉,曹江,龚兴艳.纳米二氧化钛粒子对乙酸纤维素微滤膜结构和性能的影响[J].膜科学与技术,2010,30(3):76-81.
- [20] 郭宽,张超,马越,等.蜂蜡和甘油含量对大豆蛋白膜机械性能和阻隔性能的影响[J].中国粮油学报,2011,26(4):15-18.
- [21] 陈丽,李喜宏,胡云峰,等.富士苹果PVC/TiO₂纳米保鲜膜研究[J].食品科学,2001,22(7):74-76.
- [22] 余海湖,伍宏标,李小甫,等.二氧化硅纳米粒子薄膜的制备及光学性能[J].物理化学学报,2001,17(12):1057-1061.
- [23] 邵明灿,胡花丽,王毓宁,等.基于主成分分析法分析一氧化氮对绿芦笋贮藏品质的影响[J].食品科学,2012,33(20):318-322.
- [24] 何新益,汪姣,任小青,等.花色馒头的制备及质构特性主成分分析[J].中国粮油学报,2011,26(7):108-111.
- [25] Bodini R B, Sobral P J A, Favaro-Trindade C S, et al. Properties of gelatin-based films with added ethanol-propolis extract [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 51(1): 104-110.
- [26] 陈鑫华.壳聚糖基复合纳米涂膜材料及对鸡蛋涂膜保鲜包装效果的研究[D].南京:南京农业大学,2010:31-33.

(上接第92页)

8-11.

[17] 贾祥祥.制备条件对玉米醇溶蛋白膜性能的影响研究[D].郑州:河南工业大学,2012:20-21.

[18] Soradec S, Nunthanid J, Limmatvapirat S, et al. An approach for the enhancement of the mechanical properties and film coating efficiency of shellac by the formation of composite films based on shellac and gelatin [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 108(1): 94-102.

[19] 湛含辉,曹江,龚兴艳.纳米二氧化钛粒子对乙酸纤维素微滤膜结构和性能的影响[J].膜科学与技术,2010,30(3):76-81.

[20] 郭宽,张超,马越,等.蜂蜡和甘油含量对大豆蛋白膜机械性能和阻隔性能的影响[J].中国粮油学报,2011,26(4):15-18.

[21] 陈丽,李喜宏,胡云峰,等.富士苹果PVC/TiO₂纳米保鲜