

降低蚕蛹油中胆固醇的方法研究

朱林韬¹, 彭展彬¹, 曾艺涛¹, 黄先智², 丁晓雯^{1,*}

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400716;

2.西南大学蚕学与生物系统研究所, 重庆 400716)

摘 要:目的:研究降低蚕蛹油胆固醇含量的方法,为蚕蛹油的进一步开发提供参考。方法:采用物理吸附法吸附蚕蛹油中胆固醇,选用阿拉伯树胶、中性氧化铝、硅镁型吸附剂、 β -环糊精、活性白土、碱性氧化铝作为吸附剂,以比色法测定皂化后蚕蛹油中的胆固醇含量。结果表明,所研究的6种吸附剂中,中性氧化铝对蚕蛹油胆固醇的脱除效果最佳,当中性氧化铝的添加量为18%、65℃下搅拌吸附2.5h时,蚕蛹油中胆固醇的脱除率达到54.76%。结论:中性氧化铝可较好地降低蚕蛹油中胆固醇含量,且对蚕蛹油品质无不良影响。

关键词:蚕蛹油,胆固醇,吸附,中性氧化铝

Methods for the reduction of cholesterol in Silkworm Chrysalis Oil

ZHU Lin-tao¹, PENG Zhan-bin¹, ZENG Yi-tao¹, HUANG Xian-zhi², DING Xiao-wen^{1,*}

(1.College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2.Institute of Sericulture and Systems Biology, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: Objective: This study aimed at establishing a physical adsorption method for removing cholesterol from silkworm oil, to provide a reference for the further exploitation of silkworm oil. Methods: The cholesterol content in the silkworm chrysalis oil after saponification was determined by colorimetric method; gum arabic, neutral alumina, Si-Mg adsorbent, β -Cyclodextrin, activate alumina and basic alumina were chosen as adsorbents. Results: The results showed that, neutral alumina was the best for the removal of cholesterol from silkworm oil, 54.76% of the cholesterol in silkworm oil was removed when it was treated with 18% added neutral alumina at 65℃ for 2.5h. Conclusions: The cholesterol in silkworm oil could be better reduced by the neutral alumina. Furthermore, neutral alumina had little impact on the quality of silkworm oil.

Key words: silkworm oil; cholesterol; adsorption; neutral alumina

中图分类号: TS222⁺.2

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2014)13-0219-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2014.13.038

蚕蛹营养价值丰富,富含多种人体所需的必需氨基酸^[1]。蚕蛹油是从蚕蛹中提炼出来的含有多种高级脂肪酸甘油酯的混合物,含有大量多不饱和脂肪酸。而多不饱和脂肪酸是人体必需的营养物质,在人体内有至关重要的作用,一旦缺少就会导致各种疾病的产生。其中 α -亚麻酸和油酸含量较高,还含有少量亚油酸和棕榈油酸。亚油酸、油酸、 α -亚麻酸是公认的人体必需脂肪酸,具有增长智力、保护视力、延缓衰老的作用;油酸能有效降低体内低密度胆固醇(LDL-C),具有预防动脉硬化的效果^[2-5]。

虽然蚕蛹油中含有大量不饱和脂肪酸,但是研究发现,蚕蛹中胆固醇含量在30.077~132.583mg/100g范围内^[6]。胆固醇广泛存在于动物体内,对维持机体的正常功能起着重要的作用^[7],食品营养学上规定健康成年人每日摄入胆固醇应低于300mg^[8]。但摄入过

多的胆固醇会造成体内胆固醇过高,体内过多的胆固醇将引起高血脂,进而引发高血压、动脉粥样硬化、冠心病等一系列心血管疾病^[9-11]。蚕蛹油的胆固醇含量更高,且多以游离态存在,不利于蚕蛹油的应用开发。目前国内外没有降低蚕蛹油胆固醇的相关研究,本实验以蚕蛹油为对象,以胆固醇的脱除率为指标,采用物理吸附法脱除蚕蛹油中胆固醇,探讨吸附剂种类、添加量、作用时间和温度对胆固醇脱除率的影响,以期工业化生产低胆固醇蚕蛹油提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

蚕蛹油 实验室自制; β -环糊精、碱性氧化铝、活性白土 成都市科龙化工试剂厂;中性氧化铝 上海陆都化学试剂厂;硅镁型吸附剂 温州市化学用料厂;阿拉伯树胶 天津市光复精明化工研究厂;胆固醇标准品 美国Sigma公司;石油醚、无水乙醇、冰乙酸等常用试剂 均为分析纯。

收稿日期:2014-02-27 *通讯联系人

作者简介:朱林韬(1992-),男,本科,研究方向:食品安全与质量控制。

S22 可见分光光度计 上海棱光技术有限公司;
85-1 悬浆搅拌器 金坛市澳华仪器有限公司;
HH-8 数显恒温水浴锅 常州澳华仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 胆固醇标准曲线的绘制 分别吸取 0.00、0.50、1.00、1.50、2.00 mL 胆固醇对照品溶液,加 2 mL 铁矾显色剂显色,混匀,放置 20 min 后,于 560 nm 波长处测定吸光度值。以浓度($\mu\text{g/mL}$)为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制标准曲线,得到线性回归方程。

1.2.2 蚕蛹油的处理及吸附剂的选择 根据文献^[12-14],从冰箱中取出 5 g 蚕蛹油,在常温下自然解冻后,加入 15% 的吸附剂,恒温搅拌 2 h,室温静置分层,取上层蚕蛹油测定胆固醇含量。

选择物理方法中脱除胆固醇时常用的吸附剂,包括硅镁型吸附剂、 β -环糊精、中性氧化铝、阿拉伯树胶、碱性氧化铝、活性白土 6 种吸附剂。取蚕蛹油 5 g,在吸附剂添加量 15%、作用温度 65℃、作用时间 2 h 条件下进行预备实验,对蚕蛹油中的胆固醇进行脱除处理。

1.2.3 蚕蛹油胆固醇含量的测定 根据文献^[14-18],先将蚕蛹油皂化 1 h,皂化完毕后加入 5% 氯化钠溶液和石油醚,静止 1.5 h 后取上层石油醚 2 mL,再于 65℃ 水浴中通氮气吹干,用冰乙酸提取蚕蛹油样本中的胆固醇,胆固醇测定方法同 1.2.1。根据标准曲线计算吸附剂处理前后蚕蛹油样品中胆固醇的含量,参考 GB/T 5009.128-2003《食品中胆固醇的测定》计算蚕蛹油中胆固醇含量。胆固醇脱除率按下式计算:

胆固醇脱除率(%) = (蚕蛹油胆固醇含量 - 吸附后蚕蛹油胆固醇含量) / 蚕蛹油胆固醇含量 $\times$ 100

1.2.4 单因素实验 根据 1.2.2 的实验结果,发现中性氧化铝对蚕蛹油中胆固醇的吸附能力最强。因此,选择中性氧化铝的添加量、作用温度、作用时间 3 个可能影响胆固醇脱除效果的因素进行单因素实验,并以胆固醇脱除率为指标,以确定各因素的适宜范围。吸附过程中采用恒速搅拌的方法确保吸附剂与蚕蛹油的充分接触。

1.2.4.1 中性氧化铝添加量 在 65℃,作用时间 2 h 条件下,中性氧化铝添加量分别为 1%、5%、10%、15%、20%、25%,测定胆固醇的脱除率,考察中性氧化铝添加量对蚕蛹油胆固醇的脱除率的影响。

1.2.4.2 作用温度 在中性氧化铝添加量为 15%,作用时间 2 h 条件下,作用温度分别为 35、45、55、60、65、75、85℃,测定胆固醇的脱除率,考察吸附时温度对蚕蛹油胆固醇的脱除率的影响。

1.2.4.3 作用时间 在中性氧化铝添加量 15%,作用温度 65℃ 条件下,吸附时间分别为 0.5、1、1.5、2、2.5、3 h,测定胆固醇的脱除率,考察吸附时间对蚕蛹油胆固醇的脱除率的影响。

1.2.5 正交实验设计 根据单因素实验结果,确定影响胆固醇脱除率的主要因素及范围,采用正交实验 $L_9(3^2)$ 对上述 3 个因素对蚕蛹油中胆固醇脱除效果进行评价,选择最佳的脱除条件。正交实验因素

水平表见表 1。

表 1 正交实验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal array design

水平	因素		
	A 中性氧化铝添加量(%)	B 搅拌时间(h)	C 搅拌温度(℃)
1	13	2	45
2	15	2.5	55
3	18	3	65

1.2.6 吸附剂处理前后蚕蛹油感官指标、酸价、过氧化值、铅、丙二醛、砷及铝的残留量的测定 感官指标测定参考《食品分析》^[19];酸价、过氧化值的测定参照 GB/T 5009.37-2003《使用植物油卫生标准的分析方法》^[20];丙二醛的测定参照 GB/T 5009.181-2003《猪油中丙二醛测定》^[21];铅的测定参照 GB/T 5009.12-2010《食品中铅的测定》^[22];总砷的测定参照 GB/T 5009.11-2003《食品中总砷及无机砷的测定》^[23];铝的残留量的测定参照 GB 2762-2005《食品中污染物限量中对面制食品中铝限量》^[24]。

1.2.7 实验数据处理方法 根据文献^[25],用 SPSS Statistics 数据编辑器进行正交实验数据分析,用 Excel 2003 统计分析所有数据,计算标准误并制图。利用邓肯氏多重比较对差异进行分析。每个实验重复测定 3 次,以 $p < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 胆固醇标准曲线

实验得到胆固醇标准曲线线性回归方程为 $Y = 0.0236X - 0.0108$, $R = 0.9995$,见图 1。式中: X 为胆固醇的质量浓度($\mu\text{g/mL}$); Y 为吸光度。测定得到的蚕蛹油中胆固醇的平均含量为 $(910.7 \pm 0.17) \text{ mg/100g}$ 。

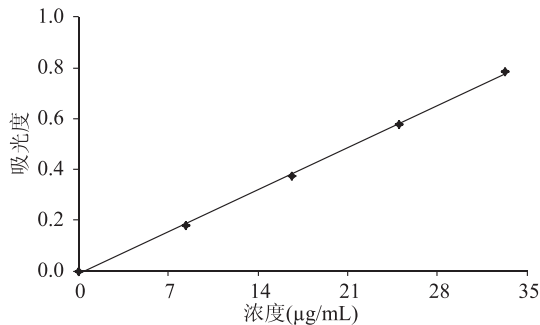


图 1 胆固醇标准曲线

Fig.1 Cholesterol standard curve

2.2 不同吸附剂对蚕蛹油中胆固醇脱除效果的影响

用 6 种不同吸附剂对蚕蛹油处理,测定其胆固醇含量,计算它们对蚕蛹油中胆固醇的脱除率,结果见图 2。

由图 2 可知,在实验条件下,6 种吸附剂中,中性氧化铝对蚕蛹油胆固醇的脱除率最高,达到 $38.24\% \pm 2.92\%$,高于硅镁型吸附剂,但二者之间无显著差异($p > 0.05$)。其他吸附剂对蚕蛹油胆固醇的脱除率在 $13.00\% \pm 1.40\% \sim 26.01\% \pm 3.38\%$ 之间,显著低于

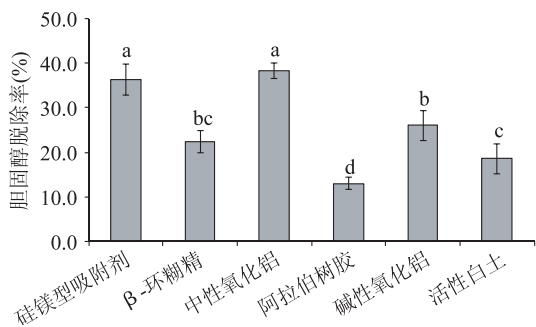


图2 不同吸附剂对脱除胆固醇的影响
Fig.2 Effect of different adsorbents on the removal rate of cholesterol

中性氧化铝处理组 ($p < 0.05$)。因此,选择中性氧化铝作为脱除蚕蛹油中胆固醇的吸附剂进行后续研究。

2.3 单因素实验

2.3.1 中性氧化铝添加量对蚕蛹油胆固醇脱除效果的影响 由图3可知,当中性氧化铝的添加量增加到15%时,蚕蛹油中胆固醇脱除率较高,可达到 $53.22\% \pm 2.55\%$,比1%添加量组高171.05%;但添加量为10%、15%和20%处理组之间,蚕蛹油胆固醇脱除率无显著差异 ($p > 0.05$);低于或高于15%添加量都会降低胆固醇的脱除率。原因可能是随着中性氧化铝添加量增大,蚕蛹油与吸附剂得到充分的接触,脱除率升高;但当中性氧化铝超过一定值达到饱和态,脱除率有下降趋势,所以添加量在15%左右为宜。

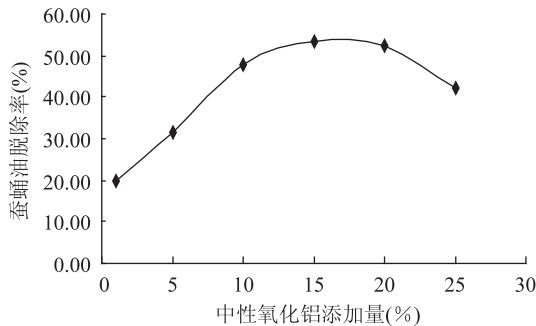


图3 中性氧化铝添加量对胆固醇脱除效果的影响
Fig.3 Effect of adsorbent dosage on the removal rate of cholesterol

2.3.2 作用温度对蚕蛹油中胆固醇脱除效果的影响 由图4可知,当温度在55℃时,中性氧化铝对蚕蛹油中胆固醇脱除率最高,达到 $39.4\% \pm 5.15\%$;低于或高于此温度对胆固醇的脱除率都会降低。但55℃和65℃条件下,吸附剂对胆固醇脱除率无显著差异 ($p > 0.05$)。这可能是因为温度升高有利于吸附剂与胆固醇的作用,但温度过高可能会破坏中性氧化铝和胆固醇之间吸附形成的结构,导致其吸附能力降低。并造成不必要的能源浪费。

2.3.3 搅拌时间对蚕蛹油中胆固醇脱除效果的影响 由图5可知,当搅拌时间为2h时,中性氧化铝吸附脱除蚕蛹油中胆固醇的效果最好,胆固醇脱除率达到 $40.99\% \pm 3.50\%$,时间过长或过短都将不利于蚕蛹油中胆固醇的脱除。这可能是因为随着时间延

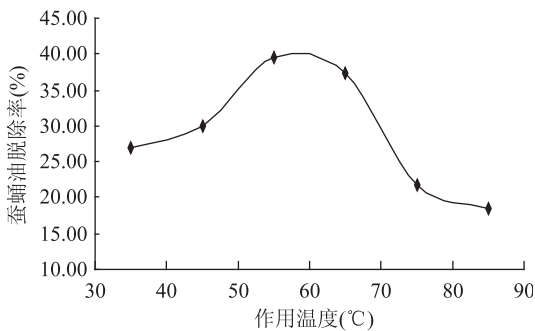


图4 作用温度对胆固醇脱除效果的影响
Fig.4 Effect of adsorption temperature on the removal rate of cholesterol

长,吸附剂与蚕蛹油中胆固醇充分接触,脱除率升高;但吸附时间过长,其他杂质也可能被吸附,占据吸附剂的空间,导致胆固醇脱除率下降。

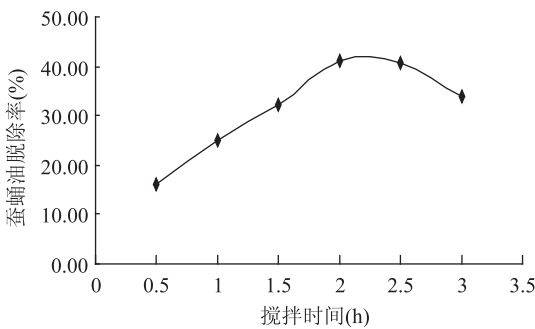


图5 搅拌时间对胆固醇脱除效果的影响
Fig.5 Effect of adsorption time on the removal rate of cholesterol

2.4 正交实验

依据单因素实验结果选取中性氧化铝添加量、作用温度、搅拌时间3因素作为自变量,以蚕蛹油胆固醇脱除率作为正交值,实验设计方案及实验数据处理结果见表2和实验数据方差分析见表3。

表2 中性氧化铝脱除牛油中胆固醇工艺正交实验设计及结果
Table 2 Orthogonal array design and results

实验号	A	B	C	D(空列)	胆固醇脱除率(%)
1	1	1	1	1	34.07
2	1	2	2	2	42.68
3	1	3	3	3	41.07
4	2	1	2	3	45.66
5	2	2	3	1	50.22
6	2	3	1	2	41.61
7	3	1	3	2	54.34
8	3	2	1	3	46.82
9	3	3	2	1	51.85
k ₁	39.3	44.7	40.8	45.4	
k ₂	45.8	46.6	46.7	46.2	
k ₃	51	44.8	48.5	44.5	
R	11.7	1.9	7.7	1.7	

对表2的直观分析可知,7号实验组合(A₃B₁C₃),即中性氧化铝添加量18%、作用时间2h、

表4 蛹油理化指标

Table 4 Physical and chemical parameters of butter before and after cholesterol removal

项目	酸价 (mg/g)	过氧化值 (g/100g)	丙二醛 (mg/100g)	铅(Pb) (mg/kg)	总砷(As) (mg/kg)	铝(Al) (mg/kg)
国家标准	≤2.5	≤0.2	≤0.25	≤0.2	≤0.1	≤100
蚕蛹油(处理前)	6.56 ± 0.14	0.013 ± 0.001	0	0	0	0
蚕蛹油(处理后)	4.11 ± 0.25	0.015 ± 0.001	0	0	0	32.35 ± 3.56

作用温度 65℃,对蚕蛹油中胆固醇的脱除效果最好,胆固醇脱出率达 54.34%。对实验结果进行极差分析,极差值 R 的大小顺序是 A > C > B,即中性氧化铝的添加量对胆固醇脱除效果影响要大于作用时间和温度的影响,由正交实验极差分析得出的最优组合为:A₃B₂C₃ 的脱除效果最佳。

表3 方差分析表

Table 3 Analysis of variance

方差来源	离均差平方和	自由度	均方差	F	p
A	541.210	2	270.605	51.517	0.000
B	91.837	2	45.918	8.742	0.002
C	292.219	2	146.109	42.926	0.000
误差	105.054	20	5.253		

对表3的分析可知,中性氧化铝添加量、作用温度、作用时间对脱除蚕蛹油胆固醇的影响为极显著($p < 0.01$),这3个因素对中性氧化铝脱除蚕蛹油胆固醇的影响大小为 A > C > B。

综合表2和表3的分析结果,用200g蚕蛹油按极差分析的实验组合(A₃B₂C₃)进行脱除蚕蛹油胆固醇的验证实验,所得到的胆固醇脱除率为54.76%,与正交实验结果无显著差异($p > 0.05$),进一步证明了实验结果的可靠性,但脱出率并不是特别高,这可能与蚕蛹油中结合胆固醇的存在有关。

2.4 中性氧化铝处理前后蚕蛹油的品质评价

对中性氧化铝处理前后的蚕蛹油进行感官评审发现,二者没有明显的差别。说明用中性氧化铝处理蚕蛹油对它的感官品质没有明显影响。

对处理前后蚕蛹油的理化指标进行了测定,测定结果见表4。

从表4可以看出,中性氧化铝处理前后,蚕蛹油丙二醛、铅、总砷、过氧化值均低于国家标准;自制蚕蛹油酸价高于国家标准,酸价过高可能和制作蚕蛹油过程中温度偏高有关,但中性氧化铝脱除胆固醇过程使蚕蛹油酸价降低了37.35%,说明中性氧化铝对降低蚕蛹油酸价起一定作用。目前国家没有将铝离子残留量纳入食用动物油脂卫生标准,参照GB 2762-2005 食品中污染物限量中对面制食品中铝限量标准的规定,Al含量应≤100mg/kg,而用中性氧化铝处理后的蚕蛹中铝残留量为(32.35 ± 3.56)mg/kg,远低于此标准,表明用中性氧化铝处理对蚕蛹油的品质无显著影响。

3 结论

比较了6种常用吸附剂对蚕蛹油胆固醇的脱除

效果,结果表明,中性氧化铝对蚕蛹油胆固醇的吸附效果最好。当中性氧化铝的添加量为18%、65℃条件下搅拌吸附2.5h后,蚕蛹油中胆固醇的脱除率达到54.76%,其中中性氧化铝的添加量对蚕蛹油胆固醇脱除率的影响最大。用中性氧化铝处理蚕蛹油后,对蚕蛹油的感官品质与理化指标无显著影响。上述方法可以有效提高蚕蛹油的保健价值,对实际工业化生产中脱除蚕蛹油中的胆固醇有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 马林林,强西怀,席星航.蚕蛹资源化利用现状及其进展[J].食品工业科技,2012(20):394-397.
- [2] Mentang F, Maita M, Ushio H, *et al.* Efficacy of silkworm (*Bombyx mori* L.) chrysalis oil as a lipid source in adult wistar rats[J].Food Chemistry,2011,127(3):899-904.
- [3] 王健,丁晓雯.蚕蛹油保健功能的研究进展[J].食品科学,2012,33(13):339-342.
- [4] 张研宇,李建科.蚕蛹油提取、精炼及其脂肪酸组成分析[J].中国油脂,2010,35(6):76-79.
- [5] 徐家玉,吕晓华.蚕蛹油条件血脂作用的实验研究[J].现代预防医学,2007,34(12):2242-2243.
- [6] 谷留杰,高贵田,段爱莉,等.871家蚕胆固醇含量分析[J].食品工业科技,2013,34(3):350-353.
- [7] Gerald G, Katja G B. Probes for study cholesterol binding and cell biology[J].Steroids,2011,76(3):216-231.
- [8] 周才琼,周玉林.食品营养学[M].第二版.北京:中国质检出版社,中国标准出版社,2012:42.
- [9] Sullivan D R. Screening for cardiovascular disease with cholesterol[J].Clinica Chimica Acta,2002,315:49-60.
- [10] Bashore T S M, Thomas G. The incidence and risk factors of cholesterol embolization syndrome, a complication of cardiac catheterization; a prospective study[J].Journal of the American College of Cardiology,2003(42):217-218.
- [11] Shepherd J, Barter P, Carmena R, *et al.* Effect of lowering LDL cholesterol substantially below currently recommended levels in patients with coronary heart disease and diabetes: the treating to new targets (tnt) study [J].Diabetes Care, 2006, 29(6):1220-1226.
- [12] 朱庆英.低胆固醇猪油研制方法探讨[J].粮食与油脂,2001(11):28-29.
- [13] 肖杨,罗永康,何刚强.β-环糊精脱除猪油中胆固醇的研究[J].肉类研究,2005,19(11):40-43.
- [14] 吴钟玲,何仲强,郭茂章.固相萃取GC/MS法测定油脂胆固醇含量的研究[J].包装与食品机械,2011,29(6):20-23.

[15] 任美燕, 丁晓雯, 罗金凤, 等. 正交实验优化中性氧化铝吸附剂降低牛油中胆固醇工艺[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 170-173.

[16] 中国国家标准管理委员会. GB/T 5009.128-2003 食品中胆固醇的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

[17] 朱庆英, 裴爱泳, 汤志勇, 等. 猪油中胆固醇含量的测定[J]. 中国油脂, 2002, 27(4): 72-74.

[18] 丁卓平, 王明华, 刘振华. 食品中胆固醇含量测定方法的研究与比较[J]. 食品科学, 2004, 25(1): 130-135.

[19] 王永华. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2012: 15-27.

[20] 中国国家标准管理委员会. GB/T 5009.37-2003 使用植

物油卫生标准的分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

[21] 中国国家标准管理委员会. GB/T 5009.181-2003 猪油中丙二醛测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

[22] 中国国家标准管理委员会. GB/T 5009.12-2010 食品安全国家标准: 食品中铅的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.

[23] 中国国家标准管理委员会. GB/T 5009.11-2003 食品中总砷及无机砷的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

[24] 卫生部. GB/T 5009.182-2003 面制食品中铝的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

[25] 王钦德, 杨坚. 食品实验设计与统计分析[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2010: 418-421.

(上接第 146 页)

复合膜的水蒸气阻隔性能和透明度显著降低。综合考虑, 茶多酚添加量为 2% 的聚乳酸-聚己内酯/茶多酚复合膜性能最佳。

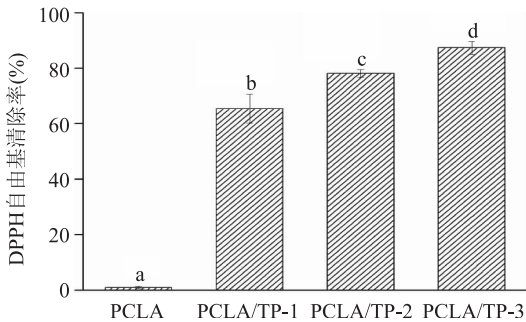


图3 聚乳酸-聚己内酯/茶多酚复合膜的抗氧化性能
Fig.3 Antioxidant abilities of polylactide-poly(ϵ -caprolactone)/tea polyphenol composite film

3 结论

本研究以聚乳酸-聚己内酯共聚物作为基质材料, 添加茶多酚制备复合膜。实验结果表明, 茶多酚与聚乳酸-聚己内酯共聚物之间发生了相互作用, 且两者共混成膜时, 茶多酚在基质材料中分散均匀。添加茶多酚, 在一定程度上降低了聚乳酸-聚己内酯/茶多酚复合膜的水蒸气阻隔性能和透明度, 但是, 提高了复合膜的柔韧性, 尤其是作为活性包装的抗氧化活性得到有效提高。因此, 聚乳酸-聚己内酯/茶多酚复合膜将为食品活性包装提供一种新型的包装材料。

参考文献

[1] 张勇, 陆勇. 苯甲酸环糊精包合物在聚乳酸材料中的迁移行为研究[J]. 中国食品添加剂, 2011(3): 16.

[2] 战孟娇, 付田霞, 王新现. 柞蚕丝素/聚乳酸复合材料的制备及其性能研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(4): 311-313.

[3] 李先红, 林晓艳, 罗学刚, 等. 热塑-畦魔芋葡甘聚糖/聚己内酯共混物制备及表征[J]. 化工学报, 2012(5): 1630-1636.

[4] Södergård A, Stolt M. Properties of lactic acid based polymers and their correlation with composition[J]. Progress in Polymer Science, 2002, 27(6): 1123-1163.

[5] Hosseini 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.

[6] 范文教, 孙俊秀, 陈云川, 等. 茶多酚对鲑鱼微冻冷藏保鲜的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 294-297.

[7] Wang L, Dong Y, Men H, et al. Preparation and characterization of active films based on chitosan incorporated tea polyphenols[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 32(1): 35-41.

[8] Ubonrat S, Bruce LR, Laurent MM, et al. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract[J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(8): 770-775.

[9] 刘晓菲, 覃宇悦, 程春生, 等. 壳聚糖/纳米蒙脱土复合膜的制备及性能研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(6): 366-368.

[10] Byun Y, Kim Y T, Whiteside S. Characterization of an antioxidant polylactic acid(PLA) film prepared with α -tocopherol, BHT and polyethylene glycol using film cast extruder[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 100(2): 239-244.

[11] 李秀霞, 孙协军, 冯彦博, 等. 凌枣黄酮提取及自由基清除能力研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(12): 234-237.

[12] Ahmad M, Benjakul S, Prodpran T, et al. Physico-mechanical and antimicrobial properties of gelatin film from the skin of unicorn leatherjacket incorporated with essential oils[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 28(1): 189-199.

[13] Jamshidian M, Tehrani E A, Imran M, et al. Structural, mechanical and barrier properties of active PLA-antioxidant films[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 110(3): 380-389.

[14] Gontard N, Guilbert S, CUQ J L. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology[J]. Journal of Food Science, 1992, 57(1): 190-195.

[15] Villalobos R, Chanona J, Hernández P, et al. Gloss and transparency of hydroxypropyl methylcellulose films containing surfactants as affected by their microstructure[J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19(1): 53-61.