

超声-琥珀酰化复合改性提高大豆分离蛋白乳化性的研究

李磊¹ 迟玉杰^{1,2,*} 王喜波¹ 于滨¹

(1.东北农业大学食品科学学院 黑龙江哈尔滨 150030;

2.大豆生物学教育部重点实验室 黑龙江哈尔滨 150030)

摘要: 为提高大豆分离蛋白的乳化性,采用超声和琥珀酰化两种方法对大豆分离蛋白进行复合改性。通过单因素实验研究底物浓度、超声功率、超声时间、琥珀酸酐添加量和酰化反应温度对大豆分离蛋白乳化性的影响。在单因素实验的基础上,运用响应面法优化出超声-琥珀酰化改性大豆分离蛋白的适宜条件:超声功率 569.36W、超声时间 9.79min、酰化温度 49.72℃。该条件下制得的改性大豆分离蛋白的乳化活性和乳化稳定性与未改性的大豆分离蛋白相比较,分别提高了 3.05 倍和 4.65 倍。

关键词: 大豆分离蛋白 超声波处理 琥珀酰化 乳化性 响应面法

Improving the emulsibility of soybean protein isolate by ultrasonic and succinylation modification

LI Lei¹ ,CHI Yu-jie^{1,2,*} ,WANG Xi-bo¹ ,YU Bin¹

(1.College of Food Science ,Northeast Agricultural University ,Harbin 150030 ,China;

2.Administration of Education Key Laboratory of Soybean Biology ,Harbin 150030 ,China)

Abstract: In order to improve the emulsibility of soybean protein isolate (SPI) ,ultrasonic processing and succinylation were used to modify the proteins.The effects of substrate concentration ,ultrasonic power ,ultrasonic time ,the ratio of succinic anhydride ,and the temperature of acylation reaction on the emulsifying activity and emulsion stability were studied by single factor experiments.Through the response surface methodology ,the optimal conditions were as follows: ultrasonic power 569.36W ,ultrasonic time 9.79min ,and reaction temperature 49.72℃. Comparing to those of raw SPI ,the emulsifying activity and emulsion stability of the proteins prepared under the optimal conditions had improved 3.05 times and 4.65 times ,respectively.

Key words: SPI; ultrasonic processing; succinylation; emulsibility; response surface methodology

中图分类号: TS201.2⁺ 1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2011)03-0123-05

大豆分离蛋白(SPI)因其营养价值高,并且具有乳化性、溶解性、吸水性、吸油性等功能性质,而被作为一种重要的功能性辅料广泛应用于食品加工中^[1]。其中乳化性是 SPI 一种重要的功能性质,添加到食品中可以起到改善口感、稳定体系的乳化状态等作用^[2]。然而,天然 SPI 的乳化性尚不能满足现代食品加工中的需要,因此需要对其进行改性。蛋白质改性方法主要有物理改性、化学改性、酶法改性。其中,酶法改性所用的酶制剂价格昂贵,限制了其在工业生产中的应用^[3];物理改性和化学改性由于成本低、设备要求不高等优点而成为蛋白质改性的主要

手段^[4-5]。其中,超声波处理和酰化反应是蛋白非酶改性中常用的方法,两种方法对不同蛋白乳化性的改善效果已经得到大量验证^[6-11]。然而,采用这两种改性方法共同作用于 SPI 以提高乳化性的研究尚鲜见报道。本研究采用超声波处理和琥珀酰化两种方法对 SPI 进行复合改性,研究不同底物浓度、超声时间、超声功率、琥珀酸酐添加量和反应温度对 SPI 乳化性的影响,并应用响应面方法对反应条件进行优化,建立乳化性与各因素间的数学模型,以利于实现工艺过程的控制并满足食品加工对高乳化性 SPI 的需求。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大豆分离蛋白 哈高科大豆食品有限责任公司,蛋白质含量 87.11%,水分含量 5.84%,脂肪含量 1.95%,灰分含量 4.92%;琥珀酸酐 国药集团化学

收稿日期: 2010-01-27 * 通讯联系人

作者简介: 李磊(1983-) 男,硕士,研究方向: 农产品加工。

基金项目: 教育部博士点基金(20070224001);黑龙江省自然科学基金重点基金项目(ZD200902)。

试剂有限公司;大豆油 北海粮油工业(天津)有限公司;十二烷基磺酸钠(SDS) 化学纯;其他试剂均为分析纯。

290型喷雾干燥机 瑞士 Büchi 公司;JY92-2D 超声仪 宁波新芝生物科技股份有限公司;FS-1 可调高速匀浆机 金坛市荣华仪器制造有限公司;722型分光光度计 天津市普瑞斯仪器有限公司;LD4-2A型离心机 北京医用离心机厂;其它仪器均为实验室常规仪器。

1.2 实验方法

1.2.1 超声-琥珀酰化大豆分离蛋白的制备 将 SPI 配成一定浓度的蛋白液,置于隔音箱中,将超声仪探头插入蛋白液面 2cm,在超声波作用下处理一定时间(温度控制在 20~30℃),然后将蛋白液置于恒温水浴锅中,保持一定温度,用 1mol/L NaOH 溶液调节 pH 至 8.0~8.5,在搅拌的条件下分批加入琥珀酸酐,反应过程中用 2mol/L NaOH 溶液调节 pH 保持在 8.0~8.5 范围内,待 pH 稳定 30min 后,反应结束,进行离心水洗:调节蛋白液 pH 至 4.0,搅拌 30min,4000r/min 离心 20min,取沉淀部分,重复离心水洗。水洗三次后回调 pH 至 7.0,喷雾干燥即得超声-琥珀酰化 SPI。

1.2.2 乳化性的测定^[12] 蛋白样品以 0.2% (W/V) 的浓度溶解于 pH7.0,0.1mol/L 的磷酸盐缓冲溶液中,取 30mL 蛋白液加入 10mL 大豆油,10000r/min 均质 1min 以形成乳液,分别在均质后 0、10min 时从底部吸取 100 μ L,用 10mL 0.1% (W/V) 的 SDS 稀释后在 500nm (OD₅₀₀) 条件下测定吸光值,以 0min 时的吸光值表示乳化活性(EA),乳化稳定性(ES)用乳化稳定指数(ESI)表示:

$$ESI = \frac{A_0 \times \Delta T}{\Delta A}$$

式中: A₀ 为 0min 时的吸光值; ΔT 为时间差,本实验中是 10min; ΔA 为 ΔT 内的吸光值差。

1.2.3 单因素实验

1.2.3.1 底物浓度对超声-琥珀酰化 SPI 乳化性的影响 超声功率为 500W,超声时间 10min,琥珀酸酐添加量为 SPI 干基的 10%,酰化反应温度 40℃,底物浓度取 2%、4%、6%、8%、10% 考察反应后各蛋白样品的乳化活性和乳化稳定性。

1.2.3.2 超声功率对超声-琥珀酰化 SPI 乳化性的影响 底物浓度为 6%,超声时间 10min,琥珀酸酐添加量为 SPI 干基的 10%,酰化反应温度 40℃,超声功率取 150、300、450、600、750W 考察反应后各蛋白样品的乳化活性和乳化稳定性。

1.2.3.3 超声时间对超声-琥珀酰化 SPI 乳化性的影响 底物浓度为 6%,超声功率 500W,琥珀酸酐添加量为 SPI 干基的 10%,酰化反应温度 40℃,超声时间取 4、7、10、14、17min 考察反应后各蛋白样品的乳化活性和乳化稳定性。

1.2.3.4 琥珀酸酐添加量对超声-琥珀酰化 SPI 乳化性的影响 底物浓度为 6%,超声时间为 10min,超声功率 500W,酰化反应温度 40℃,琥珀酸酐添加量分别取 SPI 干基的 1%、5%、10%、15%、20% 考察反应后各蛋白样品的乳化活性和乳化稳定性。

1.2.3.5 琥珀酰化反应温度对超声-琥珀酰化 SPI 乳化性的影响 底物浓度取 6%,超声时间为 10min,超声功率 500W,琥珀酸酐添加量为 SPI 干基的 10%,酰化反应温度取 20、30、40、50、60℃ 考察反应后各蛋白样品的乳化活性和乳化稳定性。

1.2.4 响应面实验设计 在单因素实验基础上,根据 Box-Behnken 实验设计原理,以超声时间 A、超声功率 B、酰化反应温度 C 为自变量,以乳化活性为响应值,设计了三因素三水平的响应面分析实验。对实验数据结果采用 Design-Expert7.1 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验分析

2.1.1 底物浓度对超声-琥珀酰化 SPI 乳化性的影响 从图 1 可以看出,随着底物浓度的增加,SPI 的乳化活性和乳化稳定性显著增加,当底物浓度大于 6% 时,乳化活性和乳化稳定性则呈下降趋势。当底物浓度逐渐增大时,超声波的空化作用增强,使 SPI 的分子展开,疏水基团朝向脂质而极性部分朝向水相,从而使得 SPI 乳化性提高;在酰化反应中,当底物浓度增大时,处于溶解状态的 SPI 分子较多,单位体积溶液中能与琥珀酸酐发生有效碰撞的 SPI 分子数量增多,反应速度呈上升趋势,乳化性提高。当底物浓度继续增大时,在相等时间内,超声波空化作用减弱,SPI 分子结构改变程度变小,导致乳化性下降;并且在酰化反应体系中,浓度增加到一定程度,呈不溶状态的 SPI 分子增多,不能与琥珀酸酐分子发生有效碰撞^[13],酰化反应速度降低,导致 SPI 乳化活性和乳化稳定性下降。选取 6% 为适宜的底物浓度。

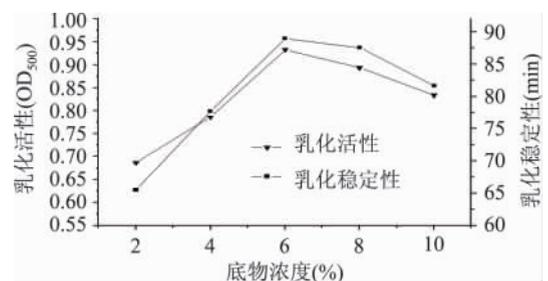


图1 底物浓度对 SPI 乳化性的影响

2.1.2 超声功率对超声-琥珀酰化 SPI 乳化性的影响 从图 2 可以看出,随着超声功率的增大,SPI 的乳化活性和乳化稳定性呈上升的趋势,在超声功率达到 600W 时,乳化活性和乳化稳定性达到最高值。超声波处理使 SPI 分子展开,结构变得疏松,琥珀酸酐分子和 SPI 的反应基团更容易结合,从而提高 SPI 的乳化活性和乳化稳定性。功率继续增大,超声波作用增强使得 SPI 变性程度增大,不溶性 SPI 的含量增多,导致 SPI 乳化性下降。选取 600W 为适宜的超声功率。

2.1.3 超声时间对超声-琥珀酰化 SPI 乳化性的影响 从图 3 中可以看出,在 4~10min 范围内,随着超声时间的延长,SPI 的乳化活性和乳化稳定性逐步上升,当超声处理时间达到 10min 后,SPI 的乳化性呈下降趋势。因此,选取 10min 为适宜的超声处理时间。

表3 乳化活性的实验结果方差分析表

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	α 值	备注
模型	0.032	9	3.544E-003	32.64	0.0006	极显著
A	9.901E-004	1	9.901E-004	9.12	0.0294	
B	3.445E-003	1	3.445E-003	31.72	0.0024	
C	6.301E-004	1	6.301E-004	5.80	0.0609	
A ²	0.011	1	0.011	100.69	0.0002	
B ²	4.437E-003	1	4.437E-003	40.87	0.0014	
C ²	0.013	1	0.013	120.05	0.0001	
AB	9.025E-005	1	9.025E-005	0.83	0.4038	
AC	1.849E-003	1	1.849E-003	17.03	0.0091	
BC	2.500E-007	1	2.500E-007	2.302E-003	0.9636	
残差	5.429E-004	5	1.086E-004			
失拟误差	3.983E-004	3	1.328E-004	1.84	0.3717	不显著
纯误差	1.447E-004	2	7.233E-005			
总和	0.032	14				

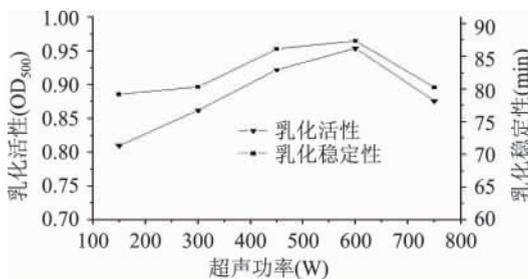


图2 超声功率对 SPI 乳化性的影响

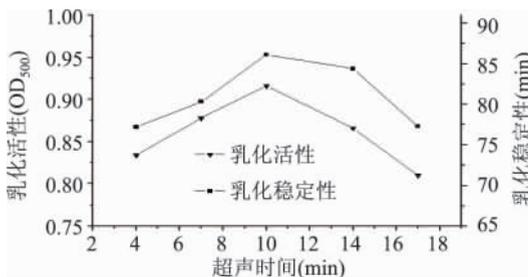


图3 超声时间对 SPI 乳化性的影响

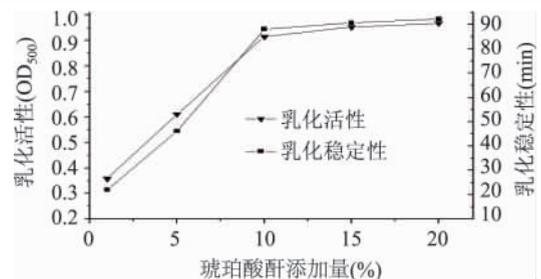


图4 琥珀酸酐添加量对 SPI 乳化性的影响

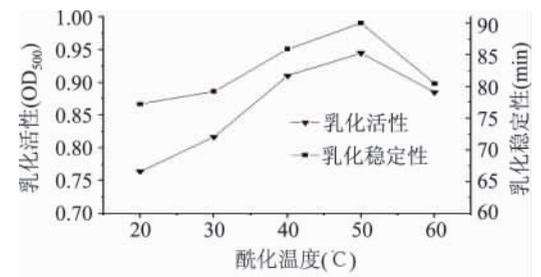


图5 酰化温度对 SPI 乳化性的影响

2.1.4 琥珀酸酐添加量对超声-琥珀酰化 SPI 乳化性的影响 从图4可以看出,随着琥珀酸酐添加量的增大,SPI的乳化活性和乳化稳定性也逐步增大。琥珀酸酐添加量的增大使得引入的亲水基团增多,SPI溶解度增大,从而提高了其乳化活性;琥珀酰化SPI净负电荷的增加,亚基的伸展,使得形成的乳状液中液珠的排斥作用增大,液珠不易聚结,从而提高了SPI的乳化稳定性。当琥珀酸酐添加量达10%以后,乳化活性及乳化稳定性增加幅度趋于平缓,其原因可能是琥珀酸酐的用量增加到一定程度时,相对于蛋白质分子而言,已趋于饱和,此时再增加琥珀酸酐的用量,对反应的促进作用减小^[14]。从经济角度考虑,确定后续实验的琥珀酸酐添加量为SPI的10%。

2.1.5 酰化温度对超声-琥珀酰化 SPI 乳化性的影响 从图5可以看出,随着酰化反应温度的升高,溶液运动的速率增加,SPI分子的伸展程度较高,有利于琥珀酸酐酰化反应的进行,溶解度增大,使得乳化活性和乳化稳定性呈上升趋势。温度达到60°C时,SPI分子变性程度过大,失去反应活性,导致乳化活性和乳化稳定性下降。因此选取50°C为适宜的酰化反应温度。

2.2 超声-琥珀酰化 SPI 乳化活性的响应面分析

通过单因素实验,确定了响应面实验因素的0水平为:底物浓度为6%,琥珀酸酐的添加量为SPI的10%,酰化反应的pH控制在8.0~8.5范围内。实验的因素和水平取值见表1。

表1 响应面实验因素水平表

水平	因素		
	A 超声时间 (min)	B 超声功率 (W)	C 酰化温度 (°C)
-1	8	500	45
0	10	600	50
1	12	700	55

响应面设计方案和实验结果见表2,利用Design-Expert7.1软件对实验结果进行二次回归分析,计算SPI乳化活性Y的回归方程并进行方差分析(见表3)。乳化活性Y的标准回归方程为:

$$Y = 0.97 - 0.011A - 0.021B - 8.875E - 003C + 4.750E - 003AB - 0.022AC + 2.500E - 004BC - 0.054A^2 - 0.035B^2 - 0.059C^2$$

由表3的方差分析结果可以看出,所得回归方程极显著,且失拟检验不显著,这说明用方程Y拟合

3 个因素与乳化活性之间的关系是可行的。从 3 因素对超声-琥珀酰化 SPI 的乳化活性的影响来看, Y 回归方程的一次项 A、B 对超声-琥珀酰化 SPI 的乳化活性均有显著影响, 并且二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 以及交互项中的 AC 也对乳化活性有显著的影响, 其他因素影响不显著, 这表明响应值的变化相当复杂, 各个实验因素对响应值的影响呈二次关系, 且 3 因素之间存在交互作用。对回归方程进行中心标准化处理, 回归方程 Y 一次项回归系数的绝对值大小均依次为 B、A、C, 表明 3 个因素对乳化活性影响顺序均为: 超声功率 > 超声时间 > 酰化温度。

表 2 响应面设计方案和实验结果

实验号	A	B	C	乳化活性 (OD_{500})
1	1	0	1	0.827
2	0	-1	1	0.889
3	-1	-1	0	0.922
4	0	1	1	0.842
5	0	1	-1	0.869
6	1	0	-1	0.878
7	-1	1	0	0.877
8	0	0	0	0.982
9	0	-1	-1	0.917
10	1	1	0	0.856
11	-1	0	1	0.884
12	0	0	0	0.965
13	0	0	0	0.973
14	1	-1	0	0.882
15	-1	0	-1	0.849

分别将模型中的超声时间(A)、超声功率(B)、酰化温度(C)的其中一个因素固定在 0 水平, 得到另外两个因素交互作用对乳化活性 Y 的子模型, 并根据模型分别绘制响应面图, 见图 6。

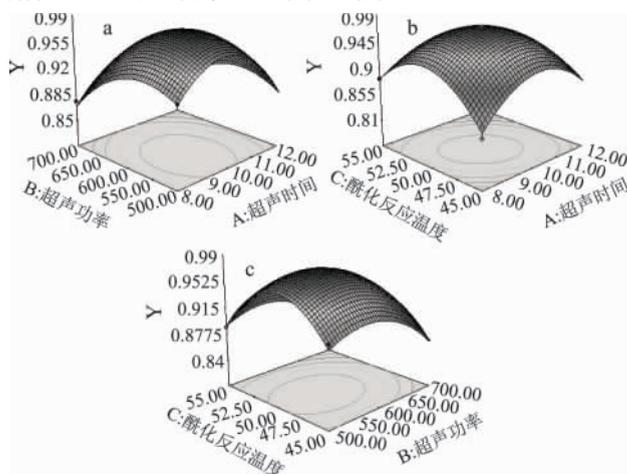


图 6 超声-琥珀酰化 SPI 乳化活性的响应面图

通过响应面图可以直观地反映实验条件对超声-琥珀酰化 SPI 乳化活性的影响。从图 6 可以看出, 3 个因素与 Y 呈抛物线关系, 随着各因素值的增加, Y 先呈不同程度的上升, 但当各因素达到一定的值后, 继续增加, Y 呈下降趋势, 这与单因素的实验结果相同。并且由图 6b 和图 6c 可以看出, 在实验温度范围内, 与超声时间和超声功率两个因素相比较, 酰化温度对 SPI 乳化活性的影响相对较小。

2.3 验证实验

通过模型, 采用 Design-Expert 7.1 软件优化反应条件, 得出超声-琥珀酰化复合改性提高 SPI 乳化活性的最适工艺条件为: 超声功率 569.36W、超声时间 9.79min、酰化温度 49.72℃、底物浓度 6%、琥珀酸酐添加量 10%、pH8.0~8.5。在此条件下, 超声-琥珀酰化 SPI 乳化活性 (OD_{500}) 的预测值为 0.977, 而实际测得超声-琥珀酰化 SPI 的乳化活性 (OD_{500}) 为 0.962, 实际值与预测值之间的相对误差在 $\pm 1\%$ 以内, 说明采用响应面法优化得到的工艺条件准确可靠, 按照建立的模型进行预测实际实验是可行的。

由表 4 可以看出, 超声-琥珀酰化复合改性能有效提高 SPI 的乳化性。通过超声和琥珀酰化复合改性制得的 SPI 与未改性的 SPI 相比较, 乳化活性和乳化稳定性均有着大幅度的提高, 分别提高了 3.05 倍和 4.65 倍。

表 4 琥珀酰化 SPI 与未改性 SPI 乳化活性和乳化稳定性的比较

蛋白样品	乳化活性 (OD_{500})	乳化稳定性 (min)
超声-琥珀酰化 SPI	0.962	87.15
未改性 SPI	0.317	18.76

3 结论

3.1 通过响应面分析得出各因素对超声-琥珀酰化 SPI 乳化活性的影响顺序为: 超声功率 > 超声时间 > 酰化温度。

3.2 利用响应面法优化得到超声-琥珀酰化 SPI 乳化活性的工艺条件为: 超声功率 569.36W、超声时间 9.79min、酰化温度 49.72℃。该条件下制备的超声-琥珀酰化 SPI 的乳化活性 (OD_{500}) 为 0.962, 与预测值的相对误差在 $\pm 1\%$ 以内, 说明利用本实验建立的模型的优化结果与实际情况吻合。

3.3 超声-琥珀酰化复合改性能有效提高 SPI 的乳化性。通过优化得到的工艺条件制备的超声-琥珀酰化 SPI 与未改性的 SPI 相比较, 乳化活性和乳化稳定性分别提高了 3.05 倍和 4.65 倍。

参考文献

- [1] 李里特. 大豆加工与利用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 145-146.
- [2] 海日罕, 迟玉杰. 微波辅助磷酸化改性提高大豆分离蛋白乳化性的研究 [J]. 中国粮油学报, 2009, 24(6): 36-40.
- [3] 李川, 李娅娜, 刘虎成, 等. 大豆蛋白改性 [J]. 食品工业科技, 2000, 21(3): 75-76.
- [4] 田其英, 华欲飞. 物理方法对大豆分离蛋白功能性质影响 [J]. 粮食与油脂, 2006(3): 10-12.
- [5] 张龙, 史吉平, 杜风光, 等. 小麦面筋蛋白化学改性研究进展 [J]. 粮食加工, 2006, 31(6): 56-58.
- [6] 朱建华, 杨晓泉, 邹文中, 等. 超声处理对大豆分离蛋白功能特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2004, 25(4): 81-83.
- [7] 孙冰玉, 石彦国. 超声波对醇法大豆浓缩蛋白乳化性的影响 [J]. 中国粮油学报, 2006, 21(4): 60-63.
- [8] 赵国华, 王光慈, 陈宗道, 等. 改性对玉米蛋白质功能性质

(下转第 130 页)

要性质,它取决于蛋白质与水之间的相互作用。蛋白质吸收和保留水的能力对于各种不同的食品,特别是肉浆和焙烤面团的质构起着重要的作用^[14]。从表8中可以看出,相对于碱提茶叶蛋白,酶法提取的茶叶蛋白吸水性降低而吸油性升高,可能原因是在提取的时候添加了蛋白酶,部分茶叶蛋白被水解成氨基酸或者多肽,包裹在蛋白质内部的疏水基团暴露出来。

表8 茶叶蛋白的持水持油能力

功能性质	酶提茶叶蛋白产品	碱提茶叶蛋白产品 ^[11]
吸水性(mL/g)	1.69 ± 0.04	1.90
吸油性(mL/g)	1.63 ± 0.07	1.50
乳化性(%)	83.5 ± 0.17	75.96
乳化稳定性(%)	95.06 ± 0.22	94.55
起泡性(%)	80.9 ± 0.87	75.61
起泡稳定性(%)	15min	87.0 ± 0.13
	30min	81.0 ± 0.22
	60min	80.6 ± 0.18

蛋白质常被作为乳化剂用于乳状液食品体系中,如酪蛋白在冰淇淋中的应用,大豆蛋白在火腿肠中的应用。已知蛋白质的乳化能力与其溶解度、分子链的柔性以及疏水性等因素有密切关系。在不损失溶解性的前提下,蛋白质的适度热变性对其乳化能力有促进作用^[14]。从表8中可以看出,酶法提取的茶叶蛋白的乳化性相比碱提茶叶蛋白提高了10%左右,而乳化稳定性则略有提高,说明碱提过程虽然对蛋白质结构有一定的破坏,但是暴露出的疏水基团还低于酶法水解后的。

蛋白质分子的双亲基团使其能定位吸附于气-水界面,形成泡沫体系。蛋白质的发泡性与其分子的柔性、疏水性、溶解性等因素有关,而泡沫的稳定性则依赖于蛋白质的带电性质和粘弹性^[15]。从表8可以看出,酶法提取的蛋白质起泡性要高于碱法提取的蛋白质。虽然植物蛋白的疏水性氨基酸含量比动物来源的卵清蛋白、酪蛋白等还要高,但由于其分子的柔性较差,在搅打时不能自发和快速地吸附于新形成的界面上,因而发泡性较差。

3 结论

3.1 利用蛋白酶、果胶酶或纤维素酶可以有效地提高茶叶中蛋白质的提取得率,而且两种酶合用效果更佳,纤维素酶和蛋白酶(400IU/g茶叶+480U/g茶

叶)联合使用,蛋白质提取率达到78.57%。

3.2 对得到的茶叶蛋白进行分析发现,利用碱提和酶法提取对于蛋白质的氨基酸组成基本没有影响,除吸水性和起泡稳定性略差于碱提茶叶蛋白外,酶法提取茶叶蛋白的其它指标如吸油性、乳化性、乳化稳定性以及起泡性均优于碱提茶叶蛋白。

参考文献

- [1]刘林,黄伟,车科,等.水酶法提取茶叶籽蛋白工艺研究[J].江苏食品与发酵,2008(3):5-8.
- [2]崔蕊静.酶法水解和常规水浸提制备绿茶浸提液工艺条件比较[J].食品科技,2009,34(11):226-230.
- [3]孙秋香,吴珂.茶叶多糖的提取方法探讨[J].湖北第二师范学院学报,2009,26(2):36-38.
- [4]Chavan V D, McKenzie D B, Shahidi F. Functional Properties of Protein Isolates From Beach Pea [J]. Food Chem, 2001, 74: 177-187.
- [5]Prakash J, Ramanatham G. Effect of Stabilization Treatment of Rice Bran on Functional Properties of Protein Concentrates [J]. J Sci Food Agric, 1995, 67: 181-187.
- [6]吕莹果,张晖,孟祥勇,等.2,4-二硝基氟苯(FDNB)柱前衍生法测定植物中谷氨酸脱羧酶的活力[J].分析化学,2009(3):347-350.
- [7]李雪琴,苗笑亮,裘爱泳.蚕豆分离蛋白的制备及其功能性质研究[J].粮食与饲料工业,2003(5):41-43.
- [8]张有林,韩军岐,卢琛慧,等.姜黄色素提取及防腐效果研究[J].农业工程学报,2005(2):144-148.
- [9]陈荣义,张新申,申金山,等.茶叶中有效成分综合提取的研究[J].食品科学,2005,26(4):174-177.
- [10]王瑞芳,蓝伟光,张世文,等.茶叶中有效成分的开发利用进展[J].亚热带农业研究,2005(8):64-69.
- [11]吴元锋,沈莲清,欧阳燕,等.干茶叶蛋白和新鲜茶叶蛋白性质研究[J].食品研究与开发,2008(8):32-35.
- [12]沈莲清,黄光荣,王向阳,等.茶渣中蛋白质酶法提取工艺[J].食品与生物技术学报,2006,25(6):7-12.
- [13]邹小明,谢骞,朱立成,等.茶叶蛋白的提取工艺研究[J].江苏农业科学,2007(1):169-171.
- [14]菲尼马.食品化学[M].第三版.王璋等译.北京:中国轻工出版社,2003.
- [15]石彦国,任莉.大豆制品工艺学[M].北京:中国轻工出版社,1993.

(上接第126页)

和结构的影响(II)酰化[J].中国粮油学报,2000,15(4):14-17.

[9]Lawal O S, Adebowale K O. Effect of acetylation and succinylation on solubility profile, water absorption capacity, oil absorption capacity and emulsifying properties of mucuna bean (*Mucuna pruriens*) protein concentrate [J]. Nahrung/Food, 2004, 48(2): 129-136.

[10]Mohamed A, Biresaw G, Xu J Y, et al. Oats protein isolate: Thermal, rheological, surface and functional properties [J]. Food Research International, 2009, 42(1): 107-114.

[11]Mirmoghtadaie L, Kadivar M, Shahedi M. Effects of succinylation and deamidation on functional properties of oat protein isolate [J]. Food Chemistry, 2009, 114(1): 127-131.

[12]Chavan U D, McKenzie D B, Shaidi F. Functional properties of protein isolates from beach pea (*Lathyrus maritimus* L.) [J]. Food Chemistry, 2001, 74(2): 177-187.

[13]张红印,朱加进.小麦面筋蛋白琥珀酰化改性研究[J].中国农业科学,2003,36(3):313-317.

[14]姜绍通,唐文婷,潘丽军.小麦面筋蛋白琥珀酰化修饰研究[J].食品科学,2005,26(12):40-44.