

油料蛋白

大豆 7S 球蛋白热力学特性、溶解性和溶液性质与表面疏水性相关性研究

刘春雷¹, 魏冬旭², 贾 烨³, 江连洲⁴, 李 丹¹

(1. 宁德师范学院, 福建 宁德 352100; 2. 黑龙江出入境检验检疫局, 哈尔滨 150001;
3. 杭州娃哈哈集团有限公司, 杭州 310018; 4. 东北农业大学 食品学院, 哈尔滨 150030)

摘要:以 6 个具有代表性的大豆品种制备的 7S 球蛋白为实验对象, 采用 ANS 荧光探针法测定表面疏水性, 采用差示扫描量热法分析热力学特性, 采用体积排阻-凝胶色谱法分析溶液的相对分子质量及其分布, 采用 Zeta Plus 电位及激光粒度分析仪分析流体动力学粒径及其分布并测定 ξ -电位, 研究大豆 7S 球蛋白热力学特性、溶解性和溶液性质与表面疏水性的关系。结果表明:大豆 7S 球蛋白的表面疏水性与变性温度、变性焓、 ξ -电位绝对值均呈显著负相关;大豆 7S 球蛋白的溶解性与表面疏水性呈极显著负相关;大豆 7S 球蛋白溶液可溶性聚集物的平均相对分子质量、平均粒径与表面疏水性呈显著正相关。

关键词:大豆 7S 球蛋白;热力学特性;溶解性;相对分子质量分布;流体动力学粒径; ξ -电位;表面疏水性

中图分类号:TS222⁺.1;TQ937 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2018)03-0039-06

Relevance between thermodynamic characteristics, solubility, solution properties and surface hydrophobicity of soybean β -conglycinin (7S)

LIU Chunlei¹, WEI Dongxu², JIA Ye³, JIANG Lianzhou⁴, LI Dan¹

(1. Ningde Normal University, Ningde 352100, Fujian, China; 2. Heilongjiang Entry - Exit Inspection and Quarantine Bureau, Harbin 150001, China; 3. Hangzhou Wahaha Group Co., Ltd., Hangzhou 310018, China; 4. College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: β -Conglycinin (7S) was prepared with soybean from six representative regions. Surface hydrophobicity of 7S was determined by ANS fluorescent probe method. Thermodynamic characteristics was analyzed by differential scanning calorimetry. Relative molecular weight distribution was determined by size exclusion gel chromatography. Hydrodynamic particle size distribution and ξ -potential were determined by Zeta Plus potential and laser particle size analyzer. The relationships between thermodynamic characteristics, solubility, solution properties and surface hydrophobicity of soybean 7S were studied. The results showed that there were significantly negative correlations between surface hydrophobicity of 7S and thermal denaturation temperature, denaturation enthalpy, and ξ -potential. There was extremely and significantly negative correlation between surface hydrophobicity and solubility of 7S. There was significantly positive correlation between surface hydrophobicity of 7S and average relative molecular weight and average particle size of soluble aggregates in 7S solution.

Key words: β -conglycinin (7S); thermodynamic characteristics; solubility; relative molecular weight distribution; hydrodynamic particle size; ξ -potential; surface hydrophobicity

收稿日期:2017-05-29;修回日期:2017-11-27

基金项目:国家自然科学基金项目(C200101);福建省科技厅重点项目(2014N0007);宁德师范学院校级课题(2016Q49, 2016Q51)

作者简介:刘春雷(1981),男,讲师,硕士,研究方向为农产品加工(E-mail)chunleiliu@163.com。

通信作者:李 丹,讲师,博士(E-mail)116127847@qq.com。

蛋白质的表面疏水性是由于部分疏水基团暴露于蛋白质表面引起的,是影响分子间相互作用的主要因素,是衡量蛋白质功能性质的关键指标之一。蛋白质的表面疏水性与蛋白质的理化性质和结构特性等密切相关。变性温度(T_d)反映蛋白质的热稳定性,变性焓(ΔH)是疏水作用和蛋白质结构紧密性的重要指标^[1-2]。溶解性是大豆蛋白可应用性的重要参数,是大豆蛋白最重要的功能特性之一,溶解性差通常伴随着功能特性较差^[3-4]。溶液性质是大豆蛋白实际应用中的重要性质之一,是大豆蛋白功能特性的基础。溶液中可溶性聚集物的相对分子质量及其分布以及流体动力学粒径及其分布反映蛋白质的聚集程度。 ξ -电位反映蛋白质表面电荷情况,与表面疏水性共同作用,影响蛋白质溶液的稳定性^[5]。

近年来,大量研究表明大豆蛋白的理化性质和结构特性随大豆品种和产地的不同有所差异^[6-8],而关于大豆蛋白的表面疏水性与其理化性质和结构特性的关系研究报道不多,且研究大多数是以大豆分离蛋白为对象,从纯品大豆 7S 球蛋白的角度研究品种差异对大豆蛋白表面疏水性的影响,探讨大豆蛋白热力学特性、溶解性和溶液性质与表面疏水性的关系,国内外鲜有报道。本研究选择我国具有区域代表性的 6 个大豆品种制备的 7S 球蛋白为实验对象,探讨大豆 7S 球蛋白热力学特性、溶解性和溶液性质与表面疏水性的关系,以期为今后开发大豆蛋白特定功能性产品而进行的分子设计和重组提供重要的理论指导。

1 材料与方法

1.1 实验材料

大豆 7S 球蛋白,实验室自制,分别来自于东农 42、黑农 46、合丰 55、冀豆 12、皖豆 28、福豆 234 大豆品种,纯度均在 90% 以上^[9]。

1-苯胺基-8-萘磺酸(ANS),Sigma 公司进口;KH₂PO₄、K₂HPO₄、NaCl、 β -巯基乙醇,优级纯;其余试剂为分析纯;标准蛋白(甲状腺球蛋白、醛缩酶、牛血清白蛋白、卵白蛋白、腺苷酸激酶、激血球素),上海康朗生物科技有限公司。

AKTA-蛋白质纯化仪,美国 GE 公司;HiLoad 16/60 Superdex 200 prep grade 凝胶预装柱,美国 GE 公司;PE Pyris6 差示扫描量热仪,美国 PULUS TA. XT 公司;Zeta Plus 电位及激光粒度分析仪,美国布鲁克海文仪器公司;722 型可见分光光度计。

1.2 实验方法

1.2.1 表面疏水性的测定

采用 ANS 荧光探针法,具体参考文献[10-11]。

1.2.2 热力学特性分析

利用 PE Pyris6 差示扫描量热仪测定不同品种大豆 7S 球蛋白的热力学特性^[12]。称取 5 mg 的样品放入铝盒中,再向其中加入 10 μ L、pH 7.6 的磷酸盐缓冲液,压盘密封,室温条件下放置 6 h。温度扫描范围:20 ~ 120 $^{\circ}$ C;从 20 $^{\circ}$ C 以 10 $^{\circ}$ C/min 升温至 120 $^{\circ}$ C 并保持 1 min,随后从 120 $^{\circ}$ C 以 30 $^{\circ}$ C/min 降温至 20 $^{\circ}$ C。记录此过程中样品的变性温度(T_d)和变性焓(ΔH)。

1.2.3 溶解性的测定

参考 Samoto 等^[13]的方法。200 mg 样品分散于 20 mL 去离子水中,室温下磁力搅拌 30 min,离心(10 000 $\times g$, 20 min)。上清液经适度稀释,采用 Lowry 法测定蛋白质质量分数。以吸光度为横坐标,蛋白质质量浓度为纵坐标,得到标准曲线方程为 $y = 2.5063x - 0.0112$, $R^2 = 0.9991$ 。

样品溶解度 = 上清液蛋白质质量浓度 / (样品质量浓度 \times 样品蛋白质含量) $\times 100\%$

1.2.4 蛋白质溶液性质的测定

1.2.4.1 溶液相对分子质量分布的测定

采用体积排阻-凝胶色谱法(SEC-HPLC)研究不同品种大豆 7S 球蛋白的相对分子质量分布。应用 AKTA-蛋白质纯化仪和 HiLoad 16/60 Superdex 200 prep grade 凝胶预装柱,采用紫外检测器在 280 nm 处检测。流动相为磷酸盐缓冲液(2.6 mmol/L KH₂PO₄, 32.5 mmol/L K₂HPO₄, 0.4 mol/L NaCl, 10 mmol/L β -巯基乙醇,离子强度 0.5, pH 7.6),在使用前经 0.22 μ m 水系醋酸纤维素滤膜真空抽滤处理。流速 1 mL/min,限制压强 0.3 MPa,柱温 25 $^{\circ}$ C。进样质量浓度 10 mg/mL(样品用流动相配制),进样量 1 mL,进样前样品过 0.22 μ m 水系醋酸纤维素滤膜处理。

选择 6 种标准蛋白进行标准曲线的绘制,分别为:甲状腺球蛋白,相对分子质量 669 kDa;醛缩酶,相对分子质量 158 kDa;牛血清白蛋白,相对分子质量 67 kDa;卵白蛋白,相对分子质量 43 kDa;腺苷酸激酶,相对分子质量 32 kDa;激血球素,相对分子质量 17 kDa。标准曲线以洗脱体积为横坐标,相对分子质量的自然对数为纵坐标,得到标准曲线方程为 $y = -0.0398x + 15.045$, $R^2 = 0.9994$ 。

1.2.4.2 流体动力学粒径及其分布的测定

采用 Zeta Plus 电位及激光粒度分析仪测定不同品种大豆 7S 球蛋白的流体动力学粒径及其分布。将样品用 pH 7.6 的磷酸盐缓冲液配制成 0.2% 的蛋白溶液,过 0.45 μ m 水系醋酸纤维素滤膜,室温

下进行测定,取3次测定的平均值。

1.2.4.3 ξ - 电位的测定

采用 Zeta Plus 电位及激光粒度分析仪测定不同品种大豆 7S 球蛋白溶液的 ξ - 电位。将样品用 pH 7.6 的磷酸盐缓冲液配制成 0.2% 的蛋白溶液,上样体积为 1 mL,测定温度为 25 °C。重复测定 6 次取平均值。

1.2.5 统计与分析

单项实验重复 3 次,结果表示为“均值 \pm 标准差”。采用 SPSS V18.0 软件对数据进行单因素方差分析和相关性分析,如果方差分析差异性显著 ($P < 0.05$),则使用 Duncan 进行多重比较。采用 Origin8.0 软件等进行图谱分析处理和图表制作。

2 结果与讨论

2.1 表面疏水性

不同品种大豆 7S 球蛋白的表面疏水性见图 1。

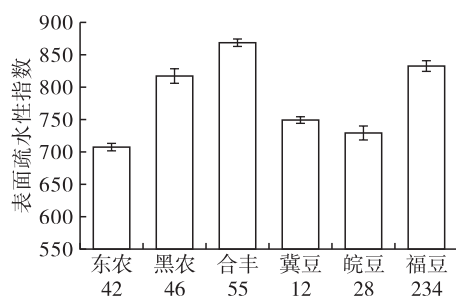


图 1 不同品种大豆 7S 球蛋白的表面疏水性

由图 1 可知,6 个品种大豆 7S 球蛋白的表面疏水性指数在 707.14 ~ 868.54 之间,合丰 55 > 福豆 234 > 黑豆 46 > 冀豆 12 > 皖豆 28 > 东农 42。可见,品种差异对大豆 7S 球蛋白的表面疏水性影响极显著 ($P < 0.01$),这可能与不同品种大豆 7S 球蛋白的结构特性和理化性质差异有关。

2.2 热力学特性与表面疏水性的关系

不同品种大豆 7S 球蛋白的变性温度和变性焓见表 1。由表 1 可知,6 个品种大豆 7S 球蛋白的变性温度在 73.65 ~ 77.50 °C 之间,变性焓在 2.59 ~ 5.48 J/g 之间。可见,品种差异对大豆 7S 球蛋白的热力学特性影响极显著 ($P < 0.01$)。相关性分析表明:大豆 7S 球蛋白的表面疏水性与变性温度 T_d 值呈显著负相关 ($P = 0.014$),相关系数为 -0.901 ;与变性焓 ΔH 值呈显著负相关 ($P = 0.017$),相关系数为 -0.892 。分析其原因为:大豆 7S 球蛋白的热变性温度与变性焓较小时,其热稳定性较差,使其完全变性所需要的能量较小,说明稳定其高级结构的氢键数量较少,分子展开程度较高,疏水性氨基酸残基较多暴露于分子表面,使其具有较高的表面疏水性。

表 1 不同品种大豆 7S 球蛋白的变性温度和变性焓

样品	$T_d/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J/g})$
东农 42	77.50 \pm 0.24 ^D	5.48 \pm 0.23 ^D
黑豆 46	74.58 \pm 0.15 ^B	3.98 \pm 0.14 ^B
合丰 55	73.65 \pm 0.37 ^A	2.59 \pm 0.13 ^A
冀豆 12	75.32 \pm 0.18 ^C	4.06 \pm 0.12 ^B
皖豆 28	75.45 \pm 0.15 ^C	4.51 \pm 0.25 ^C
福豆 234	74.43 \pm 0.11 ^B	3.87 \pm 0.27 ^B

注:表中同列数据肩标字母表示不同样品 $P < 0.01$ 水平的差异显著性,字母不同表示差异极显著,字母相同表示差异不显著。

2.3 溶解性与表面疏水性的关系

不同品种大豆 7S 球蛋白的溶解性见图 2。

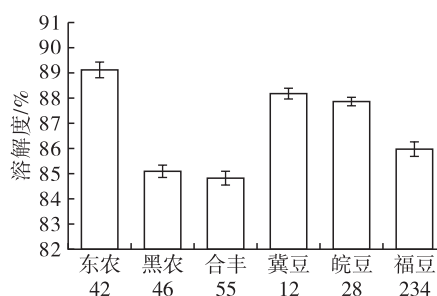


图 2 不同品种大豆 7S 球蛋白的溶解性

由图 2 可知,6 个品种的大豆 7S 球蛋白均具有良好的溶解性,溶解度在 85.13% ~ 89.91% 之间,品种差异对大豆 7S 球蛋白的溶解性影响极显著 ($P < 0.01$)。相关性分析表明:大豆 7S 球蛋白的溶解性与表面疏水性呈极显著负相关 ($P = 0.003$),相关系数为 -0.956 。分析其原因为:影响蛋白质溶解性的主要相互作用为疏水相互作用和离子相互作用。表面疏水性反映了蛋白质疏水相互作用的大小,表面电荷反映了离子相互作用的大小。Bigelow^[14]指出电荷、表面疏水性是决定蛋白质溶解性的两个主要的特性,电荷越高、表面疏水性越低,蛋白质溶解性越好。表面电荷的多少取决于蛋白质自身带电荷情况和溶液的离子强度,因此在低离子强度时,大豆 7S 球蛋白的溶解性受表面疏水性的影响较大。

2.4 溶液的相对分子质量及其分布与表面疏水性的关系

不同品种大豆 7S 球蛋白溶液的相对分子质量分布图谱见图 3。由图 3 可知,黑豆 46 - 7S、合丰 55 - 7S、冀豆 12 - 7S、皖豆 28 - 7S 和福豆 234 - 7S 溶液的相对分子质量分布相似,均为 1 个主峰和 2 个小峰。通过标准蛋白 SEC - HPLC 标准曲线进行计算,主峰相对分子质量为 435.63 ~ 444.39 kDa,是大豆 7S 球蛋白的三聚体,约占总量的 84.01%;靠

近主峰第一个小峰相对分子质量为 81.29 ~ 90.73 kDa, 是大豆 7S 球蛋白的 α' 亚基, 约占总量的 8.50%; 第二个小峰相对分子质量为 50.36 ~ 59.38 kDa, 是大豆 7S 球蛋白的 β 亚基, 约占总量的 7.50%。东农 42-7S 溶液的相对分子质量分布与其他 5 个大豆品种的 7S 球蛋白不同, 为 1 个主峰和 4 个小峰。通过标准蛋白 SEC-HPLC 标准曲线进行计算, 主峰相对分子质量约为 421.31 kDa, 是大豆 7S 球蛋白的三聚体, 约占总量的 77.23%; 靠近

主峰的第一个小峰相对分子质量约为 295.99 kDa, 约占总量的 10.03%, 是大豆 7S 球蛋白的二聚体; 第二个小峰相对分子质量约为 121.85 kDa, 约占总量的 0.30%, 是大豆 7S 球蛋白分子; 第三个小峰相对分子质量约为 61.89 kDa, 约占总量的 5.06%, 是大豆 7S 球蛋白的 α 亚基; 第四个小峰相对分子质量约为 39.27 kDa, 是大豆 11S 球蛋白的酸性亚基, 是大豆 7S 球蛋白制备过程中存留的杂质, 约占总量的 7.39%。

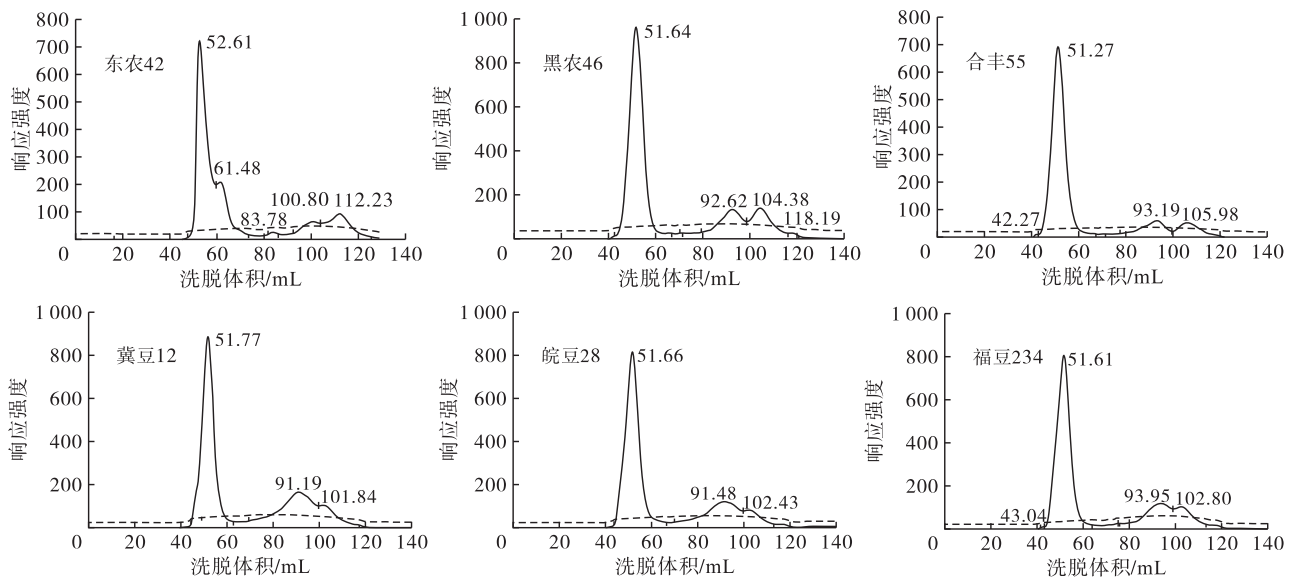


图3 不同品种大豆 7S 球蛋白溶液的相对分子质量分布图谱

东农 42-7S 与其他 5 个品种的 7S 球蛋白在溶液的相对分子质量分布上的差异, 应该是由东农 42-7S 的 α 亚基含量极少, 而 α' 亚基和 β 亚基含量很高导致的^[9]。并且上述分析表明, 含量极少的 α 亚基几乎全部处于自由状态, 没有参与亚基之间的聚集, 从而导致形成的三聚体和二聚体的分子大小有别于其他品种的 7S 球蛋白。

分析结果显示: 6 个品种的大豆 7S 球蛋白在溶液中都是以 9S 的形式存在的^[15], 可溶性聚集物的平均相对分子质量依次为合丰 55 (387.96 kDa) > 黑豆 46 (384.58 kDa) > 福豆 234 (383.16 kDa) > 皖豆 28 (376.03 kDa) > 冀豆 12 (374.49 kDa) > 东农 42 (361.17 kDa)。相关性分析表明: 大豆 7S 球蛋白溶液可溶性聚集物的平均相对分子质量与表面疏水性呈显著正相关 ($P=0.012$), 相关系数为 0.909。分析其原因为: 大豆 7S 球蛋白的表面疏水性越大, 即蛋白质表面的疏水相互作用越强, 溶液中形成的大分子聚集物越多, 可溶性聚集物体积也越大, 表现为平均相对分子质量越大。

2.5 流体动力学粒径及其分布与表面疏水性的关系

不同品种大豆 7S 球蛋白的流体动力学粒径分布见图 4。由图 4 可知, 6 个品种大豆 7S 球蛋白的流体动力学粒径分布相似, 均呈现双峰分布。分析结果显示: 峰 1 粒子较小, 为天然的大豆 7S 球蛋白分子; 峰 2 粒子相对较大, 为大豆 7S 球蛋白分子在溶液中形成的聚集体。6 个品种大豆 7S 球蛋白溶液粒子的多分散性指数均较小, 依次为福豆 234 (0.27) > 皖豆 28 (0.25) > 合丰 55 和 黑豆 46 (0.23) > 冀豆 12 (0.21) > 东农 42 (0.20), 说明样品溶液粒径分布均匀。6 个品种大豆 7S 球蛋白溶液的粒子平均粒径依次为合丰 55 (37.80 nm) > 黑豆 46 (36.70 nm) > 福豆 234 (34.10 nm) > 皖豆 28 (30.00 nm) > 冀豆 12 (26.00 nm) > 东农 42 (25.00 nm)。相关性分析表明: 大豆 7S 球蛋白溶液可溶性聚集物的平均粒径与表面疏水性呈显著正相关 ($P=0.010$), 相关系数为 0.915。这是因为大豆 7S 球蛋白的表面疏水性越大, 蛋白质分子之间的吸引力作用越大, 蛋白质分子相互靠近聚集的程度越大, 形成的可溶性聚集物粒子越大且越不均匀, 从而表现出平均粒径越大。

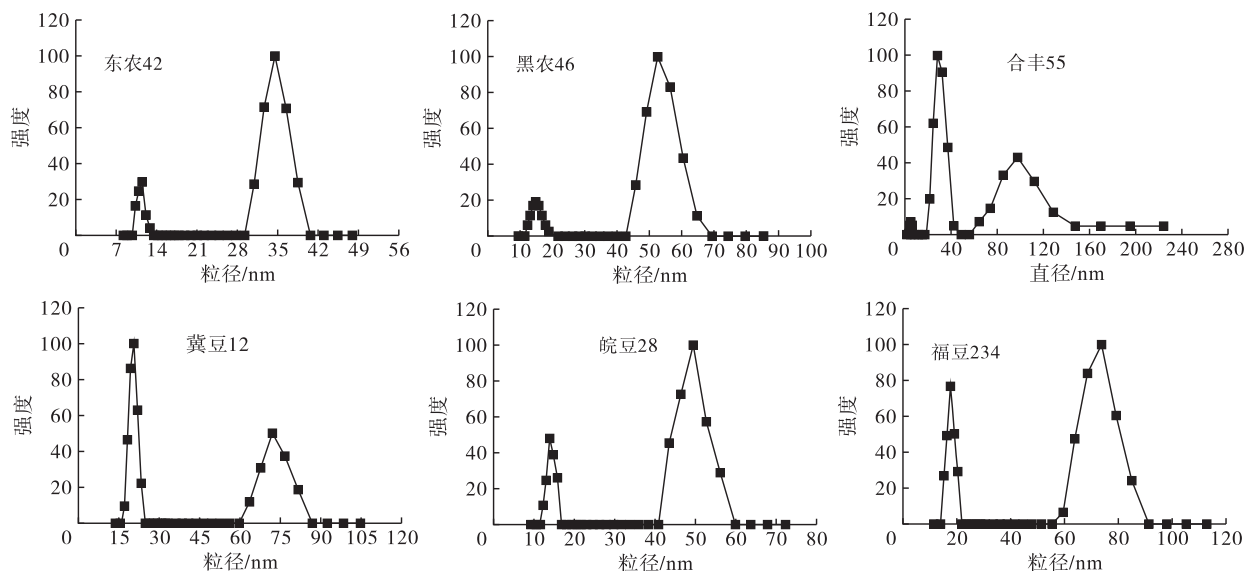
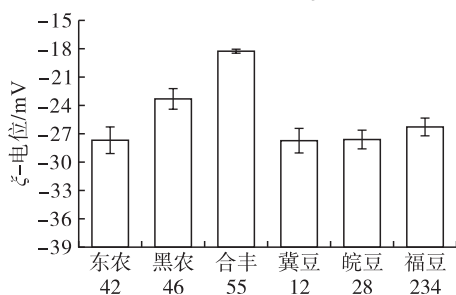


图4 不同品种大豆7S球蛋白的流体动力学粒径分布图

2.6 ξ -电位与表面疏水性的关系

不同品种大豆7S球蛋白的 ξ -电位见图5。

图5 不同品种大豆7S球蛋白的 ξ -电位

由图5可知,中性(pH 7.6)条件下,6个品种大豆7S球蛋白溶液的 ξ -电位均为负值,且差异性极显著($P < 0.01$),绝对值依次为冀豆12(27.71 mV) > 东农42(27.68 mV) > 皖豆28(27.62 mV) > 福豆234(26.28 mV) > 黑豆46(23.32 mV) > 合丰55(18.27 mV)。相关性分析表明:大豆7S球蛋白的 ξ -电位绝对值(即表面电荷)与表面疏水性呈显著负相关($P = 0.041$),相关系数为 -0.830 ,说明大豆7S球蛋白表面疏水性较低时,其溶液的 ξ -电位绝对值较大,即蛋白质表面电荷较多。这可能是由于大豆7S球蛋白表面疏水性较低时,暴露于蛋白质表面的疏水基团数量较少,使得更多的极性氨基酸尤其是带电荷氨基酸在蛋白质表面富集,表面电荷量较多,从而使得 ξ -电位绝对值较大。

3 结论

(1)大豆7S球蛋白的热力学特性与表面疏水性关系:大豆7S球蛋白的表面疏水性与变性温度呈显著负相关,相关系数为 -0.901 ;与变性焓呈显著负相关,相关系数为 -0.892 。

(2)大豆7S球蛋白的溶解性与表面疏水性关

系:大豆7S球蛋白的溶解性与表面疏水性呈极显著负相关,相关系数为 -0.956 。

(3)大豆7S球蛋白的溶液性质与表面疏水性关系:大豆7S球蛋白溶液可溶性聚集物的平均相对分子质量与表面疏水性呈显著正相关,相关系数为 0.909 ;平均粒径与表面疏水性呈显著正相关,相关系数为 0.915 ; ξ -电位绝对值(即表面电荷)与表面疏水性呈显著负相关,相关系数为 -0.830 。

参考文献:

- [1] LAKEMOND C M M, DEJONTH H H J, HESSING M, et al. Heat denaturation of soy glycinin: influence of pH and ionic strength on molecular structure [J]. J Agric Food Chem, 2000, 48: 1991 - 1995.
- [2] JELESAROV I, BOSSHARD H R. Isothermal titration calorimetry and differential scanning calorimetry as complementary tools to investigate the energetics of biomolecular recognition [J]. J Mol Recognit, 1999, 12: 3 - 18.
- [3] DICKINSON E. An introduction to food colloids [M]. Oxford: Oxford Science Publishers, 1992.
- [4] GUAN X, YAO H Y, CHEN Z X. Some functional properties of oat bran protein concentrate modified by tuypsin [J]. Food Chem, 2007, 101: 163 - 170.
- [5] MATSUDOMI N, ISHIMURA Y, KATO A. Improvement of gelling properties of ovalbumin by heating in dry state [J]. Agric Biol Chem, 1991, 55: 879 - 881.
- [6] WANG W Y, BRINGE N A, BERHOW M A, et al. β -conglycinins among sources of bioactives in hydrolysates of different soybean varieties that inhibit leukemia cells in vitro [J]. J Agric Food Chem, 2008, 56 (11): 4012 - 4020.

(下转第49页)

油 > 菜籽油 > 核桃油 > 亚麻籽油 > 紫苏油, 结果与烘箱法的相一致, 且其氧化稳定性与亚麻酸含量有一定关系。分析食用油在模拟法中脂肪酸含量的变化可知, 在油脂氧化初期, 多不饱和脂肪酸(亚油酸和亚麻酸)含量减少, 单不饱和脂肪酸(油酸)和饱和脂肪酸(硬脂酸和棕榈酸)含量有不同程度的增加。多不饱和脂肪酸的含量对食用油氧化稳定性具有较为明显的影响, 尤其是亚麻酸。除此之外, 内源性抗氧化成分对食用油氧化稳定性也有一定的影响。对比分析3种评价氧化稳定性的方法可知, 烘箱法操作简便但无法反映氧化实际情况; 涂膜法检测过程高效且实时; 模拟法可反映食用油在使用中的实际氧化过程。

参考文献:

- [1] WANG T, LEE S, DA SILVA J A C, et al. Determination of oxidation of methyl ricinoleates [J]. J Am Oil Chem Soc, 2015, 92(6): 871-880.
- [2] 宋萧萧, 李杨, 马文君, 等. 鼠尾草酸对山茶油氧化稳定性的影响研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(2): 39-43.
- [3] WOMENI H M, TONFACK D F, IRUKU N S, et al. Valorization of soursop flowers (*Annona Muricata* L.) as potent source of natural antioxidants for stabilization of palm olein during accelerated storage [J]. Food Sci Nutr, 2016, 4(6): 802-810.
- [4] 王惠芳, 樊铁. AOM 和 OSI 测定法比较研究[J]. 中国粮油学报, 1994, 9(2): 53-59.
- [5] 牛付欢, 梁俊梅, 张余权, 等. 油脂 OSI 加速氧化条件下氧化机制初探[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(10): 67-71.
- [6] FRVANDE V, ISMAIL A A, SEDMAN J, et al. Monitoring the oxidation of edible oils by Fourier transform infrared spectroscopy [J]. J Am Oil Chem Soc, 1994, 71(3): 243-253.
- [7] XU L, FEI T, LI Q, et al. Qualitative analysis of edible oil oxidation by FTIR spectroscopy using a mesh "cell" [J]. Anal Meth, 2015, 7(1): 4328-4333.
- [8] 于修焯, 杜双奎, 王青林, 等. 傅里叶红外光谱法油脂定量分析研究进展[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(1): 129-136.
- [9] 张静亚, 张建新, 于修焯, 等. 基于近红外透射光谱的食用油氧化定性分析[J]. 食品科学, 2012, 33(4): 200-203.
- [10] YU X, LI Q, SUN D, et al. Determination of the peroxide value of edible oils by FTIR spectroscopy using polyethylene films[J]. Anal Meth, 2015, 7(5): 1727-1731.
- [11] DONG X, LI Q, SUN D, et al. Direct FTIR Analysis of free fatty acids in edible oils using disposable polyethylene films[J]. Food Anal Meth, 2015, 8(4): 857-863.
- [12] 冯燕玲, 周建新, 高瑛珑. 储藏环境对菜籽油酸值和过氧化值的影响研究[J]. 粮食与油脂, 2016(2): 23-26.
- [13] 李易文, 陈倩, 张鹏, 等. 基于涂膜法 FTIR 的食用油羰基值快速检测[J]. 食品科学, 2016, 37(8): 226-230.
- [14] 郑良清, 罗诗棋, 张荣, 等. 长时间高温加热对食用植物油酸值的影响[J]. 广东化工, 2016, 43(15): 31-32.
- [15] 王斐, 史闯, 殷钟意, 等. 牡丹籽仁油在加热过程中的脂肪酸组成、酸值和过氧化值变化研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(17): 21-25.
- [16] 姚仕彬, 叶元土, 李洁, 等. 鱼油在氧化过程中氧化指标及其脂肪酸组成的变化[J]. 饲料研究, 2012(6): 74-76.
- (上接第43页)
- [7] NATARAJAN S, XU C P, BAE H, et al. Proteomic and genetic analysis of glycinin subunits of sixteen soybean genotypes [J]. Plant Physiol Biochem, 2007, 45(6/7): 436-444.
- [8] FEHR W R, HOECK J A, JOHNSON S L, et al. Genotype and environment influence on protein components of soybeans [J]. Crop Sci, 2003, 43: 511-514.
- [9] 李丹, 刘春雷, 江连洲. 纯品 7S 和 11S 蛋白结构与表面疏水性的相关性研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(7): 5-9, 22.
- [10] 李丹, 江连洲. 大豆 7S 和 11S 蛋白中氨基酸组成与表面疏水性的相关性研究[J]. 中国油脂, 2015, 40(3): 25-29.
- [11] 刘春雷, 孙立斌, 李相昕, 等. 大豆 7S 和 11S 蛋白二级结构与表面疏水性相关性的研究[J]. 食品科学, 2015, 36(17): 28-32.
- [12] 许彩虹. 大豆球蛋白糖基化接枝改性及其热聚集行为研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [13] SAMOTO M, MAEBUCHI M, MIYAZAKI C, et al. Abundant proteins associated with lecithin in soy protein isolate [J]. Food Chem, 2007, 102(1): 317-322.
- [14] BIGELOW C C. On the average hydrophobicity of proteins and the relation between it and protein structure [J]. J Theor Biol, 1967, 16: 187-211.
- [15] MORITA S, FUKASE M, YAMAGUCHI M, et al. Purification, characterization, and crystallization of single molecular species of β -conglycinin from soybean seeds [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 1996, 60: 866-873.