

# 长白山榛仁分离蛋白及其主要组分的功能性质研究

杜艳萍, 刘春雷, 闵伟红, 李京京, 刘景圣

(吉林农业大学食品科学与工程学院, 小麦和玉米深加工国家工程实验室, 吉林长春 130118)

**摘要:** 本文以长白山榛仁为原料, 采用 Osborne 蛋白分级提取法得到纯度为 72.32%, 68.72%, 40.60% 的清蛋白 (PAP), 球蛋白 (PGP) 和谷蛋白 (PLP), 采用碱溶酸沉法得到纯度为 90.31% 的分离蛋白, 对比分析四种蛋白的功能性质, 结果显示: 分离蛋白总巯基含量最高为 6.71  $\mu\text{mol/g}$ , 清蛋白暴露巯基和二硫键含量最高分别为 2.28  $\mu\text{mol/g}$  和 60.40  $\mu\text{mol/g}$ 。四种蛋白起泡性和泡沫稳定性随 pH 增大趋势相反, 在 pH5 时, 起泡性最低而泡沫稳定性最高, 在偏酸或偏碱条件下, 起泡性较好而泡沫稳定性皆较差。谷蛋白吸水性和吸油性均最高分别为 3.40 mL/g 和 2.52 mL/g, 清蛋白吸水性和吸油性最低分别为 0.63 mL/g 和 1.79 mL/g。四种蛋白质的溶解性, 乳化性以及乳化稳定性随 pH 变化趋势相似, 在等电点时最低。清蛋白、球蛋白、谷蛋白和分离蛋白中必需氨基酸含量占总氨基酸含量的 29.83%、32.14%、35.23% 和 30.32%, 除蛋氨酸外均能满足 FAO/WHO 规定成人需要摄入量。

**关键词:** 榛仁, 分离蛋白; 清蛋白; 球蛋白; 谷蛋白; 功能性质

文章编号: 1673-9078(2015)5-109-115

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.5.018

## Major Components and Functional Properties of Changbai Mountain Hazelnut Protein Isolate

DU Yan-ping, LIU Chun-lei, MIN Wei-hong, LI Jing-jing, LIU Jing-sheng

(College of Food Science and Engineering, National Engineering Laboratory on Wheat and Corn Further Processing, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract:** Proteins were isolated from Changbai Mountain hazelnut and their functional properties were analyzed in this study. Osborne protein extraction was performed to obtain albumin, globulin and glutenin with purities of 72.32%, 68.72%, and 40.60%, respectively, while an alkali-solution and acid-isolation method was used to obtain a protein isolate with a purity of 90.31%. Functional properties of the four protein types were comparatively analyzed. The results showed that the protein isolate contained the highest total sulfhydryl content (6.71  $\mu\text{mol/g}$ ), while albumin extract contained the highest content of exposed sulfhydryl and disulfide groups (2.28 and 60.40  $\mu\text{mol/g}$ , respectively). The emulsifying ability and emulsion stability of all four proteins showed opposite trends with increasing pH. For instance, at pH 5, the emulsifying ability was the lowest, while emulsion stability was the highest. Under acidic or alkaline conditions, emulsifying ability was good, while emulsion stability was poor. The water and oil absorption capacities of glutenin were the highest at 3.40 and 2.52 mL/g, respectively, while those of albumin were the lowest at 0.63 and 1.79 mL/g, respectively. Solubility, emulsifying ability, and emulsion stability trends with changes in pH were similar and the isoelectric point was at the minimum for all four protein types. The total amino acid content in albumin, globulin, glutenin, and the protein isolate was 29.83%, 32.14%, 35.23%, and 30.32%, respectively. Except for methionine, the amino acid content for the other three protein types met the FAO/WHO regulations for required intake in adults.

**Key words:** hazelnut; protein isolate; albumin; globulin; glutenin; functional properties

长白山榛子 (*Corylus heterophylla* Fisch. ex Bess) 别名平榛, 属桦木科 (Betulaceae) 榛子属 (*Corylus* L.) 植物<sup>[1]</sup>, 是四大坚果 (榛子、核桃、腰果、杏仁) 之

收稿日期: 2014-09-09

基金项目: 国家“863”计划 (2013AA102206)

作者简介: 杜艳萍 (1990-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向为食品加工与安全

通讯作者: 闵伟红 (1971-), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事发酵工程、粮油科学与深加工技术研究

一, 享有“坚果之王”的美称。榛子主要产地有土耳其、意大利、西班牙和美国<sup>[2]</sup>, 在中国主要分布在东北三省、华北各省、西南横断山脉及西北等地的山区, 其中以东北三省居多。

榛仁含有丰富的营养物质, 其中油脂含量约为 60%, 多为单不饱和脂肪酸, 能够促进脂溶性维生素的吸收, 维生素 E 含量高达 36%, 能有效延缓衰老, 防止血管硬化, 榛仁中的微量元素 (主要是镁、钙和钾) 有助于调整血压, 榛仁中的甾醇和多酚类物质具

有良好的抗氧化功效,另外榛仁具有降低胆固醇的作用,能够有效防止心血管疾病。因此,长白山榛仁具有很高的食用和经济开发价值。

近年来对榛仁的研究主要有以下几个方面,榛仁皮中色素提取及其稳定性研究、榛仁中抗氧化活性物质的提取、榛仁粉的功能性质(如凝胶性、乳化性)及榛仁中油脂提取工艺条件优化。例如, Teresa<sup>[3]</sup>研究了不同提取条件(溶剂类型及接触时间)对榛仁提取物抗氧化活性的影响,再有 Deniz<sup>[4]</sup>等人研究了热加工对脱脂榛仁粉乳化性的影响。

榛仁中蛋白质含量为20%~30%,脱脂后的榛仁粕中蛋白质含量高达40%,一直以来人们关注榛仁油脂提取工艺条件,对去油后的蛋白研究利用比较少,这样造成了榛仁蛋白资源的浪费。即便有也有一定的局限性,例如张春红<sup>[5]</sup>仅仅研究分离蛋白的提取工艺条件优化及其功能特性。蛋白质的功能特性是影响食品加工的重要因素。本研究以脱脂榛仁蛋白粕为原料,研究其清蛋白、球蛋白、谷蛋白和分离蛋白的功能性质,为脱脂长白山榛仁蛋白的应用提供基础数据和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

脱脂榛仁粉:长白山野生榛子,破壳,50℃压榨去油脂,粉碎至粉末状,50℃下乙醚脱脂12h去除剩下的油脂后,通风橱内晾干,过40目筛,备用。

5,5'-二硫代-2-硝基苯甲酸(DTNB),Sigma公司;考马斯亮蓝G-250,USB USA,牛血清蛋白(BSA),GENVIEW USA;其它均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

FD-1B-50型冷冻干燥机,北京博医康仪器有限公司;日立L-8900型氨基酸自动分析仪,日立公司;FE20型实验室pH计,瑞士梅特勒-托利多集团;UV1700型分光光度计,日本岛津;SH220型石墨消解仪和K9860型全自动凯氏定氮仪,济南海能仪器股份有限公司;Sartorius BSA224S型分析天平,赛多利斯科学仪器有限公司;Z36HK高速冷冻离心机,德国HERMLE公司;T10 basic ULTRA-TURRAX,德国IKA集团。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 榛仁蛋白提取

清蛋白、球蛋白以及谷蛋白采用Osborne蛋白分级提取方法<sup>[6]</sup>分级提取:脱脂榛仁粉与蒸馏水以1:10

(m/V)混合,磁力搅拌1h,5000 r/min离心8 min取上清液,沉淀继续加水搅拌,重复提取三次,合并上清液并收集沉淀a,调节pH至4.5,离心取沉淀调节至中性,装入透析袋(8000 kDa)4℃透析3天,聚乙二醇浓缩,冷冻干燥即得清蛋白,4℃储存备用;沉淀a用1 mol/L NaCl溶液1:10(m/V)提取,离心取上清液,重复提取三次,合并上清液,并收集沉淀b,加入硫酸铵至50%饱和度,离心收集沉淀,处理过程同清蛋白;沉淀b用料液比1:10(m/V)70%乙醇提取三次,除去醇溶蛋白;沉淀继续用1:10(m/V)1% NaOH溶液提取三次,上清液调至等电点pH4.5处,静止30 min,离心收集沉淀,水洗三次调至pH至7.0,冷冻干燥得到谷蛋白。碱溶酸沉法<sup>[7]</sup>提取榛仁分离蛋白:脱脂榛仁粉与水以1:12(m/V)混合,用2 mol/L NaOH溶液调节pH至9.5,50℃水浴70 min,5000 r/min离心8 min,取上清液调至等电点pH4.5,酸沉30 min,5000 r/min离心8 min,蒸馏水洗三次,调pH为7.0,冷冻干燥,即得分离蛋白。

#### 1.3.2 榛仁蛋白质化学成分分析

##### 1.3.3 蛋白质含量测定

依据GB 5009.5-2010采用凯氏定氮法,氮换算为蛋白质的系数为6.25。

##### 1.3.4 总碳水化合物含量测定

总碳水化合物采用蒽酮硫酸法,参照Mundi<sup>[8]</sup>方法。

##### 1.3.5 灰分含量测定

依据食品安全国家标准食品中灰分的测定标准GB5009.4-2010测定。

##### 1.3.6 榛仁蛋白质功能性质

###### 1.3.6.1 榛仁蛋白质溶解性测定

溶解性测定参照Yu<sup>[9]</sup>方法。

###### 1.3.6.2 榛仁蛋白质起泡性和泡沫稳定性测定

起泡性和泡沫稳定性参照Siwaporn<sup>[10]</sup>方法。

###### 1.3.6.3 榛仁蛋白质乳化性和乳化稳定性测定

乳化性和乳化稳定性参照S. Seena<sup>[11]</sup>方法。

###### 1.3.6.4 榛仁蛋白质吸水性和吸油性测定

参照He(2014)<sup>[12]</sup>做法。

###### 1.3.6.5 榛仁蛋白质巯基及二硫键测定

总巯基测定和二硫键测定参照Mao<sup>[13]</sup>做法。

###### 1.3.6.6 榛仁蛋白氨基酸含量分析

依据GB/T 18246-2000酸水解法测定。

氨基酸评分计算如下:

$$\text{氨基酸评分}(\%) = \frac{\text{被测食物蛋白质每克氮或蛋白质氨基酸含量}(\text{mg})}{\text{参考蛋白质的每克氮或蛋白质氨基酸含量}(\text{mg})} \times 100$$

#### 1.3.7 数据分析

采用 Origin 7.5 对结果数据进行分析, 每个数据重复做三次, 计算平均值和标准偏差。

## 2 结果与讨论

### 2.1 榛仁蛋白理化性质

表 1 榛仁蛋白理化性质

Table 1 Physicochemical properties of proteins from hazelnut				
蛋白质组成	PAP	PGP	PLP	PPI
蛋白纯度/%	72.32±.58	68.72±.87	40.60±.56	90.31±.12
总碳水化合物/%	0.78±0.05	0.31±0.04	10.53±0.51	7.18±0.68
灰分含量/%	3.59±0.33	2.16±0.18	3.25±0.13	2.90±0.06
总巯基 ( $\mu\text{mol/g}$ )	4.93±0.15	5.32±0.03	5.17±0.02	6.71±0.064
暴露巯基 ( $\mu\text{mol/g}$ )	2.28±0.06	1.18±0.06	1.16±0.10	1.69±0.05
二硫键( $\mu\text{mol/g}$ )	60.40±.04	42.80±0.92	40.30±0.64	36.70±0.05

榛仁四种蛋白的蛋白纯度、总碳水化合物含量和灰分含量见表 1。由表显示分离蛋白总巯基含量最高为 6.71  $\mu\text{mol/g}$ , 其次为球蛋白 (5.32  $\mu\text{mol/g}$ )、谷蛋白 (5.17  $\mu\text{mol/g}$ ) 和清蛋白 (4.93  $\mu\text{mol/g}$ ); 清蛋白暴露巯基含量最高, 其次为分离蛋白, 球蛋白最低。清蛋白二硫键含量最高, 二硫键被认为与蛋白的热稳定性密切相关, 这说明清蛋白的热稳定性比较好。

### 2.2 榛仁蛋白溶解性

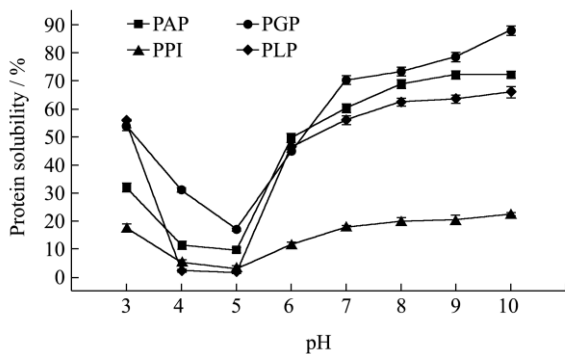


图 1 pH 对四种蛋白溶解性的影响

Fig.1 Effects of pH on solubility of PAP, PGP, PLP, PPI

由图 1 可以看出, 榛仁清蛋白、球蛋白、谷蛋白以及分离蛋白溶解性均随 pH 增大呈现先减小后增大的趋势, 曲线表现为 U 形曲线, 花生蛋白溶解性呈现与其相似趋势<sup>[14]</sup>。四种蛋白溶解度最小值均出现在 pH5 时, 这是由于等电点附近蛋白质所带净电荷为零, 静电斥力小而使蛋白质聚合程度增加, 疏水相互作用导致蛋白质聚集和沉淀, 造成溶解度降低; 偏离等电点时, 由于静电斥力增加, 蛋白质亲水集团与水分子

相互作用增强, 呈现外亲内疏结构, 溶解性增加。对比其它蛋白, 球蛋白和分离蛋白的溶解性较高, 这与球蛋白和分离蛋白的总巯基含量高相符, 因为高的巯基含量可以促进蛋白质与水的结合; 谷蛋白溶解性较低, 是因为谷蛋白为碱提取蛋白, 变性程度较高。

### 2.3 榛仁蛋白起泡性和泡沫稳定性

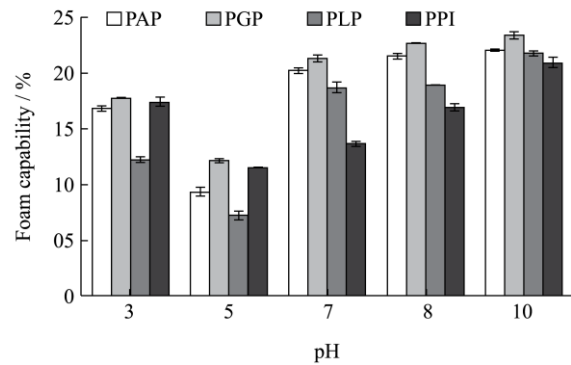


图 2 pH 值对榛子蛋白质起泡性的影响

Fig.2 Effect of pH on the emulsifying ability of hazelnut proteins

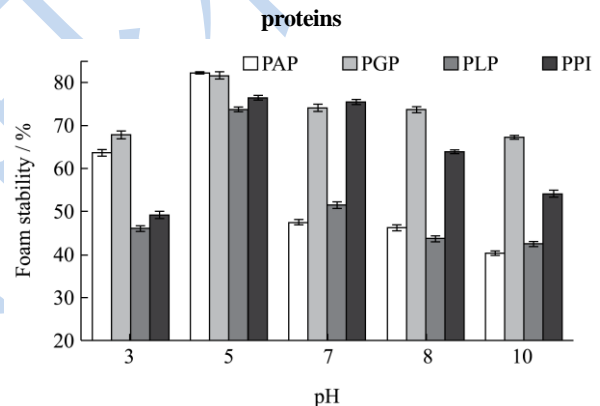


图 3 pH 值对榛子蛋白泡沫稳定性的影响

Fig.3 Effect of pH on the emulsion stability of hazelnut proteins

图 2 和 3 反映的是 pH 值对榛仁四种蛋白质起泡性和泡沫稳定性的影响。蛋白质起泡性是指蛋白样品在搅打过程中捕捉气体最终形成泡沫的能力; 泡沫稳定性是指泡沫维持它的一些属性如泡沫量、气泡尺寸和液体含量随时间变化的能力<sup>[15]</sup>。形成泡沫的前提是气泡吸附在空气-水界面, 溶解度, 构象改变, 界面重排以及分子间相互作用凝聚成膜<sup>[16]</sup>。由图可以看出, 同一蛋白浓度下, pH 值对起泡性和泡沫稳定性的影响变化趋势相反, 在 pH 值 5 时起泡性最低, 而泡沫稳定性达到最高。偏碱或偏酸性条件下, 起泡性较高, 泡沫稳定性则较低。原因一方面是在 pH5 时蛋白所带正负电荷之和为零, 蛋白表面亲水集团较少, 蛋白与水结合能力下降, 另一方面是蛋白质在等电点处溶解度低, 蛋白质沉淀导致没有足够的蛋白质结合到空气-水界面<sup>[17]</sup>。而在 pH 值 5 处泡沫稳定性最高的原因可

能是蛋白分子间不存在相互作用，分子间的静电斥力小，空气-水界面膜稳定<sup>[18]</sup>。

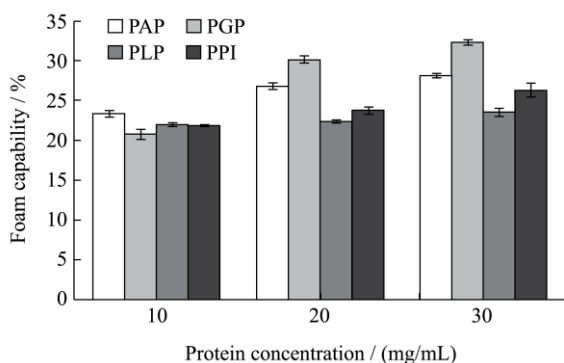


图4 蛋白浓度对榛仁蛋白质起泡性的影响

Fig.4 Effect of protein concentration on the emulsifying ability of Hazelnut proteins

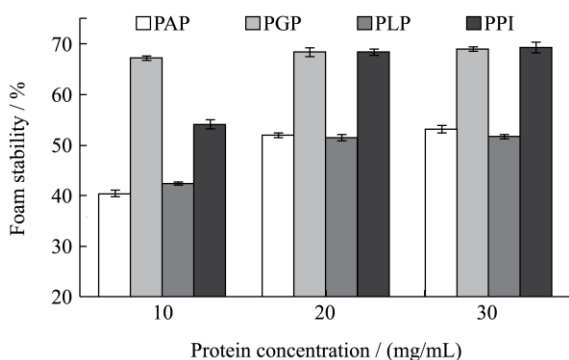


图5 蛋白浓度对榛仁蛋白质泡沫稳定性的影响

Fig.5 Effect of protein concentration on the emulsion stability of hazelnut proteins

图4是不同浓度榛仁蛋白的起泡性。由图可以看出，四种蛋白起泡性随蛋白浓度增加而增大，蛋白浓度越高，起泡性越好。从总体趋势看，球蛋白增加的幅度较大且起泡性最好，其次是清蛋白，谷蛋白的起泡性最差。这是因为随着蛋白质浓度的增加，可溶性蛋白质分子数量较多，增加了蛋白质与水的相互作用，降低空气与水之间的界面张力，促进空气-水界面形成一种多层的、结合能力强的蛋白质膜，使蛋白质的起泡性增加<sup>[19]</sup>。图5蛋白浓度对泡沫稳定性的影响。由图可知，球蛋白泡沫稳定性高于其它三种蛋白质，且随浓度的增加，泡沫稳定性变化不明显。其他三种蛋白的泡沫稳定性随蛋白浓度的增加均有不同程度的增强。

## 2.4 榛仁蛋白乳化性和乳化稳定性

由图6可以看出，榛仁四种蛋白在等电点附近乳化性较低，而在碱性条件下均有良好的乳化性，与pH值对溶解性的影响变化趋势相似。从总体趋势上来看，球蛋白的乳化性最高，而谷蛋白最低。在pH5时，蛋

白质净电荷为零，相互之间排斥作用小，溶解性低，蛋白质吸附在油-水界面的速度慢且吸附量少，此时乳化性最低<sup>[20]</sup>。由图7可以看出，蛋白质乳化稳定性随着pH增加呈现先下降后上升趋势，在蛋白质等电点处出现最小值。在碱性条件下，球蛋白乳化稳定性最强，谷蛋白泡沫稳定性最差。

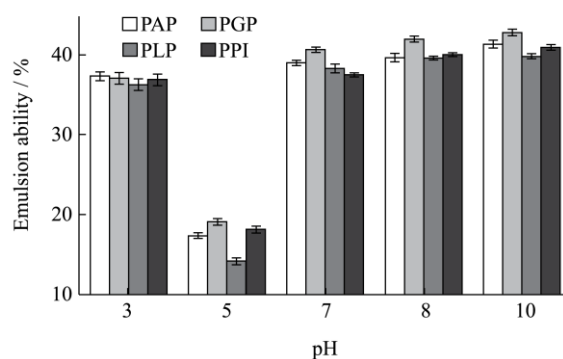


图6 pH值对榛子蛋白质乳化性的影响

Fig.6 Effect of pH on the emulsifying ability of Hazelnut proteins

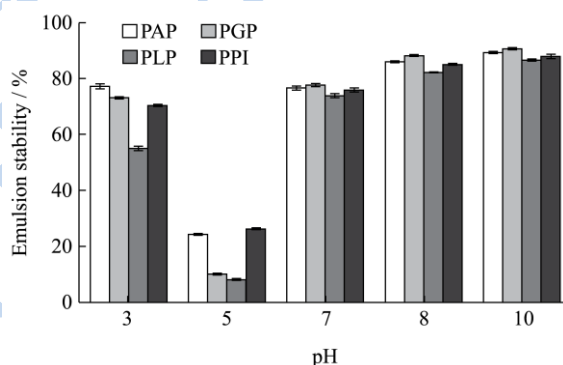


图7 pH值对榛子蛋白质乳化稳定性的影响

Fig.7 Effect of pH on the emulsion stability of Hazelnut proteins

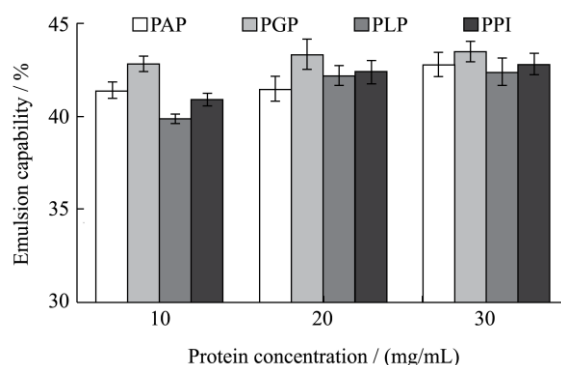


图8 蛋白浓度对榛子蛋白质乳化性的影响

Fig.8 Effect of protein concentration on the emulsifying ability of hazelnut proteins

图8和9是不同蛋白浓度对乳化性和乳化稳定性的影响。由图可知，乳化性和乳化稳定性随蛋白浓度的增加而增强，但是增加幅度不大，特别是当蛋白浓度从20 mg/mL增加到30 mg/mL时，乳化性和乳化稳



定性增加幅度很小,这可能是由于蛋白浓度较低时,蛋白质吸附到油-水界面是由扩散作用控制的,此时扩散系数较大,增加了油相和水相之间的相互作用,乳化活性较高。随蛋白浓度逐渐增加,可溶性蛋白增加,油相与水相相互作用增强,乳化活性增强<sup>[21]</sup>。但是扩散系数增大缓慢,所以乳化活性增强趋势不明显。随着蛋白浓度增加,乳化稳定性增强的可能原因是蛋白质浓度增加,分子间相互作用减少,促进蛋白质与油相互作用,在空气-油界面形成更厚更稳定的膜。

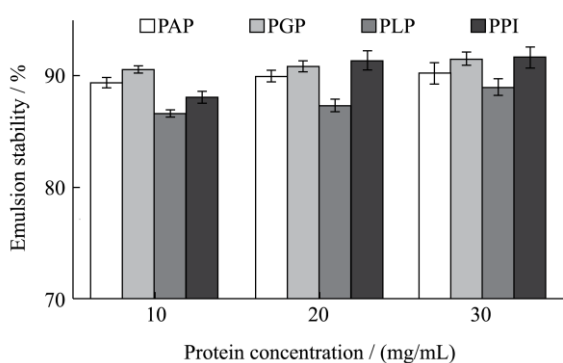


图9 蛋白浓度对榛子蛋白质乳化稳定性的影响

Fig.9 Effect of protein concentration on the emulsion stability of hazelnut proteins

2.5 榛仁蛋白质吸水性和吸油性

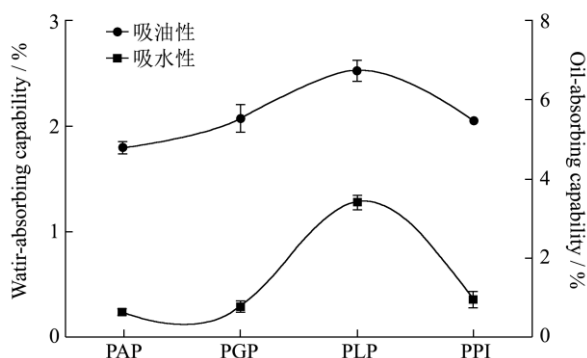


图10 清蛋白、球蛋白、谷蛋白和分离蛋白的吸水性、吸油性

Fig 10 Water-absorbing and oil-absorbing capabilities of PAP, PGP, PLP, PPI

图10可知,清蛋白、球蛋白、谷蛋白和分离蛋白的吸水性分别为0.63、0.78、3.40和0.95 mL/g,吸油性分别为1.79、2.07、2.52和2.05 mL/g。其中谷蛋白的吸水性和吸油性均高于其他三种蛋白,这可能是由于谷蛋白极性氨基酸残基较多,与水分子的作用较强<sup>[22]</sup>,故吸水性较强;又因为谷蛋白具有很大的膨胀能力,能够解离并露出额外的结合位点与油分子相互结合,故吸油性最高。四种蛋白吸油能力均高于油菜籽蛋白(1.33 mL/g)<sup>[23]</sup>。

2.6 榛仁蛋白质氨基酸含量分析

表2 榛仁蛋白的氨基酸组成 (g/100g 蛋白, %)

Table 2 Amino acid composition of hazelnut proteins

氨基酸	PAP	PGP	PLP	PPI	FAO/WHO <sup>b</sup>	
					儿童	成人
天冬氨酸	7.24	7.97	4.27	8.66		
苏氨酸 <sup>a</sup>	2.11	2.24	1.62	2.29	3.4	0.9
丝氨酸	3.06	3.21	1.93	3.44		
谷氨酸	16.93	15.25	9.67	19.83		
甘氨酸	3.17	3.42	2.73	3.43		
丙氨酸	2.34	2.58	1.63	2.49		
缬氨酸 <sup>a</sup>	3.21	3.52	2.45	3.66	3.5	1.3
蛋氨酸 <sup>a</sup>	0.27	0.41	0.28	0.33	2.5	1.7
异亮氨酸 <sup>a</sup>	2.65	2.98	1.80	3.10		
亮氨酸 <sup>a</sup>	4.86	5.25	3.47	5.41		
酪氨酸	2.15	2.30	1.69	2.27	2.8	1.3
苯丙氨酸 <sup>a</sup>	3.41	3.61	2.19	3.83	6.6	1.9
组氨酸 <sup>a</sup>	1.94	2.18	2.19	2.15		
赖氨酸 <sup>a</sup>	1.55	1.69	1.64	1.93	6.3	1.9
精氨酸	9.77	9.46	4.88	9.98	1.9	1.6
脯氨酸	2.39	2.00	1.97	2.07	5.8	1.6
总氨基酸	67.05	68.07	44.40	74.87		
必需氨基酸	20	21.88	15.64	22.7		
芳香族氨基酸	5.56	5.91	3.88	6.1		
亲水氨基酸	47.92	47.72	30.62	53.98		
疏水氨基酸	19.13	20.35	13.79	20.89		

注: <sup>a</sup>必需氨基酸, <sup>b</sup>.FAO/WHO, 2007.

表3 榛仁蛋白氨基酸评分

Table 3 Amino acid scores (%) of hazelnut proteins compared to the FAO/WHO requirements for children

氨基酸评分(儿童)	PAP	PGP	PLP	PPI
苏氨酸	62.06	65.88	47.65	67.35
缬氨酸	91.75	100.57	70.00	104.57
蛋氨酸	10.80	16.40	11.20	13.20
异亮氨酸	94.64	106.43	64.29	110.71
亮氨酸	73.64	79.55	52.58	81.97
苯丙氨酸	54.13	57.30	34.76	60.79
赖氨酸	26.72	29.14	28.28	33.28
组氨酸	102.11	114.74	115.26	113.16

表2为榛仁四种蛋白的氨基酸组成,由表可知,榛仁蛋白中氨基酸组成比较全面,含有7种(色氨酸未测定)人体必需氨基酸,以及对婴儿来说的必需氨基酸组氨酸和半必需氨基酸酪氨酸。四种蛋白中总氮

氨酸含量最高为分离蛋白,达到 74.87%,必需氨基酸与总氨基酸的比值分别为 29.83%、32.14%、35.23%和 30.32%。参考 FAO/WHO (2007) 2~5 岁的儿童和成人必需氨基酸摄入量可以看出,榛仁蛋白中必需氨基酸含量低于儿童需求量,但除蛋氨酸外均能够满足成年人的需要。

蛋白质中所含必需氨基酸的量与人体所需的蛋白质必需氨基酸的量相比,比值偏低的氨基酸,称为限制性氨基酸,比值最低的称为第一限制性氨基酸。由于这些氨基酸的不足,限制了人体对其他必需和非必需氨基酸的利用,从而降低了蛋白质的营养价值。由表 3-3 可知,蛋氨酸是清蛋白、球蛋白、谷蛋白和分离蛋白的第一限制性氨基酸,而赖氨酸为四种蛋白的第二限制性氨基酸。

#### 4 结论

本实验对比研究了 Osborne 蛋白分级提取方法提取的清蛋白、球蛋白、谷蛋白和碱溶酸沉法提取的分离蛋白的功能特性。研究表明四种蛋白的纯度分别达到 72.32%、68.72%、40.60%和 90.31%。四种蛋白的溶解性、起泡性、乳化性和乳化稳定性随 pH 的变化呈现先减后增的趋势,在 pH 5.0 处最低,泡沫稳定性随 pH 变化呈现先增后减的趋势,在 pH 5.0 处达到最高。四种蛋白中巯基含量最高的是分离蛋白为 6.71  $\mu\text{mol/g}$ ,清蛋白二硫键含量最高为 60.40  $\mu\text{mol/g}$ 。谷蛋白持水、持油性是四种蛋白质中最高的,分别是 3.04 mL/g 和 2.52 mL/g。这些数据为榛仁蛋白产品开发提供参考,为榛仁蛋白在食品加工中的运用奠定基础。

#### 参考文献

- [1] Kübra S Özdemir, Cemile Yılmaz, Gökhan Durmaz, et al. Hazelnut skin powder: A new brown colored functional ingredient [J]. Food Research International, 2014, 65: 291-297
- [2] Feramuz Ozdemir, Ibrahim Akinci. Physical and nutritional properties of four major commercial Turkish hazelnut varieties [J]. Journal of Food Engineering, 2004, 63: 341-347
- [3] Teresa Delgado, Ricardo Malheiro, Jos é Alberto Pereira et al. Hazelnut (Corylus avellanaL.) kernels as a source of antioxidants and their potential in relation to other nuts [J]. Industrial Crops and Products, 2010, 32: 621-626
- [4] Deniz Turan, Filiz Altay, Esra Çapanoglu Güven. The influence of thermal processing on emulsion properties of defatted hazelnut flour [J]. Food Chemistry, 2015, 167: 100-106
- [5] 张春红,盛芳,宋晓艺.榛子分离蛋白提取及其功能特性的研究[J].中国油脂,2011,36:28-30  
ZHANG Chun-hong, SHENG Fang, SONG Xiao-yi. Extraction and functional characteristics of hazelnut protein [J]. China Oils and Fats, 2011, 36: 28-30
- [6] Ke-Xue Zhu, Xiao-Hong Sun, Zhi-Cheng Chen, et al. Comparison of functional properties and secondary structures of defatted wheat germ proteins separated by reverse micelles and alkaline extraction and isoelectric precipitation [J]. Food Chemistry, 2010, 123: 1163-1169
- [7] Mundi S, Aluko R. Physicochemical and functional properties of kidney bean albumin and globulin protein fractions [J]. Food Research International, 2012, 48(1): 299-306
- [8] Jianmei Yu, Mohamed Ahmedna, Ipek Goktepe. Peanut protein concentrate: Production and functional properties as affected by processing [J]. Food Chemistry, 2007, 103: 121-129
- [9] Siwaporn Jitngarmkusol, Juthamas Hongswankul, Kanitha Tananuwong. Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours [J]. Food Chemistry, 2008, 110: 23-30
- [10] S Seena, K R Sridhar. Physicochemical, functional and cooking properties of under explored legumes, Canavalia of the southwest coast of India [J]. Food Research International, 2005, 38: 803-814
- [11] Xuan-Hui He, Hong-Zhi Liu. Effects of high pressure on the physicochemical and functional properties of peanut protein isolates. [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 36: 123-129
- [12] K Suresh Kumar, K Ganesan, Kandasamy Selvaraj, et al. Studies on the functional properties of protein concentrate of Kappaphycusalvarezii (Doty) Doty-An edible seaweed [J]. Food Chemistry, 2014, 153: 353-360
- [13] X Y Mao, P S Tong, Gualco, et al. Effect of NaCl addition during diafiltration on the solubility, hydrophobicity, and disulfide bonds of 80% milk protein concentrate powder [J]. Journal of Dairy Science, 2012, 95(7): 3481-3488
- [14] S N Jamdar, V Rajalakshmi. M D Pednekar, et al. Influence of degree of hydrolysis on functional properties, antioxidant activity and ACE inhibitory activity of peanut protein hydrolysate [J]. Food Chemistry, 2010, 121: 178-184
- [15] S Mundi, R E Aluko. Physicochemical and functional

- properties of kidney bean albumin and globulin protein fractions [J]. *Food Research International*, 2012, 48: 299-306
- [16] Haiwen Wu, Qiang Wang, Tiezheng Ma, et al. Comparative studies on the functional properties of various protein concentrate preparations of peanut protein [J]. *Food Research International*, 2009, 42: 343-348
- [17] Jitngarmkusol S, Hongsuwankul J, Tananuwong K. Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours [J]. *Food Chemistry*, 2008, 110(1): 23-30
- [18] Semiu Olalekan Ogunwolu, Folake O. Henshaw, Hans-Peter Mock, et al. Functional properties of protein concentrates and isolates produced from cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut [J]. *Food Chemistry*, 2009, 115: 852-858
- [19] Zhang T, Jiang B, Mu W, et al. Emulsifying properties of chickpea protein isolates: Influence of pH and NaCl [J]. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23(1): 146-152
- [20] Kingsley K Agyare, KwakuAddo, Youling L Xiong. Emulsifying and foaming properties of transglutaminase-treated wheat gluten hydrolysate as influenced by pH, temperature and salt [J]. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23: 72-81
- [21] Donlaporn Saetae, Thanyaporn Kleekayai, Vijay Jayasena, et al. Functional properties of protein isolate obtained from physic nut (*Jatropha curcas* L.) seed cake [J]. *Food Sci. Biotechnol.*, 2011, 20(1): 29-37
- [22] El-Nasri NA, El-Tinay AH. Functional properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) protein concentrate [J]. *Food Chem.*, 2007, 103: 582-589
- [23] Luke Gwatidzo, Ben M. Botha, Rob I. Mc Crindle. Determination of amino acid contents of manketti seeds (*Schinziophyton rautanenii*) by pre-column derivatisation with 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate and RP-HPLC [J]. *Food Chemistry*, 2013, 141: 2163-2169