不同品种花生蛋白主要组分及其亚基相对含量分析

杜 寅，王 强*，刘红芝，王 丽，刘 丽
(中国农业科学院农产品加工研究所，农业部农产品加工综合性重点实验室，北京 100193)

摘 要：对我国主要花生种植区的170个花生品种的蛋白质组成进行SDS-PAGE电泳分析。结果表明：不同花生品种的蛋白组分和亚基相对含量在种质材料间存在差异。各品种均含有花生球蛋白和伴花生球蛋白，花生球蛋白与伴花生球蛋白比值变化范围介于0.80～1.68之间，变异系数为15.23%，大于10%，说明不同花生品种蛋白组成比例存在较大的变异性。各品种亚基变异显著，其中，花生球蛋白的35.5kD亚基差异最显著，变异系数达55.07%，双纪2号等35个品种缺失35.5kD亚基条带，占所测试品种的20.59%。相关性分析表明，花生球蛋白与伴花生球蛋白之间呈极显著负相关(r=－0.998)。

关键词：花生蛋白；花生球蛋白；伴花生球蛋白；亚基组成；相对含量

Major Protein Fractions and Subunit Contents in Peanut from Different Cultivars

DU Yin，WANG Qiang*，LIU Hong-zhi，WANG Li，LIU Li
(Key Laboratory of Agro-products Processing, Ministry of Agriculture, Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract：The composition of peanut protein from 170 different cultivars in China was analyzed by SDS-PAGE as well as the relative content of major fractions. There were significant variations in protein composition and the relative content of subunits among these peanut cultivars. Both arachin and conarachin were found in each cultivar, with a ratio between 0.80 and 1.68, and a coefficient of variation (CV) of 15.23%. This CV larger than 10% suggests great differences in protein composition among different peanut cultivars. In addition, significant variations were also observed in the relative content of subunits; in arachin, the 35.5 kD subunit presented the largest CV of 55.07%, which, however, was absent from 20.59% (35/170, such as ShuangJi 35) of all the tested cultivars. Moreover there was an extremely significantly negative correlation between arachin and conarachin(r = －0.998).

Key words：peanut protein；arachin；conarachin；subunit composition；relative content
中图分类号：TS201.2 文献标志码：A 文章编号：1002-6630(2013)09-0042-05
doi:10.7506/spkx1002-6630-201309010

花生中蛋白质含量为24%～36%，根据花生蛋白的溶解特性，将其分为两大类即水溶性蛋白和盐溶性蛋白，其中大约10%的蛋白质是水溶性蛋白，称之为清蛋白，其余的90%为盐溶性蛋白[1]。盐溶性花生蛋白主要包括花生球蛋白(14S，类似于11S大豆球蛋白)、伴花生球蛋白Ⅱ(7.8S，类似于7S豌豆球蛋白)和伴花生球蛋白Ⅰ(2S)[2-3]。伴花生球蛋白Ⅰ和伴花生球蛋白Ⅱ亚基组成基本相同，而花生球蛋白亚基组成存在差异。Krishna等[4]报道不同基因型花生的球蛋白存在4种亚基模式，第1类含有47.5、45.1、42.6、21.4kD 4个亚基，第2类含有47.5、45.1、41.2、21.4kD 4个亚基，第3类含有47.5、45.1、42.6、41.2、21.4kD 5个亚基，第4类含有47.5、45.1、21.4kD 3个亚基。黎茵等[2]研究表明，花生种子蛋白组成的主要差异在于花生球蛋白亚基组成的不同，分为4类，第1类含有41、38.5、18kD，第2类含有41、38.5、37.5、18kD，第3类含有41、38.5、36.5、18kD，第4类主要含有41、38.5、37.5、36.5、18kD。

本课题组前期研究结果表明，花生球蛋白与伴花

收稿日期：2012-05-18
基金项目：国家公益性行业(农业)科研专项(200903043)；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(zwjk201201)
作者简介：杜寅(1986—)，男，硕士，研究方向为粮油加工与功能食品。E-mail：atp314@126.com
*通信作者：王强(1965—)，男，研究员，博士，研究方向为粮油加工与功能食品。E-mail：wangqiang365@263.net

生球蛋白含量与花生蛋白质功能性质密切相关，花生球蛋白含量越高，蛋白质溶解性越好，伴花生球蛋白含量越高，凝胶性越好。同时研究结果表明蛋白质亚基含量与花生蛋白质的凝胶性和溶解性密切相关。本实验采用十二烷基磺酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)进行蛋白质分析测定。通过对170份不同品种花生蛋白亚基含量的测定分析，旨在探索花生种质资源中蛋白质组成、亚基组成及其含量变化情况，对于花生蛋白品质遗传育种改良以及花生蛋白的开发利用潜力巨大；为筛选某一蛋白质组分含量高及具有好的凝胶性、溶解性等功能性质的优质花生品种提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

表1 供试花生品种编号

Table 1 List of peanut cultivars tested in this study

编号	品种名称	编号	品种名称	编号	品种名称	编号	品种名称	编号	品种名称
1	中花8号	35	丰花4号	69	开农30	103	泉花327	137	桂花166
2	中农108	36	红花1号	70	开农37	104	花93	138	祝丰1号
3	山花7号	37	青花8号	71	远杂9102	105	青岛爬蔓	139	定陶半蔓秧花生
4	四粒红	38	花育8号	72	远杂9307	106	新泰站秧	140	招远半蔓
5	鲁花11	39	鲁花14	73	L03-601-604	107	小铺秧	141	平度爬蔓
6	汴花3号	40	9616	74	L03-257-294	108	仲恺花4号	142	东平蔓花生
7	双纪2号	41	徐花5号	75	L03-329-336	109	莱阳穴坊半蔓	143	粤油25
8	海花1号	42	源花8号	76	818	110	平度大粒墩	144	栖霞半糠皮
9	山花9号	43	徐花13号	77	郑农7号	111	栖霞不落叶老抱鸡	145	泗水站秧
10	粤油14号	44	徐花14	78	丰花6号	112	栖霞大粒蔓	146	冀花2
11	粤油7号	45	徐花15	79	780-15	113	豫花11	147	巨野拖秧
12	丰花3号	46	花育16	80	鲁花9号	114	合油4#	148	莱芜爬蔓
13	粤油20号	47	花育19	81	8130	115	双基22	149	莱阳老抱鸡
14	闽花9号	48	花育20	82	鲁花15	116	青兰2号(大)	150	粤油39
15	粤油40号	49	花育22	83	湘花509-77	117	牟平一窝猴	151	花55
16	湛油82号	50	花育23	84	365-1	118	栖霞老抱鸡	152	莱西立蔓
17	汕油250	51	花育28	85	花17	119	汶上蔓生	153	即墨爬蔓
18	龙花243	52	花育31	86	花27	120	桂花95	154	花67
19	珍珠红	53	中花4号	87	鲁花12	121	徐花3	155	宁阳大粒蔓
20	白沙1016	54	中花15	88	白沙101	122	青岛蔓生大粒	156	桂花35
21	桂花771	55	白沙101	89	花育33号	123	郑花5	157	掖县一窝猴
22	粤油45号	56	粤油39号	90	花育25号	124	鲁花10	158	花37
23	粤油52号	57	海育6号	91	庐花10	125	青岛立蔓	159	莱阳墩花生
24	粤油55号	58	鲁丰2号	92	兰花2号	126	鄄城拉秧	160	文登半蔓
25	贺油11号	59	五彩花生	93	花育32号	127	系选21	161	鲁花8(HL008)
26	泉花551	60	黑花生	94	闽花10号	128	临清一窝猴	162	珍珠黑
27	仲恺花9号	61	060	95	花育36号	129	沂水大爬蔓	163	昆嵛大粒墩
28	莆花23号	62	红冠	96	豫花14号	130	临花1号	164	苍山丝果子
29	粤油86号	63	034-256-1	97	香乡	131	天府4号	165	潍花6号
30	珍珠黑	64	06-18-w	98	鲁花2号	132	曲阜斗棚	166	双红2号
31	白花生	65	冀9814	99	花育HH017	133	粤油92	167	莆花23
32	花冠王	66	豫花15	100	粤油551	134	蓬莱早花生	168	平度立茎
33	丰花1号	67	豫花9326	101	泉花10	135	牟平墩花生	169	莱阳半站蔓大花生
34	丰花3号	68	豫花9327	102	泉花464	136	莱阳半蔓	170	赣花7号

从全国花生主要种植区收集花生品种(系)170份，收获年份为2010年。其中包括山东、河南、广东、江苏、福建、广西、河北、吉林等主要花生种植省份，样品需低温保藏，花生品种编号见表1。

十二烷基硫酸钠(SDS)、丙烯酰胺(acrylamide)、低分子质量标准蛋白质、考马斯亮蓝R250、尿素 美国Sigma公司；四甲基乙二胺(TEMED)、*N*,*N*'-甲叉双丙烯酰胺(Bis-acrylamide) 德国Merck公司；过硫酸铵(AP) 中国医药集团(上海)化学试剂公司；三羟基甲基氨基甲烷(Tris) 美国Angus公司；溴酚蓝(bromophenol blue，BPB) 国药集团化学试剂有限公司；*β*-巯基乙醇(*β*-ME) 美国Amresco公司；甘氨酸(Gly) 北京索来宝生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

垂直板电泳槽(仪) 美国Bio-Rad公司；AlphaEase FC凝胶成像系统 美国Alpha Innotech 公司。

1.3 方法

1.3.1 花生蛋白样品的制备

采用碱溶酸沉工艺提取蛋白[5]，冷冻干燥备用。

1.3.2 样品溶液的制备

将0.1g的蛋白样品溶解于20mL 0.01mol/L的磷酸盐缓冲液(pH7.2)中，漩涡振荡10min使其充分溶解，10000r/min高速离心10min，吸取10μL上清液，添加10μL样品缓冲液，混匀，上样前沸水浴5min，冷却后即为上样溶液用于后续电泳实验。

1.3.3 SDS-PAGE电泳

参考王延华[6]、Laemmli[7]等方法。

1.4 数据分析

蛋白质电泳图谱采用AlphaEase FC凝胶成像系统进行拍照，并用其自带的AlphaEase FC分析软件进行分析。各亚基的相对含量定义为其光密度占该泳道总光密度的百分比。数据分析采用Microsoft Office Excel 2007、SAS和SPSS 12.0.1软件。

2 结果与分析

2.1 不同品种花生蛋白主要组分相对含量的差异分析

表2 花生蛋白组分相对含量变异性分析

Table 2 Variation in the relative content of protein fractions among different peanut cultivars

亚基名称	样本容量	含量变幅/%	平均含量/%	含量变异系数/%
花生球蛋白	170	44.30～62.70	55.00±3.90	7.08
伴花生球蛋白Ⅰ	170	20.00～34.10	25.79±2.99	11.59
伴花生球蛋白Ⅱ	170	13.40～25.70	19.21±2.50	13.02
伴花生球蛋白Ⅰ&Ⅱ	170	37.30～55.70	45.00±3.90	8.67

由表2可知，170个花生品种伴花生球蛋白Ⅰ和伴花生球蛋白Ⅱ含量的变异系数较大，分别为11.59%和

13.02%，说明各品种间二者差异较大。由表3可知，花生球蛋白与伴花生球蛋白比值变化范围介于0.80～1.68之间，平均值为1.24±0.19，比值高于平均值的有85个品种，占实验样品数量的一半。170个花生品种的花生球蛋白与伴花生球蛋白比值的变异系数为15.23%，超过了10%，说明不同花生品种之间蛋白质组成存在较大的遗传变异性。由图1和表3可知，花生球蛋白与伴花生球蛋白比值主要分布于1.2～1.4之间，比值最高的达到1.68，是江苏的花生品种徐花5号，比值最低的为0.80，是山东花生品种鲁花8号。研究表明，大豆11S、7S及11S/7S与功能性质密切相关，11S比7S二硫键含量高，并且结构紧密，因此，形成的凝胶性硬度比7S大，但7S组分的乳化能力和溶解度都要高于11S组分[8]，Saio[9]报道了11S球蛋白制成的豆腐凝胶硬度、弹性及黏性都明显好于7S球蛋白制成的豆腐。Arrese等[10]研究表明，大豆蛋白的11S/7S比值与蛋白质的热凝胶关系密切。11S/7S与豆腐凝胶硬度呈显著正相关(r=0.86)[11-12]。而不同花生品种之间花生球蛋白与伴花生球蛋白比值差异较大，为筛选具有优质功能性质(如凝胶性、溶解性、乳化性等)的花生品种提供一定依据。

表3 花生球蛋白与伴花生球蛋白比值分布情况

Table 3 Distribution of arachin/conarachin ratio

花生球蛋白与伴花生球蛋白比值	品种数	平均比值	占样本容量比例/%
<1.0	19	0.90	11.18
1.0～1.2	47	1.12	27.65
1.2～1.4	72	1.29	42.35
1.4～1.6	26	1.47	15.29
>1.6	6	1.65	3.53

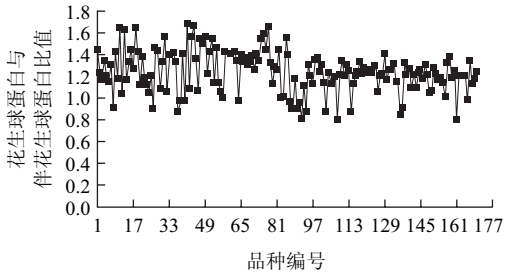
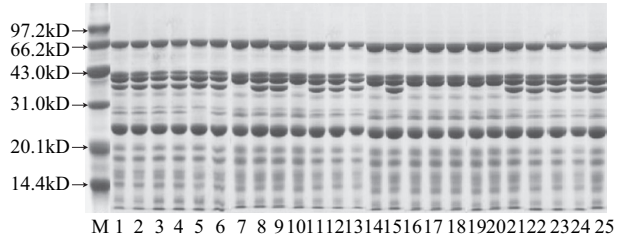


图1 花生球蛋白与伴花生球蛋白比值分布图

Fig.1 Graphic representation of the distribution of arachin/conarachin ratio

2.2 不同品种花生蛋白质亚基相对含量的差异分析

由图2可知，通过SDS-PAGE电泳将170个花生品种的花生蛋白分离成8个明显的条带。包括有花生球蛋白的共4个条带，分子质量分别为40.5、37.5、35.5、23.5kD；伴花生球蛋白Ⅱ有1个条带，分子质量为61kD；伴花生球蛋白Ⅰ有3个条带，分子质量分别为15.5、17、18kD。双纪2号、粤油14号、闽花9号等35个品种的35.5kD亚基出现了缺失，占所测试品种的20.59%。国外，Shokarii等[13]已报道花生的某些品种花生球蛋白缺少36.5kD亚基，Krishna等[4]则报道除此外还有某些品种的花生球蛋白同时含有36.5kD和37.5kD亚基，或者不含37.5kD亚基。由于不同实验条件的误差，可认为与35.5kD亚基为同一个亚基，可与本实验结果相印证。研究表明，植物蛋白在加工时的工艺性质如溶解性、起泡性、凝胶性、热凝聚性、乳化性与植物蛋白的分子质量分布、亚基的大小/组成、亚基的解离/聚合性质、二硫键多寡及其热稳定性、亲水/疏水性有密切的关系[14]。因此，通过培育不同亚基组成的花生品种，有助于改良花生蛋白质的品质及功能特性。条带的粗细、染色的深浅度有较大差异，表明各个亚基的含量具有显著变化。



M为蛋白分子标样；1～25分别代表花生品种编号。

图2 部分花生蛋白亚基组成SDS-PAGE电泳图谱

Fig. 2 SDS-PAGE profile of peanut protein and subunit composition of partial cultivars

表4 花生蛋白亚基相对含量变异性分析

Table 4 Variation in the relative content of protein subunits among different peanut cultivars

名称	亚基	样本容量	变幅/%	平均含量/%	变异系数/%
花生球蛋白	40.5kD	170	6.80～15.90	10.42±1.55	14.88
	37.5kD	170	7.50～17.90	12.41±2.38	19.17
	35.5kD	170	0～19.20	9.42±5.19	55.07
	23.5kD	170	18.70～26.90	22.75±1.65	7.27
伴花生球蛋白Ⅰ	18kD	170	6.40～11.70	8.57±1.24	14.44
	17kD	170	6.90～13.20	9.58±1.38	14.35
	15.5kD	170	3.40～11.90	7.63±1.59	20.80
伴花生球蛋白Ⅱ	61kD	170	13.40～25.70	19.21±2.50	13.02

由表4可知，花生球蛋白中变异系数最大的是35.5kD亚基，变异系数达55.07%，具有明显的品种间差异性；37.5kD亚基相对含量次之，变异系数为19.17%，最小的是23.5kD亚基，变异系数为7.27%。而伴花生球蛋白中15.5kD亚基变异最大，变异系数为22.09%，其余各亚基含量的变异系数均大于10%，存在显著差异。花生球蛋白中23.5kD亚基含量远高于其他各个亚基，相对含量为(22.75±1.65)%；而伴花生球蛋白中61kD亚基含量远高于其他各个亚基，相对含量达到(19.21±2.50)%。

Utsumi等[15-16]通过研究发现，大豆蛋白质凝胶形成中11S蛋白质中的酸性亚基*A*s-Ⅲ比*A*s-Ⅳ更加重要，而7S蛋白质中的3个亚基均参与了凝胶的形成，在SPI的凝胶中7S球蛋白的β亚基与11S球蛋白的碱性亚基有选择地交

表5 170份花生品种的蛋白组分及其亚基相对含量的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of the relative content of peanut protein fractions and subunits among 170 cultivars

项目		亚基				花生球蛋白	亚基				伴花生球蛋白	花生球蛋白与伴花生球蛋白比值
		40.5kD	37.5kD	35.5kD	23.5kD		18kD	17kD	15.5kD	61kD		
亚基	40.5kD	1.000										
	37.5kD	0.436**	1.000									
	35.5kD	−0.633**	−0.506**	1.000								
	23.5kD	−0.216**	−0.340**	0.040	1.000							
花生球蛋白		−0.270**	−0.033	0.788**	0.184*	1.000						
亚基	18kD	0.360**	0.205**	−0.648**	−0.107	−0.640**	1.000					
	17kD	0.116	0.185*	−0.447**	−0.108	−0.482**	0.459**	1.000				
	15.5kD	−0.209**	−0.426**	−0.158*	0.060	−0.528**	0.182*	0.165*	1.000			
	61kD	0.320**	0.128	−0.568**	−0.211**	−0.641**	0.145	−0.139	0.011	1.000		
伴花生球蛋白		0.275**	0.039	−0.791**	−0.183*	−0.998**	0.646**	0.477**	0.530**	0.642**	1.000	
花生球蛋白与伴花生球蛋白比值		−0.256**	0.005	0.764**	0.175*	0.993**	−0.632**	−0.457**	−0.534**	−0.646**	−0.993**	1.000

注：**. 相关性极显著($P<0.01$)；*. 相关性显著($P<0.05$)。

互作用，并直接影响着SPI的凝胶性，11S蛋白质的酸性亚基对凝胶网络状结构的形成具有重要作用。Tay[17]、程翠林[12]等研究结果表明，亚基α′、α、β与乳化性呈正相关，亚基$A_{1,2,4}$及亚基β则与乳化性呈负相关。刘春等[18]分析4个蛋白亚基变异类型大豆品种制备的SPI，结果表明11S组分单个亚基缺少对大豆蛋白的溶解性、乳化性、乳化稳定性和热稳定性影响不显著，11S组分含量显著降低或缺失能提高大豆蛋白的乳化性和乳化稳定性。Salleh等[19]研究了7S球蛋白缺失α及α′亚基对大豆蛋白凝胶的影响。在相同条件下，组分对凝胶硬度的影响关系是缺失α′亚基>7S全亚基>缺失α亚基。以分子遗传学为基础结合食品科学研究大豆蛋白亚基对其功能性的影响，培育出特异11S和7S蛋白组分含量及亚基种质的食品专用大豆品种是研究蛋白质亚基的一个很好的切入点。20世纪90年代后，在大豆蛋白亚基构成及其加工特性的研究中，通过某种方法改变大豆蛋白质的亚基构成获得缺失某亚基的大豆品种，使之成为适宜加工需求特性的专用大豆原料已越来越受到研究者的重视。而对花生蛋白质亚基缺失对功能性的影响未见报道，因此花生蛋白各组分亚基的缺失对其功能性的影响将是一个很好的研究方向。

2.3 不同品种花生蛋白组分及其亚基相对含量的相关性分析

经SPSS 12.0.1对花生蛋白组分及其亚基相对含量进行相关性分析，由表5可知，花生球蛋白、伴花生球蛋白及其比值间、各组分与其构成亚基间以及各个亚基相互之间基本都存在相关性。花生球蛋白与伴花生球蛋白之间(−0.998**)在0.01水平上呈现极显著负相关关系，两者相互制约，此消彼长。花生球蛋白与伴花生球蛋白各个亚基，如18kD亚基(−0.640**)、17kD亚基(−0.482**)、15.5kD亚基(−0.528**)、61kD亚基(−0.641**)均在0.01显著水平上达到极显著负相关，说明花生球蛋白含量越高，伴花生球蛋白各亚基含量越低。此外，花生球蛋白组分与35.5kD亚基(0.788**)为极显著正相关，相反，伴花生球蛋白组分与35.5kD亚基(−0.791**)呈现极显著负相关；花生球蛋白和伴花生球蛋白比值与35.5kD亚基(0.764**)呈极显著正相关。相关性分析表明花生蛋白各主要组分及其亚基之间相互影响，若改变其中任意一种成分的含量，都有可能直接或间接的影响到其他成分的含量。因此，可以通过增大35.5kD亚基的含量来提高花生球蛋白组分的含量，从而提高花生球蛋白和伴花生球蛋白比值；同时也可以增加伴花生球蛋白的含量及相应亚基的含量，为选育高花生球蛋白或高伴花生球蛋白含量并具有好的溶解性、凝胶性等功能性质的花生品种提供一定的理论参考。

3 结 论

3.1 170种花生品种的花生球蛋白、伴花生球蛋白和花生球蛋白与伴花生球蛋白比值的变异非常广泛，变异系数大都在10%以上。表明我国花生球蛋白、花生球蛋白与伴花生球蛋白组分含量变异种质资源非常丰富，花生蛋白品质遗传育种改良以及花生蛋白的开发利用方面的潜力巨大；为筛选某一花生蛋白组分含量高及具有好的凝胶性、溶解性等功能性质的花生品种提供一定的理论依据。

3.2 不同花生品种的蛋白亚基相对含量在种质材料间存在差异，其中，花生球蛋白的35.5kD亚基差异最显著，变异系数达55.07%，双纪2号等35个品种缺失35.5kD亚基条带，占所分析测试品种的20.59%。

3.3 花生蛋白主要组分花生球蛋白、伴花生球蛋白及其比值间、各组分与其构成亚基之间以及各个亚基相互之间基本上都存在相关性。花生球蛋白与伴花生球蛋白之间呈极显著负相关。

参考文献：

[1] 高焕春, 李文英, 吕晓玲. 花生蛋白质稳定性及加工品工艺条件的研究[J]. 中外技术情报, 1995(12): 39-40.

[2] 黎茵, 黄上志, 傅家瑞. 不同品种花生种子蛋白质的电泳分析[J]. 植物学报, 1998, 40(6): 534-541.

[3] YAMADA T, AIBARA S, MORITA Y. Isolation and some properties of arachin subunits[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1979, 43: 2563-2568.

[4] KRISHNA T G, PAWAR S E, MITRA R. Variation and inheritance of the arachin polypeptides of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. Theor Appl Genet, 1986, 73: 82-87.

[5] 高云中. 花生粕蛋白的提取及性质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009: 40-45.

[6] 王延华, 邹晓莉. 蛋白质理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 241-244.

[7] LAEMMLI U K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4[J]. Nature, 1970, 227: 680-685.

[8] 宋鹏, 周瑞宝, 魏安池. 大豆蛋白亚基组成对其功能特性影响的研究现状[J]. 粮油食品科技, 2010, 18(5): 19-22.

[9] SAIO K. Food processing characteristics of soybean 11S and 7S protein Part Ⅰ. Effect of difference of protein component among soybean varieties on formation of tofu-curd[J]. Agric Biol Chem, 1969, 33: 1301-1308.

[10] ARRESE E L, SORGENTINI D A, WAGNER J R, et al. Electrophoretic, solubility, and functional properties of commercial soy protein isolates[J]. J Agric Food Chem, 1991, 39(6): 1033-1036.

[11] MUJOO R, TRINH D T, NG P K W. Characterization of storage proteins in different soybean varieties and their relationship to tofu yield and texture[J]. Food Chemistry, 2003, 82: 265-273.

[12] 程翠林, 王振宇, 石彦国, 等. 大豆蛋白亚基组成与7S/11S对豆腐品质及产率的影响[J]. 中国油脂, 2006, 31(4): 16-19.

[13] SHOKARII E H, ESEN A, MOZINGO R W. Immunological characterization of a 36 kD polypeptide in peanuts (*Arachis hypogaea* L.)[J]. Peanut Sci, 1991, 18: 11-15.

[14] 杨晓泉, 陈中, 赵谋明. 花生蛋白的分离及部分性质研究[J]. 中国粮油学报, 2001, 16(5): 25-28.

[15] UTSUMI S, KINSELLA J E. Structure function relationships in food proteins: subunit interactions in heat-induced gelation of 7S, 11S, and soy isolate proteins[J]. J Agric Food Chem, 1985, 33(2): 297-303.

[16] UTSUMI S, KINSELLA J E. Forces involved in soy protein gelation: effects of various reagents on the formation, hardness and solubility of heat-induced gels made from 7S, 11S and soy isolate[J]. J Food Sci, 1985, 50: 1278-1282.

[17] TAY S L. Physicochemical properties of 7S and 11S protein mixtures coagulated by glucono-δ-lactone[J]. J Food Sci, 2004, 69(4): 139-143.

[18] 刘春, 王显生, 麻浩. 大豆种子贮藏蛋白亚基特异种质的蛋白功能性评价[J]. 中国油脂, 2008, 33(8): 31-36.

[19] SALLEH M R M, MARUYAMA N, TAKAHASHI K, et al. Gelling properties of soybean β-conglycinin having different subunit compositions[J]. Biochem, 2004, 68(5): 1091-1096.