

大豆蛋白组分与豆腐品质特性的研究

黄明伟¹, 刘俊梅^{1,2}, 王玉华^{1,2}, 朴春红^{1,2}, 刘瑞雪^{1,2}, 赵永程^{1,2}, 于寒松^{1,2,*}, 胡耀辉^{1,2,*}

(1. 吉林农业大学食品科学与工程学院, 吉林长春 130118;

2. 国家大豆产业技术研发中心加工研究室, 吉林长春 130118)

摘要: 选用 16 种大豆品种作为本实验的研究原料, 测定了各个品种大豆中的蛋白质、水溶性蛋白及各组分亚基的含量, 再将这 16 种大豆原料分别做成豆腐, 测定豆腐的得率、保水性及质构特性, 通过方差分析得知豆腐湿基和干基得率差异性都比较大, 保水性差异不大, 各项质构参数差异较大。将大豆蛋白各组分含量与豆腐品质特性进行相关性分析得知大豆中蛋白质、水溶性蛋白及各组分亚基含量与豆腐的得率、保水性及质构特性均呈显著或极显著相关关系。豆腐的品质特性与大豆中 7S 组分及其亚基含量之间有着显著或极显著负相关关系; 与 11S 组分及其亚基含量之间有着显著或极显著正相关关系, 与 11S/7S 之间有着极显著正相关关系。将豆腐品质特性做聚类分析, 由结果可得出: 蒙 9413、中黄 13、中豆 20、合丰 55 和合丰 56 这 5 种大豆品种作为原料所制的豆腐的得率、保水性以及质构特性较其他品种好。

关键词: 大豆, 蛋白组分, 豆腐, 品质, 相关性

Study on the relation between soybean protein components and the quality of Tofu

HUANG Ming-wei¹, LIU Jun-mei^{1,2}, WANG Yu-hua^{1,2}, PIAO Chun-hong^{1,2},

LIU Rui-xue^{1,2}, ZHAO Yong-cheng^{1,2}, YU Han-song^{1,2,*}, HU Yao-hui^{1,2,*}

(1. Food Science and Engineering College, Jilin Agriculture University, Changchun 130118, China;

2. Soybean Research and Development Center, CARS; Division of Soybean Processing, Changchun 130118, China)

Abstract: In this paper, 16 soybean varieties were chosen as raw materials, and were measured the contents of soybean protein, water-soluble protein, and all the components of protein. In addition, the physical properties of tofu were made from different soybean species, the yield and quality of tofu (water retention, texture), were measured. The analysis of variance showed that the yield of wet and dry basis of tofu had a significant difference, the water retention had no significant difference, the texture parameters had a significant difference. The statistical correlation analysis between the components of soybean protein and the quality of tofu showed that the yield of wet and dry basis, water retention and texture characteristics of tofu had a significant or significantly positive correlation with soybean protein and all the components of soluble protein, and had a significant or significantly negative correlation with the contents of 7S fraction and its subunits, and a significant or significantly positive correlation with the 11S fraction and its subunits contents. The cluster analysis of the quality of tofu showed that the species of M9413, Zhong huang13, Zhong dou20, He feng55, He feng56 were the suitable varieties to process tofu.

Key words: soybean; protein components; Tofu; quality; correlation

中图分类号: TS214.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)13-0094-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.13.011

由于豆腐主要由蛋白变性胶凝所制得, 因此大豆蛋白中的水溶性蛋白与豆腐的特性有着密切的相关性。大豆中水溶性蛋白的主要成分为 7S 和 11S 蛋白组分。7S 组分中包含 α' 、 α 和 β 亚基; 11S 组分包含 A_3 、AS 和 BS 亚基。各类亚基有着不同的功能特性, 对豆腐的品质产生的影响也不相同。陈海敏^[1]

等人研究充分表明了各个品种的大豆蛋白质组成 (7S 和 11S 含量) 差别很大。周宇峰^[2] 等人对大豆蛋白亚基与豆腐质构特性之间的关系做了大量的研究。宋连军^[3] 等人对大豆组分与豆腐品质特性之间的关系做了大量的研究。李辉尚^[4]、刘顺湖^[5]、Bhardwaj^[6] 等人对大豆蛋白含量、7S 组分含量、11S 组分含量与豆腐

收稿日期: 2014-10-27

作者简介: 黄明伟 (1989-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 大豆及豆制品加工。

* 通讯作者: 于寒松 (1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 传统豆制品加工。

胡耀辉 (1951-), 男, 学士, 教授, 从事生物反应器与功能性食品领域的研究。

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助 (CARS-04)。

产量之间的关系做了深入的研究;Poysa^[7]、许显滨^[8]等人对大豆蛋白质的含量与豆腐品质之间的相关性做了深入的研究;胡坤^[9]等人对大豆中 7S 以及 11S 组分及其亚基含量、7S/11S 比值与豆腐凝胶性、硬度、保水性之间的各个关系做了大量的研究。

以上说明大豆蛋白的不同功能特性与豆腐制品的品质特性之间有着密切的相关性。本实验主要研究大豆蛋白及其组分与豆腐的得率、保水性及质构特性之间的关系。选取 16 种大豆品种并测定出蛋白质和水溶性蛋白的含量,用 SDS-PAGE 梯度凝胶电泳实验测定出蛋白组分各亚基的含量,再将这 16 种大豆原料做成豆腐,并测定豆腐的各项品质指标。将大豆蛋白组分与豆腐特性测定数据做相关性分析,指出它们之间的确切相关关系。然后通过聚类分析得到最适加工豆腐的品种,以期一方面为专用大豆加工品种的改良提供指导,另一方面也为生产加工者选择合适的大豆品种来提升豆腐的品质特性提供理论依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 大豆品种 本实验 16 个供试大豆品种均为 2013 年度国家大豆体系专家馈赠品种,具体品种见表 1。

表 1 不同大豆品种

Table 1 Different soybean varieties

编号	品种	编号	品种	编号	品种	编号	品种
1	皖豆 24	5	中黄 13	9	黑农 48	13	抗线虫 8 号
2	皖豆 28	6	中豆 20	10	黑农 67	14	吉育 40
3	蒙 1001	7	绥农 35	11	合丰 55	15	吉育 71
4	蒙 9413	8	黑农 43	12	合丰 56	16	吉农 17

1.1.2 主要仪器与设备 Hanon K1100 全自动凯氏定氮仪 Hanon 公司;SOX500 脂肪测定仪 山东 Hanon 公司;101A-2 型电热鼓风干燥箱 上海讯博设备公司;Infinite M200 Nano Quant 酶标仪 瑞士 Tecan 公司。高速冷冻离心 3K15 SIGMA 公司;TA-XA PLUS 物性测定仪 Stable micro systems 公司;Mini-PRO TEAN Tetra 电泳仪 Bio-Rad 公司;FD-1D-50 冷冻干燥机 北京博医康仪器公司。

1.1.3 主要实验试剂 牛血清白蛋白、Tris、丙烯酰胺、双丙烯酰胺、十二烷基磺酸钠、考马斯亮蓝 R-250 北京鼎国生物技术有限责任公司;甲醇、冰醋酸 北京试剂化工厂。

1.2 实验方法

1.2.1 大豆理化指标测定方法 蛋白质含量测定参照 GB/T14489.2-2008;水溶性蛋白含量测定参照 NY/T1205-2006。

1.2.2 7S 和 11S 含量的测定 本文中用于大豆分离蛋白(SPI)的提取以及蛋白液前处理的方法参照了刘香英^[10]的研究方法进行处理,之后取做好的蛋白处理液,参照 Bradford^[11]的方法测定出大豆蛋白含量,并将蛋白样品浓度调整至 2 μ L/L。SDS-聚丙烯酰胺梯度凝胶电泳:取 15 μ L 的样品上样,将浓度分

别为 8% 和 20% 的 SDS-PAGE 梯度凝胶的分离胶分别通过梯度进样器制胶,缩胶浓度为 4%。进样开始时电泳仪电流设置为 35mA,进样结束后调至 70mA,直至电泳结束。最后进行染色和脱色,再使用 Bio-Rad 公司的凝胶成像系统对电泳后的凝胶进行灰度扫描,结合 BandsScan 5.0 (Glyko 公司,美国)软件分析蛋白电泳图谱,从而测定出大豆蛋白 7S 和 11S 亚基成分的相对含量。

1.2.3 豆腐的制作工艺 豆腐制作参照卢义伯^[12]等的方法并稍做改进,将 16 种大豆原料进行挑选处理,称取 100g 符合要求的大豆,将其彻底清洗干净,再放入蒸馏水中浸泡 12h,保持环境温度为 20 $^{\circ}$ C,将浸泡后的大豆沥干,加入 9 倍大豆质量的水进行磨浆。用 BJ13B-C81 九阳豆浆机进行自动制浆,将制备的浆液过 140 目过滤网去渣,使豆浆充分滤出,得到生豆浆。将制得的生豆浆进行加热,同时加入占干豆质量 0.05% 的消泡剂,加热直至沸腾后保持 5min。用搅拌器在 150r/min 下搅拌煮沸豆浆直至温度下降至 85 $^{\circ}$ C,然后快速加入 CaSO₄·2H₂O 作为凝固剂,添加量为干豆质量的 2%,迅速混匀。混合完成后立即放在隔热保温箱中保温 30min。然后进行破脑压榨,用模具在 50g/cm⁻² 压力下加压 50min 后得到成品豆腐,4 $^{\circ}$ C 下存储使用。

1.2.4 豆腐相关指标的测定

1.2.4.1 豆腐得率的测定 豆腐得率的测定参照宋连军^[13]等的研究方法。将新制成的豆腐制品在室温下静置 5min 后进行称量,计算出每 100g 原料大豆制备出豆腐的重量,为湿豆腐的得率。湿豆腐得率(%) = 豆腐质量/大豆原料质量 \times 100。然后将湿豆腐在 -50 $^{\circ}$ C 下进行冻干,得到豆腐干基重量,计算豆腐干基得率。

1.2.4.2 豆腐保水性的测定 豆腐的保水性方法参照 Puppo^[14]等的研究方法。将豆腐准确称取出 4g (精确到 0.0001g),放入预先准备好的 50mL 离心管中,在 1200r/min 下离心 8min 后,取出样品称重并记录(W₁),之后在 105 $^{\circ}$ C 下干燥至恒重(W₂)。豆腐的保水性(%) = (W₁ - W₂) / W₁ \times 100。

1.2.4.3 豆腐质构的测定 将豆腐保存在 4 $^{\circ}$ C 下过夜,取出后放至室温,用质构仪的 TPA 模式进行测试。具体操作:用直径为 2cm 的取样器在豆腐中部取样,样品高 2cm;选择直径为 2cm 的探头,测试前速度 1mm/s,测试速度 1mm/s,测试后速度 10mm/s,下压距离 50%。测定参数为硬度、弹性、黏聚性、胶着性、咀嚼性和回复性。

1.2.5 数据处理 每组实验重复三次,取平均值。用 SPSS19.0 对大豆蛋白组分、豆腐得率、保水性及质构特性进行统计分析,使用方差和变异系数对各项指标进行差异性分析,变异系数(%) = (标准差/平均值) \times 100;相关性分析采用双侧 T 检验,用相关系数来表示显著水平;使用系统聚类分析豆腐的品质指标。

2 结果与分析

2.1 大豆品种蛋白电泳图谱

采用梯度 SDS-PAGE 蛋白凝胶电泳对 16 个大

豆品种中的蛋白组分进行分析测定。从图1中可以看出虽然品种间蛋白组分种类基本相同,但是各个亚基之间含量差异较大,蛋白亚基含量的不同将导致其不同的功能特性。

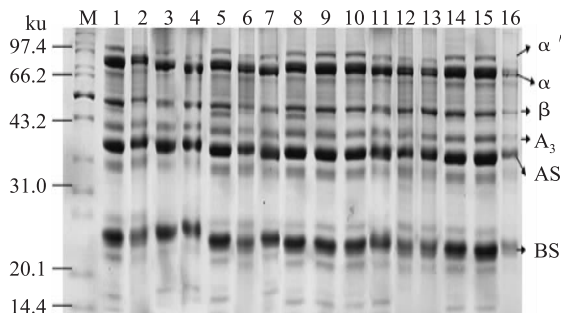


图1 不同品种大豆蛋白组分电泳图谱

Fig.1 Electrophoresis of different soybean protein components
注:M为蛋白标准品的分子质量,1~16代表大豆品种编号。

2.2 大豆品种蛋白组分的测定

研究表明对豆腐品质特性具有决定性影响的是大豆中的蛋白质,其中7S和11S蛋白组分含量占大豆总蛋白含量的85%以上^[15],这些都与豆腐品质特性有很大的相关性。在本实验中测定出的16种大豆品种蛋白组分含量,结果如表2所示。

从表2可以看出,供试的16种大豆品种的蛋白质含量在36.43%~45.08%之间,平均值为41.12%,方差分析得知不同大豆间的蛋白质含量相对稳定,差异不大。水溶性蛋白含量变化范围为25.34%~36.47%,平均值为31.36%,方差分析得知各品种之间差异也不大,这是由品种的遗传性质决定的。方差分析得知蛋白组分7S的含量变化较大,其变异系

数为15.12%;其中 α' 亚基的平均值为7.20%,变异系数为12.44%, α 亚基的平均值为7.73%,变异系数为20.83%, β 亚基的平均值为6.46%,变异系数高达30.79%,7S组分中的三种蛋白亚基含量变化均较大。11S蛋白亚基组分含量差异不大,变异系数为6.97%;其中 A_3 亚基含量在7.37%~16.14%之间,变异系数为23.33%,差异较大,AS亚基含量变异系数为8.01%,BS亚基含量变异系数为8.57%,两种亚基含量变化差异不大。以上说明大豆品种蛋白组分11S含量比7S含量稳定,这与周宇峰^[2]关于大豆品种间蛋白亚基含量差异性的研究结果一致。11S/7S比值变化区间为1.52~2.57,变异系数为15.38%,说明不同品种之间11S/7S差异显著。

2.3 大豆蛋白组分和豆腐得率及保水性的相关性

评价豆腐品质的重要指标有豆腐的得率和保水性等。按照标准工艺将不同品种的大豆原料制作成豆腐,测定出豆腐得率和保水性,结果如表3所示。同时将大豆蛋白组分与豆腐得率、保水性进行相关性分析,结果如表4所示。

从表3中看出,湿豆腐得率平均值为245.21%,变异系数为25.10%,各品种间差异较大。干豆腐得率平均值为72.55%,变异系数为16.01%,各品种间差异性较大。保水性得率平均值为70.96%,变异系数为8.84%,各品种间差异性都不大。

从表4中可以看出,湿豆腐得率正相关于大豆蛋白质、水溶性蛋白含量。干豆腐得率与大豆蛋白质、水溶性蛋白含量为极显著或显著正相关关系。豆腐保水性与蛋白质含量呈显著正相关关系,与水溶性蛋白含量呈极显著正相关关系。以上相关性分

表2 不同大豆品种蛋白组分含量分析

Table 2 Analysis of the contents of different varieties of soybean protein components

品种	蛋白质(%)	水溶性蛋白(%)	7S(%)				11S(%)				11S/7S
			α'	α	β	总和	A_3	AS	BS	总和	
1	44.38 ± 1.83	33.15 ± 0.95	6.75	7.96	8.61	23.32	7.37	9.69	21.52	38.58	1.65
2	42.73 ± 1.32	30.68 ± 1.41	7.36	9.53	8.74	25.63	8.28	10.73	20.15	39.16	1.52
3	36.43 ± 2.08	25.34 ± 1.05	8.31	5.17	3.47	16.95	9.74	10.17	14.33	34.24	2.02
4	40.38 ± 1.42	31.21 ± 1.19	6.63	8.59	7.11	22.33	10.16	12.27	16.69	39.12	1.75
5	42.54 ± 1.46	35.32 ± 1.57	7.54	9.27	9.73	26.54	16.14	18.75	21.59	56.48	2.12
6	41.27 ± 2.98	32.89 ± 0.88	8.71	6.52	6.09	21.32	13.28	16.29	12.96	42.53	1.99
7	39.20 ± 2.15	29.54 ± 1.43	5.63	7.52	5.1	18.25	10.14	14.18	15.91	40.22	2.20
8	44.70 ± 1.31	36.47 ± 0.92	6.39	7.21	3.78	17.38	11.52	14.13	18.98	44.65	2.57
9	45.08 ± 1.63	35.18 ± 1.11	8.32	5.17	4.64	18.13	10.36	13.65	18.74	42.75	2.35
10	39.83 ± 1.39	28.58 ± 1.24	6.19	7.72	5.61	19.52	14.25	11.73	17.84	43.82	2.24
11	39.36 ± 1.43	29.39 ± 1.56	7.29	8.16	4.37	19.82	9.63	11.01	15.9	36.54	1.84
12	39.68 ± 1.88	30.06 ± 1.91	6.63	5.18	6.53	18.34	8.48	9.37	14.91	32.76	1.78
13	39.74 ± 2.03	28.31 ± 0.84	7.73	8.82	4.97	21.52	7.83	10.65	15.69	34.17	1.58
14	40.86 ± 2.12	29.32 ± 2.01	6.24	7.13	8.77	22.14	12.63	14.32	18.29	45.24	2.04
15	40.37 ± 1.76	31.62 ± 1.73	8.15	10.31	8.06	26.52	14.01	16.34	16.97	47.32	1.78
16	41.42 ± 1.31	34.75 ± 0.84	7.28	9.36	7.79	24.43	10.32	14.36	16.01	40.68	1.66
平均值	41.12	31.36	7.20	7.73	6.46	21.38	10.88	12.98	17.28	41.14	1.94
标准差	2.30	3.06	0.90	1.61	1.99	3.23	2.54	1.12	1.48	2.87	0.30
变异系数(%)	5.60	9.75	12.44	20.83	30.79	15.12	23.33	8.01	8.57	6.97	15.38

表3 不同大豆品种豆腐各项品质指标分析
Table 3 Analysis of the character of different soybean varieties of tofu

品种编号	湿基得率(%)	干基得率(%)	保水性(%)	硬度(g)	弹性	黏聚性(g)	胶着性	咀嚼性(g)	回复性
1	190.42	61.16	70.53	276.86	0.67	0.34	769.53	0.37	0.04
2	178.63	68.53	72.41	169.74	0.71	0.31	875.53	0.15	0.06
3	164.32	65.63	67.63	213.97	0.64	0.38	254.84	0.29	0.04
4	246.84	71.45	65.63	1535.45	0.81	0.28	853.84	0.18	0.03
5	341.85	76.09	58.42	1764.98	0.66	0.37	1514.32	0.22	0.03
6	257.42	74.36	69.63	1986.76	0.72	0.33	1314.31	0.16	0.08
7	182.56	83.42	73.74	1226.64	0.67	0.39	1123.64	0.48	0.07
8	235.63	82.62	77.32	987.53	0.83	0.37	975.85	0.15	0.05
9	275.42	75.61	70.35	1178.64	0.76	0.41	1430.74	0.12	0.08
10	309.53	35.48	80.16	987.53	0.71	0.45	945.74	0.14	0.09
11	314.74	80.16	58.63	1754.97	0.82	0.28	1021.53	0.12	0.05
12	330.42	82.31	71.42	1326.75	0.96	0.39	768.63	0.11	0.08
13	265.52	77.24	77.42	679.53	0.78	0.69	1096.53	0.14	0.06
14	235.64	73.85	70.15	732.72	0.81	0.14	954.84	0.15	0.07
15	278.85	75.21	73.64	806.64	0.38	0.27	873.74	0.23	0.05
16	215.63	77.74	78.32	985.53	0.84	0.52	1137.63	0.36	0.07
平均值	245.21	72.55	70.96	1038.39	0.74	0.37	994.45	0.21	0.06
标准差	61.55	11.62	6.27	555.23	0.13	0.12	295.82	0.11	0.02
变异系数(%)	25.10	16.01	8.84	53.47	17.28	32.66	29.75	51.73	31.64

表4 不同大豆品种蛋白组分与豆腐得率及保水性之间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of soybean protein components and the characteristics of tofu

指标	蛋白质	水溶蛋白	α'	α	β	7S	A_3	AS	BS	11S	11S/7S
湿基得率	0.74**	0.71**	-0.73**	-0.65*	-0.61*	-0.71**	-0.18	0.50	0.69*	0.70**	0.75**
干基得率	0.76**	0.62*	-0.78**	-0.58*	-0.56*	-0.73**	-0.21	0.49	0.67*	0.72**	0.78**
保水性	0.58*	0.72**	-0.26	-0.32	-0.51*	-0.48	0.48	0.44	0.71**	0.64*	0.72**

注: * $p < 0.05$ 差异显著, ** $p < 0.01$ 差异极显著, 表5同。

析表明,大豆品种中蛋白质和水溶性蛋白的含量越高,制成豆腐的得率和保水性就越高。

相关性分析表明大豆蛋白组分中7S亚基的含量与豆腐湿基得率、干基得率均呈显著式极显著负相关关系;其中 α' 亚基含量与豆腐湿基和干基得率均呈极显著负相关关系, α 亚基和 β 亚基含量均与豆腐湿基和干基得率呈显著负相关关系。蛋白组分11S亚基含量与豆腐湿基得率、干基得率均呈极显著正相关关系;与豆腐保水性呈显著正相关关系。11S组分中 A_3 亚基和AS亚基含量与各项指标相关性不大,但BS亚基含量与豆腐湿基得率、干基得率和保水性均呈显著或极显著正相关关系。11S/7S与三项指标之间均呈极显著正相关关系。以上分析与宋连军^[13]关于大豆蛋白组分与豆腐得率的研究相一致,即11S含量越高的大豆品种,制作豆腐的得率及保水性就越高,这是由于7S和11S亚基不同的功能特性决定的。研究表明7S亚基的乳化性较强,11S亚基的胶凝性较强^[16],以上不同大豆的蛋白组分的差异是造成豆腐品质不一的主要原因。

2.4 大豆蛋白组分与豆腐质构特性的相关性

豆腐的质构特性决定了豆腐品质的优劣,主要包括弹性、黏聚性、硬度、胶着性、回复性和咀嚼性。

以上的相关指标直接决定了豆腐的可接受程度和营养价值的评价。豆腐质构测定结果如表3所示。同时将大豆蛋白组分与豆腐质构做相关性分析,结果如表5所示。

由表3中方差分析结果知,豆腐各项质构参数差异程度都较大,变异系数在17.28%以上。其中豆腐硬度的变异系数最大,为53.47%,其它依次为咀嚼性、黏聚性、回复性、胶着性、弹性。硬度的变化范围为169.74~1986.76g,平均值为1038.39g,弹性的变化范围为0.38~0.96,平均值为0.74,黏聚性的变化范围为0.14~0.69g,平均值为0.37g,胶着性的变化范围为254.84~1514.32,平均值为994.45,咀嚼性的变化范围为0.11~0.48g,平均值为0.21g,回复性的变化范围为0.03~0.09,平均值为0.06。由表2分析得知大豆品种的蛋白组分差异较大,因此豆腐质构方面的较大差异很大程度上由于蛋白组分的较大差异引起的。

将蛋白组分与豆腐质构参数进行相关性分析得知,豆腐质构特性与大豆蛋白质含量相关性不明显,但水溶性蛋白含量与部分质构参数之间具有显著或极显著的相关性,其中水溶性蛋白含量与硬度和回复性呈极显著负相关关系,与弹性和黏聚性均呈显著负相关关系。

表5 不同大豆品种蛋白组分与豆腐质构特性之间的相关性

Table 5 Correlation analysis of the soybean protein components and the texture of tofu

参数	蛋白质	水溶蛋白	α'	α	β	7S	A ₃	AS	BS	11S	11S/7S
硬度	-0.31	-0.70**	-0.42	-0.52*	-0.58*	-0.51*	-0.21	0.11	0.65*	0.59*	0.72**
弹性	-0.23	-0.63*	-0.55*	-0.18	-0.76**	-0.72**	0.19	-0.15	0.42	0.37	0.58*
黏聚性	-0.15	-0.62*	-0.74**	-0.22	-0.53*	-0.77**	0.08	-0.34	0.58*	0.40	0.68*
胶着性	-0.06	-0.42	0.12	0.43	0.55*	0.51*	-0.21	0.44	0.35	0.38	0.48
咀嚼性	0.10	0.07	0.03	-0.23	-0.20	-0.30	-0.14	0.42	-0.09	0.38	0.68*
回复性	-0.15	-0.75**	-0.61*	-0.12	-0.55*	-0.68*	-0.26	-0.18	0.48	0.43	0.51*

大豆蛋白组分中7S亚基含量除了与胶着性呈显著正相关关系,与咀嚼性呈一般负相关关系之外,与其他质构特性之间呈显著负相关或极显著负相关关系,其中与豆腐弹性和黏聚性均呈极显著负相关关系,与硬度和回复性呈显著负相关关系。7S组分中的 α' 亚基含量与黏聚性呈极显著负相关关系, β 亚基含量与弹性呈极显著负相关关系。以上说明7S亚基的存在很大程度上降低了豆腐的质构特性。大豆蛋白组分11S亚基含量除了与豆腐硬度呈显著正相关外,与其余质构指标之间均呈一般正相关关系,其中A₃亚基和AS亚基的含量均与豆腐质构特性没有明显相关性,但BS亚基含量却与豆腐硬度和黏聚性呈显著正相关关系。以上说明11S亚基有助于提升豆腐的质构特性。

11S/7S与豆腐硬度呈极显著正相关关系,与弹性、黏聚性和咀嚼性呈显著正相关关系。这说明11S/7S比值越高的大豆品种,所制成的豆腐质构特性就越好。

2.5 豆腐各项品质指标的聚类分析

将豆腐的得率、保水性以及质构各项指标参数作为自变量,对16种大豆品种进行聚类分析并分类,结果如图2所示。

从图2聚类图中看出,根据以上主要的豆腐评价指标将实验16种大豆品种分为3类,第一类为绥农35、黑农43、黑农48、黑农67、抗线虫8号、吉育40、吉育71和吉农17,以上8种大豆所制豆腐的得率、保水性以及质构特性都相对较差;第二类为皖豆24、皖豆28和蒙1001,以上3种大豆品种所制豆腐的得率、保水性以及质构特性都相对较适中;第三类为蒙9413、中黄13、中豆20、合丰55和合丰56,以上5种大豆品种所制豆腐的得率、保水性以及质构特性较好。

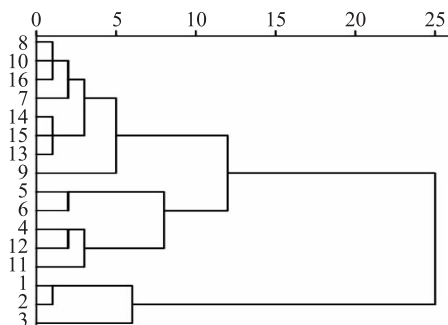


图2 豆腐品质特性的聚类分析

Fig.2 Cluster analysis of the characteristics of quality of tofu (品种编号见表1)

3 结论

3.1 大豆蛋白组分11S及其所含亚基含量的稳定性强于7S亚基及其所含的亚基含量的稳定性,不同大豆品种的11S/7S比值之间差异性显著,说明品种不同,各组分含量差别很大。

3.2 大豆中全蛋白的含量,尤其是水溶性蛋白组分中11S及其亚基含量与豆腐的干基和湿基得率、保水性呈显著或极显著正相关关系,与7S及其亚基含量呈显著或极显著负相关,11S组分及其亚基有助于豆腐品质的提升。即11S/7S比值越高,豆腐得率和保水性越好。

3.3 大豆水溶性蛋白组分中含有的7S及其亚基对豆腐的质构特性产生了不利影响,11S及其亚基有助于豆腐的质构特性的提升。11S/7S比值越高,豆腐质构特性越好。

3.4 聚类分析表明,蒙9413、中黄13、中豆20、合丰55和合丰56,这5种大豆所制豆腐湿基得率在246.84%以上,干基得率在71.45%以上,保水性在58.42%以上,硬度在1326.75以上,弹性在0.66以上,黏聚性在0.28以上,胶着性在768.63以上,咀嚼性在0.11以上,回复性在0.03以上,上述5种大豆品种所制豆腐的干基和湿基的得率、质构特性以及保水性均较好。

参考文献

- [1] 陈海敏, 华欲飞. 品种差异对大豆蛋白功能性的影响[J]. 中国油脂, 2000, 25(6): 178-180.
- [2] 周宇峰, 宋连军, 乔明武, 等. 大豆蛋白亚基与豆腐的质构特性的相关关系[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(4): 22-25.
- [3] 宋连军, 杨乐, 等. 大豆蛋白亚基与豆腐的质构特性的相关关系[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(4): 19-23.
- [4] 李辉尚. 不同大豆品种的北豆腐加工适用性研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [5] 刘顺湖, 周瑞宝, 盖钧镒. 大豆蛋白质及其组分含量对豆腐产量和品质的影响[J]. 中国油脂, 2007, 32(2): 65-68.
- [6] Bhardwaj H L, Bhagsar A S, Joshi J M, et al. Yield and quality of soymilk and tofu made from soybean genotypes grown at four locations[J]. Crop Sci, 1999(39): 400-405.
- [7] Poysa V, Woodrow L. Stability of soybean seed composition and its effect on soymilk and tofu yield and quality[J]. Food Research International, 2002(35): 337-345.
- [8] 许显滨, 陈霞, 赵乃新. 大豆品种间豆腐加工特性的差异[J]. 中国油料, 1990(1): 74-77.

(下转第102页)

品添加剂,2004(5):25-27.

[10]王敦,白耀宇.家蚕蛹营养成分及其开发利用研究进展[J].昆虫知识,2004,41(5):418-420.

[11] KERSCHER R, GROSCH W. Comparative evaluation of potent odorants of boiled beef by aroma extract dilution and concentration analysis[J]. Zeitschrift Fur Lebensmitt, 1997, 2004: 3-6.

[12]张宇昊,王强. Alcalase 酶水解花生蛋白制备花生短肽的研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4): 258-262.

[13] Adamson N J, Reynolds E C. Characterization of casein phosphopeptides prepared using alcalase; determination of enzyme

specificity[J]. Enzyme and Microbial Technology, 1996(19): 202-209.

[14]陈新峰,王君虹,洪狄俊,等.复合酶解法制备乳清蛋白肽工艺条件的研究[J].浙江农业科学,2008(4):497-500.

[15]崔春,赵谋明,曾晓房,等.酸法和酶法水解海蛰蛋白的呈味作用研究[J].中国调味品,2007(10):34-36.

[16]鲁珍,穆利霞,秦小明,等.蚕蛹蛋白酶法水解及美拉德反应改良其产物风味的研究[J].食品工业科技,2012(24):242-245,252.

[17]潘丽红,周光宏,徐幸莲,等.美拉德反应在肉味香精生产中的应用[J].肉类工业,2007(8):29-31.

(上接第86页)

[16] Oliveira, MEC, Franca, AS. Finite element analysis of microwave heating of solid products[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2000, 27: 527-536.

[17]杨振超.微波对应型调味淡水鱼片的加热特性研究[D].上海:上海海洋大学,2013.

[18]张保艳,于海洋,程裕东,等.温度、频率和水分含量对罗非鱼介电特性影响的研究[J].水产学报,2012,36:1785-1792.

[19]杨振超,程裕东,金银哲.915MHz和2450MHz频率下温度和盐溶液浸渍对青鱼介电特性的影响[J].食品工业科技,2013(10):138-141.

[20] Liu Y, Tang J, Mao Z. Analysis of bread dielectric properties using mixture equations[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 93: 72-79.

[21] Rao MA, Rizvi SSH, Datta, AK. Engineering Properties of Foods[M]. Boca Raton: CRC Press, 2005: 501-565.

(上接第89页)

[9] García M A, Ferrero C, Bértola N, et al. Edible coating from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2002(3): 391-397.

[10] 中华人民共和国国家标准委员会. GB/T 5009.6-2003 食品中脂肪的测定[S].北京:中国标准出版社,2003.

[11] Morgan M T, Klaus J R, Berg E P. Objective color standards for pork[J]. Reciprocal Meat Conf Proc, 1997(50): 138-141.

[12]李磊,牛坤,马庆一.可食性膜阻水特性的研究[J].食品

科学,2008,29(2):145-150.

[13]赵勇.降低油炸食品含油量的研究[D].重庆:西南大学,2008.

[14] Ray M, Ciolfi V, Mave B, et al. Development and application of soy-protein films to reduce fat intake in deep-fried foods[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000(80): 777-782.

[15]王秀霞,胡坤,方少瑛,等.多聚磷酸盐对猪肉肉质特性的影响研究[J].肉类工业,2006(3):17-20.

(上接第93页)

autoxidation and antioxidants of soybean, sunflower, and olive oil[J]. Eur Food Res Technol, 2007, 226: 239-246.

[14] Malheiro R, Oliveira I, Vilas - Boas M, et al. Effect of microwave heating with different exposure times on physical and chemical parameters of olive oil[J]. Food Chem Toxicol, 2009, 47: 92-97.

[15] Naz H, Sheikh R, Siddiqi S. Oxidative stability of olive, corn and soybean oil under different conditions[J]. Food Chemistry, 2004, 88: 253-259.

[16]李杨,张雅娜,王欢,等.水酶法提取大豆油与其他不同种大豆油品质差异研究[J].中国粮油学报,2014,29(6):46-52.

[17] YettellaR R, Henbest B, Proctor A. Effect of antioxidant soybean oil conjugated linoleic acid production and its oxidative stability[J]. J Agric Food Chem, 2011, 59: 7377-7384.

[18] Berasategi I, Barriuso B, Ansorena D. Stability of avocado oil during heating: comparative study to olive oil[J]. Food Chemistry, 2012, 132(1): 439-446.

(上接第98页)

[9]胡坤,方少英,王秀霞,等.蛋白质凝胶机理的研究进展[J].食品工业科技,2006,27(6):202-205.

[10]刘香英,康立宁,田志刚,等.东北大豆品种贮藏蛋白7S和11S组分及亚基相对含量分析[J].大豆科学,2009,28(6):985-987.

[11] Bordford M M. A rapid and sensitive method of the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein - dye binding[J]. Anal. Biochem, 1979, 72: 254-284.

[12]卢义伯,潘超,祝义亮.豆腐生产中不同制浆工艺的研究

[J].食品工业科技,2007,28(8):182-185.

[13]宋莲军,张莹,赵秋燕,等.大豆品种与北豆腐得率及品质指标的关系[J].江苏农业科学,2011,39(4):321-323.

[14] Puppomc, Anonmc. Structural properties of heated induced soy protein gels as affected by ionic strength and pH[J]. J Agric Food Chem, 1998, 46: 3583-3589.

[15]朱晓烨,迟玉杰,刘红玉.大豆蛋白7S和11S组分分离方法的优化[J].食品工业科技,2011,32(7):268-273.

[16]宋鹏,周瑞宝.大豆蛋白亚基功能性的研究[J].粮油食品科技,2010,18(5):18-22.