

大豆籽粒品质对干豆腐加工特性的影响及适用性评价

南喜平,刘香英,田志刚,孟悦,范杰英,孙洪蕊,李若姝,康立宁

(吉林省农业科学院 农产品加工研究所,吉林 长春 130033)

摘要:选用来自黑龙江和吉林两省区的25个大豆品种(品系),进行干豆腐加工,对大豆品种原料理化指标、干豆腐品质特性指标等进行测定、分析,并对不同大豆品种的干豆腐加工适用性进行评价。结果表明:不同大豆品种理化指标及干豆腐品质指标均呈现了较大的差异。大豆品种籽粒品质指标与干豆腐品质指标之间存在复杂的相关关系,籽粒蛋白含量、水溶性蛋白含量与干豆腐品质指标存在显著或极显著正相关关系,籽粒脂肪含量、7S的含量与干豆腐品质指标呈显著或极显著负相关关系。通过基于因子分析的大豆品种加工干豆腐适用性评价,筛选出东农42、吉育204、东农48、2010-60和2003-342-24-4共5个干豆腐加工品质优良的大豆品种(品系)。

关键词:大豆品种;干豆腐;质构特性;相关性

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2016.06.0947

The Effect of Soybean Quality Characteristics on Dried Tofu Processing Quality and Adaptability Evaluation

NAN Xi - ping , LIU Xiang - ying , TIAN Zhi - gang , MENG Yue , FAN Jie - ying , SUN Hong - rui , LI Ruo - shu , KANG Li-ning

(Agricultural Products Processing Research Institution, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to study the correlation between soybean varieties quality characteristics and dried tofu processing quality, and the adaptability of different soybean varieties to dried bean curd processing, 25 soybean cultivars(lines) from Heilongjiang and Jilin were selected. Physical and chemical indicators of the raw soybean, quality characteristics of the dried tofu were measured and evaluated. The physical and chemical indexes of different soybean cultivars and dried tofu showed a great difference. The correlation analysis illustrated that the most significantly positive or significantly positive correlation were existed between protein content tofu, soluble protein content of soybean kernel and quality characteristics of dried tofu (such as protein content, moisture content, shearing force, yield of dried tofu). But there were the most significantly negative or significantly negative correlation between fat content, 11S content of soybean kernel and quality characteristics of dried tofu. It is therefore revealed that the research results could be used for industrial production of dried tofu and provide a theoretical basis for special soybean which is more suitable for producing dried tofu. The adaptability of different soybean varieties to dried tofu processing was evaluated by factor analysis, and 5 soybean varieties(lines) containing Dongnong 42, Jiyu 204, Dongnong 48, 2010-60 and 2003-342-24-4 were screened out, which were adapted to dried tofu processing.

Keywords: Soybean varieties; Dried tofu; Texture properties; Correlation

干豆腐又称百叶、千张或豆腐皮,是一种具有一定弹性和韧性的薄片状白豆腐干类产品,一般水分含量为40%~65%^[1]。干豆腐在全国各地均有生产,但以东北地区产量最大,食用方式最为多样,是一种具有东北地域特色的传统豆制品。东北地区干豆腐以香、鲜、嫩、薄、韧著称,深受当地居民喜爱,成为平时餐桌必备食品。不同省份形成了自己的地区特色产品和品牌产品,例如吉林省榆树干豆腐、辽宁省虹螺岬干豆腐、黑龙江省平山干豆腐等都远近闻名。目前,东北地区干豆腐的生产处于手工作坊与工业化生产共存,且逐步向工业化、机械化过渡的历史阶段,手工作坊生产的干豆腐产品以

历史传承和特色风味见长,工业化产品以规模效益和卫生安全取胜。生产企业对于干豆腐生产专用大豆品种的需求日益强烈。国内外学者对大豆品种籽粒品质与豆腐品质之间的相互关系进行了大量研究。研究结果普遍显示大豆籽粒的蛋白质含量、球蛋白(11S)与伴球蛋白(7S)组分含量及其比值、蛋白亚基组成、油脂含量、植酸含量等品质指标与豆腐得率和质构特性密切相关。豆腐是一种具有凝胶结构和特性的食品,豆腐凝胶的形成机理是在凝固剂(石膏、卤水、葡萄糖酸-δ-内酯、有机酸、或谷氨酰胺转氨酶等)和加热等条件作用下,大豆蛋白发生变性并交联成立体网状结构,形成豆腐类

收稿日期:2016-06-29
基金项目:国家科技支撑计划项目(2014BAD22B01);吉林省农业科技创新工程项目(C62150301)。
第一作者简介:南喜平(1969-),研究员,主要从事农产品加工技术研究。E-mail: xpnan001@163.com。
通讯作者:康立宁(1973-),男,博士,研究员,主要从事粮食加工特性与品质评价技术研究。E-mail: lnkang@sina.com。

产品的骨架,其它物质充填其中形成凝胶状产品。因此大豆籽粒的蛋白质含量与组成是影响豆腐得率、保(持)水性和质构的首要因素。一般认为,大豆籽粒蛋白质含量越高,豆腐得率越高^[2-5],但也有研究认为大豆籽粒蛋白质含量与豆腐得率没有相关性^[6-8]。大豆籽粒蛋白质中11S与7S组分含量及其比值与豆腐硬度、弹性、韧性等质构品质密切相关,11S对豆腐质构品质起正向作用,而7S则相反^[9-11]。在蛋白分子亚基水平上,11S是由碱性亚基和酸性亚基通过不同组合方式形成的六聚体,7S是由 α 、 α' 和 β 亚基通过不同组合方式形成的三聚体。V. Poysa等^[12]利用系列不同亚基缺失大豆品种材料,研究蛋白亚基与豆腐质构品质的关系,结果表明,大豆球蛋白(11S)的I1b族(A3)亚基在促进豆腐韧性方面发挥主要作用,I族(A1A2)亚基对豆腐质构的形成也具有重要贡献,而I1a族(A4)亚基和 β 伴大豆球蛋白(7S)的 α' 亚基对豆腐质地的形成具有负面影响。

干豆腐与普通豆腐在生产工艺上的最大区别在于其特有的泼片工艺环节,一般在1~5 s内完成,是决定干豆腐品质形成的关键操作单元。由于其工艺的特殊性,适于普通豆腐生产的大豆品种,可能不适于干豆腐的生产,然而大豆品种籽粒品质与干豆腐品质之间存在的相互关系,以及不同大豆品种加工干豆腐的适用性方面的研究鲜有报道。东北是我国大豆的主产区,本课题组依托东北丰富的大豆品种资源,构建了大豆加工品质分析与评价平台,对东北地区代表性大豆品种及其制品品质指标进行系统测定,通过相关分析、因子分析等多元统计方法,揭示大豆籽粒品质与豆制品品质的复杂相互关系,对大豆品种的加工适用性做出客观评价^[13-18]。

本研究以来自黑龙江和吉林省的25个大豆品种(品系)为原料,进行干豆腐加工,分析大豆品种籽粒品质与干豆腐品质指标之间的相关关系,探讨不同大豆品种加工干豆腐的适用性,为干豆腐专用品种的筛选以及干豆腐生产企业专用原料的选择提供理论依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料

大豆:黑龙江、吉林两省各育种单位收集的具有代表性的25个大豆栽培品种(系)(表1);氯化镁:食品级,北京化工厂。

1.2 仪器设备

FW100型高速万能粉碎机:天津市泰斯特仪器

有限公司;HWS26型电热恒温水浴锅:上海一恒科学仪器有限公司;SHY-2A型水浴恒温振荡器:江苏金坛市金城国胜实验仪器厂;FDM-z100型浆渣自分离磨浆机:镇江市丹徒区丁岗镇飞达机械厂;Texture-2i物性测定仪:英国Stable Micro Systems公司;kjelttec2300型全自动凯氏定氮仪:福斯分析仪器公司;DHG-9240A型电热鼓风干燥箱:上海一恒科学仪器有限公司;PB-10型数显pH计:德国Sartorius公司;FreeZone6L型冻干机:美国Labconco公司;Sorvall Evolution RC型高速冷冻离心机:美国Thermo公司;CR-400型色彩色差计:日本美能达公司;MP2002型天平:上海恒平科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 大豆籽粒理化品质性状的测定

百粒重的测定:参照GB/T 5519-2008测定^[19]。

含水量的测定:参照GB/T 5497-1985测定^[20]。

蛋白质含量的测定:参照GB/T 14489.2-2008方法进行测定^[21]。

水溶性蛋白质含量的测定:参照NY/T 1205-2006方法进行测定^[22]。

脂肪含量的测定:参照GB/T 14488.1-2008方法进行测定^[23]。

蛋白质组分的测定:采用聚丙烯酰胺凝胶电泳法测定^[24]。

1.3.2 干豆腐制作流程

(1)筛选:选择籽粒大小均匀、饱满、无虫蛀、无霉变大豆;

(2)浸泡:按料水比1:3加水浸泡,20℃条件下浸泡12 h;

(3)磨浆:大豆与水的比例为1:8(m:m),磨浆工序重复2次,将头遍浆与二遍浆混合。头遍浆又称浓豆浆:用60%的总用水量所磨的豆浆。二遍浆又称稀豆浆:剩下40%的水与头遍浆产生的豆渣混合磨浆后的豆浆。将两次磨浆后的豆浆混合,进行以下操作工序;

(4)煮浆:采用两步加热法,75℃加热5 min,95℃加热5 min;

(5)点脑:取出豆浆,冷却至80℃,加入20 mL $MgCl_2$ (125 mg·mL⁻¹)溶液,一边倒一边搅拌;

(6)蹲脑:将点脑后的豆浆放置在80℃水浴锅中静置20 min,然后利用电动搅拌器破脑;

(7)浇制:将包布平铺在木板模具中,用平口瓢将破脑后产物浇洒到包布上,浇制一层盖一层包布;

(8)脱水:用平板压力器在模具中均匀挤压,逐步脱水;

(9)揭布:拆除模具,趁热揭下包布,得到干豆腐成品。

1.3.3 干豆腐得率的测定 参照 Cai 等^[25]的方法,即将新鲜的干豆腐在室温下静置 5 min 后,称重量,计算每 100 g 大豆所得鲜豆腐重量,即为干豆腐湿基得率。取 2.0 g 豆腐样品,105℃烘干至恒重进而计算干豆腐干基得率。

湿基得率=该样品制成干豆腐的湿重/大豆样品风干重 $\times 10^3(g\cdot kg^{-1})$;

干基得率=该样品制成干豆腐的烘干重/大豆样品风干重 $\times 10^3(g\cdot kg^{-1})$ 。

1.3.4 干豆腐理化指标的测定

水分含量的测定:参照 GB/T5009. 3-2010 测定^[26]。

蛋白质含量的测定:参照 GB 5009.5-2010 方法进行测定^[27]。

脂肪含量的测定:参照 GB/T 5009.6-2003 方法进行测定^[28]。

1.3.5 干豆腐剪切力测定 将干豆腐样品整齐切成 4 cm×4 cm 的正方形。参照付佳^[29]的方法,利用物性测定仪测定干豆腐的剪切力,选用型号为 A/CKB 的探头,设定剪切参数为:测试前速度(pre-test speed)1.00 mm·s⁻¹;测试速度(test speed)2.00 mm·s⁻¹;测试后速度(post-test speed)10.00 mm·s⁻¹;剪切距离 95%;临界力(force threshold)10 g。

1.4 数据分析

采用 Excel 2007 进行平均值、变幅、标准差及变

异系数等常规统计指标分析,利用 DPS 数据处理系统进行相关性分析和综合评价。所有试验为 3 次重复。

根据田志刚等^[14]的方法,对 25 个参试大豆品种进行基于因子分析的干豆腐加工适用性评价。

2 结果与分析

2.1 大豆品种(系)的理化性状分析

大豆品种籽粒理化指标分析如表 1 所示,所选 25 个大豆品种(品系)百粒重的变幅为 13.20 ~ 22.47 g,平均百粒重为 17.76 g,变异系数为 13.18%。蛋白质含量变幅为 34.18% ~ 42.44%,平均相对含量为 37.97%,变异系数是 6.01%,其中高蛋白大豆品种(粗蛋白 $\geq 40\%$)有 6 份,占总品种的 24.00%。水溶性蛋白含量变幅为 25.79% ~ 34.75%,平均相对含量为 29.81%,变异系数为 7.77%。脂肪含量变幅为 19.42% ~ 24.52%,平均相对含量为 22.34%,变异系数为 6.40%。

不同品种间 11S 球蛋白和 7S 球蛋白的组成、含量有显著差异(表 1)。25 个大豆品种(品系)11S 的平均相对含量为 40.34%,变幅为 26.30% ~ 58.30%,变异系数为 21.05%。7S 的平均相对含量为 24.90%,变幅为 13.00% ~ 40.60%,变异系数 23.37%,其变异系数高于 11S。不同品种间 11S/7S 比值的变幅为 1.01 ~ 2.37,平均为 1.65,变异系数 19.39%。综上所述,大豆品种在表征大豆加工品质的各种指标上均具有广泛的差异性和代表性。

表 1 大豆品种(系)籽粒理化指标分析

Table 1 Physical and chemical analysis of different soybean varieties (lines)

序号 No	品种(系)名称 Name of cultivars (lines)	百粒重 100-seed weight	蛋白 Protein content/%	水溶性蛋白 Soluble protein/%	脂肪 Oil content/%	11S/%	7S/%	11S/7S
1	吉育 204 Jiyu 204	15.83	40.53	32.38	23.10	26.50	17.30	1.53
2	吉育 202 Jiyu 202	16.48	38.54	31.52	24.16	26.30	13.00	2.02
3	公交 03336-10 Gongjiao 03336-10	21.21	40.69	30.65	22.75	33.90	18.60	1.82
4	吉育 401 Jiyu 401	15.17	37.50	30.52	23.38	32.50	24.10	1.35
5	公交 04489-4 Gongjiao 04489-4	18.30	38.90	30.85	23.31	35.60	24.00	1.48
6	2003-342-24-4	17.96	40.66	32.46	21.91	35.60	18.10	1.97
7	合丰 55 Hefeng 55	20.79	41.50	34.75	22.79	42.10	22.60	1.86

续表 1

序号 No	品种(系)名称 Name of cultivars (lines)	百粒重 100-seed weight	蛋白 Protein content/%	水溶性蛋白 Soluble protein/%	脂肪 Oil content/%	11S/%	7S/%	11S/7S
8	吉育 407 Jiyu 407	13.20	38.65	29.20	22.36	41.40	20.30	2.04
9	吉育 406 Jiyu 406	17.41	36.81	26.28	23.24	39.00	20.80	1.88
10	吉育 404 Jiyu 404	16.82	35.53	28.28	23.79	35.50	25.70	1.38
11	吉育 502 Jiyu 502	14.20	34.18	27.56	21.96	42.80	27.10	1.58
12	吉育 403 Jiyu 403	14.37	35.69	29.59	23.22	31.70	24.10	1.32
13	吉育 95 Jiyu 95	22.47	36.85	27.88	22.23	58.30	29.50	1.98
14	吉育 503 Jiyu 503	19.76	39.14	30.03	22.06	52.70	32.00	1.65
15	公交 02111-3 Gongjiao 02111-3	18.22	35.20	25.79	23.26	53.00	31.20	1.70
16	吉育 505 Jiyu 505	16.76	37.60	26.48	19.98	45.30	31.60	1.43
17	2010-60	18.68	39.10	31.80	21.51	36.00	23.10	1.56
18	吉育 301 Jiyu 301	16.04	35.51	28.27	23.54	46.20	19.50	2.37
19	公交 05220-13 Gongjiao 05220-13	16.75	37.03	28.94	20.28	46.20	40.60	1.14
20	吉育 94 Jiyu 94	19.19	35.54	28.23	21.10	36.50	23.90	1.53
21	公交 06124-13 Gongjiao 06124-13	16.04	35.06	28.04	24.52	42.00	27.20	1.54
22	吉育 203 Jiyu 203	18.59	38.25	29.79	24.08	40.60	28.50	1.42
23	吉育 86 Jiyu 86	20.40	37.42	30.23	20.20	29.80	29.60	1.01
24	东农 42 Dongnong 42	19.92	41.03	31.67	20.40	54.10	25.80	2.10
25	东农 48 Dongnong 48	19.38	42.44	34.01	19.42	44.80	24.30	1.84
	平均值 Mean	17.76	37.97	29.81	22.34	40.34	24.90	1.65
	变幅 Range	13.20 ~ 22.47	34.18 ~ 42.44	25.79 ~ 34.75	19.42 ~ 24.52	26.30 ~ 58.30	13.00 ~ 40.60	1.01 ~ 2.37
	标准差 Standard deviation	2.34	2.28	2.32	1.43	8.49	5.82	0.32
	变异系数 CV/%	13.18	6.01	7.77	6.40	21.05	23.37	19.39

2.2 干豆腐品质指标分析

表 2 为不同大豆品种干豆腐产量及品质指标的分析。如表 2 所示,干豆腐含水率的变幅为 54.68 ~ 64.35%,变异系数为 4.29%,其中东农 48 品种生产的干豆腐的含水率最高,而公交 02111-3 的最低。干豆腐蛋白含量变幅为 48.82% ~ 61.42%,变异系数为 6.97%,其中吉育 204 品种生产的干豆腐蛋白含量最高,而公交 02111-3 的最低。干豆腐脂肪含量变幅为 28.22% ~ 39.53%,变异系数为 8.09%,其中吉育 203 品种生产的干豆腐脂肪含量最高,而 2010-60 的最低。参试的 25 个大豆品种(品系)制作的干豆腐,湿基得率变幅为 696.81 ~ 913.93 g·kg⁻¹,其中吉育 403 品种的干豆腐的湿基得率最高,而吉育 505 的最低。干豆腐干基得率变幅为

340.10 ~ 406.33 g·kg⁻¹,其中吉育 505 品种生产的干豆腐的干基得率最高,吉育 403 的最低。综合干豆腐湿基得率和干基得率两个指标,可以得出大豆品种间产品得率有明显差异。

质构仪的剪切模式一般用于测量样品受到切割时应力的变化。该模式模拟牙齿咬断的动作,利用最大力量和所做功来分析破碎力量和样品韧性^[30]。利用 A/CKB 型切刀对干豆腐试样进行剪切模式测定,结果如表 2 所示:25 个干豆腐样品之间的剪切力差异性较大,其变化幅度为 311.35 ~ 678.73 g,变异系数达到 22.00%,其中公交 05220-13 品系的干豆腐的剪切力最大,而吉育 502 的最小。一般来说,干豆腐的剪切力越大,它的韧性越好,口感越佳。

表 2 不同大豆品种干豆腐产量及品质指标分析
Table 2 Analysis of dried tofu yield and quality of different soybean varieties

序号 No.	品种(系)名称 Name of cultivars (lines)	含水率 Moisture content/%	蛋白 Protein content/%	脂肪 Oil content/%	湿基得率 Fresh yield /(g·kg ⁻¹)	干基得率 Dried yield /(g·kg ⁻¹)	剪切力 Shearing force/g
1	吉育 204 Jiyu 204	63.50	61.42	34.78	829.41	364.98	409.81
2	吉育 202 Jiyu 202	60.42	54.19	36.68	910.96	340.96	331.54
3	公交 03336-10 Gongjiao 03336-10	60.13	57.83	38.00	812.35	371.15	512.18
4	吉育 401 Jiyu 401	63.08	54.04	35.31	905.21	342.38	345.30
5	公交 04489-4 Gongjiao 04489-4	60.03	57.31	37.11	818.27	368.10	387.43
6	2003-342-24-4	59.97	60.04	34.70	894.55	345.07	512.11
7	合丰 55 Hefeng 55	60.09	60.73	31.13	714.41	400.41	587.74
8	吉育 407 Jiyu 407	57.14	52.84	36.52	781.43	379.80	570.40
9	吉育 406 Jiyu 406	60.14	50.66	37.86	851.64	357.61	392.51
10	吉育 404 Jiyu 404	61.13	48.88	39.33	737.02	392.57	324.91
11	吉育 502 Jiyu 502	58.99	52.83	36.52	837.00	362.20	311.35
12	吉育 403 Jiyu 403	63.80	50.97	37.52	913.93	340.10	340.99
13	吉育 95 Jiyu 95	62.64	54.12	34.66	791.25	377.46	446.47

续表 2

序号 No.	品种(系)名称 Name of cultivars (lines)	含水率 Moisture content/%	蛋白 Protein content/%	脂肪 Oil content/%	湿基得率 Fresh yield /(g·kg ⁻¹)	干基得率 Dried yield /(g·kg ⁻¹)	剪切力 Shearing force/g
14	吉育 503 Jiyu 503	57.71	54.33	33.67	885.60	348.25	443.29
15	公交 02111-3 Gongjiao 02111-3	54.68	48.82	37.57	723.23	397.28	473.58
16	吉育 505 Jiyu 505	58.47	54.84	32.01	696.81	406.33	546.98
17	2010-60	60.75	54.99	28.22	882.39	350.18	615.16
18	吉育 301 Jiyu 301	58.01	50.49	37.11	761.21	385.98	430.15
19	公交 05220-13 Jiyu 05220-13	56.21	54.74	30.55	721.36	399.19	678.73
20	吉育 94 Jiyu 94	56.97	52.85	37.70	809.79	371.18	339.95
21	公交 06124-13 Gongjiao 06124-13	62.20	49.21	39.00	767.99	383.09	402.55
22	吉育 203 Jiyu 203	58.41	53.02	39.53	815.48	370.63	422.36
23	吉育 86 Jiyu 86	56.82	57.06	35.67	756.19	394.07	535.49
24	东农 42 Dongnong 42	62.13	60.37	34.54	843.49	363.75	525.26
25	东农 48 Dongnong 48	64.35	59.54	32.89	809.19	373.68	473.89
	平均值 Mean	59.91	54.64	35.54	810.81	371.46	454.41
	变幅 Range	54.68 ~ 64.35	48.82 ~ 61.42	28.22 ~ 39.53	696.81 ~ 913.93	340.10 ~ 406.33	311.35 ~ 678.73
	标准差 S	2.57	3.81	2.88	65.54	20.15	99.99
	变异系数 CV/%	4.29	6.97	8.09	8.08	5.42	22.00

2.3 大豆籽粒理化指标与干豆腐品质指标相关性分析

大豆品种籽粒品质之间的相关性分析结果表明:水溶性蛋白含量与蛋白含量呈极显著正相关($r=0.84$),7S 与水溶性蛋白含量及脂肪含量均呈显著负相关($r=-0.40;r=-0.41$)(表3)。

干豆腐品质指标之间的相关性分析表明:干豆腐脂肪含量与干豆腐蛋白含量呈极显著负相关($r=-0.51$),干豆腐湿基得率与干豆腐含水量呈显著正相关($r=0.45$),剪切力与干豆腐蛋白含量及干豆腐干基得率均呈显著正相关($r=0.41;r=0.43$)、与干豆腐脂肪含量呈极显著负相关($r=-0.70$)(表3)。

大豆品种籽粒品质指标与干豆腐品质指标之间的相关性分析表明:籽粒蛋白含量与干豆腐蛋白含量呈极显著正相关($r=0.87$)、与干豆腐剪切力呈显著正相关($r=0.45$)、与干豆腐脂肪含量呈显著负相关($r=-0.46$),籽粒水溶性蛋白含量与干豆腐蛋白含量呈极显著正相关($r=0.80$)、与干豆腐含水率呈显著正相关($r=0.45$)、与干豆腐脂肪含量呈显著负相关($r=-0.43$),籽粒脂肪含量与干豆腐脂肪含量呈极显著正相关($r=0.62$)、与干豆腐剪切力呈极显著负相关($r=-0.55$)、与干豆腐蛋白含量呈显著负相关($r=-0.46$),7S 含量与干豆腐湿基得率呈显著负相关($r=-0.47$)(表3)。

表 3 大豆籽粒理化指标与干豆腐得率及品质指标的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between physical and chemical indexes of soybean and yield and quality of dried tofu

性状	蛋白含量	水溶性蛋					干豆腐	干豆腐蛋	干豆腐脂	干豆腐湿	干豆腐
	Protein content	白含量	脂肪含量	11S	7S	11S/7S	含水率	白含量	肪含量	基得率	干基得率
		Soluble protein content	Oil content				Moisture content of dried tofu	Protein of dried tofu	Fat of dried tofu	Fresh yield	Dried yield
蛋白含量											
Protein content											
水溶性蛋白含量	0.84**										
Soluble protein content											
脂肪含量	-0.31	-0.16									
Oil content											
11S	-0.08	-0.32	-0.28								
7S	-0.32	-0.40*	-0.41*	0.57**							
11S/7S	0.28	0.13	0.15	0.34	-0.55**						
干豆腐含水率	0.33	0.45*	0.13	-0.23	-0.38	0.1					
Moisture content											
干豆腐蛋白含量	0.87**	0.80**	-0.46*	-0.14	-0.22	0.11	0.29				
Protein of dried tofu											
干豆腐脂肪含量	-0.46*	-0.43*	0.62**	0.19	-0.25	0.05	-0.04	-0.51**			
Fat of dried tofu											
干豆腐湿基得率	0.19	0.31	0.2	-0.36	-0.47*	0.13	0.45*	0.13	0.05		
Fresh yield of dried tofu											
干豆腐干基得率	-0.16	-0.29	-0.24	0.36	0.49*	-0.15	-0.45*	-0.1	-0.07	-1.00**	
Dried yield of dried tofu											
剪切力	0.45*	0.25	-0.55**	0.29	0.33	0.02	-0.32	0.41*	-0.70**	-0.41*	0.43*
Shearing force											

* 为显著相关; ** 为极显著相关($\alpha=0.05$ 时, $r=0.3961$; $\alpha=0.01$ 时, $r=0.5052$)。
* Significant correlation, ** The very significant correlation($\alpha=0.05$ 时, $r=0.3961$; $\alpha=0.01$ 时, $r=0.5052$) .

2.4 大豆品种(系)加工干豆腐的适用性评价

干豆腐加工适用性评价的因子分析方法采用降维过程,将多个观测指标转化为少数几个相互独立的虚拟指标(即公因子),再根据各样品的因子得分进行综合评价,使得评价结果更加客观、合理。通过因子分析,可将表征干豆腐品质的6个指标转变为相互独立的3个公因子(表4),其方差贡献率达到原始变量的89.7%。公因子1对于豆腐湿基和干基得率起支配作用,方差贡献率占3个公因子的39.1%;公因子2对于豆腐蛋白含量、脂肪含量和剪切力起支配作用,方差贡献率占3个公因子的

38.5%;公因子3对于豆腐含水率起支配作用,方差贡献率占3个公因子的22.4%。将公因子表示为变量的线性组合,得到评价对象在各个公因子的得分(表5)。以各公共因子的方差贡献率占公共因子总方差贡献率的比重作为权重进行加权汇总,建立因子综合得分函数。综合因子得分 $F=0.391f_1+0.385f_2+0.224f_3$ 。将综合得分在[0,100]区间内进行规格化转化,即可得到该样本的综合评价值,并可根据该值对不同大豆品种的豆腐加工特性进行直观评价。

表 4 方差极大旋转后的因子载荷矩阵
Table 4 The factor load matrix after the variance of the maximum rotation

	f_1	f_2	f_3
$x(1)$	0.2782	-0.0314	0.9126
$x(2)$	0.0703	0.7298	0.4764
$x(3)$	-0.0131	-0.9087	0.0021
$x(4)$	0.9784	-0.0518	0.1901
$x(5)$	-0.9778	0.0812	-0.1864
$x(6)$	-0.3319	0.8386	-0.2764
方差贡献 Variance contribution	2.1060	2.0718	1.2071
累计贡献 Cumulative contribution	35.0999	69.6294	89.7475

根据综合得分结果(表 5),东农 42、吉育 204、东农 48、2010-60 和 2003-342-24-4 这 5 个大豆品种

表 5 不同大豆的因子得分和综合评价

Table 5 Factor scores and comprehensive evaluation of different soybean

序号 No.	品种(系)名称 Name of cultivars (lines)	因子 1 得分 Y(i,1)	因子 2 得分 Y(i,2)	因子 3 得分 Y(i,3)	规格化综合因子得分 Standardized comprehensive factor score
1	吉育 204 Jiyu 204	-0.0140	0.4719	1.9786	76.19
2	吉育 202 Jiyu 202	1.5956	-0.5550	-0.0835	66.38
3	公交 03336-10 Gongjiao 03336-10	-0.1462	0.1186	0.3603	52.50
4	吉育 401 Jiyu 401	1.3657	-0.3743	0.7745	73.78
5	公交 04489-4 Gongjiao 04489-4	0.0382	-0.2878	0.5103	50.31
6	2003-342-24-4	1.3728	1.0288	-0.0371	89.33
7	合丰 55 Hefeng 55	-1.5241	1.6224	0.7823	58.30
8	吉育 407 Jiyu 407	-0.2768	0.1913	-1.2687	35.79
9	吉育 406 Jiyu 406	0.6687	-0.9120	-0.3662	42.13
10	吉育 404 Jiyu 404	-1.3620	-1.8564	0.6515	2.10
11	吉育 502 Jiyu 502	0.5304	-0.8384	-0.2831	41.82
12	吉育 403 Jiyu 403	1.4014	-1.0304	0.7277	63.05
13	吉育 95 Jiyu 95	-0.4920	-0.0547	0.9943	49.92
14	吉育 503 Jiyu 503	1.5167	0.4498	-1.2654	70.31

(系)的干豆腐加工综合品质评价较高,说明这些品种在干豆腐加工方面具有潜在优势和应用价值。优选的 5 个大豆品种(系)籽粒品质具有蛋白含量和水溶性蛋白含量较高(均值分别比参试群体高 2.78% 和 2.65%),而 7S 含量和脂肪含量较低(均值比参试群体低 3.18% 和 1.07%)的特点(表 2 计算可得),生产的干豆腐具有含水率高、蛋白含量高、湿基得率高和韧性好(均值分别比参试群体高 2.23%、4.63%、41.02 g·kg⁻¹ 和 52.84 g),而脂肪含量较低(均值比参试群体低 2.51%)的特点(由表 3 计算可得),说明用优选的大豆品种(系)生产干豆腐具有经济效益好、口感好和营养价值高的优势。

续表 5

序号 No.	品种(系)名称 Name of cultivars(lines)	因子 1 得分 Y(i,1)	因子 2 得分 Y(i,2)	因子 3 得分 Y(i,3)	规格化综合因子得分 Standardized comprehensive factor score
15	公交 02111-3 Gongjiao 02111-3	- 1. 0391	- 0. 7890	- 1. 9639	0
16	吉育 505 Jiyu 505	- 1. 6554	0. 7959	- 0. 1975	32. 94
17	2010-60	1. 4230	2. 0257	- 0. 7321	100. 00
18	吉育 301 Jiyu 301	- 0. 6712	- 0. 7696	- 0. 7335	18. 38
19	公交 05220-13 Gongjiao 05220-13	- 1. 0186	1. 6953	- 1. 5188	45. 83
20	吉育 94 Jiyu 94	0. 1598	- 0. 9080	- 0. 8578	28. 88
21	公交 06124-13 Gongjiao 06124-13	- 0. 9142	- 1. 4147	0. 6770	17. 20
22	吉育 203 Jiyu 203	0. 0348	- 0. 8800	- 0. 5043	30. 65
23	吉育 86 Jiyu 86	- 0. 8848	0. 4957	- 0. 6502	36. 57
24	东农 42 Dongnong 42	0. 2688	0. 9635	1. 0307	79. 96
25	东农 48 Dongnong 48	- 0. 3775	0. 8115	1. 9748	75. 67

3 结论与讨论

大豆原料的化学成分组成和含量是构成豆制品加工品质的物质基础。不同的大豆品种因受遗传和环境等因素影响,其百粒重、蛋白质含量、11S 含量、7S 含量、脂肪含量等理化指标各不相同,从而造成不同品种生产的干豆腐品质各不相同。

大豆品种籽粒品质指标之间,干豆腐品质指标之间,以及籽粒与干豆腐品质指标之间均存在复杂的关系。这些复杂的关系网络既为我们评价原料品质和产品品质带来困扰,同时又为由原料品质预测豆制品加工品质,以及专用品种选育提供了前提条件和可能性。国内外学者对大豆品种品质特性与普通豆腐加工品质之间的关系进行了大量研究,基本明确了原料与产品品质的相互关系,筛选出一些豆腐加工专用大豆品种。但对大豆品种与干豆腐加工品质的关系研究以及适用性评价方面的研究工作还未展开。本研究表明,大豆籽粒品质与干豆腐加工品质具有复杂的相互关系,籽粒蛋白含量及籽粒水溶性蛋白含量与干豆腐蛋白含量、籽粒脂肪含量与干豆腐脂肪含量均呈极显著正相关关系,

籽粒脂肪含量与干豆腐剪切力呈极显著负相关关系,籽粒蛋白含量与干豆腐剪切力、籽粒水溶性蛋白含量与干豆腐含水率均呈显著正相关关系,籽粒蛋白含量及籽粒水溶性蛋白含量与干豆腐脂肪含量、籽粒脂肪含量与干豆腐蛋白含量、7S 含量与干豆腐湿基得率均呈显著负相关关系。

品质评价指标之间存在的复杂关系会造成大量的信息叠加,从而对在综合评判时,判断某一评价指标的重要性并赋以适当的权重形成严重干扰。因子分析通过构建数量较少且相互独立的公共因子,达到简化网络和降维的目的,使综合评价结果更为合理、准确。本研究通过基于因子分析的综合评价技术,筛选出东农 42、吉育 204、东农 48、2010-60 和 2003-342-24-4 共 5 个干豆腐加工品质优异的大豆品种(品系)。研究结果说明适合加工干豆腐的大豆品种应该具有蛋白质含量和水溶性蛋白含量较高而 7S 和脂肪含量较低的特点,由优选的大豆品种生产的干豆腐具有得率高、口感好和营养价值高的优势,该研究结果为干豆腐加工专用原料的选择提供了理论依据和数据支持。

参考文献

[1] 中国食品工业协会豆制品专业委员会. 大豆食品分类: SB/T10687-2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 4. (China food industry association professional committee of bean products. Classification of soy foods: SB/T10687-2012[S]. Beijing: China Standards Press, 2012: 4.)

[2] 金骏培, 盖钧镒. 大豆地方品种豆腐产量、品质及有关加工性状的相关[J]. 中国农业科学, 1996, 29(2): 28-33. (Jin J P, Gai J Y. Local soybean varieties of tofu output, quality and processing traits of correlation [J]. China Agricultural Science, 1996, 29(2): 28-33.)

[3] 许显滨, 陈霞, 赵乃新, 等. 大豆品种间豆腐加工特性的差异[J]. 中国油料, 1990(1): 76-79. (Xu X B, Chen X, Zhao N X, et al. Difference of soybean tofu processing traits[J]. China Oil, 1990(1): 76-79.)

[4] 武天龙, 杨庆凯, 孟庆喜. 大豆不同品种豆腐产品的数量和质量的研究分析[J]. 大豆科学, 1986, 5(3): 189-195. (Wu T L, Yang Q K, Meng Q X. Research and analysis on the quantity and quality of bean curd products of different soybean varieties [J]. Soybean Science, 1986, 5(3): 189-195.)

[5] Min S, Yu Y, Martin S S. Effect of soybean varieties and growing locations on the physical and chemical properties of soymilk and to-fu[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(1): c8-c21.

[6] 张明晶, 魏益民. 大豆品种品质性状与豆腐凝胶特性的关系[J]. 大豆科学, 2006, 25(1): 32-37. (Zhang M J, Wei Y M. The relationship between soybean quality traits and tofu gel proper-ties[J]. Soybean Science, 2006, 25(1): 32-37.)

[7] 周新安, 盖钧镒, 马育华. 大豆品种间豆腐加工特性的变异及其与贮存蛋白各组分含量的关系[J]. 大豆科学, 1992, 11(4): 283-289. (Zhou X N, Gai J Y, Ma Y H. Variation of soy-bean tofu processing traits and storage and each protein content of relationship[J]. Soybean Science, 1992, 11(4): 283-289.)

[8] 陈学珍, 谢皓, 贾浩荣, 等. 大豆品种品质性状与豆腐产量的相关性研究[J]. 中国农学通报, 2004, 20(1): 138-140, 166. (Chen X Z, Xie H, Jia H R, et al. Research on the correlation between quality traits and tofu yield of soybean varieties [J]. Chi-nese Agricultural Science Bulletin, 2004, 20(1): 138-140, 166.)

[9] 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. (Cheng C L, Wang Z Y, Shi Y G, et al. The effect of soy-bean protein subunit composition and 7S/11S on the quality and yield of bean curd[J]. China Oil, 2006, 31(4): 16-19.)

[10] 黄明伟, 刘俊梅, 王玉华, 等. 大豆蛋白组分与豆腐品质特性的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(13): 94-98, 102. (Huang M W, Liu J M, Wang Y H, et al. Study on soybean pro-tein component and quality of bean curd[J]. Science and Tech-nology of Food Industry, 2015, 36(13): 94-98, 102.)

[11] 樊永华. 大豆蛋白与豆腐品质关系的研究[J]. 粮食与食品工业, 2016, 23(3): 55-57. (Fan Y H. Research on the relation-ship between soybean protein and bean curd quality [J]. Cereal & Food Industry, 2016, 23(3): 55-57.)

[12] Poysa V, Woodrow L, Yu K. Effect of soy protein subunit compo-sition on tofu quality[J]. Food Research International, 2006, 39(3): 309-317.

[13] 康立宁, 田志刚, 刘香英, 等. 大豆品种品质特性与组织化蛋白产品品质特性的关系研究[J]. 粮食与饲料工业, 2010, 5: 13-17. (Kang L N, Tian Z G, Liu X Y, et al. Research on the relationship between the quality characteristics of soybean varieties and the quality characteristics of textured protein products [J]. Cereal & Feed Industry, 2010, 5: 13-17.)

[14] 田志刚, 康立宁, 刘香英, 等. 基于因子分析的大豆品种豆腐加工品质综合评价[J]. 粮油加工, 2010, 10: 120-124. (Tian Z G, Kang L N, Liu X Y, et al. Based on factor analysis of soy-bean tofu processing quality comprehensive evaluation[J]. Cereals and Oils Processing, 2010, 10: 120-124.)

[15] 刘香英, 康立宁, 田志刚, 等. 不同大豆品种加工北豆腐的适用性研究[J]. 大豆科学, 2010, 29(5): 848-852, 857. (Liu X Y, Kang L N, Tian Z G, et al. Adaptability of different soybean varieties to Bei-tofu processing [J]. Soybean Science , 2010, 29(5): 848-852, 857.)

[16] 魏亚歌, 康立宁, 张莉, 等. 大豆品种对双蛋白干酪得率和品质特性的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(9): 100-103, 107. (Wei Y G, Kang L N, Zhang L, et al. Effect of soybean va-rieties on the yield and quality characteristics of double protein cheese [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(9): 100-103, 107.)

[17] 刘香英, 田志刚, 康立宁. 大豆品种和凝固剂种类对豆腐保水性的影响[J]. 吉林农业科学, 2012, 37(6): 56-60. (Liu X Y, Tian Z G, Kang L N. Effect of soybean varieties and coagulant on water retention property of tofu[J]. Jilin Agricultural Sciences, 2012, 37(6): 56-60.)

[18] 田志刚, 刘香英, 康立宁. 大豆品种品质与腐竹品质的关系研究[J]. 吉林农业科学, 2013, 38(3): 72-75. (Tian Z G, Liu X Y, Kang L N. Study on the relationship between the quality of soybean varieties and Yuba quality[J]. Jilin Agricultural Sci-ences, 2013, 38(3): 72-75.)

[19] 国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会. 谷物与豆类千粒重的测定: GB/T 5519-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 4. (State Administration of Quality Supervision and In-spection, Standardization Administration of China. Measure of Grains and beans thousand seed weight: GB/T 5519-2008[S]. Beijing: China Standards Press, 2008: 4.)

[20] 全国粮油标准化技术委员会. 粮油、油料检验水分测定法: GB/T 5497-1985[S]. 北京: 国家粮食局, 1985: 11. (The na-tional standardization technical committee of grain and oil. Mois-ture measurement of Grain and oil: GB/T 5497-1985[S]. Bei-jing: State Grain Administration, 1985: 11.)

[21] 全国粮油标准化技术委员会. 油料水分及挥发物含量测定: GB/T 14489.2-2008[S]. 北京: 国家粮食局, 1993: 6. (The national standardization technical committee of grain and oil. Fuel moisture and volatile matter content determination: GB/T 14489.2-2008[S]. Beijing: State Grain Administration, 1993: 6.)

[22] 农业部油料及制品质量监督检验测试中心. 大豆水溶性蛋白含量的测定: NY/T 1205-2006[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2006: 12. (The ministry of agriculture of oil and products

of quality supervision, inspection and test center. The determination of water-soluble soybean protein; NY/T 1205-2006[S]. Beijing: Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2006; 12.

[23] 全国粮油标准化技术委员会. 油料含油量测定: GB/T 14488. 1-2008[S]. 北京: 国家粮食局, 1993; 6. (The national standardization technical committee of grain and oil. Fuel oil content determination; GB/T 14488. 1-2008 [S]. Beijing: State Grain Administration, 1993;6.)

[24] 刘香英, 康立宁, 田志刚, 等. 东北大豆品种贮藏蛋白 7S 和 11S 组分及其亚基相对含量分析[J]. 大豆科学, 2009, 28 (6): 985-989. (Liu X Y, Kang L N, Tian Z G, et al. 7S and 11S globulin and subunit content of soybean in Northeast China [J]. Soybean Science, 2009, 28(6): 985-989.)

[25] Cai T, Chang K C. Processing effect on soybean storage proteins and their relationship with tofu quality[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(2): 720-727.

[26] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准, 食品中水分的测定: GB/T5009. 3-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010; 3. (The Ministry of Health of the People's Republic of China. National food safety standard, Determination of water content in food; GB/T5009. 3-2010 [S]. Beijing: China Standards Press, 2010; 3.

[27] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准, 食品中蛋白质的测定: GB 5009. 5-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010; 6. (The Ministry of Health of the People's Republic of China. National food safety standard, Determination of protein content in food; GB 5009. 5-2010 [S]. Beijing: China Standards Press, 2010; 6.

[28] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准, 食品中脂肪的测定: GB/T 5009. 6-2003[S]. 北京: 中国国家标准管理委员会, 2003;8. (The Ministry of Health of the People's Republic of China. National food safety standard, Determination of fat content in food; GB/T 5009. 6-2003 [S]. Beijing: China's national standard management committee, 2003;8.

[29] 付佳. 矿物成分对干豆腐品质的影响[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2013. (Fu Jia. Effect of mineral elements on the quality of dried bean curd[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2013.)

[30] 程学勋, 林洁文, 黄敏, 等. 质构仪及其在食品研究中的应用简介[J]. 广东化工, 2012, 39(9): 164-165, 146. (Cheng X X, Lin J W, Huang M, et al. The application of texture analyzer and its application in food research[J]. Guangdong Chemical Industry, 2012, 39(9): 164-165, 146.)

(上接第 931 页)

致了生物量减少,所以随着温度降低,要延长诱导时间,获得更多的可溶性蛋白^[11]。本研究对 RAV 蛋白的诱导也证实了低温诱导可以提高可溶性诱导蛋白的表达水平,通过原核表达获得具有生物活性的大豆 GmRAV 蛋白,为研究其大豆蛋白的结构和功能奠定了基础。

参考文献

[1] Bishop G J, Koncz C. Brassinosteroids and plant steroid hormone signaling[J]. Plant Cell, 2002, 14: S97-110.

[2] Kagaya Y, Ohmiya K, Hattori T. RAV1, a novel DNA-binding protein, binds to bipartite recognition sequence through two distinct DNA-binding domains uniquely found in higher plants[J]. Nucleic Acids Research, 1999, 27: 470-478.

[3] Sohn K H, Lee S C, Jung H W, et al. Expression and functional roles of the pepper pathogen-induced transcription factor RAV1 in bacterial disease resistance, and drought and salt stress tolerance [J]. Plant Molecular Biology, 2006, 61: 897-915.

[4] Zhao L, Luo Q, Yang C, et al. A RAV-like transcription factor controls photosynthesis and senescence in soybean[J]. Planta, 2008, 227: 1389-1399.

[5] Zhao L, Hao D Q, Chen L M, et al. Roles for a soybean RAV - like orthology in meristem regulation, shoot regeneration and photoperiodicity inferred from transgenic plants[J]. Journal of Experimental Botany, 2012, 63 (8): 3257-3270.

[6] Bishop G J, Yokota T. Plants steroid hormones, brassinosteroids: Current highlights of molecular aspects on their synthesis/metabolism, transport, perception and response[J]. Plant Cell Physiology, 2001, 42: 114-120.

[7] Hong, Z, Ueguchi-Tanaka M, Umemura K, et al. A rice brassinosteroid-deficient mutant, ebisu dwarf (d2), is caused by a loss of function of a new member of cytochrome P450[J]. Plant Cell, 2003, 15: 2900-2910.

[8] Nomura T, Sato T, Bishop G J, et al. Accumulation of 6-deoxocathasterone and 6- deoxocasterone in *Arabidopsis*, pea and tomato is suggestive of common rate-limiting steps in brassinosteroid biosynthesis[J]. Phytochemistry, 2001, 57: 171-178.

[9] Castillejo C, Pelaz S. The balance between *CONSTANS* and *TEMPRANILLO* activities determines *FT* expression to trigger flowering [J]. Current Biology, 2008, 18: 1338- 1343.

[10] Esther Marín-González, Luis Matías-Hernández, Andrea E, et al. *SHORT VEGETATIVE PHASE* up-regulates *TEMPRANILLO2* floral repressor at low ambient temperatures[J]. Plant Physiology, 2015, 169: 1214-1224.

[11] Hans P S, Mortensen K K. Soluble expression of recombinant proteins in the cytoplasm of *Escherichia coli*[J]. Microbial Cell Factories, 2005, 4: 1.