

不同大豆品种豆乳的凝聚特性研究

张新艳¹, 王曙明², 王谦玉³, 韩天富⁴, 张磊⁵, 郭顺堂¹

(1. 中国农业大学 食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 2. 吉林省农业科学院 大豆研究中心, 吉林 长春 130033; 3. 黑龙江省农业科学院 佳木斯分院, 黑龙江 佳木斯 154007; 4. 中国农业科学院 作物科学研究所, 北京 100081; 5. 安徽省农业科学院 作物研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要:以全国不同地区的67个大豆品种为原料,研究了不同品种豆乳的凝聚特性,并分析了大豆理化成分与豆乳的凝聚特性之间的关系。结果表明:豆乳的氯化钙凝聚特性受大豆中多种化学组分的影响。可溶性蛋白、P、豆乳总固形物含量越高的品种,凝固速度越慢,凝乳所需要的 Ca^{2+} 浓度也越高;蛋白质组成中11S/7S比值越大,豆乳凝固越早,凝乳也越快;滴定酸度与豆乳完全凝固所需的 Ca^{2+} 浓度呈显著正相关($r=0.279, P<0.05$),与豆乳上清液中不沉淀的蛋白含量呈显著负相关($r=-0.253, P<0.05$);脂肪、百粒重等在豆乳凝乳过程中作用不明显。上述结果随大豆品种不同而有所差异。

关键词:大豆品种;豆乳;凝聚特性

中图分类号:TS201.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2011)04-0657-06

Coacervation Property of Soymilk Made by Different Soybean Varieties

ZHANG Xin-yan¹, WANG Shu-ming², WANG Qian-yu³, HAN Tian-fu⁴, ZHANG Lei⁵, GUO Shun-tang¹

(1. College of Food Science and Nutrition Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083; 2. Soybean Research Center, Jilin Academy of Agricultural Science, Changchun 130033, Jilin; 3. Jiamusi Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154007, Heilongjiang; 4. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; 5. Crop Institute of Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, Anhui, China)

Abstract: The current research compared and analyzed the relationships between soybean physicochemical properties and soymilk coacervation with 67 soybean cultivars as material. The results showed that the coacervation of soymilk was influenced by chemical compositions of soybean. The higher content of soluble protein, P and total solids in soybean seed, the slower coagulation speed was, so more Ca^{2+} quantity was required to coagulate. Soybeans with higher ratio of 11S/7S coagulated much earlier and faster. There was a significant ($P<0.05$) positive correlation ($r=0.279$) between titratable acidity and soymilk solidification end point, while a significant ($P<0.05$) negative correlation existed ($r=-0.253$) between titratable acidity and soymilk unprecipitable protein content. Fat and 100-seed weight didn't show obvious effect on the process of soymilk coagulation. Besides, the results varied with soybean varieties.

Key words: Soybean varieties; Soymilk; Coacervation property

豆腐生产过程中,豆乳凝乳是最关键的一步,也是最难控制的一步^[1]。豆乳凝乳受多种因素的影响。其中,既有豆腐的加工工艺,如豆乳加热温度、凝固剂类型、凝乳温度、凝乳时间,也有大豆原料的加工品质,如大豆化学组分、豆乳固形物含量、豆乳pH值、豆乳滴定酸度等。帖向宇^[2]研究了加热大豆乳清蛋白和大豆球蛋白对钙离子的敏感性,结果表明,乳清蛋白对由钙离子引起的凝聚作用要比球蛋白敏感。并且,大豆乳清蛋白和大豆球蛋白在豆奶体系中加热时,二者之间的交互作用导致它们对钙离子引起凝聚反应的敏感性不同。Yagasaki等^[3]研究发现,11S/7S比例对豆乳凝胶的物理特性

有重要影响。孟岩^[4]以 β 亚基相对含量不同的4个大豆品种为原料考察豆乳对钙离子的凝聚特性时发现, β 亚基缺失的品种豆乳凝聚早,凝固速度快,表明 β 亚基的缺失使豆乳更容易产生凝聚现象。可见,豆乳的凝聚反应不仅受到大豆蛋白质含量的影响,还要考虑诸如蛋白质亚基组成等方面的因素。另一方面,Saio等^[5]研究发现,大豆中的植酸对豆乳凝乳有明显的影响。他们认为,豆乳凝固时加入的钙离子优先被豆乳中的植酸结合。当添加的钙盐量一定时,豆乳中植酸含量越高,用于蛋白质凝固的有效钙离子量就越少,豆乳凝固越少。以上研究,大多是采用单一大豆品种或以少数几个

收稿日期:2011-03-16

第一作者简介:张新艳(1986-),女,在读硕士,研究方向为粮食、油脂及植物蛋白。E-mail:yan050025@126.com。

通讯作者:郭顺堂(1962-),男,教授,博士生导师,主要从事蛋白质加工利用研究。E-mail:shuntang@cau.edu.cn。

特异大豆品种为研究对象来考察豆乳中某一组分对豆乳凝乳特性的影响。该研究以全国不同地区的 67 个大豆品种为原料,对不同氯化钙浓度下豆乳的凝乳状况进行了研究,并分析了影响豆乳凝固的主要原因,为建立用于豆腐加工的大豆品质评价方法提供了依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

共选取了来自全国不同地区的 67 个大豆品种,具体见表 1。

表 1 试验选用大豆品种
Table1 Soybean varieties in this experiment

| 编号 No. | 大豆品种 Soybean varieties | 编号 No. | 大豆品种 Soybean varieties | 编号 No. | 大豆品种 Soybean varieties | 编号 No. | 大豆品种 Soybean varieties |
|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|
| 1 | 吉育 59 | 18 | GY07Y31 | 35 | 吉小 7 | 52 | 蒙 9793 |
| 2 | 吉育 62 | 19 | GY08Y36 | 36 | 吉小 8 | 53 | 蒙 9801 |
| 3 | 吉育 65 | 20 | GY08Y66 | 37 | 杂交豆 1 号 | 54 | 蒙 9803 |
| 4 | 吉育 66 | 21 | 吉 35 | 38 | 杂交豆 2 号 | 55 | 潍科 998 |
| 5 | 吉育 70 | 22 | 吉 45 | 39 | 杂交豆 3 号 | 56 | 皖豆 15 |
| 6 | 吉育 88 | 23 | 吉 55 | 40 | 吉青 1 号 | 57 | 皖豆 24 |
| 7 | 吉育 89 | 24 | 吉 69 | 41 | 吉青 2 号 | 58 | 中黄 30 |
| 8 | 吉育 91 | 25 | 吉 71 | 42 | 吉青 3 号 | 59 | 中黄 39 |
| 9 | 吉育 94 | 26 | 吉 79 | 43 | 301 | 60 | 中黄 40 |
| 10 | 吉育 99 | 27 | 吉 80 | 44 | 垦丰 17 | 61 | 中黄 41 |
| 11 | 吉育 101 | 28 | 吉 82 | 45 | 合丰 25 | 62 | 中黄 42 |
| 12 | 吉育 102 | 29 | 吉 85 | 46 | 合丰 50 | 63 | 中黄 43 |
| 13 | GY06Ls31 | 30 | 吉 92 | 47 | 合丰 55 | 64 | 中黄 44 |
| 14 | GY06Y22 | 31 | 吉 93 | 48 | 阜豆 9 号 | 65 | 中黄 48 |
| 15 | GY07Y11 | 32 | 吉 95 | 49 | 阜豆 11 | 66 | 中黄 49 |
| 16 | GY07Y13 | 33 | 吉小 4 | 50 | 蒙 9235 | 67 | 中黄 50 |
| 17 | GY07Y16 | 34 | 吉小 6 | 51 | 蒙 9449 | | |

1.2 主要仪器设备

咖啡研磨机 (Urbane TSK-U9285,上海惭坤实业有限公司),稳压稳流定时电泳仪 (DYY-III8B,北京六一仪器厂),脱色摇床 (TS-1,江苏海门市麒麟医用仪器厂),HP 扫描仪 (HP Scanistor G2410),大容量离心机 (TGL-16C,上海安亭科学仪器厂),电热鼓风干燥箱 (DF206,北京医疗设备二厂),紫外/可见分光光度计 (日本岛津,UV-1800)。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 豆乳的制备 将大豆粉碎后过 40 目筛,准确称取 9 g 豆粉,加入 7 倍的蒸馏水后搅拌混匀,然后以 $4\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 转速离心 20 min,除去豆渣,用沸水浴将生豆乳加热到 95°C 后恒温 5 min,之后迅速用冰水浴冷却至室温即得豆乳。

1.3.2 豆乳可溶性蛋白的测定 以牛血清蛋白为标样,采用 Bradford 法^[6]测定可溶性蛋白质浓度。

1.3.3 不同氯化钙浓度下的豆乳凝聚性测定 参

照郭顺堂等^[7]的方法。向 4.5 mL 豆乳中分别加入 0、0.1、0.15、0.175、0.2、0.225、0.25、0.275、0.3、0.35 mL 的 $200\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氯化钙溶液,并加入蒸馏水使终体积为 5 mL,使豆乳中氯化钙的浓度为 0、4、6、7、8、9、10、12、14 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。充分混匀后在室温下静置 20 min,然后以 $3\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 转速离心 10 min,测定上清液中蛋白质浓度。蛋白质溶解度以上清中蛋白质含量相对于原豆乳中的蛋白质含量的百分数表示。

1.3.4 豆乳总固形物的测定 参照韩雅珊^[8]等测定水分含量的方法。在玻璃平皿中加入约 2.0 g 石英砂,置于 105°C 的烘箱中恒重,称其重量 m_1 ;称取 5 mL 豆乳于玻璃平皿中,采用二次烘干法烘至恒重,称其重量 m_2 。计算结果如下:

$$\text{豆乳总固形物含量} = \frac{(m_2 - m_1)}{5} \times 100\%$$

1.3.5 豆乳滴定酸度的测定 参考国标乳粉滴定

酸度的测定方法 GB/T 5413. 28-1997 (将国标中的复原乳用制备的豆乳代替)。

1.3.6 大豆理化指标的测定 百粒重的测定参照国标 GB/T 551-1988, 蛋白质、脂肪、P、Ca 含量的测定委托北京谱尼公司进行检测。

1.3.7 大豆蛋白质 SDS-PAGE 凝胶电泳 将粉碎后的大豆粉过 60 目筛, 准确称取 0.007 g 待分析的样品于 1.0 mL 的刻度离心管中, 加入样品处理液和尿素, 调节样品蛋白质浓度在 $2 \sim 3 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 范围内, 充分混合均匀, 在室温下放置 8 h 后进行梯度电泳, 样品加样量为 $5 \mu\text{L}$ 。电泳过程中, 浓缩胶部分保持电流 15 mA, 电压 168 V, 进入分离胶后, 电流为 25 mA, 电压 359 V。电泳结束后, 将胶片用含有 33% 甲醇和 12% 三氯乙酸的固定液固定 4 h, 然后用 $1.05 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 考马斯亮蓝染色液染色 3 h。染色结束后, 用蒸馏水对胶片进行洗脱, 直至底色基本脱去为止。用 Scion Image 软件分析蛋白谱带, 计算出各个亚基的相对含量。

1.4 数据分析

应用 SPSS 17.0 对大豆理化指标、大豆蛋白质组成进行统计分析, 并分析了不同品种大豆理化指标与豆乳钙离子凝聚特性之间的相关关系。

2 结果与分析

2.1 不同氯化钙浓度下的豆乳凝聚性

考察了 67 个不同品种豆乳的钙离子凝聚特性, 因样本量较大, 故选取了几个有代表性的大豆品种的豆乳钙离子凝聚特性曲线, 一些相似曲线未列出。如图 1 所示, 大多数品种豆乳在钙离子浓度为 $6 \sim 12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 蛋白质溶解度明显降低, 但是降低的速率并不完全一致。为了更好的表征这种趋势, 对钙离子浓度在 $6 \sim 12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 间以 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 为间隔进行了细化。结果表明, 一些品种的钙离子凝聚特性曲线可几近重合 (如吉育 101, 吉育 102 等), 而有的品种的钙离子凝聚特性曲线相差较大 (如吉育 62, 合丰 55, 吉小 4 等)。为便于分析, 结合豆腐凝胶的形成过程, 对豆乳的钙离子凝聚特性曲线做如下分类与定义:

①豆乳凝固起始点不同的曲线。豆乳凝固起始点是指豆乳中蛋白质溶解度开始下降时所对应的钙离子浓度, 也就是豆乳中加入凝固剂后蛋白质开始聚集时的钙离子浓度。从图 1 可以看出, 凝固早的品种在 $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 钙离子浓度时蛋白质溶解

度已经开始降低 (如中黄 41, 96.2%), 而凝固晚的品种在 $8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 钙离子浓度时蛋白质溶解度才略微下降 (吉育 62 号, 95.6%)。

②豆乳凝固终结点不同的曲线。豆乳凝固终结点是指随着豆乳蛋白质凝固, 当蛋白质溶解度不再降低时的钙离子浓度, 也就是豆乳中蛋白质完全絮凝时的钙离子浓度。由图 1 可知, 吉小 4 在 $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 钙离子浓度时上清液中的可溶性蛋白含量已趋于稳定, 而中黄 43 在钙离子浓度到达 $12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时可溶性蛋白含量仍在缓慢降低。

③非沉淀蛋白含量不同的曲线。非沉淀蛋白含量, 即豆乳中加入的 Ca^{2+} 量达到豆乳凝固终结点后上清液中不再变化的可溶性蛋白含量, 相当于豆腐在压榨过程中析出的黄浆水中的可溶性蛋白含量。在 $14 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 钙离子浓度时, 中黄 43 上清液中的可溶性蛋白含量只有 7.27% ($1.77 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$), 而吉育 62 则高达 15.63% ($4.16 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)。

④豆乳凝固速率不同的曲线。豆乳的凝固速率是指豆乳凝固起始点和凝固终结点之间的曲线斜率, 可反映豆腐凝胶过程中蛋白质网络结构形成的快慢。有的品种当钙离子浓度达到凝固起始点后曲线骤降 (如中黄 43, 阜豆 11), 而有的品种曲线在钙离子浓度达到凝固起始点后却是缓慢降低 (如合丰 55, 吉育 62)。吉小 4 的豆乳蛋白质溶解度在 $6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 钙离子浓度下开始降低, 虽晚于合丰 55 的 $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 钙离子浓度, 但是在 $8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 钙离子浓度时, 已有 60% 的蛋白质凝聚, 凝聚速度远远快于合丰 55、中黄 41 和吉育 101。

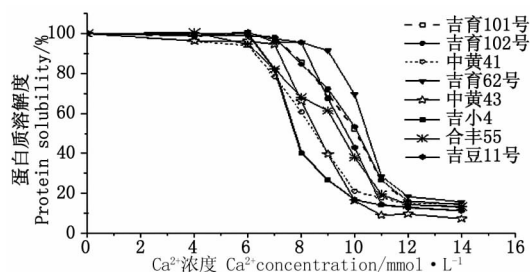


图 1 部分大豆品种豆乳的钙离子凝聚特性曲线图

Fig. 1 Coacervation of soy milk prepared from different soybean varieties to Ca^{2+}

2.2 不同品种大豆理化成分与豆乳凝聚特性的关系

对试验材料的基础理化指标和蛋白质组成等进行了分析, 结果表明, 不同品种大豆各指标间均有较大差异, 表明试验选取样本代表性良好 (表 2)。

表 2 大豆品种理化指标统计分析

Table 2 Components of different soybean varieties

| | 最小值 Minimum | 最大值 Maximum | 变幅 Range | 平均值 Mean | 标准差 SD | 变异系数 CV/% |
|---|--------------|--------------|----------|----------|--------|-----------|
| 百粒重 100-seed weight/g | 6.48 | 27.22 | 20.74 | 16.0 | 4.3 | 26.6 |
| 粗蛋白 Protein content/% | 36.80 | 43.40 | 6.60 | 40.10 | 1.8 | 4.4 |
| 脂肪 Lipid content/% | 16.71 | 24.09 | 7.38 | 19.6 | 1.4 | 7.0 |
| 磷 P/mg · 100g ⁻¹ | 123 | 287 | 164 | 229.8 | 20.6 | 9.0 |
| 钙 Ca/mg · 100 g ⁻¹ | 127 | 284 | 157 | 204.5 | 39.6 | 19.4 |
| 7S/% | 29.42 | 42.96 | 13.54 | 37.32 | 2.83 | 7.58 |
| 11S/% | 57.04 | 70.58 | 13.54 | 62.68 | 2.83 | 4.51 |
| 11S/7S | 1.33 | 2.40 | 1.07 | 1.70 | 0.22 | 12.72 |
| 总固形物 Total solids/% | 4.72 ± 0.18 | 8.54 ± 0.06 | 3.82 | 7.74 | 0.73 | 9.38 |
| 可溶性蛋白 Soluble protein/mg · mL ⁻¹ | 21.49 ± 1.52 | 30.78 ± 0.84 | 9.29 | 26.39 | 2.36 | 8.95 |
| 滴定酸度 Titratable acidity/V _{NaOH} | 1.73 | 2.77 ± 0.02 | 1.04 | 2.24 | 0.20 | 8.72 |

2.2.1 百粒重与豆乳凝聚特性的关系 如表 3 所示,大豆百粒重与豆乳钙离子凝聚特性各数据之间相关性不显著,而且百粒重最大的吉青 2 号(27.22 g)、最小的吉小 7(6.48 g)与大小接近平均值的中黄 43(15.92 g)豆乳钙离子凝聚特性曲线非常相近(图 2),说明百粒重对豆乳的钙离子凝聚特性影响不大。

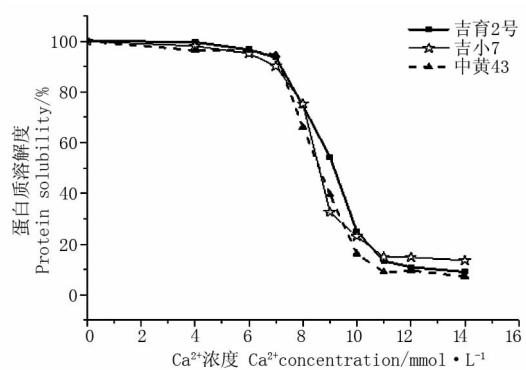


图 2 百粒重不同的大豆品种的豆乳凝聚特性曲线

Fig. 2 Soy milk coacervation curve of soybeans with different 100-seed weight

2.2.2 大豆蛋白含量及蛋白组成与豆乳凝聚特性的关系 豆乳的凝固,其实质是豆乳中蛋白质的聚集反应。由表 3 可知,大豆可溶性蛋白含量及蛋白组成对豆乳的钙离子凝聚特性影响较大。豆乳可溶性蛋白含量与豆乳凝固终点呈极显著正相关($r = 0.380, P < 0.01$),说明豆乳中可溶性蛋白含量越高,豆乳完全凝乳所需的 Ca^{2+} 越多。大豆蛋白组成中,7S 含量与豆乳凝固起始点呈显著正相关($r = 0.247, P < 0.05$),11S 含量与豆乳凝固起始点呈显著负相关($r = -0.247, P < 0.05$),并且 11S/7S 比值与豆乳凝固起始点呈显著负相关($r = -0.243, P$

< 0.05),与豆乳凝固速率呈不显著正相关。说明大豆中 11S/7S 比值越大,豆乳凝固越早,凝乳反应越快。

2.2.3 脂肪含量与豆乳钙离子凝聚特性的关系

脂肪是豆乳中的另一主要成分,由不同豆乳的钙离子凝聚特性曲线可知,脂肪含量接近的品种(如中黄 41,16.71%;吉育 102,16.88%)曲线并不相似,而脂肪含量较高的吉育 89(21.79%)与脂肪含量较低的吉育 102(16.88%)的钙离子凝聚特性曲线非常接近(图 3)。相关性分析结果也表明,脂肪含量与豆乳钙离子凝聚特性曲线各个数据之间相关性不显著,说明脂肪在豆乳凝乳过程中作用不明显。

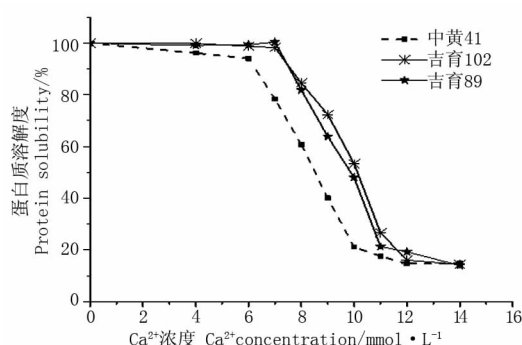


图 3 脂肪含量不同的大豆品种的豆乳凝聚特性曲线图

Fig. 3 Soy milk coacervation curve of soybeans with different fat content

2.2.4 磷和有机酸含量与豆乳凝聚性的关系 大豆中约 2/3 的磷是以植酸形式存在的。豆乳中的酸性物质除植酸外,还有少量的其它有机酸,如乳酸,苹果酸等。滴定酸度可以反映出豆乳中有机酸含量的高低。表 3 的相关性分析结果表明,P 含量与豆乳凝固终点的钙离子浓度呈显著正相关($r = 0.243, P < 0.05$),滴定酸度也与豆乳凝固终点的

钙离子浓度呈显著正相关($r = 0.279, P < 0.05$); P 含量与豆乳凝聚速率呈显著负相关($r = -0.250, P < 0.05$), 而滴定酸度与豆乳凝聚速率呈不显著负相关($r = -0.203, P > 0.05$), 这可能是因为豆乳中其它的有机酸比植酸更容易与 Ca^{2+} 结合, 释放出质子, 从而促进了豆乳的凝固。

2.2.5 豆乳总固形物含量与豆乳凝聚特性的关系

豆乳总固形物含量可以反映出大豆中营养物质抽提率的高低。如表 3 所示, 豆乳总固形物含量与与豆乳凝固终结点的钙离子浓度呈极显著($P < 0.01$) 正相关($r = 0.333$), 与豆乳凝固速率呈不显著负相关, 说明豆乳中总固形物含量越高, 豆乳完全凝固所需的 Ca^{2+} 越多, 凝固速度越慢。

表 3 大豆理化成分与豆乳凝聚特性的相关性分析

Table 3 Correlation between soybean composition and condensation of soymilk

| 指标 Indexes | 凝固起始点 Solidification starting concentration | 凝固终结点 Solidification end concentration | 非沉淀蛋白含量 Unprecipitable protein content | 凝聚速率 Solidification rate |
|-------------------------|---|--|--|-----------------------------|
| 粗蛋白含量 Protein content | 0.015 | 0.015 | -0.110 | -0.025 |
| 脂肪含量 Fat content | 0.142 | 0.041 | 0.052 | 0.102 |
| 百粒重 100-seed weight | -0.051 | -0.044 | -0.111 | -0.025 |
| 磷含量 P content | -0.273 * | 0.243 * | -0.064 | -0.250 * |
| 钙含量 Ca content | -0.175 | -0.056 | 0.134 | 0.195 |
| 7S | 0.247 * | 0.215 | 0.114 | -0.008 |
| 11S | -0.247 * | -0.215 | -0.114 | 0.008 |
| 11S/7S | -0.243 * | -0.222 | -0.120 | 0.002 |
| 总固形物 Total solids | 0.135 | 0.333 ** | 0.037 | -0.182 |
| 可溶性蛋白 Soluble protein | 0.089 | 0.380 ** | -0.064 | -0.225 |
| 滴定酸度 Titratable acidity | -0.010 | 0.279 * | -0.253 * | -0.203 |

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

3 讨 论

不同品种豆乳的钙离子凝聚特性曲线存在较大差异。试验结果显示, 大豆百粒重对豆乳的钙离子凝聚特性影响不大, Wang 等^[10] 的研究也表明, 对于同一品种的大豆, 颗粒大小对豆腐品质并无影响。

一般豆乳中含有 3.0% 左右的蛋白质^[11], 主要由大豆球蛋白(glycinin)、 β -伴大豆球蛋白(β -glycinin)以及少量的大豆清蛋白组成。研究结果表明, 豆乳可溶性蛋白含量与豆乳凝固终结点呈极显著正相关, 7S 含量与豆乳凝固起始点呈显著正相关, 11S 含量、11S/7S 比值与豆乳凝固起始点呈显著负相关, 这与 Yagasaki 等^[3] 研究结果一致。Skurray 等^[12] 研究发现, 品质好的豆腐所需的 Ca^{2+} 量与大豆品种的蛋白质含量成线性关系。在 Ca^{2+} 存在条件下, 蛋白组成是豆乳凝胶形成的主要影响因素^[13]。Ono 等^[14] 提出, 生豆乳加热形成豆乳时, 构成 11S 和 7S 的各亚基重新结合, 形成粒子, 这些粒子中含有大量的 7S 的 β 亚基和 11S 的碱性亚基。有研究发现, 粒子含量高的豆乳对钙镁离子更敏

感, 粒子蛋白比非粒子蛋白能在更低的钙离子浓度下凝固^[15]。由此可见, 品种差异造成的大豆蛋白含量和组成不同对豆乳的凝乳反应具有重要的影响。

脂肪是豆乳中的另一主要成分, 在豆乳的凝固过程中, 脂肪球是通过与蛋白粒子的聚集而结合到豆腐凝胶中^[9]。研究结果表明脂肪在豆乳凝乳过程中作用不明显, 而关于大豆中脂肪对豆腐品质影响的研究尚未详细报道。

大豆中绝大多数的磷是以植酸形式存在的。植酸在豆乳凝胶过程中扮演着重要角色。Saio 等^[5] 研究发现, 无论是大豆中天然存在的植酸, 还是添加到豆乳中的植酸, 都影响豆腐的质构特性; Schaefer 等^[16] 认为, 大豆或豆乳中植酸含量越高, 凝固时所需的钙离子量就越多。豆乳中的酸性物质除植酸外, 还有少量的其它有机酸, 如柠檬酸、乳酸, 苹果酸等。滴定酸度可以反映出豆乳中有机酸含量的高低。相关性分析结果表明, P 含量、滴定酸度与豆乳凝固终结点的钙离子浓度呈显著正相关, 与豆乳凝聚速率呈负相关, 说明有机酸含量越高的品种完全凝乳所需的钙离子量越多, 凝固速率越慢。

综合以上分析发现,豆乳对钙离子的凝聚特性是大豆中多种化学组分综合作用的结果,不同组分对曲线变化的影响程度不同,并且这一结果在大豆品种间存在很大差异。该研究只讨论了大豆中几种主要组分与豆乳凝固特性的关系,而大豆的其它组分与豆乳凝固特性的相关性还需进一步研究。

致谢:该研究的完成得益于中国农业科学院作物科学研究所、吉林省农业科学院大豆研究中心、黑龙江省农业科学院佳木斯分院、安徽省农业科学院作物研究所的品种支持,在此表示衷心的感谢!

参考文献

- [1] Hou H J, Chang K C, Shih M C. Yield and textural properties of soft tofu as affected by coagulation method [J]. Food Science, 1997, 62: 824-827.
 - [2] 帖向宇. 豆奶中大豆乳清蛋白与球蛋白的相互作用及其影响 [D]. 北京: 中国农业大学, 2006: 29-31. (Tie X Y. Interaction between soybean whey protein and globulins in soymilk and its effect [D]. Beijing: China Agricultural University, 2006: 29-31.)
 - [3] Yagasaki K, Kousaka F, Kitamura K. Potential improvement of soymilk golation properties by soybeans with modified protein subunit compositions [J]. Breed Science, 2000, 50(2): 101-107.
 - [4] 孟岩. 亚基缺失特异大豆品种的筛选及 β 亚基对大豆加工特性的影响 [D]. 北京: 中国农业大学, 2004: 31-33. (Meng Y. Screening of soybean varieties lacking subunits and the effect of β -subunit on properties of soybean products [D]. Beijing: China Agricultural University, 2004: 31-33.)
 - [5] Saio K, Koyama E, Yamazaki S, et al. Protein-Calcium-Phytic acid relationship in soybean (III): Effect of phytic acid on coagulative reaction in tofu-making [J]. Agricultural Biological Chemistry, 1969, 33: 36-42.
 - [6] Bradford M M. A rapid and sensitive method for quantization of protein utilizing the principle of protein-dye-binding [J]. Analytical Biochemistry, 1978, 72: 248-258.
 - [7] Guo S T, Tsukamoto C, Takahasi K, et al. Incorporation of soymilk lipid into soy protein coagulum by the addition of calcium chloride [J]. Food Science, 2002, 67(9): 3215-3219.
 - [8] 韩雅珊. 食品化学实验指导 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1992. (Han Y S. Experiment guidance of food chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1992.)
 - [9] Guo S T, Tomotada O, Masayuki M, et al. Incorporation of soy milk lipid into protein coagulum by addition of calcium chloride [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47: 901-905.
 - [10] Wang C C R, Chang S K C. Physicochemical properties and tofu quality of soybean cultivar Proto [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43: 3029-3034.
 - [11] de Man J M, deMan R I, Buzzell R I. Composition and properties of soymilk and tofu made from Ontario light hilum soybeans [J]. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 1987, 20: 363-367.
 - [12] Skurray G, Cunich J, Carter O. The effect of different varieties of soybean and calcium ion concentration on the quality of tofu [J]. Food Chemistry, 1979, 7: 89-95.
 - [13] 帖向宇, 郭顺堂. 大豆乳清蛋白的热稳定性分析及其与球蛋白的相互作用研究 [J]. 食品工业科技, 2006, 27(9): 77-80. (Tie X Y, Guo S T. The thermal stability analysis of soybean whey protein and interaction between soybean whey protein and soybean globulins [J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(9): 77-80.)
 - [14] Ono T, Choi M R, Ikeda A, et al. Changes in the composition and size distribution of soymilk protein particles by heating [J]. Agricultural Biology Chemistry, 1991, 55(9): 2291-2297.
 - [15] Ono T, Katho S, Mothizuki K. Influence of calcium and pH on protein solubility in soybean milk [J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 1993, 57(1): 24-28.
 - [16] Schaefer M J, Love J. Relationships between soybean component and tofu texture [J]. Food Quality, 1992, 15: 53-58.
-
- (上接第 656 页)
- [12] 刘健敏, 钟芳, 麻建国. 大豆生理活性肽的研究 II 抗氧化性和 ACE 抑制活性的初步研究 [J]. 无锡轻工大学学报, 2004, 23(4): 50-55. (Liu J M, Zhong F, Ma J G, et al. Soybean bioactive peptides (II)-antioxidant activity and ACE inhibitory activity of the hydrolysates [J]. Journal of Wuxi University of Light Industry, 2004, 23(4): 50-55.)
 - [13] 杨明, 董超, 史延茂, 等. 纤维蛋白平板法测定纳豆激酶方法的改进 [J]. 中国酿造, 2008, (7): 77-80. (Yang M, Dong C, Shi Y M, et al. Improvement on the method of measuring the activity of Nattokinase with agarose-fibrin plate [J]. China Brewing, 2008, (7): 77-80.)
 - [14] 吕莹, 张露, 冯雷, 等. 纳豆激酶的纯化及性质研究 [J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(3): 122-124. (Lu Y, Zhang L, Feng L, et al. Purification and characterization of Nottokinase from *Bacillus subtilis* [J]. Food and Fermentation Industries, 2004, 30(3): 122-124.)
 - [15] 华南理工大学. 一种利用亲和层析法分离纯化纤溶酶的方法 [P]. 中国发明专利申请公开说明书, CN101067131A. 2007-11-7. (South China University of Technology. Purification of fibrinolytic enzyme by affinity chromatography [P]. China Patent, CN101067131A. 2007-11-7.)
 - [16] 上海交通大学. 降纤酶的亲和分离材料和降纤酶的亲和纯化方法 [P]. 中国发明专利申请公开说明书, CN1884507A. 2006-12-27. (Shanghai Jiao Tong University. Media and purification of defibrase with affinity chromatography [P]. China Patent, CN1884507A. 2006-12-27.)