

大豆原料对豆腐得率和质构的影响

刘志胜^① 李里特 辰巳英三
(中国农业大学食品学院) (日本国农林水产省国际农林水产业研究中心)

摘要 综述国内外有关大豆原料对豆腐得率和质构影响的研究。大豆品种对豆腐得率和质构有重要影响;大豆中的植酸含量直接影响大豆蛋白的凝固;豆腐得率和质构不但与大豆中的蛋白质含量有关,而且与蛋白质的化学组成有关。大豆原料与豆腐得率和质构的关系相当复杂。

关键词 大豆;豆腐得率;豆腐质构

分类号 TS 214.2

Effects of Soybean on Yield and Texture of Tofu

Liu Zhisheng Li Lite

(College of Food Science and Engineering, CAU)

Eizo Tatsumi

(Japan International Research Center for Agricultural Sciences)

Abstract Effects of Soybean on the yield and texture of Tofu are reviewed. The variety of soybean plays an important role in the yield and texture of tofu. The coagulation of soy protein was influenced by the content of phytic acid in soybean. Not only the content of protein in soybean but also the constitute of soy protein has effect on the yield and texture of tofu. The relation between soybean and the yield and texture of tofu is relatively complex.

Key words soybean; tofu yield; tofu texture

豆腐是一种营养丰富的传统食品,其产量居豆类食品首位。豆腐起源于我国,已有 2 000 年的生产历史。迄今,我国豆腐生产在很大程度上仍依靠代代相传的经验,而未完全采用现代科学技术。一方面,我国豆腐生产规模小(以家庭作坊式生产为主),机械化程度低;另一方面,豆腐工业化生产中的一些技术难题尚未得到很好解决;这两方面之间相互影响,阻碍了我国豆腐生产的健康发展。

大豆原料无疑对豆腐生产有重要影响,国内外许多科技工作者对此进行了研究。弄清大豆原料与豆腐生产之间的定性甚至定量关系,不但对大豆育种工作者改良大豆加工品质、培育豆腐专用品种具有指导意义,而且对豆腐生产者选择大豆原料、提高豆腐得率、改善豆腐质构以及实现豆腐生产的自动化具有重要价值。本文就国内外有关大豆原料对豆腐得率和质构影响的研究作一综述。

1 大豆品种的影响

加工条件一定时,不同品种大豆的豆腐得率变化范围相当大。Lim^[1]用 9 个品种的大豆制

收稿日期:1999-03-11

①刘志胜,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)213 信箱,100083

作硫酸钙豆腐,其湿豆腐得率变化范围为 $4.45\sim 5.26\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Shen^[2]用此9种大豆制作葡萄糖- δ -内酯(GDL)豆腐,其湿豆腐得率为 $5.55\sim 6.04\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Wang^[3]用10个品种的大豆制作硫酸钙豆腐,其湿豆腐得率为 $3.13\sim 3.85\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$,但干豆腐得率变化范围不大($1.08\sim 1.20\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)。周新安^[4]用14个品种的大豆制作硫酸钙豆腐,湿豆腐得率为 $1.20\sim 2.20\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

不同品种的大豆,其粒度(或百粒质量)往往不同,一些豆腐加工者深信颗粒大的大豆豆腐得率高。某些研究者也认为,颗粒大、均匀的品种适合豆腐加工^[5]。金骏培等^[6]对用我国南方和黄淮地区的210个地方品种大豆制作的硫酸钙豆腐进行了分析,结果表明,豆腐的干、湿基得率与大豆百粒质量呈极显著正相关,但相关系数不大。

关于大豆粒度的影响,也有不同的研究结果。Lim等^[1]对百粒质量变化范围很大($8.71\sim 41.27\text{ g}/100\text{ g}$ 干大豆)的9个大豆品种进行了研究,发现大豆粒度与硫酸钙豆腐的得率、硬度之间无显著相关关系。Shen^[2]对9个品种的大豆制作GDL豆腐的情况作了调查,也发现大豆粒度与豆腐的得率和质构无关。Chuan^[7]用硫酸钙与盐卤的混合物作为凝固剂,对同一品种不同粒度的大豆进行了调查,发现同一品种、不同粒度对豆腐的得率和品质没有影响。

关于大豆的脐色,一些研究者认为脐色深浅影响豆腐的色泽,浅色(黄、白)种脐的大豆制作的豆腐色泽白^[3,5],但影响豆腐色泽的不仅仅是大豆脐色,笔者曾发现,某些品种大豆脐色虽较深,但制作的豆腐却相当白。

关于大豆品种对豆腐质构的影响,Skurray等^[8]对15个品种的大豆进行了研究,发现豆乳中加入的硫酸钙浓度对豆腐质构的影响远比品种的影响大,认为品种对豆腐质构的影响可以通过调节凝固剂的量来克服。Wang等^[3]甚至因此而认为,大豆品种在豆腐生产中不起至关重要的作用,但是他们毕竟没有否认品种对豆腐生产的影响。

2 大豆化学成分的影响

品种对豆腐得率、质构的影响,其实质是大豆化学成分的影响。品种不同,大豆的化学成分很难相同。即使是同一品种,生长环境不同,大豆的化学成分在数量上也相差较大。目前,有关大豆品种对豆腐得率和质构影响的研究已深入到大豆化学成分对豆浆凝固行为的影响。

2.1 植酸的影响

Saio等^[9]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,都对豆腐质构有重要影响。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。当在一定的范围内限定添加的钙盐量时,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,所制作的豆腐水分含量就越大,于是豆腐的得率就越高,豆腐的硬度就越小。

Schaefer等^[10]对不同品种的大豆进行研究后发现,尽管所添加的硫酸钙量一定,但豆腐中的钙含量并不相同。豆腐中的钙含量既与大豆中的植酸含量显著相关,也与豆腐中的植酸含量显著相关,说明大豆或豆乳中的植酸含量越高,凝固时所需要的钙离子量就越多,这与Saio等^[9]的研究结果一致。

Saio等^[11]分别研究了植酸对11S大豆球蛋白豆腐凝胶和7S大豆球蛋白豆腐凝胶质构的影响。当所用的硫酸钙量一定时,随着植酸添加量的增多,11S大豆球蛋白豆腐凝胶的硬度和咀嚼性急剧下降,而弹性、凝聚性变化不大。与11S大豆球蛋白豆腐凝胶相比,添加植酸对7S

大豆球蛋白豆腐凝胶质构的影响相当小,其原因分析未见报道。

关于植酸对豆腐的影响,也有不同的研究报道。Skurray等^[8]对15个品种(100g大豆含磷0.54~0.88g)的大豆进行了研究,认为大豆的植酸含量对豆腐的质构无显著影响。Lim^[1]对9个品种的大豆研究分析表明,大豆磷含量与豆腐硬度之间不存在显著相关。他们之所以没有测定大豆的植酸含量,是因为大豆中的磷主要以植酸的形式存在,而且Lolas等^[12]对15个品种的大豆研究发现,大豆中的磷含量与植酸含量存在非常密切的线性相关关系。

Wang等^[3]认为,植酸对豆腐的质构有影响,但这种影响可能会被其他因素的影响所掩盖。Schaeffer^[10]也认为,植酸含量与豆腐质构的关系飘忽不定。总之,他们并不否认植酸对豆腐质构有影响,而是认为这种影响取决于凝固条件。

关于豆腐加工时植酸的保留情况,对不同品种的大豆进行了研究。统计分析表明,大豆中的植酸含量与豆乳中的植酸含量之间、大豆和豆乳中的植酸含量分别与硫酸钙豆腐及GDL豆腐中的植酸含量之间,都呈显著的正相关,且相关系数很大;绝对含量比较也表明,大豆中的植酸大部分保留在豆腐中^[1,2,10]。

2.2 大豆蛋白质的影响

2.2.1 蛋白质含量的影响

虽然普遍认为豆腐是大豆蛋白凝胶食品,但许多研究结果表明,不同品种大豆的蛋白质含量与硫酸钙豆腐得率之间不存在密切的相关关系。虽然两者之间的相关系数为正值,但未达到显著水平^[1,3,4,13]。可见,蛋白质含量高的大豆,未必就能加工出得率高的豆腐。分析其原因,有人认为,豆腐得率主要受大豆中可溶性蛋白特别是储存蛋白中球蛋白含量的影响。陈霞等^[13]和周新安等^[4]的研究结果表明,豆腐得率与大豆中球蛋白的含量之间呈显著正相关;但是Lim等^[1]发现,豆浆的蛋白质含量与豆腐得率之间无显著的相关关系,而且大豆的氮溶解指数与豆腐的任何参数都不相关^[14]。因此,把大豆蛋白含量与豆腐得率之间不密切相关的原因完全归结于蛋白质的溶解性,还需要进一步的验证。

与以上研究结果明显矛盾的是金骏培等^[7]对我国南方120个大豆品种的研究结果,他们的研究分析表明,大豆蛋白质含量与硫酸钙豆腐得率之间呈极显著正相关($p < 0.01$),只是相关系数较小。

Lim^[1]研究发现,硫酸钙豆腐的硬度既不受大豆蛋白质含量的影响,也不受豆腐蛋白质含量的影响,他们推测,决定豆腐硬度的不是蛋白质的量,而是蛋白质与其它成分的作用方式。

2.2.2 蛋白质组成的影响

大豆蛋白主要为11S大豆球蛋白和7S大豆球蛋白,7S大豆球蛋白中主要为 β -伴大豆球蛋白。11S大豆球蛋白和7S大豆球蛋白具有不同的豆腐加工性能^[11,14,15]。不同品种间11S球蛋白和7S球蛋白的组成、含量有显著差异。

Murphy^[14]的研究表明:大豆中11S大豆球蛋白和 β -伴大豆球蛋白的含量,两者的比值以及11S大豆球蛋白的 A_3 亚基、 $A_{1a}A_{1b}A_2$ 亚基、 β -伴大豆球蛋白的 α 、 β 和 α' 亚基与豆腐硬度、破裂性、凝聚性、咀嚼性、弹性、黏性、脆性之间存在着显著的相关关系,但是这种相关关系的密切程度随品种类型不同而不同,也受大豆储存条件的影响。

Yoshida等^[16]分析了5个品种的豆浆在加入GDL后的动态粘弹性,他们发现即使豆浆中11S大豆球蛋白浓度、GDL浓度及其他条件都一样,不同品种大豆的豆腐凝胶饱和储藏弹性

率不相同。Wang 等^[17,18]报道,大豆蛋白热凝胶的硬度主要与凝胶网络中多肽链的平均分子量及流体动力形态有关,而与其化学性质(如氨基酸成分)的关系不大,多肽链的种类和数量决定了热凝胶的物性。Nakamura 等^[19]报道,当 11S 大豆球蛋白浓度相同时,不同品种来源的 11S 大豆球蛋白的热凝胶的硬度不相同。他们还指出,11S 大豆球蛋白热凝胶的硬度随着 11S 大豆球蛋白中大分子酸性多肽(如 A_3)含量的增加而增加,但是 Yoshida 等^[16]的研究表明, A_3 多肽含量最高的品种,其豆浆 GDL 豆腐的强度并非最高。他们认为,一定是其他酸性多肽,虽然分子相对质量较小,但对凝胶(豆腐)强度所起的作用比 A_3 大。Nishinar 等^[20]报道,不含 A_4 多肽的品种,其豆浆所制豆腐的硬度比含 A_4 多肽的品种大。许显滨等^[21]对我国 3 个大豆品种和 4 个日本大豆品种进行了比较,得到与此一致的结果。总之,无论是大豆蛋白热凝胶,还是豆腐凝胶,其物性都受大豆 11S 球蛋白亚基组成的影响。

11S 大豆球蛋白的 GDL 豆腐胶凝速率远远大于 7S 大豆球蛋白。此外,7S 大豆球蛋白形成 GDL 豆腐凝胶的最低浓度小于 11S 大豆球蛋白^[22]。在 11S 与 7S 大豆球蛋白的混合体系中,11S 大豆球蛋白所占比例越高,胶凝速率就越快;但是如果 11S 大豆球蛋白所占比例过大($>60\%$),胶凝(以硫酸钙为凝固剂)就会发生缩水现象,而且随着 11S 大豆球蛋白所占比例的增大而愈发严重^[23]。

2.3 大豆其他成分的影响

大豆的主要成分是蛋白质和油脂,其次是大豆纤维。有关大豆油脂对豆腐得率和品质影响的研究尚未详细报道。制作豆腐时,一般将大豆纤维(即豆渣)去除,因为豆渣影响豆浆的凝固,降低豆腐的感官品质。显然,纤维含量高的大豆,其豆腐得率必然较低。由于现代医学证明膳食纤维对人体有益,而大豆纤维又是优质膳食纤维,因此,如果能提高豆腐中纤维的含量,既可提高豆腐得率,又可提高豆腐的营养保健价值。对此课题的研究,除了考虑磨浆工艺外,不能不考虑大豆原料的影响(如品种间大豆纤维化学组成的差别)。

3 结 语

目前,有关大豆原料对豆腐得率和品质影响的许多问题还没有得到解决^[10];因此,无论是豆腐加工者还是大豆育种工作者,尚不能根据大豆的某些理化性质科学地预测、评价大豆的豆腐加工品质。

不同的研究者之间之所以得出不一致、甚至矛盾的结果,一个主要的原因可能是豆腐制作技术的复杂性。首先,豆腐的种类较多,不同的豆腐其制作工序自然不同;其次,凝固剂种类也较多,不同的凝固剂凝固性质相差较大;再次,即使采用相同的凝固剂制作相同的豆腐,加工条件(如温度、压力、浓度等)的选择及恒定也十分重要;最后,豆腐制作时,凝固操作很难掌握,但十分重要。然而,目前尚没有豆腐制作标准可依,不同研究者之间的豆腐制作工艺相差较大,这是今后有关研究需要考虑并值得注意的问题。

参 考 文 献

- 1 Lim B T, Deman J M, Deman L, et al. Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics; calcium sulfate coagulant. *Journal of Food Science*, 1990, 55(4): 1088~1111
- 2 Shen C F, Deman L, Buzzell R I, et al. Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk

- characteristics glucono-delta-lactone coagulant. *Journal of Food Science*,1991,56(1):109~112
- 3 Wang H L, Swain E W, Kwolek W F. Effect of soybean varieties on the yield and quality of tofu. *Cereal Chemistry*,1983,60(3):245~248
 - 4 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. *大豆科学*,1992,11(4):283
 - 5 陈世爵.豆腐专用之黄豆及其特征. [台]食品工业,1992,24(11):49~51
 - 6 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. *中国农业科学*,1996,29(2):28
 - 7 Wang C C R, Chang S K C. Physicochemical properties and tofu quality of soybean cultivar Proto. *J Agric Food Chem*,1995,43:3029
 - 8 Skurray G, Cunich J, Carter O. The effect of different varieties of soybean and calcium ion concentration on the quality of tofu. *Food Chemistry*,1980,6:89~95
 - 9 Saio K, Koyama E, Yamazaki S. Protein-calcium-phytic acid relationships in soybean (III): Effect of phytic acid on coagulative reaction in tofu-making. *Agri Biol Chem*,1969,33:36~42
 - 10 Schaeffer M J, Love J. Relationships between soybean components and tofu texture. *J of Food Quality*,1992,15:53
 - 11 Saio K, Koyama E, Yamazaki S. Food processing characteristics of soybean 11S and 7S proteins (I): Effect of difference of protein components among soybean varieties on tofu-gel. *Agri Biol Chem*,1969,33(9):1301
 - 12 Lolas G M, Palamidix N, Markarkis P. The phytic acid-total phosphorus relationship in barley, oats, soybeans and wheat. *Cereal Chem*,1976,53:867
 - 13 陈霞,李淑贞,何萱,等.黑龙江省大豆品种球蛋白含量比较及其豆腐产品的研究初报. *大豆科学*,1989,8(3):295
 - 14 Murphy P A, Chen H P, Hauck C C, et al. Soybean protein composition and tofu quality. *Food Technology*,1997,51(3):86
 - 15 Kohyama K, Murata M, Tani F, et al. Effects of protein composition on gelation of mixtures containing soybean 7S and 11S globulins. *Biosci Biotech Biochem*,1995,59(2):240
 - 16 Yoshida M, Kohyama K, Nishinari, K. Gelation properties of soymilk and soybean 11S globulin from Japanese-grown soybeans. *Biosci Biotech Biochem*,1992,56(5):725
 - 17 Wang C A, Damodaran S. Thermal gelation of globular proteins: Weight average molecular weight dependence on gel strength. *J Agri Food Chem*,1990,38:1157
 - 18 Wang C A, Damodaran S. Thermal gelation of globular proteins; influence of protein conformation on gel strength. *J Agri Food Chem*,1991,39:433
 - 19 Nakamura T, Utsumi S, Kitamura K, et al. Cultivar difference in gelling characteristics of soybean glycinin. *J Agri Food Chem*,1984,32:647
 - 20 Nishinari K, Kohyama K, Zhang Y, et al. Rheological study on the effect of the A₅ subunit on the gelation characteristics of soybean proteins. *Agri Biol Chem*,1991,55(2):351~355
 - 21 许显滨,陈霞,赵乃新,等.大豆品种 11S A₅ 端球蛋白与豆腐加工特性的研究. *大豆科学*,1991,10:250
 - 22 Kohyama K, Nishinari K. Rheological studies on the gelation process of soybean 7S and 11S proteins in the presence of glucono-delta-lactone. *J Agri Food Chem*,1993,41:8~14
 - 23 Kohyama K, Yoshida M, Nishinari K. Rheological study on gelation of soybean 11S protein by glucono-delta-lactone. *J Agri Food Chem*,1992,40:740