

脱盐率对豆乳稳定性及豆乳粉冲调性的影响

胡琪,李亮亮,王睿粲,郭顺堂

(中国农业大学食品科学与营养工程学院,北京100083)

摘要:大豆中含有许多盐离子,如钙、镁、钠、钾离子等。在豆乳的制作过程中,这些离子被转移到豆乳中,从而影响豆乳的稳定性及豆乳粉的速溶性。本文主要利用超滤和离子交换相结合的方法,除去豆乳中的盐离子,并采用外加不同浓度盐溶液研究脱盐对豆乳及豆乳粉性质的影响。结果表明:脱盐能显著提高豆乳的稳定性,同时,100%脱盐使豆乳粉可溶性蛋白含量提高近5%,分散速度提高25%以上,润湿时间缩短了近2/3,豆乳粉的冲调性得到了较大的提高。

关键词:豆乳;豆乳粉;盐离子;冲调性

中图分类号:TS214.2 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2015.02.0302

The Influence of Desalination Rate on Stability of Soymilk and Solubility of Soymilk Powder

HU Qi, LI Liang-liang, WANG Rui-can, GUO Shun-tang

(College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083)

Abstract: Soybean contains many sorts of salt ions, such as calcium, magnesium, sodium, potassium and so on. Salt ions transferred into soymilk in the course of processing, which could influence stability of soymilk and solubility of soymilk powder. In this study, we combined ultrafiltration and ion exchange to remove salt ions, then add different amounts of salt ions into soymilk to study the influence of desalination. The results showed that, desalination can remarkably increase the stability of soymilk and the content of soluble protein improved by 5%, dispersibility improved by over 25% and wettability decreased by about 2/3. Moreover, it obviously improved the soakage of soymilk powder.

Keywords: Soymilk; Soymilk powder; Salt ions; Soakage

豆乳粉的速溶性是衡量该类产品的指标,其影响因素包括组成粉体颗粒物质的溶解性、粉体颗粒大小、粉体容重等^[1]。为此,人们通过酶解法、物理、化学改性法以及外加物的添加等方法,通过改善豆乳粉粉体颗粒的性质来改善豆乳粉的溶解性。孟旭^[2]研究发现,大豆中自有的矿物质对豆乳的溶解性具有不良影响,但是将豆乳中含有的这些盐离子除去是否会对豆乳稳定性以及豆乳粉溶解性有改善作用尚不明确。为此,本文通过联合使用超滤和离子交换的方法,考察了不同脱盐率下豆乳及豆乳粉的性质,以期改善豆乳粉溶解性,开发新的加工工艺提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

大豆(市售,东北鑫兴远商贸有限公司);001×7(732)强酸性苯乙烯系阳离子交换树脂,330弱碱性环氧系阴离子交换树脂(安徽三星树脂科技有限公司);考马斯亮蓝G-250(Sigma公司);其他试剂

均为分析纯。

1.2 仪器及设备

九阳料理机(JYL-CO20)(山东九阳小家电有限公司);紫外可见分光光度计(UV-1800)(日本岛津集团);pH计(PP-50)(Sartorius公司);电导率仪(DDSJ-308A,上海精密科学仪器有限公司雷磁仪器厂);Zeta电位仪(Nano ZS-90, Malvern公司);实验用膜分离装置(上海亚东核级树脂有限公司);喷雾干燥器(SD-1000,东京理化器械株式会社)。

1.3 试验方法

1.3.1 不同脱盐率豆乳的制备 称100 g干大豆,用自来水清洗至水澄清,再用蒸馏水洗2次,加入大豆干重3倍的蒸馏水,室温浸泡12 h,去掉多余的水分,再加8倍质量于干大豆的水打浆,用脱脂棉过滤得生豆乳。将生豆乳在沸水浴加热到90~95℃,8 min后立即冷却至室温得到熟豆乳。采用实验用膜分离装置,将熟豆乳用截留分子量为10 kDa的超滤膜进行超滤,得到的滤过液即为豆乳超滤液^[3],留以备用。而未通过超滤膜的豆乳为浓缩豆乳,向浓

收稿日期:2014-07-10
基金项目:国家“十二五”科技支撑计划(2012BAD34B03)。
第一作者简介:胡琪(1990-),女,硕士,主要从事食品加工方面的研究。E-mail:Nicole1010796405@163.com。
通讯作者:郭顺堂(1962-),男,博士,教授,主要从事蛋白质加工与利用研究。E-mail:shuntang@cau.edu.cn。

缩豆乳中加去离子水反复超滤,至超滤液的电导率为 $100\ \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 左右即可。超滤结束时电导率不是 $0\ \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$,是因为超滤装置在工作过程中,具有一定的工作阈值,当豆乳超滤液电导率达到 $100\ \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 时,继续超滤并不会使电导率产生大的改变,因此定义此时的浓缩豆乳为 100% 脱盐的豆乳。

表 1 不同脱盐率豆乳的配制

Table 1 Preparation of soymilk with different desalination rate

脱盐率	还原豆乳总体积	超滤液体积	脱盐超滤液体积	浓缩豆乳体积
Desalination rate /%	Soymilk volume /mL	Ultrafiltrate volume /mL	Desalinated ultrafiltrate volume /mL	Concentrated soymilk volume /mL
0	300	200	0	100
20	300	160	40	100
40	300	120	80	100
60	300	80	120	100
80	300	40	160	100
100	300	0	200	100

1.3.2 测定项目与方法 灰分含量的测定参照 GB 5009.4-2010;豆乳电导率采用电导率仪测定;采用 pH 计分别测定不同脱盐率的 pH;将样品用对应脱盐率的超滤液稀释 50 倍,使用 Zeta 电位仪测定相应的 Zeta 电位值;豆乳粉中可溶性蛋白含量的测定采用 Bradford 法,具体操作方法为:室温下,精确称取 0.2 g 豆乳粉,在 50 mL 烧杯中加入 19.8 mL 的去离子水,搅拌 60 min,将样品转入到离心管中,1 500 r · min⁻¹ 离心 10 min,取 0.5 mL 上清液,加 4.5 mL 去离子水,即稀释 10 倍,测可溶性蛋白含量。

可溶性蛋白含量(%) = $\frac{\text{测定值} \times 10 \times 20}{100000 \times 0.2} \times 100$

豆乳粉分散速度的测定参考孟旭等^[4]和 Jinapong 等^[5]方法,并作适当的修改。室温下,在 50 mL 烧杯中加入 20 mL 去离子水,精确称取 0.2 g 豆乳粉加入后搅拌 30 s,用 60 目滤网过滤,所得滤液取 5 mL 于烘箱中 105℃ 烘干至恒重,称重。按下列公式计算豆乳粉的分散速度。

分散速度(%) = $\frac{5\ \text{mL 滤液固形物质量(g)} \times 4}{0.2\ \text{g}} \times 100$

豆乳粉润湿时间的测定参考 Jinapong 等^[5]及孟旭等^[4],并作适当的修改。室温下,在 100 mL 烧杯中加入 60 mL 去离子水,加入 0.3 g 豆乳粉,记录从加入开始到粉块全部浸润所需要的时间。每组样品 2 个平行,润湿时间越短说明豆乳粉的润湿性越好。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 进行数据处理分析。

将豆乳超滤液分别通过阳离子和阴离子交换树脂,得到脱盐超滤液。将浓缩豆乳、超滤液、脱盐超滤液按照表 1 的比例配比得不同脱盐率的还原豆乳。将不同脱盐率的豆乳调节到 pH6.8,喷雾干燥,即得不同脱盐率的豆乳粉。

2 结果与分析

2.1 豆乳脱盐后灰分含量和 pH 的变化

豆乳经超滤后小分子物质进入超滤液,豆乳被浓缩。从图 1A 中可以看出,豆乳中灰分含量在 0.35% 左右,而超滤后浓缩豆乳的灰分仅为 0.06,灰分值比原豆乳降低了 6 倍。残存灰分是超滤不能除去的结合的盐离子,这部分盐离子可能是与植酸和大豆蛋白结合的 Ca²⁺、Mg²⁺ 等二价阳离子^[6]。

本研究将离子交换后的超滤液回加到浓缩豆乳中制备还原豆乳。从图 1B 看出,随着脱盐率的增加,豆乳的 pH 渐进上升,但仍然保持在 pH7 以下。同时发现,当超滤液经过阳离子交换柱时,颜色仍然是透明的黄色,与交换前几乎一致,而当超滤液流过阴离子交换柱时,颜色消失,成无色透明状。这主要是由于超滤液内含有大豆中的色素,主要包括大豆异黄酮^[7]、类胡萝卜素、叶黄素^[8]等,这些色素包含不饱和键基团,如 -N=N-、-HC=CH-、-CH=N- 等,在溶液中呈电离状态,带负电荷,可以与阴离子发生交换作用^[9]。这些色素不吸附在阳离子交换柱上,而是在阴离子交换柱上进行离子交换,从而使阴离子树脂释放 OH⁻,导致脱盐超滤液 pH 上升,同时还去除了色素等小分子有机化合物。此外,一般豆乳在 pH6~7 都具有较好的稳定性和良好的外观^[10]。因此,脱盐后豆乳 pH 变化并不会影响豆乳的稳定性。

2.2 脱盐豆乳电导率和 Zeta 电位的变化

随着脱盐率的增加,豆乳的电导率线性降低(图 2),而盐离子的减少明显提高了豆乳体系的 Zeta 电

位绝对值,即随着脱盐率的升高,豆乳粒子的负电性也随着增强。而 Zeta 电位绝对值越高,体系越稳定,反之,吸引力超过排斥力,分散被破坏而发生凝结或凝聚^[9,11]。胶体理论认为,当 Zeta 电位绝对值在 30 mV 以上时,可以认为体系是稳定的。从图 2B 可以看出,随着脱盐率的增加,其 Zeta 电位绝对值随之提高,脱盐率在 20% ~ 40% 时,Zeta 电位的增加速率减小,超过 40% 后增加速率提高。脱盐率 100% 的豆乳,其 Zeta 电位绝对值达到最大,非常接近 30 mV,大

约是未脱盐豆乳的 2 倍。由此看出脱盐可以提高豆乳的稳定性,且脱盐率越高,效果越显著。

同时,试验结果也说明盐离子对豆乳蛋白表面的荷电性有极大影响。这是因为阳离子对豆乳蛋白表面的净负电荷具有静电屏蔽作用^[12],Iwabuchi 和 Yamauchi^[13] 研究发现即使盐离子浓度极低 (10 mmol · L⁻¹) 也能检测到该屏蔽作用,并随盐浓度的增加而增加。

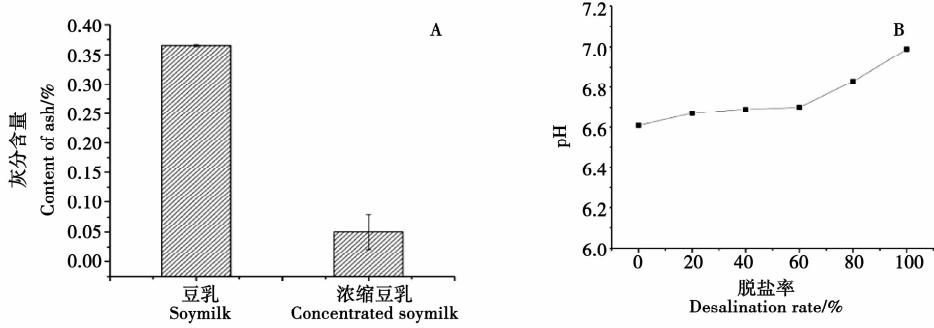


图 1 豆乳脱盐后灰分 (A) 变化及脱盐对豆乳 pH (B) 的影响
Fig. 1 Changes of the ash (A) content and pH (B) after desalination of soymilk

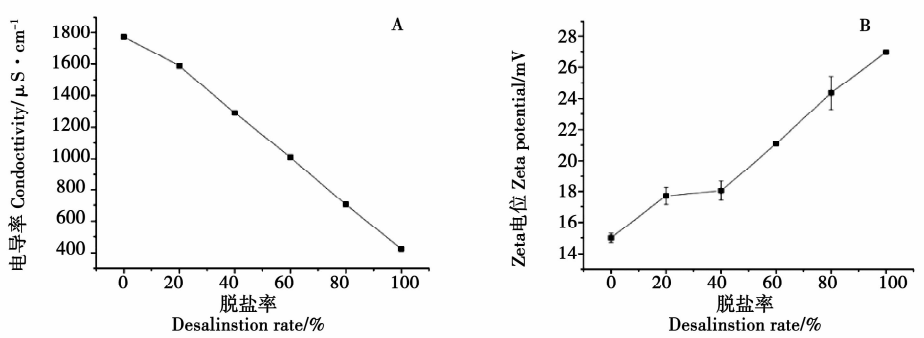


图 2 不同脱盐率豆乳的电导率 (A) 和 Zeta 电位 (B) 变化
Fig. 2 Changes of Conductivity and Zeta potential of soymilk with different desalination rate

2.3 脱盐对豆乳粉溶解性的影响

为明确豆乳中盐对喷雾干燥后豆乳粉溶解性的影响,分析了豆乳粉加水搅拌充分溶解后溶液中可溶性蛋白的含量。由图 3 可知,随着脱盐率的升高,豆乳的可溶性蛋白含量明显升高。豆乳脱盐率在 20% 以内,其可溶性蛋白含量线性增加,但脱盐率在 20% ~ 40% 时,可溶性蛋白含量反而有所降低,但仍高于未脱盐的豆乳。脱盐率高于 40% 后,可溶性蛋白含量不断增加,但增长速率较小。并且脱盐率 100% 的豆乳较未脱盐的豆乳可溶性蛋白含量提高近 5%,相对于豆奶粉蛋白含量 40% 左右,5% 的增加具有较大意义。这一结果的主要原因是随着盐离子的去除,豆乳蛋白表面负电性增强,蛋白之间的静电排斥作用增强,所以豆乳粉加入到水中,在静电排斥作用下能够很快地分散开来,从而提高溶解性。

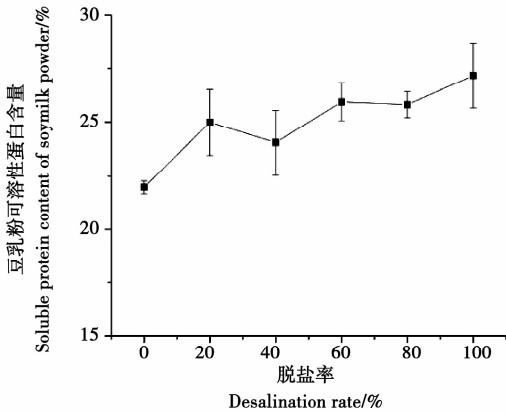


图 3 不同脱盐率豆乳粉的可溶性蛋白含量
Fig. 3 Soluble protein content of soy milk powder with different desalination rate

2.4 脱盐对豆乳粉分散性和润湿性的影响

分散速度和润湿时间均是评价豆乳粉溶解性的重要指标。分散速度是指粉体在 30 s 内分散到

溶液中的干物质含量,而润湿时间是指粉体加入水中后全部湿润所需要的时间,分散速度越快、润湿时间越短说明豆乳粉的溶解性越好。如图 5A,脱盐后的豆乳粉较未脱盐的分散速度明显提高,脱盐率为40%~60%时,分散速度增加最快,完全脱盐的豆乳粉比未脱盐的分散速度提高 25% 左右。而从润湿时间来看(图 5B),脱盐后的豆乳粉比未脱盐的

润湿时间大幅度降低,但在脱盐率40%~60%时略有升高,超过 60% 后继续降低。当脱盐率为 100% 时,其润湿时间较未脱盐的豆乳粉减少了2/3。可见,脱盐豆乳由于除去了盐离子,使得豆乳蛋白之间的静电斥力增加,从而导致润湿性明显增强,而润湿后的豆乳粉能够很快溶解。综上所述,脱盐能明显提高豆乳粉的冲调性。

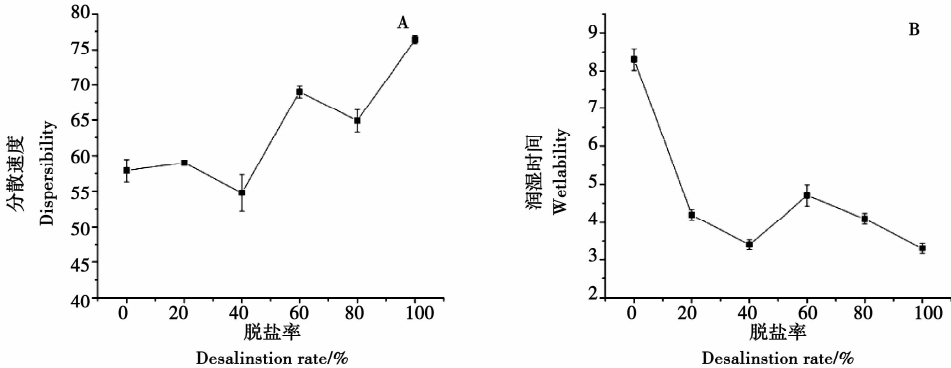


图 4 不同脱盐率豆乳粉的分散速度(A)和润湿时间(B)变化
Fig. 4 Dispersibility and Wettability of soy milk powder with different desalination rate

3 结 论

随着脱盐率的增加,豆乳的 Zeta 电位明显升高,接近或超过 -30 mV,较未脱盐的豆乳提高 1 倍以上,从而使豆乳体系稳定性大幅度提高。

在豆乳粉的冲调性方面,脱盐豆乳制得的豆乳粉冲调性明显提高,脱盐率 100% 的豆乳粉可溶性蛋白含量较未脱盐的豆乳粉提高近 5%,分散速度提高 25% 以上,润湿时间缩短了近 2/3。

综上所述,采用超滤或离子交换法处理豆乳去除其中的盐分将有助于改善豆乳粒子的电位性质,改善豆乳粉体的冲调性。在产业上具有一定的应用前景,相关技术值得进一步深入研究。

参考文献

[1] 鲍鲁生. 豆浆粉的颗粒结构及对质量的影响[C]. 北京:中国学术期刊电子杂志出版社, 1982:9-10. (Bao L S. The influence of particle structure to the quality of soymilk powder[C]. Beijing: China Academic Journal Electronic Publishing House, 1982:9-10.)

[2] 孟旭. 方便豆腐粉微结构及其蛋白质溶解、凝胶机理的研究[D]. 无锡:江南大学,2006. (Meng X. The micro-structure of instant tofu powder and the solubility of protein, mechanism of gelatin[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006.)

[3] Guo S T, Tomotada O, Masayuki M. Incorporation of soy milk lipid into protein coagulum by addition of calcium chloride[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1999, 47:901-905.

[4] 孟旭,汤坚. 方便豆腐粉的物理化学特性及生产工艺[J]. 食品与发酵工业,2004,30(4): 58-65. (Meng X, Tang J. The physical-chemical characteristics and manufacturing process of instant tofu powder[J]. Food and Fermentation Technology, 2004,

30(4):58-65.)

[5] Nakarin J P, Manop S, Pimon J. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84(2):19 4-205.

[6] Skorepova J, Christine M. Carbohydrate and mineral removal during the production of low-phytate soy protein isolate by combined electroacidification and high shear tangential flow ultrafiltration [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2007, 55(14): 5645-5652.

[7] 王春娥,刘叔义. 大豆异黄酮的成分、含量及特性[J]. 食品科学,1998,19(4):39-43. (Wang C E, Liu S Y. The constituent, content and characteristics of soy isoflavone[J]. Food Science, 1998, 19(4):39-43.)

[8] 滕卫丽,韩英鹏,赵桂云,等. 大豆叶黄素的研究进展[J]. 作物杂志,2012(1):9-12. (Teng W L, Han Y P, Zhao G Y, et al. The research development of soy lutein[J]. Crop Science, 2012 (1):9-12.)

[9] 赖凤英,陈焕章,林福兰. 离子交换树脂对糖浆脱色效能的评价[J]. 中国甜菜糖业,2000(2):12-14. (Lai F Y, Chen H Z, Lin F L. The evaluation of syrup destaining capability by ion exchange resin[J]. China Beet & Sugar, 2000(2):12-14.)

[10] 白卫东,王琴,赵文红,等. 豆奶稳定性的研究[J]. 现代食品科技,2006,22(1):5-7. (Bai W D, Wang Q, Zhao W H, et al. The stability research of soymilk[J]. Modern Food Science and Technology, 2006,22(1):5-7.)

[11] Múté H, Radomir L. Phytic acid content of cereals and legumes and interaction with proteins[J]. Chemical Engineering, 2002, 46:59-64.

[12] 李向红,华欲飞,刘展,等. 不同离子强度大豆分离蛋白热诱导聚集体的研究[J]. 中国食品学报,2010, 10(2):104-109. (Li X H, Hua Y F, Liu Z, et al. The influence of different ionic-strength to soy protein heat-induced aggregates[J]. Journal of Chinese Food, 2010,10(2):10 4-109.)

[13] Setsuko I, Fumio Y. Determination of glycinin and β -conglycinin in soybean proteins by immunological methods[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1987, 35:200-205.