

大豆豆奶风味品质研究进展

马磊, 孙君明, 韩粉霞

(中国农业科学院作物科学研究所, 农业部北京大豆生物学重点实验室, 北京 100081)

摘要:大豆豆奶营养丰富,且包含多种具有独特生理功能的活性成分,但豆奶的不良风味品质却长期制约其发展。该文主要针对大豆豆奶风味品质的化学成分及改进方法、大豆活性成分与加工工艺对豆奶风味品质的影响、豆奶风味评价面临的问题和发展方向等进行系统介绍,以期为大豆品质育种和豆奶加工提供参考。

关键词:大豆;豆奶;风味

中图分类号:TS214.2

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2012)03-0478-05

Advances on the Study of Soymilk Flavor

MA Lei, SUN Jun-ming, HAN Fen-xia

(Institute of Crop Science, CAAS/ MOA Key Laboratory of Soybean Biology, Beijing 100081)

Abstract: Soymilk is a nutrient-rich beverage, which contains a variety of bioactive substances and has many beneficial functions to human body. However, owing to the off-flavor, the development of soymilk was restricted for a long time. There is a systematic introduction on the chemical components and improvement measures of soymilk flavor, impact of active components and processing technology on the soymilk flavor, and trends of evaluation of soymilk flavor in this paper. It can provide a reference for the quality breeding and soymilk processing in soybean.

Key words: Soybean; Soymilk; Flavor

大豆豆奶/豆浆(soymilk)指以大豆为主要原料,可添加食糖、食盐,不添加其它食品辅料,加工制成的产品;豆奶也可称为豆乳^[1]。豆奶的前身豆浆大约在公元前164年发明于中国。20世纪初期,美国传教士 Harry Wills Miller 通过研究改善了原来豆浆的品质和风味,从而形成了第一代豆奶产品^[2]。1995年,国家“大豆行动计划”开始实施,为豆奶加工行业提供了政策引导,从而带动了整个豆奶加工行业的发展。但是由于豆制品经常伴有豆腥味、青草味、苦涩味等不良风味,其生产和消费受到很大制约。近年来,随着人民生活水平的提高和大豆中生理活性成分的深入研究,其在保健食品和医药领域的潜在应用价值受到了普遍关注。目前,针对大豆豆奶风味品质评价方面的研究报道较少,因此探究大豆豆奶不良风味产生的原因,改进豆奶风味品质,以及建立大豆豆奶风味品质评价方法标准,对于大豆品质育种以及豆奶行业的发展具有重要的理论意义和指导价值。

1 豆奶不良风味的成分

豆奶的不良风味可以分为2类。一类是易挥

发的豆腥味、青草味,可凭嗅觉感知,主要成分为醛类、醇类、酮类和呋喃类。另一类是非挥发的苦涩味,通过味觉才能感知,主要成分为酚酸、异黄酮、呋喃等。

从20世纪70年代开始,科研工作者利用现代仪器分析手段如气相色谱(GC)、气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)等研究豆奶及豆制品中的风味物质,发现其挥发性成分是由几十种化学物质组成,主要包括醛类、醇类、酮类、酯类、呋喃类、烃类、酸盐类和呋喃类等^[3-5]。早期的研究认为豆腥味与2-戊基呋喃有关^[6]。随着研究的发展,醛类和醇类物质进入人们的视线,Wilkens等^[7]的研究发现己醛是豆腥味的主要成分,约占挥发成分的25%,正己醇浓度较高时具有青草味,是构成豆奶草腥味的主要醇类。近年来对豆腥味成分的报道多将一系列化合物认定为致腥成分。Kobayashi等^[8]的研究认为在干磨和湿磨加工条件下分离出的气味物质中己醛、己醇、1-戊醇、(E)-2-己烯醛、(Z)-2-己烯醇、(Z)-2-庚烯醛、庚醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛和(E,Z)-2,4-癸二烯醛共9种成分是引起豆腥味的主要物质。Yuan等^[9]研究则认为己醛、己醇、2-壬烯醛、2,4-癸二烯醛和二甲基三硫化物等6种物质

收稿日期:2012-04-11

基金项目:中国农业科学院作物科学研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项;国家科技支撑计划(2011BAD35B06-3);转基因重大专项(2011ZX08004-003)。

第一作者简介:马磊(1986-),男,在读硕士,研究方向为大豆豆奶品质评价。E-mail: malei2953@163.com。

通讯作者:孙君明(1972-),男,博士,研究员,从事大豆品质分子育种研究。E-mail: sunjm@mail.caas.net.cn。

是主要的豆腥味成分。

2 豆奶不良风味产生的原因

豆奶豆腥味产生的主要原因是由脂肪酸的氧化分解造成。脂肪酸的氧化分解主要有 2 种途径。一种是由酶介导的脂肪氧化反应。大豆中含有丰富的脂肪氧化酶,已分离出 Lox 1、Lox 2 和 Lox 3(包含 Lox 3a 和 Lox 3b)3 种不同性质的同工酶,专一催化具有顺,顺-1,4-戊二烯结构的多元不饱和脂肪酸加氧反应,生成具有共轭双键的脂肪酸氢过氧化物,再经脂肪酸氢过氧化物裂解酶分解生成短链的醇、酮和醛类等挥发性物质,形成典型的豆腥味^[10]。另一种则是种子内脂质的非酶促自动氧化反应,主要是不饱和脂肪酸双键受活性氧攻击所致。Min 等^[11]认为单线态氧引发亚麻酸氧化产生的 2-戊基呋喃是豆腥味的主要成分。麻浩等^[12]研究发现 Lox 全缺失材料中仍具有少量豆腥味,推测是由种子内脂质的自动氧化过程以及其它途径产生的气味物质(如 1-辛烯-3 醇)造成的。

豆奶中的苦涩味主要与大豆异黄酮和皂苷的数量与结构有关。大豆异黄酮的 12 种组分均具有强烈的苦涩味^[13]。黄豆苷元和染料木素可能是造成豆奶苦涩味的主因。豆奶加工过程中,浸泡会导致异黄酮配糖体形式的黄豆苷元和染料木素的增多,使苦涩味加重^[14]。在研制异黄酮豆奶的过程中发现,随着异黄酮组分的增多,豆奶的颜色、嗅觉、味觉指标有所下降^[15]。Okubo 等的研究认为皂苷也是主要的苦味因子之一,不同形式的皂苷均具有苦味,DDMP 类皂苷的苦涩程度显著的高于 B 类皂苷^[16-17]。另有研究发现一些末端具有亮氨酸的大豆多肽具有苦味^[18],游离的亚油酸和亚麻酸在乳液中同样呈现出苦味^[19],这些成分也可能导致豆奶具有苦涩味,降低其口感爽滑度。

3 解决豆奶不良风味的方法

目前改善和消除豆奶及豆制品豆腥味的方法和技术主要体现在 3 个方面:一是通过原材料的改良,发掘和培育脂肪氧化酶缺失的大豆新品种;二是在加工过程中降低豆腥味,通过钝化大豆中脂肪氧化酶活性或使其失活;三是在加工后期,通过添加剂消除或掩盖已形成的豆腥味。在低豆腥味品种改良方面,美国和日本首先开展了大豆脂肪氧化酶缺失体材料创制研究,已分别构建了脂肪氧化酶缺失体近等位基因系(Century 和 Suzuyutaka),我国开展大豆种质资源中脂肪氧化酶缺失体材料的鉴

定工作起始于 20 世纪 90 年代^[20]。目前,国内育种家已经培育出一系列脂肪氧化酶缺失的大豆新品种,如中黄 16、中黄 18、中黄 28、中黄 31、中黄 46、五星 1 号、五星 2 号和东农 56 等。在豆奶加工过程中钝化或失活脂肪氧化酶的方法主要分为物理法、化学法和生物法。物理法中最主要的也是生产加工上常用的方法就是热处理法,包括干热法、湿热法、热烫法和热磨法等,主要通过加热抑制脂肪氧化酶或使其变性失活,达到降低豆腥味的目的。但是,过度的热处理会导致蛋白质变性、产品褐变,从而影响豆奶的营养价值^[21]。化学法包括酸碱处理法、加入抗氧化剂或还原剂和加入金属螯合剂法等,主要通过调节 pH 值、破坏脂肪氧化酶分子的二硫键和巯基、络合铁离子而抑制脂肪氧化酶的活性。生物学方法包括酶解法和发酵法。主要通过添加适量蛋白酶来消除其豆腥味^[22],豆奶经发酵可有效去除其豆腥味^[23]。在豆奶加工的最后阶段消除或掩盖已形成的豆腥味的方法主要有真空脱臭、添加风味掩盖物质等。

对于豆奶产品中苦涩味的控制,目前普遍采用的方法是去除苦味物质或添加苦味掩盖剂,但这与增加人体中的异黄酮、皂苷等生物活性成分的要求相背离。因此,治本的方法还是从调整加工工艺入手,抑制苦涩味物质的增加,从而使其低于人体能够感知的阈值。研究发现, β -葡萄糖苷酶是造成浸泡时黄豆苷元和染料木素增多的主因, δ -葡萄糖酸内酯能够竞争 β -葡萄糖苷酶结合位点,有效抑制黄豆苷元和染料木素的增多^[14]。对于具有苦味的大豆多肽,用羧肽酶 A 处理可以显著的降低苦味^[18]。环糊精可以屏蔽豆制品中的苦涩味物质^[24]。

4 豆奶其它风味的研究

4.1 豆奶香味

豆奶的气味是由数十种挥发性成分共同作用的结果。豆奶香味与豆腥味是共同存在的,在其具体的区分和鉴定研究还鲜见报道。赵毅^[5]借助 GC-MS 手段,结合热处理方法对可能引起豆奶香味的成分进行筛选和分析,认为苯甲醛、戊醛、2-庚烯酮、3-辛酮、3-辛醇和戊酸可能是产生豆奶香味的主要成分。

4.2 豆奶色泽

豆奶的色泽主要与大豆籽粒中包含的色素和非酶褐变有关。未加热的生豆奶,其色泽差异可能与大豆籽粒所包含的大豆黄素、花青素有关^[25]。经热处理的豆奶色变差主要与美拉德反应(Maillard reactions)造成的非酶褐变有关^[26]。生产上可以通

过在大豆浸泡过程中添加有机酸和无机酸,调整浸泡水的 pH 值浸出色素;改善工艺,避免美拉德反应的发生,减少褐变产物的生成,以改善豆奶的色泽。

4.3 豆奶口感

豆奶的口感可能与豆奶中的固体颗粒和植物纤维大小有关。豆奶中的固体颗粒大小受到加工工艺以及大豆贮藏蛋白的组成影响。研究发现缺失大豆球蛋白 A₁A₂亚基的品系,其固体颗粒大小显著小于其它品系^[27]。高压、高热处理可以改变豆奶的粒径大小,改善豆奶的口感风味^[28-29]。大豆中含有大量的植物纤维,利用熟浆工艺可以使终产品中的纤维细化,从而改善豆奶的口感,增加易吸收的植物纤维^[30]。

5 大豆中主要活性成分对豆奶风味品质的影响

5.1 不饱和脂肪酸

大豆籽粒中脂肪的平均含量在 18% ~ 22%, 不饱和脂肪酸含量达到 80% 以上^[31], 其中以亚油酸(20.0% ~ 50%) 和亚麻酸(2% ~ 13%) 为底物的酶促和非酶促的不饱和脂肪酸氧化反应是造成豆腥味、青草味的主因^[10-11]。

5.2 大豆异黄酮

大豆异黄酮与豆奶苦涩味有关,而苷元形式的黄豆苷元和染料木素被认为是造成苦涩味的主因,大豆籽粒中异黄酮的平均含量在 1% ~ 2%^[32], 97% 以上以糖苷形式存在,豆奶中的异黄酮,90% 以上为苷元形式^[33],大量糖苷形式的异黄酮在加工过程中转化为苷元形式。大豆异黄酮各组份的苦涩临界值在 $10^{-1} \sim 10^{-5} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 对于黄豆苷元及其对应的糖苷形式的临界值,黄豆苷元 > 黄豆苷元 = 乙酰基黄豆苷元 > 丙二酰基黄豆苷元;对于大豆黄酮和染料木素的异黄酮组分, β -葡萄糖苷形式 > 苷元形式分 \geq 乙酰基、丙二酰基^[29]。

5.3 大豆皂苷

大豆皂苷也与豆奶的苦涩味有关。大豆中皂苷的含量约 0.5%^[34], 不同形式的皂苷都具有苦味,A 类皂苷的苦涩味临界值为 $10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, E 类皂苷为 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, B 类皂苷为 $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[32], 因此由 A 类和 E 类皂苷构成的 DDMP 类皂苷的苦涩敏感度显著的高于 B 类皂苷^[17]。

5.4 大豆低聚糖

大豆籽粒中低聚糖含量约为 10%, 甜度较低, 约为为蔗糖的 70%, 是一种低甜度、低热量的天然甜味剂^[35], 与豆奶的甜度密切相关, 同时可作为双

歧杆菌发酵底物制作酸豆奶, 改善传统豆奶的风味^[36]。

5.5 大豆多肽

大豆多肽与豆奶的苦味有关。分子量大于 5 000 u 的大豆多肽, 疏水基团被包埋在分子内部, 不能与味蕾接触, 苦味不能被感知。分子量在 500 ~ 1 000 u 的大豆多肽苦味最强, 随着分子质量的减小, 苦味逐渐减弱^[37]。

6 不同加工处理方法对豆奶品质的影响

豆奶的品质与豆奶的加工工艺密切相关。经典的豆奶加工工艺有“康奈尔法”和“伊利诺伊法”, 包括浸泡、磨浆、过滤和煮浆 4 个基本步骤。大豆的吸水率直接影响大豆的加工特性, 充分适当的浸泡能够增加蛋白的溶出率, 降低豆奶中的颗粒大小, 改善豆奶的口感, 但过度浸泡会使豆奶产量降低, 固形物损失显著增加^[38]。湿磨能够影响豆奶的物理和化学特性, 而干磨只能起到粉碎的效果, 无论是高温磨浆还是低温磨浆都能显著减少豆腥味的生成, 但高温磨浆相比低温磨浆能够萃取更多的异黄酮进入豆奶^[39-40]。过滤能够将豆奶中的大颗粒滤除, 改善豆奶口感的同时提高豆奶的稳定性, 但是一部分异黄酮、膳食纤维等营养成分也会随之流失^[41]。传统的加热煮浆工艺, 能够在一定程度上去除豆奶的豆腥味, 但却易造成豆奶色泽灰暗、蛋白质变性以及营养成分的破坏。

为了改善豆奶的感官品质, 在提高豆奶的稳定性的同时, 减少营养成分的损失, 大量的新技术、新工艺得以推广应用。研究发现超高压均质技术能够显著的降低豆奶中的颗粒大小, 同时对豆奶中的微生物有显著的致死作用, 克服了过滤造成的固形物损失, 但也造成了一定程度的蛋白质变性^[42]。高压处理豆奶能够灭活微生物从而提高豆奶的稳定性, 显著的延长保藏时间^[43], 但也存在蛋白质变性的问题。随着压力的增强, 豆奶中的蛋白质含量减少, 脂肪含量增加^[44]。脉冲高强度磁场工艺能够最大程度的保持产品的营养成分和感官特点, 经脉冲高强度磁场处理过的豆奶, 其脂肪酸含量和矿物质含量显著的高于传统加热工艺制成的豆奶^[45]。发酵工艺能转化利用大豆中不易被人体利用的低聚糖, 提高易被人体吸收的苷元形式异黄酮含量, 同时能够去除豆奶中的豆腥味, 改善豆奶风味^[46-47]。

7 大豆豆奶风味评价研究进展

鉴于大豆制品伴有的不良风味, 科学家以及加

工企业始终致力于豆制品风味的改良。通过选育脂肪氧化酶缺失品种、改进生产工艺、研制脱腥新技术等方式,使得豆制品的风味得到很大的改善。在改进的过程中,豆制品风味感官评价必不可少,其广泛应用于豆制品加工配方的优化、豆制品生产工艺的优化以及新技术应用的效果检验中。另外,豆制品的风味评价在加工厂对原料的选取和产品质量的管控上发挥着重要的作用。

豆奶作为豆制品的重要一员,其风味评价的研究却相对落后,还未能形成类似于《商业部 SB/T 10137-93 面条制作与品尝评分标准》的标准化评价方法。《中华人民共和国轻工行业标准 QB/T 2132-2008》中,豆奶的感官要求仅仅对豆奶的外观、气味与滋味进行了规范。目前国内尚未建立一个统一规范的大豆豆奶的风味评价标准,因此科研工作者、豆奶加工企业的技术部门只能依据其对豆奶风味的理解,自行指定评价指标、指标权重以及评价流程等。李运冉等^[48]在研究苹果汁豆奶的生产配方中,对豆奶的色泽、香味以及口感进行了评价;曹冬梅等^[49]在对不同脱腥处理的豆浆进行感官评定时,以色泽、质感、豆香味、豆腥味为指标进行了打分,并以其认定的指标间权重关系进行了计算,评选出最优脱腥工艺,以指导大豆豆奶加工生产。

8 展 望

随着人们对大豆潜在营养和保健价值的深入了解,大豆豆奶的消费量将逐渐扩大,其对豆奶产品的风味要求也将日趋严格。目前用于改善豆奶风味的方法多种多样,但也存在着诸如蛋白质变性、营养成分被破坏等问题。在深入研究豆奶的色泽、香味、口感的基础上,培育豆奶风味品质优良的大豆新品种,结合豆奶加工工艺的改进,将是解决以上问题的重要途径。鉴于国内外针对不同大豆品种的豆奶风味评价标准尚未建立,给大豆豆奶加工企业原料的选取和豆奶专用大豆品种的选育造成诸多不便。因此,建立一套能够联系消费者、加工企业、育种家的豆奶风味评价标准对于大豆专用豆奶品质育种和豆奶加工业的发展均具有重要意义。

参考文献

- [1] 中华人民共和国轻工行业标准:QB/T 2132-2008. (The People's Republic of China industry standard:QB/T 2132-2008.)
- [2] 朱秀清,邵弘,富校秩. 对我国豆奶业发展的概述及展望[J]. 大豆通报,2003(5):27-28. (Zhu X Q, Shao H, Fu X Y. An overview and prospect on the development of milk industry in China [J]. Soybean Bulletin, 2003(5):27-28.)
- [3] Achouri A, Boye J L, Zamani Y. Soybean variety and storage effects on soymilk flavour and quality [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 43:82-90.
- [4] Lozano P R, Drake M, Benitez D, et al. Instrumental and sensory characterization of heat-induced odorants in aseptically packaged soy milk [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(8):3018-3026.
- [5] 赵毅. 脂肪氧化酶缺失型大豆加工特性及其豆奶加工工艺研究[D]. 北京:中国农业科学院研究生院,2006. (Zhao Y. Study on the processing characteristics and soymilk technology of soybean lipoxygenase null mutants [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2006.)
- [6] Smouse T H, Chang S S. A systematic characterization of the reversion flavor of soybean oil [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1967, 44(8):509-514.
- [7] Wilkens W F, Lin F M. Gas chromatographic and mass spectral analyses of soybean milk volatiles [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1970, 18(3):333-336.
- [8] Kobayashi A, Tsuda Y, Hirata N, et al. Aroma constituents of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] milk lacking lipoxygenase isozymes [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43:2449-2452.
- [9] Yuan S, Chang S K C. Off-flavor compounds in soymilk as affected by soybean variety and processing methods [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(2):426-431.
- [10] Moreira M A, Tavares S R, Ramos V, et al. Hexanal production and TBA number are reduced in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] seeds lacking lipoxygenase isozymes 2 and 3 [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1993, 41(1):103-106.
- [11] Min S, Yu Y, Yoo S, et al. Effect of soybean varieties and growing locations on the flavor of soymilk [J]. Journal of Food Science, 2005, 70(1):C1-C7.
- [12] 麻浩,官春云,何小玲,等. 大豆种子脂肪氧化酶缺失基因控制豆腥味效果的研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(4):367-372. (Ma H, Guan C Y, He X L, et al. Studies on the different effects of soybean null lipoxygenase genes on beany-flavor [J]. Scientia Agricultural Sinica, 2001, 34(4):367-372.)
- [13] Kudou S, Fleury Y, Welti D, et al. Malonyl isoflavone glycosides in soybean seeds (*Glycine max* Merrill) [J]. Journal of Agricultural and Biological Chemistry, 1991, 55(9):2227-2233.
- [14] Matsuura M, Obata A, Fukushima D. Objectionable flavor of soy milk developed during the soaking of soybeans and its control [J]. Journal of Food Science, 1989, 54(3):602-605.
- [15] 李丹,李晓磊. 大豆异黄酮豆奶的研制 [J]. 食品工业科技, 2007, 28(3):121-123. (Li D, Li X L. Development of soybean isoflavone-rich soy milk [J]. Science and Technology of Food Industry, 2007, 28(3):121-123.)
- [16] Okubo K, Iijima M, Kobayashi Y, et al. Components responsible for the undesirable taste of soybean seeds [J]. Japan Society for Bio-science, Biotechnology, Agrochemistry, 1992, 56(1):99-103.
- [17] Heng L, Vincken J P, van Koningsveld G, et al. Bitterness of saponins and their content in dry peas [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86(8):1225-1231.
- [18] Fujimaki M, Yamashita M, Okazawa Y, et al. Applying proteolytic enzymes on soybean. 3. Diffusible bitter peptides and free amino acids in peptic hydrolyzate of soybean protein [J]. Journal of Food Science, 1970, 35(3):215-218.
- [19] Stephan A, Steinhart H. Bitter taste of unsaturated free fatty acids

- in emulsions; contribution to the off-flavour of soybean lecithins [J]. *European Food Research and Technology*, 2000, 212: 17-25.
- [20] 丁安林,傅翠真,常汝镇,等.大豆中脂肪氧化酶同工酶的鉴定研究[J]. *作物学报*, 1994, 20(3): 373-374. (Ding A L, Fu C Z, Chang R Z, et al. A study for identification of soybean lipoxygenase isozymes [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1994, 20(3): 373-374.)
- [21] Kwok K C, Liang H H, Niranjan K. Optimizing condition for thermal processes of soy milk [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(17): 242-257.
- [22] Rosenthal A, Deliza R, Cabral L C, et al. Improvement of "whole" soymilk quality by enzymatic aid process [J]. *Alimentose Nutrio Araraquara*, 2003, 14(2): 131-136.
- [23] Blagden T D, Gilliland S E. Reduction of levels of volatile components associated with the "beany" flavor in soymilk by lactobacilli and streptococci [J]. *Journal of Food Science*, 2005, 70(3): M186-M189.
- [24] Szejtli J, Szenté L. Elimination of bitter, disgusting tastes of drugs and foods by cyclodextrins [J]. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 2005, 61(3): 115-125.
- [25] 阎进福.改善豆奶风味提高豆奶白度的探讨[J]. *食品科学*, 1992(5): 24-26. (Yan J Q. Discussion on improving the soymilk flavor and whiteness [J]. *Food Science*, 1992(5): 24-26.)
- [26] Kwok K C, MacDougall D B, Niranjan K. Reaction kinetics of heat-induced colour changes in soymilk [J]. *Journal of Food Engineering*, 1999, 40: 15-20.
- [27] Nik A M, Toshi S M, Woodrow L, et al. Effect of soy protein subunit composition and processing conditions on stability and particle size distribution of soymilk [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42: 1245-1252.
- [28] Cruz N, Capellas M, Hernandez M, et al. Ultra high pressure homogenization of soymilk; microbiological, physicochemical and microstructural characteristics [J]. *Food Research International*, 2007, 40(6): 725-732.
- [29] Zhang H K, Li L T, Tatsumi E, et al. High-pressure treatment effects on proteins in soy milk [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2005, 38(1): 7-14.
- [30] 俞小良,陈杰,孟岳成,等.豆浆前处理工艺对其粒径分布及感官品质影响的研究[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(3): 131-134. (Yu X L, Chen J, Meng Y C, et al. Study on the particle size distribution and sensory quality of soymilk influenced by pretreatment [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(3): 131-134.)
- [31] 傅翠真,常汝镇,邱丽娟.中国大豆品种营养品质评价[J]. *中国食物与营养*, 2000(3): 12-13. (Fu C Z, Chang R Z, Qiu L J. Evaluation on nutritional quality of soybean varieties in China [J]. *Food and Nutrition in China*, 2000(3): 12-13.)
- [32] Sun J M, Sun B L, Han F X, et al. Rapid HPLC method for Determination of 12 isoflavone components in soybean seeds [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2011, 10(1): 70-77.
- [33] Murphy P A, Song T, Buseman G, et al. Isoflavones in retail and institutional soy foods [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1999, 47(7): 2697-2704.
- [34] 吴素萍,田立强.大豆皂苷的生理功能及其提取纯化的研究现状[J]. *大豆科学*, 2008, 27(5): 883-887. (Wu S P, Tian L Q. Research status quo of extraction and purification and physiological functions of soybean saponin [J]. *Soybean Science*, 2008, 27(5): 883-887.)
- [35] 王凤军,刘树军.大豆低聚糖的开发与应用研究[J]. *饮料工业*, 2007, 10(8): 12-13. (Wang F J, Liu S J. Study on development and use of soybean oligosaccharide [J]. *The Beverage Industry*, 2007, 10(8): 12-13.)
- [36] Wang Y C, Yu R C, Chou C C. Antioxidative activities of soymilk fermented with lactic acid bacteria and bifidobacteria [J]. *Food Microbiology*, 2006, 23: 128-135.
- [37] 邓勇,冯学武.大豆多肽分子量分布与苦味的确定[J]. *中国农业大学学报*, 2001, 6(4): 98-102. (Deng Y, Feng X W. Determination of distribution of molecular weight and bitterness of soybean peptides [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2001, 6(4): 98-102.)
- [38] Pan Z, Tangatanavalee W. Characteristics of soybeans as affected by soaking conditions [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2003, 36: 143-151.
- [39] Mizutani T, Hashimoto H. Effect of grinding temperature on hydroperoxide and off-flavor contents during soymilk manufacturing process [J]. *Journal of Food Science*, 2004, 69: 112-116.
- [40] Prabhakaran M P, Perera C O. Effect of extraction methods and UHT treatment conditions on the level of isoflavones during soymilk manufacture [J]. *Food Chemistry*, 2006, 99: 231-237.
- [41] Rosenthal A, Deliza R, Cabral L C, et al. Effect of enzymatic treatment and filtration on sensory characteristics and physical stability of soymilk [J]. *Food Control*, 2003, 14: 187-192.
- [42] Polisele-Scopel F H, Hernández-Herrero M, Guamis B, et al. Comparison of ultra high pressure homogenization and conventional thermal treatments on the microbiological, physical and chemical quality of soymilk [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2012, 46: 42-48.
- [43] Smith K, Mendonca A, Jung S. Impact of high-pressure processing on microbial shelf-life and protein stability of refrigerated soymilk [J]. *Food Microbiology*, 2009, 26: 794-800.
- [44] Jung S, Murphy P A, Sala I. Isoflavone profiles of soymilk as affected by high-pressure treatments of soymilk and soybeans [J]. *Food Chemistry*, 2008, 111: 592-598.
- [45] Morales-de la Pea M M, Salvia-Trujillo L, Rojas-Graü M A, et al. Impact of high intensity pulsed electric fields or heat treatments on the fatty acid and mineral profiles of a fruit juice soymilk beverage during storage [J]. *Food Control*, 2011, 22: 1975-1983.
- [46] Hou J W, Yu R C, Chou C C. Changes in some components of soymilk during fermentation with bifidobacteria [J]. *Food Research International*, 2000, 33: 393-397.
- [47] Chun J, Kim J S, Kim J H. Enrichment of isoflavone aglycones in soymilk by fermentation with single and mixed cultures of *Streptococcus infantarius* 12 and *Weissella* sp. 4 [J]. *Food Chemistry*, 2008, 109: 278-284.
- [48] 李运冉,朱科学,周惠明.模糊数学评判苹果汁豆奶饮料的生产配方[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(11): 239-244. (Li Y R, Zhu K X, Zhou H M. Comprehensive evaluation of formula of apple juice-soymilk beverage based on fuzzy math [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(11): 239-244.)
- [49] 曹冬梅,王淑娟,王静.模糊数学在豆浆感官评定中的应用[J]. *沈阳农业大学学报*, 2004, 35(1): 39-41. (Cao D M, Wang S J, Wang J. Fuzzy mathematics of organoleptic assess bean milk [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2004, 35(1): 39-41.)