

利用3种凝固剂制作新鲜软质大豆干酪的工艺研究

李莹莹¹, 笪久香¹, 栾广忠^{1,2,*}, 崔亚丽¹, 胡亚云¹, 李志成^{1,2}

(1.西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2.陕西省农产品加工工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:以豆乳为原料, 分别以葡萄糖酸内酯、氯化镁和木瓜蛋白酶为凝固剂制作新鲜软质大豆干酪。用正交试验法对发酵剂、凝固剂及食盐的添加量等参数进行优化, 并将3种大豆干酪的主要理化指标及感官与牛奶新鲜软质干酪进行比较。结果表明, 以葡萄糖酸内酯为凝固剂制备新鲜软质大豆干酪的最适工艺参数为发酵剂添加量0.020%、葡萄糖酸内酯添加量0.20%、食盐添加量1.0%; 氯化镁为凝固剂的最适工艺参数为发酵剂添加量0.020%、氯化镁添加量0.20%、食盐添加量1.0%; 木瓜蛋白酶为凝固剂的最适工艺参数为发酵剂添加量0.010%、CaCl₂添加量0.02%、木瓜蛋白酶添加量0.05%、食盐添加量1.0%。3种大豆干酪的水分含量相近, 木瓜蛋白酶大豆干酪感官得分最高, 氯化镁大豆干酪的蛋白含量最高, 而葡萄糖酸内酯大豆干酪的产率最高。与相同工艺下制作出的牛乳新鲜软质干酪相比, 新鲜软质大豆干酪蛋白质含量与之相近, 脂肪含量只有牛乳干酪的1/3, 水分含量和出品率高于牛乳干酪, 而感官评分上大豆干酪略低。新鲜软质大豆干酪可作为一种牛乳新鲜软质干酪的低脂保健型替代品。

关键词:大豆干酪; 豆乳; 凝固; 质构; 加工工艺

Optimization of Preparation Process for Fresh Soft Soymilk Cheese Using Three Different Coagulants

LI Ying-ying¹, DA Jiu-xiang¹, LUAN Guang-zhong^{1,2,*}, CUI Ya-li¹, HU Ya-yun¹, LI Zhi-cheng^{1,2}

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. Shaanxi Engineering Center of Agro-product Processing, Yangling 712100, China)

Abstract: Three different coagulants, δ -gluconolactone, magnesium chloride and papain were individually used to prepare fresh soft soymilk cheese from cooked soymilk. Key process parameters such as inoculum amount of starter culture, coagulant level and NaCl level were optimized by means of orthogonal array design. Soymilk cheeses obtained from these three coagulants were comparatively tested for the major physical and chemical properties and sensory characteristics. The results showed that the optimal levels of starter culture, coagulant and NaCl were the same for the preparation of soymilk cheeses using δ -gluconolactone or magnesium chloride, which were 0.020%, 0.20% and 1.0%, respectively; the optimal levels of starter culture, CaCl₂, coagulant and NaCl for the preparation of papain-coagulated soymilk cheese were 0.010%, 0.02%, 0.05% and 1.0%, respectively. The soymilk cheeses obtained with the different coagulants had similar water contents. The papain-coagulated soymilk cheese received the highest sensory evaluation score, the magnesium chloride-coagulated one had the highest protein content, and the highest cheese productivity was achieved through coagulation with δ -gluconolactone. Although the cow's milk cheese and the soymilk cheese prepared under the same technological parameters had similar protein contents, the fat content of the latter represented only one-third of that of the former and the latter showed higher water content and productivity and a slightly lower sensory evaluation score. Fresh soft soymilk cheese may be considered as a low-fat healthy substitute for fresh soft cow's milk cheese.

Key words: soymilk cheese; soymilk; coagulation; texture; technology

中图分类号: TS214.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)16-0001-06

收稿日期: 2011-06-17

基金项目: 联合国大学-麒麟继续研究基金项目(Follow-up Research of UNU-Kirin Grant)

作者简介: 李莹莹(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为大豆蛋白深加工。E-mail: yingyingli9685@126.com

* 通信作者: 栾广忠(1968—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为植物蛋白深加工技术。E-mail: qlgz@nwsuaf.edu.cn

大豆是我国主要的生产农作物之一,作为植物油和蛋白来源,是世界上最重要的油料作物^[1]。根据美国农业部3月份报告,2010~2011年度世界大豆产量2亿5840万t,消费量2亿5661万t;2010年国内大豆播种面积880万hm²,产量1520万t,同比增加22万t,增幅1.47%^[2]。大豆及其制品是高营养的植物性食品,含有丰富的优质蛋白质^[3],大豆蛋白整体必须氨基酸组成较为平衡,可完全满足2岁以上人体对必须氨基酸的需求,FAO/WHO利用蛋白质消化率校正氨基酸分^[4]方法评价大豆蛋白的营养价值表明,其营养价值与乳蛋白、鸡蛋卵清蛋白等同。从医学保健观点看,大豆能预防和治疗很多疾病,如冠状病变、动脉硬化病、糖尿病、肠胃病、营养不良以及动脉硬化所引起的许多病症,都可以用大豆及其制品来预防和治疗^[5]。

干酪是在牛乳、奶油、部分脱脂乳、酪乳或其混合物中加入乳酸菌发酵剂和凝乳酶,使乳蛋白质凝固后,排出乳清得到的新鲜或成熟的乳制品^[6]。新鲜软质干酪是在排乳清后不经过压榨即可直接食用的干酪^[7],它介于天然硬质干酪和酸奶之间,在欧洲的消费量比酸奶还高,具有较高商业价值^[8]。若将豆乳代替牛乳,采用牛乳干酪的生产工艺,可得到一种新型豆制品——大豆干酪,其含盐量低、安全性好、营养丰富、功能性强^[9]。本实验以豆乳为原料,采用奶酪生产工艺,分别将葡萄糖酸- δ -内酯、氯化镁和木瓜蛋白酶作为凝固剂制作新鲜软质大豆干酪,以感官评价和校正产率为指标优化工艺条件,并在理化、营养和感官方面对3种凝固剂制作的新鲜软质大豆干酪与牛乳新鲜软质干酪进行比较。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大豆(蛋白质含量32.7%,水分含量10.2%) 江门市力信豆制品有限公司。

菌种:乳酸乳球菌乳亚种(*Lactococcus lactis* subsp. *lactis*)、乳酸乳球菌乳脂亚种(*Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*) 丹麦 Danisco 公司。酶:FROMASE 2200TL 美国 DSM Food Specialties 公司;木瓜蛋白酶(3500U/mg, papain) 美国 Sigma 公司。氯化钙(无水 CaCl₂)、氯化镁(MgCl₂·6H₂O)均为分析纯;葡萄糖酸内酯(GDL)市售。

1.2 仪器与设备

DK-98-I 电热恒温水浴锅 天津市泰斯特仪器有限公司;TA.XT plus 质构仪 英国 Stable Micro Systems 公司;UVmini-1240 紫外-可见分光光度计 岛津国际贸易(上海)有限公司;DHG-9140A 电热恒温鼓风干燥箱、DNP-9082 型电热恒温培养箱 上海精宏实验设备有限公

司;LWY84B 型控温式远红外消煮炉 四平电子技术研究所;半微量凯氏定氮仪;KDL-2303 多功能榨汁豆浆机 天津市达康电器公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

新鲜软质大豆干酪工艺按照邓艳等^[10]的方法略做修改如下:

大豆→浸泡→磨浆→煮沸→冷却→添加发酵剂→添加不同凝固剂→静置凝乳→凝乳切割→吊袋排乳清(过夜)→加食盐→成品

为了进行对比,按照邓艳等^[10]的方法,以牛乳为原料制备新鲜软质牛乳干酪。

1.3.2 工艺要点

豆乳的制备:大豆经挑选除去杂质和破裂豆粒,称取一定质量清洗后加入3倍蒸馏水室温下浸泡过夜,然后用干豆总量的8倍水平均分成两次进行磨浆(磨浆所用的水量应扣除干豆所吸收的水分),得到的生浆经200目尼龙布过滤后,加热煮沸,保持10min,冷却备用^[11]。

添加发酵剂:将杀菌煮沸后的豆乳冷却至36℃,添加发酵剂,并于36℃培养箱中保温发酵1h。

添加凝固剂:一定范围内,温度升高可缩短豆乳凝固时间并增强豆乳凝胶强度^[12-13],而本研究使用的发酵剂为嗜温型菌种,其最适生长温度在36℃左右,最高温度为40~45℃^[14-15],因此凝乳温度也不宜过高,定为40℃,否则不利于乳酸菌的继续作用。分别以GDL、MgCl₂和papain为凝固剂,称取一定量于豆乳中,混合均匀后用铝箔纸将烧杯密封,置于40℃水浴中使其凝固。本研究中将分别以GDL、MgCl₂、papain为凝固剂制备的大豆干酪分别记为G大豆干酪、M大豆干酪和P大豆干酪。

切割、排乳清:用干酪刀将凝乳切成1cm×1cm×1cm方块,转入干酪布中将其吊起排乳清,室温过夜,直至无乳析出。

加盐:将一定量的食盐加入排乳清后的凝块中,搅拌均匀。

1.3.3 凝固剂添加量的确定

称取50.0g豆乳于烧杯中,分别以豆乳质量为基准添加不同量的凝固剂,用磁力搅拌器搅拌1min,用铝箔将烧杯口密封,置于40℃水浴中,记录凝乳时间并在凝固后继续保温1h,然后分别进行:1)切割排乳清(方法同1.3.2节),按1.3.4节方法测定乳清OD值;2)按1.3.5节方法进行质构测定。其中GDL添加量为豆乳质量的0.20%、0.30%、0.40%、0.50%、0.60%;MgCl₂添加量为豆乳质量的0.10%、0.20%、0.30%、0.40%、0.50%;papain添加量为豆乳质量的0.02%、0.04%、0.06%、0.08%、0.10%。

1.3.4 乳清 OD 值的测定

将收集到的乳清用紫外-可见分光光度计在波长 500nm 处测定乳清 OD 值。OD 值越高,说明固形物流失越多,豆乳凝乳质地较差,因而得率也较低^[16]。

1.3.5 豆乳凝乳质构特性的测定

将 1.3.3 节中所述制备好的豆乳凝乳放入冰水混合物中冷却 30min 后转到冰箱中 4℃ 保存过夜。第 2 天取出室温条件下回温 30min,按质构仪预置的反向挤压程序进行质构测定。测定条件为:探头 PA/BE-d35,测试前速度 1mm/s,测试速度 1mm/s,测试后速度 10mm/s,测试距离 20mm,接触力 1g。每个样品重复 4 次^[17]。

1.3.6 新鲜软质大豆干酪工艺优化

在前期试验的基础上,以发酵剂添加量、凝固剂添加量和食盐添加量为试验因素,以校正出品率和感官得分为指标,采用 $L_9(3^4)$ 正交试验进行工艺优化^[18]。

1.3.7 感官评价

在皮钰珍等^[19]的方法上改进。挑选 10 名经过培训的品评员,分别从滋味、气味、组织状态和质地 4 个方面对新鲜软质大豆干酪进行感官评定。具体评分标准如表 1 所示。

表 1 新鲜软质大豆干酪感官评分表

Table 1 Criteria for sensory evaluation of fresh soft soymilk cheese

项目	特征	得分
滋味 (25 分)	具有大豆干酪特有的滋味	23~25
	滋味良好但不是很突出	20~22
	过咸,有明显的苦味、涩味、尖酸味、豆腥味等	15~19
气味 (25 分)	香味浓郁	23~25
	香味良好	20~22
	香味不明显且有异味	15~19
组织状态 (25 分)	组织极其细腻,易涂抹均匀	23~25
	组织较细腻,有一定阻力,不易涂抹均匀	20~22
	组织状态疏松,乳体独立,不易涂抹	15~19
质地	质地均匀,软硬适度	23~25
	质地基本均匀,稍软或稍硬	20~22
	质地粗糙,过软	15~19

1.3.8 出品率测定^[20]

$$\text{实测产率} / \% = \frac{\text{干酪质量}}{\text{原料豆乳质量} + \text{添加剂质量}} \times 100$$

$$\text{校正产率} / \% = \frac{\text{实测产率} \times (100 - \text{水分含量})}{100 - 80} \times 100$$

考虑到批次间、处理间水分含量的差异,需将实际出品率校正到水分含量为 80%,得到校正出品率。

1.3.9 理化指标测定

水分测定:GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》^[21];总氮测定:GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》^[22];脂肪测定:GB 5009.6—2003《食品中脂肪的测定》^[23]。

2 结果与分析

2.1 3 种不同凝固剂添加量对豆乳凝乳效果的影响

不同 GDL、 MgCl_2 和 papain 添加量对豆乳凝固时间、凝乳状态、乳清 OD 值、凝乳硬度和黏度的影响分别见表 2~4。可知,各种凝固剂用量增加都会缩短豆乳凝乳时间。

由表 2 可知,40℃ 条件下 GDL 凝固豆乳的时间较长,这是因为低温下 GDL 水解速率小,其释放葡萄糖酸速度缓慢,使得豆乳的酸化也更久^[24],从而其凝固时间也较长。随着 GDL 添加量增加,凝乳切割后的乳清 OD 值先增加后减小,这可能与凝乳状态有关。GDL 添加量为 0.40%~0.60% 时,凝块偏硬且带有明显的酸味;添加量为 0.20%~0.30% 时,凝乳状态佳。豆乳凝乳的硬度随 GDL 用量的增加而增大,当 GDL 添加量到 0.40% 时,凝块硬度已达 456g,此时质地偏硬,不适合加工软质大豆干酪;当 GDL 从 0.20% 增至 0.40% 时,凝块黏度从 141g·s 增至 247g·s,而当 GDL 添加量继续增至 0.60% 时,凝块黏度变化差异不显著($P > 0.05$),适当的黏度有利于凝块切割及乳清的排出。考虑到实际生产,0.20%~0.30% 左右的 GDL 添加量为宜。

由表 3 可看出,当 MgCl_2 添加量为 0.10% 时,豆乳 90min 内未凝固;添加量为 0.20% 时,豆乳凝固较快,组织状态好;当添加 0.30% 的 MgCl_2 时,豆乳凝固很快,质地较为疏松;而当 MgCl_2 添加量达到 0.40%~0.50% 时,豆乳迅速凝固,凝乳状态很差,质地松散,乳清 OD 值也较大。另外, MgCl_2 添加量从 0.20% 增加到 0.30% 时,凝块硬度和黏度都随之增大;而当添加量

表 2 不同 GDL 添加量对豆乳凝乳性能的影响

Table 2 Effect of GDL level on coagulation properties of soymilk

GDL 添加量 / %	凝乳时间	凝乳状态和风味	乳清 OD 值	凝乳硬度 / g	凝乳黏度 / (g·s)
0.20	83'	凝块组织状态好,质地适中,弹性好	0.167	165.263 ± 6.966	141.690 ± 6.188
0.30	39'30"	凝块组织状态好,质地适中,弹性好	0.393	270.638 ± 8.869	178.973 ± 10.978
0.40	34'	凝块光滑细腻,质地较硬,弹性好,有酸味	0.578	456.014 ± 12.290	247.037 ± 7.832
0.50	29'30"	凝块光滑,质地偏硬,酸味明显	0.347	629.896 ± 13.812	264.534 ± 8.086
0.60	22'50"	凝块光滑,硬度大,酸味较重	0.281	741.483 ± 6.150	255.407 ± 9.875

表3 不同 MgCl_2 添加量对豆乳凝乳性能的影响
Table 3 Effect of MgCl_2 level on coagulation properties of soymilk

MgCl_2 添加量/%	凝乳时间	凝乳状态	乳清 OD 值	凝乳硬度/g	凝乳黏度/(g·s)
0.10	90'未凝	—	—	—	—
0.20	3'20"	表面平整光滑, 质地较硬, 有弹性, 无絮渣	0.305	198.998 ± 8.718	149.085 ± 4.437
0.30	< 10"	表面较平整, 质地偏硬, 略有絮渣	0.806	259.226 ± 0.084	209.851 ± 7.458
0.40	< 5"	表面不平整, 质地松软粗糙, 乳渣较多, 下部乳清析出多	0.825	68.601 ± 0.857	44.463 ± 4.589
0.50	< 5"	表面不平整, 质地很软, 乳清析出严重, 结构松散	1.246	43.172 ± 3.277	25.495 ± 1.989

继续增至 0.40% 时, 凝块硬度和黏度都显著减小($P < 0.5$), 在后期切割过程中, 会有一部分蛋白、脂肪随乳清排出, 难以切割; 当 MgCl_2 用量增至 0.50% 时, 凝块硬度和黏度进一步减小。综合考虑, 0.20%~0.30% 的 MgCl_2 为凝固豆乳的适宜添加量。

表4 不同 papain 添加量对豆乳凝固时间的影响
Table 4 Effect of papain level on coagulation properties of soymilk

papain 添加量/%	凝乳时间	凝乳硬度/g	凝乳黏度/(g·s)
0.02	90'未凝	—	—
0.04	27'30"	86.785 ± 1.682	112.437 ± 3.068
0.06	17'40"	82.992 ± 1.063	111.524 ± 0.462
0.08	12'10"	79.821 ± 2.107	110.841 ± 4.398
0.10	9'30"	77.675 ± 1.315	107.575 ± 2.543

由表 4 可知, 不同的 papain 添加量所形成豆乳凝乳的状态基本一致(故未列出), 洁白有弹性, 表面平整光滑, 但质地都较软, 内部结构疏松。凝块硬度普遍较小, 为 77~86g 左右, 且当 papain 添加量从 0.04% 增加到 0.10% 时, 凝块硬度减小; 相对于硬度来说, 凝块黏度较大, 很难切割, 排出乳清浑浊, 并且倾倒时挂杯严重, 不同 papain 添加量下凝块的黏度变化差异不显著($P > 0.05$)。

由于添加 papain 所形成的凝乳过软, 排出的乳清接近乳白色, 蛋白流失比较多, 难以切割, 因此, 借鉴牛奶干酪的生产工艺, 在 papain 添加量 0.04% 的条件下, 分别添加 0.02%、0.04%、0.06%、0.08% 的 CaCl_2 , 测定其凝乳效果, 结果见表 5。可知, 添加 CaCl_2 可明显加速豆乳凝固; CaCl_2 添加量在 0.02%~0.04% 时, 乳清 OD 值随其用量增加而降低, 但当 CaCl_2 添加量大于 0.04% 后, 乳清 OD 值反而上升, 此时凝乳质地较为粗糙, 苦涩味较重。由表 5 还可看出, 随 CaCl_2 的增加, papain 凝乳的硬度和黏度也有所增大, 这是因为二价 Ca^{2+} 能够置换掉两性蛋白质粒子中的 H^+ 或蛋白质钠盐中的 Na^+ , 将肽链连接, 这种钙桥的形成可加快蛋白质的胶凝速度, 增加大豆蛋白网络组织结构的稳定性, 从而增强凝胶体的强度和硬度^[25]。可见, 添加少量 CaCl_2 与 papain 混合凝固豆乳, 更有利于凝乳的切割及乳清的排出。

表5 不同 CaCl_2 添加量对豆乳凝乳性能的影响
Table 5 Effect of CaCl_2 level on papain-induced coagulation properties of soymilk

CaCl_2 添加量/%	凝乳时间	乳清 OD 值	凝乳硬度/g	凝乳黏度/(g·s)
0	27'30"	—	86.785 ± 1.682	112.437 ± 3.068
0.02	15'	1.517	104.315 ± 2.893	126.710 ± 2.739
0.04	12'30"	0.556	109.940 ± 1.375	135.180 ± 1.240
0.06	8'	1.845	122.570 ± 5.964	143.190 ± 2.555
0.08	5'30"	1.918	131.834 ± 5.491	147.820 ± 1.594

2.2 新鲜软质大豆干酪加工工艺的优化

2.2.1 GDL 凝固豆乳制作新鲜软质大豆干酪加工工艺的优化

表6 G 大豆干酪正交试验设计及结果
Table 6 Orthogonal array design and experimental results for optimization of GDL-coagulated soymilk cheese preparation

试验号	A 发酵剂/%	B GDL/%	C 食盐/%	D(空列)	校正产率/%	感官评价/分
1	1(0.010)	1(0.20)	1(0.5)	1	46.92	86.6
2	1	2(0.25)	2(1.0)	2	46.34	83.0
3	1	3(0.30)	3(1.5)	3	45.36	79.6
4	2(0.015)	1	2	3	48.00	93.0
5	2	2	3	1	47.80	79.3
6	2	3	1	2	46.39	82.2
7	3(0.020)	1	3	2	49.96	90.7
8	3	2	1	3	45.78	83.8
9	3	3	2	1	47.34	85.3
校正	k_1	46.21	48.29	46.36	47.35	
产率	k_2	47.40	46.64	47.23	47.56	
	k_3	47.69	46.36	47.71	46.38	
	R	1.49	1.93	1.34	1.18	
感官	k_1	83.07	90.10	84.20	83.73	
评价	k_2	84.83	82.03	87.10	85.30	
	k_3	86.60	82.37	83.20	85.47	
	R	3.53	8.07	3.90	1.73	

以 G 大豆干酪成品的校正产率和感官分值为评价指标进行正交试验, 结果如表 6 所示。通过对 G 大豆干酪校正产率的极差分析得出, 各因素影响程度的顺序为 $B > A > C$, 即 GDL 添加量 > 发酵剂添加量 > 食盐添加量, G 大豆干酪校正产率的最适工艺参数为 $A_3B_1C_3$, 即

发酵剂添加量 0.020%、GDL 添加量 0.20%、食盐添加量 1.5%；影响 G 大豆干酪感官分值的顺序 GDL 添加量 > 食盐添加量 > 发酵剂添加量，G 大豆干酪感官评分的最适工艺参数为 $A_3B_1C_2$ ，即发酵剂、GDL、食盐添加量分别为 0.020%、0.20%、1.0%。这 2 个指标单独分析出来的最优条件并不完全一致，干酪的出品率是衡量其生产的主要经济指标^[26]，考虑到食盐添加量对 G 大豆干酪校正产率的影响较小，因此确定 G 大豆干酪加工工艺的最适参数为发酵剂添加量 0.020%、GDL 添加量 0.20%、食盐添加量 1.0%。通过验证实验，效果良好，G 大豆干酪的校正产率 48.20%，感官得分 91.2。

2.2.2 $MgCl_2$ 凝固豆乳制作新鲜软质大豆干酪加工工艺的优化

无机盐凝固豆乳制作新鲜软质大豆干酪正交试验结果见表 7，可知，影响 M 大豆干酪校正产率的因素主次顺序为： $MgCl_2$ 添加量 > 食盐添加量 > 发酵剂添加量，最佳工艺组合为 $B_1C_2A_2$ ，即 $MgCl_2$ 、食盐、发酵剂添加量分别为 0.20%、1.0%、0.015%；而影响 M 大豆干酪感官评分的因素主次顺序为发酵剂添加量 > 食盐添加量 > $MgCl_2$ 添加量，最适工艺参数为 $A_3C_2B_3$ ，即发酵剂、食盐、 $MgCl_2$ 添加量分别为 0.020%、1.0%、0.30%。综合 3 种因素对产品感官分值和校正产率的影响结果以及实际生产的需要， $MgCl_2$ 添加量对大豆干酪校正产率的影响很大，对感官分值的影响较小；而发酵剂添加量对其校正产率和感官分值的影响相反，因此，确定 M 大豆干酪加工工艺的最适参数为发酵剂添加量 0.020%、 $MgCl_2$ 添加量 0.20%、食盐添加量 1.0%。验证实验结果：M 大豆干酪的校正产率 39.20%，感官评价得分 89.8。

表 7 $MgCl_2$ 正交试验设计及结果

Table 7 Orthogonal array design and experimental results for optimization of $MgCl_2$ -coagulated soymilk cheese preparation

试验号	A 发酵剂/%	B $MgCl_2$ /%	C 食盐/%	D(空列)	校正产率/%	感官评价/分
1	1(0.010)	1(0.20)	1(0.5)	1	48.50	80.2
2	1	2(0.25)	2(1.0)	2	36.84	84.3
3	1	3(0.30)	3(1.5)	3	35.02	83.0
4	2(0.015)	1	2	3	50.15	88.1
5	2	2	3	1	35.40	83.4
6	2	3	1	2	34.99	87.0
7	3(0.020)	1	3	2	48.03	86.3
8	3	2	1	3	33.43	86.0
9	3	3	2	1	34.95	91.4
k_1	40.12	48.89	38.97	39.62		
校正 k_2	40.18	35.22	40.65	39.95		
产率 k_3	38.80	34.99	39.48	39.53		
R	1.38	13.91	1.67	0.42		
k_1	82.50	84.87	84.40	85.00		
感官 k_2	86.17	84.57	87.93	85.87		
评价 k_3	87.90	87.13	84.23	85.70		
R	5.40	2.57	3.70	0.87		

2.2.3 papain 凝固豆乳制作新鲜软质大豆干酪加工工艺的优化

由 P 大豆干酪正交试验结果(表 8)可知，发酵剂、 $CaCl_2$ 、papain 和食盐添加量对 P 大豆干酪的校正产率和感官指标均有影响。其中 $CaCl_2$ 和 papain 添加量的影响较大，而发酵剂和食盐添加量的影响较小。由校正产率得到 P 大豆干酪的最适工艺参数为 $CaCl_2$ 添加量 0.02%、papain 添加量 0.03%、食盐添加量 1.0%、发酵剂添加量 0.015%~0.020%；由感官分值得到其最适工艺参数为 papain 添加量 0.05%、 $CaCl_2$ 添加量 0.02%、食盐添加量 1.0%、发酵剂添加量 0.010%。通过因素对每个指标影响的主次顺序及实际生产综合考虑，得 P 大豆干酪最适工艺参数为 $CaCl_2$ 添加量 0.02%、papain 添加量 0.05%、食盐添加量 1.0%、发酵剂添加量 0.010%。通过验证实验，得到 P 大豆干酪的校正产率 36.06%，感官得分 93.1。

表 8 papain 正交试验设计及结果

Table 8 Orthogonal array design and experimental results for optimization of papain-coagulated soymilk cheese preparation

试验号	A 发酵剂/%	B $CaCl_2$ /%	C papain/%	D 食盐/%	校正产率/%	感官评价/分
1	1(0.010)	1(0.02)	1(0.03)	1(0.5)	34.81	87.3
2	1	2(0.03)	2(0.04)	2(1.0)	32.76	82.7
3	1	3(0.04)	3(0.05)	3(1.5)	32.71	89.0
4	2(0.015)	1	2	2	34.18	82.7
5	2	2	3	3	33.17	86.8
6	2	3	1	1	35.05	85.3
7	3(0.020)	1	3	3	35.45	91.1
8	3	2	1	1	33.64	79.4
9	3	3	2	2	33.31	84.9
k_1	33.43	34.81	34.50	33.76		
校正 k_2	34.13	33.19	33.42	34.42		
产率 k_3	34.13	33.69	33.78	33.51		
R	0.71	1.62	1.08	0.91		
k_1	86.33	87.03	84.00	86.33		
感官 k_2	84.93	82.97	83.43	86.37		
评价 k_3	85.13	86.40	88.97	83.70		
R	1.40	4.07	5.53	2.67		

2.3 新鲜软质大豆干酪理化指标测定结果

根据正交试验得到的优化工艺组合分别制作 3 种新鲜软质大豆干酪，主要理化指标及其与牛乳新鲜软质干酪的对比见表 9。3 种大豆干酪的蛋白质含量有所差别，其中 P 大豆干酪的蛋白含量较低，说明在排乳清过程中其蛋白损失较大，出品率也相对较低；而 M 大豆干酪的蛋白含量最高。3 种大豆干酪的水分含量均在 80% 左右，由于其水分含量高，且在工艺过程中未进行成型压榨，可将其作为一种涂抹型软质干酪直接食用，或用于涂抹面包，也可作为配料添加到其他食品中，其

口感细腻, 风味良好。感官上还可看出, P 大豆干酪的得分最高, 其风味良好, 组织状态最为细腻, 表面光滑, 具有良好的流动性, 口感柔软、润滑, 涂抹性好; 而 G 和 M 大豆干酪的质地相近, 涂抹性较好, 但组织略为粗糙, 带有少许颗粒。



GDL 大豆干酪 MgCl₂ 大豆干酪 papain 大豆干酪

图 1 3 种新鲜软质大豆干酪

Fig.1 Soymilk cheeses prepared in this study using different coagulants

本研究采用同样的工艺制作牛奶新鲜软质干酪发现, 牛乳比豆乳更易排出乳清, 因此奶酪的水分含量相对于大豆干酪较低; 出品率也远低于大豆干酪; 蛋白质含量与大豆干酪接近; 脂肪含量高于大豆干酪。对大豆干酪和奶酪进行感官比较发现, 奶酪的感官得分略高, 与大豆干酪所呈现的淡黄色不同, 奶酪呈洁白的颜色; 在滋味上 4 种产品的得分差异不大, 大豆干酪具备大豆特有的豆香味, 而奶酪具有其浓郁的乳香滋味; 在气味、组织状态和质地上, 奶酪的得分均稍高于大豆干酪, 大豆干酪的气味并不十分突出, 奶酪赋有的奶香气味浓郁, 而且由于奶酪的水分含量较低, 因此具有一定的可塑性, 且涂抹型更好。通过以上分析可以看出, 新鲜软质大豆干酪作可以为一种牛乳新鲜软质干酪的低脂保健型替代品。

表 9 豆乳与牛乳软质新鲜干酪的主要理化指标

Table 9 Major physical and chemical parameters of soymilk cheeses prepared in this study using different coagulants

干酪种类	蛋白质/%	脂肪/%	水分/%	校正产率/%	感官评价/分
G大豆干酪	9.82 ± 0.06 ^a	5.57 ± 0.13 ^a	80.99 ± 0.16 ^a	48.55 ± 0.49 ^a	91.2
M大豆干酪	11.40 ± 0.05 ^a	6.26 ± 0.09 ^b	79.46 ± 0.23 ^b	39.54 ± 0.32 ^b	89.8
P大豆干酪	9.59 ± 0.08 ^c	6.56 ± 0.14 ^b	79.31 ± 0.34 ^b	35.52 ± 0.50 ^c	93.1
牛乳新鲜软质干酪	10.58 ± 0.18 ^b	18.60 ± 0.19 ^a	60.52 ± 0.42 ^c	22.27 ± 0.45 ^d	94.0

注: 肩标不同字母表示在 $P < 0.05$ 的置信区间内存在差异。

3 结 论

3.1 用 GDL 凝固豆乳制作新鲜软质大豆干酪的最适工艺参数为发酵剂添加量 0.020%、GDL 添加量 0.20%、食盐添加量 1.0%; 用 MgCl₂ 凝固豆乳制作新鲜软质大豆干酪的最适工艺参数为发酵剂添加量 0.020%、MgCl₂ 添加量 0.20%、食盐添加量 1.0%; 以 papain 为凝固剂制作新

软质大豆干酪的最适工艺参数为发酵剂添加量 0.010%、CaCl₂ 添加量 0.02%、papain 添加量 0.05%、食盐添加量 1.0%, 可得到较高的大豆干酪产率及较好的产品品质。

3.2 3 种凝固剂凝固豆乳所制作的新鲜软质大豆干酪中, 以木瓜蛋白酶制作的大豆软质干酪感官得分最高, 氯化镁制作的大豆软质干酪蛋白含量最高, 而 GDL 大豆软质干酪的产率最高。与奶酪相比, 蛋白质含量接近, 而感官评分稍低。

3.3 理化指标及感官评分的比较结果说明, 新鲜软质大豆干酪可作为新鲜软质牛乳干酪的低脂保健型替代品。

参考文献:

- [1] 武书庚, ACASIO U A. 大豆及豆粕的加工和储运[J]. 中国畜牧杂志, 2010, 46(4): 57-62.
- [2] 王恩慧. 2010年中国大豆市场形势分析及2011年展望[J]. 农业展望, 2011(2): 6-10.
- [3] CHUMCHUERE S, MACDOUGALL D B, ROBINSON R K. Production and properties of a semi-hard cheese made from soya milk[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2000, 35(6): 577-581.
- [4] YOUNG V R. Soy protein in relation to human protein and amino acid nutrition[J]. Am Diet Assoc, 1991, 91(7): 825-835.
- [5] 王绶. 从营养、医学及社会发展的角度看大豆的价值[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2009, 29(3): 193-197.
- [6] 骆承庠. 乳与乳制品工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [7] 苏永红, 鄂卫峰, 杨大毅, 等. 软质干酪工艺研究[J]. 中国乳品工业, 2004, 32(11): 21-23.
- [8] 魏玮, 赵征. 新鲜软质干酪加工工艺的研究[J]. 中国乳品工业, 2007, 35(2): 29-31.
- [9] 李理, 陈则华, 闵建, 等. 不同菌种大豆干酪后熟过程的研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(2): 95-99.
- [10] 邓艳, 李开雄, 刑震, 等. 新疆特色酸凝奶酪加工工艺的研究[J]. 食品科技, 2008, 33(4): 80-82.
- [11] 栾广忠, 程永强, 李里特, 等. 碱性蛋白酶 Alcalase 凝固豆乳过程的流变学特性变化[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(2): 90-95.
- [12] 栾广忠. 碱性蛋白酶 Alcalase 凝固豆乳机理的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [13] 刘志胜. 豆腐凝胶的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2000.
- [14] 许文江, 林丽仙, 陈移亮. 乳球菌 L529 的生长条件试验[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2003, 24(4): 411-414.
- [15] 董明盛, 贾英民. 食品微生物学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2006.
- [16] 顾瑞霞, 高玉春. 大豆干酪的研制: 豆乳凝乳条件的研究[J]. 江苏农学院学报, 1994, 15(3): 66-69.
- [17] NOH E J, PARK S Y, PAK J I, et al. Coagulation of soymilk and quality of tofu as affected by freeze treatment of soybeans[J]. Food Chemistry, 2005, 91(4): 715-721.
- [18] 郑志强, 赵征, 魏玮, 等. 霉菌成熟软质干酪工艺参数优化的研究[J]. 中国乳品工业, 2007, 35(6): 17-20.
- [19] 皮钰珍, 王淑琴, 杜阿楠, 等. 软质干酪凝乳特性的研究[J]. 食品科技, 2007, 32(4): 103-105.
- [20] LUCEY J, 王莉. 干酪产出量(续)[J]. 中国乳品工业, 1995, 23(6): 300-301; 285.
- [21] GB/T 5009.3—2010 食品中水分的测定[S].
- [22] GB/T 5009.5—2010 食品中蛋白质的测定[S].
- [23] GB/T 5009.6—2003 食品中脂肪的测定[S].
- [24] TSENG Y C, XIONG Y L. Effect of inulin on the rheological properties of silken tofu coagulated with glucono- δ -lactone[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 90(4): 511-516.
- [25] 乔文红, 李里特. 豆腐凝胶形成影响因素的研究进展[J]. 食品科学, 2007, 28(6): 363-366.
- [26] LOPEZ M B, LUNA A, LAENCINA J. Cheese-making capacity of goat's milk during lactation: influence of stage and number of lactations[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1999, 79(8): 1105-1111.