



新型酸凝豆腐制作工艺的优化

汪建明, 李立英, 耿媛

(天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457)

摘要: 研究混合乳酸菌发酵豆浆制得酸凝豆腐. 研究了豆浆浓度、培养时间、培养温度、接种量、食用胶对制备酸凝豆腐的影响. 通过单因素实验和正交实验确定制备酸凝豆腐的最佳条件: 可溶性固形物含量为 12.5%, 接种量(菌种 CYY-122 与 SVV-21 的比例为 1:2)为豆浆体积的 4.0%, 卡拉胶的添加量为 1.4%, 培养时间为 5 h, 培养温度为 39 °C. 在该条件下酸凝豆腐的凝胶强度为 25.6 g/cm², 持水率为 69.82%, 水分含量为 84.34%, 蛋白质含量为 6.67%, 呈白色、乳白色, 有豆香味, 无异味, 块形完整, 软硬适中, 有弹性, 均符合 GB/T 22106—2008 的要求.

关键词: 乳酸菌; 豆腐; 酸凝乳

中图分类号: TS214.2

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2012)04-0021-06

Optimization of New Acid Coagulation Tofu Making Process

WANG Jianming, LI Liying, GENG Yuan

(College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology,
Tianjin 300457, China)

Abstract: The process of a new acid coagulation tofu with soybean milk was studied. The milk was fermented after being mixed with lactic acid bacteria. The coagulating factors of the new acid coagulation tofu were discussed, which included soybean milk concentration, incubating time and temperature, the inoculated amount and the edible gum additives. Based on single factor and orthogonal design experiments, the optimum conditions of the new process to make acid coagulation tofu were determined as follows: soybean milk concentration was 12.5%, the fermentation time at a temperature of 39 °C was 5 hours, the inoculating amount was 4.0%, the proportion of strains CYY-122 and SVV-21 was 1 to 2, and the carrageen additive was 1.4%. Under the optimum conditions, the rate of water holding of the new acid coagulation tofu was 69.82%, the gelatin strength 25.6 g/cm², the moisture 84.34%, and the protein 6.67%. The final product was white or milky white and elastic, which had a complete structure, moderate hardness and a nice bean flavor without any peculiar smell. All the indicators were in line with the standards of GB/T 22106-2008.

Key words: lactobacillus; tofu; acid coagulation

豆腐是中国的传统食品, 因其价格低廉、营养丰富而受到人们的喜爱. 豆腐中蛋白质含量很高, 蛋白质消化率 92%~96%^[1]. 我国传统的豆腐生产尽管产量很大, 但发展缓慢, 长期以来以单一大豆为原料, 产品品种少, 色泽单调, 保存期短, 由此制约了行业的发展. 近年来国内外研究人员对新型豆腐的制备进行了大量研究, 丰富了豆腐的品种, 增加了豆腐的营养^[2].

随着科学技术的发展, 人民生活水平的提高, 人们对食品的要求越来越多, 尤其是对食品的营养价值要求更高. 自从酸奶问世后, 人们逐渐认识到乳酸菌系列产品的营养价值^[3]. 目前利用乳酸菌发酵豆浆生产酸豆奶的研究已有很多, 且国内外市场上均有酸豆奶上市. 但由于豆腥味及酸豆奶自由水分离现象等原因影响了人们的接受程度, 酸豆奶的消费量是很低的^[4].

收稿日期: 2012-01-05; 修回日期: 2012-05-20

基金项目: 天津市科技支撑计划重点项目(11ZCKFNC01800); 天津科技大学科学研究基金资助项目(20100214)

作者简介: 汪建明(1972—), 女, 新疆库尔勒人, 教授, 博士, wangjianming@tust.edu.cn.

本研究基于酸豆奶的生产工艺和豆腐酸凝固的原理,通过在豆浆中接种乳酸菌发酵产酸进行凝乳,并同时添加食用胶增加其持水性,制成酸凝豆腐.该豆腐洁白细嫩、富有弹性、切而不散,改善了内酯豆腐偏软、卤水豆腐保水性差的缺点,将成为人们日常生活中常吃的豆腐,开拓豆腐的消费市场,具有重要的应用价值和广阔的发展前景.

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 原 料

天津市售大豆.

1.1.2 菌 种

CYY-122 保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌 (*Bulgaria lactobacillus*, *Streptococcus thermophilus*)、SVV-21 保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌 (*Bulgaria lactobacillus*, *Streptococcus thermophilus*), 荷兰 DSM 公司.

1.1.3 试 剂

可溶性淀粉(食品级),天津顶峰淀粉开发有限公司;海藻酸钠(食品级),烟台市瑞隆海洋生物制品有限公司;黄原胶(食品级),天津文华国际贸易有限责任公司;卡拉胶(食品级),金凤凰卡拉胶有限责任公司.

1.1.4 仪 器

AB204-N 电子分析天平、FE-20 pH 计,梅特勒托利多仪器有限公司;752E 紫外-可见分光光度计,日本岛津公司;DGG-101 电热鼓风干燥箱,天津天宇机电有限公司;DHP 电热恒温培养箱,湖北省黄石市医疗器械厂;WYT-4 手持式糖量计,泉州中友光学仪器有限公司;TA.XT2i.质构测试仪,Stable Micro Systems 公司;W4 胶体磨,温州市东海机器制造厂;分离式磨浆机,沈阳第三机械有限责任公司;K9840 型凯氏自动定氮装置,济南海能仪器有限公司.

1.2 工 艺 流 程 及 操 作 要 点

1.2.1 原 料 的 选 择

选择颗粒饱满,无霉变,无病斑的大豆.去除杂质后,洗涤干净.

1.2.2 浸 泡

大豆定量,加水浸泡(豆水比为 1:3 左右).浸泡水的水温以 25℃为宜,浸泡 8~10 h.浸豆结束的标准是豆胀后不露水面,两瓣劈开成平板,水面有少

量气泡,浸泡后的大豆用清水冲洗干净即可磨豆.

1.2.3 磨 浆

大豆与磨浆水量的质量比为 1:6,大豆与水同时缓慢加入到分离式磨浆机中,磨完之后再 将豆浆和豆渣缓慢加入到分离式磨浆机中重复 2 次.

1.2.4 煮 浆

煮浆时,要求 20 min 内达到 100℃,最多不应超过 30 min,在 98~100℃沸腾 5 min 左右,煮浆必须一次性煮熟,严禁复煮.

1.2.5 凝 乳

待豆浆冷却后,加入食用胶和乳酸菌搅拌均匀,在 37℃左右的恒温培养箱中发酵 6 h,保温、成型.

1.2.6 成 品

将凝结好的豆腐进行包装,即为成品.

1.3 品 质 控 制

1.3.1 酸 度 测 定

pH 值用 pH 计测定.

1.3.2 得 率 的 测 定

将制作好的酸凝豆腐在室温下静置 5 min 后称量,计算每 100 g 大豆所得到的鲜豆腐的质量^[5].

1.3.3 持 水 率 的 测 定

酸凝豆腐的持水率是按照李云等^[6]的方法进行测定.将试样切成直径为 20 mm,高为 30 mm 的圆柱体,称质量(m_1)后放置在多层滤纸上,上面罩以 50 mL 的烧杯,以防止水分蒸发,避光放置 2 h 后取出,称质量(m_2),按照公式(1)计算持水率.

$$\text{持水率} = 1 - \frac{m_1 - m_2}{0.95m_1} \quad (1)$$

1.3.4 凝 胶 强 度 的 测 定

酸凝豆腐的凝胶强度按照高丽^[7]的方法进行测定,将凝乳样品储放 10 h 后,整块取出,呈圆柱状,直径 90 mm,高度 40 mm.然后放在质构仪上进行分析,作穿刺实验.测前速度为 1.5 mm/s,测试速度为 1.0 mm/s,测后速度为 1.0 mm/s,样品压缩深度为 7 mm,触发所需的力为 1.0 g,使用 P/0.5 探头,记录最大压缩时的压力,每块豆腐测定 4 个点.凝胶强度是指探头穿破豆腐时所受到的最大的力.

1.3.5 可 溶 性 固 形 物 含 量 测 定

在 20℃用 WYT-4 手持式糖量计测量待测样液的折光率^[8],并用折光率与可溶性固形物含量的换算表^[9]查得可溶性固形物含量.

1.3.6 感 官 评 价

实验组织一个 10 人评价小组,按照表 1 感官评

分标准表对酸凝豆腐的色泽、风味、口感、组织形态作感官评价。

表 1 豆腐感官评分标准

Tab. 1 Sensory evaluation standards of tofu

评分项目	评分标准	得分
色泽	呈淡黄色,光泽光亮均一	25
风味	浓郁的豆香味,无馊味、异味	25
口感	口感细腻,有弹性,无颗粒感	25
组织状态	光滑完整且均匀,韧性较好,无上清液	25

2 结果与讨论

2.1 豆浆的可溶性固形物含量对豆腐凝乳的影响

选取豆浆的可溶性固形物含量为 9.5%、11.0%、12.5%、14.0%的豆浆,分别接种豆浆体积 1.0%的混合菌种 CYY-122 和 SVV-21,在 37 °C 恒温培养箱中发酵 6 h,然后保温、成型,测定每组样品的豆腐得率并进行感官评价,结果见表 2。

表 2 可溶性固形物含量对酸凝豆腐的感官评价及得率的影响

Tab. 2 Effects of soy-bean milk concentration on tofu's sensory evaluation and yield

可溶性固形物含量/%	菌种	感官评价得分					豆腐得率/%
		色泽	风味	口感	组织形态	总分	
9.5	CYY-122	15	15	15	13	58	540.89
	SVV-21	15	16	14	13	58	550.60
11.0	CYY-122	18	17	15	18	68	536.80
	SVV-21	17	18	15	18	68	543.58
12.5	CYY-122	23	19	19	23	84	528.94
	SVV-21	22	20	19	23	84	533.52
14.0	CYY-122	21	21	19	23	84	522.40
	SVV-21	21	20	20	23	84	528.12

从表 2 中可以看出,豆腐得率是随着豆浆可溶性固形物含量的增大而降低。这是因为乳酸菌在豆浆中发酵产生乳酸,降低豆浆溶液的 pH,使其接近蛋白质的等电点,使蛋白质从溶胶状态转变为凝胶状态,蛋白质凝胶网络中包含了水分,但豆腐中水分的比例远大于蛋白质比例,随着豆浆可溶性固形物含量增加,蛋白质含量虽有所增加,但水的相对分子质量远远小于蛋白质的相对分子质量,因此增加的蛋白质分子数远远少于减少的水分子数,蛋白质凝胶网络中包含的水分子少,或者蛋白质凝胶网络中缺少水分子的参与而形成不完全凝胶网络,相比之下豆腐得率降

低。经感官评价结果得出,豆浆的可溶性固形物含量为 9.5%~11.0%时,豆腐的豆香味较淡,质地软,块型不完整;豆浆的可溶性固形物含量为 12.5%~14.0%时,豆腐具有豆香味,块型完整,质地细腻,考虑生产成本,选择 12.5%为最佳浓度值。

2.2 培养时间对豆腐凝乳的影响

选取可溶性固形物含量为 12.5%的豆浆分别接种豆浆体积 1.0%的菌种 CYY-122 和 SVV-21,置于 37 °C 恒温培养箱中发酵,在不同发酵时间内观察凝乳情况,测定 pH 并进行感官评价,结果见表 3。

表 3 不同培养时间的酸凝豆腐的感官评价结果及 pH 变化

Tab. 3 Results of tofu's sensory evaluation and pH changes in different fermentation time

时间/h	菌种	感官评价得分					pH
		色泽	风味	口感	组织形态	总分	
3	CYY-122	15	17	18	15	65	6.75
	SVV-21	15	17	18	15	65	6.75
4	CYY-122	17	18	20	20	75	6.72
	SVV-21	17	18	20	20	75	6.72
5	CYY-122	23	23	23	23	92	5.78
	SVV-21	23	23	23	23	92	5.70
6	CYY-122	23	23	20	23	89	5.42
	SVV-21	23	23	20	23	89	5.32
7	CYY-122	24	18	20	20	82	5.04
	SVV-21	24	18	20	20	82	4.97

由表 3 看出,发酵 4~7 h 时, pH 降低幅度大,随着发酵时间的延长,发酵产物进一步积累,产酸量随之增加. 观察到大约在 pH 6 时,豆浆开始凝固. 随着发酵时间的延长,不仅增大发酵周期,且易污染杂菌,对风味及组织状态产生影响. 由感官评价可知,发酵 3~6 h,香味越来越浓,酸味有所增加. 综合发酵时间、pH 及产品的香味等几方面的因素,得出发酵时间为 5 h 最佳.

2.3 温度对豆腐凝乳的影响

选取可溶性固形物含量为 12.5%的豆浆,分别接种豆浆体积的 1.0%的菌种 CYY-122、SVV-21,在温度 37、38、39、40、41、42 °C 的恒温培养箱中发酵培养 5 h,然后保温成型,测定豆腐得率,其结果如图 1 所示.

本实验所用菌种的最适生长温度为 37~42 °C,因此选择 37~42 °C 作为单因素范围. 从图 1 中可以看出随着温度的升高,两种菌种发酵而得的豆腐得率均下降,37 °C 时豆腐得率比较高,此温度下乳酸菌发酵的代谢积累物最多,有利于豆腐凝乳,因此,实验所用菌种的最适发酵温度为 37 °C.

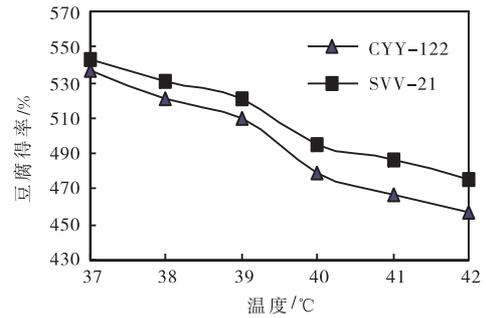


图 1 温度对豆腐得率的影响

Fig. 1 Effects of temperature on the yield of tofu

2.4 菌种对豆腐凝乳的影响

2.4.1 菌种种类对豆腐凝乳的影响

由表 2、表 3 和图 1 均表明,用不同菌种 CYY-122 和 SVV-21 对豆腐感官品质无影响,对豆腐得率影响也甚小,因此可以考虑将两种菌种混合发酵或者增加菌种添加量来研究对豆腐品质的影响.

2.4.2 菌种添加量对豆腐凝乳的影响

选取可溶性固形物含量为 12.5%的豆浆,按豆浆体积的 1.0%、2.0%、3.0%、4.0%的接种量称取菌种 CYY-122、SVV-21,置于 37 °C 恒温培养箱中发酵培养 5 h,测定豆腐得率,进行感官评价,结果见表 4.

表 4 菌种添加量对酸凝豆腐的感官评价及豆腐得率的影响

Tab. 4 Effects of inoculating amount on tofu's sensory evaluation and yield

接种量/%	菌种	感官评价得分					豆腐得率/%
		色泽	风味	口感	组织形态	总分	
1.0	CYY-122	21	18	15	16	70	537.33
	SVV-21	20	16	15	16	67	543.56
2.0	CYY-122	21	18	15	16	70	540.54
	SVV-21	20	17	15	17	69	550.67
3.0	CYY-122	22	19	19	22	82	554.86
	SVV-21	20	22	19	22	83	560.58
4.0	CYY-122	23	22	23	19	87	566.42
	SVV-21	22	22	19	23	86	570.77
5.0	CYY-122	18	18	23	19	78	550.34
	SVV-21	19	19	19	20	77	553.67

由表 4 可知,对于菌种 CYY-122 和 SVV-21,当接种量达到 4.0%之前,豆腐得率随着菌种添加量的增加而增大,菌种添加量大于 4.0%时豆腐得率不断下降. 这是因为随着乳酸菌接种量的增加,发酵底物生成乳酸的速率和乳酸的生成量增加,使蛋白质充分凝结成凝胶状态,豆腐得率增加. 而接种量大于 4.0%时,由于乳酸菌过量,乳酸菌之间互相竞争发酵底物,影响乳酸菌发酵活力. 因此确定接种量为 4.0%.

2.4.3 菌种混合比例对豆腐凝乳的影响

选取可溶性固形物含量为 12.5%的豆浆,分别按菌种混合比例 1:1、1:2、1:3、2:3、2:1、3:1、3:2(CYY-122:SVV-21)接种 4.0%的菌种,置于 37 °C 下培养 5 h,测定每个试样的豆腐得率,进行感官评价,结果见表 5.

由表 5 可知,菌种比例(CYY-122:SVV-21)为 1:2 时豆腐的得率和感官评分均最高,说明所用的

两种菌种可以共同生存并能正常发酵,而且共同发酵效果优于单一菌种发酵的效果,所以最佳菌种比例(CYY-122:SVV-21)为1:2。

表5 不同的菌种比例对酸凝豆腐的感官评价及得率的影响

Tab. 5 Effects of proportion of the strains on the sensory evaluation and the yield of tofu

菌种比例	感官评价得分					豆腐得率/%
	色泽	风味	口感	组织形态	总分	
1:1	23	20	23	15	81	550.00
1:2	23	20	23	20	86	582.40
1:3	23	20	15	18	76	550.94
2:3	23	20	18	16	77	550.00
2:1	23	20	18	17	78	542.00
3:1	23	20	15	15	73	556.51
3:2	23	20	17	15	75	559.05

2.5 不同食用胶的添加量对豆腐凝乳的影响

可溶性固形物含量为12.5%的熟豆浆,按豆浆体积的4.0%的接种量称取混合菌种(CYY-122:SVV-21为1:2),然后分别加入1.0%、1.2%、1.4%、1.5%的可溶性淀粉,分别加入0.5%、0.7%、0.9%、1.0%的黄原胶,分别加入1.0%、1.2%、1.4%、1.5%的海藻酸钠,分别加入1.0%、1.2%、1.4%、1.5%的卡拉胶,置于37℃下培养5h,测定豆腐得率并进行感官评价,结果见表6。

表6 不同食用胶添加量对豆腐的感官评价及豆腐得率的影响

Tab. 6 Effects of edible gum additives on tofu's sensory evaluation and yield

食用胶	添加量/%	感官评价得分					豆腐得率/%
		色泽	风味	口感	组织形态	总分	
可溶性淀粉	1.0	20	15	17	20	72	670.40
	1.2	20	15	17	19	71	652.98
	1.4	20	16	17	20	73	670.56
	1.5	21	16	16	18	71	627.21
黄原胶	0.5	15	17	16	20	68	671.20
	0.7	15	18	15	21	69	682.29
	0.9	16	17	15	21	69	689.30
	1.0	15	17	15	21	68	688.08
海藻酸钠	1.0	20	17	18	17	72	535.26
	1.2	20	18	17	17	72	497.60
	1.4	19	18	20	18	75	609.34
	1.5	19	19	20	18	76	562.00
卡拉胶	1.0	23	24	25	24	96	669.78
	1.2	22	23	24	24	93	652.69
	1.4	22	23	23	23	91	632.91
	1.5	21	20	22	22	85	612.12

根据以上实验结果可知,添加可溶性淀粉可使豆

腐得率大幅增加,且豆腐块型较完整,口感柔软细腻,但豆香味弱,弹性较差.添加黄原胶可使豆腐得率大幅上升,豆腐颜色偏黄,有少量胶粒,豆香味弱,弹性较差.添加海藻酸钠后,豆腐得率增加的幅度较小,豆香味弱,弹性较差,出现少量胶粒.添加卡拉胶同样可大幅度提高豆腐得率,块型完整质地较细腻,弹性较好.因此可选择1.0%卡拉胶,此种食用胶不易产生胶粒,利于生产控制。

3.6 正交实验优化酸凝豆腐工艺条件

根据单因素实验,选择豆浆浓度(A)、菌种添加量(B)、食用胶的添加量(C)、培养时间(D)、温度(E)为主要考察因素作5因素4水平正交实验,以凝胶强度(F)和持水率(G)为测定指标,进而确定酸凝豆腐的最佳条件,其结果见表7、表8。

表7 豆腐凝乳条件正交实验

Tab. 7 Orthogonal comparison test of Tofu coagulation conditions

水平	A/%	B/%	C/%	D/h	E/℃	F/(g·cm ⁻²)	G/%
1	12.5	4.0	1.4	5.0	39	25.6	69.82
2	12.5	2.0	1.2	4.5	42	24.3	59.67
3	12.5	5.0	1.0	6.0	37	20.4	63.05
4	12.5	3.0	1.5	5.5	40	15.5	48.28
5	10.5	4.0	1.2	6.0	40	14.3	45.08
6	10.5	2.0	1.4	5.5	37	16.5	44.09
7	10.5	5.0	1.5	5.0	42	14.8	43.90
8	10.5	3.0	1.0	4.5	39	15.7	30.48
9	11.0	4.0	1.0	5.5	42	16.1	40.16
10	11.0	2.0	1.5	6.0	39	13.5	55.16
11	11.0	5.0	1.4	4.5	40	12.4	52.03
12	11.0	3.0	1.2	5.0	37	12.9	46.77
13	9.5	4.0	1.5	4.5	37	13.3	43.44
14	9.5	2.0	1.0	5.0	40	13.0	34.00
15	9.5	5.0	1.2	5.5	39	12.2	30.85
16	9.5	3.0	1.4	6.0	42	12.6	42.83

表8 正交实验结果方差分析表

Tab. 8 Variance analysis of the results of orthogonal array design experiments

方差来源	偏差平方和	自由度	方差	F值	显著性
A	182.412	3	24.315	9.280	*
B	26.952	3	3.593	9.280	
C	14.162	3	1.888	9.280	
D	7.502	3	1.000	9.280	
E	24.897	3	3.319	9.280	
误差	7.500	3			

由实验结果可知:各因素对结果的影响主次顺序为豆浆浓度、菌种添加量、温度、食用胶添加量、培养时间.在置信度为95%下,只有可溶性固形物含量为显著性因素,说明在酸凝豆腐形成过程中应严格控制

可溶性固形物含量. 因此确定 5 因素的最佳组合: 可溶性固形物含量为 12.5%, 接种量为豆浆体积的 4.0%, 卡拉胶的添加量为 1.4%, 培养时间为 5 h, 培养温度为 39 ℃. 在最佳组合条件下, 经 3 次实验验证, 凝胶强度可达到 25.6 g/cm², 持水率可达到 69.82%.

3 结 论

采用单因素与正交实验结合的方式, 优化了酸凝豆腐的工艺条件, 优化后得到的最佳参数: 可溶性固形物含量为 12.5%, 接种量(菌种 CYY-122 与 SVV-21 的比例为 1:2)为豆浆体积的 4.0%, 卡拉胶的添加量为 1.4%, 培养时间为 5 h, 培养温度为 39 ℃. 在该条件下的实验结果显示, 酸凝豆腐的凝胶强度达到 25.6 g/cm², 持水率达到 69.82%, 经过多次实验验证, 此优化得到的条件是凝乳过程的最优条件. 进一步对该酸凝豆腐进行产品分析, 其水分含量为 84.34%, 蛋白质含量为 6.67%; 并进行感官评价, 该产品呈白色、乳白色, 有豆香味, 无异味, 块形完整, 软硬适中, 有弹性, 均符合 GB/T 22106—2008 的要求^[10].

参考文献:

[1] 励建荣. 中国传统豆制品及其工业化对策[J]. 中国粮

油学报, 2005, 20(1): 41-44.

- [2] 黄舜荣. 新型豆腐的制备方法[J]. 广州食品工业科技, 2002, 18(2): 14-15.
- [3] Wood B J. The lactic acid bacteria in health and disease[M]. London and New York: Elsevier Applied Science, 1992: 69-115.
- [4] 乔支红. 乳酸菌发酵布丁豆腐生产工艺及其品质的研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2005.
- [5] Cai T, Chang K C. Processing effect on soybean storage proteins and their relationship with tofu quality[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 1999, 47: 720-727.
- [6] 李云, 华欲飞, 李向红. 大豆蛋白预先热聚集对其凝胶性质的影响[J]. 食品科技, 2007, 32(2): 29-32.
- [7] 高丽. 大豆蛋白的凝胶特性及其应用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007: 32.
- [8] 大连轻工业学院. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 57-65.
- [9] 张永华. 食品分析实验[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2006: 24-25.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 22106—2008 非发酵豆制品[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

责任编辑: 郎婧