

一种合生元切达奶酪的加工工艺优化

曾志丹^{1,2}, 吴爱娟^{1,2}, 黄 苓^{1,2}, 孙 洁^{1,2}, 曾小群^{1,2*}, 潘道东^{1,2}, 吴 振^{1,2}

(1. 宁波大学 食品与药学学院, 浙江 宁波 315832;

2. 浙江省动物蛋白食品精深加工技术重点实验室, 浙江 宁波 315832)

摘要: 为开发具有优良品质的合生元切达奶酪, 本试验研究了不同的发酵菌种比例、益生元组合以及发酵剂接种量、发酵时间和凝乳酶添加量对合生元切达奶酪的感官评价和质地的影响。由 Design Expert 模拟得到的工艺优化方案为: 嗜热链球菌与保加利亚乳杆菌菌液以 2:1 的体积比混合加入牛乳中发酵 10 h 获得生产发酵剂; 以 1.13% 的接种量加入至巴氏杀菌乳中发酵 3.76 h 后, 分别添加 $7.86 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 凝乳酶, 7.52 、 0.45 、 $2.02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的异麦芽低聚糖、水苏糖、棉子糖, 经凝乳加热后, 4°C 放置 3 周即可得到质地细腻、香味浓郁、色泽诱人的合生元切达奶酪。

关键词: 益生元; 合生元; 切达奶酪; 加工工艺; 质构分析

中图分类号: TS201

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2019) 02-0009-07

切达奶酪(Cheddar cheese)是由原奶经乳酸菌发酵制成的以酪蛋白为网络基本结构, 水分、脂肪球、乳酸盐与食盐等分散其间的固体乳制品^[1], 是世界上消费最多的一种奶酪^[2]。随着人们健康意识的增强, 感官品质和营养功能已逐渐成为消费者评价和选择切达奶酪的重要指标^[3-4]。在感官品质方面, 利用超滤及反渗透技术处理原料乳^[5], 改良菌种发酵剂^[6], 开发新型酶制剂^[7], 利用高压加速干酪成熟^[8]等新技术已应用于改善奶酪品质; 而减少脂肪含量成为改善奶酪营养功能的一个研究热点^[9], 但降低脂肪含量会导致某些磷脂和共轭亚油酸等营养成分缺失, 容易出现质构过硬、易破裂、难以咀嚼等质构缺陷^[10]。

益生元作为一种能改善宿主健康的食品成分, 能通过选择性地刺激一种或少数种菌落中的细菌的生长与活性而对宿主产生有益的影响^[11]。益生元与益生菌混合制成的合生元, 具有改善肠道菌群结构, 调节代谢水平^[12], 降低胆固醇、高血压、高血脂, 增强免疫功能, 预防龋齿^[13], 促进营养素合成, 预防癌症等功效^[14]。但目前尚未见添加益生元于切达奶酪中生产合生元奶酪的报道, 添加益

生元对奶酪品质的影响也未知。因此, 本实验以嗜热链球菌和保加利亚乳杆菌为发酵菌种, 选用异麦芽低聚糖、水苏糖和棉子糖 3 种益生元添加到凝乳中, 以开发出具有保健功能且品质优良的合生元切达奶酪。

1 材料与方法

1.1 试剂

嗜热链球菌(*Streptococcus thermophilus*)、保加利亚乳杆菌(*Lactobacillus bulgaricus*), 本实验室保藏; MRS 琼脂培养基、MRS 液体培养基, 青岛高科技工业园海博生物技术有限公司; 异麦芽低聚糖, 保龄宝生物股份有限公司; 水苏糖, 河南省神州神药业有限公司; 棉子糖, 巴斯夫生物化学有限公司; 生牛乳, 宁波市牛奶集团公司; 蔗糖, 义乌市泰兴食品厂; 小牛皱胃凝乳酶, 德国 Spinndad 公司。

1.2 仪器与设备

ESFSL-II 均质机, 上海仪驰实业有限公司; 电热恒温水浴锅、智能型恒温恒湿培养箱, 宁波江南仪器厂; TA.XT Plus 质构仪, 英国 Stable Micro Systems 公司。

收稿日期: 2018-03-20.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(41641052, 41406165); 宁波市科技富民项目(2017C10042)。

第一作者: 曾志丹(1994—), 女, 四川新都人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 食品微生物。E-mail: zengzhidan9411@163.com

*通信作者: 曾小群(1982—), 女, 四川仁寿人, 博士/副教授, 主要研究方向: 发酵食品加工。E-mail: zxqun3447@126.com

1.3 方法

1.3.1 合生元切达奶酪制备工艺流程

切达奶酪制备工艺流程如图 1 所示。

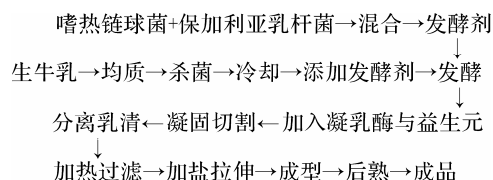


图 1 切达奶酪制备工艺流程

嗜热链球菌和保加利亚乳杆菌分别在斜面上活化 3 代后培养 18 h, $5\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 15 min, 去上清液后用生理盐水洗涤 3 次, 调整 OD_{600} 至 1.0, 按比例混合后以 1% 的接种量接种接种于巴氏灭菌乳中发酵 10 h 后制成生产发酵剂, 冷藏于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱内备用。

将均质后的 1 L 生牛乳经 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 巴氏杀菌 30 min, 以 1% 的接种量接种生产发酵剂发酵 6 h. 加热发酵乳至 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时加入凝乳酶 10 mg 与益生元, 形成凝乳后切割成 1 cm^2 的小方形, 并分离出乳清. 微波炉高火加热 35~55 s 后过滤多余的乳清, 反复加热过滤 3 次, 按乳固形物质量比加入 2% 无碘盐进行糅合与拉伸, 混合均匀后压制成型 8 h, 于相对湿度 85% 的 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养箱中后熟 3 周^[15]即可食用。

1.3.2 生产发酵剂的制备

将嗜热链球菌和保加利亚乳杆菌用生理盐水调整 OD_{600} 值至 1.0 后, 按 1:3、1:2、1:1、2:1、3:1、1:0、0:1 的比例混合培养, 以 1% 接种 MRS 液体培养基中, 每隔 2 h 测一次 OD_{600} 值. 同时以 1% 接种于牛乳中进行发酵, 牛乳凝固时停止发酵. 根据 OD_{600} 值反映出的菌液浓度并参照 GB19302-2010 标准进行感官评分, 选取最佳发酵菌种混合比例, 并确定终止发酵时间。

1.3.3 合生元切达奶酪益生元添加量的优化方案

固定嗜热链球菌和保加利亚乳杆菌混合体积比为 2:1, 接种量为 1%, 培养时间为 10 h, 温度为 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的培养条件. 由于异麦芽低聚糖和水苏糖具有高度保湿能力^[9-10], 加入后会带来切达奶酪质感与口感的改变, 一旦添加过量, 奶酪将难以形成酪蛋白网络. 利用软件 Design Expert 中的 Simple Lattice 设置异麦芽低聚糖、水苏糖、棉子糖的总添加量上限为 10 g(以每 kg 牛奶物计)设计添加方案。

利用水苏糖和棉子糖对乳杆菌具有增殖作用以及异麦芽低聚糖不能被链球菌所利用的特性, 对发酵菌种进行定向增殖. 将不同混合量的 3 种益生元添加入 MRS 培养基中, 在 600 nm 波光下测定 MRS 培养液的吸光值, 以吸光值绘制出乳酸菌的生长曲线。

1.3.4 合生元切达奶酪单因素试验设计

按合生元切达奶酪制作工艺流程, 在发酵温度 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, 凝乳酶添加量 5 mg 的条件下, 设置发酵剂添加量分别为 0.8%、1%、1.4%、1.8% 和 2% 的 5 个水平进行实验, 研究不同的发酵剂接种量对切达奶酪凝固时间和品质的影响; 在固定发酵剂接种量 1.4%, 凝乳酶添加量 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 发酵温度 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下, 设置发酵时间为 2、4、6、8、10 h 的 5 个水平进行实验, 探究不同发酵时间对切达奶酪凝固时间和感官评定的影响; 在固定发酵温度 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, 发酵剂接种量 1% 的条件下, 设置凝乳酶添加量为 2、4、6、8、10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 5 个水平进行实验, 以感官评分为主要评价指标, 探究不同凝乳酶添加量对切达奶酪凝固时间和感官评定的影响, 参照 GB25192-2010 感官评分标准, 综合中国消费者喜欢的奶酪口味^[16-17], 作为本试验合生元切达奶酪的检测标准(表 1)。

表 1 合生元切达奶酪的感官评分标准

评分项目	特征	得分
色泽外观 (30 分)	颜色淡黄无杂色, 表面光滑无裂纹	>20~30
	颜色淡黄偏白或者偏深, 表面较光滑, 有细微裂纹	>10~20
	颜色深黄色或有杂色, 表面不光滑且有裂纹	0~10
组织结构 (30 分)	质地细腻, 结构紧致, 弹性好, 易成型	>20~30
	质地较为均匀细腻, 结构紧致, 有弹性, 无碎块	>10~20
	质地不均匀, 粗糙松散, 结构松散或有碎块, 无弹性	0~10
风味口感 (40 分)	奶香味浓郁, 无酸味、腐败味等不良气味, 口感细腻, 无苦味	>30~40
	奶香味较浓, 稍微偏酸, 口感较好, 无颗粒感, 无苦味	>10~30
	无奶香味, 酸味重或有腐败等不良气味, 口感较差, 有苦味	0~10

1.3.5 合生元切达奶酪响应面试验设计

使用 Box-Behnken Design-响应面优化法, 以发酵剂接种量(1%, 1.4%, 1.8%)、发酵时间(2, 4, 6 h)和凝乳酶添加量(4, 6, 8 mg·L⁻¹)三因素为自变量, 以感官评分为指标, 作出 3 种因素交互作用的响应面图, 由软件 Design Expert 模拟出最佳组合.

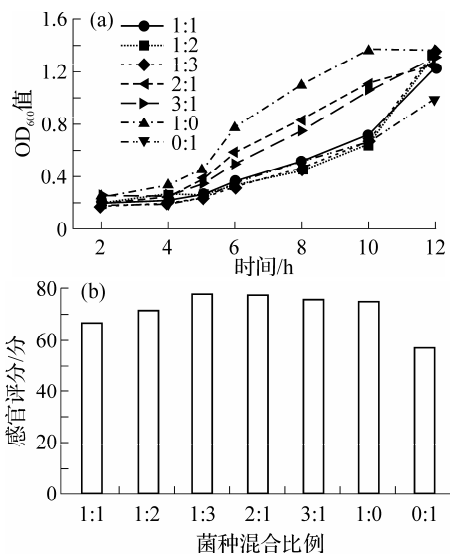
1.3.6 合生元切达奶酪工艺优化前后 TPA 质构分析

将工艺优化前(发酵剂接种量 1%, 发酵时间 6 h, 凝乳酶添加量 5 mg·L⁻¹, 未添加益生元)与优化后(发酵剂接种量 1.13%, 发酵时间 3.76 h, 凝乳酶添加量 7.86 mg·L⁻¹, 按异麦芽低聚糖为 7.52 g·kg⁻¹, 水苏糖 0.45 g·kg⁻¹, 棉子糖为 2.02 g·kg⁻¹ 比例添加益生元)的切达奶酪放置 3 周后, 制成半径为 1 cm 厚度为 20 mm 的样品, 利用质构仪对奶酪的水分、硬度、内聚力、弹性、黏附性等性能采用 TPA 模式进行测定, 测定参数如下: 探头型号 P50, 测前速率、测试速率、测后速率均为 1.0 mm·s⁻¹, 压缩比 50%, 触发值 10 g, 数据采集速率 400 脉冲·s⁻¹.

2 结果与分析

2.1 合生元切达奶酪发酵剂优化结果

由图 2 可知, 嗜热链球菌生长较快、产酸多, 保加利亚乳杆菌生长缓慢, 但发酵乳香味浓郁. 当嗜热链球菌与保加利亚乳杆菌的菌液混合比为 1:3 和 2:1 时, 凝乳滋味最佳; 但以 2:1 混合时生长更快. 因此, 选择 2:1 的混合比例作为后续试验发酵菌种.



注: 菌种混合比例均为 *V*(嗜热链球菌):*V*(保加利亚乳杆菌).

图 2 不同比例混合的生长曲线(a)及发酵凝乳感官评分(b)

2.2 益生元添加量对益生菌增殖的影响

益生元添加量 Mixture-Simplex-Lattice (MSL) 试验设计及试验结果见表 2, Design Expert 模拟得出失拟项 P 值为 0.862 5>0.05, 说明该模型能很好地拟合实验真实情况; F 值为 0.042 4<0.05, 说明益生元对乳酸菌的生长有显著性影响. 由图 3 可知最佳益生元组合为异麦芽低聚糖为 7.52 g·kg⁻¹, 水苏糖 0.45 g·kg⁻¹, 棉子糖为 2.02 g·kg⁻¹.

表 2 益生元添加量 MSL 试验设计及试验结果

益生元组合	质量分数/(g·kg ⁻¹)			OD ₆₀₀ 值
	异麦芽低聚糖	水苏糖	棉子糖	
1	1.67	6.67	1.67	0.72
2	3.33	3.33	3.33	0.80
3	10.00	0.00	0.00	0.57
4	0.00	5.00	5.00	0.56
5	0.00	0.00	10.00	0.71
6	6.67	1.67	1.67	0.72
7	1.67	1.67	6.67	0.76
8	0.00	10.00	0.00	0.68
9	5.00	5.00	0.00	0.75
10	5.00	5.00	0.00	0.81
11	5.00	0.00	5.00	0.75
12	10.00	0.00	0.00	0.57
13	0.00	10.00	0.00	0.62
14	0.00	0.00	10.00	0.48

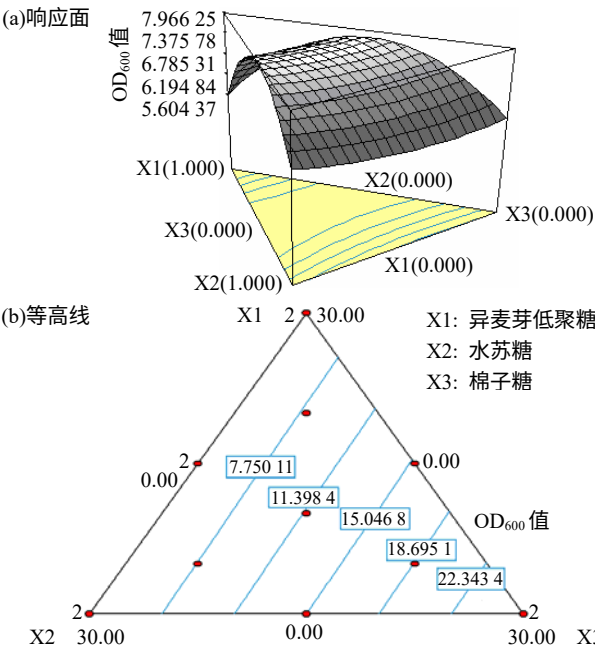


图 3 3 种益生元组合对发酵剂的响应面和等高线

2.3 发酵剂接种量、发酵时间和凝乳酶添加量的单因素试验结果分析

由图 4(a)可知,随着发酵剂接种量的增加,凝固时间缩短,而感官评分在 1.4%左右最高,因此,发酵剂接种范围选为 1%~1.8%;由图 4(b)可知,感官评分在发酵 4 h 左右最高,超过 6 h 酸味较重,因此,确定发酵时间 2~6 h;由图 4(c)可知,随着凝固剂添加量的增加,凝乳时间缩短,但是当凝乳酶添加量越多时,蛋白质被过度分解,导致疏水基团暴露,产生大量的苦味肽^[18],因此,确定凝乳酶添加量为 4~8 mg·L⁻¹.

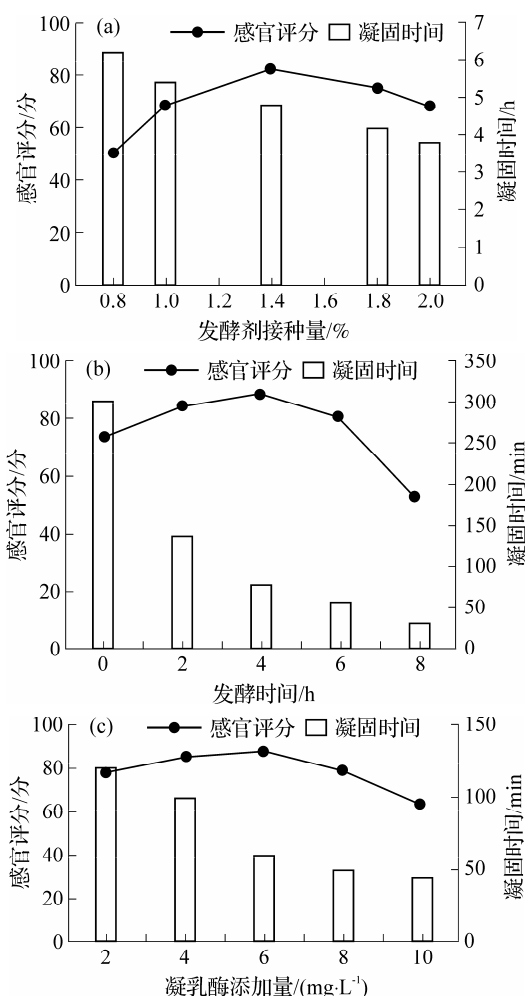


图4 发酵剂接种量、发酵时间和凝乳酶添加量对合生元切达奶酪感官评分和凝固时间的影响

2.4 发酵剂接种量、发酵时间和凝乳酶添加量的响应面结果分析

根据 Box-Behnken 设计原理,对切达奶酪发酵工艺参数进行响应面优化的结果见表 3,其中: A 为

发酵剂接种量; B 为发酵时间; C 为凝乳酶添加量.

表3 Box-Behnken-Design 试验设计及试验结果

试验号	$A/\%$	B/h	$C/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	感官评分/分	凝固时间/h
1	1.4	4	6	88.0	105
2	1.0	2	6	63.9	60
3	1.4	4	6	86.2	45
4	1.0	4	8	68.8	50
5	1.0	6	6	68.1	65
6	1.8	4	8	78.2	70
7	1.8	2	6	69.0	120
8	1.4	2	4	68.4	60
9	1.4	4	6	86.8	130
10	1.4	6	4	75.9	30
11	1.4	4	6	85.0	150
12	1.4	4	6	85.1	60
13	1.0	6	8	67.0	70
14	1.4	2	8	73.9	40
15	1.0	4	4	67.5	80
16	1.8	4	6	78.0	65
17	1.8	6	4	75.9	120

回归模拟方程: 感官评分 $=86.22+4.2A+1.72B+0.025C+1.2AB+0.25AC-3.6BC-7.58A^2-8.88B^2-6.04C^2$, 凝固时间 $=65-7.50A-18.12B-41.88C+2.5AB-1.25BC+0.62A^2+6.87B^2+19.38C^2$. 回归模型方差分析见表 4.

表4 感官评价回归模型方差分析结果

项目	平方和	自由度	均方	F 值	P
模型	1 026.90	9	115.99	17.86	0.000 2 ¹⁾
A	134.48	1	286.80	44.16	0.001 0 ²⁾
B	23.80	1	128.80	19.83	0.060 0
C	5.0E-3	1	5.0E-3	1.054E-3	0.975 0
AB	5.764	1	5.76	1.21	0.000 2 ¹⁾
AC	0.25	1	0.25	10.93	<0.000 1 ¹⁾
C	51.84	1	51.84	32.34	0.000 7 ¹⁾
A^2	242.24	1	242.24	51.08	0.306 9
B^2	332.39	1	332.39	70.09	0.825 0
C^2	153.35	1	153.35	32.34	0.013 0 ³⁾
残差	33.20	7	4.74		
失拟	26.95	3	8.98	5.75	0.062 1
净误差	6.25	4	1.56		
总离差	1 060.10	16			

注: 1)为 $P<0.001$, 差异极显著; 2)为 $P<0.01$, 差异高度显著; 3)为 $P<0.05$, 差异显著.

由表 4 可知, 感官评价的模型显著, 失拟项 $P>0.05$, 说明该模型可以用于合生元切达奶酪制作工艺的优化, 其发酵剂接种量、发酵时间和凝乳酶添加量的响应面以及发酵剂接种量和凝乳酶添加量的等高线与交互作用如图 5 所示. 生产发酵剂接种量对奶酪的感官评价有极显著的影响, 且接种量、发酵时间、凝乳酶添加量 3 个因素之间的相互作用对奶酪的感官评价也有极显著的影响. 由 Design Expert 模拟得到的最佳发酵剂接种量为 1.13%, 发酵时间为 3.76 h, 凝乳酶添加量为 $7.86 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

2.5 合生元切达奶酪工艺优化前后质构结果

由表 5 可知优化后奶酪的硬度提升了 488.7%, 弹性提升了 162.6%, 内聚性提升了 117.3%, 黏性

提高了 6 倍, 咀嚼性提高了 21 倍, 回复性提高了 3 倍. 如图 6 所示, 优化后的合生元切达奶酪颜色呈淡黄色, 孔洞数量更少, 质地更加细腻, 香味更加浓郁.

表 5 合生元切达奶酪工艺优化前后质构分析结果

项目	硬度/N	弹性/ $(\times 10^6 \text{ Pa})$	内聚性/ $(\times 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s})$
优化前	408 $\pm$ 12	0.296 $\pm$ 0.006	0.319 $\pm$ 0.007
优化后	2 402 $\pm$ 30	0.777 $\pm$ 0.001	0.693 $\pm$ 0.003
$\Delta E/\%$	488.7	162.6	117.3

项目	黏性/N	咀嚼性/N	回复性
优化前	-303.5 $\pm$ 5.9	42.2 $\pm$ 2.6	0.095 $\pm$ 0.003
优化后	-2 159.7 $\pm$ 30.2	933.1 $\pm$ 30.6	0.420 $\pm$ 0.004
$\Delta E/\%$	611.6	2 113	343.8

注: 奶酪质量的变换率 $\Delta E=(\text{优化后}-\text{优化前})/\text{优化前} \times 100\%$.

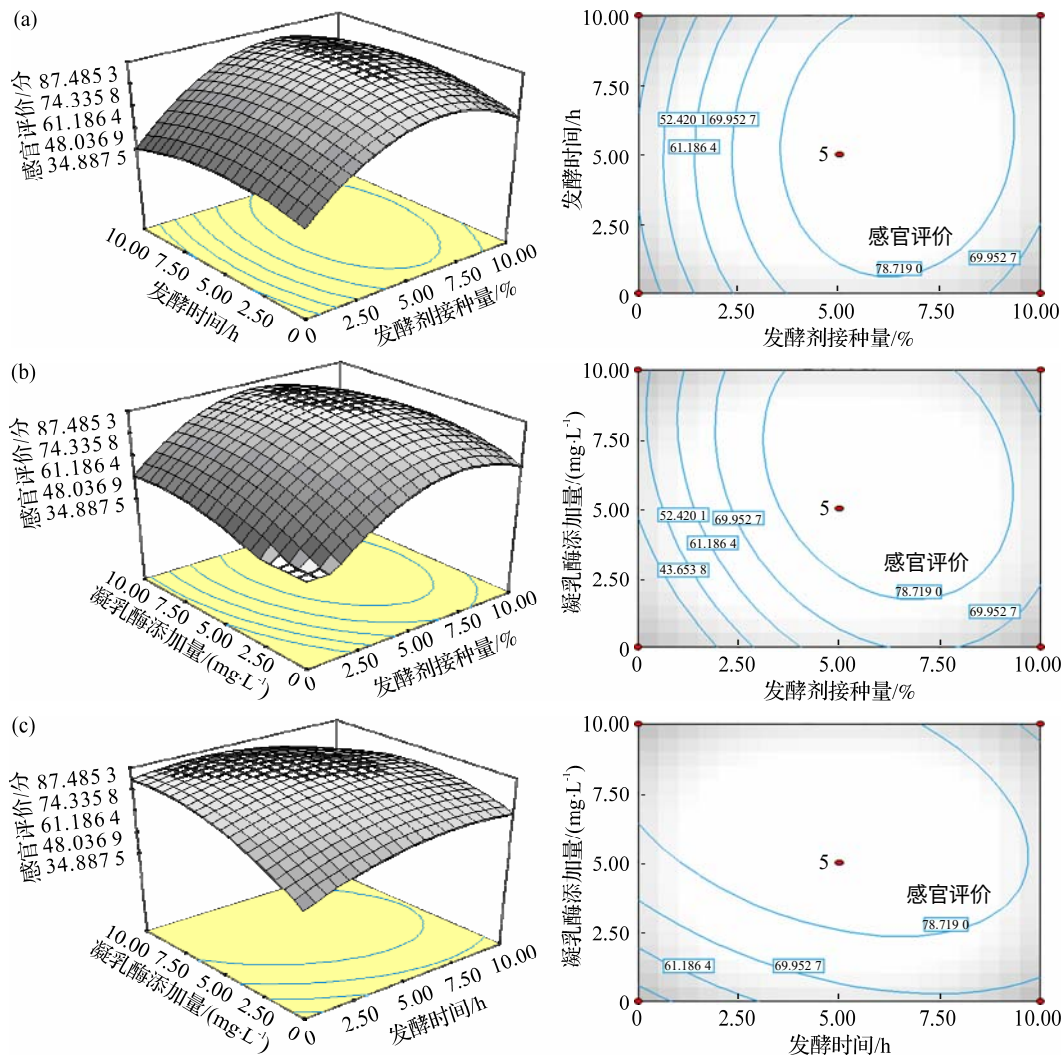


图 5 接种量和发酵时间、接种量和凝乳酶添加量、接种量和凝乳酶添加量的交互作用对感官评分影响的响应面

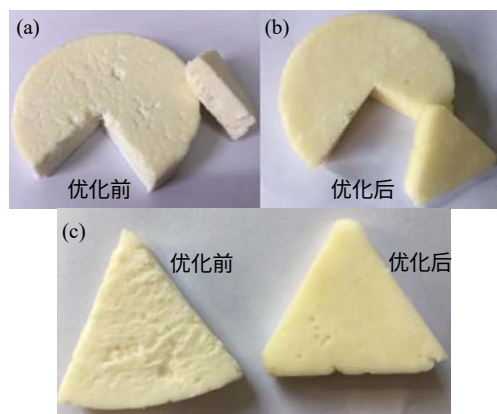


图6 工艺优化前后奶酪切片对比

3 讨论

本试验获得了合生元切达奶酪制作的最佳工艺:嗜热链球菌与保加利亚乳杆菌菌液以 2:1 体积比混合,以 2%接种量加入牛乳中发酵 10 h 获得生产发酵剂;再以 1.13%接种至巴氏杀菌乳中发酵 3.76 h 后,分别添加 $7.86 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 凝乳酶与 7.52, 0.45, $2.02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 异麦芽低聚糖,水苏糖,棉子糖, 4°C 后熟 3 周后制得。

益生元添加总量、比例以及添加时间对合生元切达奶酪品质的影响至关重要。由于益生元的特殊性质,加入后会导致切达奶酪口感与质地改变。例如,异麦芽低聚糖和水苏糖都具有高度保湿能力^[19-20],一旦添加过量,奶酪的酪蛋白网络不稳固,最终导致奶酪难以成型。水苏糖、棉子糖和异麦芽低聚糖能显著增殖乳杆菌^[20-21],但异麦芽低聚糖不能被链球菌所利用^[22]而增殖链球菌,因此本试验益生元最佳比例中,异麦芽低聚糖添加量显著高于水苏糖、棉子糖,有利于后熟期间增殖保加利亚乳杆菌而发酵增强奶酪的风味,控制嗜热链球菌产酸,从而得到奶香味浓郁、酸度适宜的合生元切达奶酪。添加益生元的时间点也很重要,若在发酵前加入,则会被乳酸菌分解利用;若在凝乳后加入,益生元会形成小块结晶,降低奶酪的口感与品质;在发酵结束后与凝乳前添加益生元最适合,有利于保持切达奶酪产品中益生元的含量,经食用后能促进肠道双歧杆菌、乳酸菌等益生菌的增殖^[23],从而实现益生和保健功效。

工艺优化后的奶酪硬度、弹性、内聚性、黏性、咀嚼性和回复性都显著地提升。奶酪中的脂肪被

乳酸菌充分降解后,脂肪球变小,蛋白质长链变短,脂肪球融合于高度交联的蛋白质空间中^[24],使奶酪质地更加细腻,孔洞数量更少,硬度、黏度和咀嚼性上升;奶酪回复性的提升是由于酪蛋白网络结构的维持^[25]。优化后的切达奶酪呈现诱人的淡黄色是源于益生元与发酵产生的氨基酸在加热过程产生的美拉德反应^[19]。传统切达奶酪后熟需要 2 个月以上,本试验利用加热微波使后熟时间缩短,微波以介电感应直接作用于蛋白质、碳水化合物、水、脂肪等电介质,而蛋白质、淀粉等固体物质介电常数为 2~3,水的介电常数为 60~80,主要使杂乱排列的水分子在电磁场中进行规律重排并释放大热量^[26-27],改良了加热排乳清环节,大大缩短了后熟时间。本试验开发的合生元切达奶酪口感优良、质地细腻、奶香浓郁,并具有潜在的促进钙的吸收、增强免疫、降低“三高”等功效^[28],作为一种新型健康的乳制品,具有良好的市场潜力。

参考文献:

- [1] Ong L, Shah N P. Probiotic Cheddar cheese: Influence of ripening temperatures on survival of probiotic micro-organisms, cheese composition and organic acid profiles [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42(7): 1260-1268.
- [2] Collins Y F, McSweeney P L H, Wilkinson M G. Lipolysis and free fatty acid catabolism in cheese: A review of current knowledge[J]. *International Dairy Journal*, 2003, 13(11):841-866.
- [3] 郑远荣. 切达奶酪成熟过程中微观结构变化及其对质构的影响[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(3):503-508.
- [4] 盛占武, 孙志高, 鄯晋晓. 国内外干酪发酵的研究进展 [J]. *中国乳品工业*, 2006, 34(11):36-39.
- [5] 金世琳. 超滤法生产鲜奶酪[J]. *中外食品工业信息*, 2001(3):50-51.
- [6] Svensson I, Hernandez I, Virto M, et al. Determination of lipase activity in cheese using trivalerin as substrate[J]. *International Dairy Journal*, 2006, 16(5):423-430.
- [7] Kappeler S R, Van H D B, Rahbeknielsen H, et al. Characterization of recombinant camel chymosin reveals superior properties for the coagulation of bovine and camel milk[J]. *Biochemical & Biophysical Research Communications*, 2006, 342(2):647-654.
- [8] Soda M E, Awad S. Cheese | Accelerated Cheese Ripening[M]//Fuquay J W. *Encyclopedia of Dairy*

- Sciences. 2nd ed. Cambridge (MA): Academic Press, 2011:795-798.
- [9] 李红娟, 刘燕, 李洪波, 等. 脂肪替代物对 Mozzarella 干酪流变学特性影响研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(4):789-793.
- [10] 罗洁, 任发政, 吴鸿雁, 等. 干酪营养与健康功能研究进展[J]. 农业机械学报, 2016, 47(12):253-263.
- [11] Robertson M P, Miller S L. An efficient prebiotic synthesis of cytosine and uracil[J]. Nature, 1995, 375 (6534):772-774.
- [12] 赵杰, 朱维铭, 李宁. 益生菌、益生元、合生元与炎症性肠病[J]. 肠外与肠内营养, 2014, 21(4):251-253; 256.
- [13] 孙建华, 王少丽. 合生元长期治疗肝硬化的肠道微生态变化[J]. 中国医药指南, 2017, 15(13):113-114.
- [14] 陈蕾, 欧阳立杰, 廖伟娇, 等. 合生元益生菌冲剂对提高儿童消化道黏膜免疫的作用[J]. 中国微生态学杂志, 2007, 19(2):137-138; 141.
- [15] 刘娟. 规模化切达奶酪生产过程中质量控制点的研究[J]. 中国乳品工业, 2010, 38(6):63-64.
- [16] 殷俊玲, 王默谊, 刘小鸣, 等. 市售切达奶酪的风味特性[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(12):172-178.
- [17] 江丽红, 周颖喆, 洪青, 等. 市售陈年切达奶酪风味特征及消费者喜好度研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35 (23):275-281.
- [18] Hannon J A, Kilcawley K N, Wilkinson M G, et al. Production of ingredient-type cheddar cheese with accelerated flavor development by addition of enzyme-modified cheese powder[J]. Journal of Dairy Science, 2006, 89(10):3749-3762.
- [19] 梁丽心. 功能性低聚糖——水苏糖[J]. 中国食品添加剂, 2004(4):51-54.
- [20] 王良东. 低聚异麦芽糖性质、功能、生产和应用[J]. 粮食与油脂, 2008(4):43-47.
- [21] 李芳, 汪晓峰. 植物中棉子糖系列寡糖代谢及其调控关键酶研究进展[J]. 西北植物学报, 2008, 28(4):852-859.
- [22] 赵晋, 王娇, 阚健全. 低聚异麦芽糖生理功能及应用的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(2):166-170.
- [23] 房新平, 翟红梅, 贾树妍, 等. 三种具有不同保健功能趋势的益生元组合的筛选及确定[J]. 食品工业, 2012, 33(11):1-4.
- [24] 郑远荣. 切达奶酪成熟过程中微观结构变化及其对质构的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(3):503-508.
- [25] 张建强, 王英, 井雪莲, 等. 不同加工方法对快速成熟切达干酪流变和微观结构的影响[J]. 现代食品科技, 2016(1):183-187.
- [26] 周颖喆. 热烫拉伸对马苏里拉奶酪理化及功能特性的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
- [27] 杨庆浩. 微波食品介电特性研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [28] 胡学智. 益生元-双歧杆菌生长促进因子[J]. 工业微生物, 2005, 35(2):50-60.

Optimization of processing technology for a synbiotic Cheddar cheese

ZENG Zhi-dan^{1,2}, WU Ai-juan^{1,2}, HUANG Ling^{1,2}, SUN Jie^{1,2},
ZENG Xiao-qun^{1,2*}, PAN Dao-dong^{1,2}, WU Zhen^{1,2}

(1.College of Food and Pharmaceutical Sciences, Ningbo University, Ningbo 315832, China;

2.Key Laboratory of Animal Protein Food Processing Technology of Zhejiang Province, Ningbo 315832, China)

Abstract: In order to prepare a synbiotic Cheddar cheese with good quality, the effects of different probiotics, the combination of prebiotics, the inoculation amount of starter, fermentation time and the addition amount of rennet on the sensory evaluation and texture of Cheddar cheese were studied. The optimized processing parameters obtained by Design Expert simulation were as follows: *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* were mixed with a volume ratio of 2:1 for 10 h fermentation to obtain starter, then the starter was added to milk with 1.13% inoculation and fermented at 37 °C for 3.76 h, and then 7.86 mg·L⁻¹ chymosin, 7.52 g·kg⁻¹ isomaltose, 0.45 g·kg⁻¹ stachyose and 2.02 g·kg⁻¹ raffinose sugar were added respectively. The prepared synbiotic Cheddar cheeses demonstrated good texture, aroma and attractive color after being stored at 4 °C for 3 weeks.

Key words: prebiotics; synbiotics; Cheddar cheese; processing technology; texture analysis

(责任编辑 韩 超)