

酸奶发酵剂对大豆酸奶品质的影响

周艳平,张彩猛,孔祥珍,陈业明,华欲飞

(江南大学 食品学院,江苏 无锡 214122)

**摘要:**以 5 种不同的酸奶发酵剂(A~E)为研究对象,探索不同发酵剂制备的大豆酸奶的品质差异,为筛选优良的大豆酸奶发酵剂提供依据。研究中采用标准酸奶发酵工艺对不同酸奶发酵剂进行大豆酸奶的发酵,测定了发酵过程中 pH、酸度随时间的变化以及发酵产物的质构和风味物质含量,分析了发酵时间与酸奶硬度及羰基化合物含量的关系。结果表明:不同酸奶发酵剂在豆浆体系中的发酵速率有明显的差异,5 种酸奶发酵剂在豆浆中的发酵速率排序为 D > E > C > B > A。同时,不同发酵剂制备的酸奶在硬度上差异显著( $P < 0.05$ )且酸奶硬度与发酵时间呈高度正相关的关系。在风味方面,体系到达 pH5.5 的时间越长,大豆酸奶中羰基化合物的含量越高。研究表明,A 与 B 酸奶发酵剂的发酵特性及发酵产物的质构接近,但是风味成分差别较大;D 与 E 发酵剂的特点是发酵速率较快;C 发酵剂能产生较多的 2,3-丁二酮。综合分析,A 发酵剂最适合用来制备质构良好、风味清淡醇香的大豆酸奶。

**关键词:**大豆酸奶;酸奶发酵剂;发酵特性;质构特性;风味物质

**中图分类号:**TS252.54      **文献标识码:**A      **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2018.01.0149

Effect of Yoghurt Starter Cultures on the Quality of Soybean Yoghurt

ZHOU Yan-ping,ZHANG Cai-meng,KONG Xiang-zhen,CHEN Ye-ming,HUA Yu-fei

(School of Food Science and Technology,Jiangnan University,Wuxi 214122,China)

**Abstract:** In this study, five different yoghurt starter cultures A, B, C, D and E were used to study the quality differences of soybean yoghurt and to find better yoghurt starter for soy milk. The fermentation of soybean yoghurt with different yoghurt starter cultures was carried out using the same soy milk base formulation and the same fermentation condition. The changes of pH and titrable acidity with time during the fermentation, as well as the texture and flavor content of fermentation products were determined and analyzed. The fermentation rate of five yoghurt starter cultures was found to be different remarkably with the fermentation rate in the order as D > E > C > B > A. The hardness of soybean yoghurt products prepared by different starters was different significantly ( $P < 0.05$ ) and was highly correlated with the fermentation time. In terms of volatile components, the longer is the time to reach pH5.5 during fermentation, the higher is the content of carbonyl compounds in soybean yogurt. The results showed that the fermentation characteristics of A and B yoghurt starter cultures were similar and produced soy yoghurt with similar texture, but the volatile components were different. Starter cultures D and E were characterized by rapid fermentation rate while starter culture C could produce more 2, 3-butanedione. From the above results, the authors concluded that starter A is more suitable for the preparation of soybean yoghurt with better texture and flavor.

**Keywords:** Soybean yogurt; Yogurt starter cultures; Fermentation characteristics; Texture characteristics; Volatile components

大豆酸奶是以豆浆为原料,经过乳酸菌发酵而成的一种植物蛋白产品<sup>[1-2]</sup>。大豆是优质蛋白质,多不饱和脂肪酸以及异黄酮的丰富来源<sup>[3-5]</sup>。大豆具有不含胆固醇和乳糖的优点,这在一定程度上能够满足特殊人群的消费需求<sup>[6-7]</sup>。据相关学者研究,大豆中的皂甙还具有抗癌、提高人体免疫力的作用,且功效不会随发酵而减少<sup>[8-10]</sup>。豆浆经乳酸菌发酵后,不仅保留了原有的优良品质,还可以改善风味,水解蛋白质产生小肽,增加异黄酮的生理效价,具有很多发酵酸牛奶所不能比拟的优点,对豆奶市场进一步开发具有重要意义。

大豆酸奶在一些发达国家已经投入市场,但在国内还基本上是空白。虽然近年来已经有一系列相关研究报道,但总体上大豆酸奶的感官品质与牛奶酸奶相比存在较大差距。主要有两方面问题:一是大豆酸奶的风味较差,存在豆腥味、饭馊味、苦涩味等一系列不良风味<sup>[11-13]</sup>,二是大豆酸奶的质地呈“豆腐状”的微观结构<sup>[14]</sup>,与牛奶酸奶的柔滑糊状质构差距较大<sup>[15]</sup>,且存在颗粒状,持水能力差等问题。豆浆质量是影响大豆酸奶品质的重要因素之一,本研究所使用的豆浆是由本实验室研发的无氧磨浆系统制得。无氧磨浆克服了传统磨浆的缺点,采用此装置能够有效抑制酶促氧化反应,大大改善蛋白质浆液的风味与色泽,不需要对大豆原料进行加热钝化,有利于增加蛋白质提取率,磨浆过程不产生泡沫,无需添加消泡剂。

收稿日期:2017-09-08  
第一作者简介:周艳平(1993-),女,硕士,主要从事大豆酸奶产品的研究。E-mail:524732684@qq.com。  
通讯作者:华欲飞(1962-),男,教授,主要从事植物蛋白方向的研究。E-mail:yfhua@jiangnan.edu.cn。

酸奶发酵剂是影响大豆酸奶产品品质的另一个重要因素<sup>[16-17]</sup>。不同发酵剂所产生的风味、黏度、质构和口感有很大的不同,合适的发酵剂可以赋予产品圆润、光泽的外观和清爽适口的口感。酸奶发酵剂大致分为三类:天然发酵剂、传统人工发酵剂和高效浓缩发酵剂<sup>[18]</sup>。高效浓缩发酵剂也被称为直投式发酵剂,直投式发酵剂是近现代才发展起来的,它克服了天然发酵剂和传统人工发酵剂的缺点,无需对菌种进行活化、扩培等操作而直接应用于生产的一种新型发酵剂,它具有活菌含量丰富、较长的保藏期、便于生产、降低成本、防止菌种老化和受到污染、产品质量较高等特点<sup>[19-20]</sup>。目前国内市场上针对牛奶的直投式发酵剂有多种,但是还没有专门针对豆浆的发酵剂。因此本文在前期试验的基础,从市场上优选了5种包含保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌的直投式酸奶发酵剂,在相同配方和相同条件下对豆浆进行发酵,运用酸度滴定、质构仪、GC/MS等测定方法,研究分析了不同乳酸菌对大豆酸奶的发酵特性、pH值、酸度、硬度、黏度、凝聚性、粘性指数以及风味的影响,从而进一步认识直投式酸奶发酵剂在豆浆中的发酵行为,并为筛选适合大豆酸奶的发酵剂提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验材料 直投式发酵剂A、B、C、D和E,购自市场;精选大豆:市售,表面有光泽,无霉变,颗粒饱满;采用无氧磨浆工艺制备豆浆;蔗糖:市售食用优质绵白糖;葡萄糖:国药集团化学试剂有限公司;2-甲基-3-庚酮标准物:西格玛-奥德里奇公司。

1.1.2 仪器设备 AB204-N型分析天平:梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;实验室自制磨浆系统;TH-300梯度混合器:上海沪西分析仪器厂有限公司;PHS-3TC数显pH计:梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;超净工作台:无锡一净设备有限公司;手提式不锈钢压力蒸汽灭菌锅:上海申安医疗器械厂;HH-S数显恒温水浴锅:江苏省金坛市医疗仪器厂;SC202-2型电热恒温干燥箱:江苏南通实验电器厂;TA.XTPlus型质构仪:英国SMS公司;萃取头:DVB/CA/PDMS-50/30 μm;萃取装置:美国Supelco公司;气质联用仪(SCIONSQ-456-GC,美国bruker公司)。

1.2 试验设计

本文在前期试验的基础上,优选5种包含保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌的直投式酸奶发酵剂,在

相同配方和相同条件下对豆浆进行发酵,运用酸度滴定、质构仪、GC/MS等测定方法,研究分析了不同发酵剂对大豆酸奶的发酵特性、pH值、酸度、硬度、黏度、凝聚性、粘性指数以及风味的影响,从而进一步认识直投式酸奶发酵剂在豆浆中的发酵行为,并为筛选适合大豆酸奶的发酵剂提供参考依据。

文章首先对比酸奶发酵剂在豆浆体系和牛奶体系中的发酵特性,测定发酵过程中pH和酸度随时间的变化,测定相同发酵剂在豆浆体系与牛奶体系发酵过程中,相应时间对应的pH、酸度,分析该发酵剂在豆浆体系与牛奶体系中pH、酸度随发酵时间的趋势。以pH为横坐标、酸度为纵坐标进行线性拟合,得到pH与酸度的关系图。随后,对不同酸奶发酵剂制备的大豆酸奶的质构特性进行研究,测定不同酸奶发酵剂制备的大豆酸奶的质构参数,并将其硬度参数与达相同发酵终点的时间关联。最后,对不同酸奶发酵剂制备的大豆酸奶的风味物质的成分和含量进行分析,讨论羰基化合物的含量与酸奶发酵剂中嗜热链球菌作用的关系。

1.3 方法

1.3.1 大豆酸奶的发酵工艺 豆浆→50℃预热→调制→灭菌(90℃,10 min)→冷却至42℃→接种→发酵终点至pH4.7→冷藏→后熟→待用。

1.3.2 pH值的测定 用PHS-3TC型高精密度计测定。

1.3.3 总酸度的测定 根据国家标准GB5409-1985,用0.1 mol·L<sup>-1</sup>的NaOH标准溶液滴定法测定。

1.3.4 质构的测定 采用英国SMS公司的TA.XTPlus型质构仪对大豆酸奶进行测定,测定方法采用Yogurt back extrusion,采用圆柱形探头P25;测试前探头下降速度:1 mm·s<sup>-1</sup>;测试速度:0.5 mm·s<sup>-1</sup>;测试后探头回程速度:0.5 mm·s<sup>-1</sup>;应变程度30%。每个样品重复测定3次,试验代表图像见图1,图1曲线中的各参数意义如表1所示。

表1 质构曲线中参数的意义

Table 1 The definition of parameters in texture curve	
参数 Parameter	定义 Definition
硬度 Firmness	曲线的正向最大力,即下压过程中受到的最大力
稠度 Consistency	力与时间形成的正峰面积
黏聚性 Cohesiveness	负向最大力,用于模拟表示样品的内部粘合力
黏性指数 Index of viscosity	力与时间形成的负峰面积,对返回的探头有黏着力

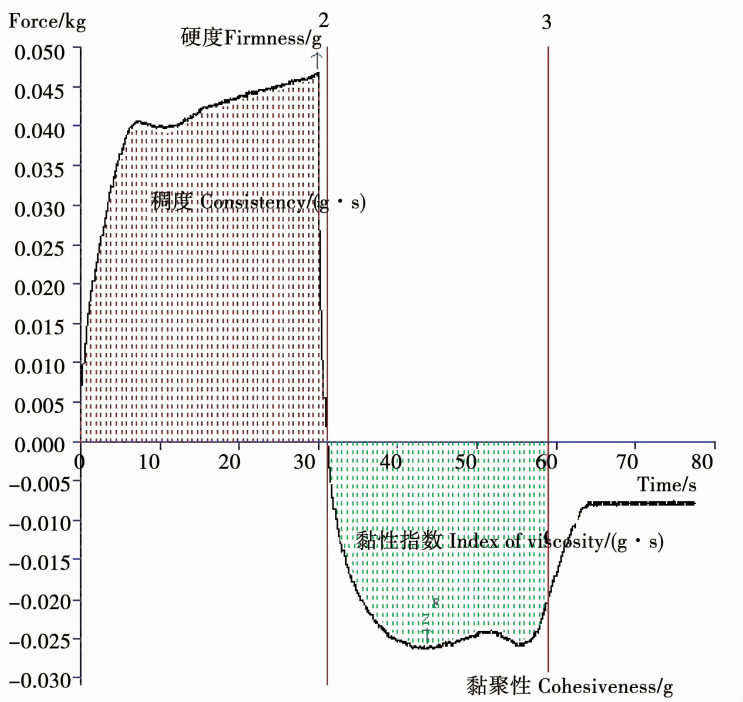


图 1 反挤压探头 A/BE 测量的质构曲线

Fig. 1 The texture curve measured by an inverse extrusion probe A/BE

1.3.5 气质联用条件 GC-MS 条件:采用 DB-WAX 色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),升温程序:起始温度 40℃,保持 3 min;以 6℃·min<sup>-1</sup>升温至 100℃;然后以 10℃·min<sup>-1</sup>升温至 230℃,保持 7 min;不分流进样。

质谱条件:离子源 EI 源,离子源温度 200℃,接口温度 250℃,电子能量 70 eV,扫描范围为 33~350 m·z<sup>-1</sup>,采集方式为 Scan。

样品预处理方法:准确称取 30 g 大豆酸奶,先加入少许 NaCl 溶液,将酸奶进行微弱剪切,转移至容量瓶,用部分 NaCl 溶液清洗烧杯及剪切机上残留的酸奶,再用 16.0% 的 NaCl 溶液将其定容至 100 mL,并向其中加入 20 μL 的内标物(2-甲基-3-庚酮 250 μg·mL<sup>-1</sup>),盖上盖子,封口膜封口,摇匀;用移液管移取 5 mL 该溶液于萃取瓶中,迅速旋紧盖子,置于已经预先设定好温度的 60℃ 水浴中,将老化的固相微萃取针插入样品瓶,边搅拌边顶空吸附,萃取时间 30 min,搅拌速度 400 r·min<sup>-1</sup>。首次使用前,萃取头于 250℃ 老化 1 h。

1.4 数据分析

借助 origin 软件作图得到豆浆体系与牛奶体系中 pH、酸度随发酵时间变化的趋势图。酸奶产品质构特性测试完成后,专用软件 Texture Expert Exceed 可自动对试验结果进行存储分析,生成表格进行统计。

2 结果与分析

2.1 酸奶发酵剂对大豆酸奶发酵特性的影响

在 200 mL 豆奶中分别加入具有相同活力单位的直投式发酵剂 A、B、C、D、E,在相同培养条件下进行培养,测定发酵过程中不同酸奶的 pH 随时间的变化,直至达相同发酵终点 pH4.7。如图 2 所示,不同酸奶发酵剂在豆浆体系中的发酵速率有着明显的差异,达发酵终点 pH4.7 时,发酵时间由快到慢的顺序为 D、E、C、B、A,D 型菌种达发酵终点的时间仅需要 6.75 h,而 A、B 型菌种需要长达约 10 h。此外,不同菌种在每一阶段发酵速率也显示出较大的差异,A、D、E 型菌种在 0~4 h 的发酵速率较快,而 B、C 型菌种在 3~7 h 的发酵速率较快,pH 由最初的 6.8 降至 5.5 的速度快慢为 D、A、E、C、B。

2.2 pH 与酸度值

酸奶的 pH 与酸度会直接影响成品的质量、风味和口感,pH 是酸奶中游离氢离子的浓度,而酸度则是酸奶中总酸的浓度。图 3 为该发酵剂在豆浆体系与牛奶体系中 pH、酸度随发酵时间的趋势图。相同发酵剂在豆浆与牛奶体系的发酵过程中存在着 pH 与酸度的明显差异。在豆浆体系发酵中,当 pH 降至 4.7 时,对应的酸度仅为 40°T 左右,而在牛奶酸奶体系,对应的酸度已达到 85°T 左右。豆乳发酵无法达到牛奶发酵的酸度,其主要原因是两种来源的蛋白质的区别,牛乳中主要的蛋白质是酪蛋白,

含量约为 35 g·L<sup>-1</sup>。酪蛋白中含磷蛋白质使得豆乳的 pH 的缓冲能力不如牛乳强,豆乳酸度较低时,pH 就已经下降到 4.7 以下,导致乳酸菌生长、代谢均受抑制,产酸能力大大下降,因此最终产酸不能达到酸牛乳的程度。

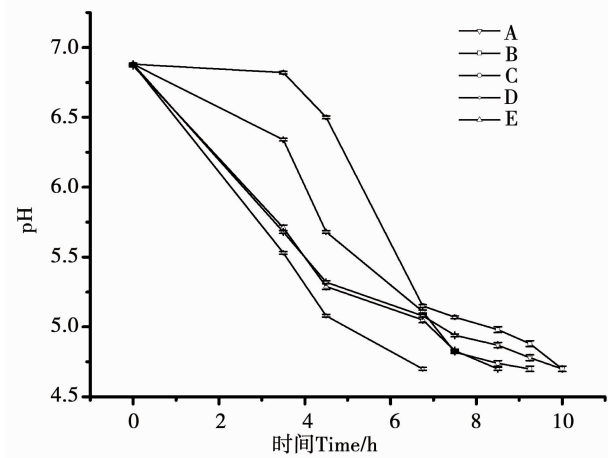


图 2 不同发酵剂制备的大豆酸奶的发酵速率曲线  
Fig. 2 Fermentation rate curves of soybean yoghurt prepared by different starter cultures

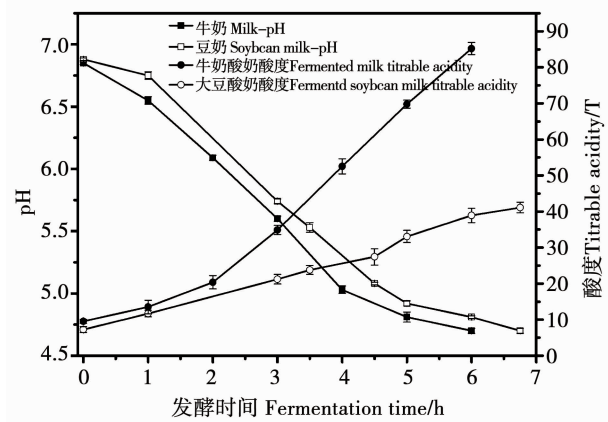


图 3 同一发酵剂在豆浆体系与牛奶体系中 pH 与酸度随发酵时间的变化  
Fig. 3 The changes of pH and titrable acidity with time in soybean milk and milk as for the same starter culture

图 4 测定的是酸奶经过冷藏后熟后,不同酸奶发酵剂制备的酸奶的 pH、酸度的关系图。不同酸奶发酵剂制备的大豆酸奶的 pH 与酸度呈现线性负相关的关系,在相同发酵基料下,不同发酵条件制备的酸奶的 pH 越低,对应体系的酸度越高。

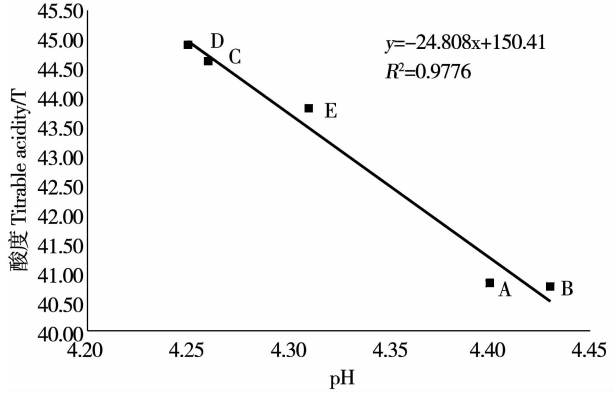


图 4 不同发酵剂制备的酸奶的 pH 与酸度之间的关系  
Fig. 4 The relationship between pH and titrable acidity of yoghurt prepared by different starter cultures

2.3 质构特性

不同酸奶发酵剂制备的大豆酸奶的质构参数如表 2 所示:各样品的硬度、稠度、黏聚性,黏性指数的绝对值由大到小依次为 A > B > C > E > D,硬度越大,稠度、黏聚性与黏性指数的绝对值也越大,持水能力越强,说明酸奶的凝胶越强越致密。其次,从硬度的测定结果看,5 种酸奶发酵剂制备的酸奶中,A 型菌种与 B 型菌种制备的酸奶的硬度差异不显著( $P > 0.05$ ),其它发酵剂制备的酸奶的硬度差异均显著( $P < 0.05$ );从稠度的测定结果看,5 种发酵剂制备的酸奶的稠度差异均显著( $P < 0.05$ );从黏聚性与黏性指数的测定结果看,5 种发酵剂制备的酸奶的黏聚性与黏性指数均无显著差异。硬度是质构曲线上的正向最大力,即下压过程中受到的最大的力,它是用来表征凝胶强弱的参数。进一步分析发现,A、B、C、D、E 型发酵剂制备的大豆酸奶的硬度与发酵时间存在高度的正相关关系,发酵时间越长,酸奶的硬度越大,凝胶越牢固。

表 2 不同酸奶发酵剂制备的大豆酸奶的质构参数  
Table 2 Texture parameters of soybean yoghurt prepared by different starter cultures

酸奶发酵剂 Yogurt starter cultures	硬度 Firmness/g	稠度 Consistency/(g·s)	黏聚性 Cohesiveness/g	黏性指数 Index of viscosity/(g·s)
A	86.66 ± 1.25 a	460.28 ± 10.58 a	-21.13 ± 1.64 a	-3.82 ± 0.15 a
B	85.23 ± 2.81 a	435.19 ± 5.69 b	-19.68 ± 0.67 a	-3.78 ± 0.17 a
C	77.54 ± 2.10 b	368.62 ± 8.17 c	-19.49 ± 1.43 a	-3.74 ± 0.28 a
D	55.76 ± 2.46 c	280.64 ± 9.43 e	-18.09 ± 0.81 a	-3.42 ± 0.21 a
E	68.32 ± 1.59 d	305.16 ± 5.21 d	-19.19 ± 0.84 a	-3.47 ± 0.20 a

每列不同字母的数据之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。  
Different lowercase indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

2.4 风味成分

酸奶产品的气味和味道是由许多细菌代谢的挥发性的物质组成,其中一些是来自于乳酸发酵的副产品,另外一些则是其他反应机制产生的。乳酸被认为是影响酸奶风味的一个重要的化合物<sup>[21]</sup>。迄今为止在酸牛乳中已检测出约 90 种风味物质<sup>[22-23]</sup>。据报道,酸奶的风味主要是受到体系中的挥发性、非挥发性的酸、羰基化合物的影响,尤其是较高浓度的羰基化合物对于酸奶最后的风味影响较大<sup>[24-25]</sup>。在牛奶体系中影响酸奶风味的物质主要是乙醛、丙酮、乙偶姻、双乙酰、甲酸、乙酸、丁酸、丙酸<sup>[26]</sup>,而在豆浆体系中,除了发酵过程中的物质影响其风味之外,豆浆本身的豆腥味、豆香味物质也会大豆酸奶的风味有很大的影响。因此发酵大豆酸奶较牛奶酸奶的风味物质形成机制更为复杂。

对发酵前的豆浆及不同发酵剂制备的大豆酸

表3 豆浆及不同发酵剂制备的大豆酸奶的风味成分

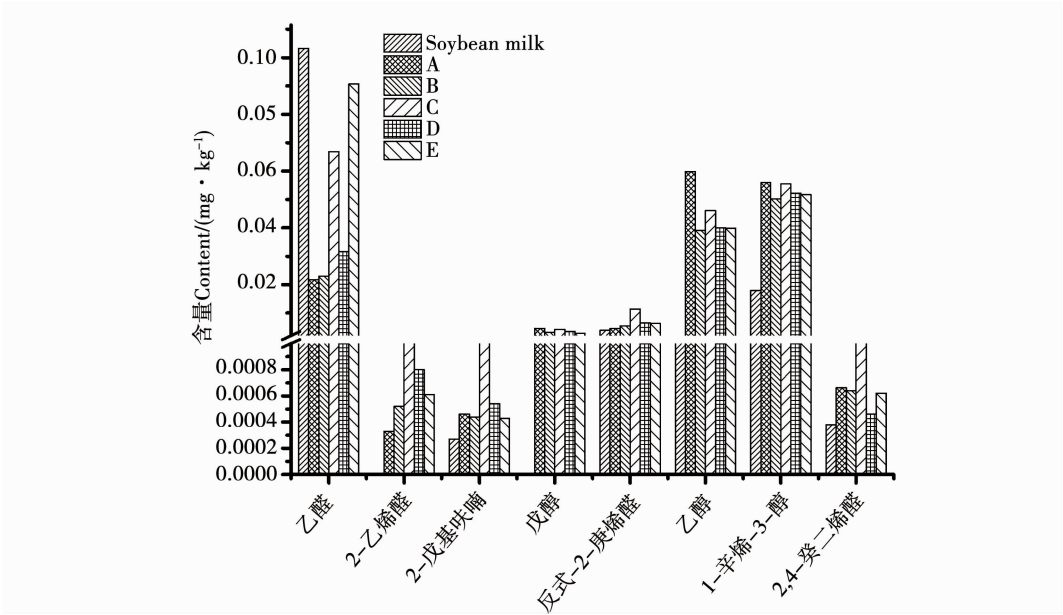
Table 3 Volatile components of soybean milk and soybean yoghurt prepared from different starter cultures							
风味物质 Volatile components	保留时间 Retention time/min	豆浆 Soybean milk/( mg·kg <sup>-1</sup> )	大豆酸奶 Soybea yoghurt/( mg·kg <sup>-1</sup> )				
			A	B	C	D	E
2,3-丁二酮 2,3-butanedione	5.204	—	0.20655	0.35257	0.30089	0.10271	0.23278
2,3-戊二酮 2,3-pentanedione	7.226	—	0.06583	0.10674	0.09323	0.02305	0.06979
乙酸丁酯 Butyl acetate	7.475	—	—	—	—	0.00185	—
己醛 Hexanal	7.648	0.10328	0.02177	0.02296	0.06687	0.0317	0.09073
2,3-庚二酮 2,3-heptanedionate	9.632	—	—	0.00129	—	—	0.00291
2-庚酮 2-heptanone	10.556	—	0.0043	0.00361	—	0.00337	—
2-己烯醛 2-Hexenal	11.48	—	0.00033	0.00052	0.00135	0.00080	0.00061
2-戊基呋喃 2-pentylfuran	11.925	0.00027	0.00046	0.00044	0.0012	0.00054	0.00043
戊醇 1-Pentanol	12.587	—	0.00459	0.00319	0.00421	0.00357	0.00285
3-羟基-2-丁酮 3-hydroxy-2-butanone	13.354	—	0.01113	0.02071	0.01149	0.00991	0.01023
辛醛 Octanal	13.495	—	0.00005	—	0.00117	0.00103	—
反式-2-庚烯醛 E-2-heptenal	14.322	0.00391	0.00454	0.00549	0.01150	0.00644	0.00633
己醇 1-Hexanol	15.076	0.00145	0.05989	0.03913	0.04618	0.04002	0.03984
2-壬酮 2-Nonanone	15.725	—	0.0012	0.00179	0.00123	0.00107	0.00121
壬醛 Nonanal	15.808	0.00626	0.00199	0.00147	0.00385	0.00314	0.00177
2-辛烯醛 2-Octenal	16.461	0.00090	0.00223	0.0025	0.00431	0.00227	0.00315
1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	16.85	0.01798	0.05591	0.05023	0.05549	0.05217	0.05176
癸醛 Decanal	17.639	0.00088	0.00127	0.00125	0.00134	0.00134	0.00138
苯甲醛 Benzaldehyde	18.024	0.00086	0.00793	0.00226	0.00771	0.00232	0.00722
辛醇 1-Octanol	18.539	0.00069	0.00349	0.00107	0.00177	0.00137	0.00144
反式-2-癸烯醛 E-2-Decenal	19.702	—	0.00017	0.00032	0.00036	0.00016	0.00025
2,4-壬二烯醛 2,4-Nonadienal	20.451	0.00025	0.00027	0.0002	0.00054	0.00030	0.00026
2,4-癸二烯醛 2,4-Decadienal	21.748	0.00038	0.00066	0.00064	0.00154	0.00046	0.00062
己酸 Hexanoic acid	22.109	—	0.00124	0.00039	0.00048	0.00060	0.00035

奶进行气质联用,风味物质的分析结果见表 3:通过新型磨浆方式得到的豆浆中风味物质的种类较少,共检测出了 18 种主要的风味物质,主要包括醛类、醇类、以及其它少量几种风味物质。在豆浆体系的风味物质研究中,己醛是最具有典型豆腥味的物质,由于其阈值极低<sup>[27]</sup>。己醛的出峰时间为 7.682 min,己醛的含量在豆浆的整个风味物质中占比较大,但是相比于普通磨浆方式得到的豆浆,己醛含量降低了约 90%<sup>[28-29]</sup>,且其它呈豆腥味的风味物质含量也相应减少。除了己醛之外,豆浆中的反式-2-己烯醛、1-辛烯-3-醇、己醇、戊醇、2-戊基呋喃、反,反-2,4-癸二烯醛同样是呈现豆腥味的风味物质<sup>[30]</sup>。其中己醇、1-辛烯-3-醇的含量相对较高,且其阈值也相对较低。表 3 的结果解释了豆浆不被消费者接受的原因,主要是由于其不良的风味。因此,在现有的基础上,我们需要改善传统豆浆的风味,开发具有市场前景的新产品。



大豆酸奶是集创新、营养的一类饮品,据相关报道,豆浆经发酵后表现为豆腥味的风味物质含量有所降低。图5是豆浆及不同酸奶发酵剂制备的大豆酸奶中呈豆腥味风味物质的测定结果,显然,针对不同菌种,豆浆经发酵后己醛含量均有所降低,其中E型菌种发酵的大豆酸奶中己醛含量降低的

较少,而A、B型菌种发酵的大豆酸奶中己醛含量降低较多。相反,经菌种作用后,反式-2-己烯醛、己醇、戊醇、2-戊基呋喃、1-辛烯-3-醇、反,反-2,4-癸二烯醛均增加,但是,总体豆腥味水平呈现下降趋势,因为这些物质的阈值较己醛的要高很多,且其含量增加的不多。



己醛:Hexanal;2-己烯醛:2-Hexenal;2-戊基呋喃:2-pentylfuran;戊醇:1-Pentanol;反式-2-庚烯醛:E-2-heptenal;己醇:1-Hexanol;1-辛烯-3-醇:1-Octen-3-ol;2,3-癸二烯醛:2,3-Decadienal.

图5 豆浆及不同菌种发酵的大豆酸奶中呈豆腥味的风味物质

Fig. 5 Beany flavor components of soybean milk and soybean yoghurt prepared from different starter cultures

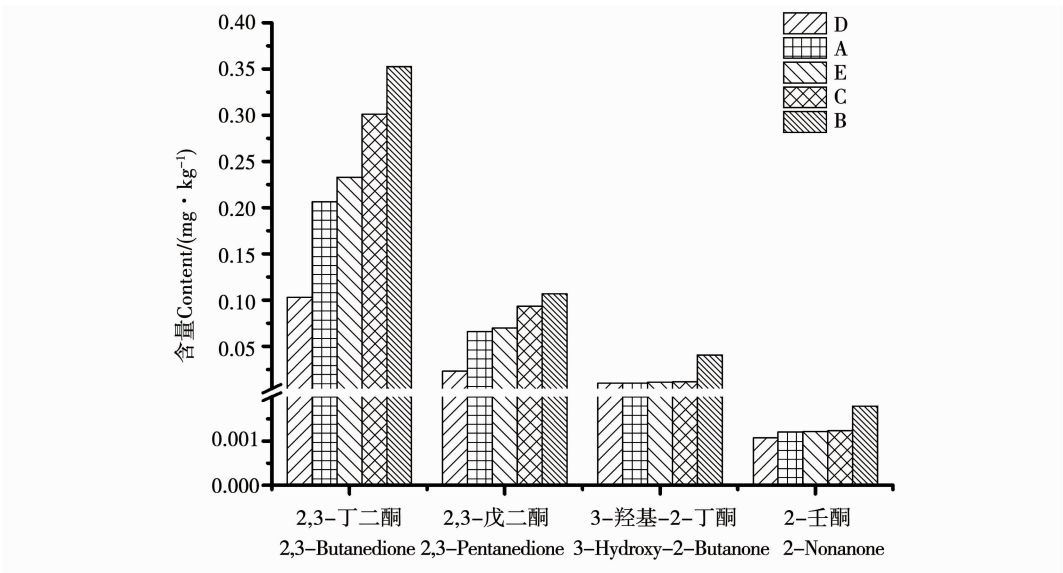


图6 不同发酵剂制备的大豆酸奶中典型的羰基化合物含量

Fig. 6 Typical carbonyl compounds in soybean yoghurt prepared from different starter cultures

本研究中豆浆体系没有酮类物质,而豆浆经乳酸菌作用后,生成了酮类物质。酸奶中常见的酮类物质是2,3-丁二酮、2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮、2-壬酮。对于嗜热链球菌与保加利亚乳杆菌

复配的菌种,代谢机制主要由发酵前期、中期、后期3个阶段组成,其中发酵初期主要是嗜热链球菌的作用。嗜热链球菌的作用使得酸奶中羰基化合物的产生,发酵中期及后期主要是保加利亚乳杆菌的

作用。由图 2 可知,在不同酸奶发酵剂作用下,豆浆体系 pH 达到 5.5 的时间快慢依次为 D、A、E、C、B,同时由图 6 可以得到不同发酵剂制备的酸奶中的羰基化合物的测定结果,可见酸奶中羰基化合物的含量与嗜热链球菌的作用密切相关,豆浆体系 pH 达到 5.5 的时间越长,嗜热链球菌的作用越多,大豆酸奶中羰基化合物的含量越高。双乙酰(2,3-丁二酮)是酸奶中嗜热链球菌产生的,是酸奶风味的重要物质<sup>[31]</sup>,赋予酸奶坚果味,但是若双乙酰浓度过高,则导致酸奶中异味的产生。双乙酰的含量在  $0.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时,呈现奶油香气,牛奶酸奶中,双乙酰的含量为  $0.2 \sim 3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[32]</sup>。不同酸奶发酵剂制备的大豆酸奶的双乙酰含量范围为  $1 \sim 3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。双乙酰过量会导致大豆酸奶出现类似馊味的气味。D 型发酵剂产生的双乙酰最少,B 型发酵剂产生的双乙酰最多。

### 3 讨 论

本文的创新点主要是采用了一种创新的无氧磨浆技术,所使用的豆浆原料完全来自于大豆,在提供了优质的豆浆基料的基础上,研究不同酸奶发酵剂对大豆酸奶品质的影响。其中酸奶发酵剂在豆浆体系中的发酵特性与前人的研究结果一致,更进一步明确了豆浆与牛奶体系发酵特性的差异。对于大豆酸奶的质构特性与风味物质成分较前人的研究有一定的差异,大豆酸奶的风味物质较牛奶酸奶的风味物质更为复杂,除了酸奶发酵产生的风味物质外,豆浆本身的风味也会影响到大豆酸奶的品质,且目前并没有针对大豆酸奶的发酵剂,其代谢机制与牛奶酸奶还存在一定的差异,这方面的研究还需要进一步的深入。本研究突出解决了大豆酸奶风味与质构问题,在此条件下能制备出品质较佳的大豆酸奶。

### 4 结 论

通过不同酸奶发酵剂在豆浆中的发酵速率曲线分析可知,发酵剂是酸奶发酵的一个关键因素,不同酸奶发酵剂在豆浆体系中的发酵速率有明显的差异,5 种酸奶发酵剂在豆浆中的发酵速率排序为  $D > E > C > B > A$ 。不同发酵剂制备的大豆酸奶中,除 A、B 发酵剂制备的酸奶的硬度差异不显著外,其它发酵剂制备的酸奶的硬度差异均显著( $P < 0.05$ )。进一步分析得到酸奶硬度与发酵时间呈高度正相关的关系,使用 A、B 发酵剂可以获得较佳的质构特性。豆浆体系 pH 达到 5.5 的时间越长,大豆酸奶中羰基化合物的含量越高。A、B 酸奶发酵

剂的发酵特性与质构特性接近,B 发酵剂产生的异味成分 2,3-丁二酮较多,风味欠佳,D、E 发酵剂的发酵速率较快,但是酸奶的硬度较低,凝胶较弱,稳定性较差,C 发酵剂的发酵速率居中,制备的酸奶的硬度较 D、E 发酵剂好,但是异味成分 2,3-丁二酮较多。综合发酵速率、质构特性及风味物质的分析,A 发酵剂最适合用来制备质构良好、风味清淡醇香的大豆酸奶。

### 参考文献

- [1] 李锋,华欲飞. 大豆酸奶的微结构以及分形特征[J]. 食品科学, 2005, 26(7):110-114. (Li F, Hua Y F. Microstructure of soy based yoghurt and fractal characteristic[J]. Food Science, 2005, 26(7):110-114. )
- [2] Karleskind D, Laye I, Halpin E, et al. Improving acid production in soy-based yogurt by adding cheese whey proteins and mineral salts[J]. Journal of Food Science, 2010, 56(4):999-1001.
- [3] 张玉明,陆恒. 大豆营养优势的科学利用[J]. 食品研究与开发, 1998(3):48-50. (Zhang Y M, Lu H. Scientific utilization of soybean nutritional advantages[J]. Food Research and Development, 1998(3):48-50. )
- [4] 尹贵忠. 大豆肽对酸奶品质影响的研究[D]. 江苏:江南大学, 2008. (Yin G Z. Effects of soybean peptide on the properties to fermented soybean milk[D]. Jiangsu: Jiangnan University, 2008. )
- [5] 刘晓恒. 大豆蛋白替代牛乳蛋白对酸奶性质影响[D]. 江苏:江南大学, 2013. (Liu X H. The impact on the characters of yogurt by replacing milk protein with soy protein [D]. Jiangsu: Jiangnan University, 2013. )
- [6] Granato D, Branco G F, Nazzaro F, et al. Functional foods and nondairy probiotic food development: Trends, concepts, and products[J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2010, 9(3):292-302.
- [7] Scalabrini P, Rossi M, Spettoli P, et al. Characterization of Bifidobacterium strains for use in soymilk fermentation[J]. International Journal of Food Microbiology, 1998, 39(3): 213-219.
- [8] Yanagi S, Imai S, Yokoyama H, et al. Effects of cow milk, soybean milk and their fermented products on DMBA induced mammary tumorigenesis[J]. Daizu Tanpakushitsu Kenkyukai Kaishi, 1997, 18: 120-124.
- [9] Kikuchi Hayakawa H, Onodera N, Matsubara S, et al. Effects of soya milk and Bifidobacterium-fermented soya milk on plasma and liver lipids, and faecal steroids in hamsters fed on a cholesterol-free or cholesterol-enriched diet[J]. British Journal of Nutrition, 1998, 79(1):97.
- [10] Zaizen Y, Tokuda H, Nishino H, et al. Inhibitory effect of soybean hypocotyls on Epstein-Barr virus early antigen induction and skin tumor promotion[J]. Cancer Letters, 1997, 121(1):53-57.
- [11] Thananunkul D, Tanaka M, Chichester C O, et al. Degradation of raffinose and stachyose in soybean milk by  $\alpha$ -galactosidase from *Mortierella vinacea*. Entrapment of  $\alpha$ -galactosidase within polyacrylamide gel [J]. Journal of Food Science, 2010, 41(1):

- 173-175.
- [12] Kaneko D. Reduction of the off-flavor volatile generated by the yogurt starter culture including streptococcus thermophilus and lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus in soymilk[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2014, 62(7):1658-1663.
- [13] Srinivas H, Swamylingappa B, Chand N. Secondary extraction of soybeans using hexane-acetic acid, effect on beany flavor removal and physicochemical properties[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1992, 40(2): 276-279.
- [14] Yazici F, Alvarez V B, Pmt H. Fermentation and properties of calcium-fortified soy milk yogurt[J]. Journal of Food Science, 2010, 62(62):457-461.
- [15] Skytte J L, Ghita O, Whelan P F, et al. Evaluation of yogurt microstructure using confocal laser scanning microscopy and image analysis[J]. Journal of Food Science, 2015, 80(6): E1218.
- [16] Drake M A. Invited review: Sensory analysis of dairy foods[J]. Journal of Dairy Science, 2007, 90(11): 4925-4937.
- [17] 祝静, 丁武. 不同乳酸菌对羊酸奶的感官和质构特性的影响[J]. 中国奶牛, 2011(2): 48-52. (Zhu J, Ding W. The effect of different lactobacillus on the sensory and textural properties of goat yoghurt[J]. China Dairy Cattle, 2011(2):48-52. )
- [18] 黄良昌, 吕晓玲, 邢晓慧. 酸奶发酵剂的研究进展[J]. 现代食品科技, 2001, 17(3):43-46. (Huang L C, Lyu X L, Xing X H. Research progress of yoghurt starter[J]. Modern Food Science & Technology, 2001, 17(3):43-46. )
- [19] 乔发东, 吴秀芳. 浓缩乳酸菌发酵剂的现状[J]. 中国乳品工业, 1998(1):22-23. (Qiao F D, Wu X F. Present status of concentrated lactic acid bacteria starter culture[J]. China Dairy Industry, 1998(1):22-23. )
- [20] 贾士杰, 生庆海. 发酵乳及新型发酵剂的研究概况[J]. 中国奶牛, 2000(3):45-48. (Jia S J, Sheng Q H. The research situation of fermented milk and new starter cultures[J]. China Dairy Cattle, 2000(3):45-48. )
- [21] Beshkova D, Simova E, Frengova G, et al. Production of flavour compounds by yogurt starter cultures[J]. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology, 1998, 20(3-4):180-186.
- [22] Ott A, Fay L B, Chaintreau A. Determination and origin of the aroma impact compounds of yogurt flavor[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1997, 45(3):850-858.
- [23] Lubbers S, Decourcelle N, Vallet N, et al. Flavor release and rheology behavior of strawberry fatfree stirred yogurt during storage[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2004, 52(10): 3077.
- [24] Imhof R, Glatli H, Bosset J O. Volatile organic aroma compounds produced by thermophilic and mesophilic mixed strain dairy starter cultures[J]. LWT - Food Science and Technology, 1995, 28(1):78-86.
- [25] Stelios K, Paraskeri S, Theophiles M. Comparison of the characteristics of set type yoghurt made from ovine milk of different fat content[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2007, 42(9):1019-1028.
- [26] Routray W, Mishra H N. Scientific and technical aspects of yogurt aroma and taste: A review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2011, 10(4):208-220.
- [27] Wilkens W F, Lin F M. Gas chromatographic and mass spectral analyses of soybean milk volatiles[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1970, 18(3): 333-336.
- [28] Zhang Y, Guo S, Liu Z, et al. Off-flavor related volatiles in soymilk as affected by soybean variety, grinding, and heat-processing methods[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2012, 60(30):7457-7462.
- [29] Yuan S H, Chang S K. Selected odor compounds in cooked soymilk as affected by soybean materials and direct steam injection[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(7):S481.
- [30] Shi X, Li J, Wang S, et al. Flavor characteristic analysis of soymilk prepared by different soybean cultivars and establishment of evaluation method of soybean cultivars suitable for soymilk processing[J]. Food Chemistry, 2015, 185: 422-429.
- [31] 李锋. 不同类型的大豆蛋白制备大豆酸奶的研究[D]. 江苏: 江南大学, 2004. (Li F. Preparation of soy-based yogurt with different types of soy proteins[D]. Jiangsu: Jiangnan University, 2004. )
- [32] Rasic J L, Kurmann J A. Yoghurt: Scientific grounds, technology, manufacture and preparations[J]. Rasic & Kurmann, 1978.