

抗氧化活性发酵酸乳制备条件的优化

王静雅¹, 彭新颜^{1*}, 姜毓君², 孟 炯², 于海洋³

(1.鲁东大学食品工程学院, 山东 烟台 264025; 2.国家乳业工程技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150086;

3.山东商务职业学院食品工程系, 山东 烟台 264670)

摘 要: 利用具有抗氧化活性的植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*, *L.p*) 与嗜热链球菌 (*Streptococcus thermophilus*, *S.t*) 偶联发酵, 研制具有抗氧化功效的酸奶。依次研究了发酵温度、接种量、菌种复配比等因素对酸奶质量的影响, 通过测定产品对硫代巴比妥酸反应物质 (thiobarbituric acid reactive substance assay, TBARS) 的抑制作用、还原能力、金属离子螯合能力和1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 自由基清除能力, 评价所研制酸奶的抗氧化功效, 并探讨了温度对后酸化控制的影响。结果表明: 在接种量为2%、43 ℃发酵、杆菌与球菌以1:1.5复配条件下, 产品品质最佳; 与室温相比, 5 ℃贮藏, 后酸化可控。当杆菌与球菌复配比为1:1.5时酸奶的抗氧化效果最好。

关键词: 抗氧化活性; 酸奶; 发酵条件; 优化

Optimization of Preparation Conditions for Fermented Yogurt with Antioxidant Activity

WANG Jingya¹, PENG Xinyan^{1*}, JIANG Yujun², MENG Jiong², YU Haiyang³

(1. College of Food Engineering, Ludong University, Yantai 264025, China; 2. National Research Center of Dairy Engineering and Technology, Harbin 150086, China; 3. Department of Food Engineering, Shandong Business Institute, Yantai 264670, China)

Abstract: Co-culture of *Lactobacillus plantarum* (*L.p*) with antioxidant ability and *Streptococcus thermophilus* (*S.t*) was used to produce yogurt with antioxidant activity. The culture conditions temperature, inoculum size, and *L.p* to *S.t* ratio were examined. By measuring the inhibition of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), reducing power, metal ion chelating capacity and 1,1-diphenyl-2-tridinitrophenylhydrazine (DPPH) radical scavenging capacity, the antioxidant activity of yogurt was evaluated, and the control of its postacidification by temperature was also discussed. The results showed that a yogurt with the best quality and controlled postacidification at 5 ℃ was obtained when the fermentation was carried out at 43 ℃ using an inoculum size of 2% at an *L.p* to *S.t* ratio of 1:1.5. The yogurt fermented by *L.p* and *S.t* at the ratio of 1:1.5 had the highest antioxidant activity.

Key words: antioxidant activity; yogurt; fermentation conditions; optimization

中图分类号: TS252

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 01-0153-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201501029

在食品加工贮藏过程中, 氧化造成的质量劣变与微生物腐败相当, 会引起食品发生酸败, 产生不良风味, 甚至会产生有毒物质, 缩短货架期^[1]。为了降低氧化产生的危害, 较理想的方法是添加抗氧化剂或食物本身具有抗氧化活性, 提高食物的抗氧化性能。随着人们对化学合成抗氧化剂潜在危害的认识, 开发高效、无毒的天然抗氧化物质及生产本身具有抗氧化功效的食品显得尤为重要^[2]。乳酸菌一般存在于蔬菜、水果、乳制品、肉

制品、水产品, 尤其是各类发酵食品中。研究表明, 许多乳酸菌不仅具有良好的体内、体外抗氧化效果^[3-4], 其发酵产品也具有较好的抗氧化功效。我国疆域辽阔, 蕴藏着丰富多样的乳酸菌资源, 如果能筛选其中具有抗氧化活性的优良菌株, 用于生产具有抗氧化功效的发酵产品, 可以为乳品市场增加新品种, 并对推动我国益生菌产业具有积极作用。

科尔沁草原与锡林郭勒草原相接, 当地酸奶以纯

收稿日期: 2014-06-19

基金项目: 山东省高等学校科技计划项目 (J13LE55); 中国博士后基金面上资助项目 (2012M510911);

鲁东大学横向课题项目 (2012HX042); 山东省成人高等教育特色课程项目 (20131206)

作者简介: 王静雅 (1992—), 女, 本科生, 研究方向为食品科学。E-mail: 562666870@qq.com

*通信作者: 彭新颜 (1976—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为抗氧化活性物质开发及食品营养与安全。

E-mail: pengxinyan2006@163.com

天然、无污染的新鲜牛奶为原料,结合内蒙古传统工艺加工而成,特别是牧民家庭小环境中制作的酸奶,不论在风味特色还是营养功效方面都有很高的研究价值^[5]。实验室从内蒙古科尔沁草原牧民家庭传统酸奶样品中筛选出一株植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*, *L.p*) NDC75017,前期研究表明,此菌株具有高产 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyrate, GABA)的能力^[6-7],并可防止脂多糖(lipopolysaccharides, LPS)诱导大鼠的氧化应激和炎症损伤,这些都与其自身的抗氧化活性有关^[8]。在前期工作基础上,本研究继续利用具有抗氧化潜力的植物乳杆菌联合嗜热链球菌发酵,通过优化生产工艺,研制出既具有营养价值又具有抗氧化功效的酸奶。

1 材料与方法

1.1 菌株、培养基与试剂

植物乳杆菌NDC75017来源于内蒙古科尔沁草原牧民家自制酸奶;嗜热链球菌(*Streptococcus thermophilus*, *S.t*)来自东北农业大学乳品科学教育部重点实验室;生鲜牛奶、蔗糖均为市售。

植物乳杆菌和嗜热链球菌分别采用MRS和M17培养基培养 德国Merck公司;大豆卵磷脂、抗坏血酸钠、菲洛嗪(ferrozine)、三吡啶三吡嗪(1,3,5-tri(2-pyridyl)-2,4,6-triazine, TPTZ)和1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 美国Sigma公司;其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

CP214精密分析天平 美国梅特勒-托利多集团;pHS-25型酸度计 上海精科雷磁仪器厂;LG10-24A高速离心机 北京医用离心机厂;XHF-I高速分散器 宁波新芝生物科技股份有限公司;紫外-可见分光光度计 日本岛津公司;高压均质机 宁波江南仪器厂。

1.3 实验方法

1.3.1 工艺流程^[9]

鲜牛奶→净化→加蔗糖配料→过滤→均质→杀菌→冷却接种→分装→发酵→后熟→成品

净化:预热到32℃后,经离心净乳机净化;加蔗糖配料、过滤:按原料8%比例将白糖溶于60℃的热奶中,搅拌均匀后过滤;均质:采用65℃、16 MPa压力均质;杀菌:95℃杀菌5 min;冷却接种:冷却到接种温度,按比例接入发酵剂,并搅拌均匀;分装、发酵:分装于四旋盖瓶后,恒温发酵;冷却、后熟:发酵结束后(一般pH 4.5左右即为发酵终点),再经后熟,即为成品。

1.3.2 最佳发酵温度确定

按照2%的比例接种,所采用*L.p*与*S.t*复配比例为1:1,然后将奶样分别置于30、37、43℃恒温箱内发酵,

在发酵过程中,间隔一定时间取样测定pH值,记录发酵时间,并对不同温度条件下发酵所得的酸奶进行感官评定,确定酸奶的适宜发酵温度。

1.3.3 最佳接种量确定

将发酵剂分别按照1%、2%、3%和4%的量接种,然后将奶样置于43℃条件下发酵,在发酵过程中,间隔一定时间取样测定pH值,并对不同接种量的酸奶进行感官评定,确定最佳接种量。

1.3.4 菌株复配比例确定

按照2%的比例接种,所采用*L.p*与*S.t*复配比例为2:1、1.5:1、1:1、1:1.5和1:2(设定为I、II、III、IV和V 5个组),每个接种比例做20个重复,将奶样置于43℃条件下发酵,记录发酵时间和pH值并进行感官评定,确定杆菌与球菌的最适复配比例,后期再研究复配对抗氧化活性的影响。

1.3.5 DPPH自由基清除能力的测定

参考彭新颜^[10]的方法,准确吸取1 mL的DPPH乙醇溶液(0.2 mol/L)加入反应管中,然后吸取1 mL经均质的酸奶样品加入反应管中,充分混匀,将反应管室温下静置30 min,于517 nm波长处测定其吸光度。

1.3.6 硫代巴比妥酸反应物质(thiobarbituric acid reactive substance assay, TBARS)的测定

吸取1 mL经过均质处理的酸奶样品,参考Sinnhuber等^[11]的方法,反应离心后,于532 nm波长处测定反应液的吸光度,TBARS值是以每升脂质氧化样品溶液中所含丙二醛的毫克数表示。

1.3.7 三价铁还原抗氧化能力(ferric ion reducing antioxidant power, FRAP)的测定

参照彭新颜^[10]的方法,准确吸取6.0 mL的FRAP试剂于反应管中,吸取0.2 mL经均质的酸奶样品加入到反应管中,再加0.6 mL的H₂O,混合均匀,静置反应10 min后,于593 nm波长处测定其吸光度,样品的FRAP值是以达到同酸奶样品相同吸光度所需要的FeSO₄的毫摩尔数表示。

1.3.8 Cu²⁺和Fe²⁺金属离子螯合能力的测定

Cu²⁺和Fe²⁺螯合能力的测定参考Peng Xinyan等^[12]的方法,吸取1 mL经均质的酸奶样品,加在各自的反应体系中,静置反应30 min,再分别于632 nm和562 nm波长处测吸光度。螯合能力计算公式如下。

$$\text{金属离子螯合能力/\%} = \left(1 - \frac{A_0}{A_1}\right) \times 100$$

式中: A_0 为酸奶样品吸光度; A_1 为空白样液的吸光度。

1.3.9 酸奶的感官评定

找10位经过训练的同学对酸奶进行感官评定,为保

证感官评定的准确性, 取样要适量且具有代表性, 感官评定项目为色泽20分、滋味30分和组织状态50分, 总分100分, 具体评定标准如表1所示。

表1 酸奶感官评价指标和评分标准
Table 1 Sensory evaluation indicators and assessment criteria of yogurt

评价指标	特征	评分范围
色泽 (20分)	光泽均匀, 乳白色	20~15
	淡黄色	15~10
	浅灰色	10~5
	霉菌污染, 异常颜色	5~0
滋味 (30分)	有奶香味, 酸甜可口	30~24
	过酸或过甜	24~18
	略有酸涩味	18~12
	略有苦味	12~6
	氧化, 金属味或异常滋味	6~0
组织状态 (50分)	组织状态均匀, 细腻无凝块, 无气泡, 浓厚	50~40
	组织细腻可口, 有少量凝块, 无气泡	40~30
	组织不均匀, 凝块较大, 无气泡, 少量乳清析出	30~20
	组织不均匀, 有气泡, 有絮状物, 大量乳清析出	20~10
	组织极不均匀, 乳清析出严重, 有絮状物及气泡	10~0

1.3.10 后酸化过程中乳酸菌数量和pH值的变化

将发酵好的酸奶分别贮存于室温(25℃)和冷藏(5℃)条件下, 确定防止酸奶后酸化的最适温度, 操作如下: 分别取两种贮存温度下的奶样1 mL, 对其进行 10^6 倍的稀释并涡旋振荡混匀; 取稀释后的奶样100 μ L分别涂布于3个MRS(植物乳杆菌)和3个M17(嗜热链球菌)固体平板上; 分别置于30、37℃培养箱内培养; 培养24 h后拿出平板, 进行菌落计数, 同时每天拿出一份贮存于25℃和5℃的酸奶样品测定pH值, 连续检测其1~28 d乳酸菌数量和pH值的变化情况。

1.4 统计分析

每个实验重复3次, 结果表示为 $\bar{x} \pm s$ 。数据统计分析采用Statistix 8.1(分析软件, St Paul, MN)软件包中Linear Models程序进行, 差异显著性($P < 0.05$)分析使用Tukey HSD程序, 采用Sigmaplot9.0和Excel6.0作图。

2 结果与分析

2.1 发酵温度的确定

表2 不同发酵温度对酸奶品质的影响
Table 2 Effect of fermentation temperature on the quality of yogurt

发酵温度/℃	发酵时间/h	发酵终点pH	感官评分			均分
			色泽	滋味	组织状态	
30	3.1	4.51±0.18	18.9	19.4	22.5	60.8
37	5.2	4.48±0.14	18.2	23.3	21.5	63.0
43	3.5	4.52±0.07	18.4	25.4	43.2	87.0

由表2可知, 30℃发酵时, 酸奶发酵时间最短, 但组织状态很差, 乳清析出严重, 并伴有气泡产生, 而且

由于*L.p*生长速率太快而产酸严重, 造成酸奶口感过酸, 不易被消费者接受, 酸奶中还含有很多凝块, 总体质量不符合产品标准。37℃发酵时, 凝乳时间最长, 不利于生产, 且生产出的酸奶组织状态不均匀, 有乳清析出, 酸甜比不佳。43℃发酵时, 酸奶凝乳时间比较适宜, 产品组织状态良好, 色泽、滋味都比较好, 口感最佳, 因此最适发酵温度为43℃。

2.2 接种量的确定

表3 不同接种量对酸奶品质的影响
Table 3 Effect of inoculum amount on the quality of yogurt

接种总量/%	<i>L.p</i> 接种量/%	<i>S.t</i> 接种量/%	发酵时间/h	发酵终点pH	感官评分			均分
					色泽	滋味	组织状态	
1	0.5	0.5	5.7	4.48±0.13	15.4	21	16.2	52.6
2	1.0	1.0	3.3	4.52±0.14	18.1	26	45.4	89.5
3	1.5	1.5	3.1	4.46±0.07	18.3	21	27.2	66.5
4	2.0	2.0	2.4	4.53±0.08	17.5	18.5	17.6	53.6

由表3可知, 当接种量为1%时, 酸奶风味不佳, 发酵时间过长, 不适合实际工厂化生产。接种量为3%和4%时凝乳时间虽然比较短, 但是口味略偏酸, 风味差, 接种量为4%时乳清析出严重、组织状态一般。当接种量为2%时, 凝乳时间适宜, 酸甜适口, 风味自然, 组织状态良好, 因此确定最佳接种量为2%。

2.3 菌株复配比例的确定

表4 不同复配比例对酸奶品质的影响
Table 4 Effect of *L.p* to *S.t* ratio on the quality of yogurt

分组	复配比例	<i>L.p</i> 接种量/%	<i>S.t</i> 接种量/%	发酵时间/h	发酵终点pH	感官评分			均分
						色泽	滋味	组织状态	
I	2:1	1.33	0.67	5.6	4.51±0.11	10.8	20	28.2	59.0
II	1.5:1	1.2	0.8	5.2	4.43±0.09	13	19.7	15.1	47.8
III	1:1	1.0	1.0	4.3	4.47±0.12	15.4	24.2	30.3	79.9
IV	1:1.5	0.8	1.2	3.4	4.52±0.14	17.8	26	44	88.4
V	1:2	0.67	1.33	3.0	4.49±0.19	16	25	39	81.1

由表4可知, 前3组实验发酵时间都超过了4 h, 不利于控制杂菌污染, 且不经济, 同时酸奶组织状态不均匀, 有凝块, 闻起来有刺鼻酸味, 口感酸涩, 后熟过程中有大量乳清析出。当复配比例为1:1.5和1:2时, 酸奶分别在3.4 h和3.0 h凝固, 符合工业化生产的要求, 特别是当复配比例为1:1.5时, 酸奶组织状态均一, 无凝块与气泡, 口感细腻且酸甜可口, 长时间放置仅有少量乳清析出, 酸奶质量在5组酸奶中为最好。综合pH值及发酵时间的结果, 最终确定最佳复配比为1:1.5。

2.4 抗氧化活性分析

由图1可知, 酸奶的抗氧化活性与发酵剂中杆菌与球菌的比例有关, 杆菌与球菌比例越大, 酸奶的FRAP值越小, 当*L.p*与*S.t*复配比例在1:1.5时, 酸奶的FRAP值最大, 达到740.67 μ mol/L, 且与其他组相比差异显著

($P < 0.05$)。同样,当 $L.p$ 与 $S.t$ 比例在1:1.5时,DPPH自由基清除能力达到45%,清除率最高,与其他组比差异显著($P < 0.05$)。杆菌与球菌比例为1:1.5或1:2时均对脂质氧化体系TBARS有较好的抑制作用,虽然第V组比第IV组TBARS值稍低,但差异并不显著($P > 0.05$)。综上, $L.p$ 与 $S.t$ 的复配比在1:1.5时,抗氧化效果最佳。

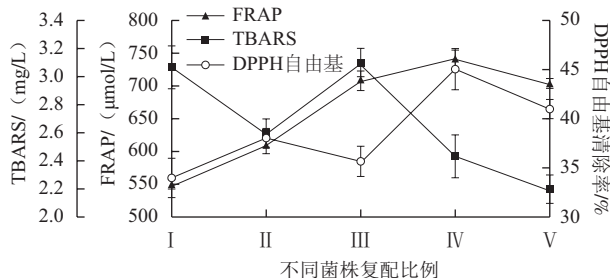


图1 菌种复配比例对酸奶抗氧化活性的影响

Fig.1 Effect of $L.p$ to $S.t$ ratio on antioxidant activity of yogurt

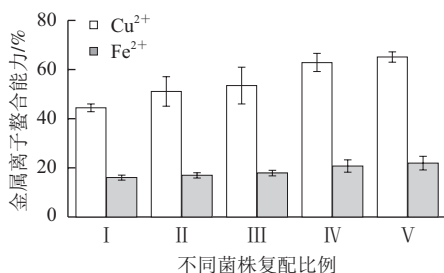


图2 酸奶金属离子螯合能力

Fig.2 Metal ion chelating capacity of yogurt

由图2可知,发酵剂中 $L.p$ 与 $S.t$ 的复配比例对酸奶的 Fe^{2+} 螯合能力无显著影响($P > 0.05$),III、IV、V组 Cu^{2+} 螯合能力显著高于I、II组($P < 0.05$),即杆菌与球菌复配比例在1:1、1:1.5和1:2时螯合 Cu^{2+} 离子的能力较强,V组 Cu^{2+} 螯合能力比IV组稍低,但差异并不显著($P > 0.05$)。第V组的 Fe^{2+} 离子螯合能力都在20%左右,远低于 Cu^{2+} 螯合效果,这说明此款酸奶对 Cu^{2+} 螯合能力强于 Fe^{2+} 。综合图1的结果,当发酵剂中 $L.p$ 与 $S.t$ 复配比例在1:1.5时,酸奶抗氧化活性较强。

2.5 后酸化过程中乳酸菌数量及pH值的变化

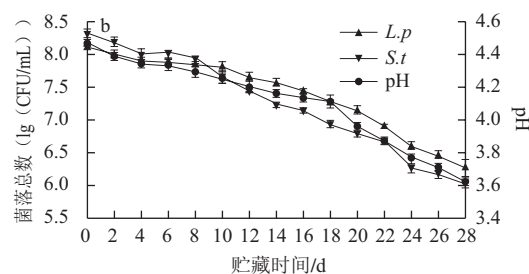
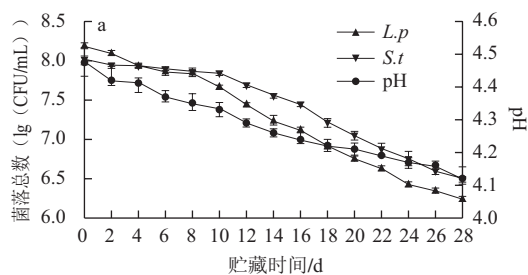


图3 5 °C (a) 和25 °C (b) 贮存条件下菌落总数及pH值变化情况

Fig.3 Changes in bacterial counts and pH during storage at 5 °C (a) and 25 °C (b)

酸奶中的乳酸菌活菌数是检测酸奶是否合格的重要指标。由图3可知,当发酵好的酸奶样品贮藏于5 °C时,两种乳酸菌活菌数量下降缓慢,并且下降趋势基本一致,当贮藏到28 d时,酸奶中各菌数均在 10^6 CFU/mL以上,符合酸奶活菌数的要求。贮存于室温下(25 °C)的酸奶在贮藏28 d时,菌数也能够满足要求,但口感远不如5 °C贮藏的效果好。

当发酵好的酸奶样贮藏于5 °C时,pH值下降缓慢,在14 d时pH值在4.3左右,甚至到28 d时pH值仍在4.1左右,无明显变化,酸奶口感酸甜适度,适宜消费者饮用。而贮藏于25 °C室温条件下的酸奶样品其pH值下降迅速,在22 d时pH值降低到3.8左右,到28 d时pH值可降至3.7以下,此时酸奶酸味过重,甚至有刺鼻的酸味,难以被消费者接受。可见,采用5 °C贮藏,不仅后酸化可控,也有助于生产出酸甜可口、口感细腻、组织状态俱佳的酸奶。综合上述乳酸菌数量、pH值及口感三方面因素,认为酸奶的贮藏温度为5 °C比较适宜。

3 讨论

发酵温度和接种量是影响酸奶凝乳速率和质量的重要因素^[13],本实验在30、37、43 °C 3个不同温度下发酵,观测酸奶凝乳时间和凝乳后酸奶的组织状态。结果表明,43 °C凝乳组织细腻、有少量凝块、无气泡,滋味良好,是最适宜发酵的温度。同时综合凝乳时间和组织状态来看,本实验确定的最佳接种量为2%,与已知文献^[14]报道的结果一致。

在酸奶发酵过程中乳杆菌与嗜热链球菌存在着共生关系^[15]。嗜热链球菌在一定条件下会将乳糖发酵成L-乳酸,其代谢产物可刺激杆菌的生长,使两种菌在酸奶发酵过程中保持着良好的共生协同作用。有研究发现,若单独用植物乳杆菌发酵,酸奶组织状态变差且后酸化严重,有酸涩味,口感差,这可能是因为植物乳杆菌有较强的耐酸能力,酸奶pH值达4.5后,仍旧生长迅速并大量产酸,致使酸奶乳清析出,组织状态变差。同时植物乳

杆菌的继续生长,将酸奶中的部分蛋白质分解成短肽,出现苦涩味^[16]。Yang Mei等^[17]发现,酸奶在发酵过程中植物乳杆菌主要产酸,嗜热链球菌主要产黏、产香,如果植物乳杆菌比例太大,就会导致凝乳之后酸度继续下降,影响产品口感及性状,而后者比例太大,则使产酸缓慢,凝乳时间过长,从而加大了工业生产的成本,这也与本研究的结果一致。

乳酸菌抗氧化能力除通过体外实验和体内动物实验体现外,其发酵产品抗氧化活性也逐渐成为研究热点。例如Kang等^[18]采用短乳杆菌来发酵海带,结果表明,发酵的海带可以明显提高人体内血清超氧化物歧化酶和过氧化氢酶的酶活力,其主要原因是乳杆菌具有一定的抗氧化能力。Tijana等^[19]利用酿酒酵母菌和乳酸杆菌发酵谷物,经过研究发现,发酵可在一定程度上提高产品的抗氧化能力。孟和毕力格等^[20]从酸马奶中分离出嗜酸乳杆菌MG2-1,具有一定的抗氧化活性。何书美^[21]用邻苯三酚自氧化法研究了三元酸奶、君乐宝酸奶、沙棘酸奶、蒙牛大果粒酸奶以及藏灵菇发酵酸奶中乳酸菌的清除超氧阴离子能力,发现这5种酸奶清除自由基的能力不同。Takashi等^[22]筛选出多株具有抗氧化活性的乳酸杆菌,利用这些乳杆菌在42℃发酵牛奶,所制备的酸奶自由基清除能力明显增加。本实验所研制酸奶具有良好的抑制TBARS形成作用、DPPH自由基清除能力、亚铁还原能力和Cu²⁺螯合能力,这也说明酸奶的抗氧化作用可能是通过不同方面体现的。从各项抗氧化指标来看,发酵剂的种类和复配比对酸奶的抗氧化活性影响最大。从理论上分析,由于杆菌具有很好的抗氧化活性,那么杆菌比例越高,产品的抗氧化效果就应该更好。但实际却并非如此,当杆菌与球菌复配比在1:1.5时,所发酵酸奶的抗氧化活性最高。赵谦^[23]曾将具有自由基清除能力的乳杆菌用于发酵乳清,结果发现,发酵乳的抗氧化活性受发酵时间的影响,随着发酵时间的延长,水解度逐渐增大,芳香族氨基酸和疏水性氨基酸含量增加,发酵乳抗氧化活性也随之增大。据此推测,之所以出现上述矛盾的结果,很可能是因为乳杆菌比例较大时,会导致短时间内大量产酸,pH值迅速降到4.5,使产品到达终点,来不及产生大量的抗氧化物质。

酸奶的保质期不仅受酵母菌和霉菌污染的影响,后酸化也是重要的影响因素。其中后期贮藏、运输、销售过程中由于乳酸菌继续生长繁殖,残余的乳糖发酵成乳酸,pH值降低,从而出现难以接受的重酸味,这些都是由于后酸化造成的^[24-25]。实验通过观察不同贮藏温度条件下乳酸菌数量及pH值的变化情况,通过对比发现,在5℃条件下贮藏,后酸化可以控制,酸奶的口感、菌数、pH值均处于最佳状态。

4 结 论

实验研究了植物乳杆菌与嗜热链球菌联合发酵生产酸奶的条件,并分别测定了5种不同复配比例酸奶的抗氧化能力及温度对后酸化控制的影响。结果表明,酸奶的

最佳发酵条件为:接种量2%、植物乳杆菌与球菌复配为1:1.5、发酵温度为43℃。综合各项抗氧化指标,植物乳杆菌与嗜热链球菌以1:1.5复配发酵的酸奶抗氧化活性最强。在5℃贮藏时,后酸化可控,酸奶质量最佳。

参考文献:

- [1] UTRERA M, PARRA V, ESTÉVEZ M. Protein oxidation during frozen storage and subsequent processing of different beef muscles[J]. Meat Science, 2014, 96(2): 812-820.
- [2] PENG Xinyan, KONG Baohua, YU Haiyang, et al. Protective effect of whey protein hydrolysates against oxidative stress in *D*-galactose-induced aging rats[J]. International Dairy Journal, 2014, 34(1): 80-85.
- [3] TOMOMI K, TAKASHI K, CHO A, et al. Radical scavenging capacities of saba-narezushi, Japanese fermented chub mackerel, and its lactic acid bacteria[J]. Food Science and Technology, 2012, 47(1): 25-30.
- [4] ANOECTOCHILUS F H, NG C C, WANG C Y, et al. Lactic acid bacterial fermentation on the production of functional antioxidant herbal[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2011, 111(3): 289-293.
- [5] 敖敦格日乐. 科尔沁草原牧区牛乳酸菌生物学特性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2001.
- [6] GUO Ying, MAN Chaoxin, YANG Xiangyi, et al. Identification of a high γ -aminobutyric acid-producing *Lactobacillus plantarum* from traditional dairy products in Inner Mongolia of China[J]. Journal of Animal Science, 2012, 95(Suppl 3): 22-26.
- [7] 薛玉清, 单艺, 满朝新, 等. γ -氨基丁酸发酵乳的研制[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(11): 85-90.
- [8] PENG Xinyan, JIANG Yujun. Protective effects of *Lactobacillus plantarum* NDC 75017 against lipopolysaccharide-induced liver injury in mice[J]. Inflammation, 2014. doi: 10.1007/s10753-014-9886-1.
- [9] 杜昭平, 刘鑫, 马成杰, 等. 菌株性能及球杆菌比例对酸奶品质的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 31(8): 209-212; 215.
- [10] 彭新颜. 乳清蛋白水解物抗氧化活性的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(3): 167-172.
- [11] SINNHUBER R O, YU T C. 2-Thiobarbituric acid method for the measurement of rancidity in fishery products II the quantitative determination of malonaldehyde[J]. Food Technology, 1958, 12(3): 9-12.
- [12] PENG Xinyan, KONG Baohua, XIA Xiufang, et al. Reducing and radical scavenging activities of whey protein hydrolysates prepared with Alcalase[J]. International Dairy Journal, 2010, 20(5): 360-365.
- [13] HOU C W, JENG K C, CHEN Y S. Enhancement of fermentation process in Pu-erh tea by tea-leaf extract in Pu-erh tea by tea-leaf extract[J]. Food Science, 2010, 75(1): 44-48.
- [14] ZIADI M, BERGOT G, COURTIN P, et al. Amino acid catabolism by *Lactococcus lactis* during milk fermentation[J]. International Dairy Journal, 2010, 20(1): 25-31.
- [15] 赵瑞香, 孙俊良, 于涛, 等. 嗜酸乳杆菌与嗜热链球菌共发酵互生机理的研究[J]. 生物技术, 2005, 15(3): 28-30.
- [16] BERMUDEZ-HUMARAN L G, CORTES-PEREZ N G, HARIDON R L, et al. Production of biological active murine IFN- γ by recombinant *Lactococcus lactis*[J]. FEMS Microbiology Letters, 2008, 280(2): 144-149.
- [17] YANG Mei, LI Li. Physicochemical, textural and sensory characteristics of probiotic soy yogurt prepared from germinated soybean[J]. Food Technology and Biotechnology, 2010, 48(4): 490-496.
- [18] KANG Y M, LEE B J, KIM J I, et al. Antioxidant effects of fermented sea tangle (*Laminaria japonica*) by *Lactobacillus brevis* BJ20 in individuals with high level of c-GT: a randomized, double-blind, and placebo-controlled clinical study[J]. Food and Chemical Toxicology, 2012, 50(3/4): 1166-1169.
- [19] TIJANA M D, SLAVICA S, SILER M, et al. Effect of fermentation on antioxidant properties of some cereals and pseudo cereals[J]. Food Chemistry, 2010, 119(3): 957-963.
- [20] 孟和毕力格, 周雨霞, 张和平, 等. 酸马奶中乳杆菌MG2-1株的抗氧化活性作用研究[J]. 中国乳品工业, 2005, 33(9): 21-24.
- [21] 何书美. 酸奶中乳酸菌清除超氧阴离子能力的研究[J]. 食品科技, 2013, 38(2): 39-41.
- [22] TAKASHI K, NATSUKI K, TOSHIHIRO Y, et al. Induction of superoxide anion radical scavenging capacity in Japanese white radish juice and milk by *Lactobacillus plantarum* isolated from aji-narezushi and kaburazushi[J]. Food Chemistry, 2010, 120(2): 517-522.
- [23] 赵谦. 抗氧化乳杆菌的筛选及其抗氧化活性的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2010: 40-46.
- [24] RAMCHANDRAN L, NAGENDRA P. Characterization of functional, biochemical and textural properties of symbiotic low-fat yogurts during refrigerated storage[J]. Food Science and Technology, 2010, 43(5): 819-827.
- [25] 郭清泉, 张兰威, 林淑英. 酸奶发酵机理及后酸化控制措施[J]. 食品与发酵工业, 2001, 27(2): 80-83.