

司俊玲,李 红,郑坚强,等. 小米杂粮酸乳发酵剂的优选研究[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):229-231.

# 小米杂粮酸乳发酵剂的优选研究

司俊玲,李 红,郑坚强,申瑞玲

(郑州轻工业学院食品与生物工程学院,河南郑州 450001)

**摘要:**通过试验优选出小米杂粮酸乳发酵剂的最佳配比为丁 0.90% 二酮链球菌、0.62% 嗜热链球菌、1.60% 嗜酸乳杆菌,并研究了各发酵剂对小米杂粮酸乳品质的影响;经检测,嗜酸乳杆菌数达到  $4.0 \times 10^8$  CFU/mL 以上。

**关键词:**小米;杂粮酸乳;发酵剂;最佳配比

**中图分类号:**TS252.54 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)02-0229-03

酸乳因其营养价值高、口感细腻、含有健康功能因子而深受人们喜爱。近年来,我国相关研究者为了提高杂粮的营养功效,对我国特有的杂粮产品进行了部分研究,开发了杂粮酸乳制品,为市场上提供了新型的酸乳制品<sup>[1-3]</sup>。加入杂粮(小米)降低了鲜奶中蛋白质的含量,只用传统发酵剂(嗜热链球菌和保加利亚乳杆菌)会影响酸乳的滋味和香气,而丁二酮乳酸链球能够增加香味成分。嗜酸乳杆菌能在肠道内定殖,可以改善肠道菌群,抑制致癌物质的产生,起到整肠作用;嗜酸乳杆菌及其代谢物活化了免疫功能,可抑制癌细胞的形成和增殖<sup>[4-5]</sup>。因此,本研究在传统发酵剂的基础上添加嗜酸乳杆菌和丁二酮乳酸链球菌,研究适合小米杂粮酸乳的新型发酵剂,为杂粮发酵制品的开发提供研究基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

小米选用山西省长治市沁州黄小米;鲜奶由河南农业大学畜牧站提供。

### 1.2 供试菌株

嗜热链球菌(*Streptococcus thermophilus*)、丁二酮乳酸链球菌(*Str diacetylactis*)、嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*)由中国食品发酵工业研究院提供,由冻干菌种活化 5 代制成工业发酵剂。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 杂粮发酵原料液制备<sup>[6]</sup>

#### 1.3.1.1 制备工艺

小米→净化→熟化→磨浆  
鲜牛奶→净化→标准化 } 调配→杀菌→冷却→均质→冷却  
→无菌包装

1.3.1.2 杂粮发酵原料液的配比 小米熟化液(小米:水=1 g:9 mL)25%,鲜奶 75%。

1.3.2 杂粮发酵产品的制作 在已研制出的米奶产品<sup>[6]</sup>中分别按照设计的添加量加入菌种,加糖量为 7.0%,在 38~42℃ 恒温箱中发酵。以滴定酸度 0.7%~0.8% 为发酵终点。

1.3.3 杂粮发酵制品的质量评定 采用感官评分(60%)、酸度滴定(30%)和乳酸菌数(10%)的综合评价方法。

发酵制品的感官评定标准为 60 分,由 10 个经培训的感官小组人员从以下 5 个方面随机评价编码的酸乳:(1)色。色泽为乳白色或略带淡黄色(5 分)。(2)香。天然乳脂香气浓郁,有食欲感(15 分)。(3)味。酸中有甜、甜中带酸、酸甜含香的复合滋味(15 分)。(4)形。凝固如玉,用勺取出部分观察,切面呈瓷状,表面光滑,无粗颗粒或杂质出现,于手中不是一触就散,是凝固而不破坨;取出后,杯内出现凹坑深而不变形,约 20 min 后,坑底有少量乳清析出,但坑仍不变形(20 分)。(5)异味。无霉味、酵母味或非酸乳味(5 分)。

1.3.4 微生物测定 乳酸菌总数测定采用 MRS 培养基,温度 37℃,时间 24~48 h<sup>[7]</sup>。

1.3.5 酸度测定 pH 值用 pH 酸度计测定;TA(滴定酸度)用 0.1 mol/L 的 NaOH 滴定。

1.3.6 全营养杂粮小米酸乳复合发酵剂的优选试验 全营养杂粮小米酸乳所需发酵剂为丁二酮乳酸链球菌、嗜热链球菌、嗜酸乳杆菌。试验采用三因子二次通用旋转组合设计,编码水平见表 1。

收稿日期:2013-06-11

基金项目:河南省教育厅科技攻关项目(编号:2011A550016)。

作者简介:司俊玲(1976—),女,山西孝义人,硕士,副教授,主要从事谷物杂粮研究。E-mail:jlsj76@126.com。

[3] Prabakaran M, Mano J F. Chitosan-based particles as controlled drug delivery systems[J]. Drug Delivery, 2005, 12(1): 41-57.

[4] Shu X Z, Zhu K J. Controlled drug release properties of ionically cross-linked chitosan beads; the influence of anion structure[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2002, 233(1/2): 217-225.

[5] Prego C, Torres D, Fernandez-Megia E, et al. Chitosan-PEG nanocapsules as new carriers for oral peptide delivery; Effect of chitosan pegylation degree[J]. Journal of Controlled Release, 2006, 111(3):

299-308.

[6] Kim J H, Kim Y S, Park K, et al. Antitumor efficacy of cisplatin-loaded glycol chitosan nanoparticles in tumor-bearing mice[J]. Journal of Controlled Release, 2008, 127(1): 41-49.

[7] Gan Q, Wang T, Cochrane C, et al. Modulation of surface charge, particle size and morphological properties of chitosan-TPP nanoparticles intended for gene delivery [J]. Colloids and Surfaces B-Biointerfaces, 2005, 44(2/3): 65-73.

表 1 小米酸乳发酵剂优选试验的因素和水平

编码水平	因素		
	丁二酮乳酸链球菌量 $x_1$ (%)	嗜热链球菌量 $x_2$ (%)	嗜酸乳杆菌量 $x_3$ (%)
+1.682	1.136 4	0.936 4	2.072 8
+1	1.0	0.8	1.8
0	0.8	0.6	1.4
-1	0.6	0.4	1.0
-1.682	0.463 6	0.263 6	0.727 2

表 2 发酵剂优化三因子二次通用旋转设计的试验结果

试验号	$x_1$	$x_2$	$x_3$	感官评分	酸度	评分	乳酸菌数 (CFU/mL)	评分	综合评分
1	1	1	1	54	0.87	26.1	$7.0 \times 10^7$	7.0	87.1
2	1	1	-1	47	0.81	24.3	$5.6 \times 10^7$	5.6	76.9
3	1	-1	1	53	0.80	24.0	$8.2 \times 10^7$	8.2	85.2
4	1	-1	-1	48	0.78	23.4	$7.3 \times 10^7$	7.3	78.7
5	-1	1	1	50	0.80	24.0	$6.8 \times 10^7$	6.8	80.8
6	-1	1	-1	46	0.74	22.2	$7.7 \times 10^7$	7.7	75.9
7	-1	-1	1	52	0.75	22.5	$8.4 \times 10^7$	8.4	82.9
8	-1	-1	-1	50	0.69	20.7	$8.4 \times 10^7$	8.4	79.1
9	+1.682	0	0	58	0.75	22.5	$8.9 \times 10^7$	8.9	89.4
10	-1.682	0	0	41	0.67	20.1	$7.2 \times 10^7$	7.2	68.3
11	0	+1.682	0	48	0.89	26.7	$6.8 \times 10^7$	6.8	81.5
12	0	-1.682	0	50	0.65	19.5	$7.7 \times 10^7$	7.7	77.2
13	0	0	+1.682	51	0.84	25.2	$8.2 \times 10^7$	8.2	84.4
14	0	0	-1.682	47	0.76	22.8	$8.0 \times 10^7$	8.0	77.8
15	0	0	0	53	0.86	25.8	$8.0 \times 10^7$	8.0	86.8
16	0	0	0	58	0.85	25.5	$8.3 \times 10^7$	8.3	91.8
17	0	0	0	58	0.85	25.5	$8.5 \times 10^7$	8.5	92.0
18	0	0	0	58	0.86	25.8	$8.1 \times 10^7$	8.1	91.9
19	0	0	0	57	0.87	26.1	$9.0 \times 10^7$	9.0	92.1
20	0	0	0	58	0.86	25.8	$8.5 \times 10^7$	8.5	92.3

表 3 发酵剂优化试验多元回归分析系数检验

回归系数	显著性	$F$ 值
$\beta_1$	3.272	10.627 **
$\beta_2$	0.149	0.022
$\beta_3$	2.673	7.090 *
$\beta_{12}$	0.675	0.265
$\beta_{13}$	1.000	0.581
$\beta_{23}$	0.600	0.209
$\beta_{11}$	-3.980	16.588 **
$\beta_{22}$	-3.803	15.148 **
$\beta_{33}$	-3.184	10.620 **

注: $F_{0.05(1,10)}=4.96$ , $F_{0.01(1,10)}=10$ ;“\*\*”“\*”分别表示差异极显著( $P<0.01$ )、显著( $P<0.05$ )。

对该方程进行二次 F 检验,得失拟检验值  $F_1=5.021 < F_{0.05(5,5)}=5.05$ ,差异不显著,表示在本试验条件下,该回归模型所考察的因素可以反映试验中各发酵剂对杂粮酸乳综合评分指标的影响,无不可忽略的因素存在,该回归模型可以反映发酵剂在试验中起作用的大小;拟合检验值  $F_2=6.026 > F_{0.01(9,10)}=4.94$ ,差异极显著,复相关系数  $R=0.919$ ,说明该回归方程在本试验中有意义。由于数据进行了中心化标准处

2 结果与分析

2.1 小米酸乳复合发酵剂的优选试验结果

2.1.1 模型的建立与统计分析 试验结果见表 2。将得到综合评分数据经多元回归分析,用三因子二次通用旋转组合设计统计软件处理,结果见表 3。从表 3 数据可以得出以 3 种稳定剂编码值为自变量的回归方程:

$$y=91.094-3.980x_1^2-3.803x_2^2-3.184x_3^2+0.675x_1x_2+1.000x_1x_3+0.600x_2x_3+3.272x_1+0.149x_2+2.673x_3$$

其中  $y$  为综合评分。

理,可直接按回归系数绝对值的大小来分析各个因子对杂粮酸乳综合效果的影响。由回归方程可知,3 个一次项回归系数的绝对值的大小依次是  $\beta_1$ 、 $\beta_3$ 、 $\beta_2$ ,说明  $x_1$  对发酵产品的综合评分影响最大,其次是  $x_3$ ,影响最小的是  $x_2$ 。通过对个偏回归系数进行  $F$  检验可知, $x_1$ 、 $x_3$  对产品的综合评分有显著影响, $x_2$  对产品的综合评分影响不显著; $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  之间没有表现出交互效应。

2.1.2 单因子分析 在因子效应分析中,采用降维分析,将其他因子固定在零水平,分别描述单因子变动时对杂粮酸乳综合评分的影响,3 个因子的单效应方程如下:

$$y_1=91.094+3.272x_1-3.980x_1^2;$$

$$y_2=91.094+0.149x_2-3.803x_2^2;$$

$$y_3=91.094+2.673x_3-3.184x_3^2。$$

根据上述方程作图,可以得到单因子效应曲线(图 1)。从图 1 可以看出, $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  在编码值(-2,0)范围内,随着编码值的增大, $y$  值增大,呈正效应; $x_1$ 、 $x_3$  增大的幅度几乎相同,且增大速率不明显, $x_2$  虽然也增大,但是在(-2,-1)幅度较大,在(-1,0)几乎不变。 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  在(0,2)范围内,随着编码值增大, $y$  值减小,呈负效应,但减小速率不明显。

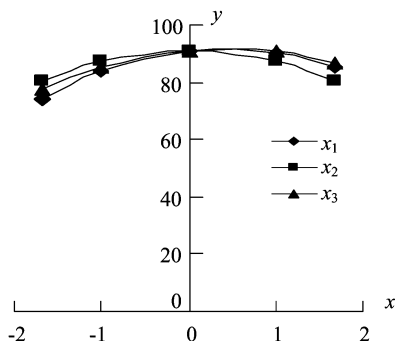


图1 单因子效应分析

2.1.3 边际效应分析 对单因子效应方程本身求一阶偏导数,得到单因子边际效应方程:

$$dy/dx_1 = 3.272 - 7.960x_1;$$

$$dy/dx_2 = 0.149 - 7.606x_2;$$

$$dy/dx_3 = 2.673 - 6.369x_3.$$

单因子边际效应方程反映了  $y$  值随各因子加入水平的变化而变化的速率。由单因子边际效应方程作曲线可以得到边际效应曲线(图2)。

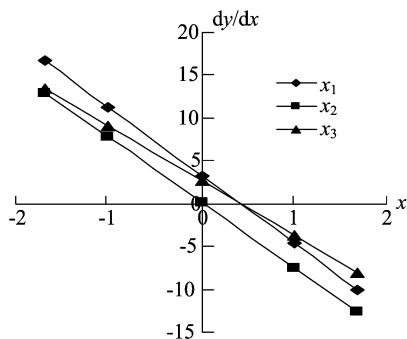


图2 单因子边际效应分析

由图2可以看出,  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  在编码值(-2,2)范围内,随着编码值增加, $y$ 值呈减小趋势; $x_1$ 、 $x_2$  在编码值(-2,2)范围内,随着编码值增加, $y$ 值减小的趋势几乎相同。

## 2.2 小米酸乳复合发酵剂的最佳添加量确定

对三因子二次通用旋转设计的试验结果进行分析,可以得到感官评分最大时,3种发酵剂添加量的编码值分别为  $x_1 = 0.483$ ,  $x_2 = 0.102$ ,  $x_3 = 0.505$ 。此时,产品综合评分  $y$  值为 92.567。将编码值换算为实际值,可以得到3种发酵剂最佳添加量为 0.90% 丁二酮乳酸链球菌、0.62% 嗜热链球菌、

1.60% 嗜酸乳杆菌。经检测,此时嗜酸乳杆菌数达到  $4.0 \times 10^8$  CFU/mL。

## 3 讨论与结论

### 3.1 发酵剂对小米酸乳风味的影响

在酸乳制品中起风味作用的主要是乙醛、丁二酮、3-羟基-2-丁酮、丙酮和丁酮-2等羰基化合物。嗜酸乳杆菌含有乙醇脱氢酶,能够将乙醛转变为乙醇,导致嗜酸乳杆菌的风味较差。对本产品来说,起风味作用的主要是丁二酮、3-羟基-2-丁酮、丙酮和丁酮-2等,前两者主要是由嗜热链球菌和丁二酮乳酸链球菌产生的,柠檬酸盐的转化是前两者的主要来源,乳糖的分解也可成为这2种香味物质的供给源;而后两者主要是由丁二酮乳酸链球菌产生的,它们赋予酸奶极为良好的风味,是该酸乳制品良好风味的主要原因。

### 3.2 小米中的氨基酸对小米酸乳风味的影响

小米中的氨基酸为嗜热链球菌提供必需的营养物质,促进嗜热链球菌生长,满足了嗜热链球菌的营养要求;小米中的苏氨酸可通过甘氨酸途径转变成乙醛,使产品的风味得到改善。

本试验对小米酸乳进行研究,优选出发酵剂的最佳组合为 0.90% 丁二酮链球菌、0.62% 嗜热链球菌、1.60% 嗜酸乳杆菌,此时综合评分最高,为 92.567;其中丁二酮链球菌作用极显著,嗜酸乳杆菌作用显著。通过乳酸菌计数,嗜酸乳杆菌数达到  $4.0 \times 10^8$  CFU/mL。

## 参考文献:

- [1] 薛月圆,李鹏,林勤保. 小米的化学成分及物理性质的研究进展[J]. 中国粮油学报,2008,23(3):199-203.
- [2] 张超,张晖,李冀新. 小米的营养以及应用研究进展[J]. 中国粮油学报,2007,22(1):51-55.
- [3] 刘丽萍. 小米营养及小米食品的开发[J]. 粮油加工与食品机械,2003,1(1):48-49.
- [4] 郭本恒. 嗜酸乳杆菌在乳品中的应用技术[J]. 食品工业,1999(1):18-19.
- [5] 吕兵,张国农,杨瑞欢. 嗜酸乳杆菌生物学特性及其发酵乳的研究[J]. 中国乳品工业,2002,30(5):37-39.
- [6] 郑坚强,司俊玲. 餐奶的研制[J]. 食品工业科技,2003,24(10):116-117.
- [7] 张刚. 乳酸细菌:基础、技术和应用[M]. 北京:化学工业出版社,2006:212-233.