

蒲城椽头馍中酿酒酵母菌和戊糖片球菌配比优化

李赛杰¹, 杨保伟¹, 张建新^{1*}, 余骅航¹, 韩朝宇¹, 黄 晨¹, 唐飞龙², 惠彦斌²

(1.西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2.蒲城县椽头馍产业化发展办公室, 陕西 蒲城 715500)

摘 要: 为研究酿酒酵母菌和戊糖片球菌不同配比对蒲城椽头馍主要特性的影响, 获得2种菌的最佳配比, 分别按酿酒酵母菌与戊糖片球菌质量比10:1、1.5:1、1:1、1:1.5、1:10加入面粉中, 制作5份椽头馍, 并对其与非物质文化遗产传承人制作的椽头馍进行pH值、质构及香气等特性检测比较研究。实验结果表明: 随着戊糖片球菌比例的增大, 椽头馍的pH值呈先降低后升高趋势, 在1:1时达到最低; 采用主成分-因子分析椽头馍的质构特性, 确定5份椽头馍样品的综合评分, 得出酿酒酵母菌与戊糖片球菌质量比为1:10和1:1时, 椽头馍的质构特性较好; 5份椽头馍呈现出不同的风味物质, 其中酿酒酵母菌与戊糖片球菌配比为1:1和1:10的样品均检测到15种挥发性产香物质, 种类最丰富, 且配比为1:1的样品中酮类、醇类、酯类、酸类关键物质相对含量较高。通过感官评价及与非物质文化遗产传承人制作椽头馍样品的pH值、质构、风味等主要特性指标对比, 确定酿酒酵母菌与戊糖片球菌质量比1:1为最佳发酵菌配比。

关键词: 椽头馍; pH值; 质构特性; 风味; 感官品质

Optimized Combination of *Saccharomyces cerevisiae* and *Pediococcus pentosaceus* as Starter Culture for Chuantou Steamed Bread

LI Saijie¹, YANG Baowei¹, ZHANG Jianxin^{1*}, YU Huahang¹, HAN Zhaoyu¹, HUANG Chen¹, TANG Feilong², HUI Yanbin²

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. Office for "Chuantou" Steamed Bread Industrial Development of Pucheng County, Pucheng 715500, China)

Abstract: In an effort to understand the effect of co-fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* and *Pediococcus pentosaceus* at different ratios on the quality characteristics of Pucheng Chuantou steamed bread and hence obtain the optimal ratio, 5 steamed bread samples were made with combined starter cultures of *Saccharomyces cerevisiae* and *Pediococcus pentosaceus* at ratios of 10:1, 1.5:1, 1:1, 1:1.5, and 1:10, and their pH, texture and aroma were evaluated and compared with those of the sample made by the successor of intangible cultural heritage. The results showed that pH increased firstly and then decreased with increasing proportion of *Pediococcus pentosaceus*, reaching a minimum at a ratio of 1:1. The texture was evaluated by principal component analysis, and the overall sensory scores were established. It was found that better texture characteristics were obtained at ratios of *Saccharomyces cerevisiae* and *Pediococcus pentosaceus* of 1:10 and 1:1. The five steamed bread samples were diverse in flavor, and the highest number (15) of volatile aroma substances was detected from each of the steamed bread samples made with 1:1 and 1:10 mixtures of *Saccharomyces cerevisiae* and *Pediococcus pentosaceus*, with the former containing higher contents of ketones, alcohols, esters and acids. Overall, Chuantou steamed bread made with 1:1 mixture of *Saccharomyces cerevisiae* and *Pediococcus pentosaceus* was the best in terms of sensory evaluation, pH, texture and flavor.

Key words: Chuantou steamed bread; pH; textural properties; flavor; sensory quality

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201724009

中图分类号: TS213.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 24-0053-07

引文格式:

李赛杰, 杨保伟, 张建新, 等. 蒲城椽头馍中酿酒酵母菌和戊糖片球菌配比优化[J]. 食品科学, 2017, 38(24): 53-59.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201724009. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2017-03-03

基金项目: 蒲城椽头馍标准化生产与标准研制项目

作者简介: 李赛杰 (1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品微生物资源开发及利用。E-mail: lisaijie2014@126.com

*通信作者: 张建新 (1959—), 男, 教授, 硕士, 研究方向为食品营养安全与标准化。E-mail: zhangjx59@foxmail.com

LI Saijie, YANG Baowei, ZHANG Jianxin, et al. Optimized combination of *Saccharomyces cerevisiae* and *Pediococcus pentosaceus* as starter culture for Chuantou steamed bread[J]. Food Science, 2017, 38(24): 53-59. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201724009. http://www.spkx.net.cn

椶头馍是陕西蒲城地方特产, 中华传统美食, 以其形如“椶头”而得名。近年来, 随着商品经济的发展, 蒲城椶头馍已经走入市场, 由于其馍皮展、外酥内嫩、数日不裂、营养丰富、甘香盈口等特点已成为过往蒲城游客必购的地方名贵特色食品^[1]。随着商业酵母的发展, 传统种子面团逐步被其代替, 但是, 由于传统种子面团独特的风味, 国内外学者仍对普通馒头种子面团风味、质地、pH值等特性有很大的研究兴趣^[2-5]。目前, 蒲城椶头馍大多还停留在家庭及小作坊式的制作水平, 且有关椶头馍种子面团中的复杂菌相的生存关系至今鲜有报道, 因此, 使用发酵剂无法进行工业化和标准化椶头馍生产。为了使蒲城椶头馍在生产中充分发挥商业酵母的便利和保持传统酸面团独特的酸味、质构及风味, 本研究以分离于若干份的椶头馍种子面团中的混合菌为研究对象, 即选取在酵母菌中处于优势菌株地位的酿酒酵母菌和具有产细菌素、有机酸等抑制腐败菌生长功能的戊糖片球菌^[6-7], 将不同配比的混合菌加入面粉中, 严格按照“起、压、称、排、搓、飞、醒、蒸”八大传统工艺制作椶头馍样品, 并对样品的pH值、质构特性^[8-9]、风味物质进行分析比较^[10], 进而探究不同配比复配菌种发酵生产椶头馍的可能性, 旨在为蒲城椶头馍直投式发酵剂的制作及椶头馍工业化和标准化生产提供一定科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

菌株: 酿酒酵母菌和戊糖片球菌, 由西北农林科技大学食品科学与工程学院微生物实验室从椶头馍种子发酵面团中分离的菌株, 保存于-80℃超低温冰箱中备用。

MRS成品液体培养基购于北京陆桥生物技术有限责任公司; YEPD液体培养基(酵母膏、蛋白胨和葡萄糖质量比为1:2:2)购于北京奥博星生物技术有限责任公司; 面粉为蒲城建恒特一粉。

1.2 仪器与设备

TA.XTPLUS/50物性测试仪 英国Stable Micro-Systems公司; 气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)仪 日本岛津制造所; PHSJ-4F型pH计 上海仪电科学仪器股份有限公司; SM-32S型醒发箱 新麦机械(无锡)有限公司; HDS-16烘干法测定仪 上海方瑞仪器有限公司; HC-2062高速离心机 安徽中科中佳科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 酿酒酵母菌与戊糖片球菌不同配比椶头馍的制作^[11-13]

酿酒酵母菌泥的制备: 将酵母菌种接种于20 mL YEPD液体培养基中, 28℃、150 r/min培养12~18 h, 再转接到内装100 mL YEPD液体培养基的250 mL三角瓶中进行扩大培养12~20 h, 4 000 r/min离心15 min, 除去上清液, 再用0.85 mg/100 mL生理盐水洗脱, 将得到的菌泥(活菌数为 $10^8 \sim 10^9$ CFU/g)于4℃条件下保存备用。

戊糖片球菌泥的制备: 将戊糖片球菌接种于20 mL MRS液体培养基中, 37℃静置培养12~18 h, 转接到内装100 mL MRS液体培养基的250 mL三角瓶中扩大培养12~18 h, 3 500 r/min离心20 min, 除去上清液得到菌泥。将菌泥用生理盐水清洗一遍, 鲜菌泥(活菌数为 $10^8 \sim 10^9$ CFU/g)于4℃冰箱中保存备用。

椶头馍的制作: 采用二次发酵法制作椶头馍, 根据种子面团中酵母菌与乳酸菌的大致比例及周静^[14]、刘同杰^[15]等研究的比例来设计5份椶头馍配方, 见表1。将0.25 g菌泥、100 g面粉、45 mL水混合^[16], 揉匀后放入35℃、相对湿度为85%的醒发箱中醒发9 h左右。将上述面团与面粉(0.6:1)、水(质量为面粉质量的43%)混合, 反复揉搓面团10~15 min, 至面团不黏手、表面光滑且具有弹性为止, 然后以5 cm长度分割, 搓圆后, 35℃、85%相对湿度醒发40 min, 沸水入锅蒸制20 min即可。

表1 不同配比酿酒酵母菌和戊糖片球菌制作椶头馍的配方
Table 1 Formulations and starter cultures for Chuantou steamed bread

酿酒酵母菌与戊糖片球菌配比	第1次和面				第2次和面		
	酿酒酵母菌菌泥质量/g	戊糖片球菌菌泥质量/g	面粉质量/g	水体积/mL	面团质量/g (湿基)	面粉质量/g (湿基)	水体积/mL
10:1	0.227	0.022 7	100	45	140	233	100
1.5:1	0.15	0.1	100	45	130	216.6	93
1:1	0.125	0.125	100	45	140	233	100
1:1.5	0.1	0.15	100	45	140	233	100
1:10	0.022 7	0.227	100	45	130	216.6	93

1.3.2 椶头馍pH值的测定

分别称取10 g去皮的椶头馍样品与90 mL烧沸后冷却的去离子水, 在搅拌机下混合均匀, 采用pH计测定其pH值, 每个样品重复3次^[17]。

1.3.3 椶头馍质构分析

采用物性分析仪的全质构测试(texture profile analysis, TPA)模式对椶头馍样品进行质构测定^[18]。测定前将椶头馍的上表层用刀水平切掉。测定条件: 将触发类型设置为“Auto”, 触力为5 g, 数据采集速率为

200 脉冲数/s, 测试前速率为1.0 mm/s, 测试后速率为11.0 mm/s, 测试速率为1.0 mm/s, 2 次压缩时间间隔为5 s, 探头起始高度为60 mm, 探头类型: P/6。以硬度、黏性、弹性、黏聚性、胶着性、咀嚼性、回复性作为评价指标^[19]。

1.3.4 橡头馍风味物质分析

1.3.4.1 固相微萃取 (solid phase microextraction, SPME) 条件

在橡头馍中心部位取1 g样品加入10 mL萃取瓶中, 先将萃取装置插入色谱进样口, 拔出萃取针头, 250 °C老化30 min, 把老化好的SPME针插入样品瓶中, 70 °C恒温水浴中萃取1 h, 插入已设置好的GC-MS仪注射口, 拔出SPME针, 解吸5 min, 每测一次样品, 拔出针头, 洗脱15 min^[10,20-21]。

1.3.4.2 GC和MS分析操作条件^[22]

GC条件: DB-17MS色谱柱 (30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 进样口温度240 °C; 升温程序: 初始温度40 °C, 保持3 min, 以4 °C/min升至120 °C, 然后以6 °C/min升至240 °C, 保持9 min; 载气为高纯氮气, 载气速度为1.0 mL/min, 采用不分流进样。

MS条件: 离子源温度为230 °C, 传输线温度为230 °C, 离子化模式: 电子电离源: 电子能量70 eV, 质量扫描范围 m/z 35~500。

将GC-MS图谱通过化学工作站数据处理系统和人工检索, 并把每个峰与NIST Library和Wiley Library匹配检索定性, 确定挥发性物质, 采用峰面积归一化法计算各物质的相对含量^[23]。

1.3.5 橡头馍的感官评价

选10个经过培训的人员组成小组, 对不同的橡头馍样品进行评价, 取评分的平均值作为最终的感官评分。评价依据参考李自红^[24]的评价方法稍作修改, 具体评分标准见表2。

表2 橡头馍感官评分

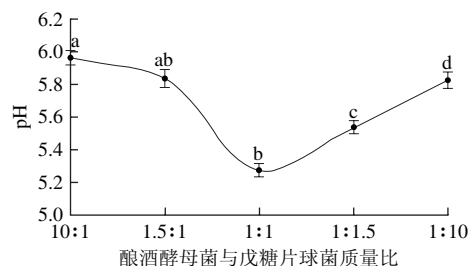
项目	满分	评分标准
比容	20	比容值在1.70~1.74为满分, 比容值在此范围之外的每增加或减少0.2扣1分
外观	15	表皮光滑, 对称, 挺立: 12.1~15分; 中等: 9.1~12分; 表面粗糙, 有硬块, 形状不对称: 1~9分
色泽	10	白、乳白、奶白: 8.1~10分; 中等: 6.1~8分; 灰、暗: 1~6分
结构	15	纵切面气孔小、均匀: 12.1~15分; 中等: 9.1~12分; 气孔大而不均匀: 1~9分
弹性	20	手指按复原性好、有咬劲: 16.1~20分; 中等: 12.1~16分; 复原性、咬劲均差: 1~12分
黏牙	15	爽口、不黏牙: 12.1~15分; 中等: 9.1~12分; 不爽口, 黏牙: 1~9分
气味	5	有麦香味、无异味: 4.1~5分; 中等: 3.1~4分; 有异味: 1~3分

1.4 数据处理

采用SPSS 18.0和Excel 2003进行数据处理与统计分析。

2 结果与分析

2.1 酿酒酵母菌和戊糖片球菌不同配比对橡头馍pH值的影响



不同小写字母表示差异显著。

图1 酿酒酵母菌和戊糖片球菌在不同配比下pH值的变化

Fig. 1 Effect of starter culture combinations on pH of steamed bread

橡头馍生产中采用独特的不加碱工艺, 菌株比例及发酵产物在橡头馍成品特性和独特风味产生中具有非常重要的作用。由图1可知, 随着酿酒酵母菌与戊糖片球菌质量比的减小, 橡头馍pH值呈先减小后增大的趋势, 在两菌质量比为1:1时, pH值达到最低。当两菌质量比范围为10:1~1.5:1时, 酿酒酵母菌比例相对逐渐减少, 溶氧量相对较充足, 其代谢产生的CO₂使pH值缓慢降低。当两菌比例为1.5:1~1:1时, 酿酒酵母菌消耗O₂代谢产生CO₂及氨基酸、维生素、丙酮酸等营养因子, 这些营养因子使得兼性厌氧型的戊糖片球菌逐渐活跃, 代谢产生少量的有机酸, CO₂的生成及少量有机酸的产生使pH值急剧下降, 在1:1时几乎达到了最低点。当两菌质量比为1:1~1:10时, 酿酒酵母菌浓度越来越低, 糖被降解的速度越来越慢, 且充足的溶氧量使大量兼性厌氧型的戊糖片球菌生长缓慢, 代谢产生的有机酸逐渐减少, pH值相对于1:1时逐渐上升, 但到达1:10时的pH值仍低于10:1与1.5:1时的pH值^[25-27]。

2.2 酿酒酵母菌和戊糖片球菌不同配比对橡头馍质构品质的影响

表3 不同橡头馍样品的TPA测定结果

编号	酿酒酵母菌与戊糖片球菌质量比	X ₁ ^a 硬度/g	X ₂ ^b 黏性/(g·s)	X ₃ ^c 弹性	X ₄ ^d 黏聚性	X ₅ ^e 胶着性/g	X ₆ ^f 咀嚼性/mJ	X ₇ ^g 回复性
1	10:1	499.59	32.22	0.89	0.72	361.81	320.11	0.38
2	1.5:1	373.37	15.77	0.97	0.74	275.85	266.22	0.41
3	1:1	399.08	11.65	0.91	0.76	303.19	275.90	0.41
4	1:1.5	472.14	16.71	0.91	0.73	345.87	312.45	0.39
5	1:10	426.13	6.78	0.91	0.76	322.24	291.94	0.42

注: 不同小写字母表示差异显著。

由表3可知,将硬度(X_1)、黏性(X_2)、弹性(X_3)、黏聚性(X_4)、胶着性(X_5)、咀嚼性(X_6)、回复性(X_7)进行方差分析,得出7个指标间总的 F 值为294.73, P 值小于0.01,表明7个指标间存在极显著差异。需要对两两指标进行比较即多重比较, X_1 与 X_5 、 X_6 和 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_7 之间均存在显著差异, X_5 与 X_6 之间也存在极显著差异,而 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_7 之间没有显著性差异。即经过相关系数计算后得出变量之间存在着直接相关性(表4),直接纳入分析不仅复杂、变量之间难以取舍,而且可能因多元线性而无法得出正确结论。因此,采用主成分-因子分析,用较少的质变来代替和综合反映原来较多的7个指标信息^[28]。

表4 馒头馒头特性指标的相关矩阵
Table 4 Correlation matrix of texture properties of Chuantou steamed bread

项目	X_1 硬度	X_2 黏性	X_3 弹性	X_4 黏聚性	X_5 胶着性	X_6 咀嚼性	X_7 回复性
X_1 硬度	1.000	-0.672	-0.789	-0.688	0.989	0.996	-0.825
X_2 黏性	-0.672	1.000	0.313	0.890	-0.579	-0.616	0.904
X_3 弹性	-0.789	0.313	1.000	0.147	-0.861	-0.773	0.461
X_4 黏聚性	-0.688	0.890	0.147	1.000	-0.576	-0.669	0.919
X_5 胶着性	0.989	-0.579	-0.861	-0.576	1.000	0.988	-0.750
X_6 咀嚼性	0.996	-0.616	-0.773	-0.669	0.988	1.000	-0.792
X_7 回复性	-0.825	0.904	0.461	0.919	-0.750	-0.792	1.000

使用SPSS 18.0软件对表3中数据进行主成分分析,得到相关矩阵的特征值及其贡献率,见表5。第1主成分的特征值为5.403,累计方差贡献率为77.181%;第2主成分的特征值为1.313,累计方差贡献率为95.944%,表明前2个主成分可解释7个原始变量95.944%的信息,因此,选择前2个主成分对不同比例2种菌生产所得的馒头馒头进行分析。

表5 相关矩阵的特征值与贡献率
Table 5 Eigenvalues, contribution and cumulative contribution rates of principal components

主成分	初始特征值			提取平方和载入		
	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
Z_1	5.403	77.181	77.181	5.403	77.181	77.181
Z_2	1.313	18.763	95.944	1.313	18.763	95.944
Z_3	0.226	3.230	99.174			
Z_4	0.058	0.826	100.000			
Z_5	2.044×10^{-16}	2.920×10^{-15}	100.000			
Z_6	3.565×10^{-17}	5.093×10^{-16}	100.000			
Z_7	-2.681×10^{-16}	-3.830×10^{-15}	100.000			

采用SPSS 18.0软件分别对提取的2个因子进行载荷分析,结果见表6。第1主成分主要包括硬度(X_1)、胶着性(X_5)、咀嚼性(X_6)、回复性(X_7),其中硬度(X_1)在 Z_1 上的载荷最大;第2主成分主要包括黏性(X_2)、弹性(X_3)、黏聚性(X_4),其中弹性(X_3)在 Z_2 上的载荷最大。

表6 2个主成分的因子载荷
Table 6 Principal component loading matrix

变量	X_1 硬度	X_2 黏性	X_3 弹性	X_4 黏聚性	X_5 胶着性	X_6 咀嚼性	X_7 回复性
Z_1	-0.976	0.808	0.708	0.801	-0.941	-0.957	0.923
Z_2	0.188	0.496	-0.659	0.579	0.327	0.218	0.328

根据主成分分析模型和因子得分系数矩阵,可以得到2个主成分与原来7个变量之间的线性组合表达式如下:

$$Z_1 = -0.181X_1 + 0.150X_2 + 0.131X_3 + 0.148X_4 - 0.174X_5 - 0.177X_6 + 0.171X_7$$

$$Z_2 = 0.143X_1 + 0.378X_2 - 0.502X_3 + 0.441X_4 + 0.249X_5 + 0.166X_6 + 0.249X_7$$

将 Z_1 、 Z_2 与其方差贡献率共同构建馒头馒头质构特性的综合评价模型: $Z = 0.804Z_1 + 0.196Z_2$,根据此线性组合得出不同馒头馒头样品的主成分得分,见表7。不同馒头馒头样品的综合得分次序为5号>3号>2号>4号>1号,但5号与3号样品的得分相差不大,即酿酒酵母菌与戊糖片球菌质量比为1:10和1:1时,馒头馒头的质构特性较好。

表7 不同馒头馒头样品的主成分得分
Table 7 Principal component scores of different Chuantou steamed breads

变量	编号				
	1	2	3	4	5
Z_1	-1.415 49	0.959 97	0.626 92	-0.663 25	0.491 85
Z_2	-0.361 56	-1.454 08	0.535 73	0.070 37	1.209 53
Z	-1.208 92	0.486 8	0.609 0	-0.519 5	0.632 5

注:编号1~5同表3,下同。

2.3 酿酒酵母菌和戊糖片球菌不同配比对馒头馒头风味物质的影响

经GC-MS分析,得到不同配比的酿酒酵母和戊糖片球菌发酵生产得到的馒头馒头中的挥发性物质,主要有醇类、酯类、酸类、酮类、醛类、烷类及苯类、呋喃、醚类等,其中酿酒酵母和戊糖片球菌在发酵过程中产生的挥发性产香物质主要为有机酸、醇类、醛类、酮类、醇类、与有机酸进一步发生酯化反应生成的酯类和芳香类物质等,其相对含量见表8。

由表8可知,从馒头馒头产香物质的种类来看,3号和5号样品分别测出15种挥发性产香物质,数量最多,种类最丰富,其次为4号样品,1号和2号样品种类最少。1号与5号以醇类为主,分别占47.14%和58.79%;2号和4号样品以酯类为主,分别占33.76%和41.81%;3号样品的风味物质主要以酸类为主占36.58%,体现了馒头馒头偏酸的特征,并且在其中检出的薄荷醇、叶绿醇、月桂酸、肉豆蔻酸及邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯、邻苯二甲酸丁辛酯、1,3-二叔丁基苯等是普通馒头馒头所未检出的风味物质^[4-5,29]。薄荷醇是具有薄荷气味的一种香料物质;叶绿醇有很弱的花香和香脂香气,是VE的中间体;月桂酸微有月桂油香味,可作为食品添加剂;肉豆蔻酸

可用作表面活性剂和增香剂,还具有一定的抑菌作用。这些物质使得椪头馍具有独特的香味、营养成分和较长的保质期。

表8 不同椪头馍挥发性产香物质分析结果
Table 8 Volatile aroma compounds of different Chuantou steamed breads

分类	挥发性物质	保留时间/min	相对含量/%				
			1	2	3	4	5
醇类	2-丙基庚醇	23.55	36.4	4.72	1.40	2.29	13.99
	苯乙醇	15.65	2.91	3.02	2.17	9.95	13.16
	薄荷醇	30.66	3.52	2.35	0.99	—	—
	叶绿醇	40.33	4.31	—	2.45	—	—
	四氢薰衣草醇	31.95	—	—	—	2.44	—
	二十烷醇	29.86	—	—	4.01	—	—
	二十六烷醇	29.00	—	—	—	—	21.56
	2,7-二甲基辛醇	32.30	—	2.59	—	—	—
	3-甲基,6-异丙基庚醇	31.24	—	—	—	—	10.08
	乙酸	37.91	0.84	—	23.53	21.13	—
酸类	戊酸	27.33	—	2.85	—	—	—
	月桂酸	30.10	—	—	8.64	—	—
	肉豆蔻酸	34.22	—	—	4.41	4.75	—
	癩酮酸	34.16	—	—	—	—	1.09
	2-环辛基乙酸	31.09	—	2.24	—	—	—
	对氯苯丙炔酸	40.13	0.94	—	—	—	—
	邻苯二甲酸二丁酯	36.03	—	14.28	3.38	2.71	—
	邻苯二甲酸二辛酯	47.69	—	14.19	5.53	—	1.91
	邻苯二甲酸丁辛酯	36.03	—	—	3.77	—	5.63
	甲苯-2,6-二异氰酸酯	24.21	—	—	—	16.12	—
酯类	甲苯-2,4-二异氰酸酯	24.42	—	—	—	20.02	—
	2-乙基己酸乙酯	29.72	—	—	2.59	—	9.09
	乙酸苯乙酯	21.04	—	—	—	1.84	3.35
	桃醛(γ -十一内酯)	24.66	—	5.29	—	—	—
	椰子醛(γ -壬内酯)	24.66	—	—	—	1.13	—
	三乙酸内酯	30.03	1.34	—	—	—	—
	碳酸烯丙基十四烷酯	29.34	2.39	—	—	—	—
	4-辛酮	26.39	—	—	—	—	1.44
	香叶基丙酮	27.23	—	—	1.30	2.23	5.60
	环十三烷酮	30.57	4.11	—	—	—	—
酮类	7-辛烯-2,4-二酮	28.97	7.27	—	—	—	—
	椰子醛	24.65	—	—	—	—	1.94
	癸醛	19.34	—	10.09	2.09	1.36	—
	壬醛	15.45	—	2.99	—	3.08	1.67
	2-丙基-2-庚烯醛	30.77	4.16	—	—	—	—
	2-戊基呋喃	10.89	—	9.31	—	—	3.52
	1,3-二叔丁基苯	20.84	22.72	26.07	33.74	10.94	5.97
	十八烷基乙基醚	29.85	9.08	—	—	—	—
	种类总数		13	13	15	14	15

注:—未检出。

对醇类、酸类、酯类、酮类和醛类5大类风味物质进行主成分分析,结果如图2所示。第1主成分占59.7%,第2主成分占29.1%,即5个不同微生物配比的椪头馍样品之间的差异主要体现在酮类、醇类、酯类、酸类的相对含量上。不同产香物质阈值不同,香味浓郁度也不相

同^[30-31]。酮类阈值较低,能赋予椪头馍较浓的香气,大部分醇类物质阈值比较低,具有浓郁的香味,酯类物质阈值较低,一般是有机酸与醇类物质酯化而得,具有酯香和芳香气味,酸类物质为椪头馍的风味也作出了巨大贡献。如香叶基丙酮具有穿透性的青甜香和微玫瑰香,苯乙醇具有清甜的玫瑰样花香,并且本身就是一种香料物质,可广泛用于面包、桃子和浆果类等食品中^[5]。椰子醛含量高时具有椰子味和茴香味,含量低时具有杏仁味和桃花香,乙酸苯乙酯具有甜蜜香味,桃醛含量高时有宜人的似鸢尾的甜脂香气,含量低时有桃香味^[4];乙酸具有醋酸香味,羧酸可通过酯化反应生成香料。

综合比较,3号样品挥发性产香物质最丰富,酮类、醇类、酯类和酸类4类关键物质相对含量也较高,3号样品较低的pH值使得有机酸发生酯化反应生成酯类及其他化学反应生成酮类。

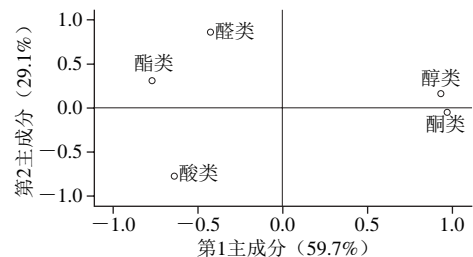


图2 不同椪头馍样品中归类产香物质的主成分分析

Fig. 2 Principal component analysis of aroma compound classes of different Chuantou steamed breads

2.4 酿酒酵母菌和戊糖片球菌不同配比对椪头馍感官评分的影响

表9 不同椪头馍样品的感官评价

编号	比容	外观	色泽	结构	弹性	黏牙	气味	总分
1	15.87	12.43	8.13	12.13	17.03	13.23	4.07	82.89
2	15.87	12.53	8.07	12.20	17.53	13.50	4.17	83.87
3	16.95	12.83	8.27	12.37	18.03	13.30	4.30	86.05
4	16.97	12.77	7.93	12.33	18.03	12.83	4.10	84.96
5	16.37	13.27	8.20	12.17	17.47	14.03	4.17	85.68

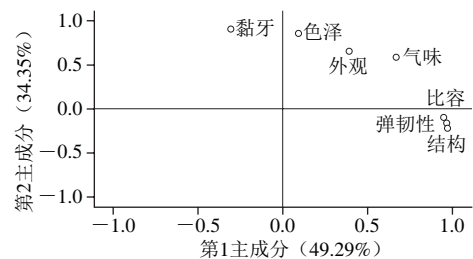


图3 不同椪头馍样品感官评价主成分分析

Fig. 3 Principal component analysis of sensory characteristics of different Chuantou steamed breads

由表9和图3可知,3号样品的综合感官评价分值最高,其次为5号样品,分值最低的为1号样品。3号样品的

气味、色泽、黏牙、弹性等7个指标感官体现受消费者青睐的程度比较大。

2.5 不同馒头样品与非物质文化遗产传承人制作馒头的比较结果

表 10 不同馒头样品主要特性的比较
Table 10 Quality characteristics of different Chuantou steamed breads

馒头特性	样品编号						比较结果	最终结果
	CCR	1	2	3	4	5		
pH值	4.43	5.96	5.84	5.28	5.54	5.83	3号	
硬度	481.7	499.59	373.37	399.08	472.14	426.13		
质构指标	胶着性	306.00	361.81	275.85	303.19	345.87	322.24	1号、3号、5号
	咀嚼性	280.61	320.11	266.22	275.9	312.45	291.94	
	回复性	0.32	0.38	0.41	0.41	0.39	0.42	
	风味物质							
风味物质	酯类	1.07	11.38	0.10	1.30	2.23	7.04	3号
	醇类	13.17	47.14	12.69	8.85	14.68	58.78	3号样品
	酯类	14.33	3.74	33.76	15.26	41.81	19.99	
	酸类	39.49	1.78	5.10	36.58	25.88	1.09	
感官指标	气味	4.43	4.07	4.17	4.30	4.10	4.17	
	色泽	8.32	8.13	8.07	8.27	7.93	8.20	3号
	黏牙	13.39	13.23	13.50	13.30	12.83	14.03	
	外观	12.85	12.43	12.53	12.83	12.77	13.27	

注：CCR为非物质文化遗产传承人制作的馒头编号。

将5份馒头样品与非物质文化遗产传承人制作馒头（记为CCR样品）的主要特性指标（主成分分析出的关键指标）进行比较，由表10可知，3号馒头样品的pH值、风味物质、感官评价等均与CCR样品最接近。5份馒头样品与CCR的样品在质构指标方面比较，其结果不能准确判断出5份样品中的哪份最接近CCR，可能是由于质构特性与发酵时间、醒发时间、加水量等因素相关性较大造成的。

3 讨论

蒲城馒头是陕西蒲城县的地方名吃，历史悠久，工艺精湛，色香味俱佳，其传统的制作工艺被评为陕西省非物质文化遗产。馒头传统工艺采用种子发酵面团进行发酵，发酵时间长、效率低，受季节条件限制，难以实现标准化、工业化生产。为研制多菌株的商业化馒头专用发酵剂，就要对其中的菌株配比进行研究。在前期菌株多样性分析的基础上，选取酿酒酵母菌和戊糖片球菌为研究对象，制成5份不同菌种配比（酿酒酵母菌与戊糖片球菌质量比为10:1、1.5:1、1:1、1:1.5、1:10）的发酵面团，所得的馒头样品经pH计测定后，pH值呈先降低后升高趋势，在酿酒酵母菌与戊糖片球菌质量比1:1时接近最小值，这可能与溶氧量及其代谢产物的消耗有关，且其pH值的变化至今报道甚少。5份样品经物性测定仪测定，并采用主成分-因子分析，得出了2种菌种质量比在1:10和1:1时，馒头的质构特性较好，可能是酿酒酵母菌与戊糖片球菌质量比在1:1和1:10

时，发酵程度较好，使得硬度、胶着性、咀嚼性、回复性等指标更适合馒头的特征要求。通过SPME-GC-MS测定5份样品可知，不同比例共生菌制作的馒头有自身独特的酯、醛、醇等风味物质，对其进行主成分分析，5份不同馒头样品之间的差异主要体现在酮类、醇类、酯类、酸类的相对含量上，酿酒酵母菌和戊糖片球菌质量比为1:1的馒头样品风味较好，并且产生薄荷醇、叶绿醇、月桂酸、肉豆蔻酸及邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯、邻苯二甲酸丁辛酯、1,3-二叔丁基苯等普通馒头中所未检出过的风味物质^[4]，这可能是在蒲城独特的环境下，酿酒酵母菌与戊糖片球菌质量比在1:1时的溶氧量更适合二者的生长，能够产生较多的代谢产物，进而产生较好的风味。在该比例下制作的馒头样品的风味物质及含量区别于其他地区种子面团制作的馒头^[5,28]。结合馒头独特不加碱工艺、感官评价及其各特性指标的主成分分析，最终得出5份不同的馒头样品中，酿酒酵母菌与戊糖片球菌质量比为1:1时，制作的馒头质构、风味、口感较佳，此配比为研制混合菌发酵剂提供理论依据，进而实现蒲城馒头的标准化、工业化和产业化。

参考文献：

[1] 徐蕊. 蒲城馒头迈入“品牌”时代[N]. 渭南日报, 2016-01-30(01).

[2] RIZZELLO C G, CALASSO M, CAMPANELLA D, et al. Use of sourdough fermentation and mixture of wheat, chickpea, lentil and bean flours for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of white bread[J]. International Journal of Food Microbiology, 2014, 180(16): 78-87. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2014.04.005.

[3] PLESSAS S, ALEXOPOULOS A, MANTZOURANI I, et al. Application of novel starter cultures for sourdough bread production[J]. Anaerobe, 2011, 17(6): 486-489. DOI:10.1016/j.anaerobe.2011.03.022.

[4] 刘娜, 程晓燕, 孙银凤, 等. GC-MS分析传统酸面团馒头风味及添加食用碱对其风味的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(16): 76-81. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.16.008.

[5] 程晓燕, 孙银凤, 刘娜, 等. 传统酸面团中植物乳杆菌发酵馒头抗氧化特性及挥发性风味物质特征[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 87-92. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201512016.

[6] 莫海燕. 饲用粪肠球菌、戊糖片球菌发酵工艺研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2013: 1-2.

[7] 句荣辉, 黄广学, 罗红霞. 植物乳杆菌、戊糖片球菌对产肠毒素金黄色葡萄球菌生长的影响[J]. 肉类研究, 2013, 27(7): 6-9.

[8] 何新益, 汪姣, 任小青, 等. 花色馒头的制备及质构特性主成分分析[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(7): 108-112. DOI:CNKI:11-2864/TS.20110608.1623.002.

[9] FU J T, SHIAU S Y, CHANG R C. Effect of calamondin fiber on rheological, antioxidative and sensory properties of dough and steamed bread[J]. Journal of Texture Studies, 2014, 45(5): 367-376. DOI:10.1111/jtxs.12087.

[10] 刘晨, 孙庆申, 吴桐, 等. 3种不同发酵剂馒头风味物质比较分析[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 150-153. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201510030.

[11] 张国华. 不同地区传统面食发酵剂中菌群结构及优势菌种代谢的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 113-114.

- [12] 王大一, 温纪平, 卞科. 面糊发酵馒头和一次发酵馒头挥发性成分比较[J]. 食品科技, 2015, 40(8): 151-155. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2015.08.033.
- [13] WU C, LIU R, HUANG W, et al. Effect of sourdough fermentation on the quality of Chinese Northern-style steamed breads[J]. Journal of Cereal Science, 2012, 56(2): 127-133. DOI:10.1016/j.jcs.2012.03.007.
- [14] 周静, 肖嫩群. 酵母菌与乳酸菌混合培养条件研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(15): 8824-8825. DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2011.15.012.
- [15] 刘同杰, 李云, 吴诗榕, 等. 传统酸面团中细菌与酵母菌的分离与鉴定[J]. 现代食品科技, 2014, 26(9): 114-120. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.09.020.
- [16] 苏东民, 李自红, 苏东海. 复合菌粉发酵馒头的工艺优化[J]. 中国农学通报, 2011, 27(7): 487-492.
- [17] 李曼. 生鲜面制品的品质劣变机制及调控研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014: 15-16.
- [18] ZHU F, SAKULNAK R, WANG S. Effect of black tea on antioxidant, textural, and sensory properties of Chinese steamed bread[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 1217-1223. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.08.110.
- [19] 崔丽琴, 崔素萍, 马平, 等. 豆渣粉对小麦面团、馒头质构特性及馒头品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 85-88. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201405017.
- [20] 苏东海, 李自红, 苏东民, 等. 固相微萃取分析传统老酵馒头挥发性物质[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(6): 94-96. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2011.06.028.
- [21] PLESSAS S, BEKATOROU A, MLANAGH J G, et al. Evolution of aroal volatiles during storage of sourdough breads made by mixed cultures of *Kluyveromyces marxianus* and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* or *Lactobacillus helveticus*[J]. Food Chemistry, 2008, 107(2): 883-889. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.09.010.
- [22] XIONG Q, HU T, ZHAO S, et al. Texture and flavor characteristics of rice cake fermented by *Brettanomyces custersii* ZSM-001[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(11): 7113-7122. DOI:10.1007/s13197-015-1813-4.
- [23] 宋江峰, 李大婧, 刘春泉, 等. 甜糯玉米软罐头主要挥发性物质主成分分析和聚类分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(10): 2122-2131. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2010.10.019.
- [24] 李自红. 传统发酵剂微生物的筛选、鉴定及对馒头品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2011: 10-11.
- [25] 闫彬, 贺银凤. 乳酸菌与酵母菌共生理综述[J]. 食品科学, 2012, 33(3): 277-281. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201703058.
- [26] 李秀娟, 王夫杰, 鲁绯, 等. 一株戊糖片球菌在低盐固态酱油工艺中的应用[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 251-256.
- [27] 刘敏敏. 酸马奶中乳酸菌和酵母菌潜在共生菌筛选及发酵特性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011: 3-4.
- [28] HONGSOONGNERN P, CHAMBERS E. A lexicon for texture and flavor characteristics of fresh and processed tomatoes[J]. Journal of Sensory Studies, 2008, 23(5): 583-599. DOI:10.1111/j.1745-459X.2008.00174.x.
- [29] KIM Y S, HUANG W, ZHU H, et al. Spontaneous sourdough processing of Chinese Northern-style steamed breads and their volatile compounds[J]. Food Chemistry, 2009, 114(2): 685-692. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.10.008.
- [30] BULT J H F, WIJK R A D, HUMMEL T. Investigations on multimodal sensory integration: texture, taste, and ortho- and retronasal olfactory stimuli in concert[J]. Neuroscience Letters, 2007, 411(1): 6-10. DOI:10.1016/j.neulet.2006.09.036.
- [31] 王海波, 李林光, 陈学森, 等. 中早熟苹果品种果实的风味物质和风味品质[J]. 中国农业科学, 2010, 43(11): 2300-2306. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2010.11.013.