

杨书林高工主持“小麦加工及其制品品质提升”专栏文章之五

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.06.005

杨海莺, 赵凯, 杨书林, 等. 中国传统食品酵母菌在谷物制品中的应用研究[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(6): 34-45.

YANG H Y, ZHAO K, YANG S L, et al. Research on the application of chinese traditional food yeast in cereal products[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(6): 34-45.

中国传统食品酵母菌在谷物制品中的应用研究

杨海莺¹, 赵凯², 杨书林², 高嘉星¹, 牛兴和¹, 李慧¹✉

- (1. 中粮营养健康研究院有限公司, 营养健康与食品安全北京市重点实验室, 老年营养食品研究北京市工程实验室, 北京 102209;
2. 中粮粮谷控股有限公司, 北京 100020)

摘要: 酵母菌在发酵谷物制品尤其是发酵面制品中扮演重要角色, 影响制品的质构、香气、外观和营养等。为了选育特色谷物微生物发酵剂, 改善发酵面制品品质, 从采集于中国不同省市的传统老面、天然面种中分离酵母菌, 结合形态学和 26S rDNA 序列比对进行酵母鉴定, 并筛选出耐高糖、耐热、发酵力强的优质酵母菌, 验证其在馒头、吐司面包、冷冻面团中的应用特性。结果表明, 分离得到 65 株酵母菌, 种类均为酿酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*); 筛选出 9 株发酵力强的酵母菌, 其中 5 株可改善馒头的比容、质构、口感, 另 4 株耐高糖、耐热, 可改善吐司面包的质构和风味, 此外 1 株酵母抗冻性强, 可延长冷冻面团的活力期。发掘的菌株有望将其开发成发酵粮谷制品的优质发酵剂, 改善不同种类发酵面制品的性能, 为消费者提供差异化特色产品, 促进谷物加工产业的创新发展。

关键词: 酵母菌; 传统发酵食品; 面制品; 面包; 馒头; 冷冻面团

中图分类号: TS252.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)06-0034-12

网络首发时间: 2022-11-08 10:29:28

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.ts.20221107.1449.010.html>

Research on the Application of Chinese Traditional Food Yeast in Cereal Products

YANG Hai-ying¹, ZHAO Kai², YANG Shu-lin², GAO Jia-xing¹, NIU Xing-he¹, LI Hui¹✉

- (1. Beijing Key Laboratory of Nutrition & Health and Food Safety, Beijing Engineering Laboratory for Geriatric Nutrition Food Research, COFCO Nutrition & Health Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China;
2. COFCO Grains Holdings Limited, Beijing 100020, China)

Abstract: Yeast plays an important role in fermented cereal products, especially fermented flour products, affecting the texture, aroma, appearance and nutrition of the products. In order to select grain microbial

收稿日期: 2022-09-02

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2021YFD2100901); 北京市科技服务业促进专项 (Z211100003421058)

Supported by: National Key Research and Development Project of China (No. 2021YFD2100901); Beijing Science and Technology Service Industry Promotion Project (No. Z211100003421058)

作者简介: 杨海莺, 女, 1982 年出生, 博士, 高级工程师, 研究方向为食品科学与农产品加工。E-mail: yanghaiying@cofco.com.

通讯作者: 李慧, 女, 1972 年出生, 博士, 正高级工程师, 研究方向为粮食发酵和食品安全。E-mail: lhui@cofco.com.

starter and improve the quality of fermented flour products, yeasts were isolated from traditional old flour and natural flour collected from different provinces and cities in China. Yeast identification was carried out by combining morphology and 26S rDNA sequence alignment. High-sugar-resistant, heat-resistant and high-quality yeasts were screened out to verify their application characteristics in steamed bread, toast bread and frozen dough. The results showed that 65 strains of yeasts were isolated, all of which were *Saccharomyces cerevisiae*, and 9 strains with strong fermentation ability were screened out, among which 5 strains could improve the specific volume, texture and taste of steamed bread, and the other 4 strains were resistant to high sugar and heat, which could improve the texture and flavor of toast bread. Besides, one strain had strong frost resistance, which could prolong the vitality period of frozen dough. The discovered strain is expected to be developed into a high-quality starter for fermented grain products, improve the performance of different kinds of fermented flour products, provide differentiated products for consumers, and promote the innovative development of grain processing industry.

Key words: yeast; traditional fermented food; flour products; bread; steamed buns; frozen dough

酵母菌在发酵谷物制品中扮演重要角色,影响制品的质构、香气等。具体作用如下:①提供各种酶系,如蛋白酶、蔗糖酶、淀粉酶、脂肪酶等^[1],分解谷物中的麦芽糖、蛋白、糊精等,提升面团的加工性能。②分解单糖、双糖、三糖^[2],产生 CO₂,影响谷物制品的外观质构指标,包括高径比、比容、色度、切面气孔、硬度、弹性等。③产生酯类、醇类等多种芳香物质,赋予制品独特香气^[3]。④营养方面,酵母菌提供氨基酸(Tyr、Lys)^[4]、维生素^[5]等,降低谷物中的植酸,提高谷物矿物质、蛋白质的生物利用率。

商业酵母在我国发酵面制品领域的广泛应用,实现了多种发酵面食的规模化。但随着产业的成熟,发酵面制品的品类和质量越来越趋于同质化。我国不同地区的传统天然发酵老面或面种,能够为发酵谷物制品提供有特色的风味、质地。通过从我国传统发酵食品中挖掘酵母菌资源,有助于改善产品感官品质、提供独有的发酵风味、延缓面制品老化以及延长保质期,形成具有丰富特色的蒸煮面食、烘焙制品、冷冻面团等差异化的谷物产品,满足我国日益增长的消费者需求。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

商业酵母:安琪即发性活性干酵母;葡萄糖

(分析纯):国药集团;蛋白胨、酵母浸粉、琼脂、WL 琼脂培养基:北京陆桥公司;大麦麦芽:中粮麦芽(大连)有限公司;黄油:安佳;面粉、糖、盐、鸡蛋:市售;E×Taq 酶、dNTPs Mixture、10×Buffer I: TaKaRa 公司;真菌 DNA 提取试剂盒:天根生化科技公司。

1.2 仪器与设备

SMF-16 醒发箱:新麦公司;TA-XT Plus 质构仪:英国 SMS 公司;WH-11 生化培养箱:德国 Wiggins 公司;J-26S XPI 高速冷冻离心机:美国贝克曼公司;ACB-4A1 生物安全柜:新加坡 ESCO 公司;MULTISKAN SKY 酶标仪:美国赛默飞世尔公司;Ka7580 和面机:美国 kitchenAid 公司;急速冷冻柜:科麦机械公司;JMTY 体积测定仪:中储粮;HP23-AW-40 水分活度仪:瑞士 Rotronic;DLFU 粉碎机:瑞士布勒公司;ZHWY-111C 恒温摇床:上海智诚公司。

1.3 实验方法

1.3.1 菌种分离

将样品用无菌生理盐水振荡稀释,选取合适的稀释倍数,将稀释液涂布于 WL 琼脂培养基(Wallerstein Laboratory agar medium),28℃培养 2 d,挑取单菌落于 WL 培养基平板上划线纯化 3 次,经镜检为纯种后转入酵母膏胨葡萄糖(Yeast Extract Peptone Dextrose, YPD)琼脂培养

基 (酵母浸粉 10 g/L、蛋白胨 20 g/L、葡萄糖 20 g/L、琼脂 20 g/L) 待用。

1.3.2 菌种鉴定

将单株酵母菌接种在 YPD 液体培养基中, 在 28 °C、150 rpm 震荡培养至菌液吸光值 OD₆₀₀ 达 1.0 以上。按照真菌 DNA 提取试剂盒说明书操作, 提取酵母基因组后用超微量紫外分光光度计检测浓度和纯度。使用引物 ITS1 (5'-TCCGTAGG-TGAACCTGCGG-3') 和 ITS4 (5'-TCCTCCGCTT-ATTGATATGC-3') PCR 扩增 ITS 基因序列。PCR 反应体系: ddH₂O 33.75 μL、10×Buffer 5 μL、dNTPs 4 μL、引物各 2.5 μL、Taq 酶 0.25 μL、DNA 模板 2 μL。PCR 反应条件: 94 °C 预变性 5 min, 94 °C 变性 30 s, 53 °C 退火 30 s, 72 °C 延伸 40 s, 35 个循环, 再 72 °C 延伸 10 min。PCR 产物进行琼脂糖凝胶电泳检测, 目标条带为 600 bp 左右, 之后送至北京新时代众合科技有限公司进行测序。将获得的有效序列与美国国立生物技术信息中心的数据库进行比对。

1.3.3 菌株发酵性能测定

1.3.2.1 麦汁培养基制备 将麦芽粉碎后, 加入 8 倍质量的 65 °C 去离子水, 在不断搅拌下于 65 °C 水浴中保温 60 min, 冷却后过滤, 所得上清即为麦汁培养基。

1.3.2.2 发酵力 将酵母菌接种至麦汁培养基中, 28 °C 摇床培养至菌液吸光值 OD₆₀₀ 达 1.0 以上。量取 23.5 mL 菌液与 50 g 面粉、7.5 g 白砂糖混合均匀, 揉制成面团, 置于 250 mL 量筒中, 按压面团使量筒内不留空隙, 保证面团表面平整, 置于 35 °C 醒发箱中, 每隔 30 min 记录一次面团达到的量筒刻度数, 记录 3 h 内面团体积的增加值。

1.3.2.3 耐高糖性能 将白砂糖添加至 YPD 液体培养基中, 使其糖浓度分别为 10%、20%、30% 和 40%。将酵母菌接种至不同糖浓度的 YPD 液体培养基中, 28 °C、150 rpm 摇床培养, 分别在培养 0、2、4、6、9、24、26、30 h 时取样测定菌液吸光值 OD₆₀₀。

1.3.2.4 耐热性 将酵母菌接种至 YPD 液体培养基中, 分别置于 28、37、40 °C 摇床培养, 分别在培养 0、2、4、6、9、24、26、30 h 时取

测定菌液吸光值 OD₆₀₀。

1.3.4 酵母应用实验

1.3.4.1 馒头制备方法 酵母菌用麦汁培养基培养至吸光值 OD₆₀₀ 达 1.0~1.3。量取 141 mL 菌液与 300 g 面粉混合均匀, 搅拌 8~10 min, 将面团分块后成型, 每块约 130 g, 置于 35 °C 醒发箱 1.5 h 后取出二次成型, 再次醒发 40 min 后蒸制 25 min 即可。

1.3.4.2 吐司面包和冷冻面团制备方法 酵母菌用麦汁培养基培养至吸光值 OD₆₀₀ 达 1.0~1.3, 离心收集酵母泥沉淀, 测定水分、活菌数量, 置于 4 °C 冷藏备用。

吐司面包和冷冻面团参照表 1 中的配方制备, 用含同等数量级活菌的酵母泥替代商业酵母粉, 并基于酵母泥的水分含量, 减少配方中的水添加量。

表 1 面包配方
Table 1 Bread recipe

配料	吐司面包	餐包冷冻面团
高筋粉	300	300
商业酵母	3.6	4.5
糖	24	30
盐	6	4.2
水	204	180
鸡蛋	/	15
黄油	21	30

吐司面包工艺为: 配料称重→搅打面团→静置→切块、搓圆→静置→排气整形→静置→二次整形→醒发→烘烤。

冷冻面团工艺为: 将面团二次整形结束后, 置于速冻箱内 1.5 h, 待面团中心温度降至-12 °C 后, 取出置于-20 °C 冻存。

1.3.5 发酵制品性能测定

1.3.5.1 比容 熟制好的样品冷却 1 h 后, 参照 GB/T 21118—2007^[6] 方法测定比容。

1.3.5.2 高径比 用游标卡尺测量样品的高度、直径, 高径比即为高度与直径的比值。

1.3.5.3 质构特性 参考文献方法^[7] 并改进。熟制后的样品放置冷却 1 h 后, 取两片 12.5 mm 的样品切片叠加, 选用质构仪的 P/36R 柱形探头。

测试前速率: 1.0 mm/s; 测试中速率: 1.0 mm/s;
 测试后速率: 1.0 mm/s; 测定间隔为 5 s; 压缩率
 为 50%; 触发类型设置为: Auto; 起点感应力: 5 g。

1.3.5.4 感官评定 馒头感官评分打分标准见表 2^[8],
 面包感官评分打分标准参考 GB/T 35869—2018
 附录 A^[9]。

表 2 馒头感官品评打分标准
 Table 2 Scoring standard for sensory evaluation of steamed bread

项目	分数/分	得分标准
外部	比容/(mL/g)	15 比容大于或等于 2.8 得满分 15 分; 比容小于或等于 1.5 得最低分 2 分; 比容在 2.8~1.5 之间, 每下降 0.1 扣 1 分
	高/cm	5 高大于或等于 6.5 cm 得满分 5 分; 高小于或等于 4.5 cm 得最低分 1 分; 高在 6.5~4.5 cm 之间, 每下降 0.5 cm 扣 1 分
	表面色泽	10 白, 乳白 8~10 分; 浅黄、黄 6~8 分; 灰暗 2~6 分
	表面结构	10 光滑 8~10 分; 皱缩、塌陷、有气泡、有凹点或大块烫斑 3~8 分
	形状	10 对称、挺、有球形感 7~10 分; 扁平或不对称 4~7 分(高径比 0.85 为 10 分, 每降 0.05 扣 1 分, 0.55 最低 4 分)
内部	结构	15 气孔细小均匀 12~15 分; 气孔过于细密但均匀 8~12 分; 有大气孔、结构粗糙 5~8 分; 边缘与表皮有分离现象 1~5 分
	弹性	10 回弹快、能复原、可压缩 1/2 以上 7~10 分; 手指按压回弹弱或不回弹 3~7 分; 手指按压困难, 感觉较硬 2~6 分
	韧性	10 咬劲强 7~10 分; 咬劲弱且掉渣或咀嚼干硬, 无弹性 4~7 分
	黏性	10 爽口不粘牙 8~10 分; 稍黏或黏 3~7 分
	气味	5 具有麦香、无异味 4~5 分; 味道平淡 3~4 分; 有异味 1~3 分
总分	100	

1.3.5.5 水分活度 将样品整片用粉碎机粉碎, 用水分活度仪测定水分活度。

1.3.5.6 冷冻面团活力 冷冻面团每周取一次样, 于 4 °C 过夜解冻后, 置于 37 °C 醒发箱内, 待面团体积膨胀至 2 倍大时取出, 记录醒发时间。将醒发好的面团置于烤箱内烘熟, 冷却 1 h 后按 1.3.5.1 的方法测定比容。

1.4 数据分析

实验做 3 次重复, 用 Excel 软件计算标准偏差并作图, 用 SPSS16.0 数据处理软件进行方差等数据分析。

2 结果与讨论

2.1 菌种的分离及鉴定

2.1.1 菌种的分离筛选

从不同省市采集的传统老面、天然面种样品中分离获得了 65 株菌株, 其中来源于老面的有 45 株, 来源于天然面种的有 20 株。菌落呈乳白色, 表面光滑, 形状为圆形或椭圆形。

2.1.2 菌种鉴定

将菌株的测序结果在 NCBI 中使用 BLAST

进行同源性比较, 结果分离的 65 株菌均与酿酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) 的同源性最高, 均为酿酒酵母。

2.2 菌株发酵性能评估

2.2.1 发酵力

不同酵母在面团中的发酵力对比如表 3 所示。

发酵力是衡量面制品用酵母质量的最重要指标。酵母发酵力体现在适当的醒发温度下, 按一定配方配制的面团在规定时间内经酵母发酵产生的 CO₂ 气体的量^[10], 通常可由面团的体积变化率来表征。以商业酵母为对照, 不同酵母菌制备的面团, 均随发酵时间的延长, 体积逐渐增加。相比初始体积, 能够使体积膨胀到 2 倍以上的酵母发酵力较强。

2.2.2 耐受性

从分离自天然面种的 20 株酵母菌株中, 筛选到可使含糖面团体积在 3 h 发酵到 2 倍以上的 8 株酵母, 验证其耐糖性和耐热性。

如图 1 所示, 优选的 8 株酵母均能耐受 30% 的糖浓度, 但在 40% 糖浓度中吸光值 OD₆₀₀ 低于

表 3 酵母面团不同发酵时间的体积

Table 3 Volume of yeast dough at different fermentation times

mL

序号	酵母菌株	来源	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min	体积变化率/%
1	商业菌株	安琪	71	75	82	97	118	128	137	92.96
2	Y90	老面	72	78	91	109	129	139	164	127.78
3	Y89	老面	70	72	87	105	123	150	156	122.86
4	Y99	老面	72	76	83	105	118	145	155	115.28
5	Y87	老面	69	73	91	110	126	147	153	121.74
6	Y80	老面	74	74	76	102	120	135	148	100.00
7	Y93	老面	72	75	89	108	130	140	148	105.56
8	Y83	老面	70	72	81	93	113	136	147	110.00
9	Y70	老面	69	71	77	89	107	123	146	111.59
10	Y98	老面	73	75	80	95	121	137	146	100.00
11	Y76	老面	70	73	86	106	127	135	145	107.14
12	Y77	老面	70	72	86	109	127	137	144	105.71
13	Y100	老面	71	72	80	95	112	128	144	102.82
14	Y78	老面	70	74	84	97	115	130	143	104.29
15	Y91	老面	69	72	81	101	114	131	143	107.25
16	Y71	老面	71	78	81	92	117	133	142	100.00
17	Y64	老面	69	72	83	99	121	131	141	104.35
18	Y68	老面	70	72	82	91	105	121	140	100.00
19	Y75	老面	70	71	85	100	122	131	139	98.57
20	Y147	老面	70	72	81	99	117	128	139	98.57
21	Y73	老面	69	71	85	104	122	132	137	98.55
22	Y69	老面	71	72	82	95	111	128	136	91.55
23	Y125	老面	68	70	80	90	105	122	136	100.00
24	Y88	老面	71	71	80	95	111	129	135	90.14
25	Y94	老面	70	70	80	87	108	118	135	92.86
26	Y102	老面	70	71	74	88	103	121	134	91.43
27	Y85	老面	70	73	73	82	97	114	132	88.57
28	Y96	老面	70	71	81	88	107	122	132	88.57
29	Y74	老面	69	73	82	93	107	123	131	89.86
30	Y97	老面	70	74	74	81	93	103	126	80.00
31	Y146	老面	71	72	72	79	90	106	126	77.46
32	Y128	老面	71	74	77	81	93	110	120	69.01
33	Y149	老面	68	68	75	85	97	110	119	75.00
34	Y150	老面	72	74	75	82	91	103	118	63.89
35	Y101	老面	71	73	77	85	93	105	115	61.97
36	Y67	老面	69	70	71	74	80	88	102	47.83
37	Y66	老面	69	71	71	72	88	94	100	44.93
38	Y126	老面	70	72	73	74	76	88	100	42.86
39	Y143	老面	71	71	72	74	79	88	99	39.44
40	Y92	老面	71	72	72	74	80	86	92	29.58
41	Y127	老面	69	71	71	71	75	84	90	30.43
42	Y72	老面	70	74	74	75	76	85	87	24.29
43	Y81	老面	71	74	74	74	78	82	87	22.54
44	Y79	老面	71	72	72	74	76	80	86	21.13
45	Y95	老面	70	70	72	72	75	80	84	20.00
46	Y145	老面	70	71	72	73	75	79	84	20.00
47	Y209	天然面种	68	/	98	/	136	/	152	123.53
48	Y196	天然面种	72	/	88	/	130	/	150	108.33
49	Y204	天然面种	70	/	90	/	128	/	150	114.29
50	Y214	天然面种	70	/	90	/	128	/	150	114.29
51	Y220	天然面种	72	/	88	/	130	/	150	108.33
52	Y199	天然面种	72	/	90	/	130	/	146	102.78

续表 3

序号	酵母菌株	来源	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min	体积变化率/%
53	Y210	天然面种	68	/	86	/	124	/	146	114.71
54	Y212	天然面种	68	/	82	/	118	/	146	114.71
55	Y222	天然面种	72	/	86	/	128	/	145	101.39
56	Y208	天然面种	66	/	98	/	130	/	145	119.70
57	Y205	天然面种	70	/	86	/	128	/	144	105.71
58	Y197	天然面种	68	/	98	/	132	/	144	111.76
59	Y198	天然面种	70	/	86	/	122	/	144	105.71
60	Y207	天然面种	68	/	84	/	122	/	142	108.82
61	Y206	天然面种	70	/	90	/	122	/	142	102.86
62	Y221	天然面种	70	/	84	/	122	/	138	97.14
63	Y211	天然面种	68	/	82	/	110	/	132	94.12
64	Y223	天然面种	70	/	78	/	106	/	128	82.86
65	Y215	天然面种	70	/	82	/	100	/	126	80.00
66	Y213	天然面种	68	/	72	/	88	/	118	73.53

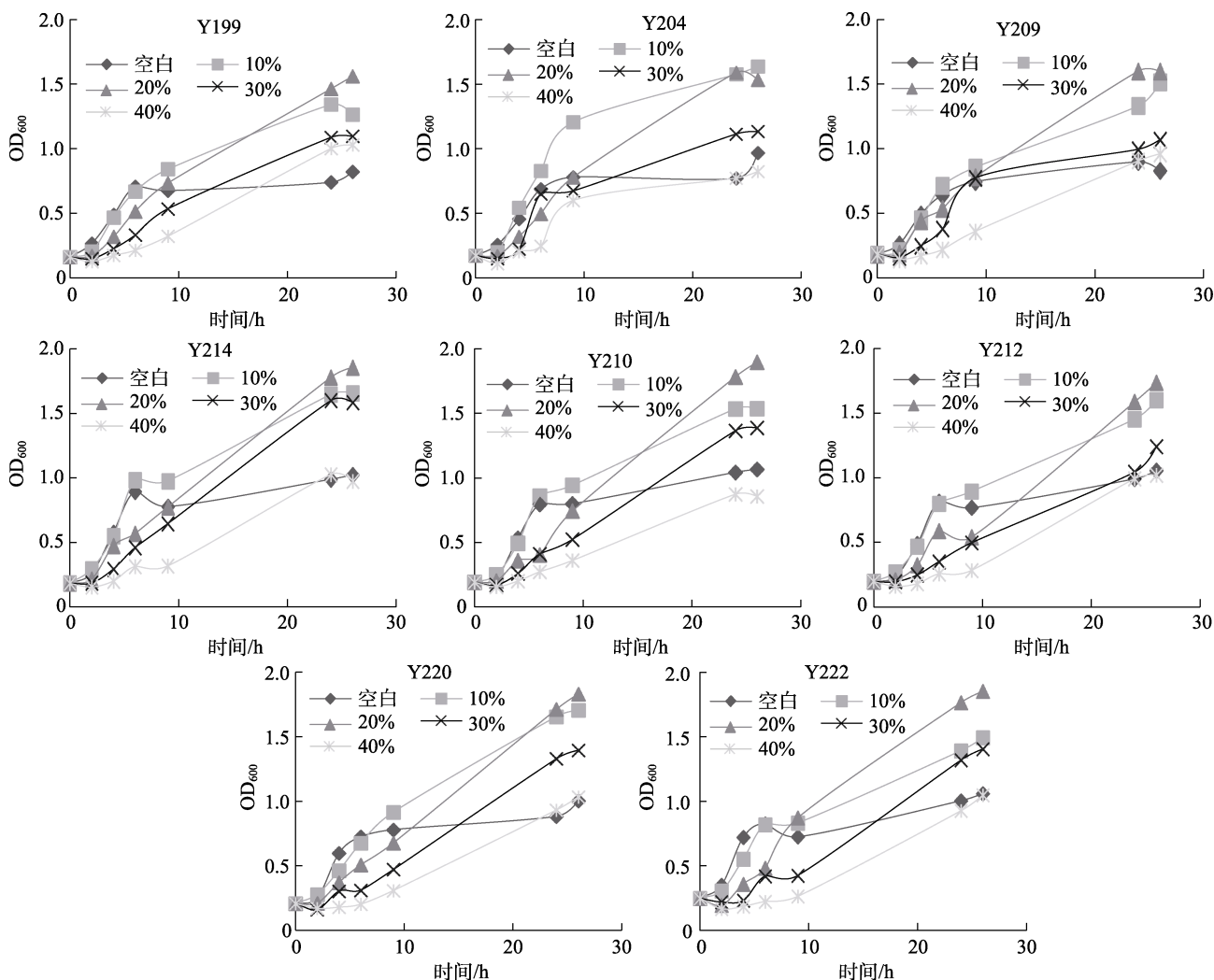


图 1 天然面种来源酵母菌株耐糖性

Fig 1 Sugar tolerance of yeast strains from natural flour species

空白对照,说明酵母菌不能耐受 40% 的糖浓度。谷物用酵母主要分为用于含糖量在 15%~30% 的高糖面团的耐高糖酵母,以及用于含糖量小于 7%

的面团的低糖酵母^[11]。前者用于面包等烘焙甜品,后者多用于馒头、饺子、包点等蒸煮类面制品。本研究筛选出的耐高糖的酵母,均可以在 30%

糖浓度的体系中正常生长，可保证其在高糖烘焙制品制作过程中保持良好的发酵特性。

如图 2 所示，优选的 8 株酵母在 37、40 °C 可正常生长，耐热性好。传统酿酒酵母的最适生

长温度为 25~33 °C，一般不超过 36 °C^[12]。本研究筛选出的酵母能够适应更广的生长温度，便于活化和扩大培养，有利于开发制备高温喷粉菌剂。

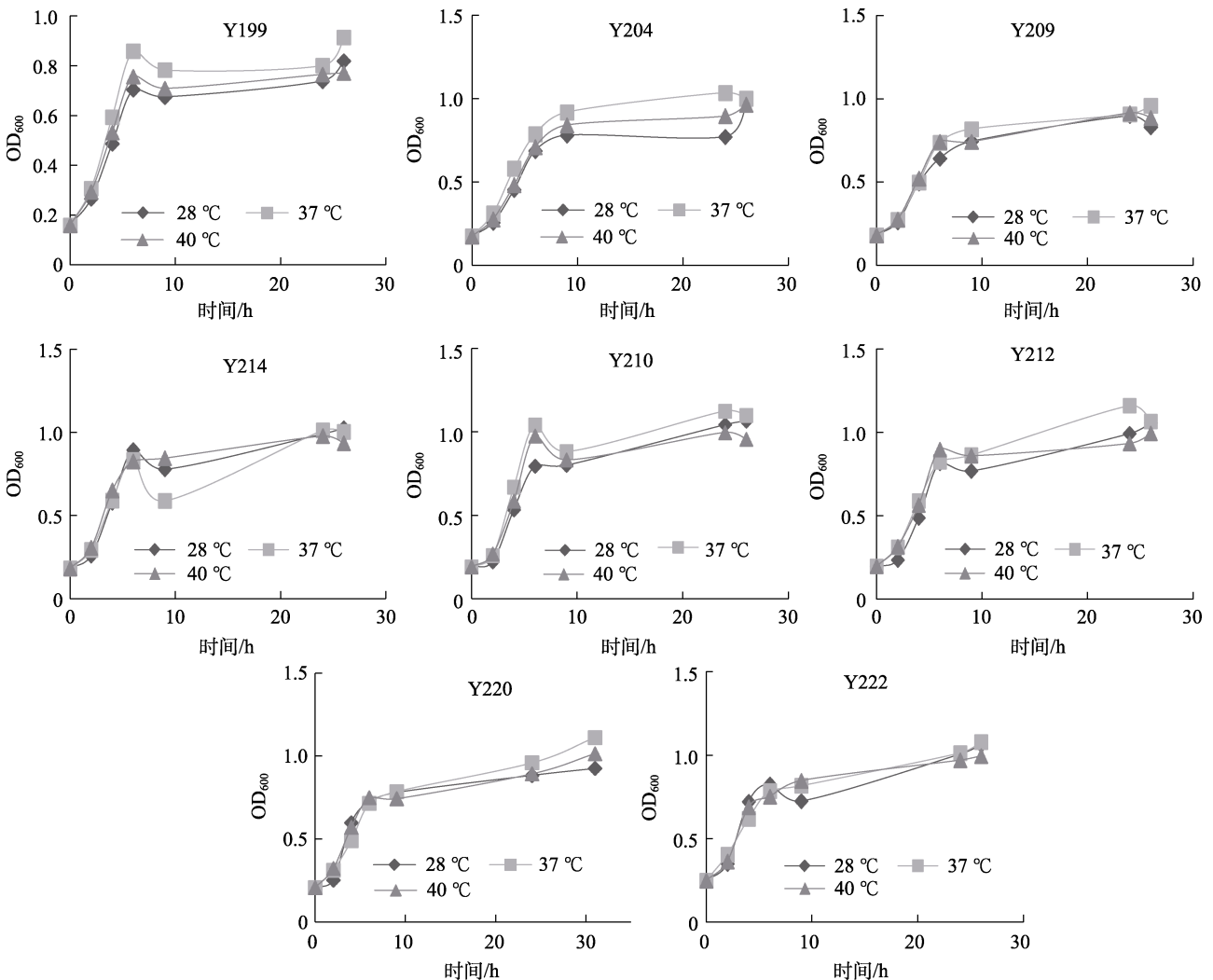


图 2 天然面种来源酵母菌株耐热性
Fig 2 Heat tolerance of yeast strains from natural flour species

2.3 馒头应用性能评估

2.3.1 比容

从来源于老面的 45 株酵母中，筛选可使面团体积在 3 h 发酵到 2 倍的 34 株酵母进行馒头应用实验。经过比容测定，有 32 株酵母制备的馒头样品满足国标要求的比容 ≥ 1.7 mL/g，其中 Y80、Y88、Y89 和 Y147 最佳，以 Y147 最为突出。

2.3.2 高径比

酵母菌的产气能力有差异，会对馒头醒发熟制后的形态产生不同的影响。以高径比来评估馒

头的体积膨胀程度^[13]。如表 4 所示，以商业酵母（A）为对照，有 5 株酵母馒头的高径比不如商业酵母，其余 29 株均优于商业酵母，其中以 Y71、Y97 和 Y100 为最佳。

2.3.3 感官评分

评分小于 70 分判定为差，70~79 分为一般，80~89 分为良好，大于 90 分为优。

如表 5 所示，商业酵母（A）制备的馒头和 5 种酵母馒头 Y89、Y94、Y97、Y146 和 Y147 均在 80 分以上，达到了良好的标准。

表4 不同酵母馒头的比容和高径比

Table 4 Specific volume and high diameter ratio of steamed buns made of different yeast

序号	酵母菌株	比容/(mL/g)	高径比
1	商业菌株 A	2.47±0.25 ^{abc}	0.67±0.06 ^a
2	Y64	2.11±0.21 ^d	0.73±0.07 ^a
3	Y68	2.44±0.24 ^{abc}	0.70±0.07 ^a
4	Y69	2.40±0.24 ^{abcd}	0.75±0.08 ^a
5	Y70	2.52±0.25 ^{abc}	0.74±0.07 ^a
6	Y71	2.37±0.24 ^{abc}	0.77±0.08 ^a
7	Y73	2.46±0.25 ^{abc}	0.72±0.07 ^a
8	Y74	2.29±0.23 ^{cd}	0.74±0.07 ^a
9	Y75	2.47±0.25 ^{abc}	0.72±0.07 ^a
10	Y76	2.27±0.23 ^{cd}	0.73±0.07 ^a
11	Y77	2.39±0.24 ^{abc}	0.73±0.07 ^a
12	Y78	2.56±0.26 ^{abc}	0.67±0.07 ^a
13	Y80	2.65±0.27 ^{ab}	0.65±0.07 ^a
14	Y83	2.45±0.25 ^{abc}	0.72±0.07 ^a
15	Y85	2.48±0.25 ^{abc}	0.73±0.07 ^a
16	Y87	2.47±0.25 ^{abc}	0.69±0.07 ^a
17	Y88	2.69±0.27 ^{ab}	0.66±0.07 ^a
18	Y89	2.60±0.26 ^{abc}	0.74±0.07 ^a
19	Y90	2.56±0.26 ^{bc}	0.67±0.07 ^a
20	Y91	2.40±0.24 ^{abc}	0.75±0.08 ^a
21	Y93	2.41±0.24 ^{abc}	0.73±0.07 ^a
22	Y94	2.47±0.25 ^{abc}	0.73±0.07 ^a
23	Y96	2.16±0.22 ^{cd}	0.75±0.08 ^a
24	Y97	2.41±0.24 ^{abc}	0.76±0.08 ^a
25	Y98	2.53±0.25 ^{abc}	0.71±0.07 ^a
26	Y99	2.41±0.24 ^{abc}	0.75±0.08 ^a
27	Y100	2.46±0.25 ^{abc}	0.76±0.08 ^a
28	Y101	2.48±0.25 ^{abc}	0.74±0.07 ^a
29	Y102	2.54±0.25 ^{abc}	0.71±0.07 ^a
30	Y125	2.30±0.23 ^{bcd}	0.66±0.07 ^a
31	Y128	2.17±0.22 ^{cd}	0.69±0.07 ^a
32	Y146	2.57±0.26 ^{abc}	0.75±0.08 ^a
33	Y147	2.84±0.28 ^a	0.72±0.07 ^a
34	Y149	1.68±0.17 ^e	0.73±0.07 ^a
35	Y150	1.65±0.17 ^e	0.75±0.08 ^a

注：平均数间有相同字母视为差异不显著，无相同字母视为差异显著（ $P<0.05$ ）。

Note: The same letter between the means was considered as no significant difference, and no same letter was considered as significant difference ($P<0.05$).

表5 不同酵母馒头的感官评分

Table 5 Sensory evaluation scores of steamed buns made of different yeast

分

序号	酵母菌株	感官评分	序号	酵母菌株	感官评分
1	商业菌株 A	81.60	19	Y90	75.40
2	Y64	70.75	20	Y91	68.50
3	Y68	75.00	21	Y93	74.80
4	Y69	72.75	22	Y94	81.70
5	Y70	75.50	23	Y96	60.50

续表 5

序号	酵母菌株	感官评分	序号	酵母菌株	感官评分
6	Y71	78.00	24	Y97	81.70
7	Y73	76.25	25	Y98	75.80
8	Y74	72.75	26	Y99	77.90
9	Y75	78.50	27	Y100	75.95
10	Y76	78.00	28	Y101	72.50
11	Y77	75.00	29	Y102	76.50
12	Y78	74.75	30	Y125	79.55
13	Y80	72.75	31	Y128	75.60
14	Y83	78.40	32	Y146	81.70
15	Y85	79.80	33	Y147	83.20
16	Y87	76.20	34	Y149	62.10
17	Y88	74.80	35	Y150	59.20
18	Y89	83.00			

2.3.4 质构

硬度值、弹性值反映样品的口感品质，硬度数值越大，样品吃起来就越硬，缺乏弹性、绵软、爽口的感觉；弹性数值越大，样品吃起来柔软又筋道、爽口不黏牙。不同样品的硬度、弹性指标

对比见表 6。

由表 6 可知，与商业酵母（A）相比，Y146 和 Y147 具有较低的硬度，口感柔软细腻。此外，Y80、Y88 和 Y102 也具有相对低的硬度。

通过表 6 可知，商业酵母（A）制备的馒头

表 6 不同酵母馒头的硬度和弹性

Table 6 Hardness and elasticity of steamed buns made of different yeast

序号	酵母菌株	硬度/g	弹性
1	商业菌株 A	2 806.27±280.63 ^c	90.44±9.04 ^a
2	Y64	4 455.26±445.53 ^c	91.40±9.14 ^a
3	Y68	3 264.54±326.45 ^{de}	94.05±9.41 ^a
4	Y69	3 616.00±361.60 ^d	92.47±9.25 ^a
5	Y70	3 089.19±308.92 ^{de}	92.96±9.30 ^a
6	Y71	3 600.13±360.01 ^d	92.48±9.25 ^a
7	Y73	3 389.94±338.99 ^{de}	94.63±9.46 ^a
8	Y74	3 406.60±340.66 ^d	87.42±8.74 ^a
9	Y75	3 241.74±324.17 ^{de}	93.91±9.39 ^a
10	Y76	3 681.63±368.16 ^d	92.06±9.21 ^a
11	Y77	3 331.97±333.20 ^{de}	92.01±9.20 ^a
12	Y78	2 932.12±293.21 ^e	94.24±9.42 ^a
13	Y80	2 714.97±271.50 ^f	94.68±9.47 ^a
14	Y83	3 399.55±339.96 ^{de}	94.02±9.40 ^a
15	Y85	3 412.66±341.27 ^{de}	94.72±9.47 ^a
16	Y87	3 382.39±338.24 ^{de}	94.71±9.47 ^a
17	Y88	2 307.77±230.78 ^f	95.26±9.53 ^a
18	Y89	3 038.75±303.88 ^e	95.05±9.51 ^a
19	Y90	3 179.76±317.98 ^{de}	94.75±9.48 ^a
20	Y91	2 743.06±274.31 ^e	83.68±8.37 ^{ab}
21	Y93	3 222.58±322.26 ^{de}	93.65±9.37 ^a
22	Y94	2 990.13±299.01 ^{de}	92.80±9.28 ^a

续表 6

序号	酵母菌株	硬度/g	弹性
23	Y96	2 681.28±268.13 ^{ef}	69.30±6.93 ^b
24	Y97	3 201.01±320.10 ^{de}	94.53±9.45 ^a
25	Y98	2 802.25±280.23 ^c	94.74±9.47 ^a
26	Y99	3 566.25±356.63 ^d	93.72±9.37 ^a
27	Y100	3 428.39±342.84 ^d	94.88±9.49 ^a
28	Y101	2 928.61±292.86 ^c	94.03±9.40 ^a
29	Y102	2 552.07±255.21 ^{ef}	93.54±9.35 ^a
30	Y125	3 041.16±304.12 ^{de}	93.06±9.31 ^a
31	Y128	3 436.25±343.63 ^d	93.59±9.36 ^a
32	Y146	1 988.04±198.80 ^e	89.24±8.92 ^a
33	Y147	1 553.90±155.39 ^b	91.63±9.16 ^a
34	Y149	6 771.26±677.13 ^b	88.83±8.88 ^a
35	Y150	9 776.56±977.66 ^a	87.73±8.77 ^a

注：平均数间有相同字母视为差异不显著，无相同字母视为差异显著 ($P<0.05$)。

Note: The same letter between the means was considered as no significant difference, and no same letter was considered as significant difference ($P<0.05$).

样品在第一次压缩后能够再恢复 90% 的程度，其他受试的酵母有 43 株的弹性均优于商业酵母，其中 Y88、Y89 可达到 95% 左右。

2.3.5 综合评估

综合不同酵母制备馒头的质量指标，优选出 5 株适合用于蒸煮类面制品的酵母菌株，分别为 Y88、Y89、Y97、Y146 和 Y147。

2.4 吐司面包应用性能评估

将来源于烘焙用天然面种的 8 株耐高糖、耐热酵母进行吐司面包应用验证。以商业酵母为对照，评估不同酵母对吐司水分、质构、切面外观的影响。

2.4.1 水分活度

由表 7 可知，面包放置过程中，不同酵母菌对吐司面粉水分活度影响不大。

表 7 不同酵母菌对吐司面包保质期内水分活度的影响
 Table 7 Effects of different yeasts on water activity of toast during shelf life

放置天数	1 d	4 d
商业酵母	0.957 0	0.953 4
Y199	0.950 7	0.952 6
Y204	0.954 5	0.953 5
Y209	0.947 1	0.953 7
Y214	0.949 2	0.953 9
Y210	0.957 0	0.955 6
Y212	0.957 4	0.954 6
Y220	0.954 6	0.952 6
Y222	0.953 6	0.952 1

2.4.2 质构

由表 8~9 可知，面包放置过程中，分离自天然面种的酵母制备的吐司面包普遍硬度低于商业酵母面包。Y220 酵母面包硬度、咀嚼性较高。Y199、Y222 面包的质构指标与商业酵母较接近。

2.4.3 感官评价

由表 10~11 可知，Y214 样品面包弹性、放置两天纹理撕裂性表现最优。Y204 面包切片的纹理拉丝性、切面气孔均匀性最优。Y212 面包纹理拉丝性、切片气孔均匀程度、放置两天撕裂性表现均最优，Y210 面包的弹性最优。

2.4.4 综合评估

综合不同酵母吐司面包的质量指标，优选出 4 株适合用于烘焙类面制品的酵母菌株，分别为 Y204、Y210、Y212 和 Y214。

2.5 冷冻面团活力评估

从优选的 4 株适合用于烘焙类面制品的酵母菌株中，挑选使含糖面团发酵 3 h 后体积较大、发酵力强的 2 株酵母 Y204、Y214，进行冷冻面团应用验证。

以酵母 Y214、Y204、商业酵母为发酵剂制备餐包冷冻面团，速冻后置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻存，定期监测冷冻面团的发酵活力，评估面团醒发烘烤后的比容。

表 8 酵母 Y199、Y204、Y209、Y214 制备吐司面包保质期内全质构分析

Table 8 Full texture analysis of toast bread made of yeasts Y199, Y204, Y209 and Y214 during shelf life

	菌株编号	硬度/g	内聚性	咀嚼性
放置 1 天	商业酵母	178.35±10.36 ^a	0.78±0.02 ^a	146.46±9.62 ^b
	Y199	141.41±3.80 ^b	0.79±0.01 ^a	174.58±13.38 ^a
	Y204	126.01±5.24 ^c	0.81±0.02 ^a	157.25±0.01 ^b
	Y209	137.80±3.00 ^b	0.81±0.01 ^a	146.29±4.05 ^b
	Y214	97.38±1.65 ^d	0.81±0.01 ^a	117.60±3.79 ^c
放置 4 天	商业酵母	523.02±54.41 ^a	0.68±0.04 ^a	349.45±14.30 ^b
	Y199	412.34±51.79 ^b	0.71±0.04 ^a	430.32±30.99 ^a
	Y204	292.09±44.88 ^c	0.73±0.03 ^a	285.75±25.60 ^b
	Y209	392.44±69.06 ^b	0.71±0.05 ^a	302.82±9.94 ^b
	Y214	300.04±64.45 ^c	0.73±0.06 ^a	328.46±35.45 ^b

注：平均数间有相同字母视为差异不显著，无相同字母视为差异显著 ($P<0.05$)。

Note: The same letter between the means was considered as no significant difference, and no same letter was considered as significant difference ($P<0.05$).

表 9 酵母 Y210、Y212、Y220、Y222 吐司面包保质期内全质构分析

Table 9 Full texture analysis of toast bread made of yeasts Y210, Y212, Y220 and Y222 during shelf life

	菌株编号	硬度/g	内聚性	咀嚼性
放置 1 天	商业酵母	248.75±44.74 ^b	0.76±0.03 ^a	238.09±39.44 ^{ab}
	Y210	204.71±26.52 ^b	0.75±0.02 ^a	222.27±23.82 ^b
	Y212	152.94±41.14 ^c	0.77±0.02 ^a	185.50±40.81 ^b
	Y220	321.55±32.37 ^a	0.76±0.02 ^a	304.18±52.69 ^a
	Y222	220.63±18.83 ^b	0.75±0.01 ^a	266.80±22.71 ^a
放置 4 天	商业酵母	445.21±51.18 ^b	0.71±0.01 ^a	318.02±29.86 ^a
	Y210	262.88±12.31 ^c	0.73±0.03 ^a	268.01±9.53 ^b
	Y212	253.91±16.84 ^c	0.75±0.01 ^a	246.72±15.11 ^b
	Y220	569.40±29.05 ^a	0.65±0.03 ^b	365.87±3.69 ^a
	Y222	385.79±45.18 ^b	0.72±0.03 ^a	276.88±24.27 ^{ab}

注：平均数间有相同字母视为差异不显著，无相同字母视为差异显著 ($P<0.05$)。

Note: The same letter between the means was considered as no significant difference, and no same letter was considered as significant difference ($P<0.05$).

表 10 酵母 Y199、Y204、Y209、Y214 吐司面包感官评分排序

Table 10 Sensory score ranking of toast bread made of yeasts Y199, Y204, Y209 and Y214

感官指标	评分排序
纹理拉丝性	Y204>商业酵母=Y199=Y209>Y214
切片气孔	Y204>Y209=Y199=Y214>商业酵母
弹性	Y214>Y204>Y209>商业酵母>Y199
放置两天纹理撕裂表现	Y214>Y204>Y209>Y199>商业酵母
风味	差异不大

表 11 酵母 Y210、Y212、Y220、Y222 吐司面包感官评分排序

Table 11 Sensory score ranking of toast bread made of yeasts Y210, Y212, Y220 and Y222

感官指标	评分排序
纹理拉丝性	Y212>商业酵母=Y210=Y220=Y222
切片气孔	Y212>商业酵母>Y210>Y220=Y222
弹性	Y210>Y212=商业酵母>Y220>Y222
放置两天纹理撕裂表现	Y212>Y210>Y222>Y220>商业酵母
风味	差异不大

冷冻面团随着冻存时间的延长，其醒发、烘烤后的比容有降低的趋势，直至无法醒发膨胀至正常体积，活力丧失，这些现象主要是酵母活力下降导致的^[14]，一方面低活力酵母的活细胞数减少，产气力降低，不能维持面团正常的醒发体积；另一方面，酵母细胞膜冷冻损伤后，释放出的还原性物质（例如谷胱甘肽）会弱化面筋，从而减弱面团的持气力^[15]。选择活力较高的抗冻酵母品种是维持冷冻面团品质的关键。由表 12 可知，与商业酵母对比，Y204、Y214 酵母的抗冻性较强，制作的冷冻面团冻存 35 天依然能正常醒发。且 Y204、Y214 制备的冷冻面团餐包的比容和挺立度均优于商业酵母。其中 Y214 酵母的抗冻性最优。

表 12 酵母冷冻面团存放期内比容变化
 Table 12 Specific volume change of yeast frozen dough during storage

菌株	比容				
	第 7 天	第 14 天	第 21 天	第 28 天	第 35 天
商业酵母	4.15	3.49	3.00	2.88	2.83
Y204	4.31	4.17	4.28	3.75	3.69
Y214	4.24	4.98	4.28	4.11	4.00

3 结论

本研究从我国不同省市的老面、天然面种中分离得到 65 株酵母菌株。在以馒头为代表的蒸煮类发酵制品的应用中,通过分析比容、高径比、质构数据以及结合感官品评结果优选出 Y88、Y89、Y97、Y146 和 Y147 五株酵母。在以吐司面包为代表的烘焙类发酵制品的应用中,通过分析水分、质构、感官品评结果优选出 Y204、Y210、Y212 和 Y214 四株酵母。其中 Y204、Y214 的抗冻性强,能够使冷冻面团的活力维持 28 天以上。

可结合各种酵母的不同特色进行复配,发挥各自最大的优势,开发特色酵母发酵剂,为消费者提供差异化的烘焙和蒸煮面制品。此外,延长冷冻面团活力的抗冻酵母的发掘有助于提升冷冻面团稳定性,是冷冻面团技术体系中不可或缺的重要部分,该技术使面团制作环节与成品熟制售卖环节独立开来,在强化产品标准质量的同时扩大供应范围。本研究筛选的抗冻性强的酵母具有在冷冻面团中应用的潜力,对于加工符合我国文化特点的冷冻面制品、推动我国发酵面食工业化进程、满足消费者多样化需求具有重要意义。

参考文献:

- [1] 张利,李欣,栾南,等.不同代数酿酒酵母发酵产酶酶活力变化研究[J].酿酒科技,2012,7:62-64.
ZHANG L, LI X, LUAN N, et al. Study on the change of the activity of enzymes produced by *Saccharomyces cerevisiae* of different generation[J]. Liquor-making Science & Technology, 2012, 7: 62-64.
- [2] 刘增然,李树立,张光一.酿酒酵母的糖转运机理研究进展[J].食品与发酵工业,2004,30(11):65-69.
LIU Z R, LI S L, ZHANG G Y. The research progress on sugar transportation of *Saccharomyces cerevisiae*[J]. Food and Fermentation Industries, 2004, 30(11): 65-69.
- [3] 马凯,华威,龚平,等.顶空-固相微萃取方法分析4种发酵剂制作馒头中挥发性风味物质[J].食品科学,2014,35(16):

128-132.

- MA K, HUA W, GONG P, et al. Headspace solid phase microextraction for analysis of volatile components in Chinese steamed bread made with four starter cultures[J]. Food Science, 2014, 35(16): 128-132.
- [4] SUN L, LIU G Y, LI Y, et al. Metabolic engineering of *Saccharomyces cerevisiae* for efficient production of endocrocin and emodin[J]. MetabEng, 2019, 54: 212-221.
- [5] WILLS R H. Analysis of water soluble vitamins by high pressure liquid chromatography[J]. Journal of Chromatographic Science, 1997(15): 262-266.
- [6] 中华人民共和国国家标准 小麦粉馒头: GB/T 21118—2007[S].
National Standards of the People's Republic of China Chinese steamed bread made of wheat flour: GB/T 21118—2007[S].
- [7] 刘建伟,杨瑞征,毛根武,等.馒头质构特性测定方法的研究(Ⅲ)——馒头质构测试的最佳条件探讨[J].粮食与饲料工业,2011,11:11-14+18.
LIU J W, YANG R Z, MAO G W, et al. Study on testing method of texture characteristics of steamed bun(Ⅲ): Discussion on the optimum conditions of texture testing of steamed bun[J]. Cereal & Feed Industry, 2011, 11: 11-14+18.
- [8] 中华人民共和国国家标准 小麦品种品质分类: GB/T 17320—2013[S].
National Standards of the People's Republic of China Quality classification of wheat varieties: GB/T 17320—2013[S].
- [9] 中华人民共和国国家标准 粮油检验 小麦粉面包烘焙品质评价 快速烘焙法: GB/T 35869—2018[S].
National Standards of the People's Republic of China Inspection of grain and oils—Bread-baking quality evaluation of wheat flour—Rapid baking test: GB/T 35869—2018[S].
- [10] 姜天笑,肖冬光,王振.面包酵母发酵力测定方法的探讨[J].食品科技,2008,7:199-202.
JIANG T X, XIAO D G, WANG Z. Research on determination method of dough fermentation ability in baker's yeast[J]. Food Science and Technology, 2008, 7: 199-202.
- [11] 姜天笑,徐曼,王振,等.优良面包酵母菌株的杂交育种[J].微生物学通报,2008,35(4):550-554.
JIANG T X, XU M, WANG Z, et al. Construction of baker's yeast strains with high fermentative abilities in both lean and sweet doughs[J]. Microbiology China, 2008, 35(4): 550-554.
- [12] 秦广利,郭坤亮,白爱琴,等.耐高温酵母的研究进展[J].酿酒科技,2008,10:92-95.
QIN G L, GUO K L, BAI A Q, et al. Research progress in thermo-resistant yeast[J]. Liquor-making science & technology, 2008, 10: 92-95.
- [13] 董彬,姚娟,冷建新.常用几种面食发酵方法对比[J].粮食与油脂,2005,11:14-15.
DONG B, YAO J, LENG J X. Comparing of some fermentation methods[J]. Cereals & Oils, 2005, 11: 14-15.
- [14] 周洪禄,李梦琴,冯蕾.不同酵母对冷冻面团发酵特性及馒头品质的影响[J].食品与发酵工业,2011,37(11):56-59.
ZHOU H L, LI M Q, FENG L. Effects of different yeasts of fermentation property of frozen dough and quality of Mantou[J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(11): 56-59.
- [15] 吕莹果,王群学,陈能飞.冷冻面团中酵母的抗冻性及抗冻酵母的研究进展[J].江苏食品与发酵,2007,3:25-28.
LV Y G, WANG Q X, CHEN N F. Research progress of freeze resistance of yeast in frozen dough and freeze resistant yeast[J]. Jiang Su Shi Pin Yu Fa Jiao, 2007, 3: 25-28. 完