

传统发酵制剂对全麦馒头食用品质的影响

李明鹏^{1,2}, 高琨¹, 翟小童¹, 吴娜娜¹, 汪丽萍¹, 谭斌^{1*}

¹ 国家粮食和物资储备局科学研究院 北京 100037

² 武汉轻工大学食品科学与工程学院 武汉 430023)

摘要 全麦馒头食用品质不佳一直是限制全麦推广应用的首要限制性因素。本文以商用酵母发酵的全麦馒头为对照,选取不同地区的 21 种传统发酵制剂,探究其对全麦馒头色泽、质构特性、比容和感官评价等食用品质的影响。通过主成分分析方法优选出适合全麦馒头食用品质改良的传统发酵制剂。结果表明:与普通全麦馒头相比,15 种发酵制剂均对全麦馒头食用品质起到改良作用。其中,全麦馒头质构特性中的硬度降低 5.03%~40.76%,比容提高 0.66%~41.72%,感官评价综合评分提高 0.29%~9.08%。主成分分析中,主要与前 3 主成分因子呈正相关关系的指标是黏聚性、回复性、咀嚼性和弹性以及全麦馒头色泽和比容。综合食用品质排名前 3 的依次是编号为 15 号、6 号、18 号的传统发酵制剂全麦馒头。本研究结果为传统发酵制剂对全麦馒头食用品质改良提供数据支持,有助于全麦馒头的推广。

关键词 传统发酵制剂;全麦馒头;食用品质特性;主成分分析

文章编号 1009-7848(2024)11-0186-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.11.018

馒头为我国北方的传统主食,长久以来一直受到广大消费者的青睐^[1]。相较于白面馒头,全麦馒头中麸皮富含的膳食纤维、酚类化合物、维生素等营养物质,能有效降低心血管疾病及糖尿病的发病率^[2-4]。较高的营养价值使其具有较好的市场潜力,而由麸皮带来的适口性差、风味不佳等食用问题限制了全麦馒头产品的开发与推广^[5]。

传统发酵制剂,包括酵子、老面等传统馒头发酵剂,属多菌种混合体系,除酵母菌外,还含有乳酸菌、醋酸菌等,可在发酵过程中更好地改善馒头食用品质。高静^[6]发现老面发酵能增大白面馒头比容,改善其质构特性,使馒头更加细腻柔韧性强。朱慧雪等^[7]研究表明酵子发酵的、添加了糊粉层粉的馒头的感官评分、比容、质构分析等综合评价整体高于酵母糊粉层粉馒头。Wang 等^[8]发现酸面团发酵使富麸馒头比容有所增加。Li 等^[9]研究表明非单一酵母菌发酵在面团发酵和馒头制作方面具有广阔的应用前景。同时馒头面团在发酵过程中会发生复杂的化学反应,如糖化、酯化等,从而产生各种风味物质^[10],使馒头具有较好的品质及丰富的感官风味^[11-12]。然而,目前相关研究主要集中在

传统发酵制剂在白面及复配馒头的食用品质改良方面,而对全麦馒头食用品质的研究较少。袁佐云^[13]筛选出不同地区老面中性能优良的酵母及乳酸菌来制作全麦馒头,证明传统老面发酵有助于提升全麦馒头感官及挥发性风味。周萌萌^[14]用酵子一、二次发酵制作全麦粉馒头并与商用酵母全麦粉馒头的食品品质进行比较,发现二次发酵对全麦馒头改良效果显著,然而,目前尚缺少多种传统发酵制剂的对比研究。

由于地域气候条件和制作方法的不同,各地区使用的传统发酵制剂品质有所差别。同时,不同菌种使得馒头面团发酵过程中代谢产酸及可溶性糖含量的变化存在差异,这很可能会影响馒头的品质^[15]。本试验以商用酵母馒头为对比,采集北方馒头主要消费地区的传统发酵制剂,通过对全麦馒头的质构特性、比容、色泽、感官评价等指标,评价其综合食用品质。

1 材料与amp;方法

1.1 材料及原材采集

全麦粉,新乡良润全谷物食品有限公司;食用碱,江苏吉得利食品有限公司;商用活性干酵母,河北马利食品有限公司;试验所用 21 种传统发酵制剂分别来源于中国以馒头为主食的 5 个北方地区,甘肃 1 份、河南 11 份、青海 1 份、山东 4 份、山

收稿日期: 2023-11-19

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFF1100503-1)

第一作者: 李明鹏,男,硕士生

通信作者: 谭斌 E-mail: tb@ags.ac.cn

西 1 份、陕西 3 份(见表 1)。

1.2 仪器与设备

JMTY 型面包体积测定仪,成都施特威科技发展有限公司;CR-400 色差仪,日本柯尼卡美能达公司;TA-XTPLUS 物性仪,英国 Stable Micro System 公司;JHMZ200 和面机,北京东方孚德技术发展中心;JXFD7 醒发箱,珠海市博恩科技有限公司;JCKZ 面团成型机,北京市东孚久恒仪器技术有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 传统发酵制剂全麦馒头的制作 参照沙见宇^[16]与李晓敏等^[17]的方法并加以改动,称取 12 g 传统发酵制剂,加入 75 mL 水活化 15 min,然后加入 60 g 全麦粉,搅拌均匀成面糊后,在温度 35 ℃、相对湿度 85%的醒发箱中发酵。待面糊表面布满密集气泡后再加入 240 g 全麦粉和 90 mL 水于和面机中搅拌成面团后继续发酵;待面团体积膨大 1~1.5 倍,有明显酸味时即完成发酵;再加适量食用碱,手揉至碱混合均匀,面团表面光滑,辊压机上辊压 10 次排气,将面团均分成 3 份,搓圆后在上述条件下醒发 40 min,上锅蒸 25 min,放冷后备用。

1.3.2 对照商用酵母全麦馒头的制作 商用酵母全麦馒头参照《粮油检验 小麦粉馒头加工品质评价》(GB/T 35991-2018)中的新鲜馒头制作工艺制作。称取 2.4 g 活性酵母,加入 165 mL 去离子水与 300 g 全麦粉在和面机中搅拌 3 min,辊压机上辊压 10 次排气;将面团均分成 3 份,搓圆后在温度 35 ℃、相对湿度 85%的醒发箱中醒发 1 h,蒸锅蒸 25 min,放冷后备用。

1.3.3 全麦馒头色泽的测定 参照吴远宁等^[18]的方法,采用色差仪对全麦馒头的顶部色泽进行

表 1 不同地区传统发酵制剂编号及产地

Table 1 Traditional starter culture number and origin in different regions

| 编号 | 产地 | 编号 | 产地 | 编号 | 产地 |
|----|-------|----|--------|----|-------|
| 1 | 甘肃-武威 | 8 | 河南-郑州 | 15 | 山东-菏泽 |
| 2 | 河南-洛阳 | 9 | 河南-郑州 | 16 | 山东-菏泽 |
| 3 | 河南-南阳 | 10 | 河南-郑州 | 17 | 山东-新泰 |
| 4 | 河南-商丘 | 11 | 河南-周口 | 18 | 山西-运城 |
| 5 | 河南-商丘 | 12 | 河南-驻马店 | 19 | 陕西-渭南 |
| 6 | 河南-新乡 | 13 | 青海-西宁 | 20 | 陕西-渭南 |
| 7 | 河南-新乡 | 14 | 山东-滨州 | 21 | 陕西-渭南 |

测定。

1.3.4 全麦馒头的质构测定 全麦馒头蒸熟冷却 0.5 h 后,取中间部分,切成 20 mm×20 mm×20 mm 的正方块用于测定全麦馒头的质构。测试模式为质地剖面分析(TPA)二次咀嚼模式,测试探头为 P/36R 柱形探头,触发力为 5 g,下压速度为 1 mm/s,压缩形变量为 50%^[19]。

1.3.5 全麦馒头比容、宽高比的测定 全麦馒头蒸熟冷却 0.5 h 后称重,用面包体积仪测定全麦馒头体积,比容为体积比质量;用游标卡尺测量全麦馒头的高度与直径,比值则为宽高比。

1.3.6 感官评价 参考国标《粮油检验 小麦粉馒头加工品质评价》(GB/T 35991-2018)中的方法,稍加改动进行全麦馒头感官评价。比容评分参照谢水琪等^[20]的方法。选择 10 名具有基础感官评价知识的人员对全麦馒头的弹性、表面色泽、表面结构、内部结构、韧劲、黏性和食味进行评价,评价描述如表 2 所示。

1.3.7 数据分析 使用 Excel 软件进行数据处理,使用 SPSS 23.0、Origin 2021 数据处理软件进行显著性分析和主成分因子分析。

表 2 全麦馒头感官评价标准

Table 2 Criteria of sensory evaluation of the whole wheat steamed bread

| 项目 | 评分标准 |
|-----------|--|
| 比容(20分) | 比容大于或等于 2.3 mL/g 为满分,每少 0.1 扣 1 分,共 20 分 |
| 宽高比(5分) | 宽高比小于或等于 1.40 时为最高分 5 分;大于 1.60 时得最低分 0 分;在 1.40~1.60 之间每增加 0.05 扣 1 分 |
| 弹性(10分) | 手指按压回弹性好;8~10 分;手指按压回弹弱;6~7 分;手指按压不回弹或按压困难;4~5 分 |
| 表面色泽(10分) | 光泽性好 8~10 分;稍暗 6~7 分;灰暗 4~5 分 |
| 表面结构(10分) | 表面光滑 8~10 分;皱缩、塌陷、有气泡或烫斑 4~7 分 |

(续表 2)

| 项目 | 评分标准 |
|-----------|---|
| 内部结构(20分) | 气孔细腻均匀 18~20分;气孔细腻基本均匀,有个别气泡 13~17分;边缘与表皮有分离现象扣 1分;气孔基本均匀,而有下列情况之一的 10~12:过于细密,有稍多气泡,气孔均匀而结构稍显粗糙;气孔不均匀或结构很粗糙 5~9分 |
| 韧性(10分) | 咬劲强 8~10分;咬劲一般 6~7分;咬劲差,切时掉渣或咀嚼干硬 4~5分 |
| 黏性(10分) | 爽口不黏牙 8~10分;稍黏 6~7分;咀嚼不爽口,很黏牙 4~5分 |
| 食味(5分) | 正常小麦固有的香味 5分;滋味平淡 4分;有异味 2~3分 |

2 结果与分析

2.1 不同全麦馒头色泽分析

色泽能反映物质颜色的色调和饱和度,是判断食品色泽变化的一项重要感官性依据^[21],在色差仪检测中,综合 L^* 、 a^* 、 b^* 及 ΔE 值能全面反映出传统发酵剂全麦馒头与商用酵母全麦馒头表面及内部色度存在的偏差^[22]。由表 3 可知,90.47%的传统发酵剂全麦馒头的顶部 L^* 值(亮度)与商用酵母全麦馒头的 L^* 值存在显著性差异 ($P < 0.05$),且普遍低于商用酵母全麦的 L^* 值; a^* 值(红度)、 b^* 值(黄度)也存在一定的差异($P < 0.05$)。与商用酵母全麦馒头相比,传统发酵剂全麦馒头

的顶部 L^* 值偏低,是因为在传统发酵剂全麦馒头的制作过程中,有不定量食用碱的添加,全麦粉中的黄酮在碱性环境下会变黄^[23],会影响馒头的色泽;另一方面是长时间的发酵,全麦面团本身会有氧化反应,造成表面颜色加深。

与商用酵母全麦馒头顶部色泽差距最小的是 13 号传统发酵剂全麦馒头,它的 ΔE 值为 0.44,顶部色泽差距最大的则是 20 号传统发酵剂全麦馒头, ΔE 值为 6.42。大部分传统发酵剂全麦馒头与商用酵母全麦馒头色差较明显,主要是受传统发酵剂全麦馒头食用碱添加量的不同及发酵时间不一的影响。

表 3 不同全麦馒头顶部的色度值

Table 3 Chromaticity values of the top of different whole wheat bun

| 编号 | L^* | a^* | b^* | ΔE |
|----|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------|
| 酵母 | 67.45 ± 0.32 ^a | 4.55 ± 0.19 ^{def} | 27.89 ± 0.07 ^{bcd} | * |
| 1 | 64.59 ± 0.18 ^{gh} | 5.06 ± 0.20 ^{bc} | 26.73 ± 0.57 ^j | 3.12 |
| 2 | 64.77 ± 0.80 ^{gh} | 4.89 ± 0.22 ^c | 27.43 ± 0.19 ^{efg} | 2.73 |
| 3 | 65.94 ± 0.48 ^{cd} | 4.47 ± 0.11 ^{efg} | 27.33 ± 0.44 ^{efgh} | 1.61 |
| 4 | 64.85 ± 0.93 ^{gh} | 4.54 ± 0.31 ^{def} | 26.99 ± 0.45 ^{ghij} | 2.75 |
| 5 | 65.20 ± 0.37 ^{efg} | 4.62 ± 0.04 ^{de} | 27.38 ± 0.26 ^{efgh} | 2.31 |
| 6 | 65.53 ± 0.2 ^{de} | 4.93 ± 0.17 ^c | 27.74 ± 0.29 ^{cd} | 1.96 |
| 7 | 64.24 ± 0.75 ^h | 5.19 ± 0.07 ^{ab} | 28.02 ± 0.17 ^{bc} | 3.27 |
| 8 | 66.55 ± 0.39 ^b | 4.44 ± 0.11 ^{efgh} | 27.46 ± 0.33 ^{def} | 1.00 |
| 9 | 65.53 ± 0.34 ^{de} | 4.94 ± 0.09 ^c | 28.28 ± 0.16 ^b | 1.99 |
| 10 | 67.30 ± 0.45 ^a | 4.47 ± 0.04 ^{efg} | 26.75 ± 0.17 ^j | 1.15 |
| 11 | 64.61 ± 0.21 ^{gh} | 5.04 ± 0.13 ^{bc} | 27.69 ± 0.56 ^{cd} | 2.88 |
| 12 | 65.80 ± 0.49 ^{cd} | 4.33 ± 0.21 ^{gh} | 26.96 ± 0.20 ^{hij} | 1.90 |
| 13 | 67.31 ± 0.75 ^a | 4.38 ± 0.15 ^{fgh} | 27.50 ± 0.07 ^{def} | 0.44 |
| 14 | 64.57 ± 0.45 ^{gh} | 4.42 ± 0.12 ^{efgh} | 27.32 ± 0.06 ^{efgh} | 2.93 |
| 15 | 66.57 ± 0.21 ^b | 4.57 ± 0.11 ^{def} | 26.97 ± 0.52 ^{hij} | 1.27 |
| 16 | 63.35 ± 0.71 ⁱ | 4.90 ± 0.03 ^c | 26.00 ± 0.59 ^k | 4.52 |
| 17 | 63.61 ± 0.32 ^j | 5.06 ± 0.10 ^{bc} | 29.66 ± 0.25 ^a | 4.25 |
| 18 | 65.92 ± 0.85 ^{cd} | 4.27 ± 0.27 ^h | 27.57 ± 0.24 ^{def} | 1.59 |
| 19 | 66.38 ± 0.05 ^{bc} | 4.67 ± 0.05 ^d | 26.78 ± 0.24 ^{ij} | 1.54 |
| 20 | 61.11 ± 0.13 ^j | 5.28 ± 0.04 ^a | 27.20 ± 0.13 ^{fghi} | 6.42 |
| 21 | 65.43 ± 0.21 ^{def} | 4.55 ± 0.03 ^{def} | 28.08 ± 0.46 ^{bc} | 2.02 |

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$);“*”表示以酵母组为对照值。

2.2 不同全麦馒头比容、感官评价及质构特性分析

馒头的比容与感官评分也是衡量其属性和消费者可接受度的重要指标^[24]。由表 4 可知,85.71%的传统发酵制剂全麦馒头的比容显著高于商用酵母全麦馒头的比容 ($P < 0.05$),比容可以提高 0.66%~41.72%;其中 15 号传统发酵制剂全麦馒头具有最高的比容,相比于商用酵母全麦,比容增加了 41.72%。馒头的比容取决于面筋网络结构的稳定及产气量的多少^[25],由图 1 可知,传统发酵制剂全麦馒头的气孔更稀疏,由于长时间的发酵,传统发酵制剂中的酵母菌能充分分解糖份且乳酸菌也能产生代谢产物为酵母菌提供能量,加速酵母菌产气^[26]。感官评价当中,71.43%的传统发酵制剂全麦馒头感官评分高于商用酵母全麦馒头,相较于商用酵母全麦馒头的感官评价得分提高了 0.29%~9.08%。这其中一方面原因是全麦馒头的比容得到提升并且整体结构得到了改善,另外传统发酵制剂的多菌系能为全麦馒头带来丰富的风味。

食品的质构特性能客观直接地反映出其食用品质^[27],硬度、胶着性、咀嚼性与馒头的外观性状和内部结构呈显著正相关关系,而弹性、凝聚性、回复性与馒头比容成正相关关系^[28]。由表 4 可知,传统发酵制剂全麦馒头的各项 TPA 测试指标与

商用酵母全麦馒头的指标均存在显著性差异 ($P < 0.05$),且馒头的硬度与弹性、咀嚼性、回复性具有一定的相关性。与商用酵母全麦馒头相比,80.95%的传统发酵制剂有助于降低全麦馒头硬度,降低了 5.03%~40.76%,硬度最低的则为 5 号全麦馒头。与商用酵母全麦馒头相比,弹性、回复性最大的为 15 号全麦馒头,其弹性、回复性分别增加了 2.33%,13.33%;黏聚性最大的 15 号全麦馒头,其黏聚性增加了 4.48%;胶着性、咀嚼性最小的 20 号全麦馒头,其胶着性、咀嚼性分别降低了 40.72%,49.18%。馒头的质构品质与其比容有一定联系,15 号全麦馒头具有最大的比容,同时也具有最大的弹性、黏聚性及回复性。

传统发酵制剂全麦馒头的质构特性得到普遍改善,这是馒头内部结构及比容得到改善的综合结果。虽然全麦馒头中的膳食纤维会吸水减小面筋网络的形成,导致全麦馒头质地特性一定程度上变差^[29],但在长时间的发酵过程中,发酵制剂中的微生物能充分的将糖类物质转化为醇、醛类及 CO₂ 等物质,产气量足,软化面团的同时形成稳定的内部网络结构^[30-31]。使全麦馒头的比容、弹性增大,硬度降低,这也正是传统发酵制剂制作馒头的优势所在。

表 4 不同全麦馒头的质构、比容、感官评分的分析

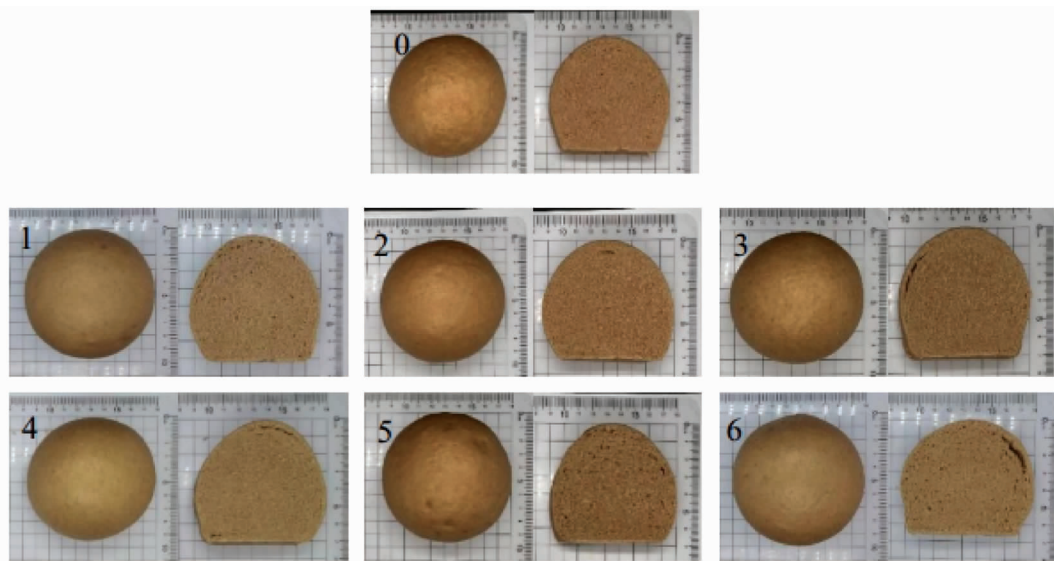
Table 4 Analysis of texture, specific volume and sensory scores of different whole wheat steamed bread

| 编号 | 比容/(mL/g) | 感官评分/分 | 硬度/g | 弹性 | 黏聚性 | 胶着性 | 咀嚼性 | 回复性/g |
|----|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 酵母 | 1.51 ± 0.02 ^{jk} | 69.40 ± 6.11 ^{bcdefg} | 1 962.42 ± 18.86 ^d | 0.86 ± 0.02 ^{ab} | 0.67 ± 0.01 ^{abcd} | 1 313.53 ± 4.27 ^e | 1 128.15 ± 28.88 ^b | 0.30 ± 0.01 ^{bcd} |
| 1 | 1.97 ± 0.07 ^b | 75.70 ± 5.29 ^a | 1 484.29 ± 15.21 ^j | 0.72 ± 0.03 ⁱ | 0.59 ± 0.03 ^e | 879.56 ± 38.78 ^k | 636.86 ± 46.16 ^{kl} | 0.24 ± 0.02 ^{hij} |
| 2 | 1.63 ± 0.05 ^{ghi} | 70.70 ± 4.24 ^{abcdefg} | 1 822.61 ± 14.99 ^f | 0.84 ± 0.01 ^{abcd} | 0.67 ± 0.01 ^{abc} | 1 222.33 ± 10.02 ^{de} | 1 023.78 ± 21.12 ^{cd} | 0.29 ± 0.01 ^{bcd} |
| 3 | 1.58 ± 0.02 ^{ji} | 71.20 ± 3.61 ^{abcdef} | 2 152.03 ± 44.87 ^b | 0.78 ± 0.01 ^{efghi} | 0.64 ± 0.01 ^{cdef} | 1 376.14 ± 46.31 ^b | 1 069.00 ± 45.84 ^{bc} | 0.26 ± 0.01 ^{ghi} |
| 4 | 1.47 ± 0.00 ^k | 69.60 ± 5.55 ^{bcdefg} | 2 384.80 ± 8.09 ^a | 0.80 ± 0.02 ^{bcdef} | 0.64 ± 0.02 ^{cdef} | 1 515.85 ± 42.47 ^a | 1 219.54 ± 57.66 ^a | 0.25 ± 0.01 ^{ghij} |
| 5 | 1.79 ± 0.03 ^{de} | 67.60 ± 5.36 ^{cdefg} | 1 162.51 ± 35.54 ^o | 0.84 ± 0.05 ^{abcd} | 0.68 ± 0.02 ^{abc} | 786.39 ± 11.74 ^m | 663.86 ± 49.60 ^{ijk} | 0.31 ± 0.01 ^{ab} |
| 6 | 1.91 ± 0.02 ^{bc} | 71.50 ± 6.70 ^{abcdef} | 1 259.90 ± 2.10 ⁿ | 0.86 ± 0.01 ^{abc} | 0.68 ± 0.01 ^{ab} | 860.98 ± 16.59 ^{kl} | 741.78 ± 9.47 ^{dhi} | 0.31 ± 0.02 ^{bc} |
| 7 | 1.55 ± 0.02 ^{ji} | 66.40 ± 3.92 ^{fg} | 1 753.10 ± 8.50 ^e | 0.85 ± 0.03 ^{abcd} | 0.66 ± 0.03 ^{abcd} | 1 159.79 ± 54.54 ^{fg} | 982.79 ± 71.56 ^{cde} | 0.31 ± 0.02 ^{ab} |

(续表 4)

| 编号 | 比容/(mL/g) | 感官评分/分 | 硬度/g | 弹性 | 黏聚性 | 胶着性 | 咀嚼性 | 回复性/g |
|----|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 8 | 1.84 ± 0.00 ^{cd} | 67.40 ± 6.02 ^{defg} | 1 311.97 ± 7.93 ^{lm} | 0.83 ± 0.01 ^{abcd} | 0.65 ± 0.01 ^{bcd} | 852.42 ± 14.25 ^{kl} | 710.85 ± 12.65 ^{hij} | 0.28 ± 0.01 ^{bcd} |
| | 1.49 ± 0.02 ^{jk} | 71.90 ± 5.03 ^{abc} | 2 009.28 ± 7.17 ^c | 0.75 ± 0.04 ^{ghi} | 0.60 ± 0.04 ^{fg} | 1 201.78 ± 74.48 ^{ef} | 900.92 ± 109.04 ^{ef} | 0.24 ± 0.03 ^{hij} |
| 10 | 1.60 ± 0.02 ^{hi} | 66.40 ± 7.58 ^{fg} | 1 350.76 ± 5.11 ^{kl} | 0.76 ± 0.04 ^{ghi} | 0.60 ± 0.03 ^{fg} | 807.64 ± 37.61 ^{lm} | 610.90 ± 57.29 ^{kl} | 0.24 ± 0.02 ^{hij} |
| | 1.65 ± 0.02 ^{ghi} | 70.90 ± 2.66 ^{abc} | 1 442.18 ± 27.02 ^j | 0.85 ± 0.03 ^{abcd} | 0.67 ± 0.02 ^{abcd} | 963.07 ± 15.79 ^{ij} | 815.44 ± 40.80 ^{fg} | 0.30 ± 0.02 ^{bc} |
| 12 | 1.66 ± 0.13 ^{fgh} | 71.40 ± 4.35 ^{abc} | 1 544.28 ± 27.56 ^h | 0.80 ± 0.04 ^{cd} | 0.66 ± 0.01 ^{bcd} | 1 021.91 ± 35.4 ^{hi} | 821.99 ± 73.16 ^{fg} | 0.29 ± 0.01 ^{bcd} |
| | 1.64 ± 0.02 ^{ghi} | 72.70 ± 5.27 ^{abcd} | 1 362.50 ± 18.38 ^k | 0.79 ± 0.02 ^{defgh} | 0.64 ± 0.02 ^{cd} | 867.84 ± 23.18 ^{kl} | 686.7 ± 19.21 ^{hijk} | 0.26 ± 0.01 ^{ghi} |
| 14 | 1.52 ± 0.02 ^{jk} | 72.30 ± 5.46 ^{abc} | 2 023.35 ± 12.43 ^c | 0.81 ± 0.02 ^{bcd} | 0.63 ± 0.01 ^{defg} | 1 270.79 ± 22.67 ^{cd} | 1 028.28 ± 40.46 ^{cd} | 0.26 ± 0.01 ^{efgh} |
| | 2.14 ± 0.03 ^a | 74.80 ± 3.19 ^{ab} | 1 343.61 ± 39.86 ^{kl} | 0.88 ± 0.01 ^a | 0.70 ± 0.01 ^a | 947.05 ± 36.23 ^j | 835.10 ± 25.74 ^{fg} | 0.34 ± 0.01 ^a |
| 16 | 1.61 ± 0.03 ^{hi} | 67.00 ± 4.59 ^{efg} | 1 863.75 ± 14.92 ^e | 0.82 ± 0.01 ^{bcd} | 0.62 ± 0.01 ^{efg} | 1 153.20 ± 32.08 ^{fg} | 941.01 ± 31.67 ^{de} | 0.26 ± 0.01 ^{defgh} |
| | 1.75 ± 0.02 ^{def} | 73.00 ± 3.19 ^{abc} | 1 540.15 ± 25.23 ^h | 0.80 ± 0.04 ^{cd} | 0.63 ± 0.03 ^{defg} | 967.27 ± 40.81 ^{ij} | 775.69 ± 69.45 ^{gh} | 0.27 ± 0.02 ^{defgh} |
| 18 | 1.71 ± 0.02 ^{efg} | 74.60 ± 4.08 ^{ab} | 1 747.94 ± 21.82 ^g | 0.83 ± 0.02 ^{bcd} | 0.65 ± 0.01 ^{bcd} | 1 135.86 ± 14.36 ^g | 940.85 ± 15.25 ^{de} | 0.28 ± 0.01 ^{cd} |
| | 1.88 ± 0.04 ^{bc} | 73.90 ± 5.89 ^{ab} | 1 752.10 ± 37.48 ^g | 0.72 ± 0.04 ⁱ | 0.61 ± 0.04 ^{fg} | 1 060.72 ± 41.58 ^h | 769.42 ± 70.24 ^{gh} | 0.23 ± 0.02 ^{ij} |
| 20 | 1.50 ± 0.02 ^{jk} | 65.50 ± 4.43 ^g | 1 417.63 ± 17.47 ^k | 0.74 ± 0.03 ^{hi} | 0.55 ± 0.03 ^h | 778.60 ± 33.05 ^m | 573.27 ± 49.37 ^l | 0.22 ± 0.02 ^j |
| | 1.72 ± 0.04 ^{efg} | 71.00 ± 4.24 ^{abc} | 1 292.90 ± 14.44 ^{mn} | 0.81 ± 0.02 ^{bcd} | 0.63 ± 0.02 ^{cd} | 820.70 ± 19.06 ^{klm} | 667.10 ± 27.27 ^{ijk} | 0.26 ± 0.02 ^{efgh} |

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。



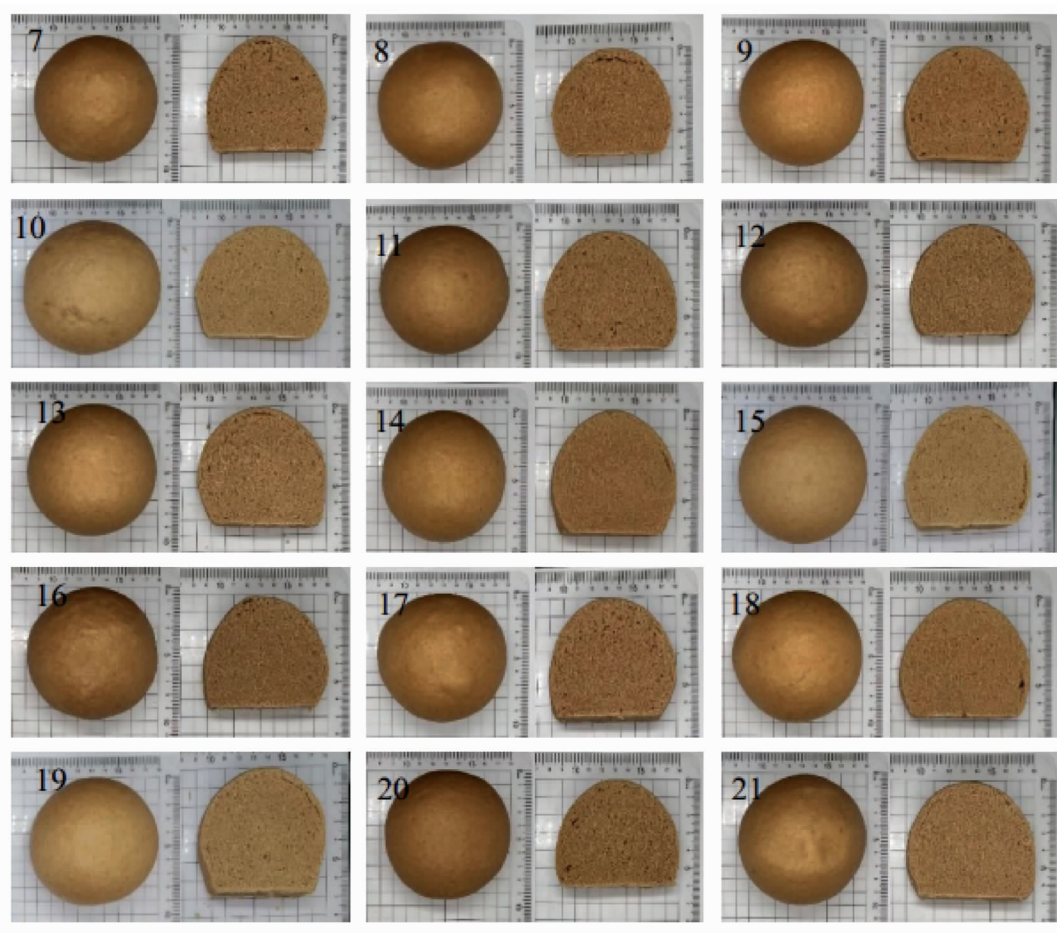


图1 酵母全麦馒头(0号)和传统发酵制剂全麦馒头(1~21号)顶部及剖面图

Fig.1 Top and sectional view of yeast whole wheat bun (No. 0) and traditional starter culture whole wheat steamed bread (No. 1-21)

2.3 传统发酵制剂全麦馒头主成分分析

对测定的不同地区传统发酵制剂制作的21种全麦馒头的12个指标的数值,经过标准化后进行因子分析。在主因子特征值大于1的原则下,结合表5及图2,提取前4个主因子,其累计方差贡献率达到了87.857%(表5),表明此4个主因子能解释12个指标的绝大多数信息。由表5、表6及图3可知,主成分1(32.464%)主要表征的正载荷指标是黏聚性、回复性,载荷值分别为0.814, 0.759;其表征的负载荷指标是顶部 ΔE 值与硬度,载荷值分别为-0.744, -0.505。因此,黏聚性与回复性越大、顶部与商用酵母全麦的色差越小、硬度越小的传统发酵制剂全麦馒头在第1主成分上表现更好。主成分2(26.249%)主要表征的正载荷是咀嚼性、胶着性,载荷值为0.963, 0.939;与之成负相

关关系的则是顶部 a^* 值与比容,载荷值分别是-0.386, -0.383;咀嚼性、胶着性越大,顶部 a^* 值相对较低的传统发酵制剂全麦馒头在第2主成分上表现较好。主成分3(19.083%)主要表征的正载荷指标为弹性、回复性,负载荷指标为顶部 L^* 值与感官评价总分。主成分4(10.062%)则主要表征的正载荷是感官评价总分,负载荷指标则是弹性。

在前3个主成分因子当中,其累计贡献率占77.796%,且由表6可知,对第1主成分呈主要正载荷的指标是黏聚性、回复性、色泽和比容,分别对第2、第3呈主要正载荷的指标是咀嚼性和弹性。说明传统发酵制剂的全麦馒头食用品质主要由质构、色泽及比容决定,这与李萍等^[32]的研究结果相似。

根据表6对4个主因子构建得分模型,见下

列公式, $F_1 \sim F_4$ 表示不同传统发酵剂全麦馒头各主成分得分, $X_1 \sim X_{12}$ 表示传统发酵剂全麦馒头硬度、弹性等 12 个指标数值, F 表示最终综合得分。

$$F_1 = -0.256X_1 + 0.316X_2 + 0.413X_3 - 0.156X_4 - 0.073X_5 + 0.385X_6 + 0.363X_7 - 0.250X_8 + 0.027X_9 - 0.377X_{10} + 0.180X_{11} + 0.343X_{12}$$

$$F_2 = 0.426X_1 + 0.126X_2 + 0.179X_3 + 0.476X_4 + 0.488X_5 + 0.067X_6 + 0.100X_7 - 0.195X_8 - 0.039X_9 - 0.124X_{10} + 0.086X_{11} - 0.194X_{12}$$

$$F_3 = -0.048X_1 + 0.347X_2 + 0.217X_3 + 0.011X_4 + 0.100X_5 + 0.308X_6 - 0.300X_7 + 0.290X_8 + 0.184X_9 + 0.274X_{10} - 0.171X_{11} - 0.031X_{12}$$

$$F_4 = 0.059X_1 - 0.094X_2 - 0.022X_3 + 0.053X_4 + 0.026X_5 - 0.020X_6 - 0.047X_7 + 0.144X_8 + 0.282X_9 + 0.034X_{10} + 0.402X_{11} + 0.169X_{12}$$

$$F = 0.325F_1 + 0.263F_2 + 0.191F_3 + 0.101F_4$$

根据表 5、表 6 的分析结果, 计算出不同全麦馒头的前 4 个主成分得分 ($F_1 \sim F_4$) 和综合得分 (F) 并进行得分排序。结果如表 7 所示, 综合得分排名前 3 的传统发酵剂全麦馒头分别是产地编号为 15 号 (山东-菏泽)、6 号 (河南-新乡)、18 号 (山西-运城), 它们表现出较好的综合品质; 而产地编号为 20 号 (陕西-渭南)、16 号 (山东-菏泽)、9 号 (河南-郑州) 的传统发酵剂全麦馒头的综合评价较低。

表 5 主成分初始特征值及贡献率

Table 5 Initial eigenvalues and contribution rates of principal components

| 主成分 | 特征值 | 方差贡献率/ % | 累计贡献率/ % |
|-----|-------|-------------|-------------|
| 1 | 3.896 | 32.464 | 32.464 |
| 2 | 3.150 | 26.249 | 58.713 |
| 3 | 2.290 | 19.083 | 77.796 |
| 4 | 1.207 | 10.062 | 87.857 |

表 6 主成分载荷矩阵

Table 6 Principal components loading matrix

| 序号 | 指标 | 主成分 | | | |
|----------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| X_1 | 硬度 | -0.505 | 0.842 | -0.094 | 0.117 |
| X_2 | 弹性 | 0.624 | 0.248 | 0.684 | -0.185 |
| X_3 | 黏聚性 | 0.814 | 0.353 | 0.428 | -0.043 |
| X_4 | 胶着性 | -0.307 | 0.939 | 0.021 | 0.104 |
| X_5 | 咀嚼性 | -0.144 | 0.963 | 0.198 | 0.051 |
| X_6 | 回复性 | 0.759 | 0.132 | 0.609 | -0.040 |
| X_7 | 顶部 L^* | 0.717 | 0.198 | -0.592 | -0.093 |
| X_8 | 顶部 a^* | -0.492 | -0.386 | 0.572 | 0.284 |
| X_9 | 顶部 b^* | 0.053 | -0.076 | 0.363 | 0.557 |
| X_{10} | 顶部 ΔE | -0.744 | -0.245 | 0.541 | 0.066 |
| X_{11} | 感官总分 | 0.353 | 0.170 | -0.338 | 0.792 |
| X_{12} | 比容 | 0.678 | -0.383 | -0.061 | 0.333 |

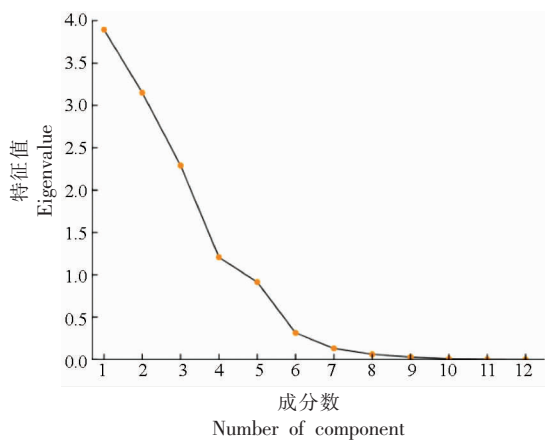


图 2 碎石图

Fig.2 Scree plot

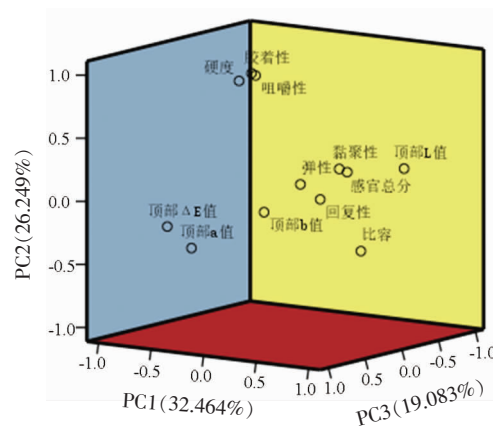


图 3 主成分分析图

Fig.3 PCA plot

表7 不同地区传统发酵制剂主成分得分及综合得分

Table 7 Principal component scores and composite scores of traditional fermented preparations in different regions

| 编号 | F_1 | F_2 | F_3 | F_4 | F | 排名 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| 1 | -1.042 | -2.058 | -1.265 | 0.990 | -1.020 | 20 |
| 2 | 0.015 | 1.457 | 1.076 | 0.045 | 0.597 | 4 |
| 3 | -0.637 | 2.505 | -0.790 | 0.029 | 0.303 | 9 |
| 4 | -1.943 | 3.454 | -0.126 | -0.260 | 0.226 | 11 |
| 5 | 1.943 | -1.340 | 0.905 | -0.686 | 0.383 | 7 |
| 6 | 2.327 | -0.951 | 1.094 | 0.221 | 0.737 | 2 |
| 7 | -0.585 | 0.785 | 2.181 | -0.269 | 0.405 | 5 |
| 8 | 1.907 | -0.845 | -0.338 | -0.685 | 0.264 | 10 |
| 9 | -1.941 | 0.824 | -0.728 | 0.648 | -0.488 | 16 |
| 10 | -0.046 | -1.418 | -1.822 | -1.149 | -0.850 | 19 |
| 11 | 0.642 | -0.318 | 1.427 | 0.078 | 0.405 | 6 |
| 12 | 1.101 | 0.423 | -0.453 | -0.372 | 0.345 | 8 |
| 13 | 1.543 | -0.503 | -1.509 | -0.113 | 0.070 | 13 |
| 14 | -1.075 | 1.929 | -0.182 | 0.056 | 0.129 | 12 |
| 15 | 4.271 | 0.085 | 0.596 | 0.345 | 1.557 | 1 |
| 16 | -2.199 | 0.467 | 0.782 | -0.852 | -0.528 | 17 |
| 17 | -0.863 | -1.062 | 1.326 | 1.448 | -0.160 | 14 |
| 18 | 1.251 | 1.372 | -0.521 | 0.331 | 0.700 | 3 |
| 19 | -0.405 | -0.280 | -2.124 | 0.510 | -0.559 | 18 |
| 20 | -4.952 | -3.224 | 0.791 | -0.394 | -2.342 | 21 |
| 21 | 0.688 | -1.303 | -0.321 | 0.079 | -0.172 | 15 |

3 结论与展望

本文以商用酵母全麦馒头做对比,分析21种传统发酵制剂对全麦馒头的质构特性、比容、色泽、感官评价等品质特性的影响。结果显示,15种传统发酵制剂全麦馒头的比容、质构特性、感官评价均相较于商用酵母全麦馒头有显著的食用品质提升;与商用酵母全麦馒头相比,传统发酵剂全麦馒头质构特性中的硬度降低15.03%~40.76%,比容提高0.66%~41.72%,感官评价综合评分提高0.29%~9.08%。主成分分析的综合评分中表明,主要与前3主成分因子呈正相关关系的指标是黏聚性、回复性、咀嚼性和弹性及馒头色泽和比容,产地编号为15号(山东-菏泽)、6号(河南-新乡)、18号(山西-运城)的传统发酵制剂所制作的全麦馒头得到了较高的综合得分,这些发酵制剂有效的提高了全麦馒头的食用品质。产地编号为10号(河南-郑州)、1号(甘肃-武威)、20号(陕西-渭南)的传统发酵制剂所制作的全麦馒头综合评价较低。

本文针对传统发酵制剂全麦馒头食品品质的色泽、质构特性、比容和感官评价这几个方面来构建综合评价体系,后续研究还应该从传统发酵制剂全麦馒头的滋味、风味及营养特性,不同产区的传统发酵制剂的菌群结构性差异等方面建立更丰富的评价体系,以达到筛选出更适合改良全麦馒头食品品质的高品质传统发酵制剂,改善全麦馒头整体的食用品质的目的。

参 考 文 献

- [1] ZHOU L, MU T H, MA M M, et al. Staling of potato and wheat steamed breads: Physicochemical characterisation and molecular mobility[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 54(10): 2880-2886.
 - [2] 王潜, 刘远晓, 李萌萌, 等. 热处理对麦麸及全麦制品品质改善研究进展[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(12): 235-243.
- WANG Q, LIU Y X, LI M M, et al. Research

- progress of heat treatment on quality improvement of wheat bran and whole wheat products[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(12): 235–243.
- [3] HU Y, DING M, SAMPSON L, et al. Intake of whole grain foods and risk of type 2 diabetes: Results from three prospective cohort studies[J]. BMJ (online), 2020, 370: m2206.
- [4] HEINIÖ R L, NOORT M W J, KATINA K, et al. Sensory characteristics of wholegrain and bran-rich cereal foods – A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 47: 25–38.
- [5] 蔺艳君. 复合酶处理对全麦馒头品质的改良作用[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- LIN Y J. Quality improvement of whole wheat Chinese steamed bread with compound enzyme[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016.
- [6] 高静. 不同地区老面的菌群多样性及其对馒头特性影响的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2019.
- GAO J. Studies on microbial community diversity in sourdough from different areas of China and its effort on the characteristics of steamed bread[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2019.
- [7] 朱慧雪, 温纪平, 靳灿灿. 不同小麦糊粉层粉添加量对馒头品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2022, 43(2): 70–78.
- ZHU H X, WEN J P, JIN C C. Effect of different addition of wheat aleurone flour on the quality of steamed bread[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2022, 43(2): 70–78.
- [8] WANG Z, MA S, LI L, et al. Synergistic fermentation of *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* to improve the quality of wheat bran dietary fiber-steamed bread[J]. Food Chemistry: X, 2022, 16: 100528.
- [9] LI Z J, LI H, SONG K D, et al. Performance of non-*Saccharomyces* yeasts isolated from Jiaozi in dough fermentation and steamed bread making[J]. LWT, 2019, 111: 46–54.
- [10] 马子琳. 产单宁酶乳酸菌在豆类酸面团馒头中的应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
- MA Z L. Study on the application of tannase-producing LAB in legumes sour-dough steamed bread [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.
- [11] WANG Y H, YANG Y Y, ZHANG J Y, et al. Characterization of volatiles and aroma in Chinese steamed bread during elaboration[J]. Journal of Cereal Science, 2021, 101: 103310.
- [12] 王远辉, 赵靖雯, 吴宵云, 等. 酵子馒头与酵母馒头挥发性组分与香气特征分析[J]. 中国食品学报, 2020, 20(4): 281–290.
- WANG Y H, ZHAO J W, WU X Y, et al. Analysis of volatile components and aroma characteristics between Jiaozi steamed bread and yeast steamed bread [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(4): 281–290.
- [13] 袁佐云. 全麦粉抗氧化特性及全麦馒头品质改良研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- YUAN Z Y. Study on antioxidant activity of whole wheat flour and quality improvement of whole wheat Chinese steamed bread[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016.
- [14] 周萌萌. 酵子发酵制作全麦粉馒头的特性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2022.
- ZHOU M M. Characteristics of whole wheat steamed bread fermented by Jiaozi[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2022.
- [15] 苏东民, 胡丽花, 苏东海, 等. 馒头发酵过程中酵母菌和乳酸菌的代谢作用[J]. 食品科学, 2010, 31(13): 200–204.
- SU D M, HU L H, SU D H, et al. Metabolism of yeast and lactic acid bacteria during dough fermentation of mantou[J]. Food Science, 2010, 31(13): 200–204.
- [16] 沙见宇. 不同发酵剂馒头风味特性的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- SHA J Y. Study on the flavor characteristics of steamed breads with different starters[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2020.
- [17] 李晓敏, 韩伟, 黎琪, 等. 传统酸面团菌群结构及其酵制馒头风味物质分析[J]. 食品科学, 2021, 42(10): 162–170.
- LI X M, HAN W, LI Q, et al. Analysis of microbial community structure in traditional sourdough and flavor components in steamed bread made with it[J]. Food Science, 2021, 42(10): 162–170.
- [18] 吴远宁, 叶文俊, 沈汪洋, 等. 不同全麦粉替代率对冷冻馒头品质的影响研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(3): 782–789.

- WU Y N, YE W J, SHEN W Y, et al. Effects of different whole wheat flour substitution rates on the qualities of frozen steamed bread[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2022, 13(3): 782-789.
- [19] 孙辉, 姜薇莉, 田晓红, 等. 利用物性测试仪分析小麦粉馒头品质[J]. *中国粮油学报*, 2005, 20(6): 121-125.
- SUN H, JIANG W L, TIAN X H, et al. Study on steamed bread quality with texture analyzer[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2005, 20(6): 121-125.
- [20] 谢水琪, 张晓桐, 靳奇文, 等. 乳酸菌发酵剂对杂粮面团及馒头品质的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(2): 189-194.
- XIE S Q, ZHANG X T, JIN Q W, et al. Effect of lactic acid bacteria starter cultures on the quality of multigrain dough and steamed bread[J]. *Food Science*, 2023, 44(2): 189-194.
- [21] 薛丹, 欧阳一非, 高海燕, 等. 方便面感官品质特性与面条质构、色泽指标的关系研究[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(4): 97-99, 103.
- XUE D, OUYANG Y F, GAO H Y, et al. Study on relationship between sensory characteristics and texture, color instant noodles[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(4): 97-99, 103.
- [22] 徐吉祥, 楚炎沛. 色差计在食品品质评价中的应用[J]. *现代面粉工业*, 2010, 24(3): 43-45.
- XU J X, CHU Y P. Application of colorimeter in food quality evaluation[J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2010, 24(3): 43-45.
- [23] 王学锋, 马心宇. 碱添加量对老面馒头食味品质的影响[J]. *现代食品*, 2022, 28(14): 74-78.
- WANG X F, MA X Y. Effect of alkali addition on the eating quality of sour dough steamed bread[J]. *Modern Food*, 2022, 28(14): 74-78.
- [24] LI W W, CAO W H, WANG P, et al. Selectively hydrolyzed soy protein as an efficient quality improver for steamed bread and its influence on dough components[J]. *Food Chemistry*, 2021, 359: 129926.
- [25] MCGEE C F. Microbial ecology of the *Agaricus bisporus* mushroom cropping process[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2018, 102: 1075-1083.
- [26] 孙银凤, 徐岩, 黄卫宁, 等. 不同发酵基质的酸面团对酵母面团体系面包烘焙及老化特性的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(13): 37-42.
- SUN Y F, XU Y, HUANG W N, et al. Impacts of sourdoughs made from different media on bread baking and staling properties of yeast dough system[J]. *Food Science*, 2015, 36(13): 37-42.
- [27] 纪宗亚. 质构仪及其在食品品质检测方面的应用[J]. *食品工程*, 2011(3): 22-25.
- JI Z Y. Application of texture analyzer in the assessment for food quality[J]. *Food Engineering*, 2011(3): 22-25.
- [28] 张国权, 叶楠, 张桂英, 等. 馒头品质评价体系构建[J]. *中国粮油学报*, 2011, 26(7): 10-16.
- ZHANG G Q, YE N, ZHANG G Y, et al. Construction of quality evaluation system for steamed bread[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2011, 26(7): 10-16.
- [29] ZHANG M, SUO W, DENG Y X, et al. Effect of ultrasound-assisted dough fermentation on the quality of dough and steamed bread with 50% sweet potato pulp[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2022, 82: 105912.
- [30] GINO V, LUC D V, ROEL V D M, et al. Yeast species composition differs between artisan bakery and spontaneous laboratory sourdoughs[J]. *Fems Yeast Research*, 2010, 10(4): 471-481.
- [31] SHA H Y, WANG Q Q, LI Z J. Comparison of the effect of exopolysaccharide-producing lactic acid bacteria from sourdough on dough characteristics and steamed bread quality[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2023, 58(1): 378-386.
- [32] 李萍, 王凤成. 基于模糊数学的全麦馒头感官评价体系构建[J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(11): 188-193.
- LI P, WANG F C. Establishment of sensory evaluation system for whole wheat steamed bread based on fuzzy mathematics[J]. *Food Research and Development*, 2023, 44(11): 188-193.

Effects of Traditional Starter on the Edible Quality of Whole Wheat Steamed Bread

Li Mingpeng^{1,2}, Gao Kun¹, Zhai Xiaotong¹, Wu Nana¹, Wang Liping¹, Tan Bin^{*}

(¹Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037

²College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023)

Abstract The poor edible quality of whole wheat steamed bread has been the primary limiting factor for their wider application. Existing studies have shown that traditional starter culture can improve the edible quality of white steamed bread, but there are few studies on the effect of traditional starter culture on the edible quality of whole wheat steamed bread. In this paper, 21 traditional starter culture from different regions were selected to investigate their effects on the edible quality of whole wheat steamed bread in terms of color, textural characteristics, specific volume and sensory evaluation, using commercial yeast whole wheat steamed bread as a control. The traditional starter culture suitable for the improvement of edible quality of whole wheat steamed bread were preferentially selected by principal component analysis. The results showed that all the 15 fermentation preparations improved the edible quality of whole wheat steamed bread compared with the common whole wheat steamed bread. Among them, the hardness of whole wheat steamed bread decreased by 5.03%–40.76%, the specific volume could be improved by 0.66%–41.72%, and the overall sensory evaluation score improved by 0.29%–9.08% in the textural characteristics. Among the principal component analysis, the indices that mainly showed positive correlation with the top three principal component factors were cohesiveness, reversibility, chewiness and elasticity and color and specific volume of whole wheat steamed bread, and the top three ranked in order of comprehensive edible quality were the traditional fermented preparation whole wheat steamed bread numbered 15, 6 and 18. The results of this study provide data support for the improvement of edible quality of whole wheat steamed bread by traditional starter culture and help to promote the application of whole wheat steamed bread.

Keywords traditional starter culture; whole wheat steamed bread; edible quality characteristics; principal component analysis