

谭斌研究员主持“国粮院粮食加工 30 年历程与发展”专栏文章之四

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.05.011

高琨, 魏敏, 汪丽萍, 等. 小麦萌芽程度对全麦面包品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(5): 93-100.

GAO K, WEI M, WANG L P, et al. Effects of different sprouted degrees on the quality of whole wheat bread[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(5): 93-100.

小麦萌芽程度对全麦面包品质的影响

高 琨, 魏 敏, 汪丽萍, 李晓宁, 谭 斌✉

(国家粮食和物资储备局科学研究院 粮油加工研究所, 北京 100037)

摘 要: 小麦的萌芽程度对全麦面包食用品质产生较大影响, 以萌芽小麦形态学变化作为萌芽反应程度控制点, 通过测定不同萌芽程度全麦粉制备的全麦面包的比容、烘焙损失率、色泽、水分含量、质构品质及感官品质, 分析小麦萌芽程度对全麦面包食用品质的影响, 探讨高添加量(50%和 100%)萌芽全麦粉在全麦面包中的应用潜力。结果表明, 与对照组相比, 适度控制萌芽全麦粉制备全麦面包可以显著提高全麦面包综合食用品质, 其中露白阶段效果最佳。研究结果可为实现萌芽全谷物原料精准化控制生产及产品应用开发等提供参考, 对萌芽谷物的未来开发和高值化利用具有重要意义。

关键词: 小麦; 萌芽程度; 全麦面包; 品质

中图分类号: TS201.1; S-3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)05-0093-08

网络首发时间: 2023-09-11 09:34:59

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20230908.1030.010>

Effects of Different Sprouted Degrees on the Quality of Whole Wheat Bread

GAO Kun, WEI Min, WANG Li-ping, LI Xiao-ning, TAN Bin ✉

(Institute of Cereal and Oil Science and Technology, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

Abstract: The sprouted degree had a great effect on the edible quality of whole wheat bread. This study investigated the morphological changes of sprouted wheat with the different sprouted degree. The effect of whole wheat flour from whole wheat with different sprouted degree on the quality characteristics of whole wheat bread were assessed, including the specific volume, weight loss rate, color, moisture content, texture quality and sensory quality. The addition of sprouted whole wheat flour (50% and 100%) in whole wheat bread was investigated. The results showed that the quality of whole wheat bread was significantly improved by controlling the sprouted degree of whole wheat flour (revealing stage) compared with the unsprouted

收稿日期: 2023-05-18

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (ZX2234)

Supported by: Fundamental Research Funds of the Central Research Institutes (No. ZX2234)

作者简介: 高琨, 女, 1987 年出生, 博士, 助理研究员, 研究方为粮食加工。E-mail: gk@ags.ac.cn

通讯作者: 谭斌, 男, 1972 年出生, 博士, 首席研究员, 研究方向为健康谷物加工与营养。E-mail: tb@ags.ac.cn。作者详细介绍见 PC23。

group. This study aimed at providing reference for realizing precision control production and product application development of sprouted whole wheat as raw materials, which could provide an important guidance for the future development, and high value utilization of sprouted whole wheat.

Key words: wheat; sprouted degree; whole wheat bread; quality

近年来,生物萌芽技术对全谷物营养品质提升和食品品质改善的作用已逐渐得到公认,被视为未来全谷物及其制品的主要加工技术^[1]。谷物萌发实质是由于谷物中内源酶激活而发生的一系列复杂生理代谢反应,使得萌芽谷物形态学发生显著变化,并促使谷物营养、加工和品质均发生改变^[2-5]。萌芽谷物发芽程度决定萌芽谷物的营养成分、加工性质和食用品质。大量研究表明,生物萌芽技术可以显著提高全谷物中 γ -氨基丁酸、多酚类化合物、B族维生素、维生素E等微量营养素含量,同时还可以促进水不溶性膳食纤维向水溶性膳食纤维转变,降低抗营养因子(植酸等)含量,有助于全谷物营养品质提升^[1-4]。同时,萌芽谷物还可以在在一定程度上改善全谷物加工和食用品质,例如生物萌芽技术可以缩短糙米的蒸煮时间和提高糙米的食用口感^[6]。因此,萌芽谷物被视为全谷物食品重要原/配料来源。

小麦作为世界重要的粮食作物,是加工面包、面条和馒头等主食产品的重要原料。全麦粉是全谷物食品重要加工原料,生物萌芽技术可以进一步提升全麦粉的营养价值和生理功效,因此萌芽全麦粉应用开发受到全谷物食品加工产业广泛关注。相关研究表明生物萌芽技术不仅会提升全麦粉营养品质,也会促使全麦粉加工性能发生改变^[5,7-11]。随着萌芽程度加深,发芽小麦中 α -淀粉酶等内源酶活性逐渐增强,淀粉热特性和糊化特性均发生明显改变,面筋蛋白含量下降,面团筋力变弱,面团流变性增强,加工品质变差。伴随萌芽全麦粉加工性能发生改变,其加工适宜性和产品应用范围也会发生改变^[5,7-9]。例如,孙辉等研究发现萌芽小麦对面条的食用品质影响不大,但是萌芽小麦对馒头品质影响显著^[8]。Cardone等(2020)^[10]和Gao等(2022)^[11]等研究表明适当控制萌芽时间制备的全麦粉替代普通全麦粉,可以一定程度提高全麦面包烘焙品质或质构品质。因此,如何

基于不同萌芽程度全麦粉自身原料特点,探究其加工适宜性,满足不同全谷物食品加工需求,实现谷物萌芽精准控制,是未来萌芽谷物产业化发展研究方向。

国际上关于发芽程度判定尚未形成统一标准,目前研究多以萌芽时间作为萌芽程度控制点。但是,实际生产中发现同一批小麦在相同处理时间内小麦萌芽程度也不完全相同,因此以控制发芽时间作为萌芽程度并不十分理想。以谷物形态学变化(芽长等)作为发芽程度判定标准成为产业研究探讨热点^[12],但相关应用开发类研究相对较少。本文以萌芽谷物形态学变化(鼓泡、露白、出芽)作为萌芽反应程度控制点,选择全麦面包为研究应用对象,探究不同萌芽程度全麦粉对全麦面包食用品质形成变化规律的影响,旨在探讨高添加量(50%和100%)的萌芽全麦粉在全麦面包中的应用潜力,实现萌芽全麦粉的绿色高值化利用。

1 材料与方法

1.1 实验材料

面包用高筋小麦粉:益海嘉里食品营销有限公司;伊利全脂奶粉:天津伊利乳业有限责任公司;烘焙细砂糖:广州福正东海食品有限公司;安佳黄油:恒天然商贸(上海)有限公司;鸡蛋:北京正大蛋业有限公司;盐:中盐上海市盐业有限公司;干酵母:安琪酵母股份有限公司。

1.2 仪器与设备

YC101G发芽机:日本kneader有限公司;BSC-150恒温恒湿箱:上海博讯医疗生物仪器股份有限公司;WF-40B不锈钢吸尘粉碎机:江阴市丰泰机械制造有限公司;JXFD7型醒发箱:北京东方孚德技术发展中心;DGG-9140BD电热恒温鼓风干燥箱:上海森信实验仪器有限公司;TA-XTPLUS质构仪:英国Stable Micro System公

司; CR-400 色差计: 柯尼卡美能达(中国)投资有限公司; SD-P03 面包机: 松下电器(中国)有限公司; Q31 面包切片机: 乐创商厨设备有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 萌芽全麦粉制备

未萌芽全麦粉的制备(对照组): 将小麦筛选清洗, 自然晾晒后用磨粉机粉碎, 过 80 目筛, 密封保存于 4 °C 条件下备用。

不同萌芽程度全麦粉的制备: 将小麦筛选清洗后, 置于发芽机中浸泡 4.5 h (小麦与蒸馏水的固液比为 1:4, 浸泡温度 33 °C), 使小麦吸水膨胀到水分含量大约为 30% 左右。随后放在铺有双层滤纸的培养皿中, 将双层滤纸浸湿至没有水流出, 置于恒温恒湿培养箱中发芽, 温度设定为 25 °C, 湿度设定为 95%, 每隔 6 h 定量利用喷雾补水确保籽粒萌芽过程中水分充足。挑选出发芽程度为鼓泡、露白、芽长 1/4、芽长 1/2、芽长 3/4、芽长本身的小麦。随后在 50 °C 条件下烘干至水分含量低于 14% 后用磨粉机粉碎, 过 80 目筛, 全麦粉密封保存于 4 °C 条件下备用。

1.3.2 全麦面包制作

全麦面包制作方法参考陈克明^[13]等稍作修改:

100%全麦面包制备: 分别称取 1.3.1 全麦粉 140 g、奶粉 6 g、白砂糖 12 g、黄油 25 g、鸡蛋 12.5 g、盐 2.5 g 和干酵母 1.4 g, 将其置于自动面包机中进行揉面、醒发和一次发酵。一次发酵结束后排气, 平均分成三份, 卷成型放入模具并盖上保鲜膜, 放入醒发箱进行第二次发酵(温度 35 °C, 湿度 50%~60%, 时间 90 min), 至面包体积发酵到两倍后放入 140 °C 的烤箱, 烘烤 25 min 后冷却脱模后备用。

50%全麦面包制备: 分别称取全麦粉 70 g、高筋面包粉 70 g, 其他步骤同上。

1.3.3 全麦面包烘焙损失率的测定

待烘烤面包面团和模具称重并计质量 m_1 , 烘烤后面包和模具称重并计质量 m_2 , 面包脱模后称重并计质量 m , 根据公式^[14]:

烘焙损失率 (%) = $(m_1 - m_2) / m$ 计算。

1.3.4 全麦面包比容的测定

参照 GB/T 14611—2008 小麦粉面包烘焙品质试验直接发酵法^[15]。

1.3.5 全麦面包色泽的测定

参照肖志刚等(2019)方法略作修改^[16], 采用色差仪测定面包表观色泽。

1.3.6 全麦面包芯水分含量的测定

参照标准 GB5009.3—2016 食品中水分的测定^[17]。

1.3.7 全麦面包质构品质测定

采用质构仪测定全麦面包的质构品质, 参考裴斐^[18]等方法稍作修改。同一批次三个面包, 用切片机切成厚度为 1 cm 的面包片, 再用切刀将面包片切成 1×2×2 cm 的小方块, 每个面包测 4 次, 共 12 组数据取平均值。探头型号 P36R。测试条件: 测试前速度 1.0 mm/s, 测试中速度 3 mm/s, 测试后速度 10 mm/s, 压缩程度 60%, 自动触发力 10 g。

1.3.8 全麦面包感官品质的测定

参考 GB/T 14611—2008 中感官评价方法稍作修改, 选取 9 名感官人员组成感官评定组, 对样品的形态、色泽、气味、口感、内部结构和纹理均匀度进行感官评定, 采用 10 分制, (1=极劣, 10=极佳)^[15], 评定标准如表 1。

1.4 数据分析

采用 SPSS 19 进行数据统计分析, Origin 9.0 软件进行绘图。采用单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan 检验计算结果的显著性差异, $P < 0.05$ 为显著水平。

表 1 面包感官评价评分标准

Table 1 Scoring standard for sensory evaluation of bread

项目	评分标准
形态	形态完整、对称性好
色泽	色泽金黄, 光洁无斑点
气味	具有烘烤香味, 无异味
口感	口感细腻有弹性, 不粘牙
内部组织结构	面包芯细腻平滑, 柔软而富有弹性
纹理均匀度	面包内部气孔细密, 分布均匀, 呈海绵状

2 结果与讨论

2.1 不同萌芽程度对全麦面包比容、外观和内部结构的影响

面包比容是描述面包食用品质的重要指标之一,可以反映面包面团体积膨胀程度及对气体的保持能力^[19]。整体上看,添加50%不同萌芽程度小麦制备的全麦粉加工的全麦面包的比容均高于添加100%不同萌芽程度全麦粉制得的全麦面包。由表2可知,当全麦粉添加量为50%时,与对照组相比,萌芽初期(鼓泡和露白阶段)全麦面包比容变化不显著;随着不同萌芽程度的加深(出芽阶段),萌芽全麦面包比容显著下降,但不同芽长处理间差异不显著。萌芽初期(露白阶段)全麦面包比容较大原因推测可能是萌芽初期全麦粉中部分淀粉水解成小分子糖类,为面团发酵过程酵母提供更多产气底物,使得面团产气能力增加有关^[20]。随着萌芽程度加深,全麦粉中蛋白酶活性增强,导致萌芽全麦粉面筋含量显著降低,面筋网络结构破坏,致使面团黏性增强、持气能力减弱,因此全麦面包比容下降。与全麦粉添加量为50%的全麦面包相似,小麦露白阶段制备100%萌芽全麦面包比容略高于其他萌芽阶段制备全麦粉,但不同萌芽阶段之间全麦面包比容差异不显著。结合不同萌芽程度全麦粉替换普通全麦粉制备全麦面包的俯视图和横截面图(图1),以添加全麦粉含量为50%的全麦面包为例,全麦面包内部均有些小气孔,但露白阶段全麦粉制作的全麦面包内部不均匀的气孔较少,并且组织结构更均匀。由此可见,小麦露白阶段制备的全麦面包比容最好,面包外观和纹理结构最佳。

2.2 不同萌芽程度对全麦面包保水能力的影响

质量损失率主要用于判断全麦面包烘烤前后的质量变化,在一定程度上反映出全麦面包加工过程中水分损失情况。由表2所示,以50%全麦面包为例,不同萌芽程度全麦粉制备的全麦面包质量损失率均略低于对照组,但不同处理间差异不显著。不同于50%全麦面包,不同萌芽程度制备的100%全麦面包质量损失率无明显变化规律。

但从总体上看,添加50%不同萌芽程度全麦面包质量损失率均高于添加100%不同萌芽程度全麦面包。同时,对全麦面包芯水分含量结果分析表明,不同萌芽程度的50%和100%全麦面包芯水分含量均略高于对照组,这说明萌芽全麦粉制备的全麦面包芯保水能力优于普通全麦面包。

2.3 不同萌芽程度对全麦面包皮色泽的影响

面包外观色泽是影响消费者选择的重要感官属性。表3为不同萌芽程度对50%全麦面包和100%全麦面包皮表观色泽的影响,结果表明随着萌芽程度加深,50%全麦面包和100%全麦面包外观 L^* 值均呈先升后降趋势,说明萌芽初期制备的50%和100%全麦面包表皮明度先增加,随着萌芽程度加深面包皮颜色逐渐变暗; a^* 和 b^* 值分别呈先降后升和先升后降,说明随着萌芽程度加深(除鼓泡阶段外)面包表皮颜色逐渐加深。上述结果可能是由于萌芽加深过程中,促使全麦粉中大分子淀粉和蛋白质转变成小分子单糖和氨基酸,导致萌芽全麦面包烘焙过程中的美拉德反应以及焦糖化反应加剧造成^[21]。综合分析表明,萌芽鼓泡和露白阶段的50%和100%全麦面包颜色最佳。

2.4 不同萌芽程度对全麦面包质构品质的影响

食品的质构品质被描述为食品进入消费者口中后产生的一系列综合感受,也称为食品质地^[22-23]。因此,质构品质是全麦面包食用品质评价的一个重要指标,常采用硬度、弹性、内聚性和咀嚼性等质构指标进行客观描述分析^[22]。前人研究结果表明面包的硬度与总感官评分呈显著负相关,可以较好反映面包的烘焙品质^[24]。由图2可知,以50%全麦面包为例,随着萌芽程度的加深,全麦面包的硬度显著降低。与硬度变化相似,咀嚼性和弹性均呈下降的趋势,芽长1/2阶段后变化不显著。不同萌芽程度100%全麦面包的硬度、咀嚼性较对照组均显著下降,但弹性没有显著变化。从回复性分析来看,50%和100%全麦面包在萌芽初期回复性(鼓泡和露白阶段)均呈现上升趋势。但随着萌芽程度加深后,50%和100%全麦面包回复性均下降。通过不同添加量萌芽全麦面包对比分析,50%不同萌芽程度全麦粉制得

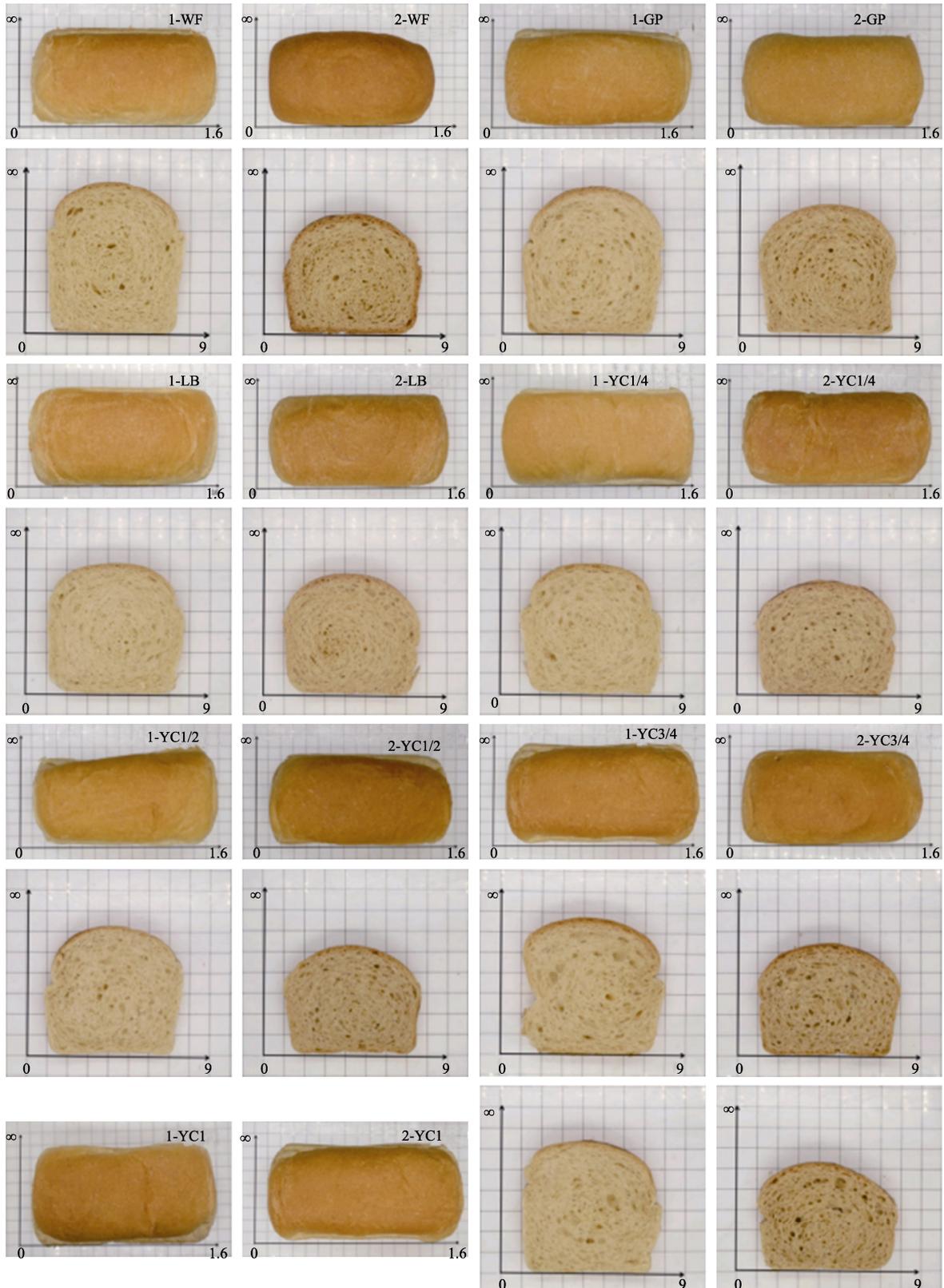


图 1 不同萌芽程度全麦面包外观及内部横切面图

Fig.1 The effect of sprouted degrees on appearance and interior grain of whole wheat breads

注：1-50%全麦面包；2-100%全麦面包；WF-对照组；GP-鼓泡；LB-露白；YC1/4-芽长 1/4；YC1/2-芽长 1/2；YC3/4-芽长 3/4；YC1-芽长本身。

Note: 1-50% Whole wheat bread; 2-100% Whole wheat bread; WF-Control one; GP- Bubbling; LB- Whitening; YC1/4-The sprouted length is 1/4 of the length of the whole grain; YC1/2- The sprouted length is 1/2 of the length of the whole grain; YC3/4- The sprouted length is 3/4 of the length of the whole grain; YC1-The sprouted length is of the length of the whole grain.

表 2 不同萌芽程度对全麦面包比容、烘焙损失率、水分含量的影响

Table 2 Effect of different sprouted degrees on weight loss rate, specific volume and moisture content of whole wheat breads

不同萌芽程度	50%全麦面包			100%全麦面包		
	比容/(mL/g)	烘焙损失率/%	面包芯水分含量/%	比容/(mL/g)	烘焙损失率/%	面包芯水分含量/%
WF	4.90±0.17 ^{ab}	3.51±0.12 ^a	31.74±0.54 ^b	3.82±0.21 ^{ab}	2.69±0.21 ^a	34.26±0.39 ^b
GP	4.71±0.04 ^{abc}	2.99±0.20 ^a	30.78±0.99 ^b	3.75±0.12 ^{ab}	2.39±0.33 ^{ab}	35.37±0.39 ^{ab}
LB	4.94±0.08 ^a	3.01±0.170 ^a	35.11±0.44 ^a	4.11±0.12 ^a	2.77±0.12 ^a	35.59±0.37 ^{ab}
YC 1/4	4.59±0.04 ^{bc}	3.11±0.18 ^a	34.30±0.10 ^a	4.19±0.17 ^a	2.61±0.14 ^a	34.63±0.55 ^b
YC1/2	4.31±0.17 ^c	2.84±0.39 ^a	34.67±0.38 ^a	3.87±0.04 ^{ab}	1.78±0.43 ^b	36.86±1.38 ^a
YC3/4	4.12±0.12 ^c	3.42±0.19 ^a	33.85±0.38 ^a	3.85±0.08 ^{ab}	2.894±0.17 ^a	34.59±0.26 ^b
YC1	4.64±0.18 ^{bc}	3.22±0.21 ^a	34.59±0.14 ^a	3.51±0.10 ^b	2.53±0.05 ^{ab}	34.67±0.33 ^b

注：1-50%全麦面包；2-100%全麦面包；WF-对照组；GP-鼓泡；LB-露白；YC1/4-芽长 1/4；YC1/2-芽长 1/2；YC3/4-芽长 3/4；YC1-芽长本身；表中数值为平均值±标准偏差，同一列中不同字母表示显著性差异（ $P<0.05$ ）。

Note: 1-50% Whole wheat bread; 2-100% Whole wheat bread; WF-Control one; GP- Bubbling; LB- Whitening; YC1/4-The sprouted length is 1/4 of the length of the whole grain; YC1/2- The sprouted length is 1/2 of the length of the whole grain; YC3/4- The sprouted length is 3/4 of the length of the whole grain; YC1-The sprouted length is of the length of the whole grain; Different lowercase letters on the upper index indicate significant difference ($P<0.05$).

表 3 不同萌芽程度对全麦面包表面色泽的影响

Table 3 Effect of different sprouted degrees on surface color of whole wheat breads

不同萌芽程度	50%全麦面包			100%全麦面包		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
WF	56.75±0.61 ^a	13.62±0.26 ^{bc}	37.73±0.31 ^a	46.92±0.38 ^b	16.94±0.12 ^a	31.25±0.56 ^d
GP	57.89±0.63 ^a	12.67±0.61 ^c	37.87±0.49 ^a	56.92±0.59 ^a	13.10±0.27 ^d	35.83±0.80 ^a
LB	57.13±0.28 ^a	13.58±0.25 ^{bc}	36.34±0.40 ^a	52.20±0.29 ^a	14.66±0.08 ^c	32.15±0.48 ^{cd}
YC 1/4	56.79±0.70 ^a	13.52±0.35 ^c	36.80±0.56 ^a	50.88±0.54 ^a	15.02±0.20 ^c	32.64±0.80 ^{cd}
YC1/2	54.09±1.41 ^b	14.87±0.63 ^{ab}	36.31±0.92 ^a	49.11±0.67 ^{ab}	16.35±0.22 ^b	33.48±0.60 ^{bc}
YC3/4	52.24±1.12 ^b	15.71±0.46 ^a	36.14±0.91 ^a	47.28±0.41 ^{ab}	17.08±0.13 ^a	32.54±0.32 ^{cd}
YC1	53.67±0.62 ^c	15.36±0.26 ^a	37.04±0.43 ^a	50.22±0.38 ^a	16.21±0.21 ^b	35.11±0.34 ^{ab}

注：1-50%全麦面包；2-100%全麦面包；WF-对照组；GP-鼓泡；LB-露白；YC1/4-芽长 1/4；YC1/2-芽长 1/2；YC3/4-芽长 3/4；YC1-芽长本身；表中数值为平均值±标准偏差，同一列中不同字母表示显著性差异（ $P<0.05$ ）。

Note: 1-50% Whole wheat bread; 2-100% Whole wheat bread; WF-Control one; GP- Bubbling; LB- Whitening; YC1/4-The sprouted length is 1/4 of the length of the whole grain; YC1/2- The sprouted length is 1/2 of the length of the whole grain; YC3/4- The sprouted length is 3/4 of the length of the whole grain; YC1-The sprouted length is of the length of the whole grain; Different lowercase letters on the upper index indicate significant difference ($P<0.05$).

的全麦面包的硬度和咀嚼性均显著低于添加 100%不同萌芽全麦粉制得的全麦面包，而弹性、内聚性和回复性差异不显著。综合分析表明，露白阶段萌芽全麦粉制得的 50%和 100%全麦面包品质较好，在一定程度上可以改善全麦面包的质构品质。因此，适度控制萌芽处理（露白阶段）可以显著提升全麦面包的质构品质。

2.5 不同萌芽程度对全麦面包感官特性的影响

食品综合感官评价，包含外观、色泽、滋味、口感、内部状态及整体可接受度等，是主观描述

和判断产品质量最直观的指标。由图 3 可知，不同萌芽程度萌芽全麦粉 50%制备的全麦面包的形态、色泽、气味、口感、内部组织结构及纹理均匀度等均高于添加 100%不同萌芽程度全麦粉制得的全麦面包。整体上来说，与对照组相比，在萌芽初期 50%和 100%全麦面包各项感官指标均较好，随着萌芽程度的增加（芽长 1/4 阶段后），其各项感官品质均下降。综合来看，与对照组相比，萌芽初期全麦面包品质综合品质更佳，出芽后全麦面包感官品质下降。

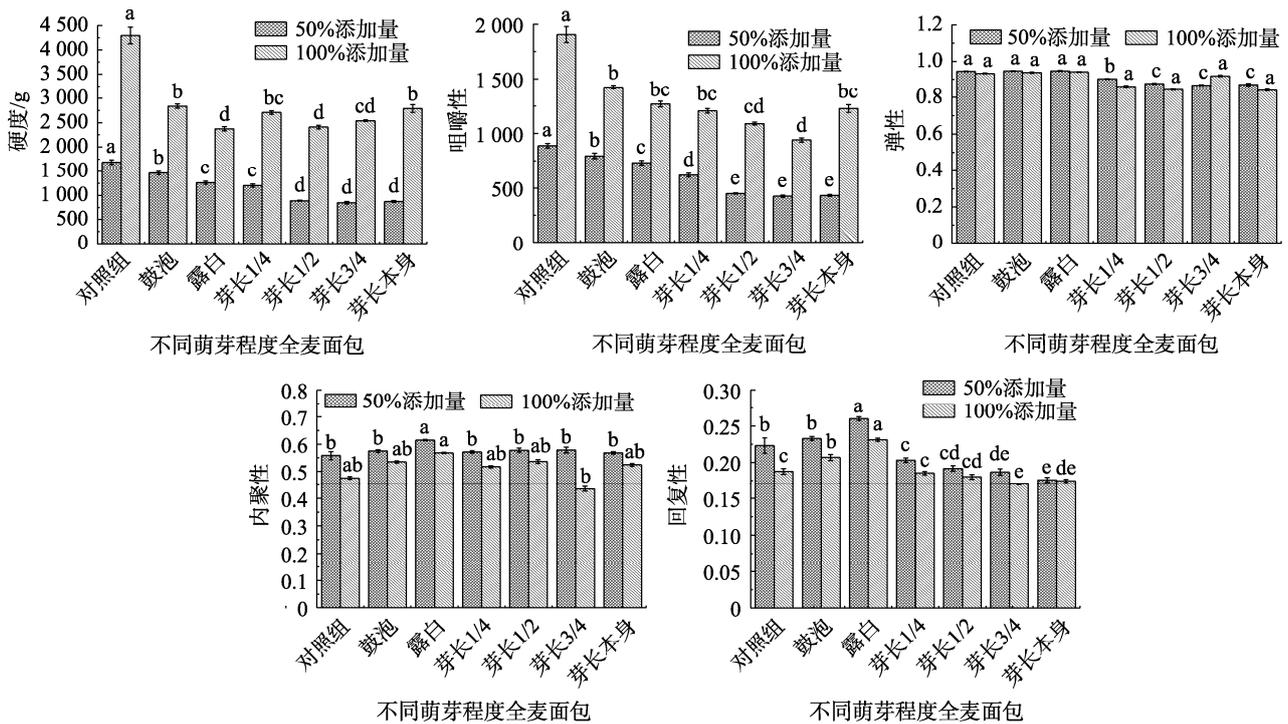


图 2 不同萌芽程度对全麦面包的质构品质的影响

Fig.2 Effect of different sprouted degrees on internal texture properties of whole wheat breads

注：不同字母表示同列数值之间在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

Note: Different lowercase letters on the upper index indicate significant difference ($P < 0.05$).

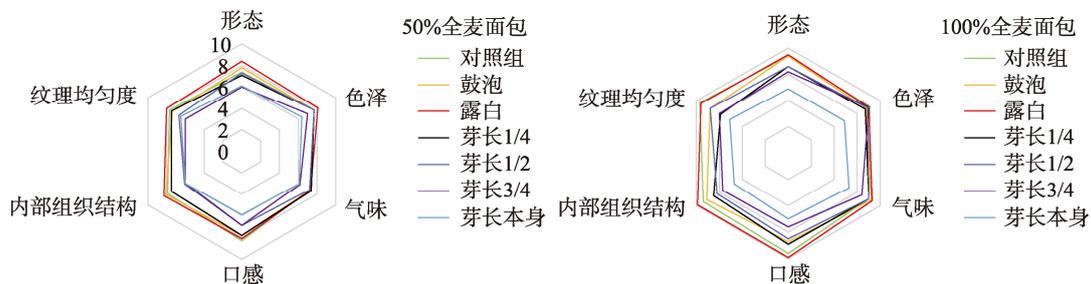


图 3 不同萌芽程度对全麦面包感官评分结果

Fig.3 Effect of different sprouted degrees on sensory scores of whole wheat breads

3 结论

通过添加不同萌芽程度全麦粉制作 50% 及 100% 全麦面包，分别测定全麦面包的质量损失率、比容、色泽、水分含量、质构品质及感官评价，对比分析小麦不同萌芽程度对全麦面包品质的影响，以期筛选出最适宜全麦面包加工所需的萌芽全麦粉。结果表明，与对照组相比，露白阶段全麦粉制备的全麦面包比容增加，面包芯保水能力增强且硬度下降，综合感官品质最佳，而出芽后全麦面包综合食用品质下降。本文为后续开展精准有效控制萌芽全谷物加工品质及其食品应用等研究提供理论基础，对萌芽谷物的未来开发

和高值化利用具有重要的科学意义和指导意义。

参考文献：

- [1] 高琨, 谭斌, 汪丽萍, 等. 萌芽全谷物的研究现状、问题与机遇[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(2): 71-80.
GAO K, TAN B, WANG L P, et al. The research status, problems and opportunities of sprouted whole grain[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(2): 71-80.
- [2] CHO D H, LIM S T. Germinated brown rice and its bio-functional compounds[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 259-271.
- [3] NASCIMENTO L D, ABHILASHA A, SINGH J, et al. Rice germination and its impact on technological and nutritional properties: a review[J]. Rice Science, 2022(3): 201-215.
- [4] BENINCASA P, FALCINELLI B, LUTTS S, et al. Sprouted

- grains: a comprehensive review[J]. *Nutrients*, 2019, 11, 421.
- [5] 张玉荣, 潘运宇, 宋秀娟, 等. 小麦不同程度萌发后其加工品质的变化[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2020, 41(1): 32-38.
ZHANG Y R, PAN Y Y, SONG X J, et al. Changes in processing quality of wheat after different degrees of germination[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2020, 41(1): 32-38.
- [6] LI Y F, CHENG X, SHI F, et al. Effect of solid state fermentation by *Lactobacillus plantarum* on the cooking quality, microstructure, and physicochemical properties of brown rice[J]. *Starch-Stärke*. 2019, 71:1800160.
- [7] 齐笑笑, 郭嘉, 温纪平. 发芽小麦的研究利用进展[J]. *食品工业*, 2022, 43(5): 241-245.
QI X X, GUO J, WEN J P. Research and utilization progress of sprouted wheat[J]. *The Food Industry*, 2022, 43(5): 241-245.
- [8] 孙辉, 段晓亮, 常柳, 等. 生芽对小麦食品加工品质的影响[J]. *粮油食品科技*, 2015, 23(4): 55-58.
SUN H, DUAN X L, CHANG L, et al. Effect of sprouting on processing quality of wheat flour products[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2015, 23(4): 55-58.
- [9] 常柳, 段晓亮, 欧阳姝虹, 等. 不同芽萌动状态对小麦粉和馒头品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(9): 22-27.
CHANG L, DUAN X L, OUYANG S H, et al. Effects of different sprouting states on wheat flour and steamed bread quality[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2017, 32(9): 22-27.
- [10] CARDONE G, GRASSI S, SCIPIONI A, et al. Bread-making performance of durum wheat as affected by sprouting[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 134: 110021.
- [11] GAO K, LIU Y, TAN B, et al. An insight into the rheology and texture assessment: The influence of sprouting treatment on the whole wheat flour[J]. *Food Hydrocolloids*, 2022, 125: 107248.
- [12] <https://wholegrainscouncil.org/members/sprouted-grains-workin-g-group>
- [13] 陈克明, 吴雅玲, 周代发, 等. 全籽粒小麦的不同研磨方式对全麦面粉品质的影响[J]. *现代食品*, 2021, (16): 133-138.
CHEN K M, WU Y L, ZHOU D F, et al. Effects of different grinding methods on the quality of whole wheat flour products[J]. *Modern Food*, 2021, (16): 133-138.
- [14] 田玉烁, 曹鹏博, 豆康宁, 等. 对三种面包烘烤过程中质量损失率的研究[J]. *现代面粉工业*, 2023, 2: 24-25.
TIAN Y S, CAO P B, DOU K N, et al. The study on quality loss rate of three kinds of bread during baking[J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2023, 2:24-25.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 小麦粉面包烘焙品质试验 直接发酵法: GB/T 14611—2008[S].
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Inspection of grain and oils-Bread-baking test of wheat flour Straight dough method: GB/T14611—2008[S].
- [16] 肖志刚, 刘璐, 王丽爽, 等. 小麦麸皮的品质改良及含麸皮面包焙烤品质的研究[J]. *现代食品科技*, 2019, 35(11): 66-75.
XIAO Z G, LIU L, WANG L S, et al. Quality improvement of wheat bran and baking properties of bread incorporated with wheat bran[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2019, 35(11): 66-75.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S].
National Health Commission of the People's Republic of China. National standards for food safety Determination of moisture in foods: GB 5009.3—2016[S].
- [18] 裴斐, 杜逸飞, 孙磊, 等. 固态发酵对麸皮抗氧化特性及全麦面包感官品质的提升作用[J]. *食品科学*, 2022, 43(6): 212-220.
PEI F, DU Y F, SUN L, et al. Effect of solid-state fermentation on antioxidant properties of wheat bran and sensory quality of whole wheat bread[J]. *Food Science*, 2022, 43(6): 212-220.
- [19] ZHANG Y, GUO L, XU D, et al. Effects of dextran with different molecular weights on the quality of wheat sourdough breads[J]. *Food Chemistry*, 2018: 373-379.
- [20] DING J, HOU G G, NEMZER B V, et al. Effects of controlled germination on selected physicochemical and functional properties of whole-wheat flour and enhanced γ -aminobutyric acid accumulation by ultrasonication[J]. *Food Chemistry*, 2018, 243: 214-221.
- [21] YILTIRAK S, KOCADAGLI T, EVRIM C E, et al. Effects of sprouting and fermentation on the formation of Maillard reaction products in different cereals heated as wholemeal[J]. *Food Chemistry*, 2022: 133075.
- [22] 陈伟, 陈建设. 食品的质构及其性质[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(1): 377-384.
CHEN W, CHEN J S. Food texture and properties[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(1): 377-384.
- [23] 陈建设, 刘源, 师锦刚. 食品感官科学研究: 挑战与可能[J]. *食品科学*, 2022, 43(19): 1-7.
CHEN J S, LIU Y, SHI J G. Food sensory research: challenges and possibilities[J]. *Food Science*, 2022, 43(19): 1-7.
- [24] 王明. 面包品质与质构特性的研究[D]. 西华大学, 2013.
WANG M. A study on quality and texture characteristics of bread [D]. Xihua University, 2013. 
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lpspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。