

藜麦-小麦混合粉面团特性及藜麦馒头加工工艺

张 纷¹, 赵 亮¹, 靖 卓¹, 高同雨², 喻 泓², 张南海¹, 杨梦妍³, 吴 薇¹, 籍保平¹, 周 峰^{1,*}

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 植物源功能食品北京市重点实验室, 北京 100083;

2. 北京市门头沟区科学技术委员会, 北京 102300; 3. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 探讨不同比例的藜麦全粉对高筋小麦粉面团流变学特性的影响, 确定藜麦全粉馒头中最佳的藜麦全粉添加比例并进行馒头加工工艺的优化。通过混合实验仪和吹泡仪对面团流变学特性进行测定, 以馒头的感官评价和质构特性为评价指标, 对藜麦全粉馒头的酵母添加量、发酵时间和醒发时间进行优化。结果表明: 藜麦全粉馒头的最佳藜麦全粉添加量为15%; 当酵母添加量0.75%、发酵时间100 min、醒发时间15 min时, 藜麦全粉馒头的感官评价总分达到最高值86.58, 比容达到最高值3.02 mL/g, 同时, 硬度、咀嚼性和胶着性分别达到最低值9.76、45.53 N和6.66 N。

关键词: 藜麦全粉; 面团特性; 藜麦馒头; 加工工艺

Dough Characteristics of Quinoa-Wheat Composite Flour and Optimization of Mantou Processing

ZHANG Fen¹, ZHAO Liang¹, JING Zhuo¹, GAO Tongyu², YU Hong², ZHANG Nanhai¹, YANG Mengyan³, WU Wei¹, JI Baoping¹, ZHOU Feng^{1,*}

(1. Beijing Key Laboratory of Functional Food from Plant Resources,

College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Mentougou Science & Technology Commission, Beijing 102300, China;

3. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In this study, we investigated the effects of addition of different proportions of whole quinoa flour on the rheological properties of high-gluten wheat flour dough in order to determine the optimal proportion of whole quinoa flour. Furthermore, we optimized the processing of quinoa-wheat Mantou. The rheological properties of dough were determined using Mixolab and Alveolab. Yeast addition, fermentation time and proofing time were used as independent variables to investigate their effect on the sensory evaluation and texture characteristics of Mantou. Results indicated that the optimum addition level of whole quinoa flour was 15%; the optimum processing parameters were determined as 0.75%, 100 min and 15 min for yeast inoculum size, fermentation time and proofing time, respectively, which provided maximum sensory evaluation score (86.58 points) and specific volume (3.02 mL/g) as well as minimum hardness (9.76 N), chewiness (45.53 N) and adhesiveness (6.66 N).

Keywords: whole quinoa flour; dough characteristics; quinoa-wheat Mantou; processing

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180822-235

中图分类号: TS201.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2019) 14-0323-10

引文格式:

张纷, 赵亮, 靖卓, 等. 藜麦-小麦混合粉面团特性及藜麦馒头加工工艺[J]. 食品科学, 2019, 40(14): 323-332.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180822-235. <http://www.spkx.net.cn>

ZHANG Fen, ZHAO Liang, JING Zhuo, et al. Dough characteristics of quinoa-wheat composite flour and optimization of Mantou processing[J]. Food Science, 2019, 40(14): 323-332. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180822-235. <http://www.spkx.net.cn>

藜麦 (*Chenopodium quinoa* Willd.) 是一种有 5 000 多年种植历史的藜科草本植物^[1], 原产于南美洲安第斯

山区。藜麦富含人体必需的 8 种氨基酸及婴幼儿必需的组氨酸, 其种子蛋白质氨基酸组成与联合国粮农组织推

收稿日期: 2018-08-22

基金项目: 北京市门头沟区科学技术委员会深山区藜麦引种推广及深加工技术研究与示范项目 (MTGXM-201805147451/1)

第一作者简介: 张纷 (1993—) (ORCID: 0000-0003-4598-4261), 女, 硕士, 研究方向为果蔬加工与功能食品。

E-mail: zfen1993@163.com

*通信作者简介: 周峰 (1980—) (ORCID: 0000-0003-0665-8076), 男, 副教授, 博士, 研究方向为果蔬加工与功能食品。

E-mail: zf@cau.edu.cn

荐的理想氨基酸组成相接近, 适合人体吸收^[2-3]。藜麦含有大量矿物质和维生素, 如Ca、Cu、Fe、Mn、VB₁和VE等^[4-5]。此外, 藜麦还含有丰富的多酚、皂苷等活性成分, 因其极高的营养价值和健康益处, 近年来受到了极大的关注, 被国际营养学家称为“超级谷物”、“营养黄金”、“未来食品”^[6-7]。

藜麦中的蛋白质主要由球蛋白和白蛋白组成(占总蛋白质的44%~77%)^[8], 含有极少量甚至不含面筋蛋白, 因此在藜麦发酵制品的加工中需要与小麦粉进行混配^[9]。同时, 目前在进行藜麦制品加工中普遍去除麸皮, 主要是由于麸皮中含有大量的皂苷, 皂苷味苦会影响产品的口感。根据皂苷含量的不同, 藜麦可以分为甜藜麦(皂苷含量以干质量计为0.2~0.4 g/kg)和苦藜麦(皂苷含量以干质量计为4.7~11.3 g/kg)^[10]。若以研磨率为30%去除麸皮时, 能够将苦藜麦中皂苷含量降至甜藜麦的水平, 但麸皮的去除会使得藜麦中总酚含量下降21.5%^[11], 蛋白质、维生素和矿物质也会有所损失^[4], 此外, 研究表明皂苷本身也具有一定生物活性^[12], 如表面活性剂^[13]、抗真菌^[14]、提高机体免疫^[15]、抗氧化^[16]、抗炎^[17]等。

为保留藜麦麸皮中的营养和功能成分, 本研究以不去除麸皮的藜麦粉作为原料与小麦粉进行混配, 通过探讨不同比例的藜麦全粉-小麦面粉团的流变学特性, 结合感官评价和质构特性, 确定藜麦全粉的添加量, 并在此基础上对藜麦全粉馒头的生产工艺进行优化, 开发出一款藜麦全粉馒头制备工艺。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黄藜麦(食品级) 山西华青藜麦有限公司; 高筋特精粉(食品级) 北京古船食品有限公司; 高活性干酵母(食品级) 安琪酵母有限公司; 氯化钠(食品级) 北京化工厂。

1.2 仪器与设备

Mixolab混合实验仪、Alveolab全自动吹泡仪 法国肖邦技术公司; TMS-PRO质构仪 美国FTC公司; LFP-800T高速多功能粉碎机 莱芙生物科技有限公司; AY-220精密分析天平(0.000 1 g) 日本岛津公司; TD电子天平(0.01 g) 金诺天平仪器有限公司; DHG-9075A电热恒温鼓风干燥箱 上海一恒科技有限公司; C21-WK2102电磁炉 美的集团有限公司; SM-350搅拌机 宁波阿特顿电器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

藜麦经粉碎过100目筛, 与高筋小麦粉混合, 制成藜麦粉添加量分别为0%、5%、10%、15%和20%

的藜麦全粉-小麦粉混合粉样品, 分别测定其水分含量, 备用。

1.3.2 面团流变学特性测定

1.3.2.1 面团混合实验仪参数测定

根据样品的水分含量和吸水率, 准确称取相应的面粉量, 放入混合室内, 仪器根据面粉的含水量和吸水率自动加入一定量的水, 并实时记录2个“S”形搅拌刀混合时对面团的力矩(N·m), 得到搅拌时间对力矩变化的曲线^[18]。

通过混合实验仪测定的力矩曲线图, 可以对面团的粉质特性(吸水率、形成时间和稳定时间等)和糊化特性进行分析, 混合仪中各参数所表示的含义见表1。

表1 混合实验仪参数及其含义
Table 1 Mixolab parameters and their meanings

参数	含义
C1	稠度最大值, 揉混面团时扭矩的最大值, 用于反映吸水率
C2	稠度最小值, 用于测定蛋白质的弱化程度
C3	峰值黏度, 用于淀粉糊化特性的测定
C4	最低黏度, 用于测定淀粉的糊化热稳定性
C5	最终黏度, 用于测定淀粉的回生特性
C3-C2	表示淀粉糊化特性, 数值越大, 糊化特性越强
C3-C4	表示淀粉糊化热稳定性, 数值越小, 热稳定性越强
C5-C4	表示淀粉回生特性, 数值越小, 回生特性越弱
形成时间	到达C1点所需的时间
稳定时间	扭矩在89% C1~C1的维持时间

仪器操作时, 选定实验协议为Chopin⁺, 设定2个搅拌刀的转速为80 r/min, 面团质量为75 g, 水箱温度为30℃, 目标扭矩(C1)为(1.10±0.05) N·m。混合实验仪在运行过程中的参数设置如表2所示。结果取3次重复实验的平均值。

表2 混合实验仪参数的设定
Table 2 Parameter setting of Mixolab

进程	温度梯度/(℃/min)	温度/℃	时间/min
第1阶段		30	8
第2阶段梯度	4		15
第2阶段		90	7
第3阶段梯度	-4		10
第3阶段		50	5

1.3.2.2 面团吹泡仪参数测定

表3 吹泡仪参数及其含义
Table 3 Alveolab parameters and their meanings

参数	含义
P	吹泡过程中所需最大压力, 与面泡内最大压力成正比, 与面团筋力有关
L	每条曲线破裂时的横坐标, 体现面团的延展性
G	面团气泡破裂时其中空气体积的平方根, 表示面泡破裂前的大小
W	气泡膨胀直到破裂所需能量
P/L	最大抗压力与面泡破裂时的平均横坐标的比值
le	当面团气泡中吹入200 cm ³ 空气时的压力值与曲线最大压力值的比值

实验选用全自动吹泡仪,操作依据GB 5009.4—2010《食品中灰分的测定》进行测定,实验结果以5条曲线的平均值进行计算,若有差异较大的曲线,则将其删除,不计入平均值的计算。吹泡仪中各参数及其含义如表3所示。

1.3.3 馒头制作过程

藜麦小麦粉预混:按比例称取藜麦粉、小麦粉,放入搅拌机中进行充分的混合;酵母活化:称取一定量的酵母粉,将其放入37℃温水中,搅拌均匀;和面:将活化后的酵母和水倒入混合均匀的面粉中,在80 r/min条件下搅拌8 min,搅拌结束后将面团取出,和至表面光滑不黏手;发酵:将面团放置37℃的恒温箱中,在相对湿度80%的条件下发酵1 h左右;整形、醒发:将发酵好的面团取出,手动将其中的气泡充分排出,使面团呈表面光滑的状态,分割成75 g的馒头坯,手工搓圆后置于37℃、相对湿度为80%的恒温箱中醒发20 min左右;蒸制:在电磁炉加热功率为1 000 W条件下,蒸汽蒸制20 min,取出,盖上纱布,室温冷却1 h后进行感官评价和质构评价。

1.3.4 藜麦粉添加量的确定

按照1.3.3节中馒头的制作方法,固定馒头的酵母添加量为0.75%,发酵时间为60 min,醒发时间为15 min,设置藜麦粉添加量分别为0%、5%、10%、15%和20%,研究不同藜麦粉添加量对藜麦馒头质构和感官评价的影响。

1.3.5 藜麦复合粉馒头工艺参数单因素试验

1.3.5.1 酵母添加量确定

按照1.3.3节中馒头的制作方法,固定馒头的发酵时间为60 min,醒发时间为15 min,设置酵母添加量分别为0.50%、0.75%、1.00%、1.25%和1.50%,研究不同酵母添加量对藜麦馒头质构和感官评价的影响。

1.3.5.2 发酵时间确定

按照1.3.3节中馒头的制作方法,固定馒头的酵母添加量为0.75%,醒发时间为15 min,设置面团的发酵时间分别为40、60、80、100 min和120 min,研究不同发酵时间对藜麦馒头质构和感官评价的影响。

1.3.5.3 醒发时间确定

按照1.3.3节中馒头的制作方法,固定馒头的酵母添加量为0.75%,发酵时间为100 min,设置面团的醒发时间分别为10、15、20、25 min和30 min,研究不同醒发时间对藜麦馒头质构和感官评价的影响。

1.3.6 藜麦复合粉馒头加工工艺优化

在上述单因素试验结果的基础上,选取较优的试验结果进行L₉(3³)正交试验,以藜麦馒头的质构和感

官评价为指标进行评价,确定藜麦复合粉馒头的最佳加工工艺。

1.3.7 馒头品质感官评价

本研究中制作的藜麦馒头,具有一定的藜麦香味和苦味,因此藜麦馒头的感官评价在参考SB/T 10139—1993《馒头用小麦粉》中规定的小麦馒头评价标准的基础上,添加了对藜麦香味以及苦味的评价。评价表中体积采用小米置换法进行测定,评价过程中对不同比例的藜麦混合粉馒头各取3个平行进行比容的测定,比容结果取平均值。

除比容外的其他评价内容由10名经培训的实验室人员进行,取平均值作为感官评价结果。感官评价标准如表4所示。

表4 藜麦馒头感官评价标准
Table 4 Criteria for sensory evaluation of quinoa-wheat Mantou

项目	满分	等级		
比容	20	比容2.3 mL/g为满分,每少0.1 mL/g扣1分		
表面结构	10	表面光滑(8.1~10分)	略有气泡(6.1~8分)	粗糙、塌陷、有孔洞(1~6分)
色泽	10	浅黄色(乳白)(8.1~10分)	中等(6.1~8分)	发暗、过浅或发灰(1~6分)
内部结构	15	纵剖面气孔小且均匀(12.1~15分)	中等(9.1~12分)	气孔大且不均匀或过于紧密(1~9分)
弹性	15	按压后复原性好(12.1~15分)	中等(9.1~12分)	复原性较差、按压困难(1~9分)
咀嚼性	15	咬劲强,爽口不黏牙(12.1~15分)	中等(9.1~12分)	咬劲差,不爽口黏牙(1~9分)
藜麦香味	5	具藜麦(小麦)清香,无异味(4.1~5分)	中等(3.1~4分)	有异味(1~3分)
苦味	10	微苦,可以接受(8.1~10分)	中等(6.1~8分)	很苦,不能接受(1~6分)
总分	100			

1.3.8 馒头质构评价

藜麦馒头的质构评价,采用质构仪中的压力测试TPA测试模式进行测试,选取冷却后不同配比的藜麦馒头各3个进行平行实验,在馒头中心和两侧分别切取厚度为15 mm的馒头片,选用直径为36 mm的圆柱形探头进行馒头的质构测定。质构仪参数如下:测试前速率1.0 mm/s、测试速率1.0 mm/s,测试后速率1.0 mm/s,测试距离20.0 mm,触发类型Auto 5.0 g,压缩率50.0%。记录9次测试的结果,取平均值。

1.4 统计学处理

实验结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示,单因素方差分析ANOVA(one-way analysis of variance)及多重比较检验分析Duncans采用SPSS 20.0统计软件进行处理,P值小于0.05具有显著差异。采用GraphPad Prism 6.0软件绘图。

2 结果与分析

2.1 混合实验仪参数分析

2.1.1 添加不同比例的藜麦全粉对面团粉质特性的影响

表5 不同藜麦粉添加比例的面团混合实验仪参数
Table 5 Mixolab parameters for quinoa-wheat doughs

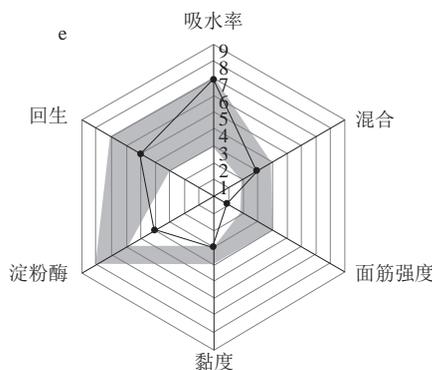
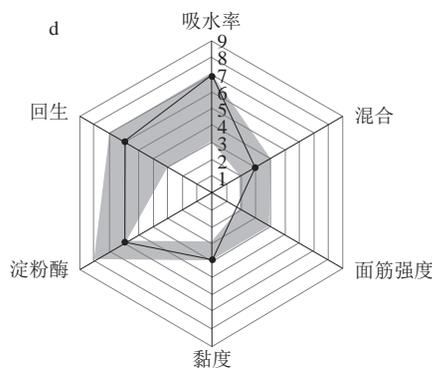
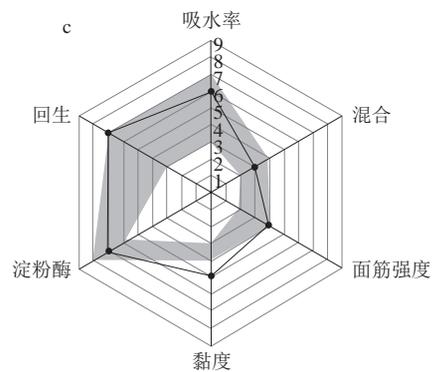
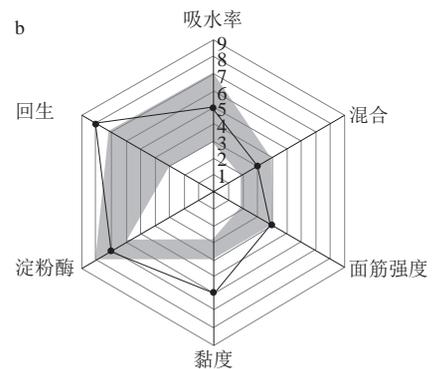
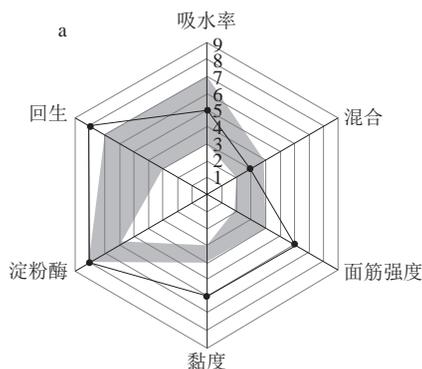
藜麦全粉 添加量/%	吸水率/ %	稳定时间/ min	形成时间/ min	C2/ (N·m)	C3/ (N·m)	C4/ (N·m)	C5/ (N·m)	C3-C2/ (N·m)	C3-C4/ (N·m)	C5-C4/ (N·m)
0	55.75	7.18	3.65	0.49	1.81	1.86	3.57	1.32	-0.05	1.71
5	58.50	7.47	4.45	0.48	1.75	1.70	2.92	1.27	0.05	1.23
10	59.00	7.60	4.68	0.46	1.67	1.56	2.53	1.22	0.12	0.97
15	59.75	7.28	4.83	0.42	1.60	1.46	2.38	1.18	0.14	0.91
20	59.75	7.12	4.80	0.34	1.44	1.23	1.99	1.10	0.21	0.76

如表5所示,随着藜麦全粉添加比例的增加,混合粉面团的吸水率呈现出逐渐升高的趋势,是由于藜麦中含有丰富的膳食纤维^[19],能够在一定程度上提高混合粉的吸水率。面团的稳定时间和形成时间是评价面团品质的重要指标,与馒头评分呈现出显著正相关^[20],北方馒头适宜的稳定时间为3~7 min^[21],形成时间为3~4 min^[22]。由表5可以看出,随着藜麦全粉添加比例的增加,混合粉面团的稳定时间和形成时间呈现出先升高后降低的趋势,当藜麦全粉添加量为15%时,面团的形成时间达到最高值。C2值表示面团的弱化程度,C2值越小,表明蛋白质的弱化程度越大,随着藜麦粉添加比例的增加,C2值呈现出逐渐下降的趋势,混合粉面团的弱化度随着添加比例的增加而升高,可能是由于藜麦本身不含面筋蛋白,使得混合粉的面筋含量减少,降低了混合粉面团面筋强度的缘故。

2.1.2 添加不同比例的藜麦全粉对面团糊化特性的影响

由表5可以看出,添加藜麦全粉在改变面团的糊化特性方面呈现出以下趋势:随着藜麦全粉添加比例的增加,面团的C3、C4、C5、C3-C2和C5-C4值呈现出逐渐降低的趋势,C3-C4值呈现出逐渐增加的趋势。C3-C2值表示面团的糊化特性,表明随着藜麦全粉添加量的增加,面团的糊化特性逐渐下降,同时由C5-C4值的逐渐降低可以看出,藜麦全粉的添加能够有效延缓面团的回生,降低面团的老化幅度。

2.2 混合实验仪的目标指数剖面图分析



a. 0%; b. 5%; c. 10%; d. 15%; e. 20%。

图1 不同比例藜麦全粉-小麦混合粉指数剖面图
Fig. 1 Index profiles of quinoa-wheat mixed flours

针对不同用途粉,混合实验仪设定了吸水率、黏度、淀粉酶、混合、面筋强度和回升6个指数评价不同用途谷物粉的特性,并以这6个指数建立目标指数剖面图。样品经仪器测定后,其面团的指数结果会显示到目标指数剖面图上,被测样品测试指标的结果落在目标指数剖面图内(阴影部分)的个数越多,就越能够满足该用途粉的要求^[18]。

如图1所示,当藜麦全粉添加量为0%时,小麦粉面筋含量较高,只有淀粉酶、吸水率和混合处于馒头的目标指数剖面图内,随着藜麦全粉添加量的增加,位于馒头的目标指数剖面图内的指数呈现出先增多后减少的趋势。当藜麦全粉添加量为15%,6个指数点全部位于目标指数剖面图内,符合馒头生产的标准,当藜麦全粉添加量增加到20%时,淀粉酶指数和面筋强度减小,低于馒头的目标指数范围。综上所述,藜麦全粉的最适添加量为15%。

综合混合实验仪参数和馒头目标指数剖面图分析,最适宜的藜麦馒头用粉为添加15%藜麦全粉的混合粉。

2.3 吹泡仪参数分析

表6 不同藜麦粉添加比例的面团吹泡仪参数
Table 6 Alveolab parameters for quinoa-wheat doughs

藜麦全粉添加量/%	$P(H_2O)/mm$	L/mm	G	W/mJ	P/L	I_e
0	55.00±2.58 ^a	108.75±18.89 ^b	23.08±2.00 ^c	170.25±23.13 ^b	0.52±0.09 ^a	47.98±1.04 ^d
5	58.25±1.89 ^{ab}	104.50±2.08 ^b	22.68±0.25 ^c	156.25±6.34 ^b	0.56±0.03 ^a	42.20±0.71 ^e
10	62.20±3.96 ^b	74.20±12.43 ^b	19.06±1.64 ^b	130.60±11.59 ^a	0.86±0.19 ^b	38.42±1.72 ^b
15	71.20±2.17 ^c	52.60±8.47 ^a	16.06±1.36 ^a	121.40±14.86 ^a	1.38±0.23 ^c	35.50±2.02 ^c
20	81.75±4.03 ^d	41.75±6.40 ^a	14.33±1.09 ^a	121.00±16.57 ^a	1.99±0.24 ^d	33.95±2.57 ^c

如表6所示,随着藜麦全粉添加量的增加, P 值和 P/L 值呈现出逐渐升高的趋势, L 值、 G 值、 W 值和 I_e 值均呈现出逐渐下降的趋势。表明添加一定比例的藜麦全粉,能够调整纯高筋小麦粉 P 值过小、 L 值过大、 G 值过大和 P/L 值过小的情况。根据王晓阳等^[23]的研究表明,面粉的 L 值在55~70、 P 值为72~110、 G 值在15~19、 W 值在140~210和 P/L 值在1.0~2.1的范围时,制作出的馒头品质较好。当藜麦全粉的添加比例不小于15%,符合优质馒头粉中 P 值的要求;当藜麦全粉添加比例在10%~15%之间时,符合优质馒头粉中 L 值和 G 值的要求;当藜麦全粉添加比例小于15%时,符合优质馒头粉中 W 值的要求;当藜麦全粉添加比例为15%~20%,符合优质馒头粉中 P/L 值的要求。故藜麦全粉添加量为15%时,较适合作为藜麦馒头粉。

因此,综合混合实验仪和吹泡仪对藜麦混合粉面团的流变学特性测试,可以看出添加了藜麦全粉复合粉的面团流变学特性较好,当藜麦全粉添加量为15%时,基本符合优良馒头的要求。

2.4 藜麦粉添加量对馒头品质的影响

2.4.1 藜麦粉添加量对馒头感官品质的影响

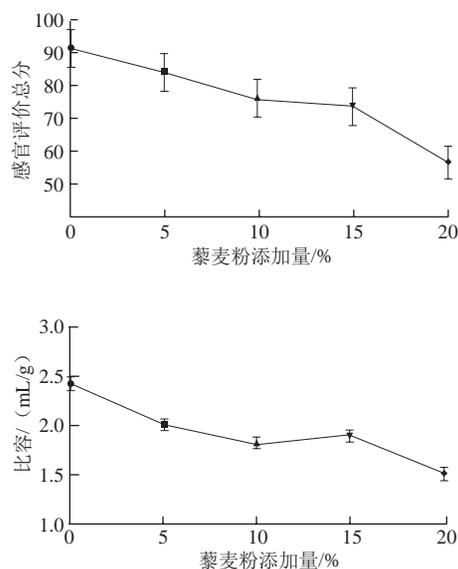
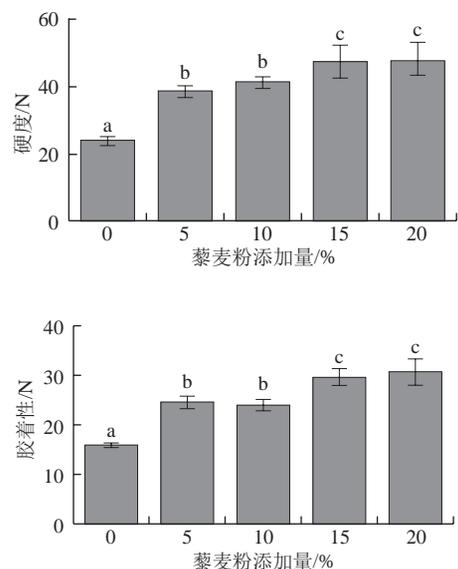


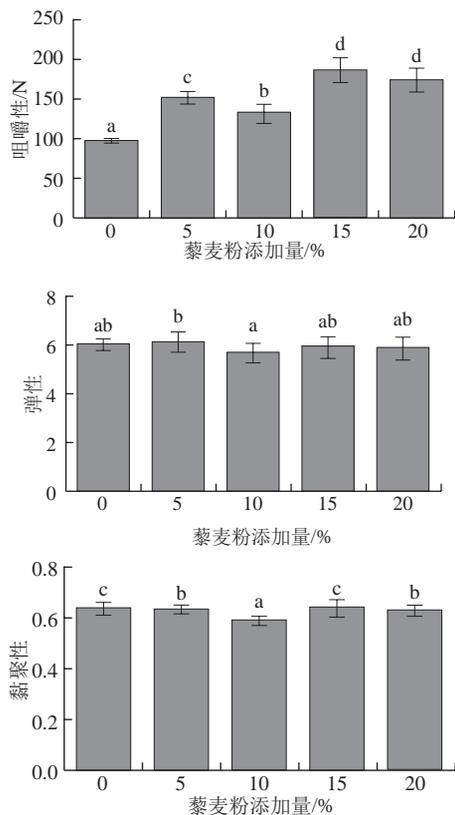
图2 藜麦粉添加量对藜麦馒头感官品质的影响

Fig. 2 Effects of quinoa addition on the sensory quality of Mantou

如图2所示,藜麦馒头的感官评价总分随着藜麦粉添加量的增加呈现出逐渐降低的趋势,且当藜麦粉添加量高于15%时,藜麦馒头的感官评价总分和比容急剧下降;感官评价总分急剧下降的原因是由于藜麦全粉含有麸皮,麸皮中的皂苷味苦,随着藜麦粉添加量的增加,超出了人们对苦味的接受程度;比容随着藜麦粉添加量的增加逐渐降低,是由于藜麦不含面筋蛋白,随着藜麦粉的增加,混合粉面团的面筋含量降低,不利于形成面筋骨架,导致馒头比容的降低。

2.4.2 藜麦粉添加量对馒头质构特性的影响





同一指标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。图5、7、9同。

图3 藜麦粉添加量对藜麦馒头质构特性的影响

Fig. 3 Effects of quinoa addition on the texture of Mantou

如图3所示,随着藜麦粉添加量的逐渐增大,馒头的硬度、胶着性和咀嚼性显著升高 ($P < 0.05$),当藜麦粉添加量为15%和20%时,藜麦粉添加量对硬度、胶着性和咀嚼性无显著影响;馒头的黏聚性和弹性随着藜麦粉添加量的增加呈现出先降低后升高的趋势,当藜麦粉添加量为15%时,相对于藜麦粉添加量为0%时馒头的黏聚性和弹性值无显著差异 ($P > 0.05$)。研究表明,馒头质构特性中的硬度值、咀嚼性和胶着性与馒头品质呈负相关,数值越大,馒头的口感越硬;而弹性与黏聚性与馒头的品质呈正相关,数值越大,馒头的口感柔软、不黏牙^[24]。综合藜麦全粉对面团流变学特性的影响以及馒头的感官评价、比容和质构特性,藜麦馒头中最适藜麦粉添加量为15%。

2.5 酵母添加量对馒头品质的影响

2.5.1 酵母添加量对藜麦馒头感官品质的影响

如图4所示,藜麦馒头的感官评价总分和比容随着酵母添加量的增加呈现出先升高后降低的趋势。当酵母添加量为1.00%时,藜麦馒头的感官评价总分和比容达到最高值。随着酵母添加量的增加,酵母生长的速度加快,并在生长过程中利用面团中的糖类进行发酵,产生大量的二氧化碳^[25],面团在发酵的过程中形成面筋网络,将产生的二氧化碳保留在组织内部,从而形成馒头疏松

多孔的结构,提高了面团的持气能力,馒头的体积随之增大;但由于面筋含量有限,随着酵母添加量的持续增加,馒头内部气孔变大,同时表面出现塌陷的情况,故出现藜麦馒头感官评价总分和比容下降的现象。

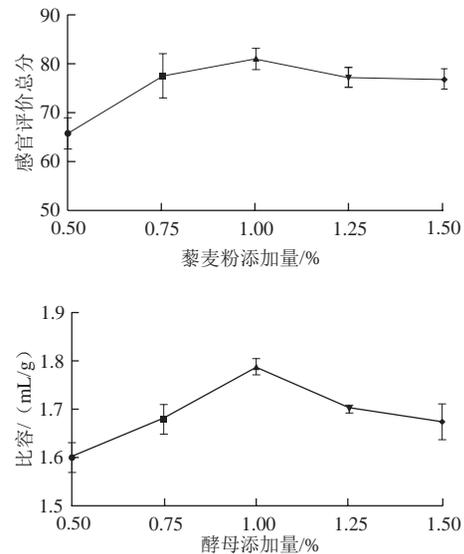
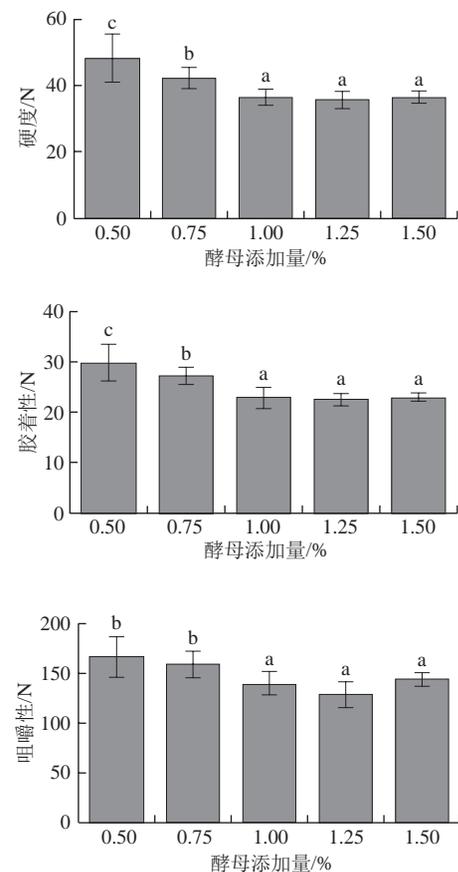


图4 酵母添加量对藜麦馒头感官品质的影响

Fig. 4 Effects of yeast addition on the sensory quality of Mantou

2.5.2 酵母添加量对藜麦馒头质构特性的影响



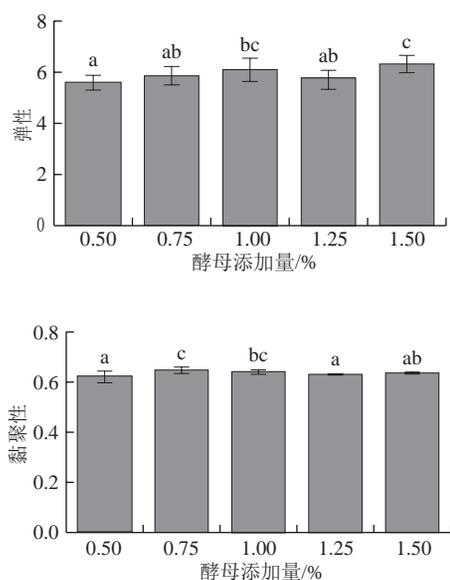


图5 酵母添加量对藜麦馒头质构特性的影响
Fig. 5 Effects of yeast addition on the texture of Mantou

如图5所示,随着酵母添加量的逐渐增大,馒头的硬度、胶着性和咀嚼性显著降低 ($P < 0.05$),当酵母添加量增加到1.00%及以上时,其对硬度、胶着性和咀嚼性的影响不显著 ($P > 0.05$);馒头的黏聚性和弹性随着酵母添加量的增加有所升高,相对于酵母添加量为0.50%,酵母添加量为1.00%时馒头的黏聚性和弹性值显著升高 ($P < 0.05$),相对于酵母添加量为1.50%差异不显著。

综合馒头的感官评价总分、比容和质构特性,藜麦馒头最适酵母添加量为1.00%。

2.6 发酵时间对馒头品质的影响

2.6.1 发酵时间对藜麦馒头感官品质的影响

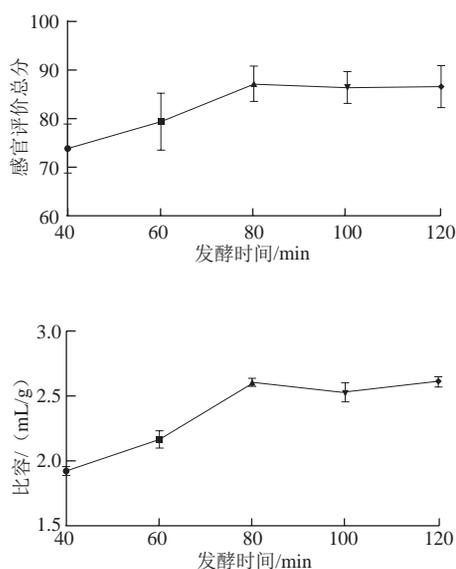
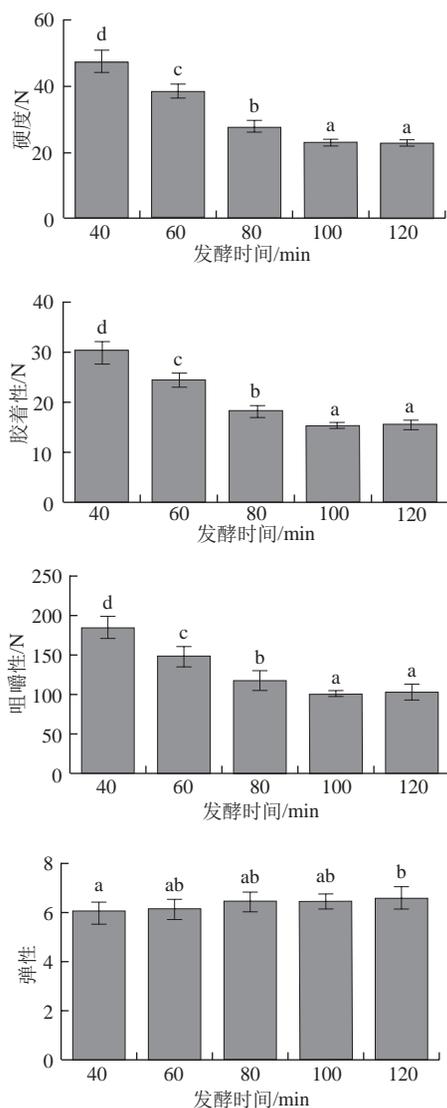


图6 发酵时间对藜麦馒头感官品质的影响
Fig. 6 Effects of fermentation time on the sensory quality of Mantou

如图6所示,藜麦馒头的感官评价总分和比容随着发酵时间的延长呈现先显著增加后减缓的趋势。当发酵时间为40 min和60 min时,馒头的感官评价总分和比容都较低,是由于馒头发酵不完全,导致馒头内部结构紧密,无法形成疏松多孔的结构。当发酵时间为80 min时,馒头发酵完全且形成了较好的内部结构,馒头的感官评价总分和比容都显著增加;当发酵时间大于80 min时,感官评价总分和比容并无显著增加趋势,是由于过度发酵降低了面团的持气力,导致馒头的品质和比容降低。发酵时间的延长能增加酵母在面团中的繁殖时间,随着发酵时间的逐渐增加,面团中的产气量变大,面团内的气孔壁因此变薄,面团的持气性也随之增强^[26],但随着时间继续延长,面团成熟过度后,持气性则相对差。只有当酵母的产气力和面团的持气力同时最大时^[27],面制品的体积才能达到最大,同时产品的内部结构,表面色泽都达到最佳。

2.6.2 发酵时间对藜麦馒头质构特性的影响



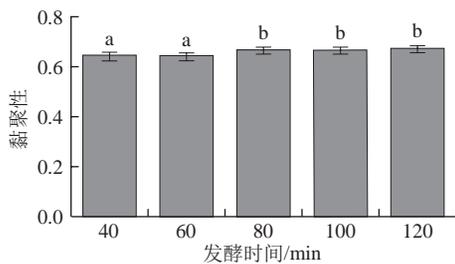


图7 发酵时间对藜麦馒头质构特性的影响

Fig. 7 Effects of fermentation time on the texture of Mantou

如图7所示,随着面团发酵时间的延长,藜麦馒头的硬度、胶着性和咀嚼性均呈现先显著下降($P < 0.05$)后平缓的趋势,当发酵时间为100 min和120 min时,发酵时间对馒头硬度、胶着性和咀嚼性的影响不显著($P > 0.05$);馒头的黏聚性和弹性随着发酵时间的延长呈现缓慢升高的趋势。综上所述,馒头的品质随着发酵时间的延长而提高,当发酵时间增加到100 min时,馒头的品质不再增加。

综合馒头的感官评价总分、比容和质构特性,藜麦馒头的最佳发酵时间为100 min。

2.7 醒发时间对馒头品质的影响

2.7.1 醒发时间对藜麦馒头感官品质的影响

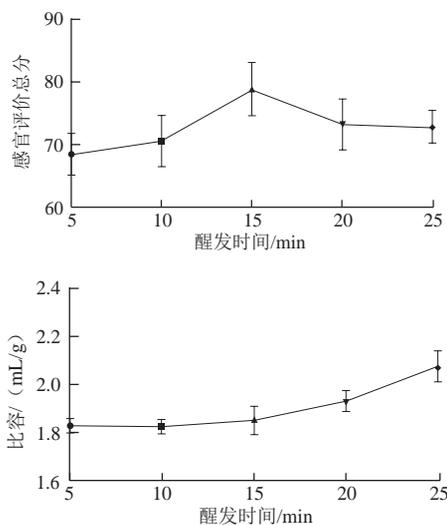


图8 醒发时间对藜麦馒头感官品质的影响

Fig. 8 Effects of proofing time on the sensory quality of Mantou

如图8所示,藜麦馒头的感官评价总分随着醒发时间的延长呈现先增加后降低的趋势,醒发时间为15 min时,藜麦馒头的感官评价总分达到最大值;比容随着醒发时间的延长呈现出逐渐增加的趋势,是由于醒发是面团操作的最后阶段,适当的延长时间有利于增大馒头的比容,降低馒头的硬度;当醒发时间较短时,馒头体积小且内部组织分布不均匀^[28],但当醒发时间延长至20 min和25 min时,馒头内部则出现较大孔洞,同时呈现出塌软的状态,故感官评价总分降低。醒发时间是面团

在一次发酵完成后,将其中的二氧化碳揉出,搓圆成型重新进行发酵的时间。此阶段中酵母菌的产气量随着醒发时间的不断延长而逐渐增加,面团膨胀后形成孔状结构,面筋在气体的作用下形成面筋气泡,随着气泡的增多,面团不断变软,面团的收缩力不断降低,弹性因此降低^[29],随着醒发时间的继续延长,面团延伸所需要的力减小,持气力开始下降。在面团醒发过程中,时间过长或过短都会导致馒头出现塌陷的现象^[30]。

2.7.2 醒发时间对藜麦馒头质构特性的影响

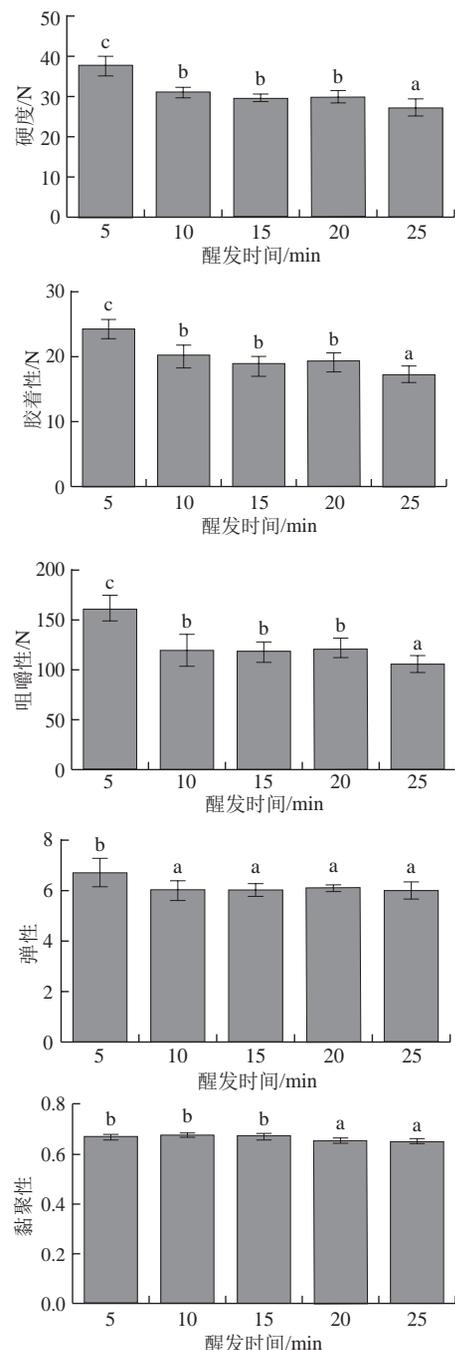


图9 醒发时间对藜麦馒头质构特性的影响

Fig. 9 Effects of proofing time on the texture of Mantou

如图9所示, 藜麦馒头的硬度、咀嚼性和胶着性随着醒发时间的延长呈现显著下降趋势 ($P < 0.05$), 当醒发时间分别为10、15 min和20 min时, 醒发时间对硬度、咀嚼性和胶着性的影响无显著差异 ($P > 0.05$); 当醒发时间为10 min时, 藜麦馒头的弹性相对醒发时间为5 min时显著降低 ($P < 0.05$), 随着醒发时间的延长, 藜麦馒头的弹性值不再降低, 各组间无显著差异; 藜麦馒头的黏聚性随着醒发时间的延长缓慢下降, 相对于醒发时间为5 min, 醒发时间为20 min和25 min时馒头的黏聚性显著降低 ($P < 0.05$)。综上所述, 随着发酵时间的延长藜麦馒头的品质逐渐提高, 但由于发酵时间过长后, 馒头的表面结构变差, 内部孔洞变大变粗糙。

结合感官评价总分、比容和质构特性, 藜麦馒头的最适醒发时间为15 min。

2.8 藜麦馒头加工工艺的优化

在上述酵母添加量、发酵时间和醒发时间的单因素试验结果的基础上, 得出以下工艺参考范围: 酵母添加量0.75%~1.25%, 发酵时间80~120 min, 醒发时间10~20 min。为了得到更好的藜麦馒头的加工工艺, 采用 $L_9(3^3)$ 正交试验, 以馒头的感官评价和质构特性参数为指标, 确定藜麦馒头加工工艺的最佳因素水平组合。

表7 藜麦馒头正交试验设计及结果

Table 7 Orthogonal array design matrix with experimental results

试验号	A酵母添加量/%	B发酵时间/min	C醒发时间/min	比容/(mL/g)	硬度/N	咀嚼性/N	胶着性/N	弹性	黏聚性	感官评价总分
1	1 (0.75)	1 (80)	1 (10)	2.19	24.82	115.9	17.38	6.67	0.70	81.44
2	1	2 (100)	2 (15)	3.02	9.76	45.53	6.66	6.53	0.68	86.58
3	1	3 (120)	3 (20)	2.60	13.96	66.41	9.71	6.83	0.70	78.30
4	2 (1.00)	1	2	2.61	12.29	58.65	8.91	6.56	0.73	79.72
5	2	2	3	2.78	10.40	49.18	7.47	6.58	0.72	82.30
6	2	3	1	2.61	11.37	54.62	8.27	6.60	0.73	79.03
7	3 (1.25)	1	3	2.46	12.62	57.74	8.82	6.55	0.70	75.47
8	3	2	1	2.50	11.57	52.02	8.22	6.33	0.71	76.08
9	3	3	2	2.80	9.82	45.53	7.00	6.48	0.71	74.17
K_1	246.32	236.63	236.55							
K_2	241.05	244.96	240.47							
K_3	225.72	231.5	236.07							
k_1	82.11	78.88	78.85							
k_2	80.35	81.66	80.16							
k_3	75.24	77.17	78.69							
R	6.87	4.49	1.47							

由表7可知, 藜麦馒头感官品质影响因素的主次顺序为酵母添加量>发酵时间>醒发时间。藜麦馒头的最佳工艺条件为 $A_1B_2C_2$, 即酵母添加量0.75%、发酵时间100 min、醒发时间15 min, 为正交试验中的第2号组合。

3 结论

通过混合实验仪和吹泡仪对不同比例藜麦全粉-高筋小麦粉混合粉面团的流变学特性进行测定, 结果表明添加了15%藜麦全粉的混合粉面团的流变学特性较好。结合藜麦全粉馒头的感官评价、比容和质构特性, 确定最适藜麦全粉添加量为15%, 该藜麦全粉添加量制作的馒头苦味适宜, 消费者可以接受; 影响藜麦全粉馒头品质的因素顺序为酵母添加量>发酵时间>醒发时间, 最佳藜麦馒头生产工艺条件为酵母添加量0.75%、发酵时间100 min、醒发时间15 min。藜麦全粉馒头的感官评价总分达到最高值86.58, 比容达到最高值3.02 mL/g, 同时, 硬度、咀嚼性和胶着性分别达到最低值9.76、45.53 N和6.66 N。

参考文献:

- VERENA N, JUAN D, U RUTH C. Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)[J]. Food Chemistry, 2016, 193: 47-54. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.02.111.
- 魏爱春, 杨修仕, 么杨, 等. 藜麦营养成分及生物活性研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 272-276. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201515050.
- ESCUREDO O, MARTIN M I G, MONCADA G W, et al. Amino acid profile of the quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using near infrared spectroscopy and chemometric techniques[J]. Journal of Cereal Science, 2014, 60(1): 67-74. DOI:10.1016/j.jcs.2014.01.016.
- RUALES J, NAIR B M. Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds[J]. Food Chemistry, 1993, 48(2): 131-136. DOI:10.1016/0308-8146(93)90047-J.
- STEFFOLANI M E, VILLACORTA P, MORALES-SORIANO E R, et al. Physicochemical and functional characterization of protein isolated from different quinoa varieties (*Chenopodium quinoa* Willd.)[J]. Cereal Chemistry, 2016, 93(3). DOI:10.1094/CCHEM-04-15-0083-R.
- 谭斌, 谭洪卓, 刘明, 等. 粮食(全谷物)的营养与健康[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(4): 100-107.
- GEWEHR M F, DANELLI D, MELO L M D, et al. Nutritional and technological evaluation of bread made with quinoa flakes (*Chenopodium quinoa* Willd.)[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2017, 41(2): e12803. DOI:10.1111/jfpp.12803.
- KOZIOL M J. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.)[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 1992, 5(1): 35-68. DOI:10.1016/0889-1575(92)90006-6.
- CHEVARRIA-LAZO M, BAZILE D, DESSAUW D, et al. Quinoa and the exchange of genetic resources: improving the regulation systems[M]//State of the art report on quinoa around the world. FAO/CIRAD, 2013: 83-105. DOI:10.13140/RG.2.1.5076.4249.
- MASTEBROEK H D, LIMBURG H, GILLES T, et al. Occurrence of saponin in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(1): 152-156. DOI:10.1002/(sici)1097-0010(20000101)80:1<152::aid-jsfa503>3.0.co;2-p.

- [11] GOMEZ-CARAVACA A M, IAFELICE G, VERARDO V, et al. Influence of pearling process on phenolic and saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)[J]. Food Chemistry, 2014, 157(4): 174-178. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.02.023.
- [12] HAN B. Extraction of total saponins from opuntia and its bioactivity[J]. Farm Products Processing, 2016, 10: 36-41. DOI:10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2016.10.011.
- [13] TANG Y, TSAO R. Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory and potential health beneficial effects: a review[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2017, 61(7): 1600767. DOI:10.1002/mnfr.201600767.
- [14] MACARENA S, RICARDO S M. Antifungal properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) alkali treated saponins against *Botrytis cinerea*[J]. Industrial Crops & Products, 2008, 27(3): 296-302. DOI:10.1016/j.indcrop.2007.11.003.
- [15] VERZA S G, SILVEIRA F, CIBULSKI S, et al. Immunoadjuvant activity, toxicity assays, and determination by UPLC/Q-TOF-MS of triterpenic saponins from *Chenopodium quinoa* seeds[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(12): 3113-3118. DOI:10.1021/jf205010c.
- [16] 杜静婷, 陈超, 范三红. 响应面法优化藜麦糠皂苷的提取及抗氧化活性[J]. 山西农业科学, 2016, 44(7): 932-937. DOI:10.3969/j.issn.1002-2481.2016.07.10
- [17] YAO Y, YANG X, SHI Z, et al. Anti-inflammatory activity of saponins from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds in lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 macrophages cells[J]. Journal of Food Science, 2014, 79(5): 1018-1023. DOI:10.1111/1750-3841.12425
- [18] 郑家丰, 邢春生. 新型小麦粉和谷物流变学检测仪[J]. 粮油食品科技, 2008, 16(5): 60-63. DOI:10.3969/j.issn.1007-7561.2008.05.022.
- [19] PEIRETTI P G, GAI F, TASSONE S. Fatty acid profile and nutritive value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds and plants at different growth stages[J]. Animal Feed Science and Technology, 2013, 183(1/2): 56-61. DOI:10.1016/j.anifeeds.2013.04.012.
- [20] 卢晓花. 配粉对小麦面粉加工特性的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2011.
- [21] 齐兵建. 小麦粉品质与北方优质馒头品质关系的研究[J]. 中国粮油学报, 2004, 19(3): 21-25. DOI:10.3321/j.issn:1003-0174.2004.03.006.
- [22] 杨艳虹, 檀革宝. 馒头蒸制中遇到的质量问题及产生原因[J]. 粮食加工, 2008, 33(4): 67-68. DOI:10.3969/j.issn.1007-6395.2008.04.023.
- [23] 王晓阳, 鲍庆丹, 王凤成, 等. 面粉吹泡仪指标与北方馒头品质关系的研究[C]//中国粮油学会发酵面食分会产业发展大会. 2010: 23-27.
- [24] 吕军仓, 席小艳. 质构分析仪在面制品品质评价中的应用[J]. 现代面粉工业, 2006(4): 58.
- [25] 苏东民, 胡丽花, 苏东海, 等. 酵母添加量和发酵时间对馒头品质的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(11): 73-77.
- [26] 袁蓓蕾. 杂粮面包粉流变学性质研究及面包工艺优化[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2013.
- [27] 郑志, 孟玲玲, 罗水忠, 等. 超细化脱脂米糠面包的研制[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 453-456.
- [28] 白建民, 刘长虹, 徐婧婷. 醒发时间对馒头品质的影响[J]. 粮食科技与经济, 2010, 35(2): 54-56. DOI:10.3969/j.issn.1007-1458.2010.02.019.
- [29] 杨玉英. 面筋与面团性质[J]. 北方农业学报, 2001(增刊1): 20-21.
- [30] 黄松伟, 刘长虹, 胡东青. 醒发时间对面团持气性及馒头品质的影响[J]. 粮食加工, 2011, 36(6): 38-40. DOI:10.3969/j.issn.1007-6395.2011.06.015.