自然发酵对大黄米加工特性及黏豆包熟面团品质的影响

边 鑫[1],陈镜如[1],杨 杨[1],范 婧[1],王 冰[1],邢童林[1],俞德慧[1],武 娜[1],邢文静[1],孙司卉[1],葛红东[2],张 娜[1]*

(1.哈尔滨商业大学 食品工程学院 黑龙江省谷物食品与综合加工重点实验室 黑龙江省普通高校食品科学与工程重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150076;2.哈尔滨天一生态农副产品有限公司,黑龙江 哈尔滨 150037)

摘 要:研究自然发酵对大黄米粉和生面团的加工性能及黏豆包熟面团品质的影响。结果表明,自然发酵显著改善了大黄米粉的糊化特性($P<0.05$),发酵4 d的大黄米粉糊化特性最佳,较未发酵大黄米粉的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、崩解值和回升值分别提高了1 515 mPa•s、589 mPa•s、772 mPa•s、926 mPa•s、183 mPa•s,峰值时间和糊化温度变化不显著($P>0.05$)。大黄米生面团在自然发酵后储能模量和损耗模量呈先增加后降低的趋势,损失正切tanδ值显著下降($P<0.05$),发酵2 d 大黄米生面团具有较好的粘弹性。发酵显著改善了大黄米黏豆包熟面团的质构特性和感官品质($P<0.05$),与未发酵黏豆包熟面团相比,发酵4 d的黏豆包熟面团的硬度和胶着性分别降低了628.73 gf、556.53 gf,黏性和弹性显著增加33.62 gf和0.05($P<0.05$),咀嚼性未发生显著变化($P>0.05$),且感官评分最高为92分。

关键词:自然发酵;大黄米;黏豆包;熟面团;糊化特性;流变学特性;质构;感官品质

中图分类号:TS213.3 **文章编号**:0254-5071(2022)02-0193-05 doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2022.02.032

引文格式:边鑫,陈镜如,杨杨,等. 自然发酵对大黄米加工特性及黏豆包熟面团品质的影响[J]. 中国酿造,2022,41(2):193-207.

Effects of spontaneous fermentation on processing property of glutinous millet and quality of Niandoubao cooked dough

BIAN Xin[1], CHEN Jingru[1], YANG Yang[1], FAN Jing[1], WANG Bing[1], XING Tonglin[1], YU Dehui[1], WU Na[1], XING Wenjing[1], SUN Sihui[1], GE Hongdong[2], ZHANG Na[1]*

(1.Key Laboratory of Food Science and Engineering in Universities of Heilongjiang Province, Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Cereal Food and Comprehensive Processing, School of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China; 2.Harbin Tianyi Ecological Agricultural and Sideline Products Co., Ltd., Harbin 150037, China)

Abstract: The effects of spontaneous fermentation on the processing property of glutinous millet power and uncooked dough, and the quality of Niandoubao cooked dough were investigated. The results showed that the gelatinization characteristics of glutinous millet powder were significantly improved by spontaneous fermentation ($P<0.05$), and the gelatinization characteristics of glutinous millet powder were the optimal after 4 d of fermentation. Compared with the unfermented glutinous millet powder, the peak viscosity, trough viscosity, final viscosity, breakdown value and retrogradation value increased by 1 515 mPa•s, 589 mPa•s, 772 mPa•s, 926 mPa•s and 183 mPa•s, respectively, and the changes of peak time and gelatinization temperature were not significant ($P>0.05$). The energy storage modulus and loss modulus of glutinous millet dough increased first and then decreased after spontaneous fermentation, and the lost tanδ value decreased significantly ($P<0.05$). glutinous millet dough had good viscoelasticity after 2 d of fermentation. The texture properties and sensory quality of glutinous millet Niandoubao cooked dough were significantly improved by fermentation ($P<0.05$). Compared with unfermented Niandoubao cooked dough, the hardness and adhesiveness of glutinous millet Niandoubao cooked dough decreased by 628.73 gf and 556.53 gf, respectively after 4 d of fermentation. The viscosity and elasticity significantly increased by 33.62 gf and 0.05 ($P<0.05$), but chewiness did not change significantly ($P>0.05$), and the highest sensory score was 92.

Key words: spontaneous fermentation; glutinous millet; Niandoubao; cooked dough; gelatinization characteristics; rheological property; texture; sensory quality

大黄米(*Panicum miliaceum*)是我国北方的一种重要的粮食经济作物,其通过黍子脱壳加工制得[1]。大黄米含有丰富的营养成分,其中,八种必需氨基酸的含量显著高于常见主粮[2]。同时黄米富含维生素、矿物质、膳食纤维等,营养价值较高[3-4]。大黄米中含有60%以上的淀粉,且支链淀粉含量偏高,具有一定的糯性[5]。因此,北方人一直将大黄米用于主食加工[6-7]。

黏豆包是一种东北传统的发酵食品,大黄米是黏豆包

收稿日期:2021-08-21 **修回日期**:2021-10-13

基金项目:黑龙江省科技重大专项资助(2020ZX08B02);国家自然科学基金(32072258);中央财政支持地方高校发展专项资金优秀青年人才支持计划项目;哈尔滨商业大学"青年创新人才"支持计划(2019CX06);哈尔滨商业大学博士科研启动金项目(2019DS09)

作者简介:边 鑫(1986-),男,讲师,博士,研究方向为发酵谷物食品与益生菌资源开发。

***通讯作者**:张 娜(1979-),女,教授,博士,研究方向为食品安全与食品化学。

的主要生产原料之一[8]。泡米是黏豆包制作过程中一道重要的工序，其本质是一个自然发酵的过程[9]。在此过程中，环境中的微生物会进入浸泡液中作用于大黄米，导致其理化特性、加工特性发生变化进而影响黏豆包品质[10-11]。韩雨茜等[12-13]通过测定经自然发酵后不同原料制作的黏豆包流变学特性发现，不同原料制作的黏豆包微生物组成并不相同，且在不同微生物的发酵作用下，对黏豆包的流变学特性、质构特性会产生较大影响且与微生物的变化具有相关性。进一步的研究发现，以大黄米为主要原料制作的黏豆包质构及理化性质如硬度、胶黏性、咀嚼性均较江米制作的黏豆包更高，黏豆包酸度也更适宜食用。马佳歌等[14]通过人工接种乳酸菌的方式生产黏豆包，研究了自然发酵黏豆包与人工发酵黏豆包的差异，发现人工接种方式的发酵时间更短，黏豆包品质较自然发酵有所提升。

在先前的研究中，团队针对自然发酵大黄米粉和大黄米淀粉的理化性质进行了探讨[15]，但对于自然发酵过程中对大黄米粉的加工特性和黏豆包品质的影响尚未进行研究。因此，本实验以大黄米为研究对象，研究自然发酵对大黄米粉的糊化特性、大黄米生面团动态流变学特性以及黏豆包熟面团品质的影响，旨在解析自然发酵过程中大黄米加工特性的变化及其对黏豆包熟面团品质影响，从而为改良黏豆包传统加工工艺、提升产品品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大黄米：哈尔滨天一生态农副产品有限公司。

1.2 仪器与设备

ZF-100型电石磨：温州市胶体磨厂；101-0AB电热鼓风干燥箱：天津市泰斯特仪器有限公司；800Y型高速多功能粉碎机：永康市铂欧五金制品有限公司；TCW3.17.3.509型快速黏度分析仪（rapid visco analyzer，RVA）：波通瑞华科学仪器（北京）有限公司；MCR102电磁流变仪：奥地利安通帕公司；TA.new plus质构仪：美国ISENSO公司。

1.3 方法

1.3.1 大黄米粉制备

将大黄米与水按料液比1:2（g:mL）加入不锈钢容器中室温下浸泡，分别取浸泡0、1 d、2 d、3 d、4 d（黏豆包制作时主要通过原料浸泡这一步骤完成发酵过程，发酵4 d后，黏豆包发酵液的pH值基本不再变化，RVA黏度测定结果变化也不再明显，且发酵超过4 d时，发酵液异味明显，有强烈的发酵臭味）的大黄米投洗3～5次，沥干水分后，移入电石磨中磨制成湿粉，然后将样品在45 ℃烘箱中烘干24 h，经粉碎机粉碎后用80目标准筛进行筛分，得到干燥大黄米粉。

1.3.2 黏豆包熟面团的制作

取1.3.1节制备的大黄米粉20 g，加入12 mL水，将其揉制成黏豆包状的小面球，即大黄米面团，放入蒸锅加热蒸制10～15 min，得到黏豆包熟面团。

1.3.3 大黄米粉的糊化特性测定

淀粉糊化后的性质是将淀粉混合于水中并加热达到一定温度后，则淀粉粒溶胀、崩溃，形成粘稠均匀的透明糊溶液。糊化后的淀粉，在黏度、强度、韧性等方面更加适口，同时由于糊化淀粉更容易被淀粉酶水解，因此糊化淀粉更有利于人体的消化吸收。大黄米粉中的主要成分就是淀粉，所以测定大黄米粉的糊化特性有利于判断发酵的程度，粉的加工性能及成品的品质。RVA黏度测定结果反映了原料在加热过程中的黏度变化，RVA共有五个黏度参数，综合评定粉的黏度特性，其中五个参数是表征糊化过程中黏度的变化，而且糊化特性可以用来模拟黏豆包面团熟制过程，因此，糊化特性在一定程度上能反映黏豆包的黏度情况。

参照KONG X R等[16]的方法，利用快速黏度仪进行黏度测定。具体操作如下：称取3.00 g 1.3.1中制备的大黄米粉（水分含量14%）置于快速黏度仪（RVA）样品池中，加入25.00 mL蒸馏水，搅拌摇匀，悬挂至检测台上，进行程序升温。在960 r/min的转速下，50 ℃平衡10 s后，转速下降并稳定至160 r/min，在此温度下继续平衡1 min，以4 ℃/s的速度升温至95 ℃保持2.5 min，经冷却水经过仪器内部进行降温至50 ℃。全程共13 min，经仪器配套软件进行分析后得到糊化特性结果，每组实验重复3次。

1.3.4 大黄米粉生面团动态流变学参数的测定

在面食类食品加工中，面团的加工品质起决定性作用，通过对面团流变性的研究，可以将面团分类确定为黏弹性体，即一类介于固体和液体食品间的具有弹性特性又有黏性特性的黏弹性体。其弹性模量值与黏性模量值的高低决定了其面团种类，流变学参数反映了大黄米生面团的加工性能，储能模量大于损耗模量时，面团形成以弹性为主的固态凝胶结构，这对黏豆包的加工是有利的，tanδ值反映了黏豆包生面团的黏弹性比值，比值越大，弹性越好，黏豆包的食用品质越佳。

流变学参数是反映面团黏性和弹性比例的重要衡量指标，采用流变仪对发酵不同时间大黄米生面团不同频率下的动态流变学参数进行测定。将1.3.2中未经蒸制的大黄米生面团切割成3 cm×3 cm×3 cm的小块静置20 min后用保鲜膜包裹擀制成厚度为2 mm左右的片状待测。选用PP50平板做为测试转子，在频扫温度：25 ℃；夹缝距离：1 mm；应力值：1%；线性黏弹区：0.5%；角频率范围：0～126 rad/s条件下测定样品的储能模量值（G'）与损耗模量值（G"），以及通过G"与G'比值计算损耗角正切值[17]。

1.3.5 黏豆包熟面团的质构测定

参照YE F Y等[18]的方法，将1.3.2制作的黏豆包熟面团切割成3 cm×3 cm×3 cm正方体面团，冷却10 min后采用质构仪测定黏豆包熟面团的硬度、黏性、弹性、咀嚼性和胶着

性。将P50探头在质构仪上安装，在仪器上进行参数设定后，对样品进行测定，测试结果取3次数据的平均值。质构仪参数设置见表1。

表1 黏豆包熟面团质构分析参数设置

Table 1 Parameter setting for texture analysis of Niandoubao cooked dough

指标	参数	指标	参数
探头	P50	测试距离/mm	10.000
目标模式	TPA	应变量/%	60
测定前速度/(mm•s^{-1})	2.00	时间/s	3.00
测定速度/(mm•s^{-1})	1.00	引发力/g	5.0
测后速度/(mm•s^{-1})	1.00	引发距离/mm	2.000

1.3.6 黏豆包的感官评定

参照张桂英等[19]方法，将1.3.2制作的200 g黏豆包生面团以每个20 g均分成10个小面团，将面团铺平添加红豆馅料，包裹成型，高温蒸煮10～15 min后冷却10 min进行感官评价。邀请20岁左右经培训后的食品研究人员男女各5人形成评价小组，小组人员要求味觉灵敏，熟悉黏豆包感官品质并清晰所设各指标的含义，本实验采取百分制法分别对黏豆包的黏度、弹性、硬度、外观、风味进行打分并计算最终得分，取平均值。黏豆包感官评价标准见表2。

表2 黏豆包熟面团感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standards of Niandoubao cooked dough

评分标准	评价标准		
	优	中	差
黏度(20分)	黏而不黏牙(20～15分)	黏却黏牙(15～10分)	不黏且黏牙(＜10分)
弹性(20分)	咀嚼时弹性较好(20～15分)	咀嚼时弹性较差(15～10分)	没有弹性(＜10分)
硬度(20分)	软硬适中(20～15分)	有些软或有些硬(15～10分)	过硬或过软(＜10分)
外观(20分)	气孔较少，表皮光滑，略有塌陷(20～15分)	气孔多，表皮不光滑，塌陷(15～10分)	气孔多，表皮开裂，塌陷(＜10分)
风味(20分)	有发酵香味，酸中带甜，口感适中(20～15分)	发酵香味稍弱，略酸(15～10分)	发酵香味弱，过酸(＜10分)

1.3.7 统计分析

采用Excel 2016、SPSS 20.0软件对数据统计分析，用Origin 8.5软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同自然发酵时间对大黄米粉的糊化特性的影响

大黄米粉随不同自然发酵时间糊化参数的变化情况见表3。

表3 不同自然发酵时间大黄米粉的糊化特性

Table 3 Gelatinization characteristics of glutinous millet power with different spontaneous fermentation time

发酵时间/d	峰值黏度/(mPa•s)	谷值黏度/(mPa•s)	崩解值/(mPa•s)	最终黏度/(mPa•s)	回升值/(mPa•s)	峰值时间/min	糊化温度/℃
0	612±10d	382±6d	230±5e	564±7d	182±13c	3.87±0.06b	77.50±0.00a
1	500±25e	180±6e	320±20d	290±9e	110±4d	3.89±0.03b	77.50±0.00a
2	1 208±39c	578±25c	630±21c	777±35c	199±11c	4.15±0.07a	77.48±0.07a
3	1 685±30b	802±32b	883±14b	1 075±37b	273±5b	4.29±0.03a	76.66±0.07a
4	2 127±41a	971±37a	1 156±29a	1 336±39a	365±3a	4.09±0.03a	76.60±0.05a

注：同列肩字母不同表示差异显著(P＜0.05)。

由表3可知，随着自然发酵时间在0～4 d内的延长，大黄米粉的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、回升值呈先下降再上升的趋势，而崩解值呈上升的趋势。其中，自然发酵1 d的大黄米粉各糊化黏度值显著低于其他几组(P＜0.05)，这可能由于自然发酵初期，在微生物的作用下大量产酸和少量蛋白酶，导致大黄米粉的蛋白发生变性和部分酶解，使蛋白结构伸展，更多的被蛋白包裹淀粉颗粒释放出来[20-21]。与此同时，淀粉在酸和部分淀粉酶作用发生水解，淀粉中支链淀粉部分脱支，直链淀粉含量增加，使淀粉结构无序化程度增加，因而导致体系黏度的下降[22-23]。随着自然发酵时间的进一步延长，淀粉结构无序化趋于稳定，吸水膨胀能力增强，淀粉颗粒体积增大。自然发酵2 d以后，大黄米粉各黏度值均显著上升(P＜0.05)，且发酵4 d的大黄米粉的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、崩解值和回升值较未发酵大黄米粉的分别提高了1 515 mPa•s、589 mPa•s、772 mPa•s、926 mPa•s、183 mPa•s，峰值时间有所增加，但是变化不显著(P＞0.05)，而糊化温度有所降低，当发酵时间为3 d时，变化趋势显著(P＜0.05)，说明自然发酵在一定程度上能改善大黄米粉的糊化特性。

从大黄米粉的糊化结果来说，自然发酵4 d时的黏度值较高，较高的黏度值可以使黏豆包的食用品质更好，黏性增加，更符合黏豆包的食用要求。而糊化温度降低而糊化时间延长，这说明发酵改变了淀粉糊化时水分渗透到淀粉颗粒内部的能力和水分扩散至内部的速度，水分子进入淀粉颗粒所需能量减少，所以糊化温度降低，发酵可能使被大分子物质包裹淀粉颗粒等外露，淀粉分子更多的被释放，且直链淀粉含量升高，使淀粉被糊化完全时间延长，导致达到峰值时间增加。综上，发酵4 d时的大黄米粉加工性能更好。

2.2 不同自然发酵时间对大黄米生面团的动态流变学特性的影响

不同自然发酵时间的大黄米粉生面团随频率扫描储能模量(G')、损耗模量(G")和损失正切值(tanδ)变化情况见图1。

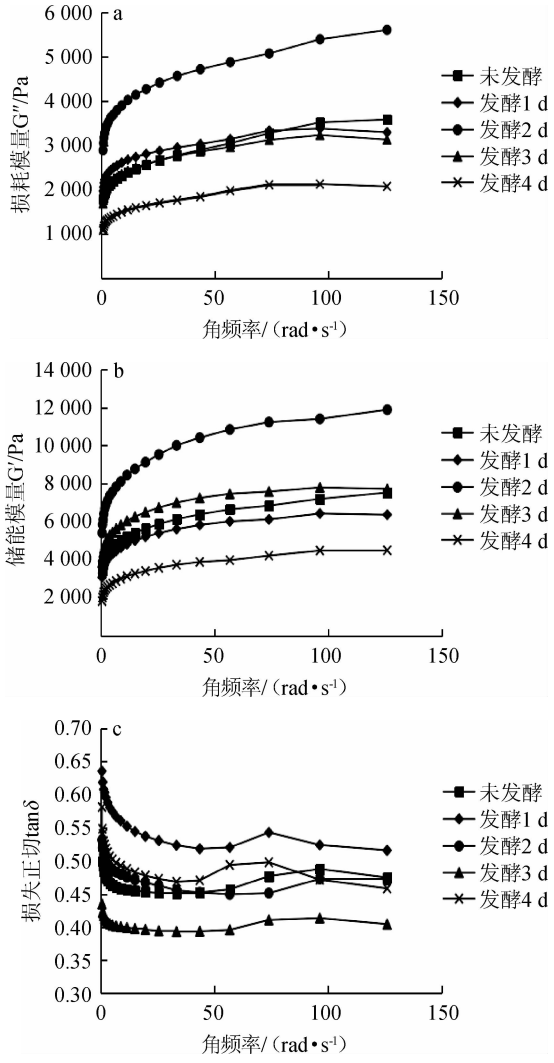


图1 不同自然发酵时间大黄米生面团随频率扫描损耗模量(a)、储能模量(b)及损失正切值(c)的变化

Fig. 1 Changes of loss modulus (a), energy storage modulus (b) and lost tangent value (c) of glutinous millet dough at different spontaneous fermentation time with frequency scanning

由图1a和1b可知,随着自然发酵时间的延长,大黄米生面团的储能模量和损耗模量均呈先增加再减小的趋势。发酵2 d的大黄米生面团的储能模量和损耗模量值最高;自然发酵1 d和4 d的储能模量和损耗模量略低于未发酵大黄米生面团;相同发酵时间和扫描频率下,储能模量大于损耗模量,因此,面团形成以弹性为主的固态凝胶结构。由图1c可知,所有大黄米生面团正切损失tanδ值均<1,说明面团形成的凝胶结构相对较弱,随着自然发酵时间的延长,正切损失tanδ值先降低后升高,说明自然发酵有利于凝胶结构的形成,赋予大黄米生面团较好的弹性[24]。这可能由于自然发酵过程中,酸性体系和部分微生物分泌的淀粉酶,对大黄米淀粉产生降解作用,支链淀粉部分脱支,支链化程度下降,直链淀粉含量虽然显著升高,但平均聚合度降低,使淀粉形成的凝胶结构易于形成且更加致密[25-26]。此外,微生物在发酵过程中的一些代谢产物如胞外多糖等也可能在一定程度上参与了凝胶结构的形成与稳定[27]。综上,自然发酵2 d的大黄米生面团流变学特性最佳。

2.3 不同自然发酵时间对大黄米黏豆包熟面团的质构的影响

以不同自然发酵时间大黄米为原料制成黏豆包生面团,经过蒸制获得黏豆包熟面团,不同自然发酵时间大黄米制作黏豆包熟面团的质构参数测定结果见表4。

由表4可知,自然发酵4 d时,与未发酵黏豆包熟面团相比,黏豆包熟面团的硬度、咀嚼性、胶着性均显著减小($P<0.05$),黏性、弹性显著增加($P<0.05$);自然发酵1 d时,黏豆包熟面团的咀嚼性数值高于未发酵,其他发酵天数黏豆包熟面团的硬度、胶着性和咀嚼性均低于未发酵黏豆包熟面团,黏性和弹性高于未发酵黏豆包熟面团,这与面团的流变趋势相近。这可能是因为支链淀粉与凝胶结构的形成密切相关,其含量越高,所形成的凝胶结构越为稳定[28]。黄米淀粉中含有较高含量的支链淀粉,在蒸制成熟的过程中,会加大形成凝胶的程度,形成致密的凝胶结构[29-30]。最终导致黏豆包熟面团的水分损失减少,降低黏豆包硬度,咀嚼性等质构特性。发酵4 d的粘豆包熟面团的硬度和胶着性较未发酵大黄米粉分别降低了628.73 gf、556.53 gf,黏性和弹性显著增加33.62 gf和0.05,表明发酵有利于促进黏豆包凝的胶网络体系的形成。

表4 不同自然发酵时间大黄米制作黏豆包熟面团的质构特性

Table 4 Texture characteristics of Niandoubao cooked dough made by glutinous millet with different spontaneous fermentation time

样品	硬度/gf	黏性/gf	弹性	咀嚼性/gf	胶着性/gf
SF0	949.33±118.13b	54.43±6.42d	0.51±0.03c	516.26±93.08b	996.62±127.82b
SF1	1 590.00±208.00a	67.90±4.95c	0.63±0.03a	1 132.04±199.49a	1 802.37±245.69a
SF2	548.00±16.00c	73.75±2.02c	0.62±0.02a	367.46±19.36d	591.98±10.85d
SF3	587.00±5.00c	83.89±0.91b	0.59±0.01ab	462.60±2.12c	667.37±3.16c
SF4	320.60±23.85d	88.05±11.77a	0.56±0.00b	515.66±41.26b	440.09±24.86d

2.4 不同自然发酵时间对大黄米黏豆包熟面团感官品质的影响

经发酵不同时间制作的黏豆包感官评分结果见表5。由表5可知，经自然发酵4 d黏豆包的感官评分最高，为92分。其余项目评分也均较高，表明自然发酵能改善黏豆包熟面团的食用感官品质。

表5 不同自然发酵时间对黏豆包熟面团感官品质的影响

Table 5 Effect of different spontaneous fermentation time on sensory quality of Niandoubao cooked dough

发酵时间/d	黏度/分	弹性/分	硬度/分	外观/分	风味/分	总分/分
0	16±1	17±1	12±1	14±2	17±1	76±4
1	16±1	17±1	15±1	16±1	18±2	82±4
2	17±1	18±1	15±1	16±2	18±1	84±2
3	18±1	18±1	17±1	17±1	19±11	89±3
4	18±1	19±1	18±1	18±1	19±2	92±4

3 结论

自然发酵大黄米粉的糊化特性较未发酵大黄米粉有了显著的改善，随着自然发酵时间在0～4 d内的延长，大黄米面团的黏弹性得到显著提升，有利于面团凝胶结构的进一步形成和稳定。与未发酵相比，大黄米经自然发酵4 d后，制得黏豆包熟面团的硬度、咀嚼性和胶着性均显著降低（$P<0.05$），黏性和弹性显著提高（$P<0.05$），使得黏豆包熟面团的食用感官品质显著改善，样品感官评分最高为92分。结果表明，发酵能改善大黄米粉加工性能，本研究为改良黏豆包传统加工工艺、提升产品品质提供理论依据。

参考文献：

[1] 闫晨静，周茜，董小涵，等. 河北省主要杂粮营养成分分析及评价[J]. 食品工业科技，2017，38(10)：351-355.

[2] 刘勇，姚惠源，王强. 黄米营养成分分析[J]. 食品工业科技，2006，27(2)：172-174.

[3] 郑楠楠. 谷子和黍子营养功能成分和抗氧化作用的差异化研究[D]. 天津：天津科技大学，2018.

[4] YOUSAF L, HOU D Z, LIAQAT H, et al. Millet: A review of its nutritional and functional changes during processing[J]. **Food Res Int**, 2021, 142(3): 110197.

[5] 林楠，肖瑜，杨新标，等. 麦芽糖对糯性谷物淀粉糊化和流变性质的影响[J]. 食品科学，42，42(10)：1-7.

[6] 张新杰. 东北地区传统粘豆包发酵面团的微生物多样性及其与理化性质的关系[D]. 哈尔滨：东北农业大学，2017.

[7] 段伟，吴月蛟，沈群. 黄米挂面品质改善研究[J]. 中国食品学报，2018，18(4)：162-168.

[8] 杨新标，郑明珠，任宇航，等. 基于亲水胶体改性和混料设计优化传统粘豆包的配方[J]. 食品安全质量检测学报，2019，10(20)：6837-6842.

[9] 姚笛，孙大庆，李洪飞. 东北粘豆包酸面团菌群多样性与自制酸面团中菌群变化规律的研究[J]. 现代食品科技，2015，31(5)：90-95.

[10] 李丽，曹龙奎. 自然发酵对黄米化学成分的影响研究[J]. 粮油加工，2010(4)：47-50.

[11] ADISA A M, IFESAN B O T, ENUJIUGHA V N. Microbiological and physicochemical properties of wholegrain millet sourdough breads[J]. **Int J Food Nutr Sci**, 2019, 4(2): 74-82.

[12] 韩雨茜，党雪文，郭鸽，等. 谷物基质对东北黏豆包质构及化学性质的影响[J]. 食品工业，2019，40(3)：168-172.

[13] 韩雨茜，芦淋，郭鸽. 不同原料组成对黏豆包酸面团的真菌菌群及流变学特性的影响[J]. 食品工业科技，2020，41(22)：109-116，127.

[14] 马佳歌，徐丽，倪春蕾，等. 乳酸菌对糯玉米黏豆包品质的影响[J]. 中国食品学报，2019，19(12)：161-169.

[15] BIAN X, CHEN J R, YANG Y, et al. Effects of fermentation on the structure and physical properties of glutinous proso millet starch[J]. **Food Hydrocoll**, 2022, 123: 107144.

[16] KONG X R, ZHU Z Y, ZHANG X J, et al. Effects of *Cordyceps* polysaccharides on pasting properties and *in vitro* starch digestibility of wheat starch[J]. **Food Hydrocoll**, 2020, 102: 105604.

[17] 罗其琪，顾丰颖，曹晶晶，等. 鼠李糖乳杆菌发酵对玉米粉、玉米面团理化特性及发糕品质的影响[J]. 食品科学，2018，39(18)：1-7.

[18] YE F Y, XIAO L, LIANG Y N, et al. Spontaneous fermentation tunes the physicochemical properties of sweet potato starch by modifying the structure of starch molecules[J]. **Carbohydr Polym**, 2019, 213: 79-88.

[19] 张桂英，朱静，张喜文，等. 小米发糕发酵剂中乳酸菌的筛选及其在小米发糕中的应用[J]. 中国粮油学报，2019，34(12)：78-86.

[20] 秦洋. 乳酸菌发酵改良玉米粉加工性能机理研究[D]. 沈阳：沈阳农业大学，2017.

[21] PARK J, SUNG J M, CHOI Y S, et al. Effect of natural fermentation on milled rice grains: Physicochemical and functional properties of rice flour[J]. **Food Hydrocoll**, 2020, 108: 106005.

[22] SILVA G L P, BENTO J A C, JÚNIOR M S S, et al. Trend of modification by autoclave at low pressure and by natural fermentation in sweet potato and cassava starches[J]. **Polysaccharides**, 2021, 2(2): 354-372.

[23] LI N N, ZHANG B J, ZHAO S M, et al. Influence of *Lactobacillus*/*Candida* fermentation on the starch structure of rice and the related noodle features[J]. **Int J Biol Macromol**, 2019, 121: 882-888.

[24] YUE Q H, LIU C, LI L M, et al. Effects of fermentation on the rheological characteristics of dough and the quality of steamed bread[J]. **J Food Process Pres**, 2019, 43(10): e14115.

[25] 宁婷婷. TMR发酵过程中微生物及其酶对淀粉及半纤维素降解的作用机理研究[D]. 北京：中国农业大学，2016.

[26] 张雨桐. 支链聚合度对菠萝蜜淀粉凝胶化和老化特性的影响研究[D]. 大庆：黑龙江八一农垦大学，2019.

[27] SEITTER M, FLEIG M, SCHMIDT H, et al. Effect of exopolysaccharides produced by *Lactobacillus sanfranciscensis* on the processing properties of wheat doughs[J]. **Eur Food Res Technol**, 2020, 246(2): 461-469.

[28] 孔露，孔茂竹，余佳熹，等. 藜麦淀粉消化特性与理化特性研究[J]. 食品科技，2019，44(4)：290-295.

[29] MATSUNAGA A, ISHIDA N, KAINUMA K. Degree of gelatinization of starch during the cooking process of rice[J]. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi**, 1985, 32(11): 797-803.

[30] 丁志理. 蒸制过程馒头坯变化规律研究[D]. 郑州：河南工业大学，2019.