

副干酪乳杆菌对小麦发酵面团流变特性与风味的影响

王立峰¹, 厉 珺¹, 徐斐然¹, 闫宇轩¹, 肖 香³, 王世杰⁴, 艾连中⁵, 王海鸥^{2*}

(¹南京财经大学食品科学与工程学院 江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心 南京 210023

²南京晓庄学院食品科学学院 南京 211171

³江苏大学食品与生物工程学院 江苏镇江 212013

⁴石家庄君乐宝乳业有限公司 石家庄 050221

⁵上海理工大学医疗器械与食品学院 上海 200093)

摘要 本研究针对小麦乳酸菌发酵型面团产品市场空缺及副干酪乳杆菌在食品工业中的应用,以高筋小麦粉、副干酪乳杆菌 N1115 与 N3117 为原料,采用 Mixolab 混合仪试验、旋转流变仪频率扫描试验、气相色谱-质谱联用(GC-MS)试验,测定小麦面团的黏度、流变学特性以及风味物质的组成及含量。结果表明,小麦面粉与 N1115、N3117 混合酵母发酵后形成的面团黏度处于正常范围,粉质曲线趋于稳定,面筋强度增加,加工特性优异;添加了 N1115 及 N3117 的小麦面团发酵后储能模量 G' 和损耗模量 G'' 降低,面筋蛋白弱化度增加,面团的流变学特性略有下降;通过气-质谱联用试验在 N1115 与酵母菌混合添加的小麦发酵面团中检测出 28 种风味物质,N3117 与酵母菌混合添加的小麦发酵面团中检测出 63 种风味物质,并且面团中酯含量大大提高,面团的香味更加浓郁。

关键词 小麦面团; 乳酸发酵; 副干酪乳杆菌; 流变学特性; 气质联用

文章编号 1009-7848(2021)07-0225-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2021.07.027

酸面团历史悠久且深受人们喜爱。酸面团主要是由小麦、水、乳酸菌或酵母菌经揉合后发酵制成。酸面团中的乳酸菌具有蛋白质水解活性,其蛋白质水解生成的氨基酸和小肽成分,可以改善面包的口感^[1-2]。酸面团还可以提高面包的品质和营养,延缓面包老化,延长保质期^[3-4]。国外对酸面团的研究主要集中在分离新型乳酸菌并探究其对酸面团品质的影响^[5]。相较于西方国家,我国对酸面团的研究较少,主要原因是酸面团对菌种要求高,发酵时间长,不易实现商品化^[6]。由于现代生活节奏快,市面上的面包大多为商业酵母发酵而成,这种酵母虽然发酵时间较短,但是制成的面包口味和品质都不及酸面团,因此选取一种稳定且益于人体健康的乳酸菌应用于酸面团研究,对于我国

面包行业具有一定指导意义。

在面团发酵过程中,微生物起到非常重要的作用。Mantzourani 等^[7]在面团中加入副干酪乳杆菌 K5 制成的酸面团芳香化合物多,品质好而且储藏时间长。Abedfar 等^[8]研究发现,在面团中添加乳酸菌 NR_104573.1 制成的面包不论是弹性还是咀嚼性都要明显好于对照组,酸面团的微观表现中也显示出良好的三维网状结构。Sun 等^[9]的研究发现,向面团中添加从泡菜中分离的乳酸菌后,面团的 G' 和 G'' 都显著增加,并表现出良好的黏弹性。Fujimoto 等^[10]研究发现乳酸菌种类以及乳酸菌与酵母菌的比例都可能对面包的香味及品质产生影响。

副干酪乳杆菌 N1115 和 N3117 (以下简称 N1115 和 N3117)耐酸、耐胆盐,是两种具有辅助降血脂和增强机体免疫力作用的菌株。本试验研究 N1115 和 N3117 对酸面团制作的适宜性。探究两种菌的添加比例及协同酵母发酵对小麦面团的流变特性及风味的影响,改良技术参数,以期得到最佳原料配比,提高面包的感官品质及风味特性,为乳酸菌发酵小麦面包生产加工工艺的优化提供理论依据。

收稿日期: 2020-07-16

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31871729);江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(18)3040);江苏省自然科学基金项目(BK20191408);江苏现代农业(小麦)产业技术体系建设项目(JATS[2020]468)

作者简介: 王立峰(1977—),男,博士,教授

通讯作者: 王海鸥 E-mail: 21649177@qq.com

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新良面包粉,新乡市新良粮油加工有限责任公司;吴香香高活性耐高糖干酵母,黑龙江九鼎酵母有限公司;副干酪乳杆菌 N1115、副干酪乳杆菌 N3117,石家庄君乐宝乳业有限公司。

Mixolab 混合试验仪,法国肖邦技术公司;醒发箱,北京东方孚德技术发展中心;旋转流变仪 MCR302,奥地利安东帕公司;LABCONCO 真空冷冻干燥机,北京照生行仪器设备有限公司;粉碎机,浙江屹立工贸有限公司;Agilent 7890A/5975C GC-MS 气质联用仪,安捷伦(Agilent)科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 小麦面团的制备流程 小麦面粉及菌粉→预处理→Mixolab 混合仪处理→醒发→发酵面团

1.2.2 小麦粉的水分含量测定 称取 50 g 小麦面粉,使用快速水分仪测定面粉的含水量,重复 3 次取平均值作为小麦面粉的含水量。

1.2.3 原料分组和菌粉添加比例设计 分别称取 43.68 g 小麦面粉,取一组作为对照,参照中种发酵法^[1]的原料配比制作种面团,小麦高筋面粉、水、糖、盐、起酥油按 100:60:2:5:3 的质量比配制,各菌粉的配比参照表 1,混合均匀,得到调制好的原料粉。酵母混合 N1115 记为 MixN1115,酵母混合 N3117 记为 MixN3117。

表 1 原料分组及成分配比

Table 1 Raw material group and composition ratio

试样编号	菌粉配制比例		
	酵母/%	N1115/%	N3117/%
对照	0.0	0.0	0.0
酵母 1%	1.0	0.0	0.0
酵母 2%	2.0	0.0	0.0
N1115 1%	0.0	1.0	0.0
N1115 2%	0.0	2.0	0.0
N3117 1%	0.0	0.0	1.0
N3117 2%	0.0	0.0	2.0
MixN1115 1%	0.5	0.5	0.0
MixN1115 2%	1.0	1.0	0.0
MixN3117 1%	0.5	0.0	0.5
MixN3117 2%	1.0	0.0	1.0

1.2.4 添加菌粉对面团揉混特性的影响 使用混合试验仪,对原料粉进行相同时间的加水搅拌。根据对照组结果,设定原料粉含水量 12.41%,吸水率 59.1%,在 20 °C 下搅拌 4 min,得到混合均匀的面团。测定搅拌过程中的扭矩大小,得到搅拌阻力随时间变化的粉质曲线,并记录面团形成时间和稳定时间。

1.2.5 面团的醒发 将混合均匀的面团置于 37 °C,相对湿度 85%的醒发箱中醒发 1 h,观察面团的发酵情况。

1.2.6 流变学特性测定 取一小块醒发好的面团样品置于流变仪检测台面进行流变学特性测定。选用 PP25 探针,在 25 °C、应变 $\gamma=1\%$ 的条件下,进行角频率 ω 在 $10^{-1}\sim 10$ rad/s 范围内的动态频率扫描,得到样品的动态频率扫描曲线。

1.2.7 冷冻干燥 将面团平铺在培养皿中放入-4 °C 冰箱里冷冻 12 h 后取出,放入真空冷冻干燥机中。在-20 °C 中干燥 24 h,得到冷冻干燥的小麦面团。将冷冻干燥后的小麦面团放入粉碎机中磨碎成均匀粉状固体,装入体积约为进样瓶容积 1/4 的粉状样品以备检测。

1.2.8 风味物质的组成及含量测定 运用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)对面团中风味物质的组成及含量进行测定,采用 HS-SPME-GC-MS 法^[12]。萃取头:50/30 μm ,DVB/Carboxen/PDMS。顶空条件:平衡温度 80 °C,平衡时间 20 min;活化温度 250 °C,活化时间 20 min;萃取时间 20 min;解吸温度 250 °C,解吸时间 5 min。气质条件:GC:HP-5MS 色谱柱(30 m \times 0.25 mm,0.25 μm),不分流进样;进样口温度 250 °C;检测器温度 250 °C;载气为 He,流速 1.0 mL/min;电子能量 70 eV;离子源温度 230 °C;四极杆温度 450 °C;升温程序:40 °C 保持 2.5 min,以 5 °C/min 的速率升至 200 °C 后,以 10 °C/min 升至 240 °C,保持 5 min。MS:电离方式 EI,电子能量 70 eV。离子源温度 230 °C,四极杆温度 250 °C。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 和 IBM SPSS Statistics 23.0 进行数据处理与分析,Origin 2019 进行相关图形的绘制。

2 结果与分析

2.1 小麦面团粉质曲线和揉混特性分析

N1115 和 N3117 对小麦面团粉质曲线的影响如图 1 所示。在小麦粉中添加了菌粉的各组面团的粉质曲线较对照组更加稳定, 即其加工稳定性优于对照组, 其中添加 N3117 和 MixN3117 的小麦面团的粉质曲线较其它试验组更加稳定。C1 为面筋形成最大化时的扭矩, 可以表示面粉的吸水能力和面团的最大稠度^[13-14]。由表 2 可知, 除单独添加 N1115 组外, 其余各组最大稠度都高于对照组, 其中酵母 1% 组和 MixN3117 2% 组面团的 C1 值较高, 面团表现出较高的稠度。形成时间即面团达到 C1 时所需的时间, 面筋越强, 所需时间越长。

酵母 2% 组, N3117 2% 组, MixN1115 2% 组, MixN3117 2% 组的形成时间明显长于其它各组, 不难发现当菌粉添加量增加时, 面筋强度也随之增强。由于 N1115 2% 组的形成时间只是略微高于 N1115 1% 组而 MixN1115 2% 组较 MixN1115 1% 组增加明显, 故 MixN1115 2% 组面筋强度的增强主要可归因于菌粉中的酵母, 因此较高添加量的酵母以及 N3117 可以增强面团的面筋强度。稳定时间表示小麦粉的耐搅拌特性, 添加了菌粉的面团稳定时间都低于对照组。万晶晶^[15]和苏雪倩^[16]的研究均指出, 酸性条件可以弱化面筋蛋白结构, 使面筋蛋白的溶解度增加从而破坏面团的稳定性, 缩短稳定时间。

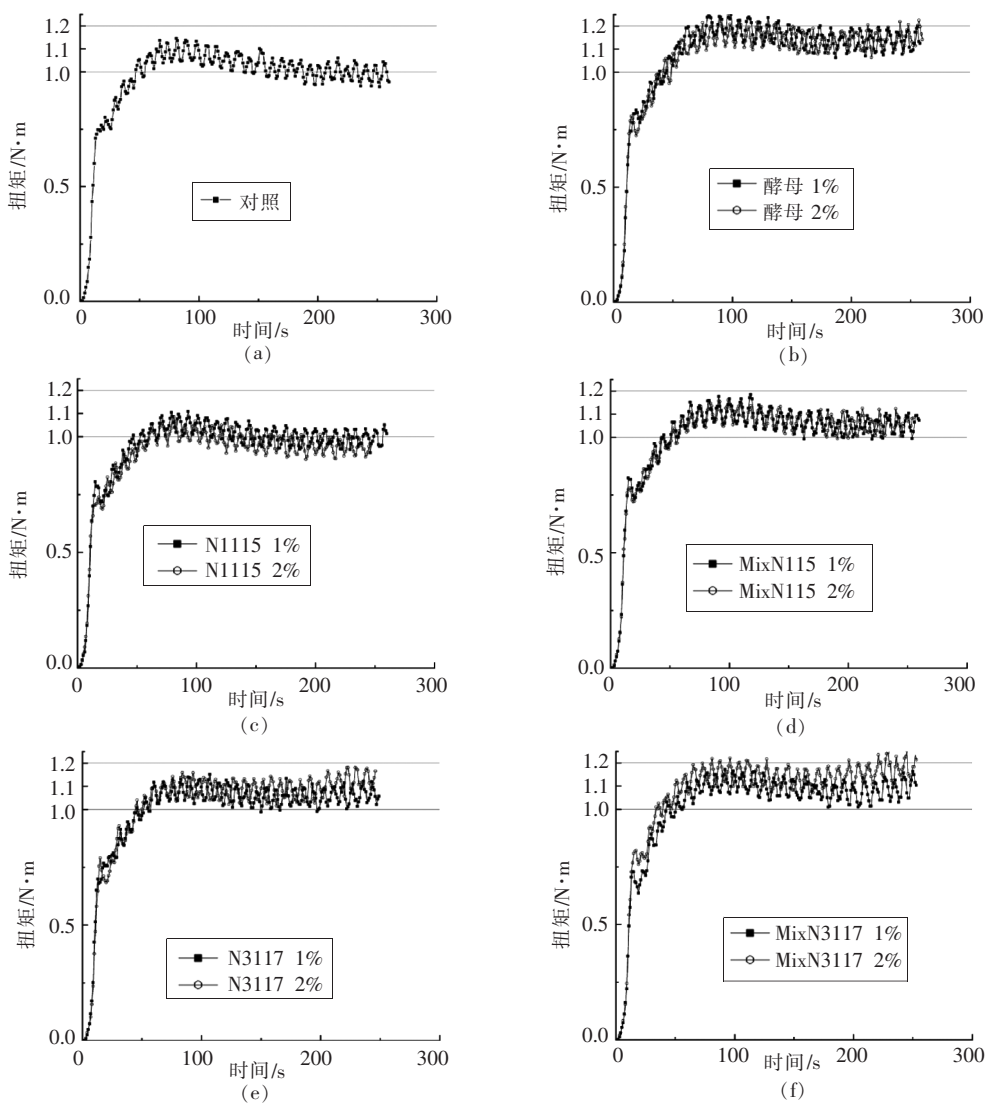


图 1 N1115 和 N3117 对小麦面团粉质曲线的影响

Fig.1 Effects of N1115 and N3117 on the farinograph of wheat dough

表2 N1115和N3117对小麦面团的揉混特性的影响
Table 2 Effects of N1115 and N3117 on the kneading and mixing characteristics of wheat dough

编号	扭矩(C_1)/ N·m	形成时间/ min	稳定时间/ min
对照	1.09	1.38	9.98
酵母 1%	1.21	1.5	3.25
酵母 2%	1.17	4.48	3.78
N1115 1%	1.06	1.45	3.55
N1115 2%	1.03	1.52	3.27
N3117 1%	1.09	1.53	3.27
N3117 2%	1.13	3.95	3.23
MixN1115 1%	1.12	1.85	3.55
MixN1115 2%	1.11	3.37	3.37
MixN3117 1%	1.13	1.67	3.25
MixN3117 2%	1.18	4.07	3.38

2.2 小麦面团流变学特性分析

面团是一种介于固体和液体之间的物质,面团的流变性质可以影响面团的最终品质。图2显示了添加不同菌粉小麦面团的动态流变情况。储能模量 G' 表示面团存储弹性能量的能力,损耗模量 G'' 表示黏性性质^[7]。所有面团的 G' 都大于 G'' ,且 G' 和 G'' 都随着频率的升高而增大,即所有面团都呈现出一种弹性大于黏性的流体特性,对面团的切块、整形加工工序有积极作用^[18-19]。随着 MixN1115 和 MixN3117 添加量的增加, G' 和 G'' 数值变小,说明面团的黏弹性减弱。这是由于低 pH 条件会对面团的三维网状结构产生负面影响,而 N1115 和 N3117 的发酵可产生乳酸等有机酸,激活了面团中的内源蛋白酶,使得蛋白质溶解性增加,从而降低了面筋网络的强度^[20]。MixN1115 1%组的 G' 和 G'' 最大,而 MixN1115 2%组 G' 和 G'' 的变化趋势比较复杂,先快速上升介于酵母组和 MixN3117 组之间而后上升缓慢变为最低,可能是因为酸面团是一个复杂的生态系统,不同的菌粉添加比例会对面团产生不同影响。N1115 的酸性较弱,当 MixN1115 添加量为 1%时,对面团黏弹性起主导作用的是菌粉中的酵母。而当 MixN1115 添加量为 2%时,酵母对黏弹性不再起主导作用,从而影响了 G' 和 G'' 。由于 N3117 的

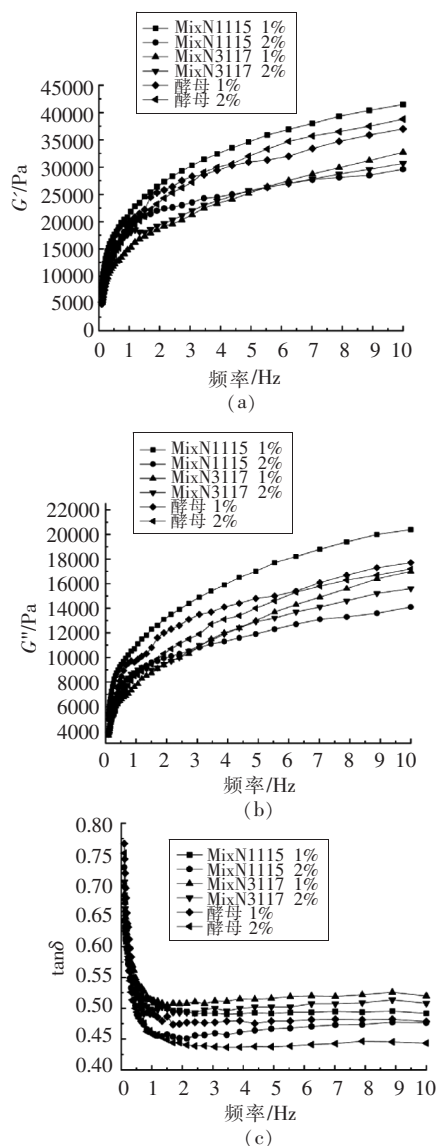


图2 N1115和N3117对小麦面团的流变特性的影响
Fig.2 Effects of N1115 and N3117 on the rheological properties of wheat dough

酸性较强,所以 MixN3117 组的 G' 和 G'' 一直处于较低水平。刘若诗^[21]研究表明有机酸会降低面团的黏弹性,尤其对高筋面粉制成的面团的黏弹性影响较大,侧面验证了 MixN1115 添加量增多可影响面团的黏弹性。

$\tan \delta = G''/G'$ 表示面团的黏弹性比例,与面筋蛋白弱化程度有关。 $\tan \delta$ 数值越大,面筋蛋白弱化越明显,面团表现出流体性质^[22]。由图 2c 可知,酵母 2% 组的面团弱化度最小,固体特性最明显。随着菌粉添加量的增多,其余各组面团的弱化度

都呈下降趋势,原因可能是商业酵母对面筋蛋白有积极的强化作用,混合菌粉中商业酵母添加量增多降低了面筋蛋白弱化度。MixN1115 组 $\tan \delta$ 值接近于酵母组,制成的面团也表现出和商业酵母发酵面团类似的硬度,易于加工成型。而 MixN3117 1%组的 $\tan \delta$ 值最大,面团的流动性较强,不易成型。吴玉新等^[23]的研究表明面团在酸性条件下会使面筋蛋白带正电荷,分子内斥力增加导致蛋白质展开,从而使弱化程度加剧。

2.3 小麦面团风味物质测定

对气-质谱联用仪测定结果中的风味物质评价价值进行筛选,筛选出评价价值 ≥ 80 的物质进行统计,统计结果见表 3。检测出的风味物质主要由醇类、酯类、烷烃、醛类、酮类、烯炔以及吡啶类化合物组成。各种芳香成分总量虽只占面团质量的 0.001%~0.01%,但对面团的风味有着重要影响,挥发性成分越复杂,香气成分越好^[24]。MixN3117 组面团中酯类物质占比例较大,达到 67.19%,较其它两组占比提升明显。MixN1115 组面团中醇类物质和烷烃类物质占比较大,分别为 38.96%和 39.03%。在酵母组面团中醇、烷烃以及吡啶类物质占比较大,分别为 36.86%,37%,15.18%。

由表 4 可知 3 种小麦面团共检测出 84 种风味物质,其中 MixN3117 组、MixN1115 组、酵母组分别检测出 63,28,29 种风味物质, MixN3117 组中风味物质的种类较其它两组增加明显,说明副干酪乳杆菌 N3117 发酵后的面团风味物质更加多样。在风味物质中,苯乙醇具有清甜的玫瑰样花香;正辛醇可以转化为正辛醛,正辛醛有很强的水果香味,在极低含量时有令人愉快的甜橙香气;2-乙基己醇是一种食用香料,多用于烘烤食品。该物质在 MixN1115 组和酵母组分别占 25.02%和

表 3 小麦面团评价价值 ≥ 80 的挥发性物质含量

Table 3 Volatile matter content of wheat dough with evaluation value ≥ 80

类别	相对含量/%		
	MixN3117	MixN1115	酵母
醇类	10.47	38.96	36.86
酯类	67.19	6.82	5.66
烷烃	15.14	39.03	37
醛类	2.08	9.15	1.94
酮类	0.58	-	1.03
烯炔	0.6	2.32	1.46
吡啶	-	2.99	15.18
其它	3.94	0.74	0.87

注:-, 未检测出该物质。

25.78%,而在 MixN3117 中只占 2.47%,说明 N3117 对该物质的生成有抑制作用;棕榈酸乙酯呈微弱蜡香,亚油酸乙酯是一种食品添加剂,这两种物质在 MixN3117 组中大量存在而其它两组中含量很少,说明 N3117 可促进这两种物质的生成;正庚醛有果子香气味,苯甲醛具有特殊的杏仁气味,两种物质在 MixN1115 组中较多说明 N1115 对这两种物质生成有促进作用;2-乙酰吡啶具有爆米花、坚果样的香气,还有烟草香气,该物质只在酵母组中占比较大,说明 N3117 和 N1115 对该物质的产生有抑制作用^[25-26];王丹等^[12]研究了不同菌种对小麦面团香味成分的影响,发现了乳酸菌种类不同,面团香味成分也有所差异。蒋慧等^[27]研究了乳酸菌混合酵母发酵后风味物质的种类,发现混菌发酵比单一酵母发酵面团香气物质种类多,且香味气息浓厚,与本试验 MixN3117 组结果一致。

表 4 小麦面团风味物质分析

Table 4 Analysis of flavor compounds in wheat dough

化合物名称	比例/%		
	MixN3117	MixN1115	酵母
醇类			
苯乙醇	4.64	4.37	5.46
2-乙基己醇	2.47	25.02	25.78
正辛醇	2.39	9.57	5.28
2,3-丁二醇	0.73	-	-
苯甲醇	0.24	-	-
叔十六硫醇	-	-	0.35

(续表 4)

化合物名称	比例/%		
	MixN3117	MixN1115	酵母
酯类			
棕榈酸乙酯	27.50	0.46	1.22
亚油酸乙酯	18.85	-	-
9-十八烯酸乙酯	7.18	-	-
9-十六碳烯酸乙酯	5.76	-	-
正癸酸乙酯	2.89	-	3.59
月桂酸乙酯	1.55	-	0.60
肉豆蔻酸乙酯	0.97	-	-
十五酸乙酯	0.32	-	-
五氟丙酸三十二酯	0.38	-	-
五氟丙酸十六碳酯	0.13	-	-
五氟丙酸十八碳酯	0.14	0.51	-
亚硫酸,2-丙基十四酯	0.23	-	-
己二酸二乙基己基酯	0.30	-	-
壬酸乙酯	0.24	-	-
硬脂酸乙酯	0.18	-	-
正己酸乙酯	0.17	-	-
9-顺式,11-反式十八二烯酸乙酯	0.16	-	-
9-顺式,11-反式癸二烯酸甲酯	0.12	-	-
十四酸乙酯	0.12	-	-
七氟丁酸十一酯	-	2.95	-
五氟哌酸十三酯	-	1.50	-
五氟丙酸癸酯	-	1.41	-
亚油酸乙酯	-	-	0.25
烷烃			
十二碳烷	0.78	15.18	12.75
正十四烷	1.88	7.43	5.21
2,6-二甲基癸烷	0.94	4.64	-
十甲基环五硅氧烷	1.09	2.08	1.84
9-甲基十九烷	0.20	1.79	1.06
正十一烷	-	1.77	1.13
环十四烷	0.40	1.47	-
正十六烷	1.39	1.28	0.98
正四十四烷	0.49	1.04	-
3-亚甲基十三烷	-	1.01	-
正癸烷	-	0.58	-
正十五烷	0.71	0.49	0.45
正十七烷	0.76	0.26	0.77
正十三烷	-	-	3.09
2-甲基十四烷	-	-	3.00
环十二烷	-	-	2.44
1-甲基-7-氧杂双环庚烷	0.33	-	1.68
正二十八烷	-	-	1.15
壬基环戊烷	-	-	0.86
8-己基十五烷	-	-	0.58
2-溴十二烷	0.47	-	-
癸基环戊烷	0.38	-	-
八甲基环四硅氧烷	2.96	-	-

(续表 4)

化合物名称	比例/%		
	MixN3117	MixN1115	酵母
六甲基环三硅氧烷	0.16	-	-
正二十烷	0.20	-	-
正二十一烷	0.10	-	-
7,9-二甲基十六烷	0.22	-	-
环烷	0.46	-	-
正十九烷	0.22	-	-
正十八烷	0.34	-	-
氯代十八烷	0.19	-	-
4-甲基十五烷	0.37	-	-
1,54-二溴-五十四烷	0.09	-	-
醛类			
正庚醛	-	4.67	-
苯甲醛	0.48	4.48	1.94
反式-2-壬烯醛	1.10	-	-
癸醛	0.51	-	-
烯烃			
1-十四碳烯	0.35	0.58	0.80
香树烯	-	-	0.66
1-十二烯	0.16	-	-
1-十八碳烯	0.09	-	-
长叶烯	-	0.86	-
7-十四碳烯	-	0.88	-
酮类			
甲基壬基甲酮	0.15	-	-
香叶基丙酮	0.43	-	1.03
吡啶			
2-乙酰基吡啶	-	2.99	15.18
其它			
三氯壬基酯乙酸	1.37	-	-
2,6-二叔丁基对甲苯酚	1.28	-	-
甲氧基苯脲	0.29	-	-
2,3,5,6-四甲基吡嗪	-	-	0.87
十四烷基丁酯亚硫酸	0.21	-	-
六十九酸	0.41	-	-
辛酸银	0.25	-	-
1-十八烷基磺酰氯	-	0.74	-
1-氯-1,1-二氟甲氧基-4-硝基苯	0.14	-	-

3 结论

本试验研究了副干酪乳杆菌对小麦面团的粉质特性、流变学特性及芳香物质组成及含量的影响。当 N1115 与酵母共同添加时,面团黏度好,面筋蛋白网状结构可以稳定存在,且较为细密,面团的加工特性增强,然而风味物质种类未得到明显提升;当 N3117 与酵母共同使用时,面团黏度总体

处于正常范围,面筋蛋白网状结构较好,检测出的风味物质种类也最多,共 63 种,面团的甜香气味更加浓郁。本试验为酵母和副干酪乳杆菌共发酵小麦面团产品的加工生产工艺奠定了理论基础,一定程度上解决了目前面包风味口感单一,营养成分不够全面的问题,推动了营养健康型小麦面团发酵食品的进一步研究和发展。

参 考 文 献

- [1] 李晶, 穆晓婷, 鲁绯. 麦芽糖淀粉酶对面包品质及面团特性的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 74-78, 85.
- [2] GOCMEN D, GURBUZ O, KUMRAL A Y, et al. The effects of wheat sourdough on glutenin patterns, dough rheology and bread properties [J]. European Food Research and Technology, 2007, 225 (5/6): 821-830.
- [3] CAVALLO N, ANGELIS M D, CALASSO M, et al. Microbial cell-free extracts affect the biochemical characteristics and sensorial quality of sourdough bread[J]. Food Chemistry, 2017, 237(15): 159-168.
- [4] CORSETTI A, SETTANNI L. *Lactobacilli* in sourdough fermentation[J]. Food Research International, 2007, 40(5): 539-558.
- [5] GOBBETTI M, ANGELIS M D, CAGNO R D, et al. Novel insights on the functional/nutritional features of the sourdough fermentation[J]. International Journal of Food Microbiology, 2019, 302: 103-113.
- [6] 陈迪, 程强, 邵常青, 等. 冷冻冻藏条件对酸面团中乳酸菌活力的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(4): 52-58.
- [7] MANTZOURANI I, PLESSAS S, ODATZIDOU M, et al. Effect of a novel *Lactobacillus paracasei* starter on sourdough bread quality[J]. Food Chemistry, 2019, 271: 259-265.
- [8] ABEDFAR A, HOSSEININEZHAD M, CORSETTI A. Effect of wheat bran sourdough with exopolysaccharide producing *Lactobacillus plantarum* (NR_104573. 1) on quality of pan bread during shelf life [J]. LWT, 2019, 111: 158-166.
- [9] SUN L, LI X, ZHANG Y, et al. A novel lactic acid bacterium for improving the quality and shelf life of whole wheat bread[J]. Food Control, 2020, 109: 106914.
- [10] FUJIMOTO A, ITO K, NARUSHIMA N, et al. Identification of lactic acid bacteria and yeasts, and characterization of food components of sourdoughs used in Japanese bakeries[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2019, 127(5): 575-581.
- [11] 张强涛, 丁卫星, 贾祥祥. 应用中种发酵法对汉堡进行实验室制作及评价[J]. 现代面粉工业, 2015, 29(6): 18-22.
- [12] 王丹, 张岚, 王佳鑫, 等. HS-SPME-GC-MS 法分析发酵过程中荞麦和小麦面团香气成分变化[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 207-217.
- [13] MAKTOUF S, JEDDOU K B, MOULIS C, et al. Evaluation of dough rheological properties and bread texture of pearl millet-wheat flour mix[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(4): 2061-2066.
- [14] MOZA J, GUJRAL H S. Mixolab, retrogradation and digestibility behavior of chapatti made from hull-less barley flours [J]. Journal of Cereal Science, 2018, 79: 383-389.
- [15] 万晶晶. 乳酸菌发酵影响燕麦酸面团面包烘焙特性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011.
- [16] 苏雪倩. 有机酸对面包品质的影响及其机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
- [17] OLOJEDE A O, SANNI A I, BANWO K. Rheological, textural and nutritional properties of gluten-free sourdough made with functionally important lactic acid bacteria and yeast from Nigerian sorghum [J]. LWT, 2020, 120: 108875.
- [18] 张国治, 王慧洁, 刘忠思, 等. 小麦面筋蛋白的组成、功能特性及产业化应用[J]. 粮食加工, 2019, 44(3): 1-4.
- [19] 王立, 周若昕, 李言, 等. 不同加工方式对面筋蛋白的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(9): 1-10.
- [20] 庄靓, 张宾乐, 马子琳, 等. 产乳化活性多糖乳酸菌的筛选及其发酵荞麦酸面团、面包的特性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(13): 71-77.
- [21] 刘若诗. 乳酸菌酸面团发酵剂的制备及其发酵烘焙特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2010.
- [22] 王佳玉, 陈凤莲, 汤晓智. 木聚糖酶对全麦面团特性的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(9): 7-13.
- [23] 吴玉新, 陈佳芳, 马子琳, 等. 乳酸菌发酵米粉酸面团生化特性及其对馒头蒸制特性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(6): 64-71.
- [24] 刘娜, 程晓燕, 孙银凤, 等. GC-MS 分析传统酸面团馒头风味及添加食用碱对其风味的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(16): 76-81.
- [25] PÉTEL C, ONNO B, PROST C. Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 59: 105-123.

- [26] 何晓赟. 乳酸菌发酵类型对老酵馒头风味特性的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2016. 克汉姆酵母混菌发酵荞麦酸面团馒头的香气物质特征[J]. 食品工业科技, 2018, 39(15): 234-241.
- [27] 蒋慧, 吴玉新, 庄靓, 等. 融合魏斯氏菌和异常威

Effects of *Lactobacillus paracasei* on Rheological Properties and Flavor of Wheat Fermented Dough

Wang Lifeng¹, Li Jun¹, Xu Feiran¹, Yan Yuxuan¹, Xiao Xiang³, Wang Shijie⁴, Ai Lianzhong⁵, Wang Haiou^{2*}

¹College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics, Collaborative Innovation Center for Modern Grain Circulation and Safety, Nanjing 210023

²School of Food Science, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing 211171

³College of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu

⁴Shijiazhuang Junlebao Dairy Co., Ltd., Shijiazhuang 050221

⁵School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093)

Abstract This study aimed at the market vacancy of wheat *Lactobacillus* fermented dough and the application of *Lactobacillus paracasei* in food industry. Using high gluten wheat flour, *Lactobacillus paracasei* N1115 and N3117 as raw materials, the viscosity, rheological properties and flavor substances of wheat dough were determined by Mixolab mixing experiment, rotational rheometer frequency scanning experiment and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that the dough viscosity of wheat flour fermented with N1115 and N3117 mixed yeast was in the normal range, the farinograph tended to be stable, the gluten strength increased, and the processing characteristics were excellent. When N1115 and N3117 were added to wheat dough, the storage modulus G' and loss modulus G'' decreased, the weakening degree of gluten protein increased, and the rheological properties of dough decreased slightly. Through the GC-MS test, 28 flavor substances were detected in the wheat fermented dough mixed with N1115 and yeast, and 63 flavor substances were detected in the wheat fermented dough mixed with N3117 and yeast, and the content of ester in the dough was greatly increased, the flavor of the dough was more rich.

Keywords wheat dough; lactic acid fermentation; *Lactobacillus paracasei*; rheological properties; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)