

发酵麸皮混合物对面包品质的影响

王小平¹, 雷 激^{1,*}, 刘 刚², 孙曼兮¹, 叶 丹¹, 陈丽娟¹

(1. 西华大学食品与生物工程学院, 四川 成都 610039;

2. 四川省食品药品检验检测院(东区食品中心), 四川 成都 610000)

摘 要: 为改善麸皮面包的品质, 增加麸皮的利用率, 本实验应用甜酒曲联合酵母发酵麸皮、黄豆和花生的混合物, 得到发酵麸皮混合物。以面粉+发酵麸皮混合物总量为100 g (面粉90 g、发酵麸皮混合物10 g) 计, 制备发酵麸皮混合物面包(简称发酵麸皮面包), 以普通面包、麸皮面包及添加黄豆、花生混合物的非麸皮添加物面包为对照, 对这几种面包的品质、风味物质及抗氧化活性进行分析。结果表明: 黄豆、花生的添加能够起到提升面包风味的作用; 发酵麸皮混合物的添加可以改善麸皮面包的品质, 其感官评分、弹性、硬度和色差 L 、 b 值极显著优于麸皮面包($P < 0.01$), 而与普通面包比较没有显著差异($P > 0.05$); 与3种对照面包样品比较, 发酵麸皮面包的醇类、酯类和醛类等风味成分种类较多, 且分布均匀, 而且还检测出其特有的风味物质, 分别为吡嗪类、呋喃类、乙基酯类; 发酵麸皮面包的多酚、黄酮含量以及抗氧化活性指标也均最高。综上, 发酵麸皮混合物能够改善麸皮面包的品质, 并提高面包的抗氧化活性。

关键词: 麸皮; 发酵; 麸皮面包; 品质

Effect of Fermented Mixture of Wheat Bran, Soybean Flour and Peanut Flour on Bread Quality

WANG Xiaoping¹, LEI Ji^{1,*}, LIU Gang², SUN Manxi¹, YE Dan¹, CHEN Lijuan¹

(1. School of Food and Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, China;

2. Sichuan Institute for Food and Drug Control (East Food Center), Chengdu 610000, China)

Abstract: A mixture of wheat bran, soybean flour and peanut flour (WSPM) was fermented by Rice Leaven, a rice wine starter culture manufactured by Angle Yeast Co. Ltd., and then added to wheat flour at a mass ratio of 1:9 for the production of bread with improved quality and enhanced wheat bran utilization. Bread supplemented with the fermented mixture was evaluated for sensory quality, flavor compounds and antioxidant properties in comparison with ordinary bread and breads supplemented with unfermented bran or an unfermented mixture of soybean and peanut flour. The results showed that the addition of soybean and peanut could improve the flavor of bread. The addition of fermented WSPM significantly improved the quality of bread supplemented with bran as indicated by significantly higher sensory scores, springiness, hardness and color L and b values ($P < 0.01$), while no significant difference was observed in comparison with ordinary bread ($P > 0.05$). More alcohols, esters and aldehydes were detected which were evenly distributed in bread compared with three control breads. Furthermore, some flavor compounds including pyrazines, furans and ethyl esters were uniquely detected from bread supplemented with fermented WSPM, which was high in polyphenols and flavonoids levels with increased antioxidant properties. In conclusion, the addition of fermented WSPM can improve the quality and antioxidant activity of bread.

Key words: wheat bran; fermentation; wheat bran-supplemented bread; quality

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201715024

中图分类号: TS210.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2017)15-0147-06

引文格式:

王小平, 雷激, 刘刚, 等. 发酵麸皮混合物对面包品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 147-152. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201715024. <http://www.spkx.net.cn>

WANG Xiaoping, LEI Ji, LIU Gang, et al. Effect of fermented mixture of wheat bran, soybean flour and peanut flour on bread quality[J]. Food Science, 2017, 38(15): 147-152. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201715024. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2016-07-11

基金项目: 四川省科技厅支撑项目(2014NZ0078); 四川省科技厅扶贫专项(2016NZYZF0028);

西华大学人才基金项目(R0910507); 四川省食品生物技术高校重点实验室项目(川教2006-313)

作者简介: 王小平(1990—), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品科学。E-mail: 1213193763@qq.com

*通信作者: 雷激(1966—), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品科学。E-mail: 121175698@qq.com

小麦麸皮是小麦磨粉过程中的主要副产物,麸皮量占小麦消费量的20%以上,据不完全统计,我国麸皮的年产量可达2 000万t^[1]。小麦麸皮除含有丰富的膳食纤维外,还含有大量的高活性天然抗氧化物质,如多酚、黄酮等^[2-3],是一种极具营养价值的副产物,但由于麸皮口感粗糙,难以食用或在食品中应用会严重影响其品质等问题,绝大部分被当作饲料使用,目前食品领域对麸皮的综合利用远远不足,利用率不到20%^[4-5]。麸皮面包是在普通面包原料中加入了麸皮或者采用全麦粉制作而成,但市售麸皮面包存在硬度偏大、质地粗糙、口感不佳等问题,导致消费量受到限制^[6]。

目前国内外有很多关于麸皮发酵的研究报道,陈洪伟等^[7]从酒糟中筛选出一株酵母菌,将它接种于麸皮培养基上进行固态发酵,发现发酵产物中的粗蛋白含量提高了33.93%,发酵产物无不良气味,且略带醇香;杨旭等^[8]将曲霉、纳豆芽孢杆菌、酿酒酵母和粪链球菌进行混菌固态发酵麸皮,结果发现,发酵麸皮中有益菌总数达到 10^9 CFU/g,粗蛋白含量(绝干)由16.10%提高为20.97%,粗纤维含量由10.50%降低为5.32%,产品有很浓郁的酸香味;Moore等^[9]采用酵母对麸皮进行固态发酵,发现发酵产物抗氧化活性得到显著提高,蛋白质也提升了11%~12%。研究者还发现,麸皮经乳酸菌或酵母菌发酵后,可溶性阿拉伯木聚糖和总酚含量增加、抗氧化活性提高、植酸含量下降、麸皮加工特性得到改善^[10-12]。麸皮发酵的研究报道虽然较多,但将其应用到具体产品中的很少。

甜酒曲的主要活性成分是根霉,它富含淀粉酶,能将淀粉转化为纯度较高的葡萄糖。酵母可以利用可发酵性糖对其进行发酵,产生乙醇等产物。小麦麸皮除富含膳食纤维外,还含有大量的淀粉,因此小麦麸皮可以满足甜酒曲联合酵母发酵的原料要求。花生是一种广受消费者欢迎的食品,特别是在焙烤过程中产生的特殊风味成分——2-甲基吡嗪和二甲基吡嗪的异构体^[13],是吸引消费者的最主要原因;黄豆经微生物发酵后,会产生非常丰富的挥发性物质,如醇类、酯类,构成了发酵产品特殊的风味^[14],但将花生与黄豆用于面包中的报道很少。因此,本研究将花生和黄豆混合物发酵后添加入麸皮面包中,旨在研究发酵麸皮混合物对面包品质的影响,探讨发酵麸皮混合物能否提升麸皮面包的品质,为改善麸皮面包品质提供理论依据,为提高麸皮综合利用率提供新的途径。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

麸皮 四川巴中龙头食品有限公司;黄豆、花生

(粒饱满、大小均一、无霉烂和虫蛀) 均为市售;高筋面粉 蛇口南顺面粉有限公司;高活性干酵母、甜酒曲 安琪酵母股份有限公司;其他材料均为市售。

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)(分析纯) 日本TCI公司;铁氰化钾(分析纯) 天津博迪化工股份有限公司;三氯化铁(分析纯)、三氯乙酸(分析纯) 成都市科龙化工试剂厂;芦丁标准品(纯度为99.5%) 中国食品药品检定研究院;其他常用化学试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

HK-02A万能粉碎机 厦门旭朗机械设备有限公司;BS-1E恒温振荡器 苏州威尔实验用品有限公司;KWS1523-307/ILP电烤箱 中山市格兰仕生活电器制造有限公司;TA-XT2i型质构仪 英国Stable Micro System有限公司;固相微萃取手动进样手柄、75 μ m CAR/PDMS萃取头 美国Supelco公司;气相色谱-质谱联用仪 美国Finnigan公司;UV2800紫外-可见分光光度计 上海舜宇恒平科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 发酵麸皮混合物的制备流程

麸皮粉碎(28 000 r/min, 3 min)→过40目分样筛→100 g麸皮筛下物(经测定筛下物粗淀粉百分比增加10%~20%)→加入水250 mL、黄豆粉10 g、炒熟的花生(去红衣)粉30 g,混合均匀→高温处理(121 $^{\circ}$ C, 10 min)→加入高活性干酵母1 g、甜酒曲3 g混合均匀→发酵(25 $^{\circ}$ C、60 h)→烘干(60 $^{\circ}$ C, 水分含量低于10%)→粉碎(28 000 r/min, 2 min)→过40目分样筛→获得发酵麸皮混合物

1.3.2 面包制备

普通面包制作按GB/T14611—2008《粮油检验 小麦粉面包烘焙品质试验 直接发酵法》^[15]中的方法,冷却后封口包装。

用1.3.1节得到的发酵麸皮混合物替代部分面粉(面粉90 g、发酵麸皮混合物10 g),其他配料及制备工艺与普通面包一致,制备发酵麸皮混合物面包,简称发酵麸皮面包。

用粉碎并过40目分样筛的麸皮替代部分面粉(面粉90 g、麸皮10 g),其他配料及制备工艺与普通面包一致,制备麸皮面包。

为研究黄豆粉、炒熟花生粉对面包感官品质的影响,用黄豆粉、炒熟花生粉质量比为1:3的混合物替代部分面粉(面粉90 g,混合物10 g),其他配料及制备工艺与普通面包一致,制备非麸皮添加物的面包,简称非麸皮面包。

1.3.3 面包感官评价

参考GB/T 14612—2008《粮油检验 小麦粉面包烘焙

品质试验 中种发酵法》^[16]对面包感官品质进行评定, 由8人组成的评分小组根据: 面包的形态(15分)、色泽(15分)、气味(20分)、口感(20分)、内部结构(15分)和纹理均匀度(15分)内容进行评定, 评分标准见表1。

表1 面包感官评分标准
Table 1 Criteria for sensory evaluation of bread

项目	分值	评分标准
形态	15	形态规则, 对称性好
色泽	15	色泽均匀, 呈金黄色
气味	20	浓郁香味, 无异味
口感	20	口感细腻, 不黏牙, 有筋力
内部结构	15	面包芯细腻平滑, 柔软而富有弹性
纹理均匀度	15	面包芯气孔细密、均匀, 孔壁薄

1.3.4 面包比容测定

采用小米替代法测定面包体积, 面包在室温条件下冷却1 h后, 测定其质量与体积, 按下式计算比容(P):

$$P = \frac{V}{m}$$

式中: P 面包比容/(mL/g); V 面包体积/mL; m 面包质量/g。

1.3.5 面包质构测定

采用Rouillé等^[17]的方法, 并进行一定的调整。参数设定为: 探头型号为P/36, 测试前速率1.0 mm/s, 测试速率3.0 mm/s, 测试后速率3.0 mm/s, 压缩程度50%, 感应力5 g, 2次压缩间隔时间1 s。面包冷却2 h后, 用面包切片机将面包切成厚度为20 mm薄片, 置于探头下测定, 同一样品测试8次, 取平均值。

1.3.6 面包色差测定

利用DC-P3新型全自动测色色差计对面包色差 L 、 b 值进行测定, 其中 L 值表示亮度(0=黑色, 100=白色), b 值表示黄蓝色度($-b$ =蓝色, $+b$ =黄色)。

1.3.7 面包风味物质测定

参考文献[18]采用固相微萃取与气相色谱-质谱联用法进行测定分析。

1.3.8 面包抗氧化活性测定

参考文献[19]。抗氧化物质提取: 将干燥后的面包粉碎(28 000 r/min, 6 min), 称取2 g粉碎的面包粉于离心管, 加入40 mL体积分数为80%的丙酮溶液, 振摇2 h后离心(2 800×g, 10 min), 取上清液, 重复提取2次, 合并上清液, 用体积分数为80%丙酮溶液定容至100 mL, 即得面包抗氧化物质粗提液。多酚含量的测定: 粗提液采用Folin-Ciocalteu比色法测定多酚含量, 以焦性没食子酸为参照标准品。黄酮含量的测定: 粗提液采用NaNO₂-Al(NO₃)₃法测定黄酮含量, 以芦丁为参照标准品。

粗提液参考文献[9,19-20]进行抗氧化能力的测定: 样品的抗氧化能力以VC为参照标准品, 即样品抗氧化能

力以100 g干基中相当于VC的毫克数表示(mg/100 g); DPPH自由基清除能力参照文献[19]进行测定; ABTS⁺·清除能力参照文献[9]进行测定; 总还原力参照文献[20]进行测定。

1.4 数据分析

各组实验数据重复3~8次, 所测数据均以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 采用SPSS 19.0统计软件进行统计分析, Microsoft Excel 2007软件绘制图表。

2 结果与分析

2.1 面包品质

面包品质采用主客观联合法进行评价。感官评价是通过视觉、嗅觉、触觉、味觉和听觉等感官知觉对产品品质进行主观评价的方法, 能够直接反映出人群对产品的喜爱程度, 但感官评分存在信息交流、定量表达和科学再现性的问题, 因此结合客观评价对面包品质进行评价更科学^[21]。面包比容反映面包体积膨胀程度及保持能力, 其直接影响到面包成品的外形、口感、组织; 质构仪TPA测试的弹性和硬度能够很好地反映面包的柔软度、组织结构、表皮质地。在一定范围内硬度与面包品质呈负相关, 数值越大, 面包吃起来越硬, 缺乏弹性、绵软、爽口的感觉; 在一定范围内弹性值与面包品质呈正相关, 数值越大, 面包吃起来越柔软不筋道, 爽口不黏牙; 在一定范围内色差 L 、 b 值较大时, 面包的颜色越好^[22-23]。

表2 不同面包感官评分
Table 2 Sensory scores of different bread samples

面包类型	形态	色泽	气味	口感	内部结构	纹理均匀度	总分
普通面包	14.2±0.2	13.9±0.2	17.6±0.3	18.8±0.2	14.5±0.1	14.6±0.3	93.6±1.0
发酵麸皮面包	13.5±0.1*	14.2±0.3	18.3±0.1*	18.3±0.2	13.2±0.2*	14.0±0.3	91.5±0.9
麸皮面包	12.4±0.3*	13.7±0.1	15.7±0.1**	16.5±0.4*	13.1±0.4*	13.9±0.2*	85.3±2.2**
非麸皮面包	14.0±0.1	14.1±0.3	18.9±0.5*	19.0±0.3	14.2±0.2	14.4±0.2	94.6±1.3

注: *, 与普通面包相比差异显著($P<0.05$); **, 与普通面包相比差异极显著($P<0.01$)。下同。

表3 不同种类面包的品质比较
Table 3 Quality characteristics of different bread samples

面包类型	比容/(mL/g)	硬度/g	弹性	L	b
普通面包	4.1±0.1	563.4±7.5	0.91±0.01	82.3±1.4	24.7±1.1
发酵麸皮面包	3.9±0.1*	624.3±8.9	0.89±0.01*	71.6±4.6	22.6±1.6
麸皮面包	3.5±0.1**	979.3±73.3**	0.79±0.01**	74.1±1.0**	17.1±1.1**
非麸皮面包	4.0±0.2	589.9±65.9	0.85±0.02	80.9±3.5	23.9±0.8

由表2、3可知, 非麸皮面包与普通面包品质相当, 其感官评分、比容及色差 L 、 b 值都较高, 而硬度较低, 这说明添加发酵麸皮混合物或单一麸皮都会对面包品质产生影响, 但前者对面包品质影响远小于后者。非麸皮面包与普通面包相比, 除前者有明显的特殊芳香味, 各项感官指标及品质的差异不显著

($P>0.05$)，说明添加黄豆和炒熟花生对面包风味有较大的提升；发酵麸皮面包与普通面包相比，只有比容和弹性的差异有统计学意义($P<0.05$)，而其他品质指标都没有($P>0.05$)；而麸皮面包与普通面包相对比，所有品质指标都达到了极显著差异($P<0.01$)，由此可知，发酵麸皮混合物替代麸皮制备麸皮面包可以显著提升麸皮面包的品质($P<0.05$)，这是因为小麦麸皮经发酵处理后，质地变细，更加蓬松、松散，口感更细腻，同时小麦麸皮经预发酵处理后吸收了水分而软化，对面筋网络结构的破坏减弱，从而使麸皮面包品质得到了提升^[24]；另一方面，小麦麸皮经微生物作用，其中部分膳食纤维被降解，对面筋蛋白网络结构的破坏也减弱^[25-27]，因此，添加发酵麸皮混合物后麸皮面包的品质得以改善。

2.2 面包风味物质分析

表4 不同种类面包的风味物质
Table 4 Flavor components detected in different bread samples

保留 时间/min	化合物名称	相对含量/%			
		普通面包	麸皮面包	非麸皮面包	发酵麸皮面包
醇类					
2.070	乙醇 ethanol	36.05	42.49	20.4	48.21
2.803	异丁醇 isobutyl alcohol	4.94	—	5.39	—
4.216	异戊醇 isoamyl alcohol	15.85	18.29	2.60	4.22
5.186	2,3-丁二醇 2,3-butanedio	1.30	0.83	15.91	2.96
5.390	1,5-己二醇 1,5-hexanediol	3.65	—	—	—
7.071	正己醇 1-hexanol	—	1.52	1.57	5.61
9.741	庚醇 heptan-1-ol	0.34	—	—	—
9.761	2-庚醇 2-heptanol	—	0.95	—	0.46
10.051	1-壬烯-3-醇 1-nonen-3-ol	—	0.34	—	—
12.572	正辛醇 capryl alcohol	0.33	0.27	—	0.23
12.716	2-甲基-1-丁醇 2-methyl-1-butanol	0.05	—	20.28	—
13.033	叔丁醇 tert-butanol	—	0.01	—	—
13.363	芳樟醇 linalool	1.76	2.14	—	1.01
13.778	苯乙醇 phenethyl alcohol	2.72	2.18	—	3.37
14.176	1,3-二氧杂烷-2-甲醇 2-hydroxymethyl-1,3-dioxolane	—	—	—	0.05
14.827	顺-3-壬烯-1-醇 cis-3-nonen-1-ol	—	0.38	—	0.23
16.690	2,4-二甲基-3-戊醇 2,4-dimethyl-3-pentanol	—	—	—	0.01
17.874	乙氯戊烯醇 1-chloro-3-ethyl-1-penten-4-yl-3-ol	—	—	—	0.01
18.534	3-甲基-1,5-戊二醇 3-methyl-1,5-pentanediol	—	—	0.35	—
32.031	1,3-二氧戊环-2,2-乙醇 2,2'-(1,3-dioxolane-2,2-diyl) diethanol	—	—	0.01	—
醇类总和		66.99	69.40	66.51	66.37
酯类					
5.267	碳酸二乙酯 diethyl carbonate	—	—	—	0.18
5.634	乙酸乙烯酯 vinyl acetate	—	—	0.11	—
5.666	乙酸丁酯 butyl acetate	1.74	—	—	—
7.097	氯甲酸正己酯 hexyl chloroformate	—	—	—	3.08
10.053	三甲基乙酸己酯 3,3,5-trimethyl-, acetate, cis-cyclohexano	—	—	—	0.29
10.518	正己酸乙酯 ethyl caproate	1.14	1.44	1.03	2.02
12.719	2-溴丙酸-N-丁酯 2-bromopropionic acid butyl ester	—	—	0.02	0.04
14.683	4-氧代戊酸戊酯 pentyl 4-oxovalerate	—	0.01	—	0.01
15.888	辛酸乙酯 ethyl caprylate	1.09	1.74	1.17	4.45
16.195	顺-3-己烯醇丙酮酸酯 2-oxo-, 3-hexenylester, (Z)-propanoicaci	—	0.05	—	—

续表4

保留 时间/min	化合物名称	相对含量/%			
		普通面包	麸皮面包	非麸皮面包	发酵麸皮面包
20.814	月桂酸乙酯 ethyl laurate	—	—	0.14	0.13
21.312	异硫氰酸环己酯 cyclohexane isothiocyanate	—	—	0.06	—
24.767	硫代丙酸糠酯 furfuryl thiopropionate	—	—	0.01	—
25.892	丙烯酸-2,3-环氧丙酯 1-propanol, 2,3-epoxy-, acrylate	0.02	—	—	—
30.035	甲基磷酸二异丁酯 diisobutylmethylphosphonate	—	—	0.09	—
39.467	邻苯二甲酸二-(2-乙基己)酯 bis (2-ethylhexyl) phthalate	0.16	—	—	—
酯类总和		4.15	3.24	2.63	10.20
酸类					
2.745	醋酸 acetic acid	1.71	—	—	—
6.508	异戊酸 isovaleric acid	—	—	—	0.05
7.656	2,5-二甲苯磺酸 2,5-dimethylbenzenesulfonic acid dihydrate	—	0.94	—	—
13.248	3-氨基-4-甲基戊酸 3-amino-4-methylpentanoic acid	—	0.04	0.01	0.06
13.31	4-羟基丁酸 4-hydroxybutanoate	—	—	0.25	—
15.292	苯甲酰甲酸 benzoylformic acid	0.10	—	—	—
酸类总和		1.81	0.98	0.26	0.11
醛类					
4.265	乙醛 acetaldehyde	—	—	0.01	—
5.423	正己醛 caproaldehyde	—	7.47	—	4.03
6.833	4-(羧基)-3-甲氧基-2-硝基苯甲醛 benzaldehyde, 3-methoxy-2-nitro-4-(phenylmethoxy)	—	0.06	0.07	0.04
7.893	庚醛 heptaldehyde	0.39	2.29	0.33	0.83
9.600	苯甲醛 benzaldehyde	0.39	0.44	—	0.40
10.668	正辛醛 octanal	0.28	0.26	—	0.29
11.876	苯乙醛 phenylacetaldehyde	0.20	—	—	0.52
13.095	2,3-二甲基戊醛 2,3-dimethyl-valeraldehyd	—	0.05	—	0.05
13.482	壬醛 1-nonanal	1.01	0.97	—	0.83
16.196	癸醛 decanal	0.20	—	—	0.09
醛类总和		2.47	11.54	0.41	7.08
酮类					
3.838	3-羟基-2-丁酮 3-hydroxy-2-butanone	3.15	4.09	12.95	5.62
5.886	2,3-丁二酮 2,3-butanedione	—	—	0.42	—
10.144	甲基庚烯酮 6-methyl-5-hepten-2-one	1.68	2.52	—	1.24
11.332	对甲基苯乙酮 4'-methylacetophenone	—	—	0.15	0.18
11.700	环丁基甲基酮 1-cyclobutylethanone	0.03	—	—	—
20.257	2,3-庚烷二酮 2,3-heptanedione	0.02	0.06	—	—
22.030	环丙甲基酮 cyclopropyl methyl ketone	0.03	—	—	—
23.069	2,2-二甲基己酮 2,2-dimethyl-3-hexanone	—	—	—	0.01
23.709	7-甲氧基-8-[(3-甲基-2-丁烯-1-基)氧基]-2H-1- 苯并吡喃-2-酮 isoxanthohumol	—	0.02	—	—
24.011	1-乙酰氧基-2-丁酮 2-oxobutyl acetate	0.01	—	—	—
24.837	3,4-己二酮 3,4-hexanedione	0.03	—	—	0.01
酮类总和		4.95	6.69	13.52	7.06
其他					
3.551	氯代异丁烷 isobutyl chloride	0.03	—	—	—
3.581	2-甲基丁烷 2-methylbutane	—	0.02	—	—
3.600	乙丙二硫 2,2-bis(ethylsulfonyl) propane	—	—	—	0.14
5.081	乙胺 ethylamine	0.01	—	—	—
6.736	N-羟基乙胺 N-hydroxyacetamide	—	—	—	0.04
6.855	4-羧基-1-硝基苯 4-nitrophenylbenzyl ether	—	—	—	0.05
6.920	1-苯氧基-2-甲基-3-硝基苯 1-(benzyloxy)-2-methyl-3-nitrobenzene	0.11	—	—	—
7.077	己基甲氧基 hexyl carbonochloridoate	4.01	—	—	—
7.657	环辛四烯 1,3,5,7-cyclooctatetraene	1.26	—	—	0.81
6.664	3,3-二甲基氧杂环丁烷 1,3-epoxy-2,2-dimethyl-propan	—	—	2.34	—
8.280	2,5-二甲基吡嗪 2,5-dimethyl pyrazine	—	—	0.26	0.11
9.428	2,2-二甲基丁烷 2,2-dimethylbutane	0.09	0.17	—	0.04
10.294	2-正戊基呋喃 2-pentylfuran	0.45	0.88	0.47	2.53

续表4

保留 时间/min	化合物名称	相对含量/%			
		普通面包	麸皮面包	非麸皮面包	发酵麸皮面包
10.858	正丁基缩水甘油醚 butyl glycidyl ether	—	—	0.50	—
11.028	1,4-桉叶素 1,4-cineole	0.12	0.20	—	0.05
11.050	去甲基利吉林 nordeprenyl	—	—	0.77	—
11.367	环庚烷 cycloheptan	—	—	0.67	—
11.383	4,4-二甲基-1-戊烯 4,4-dimethyl-pent-1-ene	—	0.06	—	—
11.443	(+)-柠檬烯 cinene	—	—	—	2.27
11.483	3-壬炔 3-nonyne	—	0.49	—	—
11.892	螺[2.4]庚-4,6-二烯 spiro[2.4]heptane-4,6-diene	—	0.13	—	—
12.125	异戊酸酐 butanoic acid, 3-methyl-, anhydride	—	0.12	—	—
12.161	丁酸酐 butyric anhydride	—	0.07	0.10	—
12.562	1,3,5,7-环辛四烯 1,3,5,7-cyclooctatetraene	—	—	0.28	—
12.750	2-甲基-2-硝基丙烷 2-methyl-2-nitropropane	—	0.02	—	—
12.927	2,3,5,6-四甲基吡嗪 tetramethylpyrazine	—	—	0.39	0.27
13.990	倍他唑 betazole	—	0.24	—	0.01
14.100	氮丙啶 ethyleneimine	0.01	0.07	—	—
14.174	1,3-二氧戊环 1,3-dioxolane	—	0.11	—	—
15.042	敌螨普 dinocap	—	—	0.01	—
15.092	2-硝基丙烷 2-nitropropane	0.01	—	—	0.01
15.233	二叔丁基过氧化物 di-tert-butyl peroxide	—	0.01	—	—
15.270	3,3-二甲基戊二酸酐 3,3-dimethyladipic anhydride	—	0.04	—	—
15.293	3,7-二甲基-1-辛烯 3,7-dimethyloct-1-ene	—	—	—	0.12
16.012	3,3-二甲基庚烷 3,3-dimethylheptane	0.10	—	—	—
16.325	2-甲氧基呋喃 2-methoxyfuran	—	—	0.08	0.05
16.326	2-(1,1-二甲基乙基)环己酮 2-(1,1-dimethylethyl)-cyclohexanone	0.09	—	—	—
16.419	叔丁基苯 tert-butylbenzene	—	—	0.08	—
20.964	1-碘壬烷 1-iodononane	0.30	0.02	—	0.05
23.889	2-(硫代甲基)乙胺 2-(methylthio)ethanamine	—	0.03	—	0.01
29.409	正三十一烷 untriacontane	—	—	0.05	—
29.750	2-庚基-1,3-二氧戊环 2-heptyl-[1,3]dioxolane	0.02	0.01	0.01	—
31.308	对特辛基苯酚 4-tert-octylphenol	—	—	0.03	—
	其他总和	6.61	2.69	5.32	6.56

注：—未检测出。

由表4可知，普通面包、麸皮面包、非麸皮面包及发酵麸皮面包分别检测出44种（86.98%）、46种（94.54%）、39种（89.37%）、52种风味化合物（97.38%）。4种面包都能检测到的风味化合物有8种，其为：乙醇、异戊醇、2,3-丁二醇、正己酸乙酯、辛酸乙酯、庚醛、3-羟基-2-丁酮、2-正戊基呋喃。普通面包、麸皮面包、非麸皮面包、发酵麸皮面包都能检测到的醇类的相对含量分为66.99%、69.40%、66.51%、66.37%，即4种面包都能检测到的醇类占了各自风味化合物含量的50%以上，此结果与感官评定结果一样，即4种面包主要是以面包特有的醇香味为主。

不同的面包，其具体的风味物质种类及含量均有差异。普通面包风味化合物中，醇类10种（66.99%）、酯类5种（4.15%）、酸类2种（1.81%）、醛类6种（2.47%）、酮类7种（4.95%）；麸皮面包风味化合物中，醇类11种（69.40%）、酯类4种（3.24%）、酸类2种（0.98%）、醛类7种（11.54%）、酮类4种（6.69%）；非麸皮面包中，醇类8种（66.51%）、

酯类8种（2.63%）、酸类2种（0.26%）、醛类3种（0.41%）、酮类3种（13.52%）；发酵麸皮面包风味化合物中，醇类12种（66.37%）、酯类8种（10.20%）、酸类2种（0.11%）、醛类9种（7.08%）、酮类5种（7.06%）。由此可见，发酵麸皮面包风味化合物中醇类、酯类和醛类的种类较多，且分布也比较平均，使发酵麸皮面包的味道更柔和，一方面是因为麸皮经过前期发酵形成大量醇类、酸类，再经过高温烘烤等工艺后，进一步氧化成醛类或酯化为酯类^[24]；另一方面，由于混合原料中的蛋白质、淀粉等大分子物质经微生物酶水解后，经过复杂的生物化学、化学反应，产生各种氨基酸和多种低分子物质，如乙醇、乙醛、乙酸、乳酸等^[14]，构成了产品的特殊风味。此外，非麸皮面包和发酵麸皮面包检测出两者特有的一些风味化合物，包括吡嗪类、呋喃类、乙基酯类等化合物，这是因为花生经美拉德反应会产生中间产物吡嗪类化合物^[13]，黄豆含有呋喃类、乙基酯类等芳香化合物^[14]，因此面包中添加黄豆及炒熟花生粉可以增加面包中的芳香化合物种类，即可以起到提升面包风味的作用，此结果与感官评定结果一致；黄豆与炒熟花生粉混合在麸皮中使黄豆与炒熟花生能被菌曲利用^[28-29]，产生更多的芳香化合物，对改善麸皮面包风味起到了积极作用。

2.3 面包抗氧化活性

表5 不同面包抗氧化物质含量及活性
Table 5 Phenolic and flavonoid contents and antioxidant properties of different bread samples

面包类型	多酚含量/ (mg/100 g)	黄酮含量/ (mg/100 g)	DPPH自由基清除 能力/(mg/100 g)	ABTS ⁺ 清除 能力/(mg/100 g)	总还原力/ (mg/100 g)
普通面包	45.5±1.3	61.4±1.1	41.4±0.6	37.3±0.6	15.6±0.8
发酵麸皮面包	80.3±2.5**	98.7±1.3**	64.9±3.2**	66.6±2.4**	29.4±2.1**
麸皮面包	64.0±1.1**	80.7±3.0**	56.8±1.0**	60.6±1.7**	17.4±1.0

多酚及黄酮类化合物是天然的抗氧化剂，可以通过清除自由基，络合金属离子，作用于体内抗氧化酶，再生及协同增效体内抗氧化剂和提高机体免疫力等多种方式直接和间接实现抗氧化作用。研究发现，麸皮中含有大量的多酚及黄酮类化合物^[2]，可以作为增强面包抗氧化能力的辅料。

为研究麸皮的添加对面包的抗氧化活性的影响，将添加了麸皮的面包与普通面包进行抗氧化活性比较，由表5可知，添加麸皮和发酵麸皮混合物都会显著提升面包的抗氧化活性，其中发酵麸皮混合物的提升能力强于麸皮，即3种面包的抗氧化活性由强到弱顺序为：发酵麸皮面包、麸皮面包、普通面包。发酵麸皮面包多酚与黄酮含量为80.3、98.7 mg/100 g，分别是普通面包的1.76、1.61倍，而麸皮面包多酚与黄酮含量仅是普通面包的1.41、1.31倍。发酵麸皮面包的所有抗氧化活性指标不但极显著高于普通面包（ $P<0.01$ ），而且也高于麸皮面

包,这是由于发酵过程中微生物会产生各种降解细胞壁的酶,使小麦麸皮中的酚酸从细胞壁中释放出来,且酵母是产生能够释放酚酸酶的有效微生物^[24,30],故经发酵处理后,面包中多酚、黄酮含量及抗氧化活性都显著提高。

3 结 论

发酵麸皮面包各项感官指标均显著优于麸皮面包($P<0.05$),发酵麸皮面包的感官评分、硬度和色差 L 、 b 值与普通面包没有显著差异($P<0.05$)。添加发酵麸皮混合物后,面包风味物质的种类及含量都增加,其中醇类和酯类最为明显,这些物质的增加有助于面包特有风味的形成。同时,发酵麸皮面包的抗氧化活性明显提升,其多酚与黄酮含量分别是普通面包的1.76、1.61倍。综上所述,发酵麸皮混合物的添加可以改善麸皮面包的品质及提升面包的抗氧化活性,可以作为面包的一种重要辅料进行添加。

参考文献:

- [1] 包成龙,许晓燕,刘博文.小麦麸皮营养成分和综合利用[J].粮食与油脂,2014,27(8):58-60. DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2014.08.016.
- [2] APPRICH S, TIRPANALAN Ö, HELL J, et al. Wheat bran-based biorefinery 2: valorization of products[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 56(2): 222-231. DOI:10.1016/j.lwt.2013.12.003.
- [3] MATEO A N, HEMERY Y M, BAST A, et al. Optimizing the bioactive potential of wheat bran by processing[J]. Food and Function, 2012, 3(4): 362-375. DOI:10.1039/c2fo10241b.
- [4] 郭祯祥,李利民,温纪平.小麦麸皮的开发与利用[J].粮食与饲料工业,2003(6):43-45. DOI:10.3969/j.issn.1003-6202.2003.06.011.
- [5] 林琳.小麦麸皮的营养成分及其开发利用[J].农业科技与装备,2010(3):41-42. DOI:10.3969/j.issn.1674-1161.2010.03.014.
- [6] 严晓鹏,王璋,许时婴.酶制剂对于麸皮面包的改良研究[J].食品工业科技,2007,28(1):206-209. DOI:10.3969/j.issn.1002-0306.2007.01.068.
- [7] 陈洪伟,叶淑红,王际辉,等.混菌固态发酵麸皮制备蛋白饲料的研究[J].中国酿造,2011,30(6):74-77. DOI:10.3969/j.issn.0254-5071.2011.06.020.
- [8] 杨旭,薛永亮,李浪.微生物混合发酵提高麸皮营养价值的研究[J].中国酿造,2011,30(3):113-115. DOI:10.3969/j.issn.0254-5071.2011.03.034.
- [9] MOORE J, CHENG Zhihong, HAO Junjie, et al. Effects of solid-state yeast treatment on the antioxidant properties and protein and fiber compositions of common hard wheat bran[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(25): 10173-10182. DOI:10.1021/jf071590o.
- [10] KATINA K, LAITILA A, JUVONEN R, et al. Bran fermentation as a means to enhance technological properties and bioactivity of rye[J]. Food Microbiology, 2007, 24(2): 175-186. DOI:10.1016/j.fm.2006.07.012.
- [11] KATINA K, SALMENKALLIO-MARTTILA M, PARTANEN R, et al. Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread[J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, 39(5): 479-491. DOI:10.1016/j.lwt.2005.03.013.
- [12] POUTANEN K, FLANDER L, KATINA K. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective[J]. Food Microbiology, 2009, 26(7): 693-699. DOI:10.1016/j.fm.2009.07.011.
- [13] 乐仁思,王世平.美拉德反应对焙烤花生特征风味形成的影响[J].食品科技,2011,36(3):76-80. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2011.03.058.
- [14] 汪立君,李里特,齐藤昌义,等.大豆发酵食品风味物质的研究[J].食品科学,2004,25(增刊1):68-71. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2004.z1.015.
- [15] 国家质量监督检验检疫总局.粮油检验 小麦粉面包烘焙品质试验直接发酵法:GB/T 14611—2008[S].北京:中国标准出版社,2008:1-3.
- [16] 国家质量监督检验检疫总局.粮油检验 小麦粉面包烘焙品质试验中种发酵法:GB/T 14612—2008[S].北京:中国标准出版社,2008:4-5.
- [17] ROUILLE J, VALLE G D, LEFEBVRE J, et al. Shear and extensional properties of bread doughs affected by their minor components[J]. Journal of Cereal Science, 2005, 42(1): 45-57. DOI:10.1016/j.jcs.2004.12.008.
- [18] 张薇,程晓燕,黄卫宁,等.含天然酵母粉发酵面包的营养与老化特性及风味化合物特征[J].食品科学,2014,35(23):33-38. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201423007.
- [19] CHLOPICKA J, PASKO P, GORINSTEIN S, et al. Total phenolic and total flavonoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of pseudocereal breads[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 46(2): 548-555. DOI:10.1016/j.lwt.2011.11.009.
- [20] 黄仁术,胡晓梦,何惠利.大别山野葛根异黄酮超声辅助提取工艺的响应面优化与还原力测定[J].中国药学杂志,2015,50(1):51-57. DOI:10.11669/cpj.2015.01.013.
- [21] 赵镭,刘文,汪厚银.食品感官评价指标体系建立的一般原则与方法[J].中国食品学报,2008,8(3):121-124. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2008.03.022.
- [22] 楚炎沛,刘伟森.面包品质评价体系的研究进展[J].粮油食品科技,2010(2):7-9. DOI:10.3969/j.issn.1007-7561.2010.02.003.
- [23] 孙彩玲,田纪春,张永祥.仪器分析在实验室面包评价中的应用[J].实验技术与管理,2011,28(10):56-58. DOI:10.3969/j.issn.1002-4956.2011.10.016.
- [24] 崔晨晓.麸皮的发酵改性及其在馒头中的应用[D].无锡:江南大学,2015:20-33.
- [25] CODA R, KÄRKI I, NORDLUND E, et al. Influence of particle size on bioprocess induced changes on technological functionality of wheat bran[J]. Food Microbiology, 2014, 37(7): 69-77. DOI:10.1016/j.fm.2013.05.011.
- [26] KIM Y, HUANG W N, ZHU H Y, et al. Spontaneous sourdough processing of Chinese Northern-style steamed breads and their volatile compounds[J]. Food Chemistry, 2009, 114(2): 685-692. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.10.008.
- [27] SALMENKALLIO-MARTTILA M, KATINA K, AUTIO K. Effects of bran fermentation on quality and microstructure of high-fiber wheat bread[J]. Cereal Chemistry, 2001, 78(4): 429-435. DOI:10.1094/CCHEM.2001.78.4.429.
- [28] 宋昊,郑玉芝.黄豆豆渣发酵产物中挥发性风味化合物成分分析[J].食品科学,2016,37(10):176-182. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610030.
- [29] 齐凤元,李欢欢,杨利,等.响应面法优化花生纳豆的发酵工艺[J].中国粮油学报,2012,27(10):87-97. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2012.10.018.
- [30] BILGIÇLI N, ELGÜN A, HERKEN E N, et al. Effect of wheat germ/bran addition on the chemical, nutritional and sensory quality of tarhana, a fermented wheat flour-yoghurt product[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(3): 680-686. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2005.07.030.