

膨化玉米复合粉配方优化及挥发性风味物质分析

Formula optimization and volatile flavor substance analysis of extruded corn flour composite powder

刘小琴¹ 叶 阳¹ 曾德玉¹ 杨振刚² 林凤梅²

LIU Xiaoqin¹ YE Yang¹ ZENG Deyu¹ YANG Zhengang² LIN Fengmei²

(1. 四川轻化工大学生物工程学院, 四川 宜宾 644005; 2. 四川省旌晶食品有限公司, 四川 德阳 618000)

(1. College of Bioengineering, Sichuan University of Science and Technology, Yibin, Sichuan 644005, China;

2. Sichuan Jingjing Foodstuff Co., Ltd., Deyang, Sichuan 618000, China)

摘要:目的:通过复配改善膨化玉米粉的风味及冲调性。

方法:采用D-最优混料设计,向膨化玉米粉中加入不同比例的膨化小米粉、炒制红米粉、膨化大米粉和膨化黑米粉,从冲调结块率、黏度、感官评分、挥发性风味物质变化等角度对复合粉进行分析评价,并利用气相质谱技术分析不同样品的香味成分。**结果:**复合粉的配方为膨化玉米粉50.8%、膨化小米粉8.8%、炒制红米粉0.5%、膨化大米粉19.9%、膨化黑米粉20.0%。较单一膨化玉米粉而言,复合粉结块率降低为0.52%、黏度升高为2 880 mPa·s,感官评分87.84分,冲调性能得到极大的改善。复配后的膨化玉米粉具有青香和更浓的坚果香,风味物质增多,其中醛类物质增加最为明显。**结论:**复配后的膨化玉米粉冲调品质得到改善,挥发性风味物质增加。

关键词:D-最优混料设计;膨化玉米粉;冲调特性;顶空固相微萃取;挥发性风味物质

Abstract: Objective: This study aimed to improve the flavor and solubility of extruded corn flour by compounding. **Methods:** D-optimal mixture design was used to add different proportions of puffed millet flour, fried red rice flour, puffed rice flour, and puffed black rice flour, into puffed corn flour. The composite powder was analyzed and evaluated from the perspectives of caking rate, viscosity, sensory score, and volatile flavor

substance changes. The aroma components of different samples were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry.

Results: The formula of compound powder was as follows: expanded corn flour 50.8%, expanded millet flour 8.8%, fried red rice flour 0.5%, expanded rice flour 19.9%, and expanded black rice flour 20.0%. Compared with the single extruded corn flour, the caking rate of the composite powder was reduced to 0.52%, the viscosity was increased to 2 880 mPa·s, the sensory score was 87.84 points, and the blending performance was also significantly improved. The flavor substances in the compounded extruded corn flour, such as a green aroma and a nut aroma was increased. To be noticed, the increasing of aldehydes is the most obvious. **Conclusion:** The quality of the compounded extruded corn flour was improved, and the volatile flavor substances were increased.

Keywords: D-optimal mixture design; expanded corn flour; brew characteristic; headspace solid phase microextraction; volatile flavor compounds

玉米是世界三大谷物之一,玉米粉是玉米经干法加工后的产品^[1-2],但口感粗糙,黏性差,而经挤压膨化和复配后的玉米粉,风味独特、口感细腻^[3],且食用方便、营养丰富。目前,膨化米粉类冲调制品谷物种类单一、冲调性能不稳定,而利用多种谷物粉复配既可增加产品种类的多样性,提高营养和加工性能,也可改善冲调粉易结块、黏性不好等问题。对此,已有研究^[4]表明,复合膨化粉与单一膨化粉相比,冲调分散性、溶解度等冲调特性得到改善。张园园等^[5]用橘皮粉、荞麦粉、脱脂奶粉、木糖醇等进行复配制得的代餐粉,结块率低,稠度适中。崔琳琳等^[6]以多种杂粮为原料进行挤压膨化,改善了复合粉

基金项目:四川省科技厅重点研发项目(编号:2021YFN0023);德阳市科技局项目(编号:2019CK096);四川轻化工大学研究生创新基金项目(编号:y2022089)

作者简介:刘小琴,女,四川轻化工大学在读硕士研究生。

通信作者:叶阳(1982—),女,四川轻化工大学副教授,博士。

E-mail: suse_yeyang223@163.com

收稿日期:2022-12-12 **改回日期:**2023-05-14

的冲调性,更易于人体吸收。胡秋辉等^[7]研制的膨化蛹虫草复合谷物,其风味物质增多,营养特性得到提高。然而,对复合粉的研究目前多集中在熟化处理^[8]、共挤压方式^[9-10]以及干燥方法^[11-12]的研究上,而对复合前后冲调粉性质变化的相关研究鲜见报道。

对此,采用膨化玉米粉、膨化小米粉、炒制红米粉、膨化大米粉及膨化黑米粉为主要原料,以结块率、黏度、感官评分为指标,采用 Design Expert (V.8.0.b) 软件中的 D-最优混料设计^[13],研究不同谷物粉配比对复合粉冲调性能的影响。同时,采用气相质谱(HS-SPME-GC-MS)技术分析鉴定单一谷物粉和复合粉的挥发性风味成分,结合相对气味活度值确定谷物粉的关键风味物质,探讨不同品种谷物粉整体风味的差异,以期为复配谷物粉的生产提供理论借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

膨化玉米粉、膨化黑米粉、膨化小米粉、膨化黑米粉、炒制黑米粉:四川省晶旌食品有限公司;

硫酸铜:分析纯,天津市化工三厂有限公司;

硫酸钾、甲基红、亚甲基蓝:分析纯,天津市致远化学试剂有限公司;

盐酸、硫酸:分析纯,成都市科隆化学品有限公司;

硼酸:分析纯,天津市恒兴化学试剂有限公司;

溴甲酚绿:分析纯,上海展云化工有限公司;

氢氧化钠:分析纯,无锡市亚泰联合化工有限公司;

乙醇:分析纯,太仓新泰酒精有限公司;

D-无水葡萄糖、乙酸铅、无水乙醚:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;

石油醚:分析纯,天津市富于精细化有限公司;

DNS 试剂:分析纯,广州和为医药科技有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

全自动凯氏定氮仪:KDN-08C 型,上海华睿仪器有限公司;

消化炉:KDN-04C 型,上海华睿仪器有限公司;

双光束紫外分光光度计:UV-1900i 型,岛津(香港)有限公司;

恒温水浴锅:DZKW-D-2500W 型,上海科恒实业发展有限公司;

离心机:RT-TDL-50H 型,无锡市瑞江分析仪器有限公司;

电热鼓风干燥箱:101-3HB 型,北京中兴伟业仪器有限公司;

激光粒度仪:FBS6100-B 型,深圳弗布斯仪器有限公司;

数显黏度计:NDJ-8S 型,邦西仪器科技有限公司;

萃取头:PDMS/DVB 型,上海安谱实验科技股份有限公司;

气相色谱—质谱联用仪:6790N-5975B 型,美国 Agilent 公司。

1.2 试验方法

根据 5 种单一谷物粉的结块率及预试验情况,选定玉米粉、小米粉、红米粉、大米粉、黑米粉的添加量范围如表 1 所示。利用 Design Expert (V.8.0.b) 软件选取最优 D-Optional 方法进行混料设计,设定膨化玉米粉、膨化小米粉、炒制红米粉、膨化大米粉、膨化黑米粉为 5 个参数,其总量为 100%,以结块率(Y_1)、黏度(Y_2)和感官评分(Y_3)为响应值,复配后经流化床干燥。建立回归方程对配方进行优化分析。

表 1 混料试验因素和水平

Table 1 Mixture test factors and levels					%
水平	A 膨化玉米粉	B 膨化小米粉	C 炒制红米粉	D 膨化大米粉	E 膨化黑米粉
低值	50	5	0	10	15
高值	60	10	10	20	20

1.3 指标测定

1.3.1 黏度 准确称取 10.00 g 样品于 250 mL 的烧杯中,加入 60 mL 80 ℃ 的水溶解,利用 NDJ-8S 型数显黏度进行测试,测试时选用 4 号转子于 30 r/min、80 ℃ 下测定。

1.3.2 结块率 参照戴晓慧等^[14]的测定方法修改如下:准确称取 5.00 g 样品,加入 30 mL 恒温 90 ℃ 的水,搅拌 5 min,倒入干燥至恒重的 20 目筛对玉米糊进行过滤。按式(1)计算结块率(agglomerate rate,AR)。

$$A_r = \frac{M_1}{M_2} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:

A_r ——结块率,%;

M_1 ——干燥后结块物的质量,g;

M_2 ——样品干重,g。

1.3.3 粒径 参照 Guo 等^[15]的方法并略加修改,使用 FBS6100-B 型激光粒度仪测定玉米粉粒径。以蒸馏水为分散介质,吸光率 0.01,折射率 1.53,湿法测定粉体粒度。结果数据中以(D_{90})表示。

1.3.4 感官评定 分别称取各复合粉 15 g,按 1 : 6 (g/mL)的比例加入 80 ℃ 的开水冲调并搅拌均匀,由 10 人组成评审小组依据表 2 对玉米复合营养粉进行感官评定,采用盲法对每个样品分别从产品色泽、风味、口感和冲调性等进行评价赋分,重复 3 次,统计平均值。

表 2 感官评分表

Table 2 Sensory scoring table

评分指标	描述	得分
冲调性能(20 分)	放水后下沉快,易分散,无团块	16~20
	放水后下沉较快,较易分散,少许团块	11~15
	不易分散,结块较多	1~10
组织状态(20 分)	糊状,黏度适宜,颗粒分布均匀,不分层	16~20
	糊状,黏度过稠,有团块物,颗粒分布均匀,不分层	11~15
	糊状,黏度过稀,团块物,颗粒分布均匀,稳定不分层	1~10
色泽(20 分)	粥体呈淡黄色,颜色均匀一致,有光泽	16~20
	粥体呈灰色,颜色较均匀	11~15
	粥体呈灰暗色,有异色,不均一	1~10
气味(20 分)	具有产品特有的香气,无异味	16~20
	具有产品特有的香气,但偏淡或过浓,无异味	11~15
	没有产品特有香气,有异味	1~10
滋味(20 分)	口感柔和细腻,无沙粒感,滋味饱满,酸甜可口	16~20
	口感粗糙,稍有沙粒感,滋味宜人,酸甜可口	11~15
	口感粗糙,有沙粒感,滋味较差	1~10

1.3.5 理化成分

(1) 水分含量:按 GB 5009.3—2016 中的直接干燥法执行。

(2) 蛋白质含量:按 GB 5009.5—2016 中的凯氏定氮法执行。

(3) 脂肪含量:按 GB 5009.6—2016 中的索氏抽提法执行。

(4) 淀粉质量分数:按 GB 5009.9—2016 中的酸水解法处理样品,用 DNS 法测定。

1.3.6 挥发性风味物质

(1) 挥发性风味物质的提取:参照张锦程等^[16]的方法略作修改。准确称取 1.000 0 g 样品,加入 6 mL 饱和 NaCl 溶液,80 ℃平衡 5 min,然后插入 SPME 纤维头,顶空萃取 45 min 后,立即将 SPME 纤维头插入进样口,230 ℃解吸 3 min。

(2) 色谱条件:根据李国琰等^[17]的测试条件略加修改,HP-5MS 型(60 m×250 μm×0.25 μm)毛细管柱;载气为高纯氦气;恒流恒压模式,流量为 1.7 mL/min,压力为 91 700 Pa,不分流模式;进样口温度 230 ℃。

(3) 质谱条件:参照 Zhang 等^[18]的测试方法并加以修改,扫描质量范围 35~400(*m/z*)。

(4) 挥发性成分的定性与定量分析:采用 NIST11 和 NIST11s 数据库进行匹配,筛选匹配度大于 80(最大值为 100)的物质,去除柱流失物质(聚甲基硅氧烷化合物)。定量分析按峰面积归一化法进行。

1.3.7 相对气味活度值

根据式(2)计算相对气味活度

值(relative odor activity value,ROAV)^[19]。

$$R_{\text{ov}}=100\times\frac{C_i}{C_{\text{max}}}\times\frac{T_{\text{max}}}{T_i}, \tag{2}$$

式中:
 R_{ov} ——相对气味活度值;
 C_i ——组分 i 的相对百分含量,%;
 T_i ——组分 i 的感觉阈值,μg/kg;
 C_{max} ——样品总体风味贡献最大组分的相对百分含量,%;
 T_{max} ——样品总体风味贡献最大组分的感觉阈值,μg/kg。

1.3.8 统计分析 采用 Microsoft Excel 进行数据整理。未知化合物采用 NIST05 谱库检索和人工图谱解析,用峰面积归一化法算出各成分的相对含量。

2 结果与分析

2.1 模型及回归方程的建立

根据表 3 中的结果,采用 Quadratic 和 Cubic 回归方程分析数据,得预测方程:

$$Y_1=-1.52A-30.5B+10.65C-3.01D-100.53E+58.5AB-11AC+26.86AD+143.67AE+2.8BC+49.7BD+186.32BE-5.94CD+119.48CE+128.01DE, \tag{3}$$
$$Y_2=7\ 132.85A+70\ 963.55B-4\ 811.8C+4\ 120.46D-50\ 508.27E-96\ 329.16AB+8\ 354.89AC-12\ 680.04AD+50\ 017.09AE-45\ 738.74BD-1.00\times10^5BD-20\ 218.69BE+13\ 444.36CD+79\ 652.02CE+83\ 563.37DE, \tag{4}$$

表 3 混料设计试验安排及结果
Table 3 Mix design test arrangement and results

序号	A/%	B/%	C/%	D/%	E/%	$Y_1/\%$	$Y_2/(\text{mPa} \cdot \text{s})$	Y_3
1	60.0	7.4	0.0	15.4	17.2	7.59	1 500	63.0
2	60.0	10.0	0.0	10.0	20.0	2.57	1 860	78.1
3	53.9	8.4	2.7	15.0	20.0	3.09	2 920	74.3
4	51.0	7.6	9.8	16.6	15.0	1.29	2 579	83.7
5	58.9	9.6	4.6	12.0	15.0	1.57	4 920	80.2
6	52.5	5.0	7.5	20.0	15.0	3.71	3 660	74.0
7	50.0	5.0	10.0	15.0	20.0	1.56	2 820	77.5
8	54.9	10.0	4.9	10.3	20.0	1.43	3 220	79.5
9	60.0	7.4	0.0	15.4	17.2	7.34	1 800	61.9
10	55.9	5.0	6.4	15.7	17.1	5.09	2 780	67.3
11	55.4	7.3	9.2	10.0	18.0	3.96	2 760	71.9
12	50.0	10.0	9.2	12.2	18.6	1.14	7 360	72.4
13	50.0	7.0	5.0	20.0	18.1	0.63	4 180	76.5
14	60.0	6.9	6.7	10.0	16.4	2.43	4 460	71.1
15	58.0	5.3	1.8	20.0	15.0	2.71	2 620	76.5
16	53.6	10.0	0.1	20.0	16.3	3.86	2 860	74.2
17	60.0	5.0	10.0	10.0	15.0	2.07	3 000	79.5
18	55.0	5.0	0.0	20.0	20.0	1.71	3 220	82.3
19	58.2	5.0	2.7	14.5	19.6	1.57	2 660	83.0
20	53.5	9.8	4.9	16.4	15.3	2.27	4 540	77.3
21	55.9	5.0	6.4	15.7	17.1	3.15	5 279	71.5
22	53.9	8.4	2.7	15.0	20.0	0.79	2 250	86.0
23	60.0	5.0	4.7	10.3	20.0	1.57	2 120	81.0
24	50.0	7.0	5.0	20.0	18.1	2.43	5 100	75.0
25	55.4	7.3	9.2	10.0	18.0	3.77	3 579	67.1

$$Y_3 = 76.33A + 129.64B + 65.69C + 87.03D + 580.58E - 90.84AB + 34.06AC - 42.45AD - 631.45AE + 7.05BC - 48.73BD - 784.6BE - 8.4CD - 669.6CE - 631.25DE.$$
 (5)

由表 4 可知,以结块率为响应值,该模型 $P=0.043\ 4<0.050\ 0$,说明该模型显著;失拟项 $P=0.360\ 5>0.100\ 0$,说明该试验结果与数学模型拟合良好,可以运用该数学模型来推测试验结果。方程相关系数 $R^2=0.807\ 6$,说明 80.76%的数据可以运用此方程解释。此外,BE 的影响差异极显著($P<0.01$),AE、CE、DE 的影响差异显著($P<0.05$),而 AB、AC、AD、BC、BD、CD 的影响不显著。

由表 5 可知,以黏度为响应值,模型 $P=0.014\ 7<0.050\ 0$,说明该模型显著;失拟项 $P=0.757\ 2>0.100\ 0$,说明该试验结果与数学模型拟合良好,可以运用该数学模型来推测试验结果。方程相关系数 $R^2=0.852\ 7$,说明 85.27%的数据可以运用此方程解释。BD 的影响差异极显著($P<0.01$),AB、CE、DE 的影响差异显著($P<0.05$),而 AE、AC、AD、BE、BC、CD 的影响不显著。

表 4 结块率回归模型方差分析表

Table 4 ANOVA table for the block rate regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	62.43	14	4.46	3.00	0.043 4 *
AB	2.70	1	2.70	1.82	0.207 5
AC	1.17	1	1.17	0.79	0.395 5
AD	6.81	1	6.81	4.58	0.058 0
AE	14.63	1	14.63	9.84	0.010 6 *
BC	6.57E-03	1	6.57E-03	4.42E-03	0.948 3
BD	2.04	1	2.04	1.37	0.268 9
BE	20.71	1	20.71	13.93	0.003 9 **
CD	0.30	1	0.30	0.20	0.664 3
CE	12.75	1	12.75	8.57	0.015 1 *
DE	11.78	1	11.78	7.92	0.018 3 *
残差	14.87	10	1.49		
失拟项	8.67	5	1.73	1.40	0.360 5
纯误差	6.20	5	1.24		
总离差	77.30	24			

† * 为差异显著, $P<0.05$; ** 为差异极显著, $P<0.01$;
 $R^2=0.807\ 6$; $R^2_{\text{adj}}=0.538\ 0$ 。

表 5 黏度回归模型方差分析表
Table 5 ANOVA table for the viscosity regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	3.64E+07	14	2.60E+06	4.13	0.014 7 *
AB	7.32E+06	1	7.32E+06	11.64	0.006 6 *
AC	6.76E+05	1	6.76E+05	1.07	0.324 5
AD	1.52E+06	1	1.52E+06	2.41	0.151 4
AE	1.77E+06	1	1.77E+06	2.82	0.124 2
BC	1.76E+06	1	1.76E+06	2.79	0.125 6
BD	8.32E+06	1	8.32E+06	13.22	0.004 6 * *
BE	2.44E+05	1	2.44E+05	0.39	0.547 6
CD	1.52E+06	1	1.52E+06	2.42	0.150 8
CE	5.66E+06	1	5.66E+06	9.00	0.013 3 *
DE	5.02E+06	1	5.02E+06	7.98	0.018 0 *
残差	6.29E+06	10	6.29E+05		
失拟项	2.14E+06	5	4.29E+05	0.52	0.757 2
纯误差	4.15E+06	5	8.30E+05		
总离差	4.27E+07	24			

† * 为差异显著, $P < 0.05$; * * 为差异极显著, $P < 0.01$;
 $R^2 = 0.852\ 7$; $R^2_{\text{adj}} = 0.539\ 0$ 。

由表 6 可知,感官评分为响应值,模型 $P = 0.043\ 2 < 0.050\ 0$,说明该模型显著;失拟项 $P = 0.518\ 0 > 0.100\ 0$,说明该试验结果与数学模型拟合良好,可以运用该数学模型来推测试验结果。方程相关系数 $R^2 = 0.807\ 9$,说明 80.79% 的数据可以运用此方程解释。AE、BE、CE、DE 的影响差异极显著 ($P < 0.01$),而 AB、AC、AD、BC、CD 的影响不显著。

2.2 复合粉混料配方的优化及验证

在 Design Expert (V.8.0.b) 中,用最优混料设定各组分的变化范围,且设定感官评分为最大值,结块率最低,黏度 $2\ 000 \sim 3\ 000\ \text{mPa} \cdot \text{s}$ 。运行软件给出最优组合为玉米粉 50.8%、小米粉 8.8%、红米粉 0.5%、大米粉 19.9%、黑米粉 20.0%,在此条件下重复实验 3 次测得,结块率

表 6 感官评价回归模型方差分析表
Table 6 ANOVA table with regression models for sensory evaluation

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	745.330	14	53.240	3.000	0.043 2 *
AB	61.100	1	6.510	0.370	0.557 9
AC	6.510	1	11.230	0.630	0.444 5
AD	11.230	1	17.020	0.960	0.350 3
AE	17.020	1	282.530	15.940	0.002 6 * *
BC	282.530	1	0.042	2.360E-03	0.962 2
BD	0.042	1	1.960	0.110	0.746 4
BE	1.960	1	367.190	20.710	0.001 1 * *
CD	367.190	1	0.600	0.034	0.858 3
CE	0.600	1	400.310	22.580	0.000 8 * *
DE	400.310	1	286.550	16.160	0.002 4 * *
残差	286.550	10	17.730		
失拟项	177.270	5	17.350	0.960	0.518 0
纯误差	86.760	5			

† * 为差异显著, $P < 0.05$; * * 为差异极显著, $P < 0.01$;
 $R^2 = 0.807\ 9$; $R^2_{\text{adj}} = 0.538\ 9$ 。

0.52%、黏度 $2\ 880\ \text{mPa} \cdot \text{s}$,感官评分为 87.84,与软件预测值(结块率 0.20%,黏度 $2\ 999.96\ \text{mPa} \cdot \text{s}$,感官评分 85.78 分)相近,说明该试验表示的模型拟合度较高。

2.3 冲调性、粒径和基本理化指标分析

由表 7 可知,较单一谷物粉而言,复合粉的结块率更低,可能是复配后经流化床干燥,粉末颗粒疏松,增加了与水的接触面积,冲调乳状液更稳定,使不易溶解的粉质夹心块减少,从而降低冲调结块率,改善了冲调性能。同时,复合粉中的蛋白质、淀粉含量增加,说明其他谷物粉的加入会提高膨化玉米粉中蛋白质含量,从而弥补其蛋白质不足的缺陷。张志伟^[20]的研究也发现,玉米粉复配后蛋白质含量增加,且蛋白质的质量更优。此外,复合粉的黏度远大于单一谷物粉,这是因为后者自身具有较高的黏度和吸水性,进行复配后可能会提高复合粉的黏度。

表 7 不同谷物的冲调性能、粒径、色差和基本理化指标分析
Table 7 Analyses of impulse performance, particle size, color difference and basic physical and chemical indexes of different grains

样品	结块率/%	黏度/($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	$D_{90}/\mu\text{m}$	蛋白质/%	淀粉/%	脂肪/%	水分/%
玉米粉	9.60	2 193	111.60	3.04	48.27	5.23	4.67
小米粉	12.71	7 719	124.93	4.47	50.94	5.13	6.91
红米粉	8.14	15	93.06	3.76	64.13	4.25	5.98
大米粉	14.58	2 540	147.31	3.39	71.94	8.81	5.12
黑米粉	6.29	1 239	166.76	3.33	27.77	5.99	6.08
复合粉	0.52	2 880	132.32	4.99	72.87	5.86	6.38

2.4 挥发性风味物质分析

从表 8 和图 1 可以看出,复合粉中共检测出 47 种风味物质,除膨化黑米粉外,风味物质数量均高于单一谷物粉。复合粉中醛类(10 种,39.29%)、酮类(7 种,18.89%)和醇类(7 种,14.43%)物质的种类和相对含量较高,是主

要风味物质。醇类来自于脂肪的氧化降解,通常具有芳香、植物香等气味;醛类和酮类物质都属于羰基类物质,其阈值较低^[21],但酮类物质在高温下不稳定,易进一步反应形成酸或醇,对玉米粉的整体风味贡献较小^[22]。醛类物质中,己醛和壬醛在各谷物粉中均有检出,其来源主要

表 8 不同谷物粉挥发性风味物质[†]
Table 8 Volatile flavor substances of different cereal powder

分类	保留时间/min	名称	相对含量/%					
			膨化玉米粉	炒制红米粉	膨化黑米粉	膨化大米粉	膨化小米粉	复合粉
醇类	10.766	乙醇	0.98	—	0.65	—	0.36	0.25
	13.358	四氢吡喃-4-醇	0.56	—	—	—	—	—
	14.543	环丙基甲醇	6.51	—	1.75	2.32	—	0.03
	14.808	5-甲基-2-庚醇	0.08	—	0.58	26.64	0.11	—
	15.413	(S)-环氧丙醇	0.43	—	—	—	—	—
	19.437	L-苏丁醇	—	—	0.36	—	—	—
	20.028	环丁醇	2.47	0.52	0.44	1.73	—	—
	20.754	正戊醇	—	—	0.84	1.15	0.63	1.37
	25.309	正己醇	—	0.63	0.15	—	—	—
	25.509	苯乙醇	1.64	—	—	—	—	—
	27.654	3,5-辛二烯-2-醇	—	—	—	2.13	1.52	—
	29.472	反式-2-己烯-1-醇	—	—	0.54	—	—	—
	29.478	1-辛烯-3-醇	—	—	—	—	1.56	2.42
	29.714	2-乙基己醇	—	—	5.44	—	—	0.47
	29.780	正庚醇	—	—	0.76	1.01	—	—
	33.907	正辛醇	—	0.64	0.35	0.88	0.63	1.25
	42.934	2-乙烯氧基乙醇	5.42	1.71	—	—	—	8.64
含氮化合物	4.181	3-甲氨基丙胺	—	—	—	0.43	—	—
	5.806	N,N'-二甲基乙二胺	—	4.45	0.17	—	—	—
	8.404	异丙胺	—	—	0.08	—	—	0.62
	14.748	丙酰胺	5.08	1.28	2.95	0.66	—	0.51
	16.627	N-甲基烯丙基胺	0.95	—	—	—	—	—
	22.355	6-甲基-6-己内酰胺	—	0.67	0.46	—	—	—
	27.648	二丙烯三胺	—	—	0.69	—	—	0.77
	38.161	氰乙酰胺	—	—	0.05	0.23	—	—
	39.665	N,N'-二甲基甲磺酰胺	2.92	—	0.03	—	—	—
	40.656	N-甲基苄胺	—	—	—	—	0.85	—
	42.988	3-羟基-N,N'-二甲基丙胺	—	—	—	—	—	0.72
	44.057	二甲胺	1.03	5.74	1.79	—	7.75	0.12
	44.704	L-焦谷氨酰胺	—	—	2.30	—	—	—
	46.970	丙烯酰胺	—	—	1.18	—	—	0.39
	46.976	N-甲基异丁胺	—	—	—	—	—	0.10
醚类	22.796	乙烯基乙醚	—	—	—	0.97	—	0.49
	43.326	三乙二醇单甲醚	—	1.08	—	—	—	—
	44.166	15-冠醚-5	—	—	—	0.65	25.38	2.92
	45.278	三乙二醇单乙醚	—	6.73	—	—	—	0.79

续表 8

分类	保留时间/min	名称	相对含量/%					
			膨化玉米粉	炒制红米粉	膨化黑米粉	膨化大米粉	膨化小米粉	复合粉
醚类	45.490	12-冠醚-4	—	9.61	—	—	0.63	2.48
	45.816	18-冠醚-6	6.16	—	—	—	—	1.52
醛类	7.540	戊醛	0.19	0.48	1.99	0.76	—	0.78
	13.298	己醛	8.90	8.88	7.82	16.86	2.62	12.24
	17.612	庚醛	—	—	1.02	1.24	—	3.29
	22.300	正辛醛	—	—	1.21	1.06	—	—
	23.926	(<i>E</i>)-2-庚烯醛	—	—	0.77	1.08	—	—
	23.938	2-庚醛	—	—	—	—	0.07	1.80
	27.061	壬醛	1.59	2.55	2.69	3.14	—	13.93
	27.648	丁醛	0.48	—	—	—	—	—
	28.590	反-2-辛烯醛	0.38	1.17	1.45	0.85	—	2.25
	29.212	3-乙基苯甲醛	—	—	4.47	—	—	—
	31.363	(<i>E,E</i>)-2,4-庚二烯醛	—	—	—	—	1.50	—
	31.545	癸醛	—	—	—	—	—	1.03
	32.590	苯甲醛	0.69	1.89	0.77	1.04	0.85	2.73
	33.061	反式-2-壬醛	0.58	—	—	0.62	—	—
	37.762	2-丁基-2-辛烯醛	—	0.85	—	5.02	1.20	—
	38.789	2,4-壬二烯醛	—	—	0.29	0.46	—	0.42
	39.973	2-十三(碳)烯醛	—	—	0.91	—	—	—
	41.097	反,反-2,4-癸二烯醛	—	—	1.34	1.02	1.22	0.82
	41.097	2,4-癸二烯醛	2.33	—	—	—	—	—
	43.852	异戊醛	0.28	2.41	1.07	0.63	—	—
酸类	5.685	蝶呤-6-羧酸	16.50	—	—	—	1.89	—
	22.687	3-脲基乙酸	8.59	12.72	2.35	1.85	—	0.39
	40.209	2-辛炔酸	—	—	0.37	—	—	—
酮类	10.609	1-甲基-2-哌啶酮	0.14	—	—	—	—	—
	17.521	2-庚酮	—	—	—	—	—	1.68
	18.748	<i>N</i> -甲基吡咯烷酮	0.37	—	—	—	—	—
	22.125	4-甲基-2-己酮	—	0.34	—	—	—	—
	22.143	仲辛酮	—	—	—	—	—	0.37
	24.469	甲基庚烯酮	—	—	—	—	—	1.10
	27.635	3-辛烯-2-酮	—	—	1.15	—	—	3.08
	30.058	1-甲基-2-咪唑啉酮	—	—	2.50	—	—	—
	32.427	3,5-辛二烯-2-酮	0.70	1.17	24.27	1.28	3.13	7.56
	32.433	(<i>E,E</i>)-3,5-辛二烯-2-酮	—	—	1.19	—	—	—
	33.484	β -二氢紫罗兰酮	0.81	—	—	—	—	—
	41.490	橙花丙酮	—	—	—	—	—	2.52
	41.743	香叶基丙酮	3.37	—	1.05	—	—	—
	41.749	β -紫罗兰酮	1.41	—	—	—	—	—
	42.994	4-羟基-3-甲基苯乙酮	—	—	—	—	—	2.58
烷烃	46.069	2-氨基丁烷	—	—	—	11.4	—	—
	4.555	正十二烷	0.51	—	0.49	—	—	—

续表 8

分类	保留时间/min	名称	相对含量/%					
			膨化玉米粉	炒制红米粉	膨化黑米粉	膨化大米粉	膨化小米粉	复合粉
烷烃	17.757	6-甲基三甲烷	0.90	—	—	—	—	—
	19.992	1-氟十二烷	—	—	—	—	—	0.28
	24.512	2,6,11-三甲基十二烷	—	—	—	—	0.62	—
	24.542	正十三烷	—	—	0.82	—	—	—
	26.337	正十四烷	—	—	—	—	0.86	—
	27.079	(R)-(—)-2-氨基庚烷	—	—	—	—	0.09	—
	32.626	正十六烷	—	0.76	—	—	—	—
烯烃	35.242	1-庚烯	—	—	—	—	—	6.55
杂环类	5.256	2-乙基吡啶	—	—	—	—	—	0.15
	9.697	2-戊基呋喃	0.38	0.89	0.79	1.23	0.90	1.45
	19.563	2-甲基吡嗪	—	—	0.41	—	—	—
	21.485	2,3-二氢苯并呋喃	—	6.62	2.52	—	—	1.79
	28.366	1,3-二叔丁基苯	2.56	2.03	5.23	2.85	1.97	—
	40.650	4-(2-氨基丙基)苯酚	—	—	3.10	—	—	—
酯类	45.580	4-乙烯基-2-甲氧基苯酚	1.84	5.74	1.21	—	—	—
	46.069	甲酸乙烯酯	—	—	0.52	—	—	0.49
	5.939	乙酸乙酯	—	—	0.26	—	—	1.88
	7.250	胍基甲酸乙酯	0.14	—	—	—	—	—
	10.168	草酸酰胺乙酯	3.62	—	—	1.61	15.93	1.18
	10.259	辛酸乙酯	1.02	—	—	—	—	—
	19.388	甲酸正己酯	—	—	—	—	0.77	—
	25.297	(+/-)- β -羟基- γ -丁内酯	—	0.68	—	—	—	2.22
	25.339	3-酞酰亚胺基丙酸甲酯	0.81	—	0.07	—	0.33	—
	29.212	硬酯酸甲酯	—	14.57	—	—	—	—
	36.849	邻苯二甲酸双十二酯	—	—	—	—	1.63	—
	41.635	对甲氧基肉桂酸辛酯	—	—	—	7.19	—	—
	42.045	邻苯二甲酸二异丁酯	—	—	—	—	0.63	—
其他	43.876	2-(甲胺基甲基)-1,3-二氧六环	1.09	0.14	0.09	—	4.96	—
	44.571	4-甲基-1,3-二氧戊环	5.61	3.05	3.87	—	19.37	0.30

† “—”表示未检测出。

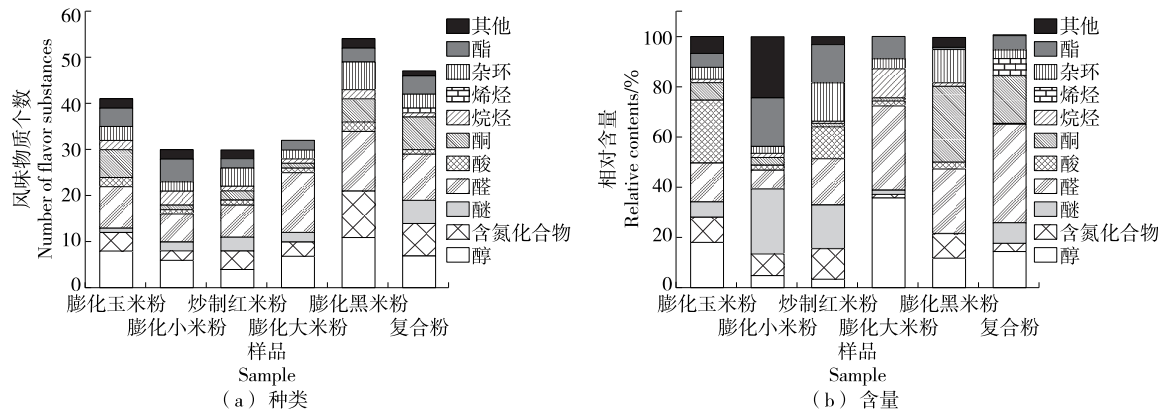


图 1 不同谷物粉挥发性风味物质的种类和含量

Figure 1 Types and contents of volatile flavor substances in different cereal flours

是不饱和脂肪酸的氧化^[23],己醛具有青草香、脂肪香,壬醛有强烈的油脂味和甜橙气息^[24];烷烃类物质含量较少(0.28%),对风味的贡献率最小,但康志敏等^[25]研究发现其在风味形成过程中与酮、酸、醛和酯类等起着互补或调和的作用;酯类(4 种,5.77%)是脂肪氧化产生的游离脂肪酸和醇的相互作用形成的,可赋予复合粉酯香味和水果香味^[26]。杂环类中 2-戊基呋喃是亚油酸氧化的产物,具有豆香、果香、青香、类似蔬菜的香气、较浓的烤坚果香气。含氮化合物(7 种,3.23%)的产生可能来源于氨基酸以及碳水化合物之间的美拉德反应^[26]。

与单一谷物粉相比,复合粉醛类物质相对含量显著提高,且醛类物质在复合粉中的相对含量和数量都占有绝对优势。其中,己醛和壬醛的含量最高,是复合粉的重要香气成分^[27]。6 个谷物粉样品中均检测出己醛、苯甲醛、3,5-辛二烯-2-酮和 2-戊基呋喃,而复合粉中的 2-戊基呋喃、苯甲醛的相对含量比单一谷物粉高,表明复合粉的

青香和坚果香更浓。

2.5 不同谷物粉中关键风味化合物的 ROAV 对比分析

参考文献^[28],对查到阈值的香气成分进行 ROAV 值分析,确定关键风味物质。ROAV ≥ 1 表明对所测样品整体风味有重要贡献^[29],是其关键风味物质;0.1 $\leq$ ROAV <1 表示对所测样品的总体风味有重要修饰作用,ROAV <0.1 表示对所测样品的总体风味有潜在贡献作用^[30]。由表 9 可知,复合粉的关键风味物质有 8 种,分别为 1-辛烯-3-醇、戊醛、己醛、2-庚醛、壬醛、癸醛、苯甲醛、3-辛烯-2-酮,其中癸醛是复合粉特有的关键风味物质。

3 结论

(1) 为了改善单一膨化玉米粉的冲调性,研究采用复配的方式研究其冲调性质及风味的变化。在膨化玉米粉 50.8%、膨化小米粉 8.8%、炒制红米粉 0.5%、膨化大米粉 19.9%、膨化黑米粉 20.0% 的配方下得到的复合粉,其蛋

表 9 不同谷物粉挥发性风味物质的相对活度值[†]

Table 9 Relative activity values of volatile flavor substances of different cereal powder

名称	感觉阈值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	风味描述	ROAV					
			膨化玉米粉	膨化小米粉	炒制红米粉	膨化大米粉	膨化黑米粉	复合粉
正己醇	34		—	—	0.73	—	<0.01	—
苯乙醇	86	玫瑰香味	0.01	—	—	—	—	—
1-辛烯-3-醇	2	土壤、油脂、花香、蘑菇香	—	1.73	—	—	—	3.98
正庚醇	200		—	—	—	0.01	<0.01	—
正辛醇	800		—	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01
戊醛	1.2	杏仁味、试剂味	0.08	—	15.69	1.68	3.34	2.14
己醛	4.5	青草香,果香,木香	0.98	1.29	77.39	9.92	3.50	8.96
正辛醛	3.4	橘香	—	—	—	0.83	0.72	—
(E)-2-庚烯醛	13	杏仁味、油脂味	—	—	—	0.22	0.12	—
2-庚醛	2.8		—	0.06	—	—	—	2.12
壬醛	1	橘香	0.79	—	100.00	8.31	5.42	45.87
丁醛	20		0.01	—	—	—	—	—
(E,E)-2,4-庚二烯醛	10		—	0.33	—	—	—	—
癸醛	1.5	油脂味	—	—	—	—	—	2.26
苯甲醛	350	坚果香,杏仁味	<0.01	<0.01	0.21	<0.01	<0.01	0.03
2,4-壬二烯醛	0.09		—	—	—	13.53	6.49	15.37
反,反-2,4-癸二烯醛	0.027	鲜黄瓜香、脂肪味、	—	100.00	—	100.00	100.00	100.00
异戊醛	1.1		0.13	—	85.92	1.52	1.96	—
2-庚酮	140	蓝莓奶酪香,水果香	—	—	—	—	—	0.04
仲辛酮	60	油脂味,肥皂,水果过熟味	—	—	—	—	—	0.02
3-辛烯-2-酮	1.5	泥土香,甜香,甘草香	—	—	—	—	1.54	6.76
β -紫罗兰酮	0.007	花香	100.00	—	—	—	—	—
2-戊基呋喃	6		0.03	0.33	5.82	0.54	0.27	0.80
邻苯二甲酸二异丁酯	5		—	0.28	—	—	—	—
2,4-癸二烯醛	0.1	16.5	16.50	—	—	—	—	—

[†] “—”表示未检测出。

白质、淀粉含量增加,结块率为0.52%、黏度为2 880 mPa·s,感官评分为87.84分。复合粉冲调性能较好,结块少且具糊状液的黏度、醇厚感强,营养成分增加;复合粉中共检测出11类47种挥发性风味物质,风味物质数量高于单一膨化玉米粉,其关键风味物质有8种,分别为1-辛烯-3-醇、戊醛、己醛、2-庚醛、壬醛、癸醛、苯甲醛、3-辛烯-2-酮。

(2) 研究探讨了复配对膨化玉米粉的冲调性质、风味物质含量等的影响,后续可继续探讨其他方法对膨化玉米粉冲调性改善,并研究风味与冲调性的变化情况。

参考文献

- [1] TAN H, ZHOU H, GUO T, et al. Zein-bound zearalenone: A hidden mycotoxin found in maize and maize-products[J]. Food Control, 2021, 124(10): 107903.
- [2] 王岩, 王建宇, 于璐, 等. 中性蛋白酶酶解玉米粉工艺研究[J]. 食品科技, 2021, 46(7): 180-184.
WANG Y, WANG J Y, YU L, et al. Enzymatic hydrolysis of corn meal by neutral protease[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(7): 180-184.
- [3] 王霞, 刘永吉, 董莹, 等. 杂粮代餐粉的配方设计和工艺优化[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(2): 75-82.
WANG X, LIU Y J, DONG Y, et al. Formulation design and process optimization of meal powder substitute for cereals[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(2): 75-82.
- [4] SCUDAMORE K A, GUY R C, KELLEHER B, et al. Fate of Fusarium mycotoxins in maize flour and grits during extrusion cooking[J]. Food Additives and Contaminants, 2008, 25(11): 1 374-1 384.
- [5] 张园园, 张思颖, 王子伟. 橘皮荞麦膳食纤维代餐粉的研制及其流变学特性[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(4): 145-149.
ZHANG Y Y, ZHANG S Y, WANG Z W. Development and rheological characteristics of dietary fiber meal replacement powder of orange peel buckwheat[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(4): 145-149.
- [6] 崔琳琳, 吕欣东, 冯飞, 等. 复合杂粮共挤压营养冲调粉的配方设计和工艺[J]. 食品工业, 2020, 41(9): 110-114.
CUI L, LU X D, FENG F, et al. Processing optimization and formula design of compound mixed grain co-extruding nutritive powder[J]. The Food Industry, 2020, 41(9): 110-114.
- [7] 胡秋辉, 仲磊, 杨文建. 蛹虫草复合谷物杂粮膨化产品品质特性[J]. 中国农业科学, 2016, 49(24): 4 772-4 784.
HU Q H, ZHONG L, YANG W J. Properties of the extruded products of cereal grains compounded with cordyceps militaris[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(24): 4 772-4 784.
- [8] 董锐, 贺婷, 胡新中, 等. 不同炒制时间对燕麦粉理化特性及货架期的影响[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(4): 59-66.
DONG R, HE T, HU X Z, et al. Effect of different stir-frying time on the physical and chemical properties and shelf life of oat flour[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(4): 59-66.
- [9] 刘超, 贺稚非, 李雪, 等. 谷物组成对挤压膨化产品品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(24): 105-110, 118.
LIU C, HE Z F, LI X, et al. Effects of cereal composition on the quality of extruded products[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(24): 105-110, 118.
- [10] 薛联钰, 刘金福, 薛森, 等. 裸燕麦与玉米淀粉混合挤压膨化技术研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(2): 137-142.
XUE Z Y, LIU J F, XUE M, et al. Study on extrusion technology of naked oats mixed with corn starch[J]. Food Research and Development, 2018, 39(2): 137-142.
- [11] 洪莹, 邵子晗, 曹磊, 等. 不同高直链玉米淀粉添加量对滚筒干燥碎米粉品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(8): 159-165.
HONG Y, SHAO Z H, CAO L, et al. Effect of the addition of high-amylose maize starch content on quality of drum-dried broken rice flour[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(8): 159-165.
- [12] HE C X, ZHENG J, LIU F J, et al. Fabrication and characterization of oat flour processed by different methods[J]. Journal of Cereal Science, 2020, 96: 103123.
- [13] SAHU C, PATEL S. Optimization of maize-millet based soy fortified composite flour for preparation of RTE extruded products using D-optimal mixture design[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 58(7): 2 651-2 660.
- [14] 戴晓慧, 张名位, 马永轩, 等. 蒸汽酶解调质-挤压膨化工艺改善速食米粉冲调分散性和预消化性[J]. 现代食品科技, 2020, 36(10): 200-209, 156.
DAI X H, ZHANG M W, MA Y X, et al. Extrusion pretreated by steam conditioning accompanying starch enzymolysis improved the dispersibility and predigestion of instant rice flour[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(10): 200-209, 156.
- [15] GUO X J, HE X M, DAI T T, et al. The physicochemical and pasting properties of purple corn flour ground by a novel low temperature impact mill [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2021, 74: 102825.
- [16] 张锦程, 余佶, 麻成金, 等. GC-MS 结合 ROAV 分析评价加工工艺对藤茶香气成分的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(12): 20-25, 31.
ZHANG J C, YU J, MA C J, et al. Analysis of volatile aroma components of Ampelopsis grossedentata tea with different processing technology based on GC-MS combined with ROAV[J]. Food & Machinery, 2021, 37(12): 20-25, 31.
- [17] 李国琰, 张雁, 廖娜, 等. 甜玉米成熟过程中挥发性风味物质的变化规律[J]. 食品科学, 2022, 43(10): 271-280.
LI G Y, ZHANG Y, LIAO N, et al. Changes of volatile flavor compounds in sweet corn during maturation[J]. Food Science, 2022, 43(10): 271-280.
- [18] ZHANG K Y, GAO L L, ZHANG C, et al. Analysis of volatile flavor compounds of corn under different treatments by GC-MS and GC-IMS[J]. Frontiers in Chemistry, 2022, 10: 725208.
- [19] XIE C Z, ZENG H Y, WANG C X, et al. Volatile flavor

- components, microbiota and their correlations in different sufu, a Chinese fermented soybean food [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2018, 125(6): 1 761-1 773.
- [20] 张志伟. 玉米粉的营养复配及其加工品质改良研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2020: 23.
- ZHANG Z W. Study on nutrition compound and improvement of processing quality of corn flour[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2020: 23.
- [21] 蒋华彬, 张小飞, 覃先武, 等. 酵母抽提物的不同添加方式对藜麦膨化粉感官品质、味觉特性和挥发性风味物质的影响[J]. *食品科技*, 2022, 47(1): 277-285.
- JIANG H B, ZHANG X F, QIN X W, et al. Effect of different addition methods of yeast extract on sensory quality, taste characteristics and volatile flavor compounds of quinoa puffed powder[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 47(1): 277-285.
- [22] 沙见宇, 张锦丽. 不同小麦粉对馒头品质及风味的影响[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2021, 52(5): 753-758.
- SHA J Y, ZHANG J L. Effects of different wheat flours on the quality and flavor of steamed bread [J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2021, 52(5): 753-758.
- [23] 林俊帆. 适度碾磨黑米的营养、食味品质、挥发性风味物质及其储藏特性的研究[D]. 成都: 西华大学, 2020: 32.
- LIN J F. Study on the nutrition, taste quality, volatile flavor substance and storage characteristics of the moderate milled black rice[D]. Chengdu: Xihua University, 2020: 32.
- [24] HE Z G, ZHANG Y, YANG M D, et al. Effect of different sweeteners on the quality, fatty acid and volatile flavor compounds of braised pork[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 961998.
- [25] 康志敏, 郭东, 何梦影, 等. 不同干燥工艺对鲜玉米粉品质及风味的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(18): 58-63, 69.
- KANG Z M, GUO D, HE M Y, et al. Effect of different drying methods on the quality and flavor profiles of fresh corn flour[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(18): 58-63, 69.
- [26] 冯飞. 复合杂粮冲调粉的制备工艺及风味品质评价[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2020: 49.
- FENG F. Preparation technology and flavor quality evaluation of composite mixed grain powder[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2020: 49.
- [27] 贾梦, 刘金光, 康学栋, 等. 海南特色米中营养成分及挥发性风味物质的分布特征[J]. *中国粮油学报*, 2022, 37(7): 31-38.
- JIA M, LIU J G, KANG X D, et al. Distribution characteristics of the nutritional composition and volatile compounds for the typical rice in Hainan [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2022, 37(7): 31-38.
- [28] 范海默特. 化合物香味阈值汇编[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2015: 41-332.
- VAN GEMERT L J. Compilations of flavour threshold values in water and other media[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2015: 41-332.
- [29] WANG A X, XIAO T Z, XI H H, et al. Edible qualities, microbial compositions and volatile compounds in fresh fermented rice noodles fermented with different starter cultures[J]. *Food Research International*, 2022, 156: 111184.
- [30] YUAN H, XU L J, CHANG M C, et al. Effects of different cooking methods on volatile flavor compounds, nutritional constituents, and antioxidant activities of *Clitocybe squamulosa*[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 1017014.
- (上接第 205 页)
- [26] REN J, SONG C L, ZHANG H Y, et al. Effect of hydrolysis degree on structural and interfacial properties of sunflower protein isolates[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2016, 41(1): e13092.
- [27] 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.
- LUO Q Q, GU F Y, CAO J J, et al. Effects of lactobacillus rhamnosus fermentation on the physicochemical properties of corn flour and corn dough and the quality of steamed sponge cake[J]. *Food Science*, 2018, 39(18): 1-7.
- [28] 张佳佳, 王昱丹, 罗慧, 等. 蒲公英威风蛋糕的烘焙品质及其酚类物质抗氧化活性[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(4): 142-146.
- ZHANG J J, WANG Y D, LUO H, et al. Effect of dandelion flour on baking qualities and polyphenols antioxidant activities of chiffon cake [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(4): 142-146.
- [29] NING J, HOU G G, SUN J, et al. Effect of green tea powder on the quality attributes and antioxidant activity of whole-wheat flour pan bread[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 79: 342-348.
- [30] 朱琳, 陈丽丽, 袁美兰, 等. 草鱼多肽的营养价值及添加鱼蛋白面包的研制[J]. *食品工业*, 2017, 38(8): 125-129.
- ZHU L, CHEN L L, YUAN M L, et al. Nutritional value estimate of grass carp peptides and process of added fish protein into bread [J]. *The Food Industry*, 2017, 38(8): 125-129.
- [31] 李雪颖, 周鸿燕, 武媛媛. 大豆蛋白水解物对面包体外抗氧化及品质特性的影响[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(8): 21-23, 33.
- LI X Y, ZHOU H Y, WU Y Y. Effect of soybean protein hydrolysate on antioxidant in vitro and quality characteristics of bread[J]. *Cereals & Oils*, 2021, 34(8): 21-23, 33.
- [32] 杨晓钊, 王炜清, 李秀婷, 等. 酶解处理对扁桃仁蛋白质起泡特性影响及其应用研究[J]. *食品科学技术学报*, 2021, 39(5): 82-92.
- YANG X F, WANG W Q, LI X T, et al. Study on effect of enzymatic hydrolysis on foaming properties of almond protein isolate and its application [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 39(5): 82-92.