

不同焙炒程度对复配糙米粉的品质影响

刘颖¹, 徐晨冉¹, 高嫚¹, 张楚佳¹, 贾健辉^{1,2}, 张娜^{1*}, 窦博鑫^{1*}

(1. 哈尔滨商业大学食品工程学院, 哈尔滨 150028; 2. 牡丹江师范学院生命科学与技术学院, 牡丹江 157011)

摘要: **目的** 研究焙炒过程中复配糙米粉品质特性的变化, 为婴幼儿米粉的研发提供参考。**方法** 将糙米粉与粳米粉以 8:2 (*m:m*) 比例混合, 在(200±5) °C 条件下分别进行轻度(9 min)、中度(18 min)、重度(27 min)焙炒。考察不同焙炒程度下复配糙米粉的基本营养成分、糊化特性、糊化度、色度、流变学特性及风味物质变化, 并确定复配糙米粉的最佳焙炒条件。**结果** 随着焙炒程度的增加, 复配糙米粉的色泽逐渐加深, 糊化度升高, 直链淀粉含量、峰值黏度、回生值和衰减值降低。焙炒后复配糙米粉的挥发性风味物质数量显著增加, 主要增加了 13 种吡嗪类物质和 7 种醛类物质, 在重度焙炒条件下生成糠醛、异辛醇等刺激性风味物质。**结论** 中度焙炒时复配糙米粉的品质最佳。

关键词: 复配糙米粉; 焙炒; 品质特性; 风味

Effects of different roasting degrees on quality characteristics of compound brown rice flour

LIU Ying¹, XU Chen-Ran¹, GAO Man¹, ZHANG Chu-Jia¹, JIA Jian-Hui^{1,2}, ZHANG Na^{1*}, DOU Bo-Xin^{1*}

(1. College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China; 2. College of Life Science and Technology, Mudanjiang Normal University, Mudanjiang 157011, China)

ABSTRACT: Objective To study the changes of quality characteristics of compound brown rice flour during roasting process, and provide references for infant rice research and development. **Methods** Brown rice and japonica rice were mixed in the ratio of 8:2 (*m:m*) and roasted at (200±5) °C for light (9 min), medium (18 min) and heavy (27 min) roasting, respectively. The basic nutrients, pasteurization characteristics, pasteurization degree, chroma, rheological properties and flavor substance changes of the compound brown rice flour were studied under different roasting degrees, and the optimal roasting conditions for the blended brown rice flour were determined. **Results** As the roasting degree increased, the color of the compound brown rice flour gradually deepened, the pasting degree increased, and the straight-chain amylose content, peak viscosity, regeneration value and attenuation value decreased. The number of volatile flavor substances of the compound brown rice flour increased significantly

基金项目: 黑龙江省“百千万”工程科技重大专项(2019ZX08B02)、哈尔滨商业大学青年后备项目(2019CX32)、黑龙江省国家级大学生创新训练计划项目(202010240008)

Fund: Supported by the Heilongjiang Province “Hundred Million” Project Science and Technology Major Special Project (2019ZX08B02), the Harbin Business University Youth Reserve Project (2019CX32), and the Heilongjiang Province National Student Innovation Training Program Project (202010240008)

*通信作者: 张娜, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全。E-mail: foodzhangna@vip.163.com

窦博鑫, 博士, 讲师, 主要研究方向为生物催化。E-mail: 394831971@qq.com

*Corresponding author: ZHANG Na, Ph.D, Professor, College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China. E-mail: foodzhangna@vip.163.com

DOU Boxin, Ph.D, Lecturer, College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China. E-mail: 394831971@qq.com

after roasting, mainly adding 13 kinds of pyrazines and 7 kinds of aldehydes, and producing furfural, isooctanol and other irritating flavor substances under heavy roasting conditions. **Conclusion** The best quality characteristics of the compound brown rice flour have been obtained under medium roasting.

KEY WORDS: compound brown rice flour; roasting; quality characteristics; flavor

0 引言

糙米是经过稻谷脱壳后不加工或较少加工所获得的全谷粒米^[1]。糙米的低加工精度保留了比精白米更多的蛋白质、脂肪、维生素、膳食纤维及 γ -氨基丁酸等有益人体健康的营养素和功能因子^[2],糙米具有提高人体免疫功能、抗氧化、降血脂等功效^[3]。但是将糙米粉直接冲调存在口感粗糙、糠味重等缺点^[4],食味较差,将糙米粉和粳米粉按不同比例进行混合,以此作为基料制备婴幼儿米粉可在一定程度上增加其适口性。

焙炒作为一种传统的加工方式,能够有效改善原料质地、营养价值和风味^[5],广泛应用于谷物、豆类等食品加工中^[6]。巫婷婷^[7]以糯米为主要原料,对传统炒米的最优加工工艺及参数、加工前后大米淀粉的理化性质等进行了研究,结果表明经过焙炒后,大米淀粉的形态特征、糊化特性、流变特性等性质变化较大。徐清荣等^[8]研究指出,焙炒后的糙米的风味物质明显多于焙炒前的糙米,其中增加的主要风味物质是吡嗪类和呋喃类的杂环物质。杨瑞芳等^[9]研究发现,经焙炒处理后制备出的优糖米熟粉香味物质明显增加,具有焙烤的香味且食用方便。研究发现,高温焙炒会使淀粉、蛋白质等大分子物质降解,促进美拉德反应和焦糖化反应的发生,从而达到预糊化的目的,同时增加米粉独特的香气和滋味,但是过度的焙炒会使米粉变黄从而影响产品的颜色^[10]。目前,焙炒处理在婴幼儿米粉的加工应用上还少有研究。因此,考察不同焙炒程度对复配糙米粉品质的影响对糙米食品及婴幼儿米粉的开发利用具有重要意义。

前期研究通过以不同配比复配糙米粉和粳米粉来提高口感,虽然以复配糙米粉为基料制备的婴幼儿米粉的口感有所改善,但是与市售婴幼儿米粉相比还略有不足。所以本研究将糙米粉和粳米粉按一定比例进行混合后,再通过焙炒的形式对其进行处理,研究经不同焙炒程度处理后复配糙米粉的品质变化,旨在确定最佳的焙炒条件,并为焙炒处理在婴幼儿米粉加工中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

糙米、粳米:黑龙江省五常金禾米业有限责任公司。

乙醚、石油醚(分析纯,天津市大茂化学试剂厂);乙醇(分析纯,德州安捷高科消毒制品有限公司);盐酸(分析

纯,天津市天力化学试剂有限公司);考马斯亮蓝(分析纯,天津市瑞金特化学品有限公司)。

1.2 仪器与设备

LC30T1 导热油平底炒锅(浙江三禾厨具有限公司);LBCS-41 色差仪(青岛路博建业环保科技有限公司);Rapid-20 快速黏度分析仪(瑞典 Perten 仪器公司);H-PID200 流变仪(美国 TA 仪器公司);FlavourSpec 气质联用仪(德国 G.A.S.公司);MXT-5 型色谱柱(15 m×0.53 mm, 1 μ m, 美国 RESTEK 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 焙炒复配糙米粉的制备

在前期研究的基础上,设定糙米粉和粳米粉的复配比例为 8:2 ($m_{\text{糙米}}:m_{\text{粳米}}$),控制焙炒温度为(200±5)℃。设定温度 200℃,待油炒锅温度达到设定温度后,加入 300 g 复配糙米粉并不停搅拌,分别进行轻度(9 min)、中度(18 min)、重度(27 min)焙炒,焙炒后冷却至室温,过 50 目筛备用。

1.3.2 基本营养成分测定

脂肪含量测定参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》第一法索氏抽提法;蛋白质含量测定参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》第一法凯氏定氮法;淀粉含量测定参照 GB 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》第一法酶水解法;直链淀粉含量测定参照 GB/T 15683—2008《大米 直链淀粉含量的测定》。

1.3.3 糊化度测定

复配糙米粉的糊化度按照酶水解法^[11]测定。

1.3.4 色泽测定

采用 LBCS-41 色差仪测定复配糙米粉 L^* 、 a^* 、 b^* 和 ΔE ^[12]。按照公式(1)计算 ΔE :

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (1)$$

式中: ΔE 为色差值, L 、 a 、 b 分别表示样品的 L^* 、 a^* 、 b^* , L_0 、 a_0 、 b_0 分别表示对照的 L^* 、 a^* 、 b^* 。

1.3.5 糊化特性测定

采用美国谷物化学家协会 AACC 61-02 的方法测定复配糙米粉中淀粉的糊化特性^[13],以快速黏度分析仪测量样品的峰值黏度(peak viscosity, PV)、谷值黏度(trough viscosity, TV)、最终黏度(final viscosity, FV)、回生值(FV-PV)和衰减值(PV-TV)。

1.3.6 流变学特性测定

参考罗舜菁等^[14]的方法并加以改动。将在快速黏度分

析仪(rapid visco analyzer, RVA)糊化后的淀粉糊冷却至室温,放入流变仪测定平台,间隙为 1 mm。在线性黏弹性区域以 1%的目标应变进行振荡频率测试(0.1~10 Hz),并记录动态流变数据,包括储能模量(G')、损耗模量(G'')和损耗角正切值($\tan\delta$)。

1.3.7 风味成分测定

参考赵卿宇等^[15]的方法并加以改动。自动取样器的孵育温度 100 ℃、孵育时间 15 min;自动顶空进样加热方式为振荡加热、振荡速率 500 r/min,注射针温度 85 ℃,进样量 500 μ L;清洗时间:0.5 min。

气相色谱条件:色谱柱温度设定为 60 ℃,载气为 N_2 (纯度 $\geq 99.999\%$),载气流速设定为:初始流速为 2.0 mL/min,总运行时间为 30 min。

质谱条件: MXT-5 型色谱柱(15 m $\times$ 0.53 mm, 1 μ m);柱温: 60 ℃;漂移气: N_2 , 纯度 $\geq 99.99\%$;流速: 150 mL/min;离子迁移谱(ion mobility spectrometry, IMS);温度: 45 ℃;分析时间: 20 min。

1.3.8 数据统计与分析

所有实验均重复 3 次,分析数据以平均值 $\pm$ 标准偏差表示。其中曲线图使用 Origin 2021 和 Microsoft Office Excel 进行绘制,统计学分析使用 SPSS 25 进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分

不同焙炒程度复配糙米粉的基本成分如表 1 所示,与未焙炒的复配糙米粉相比,轻度、中度、重度焙炒后的复配糙米粉的脂肪、蛋白质、淀粉和直链淀粉含量均显著下降($P<0.05$),其中脂肪和直链淀粉含量下降较为明显。脂肪

含量下降的原因可能是在焙炒过程中,复配糙米粉中的脂肪发生氧化,部分游离态油脂挥发^[16]。直链淀粉含量下降的原因可能是复配糙米粉在高温作用下发生糊化,其内部的直链淀粉分子从淀粉颗粒中析出^[17],另一方面,复配糙米粉中部分直链淀粉结晶与油脂结合形成复合体^[18],也会导致直链淀粉含量与脂肪含量下降。综上,虽然经轻度、中度焙炒后,复配糙米粉中脂肪、蛋白质、淀粉含量有所下降,但与重度焙炒相比下降较少。

2.2 糊化特性与糊化度

由表 2 可知,复配糙米粉的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、衰减值和回生值均随着焙炒程度的增加而显著降低($P<0.05$),糊化度则显著增加($P<0.05$)。峰值黏度是衡量淀粉颗粒膨胀程度和直链淀粉溶出数量多少的标准^[19],峰值黏度下降可能是因为焙炒促进了部分淀粉的膨胀及直链淀粉溶出^[20]。衰减值反映淀粉的稳定性,衰减值越高,其稳定性越差,耐热、抗剪切能力降低^[21]。回生值能够体现淀粉糊化后回生的速度^[22],复配糙米粉回生值降低说明焙炒后淀粉不易回生。随着焙炒程度的增加,复配糙米粉间黏度差异减小,而糊化度随着焙炒程度的增加而显著增大($P<0.05$),原因可能是焙炒时样品升温,米粉中的淀粉分子间存在的氢键被破坏,有部分的淀粉分子与水分子结合产生糊化现象,焙炒时间越长,糊化现象越明显^[23]。综上,焙炒处理能够增加复配糙米粉淀粉糊的稳定性,降低回生趋势,这可能会提高产品的口感。

2.3 色 度

用色差计测定复配糙米粉在不同焙炒程度下的 L^* 、 a^* 、 b^* ,结果见表 3。 ΔE 越大说明产品的综合色差越大^[24]; L^* 表示明度, L^* 越大,表明褐变程度越小^[25]。随

表 1 不同焙炒程度下复配糙米粉基本营养成分(n=3, g/100 g)
Table 1 Basic nutrients of compound brown rice flour under different roasting degrees (n=3, g/100 g)

焙炒程度	脂肪	蛋白质	淀粉	直链淀粉
未焙炒	2.415 $\pm$ 0.080 ^a	8.623 $\pm$ 0.014 ^a	74.704 $\pm$ 0.547 ^a	17.543 $\pm$ 0.080 ^a
轻度焙炒	2.004 $\pm$ 0.007 ^b	8.559 $\pm$ 0.033 ^b	72.791 $\pm$ 1.023 ^b	8.434 $\pm$ 0.155 ^b
中度焙炒	1.472 $\pm$ 0.040 ^c	8.442 $\pm$ 0.027 ^c	70.774 $\pm$ 0.439 ^c	8.093 $\pm$ 0.083 ^c
重度焙炒	0.632 $\pm$ 0.029 ^d	8.378 $\pm$ 0.018 ^d	69.412 $\pm$ 0.624 ^d	7.158 $\pm$ 0.042 ^d

注:结果以干基计,同列不同小写字母表示各组具有显著差异, $P<0.05$,下同。

表 2 不同焙炒程度对复配糙米粉糊化特性和糊化度的影响(n=3)
Table 2 Effects of different roasting degrees on the pasteurization characteristics and pasteurization degree of compound brown rice flour (n=3)

焙炒程度	峰值黏度/cP	谷值黏度/cP	衰减值	最终黏度/cP	回生值/cP	糊化度/%
未焙炒	1508.64 $\pm$ 0.21 ^a	985.00 $\pm$ 0.21 ^a	524.02 $\pm$ 0.11 ^a	2658.56 $\pm$ 0.36 ^a	1674.18 $\pm$ 0.24 ^a	-
轻度焙炒	831.45 $\pm$ 0.31 ^b	777.14 $\pm$ 1.01 ^b	55.13 $\pm$ 0.44 ^c	1502.14 $\pm$ 0.16 ^b	726.76 $\pm$ 0.51 ^b	49.15 $\pm$ 0.01 ^c
中度焙炒	541.21 $\pm$ 1.01 ^c	485.56 $\pm$ 0.03 ^c	57.51 $\pm$ 0.49 ^b	938.23 $\pm$ 0.65 ^c	454.77 $\pm$ 0.01 ^c	53.10 $\pm$ 0.01 ^b
重度焙炒	216.00 $\pm$ 0.02 ^d	191.10 $\pm$ 0.22 ^d	26.13 $\pm$ 0.18 ^d	369.19 $\pm$ 0.21 ^d	179.98 $\pm$ 0.22 ^d	86.44 $\pm$ 0.01 ^a

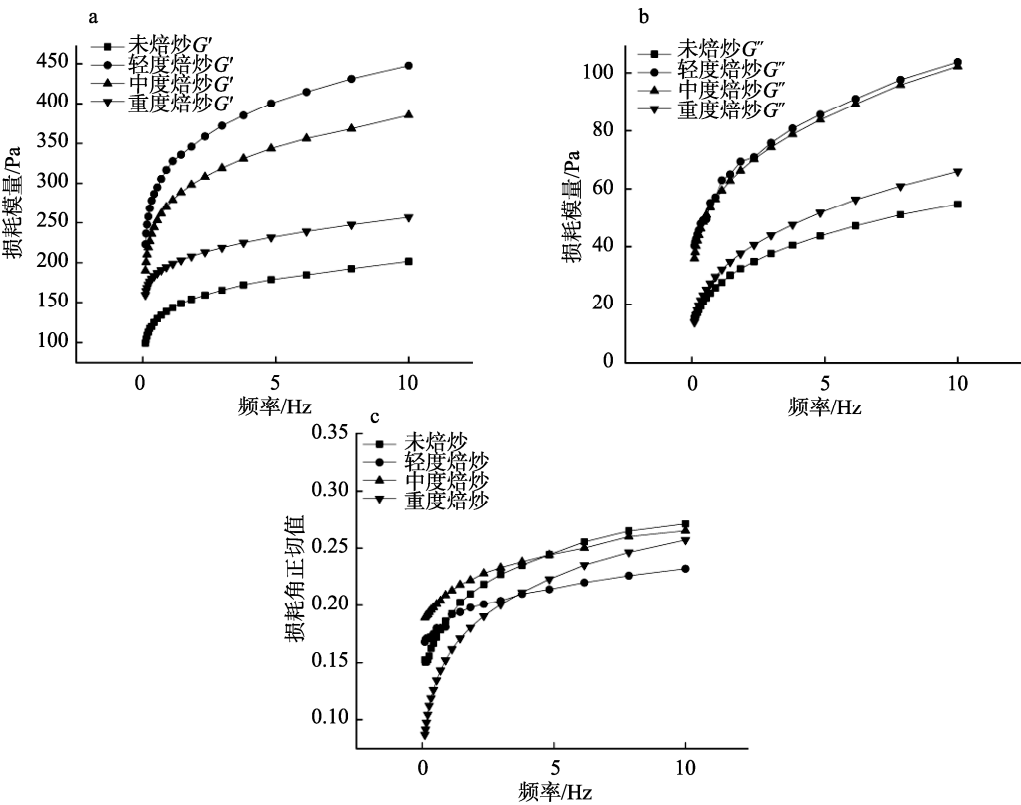
着焙炒程度的增加, 复配糙米粉的 ΔE 增大($P<0.05$), L^* 减小($P<0.05$), 说明其褐变程度变大, 颜色变深。 a^* 表示红绿色调, 正值越大, 红色调越强; b^* 表示黄蓝色调, 正值越大, 黄色调越强^[26]。复配糙米粉的 a^* 和 b^* 均增大($P<0.05$), 且焙炒后 b^* 大于 a^* , 说明焙炒后复配糙米粉的颜色呈黄色, 略带红色, 颜色加深, 其原因可能是由于复配糙米粉在焙炒过程中淀粉受到高温, 糊化时产生美拉德反应, 导致颜色变深^[27]。综上, 复配糙米粉经焙炒处理后颜色加深, 其中重度焙炒后复配糙米粉的综合色差最大、颜色最深, 呈焦黄色, 不适合用于制备婴幼儿米粉。

表 3 不同焙炒程度对复配糙米粉色度的影响($n=3$) Table 3 Effects of different roasting degrees on chroma of compound brown rice flour ($n=3$)				
焙炒程度	L^*	a^*	b^*	ΔE
未焙炒	47.16±0.01 ^a	3.26±0.01 ^d	2.57±0.01 ^d	-
轻度焙炒	46.61±0.01 ^b	3.61±0.01 ^c	3.94±0.01 ^c	1.52±0.01 ^c
中度焙炒	45.93±0.01 ^c	3.91±0.01 ^b	4.53±0.01 ^b	2.41±0.01 ^b
重度焙炒	43.69±0.01 ^d	4.55±0.01 ^a	5.34±0.01 ^a	4.63±0.01 ^a

2.4 流变学特性

研究常用储能模量 G' 和损耗模量 G'' 来评估淀粉样品的动态流变学特性^[28], G' 可以用来衡量淀粉糊的弹性大小, G'' 用来表示淀粉糊的黏性大小^[29]。图 1 反映了不同焙炒程度对复配糙米粉流变学特性的影响。由图 1 可知, G' 、 G'' 和 $\tan\delta$ 基本呈现随频率增加而增加的趋势, 且 G' 高于 G'' , 说明凝胶网络形成, 结构较为稳固, 凝胶特性以弹性为主^[30]。由图 1 可知, 经过焙炒后的复配糙米粉 G' 和 G'' 均有所增加, 可能是由于淀粉颗粒较完整, 直链淀粉持续较慢溶出, 同时小分子支链淀粉的溶出导致凝胶弹性的增加^[31]。

和未焙炒相比, 焙炒程度对 G' 和 G'' 的影响为: 轻度焙炒>中度焙炒>重度焙炒。其中轻度焙炒和中度焙炒对 G' 和 G'' 的影响要显著大于重度焙炒, 即轻度焙炒和中度焙炒在对淀粉流变性上与重度焙炒差异较大。损耗角正切值 $\tan\delta$ 值是 G'' 与 G' 的比值, 它反映了样品弹性性质和黏性性质的相对强弱^[32]。由图 1 可知, 所有样品的 $\tan\delta$ 值均小于 1, 表明凝胶体系表现出较强的弹性性质^[33]。焙炒后复配糙米粉的 $\tan\delta$ 值增加, 反映了体系的弹性比例减小, 流动性增强^[34]。综上, 复配糙米粉经焙炒处理后, 其淀粉糊的黏弹性和流动性增强, 其中轻度焙炒和中度焙炒后尤为明显。



注: a 为储能模量随频率变化图; b 为损耗模量随频率变化图; c 为损耗角正切值随频率变化图。
图 1 不同焙炒程度下复配糙米粉的频率扫描曲线
Fig.1 Frequency scanning curves of compound brown rice flour under different roasting degrees

2.5 风味物质

在未焙炒、轻度、中度和重度焙炒的复配糙米粉中共鉴定出 46 种挥发性风味物质, 未焙炒的复配糙米粉中主要有 6 种醛类、1 种酮类、2 种醇类、5 种酯类和 1 种呋喃类, 而焙炒后的复配糙米粉中主要包括 10 种醛类、4 种酮类、2 种醇类、7 种酯类、13 种吡嗪类和 2 种呋喃类。由此可见, 焙炒可增加复配糙米粉的风味物质^[9], 其中增加显著的是 7 种醛类和 13 种吡嗪类成分。醛类化合物是复配糙米粉的主要风味成分^[35], 其中己醛、壬醛等的含量随着焙炒程度的增加先升高后下降, 中度焙炒时达到最高, 这些物质多具有茉莉、水仙花等令人愉悦的花香^[36], 可提高产品的口感。重度焙炒处理后则会产生糠醛、异辛醇等具有不良刺激性气味的物质, 不易被消费者所接受。同时, 有些醛类物质的相对含量随着焙炒程度的增加而减少, 可能是因为这些醛类物质在热作用下发生降解。

与未焙炒的复配糙米粉相比, 焙炒后复配糙米粉中的吡嗪类物质的种类和含量有所增加。吡嗪类物质是在美拉德反应中期发生的 Strecker 降解中所产生的 α -氨基酮经过缩合反应形成^[37], 具有坚果香、烘烤香, 是焙炒类谷物食品中主要的挥发性风味物质。轻度焙炒的复配糙米粉含有 6 种吡嗪类物质产生, 含量较多的是三甲基吡嗪和 3-乙基-2,5-二甲基吡嗪; 中度焙炒含有 9 类, 含量较多的是 2,5-二甲基吡嗪、3,5-二乙基-2-甲基吡嗪和 3-乙基-2,5-二甲基吡嗪; 重度焙炒含有 8 类, 含量较多的是 2,5-二甲基吡嗪和 3-乙基-2,5-二甲基吡嗪。王芙蓉等^[38]研究发现这些物质尤其是三烷基化的吡嗪类物质显示出非常低的气味阈值, 使得复配糙米粉中的坚果香气突出, 进而使得这些物质在产品风味中发挥很重要的作用。综上, 焙炒可增加复配糙米粉的风味, 且在中度焙炒处理条件下风味最佳。

表 4(续)

序号	名称	相对含量/%			
		未焙炒	轻度焙炒	中度焙炒	重度焙炒
12	异丁醛	1.35	1.03	0.75	1.22
	相对含量总和	5.82	6.26	6.49	20.47
	酮类				
1	2-癸酮	-	-	-	0.17
2	丙酮	-	1.09	-	-
3	1-(2-呋喃基)-乙酮	-	-	-	0.27
4	香叶基丙酮	-	0.33	0.24	0.38
5	2-戊基环戊酮	0.92	-	-	-
	相对含量总和	0.92	1.42	0.24	0.82
	醇类				
1	1-丁醇	-	0.78	1.09	1.16
2	异辛醇	-	-	-	0.22
3	5-己烯-1-醇	0.25	-	-	-
4	1-乙烯基环十二醇	0.86	-	-	-
	相对含量总和	1.11	0.78	1.09	1.38
	酯类				
1	11,13-二甲基-12-十四烯-1-乙酸乙酯	-	-	0.44	-
2	2-己二酸二酯	-	0.67	-	-
3	2-丙烯酸丁基酯	2.01	3.00	3.37	3.96
4	乙酸丁基酯	-	0.31	0.31	0.37
5	丁酸丁基酯	2.59	1.52	1.49	2.28
6	癸二酸癸醇酯	-	0.48	-	-
7	十四烷基乙烯基酯	0.35	-	-	-
8	甲氧基乙酸十四烷基酯	0.20	-	-	-
9	丙酸丁基酯	-	0.52	0.56	0.70
10	丙酸己酯	0.34	-	-	-
	相对含量总和	5.49	6.52	6.18	7.32
	吡嗪类				
1	2,3-二甲基-吡嗪	-	-	-	0.41
2	2,5-二甲基吡嗪	-	0.40	2.56	3.42
3	2,6-二乙基吡嗪	-	0.48	-	-
4	2-乙基-5-甲基吡嗪	-	-	-	1.67
5	2-乙基-6-甲基吡嗪	-	-	0.58	-
6	3,5-二乙基-2-甲基吡嗪	-	-	2.06	1.21
7	乙基吡嗪	-	-	0.29	0.68
8	甲基吡嗪	-	-	1.40	2.82
9	2-甲基吡嗪	-	-	1.14	1.05
10	5-甲基吡嗪	-	-	0.20	-
11	三甲基吡嗪	-	7.73	-	-
12	2-乙基-6-甲基吡嗪	-	-	0.46	-
13	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	-	5.5267	5.6852	4.5428
	相对含量总和	0	14.14	14.38	15.81
	呋喃类				
1	5-甲基呋喃醛	-	-	-	1.89
2	2-正戊基呋喃	0.64	0.41	0.41	0.40
	相对含量总和	0.64	0.41	0.41	2.29

注: -未检出。

表 4 复配糙米粉在不同焙炒条件下风味物质

Table 4 Compound brown rice flour under different roasting conditions

序号	名称	相对含量/%			
		未焙炒	轻度焙炒	中度焙炒	重度焙炒
	醛类				
1	(E)-十六烷-2-烯醛	0.41	-	-	-
2	2-n-丁基丙烯醛	-	0.29	-	-
3	2-壬烯醛	-	0.37	-	-
4	苯甲醛	-	0.67	0.65	0.81
5	苯乙醛	0.35	1.32	1.03	-
6	己醛	-	1.09	1.75	1.53
7	壬醛	-	0.32	1.19	0.98
8	正癸醛	0.66	-	-	0.26
9	糠醛	-	-	-	14.44
10	庚烷醛	0.30	-	-	-
11	2-甲基丁醛	2.75	1.18	1.11	1.24

3 结论与讨论

近年来,婴幼儿米粉越来越受人们关注,以糙米作为其原料虽然可以丰富其营养,但是口感较差。本探究在以前研究的基础上重点研究不同焙炒程度对复配糙米粉品质的影响,以期为提高其口感提供科学依据。有研究表明,焙炒可提高谷物的糊化温度、降低其黏度^[39];焙炒会促使谷物产生较褐的颜色,褐变程度与焙炒温度和时间呈正相关^[40],这与本研究结果一致。本研究结果表明,随着焙炒程度的增加,复配糙米粉的直链淀粉含量明显降低;黏度、回生值、衰减值均明显降低;淀粉糊化度明显升高,使其拥有更好的冲调性和适口性;颜色逐渐加深,黏弹性逐渐升高;醛类和吡嗪类成分增加,从而达到增香的目的。但是由于重度焙炒会产生糠醛、异辛醇等具有不良刺激性气味的物质,而中度焙炒拥有较适宜的黏弹性,并且在拥有香气的同时不会产生具有焦苦味的风味物质。因此,为改善复配糙米粉的品质,采用中度焙炒的加工方式较为适宜。

综上所述,本研究为焙炒处理在婴幼儿米粉加工中的应用提供了理论依据,对糙米食品及婴幼儿米粉的开发利用具有重要意义。但本研究未能对以复配糙米粉为基料制备的婴幼儿米粉进行食用品质评价,未来可以进行深入研究。

参考文献

- [1] 赵爽. 发芽糙米营养价值及生理功能[J]. 现代化农业, 2018, (5): 2.
ZHAO S. Nutritional value and physiological functions of sprouted brown rice [J]. Mod Agric, 2018, (5): 2.
- [2] CRISTIAND SB, SANTOS J, DITTGEN CL, *et al.* Impact of cooking temperature on the quality of quick cooking brown rice [J]. Food Chem, 2019, 286: 98–105.
- [3] 张云亮, 王子妍, 徐晨冉, 等. 婴幼儿米粉加工技术及品质评价的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(2): 196–202.
ZHANG YL, WANG ZY, XU CR, *et al.* Baby rice processing technology and the research progress of quality evaluation [J]. J Cere Oils Ass, 2021, 36(2): 196–202.
- [4] 华艳. 糙米发芽工艺优化及应用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2021.
HUA Y. Optimization and application of brown rice germination process [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2021.
- [5] ZHU YM, DONG JJ, JIN J, *et al.* Roasting process shaping the chemical profile of roasted green tea and the association with aroma features [J]. Food Chem, 2021, (33): 129428.
- [6] 姜雯翔, 赵黎平, 顾振新, 等. 发芽糙米焙炒过程中品质变化研究[J]. 食品科学, 2014, 35(19): 72–76.
JIANG WX, ZHAO LP, GU ZX, *et al.* Study of quality changes during roasting of sprouted brown rice [J]. Food Sci, 2014, 35(19): 72–76.
- [7] 巫婷婷. 炒米加工工艺参数优化及大米淀粉特性变化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
WU TT. Fried process parameters optimization and rice starch properties change research [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.
- [8] 徐清荣, 姚惠源. 焙炒糙米理化性质的研究[J]. 食品科技, 2005, (2): 8–11.
XU QR, YAO HY. Study on the physicochemical properties of roasted brown rice [J]. Food Sci Technol, 2005, (2): 8–11.
- [9] 杨瑞芳, 朴钟泽, 万常照, 等. 以优糖米为原料的初加工产品开发研究[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(1): 148–154.
YANG RF, PU ZZ, WAN CZ, *et al.* Research on the development of primary processing products using refined rice as raw materials [J]. J Cere Oils Ass, 2021, 36(1): 148–154.
- [10] 赵慧君, 朱科帆, 钟小丹, 等. 不同酒曲和炒米时间对米酒滋味品质的影响研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(7): 67–70.
ZHAO HJ, ZHU KF, ZHONG XD, *et al.* Different could and Fried time on rice wine flavor quality impact study [J]. J Cere Oils, 2019, 32(7): 67–70.
- [11] 赵凯. 淀粉非化学改性技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
ZHAO K. Non-chemical modification technology of starch [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.
- [12] 师萱, 陈娅, 符宜谊, 等. 色差计在食品品质检测中的应用[J]. 食品工业科技, 2009, 30(5): 373–375.
SHI X, CHEN Y, FU YY, *et al.* Application of colorimeter in food quality inspection [J]. Sci Technol Food Ind, 2009, 30(5): 373–375.
- [13] AACC C. Approved methods of the american association of cereal chemists [J]. Carbohydr Polym, 2002, 49(4): 515.
- [14] 罗舜菁, 李燕, 杨榕, 等. 氨基酸对大米淀粉糊化和流变性质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 178–182.
LUO SJ, LI Y, YANG R, *et al.* Effect of amino acids on starch pasting and rheological properties of rice [J]. Food Sci, 2017, 38(15): 178–182.
- [15] 赵卿宇, 王占占, 陈博睿, 等. 大米储藏期间风味品质的变化研究[J]. 中国食品学报, 2021, 21(6): 203–215.
ZHAO QY, WANG ZZ, CHEN BR, *et al.* Study on the change of flavor quality of rice during storage [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2021, 21(6): 203–215.
- [16] 黄永辉. 基于 SPME/GC 的茶油香气成分的分析研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2007.
HUANG YH. Analysis of aroma components of camellia oil based on SPME/GC [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2007.
- [17] 齐文, 杨春华, 张娜, 等. 黏性米制品品质提升措施研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(19): 7.
QI W, YANG CH, ZHANG N, *et al.* Research progress on quality improvement measures for sticky rice products [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(19): 7.
- [18] SHABIR AM, SOWRIAPPAN JDB, MANZOOR AS, *et al.* Process optimization and characterization of popped brown rice [J]. Int J Food Prop, 2016, 19(9/12): 2102–2112.
- [19] 孟宁, 刘明, 孙莹, 等. 低温等离子体对糙米蒸煮品质和物化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(2): 9–15.
MENG N, LIU M, SUN Y, *et al.* Effects of low temperature plasma on cooking quality and physicochemical characteristics of brown rice [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(2): 9–15.
- [20] 敦惠瑜. 乳液对大米淀粉抗老化作用研究[D]. 长沙: 华中农业大学, 2021.
DUN HY. Research on anti-aging effect of emulsion on rice starch [D].

- Changsha: Huazhong Agricultural University, 2021.
- [21] 黄婷婷, 白羽嘉, 付文欠, 等. 3 种改良剂种类对小麦复配粉品质特性及面片品质影响的比较分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(11): 270–280, 221.
- HUANG TT, BAI YJ, FU WQ, *et al.* Comparative analysis of effects of three kinds of improvers on the properties of wheat compound flour and flour quality [J]. Mod Food Sci Technol, 2021, 37(11): 270–280, 221.
- [22] JIN Q, XU X. Microstructure, gelatinization and pasting properties of rice starch under acid and heat treatments [J]. Int J Biol Macromol, 2020, 149: 1098–1108.
- [23] YANG Y, XU X, WANG Q. Effects of potassium sulfate on swelling, gelatinizing and pasting properties of three rice starches from different sources [J]. Carbohydr Polym, 2021, 251: 117057.
- [24] 谢天. 不同改性方法对挤压重组米原料品质影响及加工工艺参数的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2019.
- XIE T. Study on the effect of different modification methods on the quality of extruded reconstituted rice raw materials and processing parameters [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2019.
- [25] DIXON WR, MORALES BE, KONGCHUM M, *et al.* Aroma, quality, and consumer mindsets for shelf-stable rice thermally processed by reciprocal agitation [J]. Foods, 2020, 9(11): 1559.
- [26] LIU Q, KONG Q, LI X, *et al.* Effect of mild-parboiling treatment on the structure, colour, pasting properties and rheology properties of germinated brown rice [J]. LWT-Food Sci Technol, 2020, 130(10): 109623.
- [27] 闫舒, 李洪岩, 王静. 蒸谷米加工工艺及品质的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(18): 166–174.
- YAN S, LI HY, WANG J. Research progress on processing technology and quality of steamed rice [J]. Food Res Dev, 2021, 42(18): 166–174.
- [28] NING X, ZHANG Y, ZHANG GZ, *et al.* Effects of insoluble dietary fiber and ferulic acid on rheological and thermal properties of rice starch [J]. Int J Biol Macromol, 2021, 193(B): 2260–2270.
- [29] 秦维. 不同制备方法对慈姑抗性淀粉结构及相关功能的影响[D]. 镇江: 江苏大学, 2020.
- QIN W. Effects of different preparation methods on the structure and related functions of resistant starch of *Ciguatera pseudostellaria* [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2020.
- [30] 莫紫梅. 糯米淀粉分子结构及其物化性质的研究[D]. 长沙: 华中农业大学, 2010.
- MO ZM. Study on the molecular structure and physical and chemical properties of glutinous rice starch [D]. Changsha: Huazhong Agricultural University, 2010.
- [31] 李莎莎, 吴娜娜, 谭斌, 等. 直链淀粉含量差异对糙米粉品质特性影响研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(15): 86–89, 95.
- LI SS, WU NN, TAN B, *et al.* Study on the effect of differences in straight-chain amylose content on the characteristics of brown rice flour [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(15): 86–89, 95.
- [32] WANG H, HU F, WANG C, *et al.* Effect of germination and high pressure treatments on brown rice flour rheological, pasting, textural, and structural properties [J]. J Food Process Pres, 2020, 44(6): e14474.
- [33] 赵保堂, 罗启, 尚琪, 等. 葫芦巴胶添加对藜麦汁流变特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(21): 163–169.
- ZHAO BT, LUO Q, SHANG Q, *et al.* Effects of Fenugreek gum addition on rheological properties of Quinoa wort [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(21): 163–169.
- [34] LI H, LEI N, YAN S, *et al.* The importance of amylopectin molecular size in determining the viscoelasticity of rice starch gels [J]. Carbohydr Polym, 2019, 212: 112–118.
- [35] RMA B, JZA C, ZJ D, *et al.* Effect of cooling rate on long-term recrystallized crystal of rice starch in the presence of flavor compounds [J]. Food Chem, 2020, 345: 128763.
- [36] 罗佳沂, 李洋, 杨琪, 等. 广西武宣地区红曲米挥发性风味组分分析[J]. 中国调味品, 2021, 46(12): 133–140.
- LUO JY, LI Y, YANG Q, *et al.* Guangxi Wuxuan area red yeast rice volatile flavor component analysis [J]. China Cond, 2021, 46(12): 133–140.
- [37] RMA C, JZA B, HAO L, *et al.* Interactions between recrystallized rice starch and flavor molecules [J]. Food Hydrocolloid, 2021, 124(A): 107271.
- [38] 王芙蓉, 范家琪, 沈海亮, 等. 葵花籽油中吡嗪类风味化合物形成机理的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(2): 330–335, 344.
- WANG FR, FAN JQ, SHEN HL, *et al.* Research progress on the formation mechanism of pyrazines flavor compounds in sunflower seed oil [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(2): 330–335, 344.
- [39] SHI Y, WANG L, FANG Y, *et al.* A comprehensive analysis of aroma compounds and microstructure changes in brown rice during roasting process [J]. LWT, 2018, 98: 613–621.
- [40] ZHANG R, LIU H, MA Y, *et al.* Effects of roasting composition of chill seed and storage stability of chill seed oil [J]. Food Sci Biotechnol, 2019, 28(5): 1475–1486.
- (责任编辑: 郑 丽 张晓寒)

作者简介



刘 颖, 博士, 教授, 主要研究方向为植物蛋白工程与营养功能因子研究。
E-mail: 154057693@qq.com



张 娜, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全。
E-mail: foodzhangna@vip.163.com



窦博鑫, 博士, 讲师, 主要研究方向为生物催化。
E-mail: 394831971@qq.com