

不同杂粮粉对红薯粉条品质特性的影响

冯亚运¹, 朱怡霖¹, 高彩彩¹, 刘志军²

(1. 安阳工学院生物与食品工程学院, 河南 安阳 455000;

2. 林州绿健农业发展有限公司, 河南 林州 456500)

摘要: 为探究添加杂粮粉对红薯粉条品质的影响, 对添加不同质量分数(5%、10%和15%)板栗粉、葛根粉、山药粉和紫薯粉的红薯粉条断条率、蒸煮特性、质构特性、色泽、体外淀粉消化特性和挥发性成分进行分析。结果表明: 不同杂粮粉对红薯粉条的品质影响存在显著差异, 板栗粉使红薯粉条断条率从8.33%上升至18.33%, 而添加其余杂粮粉的红薯粉条断条率均为3.33%。葛根粉和紫薯粉可显著降低红薯粉条的吸水率和蒸煮损失率。添加5%板栗粉、5%山药粉和5%~15%葛根粉降低了红薯粉条的硬度、胶黏性和咀嚼性, 添加葛根粉使红薯粉条的 L^* 值增大。添加杂粮粉后红薯粉条的快速消化淀粉含量下降, 慢速消化淀粉含量增加, 板栗粉降低了红薯粉条的抗性淀粉含量, 葛根粉、山药粉和紫薯粉则均使红薯粉条的抗性淀粉含量增加。添加板栗粉的红薯粉条挥发性气味成分与其他样品有明显差异, 使红薯粉条在W5S(氮氧化合物)、W1S(甲基类)、W1W(硫化物、萜烯类)、W2S(醇类、醛酮类)和W2W(有机硫化物芳香成分)等5类气味成分信号值增强。

关键词: 红薯粉条; 杂粮粉; 蒸煮特性; 质构特性; 挥发性成分

中图分类号: TS 215

文献标志码: A

文章编号: 1005-9989(2024)01-0169-08

DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2024.01.022

Effect of Different Coarse Grain Flour on the Quality Properties of Sweet Potato Vermicelli

FENG Yayun¹, ZHU Yilin¹, GAO Caicai¹, LIU Zhijun²

(1. School of Biotechnology and Food Engineering, Anyang Institute of Technology, Anyang 455000, China; 2. Linzhou Green Health Agricultural Development Co., Ltd., Linzhou 456500, China)

Abstract: In order to investigate the effect of adding coarse grain flour on the quality of sweet potato vermicelli, the breaking rate, cooking characteristics, texture characteristics, color, *in-vitro* starch digestibility and volatile components of sweet potato vermicelli with different mass concentrations (5%,

收稿日期: 2023-07-24

基金项目: 安阳市科技攻关项目(2022C01NY030); 安阳工学院博士科研启动基金项目(BSJ2021053)。

作者简介: 冯亚运(1990—), 男, 博士, 讲师, 研究方向为农产品加工利用。

10% and 15%) of chestnut flour, pueraria flour, yam flour and purple potato flour were analyzed. The results showed that, the effects of different coarse grain flour had a significant difference on the quality of sweet potato vermicelli, the breaking rate of sweet potato vermicelli increased from 8.33% to 18.33% added with chestnut flour, while the breaking rate of sweet potato vermicelli added with other grain flour was 3.33%. The water absorption and cooking loss of sweet potato vermicelli were significantly reduced by pueraria flour and purple potato flour. The hardness, adhesiveness and chewiness of sweet potato vermicelli reduced after adding 5% chestnut flour, 5% yam flour and 5%–15% pueraria flour, the L^* value of sweet potato vermicelli increased after adding pueraria flour. The rapid digestible starch content of sweet potato vermicelli decreased and the slowly digestible starch content increased after adding coarse grain flour, the resistant starch content of sweet potato vermicelli decreased after adding chestnut flour, while the resistant starch content of sweet potato vermicelli increased after adding pueraria flour, yam flour and purple potato flour. The volatile components of sweet potato vermicelli added with chestnut flour were significantly different from other samples and the signal values of 5 volatile components including W5S (nitrogen oxides), W1S (methyl groups), W1W (sulfide and terpenes), W2S (alcohols, aldehydes) and W2W (organic sulfide aromas) of sweet potato vermicelli were enhanced after adding chestnut flour.

Key words: sweet potato vermicelli; coarse grain flour; cooking characteristics; texture characteristics; volatile components

0 引言

红薯粉条是一种常见于我国及亚洲地区的传统淀粉凝胶食品，因其口感筋道爽滑而深受消费者青睐。但由于其仅由红薯淀粉和水制成，导致其营养价值单一。随着人们对饮食营养和健康意识的提高，纯红薯粉条已经不能满足现有的消费需求，严重制约了红薯粉条行业的进一步发展。

板栗粉、葛根粉、山药粉和紫薯粉等杂粮粉因其具备“天然、绿色、营养、健康”等特征，已成为健康饮食研究的首选。近年来，将上述杂粮粉用于面制食品已成为研究热点^[1-3]。彭毅秦等^[4]将板栗粉用于制作面皮，发现添加量15%时板栗粉面皮感官、质构和色差等品质最佳。邵颖等^[5]研究了添加3%~15%板栗全粉对红薯粉条品质的影响，发现红薯粉条的品质与板栗全粉的添加量呈负相关关系，板栗全粉添加量在6%~9%时，所得混合红薯粉条品质较好。张文婷等^[6]以自制的紫甘薯全粉和膳食纤维为原料制备紫薯粉膳食纤维复合挂面，分析发现紫薯粉膳食纤维复合挂面中的香气物质有48种，而普通挂面只有23种。曹蒙等^[7]研究了葛根粉添加量在5%~25%时对面条品质的影响，发现葛根粉添加量20%时所得葛根面条品质最佳。此外，山药也由于较高的营养价值，主要被加工成面条、面包、饼干等淀粉制食品^[8]。

综上，虽然将杂粮粉用于淀粉制品的研究较

多，但是关于上述不同杂粮粉对红薯粉条品质影响的研究则较少^[9]。因此，本研究以红薯粉条为研究对象，分别探讨不同质量分数(5%、10%、15%)的杂粮粉(板栗粉、葛根粉、山药粉、紫薯粉)对红薯粉条蒸煮特性、质构特性、色泽、淀粉消化特性等方面的影响，以期为推动营养化红薯粉条的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

红薯淀粉：山东返璞食品有限公司；板栗粉：迁西县金地甘栗食品有限公司；葛根粉：湖北惠林食品有限公司；山药粉：安徽慧思亲食品有限公司；紫薯粉：兴化市思丽园食品有限公司；以上材料均为食品级，含水量分别为红薯淀粉14.6%、板栗粉11.5%、葛根粉12.3%、山药粉10.8%、紫薯粉11.3%。

无水乙酸钠：天津市大茂化学试剂厂；无水乙醇：江苏强盛功能化学股份有限公司；葡萄糖淀粉酶、 α -淀粉酶：爱尔兰Megazyme公司；乙酸：烟台市双双化工有限公司；以上化学试剂均为分析纯。

1.2 主要仪器与设备

HK35型多功能电磁炉：广东美的生活电器制造有限公司；s450型多功能粉碎机：永康市红太阳机电有限公司；ALPHA 1-2 LD plus型冷冻干燥机：德国Christ公司；WSC-S型测色色差计：上海

仪电物理光学仪器有限公司; TMS-PRO质构仪: 美国FTC公司; WGL-45L型电热鼓风干燥箱: 天津市泰斯特仪器有限公司; AIRSENSE PEN3电子鼻: 德国AIRSENSE公司; ME204E型电子天平: 梅特勒-托利多(上海)有限公司; SCI636多用途离心机: 北京开源国创科技有限公司; H1-16KR台式高速冷冻离心机: 湖南可成仪器设备有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 红薯粉条的制备 参考文献[10]的方法并作适当修改。直接称取100 g红薯淀粉或含有5%、10%、15%杂粮粉与红薯淀粉的混合粉, 与水按1:1.5的质量比例制成淀粉乳, 将125 g的淀粉乳均匀地倒入铝制圆形锣中, 之后将铝制圆形锣置于沸水中水浴加热至淀粉糊中心无白点, 之后将其过凉水并冷却揭皮。揭皮后的粉皮用保鲜膜覆盖, 在4 ℃冷藏12 h, 切成长度为20 cm、宽度为6 mm的条状, 即得红薯粉条或添加不同杂粮的红薯粉条。添加板栗粉的红薯粉条定义为“A”, 添加5%、10%、15%板栗粉的红薯粉条分别定义为A1、A2、A3; 添加葛根粉的红薯粉条定义为“B”, 添加5%、10%、15%葛根粉的红薯粉条分别定义为B1、B2、B3; 添加山药粉的红薯粉条定义为“C”, 添加5%、10%、15%山药粉的红薯粉条分别定义为C1、C2、C3; 添加紫薯粉的红薯粉条定义为“D”, 添加5%、10%、15%紫薯粉的红薯粉条分别定义为D1、D2、D3。

1.3.2 断条率测定 参照GB/T 23587—2009^[11]的方法并作适当修改。选取20根10 cm长的粉条, 放入烧开的水中煮5 min, 观察粉条断条情况, 每个样品重复测定3次, 断条率计算公式如下:

$$\text{断条率} = (20 - X) / 20 \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中: X 为煮后完整粉条的总条数。

1.3.3 蒸煮特性测定 采用YANG S Z等^[12]的方法进行适当调整。选取3根10 cm长的粉条, 称其质量为 M_1 , 放入盛有200 mL沸水的不锈钢盆中, 在电磁炉上加热2 min, 捞出粉条进行冲洗, 放置一旁控水2 min后称其质量为 M_2 。粉条汤与冲洗水混匀放凉后, 倒入提前烘干至恒质量的铝罐(M_3)中, 将铝罐放入105 ℃的烘箱中烘至恒质量(M_4), 每个样品平行测定3次。粉条吸水率、蒸煮损失率计算公式如下:

$$\text{吸水率} = (M_2 - M_1) / M_1 \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{蒸煮损失率} = (M_4 - M_3) / [M_1 \times (1 - W)] \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中: M_1 为煮前粉条质量, g;

M_2 为煮后粉条质量, g;

M_3 为空铝罐质量, g;

M_4 为铝罐和干物质的总质量, g;

W 为粉条的水分含量。

1.3.4 质构特性测定 采用TMS-PRO质构仪测定各粉条样品的质构特性(Texture profile analysis, TPA), 所用探头为直径12.5 mm的柱形探头, 力量感应元的量程为250 N, 形变量50%, 测前、测中和测后速度均为60 mm/min, 触发力0.04 N。每个样品至少测量5次, 用平均值表示。

1.3.5 色泽测定 将各粉条样品冷冻干燥后粉碎, 过80目筛后取筛下物采用WSC-S型色差计测定各粉条的色泽。每个样品重复测定3次。

1.3.6 挥发性成分测定 将各粉条样品冷冻干燥后粉碎, 过80目筛后称取3 g粉条样品置于电子鼻检测瓶中, 用专用瓶盖封口后静置5 min, 使挥发性成分充满检测瓶后在电子鼻中进行检测, 每个样品重复检测3次。电子鼻传感器及响应值见表1。

表1 电子鼻传感器参照表

传感器序号	传感器名称	敏感物质
R1	W1C	苯类芳香成分
R2	W5S	氮氧化合物
R3	W3C	氨类芳香成分
R4	W6S	氢化物
R5	W5C	短链烷烃芳香成分
R6	W1S	甲基类
R7	W1W	硫化物、萜烯类
R8	W2S	醇类、醛酮类
R9	W2W	有机硫化物芳香成分
R10	W3S	长链烷烃

1.3.7 体外淀粉消化特性测定 参照ENGLYST K N等^[13]的方法并做适当修改。将各粉条样品冷冻干燥后粉碎, 过80目筛后称取0.15 g粉条样品于50 mL离心管中, 加入0.2 mol/L pH5.2的醋酸钠溶液20 mL制成悬浮液, 在37 ℃水浴平衡10 min。然后加入经37 ℃预热15 min的淀粉酶(1500 U/mL)-葡萄糖淀粉酶(300 U/mL)的混酶溶液, 混匀后分别测定0、20、40、60、120、180 min时的葡萄糖释放量。采用GOPOD试剂盒法, 在紫外分光

光度计中于510 nm波长下测定不同时间处的葡萄糖含量。各粉条样品的淀粉体外消化特性分别用RDS、SDS和RS表示, 具体计算公式如下:

$$RDS=(G_{20}\times 0.9/TS)\times 100\%\cdots\cdots(4)$$

$$SDS=(G_{120}-G_{20})\times 0.9/TS\times 100\%\cdots\cdots(5)$$

$$RS=100-RDS-SDS\cdots\cdots(6)$$

式中: RDS为快速消化淀粉(Rapidly digestible starch);

SDS为慢速消化淀粉(Slowly digestible starch);

RS为抗性淀粉(Resistant starch);

TS为总淀粉含量(Total starch), g(以淀粉水解180 min的葡萄糖含量计);

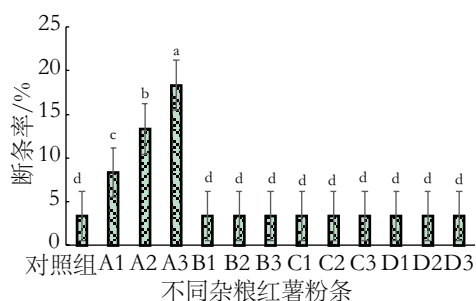
G_{20} 和 G_{120} 分别为淀粉在消化20 min和120 min释放的葡萄糖含量, g。

1.4 数据处理

对所得数据采用SPSS21.0软件进行显著性方差分析(One-way ANOVA), 对电子鼻原始数据进行PCA(Principal component analysis)分析由Origin 2019b软件完成并作图, 其余数据使用Microsoft Excel 2016软件作图。每次实验重复3次, 结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 杂粮粉对红薯粉条断条率的影响



注: 不同小写字母代表存在显著性差异($P<0.05$), 图2~图3同。

图1 添加不同杂粮粉的红薯粉条断条率

断条率可直观反映粉条的耐煮性, 断条率越高, 说明粉条的耐煮性越低, 品质则越差。由图1可知, 与对照组(纯红薯粉条)相比, 添加5%~15%葛根粉、山药粉和紫薯粉后, 红薯粉条的断条率无显著性变化, 均为3.33%; 而添加5%~15%板栗粉的红薯粉条则随着添加量的增加, 断条率逐渐增大, 说明其耐煮性逐渐下降。这可能是因为葛根粉、山药粉和紫薯粉添加量在5%~15%的范围与红薯

淀粉形成的混合凝胶网络结构在5 min左右的煮制过程中破坏程度较小^[6,14-15], 从而使其混合粉条的耐煮性表现为无显著性差异; 而板栗粉则可能含有较多的支链淀粉, 膨胀势高, 在红薯粉条中添加量增大时形成了更弱的凝胶网络结构, 故表现为粉条耐煮性下降, 断条率增大^[5]。

2.2 杂粮粉对红薯粉条吸水率的影响

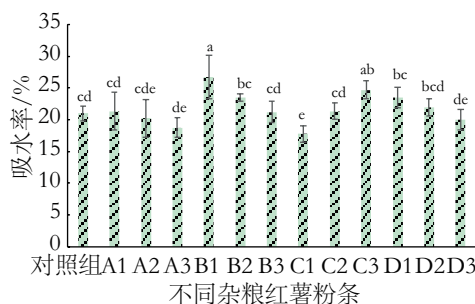


图2 添加不同杂粮粉的红薯粉条吸水率

吸水率可以反映红薯粉条内部凝胶网络结构的持水能力, 直接影响红薯粉条的食用口感。由图2可知, 不同种类的杂粮粉对红薯粉条的吸水率影响不同。添加5%~15%板栗粉、葛根粉和紫薯粉的红薯粉条的吸水率均随着添加量的增加而逐渐降低; 而添加山药粉的红薯粉条的吸水率则随着添加量的增加而增大。其中, 与纯红薯粉条相比, 添加5%~15%板栗粉、5%山药粉和15%紫薯粉的红薯粉条吸水率下降, 其余各质量分数杂粮粉均使红薯粉条吸水率增大。说明不同质量分数的杂粮粉均可以不同程度影响红薯粉条的持水能力。这可能是由于板栗粉、葛根粉、山药粉和紫薯粉各自不同的吸水能力和与红薯淀粉的共混能力不同所导致^[5,9,16]。

2.3 杂粮粉对红薯粉条蒸煮损失率的影响

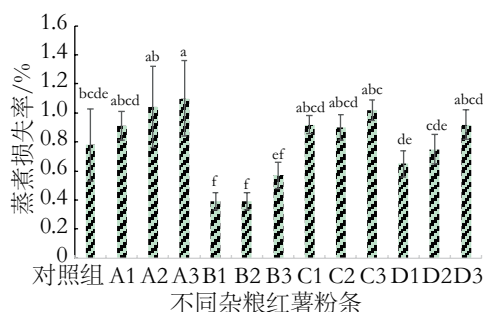


图3 添加不同杂粮粉的红薯粉条蒸煮损失率

蒸煮损失率可反映红薯粉条的耐煮性, 蒸煮损失率大说明红薯粉条在蒸煮过程中的溶解度大, 不耐煮; 蒸煮损失率越小, 说明红薯粉条的

品质越好^[17]。由图3可知,与纯红薯粉条相比,红薯粉条的蒸煮损失率均随着杂粮粉添加量的增加而呈上升趋势,说明杂粮粉添加量增多,红薯粉条越不易形成稳固的凝胶网络结构,导致在蒸煮过程中红薯粉条有更多的物质溶出^[5]。其中,添加5%~15%葛根粉和5%~10%紫薯粉的红薯

粉条蒸煮损失率显著较低,品质较好;说明这些浓度下的葛根粉和紫薯粉可以与红薯淀粉形成较好的、更牢固的网络结构,从而显著降低其蒸煮损失率。

2.4 杂粮粉对红薯粉条质构特性的影响

由表2可知,随着各杂粮粉添加量的增加,

表2 添加不同杂粮粉的红薯粉条质构特性

样品	硬度/N	内聚性/Ratio	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
对照组	5.41±0.23 ^{efg}	0.82±0.02 ^{bc}	0.85±0.03 ^c	4.78±0.20 ^{defg}	4.08±0.25 ^{cd}
A1	4.24±0.21 ^{gh}	0.77±0.04 ^c	0.85±0.07 ^c	3.41±0.23 ^{gh}	2.98±0.23 ^d
A2	7.22±0.64 ^{bc}	0.86±0.01 ^{abc}	0.81±0.07 ^c	6.35±0.50 ^{bc}	6.97±1.34 ^{ab}
A3	8.02±0.24 ^b	0.87±0.09 ^{ab}	0.75±0.07 ^c	7.28±0.89 ^b	8.31±1.05 ^a
B1	3.66±0.22 ^h	0.86±0.05 ^{abc}	1.05±0.13 ^{bc}	3.22±0.35 ^h	3.39±0.55 ^{cd}
B2	4.58±0.19 ^{fgh}	0.89±0.05 ^{ab}	1.19±0.06 ^{ab}	4.30±0.17 ^{efgh}	4.40±0.72 ^{cd}
B3	4.91±0.04 ^{gh}	0.92±0.03 ^a	1.19±0.13 ^{ab}	4.68±0.23 ^{gh}	5.10±0.16 ^{bed}
C1	4.59±0.28 ^{fgh}	0.89±0.02 ^{ab}	1.32±0.05 ^a	4.15±0.29 ^{fgh}	3.93±0.63 ^{cd}
C2	5.72±0.40 ^{def}	0.88±0.04 ^{ab}	0.94±0.09 ^c	5.30±0.27 ^{edef}	5.62±3.17 ^{bc}
C3	6.60±1.85 ^{cde}	0.80±0.06 ^{bc}	0.95±0.21 ^c	5.64±1.90 ^{cde}	7.03±0.57 ^{ab}
D1	6.29±0.94 ^{bc}	0.87±0.08 ^{ab}	0.89±0.04 ^c	6.18±0.70 ^{bcd}	5.27±0.69 ^{bed}
D2	6.86±0.53 ^{bed}	0.84±0.04 ^{abc}	0.85±0.02 ^c	6.45±0.80 ^{bc}	5.74±0.56 ^{bc}
D3	9.46±1.01 ^a	0.82±0.07 ^{abc}	0.83±0.32 ^c	10.04±1.39 ^a	9.07±2.67 ^a

注:同列数字肩标不同小写字母代表存在显著性差异($P<0.05$),表3~表4同。

所有红薯粉条的硬度、胶黏性和咀嚼性均呈逐渐增大的趋势;而内聚性和弹性则呈不同的变化趋势,其中,板栗粉和葛根粉添加量的增加使红薯粉条的内聚性增大,而山药粉和紫薯粉添加量的增大则使红薯粉条的内聚性下降;红薯粉条的弹性则随葛根粉添加量的增大而增强,而板栗粉、山药粉和紫薯粉添加量的增大则使红薯粉条的弹性下降。其中,添加5%板栗粉、5%~15%葛根粉和5%山药粉的红薯粉条的硬度显著低于纯红薯粉条,添加5%板栗粉和15%紫薯粉的红薯粉条的内聚性显著低于纯红薯粉条,添加10%~15%板栗粉和15%紫薯粉的红薯粉条的弹性低于纯红薯粉条,添加5%板栗粉、5%~15%葛根粉和5%山药粉的红薯粉条的胶黏性显著低于纯红薯粉条;添加5%板栗粉、5%葛根粉和5%山药粉的红薯粉条的咀嚼性显著低于纯红薯粉条。

粉条质构特性是其内部凝胶结构的宏观反映,而凝胶结构的形成又与粉条的组成成分和淀粉老化程度有关^[18-20]。不同杂粮粉由于所含营养成分不同,在水热加工过程中与红薯淀粉相互作用的程度也不同^[21-22],因此导致了不同杂粮粉对

红薯粉条质构特性的不同影响。

2.5 杂粮粉对红薯粉条色泽的影响

表3 添加不同杂粮粉的红薯粉条色泽

样品	L^* 值	a^* 值	b^* 值
对照组	85.23±0.31 ^d	-0.26±0.10 ^h	10.82±0.27 ^{bc}
A1	84.06±0.56 ^e	0.70±0.07 ^{fg}	11.03±0.22 ^b
A2	82.66±0.33 ^f	1.44±0.12 ^e	11.06±0.22 ^b
A3	77.59±0.42 ^g	2.56±0.05 ^d	12.02±0.22 ^a
B1	90.21±0.42 ^a	-0.38±0.05 ^{hi}	8.86±0.18 ^c
B2	88.13±0.45 ^b	-0.75±0.07 ^{ji}	10.35±0.58 ^{cd}
B3	86.55±0.04 ^c	-1.06±0.14 ^j	12.39±0.13 ^a
C1	85.61±0.34 ^d	0.58±0.08 ^g	10.90±0.12 ^b
C2	83.46±0.15 ^{ef}	0.86±0.04 ^{fg}	10.74±0.20 ^{bc}
C3	82.94±0.13 ^f	1.11±0.05 ^{ef}	10.21±0.19 ^d
D1	56.65±0.50 ^h	8.44±0.36 ^c	-5.88±0.28 ^f
D2	48.38±1.35 ⁱ	13.33±0.61 ^b	-10.41±0.41 ^g
D3	39.76±0.29 ^j	14.46±0.64 ^a	-10.97±0.25 ^h

各杂粮粉对红薯粉条色泽的影响见表3。由表3可知:添加板栗粉、葛根粉、山药粉和紫薯粉后,所有红薯粉条的 L^* 值随着添加量的增大而逐

渐下降, a^* 值随着添加量的增大而增大, b^* 值随着板栗粉、葛根粉和紫薯粉添加量的增加而增大, 随山药粉添加量的增加而降低。添加杂粮粉后, 红薯粉条的色泽既取决于杂粮粉自身的颜色, 也取决于杂粮粉中淀粉、蛋白质等组分与红薯淀粉之间相互作用的程度, 紫薯粉由于含有较多的花青素等色素成分^[23], 故其所制粉条色泽 L^* 值和 b^* 值最低, a^* 值最高。而其他杂粮粉由于自身与红薯淀粉的色泽差异, 则均使红薯粉条的 L^* 值降低, a^* 值增大^[24-25]。

2.6 杂粮粉对红薯粉条淀粉消化特性的影响

表4 添加不同杂粮粉的红薯粉条淀粉消化特性的影响

样品	RDS/%	SDS/%	RS/%
对照组	59.62±0.71 ^a	21.32±0.81 ^g	19.05±2.27 ^f
A1	57.57±1.30 ^{ab}	28.58±1.29 ^c	13.84±1.13 ^e
A2	54.71±0.71 ^c	32.24±1.28 ^b	13.05±1.81 ^g
A3	47.81±1.03 ^{ef}	38.28±1.59 ^a	13.91±0.95 ^g
B1	52.35±1.19 ^d	24.72±1.62 ^{ef}	22.92±1.06 ^{cd}
B2	49.57±1.56 ^e	26.42±0.56 ^{de}	24.01±2.11 ^{bcd}
B3	46.23±1.64 ^{fg}	28.65±1.21 ^e	25.11±1.78 ^{bc}
C1	56.51±0.97 ^{bc}	23.62±1.27 ^f	19.86±1.00 ^{ef}
C2	52.49±1.49 ^d	26.38±1.26 ^{de}	22.12±1.56 ^{de}
C3	45.13±1.40 ^g	28.36±1.29 ^{cd}	26.51±1.06 ^{ab}
D1	57.13±1.63 ^b	21.46±0.97 ^g	21.41±1.14 ^{def}
D2	54.86±0.58 ^c	23.87±0.26 ^f	21.26±1.28 ^{def}
D3	45.12±1.23 ^g	26.77±1.07 ^{cde}	28.11±1.78 ^a

由表4可知, 和纯红薯粉条相比, 随着杂粮粉添加量的增大, 添加杂粮粉后红薯粉条的RDS含量逐渐下降, 而SDS和RS含量逐渐增大。其中, 添加15%山药粉和15%紫薯粉的红薯粉条的RDS含量最低, 分别为45.13%和45.12%; 添加15%板栗粉的红薯粉条的SDS含量最高, 为38.28%; 添加15%紫薯粉的红薯粉条的RS含量最高, 为28.11%。RDS能够在体内被快速吸收而导致血糖迅速升高, 不利于人体健康。SDS可以在体内缓慢持续地消化吸收从而有利于维持人体血糖平衡, 而RS在小肠内无法消化吸收, 可以有效降低血糖水平和预防糖尿病、肥胖病的发生而有利于人体健康^[26-27]。紫薯粉中的花色苷及多酚类物质可能通过一些非共价键与淀粉成分相互作用, 从而改变了淀粉在酶解过程中的方式^[6], 而板栗粉、山药粉和葛根粉中的淀粉、蛋白等物质可能与红薯淀粉分子结构不同, 从而影响了杂粮红薯

粉条中淀粉的酶解方式, 改变其最终的消化模式^[7,22,28]。

2.7 杂粮粉对红薯粉条淀粉挥发性物质的影响

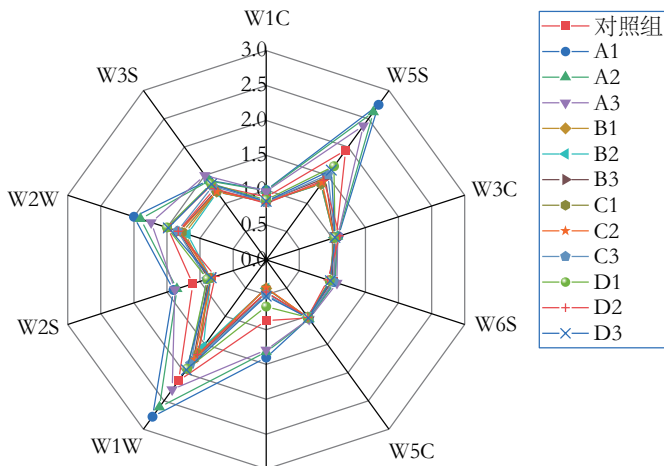


图4 杂粮粉对红薯粉条挥发性成分影响分析雷达图

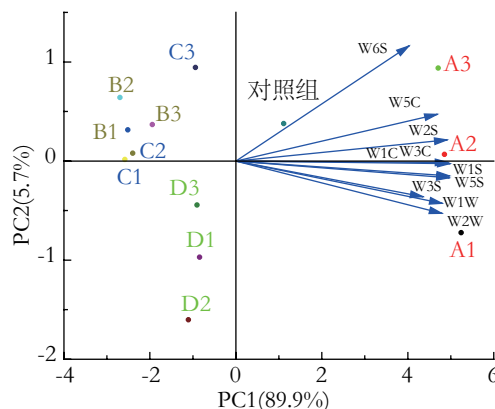


图5 杂粮粉对红薯粉条挥发性气味影响PCA主成分分析

杂粮粉对红薯粉条挥发性物质的影响结果分别见图4~图5。从图4可以看出, 添加不同杂粮粉使红薯粉条的挥发性物质产生显著性差异。结合表1数据, 板栗粉的添加使红薯粉条在W5S(氮氧化合物)、W1S(甲基类)、W1W(硫化物、萜烯类)、W2S(醇类、醛酮类)和W2W(有机硫化物芳香成分)这5类气味成分信号值增强; 而添加葛根粉、山药粉和紫薯粉则使红薯粉条在W5S(氮氧化合物)、W1S(甲基类)、W1W(硫化物、萜烯类)、W2S(醇类、醛酮类)和W2W(有机硫化物芳香成分)以及W1C这6类气味成分信号值减弱。

进一步对各红薯粉条的电子鼻结果进行主成分分析。由图5可知, PC1的方差贡献率为89.9%, PC2的方差贡献率为5.7%, PC1和PC2的累积方差贡献率为95.6%, 说明PC1与PC2能够较



好地反映各红薯粉条样品的基本信息。在PC1方向上,所有样品均与对照组(纯红薯粉条)距离较远,说明添加杂粮粉之后使红薯粉条的挥发性气味成分在PC1方向上产生较大差异,其中样品A1~A3(添加5%~15%板栗粉的红薯粉条)与其他样品之间有明显距离,其余样品之间的距离较小,说明添加板栗粉的红薯粉条的挥发性气味成分在PC1与其他样品有明显差异^[29]。在PC2方向上,所有样品之间均有一定距离,样品A3、C3距离相近,位于最上;样品B1、B2、B3、C1、C2、A2和对照组距离接近,位于中间,样品D1、D2、D3和A1距离接近,位于最下。由此可见在PC2方向上能有效区分各杂粮红薯粉条样品。综上所述,添加不同杂粮粉后使红薯粉条的挥发性成分产生了较大差异,在增加营养价值的同时,能够更加丰富其感官品质。

3 结论

本文对比分析了添加不同质量分数(5%、10%、15%)的板栗粉、葛根粉、山药粉和紫薯粉对红薯粉条品质特性的影响。实验结果表明:在5%~15%添加量范围内,板栗粉使红薯粉条的断条率和蒸煮损失率增大;葛根粉、山药粉和紫薯粉对红薯粉条的断条率影响较小,添加葛根粉和紫薯粉还可进一步降低红薯粉条的蒸煮损失率。质构特性表明,除葛根粉外,添加10%和15%板栗粉、山药粉和紫薯粉均使红薯粉条的硬度、胶黏性和咀嚼性提高,能够赋予红薯粉条更好的筋道感和嚼劲。添加杂粮粉改善了红薯粉条的淀粉消化特性,表现为更低的RDS和更高的SDS含量。板栗粉与其他杂粮粉在对红薯粉条挥发性成分的影响上有较大的差异,表现为使红薯粉条的氮氧化合物、甲基类、硫化物、萜烯类、醇类、醛酮类和有机硫化物芳香成分等气味成分信号值增强。综上所述,添加杂粮粉可以有效改善红薯粉条的蒸煮品质、感官品质和营养价值,为红薯粉条营养化提供一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 周超.板栗粉在面制品中的应用研究进展[J].安徽农学通报,2023,29(9):164-166.
- [2] 邵颖,魏宗烽.板栗粉对面包老化及品质影响的研究[J].中国酿造,2009,(9):137-139.
- [3] 郭文滔,郑志,季一顺,等.添加葛根粉对冷冻馒头食用品质的影响[J].食品安全质量检测学报,2023,14(11):9-16.
- [4] 彭毅秦,肖猛,何江红,等.板栗粉面皮工艺及品质研究[J].食品与发酵科技,2019,55(1):53-58.
- [5] 邵颖,李飞,魏宗烽,等.板栗全粉添加对红薯粉物性及粉条品质的影响[J].食品研究与开发,2021,42(10):118-122.
- [6] 张文婷,钮福祥,孙健,等.紫薯粉膳食纤维复合挂面与普通挂面挥发性风味物质的比较[J].江苏师范大学学报(自然科学版),2020,38(3):32-35.
- [7] 曹蒙,王雪菲,柳诚刚,等.葛根粉对面条质构和蒸煮品质的影响及葛根面条配方优化[J].中国食品添加剂,2023,34(7):149-158.
- [8] 林晓丽,郎凯瞳,郑宝东,等.山药营养功能特性及其产品开发现状[J].食品与发酵工业,2023,49(6):339-346.
- [9] 邢丽君,木泰华,张苗,等.紫薯全粉添加量对甘薯淀粉物化特性及粉条性质的影响[J].核农学报,2015,29(3):484-492.
- [10] 袁甜甜,谢钰欣,张蕾,等.干制过程中甘薯粉条老化规律研究[J].食品安全质量检测学报,2023,14(1):25-32.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,国家农副加工产品及白酒质量监督检验中心.粉条:GB/T 23587—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [12] YANG S Z, Y C N, HUANG Q X, et al. Effect of alum substitute on the quality of sweet potato vermicelli[J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2009, 24(10):54-58.
- [13] ENGLYST K N, LIU S M, ENGLYST H N. Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2007, 61(1):19-39.
- [14] LIANG J, MAEDA T, TAO X L, et al. Physicochemical properties of pueraria root starches and their effect on the improvement of buckwheat noodle quality[J]. Cereal Chemistry Journal, 2017, 94(3):554-559.
- [15] 陶湘林,郭晋琦,吴跃辉,等.太空葛根的营养功能成分及淀粉理化特性评价[J].中国粮油学报,2017,32(12):38-43.
- [16] 罗鑫.山药无糖蒸蛋糕配方研究[J].现代面粉工业,2022,36(4):10-13.
- [17] 褚乾梅,李书艺,胡贝,等.接种发酵对阴米粉物化特性及米粉粉条品质的影响[J].食品工业科技,2015,36(3):190-194.
- [18] 赵俊,黄永春,张昆明,等.壳聚糖对米粉条质构特性的影响[J].中国调味品,2022,47(2):46-49,54.
- [19] 黄丽行,黄建蓉,宋丰林,等.紫薯粉对蛋糕质构及抗氧化性的影响[J].农产品加工,2022,(8):57-60.
- [20] FENG Y Y, MU T H, ZHANG M, et al. Effects of different polysaccharides and proteins on dough rheological properties, texture, structure and *in vitro* starch digestibility of wet sweet potato vermicelli[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 148:1-10.
- [21] 任彦莲,陈芦根.紫薯深加工产品开发研究进展[J].农业科技通讯,2019,(12):9-11.
- [22] 赵灿,陶星宇,汤尚文,等.甘薯淀粉对山药凝胶肠理化特性的影响[J].中国粮油学报,2023,38(2):58-65.



- [23] 刘欣,吴添添,雷永伟,等.甘薯粉与紫薯粉复配馒头的制备及其品质影响研究[J].粮食与饲料工业,2023,(2):28-33,50.
- [24] 莫茹茵.葛根馒头的最佳工艺研究与营养成分分析[J].食品安全导刊,2016,(30):148-150.
- [25] 胡欣宇,明建,王姝,等.超微板栗粉对海绵蛋糕品质的影响[J].食品与机械,2022,38(7):220-226.
- [26] 余远江,何丽君,谢承孟,等.抗性淀粉的生理功效及其在食品工业中的应用研究进展[J].轻工科技,2018,34(5):43-45.
- [27] FUJIMOTO A, SATIO T, KOU S, et al. Evaluation of physical properties, functional components, and starch digestibility of dumpling skins made from barley flour with various amounts of β -glucan[J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi,2023,70(2):63-71.
- [28] 刘荟,周葵,张雅媛,等.板栗淀粉、蛋白质及全粉的特性及在面包中应用研究[J].中国粮油学报,2021,36(7):54-61,83.
- [29] 康林芝,陈霖,黄晓璇,等.基于电子鼻和电子舌对广东地区腐乳气味和滋味的差异分析[J].中国酿造,2023,42(5):243-247.
- [30] 缪璐,何善廉,莫佳琳,等.电子鼻技术在朗姆酒分类识别中的应用研究[J].广西糖业,2016,(4):24-33.