



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

蒋华彬¹, 张小飞¹, 覃先武², 李 库², 沈 硕², 白 洁¹, 李经纬¹, 彭义交^{1*}

(1.北京食品科学研究院, 北京 100162;

2.安琪酵母股份有限公司, 湖北 宜昌 443003)

摘要: 分别将酵母抽提物(YE)在挤压膨化前后添加到藜麦粉中得到YE藜麦膨化粉和YE+藜麦膨化粉, 利用味觉分析系统、GC-MS等方法分析藜麦膨化粉、YE藜麦膨化粉和YE+藜麦膨化粉的味觉特性及挥发性风味物质, 并进行感官评价。结果表明: 与藜麦膨化粉相比, YE+藜麦膨化粉的香味浓郁, 感官评分较高, 苦味、涩味、苦味回味、涩味回味显著降低。与YE+藜麦膨化粉相比, YE藜麦膨化粉的苦味、涩味、苦味回味、涩味回味均升高。藜麦膨化粉、YE+藜麦膨化粉、YE藜麦膨化粉中分别鉴定出48、52、56种挥发性风味物质; 藜麦膨化粉、YE+藜麦膨化粉关键挥发性物质均为戊醛、正己醛、正辛醛、壬醛、反-2-辛烯醛、癸醛、反-2-壬烯醛、苯乙醛、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃; 与藜麦膨化粉相比, YE+藜麦膨化粉关键挥发性物质的种类没有变化, 但含量升高; 与YE+藜麦膨化粉相比, YE藜麦膨化粉关键挥发性物质中戊醛未检出, 仅反-2-壬烯醛、苯乙醛含量升高, 其他均降低。在挤压膨化后添加YE可以显著改善藜麦膨化粉的感官品质, 降低其苦涩味, 使其天然谷物香味更加浓郁; 在挤压膨化前添加YE未改善藜麦膨化粉的感官品质, 且比挤压膨化后添加YE得到的藜麦膨化粉的苦涩味更重、风味品质下降。因此, 在挤压膨化后将YE添加到藜麦粉中比挤压膨化前添加更适合。

关键词: 酵母抽提物; 藜麦膨化粉; 挤压膨化; 味觉特性; 挥发性风味物质

中图分类号: TS 202.3

文献标志码: A

文章编号: 1005-9989(2022)01-0277-09

DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2022.01.010

Effect of Different Addition Methods of Yeast Extract on Sensory Quality, Taste Characteristics and Volatile Flavor Compounds of Quinoa Puffed Powder

JIANG Huabin¹, ZHANG Xiaofei¹, QIN Xianwu², LI Ku², SHEN Shuo², BAI Jie¹, LI Jingwei¹, PENG Yijiao¹

(1.Beijing Academy of Food Sciences, Beijing 100162, China;

2.Angel Yeast Co., Ltd., Yichang 443003, China)

Abstract: YE quinoa puffed powder and YE+quinoa puffed powder were obtained by the addition of

收稿日期: 2021-06-28

*通信作者

作者简介: 蒋华彬(1989—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为农副产品加工。

yeast extract to quinoa powder before or after extrusion. The taste characteristics and volatile flavor compounds of quinoa puffed powder, YE quinoa puffed powder and YE+ quinoa puffed powder were analyzed by means of taste analysis system and GC-MS. The results showed that compared with quinoa puffed powder, YE+quinoa puffed powder had rich aroma and higher sensory score, and the taste bitter, the taste astringent, the after taste bitter and the after taste astringent of which decreased significantly. compared with YE+quinoa puffed powder, the taste bitter, the taste astringent, the after taste bitter and the after taste astringent of YE quinoa puffed powder increased. 48, 52 and 56 volatile flavor compounds were detected respectively in quinoa puffed powder, YE+quinoa puffed powder and YE quinoa puffed powder. The key volatile flavor compounds of quinoa puffed powder and YE+quinoa puffed powder both were pentanal, hexanal, octanal, nonanal, 2-octenal, (e)-, decanal, 2-nonenal, (e)-, benzeneacetaldehyde, 1-octen-3-ol and furan, 2-pentyl-. Compared with quinoa puffed powder, the key volatile flavor compounds of YE+quinoa puffed powder were the same, but the content of which increased. Compared with YE+quinoa puffed powder, the key volatile flavor compounds of YE quinoa puffed powder, pentanal was not detected, the content of 2-Nonenal, (E)-and benzeneacetaldehyde increased, the content of the others decreased. The addition of yeast extract after extrusion could improve the sensory quality of quinoa puffed powders, reduce the taste bitter and taste astringent, and enrich the natural grain aroma. The addition of yeast extract before extrusion could not improve the sensory quality of quinoa puffed powder. Compared with the addition of yeast extract after extrusion, the quinoa puffed powder was obtained by the addition of yeast extract before extrusion, had a higher the taste bitter and taste astringent, and the aroma quality of which decreased. Therefore, it is more suitable the addition of YE to quinoa powder after extrusion than before extrusion.

Key words: yeast extract; quinoa puffed powder; extrusion; taste characteristics; volatile flavor compounds

藜麦原产于南美洲安第斯山脉，是当地一种主要的传统粮食作物，近年来在我国的西藏、青海、山西及内蒙古等地广泛种植^[1]。藜麦营养价值较高，富含优质的蛋白质、不饱和脂肪酸、矿物质和维生素等营养物质，蛋白质含量14%~18%，脂类含量4.4%~8.8%，淀粉含量48%~69%^[2]。研究还表明藜麦具有降胆固醇、抗氧化、预防糖尿病、抑制肥胖和增强免疫应答等多项生理功能^[3-4]。

酵母抽提物(Yeast extract, YE)是以食品用酵母为主要原料，经酶解、浓缩(制粉)制成的膏状或粉末状的风味类产品。它富含氨基酸、小分子肽、核苷酸和各类挥发性芳香物质，这些风味成分赋予了食品较强的鲜味、肉香、酱香、浓厚感等^[5]。YE作为一种营养丰富、使用安全、具有保健功能的天然调味辅料，在食品工业中得到了广泛的应用，且应用发展日益迅猛。

双螺杆挤压膨化作为一种高温短时连续的物理改性技术，具有效率高、成本低、营养损失小等优点。物料经螺杆输送、混合、捏合、挤压等过程，在高温、高压、高剪切力作用下，挤压机械头出口处内外压差增大，从而使物料膨化^[6]。

随着城市化节奏的加快，方便食品因容易携带、食用方便、口感丰富多样而受到人们的青睐。以藜麦为主要原料，采用挤压膨化技术开发即食藜麦膨化粉，不仅有利于提高膨化粉的营养价值，还可以提高藜麦的附加值，增加当地农民的收入。预实验结果表明将适量的酵母抽提物添加到藜麦膨化粉中，产品的口感更加协调、柔和，香味更加浓郁，感官品质得到显著提高。本文分别将YE在挤压膨化前后添加到藜麦粉中得到YE藜麦膨化粉和YE+藜麦膨化粉，利用味觉分析系统、GC-MS等方法分析藜麦膨化粉、YE藜麦膨化粉和YE+藜麦膨化粉的味觉特性及挥发性风味物质，并进行感官评价，以期在YE在藜麦等即食谷物膨化粉中的应用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

藜麦：西藏拉萨市净土产业投资开发有限公司；大米(梗稻)：沈阳龙泰米业有限公司；FA31酵母抽提物：安琪酵母股份有限公司。

1.2 仪器与设备

双螺杆挤压膨化设备：山东德固机械设备

有限公司; ME204E分析天平: 瑞士METTLER TOLEDO公司; TGL16M高速冷冻离心机: 长沙湘智离心机仪器有限公司; TS5000Z味觉分析系统: 日本INSENT公司; GCMS-QP2020气质联用仪: 日本岛津公司。

1.3 实验方法

1.3.1 3种藜麦膨化粉的制备 将藜麦7 kg、大米3 kg、水800 g混合均匀后进行挤压膨化, 冷却后粉碎过80目筛网, 得到藜麦膨化粉; 将藜麦膨化粉和YE(质量比为100:1)混匀, 得到YE+藜麦膨化粉; 将藜麦7 kg、大米3 kg、YE 100 g、水800 g混合均匀后进行挤压膨化, 冷却后粉碎过80目筛网, 得到YE藜麦膨化粉。3种藜麦膨化粉的挤压膨化工艺均为: 挤压温度170 ℃、喂料电机6 Hz、螺杆转速10 Hz。

1.3.2 感官评价 选取食品相关专业10名人员(男女各5名), 经培训后进行藜麦膨化粉的感官评价。取藜麦膨化粉10.0 g、YE+藜麦膨化粉10.1 g和YE藜麦膨化粉10.1 g, 分别加入白砂糖4 g、乳粉2 g, 混合均匀, 然后将样品放入品尝杯中, 倒入90 g热水(90 ℃以上), 搅拌均匀。待温度降到可食用时, 进行感官评价。感官评分标准见表1。

表1 藜麦膨化粉感官评分标准

项目	分值	评分标准
风味 (30分)	21~30分	风味协调、乳香味浓郁、无异味
	11~20分	风味不够协调、具有乳香味、无异味
	1~10分	风味不协调、乳香味较淡、有异味
滋味 (30分)	21~30分	口感协调、柔和、甜味适中
	11~20分	口感不够协调, 甜味淡
	1~10分	口感不协调, 有异味
色泽 (20分)	15~20分	色泽正, 呈淡黄色, 光泽度好
	8~14分	色泽好, 颜色偏暗, 光泽度一般
	1~7分	色泽较差、颜色偏深, 光泽度差
冲调性 (20分)	15~20分	溶解迅速, 均匀, 无分层
	8~14分	少量结块, 略有分层, 搅拌后溶解
	1~7分	结块多, 分层明显

1.3.3 味觉特性分析 取藜麦膨化粉10.0 g、YE+藜麦膨化粉10.1 g和YE藜麦膨化粉10.1 g, 分别加入白砂糖4 g、乳粉2 g, 混合均匀, 然后将样品放入品尝杯中, 倒入90 g热水(90 ℃以上), 搅拌均匀。待温度降到可食用时, 8000 r/min离心10 min, 取上清液过滤后采用TS5000Z味觉分析系统进行上机测试。检测条件: 样品体积为60.0 mL,

基线调整时间为30 s, 单样品测定周期为330 s, 每次测试后使用基准液进行冲洗, 冲洗时间为30 s, 采集时间为30 s, 做4次重复, 取后3次数据进行分析。

1.3.4 SPME操作步骤 取藜麦膨化粉1.00 g、YE+藜麦膨化粉1.01 g和YE藜麦膨化粉1.01 g, 分别放入20 mL样品瓶中, 加入4 g水, 盖上盖子, 放入恒温水浴中预热10 min, 萃取温度70 ℃, 萃取时间40 min, 将DVB/CAR/PDMS萃取头插入样品瓶, 推出纤维头, 纤维头与样品保持1.5 cm左右, 当样品萃取时间结束时, 缩回纤维头, 从样品瓶中拔出萃取头, 立即将萃取头插入气相色谱仪的进样口, 推出纤维头进行热解析5 min, 同时启动气相色谱仪采集数据。

1.3.5 GC-MS参数条件 色谱条件: 进样口温度250 ℃, SPME插入进样口解吸5 min, 载气为高纯氮气, 流量1.0 mL/min, 不分流。程序升温(共42 min): 起始温度40 ℃, 保持2 min; 以10 ℃/min的速度升至100 ℃, 保持1 min; 以4 ℃/min的速度升至140 ℃, 保持0 min; 再以5 ℃/min的速度升至250 ℃, 保持1 min。质谱条件: 接口温度250 ℃, 离子源温度230 ℃, 电子能量70 eV, 扫描质量范围33~450 u, 溶剂延迟2 min。

1.3.6 GC-MS分析 数据处理: 通过NIST08谱库对挥发性风味物质进行检索, 仅当匹配度大于800的鉴定结果才予以确认, 并结合相关文献进一步确认藜麦膨化粉的风味物质。各风味物质的相对含量 C_i 可通过峰面积归一化法计算得到。

$$C_i(\%) = (m_i/m) \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

式中: m_i 为各风味物质的峰面积;
 m 为总峰面积。

相对气味活度值(ROAV)^[7]的计算: 采用相对气味活度值法确定样品关键风味物质, 样品总体风味贡献最大组分的ROAV定义为100, 其他组分的ROAV按式(2)计算。

$$ROAV_i \approx 100 \times (C_i/C_{stan}) \times (T_{stan}/T_i) \dots\dots\dots(2)$$

式中: C_i 为各风味物质的相对含量;
 T_i 为各风味物质的感觉阈值;
 C_{stan} 为样品总体风味贡献最大组分的相对含量;
 T_{stan} 为样品总体风味贡献最大组分的感觉阈值。

1.4 数据处理与分析

本实验采用Excel 2010和SPSS 17.0软件进行数

据分析。

2 结果与分析

2.1 3种藜麦膨化粉感官品质分析

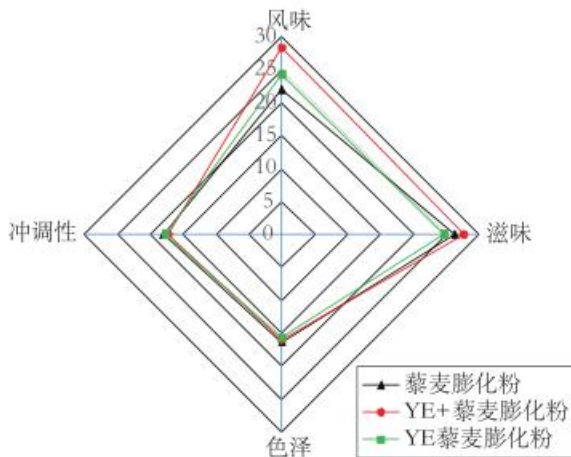


图1 3种藜麦膨化粉的感官评价

图1为3种藜麦膨化粉的感官评价结果。由图1可知，藜麦膨化粉和YE+藜麦膨化粉感官评分差异显著，藜麦膨化粉和YE藜麦膨化粉感官评分差异不显著。3种藜麦膨化粉的色泽、冲调性差异不显著，表明添加YE不会影响藜麦膨化粉的颜色、冲调稳定性；YE+藜麦膨化粉的风味、滋味均好于藜麦膨化粉，YE藜麦膨化粉的风味好于藜麦膨化粉，但滋味比藜麦膨化粉略差。与藜麦膨化粉相比，YE+藜麦膨化粉的香味浓郁，感官评分较高，YE藜麦膨化粉的感官评分变化不大。

2.2 3种藜麦膨化粉的味觉特性分析

2.2.1 味觉特性信号的PCA分析

表2 主成分的特征值及其贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	4.53	56.60	56.60
2	3.05	38.09	94.69
3	0.21	2.63	97.32
4	0.11	1.43	98.75
5	0.08	1.00	99.75
6	0.02	0.19	99.94
7	0.00	0.05	99.98
8	0.00	0.02	100.00

对藜麦膨化粉、YE+藜麦膨化粉和YE藜麦膨化粉的味觉特性响应信号进行主成分分析，主成分的特征值及其贡献率见表2。由表2可知，前2个

主成分的累计贡献率达到94.69%，表明这2个主成分可以很好地代表样品的总体味觉特性。以第1主成分值作为横坐标，第2主成分值作为纵坐标可得到主成分散点图，见图2。图2中藜麦膨化粉分布在第一象限，YE+藜麦膨化粉分布在第三象限，YE藜麦膨化粉分布在第四象限。3个样品组之间空间分布距离较远，表明这3个样品味觉特性存在很大差异，藜麦膨化粉、YE藜麦膨化粉和YE+藜麦膨化粉的味觉特性差异显著，味觉分析系统可以有效地将3种藜麦膨化粉区分开。

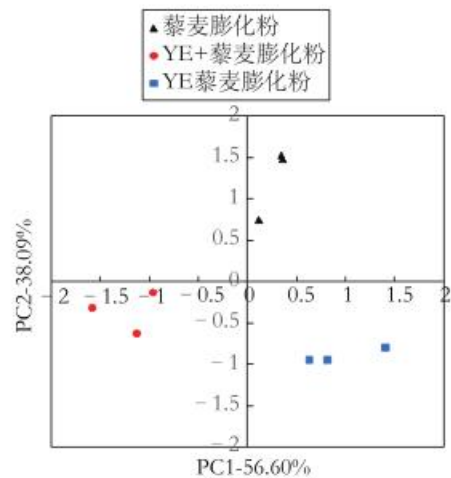


图2 3种藜麦膨化粉味觉特性响应信号PCA分析

2.2.2 3种藜麦膨化粉的味觉特性分析

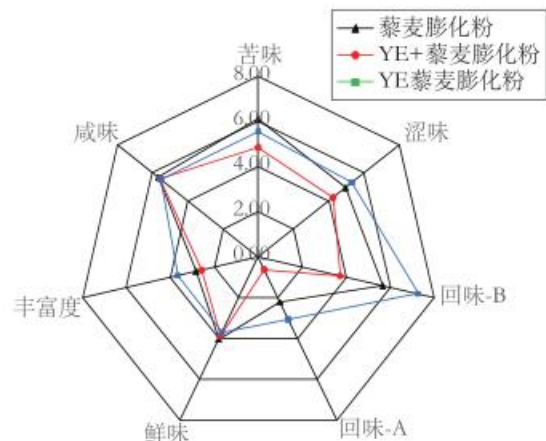


图3 3种藜麦膨化粉味觉特性雷达图

图3为藜麦膨化粉、YE+藜麦膨化粉和YE藜麦膨化粉味觉特性的变化。由图3可知，3种藜麦膨化粉味觉特性差异显著。与藜麦膨化粉相比，YE+藜麦膨化粉苦味、涩味、苦味回味、涩味回味显著降低，而鲜味、丰富度、咸味的变化不明显。藜麦中含有水溶性皂苷，会产生苦涩味，影



响藜麦食用的口感,人们对食用天然藜麦有抵触情绪^[8]。YE具有除去苦味的效果,对异味和异臭具有屏蔽剂的功能^[9]。与YE+藜麦膨化粉相比, YE藜麦膨化粉的苦味、涩味、苦味回味、涩味回味、丰富度均升高,而鲜味、咸味的变化不明显。YE中某些氨基酸会呈现出苦味特性,如组氨酸、赖氨酸、缬氨酸、精氨酸等^[10]。挤压膨化过程中, YE中大分子肽在高温、高压、高剪切力作用下降解为小分子肽、氨基酸,从而导致苦味氨基酸浓度升高,苦味、涩味、苦味回味、涩味回味升高。

2.3 3种藜麦膨化粉挥发性风味物质分析

2.3.1 藜麦膨化粉挥发性风味物质分析 利用GC-MS对藜麦膨化粉挥发性风味物质进行分析,经谱库检索识别鉴定出48种挥发性物质,食品的风味与化合物官能团有着某些相关性,因此根据

官能团对这些化合物进行分类,结果见表3。其中藜麦膨化粉风味物质包括醛类15种(18.43%)、酯类7种(7.53%)、酸类6种(12.94%)、酮类3种(1.46%)、烃类9种(52.47%)、醇类2种(1.93%)和其他类6种(5.23%)。本研究表明醛类、酸类、烃类为藜麦膨化粉主要挥发性风味物质组成,这是由于藜麦中游离脂肪酸的含量较高,脂肪酸经挤压膨化处理氧化分解成醛类物质。醛类物质一般具有较强的挥发性,且感觉阈值较低,对样品风味贡献相对较大,是食品中重要的风味物质^[11]。低浓度的酸会赋予清淡的、令人愉快的香味,但浓度过高时会对产品风味产生消极的影响。烃类物质虽然其相对含量较高,接近总含量的一半,但感觉阈值也较高,对样品风味的贡献不大^[9]。

仅通过挥发性风味物质的相对含量无法确认其对风味的影响,相对含量高的挥发性物质并不

表3 3种藜麦膨化粉挥发性风味物质

序号	保留时间/min	中文名称	峰面积/ $\times 10^6$			相对含量/%		
			藜麦膨化粉	YE+藜麦膨化粉	YE藜麦膨化粉	藜麦膨化粉	YE+藜麦膨化粉	YE藜麦膨化粉
醛类								
1	3.520	戊醛	0.53±0.01	0.72±0.01	—	1.50	2.11	—
2	4.951	正己醛	1.29±0.08	1.41±0.15	0.64±0.06	3.62	4.12	2.25
3	6.423	5-甲基己醛	0.67±0.01	0.85±0.1	0.36±0.02	1.89	2.49	1.28
4	6.612	庚醛	—	0.7±0.03	0.15±0.03	—	2.04	0.53
5	8.003	正辛醛	0.25±0.02	0.38±0.07	0.14±0.01	0.70	1.10	0.49
6	8.633	反-2-十二烯醛	0.66±0.16	0.81±0.09	0.54±0.05	1.86	2.37	1.89
7	9.856	壬醛	0.5±0.02	0.74±0.07	0.4±0.02	1.39	2.16	1.39
8	10.599	反-2-辛烯醛	0.37±0.09	0.45±0.01	0.21±0.03	1.05	1.32	0.72
9	11.356	3-糠醛	0.33±0.01	0.43±0.02	0.44±0.01	0.94	1.25	1.55
10	11.965	反,反-2,4-庚二烯醛	0.2±0.04	0.17±0.01	0.1±0	0.56	0.49	0.36
11	12.101	癸醛	0.26±0.01	0.25±0.03	0.12±0.01	0.73	0.75	0.41
12	12.602	苯甲醛	0.58±0.01	0.78±0.02	0.9±0.02	1.62	2.27	3.16
13	13.024	反式-2-壬烯醛	0.17±0.01	0.17±0.05	0.23±0.01	0.48	0.49	0.81
14	15.355	苯乙醛	0.28±0.01	0.32±0.04	0.91±0.08	0.79	0.93	3.20
15	15.477	2-十一烯醛	0.25±0.03	0.3±0.04	0.18±0.03	0.71	0.88	0.64
16	19.563	反,正-2,4-癸二烯醛	0.21±0.05	0.25±0.02	0.17±0.01	0.59	0.73	0.61
酯类								
17	9.304	甲酸己酯	0.55±0.02	0.63±0.02	0.46±0.04	1.54	1.86	1.60
18	13.556	甲酸辛酯	0.18±0	0.18±0.03	0.1±0.02	0.52	0.52	0.36
19	21.134	2-甲基丙酸3-羟基-2,2,4-三甲基戊酯	0.18±0.02	0.31±0.04	0.25±0.04	0.50	0.92	0.90
20	24.384	丙位壬内酯	0.34±0.04	0.41±0.05	0.15±0.02	0.96	1.19	0.53
21	28.594	棕榈酸甲酯	0.42±0.09	0.47±0.03	0.31±0.06	1.17	1.37	1.10
22	32.634	反-9-十八碳烯酸甲酯	0.35±0.08	0.38±0.09	0.23±0.02	0.98	1.11	0.82
23	33.423	亚油酸甲酯	0.66±0.01	0.71±0.14	0.5±0.09	1.86	2.07	1.75

续表

序号	保留时间/min	中文名称	峰面积/ $\times 10^6$			相对含量/%		
			藜麦膨化粉	YE+藜麦膨化粉	YE藜麦膨化粉	藜麦膨化粉	YE+藜麦膨化粉	YE藜麦膨化粉
酸类								
24	32.063	硬脂酸	0.23±0.04	0.15±0	0.16±0.01	0.64	0.43	0.56
25	34.712	十七烷酸	—	—	0.56±0.04	—	—	1.95
26	36.608	肉豆蔻酸	0.53±0.03	0.3±0.05	0.46±0.03	1.50	0.89	1.61
27	37.672	木焦油酸	—	—	0.69±0.01	—	—	2.43
28	36.970	亚油酸	0.3±0.03	—	—	0.85	—	—
29	38.212	十五烷酸	0.26±0.08	0.23±0.1	0.3±0.04	0.73	0.66	1.06
30	39.756	二十酸	2.8±0.29	2.4±0.02	2.45±0.07	7.86	7.02	8.61
31	40.263	18-正癸酸	0.48±0.01	0.23±0.02	0.34±0.01	1.36	0.67	1.20
酮类								
32	8.881	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.18±0.06	0.2±0	0.18±0.04	0.51	0.59	0.62
33	13.719	3,5-辛二烯-2-酮	0.19±0.06	0.29±0.04	0.19±0.07	0.54	0.84	0.67
34	14.265	1-(2-甲基-1-环戊烯基)乙酮	—	—	0.13±0.01	—	—	0.45
35	20.065	2'-(叔丁基二甲基甲硅烷基)氧基-2,4,4',6'-四甲氧基查尔酮	0.15±0.01	0.28±0.04	0.15±0.01	0.41	0.83	0.54
36	20.841	香叶基丙酮	—	—	0.15±0.03	—	—	0.52
37	25.363	反式-3-壬烯-2-酮	—	0.19±0.03	0.1±0	—	0.56	0.34
烃类								
38	3.377	2,2-二甲基十一烷	0.84±0.07	0.38±0.03	0.7±0.06	2.35	1.12	2.46
39	9.082	十二甲基环己硅氧烷	0.99±0.1	0.63±0.05	1.16±0.05	2.78	1.84	4.07
40	10.278	十四烷	—	0.39±0.07	0.3±0.04	—	1.14	1.07
41	12.201	正十七烷	0.27±0.02	0.29±0.02	0.23±0.02	0.76	0.84	0.80
42	12.685	十二甲基二氢六硅氧烷	4.47±0.14	2.67±0.07	3.04±0.07	12.55	7.83	10.70
43	14.792	正二十一烷	0.17±0.01	0.22±0.04	0.23±0.01	0.49	0.66	0.81
44	17.057	[[4-[1,2-双[(三甲基甲硅烷基)氧基]乙基]-1,2-亚苯基]双(氧基)]双三甲硅烷	6.77±0.11	5.13±0.13	3.69±0.09	19.02	15.02	13.01
45	21.288	十二甲基环六硅氧烷	4.1±0.04	3.88±0.21	2.38±0.14	11.52	11.35	8.38
46	24.815	1,1,1,5,7,7,7-七甲基-3,3-双(三甲基甲硅烷基)四硅氧烷	0.88±0	0.9±0.08	0.56±0.06	2.47	2.63	1.96
47	27.905	十四甲基六硅氧烷	0.19±0.01	0.23±0.03	0.16±0.02	0.53	0.67	0.58
醇类								
48	5.168	2-乙基环丁醇	—	0.4±0.08	—	—	1.18	—
49	11.145	1-辛烯-3-醇	0.35±0.04	0.41±0.08	0.26±0.04	0.99	1.20	0.91
50	14.958	2-辛烯-1-醇	—	—	0.12±0.01	—	—	0.43
51	15.738	二甲基硅烷二醇	0.33±0.04	0.28±0.03	0.28±0.03	0.94	0.82	0.99
其他								
52	7.001	2-戊基咪喃	0.31±0.01	0.39±0.06	0.24±0.03	0.87	1.15	0.85
53	10.191	2,3,5-三甲基吡嗪	—	—	0.12±0.01	—	—	0.43
54	11.037	2,3-二甲基-5-乙基吡嗪	—	0.15±0	0.27±0.02	—	0.45	0.94
55	16.645	1,3,5-三(三甲基甲硅烷基)苯	0.35±0.01	0.23±0.08	0.14±0.06	0.97	0.67	0.50
56	19.317	N1,N1,N4-三(叔丁基二甲基甲硅烷基)琥珀酰胺	0.27±0.08	0.2±0.01	0.2±0	0.77	0.59	0.70
57	27.829	5-乙基-2-甲氧基苯酚	0.46±0.02	0.64±0.08	0.5±0.08	1.29	1.86	1.76
58	31.390	2,3-二氢苯并咪喃	0.29±0.11	0.38±0.01	0.33±0.06	0.82	1.12	1.15
59	32.201	吡嗪	0.19±0.01	0.29±0	0.16±0.01	0.52	0.84	0.57

注：—表示未检出，下表同。



能说明其对风味的贡献度大,还需要结合感觉阈值进行ROAV分析。通过文献查询挥发性风味物质的感觉阈值,并对其进行ROAV分析,结果见表4。当风味物质的ROAV ≥ 1 时,认为其对产品风味有重要贡献,为关键挥发性风味物质;当 $0.1 \leq \text{ROAV} < 1$ 时,认为其对产品风味有着重要的修饰作用。由表4可知,藜麦膨化粉关键挥发性物质为戊醛、正己醛、正辛醛、壬醛、反-2-辛烯醛、癸醛、反-2-壬烯醛、苯乙醛、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃。戊醛具有果香、面包香味;正己醛来源于亚油酸氧化,具有土壤味、青香味;正辛醛来源于多不饱和脂肪酸的氧化,具有青蒜味^[12];壬醛是油酸的降解产物,具有玫瑰花香^[13];亚油酸酯和亚麻酸酯的氢过氧化物在高温作用下可降解成反-2-辛烯醛、反-2-壬烯醛,反-2-辛烯醛具有青香味,反-2-壬烯醛有油脂味^[12];癸醛具有醛香、脂蜡、柑橘味;苯丙氨酸在高温、高压、高剪切力作用下氧化成苯乙醛,苯乙醛具有浓郁的玉簪花香^[14];1-辛烯-3-醇是亚油酸自动氧化的产物,具有浓郁的蘑菇香味,素有“蘑菇醇”的称号^[15];2-戊基呋喃主要来源于亚油酸或2,4-癸二烯醛的氧化,阈值较低,具有豆香和青草味,是重要的风味物质。

除以上关键风味物质外,反,反-2,4-庚二烯醛、丙位壬内酯、6-甲基-5-庚烯-2-酮对藜麦膨化粉风味也起着重要的修饰作用,反,反-2,4-庚二烯醛具有烤香、巧克力味,丙位壬内酯具有乳香、油脂香味,6-甲基-5-庚烯-2-酮具有果香、霉香、酮香味。周洋等^[16]研究表明热加工藜麦的关键性风味物质为苯乙醛、反-2-辛烯醛、壬醛、反-2-壬烯醛和癸醛;崔琳琳等^[17]研究表明大米的关键性风味物质为己醛、辛醛、壬醛、苯甲醛、2-戊基呋喃。本研究确定的关键挥发性物质与以上研究结果基本一致,但仍存在差异。可能原因有二:一是由于原料种类及品种的差异,本研究的原料为藜麦与大米的复配粉;二是由于挤压膨化工艺的差异,如挤压温度、水分含量、螺杆转速等。

2.3.2 YE+藜麦膨化粉挥发性风味物质分析 由表3、图4可知, YE+藜麦膨化粉鉴定出52种挥发性风味物质,其中,醛类16种、酯类7种、酸类5种、酮类4种、烃类10种、醇类3种和其他类7种。与藜麦膨化粉相比, YE+藜麦膨化粉挥发性风味物质组成和含量发生变化,新检出5种挥发性风味物质,1种挥发性风味物质未检出。YE+藜麦膨化粉中挥发性风味物质,醛类物质、酯类物质、酮类物质、醇类物质等含量均升高,酸类物质、烃

表4 3种藜麦膨化粉挥发性风味物质ROAV值

编号	中文名称	感觉阈值 ^[18] ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	香气描述	ROAV		
				藜麦膨化粉	YE+藜麦膨化粉	藜麦膨化粉
1	戊醛	20	果香、面包香味	1.0269	1.4129	—
2	正己醛	5	土壤味、青香味	9.9200	11.0546	4.4262
3	正辛醛	0.7	青蒜味	13.7155	21.0540	6.9133
4	壬醛	1	玫瑰花香	19.0442	29.0182	13.6833
5	反-2-辛烯醛	3	青气味	4.7721	5.8829	2.3713
6	3-糠醛	1221	巧克力味	0.0105	0.0137	0.0125
7	反,反-2,4-庚二烯醛	10	烤香、巧克力味	0.7614	0.6632	0.3521
8	癸醛	0.1	醛香、脂蜡、柑橘味	100.0000	100.0000	40.6138
9	苯甲醛	750.89	苦杏仁香味	0.0296	0.0406	0.0414
10	反-2-壬烯醛	0.08	油脂味	83.0195	81.3436	100.0000
11	苯乙醛	4	浓郁的玉簪花香气	2.7066	3.1168	7.8603
12	丙位壬内酯	30	乳香、油脂香味	0.4370	0.5332	0.1747
13	硬脂酸	20000		0.0004	0.0003	0.0003
14	肉豆蔻酸	10000	温柔的油脂气息, 略带柑橘香气	0.0021	0.0012	0.0016
15	6-甲基-5-庚烯-2-酮	50	果香,霉香,酮香	0.1395	0.1575	0.1218
16	1-辛烯-3-醇	1	浓郁的蘑菇香味	13.5590	16.0467	8.9081
17	2-戊基呋喃	6	豆香和青草味	1.9872	2.5765	1.3947
18	吡嗪	140	花香味	0.0509	0.0807	0.0399

类物质含量降低。这是因为YE富含氨基酸、小分子肽、核苷酸和各类挥发性芳香物质^[5]，在顶空萃取过程中，释放出挥发性风味物质，从而引起挥发性风味物质含量升高。烃类物质来源于饱和和不饱和烷氧自由基的裂解，大部分具有难闻的气味^[9]，添加YE后烃类物质含量降低，这可能是由于YE的添加抑制了饱和与不饱和烷氧自由基的裂解。由表4可知，YE+藜麦膨化粉的关键挥发性物质为戊醛、正己醛、正辛醛、壬醛、反-2-辛烯醛、癸醛、反-2-壬烯醛、苯乙醛、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃。与藜麦膨化粉相比，关键挥发性物质的种类没有变化，但含量升高。这表明添加YE没有改变藜麦膨化粉的风味类型，但其天然谷物香味更加浓郁。

2.3.3 YE藜麦膨化粉挥发性风味物质分析 由表3、图4可知，YE藜麦膨化粉鉴定出56种挥发性风味物质，其中，醛类15种、酯类7种、酸类7种、酮类6种、烃类10种、醇类3种和其他类8种。与YE+藜麦膨化粉相比，YE藜麦膨化粉挥发性风味物质组成和含量发生变化，新检出6种挥发性风味物质，2种挥发性风味物质未检出。YE藜麦膨化粉中醛类挥发性风味物质总含量降低，其中，苯甲醛、反式-2-壬烯醛、苯乙醛等3种醛类物质含量升高，3-糠醛变化不大，其余醛类物质均降低。挤压膨化过程中，YE中大分子肽在高温、高压、高剪切力作用下逐渐降解成小分子肽、游离氨基酸，这些化合物作为前体又可参与到热反应过程中^[19]。游离氨基酸参与的反应方式主要有2种：一种是自身发生反应，如苯丙氨酸在高温、高压、高剪切力作用下氧化成苯甲醛、苯乙醛^[14]，引起挥发性物质含量升高；另一种是与藜麦粉中组分发生复杂的化合反应，如游离氨基酸

与脂类物质发生化合反应，降低了物料中作为反应前体的脂类物质含量，而脂类物质在高温作用下可降解成醛类物质^[20]，从而引起挥发性物质含量降低。

与YE+藜麦膨化粉相比，YE藜麦膨化粉中挥发性风味物质，酯类物质、酮类物质、烃类物质、醇类物质含量均降低，而酸类物质总含量升高。这表明挤压膨化会造成YE挥发性风味物质损失，原有风味明显减弱。酸类物质总含量升高可能是由于挤压膨化过程中高温、高压、高剪切力作用促进了YE中氨基酸的降解。YE与藜麦粉形成的整个物料体系，在挤压膨化过程中会发生多肽的降解、美拉德反应、焦糖化反应、Strecker降解、脂质氧化降解等多种复杂的化学反应^[13]，它们相互影响共同形成了藜麦膨化粉的特征风味，其相互影响机制仍需要进一步研究。由表4可知，YE藜麦膨化粉的关键挥发性物质为正己醛、正辛醛、壬醛、反-2-辛烯醛、癸醛、反-2-壬烯醛、苯乙醛、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃。与YE+藜麦膨化粉相比，戊醛未检出，仅反-2-壬烯醛、苯乙醛含量升高，其他均降低。因此，在挤压膨化后将YE添加到藜麦粉中比挤压膨化前添加更适合。

3 结论

藜麦膨化粉和YE+藜麦膨化粉感官评分差异显著，藜麦膨化粉和YE藜麦膨化粉感官评分差异不显著。与藜麦膨化粉相比，YE+藜麦膨化粉的香味浓郁，感官评分较高，YE藜麦膨化粉的感官评分变化不大。采用味觉分析系统可以有效的将3种藜麦膨化粉区分开。与藜麦膨化粉相比，YE+藜麦膨化粉苦味、涩味、苦味回味、涩味回味显著降低；与YE+藜麦膨化粉相比，YE藜麦膨化粉的苦味、涩味、苦味回味、涩味回味均升高。藜麦膨化粉、YE+藜麦膨化粉、YE藜麦膨化粉中分别鉴定出48、52、56种挥发性风味物质。与藜麦膨化粉相比，YE+藜麦膨化粉新检出5种挥发性风味物质，1种挥发性风味物质未检出。YE+藜麦膨化粉中挥发性风味物质，醛类物质、酯类物质、酮类物质、醇类物质含量均升高，而酸类物质、烃类物质含量降低。与YE+藜麦膨化粉相比，YE藜麦膨化粉新检出6种挥发性风味物质，2种挥发性风味物质未检出。YE藜麦膨化粉中挥发性风味物质，醛类物质、酯类物质、酮类物质、烃类物

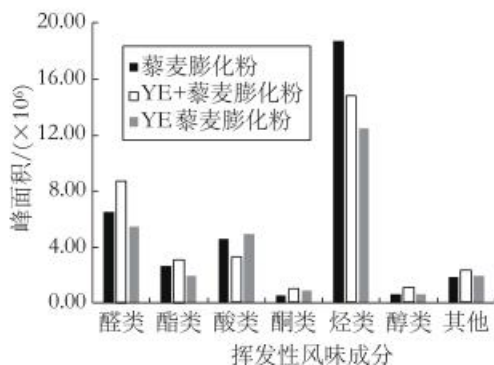


图4 3种藜麦膨化粉挥发性风味成分种类



质、醇类物质含量均降低,而酸类物质总含量升高。藜麦膨化粉、YE+藜麦膨化粉关键挥发性物质均为戊醛、正己醛、正辛醛、壬醛、反-2-辛烯醛、癸醛、反-2-壬烯醛、苯乙醛、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃。与藜麦膨化粉相比, YE+藜麦膨化粉关键挥发性物质的种类没有变化,但含量升高。这表明添加YE没有改变藜麦膨化粉的风味类型,但其天然谷物香味更加浓郁。与YE+藜麦膨化粉相比, YE藜麦膨化粉关键挥发性物质中戊醛未检出,仅反-2-壬烯醛、苯乙醛含量升高,其他均降低。这表明挤压膨化会造成YE挥发性风味物质损失。因此,在挤压膨化后将YE添加到藜麦粉中比挤压膨化前添加更适合。

参考文献:

- [1] 王启明,刘新民,张继刚,等.藜麦营养功能与开发利用进展[J].食品工业科技,2019,40(17):340-346,354.
- [2] LI G T, ZHU F. Physicochemical properties of quinoa flour as affected by starch interactions[J]. Food Chemistry, 2017,221:1560-1568.
- [3] CARVALHO F G D, OVIDIO P P, PADOVAN G J, et al. Metabolic parameters of postmenopausal women after quinoa or corn flakes intake—a prospective and double-blind study[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2014,65(3):380-385.
- [4] TANG Y, TSAO R. Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review[J]. Molecular Nutrition and Food Research, 2017,61(7):1-16.
- [5] 李沛,李康,任达洪,等.酵母抽提物协助酱油减盐后对其风味物质的影响研究[J].中国酿造,2019,38(12):92-96.
- [6] 刘璐莎,白永亮,李敏,等.青稞粉挤压膨化工艺优化、品质研究及产品开发[J].食品研究与开发,2019,40(15):118-123.
- [7] 刘登勇,周光宏,徐幸莲.确定食品关键风味化合物的一种新方法:“ROAV”法[J].食品科学,2008,29(7):370-374.
- [8] PALOMBINI S V, CLAUS T, MARUYAMA S A, et al. Evaluation of nutritional compounds in new amaranth and quinoa cultivars[J]. Food Science and Technology(Campinas), 2013,33(2):339-344.
- [9] 曾晓房,白卫东,陈海光,等.酵母抽提物热反应制备牛肉香基的工艺研究[J].仲恺农业工程学院学报,2010,23(3):46-49,53.
- [10] 任佳峰,程营营,黄晶晶,等.酵母抽提物滋味成分分析及其复合调味料对鲢鱼风味的影响[J].食品科学,2020,41(16):210-217.
- [11] 刘登勇,赵志南,吴金城,等.基于SPME-GC-MS分析熏制材料对熏鸡腿挥发性风味物质的影响[J].食品科学,2019,40(24):220-227.
- [12] 顾赛麒,陶宁萍,吴娜,等.一种基于ROAV值鉴别蟹类关键特征性风味物的方法[J].食品工业科技,2012,33(13):410-416.
- [13] 白洁,蒋华彬,陶国琴,等.基于SPME-GC-MS和PCA分析气流膨化处理对马铃薯方便粥香气成分的影响[J].食品科学,2020,41(14):217-224.
- [14] 朱庆珍,随新平,王羽桐,等.焙烤对核桃乳关键性香气成分的影响分析[J].精细化工,2020,37(12):2562-2570.
- [15] ZAWIRSKA-WOJTASIAK R. Optical purity of (R)-(-)-1-octen-3-ol in the aroma of various species of edible mushrooms[J]. Food Chemistry, 2004,86(1):113-118.
- [16] 周洋,李璐,吕莹,烘烤、蒸汽热处理和挤压膨化对藜麦风味和苦味的影响[J].食品科学,2020,41(20):263-269.
- [17] 崔琳琳,赵葵,王惠,等.基于GC-MS和电子鼻技术的大米挥发性风味成分分析[J].中国粮油学报,2018,33(12):134-140.
- [18] 孙宝国.食用调香术[M].北京:化学工业出版社,2003:23-28.
- [19] 阿衣古丽·阿力木,宋煥祿,刘野,等.酵母抽提物在热反应中鲜味的变化及肽的鉴定[J].食品科学,2019,40(3):9-15.
- [20] 呼德,张颖,张甜甜,等.同时蒸馏萃取和动态顶空萃取法提取焙烤小麦胚芽中风味物质[J].食品科学,2012,33(18):236-242.