

不同破碎度高粱的蒸煮香气成分 差异性分析

熊蓉¹, 喻康杰¹, 杜勇², 李亚军², 乔宗伟², 马懿^{1*}

(1. 四川轻化工大学 生物工程学院, 四川 宜宾 644000; 2. 四川省宜宾五粮液集团有限公司, 四川 宜宾 644000)

摘要: 为研究不同破碎度对高粱蒸煮香气成分的影响, 采用同时蒸馏萃取(simultaneous distillation extraction, SDE)结合气相色谱-质谱(gas chromatograph-mass spectrometry, GC-MS)法对3个品种糯高粱(红缨子、宜糯红、泸州糯红)和2个品种粳高粱(澳洲红、矮吨梁王)在整粒(A组)、破碎过10目筛(B组)、破碎过16目筛(C组)下的蒸煮香气成分进行分析, 并对不同破碎度的高粱的浸料度和糊化度作出比较。结果表明, 在A、B、C3种破碎度下, 5种酿酒高粱经SDE结合GC-MS检测到的香味物质数量分别是宜糯红56、64种和108种, 红缨子54、58种和105种, 澳洲红20、26种和61种, 矮吨梁王21、28种和63种, 泸州糯红53、59种和106种。B组较A组香气成分数量平均增加19.26%, C组较B组增加97.81%, 5个品种高粱增长趋势呈现一致性, 破碎后过16目筛的香气成分明显增多, 随着破碎度的增加, 挥发性香气成分的种类数和醛、醇、酮、杂环类等重要香气成分占比也随之升高, 在蒸煮过程中, 浸料度、糊化度也与破碎度成正比, 说明较高破碎度对酿酒高粱的蒸煮香气有积极影响。

关键词: 高粱; 破碎度; 蒸煮; 香气成分; 差异

Differential Analysis on Aroma Components of Cooked Sorghum with Different Crushing Degrees

XIONG Rong¹, YU Kangjie¹, DU Yong², LI Yajun², QIAO Zongwei², MA Yi^{1*}

(1. School of Biological Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Yibin 644000, Sichuan, China; 2. Sichuan Yibin Wuliangye Group Co., Ltd., Yibin 644000, Sichuan, China)

Abstract: This paper studied the effect of different crushing degrees on aroma components of cooked sorghum. Simultaneous distillation extraction (SDE) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used to analyze the aroma components of three varieties of glutinous sorghum (Hongyingzi, YinuoHong and Luzhou Nuohong) and two varieties of japonica sorghum (Australian red sorghum and dwarf sorghum king) after cooking under whole grain (group A), crushed and sieved by 10 mesh (group B), and crushed and sieved by 16 mesh (group C). The leaching degree and gelatinization degree of the sorghum varieties with different crushing degrees were compared. The results showed that under A, B and C conditions, the number of aroma substances detected by SDE combined with GC-MS in the five sorghum varieties were YinuoHong (56, 64 and 108), Hongyingzi (54, 58 and 105), Australian red sorghum (20, 26 and 61), dwarf sorghum king (21, 28 and 63), and Luzhou Nuohong (53, 59 and 106). Compared with group A, group B had increased number of aroma components by 19.26% in average, while the number of aroma components in group C increased by 97.81% compared with group B. The five sorghum varieties presented consistent growth trend, and the number of aroma components was significantly elevated after sieving by 16 mesh. With the increase of crushing degree, the types of volatile aroma components and the proportion of important aroma components such as aldehydes, alcohols, ketones and heterocycles increased. In the cooking process, the leaching degree and gelatinization degree were also proportional to the degree of crushing, indicating that high degree of crushing had a positive effect on the aroma of cooked sorghum.

Key words: sorghum; degree of crushing; cooking; aroma components; difference

基金项目: 国家自然科学基金项目(31801458); 四川省科技厅项目(2020YJ0402)

作者简介: 熊蓉(1999—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全。

*通信作者: 马懿(1983—), 男, 副教授, 博士, 研究方向: 食品科学工程。

引文格式:

熊蓉,喻康杰,杜勇,等.不同破碎度高粱的蒸煮香气成分差异性分析[J].食品研究与开发,2024,45(5):178-183.

XIONG Rong, YU Kangjie, DU Yong, et al. Differential Analysis on Aroma Components of Cooked Sorghum with Different Crushing Degrees[J]. Food Research and Development, 2024, 45(5): 178-183.

白酒是世界六大蒸馏酒之一,也是我国闻名世界的文化标签^[1]。高粱、大米、玉米、小米、糯米等粮谷是白酒酿造过程中主要的原料,其中高粱应用最广泛^[2]。酿酒原料是白酒酿造和生产的源头,对酒样风格和品质的影响较大^[3]。酿酒原料的品质从源头上影响着酿造白酒的品质,其自身在蒸煮过程中形成的香气成分也是影响酒样风味特征的重要因素^[4]。廖鹏飞等^[5]研究了5种粮食原料的蒸煮香气成分,认为蒸煮香气成分显著影响白酒的最终风味。高旭等^[6]研究表明,醛类、醇类、酮类、杂环类物质等挥发性化合物是酿酒谷物蒸煮过程中产生的主要香气成分,不同酿酒原料、同一原料的不同品种在蒸煮香气成分方面均有一定差异。陈双等^[7]比较了不同前处理方式对高粱蒸煮香气组分的提取效果。蒸馏萃取是一种广泛应用于提取香味成分的方法^[8],其利用有机溶剂二氯甲烷,将蒸煮过程中的挥发性成分在顶空与溶剂结合,提取后浓缩待测,是一种高效准确的收集萃取香气物质的方法^[9]。近年来对酒粮香气关系的研究逐步深入,对酿酒高粱蒸煮风味的研究有助于从原料上剖析白酒风味的形成^[10],为酒粮关系的建立提供参考。

目前在酿造生产工艺中,按传统的酿造经验来确定原料破碎度,对原料破碎度的研究集中在其对糊化度、浸料度的影响等方面^[11],而不同破碎度高粱糊化特性存在差异,原料蒸煮过程中将淀粉糊化并浸出^[12],浸出淀粉的含量与比例直接影响发酵过程中微生物对这些物质的利用,影响淀粉的糖化及转化为芳香物质的效率,进而影响发酵速率和酿造出的白酒的风味和品质^[13],而不同破碎度直接影响蒸煮过程中糊化特性。因此,研究不同破碎度对高粱蒸煮香气成分的影响,进而深入研究其对整个酿造生产工艺的影响尤为重要。

本文旨在研究不同破碎度下高粱蒸煮香气成分的差异,初步研究造成不同破碎度高粱香气差异的原因,进而为原料破碎度对蒸煮香气成分的影响及其对白酒发酵、酒体品质的影响提供数据理论支撑,以期为原料香气关系的研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 试验材料

糯高粱(红缨子、宜糯红、泸州糯红)、粳高粱(澳洲

红、矮吨梁王);四川好实材食品有限公司。

1.1.2 试验试剂

二氯甲烷(色谱级)、无水硫酸钠(分析纯)、葡萄糖苷酶(50 U/mg):成都市科龙化工试剂厂;高纯氦气(99.999%):成都长联化工试剂有限公司;无水乙醚(分析纯):成都顺成化学试剂供应站。

1.2 仪器与设备

SZF-06A 索氏抽提仪:洛泰精密仪器(东莞)有限公司;KDN-520 全自动凯氏定氮仪:闽测仪器设备(厦门)有限公司;754PC 紫外可见分光光度计:上海菁华科技仪器有限公司;TSQ 9610 GC-MS/MS 系统:赛默飞世尔科技(中国)有限公司;LC-SPE-16FQ 自动固相微萃取仪:力辰科学仪器(湖南)有限公司;DVAB/CAR 固相微萃取头、ANLETE 手动 SPME 进样器:美国安捷伦公司;MS5C 恒温加热磁力搅拌器:群安实验仪器有限公司;DKS-337 同时蒸馏萃取装置:天长市康玻实验设备有限公司;MJ-PT13 破壁研磨机:美的集团股份有限公司;RE-3000A 旋转蒸发器:南北仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 高粱样品的预处理

除去高粱杂质和坏粒,取适量的红缨子、宜糯红、泸州糯红、澳洲红高粱、矮吨梁王5个品种的高粱样品放入破壁研磨机进行破碎、过筛,以整粒状、破碎过10目筛、破碎过16目筛的3种破碎程度进行分组,分别编号为A、B、C组,用保鲜袋放入4℃冰箱冷藏待测。

1.3.2 高粱籽粒组成成分的测定

1.3.2.1 高粱水分含量测定

高粱水分含量参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[14]进行测定。

1.3.2.2 高粱脂肪含量测定

高粱脂肪含量参照GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[15]进行测定。

1.3.2.3 高粱总淀粉、直链淀粉、支链淀粉含量测定

参照GB 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》^[16]中的酸水解法测定高粱样品中的总淀粉含量;参照GB 7648—1987《水稻、玉米、谷子籽粒直链淀粉测定法》^[17]中的方法测定。

1.3.2.4 高粱蛋白质含量测定

参照GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[18]中的凯氏定氮法测定高粱样品的蛋白质含量。

1.3.2.5 高粱单宁含量测定

高粱单宁含量参考 GB/T 15686—2008《高粱 单宁含量的测定》^[19]中的方法进行测定。

1.3.3 高粱浸料度的测定

浸料度的计算公式如下。

$$A = \frac{M - N}{M} \times 100$$

式中: A 为浸料度, %; M 为浸料后的质量, g; N 为原高粱质量, g。

1.3.4 不同破碎度高粱蒸煮过程中糊化度的测定

参照 Li 等^[13]的方法并稍作改进, 在高粱蒸煮过程中, 按照设定的时间每隔 10 min 取一次样, 采用五点取样法每次取出高粱样品 5.00 g, 用冷水迅速冷却至室温后开始测定。将样品放入烧杯中, 加入适量的葡萄糖苷酶对高粱糊化样品进行水解, 然后置于 50 ℃ 水浴反应 1 h, 并不断搅拌, 待样品水解完成, 快速加入 2 mL 1 mol/L 盐酸溶液, 冷却至室温后定容至 100 mL, 过滤后测还原糖含量 M_1 。参照 1.3.2.3 方法测定高粱淀粉含量 M_0 , 按照下列计算公式计算蒸煮过程中高粱糊化度。

$$B = \frac{M_1 \times 0.9}{M_0} \times 100$$

式中: B 为糊化度, %; M_1 为还原糖含量, g; M_0 为高粱淀粉含量, g; 0.9 为葡萄糖和淀粉的换算系数。

1.3.5 高粱蒸煮香气成分的提取与测定

香气成分提取: 为模拟粮食和水的高温蒸煮过程, 采用同时蒸馏萃取法提取酿酒高粱挥发性蒸煮香气成分^[20]。为防止萃取过程样品未能充分吸水导致污染收集成果, 先进行 1 h 的泡粮后, 称取 50 g 高粱样品置于 1 000 mL 圆底烧瓶中, 加入 500 mL 去离子水, 置于同时蒸馏萃取装置的轻相一端, 采用油浴加热, 控制温度为 115 ℃, 并辅以磁力搅拌 (500 r/min); 量取 100 mL 二氯甲烷于 1 000 mL 的圆底烧瓶中, 置于同时蒸馏萃取装置的重相一端, 采用水浴加热, 控制温度为 48 ℃。连续提取 3 h, 萃取液加入适量干燥的无水硫酸钠 (20 g), 置于冰箱中冷冻脱水 (8 h), 过滤, 所得滤液用旋转蒸发器浓缩后, 密封置于冰箱中冷藏保存, 待进样分析。

气相色谱-质谱条件为极性柱: DB-WAX 色谱柱 (60 m×0.25 mm, 0.25 μm); 升温程序: 初始 40 ℃, 保持 1 min, 以 3 ℃/min 升至 150 ℃, 保持 4 min; 再以 7 ℃/min 升至 220 ℃, 保持 2 min; 再以 10 ℃/min 升至 250 ℃, 保持 3 min; 载气: 高纯度氦气 (He), 流速为 1 mL/min; 质谱条件: 电子电离 (electron ionization, EI) 离子源, 电子能量 70 eV, 发射电流 34.6 μA, 质量扫描范围 20~550 u, 离子源温度 230 ℃, 接口温度 230 ℃。

1.4 数据处理

所有试验均重复测定 3 次, 数据采用平均值±标准差表示。SPSS 软件用于统计分析与方差分析 (Dun-

can 检验, $P < 0.05$ 表示差异显著), 采用 Origin 2018 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同品种高粱组成成分分析

不同品种高粱组成成分见表 1。

表 1 不同高粱组成成分含量

Table 1 Components in different sorghum varieties

品种	水分 含量	蛋白质 含量	脂肪 含量	单宁 含量	淀粉 含量	直链淀 粉含量	支链淀 粉含量
宜糯红	11.90± 0.05 ^b	7.66± 0.21 ^c	3.34± 0.06 ^a	0.61± 0.03 ^b	62.65± 0.82 ^b	1.17± 0.03 ^d	61.48± 0.84 ^a
红缨子	11.70± 0.05 ^c	8.11± 0.15 ^b	3.28± 0.19 ^a	1.21± 0.07 ^a	62.34± 1.52 ^b	2.07± 0.05 ^c	60.27± 1.53 ^a
澳洲红	12.40± 0.05 ^a	7.05± 0.21 ^d	2.75± 0.16 ^b	0.23± 0.02 ^c	63.21± 1.06 ^b	29.61± 0.97 ^a	33.65± 1.46 ^c
矮吨	11.70±	7.06±	2.69±	1.15±	69.34±	14.25±	55.09±
梁王	0.05 ^c	0.12 ^d	0.07 ^b	0.09 ^a	1.14 ^a	0.25 ^b	1.37 ^b
泸州	11.20±	9.56±	3.22±	0.54±	63.56±	2.24±	61.32±
糯红	0.05 ^d	0.11 ^a	0.23 ^a	0.08 ^b	1.41 ^b	0.18 ^c	1.34 ^a

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

由表 1 可知, 澳洲红高粱水分含量最高, 为 12.40%; 宜糯红、矮吨梁王、红缨子 3 个品种高粱水分含量比较接近, 分别为 11.90%、11.70%、11.70%; 泸州糯红高粱水分含量最低, 为 11.20%。生长条件和保存处理方式影响着高粱的水分含量, 对于白酒酿造原料来说一般要求水分含量小于 14%, 过高的水分含量易导致原料霉变影响后续生产^[21], 5 种高粱的水分含量均符合原料储存生产的要求。适量的单宁含量也可带来特殊的风味体验, 选用的 5 种酿酒高粱均处于低于 1.5% 这一范围。在白酒酿造过程, 蛋白质经微生物降解生成氨基酸, 氨基酸又可转化为白酒中的主要呈香物质—高级醇和其他挥发性成分。但过高的蛋白质含量也会导致酸类物质堆积影响高粱香气成分及后续的酒样风味。测定结果显示糯高粱蛋白质含量普遍高于粳高粱。高粱中的脂肪是产生有机酸的主要原料, 过高脂肪含量容易导致蒸煮过程脂肪酸氧化分解, 生成低分子醛类或酮类, 致使产生不悦的酸败气味^[22]。测定结果显示 5 种高粱脂肪含量均在 4% 以下且糯高粱脂肪含量高于粳高粱。选取的 5 个品种高粱中, 有 3 种白酒酿造中常用的糯高粱, 其支链淀粉占总淀粉含量均高于 96%, 以及两种支链淀粉含量略低的澳洲红及矮吨梁王两种高粱。淀粉是所有营养组分中对蒸煮特性影响最大的指标^[23], 在白酒酿造过程中会影响蒸煮香气的形成及其后续的酿造发酵过程, 进而影响酒体的最终风味。因此, 后续选取支链淀粉占总淀粉含量高达 98% 的宜糯红高粱, 对其不同破碎度下高粱的浸料度、糊化度进行测定, 进一步深入探究不同破碎度下高粱蒸煮香气的具体影响因素。

2.2 不同破碎度高粱浸料度的动态分析

不同破碎度高粱浸料度的动态分析见图 1。

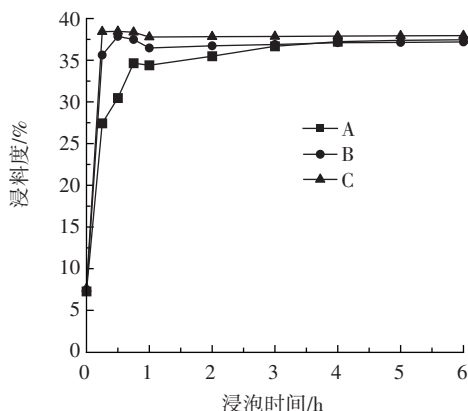


图 1 不同破碎度高粱的浸料度的动态变化

Fig.1 Dynamic change of leaching degree of sorghum with different crushing degrees

由图 1 可知,随着破碎度的增大,高粱浸料度先呈上升的趋势后趋于平缓,总体呈上升趋势。浸泡 15 min 时,A、B、C 3 组的浸料度分别为 27.43%、35.62%、38.42%,此时 C 组浸料度与 30 min 时的 38.46% 相比变化趋势不大,C 组高粱浸料度达到最优;而 A 组在浸泡 30 min 时达到最大值,为 34.64%;B 组在浸泡 45 min 时达到最大值,为 37.86%。在浸泡 1 h 后,3 组高粱浸料度随时间变化增幅趋于平缓,故在蒸煮前浸泡 1 h,以保证各破碎度下高粱浸料度达最优。

2.3 不同破碎度高粱蒸煮过程中糊化度的动态分析

不同破碎度高粱蒸煮过程中糊化度的动态变化见图 2。

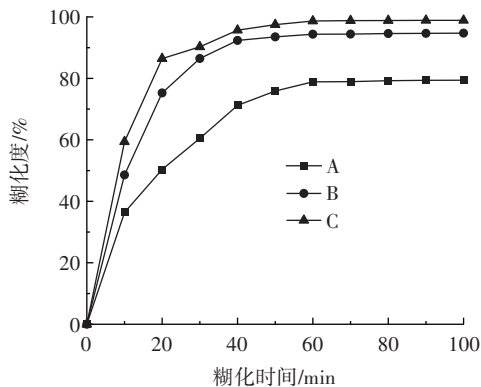


图 2 不同破碎度高粱蒸煮过程中糊化度的动态变化

Fig.2 Dynamic changes of gelatinization degree of sorghum with different crushing degrees during cooking

由图 2 可知,3 种不同破碎度高粱在蒸煮过程中糊化度的动态变化趋势一致,随着糊化时间的延长,糊化度逐渐升高后趋于平缓。C 组破碎度最高的高粱样品,糊化度的增长速率较 A、B 组快,蒸煮 60 min 时,A、B、C 组的糊化度分别为 78.88%、94.38%、98.68%,

此后糊化度变化趋于平稳。3种破碎度下高粱糊化度的差异大,原因可能是随着破碎程度的增加,高粱中的淀粉与水接触面积增大,吸水膨胀,导致破碎至粉碎的高粱糊化度最大,而整粒高粱由于吸水性较低,未完全糊化。这也可能是造成后续蒸煮香气成分不同的一个关键影响因素。

2.4 不同破碎度高粱蒸煮香气种类分析

不同品种高粱 3 种破碎度下的香气成分分析见图 3。

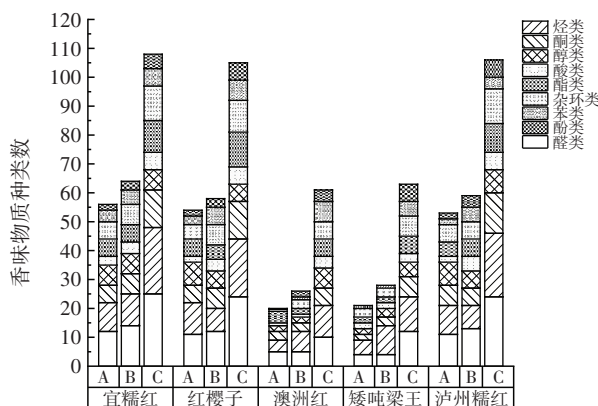


图3 不同品种高粱3种破碎度下的香气成分分析

Fig.3 Aroma components in different sorghum varieties with the three crushing degrees

由图3可知,在酿酒高粱蒸煮香气成分中,不同破碎度及不同品种在提取出的挥发性化合物组成和数量上均有明显差异。其中宜糯红高粱在整粒、破碎过10目筛、破碎过16目筛的3种前处理方式下,分别检测出56、64、108种化合物,普遍高于其他品种;红缨子高粱分别检测出54、58、105种;澳洲红高粱分别检测出20、26、61种,矮吨梁王分别检测出21、28、63种,两种粳高粱在不同破碎度下提取效果均差于其他品种;泸州糯红高粱分别检测出53、59、106种。

结合试验结果分析,对同一种高粱在不同破碎度下的香气成分进行对比,发现 5 个品种均符合以下规律:随粉碎程度的增加,挥发性香气化合物的总种类数也逐渐增加,特别是烃类物质种类数在破碎过 16 目筛后明显增加;如醛类、酮类、杂环类等重要香气成分随破碎度变化也有增加,但酸类、酯类、苯类、酚类物质种类数则变化不大;整粒与破碎过 10 目筛的高粱样品蒸煮香气成分的种类数及组成差距不大,但破碎过 16 目筛后却有明显变化,结合浸料度和糊化度指标分析,可能是由于高粱种皮被破碎后能更好地吸水进行糊化,籽粒内部所包含的淀粉和脂肪等物质更好地被降解以发生后续反应。但此时香气成分的组成及种类数,特别是在后续酒样风味中发挥重要作用的醇类、酯类、酸类等物质,相较酒样中均明显不足。

相同破碎度下不同品种种类数显著性分析见表 2。

由表 2 可知,同一破碎度下的不同品种的香气成

表2 不同破碎度下不同高粱品种香气成分种类数显著性分析

Table 2 Significant analysis on various aroma components in different sorghum varieties with different crushing degrees

组别	品种	醛类	烃类	酮类	杂环类	酯类	其他	总种类数
A	宜糯红	12±1 ^b	10±1 ^b	6±1 ^b	6±1 ^b	6±1 ^a	16±1 ^b	56±2 ^c
	红缨子	11±1 ^b	11±1 ^b	6±1 ^a	5±1 ^b	2±1 ^b	15±1 ^b	54±2 ^b
	澳洲红	5±0 ^b	4±1 ^c	3±0 ^b	\	1±0 ^b	4±1 ^b	20±1 ^c
	矮吨梁王	5±0 ^b	5±1 ^b	2±0 ^b	3±2 ^b	2±1 ^a	5±1 ^b	21±2 ^c
	泸州糯红	11±1 ^b	10±1 ^b	7±1 ^b	6±1 ^b	2±1 ^a	14±1 ^b	53±2 ^c
B	宜糯红	14±1 ^b	11±1 ^b	7±1 ^b	7±1 ^b	4±1 ^a	19±1 ^a	63±3 ^b
	红缨子	12±1 ^b	8±1 ^c	7±1 ^a	7±1 ^b	4±1 ^a	19±1 ^b	58±2 ^b
	澳洲红	5±0 ^b	7±1 ^c	3±1 ^b	3±0 ^a	1±0 ^b	6±1 ^b	26±2 ^b
	矮吨梁王	10±1 ^a	10±1 ^a	3±1 ^b	3±1 ^b	2±0 ^a	6±1 ^b	28±1 ^b
	泸州糯红	13±1 ^b	8±1 ^b	6±1 ^b	6±1 ^b	5±1 ^a	20±1 ^a	59±2 ^b
C	宜糯红	25±1 ^a	23±1 ^a	13±1 ^a	12±1 ^a	6±1 ^a	24±1 ^a	108±5 ^a
	红缨子	24±1 ^a	20±1 ^a	13±1 ^a	11±2 ^a	6±1 ^a	25±1 ^a	105±4 ^a
	澳洲红	10±0 ^a	11±1 ^a	6±0 ^a	6±0 ^a	4±1 ^b	22±1 ^a	61±3 ^a
	矮吨梁王	12±1 ^a	12±1 ^a	7±1 ^a	7±1 ^a	3±1 ^a	19±1 ^a	63±3 ^a
	泸州糯红	24±1 ^a	22±1 ^a	14±1 ^a	12±1 ^a	6±1 ^a	24±1 ^a	106±6 ^a

注:不同小写字母表示不同破碎度下相同高粱品种香味物质种类数差异显著($P<0.05$)。\\表示未检测到该物质。

分进行对比,发现3种南方糯高粱在挥发性香气成分种类数和组成上均明显优于两种粳高粱,除去差异不大且风味评价意义较低的烃类物质,在醛类、酮类、杂环类等重要香气成分上均有所体现,而糯高粱与糯高粱、粳高粱与粳高粱之间则差距不大。高度契合糯高粱在蛋白质、脂肪、支链淀粉等理化指标含量上普遍高于粳高粱的结论。结合理化指标对以上现象进行分析,发现3种南方糯高粱在蛋白质、脂肪、支链淀粉含量上均高于两种粳高粱,而粳高粱在总淀粉和直链淀粉含量上则更高。在3种糯高粱中,脂肪及支链淀粉含量均最高的宜糯红高粱在不同破碎度下的蒸煮香气化合物种类数和重要成分占比上也较红缨子和泸州糯红高粱更多,脂肪、支链淀粉含量略低但蛋白质含量较高的另两种南方糯高粱在同等情况下的蒸煮香气成分种类数也存在差异,证明高粱自身理化指标与香气成分组成可能有着直接关联。

3 讨论与结论

使用同时蒸馏萃取结合气相色谱-质谱联用对5个品种的高粱蒸煮香气成分进行提取分析,结果显示,在不同破碎度下,5个品种高粱的蒸煮香气成分均呈现统一的规律,随着破碎程度的增大,香味物质也逐渐增多,破碎过16目筛的高粱香气成分种类数与整粒高粱和破碎过10目筛相比较多。对比同一品种在不同破碎度下的蒸煮香气成分,发现破碎程度增高挥发

性香气成分的种类数和醛、醇、酮、杂环类等重要香气成分占比也会随之增高,A组与B组的高粱样品蒸煮香气成分的种类数及组成差距不大,但破碎过16目筛后却有明显变化,结合浸料度和糊化度指标分析,可能是由于高粱种皮被破碎后能更好地吸水进行糊化,籽粒内部所包含的淀粉和脂肪等物质更好地被降解以发生后续反应。证明不同破碎度对酿酒高粱的蒸煮香气有直接影响。结合理化指标对比不同品种的蒸煮香气成分,发现挥发性化合物的种类数及组成与蛋白质、脂肪、淀粉含量等有着一定关系,3种南方糯高粱无论是在不同提取方式还是破碎度下,所检测出的挥发性香气化合物种类数及重要香气成分占比均明显优于两种粳高粱,对比发现南方糯高粱例如宜糯红、红缨子和泸州糯红高粱对高粱的蒸煮香气成分均优于粳高粱,可能对白酒风味有更大的贡献率,组成成分的含量具体如何影响蒸煮香气成分进而影响白酒最终风味还需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 程度,曹建兰,王珂佳,等.高粱对酱香型白酒品质影响的研究进展[J].食品科学,2022,43(7):356-364.
CHENG Du, CAO Jianlan, WANG Kejia, et al. Progress in understanding the effect of *Sorghum* on the quality of Maotai-flavor Baijiu[J]. Food Science, 2022, 43(7): 356-364.
- [2] CAO Y X, YANG F, XIE Y Y, et al. Rapid determination of ethyl carbamate in Chinese liquor via a direct injection mass spectrometry with time-resolved flash-thermal-vaporization and acetone-assisted high-pressure photoionization strategy[J]. Analytical Chemistry, 2023, 95(8): 4235-4242.
- [3] CHEN S, WANG L, NI D R, et al. Characterization of aroma compounds in cooked *Sorghum* using comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry and gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry[J]. Molecules, 2021, 26(16): 4796.
- [4] 杨韵霞,赵东,刘芳,等.五粮食香成分在蒸煮过程中的变化规律[J].食品与发酵科技,2022,58(3):42-47.
YANG Yunxia, ZHAO Dong, LIU Fang, et al. Variation of grain aroma compounds in five grains during distillation process[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2022, 58(3): 42-47.
- [5] 廖鹏飞,王松,王哲,等.同时蒸馏萃取结合GC-MS分析酿酒五粮原料蒸煮香气成分[J].食品科学,2023,44(6):235-243.
LIAO Pengfei, WANG Song, WANG Zhe, et al. Analysis of aroma components of five steamed grains for production of nongxiangxing Baijiu by simultaneous distillation and extraction combined with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Science, 2023, 44(6): 235-243.
- [6] 高旭,徐建霞,丁延庆,等.酿酒高粱籽粒理化品质及蒸煮特性分析[J].食品科技,2023,48(1):159-166.
GAO Xu, XU Jianxia, DING Yanqing, et al. Analysis of physicochemical quality and cooking characteristics of brewer *Sorghum* grains[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(1): 159-166.
- [7] 陈双,陈华蓉,吴群,等.应用顶空固相微萃取-气相色谱质谱技术解析酿造用高粱蒸煮挥发性香气成分[J].食品与发酵工业,2017,43(4):201-207.

- CHEN Shuang, CHEN Huarong, WU Qun, et al. Characterization of volatile aroma compounds in cooked sorghum by HS-SPME and GC-MS[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(4): 201-207.
- [8] 苗菁, 苏慧敏, 张敏. 米饭中关键风味化合物的分析[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 82-86.
- MIAO Jing, SU Huimin, ZHANG Min. Analysis of the key flavor compounds in cooked rice[J]. Food Science, 2016, 37(2): 82-86.
- [9] YOUNG JEONG J, ISLAM M A, KHAN N, et al. Simultaneous distillation extraction (SDE) and headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) for the determination of volatile organic compounds (VOCs) by gas chromatography - mass spectrometry (GC-MS) in *Perilla frutescens* foliage from South Korea[J]. Analytical Letters, 2022, 55(10): 1605-1622.
- [10] QIAO L N, WANG J, WANG R F, et al. A review on flavor of Baijiu and other world-renowned distilled liquors[J]. Food Chemistry: X, 2023, 20: 100870.
- [11] LIU Z S, LIU X, YU J L, et al. Novel approach for quantitative characterization of short-range molecular order in gelatinized starch by X-ray diffraction[J]. Biomacromolecules, 2023, 24(3): 1267-1273.
- [12] LI E P, LV J Q, HUO D A, et al. Importance of amylose chain-length distribution in determining starch gelatinization and retrogradation property of wheat flour in the presence of different salts[J]. Carbohydrate Polymers, 2023, 308: 120648.
- [13] LI E P, YANG C T, WANG J P, et al. Leached starch content and molecular size during sorghum steaming for Baijiu production is not determined by starch fine molecular structures[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 184: 50-56.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard Determination of moisture in food: GB 5009.3—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of fat in foods: GB 5009.6—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中淀粉的测定: GB 5009.9—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of starch in foods: GB 5009.9—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [17] 农牧渔业部. 水稻、玉米、谷子籽粒直链淀粉测定法: GB 7648—1987[S]. 北京: 中国标准出版社, 1987.
- Ministry of Agriculture, Animal Husbandry and Fisheries. Determination of amylose in grains of rice, maize and millet: GB 7648—1987[S]. Beijing: Standards Press of China, 1987.
- [18] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of protein in foods: GB 5009.5—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [19] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 高粱单宁含量的测定: GB/T 15686—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Sorghum Determination of tannin content: GB/T 15686—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [20] FAN X J, JIAO X, LIU J G, et al. Characterizing the volatile compounds of different sorghum cultivars by both GC-MS and HS-GC-IMS[J]. Food Research International, 2021, 140: 109975.
- [21] 冯兴垚, 杨文斌, 罗惠波, 等. 三种酿酒高粱的理化特性与基酒风味分析[J]. 中国酿造, 2017, 36(8): 76-79.
- FENG Xingyao, YANG Wenbin, LUO Huibo, et al. Physicochemical property of three varieties of sorghum for Baijiu-making and flavor of base liquor[J]. China Brewing, 2017, 36(8): 76-79.
- [22] 王建成, 孔茂竹, 谭冬, 等. 不同酿酒高粱理化性质及其酿造特性的对比研究[J]. 酿酒科技, 2022(12): 24-31.
- WANG Jiancheng, KONG Maozhu, TAN Dong, et al. Comparative study on physicochemical properties and fermentation performance of different *Sorghum* varieties[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2022(12): 24-31.
- [23] LUND D. Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1984, 20(4): 249-273.

加工编辑: 刘艳美
收稿日期: 2023-10-22