

不同温度烫制红油辣椒的风味研究

张峰轶, 王浩文, 田浩, 刘琨, 王传明

(四川天味食品集团股份有限公司, 成都 610200)

摘要:旨在为靶向调控红油辣椒的风味提供科学依据,以二荆条生辣椒粉为原料,分别用不同温度的三级菜籽油烫制红油辣椒,通过感官评价分析红油辣椒的感官属性和消费者喜好度,结合主成分分析(PCA)分析消费者喜好度最高的红油辣椒,通过顶空固相微萃取-全二维气相色谱-质谱法分析红油辣椒的挥发性物质,结合PCA和偏最小二乘回归(PLSR)探究感官属性和挥发性成分的相关性,通过气味活度值(OAV)确定对红油辣椒感官属性具有重要贡献的挥发性物质,并分析其主要来源。结果表明:80℃烫制的红油辣椒具有典型的生辣味,150~190℃烫制的红油辣椒具有较强的熟辣味,240℃烫制的红油辣椒则具有较强的糊辣味,其中熟辣香型红油辣椒具有最高的消费者喜好度;红油辣椒中共检出181种挥发性物质,不同温度烫制红油辣椒的挥发性物质组成及含量差异较大;与生辣味、熟辣味、糊辣味3种感官属性相关性较强的挥发性物质分别有20、18、61种,其中,与生辣味相关性较强的挥发性物质包括芳樟醇、正己酸乙酯等,与熟辣味相关性较强的挥发性物质包括壬醛、正己醛、3-甲基丁醛等,与糊辣味相关性较强的挥发性物质包括吡喃酮、N-甲基-2-吡咯甲醛等;红油辣椒中共确定17种重要挥发性物质,其中OAV大于10的物质有8种;红油辣椒生辣味主要来源于二荆条辣椒本身的挥发性物质迁移,熟辣味来源于脂肪氧化反应,糊辣味来源于美拉德反应。综上,烫制温度对红油辣椒的风味形成与转变有显著影响,通过原料的选择和烫制温度的调控,可更精准地调控红油辣椒的风味。

关键词:红油辣椒;气相色谱-质谱法;挥发性物质;感官属性;相关性

中图分类号:TS264.2;O657.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2025)01-0026-07

Flavor of chili oil poured at different temperatures

ZHANG Fengyi, WANG Haowen, TIAN Hao, LIU Kun, WANG Chuanming

(Sichuan Tianwei Food Group Co., Ltd., Chengdu 610200, China)

Abstract: The aim was to provide scientific basis for the targeted regulation of the flavor of chili oil. Raw *Capsicum annuum* powder was used as raw material to make chili oil with three-grade rapeseed oil at different temperatures. Sensory evaluation was used to analyze sensory attributes and consumer preference, and principal component analysis (PCA) was used to obtain the chili oil that had the highest consumer preference. Headspace solid phase microextraction - two dimensional gas chromatography - mass spectrometry was used to analyze volatile components of chili oil. PCA and partial least squares regression (PLSR) were combined to explore the correlation between sensory attributes and volatile components. Odor activity value (OAV) was used to identify important volatile substances that contributing significantly to the sensory attributes of chili oil, and their sources were analyzed. The results showed that chili oil poured at 80℃ had a typical raw spiciness, those poured at 150-190℃ had a strong cooked spiciness, and those poured at 240℃ had a strong burnt spiciness, among which the

cooked spiciness aroma type of chili oil had the highest consumer preference. A total of 181 volatile substances were detected in chili oil, and the composition and content of volatile substances in chili oil poured at different temperatures varied greatly. There were 20, 18 and 61 volatile

收稿日期:2023-12-19;修回日期:2024-09-18

作者简介:张峰轶(1988),女,硕士,研究方向为食品风味化学(E-mail)zhangfengyiqd@126.com。

通信作者:王传明,高级工程师(E-mail)yfzc_wangchuanming@teWAY.cn。

substances with strong correlation with the three sensory attributes of raw spiciness, cooked spiciness and burnt spiciness, respectively, among which, the substances with strong correlation with raw spiciness included linalool, ethyl hexanoate, etc., and the substances with strong correlation with cooked spiciness included nonanal, hexanal, and 3-methylbutanal. The substances with strong correlation with burnt spiciness included furazone and N-methyl-2-pyrrolicarbaldehyde. A total of 17 important volatile substances were identified in chili oil, among which there were 8 substances with OAV greater than 10. Raw spiciness of chili oil mainly came from the migration of volatile substances from the *Capsicum annuum* itself, cooked spiciness came from fat oxidation reaction, and burnt spiciness came from Maillard reaction. In conclusion, pouring temperature has a significant effect on the formation and transformation of the flavor of chili oil. By selecting raw material and controlling the pouring temperature, the flavor of chili oil can be more accurately regulated.

Key words: chili oil; gas chromatography-mass spectrometry; volatile substances; sensory attributes; correlation

红油辣椒,俗称辣椒油,是通过将热油浇在辣椒粉中简单调配制得的,是食品加工中常用的调味品之一,其风味品质对菜品的色、香、味有重要的影响。红油辣椒的风味品质除受辣椒原料本身品质影响外,还受加工工艺的影响。烫制是红油辣椒制作中一个关键工序,是指将一定温度的油脂倒至辣椒粉(段)中,使辣椒粉(段)充分受热,释放出色素和香味,烫制过程中油温的控制是生产红油辣椒的关键环节,高油温制作的红油辣椒通常表现为香辣风味,低油温则更多突出的是辣味。目前,关于制作红油辣椒最佳油温的说法不一,如:董道顺等^[1]通过感官评定方法得到制作红油辣椒的最佳油温为140℃;薛淼等^[2]以鸡油烫制红油辣椒,以辣椒素和二氢辣椒素含量为指标,确定制作红油辣椒的最佳油温为160℃;李昌文^[3]以感官评分为指标,利用正交实验优化得到制作红油辣椒的最佳油温为180℃。

二荆条辣椒,又称二金条,富含维生素、多种氨基酸和辣椒素等,因具有浓郁的香味而深受消费者的喜爱。目前关于辣椒^[4-5]、红油辣椒^[6-7]加工工艺与风味成分的研究较多,然而关于二荆条红油辣椒烫制温度与风味变化的关系,其关键风味的来源以及基于此的风味定向调控手段的研究鲜有单独报道。

本研究以二荆条辣椒为原料,选用不同温度的三级菜籽油烫制红油辣椒,采用感官评价结合全二维气相色谱-质谱法(GC×GC-MS)对红油辣椒的香气属性进行分析,探究香气物质的变化规律,重要呈香成分可能的前体物质以及可能的产香路径,以期为目标调控红油辣椒的风味提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

二荆条生辣椒粉,四川味觉食品有限公司;三级菜籽油(金龙鱼外婆香小榨菜籽油),金龙鱼粮油食品股份有限公司;C7~C30正构烷烃,雪景电子科技(上海)有限公司;正己烷、2-甲基-3-庚酮,色谱纯,成都科龙化工试剂厂。

WK2102电磁炉,美的集团股份有限公司;探针式温度计;75 μm DVB/CAR/PDMS固相微萃取头,上海安谱实验科技股份有限公司;GCMS-QP 2020 NX气相色谱-质谱仪,日本岛津公司;全二维气相色谱固态热调制器,雪景电子科技(上海)有限公司;DK-98电热水浴锅,天津泰斯特仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 红油辣椒的制作

采用电磁炉将100 g三级菜籽油加热至一定温度(80~240℃)时,关火,立即倒入25 g二荆条生辣椒粉(粒径4~6 mm)中,持续搅拌1 min,烫制均匀后,自然冷却至室温,得红油辣椒,分装后常温保存备用。

1.2.2 感官评价

在四川天味食品集团股份有限公司筛选出48名长期食用红油辣椒、感官灵敏度较高且经培训的评价员组成专家评价小组,评价小组男女比例为1:1,年龄在20~40岁之间。采用九点强度标度法对红油辣椒的感官属性(见表1)进行评分,1~9分代表从感官强度从很弱到很强。同时,采用九点喜好标度法对红油辣椒的香气进行消费者喜好度分析。

表1 红油辣椒的感官属性及定义

Table 1 Sensory attributes and definitions of chili oil

| 感官属性 | 定义 |
|------|-------------|
| 生辣味 | 生青味、生辣椒的香气 |
| 熟辣味 | 熟油味、辣椒烫熟的香气 |
| 糊辣味 | 糊味、焦香气 |
| 整体香气 | 整体香气强度 |

注:前3种感官属性由前期感官评价实验得到

Note: The first three sensory attributes were obtained from the pre-sensory evaluation test

1.2.3 挥发性物质的检测

1.2.3.1 样品前处理

将烫制温度 80 ~ 200 °C 制作的红油辣椒样品充分过滤,分别单独称取 4 g 油和 1 g 辣椒渣置于顶空瓶中混匀,而烫制温度 220、240 °C 制作的红油辣椒样品因辣椒颗粒烫熟后吸油充分,样品分布均一,则直接搅拌均匀后取样 5 g 置于顶空瓶内。向顶空瓶内加入 5 μ L 0.6 mg/mL 的 2-甲基-3-庚酮甲醇溶液(内标),拧紧顶空瓶盖,于 60 °C 水浴平衡 20 min 后,采用固相微萃取头萃取 30 min,萃取完成后,将萃取头插入 GC 进样口分析。

1.2.3.2 GC \times GC-MS 条件

GC 条件:一维色谱柱 DB-Wax(36.4 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m),二维色谱柱 DB-17 ms(1.2 m \times 0.18 mm \times 0.18 μ m);载气为氦气,流速 1.2 mL/min;进样口温度 240 °C,解吸时间 3 min;不分流进样;升温程序为起始温度 40 °C,保持 2 min,以 6 °C/min 升温到 240 °C,保持 5 min。

全二维气相调制器条件:采用固态热调制器;载气为氦气;选择 HV 系列调制柱(C720),调制周期为 4 s;调制器进口和出口同步 GC 升温程序;进口温度 30 °C;出口温度 120 °C;冷阱温度 -50 °C。

MS 条件:离子源为 EI 源;电子能量 70 eV;离子源温度 230 °C;传输线温度 250 °C;Scan 模式,质量扫描范围 m/z 41 ~ 330。

1.2.3.3 定性与定量

通过将各组分的 MS 碎片模式与标准谱库 NIST20 Library 进行比对,筛选匹配度大于或等于 750 的组分,并根据相同全二维气相色谱条件下正构烷烃标品(C7 ~ C30)的保留时间计算的各组分保留指数(Retention index, RI),根据实际 RI 值和理论 RI 值的偏差大小对组分进行定性。采用内标法对挥发性物质进行半定量。

1.2.4 重要挥发性物质的鉴定

气味活度值(Odor activity value, OAV)为风味

化合物的浓度与自身的气味阈值的比值,通常用于表示呈香物质对整体风味的贡献值^[8]。一般认为 OAV 不小于 1 的化合物对整体风味贡献较大^[9],为重要挥发性成分;而 OAV 小于 1 的化合物则仅对整体风味具有一定的修饰作用,或并无实质性贡献。

1.2.5 数据处理与分析

所有实验均做 3 次平行,结果以平均值表示。采用 Microsoft Excel 97-2003 进行图表绘制,采用 Xlstat 2019 软件进行主成分分析(PCA)和偏最小二乘回归(PLSR)等统计分析。采用 Minitab 20 软件进行数据显著性差异分析。挥发性物质的气味描述通过 Flavornet、The Good Scents Company Information System、FlavorDB 数据库查询得到。

2 结果与讨论

2.1 不同温度烫制红油辣椒的感官评价分析

2.1.1 感官属性强度

不同温度烫制红油辣椒的感官属性强度分值如表 2 所示。

表2 不同温度烫制红油辣椒的感官属性强度分值

Table 2 Intensity scores of sensory attributes of chili oil poured at different temperatures

| 烫制温度/°C | 分值 | | | |
|---------|-----|-----|-----|------|
| | 生辣味 | 熟辣味 | 糊辣味 | 整体香气 |
| 80 | 4.0 | 1.9 | - | 5.3 |
| 100 | 3.4 | 2.7 | - | 5.2 |
| 120 | 1.5 | 4.3 | 1.2 | 5.9 |
| 140 | 1.4 | 5.1 | 1.9 | 7.1 |
| 150 | 1.4 | 5.7 | 1.3 | 6.7 |
| 160 | 2.0 | 5.4 | 1.8 | 6.5 |
| 180 | 1.1 | 5.8 | 1.7 | 6.6 |
| 190 | - | 5.8 | 1.9 | 6.6 |
| 200 | - | 4.8 | 3.6 | 6.8 |
| 210 | - | 5.4 | 2.7 | 6.9 |
| 220 | - | 4.8 | 4.4 | 6.8 |
| 240 | - | 2.8 | 6.0 | 6.6 |

注:“-”表示感官强度平均分不大于 1 或感知人数不大于 20%,判定为该样品无此感官维度的香气特征

Note:“-” means that the average score of sensory intensity is not more than 1 or the number of perception is not more than 20%, it is judged that the sample does not have the aroma characteristics of this sensory dimension

由表 2 可知,在烫制温度 80 ~ 180 °C 时红油辣椒具有生辣味,其中 80 °C 时红油辣椒的生辣味最强,为生辣香型红油辣椒。随烫制温度的升高红油

辣椒的生辣味逐渐减弱,190℃时生辣味消失。红油辣椒的熟辣味存在于所有烫制温度区间内,其中在烫制温度150~190℃时红油辣椒的熟辣味最明显,强度得分均大于5,为熟辣香型红油辣椒。糊辣味在烫制温度120℃时开始出现,随着烫制温度的升高其强度总体增加,在240℃时红油辣椒的糊辣味最突出,强度得分为6.0,为典型糊辣香型红油辣椒。红油辣椒的整体香气强度在烫制温度100~140℃时呈现快速上升趋势,140℃以后基本保持稳定。说明辣椒被激发出香气的温度在100℃左右,并在140℃时香气被完全激发释放,之后烫制温度的升高只会改变香气轮廓,而几乎不会影响其整体香气强度。

综上,烫制温度对红油辣椒香气轮廓的转变具有显著影响,在80~240℃烫制温度区间内可制作3种香型的红油辣椒,分别为生辣香型、熟辣香型和糊辣香型,对应的最佳烫制温度分别为80℃、150~190℃和240℃。

2.1.2 消费者喜好度分析

对最佳烫制温度下得到的3种香型红油辣椒的消费者喜好度进行分析,结果见表3。

表3 3种香型红油辣椒的消费者喜好度
Table 3 Consumer preferences of three flavor type chili oil at different temperatures

| 烫制温度/℃ | 喜好度得分 |
|--------|-------|
| 80 | 5.1 |
| 150 | 6.2 |
| 160 | 6.1 |
| 180 | 6.2 |
| 190 | 6.3 |
| 240 | 5.5 |

由表3可知:3种香型红油辣椒中,在烫制温度150~190℃时红油辣椒的消费者喜好度的得分最高,均大于6,说明熟辣香型红油辣椒更受消费者喜爱;在烫制温度80℃和240℃时红油辣椒的消费者喜好度得分较低,均小于6,原因可能是80℃下油温较低,辣椒未被完全烫熟,生味过重,降低了消费者喜好度,而240℃下可能是由于油温过高,辣椒被烫糊,焦糊味过重降低了消费者喜好度。由此可知,生味和焦糊味与消费者喜好度呈负相关,在红油辣椒实际生产中,应尽量控制红油辣椒的生辣味与糊辣味的强度。

2.1.3 消费者喜好度与感官属性的PCA

运用Minitab 20软件处理感官数据,采用Tukey事后检验分析组间差异,并利用95%置信度对80~

240℃下烫制的12个红油辣椒样品进行分组,发现其中7个红油辣椒样品在感官属性上具有显著差异($p < 0.05$),分别为80、120、150、180、200、220、240℃下烫制的红油辣椒。将这7个红油辣椒的消费者喜好度值与感官属性强度值进行PCA,结果如图1所示。

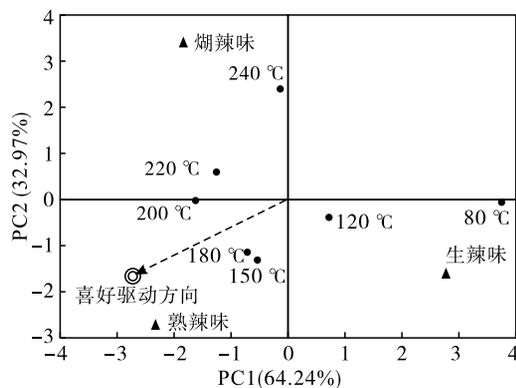


图1 7个不同温度烫制红油辣椒感官属性和消费者喜好度的PCA

Fig. 1 PCA of sensory attributes and consumer preference of 7 chili oil at different temperatures

由图1可知,PC1和PC2组成的二维矩阵图可解释97.22%的样本信息,说明该降维模型能很好地解释不同样本间感官属性的差异度与相似性。80℃烫制的红油辣椒与其他温度烫制的红油辣椒差异较大,150℃与180℃、200℃与220℃烫制的红油辣椒感官属性较为接近。红油辣椒的3种感官属性分别分布在3个不同象限,说明3种香型的红油辣椒样品可以被很好地区分。随烫制温度的升高,红油辣椒的香型呈现出由生辣到熟辣再到糊辣的转变。熟辣香型红油辣椒与感官喜好驱动方向几乎一致,说明消费者更偏爱熟辣香型的红油辣椒,这与2.1.2的结果相印证,且喜好度最高的红油辣椒烫制温度可能介于180~200℃之间,这与2.1.1中熟辣香型红油辣椒的烫制温度为150~190℃的结果相印证。

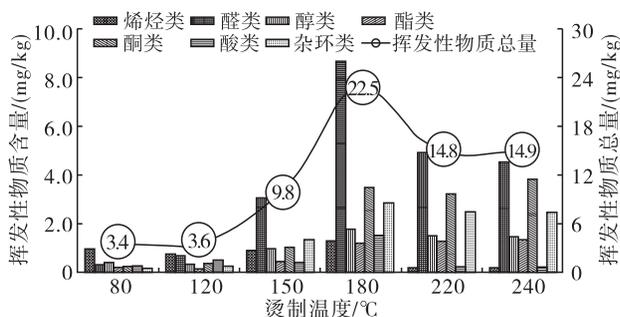
2.2 不同温度烫制红油辣椒的挥发性物质分析

2.2.1 红油辣椒挥发性物质含量随烫制温度变化情况

采用GC×GC-MS对2.1.3中感官属性具有显著差异的7个红油辣椒样品的挥发性成分进行分析,结果显示,7个红油辣椒样品中共鉴定出181种挥发性成分,其中:醛类36种,醇类22种,酯类30种,酮类39种,烯炔类14种,酸类19种,杂环类21种。6个红油辣椒样品的挥发性物质含量如图2所示。

由图2可知:6个红油辣椒样品的挥发物质组成及含量差异较大。随烫制温度的升高,红油辣椒

挥发性物质总量呈现先增后降的趋势,在烫制温度 180 °C 时达到峰值,说明在烫制温度 80 ~ 180 °C 之间,红油辣椒挥发性物质不断地被激发或溶出,其中:醛类物质含量变化趋势最明显,其在烫制温度 180 °C 时达到最大值,大部分醛类物质来源于油脂氧化反应,温度越高,氧化程度越剧烈,说明 180 °C 条件下,油脂氧化反应较为充分,另外,醛类物质的气味阈值低,其浓度的变化对红油辣椒风味的影响较大;杂环类、酮类物质含量总体持续升高,说明高温能促进美拉德反应进行,进而生成如吡嗪、吡咯等杂环类和呋喃酮类物质;烯炔类物质含量在烫制温度大于 180 °C 后有明显降低,这可能是由于萜烯类物质的热稳定性差,如桉烯、 α -蒎烯等辣椒原料本身自带的挥发性物质会在高温下挥发损失^[10];醇类、酯类物质含量在烫制温度大于 150 °C 时明显升高;酸类物质含量在烫制温度为 180 °C 时最大,在其他烫制温度下较低。



注:图中未包含烫制温度 200 °C 的结果,因其数据偏差较大被剔除

Note: The figure does not include the results of 200 °C, which are excluded due to the large data deviation

图 2 6 个红油辣椒样品的挥发性物质含量

Fig. 2 Volatile substances of 6 chili oil samples

2.2.2 不同温度烫制红油辣椒挥发性物质的 PCA

将 7 个红油辣椒样品的挥发性成分进行 PCA,结果显示:PC1 和 PC2 可解释 77.27% 的样本信息,说明该降维模型能较好地解释不同温度烫制红油辣椒样本间的相似度和差异性,以及样本与挥发性物质之间的相关性;烫制温度 80 °C 与烫制温度 120 °C 的红油辣椒的挥发性物质相似,烫制温度 220 °C 与烫制温度 240 °C 的红油辣椒的挥发性物质相似,烫制温度 180 °C 的红油辣椒与其他烫制温度的红油辣椒的挥发性物质相差较大。结合 2.1 烫制温度与感官属性关系的结论可知:烫制温度 80 °C 的红油辣椒属于生辣香型,与之相关性较大的化合物有芳樟醇、桉烯、己醇、萜品油烯等,主要呈现花香、青草味、薄荷味等,贡献红油辣椒的生辣味;烫制温度 180 °C 的

红油辣椒属于熟辣香型,与之相关性较大的化合物有 3-甲基丁醛、己醛、苯乙醛、壬醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、1-辛烯-3-醇等,主要呈现肉味、脂肪味、黄瓜味、蘑菇味、青草味,贡献红油辣椒的熟辣味;烫制温度 240 °C 的红油辣椒属于糊辣香型,相关性较大的化合物有呋喃酮、5-羟甲基糠醛等,主要呈现坚果味、焦糖香,贡献红油辣椒的糊辣味。综上,PCA 筛选出的与不同香型红油辣椒相关性较大的挥发性物质,其气味特征均与该样品感官属性特征相匹配,结果较为准确。

2.2.3 感官属性和挥发性成分的 PLSR 分析

将 7 个红油辣椒样品的感官属性强度得分作为 Y 值,挥发性成分含量作为 X 值,进行 PLSR 分析,结果显示,表征红油辣椒 3 种香型的挥发性化合物与 2.2.2 中 PCA 结果相似。以 PLSR 的相关系数(R)为标准,筛选出与红油辣椒 3 种感官属性相关性较大($R \geq 0.6$)的 91 种挥发性物质,绘制感官属性与挥发性物质相关系数的热图,结果显示,与生辣味相关性较强的化合物有 20 种,包括芳樟醇、正己酸乙酯等,与熟辣味相关性较强的化合物有 18 种,包括壬醛、正己醛、苯乙醛等,与糊辣味相关性较强的化合物有 61 种,包括呋喃酮、3-甲硫基丙醛、N-甲基-2-吡咯甲醛等。

2.3 红油辣椒重要挥发性物质分析

2.3.1 重要挥发性物质的筛选

为进一步确定对红油辣椒 3 种感官属性具有重要贡献的挥发性物质,参考《化合物香味阈值汇编(第二版)》中化合物的阈值,计算 2.2.3 中 7 个红油辣椒样品中与 3 种感官属性相关性较大的 91 种挥发性物质的 OAV,筛选出其中任意烫制温度下 OAV 大于或等于 1 的化合物,结果如表 4 所示。

由表 4 可知,最终确定 17 种对红油辣椒风味具有重要贡献的挥发性物质。其中:提供生辣味的有 2 种,为芳樟醇、正己酸乙酯;提供熟辣味的有 11 种,包括 9 种醛类和 2 种醇类物质;提供糊辣味的有 4 种,分别为呋喃酮、3-甲硫基丙醛、N-甲基-2-吡咯甲醛、2-乙酰基吡啶。17 种重要挥发性成分中 OAV 大于 10 的化合物有 8 种。其中:苯乙醛贡献甜味、花香味,(E,E)-2,4-庚二烯醛、(E)-2-辛烯醛贡献熟油味,1-辛烯-3-醇贡献蘑菇味,3-甲基丁醛贡献肉香、焦香,桉叶油醇贡献樟脑味、药草味,呋喃酮贡献坚果味和焦糖香,3-甲硫基丙醛贡献烤土豆味。以上物质在红油辣椒 3 种香型的呈现上起着相对重要的作用。

表4 不同温度烫制红油辣椒的重要挥发性物质
Table 4 Important volatile substances of chili oil at different temperatures

| 物质 | 气味阈值/ (mg/kg) | OAV | | | | | | |
|-------------------------|------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 80 °C | 120 °C | 150 °C | 180 °C | 200 °C | 220 °C | 240 °C |
| 生辣味 | | | | | | | | |
| 芳樟醇 | 0.037 | 3.5 | 3.6 | 4.3 | - | - | - | - |
| 正己酸乙酯 | 0.04 | 2.1 | 0.4 | 0.6 | 2.5 | 0.3 | 0.3 | - |
| 熟辣味 | | | | | | | | |
| 壬醛 | 0.15 | 0.4 | 0.6 | 2.3 | 7.3 | 2.7 | 3.8 | 3.7 |
| 正己醛 | 0.08 | 0.9 | 1.0 | 1.4 | 2.8 | 0.2 | 0.5 | 0.3 |
| 苯乙醛 | 0.025 | 1.4 | 2.5 | 11.4 | 25.6 | 7.6 | 9.1 | 8.0 |
| (<i>E,E</i>)-2,4-庚二烯醛 | 0.03 | 0.6 | 1.7 | 1.4 | 29.8 | 9.5 | 15.3 | 13.1 |
| (<i>E</i>)-2-庚烯醛 | 0.05 | - | - | 3.0 | 9.9 | - | - | - |
| 1-辛烯-3-醇 | 0.001 | - | 7.2 | 35.8 | 116.1 | 29.3 | 34.6 | - |
| (<i>E</i>)-2-辛烯醛 | 0.004 | - | 5.0 | 12.5 | 29.4 | 13.0 | 19.3 | 17.4 |
| 3-甲基丁醛 | 0.08 | - | 2.1 | 10.2 | 23.1 | 2.5 | 4.9 | - |
| 苯甲醛 | 0.06 | 0.4 | 0.5 | 1.1 | 2.5 | 1.0 | 1.6 | 1.4 |
| 桉叶油醇 | 0.001 1 | 39.4 | - | 91.2 | 89.1 | - | - | - |
| 桃醛 | 0.002 1 | - | - | 1.5 | 4.0 | - | - | - |
| 糊辣味 | | | | | | | | |
| 呋喃酮 | 0.001 6 | - | - | - | - | 186.2 | - | 341.9 |
| 3-甲硫基丙醛 | 0.000 2 | - | - | - | - | 43.0 | 65.8 | 54.2 |
| N-甲基-2-吡咯甲醛 | 0.037 | - | - | - | - | - | 3.6 | 1.9 |
| 2-乙酰基吡啶 | 0.019 | - | - | - | - | 0.5 | 1.3 | 1.4 |

注: -表示未检出

Note: -. Not detected

2.3.2 红油辣椒的重要挥发性物质来源及其风味调控

在2.3.1鉴定出的17种重要挥发性成分中,醛类物质最多,有10种,醇类和杂环类物质次之,各有3种。其中:提供生辣味的芳樟醇是二荆条辣椒自带的挥发性物质^[11];提供熟辣味的主要是醛类物质,醛类物质多来自于不饱和脂肪酸的氧化,烫制红油辣椒所用菜籽油中含有丰富的不饱和脂肪酸,如油酸、亚油酸和 α -亚麻酸,油酸氧化可生成壬醛,亚油酸氧化可生成正己醛^[12]、(*E*)-2-庚烯醛、(*E*)-2-辛烯醛,还可氧化生成10-氢过氧化氢(10-HPOD)^[13],10-HPOD可进一步裂解生成1-辛烯-3-醇, α -亚麻酸氧化生成2,4-庚二烯醛^[14],而提供熟辣味的3-甲基丁醛、苯乙醛、苯甲醛和提供糊辣味的3-甲硫基丙醛是由美拉德反应中间阶段的Strecker降解生成,其中,3-甲基丁醛来自于亮氨酸^[15],苯乙醛来自于苯丙氨酸,3-甲硫基丙醛来自于甲硫氨酸^[16];提供糊辣味的呋喃酮^[17]是含氧杂环物质,与还原糖的关系较大,其可不依赖于氨基酸参与的美拉德反应,在高温条件下

直接由完整的葡萄糖骨架形成,而提供糊辣味的N-甲基-2-吡咯甲醛和2-乙酰基吡啶是含氮类杂环化合物,来源依赖于氨基酸^[18],氨基源对其骨架结构较重要,其中天冬氨酸在吡啶的生成过程中具有更高活性^[19]。

由此可知,红油辣椒的生辣味主要来源于辣椒原料本身的挥发性物质迁移;熟辣味主要来源于脂肪氧化,实际生产中可通过选择不饱和脂肪酸种类差异大的油脂,调控红油辣椒的熟辣香型;糊辣味主要来源于美拉德反应,通过选择含有不同目标氨基酸和还原糖的辣椒品种,调制糊辣香型的红油辣椒。综上,可在一定程度上通过控制原料的种类,调整风味分子物质的形成路径,从而更精准地调控红油辣椒的风味。

3 结论

通过感官评价对不同温度烫制红油辣椒的生辣味、熟辣味、糊辣味3个感官属性强度进行评分,得到生辣香型、熟辣香型、糊辣香型3种香型红油辣椒的最佳烫制温度,分别为80 °C、150~190 °C、240 °C,其中熟辣香型红油辣椒的消费者喜好度最高。采用

多元统计学的分析方法,将挥发性物质与感官结果关联,筛选出对3种香型红油辣椒风味有重要贡献的17种挥发性物质。其中:贡献生辣味的重要挥发性物质有芳樟醇、正己酸乙酯;贡献熟辣味的重要挥发性物质有壬醛、正己醛、苯乙醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、(E)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛、3-甲基丁醛、苯甲醛、桃醛、1-辛烯-3-醇、桉叶油醇;贡献糊辣味的重要挥发性物质有呋喃酮、3-甲硫基丙醛、N-甲基-2-吡咯甲醛、2-乙酰基吡啶。重要挥发性物质中OAV大于10的化合物有8种,其中:苯乙醛贡献红油辣椒的甜味、花香味;(E,E)-2,4-庚二烯醛、(E)-2-辛烯醛贡献红油辣椒的熟油味;1-辛烯-3-醇贡献蘑菇味;3-甲基丁醛贡献肉香、焦香;桉叶油醇贡献樟脑味、药草味;呋喃酮贡献坚果味、焦糖香;3-甲硫基丙醛贡献烤土豆味。以上物质在红油辣椒3种香型的呈现上起着相对重要的作用,在特定浓度比例下的组合,构成了红油辣椒的特征风味。

本研究中仅通过化合物结构和已有文献对挥发性物质的可能来源进行推测,未对原料或样品中非挥发性物质进行分析鉴定。未来可采用液相色谱-质谱联用(LC-MS)等分析手段,对红油辣椒中的前体物质进行全面剖析,以期更透彻地梳理出辣椒香气的产香机制或路径。另外,色泽、滋味也是评价红油辣椒喜好度的重要维度,后续研究可结合这些感官属性以全方位剖析红油辣椒的风味轮廓,指导实际生产。

参考文献:

[1] 董道顺,谷绒. 辣椒油制作最佳工艺条件研究[J]. 农产品加工:下, 2014(11): 40-42, 45.
[2] 薛淼,何新益,闫西纯. 调味辣椒鸡油制备工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(2): 120-124.
[3] 李昌文. 辣椒油的加工工艺研究[J]. 中国调味品, 2007(11): 53-54.
[4] 杜勃峰,李达,肖仕芸,等. 基于HS-SPME-GC-MS及主成分分析综合评价贵州典型辣椒品种香气品质[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(7): 149-155.
[5] 王雪雅,陆宽,孙小静,等. 贵州不同辣椒品种的品质及挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 212-218.
[6] 叶梦宇,王嘉昊,徐怀德,等. 油温对辣椒油品质的影响[J]. 中国调味品, 2022, 47(1): 124-127, 132.
[7] 杨慧,黄绿红,张帆,等. 基于感官和气相色谱-离子迁移谱分析油温对辣椒油风味的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(9): 328-335.

[8] GAO H, LIU M, ZHENG L, et al. Comparative analysis of key odorants and aroma characteristics in hot - pressed yellow horn (*Xanthoceras sorbifolia* Bunge) seed oil via gas chromatography - ion mobility spectrometry and gas chromatography - olfactory - mass spectrometry [J/OL]. Foods, 2023, 12(17): 3174[2023-12-19]. <https://doi.org/10.3390/foods12173174>.
[9] WANG Y, ZHAO J, XU F, et al. GC-MS, GC-O and OAV analyses of key aroma compounds in Jiaozi steamed bread[J]. Grain Oil Sci Technol, 2020, 3(1): 9-17.
[10] 刘军华. 桂花精油、浸膏在烟草风味改良中的应用研究[D]. 上海:上海应用技术学院, 2015.
[11] 李应霞,王进英,董国鑫,等. 辣椒品种对辣椒油挥发性风味物质的影响[J]. 食品科技, 2023, 48(8): 257-263.
[12] CHAIROTE O E, INTACHUM S. Volatile aroma compounds of green chili pepper treated with different heat drying processes[J]. Int J Appl Chem, 2016, 12(2): 129-138.
[13] MORALES M T, RIOS J J, APARICIO R. Changes in the volatile composition of virgin olive oil during oxidation: Flavors and off - flavors [J]. J Agric Food Chem, 1997, 45(7): 2666-2673.
[14] DOBARGANES M C, RIOS J J, PEREZ CAMINO M C. Relationship between the composition of vegetable oils and the volatile components produced during their thermal oxidation[J]. Grasas Aceites, 1986, 37(2): 61-67.
[15] 季德胜,郑桂青,孙俊,等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用分析辣椒油中的风味物质[J]. 现代食品科技, 2017, 33(6): 276-284.
[16] 余进,曾艳,白艳,等. 香气活性值结合气相色谱-嗅闻技术分析辣椒油的关键挥发性风味化合物[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(1): 286-292.
[17] HALEVA - TOLEDO E, NAIM M, ZEHAVI U, et al. Effects of L - cysteine and N - acetyl - L - cysteine on 4 - hydroxy - 2, 5 - dimethyl - 3 (2H) - furanone (furanol), 5 - (hydroxymethyl) furfural, and 5 - methylfurfural formation and browning in buffer solutions containing either rhamnose or glucose and arginine[J]. J Agric Food Chem, 1999, 47(10): 4140-4145.
[18] SUYAMA K, ADACHI S. Origin of alkyl - substituted pyridines in food flavor: Formation of the pyridines from the reaction of alkanals with amino acids [J]. J Agric Food Chem, 1980, 28(3): 546-549.
[19] HWANG H I, HARTMAN T G, HO C T. Relative reactivities of amino acids in the formation of pyridines, pyrroles, and oxazoles[J]. J Agric Food Chem, 1995, 43(11): 2917-2921.