

萝卜腌制前的预处理方式对风味及质构的影响研究

车再全, 夏延斌, 雷辰, 任美

(湖南农业大学食品科技学院, 湖南长沙 410128)

摘要: 为了解传统预处理方式对腌制萝卜风味物质及质构的影响, 本试验利用固相微萃取-气质-联用技术对三种不同预处理方式下的腌制萝卜挥发性风味物质进行分析, 同时利用质构仪对硬度的变化进行测量。结果显示: 热浸前处理的腌制萝卜挥发性风味物质共有 50 种, 干制前处理的腌制萝卜挥发性风味物质共有 44 种, 直接腌制的萝卜挥发性风味物质共有 38 种。三种方式腌制萝卜形成的特征风味物质都以酯类和二硫化物为主, 其它物质却不相同, 热浸前处理的腌制萝卜以烯类和芳香类为主, 含量分别为 5.14% 和 6.53%; 干制前处理的腌制萝卜以酸类和醛类为主, 含量分别为 5.45% 和 7.89%; 直接腌制的萝卜以烷类和芳香类为主, 含量分别为 6.56% 和 4.93%。另外, 不同预处理方式加工而成的腌制萝卜经过杀菌后其硬度都有一定程度下降, 但是经过热浸前处理的样品硬度保持最好, 干制前处理的样品次之。

关键词: 腌制萝卜; 固相微萃取-气质-联用; 风味物质; 质构

文章编号: 1673-9078(2017)1-197-205

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.1.031

Effects of Pretreatment on Flavor Substance and Crispness of Pickled Radish

CHE Zai-quan, XIA Yan-bin, LEI Chen, REN Mei

(College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: In order to compare the effects of traditional pretreatment methods on flavor substances and texture of pickled radish, headspace solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry was used to analyze the volatile flavor substances and a texture analyzer was used to measure changes in hardness after three pretreatments. The results showed that there were 50 types of volatile flavor substances in pickled radishes after blanching pretreatment, 44 volatile flavor substances after drying pretreatment, and 38 volatile flavor substances in pickled radishes without any pretreatment. The major flavor substances formed during the three pretreatments were primarily esters and disulfides. The other substances formed differed with the pretreatments, with blanching primarily yielding alkenes and aromatic compounds with content of 5.14% and 6.53%, respectively, while drying yielded carboxylic acids and aldehydes with content of 5.45% and 7.89%, respectively. When no pretreatment was given, alkanes and aromatic compounds resulted, with content of 6.56% and 4.93%, respectively. In addition, the hardness of pickled radish decreased to some extent after the three different pretreatments, while the texture was found to be better retained after blanching than drying.

Key words: pickled radish; solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry; flavor substance; textures

萝卜, 最常见的十字花科蔬菜, 含有有效的植物化学物质, 芥子油苷和它的一些分解产物^[1], 萝卜被用来治疗肠胃、胆囊和肝脏疾病, 在墨西哥被用来改善胆结石的生成^[2]。萝卜在自然状态下保存的时间非常短, 因此消费者的食用仍然具有季节性^[3]。腌制萝卜

收稿日期: 2015-12-07

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAD16B01); 生鲜农产品绿色防腐与安全保鲜技术研发与应用(2015BAD16B00)

作者简介: 车再全(1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品化学与营养

通讯作者: 夏延斌(1952-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品化学与营养

萝卜能有效延长萝卜的食用期和保持萝卜的营养价值, 还能产生特殊的风味物质刺激食欲, 因此腌制成为萝卜的主要加工方式之一。

萝卜腌制一般都要经过一些预处理, 腌制预处理的方法有很多种, 如热浸处理或者干制处理, 热浸能够提高某些蔬菜的色泽及硬度, W.M.WALTER JR^[4]等的研究发现烹饪前低温烫漂地瓜能够显著增加坚固稳定性。杜胜兰^[5]等用 5 种不同前处理对两种质地的莲藕处理, 结果显示预热处理使果胶结构趋于稳定, 果实硬度得到保护。干制也就是风干脱水, 萝卜含水量高, 组织脆嫩, 适当干制可以除去部分水分, 可溶性物质基本上保留在成品中, 营养成分没有流失, 风

味好。目前人们对于腌制蔬菜的研究非常多,但是对于预处理方法对其风味物质及硬度的影响还鲜有报道。

固相微萃取法是一种新的萃取技术,具有不会破坏香气的组分和性质,选择性强、快速无溶剂提取和检测限低等优点,广泛用于食品风味物质的研究中。质构仪可以模拟人的触觉准确检测样品物性特征。为了探究腌制的预处理方法对腌制产品的挥发性风味物质及质构的影响,本实验采用顶空固相微萃取(HS-SPME)取结合气质联用(GC-MS)技术对不同前处理腌制萝卜的风味物质进行分析,利用质构仪测量腌制过程中质构的变化,对比不同预处理方法对腌制产品的影响,选择合适的预处理方法腌制产品,以期为提高成品腌制萝卜的品质提供帮助。

1 材料与方法

1.1 材料

北京萝卜:长约36 cm,重约1 kg,新鲜、无虫害、无机械损伤,购于湖南农业大学生鲜市场。

1.2 仪器与设备

手动 SPME 进样器(DVB/CAR/PDMS (Diviny/Carboxen/Polydimethylsiloxane, 二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷共聚物)萃取头),美国安捷伦公司;Agilent 5975C inert XL MSD 气相色谱-质谱联用仪(配有 RET-5 弹性石英纤维毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm),美国 supelco 公司;TA-XT2i 型质构分析仪,英国 Stable Micro System 公司;DHG-9240A 型电热鼓风干燥箱,上海飞跃实验仪器有限公司;DFD-100 型恒温水浴锅,东方电工机械厂。

1.3 方法

1.3.1 腌制前预处理方法

将新鲜萝卜表皮洗净去皮后,用特制的木塞穿孔器挤压成 1.25 cm×3 cm 的圆柱型萝卜条,在萝卜腌制之前,对原料进行不同预处理,以考察对腌制萝卜挥发性风味及质构的影响。①将新鲜处理好的萝卜放入 55 °C 的水中热浸 25 min 后,立即用凉水冷却,沥干水后置于 8% 的盐水中腌制②将新鲜处理好的萝卜放入 60 °C 的热风干燥箱中使其匀速失水,失水量达到 35% 之后置于 8% 的盐水中腌制③将新鲜处理好的萝卜置于 8% 的食盐水中直接腌制。以上不同预处理后腌制的萝卜均在 28 °C 下腌制,腌制完成后热杀菌(85 °C、20 min)。

1.3.2 挥发性物质检测

样品处理:取腌制好的白萝卜切碎后取 4 g 置于 10 mL 的样品顶空进样瓶内密封,在 60 °C 条件下平衡 20 min 后,然后将老化完全的萃取头插入瓶内,伸出纤维于上空气中,60 °C 下萃取 30 min,在进样口解析 5 min,GC-MS 分析。

1.3.2.1 GC-MS 分析条件

色谱柱:RET-5 弹性石英纤维毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm);升温程序:柱温 36 °C 保留 3 min,以 3 °C/min 升到 45 °C,保持 1 min,再以 6 °C/min 升至 130 °C,保持 1 min 最后以 8 °C/min 升至 230 °C,保持 8 min;载气(He)流速 2.54 mL/min;压力 2.4 kPa;进样方式:不分流。

质谱条件:电子轰击离子源(EI);电子能量 70 eV;接口温度 250 °C;全扫描模式,扫描范围:45~450 a/m。

1.3.3 数据分析

定性分析:色谱分离后,质谱扫描每个色谱峰得到质谱图,所得到质谱信息经计算机用标准 NIST08 质谱图数据库确定香气物质组分种类。

定量分析:以峰面积归一化法确定各化合物的相对含量。

1.3.4 质构测定

将萝卜条处理成长为 1 cm 的圆柱型,用质构仪对其进行测量,测试模式:TPA;探头:P36R;测前速度:2.0 mm/s,测中速度:1 mm/s,测后速度 1 mm/s;压缩比例:70%;两次间隔 3 s;每个样品测试 9 次,取平均值。

2 结果与分析

2.1 基于 SPME-GC-MS 技术的香气物质组分分析

2.1.1 不同前处理腌制萝卜的 GC-MS 图谱

对热浸、干制和直接腌制的萝卜进行 GC-MS 测定分析,其挥发性成分的 GC-MS 总离子流图见图 1~3,各挥发性成分定性分析结果见表 1。

从表 1 中可以看出,三种前处理方式的腌制萝卜共检测出 83 种风味物质,其中酯类 20 种、烯炔类 11 种、烷烃类 9 种、芳香族类 6 种、醇类 10 种、含硫化合物 1 种、杂环类 3 种、醛 13 种、酸类物质 7 种、酮类 2 种和萘类 1 种。热浸前处理后的腌制萝卜中主要的挥发性风味物质为酯类、含硫化合物和芳香族类化合物,含量分别为 58.72%、19.63%和 6.53%。干制处

理后的腌制萝卜中主要的挥发性风味物质为酯类、含硫化合物和醛类，含量分别为 47.82%、23.79%和 7.89%。直接腌制的萝卜中的主要挥发性风味物质为酯类、含硫化合物和烷类，含量分别为 54.47%、16.61%和 6.56%。三种不同前处理的腌制萝卜中的挥发性成分中酯类和含硫化合物都占有主体地位，酯类物质中主要为具有辛辣味和芳香味等的异硫氰酸酯，异硫氰酸酯被认为是含芥子苷类十字花科蔬菜及其加工产品的风味组成^[6]。测出的含硫化合物为二甲基三硫，Kang^[7]对韩国泡菜分析，证明含硫化合物为韩国泡菜的主要风味物质。

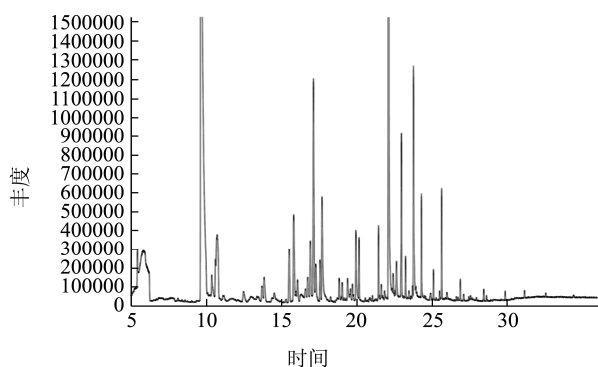


图1 热烫后腌制的萝卜挥发性成分 GC-MS 总离子流图

Fig.1 Total ion current chromatogram from GC-MS of pickled radishes after blanching

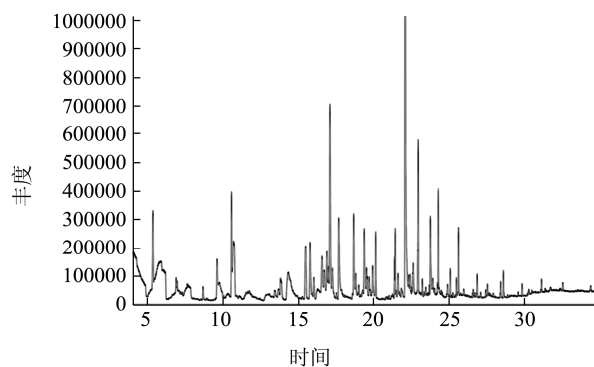


图2 干制后腌制的萝卜挥发性成分 GC-MS 总离子流图

Fig.2 Total ion current chromatogram from GC-MS of pickled radishes after drying

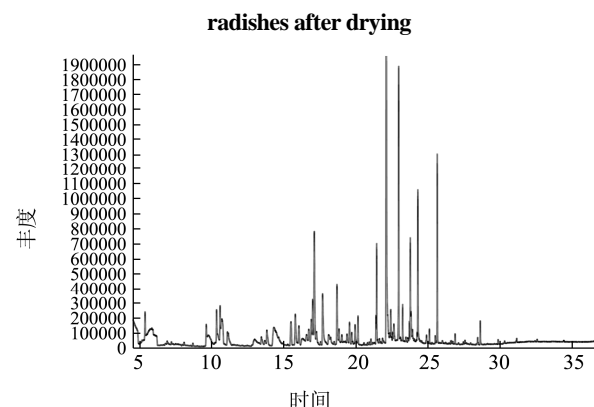


图3 未处理后腌制的萝卜挥发性成分 GC-MS 总离子流图

Fig.3 Total ion current chromatogram from GC-MS of pickled radish without pretreatment

表1 不同预处理方式的腌制萝卜挥发性成分及相对含量测定结果

Table 1 Volatile components and their relative contents in pickled radish after different pretreatment methods

| 化合物名称 | 保留时间/min | 相对含量/% | | |
|------------------|----------|--------|-------|-------|
| | | 新鲜 | 干制 | 热浸 |
| 酯类 (20) | | | | |
| 甲酸甲酯 | 6.96 | - | - | 0.21 |
| 乙酸戊酯 | 13.42 | - | 0.15 | 0.11 |
| 异硫氰酸乙酯 | 14.79 | 11.74 | 9.39 | 13.97 |
| 4-甲基异硫氰酸戊酯 | 15.77 | 1.63 | - | 1.33 |
| 亚油酸乙酯 | 16.52 | - | 0.08 | 0.14 |
| 十一酸乙酯 | 16.97 | - | 0.68 | 0.30 |
| 辛酸乙酯 | 16.99 | - | 0.71 | - |
| 1-异硫代氰酸丁酯 | 17.09 | 34.97 | 29.68 | 36.13 |
| 13-甲基十四烷酸乙酯 | 17.54 | - | - | 0.09 |
| 异硫氰酸烯丙酯 | 18.74 | - | - | 1.51 |
| 3-(甲基硫代)丙基硫代异氰酸酯 | 19.92 | 2.37 | - | 2.01 |
| 1-异硫代氰酸庚酯 | 19.69 | 0.36 | 0.25 | - |
| 癸酸乙酯 | 21.38 | - | 2.13 | 0.45 |
| 十六酸甲酯 | 22.83 | - | 1.51 | 0.13 |

转下页

接上页

| | | | | |
|--------------------------|-------|------|------|------|
| 2-苯乙醇乙酸酯 | 23.87 | - | - | 0.67 |
| 异硫氰酸-2-苯乙酯 | 24.11 | 0.61 | - | - |
| 对氟苯甲酸-2-苯乙酯 | 24.63 | - | 0.27 | - |
| 异硫氰酸苯乙酯 | 25.87 | 0.09 | 0.62 | - |
| 邻苯二甲酸二丁酯 | 27.43 | 0.57 | - | 0.14 |
| 棕榈酸乙酯 | 28.60 | 2.13 | 2.35 | 1.53 |
| 烯类 (11) | | | | |
| 苯乙烯 | 7.57 | - | 0.18 | - |
| 1,3,5,7-环辛四烯 | 7.62 | 0.09 | - | - |
| 3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯 | 7.76 | - | - | 0.23 |
| 长叶烯 | 10.23 | - | - | 0.39 |
| α -姜黄烯 | 10.98 | - | - | 0.92 |
| 柠檬烯 | 11.53 | - | 0.51 | - |
| 右旋柠檬烯 | 11.64 | 2.10 | 1.02 | 2.69 |
| 1-石竹烯 | 15.68 | 0.25 | 0.88 | 0.76 |
| 2-甲基-5-(1-甲基乙基)-1,3-环己二烯 | 16.02 | - | - | 0.15 |
| α -蒎品烯 | 16.29 | 0.86 | - | - |
| 顺-2-甲基-7-十八烯 | 26.55 | 0.15 | - | - |
| 烷烃类 (9) | | | | |
| 六苯基环三硅氧烷 | 5.37 | - | 0.84 | - |
| 2-甲基硫化环丙烷 | 8.07 | 0.77 | 0.65 | 0.26 |
| 八甲基环四硅氧烷 | 10.58 | 1.23 | - | 0.13 |
| 十二甲基环六硅氧烷 | 20.13 | 0.92 | - | - |
| 3-甲基-十四烷 | 22.52 | - | - | 0.41 |
| 3-甲基十五烷 | 23.91 | 0.81 | 0.91 | - |
| 正十六烷 | 24.28 | - | 1.61 | 0.91 |
| 正十七烷 | 25.62 | 1.86 | - | 0.72 |
| 环五聚二甲基硅氧烷 | 27.69 | 0.97 | - | - |
| 芳香族化合物 (6) | | | | |
| 1-甲基-4-(1-丙烯基)苯 | 8.59 | - | 0.84 | 1.98 |
| 萘 | 16.57 | 2.39 | 2.11 | 3.48 |
| 1-甲基萘 | 19.52 | 0.87 | - | 0.41 |
| 2-甲基萘 | 19.57 | 0.92 | - | 0.66 |
| 2,6-二甲氧基萘 | 22.86 | - | 0.72 | - |
| 丁羟甲苯 | 23.22 | 0.75 | - | - |
| 醇类 (10) | | | | |
| 2-甲基-1-丁醇 | 6.90 | 0.66 | - | 0.52 |
| 乙醇 | 11.74 | - | 0.31 | - |
| 辛醇 | 11.96 | - | - | 0.19 |
| 正辛醇 | 12.98 | - | 1.58 | 0.54 |
| 苯基乙醇 | 14.28 | 1.48 | - | - |
| α -松油醇 | 14.40 | 1.15 | 1.19 | 0.87 |
| 正壬醇 | 16.27 | - | - | 0.21 |

转下页

| | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|--|
| 接上页 | | | | | |
| 2-(十二烷基)乙醇 | 16.89 | - | - | 0.32 | |
| 芳樟醇 | 17.68 | - | 0.13 | - | |
| 苯甲醇 | 23.45 | 1.13 | 0.02 | 0.60 | |
| ----- | | | | | |
| 酸类(7) | | | | | |
| 十五酸 | 11.08 | 0.40 | - | - | |
| 乙酸 | 13.89 | 1.86 | 1.72 | 0.14 | |
| 正己酸 | 16.13 | - | - | 0.20 | |
| 油酸 | 18.67 | - | 0.89 | 0.22 | |
| n-棕榈酸 | 19.26 | 1.51 | 1.93 | - | |
| 辛酸 | 21.83 | - | 0.91 | - | |
| 十八酸 | 25.53 | - | - | 0.51 | |
| ----- | | | | | |
| 酮类(2) | | | | | |
| 苯乙酮 | 12.86 | - | 0.10 | - | |
| 甲基壬基甲酮 | 16.71 | - | 0.03 | - | |
| 含硫化合物(1) | | | | | |
| 二甲基三硫 | 23.61 | 16.61 | 23.79 | 19.63 | |
| 杂环类(3) | | | | | |
| 2-戊基呋喃 | 10.32 | 0.61 | 1.05 | 0.31 | |
| 2,3-二氧苯并呋喃 | 18.09 | 1.80 | - | - | |
| 二苯并呋喃 | 22.54 | - | - | 0.23 | |
| ----- | | | | | |
| 醛类(13) | | | | | |
| 2,6-二甲基苯甲醛 | 10.65 | - | 0.84 | - | |
| 十一醛 | 12.53 | - | 2.22 | - | |
| 2-十一烯醛 | 12.97 | - | 1.16 | - | |
| 壬醛 | 13.82 | 1.09 | - | 1.39 | |
| (E,E)-2,4-庚二烯醛 | 14.76 | - | 1.90 | - | |
| 癸醛 | 15.64 | - | 0.63 | - | |
| 正辛醛 | 15.88 | 0.67 | - | 0.25 | |
| 3-乙基苯甲醛 | 17.11 | - | - | 0.14 | |
| 苯甲醛 | 17.79 | 0.73 | - | 0.31 | |
| 苯乙醛 | 18.16 | 0.89 | - | 0.49 | |
| 4-乙基苯甲醛 | 22.21 | - | 0.61 | - | |
| 乙醛 | 22.62 | - | - | 0.11 | |
| 反式-2,4-癸二烯醛 | 23.69 | - | 0.53 | - | |
| ----- | | | | | |
| 硝类(1) | | | | | |
| 丙二硝 | 17.56 | | 0.37 | | |

注：“-”表示未检出。

2.1.1.1 三种前处理腌制萝卜酯类物质的比较

三种不同前处理方式腌制萝卜的挥发性风味物质中酯类物质含量最高,研究表明,大分子质量的不饱和单羧酸与低级的脂肪醇所形成的酯类大都有令人愉快的水果芳香^[8],酯化反应生成酯类一般发生在腌制的后熟期,对腌制萝卜的香气具有重要作用。热浸处理,干制处理,直接腌制处理后的挥发性酯类含量分

别为 58.72%、47.82%和 54.40%。酯类物质中主要为具有辛辣味和芳香味等的异硫氰酸酯。萝卜中的部分异硫氰酸酯类成分来自于蔬菜原料自身^[9],部分可能来自于酶及微生物的作用,在腌制过程中由于盐液的渗透作用使得萝卜组织细胞质壁分离,芥子苷在芥子酶催化作用下生成不稳定的非糖配基,随机发生非酶水解,根据反应不同可能生成硫氰酸酯和异硫氰酸酯

[10]。干制方法下的腌制萝卜中异硫氰酸酯较其它两种方法少,分析其原因可能是干制过程中热风和脱水等因素造成其部分被降解。除了异硫氰酸酯,腌制萝卜中含量相对较高的还有棕榈酸乙酯和癸酸乙酯,棕榈酸乙酯具有微弱的奶油芳香,癸酸乙酯具有果香和酒香,梨和白兰地似得香韵。干制前处理可能导致萝卜表面部分微生物受到影响使得发酵时间较其它两种处理方式慢,导致酯类物质较其他两种方式少。热浸前处理腌制萝卜的酯类物质较其它两种方式高,高海燕[11]对莴笋的研究中表示合适的热烫处理可消除其本身具有的特殊气味而使风味得到改善,热浸前处理的腌制萝卜酯类含量高可能是由于热浸能够使蔬菜中的蛋白质活性增加,发酵作用和蛋白质水解分别产生有机酸和氨基酸都会同乙醇等醇类物质发生酯化反应,生成酯类[12],蛋白质水解是发酵蔬菜风味物质的主要来源。

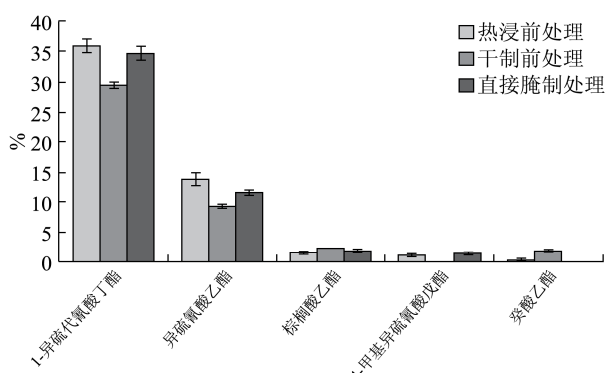


图4 三种方式腌制萝卜酯类的比较

Fig.4 Comparison of esters in pickled radishes after the three different pretreatments

2.1.1.2 三种前处理腌制萝卜含硫化化合物的比较

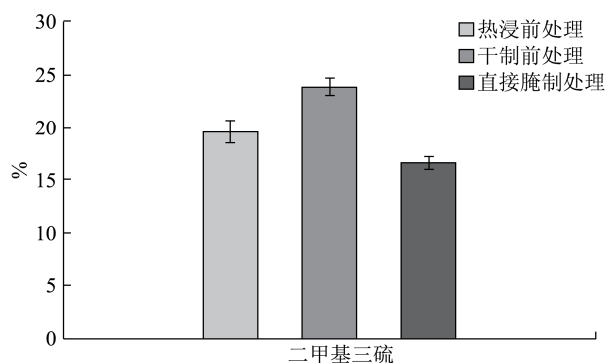


图5 三种方式腌制萝卜硫化物的比较

Fig.5 Comparison of sulfide content in pickled radishes after the three different pretreatments

三种不同前处理的腌制萝卜中,含硫化化合物也是主要的风味物质之一。萝卜中原有的含硫化化合物部分得到了保留,在发酵过程中,由于芥子苷酶的作用,一些芥子苷被分解成了硫化物。热浸前处理、干制前

处理和直接腌制的萝卜中二甲基三硫的含量分别为19.63%、23.79%和16.19%。二甲基三硫的阈值低,具有葱、肉特殊气味,同时也具有较强的杀菌和防腐作用[12]。刘大群等[13]采用风脱水与盐脱水两种方式腌制萝卜干,实验发现两种脱水方式下的硫醚类差异大,风脱水腌制产品中硫醚类含量远远多于盐脱水的腌制样品,为风脱水萝卜干的香气提供依据。三种前处理方法比较,干制处理下的腌制萝卜含硫化化合物的含量较其他两种方法多,分析其原因可能是因为萝卜在干制过程中温度及水分等因素影响使得萝卜中的部分细胞破裂,细胞内的芥子苷酶水解芥子苷,产生更多的二甲基三硫。

2.1.1.3 三种前处理腌制萝卜醛类物质的比较

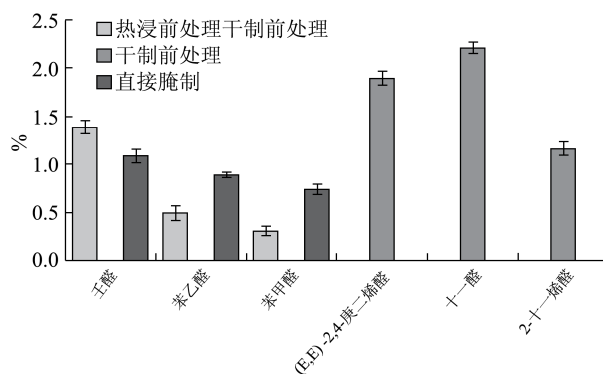


图6 三种方式腌制萝卜醛类物质比较

Fig.6 Comparison of aldehydes in pickled radishes after the three different pretreatments

醛类化合物是酯质降解的产物,阈值低,分为饱和醛和不饱和醛,其都具有特殊香气。醛类的微量存在对腌制萝卜风味组成有重要作用。三种不同前处理方式的腌制萝卜共检测出醛类物质11种,热浸前处理、干制前处理和直接腌制的萝卜中醛类含量分别为2.69%、7.89%和3.38%,热浸前处理和直接腌制的萝卜中相对含量较高的为壬醛,壬醛有愉快的玫瑰和杏仁香是油酸氧化的产物[13]感觉阈值为1 μg/kg,苯甲醛具有玫瑰花香,可能来源于泡菜乳酸菌对苯丙氨酸的代谢产生。干制前处理的腌制萝卜中含量较高的有十一醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛和2-十一烯醛。十一醛一般存在于柑橘类香气成分中,具甜橙玫瑰花香,二烯醛具有青香一般来源与亚油酸酯和亚麻酸酯的氢过氧化物的降解[14]。三种前处理方式比较,干制前处理腌制的萝卜醛类含量最高,有研究发现经过风脱水的萝卜干比盐脱水的萝卜干中的醛类物质多[13],分析其原因可能是由前处理使得萝卜渗透性发生改变,加快了细胞内外溶液渗透平衡速度,酯质更易降解生成醛类。

2.1.1.4 三种前处理腌制萝卜烃类化合物的比较

一般来讲饱和烷烃香气的阈值高,如十六烷和十

七烷都以饱和烷烃为主,对腌制萝卜的风味贡献较小,不饱和烷烃阈值低作用大。烯烃和芳香烃相对于饱和烷烃阈值较低,具有特殊气味对腌制蔬菜的风味形成具有重要作用。检测结果显示中烃类含量较高的有萘和右旋柠烯,都为不饱和烃,右旋柠烯具有清新的香味,广泛存在于橙子和柠檬等多种精油中,具有令人愉悦的柠檬味道。三种处理方式相比较,直接腌制的萝卜中烷类较多,含量为 6.56%,热浸前处理的腌制萝卜烯类物质和芳香类物质含量高分别为 5.14%和 6.53%,分析其原因可能是由于热浸能激活某些酶,使蛋白质更易被微生物所利用形成香气物质。

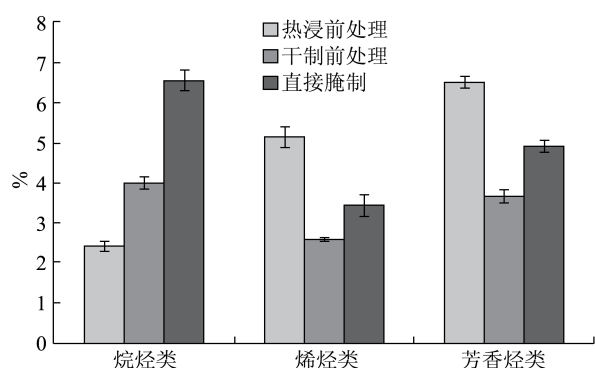


图 7 三种方式腌制萝卜烃类物质比较

Fig.7 Comparison of the hydrocarbons in pickled radishes after the three different pretreatments

表 2 不同预处理方式对腌制萝卜硬度的影响

Table 2 Effect of different pretreatment methods on hardness of pickled radish

| 前处理方法 | 前处理后的硬度/N | 腌制完成后的硬度/N | 杀菌完成后的硬度/N |
|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 新鲜样品 | 40.72±2.57 ^a | 20.58±3.25 ^b | 15.54±1.79 ^c |
| 60 °C 干制 | 32.69±1.43 ^b | 22.74±1.38 ^b | 17.52±1.43 ^b |
| 55 °C 热烫 | 38.59±2.26 ^a | 26.06±2.27 ^a | 22.07±2.03 ^a |

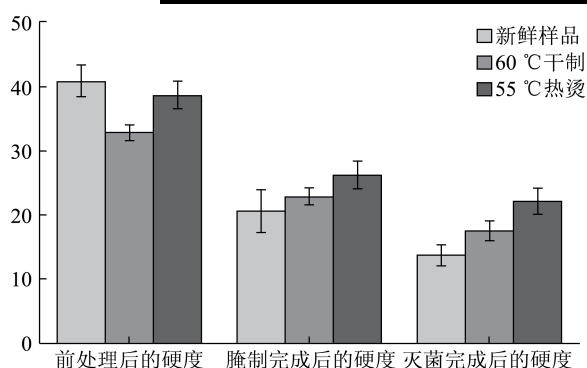


图 8 不同预处理方式下萝卜硬度的变化 (N)

Fig.8 Changes in hardness of pickled radish after the three different pretreatment methods

从图 8 中可以看出经过腌制及热浸处理杀菌后的萝卜硬度均有下降,腌制后硬度降低可能是由于细胞壁组织中的果胶被分解所致^[7],杀菌后硬度降低是热处理普遍存在的现象。三种前处理的腌制方法比较,

2.1.1.5 其他风味物质

醇类具有植物香和芳香气味,可与有机酸发生酯化反应生成酯类化合物,腌制萝卜中含量较高醇类有苯基乙醇、 α -松油醇和苯甲醇。苯基乙醇具有柔和清甜的蔷薇香气,一般存在于酒中由酵母菌在发酵过程中通过转化发酵液中的苯丙氨酸产生的^[15]被认为是一些发酵食品的天然风味物质。 α -松油醇具有紫丁香味对泡菜风味贡献大,2-甲基-1-丁醇具有辛辣不愉快的气味,干制处理的腌制萝卜中含有较多的正辛醇,正辛醇具有甜花香,苯甲醇有芳香味。三种不同方式比较干制前处理的腌制萝卜醇类物质含量较少,醇类是热敏性物质,在干燥过程中高热条件下低沸点醇类物质的挥发和氧化,醇类会有一定损失^[16]。

此外,三种前处理方式的腌制萝卜中还有少量的杂环类物质,如 2-戊基呋喃,其具有豆香、泥土、果香、青香及类似蔬菜的香味。杂环类杂环化合物的存在对泡菜整体风味的形成具有协同作用。干制处理的腌制萝卜中含有两种酮类物质一种睛类物质,但含量并不高,酮类一般具有甘草味道。

2.2 不同前处理方式对腌制萝卜杀菌后质构

的影响

干制前处理萝卜样品硬度比鲜萝卜小,但热浸处理的萝卜样品硬度与新鲜样品无显著性差异,腌制完成后经过热浸处理的萝卜硬度与新鲜样品有着显著性差异,说明热浸前处理对萝卜的坚固性有一定的保护作用,这与杜小琴等^[18]的研究结果一致,分析原因可能是由于热烫期间萝卜组织中的天然果胶酶被激活,果胶部分脱酯,这些脱脂的果胶与萝卜组织中原有的钙离子结合组成“钙桥”使得细胞之间的粘合加强,萝卜硬度得到保留。杀菌处理后热浸前处理的腌制萝卜硬度保留最多,经过干制前处理萝卜腌制及杀菌后的硬度比未处理的样品高,这与汪立平的研究结果一致^[19],究其原因,可能是由于萝卜干制使得含水量减少组织细胞更为紧密,硬度得到一定的保留。

3 结论

采用固相微萃取-气-质-联用技术对三种前处理

腌制的萝卜挥发性成分进行分析。结果显示未前处理、干制前处理、热浸前处理腌制萝卜共检测出 83 种挥发性风味物质, 其中经过热浸前处理的腌制萝卜中挥发性风味物质最多, 为 50 种。三种方式挥发性成分都以酯类、含硫化合物为主, 其余成分各不相同, 热浸前处理腌制萝卜中酯类、烯类和芳香类物质较其它两种方式多; 干制前处理腌制萝卜中酸类、含硫化合物和醛类较其它两种方式多, 未经过前处理腌制萝卜中烷类和杂环类物质较其它两种方式多, 结果说明前处理方式对腌制萝卜的风味物质形成有一定影响, 为以后腌制萝卜风味物质的研究提供一定的参考, 同时为腌制萝卜前处理的选择提供一定帮助。三种处理方式腌制萝卜腌制和杀菌后硬度都有一定程度下降, 但进过热浸前处理的腌制萝卜硬度保持最好, 表明合适的热浸前处理对腌制萝卜硬度具有一定的保护作用, 为解决萝卜腌制后软化问题提供一定帮助。

参考文献

- [1] Shin T, Ahn M, Kim G O, et al. Biological activity of various radish species [J]. *Oriental Pharmacy & Experimental Medicine*, 2015, 15(2): 1-7
- [2] Castro-Torres I G, O-Arciniega M D L, Gallegos-Estudillo J, et al. *Raphanus sativus* L.var niger as a source of phytochemicals for the prevention of cholesterol gallstones [J]. *Phytotherapy Research* Ptr., 2014, 28(2): 167-171
- [3] Joshi V K, Chauhan A, Devi S, et al. Application of response surface methodology in optimization of lactic acid fermentation of radish: effect of addition of salt, additives and growth stimulators [J]. *Journal of Food Science & Technology*, 2015, 52(8): 1-10
- [4] Walter W M, V D T, Simunovic N, et al. Low-temperature blanching of sweetpotatoes to improve firmness retention: Effect on compositional and textural properties [J]. *Journal of Food Science*, 2003, 68(4): 1244-1247
- [5] 杜胜兰. 粉脆质地莲藕细胞壁组分差异及其影响因素的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013
DU Sheng-lan. Studies on the differences and influencing factors of cell wall components of lotus rhizomes in crispy and mealy texture [D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2013
- [6] Pecháček R, Velišek J, Hrabcová H. Decomposition products of allyl isothiocyanate in aqueous solutions [J]. *J. Agric. Food Chem.*, 1997, 45(12): 4584-4588
- [7] Kang J H, Lee J H, Min S, et al. Changes of volatile compounds, *Lactic Acid Bacteria*, pH, and headspace gases in kimchi, a traditional Korean fermented vegetable product [J]. *Journal of Food Science*, 2003, 68(3): 849-854
- [8] 李华. 现代葡萄酒工艺学[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2000
LI Hua. *Modern wine technology* [M]. Xi'an: Shanxi People's Press, 2000
- [9] Mithen R, Armah C, Traka M. Cruciferous vegetables-and biological activity of isothiocyanates and indoles [M]. Springer Netherlands, 2011
- [10] 张金凤, 蒲彪, 陈安均, 等. SDE 和 HS-SPME 结合 GC-MS 分析传统四川泡萝卜的挥发性成分[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(15): 297-303
ZHANG Jin-feng, PU Biao, CHEN An-jun, et al. Analysis of volatile compounds in sichuan traditional pickled radish by SDE and HS-SPME [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(15): 297-303
- [11] 高海燕, 曾洁, 朱继英. 袋装莴笋护绿与保脆的研究[J]. *保鲜与加工*, 2004, 4(4): 26-27
GAO Hai-yan, ZENG Jie, ZHU Ji-yin. Study on being kept green and brittle of packed-lettuce [J]. *Storage and Process*, 2004, 4(4): 26-27
- [12] 王晓飞. 纯种发酵泡菜及其风味物质的研究[D]. 南京: 南京工业大学, 2005
WANG Xiao-fei. Studies on pure fermenting pickles and the volatile flavor components [J]. Nanjing: Nanjing Tech. University, 2005
- [13] Pecháček R, Velišek J, Hrabcová H. Decomposition products of allyl isothiocyanate in aqueous solutions. [J]. *J. Agric. Food Chem.*, 1997, 45(12): 4584-4588
- [14] 刘大群, 华颖. 基于电子鼻与 SPME-GC-MS 法分析不同脱水方式下萧山萝卜干中的挥发性风味物质[J]. *现代食品科技*, 2014, 2(2): 279-284
LIU Da-qun, HUA Ying. Detection of volatile flavor compounds in different dehydrated xiaoshan pickled radish by SPME-GC-MS and e-nose methods [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 2(2): 279-284
- [15] Xie J, Sun B, Zheng F, et al. Volatile flavor constituents in roasted pork of Mini-pig [J]. *Food Chemistry*, 2008, 109(3): 506-514
- [16] 黄亚东, 印伯星. 关于啤酒酵母产生苯乙醇的研究[J]. *酿酒科技*, 2003, 5(5): 62-63
HUANG Ya-dong, YIN Bo-xing. Study on phenethyl alcohol derived from beer yeast [J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2003, 5(5): 62-63
- [17] 张丽, 薛妍君, 汝骅, 等. 热风干燥对芥菜风味和品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(15): 194-201

- ZHANG Li, XUE Yan-jun, RU Hua, et al. Effect of hot air drying on flavor compounds and quality of *Capsella bursse-pastoris* L. [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(15): 194-201
- [18] 郑炯,宋家芯,陈光静,等.腌制加工对麻竹笋质构和微观结构及色泽的影响[J].食品科学,2014,35(1):85-88
- ZHENG Jiong, SONG Jia-xin, CHEN Guang-jing, et al. Effects of pickling on the texture, microstructure and color of bamboo shoots (*Dendrocalamus latiflorus*) [J]. Food Science, 2014, 35(1): 85-88
- [19] 杜小琴,车振明.低温漂烫对泡菜脆度的影响研究[J].中国调味品,2009,34(3): 79-81
- DU Xiao-qing, CHE Zhen-ming. The effect of low temperature blanching on crispness of pickle [J]. China Condiment, 2009, 34(34): 79-81
- [20] 汪立平,汪欣,艾连中,等.纯种植物乳杆菌发酵低盐萝卜泡菜的研究[J].食品科学,2013,34(17):182-186
- WANG Li-ping, WANG Xin, AI Lian-zhong, et al. Fermentation of low-salt pickled radish by pure strains of *Lactobacillus plantarum*. [J]. Food Science, 2013, 34(17): 182-186
-
- (上接第 178 页)
- [5] Gul K, Yousuf B, Singh A K, et al. Rice bran: nutritional values and its emerging potential for development of functional food-a review [J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2015, 6(1): 24-30
- [6] Wu W, Hou L, Zhang C M, et al. Structural modification of soy protein by 13-hydroperoxyoctadecadienoic acid [J]. European Food Research and Technology, 2009, 229(5): 771-778
- [7] YE Lin, LIAO Yu, ZHAO Mou-ming, et al. Effect of protein oxidation on the conformational properties of peanut protein isolate [J]. Journal of Chemistry, 2013(ID 423254): 1-6
- [8] Chen N N, Zhao M M, Sun W Z, et al. Effect of oxidation on the emulsifying properties of soy protein isolate [J]. Food Research International, 2013, 52(1): 26-32
- [9] Ye L, Liao Y, Sun W Z, et al. Effect of protein oxidation on the stability of peanut beverage [J]. CyTA-Journal of Food, 2015, 13(1): 49-55
- [10] 蔡勇建,叶建芬,吴晓娟,等.米糠贮藏时间对米糠蛋白功能性质影响[J].粮食与油脂,2015,28(6):41-34
- CAI Yong-jian, YE Jian-fen, WU Xiao-juan, et al. Effect of storage time on functional properties of rice bran protein [J]. Cereals and Oils, 2015, 28(6): 41-34
- [11] Huang Y R, Hua Y F, Qiu A Y. Soybean protein aggregation induced by lipoxygenase catalyzed linoleic acid oxidation [J]. Food Research International, 2006, 39(2): 240-249
- [12] 黄友如,陈义勇,朱东兴,等.高温处理对脱脂豆粕中大豆分离蛋白结构的影响[J].中国粮油学报,2011,26(10):51-56
- HUANG You-ru, CHEN Yi-yong, ZHU Dong-xing, et al. Influence of high temperature on structure of soy protein isolates prepared with defatted soy flour [J]. Journal of Cereals and Oils Association, 2011, 26(10): 51-56
- [13] 吴伟,蔡勇建,林亲录,等.脱脂豆粕预处理对大豆 β -伴球蛋白结构的影响[J].现代食品科技,2014,30(7):131-136
- WU Wei, CAI Yong-jian, LIN Qin-lu, et al. Effect of defatted soybean flour pretreatment on structure of soybean β -conglycinin [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(7): 131-136