

自然风干对原料大头菜品质及风味的影响

毛竞竞, 陈泓帆, 张钰麟, 聂鑫, 张 峯, 刘达玉, 罗淮良, 赵志平

Effect of Natural Air-drying on the Quality and Flavor of Raw Mustard Roots

MAO Jingjing, CHEN Hongfan, ZHANG Yulin, NIE Xin, ZHANG Yin, LIU Dayu, LUO Huailiang, and ZHAO Zhiping

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022070007>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

新型工业化生产低温腌制大头菜挥发性风味物质分析

Analysis of Volatile Flavor Compounds in Novel Industrial Produced Low-temperature Pickled Mustard Roots

食品工业科技. 2021, 42(22): 268-275 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021020184>

前处理方式对鸽汤品质及风味的影响

Effects of Pre-treatment Methods on Quality Attributes and Flavor of Pigeon Soup

食品工业科技. 2021, 42(11): 15-22 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070250>

顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析啤特果挥发性风味物质

Analysis of volatile compounds in Piteguo by headspace-solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry

食品工业科技. 2017(20): 266-270 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.20.047>

HS-SPME-GC-MS测定三种类型百香果果实挥发性风味成分

Study on Volatile Flavor Compounds from Three Types of Passion Fruit Using Headspace Solid Phase Micro-extraction Gas Chromatography Mass Spectrometry

食品工业科技. 2021, 42(11): 255-262 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020100010>

采石矶茶干营养组成与挥发性风味物质分析

Analysis of Nutritional Composition and Volatile Flavor Substances of Caishiji Dried Soybean Curd

食品工业科技. 2020, 41(10): 1-6 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.10.001>

不同干燥方式对热反应鸡粉挥发性风味物质的影响

Effects of Different Drying Methods on Various Flavor Compounds of Heat Reaction Chicken Powder

食品工业科技. 2020, 41(15): 53-58,64 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.15.009>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

毛竞竞, 陈泓帆, 张钰麟, 等. 自然风干对原料大头菜品质及风味的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(8): 99-106. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070007

MAO Jingjing, CHEN Hongfan, ZHANG Yulin, et al. Effect of Natural Air-drying on the Quality and Flavor of Raw Mustard Roots[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(8): 99-106. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070007

· 研究与探讨 ·

自然风干对原料大头菜品质及风味的影响

毛竞竞¹, 陈泓帆^{1,2}, 张钰麟¹, 聂鑫^{2,*}, 张 崑¹, 刘达玉¹, 罗淮良³, 赵志平^{1,4,*}

(1. 成都大学食品与生物工程学院, 四川成都 610106;

2. 四川旅游学院食品学院, 四川成都 610100;

3. 自贡市泰福农副产品加工厂, 四川自贡 643000;

4. 固态发酵资源利用四川省重点实验室, 四川宜宾 644000)

摘要:为探讨自然风干对原料大头菜品质及风味的影响, 本研究以风干前后的原料大头菜为研究对象, 对原料大头菜风干前后的水分含量、水分活度、硬度、脆度、蛋白质含量、氨基酸态氮含量、微生物菌落总数和乳酸菌菌落数进行了对比分析, 并采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术 (SPME-GC-MS) 分析其挥发性风味物质的变化。结果表明, 自然风干显著提高了大头菜硬度, 降低了大头菜脆度 ($P<0.01$)。与风干前相比, 风干后原料大头菜的菌落总数和乳酸菌菌落数极显著增加 ($P<0.01$), 蛋白质含量由风干前的 2.3 g/100 g 极显著上升至 2.5 g/100 g ($P<0.01$), 水分含量由风干前的 91% 显著减少到 88% ($P<0.05$), 氨基酸态氮含量由风干前的 0.27 g/100 g 显著下降至 0.24 g/100 g ($P<0.05$)。通过 GC-MS 技术从风干前后大头菜中分别检出 24 和 18 种挥发性风味物质, 风干前后的大头菜挥发性物质种类及含量均有明显差异, 风干后异硫氰酸仲丁酯和苯代丙腈的相对含量增加至 1.362% 和 65.870%; 利用偏最小二乘-判别分析 (OPLS-DA) 筛选出了 19 种特征挥发性标志物 (VIP>1, $P<0.05$), 包括 4-甲基戊基异硫氰酸酯、3-苯基丙基异硫氰酸酯和 3-丁烯基异硫氰酸酯等。本研究可为大头菜脱水方式的优化和品质提升提供一定的理论依据。

关键词:原料大头菜, 自然风干, 品质, 气相色谱-质谱法, 挥发性风味物质

中图分类号: TS255.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)08-0099-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070007

本文网刊:



Effect of Natural Air-drying on the Quality and Flavor of Raw Mustard Roots

MAO Jingjing¹, CHEN Hongfan^{1,2}, ZHANG Yulin¹, NIE Xin^{2,*}, ZHANG Yin¹, LIU Dayu¹,
LUO Huailiang³, ZHAO Zhiping^{1,4,*}

(1. College of Food and Biological Engineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China;

2. College of Food Science and Technology, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China;

3. Zigong Taifu Agricultural and Sideline Products Processing Plant, Zigong 643000, China;

4. Solid-state Fermentation Resource Utilization Key Laboratory of Sichuan Province, Yibin 644000, China)

Abstract: In order to investigate the effect of natural air-drying on the quality and flavor of raw mustard roots, the moisture content, water activity, hardness, crispness, protein content, amino acid nitrogen content, total plate count and total lactic acid bacteria were measured and compared before and after air-drying of the raw mustard roots. The changes of volatile flavor substances were analyzed by solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS). The results showed that the hardness of mustard roots after natural air-drying was significantly enhanced and the crispness

收稿日期: 2022-07-04

基金项目: 四川省重点研发计划项目 (2021YFQ0072, 2021YJ0275, 2022YFN0014); 固态发酵资源利用四川省重点实验室开放基金 (2019GTY004)。

作者简介: 毛竞竞 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与安全, E-mail: mjjingjing2021@163.com。

* 通信作者: 聂鑫 (1985-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: sichuanniexin@163.com。

赵志平 (1981-), 男, 博士, 教授级高级工程师, 研究方向: 农产品加工与安全, E-mail: zhaozhiping@cdu.edu.cn。

was reduced ($P<0.01$). In addition, the total plate count and total lactic acid bacteria of the raw mustard roots after air-drying significantly increased compared with the mustard roots before air-drying ($P<0.01$). Furthermore, the protein content increased remarkably from 2.3 g/100 g before air-drying to 2.5 g/100 g after air-drying ($P<0.01$). The moisture content and the amino acid nitrogen content of raw mustard roots respectively decreased from 91% and 0.27 g/100 g before air-drying to 88% and 0.24 g/100 g after air-drying ($P<0.05$). A total of 24 and 18 volatile flavor substances were respectively detected from the mustard roots before and after air-drying through GC-MS. Moreover, the types and contents of volatile substances in raw mustard roots before and after air-drying significantly changed, among which the relative contents of sec-butyl-isothiocyanate and benzenepropanenitrile in the air-dried raw mustard roots respectively increased to 1.362% and 65.870%. Nineteen characteristic volatile markers ($VIP>1$, $P<0.05$) were screened via partial least-squares discriminant analysis (OPLS-DA), including 4-methylpentyl isothiocyanate, 3-phenylpropyl isothiocyanate and 3-butenyl isothiocyanate, etc. The present study would provide a certain theoretical basis for optimization of dehydration and quality improvement of mustard roots.

Key words: raw mustard roots; natural air-drying; quality; gas chromatography-mass spectrometry; volatile flavor substances

大头菜(*Brassica juncea* var. *napiiformis*), 是十字花科芸薹属一年生草本植物, 通常被用来制作成酱腌菜, 因其清新爽口、肉质致密坚实等特点为消费者喜爱^[1]。大头菜富含蛋白质、氨基酸以及多种维生素; 大头菜中的硫代葡萄糖甙容易被身体吸收, 丰富的纤维素能帮助肠胃蠕动、减少毒素、预防便秘、预防癌症^[2]。

不同产地的大头菜因其生长环境和加工条件不同造成大头菜的品质有差异。郭壮等^[3]分析对比了不同地区腌制大头菜的滋味品质, 发现大头菜整体滋味存在显著差异。目前, 对大头菜的研究多集中在微生物对其品质的影响^[4]。郭壮等^[5]运用高通量测序解析了襄阳大头菜的细菌微生物群落结构, 发现大头菜膜醃中的细菌微生物主要由隶属于变形菌门和硬壁菌门的 6 个细菌属组成, 且会造成大头菜品质显著下降^[5]。加工工艺对大头菜风味及品质的影响也是研究热点^[6]。张钰麟等^[7]研究了温度对低温腌制大头菜风味物质的影响, 发现大头菜在 $-1\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $6\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 腌制时的挥发性物质种类和数量不同, 且筛选出的特征风味物质也有所不同。唐玲等^[8]通过优势菌群的构建和发酵菌株的配比优化实验确定了适合大头菜发酵的菌种比例。目前, 关于酱腌菜脆度的改善多通过添加外源性酶或保脆剂^[9], 如尹爽等^[10]研究发现添加复合保脆剂(氯化钙:乳酸钙:丙酸钙=1:16:3)可显著增加大头菜的脆度。

自然风干是四川大头菜腌制前的重要工序。目前, 缺少关于自然风干对原料大头菜品质及风味影响的研究报道。本研究以四川大头菜为研究对象, 分析对比了自然风干前后原料大头菜品质和风味的变化, 为大头菜脱水工艺改进和品质提升提供了一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜原料大头菜(重 0.25~0.5 kg、长 7~15 cm、直径 4~8 cm) 由自贡市泰福农副产品加工厂提供;

硫酸铜、硫酸钾、硫酸、硼酸、甲基红指示剂、亚甲基蓝指示剂、氢氧化钠、95% 乙醇、甲醛、酚酞、邻苯二甲酸氢钾、亚铁氰化钾、乙酸锌、硼砂、乙酸锌、亚硝酸钠、对氨基苯磺酸、盐酸奈乙二胺 均为分析纯, 成都市科隆化学制品有限公司。

YP302N 型电子天平 上海菁海仪器有限公司; LRH 系列生化培养箱 上海一恒科技公司; HD-5 型水分活度测量仪 无锡华科仪器仪表有限公司; TA.XT.Plus 质构仪 英国 Stable Micro System 公司; PHS-3C-01 型 pH 计 上海三信仪表厂; KDN-102C 凯氏定氮仪 上海纤检仪器有限公司; EPED-E2-10TJ 超纯水机 四川优普超纯科技有限公司; 5977A-7890B 型气相色谱-质谱联用仪(含 PAL3 自动进样器) 美国安捷伦公司。

1.2 实验方法

1.2.1 大头菜风干工艺 大头菜采收后, 用水清洗泥土, 挑选重 0.25~0.5 kg、长 7~15 cm、直径 4~8 cm 的大头菜, 用约 2 m 长细铁丝穿孔于大头菜中心, 吊挂后于室外自然风干大约 20 d(平均气温 $7\sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

1.2.2 水分含量的测定 水分含量测定: GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品水分的测定》—直接干燥法。

1.2.3 水分活度的测定 水分活度测定: GB 5009.238-2016《食品安全国家标准 食品水分活度的测定》—水分活度仪扩散法。

1.2.4 硬度、脆度的测定 硬度、脆度参照余丽娟等^[11]测香梨脆度的方法, 稍作改进。取大头菜中间部位, 切成 25 mm 大小, 将其放在质构仪对其进行穿刺。

测定参数: 采用 P/2 圆柱探头, 直径 2 mm, 测试前速度 1.00 mm/s, 测试中速度 2.00 mm/s, 测试后速度 10.00 mm/s, 穿刺深度位移为 12 mm, 触发力 15.0 g, 数据采样频率为 500 Hz。

1.2.5 蛋白质的测定 蛋白质测定: GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》—凯氏定

氮法。

1.2.6 氨基酸态氮的测定 氨基酸态氮测定: GB 5009.235-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸态氮的测定》—酸度计法。

1.2.7 菌落总数的测定 菌落总数测定: GB 4789.2-2010《食品安全国家标准 食品微生物学检验菌落总数检验》。

1.2.8 乳酸菌菌落数的测定 乳酸菌菌落数测定: GB 4789.35-2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳酸菌检验》。

1.2.9 挥发性风味化合物检测 称取 3 g 风干前后粉碎后的相同部位大头菜,置于风味瓶中密封,设置自动进样器对样品的前处理条件如下:设置加热箱温度 75 ℃,加热时间 45 min,样品抽取时间 20 min,解析时间 5 min。

色谱条件:参照张旭等^[12]的方法,略有改善。HP-5MS UI 色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);压力 32.0 kPa;流速 1.0 mL/min;载气为 He 气,不分流进样;进样口温度 250 ℃;升温程序:起始温度 40 ℃,保持 1 min,以 5 ℃/min 升至 80 ℃,再以 3 ℃/min 升至 160 ℃,保持 1 min,再以 20 ℃/min 升至 200 ℃,保持 1 min。

质谱条件:EI 电子源;电子能量 70 eV;离子源温度 230 ℃,四级杆温度 150 ℃;检测器电压 350 V;质量扫描范围(m/z) 50~550。

定性:通过对所获得的化合物进行分析,并通过 NIST 14 L 谱库进行比对,筛选出匹配度大于 80% 以上的物质。

定量:对总离子流量色谱图用峰面积归一化定量,得出各组分的相对含量。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 和 SPSS 26.0 对数据进行处理分析,利用 Graphpad Prism 9.3 作图分析;利用 Umetrics SIMCA14.1 进行多元统计分析; $P<0.05$ 表示结果存在显著性差异, $P<0.01$ 表示结果存在极显著性差异。

2 结果与分析

2.1 自然风干对原料大头菜水分含量与水分活度的影响

自然风干对原料大头菜水分含量与水分活度的影响如图 1 所示。风干后原料大头菜的水分含量显著低于风干前($P<0.05$),水分含量是大头菜加工中的重要控制参数,同时也对产品品质有重要影响,如李奕佳等^[13]研究证实,大头菜的含水量与其挥发性酯类物质含量呈正相关,大头菜的酯类物质来源复杂,较高的水分含量有助于乳酸菌发酵和酵母菌等发酵均可生成芳香酯类物质。微生物的生长繁殖和食品中水分活度密切相关,水分活度越高,微生物多样性越丰富;且微生物的生长会消耗基质营养物质,同

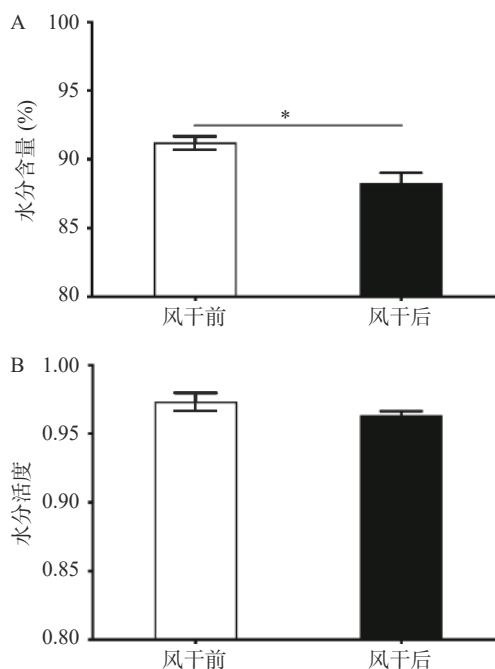


图 1 自然风干对原料大头菜水分含量(A)与水分活度(B)的影响

Fig.1 Effects of natural air-drying on the moisture content (A) and water activity (B) of mustard roots

注: *表示 $P<0.05$, 存在显著性差异。

时产生多种代谢物,导致食品品质和风味的劣变^[14]。风干后大头菜水分活度较风干前有所降低,和水分含量变化趋势相吻合。

2.2 自然风干对原料大头菜硬度和脆度的影响

自然风干对原料大头菜硬度和脆度的影响如图 2 所示。由图 2 可知,自然风干在显著提高了原

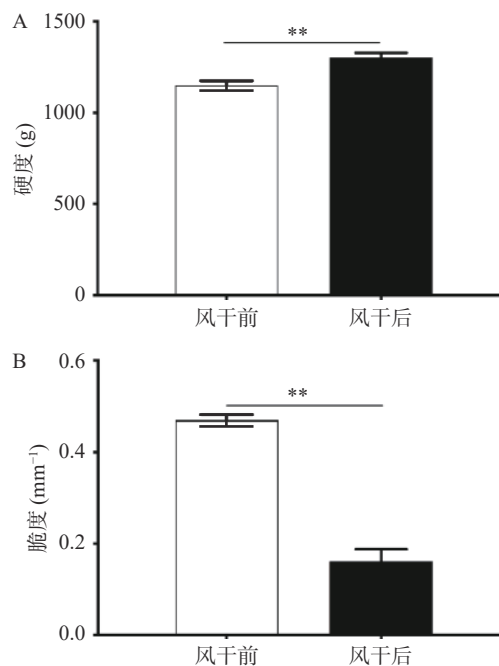


图 2 自然风干对原料大头菜硬度(A)和脆度(B)的影响
Fig.2 Effects of natural air-drying on the hardness (A) and crispness (B) of mustard roots

注: **表示 $P<0.01$, 存在极显著性差异;图 4 同。

料大头菜的硬度的同时,极显著降低了原料大头菜的脆度($P<0.01$),可能是由于风干引起大头菜组织失水皱缩,韧性增加所致。风干过程中不仅伴随着物料内部组织结构的物理变化,还伴随有食品物料组成成分的化学变化,这些变化都将直接或间接影响食品质量。研究表明,四川成都的大头菜和其它地区的大头菜在弹性和咀嚼度上有明显差异,成都地区大头菜的弹性是湖北和襄阳大头菜的3倍,原因可能是自然风干过程引起大头菜组织活性降低,延缓了大头菜组织中果胶的降解^[15]。

2.3 自然风干对原料大头菜蛋白质与氨基酸态氮含量的影响

自然风干对原料大头菜蛋白质和氨基酸态氮含量的影响如图3所示。图3显示出风干后大头菜的蛋白质含量极显著($P<0.01$)高于风干前,可能是由于水分散失速度比蛋白质分解更快,从而导致大头菜风干后蛋白质含量上升^[16]。氨基酸态氮来源于蛋白质的分解,氨基酸态氮的变化趋势和蛋白质含量相反,呈负相关,风干后原料大头菜氨基酸态氮含量下降($P<0.05$),符合其变化趋势。

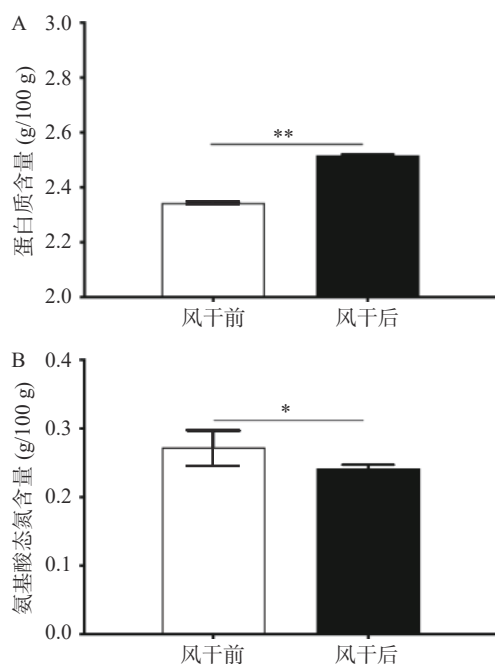


图3 自然风干对原料大头菜蛋白质(A)和氨基酸态氮含量(B)的影响

Fig.3 Effects of natural air-drying on protein (A) and amino acid nitrogen (B) content of mustard roots

注: *表示 $P<0.05$, 存在显著性差异; **表示 $P<0.01$, 存在极显著性差异。

2.4 自然风干对原料大头菜菌落总数和乳酸菌菌落数的影响

自然风干对原料大头菜菌落总数和乳酸菌菌落数的影响如图4所示。乳酸菌是大头菜发酵过程中的优势菌,对大头菜品质形成有重要作用^[17]。由图4可知,风干后大头菜菌落总数和乳酸菌总数均极显著

高于风干前($P<0.01$),推测是大头菜在风干过程中和自然环境的直接接触导致微生物附着在大头菜表面,从而使总菌和乳酸菌数量增加,微生物发酵是发酵大头菜生产的核心,对发酵大头菜产品品质和风味具有重要影响^[18]。

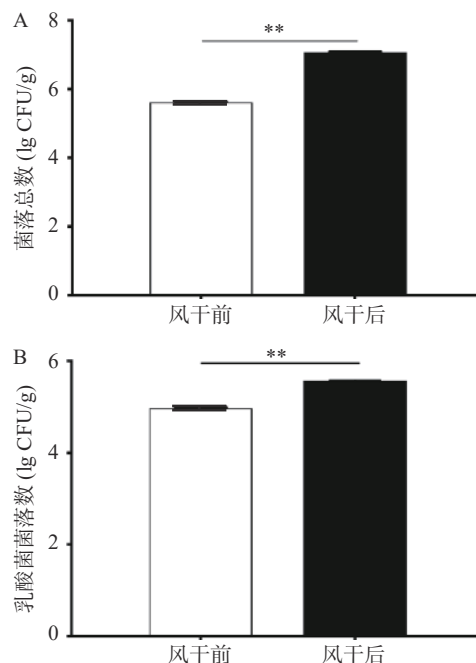


图4 自然风干对原料大头菜菌落总数(A)和乳酸菌菌落数(B)的影响

Fig.4 Effects of natural air-drying on the total plate count (A) and lactic acid bacteria count (B) of mustard roots

2.5 自然风干对原料大头菜挥发性风味物质的影响

为进一步探究自然风干对原料大头菜挥发性化合物的影响,利用GC-MS对风干前后大头菜的挥发性风味物质进行了分析,结果如表1所示。由表1可知,从风干前原料大头菜中共检出24种挥发性风味物质,包含酯类物质9种、醛类物质4种、醚类物质2种、醇类物质1种、酸类物质1种、烯类物质1种、其他化合物6种;从风干后大头菜中共检出18种挥发性风味物质,其中含酯类5种、醛类5种、醚类1种、醇类1种、酸类1种,以及其他化合物5种。

对比风干前后大头菜的挥发性风味物质可知,风干前后大头菜挥发性成分种类最多的是酯类物质。酯类化合物是重要的香气物质,多具有香甜气味^[19],风干前后原料大头菜共有的酯类物质为异硫氰酸仲丁酯、2-苯乙基异氰酸酯、2-苯基乙基异硫代氰酸酯、3-苯丙酸甲酯。其中,风干后大头菜中异硫氰酸仲丁酯较风干前相对含量有所增加,异硫氰酸酯是大头菜香气物质的重要来源,对大头菜特征风味的形成有重大贡献^[20]。有研究表明异硫氰酸酯因含有天然的抗癌活性物质,可有效预防多种癌症^[21]; Shiina等^[22]和 Pearson等^[23]发现异硫氰酸酯可能在治疗神经和发育疾病方面起着非常重要的作用。

表 1 大头菜风干前后产生的挥发性风味物质

Table 1 Volatile flavor substances in mustard roots before and after air-drying

序号	化合物	CAS号	分子式	相对含量(%)	
				风干前	风干后
酯类					
1	异硫氰酸仲丁酯	4426-79-3	C ₅ H ₉ NS	0.634	1.362
2	3-丁烯基异硫氰酸酯	3386-97-8	C ₅ H ₇ NS	0.707	—
3	4-甲基戊基异硫氰酸酯	17608-07-0	C ₇ H ₁₃ NS	0.104	—
4	2-苯乙基异氰酸酯	1943-82-4	C ₉ H ₉ NO	0.896	0.529
5	3-苯丙酸甲酯	103-25-3	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	0.021	0.122
6	3-(甲硫基)丙基异硫氰酸酯	505-79-3	C ₅ H ₉ NS ₂	0.267	—
7	十二(烷)酸苄酯苯基酯	622-78-6	C ₈ H ₇ NS	0.050	—
8	2-苯基乙基异硫代氰酸酯	2257-09-2	C ₉ H ₉ NS	52.091	10.449
9	3-苯基丙基异硫氰酸酯	2627-27-2	C ₁₀ H ₁₁ NS	0.028	—
10	3-苯丙酸乙酯	2021-28-5	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	—	0.021
醛类					
11	苯乙醛	122-78-1	C ₈ H ₈ O	0.180	0.783
12	苯甲醛	100-52-7	C ₇ H ₆ O	0.090	0.619
13	(E,E)-2,4-壬二烯醛	5910-87-2	C ₉ H ₁₄ O	0.025	—
14	(E,E)-2,4-庚二烯醛	4313-03-5	C ₇ H ₁₀ O	0.157	0.501
15	2-苯基丁醛	2439-43-2	C ₁₀ H ₁₂ O	—	0.035
16	癸醛	112-31-2	C ₁₀ H ₂₀ O	—	0.069
醚类					
17	邻苯二甲醚	91-16-7	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.018	—
18	茴香脑	104-46-1	C ₁₀ H ₁₂ O	0.922	0.089
醇类					
19	苯乙醇	60-12-8	C ₈ H ₁₀ O	0.068	0.590
酸类					
20	α-异亚硝基苯丙酸	3682-17-5	C ₉ H ₉ NO ₃	0.030	0.071
烯类					
21	D-柠檬烯	5989-27-5	C ₁₀ H ₁₆	0.039	—
其它					
22	苯代丙腈	645-59-0	C ₉ H ₉ N	15.542	65.870
23	E-硫代己内酰胺	7203-96-5	C ₆ H ₁₁ NS	0.079	—
24	3-甲基异噻唑	693-92-5	C ₄ H ₅ NS	26.158	17.898
25	2-甲氧基-3-仲丁基吡嗪	24168-70-5	C ₉ H ₁₄ N ₂ O	0.050	0.185
26	2-正戊基呋喃	3777-69-3	C ₉ H ₁₄ O	0.053	0.538
27	N-乙基-3-羟基吡啶	13444-24-1	C ₇ H ₁₅ NO	0.572	—
28	2-异丙基-3-甲氧基吡嗪	25773-40-4	C ₈ H ₁₂ N ₂ O	—	0.305

注: “—”表明未检测到。

醛类化合物多来源于不饱和脂肪酸的氧化和水解, 醛类物质的感官阈值普遍较低, 对产品风味具有重要作用, 可形成广泛香味^[24]。风干前和风干后产生的共有的醛类物质有苯甲醛、苯乙醛和(E,E)-2,4-庚二烯醛, 苯甲醛和苯乙醛作为芳香醛对大头菜特征风味有重要影响, 且在风干后的大头菜中相对含量有所提高。风干前后大头菜产生的醛类物质在种类和含量上都有所变化, 风干后的大头菜产生了 2-苯基丁醛和葵醛, 可能是构成大头菜的特征风味的来源。

苯代丙腈是十字花科植物中的特征挥发性化合物^[25], 硫代葡萄糖苷在芥子酶的催化下降解成苯代丙腈^[26]。苯代丙腈在风干后的大头菜中相对含量超过 50%, 形成大头菜特征风味物质, 对大头菜特征风味有突出贡献, 此现象与田梦云等^[27] 研究结果一致。

杂环类化合物在大头菜中的种类和相对含量变化较为复杂, 其中 3-甲基异噻唑在风干前后的相对含量占比均较高, 赋予食品独特的烤肉香味^[28]。

2.6 挥发性风味物质的多元统计分析

为了更好地评估大头菜前后挥发性风味化合物的差异, 使用 GC-MS 数据集的 PCA 分析进行了多变量数据分析, 得到 PCA 得分图(图 5)。在 PCA 模型中, PC1 的贡献率为 78.2%, PC2 的贡献率为 7.7%, 2 个主成分的累积贡献率为 85.9%, 一般认为, 主成分累积贡献率超过 80%, 可有效反映原数据的变化趋势^[29]。从图中分布可看出, 风干前后的特征风味化合物分布于不同区域, 可说明自然风干对大头菜的挥发性风味物质的含量具有显著影响。

OPLS-DA 是一个有监督的多变量分析工具, 可

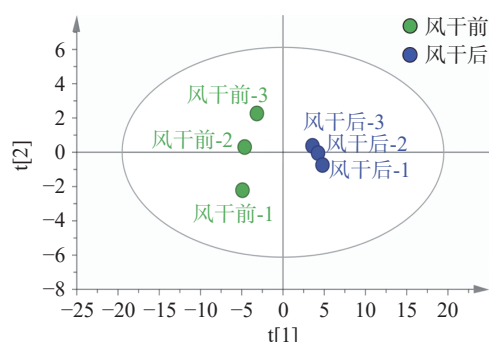


图5 风干前后原料大头菜挥发性风味物质 PCA 得分图

Fig.5 PCA scores of volatile flavor substances of raw mustard roots before and after air-drying

以从正交变异中分离出预测性变异,并为每个集群标志出特征标记^[30],该工具被应用于尝试识别图6中每个集群的特征挥发物。采用 OPLS-DA 进一步分析得到较好分离,如图6A所示,2个大头菜样品处于坐标系不同区域得到较好分离,无重合无交叉,结果表明风干前后大头菜风味物质存在差异,结果表明风干前后大头菜风味物质存在差异。

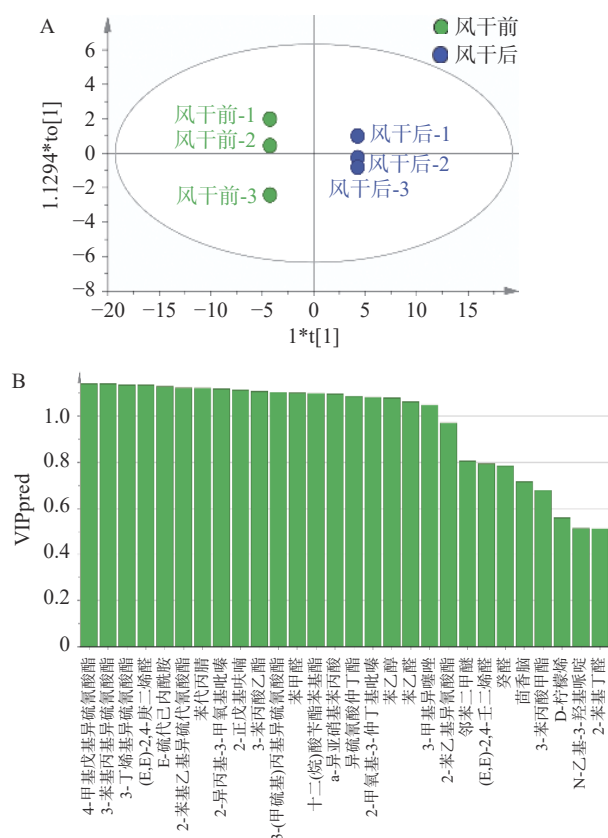


图6 风干前后原料大头菜挥发性风味物质 OPLS-DA(A)得分图及VIP值(B)分布图

Fig.6 OPLS-DA score (A) and VIP value (B) distribution of volatile flavor substances of raw mustard roots on before and after air-drying

为了更好地理解组间的差别,找到对模型和处理组的影响程度和解释力有贡献的变量,并对它们进行评价,使用VIP值辅助筛选差异标志物。VIP反映了各个变量对不同类别的分类判别的影响及解释

能力,一般认为,当值超过1时,各变量对不同类别的划分有重要作用^[31]。本研究根据 $VIP>1$, $P<0.05$ 筛选出风干前后差异风味化合物分别为4-甲基戊基异硫氰酸酯、3-苯基丙基异硫氰酸酯、3-丁烯基异硫氰酸酯、(E,E)-2,4-庚二烯醛、E-硫代己内酰胺、2-苯基乙基异硫代氰酸酯、苯代丙腈、2-异丙基-3-甲氧基吡嗪、2-正戊基呋喃、3-苯丙酸乙酯、3(甲硫基)丙基异硫氰酸酯、苯甲醛、十二(烷)酸苄酯苯基酯、a-异亚硝基苯丙酸、异硫氰酸仲丁酯、2-甲氧基-3-仲丁基吡嗪、苯乙醇、苯乙醛、3-甲基异噻唑,共计19种特征挥发性标志物,且多数为酯类物质,其中异硫氰酸酯类化合物种类最多,异硫氰酸酯由大头菜组织细胞内硫代葡萄糖苷酶解得到,具有抗癌、抗肿瘤和抗氧化等作用^[32]。原料大头菜经自然风干后此类化合物含量和种类变化显著,进而导致大头菜品质产生变化。

3 结论

本试验探究了自然风干对原料大头菜品质和风味的影响。数据分析表明,除水分活度外,水分含量、硬度、脆度、蛋白质含量、氨基酸态氮含量、菌落总数和乳酸菌总数等均发生了显著的变化($P<0.05$)。通过GC-MS技术从风干前后大头菜中分别检出24和18种挥发性风味物质,表明自然风干导致原料大头菜挥发性风味物质的种类及含量均产生明显变化,其中酯类物质是风干前后种类和含量变化最大的风味物质。通过多元统计分析共筛选出19种潜在特征挥发性标志物,多为异硫氰酸酯类。自然风干是大头菜腌制前的重要环节,通过自然风干环节增加大头菜中环境微生物的丰度,为后期腌制及发酵过程中基于微生物代谢促进大头菜品质形成奠定了良好的基础。本研究为大头菜脱水过程的优化和品质形成提供了一定的理论依据。

参考文献

- [1] 洪冰,曾许珍,李阿敏,等.乳酸菌接种发酵对大头菜品质的影响[J].食品科学,2016,37(11):147-153. [HONG B, ZENG X Z, LI A M, et al. Effect of lactic acid bacterial fermentation on the quality of Kohlrabi[J]. Food Science, 2016, 37(11): 147-153.]
- [2] 赵志平,康馨樾,陈泓帆,等.发酵温度对低温发酵大头菜品质的影响[J].食品研究与开发,2021,42(24):15-19. [ZHAO Z P, KANG X Y, CHEN H F, et al. Effect of temperature on the quality of low-temperature fermented mustard roots[J]. Food Research and Development, 2021, 42(24): 15-19.]
- [3] 郭壮,蔡宏宇,汤尚文,等.基于电子舌技术3个地区产腌制大头菜滋味品质评价[J].食品工业科技,2016,37(8):65-68. [GUO Z, CAI H Y, TANG S W, et al. Taste profile characterization of salty mustard root collected from different regions by electronic tongue analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(8): 65-68.]
- [4] 朱莉莉,罗惠波,黄治国,等.大头菜等蔬菜腌制工艺研究现状与展望[J].中国酿造,2018,37(7):11-16. [ZHU L L, LUO H B, HUANG Z G, et al. Research status and prospect of pickling process of kohlrabi and other vegetables[J]. China Brewing, 2018, 37

- (7): 11–16.]
- [5] 郭壮, 沈馨, 董蕴, 等. 襄阳大头菜腌制液膜醅细菌群落结构研究[J]. *中国酿造*, 2017, 36(7): 143–147. [GUO Z, SHEN X, DONG Y, et al. Diversity of bacterial microflora of biomembrane in Xiangyang mustard root brine[J]. *China Brewing*, 2017, 36(7): 143–147.]
- [6] 徐洲, 施正琴, 尹礼国, 等. 3 种杀菌方式对低盐大头菜品质影响的比较[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(5): 22–26. [XUZ, SHIZ Q, YIN L G, et al. Comparison of effects of three different sterilizations on the qualities of low-salt kohlrabi[J]. *Food Research and Development*, 2017, 38(5): 22–26.]
- [7] 张钰麟, 陈泓帆, 赵志平, 等. 新型工业化生产低温腌制大头菜挥发性风味物质分析[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(22): 268–275. [ZHANG Y L, CHEN H F, ZHAO Z P, et al. Analysis of volatile flavor compounds in novel industrial produced low-temperature pickled mustard roots[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(22): 268–275.]
- [8] 唐玲, 曾许珍, 张静, 等. 大头菜发酵菌株比例及发酵工艺优化[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(1): 85–90. [TANG L, ZENG X Z, ZHANG J, et al. Optimization of the strain ratio for turnips fermentation and related process[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(1): 85–90.]
- [9] 王蕾, 田方, 孙志栋, 等. 芥菜传统腌制发酵工艺优化研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(1): 324–329. [WANG L, TIAN F, SUN Z D, et al. Research progress on optimizing the traditional fermentation process of pickled mustard[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(1): 324–329.]
- [10] 尹爽, 王修俊, 刘佳慧, 等. 复合保脆剂对腌制大头菜脆度的影响研究[J]. *食品科技*, 2016, 41(7): 266–270. [YIN S, WANG X J, LIU J H, et al. Effect of keep crisp agent on salted root-mustard brittleness[J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(7): 266–270.]
- [11] 余丽娟, 吴杰, 马宏强, 等. 香梨果肉穿刺力响应谱的峰值法分析及脆度评价[J]. *石河子大学学报*, 2019, 37(1): 87–92. [YU L J, WU J, MA H Q, et al. Crispness evaluation of Korla pear flesh in puncture by peak analysis of force response spectrum[J]. *Journal of Shihezi University*, 2019, 37(1): 87–92.]
- [12] 张旭, 王卫, 白婷, 等. 四川浅发酵香肠加工进程中挥发性风味物质测定及其主成分分析[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(10): 274–283. [ZHANG X, WANG W, BAI T, et al. Determination and principal component analysis of the volatile flavor substances during the processing of Sichuan light fermented sausage[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(10): 274–283.]
- [13] 李奕佳, 谭兴和, 郭红英, 等. 食盐含量和原料含水量对发酵芥菜品质的影响[J]. *中国酿造*, 2016, 35(12): 35–39. [LI Y J, TAN X H, GUO H Y, et al. Effect of salt concentration and water content of raw materials on the quality of fermented mustard[J]. *China Brewing*, 2016, 35(12): 35–39.]
- [14] 谢旻皓, 浦浩亮, 苏安祥, 等. 水分活度对贮藏脱水香葱的风味和菌群的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(1): 1198–1205. [XIE M H, PU H L, SU A X, et al. Effect of water activity on flavor and microbial community of dehydrated chives during storage[J]. *Food Science*, 2022, 43(1): 1198–1205.]
- [15] 郭壮, 蔡宏宇, 汤尚文, 等. 不同地区产腌制大头菜产品品质的比较研究[J]. *中国调味品*, 2016, 41(3): 70–73, 90. [GUO Z, CAI W H, TANG S W, et al. Comparative study on product quality of salty mustard root collected from different regions[J]. *China Condiment*, 2016, 41(3): 70–73, 90.]
- [16] 梁定年, 薛桥丽, 黄启超, 等. 三川焐灰火腿和风干火腿发酵过程中理化性质变化[J]. *肉类研究*, 2019, 33(9): 19–24. [LIANG D N, XUE Q L, HUANG Q C, et al. Changes in physico-chemical indexes of ash-covered ham and air-dried ham from Sanchuan county of Yunnan province during fermentation[J]. *Meat Research*, 2019, 33(9): 19–24.]
- [17] 叶陵, 李勇, 王蓉蓉, 等. 我国传统发酵蔬菜中乳酸菌多样性的研究进展[J]. *食品科学*, 2018, 39(15): 296–301. [YE L, LI Y, WANG R R, et al. Progress in research on the diversity of lactic acid bacteria in traditional Chinese fermented vegetables[J]. *Food Science*, 2018, 39(15): 296–301.]
- [18] 朱俊喆, 邓晓茜, 胡晓淞, 等. 应用 Illumina MiSeq 高通量测序技术分析来凤地区腌制大头菜叶中微生物多样性[J]. *中国酿造*, 2021, 40(9): 134–138. [ZHU J Z, DENG X Q, HU X S, et al. Analysis of microbial diversity of pickled kohlrabi leaves in Laifeng area by Illumina Miseq high-throughput sequencing technology[J]. *China Brewing*, 2021, 40(9): 134–138.]
- [19] 田竹希, 龙明秀, 李咏富, 等. 玛瑙红樱桃果实不同发育阶段香气成分分析[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(7): 333–342. [TIAN Z X, LONG X M, LI Y F, et al. Study on aroma constituents of Manaohong cherry cultivar at different developments stages[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(7): 333–342.]
- [20] 张照然, 何朋杰, 李兴玉, 等. 枯草芽孢杆菌 XF-1 对十字花科作物体内异硫氰酸苯乙酯含量的影响[J]. *江西农业学报*, 2021, 33(1): 23–27. [ZHANG Z R, HE P J, LI X Y, et al. Effects of *Bacillus subtilis* XF-1 on phenethyl isothiocyanate concent in cruciferous crops[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2021, 33(1): 23–27.]
- [21] 古明朗, 郭影琪, 尹永祺, 等. 响应面法优化西兰花芽苗富集异硫氰酸酯发芽工艺[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(7): 239–247. [GU M L, GUO Y Q, YIN Y Q, et al. Optimization of germination process of isothiocyanate enrichment in broccoli sprouts by response surface methodology[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(7): 239–247.]
- [22] SHIINA A, KANAHARA N, SASAKI T. An open study of sulforaphane-rich broccoli sprout extract in patients with schizophrenia[J]. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience: The Official Scientific Journal of the Korean College of Neuropsychopharmacology*, 2015, 13(1): 62–67.
- [23] PEARSON B L, SIMON J M, MCCOY E S. Identification of chemicals that mimic transcriptional changes associated with autism, brain aging and neurodegeneration[J]. *Nature Communications*, 2016, 7: 11173.
- [24] 封莉, 邓绍林, 黄明, 等. 脂肪酶对中式香肠脂肪降解、氧化和风味的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(1): 51–58. [FENG L, DENG S L, HUANG M, et al. Effect of palatase on lipid hydrolysis, lipid oxidation and sensory attributes of Chinese sausage[J]. *Food Science*, 2015, 36(1): 51–58.]
- [25] XUE Y L, HAN H T, LIU C J. Multivariate analyses of the

- volatile components in fresh and dried turnip (*Brassica rapa* L.) chips via HS-SPME-GC-MS[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2020, 57(9): 3390–3399.
- [26] TOMITA S, NAKAMURA T, OKADA S. NMR- and GC/MS-based metabolomic characterization of sunki, an unsalted fermented pickle of turnip leaves[J]. *Food Chemistry*, 2018, 258: 25–34.
- [27] 田梦云, 谢定源, 余永昊, 等. 不同干燥方式的菜薹挥发性风味物质比较分析[J]. *中国调味品*, 2019, 44(9): 55–59, 71. [TIAN M Y, XIE D Y, YU Y H, et al. Comparative analysis of volatile flavor substances in flowering Chinese cabbage with different drying methods[J]. *China Condiment*, 2019, 44(9): 55–59, 71.]
- [28] 王晓华, 赵保翠, 杨兴章, 等. 美拉德反应与食品风味[J]. *肉类工业*, 2006(6): 16–18. [WANG X H, ZHAO B C, YANG X Z, et al. Maillard reaction and food flavour[J]. *Meat Industry*, 2006(6): 16–18.]
- [29] 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(4): 217–224. [BAI J, JIANG H B, TAO G Q, et al. Analysis of the aromatic components of potato flour incorporated instant congee processed by explosion puffing by combined use of SPME-GC-MS and PCA[J]. *Food Science*, 2020, 41(4): 217–224.]
- [30] KHALIL M N A, FEKRY M I, FARAG M A. Metabolome based volatiles profiling in 13 date palm fruit varieties from Egypt via SPME GC-MS and chemometrics[J]. *Food Chemistry*, 2017, 217: 171–181.
- [31] 刘晗璐, 张九凯, 韩建勋, 等. 基于 UPLC-QTOF-MS 代谢组学技术的 NFC 和 FC 橙汁差异成分比较[J]. *食品科学*, 2021, 42(6): 229–237. [LIU H L, ZHANG J K, HAN J X, et al. Analysis of differential composition between not from concentrate and from concentrate orange juices using UPLC-QTOF-MS-Based metabolomics[J]. *Food Chemistry*, 2021, 42(6): 229–237.]
- [32] 张培培, 朱自仙, 李蓉, 等. 异硫氰酸酯类化合物理化性质及稳定性研究现状[J]. *化学世界*, 2022, 63(3): 185–192. [ZHANG P P, ZHU Z X, LI R, et al. Research status on physicochemical properties and stability of isothiocyanates[J]. *Chemical World*, 2022, 63(3): 185–192.]