

干制方式对鲜食枣脆片香气品质的影响

沈 静, 杜若曦, 魏 婷, 冀晓龙, 王 敏*

(西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 通过对微波真空冷冻干燥 (microwave vacuum freeze drying, MVFD)、微波真空膨化 (microwave vacuum puffing, MVP)、真空冷冻干燥 (vacuum freeze drying, VFD) 和中短波红外干燥 (short- and medium-wave infrared drying, ID) 4 种鲜食枣脆片的香气成分的分析, 明确干制方式对鲜食枣脆片香气品质的影响。结果表明: 通过固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术, 从 4 种干制鲜食枣脆片中鉴定出 70 种香味物质, 包括醇类、酸类、醛类、酯类、酮类、烃类和其他类化合物共 7 类成分, 其中酸类物质 29 种, 是 VFD、MVFD 和 MVP 枣脆片中主要的香气成分, 醛类物质 31 种, 是 ID 枣脆片中主要的香味物质, 不同干制方式制得的枣脆片香气品质差异很大。对 7 类香气成分进行主成分分析, 并建立香气品质评价模型, 得出 MVP 鲜食枣脆片的综合得分最高, 其香气品质最佳, 其次是 VFD、MVFD, 均优于 ID, 为鲜食枣的干制加工提供了技术依据。主成分分析可以作为鲜食枣脆片香气品质的评价方法。

关键词: 鲜食枣脆片; 微波真空冷冻干燥; 微波真空膨化; 中短波红外干燥; 香气成分; 主成分分析

Effect of Drying Methods on Aroma Components of Jujube Fruits (*Ziziphus jujube* Mill. cv. Dongzao)

SHEN Jing, DU Ruoxi, WEI Ting, JI Xiaolong, WANG Min*

(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The effects of microwave vacuum freeze drying (MVFD), microwave vacuum puffing (MVP), short- and medium-wave infrared drying (ID) and vacuum freeze drying (VFD) on the aroma properties of Chinese jujube were determined. The results showed that a total of 70 aroma compounds including alcohols, acids (29), aldehydes (31), esters, hydrocarbons and other miscellaneous compounds were identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) coupled with solid phase micro-extraction in four dried jujube chips. Acids were the major volatile compounds in VFD, MVFD and MVP dried jujube chips, while aldehydes were the major volatile compounds in ID dried samples. There were significant differences in aroma quality among four dried jujube chips. Principal component analysis (PCA) was used to establish a model for aroma quality assessment. The MVP dried product showed the highest sensory scores and best aroma quality, followed by the VFD and MVFD dried products, and the ID dried product was the worst. The aroma quality of jujube chips could be evaluated by PCA method.

Key words: jujube fruits; microwave vacuum freeze drying; microwave vacuum puffing; short- and medium-wave infrared drying; aroma compounds; principal component analysis

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718021

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 18-0131-07

引文格式:

沈静, 杜若曦, 魏婷, 等. 干制方式对鲜食枣脆片香气品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 131-137. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718021. <http://www.spkx.net.cn>

SHEN Jing, DU Ruoxi, WEI Ting, et al. Effect of drying methods on aroma components of jujube fruits (*Ziziphus jujube* Mill. cv. Dongzao)[J]. Food Science, 2017, 38(18): 131-137. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718021. <http://www.spkx.net.cn>

冬枣 (*Ziziphus jujube* Mill. cv. Dongzao) 是无刺枣树的一个晚熟鲜食优良品种, 其皮薄肉厚, 脆香味

美, 营养丰富, 在我国的陕西、山西、山东等省区有广泛种植。鲜食枣的水分含量极高, 收获期短, 极易

收稿日期: 2016-07-24

基金项目: 陕西省科技统筹创新工程计划项目 (2013KTZB02-03-04); 榆林市科技局项目 (2012cxy3-7)

作者简介: 沈静 (1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品营养与化学。E-mail: s_shenjing@126.com

*通信作者: 王敏 (1967—), 女, 教授, 博士, 研究方向为西部特色药食兼用食物资源开发利用。

E-mail: wangmin20050606@163.com

腐烂变质,因此除鲜食外,枣脆片是鲜食枣的主要加工产品之一。

传统的干制加工有自然晒干和热风烘干,但因其加工周期长、温度高,容易造成鲜食枣脆片品质的下降。近年来,随着鲜食枣功能成分的不断挖掘以及消费者保健意识的增强,真空冷冻干燥、中短波红外干燥等现代干制加工技术得到广泛应用,这类干燥技术制得的产品品质高、无污染,但存在耗时长、投资大等缺陷。为实现消费者对“营养、安全、适口”食品的要求,满足企业对“高效、节能、绿色”加工的期望,微波真空冷冻干燥、微波真空膨化技术逐渐进入人们的视野,这类新型果蔬干燥技术已成功应用在苹果脆片^[1]、芒果脆片^[2]中,但对鲜食枣脆片的加工品质影响还鲜见报道。

香气成分是影响果品及加工品风味品质的重要因素^[3],在干制加工过程中,芳香性物质容易损失和变化,而不同干制方式制得的枣产品,其香气成分也存在着极大的差异^[4-6],目前鲜见对新型干制技术加工的鲜食枣脆片香气成分进行报道。为此,本实验采用中短波红外干燥(short- and medium-wave infrared drying, ID)、真空冷冻干燥(vacuum freeze drying, VFD)、微波真空冷冻干燥(microwave vacuum freeze drying, MVFD)、微波真空膨化(microwave vacuum puffing, MVP)4种干燥方式对鲜食枣进行干制处理,利用固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术对4种干制方式处理的鲜食枣脆片的香气成分进行分析鉴定,并通过主成分分析法对结果进行分析,建立鲜食枣脆片香气品质的评价模型,旨在为鲜食枣干制品的加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

鲜食枣品种为陕北冬枣,购于杨陵果蔬批发市场。

1.2 仪器与设备

中短波红外干燥机 圣泰科红外科技有限公司;
LGJ-12A真空冷冻干燥机 北京四环仪器公司;
YHW-4S微波真空冷冻干燥机 南京亚泰微波能技术研究所;微波真空膨化设备 南京国威电设备有限公司;
Galanz P70D20TP-C6(WO)微波干燥设备 广东格兰仕微波电器制造有限公司;JD400-3电子天平 沈阳龙腾电子有限公司;GCMS-QP2010气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司;50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头 美国Supelco公司;20 mL顶空样品瓶 北京飞美斯分析公司。

1.3 方法

1.3.1 干制工艺参数

MVFD工艺参数:预冻温度 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$,微波功率

700 W,冷阱温度 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$,真空度0.07 kPa,干燥时间12 h,干燥后枣片水分质量分数为12.6%。

MVP工艺参数:微波功率1 000 W,微波强度20 W/g,真空度0.098 kPa,膨化时间1 h,干燥后枣片水分质量分数为9.20%。

ID工艺参数:功率1 000 W,温度85.4 $^{\circ}\text{C}$,干燥时间4 h,干燥后枣果水分质量分数为8.02%。

VFD工艺参数:预冻温度 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$,冷阱温度 $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$,真空度0.06 kPa,干燥时间24 h,干燥后枣果水分质量分数为10.71%。

4种干制处理的鲜食枣脆片水分质量分数均控制在 $(10\pm 2)\%$,符合GB/T 5835—2009《干制鲜食枣中水分含量的要求》。

1.3.2 香气成分的测定

1.3.2.1 香气成分提取

参照闫忠心等^[7]的测定方法,根据实验样品特点,略作修改。将4种不同干制处理的鲜食枣脆片破碎,准确称取破碎干制鲜食枣2 g置于20 mL样品瓶中,加盖密封后置于45 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中平衡45 min,使香气充分挥发和平衡。将老化后的固相微萃取的萃取头插入样品瓶中,吸附40 min后于气相色谱仪进样口240 $^{\circ}\text{C}$ 解吸5 min。

1.3.2.2 色谱条件

色谱柱:弹性石英毛细管柱DB-1 7 M S(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm);升温程序:起始温度40 $^{\circ}\text{C}$ 保持3 min,以4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度升至120 $^{\circ}\text{C}$,再以6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至240 $^{\circ}\text{C}$,保持9 min;载气为He,流速为1.53 mL/min;恒压48.1 kPa;不分流进样。

1.3.2.3 质谱条件

电子电离(electron ionization, EI)源;电子能量70 eV;接口温度230 $^{\circ}\text{C}$;离子源温度230 $^{\circ}\text{C}$;激活电压1.4 kV;质量扫描范围 m/z 35~450。

1.3.2.4 香气成分定性定量方法

每个样品重复测定3次。根据得到的总离子流图,利用NIST和Wiley标准谱库自动检索各色谱峰的质谱信息,选择相似度达90%以上的成分结构信息,并对照结合标准质谱图和参考文献资料进行核对确认,采用峰面积归一化法计算各组分相对含量^[8]。

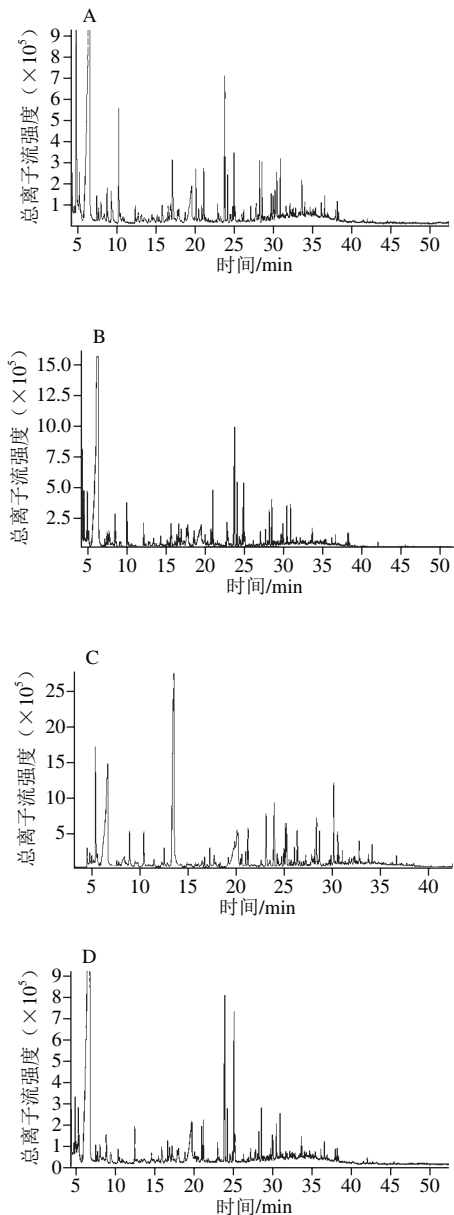
1.3.2.5 数据处理与分析

采用SPSS 18.0数据处理系统,进行主成分分析。以4种不同干制方式制得的鲜食枣脆片所检测出的香气成分质量分数矩阵作为指标,进行数据标准化后应用SPSS软件进行主成分分析,得出特征根及特征向量,以香气物质累计贡献率达到90%以上为依据,确定主成分个数以及各主成分的得分值。根据主成分向量和主成分贡献率得出干制鲜食枣脆片香气的评价模型,由该模型计算出每种处理样品的综合得分。

2 结果与分析

2.1 香气成分总离子流图

采用固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术对鲜食枣脆片的香气成分进行检测,同时在质谱库中进行检索分析对比,得到不同干制处理的鲜食枣脆片风味物质种类及其相对含量,总离子流图见图1。



A. VFD干制; B. ID干制; C. MVFD干制; D. MVP干制。

图1 鲜食枣脆片不同干制处理的鲜食枣脆片香气成分总离子流图
Fig. 1 GC-MS total ion current chromatograms of aroma compounds in jujube chips obtained by different drying methods

2.2 香气成分种类及含量

从4种干制方式处理的鲜食枣脆片中共鉴定出70种香气成分,其中,分别从VFD、ID、MVFD和MVP中鉴

定出挥发性成分45、38、43、41种,各自有效组分的峰面积分别占总挥发物质峰面积的83.97%、62.72%、70.08%、80.64%。

由表1可知,4种干制处理的样品中香气成分均含有醇类、酸类、酯类、醛类、酮类、烷烃类等其他化合物。VFD鲜食枣脆片中挥发性物质包括醇类3种(2.51%),酸类5种(22.09%),酯类5种(19.45%),醛类8种(6.34%),酮类6种(22.6%),烷烃类16种(9.73%),其他类2种(1.25%);ID鲜食枣脆片中挥发性成分包括醇类4种(16.19%),酸类7种(1.79%),酯类4种(1.63%),醛类8种(37.25%),酮类4种(2.16%),烷烃类9种(2.69%),其他类2种(1.01%);MVFD样品中检测到香气成分包括醇类3种(20.81%),酸类8种(14.71%),酯类3种(4.42%),醛类8种(5.7%),酮类3种(13.08%),烷烃类16种(10.75%),其他类2种(0.61%);MVP样品中醇类5种(3.12%),酸类9种(32.46%),酯类5种(28.51%),醛类7种(4.47%),酮类3种(4.54%),烷烃类10种(6.19%),其他类2种(1.35%)。

表1 不同干制鲜食枣脆片香气成分的GC-MS分析结果

Table 1 GC-MS analysis results of aroma compounds in jujube chips prepared by different drying methods

种类	序号	保留时间/min	化合物名称	分子式	相对分子质量	相对含量/%			
						VFD	ID	MVFD	MVP
醇类	1	4.908	乙醇	C ₂ H ₆ O	46	1.5	14.66	0.25	1.08
	2	7.838	1-戊烯-3-醇	C ₅ H ₁₀ O	86	0.49	—	—	—
	3	12.76	2,3-丁二醇	C ₄ H ₁₀ O ₂	90	—	—	19.95	0.19
	4	16.87	2-呋喃甲醇	C ₅ H ₆ O ₂	98	—	1.2	—	—
	5	20.943	辛醇	C ₈ H ₁₈ O	128	0.52	0.21	0.61	0.86
	6	26.067	苯甲醇	C ₇ H ₈ O	108	—	0.12	—	0.07
	7	32.708	2-辛基-1-奎醇	C ₁₈ H ₃₈ O	270	—	—	—	0.92
酸类	8	5.115	甲酸	CH ₂ O ₂	46	—	0.06	0.11	0.19
	9	6.587	乙酸	C ₂ H ₄ O ₂	60	17.77	0.33	3.81	26.04
	10	8.312	丙酸	C ₃ H ₆ O ₂	74	—	—	1.32	—
	11	10.335	2-甲基-丙酸	C ₄ H ₈ O ₂	88	1.69	0.35	1.42	0.39
	12	10.525	戊酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	102	0.15	0.18	—	0.09
	13	10.884	酯酸	C ₄ H ₈ O ₂	88	—	—	0.14	0.15
	14	13.477	2-甲基-丁酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	102	—	—	—	0.08
	15	14.884	正戊酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	102	—	—	—	0.16
	16	19.785	己酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	116	1.38	0.31	3.74	4.31
	17	20.026	庚酸	C ₇ H ₁₄ O ₂	130	—	—	4.02	—
	18	20.574	4-羟基-丁酸	C ₄ H ₈ O ₃	104	—	0.43	—	—
	19	28.587	n-癸酸	C ₁₀ H ₂₀ O	156	1.1	0.13	0.15	1.05
	20	5.309	乙酸甲酯	C ₃ H ₆ O ₂	74	1.79	0.18	0.14	1.09
	21	6.78	乙酸乙酯	C ₄ H ₈ O ₂	88	9.54	—	—	20.39
	22	14.562	γ-庚内酯	C ₇ H ₁₂ O ₂	128	0.37	—	—	—
酯类	23	23.454	己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	144	—	0.24	—	—
	24	23.884	乙酸乙烯酯	C ₄ H ₈ O ₂	86	5.65	—	2.86	4.38
	25	30.497	丁位己内酯	C ₆ H ₁₀ O ₂	114	2.1	1.13	1.42	2.37
	26	36.933	月桂酸甲酯	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	214	—	0.08	—	0.28

续表1

种类	序号	保留 时间/min	化合物名称	分子式	相对 分子质量	相对含量/%			
						VFD	ID	MVFD	MVP
醛类	27	5.808	2-甲基-丙醛	C ₄ H ₈ O	88	0.13	35.03	0.1	0.14
	28	7.515	3-甲基-正丁醛	C ₅ H ₁₀ O	86	0.31	0.47	0.23	0.49
	29	7.717	2-甲基-正丁醛	C ₅ H ₁₀ O	86	0.15	0.17	0.17	0.37
	30	8.835	戊醛	C ₅ H ₁₀ O	86	1.2	0.45	1.51	0.89
	31	12.438	己醛	C ₆ H ₁₂ O	100	0.92	0.18	0.78	0.87
	32	17.197	糠醛	C ₅ H ₄ O ₂	130	0.98	0.47	0.7	0.72
	33	20.514	5-甲基-2-呋喃-甲醛	C ₆ H ₆ O ₂	110	—	—	0.91	—
	34	21.163	反-2-辛烯醛	C ₈ H ₁₄ O	126	1.93	0.2	1.3	0.99
	35	23.048	安息香醛	C ₉ H ₈ O	106	0.72	0.28	—	—
	36	6.49	3-甲基-2-丁酮	C ₅ H ₁₀ O	86	18.74	—	10.53	—
	37	13.061	1-羟基-2-丁酮	C ₄ H ₈ O ₂	88	0.37	—	—	—
	38	20.203	2-甲基-3-辛酮	C ₉ H ₁₈ O	142	0.43	—	—	—
	39	25.024	2-壬酮	C ₉ H ₁₈ O	142	1.69	1.29	—	3.42
	40	28.29	5-乙基-2-氢-2 (3H)-呋喃酮	C ₆ H ₁₀ O ₂	114	1.1	0.15	2.21	0.66
酮类	41	29.38	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4 (H)-吡喃-4-酮	C ₆ H ₆ O ₄	144	—	0.46	—	—
	42	36.603	6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮	C ₁₅ H ₂₂ O	194	0.27	0.26	0.34	0.46
	43	13.702	4-甲基-环氧乙烷	C ₄ H ₈ O	100	0.27	—	—	—
	44	16.012	4,6-二甲基-十一烷	C ₁₃ H ₂₈	184	—	—	0.3	—
	45	16.636	正庚烷	C ₇ H ₁₆	114	0.42	0.41	0.33	0.52
	46	17.989	2,2,4-三甲基-己烷	C ₉ H ₂₀	126	1.26	—	—	—
	47	18.267	2,3-二甲基-壬烷	C ₁₁ H ₂₄	156	—	—	0.36	—
	48	22.931	3,7-二甲基-癸烷	C ₁₂ H ₂₆	170	0.68	0.13	—	0.76
	49	24.534	正十二烷	C ₁₂ H ₂₆	168	0.31	—	—	0.32
	50	24.675	4-甲基-十二烷	C ₁₃ H ₂₈	184	—	—	0.56	—
	51	26.292	4,6-二甲基-十二烷	C ₁₄ H ₃₀	198	—	—	1.66	0.17
	52	27.175	13-甲基-十四烷	C ₁₅ H ₃₂	226	0.45	—	0.61	0.4
	53	27.813	正十二烷	C ₁₂ H ₂₆	170	0.54	0.24	—	0.37
	54	28.085	2,6,10,15-四甲基-十七烷	C ₂₁ H ₄₄	296	0.18	0.17	—	2.04
	55	29.185	10-甲基-二十烷	C ₂₁ H ₄₄	296	0.1	—	—	—
烃类	56	29.27	2,6,10-三甲基-十二烷	C ₁₅ H ₃₂	213	—	—	0.31	—
	57	29.566	正十七烷	C ₁₇ H ₃₆	240	—	—	1.31	—
	58	29.787	正十八烷	C ₁₈ H ₃₈	254	0.66	—	—	—
	59	29.88	4-甲基-十四烷	C ₁₅ H ₃₂	212	1.46	0.51	—	0.21
	60	30.007	3,8-二甲基-奎烷	C ₁₂ H ₂₆	170	1.87	0.36	0.74	0.96
	61	30.864	5-甲基-壬烷	C ₁₂ H ₂₆	170	—	—	0.61	—
	62	31.192	3-甲基-十一烷	C ₁₂ H ₂₆	168	0.11	—	—	—
	63	32.136	3-甲基-5-丙基-壬烷	C ₁₃ H ₂₈	184	0.82	—	0.88	0.44
	64	32.859	2-甲基-二十八烷	C ₂₉ H ₆₀	408	—	0.15	0.37	—
	65	33.696	2,6,10-3-甲基-十三烷	C ₁₆ H ₃₄	226	0.31	0.2	1.05	—
	66	35.022	2-甲基-二十四烷	C ₂₅ H ₅₂	352	—	—	0.5	—
	67	36.15	正十六烷	C ₁₆ H ₃₄	226	0.29	0.52	1.03	—
	68	37.67	2-甲基-己烷	C ₇ H ₁₆	380	—	—	0.13	—
	69	38.203	二丁基羟基甲苯	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.36	0.07	0.09	0.45
	70	4.422	氨基甲酸铵	CH ₅ N ₂ O ₂	78	0.89	0.94	0.52	0.9

注：—,未检出。

2.2.1 共有香气成分

从表1可以看出, 4 种干制处理的鲜食枣脆片中共有的挥发性物质成分共计21 种, 其中醇类2 种, 为乙醇和辛醇, 其中VFD、ID和MVP中乙醇相对含量较高(>1%), 分别为1.5%、14.66%和1.08%; 酸类4 种, 分别为乙酸、2-甲基-丙酸、己酸和*n*-癸酸, 其中在VFD、MVFD

和MVP中, 乙酸的相对含量分别为17.77%、3.81%和26.04%, 己酸的相对含量分别为1.38%、3.74%和4.31%; 酯类2 种, 为乙酸甲酯和丁位己内酯, 其中丁位己内酯的相对含量较高, VFD中为2.1%, ID中为1.13%, MVFD中为1.42%, MVP中为2.37%; 醛类7 种, 为2-甲基-丙醛、3-甲基-正丁醛、2-甲基-正丁醛、戊醛、己醛、糠醛、反-2-辛烯醛; 酮类2 种, 为5-乙基-二氢-2 (3*H*)-呋喃酮和6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮; 烷类2 种, 为正庚烷和3,8-二甲基-奎烷; 其他类2 种, 为二丁基羟基甲苯和氨基甲酸铵。

此外, 除了MVFD, 其他3 种干制鲜食枣脆片中均含有戊酸、2-壬酮、3,7-二甲基-癸烷、正十二烷、2,6,10,15-四甲基-十七烷、4-甲基-十四烷, 其中2-壬酮的相对含量在VFD、ID和MVP中均较高(>1%), 分别为1.69%、1.29%、3.42%; 除了ID外, VFD中含有较高相对含量的乙酸乙烯酯(5.65%), 其次为MVP(4.38%)和MVFD(2.86%)。

2.2.2 特有香气成分

不同干制处理的鲜食枣脆片具有不同的挥发性成分。在香气成分的相对含量较高标准下(>1%), VFD处理样中特有的香气成分为乙酸乙酯(9.54%)、3-甲基-2-丁酮(18.74%)和2,2,4-三甲基-己烷(1.26%); ID处理样中特有的香气成分为2-呋喃甲醇(1.2%); MVFD干燥的鲜食枣脆片中特有的香气成分为2,3-丁二醇(19.95%)、丙酸(1.32%)、庚酸(4.02%)、3-甲基-2-丁酮(10.53%)和4,6-二甲基-十二烷(1.66%); MVP处理的鲜食枣脆片中特有的香气成分为乙酸乙酯(20.39%)。

表2 不同干制鲜食枣脆片香气成分种类及相对含量
Table 2 The groups and amounts of aroma compounds in jujube chips prepared by different drying methods

香气成分	项目	VFD	ID	MVFD	MVP
醇类 (X ₁)	种类	3	4	3	5
	相对含量/%	2.51	16.19	20.81	3.12
酸类 (X ₂)	种类	5	7	8	9
	相对含量/%	22.09	1.79	14.71	32.46
酯类 (X ₃)	种类	5	4	3	5
	相对含量/%	19.45	1.63	4.42	28.51
醛类 (X ₄)	种类	8	8	8	7
	相对含量/%	6.34	37.25	5.7	4.47
酮类 (X ₅)	种类	6	4	3	3
	相对含量/%	22.6	2.16	13.08	4.54
烃类 (X ₆)	种类	16	9	16	10
	相对含量/%	9.73	2.69	10.75	6.19
其他 (X ₇)	种类	2	2	2	2
	相对含量/%	1.25	1.01	0.61	1.35

2.3 主成分分析

2.3.1 香气成分主成分分析

对4 种不同干制处理的鲜食枣脆片的7 种挥发性成分

的主成分分析结果见表3。由表3可知,前3个主成分的累计贡献率达99.998%,基本可以有效解释所有变量的原有信息,因此,选择这3个主成分作为香气数据分析的有效成分。

表3 3个主成分的特征值以及贡献率

Table 3 Eigenvalues and contribution rates of three principal components

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	4.061	58.021	58.021
2	2.278	32.539	90.561
3	0.661	9.437	99.998

各主成分在各因子变量上的载荷值代表该主成分对该因子所能反映的程度。由表3和表4可知,第1主成分的贡献率为58.021%,主要反映醇类、酸类、酯类和醛类4类香气成分的变异信息;第2主成分的贡献率占总变异信息的32.539%,主要代表烃类的变异信息;第3主成分的贡献率为9.437%,主要反映酮类的变异信息。另外,从表4可以看出,第1主成分与酸类和酯类呈高度正相关,与酸类和醛类呈高度负相关;第2主成分与烃类呈负相关;第3主成分与酮类呈负相关。

表4 主成分的特征向量与载荷矩阵

Table 4 Principal component eigenvectors and loading matrix

香气成分	第1主成分		第2主成分		第3主成分	
	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷
醇类(X_1)	-0.214	-0.867	-0.183	-0.416	0.413	0.273
酸类(X_2)	0.233	0.946	0.010	0.023	0.490	0.323
酯类(X_3)	0.232	0.942	0.134	0.304	0.210	0.139
醛类(X_4)	-0.199	-0.806	0.227	0.516	-0.438	-0.289
酮类(X_5)	0.117	0.476	-0.296	-0.674	-0.855	-0.565
烃类(X_6)	0.111	0.451	-0.392	-0.893	-0.006	-0.004
其他(X_7)	0.165	0.668	0.309	0.703	-0.368	-0.243

2.3.2 香气品质评价模型的建立

前3个主成分可以解释不同干制鲜食枣脆片香气中7类成分99.998%的变异信息,根据3个主成分的特征向量,可以用 F_1 、 F_2 和 F_3 三个新的综合指标来代替原来的7类香气成分,进行香气品质的综合评价(表4),得到的鲜食枣脆片香气成分的线性关系式分别为:

$$F_1 = -0.214X_1 + 0.233X_2 + 0.232X_3 - 0.199X_4 + 0.117X_5 + 0.111X_6 + 0.165X_7 \quad (1)$$

$$F_2 = -0.183X_1 + 0.010X_2 + 0.134X_3 + 0.227X_4 - 0.296X_5 - 0.392X_6 + 0.309X_7 \quad (2)$$

$$F_3 = 0.413X_1 + 0.490X_2 + 0.210X_3 - 0.438X_4 - 0.855X_5 - 0.006X_6 - 0.368X_7 \quad (3)$$

式中: F_1 、 F_2 和 F_3 分别代表综合主成分值。

将各个特征向量进行标准化处理,与3个主成分的贡献率做内积,得到综合评价函数 F 的表达式为:

$$F = 0.58021F_1 + 0.32539F_2 + 0.09437F_3 \quad (4)$$

得到的综合得分表见表5。

表5 标准化后主成分综合得分

Table 5 Synthetic principal components scores after standardization

处理方式	香气成分质量评价模型				
	F_1	F_2	F_3	F	排序
VFD	11.791 05	-6.310 46	-6.673 07	4.158 187	2
ID	-9.364 22	4.347 55	-10.644 25	-5.023 06	4
MVFD	1.689 49	-9.672 14	2.761 65	-1.906 34	3
MVP	14.061 31	1.235 5	16.807 56	10.146 66	1

由表5可知,第1主成分得分最高得是MVP,其次是VFD处理的鲜食枣脆片,第2主成分得分最高得为ID干制的鲜食枣片,第3主成分得分最高的是MVP干制样品。在综合评价得分中,MVP干制鲜食枣脆片得分最高,为10.15,其次为VFD、MVFD、ID。由此可见,MVP干制鲜食枣脆片的香气品质最好,利用MVP加工鲜食枣脆片可以更好地维持鲜食枣香气品质。

3 讨论

3.1 不同干制鲜食枣脆片香气成分比较

红枣中富含糖、蛋白质和脂类物质,这些成分在干制过程中特别是加热的条件下,容易发生分解形成复杂的复合香气系统^[9]。从4种干制方式处理的鲜食枣脆片中,检测到了醇类、酸类、醛类、酯类、酮类、烃类和其他类化合物共计7种香气成分。其中,主要的醇类物质为乙醇、2,3-丁二醇、2-呋喃甲醇等,这些物质主要来源于枣果在干制加工过程中,一些氨基酸的转化以及不饱和脂肪酸在脂肪氧化酶和醛还原酶等作用下形成的^[6]。另外,鲜食枣的干制加工涉及加热处理过程,脂肪酸氧化降解的二次产物在该阶段进一步氧化分解也是形成具有香味醇类物质的原因之一^[10-11]。

酸类化合物是构成枣片特征香味的主要成分,本实验共检测到12种酸类物质,乙酸、2-甲基-丙酸、己酸和*n*-癸酸为4种干制样品中主要的酸类成分,乙酸相对含量在鲜食枣脆片中均较高,这可能是一些长链脂肪酸在干制处理中发生热氧化分解产生的^[12],酸类物质中乙酸能表现出醋酸味,己酸能表现出汗味^[13-16],MVFD中含有含量高达4.02%的独特的庚酸,其能表现出脂肪样气味。

挥发性酯类可以赋予枣果香和花香,对鲜食枣脆片的香气形成具有积极影响^[17],VFD、ID、MVP和MVFD中均含有较高含量的乙酸甲酯和丁位己内酯,而丁位己内酯具有果香和焦香,呈椰子油和乳脂似的香气,常用于软饮料、冷饮、糖多或者烘烤食品中。另外,VFD和MVP样品中含有较高含量的乙酸乙酯,其能赋予鲜食枣脆片浓郁的水果香气,ID处理的样品中含带有甜味的己酸乙酯成分,可以赋予鲜食枣脆片菠萝-香蕉型水果香气^[18]。VFD中独含 γ -庚内酯成分,其可能是脂类热过氧化的产物,也是影响红枣特征香味的重要物质^[12]。酯类成分

的产生是一方面由于果实中的醇、羧酸以及酰基辅酶A在醇酰基转移酶作用下发生酯化反应形成了酯类。另外,在干制过程中,不挥发性直链酯、缬氨酸和异亮氨酸在高温条件下,通过相关酶解作用形成了易挥发的直链酯^[10]。本实验发现ID和MVFD样品中酯类物质含量和种类较少,这可能由于ID干制过程中,加热温度高达80℃,高温抑制酯合酶的活性造成的,而对于MVFD,其干燥时间长达12h,加上微波辐射能的作用,也促进了酯类成分的损失。

在4种干制鲜食枣中共检测出9种醛类,VFD、MVFD和MVP中醛类物质的相对含量在4.47%~6.34%,而ID中醛类物质含量较高。在共有的醛类物质中,3-甲基-正丁醛、2-甲基-正丁醛、戊醛、己醛、糠醛、反-2-辛烯醛均属于C₆~C₉的小分子醛类,其中糠醛是抗坏血酸发生热降解形成的低分子醛类物质^[11],具有类似面包和焦糖的香味,能够给予鲜食枣脆片使人愉快的香气^[19];己醛是由脂肪酸代谢生成的,是苹果、葡萄、草莓、菠萝、香蕉和桃子的嗅感成分;反-2-辛烯醛具有脂肪气息和清香香气,属于调香用香料^[20]。VFD和ID中独有的安息香醛可能与干制过程中发生的美拉德反应、脂肪热氧化以及抗坏血酸的降解有关^[21-23]。MVFD中检测到独有的5-甲基-2-呋喃甲醛,是糖类物质在干制过程中发生热降解的产物,也是干制枣果重特有的焦香味物质^[24-26]。

酮类化合物也是大枣香气中一类重要的呈香物质,其产生的典型途径是脂肪酸在脂氧合酶的作用下发生降解,在亚油酸和亚麻油酸氧化过程中生成^[27]。另外,鲜食枣中的还原糖能够与枣果中的氨基酸、蛋白质等在干制过程中发生美拉德反应,容易产生大量的酮类化合物^[28]。在4种干制品中,5-乙基-2-二氢-2(3H)-呋喃酮和6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮是检测到的共有酮类化合物,其中5-乙基-2-二氢-2(3H)-呋喃酮是食品热加工中的典型反应产物^[12]。除了MVFD外,VFD、ID和MVP样品中均含有2-壬酮成分,其能呈现清新的水果、花的香气^[29-30],是一种食用香料。

烷烃类化合物是从4种干制鲜食枣脆片中检测到种类最多的香气成分,共有26种,但相应含量所占比例不大。这可能使由于鲜食枣果在不同的干制过程中发生的非酶褐变,如美拉德反应,导致产品中烷烃类总量较少的原因^[4]。

3.2 不同干制鲜食枣脆片香气品质综合评价

为了对不同干制鲜食枣脆片的香气品质进行综合评价,本实验采用主成分分析比较了不同干制条件下鲜食枣脆片香气的种类间差异,并提取了3个主成分,累计贡献率达99.998%,基本可以反映醇类、酸类、酯类、醛类、酮类、烃类和其他类这7种化合物的所有信息。通过对主成分的归一化处理,得到香气品质综合评价模型,

通过主成分的综合得分来判断干制样品的香气品质。评价模型的计算得分愈高,样品的香气愈佳。不同干制处理的鲜食枣脆片的香气成分经过主成分分析表现出明显的差异,其中MVP的综合得分最高,香气品质最佳,其次为VFD。因此,主成分分析可作为不同干制鲜食枣脆片香气品质的潜在评价方法,弥补了对挥发性成分的单一含量的评价弊端和风味阈值评价的不足之处^[23]。

4 结 论

采用顶空固相微萃取法和气相色谱-质谱联用技术鉴别和分析了不同干制鲜食枣脆片的香气成分。在4种鲜食枣脆片中检测到70种香气物质,其中VFD枣脆片45种,ID枣脆片38种,MVFD枣脆片43种,MVP枣脆片41种,共有香气成分21种。挥发性酸类是VFD、MVFD和MVP鲜食枣脆片主要的香味物质,挥发性醛类是ID样品中主要的香味成分。通过主成分分析建立香气品质综合评价模型,可以得出MVP干制的鲜食枣脆片综合得分最高,其枣香气品质依次优于VFD、MVFD、ID,鲜食枣脆片的香气与干制温度、时间和干制方式等众多因素有关,利用香气成分的主成分分析,可以实现对鲜食枣干制方式的鉴别,也为进一步研究干制方式对鲜食枣脆片品质的影响提供理论基础。

参考文献:

- [1] HUANG Luelue, ZHANG Min, WANG Liping, et al. Influence of combination drying methods on composition, texture, aroma and microstructure of apple slices[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 47(1): 183-188. DOI:10.1016/j.lwt.2011.12.009.
- [2] 姜唯唯, 刘刚, 张晓喻, 等. 微波真空冷冻干燥对芒果干制品品质特性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 49-52.
- [3] 李慧勤, 彭见林, 赵国华. 不同干燥方式的豆渣香气成分的顶空固相微萃取-气相色谱-质谱分析[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 167-172.
- [4] 毕金峰, 于静静, 丁媛媛, 等. 固相微萃取GC-MS法测定不同干燥方式下枣产品的芳香成分[J]. 现代食品科技, 2011, 27(3): 354-360; 365. DOI:10.3969/j.issn.1673-9078.2011.03.029.
- [5] 曹源, 李建伟, 李述刚, 等. 不同干燥工艺对枣粉挥发性香气成分的影响[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(2): 44-49.
- [6] 李其晔, 鲁周民, 化志秀, 等. 成熟度和干燥方法对红枣汁香气成分的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 234-238. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201224049.
- [7] 闫忠心, 鲁周民, 刘坤, 等. 干制条件对红枣香气品质的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 389-392. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2011.01.063.
- [8] 施钧慧, 汪聪慧. 香料质谱图集[M]. 北京: 中国质谱学会, 1992: 78-108.
- [9] 潘年龙, 王孝荣, 吴凯, 等. 黄花草热泵干燥前后香气成分分析[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 258-262. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201318053.
- [10] 汪东风. 高级食品化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 56-77.
- [11] 黄梅丽, 王俊卿. 食品色香味化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008: 112-136.

- [12] 鲁周民, 闫忠心, 刘坤, 等. 不同温度对干制红枣香气成分的影响[J]. 深圳大学学报(理工版), 2010, 27(4): 490-496. DOI:10.3969/j.issn.1000-2618.2010.04.020.
- [13] 刘莎莎, 张宝善, 孙肖园, 等. 红枣香味物质的主成分分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(20): 72-76. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.20.006.
- [14] NATH A, CHATTOPADHYAY P K, M AJUMDAR G C. High temperature short time air puffed ready-to-eat potato snakes: process parameter optimization[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(3): 770-780. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2006.07.006.
- [15] YUKIKO T, MARTIN S, ANDREA B, et al. Odor-active constituents in fresh pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) by quantitative and sensory evaluation[J]. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 2005, 69(7): 1323-1330.
- [16] HUBER U A. Homofuranoeol: a powerful tool to prepare and improve sophisticated high quality flavor[J]. Perfume and Flavor, 1992, 17(4): 15-19.
- [17] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 184-259.
- [18] 李丹, 王颀. 金丝小枣酒香气成分分析[J]. 酿酒科技, 2008(6): 109-111. DOI:10.13746/j.njkj.2008.06.029.
- [19] BUETTNER A, SCHIEBERLE P. Characterization of the most odor-active volatiles in fresh, hand-squeezed juice of grapefruit (*Citrus paradisi* Macfayden)[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1999, 47(12): 5189-5193. DOI:10.1021/jf990071l.
- [20] 叶剑峰, 陈恩治, 金涛. 反-2-辛烯醛的合成[J]. 香料香精化妆品, 2004(3): 3-4.
- [21] 鲁周民, 郑皓, 赵文红, 等. 发酵方法对柿果醋中香气成分的影响[J]. 农业机械学报, 2009, 40(9): 148-154.
- [22] SHIBAMOTO T, TAMG G C. Minor tropical fruit-mango papaya passion fruit and guava in food flavor[M]. Amsterdam: Elsevier, 1990: 221-234.
- [23] JOHNSON J R, BRADDOCK R J, CHEN C S. Flavor losses in orange juice during ultra filtration and subsequent evaporation[J]. Journal of Food Science, 2006, 21(3): 540-543.
- [24] RAWAT R, GULATI A. Characterization of volatile components of Kangra orthodox black tea by gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2007, 105(1): 229-235.
- [25] LV Haipeng, ZHONG Qiusheng, LIN Zhi, et al. Aroma characterisation of Pu-erh tea using headspace-solid phase microextraction combined with GC/MS and GC-olfactometry[J]. Food Chemistry, 2012, 130(4): 1074-1081.
- [26] 穆启运, 陈锦屏. 红枣挥发性物质在烘干过程中的变化研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 99-101. DOI:10.3321/j.issn:1002-6819.2001.04.023.
- [27] 秦召, 吴月娇, 谷令彪, 等. 大枣香气成分研究进展[J]. 香料香精化妆品, 2015(5): 63-67. DOI:10.3969/j.issn.1000-4475.2015.05.015.
- [28] 李宝玉, 杨君, 尹凯丹, 等. 应用SPME-GC-MS分析变温压差膨化干燥香蕉脆片香气成分[J]. 食品科学, 2014, 35(14): 184-188. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201414036.
- [29] 宋焕禄. 食品风味化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 163-173.
- [30] 刘莎莎, 张宝善, 孙肖园, 等. 红枣香味物质的主成分分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(20): 72-76. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.20.006.