

基于电子鼻和 GC-MS 技术分析不同干燥方式 对香葱挥发性物质的影响

顾晨¹, 魏文莉¹, 马海乐^{1*}, 单艳琴²

(1. 江苏大学 食品与生物工程学院, 江苏 镇江 212013; 2. 江苏兴野食品有限公司, 江苏 兴化 225700)

摘要:为了分析不同干燥方式对脱水香葱挥发性物质的影响,采用电子鼻技术和顶空固相微萃取技术结合气相色谱-质谱联用技术将经过热风干燥、红外-热风联合干燥、冷冻干燥、红外-冷冻联合干燥制得的干制香葱样品进行挥发性物质分析。结果表明,电子鼻对不同干燥方式处理的脱水香葱在传感器 W5S、W1W 和 W2W 上具有较高的响应值。两个主成分 PC1 和 PC2 的贡献率分别为 71.824% 和 15.356%,累计方差贡献率为 87.180% (85% 以上),可以区分不同干燥处理的脱水香葱的挥发性风味物质。4 种不同干燥方法处理后的脱水香葱分别检测到 49 种(热风干燥)、50 种(红外-热风干燥)、66 种(冷冻干燥)和 53 种(红外-冷冻干燥)挥发性物质。热风干燥和红外-热风干燥可以得到风味较好的脱水香葱,由于冷冻干燥温度较低,干燥过程中化合物转化率较低,可采用红外-冷冻干燥使脱水香葱产生焦香气味。因此,联合干燥方法后的脱水香葱具有更浓郁的风味。

关键词:香葱;电子鼻;气相色谱-质谱联用技术(GC-MS);挥发性物质;干燥

中图分类号:TS255.52

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1000-9973.2022.12.027

文章编号:1000-9973(2022)12-0148-06

Analysis of the Effect of Different Drying Methods on the Volatile Substances of Chives Based on Electronic Nose and GC-MS Technology

GU Chen¹, WEI Wen-li¹, MA Hai-le^{1*}, SHAN Yan-qin²

(1. School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. Jiangsu Xingye Food Co., Ltd., Xinghua 225700, China)

Abstract: In order to analyze the effects of different drying methods on the volatile substances of dehydrated chives, electronic nose technology and headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) are used to analyze the volatile substances of dried chive samples prepared by hot air drying, infrared-hot air combined with drying, freeze drying and infrared-freeze combined with drying. The results show that electronic nose has a high response value on the sensors W5S, W1W and W2W for the dehydrated chives treated by different drying methods. The contribution rates of two principal components PC1 and PC2 are 71.824% and 15.356% respectively. The accumulative variance contribution rate is 87.180% (more than 85%), which could distinguish the volatile flavor substances of dehydrated chives under different drying treatments. 49 (hot air drying), 50 (infrared-hot air drying), 66 (freeze drying), 53 (infrared-freeze drying) kinds of volatile substances are detected in the dehydrated chives treated by four different drying methods respectively. Dehydrated chives with better flavor can be obtained by hot air drying and infrared-hot air drying. As the freeze-drying temperature is low and the conversion rate of chemical compounds is low in the drying process, infrared-freeze drying can be used to make dehydrated chives produce a burnt flavor. Therefore, the dehydrated chives treated by the combined drying methods have a stronger flavor.

Key words: chives; electronic nose (E-nose); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); volatile substances; drying

收稿日期:2022-06-07

基金项目:江苏省重点研发计划(现代农业重点项目)(BE2019366)

作者简介:顾晨(1997—),女,硕士,研究方向:食品物理加工。

* 通讯作者:马海乐(1963—),男,教授,博士,研究方向:食品物理加工。

引文格式:顾晨,魏文莉,马海乐,等.基于电子鼻和 GC-MS 技术分析不同干燥方式对香葱挥发性物质的影响[J].中国调味品,2022,47(12):148-153.

香葱(*Allium schoenoprasum* L.)是一种广为人知的多年生草本植物,它具有独特的气味以及杀菌消毒的药效^[1]。目前,香葱除了鲜食以外,更多的是以脱水干制品的形式进行消费和出口^[2]。据统计,我国脱水香葱产品的年销售量有近 6 万吨,出口量占全世界出口量的 80%。干制后的香葱质量减轻、食用方便,无需冷藏,成为一种营养丰富、易于长期保藏的调味品^[3]。但是干燥会对香葱中各类营养物质尤其是风味物质产生较大的损失^[4],香气作为干制香葱品质的重要构成部分,直接决定了消费者对其的喜爱程度,然而目前对于不同干燥方式影响香葱香气成分的研究较少。

电子鼻(electronic nose, E-nose)是近年来发展起来的一种新型挥发性成分分析、识别和检测的无损检测技术^[5],可以快速整体比较分析样品的香气特性。气相色谱-质谱联用技术(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)可以在较短时间内定性或定量地分析多组分混合物,结合了色谱分离方法和质谱定性分析的特点^[6]。目前已将电子鼻技术与 GC-MS 技术联合检测分析广泛应用于酱油^[7]、白酒^[8]、火锅调料^[9]等具有独特风味的食品中。

为研究不同干燥方法制得的脱水香葱中的挥发性物质,本研究采用电子鼻技术和 GC-MS 对不同挥发性物质进行定性、定量分析,以期开发新型高品质香葱干燥技术提供一定的理论依据,推动脱水香葱产业的发展。

1 材料与方法

1.1 实验材料

香葱(初始水分含量为 90.47%);同一批次购买于当地农贸市场,冷藏于 4℃。去除葱白、叶尖,洗净并切成 1~2 cm 的小段。4 种干燥方式制得的脱水香葱水分含量均控制在 8% 以下。

1.2 主要仪器与设备

催化式红外干燥机 镇江美博红外科技有限公司;热风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司;真空冷冻干燥机 北京博励行仪器有限公司;PEN3 电子鼻 德国 Airsense 公司;TQ8040 气质联用仪 日本岛津公司。

1.3 实验方法

1.3.1 干燥实验

热风干燥:将新鲜香葱段均匀平铺于 70℃ 电热鼓风干燥箱中进行干燥。

冷冻干燥:将新鲜香葱段均匀平铺于真空冷冻干燥箱中进行干燥,预冻温度为 -20℃,主干燥温度为 20℃,真空度在 10 kPa 以下。

红外联合热风干燥:将新鲜香葱段先置于 70℃ 红外干燥设备中干燥至湿基含水量约为 80%,然后置于 70℃ 电热鼓风干燥箱中进行干燥。

红外联合冷冻干燥:将新鲜香葱段先置于 70℃ 红外干燥设备中干燥至湿基含水量约为 80%,然后置于真空冷冻干燥箱中进行干燥,预冻温度为 -20℃,主干燥温度为 20℃,真空度在 10 kPa 以下。

1.3.2 电子鼻测试条件

样品制备:分别称取 1 g 新鲜和干燥后的香葱段置于 20 mL 样品瓶中,平衡气体 30 min。

电子鼻条件:清洗时间 180 s,归零时间 10 s,样品准备时间 5 s,测定时间 300 s,载气流速 200 mL/min,进样流量 200 mL/min。电子鼻传感器检出物质见表 1。

表 1 PEN3 电子鼻传感器检出物质

Table 1 Substances detected by PEN3 electronic nose sensors

编号	传感器	检出物质
S1	W1C	芳烃化合物
S2	W5S	氮氧化合物
S3	W3C	氨、芳香分子
S4	W6S	氢化物
S5	W5C	短链烷烃芳香分子
S6	W1S	烷类化合物
S7	W1W	硫化物
S8	W2S	醇、醛、酮
S9	W2W	有机硫化物
S10	W3S	长链烷烃

1.3.3 顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用测试条件

样品制备:将新鲜香葱切碎,干燥后的香葱制成粉末,各取 1 g 置于 20 mL 样品瓶中备用。

色谱条件:Rtx-Wax 毛细管色谱柱(30 cm×0.25 mm, 0.25 μm);升温程序:初始温度为 40℃,以 5℃/min 升温至 150℃,不保持,再以 10℃/min 升温至 230℃,保持 10 min,再以 20℃/min 升温至 240℃,保持 3 min;载气(He)流速 1 mL/min,压力 36 kPa;不分流。

质谱条件:电子轰击离子源;电子能量 70 eV;灯丝电流 150 μA;离子源温度 200℃;激活电压 1.5 V;质量扫描范围 20~500 m/z。

1.4 数据处理

电子鼻数据分析:每个样品测量 3 次(n=3),运用 IBM SPSS Statistics 25、Excel 2016 软件进行数据分析与绘图。

GC-MS 数据分析:将 NIST 17 标准数据库与挥发性物质经色谱柱分离后的化合物对比鉴定,最终确定的挥发性成分按照峰面积归一化法计算得到各组分的相对含量。

2 结果与分析

2.1 电子鼻响应值分析

新鲜香葱与 4 种不同干燥方式脱水香葱的电子鼻雷达图见图 1, 与其他传感器相比, 香葱样品对 W5S (氮氧化物) 和 W1W (硫化物) 传感器的响应值相对较高, 其次是 W2W (有机硫化物)。新鲜样品的响应值均比干燥后样品大。

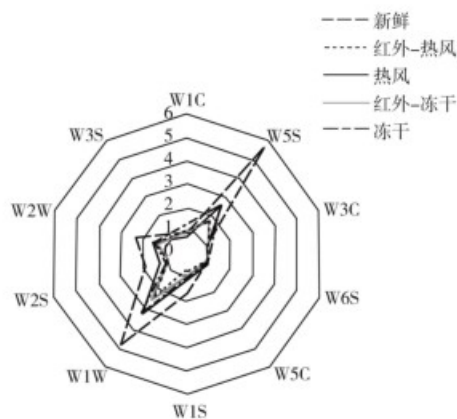


图 1 不同干燥方式脱水香葱的电子鼻雷达图

Fig. 1 Electronic nose radar diagram of dehydrated chives by different drying methods

由于单一传感器雷达图无法全面分析香葱挥发性成分特征, 因此本文对不同干燥方式下的香葱进行了主成分分析 (PCA), 见图 2。PCA 分析是将电子鼻数据进行降维度处理, 提取主要特征进行线性分析, 将主要特征保留在几个不相关的主成分中^[10]。

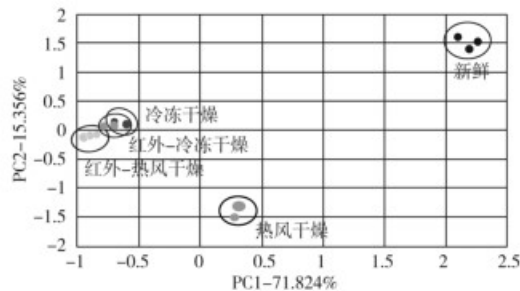


图 2 不同干燥方式下香葱样品的 PCA 图

Fig. 2 PCA diagram of dehydrated chives by different drying methods

由图 2 可知, 两个主成分 PC1 和 PC2 的贡献率分别为 71.824% 和 15.356%, 累计方差贡献率为 87.180% (85% 以上), 因此这两个主成分可以区分香葱大部分的挥发性成分信息。新鲜样品与干燥后的样品距离较远, 说明干燥改变了香葱的挥发性物质。热风干燥样品与其他干燥样品距离较远, 表明与其他干燥方式相比, 经过热风干燥后的香葱在挥发性成分上有一定差异, 而红

外-热风干燥、红外冷冻干燥以及冷冻干燥后的样品, 在 PC1 和 PC2 上未能完全分开, 说明这几种干燥方式制得的香葱挥发性成分差异相对较小。

2.2 基于 GC-MS 技术分析不同干燥方式对香葱挥发性成分的影响

采用顶空固相微萃取结合气相色谱质谱联用分析新鲜香葱和 4 种不同干燥方式下脱水香葱的挥发性成分, 通过 NIST 17 标准数据库比对筛选出相似度大于 70% 的组分, 见表 2。

表 2 新鲜香葱与不同干燥方式脱水香葱挥发性物质及其相对含量

Table 2 The volatile substances and their relative content in fresh chives and dehydrated chives by different drying methods

序号	化合物名称	相对含量/%				
		新鲜	热风	红外-热风	冻干	红外-冻干
1	硫代乙酸丙酯	0.29	—	—	—	—
2	甲基丙基二硫醚	1.99	—	0.33	—	—
3	二甲基噻吩	0.06	1.59	3.95	—	0.71
4	1-甲基-2-(丙-1-烯-1-基)二硫	0.04	0.33	1.11	—	—
5	二叔十二烷基二硫化物	—	—	—	0.26	—
6	二丙基二硫	49.97	4.33	—	—	4.32
7	二异丙基(化)二硫	—	—	2.53	5.26	—
8	丙基二硫烷	2.46	2.00	2.59	0.88	1.36
9	甲基丙基三硫醚	0.43	0.55	0.92	—	—
10	亚硫酸正丁酯	—	—	—	—	0.24
11	甲酰甲基二甲基亚砷	—	4.37	—	—	—
12	甲基-1-(甲硫基)丙基二硫化物	0.03	—	—	—	—
13	1-甲基-2-(1-(丙基硫)丙基)二硫	5.47	1.00	1.29	0.86	1.43
14	1,3-二甲基-4-氨基-5-硫氧基-4,5-二氢-1,2-三唑	—	—	0.81	—	—
15	二丙基三硫醚	17.56	4.54	3.57	1.54	—
16	1-烯丙基-3-丙基三磷酸盐	1.03	—	—	—	—
17	(E)-1-(丙-1-烯-1-基)-3-丙基三硫	3.42	—	4.01	0.49	—
18	(Z)-1-(丙-1-烯-1-基)-3-丙基三硫	—	0.86	—	—	—
19	1-(1-(甲硫基)丙基)-2-丙基二硫烷	0.50	—	—	—	—
20	甲基-1-(1-丙烯基)丙基二硫化物	2.07	1.02	7.06	0.96	8.78
21	1-(1-丙烯基)丙基二硫化物	9.65	4.27	—	5.20	—
22	1,2,4,5-四噻烷	0.21	—	—	—	1.54
23	顺式-3,6-二乙基-1,2,4,5-四噻烷	—	—	0.33	—	—
24	6-乙基-4,5,7,8-四硫十一烷	1.58	—	—	2.10	2.92
总和		96.75	24.86	28.49	17.56	21.30
总数		17	11	12	9	8

续 表

序号	化合物名称	相对含量/%				
		新鲜	热风	红外-热风	冻干	红外-冻干
1	1,3-戊二醇	0.11	—	—	—	—
2	2,4-二甲基-1-庚醇	—	—	1.45	—	—
3	3,3-二甲基-2-戊醇	—	—	—	1.50	—
4	二甲基环己醇	—	0.51	1.87	—	0.29
5	2-乙基己醇	0.07	—	—	—	—
6	十九醇	—	—	—	1.91	—
7	D-异薄荷醇	—	—	—	0.37	—
8	2-十一醇	—	3.73	—	1.37	1.43
9	2-十四烷醇	—	—	1.38	—	—
10	3,7,11,15-四甲基-2-十六烯-1-醇	—	1.14	1.04	—	0.87
11	正十二烷醇	0.04	—	—	—	—
12	2,3-二甲基-3-己醇	0.03	—	—	—	—
13	5,7,7-三甲基-2-(1,3,3-三甲基丁基)-1-辛醇	0.27	—	—	—	—
14	1,2-环氧-3,7,11,15-四甲基十六烷-3-醇	—	—	—	0.48	—
15	1-十四醇	0.04	—	—	0.53	—
16	香叶基香叶醇	0.08	—	—	—	—
17	3-乙基-4-壬醇	0.12	—	—	—	—
18	叶绿醇	0.02	—	1.10	0.58	1.21
总和		0.77	5.38	6.83	6.75	3.81
总数		9	3	5	7	4
1	己醛	—	—	—	—	0.22
2	2-甲基-2-丁烯醛	—	1.12	1.54	—	—
3	2-乙基丁烯醛	—	0.36	—	—	—
4	2-甲基-2-戊烯醛	—	—	0.67	—	—
5	4,4-二甲基戊-2-烯醛	—	—	0.36	—	—
6	壬醛	0.02	—	—	0.95	—
7	亚乙基邻乙醛	—	3.16	5.86	—	—
8	癸醛	—	—	0.90	—	1.34
9	十三醛	—	0.87	—	—	—
10	2,3-四甲基-2-环戊烯-1-丁醛	—	0.70	—	—	—
11	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-羧醛	—	—	0.78	—	—
12	2-苯基巴豆醛	—	—	1.78	—	—
13	可卡醛	—	0.75	0.99	—	—
总和		0.02	6.96	12.88	0.95	1.56
总数		1	6	8	1	2
1	醋酸十一酯	—	—	—	—	0.11
2	环己烷羧酸-4-甲基戊基酯	—	0.71	—	—	—
3	碳酸十八烷基乙酯	—	0.34	—	—	—
4	碳酸十三烷基乙酯	—	—	—	0.33	1.99
5	2-氟基丁酸甲酯	—	—	0.29	—	—
6	癸基十一酸酯	—	—	—	3.09	—

续 表

序号	化合物名称	相对含量/%				
		新鲜	热风	红外-热风	冻干	红外-冻干
7	碳酸癸十四酯	0.05	—	—	—	—
8	2-甲氧基-4-甲基-2-戊烯酸甲酯	0.04	0.34	—	—	—
9	2-甲基戊酸甲酯	—	—	—	—	1.65
10	2-乙基-1,2,3-丙基丁酸酯	—	2.14	2.15	—	—
11	甲酸辛酯	—	—	—	0.45	—
12	月桂酸甲酯	—	—	—	0.46	0.50
13	月桂酸乙酯	—	—	—	1.59	—
14	氯乙酸十八酯	—	—	—	0.15	—
15	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	0.02	—	—	—	—
16	3-氯丙酸 6-乙基-3-辛酯	—	0.60	—	—	—
17	12-甲基-十三酸甲酯	—	0.33	0.74	—	—
18	丁基乙酰氨基丙酸乙酯	—	3.16	—	—	—
19	3-氧代-2-戊基环戊乙酸甲酯	0.05	—	—	—	—
20	水杨酸-2-乙基己基酯	0.08	—	—	—	—
21	十四酸甲酯	—	—	—	—	0.90
22	十四酸乙酯	—	—	—	0.50	0.22
23	棕榈酸甲酯	0.09	0.31	0.64	—	0.83
24	棕榈酸乙酯	—	—	—	0.65	0.39
25	3-(正丁基)丙酸乙酯	—	0.34	1.77	1.35	—
26	3-正丁烯丙基氨基甲酸乙酯	—	—	—	—	1.25
27	酞酸二甲酯	—	—	—	0.70	0.38
28	反-3-氧代-2-(顺-2-戊烯基)-环戊乙酸甲酯	—	—	—	0.16	—
29	二氢猕猴桃内酯	0.05	2.33	3.50	0.54	1.62
30	邻苯二甲酸十六烷基异丁酯	0.18	2.45	1.11	2.13	1.93
31	邻苯二甲酸丁酯	0.06	—	—	—	0.91
32	邻苯二甲酸二丁酯	—	1.57	—	0.96	—
33	棕榈酸辛酯	0.04	—	—	—	—
34	对甲氧基肉桂酸辛酯	0.16	—	—	—	—
总和		0.84	14.61	10.20	13.07	12.67
总数		11	12	7	14	13
1	2,5-二甲基环戊酮	—	—	—	—	3.15
2	2-十三烷酮	—	7.86	4.54	4.96	11.29
3	香叶基丙酮	—	1.59	1.39	1.37	1.09
4	β -紫罗兰酮	—	3.90	4.45	2.43	1.35
5	2-十五烷酮	—	0.39	—	0.43	0.81
6	6,10,14-三甲基-2-十五烷酮	—	1.27	—	0.71	—
7	6,10-二甲基-5,9-十一二烯-2-酮	0.04	—	—	—	—
8	4-(2,6,6-三甲基-1-环己烯基)-3-丁烯-2-酮	0.32	—	—	—	—
9	6-甲基-6-(5-甲基咪唑-2-基)庚烷-2-酮	0.05	—	—	—	—

续 表

序号	化合物名称	相对含量/%				
		新鲜	热风	红外- 热风	冻干	红外- 冻干
10	4-(2,5,6,6-四甲基-1-环己烯-1-基)-3-丁烯-2-酮	0.02	—	—	—	—
11	6,10,14-三甲基-2-十五烷酮	0.04	—	1.04	—	0.22
12	4-[2,2,6-三甲基-7-氧杂二环[4.1.0]庚-1-基]-3-丁烯-2-酮	—	—	0.90	—	0.48
13	顺式-六氢-8 α -甲基-8-(2H,5H)-萘-2-酮	—	—	3.29	0.98	—
14	5-甲基-2-辛基-3-(2H)-呋喃酮	—	—	0.84	2.41	3.47
总和		0.48	15.01	16.45	13.29	21.85
总数		5	5	7	7	8
1	十一烷	—	—	—	—	0.29
2	9-甲基庚烷	—	—	—	0.26	0.59
3	十二烷	0.06	—	—	—	—
4	壬烷	0.02	—	—	—	—
5	5-丙基-癸烷	—	—	0.17	—	—
6	十四烷	0.06	2.83	3.21	7.84	5.92
7	三十烷	—	—	—	1.50	—
8	四十三烷	—	1.79	1.12	—	—
9	3,5-二甲基十二烷	—	—	—	0.33	0.41
10	十七烷	—	—	—	0.17	—
11	4,4-二甲基-十一烷	—	—	—	0.30	—
12	5-丙基-壬烷	—	—	—	0.18	—
13	4-甲基-十四烷	—	—	—	1.85	—
14	5,5-二丁基壬烷	—	—	—	1.63	—
15	8-己基-十五烷	—	—	—	0.50	—
16	二十一烷	0.22	1.26	0.95	4.32	2.99
17	2-甲基-十六烷	—	—	—	0.48	—
18	2-甲基四烷	0.15	—	—	—	—
19	8-己基-十五烷	—	0.89	0.55	0.93	1.66
20	二十烷	0.04	—	—	2.75	0.41
21	十六烷	—	0.40	0.47	—	—
22	十七烷	—	0.89	—	—	—
23	4-甲基-十五烷	—	—	—	0.60	—
24	2-甲基六烷	—	—	—	0.39	—
25	8-己基-十五烷	—	—	—	2.50	—
26	3-亚甲基十三烷	—	—	—	0.59	—
27	2,6,10,14-四甲基-十六烷	—	—	—	—	0.36
28	2,6,10-三甲基十三烷	—	—	—	1.34	—
29	三环己烷	—	—	—	0.40	—
30	四十四烷	—	—	—	—	1.34
31	甲基十七烷	—	—	—	0.43	—
32	1,2-环氧十八烷	—	—	—	—	0.79
总和		0.54	8.07	6.47	29.29	14.76
总数		6	6	6	21	10

烷
烃
类

续 表

序号	化合物名称	相对含量/%				
		新鲜	热风	红外- 热风	冻干	红外- 冻干
1	2,3-二甲基吡啶	—	0.56	0.89	—	—
2	乙酸	0.11	4.76	3.98	—	3.69
3	丙酸	0.04	—	—	—	—
4	2,4,5-三甲基苯胺	—	—	1.96	—	—
5	壬基十四烷基醚	—	—	—	0.79	0.41
6	十二烷基壬基醚	—	—	—	—	0.28
7	1-三氯乙烯	—	—	—	1.06	—
8	二丙基三硫醚	—	—	—	—	4.23
9	3,7,11,15-四甲基十六酯乙酸	—	—	—	—	0.47
10	N-乙基-4-甲基苯胺	—	1.54	—	—	—
11	二氢-5-甲基-5-(2-甲基丙基)-2(3H)-呋喃	0.06	—	—	—	—
12	2-乙烯基萘	—	1.46	—	—	—
13	2,6-二叔丁基对甲酚	—	—	—	0.83	—
14	联苯	—	—	0.94	1.97	—
15	新植二烯	—	12.33	10.92	10.78	13.72
16	2,2',5,5'-四甲基联苯基	—	—	—	0.65	—
17	2,4-二叔丁基苯酚	0.05	0.28	—	0.46	0.26
18	3-氧代-2-(2-戊烯基)-甲酯环戊烷乙酸	—	—	—	—	0.28
总和		0.25	20.92	18.68	16.54	23.34
总数		4	6	5	7	8

其
他
类

由表 2 可知干燥后的香葱与新鲜香葱相比,挥发性物质有明显差异,且不同干燥方式下脱水香葱的挥发性成分也有明显差异。

新鲜香葱中共检测出 53 种挥发性成分。其中,含硫化合物 17 种,相对含量为 96.75%,相对含量较高的是二丙基二硫,为 49.97%;醇类物质 9 种,相对含量为 0.77%;醛类物质 1 种,相对含量为 0.02%;酯类物质 11 种,相对含量为 0.84%;酮类物质 5 种,相对含量为 0.48%;烷烃类物质 6 种,相对含量为 0.54%;其他 4 种,相对含量为 0.25%。

热风干燥脱水香葱中共检测出 49 种挥发性成分。其中,含硫化合物 11 种,相对含量为 24.86%;醇类物质 3 种,相对含量为 5.38%;醛类物质 6 种,相对含量为 6.96%;酯类物质 12 种,相对含量为 14.61%;酮类物质 5 种,相对含量为 15.01%;烷烃类物质 6 种,相对含量为 8.07%;其他 6 种,相对含量为 20.92%。

红外-热风干燥脱水香葱中共检测出 50 种挥发性成分。其中,含硫化合物 12 种,相对含量为 28.49%;醇类物质 5 种,相对含量为 6.83%;醛类物质 8 种,相对含量为 12.88%;酯类物质 7 种,相对含量为 10.20%;酮类物质 7 种,相对含量为 16.45%;烷烃类物质 6 种,相对含

量为 6.47%;其他 5 种,相对含量为 18.68%。

冷冻干燥脱水香葱中共检测出 66 种挥发性成分。其中,含硫化合物 9 种,相对含量为 17.56%;醇类物质 7 种,相对含量为 6.75%;醛类物质 1 种,相对含量为 0.95%;酯类物质 14 种,相对含量为 13.07%;酮类物质 7 种,相对含量为 13.29%;烷烃类物质 21 种,相对含量为 29.29%;其他 7 种,相对含量为 16.54%。

红外-冷冻干燥脱水香葱中共检测出 53 种挥发性成分。其中,含硫化合物 8 种,相对含量为 21.30%;醇类物质 4 种,相对含量为 3.81%;醛类物质 2 种,相对含量为 1.56%;酯类物质 13 种,相对含量为 12.67%;酮类物质 8 种,相对含量为 21.85%;烷烃类物质 10 种,相对含量为 14.76%;其他 8 种,相对含量为 23.34%。

香葱中主要挥发性物质为含硫化合物^[11],新鲜样品中含硫化合物相对含量占比很大,但经过干燥,尤其是热风、红外等热处理之后含硫化合物种类与相对含量变少,原因可能是热处理会使香葱中的一些成分转变和降解,导致挥发性成分的变化。

不同干燥方法处理后的脱水香葱中烷烃类物质相对含量增加,经过红外-冷冻干燥和冷冻干燥处理后的香葱烷烃类物质种类也增多了,这与田震等^[12]研究热风、微波和超声辅助热风等干燥方法对香葱挥发性物质的结果相符。这可能是因为干燥过程中,某些挥发性物质降解生成烷烃类物质。经过不同干燥方式处理后的脱水香葱醛类、酯类、酮类物质相对含量均增多,酯类物质会使食品产生甜香气味和轻微油脂味^[13],酮类物质能赋予食品焦香气味^[14]。因此,不同干燥方式对新鲜香葱挥发性物质含量有显著影响,脱水香葱的风味是由各类物质共同作用形成的。热风干燥和红外-热风干燥可以显著提高香葱中醛类物质的相对含量,冷冻干燥和红外-冷冻干燥可以显著提高香葱中烷烃类物质的相对含量。

3 结论

本研究通过电子鼻技术和顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术对新鲜香葱与 4 种不同干燥方式下脱水香葱的挥发性成分进行分析,电子鼻对不同干燥方式处理的脱水香葱在传感器 W5S、W1W 和 W2W 上具有较高的响应值。两个主成分 PC1 和 PC2 的贡献率分别为 71.824%和 15.356%,累计方差贡献率为 87.180%(85%以上),可以区分不同干燥处理的脱水香葱的挥发性风味物质,4 种不同干燥方法处理后的脱水香葱共检测出 7 大类挥发性物质:含硫类、醇类、醛类、酯类、酮类、烷烃类和其他化合物,分别检测到 49 种(热风干燥)、50 种(红外-热风干燥)、66 种(冷

冻干燥)和 53 种(红外-冷冻干燥)挥发性物质。热风干燥和红外-热风干燥可以得到风味较好的脱水香葱,由于冷冻干燥温度较低,干燥过程中化合物转化率较低,因此可采用红外-冷冻干燥使脱水香葱产生焦香气味。本研究对比了红外联合热风 and 冻干对脱水香葱挥发性成分的影响,联合干燥方法后的脱水香葱具有更浓郁的风味,为今后开发新型高品质香葱干燥技术提供了一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 尤亚林,李慧,潘思铁,等. 细香葱提取物对人胃癌细胞 SGC7901 抑制作用[J]. 食品科学,2017,38(3):176-181.
- [2] 薛玉峰. 兴化香葱发展方向探讨[J]. 现代园艺,2012(7):18-19,52.
- [3] LANZOTTI V, SCALA F, BONANOMI G. Compounds from *Allium* species with cytotoxic and antimicrobial activity[J]. Phytochemistry Reviews,2014,4(13):769-791.
- [4] REN Z F, YU X J, YAGOU B A B A, et al. Combinative effect of cutting orientation and drying techniques (hot air, vacuum, freeze and catalytic infrared drying) on the physicochemical properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe)[J]. LWT-Food Science and Technology,2021,144:111238.
- [5] 赵慧君,胡事成,张振东,等. 基于电子鼻和 GC-MS 技术对山东成武和广西英家大头菜挥发性物质分析[J]. 中国调味品,2021,46(7):11-16.
- [6] 赵慧君,王玉荣,李昕沂,等. 基于电子鼻和 GC-MS 技术分析大头菜的挥发性风味物质[J]. 中国调味品,2018,43(11):17-22.
- [7] 杨成聪,舒娜,张亦舒,等. 基于电子鼻和 GC-MS 技术对市售酱油风味品质的评价[J]. 中国调味品,2018,43(10):151-155.
- [8] 蒲璐璐,戴怡凤,李豆南,等. 电子鼻和气质联用技术分析不同酒龄酱香型白酒挥发性成分[J]. 中国酿造,2021,40(7):171-175.
- [9] 夏亚男,赵赞,王俊林,等. 基于 GC-MS、智鼻、智舌评价川味火锅调料的风味特征[J]. 食品科技,2021,46(3):267-275.
- [10] 马尧,郝慧慧,张海红,等. GC-MS 结合电子鼻分析不同干燥方式对黄花草粉挥发性物质的影响[J]. 食品科学,2021,43(6):324-330.
- [11] COLINA-COCA C, GONZÁLEZ-PEÑA D, VEGA E, et al. Novel approach for the determination of volatile compounds in processed onion by headspace gas chromatography-mass spectrometry (HS GC-MS)[J]. Talanta,2013,103:137-144.
- [12] 田震,徐亚元,李大婧,等. 基于 SPME-GC-MS 分析不同干燥方式对香葱挥发性成分的影响[J]. 食品工业科技,2021,42(4):232-244.
- [13] 薛妍君. 不同干燥方式对芥菜香气成分及品质的影响[D]. 南京:南京农业大学,2014.
- [14] 张璐,梁锦,黄天姿,等. 单一及混合益生菌发酵猕猴桃果汁的香气成分分析[J]. 食品科学,2021,42(24):213-220.