

干燥及冷冻处理对囊荷花苞挥发性成分的影响

Effects of drying and freezing on volatile components of *Zingiber mioga* (Thunb.) Rosc.

张思颖¹ 罗凤莲^{1,2} 邓森¹ 任书锐¹ 卿志星³

ZHANG Si-jie¹ LUO Feng-lian^{1,2} DENG Miao¹ REN Shu-rui¹ QING Zhi-xing³

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2. 食品科学与生物技术湖南省
重点实验室, 湖南 长沙 410128; 3. 湖南农业大学动物医学院, 湖南 长沙 410128)

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha,
Hunan 410128, China; 2. Hunan Provincial Key Laboratory of Food Science and Biotechnology,
Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 3. College of Veterinary
Medicine, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

摘要:目的:比较囊荷花苞在干燥及冷冻前后挥发性成分
的差异。方法:采用顶空固相微萃取—气质联用法(HS-
SPME-GC-MS)测定干燥及冷冻后囊荷花苞的挥发性成
分,并通过峰面积归一化法计算其相对含量。结果:干燥
及冷冻处理对囊荷花苞的挥发性成分影响显著($P < 0.05$),
在新鲜、干燥和冷冻囊荷花苞中共鉴定出152种挥发
性成分,含有多钟挥发性药效成分,主要以烯烃类为
主,其中 β -水芹烯、 α -律草烯和左旋- β -蒎烯相对含量较
高。干燥及冷冻后囊荷花苞整体挥发性成分数量均明显
减少,新鲜和冷冻样品中烯烃类相对含量较高,干燥后烯
烃类和醇类相对含量较高。干燥及冷冻处理后有25种
挥发性成分得以保留,同时出现了新的挥发性成分,赋予
干燥和冷冻囊荷花苞独特风味。结论:新鲜、干燥和冷冻
的囊荷花苞中含有较多的生理活性成分,干燥处理相较
于冷冻处理对囊荷花苞挥发性成分的相对含量和组成影
响更大,实际生产中根据应用目的选择合适的处理条件。
关键词:囊荷;花苞;干燥;冷冻;顶空固相微萃取—气质
联用法;挥发性成分

Abstract: **Objective:** This study aimed to compare the differences
of volatile components in flower buds of *Zingiber mioga* after dry-
ing and freezing. **Methods:** Volatile components in flower buds
of *Z. mioga* was determined by headspace solid phase microex-
traction Gas Chromatography-Mass Spectrometer (HS-SPME-

GC-MS) after drying and freezing, and the relative content was
calculated by peak area normalization method. **Results:** Drying
and freezing treatment had a significant effect on the volatile com-
ponents of *Z. mioga* flower bud. A total of 152 volatile compo-
nents were identified in fresh, frozen and dried *Z. mioga* flower
bud, containing a variety of volatile pharmacodynamic compo-
nents, mainly olefins, including β -phellandrene, α -humulene and
levorotatory- β -pinene, and their relative content was high. After
drying and freezing, the amount of volatile components in *Z. mi-*
oga flower bud decreased significantly. The relative content of ole-
fins in fresh and frozen samples was higher, and the relative
content of olefins and alcohols after drying was higher. After dry-
ing and freezing treatment, 25 volatile components were re-
tained, and new volatile components appeared, giving the dried
and frozen *Z. mioga* flower bud a unique flavor. **Conclusion:**
Fresh, dried and frozen *Z. mioga* flower bud contains more phys-
iologically active components. Compared with freezing treatment,
drying treatment has a greater impact on the relative content and
composition of volatile components in *Z. mioga* flower bud. In
actual production, appropriate treatment conditions are selected
according to the application purpose.

Keywords: *Zingiber mioga* (Thunb.) Rosc.; flower buds;
drying; freezing; HS-SPME-GC-MS; volatile components

基金项目:湖南省自然科学基金(编号:2021JJ30338);湖南省教
育厅一般项目(编号:19C0895)

作者简介:张思颖,女,湖南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:罗凤莲(1973—),女,湖南农业大学副教授,博士。

E-mail: 1351600014@qq.com

收稿日期:2021-08-26

囊荷[*Zingiber mioga* (Thunb.) Rosc.],又称野姜、
猴姜、茗荷、阳藿等,属于姜科姜属草本植物。其根茎
能入药,具有降血压、降血脂、改善心血管疾病、抗氧化、
抑制炎症等功效^[1-4];花苞、果实有健胃功效,全株还可
以做盆景观花赏叶,具有特殊的辛香味,可加工成营养
品、饮料等高级保健食品,附加值高^[5-6]。谭志伟等^[7-9]

研究表明,囊荷挥发油主要成分为萜烯类化合物如 α -蒎烯、 β -蒎烯、 β -水芹烯等,其中 β -水芹烯的相对含量最高,可抑菌杀虫、加工合成高级香料等,且 α -律草烯、 β -榄香烯等具有生理活性和药用价值。因其水分、糖类物质含量较高,囊荷目前仍以鲜食为主。

顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用(HS-SPME-GC-MS)可同时测定多种化合物,定量精度较高,定性可靠,可真实反映植物的挥发性成分组成。试验拟以新鲜囊荷为原料,采用 HS-SPME-GC-MS 分析囊荷花苞干燥及冷冻处理后挥发性成分的相对含量和种类,研究干燥及冷冻对其挥发性成分的影响,旨在为其综合开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料

囊荷花苞:成熟期时采摘,市售。

1.1.2 主要仪器设备

气质联用仪:GC-MS-QP2010 型,岛津企业管理(中国)有限公司;

恒温加热器:DF-101S 型,江苏省金坛市医疗仪器厂;

萃取头:50/30 μ m DVB/CAR on PDMS,上海安谱科学仪器有限公司;

恒温干燥箱:DHG-9240A 型,上海飞越实验仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品处理 将新鲜囊荷花苞洗净,晾干,取部分样品于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷冻,另取部分样品于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 干燥 4 h,粉碎过 40 目筛,4 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏备用。

1.2.2 挥发性成分提取 称取 3.00 g 样品于 20 mL 顶空瓶中,垫片密封。将 50/30 μ m DVB/CAR/PDMS 萃取头于气相色谱仪中,260 $^{\circ}\text{C}$ 老化 1 h。将装有样品的顶空瓶于 55 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 10 min,将老化的萃取纤维头插入顶空瓶萃取 50 min,然后迅速插进气相色谱进样口解析 4 min,上机进行 GC-MS 测定。

1.2.3 气相色谱及质谱条件

(1) 色谱条件:进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$;载气为高纯 He;载气流速 1 mL/min;程序升温:起始温度 40 $^{\circ}\text{C}$,保持 3 min;以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 280 $^{\circ}\text{C}$,保持 10 min;分流比 10:1。

(2) 质谱条件:离子源 EI;离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$;电离能量 70 eV;接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$;四级杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$;溶剂延迟时间 3 min;质量扫描范围 30~550 amu。

1.2.4 数据分析 挥发性成分经 GC-MS 仪器分析鉴定后,通过检索对比 NIST11 质谱数据库,结合匹配度、保留时间等对比,选择 SI 值 ≥ 90 的化合物作为鉴定结果,利用色谱峰面积归一化法计算各组分的相对含量。

2 结果与分析

2.1 干燥及冷冻处理后囊荷花苞挥发性成分

由表 1 可知,新鲜、干燥和冷冻花苞中分别鉴定出 108,84,55 种挥发性成分。新鲜花苞经干燥或冷冻处理后挥发性成分种类均明显减少,虽然干燥和冷冻前后有 25 种相同的挥发性成分,化学性质稳定,但相对含量存在差异。

由表 1 可知,新鲜样品相对含量最高的是 β -水芹烯(34.67%),其次是 α -律草烯(10.42%)和 β -榄香烯(8.55%);干燥样品中挥发性成分相对含量最高的依次是 β -水芹烯(17.44%)、左旋- β -蒎烯(7.79%)、 α -律草烯(7.18%)等;冷冻样品中主要挥发性成分是左旋- β -蒎烯(23.14%),其次是 α -律草烯(12.60%)。松香芹醇、桃金娘烯醇、乙酸龙脑酯、石竹素等挥发性成分经干燥处理后,相对含量显著增加,可能是高温干燥使囊荷花苞热敏性挥发性成分发生特殊反应生成的。经冷冻后,左旋- β -蒎烯的相对含量由 7.73%增加至 23.14%,成为冷冻样品中主要挥发性成分之一,相对含量增加的还有 α -蒎烯、月桂烯、(E)- β -罗勒烯等。

2.2 干燥及冷冻前后囊荷花苞的挥发性成分组成

由表 2 可知,冷冻后烯烃类、醇类、醛类、酮类和酯类数目均减少,干燥后除烯烃类挥发性成分相对含量减少外,其他类别挥发性成分相对含量增加,变化较大,与唐秋实等^[10-11]的结果基本一致,烯烃类相对含量仍为最高,可能是高温干燥使挥发性成分之间发生相互作用或者分解,其具体机理有待进一步研究。

由表 2 可知,与新鲜样品相比,干燥样品中的烯烃类、醇类、醛类、酮类相对含量变化明显高于冷冻样品,干燥处理相较于冷冻处理对囊荷花苞的挥发性成分影响更大。新鲜和冷冻样品中烯烃类相对含量高,干燥后烯烃类和醇类相对含量较高,如 β -水芹烯、 α -律草烯、左旋- β -蒎烯、 β -榄香烯等烯烃类物质。干燥及冷冻后囊荷花苞整体挥发性成分数量均明显减少,但有 25 种挥发性成分得以保留,同时相比于新鲜样品出现了 45 种新的挥发性成分,共同赋予干燥和冷冻囊荷花苞独特风味。

烯烃类物质是新鲜、干燥和冷冻囊荷花苞挥发性成分中种类最多、相对含量最高的一类化合物,由于阈值较低,对囊荷花苞的风味贡献较大。冷冻处理后相对含量最高的左旋- β -蒎烯,主要用作香精、香料制造的中间体, α -蒎烯可用作合成松油醇、樟脑和香料等;罗勒烯在新鲜、冷冻和干燥样品中均有检出,一般用于香料香水的制作,此外还能提高植物的抗虫特性^[12]; β -石竹烯呈木香和辛香,具有药理活性作用,如消除炎症、抑菌等作用^[13-15]; β -榄香烯带有辛辣的茴香气味,对多种癌症有疗效,且毒副作用小,被广泛应用于临床^[16]; α -律草烯和 β -水芹烯具

表 1 干燥及冷冻处理后襄荷花苞的挥发性成分[†]

Table 1 Volatile components in flower buds of *Zingiber mioga* (Thunb.) Rosc. after drying and freezing

类别	化合物	保留时 间/min	相对含量/%		
			新鲜样品	干燥样品	冷冻样品
烯烴类	苯乙烯	8.780	—	0.13	—
	三环烯	9.830	0.01	—	—
	α -葑烯	10.004	0.27	0.15	0.27
	α -蒎烯	10.234	4.61	4.77	9.25
	蒎烯	10.746	0.14	0.36	0.29
	1-异丙基-4-亚甲基双环[3.1.0]十六烷-2-烯	10.950	—	0.09	—
	3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯	11.643	1.37	0.40	2.44
	左旋- β -蒎烯	11.753	7.73	7.79	23.14
	月桂烯	12.244	3.07	0.68	6.92
	水芹烯	12.673	—	0.82	7.73
	3-葑烯	12.892	0.09	—	0.13
	松油烯	13.118	0.45	0.09	0.16
	<i>O</i> -罗勒烯	13.423	—	4.96	4.86
	β -水芹烯	13.539	34.67	17.44	—
	(<i>E</i>)- β -罗勒烯	13.841	0.52	0.17	1.91
	罗勒烯	14.189	3.15	0.29	4.62
	γ -松油烯	14.558	3.39	—	1.62
	蒎品油烯	15.549	0.32	—	0.45
	别罗勒烯	16.880	0.03	—	—
	3-乙烯基-1,2-二甲基-1,4-环己二烯	16.930	0.03	—	—
	4-乙酰基-1-甲基-环己烯	16.969	—	0.03	—
	(-)- α -萜荳蔻油烯	23.628	0.24	0.50	0.46
	α -古巴烯	24.417	0.25	—	0.62
	榄香烯	24.641	—	—	0.13
	β -榄香烯	24.829	8.55	1.57	3.61
	长叶烯	25.327	—	0.44	—
	α -古尔琼烯	25.390	0.14	—	0.08
	β -石竹烯	25.678	2.79	1.04	2.57
	α -香柠檬烯	26.006	—	0.34	—
	α -人参烯	26.195	0.05	—	—
	Δ -愈创木烯	26.340	0.04	—	—
	(<i>E</i>)- β -金合欢烯	26.460	0.24	—	—
	α -律草烯	26.609	10.42	7.18	12.60
	香树烯	26.812	0.36	1.56	—
	佛术烯	27.140	—	1.00	—
	花柏烯	27.165	0.38	—	—
	大根香叶烯 D	27.321	0.96	—	1.15
	α -法呢烯	27.811	0.55	1.10	—
	β -红没药烯	27.898	0.59	1.57	0.86
	γ -依兰油烯	28.195	0.17	—	—
	β -柏木烯	28.320	0.47	—	—
	Δ -杜松烯	28.360	—	—	0.42

续表 1

类别	化合物	保留时 间/min	相对含量/%		
			新鲜样品	干燥样品	冷冻样品
烯烃类	红没药烯	28.760	0.02	—	—
	α -依兰油烯	28.765	0.06	—	—
	大根香叶烯 B	29.325	0.62	—	0.47
	角鲨烯	29.615	0.11	—	—
	1-羟基-1,7-二甲基-4-异丙基-2,7-环癸二烯	29.765	0.07	—	—
	2,6,10,10-四甲基双环[7.2.0]十一烯-2,6-二烯	39.030	0.01	—	—
	贝壳杉烯	40.285	0.02	—	—
	异戊醇	4.208	0.01	0.06	—
	2-甲基丁醇	4.290	—	0.06	—
	2,3-丁二醇	5.609	—	0.64	—
	叶醇	7.630	0.07	—	—
	正己醇	8.071	0.02	0.07	—
	1-辛烯-3-醇	11.855	—	0.12	—
	苯甲醇	13.744	—	0.18	—
	(1 α ,2 β ,5 α)-2-甲基-5-(1-甲基乙基)双环[3.1.0]己二醇	14.848	0.02	-	—
醇类	芳樟醇	15.896	1.23	0.67	0.46
	法尼醇	16.455	0.06	—	—
	(E)-4-(异丙基)-1-甲基环己-2-烯-1-醇	16.639	0.06	0.64	0.17
	(E)-1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己-2-烯-1-醇	17.085	—	0.13	—
	佛罗莎	17.169	0.05	—	—
	松香芹醇	17.243	0.08	1.72	—
	顺氏马鞭烯醇	17.426	—	0.93	0.09
	左旋龙脑	18.119	0.04	0.72	0.29
	(-)-4-萜品醇	18.465	0.10	1.08	—
	α -松油醇	18.879	—	1.12	—
	桃金娘烯醇	19.085	0.04	2.57	0.39
	檀油醇	19.190	0.02	—	—
	顺式桧醇	19.242	—	0.72	—
	(E)-6-(异丙基)-3-甲基环己-2-烯-1-醇	19.400	0.05	0.49	0.28
	马鞭草烯醇	19.506	—	0.47	—
	顺式-卡维醇	19.745	—	0.81	—
	葛缕醇	20.108	0.01	0.26	—
	(E)-对甲基-2-烯-7-醇	20.936	0.11	0.35	—
	1-癸醇	21.295	0.01	—	—
	4-异丙基-1,5-环己二烯-1-甲醇	21.326	0.01	0.52	—
	双环[3.2.1]辛烷-6-醇	21.550	0.03	—	—
	枯茗醇	21.909	—	1.47	—
	马鞭烯醇	23.985	0.01	—	—
	反式-橙花叔醇	29.230	0.06	0.83	0.17
	桉油烯醇	29.831	0.04	2.32	1.16
	(1R,2S,3S)-1,2-二甲基-3-异丙基环戊醇	31.985	0.12	—	—
	(-)-匙叶桉油烯醇	32.095	0.05	—	—

续表 1

类别	化合物	保留时 间/min	相对含量/%		
			新鲜样品	干燥样品	冷冻样品
醇类	红没药醇	32.262	0.03	—	0.06
	(一)-异长叶醇	33.865	0.07	—	—
	香叶基芳樟醇	38.345	0.03	—	—
	正己醛	5.857	0.02	0.34	—
	2-己烯醛	7.514	0.03	0.17	—
	庚醛	9.152	—	0.16	—
	苯甲醛	11.204	—	0.25	—
	苯乙醛	14.069	—	0.69	0.04
	壬醛	16.048	0.04	0.71	—
醛类	龙脑烯醛	16.804	—	0.28	—
	4-异丙基环己烯醛	18.410	—	—	0.56
	癸醛	19.290	0.04	—	—
	枯茗醛	20.415	—	1.61	—
	4-异丙基环己烯醛	21.488	—	1.75	0.22
	十一醛	22.320	0.02	—	—
	十二醛	25.195	0.02	—	—
	十五醛	32.795	0.50	—	0.08
	(9Z)-9,17-十八二烯醛	36.705	0.02	—	—
	3-羟基-2-丁酮	3.683	0.01	0.02	—
	甲基庚烯酮	12.125	—	0.13	0.02
	2-壬酮	15.644	0.08	—	0.28
	4-异丙基环己酮	17.868	0.10	0.63	—
	2(10)-蒎烯-3-酮	18.026	—	0.76	—
	1-(1,2,3-三甲基环戊烯-2-烯基)-乙酮	18.255	0.04	—	—
酮类	4-异丙基环己-2-烯-1-酮	18.766	0.08	6.50	0.99
	2-癸酮	18.905	0.04	—	—
	左旋香芹酮	20.533	—	0.65	0.07
	胡椒酮	20.856	—	0.55	—
	甲基壬基甲酮	21.902	0.27	—	0.57
	香叶基丙酮	26.360	0.04	0.68	0.07
	植酮	35.690	—	0.11	—
	硫酸二丁酯	4.340	0.01	—	—
	正己酸乙酯	12.540	—	0.20	—
	惕各酸异戊酯	18.977	0.25	—	0.50
酯类	乙酸葑酯	19.787	0.04	—	—
	异戊酸己酯	20.199	—	0.21	—
	己酸异戊酯	20.700	0.01	—	—
	乙酸环辛酯	21.465	0.03	—	—
	乙酸龙脑酯	21.782	0.20	1.25	2.20
	乙酸桃金娘烯醇酯	22.927	0.07	0.42	—
	(Z)-十二烷基-9,11-乙酸二烯酯	31.635	0.27	—	—
	肉豆蔻酸异丙酯	35.255	0.03	—	—
	8-十四炔乙酸酯	36.305	0.01	—	—
	甘油亚麻酸酯	36.470	0.01	—	—
	棕榈酸乙酯	38.790	0.01	—	—
	棕榈酸异丙酯	39.390	0.01	—	—

续表 1

类别	化合物	保留时 间/min	相对含量/%		
			新鲜样品	干燥样品	冷冻样品
其他类	丙酸	3.419	—	0.22	—
	异丁酸	4.798	—	0.31	—
	甲苯	4.945	—	0.04	—
	异戊酸	7.279	—	0.66	—
	2-甲基丁酸	7.655	—	0.54	—
	正戊酸	8.603	—	0.11	—
	苯酚	12.029	0.01	—	—
	丁苯	14.468	—	2.08	0.26
	蒎烷	18.330	0.14	—	—
	2-甲基-3-甲基丁烯酸	18.926	—	—	0.23
	4-异丙基苯酚	19.965	—	0.61	0.06
	壬酸	21.117	—	0.33	—
	(Z)-5-癸烯-7-炔	21.685	0.01	—	—
	吡啶	22.105	0.19	—	—
	1-乙烯基-1-甲基-2-(1-甲基乙烯基)-4-(1-甲基 亚乙基)-环己烷	23.280	0.37	—	0.29
	1-甲基-4-(1-甲基亚乙基)-2-(1-甲基乙烯基)-1- 乙烯基环己烷	25.965	0.37	—	0.22
	阿洛糖	27.055	—	0.64	0.37
	1-甲基-4-(1-甲基亚乙基)-2-(1-甲基乙烯基)-1- 乙烯基环己烷	27.733	2.08	—	2.36
	4,8,8-三甲基-2-亚甲基-4-乙烯基双环[5.2.0]	28.555	0.07	—	—
	壬烷				
	1,2,3,4,6,8 α -六氢-1-异丙基-4,7-二甲基萘	28.614	0.08	—	0.07
	石竹素	30.000	0.54	2.54	0.73
	花生四烯酸	31.770	0.17	—	—
	二十一烷	32.390	0.14	0.20	—
	正二十六烷	36.815	0.03	—	—

† —表示未检出或 SI<90。

表 2 干燥及冷冻后襄荷花苞挥发性成分组成

Table 2 Volatile component composition of flower buds of *Zingiber mioga* (Thunb.) Rosc. after drying and freezing

类别	新鲜样品		冷冻样品		干燥样品	
	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量
烯烃类	86.96	39	86.76	25	54.47	25
醇类	2.43	27	3.15	9	18.95	25
醛类	0.69	8	0.82	4	5.96	9
酮类	0.66	8	2.00	6	10.03	9
酯类	0.95	13	2.70	2	2.08	4
其他	4.20	13	4.59	9	8.28	12
合计		108		55		84

有防癌、抗菌、抗炎作用^[17-18], β -水芹烯仅在新鲜和干燥样品中检出,且所占比例较高,是一种具有生理活性的杀虫剂。

醇类物质在襄荷花苞挥发性成分中相对含量和种类仅次于烯烃类物质,大多具有令人愉快的气味^[19]。干燥后损失部分挥发性成分的同时产生了9种新的醇类物质,而冷冻后损失了19种醇类挥发性成分。干燥样品中相对含量较高的桃金娘烯醇具有樟脑香、木香和薄荷香气^[20];新鲜样品中芳樟醇在醇类物质中相对含量较高,具有镇痛、抗肿瘤和抗菌作用^[21]。相对含量较高的芳樟醇、桃金娘烯醇、反式-橙花叔醇和桉油烯醇等7种挥发性成分在3个样品中均有检出,这些醇类可使襄荷花苞的香气更加协调。

醛、酮、酯类等物质在襄荷花苞挥发性成分中所占比例较低,这些成分相互协同增效,赋予襄荷花苞浓郁的辛香特色。乙酸龙脑酯具有止泻、镇痛作用^[22-23],挥发性好,在冷冻及干燥处理后,相对含量显著增加;己醛呈青草气味,癸醛呈花香、甜香^[24]。酮类物质阈值较高^[25],对襄荷花苞的风味贡献较小,香叶基丙酮在3个样品中均有检出,带有花香及甜香。其他类物质包括酸类、烷烃类、芳香烃、呋喃类、氧化物等,其中石竹素具有促进细胞再生和修复受损细胞的功效^[26]。干燥样品中存在较多的酸类,如丙酸、异丁酸等主要来源于高温下的美拉德反应,赋予干燥襄荷花苞特殊的风味^[27]。

3 结论

通过顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用从新鲜、干燥和冷冻襄荷花苞中共鉴定出152种挥发性成分,主要包括烯烃类、醇类、醛类、酮类和酯类等。烯烃类在新鲜和冷冻样品总挥发性成分中均占86%以上,在干燥样品中占54%以上,是襄荷花苞香气特征的最主要挥发性成分。与新鲜样品相比,冷冻和干燥样品损失了一部分挥发性成分,如松油烯、芳樟醇等,但也增加了一部分药用挥发性成分,如 α -蒎烯、月桂烯、左旋龙脑等;襄荷花苞干燥后,如松香芹醇、桃金娘烯醇等活性物质相对含量明显增加。而干燥和冷冻贮藏过程中挥发性成分的动态变化以及机理还需进一步研究。

参考文献

- [1] SHIN N R, SHIN I S, JEON C M, et al. *Zingiber mioga* (Thunb.) Roscoe attenuates allergic asthma induced by ovalbumin challenge[J]. *Molecular Medicine Reports*, 2015, 12(3): 4 538-4 545.
- [2] KIM A J. Biological activity and manufacturing of Yanggeng with Yangha flower buds[J]. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 2015, 44(8): 1 180-1 185.
- [3] 张思颀, 李梓旋, 宋汶亨, 等. 襄荷中黄酮类化合物的抗氧化性研究[J]. *食品科技*, 2020, 45(7): 230-234.
- ZHANG Si-jie, LI Zi-xuan, SONG Wen-ting, et al. Study on oxida-

- tion resistance of flavonoids in *Zingiber mioga* Rosc.[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(7): 230-234.
- [4] KIM H S, KANG S A. Study of quality characteristics of kimchi added with Yangha (*Zingiber mioga* Rosc)[J]. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 2017, 18(3): 400-407.
- [5] LEE H J, WOO N, KIM A J. Antioxidant activities and quality characteristics of sulgidduk prepared with Yangha buds (*Zingiber Mioga* R.)[J]. *Journal of the Korean Society of Food Culture*, 2014, 29(6): 615-622.
- [6] CHUNG K S, KIM A J. Effects of Korean *Zingiber mioga* R. (flower buds and rhizome) extract on memory[J]. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 2014, 43(10): 1 519-1 526.
- [7] 谭志伟, 余爱农. 茗荷嫩茎中挥发性化学成分分析[J]. *精细化工*, 2008(3): 234-237.
- TAN Zhi-wei, YU Ai-nong. Chemical constituents of the volatiles of *Zingiber mioga* Rosc stem[J]. *Fine Chemicals*, 2008(3): 234-237.
- [8] GYEONG S J, SUNG I I, BOK M J. Effects of antioxidant and flavor components of *Zingiber mioga* Rosc[J]. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, 2007, 15(3): 203-209.
- [9] TAN Zhi-wei, LIU Ying-xuan. Study on extraction and stability of red pigment in *Zingiber mioga* Rosc[J]. *Food Science*, 2008, 29(3): 211-215.
- [10] 潘少香, 郑晓冬, 刘雪梅, 等. 干燥方式对生姜挥发性成分的影响[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(24): 99-104, 115.
- PAN Shao-xiang, ZHENG Xiao-dong, LIU Xue-mei, et al. The difference of aroma quality of ginger treated with different drying methods[J]. *Food Industry Technology*, 2016, 37(24): 99-104, 115.
- [11] 唐秋实, 刘学铭, 池建伟, 等. 不同干燥工艺对杏鲍菇品质和挥发性风味成分的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(4): 25-30.
- TANG Qiu-shi, LIU Xue-ming, CHI Jian-wei, et al. Effects of different drying methods on quality and volatile components of *Pleurotus eryngii*[J]. *Food Science*, 2016, 37(4): 25-30.
- [12] 桂茜. 罗勒烯促进植物抗虫分子机制的初步研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017: 8-16.
- GUI Qian. Preliminary study on the mechanism of ocimene promoting plant insect resistance[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017: 8-16.
- [13] 杨梅. β -石竹烯对缺血再灌注损伤诱导的坏死性凋亡和炎症的影响[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2017: 38-39.
- YANG Mei. Neuroprotective effect of β -caryophyllene on cerebral ischemia-reperfusion injury via regulation of necroptotic neuronal death and HMGB1/TLR4 pathway[D]. Chongqing: Chongqing Medical University, 2017: 38-39.
- [14] 王钰淳, 刘京东, 陈莎, 等. β -石竹烯通过上调 miR-183 的表达减轻小鼠缺血性中风损伤[J]. *第三军医大学学报*, 2020, 42(16): 1 625-1 632.
- WANG Yu-chun, LIU Jing-dong, CHEN Sha, et al. β -Caryophyllene alleviates ischemic stroke injury by upregulating neuronal miR-183 expression in mice[J]. *Journal of Third Military Medical University*, 2020, 42(16): 1 625-1 632.

- [15] 舒慧珍, 唐志凌, 韩薇, 等. 石竹烯对热杀索丝菌的抑菌机理[J]. 食品科学, 2020, 41(15): 31-38.
SHU Hui-zhen, TANG Zhi-lin, HAN Wei, et al. Antibacterial activity and mechanism of caryophyllene against brochothrixthermosphacta[J]. Food Science, 2020, 41(15): 31-38.
- [16] 霍晋彦, 于宗霞, 冯宝民. β -榄香烯的药理活性研究概况[J]. 中国化工贸易, 2019, 11(2): 235-235.
HUO Jin-yan, YU Zong-xia, FENG Bao-min. Overview of pharmacological activity research of β -elemene[J]. China Chemical Trade, 2019, 11(2): 235-235.
- [17] 周露, 谢文申, 江明. 2 种云南主要食用姜的挥发性成分研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(24): 95-97.
ZHOU Lu, XIE Wen-shen, JIANG Ming. Volatile components of two main kinds of edible gingers in Yunnan province[J]. Anhui Agricultural Science, 2016, 44(24): 95-97.
- [18] 李其书, 范怀焰, 石必凤, 等. 董酒中健康价值生物活性物质的探讨(四)[J]. 酿酒科技, 2020(9): 119-123.
LI Qi-shu, FAN Huai-yan, SHI Bi-feng, et al. Healthcare value and bioactive substance of Dongjing(IV)[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2020(9): 119-123.
- [19] 李松林, 蒋长兴, 聂凌鸿, 等. 风鸡腌制和风干过程中挥发性成分的变化[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(3): 191-198.
LI Song-lin, JIANG Chang-xing, NIE Ling-hong, et al. Changes of volatile compounds during curing and drying of air-dried chicken[J]. Food and Fermentation Industry, 2015, 41(3): 191-198.
- [20] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 67-72
SUN Bao-guo. Edible flavoring[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010: 67-72.
- [21] 姜冬梅, 朱源, 余江南, 等. 芳樟醇药理作用及制剂研究进展[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(18): 3 530-3 533.
JIANG Dong-mei, ZHU Yuan, YU Jiang-nan, et al. Advances in research of pharmacological effects and formulation studies of Linalool[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2015, 40(18): 3 530-3 533.
- [22] 李晓光, 叶富强, 徐鸿华. 砂仁挥发油中乙酸龙脑酯的药理作用研究[J]. 华西药理学杂志, 2001, 16(5): 356-358.
LI Xiao-guang, YE Fu-qiang, XU Hong-hua. Study on pharmacological effects of bornyl acetate in amomum villosum[J]. West China Journal of Pharmaceutical Sciences, 2001, 16(5): 356-358.
- [23] 李晓光, 叶富强, 徐鸿华. 乙酸龙脑酯药理作用的实验研究[J]. 浙江中医学院学报, 2001, 25(3): 49-50.
LI Xiao-guang, YE Fu-qiang, XU Hong-hua. Studies on pharmacological effects of bornyl acetate[J]. Journal of Zhejiang College of Traditional Chinese Medicine, 2001, 25(3): 49-50.
- [24] 肖凌, 毛世红, 童华荣. 3 种香型凤凰单丛茶挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 233-239.
XIAO Ling, MAO Shi-hong, TONG Hua-rong. Analysis of volatile components of three types of Fenghuang Dancong tea[J]. Food Science, 2018, 39(20): 233-239.
- [25] 韩颖, 王鹏, 何莲, 等. 干燥方式对藿香挥发性物质的影响[J]. 中国调味品, 2020, 45(11): 101-107.
HAN Ying, WANG Peng, HE Lian, et al. The effects of different drying methods on volatile flavor components of daylily powder were analyzed by GC-MS combined with electronic nose[J]. China Condiment, 2020, 45(11): 101-107.
- [26] 张升盛, 贾金艳, 杨林, 等. 一测多评法同时测定魅力年华喷雾剂中 7 种有效成分的含量[J]. 中国现代应用药理学, 2021, 38(8): 971-976.
ZHANG Sheng-sheng, JIA Jing-yan, YANG Lin, et al. Simultaneous determination of 7 effective components in Meili Nianhua spray by quantitative analysis of multi-components by single marker[J]. Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy, 2021, 38(8): 971-976.
- [27] EDRIS A E, MURKOVIC M, SIEGMUND B. Application of head-space-solid-phase microextraction and HPLC for the analysis of the aroma volatile components of treacle and determination of its content of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1 310-1 314.

(上接第 96 页)

- [11] 吴范徐齐, 许蔷, 刘生, 等. 基于咀嚼特性的少自由度咀嚼机器人设计[J]. 机械传动, 2019, 43(8): 52-58.
WU Fan-xu-qi, XU Qiang, LIU Sheng, et al. Design of chewing robot with less degrees of freedom based on chewing characteristic[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2019, 43(8): 52-58.
- [12] 杨嘉琦. 五自由度智能义齿机器人研制[D]. 吉林: 东北电力大学, 2019: 8-18.
YANG Jia-qi. 5-DOF Intelligent dental robot design [D]. Jilin: Northeast Electric Power University, 2019: 8-18.
- [13] 温海营, 任翔, 徐卫良, 等. 咀嚼机器人颞下颌关节仿生设计及试验测试[J]. 吉林大学学报(工学版), 2019, 49(3): 943-952.
WEN Hai-ying, REN Xiang, XU Wei-liang, et al. Bionic design and experimental test of temporomandibular joint for masticatory robot[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2019, 49(3): 943-952.
- [14] 任杰. 基于绳索驱动的仿下颌运动机构设计与分析[D]. 大连: 大连理工大学, 2019: 15-19.
REN Jie. Design and analysis of a cable-driven parallel mechanism for jaw movement[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2019: 15-19.
- [15] 汤文杰. 六自由度咀嚼机设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2017: 11-19.
TANG Wen-jie. Design and implementation of six degree of freedom chewing machine[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2017: 11-19.
- [16] KALANI H, MOGHIMI S, AKBARZADEH A. Toward a bio-inspired rehabilitation aid: sEMG-CPG approach for online generation of jaw trajectories for a chewing robot[J]. Biomedical Signal Processing & Control, 2019, 51: 285-295.