

袁华伟,尹礼国,徐 洲,等. 5 种蔬菜中风味物质成分分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(1):192-196.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.01.047

5 种蔬菜中风味物质成分分析

袁华伟^{1,2}, 尹礼国^{1,2}, 徐 洲^{1,2}, 张长贵^{1,2}, 刘琨毅³

(1. 宜宾学院生命科学与食品工程学院,四川宜宾 644000; 2. 固态发酵资源利用四川省重点实验室,四川宜宾 644000;
3. 宜宾职业技术学院,四川宜宾 644003)

摘要:以 5 种蔬菜为原料,采用固相微萃取方法提取风味物质,然后用气相色谱-质谱进行定性定量分析其风味物质成分,通过对萃取温度和时间选择来优化其试验条件。从萝卜(*Raphanus sativus*)、豇豆(*Vigna unguiculata*)、白菜(*Brassica chinensis*)、榨菜(*Brassica juncea* var. *tumida*)、茼蒿(*Brassica juncea* var. *megarrhiza*)中分别检测到 19、21、15、7、9 种风味物质。结果表明,不同的蔬菜具有不同的风味物质成分,包括酯类、萜烯类、醚类、酮类和酸类等。萝卜、豇豆、茼蒿中的主要风味物质分别为 4-(甲硫基)-3-丁烯基异硫氰酸酯、乙酸叶醇酯、异硫氰酸苯乙酯,分别占 61.14%、55.00%、56.45%;白菜、榨菜中的主要风味物质为异硫氰酸烯丙酯,分别占 75.97%、62.00%。研究结果可为评价蔬菜的风味提供参考,为蔬菜生产加工提供理论依据。

关键词:固相微萃取;气相色谱串联质谱法;风味物质;蔬菜

中图分类号: TS255.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)01-0192-05

蔬菜与人们的生活息息相关,它不仅丰富了人们的饮食生活,更成为人们摄取营养的重要途径,也是食品加工业的原材料^[1]。不同品种的蔬菜香味差异较大,蔬菜的香味可以客观反映其成熟程度和风味特点,是评价蔬菜风味品质的重要指标^[2]。蔬菜中的风味物质是由不同挥发性成分组成的混合物,主要包括酯类、醚类、酮类、醇类、萜烯类以及含硫化合物等,蔬菜散发出的香味是由其中含有的各种具有芳香气味的化学物质共同作用的结果^[3-4]。

蔬菜的风味物质是影响其香气的重要因素,目前对蔬菜风味的研究还较少,主要是针对产品生产工艺和加工产品的风味而进行的^[5-10],缺乏对蔬菜风味的品质评定标准,不利于蔬菜的规模化种植及加工生产。研究蔬菜挥发性香气成分及主体风味物质,不仅可以了解蔬菜生长过程的物质代谢、生长环境、施肥处理对蔬菜风味成分种类及数量的影响,而且能够找出影响蔬菜感官品质的内在因素^[11]。这对提高蔬菜产品的质量和确定蔬菜的加工工艺都具有十分重要的意义。

对食品风味物质成分的分析较为常用的方法为顶空固相微萃取-气质联用方法^[12-13]。固相微萃取(SPME)技术是一种新型的无溶剂样品前处理技术,集萃取、浓缩、解吸于一体,可方便地与气相色谱质谱联用,能快速对各种试验材料中挥发性成分进行高效提取且操作简单,易与其他分析仪器联用,是一种绿色、高效的样品前处理技术,能够快速、高效地进行样品的提取、分离和分析^[14-15]。固相微萃取已经被广泛应

用于雪里蕻^[16]、韭菜^[17]等不同植物样品中香气成分的分析。为了探索萝卜、豇豆、白菜、榨菜、茼蒿等几种蔬菜的独特香气成分,从风味化学角度解释其香气成分差异,本研究使用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱(HS-SPME GC-MS)对 5 种蔬菜的香气成分进行提取分析和鉴定,旨在通过分析它们的主要风味物质,找出不同蔬菜品种中的特征香气成分,为评价蔬菜的风味提供参考,以及为蔬菜的生产加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

萝卜(*Raphanus sativus*)、豇豆(*Vigna unguiculata*)、白菜(*Brassica chinensis*)、榨菜(*Brassica juncea* var. *tumida*)、茼蒿(*Brassica juncea* var. *megarrhiza*)均由四川省宜宾市翠屏区绿野蔬菜种植专业合作社提供。要求样品新鲜、无腐烂变质,运送至实验室后,洗净晾干备用。

1.2 仪器与设备

5975C-7890A 气相色谱-质谱联用仪(美国安捷伦公司);65 μ m PDMS/DVB(聚二甲基硅氧烷/二乙烯基苯)萃取头,15 mL 顶空钳口样品瓶,手动 SPME 进样器(Supleco 公司);恒温加热磁力搅拌器 78HW-1(浙江杭州仪表电机有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 顶空固相微萃取 样品处理:称取 2.00 g 捣碎的蔬菜,放入顶空样品瓶中,加入 5 mL 超纯水并摇匀,放置于恒温磁力搅拌器上,在不同温度下水浴 20 min,将萃取针放入样品瓶中,在不同温度条件下萃取不同的时间,然后把萃取头退回,拔出萃取针。平衡与萃取过程中均进行磁力搅拌,搅拌速度为 100 r/min。将萃取针插入气相色谱仪进样口,推出纤维头,250 $^{\circ}$ C 热解析 5 min 后,开始进行分析,老化萃取头 20 min 后拔出萃取针。

收稿日期:2018-03-02

基金项目:四川省宜宾市科技局重点科技项目(编号:2013NY033);
固态发酵资源与利用四川省重点实验室开放基金(编号:2015GTY008)。

作者简介:袁华伟(1967—),男,四川安岳人,博士,副教授,主要从事食品发酵工艺及加工技术研究。E-mail:843204747@qq.com。

通信作者:尹礼国,博士,教授,主要从事食品发酵研究。E-mail:156948727@qq.com。

萃取温度的选择:分别在 40、45、50、55、60 ℃ 条件下萃取,经 GC-MS 检测后通过比较色谱峰的总面积和数量确定最佳萃取温度。

萃取时间的优化:在最优温度条件下分别萃取 10、15、20、25、30 min,经 GC-MS 检测后通过比较色谱峰的总面积和数量确定最佳萃取时间。

1.3.2 GC-MS 检测 色谱条件:色谱柱为 HP-5MS[5% Phenyl Methyl Silox(苯基-甲基聚硅氧烷),30 m×0.25 mm,0.25 μm]弹性石英毛细管柱。初始温度为 40 ℃,保持 3 min,5 ℃/min 升温至 100 ℃,3 ℃/min 升温至 175 ℃,10 ℃/min 升温至 215 ℃,保持 10 min,不分流。气化室温度为 250 ℃。

质谱条件:电子轰击离子源(EI),电子能量为 70 eV,离子源温度为 230 ℃;接口温度为 250 ℃。质量扫描范围: m/z 为 35~400。

1.4 定性定量分析

定性:选择 NIST 11. L 质谱数据库对各色谱峰进行定性分析,筛选匹配度小于 80% 的物质,选择匹配度最高的物质作为定性结果。通过 CAS(美国化学会的下设组织化学文摘社)号在 www.ichemistry.cn 网站上查询中英文名称。

定量:用峰面积归一化法确定不同原料中各化合物的相对百分比。

2 结果与分析

2.1 顶空固相微萃取条件的优化

2.1.1 萃取温度的选择 不同萃取温度条件下 5 种蔬菜混合样色谱分析结果如图 1 所示。萃取温度低于 50 ℃ 时,色谱峰数量较少,这可能是蔬菜中的挥发性成分挥发速度慢导致的。萃取温度升高时,萃取峰的数量也低于 50 ℃ 条件下的有效峰数量,可能是温度过高导致挥发性物质在萃取头涂层中吸附量下降导致的。温度对萃取头的萃取效果有双重影响,温度升高时,有利于分析物在基质中的扩散,从而缩短萃取时间,但升高温度也会使分析物在涂层中的分配系数降低,导致吸附量减小,影响萃取头的灵敏度。在 50 ℃ 条件下的萃取峰数量最多,色谱图的总面积也最大,说明蔬菜的风味物质在 50 ℃ 条件下的萃取效果最佳。因此,选择 50 ℃ 作为蔬菜香气成分的萃取温度。

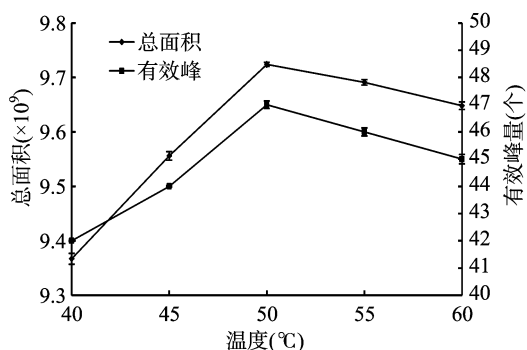


图1 不同萃取温度对色谱分析的影响

2.1.2 萃取时间的选择 5 种蔬菜的混合样在 50 ℃ 条件下萃取不同的时间,其色谱分析结果如图 2 所示。随着萃取时间的增加,萃取峰面积增加,有效峰数量也增加,当萃取时间

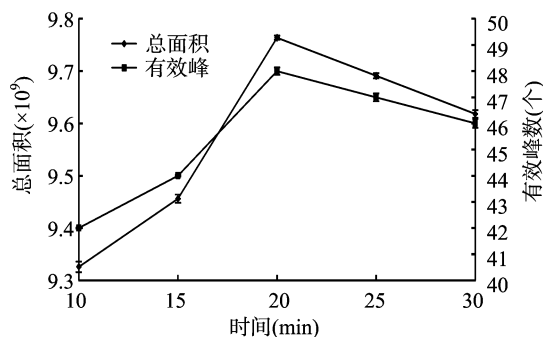


图2 不同萃取时间对色谱分析的影响

超过 20 min 时,萃取峰面积开始减小,但对有效峰数量影响不大。因此,选择 20 min 作为蔬菜风味成分的萃取时间。

2.2 5 种蔬菜挥发性风味物质的总离子流图

通过对萝卜、豇豆、白菜、榨菜、茼蒿的风味物质成分进行分析,其 GC-MS 总离子图谱见图 3。可以看出,5 种蔬菜挥发性风味物质的总离子流图有明显的差别,其保留时间和有效峰数量都有明显的不同,表明不同的蔬菜含有的挥发性风味物质有所不同。

2.3 5 种蔬菜的风味物质成分

2.3.1 萝卜的风味物质成分及其相对含量 由表 1 可知,从萝卜中共检测到 19 种风味物质成分,分别属于酯类、醇类、醚类、烷类、腈类、酸类和醛类。酯类化合物有 10 种,占总量的 73.93%,主要有 4-(甲硫基)-3-丁烯基异硫氰酸酯(61.14%)、异硫氰酸己酯(3.53%)、异硫氰酸戊酯(2.68%)、3-(甲基硫代)苯基异硫氰酸酯(2.01%)。醇类有 2 种,占总量的 14.78%,分别为 2,3-二甲基-3-己醇(10.66%)、甲硫醇(4.12%)。醚类有 2 种,占总量的 3.99%,分别为二甲基二硫醚(3.52%)、二甲基三硫醚(0.47%)。烷类有 2 种,占总量的 1.01%。腈类、酸类、醛类各 1 种,分别为 3-甲基-β-氧代-2-吡啶丙腈(4.69%)、棕榈酸(1.18%)、壬醛(0.42%)。

2.3.2 豇豆的风味物质成分及其相对含量 由表 2 可知,从豇豆中共检测到 21 种风味物质成分,分别属于酯类、烯炔类、酮类、酸类、醛类和醇类。酯类化合物有 9 种,占总量的 89.80%,主要有乙酸叶醇酯(55.00%)、(Z)-己酸-3-己烯酯(14.67%)、乙酸己酯(13.34%)、己酸己酯(5.63%)。烯炔类有 3 种,占总量的 3.16%,分别为 β-没药烯(1.09%)、α-姜黄烯(1.21%)、β-倍半水芹烯(0.86%)。酮类有 4 种,占总量的 2.38%,主要有 3-辛酮(1.39%)、Ar-姜黄酮(0.60%)、β-姜黄酮(0.28%)。酸类有 2 种,占总量的 1.32%,分别为 2,3-二甲基-2-丁烯酸(1.10%)、棕榈酸(0.22%)。醇类有 2 种,占总量的 3.11%,分别为 1-辛烯-3-醇(2.08%)、3-丁烯-2-醇(1.03%)。醛类有 1 种,为棕榈醛(0.36%)。

2.3.3 白菜的风味物质成分及其相对含量 由表 3 可知,从白菜中共检测到 15 种风味物质成分,分别属于酯类、萜烯类、酮类和酸类。硫氰酸酯类有 8 种,占总量的 98.68%,主要有异硫氰酸烯丙酯(75.97%)、异硫氰酸丁酯(8.42%)、异硫氰酸环丙酯(5.21%)。乙酯类有 2 种,分别为棕榈酸乙酯(0.20%)、亚麻酸乙酯(0.30%)。烯类化合物有 3 种,均为倍

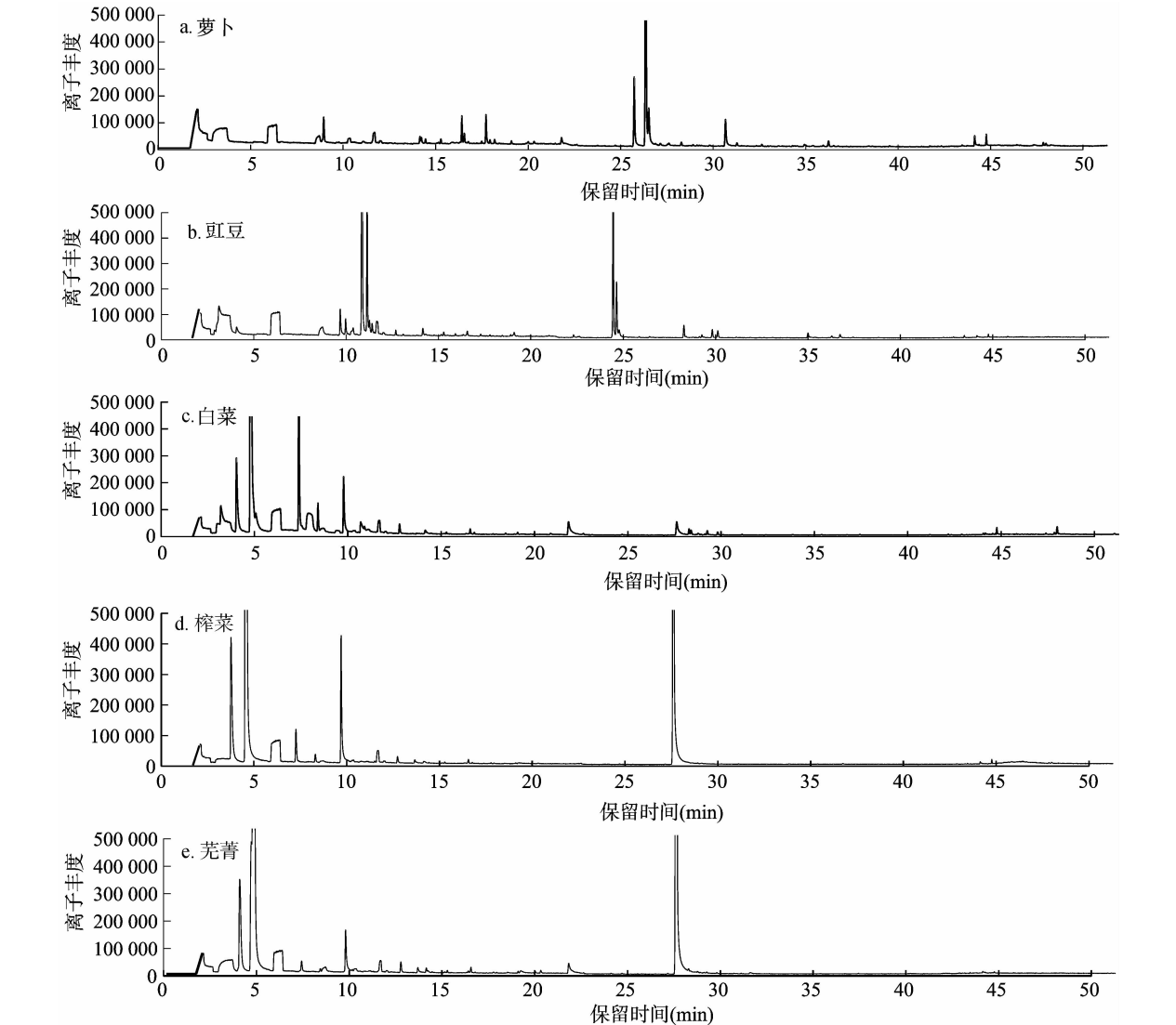


图3 5 种蔬菜风味物质成分的总离子流图

表 1 萝卜的主要风味物质成分

序号	保留时间 (min)	化合物名称	峰面积比 (%)	类别
1	2.47	甲硫醇(methanethiol)	4.12±0.016	醇
2	7.39	异硫氰酸丁酯(butyl isothiocyanate)	1.01±0.010	酯
3	8.95	二甲基二硫醚(dimethyl disulfide)	3.52±0.021	醚
4	14.23	3-甲基异硫氰酸丁酯(3-methylbutyl isothiocyanate)	0.78±0.012	酯
5	14.45	壬醛(nonanal)	0.42±0.014	醛
6	16.41	异硫氰酸戊酯(pentyl isothiocyanate)	2.68±0.013	酯
7	17.72	异硫氰酸己酯(hexyl isothiocyanate)	3.53±0.015	酯
8	18.18	二甲基三硫醚(dimethyl trisulfide)	0.47±0.017	醚
9	21.80	3-(甲基硫代)丙基硫代异氰酸酯[3-(methylthio) propyl isothiocyanate]	1.05±0.022	酯
10	25.73	3-(甲基硫代)苯基异硫氰酸酯[3-(methylthio) phenyl isothiocyanate]	2.01±0.021	酯
11	26.35	4-(甲基基)-3-丁烯基异硫氰酸酯[4-isothiocyanato-1-(methylthio)-1-butene]	61.14±0.054	酯
12	26.52	2,3-二甲基-3-己醇(2,3-dimethylhexan-3-ol)	10.66±0.043	醇
13	30.66	3-甲基-β-氧代-2-吡啶丙腈[3-(3-methylpyridin-2-yl)-3-oxopropanenitrile]	4.69±0.020	腈
14	34.93	二十烷(eicosane)	0.25±0.011	烷
15	36.24	十七烷(heptadecane)	0.76±0.012	烷
16	44.14	棕榈酸(hexadecanoic acid)	1.18±0.032	酸
17	44.76	棕榈酸乙酯(ethyl palmitate)	0.95±0.012	酯

续表 1

序号	保留时间 (min)	化合物名称	峰面积比 (%)	类别
18	47.85	亚油酸乙酯(ethyl linoleate)	0.44 ± 0.015	酯
19	47.99	(Z,Z)-9,12-十八烯酸丁酯[butyl (9Z,12Z)-9,12-octadecadienoate]	0.34 ± 0.013	酯

表 2 豇豆的主要风味物质成分

序号	保留时间 (min)	化合物名称	峰面积比 (%)	类别
1	9.67	1-辛烯-3-醇(1-octen-3-ol)	2.08 ± 0.012	醇
2	9.97	3-辛酮(3-octanone)	1.39 ± 0.022	酮
3	10.83	乙酸叶醇酯(cis-3-hexenyl acetate)	55.00 ± 0.840	酯
4	11.13	乙酸己酯(hexyl acetate)	13.34 ± 0.095	酯
5	11.26	(Z)-己-2-烯基乙酸酯[(Z)-hex-2-enyl acetate]	0.34 ± 0.015	酯
6	11.40	3-丁烯-2-醇(3-buten-2-ol)	1.03 ± 0.027	醇
7	18.90	Z-3-甲基丁酸-3-己烯酯(cis-3-hexenyl isovalerate)	0.14 ± 0.004	酯
8	22.30	(Z)-3-甲基-2-丁烯酸-3-己烯酯(3-hexenyl 3-methyliso crotonate)	0.28 ± 0.008	酯
9	24.43	(Z)-己酸-3-己烯酯(caproic acid hexenyl ester)	14.67 ± 0.017	酯
10	24.66	己酸己酯(hexyl caproate)	5.63 ± 0.053	酯
11	24.77	2,3-二甲基-2-丁烯酸(2,3-dimethyl-2-butenic acid)	1.10 ± 0.030	酸
12	28.27	α-姜黄烯(α-curcumenene)	1.21 ± 0.042	萜烯
13	28.38	β-紫罗兰酮(β-ionene)	0.11 ± 0.002	酮
14	29.26	β-没药烯(β-bisabolene)	1.09 ± 0.026	萜烯
15	29.82	β-倍半水芹烯(β-sesquiphellandrene)	0.86 ± 0.010	萜烯
16	35.00	Ar-姜黄酮(Ar-turmerone)	0.60 ± 0.026	酮
17	36.28	β-姜黄酮(β-turmerone)	0.28 ± 0.012	酮
18	36.73	棕榈醛(hexadecanal)	0.36 ± 0.013	醛
19	43.46	棕榈酸甲酯(methyl hexadecanoate)	0.21 ± 0.010	酯
20	44.14	棕榈酸(n-hexadecanoic acid)	0.22 ± 0.009	酸
21	44.75	棕榈酸乙酯(ethyl palmitate)	0.19 ± 0.006	酯

表 3 白菜的主要风味物质成分

序号	保留时间 (min)	化合物名称	峰面积比 (%)	类别
1	3.87	异硫氰酸环丙酯(cyclopropyl isothiocyanate)	5.21 ± 0.012	酯
2	4.16	硫氰酸甲酯(methyl thiocyanate)	2.18 ± 0.110	酯
3	4.81	异硫氰酸烯丙酯(allyl isothiocyanate)	75.97 ± 1.030	酯
4	7.39	异硫氰酸丁酯(butyl isothiocyanate)	8.42 ± 0.054	酯
5	8.40	异硫氰酸异丁酯(isobutyl isothiocyanate)	1.12 ± 0.014	酯
6	9.79	3-丁烯基异硫氰酸酯(3-butenyl isothiocyanate)	2.86 ± 0.017	酯
7	21.83	3-(甲基硫代)丙基硫代异氰酸酯[3-(methylthio) propyl isothiocyanate]	1.50 ± 0.012	酯
8	27.61	异硫氰酸苯乙酯(phenylethyl isothiocyanate)	1.42 ± 0.013	酯
9	28.28	α-姜黄烯(α-curcumenene)	0.24 ± 0.010	萜烯
10	28.39	β-紫罗兰酮(β-ionone)	0.17 ± 0.013	酮
11	29.26	α-雪松烯(α-himachalene)	0.18 ± 0.014	萜烯
12	29.81	β-倍半水芹烯(β-sesquiphellandrene)	0.14 ± 0.004	萜烯
13	44.14	棕榈酸(hexadecanoic acid)	0.062 ± 0.002	酸
14	44.76	棕榈酸乙酯(ethyl palmitate)	0.20 ± 0.010	酯
15	48.00	亚麻酸乙酯(ethyl linolenate)	0.30 ± 0.012	酯

倍半萜烯类,占总量的 0.56%,分别为 α-姜黄烯(0.24%)、α-雪松烯(0.18%)、β-倍半水芹烯(0.14%)。酮类和酸类各有 1 种,分别为 β-紫罗兰酮(0.17%)和棕榈酸(0.062%)。

2.3.4 榨菜的风味物质成分及其相对含量 由表 4 可知,从榨菜中共检测到 7 种风味物质成分,除 1 种醚类外,其余属于

酯类。榨菜的主要挥发性成分是异硫氰酸酯类,为影响榨菜风味的主要物质,占总量的 99.82%,主要有异硫氰酸烯丙酯(62.00%)、异硫氰酸苯乙酯(30.31%)、异硫氰酸环丙酯(4.21%)。其他物质有二甲基三硫醚(0.13%)。

2.3.5 芜菁的风味物质成分及其相对含量 由表 5 可知,从芜菁中检测到 9 种风味物质成分,分别属于酯类、腈类、腈类。

表 4 榨菜的主要风味物质成分

序号	保留时间 (min)	化合物名称	峰面积比 (%)	类别
1	3.87	异硫氰酸环丙酯(cyclopropyl isothiocyanate)	4.21 ± 0.012	酯
2	4.68	异硫氰酸烯丙酯(allyl isothiocyanate)	62.00 ± 0.130	酯
3	8.40	异硫氰酸异丁酯(isobutyl isothiocyanate)	0.18 ± 0.006	酯
4	9.72	3-丁烯基异硫氰酸酯(3-butenyl isothiocyanate)	3.12 ± 0.014	酯
5	18.18	二甲基三硫醚(dimethyl trisulfide)	0.13 ± 0.001	醚
6	27.63	异硫氰酸苯乙酯(phenylethyl isothiocyanate)	30.31 ± 0.580	酯
7	44.76	棕榈酸乙酯(ethyl palmitate)	0.058 ± 0.001	酯

表 5 芜菁的主要菜风味物质成分

序号	保留时间 (min)	化合物名称	峰面积比 (%)	类别
1	4.16	硫氰酸甲酯(methyl thiocyanate)	2.56 ± 0.016	酯
2	4.76	异硫氰酸烯丙酯(allyl isothiocyanate)	39.46 ± 0.025	酯
3	8.43	异硫氰酸异丁酯(isobutyl isothiocyanate)	0.042 ± 0.001	酯
4	8.68	(4-甲氧基苯基)-氧代-乙醛肟[2-hydroxyimino-1-(4-methoxyphenyl)ethanone]	0.19 ± 0.002	肟
5	9.81	3-丁烯基异硫氰酸酯(4-isothiocyanatobut-1-ene)	0.87 ± 0.014	酯
6	19.26	苯代丙腈(3-phenyl propionitrile)	0.093 ± 0.002	腈
7	21.83	3-(甲硫基)丙基异硫氰酸酯[3-(methylthio)propyl isothiocyanate]	0.38 ± 0.012	酯
8	27.66	异硫氰酸苯乙酯(phenethyl isothiocyanate)	56.45 ± 0.014	酯
9	44.76	棕榈酸乙酯(ethyl palmitate)	0.013 ± 0.000	酯

硫氰酸酯类有 5 种,占总量的 99.76%,主要有异硫氰酸苯乙酯(56.45%)、异硫氰酸烯丙酯(39.46%)。其他物质有(4-甲氧基苯基)-氧代-乙醛肟(0.19%)、苯代丙腈(0.09%)、棕榈酸乙酯(0.013%)。

3 讨论与结论

蔬菜的风味物质不仅与本身的品种密切相关,还与蔬菜中的微生物及体内酶类的作用有关,生长环境、施肥处理也会造成蔬菜风味成分种类及数量的变化,形成不同的风味差别。

通过对 5 种蔬菜的风味物质成分进行测定,发现其种类和数量差异较大。萝卜、白菜、榨菜、芜菁中含量最高的是异硫氰酸酯类,萝卜中为 4-(甲硫基)-3-丁烯基异硫氰酸酯,白菜和榨菜中为异硫氰酸烯丙酯,芜菁中为异硫氰酸苯乙酯,说明异硫氰酸酯类对这 4 种蔬菜的风味影响较大。而豇豆中风味物质成分含量最高的是乙酸叶醇酯,其次为(Z)-己酸-3-己烯酯、乙酸己酯,这些酯类物质具有特殊的香气,对豇豆的风味影响很大。异硫氰酸酯类物质具有辛辣味;醛类物质具有奶酪香、果香味等特殊香气;酮类物质具有甘草气味;萜烯类物质能够赋予蔬菜清香气味。醛类、酮类和萜烯类物质含量虽然低,但对蔬菜的风味具有重要影响,所有这些物质组合在一起构成了蔬菜的独特风味。

参考文献:

[1]李河山. 蔬菜养生与饮食[J]. 中国食品,2015(6):118-119.
[2]王建华,王汉忠. 果蔬芳香物质的研究方法[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),1996(2):219-226.
[3]吴 澎,周 涛,寇丽娟,等. 自动化静态顶空/气相色谱-质谱对胶州大白菜中风味物质的快速分析[J]. 食品科学,2009,30(12):215-218.

[4]吴 波,张寒俊. 固相微萃取-气相色谱/质谱测定蔬菜中风味物质的研究[J]. 分析仪器,2006(2):25-31.
[5]陈 弦,张 雁,陈于陇,等. 发酵蔬菜风味形成机制及其分析技术的研究进展[J]. 中国食品学报,2014,14(2):217-224.
[6]徐 俐,胡伯凯,吴康云,等. 八种高盐腌制芥菜挥发性风味物质的对比分析[J]. 食品与机械,2013(5):10-14.
[7]邓 静,李萍萍. 大头菜腌制过程中挥发性香味物质变化分析[J]. 食品科学,2013,34(24):225-229.
[8]邓应钦. 超高压处理对四川泡菜风味的影响[D]. 雅安:四川农业大学,2014.
[9]章 献,赵 勇,刘 源,等. 2 种韩国泡菜挥发性风味物质分析研究[J]. 食品与发酵工业,2009,35(1):150-156.
[10]陈 功,张其圣,余文华,等. 四川泡菜挥发性成分及主体风味物质的研究(二)[J]. 中国酿造,2010(12):19-23.
[11]王 萍,魏 珉,刘贤娴,等. 不同施肥处理对萝卜风味物质影响的 GC-MS 分析[J]. 山东农业科学,2014(9):74-77.
[12]刘 源,周光宏,徐幸莲. 固相微萃取及其在食品分析中的应用[J]. 食品与发酵工业,2003,29(7):83-87.
[13]余云丹. 固相微萃取及其在食品分析中的应用研究[J]. 科技展望,2017,27(14):78.
[14]Vas G,Vékey K. Solid-phase microextraction: a powerful sample preparation tool prior to mass spectrometric analysis[J]. Journal of Mass Spectrometry,2004,39(3):233-254.
[15]李 盼,吴 玲,冯 旭,等. 固相微萃取技术研究进展[J]. 亚太传统医药,2016,12(1):52-55.
[16]Zhao D,Tang J,Ding X. Analysis of volatile components during potherb mustard (Brassica juncea, Coss.) pickle fermentation using SPME-GC-MS[J]. LWT - Food Science and Technology, 2007,40(3):439-447.
[17]郭风领,吴金平,矫振彪,等. 顶空固相微萃取气质联用检测高山根韭菜挥发性风味物质[J]. 长江蔬菜,2017(6):25-28.