HS-SPME-GC-MS 分析马铃薯挥发性风味物质

曾著莉[1]，魏晋梅[2]，牛黎莉[1]，汪 月[1]，赖兴娟[1]，张盛贵*[1]
（1. 甘肃农业大学 食品科学与工程学院，甘肃 兰州 730070；2. 甘肃农业大学研究测试中心，甘肃 兰州 730070）

摘要：采用顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱联用法(HS-SPME-GC-MS)分析了马铃薯挥发性风味物质。经分析鉴定，在鲜马铃薯中得到 30 种挥发性风味物质，蒸熟马铃薯泥中得到 31 种，60 ℃下保温 3 h 的马铃薯泥中得到 37 种。鲜马铃薯中的主要挥发性风味物质是碳氢化合物，包括甲基环戊烷(25.74%)、正己烷(5.86%)、正戊烷(5.93%)等；蒸熟马铃薯泥和 60 ℃下保温 3 h 马铃薯泥中的主要挥发性风味物质是醛类，包括己醛(88.92%)、戊醛(3.437%)、(Z)-2-庚烯醛(2.077%)、壬醛(0.748%)等。

关键词：马铃薯；挥发性风味物质；顶空-固相微萃取(HS-SPME)；气相色谱-质谱联用(GC-MS)
中图分类号：Q 556　**文章编号**：1673-1689(2019)06-0123-08　**DOI**：10.3969/j.issn. 1673-1689.2019.06.017

Analysis of Flavor in Potato by Headspace-Solid Phase Microextration-Gas Chromatography-Mass Spectrometry

ZENG Zhuli[1]，*WEI Jinmei*[2]，*NIU Lili*[1]，*WANG Yue*[1]，*LAI Xingjuan*[1]，*ZHANG Shenggui*[*1]
(1. College of Food Science and Engineering, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China; 2. Instrumental Research and Analysis center, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The volatile compounds of potato were determined by headspace-solid phase microextration (HS-SPME) coupled with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). More than 37 volatile compounds were identified including aldehydes, alcohols, furans, hydrocarbons, ketones, phenols, esters and methylthio compounds in fresh potato, potato puree steamed, and potato puree stored at 60 ℃ for 3 h. The hydrocarbons were the major volatiles including methyl cyclopentane (25.74%), n-hexane (5.86%), n-pentane (5.93%) in the fresh potatoes.The aldehydes were the main volatiles including hexanal (88.92%), valeraldehyde (3.437%), (Z)-2-heptenal (2.077%), nonanal (0.748%) in the potato puree steamed and potato puree stored at 60 ℃ for 3 h. and Hexanal (88.92%) was the dominant compound in the potato puree steamed and potato puree stored at 60 ℃ for 3 h.

Keywords: potato, volatile compounds, HS- SPME, GC- MS

收稿日期：2016-10-29
基金项目：马铃薯淀粉制备结合态多酚-淀粉产品关键技术研究项目；甘肃省农业生物技术研究与应用开发项目(GNSW-2014-10)。
* **通信作者**：张盛贵(1970—)，男，博士，教授，硕士研究生导师，主要从事淀粉深加工研究。E-mail：zhangshenggui@ gsau.edu.cn
引用本文：曾著莉，魏晋梅，牛黎莉，等. HS-SPME-GC-MS 分析马铃薯挥发性风味物质[J]. 食品与生物技术学报，2019，38(06)：123-130.

马铃薯营养价值高,且药用价值广泛[1-3]。马铃薯块茎含有丰富的碳水化合物、蛋白质、纤维素、维生素、18 种人体所需的氨基酸、多种微量元素和无机盐[4]。马铃薯蛋白质与动物蛋白质相近,可消化成分高,易被人体吸收[5]。我国启动的"马铃薯主粮化"战略正是基于其优越特性,将马铃薯加工成馒头、面条等多种主食,从而把马铃薯变成继稻米、小麦和玉米之后的第四大主粮[6]。Petersen 等[7]研究报道,马铃薯在储存期间几个小时内就会有似纸板般不良的风味产生,降低马铃薯产品的保质期,这一问题在马铃薯食品的气调包装存储时尤为显著,严重影响马铃薯食品的供应。风味作为食品品质的基本评价指标之一,对消费者而言越来越重要[8],因此有必要对马铃薯的挥发性风味成分进行测定。

目前,国内外已有关于马铃薯挥发性风味物质的初步研究。杨妍等[9]在 4 ℃贮藏 24 h 的马铃薯泥中检测到 81.70%的己醛,较新鲜马铃薯泥中己醛含量高 20.31%,表明己醛是马铃薯的重要挥发性物质。Blanda 等[10]研究发现煮马铃薯特征挥发性物风味物质的形成与 2-戊烯、2-己烯醛、2-庚烯醛、2-戊基呋喃和 2-癸烯醛等存在相关性。膨化脱水马铃薯的挥发性风味物质中己醛、2-甲基丙醛和丙酮含量较高[11],而烤马铃薯的挥发物风味物质包括烃、羧酸、醇、醛和酯等[12]。Deck 等[13]在马铃薯片中检测到了 2,5-二甲基吡嗪。Oruna-Concha 认为不同品种的马铃薯之间风味物质存在差异性,是由于脂质降解反应时脂肪酶的活性和风味物质前体水平存在差异,脂质降解和美拉德反应或糖降解被确定为挥发性风味物质的主要来源[14-15]。但是,将鲜马铃薯、蒸熟马铃薯泥和贮存一段时间的马铃薯泥的挥发性风味物质进行比较的研究鲜有报道。

检测马铃薯挥发性风味物质较早的研究中常用 Likens-Nickerson 方法[16],然而,这种方法所需时间较长,并且鲜马铃薯和煮马铃薯挥发性风味物质间的差异很难检测;另一方法是动态顶空取样,该方法要求很长的净化时间(21 ℃、15 h)[17]或较高的温度(100 ℃、1 h)[18],2 种方法都使许多不同类型酶解和化学反应发生,而形成了不同的挥发性物质。多年来,Likens-Nickerson 方法已经从原始版本进行了许多变化,但基本上是基于在高温条件下将挥发性化合物的蒸汽蒸馏,所需时间比较长[19-21],而这个过程可能导致形成新的挥发性风味物质。1990 年,Arthur 和 Pawliszyn 引入顶空固相微萃取(HS-SPME)法替代动态顶空(DH)技术,可作为色谱分析之前的样品富集方法,这种方法已被应用到各种食品的风味分析[22-23],与动态顶空法相比它表现出更好的精度、准确度和重复性[24]。

本文作者采用 HS-SPME-GC-MS 法测定鲜马铃薯、蒸熟马铃薯泥和 60 ℃保温 3 h 的马铃薯泥的挥发性风味物质。通过比较不同处理马铃薯主要挥发性风味物质,初步分析风味物质的生成途径,探讨导致风味变化的原因,旨在为马铃薯的生产加工提供科学基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

陇薯 3 号,甘肃省田地农业科技有限责任公司提供;Agilent 6890N-5973N 气相色谱-质谱联用仪(GC-MS),美国 Agilent 公司产品;75 μm DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头,美国 SUPELCO 公司产品;HWS-12 型数显恒温水浴锅,上海一恒科学仪器有限公司产品;FA2004B 型分析天平,上海越平科学仪器有限公司产品。

1.2 方法

1.2.1 样品制备 鲜马铃薯的制备:称取新鲜、无病害的马铃薯约 1 000 g,清洗,去皮,切成 1 mm 厚的碎粒,混匀,称取 10 g 置于 150 mL 顶空瓶中,30 min 内进行分析。

马铃薯泥的制备:称取新鲜、无病害的马铃薯约 1 000 g,清洗,常压下蒸煮 30 min,使其充分熟化,并快速制泥,取 10 g 马铃薯泥装入 150 mL 的顶空瓶中,30 min 内进行分析。

60 ℃保温 3 h 马铃薯泥的制备:称取新鲜、无病害的马铃薯约 1 000 g,清洗,常压下蒸煮 30 min,使其充分熟化,并快速制泥,取新鲜马铃薯泥 10 g 放入 150 mL 顶空瓶中,置于 60 ℃的恒温水浴锅内 3 h 后进行 GC-MS 检测。

1.2.2 SPME 程序 将装有样品的样品瓶在 40 ℃恒温水浴预热 25 min,将萃取头插入瓶中吸附 1 h,取出萃取头后插入 GC-MS 进样口,解析 10 min[25]。

1.2.3 GC-MS 分析 色谱条件:色谱柱为 OV 1701 柱(60 m×0.25 mm×0.5 μm);起始温度 70 ℃,保持 10 min,然后以 2.0 ℃/min 升到 100 ℃,接着以 5.0 ℃/min 升到220 ℃,保留 5 min;进样口温度

250 ℃；载气为 He，流速 1 mL/min；分流比 10:1。

质谱条件：电离方式为 EI，电子能量 70 eV，离子源温度为 230 ℃，四级杆温度 150 ℃；质量扫描范围 50~450 m/z 。

1.2.4 数据处理 定性：化合物经计算机检索与 NIST 05 质谱库进行对比，仅报道匹配度大于 800（最大值为 1 000）的鉴定结果；定量：采用面积归一化法计算各组分的峰面积相对百分含量。

2 结果与讨论

2.1 鲜马铃薯挥发性风味物质

鲜马铃薯的风味成分经 GC-MS 分析，共得到 70 个峰（见图 1），经鉴定得到 30 种化合物（见表 1），包括碳氢化合物、醇类、醛类、酮类、酯类、酚类和呋喃类。其中碳氢化合物相对含量最多，包括 4 种烷烃（37.86%），2 种烯烃（7.13%）；5 种醛类（20.49%）；9 种醇类（15.57%）；2 种酯类化合物（11.94%）；3 种呋喃化合物（2.86%）；2 种酮类化合物（2.57%）和 3 种酚类化合物（1.59%）。由此可见烃类、醇类和醛类是鲜马铃薯中的主要挥发性风味物质。

鲜马铃薯中相对含量较高的挥发性风味物质依次是甲基环戊烷（25.74%）、2-甲基丁醛（8.96%）、3-甲基苯酚甲酯（8.95%）、2-甲基-2-丁烯（7.07%）、正己烷（5.86%）、正戊烷（5.93%）、己醛（5.27%）、2-甲基丁醇（3.14%）、异戊醛（3.47%）、水杨酸甲酯（2.99%）、正戊基呋喃（2.50%）、1-辛烯-3-醇（2.42%）、1-戊烯-3-酮（2.29%）和反-2-辛烯醛（2.21%）。

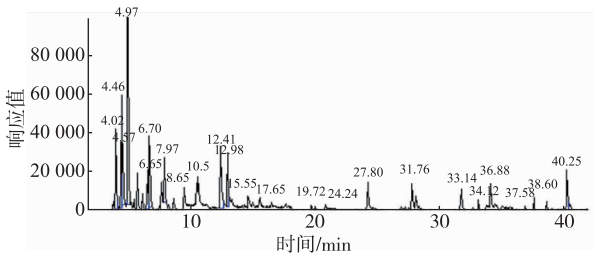


图 1 鲜马铃薯挥发性风味物质 GC-MS 总离子流色谱图

Fig. 1 Total ion current chromatography of volatile compounds in fresh potato

表 1 鲜马铃薯中挥发性物质

Table 1 Volatile compounds in fresh potato

峰号 n	保留时间/min	化合物名称	峰面积相对百分含量/%
1	4.024	戊烷(Pentane)	5.93
2	4.264	1,4-戊二烯(1,4-Pentadiene)	0.06
3	4.464	3-甲基苯酚甲酯 (Pentane,3-methyl-)	8.95
4	4.573	己烷(Hexane)	5.86
5	4.978	甲基环戊烷(Cyclopentane,methyl-)	25.74
6	6.139	苯(Benzene)	0.64
7	6.556	异戊醛(Butanal, 3-methyl-)	3.47
8	6.71	2-甲基丁醛(Butanal,2-methyl-)	8.96
9	7.67	1-戊烯-3-酮(1-Penten-3-one)	2.29
10	7.916	1-戊烯-3-醇(1-Penten-3-ol)	5.41
11	8.659	异戊醇(1-Butanol, 3-methyl-)	0.52
12	10.499	1-戊醇(1-Pentanol)	1.92
13	10.619	2-甲基丁醇(1-Butanol, 2-methyl-)	3.14
14	12.42	2-甲基-2-丁烯 (2-Butene, 2-methyl-)	7.07
15	12.986	己醛(Hexanal)	5.27
16	15.557	对二甲苯(p-Xylene)	0.74
17	16.54	2-正丁基呋喃(2-n-Butyl furan)	0.29
18	17.655	邻二甲苯(o-Xylene)	0.21
19	19.724	4-甲基-1-戊醇 (1-Pentanol, 4-methyl-)	0.24
20	24.245	2-正戊基呋喃(Furan, 2-pentyl-)	2.50
21	26.925	1-庚烯-3-酮(1-Hepten-3-one)	0.28
22	27.805	1-辛烯-3-醇(1-Octen-3-ol)	2.42
23	31.76	反-2-辛烯醛(2-Octenal, (E)-)	2.21
24	33.149	1-乙基-1-甲基环戊烷 (Cyclopentane)	0.33
25	34.126	反式-2-壬烯-1-醇(2-Nonen-1-ol, (E)-)	1.70
26	36.887	2-正丁基呋喃(2-n-Butyl furan)	0.07
27	37.584	2,4-辛二烯醛(2,4-Octadienal, (E,E)-)	0.58
28	38.602	10-十一烯-1-醇 (10-Undecen-1-ol)	0.19
29	39.019	4-甲基-1-己醇 (1-Hexanol, 4-methyl-)	0.03
30	40.253	水杨酸甲酯(Methyl Salicylate)	2.99

2.2 蒸熟马铃薯泥挥发性风味物质

蒸熟马铃薯泥的风味成分经 GC-MS 分析，共得到 70 个峰（见图 2），经鉴定得到 31 种化合物（见表 2）。包括醛类、醇类、呋喃类、碳水化合物、酮类、酚类、酯类和甲硫化合物。其中醛类化合物相对含量最多，包括 19 种，占总检出物质 98.172%；3 种醇类（0.654%）；4 种呋喃化合物（0.574%）；2 种烯烃（0.322%）；2 种酮类化合物（0.141%）；1 种酚类化合物（0.068%）；1 种酯类化合物（0.045%）和 1 种甲硫基化合物（0.023%）。由此可见醛类、呋喃类和醇类是马铃薯泥中的主要挥发性风味物质。

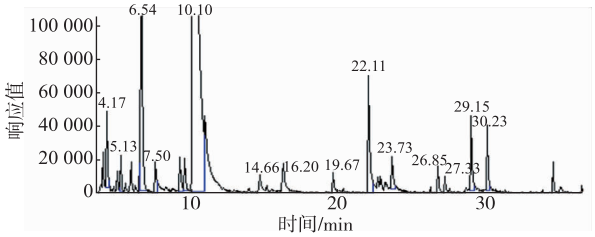


图 2 蒸熟马铃薯泥香气成分 GC-MS 总离子流色谱图

Fig. 2 Total ion current chromatography of volatile compounds in potato puree steamed

表 2 蒸熟马铃薯泥中挥发性物质

Table 2 Volatile compounds in potato puree steamed

峰号 n	保留时间/min	化合物名称	峰面积相对百分含量/%
1	3.898	巴豆醇(2-Buten-1-ol)	0.251
2	4.167	丙醛(Propanal)	0.696
3	4.647	2-甲基呋喃(Furan,2-methyl-)	0.035
4	4.881	2-丁酮(2-Butanone)	0.090
5	4.944	丁醛(Butanal)	0.002
6	5.424	苯(Benzene)	0.068
7	5.693	异戊醛(Butanal,3-methyl-)	0.014
8	5.83	2-乙基呋喃(Furan,2-ethyl-)	0.288
9	6.121	2,5-二氢呋喃(Furan,2,5-dihydro-)	0.023
10	6.436	2-甲基-2-丁烯醛 (2-Butenal,2-methyl-)	0.058
11	6.539	戊醛(Pentanal)	3.437
12	9.162	(E)-2-戊烯醛(2-Pentenal, (E)-)	0.293
13	9.516	1-戊醇(1-Pentanol)	0.363
14	10.105	己醛(Hexanal)	88.920
15	14.66	2-己烯醛(2-Hexenal, (E)-)	0.015
16	16.203	庚醛(Heptanal)	0.065
17	19.678	2-戊基呋喃(Furan, 2-pentyl-)	0.228
18	20.364	3-甲硫基丙醛 (Propanal, 3-(methylthio)-)	0.023
19	22.107	(E)-2-庚烯醛(2-Heptenal, (E)-)	2.077
20	22.741	2,3-辛二酮(2,3-Octanedione)	0.051
21	22.959	1-辛烯-3-醇(1-Octen-3-ol)	0.040
22	23.267	苯甲醛(Benzaldehyde)	0.064
23	23.73	2,4-辛二烯(2,4-Octadiene)	0.322
24	26.354	正辛醛(Octanal)	0.053
25	26.851	1-甲基-3-环己烯-1-甲醛 (3-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 1-methyl-)	0.349
26	27.331	(E,E)-2,4-庚二烯醛 (2,4-Heptadienal, (E,E)-)	0.169
27	28.771	异戊酸异戊酯 (Butanoic acid, 3-methyl-, 3-methylbutyl ester)	0.045
28	29.148	E-2-辛烯醛(2-Octenal, (E)-)	0.926
29	30.234	壬醛(Nonanal)	0.748
30	34.738	癸醛(Decanal)	0.240
31	36.733	2,4-癸二烯醛(2,4-Decadienal)	0.046

蒸熟马铃薯泥中相对含量较高的挥发性风味物质依次是己醛(88.92%)、戊醛(3.437%)、(Z)-2-庚烯醛(2.077%)、壬醛(0.748%)、丙醛(0.696%)、1-戊醇(0.363%)、2-乙基呋喃(0.288%)、癸醛(0.240%)和2-戊基呋喃(0.228%)。

2.3 60 ℃下保温 3 h 的马铃薯泥挥发性风味物质

60 ℃下保温 3 h 马铃薯泥的风味成分经 GC-MS 分析,共得到 70 个峰(见图 3),经鉴定得到 37 种化合物(见表 3),括醛类、醇类、呋喃类、碳水化合物、酮类、酚类、酯类和甲硫化合物。其中包括 18 种醛类化合物,占总检出物质 98.228%;3 种醇类(0.339%);4 种呋喃化合物 (0.672%);1 种烯烃(0.019%);1 种烷烃 (0.008%);5 种酮类化合物(0.525%);3 种酚类化合物(0.093%);1 种酯类化合物(0.008%)和 1 种甲硫基化合物(0.110%)。由此可见醛类、呋喃类和醇类是 60 ℃下保温 3 h 马铃薯泥中的主要挥发性风味物质。

60 ℃下保温 3 h 马铃薯泥中相对含量较高的挥发性风味物质依次是己醛 (89.461%)、戊醛(1.469%)、(Z)-2-庚烯醛(2.819%)、壬醛(0.309%)、1-戊醇(0.181%)、2-戊基呋喃(0.420%)、2-乙基呋喃(0.201%)和癸醛(0.062%)。

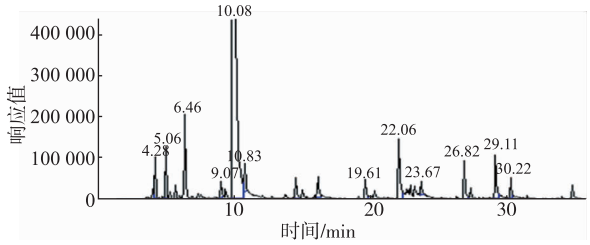


图 3 60 ℃下保温 3 h 马铃薯泥香气成分 GC-MS 总离子流色谱图

Fig. 3 Total ion current chromatography of volatile compounds in potato puree stored at 60 ℃ for 3 h

表 3 60 ℃下保温 3 h 马铃薯泥中挥发性物质

Table 3 Volatile compounds in potato puree stored at 60 ℃ for 3 h

峰号 n	保留时间/min	化合物名称	峰面积相对百分含量/%
1	3.841	巴豆醇(2-Buten-1-ol)	0.003
2	4.11	呋喃(Furan)	0.045
3	4.578	丙酮(Acetone)	0.004
4	4.818	2-丁酮(2-Butanone)	0.011
5	4.847	丁醛(Butanal)	0.001
6	5.361	苯(Benzene)	0.074
7	5.756	2-乙基呋喃(Furan, 2-ethyl-)	0.201

续表 3

峰号 n	保留时间/min	化合物名称	峰面积相对百分含量/%
8	6.041	2,5-二氢呋喃（Furan, 2,5-dihydro-）	0.006
9	6.339	顺-2-甲基-2-丁醛（2-Butenal, 2-methyl-, (E)-）	0.043
10	6.459	戊醛(Pentanal)	1.469
11	7.596	甲苯(Toluene)	0.008
12	9.07	(E)-2-戊烯醛(2-Pentenal, (E)-)	0.284
13	9.408	1-戊醇(1-Pentanol)	0.193
14	10.082	己醛(Hexanal)	89.461
15	10.814	顺-6-甲基-3,5-庚二烯-2-酮(3,5-Heptadien-2-one, 6-methyl-, (E)-)	0.420
16	12.117	对二甲苯(p-Xylene)	0.011
17	14.551	2-已烯醛(2-Hexenal, (E)-)	0.120
18	15.86	4-甲基-2-己酮（2-Hexanone, 4-methyl-）	0.023
19	16.146	庚醛(Heptanal)	0.092
20	19.147	2,4-辛二烯(2,4-Octadiene)	0.019
21	19.609	2-戊基呋喃(Furan, 2-pentyl-)	0.420
22	20.267	3-甲硫基丙醛（Propanal, 3-(methylthio)-）	0.110
23	22.056	(E)-2-庚烯醛(2-Heptenal, (E)-)	2.819
24	22.679	2,3-辛二酮(2,3-Octanedione)	0.067
25	22.896	1-辛烯-3-醇(1-Octen-3-ol)	0.143
26	23.199	苯甲醛(Benzaldehyde)	0.195
27	23.69	正辛醛(Octanal)	0.322
28	26.822	1-甲基-3-环己烯-1-甲醛（3-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 1-methyl-）	1.393
29	27.279	(E,E)-2,4-庚二烯醛（2,4-Heptadienal, (E,E)-）	0.132
30	28.737	异戊酸异戊酯（Butanoic acid, 3-methyl-, 3-methylbutyl ester）	0.008
31	29.12	E-2-辛烯醛(2-Octenal, (E)-)	1.409
32	29.588	苯乙醛(Benzeneacetaldehyde)	0.014
33	30.217	壬醛(Nonanal)	0.309
34	34.612	4-乙基苯甲醛（Benzaldehyde, 4-ethyl-）	0.017
35	34.738	癸醛(Decanal)	0.062
36	36.727	2,4-癸二烯醛(2,4-Decadienal)	0.086
37	38.304	2,3,4-三甲基正己烷(Hexane, 2,3,4-trimethyl-)	0.008

有研究表明，蒸煮后的马铃薯不良风味大多在前 4 h 产生(60 ℃下放置)[7]，试验中为了得到马铃薯的自然风味物质，样品处理时不添加任何其他物质，为避免挥发物的浓度降低，选择 30 min 内和 60 ℃保温 3 h 后测定。蒸熟马铃薯泥和 60 ℃下保温 3 h 马铃薯泥中有 27 种相同的挥发性风味物质，而马铃薯泥与鲜马铃薯之间的挥发性风味物质存在较大的差异。Galliard 发现熟马铃薯泥和鲜马铃薯的挥发性风味几乎完全不同，本试验结果与此结论一致。鲜马铃薯的脂氧合酶(LOX)含量非常高，其催化不饱和脂肪酸氧化[26]。这些反应在细胞被破坏时发生[27]，例如通过去皮或切割，可能产生了一些有效的芳香化合物[28]。煮马铃薯时，虽然外层的酶已经被灭活，但在冷的中心层和热的外层之间的受损组织区中酶促反应仍然发生[17]。Petersen[7]研究发现新鲜和蒸煮马铃薯中共有 28 种挥发性风味物质，并得出结论：煮马铃薯的风味变化取决于脂质氧化物以及其化合物反应，如氨基酸脱氨、脱羧生成相应醛的 Strecker 降解反应 [29]。Morris 研究认为核糖核酸、糖、脂质和氨基酸是鲜马铃薯挥发性风味主要前体物质[30]。而烹饪中风味前体物质因发生美拉德反应生成的 RNA 降解产物、脂质及糖等对挥发性风味起关键作用[31]，这与 Oruna-Concha 的研究结果极为相近，Oruna-Concha 还发现蒸煮时马铃薯块茎组织被逐步加热，为脂氧合酶(LOX)促使的脂质氧化提供了充足条件。故其脂质衍生的风味包含热降解和酶氧化 2 种产物[15]。Josephson[32]也认为，多种脂类物质的氧化共同形成风味物质。1-戊烯-3-酮[33]、2-戊基呋喃[34]和 1-戊醇[35]在鲜马铃薯的挥发性风味物质中浓度较高，它们是由脂氧合酶引发反应的产物，本文结论与此研究结果一致。Petersen[36]研究表明鲜马铃薯和煮马铃薯共有乙醇、己醛和(E)-9-十八烯，此结果与本文结论略有差异，可能是原料的品种、地域和测定方法的不同引起的。Solms 认为马铃薯风味化合物含量和感官品质与品种、栽培条件、贮藏条件及加工方法等有关，表现出基因型特异性[37]。

早期的研究认为煮马铃薯泥的特征挥发性风味是由甲硫醇和甲硫基丙醛通过甲硫氨酸降解形成的，甲硫基丙醛拥有温和的香气，通常被描述为煮马铃薯稀释液的风味，是马铃薯重要的挥发性化合物[38]，与本文结论一致。试验中鲜马铃薯中未检测出庚烯醛，Petersen 认为低浓度的庚烯醛（0.1~0.4 ppb）呈现出类似煮马铃薯的特征挥发性风味，特别是冷的煮马铃薯中，高浓度的庚烯醛(大于 0.7 ppb)会使新鲜马铃薯泥出现明显陈腐风味，戊醛、己醛、壬醛、(E)-2-辛烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、(E)-2-壬烯醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛对蒸煮马铃薯的不良风味产生潜在的作用，因此，脂质氧化产生的醛类与蒸煮马铃薯不良风味有关[7]。

Galliard 等[39]研究发现马铃薯中亚油酸和亚麻酸的质量分数分别占总脂肪酸的 51%~60%和 13%~24%。在煮马铃薯时因为较高的温度会加速亚油酸或亚麻酸自动氧化反应的进程[40]。亚油酸经氢过氧化物裂解酶(HPL)作用产生氢过氧化物,氢过氧化物进一步分解为己醛(13-氢过氧化物产生)和 2,4-癸二烯醛(9-氢过氧化物产生)[41]。Josephson 等[17]采用动态顶空技术分析了煮马铃薯的挥发性风味物质,发现含有较高的 2,4-癸二烯醛的逆羟醛缩合反应产物己醛和(E)-2-辛烯醛,煮后马铃薯细胞破碎后由不饱和脂肪酸的脂氧合酶引发该反应。此外,Josephson 发现蒸煮马铃薯的挥发性物质中,己醛含量增加,而 2,4-癸二烯醛和(E)-2-辛烯醛下降,这些变化是由于降解反应,其中 2,4-癸二烯醛首先分解为(E)-2-辛烯醛,其随后转化为己醛。本研究发现醛类占总化合物的比重最大,蒸熟马铃薯泥样为 98.172%,60 ℃下保温 3 h 马铃薯泥为 98.228%,其中己醛的相对含量最高,分别为 88.92%和 89.461%;2,4-癸二烯醛的相对含量分别为 0.046%和 0.086%;(E)-2-辛烯醛的相对含量分别是 0.926%和 1.409%,因此己醛对马铃薯泥的特征风味形成起主要作用,这一结论与 Josephson 的结论一致。由于 2,4-癸二烯醛的阈值(0.07 μg/kg)较己醛(4.5 μg/kg)低得多[42-43],所以虽然相对含量较低,但对马铃薯风味影响显著。

Blanda[10]研究表明马铃薯的特征挥发性风味物质还与戊烯、己醛、庚醛、戊基呋喃和存在相关性。而芳香族化合物可能是由还原糖降解产生的,含量较少,但有些是形成杂环化合物的重要中间体,对马铃薯挥发性物质形成起到不可忽视的作用。脂降解产生的酯类化合物含量较低,一般认为对马铃薯泥挥发性物质无特殊贡献[15]。

3 结 语

本试验在鲜马铃薯中鉴定得到 30 种挥发性风味物质,其中碳氢化合物最多,包括 4 种烷烃,2 种烯烃。鲜马铃薯中起主要作用的挥发性风味物质烃类、醇类和醛类,其中甲基环戊烷相对含量较高,占总检出物的 25.74%。在蒸熟马铃薯泥和 60 ℃下保温 3 h 的马铃薯泥中分别得到 31 种和 37 种化合物,其中醛类化合物最多,分别为 19 种和 18 种,其相对含量分别为 98.172%、98.228%。其中最主要醛是己醛,分别占总检出物的 88.92%和 89.461%。醛类、呋喃类和醇类是马铃薯泥中的主要挥发性风味物质。鲜马铃薯和蒸熟马铃薯泥中的风味物质存在很大差异。

参考文献:

[1] TANG Liankong. Development value and technology of potato[J]. **Qinghaience & Technology**,1994(3):1-7.(in Chinese)
[2] KAPOOR A C,DESBOROUGH S L,LI P H. Potato tuber proteins and their nutritional quality[J]. **Potato Research**,1975,18(3):469-478.
[3] JIN Hong. The prospect development is very good of potato[J]. **Quarterly of Forest By-Product and Speciality in China**,2003(3):32-32.(in Chinese)
[4] SONG Guoan. Exploitation and processing of potato[J]. **Journal of Potatoes**,1995(3):174-177.(in Chinese)
[5] 沈群. 薯类加工技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,2008.
[6] CHEN Mengshan,WANG Xiaohu. Development and prospect of potato industrialization in China[J]. **Issues in Agricultural Economy**,2015(12):4-11.(in Chinese)
[7] PETERSEN M A,POLL L,LARSEN L M. Identification of compounds contributing to boiled potato off-flavour ('POF')[J]. **LWT - Food Science and Technology**,1999,32(1):32-40.
[8] JANSKY S H. Potato flavor[J]. **American Journal of Potato Research**,2010,87(2):209-217.
[9] YANG Yan,MA Xiaojun,WANG Lijin. Research on volatile compounds of potato puree[J]. **Food Science and Technology**,2007,32(2):100-105.(in Chinese)
[10] BLANDA G,CERRETANI L,COMANDINI P,et al. Investigation of off-odour and off-flavour development in boiled potatoes [J]. **Food Chemistry**,2010,118(2):283-290.
[11] SAPERS G M. Flavor quality in explosion puffed dehydrated potato. 2. flavor Contribution of 2-Methylpropanal,2-Methylbutanal and 3-Methylbutanal[J]. **Journal of Food Science**,2006,35(6):731-733.

[12] COLEMAN E C，HO C T，CHANG S S. Isolation and identification of volatile compounds from baked potatoes[J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**，1981，29(1)：42-48.
[13] DECK R E. CHANG S S. Identification of 2,5-dimethyl-pyrazine in the volatile flavour compounds of potato chips[J]. **Chemistry & Industry**，1965，30(31)：1343.
[14] ORUNA-CONCHA M J，BAKKER J，AMES J M. Comparison of the volatile components of two cultivars of potato cooked by boiling，conventional baking and microwave baking[J]. **Journal of the Science of Food & Agriculture**，2002，82(9)：1080-1087.
[15] ORUNA-CONCHA M J，BAKKER J，AMES J M. Comparison of the volatile components of eight cultivars of potato after microwave baking[J]. **LWT – Food Science and Technology**，2002，35(1)：80-86.
[16] NURSTEN H E，SHEEN M R. Volatile flavour components of cooked potato[J]. **Journal of the Science of Food & Agriculture**，1974，25(6)：643-663.
[17] JOSEPHSON D B，LINDSAY R C. c4-Heptenal：an influential volatile compound in boiled potato flavor[J]. **Journal of Food Science**，1987，52(2)：328-331.
[18] SALINAS J P，HARTMAN T G，KARMAS K，et al. ChemInform abstract：lipid-derived aroma compounds in cooked potatoes and reconstituted dehydrated potato granules.[J]. **Cheminform**，2010，25(47)：60.
[19] BUTTERY R G，SEIFERT R M，LING L C. Characterization of some volatile potato components J[J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**，1970，18(3)：538-539.
[20] MUTTI B，GROSCH W. Potent odorants of boiled potatoes[J]. **Food**，1999，43(43)：302-306.
[21] ULRICH D，HOBERG E，NEUGEBAUER W，et al. Investigation of the boiled potato flavor by human sensory and instrumental methods[J]. **American Journal of Potato Research**，2000，77(2)：111-117.
[22] BACCOURI O，BENDINI A，CERRETANI L，et al. Comparative study on volatile compounds from Tunisian and Sicilian monovarietal virgin olive oils[J]. **Food Chemistry**，2008，111(2)：322-328.
[23] VICHI S，CASTELLOTE A I，PIZZALE L，et al. Analysis of virgin olive oil volatile compounds by headspace solid-phase microextraction coupled to gas chromatography with mass spectrometric and flame ionization detection[J]. **Journal of Chromatography A**，2003，983(1-2)：19-33.
[24] MARSILI R T. Comparison of solid-phase microextraction and dynamic headspace methods for the gas chromatographic—mass spectrometric analysis of light-induced lipid oxidation products in milk[J]. **Journal of Chromatographic Science**，1999，37(1)：17-23.
[25] WANG Huijun，GE Xia，TIAN Shilong，et al. Identification of volatile compounds in potato and its distilled liquors[J]. **Science and Technology of Food Industry**，2015，36(15)：270-274.(in Chinese)
[26] GALLIARD T，PHILLIPS D R. Lipoxygenase from potato tubers. Partial purification and properties of an enzyme that specifically oxygenates the 9-position of linoleic acid.[J]. **Biochemical Journal**，1971，124(2)：431-438.
[27] GALLIARD T，MATTHEW J A. Lipids of potato tubers. II. Lipid-degrading enzymes in different varieties of potato tuber[J]. **Journal of the Science of Food & Agriculture**，1973，24(5)：623-627.
[28] HSIEH R J. Contribution of lipoxygenase pathway to food flavors[C]. ACS symposium series(USA). 1994(558)：34-48.
[29] XUAN Yanjun，ZHOU Guanghong，ZHAO Gaiming，et al. Time related changes in flavor compounds of Jinhua dry-cured ham during processing[J]. **Journal of Food Sciense and Biotechnology**，2005(4)：1-12.(in Chinese)
[30] MORRIS W L，SHEPHERD T，VERRALL S R，et al. Relationships between volatile and non-volatile metabolites and attributes of processed potato flavour[J]. **Phytochemistry**，2010，71(14-15)：1765-1773.
[31] DRESOW J F，BOHM H. The influence of volatile compounds of the flavour of raw，boiled and baked potatoes：impact of agricultural measures on the volatile components[J]. **Landbauforschung Volkenrode**，2009，59(4)：309-337.
[32] JOSEPHSON D B，LINDSAY R C. Retro-aldol degradations of unsaturated aldehydes：role m the formation of c-4-heptanal from t2，c6-nonadienal in fish，oyster and other flavors[J]. **Journal of the American Oil Chemists Society**，1987，64(1)：132-138.
[33] GARDNER H W，AND M J G，SALCH Y P. Enzymic pathway to ethyl vinyl ketone and 2-pentenal in soybean preparations[J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**，1996，44(3)：882-886.
[34] HO C T，CHEN Q. Lipids in food flavors[J]. **Acs Symposium**，1994(558)：2-14.

[35] SOK D E,KIM M R. Conversion of alpha-linolenic acid to dihydro (pero)xyoctadecatrienoic acid isomers by soybean and potato lipoxygenases[J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**,1994,42(12):2703-2708.

[36] PETERSEN M A,POLL L,LARSEN L M. Comparison of volatiles in raw and boiled potatoes using a mild extraction technique combined with GC odour profiling and GC-MS[J]. **Food Chemistry**,1998,61(4):461-466.

[37] SOLMS J,WYLER R. Taste Components of Potatoes[M]. Food Taste Chemistry,1994(115):175-184.

[38] GUMBMANN M R,BURR H K. Food flavors and odors,volatile sulfur compounds in potatoes[J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**,1964,12(5):404-408.

[39] GALLIARD T. Lipids of potato tubers. 1. Lipid and fatty acid composition of tubers from different varieties of potato[J]. **Journal of the Science of Food & Agriculture**,1973,24(5):617-622.

[40] SOK D E,KIM M R. Conversion of alpha-linolenic acid to dihydro (pero)xyoctadecatrienoic acid isomers by soybean and potato lipoxygenases[J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**,1994,42(12):2703-2708.

[41] HO C T,ZHANG Y,SHI H,et al. Flavor chemistry of Chinese foods[J]. **Food Reviews International**,1989,5(3):253-287.

[42] MANI V. Applications of Solid Phase Microextraction[M]. Cambridge:Royal Society of Chemistry,1999:57.

[43] JIA Lina,JIAO Aiquan,ZHAO Jianwei,et al. Study on the changes of volatile flavor componentsin double-fried pork during the processing and frozen sorage[J]. **Journal of Food Sciense and Biotechnology**,2015,34(12):1269-1277.(in Chinese)

科　技　信　息

欧盟就亚磷酸等物质在食品接触性材料中的安全性评估发布意见

2019 年 5 月 16 日,据欧盟食品安全局(EFSA)消息,欧洲食品安全局食品接触材料、酶和加工助剂小组(CEP)评估了亚磷酸(Phosphorous acid)、三苯酯(triphenyl ester)、C10-16 烷基酯(alkyl esters)和 α-氢-ω-羟基聚[氧基(甲基-1,2-亚乙基)。聚合物(polymer with alpha - hydro - omega - hydroxypoly[oxy(methyl - 1,2 - ethanediyl)],)在食品接触性材料中的安全性。

经过评估,CEP 小组得出结论,所评估物质不会对消费者的安全造成影响。

[信息来源]食品伙伴网. 欧盟就亚磷酸等物质在食品接触性材料中的安全性评估发布意见[EB/OL]. (2019-5-20). http://news.foodmate.net/2019/05/518887.html