

过度蒸煮对马铃薯风味化合物组成的影响

赵 兵^{1,2}, 张 敏^{1,2,*}, 梁 杉^{1,2}

(1.北京食品营养与人类健康高精尖创新中心(北京工商大学), 北京 100048;

2.北京市食品添加剂工程技术研究中心(北京工商大学), 北京 100048)

摘 要: 采用固相微萃取结合气相色谱-质谱联用仪及嗅闻技术对蒸煮30~180 min时间内的马铃薯产品风味物质进行测定, 分析过度蒸煮对马铃薯感官品质及风味的影响规律, 在不同的蒸煮时间内分别检测到39、26、23、21、21、21种风味物质。随着蒸煮时间的延长, 马铃薯由开始的肉黄色逐渐变暗, 且不良风味不断增强; 使马铃薯产品具有香味的己醛、壬醛、反-2-辛烯醛、癸醛、反,反-2,4-庚二烯醛、反-2-壬烯醛、反,反-2,4-壬二烯醛、反,反-2,4-癸二烯醛等物质含量逐渐降低。随蒸煮时间延长, 马铃薯的特征风味物质甲硫基丙醛含量没有显著变化, 此外, 受其他关键风味物质减少的影响, 甲硫基丙醛增加了马铃薯产品整体风味的刺激性。

关键词: 马铃薯; 蒸煮; 风味物质; 气相色谱-质谱

Effect of Overcooking on Flavor Compounds of Potato

ZHAO Bing^{1,2}, ZHANG Min^{1,2,*}, LIANG Shan^{1,2}

(1. Beijing Advanced Innovation Center for Food Nutrition and Human Health, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 2. Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: In this study, the effect of boiling time on the flavor compounds of potato was investigated. The aroma constituents were extracted by solid-phase microextraction (SPME) and then analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) combined with olfactometry. The results showed that 39, 26, 23, 21, 21 and 21 substances were detected in potato boiled for 30, 60, 90, 120, 150 and 180 min, respectively. With increasing cooking time, the yellowish color of potato became darker, accompanied by enhanced off-flavor. Meanwhile, the contents of hexanal, nonanal, *trans*-2-octenal, decanal, *trans*-2,4-heptenal, *trans*-2-nonenal, *trans,trans*-2,4-nonadienal, *trans*-2,4-decadienal and other substances, which contribute to the aroma of potato, were gradually decreased. The content of methyl thiopropanal, one of the characteristic flavor compounds of potato, was not changed significantly with extended cooking time. However, because of the reduction of other key flavor substances, methylthiopropional enhanced the overall flavor of overcooked potato.

Key words: potato; cooking; flavor substances; GC-MS

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201722030

中图分类号: TS215

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2017)22-0200-05

引文格式:

赵兵, 张敏, 梁杉. 过度蒸煮对马铃薯风味化合物组成的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(22): 200-204. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201722030. <http://www.spkx.net.cn>

ZHAO Bing, ZHANG Min, LIANG Shan. Effect of overcooking on flavor compounds of potato[J]. Food Science, 2017, 38(22): 200-204. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201722030. <http://www.spkx.net.cn>

马铃薯是世界上少有的兼具粮食与蔬菜特点的农作物, 因其营养物质丰富, 有“营养之王”的美誉, 在很多国家作为主食的食用历史非常悠久。联合国粮农组织将2008年定为“国际马铃薯年”, 以突出马铃薯作为基

本食物资源的重要性^[1]。

熟制马铃薯的风味物质是由鲜马铃薯中的糖、氨基酸、核糖核酸和脂质等风味前体物质转化而成^[1-5]。烹饪期间, 风味前体物质发生美拉德反应后生成的产物、

收稿日期: 2017-04-01

基金项目: 北京市科委重大项目(D17110500190000); 北京市教委科技创新服务能力建设项目(19005757039)

作者简介: 赵兵(1992—), 男, 硕士研究生, 研究方向为粮食、油脂与植物蛋白工程。E-mail: 1042427058@qq.com

*通信作者: 张敏(1972—), 女, 教授, 博士, 研究方向为粮食、油脂与植物蛋白工程。E-mail: xzm7777@sina.com

糖、脂质及核糖核酸的降解产物以及Strecker降解反应物质对马铃薯产品风味均具有重要作用^[4-6]。由于马铃薯品种、栽种培养技术、储存和烹饪方法的多样性以及风味提取和鉴定方法的不同,在不同研究中鉴定出的马铃薯的风味物质存在较大差异^[3]。

目前,在烤马铃薯产品中已鉴定出250余种挥发性风味化合物,烷基吡嗪是香气的主要贡献者,而吡咯、噻唑、脂肪醛等物质也起到重要作用^[5,11-12]。煮马铃薯产品中鉴定出超过140种挥发性风味化合物^[1,3,7-8],煮马铃薯的香气很弱,但区别于鲜马铃薯和烤马铃薯的香气^[6-9]。有研究指出,煮马铃薯产品中的风味物质包括醛类、脂肪醇、硫醇、硫化物以及吡嗪类等物质^[6-10]。氨基酸中蛋氨酸的降解产物甲硫基丙醛,是煮马铃薯中的关键风味化合物^[3]。

不良风味对马铃薯加工过程和马铃薯产品品质具有直接影响。Josephson^[6]、Lindsay^[13]和Petersen^[14]等认为马铃薯的不良风味由醇类、顺-4-庚烯醛或吡嗪含量的增加造成。此外Petersen等^[15]发现8种醛类物质对马铃薯的不良风味具有潜在作用。

本研究通过对马铃薯鲜薯进行不同程度的蒸煮处理,利用气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用仪并结合嗅闻技术分析产品风味化合物的变化,以期为今后深入了解马铃薯风味的化学本质及马铃薯产品加工提供一定理论依据和科学参考。

1 材料与方法

1.1 材料

市售新鲜马铃薯各主要成分质量分数分别为淀粉17.56%、蛋白质1.27%、脂肪0.38%、水分79.22%。

1.2 仪器与设备

GC-MS联用仪(配有电子电离源及NIST 11数据库)、手动固相微萃取装置、30/50 μm DVB/Carboxen/PDMS灰色萃取头及手柄 美国Agilent公司; DB-Wax毛细管色谱柱(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm) 美国J&W公司。

1.3 方法

1.3.1 样品预处理

新鲜马铃薯样品的制备: 马铃薯清洗、人工去皮、切丁(0.5 cm \times 0.5 cm \times 0.5 cm), 取50 g样品置于密闭铝罐中, 分别在沸水中进行30、60、90、120、150、180 min的蒸煮处理。

1.3.2 样品制备

将30/50 μm DVB/Carboxen/PDMS灰色萃取头在气相色谱的进样口老化, 老化温度250 $^{\circ}\text{C}$, 时间10 min。快速称取5 g上述样品并加入1 μL 质量浓度为0.816 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的2-甲基-3-庚酮作为内标物于25 mL顶空瓶内, 用聚四氟乙烯隔垫密封置于50 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴中平衡20 min, 插入

萃取头顶空吸附40 min, 在温度250 $^{\circ}\text{C}$ 的进样口中解吸5 min, 进行GC-MS分析。

1.3.3 感官评价

将蒸煮好的马铃薯放入保温瓶内, 维持恒温(25 $^{\circ}\text{C}$), 蒸煮后的样品经15位经训练的评价员进行评定记分。风味强度为1~10分, 样品按强度逐渐增强顺序进行评价。每种风味强度以15名评价员评分的平均值记分。

1.3.4 GC-MS分析条件

色谱柱采用DB-WAX毛细管色谱柱。载气为氮气, 流速为1.2 mL/min, 不分流进样。升温程序: 初始温度40 $^{\circ}\text{C}$, 保持3 min, 以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温到200 $^{\circ}\text{C}$, 再以10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升到230 $^{\circ}\text{C}$, 保持3 min。质谱条件: 电子电离源, 电子能量70 eV, 传输线温度280 $^{\circ}\text{C}$, 离子源温度230 $^{\circ}\text{C}$, 四极杆温度150 $^{\circ}\text{C}$, 质量扫描范围 m/z 55~500。

1.4 数据处理

化合物定性分析: 采用NIST 11谱库检索, 以保留指数(retention index, RI)为指标, 结合人工谱图解析进行化合物的确定。

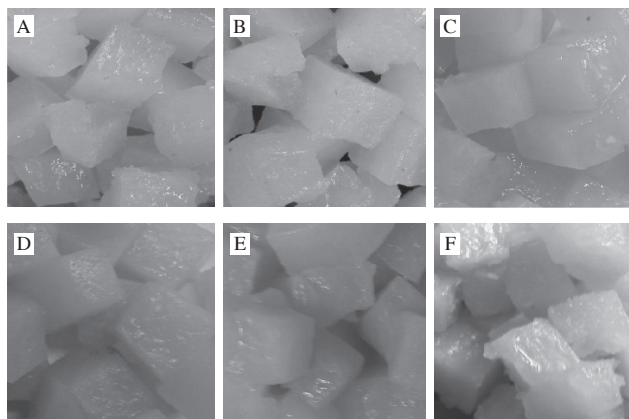
化合物定量分析: 采用面积归一化法计算各成分的出峰面积相对比例。根据对马铃薯中挥发性香气化合物进行分离鉴定时添加内标的量, 和挥发性香气化合物的色谱峰面积与内标的色谱峰面积进行比较, 计算出每一种挥发性香气化合物相对于内标的量, 化合物含量计算公式见下式:

$$C = C_i \times \frac{S_j}{S_i}$$

式中: C 为未知化合物的质量浓度/ $\mu\text{g}/\mu\text{L}$; C_i 为内标物的质量浓度/ $\mu\text{g}/\mu\text{L}$; S_j 为未知化合物的峰面积; S_i 为内标物的峰面积。

2 结果与分析

2.1 蒸煮时间对马铃薯产品感官品质的影响

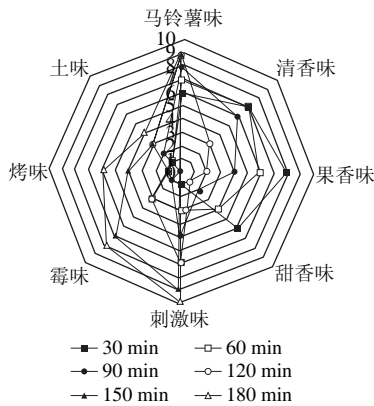


A. 蒸煮30 min; B. 蒸煮60 min; C. 蒸煮90 min;
D. 蒸煮120 min; E. 蒸煮150 min; F. 蒸煮180 min。

图1 马铃薯在不同蒸煮时间条件下感官变化图

Fig. 1 Pictures of potato cooked for different periods of time

如图1所示,在蒸煮30 min后,马铃薯完全熟化,无白芯,为肉黄色;随着蒸煮时间延长,产品颜色逐渐变暗,在180 min后颜色已为暗褐色。马铃薯在去皮和切片过程中会发生酶促反应,在蒸煮过程中会有非酶促反应,马铃薯产品外观出现变暗现象^[16-17]。有资料表明,马铃薯中绿原酸含量占总酚类化合物含量的90%,这是导致马铃薯烹饪后变黑的主要酚类化合物;在蒸煮或油炸的马铃薯中,绿原酸发生氧化引起马铃薯颜色变暗^[16-18]。



每种风味感官指标强度评分为0~10分,强度越大则分数越高。

图2 马铃薯在不同蒸煮时间的风味感官评定图

Fig. 2 Flavor evaluation of potato cooked for different periods of time

由图2可知,随着蒸煮时间的延长,马铃薯产品的风味也发生显著的变化。在30 min时产品有令人愉悦的清香味、果香味、甜香味及马铃薯香味,并随着蒸煮时间的延长,香味强度逐渐下降,在120 min时已几乎嗅闻不到;刺激性气味、霉味、烤味、土味等不良风味,随着蒸煮时间延长,强度逐渐增加。

2.2 蒸煮时间对马铃薯风味物质的影响

由表1可知,在蒸煮30 min时风味化合物的组成最为丰富,随着蒸煮时间的延长,马铃薯风味物质的种类和含量都发生了显著的变化,在蒸煮30、60、90、120、150、180 min内分别检测到39、26、23、21、21、21种挥发性风味物质。蒸煮马铃薯的风味物质主要由醛类、呋喃类、酮类、醇类、酯类、噻唑类、烃类以及含氮化合物等组成,按物质种类将各处理样品的风味组成列于图3。由图3可知,醛类物质在马铃薯风味挥发物质中含量最高,其次为呋喃类、烃类;随着蒸煮时间的延长,马铃薯产品中的醛类物质含量减少、烃类物质含量增加、呋喃类物质呈先增加后减少的变化趋势。

Petersen等^[15]发现醛类物质在贮藏蒸煮马铃薯中的含量占总检出物质的94.40%。本研究中,蒸煮30 min时产品醛类物质占总物质含量的80.84%,蒸煮到180 min时只占总风味物质的69.76%。此外, Petersen等^[15]的研究表明,戊醛、己醛、壬醛、反-2-辛烯醛、反,反-2,4-庚二烯醛、反,反-2,4-壬二烯醛、反,反-2,4-癸二烯醛8种物质对蒸煮马铃薯的不良风味具有潜在作用。

本研究中,戊醛在蒸煮30 min时含量很低,未达到其阈值,对马铃薯风味无贡献作用,在蒸煮30 min后检测不到该物质。己醛、反-2-己烯醛、顺-2-庚烯醛、壬醛、反-2-辛烯醛、反,反-2,4-庚二烯醛、癸醛、反-2-壬烯醛、反,反-2,4壬二烯醛、反,反-2,4-癸二烯醛等醛类,在蒸煮30 min时含量均达到阈值,使产品具有清香、果香、甜香、脂香等香气;随着蒸煮时间延长,这些醛类物质含量明显下降,对整体风味不再有贡献作用。

表1 不同蒸煮时间的马铃薯风味物质含量
Table 1 Contents of flavor compounds in potato cooked for different periods of time

									μg/L
序号	化合物	RI	蒸煮时间/min						鉴定方法
			30	60	90	120	150	180	
醛类									
1	戊醛	979	6.03 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS
2	己醛	1083	201.36 ^a	68.35 ^b	7.94 ^c	4.03 ^d	3.22 ^e	2.84 ^f	MS
3	庚醛	1184	3.69 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS
4	反-2-己烯醛	1216	15.06 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS
5	辛醛	1289	8.79 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS
6	顺-2-庚烯醛	1322	105.74 ^a	6.62 ^b	5.69 ^{bc}	0 ^d	0 ^d	0 ^d	MS
7	壬醛	1391	35.94 ^a	15.17 ^b	14.89 ^b	14.31 ^c	12.01 ^d	9.15 ^e	MS
8	5-乙基环戊-1-烯甲醛	1410	18.65 ^a	12.48 ^b	12.49 ^b	6.80 ^c	6.17 ^c	6.01 ^d	MS
9	反-2-辛烯醛	1429	96.16 ^a	11.71 ^b	7.85 ^c	5.54 ^d	4.10 ^e	4.03 ^e	MS
10	甲硫基丙醛	1454	17.92 ^a	17.32 ^c	16.71 ^d	18.29 ^d	10.07 ^e	9.35 ^e	MS
11	糠醛	1461	5.23 ^f	21.28 ^j	45.42 ^d	66.62 ^e	82.98 ^h	86.82 ⁱ	MS
12	反,反-2,4-庚二烯醛	1495	36.83 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS
13	癸醛	1498	57.23 ^a	11.03 ^b	10.43 ^d	12.98 ^b	10.34 ^d	11.05 ^e	MS
14	苯甲醛	1520	44.68 ^f	45.38 ^e	47.88 ^d	60.21 ^c	65.12 ^b	71.96 ^a	MS
15	反-2-壬烯醛	1534	21.57 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS, LRI
16	苯乙醛	1640	17.69 ^f	37.36 ^e	48.39 ^d	61.88 ^e	76.68 ^e	85.17 ^e	MS, LRI
17	反-2-癸烯醛	1644	4.08 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS
18	反,反-2,4壬二烯醛	1700	47.85 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS, LRI
19	十二醛	1711	5.57 ^a	3.46 ^b	4.73 ^b	3.76 ^c	3.28 ^d	2.56 ^e	MS, LRI
20	4-乙基苯甲醛	1721	5.63 ^d	15.66 ^e	15.38 ^d	12.02 ^{bc}	11.58 ^c	12.32 ^b	MS, LRI
21	2-十一烯醛	1751	25.84 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS
22	反,反-2,4癸二烯醛	1811	47.86 ^a	9.76 ^b	0 ^c	0 ^c	0 ^c	0 ^c	MS
23	反-2-十二烯醛	1867	15.12 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS, LRI
24	反,反-2,4-十一烷二烯醛	1945	3.59 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS, LRI
呋喃类									
25	2-戊基呋喃	1231	62.41 ^d	78.27 ^b	82.29 ^a	65.91 ^c	41.95 ^e	23.07 ^f	MS, LRI
酮类									
26	3-辛烯-2-酮	1411	5.10 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS, LRI
27	苯乙酮	1647	11.32 ^d	14.40 ^e	18.34 ^d	15.88 ^b	11.64 ^d	11.04 ^c	MS
醇类									
28	3,5-辛二烯-2-醇	509 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS, LRI
酯类									
29	肉豆蔻酸甲酯	2005	3.69 ^a	2.25 ^b	0 ^c	0 ^c	0 ^c	0 ^c	MS, LRI
30	棕榈酸甲酯	2208	13.08 ^a	6.67 ^d	7.53 ^c	7.70 ^c	6.09 ^e	10.23 ^b	MS
31	邻苯二甲酸二丁酯	0 ^f	6.01 ^d	6.69 ^e	7.86 ^e	7.49 ^b	8.04 ^a	0 ^c	MS, LRI
噻唑类									
32	苯并噻唑	1958	2.40 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS, LRI
33	1,2-苯并异噻唑	1955	3.27 ^b	3.04 ^b	4.07 ^a	2.17 ^c	2.07 ^c	2.14 ^c	MS, LRI
烃类									
34	柠檬烯		12.75 ^c	17.04 ^d	20.38 ^c	20.46 ^c	22.16 ^b	28.19 ^a	MS
35	苯乙烯	1261	7.28 ^b	7.33 ^a	7.36 ^a	6.14 ^c	6.54 ^c	5.89 ^d	MS
36	蒽	1746	12.81 ^a	10.92 ^c	11.76 ^b	11.24 ^b	10.18 ^c	9.97 ^d	MS
37	4-乙基-3-壬烯-5-炔	2308 ^b	24.38 ^a	22.18 ^c	23.54 ^a	22.30 ^d	22.30 ^d	21.08 ^e	MS, LRI
38	2-甲基萘	1858	3.42 ^a	1.91 ^d	2.55 ^c	3.12 ^b	1.97 ^d	2.31 ^{cd}	MS, LRI
39	1-亚甲基-1H-茚	1867	4.89 ^a	5.90 ^b	6.13 ^a	0 ^d	0 ^d	0 ^d	MS, LRI
40	1-甲基萘	1884	2.09 ^a	2.71 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS, LRI
41	1,6-二甲基萘	2006	3.94 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	MS
种类总计			39	26	23	21	21	21	

注:不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。LRI表示鉴定方法根据文献报道或标样的RI值确定。

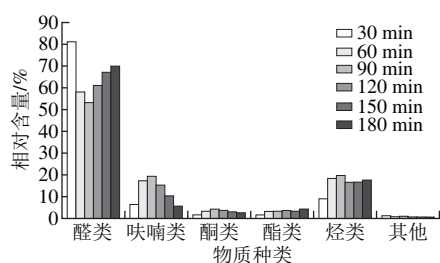


图3 不同种类物质相对含量随蒸煮时间变化

Fig. 3 Relative contents of favor compound classes in potato cooked for different times

糠醛、甲醛、苯乙醛的含量随蒸煮时间的延长而增加。由于苯甲醛阈值较大, 蒸煮180 min时依旧未达到阈值, 对马铃薯产品风味无贡献作用; 糠醛(苦杏仁味)在蒸煮30 min时含量很低, 未达到其阈值, 但在蒸煮60 min时含量已超过阈值, 开始对整体风味起到贡献作用; 苯乙醛含量在蒸煮30 min时达到阈值, 始终对整体风味起到贡献作用。糠醛和苯乙醛对马铃薯不良风味的潜在作用, 还需进一步探究。

马铃薯的特征风味物质甲硫基丙醛^[10]含量并未随蒸煮时间发生明显变化($P>0.05$)。感官评定中, 在蒸煮到120 min时产品开始具有非常强烈的刺激性马铃薯味。由于甲硫基丙醛阈值很低, 而其他对马铃薯具有贡献作用的风味物质含量下降明显, 此时甲硫基丙醛对不良风味具有决定作用。

在本研究中发现, 邻苯二甲酸二丁酯在蒸煮60 min时才开始检测到, 随着时间延长, 其含量增加, 但总量不高; 2-戊基呋喃含量随蒸煮时间延长呈现先增加后减少的变化趋势, 在90 min时含量达到最高。呋喃化合物来源于马铃薯中的还原糖降解^[15], 对马铃薯的整体风味具有贡献作用。

2-十一烯醛、反-2-十二烯醛、反,反-2,4-十一烷二烯醛、3-辛烯-2-酮、3,5-辛二烯-2-醇、肉豆蔻酸甲酯、苯并噻唑、1-亚甲基-1H-茚、1-甲基萘、1,6-二甲基萘等物质随着蒸煮时间的延长, 含量减少或检测不到。由于这些物质含量较低并未达到其嗅闻阈值, 对马铃薯的风味未起到贡献作用。

3 讨论

虽然在熟马铃薯中检测到上百种风味化合物, 但对整体风味起到关键作用的物质却很少, 如3-烷基-2-甲氧基吡嗪等吡嗪类物质造成马铃薯具有土味^[23-26]。GC-MS方法难以考量由挥发性化合物的协同和拮抗相互作用产生的感官效应^[3], 只能对分离出的风味物质进行定性定量分析, 结合感官评定每种物质的风味强度, 才能客观地评价产品的真实风味。研究表明, 甲硫基丙醛在具有适

度的稀释浓度时具有马铃薯的香气^[13], 在本研究中, 由于甲硫基丙醛阈值较低, 均能嗅闻到强烈的马铃薯味并具有刺激性, 但在蒸煮时间30 min和60 min时马铃薯的整体感官中, 马铃薯的刺激味并不明显, 整体风味具有良好的感官品质。这应该与己醛、壬醛、反-2-辛烯醛、反,反-2,4-庚二烯醛、反-2-壬烯醛、反,反-2,4-壬二烯醛、反,反-2,4-癸二烯醛等风味物质具有的清香、果香、甜香等香气和甲硫基丙醛具有的马铃薯味相互作用有关。随着蒸煮时间延长, 己醛、壬醛、反-2-辛烯醛、反,反-2,4-庚二烯醛、反-2-壬烯醛、反,反-2,4-壬二烯醛、反,反-2,4-癸二烯醛等风味物质含量降低, 马铃薯产品的整体感官中刺激性气味明显增强。

其他物质如烃类、噻唑、酯类及含氮化合物等物质, 虽然对整体风味并未起到决定性作用, 但有研究表明这些物质可能会对马铃薯的整体香气起到提升或降低的作用^[27-30]。在本研究中发现, 随蒸煮时间延长, 风味化合物种类和含量发生显著变化; 醛类物质含量减少, 烃类物质含量增加, 呋喃类物质呈先增加后减少趋势。在进一步的深入研究中可通过降低大量挥发性物质得到少量必需化合物, 简化复杂基质, 分析对马铃薯整体风味起到决定作用的风味化合物以及这些物质之间的相互关系。邻苯二甲酸二丁酯、2-戊基呋喃等物质在马铃薯产品风味中的作用机制, 有待进一步深入研究。

4 结论

鲜马铃薯经30、60、90、120、150、180 min不同时间蒸煮后分别检测到39、26、23、21、21、21种风味物质。随蒸煮时间延长, 马铃薯产品的颜色逐渐变暗, 不良风味强度不断增强。经检测, 马铃薯的挥发性风味化合物种类和含量随蒸煮时间不同发生明显变化。使马铃薯产品具有清香、果香、甜香、脂香味的己醛、壬醛、反-2-辛烯醛、癸醛、反,反-2,4-庚二烯醛、反-2-壬烯醛、反,反-2,4-壬二烯醛、反,反-2,4-癸二烯醛等物质, 随蒸煮时间延长含量降低; 马铃薯的特征风味物质甲硫基丙醛, 随蒸煮时间增加含量变化不显著, 但受到其他关键风味物质含量减少的影响, 产品中甲硫基丙醛产生的刺激性风味逐渐增强。

参考文献:

- [1] BUTTERY R G, LING L C. Characterization of nonbasic steam volatile components of potato chips[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1972, 20(3): 698-700. DOI:10.1021/jf60181a068.
- [2] 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. DOI:10.1016/j.phytochem.2010.07.003.

- [3] ULRICH D, HOBERG E. Investigation of the boiled potato flavor by human sensory and instrumental methods[J]. American Journal of Potato Research, 2000, 77(2): 111-117. DOI:10.1007/BF02853738.
- [4] 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.
- [5] 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: 1080-1087. DOI:10.1002/jsfa.1148.
- [6] PETERSEN M A, POLL L, LARSEN M L. 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. DOI:10.1016/S0308-8146(97)00119-2.
- [7] MAGA J A. Potato flavor[J]. Food Reviews International, 1994, 10(1): 1-48.
- [8] SALINAS J P, HARTMAN T G, KARMAS K, et al. Lipid-derived aroma compounds in cooked potatoes and reconstituted dehydrated potato granules[J]. Lipids in Food Flavors, 1994, 8: 108-129. DOI:10.1021/bk-1994-0558.ch008.
- [9] BLANDA G, CERRETANI L, COMANDINI P, et al. Investigation of off-odour and off-flavour development in boiled potatoes[J]. Food Chemistry, 2016, 118: 283-290. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.04.135.
- [10] MUTTI B, GROSCH W. Potent odorants of boiled potatoes[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2015, 43(5): 302-306.
- [11] BUTTERY R G, GUADAGNI D G, LING L C. Volatile components of baked potatoes[J]. Journal of the Science of Food Agriculture, 2010, 24(9): 1125-1131. DOI:10.1002/jsfa.2740240916.
- [12] COLEMAN E C, HO C T, CHANG S S. Volatile isolation and identification of volatile compounds from baked potatoes[J]. Journal of the Science of Food Agriculture, 1981, 29(1): 42-48. DOI:10.1021/jf00103a012.
- [13] JOSEPHSON D B, LINDSAY R C. C4-heptenal: an influential volatile compound in boiled potato flavor[J]. Journal of Food Science, 2010, 52(2): 328-331. DOI:10.1111/j.1365-2621.1987.tb06605.x.
- [14] SAPERS G M, OSMAN S F, DOOLEY C J, et al. Flavor quality of explosion puffed dehydrated potato[J]. Journal of Food Science, 2010, 36: 93-95. DOI:10.1111/j.1365-2621.1971.tb02043.x.
- [15] PETERSEN M A, POLL L, LARSEN M L. Identification of compounds contributing to boiled potato off-flavour (POF)[J]. LWT-Food Science and Technology, 1999, 32(1): 32-40. DOI:10.1006/fstl.1998.0506.
- [16] VIBE B, SIDSEL J, MORTEN R, et al. Enzymatic browning and after-cooking darkening of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.)[J]. Food Chemistry, 2013, 141(2): 1445-1450. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.04.028.
- [17] WANG-PRUSKY G, NOWAK J. Potato after-cooking darkening[J]. American Journal of Potato Research, 2004, 81(1): 7-16. DOI:10.1007/BF02853831.
- [18] FRIEDMAN M. Chemistry, biochemistry, and dietary role of potato polyphenols: a review[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(5): 1523-1540. DOI:10.1021/jf960900s.
- [19] WILSON W D, MACKINNON I M R, JARVIS M C. Transfer of heat and moisture during microwave baking of potatoes[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2002, 82(9): 1074-1079. DOI:10.1002/jsfa.1129.
- [20] BATTU S, COOK-MOREAU J, BENEYTOU J L. Stabilization of potato tuber lipoxygenase on talc[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 1994, 1211(3): 270-276. DOI:10.1016/0005-2760(94)90150-3.
- [21] BUTTERY R G, SEIFERT R M, LING L C. Characterization of some volatile potato components[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1970, 18(3): 538-539.
- [22] BUTTERY R G, LING L C. Earthy aroma of potatoes[J]. Journal of Agriculture & Food Chemistry, 1973, 21(4): 245-246.
- [23] BUTTERY R G, HENDEL C E, BOGGS M M. Autoxidation of potato granules[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1961, 9(3): 245-252.
- [24] BOGGS M M, BUTTERY R G, VENSTROM D W, et al. Relation of hexanal in vapour above stored potato granules to subjective flavor estimates[J]. Journal of Food Science, 1964, 29(4): 487-489. DOI:10.1111/j.1365-2621.1964.tb01767.x.
- [25] MAZZA G, ANDPIETRZAK E M. Headspace volatiles and sensory characteristics of earthy, musty flavoured potatoes[J]. Food Chemistry, 1990, 36(2): 97-112. DOI:10.1016/0308-8146(90)90094-K.
- [26] MAGA J A, TWOMEY J A. Sensory comparison of four potato varieties baked conventionally and by microwaves[J]. Journal of Food Science, 2010, 42(2): 541-542. DOI:10.1111/j.1365-2621.1977.tb01542.x.
- [27] SAPERS G M. Flavor and stability of dehydrated potato products[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1975, 23(6): 1027-1032.
- [28] JENSEN K, PETERSEN M A, POLL L, et al. The influence of variety and growing location on the development of off-flavor in pre-cooked vacuum packed potatoes[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1999, 47(3): 1145-1149. DOI:10.1021/jf9807115.
- [29] ORUNA-CONCHA M J, DUCKHAM S C, AMES J M. Comparison of the volatile compounds isolated from the skin and flesh of four potato cultivars after baking[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2001, 49(5): 2414-2421. DOI:10.1021/jf0012345.
- [30] NURSTEN H E, SHEEN M R. Volatile flavor components of cooked potato[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 25(6): 643-663. DOI:10.1002/jsfa.2740250607.