

不同挤压膨化温度对燕麦片风味成分的影响

汪新洁¹, 刘凤杰¹, 郑俊¹, 史苏华², 赵强¹, 熊华¹

(1. 南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 江西南昌 330047)

(2. 江西人之初营养科技股份有限公司, 江西南昌 330052)

摘要:通过固相微萃取-气相色谱-质谱联用(SPME-GC-MS)分析技术,研究了不同挤压膨化温度(148℃, 161℃, 168℃, 172℃)对燕麦片中挥发性风味物质的组成与相对含量变化的影响。结果表明:原燕麦粉经不同挤压膨化温度处理得到的燕麦片共鉴定出89种挥发性风味成分,二十烷、1-辛烯-3-醇、己醛、邻苯二甲酸二异丁酯、2-戊基呋喃为共有的风味成分;相对气味活度值(ROAV)结果表明,1-辛烯-3-醇、己醛、壬醛和2-戊基呋喃是挤压燕麦片独特风味的关键风味化合物;主元分析(PCA)结果也表明了5种燕麦片之间挥发性成分的差异性。本研究的开展为后续研究燕麦片的主要风味成分及其形成机理,从而生产出更优质的燕麦片奠定了一定的基础。

关键词:燕麦片;挤压膨化;固相微萃取;气相色谱-质谱联用;风味物质

文章编号:1673-9078(2018)06-188-196

DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.6.026

Effects of Different Extrusion Temperatures on the Flavor Components of Oatmeal

WANG Xin-jie¹, LIU Feng-jie¹, ZHENG Jun¹, SHI Su-hua², ZHAO Qiang¹, XIONG Hua¹

(1.State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

(2.Jiangxi New Born Nutrition Technology Co., Ltd., Nanchang 330052, China)

Abstract: The effects of different extrusion temperatures (148℃, 161℃, 168℃ and 172℃) on the composition and content of volatile flavor components in oatmeal were investigated by solid phase micro extraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS). The results showed that 89 kinds of volatile flavor compounds were identified in the oatmeal obtained by different extrusion temperature treatment of the original oat flour. Eicosane, 1-octen-3-ol, hexanal, diisobutyl phthalate and 2-pentylfuran were the common flavor components. The relative odor activity value (ROAV) results showed that 1-octen-3-ol, hexanal, furfural, and 2-pentylfuran were the key flavor compounds for the unique flavor of extruded oatmeal; The principal component analysis (PCA) results also showed differences in the volatile components among the five oatmeal flavors. This study provided a basis for the subsequent study of the main flavor components and their formation mechanism of the oatmeal, thereby producing better quality oatmeal.

Key words: oatmeal; extrusion; solid phase microextraction; gas chromatography-mass spectrometry; volatile compound

燕麦(*Avena L.*)是禾本科燕麦属的草本植物,世界八大粮食作物之一,富含蛋白质、氨基酸、脂类、矿物质、膳食纤维和维生素等多种营养成分,被营养学家誉为“天然全价营养食品”。现代研究证实,燕麦可预防及治疗糖尿病、高血脂、冠心病和动脉粥样硬化

收稿日期:2018-01-28

基金项目:国家863科技计划(2012BAD37B02-05);江西省农业领域科技计划重点项目(20151BBF60041);2016年度南昌大学研究生创新专项资金项目(cx2016205)

作者简介:汪新洁,女,硕士研究生,主要从事燕麦食品加工与品质控制研究

通讯作者:赵强,男,博士,副研究员,主要从事食品化学与营养,谷物食品开发与研究等工作

化等疾病^[1,2]。

燕麦在西方发达国家消费量一直较大,较成熟的燕麦食品如燕麦粥、燕麦片等。近几年,我国的燕麦消费量亦呈现上涨趋势,市场上的燕麦产品品质也参差不齐。燕麦食品品质最重要的一项评价指标就是风味,风味物质的形成过程除了原料本身的香味外,燕麦的加工方式尤其是热处理对风味形成的影响更大^[3]。顾军强^[4]研究结果表明不同热处理对燕麦片风味影响较大,与未处理燕麦片相比,微波和蒸煮处理后的燕麦片均产生了更多的醛类,分别占总挥发性成分的62.05%和80.65%,而焙烤处理的燕麦片除了产生了较多醛类(33.95%),还产生了较多的吡嗪类(38.82%)与嘧啶类(20.12%),呈现出浓郁的烤香味。Klensporf^[5]研究

结果表明热处理使得生燕麦、焙烤燕麦以及干燕麦中的挥发物浓度发生了明显的增加,而脱壳处理后的燕麦其浓度则发生了明显的降低。Sides^[6]报道称热处理是焙烤类、谷物类、发酵类风味成分的主要来源,水热处理后的燕麦具有最强的香气和风味。除了热处理方式外,热处理的温度也会影响到燕麦的口感和风味。Pfannhauser^[7]认为挥发物的组成高度取决于热处理参数,特别是当 Maillard 反应发生时,其风味可能受到吡嗪、吡咯、呋喃等成分的影响。挤压膨化是燕麦加工过程的一种热处理方式,然而目前有关该热处理过程中的风味成分变化的研究还未见报道。

固相微萃取(SPME)是通过利用微纤维表面少量的吸附剂从样品中分离和浓缩分析物的技术,操作方便,能直接从液体或气体样品中收集挥发和非挥发性的化合物,是一种集采样、浓缩、进样于一体的新技术。气相色谱-质谱联用(GC-MS),具有分离复杂分子、图谱比对确认分子、定量分析物质组成成分等功能,特别适用于芳香物质的分离与定性、定量分析^[8]。GC-MS 联用技术已广泛应用于挥发油^[9]、茶饮料^[10]、白酒^[11]及醋^[12]等中存在的芳香物质的分析。

本研究采用 SPME 技术对挤压膨化不同温度热处理的燕麦片挥发性成分进行提取,结合 GC-MS 鉴定主要挥发性成分并进行归类 and 定量分析,以未处理样品作参比,以期为不同燕麦制品风味的研究提供一定的数据支持。

1 材料与方法

1.1 原料

河北燕麦(水分 15.06 g/100 g,粗蛋白 10.37 g/100 g,粗脂肪 6.10 g/100 g,粗纤维 2.38 g/100 g, β -葡聚糖 3.96 g/100 g,淀粉 55.23 g/100 g),江西恒顶实业有限公司提供。

1.2 主要仪器设备

DS56-III 双螺杆膨化机,济南赛信机械公司;Win-300 除尘水冷粉碎机,广州旭朗机械设备有限公司;微萃取(50/30 μ m DVB/CAR/PDMS)、微萃取手柄,美国 Supelco 公司;三重串联四级杆气质联用仪(Agilent7890-7000A),美国安捷伦科技有限公司;HH-4 型数显恒温水浴锅,上海蓝凯仪器仪表有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 燕麦片的加工处理

称取 30 kg 燕麦米,粉碎机磨粉至 60 目,调节水

分含量为 18%,搅拌均匀,待挤压膨化机预热后开始投料,投料速度一致,设置双螺杆膨化机螺杆转速 250 rad/min,进料速度 300 g/min。由于升温速度较慢,随着温度的升高,分别截取不同温度点(148 $^{\circ}$ C, 161 $^{\circ}$ C, 168 $^{\circ}$ C 和 172 $^{\circ}$ C)生产的圆形管状膨化燕麦制品,粉碎后即得不同温度下的挤压膨化燕麦片。对照样品为未做挤压膨化处理的燕麦粉。

1.3.2 固相微萃取条件

精密称取已粉碎的燕麦片 2.5 g 置入 20 mL 的顶空瓶中,用 PTFE/硅橡胶隔垫密封压紧。样品置于 80 $^{\circ}$ C 条件下平衡 30 min 后,采用 50/30 μ m DVB/CAR/PDMS 萃取头,将萃取头插入顶空瓶中萃取 30 min,最后将萃取头拔出并置于 250 $^{\circ}$ C 的进样口中解吸 5 min。

1.3.3 气相色谱/质谱条件

气相色谱条件:载气:氦气;柱流速:1 mL/min;进样口温度:250 $^{\circ}$ C;萃取头在进样口解析 5 min,脉冲无分流进样;起始温度 40 $^{\circ}$ C 保持 5 min,以 8 $^{\circ}$ C/min 升至 70 $^{\circ}$ C 保持 2 min,再以 3 $^{\circ}$ C/min 升至 170 $^{\circ}$ C,保留 2 min,再以 8 $^{\circ}$ C/min 升至 210 $^{\circ}$ C 保持 2 min。

质谱条件:离子源温度 230 $^{\circ}$ C,传输线温度 250 $^{\circ}$ C,采用全扫描(Scan)模式采集信号,扫描范围 35~500 m/z 。

1.3.4 统计分析

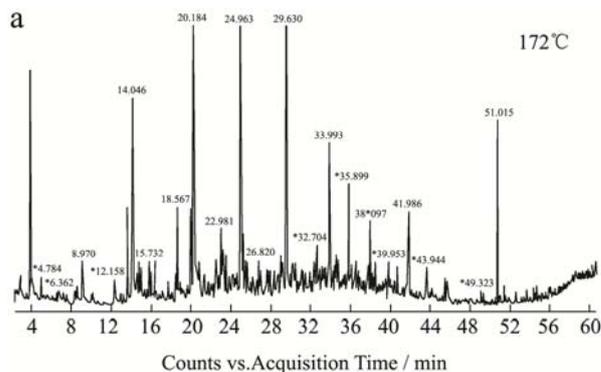
采用 Microsoft Excel 进行数据整理,SPSS 软件进行主成分分析。未知化合物采用 NIST05 谱库检索和人工图谱解析,用峰面积归一化法进行相对定量分析。

2 结果与讨论

2.1 不同挤压膨化温度的燕麦片及原燕麦中

的挥发性成分的 SPME-GC-MS 分析

图 1 为不同挤压膨化温度处理的燕麦片挥发性成分的 GC-MS 总离子流色谱图,比较 5 个图谱可以发现,5 种燕麦片的挥发性组成成分有很大的区别。



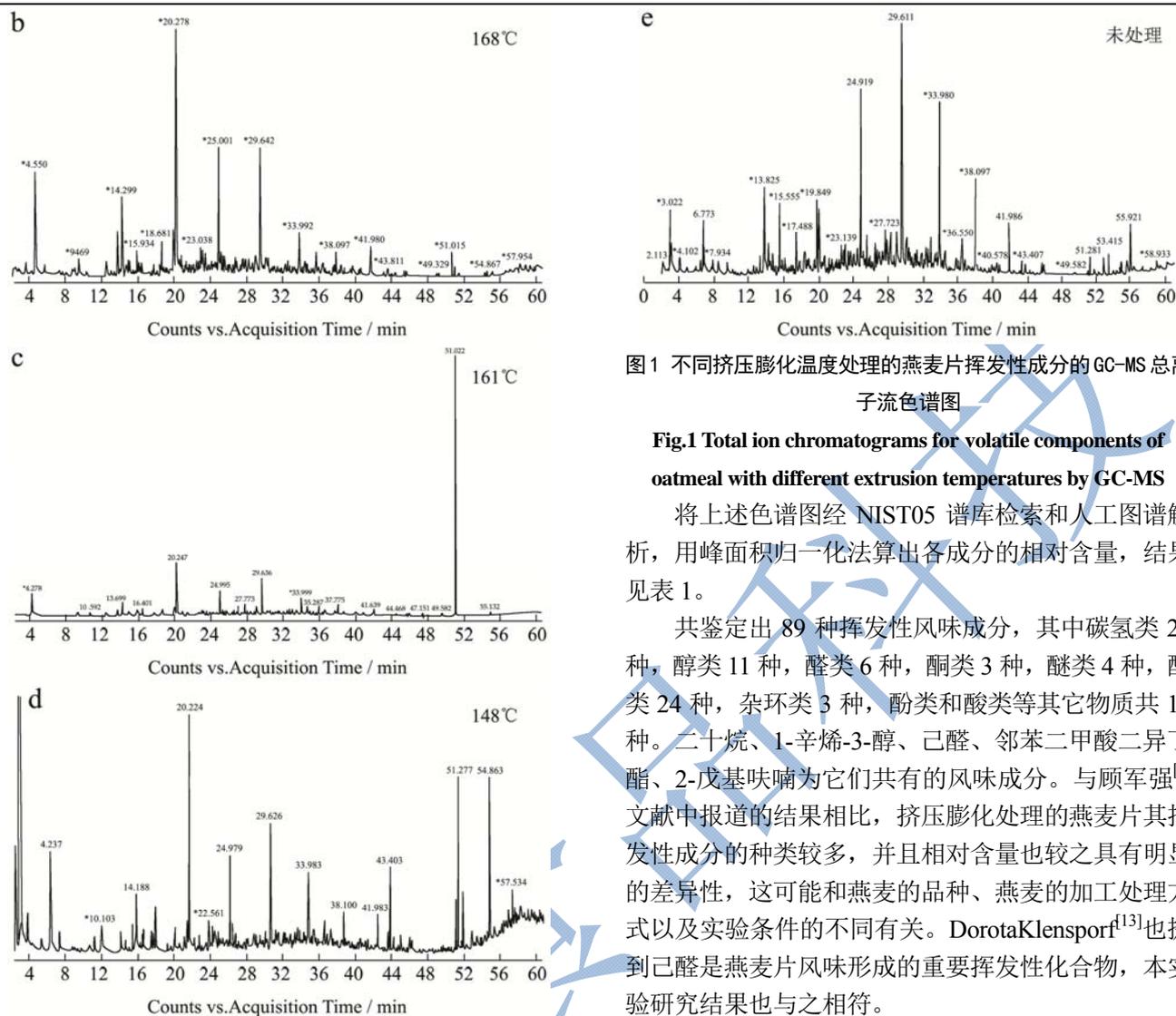


图1 不同挤压膨化温度处理的燕麦片挥发性成分的GC-MS总离子流色谱图

Fig.1 Total ion chromatograms for volatile components of oatmeal with different extrusion temperatures by GC-MS

将上述色谱图经 NIST05 谱库检索和人工图谱解析, 用峰面积归一化法算出各成分的相对含量, 结果见表 1。

共鉴定出 89 种挥发性风味成分, 其中碳氢类 24 种, 醇类 11 种, 醛类 6 种, 酮类 3 种, 醚类 4 种, 酯类 24 种, 杂环类 3 种, 酚类和酸类等其它物质共 14 种。二十烷、1-辛烯-3-醇、己醛、邻苯二甲酸二异丁酯、2-戊基呋喃为它们共有的风味成分。与顾军强^[4]文献中报道的结果相比, 挤压膨化处理的燕麦片其挥发性成分的种类较多, 并且相对含量也较之具有明显的差异性, 这可能和燕麦的品种、燕麦的加工处理方式以及实验条件的不同有关。Dorota Klensporf^[13]也提到己醛是燕麦片风味形成的重要挥发性化合物, 本实验研究结果也与之相符。

表 1 不同挤压膨化温度处理的燕麦片与原燕麦的挥发性成分及相对含量 (%)

Table 1 Volatile components and relative content of oatmeal and raw oats with different extruded temperatures

编号	类别	物质名称	保留时间/min	原料粉	148 °C	161 °C	168 °C	172 °C
A1		己烷	0.676	-	60.568	-	-	-
A2		1,3,5,7-环辛四烯	8.572	-	-	0.205	-	-
A3		苯乙烯	8.736	-	-	-	0.346	-
A4		柠檬烯	16.038	-	0.358	-	-	-
A5		γ-松油烯	17.448	1.901	-	-	-	-
A6		异松油烯	17.734	-	-	0.341	-	-
A7		1-戊基-2-丙基环戊烷	18.719	0.469	-	-	-	-
A8		十一烷	19.849	3.557	-	-	-	-
A9		十二烷	24.919	11.882	-	5.457	-	-
A10		十六烷	24.944	-	-	8.139	9.437	-
A11		1,2-环氧十二烷	25.228	-	-	0.009	-	-
A12		3,5,24-三甲基四十烷	25.664	-	-	-	0.943	-
A13	碳氢类	二十烷	29.611	43.226	7.243	5.311	2.355	9.395
A14		2,6,10-三甲基十二烷	29.63	-	0.601	0.617	-	16.19

转下页

接上页								
A15		2,6,11-三甲基十二烷	29.642	-	0.448	1.633	15.889	-
A16		1,1'-氧代双十二烷	32.707	-	0.299	-	-	-
A17		2,6,10-三甲基十四烷	33.992	-	-	-	2.745	-
A18		十六烷基环氧乙烷	39.966	0.678	-	-	-	-
A19		2,6,11,15-四甲基十六烷	43.824	0.641	-	0.388	-	-
A20		十七烷	45.692	-	-	-	0.312	-
A21		二十一烷	45.705	-	-	0.252	-	-
A22		2,6,10-三甲基十六烷	45.914	0.676	0.37	-	-	-
A23		5-丙基十三烷	45.932	-	-	-	0.439	-
A24		十八烷	49.323	-	-	-	-	0.179
A25		(S)-(+)-3-甲基-1-戊醇	6.773	4.25	-	-	-	-
A26		1-辛烯-3-醇	13.781	0.982	0.699	1.557	4.148	3.547
A27		2-丁基-1-辛醇	14.324	1.483	-	-	-	-
A28		2-乙基-1-己醇	16.401	-	1.135	1.408	-	-
A29		1-辛醇	16.452	-	-	-	0.562	-
A30	醇类	3-甲基-1-庚醇	18.567	-	-	-	-	3.337
A31		反-2-十一烯醇	20.278	-	-	-	22.511	0.633
A32		L-薄荷醇	23.552	-	2.471	-	-	-
A33		三氟乙酸油醇	23.644	0.4	-	-	-	-
A34		2-乙基-2-甲基-十三烷醇	43.811	-	-	-	0.563	-
A35		十九醇	43.944	-	-	0.101	0.323	0.69
A36		己醛	4.55	4.646	3.143	6.839	11.645	10.016
A37		苯甲醛	12.499	-	0.368	0.915	1.23	0.928
A38	醛类	辛醛	14.857	-	0.311	-	-	-
A39		十三醛	20.102	2.834	-	-	-	-
A40		壬醛	20.184	-	6.327	13.263	-	24.681
A41		(Z)-7-十六碳烯醛	23.003	-	0.367	-	0.216	2.15
A42		顺式-5-甲基-2-(1-甲基乙基)-环己酮	22.52	-	-	-	-	1.145
A43	酮类	反式-5-甲基-2-(1-甲基乙基)-环己酮	22.561	-	0.583	-	-	-
A44		1-(2-吗啉-4-基乙基)-5,5-二氧代六氢-5λ-(6)-噻吩并[3,4-B]吡咯-2-酮	44.654	-	0.276	-	-	-
A45		癸醚	25.241	-	-	0.115	-	1.16
A46	醚类	辛醚	28.404	-	-	0.369	0.571	-
A47		双十二烷基乙醚	32.717	0.751	-	-	1.041	1.016
A48		正十四烷基醚	40.85	0.357	-	-	0.47	0.637
A49		4-甲基-戊酸乙酯	14.469	0.243	-	-	-	-
A50		氯乙酸乙酯	18.681	-	-	-	2.839	-
A51		五氟丙酸十一酯	18.839	-	-	-	-	0.211
A52		亚硫酸己辛酯	21.238	-	-	-	-	0.257
A53		五氟丙酸十七酯	21.838	-	-	-	0.264	-
A54		三氯乙酸十一烷基酯	23.038	-	-	0.331	1.739	-
A55	酯类	氯乙酸十一烷基酯	23.211	-	0.533	-	-	-
A56		双(6-乙基-3-基)草酸酯	23.549	-	-	-	1.133	0.783

转下页

接上页							
A57		2-乙基己基亚硫酸十八烷基酯	25.595	1.778	-	-	-
A58		氯乙酸十二烷基酯	26.864	-	0.192	-	0.999
A59		2,2,2-三氯碳酸十四烷基酯	28.815	-	-	-	0.402
A60		氯乙酸十三烷基酯	31.505	-	-	-	0.825
A61		五氟丙酸十九酯	33.203	-	-	-	0.732
A62		五氟丙酸十四酯	33.652	-	-	-	0.552
A63		2,2,2-三氯碳酸十三烷基酯	34.877	-	-	0.087	0.185
A64		2,2,2-三氯碳酸十六烷基酯	35.899	0.356	-	1.041	0.288
A65		氯乙酸十六烷基酯	35.906	-	0.482	-	1.523
A66		2-氯丙酸十五烷基酯	39.953	-	-	-	1.39
A67		氯乙酸十五烷基酯	39.966	-	-	-	0.692
A68		6-四癸烷磺酸丁酯	40.862	-	0.145	0.269	-
A69		氯乙酸十四烷基酯	43.944	0.187	-	-	-
A70		邻苯二甲酸二异丁酯	51.022	0.155	0.99	45.28	1.483
A71		十六烷酸乙酯	53.415	0.927	-	-	-
A72		亚油酸乙酯	55.846	0.871	-	-	-
A73		2-戊基呋喃	14.299	6.031	1.445	2.316	6.934
A74	杂环类	萘	23.814	-	-	0.298	-
A75		1,2,3,4-四氢-5-甲基萘	27.981	-	0.172	0.361	-
A76		间二甲萘	6.419	0.517	-	-	-
A77		甲氧基萘基肟	10.103	-	0.432	-	0.132
A78		1-甲基-2-(1-甲基乙基)-萘	15.555	5.217	0.449	-	1.639
A79		1,2,4,5-四甲萘	15.732	0.199	-	1.121	-
A80		1-辛基三氟乙酸盐	18.649	-	0.441	1.096	-
A81		油酰氯	26.801	1.113	-	0.179	1.133
A82		二叔十二烷基二硫化物	38.097	-	-	0.449	1.657
A83	其他类	二丁基羟基甲苯	38.602	-	-	0.253	0.489
A84		2,6-双(1,1-二甲基乙基)-4-(1-氧代丙基)-苯酚	43.403	0.582	2.065	-	-
A85		4-吗啉乙胺	51.281	0.839	-	-	-
A86		4-十八烷基吗啉	51.287	-	5.812	-	0.392
A87		十六烷基二甲基叔胺	51.795	-	1.277	-	-
A88		正十六烷酸	52.859	0.695	-	-	-
A89		6-十八烯酸	55.921	1.557	-	-	-

注：“-”表示未检出。

从表中可以看出，原燕麦的挥发性成分中相对含量较高的化合物分别是二十烷（43.226%）、十二烷（11.882%）、2-戊基呋喃（6.031%）、1-甲基-2-(1-甲基乙基)-萘（5.217%）、己醛（4.646%）、(S)-(+)-3-甲基-1-戊醇（4.25%）、十一烷（3.557%）、十三醛（2.834%）和 γ -松油烯（1.901%）。148℃处理的燕麦样品的挥发性成分中相对含量较高的化合物分别是己烷（60.568%）、二十烷（7.243%）、壬醛（6.327%）、己醛（3.143%）、(1R,2S,5R)-2-异丙基-5-甲基环己醇

（2.471%）和2-戊基呋喃（1.445%）。161℃处理的燕麦样品的挥发性成分中相对含量较高的化合物分别是邻苯二甲酸二异丁酯（45.28%）、壬醛（13.263%）、十六烷（8.139%）、己醛（6.839%）、十二烷（5.457%）、二十烷（5.311%）、2-戊基呋喃（2.316%）、2,6,11-三甲基十二烷（1.633%）和1-辛烯-3-醇（1.557%）。168℃处理的燕麦样品的挥发性成分中相对含量较高的化合物分别是反-2-十一烯醇（22.511%）、2,6,11-三甲基十二烷（15.889%）、己醛（11.645%）、十六烷（9.437%）、

2-戊基呋喃(6.934%)、1-辛烯-3-醇(4.148%)、氯乙酸辛酯(2.839%)、2,6,10-三甲基十四烷(2.355%)和二十烷(1.739%)。172℃处理的燕麦样品的挥发性成分中相对含量较高的化合物分别是壬醛(24.681%)、2,6,10-三甲基十二烷(16.19%)、己醛(10.016%)、二十烷(9.395%)、2-戊基呋喃(7.533%)、邻苯二甲酸二异丁酯(4.479%)、2,2,2-三氯碳酸十六烷基酯(4.124%)、1-辛烯-3-醇(3.547%)、3-甲基-1-庚醇(3.337%)、(Z)-7-十六碳烯醛(2.15%)和2-氯丙酸十五烷基酯(1.39%)。

不同温度下燕麦样品中的挥发性成分不同,且与原燕麦差异较大,这可能是因为升温过程中燕麦片发生了许多化学反应,例如美拉德反应、醛、酮以及脂类氧化和氨基酸的降解,这些反应导致了大量对燕麦风味有贡献作用的挥发性成分的生成。

燕麦片中碳氢类物质的变化,可能是由于河北燕麦^[14]中含有较多的淀粉和水分,在较低的反应温度时,碳水化合物首先发生降解,长链烷烃裂解生成短链烷烃,使得碳水化合物的含量相对增加,当温度继续升高时,饱和的脂肪烃发生剧烈的氧化反应,生成一些同分异构体,或者受热降解生成一些醛类、酯类和醇类等物质,碳氢类化合物的相对含量减少。从表中可以看出,五种燕麦片中所共有的碳氢类风味成分应该是二十烷和十二烷(或者其同分异构体),一般来说烷烃类物质阈值较高,可能对燕麦风味的贡献较小,但烯烃阈值较低,并具有特殊香气,对食品风味的形成具有一定的作用,并且含量较高的碳氢类物质也有助于提高食品的整理风味^[15]。

醇类物质的形成一般来源于脂肪的氧化。本实验中主要检测到的醇类物质多为饱和醇如戊醇、己醇、庚醇、辛醇等,和不饱和醇(1-辛烯-3-醇、反-2-十一烯醇)相比,饱和醇的阈值较高,对燕麦的风味贡献较小。其中1-辛烯-3-醇具有令人愉悦的蘑菇、薰衣草和干草香气^[16],反-2-十一烯醇具有霉味和湿润的泥土味^[17],对燕麦风味都具有一定的影响。

醛类物质的产生主要来源于脂肪的氧化和氨基酸的降解^[18]。河北燕麦^[14]中含有高含量的亚油酸和油酸,己醛是亚油酸降解的产物^[19],壬醛是油酸氧化的产物^[20],己醛和壬醛都具有水果的香气。苯甲醛可能来源于苯丙氨酸的降解^[21],具有苦杏仁味,而(Z)-7-十六碳烯醛作为不饱和醛,其阈值低于饱和醛,呈现出一种特殊的坚果香、干炒味^[22]。总的来看,醛类物质的阈值都较低,对燕麦片的风味成分有重要意义。

酮类物质可能来源于脂肪的氧化、降解以及氨基

酸的降解或者微生物的代谢,酮类物质阈值较低,具有甘草香气,但是酮类物质较不稳定,在加热过程很容易进一步反应形成酸或醇,对燕麦片的整体风味贡献较小。

酯类物质的产生一般被认为是脂肪代谢产物生成的羧酸和醇酯化作用的产物,具有芳香气味。风味成分的呈味不仅和含量有关,也和阈值有关,因此,尽管燕麦片中酯类物质含量不算特别高,但其阈值低,对燕麦片的风味具有一定的辅助作用。

杂环类化合物是燕麦中重要的风味物质,可能来源于氨基酸类、二胺类等成分的热裂解及类脂的氧化降解,杂环类化合物阈值较低,一般都具有强烈的气味^[23]。2-戊基呋喃是由亚油酸氧化的产物,具有豆香、果香、青香、类似蔬菜的香气、较浓的烤坚果香气,而萘具有烤烟味,对燕麦粉的香气起到一定作用^[24]。由于这种热裂解或氧化反应较难发生,所以温度越高,反应更容易进行,生成杂环类物质含量越高,杂环类物质对燕麦片风味的贡献越大。挤压燕麦片中并未检测到酸类物质,这可能是由于在高温挤压的过程中酸类物质发生了酸败或者进一步氧化。148℃时产生了少量的酚类化合物,苯酚的阈值很高^[25],对燕麦风味的形成贡献较小。燕麦片中含氮化合物的产生可能来源于氨基酸的热降解以及美拉德反应,而苯类、甲苯类化合物可能来源于环境中其他化工品的污染。

2.2 不同挤压膨化温度的燕麦片及原燕麦中

挥发性风味成分的种类和相对含量

表2显示了5种燕麦片中挥发性化合物的种类和相对含量。从表中可以得知,5种燕麦片样品中挥发性风味物质种类多且杂,不同温度下样品的风味物质种类和相对含量存在一定的差异。其主要挥发性化合物为碳氢类、醇类、醛类、酮类、酯类、杂环类和其他类等化合物。

从挥发性风味物质的种类和含量上看,原料粉中鉴定出32种化合物,以碳氢类、醇类、醛类、其他类物质为主;在148℃时鉴定出了30种化合物,以碳氢类、醛类、其他类物质为主,此时碳氢类物质的含量最高(69.887%);在161℃时鉴定出31种化合物,以酯类、醛类、碳氢类物质为主,此时酯类物质的含量最高(47.008%);在168℃时鉴定出37种化合物,以碳氢类、醇类、醛类、酯类为主;在172℃时鉴定出30种化合物,以醛类、碳氢类、酯类、醇类、杂环类为主,此时醛类物质含量最高(37.776%)。

表 2 不同挤压膨化温度处理的燕麦片与原燕麦中挥发性风味物质的种类和相对含量 (%)

Table 2 The types and relative content of volatile flavor compounds in oatmeal and raw oats with different extrusion temperatures(%)

原料粉		148 °C		161 °C		168 °C		172 °C		
种类	相对含量	种类	相对含量	种类	相对含量	种类	相对含量	种类	相对含量	
碳氢类	8	63.030	7	69.887	10	22.352	8	32.465	3	25.764
醇类	4	7.115	3	4.305	3	3.066	5	28.107	4	8.208
醛类	2	7.479	5	10.517	3	21.017	3	13.092	4	37.776
酮类	0	-	2	0.859	0	-	0	-	1	1.145
醚类	2	1.108	0	-	2	0.484	3	2.082	3	2.813
酯类	7	4.517	5	2.341	5	47.008	11	11.877	10	13.658
杂环	1	6.031	2	1.617	3	2.975	1	6.934	2	8.045
其他	8	10.72	6	10.474	5	3.098	6	5.442	3	2.592
总计	32	100	30	100	31	100	37	100	30	100

2.3 不同挤压膨化温度处理的燕麦片及原燕麦中的关键风味成分的分析

采用相对气味活度值(ROAV)筛选样品中总体风味贡献最大的组分, ROAV 值越大对燕麦样品总体风

味的贡献也就越大。ROAV≥1 的组分为样品的关键风味成分, 0.1≤ROAV<1 的组分对样品的总体风味具有较好的修饰作用^[26]。

由于饱和烷烃类化合物气味阈值高, 因而主要讨论醇、醛、杂环类等对燕麦片风味贡献较大的化合物^[27]。

表 3 不同挤压膨化温度处理的燕麦片及原燕麦中的关键挥发性化合物分析结果

Table 3 Analysis results of key volatile compounds of oatmeal and raw oats with different extruded temperatures

化合物	感觉阈值 ^[28,29] /(μg/kg)	ROAV					气味描述
		原燕麦	148 °C	161 °C	168 °C	172 °C	
苯乙烯	730	-	-	-	0.01	-	树脂、花香香气
柠檬烯	10	-	0.57	-	-	-	柠檬香、橘香
1-辛烯-3-醇	1	95.11	11.05	11.74	100.00	14.37	蘑菇香、青香、蔬菜香
2-乙基-1-己醇	270000	-	<0.01	<0.01	-	-	蘑菇香气
1-辛醇	110	-	-	-	0.12	-	柠檬香
己醛	4.5	100.00	11.04	51.56	62.39	9.02	青香、叶香、果香、木香
苯甲醛	350	-	0.02	<0.01	0.08	0.84	特殊的苦杏仁香
辛醛	0.7	-	7.02	-	-	-	高度稀释下具有类似甜橙、蜂蜜样香气
壬醛	1	-	100	100	-	100	蜡香、柑橘香、脂肪香、花香
2-戊基呋喃	6	97.36	3.81	2.91	27.86	5.09	豆香、果香、泥土、青香及类似蔬菜香
正十六烷酸	10000	<0.01	-	-	-	-	
6-十八烯酸	-	-	-	-	-	-	
邻苯二甲酸二异丁酯	-	-	-	-	-	-	
(Z)-7-十六碳烯醛	-	-	-	-	-	-	
十三醛	-	-	-	-	-	-	
反-2-十一烯醇	-	-	-	-	-	-	

注: “-”表示因为无法查到该化合物的感觉阈值而未作分析。

由表 3 可知, 5 种燕麦片样品的主要风味成分是以醛类、醇类和杂环类为主。与原麦片相比, 不同挤压温度处理的燕麦片, 其关键风味成分的种类和贡献度都不同。对原麦片风味影响较大 (ROAV≥1) 的关键挥发性化合物有 3 种, 贡献度顺序为: 己醛>2-戊基

呋喃>1-辛烯-3-醇, 另外还有少量的正十六烷酸 (ROAV<0.01), 但是由于它的 OAV 值较少, 贡献度可以几乎忽略不计; 对 148 °C 燕麦样品风味影响较大的化合物有 5 种, 贡献度顺序为: 壬醛>1-辛烯-3-醇>己醛>辛醛>2-戊基呋喃, 另外还有部分柠檬烯和苯甲

醛 ($0.01 \leq \text{ROAV} < 1$), 对燕麦片风味具有一定的辅助作用; 对 161°C 燕麦样品风味影响较大的化合物有 4 种, 贡献度顺序为: 壬醛 > 己醛 > 1-辛烯-3-醇 > 2-戊基呋喃; 对 168°C 燕麦样品风味影响较大的化合物有 3 种, 贡献度顺序为: 1-辛烯-3-醇 > 己醛 > 2-戊基呋喃, 另外还有部分苯乙烯、1-辛醇和苯甲醛 ($0.01 \leq \text{ROAV} < 1$), 对燕麦片风味具有一定的修饰作用; 对 172°C 燕麦样品风味影响较大的化合物有 4 种, 贡献度顺序为: 壬醛 > 1-辛烯-3-醇 > 己醛 > 2-戊基呋喃, 另外含有部分苯甲醛, 对燕麦风味具有辅助作用。该结果表明了, 1-辛烯-3-醇、己醛、壬醛和 2-戊基呋喃是挤压燕麦片独特风味形成的重要挥发性化合物。

2.4 不同挤压膨化温度的燕麦片及原燕麦中挥发性风味成分的主元分析(PCA)

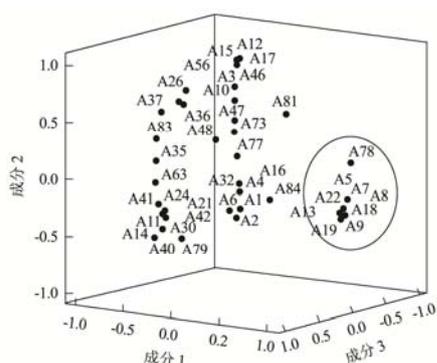


图2 不同挤压膨化温度的燕麦片及原燕麦中的挥发性风味成分的PCA分析

Fig.2 PCA analysis of volatile flavor compounds in oatmeal and raw oats with different extruded temperatures

以 5 种燕麦样品的 89 种挥发性成分作为变量, 进行 PCA 分析得到下图 2 载荷图。第一主成分占总变量的 33.828%, 第二主成分占总变量的 23.509%, 第三主成分占总变量的 25.405%, 第四主成分占总变量的 12.774%, 累计达到 95% 以上。从三维载荷图可以看出, PC1 中载荷较高的正影响挥发性物质主要有 γ -松油烯 (A5)、1-戊基-2-丙基环戊烷 (A7)、十一烷 (A8)、十二烷 (A9)、二十烷 (A13)、2,6,11,15-四甲基十六烷 (A19)、2,6,10-三甲基十六烷 (A22)、1-甲基-2-(1-甲基乙基)-苯 (A78), 这类物质与原麦片关系紧密。通过 PCA 结果也可知, 碳氢类化合物在原麦片中占较大的比重, 与之前的结果相符合。其他 4 种燕麦片其挥发性成分之间的差异也较大, 这从 PCA 图点的分布也可以看出, 这可能是因为挤压膨化升温过程中化学反应的不断发生, 导致其物质的种类和含量变化较大。主成分分析结果也表明 5 种燕麦片挥发性风味成分具

有明显的差异性。

3 结论

本实验选取河北燕麦作为样本, 通过挤压膨化的加工方式, 对燕麦片进行加工并获得样本。采用 GC-MS 对 5 种燕麦片中挥发性成分进行测定, 共鉴定出 89 种挥发性风味成分, 二十烷、1-辛烯-3-醇、己醛、邻苯二甲酸二异丁酯、2-戊基呋喃为它们共有的挥发性成分。实验结果表明, 不同加工温度下, 挥发性成分的种类和含量不同, 对燕麦片整体风味的贡献也不同。在 168°C 时, 碳氢类化合物和醇类化合物的相对含量较高, 分别为 32.465% 和 28.107%, 此时, 燕麦片中挥发性成分的种类也最为丰富, 有 37 种; 在 172°C 时, 醛类化合物最高, 分别为 37.776%, 对燕麦整理风味贡献较大。ROAV 结果表明, 1-辛烯-3-醇、己醛、壬醛和 2-戊基呋喃是挤压燕麦片独特风味的关键风味化合物。PCA 结果也表明了原麦片与挤压燕麦片之间挥发性成分的差异性。本实验的开展为挤压膨化燕麦片的加工和制备提供了一定的理论依据, 为燕麦资源的综合开发利用提供了参考。

参考文献

- [1] 洪昭光, 宣清华, 陆大彪, 等. 燕麦降脂作用的临床观察[J]. 心肺血管病杂志, 1985, 4: 13-19
HONG Zhao-guang, XUAN Qing-hua, LU Da-biao, et al. Clinical observation of oats lipid-lowering effect [J]. Journal of Cardiovascular and Pulmonary Diseases, 1985, 4: 13-19
- [2] Bell S, Goldman V M, Bistran B R, et al. Effect of β -glucan from oats and yeast on serum lipids [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1999, 39(2): 189-202
- [3] Lampi A M, Damerou A, Li J, et al. Changes in lipids and volatile compounds of oat flours and extrudates during processing and storage [J]. Journal of Cereal Science, 2015, 62: 102-109
- [4] 顾军强, 钟葵, 周素梅, 等. 不同热处理燕麦片风味物质分析[J]. 现代食品科技, 2015, 31(4): 282-288
GU Jun-qiang, ZHONG Kui, ZHOU Su-mei, et al. Effects of various heat treatments on volatile compounds in oatmeal [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(4): 282-288
- [5] Dorota Klensporf, Henryk H Jeleń. Effect of heat treatment on the flavor of oat flakes [J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48(3): 656-661
- [6] Sides A, Robards K, Helliwell S, et al. Changes in the volatile profile of oats induced by processing [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(5): 2125-2130

- [7] Pfannhauser W. Volatiles formed during extrusion cooking of cereals [J]. *Flavour & Fragrance Journal*, 1993, 8(2): 109-113
- [8] 李伟,罗瑞明,李亚蕾,等.宁夏滩羊肉的特征香气成分分析[J].*现代食品科技*,2013,29(5):1173-1177
LI Wei, LUO Rui-ming, LI Ya-lei, et al. Analysis of characteristic aroma compounds of ningxia tan mutton [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 29(5): 1173-1177
- [9] Diao W R, Hu Q P, Zhang H, et al. Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action of essential oil from seeds of fennel (*Foeniculumvulgare* Mill.)[J]. *Food Control*, 2014, 35(1): 109-116
- [10] Zhu P, Miao H, Du J, et al. Organochlorine pesticides and pyrethroids in Chinese tea by screening and confirmatory detection using GC-NCI-MS and GC-MS/MS [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(29): 7092-7100
- [11] Stupak M, Kocourek V, Kolouchova I, et al. Rapid approach for the determination of alcoholic strength and overall quality check of various spirit drinks and wines using GC-MS [J]. *Food Control*, 2017, 80: 307-313
- [12] Zhu H, Zhu J, Wang L, et al. Development of a SPME-GC-MS method for the determination of volatile compounds in Shanxi aged vinegar and its analytical characterization by aroma wheel [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 53(1): 171-183
- [13] Klensporf D, Jeleñ H H. Analysis of volatile aldehydes in oat flakes by SPME-GC/MS [J]. *Polish Journal of food and Nutrition Sciences*, 2005, 14(4): 389
- [14] 郑俊.燕麦、青稞营养组分、蛋白和多酚理化性质分析及加工方式对燕麦粉品质影响研究[D].南昌:南昌大学,2016
ZHENG Jun. Nutritional component analysis, properties of protein and polyphenol among oat varieties and hullless barley and the influence of processing on the quality of oat flour [D]. Nanchang: Nanchang University, 2016
- [15] 周晓媛,邓靖,李福枝,等.发酵辣椒的挥发性风味成分分析[J].*食品与生物技术学报*, 2007,26(1):54-59
ZHOU Xiao-yuan, DENG Jing, LI Fu-zhi, et al. Studies on the volatile components in fermented chili products [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2007, 26(1): 54-59
- [16] Leduc F, Tournayre P, Kondjoyan N, et al. Evolution of volatile odorous compounds during the storage of European seabass (*Dicentrarchuslabrax*) [J]. *Food Chemistry*, 2012, 131(4): 1304-1311
- [17] Annan N T, Poll L, Plahar W A, et al. Aroma characteristics of spontaneously fermented Ghanaian maize dough for kenkey [J]. *European Food Research and Technology*, 2003, 217(1): 53-60
- [18] Stahnke L H. Dried sausages fermented with *Staphylococcus xyloso* at different temperatures and with different ingredient levels-Part II. Volatile components [J]. *Meat Science*, 1995, 41(2): 193-209
- [19] 王建辉,王秀,陈奇,等.氧化分解过程中亚油酸组成成分及挥发性物质的变化[J].*食品与机械*,2016,5:2
WANG Jian-hui, WANG Xiu, CHEN Qi, et al. Study on oxidation degradation products of linoleic acid [J]. *Food & Machinery*, 2016, 5: 2
- [20] 曹君.不同脂肪酸结构食用油的氧化规律及其动力学研究[D].南昌:南昌大学,2015
CAO Jun. Oxidative patterns and kinetics of edible oils with different fatty acid compositions [D]. Nanchang: Nanchang University, 2015
- [21] Xie J C, Sun B G, Wang S B. Aromatic constituents from chinese traditional smoke-cured bacon of mini-pig [J]. *Food Science & Technology International*, 2008, 14(4): 329-340
- [22] 孙宝国.食用调香术[M].北京:化学工业出版社,2003
SUN Bao-guo. Food flavoring [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003
- [23] 吴昊,许时婴.牛肉风味料的香气成分[J].*食品与生物技术学报*,2001,20(2):158-163
WU Hao, XU Shi-ying. Volatile aroma components in beef flavoring [J]. *Journal of Wuxi University of Light Industry*, 2001, 20(2): 158-163
- [24] LIU Dan. Study on the volatile components in oats and oats flakes and effects of oats flakes in patients with hyperlipidemia [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2014
- [25] Amooore J E, Hautala E. Odor as an aid to chemical safety: odor thresholds compared with threshold limit values and volatilities for 214 industrial chemicals in air and water dilution [J]. *Journal of Applied Toxicology*, 1983, 3(6): 272-290
- [26] 夏延斌.食品风味化学[M].北京:化学工业出版社,2008
XIA Yan-bin. Food flavors chemistry [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008
- [27] 王彦蓉,丛懿洁,崔春,等.固相微萃取与气质联用法分析沙琪玛储存过程中挥发性风味成分变化[J].*现代食品科技*, 2012,28(2):218-222
WANG Yan-rong, CONG Yi-jie, CUI Chun, et al. Profiling Flavor Compounds of Sachima during Storage Using

- Solid-phase Microextraction Gas Chromatograph-mass Spectrometry (SPME-GC-MS) [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(2): 218-222
- [28] John C. Flavor-base 2001 (Demo)[DB][J]. Leffingwell & Associates, 2001
- [29] 刘登勇,周光宏,徐幸莲.确定食品关键风味化合物的一种新方法:“ROA”法[J].食品科学,2008,29(7):370-374
- LIU Deng-yong, ZHOU Guang-hong, XU Xing-lian. "ROAV" method: a new method for determining key odor compounds of rugao ham [J]. Food Science, 2008, 29(7): 370-374

现代食品科技