

## 基于气相色谱-离子迁移色谱分析五彩糙米挥发性成分差异

金文刚, 刘俊霞, 王金泽, 耿敬章

(陕西理工大学生物科学与工程学院 陕西省资源生物重点实验室 陕西汉中 723001)

**摘要** 研究不同色泽糙米的挥发性气味成分差异,明确彩色糙米的风味品质特性。以汉中市洋县产五彩糙米(黑、红、紫、黄和绿)为试材,采用气相-离子迁移色谱方法(GC-IMS)比较不同色泽糙米挥发性气味成分差异。结果:从五彩米样品中共鉴定出 62 种挥发性气味成分,包括醛类 30 种(占 63.48%~70.39%)、醇类 10 种(占 8.47%~16.81%)、酮类 10 种(占 10.13%~15.09%)、酯类 6 种(占 1.64%~6.15%)、呋喃类 2 种(占 2.39%~4.94%)、酸类 2 种(占 0.35%~1.34%)和醚类 2 种(占 0.35%~0.79%)。黑色糙米的醛类含量相对较高,紫色糙米醇类和呋喃类含量相对较高,绿色糙米酮类含量相对较高,黄色糙米的酯类、醚类和酸类含量均相对较高。主成分分析表明,前 2 个主成分累计贡献率为 72.2%,说明 GC-IMS 数据可区分五彩糙米原料挥发性成分。结论:通过建立洋县五彩糙米气味指纹图谱,可视化呈现不同色泽糙米挥发性风味轮廓,为其质量控制提供参考依据。

**关键词** 色稻; 糙米; 气相-离子迁移色谱; 气味; 主成分分析

**文章编号** 1009-7848(2023)07-0382-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.07.039

与普通大米相比,糙米富含更多的营养素和膳食纤维,具有预防心脑血管疾病、降血糖、降血脂等健康促进作用<sup>[1-2]</sup>,正在被越来越多的消费者推崇。洋县位于陕西省汉中市秦岭-巴山腹地,是我国著名的有色稻产地之一,当地五彩米已受国家地理保护认证<sup>[3-5]</sup>。气味是判断糙米品质的重要方面,影响消费者的购买欲望,与其新鲜度与品质优劣也高度相关<sup>[6-7]</sup>。

近年来,稻米挥发性风味成分特征已成为评价其食味品质的必要内容<sup>[8-10]</sup>。Mahatheerant 等<sup>[11]</sup>借助气相-质谱技术(Gas chromatograph-mass spectrometry,GC-MS)从泰国糙米中鉴定出 140 多种挥发性组分,并探讨风味成分与其自身理化特性的关联。Liu 等<sup>[12]</sup>通过顶空固相微萃取结合 GC-MS,从糙米、发芽糙米和富硒发芽糙米中鉴定出 8 类约 100 种挥发性有机化合物。Gu 等<sup>[10]</sup>借助气相-离子迁移谱(Gas chromatograph-ion mobility spectrometer,GC-IMS)和电子鼻解析了气味特征,以快速判断大米曲霉菌感染程度。宋伟等<sup>[13]</sup>检测了不同储藏条件下的糙米陈化气味的电子鼻信号响应性。王熠瑶等<sup>[14]</sup>利用 GC-IMS 手段表征了不

同储藏条件下 8 类稻米样品挥发性有机物轮廓特征。与主流 GC-MS 相比,GC-IMS 是近几年较流行的风味成分分离和检测方法,兼具气相色谱的高分辨能力和离子迁移色谱的快速响应性,具有样品制备流程简单、快速、可视化等优势<sup>[15-18]</sup>,越来越多地用于食品风味检测领域。

有关糙米营养组成以及不同品种、贮藏及加工条件下气味成分的研究已有较多报道<sup>[11-15]</sup>。前期已对洋县黑米花青苷进行定性、定量<sup>[19]</sup>、生物活性<sup>[20-21]</sup>以及体内代谢吸收<sup>[22]</sup>研究。目前,对洋县五彩糙米的营养成分和蒸煮、膨化加工后挥发性风味成分已有部分研究报道<sup>[3-6]</sup>,而不同原料的风味挥发性物质特征尚未明确。本文通过 GC-IMS 技术分析比较洋县五彩糙米气味化合物轮廓及指纹,为揭示不同色泽稻米风味品质特征提供理论参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

5 种色泽糙米,品种分别为双亚黑香 1 号(黑色)、双亚红香 1 号(红色)、双亚紫香 1 号(紫色)、双亚黄(黄色)和双亚绿(绿色)<sup>[3]</sup>,购自汉中秦优谷农业发展有限公司,不同色泽糙米样品外观如图 1 所示,试验前真空包装密封 4℃保藏。

收稿日期: 2022-07-09

基金项目: 国家留学基金委访问学者项目(202008610071)

第一作者: 金文刚,男,博士,副教授

E-mail: jinwengangchina@gmail.com

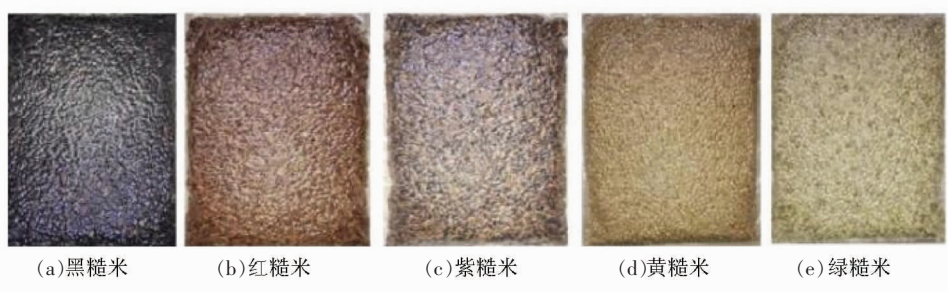


图 1 汉中市洋县五彩糙米数码照片

Fig.1 Digital illustration of five-pigmented brown rice from Yang County, Hanzhong

## 1.2 主要仪器

Flavour Spec<sup>®</sup>气相-离子迁移谱仪,德国 G.A.S 公司;YH-M 型电子天平,北京京衡伟业科技有限公司。

## 1.3 风味挥发物检测分析

洋县不同色泽糙米粉碎后,过 40 目筛,精密称取 3.0 g, 分别放入 20.0 mL 顶空进样瓶中,80 ℃ 孵化 5 min, 顶空进样后用 GC-IMS 进行气味化合物检测, 仪器设定参数与课题组前期报道一致<sup>[3]</sup>。

## 1.4 数据统计分析

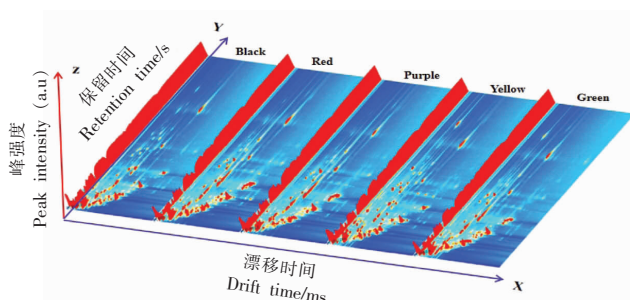
通过仪器自带插件得到谱图信息。通过风味仪内置 NIST 2014 库和 IMS 库对气味成分定性。每个样品平行测定 3 次,取平均值,通过气味成分峰体积归一化法计算其相对含量,SPSS 22.0 软件邓肯多重比较显著性差异( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 五彩糙米 GC-IMS 挥发性成分谱图分析

利用 GC-IMS 技术对洋县产五彩糙米(黑、红、紫、黄和绿)气味挥发物做了检测。图 2 是由该仪器内置软件生成的五彩糙米气味挥发物 3D 地貌图。图中每个斑点代表一种气味化合物,颜色深浅指示信号响应强度,受到挥发性化合物含量和特性的影响<sup>[14,23]</sup>。5 个色系样品从左到右分别来自黑糙米(Black)、红糙米(Red)、紫糙米(Purple)、黄糙米(Yellow)和绿糙米(Green)。由图 2 可知,5 种色彩糙米 GC-IMS 三维地貌图用肉眼进行分析比较相对困难,需要进一步降维处理。

图 3 为洋县五彩糙米 3D 地貌图降维后得到的 2D 图,图 3a 为 2D 俯视图,图 3b 为扣除左侧黑糙米响应信号得到的不同色泽糙米样品差异比



注:Black, Red, Purple, Yellow 和 Green 分别代表黑色糙米、红色糙米、紫色糙米、黄色糙米和绿色糙米,下同。

图 2 汉中市洋县五彩糙米 GC-IMS 三维地貌图

Fig.2 3D GC-IMS spectra of five-pigmented brown rice from Yang County, Hanzhong

较图,可相对容易的比较 5 种色泽糙米挥发性风味物质的差异。洋县不同色泽糙米气味化合物被 GC-IMS 较好地分离,不同样品中一些风味挥发性成分比例或增或降,具有一定的差异分辨特征<sup>[23-24]</sup>。

### 2.2 五彩糙米气味化合物定性

目前,GC-IMS 定性气味化合物主要以正构酮(例如:2-丁酮、2-戊酮、2-己酮、2-庚酮、2-辛酮和 2-壬酮)作为外标<sup>[3-4]</sup>,借助对比各种外标化合物的保留时间和迁移时间,确定气味物质保留指数,再由内置数据库匹配实现对气味化合物定性分析。图 4 为五彩糙米气味化合物定性分析图谱(以绿糙米样品为例),图中显示的数字,标记点代表定性分析的一种具体气味化合物。根据风味仪软件内置的 NIST 2014 气相保留指数数据库与 G. A.S.的 IMS 迁移时间数据库,从 75 个信号峰可以明确性的挥发性成分共有 62 种(单体及二聚体),包括醛类 30 种、醇类 10 种、酮类 10 种、酯类 6 种、酸类 2 种、醚类 2 种和吡喃类 2 种,结果如

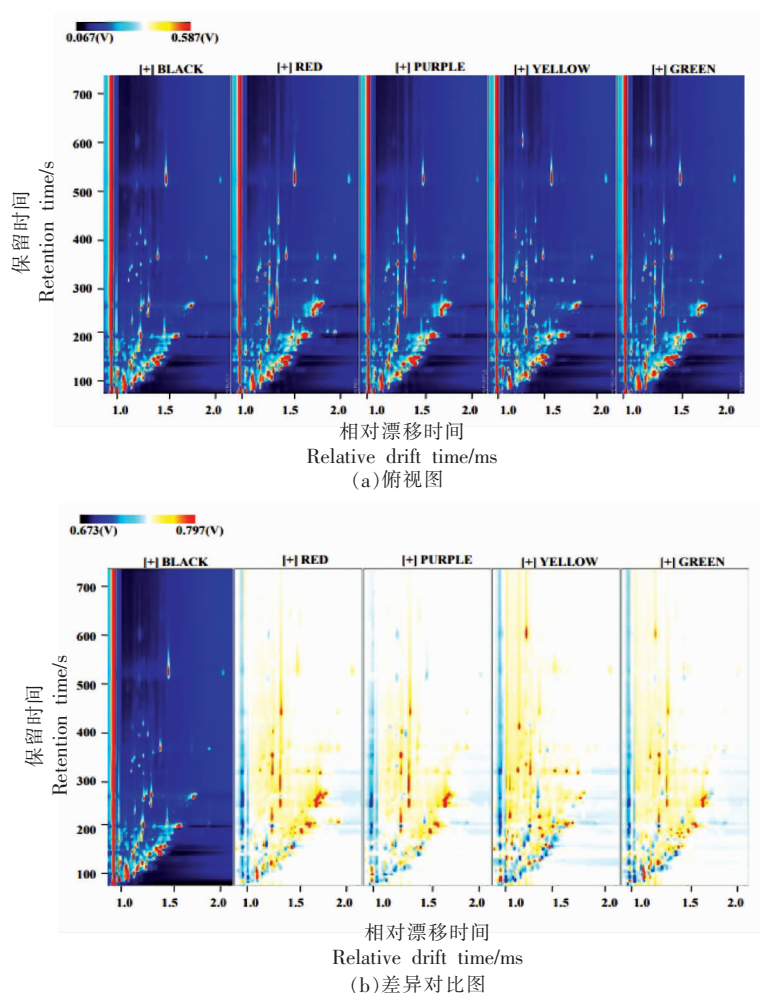


图3 洋县五彩糙米 GC-IMS 二维谱图

Fig.3 2D GC-IMS spectra of five-pigmented brown rice from Yang County

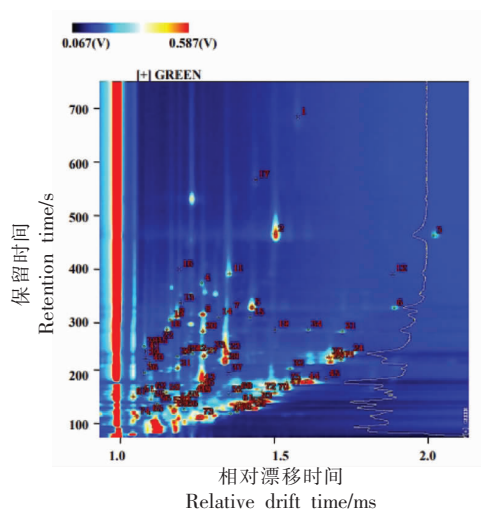


图4 洋县绿糙米挥发性成分离子迁移谱定性分析

Fig.4 IMS qualitative analysis of volatile compounds of green-pigmented brown rice from Yang County

表1所示。

### 2.3 洋县五彩糙米气味化合物指纹分析

选取所有已鉴定出气味化合物数据由仪器内置插件生成的指纹谱图(图5)中,横向代表不同色泽糙米样品(从上至下依次为黑色、红色、紫色、黄色和绿色),纵向显示五彩米中同一气味挥发性成分,指纹中2个相同有机物名称可代表气味物质的单体或者二聚体。通过图5横、纵向比较可知,洋县五彩糙米挥发性成分显示出了较大差异性。可大致看出黑色糙米中2-戊酮单体、2-甲基丁醛(单体和二聚体)和异戊醛含量相对较高;红色糙米中乙酸丁酯、丙酸丁酯、己酸乙酯、2-己酮、2-庚酮二聚体、苯乙酮、反-2-辛烯醛(单体和二聚体)、2-甲基丁醛二聚体、异戊醛二聚

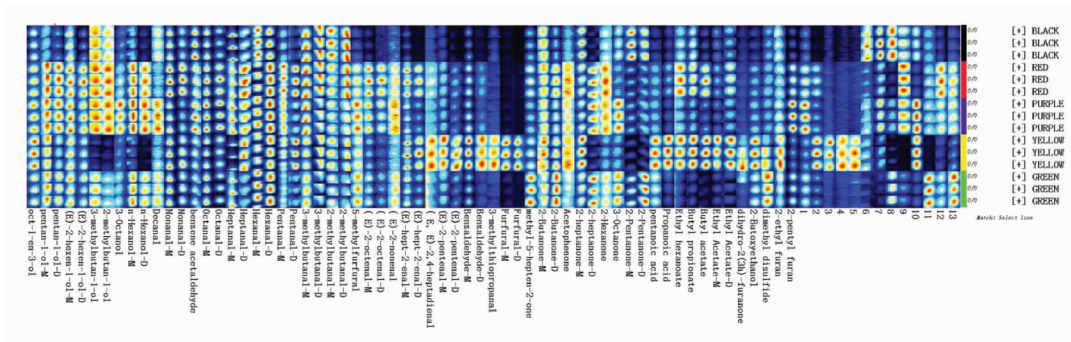
表1 洋县五彩糙米中鉴定的挥发性有机化合物及其相对含量  
Table 1 Volatile organic compounds detected from five-pigmented brown rice from Yang County

编号	气味化合物中英文名称	气味描述 <sup>[3,24-25]</sup>	保留指数	$T$ 保留/ $T$ 漂移/ $T$ ms		相对含量/%				
				s	ms	黑糙米	红糙米	紫糙米	黄糙米	绿糙米
1	癸醛 (Decanal)	油脂香	1280.7	754.584	1.53978	0.322	0.183	0.294	0.217	0.293
2	壬醛单体 (Nonanal-M)	油脂和甜橙味	1112.1	512.21	1.47328	10.221	8.874	7.239	8.604	8.642
3	壬醛二聚体 (Nonanal-D)	油脂和甜橙味	1109.9	508.969	1.94408	1.356	1.537	0.941	1.344	1.298
4	苯乙醛 (Benzene acetaldehyde)	玉簪花香	1041.4	410.464	1.2545	1.817	1.324	1.501	1.086	1.168
5	辛醛单体 (Octanal-M)	果香	1005.7	359.216	1.40221	4.672	3.823	4.617	3.389	4.155
6	辛醛二聚体 (Octanal-D)	果香	1005.4	358.736	1.82766	1.041	1.245	1.342	1.002	0.981
7	己酸乙酯 (Ethyl hexanoate)	果香	1000.7	352.013	1.3412	0.615	0.748	0.536	0.786	0.313
8	2-正戊基呋喃 (2-Pentyl furan)	豆香、果香、泥土、青香	996.3	345.77	1.25611	1.194	2.594	3.915	1.614	2.712
9	6-甲基-5-庚烯-2-酮 (Methyl-5-hepten-2-one)	果香和新鲜清香气	990.7	340.968	1.17744	0.730	0.742	0.609	0.787	1.346
10	1-辛烯-3-醇 (Oct-1-en-3-ol)	蘑菇和泥土味	983.4	334.725	1.15978	0.915	0.731	0.836	0.970	0.750
11	反-2-辛烯醛单体 ((E)-2-octenal-M)	脂肪和肉类香气, 并有黄瓜和鸡肉香味	1054.8	429.809	1.33638	0.674	2.276	2.333	1.250	1.933
12	反-2-辛烯醛二聚体 ((E)-2-octenal-D)	脂肪和肉类香气, 并有黄瓜和鸡肉香味	1054.8	429.809	1.82285	0.130	0.276	0.251	0.139	0.195
13	(E,E)-2,4-庚二烯醛 ((E,E)-2,4-heptadienal)	-	1012.4	368.821	1.19028	0.140	0.124	0.133	0.188	0.144
14	3-辛酮 (3-Octanone)	果实香味	989.2	339.672	1.30419	0.192	0.073	0.190	0.095	0.166
15	3-辛醇 (3-Octanol)	油脂、果仁和草药香味	988.3	338.96	1.39841	0.229	0.226	0.379	0.151	0.251
16	苯乙酮 (Acetophenone)	果香	1061.5	439.45	1.18662	0.087	0.074	0.071	0.063	0.061
17	反式-2-壬醛 ((E)-2-nonenal)	-	1190.4	624.736	1.4138	0.102	0.111	0.149	0.103	0.154
18	苯甲醛单体 (Benzaldehyde-M)	苦杏仁	959.4	314.26	1.15017	1.014	1.268	1.328	2.212	1.105
19	苯甲醛二聚体 (Benzaldehyde-D)	苦杏仁	959.6	314.445	1.4713	0.058	0.113	0.104	0.337	0.069
20	(E)-2-庚烯醛单体 ((E)-hept-2-enal-M)	微脂芳香	954.4	310.021	1.25684	0.854	2.304	1.814	2.536	2.246
21	(E)-2-庚烯醛二聚体 ((E)-hept-2-enal-D)	微脂芳香	955.1	310.574	1.67215	0.095	0.697	0.381	0.867	0.468
22	5-甲基呋喃 (5-Methylfurfural)	甜香、辛香气味	931.7	290.666	1.12861	0.062	0.082	0.117	0.088	0.119
23	庚醛单体 (Heptanal-M)	果香	906.2	268.916	1.32719	6.403	6.522	7.890	2.996	7.237
24	庚醛二聚体 (Heptanal-D)	果香	900.6	264.123	1.69484	4.008	4.445	4.466	3.831	2.917
25	乙二醇单丁醚 (2-Butoxyethanol)	-	900.6	264.123	1.2035	0.126	0.141	0.193	0.388	0.284
26	2-庚酮单体 (2-Heptanone-M)	梨香	894.4	258.778	1.26024	2.659	1.617	1.605	2.493	1.932
27	己醇单体 (n-Hexanol-M)	水果香	874.9	247.652	1.32386	3.517	4.868	5.594	1.678	5.170
28	己醇二聚体 (n-Hexanol-D)	水果香	876	248.232	1.63746	0.420	1.937	2.445	0.226	2.032
29	2-庚酮二聚体 (2-Heptanone-D)	梨香	893.3	257.857	1.63252	0.471	1.363	1.585	0.420	1.655
30	反式-2-己烯醇单体 ((E)-2-hexen-1-ol-M)	青香	849.1	233.846	1.18188	1.320	1.126	1.299	0.948	1.119

(续表 1)

编号	气味化合物中英文名称	气味描述 <sup>B.24-25)</sup>	保留指数	T保留/		T漂移/					相对含量/%				
				s	ms	黑糙米	红糙米	紫糙米	黄糙米	绿糙米					
31	反式-2-己烯醇二聚体((E)-2-hexen-1-ol-D)	青香	847.3	232.863	1.51727	0.241	0.486	0.433	0.368	0.417					
32	丙酸丁酯(Butyl propionate)	苹果香味	907.6	270.081	1.2826	0.835	0.749	0.423	1.023	0.238					
33	糠醛单体(Furfural-M)	杏仁	830.8	224.017	1.08232	0.255	0.169	0.215	1.928	0.323					
34	糠醛二聚体(Furfural-D)	杏仁	829.1	223.138	1.33413	0.080	0.082	0.077	1.298	0.066					
35	$\gamma$ -丁内酯(Dihydro-2(3H)-furanone)	-	918	278.952	1.08232	0.179	0.111	0.131	0.463	0.234					
36	3-甲基丙醛(3-Methylthiopropional)	恶臭味	906.3	268.99	1.08836	0.045	0.015	0.027	0.088	0.025					
37	正戊酸(Pentanoic acid)	令人不愉快的气味	900.3	263.863	1.22636	0.066	0.069	0.085	0.170	0.119					
38	己醛单体(Hexanal-M)	刺激性气味	794.4	204.534	1.25255	4.268	1.828	2.502	1.921	2.556					
39	己醛二聚体(Hexanal-D)	刺激性气味	797.2	205.999	1.5648	9.740	9.951	10.311	9.399	10.703					
40	乙酸丁酯(Butyl acetate)	愉快水果香味	806.7	211.126	1.62422	0.263	0.664	0.278	0.903	0.110					
41	1-戊醇单体(Pentan-1-ol-M)	略有气味	767.5	192.277	1.25051	1.785	2.112	2.257	1.869	2.197					
42	1-戊醇二聚体(Pentan-1-ol-D)	略有气味	769.6	193.136	1.50843	1.156	2.397	2.529	1.558	2.162					
43	2-甲基丁醇(2-Methylbutan-1-ol)	特殊气味	736.6	179.759	1.22782	0.334	0.327	0.379	0.054	0.184					
44	异戊醇(3-Methylbutan-1-ol)	令人厌恶的气味	732.4	178.041	1.24123	0.852	0.652	0.661	0.113	0.529					
45	二甲基二硫醚(Dimethyl disulfide)	恶臭气味	745.7	183.441	1.14838	0.264	0.214	0.207	0.360	0.504					
46	戊醛单体(Pentanal-M)	特殊香味	695.5	163.069	1.18139	1.164	1.673	1.772	1.448	1.432					
47	丙酸(Propanoic acid)	刺激性气味	709.1	168.594	1.10237	0.285	0.369	0.272	1.085	0.330					
48	2-戊酮单体(2-Pentanone-M)	酒和丙酮气味	686.2	159.632	1.12099	0.783	0.184	0.225	0.141	0.360					
49	2-甲基丁醛单体(2-Methylbutanal-M)	苹果香味	669.5	155.151	1.16009	1.315	0.797	0.844	0.926	0.895					
50	2-甲基丁醛二聚体(2-Methylbutanal-D)	苹果香味	667.4	154.573	1.39376	6.594	4.379	3.889	3.884	3.714					
51	异戊醛二聚体(3-Methylbutanal-D)	苹果香味	645.4	148.646	1.404	8.001	5.529	4.460	4.758	4.138					
52	2-戊酮二聚体(2-Pentanone-D)	酒和丙酮气味	690.2	160.933	1.36769	2.548	0.939	1.242	0.553	2.447					
53	反式-2-戊烯醛单体((E)-2-pentenal-M)	-	749.7	185.073	1.10703	0.172	0.258	0.247	0.564	0.290					
54	戊醛二聚体(Pentanal-D)	有特殊香味	698.7	164.402	1.42262	3.862	5.183	3.803	5.780	4.484					
55	乙酸乙酯二聚体(Ethyl acetate-D)	果香	611.1	139.395	1.33976	0.950	1.011	0.760	1.358	0.450					
56	乙酸乙酯单体(Ethyl acetate-M)	果香	609.5	138.961	1.09865	0.644	0.534	0.484	1.225	0.294					
57	2-乙基呋喃(2-Ethyl furan)	-	724.1	174.666	1.04931	1.198	0.781	1.024	1.320	1.016					
58	反式-2-戊烯醛二聚体((E)-2-pentenal-D)	-	750.8	185.507	1.36211	0.094	0.317	0.268	0.957	0.284					
59	异戊醛单体(3-Methylbutanal-M)	苹果香味	647	149.08	1.17219	1.836	1.325	1.430	1.291	1.453					
60	2-丁酮二聚体(2-Butanone-D)	辛辣甜味	585.4	132.453	1.24849	2.871	4.167	3.304	4.374	5.764					
61	2-丁酮单体(2-Butanone-M)	辛辣甜味	589.1	133.461	1.06029	1.650	1.116	1.140	1.499	1.215					
62	2-己酮(2-Hexanone)	辛辣甜味	794.8	204.721	1.50758	0.222	0.163	0.163	0.142	0.151					

注: - 表示未查询到明确气味描述。



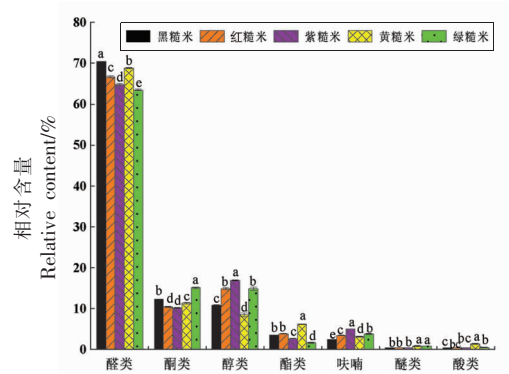
注：横向数字表示未定性气味化合物。

图 5 洋县五彩米气味化合物指纹图谱

Fig.5 Fingerprint of odor volatiles of five-pigmented rice from Yang County

体、庚醛二聚体、己醇、2-甲基丁醇、异戊醇、反-2-己烯酮和 1-戊醇(单体和二聚体)含量相对较高;紫色糙米中 2-戊基呋喃、3-辛酮、2-己酮、2-庚酮二聚体、反-2-壬醛、5-甲基呋喃醛、癸醛、己醇(单体和二聚体)、3-辛醇、二甲基丁醇和异戊醇含量相对较高;黄色糙米中 2-乙基呋喃、乙二醇单丁醚、 $\gamma$ -丁内酯、乙酸乙酯、乙酸丁酯(单体和二聚体)、丙酸丁酯、己酸乙酯、丙酸、戊酸、2-庚酮、苯乙酮、2-丁酮、糠醛(单体和二聚体)、3-甲硫基丙醛、苯甲醛(单体和二聚体)、反-2-戊烯醛(单体和二聚体)、(E,E)-2,4-庚二烯醛和 1-辛烯-3-醇含量相对较高;绿色糙米中 5-甲基呋喃醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、2-丁酮二聚体、2-庚酮二聚体和 2-戊酮二聚体含量相对较高。

为清晰地呈现洋县五彩糙米中各类气味化合物差异,根据检测到的各种挥发性有机物的峰体积,通过归一化处理获得样品间气味化合物种类的相对含量。洋县五彩糙米中气味化合物大体分为醛类、醇类、酮类、酯类、醚类、呋喃和酸类,其中醛类约占 63.48%~70.39%、醇类约占 8.47%~16.81%、酮类约占 10.13%~15.09%、酯类约占 1.64%~6.15%、呋喃类约占 2.39%~4.94%、醚类约占 0.35%~0.79%、酸类约占 0.35%~1.34%。不同色系糙米样品之间,醛类、醇类、酮类、酯类、呋喃类、醚类和酸类成分具有一定的差异性,其中黑糙米醛类含量相对较高,不同色系糙米样品中醛类物质差异显著( $P < 0.05$ );紫糙米醇类和呋喃类含量相对较高;绿糙米酮类含量相对较高;黄糙米酯类、醚类和酸类含量均相对较高。



注：同一种类气味物质柱上方标记不同小写字母,表明样品间存在显著差异( $P < 0.05$ )。

图 6 洋县五彩米中各类气味化合物相对含量

Fig.6 Relative content of odor chemical kinds in five-pigmented rice from Yang County

研究表明,醛类是稻米的主要风味物质贡献者,主要由脂肪氧化降解及脱羧产生,阈值较低,低浓度下有一定的青草和水果香气,浓度高时会导致稻米呈现陈化味道,而其它类化合物起到一定的辅助、烘托和丰富稻米整体风味的作用<sup>[24-27]</sup>。有研究采用低温等离子体处理糙米原料和糙米饭,利用 GC-IMS 技术从中识别出 7 类 55 种挥发性风味物质(包括醛类、醇类、酮类、酯类、萜类、酸类和其它类),主要以醛类、酮类为主<sup>[24]</sup>。本研究中国洋县不同色泽糙米中,气味化合物以醛类、醇类和酮类为主,然而相对含量以及其化合物类别存在少许差异,究其原因可能与原料状态、前处理步骤有关<sup>[24-25,28]</sup>。

2.4 洋县五彩糙米中气味化合物相似度对比分析  
有文献指出 GC-IMS 图谱检测的气味化合物

指纹数据结合主成分分析、聚类、欧氏距离等化学计量学方法比较分析,可以反映样品间的相似度,例如:不同色彩藜麦<sup>[17-18]</sup>、不同色泽小米粥<sup>[29]</sup>和不同品种高粱<sup>[30]</sup>等。本文将洋县五彩糙米原料的

GC-IMS 气味有机化合物信息进行主成分分析,发现 PC1 和 PC2 分别为 40.9% 和 31.3%, 合计达 72.2%(图 7a), 提示可以实现不同色泽糙米样品的较好区分。

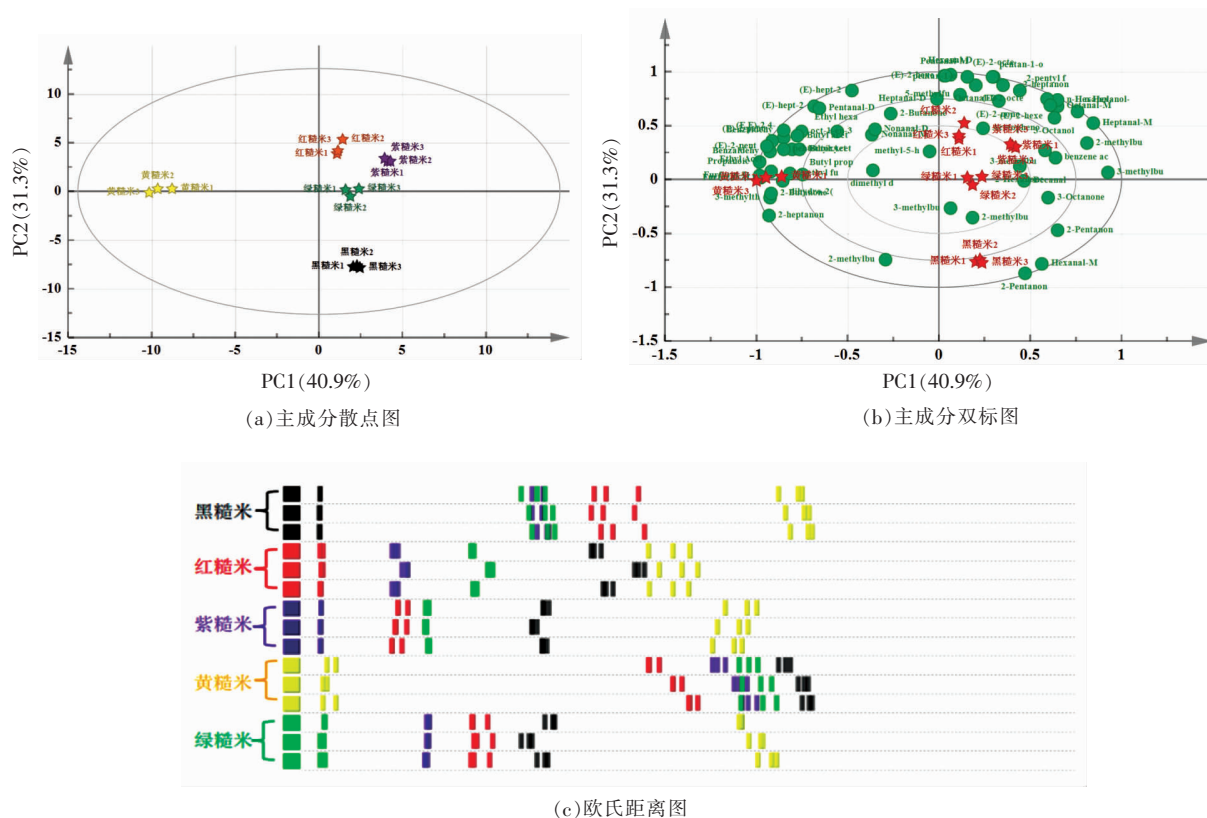


图 7 洋县五彩糙米挥发性成分相似度分析

Fig.7 Similarity analysis of five-pigmented brown rice from Yang County

图 7b 是不同色泽糙米样品与其挥发性成分的主成分双标图,可同时展示观测值和变量在主成分空间的分布情况,可以更直观的反映不同样品与具体挥发性成分的相关性,空间距离越接近说明相关性越大。图 7c 显示样品间的欧氏距离,可知黄糙米和黑糙米之间欧式距离较大,说明两者相似度较低;红糙米和紫糙米之间欧式距离最近,说明两者相似度较大,可通过欧式距离的远、近实现对不同色泽糙米样本相似度的判别。前期研究利用 GC-IMS 结合主成分得分、双标图和欧氏距离等方法区分出不同色泽米饭、小米粥的挥发性风味成分特征<sup>[3,29]</sup>。

## 4 结论

通过 GC-IMS 对洋县五彩米挥发性味成分的分析,得出以下结论:1)采用 GC-IMS 技术从洋县五彩糙米中共鉴定出 62 种挥发性风味成分,包括醛类 30 种(占 63.48%~70.39%)、醇类 10 种(占 8.47%~16.81%)、酮类 10 种(占 10.13%~15.09%)、酯类 6 种(占 1.64%~6.15%)、酸类 2 种(占 0.35%~1.34%)、醚类 2 种(占 0.35%~0.79%)和呋喃类 2 种(占 2.39%~4.94%)。五彩糙米中气味成分以醛类、醇类和酮类为主。2)黑色糙米醛类含量相对较高,不同色系糙米样品中醛类物质差异显著( $P < 0.05$ );紫色糙米醇类和呋喃类含量相对较高;绿色糙米酮类含量相对较高;黄色糙米酯类、醚类和

酸类含量较高。3)可通过 GC-IMS 挥发性成分谱图数据实现对洋县五彩糙米样品的区分和分类。该研究建立了洋县五彩糙米样品挥发性成分可视化图谱,为其质量控制与标准制定提供一定的基础数据。

### 参 考 文 献

- [1] GONDAL T A, KEAST R S T, SHELLIE R A, et al. Consumer acceptance of brown and white rice varieties[J]. *Foods*, 2021, 10(8): 1950.
- [2] WAHYUDI D, ARDIANSYAH S B, CAROLA S. Sensory evaluation and nutritional information on organic brown rice[J]. *Organic Agriculture*, 2020, 10: 243-252.
- [3] 金文刚, 刘俊霞, 赵萍, 等. 基于顶空气相-离子迁移色谱分析洋县不同色泽糙米蒸煮后挥发性风味物质差异[J]. *食品科学*, 2022, 43(18): 258-264.
- JIN W G, LIU J X, ZHAO P, et al. Analysis of volatile flavor components in cooked unpolished rice of different colors from Yang County by headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. *Food Science*, 2022, 43(18): 258-264
- [4] JIN W G, ZHANG Z H, ZHAO S B, et al. Characterization of volatile organic compounds of different pigmented rice after puffing based on gas chromatography-ion migration spectrometry and chemometrics[J]. *Food Research International*, 2023, 169: 112879.
- [5] 庞海霞. 汉中五彩米中微量元素的测定分析[J]. *江苏农业科学*, 2013, 41(5): 301-302.
- PANG H X. Determination and analysis of trace elements in Hanzhong colored rice[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(5): 301-302.
- [6] DENG G F, XU X R, ZHANG Y, et al. Phenolic compounds and bioactivities of pigmented rice [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2013, 53(3): 296-306.
- [7] 陈焱芳, 张雁, 邓媛元, 等. 糙米挥发性风味物质分析技术及其在加工中变化研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(8): 160-169.
- CHEN Y F, ZHANG Y, DENG Y Y, et al. Research progress in analysis technology of volatile flavor compounds in brown rice and its changes during processing[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(8): 160-169.
- [8] 雷洋, 黄甫文倩, 胡新中. 燕麦米及燕麦片挥发性风味差异研究[J]. *中国粮油学报*, 2021, 36(10): 35-42.
- LEI Y, HUANGFU W Q, HU X Z, et al. Volatile flavor differences between oat rice and oat meal[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2021, 36(10): 35-42.
- [9] ZHANG X, DAI Z, FAN X, et al. A study on volatiles metabolites screening by HS-SPME-GC-MS and HS-GC-IMS for discrimination and characterization of white and yellowed rice[J]. *Cereal Chemistry*, 2020, 97(2): 496-504.
- [10] GU S, CHEN W, WANG Z, et al. Rapid detection of *Aspergillus* spp. infection levels on milled rice by headspace-gas chromatography ion-mobility spectrometry (HS-GC-IMS) and E-nose[J]. *LWT*, 2020, 132: 109758.
- [11] MAHATHEERANONT S, KEAWSA-ARD S, DUMRI K. Quantification of the rice aroma compound, 2-acetyl-pyrroline, in uncooked Khao Dawk Mali 105 brown rice[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(2): 773-779.
- [12] LIU K L, ZHAO S, LI Y, et al. Analysis of volatiles in brown rice, germinated brown rice, and selenized germinated brown rice during storage [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(6): 2295-2301.
- [13] 宋伟, 刘璐, 支永海, 等. 电子鼻判别不同储藏条件下糙米品质的研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(24): 360-365.
- SONG W, LIU L, ZHI Y H, et al. Discriminating the quality of brown rice stored at different conditions by electronic nose[J]. *Food Science*, 2010, 31(24): 360-365.
- [14] 王熠瑶, 张丞彦, 孙俊, 等. 基于 GC-IMS 技术分析糙米储藏过程中风味物质变化[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(6): 250-255.
- WANG Y Y, ZHANG Z Y, SUN J, et al. Analysis of flavor changes of brown rice during storage based on gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(6): 250-255.
- [15] 刘强, 刘纪伟, 田恬, 等. 高温胁迫下糙米短期储藏气味指纹图谱变化规律的动态分析[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(2): 379-391.



- LIU Q, LIU J W, TIAN T, et al. Dynamic analysis for the characteristics of flavor fingerprints for brown rice in short-term storage under high temperature stress[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(2): 379-391.
- [16] WANG S, CHEN H, SUN B. Recent progress in food flavor analysis using gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS)[J]. *Food Chemistry*, 2020, 315: 126158.
- [17] SONG J, SHAO Y, YAN Y, et al. Characterization of volatile profiles of three colored quinoas based on GC-IMS and PCA[J]. *LWT*, 2021, 146: 111292.
- [18] YANG X, ZHU K, GUO H, et al. Characterization of volatile compounds in differently coloured *Chenopodium quinoa* seeds before and after cooking by headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. *Food Chemistry*, 2021, 348: 129086.
- [19] 韩豪, 李新生, 江海, 等. UPLCMS/MS 定性分析黑米中花青苷类物质[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(17): 289-297.
- HAN H, LI X S, JIANG H, et al. Qualitative analysis of anthocyanins in black rice by UPLCMS/MS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(17): 289-297.
- [20] QI S, HE J, HAN H, et al. Anthocyanin-rich extract from black rice (*Oryza sativa* L. Japonica) ameliorates diabetic osteoporosis in rats[J]. *Food and Function*, 2019, 10(9): 5350-5360.
- [21] ZHENG H, QI S, HE J, et al. Cyanidin-3-glucoside from black rice ameliorates diabetic nephropathy via reducing blood glucose, suppressing oxidative stress and inflammation, and regulating transforming growth factor beta 1/Smad expression[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(15): 4399-4410.
- [22] HAN H, LIU C, GAO W, et al. Anthocyanins are converted into anthocyanidins and phenolic acids and effectively absorbed in the jejunum and ileum [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, 69(3): 992-1002.
- [23] 金文刚, 赵萍, 金晶, 等. 基于气相-离子迁移谱分析大鲵不同可食部位挥发性成分指纹差异[J]. *食品科学*, 2022, 43(2): 303-309.
- JIN W G, ZHAO P, JIN J, et al. Volatile component fingerprint analysis of giant salamander (*Andrias davidianus*) from different edible parts based on gas chromatography-ion mobility spectroscopy[J]. *Food Science*, 2022, 43(2): 303-309.
- [24] 张培茵, 孟宁, 刘明, 等. 低温等离子体处理对糙米原料及糙米饭风味特性的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(15): 74-80.
- ZHANG P Y, MENG N, LIU M, et al. Effects of low temperature plasma treatment on raw materials and flavor characteristics of brown rice[J]. *Food Science*, 2021, 42(15): 74-80.
- [25] 张敏, 苗菁, 苏慧敏, 等. 不同品种稻米的米饭风味分析[J]. *食品科学*, 2017, 38(16): 110-114.
- ZHANG M, MIAO Q, SU H M, et al. Analysis of rice flavor of different varieties of rice[J]. *Food Science*, 2017, 38(16): 110-114.
- [26] WU F, YANG N, CHEN H, et al. Effect of germination on flavor volatiles of cooked brown rice[J]. *Cereal Chemistry*, 2011, 88(5): 497-503.
- [27] 张敏, 苏慧敏, 王子元. 稻米加工对米饭风味的影响[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(9): 8-13.
- ZHANG M, SU H M, WANG Z Y. Effect of rice processing on rice flavor[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2017, 32(9): 8-13.
- [28] LIU Q, WU H, LUO J, et al. Effect of dielectric barrier discharge cold plasma treatments on flavor fingerprints of brown rice[J]. *Food Chemistry*, 2021, 352: 129402.
- [29] 金文刚, 赵萍, 姜鹏飞, 等. 基于 GC-IMS 技术结合多元统计模型分析不同色泽小米粥挥发性有机物差异[J/OL]. *食品科学*: 1-13 (2022-06-23) [2022-07-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220622.1447.042.html>.
- JIN W G, ZHAO P, JIANG P F, et al. Analysis of differential volatile organic compounds in different colored millet porridges by gas chromatography-ion mobility spectrometry combined with multivariate statistical analysis[J/OL]. *Food Science*: 1-13 (2022-06-23) [2022-07-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220622.1447.042.html>.
- [30] FAN X, JIAO X, LIU J, et al. Characterizing the volatile compounds of different sorghum cultivars by both GC-MS and HS-GC-IMS[J]. *Food Research International*, 2021, 140: 109975.

## Characterization of Volatile Profiles of Five-Pigmented Brown Rice Based on Gas Chromatography-Ion Mobility Spectroscopy

Jin Wengang, Liu Junxia, Wang Jinze, Geng Jingzhang

(*Shaanxi Key Laboratory of Bio-Resource, School of Biological Science and Engineering,  
Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723001, Shaanxi*)

**Abstract** In order to demonstrate the flavor characteristics of brown rice with various colors, the differences in volatile profiles of five-pigmented brown rice (black, red, purple, yellow, and green) originated from Yang County, Hanzhong were compared by gas chromatography-ion mobility spectroscopy (GC-IMS). Results showed that 62 volatile odorants were detected by GC-IMS from 75 peaks of five-pigmented brown rice samples, including 30 aldehydes (63.48%–70.39%), 10 alcohols (8.47%–16.81%), 10 ketones (10.13%–15.09%), 6 esters (1.64%–6.15%), 2 furans (2.39%–4.94%), 2 acids (0.35%–1.34%), and 2 ethers (0.35%–0.79%). Principal component analysis showed that the accumulated contribution ratio of the first two components was 72.2%, indicating that GC-IMS data can distinguish the volatile components of five-pigmented brown rice raw materials in Yang County. By establishing the odor fingerprint of pigmented brown rice in Yang County, the volatile profiles of brown rice with different colors are visualized, which contributes references for the brand and quality characteristics of pigmented rice in Yang County.

**Keywords** pigmented rice; brown rice; gas chromatography-ion mobility spectroscopy; odor; principal component analysis