福建农业学报 30(8):810～816,2015
Fujian Journal of Agricultural Sciences
文章编号：1008－0384（2015）08－810－07

潘志针，刘波，朱慧君，等. 微生物发酵床养猪垫料中物质组分 GC-MS 分析［J］. 福建农业学报，2015，30（8）：810－816.
PAN Z-Z，LIU B，ZHU H-J，et al. GC-MS Analysis on Fermentation Pig-barn Bedding Material［J］. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*，2015，30（8）：810－816.

微生物发酵床养猪垫料中物质组分 GC-MS 分析

潘志针[1]，刘　波[1*]，朱慧君[1]，朱育菁[1]，张连宝[2]，陈　峥[1]，郑梅霞[1]，史　怀[1]

（1. 福建省农业科学院农业生物资源研究所，福建　福州　350003；2. 厦门大学生命科学院，福建　厦门　361005）

摘　要：采用极性从低到高的 5 种有机溶剂对微生物发酵床养猪中垫料的物质组分进行梯度萃取，物质提取率乙醇＞丙酮＞乙酸乙酯＞氯仿＞石油醚。采用气相色谱质谱联用（GC-MS）对不同溶剂层的物质组分进行分析鉴定。研究结果显示，垫料中的物质组分以酯类物质和烃类物质为主，其中石油醚和氯仿对低极性的酯类物质和长链烷烃的提取效果较好，但氯仿层提取的种类更多，对不饱和烃的提取效果要优于石油醚层；乙酸乙酯对烯烃类化合物（包括多环芳烃）有较好的提取效果；丙酮适合全物质提取，对垫料中低极性的烷烃组分到高极性酯组分的提取效果均较好；乙醇溶剂适合极性较高的酯类物质的提取。

关键词：发酵垫料；固液萃取；气相色谱质谱联用
中图分类号：S 828　　**文献标识码**：A

GC-MS Analysis on Fermentation Pig-barn Bedding Material

PAN Zhi-zhen[1]，LIU Bo[1*]，ZHU Hui-jun[1]，ZHU Yu-jing[1]，ZHANG Lian-bao[2]，CHEN Zheng[1]，ZHENG Mei-xia[1]，SHI Huai[1]

（1. *Institute of Agricultural Biological Resources，Fujian Academy of Agriculture Sciences，Fuzhou，Fujian* 350003，*China*；2. *School of Life Science，Xiamen University，Xiamen，Fujian*　361005，*China*）

Abstract：Samples from the fermentation beds in pig barns were extracted with petroleum ether，chloroform，ethyl acetate，acetone and ethanol. The quantities extracted by the various solvents were in the order of ethanol＞acetone ＞ethyl acetate＞chloroform＞petroleum ether. Compositions of these extracts were determined using GC-MS. Esters and hydrocarbons were the main substances in the bedding materials. Petroleum ether and chloroform could more effectively extract the low polar esters and long-chain alkanes，and chloroform produced more compounds and unsaturated hydrocarbons than the others. The ethyl acetate extracts showed more olefin compounds（including polycyclic aromatic hydrocarbons）than those obtained by other 4 solvents. Since acetone could effectively extract both alkanes and esters in a wide range of polarity，it was considered the selected solvent for the substance extraction. On the other hand，ethanol could be used to specifically extract high polarity esters.

Key words：fermentation pig-barn bed；solid-liquid extraction；GC-MS

发酵床养猪是 20 世纪 80 年代开始流行的一种新型环保型的养殖技术，该技术根据微生态理论，将有机垫料，如锯木屑、谷壳、秸秆、花生壳等农副产品按一定比例与微生物混合，进行高温发酵后填入到经过特殊设计的猪舍里[1－2]。填入的垫料及垫料中的微生物加速吸收并发酵降解猪的排泄物，达到规模化养猪场管理方面无须人工清理即可达到对环境零排放的目的，并为提高猪生产性能和机体免疫力、大幅度减少疾病的健康养殖模式提供良好基础，实现了可持续发展的经济效益和环保效益[3－5]。除此之外，发酵床养猪技术的优势还表现在消纳大量作物秸秆、猪的用药量明显减少及各种资源的节约等方面[6－8]。

发酵床技术养猪的关键在于有益微生物以猪粪

收稿日期：2015－05－22 初稿；2015－06－28 修改稿
作者简介：潘志针（1985－），男，硕士，主要从事生物化学和生物活性物质分析研究
＊通讯作者：刘波（1957－），男，博士、研究员，主要从事微生物生物技术及农业生物药物研究（E-mail：Fzliubo@163.com）
基金项目：国家“973”前期项目（2011CB111607）；国家“948”项目（2011-G25）；福建省青年科技创新基金项目（2011J05053）；福建省农业科学院青年基金项目（2011QB-20）

尿为基础营养维持自身的繁殖代谢，猪粪尿得以加速降解，进一步通过优势菌群效应遏制病原微生物的生长发育[9-13]。猪粪尿的物质降解速率决定于垫料中微生物的降解能力，在猪群集中的大型养猪场，快速有效的降解过程显得至关重要。实现对猪粪尿降解过程的监测，将会成为发酵床养猪技术优化的方向之一。

垫料物质组分的分析是猪粪降解、猪尿吸纳、垫料发酵程度、发酵床微生物群落的变化及微生物群落的稳定性等发酵床“健康状态”的主要表征，对垫料物质组分的鉴定是推动发酵床养猪科学化发展的重要基础。近些年来与发酵床养猪相关的研究呈逐步展开趋势，内容多涉及垫料组成对发酵效果的研究、菌剂及维护管理方面等，较少有关发酵垫料中的物质组分[14-22]的报道。

本课题组首次尝试取极性从低到高的 5 组有机溶剂，通过梯度萃取的方式对发酵垫料物质组分进行提取，并通过气相色谱质谱联用仪实现物质组分的分析与鉴定。探讨不同溶剂层的物质分布及含量，鉴定垫料中主要的物质组分，确定不同物质组分提取方式，以期推动发酵床养猪的科学化管理。

1　材料与方法

1.1　试验材料

样品为养猪微生物发酵床垫料，主要原料为椰糠和谷壳，发酵垫料呈黑色，发酵等级为四级（与空白垫料色差的△E 为 70.86），采集时间为 2015 年 1 月 26 日，采集地点为福建福州渔溪微生物发酵床大栏养猪舍。

1.2　主要试剂和仪器

精密鼓风干燥箱(施都凯仪器设备上海有限公司)；AL 104 型电子天平[梅特勒－托利多仪器(上海)有限公司]；KQ5200E 型超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司)；Agilent 7890/ 5975C-GC/MSD(安捷伦公司)；所用溶剂均为色谱纯。

1.3　试验方法

1.3.1　*发酵垫料物质提取*　通过对角线采样的方法采集发酵垫料，混合均匀后风干至恒重，取适量，采用石油醚、氯仿、乙酸乙酯、丙酮和乙醇等 5 组不同极性溶剂各 200 mL 并辅以超声对垫料组分进行固液萃取，提取过程如图 1 所示。溶剂与垫料混合后，超声 30 min，取滤液，重复 3 次，合并 3 次的滤液，旋转蒸干，测定物质的提取率（提取率＝有机溶剂层提取物的质量/垫料质量）。

1.3.2　*GC-MS 分析色谱条件*　GC-MS 分析，采用美国 Agilent 7890/5975C-GC/MSD 气象色谱质谱仪，色谱柱为 DB-5MS，30 m×0.25 mm 毛细管柱。GC-MS 条件：电离方式 EI，电子能量 70 eV，进样口温度 250℃，不分流进样，进样量 1.0 μL；载气为高纯氦气，恒流，柱流速 1.0 mL·min^{-1}；四级杆温度 150℃；离子源温度 250℃；接口温度 280℃；扫描质量数范围 30～ 500 amu，溶剂延迟 8.0 min。GC-MS 联用仪的柱温箱升温程序分别为：石油醚层起始温度 40℃，以 10℃·min^{-1}升至 300℃，保持 5 min；氯仿层起始温度 40℃，以 10℃·min^{-1}升至 260℃，再以 5℃·min^{-1}升至 300℃，保持 4 min；乙酸乙酯层起始温度 40℃，以 10℃·min^{-1}升至 120℃，再以 5℃·min^{-1}升至 200℃，接着以 20℃·min^{-1}升至 300℃，维持 1 min；丙酮层起始温度 40℃，以 10℃·min^{-1}升至 300℃，保持 4 min；乙醇层起始温度 40℃，以 20℃·min^{-1}升至 240℃，再以 5 ℃·min^{-1}升至 300℃，保持 8 min。

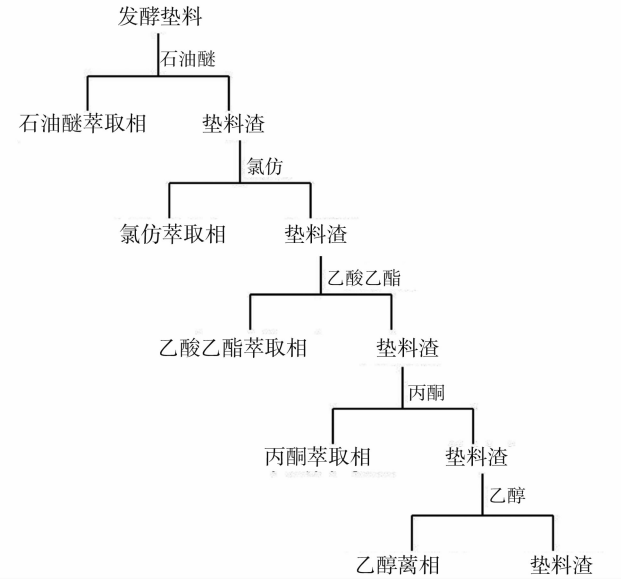

图 1　发酵垫料物质梯度提取技术路线

Fig. 1　Gradient extraction of substances from fermentation bed

1.3.3　*定量和定性分析*　以 EI 为离子源，进行气质联用(GC-MS) 分析，所得到的质谱图利用 NIST 谱图库进行检索，同时根据相似度 CAS 号进行定性分析，定量分析结果根据总离子流色谱峰的峰面积，用直接面积归一化法来计算各组分的含量。

2　结果与分析

2.1　不同极性溶剂萃取总离子流图分析

固液萃取是根据不同物质在溶剂中溶解度的差

异，进行分离和富集。不同溶剂的极性、沸点及挥发性等不同，为提高各溶剂层物质的分离度，对GC/MS进行升温程序调整。升温程序：石油醚层起始温度 40℃，以 10℃ · min^{-1}升至 300℃，保持 5 min；氯仿层起始温度 40℃，以 10℃ · min^{-1}升至 260℃，再以 5℃ · min^{-1}升至 300℃，保持 4 min；乙酸乙酯层起始温度 40℃，以 10℃ · min^{-1}升至 120℃，再以 5℃ · min^{-1}升至 200℃，接着以 20℃ · min^{-1}升至 300℃，维持 1 min；丙酮层起始温度 40℃，以 10℃ · min^{-1}升至 300℃，保持 4 min；乙醇层起始温度 40℃，以 20℃ · min^{-1}升至 240℃，再以 5℃ · min^{-1}升至 300℃，保持 8 min。

不同升温条件、不同溶剂萃取物质的总离子流图如图 2～6 所示，物质的分离度佳。其中图 2 为石油醚对垫料物质的萃取结果，物质被检出的组分较少，在 19.4 min 左右有 1 个物质的高峰，主要物质的检出时间为 24～28 min。图 3 为氯仿对垫料物质的萃取结果，与石油醚层的萃取结果相比，氯仿层物质被检出的组分丰富，在 19.4 min 左右仍可观察到 1 个物质的高峰。检出的物质的保留时间集中在 20～34 min，物质组分丰富，信噪比低，物质的分离度好。图 4 为乙酸乙酯对垫料物质的萃取结果，物质被检出的丰度较氯仿层低，19.4 min 左右的高峰消失，主要物质保留时间集中在 10～18 min，在 12.6 min 左右出现 1 个物质的高峰。图 5 为丙酮对垫料物质的萃取结果，物质被检出的丰度较高，物质的保留时间集中在 16～28 min。在 24.3 min 左右出现物质的高峰。图 6 为乙醇对垫料物质的萃取结果，物质被检出的丰度较低，物质的保留时间集中在 10～16 min。

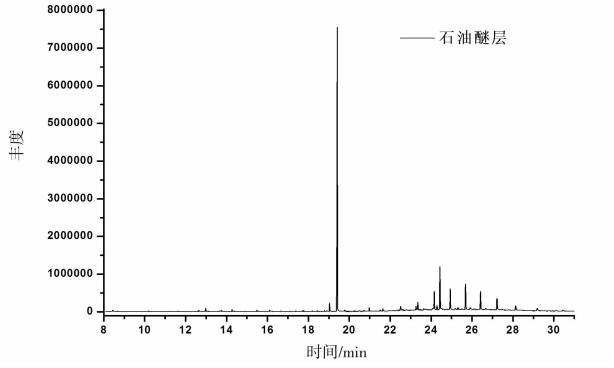

图 2 石油醚萃取层物质鉴定

Fig. 2 TIC of compounds in petroleum ether extraction layer

2.2 不同极性溶剂萃取效果比较

统计 5 组不同有机溶剂对垫料中物质的提取率、总组分数量、相对含量在 1%以上的组分数量

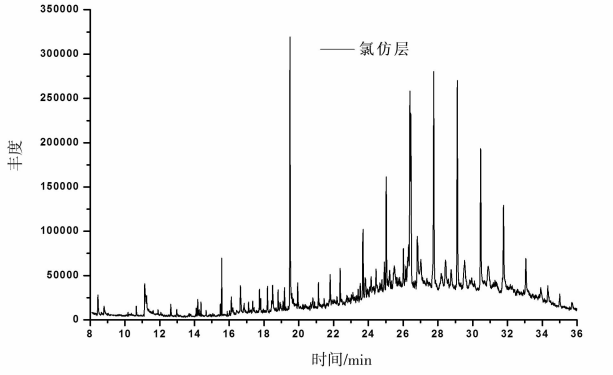

图 3 氯仿萃取层物质鉴定

Fig. 3 TIC of compounds in chloroform extraction layer

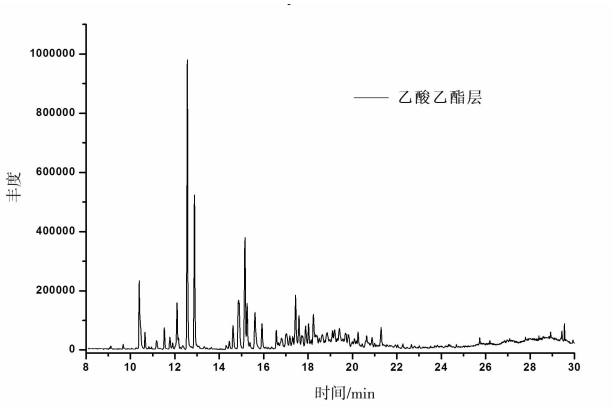

图 4 乙酸乙酯萃取层物质鉴定

Fig. 4 TIC of compounds in ethyl acetate extraction layer

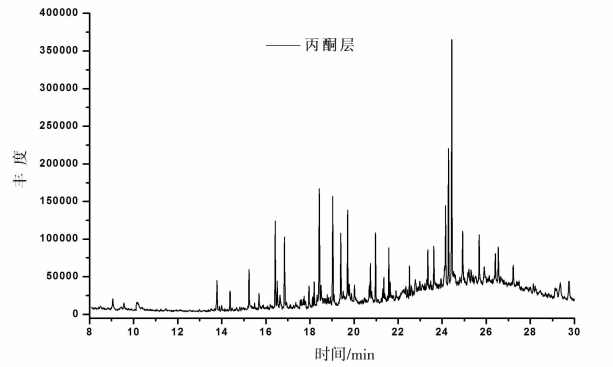

图 5 丙酮萃取层物质鉴定

Fig. 5 TIC of compounds in acetone extraction layer

以及 1%以上组分的相对总含量值，结果（表 1）显示，垫料中物质的提取率随溶剂极性的增加而明显增大。弱极性的石油醚层和氯仿层，其物质提取率均较低，分别为 0.041%和 0.079%，随着极性的增加，有机溶剂的提取效果明显增强，中等极性的乙酸乙酯层和丙酮层的物质提取率分别为

0.371%和 0.540%，而在极性较大的乙醇溶剂中物质提取率可以达到 1.13%。

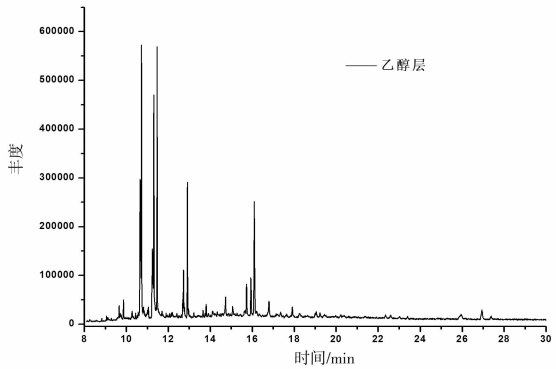

图 6　乙醇萃取层物质鉴定

Fig. 6　TIC of compounds in ethanol extraction layer

通过 GC-MS 分析及谱库检索对垫料中的物质组分进行分析与鉴定，与物质提取率的结果类似，随着提取的溶剂的极性增大，物质总组分呈逐步增加的趋势，石油醚提取的物质的总组分为 65 种，含量在 1%以上的组分有 8 种。氯仿、乙酸乙酯提取的物质总组分分别为 73 种和 74 种，其中含量在 1%以上的物质组分分别为 16 种和 19 种。丙酮提取的物质的组分最多，达到了 83 种，其中含量在 1%以上的组分为 24 种。但乙醇提取的物质组分只有 52 种，含量在 1%以上的组分有 14 种。这是由于 GC-MS 对弱极性物质的检出度高，但极性高的物质在乙醇中的溶解度更好，因此乙醇提取的物质被 GC-MS 检出的较少，此结果与乙醇提取垫料组分的总离子图的结果相一致（图 6）。统计含量在 1%以上的物质在总组分中的含量，结果显示 5 种溶剂提取的含量在 1%以上的物质均占到总含量 64%以上，表明所鉴定出的 1%以上的组分为发酵垫料中的主要成分。

表 1　5 种溶剂层物质分类分析

Table 1　Classification of compounds extracted by 5 solvents

溶剂层	物质提取率/%	总组分	含量在 1%以上组分	1%以上组分的相对总含量/%
石油醚	0.041	65	8	78.13
氯仿	0.079	73	16	64.94
乙酸乙酯	0.371	74	19	74.65
丙酮	0.540	83	24	64.11
乙醇	1.130	52	14	78.11

2.3　不同极性溶剂萃取物质鉴定

利用 NIST 谱图库对 GC-MS 检测出的物质进行检索，统计相对含量在 1%以上的物质，结果如表 2 所示。

表 2　5 种溶剂层化学成分

Table 2　Chemical compositions of extracts by 5 solvents

溶剂层	序号	保留时间/ min	化合物名称	相对含量/%
石油醚	1	19.40	邻苯二甲酸环己基甲基丁酯	45.66
	2	24.94	四十四烷	7.93
	3	24.40	1,2-苯二甲酸,单(2-乙基己基)酯	7.30
	4	24.16	四十三烷	5.98
	5	28.13	亚硫酸,2-丙基十三烷基酯	3.81
	6	26.40	二十八烷	3.34
	7	19.04	草酸,环丁基十五烷基酯	2.70
	8	23.36	二十四烷	1.41
氯仿	1	29.115	四十三烷	14.25
	2	27.7563	亚硫酸 2-丙基十三烷基酯	10.97
	3	27.0151	草酸环丁基十七烷基酯	7.7
	4	26.4446	2,4-2(1-甲基-1-苯乙基)-苯酚	4.9768
	5	19.4921	1,2-苯二甲酸丁辛基酯	4.6655
	6	25.027	2-甲基二十三烷 Tricosane, 2-methyl-	3.0037
	7	26.8152	邻苯二甲酸,3-(2-甲氧基乙基)辛基酯	2.8734
	8	29.5326	2-(十二烷氧基)-乙醇	2.6988
	9	26.0211	3-甲基氮茚	1.8044
	10	23.6859	十九烷	1.6634
	11	30.8914	3,5,24-三甲基四十烷	1.4182

（续上表）

溶剂层	物质提取率/%	总组分	含量在1%以上组分	1%以上组分的相对总含量/%
	12	29.115	6-环己基十二烷	1.407
	13	27.7563	2-丙烯基环己烷	1.3614
	14	27.0151	1-氯十八烷	1.32
	15	26.4446	6-氯乙酸十三烷基酯	1.3069
	16	19.4[illegible]	草酸，环丁基十五烷基酯	1.2694
	17	25.[illegible]	碳酸，十二烷基异丁基酯	1.1347
	18	26.8[illegible]	亚硫酸-2-丙基十四烷基酯	1.1198
乙酸乙酯	1	12.5631	萘，2-甲基	20.24
	2	15.1571	萘，2，3-二甲基	7.35
	3	18.245[illegible]	萘，1，4，6-三甲基	7.07
	4	15.2571	萘，2，6-二甲基	4.96
	5	10.3986	萘	4.4125
	6	17.4393	2，2′-二甲基联苯	3.5016
	7	18.8[illegible]	4，6′-二甲基联苯，苯，五甲基	3.36
	8	15.61	萘，1，3-二甲基	2.9177
	9	21.1[illegible]	萘，2，3-三甲基-4-丙烯基，（E）-	2.54
	10	12.0984	5-甲基苯	2.3823
	11	16.8099	1，1′-联苯，4-甲基	2.38
	12	19.4[illegible]	1，1′-联苯，4-（1-甲基乙基）-	2.1285
	13	14.8983	萘，2，7-二甲基	2.0047
	14	17.598[illegible]	萘，1，6，7-三甲基	1.9498
	15	18.645[illegible]	萘，4，6，8-三甲基	1.7552
	16	19.198[illegible]	萘，1，4，5-三甲基	1.5804
	17	14.6218	萘，1-乙基	1.4682
	18	19.1[illegible]	1，1′-联苯，3，4′-二甲基	1.4339
	19	19.8[illegible]	苯，3，5-二甲基-1-（苯甲基）-	1.2241
丙酮	1	24.4[illegible]	1，2-苯二甲酸单（2-乙基己基）酯	7.6523
	2	24.9327	四十三烷	6.17
	3	25.[illegible]	亚硫酸，2-丙基十四烷基酯	4.67
	4	24.[illegible]	苯酚，2，4-双（1-甲基-1-苯乙基）-	4.2664
	5	1[illegible]	1，2-苯二甲酸，双（2-甲基丙基）酯	3.5699
	6	25.3[illegible]	亚十四烷、1、54-二溴 -	3.43
	7	19.7037	十六烷酸，乙酯	3.0441
	8	19.[illegible]	十五烷酸，14-甲基 - ，甲基酯	3.0217
	9	26.415	十八烷，1-氯	2.9384
	10	16.4274	十五醛	2.4996
	11	1[illegible]	1，2-苯二甲酸丁酯，丙烯酸 2-乙基己酯	2.288
	12	16.8509	十四烷	2.1529
	13	20.[illegible]	十七烷酸，16-甲基 - ，甲基酯	1.867
	14	25.[illegible]	亚硫酸，十八烷基 2-丙基酯	1.8063
	15	26.[illegible]	6-甲基-9-十四碳烯-1-醇乙酸酯	1.4906
	16	29.3501	乙醇，2-溴	1.4211
	17	23.6269	十三烷，7-环己基	1.2864
	18	20.7[illegible]	9-十八碳烯酸（Z）- 甲酯	1.2832
	19	21.58	十八烷酸，乙酯	1.218
	20	15.2[illegible]	十二烷，1，2-二溴-2-甲基	1.1752
	21	16.521[illegible]	环氧乙烷，十六烷基	1.0921

（续上表）

溶剂层	物质提取率/%	总组分	含量在 1% 以上组分	1%以上组分的相对总含量/%
	22	19.7 草酸，环丁基十六烷基酯		1.0496
	22.32	6，8，10-四甲基-7-氧杂三环［6.1.0.0（1，6）］壬烷		1.0319
	24	29.7 胆甾烷-3-酮，（5.beta.）-		1.0175
乙醇	1	1,12- 苯 31 甲酸，双（2-甲基丙基）酯		12.3381
	2	邻苯 27 甲酸，6-乙基-3-辛基异丁酯		11.3632
	3	1,2- 苯二甲酸丁酯，2-甲基丙基酯		11.0438
	4	11.4748 十六烷酸，乙酯		10.8967
	5	1,12- 苯 32 甲酸，单（2-乙基己基）酯		7.4767
	6	12.91 十八烷酸，乙酯		6.4462
	7	11.24 邻苯二甲酸丁酯，己酯		5.7508
	8	苯酚 932 4-双（1-甲基-1-苯乙基）-		2.7452
	9	12.7277 油酸乙酯		2.4857
	10	15.3 亚硫酸，十五烷基-2-丙基酯		2.066
	11	14.3 亚硫酸，2-丙基十三烷基酯		1.9128
	12	16.9 亚硫酸，2-丙基十四烷基酯		1.3516
	13	10.2 酚 194-（1-甲基-1-苯乙基）-		1.1615
	14	9.869 十五醛		1.0718

进一步根据物质的化学性质，将不同有机溶剂提取的垫料中物质的组分统计归纳，可将其分为烃类、酯类、醇类、醛类、酮类、羧酸类和其他（包括胺、酚和烯/醇氧化物等）等 7 类物质，以各溶剂层中每一类物质的相对含量对物质种类作图，结果如图 7 所示。石油醚对低极性的酯类物质的萃取效果最佳［如邻苯二甲酸-环己基甲基丁酯；1，2-苯二甲酸-单（2-乙基己基）酯；草酸-环丁基十五烷基酯和亚硫酸-2-丙基十三烷基酯等］，相对含量占石油醚层物质的 60%。烷烃类物质次之，含量在 20%左右，以极性弱的长链烷烃为主，如：四十三烷、二十八烷和二十四烷等。氯仿层对长链烷基酯的萃取效果最佳，相对含量占氯仿层物质的 27%左右，如亚硫酸-2-丙基十三烷基酯、草酸-环丁基十七烷基酯、1，2-苯二甲酸丁辛基酯、邻苯二甲酸 3-（2-甲氧基乙基）辛基酯等。对饱和烃的萃取效果与石油醚的效果相当，但对于甲基化修饰的烷烃及不饱和烯烃的萃取效果要优于石油醚，如 2-甲基二十三烷和 2-丙烯基环己烷。乙酸乙酯层的萃取物中，鉴定出较多的烯烃类化合物为萘及其萘的衍生物，达到乙酸乙酯层物质的 78%以上。丙酮萃取的物质组分丰富，从烃类到酯类、醇类、醛类等适合于全物质萃取的需求。乙醇萃取的物质以极性高的酯类物质为主，如 1，2-苯二甲酸-2（2-甲基丙基）酯、邻苯二甲酸-6-乙基-3-辛基异丁酯、1，2-苯二甲酸丁酯-2-甲基丙基酯等，占乙醇萃取物的 78%。

综上所述，发酵垫料中的主要物质分布是酯类和烃类，以及少量的醇类、醛类、酮类和其他（包括胺、酚和烯/醇氧化物等）。观察各萃取层中的物质分布，石油醚、氯仿和丙酮萃取层均是酯类为主，烃类其次，乙酸乙酯萃取层鉴定出含量较多的烯烃类化合物萘及其萘的衍生物，乙醇萃取层主要物质仍是酯类物质（图 7）。

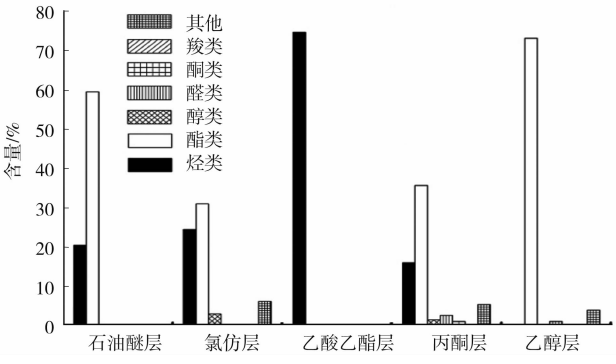

图 7　5 组溶剂层物质分类分布

Fig. 7　Classification and distribution of compounds extracted by 5 solvents

3　讨论与结论

本研究工作采用极性从低到高的 5 种有机溶剂对发酵床养猪中垫料成分进行物质提取，物质的提取率，乙醇最高，达到了 1.13%，丙酮＞乙酸乙

酯＞氯仿＞石油醚。利用气相色谱质谱联用（GC-MS）技术进一步对不同有机溶剂萃取的物质进行分离鉴定。通过观察各有机层物质鉴定的总离子流图，可以初步判断该溶剂层萃取物组分的丰富程度和相对含量。结果显示，石油醚层和乙醇层的信号峰较少，氯仿层、乙酸乙酯层、丙酮层的信号峰较多，对应所鉴定出的主要成分也相对较为丰富。

李卿等[23]利用氢氧化钠溶液浸提，甲基醚萃取发酵床养猪垫料中挥发性有机酸，利用气相色谱法测定挥发性有机酸，检测的物质较少，灵敏度较低。本研究采用石油醚、氯仿、乙酸乙酯、丙酮和乙醇等5种从低级性到高极性的有机溶剂对垫料中的物质组分进行梯度萃取，并通过高灵敏度的气相色谱质谱联用仪实现物质组分的分析与鉴定，检测限小，测定的物质丰度高，种类全，同类研究中未见报道。

利用NIST谱图库检索，同时根据相似度CAS号实现定性、定量分析。根据组分理化性质的不同将所鉴定的物质划分为7类：烃类、酯类、醇类、醛类、酮类、羧类和其他（包括胺、酚和烯/醇氧化物等）。不同极性的溶剂对物质组分的提取效率差别很大，其中石油醚和氯仿对低极性的酯类物质和长链烷烃的提取效果较好，但氯仿层提取的种类更多，对不饱和烃的提取效果要优于石油醚层；乙酸乙酯对烯烃类化合物（包括多环芳烃）有较好的提取效果；丙酮适合全物质提取，对垫料中低极性的烷烃组分到高极性酯组分的提取效果均较好；乙醇溶剂适合极性较高的酯类物质的提取，如苯二甲酸类酯。

参考文献：

[1] 李跃进. 关于发酵床养猪特点及操作工艺的几点认识[J]. 畜牧·兽医，2013，(11)：113－114.

[2] 闫运民. 浅谈发酵床养猪关键技术[J]. 安徽农学通报，2010，(16)：31.

[3] 张学峰，周贤文，陈群，等. 不同深度垫料对养猪土著微生物发酵床稳定期微生物菌群的影响[J]. 中国兽医学报，2013，33(9)：1458－1462.

[4] 蓝江林，宋泽琼，刘波，等. 微生物发酵床不同腐熟程度垫料主要理化特性[J]. 福建农业学报，2013，28(11)：1132－1136.

[5] 刘让，崔艳霞，李宏建，等. 发酵床养猪模式与传统养猪模式饲养效果比较[J]. 家畜生态学报，2011，32(6)：88－90.

[6] 武英，赵德云，盛清凯，等. 发酵床养猪模式是改善环境、提高猪群健康和产品安全的有效途径[J]. 中国动物保健，2009，(5)：89－92.

[7] 夏新山，包祥嘉，徐巧琴，等. 发酵床养猪与传统养猪对比试验报告[J]. 饲养饲料，2013，(12)：59－60.

[8] 王新梅，李金喜，陈书启. 发酵床养猪的优势及不足[J]. 养殖技术顾问，2014，(3)：18.

[9] 沙宗权. 微生物发酵床养猪技术的应用[J]. 现代农业科技，2013，(10)：261－262.

[10] 王潇娣，廖春燕，朱玲. 发酵床养猪模式中垫料的主要菌群分析[J]. 养猪，2012，(3)：69－72.

[11] 王璐. 不同养殖环境与条件在发酵床养猪技术中的比对试验分析[J]. 畜牧兽医杂志，2014，33(2)：70－73.

[12] 魏玉明，郝怀志，董俊，等. 发酵床养猪对猪舍空气质量的影响[J]. 当代畜牧，2012，(7)：7－8.

[13] 何光兰. 发酵床养猪猪舍的设计与建造探讨[J]. 南方农业，2012，6(6)：95－97.

[14] 王香祖，刘瑞玲，席继锋，等. 添加棉秆制作发酵床养猪效果试验[J]. 江苏农业科学，2014，(3)：157－158.

[15] 冯国兴，刘鎏，潘孝青，等. 农业废弃物菌糠作为发酵床养猪垫料使用效果分析[J]. 上海畜牧兽医通讯，2014，(2)：65－67.

[16] 申道平. 不同垫料发酵床养猪效果研究[J]. 农民致富之友，2013，(20)：209.

[17] 刘彦，魏时来. 玉米秸秆型发酵床养猪垫料发酵效果的研究[J]. 国外畜牧学：猪与禽，2014，(12)：58－61.

[18] 蒲中彬，张爱平，赵国智，等. 自制菌与商品发酵菌剂发酵床养猪的对比试验[J]. 畜牧与兽医，2014，(1)：120.

[19] 何庆华. 发酵床养猪的特点、重要性及发酵床菌种的选择[J]. 养殖技术顾问，2013，(8)：29.

[20] 王小红，吕峰，常代奇，等. 不同菌种组合的发酵床养猪试验效果分析[J]. 江苏农业科学，2013，(3)：177－178.

[21] 孟祥宇，王刚，原伟涛. 北方地区发酵床养猪垫料制作与管理维护要点[J]. 农村养殖技术，2013，(3)：26－27.

[22] 杨虎，徐兴莉. 生物发酵床养猪技术应用及管理[J]. 猪业科学，2013，(1)：78－79.

[23] 李卿，张莉，周康，等. 发酵床养猪垫料中挥发性有机酸的气相色谱法测定[J]. 贵州农业科学，2011，39(7)：143－145.

（责任编辑：林海清）