

不同产地带鱼高效液相色谱指纹图谱的 建立及其聚类分析

马明珠¹, 周宇芳^{1,2*}, 缪文华², 孟志娟^{1,2}, 廖妙飞¹, 周小敏³, 邓尚贵², 郑斌^{1,2*}

(1. 浙江省海洋开发研究院, 舟山 316000; 2. 浙江海洋大学食品与药学院, 舟山 316000;
浙江兴业集团有限公司, 舟山 316000)

摘要: 目的 建立不同产地带鱼高效液相色谱(high performance liquid chromatographic, HPLC)指纹图谱, 结合聚类分析确定带鱼产地归属。**方法** 采用乙酸乙酯提取, 料液比 1:100 (*m*:*V*), Agilent Eclipse XDB C₁₈ 柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm), 检测波长 210 nm, 柱温 30℃, 进样量 20 μL, 流速 0.5 mL/min, 乙腈(A)和 0.1%磷酸水(B)为流动相梯度洗脱; 通过相似度评价系统和聚类分析对指纹图谱进行分析。**结果** 采用中药色谱相似度评价系统建立了各产地带鱼 HPLC 指纹图谱共有模式, 确立了 13 个共有峰和 7 个特征峰。对 7 个特征峰聚类分析, 结果显示 5 个产地 28 个带鱼样品能够按照产地来源正确聚类。**结论** 该方法操作简便、准确可靠、重复性好, 可用于带鱼产地归属。

关键词: 带鱼; 高效液相色谱; 指纹图谱; 聚类分析

Establishment of high performance liquid chromatographic fingerprints of *Trichiurus haumela* from different origins and its cluster analysis

MA Ming-Zhu¹, ZHOU Yu-Fang^{1,2*}, MIAO Wen-Hua², MENG Zhi-Juan^{1,2}, LIAO Miao-Fei¹,
ZHOU Xiao-Min³, DENG Shang-Gui², ZHENG Bin^{1,2*}

(1. Zhejiang Marine Development Research Institute, Zhoushan 316000, China; 2. College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China; 3. Zhejiang Xingye Industrial Group Co., Ltd., Zhoushan 316000, China)

ABSTRACT: Objective To establish high performance liquid chromatographic (HPLC) fingerprints of *Trichiurus haumela* from different habitats and determine the origin of *Trichiurus haumela* based on cluster analysis. **Methods** The samples were extracted by ethyl acetate, solid-liquid ratio 1:100 (*m*:*V*); Agilent Eclipse XDB C₁₈ column (250 mm×4.6 mm, 5 μm) was used as the chromatographic column; the detection wavelength was 210 nm; the column temperature was 30℃; the injection volume was 20 μL; the flow rate was 0.5 mL/min; acetonitrile (A) and 0.1% phosphoric acid (B) were used as mobile phase gradient elution; the fingerprints were evaluated by similarity evaluation system and cluster analysis. **Results** By using the Chinese medicine

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFD0900901)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2020YFD0900901)

*通信作者: 周宇芳, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为水产品高值化加工与质量安全。E-mail: yfzhou@yeah.net

郑斌, 博士, 教授, 主要研究方向为海洋生物资源开发与利用、营养健康食品制造。E-mail: 6369958@163.com

*Corresponding author: ZHOU Yu-Fang, Master, Senior Engineer, Zhejiang Marine Development Research Institute, No.10, Tiyu Road, Lincheng District, Zhoushan 316000, China. E-mail: yfzhou@yeah.net

ZHENG Bin, Ph.D, Professor, College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, No.1, Haida South Road, Changzhi Island, Lincheng District, Zhoushan 316000, China. E-mail: 6369958@163.com

chromatographic similarity evaluation system, the common patterns of HPLC fingerprint of *Trichiurus haumela* from different regions were established and 13 common peaks and 7 characteristic peaks were identified. Clustering analysis of 7 characteristic peaks showed that 28 *Trichiurus haumela* samples from 5 producing areas could be correctly clustered according to origin. **Conclusion** This method is simple, accurate, reliable and reproducible, and can be used for identify of haumela.

KEY WORDS: *Trichiurus haumela*; high performance liquid chromatographic; fingerprint; cluster analysis

0 引言

带鱼(*Trichiurus haumela*)又称刀鱼或牙带鱼,隶属于鲈形目带鱼科,因其易于捕捞、成本低廉等诸多优势,是我国海洋捕捞中产量最高的鱼类,占全球总捕捞量的70%~80%。带鱼营养丰富,肉质鲜美,富含蛋白质、不饱和脂肪酸和多种微量元素^[1-4],有利于生产开发各种鱼类制品,具有很高的经济价值^[5-8]。品质决定商品价值,不同环境所产的带鱼在鲜度和质地上相差甚远^[9],目前市场上已形成舟山带鱼、渤海带鱼、南海带鱼等多个知名品牌,然而由于其外形和银鳞具有高度的相似性,带鱼的分类学至今仍未得到解决。导致一些不法商贩为牟取利益,以次充好,扰乱市场,严重损害消费者利益。因此,亟须建立客观、有效的产地判别方法,更好地对带鱼进行产地鉴定和归属。

目前科学工作者对带鱼资源和生物学进行过大量研究,主要集中在海洋捕捞^[10]、分类定名^[11-12]、年龄生长、生殖及种群特征等方面^[13-17]。对带鱼的产地鉴定和归属研究相对较少,利用高效液相色谱(high performance liquid chromatographic, HPLC)指纹图谱技术研究带鱼产地归属的文献尚未见报道。HPLC 指纹图谱技术是最常用的化学指纹图谱研究方法,在固定的色谱条件下,样品中各组分的相对保留时间值和相对峰面积值为各组分所特有,各色谱峰的峰面积值代表了不同化学成分的含量信息,具有分离效能高、重现性好、灵敏度高等优点^[18-20]。在中药材^[21-26]和部分海洋生物如虾^[27]、马粪海胆^[28]、大黄鱼^[29]、海参^[30]、鲍鱼^[31]、淡菜^[32]、贝类^[33]等的质量控制和产地溯源领域得到了很好的应用。因此,本研究以渤海湾、黄海、舟山渔场、漳州海域和印度洋 5 个产地的带鱼为研究对象,建立其高效液相指纹图谱检测方法,通过中药色谱相似度评价系统和聚类分析对其产地特征进行评价,旨在为带鱼的产地鉴定和质量控制提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

带鱼样品于同一捕捞鱼季分别采自不同产地(表 1),选取大小均一、体表光泽、鱼体饱满、鱼鳃鲜红、黏液透明、眼球饱满的带鱼样品,300~400 g,冻存于-80℃冰箱中。按统计学随机选择用于实验分析。

表 1 不同产地带鱼样品来源

Table 1 Sources of *Trichiurus haumela* samples from different origins

样品序号	产地	来源
S1~S4	舟山渔场	浙江兴业有限公司
S5~S6	舟山渔场	舟山普陀金鹏水产有限公司
S7~S8	舟山渔场	舟山市东河市场
S9~S13	渤海湾	大连荔沅海产有限公司
S14~S18	黄海	青岛城阳金利源水产商行
S19~S23	漳州海域	东山县鑫连水产食品有限公司
S24~S28	印度洋	杭州农都市场

Agilent 1260 高效液相色谱系统、ODS 小柱(美国安捷伦公司);梅特勒 XP204 万分之一电子天平(瑞士梅特勒-托利多仪器公司);LGJ-10 冷冻干燥机(北京四环科学仪器厂);KQ2200DE 超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);RE3000A 旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂)。

甲醇、无水乙醇、乙酸乙酯、氯仿、丙酮(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);甲醇、乙腈(色谱纯,德国默克公司);磷酸(色谱纯,天津科密欧化学开发中心);Agilent Eclipse XDB C₁₈ 柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)(美国安捷伦科技有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备

取 200~300 g 带鱼中间背部肌肉,于-55℃冰箱中预冻 24 h,取出放入真空冷冻干燥机中干燥 24 h,研磨,过 60 目筛,精密量取 0.8000 g 样品于烧瓶中,加入乙酸乙酯 80 mL,超声提取 40 min,过滤,蒸干,过 ODS 小柱,蒸干,甲醇溶解并定容至 5 mL,过 0.22 μm 微孔滤膜,得供试品溶液。

1.2.2 色谱条件

色谱柱: Agilent Eclipse XDB C₁₈ 柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm);流动相: 乙腈(A): 0.1%磷酸水(B);检测波长: 210 nm;柱温: 30℃;进样量: 20 μL;流速: 0.5 mL/min;洗脱程序见表 2。

1.2.3 方法学考察

(1) 精密度实验

按照 1.2.1 方法制备一份供试品溶液,按照 1.2.2 色谱条件,连续进样 5 次,计算各共有峰的相对保留时间和峰面积,结果显示各共有峰的相对保留时间和峰面积的相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)值均小于 5.0%,说明仪器的精密度良好。

表 2 乙腈(A)-0.1%磷酸水(B)梯度洗脱程序
Table 2 Acetonitrile (A)-0.1% phosphate water (B) gradient elution procedure

时间/min	乙腈(A)/%	0.1%磷酸水(B)/%
0	5	95
6	10	90
11	27	73
15	35	65
23	60	40
27	85	15
42	87	13
55	95	5
60	100	0

(2)重复性实验

按照 1.2.1 方法制备共 5 份同一产地供试品溶液, 按照 1.2.2 色谱条件, 连续进样 5 次, 计算各共有峰的相对保留时间和峰面积值, 结果显示各共有峰的相对保留时间和峰面积的 RSDs 值均小于 5.0%, 表明重现性良好。

(3)稳定性实验

取同一产地带鱼供试品溶液, 按照 1.2.2 色谱条件, 在 0、4、8、12、16、24 h 分别进样, 计算各共有峰的相对保留时间及相对峰面积值, 结果显示 RSDs 值均小于 5.0%, 表明带鱼供试品在室温 24 h 内稳定性良好。

1.3 数据处理

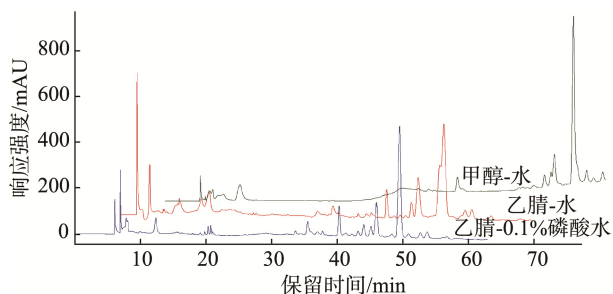
采用中药色谱指纹图谱相似度评价系统 A 版(2004)(国家药典委员会)对来自 5 个产地共 28 个带鱼样本提取物的实验结果和数据进行分析。采用 SPSS 26.0 对带鱼高效液相色谱特征峰进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 色谱条件的优化

实验选取乙腈-0.1%磷酸水、甲醇-水和乙腈-水 3 种

梯度洗脱体系进行比较研究(以下实验均进行 3 次重复), 其中 A 相中乙腈明显优于甲醇, 无论在保留时间、分离度和出峰数量上, 乙腈都具有明显优势。B 相上 0.1%磷酸与纯水相比, 色谱峰的分度及峰形均更好(图 1)。因此, 选择乙腈-0.1%磷酸水系统为流动相。



注: 柱温 30°C; 检测波长 210 nm。

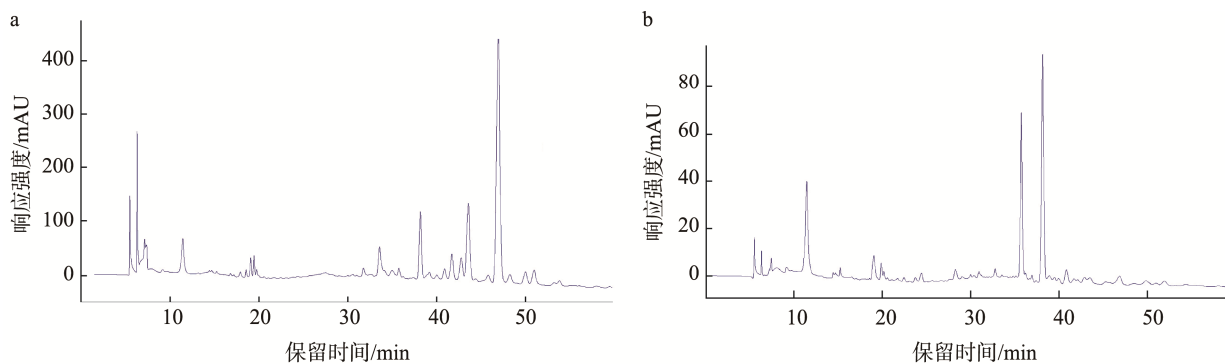
图 1 不同流动相下的带鱼高效液相色谱图

Fig.1 High performance liquid chromatograms of *Trichiurus haumela* at different mobile phases

本研究选取了常见的一些检测波长(210、230、254、280、320 nm)下的色谱图。结果显示 210 nm 波长下检测出的色谱图峰较多(图 2), 因为绝大多数物质在 210 nm 下均有吸收, 能够尽可能多地反映带鱼样品中的成分, 故选择 210 nm 作为检测波长。

分别对 25、30 和 35°C 3 个柱温条件进行考察, 结果见图 3, 发现温度对色谱图的分度度和峰型并没有显著影响, 30°C 下的谱图峰型、分离度相对较好, 故选择 30°C 为检测柱温。

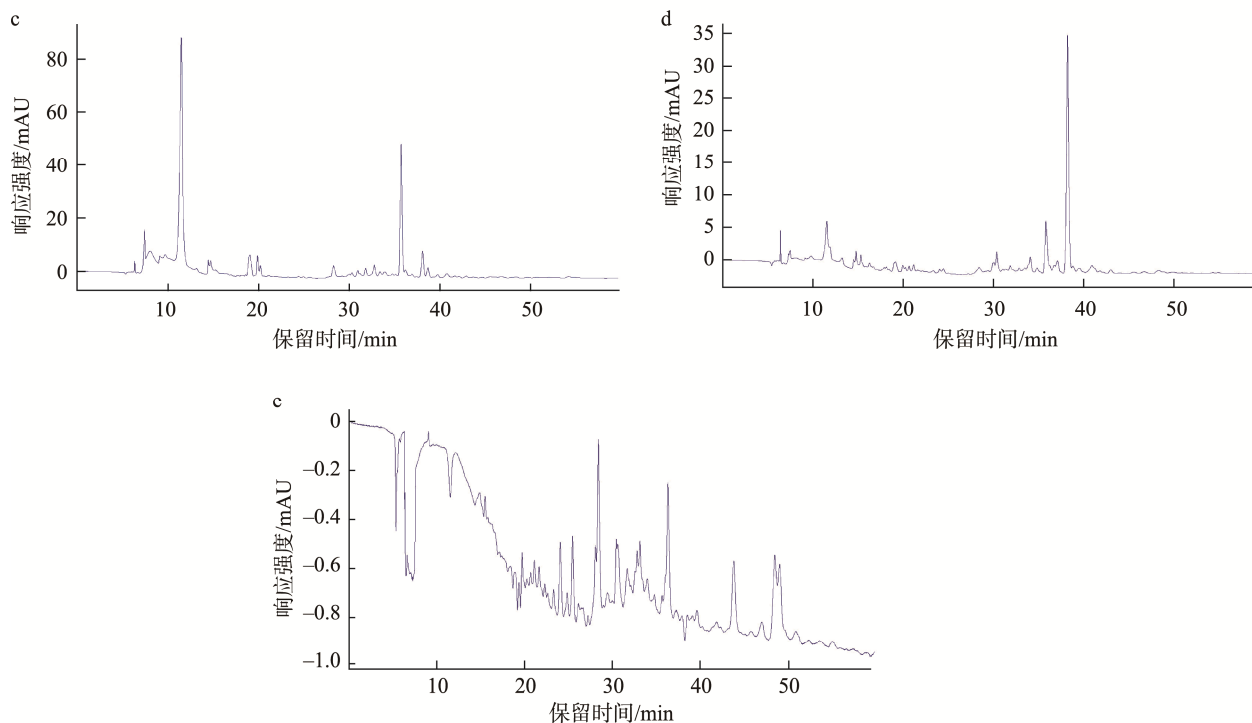
综上, 最终确定了带鱼 HPLC 条件: 色谱柱, Agilent Eclipse XDB C₁₈ 柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相, 乙腈(A)和 0.1%磷酸水(B); 检测波长, 210 nm; 柱温, 30°C; 进样量, 20 μL; 流速, 0.5 mL/min; 梯度洗脱程序见表 2。



注: a-e 的波长分别为: 210、230、254、280、320 nm; 柱温 30°C; 流动相乙腈(A)和 0.1%磷酸水(B)。

图 2 不同检测波长下的带鱼高效液相色谱图

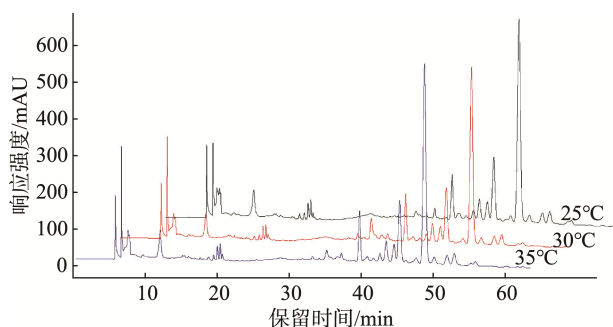
Fig.2 High performance liquid chromatograms of *Trichiurus haumela* at different detection wavelengths



注: 柱温 30°C; 流动相乙腈(A)和 0.1%磷酸水(B)。

图 2(续) 不同检测波长下的带鱼高效液相色谱图

Fig.2 High performance liquid chromatograms of *Trichiurus haumela* at different detection wavelengths



注: 流动相乙腈(A)和 0.1%磷酸水(B); 检测波长 210 nm。

图 3 不同柱温下的带鱼高效液相色谱图

Fig.3 High performance liquid chromatograms of *Trichiurus haumela* at different column temperatures

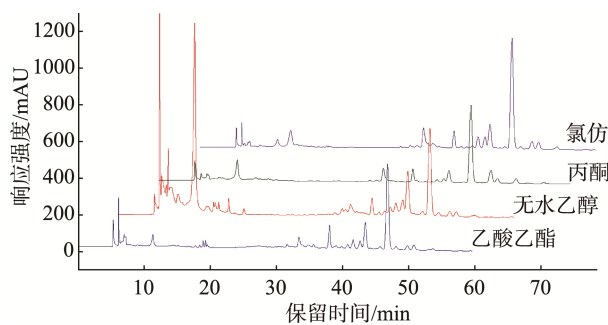
2.2 样品处理的优化

由于不同提取剂的极性存在差异, 对带鱼样品的提取能力也有所不同, 实验分别选用无水乙醇、丙酮、乙酸乙酯、氯仿作提取溶剂, 采用优化后的色谱条件进行分析。结果表明, 乙酸乙酯提取后色谱峰分离度最好, 相较其他溶剂, 色谱峰的数量也更丰富, 更能反映带鱼样品成分, 所以选取极性适中的乙酸乙酯为提取剂(图 4)。

实验分别设置料液比为 1:50、1:100、1:150 (m:V) 3

个水平, 综合考虑了带鱼色谱图中共有峰的峰形、峰高、峰面积及基线等因素, 发现料液比为 1:100 (m:V)时, 提取的效果最佳(图 5)。

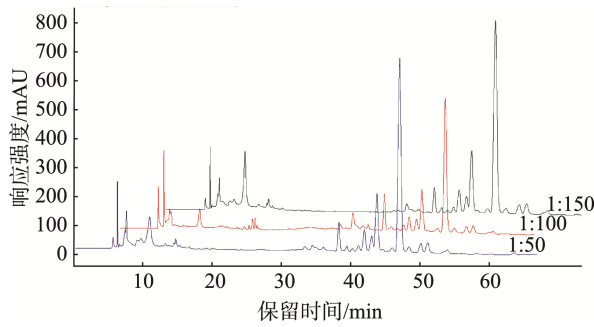
最终确定带鱼供试品提取工艺: 精密量取已过 60 目筛的带鱼样品 0.8000 g, 置于圆底烧瓶中, 准确加入乙酸乙酯 80 mL, 超声提取 40 min, 过滤, 蒸干, 过 ODS 小柱, 蒸干, 甲醇溶解并定容至 5 mL, 过 0.22 μm 微孔滤膜, 即得供试品溶液。



注: 流动相 0.1%磷酸水(B); 检测波长 210 nm; 柱温 30°C。

图 4 不同溶剂提取的高效液相色谱图

Fig.4 High performance liquid chromatograms of *Trichiurus haumela* extracted with different solvents



注: 流动相 0.1%磷酸水(B); 检测波长 210 nm; 柱温 30°C。

图 5 不同料液比的带鱼高效液相色谱图

Fig.5 High performance liquid chromatograms of *Trichiurus haumela* extracted with different solid-liquid ratios

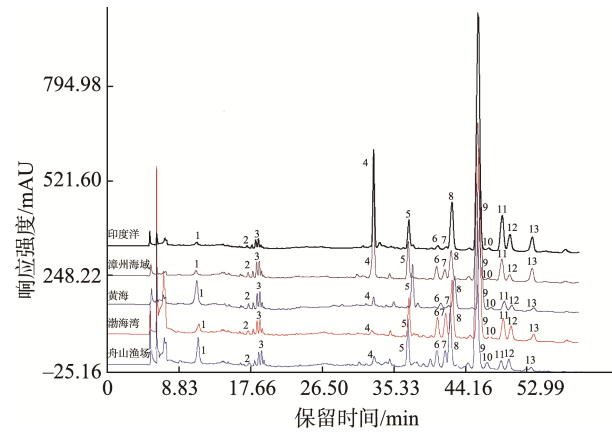


图 6 不同产地带鱼的参考指纹图谱

Fig.6 Reference fingerprints of *Trichiurus haumela* from different origins

2.3 不同产地带鱼 HPLC 指纹图谱分析

2.3.1 不同产地带鱼 HPLC 指纹图谱相似度和共有峰分析
采用中药色谱指纹图谱相似度评价系统 A 版(2004)(国家药典委员会)对来自 5 个产地共 28 个带鱼样本的乙酸乙酯提取物实验结果和数据进行分析, 得出指纹图谱共有模式, 并通过相似度比较, 得到各个产地带鱼的参考指纹图谱。共标定出 13 个共有峰, 且总峰面积占 90%以上, 其中 5、6、8、9、11、12、13 号色谱峰分离度好, 代表性较强, 指纹特征性明显, 可作为带鱼 HPLC 指纹图谱的特征峰(图 6)。

以图谱中 9 号峰为参照峰, 计算 7 个特征峰相对保留时间(表 3)和峰面积(表 4)。由图 6 和表 3、4 可以看出, 5 个产地带鱼样品中 7 个特征峰相对保留时间的 RSDs 仅为 0.06%~1.53%, 相差较小; 而相对峰面积的 RSDs 为 23.10%~55.70%, 相差较大。由此可知, 不同产地带鱼样品在化学成分种类上具有一致性, 但同一成分的含量具有显著差异。推测这可能是带鱼生存环境和水文条件的影响引起的, 不同产地的带鱼由于地理位置的不同、水文条件的差异从而在营养物质的含量上有所不同。

表 3 28 个不同产地带鱼特征峰的相对保留时间
Table 3 Relative retention times of characteristic peaks of *Trichiurus haumela* from 28 different origins

样品号	特征峰						
	5	6	8	9	11	12	13
S1	0.815	0.891	0.929	1.000	1.064	1.085	1.145
S2	0.812	0.889	0.928	1.000	1.065	1.086	1.147
S3	0.810	0.887	0.928	1.000	1.066	1.087	1.147
S4	0.812	0.891	0.929	1.000	1.065	1.085	1.146
S5	0.814	0.891	0.929	1.000	1.064	1.085	1.145
S6	0.813	0.889	0.928	1.000	1.065	1.086	1.146
S7	0.814	0.890	0.929	1.000	1.065	1.085	1.145
S8	0.812	0.891	0.928	1.000	1.064	1.085	1.146
S9	0.818	0.893	0.931	1.000	1.064	1.084	1.142
S10	0.818	0.893	0.931	1.000	1.064	1.084	1.142
S11	0.817	0.819	0.893	1.000	1.065	1.085	1.142
S12	0.810	0.888	0.927	1.000	1.066	1.088	1.151
S13	0.816	0.892	0.930	1.000	1.065	1.0085	1.143
S14	0.815	0.889	0.928	1.000	1.065	1.086	1.148
S15	0.813	0.889	0.928	1.000	1.065	1.086	1.147
S16	0.813	0.890	0.929	1.000	1.065	1.086	1.147
S17	0.813	0.889	0.929	1.000	1.064	1.086	1.146
S18	0.814	0.890	0.929	1.000	1.065	1.086	1.147

表 3(续)

样品号	特征峰						
	5	6	8	9	11	12	13
S19	0.811	0.888	0.928	1.000	1.065	1.087	1.148
S20	0.813	0.891	0.929	1.000	1.064	1.085	1.145
S21	0.813	0.891	0.929	1.000	1.064	1.085	1.145
S22	0.813	0.892	0.929	1.000	1.065	1.085	1.146
S23	0.814	0.891	0.928	1.000	1.065	1.086	1.145
S24	0.813	0.891	0.929	1.000	1.064	1.086	1.146
S25	0.813	0.890	0.928	1.000	1.065	1.087	1.146
S26	0.814	0.891	0.929	1.000	1.065	1.086	1.145
S27	0.813	0.892	0.927	1.000	1.066	1.084	1.146
S28	0.814	0.891	0.929	1.000	1.065	1.085	1.147
平均值	0.814	0.888	0.927	1.000	1.065	1.083	1.146
RSD/%	0.24	1.53	0.73	0.00	0.06	1.35	0.17

表 4 28 个不同产地带鱼特征峰的相对峰面积

Table 4 Relative peak areas of characteristic peaks of *Trichiurus haumela* from 28 different origins

样品号	特征峰						
	5	6	8	9	11	12	13
S1	0.247	0.086	0.283	1.000	0.051	0.065	0.023
S2	0.237	0.084	0.273	1.000	0.050	0.066	0.031
S3	0.232	0.083	0.282	1.000	0.051	0.065	0.035
S4	0.245	0.083	0.276	1.000	0.053	0.067	0.036
S5	0.244	0.086	0.275	1.000	0.055	0.064	0.034
S6	0.239	0.084	0.276	1.000	0.056	0.065	0.037
S7	0.245	0.086	0.281	1.000	0.052	0.066	0.036
S8	0.204	0.085	0.278	1.000	0.054	0.067	0.035
S9	0.134	0.042	0.269	1.000	0.113	0.079	0.046
S10	0.132	0.039	0.248	1.000	0.115	0.067	0.046
S11	0.133	0.038	0.255	1.000	0.115	0.072	0.047
S12	0.156	0.055	0.241	1.000	0.127	0.082	0.048
S13	0.135	0.043	0.246	1.000	0.114	0.069	0.047
S14	0.244	0.036	0.247	1.000	0.074	0.045	0.035
S15	0.235	0.044	0.254	1.000	0.068	0.045	0.021
S16	0.230	0.040	0.251	1.000	0.071	0.044	0.028
S17	0.238	0.043	0.252	1.000	0.069	0.045	0.025
S18	0.236	0.042	0.253	1.000	0.073	0.047	0.022
S19	0.174	0.066	0.161	1.000	0.139	0.041	0.098
S20	0.183	0.073	0.125	1.000	0.174	0.041	0.116
S21	0.193	0.069	0.119	1.000	0.164	0.039	0.112
S22	0.190	0.067	0.123	1.000	0.168	0.040	0.110
S23	0.192	0.072	0.123	1.000	0.173	0.041	0.115
S24	0.084	0.017	0.153	1.000	0.155	0.076	0.068
S25	0.101	0.019	0.150	1.000	0.147	0.065	0.068
S26	0.079	0.018	0.142	1.000	0.150	0.076	0.069
S27	0.091	0.015	0.146	1.000	0.153	0.073	0.068
S28	0.098	0.021	0.149	1.000	0.147	0.069	0.067
平均值	0.184	0.055	0.219	1.000	0.105	0.060	0.054
RSD/%	31.85	45.54	28.48	0.00	43.84	23.10	55.70

2.3.2 聚类分析

本研究选取分离度好、代表性较强的 7 个特征峰进行研究, 峰高和峰面积的 RSDs 值表明 7 个特征峰的区别主要体现在峰面积上, 因此实验采用 SPSS 26.0 进行数据处理, 将 5 个产地 28 个带鱼样品的 7 个特征峰相对峰面积作为原始数据导入软件, 用组间相关联接法计算, 采用平方欧式距离为测度进行系统聚类分析。从图 7 中可看出, 当平方欧式距离为 25 时, 各产地带鱼分别聚类, 其中舟山渔场与黄海先聚为一类, 再与渤海带鱼聚为一类; 漳州海域与印度洋聚类之后与其他 3 个产地带鱼聚类。同一产地的带鱼样品聚为一类, 说明同一产地的带鱼样品间化学成分种类及含量大体相同; 不同产地间聚类距离不同, 说明不同产地间带鱼确有差别, 距离越近带鱼样品化学成分及含量越接近, 此与鱼类作为流动性食物资源的特性有关。系统聚类分析能够比较综合、全面地反映出样品间的关系。

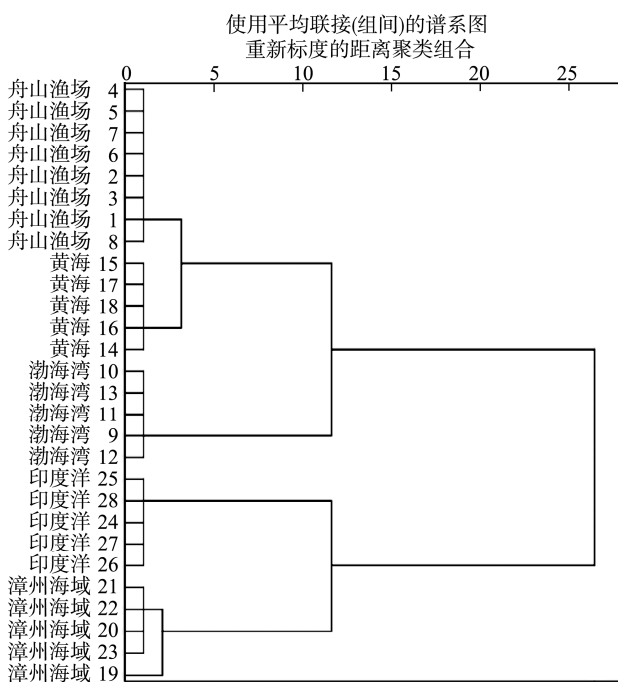


图 7 不同产地带鱼样品的 HPLC 指纹图谱聚类结果

Fig.7 Results of cluster analysis about HPLC fingerprints of *Trichiurus haumela* samples from different origins

3 结 论

本研究通过单因素分析考察了流动相、检测波长、柱温 3 个因素对带鱼液相色谱图的影响, 最终建立了带鱼样品的高效液相色谱检测方法, 得到了色谱峰分离度高、峰型较好的带鱼 HPLC 指纹图谱, 谱图的基线平稳, 指纹特征性明显。为了尽可能全面地反映带鱼样本成分, 实验还考察了不同提取溶剂及料液比对带鱼指纹图谱的影响, 结

果发现乙酸乙酯为提取剂提取, 料液比为 1:100 (*m*:*V*)时, 提取的效果最佳。

通过中药色谱相似度评价系统建立了不同产地带鱼样品的指纹图谱共有模式, 确立了 13 个共有峰和 7 个特征峰。聚类分析结果表明各产地带鱼分别聚类, 舟山渔场与黄海先聚为一类, 再与渤海带鱼聚为一类; 漳州海域与印度洋聚类之后与其他 3 个产地带鱼聚类。可见, 带鱼具有一定的地域特点, 不同带鱼样品间的亲疏远近关系不同。

所建立的指纹图谱分析方法操作方便、结果稳定准确, 在继续完善指纹图谱相关数据库基础上, 能够实现带鱼产地区分与鉴别, 为确定带鱼产地归属提供了参考。

参考文献

- 李远慧, 郑霖波, 谢超, 等. 带鱼蛋白抗菌肽抑菌效果的影响因素[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(20): 66-72.
- LI YH, ZHENG LB, XIE C, *et al.* Factors influencing antibacterial activity of Hairtail protein antimicrobial peptide [J]. Food Res Dev, 2022, 43(20): 66-72.
- 孟志娟. 基于多元指纹图谱技术的带鱼产地鉴别与新鲜度评价研究[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2013.
- MENG ZJ. The origin identification and freshness evaluation of *Trichiurus lepturus* based on multiple fingerprints [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2013.
- 邵颖. 壳聚糖-丁香酚乳液的制备表征及其对冷藏期间带鱼的保鲜作用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
- SHAO Y. The preparation and characterization of eugenol-loaded chitosan emulsions and their preservation effect on hairtail meat during cold storage [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- 何雄波. 中国近海带鱼科(*Trichiuridae*)常见种空间分布、种群结构与营养生态研究[D]. 厦门: 集美大学, 2019.
- HE XB. Spatial distribution, population structure and trophic ecology of common *Trichiuridae* species in the coastal waters of China [D]. Xiamen: Xiamen University, 2019.
- MUKUNDAN LP, SUKUMARAN S, SEBASTIAN W, *et al.* Characterization of the whole mitogenome of Largehead Hairtail *Trichiurus lepturus* (*Trichiuridae*): Insights into special characteristics [J]. Biochem Genet, 2020, 58(3): 430-451.
- LI Y, HUANG J, ZHOU Y, *et al.* Structure-related differential proteins identification for sous-vide cooking hairtail (*Trichiurus lepturus*) product [J]. Food Funct, 2020, 18(11): 9960-9972.
- YI MR, HSU KC, GU S, *et al.* Complete mitogenomes of four *Trichiurus* species: A taxonomic review of the *T. lepturus* species complex [J]. Zookeys, 2022, 1084: 1-26.
- WU YY, CAI QX, LI LH, *et al.* Comparison of the changes in fatty acids and triacylglycerols between *Decapterus maruadsi* and *Trichiurus lepturus*

- during salt-dried process [J]. *J Oleo Sci*, 2019, 68(8): 769–779.
- [9] 黄丽英, 孟春英, 许丹, 等. 带鱼中的极品—舟山带鱼[J]. 食品安全导刊, 2020, 6: 81.
- HUANG LY, MENG CY, XU D, *et al.* The best *Trichiurus japonicus*—Zhoushan hairtail [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2020, 6: 81.
- [10] HU J, WANG P, ZHANG H. The relationship between environmental factors and catch abundance of hairtail in the East China Sea using empirical dynamic modeling [J]. *Fishes*, 2021, 6(4): 1–16.
- [11] 吴仁协, 张浩冉, 郭刘军, 等. 中国近海带鱼 *Trichiurus japonicus* 的命名和分类学地位研究 [J]. 基因组学与应用生物学, 2018, 37(9): 3782–3791.
- WU RX, ZHANG HR, GUO LJ, *et al.* Study on the nomenclature and taxonomic status of hairtail *Trichiurus japonicus* from the Chinese coastal waters [J]. *Genom Appl Biol*, 2018, 37(9): 3782–3791.
- [12] FAN HM, PENG KS, CHENG QQ. The complete mitochondrial genome and phylogenetic relationship of *Trichiurus* sp. from Jiangsu [J]. *Mitochondr DNA Part B*, 2019, 4(1): 1231–1232.
- [13] CHENG S, SUN P, LIU Y, *et al.* Age, growth and maturation of largehead hairtail (*Trichiurus japonicus*) in the East China Sea [J]. *J Ocean Univ China*, 2022, 21: 1244–1250.
- [14] 史登福, 张魁, 蔡聪, 等. 南海北部带鱼群体结构及生长, 死亡和性成熟参数估计[J]. 南方水产科学, 2020, 16(5): 51–59.
- SHI DF, ZHANG K, CAI YC, *et al.* Population structure of *Trichiurus japonicus* in northern South China Sea and parameters of its growth, mortality and maturity [J]. *South Chin Fish Sci*, 2020, 16(5): 51–59.
- [15] PANHWAR SK, DONG ZY, GAO T, *et al.* Decadal population traits and fishery of Largehead Hairtail, *Trichiurus lepturus* (Linnaeus, 1758) in the East China Sea [J]. *Pak J Zool*, 2018, 50(1): 1–5.
- [16] 王帅纲, 张敏, 邹晓荣, 等. 伊朗阿曼湾海域带鱼生物学特性研究[J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(3): 432–438.
- WANG SG, ZHANG M, ZOU XR, *et al.* Biological characteristics of silvery hairtail fish *Trichiurus lepturus* in the waters of Gulf of Oman in Iran [J]. *J Dalian Ocean Univ*, 2020, 35(3): 432–438.
- [17] 张鹏. 阿曼湾海域带鱼生物学特性, 矢耳石形态和微化学研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
- ZHANG P. Study on biological characteristics, sagittal otolith morphology and microchemistry of *Trichiurus lepturus* in the Gulf of Oman [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [18] 刘静, 元超凡, 绪扩, 等. 指纹图谱技术在食品质量与安全中的应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(10): 3189–3197.
- LIU J, QI CF, XU K, *et al.* Research progress on the application of fingerprint technology in the field of food quality and safety [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(10): 3189–3197.
- [19] LIU BB, HU TT, YAN WD. Authentication of the Bilberry extracts by an HPLC fingerprint method combining reference standard extracts [J]. *Molecules*, 2020, 25: 2514.
- [20] 董坤园, 于澎, 熊金路, 等. 基于高效液相色谱图谱结合化学计量学的红参指纹图谱研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(21): 7316–7321.
- DONG KY, YU P, XIONG JL, *et al.* Research on fingerprint of red ginseng based on high performance liquid chromatography combined with chemometrics methods [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(21): 7316–7321.
- [21] 刘自华, 余瑶瑶, 张颖, 等. 高效液相色谱指纹图谱结合指标成分评价湖北虎杖资源[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(18): 7342–7350.
- LIU ZH, YU YY, ZHANG Y, *et al.* Evaluation of *Polygonum cuspidatum* resources in Hubei by high performance liquid chromatography fingerprint combined with index components [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(18): 7342–7350.
- [22] 冯翠娟, 李钦, 樊敏, 等. 甘肃野生玉竹高效液相色谱指纹图谱及化学模式识别[J]. 中药材, 2022, 45(5): 1203–1208.
- FENG CJ, LI Q, FAN M *et al.* High performance liquid chromatographic fingerprint and chemical pattern recognition of Gansu wild *Polygonatum odoratum* [J]. *J Chin Med Mater*, 2022, 45(5): 1203–1208.
- [23] 金顺琪, 张露蓉, 李曼, 等. 鲜半枝莲高效液相色谱指纹图谱的建立及 10 种黄酮类成分含量测定[J]. 中国医院药学杂志, 2022, 42(2): 119–122.
- JIN SQ, ZHANG LR, LI M, *et al.* Establishment of HPLC fingerprints of fresh *scutellaria barbata* and determination of 10 flavonoids components [J]. *Chin J Hosp Pharm*, 2022, 42(2): 119–122.
- [24] 王晓莉, 李思齐, 宋爱华, 等. 葛根 HPLC 特征指纹图谱研究[J]. 山东化工, 2021, 50(23): 108–112.
- WANG XL, LI SQ, SONG AIH, *et al.* A system research on HPLC characteristic fingerprint of *Puerariae Radix* [J]. *Shandong Chem Ind*, 2021, 50(23): 108–112.
- [25] 朱学栋, 许攀, 张晓芳, 等. 重庆地区淫羊藿 HPLC 指纹图谱研究[J]. 湖南农业科学, 2021, (5): 5–7.
- ZHU XD, XU P, ZHANG XF, *et al.* Study on HPLC fingerprint of *Epimedium* in Chongqing region [J]. *Human Agric Sci*, 2021, (5): 5–7.
- [26] 柳雨影, 陈健, 胡浩彬, 等. 指纹图谱结合化学模式识别对川芎药材多成分含量测定研究[J]. 药物分析杂志, 2021, 41(4): 685–693.
- LIU YY, CHEN J, HU HB, *et al.* Study on the multi-component determination of *Chuanxiong rhizoma* based on fingerprint and chemical pattern recognition [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2021, 41(4): 685–693.
- [27] SHUAI L, GUO JR, FENG JH, *et al.* Determination of astaxanthin and astaxanthin esters in shrimp shell by HPLC [J]. *Mar Sci Bull*, 2019, 21(2): 57–71.
- [28] 赵恒强, 陈军辉, 王虹, 等. 马粪海胆高效液相色谱指纹图谱研究[J]. 中国海洋药物杂志, 2009, 28(3): 34–38.
- ZHAO HQ, CHEN JH, WANG H, *et al.* Study on the HPLC fingerprint of sea urchin *Hemicentrotus pulcherrimus* [J]. *Chin J Mar Drugs*, 2009, 28(3): 34–38.
- [29] 顾得月, 任西杰, 迟长风, 等. 大黄鱼 HPLC 指纹图谱的建立及其在产

地溯源和物种鉴别中的应用[J]. 水产学报, 2016, 40(2): 164-177.

GU DY, REN XJ, CHI CF, *et al.* HPLC fingerprint of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) and its application to geographical origin traceability and species identification [J]. J Fish China, 2016, 40(2): 164-177.

- [30] 曹学彬, 王建波, 邢荣莲, 等. 北极海参不同酶解多肽的抗氧化活性与高效液相色谱分析[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(20): 211-214.

CAO XB, WANG JB, XING RL, *et al.* Antioxidant activity of different enzymolysis peptides from *Holothuria mexicana* with high performance liquid chromatography [J]. Jiangsu Agric Sci, 2018, 46(20): 211-214.

- [31] 孙建民, 贾亮亮, 马勇, 等. 不同产地鲍鱼的 HPLC 指纹图谱[J]. 河北大学学报, 2010, 30(6): 676-681.

SUN JM, JIA LL, MA Y, *et al.* Fingerprint of abalone from different areas by HPLC [J]. J Hebei Univ, 2010, 30(6): 676-681.

- [32] 龚曾豪, 于春光, 金艳霞, 等. 传统海洋中药淡菜高效液相(HPLC)指纹图谱研究[J]. 农村经济与科技, 2018, 29(11): 79-82.

GONG ZH, YU CG, JIN YX, *et al.* Study on high performance liquid phase fingerprint of traditional marine traditional Chinese medicine mussels [J]. Rura Econ Technol, 2018, 29(11): 79-82.

- [33] 杨丹丹, 韩峰, 史永富, 等. 高效液相色谱-紫外/荧光测定贝类体内 16 种多环芳烃[J]. 分析实验室, 2019, 38(7): 828-833.

YANG DD, HAN F, SHI YF, *et al.* Determination of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons in shellfish by HPLC-VWD/FLD [J]. Chin J Anal Lab, 2019, 38(7): 828-833.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

作者简介



马明珠, 硕士, 工程师, 主要研究方向为海洋天然产物研究。

E-mail: 21734172@zju.edu.cn



周宇芳, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为水产品高值化加工与质量安全。

E-mail: yfzhou@yeah.net



郑 斌, 博士, 教授, 主要研究方向为海洋生物资源开发与利用、营养健康食品制造。

E-mail: 6369958@163.com