

## 费菜不同部位脂溶性成分的 GC-MS 比较

陈克克<sup>1,2</sup>, 强毅<sup>1\*</sup>

(1. 陕西师范大学生命科学院西北濒危药材资源开发国家工程实验室, 西安 710119;  
2. 西安文理学院生物与环境工程学院基因工程实验室, 西安 710065)

**[摘要]** **目的:**研究和比较费菜根、茎、叶和果实 4 个部位的脂溶性成分。**方法:**采用索氏提取法提取费菜根、茎、叶和果实 4 个部位的脂溶性成分,采用氢氧化钾-甲醇直接酯化法进行甲酯化处理,采用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)对 4 种脂溶性成分进行分离和鉴定。载气为高纯度氦气,进口温度 250 ℃,流速 1.24 mL·min<sup>-1</sup>;电离方式 EI 离子源,离子源温度 200 ℃,接口温度 250 ℃,溶剂延时 3.5 min, *m/z* 40~600。**结果:**从费菜的根、茎、叶和果实 4 个部位中分别鉴定出 26, 37, 37, 20 种脂溶性成分,4 个部位中共有的脂溶性成分有 12 种,单独存在的成分分别有 6, 6, 9, 2 种。以亚麻酸和亚油酸为主的不饱和脂肪酸是费菜的主要脂溶性成分,其在根、茎、叶和果实 4 个部位的质量分数分别为 42.59%, 52.57%, 37.04% 和 80.06%, 4 个部位的不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸的比例分别为 1.17:1, 1.38:1, 0.85:1 和 4.56:1, 费菜的 4 个部位具有相似的脂肪酸组成,但脂肪酸的构成比例有一定差异。**结论:**该文提取、鉴定并比较了费菜 4 个部位的脂溶性成分,为费菜的开发利用奠定了基础。

**[关键词]** 费菜; 脂溶性成分; 气相色谱-质谱联用; 根; 茎; 叶; 果实

**[中图分类号]** R284.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2017)20-0077-05

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.2017200077

**[网络出版地址]** <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20170731.1049.068.html>

**[网络出版时间]** 2017-07-31 10:49

### GC-MS Analysis of Fat-soluble Components from Different Parts of *Sedum aizoon*

CHEN Ke-ke<sup>1,2</sup>, QIANG Yi<sup>1\*</sup>

(1. National Engineering Laboratory for Resource Developing of Endangered Chinese Crude Drug in Northwest of China, College of Life Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China;  
2. Genetic Engineering Laboratory, School of Biological and Environmental Engineering, Xi'an University, Xi'an 710065, China)

**[Abstract]** **Objective:** To study and compare the fat-soluble components from the roots, stems, leaves and fruits of *Sedum aizoon*. **Method:** The fat-soluble components from different parts of *S. aizoon* were extracted by soxlet extraction. The fat-soluble components were esterified by using potassium hydroxide-methanol direct esterification method and then analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Carrier gas was high-purity helium; sample injection temperature was 250 ℃; velocity of flow was 1.24 mL·min<sup>-1</sup>; ionization mode was EI ion source, with ion source temperature of 200 ℃, interface temperature of 250 ℃, solvent delay of 3.5 min, *m/z* 40-600. **Result:** The 26, 37, 37 and 20 kinds of fat-soluble components were identified from roots, stems, leaves and fruits respectively. 12 kinds of them were contained in all of the four parts, while 6, 6, 9 and 2 kinds were only present in roots, stems, leaves or fruits respectively. The main components of fat-soluble components were unsaturated fatty acids, which were mainly composed of linolenic acid and linoleic acid. The contents of unsaturated

**[收稿日期]** 20170420(006)

**[基金项目]** 西安市科技计划项目(CX12189W135);药用资源与天然药物化学教育部重点实验室开放课题(MR&NPC2013002)

**[第一作者]** 陈克克, 博士, 讲师, 从事天然资源成分分析研究, Tel:029-88241902, E-mail:happyckk@163.com

**[通讯作者]** \*强毅, 博士, 副教授, 从事植物生物技术研究, Tel:029-85310260, E-mail:yqiang1025@126.com

fatty acids were 42.59%, 52.57%, 37.04% and 80.06% respectively in roots, stems, leaves and fruits. The ratios of unsaturated fatty acids to saturated fatty acids in the different parts were 1.17:1, 1.38:1, 0.85:1 and 4.56:1. The four parts had similar fatty acid compositions, but there were some differences in the composition ratios. **Conclusion:** The fat-soluble components of *S. aizoon* were extracted, identified and compared for the first time. This research could establish foundation for further research and development of *S. aizoon*.

[**Key words**] *Sedum aizoon*; fat-soluble components; GC-MS; roots; stems; leaves; fruits

费菜为景天科景天属多年生草本植物,分布于我国陕西、四川、江苏、湖北、山东、宁夏、甘肃等地,一种药食两用植物<sup>[1]</sup>。费菜作为野菜食用历史悠久,明朱橚所著的《救荒本草》和鲍山所著的《野菜博录》均明确指出费菜茎叶可食<sup>[2-3]</sup>;此外,费菜以根及全草入药称景天三七,具有散瘀止血、安神宁心、解毒镇痛之功效,用于治疗各种出血、心悸失眠等症<sup>[4]</sup>。费菜在浙江、福建等地被称为养心草,长期作为药物及保健蔬菜用来预防心血管疾病,并被制成养心茶、费菜汁等产品开发推广<sup>[5-7]</sup>。目前国内关于费菜化学成分和药理作用方面的研究报道较少,限制了费菜的开发与利用。已报道的费菜的化学成分主要为多酚<sup>[8]</sup>、黄酮<sup>[8-10]</sup>、有机酸<sup>[10]</sup>、多糖<sup>[11]</sup>、氨基酸<sup>[12]</sup>等,近年来郭素华等<sup>[13]</sup>、陈迹东等<sup>[14]</sup>和李忠红等<sup>[15]</sup>分别采用 GC-MS 联用技术研究了费菜的挥发性成分,但有关费菜的脂溶性成分,特别是费菜不同组织部位的脂溶性成分的对比研究尚未见报道。为了解费菜脂溶性成分的组成,寻找具有药用价值的生物活性成分,本研究采用 GC-MS 联用技术对费菜根、茎、叶和果实 4 个部位的脂溶性成分进行分析与比较,以期对费菜在心血管疾病治疗方面的应用提供科学依据,为费菜的进一步综合开发利用奠定研究基础。

## 1 材料

费菜植物采自陕西省太白县,经陕西师范大学生命科学学院田先华教授鉴定为景天科植物费菜 *Sedum aizoon*,干燥后将其根、茎、叶和果实 4 个部位分离,分别粉碎后过 40 目筛,保存备用。

石油醚(沸点 60~90℃)购自天津天力化学试剂有限公司、氢氧化钾购自西安化学试剂厂、苯购自国药集团化学试剂有限公司、甲醇购自美国 Thermo Fisher 公司,均为分析纯;丙酮购自广东光华科技股份有限公司,为色谱纯;实验用水为超纯水。

GC-MS-QP2010 型气相色谱-质谱联用仪(日本 Shimadzu 公司), DGF-4AB 型立式电热鼓风干燥箱(天津泰斯特仪器有限公司), XS-02 型多功能粉碎机(上海兆申科技有限公司), TE412-L 型电子天平

(德国 Sartorius 仪器有限公司), HH-6B 型数显恒温水浴锅(国华电器有限公司), R-210 型旋转蒸发器(瑞士 Buchi 公司), Milli-Q 型超纯水仪(美国 Millipore 公司), 索氏提取装置(四川蜀牛玻璃仪器厂)。

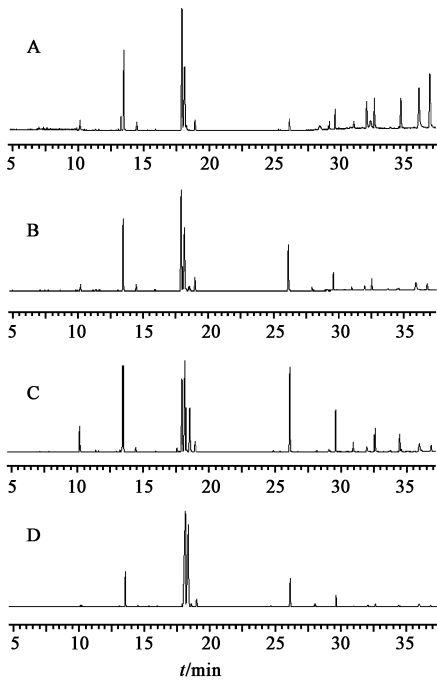
## 2 方法与结果

**2.1 脂溶性成分的提取和甲酯化** 精密称取费菜不同部位材料各 20.00 g, 分别以石油醚为溶剂, 80℃索氏提取 8 h, 将提取液旋转蒸馏, 得油状黄色提取物。采用氢氧化钾-甲醇直接酯化法对所得提取物进行甲酯化, 取费菜不同部位提取物置于 20 mL 玻璃试管中, 加入苯-石油醚(1:1)混合溶剂 4 mL 使之溶解, 后加入 0.4 mol·L<sup>-1</sup> 氢氧化钾-甲醇溶液 4 mL, 震荡混匀, 40℃恒温水浴 30 min, 最后加入超纯水 10 mL, 静置过夜待混合液分层清晰后取上清液, 经丙酮稀释 10 倍作为色谱分析试样<sup>[16]</sup>。

**2.2 脂溶性成分的 GC-MS 分析条件** GC 条件: RTX-5MS 型弹性石英毛细管色谱柱(0.25 mm × 30 m, 0.25 μm), 进口温度 250℃, 程序升温(初始柱温 100℃, 以 10℃·min<sup>-1</sup> 升温至 190℃; 以 1℃·min<sup>-1</sup> 升温至 205℃; 以 10℃·min<sup>-1</sup> 升温至 260℃, 保持 8 min), 气化室温度 250℃, 进样量 2 μL, 分流进样(分流比 10:1), 载气高纯氦气(纯度 99.999%), 流速 1.24 mL·min<sup>-1</sup>。

MS 条件: EI 离子源, 电子能量 70 eV, 离子源温度 200℃, 接口温度 250℃, 溶剂延时 3.5 min, 倍增器电压 0.9 kV, 扫描范围 *m/z* 40~600。

**2.3 样品测定结果** 依照上述优化条件对费菜不同部位的脂溶性成分进行分析, 得出的总离子流图见图 1。各色谱峰对应的质谱图经人工解析及 NIST27 和 NIST147 谱库检索并结合保留指数进行定量和定性分析, 采用面积归一化法计算, 最终得到费菜不同部位脂溶性成分的相对含量的分析结果, 见表 1。采用 GC-MS 分析费菜不同部位的脂溶性成分, 对匹配度达到 80% 以上的成分进行统计, 结果见表 1。在费菜的根、茎、叶和果实 4 个部位中分别分离出了 26, 37, 37, 20 种。脂肪酸是费菜脂溶性



A. 根; B. 茎; C. 叶; D. 果实

图 1 费菜不同部位脂溶性成分总离子色谱

Fig. 1 GC-MS total ion chromatograms (TICs) of fat-soluble constituents in different organs of *Sedum aizoon*

成分的主要组成部分,其含量在根、茎、叶和果实中分别占脂溶性成分的 78.87%, 89.88%, 80.38%, 97.31%;其中不饱和脂肪酸在不同部位的比例分别为 42.59%, 52.57%, 37.04%, 80.06%, 饱和脂肪酸在不同部位的比例分别为 36.28%, 37.31%, 43.34%, 17.25%, 不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸的比例分别为 1.17:1, 1.38:1, 0.85:1, 4.56:1。

在费菜脂溶性成分中,亚油酸甲酯是根、茎与

果实中含量最高的成分,分别为 24.75%, 30.26%, 44.27%。而在叶中含量最高的为亚麻酸甲酯(20.44%)。根中其他主要成分为亚麻酸甲酯(15.24%), 1-十八烷醇(11.53%)和十六酸甲酯(10.77%)等;茎中其他主要成分为亚麻酸甲酯(21.64%), 十六酸甲酯(13.62%)和二十烷酸甲酯(10.65%)等;叶中其他主要成分为亚油酸甲酯(15.89%), 二十烷酸甲酯(14.45%)和十六酸甲酯(12.66%)等;果实中其他主要成分为亚麻酸甲酯(35.7%)和十六酸甲酯(6.31%)等。由此可见,费菜的 4 个部位具有相似的脂肪酸组成,主要以亚麻酸甲酯和亚油酸甲酯这 2 种多不饱和脂肪酸为主要物质,2 者含量之和在根、茎、叶和果实 4 个部位中分别占到 39.99%, 51.9%, 36.33%, 79.97%, 说明 4 个部位脂肪酸的构成比例有一定差异。

费菜的根、茎、叶和果实 4 个部位共有的脂溶性成分有 12 种,含量相对较高的为十六酸甲酯、亚油酸甲酯、亚麻酸甲酯、二十烷酸甲酯和二十六烷酸甲酯。其中 2-十六烷基-1,1'-双环戊基(5.3%), 二十烷酸甲酯(2.2%)和十八醛(1.05%)等 6 种成分只在根中检测到。在茎中单独存在的成分有 6 种,含量较高的为正十四烷(0.12%)和正十九烷(0.07%)。在叶中单独存在的成分有 9 种,含量较高的为 1-十五烷醇(0.29%)和十三烷酸甲酯(0.05%)。而正十八烷(0.04%)和 2,6,10,14-四甲基-十六烷(0.07%)2 种成分只在果实中检测到。此外,在费菜的地上部分还检测到植醇,以叶中质量分数最高为 9.66%。以上结果表明费菜的根、茎、叶和果实 4 个部位的脂溶性成分差别较大。

表 1 费菜不同部位脂溶性成分分析

Table 1 Fat-soluble constituents and relative contents in different organs of *Sedum aizoon*

No.	化学名称	分子式	$t_R$ /min	相对质量分数/%			
				根	茎	叶	果实
1	3,3-dimethyl-hexane (3,3-二甲基己烷)	$C_8H_{18}$	4.573	0.08	0.04	-	-
2	2,4-dimethyl-hexane (2,4-二甲基己烷)	$C_8H_{18}$	4.754	-	0.07	0.02	-
3	2,6,11-trimethyl-dodecane (2,6,11-三甲基十二烷)	$C_{15}H_{32}$	4.772	0.11	0.06	-	-
4	3,3,4-trimethyl-hexane (3,3,4-三甲基己烷)	$C_9H_{20}$	5.317	0.11	-	-	-
5	3-ethyl-2,4-dimethyl-pentane (3-乙基-2,4-二甲基戊烷)	$C_9H_{20}$	5.445	-	-	0.02	-
6	dimethyl phthalate (邻苯二甲酸二甲酯)	$C_{10}H_{10}O_4$	7.092	-	0.15	0.11	0.17
7	4,6-dimethyl-dodecane (4,6-二甲基十二烷)	$C_{14}H_{30}$	7.294	0.04	0.03	-	-
8	heptadecane (正十七烷)	$C_{17}H_{36}$	7.417	-	-	0.02	-
9	3,8-dimethyl-decane (3,8-二甲基癸烷)	$C_{12}H_{26}$	7.421	-	0.07	-	-
10	2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-phenol [2,4-双(1,1-二甲基乙基)-苯酚]	$C_{14}H_{22}O$	7.675	-	0.08	0.03	-
11	tridecanoic acid, methyl ester (十三烷酸甲酯)	$C_{14}H_{28}O_2$	7.749	-	-	0.05	-

续表1

No.	化学名称	分子式	$t_R/min$	相对质量分数/%			
				根	茎	叶	果实
12	4-methyl-pentadecane (4-甲基-十五烷)	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	7.936	-	0.04	-	-
13	2-methyl-tridecane (2-甲基-十三烷)	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	8.595	-	0.06	-	-
14	pentadecane (正十五烷)	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	9.756	-	0.09	0.10	-
15	2,6-dimethyl-octane (2,6-二甲基-辛烷)	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	9.810	-	-	0.03	-
16	2,6,11-trimethyl-dodecane (2,6,11-三甲基-十二烷)	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	9.906	-	-	0.01	-
17	eicosane (正二十烷)	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	9.911	-	0.19	-	-
18	methyl tetradecanoate (肉豆蔻酸甲酯)	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	10.103	-	0.51	2.48	0.16
19	3,3-dimethyl-heptane (3,3-二甲基-庚烷)	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	11.135	0.08	-	-	-
20	2,4,4-trimethyl-hexane (2,4,4-三甲基-己烷)	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	11.149	-	0.09	0.01	-
21	octadecane (正十八烷)	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	11.149	-	-	-	0.04
22	2,6,10,14-tetramethyl-hexadecane (2,6,10,14-四甲基-十六烷)	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	11.301	-	-	-	0.07
23	hexadecyl-oxirane (十六烷基环氧乙烷)	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O	11.336	0.09	-	0.04	-
24	pentadecanoic acid, methyl ester (十五烷酸甲酯)	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	11.584	0.14	0.18	0.18	0.03
25	6,10,14-trimethyl-2-pentadecanone (6,10,14-三甲基-2-十五烷酮)	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O	11.938	-	-	0.05	-
26	bis(2-methylpropyl) ester 1,2-benzenedicarboxylic acid (邻苯二甲酸二异丁酯)	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	12.486	0.08	0.05	0.04	-
27	nonadecane (正十九烷)	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>	12.745	-	0.07	-	-
28	3-methyl-undecane (3-甲基-十一烷)	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	12.890	-	-	0.03	-
29	tetradecane (正十四烷)	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	12.901	-	0.12	-	-
30	oxacycloheptadec-8-en-2-one [ (Z)-氧代环十七碳-8-烯-2-酮 ]	C <sub>16</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	13.001	-	-	0.10	-
31	2-hexyl-cyclopropaneoctanoic acid-methyl ester (2-己基-环丙烷辛酸甲酯)	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	13.067	0.19	0.33	0.27	0.04
32	(Z)-methyl ester-9-hexadecenoic acid (棕榈油酸甲酯)	C <sub>17</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	13.256	1.75	0.17	0.71	0.09
33	hexadecanoic acid-methyl ester (棕榈酸甲酯)	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	13.468	10.77	13.62	12.66	6.31
34	dibutyl phthalate (邻苯二甲酸二丁酯)	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	14.454	1.23	1.50	0.85	0.27
35	heptadecanoic acid-methyl ester (十七碳酸甲酯)	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	15.882	-	0.22	0.12	0.18
36	(Z,Z)-9,12-octadecadienoic acid-methyl ester (亚油酸甲酯)	C <sub>19</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	17.898	24.75	30.26	15.89	44.27
37	(Z,Z,Z)-9,12,15-octadecatrienoic acid-methyl ester (亚麻酸甲酯)	C <sub>19</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	18.097	15.24	21.64	20.44	35.70
38	(Z)-9-octadecenoic acid-methyl ester (油酸甲酯)	C <sub>19</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	18.240	0.85	0.50	-	-
39	phytol (植醇)	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O	18.478	-	1.37	9.66	0.61
40	octadecanoic acid-methyl ester (硬脂酸甲酯)	C <sub>19</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	18.893	2.02	3.64	2.15	2.08
41	1-pentadecanol (1-十五烷醇)	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub> O	24.893	-	-	0.29	-
42	eicosanoic acid-methyl ester (花生酸甲酯)	C <sub>21</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	26.087	1.79	10.65	14.45	5.96
43	2,2'-methylenebis[6-(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-phenol] [2,2'-亚甲基双-(4-甲基-6-叔丁基苯酚)]	C <sub>23</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	27.979	-	0.68	0.10	0.48
44	heneicosanoic acid-methyl ester (二十一烷酸甲酯)	C <sub>22</sub> H <sub>44</sub> O <sub>2</sub>	28.100	-	0.16	0.17	-
45	1-heptadecanol (1-十七烷醇)	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub> O	29.042	0.47	-	-	-
46	1-octadecene (1-十八烯)	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub>	29.048	-	0.20	-	-
47	tetatriacontane (正三十四烷)	C <sub>34</sub> H <sub>70</sub>	29.123	0.77	-	-	-
48	tetratetracontane (正四十四烷)	C <sub>44</sub> H <sub>90</sub>	29.129	-	0.10	-	-
49	docosanoic acid-methyl ester (山嵛酸甲酯)	C <sub>23</sub> H <sub>46</sub> O <sub>2</sub>	29.558	2.12	2.83	4.60	1.54
50	tricosanoic acid-methyl ester (二十三烷酸甲酯)	C <sub>24</sub> H <sub>48</sub> O <sub>2</sub>	30.959	-	0.70	1.13	-
51	octadecanal (十八醛)	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O	30.990	1.05	-	-	-
52	octacosanoic acid-methyl ester (二十八酸甲酯)	C <sub>29</sub> H <sub>58</sub> O <sub>2</sub>	32.260	2.20	-	-	-
53	tetracosanoic acid-methyl ester (木焦油酸甲酯)	C <sub>25</sub> H <sub>50</sub> O <sub>2</sub>	32.551	4.64	2.63	3.86	0.62
54	unknown	-	34.415	-	-	3.46	-
55	2-hexadecyl-1,1'-bi-cyclopentyl (2-十六烷基-1,1'-双环戊基)	C <sub>26</sub> H <sub>50</sub>	34.571	5.30	-	-	-
56	pentatriacontane (正三十五烷)	C <sub>35</sub> H <sub>72</sub>	35.916	-	4.69	3.20	1.01
57	1-octadecanol (1-十八烷醇)	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub> O	35.956	11.53	-	1.14	-
58	hexacosanoic acid-methyl ester (二十六烷酸甲酯)	C <sub>27</sub> H <sub>54</sub> O <sub>2</sub>	36.787	12.60	2.17	1.49	0.37

### 3 讨论

现代医学研究表明,脂肪酸是人体脂肪和类脂的基本构建因子,是细胞膜磷脂的重要组分,直接参与细胞膜的组成及蛋白质与膜内受体调控,是重要的营养物质之一<sup>[17]</sup>,并与人类的健康密切相关。根据分子中饱和度的不同,脂肪酸可分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸。据报道,不饱和脂肪酸可以显著降低血清胆固醇水平,进而降低心脏病及中风等疾病的发病率<sup>[18]</sup>。费菜的根、茎、叶和果实中含有丰富的不饱和脂肪酸,特别是含有较高含量的多不饱和脂肪酸亚麻酸和亚油酸,这可能是费菜预防心血管疾病的原因之一。费菜脂溶性成分的阐明为其在心血管疾病治疗方面的应用提供了科学依据。费菜 4 个部位中的不饱和脂肪酸含量依次为果实 > 茎 > 根 > 叶,该结果为进一步探讨费菜不同部位的活性奠定了物质基础。药食两用植物费菜在食用与保健价值的开发方面具有非常大的潜力,值得深入研究。

#### [参考文献]

[1] 中国科学院《中国植物志》编委会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社,1984,34(1): 72-74.

[2] 明·朱橚撰. 救荒本草[M]. 倪根金,校注. 北京: 中国农业出版社,2008: 71.

[3] 明·鲍山编. 野菜博录[M]. 王承略,点校. 济南: 山东画报出版社,2007: 69.

[4] 南京中医药大学. 中药大辞典[M]. 上海: 上海科学技术出版社,2006: 3316-3317.

[5] 赵培洁,肖建中. 中国野菜资源学[M]. 北京: 中国环境科学出版社,2006: 209.

[6] 郭素华,黄建福,郑连梅,等. 养心草及其制剂的研究[J]. 福建中医学院学报,2001,11(4): 35-38.

[7] 车苏容,郭素华,竺叶青. 景天三七的药学研究进展[J]. 福建中医药,2004,35(3): 51-53.

[8] XU T Y, WANG Z H, LEI T L, et al. New flavonoid glycosides from *Sedum aizoon* L. [J]. Fitoterapia, 2015, 101: 125-132.

[9] LI W L, LUO Q Y, WU L Q. Two new prenylated isoflavones from *Sedum aizoon* L. [J]. Fitoterapia, 2011, 82(3): 405-407.

[10] LIN Z C, FANG Y J, HUANG A Y, et al. Chemical constituents from *Sedum aizoon* and their hemostatic activity [J]. Pharm Biol, 2014, 52(11): 1429-1434.

[11] WANG Q Z, LUO A X, FAN Y J, et al. *In vitro* antioxidant activity of polysaccharide from *Sedum aizoon* L. extracts [J]. J Med Plants Res, 2011, 5(30): 6604-6608.

[12] 强毅,李江林,王晟昱,等. 费菜不同部位氨基酸组成及含量分析[J]. 光谱实验室, 2013, 30(2): 1000-1003.

[13] 郭素华,车苏容,竺叶青,等. 养心草挥发油化学成分气相-质谱联用技术分析[J]. 中华中医药杂志, 2006, 21(11): 689-690.

[14] 陈迩东,王小明,巩丽丽,等. 气相色谱-质谱联用法分析费菜地上部分挥发性成分[J]. 山东中医杂志, 2014, 33(6): 491-492.

[15] 李忠红,胡浩彬,廖学威,等. 气相色谱-质谱法分析景天三七挥发性成分[J]. 医药导报, 2007, 26(10): 1228-1229.

[16] 李勇慧,曹晓燕,押辉远. 大叶秦艽中脂肪酸及挥发油成分的 GC-MS 分析[J]. 中药材, 2011, 34(4): 559-562.

[17] 张越华,曾和平. 脂肪酸在生命过程中的作用研究进展[J]. 中国油脂, 2006, 31(12): 11-16.

[18] 吴国欣,李永星,陈密玉,等. 余甘籽油脂肪酸组成的 GC-MS 分析[J]. 中医药学报, 2003, 31(6): 21-24.

[责任编辑 顾雪竹]