

# 飞机草的化学成分及生物活性研究进展

罗新香<sup>1</sup> 李冲<sup>2</sup>

1.西南林业大学 云南省昆明市 650000; 2.广安职业技术学院 四川省广安市 638550

**【摘要】**飞机草是菊科泽兰属的草本植物。已有研究显示飞机草含有丰富的活性成分,具有驱虫、抗菌、抗肿瘤、抗病毒等多种生物活性,近年来许多国内外研究人员也正致力于对其化学组分展开更深入的研究,试图探索其更大的应用价值。本文就以国内外参考文献:为依据,就飞机草的化学成分及其生物活性进行综述,以期对飞机草的综合应用与合理开发提供参考。

**【关键词】**飞机草;化学成分;生物活性

飞机草(Chromolaena odorata L.)<sup>[1]</sup>为菊科泽兰属植物的全草,多年生草本,根茎粗壮,茎直立<sup>[2]</sup>。飞机草收载于《中华本草》和《中药大辞典》等,性温,味酸,具有散瘀,消肿,解毒,止血功效<sup>[3]</sup>。飞机草对土壤的要求不高,喜欢肥沃的生境,往往能形成成片的飞机草群落,原产中、南美洲,广泛分布于我国海南、云南、广东、广西等地区。研究报道飞机草含有萜类化合物、类黄酮化合物、萜醌类化合物、皂苷类化合物、生物碱、单宁酸、香豆素、和其他酚类化合物,飞机草植物的药用价值在于其成分植物化学物质,它们对人体能产生不同的生理作用<sup>[4]</sup>,具有抗肿瘤<sup>[5]</sup>、抗氧化<sup>[6]</sup>、抗菌<sup>[7]</sup>、抗病毒<sup>[8]</sup>、驱虫等多种药理活性。因此,对飞机草的化学组成和生物活性进行综述,以期实现飞机草资源在食品、医药等领域的开发应用,为探寻和开辟新的产品和方向提供参考。

## 1.化学成分

表1 飞机草中的黄酮化合物

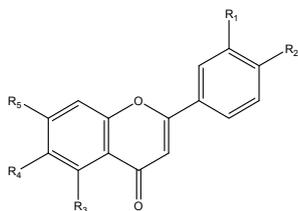
编号	化合物	分子式	参考文献:	编号	化合物	分子式	参考文献:
1	柳穿鱼黄素 pectolarigenin	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	[9]	10	金合欢素 acacetin	C <sub>16</sub> H <sub>11</sub> O <sub>5</sub>	[14-15]
2	4', 5, 6, 7-四甲氧基黄酮 4', 5, 6, 7-tetramethoxyflavone	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>8</sub>	[9]	11	5, 7-二羟基-3', 4'-二甲氧基黄酮 5, 7-dihydroxy-3', 4'-dimethoxyflavone	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	[9]
3	木犀草素 luteolin	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	[11]	12	6-羟基-5, 7, 4'-三甲氧基黄酮 6-hydroxy-5, 7, 4'-trimethoxyflavone	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>6</sub>	[16]
4	异泽兰黄素 eupatilin	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>7</sub>	[9]	13	4'-羟基-5, 6, 7, 3'-四甲氧基黄酮 3'-tetramethoxyflavone	C <sub>19</sub> H <sub>18</sub> O <sub>7</sub>	[16]
5	金圣草黄素 chrysoeriol	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	[9]	14	5, 3'-二羟基-7, 4'-甲氧基黄酮 5, 7-dihydroxy-4'-methoxyflavanone	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>5</sub>	[17]
6	香叶木素 diosmetin	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	[9]	15	5-羟基-6, 7, 4'-三甲氧基黄酮 5-hydroxy-6, 7, 4'-trimethoxyflavanone	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>6</sub>	[17]
7	木犀草素-4'-甲基醚 luteolin-4'-methyl ether	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	[12]	16	5, 7-二羟基-4'-甲氧基黄酮 5, 7-dihydroxy-4'-methoxyflavanone	C <sub>16</sub> H <sub>15</sub> O <sub>5</sub>	[17]
8	芹菜素 apigenin	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	13	17	4'-羟基-5, 6, 7-三甲氧基黄酮 4'-hydroxy-5, 6, 7-trimethoxyflavanone	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>6</sub>	[17]
9	野黄芩素四甲基醚 scutellaretin tetramethyl ether	C <sub>19</sub> H <sub>18</sub> O <sub>6</sub>	[12]	18	5, 7-二羟基-6, 4'-二甲氧基黄酮 5, 7-dihydroxy-6, 4'-dimethoxyflavanone	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	[17]

### 1.1 黄酮类化合物

黄酮类化合物由两个苯环通过中央三个碳原子(C6-C3-C6)相互连接而形成,作为一类重要的天然有机化合物广泛存在于自然界植物中。在天然药物中,大部分黄酮类化合物是以碳糖基或糖苷类的形式存在,少部分则以游离形式存在<sup>[8]</sup>。

飞机草中的黄酮类化合物作为生物活性成分之一,是目前报道最多的一类化合物,也是飞机草产生抗氧化、抗肿瘤等作用的主要成分,根据结构类型的不同分为以下几种类型:黄酮类化合物(见表1和图1)、黄酮醇类化合物(见表2和图2)、二氢黄酮类化合物(见表3和图3)、查尔酮化合物(见表4和图4)

#### 1.1.1 黄酮化合物



- 1 R<sub>1</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>4</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH
- 2 R<sub>1</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>4</sub>=R<sub>5</sub>=OMe
- 3 R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH, R<sub>4</sub>=H
- 4 R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=R<sub>4</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH
- 10 R<sub>1</sub>=R<sub>4</sub>=H, R<sub>2</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH
- 11 R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH, R<sub>4</sub>=H
- 12 R<sub>1</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OMe, R<sub>4</sub>=OH
- 13 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>4</sub>=R<sub>5</sub>=OMe, R<sub>2</sub>=OH

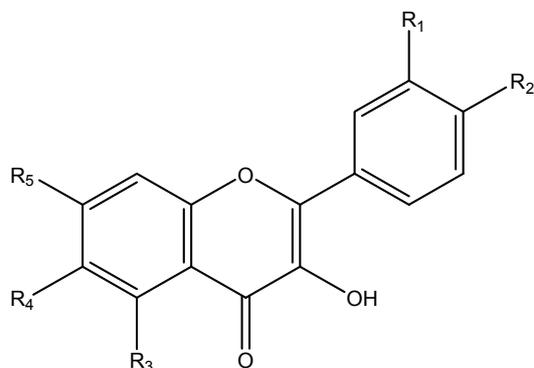
- 5 R<sub>1</sub>=OMe, R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH, R<sub>4</sub>=H
- 6 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH, R<sub>2</sub>=OMe, R<sub>4</sub>=H
- 7 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH, R<sub>2</sub>=OMe, R<sub>4</sub>=H
- 8 R<sub>1</sub>=R<sub>4</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH
- 9 R<sub>1</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>4</sub>=R<sub>5</sub>=OMe
- 14 R<sub>1</sub>=R<sub>4</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>5</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=OH
- 15 R<sub>1</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>4</sub>=R<sub>5</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=OH
- 16 R<sub>1</sub>=R<sub>4</sub>=H, R<sub>2</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH
- 17 R<sub>1</sub>=H, R<sub>2</sub>=OH, R<sub>3</sub>=R<sub>4</sub>=R<sub>5</sub>=OMe
- 18 R<sub>1</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>4</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH

图1 飞机草中的黄酮类结构图

1.1.2 黄酮醇化合物

表2 飞机草中的黄酮醇化合物

编号	化合物	分子式	参考文献:	编号	化合物	分子式	参考文献:
1	五椴果素 dillenetin	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	[13]	9	商陆素 ombuim	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	[9]
2	槲皮黄素-7, 4'-二甲基醚 quercetin-7, 4'-dimethyl ether	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	[18]	10	鼠李柠檬素 rhamnocitrin	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	[9]
3	山奈酚-4'-甲基醚 kaempferol-4'-methyl ether	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	[18]	11	marionol	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>8</sub>	[9]
4	鼠李素 rhamnetin	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	[13]	12	异鼠李素 isorhamnetin	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	[9]
5	怪柳素 tamarixetin	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	[13]	13	香橙素-7, 4'-二甲基醚 aromadendrin-7, 4'-dimethyl ether	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	[9]
6	山奈酚 kaempferol	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	[13]	14	3, 5-二羟基-7, 4'-三甲氧基黄酮 3, 5-dihydroxy-7, 4'-dimethoxyflavone	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	[19]
7	槲皮素 quercetin	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>	[13]	15	烟筒花素 hortensin	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	[19]
8	3, 4'-二羟基-5, 6, 7-三甲氧基黄酮 3, 4'-dihydroxy-5, 6, 7-trimethoxyflavone	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>7</sub>	[16]	16	3, 5, 7-三羟基-4'-甲氧基黄酮 3, 5, 7-trihydroxy-4'-methoxyflavone	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	[21]



- 1 R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH, R<sub>4</sub>=H
- 2 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=OH, R<sub>2</sub>=R<sub>5</sub>=OMe, R<sub>4</sub>=H
- 9 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=OH, R<sub>2</sub>=R<sub>5</sub>=OMe, R<sub>4</sub>=H
- 10 R<sub>1</sub>=R<sub>4</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=OH, R<sub>5</sub>=OMe

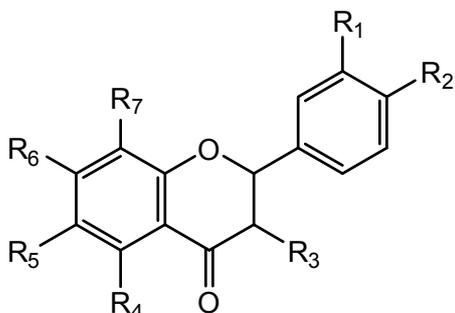
- 3 R<sub>1</sub>=R<sub>4</sub>=H, R<sub>2</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH
- 4 R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=OH, R<sub>4</sub>=H, R<sub>5</sub>=OMe
- 5 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH, R<sub>2</sub>=OMe, R<sub>4</sub>=H
- 6 R<sub>1</sub>=R<sub>4</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH
- 7 R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=, R<sub>4</sub>=H
- 8 R<sub>1</sub>=H, R<sub>2</sub>=OH, R<sub>3</sub>=R<sub>4</sub>=R<sub>5</sub>=OMe
- 11 R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>4</sub>=R<sub>5</sub>=OMe
- 12 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH, R<sub>2</sub>=OMe, R<sub>4</sub>=H
- 13 R<sub>1</sub>=R<sub>4</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>5</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=OH
- 14 R<sub>1</sub>=R<sub>4</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>5</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=OH
- 15 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=H, R<sub>2</sub>=OH, R<sub>4</sub>=R<sub>5</sub>=OMe
- 16 R<sub>1</sub>=R<sub>4</sub>=H, R<sub>2</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=OH

图2 飞机草中的黄酮醇结构图

1.1.3 二氢黄酮化合物

表3 飞机草中的二氢黄酮化合物

编号	化合物	分子式	参考文献:	编号	化合物	分子式	参考文献:
1	异野樱素 isosakumaetin	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>5</sub>	[19-20]	12	4', 6-二羟基-5, 7-二甲氧基二氢黄酮	C <sub>17</sub> H <sub>16</sub> O <sub>6</sub>	[9]
2	桃皮素 persicogenin	C <sub>17</sub> H <sub>16</sub> O <sub>6</sub>	[16][17]	13	4', 6-dihydroxy-5, 7-dimethoxyflavanone	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	[12]
3	柚皮素 naringenin	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	[9]	14	5, 6, 7-三羟基-4'-甲氧基二氢黄酮	C <sub>17</sub> H <sub>16</sub> O <sub>6</sub>	[21]
4	柚皮素-7, 4'-二甲基醚 naringenin-7, 4'-dimethyl ether	C <sub>17</sub> H <sub>16</sub> O <sub>5</sub>	[12]	15	5, 6, 7-trihydroxy-4'-methoxyflavanone	C <sub>17</sub> H <sub>16</sub> O <sub>5</sub>	[21]
5	5, 7, 3', 4'-五甲氧基二氢黄酮	C <sub>19</sub> H <sub>20</sub> O <sub>6</sub>	[16]	16	5, 3'-二羟基-7, 4'-二甲氧基黄烷酮	C <sub>18</sub> H <sub>18</sub> O <sub>5</sub>	[21]
6	5, 7, 3', 4'-tetramethoxyflavanone	C <sub>19</sub> H <sub>20</sub> O <sub>6</sub>	[22]	17	5, 3'-dihydroxy-7, 4'-dimethoxyflavanone	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	[9][15]
7	5, 6, 7, 4'-四甲氧基黄烷酮 5, 6, 7, 4'-tetramethoxyflavanone	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	[9]	18	5-羟基-7, 4'-二甲氧基黄烷酮	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>5</sub>	[21]
8	5, 6, 7, 8-四羟基-4'-甲氧基二氢黄酮 8-tetrahydroxy-4'-methoxyflavanone	C <sub>17</sub> H <sub>16</sub> O <sub>6</sub>	18	19	5-hydroxy-7, 4'-dimethoxyflavanone	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>5</sub>	[21]
9	5, 7-二羟基-6, 4'-三甲氧基二氢黄酮 5, 7-dihydroxy-6, 4'-trimethoxyflavanone	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	[9]	20	(±)-4', 5, 7-三甲氧基黄烷酮 (±)-4', 5, 7-trimethoxyflavanone	C <sub>18</sub> H <sub>18</sub> O <sub>5</sub>	[21]
10	5, 3', 4'-三羟基-7-甲氧基二氢黄酮 5, 3', 4'-trihydroxy-7-methoxyflavanone	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	[9]	21	二氢槲皮素-4'-甲氧基 4'-methoxydihydroquercetin	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	[16]
11	4'-羟基-5, 6, 7-三甲氧基二氢黄酮 4'-hydroxy-5, 6, 7-trimethoxyflavanone	C <sub>18</sub> H <sub>18</sub> O <sub>6</sub>	[9]	22	3, 5, 3'-三羟基-7, 4'-二甲氧基二氢黄酮 3, 5, 3'-trihydroxy-7, 4'-dimethoxyflavanone	C <sub>17</sub> H <sub>16</sub> O <sub>7</sub>	[9]
					Blumeatin		
					3, 5, 4'-三羟基-7, 3'-二甲氧基二氢黄酮 3, 5, 4'-trihydroxy-7, 3'-dimethoxyflavanone	C <sub>18</sub> H <sub>18</sub> O <sub>7</sub>	[16]



1 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=R<sub>7</sub>=H, R<sub>2</sub>=OMe, R<sub>4</sub>=R<sub>6</sub>=OH  
 12 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>7</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>5</sub>=OH, R<sub>4</sub>=R<sub>6</sub>=OMe

2 R<sub>1</sub>=R<sub>4</sub>=OH, R<sub>2</sub>=R<sub>6</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=R<sub>7</sub>=H  
 3 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=R<sub>7</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>4</sub>=R<sub>6</sub>=OH  
 4 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=R<sub>7</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>6</sub>=OMe, R<sub>4</sub>=OH  
 5 R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=R<sub>4</sub>=R<sub>6</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=R<sub>7</sub>=H  
 6 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>7</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>4</sub>=R<sub>5</sub>=R<sub>6</sub>=OMe  
 13 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>7</sub>=H, R<sub>2</sub>=OMe, R<sub>4</sub>=R<sub>5</sub>=R<sub>6</sub>=OH  
 14 R<sub>1</sub>=R<sub>4</sub>=OH, R<sub>2</sub>=R<sub>6</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=R<sub>7</sub>=H  
 15 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=R<sub>7</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>6</sub>=OMe, R<sub>4</sub>=OH  
 16 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>5</sub>=R<sub>7</sub>=H, R<sub>2</sub>=R<sub>4</sub>=R<sub>6</sub>=OMe  
 17 R<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>7</sub>=H, R<sub>2</sub>=OMe,

7 $R_1=R_3=R_7=H, R_2=OMe,$ $R_4=R_5=R_6=R_7=OH$	$R_3=R_4=R_6=OH$ 18 $R_1=R_3=R_7=H, R_2=R_3=R_4=OH,$ $R_6=OMe$	10 $R_1=R_2=R_4=R_5=R_6=OMe, R_3=R_7=H$ 11 $R_1=R_3=R_7=H, R_2=OH,$ $R_4=R_5=R_6=OMe$	21 $R_1=R_3=R_4=OH, R_2=R_6=OMe,$ $R_5=R_7=H$ 22 $R_1=R_6=OMe, R_2=R_3=R_4=OH,$ $R_5=R_7=H$ 23
8 $R_1=R_3=R_7=H, R_2=R_3=OMe,$ $R_4=R_6=OH$	19 $R_1=R_2=R_3=OH, R_4=R_6=OMe,$ $R_5=R_7=H$		
9 $R_1=R_2=R_4=OH, R_3=R_5=R_7=H,$ $R_6=OMe$	20 $R_1=R_3=R_4=R_6=OH, R_2=OMe,$ $R_5=R_7=H$	图3 飞机草中的二氢黄酮类结构图 1.1.4 查尔酮	

表4 飞机草中的查尔酮化合物

编号	化合物	分子式	参考文献:
1	4, 2'-二羟基-4', 5', 6'-三甲氧基查尔酮 4, 2'-dihydroxy-4', 5', 6'-trimethoxychalcone	$C_{18}H_{17}O_6$	[17]
2	2'-羟基-4, 4', 5', 6'-四甲氧基查尔酮 2'-hydroxy-4, 4', 5', 6'-tetramethoxychalcone	$C_{19}H_{19}O_6$	[25]
3	2'-羟基-3', 4, 4', 5', 6'-五甲氧基查尔酮 2'-hydroxy-3', 4, 4', 5', 6'-pentamethoxychalcone	$C_{20}H_{21}O_7$	[25]
4	飞机草素 odoratine	$C_{19}H_{19}O_7$	[18]

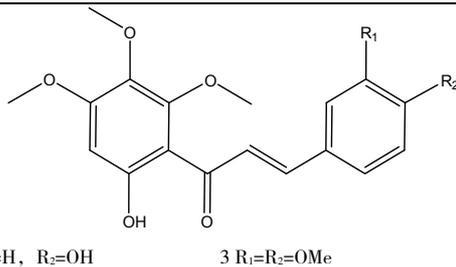


图4 飞机草中的查尔酮类结构图

1.1.5 萜类化合物

萜类化合物 (terpenoids) 是由甲戊二羧酸衍生, 以异戊二烯单元为分子基本骨架, 具有丰富的生物活性和药理作用。飞机草中主要含有倍半萜类、贝壳杉烷型二萜化合物、三萜化合物, 研究者主要通过 GC-MS 的方法进行分离鉴定<sup>[26]</sup>。

表5 飞机草中的萜类化合物

编号	化合物	分子式	参考文献:	编号	化合物	分子式	参考文献: (1)
1	$\alpha$ -pinene	$C_{10}H_{16}$	[22]	11	a-humulene	$C_{15}H_{24}$	[24]
2	(Z)- $\beta$ -ocimene	$C_{10}H_{16}$	[22]	12	$\beta$ -cubebene	$C_{15}H_{24}$	[24]
3	limonene	$C_{10}H_{16}$	[22]	13	$\beta$ -pinene	$C_{10}H_{16}$	[24]
4	$\delta$ -Elemene	$C_{15}H_{24}$	[22]	14	germacrene B	$C_{15}H_{24}$	[24]
5	Spathulenol	$C_{14}H_{22}O$	[22]	15	Globulol	$C_{15}H_{26}O$	[24]
6	$\alpha$ -copaene	$C_{17}H_{32}$	[22]	16	a-murolene	$C_{15}H_{24}$	[24]
7	Terpinen-4-ol	$C_{10}H_{18}O$	[23]	17	$\gamma$ -cadinene	$C_{15}H_{24}$	[25]
8	$\beta$ -Caryophyllene	$C_{15}H_{24}$	[23]	18	Calamenene	$C_{15}H_{22}$	[25]
9	geijerene	$C_{12}H_{18}$	[23]	19	$\delta$ -cadinene	$C_{15}H_{24}$	[25]
10	$\alpha$ -cadinol	$C_{15}H_{26}O$	[23]	20	$\delta$ -cadinol	$C_{15}H_{26}O$	[25]

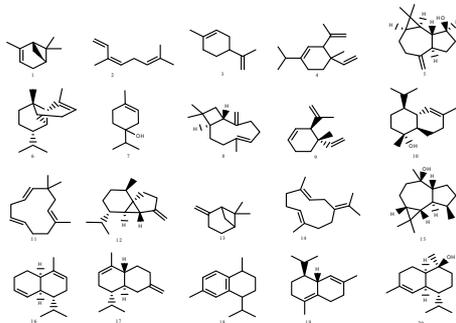


图5 飞机草中的萜类结构图

1.2 其他化合物

飞机草中活性成分复杂多样, 还含有甾体化合物、木脂素、生物碱等多种生物活性成分。目前, 已经从飞机草中还分离得到 (-)-松脂素、7-甲氧基松脂素、(-)-橄榄脂素、臭矢菜素 C、臭矢菜素 A、(-)-杜仲树脂酚、(-)-丁香树脂酚等木脂素化合物<sup>[27]</sup>, 这类化合物具有清除自由基、抗肿瘤、抗氧化的作用<sup>[28]</sup>。此外, 还含有  $\beta$ -谷甾醇、 $\beta$ -胡萝卜素、豆甾醇、谷甾醇等甾体化合物, rinderine、intermidine、石松胺和刺凌德草碱等生物碱。

2. 生物活性

### 2.1 抗肿瘤活性

王亚芸等<sup>[16]</sup>发现飞机草乙醇提取物中的黄酮类成分具有细胞毒活性和拮抗血小板活性因子的作用。刘培玉等<sup>[9]</sup>对飞机草全草的化学成分进行了系统研究,得知4',5,6,7-四甲氧基黄酮对人宫颈癌细胞(HeLa)、人肾癌细胞(Sn12-PM6)和人慢性粒细胞白血病(K562细胞)具有显著的增殖抑制活性。张丽坤等<sup>[19]</sup>筛选飞机草中具有抑制肿瘤细胞生长活性的化合物,结果发现部分黄酮类化合物对乳腺癌细胞(MCF-7)、人神经胶质瘤细胞(U251)、肝癌细胞(HepG2)、子宫颈癌细胞(HeLa)以及肺癌细胞(A549)有一定的抑制作用。木犀草素对人体肺癌细胞(NCI-187)和乳腺癌细胞(BC)的细胞毒性的MIC值分别为19.2和38.4 $\mu\text{M}$ <sup>[27]</sup>。泽兰黄酮亭则对人体鼻咽癌(KB)细胞有中等的细胞毒性<sup>[17]</sup>。阳帆等<sup>[2]</sup>实验发现飞机草总黄酮可增加小鼠免疫力,改善免疫器官组织结构,提高相关细胞因子和免疫球蛋白含量。王韵等<sup>[27]</sup>发现3 $\beta$ -乙酰基齐墩果酸能抑制细胞增殖的活性。Apichart Suksamrarn等<sup>[30]</sup>研究发现,金针素对人小细胞肺癌(NCI-H187)细胞显示中等毒性,木犀草素对人小细胞肺癌(NCI-H187)细胞和人乳腺癌(BC)细胞均显示中等毒性。张嫚丽等<sup>[5]</sup>实验发现,飞机草中1,2-二甲氧基-3-羟基-6-甲基萘醌对人非小细胞肺癌细胞(PC-6)具有较强的增殖抑制活性;飞机草素对PPAR $\gamma$ 具有较强的激活活性。综上所述,飞机草中的多种生物活性物质对不同的肿瘤细胞株产生不同程度的抑制作用,但是作用机制仍需进一步的研究。随着癌症发病率持续走高,因此,研究高效的天然活性产物具有较大的意义,通过对飞机草中化学成分的抗肿瘤作用的机制继续深入研究,有望开发出治疗多种新型治疗恶性肿瘤的药物。

### 2.2 抗菌活性

谭亚婷等<sup>[32]</sup>研究发现飞机草中的异野樱素对拟茎点霉菌丝生长抑制作用最强。郑锦庆等<sup>[33]</sup>探讨飞机草总黄酮对金黄色葡萄球菌、鸡白痢沙门氏菌、枯草芽孢杆菌、大肠埃希菌的体外抑菌活性,结果发现金黄色葡萄球菌对飞机草总黄酮最为敏感,最小抑菌浓度为0.0156g/mL,最小杀菌浓度为0.0313g/mL,飞机草总黄酮具有无论对体内还是体外均有抗菌的作用。Omokhua A G等<sup>[21]</sup>实验发现(±)-4',5,7-三甲氧基黄酮,5-羟基-3,7,4'-三甲氧基黄酮对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、肺炎克雷伯氏菌、烟曲霉等有抑制作用,与阳性对照药物的庆大霉素相当。飞机草中的异樱花素能显著抑制结核分枝杆菌,4'-羟基-5,6,7-三羟基黄酮、木犀草素等的抑菌活性较弱<sup>[34]</sup>。

### 2.3 抗病毒活性

飞机草全草的甲醇、乙醇、石油醚和乙酸乙酯提取物对烟草花叶病毒具有良好的抑制作用,当浓度为10mg/mL时,抑制率在36.40%~48.12%,对病毒增殖的抑制率在47.41%~60.93%,且随使用浓度的增加作用增强<sup>[35]</sup>,但其具体活性化合物未知,因此探究其抗病毒活性具有理论依据与创新性。

### 2.4 驱虫活性

飞机草中的乙醇浸提物氯仿萃取物对小菜蛾具有一定的拒食和产卵

忌避作用<sup>[36]</sup>。18%飞机草微乳剂对荔枝蒂蛀虫的趋避效果在药液pH6.0~9.0的环境下较好<sup>[37]</sup>。钟平生等<sup>[38]</sup>实验发现飞机草对褐稻虱成虫具有产卵驱避和杀灭作用,干扰作用与使用次数、浓度成正比,其中使用浓度对防治褐稻虱的干扰作用大于使用次数。钟宝珠等<sup>[39]</sup>采用玻管药膜法和田间试验研究飞机草对螺旋粉虱的生物活性,在50倍浓度处理下,飞机草对螺旋粉虱防效可达75%以上,LC<sub>50</sub>为753.40mg/kg。

## 3 展望

飞机草作为一种外来入侵植物,被列为世界各国重要检疫型杂草之一,对生物多样性造成极大的破坏,具有散瘀、杀虫等功效。飞机草中含量大量的生物活性物质,如萜类、黄酮类、甾体等,其中黄酮主要以甲基黄酮为主<sup>[40]</sup>,且更多地集中在飞机草植物的乙酸乙酯提取物中<sup>[25]</sup>。这些生物活性化合物具有良好的抗炎、保肝、心血管保护、哮喘干预、抑菌、抗氧化、抗肿瘤等活性<sup>[26]</sup>。此外,飞机草还可以用作开发香香料、杀虫剂、植物源农药等,有巨大的开发价值。本文综述了飞机草中主要的生物活性物质,并对分离出的植物化学成分结构进行了总结。大量研究报道已经证实,飞机草中的活性成分具有治疗潜力,飞机草中植物化学成分的生物活性和作用机制尚未完全清楚,且大多停留在实验室基础研究阶段。因此,进一步研究飞机草中的活性成分结构具有重要的研究意义。

### 参考文献:

- [1]余香琴,冯玉龙,李巧明.外来入侵植物飞机草的研究进展与展望[J].植物生态学报,2010,34(5):591-600.
- [2]杨卫丽,王勇,吴丽贞,等.正交试验法优选飞机草药材中芹菜素提取工艺研究[J].海南医学院学报,2014,20(11):1475-1476+1481.
- [3]雷磊.飞机草中化感物质的提取分离与鉴定[D].吉林农业大学,2011.
- [4]Srinivasa Rao K, Chaudhury P K, Pradhan A. Evaluation of anti-oxidant activities and total phenolic content of Chromolaena odorata[J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(2):729-732.
- [5]张嫚丽.东北红豆杉、飞机草的化学成分研究及土木香中活性成分的微生物转化研究[D].河北医科大学,2010.
- [6]马纳,李亚静,范吉平.金合欢素药理研究进展[J].中国现代应用药学,2018,35(10):1591-1595.DOI:10.13748/j.cnki.issn1007-7693.2018.10.035.
- [7]郑锦庆,王小宁,岳杰,等.飞机草总黄酮体外抑菌活性与体内抗大肠埃希菌感染效果[J].广东海洋大学学报,2015,35(6):53-57.
- [8]闫晓慧,刘祖凤,冯玲,张振.飞机草提取物抗烟草花叶病毒的活性[J].贵州农业科学,2013,41(05):76-78+82.
- [9]张婉萍,陈捷,王恒,郑时莲,彭常梅,岳恒.紫苏叶的活性成分及生物活性研究进展[J].食品与发酵工业:1-10.
- [10]刘培玉.飞机草化学成分及药理活性研究[D].河北医科大学,2015.
- [11]袁经权.飞机草和苦石莲化学成分研究[D].北京协和医学院;中

国医学科学院; 清华大学医学部; 中国协和医科大学, 2006.

[12]纳智, 冯玉龙, 许又凯. 飞机草地上部分化学成分研究[J]. 中草药, 2012, 43 (10): 1896-1900.

[13]袁经权, 杨峻山, 缪剑华. 飞机草黄酮类成分的研究[J]. 中药材, 2007, 30 (6): 657-660.

[14]国家中医药管理局. 中华本草(第七分册)[M]. 上海: 上海科技出版社, 1999: 841-842.

[15]Kaempferide, the most active among the four flavonoids isolated and characterized from *Chromolaena odorata*, induces apoptosis in cervical cancer cells while being pharmacologically safe[J]. RSC Advances, 2015, 5.

[16]王亚芸, 马国需, 黄真, 钟晓明, 许旭东, 袁经权. 外来入侵植物飞机草的化学成分研究[J]. 中国药理学杂志, 2016, 51 (09): 698-702.

[17]Suksamran A, Chotipong A, Suavansri, et al. Antimycobacterial activity and cytotoxicity of flavonoids from the flowers of *Chromolaena odorata*. Archives of Pharmacal Research, 2004, 27 (5): 507-511.

[18]丁智慧, 张学镭, 刘吉开, 等. 飞机草中的化学成分[J]. 天然产物研究与开发, 2001, 13 (5): 22-24.

[19]张丽坤, 罗都强, 冯玉龙, 董廷发. 入侵植物飞机草的化学成分及其抗肿瘤活性[J]. 中成药, 2013, 35 (03): 545-548.

[20]Hung T M, Cuong T D, Dang N H, et al. Flavonoid glycosides from *Chromolaena odorata* leaves and their in vitro cytotoxic activity[J]. Cheminform, 2011, 42 (32): no-no.

[21]Omokhua A G, Abdalla M A, Leonard C M, et al. Flavonoids isolated from the South African weed *Chromolaena odorata* (Asteraceae) have pharmacological activity against uropathogens[J]. BMC Complementary Medicine and Therapies, 2020, 20 (1).

[22]Baruah R, Leclercq P. Constituents of the Essential Oil from the Flowers of *Chromolaena odorata*[J]. Planta Medica, 1993, 59 (03): 283-283.

[23]Gogoi, R., Sarma, N., Begum, T., Pandey, S.K. & Lal, M. North-East Indian *Chromolaena odorata* (L. King Robinson) Aerial Part Essential Oil Chemical Composition, Pharmacological Activities - Neurodegenerative Inhibitory and Toxicity Study. Journal of Essential Oil Bearing Plants 23, 1173-1191 (2021).

[24]Pisutthanan, N. et al. Constituents of the essential oil from aerial parts of *Chromolaena odorata* from Thailand. Natural Product Research 20, 636-640 (2006).

[25]Supakanya Kumkarnjana, Rutt Suttisri, Ubonthip Nimmannit, Thongchai Koobkokkrud, Chutichot Pattamadilok, Nontima Vardhanabutti. Anti-adipogenic effect of flavonoids from *Chromolaena odorata* leaves in 3T3-L1 adipocytes[J]. Journal of Integrative Medicine, 2018, 16 (06): 4

27-434.

[26]梁国兴, 赵媛, 王彩芳. 入侵物种飞机草 (*Eupatorium odoratum*) 化学成分及生物活性研究进展[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2011, 47 (06): 611-617.

[27]王韵, 司马硕丹, 李继霞, 赵廷, 李鹭, 王于方, 张曼丽, 史清文. 飞机草化学成分研究[J]. 中草药, 2012, 43 (12): 2351-2355.

[28]戚微岩, 夏春磊, 安柔锦, 高新梅, 李东平, 徐寒梅. 金剛藤木脂素对食管鳞癌细胞的抑制作用[J]. 中国药科大学学报, 2022, 53 (01): 93-98.

[29]阳帆, 康丹菊, 陈志宝, 林红英, 陈进军. 飞机草总黄酮对小鼠免疫调节功能的影响[J]. 中兽医医药杂志, 2020, 39 (05): 56-60.

[30]Apichart Suksamran, Apinya Chotipong, Tananit Suavansri, Somnuk Boongird, Puntip Timsuksai, Saovaluk Vimuttipong, Aporn Chuaynugul. Antimycobacterial activity and cytotoxicity of flavonoids from the flowers of *Chromolaena odorata*[J]. Archives of Pharmacal Research, 2004, 27 (5).

[31]Lakshmareddy Emani, Suryachandrarao Ravada, Bharani Meka, et al. A New Flavanone from the Leaves of *Chromolaena odorata*[J]. Natural Product Communications, 2015, 10 (9).

[32]谭亚婷, 左安建, 何彦仪, 罗雨薇, 胡世俊, 闫晓慧. 飞机草地上部分化学成分及其抑菌活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33 (03): 410-418.

[33]郑锦庆, 王小宁, 岳杰, 马驿, 巨向红, 林红英, 陈进军. 飞机草总黄酮体外抑菌活性与体内抗大肠埃希菌感染效果[J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35 (06): 53-57.

[34]Suksamran A, Chotipong A, Suavansri T, et al. Antimycobacterial activity and cytotoxicity of flavonoids from the flowers of *Chromolaena odorata*. Arch Pharm Res, 2004, 27 (5): 507-511.

[35]闫晓慧, 刘祖凤, 冯玲, 等. 飞机草提取物抗烟草花叶病毒的活性[J]. 贵州农业科学, 2013, 41 (5): 76-78, 82.

[36]何衍彪, 谷文祥, 庞雄飞. 飞机草和苦槛蓝中的黄酮类提取物对小菜蛾的生物活性[J]. 热带农业科学, 2003 (06): 19-25+63.

[37]江世宏, 陈晓琴, 黄安康, 李广京. 飞机草微乳剂不同 pH 值对荔枝蒂蛀虫产卵驱避活性测定[J]. 广西农业科学, 2009, 40 (01): 47-48.

[38]钟平生, 梁广文, 曾玲. 飞机草乙醇提取物对褐稻虱种群的干扰作用[J]. 植物保护, 2008 (03): 61-64.

[39]钟宝珠, 吕朝军, 韩超文, 覃伟权, 马子龙. 几种植物乙醇提取物对螺旋粉虱的生物活性[J]. 热带作物学报, 2009, 30 (07): 1009-1012.

[40]杨逢建, 杨磊, 张衷华, 等. 高效液相-二极管阵列检测法测定飞机草总黄酮的质量分数[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36 (10): 43.

作者简介: 罗新香 (1994.05), 女, 汉, 四川绵阳, 助教, 硕士研究生在读, 研究方向: 天然产物成分提取与分析。