

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2016.40622

徐乐乐, 张艳红, 周秀秀, 刁英, 胡中立, 靳素荣. 芒草中总黄酮的提取工艺研究及其挥发油成分的鉴定[J]. 植物科学学报, 2016, 34(4): 622~629

Xu LL, Zhang YH, Zhou XX, Diao Y, Hu ZL, Jin SR. Optimal total flavonoids extraction and identification of volatile oil components in *Miscanthus sinensis*[J]. *Plant Science Journal*, 2016, 34(4): 622~629

# 芒草中总黄酮的提取工艺研究及其挥发油成分的鉴定

徐乐乐<sup>1</sup>, 张艳红<sup>1</sup>, 周秀秀<sup>1</sup>, 刁英<sup>2</sup>, 胡中立<sup>2</sup>, 靳素荣<sup>1\*</sup>

(1. 武汉理工大学化学化工与生命科学学院化学系, 武汉 430070; 2. 武汉大学生命科学学院, 武汉 430072)

**摘要:** 以黄酮提取率为指标, 采用超声辅助法研究了芒草中黄酮类化合物的提取工艺。最佳提取条件为: 乙醇浓度 70%、料液比 1:30、提取温度 70℃、提取时间 40 min、提取级数 3 次, 在此条件下测得南荻中总黄酮含量为 7.24 mg/g, 并在此条件下测定了芒草 10 个品系中总黄酮含量为 4.16 ~ 7.84 mg/g, 且在不同品系间的差异均达到极显著水平。采用气质联用技术鉴定奇岗六倍体、‘GMG121’、芒杂中的挥发油成分, 从中共鉴定出 28 种成分。本研究对芒属植物的遗传育种以及开发和综合利用具有重要意义。

**关键词:** 芒草; 黄酮含量; 挥发油成分; 超声提取; 气相色谱-质谱联用技术

中图分类号: Q946 文献标识码: A 文章编号: 2095-0837(2016)04-0622-08

## Optimal Total Flavonoids Extraction and Identification of Volatile Oil Components in *Miscanthus sinensis*

XU Le-Le<sup>1</sup>, ZHANG Yan-Hong<sup>1</sup>, ZHOU Xiu-Xiu<sup>1</sup>, Diao Ying<sup>2</sup>, HU Zhong-Li<sup>2</sup>, JIN Su-Rong<sup>1\*</sup>

(1. School of Chemistry, Chemical Engineering and Life Sciences, Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei 430070, China; 2. College of Life Science, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072, China)

**Abstract:** An ultrasonic assisted method was used to study the optimum extraction of flavonoids in *Miscanthus*. The determined optimal extraction conditions of flavonoids were as follows: 70% ethanol concentration, 1:30 ratio of raw material to liquid, 70℃ extraction temperature, 40 min extraction time, and three extract series, respectively. Under these conditions, total flavonoid content of *M. lutarioparius* was 7.24 mg/g. The experimental yields of flavonoids from various kinds of *M. sinensis* were significantly different, ranging from 4.16 mg/g to 7.84 mg/g. The volatile oil components in *Miscanthus x giganteus* (hexaploid), ‘GMG121’, and *M. sinensis* hybrid were determined by GC/MS, with 28 different components identified. This study provides useful information on genetic breeding, which has great significance for the development and utilization of *M. sinensis*.

**Key words:** *Miscanthus sinensis*; Flavonoid contents; Volatile components; Ultrasound assisted extraction; GC-MS

芒草是一种多年生 C<sub>4</sub> 草本植物, 是芒属 (*Miscanthus* Andersss.) 植物的总称。据统计, 全世界大约有 17 个芒草物种, 主要包括芒 (*Miscant-*

*hus sinensis* Anderss.)、五节芒 (*Miscanthus floridulus* (Lab.) Warb. ex Schum et Laut.)、荻 (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benthet

收稿日期: 2016-02-29, 退修日期: 2016-03-30。

基金项目: 湖北省自然科学基金重点项目(2013CFA103); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2016IB005, 2015IB001)。

This project was supported by grants from the key project of Natural Science Foundation of Hubei Province (2013CFA103) and Fundamental Research Funds for the Central Universities (2016IB005, 2015IB001).

作者简介: 徐乐乐(1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向为天然产物的研究与开发(E-mail: lelexu261@whut.edu.cn)。

\* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: jnsr@163.com)。

Hook.)、南荻 (*Miscanthus lutarioriparius* L. Liou ex S. L. Chen & Renvoize) 等, 主要分布在东亚和东南亚地区。我国有丰富的芒草资源, 代表品系主要有荻四倍体、奇岗 (*Miscanthus x giganteus*)、「GMG121」、奇岗六倍体、南荻四倍体、湖北南荻、「W819」、芒杂 (*Miscanthus sinensis* hybridization)、湖南南荻和芒。

芒草以其高生物质产量、低水肥消耗、较强的环境适应性等优势受到广泛关注<sup>[1-3]</sup>。目前国内外学者对芒草的研究主要集中在其生物学特性、栽培技术和加工研究等方面<sup>[4,5]</sup>。关于芒草化学成分的研究主要集中在纤维素、半纤维素和木质素组成及含量的分析, 有关芒草中其他成分的报道较少。

芒草, 可以说“名为草, 实为宝”, 有关书籍记载, 芒草是一种中药材, 如五节芒、荻、南荻、芒等, 可以用于清热凉血、活血止痛<sup>[6]</sup>。黄酮类、挥发油都是非常重要的活性物质, 具有多种生物学特性, 例如: 黄酮具有降血脂、治疗动脉粥样硬化、防治心血管系统疾病、抗炎、抗肿瘤、抗菌、抗氧化和消除自由基等功效<sup>[7-11]</sup>。而挥发油大多具有抗菌、杀毒、抗病毒等生物活性<sup>[12]</sup>。目前, 对于黄酮类以及挥发油的研究报道较多, 但有关芒草中总黄酮含量以及挥发油成分的研究甚少。

本文利用超声辅助法提取芒草中的黄酮类化合物, 在最佳提取工艺条件下得到 10 个芒草品系总黄酮含量, 通过方差分析比较了不同芒草品系中总黄酮含量的差异, 并采用气质联用技术对奇岗六倍体、「GMG121」、芒杂中挥发油成分进行分析鉴定, 以期对芒属植物的开发和综合利用提供一定的科学数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

供试材料为本课题组筛选或经杂交选育的 10 个芒草品系, 均种植于湖北光芒能源植物有限公司芒属植物种质资源圃。成熟期收取植物的茎秆, 包括芒(8 株)、芒杂(5 株)、湖南南荻(3 株)、湖北南荻(4 株)、奇岗(5 株)、奇岗六倍体(2 株)、荻四倍体(2 株)、南荻四倍体(3 株)、「GMG121」(7 株)、「W819」(4 株), 10 个品系共取 43 株材料。

试剂: 亚硝酸钠、氢氧化钠、氯化铝等均为分析纯。实验仪器主要为: FA2004 电子天平 (d =

0.1 mg); FW80 高速万能粉碎机; UV-5800PC 型紫外-可见分光光度计。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 样品处理

将已风干的芒草秸秆 65℃ 干燥至恒重, 然后用粉碎机粉碎, 再过 40 目分样筛, 随机收取足量的粉末装于密封袋中储存待用。

#### 1.2.2 黄酮类化合物的提取方法

精确称取 0.5000 g(精确到 0.0001 g) 芒草粉末平行样 3 份, 置于 50 mL 锥形瓶中, 加入一定量浓度的乙醇超声提取, 使用 0.45 μm 滤膜抽滤, 滤液用去离子水定容至 50 mL 待用。

#### 1.2.3 单因素实验

称取 0.5000 g(精确到 0.0001 g) 南荻粉末, 采用超声辅助法提取芒草中的黄酮类物质, 选择提取温度、料液比、乙醇浓度、提取时间和提取级数为 5 个影响因子进行单因素实验。在测定某一因素对芒草黄酮类物质的提取率时, 固定其它因素。

#### 1.2.4 正交实验

为了分析各参数影响主次因素, 得到最佳的提取工艺, 参照单因素实验结果以影响黄酮提取率的乙醇浓度、料液比、提取温度、提取时间为 4 个影响因素, 采用  $L_9(3^4)$  正交实验(表 1), 每组实验均重复 2 次。

表 1 正交实验因素表  
Table 1 Quadrature level pilot factor table

|              | A                         | B                            | C                                       | D                   |
|--------------|---------------------------|------------------------------|---|---------------------|
| 水平<br>Levels | 温度<br>Temperature<br>(°C) | 料液比<br>Solid-liquid<br>ratio | 乙醇浓度<br>Ethanol<br>concentration<br>(%) | 时间<br>Time<br>(min) |
| 1            | 50                        | 1:20                         | 70                                      | 20                  |
| 2            | 60                        | 1:25                         | 80                                      | 30                  |
| 3            | 70                        | 1:30                         | 90                                      | 40                  |

#### 1.2.5 黄酮类化合物含量的测定

利用经典的紫外分光光度法<sup>[13]</sup>对芒草中的总黄酮含量进行测定, 移取上述芒草滤液 1 mL 加入到 25 mL 的容量瓶中, 再依次加入 5% 的  $\text{NaNO}_2$  溶液 0.75 mL、10% 的  $\text{AlCl}_3$  溶液 0.15 mL、1 mol/L 的  $\text{NaOH}$  溶液 0.5 mL。最后用去离子水定容到 25 mL, 放置 5 min 后在波长为 507 nm 处测定吸光度 A。参照芦丁标准曲线法测定黄酮的含量。

芒草中黄酮含量计算公式为:

$$w = \frac{n \times c \times V \times 10^{-3}}{m}.$$

式中,  $n$  为稀释倍数;  $c$  为浓度( $\mu\text{g}/\text{mL}$ );  $V$  为待测液总体积( $\text{mL}$ );  $m$  为样品质量( $\text{g}$ );  $w$  为含量( $\text{mg/g}$ )。

### 1.2.6 芒草中挥发油成分的提取及鉴定

选取芒草3个品系:奇岗六倍体、‘GMG121’和芒杂,准确称取1.5~2.0 g粉末,置于50 mL锥形瓶中,以1:15的料液比加入甲醇浸泡2 h后超声提取2次,提取温度为40°C,时间30 min。选用0.22  $\mu\text{m}$ 的滤膜抽滤并合并滤液,加压浓缩、回收甲醇,得微黄色挥发油浸膏。然后经乙醚溶解、离心,收集上清液置于冰箱中储存待用。

色谱条件如下,色谱柱:DB-5石英毛细管柱( $30\text{ m} \times 0.25\text{ mm}, 0.25\text{ }\mu\text{m}$ );程序升温:50°C保持3 min,以6°C/min的升温速率缓慢升到90°C,并于90°C保持1 min,再以8°C/min的速率升至220°C并保持2 min,最后以8°C/min升至250°C,保持2 min;载气为He气;流速为1 mL/min;FID检测器温度为250°C;进样器温度为250°C;不分流模式进样,进样量0.5  $\mu\text{L}$ 。

质谱条件为电子轰击(EI)离子源;电子能量70 eV;离子源温度250°C;质量扫描范围为40~600 amu。

## 2 结果与分析

### 2.1 乙醇浓度对总黄酮提取率的影响

随着乙醇体积分数的增加,黄酮类物质的提取率也随之增加,乙醇浓度达到70%时提取率最高,之后又逐渐减少(图1)。这可能是因为部分黄酮类

物质是属于水溶性的,如果水分含量太少,水溶性黄酮类化合物就不能充分溶出。与此同时,其它脂溶性物质溶出增加,干扰因素增加。因此,在提取芒草中的黄酮类成分时选择乙醇浓度为70%。

### 2.2 料液比对总黄酮提取率的影响

随着料液比的增加,黄酮的提取率逐渐增加,当料液比达到1:20时达到最大值,之后黄酮类物质的提取率减少(图2)。这是因为随着溶剂量的增加,黄酮类化合物会不断溶出,直到饱和,因此含量不断升高;当料液比过大时,在溶出黄酮类化合物的同时,其它成分也会在此不饱和状态下溶出,阻碍黄酮类化合物的溶出。

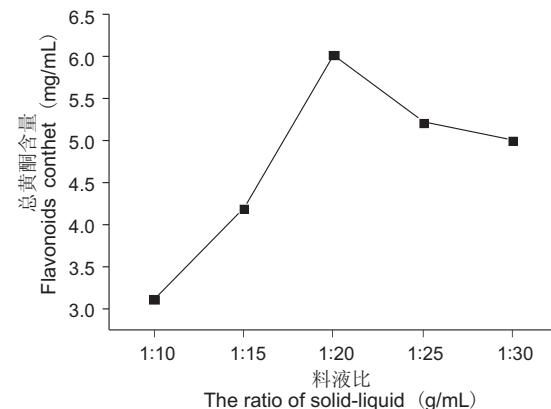


图2 料液比对总黄酮提取率的影响

Fig. 2 Effect of solid-liquid ratio on total flavonoid yields

### 2.3 超声时间对总黄酮提取率的影响

由图3可知,随着超声时间的增加,黄酮类化合物的提取率增加,当时间达到30 min时,提取率出现最大值,时间超过30 min后提取率下降。可能是由于随着时间的延长,提取液中的杂质不断

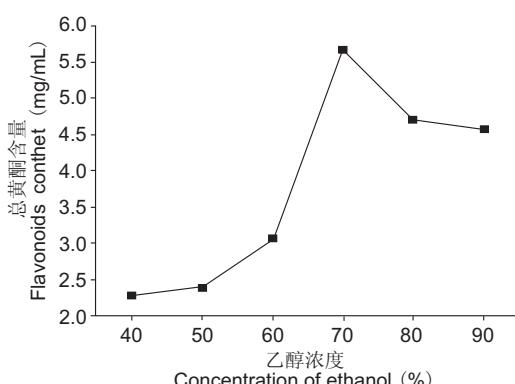


图1 乙醇浓度对总黄酮提取率的影响

Fig. 1 Effect of ethanol concentration on total flavonoid yields

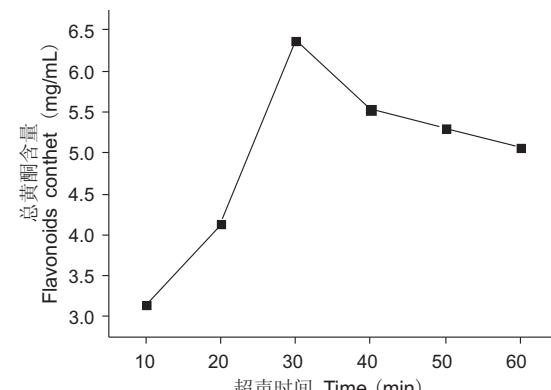


图3 提取时间对总黄酮提取率的影响

Fig. 3 Effect of ultrasonic extraction time on total flavonoid yields

增加, 溶液的黏度增大, 影响细胞的破裂, 导致黄酮类化合物不易溶出。同时提取时间越长耗能越大, 因此, 单因素确定提取最佳时间为 30 min。

#### 2.4 不同温度对总黄酮提取率的影响

随着温度的升高, 黄酮的提取率不断升高, 当温度超过 50℃后, 黄酮类化合物的提取率变化不明显(图 4)。这是因为在一定温度范围内, 随着提取温度的升高, 分子的热运动会加快, 传质速率也随之加快, 提取率显著增加, 当温度达到一定值时, 提取率最高, 继续增加温度, 对黄酮提取率的影响并不显著。因此, 提取温度在 60 ~ 70℃较合适。

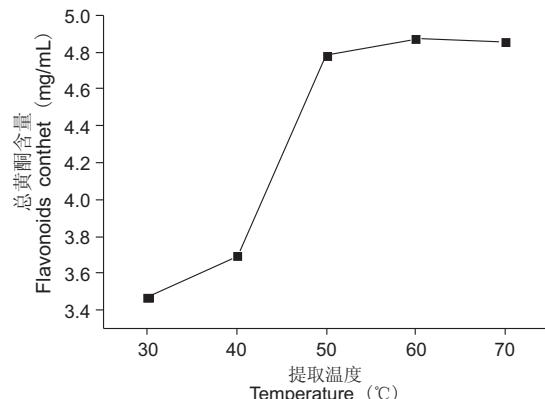


图 4 提取温度对总黄酮提取率的影响

Fig. 4 Effect of ultrasonic extraction temperature on total flavonoid yields

#### 2.5 提取级数对总黄酮提取率的影响

随着提取次数的增加, 黄酮的提取率不断下降, 当提取 3 次后, 黄酮的含量几乎没有增加(图 5), 因此, 我们可以适当控制反应级数, 在达到

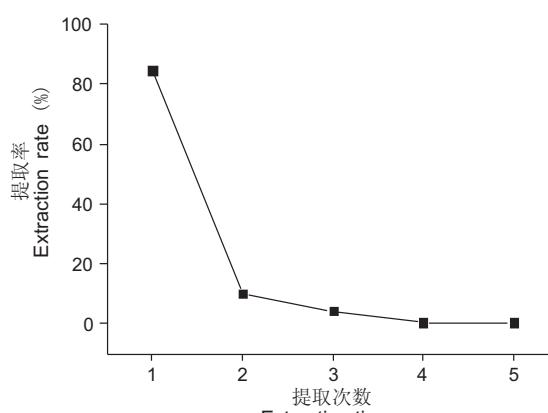


图 5 提取次数对总黄酮提取率的影响

Fig. 5 Effect of ultrasonic extraction time on total flavonoid yields

实验目的的前提下, 尽量节省原料, 降低成本, 最终选择 3 次作为最佳提取级数。

#### 2.6 正交实验结果

在单因素实验的基础上, 采用  $L_9(3^4)$  正交实验得到的结果见表 2。

表 2 正交实验结果  
Table 2 Results of orthogonal experiment

| 实验号<br>No. | A<br>温度<br>Temperature<br>(°C) | B<br>料液比<br>Solid-liquid<br>ratio | C<br>乙醇浓度<br>Ethanol<br>concent-<br>ration<br>(%) | D<br>时间<br>Time<br>(min) | 含量<br>Content<br>(mg/g) |
|------------|--------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------|-------------------------|
| 1          | 1(50)                          | 1(1:20)                           | 1(70)   | 1(20)                    | 5.29                    |
| 2          | 1                              | 2(1:25)                           | 2(80)   | 2(30)                    | 5.43                    |
| 3          | 1                              | 3(1:30)                           | 3(90)   | 3(40)                    | 5.08                    |
| 4          | 2(60)                          | 1                                 | 2   | 3                        | 6.18                    |
| 5          | 2                              | 2                                 | 3   | 1                        | 4.87                    |
| 6          | 2                              | 3                                 | 1   | 2                        | 6.22                    |
| 7          | 3(70)                          | 1                                 | 3   | 2                        | 5.48                    |
| 8          | 3                              | 2                                 | 1   | 3                        | 6.43                    |
| 9          | 3                              | 3                                 | 2   | 1                        | 6.18                    |
| K1         | 15.80                          | 16.95                             | 17.94   | 16.34                    |                         |
| K2         | 17.27                          | 16.73                             | 17.79   | 17.13                    |                         |
| K3         | 18.09                          | 17.48                             | 15.43   | 17.69                    |                         |
| k1         | 5.27                           | 5.65                              | 5.98  | 5.45                     |                         |
| k2         | 5.76                           | 5.58                              | 5.93  | 5.71                     |                         |
| k3         | 6.03                           | 5.83                              | 5.14  | 5.90                     |                         |
| R          | 0.76                           | 0.25                              | 0.84  | 0.45                     |                         |

从正交实验结果可以看出, 影响黄酮提取率的各因素主次, 即乙醇浓度 > 提取温度 > 提取时间 > 料液比, 其中乙醇浓度对芒草黄酮提取率的影响最大, 其次是提取温度、提取时间和料液比。芒草黄酮的最佳提取工艺为: 提取温度为 70℃、料液比 1:30、浓度 70%、提取时间 40 min、提取级数为 3 次。在最佳工艺条件下测得南荻总黄酮含量为 7.24 mg/g, 大于正交实验结果。

#### 2.7 各品系芒草中总黄酮含量

在上述最佳提取工艺条件下, 对 10 个品系芒草的黄酮类物质进行测定(表 3)。

表3 芒草各品系中黄酮类化合物的含量(mg/g)  
Table 3 Content of flavonoids for different  
*Miscanthus* species

| 品系<br>Species                               | 总黄酮含量<br>Flavonoid content | 标准差<br>Standard deviation |
|---|----------------------------|---------------------------|
| 荻四倍体 <i>M. sacchariflorus</i> ( tetraploid) | 4.72                       | 0.34                      |
| 奇岗 <i>M. giganteus</i>                      | 4.87                       | 0.55                      |
| ‘GMG 121’                                   | 5.20                       | 0.55                      |
| 奇岗六倍体 <i>M. giganteus</i> ( hexaploid)      | 4.16                       | 0.25                      |
| 南荻四倍体 <i>M. lutarioparius</i> ( tetraploid) | 6.57                       | 0.39                      |
| 湖北南荻 <i>M. lutarioparius</i> of Hubei       | 7.84                       | 0.82                      |
| ‘W819’                                      | 5.94                       | 0.63                      |
| 芒杂 <i>M. sinensis</i> hybridization         | 6.63                       | 1.33                      |
| 湖南南荻 <i>M. lutarioparius</i> of Hunan       | 7.24                       | 0.09                      |
| 芒 <i>M. sinensis</i>                        | 6.06                       | 1.32                      |

结果表明,芒草中黄酮的含量在4.16~7.84 mg/g之间,其中湖北南荻中黄酮的含量最高,为7.84 mg/g;奇岗六倍体中的黄酮含量最低,仅为4.16 mg/g。10个品系间黄酮含量的极差为3.68。

## 2.8 黄酮类成分含量的显著性分析

对10个芒草品系茎杆中黄酮类成分的差异进行方差分析(表4),结果表明,黄酮类化合物含量在不同类型间的差异均达到了极显著水平。

## 2.9 挥发油类化合物的分析

按照气相色谱-质谱条件对芒草中挥发油成分进行分析,用GC-MS仪NIST谱库自动检索被分析组分的质谱,并对检索结果进行人工核对,得到奇岗六倍体、‘GMG121’、芒杂3个品系的挥发油成分(表5)。

表4 芒草各品系中黄酮类化合物的方差分析  
Table 4 Analysis of variance for flavonoids in different *Miscanthus* species

| 植物材料<br>Plant materials   | 差异源<br>Difference resources | 方差<br>SS | 自由度<br>DF | 均方差<br>MS | F    | F <sub>0.05</sub> | F <sub>0.01</sub> | 显著性<br>Significance level |
|---------------------------|-----------------------------|----------|-----------|-----------|------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 黄酮含量<br>Flavonoid content | 组间 Inter-group              | 40.42    | 9         | 4.49      | 5.69 | 2.18              | 3.01              | **                        |
|                           | 组内 Intra-group              | 26.06    | 33        | 0.79      |      |                   |                   |                           |

表5 超声提取芒草挥发油化学成分的鉴定结果  
Table 5 Components of volatile oils extracted from *Miscanthus* by ultrasound-assisted method

| 序号<br>No. | 保留时间<br>(min)<br>Retention time | 化合物<br>Compound   | 分子式<br>Molecular formula                                    | 相对分子质量<br>Relative molecular mass | 相对含量(%) Relative content                     |          |   |
|-----------|---------------------------------|---|---|-----------------------------------|--|----------|---|
|           |                                 |   |   |                                   | 奇岗六倍体<br><i>M. giganteus</i><br>( hexaploid) | ‘GMG121’ | 芒杂<br><i>M. sinensis</i><br>hybridization |
| 1         | 6.35                            | 1-甲基四唑<br>1H-Tetrazole, 1-methyl-   | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> N <sub>2</sub>                | 84                                | -  | 1.58     | -   |
| 2         | 6.550                           | α,β-二甲基苯乙醇<br>Benzeneethanol, α,β-dimethyl-                                   | C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O                           | 150                               | -  | -        | 0.33                                      |
| 3         | 6.717                           | 2-甲基-4,5-二氢咪唑<br>1H-Imidazole, 4,5-dihydro-2-methyl-                          | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>                | 84                                | 1.86   | -        | 0.65                                      |
| 4         | 7.175                           | N-羟基苯甲亚氨酸甲酯<br>Benzene carboximidic acid, N-hydroxy-, methyl ester            | C <sub>8</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub>               | 151                               | 44.51  | 11.61    | 19.24                                     |
| 5         | 7.908                           | 3羟基-4,5-二氢呋喃酮<br>2(3H)-Furanone, dihydro-3-hydroxy-                           | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>                | 102                               | -  | 2.09     | -   |
| 6         | 8.625                           | 1,2,3-丁三醇<br>1,2,3-Butanetriol  | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>               | 106                               | 0.40   | -        | -   |
| 7         | 8.783                           | 2-丙基丙二酸<br>Propanedioic acid, 2-propyl-                                       | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>               | 146                               | -  | -        | 1.69                                      |
| 8         | 10.308                          | 环丙基甲醇<br>Cyclopropanemethanol   | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O                             | 72                                | -  | 1.00     | -   |
| 9         | 10.517                          | (1H,3H)-5-氨基-6-亚硝基-2,4-嘧啶二酮<br>2,4(1H,3H)-Pyrimidinedione, 5-amino-6-nitroso- | C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> N <sub>4</sub> O <sub>3</sub> | 156                               | -  | 1.10     | -   |

续表5

| 序号<br>No. | 保留时间<br>(min)<br>Retention time | 化合物<br>Compound   | 分子式<br>Molecular formula                       | 相对分子质量<br>Relative molecular mass | 相对含量(%) Relative content                    |          |   |
|-----------|---------------------------------|---|--|-----------------------------------|---|----------|---|
|           |                                 |   |  |                                   | 奇岗六倍体<br><i>M. giganteus</i><br>(hexaploid) | ‘GMG121’ | 芒杂<br><i>M. sinensis</i><br>hybridization |
| 10        | 11.95                           | 4-乙基苯甲酸异丁酯<br>Benzoic acid,4-ethyl-,1-methylpropyl ester  | C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub> | 206                               | 14.29                                       | -        | -   |
| 11        | 13.508                          | 对甲基苯甲醛<br>Benzaldehyde,4-methyl-  | C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O                | 120                               | 29.98                                       | 36.69    | 52.05                                     |
| 12        | 14.025                          | 1,2,3-丁三醇<br>1,2,3-Butanetriol  | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>  | 106                               | -   | 0.27     | -   |
| 13        | 14.125                          | (2R,3S)-1,2,3,4-丁四醇<br>1,2,3,4-Butanetetrol,(2R,3S)-rel-  | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>  | 122                               | -   | 0.21     | -   |
| 14        | 15.125                          | 2-甲氧基-4-乙烯基苯酚<br>Phenol,4-ethenyl-2-methoxy-  | C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>  | 150                               | 8.96  | 5.33     | 6.03                                      |
| 15        | 17.233                          | 2-甲基-3-烯丙基苯酚<br>Phenol,2-methoxy-3-(2-propenyl)-  | C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub> | 164                               | -   | 1.94     | -   |
| 16        | 17.608                          | 3-乙酰基苯乙酮<br>Ethanone,1,1'-(1,3-phenylene) bis-  | C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub> | 162                               | -   | 2.90     | -   |
| 17        | 18.217                          | 3,5-二叔丁基苯酚<br>Phenol,3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-  | C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O              | 206                               | -   | 0.99     | 1.72                                      |
| 18        | 20.183                          | (1R,2S)-1-氨基-2-羟基-2,3-二氢茚-2-醇<br>1H-Inden-2-ol,1-amino-2,3-dihydro-,<br>(1R,2S)-rel-                                      | C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> NO              | 149                               | -   | 1.79     | -   |
| 19        | 20.425                          | 2,6-二甲氧基-4-烯丙基苯酚<br>Phenol,2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-  | C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub> | 194                               | -   | 2.01     | -   |
| 20        | 20.675                          | 3-(2-甲氧基-4-羟基)苯基-2-丙烯醛<br>2-Propenal,3-(4-hydroxy-2-methoxyphenyl)-   | C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub> | 178                               | -   | 3.28     | -   |
| 21        | 20.817                          | 2-甲氧基-4-(3-羟基丙烯基)苯酚<br>Phenol,4-(3-hydroxy-1-propenyl)-2-methoxy-   | C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub> | 180                               | -   | 7.40     | -   |
| 22        | 21.717                          | 5-(4-吗啉基)-2-呋喃甲醛<br>2-Furancarboxaldehyde,5-(4-morpholinyl)-  | C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>3</sub> | 181                               | -   | 3.36     | -   |
| 23        | 22.383                          | 1,2-苯二甲酸-1-(2-甲基丙基)酯<br>1,2-Benzenedicarboxylic acid,1-(2-methylpropyl) 2-octyl ester                                     | C <sub>20</sub> H <sub>30</sub> O <sub>4</sub> | 334                               | -   | 2.54     | -   |
| 24        | 22.725                          | 1,2-苯二甲酸-1-丁酯-2-十一酯<br>1,2-Benzenedicarboxylic acid,1-butyl 2-undecyl ester   | C <sub>23</sub> H <sub>36</sub> O <sub>4</sub> | 376                               | -   | -        | 4.63                                      |
| 25        | 23.550                          | 3-(4-羟基-3,5-二甲氧基)苯基-2-丙烯醛<br>2-Propenal,3-(4-hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)-,(2E)-  | C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub> | 208                               | -   | 4.69     | -   |
| 26        | 23.750                          | 十五酸<br>Pentadecanoic acid   | C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub> | 242                               | -   | 9.22     | -   |
| 27        | 23.992                          | 3,3,8,8-四甲基-三环[5.1.0.0(2,4)]辛烷-5-甲酸甲酯<br>Tricyclo[5.1.0.0(2,4)]octane-5-carboxylic acid,3,3,8,8-tetramethyl-,methyl ester | C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub> | 222                               | -   | -        | 1.90                                      |
| 28        | 24.167                          | 二十酸<br>Eicosanoic acid  | C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub> | 312                               | -   | -        | 11.76                                     |

由表5可知,从奇岗六倍体、‘GMG121’、芒杂中共鉴定出28种挥发性成分,其中奇岗六倍体中鉴定出6种挥发性成分,‘GMG121’鉴定出20种挥发性成分,芒杂共鉴定出10种挥发性成分。目前这些成分在芒草的相关文献中均未报道,不同品系检测出的挥发油成分和含量均有差异。芒草中的挥发性成分主要是酯、酸、醇等,这3个品系的共有成分是N-羟基苯甲亚氨酸甲酯、对甲基苯甲醛、2-甲氧基-4-乙烯基苯酚;此外,3,5-二叔丁基苯酚成分为‘GMG121’和芒杂所共有,其它一些成分为奇岗六倍体、‘GMG121’、芒杂所独有。

### 3 讨论

本实验采用超声辅助技术提取芒草中黄酮类物质,结果表明乙醇浓度70%、提取温度70℃、料液比1:30、超声时间40 min以及提取级数3次为总黄酮提取的最佳工艺。在此条件下测得不同品系芒草中黄酮的含量范围在4.16~7.84 mg/g之间,具有显著性差异。芒属植物含有丰富的黄酮类物质,不同品系之间的黄酮含量差异较大。因此,从芒草中提取黄酮类物质,必须考虑芒草品系的影响。另外,不同品系芒草的主要化学成分(如纤维素、半纤维素、木质素)含量也具有显著性差异<sup>[14]</sup>,可以通过品系间杂交的方法进行遗传改良,培育出木质纤维素和黄酮含量都较高的新品系。

采用气质联用技术分析芒草中的挥发油成分,从奇岗六倍体、‘GMG121’、芒杂中共鉴定出28种挥发性成分。芒草中含量丰富的挥发油成分,其大多属于脂肪族化合物和芳香族化合物,可用来制作香精、香料,添加到调味料、饮料及食品中。

本研究为芒草的开发和利用提供了重要的理论指导。

### 参考文献:

- [1] Lewandowski I, Scurlock JMO, Lindvall E, Christou M. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe [J]. *Biomass Bioenergy*, 2003, 25(4): 335~361.
- [2] Brosse N, Dufour A, Meng X, Sun Q, Ragauskas A. *Miscanthus*: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production [J]. *Biofuel Bioprod Bior*, 2012, 6(5): 580~598.
- [3] 易自力. 芒属能源植物资源的开发与利用 [J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2012, 38(5): 455~463.
- [4] Yi ZL. Exploitation and utilization of *Miscanthus* as energy plant [J]. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences*, 2012, 38(5): 455~463.
- [5] Moiceanu G, Voicu G, Paraschiv G, Poenaru I, Pirnă I. Some physical-biological characteristics of miscanthus energetic plant stalks [J]. *INMATEH-Agricultural Engineering*, 2012, 38(3): 53~58.
- [6] 詹伟君, 任君霞, 金松恒, 黄有军, 潘寅辉, 郑炳松. 能源植物芒草的农学特性研究进展 [J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(1): 119~124.
- [7] Zhan WJ, Ren JX, Jin SH, Huang YJ, Pan YH, Zheng BS. Research progress on agronomic characteristics of *Miscanthus* [J]. *Journal of Zhejiang A & F University*, 2012, 29(1): 119~124.
- [8] 《全国中草药汇编》编写组. 全国中草药汇编: 下册 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1986.
- [9] The Compilation of Chinese Herbal Medicine Editorial Group. The Compilation of Chinese Herbal Medicine: Part 2 [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1986.
- [10] Parveen I, Wilson T, Threadgill MD, Luyten J, Roberts RE, Robson PRH, Donnison IS, Hauck B, Winters AL. Screening for potential co-products in a *Miscanthus sinensis* mapping family by liquid chromatography with mass spectrometry detection [J]. *Phytochemistry*, 2014, 105(10): 186~196.
- [11] Cushnie TPT, Lamb AJ. Recent advances in understanding the antibacterial properties of flavonoids [J]. *Int J Antimicrob Agents*, 2011, 38(2): 99~107.
- [12] 梁佳文, 刘艾洁, 马冰馨, 王有为. 高效液相色谱法同时测定荷叶中6种黄酮类成分 [J]. 植物科学学报, 2015, 33(6): 861~866.
- [13] Liang JW, Liu AJ, Ma BX, Wang YW. Simultaneous determination of six flavonoid compounds in lotus leaves by high performance liquid chromatography [J]. *Plant Science Journal*, 2015, 33(6): 861~866.
- [14] 陈红梅, 谢翎. 响应面法优化半枝莲黄酮提取工艺及体外抗氧化性分析 [J]. 食品科学, 2016, 37(2): 45~50.
- [15] Chen HM, Xie L. Optimization of extraction process for flavonoid from soutellaria barbata by response surface methodology and evaluation of its antioxidant activity [J]. *Food Science*, 2016, 37(2): 45~50.
- [16] Cheng SS, Chang HT, Wu CL, Chang ST. Anti-termitic activities of essential oils from coniferous trees against *Coptotermes formosanus*. [J]. *Bioresource Technol*, 2007, 98(2): 456~459.
- [17] 张颖, 许俊强, 李翔, 宋婷, 张应华. 芳香植物挥发油抗菌成分研究进展 [J]. 南方农业, 2015, 9(22): 69~72.

- Zhang Y, Xu JQ, Li X, Song T, Zhang YH. Research progress on antimicrobial components of volatile oil from aromatic plants [J]. *South China Agriculture*, 2015, 9(22): 69–72.
- [13] 吴现芳, 赵成爱, 余梅燕, 杨琳琳, 徐伟强. 响应面法优化八宝景天叶总黄酮的超声提取工艺 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(1): 224–228.
- Wu XF, Zhao CA, Yu MY, Yang LL, Xu WQ. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of total flavonoids from leaves of *Sedum spectabile* Bureau by response surface methodology [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(1): 224–228.
- [14] 张艳红, 张珂, 王志花, 靳素荣. 芒草化学成分及热解性能研究 [J]. 天然产物的研究与开发, 2014, 26(12): 1930–1933.
- Zhang YH, Zhang K, Wang ZH, Jin SR. Chemical composition and the thermogravimetric analysis of *Miscanthus* [J]. *Natural Product Research Development*, 2014, 26(12): 1930–1933.

(责任编辑: 周媛)

中国科技核心期刊、中国农业核心期刊  
全国中文核心期刊、全国优秀农业期刊

## 《植物遗传资源学报》征订启事

《植物遗传资源学报》是中国农业科学院作物科学研究所和中国农学会主办的学术期刊, 为中国科技论文统计源期刊、中国科学引文数据库来源期刊(核心期刊)、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊, 又被《中国生物学文摘》和中国生物学文献数据库、中文科技期刊数据库收录。2015年本刊影响力大幅提升, 在农艺学类期刊排名中均提前。据《中国科技期刊引证报告》(核心版)统计:《植物遗传资源学报》影响因子为1.149, 比2014年提高了近10%, 在农艺学类期刊中排名第3。据CNKI《中国学术期刊影响因子年报》统计:《植物遗传资源学报》复合影响因子为1.695, 在48种农艺学类期刊排名第4, 期刊综合影响因子1.146。

报道内容为大田、园艺作物, 观赏、药用植物, 林用植物、草类植物及其经济植物的有关植物遗传资源基础理论研究、应用研究方面的研究成果、创新性学术论文和高水平综述或评论。诸如, 种质资源的考察、收集、保存、评价、利用、创新, 信息学、管理学等; 起源、演化、分类等系统学; 基因发掘、鉴定、克隆、基因文库建立、遗传多样性研究。

双月刊, 大16开本, 196页。定价20元, 全年120元。各地邮局发行。

邮发代号: 82-643。国内刊号CN11-4996/S, 国际统一刊号ISSN1672-1810。

本刊编辑部常年办理订阅手续, 如需邮挂每期另加3元。

地址: 北京市中关村南大街12号《植物遗传资源学报》编辑部

邮编: 100081 电话: 010-82105794 010-82105796(兼传真)

网址: [www.zwyczy.cn](http://www.zwyczy.cn)

E-mail: [zwyczyxb2003@163.com](mailto:zwyczyxb2003@163.com); [zwyczyxb2003@caas.cn](mailto:zwyczyxb2003@caas.cn)

欢迎订阅! 欢迎投稿!