

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. lutarioriparius* 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* Anderss.) 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) Benth

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: jinsr@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  $\mu\text{m}$  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 Levels	温度 Temperature (℃)	料液比 Solid-liquid ratio	乙醇浓度 Ethanol concentration (%)	时间 Time (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 ( $\mu\text{g/mL}$ )； $V$  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℃，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 m  $\times$  0.25 mm, 0.25  $\mu\text{m}$ )；程序升温：50℃保持 3 min，以 6℃/min 的升温速率缓慢升到 90℃，并于 90℃保持 1 min，再以 8℃/min 的速率升至 220℃并保持 2 min，最后以 8℃/min 升至 250℃，保持 2 min；载气为 He 气；流速为 1 mL/min；FID 检测器温度为 250℃；进样器温度为 250℃；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℃；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。

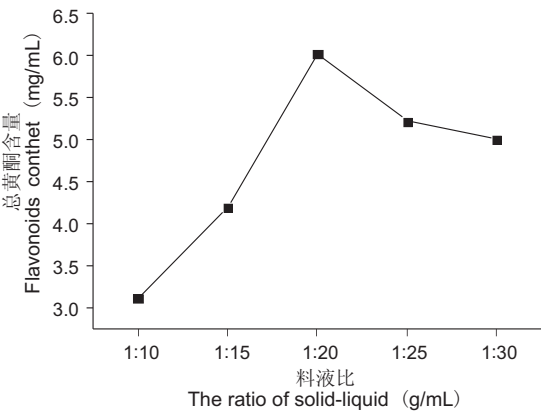


图 2 料液比对总黄酮提取率的影响  
Fig. 2 Effect of solid-liquid ratio on total flavonoid yields

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

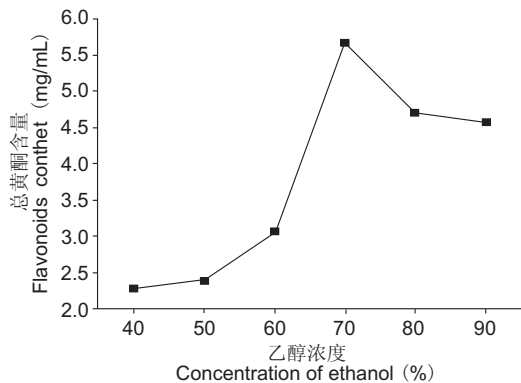


图 1 乙醇浓度对总黄酮提取率的影响  
Fig. 1 Effect of ethanol concentration on total flavonoid yields

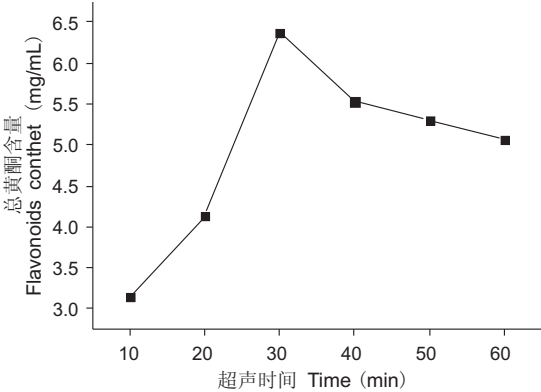


图 3 提取时间对总黄酮提取率的影响  
Fig. 3 Effect of ultrasonic extraction time on total flavonoid yields

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。

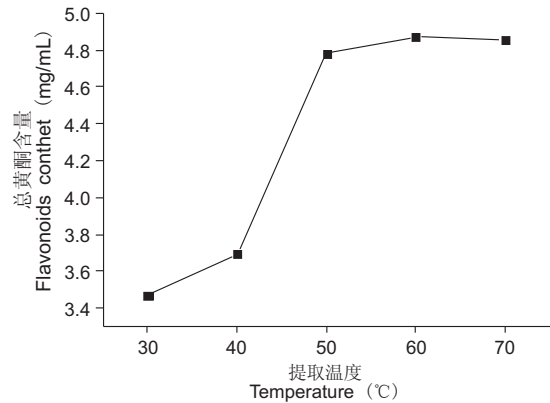


图 4 提取温度对总黄酮提取率的影响  
Fig. 4 Effect of ultrasonic extraction temperature on total flavonoid yields

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

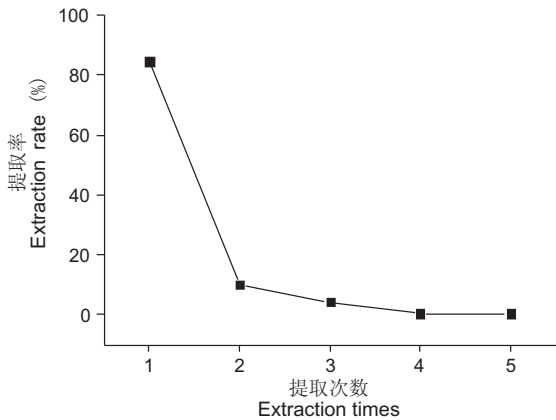


图 5 提取次数对总黄酮提取率的影响  
Fig. 5 Effect of ultrasonic extraction time on total flavonoid yields

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 No.	A	B	C	D	含量 Content (mg/g)
	温度 Temperature (°C)	料液比 Solid-liquid ratio	乙醇浓度 Ethanol concent ration (%)	时间 Time (min)	
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 Species	总黄酮含量 Flavonoid content	标准差 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. lutarioriparius</i> (tetraploid)	6.57	0.39
湖北南荻 <i>M. lutarioriparius</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. lutarioriparius</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 个芒草品系茎秆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 Plant materials	差异源 Difference resources	方差 SS	自由度 DF	均方差 MS	<i>F</i>	<i>F</i> <sub>0.05</sub>	<i>F</i> <sub>0.01</sub>	显著性 Significance level
黄酮含量 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 No.	保留时间 (min) Retention time	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	相对分子质量 Relative molecular mass	相对含量(%) Relative content		
					奇岗六倍体 <i>M. giganteus</i> (hexaploid)	‘GMG121’	芒杂 <i>M. sinensis</i> hybridization
1	6.35	1-甲基四唑 1H-Tetrazole, 1-methyl-	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> N <sub>2</sub>	84	—	1.58	—
2	6.550	á,â-二甲基苯乙醇 Benzeneethanol, á, â-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 1H-Imidazole, 4,5-dihydro-2-metheyl-	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 Benzenecarboximidic 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 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 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 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 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 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 No.	保留时间 (min) Retention time	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	相对分子质量 Relative molecular mass	相对含量(%) Relative content		
					奇岗六倍体 <i>M. giganteus</i> (hexaploid)	‘GMG121’	芒杂 <i>M. sinensis</i> hybridization
10	11.95	4-乙基苯甲酸异丁酯 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 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 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 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 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 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 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 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 1H-Inden-2-ol,1-amino-2,3-dihydro-, (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 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 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 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 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 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 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 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 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 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 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类化合物,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.

Yi ZL. Exploitation and utilization of *Miscanthus* as energy plant[J]. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences*, 2012, 38(5): 455–463.

[ 4 ] 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.

[ 5 ] 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.

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.

[ 6 ] 《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.

The Compilation of Chinese Herbal Medicine Editorial Group. The Compilation of Chinese Herbal Medicine: Part 2[M]. Beijing: People’s Medical Publishing House, 1986.

[ 7 ] 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.

[ 8 ] Cushnie TPT, Lamb AJ. Recent advances in understanding the antibacterial properties of flavonoids[J]. *Int J Antimicrob Agents*, 2011, 38 ( 2 ): 99–107.

[ 9 ] 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.

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.

[ 10 ] 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.

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.

[ 11 ] Cheng SS, Chang HT, Wu CL, Chang ST. Anti-termite activities of essential oils from coniferous trees against *Coptotermes formosanus*. [J]. *Bioresource Technol*, 2007, 98 ( 2 ): 456–459.

[ 12 ] 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* Boreau 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 rmogravimetric anal-ysis of *Miscanthus* [J]. *Nauralt 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!