

# 基于广泛靶向代谢组学技术的勃氏甜龙竹竹叶化学成分分析

王飞<sup>1</sup>, 谢瞰<sup>1</sup>, 杨亚晋<sup>1</sup>, 刘莉莉<sup>1</sup>, 陈粉粉<sup>1</sup>, 李恩良<sup>2</sup>, 郭爱伟<sup>1,3\*</sup>

(1. 西南林业大学生命科学学院, 云南 昆明 650224; 2. 西岐桫欏省级自然保护区管护局, 云南 墨江 654800; 3. 云南省高校林木生物技术重点实验室, 云南 昆明 650224)

**摘要:**【目的】探明勃氏甜龙竹(*Dendrocalamus brandisii*)竹叶化学成分, 准确认识勃氏甜龙竹竹叶的应用价值, 为其开发和利用提供科学依据。【方法】采用 Waters ACQUITY UPLC HSS T3 C18 (2.1 mm×100 mm, 1.8 μm) 液相色谱柱, 在 0.35 mL/min 的流速下, 以 A 相为 0.04% (体积分数, 下同) 的乙酸水溶液、B 相为 0.04% 的乙酸乙腈溶液进行洗脱, 并选取电喷雾离子源在三重四级杆中, 根据优化的去簇电压和碰撞能下扫描检测; 利用武汉迈特维尔生物科技有限公司自建数据库, 根据二级谱信息进行物质定性, 利用三重四级杆质谱 MRM 对代谢物进行定量, 通过对化合物特征离子色谱峰面积的积分和校正, 确定各物质的相对含量。【结果】在勃氏甜龙竹竹叶中共检测到 10 大类 407 种代谢物, 其中黄酮类化合物 79 种, 占检测化合物总数的 19.41%; 脂质类 61 种, 占检测化合物总数的 14.99%; 酚酸类 55 种, 占检测化合物总数的 13.51%; 氨基酸及其衍生物 55 种, 占检测化合物总数的 13.51%; 有机酸类 35 种, 占检测化合物总数的 8.60%; 核苷酸及其衍生物 31 种, 占检测化合物总数的 7.62%; 生物碱类 28 种, 占检测化合物总数的 6.88%; 木脂素和香豆素类 17 种, 占检测化合物总数的 4.18%; 萜类 1 种, 占检测化合物总数的 0.24%; 其他类化合物 45 种, 占检测化合物总数的 11.06%。【结论】基于广泛靶向代谢组学技术对勃氏甜龙竹竹叶化合物类型和相对含量分析结果表明, 除基本营养成分外, 勃氏甜龙竹竹叶中含有多种药用价值的化合物, 其中黄酮类化合物是勃氏甜龙竹竹叶中的主要活性成分之一, 在人类健康和动物保健领域具有广阔的开发和应用前景。本研究为进一步开发和利用勃氏甜龙竹竹叶中的药用活性物质提供科学依据。

**关键词:** 勃氏甜龙竹; 竹叶; 化学成分; 代谢物; 广泛靶向代谢组

中图分类号: S795

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1000-2006(2024)02-0241-06



## Analysis of chemical components in *Dendrocalamus brandisii* leaves based on extensive widely targeted metabolomics

WANG Fei<sup>1</sup>, XIE Kan<sup>1</sup>, YANG Yajin<sup>1</sup>, LIU Lili<sup>1</sup>,  
CHEN Fenfen<sup>1</sup>, LI Enliang<sup>2</sup>, GUO Aiwei<sup>1,3\*</sup>

(1. College of Life Science, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Xiqi Tree-fern Provincial Nature Reserve Management and Conservation Bureau, Mojiang 654800, China; 3. Yunnan University Key Laboratory of Forest Biotechnology, Kunming 650224, China)

**Abstract:** 【Objective】This research aims to reveal the chemical components of the leaves of *Dendrocalamus brandisii* and accurately identify the application value of these leaves, hoping to provide a scientific basis for the development and utilization of this species. 【Method】The research employed a Waters ACQUITY UPLC HSS T3 C18 (2.1 mm × 100 mm, 1.8 μm) liquid chromatography column. Elution was conducted at a flow rate of 0.35 mL/min using a 0.04% (volume fraction, same as below) aqueous acetic acid solution as phase A and a 0.04% acetic acid acetonitrile solution

收稿日期 Received: 2022-04-11

修回日期 Accepted: 2022-06-27

**基金项目:** 云南省优势特色重点学科生物学一级学科建设项目(50097505); 云南省教育厅研究生基金项目(111722056); 国家自然科学基金项目(31860650)。

**第一作者:** 王飞(674283334@qq.com)。\*通信作者: 郭爱伟(g.aiwei.swfu@hotmail.com), 教授。

**引文格式:** 王飞, 谢瞰, 杨亚晋, 等. 基于广泛靶向代谢组学技术的勃氏甜龙竹竹叶化学成分分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2024, 48(2): 241-246. WANG F, XIE K, YANG Y J, et al. Analysis of chemical components in *Dendrocalamus brandisii* leaves based on extensive widely targeted metabolomics[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2024, 48(2): 241-246. DOI: 10.12302/j.issn.1000-2006.202204026.

as phase B. The electrospray ion source was selected in a triple quadrupole, where detection was scanned under optimized declustering voltage and collision energy. The self-built database of Wuhan Metware Biotechnology Co., Ltd. was used to qualitatively identify substances based on secondary spectrum information. Metabolites were quantified using a triple quadrupole mass spectrometer (MRM), with the relative content of each substance determined by integrating and correcting compound characteristic ion chromatographic peak areas. 【Result】 The 407 metabolites were detected in ten categories, including 79 flavonoids, accounting for 19.41% of the total compounds. There were 61 types of lipids and 55 phenolic acids, accounting for 14.99% and 13.51% of the total detected compounds, respectively. There were 55 types of amino acids and their derivatives and 35 organic acids, accounting for 13.51% and 8.60% of the total detected compounds, respectively. Thirty-one nucleotides and their derivatives accounted for 7.62% of the total detected compounds, and 28 alkaloids accounted for 6.88% of the total detected compounds. There were 17 lignans and coumarins, accounting for 4.18% of the total detected compounds. One terpene accounted for 0.24% of the total detected compounds. There were 45 other compounds, accounting for 11.06% of the total detected compounds. 【Conclusion】 Besides basic nutritional components, these leaves contain many medicinal compounds. Flavonoid compounds, in particular, serve as one of the primary active ingredients in these leaves. These compounds have significant development and application prospects in human health and animal care. This study provides a scientific basis for further development and utilization of medicinally active substances present in the leaves of *Dendrocalamus brandisii*.

**Keywords:** *Dendrocalamus burmannii*; bamboo leaf; chemical composition; metabolites; widely targeted metabolomics

我国约有竹类植物 40 属 500 余种,云南是公认的竹类植物起源地和现代分布中心之一,有“竹类故乡”之称<sup>[1]</sup>。云南分布的竹类植物有 220 种,其中特有种在 100 种以上<sup>[2]</sup>。竹子除具有观赏价值和食用价值外,还具有重要的药用价值。我国古代将竹叶作为一味清热解毒药,其药效在《本草纲目》《本经逢原》中均有详细的记载<sup>[3]</sup>。随着分析技术的发展,科学家已从竹叶中分离出一些天然活性物质,如黄酮类、酚类、鞣质、有机酸、萜类、生物碱、蒽醌、皂甙、多糖等<sup>[4-6]</sup>,其中黄酮类被认为是竹叶中重要的活性物质之一<sup>[6]</sup>。许多研究表明,黄酮类化合物具有重要的生物学功能:第一,清除自由基、抗氧化、抗衰老;第二,抗菌、抗炎及增强机体的免疫力;第三,保护心脑血管,调节血脂和抗血栓;第四,抗辐射和抗癌<sup>[7]</sup>等。

勃氏甜龙竹(*Dendrocalamus brandisii*)为禾本科牡竹属(*Dendrocalamus*),广泛分布于我国云南南部地区,是良好的笋用竹,竹笋可鲜食,竹秆可用作编织、制作家具、装饰板等<sup>[1]</sup>。目前对勃氏甜龙竹竹叶全面的化学成分分析研究缺乏,限制了勃氏甜龙竹的开发利用。因此,本研究以云南分布广、生物量大的勃氏甜龙竹为研究对象,采用广泛靶向代谢组技术,分析勃氏甜龙竹竹叶化学成分,为其开发与利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品的采集与制备

勃氏甜龙竹竹叶采自云南省普洱市墨江哈尼族自治县联珠镇者铁村勐簸村民小组(101.7°E,

23.4°N),采集时间为 2020 年 8 月 15 日。将新鲜竹叶除去茎和竹竿后在实验室阴干,用冷冻混合研磨仪磨至粉末状,称取 100 mg 竹叶粉溶于 0.6 mL 提取液中;在 4℃冰箱中保存 12 h,期间涡旋 6 次,每次 3 min;然后在 10 000 r/min 转速下离心 10 min;吸取上清液,用 0.22 μm 微孔滤膜过滤样品,并保存于进样瓶中,用于 UPLC-MS/MS 分析,样品的分析委托武汉迈特维尔生物科技有限公司。

### 1.2 主要仪器和试剂

主要仪器为冷冻混合研磨仪(Retsch MM400,德国莱驰)、超高效液相色谱仪(UPLC, Shim-pack UFLC CBM30A,日本岛津);QTRAP 4500 串联质谱(MS/MS,美国 Applied Biosystems 公司)。主要试剂甲醇、乙腈以及乙醇均为色谱纯,生产商为德国 Merck 公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 液相条件

色谱柱: Waters ACQUITY UPLC HSS T3 C<sub>18</sub> (2.1 mm×100 mm, 1.8 μm)。流动相: A 相为超纯水(加入含体积分数 0.04% 的乙酸), B 相为乙腈(加入含体积分数 0.04% 的乙酸)。洗脱梯度: 起始的 B 相比比例为 5%,并在 10.00 min 内 B 相比比例线性增加到 95%,维持在 95% 1 min, 11.00 至 11.10 min B 相比比例降为 5%,并以 5%平衡至 14 min;流速 0.35 mL/min,柱温 40℃,进样量 4 μL<sup>[8]</sup>。

#### 1.3.2 质谱条件

电喷雾离子源温度 550℃,质谱电压 5 500 V,

帘气 30 psi,碰撞诱导电离参数设置为高,在三重四级杆中,根据优化的去簇电压和碰撞能进行扫描检测<sup>[8]</sup>。

### 1.3.3 代谢物定性与定量

利用武汉迈特维尔生物科技有限公司自建数据库,根据二级谱信息进行物质定性,利用三重四级杆质谱 MRM 对代谢物进行定量。

## 1.4 数据分析

用 Analyst 1.6.3 处理质谱数据,通过三重四级杆(triple quadrupole, QQQ)筛选出化合物的特征离子,在检测器中获得特征离子信号强度,用 MultiaQuant 对色谱峰进行积分和校正,每个色谱峰峰面积代表对应物质的相对含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 勃氏甜龙竹竹叶中主要的化合物类型分析

从勃氏甜龙竹竹叶化合物类型(图1)可知,在勃氏甜龙竹竹叶中共检测到10大类407种化合物,其中黄酮类化合物79种,脂质类61种,酚酸类55种,氨基酸及其衍生物55种,有机酸类35种,核苷酸及其衍生物31种,生物碱类28种,木脂素和香豆素类17种,萜类1种,其他类化合物45种。

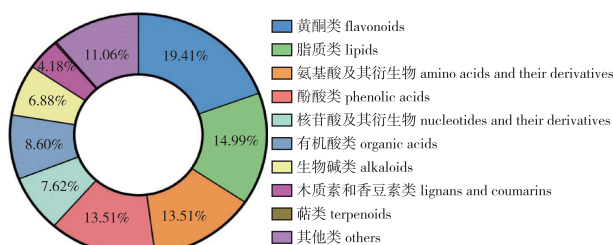


图1 勃氏甜龙竹竹叶化合物类型分析

Fig. 1 Analysis on compounds type of *Dendrocalamus brandisii* leaves

### 2.2 勃氏甜龙竹竹叶中各类型化合物组成分析

#### 2.2.1 黄酮类化合物组成分析

本研究共检测到黄酮类化合物79种,在正离子模式下检测到57种,在负离子模式下检测到22种。黄酮类是勃氏甜龙竹竹叶中种类最多的一类化合物,以色谱峰面积表示的相对含量来看,勃氏甜龙竹竹叶中含量较高的黄酮类化合物包括芹菜素-6-C-葡萄糖-8-木糖、木犀草素-7,3'-2-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷、芹菜素-6-C- $\beta$ -D-木糖苷-8-C- $\beta$ -D-阿拉伯糖苷等(附表1, nldxb. njfu. edu. cn, 下同)。

#### 2.2.2 酚酸类化合物组成分析

从勃氏甜龙竹竹叶中的酚酸类分析结果(附表2)可知,甜龙竹竹叶中共鉴别出酚酸类化合物

55种,在正离子模式下检测到13种,在负离子模式下检测到42种,从化合物相对含量来看,相对含量较高的有对羟基苯甲酸、3-O-阿魏酰奎宁酸、1-O-[(E)-对香豆酰]- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖、4-羟基苯甲醛、3-O-对香豆酰奎宁酸、新绿原酸、三羟基肉桂酰奎宁酸等酚酸类化合物。

#### 2.2.3 有机酸类化合物组成分析

有机酸类分析结果(附表3)表明:在检测到的35种有机酸类化合物中,其中在正离子模式下检测出6种,负离子模式下检测出29种,相对含量较高的有机酸为丙戊酸钠、6-氨基己酸、奎宁酸、苯乙醛酸、柠檬酸、犬尿酸、4-胍基丁酸、木糖酸、(-)-莽草酸、苹果酸、2,3-二羟基苯甲酸等。

#### 2.2.4 木脂素、香豆素和萜类化合物组成分析

对木脂素和香豆素类的分析结果(附表4)表明:有4种化合物在正离子模式下被检出,剩余13种化合物在负离子模式下被检出。相对含量较高的木脂素和香豆素类化合物有丁香树脂酚-己糖、松脂醇单葡萄糖苷、松脂醇-己糖、松脂醇、阿魏酸3-羟基香豆素、秦皮甲素、丁香树脂酚-乙酰葡萄糖、4-羟基香豆素、皮树脂醇、5,7-二甲氧基香豆素等。齐墩果酸是甜龙竹竹叶中唯一检测到的萜类化合物。

#### 2.2.5 脂质类化合物组成分析

脂质的分析结果(附表5)表明:在检测到的61种脂质类化合物中,有35种化合物在正离子模式下被检出,剩余26种化合物在负离子模式下被检出。在甜龙竹竹叶中相对含量较高的为硬脂酸、反油酸、十八碳烯酸、 $\gamma$ -亚麻酸、十六酸2,3-二羟基酯、9,10,13-三羟基-11-十八二烯酸等。

#### 2.2.6 氨基酸及其衍生物组成分析

氨基酸及其衍生物分析结果(附表6)表明:在检测到的55种氨基酸及其衍生物,在正离子模式下检测出39种,负离子模式下检测出16种,相对含量较高的氨基酸及其衍生物包括L-亮氨酸、L-异亮氨酸、L-酪氨酸、L-脯氨酸、正缬氨酸、2-苯丙氨酸、L-色氨酸、L-谷氨酰胺、L-正亮氨酸、2-氨基异丁酸、D-苯丙氨酸、N,N-二甲基甘氨酸等。

#### 2.2.7 核苷酸及其衍生物组成分析

核苷酸及其衍生物组成的分析结果(附表7)表明:在检测到的31种核苷酸及其衍生物中,20种化合物是在正离子模式下被检出,剩余11种化合物在负离子模式下被检出。其中相对含量较多的为鸟苷、腺嘌呤、2'-脱氧鸟苷、N6-琥珀酰腺苷、二甲基氨基鸟苷、黄苷、脱氧胞苷、胸苷、5-脱氧-5-



甲硫腺苷、烟酸腺嘌呤二核苷酸、次黄嘌呤、鸟苷3',5'-环单磷酸等多种核苷酸及其衍生物。

### 2.2.8 生物碱类化合物分析

生物碱的分析结果(附表8)表明:在检测到的28种生物碱中,有26种化合物在正离子模式下被检出,剩余2种化合物在负离子模式下被检出。其中含量较高的生物碱有甜菜碱、*N*-苯亚甲基异甲胺、色胺、精胺、*N*-阿魏酰、五羟色胺、葫芦巴碱、*N*-对香豆酰基腐胺、吡啶-3-甲醛等。

### 2.2.9 其他类化合物组成分析

除了上述代谢物外,在勃氏甜龙竹竹叶中还检测到其他45种化合物,包含各类维生素、糖等,其中,17种化合物在正离子模式下被检出(附表9),剩余28种化合物在负离子模式下被检出。从相对含量来看,维生素中的烟酰胺、泛酸、吡哆素、核黄素含量较高,而在糖及醇类中的肌醇半乳糖苷、蔗糖、葡萄糖、蔗糖酸钙含量较高。

## 3 讨论

竹叶不仅是大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)的主要食物,而且还广泛应用到食品和医药领域,其作为药用在中国有着悠久的历史,许多古代药典都记载有竹叶的药用价值,在《本草求真》(黄公秀著于1769年)中记载竹叶具有退烧、调理脾脏、化痰、止咳和预防麻痹性中风等功效<sup>[4]</sup>。现代分析技术对竹叶药用有效成分的分析表明,竹叶中富含黄酮类和一些活性成分,竹叶中黄酮类的含量可以与银杏(*Ginkgo biloba*)叶相媲美,而目前竹叶提取物的相关研究也表明,其具有良好的抗自由基、抗氧化和抗衰老以及降血脂和胆固醇<sup>[9]</sup>等作用。黄酮类是药用植物中的主要活性成分之一,也是竹叶中重要的化合物,黄酮类化合物具有重要的药用价值<sup>[10]</sup>,张师<sup>[11]</sup>研究表明,竹叶黄酮对 $\text{CCl}_4$ 诱导的小鼠肝细胞损伤有良好的保护效果,并分离鉴定出牡荆苷、芦丁、荭草苷、槲皮素等4种主要的黄酮类化合物。潘智然等<sup>[12]</sup>采用质谱分析技术对淡竹(*Phyllostachys glauca*)叶化学成分进行了分析,研究表明其叶含有黄酮、酚酸及三萜类等多种活性成分的化合物,其中黄酮类是淡竹中的主要活性成分,并鉴定木犀草素6-C- $\beta$ -D-六碳糖醛酸基(1碳糖)- $\beta$ -D-葡萄糖苷、异荭草苷、荭草苷、日当药黄素、苜蓿素7-O- $\beta$ -D葡萄糖苷、牡荆素、异牡荆素、当药黄素、芹菜素6-C- $\beta$ -D-半乳糖醛酸基(1乳糖)- $\alpha$ -L-阿拉伯糖苷等13个黄酮类化合物,这是在以往的竹叶化学成分研究中报道最全面的研究。

许多研究表明,黄酮类化合物中的芹菜素具有抗炎、抗痉挛、抗菌、抗肿瘤、护肝等功能;而芹菜素7-葡萄糖苷能抑制HL-60细胞生长,使细胞周期阻滞于G2/M期,诱导人原髓细胞白血病细胞HL-60向粒细胞分化<sup>[13-14]</sup>。木犀草素具有抗炎、抗氧化,减少炎症因子和活性氧对机体造成的伤害,保护组织、细胞和神经系统,减少神经病变的发生,改善记忆力,抗肿瘤等功效<sup>[15]</sup>。本研究勃氏甜龙竹竹叶中含量较高的黄酮类化合物包括芹菜素-6-C-葡萄糖-8-木糖、木犀草素-7,3-犀草二-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷、芹菜素-6-C- $\beta$ -D-木糖苷-8-C- $\beta$ -D-阿拉伯糖苷等79种黄酮类,占检测化合物总数的19.41%,表明黄酮类是勃氏甜龙竹中种类最多的一类物质,本研究为竹中黄酮类药物和活性物质的进一步筛选和分离提供参考。

植物中的酚酸类和有机酸类化合物 also 具有重要的生物学功能和药用价值,目前研究比较多的是对香豆酸,研究表明其具有清除自由基,抑制脂质过氧化和DNA氧化损伤,具有调节机体免疫,抗炎和抗肿瘤等功效<sup>[17]</sup>。潘智然等<sup>[13]</sup>鉴定了淡竹竹叶中的新绿原酸、5-O-对香豆酰奎尼酸、绿原酸、阿魏酰奎尼酸、隐绿原酸、咖啡酸等8种酚酸类化合物<sup>[4]</sup>,以上化合物在勃氏甜龙竹中也检测到。而申瑾等<sup>[17]</sup>对黄荆子(*Vitex negundo*)药用成分的分析表明,其含的对羟基苯甲酸、3,4-二羟基苯甲酸、芥子醛、阿魏醛、丁香酸等8种化合物具有抗肿瘤作用;有机酸类中已有研究报道的是丙戊酸钠和6-氨基己酸,研究表明,丙戊酸钠对各种癫痫病具有良好的治疗效果<sup>[18]</sup>,而6-氨基己酸通常用在蛛网膜下腔出血时的止血药物<sup>[19]</sup>,这两种化合物也是勃氏甜龙竹竹叶检测到相对含量较高的化合物,也具有一定的药用价值。香豆素、木脂素及萜类是药用植物中主要的活性成分,中医药临床研究表明,香豆素类具有抗病毒、抗肿瘤、抗骨质疏松、抗凝血、保护心血管系统等功效;而木脂素具有抗肿瘤、护肝、抗氧化、抗艾滋病病毒等功效<sup>[20-21]</sup>;木脂素和香豆素中研究比较多的是秦皮甲素,研究表明,秦皮甲素具有抑菌、抗炎等功效,能显著抑制大肠杆菌(*Escherichia coli*)的生长<sup>[22-23]</sup>,此外,秦皮甲素能够缓解和改善链脲佐菌素所诱导的糖尿病小鼠血脂异常和炎症反应<sup>[24-25]</sup>。勃氏甜龙竹竹叶中仅检测到1种萜类化合物——齐墩果酸(oleanolic acid),齐墩果酸最先从木犀科植物油橄榄(*Olea europaea*)叶子中提取的,有证据表明,齐墩果酸具有降低转氨酶作用,保护大鼠急性肝导致的肝损

伤,对急性黄疸型肝炎和慢性肝炎也有一定疗效<sup>[26]</sup>。

生物碱是一种重要的天然化合物,是许多药用植物中的活性成分之一,其具有重要的生物活性,如鸦片中的吗啡具有镇痛作用,黄柏(*Phellodendron chinensis*)中的小檗碱具有抗菌、消炎作用,三尖杉(*Cephalotaxus fortune*)中的三尖杉酯碱具有抗肿瘤作用<sup>[20]</sup>,还有研究表明咪唑、嘧啶、喹啉、恶唑等生物碱具有一定的抗结核病作用<sup>[27]</sup>。目前勃氏甜龙竹竹叶中的生物碱还未开展相关药理学研究,今后应加强此方面的研究和开发利用。

植物化学分析方法有很多种,目前大部分植物化学成分的分析主要借助于高效液相色谱法、高效液相色谱-质谱联用法、气相色谱-质谱联用法(GC-MS)等<sup>[28]</sup>方法,但以上分析方法只能从植物中定量分析一部分具有标准品的化合物,无法全面解析植物中的化学组成。近几年来,随着代谢组学技术的发展,其被广泛应用到植物次生代谢物和植物化学研究中,其中广泛靶向代谢组学(widely targeted metabolomics)结合了非靶向和靶向代谢组学的优点,利用广泛靶向代谢组数据库,采用多反应监测模式(MRM)定性和定量植物中化合物,其具有耗时短、高灵敏、高覆盖等优点,可全面分析植物中的化学组成<sup>[29]</sup>,未来应结合高效液相色谱-质谱联用法、气相色谱-质谱联用法(GC-MS)等方法对植物中一些具有生物活性的化合物进行定量分析,为深入了解植物中生物活性物质提供方法学上的参考。

本研究通过使用广泛靶向代谢组学分析了勃氏甜龙竹竹叶的化学组成,共鉴定了10大类407种代谢物,其中黄酮类79种、酚酸类55种、有机酸类35种、生物碱类28种、木脂素和香豆素类17种、萜类化合物1种、脂质类61种、氨基酸及其衍生物55种、核苷酸及其衍生物31种、其他类化合物45种。这为勃氏甜龙竹竹叶开发利用提供了理论依据。

#### 参考文献(reference):

[1] 孙茂盛,鄢波,徐田.竹类植物资源与利用[M].北京:科学出版社,2015.SUN M S, YAN B, XU T. Resources and utilization of bamboo plants[M]. Beijing: Science Press, 2015.

[2] 雷福红,欧阳吾乐,杨亚晋,等.碱处理对慈竹竹叶膳食纤维提取效果的研究[J].西南林业大学学报(自然科学),2021,41(1):161-166.LEI F H, OUYANG W L, YANG Y J, et al. Study on extraction of dietary fiber from *Neosinocalamus affinis* leaves by alkali treatment[J]. J Southwest For Univ (Nat Sci), 2021, 41(1): 161-166. DOI: 10.11929/j.swfu.201911030.

[3] 国家中医药管理局中华本草编委会.中华本草:二十三卷[M].上海:上海科学技术出版社,2002.372-374.

[4] ZHU Z H, JIN W. Sustainable bamboo development[M]. Oxfordshire, England: CABI, 2018.

[5] 张英.竹叶黄酮的生理与药理活性[J].世界竹藤通讯,2004,2(2):1-11.ZHANG Y. Bamboo leave flavone physiology and pharmacological activity[J]. World Bamboo Rattan, 2004, 2(2): 1-11. DOI: 10.3969/j.issn.1672-0431.2004.02.001.

[6] 欧阳吾乐,雷福红,杨亚晋,等.4种竹叶营养成分分析及其黄酮提取物体外抗氧化活性研究[J].天然产物研究与开发,2019,31(10):1669-1674,1830. OUYANG W L, LEI F H, YANG Y J, et al. Analysis of nutritional components of four bamboo leaves and antioxidant activity of flavonoid extracts *in vitro* [J]. Nat Prod Res Dev, 2019, 31(10): 1669-1674, 1830. DOI: 10.16333/j.1001-6880.2019.10.001.

[7] 栗明月,焦梦荷,蒋林树,等.竹叶黄酮的生理功能及其应用前景[J].中国农学通报,2018,34(32):144-149. LI M Y, JIAO M H, JIANG L S, et al. Physiological functions and application prospect of bamboo leaf flavonoids[J]. Chin Agric Sci Bull, 2018, 34(32): 144-149.

[8] 闫乐乐,卜璐璐,牛良,等.广泛靶向代谢组学解析桃蚜危害对桃树次生代谢产物的影响[J].中国农业科学,2022,55(6):1149-1158. YAN L L, BU L L, NIU L, et al. Widely targeted metabolomics analysis of the effects of *Myzus persicae* feeding on *Prunus persica* secondary metabolites[J]. Sci Agric Sin, 2022, 55(6): 1149-1158. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2022.06.008.

[9] 张英,唐莉莉.毛金竹叶提取物抗衰老作用的实验研究[J].竹子研究汇刊,1997,16(4):62-67. ZHANG Y, TANG L L. Experimental studies on anti-aging effect of the leaf-extract of *Ph. nigra* var. *henonis* [J]. J Bamboo Res, 1997, 16(4): 62-67.

[10] 蒋婵,李青青,刘莉莉,等.大熊猫10种潜在食竹营养成分的季节变化[J].南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(5):148-154. JIANG C, LI Q Q, LIU L L, et al. Seasonal variation in nutritional components of ten potential edible bamboos for giant panda[J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed), 2018, 42(5): 148-154. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2006.201801002.

[11] 张师.竹叶黄酮对CCl<sub>4</sub>所致小鼠肝损伤的保护作用及抗氧化机制研究[D].北京:北京林业大学,2014. ZHANG S. Study on protective effect and antioxidant mechanism of bamboo leaf flavonoids on CCl<sub>4</sub> Induced liver injury in mice liver injury in mice [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014.

[12] 潘智然,王腾华,朱首伦,等.基于超高压液相色谱-高分辨多级质谱联用技术的中药淡竹叶化学成分分析[J].广东药学院学报,2016,32(3):300-306. PAN Z R, WANG T H, ZHU S L, et al. Identification of chemical constituents from *Lophatherum gracile* Brongn. by UHPLC-LTQ-Orbitrap HR MS<sup>n</sup> [J]. J Guangdong Pharm Univ, 2016, 32(3): 300-306. DOI: 10.16809/j.cnki.1006-8783.2016031802.

[13] 付海洋,姜良勇,齐亚军,等.芹菜素药理作用的研究进展[J].国际药学研究杂志,2020,47(10):787-792,797. FU H Y, JIANG L Y, QI Y J, et al. Pharmacological effects of apigenin: research advances[J]. J Int Pharm Res, 2020, 47(10): 787-792, 797. DOI: 10.13220/j.cnki.jipr.2020.10.004.

[14] NAKAZAKI E, TSOLMON S, HAN J, et al. Proteomic study of granulocytic differentiation induced by apigenin 7-glucoside in human promyelocytic leukemia HL-60 cells[J]. Eur J Nutr, 2013, 52(1): 25-35. DOI: 10.1007/s00394-011-0282-4.

[15] 黄龙岳,宁洪鑫,姚薛超,等.木犀草素提取和纯化工艺的研究

- 进展[J].中草药,2021,53(4):1185-1192.HUANG L Y, NING H X, YAO X C, et al. Research progress on extraction and purification of luteolin[J]. Acupunct Res, 2021, 53(4): 1185-1192. DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2021.04.033.
- [16] 王长松,田莉莉,张俊刚,等.五种中药酚酸类化合物体外抗DNA损伤的作用[J].中国药理学与毒理学杂志,2012,26(4):529-533.WANG C S, TIAN L L, ZHANG J G, et al. Protective effect of five natural phenolic acids against DNA oxidative damage *in vitro* [J]. Chin J Pharmacol Toxicol, 2012, 26(4): 529-533. DOI: 10.3867/j.issn.1000-3002.2012.04.011.
- [17] 申琨,曾光尧,谭健兵,等.黄荆子抗肿瘤有效部位化学成分研究[J].中草药,2009,40(1):33-36.SHEN C, ZENG G Y, TAN J B, et al. Study on chemical constituents of anti-tumor effective parts of *Vitex negundo* L [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2009, 40(1): 33-36. DOI: 10.3321/j.issn:0253-2670.2009.01.010.
- [18] 中国抗癫痫协会精准医学与药物不良反应监测专业委员会.关于举办“第三届 CAAE 癫痫精准医学论坛”的通知(第一轮)[J].癫痫杂志,2019,5(2):157-158.Chinese Association of anti-epilepsy. Notice on holding the third CAAE forum on epilepsy precision medicine (first round) [J]. J Epilepsy, 2019, 5(2): 157-158.
- [19] 李珺,吴家骞,储照虎,等.6-氨基己酸与尼莫地平联合治疗蛛网膜下腔出血的临床研究[J].临床神经病学杂志,2003,16(4):243-244.LI J, WU J M, CHU Z H, et al. Clinical study of 6-aminocaproic acid combined with nimodipine in the treatment of subarachnoid hemorrhage[J]. J Clin Neurol, 2003, 16(4): 243-244. DOI: 10.3969/j.issn.1004-1648.2003.04.020.
- [20] 裴月湖,娄红祥.天然药物化学[M].7版.北京:人民卫生出版社,2016. PEI Y H, LOU H X. Natural medical chemistry[M]. 7th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2016.
- [21] 孔令雷,胡金凤,陈乃宏.香豆素类化合物药理和毒理作用的研究进展[J].中国药理学通报,2012,28(2):165-168.KONG L L, HU J F, CHEN N H. Advances in pharmacology and toxicology of coumarins[J]. Chin Pharmacol Bull, 2012, 28(2): 165-168. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1978.2012.02.005.
- [22] 聂安政,林志健,张冰.秦皮化学成分和药理作用研究进展[J].中草药,2016,47(18):3332-3341. NIE A Z, LIN Z J, ZHANG B. Advance in studies on chemical constituents of Fraxini Cortex and their pharmacological effects [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2016, 47(18): 3332-3341. DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2016.18.029.
- [23] DUNCAN S H, FLINT H J, STEWART C S. Inhibitory activity of gut bacteria against *Escherichia coli* O157 mediated by dietary plant metabolites[J]. FEMS Microbiol Lett, 1998, 164(2): 283-288. DOI: 10.1111/j.1574-6968.1998.tb13099.x.
- [24] WANG Y H, LIU Y H, HE G R, et al. Esculin improves dyslipidemia, inflammation and renal damage in streptozotocin-induced diabetic rats[J]. BMC Complement Altern Med, 2015, 15: 402. DOI: 10.1186/s12906-015-0817-y.
- [25] KANG K S, LEE W, JUNG Y, et al. Protective effect of esculin on streptozotocin-induced diabetic renal damage in mice[J]. J Agric Food Chem, 2014, 62(9): 2069-2076. DOI: 10.1021/jf403840c.
- [26] 田丽婷,马龙,堵年生.齐墩果酸的药理作用研究概况[J].中国中药杂志,2002,27(12):884-886,901. TIAN L T, MA L, DU N S. Survey of pharmacology of aleanolic acid [J]. China J Chin Mater Med, 2002, 27(12): 884-886, 901. DOI: 10.3321/j.issn:1001-5302.2002.12.002.
- [27] 陈亚玲,任丽娟,王丽,等.生物碱类化合物抗结核病的研究进展[J].中草药,2020,51(3):799-805. CHEN Y L, REN L J, WANG L, et al. Research advances on alkaloids against tuberculosis[J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2020, 51(3): 799-805. DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2020.03.033.
- [28] 薛鹏,赵雷,郑星,等.大豆皂苷化学结构及分析方法的研究进展[J].现代食品科技,2018,34(9):291-297. XUE P, ZHAO L, ZHENG X, et al. Chemical structure and analysis methods of soybean saponins: a review [J]. Mod Food Sci Technol, 2018, 34(9): 291-297. DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.9.041.
- [29] 唐昊,李沅秋,甘晓凤,等.基于广泛代谢组学分析慈竹笋营养成分及其提取物的抗氧化活性[J].现代食品科技,2021,37(6):304-311. TANG H, LI Y Q, GAN X F, et al. Analyze nutritional components of *Bambusa emeiensis* shoots and antioxidant activity of its extracts based on widely targeted metabolomics [J]. Mod Food Sci Technol, 2021, 37(6): 304-311. DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.6.1007.

(责任编辑 吴祝华)