

云南香格里拉西南鸢尾地上部分化学成分分析

和云凤^{1a,1b,2}, 和贵文^{1a}, 刘黎焯^{1a}, 王飞^{1a}, 和嘉华², 陈学礼², 都吉², 郭爱伟^{1a,1b,①}

(1. 西南林业大学: a. 生命科学学院, b. 云南省高校林木生物技术重点实验室, 云南 昆明 650224;

2. 云南省迪庆藏族自治州高原生物研究所, 云南 香格里拉 674499)

摘要: 利用广泛靶向代谢组学方法对云南香格里拉西南鸢尾(*Iris bulleyana* Dykes)地上部分的化合物类型和相对含量进行了详细分析。结果表明:在西南鸢尾地上部分共检测到11大类431种化合物,其中,黄酮类化合物最多(116种),占比26.9%;脂质类、氨基酸及其衍生物、酚酸类、核苷酸及其衍生物、有机酸类、生物碱类以及木脂素和香豆素类化合物分别有58、52、40、36、34、24和20种,占比分别为13.4%、12.1%、9.3%、8.4%、7.9%、5.6%和4.6%;鞣质类和萜类化合物较少,分别只有6和2种,占比各为1.4%和0.5%;其他化合物相对较多(43种),占比10.0%。总体来看,黄酮类化合物是西南鸢尾地上部分的主要化学成分,且西南鸢尾地上部分的很多化合物具有重要的药用价值,开发利用前景广阔。值得注意的是,西南鸢尾地上部分还含有葫芦巴碱、6-脱氧莽麦碱和色胺等生物碱类成分,推测这些生物碱类成分可能是中甸牦牛(*Bos grunniens* Linn.)拒食营养生长期西南鸢尾的主要原因。

关键词: 西南鸢尾; 化学成分; 黄酮类; 生物碱类; 广泛靶向代谢组学

中图分类号: Q946; R284.1; S682.1⁺9 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2022)02-0022-17

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2022.02.03

Analysis on chemical components in above-ground part of *Iris bulleyana* from Shangri-La of Yunnan Province HE Yunfeng^{1a,1b,2}, HE Guiwen^{1a}, LIU Lixuan^{1a}, WANG Fei^{1a}, HE Jiahua², CHEN Xueli², DU Ji², GUO Aiwei^{1a,1b,①} (1. Southwest Forestry University; a. College of Life Sciences, b. Yunnan Provincial University Key Laboratory of Forest Biotechnology, Kunming 650224, China; 2. Institute of Plateau Biology, Diqing Tibetan Autonomous Prefecture, Shangri-La 674499, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2022, 31(2): 22-38

Abstract: Compound types and relative contents in above-ground part of *Iris bulleyana* Dykes from Shangri-La of Yunnan Province were analyzed in detail by using widely targeted metabolomic method. The results show that 431 compounds of 11 types are detected in above-ground part of *I. bulleyana*, in which, the number of flavonoids is the most (116), accounting for 26.9%; the numbers of lipids, amino acids and their derivatives, phenolic acids, nucleotides and their derivatives, organic acids, alkaloids, and lignans and coumarins are 58, 52, 40, 36, 34, 24, and 20, accounting for 13.4%, 12.1%, 9.3%, 8.4%, 7.9%, 5.6%, and 4.6%, respectively; the numbers of tannins and terpenoids are relatively few, which are only 6 and 2, accounting for 1.4% and 0.5%, respectively; other compounds are relatively more (43), accounting for 10.0%. Overall, flavonoids are the main chemical components in above-ground part of *I. bulleyana*, and many compounds in above-ground part of *I. bulleyana* have important medicinal values, which have a great development and utilization prospect. Notably, there are alkaloids in above-ground part of *I. bulleyana*, such as trigonelline, 6-deoxyfagomine, and tryptamine, and these alkaloids may be the main reason for food refusal of *Bos grunniens* Linn. against *I. bulleyana* at vegetative growth phase.

收稿日期: 2021-09-02

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); 国家自然科学基金资助项目(31460609)

作者简介: 和云凤(1993—),女,傈僳族,云南香格里拉人,硕士研究生,主要从事动物生态营养学研究。

①通信作者 E-mail: g.aiwei.swfu@hotmail.com

引用格式: 和云凤, 和贵文, 刘黎焯, 等. 云南香格里拉西南鸢尾地上部分化学成分分析[J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(2): 22-38.

Key words: *Iris bulleyana* Dykes; chemical component; flavonoids; alkaloids; widely targeted metabolomics

全世界鸢尾属(*Iris* Linn.)植物约有 300 种,中国有 60 种、13 变种和 5 变型,且主要分布于西南、西北和东北等地^{[1]134}。该属植物在许多国家被作为传统民间药材使用,可治疗多种疾病^[2],例如:鸢尾(*I. tectorum* Maxim.)可治疗咽喉肿痛、肝炎、肝肿大、膀胱炎、风湿痛和跌打肿痛等^[3],全草可治疗皮肤瘙痒,叶泡酒可治疗风湿^[4]。目前,应用现代化学分析和分离技术已经从鸢尾属 21 种植物中分离鉴定出 65 种三萜类化合物、21 种苯醌类化合物和 9 种二苯乙烯类化合物,这些天然活性成分在治疗癌症、炎症、细菌和病毒感染等疾病中具有广阔的应用前景^[2]。

西南鸢尾(*I. bulleyana* Dykes)为鸢尾属多年生草本植物,花天蓝色,花期为 6 月至 7 月,果期为 8 月至 10 月,主要分布在中国的四川、云南和西藏地区^{[1]146-147}。西南鸢尾是中国西南地区的特有种,主要生长在海拔 2 300~3 500 m 的山坡草地上或溪流旁草甸上,广泛分布在云南香格里拉亚高山草甸中,且群落覆盖度大,是亚高山草甸的主要群落类型^{[1]147,[5]}。相关研究结果^[6-8]表明:在云南香格里拉亚高山草甸上生活的中甸牦牛(*Bos grunniens* Linn.)不采食营养生长期的西南鸢尾可能与该时期的西南鸢尾地上部分含有的化合物有关。然而,目前人们尚不清楚西南鸢尾地上部分的化合物组成。为此,本研究采用广泛靶向代谢组学方法对 8 月份云南省香格里拉市中甸阿布吉牧场内西南鸢尾地上部分的化合物进行了检测和分析,以期全面了解西南鸢尾的化学成分组成,为探讨该地区中甸牦牛拒食西南鸢尾的潜在原因及西南鸢尾的开发和利用提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 材料

于 2018 年 8 月在云南省香格里拉市中甸阿布吉牧场(东经 99°50'、北纬 27°37')内海拔 3 384.57 m 处采集 5 kg 西南鸢尾地上部分。采集样品由香格里拉高山植物园方焯老师鉴定。将样品在室内阴干后装入密封袋中,置于 4 °C 条件下保存、备用。

1.2 主要仪器和试剂

实验使用的主要仪器有 MM 400 研磨仪(德国

Retsch 公司)、Shim-pack UFLC SHIMADZU CBM30A 超高效液相色谱仪(日本 Shimadzu 公司)和 Applied Biosystems 4500 QTRAP 串联质谱仪(美国 Applied Biosystems 公司),使用的主要试剂有甲醇(色谱纯,德国 Merck 公司)、乙腈(色谱纯,德国 Merck 公司)和乙醇(色谱纯,德国 Merck 公司)。

1.3 方法

1.3.1 样品采集及制备 将干燥的西南鸢尾地上部分样品研磨成粉末,过 40 目筛;称取 100 mg 样品粉末,加入 1 mL 体积分数 70%甲醇;置于 4 °C 冰箱中保存 12 h(期间涡旋 6 次,每次 3 min),于室温条件下 10 000 g 离心 10 min;取上清液,用微孔滤膜(孔径 0.22 μm)过滤,滤液移入进样瓶中,置于-20 °C 条件下保存。提取的样品溶液交武汉迈特维尔生物科技有限公司完成后续分析。

1.3.2 液相色谱条件 色谱柱为 Waters ACQUITY UPLC HSS T3 C18(1.8 μm,2.1 mm×100 mm);流动相 A 为超纯水(含体积分数 0.04%乙酸),流动相 B 为乙腈(含体积分数 0.04%乙酸)。具体洗脱流程:0.00~10.00 min,流动相 B 的体积分数由 5%提高到 95%,并保持 1 min;11.00~11.10 min,流动相 B 的体积分数由 95%降回 5%,并保持 14 min。流速 0.35 mL·min⁻¹,柱温 40 °C,进样量 4 μL。

1.3.3 质谱条件 电喷雾离子源(ESI)温度 550 °C,质谱电压 5 500 V,帘气(CUR)207 kPa,碰撞诱导电离(CAD)参数设置为高,在三重四级杆中,每个离子对根据优化的去簇电压(DP)和碰撞能(CE)进行扫描检测^[9]。

1.4 数据分析

基于武汉迈特维尔生物科技有限公司自建数据库 MWDB,根据不同化合物的二级谱信息对其进行定性分析。分析时,去除同位素信号,包括 K⁺、Na⁺、NH₄⁺的重复信号以及本身是其他更大分子量化合物的碎片离子的重复信号。利用 Analyst 1.6.3 软件处理获得的质谱数据,通过三重四级杆筛选出每个化合物的特征离子,在检测器中获得特征离子信号强度,利用 MultiaQuant 软件对每个色谱峰进行积分和校正,根据每个色谱峰的相对面积判断对应化合物的相对含量水平。

2 结果和分析

2.1 云南香格里拉西南鸢尾地上部分化合物类型分析

统计和分析结果(表1)表明:在云南香格里拉西南鸢尾地上部分共检测到11大类431种化合物,其中,黄酮类化合物最多(116种),占检测化合物总数的26.9%;脂质类、氨基酸及其衍生物、酚酸类、有机酸类、核苷酸及其衍生物、生物碱类以及木脂素和香豆素类化合物分别有58、52、40、36、34、24和20种,各占检测化合物总数的13.4%、12.1%、9.3%、8.4%、

表1 云南香格里拉西南鸢尾地上部分化合物类型分析
Table 1 Analysis on types of compounds in above-ground part of *Iris bulleyana* Dykes from Shangri-La of Yunnan Province

化合物类型 Type of compound	数量 Number	比例/% Percentage
黄酮类 Flavonoids	116	26.9
脂质类 Lipids	58	13.4
氨基酸及其衍生物 Amino acids and their derivatives	52	12.1
酚酸类 Phenolic acids	40	9.3
有机酸类 Organic acids	36	8.4
核苷酸及其衍生物 Nucleotides and their derivatives	34	7.9
生物碱类 Alkaloids	24	5.6
木脂素和香豆素类 Lignans and coumarins	20	4.6
鞣质类 Tannins	6	1.4
萜类 Terpenoids	2	0.5
其他 Others	43	10.0
总计 Total	431	100.0

表2 云南香格里拉西南鸢尾地上部分的黄酮类化合物分析
Table 2 Analysis on flavonoids in above-ground part of *Iris bulleyana* Dykes from Shangri-La of Yunnan Province

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
牡荆素-2-O-鼠李糖苷 Vitexin-2-O-rhamnoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₄	[M+H] ⁺	578.137	4.57×10 ⁷
金圣草黄素 Chrysoeriol	C ₁₆ H ₁₂ O ₆	[M+H] ⁺	300.053	4.12×10 ⁷
芹菜素-6,8-二-C-葡萄糖苷 Apigenin-6,8-di-C-glucoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	[M+H] ⁺	594.132	3.52×10 ⁷
棕矢车菊素 Jaceosidin	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	[M+H] ⁺	330.061	3.44×10 ⁷
芹菜素-6-C-2-葡萄糖醛酸基木糖苷 Apigenin-6-C-2-glucuronylxyloside	C ₂₆ H ₂₆ O ₁₅	[M+H] ⁺	578.103	3.11×10 ⁷
金圣草黄素 C-葡萄糖苷 Chrysoeriol C-glucoside	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₁	[M+H] ⁺	462.116	2.76×10 ⁷
木犀草素-6,8-二-C-葡萄糖苷 Luteolin-6,8-di-C-glucoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	[M+H] ⁺	610.126	2.46×10 ⁷
木犀草素-7,3'-二-O-β-D-葡萄糖苷 Luteolin-7,3'-di-O-β-D-glucoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	[M+H] ⁺	610.126	2.37×10 ⁷
鸢尾甲黄素 B-O-葡萄糖苷 Iristectorigenin B-O-glucoside	C ₂₃ H ₂₄ O ₁₂	[M+H] ⁺	492.126	1.85×10 ⁷
牡荆素-2-O-D-吡喃葡萄糖苷 Vitexin-2-O-D-glucopyranoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	[M+H] ⁺	594.132	1.83×10 ⁷
C-己糖基-芹菜素 O-戊糖苷 C-hexosyl-apigenin O-pentoside	C ₂₆ H ₂₈ O ₁₄	[M+H] ⁺	564.123	1.57×10 ⁷
香叶木素-6-C-葡萄糖苷 Diosmetin-6-C-glucoside	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₁	[M+H] ⁺	462.096	1.49×10 ⁷
杜鹃素 Ferrerol	C ₁₇ H ₁₆ O ₅	[M+H] ⁺	300.087	1.32×10 ⁷
木犀草素-3'-甲醚-6,8-二-C-葡萄糖苷 Luteolin-3'-methyl ether-6,8-di-C-glucoside	C ₂₈ H ₃₂ O ₁₆	[M+H] ⁺	624.140	1.30×10 ⁷
(+)-没食子儿茶素(+)-gallocatechin	C ₁₅ H ₁₄ O ₇	[M+H] ⁺	306.061	1.16×10 ⁷

7.9%、5.6%和4.6%;鞣质类和萜类化合物较少,分别只有6和2种,各占检测化合物总数的1.4%和0.5%。此外,还有43种其他化合物,占检测化合物总数的10.0%。

2.2 云南香格里拉西南鸢尾地上部分各类型化合物组成分析

2.2.1 黄酮类化合物组成分析 对云南香格里拉西南鸢尾地上部分黄酮类化合物的分析结果(表2)表明:在检测到的116种黄酮类化合物中,有81种化合物在正离子模式下被检出(其中,矢车菊素3-O-葡萄糖苷、飞燕草色素、氯化花青素苷和氯化矢车菊素在[M]⁺模式下被检出,其余化合物均在[M+H]⁺模式下被检出),剩余35种化合物在负离子模式下被检出。根据各化合物的色谱峰相对面积判断化合物的相对含量水平,结果显示:牡荆素-2-O-鼠李糖苷的相对含量最高(色谱峰相对面积4.57×10⁷),金圣草黄素、芹菜素-6,8-二-C-葡萄糖苷、棕矢车菊素、芹菜素-6-C-2-葡萄糖醛酸基木糖苷和金圣草黄素-C-葡萄糖苷等19种黄酮类化合物的相对含量较高(色谱峰相对面积均在1.00×10⁷以上)。西南鸢尾地上部分的黄酮类化合物多以黄酮糖苷形式存在,如牡荆素-2-O-鼠李糖苷、芹菜素-6,8-二-C-葡萄糖苷、芹菜素-6-C-2-葡萄糖醛酸基木糖苷、木犀草素-6,8-二-C-葡萄糖苷、木犀草素-7,3'-二-O-β-D-葡萄糖苷和牡荆素-2-O-D-吡喃葡萄糖苷等。

续表2 Table 2 (Continued)

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
芹菜素-8-C-戊糖苷 Apigenin-8-C-pentoside	C ₂₀ H ₁₈ O ₉	[M+H] ⁺	402.079	1.13×10 ⁷
鸢尾甲黄素 B Iristectorigenin B	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	[M+H] ⁺	330.061	1.08×10 ⁷
金圣草黄素 C-葡萄糖苷-C-葡萄糖苷 Chrysoeriol C-glucoside-C-glucoside	C ₂₈ H ₃₂ O ₁₆	[M+H] ⁺	624.168	9.49×10 ⁶
香叶木素-7-O-半乳糖苷 Diosmetin-7-O-galactoside	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₁	[M+H] ⁺	462.096	9.10×10 ⁶
C-己糖基-木犀草素 O-己糖苷 C-hexosyl-luteolin O-hexoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	[M+H] ⁺	610.126	8.90×10 ⁶
木犀草素-7-O-β-D-葡萄糖基-6-C-α-L-阿拉伯糖 Luteolin-7-O-β-D-glucosyl-6-C-α-L-arabinose	C ₂₆ H ₂₈ O ₁₅	[M+H] ⁺	580.117	6.52×10 ⁶
球松素 Pinostrobin	C ₁₆ H ₁₄ O ₄	[M+H] ⁺	270.078	6.15×10 ⁶
芹菜素 C,C-二己糖苷 Apigenin C,C-dihexoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	[M+H] ⁺	594.132	5.20×10 ⁶
芹菜素-5-O-葡萄糖苷 Apigenin-5-O-glucoside	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	[M+H] ⁺	432.088	4.97×10 ⁶
表儿茶素 Epicatechin	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	[M+H] ⁺	290.067	4.74×10 ⁶
6-C-己糖基-金圣草黄素 O-己糖苷 6-C-hexosyl-chrysoeriol O-hexoside	C ₂₈ H ₃₂ O ₁₆	[M+H] ⁺	624.140	4.14×10 ⁶
6-C-己糖基-木犀草素 O-己糖苷 6-C-hexosyl-luteolin O-hexoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	[M+H] ⁺	610.126	3.79×10 ⁶
矢车菊黄素 Centaureidin	C ₁₈ H ₁₆ O ₈	[M+H] ⁺	360.070	3.70×10 ⁶
芹菜素-6-C-葡萄糖-8-木糖 Apigenin-6-C-glucose-8-xylose	C ₂₆ H ₂₈ O ₁₄	[M+H] ⁺	564.123	3.69×10 ⁶
鸢尾苷 Tectoridin	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₁	[M+H] ⁺	462.096	2.79×10 ⁶
芹菜素 Apigenin	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	[M+H] ⁺	270.044	2.35×10 ⁶
木犀草素-7-O-芸香糖苷 Luteolin-7-O-rutinoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	[M+H] ⁺	594.132	2.20×10 ⁶
野鸢尾黄素 Iridigenin	C ₁₈ H ₁₆ O ₈	[M+H] ⁺	360.070	1.86×10 ⁶
木犀草素 O-己糖基-O-戊糖苷 Luteolin O-hexosyl-O-pentoside	C ₂₆ H ₂₈ O ₁₅	[M+H] ⁺	580.117	1.73×10 ⁶
矢车菊素-3-O-葡萄糖苷 Cyanidin-3-O-glucoside	C ₂₁ H ₂₁ O ₁₁	[M] ⁺	449.089	1.73×10 ⁶
C-己糖基-木犀草素 O-阿魏酰己糖苷 C-hexosyl-luteolin O-feruloylhexoside	C ₃₇ H ₃₈ O ₁₉	[M+H] ⁺	786.167	1.71×10 ⁶
8-C-己糖基-芹菜素 O-己糖基-O-己糖苷 8-C-hexoside-apigenin O-hexoside-O-hexoside	C ₃₃ H ₄₀ O ₂₀	[M+H] ⁺	756.175	1.70×10 ⁶
矢车菊素-3-O-半乳糖苷 Cyanidin-3-O-galactoside	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	[M+H] ⁺	448.082	1.60×10 ⁶
木犀草素-7,3'-二-O-葡萄糖苷 Luteolin-7,3'-di-O-glucoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	[M+H] ⁺	610.126	1.56×10 ⁶
芹菜素-8-C-葡萄糖苷 Apigenin-8-C-glucoside	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	[M+H] ⁺	432.088	1.55×10 ⁶
8-C-己糖基-木犀草素 O-戊糖苷 8-C-hexosyl-luteolin O-pentoside	C ₂₆ H ₂₈ O ₁₅	[M+H] ⁺	580.117	1.32×10 ⁶
7,3',4'-三羟基黄酮 7,3',4'-trihydroxyflavone	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	[M+H] ⁺	270.044	1.32×10 ⁶
金圣草黄素 O-丙二酰己糖苷 Chrysoeriol O-malonylhexoside	C ₂₅ H ₂₄ O ₁₄	[M+H] ⁺	548.094	1.25×10 ⁶
C-己糖基-木犀草素 C-戊糖苷 C-hexosyl-luteolin C-pentoside	C ₂₆ H ₂₈ O ₁₅	[M+H] ⁺	580.117	1.17×10 ⁶
槲皮素-3-O-葡萄糖苷-7-O-鼠李糖苷 Quercetin-3-O-glucoside-7-O-rhamnoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	[M+H] ⁺	610.126	1.06×10 ⁶
槲皮素-3-O-鼠李糖基半乳糖苷 Quercetin-3-O-rhamnosylgalactoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	[M+H] ⁺	610.126	1.02×10 ⁶
木犀草素-8-C-己糖基-O-己糖苷 Luteolin-8-C-hexosyl-O-hexoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	[M+H] ⁺	610.126	1.01×10 ⁶
木犀草素-6-C-5-葡萄糖醛酸基木糖苷 Luteolin-6-C-5-glucuronylxyloside	C ₂₆ H ₂₆ O ₁₆	[M+H] ⁺	594.097	9.46×10 ⁵
6-羟基山柰酚-6,7-O-二葡萄糖苷 6-hydroxykaempferol-6,7-O-diglucoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₇	[M+H] ⁺	626.120	7.49×10 ⁵
8-C-己糖基芹菜素 O-阿魏酰己糖苷 8-C-hexosyl-apigenin O-feruloylhexoside	C ₃₇ H ₃₈ O ₁₈	[M+H] ⁺	770.172	6.82×10 ⁵
飞燕草色素 Delphinidin	C ₁₅ H ₁₁ O ₇	[M] ⁺	303.040	6.51×10 ⁵
槲皮素-3,7-二-O-β-D-葡萄糖苷 Quercetin-3,7-di-O-β-D-glucoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₇	[M+H] ⁺	626.120	6.03×10 ⁵
木犀草素 C-己糖基 O-鼠李糖苷 O-己糖苷 Luteolin C-hexosyl O-rhamnoside O-hexoside	C ₃₃ H ₄₀ O ₂₀	[M+H] ⁺	756.175	5.81×10 ⁵
鸢尾新苷 Iristectorin B	C ₂₃ H ₂₄ O ₁₂	[M+H] ⁺	492.105	5.77×10 ⁵
芹菜素-6-C-己糖基-8-C-己糖基-O-己糖苷 Apigenin-6-C-hexosyl-8-C-hexosyl-O-hexoside	C ₃₃ H ₄₀ O ₂₀	[M+H] ⁺	756.175	5.77×10 ⁵
金雀异黄素-8-C-葡萄糖苷 Genistein-8-C-glucoside	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	[M+H] ⁺	432.088	5.22×10 ⁵
氯化花青素苷 Cyanidin chloride	C ₂₇ H ₃₁ ClO ₁₆	[M] ⁺	646.978	5.16×10 ⁵
6-C-己糖基-木犀草素 O-戊糖苷 6-C-hexosyl-luteolin O-pentoside	C ₂₆ H ₂₈ O ₁₅	[M+H] ⁺	580.117	3.61×10 ⁵
5,2'-二羟基-7,8-二甲氧基黄酮苷 5,2'-dihydroxy-7,8-dimethoxyflavone glycoside	C ₂₃ H ₂₄ O ₁₁	[M+H] ⁺	476.111	3.33×10 ⁵
芹菜素-7-O-(6'-O-乙酰基)-β-D-葡萄糖苷 Apigenin-7-O-(6'-O-acetyl)-β-D-glucoside	C ₂₃ H ₂₂ O ₁₁	[M+H] ⁺	474.096	3.17×10 ⁵
芹菜素-6-C-2-葡萄糖醛酸葡萄糖苷 Apigenin-6-C-2-glucuronylglucoside	C ₂₇ H ₂₈ O ₁₆	[M+H] ⁺	608.112	3.05×10 ⁵

续表2 Table 2 (Continued)

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
7-甲氧基-木犀草素-6-C-2'-葡萄糖醛酸基葡萄糖苷 7-methoxyl-luteolin-6-C-2'-glucuronylglucoside	C ₂₈ H ₃₀ O ₁₇	[M+H] ⁺	638.120	2.59×10 ⁵
6-C-己糖基-芹菜素 O-己糖苷-O-己糖苷 6-C-hexosyl-apigenin O-hexoside-O-hexoside	C ₃₃ H ₄₀ O ₂₀	[M+H] ⁺	756.175	2.35×10 ⁵
夏佛塔苷 Schaftoside	C ₂₆ H ₂₈ O ₁₄	[M+H] ⁺	564.123	2.16×10 ⁵
金圣草黄素 C-己糖苷 Chrysoeriol C-hexoside	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₁	[M+H] ⁺	462.096	2.15×10 ⁵
5-羟基-6,7,3',4'-四甲氧基黄酮 5-hydroxy-6,7,3',4'-tetramethoxyflavone	C ₁₉ H ₁₈ O ₇	[M+H] ⁺	358.090	1.98×10 ⁵
木犀草素-6-C-己糖基 8-C-己糖基-O-己糖苷 Luteolin-6-C-hexosyl 8-C-hexosyl-O-hexoside	C ₃₃ H ₄₀ O ₂₁	[M+H] ⁺	772.170	1.56×10 ⁵
芹菜素-6-C-β-D-木糖苷-8-C-β-D-阿拉伯糖苷 Apigenin-6-C-β-D-xyloside-8-C-β-D-arabinoside	C ₂₅ H ₂₆ O ₁₃	[M+H] ⁺	534.114	1.52×10 ⁵
C-己糖基木犀草素 O-己糖基戊糖苷 C-hexosyl luteolin O-hexosylpentoside	C ₃₂ H ₃₈ O ₂₀	[M+H] ⁺	742.161	1.49×10 ⁵
8-甲氧基白杨素 8-methoxychrysin	C ₁₆ H ₁₂ O ₅	[M+H] ⁺	284.058	1.30×10 ⁵
金圣草黄素 O-芥子酰己糖苷 Chrysoeriol O-sinapoylhexoside	C ₃₃ H ₃₂ O ₁₅	[M+H] ⁺	668.146	1.04×10 ⁵
8-C-己糖基-金圣草黄素 O-阿魏酰基己糖苷 8-C-hexosyl-chrysoeriol O-feruloylhexoside	C ₃₈ H ₄₀ O ₁₉	[M+H] ⁺	800.181	9.87×10 ⁴
野鸢尾苷 Iridin	C ₂₄ H ₂₆ O ₁₃	[M+H] ⁺	522.114	4.96×10 ⁴
槲皮苷 Quercitrin	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	[M+H] ⁺	448.082	4.82×10 ⁴
氯化矢车菊素 Cyanidin chloride	C ₁₅ H ₁₁ ClO ₆	[M] ⁺	322.697	4.16×10 ⁴
7,4'-二羟基黄酮 7,4'-dihydroxyflavone	C ₁₅ H ₁₀ O ₄	[M+H] ⁺	254.049	3.57×10 ⁴
芹菜素-7-O-(6-O-丙二酰基)-葡萄糖苷 Apigenin-7-O-(6-O-malonyl)-glucoside	C ₂₃ H ₂₂ O ₁₃	[M+H] ⁺	518.085	2.53×10 ⁴
木犀草素 O-芥子酰己糖苷 Luteolin O-sinapoylhexoside	C ₃₂ H ₃₀ O ₁₅	[M+H] ⁺	654.132	2.26×10 ⁴
5,7-二羟基-3',4',5'-三甲氧基黄酮 5,7-dihydroxy-3',4',5'-trimethoxyflavone	C ₁₈ H ₁₆ O ₇	[M+H] ⁺	344.076	2.06×10 ⁴
异鼠李素 C-己糖苷 Isorhamnetin C-hexoside	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₂	[M+H] ⁺	478.091	1.78×10 ⁴
香叶木素-7-O-(6'-O-丙二酰基)-β-D-葡萄糖苷 Diosmetin-7-O-(6'-O-malonyl)-β-D-glucoside	C ₂₅ H ₂₄ O ₁₄	[M+H] ⁺	548.094	1.74×10 ⁴
3,7-二-O-甲基槲皮素 3,7-di-O-methylquercetin	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	[M-H] ⁻	330.061	1.93×10 ⁷
儿茶素 Catechin	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	[M-H] ⁻	290.067	1.91×10 ⁷
木犀草素-7-O-β-D-芸香糖苷 Luteolin-7-O-β-D-rutin	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	[M-H] ⁻	594.132	1.51×10 ⁷
(-)-表没食子儿茶素(-)-epigallocatechin	C ₁₅ H ₁₄ O ₇	[M-H] ⁻	306.061	8.55×10 ⁶
木犀草素-7-O-β-D-芦丁 Luteolin-7-O-β-D-glucuronide	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	[M-H] ⁻	448.082	6.85×10 ⁶
圣草酚 Eriodictyol	C ₁₅ H ₁₂ O ₆	[M-H] ⁻	288.053	3.93×10 ⁶
木犀草素 C-己糖苷 Luteolin C-hexoside	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	[M-H] ⁻	448.082	3.29×10 ⁶
槲皮素-3-O-刺槐甙 Quercetin-3-O-robibioside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	[M-H] ⁻	610.126	1.88×10 ⁶
山柰酚 Kaempferol	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	[M-H] ⁻	286.038	1.53×10 ⁶
芦丁 Rutin	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	[M-H] ⁻	610.126	1.46×10 ⁶
异鼠李素 Isorhamnetin	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	[M-H] ⁻	316.047	1.30×10 ⁶
槲皮素 O-芸香苷-己糖 Quercetin O-rutinoside-hexose	C ₃₃ H ₄₀ O ₂₁	[M-H] ⁻	772.170	1.02×10 ⁶
异鼠李素-3-O-芸香糖苷 Isorhamnetin-3-O-rutinoside	C ₂₈ H ₃₂ O ₁₆	[M-H] ⁻	624.140	8.28×10 ⁵
金丝桃苷 Hyperin	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	[M-H] ⁻	464.076	7.77×10 ⁵
金圣草黄素 O-葡萄糖醛酸 Chrysoeriol O-glucuronic acid	C ₂₂ H ₂₀ O ₁₂	[M-H] ⁻	476.076	7.42×10 ⁵
牡荆素 Vitexin	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	[M-H] ⁻	432.088	6.19×10 ⁵
异牡荆素 Isovitexin	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	[M-H] ⁻	432.088	6.09×10 ⁵
山柰酚-3,7-O-α-L-二鼠李糖苷 Kaempferol-3,7-O-α-L-dirhamnoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₄	[M-H] ⁻	578.137	5.47×10 ⁵
木犀草素 Luteolin	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	[M-H] ⁻	286.038	5.41×10 ⁵
金圣草黄素-5-O-己糖苷 Chrysoeriol-5-O-hexoside	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₁	[M-H] ⁻	462.096	4.36×10 ⁵
槲皮素-3-O-葡萄糖苷 Quercetin-3-O-glucoside	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	[M-H] ⁻	464.076	3.88×10 ⁵
金圣草黄素-7-O-己糖苷 Chrysoeriol-7-O-hexoside	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₁	[M-H] ⁻	462.096	3.14×10 ⁵
山柰酚-7-O-葡萄糖苷 Kaempferol-7-O-glucoside	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	[M-H] ⁻	448.082	3.03×10 ⁵
异鼠李素-3-O-β-(2''-O-乙酰基-β-D-葡萄糖醛酸) Isorhamnetin-3-O-β-(2''-O-acetyl-β-D-glucuronide)	C ₂₄ H ₂₂ O ₁₄	[M-H] ⁻	534.080	2.97×10 ⁵

续表2 Table 2 (Continued)

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
4-羟基黄酮-7-O-β-D-葡萄糖苷 4-hydroxyflavone-7-O-β-D-glucoside	C ₂₁ H ₁₈ O ₁₂	[M-H] ⁻	462.062	2.48×10 ⁵
木犀草苷 Cynaroside	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	[M-H] ⁻	448.082	2.19×10 ⁵
金圣草黄素 C-戊糖基-O-二己糖苷 Chrysoeriol C-pentosyl-O-hexosyl-O-dihexoside	C ₃₃ H ₄₀ O ₂₀	[M-H] ⁻	756.175	2.15×10 ⁵
乙酰己糖苷异鼠李素 Acetyl hexoside isorhamnetin	C ₂₄ H ₂₄ O ₁₃	[M-H] ⁻	520.100	1.51×10 ⁵
芹菜素-3-O-α-L-鼠李糖苷 Apigenin-3-O-α-L-rhamnoside	C ₂₂ H ₂₄ O ₈	[M-H] ⁻	416.128	1.25×10 ⁵
芹菜素 O-己糖基-O-芸香糖苷 Apigenin O-hexosyl-O-rutinoside	C ₃₃ H ₄₀ O ₁₉	[M-H] ⁻	740.181	1.09×10 ⁵
异鼠李素 O-乙酰己糖苷 Isorhamnetin O-acetylhexoside	C ₂₄ H ₂₄ O ₁₃	[M-H] ⁻	520.100	9.04×10 ⁴
芹菜素-4-O-鼠李糖苷 Apigenin-4-O-rhamnoside	C ₂₁ H ₂₀ O ₉	[M-H] ⁻	416.093	7.91×10 ⁴
氯化芹菜定 Apigeninidin chloride	C ₁₅ H ₁₁ ClO ₄	[M-H] ⁻	290.698	7.27×10 ⁴
槲皮素-3-O-α-L-吡喃阿拉伯糖苷 Quercetin-3-O-α-L-arabinopyranoside	C ₂₀ H ₁₈ O ₁₁	[M-H] ⁻	434.068	2.62×10 ⁴
8-甲氧基山柰酚 8-methoxykaempferol	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	[M-H] ⁻	316.047	1.71×10 ⁴

2.2.2 脂质类化合物组成分析 对云南香格里拉西南鸢尾地上部分脂质类化合物的分析结果(表 3)表明:在检测到的 58 种脂质类化合物中,有 31 种化合物在正离子模式下被检出[其中,磷脂酰胆碱(18:2)和磷脂酰胆碱(18:2)异构体在[M]⁺模式下被检出,其余化合物均在[M+H]⁺模式下被检出],剩余 27 种化

合物在负离子模式下被检出。根据各化合物的色谱峰相对面积判断化合物的相对含量水平,结果显示:硬脂酸的相对含量最高(色谱峰相对面积 1.35×10⁸),γ-亚麻酸、反油酸、11-十八碳烯酸、磷脂酰胆碱(18:2)和溶血磷脂酰胆碱(18:2)等 14 种脂质类化合物的相对含量较高(色谱峰相对面积在 1.0×10⁷以上)。

表 3 云南香格里拉西南鸢尾地上部分的脂质类化合物分析

Table 3 Analysis on lipids in above-ground part of *Iris bulleyana* Dykes from Shangri-La of Yunnan Province

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
磷脂酰胆碱(18:2)PC(18:2)	C ₂₆ H ₅₁ NO ₇ P	[M] ⁺	520.304	3.27×10 ⁷
溶血磷脂酰胆碱(18:2)LysoPC(18:2)	C ₂₆ H ₅₀ NO ₇ P	[M+H] ⁺	519.296	3.20×10 ⁷
磷脂酰胆碱(18:2)异构体 IsoPC(18:2)	C ₂₆ H ₅₁ NO ₇ P	[M] ⁺	520.304	2.34×10 ⁷
4-羟基鞘氨醇 4-hydroxysphinganine	C ₁₈ H ₃₉ NO ₃	[M+H] ⁺	317.266	1.20×10 ⁷
溶血磷脂酰胆碱(18:3)LysoPC(18:3)	C ₂₆ H ₄₈ NO ₇ P	[M+H] ⁺	517.282	1.08×10 ⁷
十六烷基神经鞘氨醇 Hexadecyl sphingosine	C ₁₆ H ₃₅ NO ₂	[M+H] ⁺	273.243	1.04×10 ⁷
溶血磷脂酰胆碱(18:3)(2n 异构)LysoPC(18:3)(2n isomer)	C ₂₆ H ₄₈ NO ₇ P	[M+H] ⁺	517.282	8.26×10 ⁶
溶血磷脂酰胆碱(16:0)(2n 异构)LysoPC(16:0)(2n isomer)	C ₂₄ H ₅₀ NO ₇ P	[M+H] ⁺	495.296	7.64×10 ⁶
溶血磷脂酰胆碱(18:1)LysoPC(18:1)	C ₂₆ H ₅₂ NO ₇ P	[M+H] ⁺	521.311	5.57×10 ⁶
溶血磷脂酰乙醇胺(16:0)LysoPE(16:0)	C ₂₁ H ₄₄ NO ₇ P	[M+H] ⁺	453.253	5.06×10 ⁶
石榴酸 Punicic acid	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	[M+H] ⁺	278.205	5.03×10 ⁶
单酰甘油酯(18:3)异构 1 MAG(18:3) isomer 1	C ₂₁ H ₃₆ O ₄	[M+H] ⁺	352.237	4.56×10 ⁶
溶血磷脂酰胆碱(16:0)LysoPC(16:0)	C ₂₄ H ₅₀ NO ₇ P	[M+H] ⁺	495.296	4.40×10 ⁶
溶血磷脂酰胆碱(16:1)LysoPC(16:1)	C ₂₄ H ₅₀ NO ₇ P	[M+H] ⁺	495.296	4.00×10 ⁶
2,3-二羟基丙基-9,12,15-十八碳三酸酯-己糖-己糖 2,3-dihydroxypropyl-9,12,15-octadecatrienoate-hexose-hexose	C ₃₃ H ₅₆ O ₁₄	[M+H] ⁺	676.324	1.69×10 ⁶
溶血磷脂酰胆碱(18:0)LysoPC(18:0)	C ₂₆ H ₅₄ NO ₇ P	[M+H] ⁺	523.325	1.53×10 ⁶
1-硬脂酰-甘油-3-磷酸胆碱 1-stearoyl-glycero-3-phosphocholine	C ₂₆ H ₅₄ NO ₇ P	[M+H] ⁺	523.325	1.49×10 ⁶
单酰甘油酯(18:3)异构 3 MAG(18:3) isomer 3	C ₂₁ H ₃₆ O ₄	[M+H] ⁺	352.237	1.30×10 ⁶
甘氨酸胆碱 GPC	C ₈ H ₂₀ NO ₆ P	[M+H] ⁺	257.103	6.76×10 ⁵
单酰甘油酯(18:2)MAG(18:2)	C ₂₁ H ₃₈ O ₄	[M+H] ⁺	354.251	5.73×10 ⁵
单酰甘油酯(18:3)异构 5 MAG(18:3) isomer 5	C ₂₁ H ₃₆ O ₄	[M+H] ⁺	352.237	4.88×10 ⁵

续表3 Table 3 (Continued)

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
溶血磷脂酰乙醇胺(18:2)(2n异构)LysoPE(18:2)(2n isomer)	C ₂₃ H ₄₄ NO ₇ P	[M+H] ⁺	477.253	3.58×10 ⁵
溶血磷脂酰胆碱(15:0)LysoPC(15:0)	C ₂₃ H ₄₈ NO ₇ P	[M+H] ⁺	481.282	2.76×10 ⁵
溶血磷脂酰胆碱(17:0)LysoPC(17:0)	C ₂₅ H ₅₂ NO ₇ P	[M+H] ⁺	509.311	2.60×10 ⁵
溶血磷脂酰乙醇胺(18:1)(2n异构)LysoPE(18:1)(2n isomer)	C ₂₃ H ₄₆ NO ₇ P	[M+H] ⁺	479.268	1.51×10 ⁵
2,3-二羟基丙基-9,12-十八碳二酸酯-己糖-己糖 2,3-dihydroxypropyl-9,12-octadecadienoate-hexose-hexose	C ₃₃ H ₅₈ O ₁₄	[M+H] ⁺	678.339	1.18×10 ⁵
溶血磷脂酰胆碱(14:0)(2n异构)LysoPC(14:0)(2n isomer)	C ₂₂ H ₄₆ NO ₇ P	[M+H] ⁺	467.268	1.05×10 ⁵
溶血磷脂酰乙醇胺(14:0)LysoPE(14:0)	C ₁₉ H ₄₀ NO ₇ P	[M+H] ⁺	425.224	5.53×10 ⁴
单酰甘油酯(18:3)异构2 MAG(18:3) isomer 2	C ₂₁ H ₃₆ O ₄	[M+H] ⁺	352.237	4.92×10 ⁴
单酰甘油酯(18:3)异构4 MAG(18:3) isomer 4	C ₂₁ H ₃₆ O ₄	[M+H] ⁺	352.237	3.85×10 ⁴
溶血磷脂酰胆碱(15:1)LysoPC(15:1)	C ₂₃ H ₄₆ NO ₇ P	[M+H] ⁺	479.268	3.23×10 ⁴
硬脂酸 Stearic acid	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	[M-H] ⁻	284.248	1.35×10 ⁸
γ-亚麻酸 γ-linolenic acid	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	[M-H] ⁻	278.205	6.06×10 ⁷
反油酸 Elaidic acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	[M-H] ⁻	282.234	4.40×10 ⁷
11-十八碳烯酸 11-octadecanoic acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	[M-H] ⁻	282.234	4.07×10 ⁷
9-羟基-12-氧代-10-十八酸 9-hydroxy-12-oxo-10-octadecanoic acid	C ₁₈ H ₃₂ O ₄	[M-H] ⁻	312.208	2.67×10 ⁷
十六酸-2,3-二羟基丙基酯 Hexadecanoic acid-2,3-dihydroxypropyl ester	C ₁₉ H ₃₈ O ₄	[M-H] ⁻	330.251	2.13×10 ⁷
9-羟基十八碳三烯酸 9-hydroxyoctadecenoic acid	C ₁₈ H ₃₀ O ₃	[M-H] ⁻	294.199	2.04×10 ⁷
9,10,13-三羟基-11-十八二烯酸 9,10,13-trihydroxy-11-octadecadienoic acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₅	[M-H] ⁻	330.217	1.89×10 ⁷
肉豆蔻酸 Myristic acid	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	[M-H] ⁻	228.190	1.83×10 ⁷
二十碳二烯酸 Eicosadienoic acid	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	[M-H] ⁻	308.248	9.95×10 ⁶
12,13-环氧十八碳二烯酸 12,13-epoxyoctadecadienoic acid	C ₁₈ H ₃₂ O ₃	[M-H] ⁻	296.214	5.80×10 ⁶
9,12,13-三羟基-10,15-十八二烯酸 9,12,13-trihydroxy-10,15-octadecadienoic acid	C ₁₈ H ₃₂ O ₅	[M-H] ⁻	328.202	4.53×10 ⁶
13-酮十八碳二烯酸 13-ketooctadecadienoic acid	C ₁₈ H ₃₀ O ₃	[M-H] ⁻	294.199	3.33×10 ⁶
9,10-二羟基-12-十八酸 9,10-dihydroxy-12-octadecenoic acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₄	[M-H] ⁻	314.222	2.52×10 ⁶
9-羟基-10,12-十八碳二烯酸 9-hydroxy-10,12-octadecadienoic acid	C ₁₈ H ₃₂ O ₃	[M-H] ⁻	296.214	1.18×10 ⁶
溶血磷脂酰乙醇胺(16:0)(2n异构)LysoPE(16:0)(2n isomer)	C ₂₁ H ₄₄ NO ₇ P	[M-H] ⁻	453.253	1.17×10 ⁶
13-羟基-9,11-十八碳二烯酸 13-hydroxy-9,11-octadecadienoic acid	C ₁₈ H ₃₂ O ₃	[M-H] ⁻	296.214	1.16×10 ⁶
顺式-4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸 <i>Cis</i> -4,7,10,13,16,19-docosahexaenoic acid	C ₂₂ H ₃₂ O ₂	[M-H] ⁻	328.219	9.09×10 ⁵
9,10-环氧十八碳二烯酸 9,10-epoxyoctadecadienoic acid	C ₁₈ H ₃₂ O ₃	[M-H] ⁻	296.214	7.24×10 ⁵
溶血磷脂酰乙醇胺(18:1)LysoPE(18:1)	C ₂₃ H ₄₆ NO ₇ P	[M-H] ⁻	479.268	7.16×10 ⁵
月桂酸 Lauric acid	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	[M-H] ⁻	200.162	5.60×10 ⁵
9S-羟基-10E,12E-十八碳二烯酸 9S-hydroxy-10E,12E-octadecadienoic acid	C ₁₈ H ₃₂ O ₃	[M-H] ⁻	296.214	4.70×10 ⁵
10,16-二羟基棕榈酸 10,16-dihydroxypalmitic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₄	[M-H] ⁻	288.208	2.38×10 ⁵
13-羟基十八碳三烯酸 13-hydroxyoctadecenoic acid	C ₁₈ H ₃₀ O ₃	[M-H] ⁻	294.199	1.88×10 ⁵
α-亚麻酸 α-linolenic acid	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	[M-H] ⁻	278.205	1.31×10 ⁵
12-羟基十二酸 12-hydroxydodecanoic acid	C ₁₂ H ₂₄ O ₃	[M-H] ⁻	216.156	8.36×10 ⁴
棕榈油酸 Palmitoleic acid	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	[M-H] ⁻	254.205	1.79×10 ⁴

2.2.3 氨基酸及其衍生物组成分析 对云南香格里拉西南鸢尾地上部分氨基酸及其衍生物的分析结果(表4)表明:在检测到的52种氨基酸及其衍生物中,有36种化合物在正离子模式下被检出,剩余16种化合物在负离子模式下被检出。根据各化合物的色谱峰相对面积判断化合物的相对含量水平,结果显示:L-亮氨酸的相对含量最高(色谱峰相对面积 9.27×10^7),

L-脯氨酸、L-异亮氨酸、L-缬氨酸、L-色氨酸和L-酪氨酸的相对含量较高(色谱峰相对面积在 2.0×10^7 以上),L-谷氨酸、L-赖氨酸、L-苏氨酸、L-甲硫氨酸和L-精氨酸等氨基酸的相对含量也较高(色谱峰相对面积在 1.00×10^5 以上),并且大部分氨基酸是动物的必需氨基酸。此外,5-羟基色氨酸、2-氨基异丁酸、N,N-二甲基甘氨酸等氨基酸衍生物的相对含量也较高。

表 4 云南香格里拉西南鸢尾地上部分的氨基酸及其衍生物分析

Table 4 Analysis on amino acids and their derivatives in above-ground part of *Iris bulleyana* Dykes from Shangri-La of Yunnan Province

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
L-亮氨酸 L-leucine	C ₆ H ₁₃ NO ₂	[M+H] ⁺	131.085	9.27×10 ⁷
L-脯氨酸 L-proline	C ₅ H ₉ NO ₂	[M+H] ⁺	115.056	8.64×10 ⁷
L-异亮氨酸 L-isoleucine	C ₆ H ₁₃ NO ₂	[M+H] ⁺	131.085	8.59×10 ⁷
L-缬氨酸 L-valine	C ₅ H ₁₁ NO ₂	[M+H] ⁺	117.070	3.60×10 ⁷
L-色氨酸 L-tryptophan	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₂	[M+H] ⁺	204.080	3.49×10 ⁷
L-酪氨酸 L-tyrosine	C ₉ H ₁₁ NO ₃	[M+H] ⁺	181.065	2.47×10 ⁷
5-羟基色氨酸 5-hydroxytryptophan	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₃	[M+H] ⁺	220.075	9.90×10 ⁶
2-氨基异丁酸 2-aminoisobutyric acid	C ₄ H ₉ NO ₂	[M+H] ⁺	103.056	9.38×10 ⁶
L-正亮氨酸 L-norleucine	C ₆ H ₁₃ NO ₂	[M+H] ⁺	131.085	7.49×10 ⁶
N,N-二甲基甘氨酸 N,N-dimethylglycine	C ₄ H ₉ NO ₂	[M+H] ⁺	103.056	5.91×10 ⁶
DL-甲硫氨酸亚砷 DL-methionine sulfoxide	C ₅ H ₁₁ NO ₃ S	[M+H] ⁺	165.036	3.37×10 ⁶
N-乙酰-L-亮氨酸 N-acetyl-L-leucine	C ₈ H ₁₅ NO ₃	[M+H] ⁺	173.094	2.73×10 ⁶
L-谷氨酸 L-glutamic acid	C ₅ H ₉ NO ₄	[M+H] ⁺	147.045	2.48×10 ⁶
L-谷氨酰胺 L-glutamine	C ₅ H ₁₀ N ₂ O ₃	[M+H] ⁺	146.060	2.30×10 ⁶
L-赖氨酸 L-lysine	C ₆ H ₁₄ N ₂ O ₂	[M+H] ⁺	146.095	1.52×10 ⁶
1,2-N-甲基哌啶酸 1,2-N-methylpiperidic acid	C ₇ H ₁₃ NO ₂	[M+H] ⁺	143.085	1.35×10 ⁶
D-苯丙氨酸 D-phenylalanine	C ₉ H ₁₁ NO ₂	[M+H] ⁺	165.070	1.07×10 ⁶
N-甘氨酸-L-亮氨酸 N-glycyl-L-leucine	C ₈ H ₁₆ N ₂ O ₃	[M+H] ⁺	188.103	9.92×10 ⁵
DL-亮氨酸-DL-苯基丙氨酸 DL-leucyl-DL-phenylalanine	C ₁₅ H ₂₂ N ₂ O ₃	[M+H] ⁺	278.147	9.08×10 ⁵
甘氨酸-DL-苯丙氨酸 Glycyl-DL-phenylalanine	C ₁₁ H ₁₄ N ₂ O ₃	[M+H] ⁺	222.089	8.85×10 ⁵
O-乙酰-L-丝氨酸 O-acetyl-L-serine	C ₅ H ₉ NO ₄	[M+H] ⁺	147.045	7.66×10 ⁵
N-甘氨酸-L-异亮氨酸 N-glycyl-L-isoleucine	C ₈ H ₁₆ N ₂ O ₃	[M+H] ⁺	188.103	7.21×10 ⁵
L-苏氨酸 L-threonine	C ₄ H ₉ NO ₃	[M+H] ⁺	119.050	6.59×10 ⁵
DL-丙氨酸-DL-苯基丙氨酸 DL-alanyl-DL-phenylalanine	C ₁₂ H ₁₆ N ₂ O ₃	[M+H] ⁺	236.103	4.19×10 ⁵
N'-甲酰-L-犬尿氨酸 N'-formyl-L-kynurenine	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₄	[M+H] ⁺	236.069	3.06×10 ⁵
L-天冬氨酸-L-苯丙氨酸 L-aspartyl-L-phenylalanine	C ₁₃ H ₁₆ N ₂ O ₅	[M+H] ⁺	280.092	2.90×10 ⁵
5-氨基戊酸 5-aminovaleric acid	C ₅ H ₁₁ NO ₂	[M+H] ⁺	117.070	2.90×10 ⁵
N-α-乙酰-L-精氨酸 N-α-acetyl-L-arginine	C ₈ H ₁₆ N ₄ O ₃	[M+H] ⁺	216.108	2.16×10 ⁵
N-乙酰-L-酪氨酸 N-acetyl-L-tyrosine	C ₁₁ H ₁₃ NO ₄	[M+H] ⁺	223.074	2.11×10 ⁵
L-酪胺 L-tyramine	C ₈ H ₁₁ NO	[M+H] ⁺	137.076	1.12×10 ⁵
L-甲硫氨酸 L-methionine	C ₅ H ₁₁ NO ₂ S	[M+H] ⁺	149.042	1.08×10 ⁵
L-精氨酸 L-arginine	C ₆ H ₁₄ N ₄ O ₂	[M+H] ⁺	174.100	1.01×10 ⁵
N6-乙酰-L-赖氨酸 N6-acetyl-L-lysine	C ₈ H ₁₆ N ₂ O ₃	[M+H] ⁺	188.103	8.67×10 ⁴
L-高胱氨酸 L-homocystine	C ₈ H ₁₆ N ₂ O ₄ S ₂	[M+H] ⁺	268.041	6.87×10 ⁴
L-苯丙氨酸-L-苯丙氨酸 L-phenylalanyl-L-phenylalanine	C ₁₈ H ₂₀ N ₂ O ₃	[M+H] ⁺	312.132	5.96×10 ⁴
N-(3-吲哚乙酰)-L-丙氨酸 N-(3-indolylacetyl)-L-alanine	C ₁₃ H ₁₄ N ₂ O ₃	[M+H] ⁺	246.089	3.88×10 ⁴
L-天冬氨酸 L-aspartic acid	C ₄ H ₇ NO ₄	[M-H] ⁻	133.030	2.01×10 ⁶
N-乙酰-D-色氨酸 N-acetyl-D-tryptophan	C ₁₃ H ₁₄ N ₂ O ₃	[M-H] ⁻	246.089	1.69×10 ⁶
N-乙酰-DL-色氨酸 N-acetyl-DL-tryptophan	C ₁₃ H ₁₄ N ₂ O ₃	[M-H] ⁻	290.112	1.48×10 ⁶
氧化型谷胱甘肽 Oxidized glutathione	C ₂₀ H ₃₂ N ₆ O ₁₂ S ₂	[M-H] ⁻	612.121	8.04×10 ⁵
N-α-乙酰-L-谷氨酰胺 N-α-acetyl-L-glutamine	C ₇ H ₁₂ N ₂ O ₄	[M-H] ⁻	188.069	2.58×10 ⁵
N-丙酰甘氨酸 N-propionyl glycine	C ₅ H ₉ NO ₃	[M-H] ⁻	131.050	2.02×10 ⁵
5-氧化-L-脯氨酸 5-oxo-L-proline	C ₅ H ₇ NO ₃	[M-H] ⁻	129.036	1.64×10 ⁵
L-焦谷氨酸 L-pyroglutamic acid	C ₅ H ₇ NO ₃	[M-H] ⁻	129.036	1.45×10 ⁵
N-乙酰-天冬氨酸 N-acetyl-aspartate	C ₆ H ₉ NO ₅	[M-H] ⁻	175.039	6.95×10 ⁴
D-丝氨酸 D-serine	C ₃ H ₇ NO ₃	[M-H] ⁻	105.036	6.65×10 ⁴

续表4 Table 4 (Continued)

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
<i>N</i> -乙酰-L-苏氨酸 <i>N</i> -acetyl-L-threonine	C ₆ H ₁₁ NO ₄	[M-H] ⁻	161.059	4.59×10 ⁴
2,3-二甲基丁氨酸 2,3-dimethylsuccinic acid	C ₆ H ₈ O ₄	[M-H] ⁻	144.035	3.57×10 ⁴
5-L-谷氨酰-L-丙氨酸 5-L-glutamyl-L-alanine	C ₈ H ₁₄ N ₂ O ₅	[M-H] ⁻	218.078	3.17×10 ⁴
己酰甘氨酸 Hexanoyl glycine	C ₈ H ₁₅ NO ₃	[M-H] ⁻	173.094	2.07×10 ⁴
<i>N</i> -苯乙酰-L-谷氨酰胺 <i>N</i> -phenylacetyl-L-glutamine	C ₁₃ H ₁₆ N ₂ O ₄	[M-H] ⁻	264.098	1.91×10 ⁴
D-丙氨酰-D-丙氨酸 D-alanyl-D-alanine	C ₆ H ₁₂ N ₂ O ₃	[M-H] ⁻	160.075	2.70×10 ³

2.2.4 酚酸类化合物组成分析 对云南香格里拉西南鸢尾地上部分酚酸类化合物的分析结果(表5)表明:在检测到的40种酚酸类化合物中,有6种化合物在正离子模式下被检出,剩余34种化合物在负离子模式下被检出。根据各化合物的色谱峰相对面积判断化合物的相对含量水平,结果显示:龙胆酸、对羟基

苯甲酸和咖啡酸的相对含量明显高于其他酚酸类化合物,色谱峰相对面积分别为 2.45×10^7 、 1.21×10^7 和 1.00×10^7 ;反式-阿魏酸、阿魏酸、山梨酸、香草酸、三羟基肉桂酰奎尼酸、4-羟基苯甲醛、芥子酸、芥子醛和邻苯二甲酸酐的相对含量也较高,色谱峰相对面积均在 1.00×10^6 以上。

表5 云南香格里拉西南鸢尾地上部分的酚酸类化合物分析

Table 5 Analysis on phenolic acids in above-ground part of *Iris bulleyana* Dykes from Shangri-La of Yunnan Province

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
邻苯二甲酸酐 <i>o</i> -phthalic anhydride	C ₈ H ₄ O ₃	[M+H] ⁺	148.012	1.42×10 ⁶
对香豆酸 <i>p</i> -coumaric acid	C ₉ H ₈ O ₃	[M+H] ⁺	164.041	3.61×10 ⁵
3- <i>O</i> -阿魏酰奎宁酸 3- <i>O</i> -feruloyl quinic acid	C ₁₇ H ₂₀ O ₉	[M+H] ⁺	368.093	1.35×10 ⁵
4-羟基-3,5-二异丙基苯甲醛 4-hydroxy-3,5-diisopropylbenzaldehyde	C ₁₃ H ₁₈ O ₂	[M+H] ⁺	206.118	4.89×10 ⁴
3,4,5-三甲氧基苯甲酸 3,4,5-trimethoxybenzoic acid	C ₁₀ H ₁₂ O ₅	[M+H] ⁺	212.058	2.41×10 ⁴
异绿原酸 B Isochlorogenic acid B	C ₂₅ H ₂₄ O ₁₂	[M+H] ⁺	516.105	1.67×10 ⁴
龙胆酸 Gentisic acid	C ₇ H ₆ O ₄	[M-H] ⁻	154.021	2.45×10 ⁷
对羟基苯甲酸 <i>p</i> -hydroxybenzoic acid	C ₇ H ₆ O ₃	[M-H] ⁻	138.026	1.21×10 ⁷
咖啡酸 Caffeic acid	C ₉ H ₈ O ₄	[M-H] ⁻	180.035	1.00×10 ⁷
反式-阿魏酸 <i>Trans</i> -ferulic acid	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	[M-H] ⁻	194.049	8.92×10 ⁶
阿魏酸 Ferulic acid	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	[M-H] ⁻	194.049	8.72×10 ⁶
山梨酸 Sorbic acid	C ₉ H ₈ O ₄	[M-H] ⁻	180.035	7.09×10 ⁶
香草酸 Vanillic acid	C ₈ H ₈ O ₄	[M-H] ⁻	168.035	4.81×10 ⁶
三羟基肉桂酰奎尼酸 Trihydroxycinnamoylquinic acid	C ₁₆ H ₂₀ O ₁₀	[M-H] ⁻	372.088	3.16×10 ⁶
4-羟基苯甲醛 4-hydroxybenzaldehyde	C ₇ H ₆ O ₂	[M-H] ⁻	122.032	2.50×10 ⁶
芥子酸 Sinapic acid	C ₁₁ H ₁₂ O ₅	[M-H] ⁻	224.058	2.24×10 ⁶
芥子醛 Sinapaldehyde	C ₁₁ H ₁₂ O ₄	[M-H] ⁻	208.064	1.26×10 ⁶
1- <i>O</i> -β-D-吡喃葡萄糖基芥子酸酯 1- <i>O</i> -β-D-glucopyranosyl sinapate	C ₁₇ H ₂₂ O ₁₀	[M-H] ⁻	386.102	8.94×10 ⁵
丁香酸 <i>O</i> -葡萄糖苷 Syringic acid <i>O</i> -glucoside	C ₁₅ H ₂₀ O ₁₀	[M-H] ⁻	360.088	8.05×10 ⁵
丁香酸 Syringic acid	C ₉ H ₁₀ O ₅	[M-H] ⁻	198.044	7.83×10 ⁵
绿原酸 Chlorogenic acid	C ₁₆ H ₁₈ O ₉	[M-H] ⁻	354.079	5.50×10 ⁵
丁香醛 Syringaldehyde	C ₉ H ₁₀ O ₄	[M-H] ⁻	182.049	5.10×10 ⁵
紫丁香苷 Syringin	C ₁₇ H ₂₄ O ₉	[M-H] ⁻	372.122	4.41×10 ⁵
3-(4-羟基苯基)丙酸 3-(4-hydroxyphenyl) propionic acid	C ₉ H ₁₀ O ₃	[M-H] ⁻	166.055	3.57×10 ⁵
新绿原酸 Neochlorogenic acid	C ₁₆ H ₁₈ O ₉	[M-H] ⁻	354.079	2.96×10 ⁵
3- <i>O</i> -对香豆酰莽草酸- <i>O</i> -己糖苷 3- <i>O</i> - <i>p</i> -coumaroyl shikimic acid- <i>O</i> -hexoside	C ₂₂ H ₂₆ O ₁₂	[M-H] ⁻	482.120	1.93×10 ⁵
对香豆醇 <i>p</i> -coumaryl alcohol	C ₉ H ₁₀ O ₂	[M-H] ⁻	150.061	1.90×10 ⁵

续表5 Table 5 (Continued)

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
芥子醇 Sinapyl alcohol	C ₁₁ H ₁₄ O ₄	[M-H] ⁻	210.078	1.79×10 ⁵
5-O-对香豆酰莽草酸-O-己糖苷 5-O-p-coumaroyl shikimic acid-O-hexoside	C ₂₂ H ₂₆ O ₁₂	[M-H] ⁻	482.120	1.66×10 ⁵
反式-4-羟基肉桂酸甲酯 Trans-4-hydroxycinnamic acid methyl ester	C ₁₀ H ₁₀ O ₃	[M-H] ⁻	178.055	1.36×10 ⁵
酪醇 Tyrosol	C ₈ H ₁₀ O ₂	[M-H] ⁻	138.061	1.25×10 ⁵
二芥子酰葡萄糖苷 Disinapoyl glucoside	C ₂₈ H ₃₂ O ₁₄	[M-H] ⁻	592.152	1.11×10 ⁵
咖啡酰对香豆酰酒石酸 Caffeoyl-p-coumaroyl tartaric acid	C ₂₂ H ₁₈ O ₁₁	[M-H] ⁻	458.068	8.08×10 ⁴
3-O-(E)-对香豆酰奎宁酸 3-O-(E)-p-coumaroyl quinic acid	C ₁₆ H ₁₈ O ₈	[M-H] ⁻	338.085	5.89×10 ⁴
松果菊苷 Echinacoside	C ₃₅ H ₄₆ O ₂₀	[M-H] ⁻	786.219	5.11×10 ⁴
隐绿原酸 Cryptochlorogenic acid	C ₁₆ H ₁₈ O ₉	[M-H] ⁻	354.079	4.77×10 ⁴
咖啡酸苯乙酯 Phenethyl caffeate	C ₁₇ H ₁₆ O ₄	[M-H] ⁻	284.093	3.25×10 ⁴
香豆醛 Coumaric aldehyde	C ₉ H ₈ O ₂	[M-H] ⁻	148.046	2.98×10 ⁴
芥子酰对香豆酰氨基酸 Sinapoyl-p-coumaroyl acid	C ₂₄ H ₂₂ O ₁₂	[M-H] ⁻	502.091	2.66×10 ⁴
邻甲氧基苯甲酸 o-methoxybenzoic acid	C ₈ H ₈ O ₃	[M-H] ⁻	152.041	2.10×10 ⁴

2.2.5 有机酸类化合物组成分析 对云南香格里拉西南鸢尾地上部分有机酸类化合物的分析结果(表 6)表明:在检测到的 36 种有机酸类化合物中,有 8 种化合物在正离子模式下被检出,剩余 28 种化合物在负离子模式在被检出(其中,丙戊酸钠在 [M-Na]⁻ 模式下被检出,其余化合物均在 [M-H]⁻ 模式下被检出)。根据各化合物的色谱峰相对面积判断化合物

的相对含量水平,结果显示:6-氨基己酸、犬尿酸、4-乙酰氨基丁酸、4-胍基丁酸、原儿茶酸、2,3-二羟基苯甲酸、丙戊酸钠、(-)-莽草酸、奎尼酸、木糖酸、甲基丙二酸、没食子酸、柠檬酸、2-甲基丁二酸、(S)-(-)-2-羟基异己酸、延胡索酸、苹果酸、壬二酸、2-甲基戊二酸、己二酸和辛二酸的相对含量较高,色谱峰相对面积均在 1.00×10⁶ 以上。

表 6 云南香格里拉西南鸢尾地上部分的有机酸类化合物分析

Table 6 Analysis on organic acids in above-ground part of *Iris bulleyana* Dykes from Shangri-La of Yunnan Province

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
6-氨基己酸 6-aminocaproic acid	C ₆ H ₁₃ NO ₂	[M+H] ⁺	131.085	2.81×10 ⁷
犬尿酸 Kynurenic acid	C ₁₀ H ₇ NO ₃	[M+H] ⁺	189.036	8.45×10 ⁶
4-乙酰氨基丁酸 4-acetamidobutyric acid	C ₆ H ₁₁ NO ₃	[M+H] ⁺	145.065	3.67×10 ⁶
4-胍基丁酸 4-guanidinobutyric acid	C ₅ H ₁₁ N ₃ O ₂	[M+H] ⁺	145.076	3.56×10 ⁶
犬尿酸 Kynurenine	C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O ₃	[M+H] ⁺	208.075	1.28×10 ⁵
原儿茶醛 Protocatechuic aldehyde	C ₇ H ₆ O ₃	[M+H] ⁺	138.026	1.04×10 ⁵
肌酸 Creatine	C ₄ H ₉ N ₃ O ₂	[M+H] ⁺	131.061	1.00×10 ⁵
肌酸酐 Creatinine	C ₄ H ₇ N ₃ O	[M+H] ⁺	113.052	2.55×10 ⁴
原儿茶酸 Protocatechuic acid	C ₇ H ₆ O ₄	[M-H] ⁻	154.021	8.10×10 ⁷
2,3-二羟基苯甲酸 2,3-dihydroxybenzoic acid	C ₇ H ₆ O ₄	[M-H] ⁻	154.021	5.91×10 ⁷
丙戊酸钠 Sodium valproate	C ₈ H ₁₅ NaO ₂	[M-Na] ⁻	166.086	2.83×10 ⁷
(-)-莽草酸 (-)-shikimic acid	C ₇ H ₁₀ O ₅	[M-H] ⁻	174.044	1.03×10 ⁷
奎尼酸 Quinic acid	C ₇ H ₁₂ O ₆	[M-H] ⁻	192.053	9.19×10 ⁶
木糖酸 Xylonic acid	C ₅ H ₁₀ O ₆	[M-H] ⁻	166.038	7.96×10 ⁶
甲基丙二酸 Methylmalonic acid	C ₄ H ₆ O ₄	[M-H] ⁻	118.021	5.40×10 ⁶
没食子酸 Gallic acid	C ₇ H ₆ O ₅	[M-H] ⁻	170.015	4.52×10 ⁶
柠檬酸 Citric acid	C ₆ H ₈ O ₇	[M-H] ⁻	192.018	4.13×10 ⁶
2-甲基丁二酸 2-methylsuccinic acid	C ₅ H ₈ O ₄	[M-H] ⁻	132.035	3.67×10 ⁶
(S)-(-)-2-羟基异己酸(S)-(-)-2-hydroxyisocaproic acid	C ₆ H ₁₂ O ₃	[M-H] ⁻	132.070	2.12×10 ⁶

续表6 Table 6 (Continued)

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
延胡索酸 Fumaric acid	C ₄ H ₄ O ₄	[M-H] ⁻	116.006	2.12×10 ⁶
苹果酸 Malic acid	C ₄ H ₆ O ₅	[M-H] ⁻	134.015	1.89×10 ⁶
壬二酸 Azelaic acid	C ₉ H ₁₆ O ₄	[M-H] ⁻	188.093	1.69×10 ⁶
2-甲基戊二酸 2-methylglutaric acid	C ₆ H ₁₀ O ₄	[M-H] ⁻	146.049	1.67×10 ⁶
己二酸 Adipic acid	C ₆ H ₁₀ O ₄	[M-H] ⁻	146.049	1.57×10 ⁶
辛二酸 Suberic acid	C ₈ H ₁₄ O ₄	[M-H] ⁻	174.078	1.10×10 ⁶
苯乙醛酸 Phenylglyoxalic acid	C ₈ H ₆ O ₃	[M-H] ⁻	150.026	3.13×10 ⁵
邻苯二甲酸 Phthalic acid	C ₈ H ₆ O ₄	[M-H] ⁻	166.021	2.45×10 ⁵
5-羟基己酸 5-hydroxyhexanoic acid	C ₆ H ₁₂ O ₃	[M-H] ⁻	132.070	2.18×10 ⁵
3-苯基乳酸 3-phenyllactic acid	C ₉ H ₁₀ O ₃	[M-H] ⁻	166.055	1.60×10 ⁵
哌啶甲酸 Pilocolinic acid	C ₆ H ₁₁ NO ₂	[M-H] ⁻	129.070	1.50×10 ⁵
没食子酸甲酯 Methyl gallate	C ₈ H ₈ O ₅	[M-H] ⁻	184.029	8.46×10 ⁴
十二烷二酸 Dodecanedioic acid	C ₁₂ H ₂₂ O ₄	[M-H] ⁻	230.136	8.21×10 ⁴
癸二酸 Sebacic acid	C ₁₀ H ₁₈ O ₄	[M-H] ⁻	202.107	6.00×10 ⁴
α-D-半乳糖醛酸 α-D-galacturonic acid	C ₆ H ₁₀ O ₇	[M-H] ⁻	194.033	5.85×10 ⁴
犬尿酸 O-己糖苷 Kynurenic acid O-hexoside	C ₁₆ H ₁₇ NO ₈	[M-H] ⁻	351.080	2.03×10 ⁴
没食子儿茶素没食子酸酯 Gallate catechin gallate	C ₂₂ H ₁₈ O ₁₁	[M-H] ⁻	458.068	2.28×10 ³

2.2.6 核苷酸及其衍生物组成分析 对云南香格里拉西南鸢尾地上部分核苷酸及其衍生物的分析结果(表7)表明:在检测到的34种核苷酸及其衍生物中,有23种化合物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。根据各化合物的色谱

峰相对面积判断化合物的相对含量水平,结果显示:鸟苷、腺苷、2-脱氧腺苷、N6-琥珀酰腺苷、2'-脱氧鸟苷、腺嘌呤、胞苷、9-(β-D-呋喃阿糖)次黄嘌呤和黄苷的相对含量均较高,色谱峰相对面积均在1.00×10⁶以上。

表7 云南香格里拉西南鸢尾地上部分的核苷酸及其衍生物分析

Table 7 Analysis on nucleotides and their derivates in above-ground part of *Iris bulleyana* Dykes from Shangri-La of Yunnan Province

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
鸟苷 Guanosine	C ₁₀ H ₁₃ N ₅ O ₅	[M+H] ⁺	283.078	1.75×10 ⁷
腺苷 Adenosine	C ₁₀ H ₁₃ N ₅ O ₄	[M+H] ⁺	267.084	1.29×10 ⁷
2-脱氧腺苷 2-deoxyadenosine	C ₁₀ H ₁₃ N ₅ O ₃	[M+H] ⁺	251.089	9.55×10 ⁶
N6-琥珀酰腺苷 N6-succinyl adenosine	C ₁₄ H ₁₇ N ₅ O ₈	[M+H] ⁺	383.090	5.04×10 ⁶
2'-脱氧鸟苷 2'-deoxyguanosine	C ₁₀ H ₁₃ N ₅ O ₄	[M+H] ⁺	267.084	3.65×10 ⁶
腺嘌呤 Adenine	C ₅ H ₅ N ₅	[M+H] ⁺	135.049	2.23×10 ⁶
胞苷 Cytidine	C ₉ H ₁₃ N ₃ O ₅	[M+H] ⁺	243.073	1.13×10 ⁶
二甲基氨基鸟苷 Dimethylaminoguanosine	C ₁₂ H ₁₇ N ₅ O ₅	[M+H] ⁺	311.107	8.88×10 ⁵
腺苷 5'-单磷酸 Adenosine-5'-monophosphate	C ₁₀ H ₁₄ N ₅ O ₇ P	[M+H] ⁺	347.047	8.48×10 ⁵
胸苷 Thymidine	C ₁₀ H ₁₄ N ₂ O ₅	[M+H] ⁺	242.078	6.85×10 ⁵
脱氧胞苷 Deoxycytidine	C ₉ H ₁₃ N ₃ O ₄	[M+H] ⁺	227.079	5.30×10 ⁵
2'-脱氧腺苷-5'-单磷酸 2'-deoxyadenosine-5'-monophosphate	C ₁₀ H ₁₄ N ₅ O ₆ P	[M+H] ⁺	331.053	5.19×10 ⁵
胞嘧啶 Cytosine	C ₄ H ₅ N ₃ O	[M+H] ⁺	111.038	3.13×10 ⁵
鸟嘌呤 Guanine	C ₅ H ₅ N ₅ O	[M+H] ⁺	151.043	2.60×10 ⁵
次黄嘌呤 Hypoxanthine	C ₅ H ₄ N ₄ O	[M+H] ⁺	136.033	1.43×10 ⁵
5'-脱氧-5'-甲硫腺苷 5'-deoxy-5'-methylthioadenosine	C ₁₁ H ₁₅ N ₅ O ₃ S	[M+H] ⁺	297.075	1.37×10 ⁵
1-甲基腺嘌呤 1-methyladenine	C ₆ H ₇ N ₅	[M+H] ⁺	149.063	1.35×10 ⁵

续表7 Table 7 (Continued)

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
别嘌呤醇 Allopurinol	C ₅ H ₄ N ₄ O	[M+H] ⁺	136.033	1.30×10 ⁵
烟酸腺嘌呤二核苷酸 Nicotinic acid adenine dinucleotide	C ₂₁ H ₂₇ N ₇ O ₁₄ P ₂	[M+H] ⁺	663.080	9.58×10 ⁴
5-甲基胞嘧啶 5-methylcytosine	C ₅ H ₇ N ₃ O	[M+H] ⁺	125.052	4.92×10 ⁴
2-羟基-6-氨基嘌呤 2-hydroxy-6-aminopurine	C ₅ H ₅ N ₅ O	[M+H] ⁺	151.043	4.13×10 ⁴
胸腺嘧啶 Thymine	C ₅ H ₆ N ₂ O ₂	[M+H] ⁺	126.037	1.83×10 ⁴
7-甲基鸟嘌呤 7-methylguanine	C ₆ H ₇ N ₅ O	[M+H] ⁺	165.057	8.78×10 ³
9-(β-D-呋喃阿糖)次黄嘌呤 9-(β-D-arabinofuranosyl) hypoxanthine	C ₁₀ H ₁₂ N ₄ O ₅	[M-H] ⁻	268.068	3.27×10 ⁶
黄苷 Xanthosine	C ₁₀ H ₁₂ N ₄ O ₆	[M-H] ⁻	284.063	1.11×10 ⁶
尿嘧啶核苷 Uridine	C ₉ H ₁₂ N ₂ O ₆	[M-H] ⁻	244.058	7.17×10 ⁵
腺苷-3',5'-环单磷酸水合物 Adenosine 3',5'-cyclic monophosphate monohydrate	C ₁₀ H ₁₂ N ₅ O ₆ P	[M-H] ⁻	329.038	4.94×10 ⁵
黄嘌呤 Xanthine	C ₅ H ₄ N ₄ O ₂	[M-H] ⁻	152.028	1.58×10 ⁵
尿苷-5'-单核苷酸 Uridine-5'-monophosphate	C ₉ H ₁₃ N ₂ O ₉ P	[M-H] ⁻	324.021	7.95×10 ⁴
鸟苷-3',5'-环单磷酸 Guanosine-3',5'-cyclic monophosphate	C ₁₀ H ₁₂ N ₅ O ₇ P	[M-H] ⁻	345.033	6.74×10 ⁴
肌苷 Inosine	C ₁₀ H ₁₂ N ₄ O ₅	[M-H] ⁻	268.068	4.43×10 ⁴
β-假尿苷 β-pseudouridine	C ₉ H ₁₂ N ₂ O ₆	[M-H] ⁻	244.058	1.73×10 ⁴
尿苷-5'-二磷酸 Uridine-5'-diphosphate	C ₉ H ₁₄ N ₂ O ₁₂ P ₂	[M-H] ⁻	403.985	1.20×10 ⁴
腺苷-3'-磷酸 Adenosine-3'-phosphate	C ₁₀ H ₁₄ N ₅ O ₇ P	[M-H] ⁻	347.047	9.10×10 ³

2.2.7 生物碱类化合物组成分析 对云南香格里拉西南鸢尾地上部分生物碱类化合物的分析结果(表 8)表明:在检测到的 24 种生物碱类化合物中,除了吲哚-3-甲酸、吲哚-5-羧酸和 5-羟基吲哚-3-乙酸在负离子模式下被检出外,剩余 21 种化合物均在正离子模式下被检出(其中,芥子碱和阿魏酰胆碱在[M]⁺模式下

被检出,其余化合物均在[M+H]⁺模式下被检出)。根据各化合物的色谱峰相对面积判断化合物的相对含量水平,结果显示:精胺、6-脱氧莽麦碱、胆碱、N-苯亚甲基异甲胺、葫芦巴碱、甜菜碱、N-乙酰-5-羟基色胺、吲哚-3-甲醛、2-氨基己二酸和吲哚-3-甲酸的相对含量较高,色谱峰相对面积均在 1.00×10⁶以上。

表 8 云南香格里拉西南鸢尾地上部分的生物碱类化合物分析

Table 8 Analysis on alkaloids in above-ground part of *Iris bulleyana* Dykes from Shangri-La of Yunnan Province

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
精胺 Spermine	C ₁₀ H ₂₆ N ₄	[M+H] ⁺	202.197	3.31×10 ⁷
6-脱氧莽麦碱 6-deoxyfagomine	C ₆ H ₁₃ NO ₂	[M+H] ⁺	131.085	2.05×10 ⁷
胆碱 Choline	C ₅ H ₁₃ NO	[M+H] ⁺	103.091	1.72×10 ⁷
N-苯亚甲基异甲胺 N-benzylidenemethylamine	C ₈ H ₉ N	[M+H] ⁺	119.067	1.44×10 ⁷
葫芦巴碱 Trigonelline	C ₇ H ₇ NO ₂	[M+H] ⁺	137.042	9.40×10 ⁶
甜菜碱 Betaine	C ₅ H ₁₁ NO ₂	[M+H] ⁺	117.070	2.21×10 ⁶
N-乙酰-5-羟基色胺 N-acetyl-5-hydroxytryptamine	C ₁₂ H ₁₄ N ₂ O ₂	[M+H] ⁺	218.095	1.73×10 ⁶
吲哚-3-甲醛 Indole-3-carboxaldehyde	C ₉ H ₇ NO	[M+H] ⁺	145.047	1.17×10 ⁶
2-氨基己二酸 2-aminoadipic acid	C ₆ H ₁₁ NO ₄	[M+H] ⁺	161.059	1.08×10 ⁶
色胺 Tryptamine	C ₁₀ H ₁₂ N ₂	[M+H] ⁺	160.091	9.70×10 ⁵
芥子碱 Sinapine	C ₁₆ H ₂₄ NO ₅	[M] ⁺	310.147	6.59×10 ⁵
脯氨酸甜菜碱 Proline betaine	C ₇ H ₁₄ NO ₂	[M+H] ⁺	144.092	5.87×10 ⁵
烟酸甲酯 Methyl nicotinate	C ₇ H ₇ NO ₂	[M+H] ⁺	137.042	5.61×10 ⁵
阿魏酰精胺 Spermine ferulate	C ₁₅ H ₂₂ O ₃ N ₄	[M+H] ⁺	306.152	3.90×10 ⁵
椰油酰胺丙基甜菜碱 Cocoamidopropyl betaine	C ₁₉ H ₃₈ N ₂ O ₃	[M+H] ⁺	342.262	2.21×10 ⁵
吲哚 Indole	C ₈ H ₇ N	[M+H] ⁺	117.053	2.12×10 ⁵

续表8 Table 8 (Continued)

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
阿魏酰胆碱 Feruloylcholine	C ₁₅ H ₂₂ NO ₄	[M] ⁺	280.138	1.51×10 ⁵
赤式-鞘氨醇 Erythro-sphingosine	C ₁₈ H ₃₉ NO ₂	[M+H] ⁺	301.272	9.13×10 ⁴
N-甲基烟酰胺 N-methylnicotinamide	C ₇ H ₈ N ₂ O	[M+H] ⁺	136.057	8.34×10 ⁴
N-乙酰丁二胺 N-acetylbutanediamine	C ₆ H ₁₄ N ₂ O	[M+H] ⁺	130.100	5.11×10 ⁴
L-棕榈酰肉碱 L-palmitoyl carnitine	C ₂₃ H ₄₅ NO ₄	[M+H] ⁺	399.304	3.37×10 ⁴
吲哚-3-甲酸 Indole-3-carboxylic acid	C ₉ H ₇ NO ₂	[M-H] ⁻	161.042	1.13×10 ⁶
吲哚-5-甲酸 Indole-5-carboxylic acid	C ₉ H ₇ NO ₂	[M-H] ⁻	161.042	7.27×10 ⁵
5-羟基吲哚-3-乙酸 5-hydroxyindole-3-acetic acid	C ₁₀ H ₉ NO ₃	[M-H] ⁻	191.050	8.31×10 ³

2.2.8 木脂素和香豆素类化合物组成分析 对云南香格里拉西南鸢尾地上部分木脂素和香豆素类化合物的分析结果(表9)表明:在检测到的20种木脂素和香豆素类化合物中,仅秦皮素、香豆素和异秦皮定3种化合物在正离子模式下被检出,剩余17种化合

物均在负离子模式下检出。根据各化合物的色谱峰相对面积判断化合物的相对含量水平,结果显示:丁香树脂酚-己糖、松脂醇单葡萄糖苷、松脂醇-己糖和松脂醇的相对含量较高(色谱峰相对面积均在1.00×10⁶以上)。

表9 云南香格里拉西南鸢尾地上部分的木脂素和香豆素类化合物分析

Table 9 Analysis on lignans and coumarins in above-ground part of *Iris bulleyana* Dykes from Shangri-La of Yunnan Province

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
秦皮素 Fraxetin	C ₁₀ H ₈ O ₅	[M+H] ⁺	208.029	1.06×10 ⁵
香豆素 Coumarin	C ₉ H ₆ O ₂	[M+H] ⁺	146.032	2.98×10 ⁴
异秦皮定 Isofraxidin	C ₁₁ H ₁₀ O ₅	[M+H] ⁺	222.044	9.88×10 ³
丁香树脂酚-己糖 Syringaresinol-hexose	C ₂₈ H ₃₆ O ₁₃	[M-H] ⁻	580.186	8.35×10 ⁶
松脂醇单葡萄糖苷 Pinoresinol monoglucoside	C ₂₆ H ₃₂ O ₁₁	[M-H] ⁻	520.168	1.73×10 ⁶
松脂醇-己糖 Pinoresinol-hexose	C ₂₆ H ₃₂ O ₁₁	[M-H] ⁻	520.168	1.60×10 ⁶
松脂醇 Pinoresinol	C ₂₀ H ₂₂ O ₆	[M-H] ⁻	358.125	1.25×10 ⁶
丁香树脂酚 Syringaresinol	C ₂₂ H ₂₆ O ₈	[M-H] ⁻	418.142	7.69×10 ⁵
丁香树脂酚-乙酰葡萄糖 Syringaresinol-acetyl glucose	C ₃₀ H ₃₈ O ₁₄	[M-H] ⁻	622.195	4.56×10 ⁵
松脂醇二葡萄糖苷 Pinoresinol diglucoside	C ₃₂ H ₄₂ O ₁₆	[M-H] ⁻	682.212	4.53×10 ⁵
橄榄素二葡萄糖苷 Olivin diglucoside	C ₃₂ H ₄₄ O ₁₇	[M-H] ⁻	700.221	2.77×10 ⁵
中脂素二葡萄糖苷 Mesolipin diglucoside	C ₃₃ H ₄₄ O ₁₇	[M-H] ⁻	712.221	1.50×10 ⁵
皮树脂醇 Medioresinol	C ₂₁ H ₂₄ O ₇	[M-H] ⁻	388.133	1.34×10 ⁵
(+)-皮树脂醇乙酰葡萄糖(+)-medioresinol-acetyl glucose	C ₂₉ H ₃₆ O ₁₃	[M-H] ⁻	592.186	1.30×10 ⁵
3,4-二氢香豆素 3,4-dihydrocoumarin	C ₉ H ₈ O ₂	[M-H] ⁻	148.046	1.15×10 ⁵
1-羟基松脂素单葡萄糖苷 1-hydroxyterpinin monoglucoside	C ₂₆ H ₃₂ O ₁₂	[M-H] ⁻	536.163	7.37×10 ⁴
松脂醇-乙酰葡萄糖 Pinoresinol-acetyl glucose	C ₂₈ H ₃₄ O ₁₂	[M-H] ⁻	562.177	5.75×10 ⁴
秦皮甲素 Esculin	C ₁₅ H ₁₆ O ₉	[M-H] ⁻	340.065	4.89×10 ⁴
6-羟基-4-甲基香豆素 6-hydroxy-4-methylcoumarin	C ₁₀ H ₈ O ₃	[M-H] ⁻	176.041	2.14×10 ⁴
(+)-薄荷烯醇(+)-piperitenol	C ₂₀ H ₂₀ O ₆	[M-H] ⁻	356.110	1.59×10 ⁴

2.2.9 鞣质类和萜类化合物组成分析 对云南香格里拉西南鸢尾地上部分鞣质类和萜类化合物的分析结果(表10)表明:检测到的鞣质类和萜类化合物均在负离子模式下被检出,鞣质类化合物包括原花青素

B3、原花青素 B2、原花青素 B1、儿茶素三聚体、原花青素 C2 和原花青素 C1,其中,3种原花青素的相对含量较高(色谱峰相对面积均在1.00×10⁶以上);而萜类化合物只有熊果酸和蔷薇酸,且相对含量较低。

表 10 云南香格里拉西南鸢尾地上部分的鞣质类和萜类化合物分析
Table 10 Analysis on tannins and terpenoids in above-ground part of *Iris bulleyana* Dykes from Shangri-La of Yunnan Province

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
鞣质类 Tannins				
原花青素 B3 Procyanidin B3	C ₃₀ H ₂₆ O ₁₂	[M-H] ⁻	578.120	8.15×10 ⁶
原花青素 B2 Procyanidin B2	C ₃₀ H ₂₆ O ₁₂	[M-H] ⁻	578.120	7.87×10 ⁶
原花青素 B1 Procyanidin B1	C ₃₀ H ₂₆ O ₁₂	[M-H] ⁻	578.120	4.60×10 ⁶
儿茶素三聚体 Catechin-catechin-catechin	C ₄₅ H ₃₈ O ₁₈	[M-H] ⁻	866.172	2.57×10 ⁵
原花青素 C2 Procyanidin C2	C ₄₅ H ₃₈ O ₁₈	[M-H] ⁻	866.172	2.53×10 ⁵
原花青素 C1 Procyanidin C1	C ₄₅ H ₃₈ O ₁₈	[M-H] ⁻	866.172	1.76×10 ⁵
萜类 Terpenoids				
熊果酸 Ursolic acid	C ₃₀ H ₄₈ O ₃	[M-H] ⁻	456.329	1.09×10 ⁵
蔷薇酸 Ensaphic acid	C ₃₀ H ₄₈ O ₅	[M-H] ⁻	488.317	4.59×10 ⁴

2.2.10 其他化合物组成分析 对云南香格里拉西南鸢尾地上部分其他化合物的分析结果(表 11)表明:43 种其他化合物包含维生素和糖等,其中,18 种化合物在正离子模式下被检出,剩余 25 种化合物在负离子模式下被检出。根据各化合物的色谱峰相对

面积判断化合物的相对含量水平,结果显示:烟酰胺、泛酸、吡哆素、2-苯乙胺、*N*-乙酰-D-半乳糖胺、油酰乙醇胺、肌醇半乳糖苷、蔗糖、葡萄糖、苏糖酸和肌醇的相对含量较高(色谱峰相对面积均在 1.00×10⁶以上)。

表 11 云南香格里拉西南鸢尾地上部分的其他化合物分析
Table 11 Analysis on other compounds in above-ground part of *Iris bulleyana* Dykes from Shangri-La of Yunnan Province

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
烟酰胺 Nicotinamide	C ₆ H ₆ N ₂ O	[M+H] ⁺	122.043	1.08×10 ⁷
泛酸 Pantothenic acid	C ₉ H ₁₇ NO ₅	[M+H] ⁺	219.097	4.79×10 ⁶
吡哆素 Pyridoxine	C ₈ H ₁₁ NO ₃	[M+H] ⁺	169.065	2.53×10 ⁶
2-苯乙胺 2-phenylethylamine	C ₈ H ₁₁ N	[M+H] ⁺	121.082	1.18×10 ⁶
<i>N</i> -乙酰-D-半乳糖胺 <i>N</i> -acetyl-D-galactosamine	C ₈ H ₁₅ NO ₆	[M+H] ⁺	221.077	1.14×10 ⁶
油酰乙醇胺 <i>N</i> -oleoylethanolamine	C ₂₀ H ₃₉ NO ₂	[M+H] ⁺	325.272	1.00×10 ⁶
烟酸 Nicotinic acid	C ₆ H ₅ NO ₂	[M+H] ⁺	123.027	8.62×10 ⁵
核黄素 Riboflavin	C ₁₇ H ₂₀ N ₄ O ₆	[M+H] ⁺	376.120	7.93×10 ⁵
4-吡哆酸 4-pyridoxic acid	C ₈ H ₉ NO ₄	[M+H] ⁺	183.045	2.77×10 ⁵
松二糖 Turanose	C ₁₂ H ₂₁ O ₁₁ Na	[M+H] ⁺	364.078	2.59×10 ⁵
吡哆醇 <i>O</i> -阿魏酰己糖苷 Pyridoxine <i>O</i> -feruloyl hexoside	C ₂₄ H ₂₉ NO ₁₁	[M+H] ⁺	507.149	2.28×10 ⁵
4-吡哆醇 <i>O</i> -己糖苷 4-pyridoxine <i>O</i> -hexoside	C ₁₄ H ₁₉ NO ₉	[M+H] ⁺	345.089	1.26×10 ⁵
泛酰醇 Dexpanthenol	C ₉ H ₁₉ NO ₄	[M+H] ⁺	205.117	1.19×10 ⁵
吡哆醇 <i>O</i> -二己糖苷 Pyridoxine <i>O</i> -dihexoside	C ₂₀ H ₃₁ NO ₁₃	[M+H] ⁺	493.153	6.53×10 ⁴
4-甲基-5-噻唑乙醇 4-methyl-5-thiazoleethanol	C ₆ H ₉ NOS	[M+H] ⁺	143.033	6.48×10 ⁴
1-甲氧基香豆素 1-methoxycoumarin	C ₂₁ H ₂₀ O ₅	[M+H] ⁺	352.116	3.93×10 ⁴
十八碳酰胺 Octadecenoic amide	C ₁₈ H ₃₅ NO	[M+H] ⁺	281.249	3.54×10 ⁴
十六烷基乙醇胺 Hexadecyl ethanolamine	C ₁₈ H ₃₉ NO	[M+H] ⁺	285.278	2.64×10 ⁴
肌醇半乳糖苷 Galactinol	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	[M-H] ⁻	342.096	1.27×10 ⁷
蔗糖 Sucrose	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	[M-H] ⁻	342.096	8.01×10 ⁶
葡萄糖 Glucose	C ₆ H ₁₂ O ₆	[M-H] ⁻	180.053	5.54×10 ⁶
苏糖酸 Threonate	C ₄ H ₈ O ₅	[M-H] ⁻	136.029	1.89×10 ⁶
肌醇 Inositol	C ₆ H ₁₂ O ₆	[M-H] ⁻	180.053	1.49×10 ⁶

续表11 Table 11 (Continued)

化合物 Compound	分子式 Formula	离子模式 Ionization model	相对分子质量 Relative molecular mass	色谱峰相对面积 Relative area of chromatographic peak
葡萄糖酸 Gluconic acid	C ₆ H ₁₂ O ₇	[M-H] ⁻	196.047	9.36×10 ⁵
蜜二糖 Melibiose	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	[M-H] ⁻	342.096	8.78×10 ⁵
无水海藻糖 Trehalose anhydrous	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	[M-H] ⁻	342.096	7.10×10 ⁵
葡萄糖-1-磷酸 Glucose-1-phosphate	C ₆ H ₁₃ O ₉ P	[M-H] ⁻	260.016	6.36×10 ⁵
乳糖 Lactose	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	[M-H] ⁻	342.096	4.34×10 ⁵
木糖醇 Xylitol	C ₅ H ₁₂ O ₅	[M-H] ⁻	152.058	3.62×10 ⁵
阿拉伯糖 Arabinose	C ₅ H ₁₀ O ₅	[M-H] ⁻	150.044	3.59×10 ⁵
海藻糖-6-磷酸 Trehalose-6-phosphate	C ₁₂ H ₂₃ O ₁₄ P	[M-H] ⁻	422.06	2.18×10 ⁵
5,7-二羟基色原酮 5,7-dihydroxychromone	C ₉ H ₆ O ₄	[M-H] ⁻	178.021	2.05×10 ⁵
山梨糖醇 Sorbitol	C ₆ H ₁₄ O ₆	[M-H] ⁻	182.067	1.72×10 ⁵
松三糖 Melezitose	C ₁₈ H ₃₂ O ₁₆	[M-H] ⁻	504.140	1.25×10 ⁵
己六醇 Dulcitol	C ₆ H ₁₄ O ₆	[M-H] ⁻	182.067	1.25×10 ⁵
潘糖 Panose	C ₁₈ H ₃₂ O ₁₆	[M-H] ⁻	504.140	1.10×10 ⁵
麦芽四糖 Maltotetraose	C ₂₄ H ₄₂ O ₂₁	[M-H] ⁻	666.184	9.94×10 ⁴
吐叶醇 Vomifoliol	C ₁₃ H ₂₀ O ₃	[M-H] ⁻	224.127	8.42×10 ⁴
1,1-蔗果四糖 1,1-nystose	C ₂₄ H ₄₂ O ₂₁	[M-H] ⁻	666.184	6.99×10 ⁴
阿东糖醇 Ribitol	C ₅ H ₁₂ O ₅	[M-H] ⁻	152.058	6.08×10 ⁴
阿拉伯醇 Arabinitol	C ₅ H ₁₂ O ₅	[M-H] ⁻	152.058	5.23×10 ⁴
邻磷酸乙醇胺 o-phosphorylethanolamine	C ₂ H ₈ NO ₄ P	[M-H] ⁻	141.011	4.62×10 ⁴
甘露醇 Mannitol	C ₆ H ₁₄ O ₆	[M-H] ⁻	182.067	3.25×10 ⁴

3 讨论和结论

迄今为止,研究者已经从鸢尾属植物中分离得到黄酮类、三萜类、苯醌类和二苯乙烯类等天然成分^[2]。本研究利用广泛靶向代谢组学方法从云南香格里拉西南鸢尾地上部分中分离鉴定出 11 大类 431 种化合物,这是目前关于西南鸢尾最新、最全的化学成分分析报道。

相关药理和临床实验^[10]证实,黄酮类化合物是药用植物的主要活性成分之一。杨阳等^[2]发现,鸢尾属植物的部分黄酮类化合物具有抗癌、抗突变、抗炎、抗过敏和抗神经变性的作用,并对肝脏和心血管损伤具有一定的保护作用。在众多黄酮类化合物中,杜鹃素和芹菜素具有抗炎、抗氧化和抗癌活性^[11,12];合欢素和芹菜素具有抗癌和抗氧化活性^[13,14];矢车菊黄素具有很强的免疫调节作用,可抑制黑色素从生黑素细胞向角质形成细胞转移,并具有舒张血管的作用^[14,15];而金圣草黄素和木犀草素则具有抗炎和抗感染的作用^[16,17]。本研究结果显示:云南香格里拉西南鸢尾地上部分的黄酮类化合物种类最多,占检测

化合物总数的 26.9%,据此认为,黄酮类化合物是西南鸢尾地上部分的主要化学成分,可作为今后该种类研究和开发的重要化合物。

酚酸类化合物也具有重要的生物学功能和药用价值。例如:对香豆酸在动物体内具有清除自由基、抑制脂质过氧化和 DNA 氧化损伤的作用^[18,19],并具有抗炎、调节免疫、抑制肿瘤细胞增殖和迁移及减轻动脉粥样硬化等功效^[19,20],具有降低药物毒性、预防和改善糖尿病以及保护神经等作用,还具有一定的抑菌作用和延缓皮肤老化等功效^[19]。相关研究结果表明:酚酸类化合物咖啡酸是蒲公英 (*Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz.)、刺儿菜 (*Cirsium arvense* var. *integrifolium* C. Wimm. et Grabowski) 和升麻 (*Cimicifuga foetida* Linn.) 等种类的主要活性成分^[21],而阿魏酸是当归 [*Angelica sinensis* (Oliv.) Diels]、川芎 (*Ligusticum sinense* ‘Chuanxiong’) 和升麻等种类的主要活性成分^[22]。本研究在云南香格里拉西南鸢尾地上部分检测到 40 种酚酸类化合物,包括龙胆酸、对羟基苯甲酸、咖啡酸、反式-阿魏酸、阿魏酸、山梨酸、香草酸、三羟基肉桂酰奎尼酸和 4-羟基苯甲醛等,可为今后利用西南鸢尾开发预防氧化应激

损伤相关的临床药物提供参考价值。

木脂素类化合物主要存在于植物的木质部和树脂中,多数呈游离状态,少数与糖结合成苷^{[23]111}。研究表明:木脂素具有抗肿瘤、保肝、抗氧化和抗艾滋病病毒(HIV)等功效^{[23]124-125}。香豆素类化合物是中药的主要活性成分之一,具有抗病毒、抗肿瘤、抗骨质疏松、抗凝血和保护心血管系统等作用^{[23]109}。本研究在云南香格里拉西南鸢尾地上部分检测到20种木脂素和香豆素类化合物,其中,木脂素类化合物中丁香树脂酚-己糖、松脂醇单葡萄糖苷、松脂醇-己糖和松脂醇的相对含量较高,香豆素类化合物中秦皮素、香豆素、3,4-二氢香豆素和秦皮甲素等的相对含量较高。研究表明:秦皮甲素能够改善糖尿病小鼠的血脂异常、炎症反应和肾损伤反应,其作用机制可能与该化合物能抑制肾皮质糖基化终产物的形成有关^[24];而香豆素单体则对大肠杆菌〔*Escherichia coli* (Migula) Castellani et Chalmers〕、金黄色葡萄球菌〔*Staphylococcus aureus* Rosenbach〕和绿脓杆菌〔*Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter) Migula〕等细菌具有明显的抑制作用和杀灭作用^[25]。因此,后续可对西南鸢尾地上部分的个别木脂素和香豆素类化合物开展进一步研究。

鞣质不仅是一种抗氧化剂,而且能调节哺乳动物关键生物途径,在营养和健康保健等领域越来越受到人们的青睐。研究发现,鞣质具有清除自由基、抗氧化、抗癌及预防心血管疾病的作用,并具有减轻水肿、降低毛细血管通透性、保护肝脏和抗病毒等功效,对治疗外周静脉功能不全、眼科疾病及淋巴水肿等疾病均有很好的效果^[26]。本研究结果表明:云南香格里拉西南鸢尾地上部分的鞣质类化合物主要是原花青素类化合物,而原花青素类化合物属于缩合单宁,广泛分布于植物体内,并存在于茶和红酒中,与人类的生活和健康密切相关^[26]。

本研究在云南香格里拉西南鸢尾地上部分仅检测到熊果酸和蔷薇酸2个萜类化合物,且这2个化合物均属于三萜类化合物。研究表明:熊果酸和蔷薇酸等三萜类化合物具有抗炎、抗菌、抗癌、抗氧化、增强免疫功能、降血脂、维护肠道健康和缓解肠道疾病等生物学功能,有望开发成防癌药^[27-30]。因此,应加强西南鸢尾地上部分三萜类化合物的开发与利用研究。

有机酸的种类和含量会影响植物类食品的风味和口感。此外,有机酸还能稳定细胞液的pH值,参

与植物的光合作用和呼吸作用,并参与酚类、氨基酸、酯类和芳香物质的合成^[31]。云南香格里拉西南鸢尾地上部分的有机酸类成分中,6-氨基己酸的相对含量较高,而6-氨基己酸是蛛网膜下腔出血(SAH)时最常用的止血药成分^[32],故西南鸢尾还具有一定的止血效应。

根据检测结果,总体来看,云南香格里拉西南鸢尾地上部分含有丰富的氨基酸、黄酮类、萜类和有机酸等具有营养和生物活性的化合物,很适合作为食草动物的食物。然而,事实并非如此。作为香格里拉亚高山草甸的优势植物,西南鸢尾在营养生长期并不是该区域中甸牦牛的采食植物,仅在冬季地上部分枯黄后成为牦牛的主要食物之一。本研究检测到云南香格里拉西南鸢尾地上部分含有较多的葫芦巴碱、6-脱氧荞麦碱和色胺等生物碱类化合物。已有研究发现当牛羊食用含有色胺、葫芦巴碱的植物后会出现昏眩症状,甚至突然死亡,当家畜大量采食含有葫芦巴碱的新鲜茎叶后会出现中毒症状^[33],这可能是中甸牦牛拒食营养生长期西南鸢尾的主要原因。而在冬季牦牛会采食西南鸢尾,可能与枯黄期西南鸢尾体内的有毒和有害成分大幅减少有关,具体原因有待后续深入研究。

综上所述,西南鸢尾地上部分化合物种类丰富,包括黄酮类、脂质类、氨基酸及其衍生物、酚酸类、核苷酸及其衍生物、有机酸类、生物碱类、木脂素和香豆素类、鞣质类、萜类等,很多化合物具有重要的药用价值,开发利用前景广阔。

致谢:香格里拉高山植物园方焯老师在西南鸢尾鉴定上给予了很大的帮助,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第十五卷第一分册[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [2] 杨 阳, 杨黎彬, 赵长琦. 鸢尾属植物中的黄酮类成分及其生物活性[J]. 中草药, 2015, 46(11): 1692-1703.
- [3] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草: 第八册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2000: 279.
- [4] 马雨涵, 林彬彬, 刘 慧, 等. 鸢尾叶的化学成分[J]. 植物资源与环境学报, 2011, 20(4): 88-89, 91.
- [5] 席赠濮, 杜 凡, 汪 健. 香格里拉县亚高山退化草甸植物群落学研究[J]. 西南林业大学学报, 2013, 33(2): 75-80.
- [6] 袁福锦, 钟 声, 吴文荣, 等. 香格里拉县亚高山草甸饲用植物资源调查[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(4): 129-132.
- [7] 周寿荣. 牦牛的食性和饲草[J]. 中国牦牛, 1981(4): 1-4.

- [8] 赵宠南, 苏云, 刘振生, 等. 贺兰山牦牛冬春季的生境选择[J]. 生态学报, 2012, 32(6): 1762-1772.
- [9] CHEN W, GONG L, GUO Z, et al. A novel integrated method for large-scale detection, identification, and quantification of widely targeted metabolites: application in the study of rice metabolomics[J]. Molecular Plant, 2013, 6(6): 1769-1780.
- [10] 曹纬国, 刘志勤, 邵云, 等. 黄酮类化合物药理作用的研究进展[J]. 西北植物学报, 2003, 23(12): 2241-2247.
- [11] 闫超群. 杜鹃素直接抑制 GSK-3 β 发挥对氧化应激损伤血管内皮细胞的保护作用及其机制研究[D]. 太原: 山西医科大学药学院, 2020: 1-3.
- [12] HAN J Y, AHN S Y, KIM C S, et al. Protection of apigenin against kainate-induced excitotoxicity by antioxidative effects[J]. Biological and Pharmaceutical Bulletin, 2012, 35(9): 1440.
- [13] LIU L, YANG J, ZU B, et al. Acacetin regulated the reciprocal differentiation of Th17 cells and Treg cells and mitigated the symptoms of collagen-induced arthritis in mice[J]. Scandinavian Journal of Immunology, 2018, 88(4): e12712.
- [14] 何丽丽, 姚彩云, 闫炳雄, 等. 壮药山风中的黄酮类化学成分研究[J]. 中国现代中药, 2019, 21(8): 1016-1020.
- [15] ZENG W, ZHANG C, CHENG H, et al. Targeting to the non-genomic activity of retinoic acid receptor-gamma by acacetin in hepatocellular carcinoma[J]. Science Reports, 2017, 7: 348.
- [16] LAI S, CHEN J N, HUANG H W, et al. Structure activity relationships of chrysoeriol and analogs as dual c-Met and VEGFR2 tyrosine kinase inhibitors[J]. Oncology Reports, 2018, 40(3): 1650-1656.
- [17] SONG F, WEI C, ZHOU L, et al. Luteoloside prevents lipopolysaccharide-induced osteolysis and suppresses RANKL-induced osteoclastogenesis through attenuating RANKL signaling cascades[J]. Journal of Cellular Physiology, 2018, 233(2): 1723-1735.
- [18] ZANG L Y, COSMA G, GARDNER H, et al. Effect of antioxidant protection by *p*-coumaric acid on low-density lipoprotein cholesterol oxidation[J]. American Journal of Physiology: Cell Physiology, 2000, 279(4): C954-C960.
- [19] 管西芹, 毛近隆, 唐迎雪, 等. 对香豆酸的药理作用研究进展[J]. 中草药, 2018, 49(17): 4162-4170.
- [20] PRAGASAM S J, RASOOL M. Dietary component *p*-coumaric acid suppresses monosodium urate crystal-induced inflammation in rats[J]. Inflammation Research, 2013, 62(5): 489-498.
- [21] 杨九凌, 祝晓玲, 李成文, 等. 咖啡酸及其衍生物咖啡酸苯乙酯药理作用研究进展[J]. 中国药理学杂志, 2013, 48(8): 577-582.
- [22] WANG B H, OUYANG J P. Pharmacological actions of sodium ferulate in cardiovascular system[J]. Cardiovascular Drug Reviews, 2005, 23(2): 161-172.
- [23] 裴月湖, 姜红祥. 天然药物化学[M]. 7版. 北京: 人民卫生出版社, 2016.
- [24] KANG K S, LEE W, JUNG Y, et al. Protective effect of esculin on streptozotocin-induced diabetic renal damage in mice[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(9): 2069-2076.
- [25] 刘丽梅, 王瑞海, 陈琳, 等. 不同基原秦皮、香豆素单体抗菌作用对比研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2009, 16(5): 39-42.
- [26] 凌智群, 张晓辉, 谢笔钧, 等. 原花青素的药理学研究进展[J]. 中国药理学通报, 2002, 18(1): 9-12.
- [27] FONTANAY S, GRARE M, MAYER J, et al. Ursolic, oleanolic and betulinic acids: antibacterial spectra and selectivity indexes[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2008, 120: 272-276.
- [28] 蔡莹莹, 陈星星, 谷凤林, 等. 不同加工阶段香草兰豆荚的广泛靶向代谢组学研究[J]. 热带作物学报, 2019, 40(7): 1325-1335.
- [29] 彭芳, 宋泽和, 谢谦, 等. 熊果酸对动物肠道黏膜屏障功能的调控作用及可能机制[J]. 动物营养学报, 2020, 32(6): 2513-2520.
- [30] 李茵芳, 王一旻, 袁干军, 等. 迷迭香叶中三萜酸类成分及其抑菌活性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2019, 28(1): 115-117.
- [31] 陆新华, 孙德权, 吴青松, 等. 菠萝种质资源有机酸含量的比较研究[J]. 园艺学报, 2011, 38(增刊): 2512.
- [32] 李珺, 吴家霖, 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.
- [33] 蒋建生. 优良牧草和饲料作物中的有毒物质及其影响因素[J]. 四川草原, 1997(3): 32-37.

(责任编辑: 佟金凤)