

甘肃陇南不同品种油橄榄叶化学成分系统表征 及抗氧化活性研究

赵强宏¹, 邹 诚², 王文亮¹, 王惠明³, 瞿 城²

(1. 陇南市经济林研究院 油橄榄研究所, 甘肃 陇南 746000; 2. 南京中医药大学 药学院, 南京 210023;
3. 陇南市经济林研究院, 甘肃 陇南 746000)

摘要:为了更好地开发利用油橄榄叶, 采用超高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱和超高效液相色谱-三重四极杆/复合线性离子阱质谱分析技术分别定性定量分析甘肃陇南不同品种油橄榄叶提取物中的化学成分, 并考察其体外抗氧化活性。结果表明: 从甘肃陇南油橄榄叶提取物中主要鉴定了 73 个化学成分, 其中萜类 38 个、黄酮类 16 个、苯乙醇类 7 个、挥发油类 5 个、脂肪酸类 2 个、苯甲酸类 1 个、苯丙素类 1 个、其他类 3 个; 不同品种 27 批油橄榄叶提取物中的 11 个化学成分总含量存在一定差异, 陇南武都和礼县的油橄榄叶提取物中 11 个化学成分总含量分别为 1 601.19 ~ 2 941.99 $\mu\text{g/g}$ 和 925.98 ~ 2 617.04 $\mu\text{g/g}$, 其中木犀草素-7-O-芸香糖苷、女贞苷、木犀草苷、野漆树苷含量较高。整体上, 陇南礼县油橄榄叶提取物的抗氧化活性强于陇南武都, 其中科拉蒂、阿尔波萨纳和陇育 1 号的抗氧化活性相对较优。综上, 油橄榄叶中的化学成分以萜类和黄酮类化合物为主, 不同来源油橄榄叶 11 个化学成分总含量存在一定差异, 陇南礼县油橄榄叶抗氧化活性较优。

关键词:油橄榄叶; 化学成分; 定性定量; 黄酮类成分; 抗氧化

中图分类号: TS229; TS227

文献标识码: A

文章编号: 1003-7969(2025)04-0065-09

Systematic characterization and antioxidant activity study of chemical components in different varieties of olive leaves from Longnan, Gansu

ZHAO Qianghong¹, ZOU Cheng², WANG Wenliang¹, WANG Huiming³, QU Cheng²

(1. Institute of Olive, Longnan Academy of Non-wood Forest, Longnan 746000, Gansu, China; 2. School of Pharmacy, Nanjing University of Traditional Chinese Medicine, Nanjing 210023, China; 3. Longnan Academy of Non-wood Forest, Longnan 746000, Gansu, China)

Abstract: To better develop and utilize olive leaves, ultra-high performance liquid chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry and ultra-high performance liquid chromatography-triple quadrupole/composite linear ion trap mass spectrometry were used to qualitatively and quantitatively analyze the chemical components in different varieties of olive leaves in Longnan, Gansu Province, and their antioxidant activities *in vitro* were studied. The results showed that 73 chemical components were identified from the olive leaf extracts, including 38 terpenoids, 16 flavonoids, 7 phenylethanols, 5 volatile oils, 2 fatty acids, 1 benzoic acid, 1 phenylpropanoid and 3 others. The total contents of 11

chemical components in 27 batches of olive leaf extracts of different varieties were different. The total contents of 11 chemical components in olive leaf extracts from Longnan Wudu and Lixian were 1 601.19 $\mu\text{g/g}$ to 2 941.99 $\mu\text{g/g}$ and 925.98 $\mu\text{g/g}$ to 2 617.04 $\mu\text{g/g}$, respectively. The contents of luteolin-7-O-rutinoside, ligustroflavone, luteolin and rhoifolin were higher in different olive

收稿日期: 2024-05-12; 修回日期: 2024-12-16

基金项目: 甘肃省科技计划资助(25CXNK002, 18CX3ZK038-子课题 1, 1205NCXK229); 2023 年东西协作资金油橄榄产业链项目; 第二批陇原青年英才项目; 中央财政林草科技推广示范项目(甘[2024]ZYTG12 号)

作者简介: 赵强宏(1984), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事油橄榄种质资源及适生区研究(E-mail) 375344828@qq.com。

通信作者: 瞿 城, 讲师, 博士(E-mail) njucmqc@126.com。

leaf extracts. Overall, the antioxidant activity of olive leaf extracts from Longnan Lixian was stronger than that from Longnan Wudu, and the antioxidant activities of Coratina, Arbosana and Longyu No. 1 were relatively better. In conclusion, terpenoids and flavonoids are the main components in olive leaves with certain difference in the content of 11 chemical components in olive leaves from different sources, and olive leaves from Longnan Lixian has better antioxidant activity.

Key words: olive leaf; chemical component; qualitation and quantitation; flavonoids; antioxidant

油橄榄(*Olea europaea*)属于木犀科木犀榄属,是地中海国家最重要的经济作物之一。从1964年起我国陆续规模引进油橄榄,甘肃陇南现为我国主要的油橄榄种植基地^[1-3]。油橄榄浑身是宝,其中油橄榄叶约占油橄榄收获总质量的10%,每年在油橄榄树的修剪和油橄榄果采收过程中会产生大量的油橄榄叶副产物,这些油橄榄叶一般被扔掉或焚烧,不仅对环境造成污染,还造成大量的资源浪费^[1,4-5]。油橄榄叶是一种价格低廉且丰富的可再生资源,其含有丰富的三萜类、黄酮类、环烯醚萜类等功效成分^[4],现代药理学研究表明,油橄榄叶中的活性成分(橄榄苦苷、木犀草苷、羟基酪醇等)具有抗氧化、降血糖、抗炎、降血压、预防心血管疾病等作用,在药品及化妆品领域得到了广泛应用^[6-8]。

前期研究^[9-11]已关注油橄榄叶中的化学成分,且主要集中在三萜类、黄酮类、环烯醚萜类等活性成分的定性定量分析。然而,由于油橄榄叶中化学成分结构复杂且获取困难,目前对其不同类型化学成分的研究尚不全面,不同品种油橄榄叶化学成分及其活性差异的系统研究鲜见报道。因此,本研究拟从化学成分组成角度,采用液质联用技术(超高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱,UHPLC-TOF MS;超高效液相色谱-三重四极杆/复合线性离子阱质谱,UHPLC-QTRAP MS)对甘肃陇南不同品种油橄榄叶提取物中的化学成分进行定性定量分析,并考察其体外抗氧化活性(DPPH、ABTS、羟自由基清除活性),以期对甘肃陇南不同品种油橄榄叶后期产品开发和临床应用奠定科学的理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

陇南武都区主栽品种阿尔波萨纳、皮瓜儿、豆果、皮削利、莱星、奇迹、鄂植8号、科拉蒂、阿斯、贝拉、陇育1号,陇南礼县主栽品种阿尔波萨纳、皮瓜儿、豆果、皮削利、莱星、奇迹、鄂植8号、科拉蒂、阿斯、贝拉、切姆拉尔、陇育1号、小苹果、贺吉、砧木、西阿基,于2023年9—10月分别从同一品种4棵不

同油橄榄树的各个侧面手工采集成熟叶约50 g,40℃烘干,研磨混匀后备用。

羟基酪醇、芦丁、马钱苷酸、木犀草素-7-O-芸香糖苷、女贞苷、木犀草苷、野漆树苷、槲皮素、圣草酚、芹菜素-7-O-葡萄糖苷和齐墩果酸标准品(纯度均大于98%),上海源叶生物科技有限公司;ABTS自由基清除能力试剂盒、DPPH自由基清除能力试剂盒,索莱宝科技有限公司;羟自由基清除能力比色法试剂盒,伊莱瑞特科技股份有限公司;色谱纯甲醇、乙腈,德国默克公司;色谱纯甲酸,美国ROE公司;超纯水,由Milli-Q超纯水系统制备;其他试剂均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

AB SCIEX Triple TOF™ 5600 高分辨飞行时间质谱仪、配LC-20ADXR泵和SIL-20ACXR自动进样器的超快液相色谱分析系统、QTRAP®5500三重四级杆/复合线性离子阱质谱仪,AB SCIEX公司;Shimadzu DGU-20A液相色谱分析系统(LC-30AD高压二元梯度泵,SIL-30AC自动进样器,CTO-20AC柱温箱,在线脱气器),Shimadzu公司;Tecan Infinite M200 Pro多功能酶标仪,Tecan公司;Milli-Q超纯水系统,Millipore公司;KH 500DB超声仪(40 kHz,500 W),昆山禾创超声仪器公司;5427R台式高速离心机,Eppendorf公司;冰箱,Haier公司;万分之一天平、十万分之一天平,德国Sartorius公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品溶液制备

分别称取0.5 g不同品种油橄榄叶样品于50 mL离心管中,加入30 mL体积分数80%甲醇溶液,超声(40 kHz,500 W)提取两次、每次30 min,恢复室温后用体积分数80%甲醇溶液补足30 mL,最后以4℃、12 000 r/min离心15 min,取上清液经0.22 μm滤膜过滤后备用。

1.2.2 标准品溶液制备

分别精确称取1 mg羟基酪醇、芦丁、马钱苷酸、木犀草素-7-O-芸香糖苷、女贞苷、木犀草苷、野漆树苷、槲皮素、圣草酚、芹菜素-7-O-葡萄糖苷

和齐墩果酸标准品于 1 mL 容量瓶中,用甲醇溶解定容,配成质量浓度为 1 mg/mL 的混合标准品溶液,4 ℃ 贮藏备用。

1.2.3 油橄榄叶化学成分的定性分析

采用 UHPLC – TOF MS 对油橄榄叶的化学成分进行定性分析。

色谱条件: Waters ACQUITY UPLC[®] HSS C₁₈ 色谱柱(4.6 mm × 150 mm, 3.5 μm); 柱温 30 ℃; 进样量 2 μL; 流动相为 0.1% 甲酸水溶液(A) – 乙腈(B); 梯度洗脱程序为 0 ~ 5 min 5% ~ 20% B, 5 ~ 21 min 20% ~ 35% B, 21 ~ 22 min 35% ~ 70% B, 22 ~ 38 min 70% ~ 97% B, 38 ~ 42 min 97% ~ 5% B, 42 ~ 45 min 5% B; 流速 0.6 mL/min。

质谱条件: 电喷雾离子源(ESI 源), 离子源为 Duospray, 离子源温度 600 ℃, 喷雾电压 +5 500 V 和 –4 500 V, 去簇电位(DP) –100 V; 碰撞能量(CE) –10 V, 雾化气电压(GS1) 241.32 kPa, 加热气电压(GS2) 241.32 kPa, 气帘气电压(CUR) 310.26 kPa; 分别在正、负离子模式下进行测定, MS/MS 质量扫描范围 50 ~ 1 500, 动态背景扣除(DBS)。

根据样品溶液中检测到的化合物的保留时间、

母离子 m/z 、质量误差以及二级质谱碎片等信息, 通过总结不同结构类型小分子化合物数据库和质谱裂解规律^[12–14], 并与文献[15]、对照品对比等手段系统鉴定油橄榄叶提取物中的化学成分。

1.2.4 油橄榄叶化学成分的定量分析

采用 UHPLC – QTRAP MS 对油橄榄叶的化学成分进行定量分析。

色谱条件: Agilent ZORBAX Eclipse Plus C₁₈ 色谱柱(2.1 mm × 100 mm, 3.5 μm); 流动相为 0.1% 甲酸水溶液(A) – 乙腈(B); 梯度洗脱程序为 0 ~ 2 min 3% ~ 25% B, 2 ~ 5 min 25% ~ 40% B, 5 ~ 7 min 40% B, 7 ~ 9 min 40% ~ 97% B, 9 ~ 12 min 97% B, 12 ~ 13 min 97% ~ 3% B; 流速 0.3 mL/min, 进样量 4 μL; 自动进样器温度 10 ℃; 柱温 40 ℃。

质谱条件: 采用多离子反应监测(MRM)模式, 正、负离子模式采集, 喷雾电压 +5 500 V 和 –4 500 V, 辅助加热器温度 350 ℃, 气帘气电压 310.26 kPa, 雾化气电压 379.21 kPa, 加热气电压 379.21 kPa。油橄榄叶提取物中 11 个化学成分的主要质谱检测参数见表 1。

表 1 油橄榄叶提取物中 11 个化学成分的质谱检测参数

Table 1 Mass spectrometry parameters of 11 chemical components in olive leaf extracts

化学成分	母离子(m/z)	子离子(m/z)	去簇电压/V	碰撞能量/eV	出口电压/eV	离子模式
羟基酯醇	153.0	123.0	–50	–20	–10	[M – H] [–]
马钱苷酸	375.1	213.0	–5	–24	–10	[M – H] [–]
芦丁	610.9	302.9	30	18	10	[M + H] ⁺
木犀草素 –7 –O – 芸香糖苷	595.2	287.1	38	50	10	[M + H] ⁺
女贞苷	725.1	271.4	27	58	10	[M + H] ⁺
木犀草苷	449.1	287.3	60	27	10	[M + H] ⁺
野漆树苷	579.3	271.3	50	32	10	[M + H] ⁺
槲皮素	301.0	151.1	–62	–28	–10	[M – H] [–]
圣草酚	290.1	228.0	–75	–36	–10	[M – H] [–]
芹菜素 –7 –O – 葡萄糖苷	433.1	135.0	5	32	10	[M + H] ⁺
齐墩果酸	458.2	149.1	76	45	10	[M + H] ⁺

标准曲线的绘制: 用甲醇将混合标准品溶液稀释成一系列质量浓度梯度的标准溶液, 进行 UHPLC – QTRAP MS 测定, 以待测化合物的峰面积(Y)对质量浓度(X)进行线性回归得到各成分的标准曲线方程, 并计算决定系数(R^2)。

样品中化学成分定量: 将样品溶液进行 UHPLC – QTRAP MS 测定, 根据待测化合物的峰面积和标准曲线方程等计算样品中待测化合物含量。

1.2.5 抗氧化活性测定

分别参照 ABTS 自由基清除能力试剂盒、DPPH 自由基清除能力试剂盒和羟自由基清除能力比色法

试剂盒测定油橄榄叶提取物溶液的 ABTS 自由基、DPPH 自由基和羟自由基清除率。

1.2.6 统计学分析

采用 Analyst[®] TF 1.6 软件进行数据的采集和分析; 所有数据采用 Excel 2024 和 Origin 2024 进行处理。

2 结果与分析

2.1 基于 UHPLC – TOF MS 技术的油橄榄叶化学成分的定性分析

油橄榄叶提取物 UHPLC – TOF MS 正、负离子模式下的总离子流图见图 1。

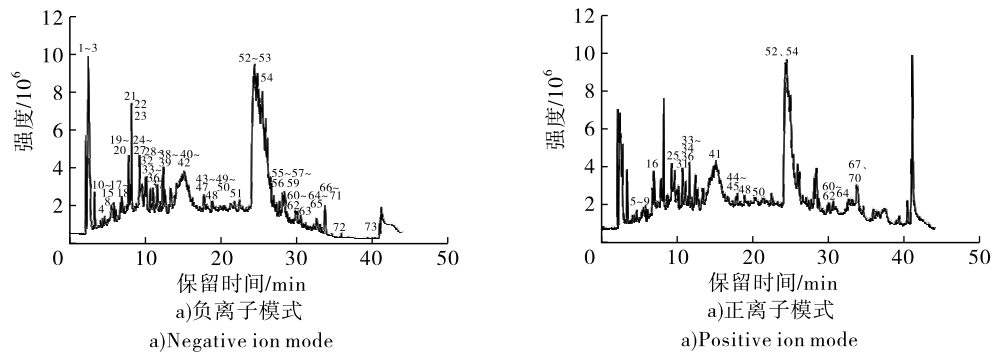


图1 油橄榄叶提取物正、负离子模式下的总离子流图

Fig.1 Total ion flow diagram of olive leaf extracts under positive and negative ion modes

油橄榄叶提取物化学成分的定性分析结果见表2。由表2可知,油橄榄叶提取物中共鉴定了73个化合物,包括萜类38个、黄酮类16个、苯乙醇类7个、挥发油类5个、脂肪酸类2个、苯甲酸类1个、苯丙素类1个以及其他类3个,其中11个化合物经标准品比准确识别。

表2 油橄榄叶提取物化学成分的定性分析结果

Table 2 Results of qualitative analysis of chemical components in olive leaf extracts

峰号	保留时间/min	分子式	误差/ 10 ⁻⁶	离子模式	化学成分	碎片离子(<i>m/z</i>)	类别
1	2.47	C ₂₅ H ₃₂ O ₁₃	0.80	[M-H] ⁻	橄榄苦苷异构体	195.051 1、129.019 8	萜类
2	2.49	C ₂₅ H ₃₀ O ₁₃	2.30	[M-H] ⁻	Fraxamoside	195.051 2、129.019 9	萜类
3	2.61	C ₂₈ H ₃₄ O ₁₅	0.20	[M-H] ⁻	橙皮苷	195.050 2	黄酮类
4	4.90	C ₁₇ H ₂₄ O ₁₂	8.57	[M-H] ⁻	10-羟基木犀榄苷-11-甲酯	289.099 0、127.039 9	萜类
5	5.01	C ₁₆ H ₂₂ O ₁₁	8.17	[M+H] ⁺	木犀榄苷	211.060 8、151.035 9	萜类
6	5.14	C ₁₀ H ₁₄ O ₅	-8.18	[M+H] ⁺	Nuzhenal A	139.077 2、111.082 1、107.086 4	萜类
7	5.21	C ₁₄ H ₂₀ O ₇	5.13	[M+H] ⁺	红景天苷	151.009 8	苯乙醇类
8	5.28	C ₁₄ H ₂₀ O ₈	-2.20	[M-H] ⁻	羟基酪醇葡萄糖苷	153.055 7、123.045 6	苯乙醇类
9	5.54	C ₁₉ H ₂₈ O ₁₁	-12.70	[M+H] ⁺	桂花苷H	433.167 1、301.123 7	萜类
10	5.56	C ₈ H ₈ O ₄	5.26	[M-H] ⁻	香草酸	109.029 9	苯甲酸类
11	5.62	C ₁₆ H ₂₆ O ₈	-1.90	[M-H] ⁻	橄榄苦苷酸8-O-葡萄糖苷	345.146 6	萜类
12	5.83	C ₁₆ H ₂₄ O ₁₀	-6.10	[M-H] ⁻	马钱苷酸异构体	375.129 3、59.017 0	萜类
13	6.02	C ₁₆ H ₂₄ O ₁₀	-8.00	[M-H] ⁻	马钱苷酸 ^a	375.129 3、191.106 4、151.076 1	萜类
14	6.13	C ₈ H ₁₀ O ₃	7.71	[M-H] ⁻	2-(3,4-二羟基苯基)乙醇	123.045 0、122.037 7、105.034 7、95.050 2、93.035 5	其他类
15	6.31	C ₈ H ₁₀ O ₃	8.49	[M-H] ⁻	羟基酪醇 ^a	123.044 7	苯乙醇类
16	6.93	C ₉ H ₈ O ₃	-4.54	[M+H] ⁺	对香豆酸	137.062 4、123.044 7、91.057 5	苯丙素类
17	6.94	C ₁₆ H ₂₂ O ₁₁	-6.60	[M-H] ⁻	断氧化马钱苷酸	69.037 2、59.016 8	萜类
18	7.29	C ₁₈ H ₂₆ O ₁₁	-10.10	[M-H] ⁻	木犀榄苷二甲酯	209.072 2	萜类
19	7.96	C ₃₅ H ₄₆ O ₂₀	-8.94	[M-H] ⁻	松果菊苷	623.223 9	苯乙醇类
20	8.03	C ₁₇ H ₂₄ O ₁₁	-6.50	[M-H] ⁻	木犀榄苷-11-甲酯	89.025 8、59.016 6	萜类
21	8.31	C ₁₅ H ₁₂ O ₇	-3.19	[M-H] ⁻	花旗松素	153.018 9、123.045 1	黄酮类
22	8.59	C ₁₇ H ₂₄ O ₁₁	-8.41	[M-H] ⁻	断氧化马钱子苷	191.033 9、151.041 9、139.001 0、121.028 0、89.022 0、59.017 0	萜类
23	8.87	C ₃₃ H ₄₀ O ₁₉	-5.30	[M-H] ⁻	毛里求斯排草素	739.213 3、285.038 5	黄酮类
24	9.22	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	-9.37	[M-H] ⁻	芦丁 ^a	609.146 3、301.036 3、300.027 1、271.024 4、255.029 5、178.999 3、151.003 2	黄酮类
25	9.41	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	-2.01	[M+H] ⁺	木犀草素-7-O-芸香糖苷 ^a	415.105 9	黄酮类
26	9.53	C ₈ H ₁₄ O ₂	7.40	[M-H] ⁻	乙酸叶醇酯	141.093 3、141.111 8	其他类

续表 2

峰号	保留 时间/min	分子式	误差/ 10 ⁻⁶	离子模式	化学成分	碎片离子 (<i>m/z</i>)	类别
27	9.83	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	-8.60	[M-H] ⁻	山柰酚-3- <i>O</i> -芸香糖苷	539.151 3、285.040 6	黄酮类
28	9.99	C ₂₉ H ₃₆ O ₁₅	-6.32	[M-H] ⁻	毛蕊花糖苷	461.165 0、161.024 5、135.045 0、 133.030 7	苯乙醇类
29	10.00	C ₂₆ H ₃₈ O ₁₂	14.2	[M-H] ⁻	迎春花素	541.242 2、505.263 8	萜类
30	10.08	C ₃₃ H ₄₀ O ₁₈	0.24	[M-H] ⁻	女贞苷 ^a	723.230 2、263.073 9	黄酮类
31	10.12	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	-8.40	[M+H] ⁺	木犀草苷 ^a	287.054 5	黄酮类
32	10.47	C ₂₅ H ₃₂ O ₁₄	8.26	[M-H] ⁻	10-羟基橄榄苦苷	349.122 7、197.076 6、151.042 3	萜类
33	11.06	C ₁₀ H ₁₂ O ₃	-3.93	[M+H] ⁺	酪氨酰乙酸	93.077 9、91.057 5、79.082 7	苯乙醇类
34	11.07	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₄	-9.81	[M+H] ⁺	芹菜素-7- <i>O</i> -芸香糖苷	433.112 4、271.059 7	黄酮类
35	11.21	C ₈ H ₁₀ O ₂	7.30	[M-H] ⁻	4-羟苯基乙醇	137.071 7、122.032 6、116.996 2、 93.035 3	其他类
36	11.28	C ₂₉ H ₃₆ O ₁₅	9.48	[M+H] ⁺	毛蕊花苷	441.152 5、205.044 2	苯乙醇类
37	11.57	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₄	-9.84	[M-H] ⁻	野漆树苷 ^a	577.155 9、269.045 4、268.038 5	黄酮类
38	12.14	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	-7.12	[M-H] ⁻	芹菜素-7- <i>O</i> -葡萄糖苷 ^a	431.098 6、269.046 5、268.037 3	黄酮类
39	12.38	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	-8.40	[M-H] ⁻	槲皮素-3- <i>O</i> -鼠李糖苷	285.039 7	黄酮类
40	14.47	C ₂₅ H ₃₂ O ₁₃	-7.59	[M-H] ⁻	橄榄苦苷	179.054 3、153.056 8	萜类
41	15.04	C ₁₇ H ₂₄ O ₁₁	6.23	[M+H] ⁺	木犀草苷-11-甲酯异构体	177.008 1、161.021 4	萜类
42	15.57	C ₁₇ H ₂₀ O ₆	-11.29	[M-H] ⁻	橄榄裂环烯醚萜	183.066 5、165.057 2、139.076 5	萜类
43	17.37	C ₂₅ H ₃₂ O ₁₂	2.69	[M-H] ⁻	女贞苷	315.123 9、199.129 8、151.039 9	萜类
44	17.55	C ₁₉ H ₂₂ O ₇	-1.19	[M+H] ⁺	女贞苷元	137.063 1、119.045 1	萜类
45	17.77	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	-7.69	[M+H] ⁺	山柰酚	161.023 9、153.019 4	黄酮类
46	17.97	C ₁₅ H ₁₂ O ₆	-7.35	[M-H] ⁻	圣草酚 ^a	287.048 2、151.003 4、135.045 1、 134.036 9、107.014 2	黄酮类
47	18.11	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	-5.91	[M-H] ⁻	槲皮素 ^a	301.034 7、178.998 6、151.003 6、 121.030 3、107.014 6	黄酮类
48	19.21	C ₂₅ H ₃₀ O ₁₅	1.14	[M+H] ⁺	橄榄苦苷酸	571.130 5、325.079 3、259.076 7、 141.114 0、107.051 5	萜类
49	20.21	C ₁₇ H ₂₄ O ₁₄	0.49	[M-H] ⁻	女贞酸	433.106 9、288.997 3	萜类
50	20.34	C ₂₄ H ₃₀ O ₁₃	-3.05	[M+H] ⁺	去甲基橄榄苦苷	141.117 1、123.044 9	萜类
51	21.69	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	-1.60	[M-H] ⁻	芹菜素	269.044 2、117.034 8	黄酮类
52	24.21	C ₁₁ H ₁₄ O ₆	7.33	[M+H] ⁺	榄香醇酸	165.055 1、151.036 0	萜类
53	24.28	C ₃₁ H ₄₂ O ₁₇	4.50	[M-H] ⁻	特女贞苷	685.241 5、151.039 3	萜类
54	25.18	C ₁₃ H ₂₀ O ₃	-9.61	[M+H] ⁺	吐叶醇	225.147 6、209.043 6、195.108 0	挥发油类
55	26.12	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	2.69	[M-H] ⁻	乙酸芳樟酯	195.139 3、179.109 1	挥发油类
56	26.29	C ₃₀ H ₄₈ O ₅	-8.07	[M-H] ⁻	委陵菜酸	487.340 3、302.984 5	萜类
57	28.33	C ₃₀ H ₄₈ O ₄	-9.29	[M-H] ⁻	山楂酸	471.345 8	萜类
58	28.39	C ₃₀ H ₄₈ O ₄	-10.20	[M-H] ⁻	2-羟基齐墩果酸	471.345 8	萜类
59	29.11	C ₃₉ H ₅₄ O ₇	-10.00	[M-H] ⁻	3- <i>O</i> -酰基委陵菜酸	633.378 3、161.023 4	萜类
60	29.97	C ₃₂ H ₅₀ O ₅	-21.30	[M+H] ⁺	19-羟基-3-乙酰熊果酸	515.386 2、515.370 3	萜类
61	30.04	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	-6.92	[M+H] ⁺	邻苯二甲酸二丁酯	149.024 3	挥发油类
62	30.37	C ₁₃ H ₁₈ O	-7.69	[M+H] ⁺	大马酮	133.066 5、107.050 7	挥发油类
63	30.57	C ₃₉ H ₅₄ O ₆	-11.20	[M-H] ⁻	3- <i>O</i> -(反式-对香豆醇基) 山茱萸酸	617.384 3、145.029 6	萜类
64	32.15	C ₃₀ H ₄₈ O ₅	-14.78	[M+H] ⁺	委陵菜酸异构体	471.325 8、159.115 4	萜类
65	32.22	C ₃₀ H ₄₆ O ₃	-9.00	[M-H] ⁻	3-酮基齐墩果酸	453.333 7、441.334 0	萜类
66	33.54	C ₃₀ H ₄₈ O ₃	-9.69	[M-H] ⁻	齐墩果酸 ^a	455.349 6	萜类
67	33.59	C ₁₅ H ₂₄	1.02	[M+H] ⁺	罗汉柏烯	149.021 4	挥发油类

续表 2

峰号	保留 时间/min	分子式	误差/ 10 ⁻⁶	离子模式	化学成分	碎片离子(<i>m/z</i>)	类别
68	33.66	C ₃₀ H ₄₈ O ₃	-9.41	[M-H] ⁻	白桦脂酸	455.351 9	萜类
69	33.70	C ₃₀ H ₄₈ O ₃	-9.60	[M-H] ⁻	齐墩果酸异构体	455.349 6、407.332 9	萜类
70	33.76	C ₁₅ H ₂₄	-5.30	[M+H] ⁺	马兜铃烯	149.021 4、121.013 7	萜类
71	33.78	C ₃₀ H ₄₈ O ₃	-9.90	[M-H] ⁻	熊果酸	455.351 5	萜类
72	35.17	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	1.00	[M-H] ⁻	十四酸	227.201 5、227.079 6	脂肪酸类
73	39.40	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	-3.75	[M-H] ⁻	油酸	281.248 2	脂肪酸类

注:a 表示经标准品准确识别,用作定量分析
Note: "a" represents accurate identification by standard samples, and it is used for quantitative analysis

2.2 基于UHPLC-QTRAP MS技术的不同品种油
橄榄叶化学成分的定量研究

2.2.1 色谱图

油橄榄叶提取物中 11 个化学成分的 UHPLC -

QTRAP MS(MRM) 色谱图见图 2,线性回归方程见
表 3。由图 2 和表 3 可知,油橄榄叶提取物中 11 个
化学成分的分离效果较好,所有分析物质量浓度与
峰面积呈现良好的线性关系($R^2\geq 0.999\ 4$)。

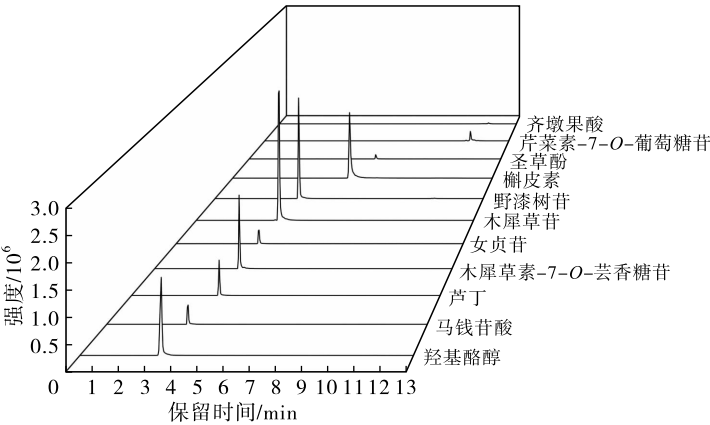


图 2 油橄榄叶提取物中 11 个化学成分的 UHPLC-QTRAP MS (MRM) 色谱图

Fig. 2 UHPLC-QTRAP MS (MRM) chromatogram of 11 chemical components in olive leaf extracts

表 3 油橄榄叶提取物中 11 个化学成分的线性回归方程

Table 3 Linear regression equations of 11 chemical
components in olive leaf extracts

化合物	线性回归方程	R^2	线性范围/ ($\mu\text{g/mL}$)
羟基酪醇	$Y=8.86\times 10^3X+4.35\times 10^5$	0.999 8	0.003 4~5.00
马钱苷酸	$Y=555.00X+6.44\times 10^4$	0.999 9	0.020 9~10.00
芦丁	$Y=705.00X-4.09\times 10^4$	1.000 0	0.182 0~10.00
木犀草素-7-O-芸香糖苷	$Y=2.20\times 10^3X-1.93\times 10^4$	1.000 0	0.110 0~9.98
女贞苷	$Y=1.06\times 10^3X-3.07\times 10^4$	0.999 9	0.137 0~10.10
木犀草苷	$Y=3.12\times 10^3X+1.97\times 10^5$	0.999 7	0.542 0~9.92
野漆树苷	$Y=3.05\times 10^3X-1.20\times 10^5$	0.999 4	0.354 0~9.91
槲皮素	$Y=4.30\times 10^3X+3.89\times 10^4$	0.999 8	0.046 7~9.93
圣草酚	$Y=59.90X+3.46\times 10^3$	0.999 9	0.194 0~10.00
芹菜素-7-O-葡萄糖苷	$Y=85.90X-1.12\times 10^4$	0.999 4	0.613 0~10.10
齐墩果酸	$Y=44.20X-3.02\times 10^3$	0.999 6	0.295 0~10.10

2.2.2 定量分析结果

应用 UHPLC-QTRAP MS 对 27 批油橄榄叶提
取物中 11 个化学成分进行定量分析,结果见表 4。

由表 4 可知,整体上甘肃陇南地区不同品种油
橄榄叶提取物中 11 个化学成分总含量存在一定差
异,甘肃陇南武都和礼县的油橄榄叶提取物中 11 个
化学成分的总含量分别为 1 601.19~2 941.99 $\mu\text{g/g}$
和 925.98~2 617.04 $\mu\text{g/g}$,其中,陇南武都科拉蒂、
奇迹、阿尔波萨纳、鄂植 8 号、莱星和陇南礼县小苹
果、西阿基、科拉蒂、皮削利、切姆拉尔、阿尔波萨纳、
陇育 1 号油橄榄叶提取物 11 个化学成分总含量相
对较高,均大于 2 000 $\mu\text{g/g}$ 。同一地区不同品种和
不同地区同一品种间 11 种化学成分总含量存在一
定差异,如陇南武都鄂植 8 号 11 个化学成分总含量
(2 941.99 $\mu\text{g/g}$)明显高于豆果的(1 601.19 $\mu\text{g/g}$),
陇南武都阿尔波萨纳 11 个化学成分总含量(2 326.03
 $\mu\text{g/g}$)高于陇南礼县阿尔波萨纳的(2 193.37 $\mu\text{g/g}$),
这可能与油橄榄种质资源和种植气候环境有着密切

关系^[8,16]。化学成分上,在不同品种油橄榄叶中木犀草素-7-O-芸香糖苷、女贞苷、木犀草苷、野漆树苷含量较高,羟基酪醇、芦丁、槲皮素、圣草酚、芹菜素-7-O-葡萄糖苷、齐墩果酸含量其次,马钱苷酸含量最低。

表 4 27 批油橄榄叶提取物中 11 个化学成分的含量 (n=3)

Table 4 Contents of 11 chemical components in 27 batches of olive leaf extracts (n=3)

产地	品种	羟基酪醇	马钱苷酸	芦丁	木犀草素-7-O-芸香糖苷	女贞苷	木犀草苷	野漆树苷	槲皮素	圣草酚	芹菜素-7-O-葡萄糖苷	齐墩果酸	总含量
陇南武都	阿斯	114.81	9.68	85.15	354.84	182.33	436.39	461.63	51.09	55.78	68.72	98.78	1 919.20
	科拉蒂	103.02	9.66	212.44	547.31	305.46	439.09	520.30	114.82	23.66	292.26	100.82	2 668.84
	皮削利	87.43	9.87	76.80	343.49	293.76	376.18	349.91	21.88	75.60	199.12	79.21	1 913.25
	奇迹	88.92	9.81	147.53	287.88	394.14	253.99	524.92	53.35	32.76	261.36	79.74	2 134.40
	阿尔波萨纳	44.82	9.11	167.87	342.73	200.24	292.37	547.16	115.31	44.20	496.20	66.02	2 326.03
	陇育 1 号	57.75	9.03	90.65	187.11	82.65	495.70	562.34	16.73	45.39	365.62	72.44	1 985.41
	鄂植 8 号	71.91	10.33	283.06	479.62	440.87	307.63	523.57	499.80	63.12	199.56	62.52	2 941.99
	莱星	78.07	9.38	295.16	504.08	462.26	511.45	226.05	50.49	27.29	282.81	102.17	2 549.21
	豆果	78.34	9.77	67.15	286.97	176.46	396.08	273.38	41.85	76.94	115.71	78.54	1 601.19
	贝拉	81.70	9.85	57.95	287.14	189.23	455.95	286.54	30.68	68.28	147.38	69.68	1 684.38
陇南礼县	西瓜儿	114.74	9.15	94.31	301.56	102.32	461.15	181.22	82.30	59.89	316.98	136.56	1 860.18
	阿斯	63.86	12.21	60.67	189.98	86.01	365.20	566.75	81.42	12.17	53.06	138.10	1 629.43
	小苹果	130.34	10.67	192.70	569.28	301.78	299.78	569.28	173.85	92.44	125.13	151.79	2 617.04
	砧木	54.13	9.80	158.63	226.58	163.81	254.88	244.12	403.95	43.56	54.80	74.53	1 688.79
	西阿基	130.53	9.78	170.19	295.74	186.13	418.09	555.80	114.79	34.18	177.96	74.13	2 167.32
	科拉蒂	162.56	9.37	286.89	361.36	229.23	460.06	536.34	36.22	27.43	115.92	108.31	2 333.69
	皮削利	210.19	9.89	74.53	394.41	234.17	477.92	582.82	37.10	83.92	182.82	140.46	2 428.23
	切姆拉尔	28.53	11.00	59.77	152.71	379.39	59.23	505.18	503.19	32.28	120.41	148.52	2 000.21
	奇迹	73.12	10.90	92.65	292.89	188.68	281.73	563.66	109.58	55.77	76.91	57.32	1 803.21
	阿尔波萨纳	76.25	10.63	142.35	358.35	353.77	302.41	551.26	164.64	52.54	110.89	70.28	2 193.37
	陇育 1 号	72.61	11.04	210.44	416.28	352.67	411.08	583.72	206.84	31.25	62.61	43.77	2 402.31
	鄂植 8 号	7.77	10.23	15.33	70.46	144.92	131.91	397.32	19.50	36.45	41.93	50.16	925.98
	莱星	31.44	11.12	79.00	132.40	215.20	265.20	522.80	52.70	33.98	108.80	19.06	1 471.70
	豆果	39.27	11.52	99.78	337.33	269.15	406.32	543.49	101.98	37.17	70.39	31.89	1 948.29
	贝拉	33.31	12.47	81.94	77.60	129.21	150.48	571.01	236.56	45.50	43.02	42.51	1 423.61
	西瓜儿	63.86	12.21	60.67	189.98	86.01	365.20	566.75	81.42	12.17	53.06	138.10	1 629.43
	贺吉	61.79	10.14	37.15	209.56	187.16	390.72	244.15	42.77	43.95	93.98	34.55	1 355.92

2.3 甘肃陇南不同品种油橄榄叶提取物的抗氧化活性

采用体外抗氧化模型 (DPPH、ABTS 和羟自由基清除活性)^[1,17] 初步评价甘肃陇南不同品种油橄榄叶提取物的抗氧化活性,结果见表 5。

由表 5 可见,陇南不同地区油橄榄叶提取物的 DPPH 自由基清除率与阳性对照 V_c 相比具有一定差距,整体上陇南礼县油橄榄叶提取物的 DPPH 自由基清除率比陇南武都油橄榄叶提取物的强。不同地区、不同品种间油橄榄叶提取物 DPPH 自由基

清除率差异较大,未呈现出品种一致性,其中,陇南礼县以科拉蒂、阿斯、西阿基 3 个品种的 DPPH 自由基清除率最优,而陇南武都以陇育 1 号、皮削利、阿尔波萨纳 3 个品种的 DPPH 自由基清除率最优。

由表 5 可见,陇南不同地区油橄榄叶提取物 ABTS 自由基清除率与阳性对照 V_c 相当,整体上陇南不同地区油橄榄叶提取物的 ABTS 自由基清除率较强,不同地区、不同品种间油橄榄叶提取物的 ABTS 自由基清除率呈现出一致性。

由表 5 可见,陇南不同地区油橄榄叶提取物的羟自由基清除率与阳性对照 V_c 相比具有一定差距,整体上陇南礼县油橄榄叶提取物的羟自由基清除率比陇南武都油橄榄叶提取物的强。不同地区、不同品种间油橄榄叶提取物羟自由基清除率差异较大,未呈现出品种一致性,其中,陇南礼县以豆果、阿尔波萨纳、陇育 1 号 3 个品种的羟自由基清除率最优,而陇南武都以莱星、贝拉 2 个品种的羟自由基清除率最优。

表 5 甘肃陇南不同品种油橄榄叶提取物的抗氧化活性
Table 5 Antioxidant activity of different varieties of olive leaf extracts in Longnan, Gansu Province %

产地	品种	DPPH 自由基清除率	ABTS 自由基清除率	羟自由基清除率
	V_c	96.86 ± 3.52	98.25 ± 4.36	97.69 ± 4.55
陇南武都	西瓜儿	33.72 ± 3.69	89.53 ± 1.17	19.60 ± 4.59
	鄂植 8 号	11.75 ± 1.69	75.56 ± 2.48	17.99 ± 3.90
	贝拉	14.90 ± 1.71	82.28 ± 0.86	28.07 ± 5.78
	奇迹	33.27 ± 2.71	89.59 ± 0.88	16.18 ± 5.26
	豆果	21.41 ± 9.00	90.94 ± 3.86	16.42 ± 15.30
	阿尔波萨纳	42.46 ± 6.29	89.49 ± 1.24	21.48 ± 4.73
	陇育 1 号	52.21 ± 1.05	90.67 ± 1.58	18.07 ± 6.08
	莱星	26.79 ± 6.37	89.37 ± 13.80	32.64 ± 3.37
	阿斯	32.87 ± 2.90	88.91 ± 1.50	19.80 ± 6.46
	科拉蒂	29.99 ± 9.70	85.01 ± 0.35	19.19 ± 11.98
陇南礼县	皮削利	49.17 ± 9.04	89.27 ± 3.58	10.58 ± 5.45
	莱星	35.67 ± 5.69	87.13 ± 2.23	59.55 ± 3.23
	小苹果	55.60 ± 12.53	83.57 ± 5.13	31.47 ± 4.75
	西阿基	64.60 ± 10.14	89.71 ± 3.43	47.76 ± 1.03
	砧木	56.82 ± 4.89	87.72 ± 5.49	44.39 ± 4.77
	陇育 1 号	59.73 ± 5.14	91.24 ± 1.87	61.30 ± 4.20
	切姆拉尔	52.78 ± 5.34	90.68 ± 1.85	36.64 ± 4.59
	贺吉	63.13 ± 1.78	91.85 ± 3.25	37.78 ± 6.86
	科拉蒂	88.23 ± 2.06	91.64 ± 5.62	61.19 ± 10.45
	阿尔波萨纳	49.93 ± 7.12	91.16 ± 2.95	65.56 ± 7.26
	豆果	60.35 ± 15.46	88.15 ± 1.53	72.78 ± 6.23
	贝拉	52.96 ± 3.38	91.88 ± 1.59	58.79 ± 7.22
	阿斯	79.52 ± 9.25	88.31 ± 2.50	58.28 ± 10.72
	奇迹	63.80 ± 5.39	89.75 ± 3.16	48.26 ± 10.61
	皮削利	56.93 ± 1.75	90.73 ± 2.80	46.68 ± 1.23
	鄂植 8 号	43.78 ± 3.71	83.59 ± 1.61	48.79 ± 4.07
	西瓜儿	57.31 ± 8.03	82.54 ± 4.44	49.49 ± 1.08

3 结 论

本研究首先利用 UHPLC – TOF MS 技术对甘肃陇南主栽品种油橄榄叶提取物的化学成分进行了全面表征,从油橄榄叶提取物中主要鉴定了 73 个化合物,其中萜类 38 个、黄酮类 16 个、苯乙醇类 7 个、挥发油类 5 个、脂肪酸类 2 个、苯甲酸类 1 个、苯丙素

类 1 个、其他类 3 个。其次,采用 UHPLC – QTRAP MS 技术,对甘肃陇南不同品种 27 批油橄榄叶提取物中的 11 个化学成分进行了定量分析,结果表明,不同品种油橄榄叶提取物中 11 个化学成分总含量存在一定差异,陇南武都油橄榄叶提取物中 11 个化学成分的总含量在 1 601.19 ~ 2 941.99 $\mu\text{g/g}$ 之间,陇南礼县油橄榄叶提取物中 11 个化学成分的总含量为 925.98 ~ 2 617.04 $\mu\text{g/g}$ 。在不同品种油橄榄叶提取物中木犀草素 – 7 – O – 芸香糖苷、女贞苷、木犀草苷、野漆树苷含量较高。最后,利用体外抗氧化活性评价实验对甘肃陇南不同品种不同产地的油橄榄叶提取物抗氧化活性进行了初步评价,整体上,陇南礼县油橄榄叶提取物的抗氧化活性强于陇南武都,且其科拉蒂、阿尔波萨纳和陇育 1 号的抗氧化活性相对较优。本研究系统表征了陇南油橄榄叶中的化学成分,揭示了不同来源油橄榄叶中 11 个化学成分含量及抗氧化活性差异,为后续油橄榄叶的质量控制和产品开发奠定了理论基础。

参考文献:

[1] 田立鹏,李春爱,蔡梦,等. 油橄榄叶提取物抗氧化及抑菌活性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12 (20): 8178 – 8184.

[2] 李婷,张程程,吴文俊,等. 油橄榄叶抗氧化活性成分及其作用机制研究进展[J]. 中国粮油学报, 2023, 38 (11): 256 – 266.

[3] BORJAN D, LEITGEB M, KNEZ Ž, et al. Microbiological and antioxidant activity of phenolic compounds in olive leaf extract [J]. Molecules, 2020, 25(24): 5946 – 5973.

[4] 李楠,赵兴文,郭美佳,等. 油橄榄叶有效成分的提取及药理活性的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41 (10): 327 – 331, 338.

[5] DE LEONARDIS A, ARETINI A, ALFANO G, et al. Isolation of a hydroxytyrosol rich extract from olive leaves (*Olea europaea* L.) and evaluation of its antioxidant properties and bioactivity [J]. Eur Food Res Technol, 2008, 226(4): 653 – 659.

[6] ROMANI A, IERI F, URCIUOLI S, et al. Health effects of phenolic compounds found in extra – virgin olive oil, by – products, and leaf of *Olea europaea* L. [J/OL]. Nutrients, 2019, 11(8): 1776 [2024 – 05 – 12]. <https://doi.org/10.3390/nu11081776>.

[7] KHWALDIA K, ATTOUR N, MATTHES J, et al. Olive byproducts and their bioactive compounds as a valuable source for food packaging applications [J]. Compr Rev Food Sci Food Saf, 2022, 21(2): 1218 – 1253.

[8] 李勇杰,耿树香,徐田. 云南引种油橄榄嫩叶中抗氧化成分含量分析[J]. 中国油脂, 2024, 49(1): 134 – 139.

(下转第 81 页)

- [7] GUTIÉRREZ – DOMÍNGUEZ D E, CHÍ – MANZANERO B, RODRÍGUEZ – ARGÜELLO M M, et al. Identification of a novel lipase with AHSMG pentapeptide in hypocreales and *Glomerellales filamentous* fungi[J/OL]. *Int J Mol Sci*, 2022, 23(16): 9367[2024 – 10 – 29]. <https://doi.org/10.3390/ijms23169367>.
- [8] GUO C, ZHENG R, CAI R, et al. Characterization of two unique cold – active lipases derived from a novel deep – sea cold seep bacterium[J/OL]. *Microorganisms*, 2021, 9(4): 802[2024 – 10 – 29]. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9040802>.
- [9] MAGENGELELE M, HLALUKANA N, MALGAS S, et al. Production and *in vitro* evaluation of prebiotic manno – oligosaccharides prepared with a recombinant *Aspergillus niger* endo – mannanase, Man26A[J/OL]. *Enzyme Microb Technol*, 2021, 150: 109893[2024 – 10 – 29]. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2021.109893>.
- [10] YIN C, WANG B, HE P, et al. Genomic analysis of the aconidial and high – performance protein producer, industrially relevant *Aspergillus niger* SH2 strain[J]. *Gene*, 2014, 541(2): 107 – 114.
- [11] HOLMQUIST M. *Alpha/beta* – hydrolase fold enzymes: Structures, functions and mechanisms[J]. *Curr Protein Pept Sci*, 2000, 1(2): 209 – 235.
- [12] VERMA S, KUMAR R, MEGHWANSHI G K. Identification of new members of alkaliphilic lipases in archaea and metagenome database using reconstruction of ancestral sequences[J/OL]. *3 Biotech*, 2019, 9(5): 165[2024 – 10 – 29]. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1693-9>.
- [13] HOSSEINI M, KARKHANE A A, YAKHCHALI B, et al. In silico and experimental characterization of chimeric *Bacillus thermocatenulatus* lipase with the complete conserved pentapeptide of *Candida rugosa* lipase[J]. *Appl Biochem Biotechnol*, 2013, 169(3): 773 – 785.
- [14] 邢书奇. 黑曲霉 GZUF36 脂肪酶的结构与功能研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020.
- [15] XING S, ZHU R, CHENG K, et al. Gene expression, biochemical characterization of a Sn – 1, 3 extracellular lipase from *Aspergillus niger* GZUF36 and its model – structure analysis[J/OL]. *Front Microbiol*, 2021, 12: 633489[2024 – 10 – 29]. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.633489>.
- [16] FLORES S S, CLOP P D, BARRA J L, et al. His – tag β – galactosidase supramolecular performance[J/OL]. *Biophys Chem*, 2022, 281: 106739[2024 – 10 – 29]. <https://doi.org/10.1016/j.bpc.2021.106739>.
- [17] SANTAMBROGIO C, SASSO F, NATALELLO A, et al. Effects of methanol on a methanol – tolerant bacterial lipase[J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2013, 97(19): 8609 – 8618.
-
- (上接第 72 页)
- [9] LORINI A, ARANHA B C, ANTUNES B D F, et al. Metabolic profile of olive leaves of different cultivars and collection times[J/OL]. *Food Chem*, 2021, 345: 128758[2024 – 05 – 12]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128758>.
- [10] MARTÍN – GARCÍA B, VERARDO V, LEÓN L, et al. GC – QTOF – MS as valuable tool to evaluate the influence of cultivar and sample time on olive leaves triterpenic components[J]. *Food Res Int*, 2019, 115: 219 – 226.
- [11] 边雷. 油橄榄叶化学成分的研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2023.
- [12] ZHANG Y, WEN M, ZHOU P, et al. Analysis of chemical composition in Chinese olive leaf tea by UHPLC – DAD – Q – TOF – MS/MS and GC – MS and its lipid – lowering effects on the obese mice induced by high – fat diet[J/OL]. *Food Res Int*, 2020, 128: 108785[2024 – 05 – 12]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108785>.
- [13] HAMMOUDA I B, MÁRQUEZ – RUIZ G, HOLGADO F, et al. RP – UHPLC – DAD – QTOF – MS as a powerful tool of oleuropein and ligstroside characterization in olive – leaf extract and their contribution to the improved performance of refined olive – pomace oil during heating[J]. *J Agric Food Chem*, 2020, 68(43): 12039 – 12047.
- [14] TAAMALLI A, ARRÁEZ – ROMÁN D, IBAÑEZ E, et al. Optimization of microwave – assisted extraction for the characterization of olive leaf phenolic compounds by using HPLC – ESI – TOF – MS/IT – MS(2)[J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(3): 791 – 798.
- [15] YANG M, SUN J H, LU Z Q, et al. Phytochemical analysis of traditional Chinese medicine using liquid chromatography coupled with mass spectrometry[J]. *J Chromatogr A*, 2009, 1216(11): 2045 – 2062.
- [16] 王碧霞, 杜小奇, 邓燕, 等. 凉山油橄榄主栽品种叶中营养物质和酚类含量的季节性变化[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2022, 46(4): 169 – 176.
- [17] 刘强, 孙云, 侯帅, 等. 橄榄多酚成分鉴定及生物活性的研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2024, 39(9): 213 – 223.