

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.60012

不同生长期滨海白首乌叶主要成分 与生物活性分析

林 燕¹ 石 云² 杨 宇¹ 章语倩¹ 卜 京³ 洪 键¹

(1. 盐城师范学院海洋与生物工程学院, 江苏 盐城 224007; 2. 江苏医药职业学院药学院, 江苏 盐城 224051;
3. 盐城市亭湖高级中学, 江苏 盐城 224002)

摘要: [目的]明确滨海白首乌叶的功能成分和活性作用,资源化利用滨海白首乌叶。[方法]以不同生长期滨海白首乌叶为研究材料,测定滨海白首乌叶发芽期(五月)、生长期(八月)、落叶期(十月)3个不同时期的主要功能成分的变化规律,分析比较其抗氧化能力和降血糖活性,并利用首乌叶制成一款具有保健功效的叶茶。[结果]滨海白首乌五月、八月、十月叶中多糖含量分别为 13.803, 3.064, 3.809 mg/g, C₂₁甾体苷含量分别为 8.973, 19.640, 2.653 mg/g, 均显著低于首乌块根;其黄酮含量分别为 13.407, 17.776, 2.022 mg/g, 显著高于首乌块根。白首乌八月叶提取液对 α -葡萄糖苷酶的抑制率和抗氧化能力均高于滨海白首乌块根。滨海白首乌叶茶中活性物质含量较高,具有抗氧化和降血糖活性。[结论]滨海白首乌叶中含有较高的功能成分和生物活性物质,是一种能够高值化利用的生物资源。

关键词:滨海白首乌叶;黄酮;C₂₁甾体苷;多糖;活性评价

Analysis and application of the main functional components and biological activity of the *Cynanchum auriculatum* Royle ex Wight leaf in different growth stages

LIN Yan¹ SHI Yun² YANG Yu¹ ZHANG Yuqian¹ BU Jing³ HONG Jian¹

(1. College of Marine and Biological Engineering, Yancheng Teachers University, Yancheng, Jiangsu 224007, China;
2. College of Pharmacy, Jiangsu Vocational College of Medicine, Yancheng, Jiangsu 224051, China;
3. Yancheng Tinghu Senior High School, Yancheng, Jiangsu 224002, China)

Abstract: [Objective] This study aimed to clarify the functional components and active effects of *Cynanchum auriculatum* Royle ex Wight leaves, and make use of *C. auriculatum* Royle ex Wight leaves as resources. [Methods] Taking the leaves of *C. auriculatum* Royle ex Wight at different growth stages as the research material, the changes of the main functional components in the leaves of *C. auriculatum* Royle ex Wight were measured in three different stages: germination stage (May), growth stage (August) and deciduous stage (October). The antioxidant capacity and hypoglycemic activity of the leaves were analyzed and compared, and the leaves were used to make a leaf tea with health care functions. [Results] The polysaccharide content and C₂₁ steroid glycoside content in the leaves of *C. auriculatum* Royle ex Wight in May, August and October were 13.803, 3.064 and 3.809 mg/g, respectively, which were significantly lower than those in the roots of *C. auriculatum* Royle ex Wight. The flavonoid contents were 13.407, 17.776 and 2.022 mg/g, respectively, which were significantly higher than those of *C. auriculatum* Royle ex Wightroot. The inhibition rate of α -glucosidase and antioxidant capacity of August leaf extract were higher than those of October. *C. auriculatum* Royle ex Wight leaf tea has high content of active substances, which has antioxidant and hypoglycemic activities. [Conclusion] The *C. auriculatum* Royle ex Wight leaves have high functional components and bioactive substances, making them highly valuable for use.

Keywords: *Cynanchum auriculatum* Royle ex Wight leaf; flavonoids; C₂₁ steroid; polysaccharide; activity evaluation

基金项目:江苏省产学研合作项目(编号:BY20231119);教育部产学研合作协同育人项目(编号:230720035807195);盐城师范学院大学生创新创业训练计划项目(编号:202310324008Z);西藏藏医药大学中医学(藏医)博士点建设及中药学(藏药)博士点培育博士后项目(编号:BSDJS-BH-22-01, BSDJS-BH-22-02)

通信作者:洪键(1981—),男,盐城师范学院高级实验师,博士。E-mail: jian_hong602@sina.com

收稿日期:2024-01-24 **改回日期:**2024-06-09

白首乌系萝藦科(*Asclepiadaceae*)鹅绒藤属植物,其植物品种主要有3种:耳叶牛皮消(*Cynanchum auriculatum*)、隔山牛皮消(*Cynanchum wilfordii*)及戟叶牛皮消(*Cynanchum bungei*)^[1-2]。滨海白首乌属于耳叶牛皮消,又名白人参,特指地下块根部,富含多种功能成分,主要包括多糖类、C₂₁甾体类化合物、黄酮和磷脂类^[3-5]。滨海县是中国唯一的“白首乌之乡”^[6-7],全国超过95%的白首乌产自江苏省滨海县。

现代药理研究^[8]证明,白首乌具有抗氧化、降血糖、降血脂以及抗肿瘤等作用。王冬艳等^[9]发现白首乌C₂₁甾体苷具有良好的调节血脂功能,能够改善肝脏脂肪变性。刘泽鑫等^[10]研究表明,白首乌花可以有效缓解小鼠酒精性肝损伤,具有一定的保肝护肝功能。赵雪^[11]研究发现,白首乌多糖可以显著抑制细胞中活性氧(ROS)含量,保护血管内皮细胞免受氧化损害。除块根外,滨海白首乌茎叶兼具药用价值,明代《本草纲目》中记载:“茎叶治风疮疥癣”^[12]。吴立云等^[13]研究发现,滨海白首乌茎叶总黄酮对CCL4引起的小鼠急性肝损伤有保护作用。综上,滨海白首乌的地上部分与块根均具有良好的药理活性。但对滨海白首乌叶缺少系统的功能成分研究和活性评价,大量的白首乌叶在采收完地下块根后被丢弃,造成了资源浪费和环境污染。

植物叶可作为一种重要的生物资源被广泛应用。沙棘叶被制作成红茶型沙棘茶和绿茶型沙棘茶^[14]。张瑞刚等^[15]发现沙棘叶茶多糖具有体外降血脂功能。沙棘叶也可以与薄荷油制成一种美白去皱的化妆品^[16]。丁磊等^[17]以蒲公英叶为原料,以冠状散囊菌为发酵菌株进行发酵,制得一款口感醇厚柔顺的蒲公英发酵茶。梁贵秋等^[18]发酵桑叶制成桑叶茶,该发酵桑叶茶具有体外抗氧化功效。综上,植物叶可以被开发成各种类型的产品,增加其附加值和利用率。

研究拟对不同生长期[发芽期(五月)、生长期(八月)和落叶期(十月)]滨海白首乌叶中主要功能成分多糖类、黄酮类和C₂₁甾体类含量进行比较,筛选出活性成分含量最优月份的白首乌叶,通过1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)和2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS⁺)自由基清除能力、总抗氧化能力、铁还原力能力评价滨海白首乌叶的抗氧化活性,通过 α -葡萄糖苷酶抑制率评价滨海白首乌叶的降血糖能力。同时基于其功能成分和生物活性,采用传统绿茶制作工艺,开发制作一款具有保健功效的白首乌叶茶,旨在为滨海白首乌叶的资源化利用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

不同生长期白首乌叶、块根样品:采收时间为2022年5月20日、8月20日、10月20日,分别为白首乌生长的发芽期、生长期和落叶期,每批采样10 kg(鲜重),江苏省滨海县白首乌生态种植基地;

芦丁:北京索莱宝生物科技有限公司;

葡萄糖标准品、葡萄糖苷酶、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼:上海源叶生物科技有限公司;

α -4-硝基苯基-D-吡喃葡萄糖苷:南京都莱生物技术有限公司;

阿卡波糖:杭州中美华东制药有限公司;

2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐:福州飞净生物科技有限公司;

活性炭:上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

数显恒温水浴锅:HH-4型,常州国华电器有限公司;

高压蒸汽灭菌锅:YXQ-LS-50A型,上海博迅实业有限公司;

紫外可见光光度计:UV-1800PC型,上海美谱达仪器有限公司;

酶标分析仪:DNM-9602型,北京普朗新技术有限公司;

旋转蒸发器:RE-52型,上海亚荣生化仪器厂;

微波炉:P80D23N1P-B5(B0)型,广东格兰仕微波生活电器制造有限公司;

恒温烘干箱:DHG-9070A型,上海一恒科学仪器有限公司。

1.3 方 法

1.3.1 白首乌叶、块根总多糖含量测定 采用热水浸提法^[19]提取白首乌叶、块根中粗多糖。采用苯酚-硫酸法测定多糖含量。

1.3.2 白首乌叶、块根总黄酮含量测定 参照文献[20-21]的方法并修改。取4 g不同生长期的白首乌叶粉、块根粉,料液比($m_{\text{粉末}}:V_{\text{蒸馏水}}$)为1:25 (g/mL),70 °C超声波协助提取60 min,离心,取上清液重复提取两次,合并提取液,加入0.5%活性炭,50 °C水浴20 min,过滤,收集滤液,旋转蒸发,得到不同生长期白首乌叶、块根黄酮粗提取母液。将不同生长期白首乌叶、块根黄酮粗提取液(母液)配制成适当浓度,于96孔板,加入70%乙醇定容至50 μ L,加入15 μ L 5%亚硝酸钠溶液,混匀,静置6 min,加入15 μ L 10%硝酸铝,混匀,静置6 min,加入40 μ L 4% NaOH溶液,混匀,静置15 min,测定510 nm处吸光值,重复3次,参照芦丁标准曲线计算黄酮含量。

1.3.3 白首乌叶、块根C₂₁甾体含量测定 参照文献[22]的方法并修改。取4 g不同生长期白首乌叶粉、块根粉于烧杯中,料液比($m_{\text{粉末}}:V_{\text{蒸馏水}}$)为1:25 (g/mL),80 °C超声波协助提取60 min,重复提取两次,合并提取液,加入0.5%活性炭,50 °C水浴20 min,过滤,收集滤液,减压回流至无醇味,补水至15 mL,用等体积的水饱和正丁醇萃取两次,回收正丁醇,干燥。取干燥物溶解于无水乙醇并定容至5 mL,得到样品母液,备用。

将不同生长期白首乌叶、块根的C₂₁甾体提取液(母

液)配制成适当浓度,于 5 mL 具塞试管中,90 °C 水浴挥发溶剂,加入 1 mL 高氯酸,摇匀,50 °C 水浴 15 min,立即取出用流水冷却至室温,加入 2 mL 无水乙醇,摇匀,测定 444 nm 处吸光度,重复 3 次,参照告达庭标准曲线计算 C_{21} 甾苷含量。

1.3.4 白首乌叶、块根提取液对 DPPH 自由基的清除能力测定

(1) 样品提取:称取 10 g 白首乌精粉,10 g 白首乌叶,按料液比($m_{\text{粉末}}:V_{\text{蒸馏水}}$)1:20 (g/mL)加入蒸馏水,65 °C 超声波提取 1.5 h,浓缩过滤,冷冻干燥 16 h,分别标记为 R-W(白首乌块根水提取物),L-W(白首乌叶水提取物)。称取 10 g 白首乌精粉,10 g 白首乌叶,按料液比($m_{\text{粉末}}:V_{\text{乙醇}}$)1:20 (g/mL)加入 60% 乙醇,65 °C 超声波提取 1.5 h,浓缩过滤,冷冻干燥 16 h,分别标记为 R-A(白首乌块根醇提取物),L-A(白首乌叶醇提取物)。

(2) DPPH 自由基清除能力测定:参照文献[23—24],以维生素 C 作为阳性对照,按式(1)计算 DPPH 自由基清除率。

$$k = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0} \right) \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

K ——自由基清除率,%;

A_1 ——样品组吸光度;

A_2 ——空白组吸光度;

A_0 ——对照组吸光度。

1.3.5 白首乌叶、块根提取液对 ABTS⁺ 自由基的清除能力测定 参照文献[25]。

1.3.6 白首乌叶、块根提取液对羟自由基的清除能力测定 参照文献[26],按式(2)计算羟自由基清除率。

$$R = \left(\frac{A_2 - A_1}{A_2} \right) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

R ——羟自由基清除率,%;

A_2 ——空白组吸光度;

A_1 ——样品组吸光度。

1.3.7 白首乌叶、块根提取液的铁还原力能力测定 参照文献[27]。

1.3.8 白首乌叶、块根提取液的体外降血糖能力测定 参照文献[28—29],按式(3)计算 α -葡萄糖苷酶抑制率。

$$R_1 = \left(1 - \frac{A_3 - A_2}{A_1 - A_0} \right) \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

R_1 —— α -葡萄糖苷酶抑制率,%;

A_0 ——对照空白组吸光度;

A_1 ——对照试验组吸光度;

A_2 ——样品空白组吸光度;

A_3 ——样品试验组吸光度。

1.3.9 白首乌叶茶制作及品质分析

(1) 白首乌叶茶制作:选择活性成分含量评价最优时期的滨海白首乌叶(八月),参照传统绿茶制作工艺制作一款白首乌叶茶^[30—31]。

(2) 茶水浸出物含量:按 GB/T 8305—2013 执行。

(3) 茶咖啡碱含量:按 GB/T 8312—2013 执行。

(4) 感官评定:按 GB/T 2377—2018 执行。

(5) DPPH 自由基清除能力:参照文献[23—24]。

(6) ABTS 自由基清除能力:参照文献[25]。

(7) 体外降血糖能力:参照文献[28—29]。

1.4 数据处理

所有试验重复 3 次,取平均值。采用 Origin8.0、Excel 软件进行数据处理并作图。

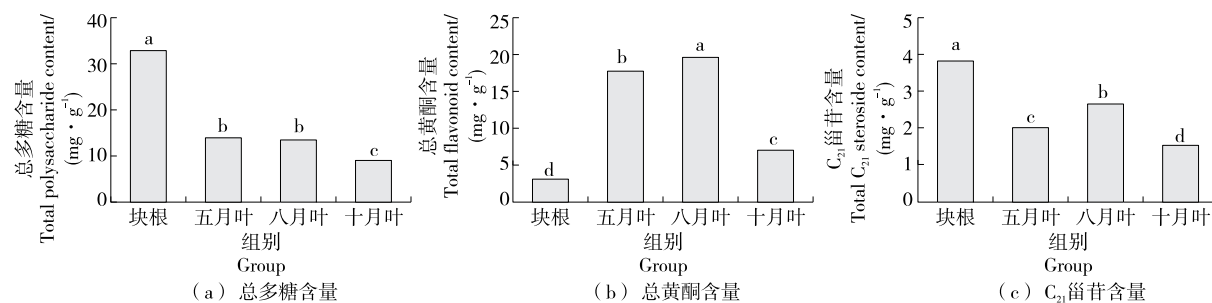
2 结果与讨论

2.1 不同生长时期白首乌叶、块根中功能成分含量比较

2.1.1 总多糖含量 由图 1(a)可知,不同生长期白首乌叶、块根中总多糖含量差异显著,分别为 8.973~13.803, 32.813 mg/g。白首乌块根中多糖含量显著高于各生长时期的白首乌叶($P < 0.05$)。白首乌八月叶和五月叶中多糖含量显著高于十月叶($P < 0.05$),但八月叶和五月叶间无显著差异。Di 等^[32]研究表明,高光强促使光合途径中 14 个编码反应中心蛋白的基因表达,增强了人参的能量代谢,对人参中多糖含量的积累产生正向影响。因此,推测白首乌叶中多糖含量的变化与光照强度有关,5—8 月,光照强度逐渐增强,白首乌叶的能量代谢增强,多糖含量逐渐升高;8—10 月,光照强度减弱,能量代谢降低,多糖含量逐渐降低。

2.1.2 总黄酮含量 黄酮具有降血糖、保肝护肝、降低胆固醇等功效,是一种天然的抗氧化剂^[33]。由图 1(b)可知,白首乌叶、块根中总黄酮含量分别为 7.007~19.640, 3.064 mg/g,各生长时期白首乌叶中总黄酮含量均显著高于块根($P < 0.05$)。八月叶中总黄酮含量为 19.640 mg/g,显著高于五月叶和十月叶($P < 0.05$)。Lu 等^[34]研究表明,桃儿七 *Sinopodophyllum hexandrum* (Royle) Ying 被紫外线照射时,其体内与黄酮合成有关的基因表达会增强,从而促进黄酮类物质的合成。因此,白首乌叶中总黄酮含量的变化可能与紫外线照射有关,八月紫外线照射强度高,促进了白首乌叶中调控黄酮合成的基因表达,进而影响了总黄酮含量。

2.1.3 C_{21} 甾苷含量 现代药理试验^[35—36]证明,白首乌 C_{21} 甾苷具有抗肿瘤、保肝护心、调节血脂、抗抑郁等功效。由图 1(c)可知,白首乌叶、块根中 C_{21} 甾苷含量分别为 1.542~2.022, 3.809 mg/g,白首乌块根中 C_{21} 甾苷含量显著高于各生长时期的白首乌叶($P < 0.05$)。八月叶的 C_{21} 甾苷含量最高,为 2.022 mg/g,高于五月叶和十月叶($P < 0.05$)。殷乐等^[37]测定了玉竹中与甾体皂苷生物合成相关



字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图1 不同生长期白首乌叶、块根的活性成分含量

Figure 1 Contents of active components in the leaves and roots of *C. auriculatum* Royle ex Wight at different growth stages

的17个基因的组织特异性表达量,发现叶可能是甾体皂苷前体合成的部位,根茎是甾体皂苷的贮存和修饰部位。因此,白首乌叶主要作为C₂₁甾苷前体合成的场所,5—8月叶逐渐发育成熟,调控甾苷合成基因的表达量增加,C₂₁甾苷合成增加。而10月时叶片逐渐凋萎,基因表达量下降,C₂₁甾苷合成减少。此外,白首乌块根作为C₂₁甾苷的贮存位点,叶中合成的C₂₁甾苷最终转运到块根中,造成块根中的含量显著高于叶。

综上,白首乌叶中含有较高的多糖、黄酮和C₂₁甾苷,且其总黄酮含量显著高于块根。随着白首乌的生长,白首乌叶中的活性成分含量随生长周期呈规律性变化,八月叶的黄酮、C₂₁甾苷含量均高于五月叶和十月叶。因此,后续试验选择八月叶作为主要研究对象进行活性检测和

叶茶制作。

2.2 白首乌叶、块根提取液的体外抗氧化能力

由图2可知,当溶液质量浓度为1 mg/mL时,白首乌叶醇提取液和水提取液对DPPH自由基清除率分别为94.28%和94.18%,高于块根醇提取液与水提取液的;白首乌叶醇提取液与水提取液的ABTS⁺自由基清除率分别为98.45%和97.66%,高于块根醇提取液与水提取液的;白首乌叶醇提取液与水提取液的羟自由基清除率分别为35.54%和31.05%,高于块根醇提取液与水提取液的;白首乌叶醇提取液与水提取液的铁还原力分别为0.3117和0.2827,高于块根醇提取液与水提取液的。综上,当溶液质量浓度为1 mg/mL时,白首乌叶提取液的体外抗氧化活性均高于块根提取液。

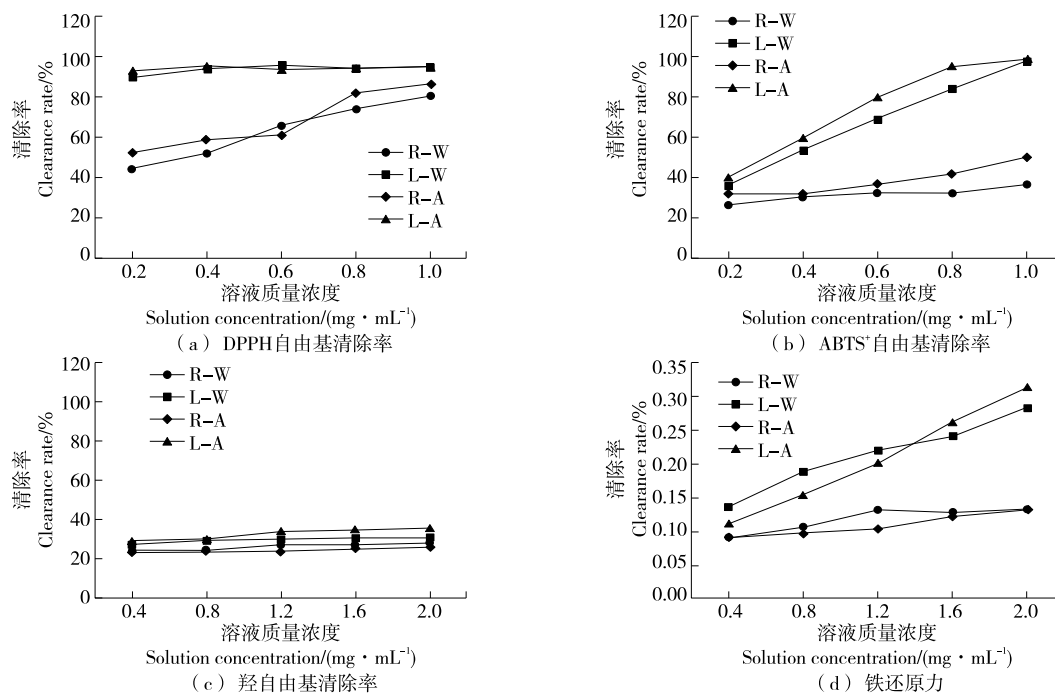


图2 白首乌叶、块根的抗氧化能力比较

Figure 2 Comparison of the antioxidant capacity of *C. auriculatum* Royle ex Wight leaves and roots

2.3 白首乌叶、块根提取液的体外降血糖能力

由图 3 可知,随着样品质量浓度的升高,白首乌叶醇提取液对 α -葡萄糖苷酶的抑制率不断提高,最终达到 99.81%。当溶液质量浓度为 20 mg/mL 时,白首乌叶水提取液和醇提取液的体外降血糖能力高于块根水提取液和醇提取液。黄酮和多糖均具有显著的降血糖功效^[29,38],白首乌八月叶中含有丰富的黄酮,可能是其具有较高降血糖活性的主要原因。

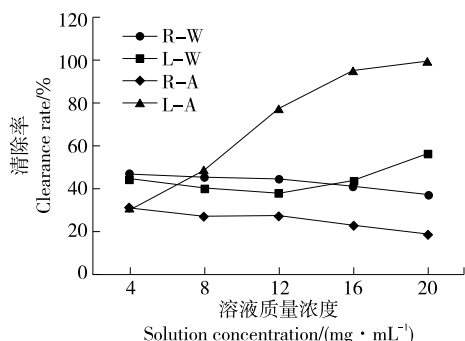


图 3 α -葡萄糖苷酶的抑制率

Figure 3 The inhibition rate of α -glucosidase

2.4 白首乌叶茶的感官品质与理化性质

采用传统绿茶制作工艺,制作了一款外形紧卷成条,色泽深绿,干净无杂质,汤色黄绿,甘醇香甜的白首乌叶茶。由表 1 可知,白首乌叶茶水浸出物含量为 406 mg/g,儿茶素含量为 2.9 mg/g。何娜^[39]研究表明,紫苏叶红茶水

浸出物含量为 320.4 mg/g,多酚含量为 5.70 mg/g。通过对比紫苏叶红茶与白首乌叶茶的部分理化成分,发现白首乌叶茶中水浸出物含量比紫苏叶红茶高 26.7%,多酚含量比紫苏叶红茶高 268.4%,表明白首乌叶茶是一款口感醇厚,富含功能成分的茶产品。

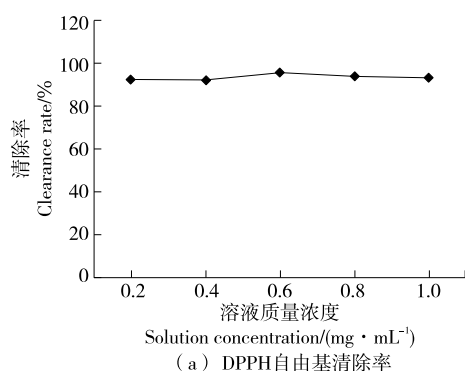
表 1 白首乌叶茶的理化性质

Table 1 Detection of physical and chemical properties of *C. auriculatum* Royle ex Wight leaf tea mg/g

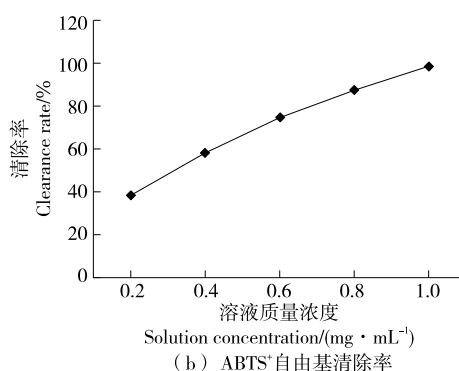
水浸出物	咖啡碱	多酚	茶氨酸	游离氨基酸	儿茶素
406	<0.1	21±0.24	0.2±0.02	16.0±0.22	2.9±0.05

2.5 白首乌叶茶的体外抗氧化与降血糖活性

2.5.1 体外抗氧化能力 由图 4 可知,当样品溶液质量浓度为 1.0 mg/mL 时,白首乌叶茶提取液对 DPPH 自由基和 ABTS⁺ 自由基清除率分别为 94% 和 97%,表明白首乌叶在制作成叶茶后仍具有较高的体外抗氧化活性。李亚婕等^[40]研究表明,茶叶中的多酚类物质具有抗氧化功效;李丹等^[41-42]对 3 种茶叶体外抗氧化活性进行了分析,发现信阳毛尖(绿茶)的体外抗氧化能力最强,这与绿茶加工过程中的杀青破坏了氧化酶和多酚氧化酶系的活性,使茶多酚不被氧化而损失密切相关。因此,在白首乌叶茶制作工程中,微波杀青工艺使氧化酶失活,而茶多酚、儿茶素及黄酮等活性成分未被氧化,赋予了叶茶较强的抗氧化活性。



(a) DPPH 自由基清除率



(b) ABTS⁺ 自由基清除率

图 4 白首乌叶茶的抗氧化能力

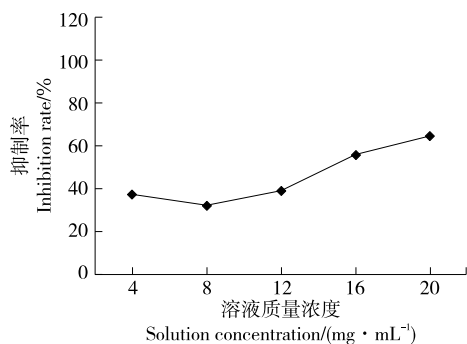
Figure 4 Antioxidant activity test results of *C. auriculatum* Royle ex Wight leaf tea

2.5.2 体外降血糖能力 由图 5 可知,当样品质量浓度为 4~12 mg/mL 时,白首乌叶茶水提取液对 α -葡萄糖苷酶的抑制率不断下降,当样品质量浓度为 12~20 mg/mL 时,白首乌叶茶水提取液对 α -葡萄糖苷酶的抑制率不断升高至 56.50%。多糖具有降血糖、调节血脂等功效^[6],而白首乌叶中富含多糖类功能成分,可能是其具有降血糖活性的

关键因素。

3 结论

对滨海白首乌叶的主要功能成分与抗氧化、降血糖功能进行了比较。结果表明,白首乌叶中富含多糖、黄酮、C₂₁ 甾苷等功能物质,且其黄酮含量显著高于块根部位,白首乌叶具有较强的抗氧化和降血糖活性。此外,基

图5 白首乌叶茶对 α -葡萄糖苷酶的抑制率Figure 5 The inhibition rate of α -glucosidase of *C. auriculatum* Royle ex Wight leaf tea

于白首乌叶的功能成分和生物活性,研发了一款具有保健功效且甘醇香甜的白首乌叶茶。试验仅探究了白首乌叶中3种主要功能成分的含量和体外活性,缺乏合成机制和作用机制的研究,需进一步地探究和验证。

参考文献

[1] CHEN W H, ZHANG Z Z, BAN Y F, et al. *Cynanchum bungei* Decne and its two related species for "Baishouwu": a review on traditional uses, phytochemistry, and pharmacological activities [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2019, 243: 1-23.

[2] 张明, 沈明晨, 陈镭, 等. 白首乌的化学成分、药理作用及栽培技术综述[J]. *江苏农业科学*, 2022, 50(2): 22-29.
ZHANG M, SHEN M C, CHEN L, et al. On chemical constituent, pharmacological effect and cultivation techniques of *Cynanchum bungei*: a review[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(2): 22-29.

[3] 陈亚, 徐晓燕. 白首乌的生物学特性及标准化栽培技术研究[J]. *时珍国医国药*, 2014, 25(7): 1 730-1 731.
CHEN Y, XU X Y. Research on biological characteristics and standardized cultivation techniques of *Cynanchum auriculatum* [J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2014, 25 (7): 1 730-1 731.

[4] 汤俊杰, 谷巍, 钱旭东, 等. 江苏地道药材滨海白首乌的药用价值与资源评估研究[J]. *南京中医药大学学报*, 2023, 39(8): 794-800.
TANG J J, GU W, QIAN X D, et al. Study on the medicinal value and resource evaluation of Jiangsu genuine medicinal materials Binhai Baishouwu[J]. *Journal of Nanjing University of Traditional Chinese Medicine*, 2023, 39(8): 794-800.

[5] 陈其燕, 石云, 洪键. 滨海白首乌多糖的提取与药理活性研究进展[J]. *现代农业科技*, 2020(19): 215-216, 220.
CHEN Q Y, SHI Y, HONG J. Research progress on extraction and pharmacological activities of polysaccharides in *Cynanchum auriculatum*[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2020(19): 215-216, 220.

[6] 卜京, 石云, 林燕, 等. 滨海白首乌发酵片工艺优化及抗氧化活性研究[J]. *食品与机械*, 2024, 40(2): 204-212.
BU J, SHI Y, LIN Y, et al. Study on process optimization and antioxidant activity of fermentative *Cynanchum auriculatum* tablet[J]. *Food & Machinery*, 2024, 40(2): 204-212.

[7] 赵胤鹏, 朱志鹏, 苏凯越, 等. “四化联动, 双链耦合”助力革命老区乡村特色产业高质量发展: 以江苏滨海县为例[J]. *南方农机*, 2023, 54(19): 104-107, 147.
ZHAO Y P, ZHU Z P, SU K Y, et al. "Four modernizations linkage and double chain coupling" to promote high-quality development of rural characteristic industries in old revolutionary base areas: a case study of Binhai, Jiangsu Province[J]. *China Southern Agricultural Machinery*, 2019, 54 (19): 104-107, 147.

[8] DING Y F, PENG Z X, DING L, et al. Baishouwu extract suppresses the development of hepatocellular carcinoma via TLR4/MyD88/NF- κ B pathway[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2019(10): 389-392.

[9] 王冬艳, 华欣, 叶记林, 等. 江苏地产白首乌C₂₁甾体苷对高血脂大鼠血脂调节和肝脏保护作用研究[J]. *安徽医药*, 2015, 19 (8): 1 454-1 457.
WANG D Y, HUA X, YE J L, et al. Study on hyperlipemia regulation and liver protective effect in rats by Jiangsu Baishouwu C₂₁ steroidal glycoside[J]. *Anhui Medical and Pharmaceutical Journal*, 2015, 19(8): 1 454-1 457.

[10] 刘泽鑫, 刘畅, 钱和. 白首乌花多糖对小鼠酒精性肝损伤的保护作用[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(13): 72-79.
LIU Z X, LIU C, QIAN H. Protective effect of *Cynanchum auriculatum* flower polysaccharide on alcoholic liver injury in mice [J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(13): 72-79.

[11] 赵雪. 滨海白首乌蛋白和多糖的提取纯化及其活性功能的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2018: 45-48.
ZHAO X. Extraction, purification and active function of protein and polysaccharide form Binhai's *Cynanchum auriculatum* Royle ex Wigh[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2018: 45-48.

[12] 李时珍. 本草纲目: 金陵本[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1977: 1 289.
LI S Z. Compendium of materia medica: Jinling edition[M]. Beijing: The People's Health Press Co Ltd, 1977: 1 289.

[13] 吴立云, 仓公熬, 颜天华, 等. 白首乌茎叶总黄酮对小鼠急性化学性肝损伤的保护作用[J]. *时珍国医国药*, 2005(7): 615-616.
WU L Y, CANG G A, YAN T H, et al. Protective effect of total flavonoids of *Cynanchum auriculatum* Royle ex Wight on acute chemical-induced liver injury in mice[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2005(7): 615-616.

[14] 向金田, 杨梅, 张强林, 等. 沙棘叶茶除毫装置设计与优化[J]. *东北农业大学学报*, 2023, 54(5): 55-65, 76.

- XIANG J T, YANG M, ZHANG Q L, et al. Design and optimization of hair removal deceive for sea-buckthorn leaf tea [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2023, 54(5): 55-65, 76.
- [15] 张瑞刚, 王超越. 沙棘叶茶多糖提取工艺优化及体外降脂活性研究[J]. 北方园艺, 2024(1): 93-99.
- ZHANG R G, WANG C W. Optimization of extraction process and in vitro lipid-lowering activity of seabuckthorn leaf tea polysaccharides[J]. Northern Horticulture, 2024(1): 93-99.
- [16] 何蓉蓉, 梁磊, 李怡芳, 等. 一种包含沙棘叶纳米超细粉的美白抗敏除皱化妆品组合物: CN202210688744.1[P]. 2023-09-22.
- HE R R, LIANG L, LI Y F, et al. A cosmetic composition of whitening, anti-sensitizing and anti-wrinkle containing *Hippophae rhamnoides* L. leaf nano-ultrafine powder: CN202210688744.1[P]. 2023-09-22.
- [17] 丁磊, 李鑫洋, 刘佳鑫, 等. 蒲公英发酵茶工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(15): 75-79.
- DING L, LI X Y, LIU J X, et al. Study on the technology of dandelion fermentation tea[J]. Food Research and Development, 2020, 41(15): 75-79.
- [18] 梁贵秋, 谢婷婷, 高艳芳, 等. 3 株冠突散囊菌(*Eurotium cristatum*)发酵对桑叶茶品质的影响[J]. 蚕业科学, 2020, 46(5): 614-621.
- LIANG G Q, XIE T T, GAO Y F, et al. Effects of fermentation of three *Eurotium cristatum* strains on quality of Mulberry leaf tea[J]. Acta Sericologica Sinica, 2020, 46(5): 614-621.
- [19] 高丽君, 王汉忠, 崔建华, 等. 白首乌可溶性多糖提取工艺研究[J]. 食品科学, 2004(10): 178-180.
- GAO L J, WANG H Z, CUI J H, et al. Studies on the extraction technology of soluble polysaccharide from *Radix Cynanchum bungei*[J]. Food Science, 2004(10): 178-180.
- [20] 任美燕. 红薯叶黄酮超声提取工艺优化、抗氧化及抑菌研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(1): 224-232.
- REN M Y. Optimization of ultrasonic extraction process of flavonoids from sweet potato leaves and its antioxidative and antibacterial ability[J]. China Food Additives, 2023, 34(1): 224-232.
- [21] 曹明原, 曾金国. 高效液相色谱法同时测定首乌叶中 3 个黄酮苷的含量[J]. 生物化工, 2022, 8(5): 17-23.
- CAO M Y, ZENG J G. Simultaneous determination of three flavonoid glycosides in the leaves of *Polygonum multiflorum* Thunb. by HPLC[J]. Biological Chemical Engineering, 2022, 8(5): 17-23.
- [22] 许慧卿. 滨海白首乌甾苷提取工艺优化及其抗氧化活性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2019: 13-24.
- XU H Q. Optimization on the extraction of steroidal glycosides from Binhai's *Cynanchum auriculatum* Royle ex Wight and its antioxidant activity[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2019: 13-24.
- [23] 郭磊, 资璐熙, 崔琦, 等. 美味牛肝菌色素大孔树脂纯化工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2022, 38(1): 152-158, 163.
- GUO L, ZI L X, CUI Q, et al. Purification processing of pigment from *Boletus edulis* with macroporous resin and its antioxidant capacity[J]. Food & Machinery, 2022, 38(1): 152-158, 163.
- [24] 倪雪华, 王恒鹏. 低共熔溶剂提取绿茶总黄酮及其抗氧化活性[J]. 食品与机械, 2022, 38(1): 159-163.
- NI X H, WANG H P. Research on extraction of total flavonoids from green tea with deep eutectic[J]. Food & Machinery, 2022, 38(1): 159-163.
- [25] 胡博, 唐晓妹, 陈雪梅, 等. 红枣枸杞浸泡酒营养成分及体外抗氧化活性分析[J]. 食品与生物技术学报, 2022, 41(1): 44-50.
- HU B, TANG X S, CHEN X M, et al. Analysis of nutrients and antioxidant activity of red jujube wolfberry-soaked wine[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2022, 41(1): 44-50.
- [26] 冯康, 李爱民, 吴晓磊, 等. 玛咖多糖的提取条件及体外活性研究[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39(2): 48-55.
- FENG K, LI A M, WU X L, et al. Study on optimization of Maca polysaccharides extraction and in vitro antioxidant and hypolipidemic activities[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 39(2): 48-55.
- [27] 魏婉露. 扇贝废弃液多糖的分离鉴定及消化吸收情况的研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2022: 46.
- WEI W L. Study on separation, purification, digestion and absorption of polysaccharide from Scallop waste liquid[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2022: 46.
- [28] 裴月湘, 姜红祥, 张卫东, 等. 天然药物化学[M]. 7 版. 北京: 人民卫生出版社, 2016: 280.
- PEI X Y, LOU H X, ZHANG W D, et al. Natural medicinal chemistry[M]. 7th ed. Beijing: The People's Health Press Co Ltd, 2016: 280.
- [29] 谢华松, 爱红, 邹玉冰, 等. 钝药野木瓜果实的抗氧化及体外降血糖活性研究[J]. 中国药业, 2023, 32(6): 42-46.
- XIE H S, AI H, ZOU Y B, et al. Antioxidant activity and in vitro hypoglycemic activity of the fruit of *Stauntonia leucantha* [J]. China Pharmaceuticals, 2023, 32(6): 42-46.
- [30] 王成民. 鲜叶摊放对绿茶茶品质影响的研究进展[J]. 福建茶叶, 2022, 44(4): 42-44.
- WANG C M. Research progress on the effect of fresh leaf spreading on green tea quality[J]. Tea in Fujian, 2022, 44(4): 42-44.
- [31] 刘梦圆, 崔偲丹, 项希, 等. 微波杀青工艺对秋季绿茶的保绿降苦作用[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(7): 2151-2157.
- LIU M Y, CUI L D, XIANG X, et al. Effects of microwave fixation process on preserving green color and reducing

- bitterness in autumn green tea[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(7): 2 151-2 157.
- [32] DI P, YANG X, WAN M M, et al. Integrative metabolomic and transcriptomic reveals potential mechanism for promotion of ginsenoside synthesis in Panax ginseng leaves under different light intensities[J]. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 2023, 11: 1298501.
- [33] 孙倩. 白首乌酚类物质分离纯化及抗氧化活性研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2021: 4-7.
- SUN Q. Study on separation, purification and antioxidant activity of phenolic from *Cynanchum auriculatum* Royle ex Wight[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2021: 4-7.
- [34] LU M, SU H Y, LI M L, et al. Effect of UV-B radiation on growth, flavonoid and podophyllotoxin accumulation, and related gene expression in *Sinopodophyllum hexandrum*[J]. Plant Biology, 2021, 23: 202-209.
- [35] 印鑫. 白首乌 C-21 甾苷对肝肾纤维化大鼠的干预作用及机制研究[D]. 南京: 南京中医药大学, 2020: 45-54.
- YIN X. The effect and the mechanism of total C-21 steroidal glycosides of Baishouwu on hepatic and renal fibrosis in rats [D]. Nanjing: Nanjing University of Chinese Medicine, 2020: 45-54.
- [36] 詹鑫, 陈李璟, 廖广凤, 等. 萝藦科药用植物中新 C₂₁ 甾体的研究进展(1) [J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2021, 39(5): 1-29.
- ZHAN X, CHEN L J, LIAO G F, et al. Research progress of new C₂₁ steroids in medicinal plants of asclepiadaceae (1) [J]. Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition), 2021, 39(5): 1-29.
- [37] 殷乐, 佐月, 黄心意, 等. 玉竹根茎转录组分析及其甾体皂苷生物合成途径探究[J]. 分子植物育种, 2022, 20(20): 6 705-6 713.
- YIN L, ZUO Y, HUANG X Y, et al. Transcriptome analysis of *Polygonatum odoratum* rhizome and study on its steroid saponins biosynthesis pathway[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(20): 6 705-6 713.
- [38] 王淑静, 李源馨. 野菊花总黄酮降血脂作用的实验研究[J]. 现代食品, 2017(3): 123-125.
- WANG S J, LI Y X. Experimental study on hyperlipidemic effect of total flavonoids[J]. Modern Food, 2017(3): 123-125.
- [39] 何娜. 紫苏叶茶加工技术研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2016: 11-13.
- HE N. Study of the processing technology of *Perilla* leaf tea [D]. Xi'an: Northwest A & F University, 2016: 11-13.
- [40] 李亚婕, 许秀松, 王巧贞, 等. 大叶苦丁茶抗氧化活性研究进展[J]. 广西科学院学报, 2024, 40(1): 21-30.
- LI Y J, XU X S, WANG Q Z, et al. Research progress on antioxidant activity of large-leaved Ku-dingcha[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2024, 40(1): 21-30.
- [41] 李丹, 曹永, 王华, 等. 茶叶提取物体外抗氧化活性与其功能性成分含量的相关性研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 163-168.
- LI D, CAO Y, WANG H, et al. Study on the relationship between the composition of tea extracts and its in vitro antioxidant activity[J]. Food & Machinery, 2018, 34(6): 163-168.
- [42] 邹燕, 罗圣群, 曾婕, 等. 茶多酚在医学研究中的进展[J]. 福建茶叶, 2023, 45(6): 146-148.
- ZOU Y, LUO S G, ZENG J, et al. Advances in the medical research of tea polyphenols[J]. Tea in Fujian, 2023, 45(6): 146-148.