



蓝靛果的化学成分及其提取分离研究进展

张龄予¹ 侯苏蕊² 张文尉³ 姜 姍²
刘俊潼² 越 皓^{1*} 张 楠^{1*}

¹(长春中医药大学吉林省人参科学研究院, 长春 130117)

²(长春中医药大学药学院, 长春 130117)

³(长春中医药大学职业技术学院, 长春 130117)

摘 要 蓝靛果(*Lonicera caerulea L.*)是一种天然野生的可食用浆果,具有清除自由基、抑制炎症通路相关蛋白的磷酸化、抑制癌细胞增殖等生理活性,其抗氧化、调节血脂、抗肿瘤和防辐射等保健功效可应用于调节肠道菌群结构、抗癌、抗肥胖和保护视力等多个功能食品领域,且蓝靛果抗寒能力强,易于种植,具有极高的市场开发价值。研究总结整理了蓝靛果中活性化学成分(原花青素类、花青素类、花色苷类、黄酮类、有机酸类、多糖类及其它类化合物)的化学信息,归纳整理了不同类型化学成分的提取分离技术(溶剂提取法、酶解法、微波辅助提取法等),以为蓝靛果深入研发及深加工产品的开发提供依据。

关键词 蓝靛果;化学成分;提取分离

中图分类号:O656.2; R284.2

文献标识码:A

文章编号:1000-0518(2022)11-1629-12

蓝靛果(*Lonicera caerulea L. var. edulis Turcz. ex Herd.*)是一种忍冬科忍冬属蓝果忍冬的变种的落叶小灌木植物,又名蓝靛果忍冬、蓝果忍冬、黑瞎子果和山茄子果,抗寒能力强,国外多产于俄罗斯、日本等国,国内主要分布地区包括吉林省长白山、黑龙江省大兴安岭东部山区、黑龙江东部勃利县以及华北、西北、内蒙古和四川等地^[1-2]。目前,吉林省已开展蓝靛果的大面积种植推广,旨在通过种植经济树木蓝靛果,有效防止水土流失,保护黑土地及治理河湖。因此,深入蓝靛果的物质基础研究将有利于蓝靛果深加工产业的科学发展,通过延长蓝靛果产业链进而带动黑土地治理,促进吉林省的生态环境高水平保护和区域经济高质量发展。

蓝靛果的果实为多汁肉质浆果,其中富含多酚、有机酸、糖类、矿物质、维生素和多种微量元素,可鲜食,也可加工提取天然色素作为食品添加剂^[3-5]。蓝靛果具有多种生物药理活性,可以抗氧化、调节肠道菌群结构,能够预防癌症、高血压等多种心脑血管慢性疾病^[6-9]。由于蓝靛果生物活性高、耐寒能力强易于种植,因此是世界粮农组织推荐的五大水果之一,具有极高的开发利用价值。目前,国内外学者对蓝靛果中的主要化学成分的提取分离工艺及其鉴定进行了深入的研究,其主要化学成分包括多酚类(花青素、原花青素、花色苷、酚酸类、类黄酮类)、多糖类、有机酸及其它成分。以往关于蓝靛果的综述文献主要针对育种、生物功能及应用开发领域介绍,或者关于花色苷、花青素某一类化合物的研究进展,缺少对蓝靛果化学成分的鉴定与提取分离研究进展的全面性梳理。根据蓝靛果中不同类化合物的物理化学属性采取不同的分离鉴定方法对蓝靛果的开发应用至关重要。本文归纳了蓝靛果化学成分的鉴定、化学表征及提取分离工艺的研究情况,旨在为蓝靛果物质基础深入的科学研究提供依据,为合理开发蓝靛果深加工产品提供研发思路。

1 蓝靛果的化学成分

目前,已从蓝靛果中分离得到多酚类、多糖类、有机酸类和维生素等活性成分,在上述化合物的结构

2022-02-10 收稿;2022-05-25 接受

吉林省教育厅“十三五”科学技术项目(No. JJKH20200909KJ)、吉林省大学生创新创业训练计划项目(No. 202010199041)和国家级大学生创新创业训练计划项目(No. 202110199038X)资助

*E-mail: 470336@qq.com; 893813198@qq.com

鉴定中,采用了高效液相色谱法(High Performance Liquid Chromatography, HPLC)、紫外-可见光谱法(Ultraviolet-Visible Absorption Spectrum, UV-Vis)、红外吸收光谱法(Infrared Spectroscopy, IR)、核磁共振氢谱(^1H Nuclear Magnetic Resonance Spectra, ^1H NMR)和液相色谱质谱联用分析(Liquid Chromatograph Mass Spectrometer, LC-MS)等多种技术手段。通过高效液相色谱法、紫外分光光度法结合显色法对各类化合物进行定量检测分析。

1.1 多酚类化合物

多酚化合物是一种次级代谢产物,产生于植物与动物代谢过程,主要通过莽草酸和丙二酸途径合成,又称鞣质或者单宁,是一类具有多元酚羟基的化合物,分布于植物的皮、根、木、叶和果等部位^[10-11]。多酚类化合物是蓝靛果中的主要活性成分之一,根据结构的复杂程度可将多酚分为单体化合物和多聚体化合物,存在形式包括游离态、酯化态和结合态3种^[12]。蓝靛果中的多酚类成分包括酚酸类、黄烷-3-醇类、黄酮醇类、黄酮类、花青素类、原花青素类和花色苷类化合物等^[13]。蓝靛果相比于其它浆果具有较强的抗氧化活性,这也得益于其含有大量的多酚类化合物。花青素在体外实验中证实可以通过诱导癌细胞DNA损伤,抑制肝癌细胞的增殖^[14-16]。同时,蓝靛果多酚具有保护心脏神经、抗菌和抗炎等多种药理活性^[17-19]。蓝靛果中多酚类化合物总含量可采用改进的Folin-Ciocalteu法测定;单体花青素的含量(以cyanidin-3-glucoside计)通过pH差示分光光度法测定^[20]。Aneta Wojdylo等^[21]采用快速液相色谱配备二极管阵列紫外检测器-四级杆-飞行时间串联质谱(LC-PDA-QTOF/MS)技术对蓝靛果多酚进行鉴定,通过超高液相色谱配备二极管阵列紫外检测器和荧光检测器(UPLC-PDA, UPLC-FL)方法对多酚进行定量分析,共鉴定出21种多酚化合物,分别为6种花青素(花色苷)、6种黄烷-3-醇、4种酚酸、3种黄烷醇和2种黄酮。

1.1.1 原花青素

原花青素(Proantho Cyanidins, PC)是在植物中广泛存在的一大类多酚化合物的总称,目前是国际公认能够清除人体内自由基的有效天然抗氧化剂^[22]。单体种类、聚合度及连接方式决定了原花青素的结构多样性。在结构上,不同数量的儿茶素(Catechin)或者表儿茶素(Epicatechin)相结合组成原花青素^[23]。原花青素中结构最简单的化合物包括儿茶素、表儿茶素、或儿茶素与表儿茶素形成的二聚体,根据连接键不同分为两种类型,仅通过单体之间的C4-C8或者C4-C6键连接而成,被命名为B型原花青素^[2];在B型基础上增加了C2—O—C7键,为A型原花青素。此外,还有三聚体、四聚体等,通常将二至五聚体称为低聚原花青素,将五聚体以上的称为高聚原花青素^[24]。低相对分子质量的原花青素是水溶性的,高相对分子质量的原花青素多在提取滤渣中相对富集。原花青素含量(以原花青素B2计)可通过改进的Bate-Smith方法测定,有研究者采用紫外分光光度法测定蓝靛果中原花青素含量(质量分数,下同),野生品原花青素含量为1.72%,栽培品原花青素含量为1.90%^[25]。其它分光光度法,比如丁醇-盐酸法、香草醛法和4-二甲基氨基肉桂醛法也用于原花青素的含量测定,其中,4-二甲基氨基肉桂醛法因其与原花青素反应的灵敏度及精密度,是目前常用的测定方法。

1.1.2 花青素

花青素是自然界中广泛存在于植物中的类黄酮化合物,是植物体内一类重要的次生代谢物质,是天然的着色剂和抗氧化剂,由苯基丙酸类合成途径和类黄酮合成途径生成。蓝靛果中花青素包括矢车菊花色苷、天竺葵花色苷、芍药花色苷和飞燕草色素。黄宁等^[26]利用高效液相色谱-二极管阵列检测器-串联质谱(HPLC-DAD-MS²)技术分析了蓓蕾、HSY-4和日本-5这3个品种的蓝靛果,共检测到8种花青素成分。在3种蓝靛果鲜果果实中,矢车菊素3,5-二葡萄糖、矢车菊-葡萄糖醛酸、矢车菊3-葡萄糖、矢车菊3-芸香糖、天竺葵3-葡萄糖、芍药素3-葡萄糖、芍药素3-芸香糖及矢车菊六碳糖分别占总花青素的3.55%~4.83%、0.31%~1.09%、76.61%~86.47%、4.63%~9.97%、0.22%~0.41%、3.91%~4.25%、0.26%~0.63%和0.03%~0.17%。其中,矢车菊3-葡萄糖含量最高,约占总花青素的76.61%~86.67%。蓝靛果中花青素类及酚酸类化合物的化学信息见表1。

蓝靛果中花青素含量丰富,可通过UV-Vis、IR、 ^1H NMR和HPLC-DAD-MS²等现代手段进行定性定量分析,丰富的花青素含量使蓝靛果成为新兴浆果类保健食品加工的优选资源^[27-28]。

表 1 蓝靛果中花青素及酚酸类化合物

Table 1 Anthocyanin compounds and phenolic acid compounds in *Lonicera caerulea*

化合物名称 Compound name	分子式 Formula	相对分子质量 Relative molecular mass	Cas 号 Cas number
天竺葵色素 Pelargonidin	$C_{15}H_{11}O_5$	306.7	134-04-3
矢车菊色素 Cyanidin	$C_{15}H_{11}O_6$	322.7	528-58-5
飞燕草色素 Delphinidin	$C_{15}H_{11}O_7$	338.7	528-53-0
芍药色素 Peonidin	$C_{22}H_{23}O_{11}$	336.7	134-01-0
1-咖啡酰奎宁酸 1-Caffeoylquinic acid	$C_{16}H_{18}O_9$	354.3	1241-87-8
绿原酸 Chlorogenic acid	$C_{16}H_{18}O_9$	354.3	327-97-9
3,5-二咖啡酰奎宁酸 3,5-Dicaffeoylquinic acid	$C_{25}H_{24}O_{12}$	516.4	89919-62-0

1.1.3 花色苷

花色苷广泛存在于自然界植物的花、果、茎、叶和根器官的细胞液中,是一类水溶性天然色素。花色苷是由花青素与各种糖形成的糖苷,花色苷的苷元是花色素,它的基本结构为 3,5,7-三羟基-2-苯基苯并吡喃^[29-30]。蓝靛果酚类物质中的主要成分为矢车菊-3-葡萄糖苷,占总花色苷(质量分数)的 87%,矢车菊-3,5-二己糖苷占 7%,芍药素-3-葡萄糖苷占 5%,天竺葵素-3-葡萄糖苷占 1%^[31]。马自超等^[32]采用双向层析法及色谱法鉴定出蓝靛果中的 5 种花色苷,通过定量分析确定其中含量最多的花色苷为矢车菊-3-葡萄糖苷。安小琦等^[33]通过 HPLC-MS/MS 鉴定出 11 种花色苷,其中矢车菊-3-葡萄糖苷含量最高,占峰面积的 90.679%。张上上等^[34]采用超高效液相色谱-飞行时间-串联质谱技术,分析了别列里、伊利亚特和格尔达 3 种蓝靛果中的花色苷,共鉴定出 24 种花色苷,包含 14 种矢车菊素类花色苷、6 种芍药素类花色苷、2 种飞燕草素类花色苷和 2 种天竺葵素类花色苷。花色苷的特征红外光谱包括苯环、羟基、甲氧基和含氧杂环,其中、苯环与杂环的 C—C 键的吸收峰分别在 1518~1485 cm^{-1} 、1577~1565 cm^{-1} 和 1605~1580 cm^{-1} 。杂环的 C=O 键的吸收峰在 1630~1620 cm^{-1} 。B 环的 C—H 键的吸收峰受到取代基的影响而发生位置的改变^[35-36]。蓝靛果中花色苷化合物的高分辨质谱分析离子碎片信息见表 2。

1.1.4 黄酮类

黄酮类化合物是以黄酮(2-苯基色原酮)为母核,以 C6-C3-C6 为基本碳架的一系列化合物^[37]。研究证实,蓝靛果中主要黄酮类化合物包括黄酮醇、二氢黄酮、二氢黄酮醇、4-羟基黄酮醇,蓝靛果黄酮类成分具有降压、抗疲劳、保肝、抗菌、抗氧化、提高免疫力和调节血脂等药理作用^[38-41]。蓝果忍冬叶片中鉴定出的类黄酮化合物按照结构可分为黄烷醇类和黄酮醇类^[42]。黄宁等^[43]采用 HPLC-DAD-MS² 方法在 20 个品种(系)的蓝果忍冬叶片中,共检测出 11 种黄酮和黄酮醇化合物,其中包括黄酮醇苷 8 种,黄酮苷 3 种,分别为槲皮素 3-O-桑布糖苷、槲皮素 3-O-芸香糖苷、山奈酚 3-O-桑布糖苷、山奈酚 3-O-芸香糖苷、山奈酚 7-O-芸香糖苷、山奈酚 3-O-新橙皮糖、异鼠李素 7-O-芸香糖苷、芹黄素 7-O-芸香糖苷、槲皮素 3-O-鼠李糖苷、香叶木素 3-O-芸香糖和香叶木素 3-O-葡萄糖苷,填补了蓝果忍冬叶片中类黄酮化合物分析检测的空白。

1.2 多糖和有机酸

多糖是至少由 10 个单糖组成的聚合糖高分子碳水化合物^[44]。蓝靛果果实成份以单糖(葡萄糖、果糖)为主,占总糖含量的 80% 以上,是由 6 种单糖组成的酸性杂多糖,具有一定的持水性、持油性和乳化能力。徐雅琴等^[45]利用气相色谱方法对蓝靛果中多糖进行鉴定分析,数据表明蓝靛果中的多糖是由 6 种单糖组成的酸性杂多糖,单糖组成及其物质的量比: $n(\text{半乳糖醛酸}):n(\text{鼠李糖}):n(\text{阿拉伯糖}):n(\text{甘露糖}):n(\text{葡萄糖}):n(\text{半乳糖})=2.84:10.02:15.47:1.00:2.48:36.12$ 。蓝靛果多糖的红外光谱特征显示其含有糖醛酸和吡喃糖环,且存在 α -和 β -糖苷键。蓝靛果多糖具有体外抗糖基化活性,具有较高的深入开发利用价值。国外研究者对蓝靛果果实中的酸类进行了检测和定量,共含有柠檬酸、苹果酸、草酸、奎宁酸和莽草酸 5 种有机酸,其中柠檬酸是主要的有机酸,占总有机酸(质量分数)47% 以上,草酸、奎宁酸和莽草酸是次要的有机酸(平均分别占总有机酸 5%、4% 和 1%)^[21]。

表2 蓝靛果中花色苷类化合物

Table 2 Anthocyanin compounds in *Lonicera caerulea*

化合物名称 Compound name	分子离子(m/z) Molecular ion (m/z)	主要碎片离子(m/z) Main fragment ion (m/z)	参考文献 Ref.
矢车菊-3-葡萄糖苷	Cyanidin-3-glucoside	449. 107 8	287. 055 1 [34]
矢车菊-3,5-双葡萄糖苷	Cyanidin-3,5-diglucoside	611. 161 4	449. 109 1, 287. 055 6 [34]
矢车菊-3-芸香糖苷	Cyanidin-3-rutinoside	595. 166 3	449, 287 [36]
矢车菊-3-阿拉伯糖苷	Cyanidin-3-monoarabinoside	419. 097 2	287. 055 1 [34]
矢车菊-3-木糖苷	Cyanidin-3-xyloside	419. 097 2	287. 055 2 [34]
矢车菊-3-鼠李糖苷	Cyanidin-3-rhamnoside	433. 112 9	287. 005 0 [34]
矢车菊-3-桑布双糖苷	Cyanidin-3-sambubioside	581. 150 1	287. 055 3 [34]
矢车菊-3-槐糖苷	Cyanidine 3-sophoroside	611. 162 0	287. 055 3 [34]
芍药素-3,5-双葡萄糖苷	Peonidin-3,5-diglucoside	625. 176 1	463, 301 [34]
芍药素-3-葡萄糖苷	Peonidin-3-glucoside	463. 123 1	301. 070 5 [34]
芍药素-3-芸香糖苷	Peonidin-3-rutinoside	609	463, 301 [33,36]
天竺葵素-3-葡萄糖苷	Pelargonidin-3-glucoside	433	271 [33]
天竺葵素-3-芸香糖苷	Pelargonidin-3-rutinoside	579. 169 6	433. 112 7, 271. 060 3 [34]
飞燕草素-3-葡萄糖苷	Delphinidin-3-glucoside	465. 102 4	303. 049 8 [34]
飞燕草素-3-双己糖苷	Delphinidin-3-dihexoside	627. 155 4	303. 050 3, 465. 103 2 [34]
飞燕草素-3,5-二己糖苷	Delphinidin-3-dihexoside	625. 176 7	463, 301 [36]
飞燕草素-3-芸香糖苷	Delphinidin-3-rutinoside	609. 181 0	301 [36]
飞燕草素-3-己糖苷	Delphinidin-3-hexoside	463. 124 3	301 [36]
矢车菊-3-乙酰基己糖苷	Cyanidin-3-acetyl-hesoside	491. 117 9	287. 055 6 [34]
矢车菊-3,5-二己糖苷	Cyanidin-3,5-dihexoside	611. 155 3	449, 287 [36]
矢车菊-3,5-己糖苷	Cyanidin-3,5-hexoside	611. 161 0	449, 287 [36]
矢车菊-3-己糖苷	Cyanidin-3-hexoside	449. 108 3	287 [36]
矢车菊-3-己糖苷聚合物	Cyanidin-3-hexoside polymen	897. 201 9	735, 573 [36]
矢车菊己糖苷聚合物	Cyanidin-hexoside polymen	897. 211 9	735, 573, 287 [33,36]
矢车菊-3-己糖苷衍生物	Cyanidin-3-hexoside-catechin	737. 167 7	575, 423, 287 [36]
芍药素-3,5-二己糖苷	Peonidin-3,5-dihexoside	625. 176 7	463, 301 [36]

1.3 其它

蓝靛果是一种富含多种营养物质的特色水果,含有丰富的氨基酸、维生素及矿质元素等大量的生物活性物质。矿物质对骨骼结构、胶体系统的维持和酸碱平衡的调节起着至关重要的作用,它们也是激素、酶和酶激活剂的组成成分,是维持免疫系统及大脑功能的关键因素^[46]。野生和栽培品种的蓝靛果中含有环烯醚萜类化合物,其单体可采用高效液相色谱-二极管阵列检测器/飞行时间-串联质谱(HPLC-DAD/TOF-MS)技术进行分析^[47]。俄罗斯产地的蓝靛果中环烯醚萜类化合物的含量约为8 mg/100 g,环烯醚萜类中以马钱酸和马钱碱为主^[20]。Mateja Senica等^[48]采用96%体积分数的乙醇提取蓝靛果果浆中的总皂苷,干燥离心后运用香草醛-浓硫酸显色法,通过紫外分光光度法测定蓝靛果中总皂苷含量在235.78 mg/100 g~640.79 mg/100 g之间。蓝靛果中富含纤维、蛋白质、Ca、Na、K等常量、微量元素,粗提取物中含有约1.5%的脂质化合物。果实中脂肪酸组成以不饱和脂肪酸为主,包括棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、月桂酸,其中亚油酸最为丰富,未皂化成分主要有 α -糊精、 β -糊精、豆甾醇和熊果酸,总量约占浆果质量的0.46%^[49]。研究者测定蓝靛果中含有17种氨基酸,必需氨基酸有7种,占总氨基酸含量的40%左右;蓝靛果中含有维生素B1、维生素B2、维生素PP、抗坏血酸、尼克酸等多种维生素,维生素PP有利于眼部健康,是天然抗氧化剂。蓝靛果中维生素C、花青素、酚酸和黄烷醇酚类化合物的含量多取决于成熟度、遗传多样性、气候、加工和贮藏条件等因素^[50]。焦丽等^[5]通过营养成分分析比较,勃利、五常、温哥华、大兴安岭和伊春5个产地的蓝靛果中维生素B1、维生素C、维生素B2、钙元

素及 15 种氨基酸含量存在显著差异。

2 蓝靛果有效成分提取分离方法

2.1 多酚类化合物的提取分离

蓝靛果中多酚类化合物的常见提取方法包括溶剂提取法、酶解法、超声逆流提取法和微波辅助提取法等。当蓝靛果多酚提取物用于结构鉴定时,所采用提取溶剂多为甲醇水溶液或者酸性甲醇;当多酚提取物用于食品制备时,提取溶剂多采用毒性较小的酸性乙醇溶液代替甲醇进行提取^[51-52]。

2.1.1 溶剂提取法

溶剂提取法主要利用提取液对不同组分的差异性溶解度来溶解植物组织中的花青素,该方法操作简单但存在着提取时间长、提取率低等缺点。蓝靛果花色苷是极性较大的水溶性天然植物色素,与甲醇、乙醇、冰醋酸和柠檬酸等极性溶剂相溶,不溶或微溶于苯、甲苯、氯仿及油脂等非极性溶剂^[53]。李斌等^[54]以 50%(体积分数)乙醇作为提取溶剂,在 40 °C、料液比 1:25(g/mL)、500 W 功率超声 90 min 的条件下获得的多酚含量高达 7.52 mg/g。另外,可采用超声辅助溶剂提取,提高提取效率,减少溶剂用量,降低提取温度。

2.1.2 酶解法

酶解法即利用活性酶(纤维素酶和果胶酶等)通过酶解反应使细胞壁软化、膨胀继而破裂,活性成分得以溶出的一种提取方法。蓝靛果果渣中含有纤维素和果胶,可用酶解法破坏纤维素和果胶,使花色苷溶出,这种方法提取花色苷得率为 37.92%。经研究者对提取方法进行优化改进,采用酶-超声波联用提取方法,与酶解法相比,花色苷得率提高了 5.12%,为蓝靛果中花色苷的提取方法提供了新思路^[55-56]。酶解法具有高效性、安全性和专一性强的特点,但酶解法对酶的活性要求较高,因此对提取设备有较高的要求,且提取的过程中,可能会催化改变中药成分的结构,产生新的化学物质,影响产物的纯度及得率。

2.1.3 超声逆流提取法

超声逆流提取通过被提物质与溶剂作相对运动,利用超声波独特的物理特性,促使植物细胞组织破壁,加速物质中的有效成分的溶出和扩散,从而缩短提取时间,提高提取效率。但该方法只有对物理上稳定的样品才适用,活性物质容易被破坏,需要大量提取时效率低下。周丽萍等^[57]利用这种方法提取蓓蕾蓝靛果中的花色苷,响应面优化提取工艺,最佳工艺参数为:三级逆流提取,70%体积分数乙醇水溶液提取,固液比 1:10(g/mL),在 30 °C,120 W 超声 28 min,花色苷得率为(5.23±0.023) mg/g,提取率达到 99.80%。

2.1.4 微波辅助提取法

微波辅助提取技术又称微波萃取,是微波与传统溶剂提取法相结合的一种提取方法。根据不同吸收微波能的差异,进行物质萃取,使用合适的萃取剂达到提取的目的,具有快速高效、加热均匀、选择性立体加热和节省溶剂等优点^[58]。目前,主要应用于天然化合物及生物活性成分的提取以及有机污染物的提取^[59-61]。李凤凤等^[62]为提高野生蓝靛果的利用率,以小兴安岭蓝靛果为原料,利用微波辅助法提取蓝靛果中花色苷,并探索到了最优的提取工艺,此条件下的蓝靛果花色苷提取量达到(292.16±1.25) mg/100 g,进一步提高了蓝靛果花色苷提取效率。微波辅助萃取穿透力强,辐射能够到达植物组织内部,内部分子与样品溶液充分作用,提取过程加速,但同时也会导致提取液中的干扰物质浓度增多,增加了纯化的难度。同时,微波辅助提取设备贵重且复杂,这也限制了其大范围的应用。

2.1.5 高速逆流色谱提取法

高速逆流色谱(High-Speed Countercurrent Chromatography, HSCCC)是一种没有载体的液液分配色谱分离技术,具有样品吸附损失小、拖尾效应弱和回收率高等分离分析优点^[63-64]。有学者采用了 HSCCC 法对蓝靛果粗提物中的矢车菊-3-葡萄糖苷、矢车菊-3,5-双葡萄糖苷和矢车菊-3-芸香糖苷的分离纯度分别达到 97.6%、92.4% 和 95.8%^[65],采用 HSCCC 法对蓝靛果花色苷分离的关键技术点之一为两相溶剂的选择,如果分离系数过大会导致峰宽增加,分离系数过小难以得到良好的分离效果,此外还要注意在

两相溶剂混合过程中由于转速过快导致的乳化作用及固定相的流失。高速逆流色谱具有良好的分离效果,但由于其制备能力有限,无法达到数百克级以上的制备能力,因此其在产业化应用中受到制约。

2.2 黄酮类化合物的提取分离

提取蓝靛果中的黄酮类化合物主要有有机溶剂提取法、超声波提取法、双水相提取法、微波提取法和超临界提取法等^[66]。王恩福^[67]通过单因素实验和正交实验,采用 50% 体积分数乙醇作为提取溶剂,600 W 的超声功率下提取 7 min 即提取蓝靛果中黄酮的最佳提取工艺,提取量达到 64.94 mg/g。张敏等^[68]利用超声辅助提取法提取蓝靛果中的总黄酮,最佳提取工艺为 65% 体积分数乙醇提取,料液比 1:15(g/mL),提取温度 75 °C,提取时间 30 min,超声功率 100 W 提取 1 次,总黄酮提取量为 15.14 mg/g。同时也有其它研究者采用此方法提取,该提取方法重现性高,为深入研究蓝靛果中的黄酮类化合物提供方向^[69]。研究者采用 AB-8 大孔树脂对蓝靛果黄酮类化合物的粗提物进行分离纯化,确定最佳分离条件为:样液流速为 60 mL/h,上样液浓度为 90~120 mg/mL,洗脱流速为 60 mL/h,洗脱液浓度为 40%~50%,经 AB-8 大孔树脂纯化后,蓝靛果中黄酮类化合物的纯度可达到 65% 以上^[67]。

2.3 多糖类化合物的提取分离

蓝靛果中多糖的提取方法有热水浸渍法、复合酶法和超声波辅助法等。杨露等^[70]采用超声波辅助方法提取蓝靛果多糖,310 W 的超声功率下提取 41 min,多糖得率为(8.31±0.23)%。韩春然等^[71]通过优化超声辅助提取蓝靛果多糖,最佳提取条件为 41 °C 下,超声功率 175 W 超声 67 min,此条件下的蓝靛果多糖得率为 24.32%。徐雅琴等^[45]利用超声辅助复合酶提取法,以去离子水为提取剂,料液比为 1:25(g/mL),果胶酶添加量 0.8%、纤维酶添加量 0.5%,pH=3.5,300 W 功率超声 40 min 制得蓝靛果粗多糖,选取 D4006 型大孔树脂纯化粗多糖,多糖纯度可达 67.11%。

2.4 其它化合物的提取分离

研究表明,蓝靛果中不同化学成分的分离鉴定要采取不同的溶剂,其中抗坏血酸的提取鉴定采用酸盐溶液,有机酸和糖类的提取采用去离子水,总皂苷的提取多采用乙醇或者酸化甲醇作为提取溶剂^[31,51]。研究者采用 96% 体积分数的乙醇提取蓝靛果果浆中的总皂苷,结合香草醛-浓硫酸显色法,通过紫外分光光度法测定蓝靛果中总皂苷的含量。李新原^[72]采用酸化丙酮加压处理蓝靛果果实进行提取,结果表明酚类及花色苷提取效率随着压力先增加后减少,抗坏血酸的含量随着压力升高而降低。不同的大孔树脂对蓝靛果提取物的纯化效果不同,蓝靛果花色苷和黄酮类化合物常用 D101 型、XDA-6 型、AB-8 型和 X-5 型大孔吸附树脂。

3 结论与展望

蓝靛果能够产业化应用的前提是有效成分的提取分离,合理的提取分离方法可有效提高所需成分的占比,降低杂质含量,提高后续分离纯化环节的效率。早期,蓝靛果提取物的分离方法采用纸层析技术,但由于其定性、定量结果不准确,不便于再利用;后期,蓝靛果中化学成分如花色苷类、黄酮类、多糖类化合物的分离主要通过大孔树脂进行分离与纯化,通过大孔树脂吸附其中的有效成分,再经洗脱回收,即可除掉杂质,达到分离的效果,采用色谱质谱技术进行快速的高通量定性定量分析。在今后的工作中可开展蓝靛果单一化学成分与生物活性的关联性研究,进而优化蓝靛果功能性成分的精准富集并提高效率;探索通过化学修饰或优化剂型,提高蓝靛果成分的光学、化学稳定性,确保其在食品领域的安全有效使用。

本文对于蓝靛果成分的化学信息进行了梳理总结,其中包括多酚类化合物、黄酮类化合物、多糖类化合物、有机酸化合物及其它类化合物,整理归纳了蓝靛果活性成分的提取分离方法(溶剂提取法、酶解法、超声逆流提取法、高速逆流色谱提取法、微波辅助提取法、双水相提取法和超临界提取法)。蓝靛果作为一种北方地域特色的可食用小浆果,因其较高的营养、药用价值,具有广阔的国内外市场开发价值和前景。本研究为蓝靛果相关功能食品、保健品及化妆品的开发中质量标准制定和制备工艺的建

参 考 文 献

- [1] 苏雅, 裴毅, 王柏茗, 等. 蓝靛果忍冬研究现状综述[J]. 天津农林科技, 2020(4): 41-43.
SU Y, PE Y, WANG B M, et al. Research status of *Lonicera caerulea L.* [J]. Sci Technol Tianjin Agric Forest, 2020(4): 41-43.
- [2] 中国科学院《中国植物志》编委会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 72.
Flora of China Committee of the CAS. Flora of China[M]. Beijing: Science Press, 2004: 72.
- [3] GOŁBA M, SOKÓŁ-ŁĘTOWSKA A, KUCHARSKA A Z. Health properties and composition of honeysuckle berry *Lonicera caerulea L.* an update on recent studies[J]. Molecules, 2020, 25(3): 749.
- [4] 乔锦莉, 秦栋, 郭良川, 等. 蓝果忍冬的生物活性物质及其功效研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(9): 276-284.
QIAO J L, QIN D, GUO L C, et al. Recent progress in bioactive constituents of *Lonicera caerulea L.* fruit and their health benefits[J]. Food Sci, 2020, 41(9): 276-284.
- [5] 焦丽, 赵利群, 韩曦, 等. 不同种源蓝靛果忍冬营养成分比较[J]. 防护林科技, 2015(10): 47-48.
JIAO L, ZHAO L Q, HAN X, et al. Nutrients of *Lonicera edulis* with different provenances[J]. Prot Forest Sci Technol, 2015(10): 47-48.
- [6] WU S, YANO S, CHEN J, et al. Polyphenols from *Lonicera caerulea L.* berry inhibit LPS-induced inflammation through dual modulation of inflammatory and antioxidant mediators[J]. J Agric Food Chem, 2017, 65(25): 5133-5141.
- [7] 王振宇, 杨玲. 蓝靛果的研究利用现状及其发展前景[J]. 安徽科技学院学报, 2009, 23(3): 18-20.
WANG Z Y, YANG L. Recent advances of research actuality and prospects for exploration in *Lonicera edulis Turcz*[J]. J Anhui Sci Technol Univ, 2009, 23(3): 18-20.
- [8] 刘奕琳, 王振宇. 蓝靛果花色苷乙醇洗脱物抗癌活性的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(19): 159-161.
LIU Y L, WANG Z Y. Anticancer activities of ethanol eluting fractions from *Lonicera edulis* anthocyanidins extract[J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(19): 159-161.
- [9] 李文星. 蓝靛果花色苷提取及其抗肿瘤功能机理的初步研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
LI W X. Preliminary research on the extration and antitumor functional [D]. Herbin: Northeast Forestry University, 2011.
- [10] 崔艳平, 聂玮, 迟晓君, 等. 食品中多酚类化合物提取方法的研究进展[J]. 山东农业工程学院学报, 2021, 38(1): 31-35.
CUI Y P, NIE W, CHI X J, et al. Polyphenol compounds in food research progress of extraction methods[J]. J Shandong Agric Eng Univ, 2021, 38(1): 31-35.
- [11] 白晓琳, 樊梓鸾, 李璐, 等. 多酚类化合物与其他活性物质协同作用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(6): 308-311.
BAI X L, FAN Z L, LI L, et al. Research progress on synergistic effect of polyphenols and other active substances[J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(6): 308-311.
- [12] 陈智力, 王秋红, 匡海学. 蓝靛果不同提取部位花青素、多酚类的含量测定及体外抗氧化活性[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(1): 48-52.
CHEN Z L, WANG Q H, KUANG H X. Determination content of *Lonicera caerulea var. edulis* anthocyanin and polyphenols in different parts and *in vitro* antioxidant activity[J]. Chinese J Exp Tradit Med Form, 2016, 22(1): 48-52.
- [13] 朱力国, 郭阳, 唐思媛, 等. 不同品种蓝靛果化学成分及抗氧化活性比较[J]. 中国酿造, 2018, 37(10): 153-157.
ZHU L G, GUO Y, TANG S Y, et al. Comparison of chemical and antioxidant activities of different *Lonicera caerulea* varieties[J]. China Brew, 2018, 37(10): 153-157.
- [14] 薛桂新, 刘丽萍, 张冬岩. 三种野生浆果果汁抗氧化性的研究[J]. 中国酿造, 2013, 32(10): 77-80.
XUE G X, LIU L P, ZHANG D Y. Recheach on antioxidant activity of three kinds of wild berry juice[J]. China Brew, 2013, 32(10): 77-80.
- [15] 白龙林, 张彦龙, 张聪, 等. 蓝靛果的主要成分以及药用价值和应用价值研究进展[J]. 食品安全导刊, 2020(27): 29-30.
BAI L L, ZHANG Y L, ZHANG C, et al. Research progress on main components, medicinal value and application value of *Lonicera caerulea*[J]. China Food Saf Mag, 2020(27): 29-30.
- [16] 李佳睿, 李泓烨, 喻凯, 等. 紫甘薯花青素对肝癌的影响及其机制的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30: 41-44.

- LI J R, LI H Y, YU K, et al. Effect and mechanism of purple sweet potato anthocyanins on liver cancer[J]. *Nat Prod Res Dev*, 2018, 30: 41-44.
- [17] LIU S, SUI Q, ZHAO Y, et al. *Lonicera caerulea* berry polyphenols activate SIRT1, enhancing inhibition of Raw264.7 macrophage foam cell formation and promoting cholesterol efflux[J]. *J Agric Food Chem*, 2019, 67(25): 7157-7166.
- [18] LIU S, YOU L, ZHAO Y, et al. Wild *Lonicera caerulea* berry polyphenol extract reduces cholesterol accumulation and enhances antioxidant capacity *in vitro* and *in vivo*[J]. *Food Res Int*, 2018, 107: 73-83.
- [19] WANG Y, ZHU J, MENG X, et al. Comparison of polyphenol, anthocyanin and antioxidant capacity in four varieties of *Lonicera caerulea* berry extracts[J]. *Food Chem*, 2016, 197: 522-529.
- [20] PEROVA I B, RYLINA E V, ELLER K I, et al. The study of the polyphenolic complex and iridoid glycosides in various cultivars of edible honeysuckle fruits *Lonicera edulis Turcz. ex Freyn*[J]. *Vopr Pitan*, 2019, 88(6): 88-99.
- [21] WOJDYŁO A, JÁUREGUI P N, CARBONELL-BARRACHINA A A, et al. Variability of phytochemical properties and content of bioactive compounds in *Lonicera caerulea L. var. kamschatcica* berries [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(49): 12072-12084.
- [22] 方克明. 天然抗氧化剂:原花青素低聚物[J]. *化学世界*, 2006, 47(2): 127-128.
FANG K M. Natural antioxidants: oligomers of procyanidins[J]. *Chem World*, 2006, 47(2): 127-128.
- [23] 吴敏, 林嘉璐, 欧阳程森. 原花青素与食品成分相互作用的研究进展[J]. *黑龙江粮食*, 2021(1): 70-72.
WU M, LIN J L, OUYANG C M. Research progress in the interaction between procyanidins and food components[J]. *J Heilongjiang Grain*, 2021(1): 70-72.
- [24] 蒋思峡, 王士超, 胡鹏刚. 蓝莓酒中原花青素提取工艺研究[J]. *中国酿造*, 2021, 40(10): 134-138.
JIANG S X, WANG S C, HU P G. Extraction technology of proanthocyanidins in blueberry wine[J]. *China Brew*, 2021, 40(10): 134-138.
- [25] 尹雄杰, 范忠义, 金莉莉, 等. 长白山地区野生与栽培蓝靛果原花青素含量的比较[J]. *延边大学学报(自然科学版)*, 2018, 44(4): 353-355.
YIN X J, FAN Z Y, JIN L L, et al. Comparison with the content of proanthocyanidins in wild and cultivated fruit extract of *Lonicera caerulea L.* in Changbai Mountain region[J]. *J Yanbian Univ (Nat Sci Ed)*, 2018, 44(4): 353-355.
- [26] 黄宁, 刘朋, 霍俊伟, 等. 蓝果忍冬果实花青素含量及合成相关基因表达分析[J]. *南方农业学报*, 2017, 48(7): 1139-1147.
HUANG N, LIU P, HUO J W, et al. Anthocyanin content and expression of synthesis-related genes in *Lonicera caerulea L.* [J]. *J S Agric*, 2017, 48(7): 1139-1147.
- [27] CHAOVANALIKIT A, THOMPSON M M, WROLSTAD R E. Characterization and quantification of anthocyanins and polyphenolics in blue honeysuckle (*Lonicera caerulea L.*) [J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52(4): 848-852.
- [28] 李圣桡, 李若萌, 陈博朴, 等. 高压脉冲电场辅助提取蓝靛果花青素工艺优化[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(8): 3242-3250.
LI S R, LI R M, CHEN B P, et al. Optimization of high voltage pulsed electric field assisted extraction of *Lonicera edulis* anthocyanin[J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(8): 3242-3250.
- [29] 周萍, 郑洁. 花色苷改性及应用研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(3): 346-354.
ZHOU P, ZHENG J. Modification of anthocyanins for extended application: a review [J]. *Food Sci*, 2021, 42(3): 346-354.
- [30] 王继萍, 柏广新, 李劲然, 等. 溶剂萃取法提取蓝莓中花色苷[J]. *分析化学*, 2012, 40(12): 1952-1953.
WANG J P, BAI G X, LI J R, et al. Solvent extraction for determination of blueberry anthocyanins [J]. *Chinese J Anal Chem*, 2012, 40(12): 1952-1953.
- [31] CAPRIOLI G, IANNARELLI R, INNOCENTI M, et al. Blue honeysuckle fruit (*Lonicera caerulea L.*) from eastern Russia: phenolic composition, nutritional value and biological activities of its polar extracts [J]. *Food Funct*, 2016, 7(4): 1892-1903.
- [32] 马自超. 蓝靛果(*Lonicera caerulea*)中的花青素色素的研究[J]. *中国野生植物资源*, 1996, 15(2): 1-5, 46.
MA Z C. Study on anthocyanin pigments in *Lonicera caerulea*[J]. *Chinese Wild Plant Resour*, 1996, 15(2): 1-5, 46.
- [33] 安小琦, 王月华, 孟宪军. ‘蓓蕾’蓝靛果中花色苷组成鉴定及抗氧化能力比较分析[J]. *食品科学*, 2016, 37(19): 82-87.
AN X Q, WANG Y H, MENG X J. Identification and comparative analysis of antioxidant ability of anthocyanins in

- Lonicera caerulea* berry extracts[J]. Food Sci, 2016, 37(19): 82-87.
- [34] 张上上, 郑姝宁, 王学涛, 等. 超高效液相色谱-飞行时间-串联质谱法对 3 种蓝靛果忍冬果实中花青苷的比较分析[J]. 食品科学, 2020, 41(20): 256-262.
ZHANG S S, ZHENG S N, WANG X T, et al. Comparative analysis of anthocyanins in the fruits of three varieties of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) by ultra-high performance liquid chromatography-time of flight-tandem mass spectrometry[J]. Food Sci, 2020, 41(20): 256-262.
- [35] 李颖畅. 植物花色苷[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
LI Y C. Plant Anthocyanin[M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 2013.
- [36] ARAPITSAS P, SJÖBER P J, TURNER C. Characterisation of anthocyanins in red cabbage using high resolution liquid chromatography coupled with photodiode array detection and electrospray ionization-linear ion trap mass spectrometry[J]. Food Chem, 2008, 109(1): 219-226.
- [37] 陈永钧, 龙晓英, 潘素静, 等. 黄酮类化合物的药效机制及构效关系研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(11): 337-344.
CHEN Y J, LONG X Y, PAN S J, et al. Advances in pharmacodynamic mechanisms and SAR studies of flavonoids[J]. Chinese J Exp Tradit Med Form, 2013, 19(11): 337-344.
- [38] 侯江雁, 李彦冰. 蓝靛果果实中总黄酮的含量测定[J]. 黑龙江医药, 2001, 14(4): 252.
HOU J Y, LI Y B. The measurement of flavonoid content In *Lonicera edulis* fruit[J]. Heilongjiang Med J, 2001, 14(4): 252.
- [39] 赵静, 秦艳, 左巍, 等. 植物来源的黄酮类化合物抗体的制备和应用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(4): 284-292.
ZHAO J, QIN Y, ZUO W, et al. Research progress on preparation and application of flavonoids antibody of plant[J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(4): 284-292.
- [40] MACHID K, KIKUCHI M. An iridoid glucoside from *Lonicera caerulea*[J]. Phytochemistry, 1995, 40(2): 603-604.
- [41] 张珍珠. 蓝靛果忍冬的药理功能及作用机理的研究[J]. 生物技术世界, 2015(3): 110.
ZHANG L Z. Study on pharmacological function and action mechanism of *Lonicera caerulea* L [J]. Biotech World, 2015(3): 110.
- [42] 谢佳璇, 张妍, 秦栋, 等. 蓝果忍冬不同发育时期叶片类黄酮化合物及抗氧化活性分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(11): 87-95.
XIE J X, ZHANG Y, QIN D, et al. Flavonoids and antioxidant activities in leaves of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) at different developmental stages[J]. J Northwest A&F Univ (Nat Sci Ed), 2019, 47(11): 87-95.
- [43] 黄宁. 蓝果忍冬叶片类黄酮成分鉴定及抗氧化活性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
HUANG N. Identification of the flavonoid compounds and evaluation of the anti-oxidant of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) leaves[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2017.
- [44] 赵秀婷, 宋志萍, 付萌, 等. 食品加工技术影响多糖构效关系和溶液行为的研究进展[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(3): 78-86.
ZHAO X T, SONG Z P, FU M, et al. Advances on the effect of processing technology on structure activity relationship and solution behavior of polysaccharides[J]. Sci Technol Cereals, Oils Foods, 2021, 29(3): 78-86.
- [45] 徐雅琴, 刘柠月, 李大龙, 等. 蓝靛果多糖功能特性、结构及抗糖基化活性[J]. 食品科学, 2020, 41(2): 8-14.
XU Y Q, LIU N Y, LI D L, et al. Functional properties, structure and anti-glycosylation activity of polysaccharide from blue honeysuckle fruit (*Lonicera caerulea* L.) [J]. Food Sci, 2020, 41(2): 8-14.
- [46] GHARIBZAHEDIA S M T, JAFARI S M. The importance of minerals in human nutrition: bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation[J]. Trends Food Sci Technol, 2017, 62: 119-132.
- [47] 孙晶. 3 个蓝靛果品种果实生物活性物质含量及抗氧化性的比较[J]. 经济林研究, 2019, 37(3): 95-100.
SUN J. Comparison of bioactive component contents and antioxidant activities in three varieties of *Lonicera caerulea* fruit[J]. Nonwood Forest Res, 2019, 37(3): 95-100.
- [48] SENICA M, STAMPAR F, MIKULIC-PETKOVSEK M. Blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L. subs. *edulis*) berry; a rich source of some nutrients and their differences among four different cultivars[J]. Sci Hort, 2018, 238: 215-221.
- [49] ZHAO L, LI S, ZHU Y, et al. Antioxidant activities and major bioactive components of consecutive extracts from blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) cultivated in China[J]. J Food Biochem, 2015, 39(6): 653-662.
- [50] GOŁBA M, SOKÓŁ - ŁĘTOWSKA A, KUCHARSKA A Z. Health properties and composition of honeysuckle berry

- Lonicera caerulea L.* an update on recent studies[J]. *Molecules*, 2020, 25(3): 749.
- [51] SENICA M, BAVEC M, STAMPAR F, et al. Blue honeysuckle (*Lonicera caerulea subsp. edulis* (Turcz. ex Herder) Hultén.) berries and changes in their ingredients across different locations[J]. *J Sci Food Agric*, 2017, 98(9): 3333-3342.
- [52] GU M, OUYANG F, SU Z. Comparison of high-speed counter-current chromatography and high-performance liquid chromatography on fingerprinting of Chinese traditional medicine[J]. *J Chromatogr A*, 2004, 1022(1/2): 139-144.
- [53] 包怡红, 李文星, 齐君君, 等. 提取条件对蓝靛果花色苷抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2010(22): 20-24.
BAO Y H, LI W X, QI J J, et al. Effect of extraction conditions on antioxidant properties of anthocyanins from the fruits of *Lonicera edulis*[J]. *Food Sci*, 2010(22): 20-24.
- [54] 李斌, 雷月, 孟宪军, 等. 响应面优化超声波辅助提取蓝靛果多酚工艺及其抗氧化活性[J]. *食品科学*, 2015, 36(22): 33-39.
LI B, LEI Y, MENG X J, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of polyphenols from haskap berries (*Lonicera caerulea L.*) using response surface methodology and their antioxidant capacity[J]. *Food Sci*, 2015, 36(22): 33-39.
- [55] 赵玉红, 张立钢, 苗雨. 酶-超声波联用提取蓝靛果果渣中花色苷的研究[J]. *食品工业科技*, 2008, 29(8): 183-185.
ZHAO Y H, ZHANG L G, MIAO Y. Study on technology of enzyme-supersonic extraction of *Lonicera caerulea L.* fruit residue anthocyanins[J]. *Sci Technol Food Ind*, 2008, 29(8): 183-185.
- [56] 孟永海, 孟祥瑛, 付敬菊, 等. 超声波协同酶解法对山药总多酚提取及抗氧化活性影响研究[J]. *辽宁中医药大学学报*, 2020, 22(4): 63-66.
MENG Y H, MENG X Y, FU J J, et al. Extraction and antioxidant activity of total polyphenols from Chinese Yam by ultrasound-assisted enzymatic hydrolysis[J]. *J Liaoning Univ Tradit Chinese Med*, 2020, 22(4): 63-66.
- [57] 周丽萍, 王化, 何丹娆, 等. 超声波辅助逆流提取蓓蕾蓝靛果花色苷工艺[J]. *北京林业大学学报*, 2017, 39(9): 119-125.
ZHOU L P, WANG H, HE D R, et al. Ultrasonic assisted countercurrent extraction of anthocyanins from *Lonicera caerulea*[J]. *J Beijing For Univ*, 2017, 39(9): 119-125.
- [58] 苏慧, 郑明珠, 蔡丹, 等. 微波辅助技术在食品工业中的应用研究进展[J]. *食品与机械*, 2011, 27(2): 165-167.
SU H, ZHENG M Z, CAI D, et al. Research progress on application of microwave-assisted heating technology in food industry[J]. *Food Mach*, 2011, 27(2): 165-167.
- [59] 吴进东, 董欣华, 朱旺生, 等. 霍山石斛花总黄酮微波辅助提取工艺的优化[J]. *中成药*, 2021, 43(7): 1704-1707.
WU J D, DONG X H, ZHU W S, et al. Optimization of microwave-assisted extraction process for total flavonoids from *Dendrobidium huoshanense* flowers[J]. *Chinese Tradit Pat Med*, 2021, 43(7): 1704-1707.
- [60] 冯秀琼, 汤庆勇. 中草药中 14 种有机磷农药残留量同时测定——微波辅助提取法[J]. *农药学报*, 2001, 3(3): 45-52.
FENG X Q, TANG Q Y. Multiresidue method of 14 organophosphorous pesticides in some Chinese medicinal plants-microwave-assisted extraction[J]. *Chinese J Pestic Sci*, 2001, 3(3): 45-52.
- [61] 刘雪可, 孟龙月, 辛欣. 超声-微波辅助提取蓝靛果果渣花色苷工艺优化[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(17): 50-54.
LIU X K, MENG L Y, XIN X. Optimization of ultrasonic-microwave assisted extraction of anthocyanin from *Lonicera caerulea* residue[J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(17): 50-54.
- [62] 李凤凤, 张秀玲, 柳晓晨, 等. 响应面优化微波辅助提取蓝靛果花色苷工艺及其抗氧化活性[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(2): 195-200, 214.
LI F F, ZHANG X L, LIU X C, et al. Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins from *Lonicera edulis* and its antioxidant activity by response surface methodology[J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(2): 195-200, 214.
- [63] HU W, ZHOU J, SHEN T, et al. Target-guided isolation of three main antioxidants from Mahonia bealei (Fort.) Carr. leaves using HSCCC[J]. *Molecules*, 2019, 24(10): 1907.
- [64] 徐渊金. 杨梅和桑椹花色苷的提取分离, 结构鉴定及其生物活性研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2017.
XU Y J. Studies on the isolation, structure elucidation and bioactivity of anthocyanins from waxberry and mulberry[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2017.

- [65] CHEN L, XIN X, LAN R, et al. Isolation of cyanidin 3-glucoside from blue honeysuckle fruits by high-speed counter-current chromatography[J]. *Food Chem*, 2014, 152: 386-390.
- [66] 徐赫, 李荣华, 夏岩石, 等. 黄酮类化合物提取, 分离纯化方法研究现状及展望[J]. *应用化工*, 2021, 50(6): 1677-1682.
- XU H, LI R H, XIA Y S, et al. Research status and prospect of extraction and purification methods of flavonoids[J]. *Appl Chem Ind*, 2021, 50(6): 1677-1682.
- [67] 王恩福. 蓝靛果中黄酮类化合物的提取、纯化及功能研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007.
- WANG E F. The study on the extraction, purification and effect test of the flavonoids in *Lonicera edulis* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2007.
- [68] 张敏, 张雁南, 刘刚, 等. 蓝靛果总黄酮的超声波提取研究[J]. *吉林工程技术师范学院学报*, 2012, 28(6): 77-80.
- ZHANG M, ZHANG Y N, LIU G, et al. Study on extracting technology of *Lonicera edulis* total flavonoids[J]. *J Jilin Teach Inst Eng*, 2012, 28(6): 77-80.
- [69] 代现平. 正交试验优化蓝靛果忍冬中总黄酮的提取工艺[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(2): 759-760, 763.
- DAI X P. Study on extracting technology of total flavones from *Lonicera edulis Turcz.* [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2011, 39(2): 759-760, 763.
- [70] 杨露, 郑思韬, 鲍元榕, 等. 超声辅助提取蓝靛果果实多糖的优化及清除自由基活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(20): 145-150.
- YANG L, ZHENG S T, BAO Y R, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of polysaccharide from blue honeysuckle and scavenging radicals activity[J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(20): 145-150.
- [71] 韩春然, 张家成, 王鑫, 等. 响应面法优化超声辅助提取蓝靛果多糖的工艺研究[J]. *农产品加工*, 2018(2): 34-38.
- HAN C R, ZHANG J C, WANG X, et al. Ultrasonic assisted extraction of polysaccharides from *Lonicera edulis* using response surface methodology[J]. *Farm Prod Proc*, 2018(2): 34-38.
- [72] 李新原, 颜廷才, 李斌, 等. 超高压处理对蓝靛果抗氧化物提取量及活性的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(3): 119-124.
- LI X Y, YAN T C, LI B, et al. Effect of ultra high pressure processing on yield and antioxidant activity of *Lonicera caerulea* extracts[J]. *Food Sci*, 2017, 38(3): 119-124.

Research Progress on Chemical Constituents and Extraction and Separation of *Lonicera edulis*

ZHANG Ling-Yu¹, HOU Su-Xin², ZHANG Wen-Wei³, JIANG Shan²,
LIU Jun-Tong², YUE Hao^{1*}, ZHANG Nan^{1*}

¹(*Jilin Ginseng Academy, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China*)

²(*School of Pharmaceutical Sciences, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China*)

³(*Vocational and Technical College, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China*)

Abstract *Lonicera caerulea* is a kind of natural wild edible berry with physiological activities such as scavenging free radicals, inhibiting phosphorylation of proteins related to inflammatory pathways and inhibiting proliferation of cancer cells. Its anti-oxidation, regulation of blood lipids, anti-tumor, anti-radiation and other health benefits can be applied to regulate intestinal flora structure, anti-cancer, anti-obesity, protect eyesight and other functional food fields. Besides, *Lonicera caerulea* has strong cold resistance capability and is easy to grow, which has a high market development value. This article summarizes the

chemical information of active chemical components (procyanidins, anthocyanins, anthocyanins, flavonoids, organic acids, polysaccharide and other compounds) in *Lonicera caerulea* and sums up the extraction and separation methods of different types of chemical components (solvent extraction, enzymatic hydrolysis, microwave assisted extraction method, etc.), which aims at providing the basis for the further research and development and deep processing products develop of *Lonicera caerulea*.

Keywords *Lonicera caerulea*; Chemical components; Extraction and separation

Received 2022-02-10; Accepted 2022-05-25

Supported by the "Thirteenth Five-Year" Science and Technology Project of Jilin Provincial Education Department (No. JJKH20200909KJ), Jilin Province College Students Innovation and Entrepreneurship Training Program (No. 202010199041) and China College Students Innovation and Entrepreneurship Training Program (No. 202110199038X)

《应用化学》2023年征订启事

《应用化学》创刊于1983年,是经国家科委批准向国内、国外公开发行的学术性期刊。由中国科学院主管,中国科学院长春应用化学研究所和中国化学会主办,科学出版社出版。为中国科技核心期刊、中文核心期刊。

《应用化学》设有综合评述、研究论文、研究简报栏目。出版周期短,报道新成果快。

《应用化学》期刊被11家国内外重要检索机构、文摘收录。

《应用化学》面向科研单位、大专院校和化学化工领域的科研技术人员。

《应用化学》投稿全部采用网上投稿方式(<http://yyhx.ciac.jl.cn>点击“网上投稿”或“投稿注册”,按提示步骤操作)。

- 中国科学院主管,中国科学院长春应用化学研究所和中国化学会主办。
- 多次获国家、省、部级奖励,发行量大,广告宣传效果好。
- 国内外公开发行,月刊,每月10日出版。
- 国内统一连续出版物号CN 22-1128/O6;国际标准连续出版物号ISSN 1000-0518。
- 全国各地邮局订阅,国内邮发代号12-537;每册定价60.00元,全年定价720元。
- 中国国际图书贸易总公司办理国外订阅(国外发行代号M809)。
- 如未能在邮局订阅,可与编辑部联系订阅。

《应用化学》编辑部地址:吉林省长春市人民大街5625号 邮编:130022

电话:0431-85262016,85262330; E-mail:yyhx@ciac.ac.cn; 网址:<http://yyhx.ciac.jl.cn>