

# 蓝果忍冬的生物活性物质及其功效研究进展

乔锦莉<sup>1,2</sup>, 秦 栋<sup>1,2</sup>, 郭良川<sup>1,2</sup>, 费小辉<sup>1,2</sup>, 张 妍<sup>1,2,\*</sup>, 霍俊伟<sup>1,2,\*</sup>

(1. 东北农业大学园艺园林学院, 黑龙江 哈尔滨 150030;

2. 东北农业大学 寒地小浆果开发利用国家地方联合工程研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘 要:** 蓝果忍冬是一种含有丰富营养物质和活性成分的小浆果, 随着人们生活方式的改变和对健康需求的不断增加, 人们对有健康功效的蓝果忍冬越来越关注。本文从蓝果忍冬的具体保健功效角度, 针对其抗氧化、抗炎、抗癌、神经保护、抗糖尿病及预防心血管疾病等方面的功效成分、作用机理以及研究现状作具体介绍。

**关键词:** 蓝果忍冬; 活性物质; 健康功效

## Recent Progress in Bioactive Constituents of *Lonicera caerulea* L. Fruit and Their Health Benefits

QIAO Jinli<sup>1,2</sup>, QIN Dong<sup>1,2</sup>, GUO Liangchuan<sup>1,2</sup>, FEI Xiaohui<sup>1,2</sup>, ZHANG Yan<sup>1,2,\*</sup>, HUO Junwei<sup>1,2,\*</sup>

(1. School of Horticulture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. National-Local Joint Engineering Research Center for Development and Utilization of Small Fruits in Cold Regions, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** *Lonicera caerulea* L. fruit is a small berry with rich nutrients and bioactive ingredients. With the change in people's lifestyle and the increasing desire for health, the health benefits of *Lonicera caerulea* L. fruit have aroused increasing interest among people. This article reviews the current status of research on the functional components in *Lonicera caerulea* L. fruit with antioxidant, anti-inflammation, anti-cancer, neuroprotective, anti-diabetes and cardiovascular disease preventive effects and their mechanisms of action.

**Keywords:** *Lonicera caerulea* L.; bioactive constituents; health benefits

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190416-211

中图分类号: S663.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2020) 09-0276-09

引文格式:

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. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190416-211. <http://www.spkx.net.cn>

QIAO Jinli, QIN Dong, GUO Liangchuan, et al. Recent progress in bioactive constituents of *Lonicera caerulea* L. fruit and their health benefits[J]. Food Science, 2020, 41(9): 276-284. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190416-211. <http://www.spkx.net.cn>

蓝果忍冬 (*Lonicera caerulea* L.) 又叫蓝靛果、黑瞎子果、羊奶子、山茄子等。蓝果忍冬最初起源于俄罗斯西伯利亚勘察加半岛、日本北海道和中国东北、新疆、内蒙古等地区<sup>[1]</sup>。蓝果忍冬是一种多年生灌木, 在寒冷气候条件下可以越冬, 抗病性强。蓝果忍冬果实口感丰富, 苦涩或酸甜, 含有多种矿物质元素、氨基酸、蛋白质、维生素、糖类和有机酸等, 这些物质与人类健康息

息相关。蓝果忍冬中还含有丰富的花色苷、类黄酮等生物活性物质, 具有较高的营养以及医疗保健价值<sup>[2]</sup>。蓝果忍冬果实可以作为提取活性物质的原料, 进一步加工可获得更高纯度的提取物。蓝果忍冬作为第3代新兴的浆果树种, 不仅易于栽培管理, 又具有医疗保健功能, 是目前极具发展潜力的一种果树。

收稿日期: 2019-04-16

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目 (2016YFC500304-05); 黑龙江省自然科学基金项目 (C2017020);

国家自然科学基金面上项目 (31272130); 国家自然科学基金青年科学基金项目 (31801553)

第一作者简介: 乔锦莉 (1996—) (ORCID: 0000-0002-8772-2377), 女, 硕士研究生, 研究方向为蓝靛果育种及活性成分。

E-mail: 376946031@qq.com

\*通信作者简介: 张妍 (1988—) (ORCID: 0000-0002-4752-5432), 女, 讲师, 博士, 研究方向为农产品贮藏与加工。

E-mail: zhang\_yan@neau.edu.cn

霍俊伟 (1971—) (ORCID: 0000-0003-0485-4102), 男, 教授, 博士, 研究方向为小浆果种质资源及遗传育种。

E-mail: huojunwei@neau.edu.cn

# 1 蓝果忍冬的主要活性物质

## 1.1 蓝果忍冬的主要营养成分

### 1.1.1 蓝果忍冬的营养成分及含量

蓝果忍冬的营养成分丰富, 含有蛋白质、多种糖类、酸类、维生素、矿物质、纤维素以及灰分等(表1)<sup>[3-12]</sup>。蓝果忍冬中的糖类包括山梨醇、果胶糖、果糖和葡萄糖等; 酸类包括脂肪酸、酒石酸、草酸和苹果酸等, 其中脂肪酸又包括棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸等, 且多不饱和脂肪酸含量最为丰富, 含量高达94%。钾是蓝果忍冬中含量最丰富的矿物质元素, 其次是氮、磷、钙、镁、钠; 维生素种类多样, 包括VB<sub>1</sub>、VB<sub>2</sub>、VE以及VC。

| 表 1 蓝果忍冬中的多种营养成分<br>Table 1 Various nutrients in blue honeysuckle fruit |                                                                            |                                                        |               |      |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|------|
| 营养成分                                                                    | 含量/(mg/100 g)                                                              | 栽培品种                                                   | 栽培地区          | 参考文献 |
| 蛋白质                                                                     | 618~1 460                                                                  | 五常、勃力、东宁、伊春、大兴安岭种源                                     | 黑龙江省森林研究所     | [5]  |
|                                                                         | 2 120                                                                      | <i>L. caerulea</i> var. <i>kamtschatica</i>            | 俄罗斯哈巴罗夫斯克附近森林 | [6]  |
|                                                                         | 372.87                                                                     |                                                        |               |      |
| 山梨醇                                                                     | 372.87                                                                     |                                                        |               |      |
|                                                                         | 3 412.39                                                                   | 移栽自42个国家的品种                                            | 东北农业大学园艺实验站   | [7]  |
|                                                                         | 372.87                                                                     |                                                        |               |      |
| 果糖                                                                      | 6.00                                                                       | 阿尔泰忍冬                                                  | 吉林汪清县         | [8]  |
|                                                                         | 4 300~12 000                                                               | <i>L. kamtschatica</i> (Sevast.)<br>Pojark. 'Gerda 25' | 斯洛伐克尼特拉       | [4]  |
|                                                                         | 4 900~10 700                                                               | <i>L. edulis</i> Turcz.                                |               |      |
| 总糖                                                                      | 240                                                                        | <i>L. caerulea</i> var. <i>kamtschatica</i>            | 俄罗斯哈巴罗夫斯克附近森林 | [6]  |
|                                                                         | 1 560~2 590                                                                | <i>L. caerulea</i> L. subs. <i>edulis</i>              | 斯洛文尼亚         | [10] |
|                                                                         | 680~1 100                                                                  | <i>L. caerulea</i> L. subs. <i>edulis</i>              | 斯洛文尼亚         | [10] |
| 总酸                                                                      | 3 840~4 100                                                                | <i>L. kamtschatica</i> (Sevast.)<br>Pojark. 'Gerda 25' | 斯洛伐克尼特拉       | [4]  |
|                                                                         | 3 520~5 250                                                                | <i>L. edulis</i> Turcz.                                |               |      |
| 酸类                                                                      | 棕榈酸5.3%、硬脂酸0.9%、油酸22.8%、异油酸1.3%、亚油酸66.8%、亚麻酸2.9%、单不饱和脂肪酸24.2%、多不饱和脂肪酸69.8% | <i>L. caerulea</i> var. <i>kamtschatica</i>            | 俄罗斯哈巴罗夫斯克附近森林 | [6]  |
|                                                                         | 70.48                                                                      |                                                        |               |      |
|                                                                         | 268.56                                                                     | 移栽自不同国家的42个品种                                          | 东北农业大学园艺实验站   | [7]  |
| 草酸                                                                      | 828.07                                                                     |                                                        |               |      |
|                                                                         | 1 960.37                                                                   |                                                        |               |      |
| 柠檬酸                                                                     | 8 340                                                                      | <i>L. caerulea</i> var. <i>kamtschatica</i>            | 俄罗斯哈巴罗夫斯克附近森林 | [6]  |
|                                                                         | 2 100                                                                      | <i>L. caerulea</i>                                     | 日本            | [11] |
|                                                                         | 450                                                                        | <i>L. caerulea</i> var. <i>kamtschatica</i>            | 俄罗斯哈巴罗夫斯克附近森林 | [6]  |
| 灰分                                                                      | 400                                                                        | <i>L. caerulea</i>                                     | 日本            | [11] |
|                                                                         | 313                                                                        | <i>L. edulis</i> 'Nimfa'                               | 俄罗斯           | [3]  |
|                                                                         | 456                                                                        | <i>L. edulis</i> 'Gerda'                               | 斯洛伐克          |      |
| K                                                                       | 1 295.3                                                                    | <i>L. kamtschatica</i> (Sevast.)<br>Pojark. 'Gerda 25' | 斯洛伐克尼特拉       | [4]  |
|                                                                         | 1 137.9                                                                    | <i>L. edulis</i> Turcz.                                |               |      |
| 矿物质元素                                                                   | 31.2                                                                       | <i>L. edulis</i> 'Gerda'                               | 斯洛伐克          |      |
|                                                                         | 48.9                                                                       | <i>L. edulis</i> 'Nimfa'                               | 俄罗斯           | [3]  |
|                                                                         | 116                                                                        | <i>L. kamtschatica</i> (Sevast.)<br>Pojark. 'Gerda 25' | 斯洛伐克尼特拉       | [4]  |
| Ca                                                                      | 167.5                                                                      | <i>L. edulis</i> Turcz.                                |               |      |
|                                                                         | 7.9                                                                        | <i>L. edulis</i> 'Sinnaja ptica'                       | 斯洛伐克          |      |
|                                                                         | 16.3                                                                       | <i>L. edulis</i> 'Tomichka'                            | 俄罗斯           | [3]  |

| 续表 1            |                 |                                                                    |           |      |
|-----------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|------|
| 营养成分            | 含量/(mg/100 g)   | 栽培品种                                                               | 栽培地区      | 参考文献 |
| Mg              | 71.5            | <i>L. kamtschatica</i> (Sevast.)<br>Pojark. 'Gerda 25'             | 斯洛伐克尼特拉   | [4]  |
|                 | 76.6            | <i>L. edulis</i> Turcz.                                            |           |      |
|                 | 1.02            | <i>L. edulis</i> 'Tomichka'                                        |           |      |
| Na              | 1.87            | <i>L. edulis</i> 'Altaj'                                           | 俄罗斯       | [3]  |
|                 | 1.6             | <i>L. edulis</i> 'Amur'                                            |           |      |
|                 | 12.5            | <i>L. kamtschatica</i> (Sevast.)<br>Pojark. 'Gerda 25'             | 斯洛伐克尼特拉   | [4]  |
| P               | 11.7            | <i>L. edulis</i> Turcz.                                            |           |      |
|                 | 58.5            | <i>L. edulis</i> 'Amur'                                            | 斯洛伐克      |      |
|                 | 55.2            | <i>L. edulis</i> 'Altaj'                                           | 俄罗斯       | [3]  |
| N               | 205             | <i>L. kamtschatica</i> (Sevast.)<br>Pojark. 'Gerda 25'             | 斯洛伐克尼特拉   | [4]  |
|                 | 240             | <i>L. edulis</i> Turcz.                                            |           |      |
|                 | 426             | <i>L. edulis</i> 'Altaj'                                           | 俄罗斯       | [3]  |
| VC              | 402.7           | <i>L. edulis</i> 'Amur'                                            | 斯洛伐克      |      |
|                 | 19.7~37.3       | 五常、勃力、东宁、伊春、大兴安岭种源                                                 | 黑龙江省森林研究所 | [5]  |
|                 | 12.6~18.8       | 伊利亚达、瓦修甘斯卡亚、北日勒、巴克哈尔斯卡亚                                            | 新疆林业科学院   | [12] |
| VB <sub>1</sub> | 109~230         | <i>L. caerulea</i> var. <i>kamtschatica</i><br>'Berry Smart™ Blue' |           |      |
|                 | 310~410         | <i>L. caerulea</i> var. <i>kamtschatica</i> 'Indigo Geme'          | 波兰        | [9]  |
|                 | 190~320         | <i>L. caerulea</i> var. <i>kamtschatica</i> 'Tundra'               |           |      |
| VB <sub>2</sub> | 18.4            | 阿尔泰忍冬                                                              | 吉林汪清县     | [8]  |
|                 | 0.414           | 阿尔泰忍冬                                                              | 吉林汪清县     |      |
|                 | 0.375           | 阿尔泰忍冬                                                              | 吉林汪清县     | [8]  |
| VE              | 0.053 6~0.076 6 | 五常、勃力、东宁、伊春、大兴安岭种源                                                 | 黑龙江省森林研究所 | [5]  |
|                 | 0.358~0.670     | 五常、勃力、东宁、伊春、大兴安岭种源                                                 | 黑龙江省森林研究所 | [5]  |

### 1.1.2 蓝果忍冬中的氨基酸组分与含量

| 表 2 蓝果忍冬中的氨基酸组成与含量 <sup>[3,5]</sup><br>Table 2 Amino acid composition of blue honeysuckle fruit <sup>[3,5]</sup> |                   |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| 氨基酸种类                                                                                                            | 氨基酸平均质量浓度*/(mg/L) | 氨基酸含量#/(mg/100 g) |
| 甘氨酸 (Gly)                                                                                                        | 0.301             | 0.04~0.09         |
| 丙氨酸 (Ala)                                                                                                        | 0.430             | 0.05~0.07         |
| 苯丙氨酸 (Phe)                                                                                                       | 0.465             | 0.01~0.03         |
| 苏氨酸 (Thr)                                                                                                        | 0.678             | 0.01~0.03         |
| 组氨酸 (His)                                                                                                        | 19.700            | 0.02~0.05         |
| 酪氨酸 (Tyr)                                                                                                        | 33.800            | —                 |
| 亮氨酸 (Leu)                                                                                                        | 34.300            | 0.05~0.12         |
| 异亮氨酸 (Ile)                                                                                                       | 39.300            | 0.02~0.05         |
| 谷氨酸 (Glu)                                                                                                        | 54.500            | 0.08~0.35         |
| 脯氨酸 (Pro)                                                                                                        | 54.500            | 0.02~0.06         |
| 缬氨酸 (Val)                                                                                                        | 55.900            | 0.02~0.07         |
| 丝氨酸 (Ser)                                                                                                        | 68.900            | 0.02~0.05         |
| 天冬氨酸 (Asp)                                                                                                       | 102.800           | 0.04~0.12         |

注: \*. 蓝果忍冬品种为 'Amfora'、'Fialka'、'Amur'、'Altaj'、'Zolushka'、'Tomichka'、'Viola'、'Roksana'、'Morena'、'Sinoglaska'、'Gerda'、'Bakcarskaja'、'Vasjuganska'、'Vasilevskaya'、'Sinaja Ptica'、'Kamchadalka'、'Goluboe vreteno'、'Nimfa'、'Leningradskij velikan'; #. 蓝果忍冬种源为五常、勃力、东宁、伊春、大兴安岭; —. 未检测到。

蓝果忍冬中所含氨基酸种类较多，主要包括缬氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、异亮氨酸、组氨酸、甘氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、丝氨酸、酪氨酸、脯氨酸、苏氨酸<sup>[13]</sup>。部分品种蓝果忍冬中氨基酸的组成及其含量如表2所示。不同品种蓝果忍冬中的氨基酸含量略有差异，但基本一致，其中谷氨酸、脯氨酸、缬氨酸、丝氨酸和天冬氨酸的含量均较高，尤以天冬氨酸含量最高，平均质量浓度可高达102.8 mg/L<sup>[3]</sup>。

1.2 蓝果忍冬中的多酚类物质

蓝果忍冬中的多酚类物质主要包括酚酸、类黄酮化合物以及花色苷等。蓝果忍冬中的酚酸主要包括龙胆酸、没食子酸、邻焦儿茶酚酸、原儿茶酸、沙梨酸、香草酸、咖啡酸、*m*-香豆酸、对香豆酸、二甲氧肉桂酸、阿魏酸、羟基咖啡因酸、对羟基丙烯酸、对羟基酸、绿原酸、新绿原酸、咖啡酰奎宁酸、二咖啡酰奎宁酸异构体和3,5-二苯奎宁酸等。其中，蓝果忍冬中绿原酸和3,5-二苯奎宁酸的含量与其他酚酸相比，显著高于其他酚酸的含量<sup>[14-15]</sup>。

蓝果忍冬中的类黄酮含量较高，包括木犀草素、原花青素、游离儿茶素、黄酮醇、芸香苷、异槲皮素以及槲皮黄酮等。其中槲皮素主要包括槲皮素-*O*-巢菜糖苷、槲皮素-*O*-鼠李糖苷-*O*-己糖苷、槲皮素-3-*O*-糖苷、紫杉叶素-3-*O*-己糖苷、毛地黄黄酮-3-己糖苷、儿茶素、原花青素二聚体等。紫杉叶素-3-*O*-己糖苷和槲皮素-*O*-鼠李糖苷-*O*-己糖苷两种槲皮素含量较为丰富<sup>[16]</sup>。

蓝果忍冬中的花色苷含量高于其他已知的对健康有益的浆果，如蓝莓<sup>[17]</sup>。已报道的蓝果忍冬中花色苷有8种，分别为矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷、矢车菊素-3,5-*O*-二葡萄糖苷、矢车菊素-3-*O*-芸香糖苷、天竺葵素-3-*O*-葡萄糖苷、芍药花青素-3-*O*-葡萄糖苷、芍药花青素-3-*O*-芸香糖苷、飞燕草素-3-*O*-芸香糖苷、飞燕草素-3-*O*-芸香糖苷。其中矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷含量最为丰富，其含量一般为107~450 mg/100 g<sup>[6,16,18]</sup>，远高于蓝莓中矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷的含量。表3为部分品种蓝果忍冬中多酚的种类及其含量。

表3 蓝果忍冬中多酚的种类及其含量  
Table 3 Polyphenol composition of blue honeysuckle fruit

| 多酚            | 含量/<br>(mg/100 g) | 栽培品种             | 参考文献 |
|---------------|-------------------|------------------|------|
| 龙胆酸           | 15.35             |                  |      |
| 没食子酸          | 4.43              |                  |      |
| 邻焦儿茶酚酸        | 2.86              |                  |      |
| 原儿茶酸          | 14.44             |                  |      |
| 沙梨酸           | 12.35             |                  |      |
| 香草酸           | 2.11              |                  |      |
| 咖啡酸           | 59.82             |                  |      |
| <i>m</i> -香豆酸 | 201.45            | <i>L. edulis</i> | [18] |
| 对香豆酸          | 98.71             |                  |      |
| 二甲氧肉桂酸        | 4.42              |                  |      |

续表3

| 多酚                                 | 含量/<br>(mg/100 g) | 栽培品种                                                                    | 参考文献 |
|------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|------|
| 阿魏酸                                | 3.69              |                                                                         |      |
| 羟基咖啡因酸                             | 5.19              |                                                                         |      |
| 对羟基丙烯酸                             | 1.03              |                                                                         |      |
| 对羟基酸                               | 4.83              |                                                                         |      |
|                                    | 12.50~16.60       |                                                                         |      |
| 绿原酸                                | 52.77             | <i>Lonicera caerulea</i> L. var. <i>kamtschatica</i> Sevast. 'Tomichka' | [16] |
|                                    | 21.75             | <i>Lonicera caerulea</i> L. var. <i>kamtschatica</i> Sevast. 'Wojtek'   | [16] |
| 新绿原酸                               | 10.48             |                                                                         |      |
| 咖啡酰奎宁酸                             | 8.41              |                                                                         |      |
| 二咖啡酰奎宁酸异构体一                        | 37.39             | <i>Lonicera caerulea</i> L. var. <i>kamtschatica</i> Sevast. 'Tomichka' | [16] |
| 二咖啡酰奎宁酸异构体二                        | 3.21              |                                                                         |      |
| 二咖啡酰奎宁酸异构体三                        | 3.27              |                                                                         |      |
| 3,5-二苯奎宁酸                          | 6 850.98          | <i>L. caerulea</i> subsp. <i>villosa</i> . 'Tundra'                     | [19] |
| 总酚酸                                | 115.50            | <i>L. caerulea</i> L. var. <i>kamtschatica</i> Sevast. 'Tomichka'       | [16] |
| 木犀草素                               | 13.60             | <i>L. iliensis</i>                                                      |      |
| 原花青素                               | 536.00            | <i>L. caerulea</i>                                                      |      |
| 游离儿茶素                              | 429.00            | <i>L. bockarnikowae</i>                                                 |      |
| 黄酮醇                                | 139.00            | <i>L. edulis</i>                                                        | [18] |
| 芸香苷                                | 48.60             | <i>L. iliensis</i>                                                      |      |
| 异槲皮素                               | 11.10             | <i>L. caerulea</i>                                                      |      |
| 槲皮黄酮                               | 28.00             | <i>L. caerulea</i>                                                      |      |
| 槲皮素- <i>O</i> -巢菜糖苷                | 3.29              |                                                                         |      |
| 槲皮素- <i>O</i> -鼠李糖苷- <i>O</i> -己糖苷 | 5.08              |                                                                         |      |
| 槲皮素-3- <i>O</i> -糖苷                | 4.19              |                                                                         |      |
| 紫杉叶素-3- <i>O</i> -己糖苷              | 6.94              | <i>L. caerulea</i> L. var. <i>kamtschatica</i> Sevast. 'BlueVelvet'     | [16] |
| 毛地黄黄酮-三己糖苷                         | 0.19              |                                                                         |      |
| 儿茶素                                | 2.14              |                                                                         |      |
| 原花青素二聚体I                           | 0.89              |                                                                         |      |
| 原花青素二聚体II                          | 1.55              |                                                                         |      |
| 矢车菊素-3,5-二葡萄糖苷                     | 27.42             | <i>L. caerulea</i> L. var. <i>kamtschatica</i> Sevast. 'Amphora'        | [16] |
|                                    | 8.07              | <i>L. caerulea</i> var. <i>kamtschatica</i>                             | [6]  |
| 矢车菊素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷             | 400.11            | <i>L. caerulea</i> L. var. <i>kamtschatica</i> Sevast. 'Amphora'        | [16] |
|                                    | 107.63            | <i>L. caerulea</i> var. <i>kamtschatica</i>                             | [6]  |
| 矢车菊素-3- <i>O</i> -芸香糖苷             | 27.68             | <i>L. caerulea</i> L. var. <i>kamtschatica</i> Sevast. 'Amphora'        | [16] |
| 天竺葵素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷             | 2.18              | <i>L. caerulea</i> L. var. <i>kamtschatica</i> Sevast. 'Amphora'        | [16] |
|                                    | 0.81              | <i>L. caerulea</i> var. <i>kamtschatica</i>                             | [6]  |
| 芍药花青素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷            | 12.25             | <i>L. caerulea</i> L. var. <i>kamtschatica</i> Sevast. 'Amphora'        | [16] |
|                                    | 6.66              | <i>L. caerulea</i> var. <i>kamtschatica</i>                             | [6]  |
| 芍药花青素-3- <i>O</i> -芸香糖苷            | 1.69              | <i>L. caerulea</i> L. var. <i>kamtschatica</i> Sevast. 'Amphora'        | [16] |

1.3 蓝果忍冬中的萜类物质

蓝果忍冬中存在较多的单萜类物质——环烯醚萜类化合物，目前已经鉴定出13种环烯醚萜类化合物及其衍

生物。环烯醚萜类化合物的主要临床生物活性为神经系统保护、抗肿瘤和保肝作用等<sup>[20]</sup>。部分品种蓝果忍冬中环烯醚萜类化合物的含量和种类如表4所示。

表4 蓝果忍冬中环烯醚萜类化合物的种类及含量<sup>[16]</sup>  
Table 4 Iridoid composition blue honeysuckle fruit<sup>[16]</sup>

| 环烯醚萜            | 含量/(mg/100 g) | 栽培品种            |
|-----------------|---------------|-----------------|
| 番木鳖酸            | 182.28        | Kuvshinovidnaya |
| 7-异龙脑酸          | 45.05         | Vida            |
| 番木鳖酸-7-O-戊糖苷    | 50.32         | Vostorg         |
| 7-异龙脑酸-7-O-戊二糖苷 | 17.87         | Vasilevskaya    |
| 当药苷+马钱苷         | 71.71         | Wojtek          |
| 马钱苷-7-O-戊糖苷     | 70.29         | Atut            |
| 开环番木鳖苷          | 3.81          | Klon            |

#### 1.4 蓝果忍冬中的总花青素和总酚

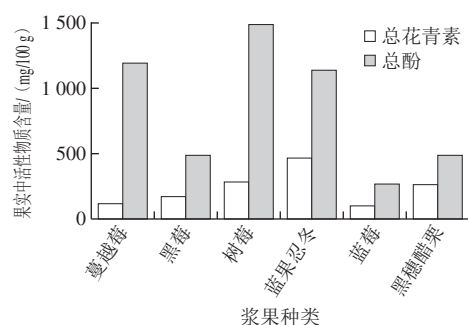


图1 不同浆果中的花青素和总酚含量比较

Fig. 1 Comparison of anthocyanins and total phenols contents in different berry fruits

蓝果忍冬果实中的总花青素和总酚含量如图1所示。蓝果忍冬的总花青素含量<sup>[21]</sup>显著高于蔓越莓<sup>[22]</sup>、黑莓<sup>[23]</sup>、树莓<sup>[24]</sup>、蓝莓<sup>[25]</sup>、黑穗醋栗<sup>[26]</sup>，但其总酚含量并不是最高的，低于树莓和蔓越莓。

## 2 蓝果忍冬的功效研究进展

### 2.1 抗氧化活性

蓝果忍冬是一种营养价值极高的水果，具有独特的化学成分，可以作为增强人体免疫系统功能的膳食补充品<sup>[27-28]</sup>。Auzanneau等<sup>[9]</sup>对7种不同品种的蓝果忍冬进行测定，证明了蓝果忍冬具有抗氧化能力。与蓝果忍冬水提物相比，其醇提物抗氧化活性更强，在乙醇体积分数为60%时，其醇提物抗氧化活力最高<sup>[17]</sup>。自由基作用于蛋白质、氨基酸、脂质和DNA等生物分子，导致细胞损伤和凋亡，蓝果忍冬中丰富的酚类物质能够改善自由基对细胞的损伤<sup>[29]</sup>。周丽萍等<sup>[30]</sup>研究‘蓓蕾’蓝果忍冬发现，花色苷可以极显著降低小鼠体内丙二醛(malondialdehyde, MDA)和羰基含量( $P<0.01$ )，提高体内超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、

谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)的活力，对乙醇诱导的小鼠氧化损伤具有保护作用。影响蓝果忍冬抗氧化活性主要有以下几种因素。

蓝果忍冬的抗氧化活性与花青素含量高度相关。Wang Yuehua等<sup>[31]</sup>研究发现，花青素是蓝果忍冬中最重要的活性物质，其含量与抗氧化活性呈正相关，且果皮中的花青素含量高于果肉。

蓝果忍冬的抗氧化活性与气候区域高度相关。Lee等<sup>[32]</sup>测定了中国和韩国栽培的蓝果忍冬中SOD和过氧化氢酶活力，评价蓝果忍冬抗氧化能力，发现两国栽培的蓝果忍冬品种均具有良好的体外抗氧化活性，但存在一定差异。Chaovanalikit等<sup>[27]</sup>也发现，气候条件和采收年限不同，蓝果忍冬果实所含生物活性物质的含量也不同。

蓝果忍冬的抗氧化活性与生物活性物质含量高度相关。Khattab等<sup>[33]</sup>研究发现，蓝果忍冬冷冻前蒸烫，会造成总酚含量和总还原能力下降，但能够提高生物活性物质的保留率。因此，冷冻前蒸烫结合低温( $-18^{\circ}\text{C}$ )贮存是蓝果忍冬的有效保存方法之一。付刚等<sup>[34]</sup>比较不同植物的抗氧化能力，发现蓝果忍冬的抗氧化作用最强，其2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐阳离子自由基、羟自由基和亚硝酸根离子的清除作用及还原铜离子的能力随着质量浓度的增加而增强，且呈一定的剂量效应。雷月<sup>[35]</sup>也证实了蓝果忍冬果实中多酚含量与超氧阴离子自由基、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基清除能力之间呈极显著正相关( $P<0.01$ )，且环境因素也会对蓝果忍冬果实的抗氧化性造成一定的差异。

### 2.2 抗癌活性

植物中降低罹患癌症风险最有效的物质是类黄酮，如木犀草素、表没食子儿茶素没食子酸酯、槲皮素、芹菜素等<sup>[36]</sup>。蓝果忍冬中类黄酮含量丰富，因此具有抗癌活性<sup>[37]</sup>。Zhou Liping等<sup>[38]</sup>研究发现，纯化后的蓝果忍冬提取液能杀死肿瘤细胞，抑制肿瘤继续生长，改善H22荷瘤小鼠的生存状态；在这一过程中，SOD和GSH-Px活力增强，MDA含量减少，免疫因子白细胞介素(interleukin, IL)2和干扰素- $\gamma$ 表达下调，肿瘤坏死因子(tumor necrosis factor, TNF) $\alpha$ 表达上调。现阶段研究结果表明，蓝果忍冬主要对以下几种癌症作用效果显著。

#### 2.2.1 抗乳腺癌

近年来，研究者不断开发新的药物来抑制癌症，其中蓝果忍冬对包括乳腺癌在内的几种癌症的化疗耐受性和治疗潜力逐渐受到关注。在一项研究中发现，女性在绝经后浆果的摄入量越高，发生乳腺癌的风险就越低<sup>[37]</sup>。Pace等<sup>[39]</sup>对蓝果忍冬中的矢车菊素-3-O-葡萄糖苷热降解产物进行研究，发现分解产物对乳腺癌MDA-MB-231细胞具有细胞毒性，从而达到防治乳腺癌的效果。



### 2.2.2 抗肝癌

蓝果忍冬在抗肝癌方面也表现出巨大的优势。从‘蓓蕾’蓝果忍冬中提取的花青素经纯化后作用于肝癌细胞,能够显著抑制肝癌细胞生长,阻断肝癌细胞生长G2/M期,提高小鼠免疫调节功能,改善小鼠生存状态,具有有效的抗肿瘤作用<sup>[38]</sup>。Pace等<sup>[39]</sup>研究结果表明,蓝果忍冬中的矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷热降解产物对肝癌HepG2细胞也具有毒性,且呈剂量效应;中性pH值和加热会影响矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷的降解速率,这表明蓝果忍冬的热加工会影响其生物性能。

### 2.2.3 抗肺癌

烟草特异性亚硝胺——4-甲基亚硝胺基-1-3-吡啶基-1-丁酮亚硝胺酮(4-(*N*-nitrosomethylamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone, NNK)会诱导DNA损伤,蓝果忍冬中富含的多酚类物质通过参与NNK代谢相关酶的表达,调节NNK激活的细胞表面受体和信号转导通路,保持遗传完整性,从而对DNA损伤产生保护作用;此外还发现,蓝果忍冬提取物能够显著降低NNK及其前体4-[(乙酰氧基甲基)亚硝胺基]-1-(3-吡啶基)-1-丁酮诱导的DNA双链断裂,减少BEAS-2B细胞中活性氧(reactive oxygen species, ROS)的形成<sup>[40]</sup>。以上研究结果表明蓝果忍冬提取物具有抗肺癌的作用。

由于植物提取物具有抑制癌症相关炎症中特定分子或细胞途径的活性,且毒性较低,因此可作为一种有效的化学预防和治疗癌症的药物<sup>[41]</sup>。总体来看,蓝果忍冬中的活性物质通过灭活致癌基因、抑制肿瘤细胞增殖、诱导细胞周期阻滞或细胞凋亡,从而预防癌症的发生。蓝果忍冬所含丰富的花青素是其具有抗癌作用的重要原因,蓝果忍冬的摄入量是抗癌作用的重要影响因素。蓝果忍冬作为一种抗癌能力较强的植物,未来可能在抗癌方面发挥重要的作用。

### 2.3 抗炎活性

蓝果忍冬对人体健康有益,可以对抗慢性疾病。蓝果忍冬提取物中含有大量的多酚类物质,Rupasinghe等<sup>[15]</sup>研究表明,多酚类物质具有抗炎活性。Lee等<sup>[32]</sup>以NO作为炎症评价指标研究中国和韩国两地蓝果忍冬,证明其提取物均具有良好的体外抗氧化活性。蓝果忍冬提取物主要针对以下炎症具有明显抗炎活性。

#### 2.3.1 抗肺炎

Zhao Jin等<sup>[42]</sup>研究发现蓝果忍冬提取物可以减轻二氧化硅颗粒诱导的小鼠肺部炎症,减少巨噬细胞向肺募集,降低巨噬细胞中的促炎细胞因子分泌,减少细胞凋亡。Wu Shusong等<sup>[43]</sup>在蓝果忍冬中发现25种多酚类生物活性物质,这些物质通过调节炎症介质和抗氧化介质表达,可以抑制脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)诱导的巨噬细胞炎症反应。这些研究结果都表明多酚类物质是蓝果忍冬发挥抗炎作用的关键。

#### 2.3.2 抗眼部炎症

Jin Xuehai等<sup>[44]</sup>研究蓝果忍冬提取物对LPS诱导大鼠葡萄膜炎的影响,结果表明,蓝果忍冬提取物可以抑制核因子κB(nuclear factor κB, NF-κB)依赖的信号通路,减少促炎介质的产生,减轻眼部炎症。

#### 2.3.3 抗牙龈炎

酚类物质对牙龈炎有一定的抑制作用。Zdařilová等<sup>[45]</sup>评估蓝果忍冬果实提取液(花青素质量分数为0.308%)对LPS诱导的人牙龈成纤维细胞氧化损伤和炎症的影响;结果表明,蓝果忍冬提取液能抑制LPS诱导的细胞内IL-6、IL-1b和TNF-α表达上调,抑制环氧合酶-2的表达,从而减轻炎症。

#### 2.3.4 抗肝炎

Wu Shusong等<sup>[46]</sup>的研究表明,蓝果忍冬中的多酚类物质对非酒精性肝炎具有保护作用,其通过上调核因子E2相关因子2(nuclear factor erythroid-2-related factor 2, Nrf2)和MnSOD的表达,下调非酒精性肝炎中叉头蛋白O1和血红素加氧酶-1的表达,改善炎症和脂质过氧化。此外,蓝果忍冬对慢性肝炎也具有重要的作用。膳食补充蓝果忍冬提取物可以抑制LPS诱导的小鼠Toll样受体(Toll-like receptor, TLR)2和TLR4的表达,防止谷胱甘肽(glutathione, GSH)耗竭和ROS的产生,消除C反应蛋白(C-reactive protein, CRP),降低IL分泌水平,恢复谷丙转氨酶(alanine aminotransferase, ALT)和天冬氨酸转氨酶(aspartate aminotransferase, AST)活力,阻止C端和N端激酶、丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinase, MAPK)的磷酸化。蓝果忍冬提取物通过抑制TLRs和MAPK信号通路及氧化应激通路抑制LPS引起的肝脏炎症,表明补充蓝果忍冬提取物可潜在预防慢性肝损伤<sup>[47]</sup>。王月华<sup>[48]</sup>研究发现,蓝果忍冬花色苷提取物通过抗氧化、抗炎和抗凋亡途径抑制LPS对大鼠肝细胞造成的损伤,对肝细胞具有一定的保护作用。通过分析大鼠肝组织及血清中的相关指标,发现蓝果忍冬花色苷提取物可以抑制肝功能(AST、ALT)失调、氧化应激反应(ROS、GSH)、细胞周期循环异常、组织结构损伤、炎症因子(C反应蛋白和IL-6)表达,以及阻碍氧化应激反应和TRLs(TLR2和TLR4)相关联的MAPK信号通路转导,进而抑制炎症的发生,提升对肝脏的保护作用,并且这种保护效果在50~200 mg/kg范围内呈剂量依赖效应。宋明洲<sup>[49]</sup>发现蓝果忍冬花色苷也可以在一定程度上降低乙醇对肝脏造成的损伤。蓝果忍冬中的多酚类物质对缓解LPS、乙醇诱导的炎症反应具有重要作用。

#### 2.3.5 抗肠胃炎

蓝果忍冬中的多酚类物质能够局部减轻氧化应激,进一步作用于靶细胞,改变炎症相关基因表达,抑制下

游细胞因子的形成,提高机体自身抗氧化性。此外,该物质能作为益生元促进短链脂肪酸的形成,改善肠道微生物群健康状态,并降低肠道通透性/改善紧密连接稳定性<sup>[40]</sup>。蓝果忍冬还具有胃溃疡保护作用,王宏涛<sup>[50]</sup>采用无水乙醇实验性胃溃疡模型和利血平实验性胃溃疡模型对蓝果忍冬总提取物、正丁醇萃取物、乙酸乙酯萃取物及萃取后剩余物进行筛选,发现蓝果忍冬乙酸乙酯萃取物能够明显减轻无水乙醇所致的小鼠胃黏膜损伤。

## 2.4 抗肥胖活性

肥胖已成为全球健康的主要影响因素之一,肥胖会加剧多种疾病的风险,如癌症、高血压、糖尿病、冠心病等。蓝果忍冬主要通过降低脂质积累、增加体内瘦素水平和改善代谢水平发挥抗肥胖作用。

蓝果忍冬中丰富的花色苷对于抗肥胖具有显著作用,Wu Tao等<sup>[51]</sup>发现给予100 mg/kg  $m_b$ 或200 mg/kg  $m_b$ 蓝果忍冬花色苷能够抑制高脂饮食小鼠体质量增加,降低血清以及肝脏脂质水平,改善肝功能损伤,提高血清脂联素含量,降低血清胰岛素和瘦素水平,其结果表明蓝果忍冬花色苷主要是通过降低脂质在体内的积累发挥抗肥胖作用。此外,蓝果忍冬提取物能够促进代谢,Biswas等<sup>[52]</sup>的研究结果证明了蓝果忍冬中富含的矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷在肥胖者代谢过程中具有一定的益处,如减少体质量增加和缓解肥胖期间的代谢失调。Kim等<sup>[53]</sup>对高脂饮食诱导的肥胖小鼠灌胃蓝果忍冬提取物,发现小鼠体内瘦素表达量增加,体内脂肪堆积减少,表明蓝果忍冬提取物可以作为一种新型的药物或者是功能性食品治疗肥胖。Liu Ming等<sup>[54]</sup>在对蓝果忍冬提取物的研究中发现,膳食补充蓝果忍冬提取物可以剂量依赖性地抑制高脂饮食诱导的小鼠肥胖和肝脂肪沉积,通过增加胰岛素敏感性和通过潜在上调Nrf2介导的途径来减轻氧化应激,从而改善葡萄糖代谢。

## 2.5 神经保护效应

蓝果忍冬中丰富的营养物质及多酚类物质具有神经保护作用,其作用机制主要为修复氧化损伤、减少ROS的产生和清除自由基等。Gottlieb等<sup>[55]</sup>通过兴奋性毒性和实验性缺血实验证明多酚类物质的这一作用。长期摄入乙醇会对包括大脑在内的许多器官造成氧化损伤。这是由于乙醇能够促进氧自由基的生成和提高脂质过氧化水平,而氧化应激水平的增加是影响人类健康的潜在因素,主要涉及心血管疾病、衰老以及许多与年龄有关的神经退行性疾病。一些多酚类物质能够修复乙醇造成的神经损伤,对氧化诱导的神经元细胞死亡具有保护作用<sup>[56]</sup>。多酚类物质对神经的保护作用主要是通过减少ROS的形成,激活抗氧化酶系统,恢复线粒体膜电位,抑制谷氨酸诱导的蛋白酶活化,促进Akt和Erk1/2磷酸化和Bax蛋白水平正常化,抑制线粒体凋亡诱导因子的释放,调节

NF- $\kappa$ B的核易位,通过这些效应减少谷氨酸诱导的神经元凋亡<sup>[57]</sup>。Bruno等<sup>[58]</sup>研究发现氧化应激参与调节交感神经活动,抗氧化剂和多酚可以抵消交感神经的过度活动,减轻对神经的损伤。这些研究都表明减少ROS的产生是减轻神经损伤的关键。此外,蓝果忍冬中的多酚类物质可以作为自由基清除剂,用于治疗神经退行性疾病以及作为其他疾病的细胞保护剂<sup>[59]</sup>。

## 2.6 心血管疾病保护效应

摄入富含多酚的食物会影响心血管疾病风险的相关指标<sup>[60]</sup>。内皮功能障碍是高血压、缺血性心脏病和脑中风等心血管疾病的早期病理生理特征。Perez-Vizcaino等<sup>[61]</sup>研究发现,类黄酮的摄入量与心血管疾病死亡率之间呈负相关,体外实验结果表明,类黄酮可能对NO-鸟苷酸环化酶通路、内皮依赖性超极化因子和内皮素1发挥多种作用,从而保护内皮细胞免于凋亡;体内实验结果表明,类黄酮可预防高血压动物产生内皮功能障碍、血压升高、氧化应激和末端器官损伤。此外,Vita<sup>[62]</sup>还发现多酚类物质会改善人体内皮功能并抑制血小板聚集。蓝果忍冬中类黄酮含量丰富,能够对心血管疾病的预防发挥重要作用。

胆固醇含量较高容易诱发高胆固醇血症,影响心血管健康,增加冠心病以及动脉粥样硬化的患病机率。于伟等<sup>[63]</sup>研究蓝果忍冬花色苷对高脂血症大鼠肝脏内与胆固醇代谢相关基因的作用,发现蓝果忍冬花色苷通过调节大鼠肝脏内肝X受体 $\alpha$ 、胆固醇7 $\alpha$ -羟化酶(cholesterol 7 $\alpha$ -hydroxylase, CYP7a1) mRNA表达量,降低过氧化物酶体增殖物激活受体 $\gamma$  mRNA表达量来调节高脂血症大鼠的血脂水平,预防动脉硬化的发生。Liu Suwen等<sup>[64]</sup>研究了蓝果忍冬提取物对高胆固醇诱导的大鼠高胆固醇血症和脂蛋白代谢产物的影响,发现蓝果忍冬提取物能够增加中性和酸性甾醇含量,减少结肠内容物的产生,从而减轻胆固醇的过度积累。Liu Suwen等<sup>[65]</sup>研究还发现补充蓝果忍冬酚类提取物可以降低大鼠体内肝脏总胆固醇和甘油三酯水平,改善高胆固醇饮食大鼠肝组织和胸主动脉的组织病理学特征,增加CYP7A1活力,促进胆固醇向胆汁酸的代谢,从而降低胆固醇的含量。

## 2.7 抗糖尿病效应

2型糖尿病的患病风险与花青素或富含花青素的食物摄入量有关,与其他多酚类没有关联,且单独服用原花青素比与食物混合摄入更有效,蓝果忍冬中含有丰富的花青素和原花青素,对于预防糖尿病具有重大的意义,糖尿病会诱导产生相应的并发症,高血糖诱导的糖尿病氧化应激是心血管疾病发生的主要因素,酚类化合物是一种有效的抗氧化剂,可以逆转糖尿病心血管并发症的发生<sup>[66]</sup>。膳食多酚对2型糖尿病的益处可以概括为:保护胰腺 $\beta$ 细胞、抗炎和抗氧化作用、抑制 $\alpha$ -淀粉酶或



$\alpha$ -葡萄糖苷酶、减少淀粉的消化以及抑制糖基化终产物的形成<sup>[67]</sup>。在其他一些植物中的多酚类物质也具有抗糖尿病的作用,但是目前缺少蓝果忍冬与其他植物的对比实验,以进一步确定蓝果忍冬对糖尿病的预防和治疗效果。

## 2.8 细胞保护作用

电离辐射可以诱导机体产生ROS自由基,使细胞和组织发生氧化应激反应,使机体神经、造血、消化和免疫系统发生急性或慢性损伤<sup>[68]</sup>。通常根据波长将大气中的紫外线(ultraviolet, UV)分为两类:一类是仅占UV中5%的UVB,对人体伤害较大;另一类是在UV中比例较高的UVA,对人体造成的伤害较小。蓝果忍冬减轻紫外辐射诱导的损伤的作用机制如下。

减少ROS的产生。抗氧化剂通过抗氧化特性和炎症抑制作用减轻UV对皮肤的损伤<sup>[69]</sup>。UVB诱导ROS产生,随后氧化生物分子和改变信号通路。Svobodová等<sup>[70]</sup>研究发现蓝果忍冬提取物对于UVB造成的损伤具有一定的修复作用,通过抑制ROS产生,减弱DNA损伤,达到细胞保护的作用。

调节体内酶的表达。Svobodová等<sup>[71]</sup>在SKH-1无毛小鼠实验中证明了蓝果忍冬提取物通过调节抗氧化酶活力/表达量和减少DNA损伤,进而避免单次UVB暴露产生的不良影响。

调节抗氧化参数。Vostálová等<sup>[72]</sup>发现蓝果忍冬提取物通过调节抗氧化参数保护SKH-1小鼠免受单次UVA(30 J/cm<sup>2</sup>)暴露产生的不良影响。综合来看,蓝果忍冬提取物对于保护细胞免受单次UV暴露损伤有重要意义。

## 2.9 其他作用

研究表明,蓝果忍冬可以保护视力,预防或治疗青光眼,抑制视网膜神经节细胞死亡或延缓视力丧失<sup>[73]</sup>。蓝果忍冬可以提高小鼠的应激反应,增加小鼠在逆境条件下的存活率<sup>[74]</sup>。蓝果忍冬具有抗疲劳作用,金政等<sup>[75]</sup>研究发现蓝果忍冬能增强小鼠游泳耐力,延长小鼠爬杆时间。蓝果忍冬对NKK诱导的正常肺上皮BEAS-2B细胞DNA损伤具有化学预防作用,减少NKK诱导的DNA链断裂,调控肺叶细胞内ROS的产生,具有预防DNA损伤的作用<sup>[40]</sup>。Li Xia等<sup>[76]</sup>研究发现,矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷预处理对镉引起的大鼠间质细胞R2C雄性生殖毒性具有保护作用,能够导致27个类固醇合成快速调节蛋白表达上调,促进黄体酮的产生,减轻镉诱导的生殖毒性伤害。

## 3 结 语

蓝果忍冬作为一种极具特色的北方小浆果,具有巨大的开发潜力和价值。目前存在的问题是缺乏对蓝果忍冬生物活性物质成分与功能间对应关系的深入研究,对蓝果忍冬中花青素和类黄酮等物质的提取方法有待进一

步优化,缺少针对蓝果忍冬功效的临床实验。为解决这些问题,可深入对蓝果忍冬生物活性物质组成成分的分析研究,进一步优化花青素和类黄酮提取工艺,分离果实中的各生物活性成分,开展临床实验,以更好地了解蓝果忍冬生物活性物质在复杂的条件下的作用效果。

## 参考文献:

- [1] 霍俊伟, 杨国慧, 睢薇, 等. 蓝靛果忍冬(*Lonicera caerulea*)种质资源研究进展[J]. 园艺学报, 2005, 32(1): 159-164. DOI:10.16420/j.issn.0513-353x.2005.01.043.
- [2] 王华, 徐榕, 李娜, 等. 几种小浆果生物活性物质研究进展[J]. 北方园艺, 2011(8): 198-203.
- [3] SOCHOR J, JURIKOVA T, POHANKA M, et al. Evaluation of antioxidant activity, polyphenolic compounds, amino acids and mineral elements of representative genotypes of *Lonicera edulis*[J]. Molecules, 2014, 19(5): 6504-6523. DOI:10.3390/molecules19056504.
- [4] POKORNÁ-JURIKOVÁ T, MATUSKOVIC J. The study of irrigation influence on nutritional value of *Lonicera kamschatica*-cultivar Gerda 25 and *Lonicera edulis* berries under the Nitra conditions during 2001-2003[J]. Horticultural Science, 2007, 34(1): 11-16. DOI:10.17221/1841-HORTSCI.
- [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. DOI:10.13601/j.issn.1005-5215.2015.10.015.
- [6] 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 & Function, 2016, 7(4): 1892-1903. DOI:10.1039/C6FO00203J.
- [7] 赵毅, 霍俊伟, 辛秀兰, 等. 蓝果忍冬果实中主要糖酸组分的高效液相色谱法测定[J]. 安徽农业大学学报, 2015, 42(6): 937-942. DOI:10.13610/j.cnki.1672-352x.20151102.027.
- [8] 周旭昌, 吴炳强, 王永明, 等. 忍冬属蓝靛果第三代水果培育综合研究及开发利用前景[J]. 乡村科技, 2018(4): 98-100; 102. DOI:10.19345/j.cnki.1674-7909.2018.04.056.
- [9] AUZANNEAU N, WEBER P, KOSINSKA-CAGNAZZO A, et al. Bioactive compounds and antioxidant capacity of *Lonicera caerulea* berries: comparison of seven cultivars over three harvesting years[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2018, 66: 81-89. DOI:10.1016/j.jfca.2017.12.006.
- [10] 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]. Scientia Horticulturae, 2018, 238: 215-221. DOI:10.1016/j.scienta.2018.04.056.
- [11] European Food Safety Authority. Technical report on the notification of berries of *Lonicera caerulea* L. as a traditional food from a third country pursuant to Article 14 of Regulation (EU) 2015/2283[J]. EFSA Supporting Publications, 2018, 15(7): 1442E. DOI:10.2903/sp.efsa.2018.EN-1442.
- [12] 古丽江·许库尔汗, 孙雅丽, 巴哈尔古丽·阿尤甫, 等. 盐胁迫对蓝靛果忍冬果实营养成分及相关色素含量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2018(11): 10-14.
- [13] 李金英, 刘子平, 赵春莉. 蓝靛果忍冬果实氨基酸含量和组分分析[J]. 北方园艺, 2017(23): 186-189. DOI:10.11937/bfy.20172403.
- [14] KHATTAB R, BROOKS M S L, GHANEM A. Phenolic analyses of haskap berries (*Lonicera caerulea* L.): spectrophotometry versus high performance liquid chromatography[J]. International Journal of Food Properties, 2016, 19(8): 1708-1725. DOI:10.1080/10942912.2015.1084316.

- [15] RUPASINGHE H, BOEHM M, SEKHON-LOODU S, et al. Anti-inflammatory activity of haskap cultivars is polyphenols-dependent[J]. *Biomolecules*, 2015, 5(2): 1079-1098. DOI:10.3390/biom5021079.
- [16] KUCHARSKA A, SOKÓŁ-ŁĘTOWSKA A, OSZMIANŃSKI J, et al. Iridoids, phenolic compounds and antioxidant activity of edible honeysuckle berries (*Lonicera caerulea* var. *kamtschatica* Sevest.)[J]. *Molecules*, 2017, 22(3): 405. DOI:10.3390/molecules22030405.
- [17] CELLI G B, GHANEM A, BROOKS M S L. Haskap berries (*Lonicera caerulea* L.): a critical review of antioxidant capacity and health-related studies for potential value-added products[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2014, 7(6): 1541-1554. DOI:10.3390/biom5021079.
- [18] JURIKOVA T, ROP O, MLCEK J, et al. Phenolic profile of edible honeysuckle berries (genus *Lonicera*) and their biological effects[J]. *Molecules*, 2012, 17(1): 61-79. DOI:10.3390/molecules17010061.
- [19] DAWSON J. Concentration and content of secondary metabolites[D]. Saskatoon: University of Saskatchewan, 2017: 220-227. DOI:10.1007/s11947-014-1301-2.
- [20] 王菲菲, 张聿梅, 郑笑为, 等. 环烯醚萜类化合物的结构和生物学活性研究进展[J]. *中国药事*, 2019, 33(3): 323-330. DOI:10.16153/j.1002-7777.2019.03.014.
- [21] JIAO Guangling, KERMANSHAHI A. Extraction of anthocyanins from haskap berry pulp using supercritical carbon dioxide: influence of co-solvent composition and pretreatment[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 98: 237-244. DOI:10.1016/j.lwt.2018.08.042.
- [22] NOWACKA M, FIJALKOWSKA A, DADAN M, et al. Effect of ultrasound treatment during osmotic dehydration on bioactive compounds of cranberries[J]. *Ultrasonics*, 2018, 83: 18-25. DOI:10.1016/j.ultras.2017.06.022.
- [23] GENSKOWSKY E, PUENTE L A, PÉREZ-ÁLVAREZ J A, et al. Determination of polyphenolic profile, antioxidant activity and antibacterial properties of maqui [*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz] a Chilean blackberry[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 96(12): 4235-4242. DOI:10.1002/jsfa.7628.
- [24] JIMÉNEZ-ASPEE F, THEODULOZ C, ÁVILA F, et al. The Chilean wild raspberry (*Rubus geoides* Sm.) increases intracellular GSH content and protects against H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and methylglyoxal-induced damage in AGS cells[J]. *Food Chemistry*, 2016, 194: 908-919. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.08.117.
- [25] PANICKER G K, NANJUNDASWAMY A, SILVA J L, et al. Organic farming systems increase anthocyanin and vitamin C content of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade 'Tifblue') on a heavy soil[C]//XI International Vaccinium Symposium, Orlando, Florida, April 10-14, 2016: 467-472. DOI:10.17660/ActaHortic.2017.1180.65.
- [26] VEBERIC R, SLATNAR A, BIZJAK J, et al. Anthocyanin composition of different wild and cultivated berry species[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 60(1): 509-517. DOI:10.1016/j.lwt.2014.08.033.
- [27] CHAOVANALIKIT A, THOMPSON M M, WROLSTAD R E. Characterization and quantification of anthocyanins and polyphenolics in blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.)[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(4): 848-852. DOI:10.1021/jf030509o.
- [28] KUSZNIEREWICZ B, PIEKARSKA A, MRUGALSKA B, et al. Phenolic composition and antioxidant properties of Polish blue-berried honeysuckle genotypes by HPLC-DAD-MS, HPLC postcolumn derivatization with ABTS or FC, and TLC with DPPH visualization[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(7): 1755-1763. DOI:10.1021/jf2039839.
- [29] 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.
- [30] 周丽萍, 张悦, 王化, 等. 蓇葖蓝靛果花色苷对乙醇诱导小鼠氧化损伤的保护作用[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(19): 293-297. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.19.054.
- [31] WANG Yuehua, XIE Xu, RAN Xulong, et al. Comparative analysis of the polyphenols profiles and the antioxidant and cytotoxicity properties of various blue honeysuckle varieties[J]. *Open Chemistry*, 2018, 16(1): 637-646. DOI:10.1515/chem-2018-0072.
- [32] LEE Y S, CHO I J, KIM J W, et al. Evaluation of *in vitro* anti-oxidant and anti-inflammatory activities of Korean and Chinese *Lonicera caerulea*[J]. *Nutrition Research and Practice*, 2018, 12(6): 486-493. DOI:10.4162/nrp.2018.12.6.486.
- [33] KHATTAB R, CELLI G B, GHANEM A, et al. Effect of frozen storage on polyphenol content and antioxidant activity of haskap berries (*Lonicera caerulea* L.)[J]. *Journal of Berry Research*, 2015, 5(4): 231-242. DOI:10.3233/JBR-150105.
- [34] 付刚, 王超, 张金堂, 等. 4种花色苷抗氧化作用比较[J]. *食品科技*, 2018, 43(7): 216-220. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2018.07.038.
- [35] 雷月. 蓝靛果多酚提取纯化及其抗氧化活性与稳定性的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016: 26-31.
- [36] GEORGE V C, DELLAIRE G, RUPASINGHE H P V. Plant flavonoids in cancer chemoprevention: role in genome stability[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2017, 45: 1-14. DOI:10.1016/j.jnutbio.2016.11.007.
- [37] REBOREDO-RODRÍGUEZ P. Potential roles of berries in the prevention of breast cancer progression[J]. *Journal of Berry Research*, 2018, 8(8): 1-17. DOI:10.3233/JBR-180366.
- [38] ZHOU Liping, WANG Hua, YI Juanjuan, et al. Anti-tumor properties of anthocyanins from *Lonicera caerulea* 'beilei' fruit on human hepatocellular carcinoma: *in vitro* and *in vivo* study[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2018, 104: 520-529. DOI:10.1016/j.biopha.2018.05.057.
- [39] PACE E, JIANG Y, CLEMENS A, et al. Impact of thermal degradation of cyanidin-3-O-glucoside of haskap berry on cytotoxicity of hepatocellular carcinoma HepG2 and breast cancer MDA-MB-231 cells[J]. *Antioxidants*, 2018, 7(2): 24. DOI:10.3390/antiox7020024.
- [40] AMARARATHNA D I M. Chemopreventive effect of haskap berry polyphenols against tobacco specific nitrosamine-induced DNA damage in normal lung epithelial cells *in vitro*[D]. Halifax: Dakhousie University, 2017: 9-17.
- [41] LINUS L O, HANSON C, ALOLGA R N, et al. Targeting the key factors of inflammation in cancer: plant intervention[J]. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 2017, 10(12): 15834-15865.
- [42] ZHAO Jin, LIN Yang, ZHAO Yingbo, et al. Polyphenol-rich blue honeysuckle extract alleviates silica particle-induced inflammatory responses and macrophage apoptosis via Nrf2/HO-1 and MAPK signaling[J]. *Journal of Functional Foods*, 2018, 46: 463-474. DOI:10.1016/j.jff.2018.05.024.
- [43] WU Shusong, YANO S, CHEN Jihua, et al. Polyphenols from *Lonicera caerulea* L. berry inhibit LPS-induced inflammation through dual modulation of inflammatory and antioxidant mediators[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65(25): 5133-5141. DOI:10.1021/acs.jafc.7b01599.
- [44] JIN Xuehai, OHGAMI K, SHIRATORI K, et al. Effects of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) extract on lipopolysaccharide-induced inflammation *in vitro* and *in vivo*[J]. *Experimental Eye Research*, 2006, 82(5): 860-867. DOI:10.1016/j.exer.2005.10.024.
- [45] ZDŘILOVÁ A, SVOBODOVÁ A R, CHYTILOVÁ K, et al. Polyphenolic fraction of *Lonicera caerulea* L. fruits reduces oxidative



- stress and inflammatory markers induced by lipopolysaccharide in gingival fibroblasts[J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(6): 1555-1561. DOI:10.1016/j.fct.2010.03.024.
- [46] WU Shusong, YANO S, HISANAGA A, et al. Polyphenols from *Lonicera caerulea* L. berry attenuate experimental nonalcoholic steatohepatitis by inhibiting proinflammatory cytokines productions and lipid peroxidation[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2017, 61(4): 1600858. DOI:10.1002/mnfr.201600858.
- [47] WANG Yuehua, LI Bin, ZHU Jinyan, et al. *Lonicera caerulea* berry extract suppresses lipopolysaccharide-induced inflammation via Toll-like receptor and oxidative stress-associated mitogen-activated protein kinase signaling[J]. Food & Function, 2016, 7(10): 4267-4277. DOI:10.1039/C6FO00627B.
- [48] 王月华. 蓝靛果花色苷提取物对脂多糖诱导肝炎的抑制作用机制研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017: 117-120.
- [49] 宋明洲. 蓝靛果花色苷对小鼠酒精性肝损伤的影响[D]. 延吉: 延边大学, 2017: 20-31.
- [50] 王宏涛. 蓝靛果提取物抗溃疡活性部位筛选及药理探讨[D]. 延吉: 延边大学, 2005: 23-25.
- [51] WU Tao, YU Zhuping, TANG Qiong, et al. Honeysuckle anthocyanin supplementation prevents diet-induced obesity in C57BL/6 mice[J]. Food & Function, 2013, 4(11): 1654-1661. DOI:10.1039/C3FO60251F.
- [52] BISWAS D, SARKAR S, DE SILVA A, et al. Cyanidin-3-O-glucoside rich extract from haskap berry improves glucose homeostasis and insulin sensitivity in diet-induced obese mice[J]. Canadian Journal of Diabetes, 2018, 42(5): S55. DOI:10.1016/j.cjcd.2018.08.169.
- [53] KIM J W, LEE Y S, SEOL D J, et al. Anti-obesity and fatty liver-preventing activities of *Lonicera caerulea* in high-fat diet-fed mice[J]. International Journal of Molecular Medicine, 2018, 42(6): 3047-3064. DOI:10.3892/ijmm.2018.3879.
- [54] LIU Ming, TAN Jijun, HE Ziyu, et al. Inhibitory effect of blue honeysuckle extract on high-fat-diet-induced fatty liver in mice[J]. Animal Nutrition, 2018, 4(3): 288-293. DOI:10.1016/j.aninu.2018.06.001.
- [55] GOTTLIEB M, LEAL-CAMPANARIO R, CAMPOS-ESPARZA M R, et al. Neuroprotection by two polyphenols following excitotoxicity and experimental ischemia[J]. Neurobiology of Disease, 2006, 23(2): 374-386. DOI:10.1016/j.nbd.2006.03.017.
- [56] LÓPEZ J, VEGA-GÁLVEZ A, RODRÍGUEZ A, et al. Murta (*Ugni molinae* Turcz.): a review on chemical composition, functional components and biological activities of leaves and fruits[J]. Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences, 2018, 34(1): 43-56. DOI:10.4067/S0719-38902018005000205.
- [57] CAMPOS-ESPARZA M R, SÁNCHEZ-GÓMEZ M V, MATUTE C. Molecular mechanisms of neuroprotection by two natural antioxidant polyphenols[J]. Cell Calcium, 2009, 45(4): 358-368. DOI:10.1016/j.ceca.2008.12.007.
- [58] BRUNO R M, GHIADONI L. Polyphenols, antioxidants and the sympathetic nervous system[J]. Current Pharmaceutical Design, 2018, 24(2): 130-139. DOI:10.2174/1381612823666171114170642.
- [59] MANDEL S, YODIM M B H. Catechin polyphenols: neurodegeneration and neuroprotection in neurodegenerative diseases[J]. Free Radical Biology and Medicine, 2004, 37(3): 304-317. DOI:10.1016/j.freeradbiomed.2004.04.012.
- [60] ARRANZ S, CHIVA-BLANCH G, VALDERAS-MARTÍNEZ P, et al. Wine, beer, alcohol and polyphenols on cardiovascular disease and cancer[J]. Nutrients, 2012, 4(7): 759-781. DOI:10.3390/nu4070759.
- [61] PEREZ-VIZCAINO F, DUARTE J, ANDRIANTSITOHAINA R. Endothelial function and cardiovascular disease: effects of quercetin and wine polyphenols[J]. Free Radical Research, 2006, 40(10): 1054-1065. DOI:10.1080/10715760600823128.
- [62] VITA J A. Polyphenols and cardiovascular disease: effects on endothelial and platelet function[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2005, 81(Suppl 1): 292-297. DOI:10.1093/ajcn/81.1.292S.
- [63] 于伟, 张桂芳, 甄井龙, 等. 蓝靛果花色苷对高脂血症大鼠肝脏内与胆固醇代谢相关基因的作用[J]. 食品科学, 2018, 39(17): 171-176. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201817028.
- [64] LIU Suwen, YOU Lu, ZHAO Yuhua, et al. Wild *Lonicera caerulea* berry polyphenol extract reduces cholesterol accumulation and enhances antioxidant capacity *in vitro* and *in vivo*[J]. Food Research International, 2018, 107: 73-83. DOI:10.1016/j.foodres.2018.02.016.
- [65] LIU Suwen, WU Zhanyi, GUO Shuo, et al. Polyphenol-rich extract from wild *Lonicera caerulea* berry reduces cholesterol accumulation by mediating the expression of hepatic miR-33 and miR-122, HMGCR, and CYP7A1 in rats[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 40: 648-658. DOI:10.1016/j.jff.2017.11.048.
- [66] FENERCIOGLU A K, SALER T, GENC E, et al. The effects of polyphenol-containing antioxidants on oxidative stress and lipid peroxidation in type 2 diabetes mellitus without complications[J]. Journal of Endocrinological Investigation, 2010, 33(2): 118-124. DOI:10.1007/BF03346565.
- [67] OBOH G, ADEMILUYI A O, AKINYEMI A J, et al. Inhibitory effect of polyphenol-rich extracts of jute leaf (*Corchorus olitorius*) on key enzyme linked to type 2 diabetes ( $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase) and hypertension (angiotensin I converting) *in vitro*[J]. Journal of Functional Foods, 2012, 4(2): 450-458. DOI:10.1016/j.jff.2012.02.003.
- [68] 赵海田. 蓝靛果花色苷结构表征及对辐射诱导氧化损伤防护机制[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012: 10-15.
- [69] KRISMAYOGI G A, RATNAYANTI I G A D, LINAWATI N M, et al. Purple cabbage extract cream effect on erythema score of male Wistar rats back skin exposed to UV-B radiation[J]. Biomedical and Pharmacology Journal, 2018, 11(1): 343-351. DOI:10.13005/bpj/1378.
- [70] SVOBODOVÁ A, ZDAŘILOVÁ A, VOSTÁLOVÁ J. *Lonicera caerulea* and *Vaccinium myrtillus* fruit polyphenols protect HaCaT keratinocytes against UVB-induced phototoxic stress and DNA damage[J]. Journal of Dermatological Science, 2009, 56(3): 196-204. DOI:10.1016/j.jdermsci.2009.08.004.
- [71] SVOBODOVÁ A, GALANDÁKOVÁ A, PALÍKOVÁ I, et al. Effects of oral administration of *Lonicera caerulea* berries on UVB-induced damage in SKH-1 mice. a pilot study[J]. Photochemical & Photobiological Sciences, 2013, 12(10): 1830-1840. DOI:10.1039/C3PP50120E.
- [72] VOSTÁLOVÁ J, GALANDÁKOVÁ A, PALÍKOVÁ I, et al. *Lonicera caerulea* fruits reduce UVA-induced damage in hairless mice[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2013, 128: 1-11. DOI:10.1016/j.jphotobiol.2013.07.024.
- [73] NAKAZAWA T, GOTO N. Composition for optic nerve protection: U.S. Patent Application 15/744,614[P]. 2018-07-26[2019-04-16].
- [74] 邱绍婕, 李盈, 蔡和金. 蓝靛果果汁对小鼠应激反应的影响[J]. 哈尔滨医药, 2001(1): 20.
- [75] 金政, 王启伟, 金美善, 等. 蓝靛果抗疲劳作用的实验研究[J]. 延边大学医学学报, 2001(1): 16-17. DOI:10.16068/j.1000-1824.2001.01.004.
- [76] LI Xia, LU Junli, SUN Jianxia, et al. Cyanidin-3-O-glucoside promotes progesterone secretion by improving cells viability and mitochondrial function in cadmium-sulfate-damaged R2C cells[J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 128: 97-105. DOI:10.1016/j.fct.2019.03.040.