

野生蓝莓总花青素生物活性研究

Research on biological activity of anthocyanins in wild blueberry

景志行¹ 吕留庄¹ 许剑锋¹ 汪雯翰² 樊 华³

JING Zhi-xing¹ LV Liu-zhuang¹ XU Jian-feng¹ WANG Wen-han² FAN Hua³

(1. 上海海洋大学食品学院海洋生物制药教研室, 上海 201306; 2. 上海市农业科学院食用菌研究所, 上海 201403;
3. 德国柏林大学和洪堡大学夏洛特实验医学医学院临床医学和病理生物化学研究所, 德国 柏林 13353)

(1. College of Food science & Technology, Shanghai Ocean University, Marine bio-pharmaceutical
Department, Shanghai 201306, China; 2. Institute of Edible Fungi, Shanghai Academy of Agricultural
Sciences, Shanghai 201403, China; 3. Institut für Laboratoriumsmedizin Klinische Chemie und
Pathobiochemie, Campus Virchow Klinikum, Charite-Universitätsmedizin, Berlin 13353, Germany)

摘要:从野生蓝莓中提取总花青素, 并采用 XAD-7 大孔树脂进行纯化, 用超氧阴离子和双氧水自由基清除进行体外抗氧化、小白鼠耳肿足肿模型进行抗炎、AlamarBlue 法进行体外抗肿瘤等生物活性评价。结果表明: 野生蓝莓花青素抗氧化能力显著, 与浓度梯度呈正相关关系; 在浓度 800 $\mu\text{g/mL}$ 时对超氧阴离子的清除率达到 86.86%, 浓度为 100 $\mu\text{g/mL}$ 时对双氧水自由基的清除率达到 73.93%; 并且具有良好的抗炎能力, 在 100 $\mu\text{g/g}$ 剂量灌胃时, 对耳廓肿胀抑制率为 47.04%, 足肿抑制在第 4 小时达到最大作用; 体外抗肿瘤活性也十分显著, 对白血病细胞 K562 增殖抑制的 IC_{50} 为 79.01 $\mu\text{g/mL}$, 以上结果表明野生蓝莓具有多种生物活性, 为其深入研究和开发利用提供了理论依据。

关键词: 野生蓝莓; 总花青素; 抗氧化; 抗炎; 抗肿瘤

Abstract: Anthocyanins was extracted from wild blueberry. The evaluations were made on activities of antioxidant in vitro with superoxide anion and hydrogen peroxide radical scavenging, mice in vivo anti-inflammatory with mice swollen foot swollen ear inflammatory model and anti-tumor activity in vitro by AlamarBlue method after purified by XAD-7 macroporous resin. Results: the anthocyanins of Chinese wild blueberry have obvious antioxidant capacity, and have a positive correlation between the concentration; in concentration of 800 $\mu\text{g/mL}$, the superoxide anion scavenging rate was 86.86%, and at a concentration of 100 $\mu\text{g/mL}$, the hydrogen peroxide scavenging rate come to 73.93%; in addition, the anthocyanins have good anti-

inflammatory capabilities, at 100 $\mu\text{g/g}$ oral dose, inhibition of ear swelling was 47.04%, which foot swelling inhibition in the first four hours reach a maximum; moreover, their antitumor activity is also very significant, the inhibition of K562 leukemia cell proliferation IC_{50} was 79.01 $\mu\text{g/mL}$. The results above show that Chinese wild blueberry has a variety of biological activity, which offer the foundation in their in-depth study of the development and utilization.

Keywords: wild blueberries; anthocyanins; antioxidant; anti-inflammatory; anti-tumor

蓝莓, 也称越橘, 为多年生常绿灌木, 属于杜鹃花科越橘属。分布全球的越橘属植物有 400 余种, 已知中国有 91 种, 24 变种, 2 亚种^[1], 品种不同的越橘果实的颜色、口味、大小不一。蓝莓被誉为“水果皇后”, 是第三代水果的典型代表^[2], 是花青素含量最丰富的水果。研究^[3]表明, 慢性病(如糖尿病、高血压、癌症等)与体内的氧化应激平衡密切相关, 而摄入一些抗氧化成分则有利于改善体内的氧化还原平衡, 蓝莓富含抗氧化成分, 具有潜在的开发价值。

与人工栽培蓝莓相比, 野生蓝莓花青苷色素(花青素、矮青牛配基和甲基花青素等)含量高达 3.3~33.8 mg/kg, 约是人工栽培品种的 5~20 倍^[4]。花青素是一种生物类黄酮, 有多项研究^[5-7]表明来源其他植物的花青素具有多种生物学活性。国外, 尤其是北美地区, 蓝莓的产业化相当发达, 同时对北美野生蓝莓研究和利用也十分系统深入。然而, 由于中国野生蓝莓口感稍差, 中国针对野生蓝莓的相关报道还较为少见, 主要集中在蓝莓的栽培和高产以及粗加工以及成分的提取纯化等方面, 产业化尚处于起步阶段^[8-9], 而对其所含成分的药效研究还不够全面深入, 从而导致人们对其营养价值和生物活性的认识不足。

本研究拟在野生蓝莓花青素高效提取的基础上^[10], 通

基金项目: 上海市 2015 高校内涵建设项目(编号: A1-2018-15-0009)

作者简介: 景志行, 男, 上海海洋大学在读硕士研究生。

通讯作者: 许剑锋(1968—), 男, 上海海洋大学副教授, 博士。

E-mail: jfxu@shou.edu.cn

收稿日期: 2016-01-25

过体外抗氧化、抗炎以及抗肿瘤试验深入探明野生蓝莓总花青素的多种生物学活性,旨在为中国野生蓝莓的功能特性开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料

蓝莓:采摘于中国大兴安岭林区,-20℃冻存;
昆明种小鼠:SPF级,90只,体重(18±2)g,雌鼠雄鼠各半,上海西普尔一必凯实验动物有限公司;
阿司匹林:拜耳医药保健有限公司;
蒸馏水:实验室制备;
二甲苯、无水甲醇、甲酸、邻苯三酚、30%双氧水、95%乙醇、98%甲酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;
大孔树脂:Amberlite® XAD-7HP型,美国Sigma公司;
K562细胞株:上海市农业科学院;
阿尔玛蓝:英国AbD serotec公司。

1.1.2 仪器

高速离心机:5424型,德国Eppendorf公司;
旋转蒸发器:BC-R2001型,上海贝凯生物化工设备有限公司;
生物安全柜:RS12型,美国Thermo公司;
多功能酶标仪:Synergy HT型,美国Bio-TEK公司;
冷冻干燥机:Christ Alpha 2-4 LD型,德国Christ公司;
高速冷冻离心机:CR21G型,日本Hitachi公司。

1.2 试验方法

1.2.1 总花青素的提取 参照文献[11],稍作改进。蓝莓冻果打浆后冷冻干燥成粉,取120g粉末,与1800mL含0.5%甲酸的甲醇—水(体积比85:15)溶液混匀,漩涡30s,40kHz450W超声5min,在此过程中振荡2次,使样品重新混匀,静置5min,漩涡30s,静置5min,5500r/min离心10min,收集上清。残渣中加入1.2L含0.5%甲酸的甲醇—水(体积比85:15)溶液继续提取,重复3~5次,直至残渣中颜色不再变化,将所得上清液混合,于4℃8000r/min离心5min,除去残渣,旋转蒸发去除甲醇,即得总花青素粗提液。

1.2.2 总花青素的纯化 将总花青素粗提液装入Amberlite® XAD-7HP大孔树脂柱中进行纯化,总花青素粗提液与大孔树脂体积比为1:3,其中大孔树脂柱采用湿法装柱,先用95%乙醇洗脱2~3BV,再用蒸馏水洗至无醇味然后用2~3倍体积0.5%甲酸水溶液饱和和吸附柱,上样,充分吸附后开始洗脱,用0.5%甲酸酸化的甲醇洗脱,回收洗脱液,去除酸化甲醇,乙酸乙酯萃取3次,最后减压浓缩收集得总花青素,冷冻干燥得冻干粉,并置于-20℃保存。

1.2.3 总花青素含量的测定 采用pH示差法,以矢车菊-3-O-葡萄糖苷为参照。取样品1mL,加入4mL pH4.5的醋酸钠缓冲液(0.4mol/L)或pH1.0的氯化钾缓冲液(0.025mol/L),摇匀,吸光值分别在520nm和700nm波长处被测定。3次重复试验。总花青素含量按式(1)计算:

C = (A1 - A2) / ((ε × 1) × 1000 × MW × DF) , (1)

式中:
C——蓝莓中总花青素的含量,mg/L;
A1——样品加入pH1.0的氯化钾缓冲液在520nm处吸光值与700nm处吸光值的差;
A2——样品加入pH4.5的醋酸钠缓冲液在520nm处吸光值与700nm处吸光值的差;
ε——摩尔吸光系数,按照矢车菊素-3-O-葡萄糖苷的摩尔系数进行计算,26900;
MW——矢车菊素-3-O-葡萄糖苷的摩尔质量,449.2g/mol;
DF——稀释因子;
l——比色皿宽度,1cm。

最终结果用100g样品中含有总花青素的量(mg)来表示。

1.2.4 蓝莓总花青素的抗氧化能力研究

(1)清除超氧阴离子试验:采用鲁米诺—邻苯三酚—CBS(碳酸钠—碳酸氢钠)体系的化学发光法。在郭蔼光等[12]报道的化学发光方法基础上,修改如下:分别用95%乙醇将样品和阳性对照配制成不同浓度(100,200,300,500,800μg/mL),95%乙醇空白对照,儿茶素被用作阳性对照组,发光反应在20℃被启动,每0.6s记录一次发光值,连续记录30s。按式(2)计算超氧阴离子的清除率,并采用Spss19.0软件处理得出IC50值。

S = (A1 - A2) / A1 × 100% , (2)

式中:
S——清除率,%;
A1——空白发光值,rlu;
A2——样品发光值,rlu。

(2)清除H2O2试验:采用鲁米诺—H2O2发光反应体系,依据王钦博等[13]所报道的方法修改如下:先将样品用70%乙醇配成不同浓度(10,50,80,100μg/mL),70%乙醇用作空白对照,儿茶素用作阳性对照。发光反应在20℃被启动,每0.6s记录一次发光值,连续记录30s。按式(2)计算H2O2的清除率,并采用Spss19.0软件处理得出IC50值。

1.2.5 蓝莓总花青素的抗炎活性

(1)二甲苯致小鼠耳廓肿胀法抗炎试验:采用小鼠耳廓肿胀法研究野生蓝莓总花青素对二甲苯引起的小鼠耳廓肿胀的抗炎作用。昆明小鼠50只,随机分成5组,每组10只。空白组(生理盐水)、高剂量组、中剂量组、低剂量组分别为花青素30,60,100μg/g剂量组,阳性对照(阿司匹林)。所分5组分别采用皮下注射给予生理盐水、阿司匹林或相应剂量的花青素0.01mL/g,每天1次,试验周期为14d。最后一次注射后1h,用20μL致炎剂二甲苯均匀涂于各个小鼠右耳廓致炎,左耳作为对照。致炎后1h断椎处死,沿着耳廓基线剪下小鼠左耳右耳,在左右两耳的同一部位分别被直径8mm的打孔器打下圆耳片,称重,以左右耳片的重量差作为肿胀度(mg),计算每组右耳廓肿胀度,按式(3)计算肿胀抑

制率,比较与空白组间的差异。

$$S = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100\%, \tag{3}$$

式中:
S——肿胀抑制率,%;
A₁——空白对照组平均肿胀度,mg;
A₂——给药组平均肿胀度,mg。

(2) 角叉菜胶致小鼠足肿胀抗炎试验:昆明小鼠 40 只,随机分成 4 组,每组 10 只。空白组(生理盐水)、高剂量组、低剂量组分别为花青素 30,100 μg/g 剂量组,阳性对照(阿司匹林)。这 4 组分别采用皮下注射给予生理盐水、阿司匹林或相应剂量的花青素 0.01 mL/g,每天 1 次,周期 7 d。末次注射后 1 h,末次给药后 30 min 时在每鼠右后足跖皮下注射 1%角叉菜胶 100 μL 致炎。致炎前、致炎后 1,2,3,4,5 h 后分别用千分尺测量炎症厚度,以致炎前后鼠足厚度之差为鼠足肿胀度。

1.2.6 蓝莓总花青素的体外抗肿瘤活性

(1) 细胞培养:K562 细胞采用 RPMI-1640 培养基培养,细胞在 37 ℃、5% CO₂ 以及饱和湿度的培养箱中培养,细胞增殖到 85% 时进行传代,选取对数期细胞进行试验。

(2) 花青素对 K562 细胞生长的影响:取对数期的 K562 细胞,1 000 r/min 离心 3 min,除去上清,用无色 RPMI-1640 完全培养基稀释成 2×10⁴ mL⁻¹ 的细胞悬浮液,用移液枪轻轻吹打均匀后,加至 96 孔板,每孔加 199 μL,然后每孔分别加入 1 μL 不同浓度样品,每个样品重复 3 个孔,以 100 μg/mL 的 5 氟尿嘧啶(5-FU)为阳性对照,以 DMSO 为阴性对照。置于 37 ℃、5% CO₂ 以及饱和湿度的细胞培养箱中共培养 3 d,然后每孔分别加入 20 μL 0.1 mg/mL 的 AlamarBlue 试剂,放入细胞培养箱中继续孵育,随时观察 AlamarBlue 变色情况,待其发生变色后,用酶标仪测定 570 nm 和 600 nm 处的吸光度,然后根据式(4)计算样品对细胞增殖的抑制率,并采用 Spss19.0 软件处理得出 IC₅₀ 值。

$$S = 1 - \frac{A_1 - A_2}{A_3 - A_4} \times 100\%, \tag{4}$$

式中:
S——抑制率,%;
A₁——样品组 570 nm 吸光度;
A₂——样品组 600 nm 吸光度;
A₃——控制组 570 nm 吸光度;
A₄——控制组 600 nm 吸光度。

2 结果与分析

2.1 蓝莓总花青素含量测定结果

选择 520 nm 为花青素的最大吸收波长,并将测得的花青素含量转变成每 100 g 样品含的花青素毫克数。测得蓝莓中总花青素含量为 (149.66 ± 3.45) mg/100 g 冻果。

2.2 蓝莓总花青素的抗氧化活性

2.2.1 对超氧阴离子自由基的清除作用 由图 1 可知,野生

蓝莓总花青素对超氧阴离子自由基的清除能力与浓度呈正相关;相同浓度下,与阳性对照儿茶素的清除能力相近。当浓度达到 800 μg/mL 时,清除率达到 86.86%,IC₅₀ 为 283.5 μg/mL。

2.2.2 对 H₂O₂ 的清除作用 由图 2 可知,野生蓝莓总花青素清除 H₂O₂ 的能力随着浓度的增加,其清除能力不断增强。当浓度达到 100 μg/mL 时,清除率即可达 73.93%,IC₅₀ 为 65.15 μg/mL。

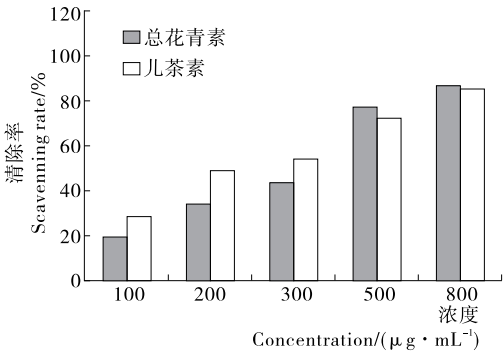


图 1 不同浓度总花青素对超氧阴离子的清除作用
Figure 1 Different concentration of anthocyanins scavenging effect on superoxide anion

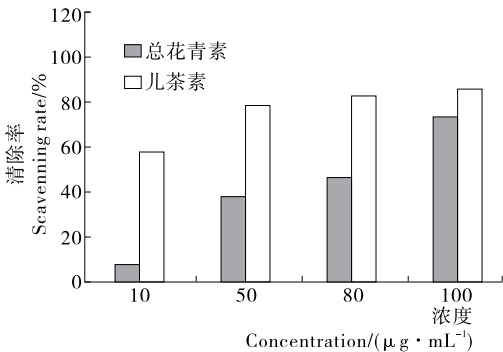


图 2 不同浓度花青素对 H₂O₂ 的清除作用
Figure 2 Different concentration of anthocyanins scavenging effect on H₂O₂

从野生蓝莓中分离得到的总花青素,在浓度分别为 500 μg/mL 和 100 μg/mL 时对超氧阴离子和过氧化氢自由基的清除率均达到 70% 以上,具有良好的抗氧化功效。相关研究^[14]发现,人体衰老、动脉粥样硬化和神经退行性疾病等均与体内自由基平衡相关,野生蓝莓能够延缓人体衰老,并且降低以上疾病的发病风险,这些功效可能与野生蓝莓的花青素密切相关。

2.3 蓝莓总花青素抗炎活性

2.3.1 对小鼠耳廓肿胀的影响 由表 1 可知,与空白组相比,野生蓝莓总花青素在高剂量(100 μg/g)时,差异极显著(P<0.01),抑制率为 47.04%。阳性对照组与空白组比较,阿司匹林给药量 100 μg/g 时,差异极显著(P<0.01),抑制率为 51.97%。另外,中、低剂量组与空白组相比也有显著性差异(P<0.05),说明对二甲苯诱导的小鼠耳廓肿胀,野生蓝莓总花青素有一定的抑制作用。

表 1 花青素对二甲苯致小鼠耳廓肿胀的抑制作用[†]

Table 1 Anthocyanin inhibition of mouse auricle swelling induced by xylene

组别	剂量/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	耳肿胀 度/mg	肿胀抑 制/%
空白组	—	7.10±0.8	—
阳性对照组	100	3.41±1.8**	51.97
高剂量组	100	3.76±2.0**	47.04
中剂量组	60	4.39±1.5*	38.17
低剂量组	30	5.56±1.3*	21.69

† *表示与空白组比较 $P<0.05$; **表示与空白组比较 $P<0.01$ 。

表 2 蓝莓花青素对角叉菜胶诱导大鼠足肿胀模型的影响[†]

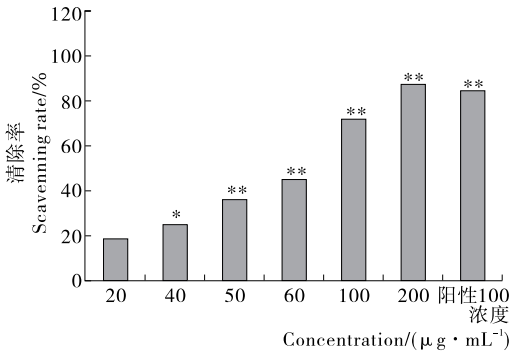
Table 2 Effect of anthocyanins from blueberry on carrageenin-induced cm					
组别	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h
空白组	1.59±0.12	2.11±0.11	2.97±0.18	2.36±0.15	1.95±0.23
阳性对照组	1.15±0.10**	1.50±0.16**	1.97±0.14**	1.57±0.21**	1.25±0.18**
低剂量组	1.25±0.10	1.87±0.12	2.56±0.11**	1.98±0.10*	1.52±0.16
高剂量组	1.20±0.09*	1.64±0.12*	2.26±0.13**	1.69±0.10**	1.41±0.17*

† *表示与空白组比较 $P<0.05$, **表示与空白对照组比较 $P<0.01$ 。

邹宇晓等^[15]研究了荔枝壳花青素的抗炎效果,采用了Fre-und's完全佐剂诱导的大鼠佐剂性关节炎模型,发现高剂量荔枝壳花青素使大鼠左侧继发性足肿胀度显著降低,使血清中NO、细胞白介素IL-1 β 和MDA的含量降低,能够提高机体血清的抗氧化水平,对大鼠佐剂性关节炎引起的机体不适症状有缓解作用,其作用机制可能与提高机体抗氧化能力和抗炎水平有关。针对荔枝壳花青素抗炎作用及其机理的研究较为深入,但针对蓝莓总花青素抗炎活性和作用机理的报道较少,因而可在后续研究中对其作用机理进行进一步探讨。

2.4 蓝莓总花青素体外抗肿瘤试验结果

由图3可知,中国野生蓝莓花青素对K562细胞增殖有明显的抑制作用,且与浓度呈现正相关关系,在200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 浓度时与同浓度的阳性对照5-FU抑制效果十分接近,并且



*, 与阴性对照组比较 $P<0.05$ **, 与阴性对照组比较 $P<0.01$

图 3 不同浓度花青素对 K562 细胞增殖抑制作用

Figure 3 Inhibition effect of different concentrations of anthocyanins on K562 cells proliferation

2.3.2 对足肿胀的影响 由表2可知,在注射角叉菜胶后,各组小鼠致炎足全部出现红肿现象,在前3 h内,足肿胀程度一直在增加,第3小时达到最大值,然后肿胀症状开始减轻,说明成功建立足肿模型。表2中阳性对照组足肿胀度与空白组相比具有极显著差异($P<0.01$),说明阿司匹林对角叉菜胶导致的小鼠足肿从第1小时开始有明显的抑制作用。蓝莓花青素高剂量组与空白组相比,在第1、2、5小时时有显著差异($P<0.05$),其余时间均具有极显著差异($P<0.01$),说明按100 $\mu\text{g}/\text{g}$ 的剂量饲喂,从第3小时开始蓝莓花青素对角叉菜胶致小鼠的足肿有明显的抑制作用。蓝莓花青素低剂量组与空白组相比,前者对角叉菜胶致小鼠的足肿仅第3小时有显著的抑制作用($P<0.01$)。

在浓度为200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时与空白组相比有极显著差异($P<0.01$);并且通过Spss 19.0软件分析数据得出野生蓝莓花青素对K562细胞增殖抑制作用的 IC_{50} 值为79.01 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

也有研究^[16]表明,黑覆盆子花青素能有效抑制高恶性食管癌RE-149 DHD细胞系生长,并促进其凋亡,且有剂量依赖性;Boivi等^[17]用草莓、覆盆子、红醋栗、黑醋栗、圆醋栗等浆果的花青素处理胃癌腺癌AGS细胞,发现均能抑制其增殖及活性,并呈剂量和时间依赖性。这些研究都佐证了来源于天然产物的花青素具有良好的抗肿瘤活性。

3 结论

试验研究发现来源于中国大兴安岭产区野生蓝莓的总花青素具有良好抗氧化、抗炎和抑制白血病细胞增殖的作用。本次研究填补了中国野生蓝莓的总花青素在抗炎和抑制白血病细胞增殖方面的空白。然而大兴安岭的野生蓝莓的总花青素抗炎活性和作用机理的报道较少,本文也仅证实了野生蓝莓总花青素具有抗炎活性和抑制白血病细胞增殖的效果。因此后续应研究蓝莓花青素对肿瘤细胞周期变化、细胞凋亡和细胞ROS释放的作用机理进行进一步探讨。近年来对于野生蓝莓的掠夺式采摘现象较为严重,造成了野生资源的严重浪费,本研究成果将有利于野生蓝莓资源的合理利用和开发,保护自然生态环境。

参考文献

[1] 高志江. 云南文山地区野生蓝莓资源分布[J]. 农村实用技术 2010(4): 39-41.

[2] 姜文洁, 赵勇, 吴启华, 等. 野生蓝莓提取物对四种致病菌的抑制作用[J]. 天然产物研究与开发, 2014(26): 1 884-1 888.

(下转第195页)

苦素的脱除率影响程度不同,对柚皮苷脱除率的影响程度大于对柠檬苦素的影响。从试验结果也可以得出 R6 树脂对于柚皮苷的脱除效果更好,对柠檬苦素的脱除率相对较低。目前中国产树脂对柑橘类果汁的脱苦应用研究报道多集中在对柚皮苷的脱除效果上,不同树脂材料种类在不同柑橘品种上的脱除效果差异较大^[8-9,11-12];从已报道^[7,10]的树脂对柑橘类果汁柠檬苦素的脱苦效果来看,多数树脂对柠檬苦素的脱除率普遍低于其对柚皮苷的脱除率。而柠檬苦素类苦味物质在果汁中的苦味阈值很低,比柚皮苷苦味更明显^[16]。因此,开发和筛选对柠檬苦素类苦味物质具有更强吸附作用的树脂材料,或采用多种脱苦方法组合应用,对解决柑橘类果汁脱苦问题十分重要。

参考文献

[1] RIBEIRO M H, SILVEIRA D, FERREIRA-DIAS S. Selective adsorption of limonin and naringin from orange juice to natural and synthetic adsorbents[J]. *European Food Research and Technology*, 2002, 215(6): 462-471.

[2] 孙兰萍. 柑桔类果汁苦味物质的脱除研究[J]. *食品工业科技*, 2003, 24(1): 97-100.

[3] 刘青茹, 高彦祥. 柑桔汁脱苦降酸方法研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(13): 127-133.

[4] KOLA O, KAYA C, DURAN H, et al. Removal of limonin bitterness by treatment of ion exchange and adsorbent resins[J].

Food Science and Biotechnology, 2010, 19(2): 411-416.

[5] 许少丹, 谢婧. 柑橘类果汁脱苦技术研究进展[J]. *饮料工业*, 2012, 15(6): 15-19.

[6] 程绍南, 方修贵, 叶春勇, 等. 国产 HB801 吸附树脂对柑桔汁脱苦效果的研究[J]. *食品与发酵工业*, 1992(3): 22-27.

[7] 高彦祥, 陈静, 李绍振, 等. 大孔吸附树脂对橙汁的脱苦效率[J]. *食品与发酵工业*, 2005, 31(3): 71-74.

[8] 张怡, 曾红亮, 冯翀, 等. 柚汁树脂脱苦工艺的研究[J]. *热带作物学报*, 2012, 33(3): 562-566.

[9] 唐辉, 肖仔君, 钟瑞敏, 等. 大孔树脂对长坝柚汁脱苦工艺的研究[J]. *食品工业科技*, 2012(23): 276-280.

[10] 黄高凌, 钟晓婷, 倪辉, 等. 吸附脱苦对琯溪蜜柚汁中类胡萝卜素含量的影响[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(1): 172-177.

[11] 张颖. 梁平柚柚汁吸附脱苦工艺研究[J]. *贵阳学院学报: 自然科学版*, 2014, 9(2): 74-76.

[12] 唐辉, 钟瑞敏, 肖仔君. D101 树脂对澄清柚汁脱苦的工艺条件优化[J]. *食品与机械*, 2015, 31(3): 219-223.

[13] 贺红宇, 高佳, 朱永清, 等. 商业树脂对鲜榨柠檬汁的脱苦效果[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(3): 248-252.

[14] 李和生, 王鸿飞, 周石磊, 等. 柑橘类果汁中柚皮苷的分析[J]. *农业机械学报*, 2006, 37(4): 76-79, 90.

[15] 田庆国, 丁霄霖. 测定橘核中柠檬苦素类似物的分光光度法[J]. *分析测试学报*, 1999, 18(5): 45-46.

[16] 王松林, 彭荣, 崔榕, 等. 类柠檬苦素生物转化与脱苦研究进展[J]. *食品科学*, 2015, 36(9): 279-283.

(上接第 135 页)

[3] 魏银花, 申迎宾, 王立, 等. 紫米多酚提取工艺及抗氧化活性研究[J]. *食品与机械*, 2013, 29(3): 111-115.

[4] FARAH S, BETA T. Saskatoon and wild blueberries have higher anthocyanin contents than other manitoba berries [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(26): 10 832-10 838.

[5] VAN D, PIVONKA E. Overview of the health benefits of fruit and vegetable consumption for the dietetics professional [J]. *Journal of the American Dietetic Association*, 2000(10): 1 511-1 521.

[6] WU Xian-li, ALEXANDER G S. Mitigation of Inflammation with Foods[J]. *Agric. Food Chem.*, 2012, 60: 6 703-6 717.

[7] WU Xian-li, KANG Jie, XIE Cheng-hui, et al. Dietary blueberries attenuate atherosclerosis in apolipoprotein e-deficient mice by upregulating antioxidant enzyme expression[J]. *Journal of Nutrition*, 2010(7): 1 628-1 632.

[8] 吴林. 中国蓝莓 35 年[J]. *吉林农业大学学报*, 2016, 38(1): 1-11.

[9] 史海芝, 刘惠民. 国内外蓝莓研究现状[J]. *江苏林业科技*, 2009(4): 48-51.

[10] KALT W, BLUMBERG J B, MCDONALD J E, et al. Identification of anthocyanins in the liver, eye, and brain of blueberry-

fed pigs[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(3): 705-712.

[11] PRIOR R L, WU Xian-li, GU Li-wei, et al. Purified berry anthocyanins but not whole berries normalize lipid parameters in mice fed an obesogenic high fat diet[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2009, 53(11): 1 406-1 418.

[12] 郭嵩光, 王振镒. 邻苯三酚自氧化—化学发光法测定 SOD 活性[J]. *植物生理学通讯*, 1989(3): 54-57.

[13] 王钦博, 杨焱, 刘艳芳, 等. 一年生和两年生桑黄子实体的成分和生物活性[J]. *食用菌学报*, 2010, 17(2): 71-75.

[14] 吴斯琴毕力格, 包勒朝鲁, 那生桑. 沙棘药理作用研究进展[J]. *中国药业*, 2015, 24(1): 95-96.

[15] 邹宇晓, 刘学铭, 廖森泰, 等. 荔枝壳花青素对大鼠佐剂性关节炎的治疗作用研究[J]. *营养学报*, 2010(3): 257-260.

[16] ZIKRI N, RIEDL M, WANG Li-shu, et al. Black raspberry components inhibit proliferation, induce apoptosis and modulate gene expression in rat esophageal epithelial cells[J]. *Nutrition and Cancer—an International Journal*, 2009, 61(6): 816-826.

[17] BOIVIN D, BLANCHETTE M, BARRETTE S, et al. Inhibition of cancer cell proliferation and suppression of TNF-induced activation of NF kappa B by edible berry juice[J]. *Anticancer Research*, 2007, 27(2): 937-948.