

DOI:10.12171/j.1000-1522.20200236

## 沙棘果实中主要活性成分质量分布

吕兆林<sup>1</sup> 袁玮琼<sup>1</sup> 张柏林<sup>1</sup> 邢国良<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学生物科学与技术学院, 林业食品加工与安全北京市重点实验室, 北京 100083;  
2. 内蒙古宇航人高技术产业有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 011517)

**摘要:**沙棘作为一种抗逆性、适应性、萌蘖性较强的植物资源,被广泛应用于黄土丘陵地区荒山绿化、土壤改良、水土保持和砒砂岩治理。沙棘不仅具有良好的生态价值,其果实中富含多种生物活性物质。本文凝练了沙棘果实中活性化合物的构成、分布及活性特征,并对沙棘果实活性物质的研究进行展望。基于相关文献,针对黄酮、花青素、酚酸、有机酸、肌醇、维生素、类胡萝卜素、不饱和脂肪酸、甾醇等广泛存在于沙棘果实中的化学成分进行总结分析,提供沙棘果实中上述活性物质分布情况的综合信息。研究表明,针对沙棘果实中活性物质的构成、分布和活性特征的研究较为丰富,但在部分领域仍缺乏研究,如栽培技术条件对活性物质的影响,活性物质与沙棘果实加工中异味的关联性。本文为沙棘果实食品、药品及保健品行业中的综合利用提供了理论支撑,为促进沙棘资源在经济中的全面发展提供参考。

**关键词:**沙棘果实;活性成分;质量分布

**中图分类号:** S718.3; S789.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2021)01-0144-09

**引文格式:** 吕兆林,袁玮琼,张柏林,等.沙棘果实中主要活性成分质量分布[J].北京林业大学学报,2021,43(1):144-152.  
Lü Zhaolin, Yuan Weiqiong, Zhang Bolin, et al. A review on mass distribution of active components from *Hippophae rhamnoides* fruits[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2021, 43(1): 144-152.

### A review on mass distribution of active components from *Hippophae rhamnoides* fruits

Lü Zhaolin<sup>1</sup> Yuan Weiqiong<sup>1</sup> Zhang Bolin<sup>1</sup> Xing Guoliang<sup>2</sup>

(1. School of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Key Laboratory of Forest Food Process and Safety, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Inner Mongolia Yuhangren High-Tech Industry Limited Liability Company, Hohhot 011517, Inner Mongolia, China)

**Abstract:** Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides*) is a plant resource with strong resistance to stress, adaptability and sprouting. It is widely used in barren hill greening, soil improvement, soil and water conservation, and sandstone management in loess hilly areas. Seabuckthorn not only has good ecological value, but also its fruits are rich in various biologically active substances. This study summarized and analyzed the composition, distribution, and activity characteristics of activated substances in seabuckthorn fruits by literature data. The current research status of active substances in seabuckthorn fruits is also prospected. Based on the related literatures reviewed, the chemical constituents, which widely present in seabuckthorn fruits including flavonoids, anthocyanins, phenolic acids, organic acids, inositol, vitamins, carotenoids, unsaturated fatty acids and sterols, were described and summarized. And the purpose is to provide comprehensive information on the distribution of important active substances in seabuckthorn fruit. The current research on the composition, distribution and active characteristics of active substances in seabuckthorn fruits is abundant. However, there are still shortages in some areas, such as the impact of cultivation techniques on active substances, and the correlation between active substances and odors in

收稿日期: 2020-07-28 修回日期: 2020-09-13

基金项目: 内蒙古自治区科技项目(2016HXFWSWXY011)。

第一作者: 吕兆林, 副教授, 博士。主要研究方向: 林源活性物质提取与功能性食品开发。Email: zhaolinlv@bjfu.edu.cn 地址: 100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学生物科学与技术学院。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

seabuckthorn fruit processing, there is no relevant literature on the concerns of these compounds in the development of seabuckthorn. This article provides theoretical support for the comprehensive utilization of seabuckthorn fruits in food, pharmaceutical and health product industries. It also provides a reference for promoting the comprehensive development of seabuckthorn resources in the economy.

**Key words:** seabuckthorn berry; active component; mass distribution

沙棘(*Hippophae rhamnoides*)又名醋柳、酸刺、黑刺,属胡颓子科(Elaeagnaceae)沙棘属植物。沙棘广泛分布于欧亚大陆温带地区,范围在东经 $2^{\circ} \sim 123^{\circ}$ 、北纬 $27^{\circ} \sim 69^{\circ}$ 之间。中国、俄罗斯、芬兰以及德国等国的沙棘基本实现了工业化规模种植。我国是世界上天然沙棘种质资源最丰富的国家,也是人工种植沙棘面积最大的国家,截至2018年全国沙棘总面积约215万 $\text{hm}^2$ ,约占世界沙棘总面积230万 $\text{hm}^2$ 的93%<sup>[1]</sup>。沙棘的侧根系统发达,具有超强的萌蘖性,能在干旱贫瘠及盐碱地等极端土壤环境下生长成林,因而被视为水土保持和防风固沙的先锋植物,在我国西北、东北、华北地区发挥着治理生态环境、荒山造林绿化、山区河道护岸等重要作用。

沙棘具有丰富的天然药用历史,早在公元900年,沙棘就被用作藏药。古希腊人将沙棘的枝和叶用作动物饲料,饲养过程中动物体重快速增加、毛发质量明显改善<sup>[2]</sup>。俄罗斯记载将沙棘用于治疗胃肠疾病、肝炎、皮肤病和哮喘。欧洲多地还将沙棘的果实、叶子作为食物、膳食补充剂等<sup>[3]</sup>。沙棘本身为药食同源植物,它的全身都是宝,根、茎、叶、花、果、种子中都含有丰富的营养物质和生物活性成分,1977年沙棘入《中华人民共和国药典》,被广泛应用于食品、医药、化妆品等多个领域。

沙棘是集经济效益、生态效益和社会效益于一身的植物资源,20世纪80年代起,沙棘被用于生态保护以及保健产品领域,得到了广泛地开发,并取得了显著的成绩。沙棘地上部分的果、叶、枝干均可进行综合开发利用,从而实现地上部分的无废利用。果实是沙棘开发的主要方向,大量的研究表明,沙棘果实及其产品与多种健康益处相关<sup>[4-7]</sup>,近年来,沙棘企业及研究单位都将果实作为重点研究对象,进行了全面深入的研究。沙棘果实的营养价值很高,富含黄酮类化合物、原花青素、酚酸、糖类化合物、维生素、有机酸、肌醇及其衍生物<sup>[8-9]</sup>等,沙棘果实同时存在高含量的油脂,油脂中富含高活性的化合物,包括不饱和脂肪酸、生育酚、生育三烯酚、类胡萝卜素和植物甾醇<sup>[10-12]</sup>。沙棘果实中的维生素含量高于其他水果<sup>[13-14]</sup>,维生素C与生育酚、生育三烯酚同时存在的情况下具有较强的抗氧化作用<sup>[15-16]</sup>。在植物界,沙棘果实是拥有最大数量植物次生代谢产

物的植物源,这些次生代谢产物的产生与沙棘自身的生长特点密不可分。沙棘作为水土保持植物普遍生长于恶劣的环境中,在植物体自我保护机制的促使下,沙棘为防止死亡和繁衍后代会激发自身分泌或合成特殊的酶进而催化生成各种生物活性成分<sup>[17]</sup>。正是由于沙棘果实中存在的大量活性物质,使得沙棘果实具有预防心血管疾病、粘膜损伤和皮肤疾病的作用,可促进细胞膜再生,被认为是预防和治疗心血管疾病、糖尿病、炎症性疾病、皮肤病、胃溃疡甚至癌症等多种疾病的良好药物<sup>[6]</sup>。

尽管有关沙棘果实活性成分的功效已经有了广泛明确的研究,但这些物质在沙棘果实中的构成、分布及活性特征缺乏全面、综合性的总结。为了促进沙棘果实综合应用和新产品的研发,突出沙棘在水土保持工作中的经济价值,促进沙棘资源在生态、经济中的全面发展,笔者综述了沙棘果实活性成分的质量分布及其功效研究进展,旨在为沙棘果实重要活性成分分布情况提供综合信息。

## 1 沙棘果实中的活性成分

### 1.1 沙棘果实基础成分

通常沙棘果实在加工之前,需要获取果实的基础成分数据,以了解果实各主要部分分布情况,评价加工手段的合理性。表1为文献报道沙棘果实基础成分数据。

常用沙棘果实的加工流程为:沙棘果实经水清洗、解冻,清除污垢和其他杂质,将干净沙棘果实送入压榨机中,经打浆、压榨等程序获得原浆(含果汁、果油和果泥的悬浮混合液体)与果渣(含未脱籽皮的籽及部分没有脱掉的果肉)。原浆经离心分离等操作程序分离得到果油(轻液相)、果汁(中间部分)及果泥(重液相)。果渣经干燥后,将籽膜与籽进行分离,得到沙棘籽,籽经超临界二氧化碳萃取或溶剂提取等植物油提取技术获得沙棘籽油。以下分析为沙棘果实中分布的主要活性物质。

### 1.2 多酚类化合物

#### 1.2.1 黄酮类化合物

从水果和蔬菜中摄取黄酮类化合物可以降低人体由心血管疾病引发的死亡率<sup>[21-22]</sup>。沙棘果实中含有一定量的黄酮类化合物,将沙棘果浆提取物进

表1 沙棘果实基础成分数据

Tab. 1 Basic composition data of seabuckthorn fruit

指标 Index	含量 Content/%	沙棘品种 Seabuckthorn variety	沙棘产地 Seabuckthorn origin	参考文献 Reference
果实含水量 Fruit water content	61.5 ~ 85.3	中国沙棘; “印第安夏” <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>sinensis</i> ; <i>Hippophae rhamnoides</i> ‘Indian-Summer’	中国山西; 加拿大 Shanxi, China; Canada	
果油含量 Fruit oil content	0.26 ~ 4.50	中国沙棘; 海滨沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>sinensis</i> ; <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>rhamnoides</i>	中国山西; 芬兰 Shanxi, China; Finland	[18-19]
	0.8 ~ 4.1a	中国沙棘; 海滨沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>sinensis</i> ; <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>rhamnoides</i>	中国山西; 芬兰 Shanxi, China; Finland	
含籽率 Seed rate	2.09 ~ 6.72	中国沙棘; 大果沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>sinensis</i> ; Large berry cultivars of <i>Hippophae rhamnoides</i>	中国山西, 内蒙古, 辽宁, 河北, 中国黑龙江, 新疆 Shanxi, Inner Mongolia, Liaoning, Hebei, Heilongjiang, Xinjiang, China	
籽油含量 Seed oil content	5.5 ~ 14.2	中国沙棘; 海滨沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>sinensis</i> ; <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>rhamnoides</i>	中国山西; 芬兰 Shanxi, China; Finland	[19]
总糖含量 Total sugar content	0.5 ~ 7.4	海滨沙棘; 蒙古沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>rhamnoides</i> ; <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>mongolica</i>	芬兰; 爱沙尼亚 Finland; Estonia	[20]
总酸含量 Total acid content	2.4 ~ 5.4	海滨沙棘; 蒙古沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>rhamnoides</i> ; <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>mongolica</i>	芬兰; 爱沙尼亚 Finland; Estonia	[20]

注: a为去除籽的果肉中果油含量。Note: a means fruit oil content in seed-removing pulp.

行水解, 得到相应的黄酮苷元, 利用高效液相色谱对其进行检测。通过分析意大利以及芬兰所种植的多个沙棘栽培品种, 发现沙棘果实中主要的黄酮苷元为槲皮素、山柰酚和异鼠李素, 它们的含量分别为 3 ~ 100 mg/kg、2 ~ 16 mg/kg 和 350 ~ 660 mg/kg。异鼠李素含量明显高于槲皮素、山柰酚<sup>[23-24]</sup>。异鼠李素占比较高是沙棘黄酮构成的特点, 异鼠李素在果实中并不常见, 一般是黄酮类组分中的次要成分。在对大鼠(*Rattus norvegicus*)的研究中表明, 异鼠李素是血浆中槲皮素的主要代谢产物, 槲皮素在体内的有益作用有一部分是由其转化为异鼠李素所致<sup>[23]</sup>。

黄酮类化合物是有效的金属螯合剂, 自由基清除剂和链断裂抗氧化剂, 具有较强的抗氧化活性, 还具有稳定维生素 C, 增加维生素 C 在体内的吸收的功能。为研究沙棘果中黄酮类化合物, Chen 等人<sup>[25]</sup>采用甲醇水溶液超声提取干浆果粉, 建立了四川地区的 5 个亚种沙棘果实黄酮类化合物的指纹图谱, 共鉴定了 12 种黄酮类化合物, 具体数据见表 2, 其中中国沙棘(*Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis*)与云南沙棘(*H. rhamnoides* subsp. *yunnanensis*)中的 3-O-葡萄糖-7-O-鼠李糖苷异鼠李素含量较高, 卧龙沙棘(*H. rhamnoides* subsp. *wolongensis*)中的 3-O-芸香糖苷异鼠李素含量较高, 而密毛肋果沙棘(*H. rhamnoides* subsp. *stellatopilosa*)与西藏沙棘(*H. rhamnoides* subsp. *tibetana*)中的黄酮类化合物含量则较低。Ma 等人<sup>[20]</sup>对芬兰及爱沙尼亚的不同地

区两个沙棘亚种(滨海沙棘(*H. rhamnoides* subsp. *rhamnoides*)、蒙古沙棘(*H. rhamnoides* subsp. *mongolica*))果实中的黄酮类化合物进行了分析, 检测到黄酮类化合物的种类有 3-O-槐糖-7-鼠李糖苷槲皮素(7 ~ 10 mg/kg 鲜质量)、3-O-槐糖-7-O-鼠李糖苷异鼠李素(30 ~ 95 mg/kg 鲜质量)、葡萄糖鼠李糖苷异鼠李素(23 ~ 107 mg/kg 鲜质量)、3-O-葡萄糖-7-O-鼠李糖苷异鼠李素(132 ~ 552 mg/kg 鲜质量)、3-O-芸香糖苷槲皮素(20 ~ 69 mg/kg 鲜质量)、3-O-葡萄糖苷槲皮素(15 ~ 53 mg/kg 鲜质量)、芸香糖苷异鼠李素(8 ~ 56 mg/kg 鲜质量)、3-O-芸香糖苷异鼠李素(197 ~ 501 mg/kg 鲜质量)、葡萄糖苷异鼠李素(14 ~ 44 mg/kg 鲜质量)、3-O-葡萄糖苷异鼠李素(90 ~ 257 mg/kg 鲜质量)等 10 种。分析发现 3-O-葡萄糖-7-O-鼠李糖苷异鼠李素和 3-O-芸香糖苷异鼠李素是沙棘果种主要的黄酮类化合物。

### 1.2.2 原花青素

原花色素是由黄烷-3-醇亚基组成的低聚或高聚化合物。原花青素具有抗氧化<sup>[26]</sup>、抗菌<sup>[27]</sup>、抗炎<sup>[28]</sup>和预防心血管疾病<sup>[29]</sup>、抗癌<sup>[30]</sup>的作用。沙棘果实具有独特的酸、苦和涩味, 研究发现沙棘果中原花青素的含量低于其他酚类化合物, 但它们可能在涩味和苦味中起着重要作用。有研究者建立了沙棘原花青素定性和定量分析方法<sup>[31-32]</sup>, 分析了不同来源、品种和生长条件的沙棘原花青素的含量和组成, 沙棘中原花青素的结构单元主要有儿茶素、表儿茶素、棓儿茶

表 2 沙棘果中黄酮类化合物含量

Tab. 2 Content of flavonoids in different seabuckthorn sample

黄酮类化合物 Flavonoids	含量 Content/(mg·kg <sup>-1</sup> )				
	RS	RY	RW	NS	TI
3-O-槐糖-7-鼠李糖苷槲皮素 Quercetin 3-O-sophoroside-7-rhamnoside	680 ± 350	1 200 ± 840	180 ± 170	10 ± 10	80 ± 10
3-O-槐糖-7-O-鼠李糖苷山柰酚 Kaempferol 3-O-sophoroside-7-O rhamnoside	460 ± 210	460 ± 100	650 ± 490	280 ± 70	80 ± 10
3-O-槐糖-7-O-鼠李糖苷异鼠李素 Isorhamnetin 3-O-sophoroside-7-O-rhamnoside	960 ± 240	1 760 ± 960	220 ± 110	50 ± 40	210 ± 40
3-O-葡萄糖-7-O-鼠李糖苷异鼠李素 Isorhamnetin 3-O-glucoside-7-O-rhamnoside	2 170 ± 1 360	3 350 ± 1890	140 ± 120	50 ± 30	230 ± 40
3-O-芸香糖苷槲皮素 Quercetin 3-O-rutinoside	580 ± 260	590 ± 210	390 ± 50	—	—
3-O-葡萄糖苷槲皮素 Quercetin 3-O-glucoside	570 ± 210	670 ± 230	870 ± 410	—	20 ± 10
3-O-芸香糖苷异鼠李素 Isorhamnetin 3-O-rutinoside	1810 ± 1 230	1 470 ± 560	2 920 ± 1 560	130 ± 40	110 ± 20
O-葡萄糖苷异鼠李素 Isorhamnetin 3-O-glucoside	360 ± 230	560 ± 210	1 340 ± 790	—	10 ± 10
槲皮素 Quercetin	140 ± 80	110 ± 20	160 ± 50	—	20 ± 10
O-鼠李糖苷山柰酚 Kaempferol 7-O-rhamnoside	60 ± 10	100 ± 10	—	480 ± 150	40 ± 10
山柰酚 Kaempferol	20 ± 20	—	30 ± 10	20 ± 10	10 ± 10
异鼠李素 Isorhamnetin	140 ± 120	120 ± 50	290 ± 130	—	20 ± 10

注: RS. 中国沙棘; RY. 云南沙棘; RW. 卧龙沙棘; NS. 肋果沙棘; TI. 西藏沙棘; — 未检出。Notes: RS, *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis*; RY, *Hippophae rhamnoides* subsp. *yunnanensis*; RW, *Hippophae rhamnoides* subsp. *wolongensis*; NS, *Hippophae rhamnoides* subsp. *stellatopilosa*; TI, *Hippophae rhamnoides* subsp. *tibetana*; — means not detected.

素和表儿茶素。Yang 等人<sup>[12]</sup>对产自芬兰、中国、蒙古及加拿大的野生沙棘果中的原花青素的含量和组成进行了对比研究, 在所有样品中, 二聚体、三聚体、四聚体和总原花青素含量分别为 14 ~ 89 mg/kg、13 ~ 95 mg/kg、10 ~ 71 mg/kg 和 3 900 ~ 19 400 mg/kg。Rösch 等人<sup>[26]</sup>在沙棘果渣中也检测到了原花青素, 通过 Sephadex LH-20 凝胶层析法从沙棘果渣提取物中分离出单体黄烷-醇、二聚原花青素和三聚原花青素, 低聚物占原花青素总量的 84%, 抗氧化活性占总抗氧化活性的 75%, 而没食子儿茶素是寡聚物中占主导地位的亚基, 低聚原花青素的平均聚合度在 6 ~ 9 之间。高分子量的原花青素之所以能保留在果渣中, 其原因是它能与果渣中的其他成分形成强氢键。

### 1.2.3 酚 酸

沙棘果实中的多酚类物质, 除了黄酮、花青素类化合物, 其中酚酸也是重要的活性物质<sup>[33]</sup>, 对于沙棘果实的生物活性和抗氧化性能有重要的贡献<sup>[34]</sup>。酚酸是植物体内一类简单的非黄酮类酚类化合物, 具有广泛的药理活性, 包括抗氧化、抗诱变、抗肿瘤和抗癌作用。酚酸包括两种主要结构, 即苯甲酸和肉桂酸衍生物, 苯甲酸及肉桂酸芳环上的氢以不同的取代位点及不同的取代数量进行羟基化和甲基化(图 1), 自然界中存在游离酚酸及结合型酚酸两种类型, 结合型酚酸常以酯类和苷类形式分布在自然界中。

Arimboor 等人<sup>[35]</sup>通过分析印度地区的中亚沙棘(*Hippophae rhamnoides* subsp. *turkestanica*)建立了高精度、高灵敏度测定沙棘浆果中没食子酸、原

儿茶酸、对羟基苯甲酸、香草酸、水杨酸、对香豆酸、肉桂酸、咖啡酸、阿魏酸 9 种酚酸及其酯及苷类化合物的方法, 沙棘果中的酚酸为游离酚酸, 及以酯类形式和以苷类形式结合的酚酸衍生物。沙棘果浆中含有 1 068 mg/kg 的酚酸, 其中 58.8% 来自苷类化合物, 游离酚酸和酚酸酯分别占总酚酸的 20.0% 和 21.2%; 种皮中总酚酸含量为 448 mg/kg, 种皮中游离酚酸占总酚酸的 30.6%, 高于其在种仁和果浆所占比例, 与酯和糖苷结合的酚酸分别占籽皮总酚酸的 49.1% 和 20.3%; 沙棘种仁中总酚酸含量(5 741 mg/kg) 高于果浆和种皮中的含量, 沙棘种仁中游离酚酸占总酚酸的 8.4%, 可溶性酯释放的酚酸占总酚酸的 57.3%, 糖苷释放酚酸占总酚酸的 34.3%。通过分析发现沙棘果实中酚酸主要集中在种子中(约占 70%), 其中没食子酸是沙棘果实中以游离和结合形式存在的主要酚酸, 在果浆、种仁与种皮中的含量分别为 705、3 441、230 mg/kg。

### 1.3 有机酸

沙棘果汁中含有奎宁酸、苹果酸、草酸、柠檬酸和酒石酸等有机酸类<sup>[36]</sup>。上述有机酸是影响沙棘感官特性的重要成分, 其绝对含量和相对丰度对于沙棘果及果产品的风味及消费者接受度方面起着至关重要的作用<sup>[37-38]</sup>。Yang 等人<sup>[8]</sup>采用离子交换技术分离出沙棘果中的有机酸, 采用柱前衍生化技术对获得的有机酸进行硅烷化处理, 并采用色谱技术进行定量分析, 收集不同生长区域的两个亚种的沙棘果实, 对其果汁进行测试。结果显示, 苹果酸的含量为

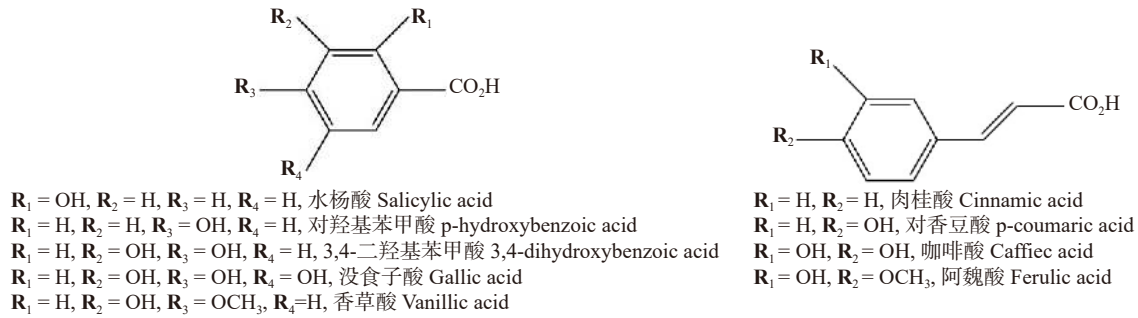


图1 沙棘果实酚酸结构式

Fig. 1 Structures of phenolic acids

0.19 ~ 0.92 g/L, 奎宁酸的含量为 0.07 ~ 0.75 g/L, 酸含量与沙棘果实的甜度呈负相关, 高苹果酸含量是沙棘果实和果汁酸涩味的重要因素。苹果酸乳酸发酵有利于降低沙棘汁苹果酸含量、改善沙棘汁风味, 由于苹果酸含量的差异, 苹果酸乳酸发酵亦有差异, 因此, 应用苹果酸发酵技术时需要选择沙棘果实原材进行筛选。吴紫洁等人<sup>[39]</sup>分析了 12 个沙棘品种果实可溶性糖和有机酸的组分及其含量。结果表明, 12 个沙棘品种中, 阿尔泰果实中的奎宁酸含量最高, 为 20.244 g/kg; 芬兰品种果实中的苹果酸含量最高, 为 35.957 mg/kg, 杂 5-20 果实中抗坏血酸含量最高, 为 6.300 g/kg, 不同品种中的有机酸含量存在明显差异。

#### 1.4 肌醇及其衍生物

近年来随着天然产物研究的不断深入, 肌醇类化合物的降糖作用成为国内外学者关注的热点。研究发现, 肌醇与糖尿病的发病机制及其并发症产生有着密切的联系, 肌醇可以直接参与磷脂酰肌醇的合成, 参与细胞内多种信息的传递。除此之外, 肌醇在临床上常用于治疗脂肪肝、肝硬化、动脉硬化及高血脂症。

Yang<sup>[8]</sup>首次在沙棘中发现了甲基肌醇, 其研发团队首次从沙棘中检测到了一种甲基肌醇衍生物——白雀木醇, 肌醇类化合物的含量也是沙棘果实感官和营养品质的重要因素<sup>[40]</sup>。白雀木醇具有抗氧化<sup>[41]</sup>、维持渗透压<sup>[42]</sup>、降血糖、抗癌<sup>[43]</sup>、治疗胃损伤<sup>[44]</sup>等功效, 实验表明其对小鼠(*Mus musculus*)血糖和血脂有积极的影响<sup>[43]</sup>, 是一种拥有潜在利用价值的天然活性成分, 近年来受到国内外研究者的广泛关注。笔者也对其进行了一些研究, 建立了高效的液相色谱-蒸发光散射法测定沙棘资源中白雀木醇的测定方法, 同时对不同部位的沙棘白雀木醇含量进行了分析。结果表明, 沙棘不同部位的白雀木醇含量差异显著( $P < 0.01$ ), 沙棘叶中白雀木醇含量最高(59.73 mg/g 干叶), 其次为沙棘果肉(2.19 mg/g 鲜果肉)和沙棘籽(0.39 mg/g 鲜籽), 且沙棘叶中白雀木醇的含量随时间的推移逐渐累积(5—9 月份)<sup>[41]</sup>。研究表

明, 沙棘叶可作为白雀木醇的丰富来源, 这对于沙棘叶资源的科学、高效开发具有重要意义。

#### 1.5 类胡萝卜素

类胡萝卜素具有抗氧化、抗诱变、抗肿瘤等多种活性, 在生物活性物质中倍受关注<sup>[45]</sup>。在不同品种的沙棘中, 有 41 种类胡萝卜素被报道, 其中主要类胡萝卜素有玉米黄质(30 ~ 150 mg/kg)、 $\beta$ -胡萝卜素(3 ~ 50 mg/kg)和  $\beta$ -隐黄质(5 ~ 19 mg/kg)<sup>[23,46]</sup>, 它们是沙棘果实呈现鲜艳橙色的主要色素。沙棘中的类胡萝卜素很多以酯化形式存在, Pop 等人<sup>[47]</sup>建立了类胡萝卜素酯研究的方法, 对 6 个品种沙棘果实中的类胡萝卜素进行了结构研究, 发现了 27 种类胡萝卜素类化合物, 其中类胡萝卜素酯中主要的脂肪酸单元为棕榈酸(C16:0)、豆蔻酸(C14:0)和硬脂酸(C18:0)。沙棘果实类胡萝卜素总含量为 530 ~ 970 mg/kg(干质量), 类胡萝卜素单酯化合物含量为 107 ~ 188 mg/kg(干质量), 类胡萝卜素二酯化合物含量为 289 ~ 553 mg/kg(干质量), 玉米黄质二棕榈酸酯是沙棘果实中主要的类胡萝卜素类化合物。游离类胡萝卜素和类胡萝卜素酯的构成及含量可以作为沙棘品种分类和果实真伪识别的标志。

#### 1.6 维生素类化合物

沙棘果实富含维生素 C、生育酚、叶酸、泛酸和维生素 K<sub>1</sub> 等维生素<sup>[10,15,48-50]</sup>。

##### 1.6.1 维生素 C

维生素 C(抗坏血酸)是沙棘果实中的主要维生素, 具有较强的抗氧化能力, 还具有降低哮喘和阻塞性肺病<sup>[51]</sup>、心血管疾病<sup>[52]</sup>和非激素依赖性癌症<sup>[53]</sup>风险的能力。此外, 维生素 C 在清除自由基和防止脂质过氧化方面发挥着重要作用<sup>[54]</sup>。沙棘果实中维生素 C 的含量与沙棘品种与产地有关, 内蒙古宇航人高技术产业有限责任公司对国内不同地域(山西、内蒙古、河北、甘肃、宁夏)的中国沙棘进行统计, 维生素 C 含量为 3.95 ~ 10.00 g/kg(鲜质量), 黑龙江、新疆等地的大果沙棘中维生素 C 含量为 1.35 ~ 1.45 g/kg(鲜质量)。除沙棘品种外, 采收时间、浆果成熟



沙棘籽中的谷甾醇和果肉中谷甾醇分别占总甾醇的70%~74%和83%~86%，同时沙棘中的甾醇指纹图谱还可用于沙棘的品质鉴定及掺假检测。

### 1.9 挥发性化合物

果蔬的挥发性化合物对其风味有重要贡献，沙棘果实存在一种独特的香气。沙棘果实的香气化合物主要由酯类、萜烯类、醇类、酚类、醛类、酮类、烃类和有机酸等组成，较多的是带有短链或支链醇和酯基团的酯类化合物。其中2-甲基丁酸乙酯、3-甲基丁酸乙酯、己酸乙酯、3-甲基丁酸丁酯、辛酸乙酯和3-甲基丁酸丁酯的含量较高，占总挥发物的70%以上<sup>[71]</sup>，这些化合物具有许多水果和浆果的典型香气。

## 2 总结与展望

沙棘是重要的水土保持经济作物，果实富含黄酮、花青素、酚酸、有机酸、肌醇、维生素、类胡萝卜素、不饱和脂肪酸、甾醇等活性成分，具有抗氧化、免疫调节、抗炎、抗动脉粥样硬化、抗应激、心脏保护和伤口愈合等多种生理活性。由于消费者对具有功能性天然活性物质的青睐，沙棘果实被越来越多地作为天然活性物质的来源。本文通过对已发表的研究文献的分析，总结了沙棘果实中重要的活性成分分布情况，旨在为沙棘在深加工及应用中得到全面开发利用、尽可能发挥其经济价值提供支撑。

目前国内外学者针对于沙棘果实中的活性物质的研究逐渐丰富，其中包括研究不同地域、亚种以及加工方式等对果实活性物质的影响，但在其他方面如沙棘种植管理措施对沙棘果实活性物质的影响，活性物质与沙棘果实加工中异味产生的关联性 etc 仍有待进一步丰富研究内容。这些内容的不断完善对于沙棘规模化种植、提高沙棘产品品质以及提升沙棘全面效益具有重要意义。

### 参 考 文 献

- [1] 周文洁. 陕北黄土区沙棘林下植被特征及群落稳定性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.  
Zhou W J. Characteristics and community stability of *Hippophae rhamnoides* in loess area of northern Shaanxi Province[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.
- [2] Suryakumar G, Gupta A. Medicinal and therapeutic potential of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.)[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2011, 138(2): 268–278.
- [3] Srivastava R B, Korekar G, Stobdan T. Nutritional attributes and health application of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): a review[J]. *Current Nutrition & Food Science*, 2013, 9(2): 151–165.
- [4] Joseph S V, Edirisinghe I, Burton-Freeman B M. Berries: anti-inflammatory effects in humans[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(18): 3886–3903.
- [5] Lehtonen H M, Suomela J P, Tahvonen R, et al. Different berries and berry fractions have various but slightly positive effects on the associated variables of metabolic diseases on overweight and obese women[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2011, 65(3): 394–401.
- [6] Xu Y J, Kaur M, Dhillon R S, et al. Health benefits of sea buckthorn for the prevention of cardiovascular diseases[J]. *Journal of Functional Foods*, 2011, 3(1): 2–12.
- [7] Yang B, Kortensniemi M. Clinical evidence on potential health benefits of berries[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2015, 2: 36–42.
- [8] Yang B. Sugars, acids, ethyl  $\beta$ -D-glucopyranose and a methyl inositol in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) berries[J]. *Food Chemistry*, 2009, 112(1): 89–97.
- [9] Bal L M, Meda V, Naik S N, et al. Seabuckthorn berries: a potential source of valuable nutrients for nutraceuticals and cosmeceuticals[J]. *Food Research International*, 2011, 44(7): 1718–1727.
- [10] Vashishtha V, Barhwal K, Kumar A, et al. Effect of seabuckthorn seed oil in reducing cardiovascular risk factors: a longitudinal controlled trial on hypertensive subjects[J]. *Clinical Nutrition*, 2017, 36(5): 1231–1238.
- [11] Li Z, Jian W, Xiong Y, et al. The determination of the fatty acid content of sea buckthorn seed oil using near infrared spectroscopy and variable selection methods for multivariate calibration[J]. *Vibrational Spectroscopy*, 2016, 84: 24–29.
- [12] Yang W, Laaksonen O, Kallio H, et al. Proanthocyanidins in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) series of different origins with special reference to influence of genetic background and growth location[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64: 1274–1282.
- [13] Besbes S, Blecker C, Deroanne C, et al. Date seed oil: phenolic, tocopherol and sterol profiles[J]. *Journal of Food Lipids*, 2010, 11(4): 251–265.
- [14] Ramadan M F, Wahdan K M M. Blending of corn oil with black cummin (*Nigella sativa*) and coriander (*Coriandrum sativum*) seed oils: impact on functionality, stability and radical scavenging activity[J]. *Food Chemistry*, 2012, 132(2): 873–879.
- [15] Wang L G, Li E C, Qin J G, et al. Effect of oxidized fish oil and  $\alpha$ -tocopherol on growth, antioxidation status, serum immune enzyme activity and resistance to aeromonas hydrophila challenge of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2015, 21(4): 414–424.
- [16] Rosch D, Bergmann M, Knorr D, et al. Structure-antioxidant efficiency relationships of phenolic compounds and their contribution to the antioxidant activity of sea buckthorn juice[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(15): 4233–4239.
- [17] Pawel B, Schulze-Lefert P. Role of plant secondary metabolites at the host-pathogen interface[M]//Annual plant reviews (Vol. 34): molecular aspects of plant disease resistance. Trenton: Wiley-Blackwell, 2009.
- [18] Beveridge T, Li T S C, Oomah B D, et al. Seabuckthorn products:

- manufacture and composition.[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1999, 47(9): 3480–3488.
- [19] Yang B R, Kallio H. Fatty acid composition of lipids in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries of different origins[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49: 1939–1947.
- [20] Ma X, Yang W, Laaksonen O, et al. Role of flavonols and proanthocyanidins in the sensory quality of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65(45): 9871–9879.
- [21] Cheng J, Kondo K, Suzuki Y, et al. Inhibitory effects of total flavones of *Hippophae rhamnoides* L. on thrombosis in mouse femoral artery and in vitro platelet aggregation[J]. *Life Sciences*, 2003, 72(20): 2262–2271.
- [22] Clair E, Yang B, Raija T, et al. Effects of an antioxidant-rich juice (seabuckthorn) on risk factors for coronary heart disease in humans[J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2002, 13(6): 346–354.
- [23] Raffo A, Paoletti F, Antonelli M. Changes in sugar, organic acid, flavonol and carotenoid composition during ripening of berries of three seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) cultivars[J]. *European Food Research and Technology*, 2004, 219(4): 360–368.
- [24] Jeppsson N, Gao X. Changes in the contents of kaempferol, quercetin and L-ascorbic acid in seabuckthorn berries during maturation[J]. *Agricultural & Food Science in Finland*, 2000, 9(1): 17–22.
- [25] Chen C, Zhang H, Xiao W, et al. High-performance liquid chromatographic fingerprint analysis for different origins of sea buckthorn berries[J]. *Journal of Chromatography A*, 2007, 1154(1–2): 250–259.
- [26] Rösch D, Mügge C, Fogliano V, et al. Antioxidant oligomeric proanthocyanidins from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) pomace[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(22): 6712–6718.
- [27] Alshaibani D, Rong Z, Wu V C H. Antibacterial characteristics and activity of vaccinium macrocarpon proanthocyanidins against diarrheagenic *Escherichia coli*[J]. *Journal of Functional Foods*, 2017, 39: 133–138.
- [28] Cádiz-Gurrea M L, Borrás-Linares I, Lozano-Sánchez J, et al. Cocoa and grape seed byproducts as a source of antioxidant and anti-inflammatory proanthocyanidins[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2017, 18(2): 376.
- [29] Lee N, Min S S, Kang Y, et al. Oligonol, a lychee fruit-derived low-molecular form of polyphenol mixture, suppresses inflammatory cytokine production from human monocytes[J]. *Human Immunology*, 2016, 77(6): 512–515.
- [30] Yu R J, Liu H B, Yu Y, et al. Anticancer activities of proanthocyanidins from the plant *Urceola huaitingii* and their synergistic effects in combination with chemotherapeutics[J]. *Fitoterapia*, 2016, 112: 175–182.
- [31] Manach C. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans(I): review of 97 bioavailability studies[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2005, 81(1): 230–242.
- [32] Ou K, Gu L. Absorption and metabolism of proanthocyanidins[J]. *Journal of Functional Foods*, 2014, 7: 43–53.
- [33] Hajazimi E, Landberg R, Zamaratskaia G. Simultaneous determination of flavonols and phenolic acids by HPLC-CoulArray in berries common in the Nordic diet[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 74: 128–134.
- [34] Li G, Hong G, Li X, et al. Synthesis and activity towards alzheimer's disease in vitro: tacrine, phenolic acid and ligustrazine hybrids[J]. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 2018, 148: 238–254.
- [35] Arimboor R, Kumar K S, Arumughan C. Simultaneous estimation of phenolic acids in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) using RP-HPLC with DAD[J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2008, 47(1): 31–38.
- [36] Chauhan A, Shirkot C K, Kaushal R, et al. Plant growth-promoting rhizobacteria of medicinal plants in NW himalayas: current status and future prospects[M]//Egamberdieva D, Shrivastava S, Varma A. Plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and medicinal plants. Berlin: Springer, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-13401-7\_19.
- [37] Laaksonen O, Mäkilä L, Tahvonen R, et al. Sensory quality and compositional characteristics of blackcurrant juices produced by different processes[J]. *Food Chemistry*, 2013, 138(4): 2421–2429.
- [38] Fan X, Zhao H, Wang X, et al. Sugar and organic acid composition of apricot and their contribution to sensory quality and consumer satisfaction[J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 225: 553–560.
- [39] 吴紫洁, 阮成江, 李贺, 等. 12 个沙棘品种的果实可溶性糖和有机酸组分研究[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(4): 106–112.
- Wu Z J, Ruan C J, Li H, et al. Compositions of soluble sugars and organic acids in berries of 12 seabuckthorn cultivars[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(4): 106–112.
- [40] Yang B, Zheng J, Kallio H. Influence of origin, harvesting time and weather conditions on content of inositols and methylinositols in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) berries[J]. *Food Chemistry*, 2011, 125(2): 388–396.
- [41] 陶翠, 王捷, 姚玉军, 等. 沙棘中白雀木醇表征方法及其分布规律[J]. *北京林业大学学报*, 2020, 42(1): 121–126.
- Tao C, Wang J, Yao Y J, et al. Characterization and distribution rule of quebrachitol in *Hippophae rhamnoides* L.[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2020, 42(1): 121–126.
- [42] Richter A, Popp M. The physiological importance of accumulation of cyclitols in *Viscum album* L.[J]. *New Phytologist*, 1992, 121(3): 431–438.
- [43] Xue Y, Miao Q, Zhao A, et al. Effects of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides*) juice and L-quebrachitol on type 2 diabetes mellitus in db/db mice[J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, 16: 223–233.
- [44] Olinda T M D, Lemos T L G, Machado L L, et al. Quebrachitol-induced gastroprotection against acute gastric lesions: role of



- prostaglandins, nitric oxide and  $K_{ATP}^+$  channels[J]. *Phytomedicine*, 2008, 15(5): 327–333.
- [45] Hoshyar R, Mollaei H. A comprehensive review on anticancer mechanisms of the main carotenoid of saffron, crocin[J]. *Journal of Pharmacy & Pharmacology*, 2017, 69(11): 1419–1427.
- [46] Andersson S C, Olsson M E, Johansson E, et al. Carotenoids in seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries during ripening and use of pheophytin a as a maturity marker[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2009, 57(1): 250–258.
- [47] Pop R M, Weesepeol Y, Socaciu C, et al. Carotenoid composition of berries and leaves from six Romanian seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) varieties[J]. *Food Chemistry*, 2014, 147: 1–9.
- [48] Arif S, Khan M R, Gardezi S D A, et al. A novel Hydroxymethyl-dihydropterin pyrophosphokinase-dihydropteroate synthase (HPPK-DHPS) gene from a nutraceutical plant seabuckthorn, involved in folate pathway is predominantly expressed in fruit tissue[J/OL]. *International Journal of Agriculture & Biology*, 2016, 18(2) (2016–01–04) [2019–08–09]. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0104>.
- [49] Czaplicki S, Ogródowska D, Zadernowski R, et al. Effect of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) pulp oil consumption on fatty acids and vitamin A and E accumulation in adipose tissue and liver of rats[J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2017, 72(2): 1–7.
- [50] Gutzeit D, Baleanu G, Winterhalter P, et al. Determination of processing effects and of storage stability on vitamin K<sub>1</sub> (phyloquinone) in seabuckthorn berries (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *rhamnoides*) and related products[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 72(9): C491–C497.
- [51] Bazyłko A, Granica S, Filipiek A, et al. Comparison of antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial activity and chemical composition of aqueous and hydroethanolic extracts of the herb of *Tropeaeolum majus* L.[J]. *Industrial Crops & Products*, 2013, 50(10): 88–94.
- [52] Gilles R, Roberto M, Gianni T, et al. Beta-carotene, vitamin C, and vitamin E and cardiovascular diseases[J]. *Current Cardiology Reports*, 2000, 2(4): 293–299.
- [53] Park S, Ahn S, Shin Y, et al. Vitamin C in cancer: a metabolomics perspective[J]. *Frontiers in Physiology*, 2018, 9: 762.
- [54] Buettner G R. The pecking order of free radicals and antioxidants: lipid peroxidation,  $\alpha$ -tocopherol, and ascorbate[J]. *Archives of Biochemistry & Biophysics*, 1993, 300(2): 535–543.
- [55] Mao Y, Han J, Tian F, et al. Chemical composition analysis, sensory, and feasibility study of tree peony seed[J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(2): 553–561.
- [56] Nhe N A, Goon J A, Abdul G S M, et al. Comparing palm oil, tocotrienol-rich fraction and  $\alpha$ -tocopherol supplementation on the antioxidant levels of older adults[J]. *Antioxidants*, 2018, 7(6): 42.
- [57] Kalio H, Yang B, Peippo P, et al. Triacylglycerols, glycerophospholipids, tocopherols, and tocotrienols in berries and seeds of two subspecies (ssp. *sinensis* and *mongolica*) of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides*) [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2002, 50(10): 3004–3009.
- [58] Fatima T, Kesari V, Watt I, et al. Metabolite profiling and expression analysis of flavonoid, vitamin C and tocopherol biosynthesis genes in the antioxidant-rich sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) [J]. *Phytochemistry*, 2015, 118: 181–191.
- [59] Zielinska A, Nowak I. Abundance of active ingredients in seabuckthorn oil [J]. *Lipids in Health & Disease*, 2017, 16(1): 95.
- [60] Patel C A, Divakar K, Santani D, et al. Remedial prospective of *Hippophae rhamnoides* Linn. (seabuckthorn) [J]. *Isrn Pharmacology*, 2015, 2012(2): 436857.
- [61] Wysocki J, Nowicka-Falkowska K. Przegląd preparatów pochodzenia roślinnego stosowanych w stanach dysfunkcji błony śluzowej jamy ustnej i gardła [J]. *Polski Przegląd Otorinolaryngologiczny*, 2013, 2(3): 146–158.
- [62] Ito H, Asmussen S, Traber D L, et al. Healing efficacy of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seed oil in an ovine burn wound model. [J]. *Burns*, 2014, 40(3): 511–519.
- [63] Xu X Y, Pan S Y, Xie B J, et al. The anti-oxidative effect of sea buckthorn seed procyanidins in vitro [J]. *Food Science*, 2005, 26(2): 216–218.
- [64] Enkhtaivan G, John K M M, Pandurangan M, et al. Extreme effects of seabuckthorn extracts on influenza viruses and human cancer cells and correlation between flavonol glycosides and biological activities of extracts [J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2016, 24(7): 1646–1656.
- [65] Zadernowski R, Nowak-Polakowska H, Lossow B, et al. Seabuckthorn lipids [J]. *Journal of Food Lipids*, 1997, 4(3): 165–172.
- [66] Ul'Chenko N T, Zhmyrko T G, Glushenkova A I, et al. Lipids of *Hippophae rhamnoides*, pericarp [J]. *Chemistry of Natural Compounds*, 1995, 31(5): 565–567.
- [67] Kralova J, Jurasek M, Krcova L, et al. Heterocyclic sterol probes for live monitoring of sterol trafficking and lysosomal storage disorders [J]. *Scientific Reports*, 2018, 8: 14428.
- [68] Jones P, Macdougall D E, Ntanos F, et al. Dietary phytosterols as cholesterol-lowering agents in humans [J]. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 1997, 75(3): 217–227.
- [69] Reading C L, Stickney D R, Floresriveros J, et al. A synthetic anti-inflammatory sterol improves insulin sensitivity in insulin-resistant obese impaired glucose tolerance subjects [J]. *Obesity*, 2013, 21(9): 343–349.
- [70] Yang B, Karlsson R M, Oksman P H, et al. Phytosterols in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries: identification and effects of different origins and harvesting times [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2001, 49(11): 5620–5629.
- [71] Tiitinen K, Hakala M, Kallio H. Headspace volatiles from frozen berries of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) varieties [J]. *European Food Research & Technology*, 2006, 223(4): 455–460.

(责任编辑 赵勃  
责任编辑 蒋湘宁)