

沙棘综合开发利用研究进展

陈奕璇¹, 郭佳琦¹, 关文强¹, 王璇¹, 陈志玺², 傅雨萌², 张志伟^{1*}

(1. 天津商业大学 生物技术与食品科学学院, 天津市食品生物技术重点实验室, 天津 300134; 2. 华池县甘农生物科技有限公司, 甘肃 庆阳 745600)

摘要: 沙棘富含黄酮、维生素 C 和多糖类物质, 可作为功能性食品开发。该文主要综述沙棘中各种营养物质对健康的益处, 归纳沙棘在饮食、医疗等领域的相关开发研究进展, 总结沙棘产业加工开发现状, 展望未来沙棘产业发展前景。

关键词: 沙棘; 食品; 饮品; 医疗保健; 抗氧化

Research Progress on the Comprehensive Development and Utilization of Sea Buckthorn

CHEN Yixuan¹, GUO Jiaqi¹, GUAN Wenqiang¹, WANG Xuan¹, CHEN Zhixi², FU Yumeng², ZHANG Zhiwei^{1*}

(1. Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, School of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China; 2. Huachi Gannong Biotechnology Co., Ltd., Qingyang 745600, Gansu, China)

Abstract: Sea buckthorn is a natural anti-obesity product that is rich in flavonoids, vitamin C, and polysaccharides, and can be developed as a functional food. This study provides an overview of the various health benefits of the nutrients present in sea buckthorn and summarizes the research related to the development of sea buckthorn as a raw material in fields such as diet and medicine. The information presented concerning the current processing and development of sea buckthorn can provide a reference for the future development of the sea buckthorn industry.

Key words: sea buckthorn; food products; beverages; health care; antioxidant

引文格式:

陈奕璇, 郭佳琦, 关文强, 等. 沙棘综合开发利用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(19):201-207.

CHEN Yixuan, GUO Jiaqi, GUAN Wenqiang, et al. Research Progress on the Comprehensive Development and Utilization of Sea Buckthorn[J]. Food Research and Development, 2023, 44(19):201-207.

沙棘(*Hippophae hamnoides* L.) 是一种胡颓子科、沙棘属落叶性灌木, 又称吉汉、酸柳、达普等, 自然生长在欧洲和亚洲, 其果实是黄色到橘红色的小浆果。沙棘种植的种类繁多, 沙棘属在我国可分为有皮和无皮 2 组, 有 7 种 11 亚种, 大多按地区和形状命名。中国沙棘这一亚种在我国分布最广, 其抗逆性和对恶劣环境的适应性最强^[1]。沙棘具有防风固沙、抗旱的优点, 可以用于沙漠绿化。中国的沙棘产地主要是新疆、山西吕梁、内蒙古东部、甘肃漳县以及青海、宁夏等。沙棘

中含有丰富的营养价值, 种子、叶、果实均含有丰富的蛋白质, 其中含有的氨基酸种类齐全, 沙棘果实富含黄酮、多糖、维生素、矿物质、类胡萝卜素等。从沙棘的果实、种子和叶中可以分离出几十种特异性代谢产物, 例如类黄酮、酚酸、鞣花丹宁、三萜、植物甾醇、类胡萝卜素和挥发性化合物, 还有黄酮木素类、木酚素类、倍半萜、茶类、葱醌类、三萜皂苷类、生物碱类和羧酸类等不常见的衍生物, 这些化合物和衍生物具有抗肿瘤、降血脂、糖尿病、心血管疾病等生理作用^[2-3]。沙棘油中富

基金项目: 天津市科技计划项目(22ZYCGSN00140); 天津商业大学校级科研项目(22KYQD49); 天津商业大学市级创业训练项目(202210069096)

作者简介: 陈奕璇(2000—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与贮藏工程。

* 通信作者: 张志伟(1979—), 男(汉), 博士, 副教授, 研究方向: 食品加工与贮藏工程。

含脂肪酸,具有降低胆固醇、降低血小板聚集、降低血压和血糖等多种活性以及抗氧化能力,同时具有抗癌、抗菌、抗组胺、抗病毒、解痉和辐射防护作用^[4]。

1 沙棘产业现状

1.1 国外沙棘产业现状

沙棘分布在欧亚大陆温带气候地区,约45个国家中。1940年,北美大陆为防风固林开始种植沙棘,在90年代南美大陆从欧洲引进沙棘至安第斯山地区^[5],后经人工引种到朝鲜、韩国、日本、美国、加拿大、玻利维亚、南非等地。2019年,世界沙棘种植面积约为173万 hm^2 ,年产量25~30万t。由于俄罗斯独特的地理位置,其所产的沙棘果大、刺少、易采摘、营养价值高。2000年,培育的沙棘新品种年产量达到0.9~1.5万 kg/hm^2 ,新品种的沙棘果大无刺、果柄长,对抗恶劣环境的能力较强^[6]。芬兰所处的纬度与俄罗斯相近,植物生长季节很短,且冬季气候严酷,独特的气候使来自芬兰的沙棘颜色鲜艳,口感浓郁,在日本和韩国等地大受欢迎。芬兰作为研究沙棘较早的国家,对沙棘的开发较为深入,对其功能性的研究主要集中在临床和生物活性等方面,以Baoru Yang和Heikki Kallio为代表的芬兰沙棘研究团队侧重于沙棘于化学成分分析,研究沙棘的不同部位提取物在抗炎、治疗皮肤病、防范心血管疾病等方面的干预治疗,芬兰沙棘和中国沙棘的研究不仅在种质资源方面不同,在功能性和研究方法等方面也存在较大差异^[7]。在蒙古国沙棘果实被用于制作沙棘油和沙棘饮料。蒙古国的蒙古沙棘品种主要位于3个产区,色楞格省、科布多省以及乌布斯省,其中色楞格省的天然沙棘生育期最长,生长状态最好,果实大小适中,品质最好^[8]。

1.2 国内沙棘产业现状

我国目前的沙棘种植总面积约为 $6.67\times 10^5\text{hm}^2$,其中天然生长占45%,人工种植占55%,约占世界沙棘种植总面积的80%,沙棘鲜果年产约 $2.50\times 10^8\text{kg}$ 。作为沙棘资源的拥有国、产出国,我国从20世纪80年代开始了对沙棘的开发利用,沙棘的产业链开发逐渐趋于成熟,沙棘产品也逐步走进大众视野。在国家大力支持沙棘产业发展的形势和我国与外国科学家共同努力下,我国在沙棘鲜果的采摘、沙棘功能性营养食品、医疗、保健品等领域已经取得200余项科研成果,已经在内蒙古、山西、北京等多地投资建立了千万吨级的沙棘加工厂。2013年,全国已有各类沙棘厂家生产食品、药品、保健品等300多种产品^[9]。2022年底,全国沙棘企业大约有3200家,年加工各类沙棘制品10万余吨,其中沙棘加工企业200多家,年产值约70亿元,主要集中在沙棘饮料方向。但目前我国对沙棘的开发利用

程度还较低,年利用量仅有 $5.00\times 10^7\text{kg}$,占总产量的20%^[10]。我国在沙棘种植与开发上仍存在问题,一是种植规划不足,沙棘作为一种低投入高产出的生态资源,在种植和管理上未形成标准,造成天然沙棘林的面积逐年降低;二是我国对沙棘产品的开发相较于其它果蔬较为落后,人们对沙棘的认知度较低;三是我国目前对沙棘的研究利用只是处于初加工阶段,沙棘副产物或天然内部产物、精深沙棘产品的研发较少,相关的生物活性成分未被开发利用;四是沙棘制浆后果渣果籽利用率低,未形成整体加工体系;五是沙棘高端产品较少,品类单一。因此可以加大开发和种植,提高沙棘的利用价值,充分发挥沙棘食品药食同源的特点。

2 沙棘研究现状

2.1 沙棘饮食产品

沙棘果实因其鲜食酸度大、甜度小,销量较少,所以主要用于加工制品。由于沙棘中含有维生素和人体8种必需氨基酸,因此可以充分发挥其食疗功效,在饮食方面广泛应用^[11]。沙棘产品或其副产品可以作为降糖营养补充剂,食用沙棘产品及其副产物后,可以增加进入目标组织的葡萄糖细胞的清除能力,具有抗高血糖的效果^[12]。沙棘果实应用最多,常见的有沙棘果汁、沙棘茶、沙棘罐头、沙棘膏、沙棘原浆、沙棘果干、沙棘冻干粉等,其中以沙棘原浆和沙棘果汁为主。

2.1.1 沙棘食品

目前对沙棘食品的开发主要是将沙棘果粉或沙棘榨汁添加到食品中,可以弱化沙棘的酸味,还可以提高食品的抗氧化性,延长食品保藏期。沙棘属于浆果类水果,有驱动机体脂肪组织产热、抑制脂质吸收、调节脂质代谢和肠道菌群组成的能力,其生物活性化合物在预防超重、肝脏脂肪变性等与肥胖相关方面有特殊效果^[13]。沙棘多糖是天然的抗肥胖剂,组织学表明,沙棘多糖的摄入可以有效降低高肥胖人群脂肪细胞的质量和大小,抑制体重增加。通过激活棕色脂肪细胞促进能量消耗和产热,以此抑制高肥胖人群脂质的积累^[14]。在小麦粉中添加沙棘活性提取物制备的功能性饼干,其抗氧化活性显著且酚类物质含量增加。体外消化实验表明,这种饼干可以阻碍淀粉消化,可为糖尿病人群设计低血糖烘焙产品^[15]。有研究显示,食用沙棘浆果可以改善超重女性的整体代谢状况,沙棘油有降低血清总胆固醇、低密度脂蛋白和载脂蛋白浓度的作用,在体内血脂和脂蛋白含量更高的女性中,沙棘油使机体的代谢效果更理想^[16]。沙棘相关食品研究现状如表1所示。

表1 沙棘相关食品研究现状

Table 1 Current status of research on sea buckthorn-related food

原料	辅料	产品特性	参考文献
沙棘粉、低筋面粉	全蛋液、糖粉	与原味黄油饼干相比,沙棘全果粉饼干口感更好,组织均匀,口感浓郁酥脆	[17]
沙棘籽粕粉、沙棘果皮粉、鸡蛋蛋白粉、小麦面粉	黄油、白砂糖、奶粉、苏打、食盐	沙棘酥性饼干蛋白质和膳食纤维含量高,可用于功能性代餐食品为减肥人群食用	[18]
沙棘果渣粉	蛋液、黄油、白糖、木糖醇	沙棘酥性饼干品质优良、营养丰富,在常温常湿条件下货架期可达63 d	[19]
高筋小麦粉	沙棘果粉、干酵母、盐	沙棘法式面包维生素含量更高,面包不仅有法式面包的酥脆感,还有沙棘的营养价值,且因不添加油脂,使其更具备绿色食品的要求	[20]
沙棘粉、小麦粉	糖粉、黄油、小苏打、食盐	沙棘谷物饼干氧化稳定性和感官吸引力最好,无异味、酸度适宜、硬度显著降低,口感最好	[21]
面粉	沙棘叶粉、蛋液、黄油	沙棘叶粉可作为食品添加剂使用,有利于面粉筋的加强和面团结构的巩固	[22]
面粉	沙棘叶酸液	沙棘叶酸液可替代酵母发酵,生产的沙棘面包具有抗氧化能力	[23]
奶油奶酪	沙棘提取物	提高抗自由基活性,与原味奶油奶酪相比延缓了产品的氧化过程,货架期延长,可作为功能性食品食用	[24]

2.1.2 沙棘饮品

沙棘原浆作为制备沙棘饮品的原材料,应用广泛,加工工艺发展迅速。为了避免沙棘原浆加工过程中传统热浓缩方式造成的V_C、氨基酸损失以及褐变现象的发生,可通过冷冻浓缩的工艺,在最大限度保留有效成分的前提下,可溶性固形物含量、黄酮损失量较少,浓缩效果较好,有很好的应用前景^[25]。沙棘原浆常被作为原材料的一个关键原因是沙棘的有机酸含量高,达到总酸的90%,但口感酸涩,无法直接食用。虽然沙棘中的有机酸多是苹果酸、柠檬酸、草酸和抗坏血酸,但同碳酸一样,对儿童来说,高酸度饮品饮用过多会造成牙釉质脱矿,甚至患酸蚀症^[26],所以沙棘原浆或沙棘汁常需要通过发酵进行降酸处理。研究发现,发酵可以改变沙棘汁的代谢组学特征,类黄酮有助于益生菌和沙棘发酵饮品的相互作用^[27]。沙棘发酵饮品通过调节致肥菌和恢复生物多样性可以逆转微生物失调,改善饮食代谢综合症、减轻体重增加、维持氧化平衡、改善糖胰岛素敏感性等。沙棘的pH值通常小于3,

糖酸比小于1,沙棘汁可以作为苹果酸-乳酸发酵(malolactic fermentation, MLF)的底物。用酒酒球菌、植物乳杆菌等不同细菌将沙棘汁与其它溶液混合发酵,发酵后苹果酸含量降低,但单糖和抗坏血酸含量不会减少^[28]。沙棘汁中加入乳酸菌,可以提高营养价值并减少苹果酸带来的酸涩,乳酸菌利用沙棘汁中的碳源在沙棘汁中快速生长,发酵后酚酸中的没食子酸含量增加,改善了沙棘汁的口感,抗氧化能力提高^[29]。在苹果汁和沙棘汁混合发酵过程中,沙棘汁含量越高,MLF能力越强。在沙棘汁发酵过程中,使用植物乳杆菌可以更有效地提高抗氧化活性和黄酮含量,同时有机酸和糖的含量不会减少,可用于开发沙棘新产品^[30]。

沙棘汁即沙棘原浆经过离心去除果肉和杂质后的果汁。沙棘汁中含有铜锌铁钾钠等无机盐,可以调节机体内部环境稳定,维持神经肌肉的兴奋,总黄酮可以增强心脏收缩、改善泵血能力^[31]。沙棘汁由于自身的酸度高,所以与其它水果结合成复合饮料或是制成奶制品、果酒的产品非常多,沙棘相关饮品的研究如表2所示。

表2 沙棘相关饮品研究现状

Table 2 Current status of research on sea buckthorn-related beverages

原料	辅料	产品特性	参考文献
沙棘汁、苹果汁	益生菌	酸甜可口, DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除能力都很强,具有抗氧化活性	[32]
沙棘汁、桃浆	糖浆、甜蜜素、柠檬酸	桃浆含糖量高与沙棘汁的酸味取长补短,同时提高营养价值	[33]
沙棘汁、梨汁	白砂糖、柠檬酸	沙棘和梨各自的药理作用,使其营养价值更高,风味独特,可作保健饮料	[34]
沙棘汁、胡萝卜汁	白砂糖	橙黄色饮料,具有沙棘和胡萝卜的风味,无沉淀,口感酸甜适宜	[35]
沙棘汁、红枣汁	酵母	沙棘的酸度和红枣的甜度中和,味道纯正,沁人心脾	[36]
沙棘汁	乳酸菌	沙棘发酵乳与普通发酵乳相比,保水性更高,凝固时间缩短,沙棘发酵乳保质期较长	[37]
沙棘浆果	益生菌	生产的沙棘冷冻酸奶具有独特的感官特性,其微生物安全性和商业化潜力较大	[38]
沙棘汁	水果汁/蔬菜汁	制作的冰沙含有丰富的黄酮、酚酸、花青素,抗氧化活性显著增大	[39]
沙棘浆果	酵母、白砂糖	果酒清香可口,含有人体必需的氨基酸和微量元素,沙棘酒中芦丁、槲皮素和杨梅素含量高,可以保护肝脏脂质过氧化,对氧化应激和高胆固醇血症具有预防作用	[40]

2.2 沙棘医疗保健产品

沙棘的叶子、果实以及沙棘油是治疗心血管疾病重要的生物活性来源,长期以来,沙棘被用作预防高血压、胃溃疡、早期癌症和冠状动脉粥样硬化性心脏病等各种疾病^[41]。沙棘的医疗保健产品有沙棘颗粒、沙棘片、沙棘糖浆、沙棘口服液、沙棘油胶囊、复方沙棘茶等。

2.2.1 沙棘药品

据《中国药典》记载,沙棘是蒙古族和藏族常用的药材,主治祛痰止咳、促进消食、活血化瘀。目前国家批准生产销售的中成药有沙棘片、沙棘丸、沙棘糖浆3种,属于非处方药,沙棘颗粒、五味沙棘散、沙棘干乳剂属于处方药^[42]。

沙棘颗粒可以治疗消化不良,沙棘中由甘露糖、葡萄糖、半乳糖和阿拉伯糖组成的一种杂多糖 SPO.1-1可以减少肠道中活性氧的积累,减少细胞凋亡,促进胃肠道蠕动,对肠道有保护作用^[43]。制备沙棘颗粒可以采用传统热浓缩技术,制备过程温度相对较低,沙棘中的活性物质和营养成分不容易丢失,原料利用率高,操作简单,成本较低^[44]。沙棘糖浆有缓解咳嗽、促进消化的功效。沙棘作为药物时性温,味酸、涩,归肺经,具有止咳祛痰的作用。沙棘中含量最高的黄酮类化合物是槲皮素、异鼠李素和山奈酚,这3种物质对脂多糖诱发的炎症机制有抑制调节作用,是祛痰和治疗气管炎、支气管炎的重要机制^[45]。沙棘中大量的酚类物质、氨基酸、有机酸,可助消化,促进胃液分泌和胃酸合成,治疗厌食症。高剂量的沙棘糖浆可以促进胃肠蠕动,提高肠道水分吸收,有消食化滞的临床效果^[46]。适宜条件下,双歧杆菌菌株、干酪乳杆菌菌株作为潜在的益生菌可以在体外人肠胃中良好存活,这两种菌与沙棘糖浆和豆奶都可以制成对人体有益的益生菌产品^[47]。但与双歧杆菌相比,干酪乳杆菌对发酵沙棘的还原糖、苹果酸和可滴定酸的利用率最高,香气含量最高,MLF能力最强^[48]。

沙棘干乳剂是沙棘汁和沙棘油提取后混合制成的中药制品,有治疗消化滞气、活血散瘀、止痛等功效。食管癌作为我国的高发癌症,目前并没有可防治其病变的药物,研究发现,沙棘干乳剂可以有效阻断食管癌的癌前病变,减缓癌症发展进程,防止恶化^[49]。布拉氏酵母菌与沙棘干乳剂联用可以治疗儿童轮状病毒性肠炎,沙棘干乳剂可以促进疗效,改善患者的免疫功能,加快患者病情恢复^[50]。近期研究发现,沙棘干乳剂对消化性溃疡、肠易激综合征、小儿肠系膜淋巴结炎有治疗作用。沙棘干乳剂与重组人干扰素联用可以治疗病毒性腹泻,改善肠道菌群结构与肠黏膜屏障,减轻心肌损害^[51]。

细胞内的晚期糖基化终产物(advanced glycation

end products, AGEs)在激活细胞内信号通路以及产生氧化和羰基应激等方面发挥着至关重要的作用,这些应激会引起多种疾病,例如代谢性疾病、心血管疾病、非酒精性脂肪性肝病、肥胖和2型糖尿病。研究结果证明,沙棘叶能抑制AGEs的形成和交联,降低与肽离子结合的丰度,说明沙棘叶可作为一种膳食制剂,预防由AGEs形成和氧化应激介导的疾病^[52]。沙棘的药品也经常用于治疗糖尿病、心血管疾病、肿瘤和癌症等。沙棘中生物活性物质含量高,抑制高血糖产生,晶状体内山梨醇水平降低,影响血液中的胰岛素,对预防和缓解代谢型疾病-2型糖尿病具有积极作用。沙棘中的游离态多酚和自由态多酚对多种癌细胞特别是结肠癌细胞均有明显的抑制作用^[53-54]。沙棘柏油中含有很多可以发挥抗糖尿病作用的棕榈油酸,胰岛素分泌相关的刺激活性与游离脂肪酸作为胰腺GPCRS配体的活性相关,研究发现沙棘柏油及其制剂特别是棕榈油酸的存在,似乎具有最高的触发效应,可以用于人胰岛EndoC-betaH1细胞^[55]。

2.2.2 沙棘保健品

目前在食品药品监督管理局注册的纯沙棘提取物的保健食品只有沙棘果油和沙棘籽油,制成的产品以胶囊和丸剂为主,沙棘果油和沙棘籽油都是集沙棘有效成分于一体的高度浓缩物,富含100多种生物活性成分。沙棘籽油含有油酸、 α -亚麻酸等脂肪酸,以及类胡萝卜素、维生素E、黄酮、多酚等,具有增强免疫力、抗肿瘤等多种营养功能,被称为“绿色黄金”^[56-57]。沙棘籽油软胶囊不饱和脂肪酸中亚麻酸、亚油酸含量最高,且这两种酸不能自身合成,只能外界摄取。亚油酸可以预防心血管疾病,亚麻籽油中的 α -亚麻酸有降血脂的功效,沙棘籽油和亚麻籽油复配后制成的沙棘亚麻籽油软胶囊对人体安全无毒并具有明显的降血脂功效^[58]。沙棘果油比沙棘籽油中的脂肪酸种类多10余种,但较沙棘籽油稳定性差,易氧化,更难储存运输。酪蛋白酸钠稳定的纳米乳液可以作为一种保健品载体保护沙棘果油中的活性物质,具有良好的抗氧化活性,解决易氧化问题^[59]。还可以采用超高压均质法,以酪蛋白酸钠和乳清糖蛋白为乳化剂,超声辅助可以制备出性能良好的沙棘果油纳米乳剂,可以维持一个月的稳定性,可用于食品和营养领域^[47]。沙棘籽油作为一种天然的抗氧化剂可以改善沙棘油微胶囊的氧化稳定性、抗氧化性能和生物活性,将其添加到沙棘油微胶囊中,喷雾干燥进行混装,稳定性显著优于传统抗氧化剂,也可以用来保护沙棘油的活性物质^[60]。

3 沙棘产业未来开发前景

沙棘的根、茎、叶、果实、种子都具有很高的营养、

医疗、保健价值,在各个领域发挥重要作用。但目前我国沙棘利用率较低,开发利用不够充分,如对沙棘整体的利用率较低,沙棘在食品领域的研究开发基本停留在以果实榨汁为主,沙棘果皮、沙棘籽等副产物未得到有效利用,应形成系统的开发体系,减少浪费现象严重的问题。对沙棘的各种组分如黄酮、多糖等活性成分未深入研究,沙棘脂肪酸、氨基酸、矿物质的研究更是少之又少,且基本应用在医学领域,相关食品的开发较少。沙棘饮品多以沙棘原浆为主,未来可以着重进行沙棘清汁、沙棘浓缩清汁等精深产品的研究开发。沙棘丰富的营养价值,决定了沙棘广阔的应用前景。在未来沙棘产业的开发中,应完善生产体系,开发新型加工工艺,提高沙棘产品在大众中的认知度,进一步促进沙棘在食品、医药等产业中的发展。

参考文献:

- [1] 崔立柱,付依依,刘士伟,等.沙棘营养价值及产业发展概况[J].食品研究与开发,2021,42(11):218-224.
CUI Lizhu, FU Yiyi, LIU Shiwei, et al. Nutritional value and industry development of sea buckthorn[J]. Food Research and Development, 2021, 42(11): 218-224.
- [2] EL-SOHAIMY S A, SHEHATA M G, MATHUR A, et al. Nutritional evaluation of sea buckthorn '*Hippophae rhamnoides*' berries and the pharmaceutical potential of the fermented juice[J]. Fermentation, 2022, 8(8): 391.
- [3] JASTRZĄB A, SKRZYDLEWSKA E. Composition and biomedical relevance of sea buckthorn[J]. Acta Poloniae Pharmaceutica-Drug Research, 2019, 76(6): 959-969.
- [4] ŻUCHOWSKI J. Phytochemistry and pharmacology of sea buckthorn (*Elaeagnus rhamnoides*; syn. *Hippophae rhamnoides*): Progress from 2010 to 2021[J]. Phytochemistry Reviews, 2023, 22(1): 3-33.
- [5] 安宝利,卢顺光.沙棘种质资源保护和利用的现状与展望[J].国际沙棘研究与开发,2004,2(2):12-15.
AN Baoli, LU Shunguang. Conservation and utilization of germplasm resources of seabuckthorn(*Hippophae rhamnoides* L.)[J]. The Global Seabuckthorn Research and Development, 2004, 2(2): 12-15.
- [6] 刘少江,李刚,张桂琴.沙棘的应用及其产业的发展[J].防护林科技,2000(4):55,71.
LIU Shaojiang, LI Gang, ZHANG Guiqin. Application of *Hippophae rhamnoides* and its industry development[J]. Protection Forest Science and Technology, 2000(4): 55, 71.
- [7] 刘芳丽.中芬沙棘果功能研究现状[J].中国食物与营养,2018,24(2):20-25.
LIU Fangli. Research status of *Hippophae rhamnoides* in China and Finland[J]. Food and Nutrition in China, 2018, 24(2): 20-25.
- [8] 哈吉德苏仁.蒙古国蒙古沙棘生长特征及经营研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
SU REN. Study on growth characteristics and management of *Hippophae rhamnoides* L. in Mongolia[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2021.
- [9] 刁子蔚,刘崇彦.将沙棘食品应用军队饮食保障探索[J].食品研究与开发,2013,34(24):293-296.
DIAO Ziwei, LIU Chongyan. Will Sea buckthorn food applications in the food supply of the armed forces to explore[J]. Food Research and Development, 2013, 34(24): 293-296.
- [10] 冯哲轩,林奕然,洪丝琴,等.沙棘制品研发现状与展望[J].中国食品工业,2021(21):102-103,107.
FENG Zhexuan, LIN Yiran, HONG Siqin, et al. Present situation and prospect of research and development of seabuckthorn products[J]. China Food Industry, 2021(21): 102-103, 107.
- [11] 姚娜娜,车凤斌,李永海,等.沙棘的营养价值及综合开发利用概述[J].保鲜与加工,2020,20(2):226-232.
YAO Nana, CHE Fengbin, LI Yonghai, et al. Nutritional value and comprehensive development and utilization of *Hippophae rhamnoides*[J]. Storage and Process, 2020, 20(2): 226-232.
- [12] OLLINGER N, NEUHAUSER C, SCHWARZINGER B, et al. Anti-hyperglycemic effects of oils and extracts derived from sea buckthorn-A comprehensive analysis utilizing *in vitro* and *in vivo* models[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2022, 66(12): 2101133.
- [13] JIANG H T, ZHANG W L, LI X X, et al. The anti-obesogenic effects of dietary berry fruits: A review[J]. Food Research International, 2021, 147: 110539.
- [14] MA Z Y, SUN Q Y, CHANG L L, et al. A natural anti-obesity reagent derived from sea buckthorn polysaccharides: Structure characterization and anti-obesity evaluation *in vivo*[J]. Food Chemistry, 2022, 375: 131884.
- [15] GANI A, JAN R, AHMAD ASHWAR B, et al. Encapsulation of saffron and sea buckthorn bioactives: Its utilization for development of low glycemic baked product for growing diabetic population of the world[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 142: 111035.
- [16] LARMO P S, KANGAS A J, SOININEN P, et al. Effects of sea buckthorn and bilberry on serum metabolites differ according to baseline metabolic profiles in overweight women: A randomized crossover trial[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2013, 98(4): 941-951.
- [17] 刘莹莹,王秋玉,曹仲文.优化沙棘全果粉饼干配方工艺[J].粮食加工,2020,45(4):53-57.
LIU Yingying, WANG Qiuyu, CAO Zhongwen. Optimization of seabuckthorn fruit powder biscuit formulation[J]. Grain Processing, 2020, 45(4): 53-57.
- [18] 张志刚,姚玉军,闻茂.沙棘酥性饼干的研制[J].粮食与饲料工业,2017(9):29-32.
ZHANG Zhigang, YAO Yujun, WEN Mao. Development of crisp sea buckthorn biscuit[J]. Cereal & Feed Industry, 2017(9): 29-32.
- [19] 崔立柱,付依依,刘士伟,等.沙棘饼干的配方优化及货架期预测[J].食品科技,2021,46(4):133-141.
CUI Lizhu, FU Yiyi, LIU Shiwei, et al. Formulation optimization and shelf life prediction of seabuckthorn biscuit[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(4): 133-141.
- [20] 洪文龙,翟梦奇,李树炎,等.响应面法优化沙棘法式面包的配方研究[J].粮食与饲料工业,2018(11):25-28,45.
HONG Wenlong, ZHAI Mengqi, LI Shuyan, et al. Optimization of sea buckthorn French bread by response surface methodology[J]. Cereal & Feed Industry, 2018(11): 25-28, 45.
- [21] JANOTKOVÁ L, POTOČŇÁKOVÁ M, KREPS F, et al. Effect of sea buckthorn biomass on oxidation stability and sensory attractiveness of cereal biscuits[J]. BioResources, 2021, 16(3): 5097-5105.
- [22] 赵雪岩.利用沙棘(醋柳)树冠生产面包类食品[J].杭州食品科技,2004(1):33-34.
ZHAO Xueyan. Use of sea buckthorn (*Acanthopanax*) canopy to produce bread-based foods[J]. Hangzhou Food Science and Technology, 2004(1): 33-34.
- [23] PARK M G, JI H Y, JOO S Y. Quality and antioxidant properties of

- morning bread added with sourdough according to the mixing ratios of sea buckthorn leaf[J]. Korean Journal of Food Preservation, 2021, 28(5): 621–631.
- [24] GHENDOV–MOŞANU A, STURZA R, OPRİŞ O, et al. Effect of lipophilic sea buckthorn extract on cream cheese properties[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57(2): 628–637.
- [25] 米兰, 冯奥博, 盛文军, 等. 沙棘原浆冷冻浓缩工艺的响应面优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(1): 143–148, 155.
MI Lan, FENG Aobo, SHENG Wenjun, et al. Optimization of sea buckthorn juice freeze concentration process[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(1): 143–148, 155.
- [26] 陈越, 吴泽钰, 王静, 等. 新疆沙棘饮料与可乐对釉质脱矿的体外实验研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(16): 245–250.
CHEN Yue, WU Zeyu, WANG Jing, et al. Assessment of enamel demineralization after exposure to Xinjiang Sea buckthorn juice versus cola: An *in vitro* study[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(16): 245–250.
- [27] SHEN F, ZHUANG J C, WANG Q Q, et al. Enhancement in the metabolic profile of sea buckthorn juice via fermentation for its better efficacy on attenuating diet-induced metabolic syndrome by targeting gut microbiota[J]. Food Research International, 2022, 162: 111948.
- [28] SCHUBERTOVÁ S, KREPSOVÁ Z, JANOTKOVÁ L, et al. Exploitation of sea buckthorn fruit for novel fermented foods production: A review[J]. Processes, 2021, 9(5): 749.
- [29] 刘原野, 蔡文超, 张琴, 等. 乳酸菌对沙棘汁中酚酸及挥发性化合物的影响研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(11): 156–161.
LIU Yuanye, CAI Wenchao, ZHANG Qin, et al. Changes of phenolic acids and volatile compounds in sea buckthorn juice fermented by lactic acid bacteria[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(11): 156–161.
- [30] TKACZ K, CHMIELEWSKA J, TURKIEWICZ I P, et al. Dynamics of changes in organic acids, sugars and phenolic compounds and antioxidant activity of sea buckthorn and sea buckthorn–apple juices during malolactic fermentation[J]. Food Chemistry, 2020, 332: 127382.
- [31] 张娟, 张存存, 谭志超, 等. 不同浓缩方法对沙棘汁中活性成分含量的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(5): 70–75.
ZHANG Juan, ZHANG Cuncun, TAN Zhichao, et al. Effects of different concentration methods on the content of active components in seabuckthorn juice[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(5): 70–75.
- [32] 成少宁, 张增帅, 郭俊花, 等. 苹果–沙棘复合果汁益生菌发酵工艺与抗氧化性研究[J]. 饮料工业, 2022, 25(3): 51–56.
CHENG Shaoning, ZHANG Zengshuai, GUO Junhua, et al. Study on fermentation technology and antioxidant activity of apple–seabuckthorn compound juice probiotics[J]. Beverage Industry, 2022, 25(3): 51–56.
- [33] 敬思群, 王德萍, 陈琦. 沙棘饮料工艺研究[J]. 食品工程, 2010(1): 27–30.
JING Siqun, WANG Deping, CHEN Qi. Study on process technology of seabuckthorn beverages[J]. Food Engineering, 2010(1): 27–30.
- [34] 杜俊杰, 郑凤荣. 沙棘复合果汁饮料研制[J]. 饮料工业, 2010, 13(9): 16–18.
DU Junjie, ZHENG Fengrong. Development of compound *Hippophae* juice[J]. The Beverage Industry, 2010, 13(9): 16–18.
- [35] 郭成宇. 纯天然胡萝卜沙棘饮料[J]. 食品与机械, 2002, 18(5): 22, 17.
GUO Chengyu. Development of pure natural carrot and sea buckthorn beverage[J]. Food and Machinery, 2002, 18(5): 22, 17.
- [36] 夏霞, 单春会, 骆灵静. 沙棘红枣复合饮料发酵工艺初探[J]. 农产品加工, 2018(22): 21–23, 32.
XIA Xia, SHAN Chunhui, LUO Lingjing. Exploration on fermentation process of sea–buckthorn and jujube compound beverage[J]. Farm Products Processing, 2018(22): 21–23, 32.
- [37] GE X J, TANG N Y, HUANG Y X, et al. Fermentative and physicochemical properties of fermented milk supplemented with sea buckthorn (*Hippophae eleagnaceae* L.)[J]. LWT–Food Science and Technology, 2022, 153: 112484.
- [38] TERPOU A, PAPADAKI A, BOSNEA L, et al. Novel frozen yogurt production fortified with sea buckthorn berries and probiotics[J]. LWT–Food Science and Technology, 2019, 105: 242–249.
- [39] TKACZ K, WOJDYŁO A, TURKIEWICZ I P, et al. Anti-diabetic, anti-cholinesterase, and antioxidant potential, chemical composition and sensory evaluation of novel sea buckthorn–based smoothies[J]. Food Chemistry, 2021, 338: 128105.
- [40] 李琼. 沙棘果酒加工现状与发展对策[J]. 食品工程, 2020(3): 16–19.
LI Qiong. Processing status and development countermeasures of sea–buckthorn fruit wine[J]. Food Engineering, 2020(3): 16–19.
- [41] OLAS B. Sea buckthorn as a source of important bioactive compounds in cardiovascular diseases[J]. Food and Chemical Toxicology, 2016, 97: 199–204.
- [42] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 2015年版一部. 第十版. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 30, 184–185, 190, 310–311, 333.
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the Peoples Republic of China[M]. First part of the 2015 edition. Tenth Edition. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2015: 30, 184–185, 190, 310–311, 333.
- [43] SHEN C, WANG T, GUO F, et al. Structural characterization and intestinal protection activity of polysaccharides from Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries[J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 274: 118648.
- [44] 荀波娜, 谢茵, 李萍, 等. 基于多指标评价和正交设计法优化沙棘颗粒及其制备工艺[J]. 山西医科大学学报, 2018, 49(7): 832–835.
XUN Bona, XIE Yin, LI Ping, et al. Optimization of *Hippophae rhamnoides* granules and its preparation process based on multiple criteria evaluation and orthogonal design[J]. Journal of Shanxi Medical University, 2018, 49(7): 832–835.
- [45] ZHANG Q, ZHANG C B, LUO X M, et al. Protein stabilized seabuckthorn fruit oil Nanoemulsion: Preparation, characterization and performance research[J]. Food Bioscience, 2022, 46: 101597.
- [46] 梁国栋, 吴启进, 娜黑芽. 沙棘糖浆对食积症模型小鼠的消食化滞作用[J]. 药学研究, 2020, 39(9): 501–503, 539.
LIANG Guodong, WU Qijin, NA Heiya. Effect of Sea–buckthorn Syrup on digestion in dyspepsia mice model[J]. Journal of Pharmaceutical Research, 2020, 39(9): 501–503, 539.
- [47] MAFTEI N, DINICĂ R, BAHRIM G. Functional characterisation of fermented beverage based on soymilk and sea buckthorn syrup[J]. The Annals of the University of Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI Food Technology, 2012.
- [48] LIU Y Y, SHENG J, LI J J, et al. Influence of lactic acid bacteria on physicochemical indexes, sensory and flavor characteristics of fermented sea buckthorn juice[J]. Food Bioscience, 2022, 46: 101519.
- [49] 方萧. 沙棘干乳剂对食管癌前病变的阻断作用和 ANO1、EGFR 在食管癌变进程中的表达及其意义[D]. 济南: 山东大学, 2017.

- FANG Xiao. Effect of sea buckthorn dry emulsion on esophageal precancerous lesions and expression and significance of ANO1, EGFR in esophageal carcinogenesis[D]. Jinan: Shandong University, 2017.
- [50] 张伟伟, 李园园. 沙棘干乳剂联合布拉氏酵母菌治疗儿童轮状病毒性肠炎的效果及对免疫功能的影响[J]. 中国校医, 2022, 36(6): 452-455.
- ZHANG Weiwei, LI Yuanyuan. Effect of seabuckthorn dry emulsion combined with *Saccharomyces boulardii* in treatment of rotavirus enteritis in children and its influence on immune function[J]. Chinese Journal of School Doctor, 2022, 36(6): 452-455.
- [51] 郑速征, 白红丽, 单秋歌. 重组人干扰素 α -1b联合沙棘干乳剂治疗儿童病毒性腹泻疗效观察[J]. 新乡医学院学报, 2022, 39(1): 76-80.
- ZHENG Suzheng, BAI Hongli, SHAN Qiuge. Effect of recombinant human interferon α -1b combined with Shaji Ganruji in the treatment of children with viral diarrhea[J]. Journal of Xinxiang Medical University, 2022, 39(1): 76-80.
- [52] LEE H H L, LEE C J, CHOI S Y, et al. Inhibitory effect of sea buckthorn extracts on advanced glycation endproduct formation[J]. Food Chemistry, 2022, 373: 131364.
- [53] DUPAK R, HRNKOVA J, SIMONOVA N, et al. The consumption of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) effectively alleviates type 2 diabetes symptoms in spontaneous diabetic rats[J]. Research in Veterinary Science, 2022, 152: 261-269.
- [54] 崔米米, 武海丽, 李汉卿, 等. 沙棘源多酚的提取及其抗肿瘤活性测定[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2020, 43(3): 621-627.
- CUI Mimi, WU Haili, LI Hanqing, et al. Extraction of polyphenols from seabuckthorn and their antitumor activity assay[J]. Journal of Shanxi University (Natural Science Edition), 2020, 43(3): 621-627.
- [55] KORKUS E, DĄBROWSKI G, SZUSTAK M, et al. Evaluation of the anti-diabetic activity of sea buckthorn pulp oils prepared with different extraction methods in human islet EndoC- β cells[J]. NFS Journal, 2022, 27: 54-66.
- [56] GU Y J, WANG X X, LIU F, et al. Total flavonoids of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) improve MC903-induced atopic dermatitis-like lesions[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2022, 292: 115195.
- [57] 石佳, 于明晓, 徐昊, 等. 沙棘果油微胶囊化制备工艺的优化及其表征[J]. 食品工业科技, 2020, 41(7): 173-177, 184.
- SHI Jia, YU Mingxiao, XU Hao, et al. Optimization and characterization of microencapsulation technology for seabuckthorn fruit oil[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(7): 173-177, 184.
- [58] 侯兴琳, 张同军, 兰莹. 沙棘亚麻籽油软胶囊降血脂功能及其安全性评价[J]. 中国油脂, 2022, 47(11): 30-37, 79.
- HOU Xinglin, ZHANG Tongjun, LAN Ying. Lipid-lowering function and safety evaluation of sea buckthorn flaxseed oil soft capsule[J]. China Oils and Fats, 2022, 47(11): 30-37, 79.
- [59] CHANG M, GUO Y W, JIANG Z R, et al. Sea buckthorn pulp oil nanoemulsions fabricated by ultra-high pressure homogenization process: A promising carrier for nutraceutical[J]. Journal of Food Engineering, 2020, 287: 110129.
- [60] LYU X G, WANG Y X, GAO S W, et al. Sea buckthorn leaf extract on the stability and antioxidant activity of microencapsulated sea buckthorn oil[J]. Food Bioscience, 2022, 48: 101818.

加工编辑:张楠

收稿日期:2022-12-08