

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2021.11.038

沙棘活性成分、生理功能及开发利用研究进展

Research progress on the active compounds of sea buckthorn
and their physiological functions and utilization

宁志雪^{1,2} 牛广财^{1,2} 朱立斌^{1,2}

NING Zhi-xue^{1,2} NIU Guang-cai^{1,2} ZHU Li-bin^{1,2}

朱丹³ 魏文毅^{1,2} 王思溥^{1,2}

ZHU Dan³ WEI Wen-yi^{1,2} WANG Si-pu^{1,2}

(1. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319;

2. 黑龙江省农产品加工工程技术研究中心, 黑龙江 大庆 163319;

3. 黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院, 黑龙江 大庆 163319)

(1. Food College, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China;

2. Agri-Food Processing and Engineering Technology Research Center of Heilongjiang Province,

Daqing, Heilongjiang 163319, China; 3. College of Life Science and Technology, Heilongjiang Bayi

Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

摘要:文章对沙棘中的黄酮、多酚、多糖、维生素和饱和脂肪酸等活性成分及其抗炎、抗癌、调节免疫、抗衰老、抗氧化等多种生理功能进行了介绍,并总结了沙棘产品开发所面临的问题及相应的解决方法,可将沙棘开发成具有保健作用的果汁、果酒、沙棘油、酵素和酸奶等功能性产品,提高沙棘中各种活性成分的利用价值。

关键词:沙棘;活性成分;生理功能;产品开发;高值利用

Abstract: The active compounds in sea buckthorn such as flavonoids, polyphenols, polysaccharides, vitamins, unsaturated fatty acids were introduced in this review, and their physiological functions such as anti-inflammatory, anti-cancer, immune regulation, anti-aging and anti-oxidation were discussed. Moreover, the problems faced during the development of sea buckthorn products, and the relative solutions were also summarized. This can help the development of sea buckthorn as functional products such as juice, wine, sea buckthorn oil, Jiaosu and yogurt, and contribute to improving the utilization value of various active compounds in sea buckthorn.

Keywords: sea buckthorn; active compounds; physiological functions; product development; high-value utilization

沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)是胡颓子科沙棘属小浆果果树,又名醋柳、酸刺等,具有耐旱、抗风沙的特点,是一种“药食同源”植物,具有止咳、祛痰、祛巴达干等功效^[1-2]。研究^[3]表明,沙棘富含多种生理活性物质和营养成分,其中以黄酮类、多酚类、多糖以及维生素等较多。文章拟结合近年来国内外对沙棘的最新研究成果,从其活性成分、生理功能以及产品研发现状等角度对沙棘的研究进行简要综述,以期对沙棘的综合利用提供理论支持和帮助。

1 沙棘的活性成分及生理功能

1.1 沙棘黄酮及其生理功能

沙棘果黄酮主要是以异鼠李素、槲皮素、山奈酚为主的黄酮醇化合物及其衍生物^[4]。Ma等^[5]研究表明,蒙古沙棘亚种、中国沙棘亚种的平均总黄酮含量分别为19~92.62~266 mg/100 g。已有研究^[6]证明沙棘黄酮对炎症、肥胖、氧化应激损伤均有调节作用。

1.1.1 抗炎活性 沙棘的抗炎活性与其含有的黄酮类化合物密切相关^[7]。Jiang等^[8]研究表明沙棘黄酮可呈剂量依赖性地下调TNF- α 、IL-6、IL-1 β 的表达及p38应激蛋白、应激活化蛋白激酶jun的氨基末端激酶、NF- κ Ba抑制蛋白的磷酸化和降解。Ren等^[9]发现500 mg/kg的沙

基金项目:黑龙江省农垦总局重点科技开发项目(编号:HNK135-05-04);黑龙江八一农垦大学“三横三纵”平台支持计划项目(编号:PTJH201904);黑龙江八一农垦大学研究生创新科研项目(编号:YJSCX-Y74)

作者简介:宁志雪,女,黑龙江八一农垦大学在读硕士研究生。

通信作者:牛广财(1971—),男,黑龙江八一农垦大学教授,博士。

E-mail: gcnui@126.com

收稿日期:2021-04-11

棘总黄酮可以显著减少小鼠支气管肺泡液中中性粒细胞和巨噬细胞数量的增加,明显减轻炎症细胞浸润和支气管壁增生程度($P < 0.05$)。Li 等^[10]发现沙棘中的异鼠李素可抑制 NF- κ B 信号的激活来降低细胞因子(TNF- α , IL-1 β , IL-6)的表达,同时能减少炎症细胞数量、肺湿重与干重比、蛋白质渗漏和髓过氧化物酶活性。

1.1.2 改善肥胖 Xiao 等^[11]研究表明,沙棘黄酮提取物能上调 PPAR- γ 、PPAR- α 、ABCA 1 和 CPT1A 等 mRNA 的表达,下调 SREBP-2 及其靶基因 LDLR 的表达,抑制胆固醇从头合成并促进胆固醇向胆汁酸转化和外排。杨鑫^[12]发现 300 mg/kg 的沙棘籽黄酮能显著降低肥胖小鼠体重、血清甘油三酯水平、肝脏脂肪堆积及血糖水平的异常升高,对改善肥胖具有显著效果($P < 0.05$)。

1.1.3 降低氧化应激 Skalski 等^[13]发现沙棘中的异鼠李素衍生物化合物 1(异鼠李素 3-O- β -葡萄糖苷-7-O- α -鼠李糖苷)和化合物 2[异鼠李素-3-O- β -葡萄糖苷-7-O- α -(3'-异戊酰基)-鼠李糖苷]在质量浓度为 10 μ g/mL 时可降低 H₂O₂/Fe 诱导的血浆脂质过氧化值约 30%,40%,在质量浓度为 5,10 μ g/mL 时可降低蛋白质羰基化值约 25%,30%。张爽等^[14]发现 0.5 g/kg 的沙棘黄酮颗粒与 2~4 μ g/(kg·d)的硒联合使用能有效抑制细胞凋亡,对氧化应激具有显著的保护作用,可有效减轻大鼠子宫缺血再灌注损伤。

1.2 沙棘多酚及其生物活性

沙棘果中多酚主要是以原儿茶酸、没食子酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸等为主的酚酸^[15]。Criste 等^[16]发现 4 种沙棘浆果多酚含量为 9.86~18.79 mg/g,沙棘叶中总酚含量为 40.98~48.6 mg/g。沙棘多酚具有抗癌、降血脂和改善肠道菌群等生物活性。

1.2.1 抗癌 多酚物质作为一种氧化应激调节剂,在癌症的预防和治疗中发挥重要作用^[17]。Guo 等^[18]研究发现,沙棘果经消化到达结肠后总酚含量虽有所降低,但更多的黄酮醇类物质被释放出来,消化作用后酚类物质对肝癌细胞(HepG2)、人腺癌细胞(MCF-7、MDA-MB-231)和人结肠癌细胞(Caco-2)半数抑制浓度分别为 1.66, 2.05, 4.12, 9.22 mg/mL,比鲜果分提取物低很多。崔米米^[19]研究发现,沙棘果结合态多酚可通过干预调控 PKM2 的表达进一步降低肿瘤细胞对葡萄糖的消耗以及乳酸、ATP 的生成,进而发挥抗肿瘤活性。此外,多酚化合物具有甲基化抑制特性,可通过调节 *c-myc* 等关键基因的表达来影响肿瘤的发生^[20]。

1.2.2 缓解心血管疾病 吕恒慧^[21]发现沙棘提取物对心肌缺血再灌注损伤(MIRI)的保护作用主要归功于多酚类化合物,可通过降低血清中乳酸脱氢酶(LDH)、肌酸磷酸化酶同工酶(CK-MB)的浓度及抑制 Beclin-1、LC3-II 蛋白的表达减轻心肌细胞的病理损伤程度及其自噬行为,

有效缓解心脏缺血再灌注损伤。Yang 等^[22]发现 7~28 mg/kg 剂量的沙棘多酚能显著降低 eNOS、ICAM-1 和 LOX-1 的表达,并且还能通过降低血脂与增强抗氧化酶的活性来预防主动脉内皮功能障碍。

1.2.3 改善肠道菌群 富含多酚的食物可以影响肠道微生物生态,通过抑制或刺激特定的细菌种类可以缓解肠道菌群失衡,降低活性氧种类、炎症标志物、有害菌作用及结肠组织损伤,对维护肠道健康具有重要意义^[23-24]。Attri 等^[25]研究发现,沙棘汁多酚化合物对酸杆菌、类杆菌/普雷沃杆菌和双歧杆菌等有益微生物种群均有增加数量及多样性的积极影响。

1.3 沙棘多糖及其生物活性

Tkacz 等^[4]利用高效液相色谱法对产自波兰的 6 个沙棘品种的果实中的糖量进行检测,其含糖量为 1.34~2.87 g/100 g FW,且果实糖组分以葡萄糖为主,占糖总量的 86.58%~92.68%。沙棘多糖的生物活性主要在调节免疫、护肝和抗疲劳等方面。

1.3.1 调节免疫 王蓉等^[26]发现 400 μ g/mL 的沙棘多糖可通过提高免疫细胞活力、增强巨噬细胞的吞噬能力显著提高小鼠机体免疫力($P < 0.05$)。武美馥^[27]将 RAW264.7 细胞培养于不同浓度的沙棘多糖组分 HRP-2 中,通过 3-(4,5-二甲基噻唑-2)-2,5-二苯基四氮唑溴盐法检测到 HRP-2 在 400~800 g/mL 质量浓度范围内,细胞吞噬指数、增殖活性与 HRP-2 呈剂量依赖关系,说明沙棘多糖具有调节免疫作用。

1.3.2 护肝 Wang 等^[28]发现沙棘多糖可提升超氧化物歧化酶(SOD)活性、SOD-2 蛋白表达及 Bcl-2/Bax 比值,有效缓解 APAP 诱导的肝结构破损、肝细胞坏死、出血和炎性细胞浸润现象。Zhang 等^[29]研究发现沙棘多糖可显著下调血清中 NF- κ B、p38 MAPK、JNK、ERK、TLR4、TNF- α 、IL-1 β 、iNOS、NO 及 MDA 的表达和积累,上调 SOD、GSH-Px、GSH 及 PALB 水平,有效缓解 CCl₄ 诱导的肝毒性,并呈剂量依赖性地缓解肝坏死、脂肪变性,恢复肝结构完整性,具有治疗慢性或急性肝损伤潜力。Yuan 等^[30]发现沙棘多糖可呈剂量依赖性地缓解由脂质代谢紊乱引起的肝脏肿大。

1.3.3 抗疲劳 刘雅娜等^[31]揭示沙棘多糖对小鼠运动性疲劳有明显的保护作用,与空白对照组相比,200 mg/kg 的沙棘多糖可增加肝糖原含量,降低血清尿素氮、血乳酸含量,显著缓解体力疲劳、增强运动能力。同时,王海亮^[32]发现沙棘多糖可在不影响神经兴奋的前提下提高小鼠不动时间,一定程度上缓解由强迫游泳诱导的肝脏重量减轻。

1.4 沙棘维生素及其生物活性

沙棘中维生素含量非常丰富,总类胡萝卜素、维生素 C、维生素 E 含量分别达到 61.764~508.301^[4],2 650~

3 200^[33], 6.98~29.91^[34] mg/g。沙棘中的维生素具有抗衰老和抗氧化等生物活性。

1.4.1 抗衰老 Tkacz 等^[4]发现沙棘提取物对乙酰胆碱酯酶(AChE)的抑制率为 41.00%~63.37%,对丁胆碱酯酶(BuChE)的抑制率为 98.48%~99.01%,AChE 抑制率和酚酸含量之间的皮尔逊相关系数较低($r=0.268, 0.226$),类胡萝卜素的相关系数中等($r=0.504, 0.437$)。说明富含类胡萝卜素的沙棘果实可能是抗衰老和防范治疗许多神经退行性疾病的功能性新产品及药品的组成部分。陈国全等^[35]发现质量分数为 12.5%的维生素 E 可明显提升大鼠的学习能力,且维生素 E 比大豆异黄酮更能提高衰老小鼠肝脏的抗氧化能力^[36]。

1.4.2 抗氧化 汪成等^[37]发现总黄酮和维生素 C 含量为 8.704%的青海西宁产沙棘果的 Trolox 值为 432.71,总黄酮和维生素 C 含量为 0.933%的新疆巴克图产沙棘果的 Trolox 值为 202.76,说明沙棘果中总黄酮和维生素 C 含量与抗氧化活性具备一致性,而总黄酮与维生素 C 分别单独比较时,与抗氧化活性相关性不强。Irena 等^[30]研究表明沙棘中的维生素 C 具有显著的抗氧化活性,与 DPPH 自由基($r=0.824 7$)、脂溶性抗氧化能力($r=0.929 2$)和水溶性抗氧化能力($r=0.912 6$)之间有非常强的相关性,其主要原因可能是产地、品种等因素的不同造成的,还需进一步深入研究。Górnas 等^[38]发现沙棘饮料中总生育酚含量与清除 DPPH 自由基能力显著相关($r=0.968$),表明生育酚浓度与样品抗氧化活性密切相关。Nowak 等^[39]发现维生素 C 和多酚类物质在决定沙棘果汁的抗氧化性能上具有协同作用,在降低氧化应激和预防各种疾病方面发挥重要作用。

1.5 沙棘不饱和脂肪酸及其生物活性

沙棘中不饱和脂肪酸含量丰富,果油中以棕榈油酸(36.65%)、棕榈酸(27.11%)、油酸(18.14%)和癸二酸(8.69%)为主^[40],而种子油中以亚油酸(33.04%)、 α -亚麻酸(28.68%)、油酸(25.13%)和棕榈酸(9.35%)为主^[41]。沙棘不饱和脂肪酸在增强免疫与降血脂等方面发挥重要作用。

1.5.1 增强免疫 Dannenberger 等^[42]发现,沙棘中 $n-3$ 多不饱和脂肪酸对长白猪血浆中的免疫参数免疫影响显著,但是在应激状态下,如慢性炎症状态,沙棘果渣中 $n-3$ 多不饱和脂肪酸可能会促进炎症细胞因子的蛋白质和基因表达,发挥抗炎特性,说明沙棘有改善免疫系统的功能。Mohtashami 等^[43]研究发现, $n-6$ 多不饱和脂肪酸能提高犊牛的采食量和生长性能,而 $n-3$ 多不饱和脂肪酸能提高犊牛的免疫功能。因此,对沙棘中不饱和脂肪酸进行应用时可通过调整 $n-3$ 与 $n-6$ 多不饱和脂肪酸的比例获得最佳的生长性能和免疫功能。

1.5.2 降血脂 Gao 等^[44]研究表明,沙棘果油提取物能

影响 AMPK 和 Akt 通路关键基因的表达,促进 AMPK 和 Akt 蛋白的磷酸化;且呈剂量依赖性地控制体重和脂肪组织质量,减轻脂肪堆积,并能提高总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇和非高密度脂蛋白胆固醇水平。Souza 等^[45]研究表明使用棕榈油酸治疗可对肥胖小鼠肝脏胰岛素敏感性有显著改善作用,300 mg/kg·BW 的棕榈油酸通过激活 5'AMP-活化蛋白激酶和 FGF-21 蛋白刺激肝脏摄取葡萄糖,同时抑制肝脏中脂肪的生成,对于控制胰岛素抵抗和减少肝脏脂质异位沉积至关重要。因此,对于富含棕榈酸的沙棘来说,对降血脂的非药物治疗具有重要作用。

2 沙棘的开发利用现状

2.1 果汁

沙棘汁生产过程中,产品易出现分层、生物活性物质流失等现象,会降低产品的营养价值和商品价值。Abliz 等^[46]发现,当样品在 150 MPa 压力下处理一次或两次时,总类胡萝卜素含量与对照组相比无显著变化,使果汁均匀、稳定的同时,也提高了其加工性能和营养特性。刘鑫等^[47]发现当添加质量分数分别为 0.14%,0.14%,0.24%的黄原胶、果胶和阿拉伯胶时,制得的沙棘果汁粒径 90%分布在 4.92 μm 以下,稳定性最好。徐瑶^[48]采用超高压酶解生产果汁,当果胶酶添加量为 12 000 U/kg、超高压压力为 140 MPa、保压时间为 2.5 h、酶解温度为 40 $^{\circ}\text{C}$ 时,沙棘汁的透光率、维生素 C 保留率分别可达 59.68%,88.16%,杀菌率在 99%以上,可有效保持沙棘汁品质。此外,朱立斌等^[49]以沙棘为主要原料,辅以蜂蜜、蔗糖、柠檬酸等制备的沙棘果汁饮料,具有较好的沙棘特征香气和风味,酸甜适口,色泽橙黄亮丽,状态均匀一致。

2.2 果酒

沙棘酒在贮藏过程中会发生非酶褐变,导致产品色泽风味变差、营养价值降低。亚硫酸盐与二氧化硫常被应用于传统果酒抑制非酶褐变,但出于对食品安全性的考虑,寻找无害化、天然的抑制剂是十分有必要的。闫公昕等^[50]发现维生素 C 是最有效的沙棘酒非酶褐变抑制剂。但添加维生素 C 的沙棘酒总酚含量明显升高,总酚含量与非酶促褐变程度呈正相关^[51]。维生素 C 被应用于抑制沙棘酒非酶促褐变,可能是因为它作为一种抗氧化剂能抑制酚酶的催化作用,可以防止醌的积累及进一步聚合,有效抑制褐变。沙棘中酸度过高会使酿造的沙棘酒口感下降、出现浑浊,因此,降低沙棘酒中酸度是一个值得研究的问题。已有研究^[52]表明发酵时间、发酵温度、发酵菌种及接种量、原辅料等多种因素对沙棘酒感官品质均具有一定影响。徐敏等^[53]利用乳酸菌与酵母菌($m_{\text{乳酸菌}} : m_{\text{酵母菌}} = 3 : 5$)联合发酵的方法制备沙棘酒,当发酵温度为 30 $^{\circ}\text{C}$ 、发酵时间为 96 h 时,酿造得到的沙棘酒酸度为 59 $^{\circ}\text{T}$,感官评分可达 93 分。此外,将沙棘果进

行复配发酵也可有效降低果酒中的酸度。孙诗雨^[54]将红枣与沙棘果进行复合发酵酿造果酒,当发酵温度为 25.73 °C、 $V_{\text{沙棘汁}}:V_{\text{红枣果浆}}$ 为 1.00:3.26、初始 pH 3.80、可溶性固形物为 22.43% 时,得到的复合果酒残糖量为 8.9 g/L、总酸度为 7.8 g/L,不仅风味独特、营养价值高,还在一定程度上减轻了沙棘中的酸度,避免了加入大量白砂糖及降酸试剂。此外,沙棘酒在贮藏期间还有浑浊、沉淀等问题,需经过澄清处理。李若琳等^[55]发现沙棘冰酒的最佳澄清参数为果胶酶添加量 0.1%、明胶添加量 0.2%、壳聚糖添加量 0.02%,此时沙棘冰酒透光率达 96.9%。

2.3 沙棘油

沙棘籽油和果油的提取工艺耗时长、出油率低,而且产品的水溶性差、稳定性较差,容易降解,限制了沙棘籽油和果油在食品等领域的应用。李尚泽等^[56]采用超高压辅助法对沙棘籽油进行浸提,以石油醚为溶剂,当超高压压力为 458 MPa、保压时间为 6.2 min、料液比为 1:37 (g/mL) 时,沙棘籽油得率可达 15.68%。Ren 等^[57]采用脂肪抽提法提取沙棘籽油,当沙棘籽质量为 1.40 g、粉碎时间为 11 s、浸泡时间为 26 min、提取时间为 4 h、提取温度为 70 °C、石油醚为提取溶剂时,沙棘籽油提取率可达 6.56%。朱彦蓉等^[58]以石油醚为溶剂,当料液比为 1:14 (g/mL)、原料粒度为 60~80 目、提取时间为 3 h 时,沙棘籽油提取率可达 11.09%。

Chang 等^[59]采用超高压均质技术,利用酪蛋白酸钠作为乳化剂在均化压力为 100 MPa、循环次数为 4 次时得到的沙棘果油纳米乳液能有效减轻 pH、盐度、高温和贮藏期对稳定性的影响,并且细胞抗氧化活性(CAA)为 238.03~310.54 $\mu\text{mol QE/g}$,表现出良好的抗氧化性。Xu 等^[60]以阿拉伯树胶和麦芽糊精为壁材,当 $m_{\text{阿拉伯胶}}:m_{\text{麦芽糊精}}$ 为 2.38:1.00、总固形物含量为 39%、壁芯比为 5.33、进气温度为 154 °C 时,沙棘果油微胶囊具有较好的稳定性,且喷雾干燥前后沙棘果油中主要脂肪酸含量无显著差异,同时,喷雾干燥法制备的微胶囊能有效防止沙棘果油的氧化,延长果油的货架期。

2.4 酵素

沙棘酵素在市面上的普及率较低,而且至今还没有成熟的沙棘酵素生产工艺,在沙棘酵素自然发酵及后期制作过程中的微生物菌群比较复杂,导致发酵不可控,甚至会出现产品质量安全问题。张琪等^[61]采用 Illumina Miseq 高通量测序技术对采用 Pectinex BEXXL 果胶酶自然发酵的不同发酵时期的沙棘酵素液中微生物种类及丰度进行检测时发现,发酵前期细菌群落结构比较单一,属水平上以 *norank_f_norank_o_Chloroplast* 为绝对优势菌,发酵中后期随着渗透压等发酵条件的改变,细菌群落丰富度和多样性逐渐升高,如 *Ralstonia* 属和 *unclassified*

_k_norank_d_Bacteria 属比例有所提升。由此可见,自然发酵的沙棘酵素,发酵过程中的微生物比较复杂,了解沙棘酵素自然发酵过程中微生物群落的变化规律有助于筛选出人工接种的优良菌株来生产高质量的沙棘酵素产品。

人工接种混菌进行共生发酵能够突出沙棘酵素的特色和风味,这将是该产品工业化生产的最佳选择。葛朋焯^[62]对沙棘果汁酵素的生产工艺进行了优化,当沙棘果汁在初始温度 30 °C、初始 pH 3.5、接种 0.15% 酵母菌,发酵 16 h 后,将发酵液温度控制在 37 °C,加入 0.5% 干酪乳杆菌,在 pH 3.5 条件下二次发酵(24 h),再将发酵液进行真空冷冻干燥制成沙棘果汁酵素粉后,其蛋白酶、超氧化物歧化酶、脂肪酶均表现较强活性,干酪乳杆菌数量也达到 $(9.0\pm 0.5)\times 10^8$ CFU/g。王巨成^[63]发现在采用乳酸菌、酵母菌、根霉菌单独发酵制得的沙棘果泥酵素风味和功能不如多种菌混合发酵,酵母菌与乳酸菌混合菌发酵的最优工艺参数为发酵温度 37 °C、发酵时间 40 h、0.01% 酵母菌粉和 0.1% 乳酸菌粉,制备的沙棘果泥酵素不仅品质稳定、无杂菌生长,符合产品质量标准,且总黄酮含量由原浆的 7.294 mg/mL 上升为 11.187 mg/mL。朱丹丹^[64]以沙棘果渣酶解液为发酵底物,当酵母菌接种量为 0.15%,发酵 16 h 后,接入 0.5% 干酪乳杆菌,再经 20 h 发酵制得的沙棘果渣酵素中干酪乳杆菌数量为 8.7×10^8 CFU/mL,大肠杆菌数 <100 CFU/g,表明酵素在发酵过程中抑制杂菌的同时,使干酪乳杆菌数量增加至最高,充分发挥其功能特性。综上,将优良复合菌种和成熟的发酵技术应用于酵素产品的生产中,可以大幅度提高酵素的产品质量,因此,酵素产品是沙棘未来发展的重点产品之一。

2.5 酸奶

林祥群等^[65]在沙棘果汁添加量 10%、蔗糖添加量 10%、保加利亚乳杆菌及嗜热链球菌接种量 4%、发酵时间 4 h 的工艺条件下制得的沙棘果汁酸奶凝固状态良好、无乳清析出,维生素 C 含量达 3.67 mg/100 g,蛋白质含量由 2.88% 升至 2.91%,具有较高营养价值,有效解决了在凝固型酸奶制作过程中通常会遇到酸奶凝固不佳,蛋白质含量显著下降的问题。周勇等^[66]在沙棘多糖添加量为 0.15%、发酵时间 7 h、发酵温度 42 °C、保加利亚乳杆菌及嗜热链球菌接种量 0.1% 的工艺条件下得到的酸奶质构特性良好、组织均匀,避免了沙棘常温饮用型酸奶在贮藏过程中易出现乳清析出、蛋白质聚集沉淀等现象,满足了消费者对沙棘酸奶产品的品质需求。此外,刘晨^[67]研究发现,低温长时发酵沙棘酸奶酸度较低,且总酚含量明显高于高温发酵酸奶,在使酸奶品质和口感更好的同时,让沙棘汁的活性成分得以更好保留。

3 结论与展望

沙棘作为一种药食同源植物,富含多种营养成分和

生物活性物质,具有诸多生理功能,现已成为医药、食品等领域的研究热点。近年来,对沙棘果中生物活性成分分离、纯化和功能评价等方面的研究比较深入。但是,沙棘果中一些活性成分的量效及构效关系尚不明确,沙棘果中活性成分的实际应用和相关功能性产品的开发方面仍有很大的空间。因此,需要深入研究沙棘中各种活性成分的高效提取与资源的高值利用,有针对性地开发各种保健产品,使沙棘得到更好的应用,创造更大的社会效益。

参考文献

- [1] 任青措. 藏药沙棘总黄酮对“罗乃提波”(慢性支气管炎)气道炎症及黏液分泌的调节机制研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2019: 1-84.
REN Qing-cuo. The regulatory mechanisms of total flavonoids from sea buckthorn on airway inflammation and mucus secretion in “Lounitepo” (chronic bronchitis) [D]. Chengdu: Chengdu University of TCM, 2019: 1-84.
- [2] 通拉嘎, 苏龙嘎, 杨德志, 等. 沙棘五味散治疗下呼吸道疾病理论初探[J]. 中国民族医药杂志, 2021, 27(2): 55-58.
LA Tong-ga, SU Long-ga, YANG De-zhi, et al. Preliminary study on the theory of sea buckthorn Wuwei powder in the treatment of lower respiratory tract diseases[J]. Journal of Medicine & Pharmacy of Chinese Minorities, 2021, 27(2): 55-58.
- [3] 胡高爽, 高山, 王若桦, 等. 沙棘活性物质研究及开发利用现状[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(3): 218-224.
HU Gao-shuang, GAO Shan, WANG Ruo-hua, et al. Research on development and utilization of active substances in sea buckthorn [J]. Food Research and Development, 2021, 42(3): 218-224.
- [4] TKACZ K, WOJDYŁO A, TURKIEWICZ I P, et al. UPLC-PDA-Q/TOF-MS profiling of phenolic and carotenoid compounds and their influence on anticholinergic potential for AChE and BuChE inhibition and on-line antioxidant activity of selected *Hippophae rhamnoides* L. cultivars[J]. Food Chemistry, 2020, 309: 1-11.
- [5] MA Xue-ying, LAAKSONEN O, ZHENG Jie, et al. Flavonol glycosides in berries of two major subspecies of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) and influence of growth sites[J]. Food Chemistry, 2016, 200: 189-198.
- [6] 付依依, 苑鹏, 夏凯, 等. 沙棘的功效成分及生物学功效评价研究进展[J]. 现代食品, 2021(7): 39-42.
FU Yi-yi, YUAN Peng, XIA Kai, et al. Research progress on sea-buckthorn's functional components and biological efficacy evaluation[J]. Modern Food, 2021(7): 39-42.
- [7] 徐凤英, 王玉珍, 王昕旭, 等. 沙棘黄酮对 LPS 与 ATP 诱导的巨噬细胞炎症中 NLRP3 信号转导通路的影响[C]// 第十三届全国免疫学学术大会. 上海: 中国免疫学会, 2018: 1.
XU Feng-ying, WANG Yu-zhen, WANG Xin-xu, et al. Effects of seabuckthorn flavonoids on NLRP3 signal transduction pathway in LPS and ATP induced macrophage inflammation[C]// The 13th National Conference on Immunology. Shanghai: Chinese Society for Immunology, 2018: 1.
- [8] JIANG Fan, GUAN Hai-ning, LIU Dan-yi, et al. Flavonoids from sea buckthorn inhibit the lipopolysaccharide-induced inflammatory response in RAW264.7 macrophages through the MAPK and NF- κ B pathways[J]. Food & Function, 2017, 8(3): 1 313-1 322.
- [9] REN Qing-cuo, LI Xuan-hao, LI Qiu-yue, et al. Total flavonoids from sea buckthorn ameliorates lipopolysaccharide/cigarette smoke-induced airway inflammation[J]. Phytotherapy Research, 2019, 33(8): 2 102-2 117.
- [10] LI YANG, CHI Ge-fu, SHEN Bing-yu, et al. Isorhamnetin ameliorates LPS-induced inflammatory response through downregulation of NF- κ B signaling[J]. Inflammation, 2016, 39(4): 1 291-1 301.
- [11] XIAO Ping-ting, LIU Shi-yu, KUANG Yu-jia, et al. Network pharmacology analysis and experimental validation to explore the mechanism of sea buckthorn flavonoids on hyperlipidemia [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2021, 264: 1-16.
- [12] 杨鑫. 沙棘籽黄酮对机体脂代谢的调控及机理探究[D]. 上海: 华东师范大学, 2016: 1-120.
YANG Xin. Effects of flavonoid from seed of *Hippophae rhamnoides* L. on lipid metabolism and its mechanism[D]. Shanghai: East China Normal University, 2016: 1-120.
- [13] SKALSKI B, LIS B, PECIO Ł, et al. Isorhamnetin and its new derivatives isolated from sea buckthorn berries prevent H₂O₂/Fe-Induced oxidative stress and changes in hemostasis[J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 125: 614-620.
- [14] 张爽, 王冬. 沙棘黄酮+硒对大鼠子宫缺血再灌注损伤的修复作用研究[J]. 中国全科医学, 2019, 22(增刊 2): 32-34.
ZHANG Shuang, WANG Dong. Study on the repair effects of *Hippophae rhamnoides* flavone and selenium on uterine ischemia-reperfusion injury in rats[J]. Chinese General Practice, 2019, 22(S2): 32-34.
- [15] 苏海兰, 魏娟, 毕阳, 等. 超声波辅助提取中国沙棘浆果多酚的工艺优化及其成分分析[J]. 食品与发酵科技, 2017, 53(6): 34-41.
SU Hai-lan, WEI Juan, BI Yang, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of polyphenols from Chinese seabuckthorn berries and composition analysis[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2017, 53(6): 34-41.
- [16] CRISTE A, URCAN A C, BUNEA A, et al. Phytochemical composition and biological activity of berries and leaves from four Romanian sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) varieties[J]. Molecules, 2020, 25(5): 1-21.
- [17] TASCIOGLU Aliyev A, PANIERI E, STEPANIC V, et al. Involvement of NRF2 in breast cancer and possible therapeutical role of polyphenols and melatonin[J]. Molecules, 2021, 26(7): 1-18.
- [18] GUO Rui-xue, CHANG Xiao-xiao, GUO Xin-bo, et al. Phenolic compounds, antioxidant activity, antiproliferative activity and bioaccessibility of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries as affected by in vitro digestion[J]. Food & Function, 2017, 8(11): 4 229-4 240.
- [19] 崔米米. 沙棘果结合态多酚抗结肠癌效应的活性成分及分子

- 机制[D]. 太原: 山西大学, 2020: 1-73.
- CUI Mi-mi. The anti-colon cancer active components and molecular mechanism of bound polyphenols from seabuckthorn berries[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2020: 1-73.
- [20] VAN DEN Veyver I B. Genetic effects of methylation diets[J]. Annual Review of Nutrition, 2002, 22(1): 255-282.
- [21] 吕恒慧. 沙棘果中活性物质的提取及其对心脏保护作用的研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2016: 1-61.
- LU Heng-hui. Study of bioactive components extracted from sea buckthorn and cardiac protective effect on hearts[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2016: 1-61.
- [22] YANG Fang, SUO You-rui, CHEN Dong-li, et al. Protection against vascular endothelial dysfunction by polyphenols in sea buckthorn berries in rats with hyperlipidemia [J]. Bioscience Trends, 2016, 10(3): 1-9.
- [23] MAHAJAN R, ATTRI S, SHARMA K, et al. Statistical assessment of DNA extraction methodology for culture-independent analysis of microbial community associated with diverse environmental samples[J]. Molecular Biology Reports, 2018, 45(3): 297-308.
- [24] 李浩, 彭喜洋, 吴湃莹, 等. 植物多酚对肠道微生态影响的研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 222-226, 236.
- LI Hao, PENG Xi-yang, WU Pai-xuan, et al. Progress on effects of plant polyphenols on intestinal microecology [J]. Food & Machinery, 2019, 35(6): 222-226, 236.
- [25] ATTRI S, GOEL G. Influence of polyphenol rich seabuckthorn berries juice on release of polyphenols and colonic microbiota on exposure to simulated human digestion model[J]. Food Research International, 2018, 111: 314-323.
- [26] 王蓉, 李胜男, 陈春, 等. 沙棘多糖对巨噬细胞和免疫抑制小鼠的免疫调节作用研究[J]. 中南药学, 2020, 18(3): 384-388.
- WANG Rong, LI Sheng-nan, CHEN Chun, et al. Immunomodulatory effect of *Hippophae rhamnoides* polysaccharide on the macrophages and cyclophosphamide-induced immunocompromised mice[J]. Central South Pharmacy, 2020, 18(3): 384-388.
- [27] 武美馥. 响应面优化闪式提取沙棘多糖工艺及其生物活性的研究[D]. 吉林: 吉林化工学院, 2019: 1-68.
- WU Mei-fu. Response surface methodology for flash extraction of *Hippophae rhamnoides* linn. polysaccharide and its biological activity[D]. Jilin: Jilin Institute of Chemical Technology, 2019: 1-68.
- [28] WANG Xue, LIU Jing-ran, ZHANG Xiao-hui, et al. Seabuckthorn berry polysaccharide extracts protect against acetaminophen induced hepatotoxicity in mice via activating the Nrf2/HO-1-SOD-2 signaling pathway[J]. Phytomedicine, 2018, 38: 90-97.
- [29] ZHANG Wei, ZHANG Xiao-hui, ZOU Kai, et al. Seabuckthorn berry polysaccharide protects against carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in mice via anti-oxidative and anti-inflammatory activities[J]. Food & Function, 2017, 8(9): 3130-3138.
- [30] YUAN Huai-bo, ZHU Xi-ping, WANG Wen-juan, et al. Hypoglycemic and anti-inflammatory effects of sea buckthorn seed protein in diabetic ICR mice[J]. Food & Function, 2016, 7(3): 1610-1615.
- [31] 刘雅娜, 包晓玮, 王娟, 等. 沙棘多糖抗运动性疲劳及抗氧化作用的研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(10): 321-326.
- LIU Ya-na, BAO Xiao-wei, WANG Juan, et al. Anti exercise fatigue and antioxidant of polysaccharide from *Hippophae rhamnoides*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 321-326.
- [32] 王海亮. 沙棘多糖对神经系统相关疾病的药效学研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019: 1-100.
- WANG Hai-liang. Pharmacodynamic studies of *Hippophae rhamnoides* L on nervous system related diseases[D]. Changchun: Jilin University, 2019: 1-100.
- [33] GUO Rui-xue, GUO Xin-bo, LI Tong, et al. Comparative assessment of phytochemical profiles, antioxidant and antiproliferative activities of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries[J]. Food Chemistry, 2017, 221: 997-1003.
- [34] SYTAROVÁ I, ORSAVOVÁ J, SNOPEK L, et al. Impact of phenolic compounds and vitamins C and E on antioxidant activity of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries and leaves of diverse ripening times[J]. Food Chemistry, 2020, 310: 1-34.
- [35] 陈国全, 黄榕祥, 沈金清, 等. 不同浓度的维生素 E 对衰老大鼠海马体记忆功能的影响[J]. 中国中医药现代远程教育, 2020, 18(21): 113-116.
- CHEN Guo-quan, HUANG Rong-xiang, SHEN Jin-qing, et al. Effects of different concentrations of vitamin E on memory function in hippocampus of aging rats [J]. Chinese Medicine Modern Distance Education of China, 2020, 18(21): 113-116.
- [36] 刘思彤, 刘亚辉, 尹学哲, 等. 大豆异黄酮和维生素 E 提高衰老小鼠肝脏抗氧化能力比较[J]. 大豆科学, 2020, 39(5): 797-803.
- LIU Si-tong, LIU Ya-hui, YIN Xue-zhe, et al. Comparison on the effects of soy isoflavones and vitamin E on hepatic antioxidant capacity of aging mice[J]. Soybean Science, 2020, 39(5): 797-803.
- [37] 汪成, 王怀友, 汪蔓青, 等. 不同产地沙棘果化学成分含量及抗氧化活性的研究[J]. 华西药理学杂志, 2020, 35(5): 513-517.
- WANG Cheng, WANG Huai-you, WANG Man-qing, et al. Study on content of major chemical constituents and anti-oxidation activities of sea buckthorn fruit [J]. West China Journal of Pharmaceutical Sciences, 2020, 35(5): 513-517.
- [38] GÓRNAS P, MIŠINA I, KRASNOVA I, et al. Tocopherol and tocotrienol contents in the sea buckthorn berry beverages in Baltic countries: Impact of the cultivar[J]. Fruits, 2016, 71(6): 399-405.
- [39] NOWAK D, GOSLINSKI M, WOJTCOWICZ E, et al. Antioxidant properties and phenolic compounds of vitamin C-rich juices[J]. Journal of Food Science, 2018, 83(8): 2237-2246.
- [40] ZHENG Li, SHI Long-kai, ZHAO Chen-wei, et al. Fatty acid, phytochemical, oxidative stability and in vitro antioxidant property of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) oils extracted by supercritical and subcritical technologies[J]. LWT, 2017, 86: 507-513.
- [41] 刘光宪, 周中英, 祝水兰, 等. 沙棘籽油微胶囊的制备及其性质研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 194-197.
- LIU Guang-xian, ZHOU Jin-ying, ZHU Yong-lan, et al. Preparation and properties of spray dried sea-buckthorn seed oil

- microcapsules[J]. Food & Machinery, 2017, 33(8): 194-197.
- [42] DANNENBERGER D, TUCHSCHERER M, NÜRNBERG G, et al. Sea buckthorn pomace supplementation in the diet of growing pigs: Effects on fatty acid metabolism, HPA activity and immune status[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19(2): 1-12.
- [43] MOHTASHAMI B, KHALILVANDI-BEHROOZYAR H, PIRMOHAMMADI R, et al. The effect of supplemental bioactive fatty acids on growth performance and immune function of milk-fed Holstein dairy calves during heat stress[J/OL]. British Journal of Nutrition, (2021-03-16) [2021-08-16]. <https://doi.org/10.1017/S0007114521000908>.
- [44] GAO Shan, HU Gao-shuang, LI Dong, et al. Anti-hyperlipidemia effect of sea buckthorn fruit oil extract through the AMPK and Akt signaling pathway in hamsters[J]. Journal of Functional Foods, 2020, 66: 1-8.
- [45] DE SOUZA C O, TEIXEIRA A A S, BIONDO L A, et al. Palmitoleic acid improves metabolic functions in fatty liver by PPARRb-dependent AMPK activation[J]. Journal of Cellular Physiology, 2017, 232(8): 2 168-2 177.
- [46] ABLIZ A, LIU Jin-fang, MAO Li-ke, et al. Effect of dynamic high pressure microfluidization treatment on physical stability, microstructure and carotenoids release of sea buckthorn juice[J]. LWT, 2021, 135: 1-35.
- [47] 刘鑫, 朱丹, 魏文毅, 等. 沙棘浑浊果汁稳定性的研究[J]. 中国酿造, 2018, 37(6): 136-139.
- LIU Xin, ZHU Dan, WEI Wen-yi, et al. Research on the stability of turbid sea buckthorn juice[J]. China Brewing, 2018, 37(6): 136-139.
- [48] 徐瑶. 超高压辅助酶解对沙棘汁品质的影响[J]. 农产品加工, 2019(23): 43-45.
- XU Yao. Effect of ultra high pressure enzymolysis on the quality of seabuckthorn juice[J]. Agricultural Products Processing, 2019(23): 43-45.
- [49] 朱立斌, 朱丹, 牛广财, 等. 沙棘果汁饮料的研制及其抗氧化活性研究[J]. 饮料工业, 2020, 23(2): 45-50.
- ZHU Li-bin, ZHU Dan, NIU Guang-cai, et al. Preparation and antioxidant activity of sea buckthorn juice beverage[J]. The Beverage Industry, 2020, 23(2): 45-50.
- [50] 闫公昕, 牛广财, 朱丹, 等. 沙棘酒非酶褐变抑制方法的研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(8): 57-60.
- YAN Gong-xin, NIU Guang-cai, ZHU Dan, et al. Non-enzymatic browning inhibition method of sea buckthorn wine [J]. China Brewing, 2016, 35(8): 57-60.
- [51] DE PAEPE D, COUADIJZER K, NOTEN B, et al. A comparative study between spiral-filter press and belt press implemented in a cloudy apple juice production process[J]. Food Chemistry, 2015, 173: 986-996.
- [52] 范兆军, 牛广财, 朱丹, 等. 响应面法优化沙棘果酒发酵条件的研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(1): 41-45.
- FAN Zhao-jun, NIU Guang-cai, ZHU Dan, et al. Study on the impact of fermentation process to sea buckthorn icewine quality[J]. Food & Machinery, 2009, 25(1): 41-45.
- [53] 徐敏, 杜金城, 丁秀云, 等. 乳酸菌联合酵母菌发酵制备一种新型沙棘酒[J]. 中国酿造, 2016, 35(1): 174-176.
- XU Min, DU Jin-cheng, DING Xiu-yun, et al. Preparation of a new type seabuckthorn wine fermented by lactic acid bacteria and yeast[J]. China Brewing, 2016, 35(1): 174-176.
- [54] 孙诗雨. 红枣沙棘果酒酿造工艺优化研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017: 1-56.
- SUN Shi-yu. Ziziphus jujuba fruit wine fermentation process optimization research[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017: 1-56.
- [55] 李若琳, 赵诗琪, 陈汉, 等. 不同澄清剂对沙棘冰酒澄清效果的研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2017, 29(3): 53-57.
- LI Ruo-lin, ZHAO Shi-qi, CHEN Han, et al. Effect of different clarifying agent on sea buckthorn icewine clarification[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2017, 29(3): 53-57.
- [56] 李尚泽, 舒鑫, 杨琳, 等. 超高压辅助提取沙棘籽油的工艺优化[J]. 中国油脂, 2021, 46(4): 11-14.
- ZHU Shang-ze, SHU Xin, YANG Lin, et al. Optimization of ultra-high pressure assisted extraction of sea-buckthorn seed oil [J]. China Oils and Fats, 2021, 46(4): 11-14.
- [57] REN Guang-ling. Extraction of seabuckthorn seed oil and analysis of its fatty acid composition[J]. Studies in Social Science Research, 2021(2): 1-23.
- [58] 朱彦蓉, 陈洁, 刘建明, 等. 沙棘籽油提取工艺的优化及体外抗氧化试验[J]. 世界最新医学信息文摘, 2018, 18(14): 8-10.
- ZHU Yan-rong, CHEN Jie, LIU Jian-ming, et al. Extraction technology optimization of seabuckthorn seed oil and anti-oxygen in vitro test[J]. World Latest Medicine Information, 2018, 18(14): 8-10.
- [59] CHANG Ming, GUO Yi-wen, JIANG Zhong-rong, 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: 1-10.
- [60] XU Si-ning, TANG Zhi-shu, LIU Hong-bo, et al. Microencapsulation of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) pulp oil by spray drying[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(11): 5 785-5 797.
- [61] 张琪, 朱丹, 牛广财, 等. 高通量测序分析沙棘酵素自然发酵过程中细菌多样性[J/OL]. 食品科学. (2021-04-06) [2021-05-21]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210406.1403.024.html>.
- ZHANG Qi, ZHU Dan, NIU Guang-cai, et al. Bacterial diversity analysis during natural fermentation of sea buckthorn Jiaosu by high-throughput sequencing [J/OL]. Food Science. (2021-04-06) [2021-05-21]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210406.1403.024.html>.

(下转第 240 页)

(上接第 5 页)

- [10] ÖZCAN A, ŞAHİN Y, KOPARAL A S, et al. Carbon sponge as a new cathode material for the electro-Fenton process: Comparison with carbon felt cathode and application to degradation of synthetic dye basic blue 3 in aqueous medium[J]. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2008, 616(S1/S2): 71-78.
- [11] 熊鑫高原. 超声强化臭氧传质与自由基形成机制研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2019: 56-60.
XIONG Xin-gao-yuan. Research on ultrasonic enhanced ozone mass transfer and free radical formation mechanism[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2019: 56-60.
- [12] WANG Wan-ting, FAN Wei, HUO Ming-xin, et al. Hydroxyl radical generation and contaminant removal from water by the collapse of microbubbles under different hydrochemical conditions[J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 2018, 229(86): 2-11.
- [13] 蒋丽春, 唐绍明, 游青, 等. 靛蓝二磺酸钠褪色分光光度法测定水中臭氧[J]. *理化检验(化学分册)*, 2011, 47(2): 180-182.
JIANG Li-chun, TANG Shao-ming, YOU Qing, et al. Decoloration spectrophotometric determination of ozone in water with sodium indigo disulfonate[J]. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B(Chemistry)*, 2011, 47(2): 180-182.
- [14] MILAN-SVIAEGO N, WANG Y, CANNON F S, et al. Comparison of hydroxyl radical generation for various advanced oxidation combinations as applied to foundries[J]. *Ozone: Science and Engineering*, 2007, 29(6): 461-471.
- [15] 吴春笃, 张波, 储金宇, 等. 一种羟基自由基浓度的测定方法: 200810019693.3[P]. 2008-08-13.
WU Chun-du, ZHANG Bo, CHU Jin-yu, et al. A method for determining the concentration of hydroxyl radicals: 200810019693.3[P]. 2008-08-13.
- [16] FANG X, MARK G, SONNTAG C V. OH radical formation by ultrasound in aqueous solutions Part I: The chemistry underlying the terephthalate dosimeter[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 1996, 3(1): 57-63.
- [17] MILLER C J, ROSE A L, WAITE T D. Phthalhydrazide chemiluminescence method for determination of hydroxyl radical production: Modifications and adaptations for use in natural systems[J]. *Analytical Chemistry*, 2011, 83(1): 261-268.
- [18] YILDIRIM A, BALCI M A. Analytical solution for the mass transfer of ozone of the second order from gaseous phase to aqueous phase[J]. *Asian Journal of Chemistry*, 2011, 23(9): 3 795-3 798.
- [19] MILNE L, STEWART I, BREMNER D H. Comparison of hydroxyl radical formation in aqueous solutions at different ultrasound frequencies and powers using the salicylic acid dosimeter[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2013, 20(3): 984-989.

(上接第 227 页)

- [62] 葛朋焱. 沙棘酵素的加工工艺研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017: 1-44.
GE Peng-ye. Study on the processing technology of seabuckthorn Jiaosu[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017: 1-44.
- [63] 王巨成. 微生物发酵制备沙棘果浆酵素的研究[J]. *山西林业科技*, 2020, 49(2): 9-12.
WANG Ju-cheng. Study on preparation of *Hippophae rhamnoides* fruit pulp enzyme by microbial fermentation[J]. *Shanxi Forestry Science and Technology*, 2020, 49(2): 9-12.
- [64] 朱丹丹. 沙棘果渣系列产品加工工艺研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018: 1-50.
ZHU Dan-dan. Study on the processing technology of a series of seabuckthorn pumace [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2018: 1-50.
- [65] 林祥群, 马彩梅, 杨国江, 等. 凝固型沙棘酸奶的研制及其评价[J]. *新疆农业科学*, 2016, 53(11): 2 062-2 068.
LIN Xiang-qun, MA Cai-mei, YANG Guo-jiang, et al. Development and evaluation of set-type sea buckthorn yogurt[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2016, 53(11): 2 062-2 068.
- [66] 周勇, 李伟, 彭祺菲, 等. 沙棘多糖对发酵乳凝胶特性的影响及沙棘多糖酸奶工艺优化[J]. *中国乳品工业*, 2020, 48(7): 26-31.
ZHOU Yong, LI Wei, PENG Zhen-fei, et al. Effect of seabuckthorn polysaccharide on properties of fermented milk gel and optimization of seabuckthorn polysaccharide yogurt process[J]. *China Dairy Industry*, 2020, 48(7): 26-31.
- [67] 刘晨. 低温发酵技术对沙棘汁酸奶品质的影响[J]. *食品安全导刊*, 2019, 13(3): 137.
LIU Chen. Effect of low temperature fermentation technology on the quality of seabuckthorn juice yoghurt[J]. *China Food Safety Magazine*, 2019, 13(3): 137.

(上接第 231 页)

- [21] DELIZA R, AICÁNTARA M, PEREIRA R, et al. How do different warning signs compare with the guideline daily amount and traffic-light system? [J]. *Food Quality and Preference*, 2019 (80): 103821.
- [22] PAULINE D, MÉJEAN C, CHANTAL J, et al. Objective understanding of front-of-package nutrition labels among nutritionally at-risk individuals[J]. *Nutrients*, 2015, 7(8): 7 106-7 125.
- [23] BLADES M, BUSSELL G. Nutritional profiling vs guideline daily amounts as a means of helping consumers make appropriate food choices[J]. *Nutrition & Food Science*, 2005, 35(5): 337-343.
- [24] 黄泽颖. 食品标签营养素参考值舆情监测、网络关注度与预测[J]. *食品与机械*, 2020, 36(9): 12-17.
HUANG Ze-ying. The public opinion monitoring, network attention and forecasting the reference values of the labeled food nutrition[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(4): 12-25.