

浆果籽油的生物活性与应用研究进展

王建康¹ 郭诗琼¹ 王 静¹ 魏丽娜¹ 冯 莉¹ 黄峻榕¹ Fereidoon SHAHIDI²

(1. 陕西科技大学食品科学与工程学院, 陕西 西安 710021; 2. 加拿大纽芬兰纪念大学生物化学系, 加拿大 圣约翰斯 A1B 3X9)

摘要: 浆果籽油是从浆果加工副产物浆果种子中提取的一类功能性油脂。浆果籽油中富含亚油酸和 α -亚麻酸等多不饱和脂肪酸以及生育酚、类胡萝卜素、角鲨烯、植物甾醇等生物活性物质, 能够为人体提供丰富的营养并发挥多种健康功效, 是理想的膳食补充剂。作者综述了沙棘、树莓、石榴、葡萄、黑莓、蓝莓、猕猴桃籽油的化学组成、生物活性以及在功能食品、医学及化妆品领域中的潜在应用; 阐明了目前浆果籽油及其生物活性研究的局限性, 同时对未来研究的重点进行了展望, 为加快浆果籽油的开发利用、推动我国浆果籽油产业的发展提供参考。

关键词: 浆果籽油; 多不饱和脂肪酸; 微量组分; 生物活性; 膳食补充剂

Research Progress on Bioactivities and Applications of Berry Seed Oils

WANG Jiankang¹ GUO Shiqiong¹ WANG Jing¹ WEI Li'na¹ FENG Li¹
HUANG Junrong¹ Fereidoon SHAHIDI²

(1. College of Food Science and Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China; 2. Department of Biochemistry, Memorial University of Newfoundland, St. John's A1B 3X9, Canada)

Abstract: Berry seed oils are functional oils extracted from berry seeds, which are by-products of the berry processing industry. Berry seed oils are rich in polyunsaturated fatty acids such as linoleic acid and α -linolenic acid, as well as bioactive compounds including tocopherols, carotenoids, squalene and phytosterols. This compounds provide abundant nutrients and exert multiple health benefits, making berry seed oils ideal dietary supplements. The author reviewed the chemical compositions, bioactive properties, and potential applications of seed oils from sea buckthorn, raspberry, pomegranate, grape, blackberry, blueberry, and kiwi fruit seed oils in the fields of functional foods, medicine, and cosmetics. The limitations of the current research on berry seed oils and their bioactive properties were also elucidated, and key areas of future research was highlighted to provide a reference for further accelerating the development and utilization of berry seed oils and advancing the berry seed oil industry in China.

Keywords: berry seed oil; polyunsaturated fatty acid; minor component; bioactivity; dietary supplement

浆果是由单个子房或与其他花器结合形成的 围内广泛鲜食的水果。浆果果实除了为人体提供 软而多汁的肉质果。如图 1 所示, 浆果包括沙棘、 基本的营养外, 还具有抗氧化、调节血脂、抗癌、抗 树莓、石榴、葡萄、黑莓、蓝莓、猕猴桃等, 是全球范 炎、免疫调节等生物活性^[1-3], 这些功效极大提高了

基金项目: 科技部高端外国专家引进计划项目(G2022041012L); 陕西省重点研发计划项目(2017TSCXL-NY-02-03); 西安市科技局农业技术研发项目(22NYF048)。

作者简介: 王建康(1980—), 男, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事功能性油脂开发与应用研究。E-mail: rjiankang-wang@outlook.com

收稿日期: 2024-01-16 **修回日期:** 2024-02-20

浆果的市场需求。近年来浆果类副产品的开发利用越来越多,包括浆果果酒、果酱、果汁等产品^[4-5]。在浆果副产品的开发利用中,果渣含有的浆果种子被分离后再经过冷榨技术可获得浆果籽油,冷榨过程不涉及化学物质及高温处理^[6],有效保留了浆果籽油中的活性物质。由于浆果种子来源、品种等差异,不同浆果种子出油率为8.0%~30.1%。

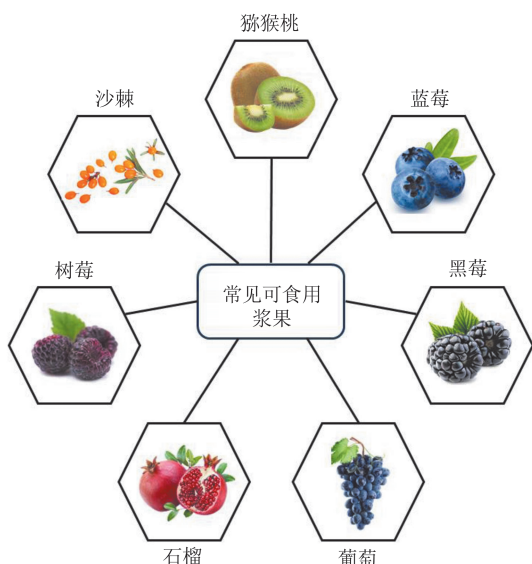


图1 浆果籽油的来源

Fig. 1 Sources of berry seed oils

研究表明,浆果籽油中丰富的亚油酸、 α -亚麻酸等多不饱和脂肪酸以及生育酚、类胡萝卜素、植物甾醇等生物活性物质可为人体提供充足的营养并发挥健康功效,是理想的膳食补充剂^[7],浆果籽油的主要生物活性见图2。亚油酸和 α -亚麻酸作为人体必需脂肪酸,需要从膳食中获得,其充分摄入对于维持机体健康必不可少。 α -亚麻酸是浆果籽油中Omega-3脂肪酸的良好来源,具有通过免疫调节维持人体健康状态的潜在生物活性^[8-9]。除了必需脂肪酸,浆果籽油中的其他非必需脂肪酸也具有许多生物活性,例如油酸在预防癌症、自身免疫性和炎症性疾病等方面具有积极作用^[10]。此外,生育酚、类胡萝卜素、植物甾醇等微量组分不仅可以作为天然抗氧化剂提高油脂的氧化稳定性,还具有抗癌、免疫调节、抗动脉粥样硬化、调节血脂等生物活性^[6-7]。

由此可见,浆果副产品的开发利用不仅可以

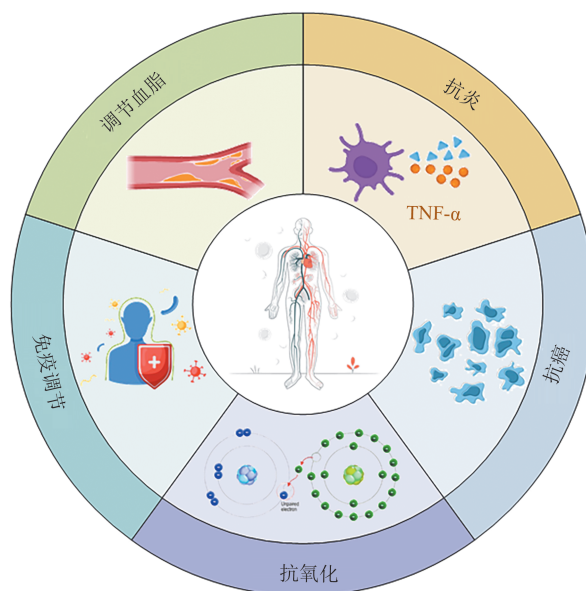


图2 浆果籽油的主要生物活性

Fig. 2 Major bioactive properties of berry seed oils

提高浆果整体的商业价值,延长浆果副产品的产业链,还能开发含浆果籽油的功能性食品、药品及化妆品,具有一定的经济效益及社会效益。但目前国内外关于浆果籽油的研究主要集中在提取工艺、理化性质及生物活性等方面,缺乏对浆果籽油生物活性及作用机制的深入探讨,且在食品工业中应用范围有限。因此,作者综述了浆果籽油的化学组成、生物活性及潜在应用,以期为加快浆果籽油的开发利用提供参考依据。

1 浆果籽油

由于浆果的采收时间、品种、产地、籽油提取技术及测定方法等不同,浆果籽油的脂肪酸组成以及生物活性物质在种类及含量上存在差异。目前浆果籽油中存在的天然脂肪酸包括棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和 α -亚麻酸等(见表1),其结构式见图3。

1.1 沙棘籽油

沙棘籽中含有质量分数为8.0%~16.0%的沙棘籽油^[26-27]。 α -亚麻酸、亚油酸、油酸的质量分数分别为29.0%~39.6%、32.4%~34.2%、6.2%~14.0%。研究发现,沙棘籽油中的生育酚主要以 α -生育酚(806.1~2 130.0 $\mu\text{g/g}$)、 γ -生育酚(480.0~584.0 $\mu\text{g/g}$)为主^[27];植物甾醇包括 β -谷甾醇(9 900~10 310 $\mu\text{g/g}$)、 Δ -5燕麦甾醇(301~333 $\mu\text{g/g}$)、菜油甾醇(3 330~3 460 $\mu\text{g/g}$);

表 1 浆果籽油的脂肪酸组成
Table 1 Fatty acid composition of berry seed oils

浆果籽油种类	质量分数/%											参考文献	
	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1 ω 9	18:2 ω 6	C18:3 ω 3	C20:0	C20:1	UFAs	PUFAs		SFAs
沙棘籽油	0.09~	8.37~	0.30~	2.60~	6.20~	32.40~	29.00~	0.12~	0.16~	68.06~	61.40~	11.80~	[11-12]
	1.50	8.71	0.60	3.13	14.00	34.20	39.60	0.32	2.00	90.40	73.80	13.66	
树莓籽油	0.02~	1.30~	0.03~	0.08~	11.50~	45.38~	25.41~	0.58~	—	82.59~	70.79~	1.98~	[13-14]
	0.14	5.06	0.07	2.69	17.62	48.07	32.31	0.66	—	98.07	80.38	8.55	
石榴籽油	0.56~	1.72~	—	1.57~	4.65~	3.90~	70.04~	—	—	78.59~	73.94~	3.85~	[15-16]
	7.97	12.58	—	5.40	5.86	8.11	85.12	—	—	99.09	93.23	25.95	
葡萄籽油	0.05~	6.70~	—	0.39~	3.55~	53.60~	0.15~	0.13~	—	57.56~	53.75~	7.27~	[17-19]
	0.10	10.70	0.08	5.00	21.90	70.00	0.20	0.34	0.18	92.36	70.20	16.14	
黑莓籽油	0.05	3.30~	—	1.60~	14.40~	63.40~	9.47~	—	1.02~	88.29~	72.87~	5.42~	[20-21]
	—	4.99	—	2.26	15.70	66.81	10.08	—	1.20	93.79	76.89	7.77	
蓝莓籽油	0.09	5.20~	—	1.30~	1.15~	40.20~	25.10~	0.14~	—	66.51~	65.30~	6.73~	[21-23]
	—	7.47	0.06	2.38	22.20	43.30	28.10	0.25	—	93.66	71.40	10.19	
猕猴桃籽油	—	5.18~	0.10~	1.90~	4.39~	10.33~	51.26~	—	0.20	66.28~	61.59~	7.42~	[24-25]
	—	10.67	0.33	6.38	14.60	17.55	65.49	—	0.20	98.17	83.04	17.39	

注:UFAs为不饱和脂肪酸;PUFAs为多不饱和脂肪酸;SFAs为饱和脂肪酸;“—”为文献中未提及。

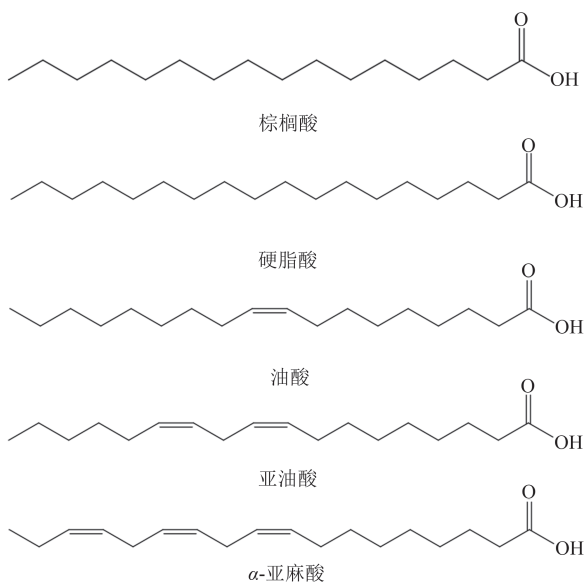


图 3 浆果籽油的主要脂肪酸结构式

Fig. 3 Chemical structures of key fatty acids from berry seed oils

类胡萝卜素质量分数为 200~1 000 $\mu\text{g/g}$ ^[28-29]。各成分质量分数差异较大,除沙棘品种、产地等因素影响外,与类胡萝卜素在加热、光照、有机溶剂及酸性等条件下易发生异构化反应也有关。

Gęgotek 等^[30]通过细胞试验对人成纤维细胞和角质形成细胞进行紫外线辐射后,采用 500 ng/mL 沙棘籽油孵育处理,研究其对不同皮肤表层细胞氧化还原平衡和脂质代谢的影响,以检验其是否具有

保护作用。研究表明,植物甾醇、维生素 E 和类胡萝卜素是沙棘籽油中抑制皮肤表层细胞中活性氧 (reactive oxygen species, ROS) 形成和防止紫外线破坏氧化还原系统的有效成分,未来还需进一步关注紫外线对沙棘籽油稳定性的影响及其与皮肤代谢之间的相互关系。Vashishtha 等^[31]研究发现,每日在膳食中补充 0.75 mL 的沙棘籽油并持续 30 d 后,可降低高胆固醇患者血液中的甘油三酯 (triglyceride, TG)、总胆固醇 (total cholesterol, TC)、氧化低密度脂蛋白水平,改善高血压患者的血压情况,沙棘籽油中的 Omega-3、Omega-6 及 Omega-9 脂肪酸在血脂调节中发挥了主要作用。Hao 等^[32]通过给仓鼠喂养高胆固醇饲料,探讨沙棘籽油对高胆固醇血症仓鼠 TC 水平和肠道菌群的影响,与对照组 (100% 猪油) 相比,试验组 (沙棘籽油替代 50% 猪油、沙棘籽油替代 100% 猪油) 利用植物甾醇与胆固醇的竞争关系使仓鼠肠道胆固醇的吸收减少,有效降低了 TC 水平,该研究结果为高胆固醇患者膳食补充剂的开发提供了理论依据。

1.2 树莓籽油

树莓籽中含有质量分数 12.01% 的树莓籽油^[33]。亚油酸、 α -亚麻酸、油酸质量分数分别为 45.38%~48.07%、25.41%~32.31%、11.50%~17.62%。迟超等^[34]对 5 种树莓籽油的脂肪酸组成进行了分

析,发现其亚油酸(属于Omega-6脂肪酸)与 α -亚麻酸(属于Omega-3脂肪酸)的质量比为1.40~1.93。世界卫生组织建议膳食结构中Omega-6与Omega-3脂肪酸的理想摄入质量比为1:1。其中,Omega-6脂肪酸在多种酶催化作用下产生的前列腺素、血栓素及白三烯等致炎因子会导致机体产生炎症反应;而Omega-3脂肪酸会抑制炎症的发生^[35-36]。因此,树莓籽油中适宜的Omega-6与Omega-3脂肪酸质量比有利于降低人体罹患疾病的风险。研究表明,树莓籽油中类胡萝卜素包括玉米黄质(5.10 $\mu\text{g/g}$)、隐黄素(1.81 $\mu\text{g/g}$)、 β -胡萝卜素(0.08 $\mu\text{g/g}$)、叶黄素(0.08 $\mu\text{g/g}$);另外, α -生育酚、 β -生育酚、 γ -生育酚、 δ -生育酚的质量分数分别为427.30、3.50、1 346.20、74.00 $\mu\text{g/g}$ ^[37]。Bushman等^[38]研究了5种浆果籽油的组成发现,与黑树莓、波森莓、马里恩黑莓和常绿黑莓等浆果籽油相比,树莓籽油中的 α -生育酚和 γ -生育酚含量更高,总酚含量最高,氧自由基吸收能力更强。

Grajzer等^[39]研究了树莓籽油对癌细胞中自由基的产生及DNA损伤的影响,以评估其对癌细胞的抑制作用,结果发现树莓籽油(质量分数为0.5%~10.0%)微乳液与癌细胞作用后,结肠腺癌LoVo、乳腺癌MCF7和肺癌A549细胞系均受到不同程度抑制。唐琳琳^[40]通过MTT试验建立了HepG2细胞氧化损伤模型,结果显示,试验组(0.284 g/L的树莓籽油)处理的HepG2细胞存活率比模型组提高了49.34%,细胞内脂质、TG水平均降低,表明树莓籽油所含亚油酸与天然抗氧化剂可以有效降低细胞的氧化损伤及脂肪积累。Hendawy等^[37]通过分析血脂水平、肝酶活性、葡萄糖含量、胰岛素水平及炎症因子,评估高脂饮食喂养的大鼠模型中树莓籽油对非酒精性脂肪肝病的预防作用,发现与对照组(正常饲料、高脂饲料)相比,试验组(高脂饲料+0.4 mL树莓籽油、高脂饲料+0.8 mL树莓籽油)能有效改善高脂饮食引起的组织病理改变,树莓籽油中所含的油酸、 α -亚麻酸及 γ -生育酚是预防非酒精性脂肪肝病的核心先导化合物。

1.3 石榴籽油

石榴籽中含有质量分数为12%~24%的石榴

籽油^[41]。石榴酸是石榴籽油中的主要共轭亚麻酸。在机体内,石榴酸是过氧化物酶体增植物激活受体(PPARs) γ 激动剂,主要通过减少炎症细胞因子、调节葡萄糖稳态、抗氧化、抗炎等机制发挥抗糖尿病作用^[42]。此外,石榴籽油还含有生育酚、植物甾醇等微量组分。其中 γ -生育酚质量分数最高(2 400.8~2 616.5 $\mu\text{g/g}$),其次为 α -生育酚(25.4~169.0 $\mu\text{g/g}$)、 δ -生育酚(7.8~35.6 $\mu\text{g/g}$)、 α -生育三烯酚(7.3~27.6 $\mu\text{g/g}$)及 β -生育三烯酚(12.5~52.1 $\mu\text{g/g}$)。多项研究表明,石榴籽油中的生育酚与其清除自由基的能力呈正相关。石榴籽油中还含有植物甾醇,包括 β -谷甾醇(3 205.04~6 049.00 $\mu\text{g/g}$)、豆甾醇(182.22~210.00 $\mu\text{g/g}$)、菜油甾醇(357.84~579.00 $\mu\text{g/g}$)、谷甾烷醇(3.83~24.06 $\mu\text{g/g}$)及 Δ -5燕麦甾醇(116.82~680.00 $\mu\text{g/g}$)^[41]。还含有多酚、花青素、角鲨烯等活性物质,具有抗氧化、抗炎、抗肿瘤、调节血脂等功效。

王毓宁等^[43]研究发现,0.5~4.0 mg/mL的石榴籽油可有效减轻自由基诱导的DNA、蛋白质氧化损伤,并提高H₂O₂损伤后PC12的细胞存活率,但其抑制氧化损伤的机制需要进一步验证。黄旭等^[44]以D-半乳糖诱导的衰老小鼠为模型,考察其对免疫抑制的干预作用。研究表明,与模型组(皮下注射质量分数为5%的D-半乳糖)相比,试验组(按动物体质量灌胃给药,低、中、高剂量组分别为75、250、750 $\mu\text{g/g}$ 的石榴籽油)能够增强脾脏、胸腺细胞的增殖能力及巨噬细胞的吞噬能力,从而抑制衰老小鼠免疫器官的萎缩,该研究为开发具有免疫调节特性的功能性食品提供了理论依据。Borouhaki等^[45]通过研究大鼠肾脏在HgCl₂诱导条件下的病变情况发现,在HgCl₂注射前1 h用石榴籽油(按动物体质量给药,剂量分别为0.4、0.8 $\mu\text{g/g}$)处理,可以降低大鼠体内因HgCl₂引起的氧化应激,证实了石榴籽油对大鼠肾毒性的抑制作用,但抑制作用发生的机制还需进一步探究。

1.4 葡萄籽油

葡萄籽中含有质量分数为30.10%的葡萄籽油^[46]。亚油酸、油酸质量分数分别为70.00%和3.55%~21.90%。葡萄籽油中的生育酚包括 α -生

育酚(147.50~214.10 $\mu\text{g/g}$)、 γ -生育酚(349.70~1 157.20 $\mu\text{g/g}$)、 α -生育三烯酚(301.10~481.40 $\mu\text{g/g}$)、 γ -生育三烯酚(407.30~689.20 $\mu\text{g/g}$)及 δ -生育三烯酚(18.20~19.20 $\mu\text{g/g}$)^[47],其生育酚质量分数随着葡萄籽的成熟而下降,而生育三烯酚的质量分数变化则相反。此外,植物甾醇主要包括 β -谷甾醇(66.60~67.40 $\mu\text{g/g}$)、豆甾醇(10.20~10.80 $\mu\text{g/g}$)、谷甾醇(3.92~4.70 $\mu\text{g/g}$)、 Δ -5燕麦甾醇(1.98~2.09 $\mu\text{g/g}$)及菜油甾醇(0.10~9.30 $\mu\text{g/g}$)^[17]。葡萄籽油中还含有没食子酸、儿茶素、原花青素二聚体和原花青素等多酚物质。

朱建鸿^[48]探究了葡萄籽油改善高脂膳食小鼠脂代谢的作用,结果表明喂食 15 周高脂膳食后,试验组(质量分数 45% 葡萄籽油)小鼠血清的低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、游离脂肪酸水平与对照组(质量分数为 45% 高脂猪油+45% 高脂玉米油)相比显著降低,葡萄籽油中的多不饱和脂肪酸可以通过激活 PPAR α 和 AMPK 的基因通路调节血脂,为进一步研究葡萄籽油功能成分改善小鼠肥胖、糖脂代谢及炎症因子的作用机理提供了理论支撑。Mehrangiz 等^[49]发现食用葡萄籽油可明显降低肥胖妇女体内 LDL-C 水平并增加高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)水平,表明葡萄籽油具有降低肥胖妇女罹患心血管疾病风险的能力,为论证葡萄籽油缓解心血管疾病的作用机制提供参考。董颖等^[50]利用 CCl₄ 建立急性肝损伤模型,连续 14 d 给小鼠灌胃 10、20 mL/kg 的葡萄籽油,发现小鼠血清中谷丙转氨酶、谷草转氨酶、TG、TC、丙二醛(malondialdehyde, MDA)水平降低,从而证实了葡萄籽油中的多不饱和脂肪酸及抗氧化成分可以通过稳定细胞膜结构、清除自由基、抑制炎症等途径保护小鼠免受急性肝损伤,该研究为葡萄籽油功能性护肝产品的开发提供了支撑。

1.5 黑莓籽油

黑莓籽中含有质量分数为 12.00%~17.32% 的黑莓籽油^[51-52]。亚油酸、油酸、 α -亚麻酸质量分数分别为 63.40%~66.81%、14.40%~15.70%、9.47%~10.08%。研究表明,黑莓籽油具有极低的致动脉

粥样硬化指数(0.04),对于机体健康具有促进作用^[53]。黑莓籽油中的植物甾醇主要以 Δ -5 β -谷甾醇(质量分数 847.00 $\mu\text{g/g}$)为主^[6]。植物甾醇能够结合胆汁酸,降低 TC 水平且不影响 HDL-C 水平,而谷甾醇可促进胆固醇的缓慢吸收,防止形成动脉粥样硬化^[53]。此外,黑莓籽油中总生育酚质量分数为 1 388.7~1 638.5 $\mu\text{g/g}$,包括 γ -生育酚(1 205.00~1 311.70 $\mu\text{g/g}$)、 δ -生育酚(31.70~34.00 $\mu\text{g/g}$)、 α -生育酚(25.40~39.00 $\mu\text{g/g}$)、 γ -生育三烯酚(20.00~305.60 $\mu\text{g/g}$)和 α -生育三烯酚(19.90 $\mu\text{g/g}$)^[6],因此黑莓籽油也是天然抗氧化剂的良好膳食来源。

朱红叶等^[54]研究发现质量浓度为 5 mg/mL 的黑莓籽油对 DPPH 自由基、羟自由基的清除率高达 56.21%、71.62%;且低、中、高剂量组(1、3、5 mg/mL)的黑莓籽油均对 VC-FeSO₄ 体系诱导的小鼠肝组织 MDA 生成以及肝脏细胞线粒体肿胀具有减轻和抑制作用,其主要通过抑制自由基对细胞膜、亚细胞器膜的损伤作用从而实现抗氧化效果。赵俸艺等^[52]通过 MTT 试验发现,黑莓籽油对乳腺癌细胞 MCF-7、肝癌细胞 HepG2、宫颈癌细胞 Hela、非小细胞肺癌细胞 A549 的 IC₅₀ 值分别为 206.50、172.18、176.99、413.94 $\mu\text{g/mL}$,且小于人体正常细胞的 IC₅₀ 值,表明黑莓籽油对上述 4 种癌细胞的增殖均有抑制作用,但并未对其有效成分进行分析,还需进一步研究。张伟等^[55]给小鼠灌胃黑莓籽油(低、中、高剂量组分别为 250、500、1 000 $\mu\text{g/g}$),发现其能降低急性肝损伤小鼠血清中谷丙转氨酶与谷草转氨酶的活性,减少肝脏匀浆液中 MDA 含量,升高超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)水平,证实了黑莓籽油对 CCl₄ 诱导的小鼠急性肝损伤的保护作用,但黑莓籽油作为肝损伤患者的膳食补充剂及临床试验的有效使用量还需进一步研究。

1.6 蓝莓籽油

蓝莓籽中含有质量分数为 16.44% 的蓝莓籽油^[56]。亚油酸、 α -亚麻酸、油酸的质量分数分别为 40.20%~43.30%、25.10%~28.10%、1.15%~22.20%。蓝莓籽油中 Omega-6 与 Omega-3 脂肪酸的质量比为 1.54:1,接近世界卫生组织建议的摄入比例。蓝莓籽油中的植物甾醇包括 Δ -5 β -谷甾醇(665.00 $\mu\text{g/g}$)、 Δ -5 燕麦甾醇(138.00 $\mu\text{g/g}$)、 Δ -7 谷甾醇(107.00 $\mu\text{g/g}$)、 Δ -7

燕麦甾醇(53.00 $\mu\text{g/g}$)以及菜油甾醇(34.00 $\mu\text{g/g}$)^[6]。研究发现,植物甾醇参与调节细胞信号通路,能够抑制ROS的产生和氧化应激,诱导癌细胞凋亡,具有预防癌症的作用^[57]。此外,蓝莓籽油中总生育酚质量分数为393.87~1 969.68 $\mu\text{g/g}$,主要包括 α -生育酚(4.40~30.00 $\mu\text{g/g}$)、 α -生育三烯酚(16.47~19.90 $\mu\text{g/g}$)、 γ -生育酚(34.40~53.90 $\mu\text{g/g}$)、 γ -生育三烯酚(330.40~602.50 $\mu\text{g/g}$)、 δ -生育酚(2.20~18.60 $\mu\text{g/g}$)以及 δ -生育三烯酚(6.00~1 244.78 $\mu\text{g/g}$)^[6,21,58]。与生育酚的抗氧化作用一致,类胡萝卜素也可作为单线态氧猝灭剂抑制油脂氧化。蓝莓籽油中的类胡萝卜素主要包括玉米黄质(7.80 $\mu\text{g/g}$)、隐黄素(1.49 $\mu\text{g/g}$)、 β -胡萝卜素(1.35 $\mu\text{g/g}$)、叶黄素(0.06 $\mu\text{g/g}$)。此外蓝莓籽油还含有一定量的酚类、花青素、角鲨烯等活性物质,能够发挥一定的抗氧化作用。

李童等^[59]通过研究蓝莓籽油与玉米油、大豆油、芝麻油等6种植物油的营养价值及品质差异发现,蓝莓籽油具有高多不饱和脂肪酸和低饱和脂肪酸的特点,且角鲨烯、植物甾醇等微量组分含量较高,能够降低动脉粥样硬化和高胆固醇症的患病风险,这为蓝莓籽油功能性保健品的研发提供了一定理论支撑。Kiran等^[60]通过氧自由基吸收能力试验发现,蓝莓籽油的抗氧化能力显著高于红豆越橘籽、黑树莓籽、蔓越橘籽和南瓜籽油,可作为一种优良的Omega-3脂肪酸和天然抗氧化剂的膳食来源。Luo等^[23]分别通过ABTS自由基清除能力、DPPH自由基清除能力以及氧自由基吸收能力评价蓝莓籽油的抗氧化活性,证实蓝莓籽油具有较高抗氧化能力。

1.7 猕猴桃籽油

猕猴桃籽中含有质量分数为30.10%的猕猴桃籽油。 α -亚麻酸、亚油酸、油酸质量分数分别为51.26%~65.49%、10.33%~17.55%、4.39%~14.60%。猕猴桃籽油中总生育酚为34.40~157.90 $\mu\text{g/g}$,主要包括 γ -生育酚(10.30~38.10 $\mu\text{g/g}$)、 γ -生育三烯酚(21.60~119.80 $\mu\text{g/g}$)和 δ -生育酚(2.60 $\mu\text{g/g}$)^[6,58];植物甾醇主要包括 Δ -5 β -谷甾醇(591.00~2 513.00 $\mu\text{g/g}$)、 Δ -7燕麦甾醇(138.00~147.00 $\mu\text{g/g}$)、 Δ -7谷甾醇(96.00~105.00 $\mu\text{g/g}$)、 Δ -5燕麦甾醇(27.00~131.00 $\mu\text{g/g}$)、

豆甾醇(24.00~78.00 $\mu\text{g/g}$)及菜油甾醇(21.00~72.00 $\mu\text{g/g}$)^[6,61]。另外,猕猴桃籽油中角鲨烯(质量分数8 262.00 $\mu\text{g/g}$)较黑莓籽油和蓝莓籽油更高,其作为植物甾醇的前体物质,具有升高体内SOD活性、增强机体免疫力等多种生理功效^[6]。

邱燕燕等^[62]评估了猕猴桃籽油对自由基的清除能力。当猕猴桃籽油的质量浓度分别为90、28、15 mg/mL时,对自由基的清除率分别高达96.38%、72.20%、87.84%。Deng等^[25]研究了猕猴桃籽油低、中、高剂量组(20、40、60 $\mu\text{g/mL}$)抑制脂多糖诱导的RAW 264.7细胞中促炎因子的分泌情况,证实了富含多酚的猕猴桃籽油具有抗炎活性,并为研究猕猴桃籽油抗氧化与抗炎活性的关系提供了理论依据。熊铁一等^[63]通过测定溶血空斑数与半数溶血值评估了猕猴桃籽油的增强免疫功能。结果表明,按照动物体质量以每日低、中、高剂量(100、200、400 mL/kg)对小鼠灌胃猕猴桃籽油后,其免疫功能明显增强,推断主要源于 α -亚麻酸等不饱和脂肪酸的免疫调节作用。该研究对猕猴桃籽油免疫功能性产品的研发有一定参考价值。

2 浆果籽油的应用

浆果籽油作为浆果的天然副产物,所含活性成分的有益作用已经在食品、医学以及化妆品领域得到初步推广和应用。浆果籽油的生物活性以及发挥相关作用的机制如表2所示。

2.1 在功能性食品领域中的应用

目前,浆果籽油主要是制备成软胶囊或经加工后作为日常膳食补充剂食用^[66-67]。浆果籽油含有丰富的人体必需脂肪酸,如 α -亚麻酸和亚油酸等,使其广泛应用于各种膳食补充剂中。如浆果籽油中存在的亚油酸,有助于平衡Omega-6与Omega-3脂肪酸比例,还具有抗炎、调节血脂、预防心血管疾病等功效。同时,浆果籽油中的维生素E、植物甾醇、多酚、角鲨烯和类胡萝卜素也是天然抗氧化剂的良好来源。它们除了提供基本的营养外,还能在体内发挥各种生物活性。如树莓籽油中含有3.3~3.5 mg/g的维生素E^[68],根据中国营养学会发布的《中国居民膳食营养素参考摄入量》,推荐成年人每日摄入维生素的适宜剂量为

表 2 浆果籽油的主要生物活性及作用机制

Table 2 Major bioactive properties and mechanisms of actions of berry seed oils

生物活性	作用机制	参考文献
抗氧化	阻断细胞膜脂质过氧化物的链式反应;抑制环氧化酶、脂氧化酶等关键酶活性;抑制 ROS 的产生和氧化应激,激活抗氧化酶,增强体内自由基清除能力	[61,64]
调节血脂	降低 TC、TG 水平,升高 HDL-C 水平,降低 LDL-C 与 HDL-C 比值	[31,65]
抗癌	抑制癌细胞生长与增殖,阻止致癌物质破坏细胞分子;激活内质网应激通路,诱导癌细胞凋亡	[52]
免疫调节	降低抗原特异性的外周 T 淋巴细胞增生性反应及 IL-2 水平;调节树突细胞表型,影响抗原呈递功能	[9]
抗炎	抑制 TNF- α 、IL-1、IL-6、IL-8 等细胞炎症因子的释放与表达	[64]

14 mg,这意味着每天摄入 4.00~4.24 g 的树莓籽油完全可以满足每日维生素 E 需求,还能增强机体免疫力。因此,高含量的必需脂肪酸以及较低的 Omega-6 与 Omega-3 脂肪酸比例使浆果籽油成为理想的膳食补充剂。

2.2 在医学、化妆品领域中的应用

在医学领域,浆果籽油的摄入可以预防糖尿病、关节炎及心血管疾病的发生。研究表明,沙棘籽油可用于治疗感冒、发烧、缓解疲劳,以及治疗胃溃疡、胃炎等胃肠道系统疾病,也对肝脏疾病、炎症、其他黏膜组织的溃疡有疗效,对于烧伤、冻伤、红斑狼疮及慢性皮肤病等疾病也表现出治疗潜力^[69]。针对高危型 HPV 感染合并慢性宫颈炎高难度病情,临床上采用复方沙棘籽油栓联合重组人干扰素 $\alpha 2b$ 栓的治疗方案。经验证,沙棘籽油能有效提高机体对 HPV 病毒的清除能力,同时在女性生殖道炎症方面也具有较好的疗效^[70]。另外,研究表明石榴籽油能够改善血脂状况,降低总胆固醇、LDL-C 与 HDL-C 比值,可用于治疗糖尿病^[64]。由葡萄籽油中的亚油酸、维生素 C、芦丁、卵磷脂以及肌醇制成的新型复方制剂具有预防心脑血管疾病的功效,并且临床发现葡萄籽油与他汀类药物联用还具有辅助降低血脂功效^[71]。此外,树莓籽油具有抗炎活性,对于预防牙龈发炎、皮疹、湿疹及其他皮肤病变也有积极作用^[14]。

在化妆品领域,浆果籽油中的亚油酸作为皮脂的天然组分,具有调节皮肤代谢、加强脂质屏障、防止表皮水分流失等作用^[72-73]。此外,还能够促进皮肤细胞间黏合、缓解皮肤炎症,因而常被添加在乳液、面霜、精华油等日化产品中,可用于改善皮肤缺水造成的一系列问题^[74-75]。例如,沙棘

籽油中的棕榈酸和 γ -亚麻酸能够刺激表皮再生和修复,促进皮肤氧合^[64,76]。此外,葡萄籽油、沙棘籽油及猕猴桃籽油中的多酚、角鲨烯等抗氧化成分能够保护皮肤免受自由基的伤害,还具有一定的表皮修复能力^[77]。

3 展望

浆果籽油中含有多种生物活性物质,包括功能性脂肪酸、生育酚、类胡萝卜素、多酚、植物甾醇等,具有抗氧化、抗炎、免疫调节、调节血脂等多种生理功效,同时对于高血脂、糖尿病、癌症等疾病的治疗具有积极作用,因而在食品、医学、化妆品领域中得以推广应用。

但是,目前浆果籽油的生物活性研究多局限于实验室条件下模拟相应生理环境的细胞试验,以及通过建立与人体拥有相似分子靶标和代谢途径的动物模型实现基础研究。对于浆果籽油在人体中能否发挥相应生物活性作用的有效性、安全性以及可能存在的毒性问题,未来还需要进一步通过临床试验全面评估,为浆果籽油的生物活性研究提供更可靠的理论基础。

其次,从营养学的角度来看,浆果籽油中脂肪酸在 TG 结构中的分布直接影响油脂的吸收代谢,进而影响油脂的营养价值。在小肠的消化过程中,胰脂肪酶专一性水解 TG 的 *sn*-1,3 位脂肪酸并生成游离脂肪酸,*sn*-2 位脂肪酸则以 2-单甘酯的形式在小肠上皮细胞重新转化为 TG 并与脂蛋白结合,形成乳糜微粒,经淋巴系统进入血液循环被肠道吸收。这意味着 *sn*-2-甘油单酯或游离脂肪酸是这些油脂在消化道内的主要吸收形式,且 *sn*-2 位脂肪酸比 *sn*-1,3 位脂肪酸的吸收率更高^[78]。此外,*sn*-2 位脂肪酸受空间位阻保护作用,可以免受氧的攻击,氧化稳定性更强。因此,未来需要进一

步关注浆果籽油中功能性脂肪酸的空间分布,这对于在食品体系中实现其营养价值以及生物活性具有重要意义。

目前,各地都在落实多样性、均衡性、可持续性的“大食物观”发展战略,推动浆果籽油产业的健康发展。在深入研究浆果籽油生物活性的同时还要考虑成本效益和对环境的影响;开展浆果籽油临床研究,验证其对于调节血脂、抗炎、治疗癌症等方面的潜在益处;开发多样化的浆果籽油产品,强调产品天然、绿色的特性,吸引关注健康和环保的消费群体,满足不同消费者的需求。这不仅为消费者提供了更多健康、安全的选择,而且推动了浆果籽油产业的可持续发展,有助于“健康中国”战略目标的实现。

参考文献

- [1] SALO H M, NGUYEN N, ALAKÄRPPÄ E, et al. Authentication of berries and berry-based food products [J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, 20(5): 5197-5225.
- [2] CHEN F, WANG H J, LIN Z X, et al. Enzymatic and non-enzymatic bioactive compounds, and antioxidant and antimicrobial activities of the extract from one selected wild berry (*Rubus coreanus*) as novel natural agent for food preservation [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2022, 171: 114133-114145.
- [3] ZHANG M Q, ZHANG J, ZHANG Y T, et al. The link between the phenolic composition and the antioxidant activity in different small berries: a metabolomic approach [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2023, 182: 114853-114862.
- [4] 王仪, 琚萌萌, 李雨浩, 等. 混合浆果汁抗氧化能力及果汁杀菌方法的比较[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(3): 205-212.
- WANG Y, JUN M M, LI Y H, et al. Comparison of antioxidant capacity of mixed berry juice and juice sterilization methods[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(3): 205-212. (in Chinese)
- [5] 曹扬, 赵琨, 邢朝宏, 等. 2种常见浆果及其果酱制品的国内外食品安全标准限量分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(4): 1349-1356.
- CAO Y, ZHAO K, XING C H, et al. Analysis of limits of domestic and foreign food safety standards for 2 common berries and their jam products[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2021, 12(4): 1349-1356. (in Chinese)
- [6] HOED V, CLERCQ N, ECHIM C, et al. Berry seeds: a source of specialty oils with high content of bioactives and nutritional value[J]. *Journal of Food Lipids*, 2009, 16(1): 33-49.
- [7] GÓRSKA A, PIASECKA I, WIRKOWSKA-WOJDYŁA M, et al. Berry seeds: a by-product of the fruit industry as a source of oils with beneficial nutritional characteristics [J]. *Applied Sciences*, 2023, 13(8): 5114-5126.
- [8] 晁红娟, 雷占兰, 刘爱琴, 等. Omega-3多不饱和脂肪酸性质、功能及主要应用[J]. *中国食品添加剂*, 2019, 30(10): 122-130.
- CHAO H J, LEI Z L, LIU A Q, et al. Properties, functions and main applications of Omega-3 polyunsaturated fatty acids[J]. *China Food Additives*, 2019, 30(10): 122-130. (in Chinese)
- [9] 曾靖雯. ω -3多不饱和脂肪酸对慢性移植抗宿主小鼠免疫功能影响的研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2021.
- [10] SALES-CAMPOS H, SOUZA P R, PEGHINI B C, et al. An overview of the modulatory effects of oleic acid in health and disease [J]. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 2013, 13(2): 201-210.
- [11] SANWAL N, MISHRA S, SAHU J, et al. Effect of ultrasound-assisted extraction on efficiency, antioxidant activity, and physicochemical properties of sea buckthorn (*Hippophae salicifolia*) seed oil[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2022, 153: 112386-112399.
- [12] 赵二劳, 徐芬, 尹爱萍, 等. 沙棘果油与沙棘籽油脂肪酸组成及其抗氧化活性[J]. *中国油脂*, 2017, 42(12): 120-123.
- ZHAO E L, XU F, YIN A P, et al. Fatty acid compositions and antioxidant activities of sea buckthorn pulp oil and sea buckthorn seed oil[J]. *China Oils and Fats*, 2017, 42(12): 120-123. (in Chinese)
- [13] 辛秀兰, 陈亮, 吴迪, 等. 红树莓籽油的脂肪酸成分分析[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(7): 100-103.
- XIN X L, CHEN L, WU D, et al. Analysis of fatty acid compositions in red raspberry seed oil[J]. *Food Research and Development*, 2011, 32(7): 100-103. (in Chinese)
- [14] 姚静阳. 树莓籽中脂肪酸组成和酚类物质的研究[D]. 太原: 中北大学, 2020.
- [15] 李佳潞, 党辉, 杨梦洁, 等. 两种方法提取石榴籽油的理化性质及其脂肪酸组成分析[J]. *农产品加工*, 2023(6): 73-76.
- LI J L, DANG H, YANG M J, et al. Physicochemical

- properties and fatty acid composition of pomegranate seed oil extracted by two methods [J]. *Farm Products Processing*, 2023(6):73-76. (in Chinese)
- [16] ROJO-GUTIÉRREZ E, CARRASCO-MOLINAR O, TIRADO-GALLEGOS J M, et al. Evaluation of green extraction processes, lipid composition and antioxidant activity of pomegranate seed oil [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021, 15(2): 2098-2107.
- [17] MARTIN M E, GRAO C E, MILLAN L M C, et al. Grape (*Vitis vinifera* L.) seed oil: a functional food from the winemaking industry [J]. *Foods*, 2020, 9(10): 1360-1380.
- [18] 林童, 卢贞希, 刘改霞, 等. 葡萄籽油的脂肪酸组成、抗氧化活性及其在可食性口红中的应用[J]. *中国油脂*, 2021, 46(3):118-121.
- LIN T, LU Z X, LIU G X, et al. Fatty acid composition and antioxidant activity of grape seed oil and its application in edible lipstick [J]. *China Oils and Fats*, 2021, 46(3):118-121. (in Chinese)
- [19] 马艺方, 蒋晴, 程恒光, 等. 10 种小宗植物油的脂肪酸组成及氧化稳定性[J]. *食品与生物技术学报*, 2022, 41(6):51-59.
- MA Y F, JIANG Q, CHENG H G, et al. Composition and oxidative stability of fatty acids in ten small trade vegetable oils [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2022, 41(6):51-59. (in Chinese)
- [20] CORREA M S, FETZER D L, HAMERSKI F, et al. Pressurized extraction of high-quality blackberry (*Rubus* spp. Xavante cultivar) seed oils [J]. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2021, 169: 105101-105111.
- [21] LI Q Q, WANG J K, SHAHIDI F. Chemical characteristics of cold-pressed blackberry, black raspberry, and blueberry seed oils and the role of the minor components in their oxidative stability [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(26):5410-5416.
- [22] BEDERSKA D, PIESZKA M, MARZEC A, et al. Physicochemical properties, fatty acid composition, volatile compounds of blueberries, cranberries, raspberries, and cuckooflower seeds obtained using sonication method [J]. *Molecules*, 2021, 26(24): 7446-7458.
- [23] LUO Y H, YUAN F H, LI Y F, et al. Triacylglycerol and fatty acid compositions of blackberry, red raspberry, black raspberry, blueberry and cranberry seed oils by ultra-performance convergence chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry [J]. *Foods*, 2021, 10(11): 2530-2541.
- [24] LIU B F, LI X F, LIU Q C, et al. Extraction and purification of kiwifruit seed oil using three-phase partitioning: an efficient and value-adding method for agro-industrial residue utilization [J]. *Processes*, 2023, 11(9): 2581-2593.
- [25] DENG J J, LIU Q Q, ZHANG C, et al. Extraction optimization of polyphenols from waste kiwi fruit seeds (*Actinidia chinensis* Planch.) and evaluation of its antioxidant and anti-inflammatory properties [J]. *Molecules*, 2016, 21(7): 832-845.
- [26] 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.
- LI S Z, SHU X, YANG L, et al. Optimization of ultrahigh pressure assisted extraction of sea-buckthorn seed oil [J]. *China Oils and Fats*, 2021, 46(4):11-14. (in Chinese)
- [27] ZHENG L, SHI L K, ZHAO C W, et al. Fatty acid, phytochemical, oxidative stability and *in vitro* antioxidant property of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) oils extracted by supercritical and subcritical technologies [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 86: 507-513.
- [28] YANG B R, KALLIL H P. Fatty acid composition of lipids in sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) berries of different origins [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(4): 1939-1947.
- [29] CENKOWSKI S, YAKIMISHEN R, PRZYBYLSKI R, et al. Quality of extracted sea buckthorn seed and pulp oil [J]. *Canadian Biosystems Engineering*, 2006, 48(3): 422-426.
- [30] GĘGOTEK A, JASTRZĄB A, JAROCKA-KARPOWICZ I, et al. The effect of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) seed oil on UV-induced changes in lipid metabolism of human skin cells [J]. *Antioxidants*, 2018, 7(9): 110-131.
- [31] 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.
- [32] HAO W J, HE Z Y, ZHU H Y, et al. Sea buckthorn seed oil reduces blood cholesterol and modulates gut microbiota [J]. *Food & Function*, 2019, 10(9): 5669-5681.
- [33] 蒋汇川, 姚静阳, 张思瑶, 等. 树莓籽油的超声辅助正己

- 烷法提取工艺优化和理化性质研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2021, 43(5): 1004-1011.
- JIANG H C, YAO J Y, ZHANG S Y, et al. Optimization of ultrasonic assisted n-hexane extraction of raspberry seed oil and its physicochemical properties[J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition, 2021, 43(5): 1004-1011. (in Chinese)
- [34] 迟超, 杨宪东, 王萍, 等. 不同品种红树莓籽油理化性质及脂肪酸组成比较[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(2): 36-43.
- CHI C, YANG X D, WANG P, et al. Physicochemical properties and fatty acid compositions analysis of red raspberry seed oil from five cultivars[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2018, 33(2): 36-43. (in Chinese)
- [35] INNES J K, CALDER P C. Omega-6 fatty acids and inflammation [J]. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 2018, 132: 41-48.
- [36] 康景轩, 朱莹丹. 研发生产富含Omega-3脂肪酸食品是改善民众营养健康状况的重要饮食策略[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(3): 41-48.
- KANG J X. Development and production of Omega-3 fatty acids-enriched foods is an important dietary strategy to improve people's nutritional and health status [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(3): 41-48. (in Chinese)
- [37] HENDAWY O, GOMAA H A M, HUSSEIN S, et al. Cold-pressed raspberry seeds oil ameliorates high-fat diet triggered non-alcoholic fatty liver disease [J]. Saudi Pharmaceutical Journal, 2021, 29(11): 1303-1313.
- [38] BUSHMAN B S, PHILLIPS B, ISBELL T, et al. Chemical composition of caneberry (*Rubus* spp.) seeds and oils and their antioxidant potential [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(26): 7982-7987.
- [39] GRAJZER M, WIATRAC B, GĘBAROWSKI T, et al. Bioactive compounds of raspberry oil emulsions induced oxidative stress *via* stimulating the accumulation of reactive oxygen species and NO in cancer cells [J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2021, 2021: 1-16.
- [40] 唐琳琳. 红树莓籽油提取及体外抗氧化、降血脂活性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2020.
- [41] 李道明, 刘看看, 钟小荣, 等. 石榴籽油的提取、脂质组成及功能研究进展[J]. 陕西科技大学学报, 2020, 38(4): 38-51.
- LI D M, LIU K K, ZHONG X R, et al. Research progress on extraction, lipid composition and function of pomegranate seed oil [J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology, 2020, 38(4): 38-51. (in Chinese)
- [42] KHAJEBISHAK Y, PAYAHOO L, ALIVAND M, et al. Punicic acid: a potential compound of pomegranate seed oil in Type 2 diabetes mellitus management [J]. Journal of Cellular Physiology, 2019, 234(3): 2112-2120.
- [43] 王毓宁, 何静, 李鹏霞, 等. 石榴籽油自由基清除能力及对H₂O₂诱导PC12细胞损伤的保护作用[J]. 中国食品学报, 2016, 16(5): 32-37.
- WANG Y N, HE J, LI P X, et al. Pomegranate seeds oil's free radical scavenging ability and protective effect on H₂O₂ induced PC12 cells damage [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(5): 32-37. (in Chinese)
- [44] 黄旭, 郝吉, 李薇, 等. 石榴籽油对D-半乳糖诱导衰老小鼠免疫功能的调节作用[J]. 中国食品学报, 2019, 19(7): 42-48.
- HUANG X, HAO J, LI W, et al. Regulatory effects of pomegranate seed oil on immune function induced by D-galactose in aged mice [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(7): 42-48. (in Chinese)
- [45] BOROUSHAKI M T, MOLLAZADEH H, RAJABIAN A, et al. Protective effect of pomegranate seed oil against mercuric chloride-induced nephrotoxicity in rat [J]. Renal Failure, 2014, 36(10): 1581-1586.
- [46] 陆道雪, 陈阳, 吴秋瑜, 等. 乙醇水提法提取葡萄籽油的工艺正交试验法优化研究[J]. 天津农业科学, 2023, 29(5): 86-90.
- LU D X, CHEN Y, WU Q Y, et al. Study on extraction of grape seed oil by ethanol water extraction [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2023, 29(5): 86-90. (in Chinese)
- [47] ZHAO L, YAGIZ Y, XU C M, et al. Muscadine grape seed oil as a novel source of tocotrienols to reduce adipogenesis and adipocyte inflammation [J]. Food & Function, 2015, 6(7): 2293-2302.
- [48] 朱建鸿. 初榨葡萄籽油对改善高脂膳食小鼠脂代谢的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2018.
- [49] MEHRANGIZ E M, PARDIS I, SAMIRA P. The effects of grape seed oil on the cardiovascular risk factors in overweight and obese women: a double-blind randomized clinical trial [J]. Current Topics in Nutraceutical Research, 2020, 18(3): 221-226.

- [50] 董颖, 陈鑫沛, 杨浩铎, 等. 葡萄籽油对急性肝损伤的保护作用[J]. 食品工业科技, 2022, 43(8): 342-347.
DONG Y, CHEN X P, YANG H D, et al. Hepatoprotective effects of grape seed oil on acute liver injury[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(8): 342-347. (in Chinese)
- [51] 冯晓慧, 关鑫, 毕海丹, 等. 酿酒前后黑莓籽油提取工艺优化及差异分析[J]. 中国酿造, 2021, 40(7): 198-203.
FENG X H, GUAN X, BI H D, et al. Optimization of extraction technology of blackberry seed oil and analysis of its difference before and after brewing [J]. China Brewing, 2021, 40(7): 198-203. (in Chinese)
- [52] 赵俸艺, 王邵熠, 葛俊高, 等. 黑莓籽油提取工艺及功能应用研究[J]. 江西农业学报, 2023, 35(2): 187-193.
ZHAO F Y, WANG S Y, GE J G, et al. Research on extraction technology and functional application of blackberry seed oil[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2023, 35(2): 187-193. (in Chinese)
- [53] MATEI P L, DELEANU I, BREZIOIU A M, et al. Ultrasound-assisted extraction of blackberry seed oil: optimization and oil characterization [J]. Molecules, 2023, 28(6): 2486-2498.
- [54] 朱红叶, 马永昆, 白洁, 等. 超声波提取黑莓籽油的体外抗氧化活性研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(5): 53-56.
ZHU H Y, MA Y K, BAI J, et al. Study on antioxidation activity *in vitro* of blackberry seed oil by ultrasound-assistant extraction [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(5): 53-56. (in Chinese)
- [55] 张伟, 尹震花, 冯发进, 等. 黑莓籽保护急性肝损伤的有效部位研究[J]. 食品科技, 2014, 39(12): 94-97.
ZHANG W, YIN Z H, FENG F J, et al. Effective extracts of blackberry seed for protection of acute liver injury[J]. Food Science and Technology, 2014, 39(12): 94-97. (in Chinese)
- [56] 宋爱伟, 杨兵, 陈亚军, 等. 索氏法提取蓝莓籽油的工艺研究[J]. 广东化工, 2022, 49(6): 36-38.
SONG A W, YANG B, CHEN Y J, et al. Study on extraction technology of blueberry seed oil by soxhlet method[J]. Guangdong Chemical Industry, 2022, 49(6): 36-38. (in Chinese)
- [57] CHOE U, CHILDS H, ZENG M, et al. Value-added utilization of fruit seed oils for improving human health: a progress review[J]. ACS Food Science & Technology, 2023, 3(4): 528-538.
- [58] HOED V, BARBOUCHE I, CLERCQ N, et al. Influence of filtering of cold pressed berry seed oils on their antioxidant profile and quality characteristics[J]. Food Chemistry, 2011, 127(4): 1848-1855.
- [59] 李童, 刘慧蒙, 周慧雨, 等. 蓝莓籽油与 6 种常用植物油营养成分差异分析[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(13): 304-310.
LI T, LIU H M, ZHOU H Y, et al. Analysis of differences in nutrient composition between blueberry seed oil and six commonly used vegetable oils[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(13): 304-310. (in Chinese)
- [60] KIRAN U, PRAJAPATI T. Study of fatty acid composition of fruit seed oils[J]. International Journal of Academic Research and Development, 2017, 2(5): 36-40.
- [61] PIOMBO G, BAROUH N, BAREA B, et al. Characterization of the seed oils from kiwi (*Actinidia chinensis*), passion fruit (*Passiflora edulis*) and guava (*Psidium guajava*)[J]. Oléagineux Corps Gras Lipides, 2006, 13(2): 195-199.
- [62] 邱燕燕, 余算, 原琦, 等. 猕猴桃籽油抗氧化活性及其脂肪酸组分的研究[J]. 农产品加工, 2022(7): 1-4, 9.
QIU Y Y, YU S, YUAN Q, et al. Comparison of fatty acid compositions and antioxidant activities of kiwifruit seed oil[J]. Farm Products Processing, 2022(14): 1-4, 9. (in Chinese)
- [63] 熊铁一, 罗禹. 猕猴桃籽油的提取、成分和增强免疫功能的研究[J]. 中国医药指南, 2014, 12(20): 96-98.
XIONG T Y, LUO Y. The studies of extraction, composition and enhancing immune function of the kiwifruit seed oil[J]. Guide of China Medicine, 2014, 12(20): 96-98. (in Chinese)
- [64] 贺斌, 许丽萍. 石榴籽油抗炎与抗糖尿病的研究及应用现状分析[J]. 中国生化药物杂志, 2015, 35(11): 181-184.
HE B, XU L P. Research and analysis of present applications of anti-inflammatory and antidiabetic of pomegranate seed oil[J]. Chinese Journal of Biochemical and Pharmaceuticals, 2015, 35(11): 181-184. (in Chinese)
- [65] 刘清清. 猕猴桃籽油的体外抗氧化活性及其对高脂诱导小鼠肥胖的缓解作用研究[D]. 西安: 西北大学, 2018.
- [66] 李哲, 贾有青, 吴隆坤, 等. 葡萄籽-亚麻籽调和油的制备及理化性质测定[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(3): 116-120, 126.

- LI Z, JIA Y Q, WU L K, et al. Development of grape seed-iinseed blend oil and determination of its physico-chemical properties[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(3): 116-120, 126. (in Chinese)
- [67] 米彩霞. 复方葡萄籽油软胶囊内容物研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(31): 11083-11085.
- MI C X. Study on the contents of the soft capsule of compound grape seed oil[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(31): 11083-11085. (in Chinese)
- [68] ISPIRYAN A, VIŠKELIS J, VIŠKELIS P. Red raspberry (*Rubus idaeus* L.) seed oil: a review [J]. Plants, 2021, 10(5): 944-954.
- [69] BAI L M, MEDA V, NAIK S N, et al. Sea buckthorn berries: a potential source of valuable nutrients for nutraceuticals and cosmoceuticals [J]. Food Research International, 2011, 44(7): 1718-1727.
- [70] 陆建萍, 袁建芬. 复方沙棘籽油栓联合重组人干扰素治疗高危型HPV感染合并慢性宫颈炎疗效[J]. 中国计划生育学杂志, 2018, 26(4): 302-305.
- LU J P, YUAN J F. Efficacy of compound sea buckthorn seed oil suppositories combined with recombinant human interferon in the treatment of high-risk HPV infection complicated with chronic cervicitis [J]. Chinese Journal of Family Planning, 2018, 26(4): 302-305. (in Chinese)
- [71] 阳国平, 熊萱, 袁洪, 等. 刺葡萄籽油对匹伐他汀健康人体药动学的影响[J]. 中国药学杂志, 2009, 44(14): 1089-1092.
- YANG G P, XIONG X, YUAN H, et al. Effect of the oil of grape seeds on the pharmacokinetics of pitavastatin in healthy volunteers[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2009, 44(14): 1089-1092. (in Chinese)
- [72] YEN C H, DAI Y S, YANG Y H, et al. Linoleic acid metabolite levels and transepidermal water loss in children with atopic dermatitis[J]. Annals of Allergy, Asthma & Immunology, 2008, 100(1): 66-73.
- [73] SOTIROPOULOU E, VARELAS V, LIOUNI M, et al. Grape seed oil: from a winery waste to a value added cosmetic product: a review[J]. Plants, 2012, 2: 867-878.
- [74] ZIELIŃSKA A, NOWAK I. Fatty acids in vegetable oils and their importance in cosmetic industry [J]. Chemik, 2014, 68(2): 103-110.
- [75] ITO H, ASMUSSEN S, TRABER D, et al. Healing efficacy of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seed oil in an ovine burn wound model [J]. Burns, 2014, 40(3): 511-519.
- [76] 马晓原, 赵永红, 刘慧民. 天然植物油在防晒化妆品中的功效研究进展[J]. 中国油脂, 2021, 46(1): 71-75.
- MA X Y, ZHAO Y H, LIU H M. Progress in efficacy of natural vegetable oils in sunscreen cosmetics[J]. China Oils and Fats, 2021, 46(1): 71-75. (in Chinese)
- [77] DUDAU M, VILCEANU A C, CODRICI E, et al. Sea-buckthorn seed oil induces proliferation of both normal and dysplastic keratinocytes in basal conditions and under UVA irradiation[J]. Journal of Personalized Medicine, 2021, 11(4): 278-288.
- [78] 王强. Sn-2位长链多不饱和脂肪酸结构脂修饰及其氧化稳定性差异研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.

(责任编辑: 史润东东)