



DOI:10.14188/j.ajsh.20241130001

石榴营养成分与抗炎作用机制研究进展

于曼,翟予希,步冬璇,时梦,刘春法,武艳*

(北京农学院 动物科学技术学院,北京 100096)

摘要: 目前,抗生素虽然是治疗细菌引发炎症的关键药物,但其滥用导致的耐药性问题日益严峻。因此,探索和应用新型抗炎药物以应对不同类型炎症,已成为当前重要课题。石榴富含多种有益健康的活性成分,大量研究表明,石榴籽、石榴皮和石榴花的提取物具有杀菌、抗炎、驱虫等效果。石榴及其提取物有潜在的抗炎作用,且毒副作用小,可作用多种靶点进行综合治疗,这使得其成为炎症疾病治疗的新方向。对石榴的营养成分进行总结,并系统性阐述了石榴的抗炎作用机制,以期石榴抗炎作用药物产品的进一步研发和应用提供理论基础。

关键词: 石榴;抗炎;营养成分;作用机制

中图分类号: R285

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2025)02-0111-07

Research progress on nutritional composition and anti-inflammatory mechanism of pomegranate

Yu Man, Zhai Yuxi, Bu Dongxuan, Shi Meng, Liu Chunfa, Wu Yan*

(Animal Science and Technology College, Beijing University of Agriculture, Beijing 100096, China)

Abstract: At present, although antibiotics are the key drugs for the treatment of inflammation caused by bacteria, the problem of drug resistance caused by antibiotic abuse is becoming increasingly severe. Therefore, exploring and applying new anti-inflammatory drugs to deal with different types of inflammation has become an important topic nowadays. Pomegranates are rich in a variety of active ingredients that are beneficial to health, and numerous studies have shown that extracts of pomegranate seeds, rind and flowers have antimicrobial, anti-inflammatory, and anthelmintic effects. Pomegranate and its extracts have potential anti-inflammatory effects with few toxic side effects, and can be used for comprehensive treatment of multiple targets, which makes it a new direction for the treatment of inflammatory diseases. The nutritional composition of pomegranate is summarized, and the mechanism of its anti-inflammatory effect is systematically elaborated to provide a theoretical basis for the further development and application of pomegranate anti-inflammatory drug products.

Key words: pomegranate; anti-inflammatory effect; nutritional composition; mechanism

0 引言

石榴(*Punica granatum* L.)又名安石榴,种植范

围主要为热带及亚热带地区。在中国的江苏、河南等地有较大的石榴种植面积。据统计,目前全球石榴年产量已达590万吨。2020年,中国石榴总产量

收稿日期: 2024-11-30 修回日期: 2025-04-13 接受日期: 2025-04-23

作者简介: 于曼(2002-),女,硕士,研究方向为基础兽医学, E-mail: 15931874608@139.com

通讯联系人: 武艳(1973-),女,教授,研究方向为营养与健康, E-mail: yanwu@buaa.edu.cn

基金项目: 北京农学院科研专项(KYZX-2024001)

引用格式: 于曼,翟予希,步冬璇,等. 石榴营养成分与抗炎作用机制研究进展[J]. 生物资源, 2025, 47(2): 111-117.

Yu Man, Zhai Yuxi, Bu Dongxuan, et al. Research progress on nutritional composition and anti-inflammatory mechanism of pomegranate [J]. Biotic Resources, 2025, 47(2): 111-117.

为160万吨^[1]。近年来,随着科学研究的不断深入以及人们健康意识的显著提升,石榴所蕴含的营养价值和潜在药用价值得到了广泛关注。石榴的药物功效在中国传统医学和其他民族医学中很多见,其果皮、种子、花、叶、根均可入药。经现代医学实践证实,石榴籽、石榴皮和石榴花的提取物具有杀菌、抗炎、驱虫等效果。目前,已从石榴中分离出多种有价值的化合物,主要包括鞣质类、黄酮类、萜类、生物碱类、酚酸类、花青素类、脂肪酸类等^[2]。石榴中的这些活性成分赋予了其显著的抗氧化和抗炎能力。石榴中的多酚类物质能够通过调节炎症通路,有效减轻体内的炎症反应,在治疗炎症方面展现出积极的效果。

炎症作为机体对外部刺激的一种防御性应答,是生物体自我保护的重要机制。然而,当这种防御反应持续时间过长,即形成慢性炎症状态时,便可能引发一系列复杂的病理过程。在这种状态下,人体自身的免疫系统会出现过度反应,攻击健康组织,导致组织损伤和功能障碍,进而诱发自身免疫性疾病、心血管疾病、糖尿病、神经退行性疾病和癌症等多种严重疾病。长期以来,抗生素作为治疗细菌感染引发的炎症的主要手段,在医学领域发挥了重要作用。然而,随着抗生素的广泛使用甚至滥用,其副作用日益凸显。长期应用抗生素不仅会对人体的肝脏、肾脏等重要器官造成损伤,还可能破坏肠道菌群的平衡,进一步影响人体的免疫功能。在寻找替代或辅助治疗方法的过程中,石榴及其提取物因其卓越的抗炎潜力而备受瞩目,且其毒副作用相对较低,这为炎症性疾病的治疗开辟了新的途径。鉴于此,本文总结并概述了石榴不同药用部位的活性成分及其抗炎机制的研究进展,以期为石榴在抗炎作用方面的进一步开发利用提供有价值的参考。

1 石榴不同部位中的营养成分

1.1 石榴皮中的营养成分

石榴皮是石榴制品加工过程中的副产物,为石榴的干燥果皮,具有收敛肠道、止血等多重功效。它富含多种化合物,包括黄酮类、鞣质类、有机酸、生物碱等重要成分,还含有氨基酸、维生素以及多种对人体有益的微量元素^[3]。研究发现,石榴皮提取物的抗癌、抗菌、改善心血管疾病功效主要得益于其富含酚类化合物^[4],多酚占石榴皮干重的10%~20%,包括安石榴苷、鞣花酸、没食子酸、儿茶素等。

1.2 石榴叶中的营养成分

从石榴叶中提取的活性成分,如多酚、黄酮、萜

类以及苷类化合物等,展现出显著的抗菌特性,它们能够有效抑制炎症细胞的迁移和血小板的聚集,同时还遏制促炎细胞因子的生成,从而发挥强大的抗炎作用^[5]。有研究发现,番石榴叶总黄酮可有效降低模型大鼠血清中的总胆固醇、三酰甘油含量,对血脂有一定调节作用^[6]。还有研究表明,石榴叶的水提物能有效调节肝脏内的葡萄糖代谢过程,从而缓解2型糖尿病的高血糖和胰岛素抵抗^[7]。

1.3 石榴花中的营养成分

石榴花是石榴的干燥花瓣,为两性花(即雌雄同株),广泛分布在中国新疆地区,其药用历史悠久,药用价值极高^[8]。石榴花的主要化学成分为黄酮类、多酚类、三萜类、挥发油类等,其中,齐墩果酸是主要的活性成分。此外,石榴花中还含有白桦脂酸、木犀草素、芹菜素、鹰嘴豆芽素A等化合物。石榴花在抗高脂血症方面的研究表明,石榴花中的酚类和鞣质类成分能够阻止食物中油脂和胆固醇的吸收,从而有助于降低血脂水平。石榴花多糖、多酚及黄酮粗提物不仅展现出抗菌、抗炎效果,还能有效抑制金黄色葡萄球菌的生长^[9],且不具有药物毒性。此外,石榴花中含有丰富的多酚类、黄酮类以及三萜类化合物,具有生津开胃、软化血管以及缓解胃酸过多等功效^[10]。由此可见,石榴花作为一种天然植物资源,在新型抗炎药物的研发领域具有极高的研究价值。

1.4 石榴籽中的营养成分

石榴籽是石榴果实加工成果汁和其他产品后的副产物,石榴籽含有较多的皮壳,因此其纤维素含量最多,其次是脂肪酸。石榴籽中蛋白质含量约为12.30%,且谷蛋白的含量最高。此外,石榴籽的总糖含量为9.54%,主要以还原糖的形式存在^[11]。石榴籽含有丰富的活性物质,如多酚、类胡萝卜素、生育酚等。在激素方面,石榴籽不仅含有雌二醇、雌甾酮等甾体雌性激素,还富含非甾体类的植物雌激素,如拟雌内酯、异黄酮和大豆黄素等^[12],这些成分共同赋予了石榴籽独特的生物活性与健康价值。

石榴籽的含油量占种子干重的7%~27%,从一公斤干燥石榴籽中可提取出66~192 g石榴籽油。石榴籽油是由多种饱和以及不饱和脂肪酸所形成的混合物,石榴籽油中饱和脂肪酸主要有棕榈酸、花生酸、山嵛酸^[13],不饱和脂肪酸包括油酸、亚油酸以及高度共轭的亚麻脂肪酸等。石榴籽油的显著特征是其脂肪酸甘油酯的构成集中性,石榴籽油几乎由单一组分的脂肪酸(石榴酸)形成,石榴籽油这种独特的化学成分赋予了它在药理方面的功效和作用。

1.5 石榴汁中的营养成分

石榴汁中富含的可溶性多酚具有强大的抗高血压效果,对维持血压稳定有积极作用^[14]。石榴汁中的多酚类物质可以抑制体内多种引起炎症的生物标志物,从而减轻炎症反应。此外,日常适量饮用石榴汁还能有效保护心血管系统,减少患冠心病的可能性。石榴多酚提取物是一种天然的抗氧化剂与抑菌剂,其抗氧化效果显著,抑菌作用持久,并且不易导致耐药性。该提取物在调节氧化应激状态以及辅助治疗由细菌感染引起的疾病方面具有广阔的应用前景。

2 炎症

炎症是机体针对外部刺激或损伤所做出的一种防御性反应,常表现为局部的发红、肿胀、发热以及疼痛等症状。根据持续时间的长短,炎症可被分为慢性和急性两种类型。长期存在的慢性炎症可能会诱发一系列严重疾病,包括牙周炎、肠炎、类风湿性关节炎和胆囊癌等,对个体的健康构成严重威胁。机体内肿瘤坏死因子(tumor necrosis factor, TNF- α)、白细胞三烯(leukotriene, LT)、白细胞介素-1(interleukin 1, IL-1)、IL-6等前导介质的过量生成,中性粒细胞、巨噬细胞等致炎细胞的活动以及过量活性氧(reactive oxygen species, ROS)的积累都会导致炎症的产生。炎症与自由基密切相关,细胞在代谢活动中会产生ROS副产物,ROS与促炎症细胞因子共存于炎症部位,且两者间存在相互作用,其产生往往伴随着炎症的发生^[15]。抗氧化剂能抑制ROS的生成,降低细胞炎症基因的表达^[16],具有潜在抗炎作用。

抗炎药物的研究一直是医学领域的热点之一,根据其作用机制和成分不同,主要分为甾体类抗炎药、甾体类抗炎药和抗生素类抗炎药。抗生素类抗炎药的长期或不当使用,除了胃肠道反应、过敏反应、肝肾功能损害等副作用外,还会导致耐药性。非甾体类抗炎药的长期使用会导致胃肠道反应等一系列副作用,如恶心、呕吐等。甾体类抗炎药的长期使用可能导致垂体-肾上腺轴功能受抑制,出现肾上腺皮质功能不全等副作用。

天然植物提取物因为具有安全、有效、易得的优势,成为了新型药物研究与应用的热点。石榴作为一种天然植物资源,其提取物因其卓越的抗炎潜力而备受瞩目,如石榴多酚和花青素等,这些抗氧化物质能够中和自由基,减少氧化应激对细胞的损伤,从而减轻炎症反应。石榴提取物为炎症的治疗提供了

新的思路和策略。

3 石榴提取物及其活性成分的抗炎机制

石榴提取物在抗炎作用方面具有良好的效果。有学者在研究4,4'-二氨基二苯砷诱导的小鼠炎症模型时发现,石榴汁显著降低促炎因子IL-1 β 、IL-6、TNF- α 、 γ 干扰素的表达,同时还促进抗炎因子的表达,并降低炎症标志物髓过氧化物酶的水平^[17]。有研究发现,石榴籽油中的石榴酸和其他多酚类化合物在生物体内同时抑制脂肪氧化酶和环氧酶(cyclo-oxygenase, COX)的活性并达到抗炎作用^[18]。有学者从石榴中提取到了4种水解单宁,均有抗炎作用^[19]。由此可见,对石榴提取物在抗炎作用上的深入研究可为抗炎药物开发提供新思路。

多酚类化合物和黄酮类化合物以其强大的抗氧化和抗炎能力成为石榴提取物中的主要活性成分。这些化合物能够清除自由基,减少氧化应激反应,从而有效抑制炎症反应。此外,石榴提取物中含有的生物碱和有机酸等成分也在抗炎过程中发挥着重要作用。

3.1 尿石素A

尿石素(urolithin, Uro)是富含鞣花单宁的食物经肠道微生物代谢生成的一类具有不同酚羟基的二苯并吡喃酮衍生物。其中,尿石素A(urolithin A, Uro-A)率先从喂食鞣花酸的小鼠粪便和尿液中被分离鉴定出来^[20]。

Uro-A具有抑制巨噬细胞炎症的作用。通过脂多糖刺激小鼠单核巨噬细胞,诱导炎症反应,利用Uro-A可以下调炎症因子一氧化氮合酶、IL-1 β 、COX-2的mRNA水平,同时显著抑制TNF- α 胞外分泌水平,并抑制核苷酸结合寡聚结构域(nucleotide-binding oligomerization domain, NOD)样受体热蛋白结构域相关蛋白3的激活^[21]。此外,Uro-A能下调丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinase, MAPK)通路磷酸化水平,激活巨噬细胞自噬。当前研究表明,Uro-A能够通过抑制MAPK信号通路、炎症小体的激活以及促进自噬等多种途径的负反馈调节脂多糖诱导的巨噬细胞炎症。Uro-A能够抑制脂多糖诱导的核转录因子 κ B(nuclear factor of Kappa B, NF- κ B)信号通路的激活,进而降低促炎因子的转录水平及蛋白表达水平,但其对肿瘤坏死因子的mRNA无抑制作用。Uro-A可以通过抑制细胞外调节蛋白激酶(extracellular regulated protein kinases, ERK)总蛋白及磷酸化水平,明显减缓小鼠单核巨噬细胞的增殖速度。

3.2 安石榴苷

安石榴苷是石榴皮多酚的主要成分,具有抗氧化、抗炎、抗菌、抗病毒、抗癌等多种功效。安石榴苷被人体吸收后,在酶的作用下,可以分解为鞣花酸。

安石榴苷能抑制小鼠单核巨噬细胞 RAW264.7 中促炎因子 TNF- α 、IL-1 β 、IL-6 的分泌,并且促进抗炎因子 IL-10 的分泌,同时能抑制 TNF- α 、IL-1 β 、IL-6 的 mRNA 的表达,表明安石榴苷能够通过调控炎症因子的分泌和基因表达,发挥抗炎活性^[22]。Packova 等^[23]先用安石榴苷预处理大鼠原代小胶质细胞,再用脂多糖刺激,发现安石榴苷能通过阻断 NF- κ B 信号传导,抑制小鼠海马切片中 IL-6、TNF- α 的基因表达和前列腺素 E₂(prostaglandin E₂, PGE₂) 的产生。

安石榴苷的抗炎效果还表现在其对某些金属蛋白酶能产生显著影响。在体外研究中,安石榴苷是一种以浓度依赖的方式抑制基质金属蛋白酶-13,并改善由该因子诱导的骨关节炎一种多酚类化合物^[24]。关于安石榴苷抗炎机制的研究报道较少,除 NF- κ B 信号通路外,主要集中在抑制 MAPK 磷酸化通路上。用脂多糖刺激 RAW264.7 细胞并用安石榴苷干预,干预后 IL-1 β 、IL-6、一氧化氮、PGE₂、TNF- α 的水平均被抑制,该作用机制是通过抑制 MAPK 和 NF- κ B 信号通路激活实现的^[25],这也证实了安石榴苷的抗炎作用。

石榴汁具备使炎性 M1 型巨噬细胞表型转换为抗炎 M2 型巨噬细胞的能力。一方面,安石榴苷可以抑制脂多糖诱导的 RAW 264.7 细胞和小鼠原代腹腔巨噬细胞产生 M1 型巨噬细胞相关炎症性因子 IL-1 β 、IL-6、TNF- α 等;另一方面,安石榴苷又可提高 M2 型巨噬细胞相关抗炎性因子 IL-10、精氨酸酶 1(arginase-1, Arg-1) 等的水平,从而促使巨噬细胞从 M1 型向 M2 型转化^[26]。

3.3 没食子酸

没食子酸是一种存在于多种天然食品中的酚类化合物,其独特的三羟基化酚醛结构赋予了它显著的抗氧化性^[27]。没食子酸可以有效结合并淬灭具有高亲和力的 ROS,从而减轻由氧化应激引起的多种疾病相关的组织损伤,如神经炎症和炎症性肠病等。此外,没食子酸还展现出了广泛的抗菌活性,包括体外抗真菌和抗病毒活性等^[28],进一步拓宽了没食子酸的应用潜力。

3.4 齐墩果酸

齐墩果酸具有显著的抗炎作用,它通过抑制一系列促炎细胞因子,如 IL-1 β 、IL-6、IL-8、IL-12 及

TNF- α 的产生,并减少炎症介质一氧化氮和 PGE₂ 的生成来实现抗炎^[29]。文献[30]中的研究进一步揭示了齐墩果酸在大鼠矽肺模型中的作用机制,其能显著降低血清中 TNF- α 的含量,并抑制 NF- κ B 蛋白的表达,减缓炎症反应。文献[31]中的研究表明,使用齐墩果酸脂质体能够显著下调顺铂模型小鼠肾组织中 NF- κ B 的 mRNA 水平,从而减轻肾损伤,并降低细胞凋亡的风险。这些研究为齐墩果酸在相关疾病治疗中的应用提供了有力支持。

3.5 石榴酸

石榴酸是石榴籽油的基础物质,展现出了多方面的益处,包括抗氧化、抗炎、抗肿瘤以及预防动脉硬化等。石榴酸是一种多不饱和脂肪酸,石榴籽油中的石榴酸含量尤为丰富。各种体内外实验均证实了石榴酸的抗炎潜力,其主要通过抑制中性粒细胞的活化和脂质过氧化来发挥作用,从而能够治疗多种疾病。

有研究表明,石榴酸的抗炎活性主要通过抑制 ROS 的产生来实现^[32]。文献[33]揭示了石榴酸能通过激活过氧化物酶体增殖物激活受体的依赖性机制,调节巨噬细胞和 T 细胞的功能,进而改善实验性肠道炎症。有学者聚焦于石榴酸对体内结肠炎症的调节作用,其研究表明,石榴酸能够显著抑制 ROS 的产生,证明了石榴籽油的抗结肠炎作用^[19]。

3.6 生育酚

石榴籽油是生育酚的优质来源。石榴籽油中 γ -生育酚的含量最高,其次是 α -生育酚和 δ -生育酚。 γ -生育酚不仅能有效防止石榴籽油中多不饱和脂肪酸免受脂质过氧化和膳食营养的影响,还具备保护细胞免受炎症损伤的功能^[1],这展现了其在疾病防治中的应用潜力。

3.7 迷迭香酸

石榴籽中含有丰富的酚类化合物,包括香草酸、丁香酸、阿魏酸和迷迭香酸等,迷迭香酸作为石榴籽生长发育过程中的关键二次代谢产物,其独特的生物活性已被广泛证明。迷迭香酸不仅具备显著的抗炎能力,还能有效清除自由基并防止脂质过氧化。在抗炎机制方面,迷迭香酸能够激活 AMPK/Nrf2 信号通路缓解氧化应激;迷迭香酸通过调节 AMPK 及其下游自噬相关通路来激活自噬,进而发挥抗炎作用。有研究表明,迷迭香酸通过激活 AMPK/Nrf2 信号通路来抑制 NF- κ B 信号通路和炎症小体的活化,从而抑制铁死亡和细胞凋亡与促炎因子的释放,缓解小鼠急性肺损伤^[34]。迷迭香酸在抗炎、抗氧化及细胞保护等领域中具有广阔的应用前景。

3.8 木犀草素、槲皮素、山柰酚等黄酮类物质

木犀草素可降低急性痛风性关节炎小鼠血清中 IL-1 β 、IL-17、IL-6 和 TNF- α 的表达水平,从而缓解小鼠踝关节的肿胀症状,并减少血清中 NF- κ B 蛋白的表达量^[35]。

槲皮素作为一种天然黄酮类化合物,具有显著的抗炎活性,能够有效降低在脂多糖刺激下,小鼠巨噬细胞瘤细胞中 IL-1 和 IL-6 等多种炎症因子的表达水平。有学者使用脂多糖诱导建立 RAW 264.7 细胞的炎症模型,在给定 1.95 μ g/mL 的槲皮素后,细胞活力显著上升,ROS 产生量减少,同时 COX-2 活性受到抑制^[36]。这些结果进一步证实了槲皮素在抗炎调控方面的重要应用价值。

山柰酚具有多种生物活性,研究证明,山柰酚可以作用于脂多糖诱导的 J774A.1 细胞和 RAW 264.7 细胞,通过抑制一氧化氮的产生,使炎症反应降低^[37]。

4 结 论

中国拥有丰富的石榴资源,这为石榴在疾病治疗方面的应用提供了得天独厚的自然条件。石榴中的多种活性成分展现出显著的抗氧化、抗炎及抑菌等功效。石榴的抗炎特性使其在多个领域具有广泛的应用前景。在医疗领域,石榴提取物或石榴汁可以作为辅助治疗手段,用于缓解炎症性疾病(如风湿性关节炎、炎症性肠病等)的症状。同时,石榴的抗炎作用也有助于降低心血管疾病、癌症等慢性疾病的患病风险。在食品工业领域,石榴可以作为天然的抗炎添加剂,用于开发具有抗炎功能的食品或饮料。未来需要更多跨学科的合作和研究,以全面揭示石榴的抗炎作用机制及其在临床应用中的潜力。这将为开发新型抗炎药物和功能性食品提供重要的科学依据和实践指导。

本文总结了石榴营养成分对炎症的影响,为阐明石榴抗炎作用机制提供了一定的理论和实践参考。通过介绍炎症的发生发展机制,明确各种营养成分与炎症发生机制之间的关系,有助于利用石榴的药理活性,达到抑制炎症形成和发展的目的,对指导炎症的临床防治有重要意义。

随着对石榴及其营养成分的重视,大量临床应用被报道,越来越多的研究证明,石榴对炎症及肿瘤等具有治疗与预防作用,但具体的作用机制及活性成分还尚未明确。综上所述,石榴作为一种具有抗炎和抗肿瘤作用的天然果实,其研究价值不容忽视。在实际应用过程中,为了充分发挥其潜在的价值和

功效,在关注单种成分作用的基础上,还应进一步探究石榴提取物与多种助剂结合时的复配效应及其协同作用机制,为其在实际应用中的优化和改良提供有力的数据支持和理论依据。

参考文献

- [1] 胡子聪,胡超凡,李彦坡,等. 石榴籽油的提取、营养成分组成及健康功效研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2024, 46(1): 208-220.
Hu Z C, Hu C F, Li Y P, et al. Research progress on extraction, nutritional composition and health benefit of pomegranate seed oil[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2024, 46(1): 208-220.
- [2] 张晶,李论,张梅,等. 石榴化学成分及药理活性研究进展[J]. 中国药科大学学报, 2023, 54(4): 421-430.
Zhang J, Li L, Zhang M, et al. Research progress in chemical constituent and pharmacological activity of *Punica granatum* L[J]. Journal of China Pharmaceutical University, 2023, 54(4): 421-430.
- [3] 李婕姝,贾冬英,姚开,等. 石榴的生物活性成分及其药理作用研究进展[J]. 中国现代中药, 2009, 11(9): 7-10.
Li J S, Jia D Y, Yao K, et al. Research progress on bioactive components and pharmacological effects of pomegranate[J]. Modern Chinese Medicine, 2009, 11(9): 7-10.
- [4] 李猛,刘江涛,魏婉倩,等. 石榴皮中多酚类物质的组成提取及活性研究进展[J]. 农产品加工, 2022(23): 54-58.
Li M, Liu J T, Wei W Q, et al. Research progress on composition, extraction methods and activities of polyphenols in pomegranate peel[J]. Farm Products Processing, 2022(23): 54-58.
- [5] Costa W K, do Nascimento M F, Dos Santos C R B, et al. Oral administration of essential oil from *Psidium glaziovianum* Kiaersk leaves alleviates pain and inflammation in mice[J]. Inflammopharmacology, 2022, 30(2): 599-607.
- [6] 郑丹丹,王京龙,王占一,等. 石榴叶总黄酮的提取工艺及抗氧化活性考察[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(6): 12-16.
Zheng D D, Wang J L, Wang Z Y, et al. Optimization of extraction technology and investigation of antioxidant activity of total flavonoids from *Punica granatum* leaves[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2016, 22(6): 12-16.
- [7] Chu S Z, Zhang F, Wang H Y, et al. Aqueous extract of guava (*Psidium guajava* L.) leaf ameliorates hyperglycemia by promoting hepatic glycogen synthesis and

- modulating gut microbiota[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2022, 13: 907702.
- [8] 田晓丹. 基于细胞代谢组学探究石榴花提取物及其活性单体化合物抗高脂血症的作用机制[D]. 南昌: 江西中医药大学, 2023.
- Tian X D. Study on the mechanism of inhibitory effect of extracts and active compounds of pomegranate flowers against hyperlipidemia based on cell metabonomics [D]. Nanchang: Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, 2023.
- [9] 梁园, 玛伊热·艾则孜, 热亚提·拜克力, 等. 石榴花提取物体外抑菌及体内抗炎作用效果的研究[J]. *新疆畜牧业*, 2023, 39(2): 23-29.
- Liang Y, Mayire·Aizezi, Reyati·Baikeli, et al. Study on the antibacterial and *in vivo* anti-inflammatory effects of pomegranate flower extract [J]. *Xinjiang Xumuye*, 2023, 39 (2): 23-29.
- [10] 王莹, 兰卫. 石榴花提取物细胞水平抑制流感病毒的活性研究[J]. *新疆医科大学学报*, 2012, 35(6): 773-775.
- Wang Y, Lan W. The activity research of pomegranate flower extract at cell level on influenza virus inhibition [J]. *Journal of Xinjiang Medical University*, 2012, 35 (6): 773-775.
- [11] 王秋霞, 贾美艳, 唐荣平, 等. 石榴籽化学成分及应用研究进展[J]. *特产研究*, 2006, 28(1): 53-56.
- Wang Q X, Jia M Y, Tang R P, et al. A review of chemical constituent and application of *Punica granatum* seed[J]. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 2006, 28(1): 53-56.
- [12] 纪白慧. 石榴籽和石榴皮生物活性成分的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- Ji B H. Study on biological active substance from pomegranate seeds and peels[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [13] 陈业高, 卢艳, 刘莹, 等. 石榴籽油脂肪酸成分的分析[J]. *食品科学*, 2003, 24(11): 111-112.
- Chen Y G, Lu Y, Liu Y, et al. Study on fatty acids extracted from pomegranate seed oil [J]. *Food Science*, 2003, 24(11): 111-112.
- [14] 唐大为, 罗凯文, 张梦晓, 等. 不同品种石榴汁中没食子酸含量测定及其抗氧化能力比较[J]. *湖南农业科学*, 2023(10): 74-78.
- Tang D W, Luo K W, Zhang M X, et al. Determination of gallic acid content in fruit juice of different pomegranate varieties and comparison of their antioxidant capacity [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2023 (10): 74-78.
- [15] 李杰, 谢海玲, 李昭辉, 等. 氧化应激在炎症性肠病和结肠炎相关结直肠癌疾病中的研究进展[J]. *胃肠病学和肝病杂志*, 2022, 31(7): 836-840.
- Li J, Xie H L, Li Z H, et al. Research progress of oxidative stress in inflammatory bowel disease and colitis related colorectal cancer [J]. *Chinese Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 2022, 31(7): 836-840.
- [16] Sies H, Jones D P. Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents [J]. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 2020, 21 (7): 363-383.
- [17] Wu S J, Wang X J, Zhang W S, et al. Effect of pomegranate juice on dextran sulfate sodium salt-induced ulcerative colitis in mice [J]. *Food Science*, 2023, 44 (13): 88-96.
- [18] 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.
- [19] Lee C J, Chen L G, Liang W L, et al. Anti-inflammatory effects of *Punica granatum* Linne *in vitro* and *in vivo*[J]. *Food Chemistry*, 2010, 118(2): 315-322.
- [20] 韩淇安. 尿石素A对动脉硬化进程中细胞功能及代谢的调控和作用机制研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- Han Q A. Study on the regulation and mechanism of urolithin A on cell function and metabolism in the process of arteriosclerosis[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2016.
- [21] 李梦云. 尿石素A改善巨噬细胞炎症及小鼠动脉粥样硬化的作用机制研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- Li M Y. Mechanism of urolithin A in improving macrophage inflammation and atherosclerosis in mice [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2019.
- [22] 王振宁. 安石榴苷对LPS诱导的炎症及相关信号转导通路的影响[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- Wang Z N. Effect of punicalagins on LPS-induced inflammation and related signal transduction pathways [D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [23] Packova D, Carbonell-Barrachina A A, Kolesarova A. Ellagitannins: compounds from pomegranate as possible effector in steroidogenesis of rabbit ovaries[J]. *Physiological Research*, 2015, 64(4): 583-585.
- [24] Li Y L, Yang F F, Zheng W D, et al. *Punica granatum* (pomegranate) leaves extract induces apoptosis through mitochondrial intrinsic pathway and inhibits mi-

- gration and invasion in non-small cell lung cancer *in vitro* [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2016, 80: 227-235.
- [25] Zhong J X, Reece E A, Yang P X. Punicalagin exerts protective effect against high glucose-induced cellular stress and neural tube defects[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2015, 467 (2) : 179-184.
- [26] Aharoni S, Lati Y, Aviram M, et al. Pomegranate juice polyphenols induce a phenotypic switch in macrophage polarization favoring a M2 anti-inflammatory state [J]. BioFactors, 2015, 41(1): 44-51.
- [27] Sekher Pannala A, Chan T S, O'Brien P J, et al. Flavonoid B-ring chemistry and antioxidant activity: fast reaction kinetics [J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2001, 282(5): 1161-1168.
- [28] Cheng Y Y, Li X C, Tse H F, et al. Gallic acid-L-leucine conjugate protects mice against LPS-induced inflammation and sepsis via correcting proinflammatory lipid mediator profiles and oxidative stress [J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2018, 2018: 1081287.
- [29] 邬理洋, 李晔, 曾发姣, 等. 齐墩果酸抗炎抗氧化研究进展[J]. 生物资源, 2023, 45(5): 504-509.
- Wu L Y, Li Y, Zeng F J, et al. Advances in research on anti-inflammatory and antioxidant effects of oleanolic acid[J]. Biotic Resources, 2023, 45(5): 504-509.
- [30] 彭海兵, 王建行, 刘燕, 等. 齐墩果酸抗矽肺大鼠 TNF- α 和胶原表达的实验研究[J]. 中国病理生理杂志, 2015, 31(6): 1081-1086.
- Peng H B, Wang J X, Liu Y, et al. Effect of oleanolic acid on expression of TNF- α and collagen in silicotic rats *in vivo* [J]. Chinese Journal of Pathophysiology, 2015, 31(6): 1081-1086.
- [31] 郝艳丽, 霍明洋, 高锐, 等. 齐墩果酸脂质体对顺铂所致小鼠肾氧化损伤的保护作用研究[J]. 毒理学杂志, 2021, 35(2): 110-116, 122.
- Xi Y L, Huo M Y, Gao R, et al. Protective effect of oleanolic acid liposomes on cisplatin-induced renal oxidative damage in mice[J]. Journal of Toxicology, 2021, 35(2): 110-116, 122.
- [32] Boussetta T, Raad H, Lett  ron P, et al. Punicic acid a conjugated linolenic acid inhibits TNF α -induced neutrophil hyperactivation and protects from experimental colon inflammation in rats[J]. PLoS One, 2009, 4 (7): e6458.
- [33] Bassaganya-Riera J, DiGuardo M, Climent M, et al. Activation of PPAR γ and δ by dietary punicic acid ameliorates intestinal inflammation in mice[J]. British Journal of Nutrition, 2011, 106(6): 878-886.
- [34] 吴莉琴. 迷迭香酸对急性肺损伤的抗炎抗氧化作用及其机制研究[D]. 南宁: 广西大学, 2023.
- Wu L Q. Anti-inflammatory and antioxidant effects of rosmarinic acid on acute lung injury and its mechanism [D]. Nanning: Guangxi University, 2023
- [35] Zuo T, Yue Y Z, Wang X H, et al. Luteolin relieved DSS-induced colitis in mice via HMGB1-TLR-NF- κ B signaling pathway [J]. Inflammation, 2021, 44 (2) : 570-579.
- [36] 司丽君, 王雪, 王林林, 等. 槲皮素的抗炎免疫及部分机制研究[J]. 中国医药导报, 2021, 18(27): 26-29, 34.
- Si L J, Wang X, Wang L L, et al. Research on anti-inflammatory and immune effects of quercetin and its partial mechanism [J]. China Medical Herald, 2021, 18 (27): 26-29, 34.
- [37] 张丽阳, 孙军, 陈迪. 山柰酚抑制脑缺血/再灌注大鼠的脑损伤、炎症、氧化应激和凋亡[J]. 中国组织化学与细胞化学杂志, 2022, 31(4): 381-386.
- Zhang L Y, Sun J, Chen D. Kaempferol inhibits brain injury, inflammation, oxidation stress and apoptosis in the rats with cerebral ischemia/reperfusion[J]. Chinese Journal of Histochemistry and Cytochemistry, 2022, 31 (4): 381-386.