

人参不同炮制品化学成分、药理作用研究进展及质量标志物预测

齐梦含¹, 刘 伟², 虞海霞³, 李 伟^{1*}

1. 吉林农业大学中药材学院, 吉林 长春 130118

2. 北华大学药学院, 吉林 吉林 132013

3. 吉林亚泰制药股份有限公司, 吉林 长春 130118

摘 要: 加工炮制是人参 *Panax ginseng* 改变药性、增强药效的关键工艺。系统梳理人参加工炮制的历史沿革与现代方法, 分析比较红参等不同炮制品在皂苷与非皂苷成分上的差异, 阐明了皂苷定向转化、美拉德反应等核心化学机制, 并综述了人参炮制品在神经调节、心血管保护、代谢调控及抗衰老等方面的多靶点药理活性。重点围绕人参炮制品质量标志物 (quality marker, Q-Marker) 的筛选与预测, 明确人参稀有皂苷 Rg₃、Rk₁、Rg₅ 以及美拉德反应特征衍生物, 精氨酸双糖苷 (arginyl-fructosyl-glucose, AFG)、5-羟甲基糠醛 (5-hydroxymethylfurfural, 5-HMF) 和麦芽酚 (maltol) 等作为核心 Q-Marker。此外, 上述 Q-Marker 经高温蒸制炮制后大量累积, 在生晒参和红参、黑参等人参炮制品中含量差异明显, 可作为人参生品与炮制品的特征标志物, 为人参炮制品的差异化质量控制标准建立、炮制工艺优化、质量评价体系完善以及临床合理用药提供了客观、可靠的物质基础与理论依据, 为提升人参炮制品 Q-Marker 的专属性质量体系奠定科学基础。

关键词: 人参; 炮制; 皂苷; 氨基酸糖苷; 质量标志物; 人参皂苷 Rg₃; 人参皂苷 Rk₁; 人参皂苷 Rg₅; 精氨酸双糖苷

中图分类号: R285 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2026)20-8113-16

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.20.015

Research progress on chemical composition, pharmacological effects and quality marker prediction of different processed products of *Panax ginseng*

QI Menghan¹, LIU Wei², YU Haixia³, LI Wei¹

1. College of Chinese Medicinal Materials, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

2. College of Pharmacy, Beihua University, Jilin 132013, China

3. Jilin Yatai Pharmaceutical Co. Ltd., Changchun 130118, China

Abstract: Processing and preparation are key techniques for altering the pharmacological properties of *Panax ginseng* and enhancing its therapeutic effects. This study systematically reviews the historical evolution and modern processing technologies of ginseng, compares differences in ginsenosides and non-ginsenoside components among processed products including red ginseng, elucidates core chemical mechanisms involving directional ginsenoside conversion and the Maillard reaction, and summarizes the multi-target pharmacological activities of processed ginseng in neuromodulation, cardiovascular protection, metabolic regulation and anti-aging. Focusing on the screening and prediction of quality markers (Q-Markers) in processed ginseng products, this study identifies rare ginseng saponins Rg₃, Rk₁, and Rg₅, as well as characteristic derivatives of the Maillard reaction—such as arginyl-fructosyl-glucose (AFG), 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF), and maltol as core Q-Markers. Furthermore, these Q-Markers accumulate in large quantities following high-temperature steaming and processing; their concentrations vary significantly among processed ginseng products such as sun-dried ginseng, red ginseng, and black ginseng, and can serve as characteristic markers distinguishing raw ginseng from processed products. They provide an objective and reliable material basis and theoretical foundation for establishing differentiated quality control standards for processed ginseng products, optimizing processing techniques, refining quality evaluation systems, and ensuring rational clinical use of ginseng. This lays a scientific foundation for enhancing the specificity of the quality control system for Q-Markers in processed ginseng products.

收稿日期: 2026-08-04

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (82474070); 吉林省科技发展计划 (YDZJ202401311ZYTS)

作者简介: 齐梦含, 博士研究生, 研究方向为中药药效物质与作用机制。E-mail: 1096613152@qq.com

*通信作者: 李 伟, 医学博士, 二级教授, 博士生导师, 从事人参药用资源开发利用研究。E-mail: Liwei7727@126.com

Key words: *Panax ginseng* C.A. Mey.; processing; ginsenosides; amino acid glycosides; quality marker; arginyl-fructosyl-glucose; ginsenoside Rg₃; ginsenoside Rk₁; ginsenoside Rg₅; arginyl-fructosyl-glucose

各类人参炮制品均以五加科植物人参 *Panax ginseng* C. A. Mey. 干燥根及根茎为原料, 其特征药效物质为三萜皂苷类组分, 其中达玛烷型四环三萜皂苷占主导。国内人参栽培产区集中于东北地区吉林、辽宁、黑龙江三省, 长白山沿线抚松、集安、靖宇、长白山等地为道地核心产区。人参炮制起源于三国时期, 规范化的加工程序在《雷公炮制论》和《本草纲目》中有存录^[1]。人参现代的加工炮制方法主要有晒干和蒸制 2 种, 为延长人参的保存时间, 将鲜人参洗净处理后自然干燥即得生晒参^[2], 但是鲜人参与生晒参性偏凉、微寒, 长期久服易致药性滋腻, 阻碍脾胃运化。为了降低不良反应与燥性偏性, 提升用药安全性, 差异化炮制加工可定向改变人参中皂苷、糖类等物质结构, 进而调控其药理作用偏向, 药性由凉转温、补气效果增强, 满足补虚和扶正固本的临床用药需求和药性调控目标^[3-4]。

现有研究表明, 人参炮制品包含皂苷类、氨基酸糖苷、多糖、挥发油等化学成分, 具有神经保护、抗心血管疾病、抗糖尿病、抗衰老等药理作用^[5-6], 其中, 人参皂苷及氨基酸糖苷是人参炮制品质量评价的重要指标^[6-7]。然而, 历版《中国药典》对人参和红参的含量测定标准均以人参皂苷 Rg₁、Re 和 Rb₁ 为依据, 这难以客观反映人参与其炮制品之间的质量差异, 且缺乏对炮制专属特征性成分的鉴别依据。值得注意的是, 在人参炮制过程中, 因加工工艺和干燥方式等变量会使人参呈现明显的颜色、气味和化学成分的动态变化^[8], 尤其是氨基酸糖苷类成分的产生以及人参皂苷类成分发生重排^[9], 这些化学反应形成的多种新化合物, 构成了炮制品化学组成的多样性, 并进一步改变和丰富其固有的药理效应^[10]。

因此, 人参炮制品质量标志物 (quality markers, Q-Marker) 的筛选与应用, 应聚焦于炮制过程中特异性生成的稀有人参皂苷、美拉德反应衍生物等独特组分, 可有助于有效弥补现行质控指标区分度不足的缺陷, 也为建立科学合理的炮制品质量评价体系奠定基础。系统梳理人参不同炮制品的化学成分组成及其炮制前后的变化规律, 对于挖掘人参炮制品的潜在活性成分以及药用价值具有重要意义。近年来, 随着中药材产地加工与中药炮制一体化、定

向炮制理论的提出, 为人参的炮制提供了新的思路。本文归纳了人参炮制工艺及其质量评价方法的相关研究进展, 结合皂苷类成分与美拉德反应产物在炮制过程中转化的特点, 通过对人参炮制前后相关化学成分的变化、药理作用与 Q-Marker 进行总结, 以期为人参炮制品开发利用、产业化和药物临床应用提供参考。

1 人参炮制工艺研究

1.1 历史沿革

人参作为传统重要名贵药材, 自古至今均受到中医药领域的广泛重视与应用, 拥有千年炮制历史, 形成了独特的制作流程。古代人参炮制包含净制、刮皮、淘洗、去芦、去须等工序, 属于药材炮制、调剂与制剂前的药材洁净处理方法。隋唐至宋元开始出现火制——焙法、炒法、炙法等, 以及水火共制, 即蒸制, 也是最原始的红参制作工艺^[11]。清代炮制体系逐渐完备, “九蒸九晒”与使用酒、蜜等辅料炮制普及, 形成红参、黑参、糖参等主流品种^[12]。通过以上炮制工艺的历代传承, 有效地丰富了人参的炮制品并提升了人参的药用价值, 使人参炮制品在中医药领域广泛传承应用。

1.2 现代炮制方法收载情况

近现代在立足传统古法传承之上, 引入现代工艺, 实现标准化、规模化生产, 兼顾传统药性与现代质控需求, 推动人参炮制技艺持续创新发展。人参炮制品因加工方法和辅料的差异而具有不同的特征性成分和药理活性。《中国药典》2025 年版中收录的仅有人参饮片与红参饮片的炮制方法, 具体为: 用时捣碎, 或润透, 切薄片, 干燥。目前人参炮制品主要有保鲜参、生晒参、红参、黑参、大力参、活性参、糖参和蜜制参, 且相应的化学成分含量测定均有标准^[13-20]。各种人参炮制品的分类与炮制方法已归纳总结见表 1。

2 人参不同炮制品化学成分差异

人参化学成分复杂多样, 含有多种结构类型的活性物质, 高温蒸制、晾干等炮制方式可显著影响人参各类化学成分^[21], 且各类成分协同变化, 进而导致人参药理活性与临床功效呈现明显差异。鲜人参中所含皂苷以丙二酰基人参皂苷为主, 其中丙二酰基人参皂苷 Ma-Rb₁、Ma-Rb₂、Ma-Rc、Ma-Rd 含

表 1 人参炮制品及炮制方法分类
Table 1 Classification of processed *Panax ginseng* products and processing methods

种类	炮制方法
保鲜参	通过现代物理化学保鲜技术制备，最大程度保留人参固有天然药性
生晒参	选取须芦完整、无损伤、无水锈及腐烂的新鲜人参，浸泡软化表面泥土后洗净，置于 50~60 ℃ 烘干或日光晾晒至完全干燥
红参	以鲜人参为原料，经高温蒸制后逐级干燥脱水加工
黑参	将鲜人参用蒸汽或其他方法进行蒸煮后晾干，在 98 ℃ 下蒸制 2~3 h，然后晒干，反复进行 9 次
大力参	选取优质新鲜人参，洗净修整后经沸水浸烫，再经晾晒与低温烘干至干透
活性参	利用真空冷冻干燥技术保留人参原始形态和有效成分
糖参	经沸水浸烫、糖渍及干燥处理
蜜制参	以鲜人参或红参为原料，加入蜂蜜精制

量较高，而 Ma-Re、Ma-Rg₁ 仅以少量伴随形式存在。除上述皂苷外，鲜人参中还含有人参皂苷 Rb₁、Rb₂、Rc、Rd、Re、Rg₁ 等中性人参皂苷。其中丙二酰基人参皂苷分子中的酰基键热稳定性较差，在烘干、蒸制等热处理加工过程中，酯键易水解脱去丙二酰侧链，从而转化为相应的中性皂苷。以人参中性皂苷为代表的原型皂苷普遍极性较大、口服生物利用度较低。在红参、黑参蒸制加工过程中，长时间高温湿热条件可促使原型皂苷发生脱糖水解与构型异构化，转化生成人参皂苷 Rg₃、Rh₂ 等稀有次级皂苷。同时炮制引发美拉德反应，相关产物组分含量也随之发生改变，二者共同构成人参炮制增效的核心物质基础^[22]。

2.1 人参皂苷类成分

人参的加工炮制品以蒸制干燥的红参、九蒸九晒而成的黑参为核心古法，经长时间隔水蒸制后干燥，可同步引发美拉德反应与人参皂苷热修饰，生成氨基酸糖苷与稀有皂苷。人参皂苷热修饰本质是通过反复高温湿热实现渐进式热裂解，达到减燥存性、增效提质的炮制目的。人参皂苷炮制过程中可以通过物理加热和化学酸、碱水解方法加速生成次级皂苷^[23]。

2.1.1 炮制引起的人参皂苷类成分变化 人参皂苷是人参标志性成分，也是炮制过程中变化最为显

著、最易于检测和监测的特征性化学指标。根据皂苷元结构差异，人参皂苷主要分为人参二醇型、人参三醇型及齐墩果酸型三大类。其中，人参二醇型皂苷以人参皂苷 Rb₁、Rb₂、Rc、Rd 等为代表，人参三醇型皂苷主要包括人参皂苷 Rg₁ 和 Re 等^[24]。鲜人参中富含的热不稳定丙二酰基酸性皂苷在高温炮制条件下，丙二酰基皂苷首先发生脱酰基反应，大量转化为中性初级皂苷，同时糖苷键发生选择性断裂。初级皂苷中的 C-20 位是柔性侧链，连接 β-1,6-葡萄糖二糖，具有暴露度高、空间位阻小的特征，所以炮制时优先脱去 C-20 位糖链，其次断裂 C-3、C-6 位糖苷键，同时伴随脱糖、异构化及侧链裂解反应，使极性大、糖基数多的原型皂苷逐步转化为人参皂苷 Rg₃、Rk₁、Rg₅、Rh₂、Rg₆、F4 等低极性稀有皂苷^[25-26]。人参炮制前后主要人参皂苷特征性成分的变化如表 2 所示。

2.1.2 炮制过程中人参皂苷的转化研究 目前针对不同的稀有皂苷或皂苷元，可分为酸、碱水解和热转化皂苷工艺，这是对传统炮制机制的现代化模拟与精准量化，这种定向转化可特异性破坏部分致燥、致敏组分，有效降低初级人参皂苷的刺激性与副作用，实现药性安全调控^[27-28]。人参二醇型、三醇型皂苷定向转化过程如图 1 所示。蒸制炮制生成的人参皂苷 Rh₄、Rg₆、Rk₂ 等稀有皂苷具有显著加工特异性，可区分鲜人参、生晒参与红参，为炮制特征标志物。

第一类，酸水解催化途径，利用甲酸、冰乙酸等有机酸或 AlCl₃、BaCl₂ 等金属盐构建酸性催化环境^[42-44]。例如，在乙酸体系中加入 BaCl₂ 可实现人参皂苷 Rg₃ 的一步法高效转化^[45]。该途径本质是利用酸性介质催化糖苷键断裂及脱水异构，具有操作简单、得率高的特点。第二类，碱水解深度转化途径，在强碱（如 NaOH）、金属氧化物及高沸点溶剂（如丙二醇）的共同作用下，通过高温裂解使皂苷彻底脱糖。该工艺是生产 20(S)-原人参二醇（protopanaxadiol，PPD）和 20(S)-原人参三醇（protopanaxatriol，PPT）等皂苷元的关键手段，适用于工业化大规模生产^[46-47]。第三类，热裂解通过高温蒸煮、高压处理及酸热裂解等方式，生成常规酶解及温和酸水解难以制备的稀有皂苷与特征结构异构体。其中裂解特指分子化学键的定向断裂，主要包括糖苷键裂解（糖-苷元、糖-糖之间糖苷键）与碳-碳键裂解（C-20、C-3、C-6 侧链断裂、母核环

表 2 人参炮制前后主要人参皂苷特征性成分变化

Table 2 Changes in characteristic components of main ginsenosides in *P. ginseng* before and after processing

结构类型	序号	化合物	分子式	相对分子质量	来源	文献
二醇型皂苷	1	人参皂苷Rb ₁	C ₅₄ H ₉₂ O ₂₃	1 109.29	生品、炮制品	29
	2	人参皂苷Rb ₂	C ₅₃ H ₉₀ O ₂₂	1 079.28	生品、炮制品	29
	3	人参皂苷Rc	C ₅₃ H ₉₀ O ₂₂	1 079.28	生品、炮制品	29
	4	人参皂苷Rd	C ₄₈ H ₈₂ O ₁₈	947.15	生品、炮制品	29
	5	20(<i>S/R</i>)-人参皂苷Rg ₃	C ₄₂ H ₇₂ O ₁₃	785.02	炮制品	29
	6	20(<i>S/R</i>)-人参皂苷Rs ₃	C ₄₄ H ₇₄ O ₁₄	827.10	炮制品	30
	7	PPD	C ₃₀ H ₅₂ O ₃	460.73	炮制品	31
	8	panaxadiol (PD)	C ₃₀ H ₅₂ O ₃	460.73	炮制品	31
	9	20(<i>S/R</i>)-人参皂苷Rh ₂	C ₃₆ H ₆₂ O ₈	622.87	炮制品	32
	10	人参皂苷Rk ₂	C ₃₆ H ₆₀ O ₇	604.86	炮制品	33
	11	人参皂苷Rh ₃	C ₃₆ H ₆₀ O ₇	604.86	炮制品	34
	12	人参皂苷Rs ₄	C ₄₄ H ₇₂ O ₁₃	809.05	炮制品	35
	13	人参皂苷Rg ₅	C ₄₂ H ₇₀ O ₁₂	767.00	炮制品	29
	14	人参皂苷Rz ₁	C ₄₂ H ₇₀ O ₁₂	766.99	炮制品	29
	15	人参皂苷Rk ₁	C ₄₂ H ₇₀ O ₁₂	767.00	炮制品	29
三醇型皂苷	16	人参皂苷Rs ₅	C ₄₆ H ₇₄ O ₁₇	893.49	炮制品	33
	17	人参皂苷Re	C ₄₈ H ₈₂ O ₁₈	947.15	生品、炮制品	29
	18	人参皂苷Rg ₁	C ₄₂ H ₇₂ O ₁₄	801.01	生品、炮制品	29
	19	20(<i>S/R</i>)-人参皂苷Rg ₂	C ₄₂ H ₇₂ O ₁₃	785.01	生品、炮制品	29
	20	20(<i>S/R</i>)-人参皂苷Rh ₁	C ₃₆ H ₆₂ O ₉	638.88	生品、炮制品	29
	21	PPT	C ₃₀ H ₅₂ O ₄	476.73	生品、炮制品	36
	22	panaxatriol (PT)	C ₃₀ H ₅₂ O ₄	476.73	炮制品	36
	23	20(<i>S/R</i>)-人参皂苷Rf ₂	C ₄₈ H ₈₄ O ₁₈	948.57	炮制品	37
	24	人参皂苷Rg ₆	C ₄₂ H ₇₀ O ₁₂	767.00	炮制品	38
	25	25-OH-人参皂苷Rg ₆	C ₄₂ H ₇₂ O ₁₃	784.78	炮制品	39
	26	人参皂苷Rg ₄	C ₄₂ H ₇₀ O ₁₂	767.00	炮制品	40
	27	25-OH-人参皂苷Rg ₄	C ₄₂ H ₇₂ O ₁₃	784.78	炮制品	41
	28	人参皂苷Rk ₃	C ₃₆ H ₆₀ O ₈	620.86	炮制品	29
	29	人参皂苷Rh ₄	C ₃₆ H ₆₀ O ₈	620.86	炮制品	29

开裂)。传统炮制与定向转化途径具有共同结构修饰规律，均能使人参皂苷 Rb₁、Rb₂、Rc、Rd、Re、Rg₁ 等高糖基、大相对分子质量原型皂苷逐步转化为人参皂苷 Rh₁、Rg₃、Rk₁、Rg₅ 等多种低糖基、小相对分子质量的次级稀有皂苷。定向转化与红参、黑参传统炮制工艺高度契合，且用时短但同样可以提升皂苷生物利用度、增强药理活性^[48]。

2.2 有机酸与氨基酸类成分变化

鲜人参中富含柠檬酸、苹果酸、丙二酸等有机酸，其中丙二酸多结合于丙二酰基人参皂苷结构中，加热炮制前期发生脱丙二酰反应，促使结合态丙二酸游离释放，体系整体酸度提升^[49-50]。同时前期研究发

现，人参炮制品与鲜人参相比，氨基酸种类不变，但含量差异较大，这主要是由于炮制过程中人参中游离氨基酸发生热分解，参与美拉德反应，致使氨基酸总量下降^[51-52]。

2.3 糖类成分变化

炮制过程中人参多糖发生显著降解，大分子结合多糖逐步水解断裂，生成可溶性低聚糖、单糖等还原糖类物质，使低聚糖与还原糖含量升高^[53]，为美拉德反应提供了反应原料。鲜人参中的多糖含量由 51.32% 下降至红参中的 33.18%，此过程可促使低聚糖与还原糖组分含量累积增加^[54]。同时，人参在干燥时还原糖也能与氨基酸发生美拉

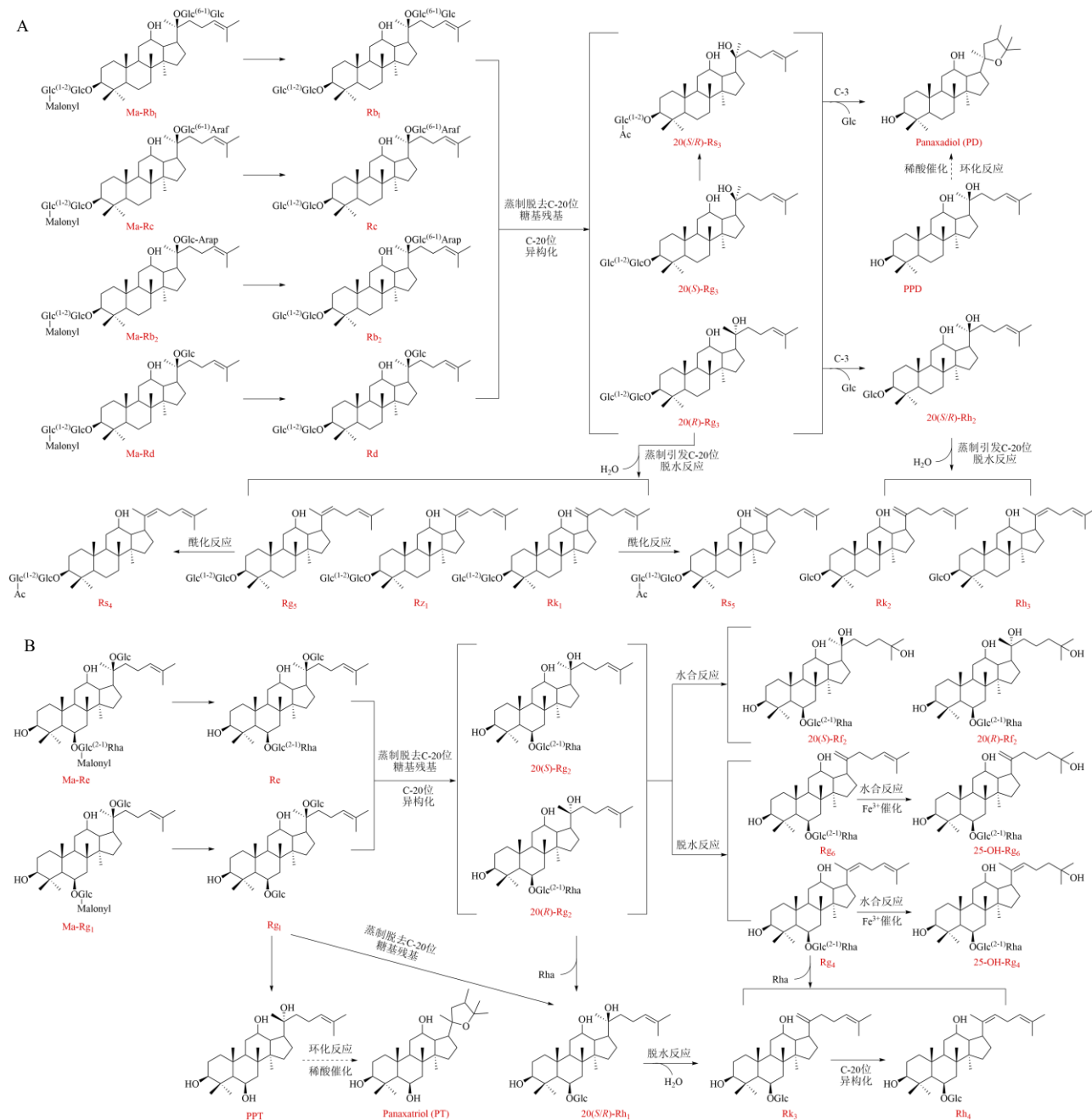


图 1 人参二醇型皂苷 (A)、三醇型皂苷 (B) 定向转化示意图

Fig. 1 Schematic diagram of directional transformation of panaxadiol saponins (A) and triol saponins (B)

德反应，生成褐色美拉德产物赋予炮制品特色泽、改善口感，进一步优化药理活性。糖类降解产物亦可作为反应底物，参与皂苷热转化及次生代谢产物生成^[55]。

人参炮制为红参的过程中，皂苷的转化往往与美拉德反应协同发生，高温、酸性环境亦有利于促使美拉德反应产物——氨基酸糖苷类成分的产生。通过氨基酸与还原糖的模拟体系可证实，红参加工过程中，能够产生精氨酸双糖苷 (arginyl-fructosyl-

glucose, AFG) 及麦芽酚 (maltol) 等化合物。相较于人参皂苷，这些氨基酸糖苷水溶性更好，生物利用度更高，更易于吸收入血并发挥药理效应，是红参药效物质基础的重要组成部分^[56]。目前已分离检测出 9 种氨基酸糖苷化合物，炮制过程具体的美拉德反应产物如图 2 所示。

2.4 炮制过程中其他成分的转化研究

在人参炮制加工过程中，除皂苷、氨基酸及糖类特征成分发生规律性转化外，酚酸类、挥发性组

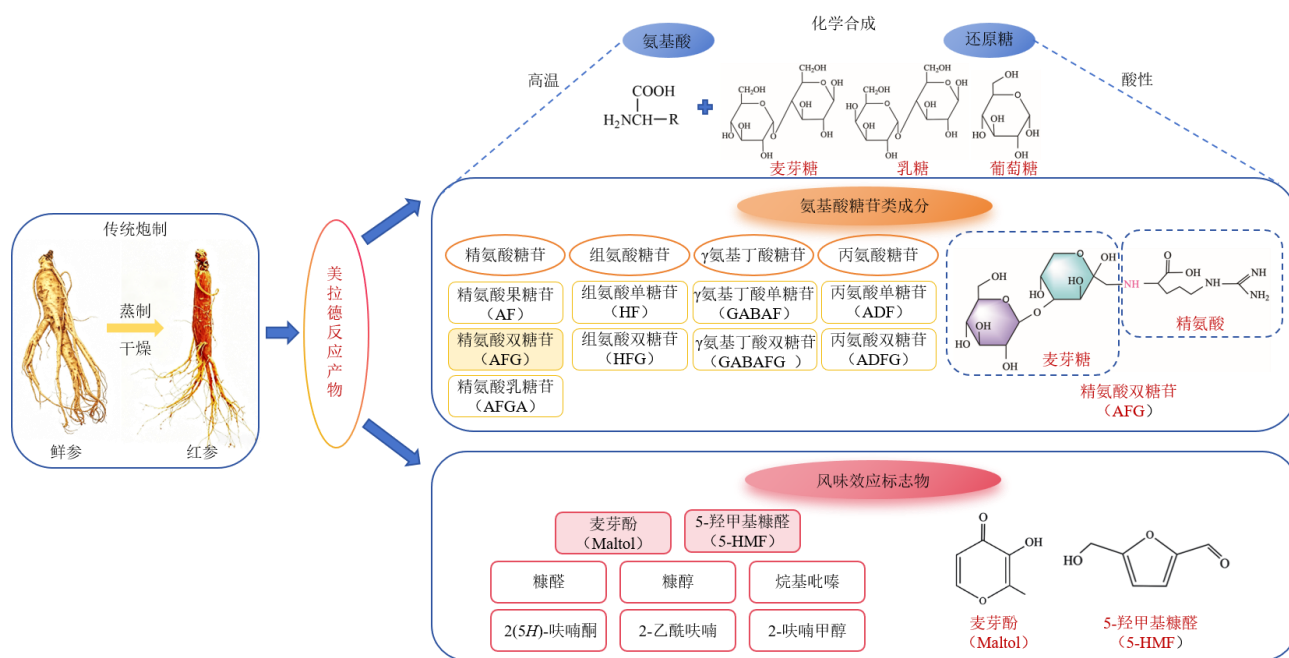


图2 人参炮制过程中美拉德反应产物形成示意图

Fig. 2 Schematic diagram of formation of Maillard reaction products during processing of *P. ginseng*

分、甾醇类、微量元素及色素类物质也伴随水热耦合环境产生明显化学演变。鲜人参含有的挥发油、萜类等热敏性挥发性成分，在高温蒸制、干燥过程中易发生挥发、氧化及热分解，含量显著降低。这是由于炮制过程中环氧炔醇的氧环在加热、酸性条件下水解开环，生成人参炔三醇^[29]，并且炮制品红参中倍半萜含量较生晒参升高，倍半萜醇降低，表明高温热处理促进倍半萜类生成与积累^[57-58]。研究表明，部分不饱和脂溶性成分发生氧化异构，生成稳定性更强的次生脂溶性产物，降低挥发性成分导致的辛辣感，进一步改善人参服用耐受性^[59]。其中，酚酸类物质在高温湿热条件下发生结合态解离、氧化聚合，游离酚酸含量提升，咖啡酸、绿原酸等多酚类组分稳定性增强，进而强化炮制品抗氧化、抗炎能力^[60]；挥发性萜类及脂溶性芳香成分受热易发生挥发、氧化与异构降解，甾醇类成分在热作用下发生结构异构化，饱和度提升，热稳定性增强^[61]，无机微量元素在湿热炮制中形态由结合态向游离态转变，生物可利用度得到改善^[62]。此外，加工过程中还原糖与含氮化合物发生美拉德反应，生成褐色多酚类聚合物及黑色素类物质，不仅赋予红参、黑参独特色泽，也生成部分具有抗氧化活性的次生物。综上，多类别微量成分的协同转化共同完善人参炮制品物质基础，辅助实现缓和药性、降低刺激性、提升综合药理活性的炮制目的。

3 炮制对人参药理作用的影响

已有研究发现人参皂苷的药效活性与皂苷分子糖基数量有关，经炮制后转化的稀有人参皂苷属于低糖基次级皂苷，分子糖基数下降，具有更高的药理活性以及良好的吸收与体内分布特征^[63-64]。炮制也伴随美拉德反应产生新的化学组分。成分的系列改变，一方面降低生药的温燥偏性，达到缓和药性的炮制目的；另一方面有助于改善成分体内吸收特征，实现炮制增强药效的作用，这也是人参炮制品与生晒参药性、药效存在明显差异的物质根源。

3.1 缓和药性

鲜人参经蒸制、干燥等炮制处理后化学成分发生重塑，稀有皂苷富集，在保留原药效的基础上，实现药性缓和的特点。其中红参药性温补力强，适合气虚阳虚人群^[65]；黑参增加了稀有人参皂苷等有效成分，性味更加平和^[66]；大力参兼具生晒参和红参的药理特性^[67]，糖参和蜜制参均具有益气和中、温补的保健效果^[68]。此外，研究证实，人参炮制过程中氨基酸糖苷类成分的产生能够降低人参的温热之性，实现炮制缓和药性的目的^[69]。挥发油类成分加热后分解，致使生参中刺激性、挥发性物质大量散失，有效降低生参辛燥之性^[70]。

现有研究证实，红参和活性参可显著下调小鼠体温、心率、饮水量等表征燥热的生物学指标，有效缓和生晒参的温燥之性，减轻上火等不良反应^[71]。此

外, 蒸制炮制可促使生晒参中原人参二醇型皂苷发生脱糖、脱水转化, 大量生成稀有皂苷 Rg_3 、 Rk_1 、 Rg_5 。该类次生稀有皂苷可削弱原生原型皂苷带来的机体燥热刺激, 使人参药性趋于平和, 这部分化学组分重构是炮制缓和人参药性的内在物质基础^[72]。

3.2 增强药效

在现代医学研究中, 炮制是调控人参药效的关键, 蒸制炮制大幅提升人参耐缺氧、抗肿瘤活性, 例如, 生晒参中不含有人参皂苷 Rh_2 、人参炔三醇, 但红参特有该 2 类强效抗肿瘤成分, 是炮制增效的关键物质基础^[73]。相较于生晒参, 经蒸制炮制所得红参对阿尔茨海默病、糖尿病的药理活性显著提升, 该药效差异根源在于炮制加工引发人参多类活性成分发生特征性转化^[74]。另外, 一项为期 8 周的人体临床试验证实, 红参抗疲劳、改善机体耐力效果优于生晒参^[75]。更为重要的是, 生晒参中高糖基皂苷水溶性强、膜通透性差, 口服生物利用度极低, 红参经蒸制脱糖生成稀有皂苷, 脂溶性提升, 胃肠道吸收效率显著提升, 各组织分布蓄积量明显高于生晒参, 是炮制改变药动学的物质基础^[73]。

另外, 药动学实验发现, 炮制工艺显著改变人参皂苷的吸收速度与体内暴露量, 给予红参提取物的大鼠血浆中人参皂苷 Rg_1 、 Re 、 Rb_1 、 Rd 的达峰时间较生晒参、冻干参有所延长, 提示红参经炮制后皂苷口服吸收速度减缓。而且相较于生晒参、活性参, 红参的皂苷类活性成分在心、肺、肾组织中的蓄积程度显著增高, 表明炮制可促进皂苷向靶组织分布富集, 延长其体内作用时间^[76]。

现代药理学研究证实, 人参炮制品及其活性提取物具有多靶点、多通路、多组织协同调控的广泛药理活性^[77-78]。其核心功效主要依托人参皂苷、氨基酸糖苷等多种活性成分协同介导, 人参炮制品在神经系统的调节、心血管系统保护、免疫调节、代谢调节与内分泌影响、抗衰老与抗氧化等方面作用突出 (图 3)。

3.2.1 对神经系统的调节作用 人参炮制品能够调控中枢神经系统功能, 发挥健脑益智、抗神经衰老的作用。炮制品中转化生成的稀有皂苷可改善脑部微循环, 抑制神经细胞氧化应激损伤, 降低炎症因子对神经元的破坏, 抑制小胶质细胞与星形胶质细胞过度活化, 维持血脑屏障完整性与紧密连接蛋白稳定, 改善阿尔茨海默病、帕金森病及脑老化所

致认知与记忆损伤^[79]。此外, 人参炮制品中的氨基酸糖苷类和 maltol 等成分可通过抗氧化、修复线粒体功能、调节胶质细胞稳态等途径发挥神经保护作用^[80]。相较于生晒参, 炮制后刺激性挥发性成分降解, 不易引起神经兴奋过度、失眠等不良反应, 更适用于神经衰弱、老年认知障碍等慢性神经系统疾病的长期调理。

3.2.2 心血管系统保护作用 炮制品中的人参皂苷类、美拉德反应产物协同作用, 可保护心血管系统。皂苷类以人参皂苷 Rg_2 、 Rg_3 、 Rk_1 等为代表, 可双向调控血管生成, 通过改善心肌缺血、减轻心肌纤维化、抑制炎症与氧化应激, 维持血管内皮功能与血脑屏障稳定^[81-82]。其中人参皂苷 Rg_3 可上调氨基酰化酶 1 (aminoacylase-1, ACY1) 改善心衰, Rk_1 通过沉默信息调节因子 3 (silent information regulator 3, SIRT3) 通路保护线粒体、减轻缺血再灌注损伤^[83]。非皂苷类如 AFG, 可协同发挥抗氧化、抗炎、改善血管通透性及心肌能量代谢作用。未炮制生参皂苷极性偏大, 入体吸收缓慢, 而炮制后小分子皂苷占比提升, 生物利用度显著增高, 对心肌缺血、高血压、高血脂等心血管损伤的修复与调控效果更优。

3.2.3 代谢调节作用 人参及其炮制品含有的皂苷类与非皂苷类活性成分, 对糖尿病及代谢性疾病具有多靶点、多通路的综合改善作用。皂苷类以人参皂苷 Rg_3 、 Rh_2 、 Rg_2 为代表, 可调控核因子 E2 相关因子 2 (nuclear factor erythroid 2-related factor 2, Nrf2) /血红素氧合酶 1 (heme oxygenase 1, HO-1)、蛋白激酶 B (protein kinase B, Akt) /叉头框蛋白 O1 (forkhead box O1, FoxO1) 等通路, 减轻氧化应激、内质网应激与细胞凋亡, 改善糖脂代谢紊乱、胰岛素抵抗及糖尿病肾损伤、视网膜病变^[79,84-85]。非皂苷类以美拉德反应产物 AFG、 γ -氨基丁酸双糖苷 (γ -aminobutyric acid-fructosyl-glucose, GABA-FG) 为核心, 能够修复胰岛 β 细胞功能、重塑肠道菌群结构, 并通过抑制转化生长因子- β (transforming growth factor- β , TGF- β) /Smad 同源物 (Smad family member, Smad)、核因子- κB (nuclear factor- κB , NF- κB) 通路缓解肾脏纤维化与慢性炎症, 协同发挥降糖、调脂的药理效应^[56,86], 为糖尿病及并发症防治提供了天然物质基础。

3.2.4 抗衰老作用 人参中的皂苷类与非皂苷类成分均具有显著的抗衰老与抗氧化药理活性。人参

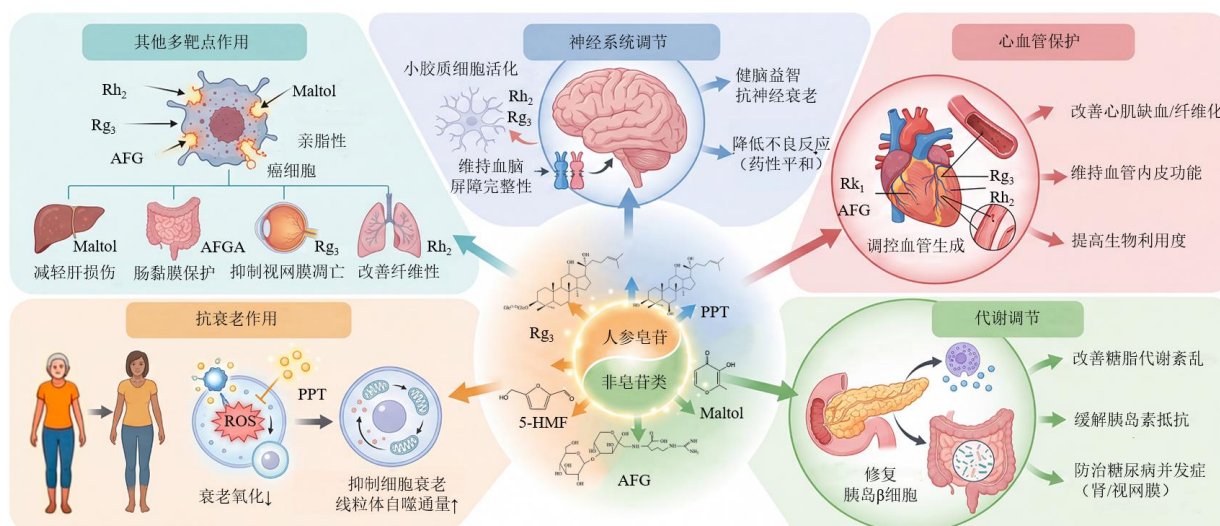


图3 人参炮制品中不同活性成分的药理机制

Fig. 3 Pharmacological mechanisms of different active ingredients in processed *P. ginseng* products

皂苷 Rg₂、PPT 可通过清除活性氧 (reactive oxygen species, ROS)、增强超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶 (catalase, CAT) 等抗氧化酶活性, 减轻氧化应激损伤, 同时调控肿瘤蛋白 p53 (tumor protein p53, p53) / 细胞周期蛋白依赖性激酶抑制剂 1A (cyclin-dependent kinase inhibitor 1A, p21) / 细胞周期蛋白依赖性激酶抑制剂 2A (cyclin-dependent kinase inhibitor 2A, p16) 通路抑制细胞衰老, 促进线粒体自噬通量, 改善脑、肾、肝等多器官衰老性损伤, 并通过抑制焦亡与凋亡、调节肠-肝轴缓解衰老相关炎症^[87-88]。非皂苷类以 AFG 为核心, 作为红参美拉德反应关键产物, 可靶向改善 ROS 介导的线粒体功能障碍, 抑制衰老相关蛋白表达, 减轻衰老性肾损伤与脑老化^[89-90], 这些活性物质为延缓衰老相关疾病提供了重要物质基础。

3.2.5 其他作用 抗肿瘤是人参炮制品具有代表性的优势药理活性^[91], 研究证实, 炮制可改变人参皂苷种类与浓度, 炮制与未炮制的人参样品均具抗肿瘤作用, 其中, 黑参、红参对癌细胞的增殖有显著的抑制作用^[4]。相较于生品, 炮制品稀有皂苷脂溶性更高, 更易穿透细胞膜, 抗肿瘤靶向性与作用强度显著优于未炮制人参^[92]。此外, 红参中的 maltol 可减轻纳米微塑料引发的肝损伤^[93], 精氨酸乳糖苷 (argininyl-fructosyl-galactose, AFGA) 能保护肠黏膜、缓解氧化应激与炎症凋亡^[94]。人参皂苷 Rg₃ 可抑制视网膜凋亡、改善年龄相关性黄斑变性^[95], 还能修复热应激导致的生精损伤^[44], 人参皂苷 Rh₂ 可以通过靶向热休克蛋白 70 (heat shock protein 70,

HSP70)-p53 通路改善肺纤维化^[96], 炮制品整体呈现多器官、多靶点的保护效应。

4 人参炮制品 Q-Marker 预测分析

Q-Marker 是基于中药物质基础、药效属性、传递稳定性及可检测性等原则确立的特异性质量评价指标, 可客观反映中药材及其炮制品的内在品质与药效关联性^[97]。人参经炮制后, 其化学成分发生定向转化, 表现为稀有皂苷富集、原型皂苷转化, 形成区别于生品的特征物质基础。依据 Q-Marker 筛选原则, 结合植物亲缘关系、药效属性及检测特征, 可对人参炮制品 Q-Marker 进行预测^[98-99]。综合分析认为, 人参炮制品的候选 Q-Marker 主要包括人参皂苷 Rg₁、Re、Rb₁ 等原型皂苷, 以及人参皂苷 Rg₃、Rh₂、Rk₁、Rg₅ 等热转化稀有皂苷; 同时, 可结合 maltol、氨基酸糖苷类成分 (红参)、糖类 (糖参) 等特征物质进行综合评价, 这些成分可较好表征不同炮制品的质量差异及炮制工艺特征^[57,100]。

4.1 基于植物亲缘学及化学成分特有性的 Q-Marker 预测

人参与西洋参 *Panax quinquefolius* L.、三七 *P. notoginseng* (Burk.) F. H. Chen 同属五加科人参属, 三者形态学特征相似, 具备高度近缘的演化谱系, 且均以三萜皂苷类成分为其主要药效物质基础, 共有人参皂苷 Rg₁、Re、Rb₁、Rd 等原型皂苷共有组分, 是同属植物化学亲缘关联的核心物质佐证^[101]。然而不同种间皂苷的组成比例及专属性成分存在显著差异, 相较于西洋参、三七, 人参的皂苷体系具备不可替代的化学特异性与活性优势: 第一, 人

参专属特征标志物人参皂苷 Rf 为西洋参与三七根系中未检出的原人参三醇型特征皂苷,可作为物种化学鉴别指标;第二,人参经蒸制炮制后,可发生达玛烷母核 C-20 位分子内脱水、C-25 位羟基化等化学转化、侧链氧化以及糖基乙酰化,进而定向富集人参皂苷 Rh₄、Rg₆、Rk₂、Rh₃、Rs₄ 等稀有皂苷。该类低极性稀有人参皂苷在西洋参、三七原生药材及加工炮制品中检出种类少、累积丰度极低;第三,人参同时含有齐墩果烷型人参皂苷,完善了二醇、三醇、齐墩果烷三类皂苷完整骨架体系,而三七地下部位未检出齐墩果烷型皂苷、西洋参齐墩果烷型组分含量微乎其微^[102];第四,人参中精氨酸等游离氨基酸储量充足,可作为美拉德反应底物,能够持续生成 maltol、5-羟甲基糠醛(5-hydroxymethylfurfural, 5-HMF)等风味效应标志物,以及 AFG、精氨酸果糖苷(arginyl-fructose, AF)等炮制特有的氨基酸糖苷^[24]。上述稀有皂苷及美拉德反应产物共同构成人参炮制品特有的化学特征,具有来源明确、结构稳定、传递性强等特点,符合 Q-Marker 对物种专属性、基质特异性及溯源稳定性的要求。

4.2 基于化学成分有效性的 Q-Marker 预测

人参炮制品的主要活性物质基础涵盖人参皂苷与氨基酸糖苷类成分,具有抗氧化、抗炎、抗衰老、抗肿瘤及免疫调节等多重药理作用。其中,炮制过程中转化生成的稀有人参皂苷是炮制后药效增强的关键组分。稀有人参皂苷由炮制过程中的化学转化特异性生成,兼具明确的化学可测性与显著生物活性,符合 Q-Marker 的核心筛选要求,可作为人参不同炮制品差异化质量评价的重要候选指标。

现代药理研究表明,微苦味兼具泄热、调和补益之效,人参中含有的人参皂苷成分具有此作用。从传统药性角度看,生人参偏温燥,易致口干、上火等反应;炮制后其药性趋于平和,燥性明显减弱。其物质基础主要与刺激性挥发性成分减少及热不稳定皂苷转化有关。人参皂苷 Rg₃、Rh₂ 等稀有皂苷性质相对温和、刺激性较低,可表征炮制后“性温而不燥”的药性特征,适合作为基于药性的候选 Q-Marker。

人参传统功效以大补元气、复脉固脱、益气摄血为主,炮制品在保留原生补气功效基础上,兼具更强的安神、抗衰、补虚作用。研究表明,炮制后形成的稀有皂苷是增强药效的重要物质基础,其中

Rg₃、Rk₁、Rg₅ 及 Rh₂ 可在抗肿瘤、抗疲劳、免疫调节等方面发挥作用,与炮制品“补益增强、固本安神”的功效特征一致。因此,基于传统功效筛选 Q-Marker,有助于锁定真正介导药效的核心成分。

4.3 基于成分可测性的 Q-Marker 预测

Q-Marker 筛选还应满足良好的可测性。现有分析技术可实现对目标成分稳定、准确的定性与定量检测,这是将候选标志物实际应用于质量评价的重要前提。人参各类主要活性成分理化性质研究较为充分,分离检测条件成熟,可借助高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)、超高效液相色谱-串联质谱(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)以及中药指纹图谱等现代分析技术开展定量与整体表征分析。其中人参皂苷 Rb₁、Re、Rg₁ 等原生皂苷以及人参皂苷 Rg₃、Rh₂、Rk₁、Rg₅ 等炮制产生的稀有皂苷均已建立较为成熟的检测方法,分析方法的稳定性、精密度与重复性良好,适宜作为人参不同炮制品的质量控制指标。除此之外,经炮制生成的稀有皂苷、美拉德反应来源的氨基酸衍生物等特征组分,也可通过 HPLC、高效液相色谱-蒸发光散射检测器(high performance liquid chromatography-evaporative light scattering detector, HPLC-ELSD)、液相色谱-质谱联用技术(liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS)等技术实现有效检出,能够为炮制品工艺优劣评价、专属质量标准的构建提供重要的实验支撑^[65,103]。

4.4 基于不同炮制方法的 Q-Marker 预测

当前人参各类炮制品未形成独立专属质量控制规范,各种炮制品多采用统一质控指标开展评价,难以体现炮制带来的物质基础与药效差异。将 Q-Marker 研究策略引入中药炮制评价体系,系统解析炮制工艺驱动下药材化学组分类型与含量的动态演变规律,建立炮制物质转化特征的差异化评价规范,可为中药材加工炮制领域质控技术体系的优化完善提供新思路^[99]。

人参炮制品 Q-Marker 的种类与含量变化由加工温度、热处理时长、辅料添加 3 类因素主导。不同加工工艺可诱发人参皂苷发生水解、脱酰基、构型转化及美拉德反应,保鲜参与活性参以丙二酰基人参皂苷为特征标志物,低温加工工艺可最大程度保留该类热不稳定组分,因此二者可维持较高的丙二酰基人参皂苷水平;生晒参以原型人参皂苷为

主;红参、黑参富集次级稀皂苷与美拉德反应产物;大力参、糖参、蜜制参依靠特有皂苷组分与高含量游离糖作为区分依据^[24,38]。综上所述,基于人参炮制过程中化学成分转化规律、特征组分含量差异及药理活性特征为依据,将标志物划分为核心定量 Q-Marker 与辅助鉴别标志物,同时汇总各炮制品核心质控分类原理,具体区分如表 3 所示。

4.5 基于人参君药复方配伍环境下的 Q-Marker 预测研究

中医复方遵循君臣佐使配伍理论,君药为全方位功效核心载体,人参作为补气类经典君药,其特征化学成分直接决定复方补气生津、健脾益肺的核心药效,因此开展复方 Q-Marker 筛选需首要聚焦君药人参配伍环境下的成分转化、溶出、协同作用特征。从配伍溯源层面分析,复方共煎体系存在药味间溶出促进、化学转化、组分间相互拮抗抑制等多重作用,人参炮制品原生原型皂苷、氨基酸衍生物在与臣佐使药共煎煮过程中,溶出动力学发生显著改变,实现了多组分协同释放优势,为合煎增效提供了微观物理化学依据。同时人参内源还原糖与游离氨基酸可与复方中其他药味中的含氮、羰基类物质交叉发生美拉德反应,生成 maltol、5-HMF、AFG、AF 等配伍专属衍生代谢物,区别于单味人参蒸制的化学转化特征,该类产物具备复方专属溯源标识属性,可作为区分含人参复方与不含人参复方的进程标志物。此外,基于配伍减毒化学机制,君药人参中田七氨酸在复方共煎高温体系下快速分解,可同步作为复方炮制减毒相关辅助标志物^[104]。此外,结合化学模式识别手段,可区分鲜人参、生晒参、红参入药的复方代谢轮廓差异,多层次筛选兼具君药溯源性、配伍特异性、药效相关性的潜在 Q-Marker,为含人参经典复方整体质量控制体系构建提供科学依据。

4.6 基于网络药理学和分子对接的 Q-Marker 预测

网络药理学通过多数据库靶点挖掘、互作网络与通路富集分析,能够筛选具备炮制特异性、多靶点药效活性的特征组分。孙彬等采用网络药理学技术解析人参抗衰老的物质基础与分子作用机制,该研究以中药系统药理学数据库分析平台(traditional Chinese medicine systems pharmacology database and analysis platform, TCMSP)筛选人参潜在活性成分并完成靶点蛋白。结果表明人参多种活性组分可协同发挥抗衰老作用,表皮生长因子受体(epidermal

growth factor receptor, EGFR)、血管内皮生长因子 A (vascular endothelial growth factor A, VEGFA)、缺氧诱导因子-1 α (hypoxia-inducible factor-1 α , HIF-1 α)、雌激素受体 α (estrogen receptor α , ER α)、信号转导与转录激活因子 3 (signal transducer and activator of transcription 3, STAT3) 是介导药效的关键靶点,通过调控磷脂酰肌醇 3-激酶(phosphatidylinositol 3-kinase, PI3K)-Akt、叉头框蛋白 O (forkhead box O, FoxO)、缺氧诱导因子-1 (hypoxia-inducible factor-1, HIF-1) 等信号通路实现抗衰老效应,体现出人参多成分、多靶点、多通路协同起效的整体药理特点^[105]。李名涵等^[106]基于 TCMSP,以口服生物利用度(oral bioavailability, OB) $\geq 30\%$ 、类药性(drug-likeness, DL) ≥ 0.18 为筛选阈值,筛选出人参皂苷 Rh₂、Compound K、Rg₃、Rk₁、Rg₅ 等 28 种干预糖尿病的候选活性化合物,并整合 GeneCards、人类孟德尔遗传数据库(online mendelian inheritance in man, OMIM) 获取疾病交集靶点,借助蛋白互作网络数据库(search tool for the retrieval of interacting genes/proteins, STRING) 构建蛋白-蛋白相互作用网络,挖掘出 Akt、肿瘤坏死因子(tumor necrosis factor, TNF)、白细胞介素-1 β (interleukin-1 β , IL-1 β) 等多个糖尿病核心治疗靶点。此外,已有研究采用超高效液相色谱-四极杆-静电场轨道阱高分辨质谱(ultra performance liquid chromatography-Q Exactive Orbitrap mass spectrometry, UPLC-QE-Orbitrap-MS) 技术对生晒参、红参、黑参中皂苷组分进行系统定性,共鉴别出 40 种人参皂苷,并且借助 Cytoscape 软件构建“成分-靶点-疾病”互作网络开展网络药理学分析,筛选得到黑参特征活性组分人参皂苷 Rh₄、Rk₃、Rk₁、Rg₅ 及 Compound K,上述成分可靶向雷帕霉素靶蛋白(mammalian target of rapamycin, mTOR)、蛋白激酶 B1 (protein kinase B1, Akt1)、STAT3 等关键靶点干预心力衰竭,进一步佐证经多次蒸制炮制的人参炮制品药理活性优于生晒参^[107]。综上,网络药理学可作为优化人参炮制品 Q-Marker 筛选体系的有效辅助分析方法。

现有网络药理学手段可初步筛出人参炮制品的候选质量标志物,但该方法仅能推导活性成分与疾病靶点的潜在关联,缺乏分子互作层面的直接依据。分子对接可模拟人参中小分子与靶蛋白的结合状态,定量评估相互作用强弱。分子对接结果显示,

红参特征美拉德产物 AFG 与腺苷酸活化蛋白激酶 (AMP-activated protein kinase, AMPK) 蛋白的结合自由能为-42.68 kJ/mol, 优于各类人参皂苷对照组分, AFG 可通过 Arg83、Lys29、Gln91 氨基酸残基形成氢键并辅以疏水作用稳定结合于 AMPK 活性口袋, 激活 AMPK 介导的自噬溶酶体通路以改善高糖造成的视网膜损伤^[108]。且有相关研究报道, 人参皂苷 Rg₅、

Rk₁ 与 Akt1 蛋白对接所需结合自由能显著低于其余人参皂苷组分, 仅需-41.84 kJ/mol 即可形成稳定复合物, 该相互作用可介导糖代谢通路发挥糖尿病干预作用^[106]。分子互作从靶点亲和力层面证实 AFG 和稀有人参皂苷具备显著药效特异性, 为其作为人参炮制品的专属 Q-Marker 提供分子水平支撑, 也为人参炮制品 Q-Marker 筛选预测提供可靠的评价手段。

表 3 人参各类炮制品特征 Q-Marker 差异化对照

Table 3 Comparison table of Q-Marker differentiation characteristics of various processed <i>P. ginseng</i> products			
炮制品	核心定量 Q-Marker	辅助鉴别 Q-Marker	质控依据
保鲜参	丙二酰基人参皂苷 Ma-Rb ₁ 、Ma-Rb ₂ 、Ma-Rc、Ma-Rd	丙二酰基人参皂苷 Ma-Re、原生高分子人参多糖	鲜人参所含热不稳定丙二酰基皂苷经加热炮制后易水解, 可作为区分鲜人参所有热加工炮制品的核心标识; 通过限定总丙二酰基皂苷最低检出量, 能够有效鉴别鲜人参真伪并评判原料新鲜程度。
生晒参	人参皂苷 Rg ₁ 、Re、Rb ₁ 、Rd	微量丙二酰基人参皂苷 Rb ₁ 、Rb ₂ 、Rc、Rd	生晒参经低温干燥后, 丙二酰基皂苷发生部分水解, 中性皂苷成为主要组分; 可依据丙二酰基皂苷残留量与鲜参、活性参相区分, 同时根据无稀有转化皂苷的特征区别于红参、黑参。
红参	人参皂苷 Rg ₃ 、Rh ₂ 、AF、AFG	Maltol、5-HMF、人参皂苷 Rk ₁	高温蒸制可使丙二酰基皂苷彻底分解, 同时生成稀有次级皂苷和美拉德特征产物, 3 类特有成分在红参中大量累积, 可作为其区别于鲜人参、生晒参的关键鉴别指标。
黑参	人参皂苷 Rg ₅ 、Rk ₁ 、Rh ₄ 、Rs ₄	AFG、Maltol	经九蒸九晒深度炮制后, 黑参中稀有次级皂苷大量累积, 整体组分特征与常规红参存在明显差异; 通过多种稀有皂苷联合指标, 实现黑参与红参、生晒参的有效区分。
大力参	人参皂苷 Rd、Rb ₁	微量人参皂苷 Rg ₃ 、少量丙二酰基皂苷	大力参经短时水煮后低温干燥处理, 丙二酰基皂苷发生完全水解, 仅少量稀有皂苷生成, 整体组分转化程度介于生晒参与红参之间; 可借助 Rd/Rb ₁ 比值特征实现该饮片与其余人参加工品的鉴别区分。
活性参	丙二酰基人参皂苷 Ma-Rb ₁ 、Ma-Rb ₂ 、Ma-Rc、Ma-Rd	低沸点挥发性成分 (人参炔醇)、原生多糖	活性参采用低温真空冻干工艺, 可最大程度保留鲜人参原有化学组分, 其丙二酰基皂苷含量与鲜人参相近; 可依据挥发性成分差异将其与鲜人参区分, 同时依靠丙二酰基皂苷总含量实现与生晒参的鉴别。
糖参	人参皂苷 Rg ₃ 、AFG	Maltol、5-HMF、果糖	糖参经糖渍处理后, 保留红参特有的皂苷类标志物, 同时大量富集游离还原糖; 可依据高含量糖将其与红参区分, 同时以人参皂苷 Rg ₃ 、AFG2 类特征组分区别于生晒参。
蜜制参	AFG、5-HMF	人参皂苷 Rg ₃ 、蜂蜜寡糖	蜜制参经蜜制处理促进美拉德反应进程, 辅料蜂蜜引入特有化学组分; 以 AFG 联合蜂蜜特征成分作为组合指标, 可区别于其他人参炮制品。

5 结语及展望

本文较为系统阐述了人参及其炮制品的化学成分转化规律、现代制备工艺及药理作用基础。人参炮制并非简单的物理干燥, 而是一个以热诱导为核心的综合性化学演变过程。通过对反应介质, 酸、碱、酶等以及物理环境温度、压力的精确调控, 人参皂苷发生降解、脱水及骨架重排, 实现了由初级皂苷向高活性稀有组分的定向转化; 同时, 糖类与氨基酸通过美拉德反应生成的产物, 与次级皂苷共同构建了炮制品独特的药用物质体系。现代化学和物理转化技术传承并升华了传统“高温促转化”的机理, 克服了传统炮制周期长、得率低、难以量产的局限, 具备转化速率快、稳定性强及适配工业化

量产的显著优势。

人参与各类加工炮制品出现功效分化, 其本质是不同炮制工艺引发人参内源化学成分发生定向化学转化, 物质基础的组成、比例改变直接改变药材药性与作用靶点。鲜人参富含大量丙二酰基人参皂苷, 药性偏凉, 长于生津清火; 经低温烘干制为生晒参, 部分丙二酰基皂苷水解, 药性转平, 补气生津之力缓和; 而红参、黑参经过长时间高温蒸制, 丙二酰基彻底水解脱落, 同时发生脱糖、美拉德缩合反应, 大量生成 20(R)-型稀有皂苷、AFG 等成分, 药性由凉转温, 温补益气、温通血脉作用显著增强; 辅以炼蜜加工的糖参、蜜参, 糖分与美拉德产物进一步积累, 补中缓急功效更为突出。简言之, 相较

于生品, 炮制品不仅实现了药性由燥转平, 且在抗衰老、神经保护及治疗糖尿病等领域表现出更强的生物活性与更高的生物利用度。

2016 年刘昌孝院士提出的中药 Q-Marker 理论, 以有效性、特有性、可测性、传递与溯源性及配伍相关性为基本原则^[109-110]。基于此, 本综述构建了人参炮制品层级化的 Q-Marker 体系。人参蒸制过程产生的稀有人参皂苷及 AF、AFG、maltol、5-HMF 等美拉德反应产物, 可表征人参炮制程度与工艺稳定性, 是重要的加工进程标志物。对于丙二酰基人参皂苷稳定性不足的问题, 可采用差异化质控思路, 即保鲜参、活性参可通过控制贮藏条件并设置检出阈值开展鉴别; 高温人参炮制品则优先选择炮制生成的稳定特征组分作为 Q-Marker, 以规避该成分稳定性缺陷带来的质控局限。综上, 由人参皂苷及美拉德特征产物构成的多维标志物群, 可为人参药材及相关炮制品的质量控制、工艺优化与品质溯源提供理论支撑。同时, 依托 HPLC、LC-MS 等技术定量检测技术, 为鲜人参、生晒参、红参、黑参等不同人参加工品建立差异化质量评价标准提供理论支撑,

尽管目前对红参及生晒参的研究已较为深入, 但黑参、大力参、保鲜参等炮制品的开发仍处于热点较为局限的初级阶段。未来研究应侧重于以下方向: 首先, 注重工艺优化与协同创新: 进一步优化生物转化与物理化学手段的协同效应, 探索精准控温、控压下的定向修饰技术, 以实现低成本、高纯度稀有组分的工业化产出。其次, 持续深化物质基础研究, 除皂苷类成分外, 应加强对美拉德反应产物、多糖水解物及有机酸转化等非皂苷组分的药效解析, 阐明多组分协同作用的分子机制。最后, 加强精深化开发与临床应用, 推动人参炮制技术向精深化、规模化升级, 针对慢性病干预与长期进补的需求, 开发更多元化的功能性食品与新药, 为人参属植物资源的精准利用提供现代技术支撑。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 李向高, 孙桂芳, 王丽娟. 古代人参基原考辨 [J]. 中药材, 2002, 25(11): 818-823.
- [2] 孙卫东, 程延贵. 人参炮制加工史 [J]. 人参研究, 2017, 29(5): 55-59.
- [3] 余惠旻, 肖小河, 刘塔斯, 等. 中药四性的生物热力学研究 I. 生晒参和红参药性的微量热学比较 [J]. 中国中药杂志, 2002, 27(5): 393-396.
- [4] Wang C, Tang X L, Yan F Y, *et al.* Different processing methods affect the chemical composition and *in vitro* anti-tumor activity of ginseng [J]. *J Food Sci*, 2025, 90(1): e17639.
- [5] Fan W X, Fan L H, Wang Z Y, *et al.* Rare ginsenosides: A unique perspective of ginseng research [J]. *J Adv Res*, 2024, 66: 303-328.
- [6] 齐梦含, 郑毅男, 李伟. 红参中氨基酸糖苷类化学成分研究进展 [J]. 中草药, 2024, 55(19): 6779-6788.
- [7] 郭佳龙, 刘畅, 王瑶, 等. 稀有人参皂苷的应用基础与开发利用研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2024, 49(2): 304-314.
- [8] Xiao D, Xiu Y, Yue H, *et al.* A comparative study on chemical composition of total saponins extracted from fermented and white ginseng under the effect of macrophage phagocytotic function [J]. *J Ginseng Res*, 2017, 41(3): 379-385.
- [9] 刘伟, 李伟. 我国人参加工炮制和产业化发展现状与展望 [J]. 吉林农业大学学报, 2023, 45(6): 639-648.
- [10] Todorova V, Ivanov K, Ivanova S. Comparison between the biological active compounds in plants with adaptogenic properties (*Rhaponticum carthamoides*, *Lepidium meyenii*, *Eleutherococcus senticosus* and *Panax ginseng*) [J]. *Plants*, 2022, 11(1): 64.
- [11] 林源, 董志颖, 黄宝康, 等. 人参历代炮制工艺与传承研究 [J]. 亚太传统医药, 2022, 18(7): 221-226.
- [12] 袁佳宝, 曹帅, 李丽敏, 等. 红参的炮制工艺及质量评价研究进展 [J]. 中草药, 2024, 55(18): 6437-6447.
- [13] 保鲜人参分等质量: GB/T 22534—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 1-16.
- [14] 生晒参分等质量: GB/T 22536—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 1-20.
- [15] 红参分等质量: GB/T 22538—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 1-20.
- [16] 卢蕾, 敖曼, 陈舒雅, 等. 一测多评法同时测定黑参中 12 种单体皂苷含量 [J]. 中药材, 2020, 43(2): 394-397.
- [17] 大力参分等质量: GB/T 22537—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 1-16.
- [18] 活性参分等质量: GB/T 22535—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 1-12.
- [19] 糖参分等质量: GB/T 22539—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 1-12.
- [20] 蜜制人参分等质量: GB/T 22540—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 1-16.
- [21] Geng X Y, Wang J, Liu Y W, *et al.* Research progress on chemical diversity of saponins in *Panax ginseng* [J]. *Chin Herb Med*, 2024, 16(4): 529-547.

- [22] Xie Y Y, Luo D, Cheng Y J, *et al.* Steaming-induced chemical transformations and holistic quality assessment of red ginseng derived from *Panax ginseng* by means of HPLC-ESI-MS/MS(n)-based multicomponent quantification fingerprint [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(33): 8213-8224.
- [23] 孙亮, 张美萍, 王义, 等. 人参皂苷生物转化及固体发酵工艺研究进展 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(15): 395-399.
- [24] 刘伟, 刘永博, 王梓, 等. 人参的化学成分与转化机理研究进展 [J]. 吉林农业大学学报, 2023, 45(6): 664-673.
- [25] Qiu Y, Wang N Y, Yu Z, *et al.* Changes in the chemical composition and medicinal effects of black ginseng during processing [J]. *Front Pharmacol*, 2024, 15: 1425794.
- [26] Zhu H R, Zhang R, Huang Z X, *et al.* Progress in the conversion of ginsenoside Rb1 into minor ginsenosides using β -glucosidases [J]. *Foods*, 2023, 12(2): 397.
- [27] Liu J, Liu Y, Wu K X, *et al.* Comparative analysis of metabolite profiles from *Panax* herbs in specific tissues and cultivation conditions reveals the strategy of accumulation [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2020, 188: 113368.
- [28] 肖盛元, 罗国安. 红参加工过程中人参皂苷化学反应 HPLC/MS/MS 研究 [J]. 中草药, 2005, 36(1): 40-43.
- [29] Lee S M, Bae B S, Park H W, *et al.* Characterization of Korean Red Ginseng (*Panax ginseng* Meyer): History, preparation method, and chemical composition [J]. *J Ginseng Res*, 2015, 39(4): 384-391.
- [30] Baek N I, Kim J M, Park J H, *et al.* Ginsenoside Rs3, a genuine dammarane-glycoside from Korean red ginseng [J]. *Arch Pharmacol Res*, 1997, 20(3): 280-282.
- [31] Tanaka O, Nagai M, Shibata S. Chemical studies on the oriental plant drugs. XVI. The stereochemistry of protopanaxadiol, a genuine sapogenin of ginseng [J]. *Chem Pharm Bull*, 1966, 14(10): 1150-1156.
- [32] 李向高, 富力, 鲁歧, 等. 红参炮制加工中的皂苷水解反应及其产物的研究 [J]. 吉林农业大学学报, 2000, 22(2): 1-9.
- [33] Park I H, Kim N Y, Han S B, *et al.* Three new dammarane glycosides from heat processed ginseng [J]. *Arch Pharm Res*, 2002, 25(4): 428-432.
- [34] 顾承真, 曾碧雪, 张钰佳, 等. 人参属植物高温蒸制前后人参皂苷含量的变化和细胞毒活性研究 [J]. 中草药, 2021, 52(11): 3391-3397.
- [35] Kim S E, Lee Y H, Park J H, *et al.* Ginsenoside-Rs4, a new type of ginseng saponin concurrently induces apoptosis and selectively elevates protein levels of p53 and p21WAF1 in human hepatoma SK-HEP-1 cells [J]. *Eur J Cancer*, 1999, 35(3): 507-511.
- [36] Shibata S, Tanaka O, Soma K, *et al.* Studies on saponins and sapogenins of ginseng. The structure of panaxatriol [J]. *Tetrahedron Lett*, 1965, 42: 207-213.
- [37] Park J D, Lee Y H, Kim S I. Ginsenoside Rf2, a new dammarane glycoside from Korean red ginseng (*Panax ginseng*) [J]. *Arch Pharmacol Res*, 1998, 21(5): 615-617.
- [38] Xu X F, Gao Y, Xu S Y, *et al.* Remarkable impact of steam temperature on ginsenosides transformation from fresh ginseng to red ginseng [J]. *J Ginseng Res*, 2018, 42(3): 277-287.
- [39] Chang Y Y, Li B, Xiao Y S, *et al.* Diverse rare ginsenosides derived from ginsenoside Re in aqueous methanol solution via heterogeneous catalysis and identified by HPLC-MS [J]. *RSC Adv*, 2025, 15(21): 16455-16467.
- [40] 赵钰, 刘春莹, 赵妍, 等. 人参果浆中人参皂苷 Re 的提取和生物转化 [J]. 食品工业科技, 2020, 41(4): 25-30.
- [41] Gao Y, Xiu Y, Zhao H X, *et al.* Chemical transformation of protopanaxatriol-type ginsenosides Re and 20(S)-Rf by heteropoly acid based on HPLC-ESI-MSn analysis [J]. *J Chin Mass Spectrom Soc*. 2017, 38(2): 203-210.
- [42] 李伟, 林向辉, 林晓熙, 等. 化合物人参皂苷 Rk₁ 的制备方法及应用. 中国, CN106995479 A [P]. 2017-08-01.
- [43] 李伟, 王梓, 赵立春, 等. 化合物 20(R)-人参皂苷 Rg₃ 的制备方法及应用. 中国, CN106336445 A [P]. 2017-01-18.
- [44] 李伟, 李新殿, 王梓, 等. 20(R)-人参皂苷 Rg₃ 的制备方法及其在制备热应激致生精损伤药物中的应用. 中国, CN110179811 A [P]. 2019-08-30.
- [45] 李伟, 李新殿, 李有宝, 等. 一种化合物 20(R)-人参皂苷 Rg₃ 的高效制备分离方法. 中国, CN110229208 A [P]. 2019-09-13.
- [46] 李伟, 卫衡, 王建强, 等. 化合物 20(S)-原人参二醇 PPD 的制备新方法与应用. 中国, CN114702540 A [P]. 2022-07-05.
- [47] 李伟, 刘永博, 周越, 等. 一种化合物 20(S)-原人参三醇 PPT 的规模化制备新方法. 中国, CN114702541 A [P]. 2022-07-05.
- [48] 李伟, 王建强, 于海娇, 等. 一种稀有人参皂苷 Rk₁ 和 Rg₅ 的制备方法. 中国, CN120136945 A [P]. 2025-06-13.
- [49] 高健, 吕邵娃. 人参化学成分及药理作用研究进展 [J]. 中医药导报, 2021, 27(1): 127-130.
- [50] Liu Z, Xia J, Wang C Z, *et al.* Remarkable impact of acidic ginsenosides and organic acids on ginsenoside transformation from fresh ginseng to red ginseng. [J]. *J Agric Food Chem*, 2016, 64(26): 5389-5399.

- [51] Cho E J, Piao X L, Jang M H, *et al.* The effect of steaming on the free amino acid contents and antioxidant activity of *Panax ginseng* [J]. *Food Chem*, 2008, 107(2): 876-882.
- [52] 郑毅男, 孟祥颖, 张晶, 等. 红参中新化合物精氨酸苷的生成机理及生成条件的研究 [J]. 中国药物化学杂志, 1997, 7(3): 217-220.
- [53] Xu M R, Jiang Z Y, Ren J, *et al.* De-starched *Panax ginseng* polysaccharide: Preparation, *in vitro* digestion, fermentation properties and the activating effect of the resultant products on RAW_{264.7} cells [J]. *Carbohydr Polym*, 2025, 351: 123103.
- [54] Sun H, Liu F B, Sun L W, *et al.* Proteomic analysis of amino acid metabolism differences between wild and cultivated *Panax ginseng* [J]. *J Ginseng Res*, 2016, 40(2): 113-120.
- [55] Zhou S S, Xu J, Kong M, *et al.* Synchronous characterization of carbohydrates and ginsenosides yields deeper insights into the processing chemistry of ginseng [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2017, 145: 59-70.
- [56] Qi M H, Zhang H Y, Hou Y Y, *et al.* Ginseng-derived GABAFG ameliorates type 2 diabetes mellitus by modulating autophagy-lysosome pathway and gut microbiota [J]. *J Adv Res*, 2025, 77: 465-480.
- [57] 张淼, 秦昆明, 李伟东, 等. 人参炮制过程中化学成分变化及机制研究 [J]. 中国中药杂志, 2014, 39(19): 3701-3706.
- [58] 赵卉, 冯志伟, 崔丽丽, 等. 不同人参炮制品的挥发性成分研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(8): 2687-2693.
- [59] Truong V L, Jeong W S. Red ginseng (*Panax ginseng* Meyer) oil: A comprehensive review of extraction technologies, chemical composition, health benefits, molecular mechanisms, and safety [J]. *J Ginseng Res*, 2022, 46(2): 214-224.
- [60] 谭利平, 竹林, 黄峥峥, 等. 差异性炮制方法对丹参药材中丹酚酸 B 的变化研究 [J]. 世界中医药, 2020, 15(7): 1008-1011.
- [61] 江川, 黄玉芳, 章靓, 等. 3 种不同炮制方法对白土茯苓中 β -谷甾醇含量的影响 [J]. 中国医药科学, 2019, 9(23): 34-37.
- [62] 石艳红. 不同炮制对部分中药微量元素的影响 [J]. 中国医药指南, 2013, 11(4): 103-104.
- [63] Deng X Q, Zhao J Q, Qu L L, *et al.* Ginsenoside Rh4 suppresses aerobic glycolysis and the expression of PD-L1 via targeting AKT in esophageal cancer [J]. *Biochem Pharmacol*, 2020, 178: 114038.
- [64] Deng J J, Liu Y, Duan Z G, *et al.* Protopanaxadiol and protopanaxatriol-type saponins ameliorate glucose and lipid metabolism in type 2 diabetes mellitus in high-fat diet/streptozocin-induced mice [J]. *Front Pharmacol*, 2017, 8: 506.
- [65] 李昊虬, 段素芳, 刘艳, 等. 红参功效成分的应用与检测分析的研究进展 [J]. 药食同源杂志, 2025(6): 19-25.
- [66] 刘琳琳, 窦德强. 基于生物信息学分析归属人参属化学成分及黑参药性 [J]. 中国中医药信息杂志, 2022, 29(9): 11-16.
- [67] 王艺霏, 初奇, 孙佳莹, 等. 大力参炮制工艺及主要化学成分与颜色相关性分析 [J]. 药物评价研究, 2024, 47(11): 2613-2626.
- [68] 刘松艳, 苗人培, 李清民, 等. 糖参中若干成分的分析研究 [J]. 人参研究, 1991, 3(4): 25-27.
- [69] 樊伟旭, 詹志来, 侯芳洁, 等. 红参的化学成分及药理作用研究进展 [J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33(1): 137-149.
- [70] Xu Y N, Bian S, Shang L Y, *et al.* Phytochemistry, pharmacological effects and mechanism of action of volatile oil from *Panax ginseng* C.A.Mey: A review [J]. *Front Pharmacol*, 2024, 15: 1436624.
- [71] 余庆涛, 葛亚中. 不同人参炮制品的温燥药性评价研究 [J]. 海峡药学, 2018, 30(4): 45-47.
- [72] Zhao W J, Han L L, Li T, *et al.* Effects of steaming process on rare saponins and efficacy of *Panax ginseng*, *Panax notoginseng* and *Panax quinquefolium* [J]. *Chin Herb Med*, 2024, 16(4): 521-528.
- [73] 孙娜, 徐钢, 徐珊, 等. 人参炮制对其化学成分和药理作用的影响 [J]. 中国药房, 2016, 27(6): 857-859.
- [74] Ye X W, Li C S, Zhang H X, *et al.* Saponins of ginseng products: A review of their transformation in processing [J]. *Front Pharmacol*, 2023, 14: 1177819.
- [75] Yang Y, Wang H, Zhang M, *et al.* Safety and antifatigue effect of Korean Red Ginseng capsule: A randomized, double-blind and placebo-controlled clinical trial [J]. *J Ginseng Res*, 2022, 46(4): 543-549.
- [76] Chen J B, Li M J, Chen L X, *et al.* Effects of processing method on the pharmacokinetics and tissue distribution of orally administered ginseng [J]. *J Ginseng Res*, 2018, 42(1): 27-34.
- [77] Metwaly A M, Zhu L L, Huang L Q, *et al.* Black ginseng and its saponins: Preparation, phytochemistry and pharmacological effects [J]. *Molecules*, 2019, 24(10): 1856.
- [78] Sun M, Liu Y, Wang M Y, *et al.* Ginsenosides Rk₃ and Rh₄: Efficient transformation, modern pharmacological effects, and applications potential [J]. *J Ginseng Res*, 2026, 50(3): 101015.
- [79] Li K, Wang Y J, Wei K, *et al.* Ginsenoside Rg₂ alleviates HFD/STZ-induced diabetic nephropathy by inhibiting

- pyroptosis via NF- κ B/NLRP3 signaling pathways [J]. *Am J Chin Med*, 2025, 53(3): 909-930.
- [80] Wang Y J, Zhang M, Li W. Targeting glial cells: Unveiling the neuroprotective mechanisms of Ginseng in the brain microenvironment [J]. *Acta Pharm Sin B*, 2026, 16(1): 13-34.
- [81] Zhang H L, Han Y H, Chen R X, *et al.* Ginsenoside Rk1 improves mitochondrial function and alleviates myocardial ischemia-reperfusion injury by regulating SIRT3 [J]. *Int Immunopharmacol*, 2025, 159: 114891.
- [82] Lu Y W, Zhang J T, Chen C, *et al.* Targeting angiogenesis: Effects and mechanisms of action of ginsenosides [J]. *Phytomedicine*, 2025, 148: 157353.
- [83] Lai Q, Liu F M, Rao W L, *et al.* Aminoacylase-1 plays a key role in myocardial fibrosis and the therapeutic effects of 20(S)-ginsenoside Rg₃ in mouse heart failure [J]. *Acta Pharmacol Sin*, 2022, 43(8): 2003-2015.
- [84] Li W L, Li K, Chang W G, *et al.* 20(R)-ginsenoside Rg₃ alleviates diabetic retinal injury in T2DM mice by attenuating ROS-mediated ER stress through the activation of the Nrf2/HO-1 axis [J]. *Phytomedicine*, 2024, 135: 156202.
- [85] Gao Y Q, Liu Y B, Gao X F, *et al.* Ginsenoside Rh2 mitigates hepatic gluconeogenesis by regulating Akt/FoxO1 pathway in type 2 diabetic mice [J]. *Int Immunopharmacol*, 2026, 168: 115927.
- [86] Tsopmejo I S N, Tang S, Gao X F, *et al.* Arginyl-fructosyl-glucose (AFG), a major Maillard reaction product of red ginseng, improved kidney and pancreatic injury *in vitro* and *in vivo* in type 2 diabetes mellitus [J]. *Int Immunopharmacol*, 2025, 164: 115378.
- [87] Gao X F, Ji B Y, Zhang J J, *et al.* Ginsenoside Rg₂ attenuates aging-induced liver injury *via* inhibiting caspase 8-mediated pyroptosis, apoptosis and modulating gut microbiota [J]. *Am J Chin Med*, 2024, 52(5): 1427-1449.
- [88] Zhang J J, Chen K C, Zhou Y, *et al.* Evaluating the effects of mitochondrial autophagy flux on ginsenoside Rg₂ for delaying D-galactose induced brain aging in mice [J]. *Phytomedicine*, 2022, 104: 154341.
- [89] Nguepi Tsopmejo I S, Zhang J T, Wang Z, *et al.* Comparative study of ginsenoside Rg₂, 20(S)-protopanaxatriol, and AFG from ginseng on aging-related kidney injury in SAMP8 mice [J]. *J Ethnopharmacol*, 2025, 348: 119807.
- [90] Zhang J J, Chen K C, Yin J Y, *et al.* AFG, an important Maillard reaction product in red ginseng, alleviates D-galactose-induced brain aging in mice *via* correcting mitochondrial dysfunction induced by ROS accumulation [J]. *Eur J Pharmacol*, 2023, 952: 175824.
- [91] 顾茂瑜. 人参中抗肿瘤作用的有效成分—人参皂苷 [J]. 国外药学: 植物药分册, 1981(4): 17-18.
- [92] Hu Q R, Hong H, Zhang Z H, *et al.* Methods on improvements of the poor oral bioavailability of ginsenosides: Pre-processing, structural modification, drug combination, and micro- or nano- delivery system [J]. *J Ginseng Res*, 2023, 47(6): 694-705.
- [93] Liang Y, Wang Z, Huo D Y, *et al.* Nanoplastic-induced liver damage was alleviated by maltol *via* enhancing autophagic flow: An *in vivo* and *in vitro* study [J]. *J Agric Food Chem*, 2024, 72(29): 16250-16262.
- [94] Liu W, Zheng Y N, Jiang S, *et al.* Arginyl-fructosyl-galactose: A novel amino acid derivative improves cisplatin-induced intestinal toxicity *via* reactive oxygen species-mediated apoptosis pathway [J]. *Curr Med Chem*, 2025, 32(14): 2809-2823.
- [95] Hu R Y, Qi S M, Wang Y J, *et al.* Ginsenoside Rg₃ improved age-related macular degeneration through inhibiting ROS-mediated mitochondrion-dependent apoptosis *in vivo* and *in vitro* [J]. *Int J Mol Sci*, 2024, 25(21): 11414.
- [96] Zhang W X, Li K, Li W L, *et al.* Ginsenoside Rh2 ameliorates pulmonary fibrosis *via* HSP70-dependent autophagic flux regulation and senescence arrest [J]. *J Ethnopharmacol*, 2025, 353: 120448.
- [97] 徐园园, 王明慧, 魏永利, 等. 中药质量标志物(Q-Marker)的科学计量分析 [J]. 中草药, 2024, 55(4): 1297-1308.
- [98] 安莹, 张姗姗, 张云, 等. 北沙参化学成分、药理作用研究进展及质量标志物(Q-Marker)预测 [J]. 中草药, 2024, 55(2): 640-656.
- [99] 孙嘉辰, 李霞, 王莹, 等. 中药加工炮制过程中质量标志物的研究进展 [J]. 中草药, 2020, 51(10): 2593-2602.
- [100] 徐慧, 冉靖, 王丹, 等. 人参调节免疫系统疾病研究进展及质量标志物预测分析 [J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(5): 129-138.
- [101] 严华, 张慧秀, 白宗利, 等. 基于特征图谱的人参属药材西洋参、人参、三七的比较 [J]. 世界中医药, 2021, 16(6): 887-895.
- [102] Yang W Z, Qiao X, Li K, *et al.* Identification and differentiation of *Panax ginseng*, *Panax quinquefolium*, and *Panax notoginseng* by monitoring multiple diagnostic chemical markers [J]. *Acta Pharm Sin B*, 2016, 6(6): 568-575.
- [103] 宋鉴达, 朱传翔, 杜金凤, 等. 人参皂苷类化合物检测分析研究进展 [J]. 人参研究, 2025, 37(2): 78-80.
- [104] 李向高, 郑毅男, 张连学, 等. 田七素在加工红参中的变化及其转化机理 [J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27(4): 405-407.

- [105] 孙彬, 李玉江, 李泽荃, 等. 基于网络药理学探讨人参抗衰老的作用机制 [J]. 人参研究, 2024, 36(4): 12-18.
- [106] Li M H, Jin M H, Hu R Y, *et al.* Exploring the mechanism of active components from ginseng to manage diabetes mellitus based on network pharmacology and molecular docking [J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 793.
- [107] Dai T T, Gong J Y, Liu S Y. Prediction of molecular mechanism of processed ginseng in the treatment of heart failure based on network pharmacology and molecular docking technology [J]. *Medicine*, 2023, 102(49): e36576.
- [108] Hu R Y, Su W Y, Qi S M, *et al.* AFG ameliorates diabetic retinopathy through AMPK-dependent autolysosomal pathway: From network pharmacology to *in vivo* and *in vitro* validation [J]. *J Agric Food Chem*, 2026, 74(2): 2124-2139.
- [109] 刘昌孝, 陈士林, 肖小河, 等. 中药质量标志物(Q-Marker): 中药产品质量控制的新概念 [J]. 中草药, 2016, 47(9): 1443-1457.
- [110] 中华中医药学会《中药质量标志物研究技术指南》编写组. 中药质量标志物研究技术指南 [J]. 中草药, 2025, 56(7): 2249-2252.

[责任编辑 王文倩]