

短时间紫外线照射对采后人参根中人参皂苷含量和组成的影响

王紫嫣^{1,2}, 赵兴增², 谭文玥^{1,2}, 柳成航², 许梦洋², 杜建科², 贾晓东^{1,2,①}

[1. 南京中医药大学, 江苏 南京 210023;

2. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园) 江苏省植物资源保护与利用重点实验室, 江苏 南京 210014]

摘要: 采用高效液相色谱技术, 分析不同波段和辐照度紫外线短时间(10 min)照射对采后人参(*Panax ginseng* C. A. Meyer)根中7种人参皂苷含量的影响。结果表明:与对照相比较, 9.600 W·m⁻² UV-A 和 0.214 W·m⁻² UV-B 处理均能显著提高($P<0.05$)人参皂苷总含量(分别为 9.692 和 9.006 mg·g⁻¹), 其中 9.600 W·m⁻² UV-A 处理的效果最为突出, 增幅达 39.31%。0.055 和 0.161 W·m⁻² UV-B 处理则显著降低了人参皂苷总含量。在单体人参皂苷方面, 9.600 W·m⁻² UV-A 和 0.214 W·m⁻² UV-B 处理显著提高了人参皂苷 Rb₁ 和 Re 含量, 而人参皂苷 Rc 含量在所有紫外线处理后均有不同程度的下降。0.161 W·m⁻² UV-B 处理较对照显著增加了原人参二醇型人参皂苷含量与原人参三醇型人参皂苷含量的比值, 增幅达 101.37%。研究结果表明: 9.600 W·m⁻² UV-A 和 0.214 W·m⁻² UV-B 短时间照射均可显著提升采后人参根中人参皂苷总含量及人参皂苷 Rb₁ 和 Re 的含量, 是一种有效的人参采后品质调控手段。

关键词: 人参; 紫外线; 采后照射; 辐照度; 人参皂苷

中图分类号: Q948.112⁺.1; S567.5⁺1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2026)03-0102-04

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2026.03.11

Effect of short-term ultraviolet irradiation on contents and composition of ginsenosides in postharvest *Panax ginseng* roots WANG Ziyang^{1,2}, ZHAO Xingzeng², TAN Wenyue^{1,2}, LIU Chenghang², XU Mengyang², DU Jianke², JIA Xiaodong^{1,2,①} [1. Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China; 2. Jiangsu Key Laboratory for Conservation and Utilization of Plant Resources, Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences (Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat-Sen), Nanjing 210014, China], *J. Plant Resour. & Environ.*, 2026, 35(3): 102-105

Abstract: The effects of short-term (10 min) ultraviolet irradiation with different wavelengths and irradiances on the contents of seven ginsenosides in postharvest *Panax ginseng* C. A. Meyer roots were analyzed by using high-performance liquid chromatography. The results show that compared with the control, both 9.600 W·m⁻² UV-A and 0.214 W·m⁻² UV-B treatments can significantly increase ($P<0.05$) the total ginsenoside content (which are 9.692 and 9.006 mg·g⁻¹, respectively), among which the 9.600 W·m⁻² UV-A treatment is the most effective, showing an increment of 39.31%. In contrast, 0.055 and 0.161 W·m⁻² UV-B treatments significantly reduce the total ginsenoside content. Regarding individual ginsenosides, 9.600 W·m⁻² UV-A and 0.214 W·m⁻² UV-B treatments significantly increase the contents of ginsenosides Rb₁ and Re, while ginsenoside Rc content decreases to different degrees after all ultraviolet treatments. The 0.161 W·m⁻² UV-B treatment significantly increases the ratio of protopanaxadiol-type ginsenoside content to protopanaxatriol-type ginsenoside content compared with the control, with an increment of 101.37%. It is suggested that short-term irradiation with 9.600 W·m⁻² UV-A and 0.214 W·m⁻² UV-B can both significantly elevate the total ginsenoside content as well as the contents of ginsenosides Rb₁ and Re in postharvest *P. ginseng* roots, representing an effective method for postharvest quality regulation of *P. ginseng*.

Key words: *Panax ginseng* C. A. Meyer; ultraviolet ray; postharvest irradiation; irradiance; ginsenoside

人参(*Panax ginseng* C. A. Meyer)是五加科(Araliaceae)人参属(*Panax* Linn.)多年生宿根草本植物^[1], 为中国传统药材, 也是享誉世界的名贵药材, 有着几千年的应用历史。在传统

医学中常被用于滋补强身、提升免疫力、改善精神状态和抗疲劳^[2]。现代医学研究结果显示: 人参具有抗抑郁^[3]、治疗关节炎^[4]、治疗免疫疾病^[5]、调节糖脂代谢^[6-7]、抗肿瘤^[8]及抗衰老

收稿日期: 2025-11-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(32471918; 32401644); 江苏省中国科学院植物研究所博士人才科研启动基金项目(JIBTF202508); 江苏省林业科技创新与推广重大项目(LYKJ[2025]07)

作者简介: 王紫嫣(2001—), 女, 江西上饶人, 硕士研究生, 主要从事中药资源开发与综合利用方面的研究。

①通信作者 E-mail: jiaxiaodong@jib.ac.cn

引用格式: 王紫嫣, 赵兴增, 谭文玥, 等. 短时间紫外线照射对采后人参根中人参皂苷含量和组成的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2026, 35(3): 102-105.

老^[9]等药理活性。人参皂苷是人参中重要的生物活性成分,其种类和含量影响人参药理作用和药材质量^[10]。然而,该类成分在植株体内积累速度缓慢且含量低,严重制约了人参药材的生产效率和经济价值。

采后照光可提高药用植物中次生代谢产物含量,是中药领域新兴的技术手段和研究热点。Wu等^[11]采用中波紫外线UV-B照射采后金银花(*Lonicera japonica* Thunb.),显著提高了花蕾中总酚、总黄酮和绿原酸含量。采后处理(如照光、气调贮藏等)可提高人参皂苷含量^[12-13]。Park等^[12]采用波长450和470 nm的发光二极管(LED)照射采后鲜人参根,显著提高了人参皂苷总含量,且改变了人参皂苷组成,提高了药材品质。紫外线照射属于物理处理,能源消耗较低且无化学污染,是一种较易推广的采后处理方式,具有显著的经济价值。鉴于此,本研究采用不同波段和辐照度紫外线照射采后人参根,分析紫外线照射对人参皂苷含量及组成的影响,以期通过采后照射紫外线方式提高人参原药材质量和经济价值提供新方法。

1 材料和方法

1.1 材料

供试人参(株龄3 a)于2023年11月购自吉林省白山市靖宇县(北纬42°23′、东经126°48′),种植于江苏省中国科学院植物研究所药用植物园中,进行统一的栽培管理。2024年3月,采收后选取生长状况良好、无病虫害的新鲜人参根,自来水冲洗干净后,再用超纯水漂洗,备用。

1.2 主要仪器和试剂

主要仪器:紫外线灯管、紫外辐照计(北京师范大学光电仪器厂);电子分析天平(精度0.1 mg,上海衡际科学仪器有限公司);KH2200D型数控超声波清洗器(昆山禾创超声仪器有限公司);1260型高效液相色谱仪, Poroshell 120 EC-C₁₈ 色谱柱(4.6 mm×100 mm, 2.7 μm, 美国 Agilent 公司)。

主要试剂:对照品人参皂苷 Rb₁(批号 RSRB20230117)、Rb₂(批号 RSRB20240112)、Rb₃(批号 RERB320230825)、Rc

(批号 RSRC20221209)、Rd(批号 Yz012424)、Re(批号 RSRE20240210)和 Rg₁(批号 RSRG20230403)由南京春秋生物工程生产,纯度均大于或等于98%;乙腈、甲醇[色谱纯,霍尼韦尔贸易(上海)有限公司];二氯甲烷、正丁醇(分析纯,广东光华科技股份有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 处理方法 随机取人参根放入避光的灯箱中(长59 cm、宽35 cm、高45 cm),每3根为1组,每处理3组。根据预实验结果和参考文献[14],分别用2.200(低辐照度)、6.500(中辐照度)、9.600(高辐照度) W·m⁻² UV-A(波长365 nm)以及0.055(低辐照度)、0.161(中辐照度)、0.214(高辐照度) W·m⁻² UV-B(波长297 nm)照射10 min,然后于室温(25℃)、黑暗条件下贮藏24 h。对照处理在室温(25℃)、黑暗条件下平行贮藏相同总时长。随后,立即将其置于液氮中冷冻,然后于-80℃条件下保存,备用。

1.3.2 人参皂苷含量测定 参考文献[15],采用高效液相色谱法检测对照品及样品中人参皂苷含量。每个样品重复3次,结果取平均值。方法学考察结果表明:精密性、稳定性、重复性考察实验中7种人参皂苷峰面积相对标准偏差(RSD)分别为0.51%~4.09%、0.46%~3.81%、2.09%~4.22%,加样回收率实验中7种人参皂苷的回收率为92.49%~102.56%,RSD值为2.62%~4.24%,表明该方法符合分析要求,结果可靠。人参皂苷 Rb₁、Rb₂、Rb₃、Rc 和 Rd 属于原人参二醇(PPD)型人参皂苷,人参皂苷 Re 和 Rg₁ 属于原人参三醇(PPT)型人参皂苷,计算 PPD 型人参皂苷含量与 PPT 型人参皂苷含量的比值(R_{PPD/PPT})。

1.4 数据处理

利用 EXCEL 2019 和 SPSS 27.0 软件对实验数据进行统计和单因素方差分析($P<0.05$)。

2 结果和分析

不同紫外线处理对采后人参根中人参皂苷含量和组成的影响见表1。结果显示:与对照相比较,2.200和9.600 W·m⁻²

表1 不同紫外线处理对采后人参根中人参皂苷含量和组成的影响($\bar{X}\pm SD, n=3$)¹⁾

Table 1 Effects of different ultraviolet treatments on contents and composition of ginsenosides in postharvest *Panax ginseng* C. A. Meyer roots ($\bar{X}\pm SD, n=3$)¹⁾

处理 Treatment	人参皂苷含量/(mg·g ⁻¹) Ginsenoside content				
	Rb ₁	Rb ₂	Rb ₃	Rc	Rd
对照 The control	1.355±0.057	0.302±0.023	0.037±0.007	0.262±0.050	0.162±0.021
2.200 W·m ⁻² UV-A	1.959±0.303 *	0.313±0.062	0.030±0.006	0.233±0.042	0.182±0.030
6.500 W·m ⁻² UV-A	1.459±0.058	0.251±0.046	0.025±0.005	0.190±0.036	0.108±0.024
9.600 W·m ⁻² UV-A	2.417±0.333 *	0.346±0.017	0.038±0.008	0.237±0.069	0.179±0.040
0.055 W·m ⁻² UV-B	0.630±0.114 *	0.140±0.010 *	0.021±0.002 *	0.131±0.033 *	0.080±0.018 *
0.161 W·m ⁻² UV-B	1.807±0.219 *	0.172±0.007 *	0.016±0.001 *	0.084±0.055 *	0.061±0.032 *
0.214 W·m ⁻² UV-B	2.240±0.236 *	0.340±0.064	0.031±0.009	0.224±0.057	0.192±0.037

续表1 Table 1 (Continued)

处理 Treatment	人参皂苷含量/(mg · g ⁻¹) Ginsenoside content			R _{PPD/PPT}
	Re	Rg ₁	总和 Total	
对照 The control	2.973±0.263	1.866±0.172	6.957±0.568	0.438±0.013
2.200 W · m ⁻² UV-A	3.719±0.568	2.147±0.338	8.582±0.318 *	0.463±0.036
6.500 W · m ⁻² UV-A	3.375±0.635	1.912±0.421	7.319±1.132	0.393±0.072
9.600 W · m ⁻² UV-A	4.427±0.644 *	2.176±0.328	9.692±0.819 *	0.464±0.035
0.055 W · m ⁻² UV-B	2.170±0.428	0.839±0.165 *	3.956±0.707 *	0.318±0.026
0.161 W · m ⁻² UV-B	1.725±0.669 *	0.842±0.323 *	4.966±0.184 *	0.882±0.196 *
0.214 W · m ⁻² UV-B	4.443±0.757 *	1.651±0.221	9.006±0.597 *	0.477±0.018

¹⁾R_{PPD/PPT}: 原人参二醇型人参皂苷含量与原人参三醇型人参皂苷含量的比值 Ratio of protopanaxadiol-type ginsenoside content to protopanaxatriol-type ginsenoside content. *: 表示与对照差异显著(P<0.05) Indicating the significant difference (P<0.05) with the control.

UV-A 以及 0.214 W · m⁻² UV-B 处理显著提高(P<0.05)了采后人参根中人参皂苷总含量(分别为 8.582、9.692 和 9.006 mg · g⁻¹),增幅分别为 23.36%、39.31%和 29.45%;而 0.055 和 0.161 W · m⁻² UV-B 处理显著降低了人参皂苷总含量,降幅分别为43.14%和 28.62%。

进一步分析紫外线处理对单体人参皂苷含量的影响,与对照相比较,9.600 W · m⁻² UV-A 和 0.214 W · m⁻² UV-B 处理下,人参皂苷 Rb₁ 含量显著升高(分别为 2.417 和 2.240 mg · g⁻¹),增幅分别为 78.38%和 65.31%,人参皂苷 Re 含量也显著升高(分别为 4.427 和 4.443 mg · g⁻¹),增幅分别为 48.91%和 49.45%;2.200 W · m⁻² UV-A 处理也显著提高了人参皂苷 Rb₁ 含量,增幅为 44.58%;0.055 W · m⁻² UV-B 处理显著降低了除人参皂苷 Re 以外的其他 6 种人参皂苷含量;而 0.161 W · m⁻² UV-B 处理显著提高了人参皂苷 Rb₁ 含量,但显著降低了其他 6 种人参皂苷含量。0.161 W · m⁻² UV-B 处理较对照显著增加了原人参二醇型人参皂苷含量与原人参三醇型人参皂苷含量的比值(R_{PPD/PPT}),增幅达 101.37%;其他处理的 R_{PPD/PPT} 值与对照无显著差异。

3 讨论和结论

药用植物在采后进行照光可以提高次生代谢产物含量,该技术处理过程短、能耗低且安全无污染,具有显著的经济价值和广阔的应用前景。例如:采用 UV-B 照射 4 月份采收的银杏(*Ginkgo biloba* Linn.)嫩叶可使类黄酮含量显著升高,增幅达 56%^[16];UV-B 照射采后药用菊花[*Chrysanthemum × morifolium* (Ramat.) Hemsl.]花朵可显著提高绿原酸和黄酮含量^[17];UV-A 和 UV-B 短时间照射采收的新鲜金银花蕾可使 4 种环烯醚萜苷和 3 种异绿原酸含量显著增加^[18]。人参是半阴生植物,对光环境的变化敏感,栽培过程中蓝光和红光照射可使人参根中总皂苷含量显著增加^[19]。Park 等^[12]采用波长 470 nm LED 照射采后人参 7 d,人参皂苷总含量提高了 74.10%,但采用 UV-A 照射 7 d,人参皂苷总含量仅增加了 5.60%。LED 为一种外界光信号,可能通过诱导光受体调控次

生代谢相关特定基因的表达,进而影响次生代谢产物含量^[20]。而紫外线能量较高,能直接作用于细胞并造成轻微氧化胁迫,导致活性氧水平上升、质膜破裂,从而引发植物防御机制或修复机制缓解伤害,包括上调次生代谢产物合成水平,但长时间照射可能造成严重的伤害。已有研究结果表明:短时间 UV-A 照射可显著增加蓝莓(*Vaccinium* spp.)果实中花青素含量^[14];在短时间 UV-C 照射下,金叶欧洲红豆杉(*Taxus baccata* Aurea Group)枝条中紫杉醇含量提高了 2 倍^[21]。9.600 W · m⁻² UV-A 及 0.214 W · m⁻² UV-B 短时间照射采后人参根,可使其人参皂苷总含量分别提高 39.31%和 29.45%,说明短时间紫外线照射在调控人参皂苷合成方面具有潜力。

人参皂苷的含量和组成均为评价人参质量的重要指标。通过采后处理,如干燥、蒸、晒等传统炮制方法,人参皂苷会发生去甲基化、脱羧、去糖基化、糖基转移等化学转化^[22]。紫外线照射采后人参对人参皂苷组成有一定影响。总体上看,2.200和 9.600 W · m⁻² UV-A 以及 0.214 W · m⁻² UV-B 处理显著提高人参皂苷 Rb₁ 和 Re 的含量;0.055 W · m⁻² UV-B 处理显著降低人参皂苷含量;而 0.161 W · m⁻² UV-B 处理除显著提高人参皂苷 Rb₁ 含量外,显著降低其他人参皂苷含量。此外,人参皂苷 Rb₁、Re 和 Rg₁ 含量在 UV-A 处理后均有所升高,而人参皂苷 Rc 含量在所有紫外线处理后均有不同程度的下降,推测紫外线调控具有路径特异性。这可能由于其对原人参二醇(PPD)型或原人参三醇(PPT)型人参皂苷合成分支关键酶(如特定细胞色素 P450 酶)的选择性激活改变了人参皂苷间的转化平衡,或在胁迫下促使植株将资源优先分配给活性更高的人参皂苷^[23]。PPD 型人参皂苷(如 Rb₁)在抗缺血性中风和抗糖尿病等方面显示出良好活性^[24];而 PPT 型人参皂苷如 Rg₁,则表现出抗高血糖、抗抑郁等作用,并在神经系统疾病治疗中展现出潜在的应用前景^[24]。目前,关于人参皂苷合成途径的上游通路已较清晰,而下游人参皂苷间的相互转化还未完全被阐明^[23,25]。后续可以进一步优化紫外线照射方案,以促发转化活性更高的稀有人参皂苷,并结合转录组学与实时荧光定量逆转录 PCR 技术阐释紫外线调控人参皂苷转化的机制,为定向提升人参品质提供理论支撑。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第五十四卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1978: 180-181.
- [2] 刘瑜, 袁超, 张泽松, 等. “药食同源”人参研究进展[J]. 食品工业, 2026, 47(1): 280-286.
- [3] HAN D, ZHAO Z, MAO T H, et al. Ginsenoside Rg₁: a neuroprotective natural dammarane-type triterpenoid saponin with anti-depressive properties[J]. CNS Neuroscience and Therapeutics, 2024, 30(12): e70150.
- [4] 王诗婷, 孔伟华, 温乐乐, 等. 中药三萜类成分防治膝骨关节炎作用机制研究进展[J]. 中草药, 2023, 54(18): 6128-6138.
- [5] RATAN Z A, YOUN S H, KWAK Y S, et al. Adaptogenic effects of *Panax ginseng* on modulation of immune functions[J]. Journal of Ginseng Research, 2021, 45(1): 32-40.
- [6] 孙美, 李继文, 马金颖, 等. 稀有人参皂苷的生物转化及其降血糖活性研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 2023, 45(6): 674-684.
- [7] JIN W, LI C R, YANG S H, et al. Hypolipidemic effect and molecular mechanism of ginsenosides: a review based on oxidative stress[J]. Frontiers in Pharmacology, 2023, 14: 1166898.
- [8] KAILI R, FEI L, RUI Y, et al. Research progress on the anti-tumor effects of protopanaxadiol[J]. Inorganic Chemistry Communications, 2025, 172: 113614.
- [9] KANG M, PARK S, SON S R, et al. Anti-aging and anti-inflammatory effects of compounds from fresh *Panax ginseng* roots: a study on TNF- α /IFN- γ -induced skin cell damage[J]. Molecules, 2024, 29: 5479.
- [10] 杜莹, 邸晴, 赵轩轩. 人参化学成分与药理作用研究进展[J]. 药学前沿, 2025, 29(9): 1576-1592.
- [11] WU X L, ZHANG S Z, LI X, et al. Postharvest UV-B radiation increases enzyme activity, polysaccharide and secondary metabolites in honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.) [J]. Industrial Crops and Products, 2021, 171: 113907.
- [12] PARK S U, AHN D J, JEON H J, et al. Increase in the contents of ginsenosides in raw ginseng roots in response to exposure to 450 and 470 nm light from light-emitting diodes [J]. Journal of Ginseng Research, 2012, 36(2): 198-204.
- [13] 高坤, 孙印石, 董昕瑜. 人参保鲜技术研究现状[J]. 特产研究, 2017, 39(4): 63-66.
- [14] LIU M X, ZHANG A X, YU H, et al. Postharvest application of ultraviolet-A and blue light irradiations boosted the accumulation of acetylated anthocyanins in the blueberry fruit and its potential regulatory mechanisms [J]. Postharvest Biology and Technology, 2025, 222: 113371.
- [15] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2025年版(一部) [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2025: 9-10.
- [16] SUN M Y, GU X D, FU H W, et al. Change of secondary metabolites in leaves of *Ginkgo biloba* L. in response to UV-B induction [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010, 11: 672-676.
- [17] YAO X Q, CHU J Z, MA C H, et al. Biochemical traits and proteomic changes in postharvest flowers of medicinal chrysanthemum exposed to enhanced UV-B radiation [J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2015, 149: 272-279.
- [18] NING W, PENG X, MA L Y, et al. Enhanced secondary metabolites production and antioxidant activity in postharvest *Lonicera japonica* Thunb. in response to UV radiation [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2012, 13: 231-243.
- [19] DI P, SUN Z, CHENG L, et al. LED light irradiations differentially affect the physiological characteristics, ginsenoside content, and expressions of ginsenoside biosynthetic pathway genes in *Panax ginseng* [J]. Agriculture, 2023, 13: 807.
- [20] LINGWAN M, PRADHAN A A, KUSHWAHA A K, et al. Photoprotective role of plant secondary metabolites: biosynthesis, photoregulation, and prospects of metabolic engineering for enhanced protection under excessive light [J]. Environmental and Experimental Botany, 2023, 209: 105300.
- [21] HAJNOS M Ł, ZABEL A M, GLOWNIAK K. The influence of ultraviolet radiation on the content of pharmacologically active taxoids in yew tissues [J]. Phytomedicine, 2001, 8(2): 139-143.
- [22] JUNG J, LEE N K, PAIK H D. Bioconversion, health benefits, and application of ginseng and red ginseng in dairy products [J]. Food Science and Biotechnology, 2017, 26(5): 1155-1168.
- [23] KIM Y J, ZHANG D B, YANG D C. Biosynthesis and biotechnological production of ginsenosides [J]. Biotechnology Advances, 2015, 33(6): 717-735.
- [24] WANG Y H, MOU C L, HU Y Y, et al. *In vivo* metabolism, pharmacokinetics, and pharmacological activities of ginsenosides from ginseng [J]. Journal of Ginseng Research, 2025, 49(5): 479-487.
- [25] ZHAN Z G, ZHANG J, HUANG W S, et al. Transcriptomic strategy provides molecular insights into the growth and ginsenosides accumulation of *Panax ginseng* [J]. Phytomedicine, 2025, 143: 156834.

(责任编辑: 张明霞)