

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20231209002

太子参化学成分及生物活性研究进展

王奕霏¹, 卢慧蕴¹, 丰心月¹, 陈绍红¹, 何传统¹, 朱彩霞¹, 宋 采^{1,2},
葛跃伟³, 韩 娜⁴, 杨志友^{1,2*}

(1. 广东海洋大学, 食品科技学院海洋药物研究所/现代生物化学实验中心, 湛江 524088; 2. 广东海洋大学, 湛江市脑健康相关海洋药物与营养品重点实验室, 湛江 524088; 3. 广东药科大学, 中药数字化质量评价技术重点研究室, 广州 510006; 4. 沈阳药科大学中药学院, 沈阳 110016)

摘 要: 太子参为石竹科植物孩儿参的干燥块根, 味甘、微苦, 性平, 归脾肺经, 具有益气健脾、生津润肺之功效, 常用于气虚津伤的肺虚燥咳, 被国家卫生健康委员会批准用于保健食品。现代药理和临床研究表明, 太子参中特征性化学成分多糖和环肽具有免疫调节、抗炎、改善记忆等作用。近年来对太子参的化学成分、结构和药理作用的综述仅局限于特征成分, 对其他成分还鲜有系统梳理报道。因此本文系统梳理了太子参的化学成分及生物活性研究进展, 以期为太子参的开发利用提供参考和依据。

关键词: 太子参; 化学成分; 多糖; 环肽; 生物活性

Research progress on chemical constituents and biological activities of *Pseudostellaria heterophylla*

WANG Yi-Fei¹, LU Hui-Yun¹, FENG Xin-Yue¹, CHEN Shao-Hong¹, HE Chuan-Tong¹,
ZHU Cai-Xia¹, SONG Cai^{1,2}, GE Yue-Wei³, HAN Na⁴, YANG Zhi-You^{1,2*}

(1. Research Institute for Marine Drugs and Nutrition, Modern Biochemistry Experimental Center, College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China; 2. Zhanjiang Municipal Key laboratory of Marine Drugs and Nutrition for Brain Health, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China; 3. Key Laboratory of Digital Quality Evaluation of Chinese Materia Medica of State Administration of Traditional Chinese Medicine, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510006, China; 4. College of Traditional Chinese Medicine, Shenyang Pharmaceutical University, Shenyang 110016, China)

ABSTRACT: *Pseudostellaria heterophylla* is a dried root of the *Pseudostellaria heterophylla* (Miq.) Pax ex Pax et Hoffm plant, the child ginseng. It has a sweet and slightly bitter taste, a mild nature, and can regulate the spleen and lung meridians. It has the effects of tonifying qi, strengthening the spleen, generating fluids, and moistening the lungs. It is commonly used for lung deficiency and dry cough caused by qi deficiency and fluid injury. It has been approved by the National Health Commission for use in health food. Modern pharmacological and clinical studies have shown that the characteristic chemical components of polysaccharides and cyclic peptides in *Pseudostellaria heterophylla* have immunomodulatory, anti-inflammatory,

基金项目: 广东省普通高校重点领域专项(2022ZDZX2029)、广东省自然科学基金项目(2022A1515011419)、广东省大学生创新创业训练计划项目(S202110566015)

Fund: Supported by Key Project in Higher Education of Guangdong (2022ZDZX2029), the Natural Science Foundation of Guangdong Province (2022A1515011419), and Guangdong Students' Platform for Innovation and Entrepreneurship Training Program (S202110566015)

***通信作者:** 杨志友, 博士, 副教授, 主要研究方向为抗神经退行性疾病药物发现开发及作用机制研究。E-mail: yang_zhiyou@sina.com

***Corresponding author:** YANG Zhi-You, Ph.D, Associate Professor, College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China. E-mail: yang_zhiyou@sina.com

and memory improving effects. In recent years, the review of the chemical composition, structure, and pharmacological effects of *Pseudostellaria heterophylla* has been limited to the characteristic components, and there have been few systematic reports on other components. Therefore, this article systematically reviewed the research progress on the chemical composition and biological activity of *Pseudostellaria heterophylla*, in order to provide reference and basis for the development and utilization of *Pseudostellaria heterophylla*.

KEY WORDS: *Pseudostellaria heterophylla*; chemical constituents; polysaccharides; cyclic peptides; biological activities

0 引言

太子参为石竹科植物孩儿参[*Pseudostellaria heterophylla* (Miq.) Pax ex Pax et Hoffm]的干燥块根, 性平、味甘、微苦, 归脾胃经, 主要分布于江苏、福建、山东、辽宁、河南等地^[1]; 具有补气健脾、润肺生津、补虚养阴的功效, 可用于治疗脾虚、疲劳倦怠、肺燥干咳、食欲不振等。

太子参作为一种传统中药, 与人参同效但药性温和, 尤其适用于老人和儿童。研究表明太子参中多糖和环肽等特征化学成分在降血糖血脂、改善记忆、抗炎以及免疫调节等方面具有较好的药理作用^[2], 但对其皂苷、生物碱和挥发性成分的化学结构和药理活性方面研究较少。目前对太子参的化学成分、结构和药理作用的综述仅局限于特征成分, 对其他成分还鲜有系统梳理报道。因此, 本文总结归纳了近年来太子参的化学成分及药理活性研究, 对太子参各类化学成分、结构及活性进行系统梳理, 将为太子参成分和药理活性的后续研究提供全面的参考, 以期对太子参及其相关产品的开发提供理论依据。

1 太子参化学成分

通过对太子参化学成分研究的整理分析, 太子参所含的主要化学成分包括多糖、环肽、皂苷、生物碱、挥发油等。

1.1 多糖及寡糖类

多糖为太子参的重要活性成分, 含量约为 18.38%~64.95%, 随产地、采收时间和人工管理等条件不同而变

化^[3-4]。根据太子参多糖组成可分为均一多糖和非均一多糖, PHP-A (1)、PHP-B^[5] (2)、H-1-2 (3)、0.2M-2-1^[6] (4)、HPH-1-1^[6] (9)是由葡萄糖组成的均一多糖。0.2M-1-1 (5)、H-2-1 (6)、H-3-1 (7)和 0.5M (8)是葡萄糖含量较高的均一多糖, 0.5MSC-F (10)为非均一果胶多糖^[7]。太子参除富含多糖外, 也富含不同结构的寡糖。寡糖是一种含有少量(通常为 3~10 个)单糖的糖类聚合物。目前从太子参中分离得到 7 个寡糖, 包括 2 对寡糖异构体 DP 3-1、DP 3-2(分子量为 503.2 Da)和 DP 4-1、DP4-2(分子量为 665.2 Da)以及 3 对支链寡糖 DP 5、DP 6、DP 7(分子量分别为 827.3、989.3 和 1151.4 Da)^[8], 但其多糖组成和结构信息并未阐明。将太子参多糖的分子量和结构总结见表 1。

1.2 环肽类

环肽是一种小分子代谢物, 通常由 4~10 个氨基酸残基构成^[9]。相比于线性肽, 环肽具有更复杂的限制性构象, 故其抗化学降解、抗酶解能力更优, 也使太子参具有更广泛的药理作用。目前, 从太子参中共分离得到 19 个环肽类化合物, 其中 heterophyllin A~H、J (11~19)共 9 个化合物, pseudostellarin A~H、K、L (20~29)共 10 个化合物。按组成环肽的氨基酸数量分类如表 2。

目前发现的太子参环肽中仅有一个是由两个氨基酸组成的环二肽, heterophyllin H^[10] (11), 由酪氨酸和脯氨酸组成。太子参环五肽由 5 个氨基酸组成, 目前分离得到有 heterophyllin J (12)、pseudostellarin A (13)和 pseudostellarin L (14) 3 个化合物。

表 1 太子参多糖成分汇总

Table 1 Summary of polysaccharides from *Pseudostellaria heterophylla*

序号	多糖名称	分子量/Da	单糖组成	链接方式	参考文献
1	PHP-A	3.2×10 ⁴	葡萄糖	α-糖苷键:β-糖苷键为 7:2	[5]
2	PHP-B	4.6×10 ⁴	葡萄糖	β-糖苷键	[5]
3	H-1-2	1.4×10 ⁴	葡萄糖	Glc(1→4)Glc(1→6)Glc(1→4,6)Glc(1→	[6]
4	0.2M-2-1	1.42×10 ⁴	葡萄糖	Glc(1→4)Glc(1→6)Glc(1→4,6)Glc(1→	[6]
5	0.2M-1-1	3.855×10 ⁴	葡萄糖	-	[6]
6	H-2-1	1.495×10 ⁴	葡萄糖	-	[6]
7	H-3-1	1.535×10 ⁴	葡萄糖	-	[6]
8	0.5M	5.545×10 ⁴	葡萄糖	-	[6]
9	HP _{h-1-1}	1.84×10 ⁴	葡萄糖	-	[6]
10	0.5MSC-F	4.8×10 ⁴	鼠李糖、半乳糖、阿拉伯糖和半乳糖醛酸	→4)-α-D-GalpA-(1→4)-α-D GalpA6Me-(1→α-L-Rhap-(1→α-L-Araf-(1→5)-α-L-Araf (1→3,6)-α-D-Galp-(→	[7]

注: -表示无此项。

表 2 太子参环肽类化学成分汇总
Table 2 Summary of cyclopeptides from *Pseudostellaria heterophylla*

序号	化合物	类型	氨基酸序列	氨基酸比例	化学式	分子量	参考文献
11	heterophyllin H	环二肽	Cyclo[Tyr-Pro]	Tyr:Pro=1:1	C ₁₄ H ₁₆ N ₂ O ₃	260.3	[10]
12	heterophyllin J	环五肽	Cyclo[Ala-Gly-Pro-Val-Tyr]	Ala:Gly:Pro:Val:Tyr=1:1:1:1:1	C ₂₄ H ₃₃ N ₅ O ₆	487.6	[11]
13	pseudostellarin A	环五肽	Cyclo[Gly-Pro-Tyr-Leu-Ala]	Gly:Pro:Tyr:Leu:Ala=1:1:1:1:1	C ₂₅ H ₃₅ N ₅ O ₆	501.6	[11]
14	pseudostellarin L	环五肽	Cyclo[Pro-Gly-Tyr-Phe-Val]	Pro:Gly:Tyr:Phe:Val=1:1:1:1:1	C ₃₀ H ₃₇ N ₅ O ₆	563.7	[12]
15	heterophyllin D	环六肽	Cyclo[Gly-Phe-Ile-Thr-Val-Phe]	Gly:Phe:Ile:Thr:Val=1:2:1:1:1	C ₃₅ H ₄₈ N ₆ O ₇	664.8	[10,13]
16	heterophyllin F	环六肽	Cyclo[Ile-Ile-Leu-Leu-Leu-Gly]	Ile:Leu:Gly=2:3:1	C ₃₂ H ₅₈ N ₆ O ₆	622.8	[10]
17	pseudostellarin K	环六肽	Cyclo[Ile-Phe-Gly-Thr-Val-Phe]	Ile:Phe:Gly:Thr:Val=1:2:1:1:1	C ₃₅ H ₄₈ N ₆ O ₇	664.8	[14]
18	heterophyllin A	环七肽	Cyclo[Thr-Pro-Val-Leu-Phe-Gly-Leu]	Thr:Pro:Val:Leu:Phe:Gly=1:1:1:2:1:1	C ₃₇ H ₅₇ N ₇ O ₈	727.9	[14]
19	heterophyllin C	环七肽	Cyclo[Leu-Gly-Pro-Ile-Ile-Pro-Ile]	Leu:Gly:Pro:Ile=1:1:2:3	C ₃₆ H ₆₁ N ₇ O ₇	703.9	[15]
20	heterophyllin G	环七肽	Cyclo[Pro-Val-Ile-Phe-Gly-Ile-Thr]	Pro:Val:Ile:Phe:Gly:Thr=1:1:2:1:1:1	C ₃₇ H ₅₇ N ₇ O ₈	727.9	[10]
21	pseudostellarin D	环七肽	Cyclo[Gly-Tyr-Gly-Pro-Leu-Ile-Leu]	Gly:Tyr:Pro:Leu:Ile=2:1:1:2:1	C ₃₆ H ₅₅ N ₇ O ₈	713.9	[16]
22	heterophyllin B	环八肽	Cyclo[Gly-Gly-Leu-Pro-Pro-Pro-Leu-Phe]	Gly:Leu:Pro:Phe=2:2:3:1	C ₄₀ H ₅₈ N ₈ O ₈	778.9	[14]
23	pseudostellarin B	环八肽	Cyclo[Gly-Ile-Gly-Gly-Gly-Pro-Pro-Phe]	Gly:Ile:Pro:Phe=4:1:2:1	C ₃₃ H ₄₆ N ₈ O ₈	682.8	[17]
24	pseudostellarin C	环八肽	Cyclo[Gly-Thr-Leu-Pro-Ser-Pro-Phe-Leu]	Gly:Thr:Leu:Pro:Ser:Phe=1:1:2:2:1:1	C ₄₀ H ₆₁ N ₈ O ₁₀	812.9	[17]
25	pseudostellarin F	环八肽	Cyclo[Gly-Gly-Tyr-Leu-Pro-Pro-Leu-Ser]	Gly:Tyr:Leu:Pro:Ser=2:1:2:2:1	C ₃₈ H ₅₆ N ₈ O ₁₀	784.9	[13,18]
26	pseudostellarin G	环八肽	Cyclo[Pro-Phe-Ser-Phe-Gly-Pro-Leu-Ala]	Pro:Phe:Ser:Gly:Leu:Ala=2:2:1:1:1:1	C ₄₂ H ₅₆ N ₈ O ₉	816.9	[13]
27	pseudostellarin H	环八肽	Cyclo[Gly-Thr-Pro-Thr-Pro-Leu-Phe-Phe]	Gly:Thr:Pro:Leu:Phe=1:2:2:1:2	C ₄₄ H ₆₁ N ₈ O ₁₀	861.0	[19]
28	pseudostellarin E	环九肽	Cyclo[Gly-Pro-Pro-Leu-Gly-Pro-Val-Ile-Phe]	Gly:Pro:Leu:Val:Ile:Phe=2:3:1:1:1:1	C ₄₅ H ₆₇ N ₉ O ₉	878.1	[16,18]
29	heterophyllin E	环十肽	Cyclo[Val-Tyr-Ala-Gly-Pro-Tyr-Leu-Ala-Gly-Pro]	Val:Tyr:Ala:Gly:Pro:Leu=1:2:2:2:2:1	C ₄₉ H ₆₈ N ₁₀ O ₁₂	989.1	[10]

太子参环六肽由 6 个氨基酸组成, 有 heterophyllin D (15)、heterophyllin F (16)和 pseudostellarin K (17) 3 个, 其氨基酸组成均有甘氨酸和异亮氨酸。太子参环七肽由 7 个氨基酸组成, 包括 heterophyllin A (18)、heterophyllin C (19)、heterophyllin G (20)和 pseudostellarin D^[15-16] (21), 4 个环肽化合物的氨基酸组成均有甘氨酸和脯氨酸。太子参环八肽由 8 个氨基酸组成, 有 heterophyllin B (22)、pseudostellarin B (23)、pseudostellarin C (24)、pseudostellarin F (25)、pseudostellarin G (26)和 pseudostellarin H (27) 6 个。太子参环肽 B (heterophyllin B, HB)是一个由 L-氨基酸组成的环八肽, 是太子参主要的特征性成分。1992 年, TAN 等^[15]首次从太子参中分离出 heterophyllin A 和 heterophyllin B, 1995 年发现 heterophyllin C^[16], 研究发现 pseudostellarin A~H^[18-23]系列化合物都具有酪氨酸酶抑制作用。太子参环九肽由 9 个氨基酸组成, 目前共分离得到 pseudostellarin E (28)

一个^[24]。太子参环十肽由 10 个氨基酸组成, 目前共分离得到 heterophyllin E (29) 1 个^[10]。

1.3 苷元及苷类

苷是由糖与苷元结合而成的一类化合物, 太子参中主要苷类成分有皂苷、核苷, 含量为 0.17%~3.33%。目前, 从太子参中分离得到的苷类成分主要有尖叶丝竹石皂苷 D^[25] (30)、太子参皂苷 A (31)、刺槐苷^[25](41)、 α -菠菜甾醇- β -D-葡萄糖苷^[26](32)、 Δ 7-豆甾烯醇-3-O- β -D-葡萄糖苷^[27](33)、 α -乙基-D-半乳糖苷^[28](38)、3-呋喃甲醇- α -半乳糖苷^[29](39)等。各化合物的具体信息和结构分别见表 3、图 1。

1.4 生物碱类

从太子参富含糖苷的活性部位中分离出 pseudosterin A (49)、pseudosterin B (50)、pseudosterin C (51) 3 种咪啉类

生物碱^[31]。在太子参根中分离出一个 β -吡啶类生物碱, 命名为 stellarine A (48), 活性测试结果显示该化合物有弱细胞毒性。化合物的具体信息和结构分别见表 4、图 2。

1.5 挥发性成分

太子参不同处理方式以及不同的检测方法得到的挥发性成分不同, 主要包括吡咯、糠醛、糠醇、柠檬醛等^[32]。

利用红外光谱法(infrared spectroscopy, IR)和气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS), 从太子参的挥发油中分析鉴定了 2-甲基-吡咯等 12 个化合物^[33]。此外, 通过太子参超临界 CO₂ 流体萃取以及毛细管色谱-质谱联用法也分析鉴定出了亚油酸乙酯、桉叶素等化合物^[34-35]。化合物的具体信息和结构分别见表 5、图 3。

表 3 太子参苷元及苷类成分汇总表
Table 3 Summary of glycosides from *Pseudostellaria heterophylla*

序号	化合物	化学式	分子量	参考文献
30	acutifolioside D	C ₄₈ H ₇₄ O ₂₀	970.5	[25]
31	pseudotellarinoside A	C ₅₄ H ₈₄ O ₂₅	1132.5	[25]
32	α -spinasterol- β -D-glucopyranoside	C ₃₅ H ₅₈ O ₆	574.4	[26]
33	Δ 7-stigmasterol-3-O- β -D-glucoside	C ₃₅ H ₆₀ O ₆	576.4	[27]
34	stigmaster-7-en-3 β -ol	C ₂₉ H ₅₀ O	414.7	[27]
35	β -sitosterol	C ₂₉ H ₅₀ O	414.7	[25]
36	daucosterol	C ₃₅ H ₆₀ O ₆	576.4	[27]
37	β -sitosteryl-3-O- β -D-glucoside-6'-palmitate	C ₅₁ H ₉₀ O ₇	815.3	[27]
38	α -ethyl-D-galactopyranoside	C ₈ H ₁₆ O ₆	208.2	[28]
39	3-furanmethanol- α -D-galactopyranoside	C ₁₁ H ₁₆ O ₇	260.2	[29]
40	iristectorigenin A	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	330.3	[27]
41	robinin	C ₃₃ H ₄₀ O ₁₉	740.7	[30]
42	polydatin	C ₂₀ H ₂₂ O ₈	390.4	[31]
43	thymidine	C ₁₀ H ₁₄ N ₂ O ₅	242.2	[29]
44	adenosine	C ₁₀ H ₁₃ N ₅ O ₄	267.2	[29]
45	uridine	C ₉ H ₁₂ N ₂ O ₆	244.2	[28]

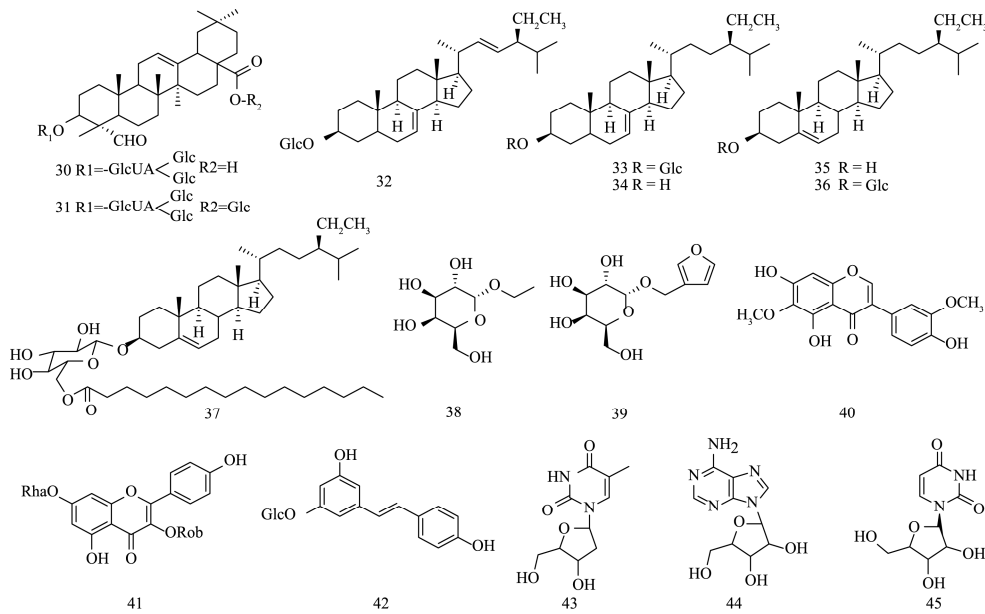


图 1 太子参苷元及苷类化合物结构
Fig.1 Structures of aglycones and glycosides from *Pseudostellaria heterophylla*

表 4 太子参生物碱类汇总表

Table 4 Summary of alkaloids from *Pseudostellaria heterophylla*

序号	化合物	化学式	分子量	参考文献
46	isolumichrome	C ₁₂ H ₁₀ N ₄ O ₂	242.2	[12]
47	N-benzoyl-L-phenylalaninol	C ₁₆ H ₁₇ NO ₂	255.3	[12]
48	stellarine A	C ₁₄ H ₁₁ N ₃ O ₂	253.3	[12]
49	pseudosterin A	C ₂₅ H ₂₉ N ₃ O ₁₁	547.5	[31]
50	pseudosterin B	C ₂₀ H ₂₂ N ₂ O ₈	418.4	[31]
51	pseudosterin C	C ₂₀ H ₂₃ N ₃ O ₇	417.4	[31]
52	caffeine	C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O ₂	192.2	[29]

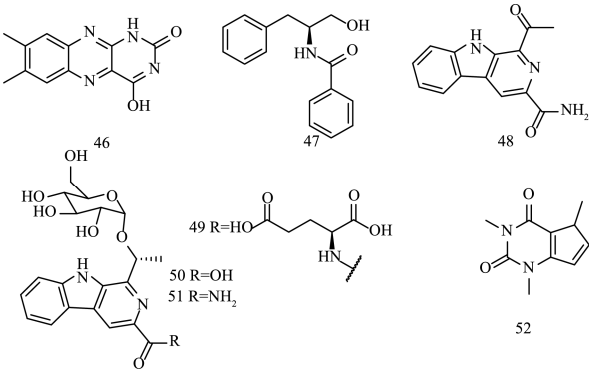


图 2 太子参生物碱类化合物结构

Fig.2 Structures of alkaloids from *Pseudostellaria heterophylla*

表 5 太子参挥发性成分汇总表

Table 5 Summary of volatile components from *Pseudostellaria heterophylla*

序号	化合物	化学式	分子量	参考文献
53	pyrrole	C ₄ H ₅ N	67.1	[34]
54	1-methylpropyl ester acetic acid	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.2	[34]
55	ethylmethylpentane	C ₈ H ₁₈	114.2	[34]
56	diisobutylether	C ₈ H ₁₈ O	130.2	[34]
57	furfural	C ₅ H ₄ O ₂	96.1	[32–35]
58	2,3-butanediol	C ₄ H ₁₀ O ₂	90.1	[34]
59	furanmethanol	C ₅ H ₆ O ₂	98.1	[32–35]
60	butyrolactone	C ₄ H ₆ O ₂	86.1	[34]
61	2,5-pyrrolidinedione	C ₄ H ₅ NO ₂	99.1	[34]
62	3-ethyl-3-methylheptane	C ₁₀ H ₂₂	142.3	[34]
63	5-methyl-2-furancarboxaldehyde	C ₆ H ₆ O ₂	110.1	[34]
64	2-propyl-furan	C ₇ H ₁₀ O	110.2	[34]
65	2,4-dimethyl-heptane	C ₉ H ₂₀	128.3	[34]
66	cedrol	C ₁₅ H ₂₆ O	222.4	[34]
67	3-pyridinecarboxylic acid	C ₆ H ₅ NO ₂	123.1	[34]
68	thymol	C ₁₀ H ₁₄ O	150.2	[34]
69	vanillin	C ₈ H ₈ O ₃	152.2	[34]
70	butylated hydroxytoluene	C ₁₅ H ₂₄ O	220.4	[34]
71	3-hydroxy-4-methoxybenzoic acid	C ₈ H ₈ O ₄	168.2	[34]
72	2-benzothiazolone	C ₇ H ₅ NOS	151.2	[34]
73	anthracene	C ₁₄ H ₁₀	178.2	[34]
74	fluoranthene	C ₁₆ H ₁₀	202.3	[34]
75	pyrene	C ₁₆ H ₁₀	202.3	[34]
76	2-heptanone	C ₇ H ₁₄ O	114.2	[35]

表 5(续)

序号	化合物	化学式	分子量	参考文献
77	2-heptanol	C ₇ H ₁₆ O	116.2	[35]
78	furfuryl mercaptan	C ₅ H ₆ OS	114.2	[35]
79	benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	106.0	[35]
80	3-octenol	C ₈ H ₁₆ O	128.2	[35]
81	6-methylhept-5-en-2-one	C ₈ H ₁₄ O	126.2	[35]
82	furfuryl acetate	C ₇ H ₈ O ₃	140.1	[35]
83	1,8-cedrol	C ₁₀ H ₁₈ O	154.3	[35]
84	Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	154.3	[35]
85	2-bornanone	C ₁₀ H ₁₆ O	152.2	[35]
86	citral	C ₁₀ H ₁₆ O	152.2	[35]
87	geosmin	C ₁₂ H ₂₂ O	182.3	[35]
88	cyclohex-2-en-1-yl benzoate	C ₁₃ H ₁₄ O ₂	202.2	[35]
89	2-methoxy-4-(prop-1-en-1-yl)phenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	164.2	[35]

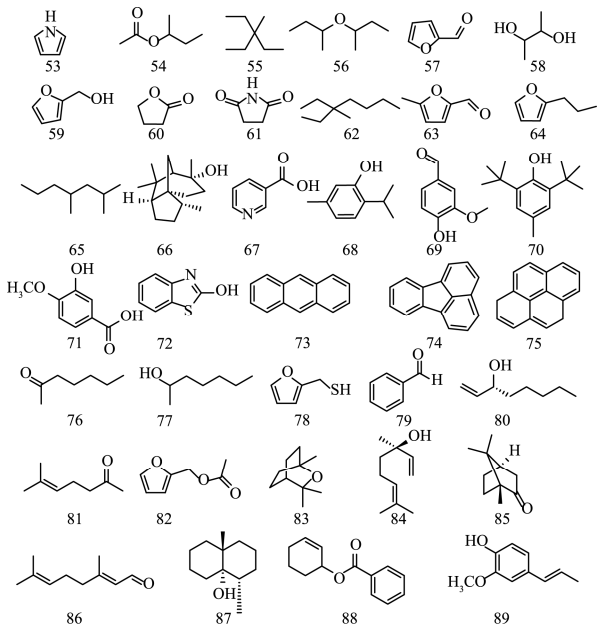


图 3 太子参挥发性化合物结构

Fig.3 Structures of volatile components from *Pseudostellaria heterophylla*

1.6 有机酸及其衍生物

太子参中含有的该类成分主要有脂肪酸类、吡咯酸、呋喃酸、苯甲酸类和苯丙素类等有机酸化合物。分离得到了二氢阿魏酸、阿魏酸、阿魏酸甲酯 3 个苯丙素类有机酸化合物；三棕榈酸甘油酯、十八碳酸、二十四碳酸等脂肪酸类化合物^[36]。化合物的具体信息和结构分别见表 6、图 4。

1.7 磷脂类成分

磷脂类成分在提高机体免疫功能、维持细胞膜完整性和降血脂等方面发挥着重要作用。太子参总磷脂含量约为 5.5%，其中主要成分有磷脂酰胆碱、磷脂酰甘油、磷脂酰肌醇、磷脂酸、磷脂酰乙醇胺和磷脂酰丝氨酸等^[37]。化合物的具体信息和结构分别见表 7、图 5。

表 6 太子参有机酸及其衍生物汇总表
Table 6 Summary of organic acids and their derivates from *Pseudostellaria heterophylla*

序号	化合物	化学式	分子量	参考文献
90	dihydroferulic acid	C ₁₀ H ₁₂ O ₄	196.2	[25,34]
91	ferulic acid	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	194.2	[25]
92	methyl ferulate	C ₁₁ H ₁₂ O ₄	208.2	[25]
93	methyl dihydroferulate	C ₁₁ H ₁₄ O ₄	210.2	[31]
94	dimethyl phthalate	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	194.2	[25]
95	dibutyl phthalate	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	278.4	[25]
96	succinic acid	C ₄ H ₆ O ₄	118.1	[29]
97	salicylic acid	C ₇ H ₆ O ₃	138.1	[31]
98	pyrrole-2-carboxylic acid	C ₅ H ₅ NO ₂	111.1	[26]
99	3-furancarboxylic acid	C ₅ H ₄ O ₃	112.1	[25]
100	3-fumyl pyrrole-2-carboxylate	C ₁₀ H ₉ NO ₃	191.2	[34]
101	benzoic acid	C ₇ H ₆ O ₂	122.1	[31]
102	octadecatrienoic acid	C ₁₆ H ₂₆ O ₂	250.4	[16]
103	linolenic acid	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	278.4	[16]
104	palmitic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256.4	[27]
105	linoleic acid	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280.5	[27]
106	stearic acid	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284.5	[27]
107	tetracosanoic acid	C ₂₄ H ₄₈ O ₂	368.7	[27]
108	tripalmitin	C ₅₁ H ₉₈ O ₆	807.3	[27]

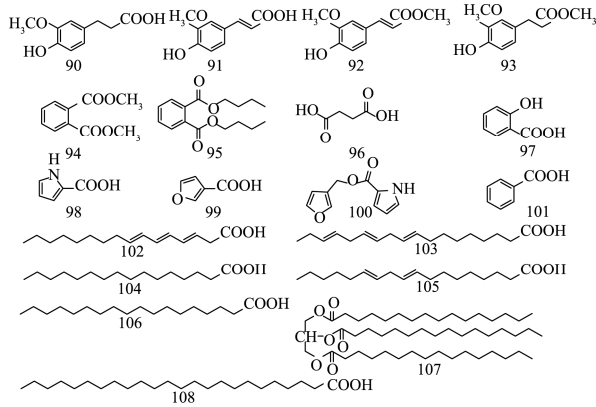


图 4 太子参有机酸及其衍生物类化合物结构
Fig.4 Structures of organic acids and their derivates from *Pseudostellaria heterophylla*

表 7 太子参磷脂类成分汇总表
Table 7 Summary of phospholipids from *Pseudostellaria heterophylla*

序号	化合物	参考文献
109	phosphatidylcholine	[38]
110	phosphatidyl glycerol	[38]
111	phosphatidylinositol	[38]
112	phosphatidyl ethanolamine	[38]
113	phosphatidylserine	[38]
114	phosphatidic acid	[38]

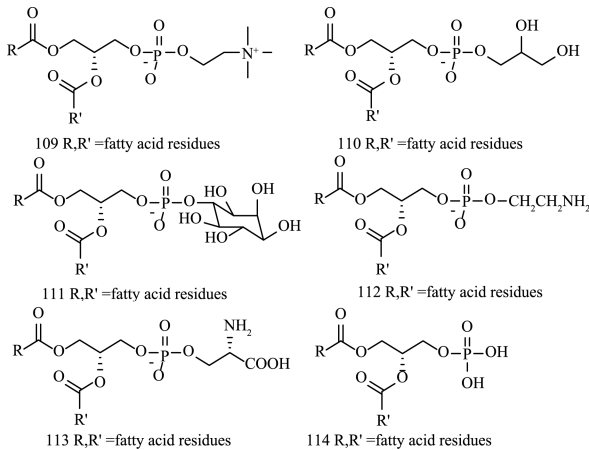


图 5 太子参磷脂类化合物结构
Fig.5 Structures of phospholipids from *Pseudostellaria heterophylla*

2 氨基酸、微量元素及其他类成分

太子参还含有氨基酸、微量元素等成分。太子参含有人体必须的 8 种必需氨基酸,在不同的种源中含量差异较大。目前已检测出精氨酸、天门冬氨酸、谷氨酸等 18 种蛋白质氨基酸和非蛋白质氨基酸 γ -氨基丁酸^[39]。化合物的具体结构见图 6。利用原子吸收光谱法、微波消解-电感耦合等离子体质谱法等检测到太子参中有 Mg、Ca、Mn 等微量元素^[38]。

除上述成分外,从太子参中还分离得到包括 β -hydroxypropiovanillone、蒲公英赛醇、蒲公英赛醇乙酯、木犀草素、肌-肌醇-3-甲醚、金合欢素和乌苏酸等在内的生物活性成分。化合物的具体结构见图 6。

3 太子参药理作用

太子参有着丰富的药理活性,包括抗氧化、心肌保护、免疫调节、抗炎和改善记忆等,这些药理作用与其所含环肽、多糖、皂苷等化学成分有密切的关系。

3.1 抗氧化作用

研究表明太子参提取物可通过以下 3 个方面调节抗氧化活性^[40]: (1)可直接清除自由基如 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、O²⁻、-OH 等; (2)提升过氧化氢酶(catalase, CAT)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-PX)等抗氧化酶的活性,降低乳酸氧化酶(lactate oxidase, LOX)活性; (3)提高体细胞活性和结构完整性,调节胞内抗氧化系统。

太子参的抗氧化作用与其所含皂苷成分有关,研究发现太子参醇提物中的皂苷部位抗氧化效果优于阳性对照维生素 C,这提示太子参皂苷可能是重要的抗氧化活性成分^[41]。研究表明,太子参的皂苷提取物可以抑制氧化应激

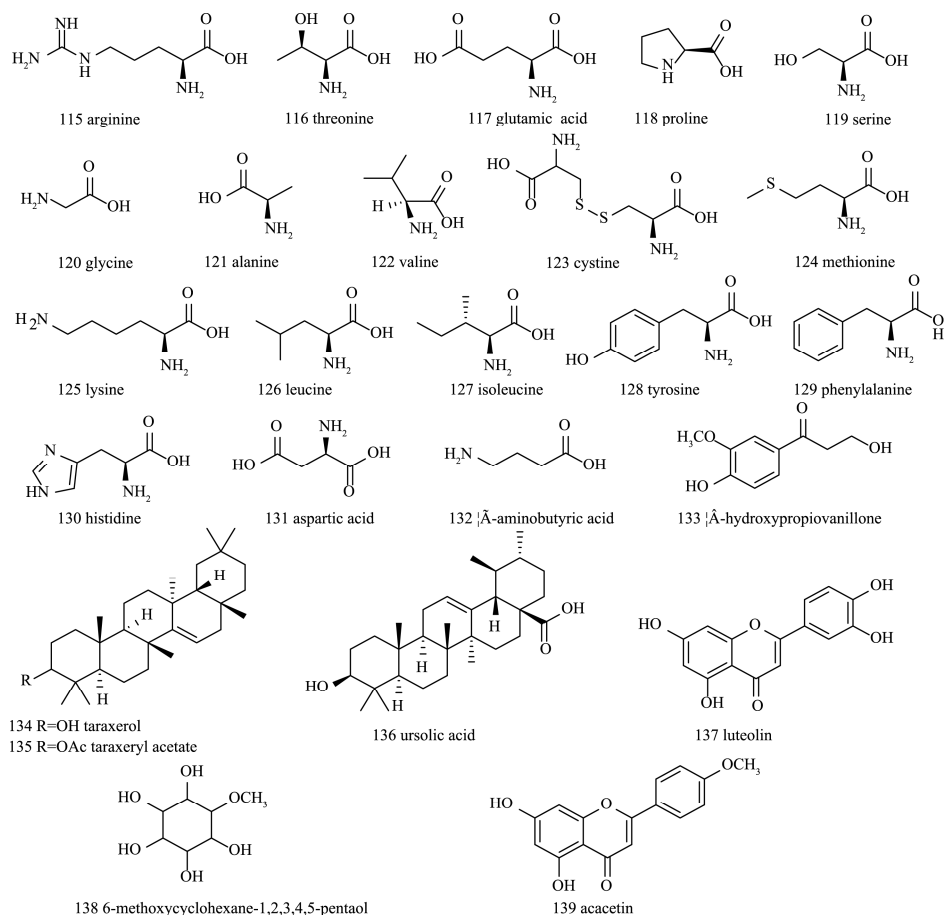


图 6 太子参其他类化合物结构

Fig.6 Structures of other compounds from *Pseudostellaria heterophylla*

提高 SOD、降低丙二醛(malondialdehyde, MDA)水平, 下调 c-fos 抗体(cellular oncogene fos, c-fos)和 Bax 抗体(BCL2-associated X, Bax)基因表达水平, 抑制光凝后视网膜的凋亡, 对家兔视网膜激光损伤有保护作用^[42]。

3.2 抗炎作用

太子参环肽 B (heterophyllin B, HB, 22)对脂多糖诱导的小鼠单核巨噬细胞白血病细胞炎症的作用^[43], 实时荧光定量聚合酶链式反应 (quantitative real-time polymerase chain reaction, qRT-PCR)结果显示 HB 显著降低白细胞介素-1 β (interleukin-1 β , IL-1 β)和 IL-6 的表达水平, 其抗炎作用机制是通过调控 PI3K-Akt 通路抑制白细胞介素(IL-1 β 、IL-6)、NO 和活性氧等炎症介质的表达。此外, 动物实验也表明 HB 具有抗炎、抗氧化应激和减少细胞凋亡的作用。太子参多糖处理急性结肠炎小鼠能显著降低血中 IL-1 β 和肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)水平, 其抗炎活性是通过抑制 TLR4 信号通路实现的^[44]。综上, 太子参环肽和太子参多糖可通过调控不同信号通路发挥抗炎作用。

3.3 免疫调节功能

免疫调节可通过调控免疫细胞释放免疫活性因子和

激活补体系统等途径实现, 太子参多糖是免疫调控的主要活性物质。太子参须根多糖可通过改善环磷酰胺引起的胸腺、脾脏萎缩, 增强 T、B 淋巴细胞的增殖能力、细胞因子 IL-2、IL-4 和 γ 干扰素(interferon- γ , IFN- γ)含量, 调节模型小鼠的免疫功能^[45]。太子参提取物可通过调节 Th1/Th2 水平起到免疫调节的作用, 改善小鼠局部特异性皮炎^[46]。通过硒化修饰改变太子参多糖的结构会增强抗氧化和免疫活性, 免疫抑制小鼠免疫器官指数和免疫细胞吞噬指数得到显著改善^[47]。有研究表明, 太子参蛋白水解产物太子参肽 (*Pseudostellaria heterophylla* peptide, PPH)能够通过激活 Ca²⁺/CaN/NFATc1/IFN- γ 通路从而促进脾 T 淋巴细胞释放 TNF- α 、INF- γ 和 IL-10, 起到免疫增强作用^[48]。此外, 太子参苷类物质也具有免疫增强等功能, 总皂苷可以增加小鼠免疫器官的重量, 对小鼠网状内皮系统(reticuloendothelial system, RES)吞噬功能有明显的激活作用^[49]。

3.4 降血糖、血脂作用

太子参多糖是降血糖、血脂作用的主要活性成分。太子参多糖 0.5MSC-F (10)和 H-1-2 (3)具有潜在的降血糖功能^[50], 0.5MSC-F 是太子参的一种水溶性复合果胶多糖, 显著刺激高糖培养的胰岛细胞分泌胰岛素, 具有潜在的降血糖作

用; 体外实验证明 H-1-2 能提高肌肉和脂肪细胞对葡萄糖的摄取和利用^[51]。研究显示, 太子参多糖 PF40 (50~210 kDa) 对二型糖尿病(diabetes mellitus type 2, T2DM)有明显的改善作用, 显著改善胰岛素耐受, 降低血糖水平^[52], 改善 T2DM 大鼠的胰岛素抵抗^[53]。此外, 研究发现太子参环肽 pseudostellarin E (28)能加速小鼠胚胎成纤维细胞前脂肪细胞分化进程, 增加分化的脂肪细胞对胰岛素刺激的葡萄糖的吸收, 表明 pseudostellarin E 有潜在的治疗二型糖尿病 (T2DM)的作用^[54]。

总之, 多糖是太子参降血糖、血脂的主要药效学成分, 同时, 太子参环肽和皂苷可能对降血糖起到协同作用, 其作用机制与促进胰岛素分泌和增加肌肉和脂肪组织对葡萄糖的吸收和消耗有关。

3.5 心肌保护作用

太子参多糖和皂苷通过降低 MDA、活性氧(reactive oxygen species, ROS)、乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LDH)水平对缺氧造成的心肌细胞损伤具有保护作用, 是太子参具有心肌保护作用的两个活性部位^[55]。

太子参多糖能显著减轻心肌缺血再灌注损伤模型大鼠的心肌组织损伤, 抑制心肌细胞凋亡, 其作用机制可能是通过下调促凋亡相关蛋白 Bax、Caspase-3 和上调抑凋亡相关蛋白 B 淋巴细胞瘤-2 基因(B-cell lymphoma-2, Bcl-2)的表达实现的^[56]。太子参粗多糖对急性心肌梗死诱发实验性大鼠心肺损伤有保护作用, 改善肺组织充血、水肿和炎性细胞浸润^[57], 这与太子参益气健脾、生津润肺的功效相一致。值得注意的是, 太子参多糖心肌保护作用与糖尿病心肌病的病理生理机制存在一致性, 太子参多糖可能通过相似的靶点和途径发挥治疗多种疾病的作用^[58]。

3.6 治疗慢性阻塞肺性疾病

《本草再新》记载, 太子参具有“治气虚肺燥, 补脾土, 消水肿, 化痰止渴”的功效。现代研究也发现, 太子参环肽提取物对大鼠慢性阻塞性肺病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)具有明显的改善作用。给予太子参环肽提取物 15 d 后, 肺泡破坏程度、肺泡炎症降低, 肺泡间隙增加, 其作用机制可能与 TLR4-MyD88-JNK/p38 信号通路的抑制有关。此外, 太子参乙酸乙酯提取物, 对 COPD 模型豚鼠具有较强的镇咳作用, 给药后肺气道阻力下降, 动态肺顺应性上升, 血清白细胞介素-8 (interleukin-8, IL-8)、粒细胞-巨噬细胞集落刺激因子(granulocyte-macrophage colony stimulating factor, GM-CSF)、TNF- α 和内皮素-1 (endothelin-1, ET-1)水平下降。太子参环肽及乙酸乙酯提取物通过调节多种细胞因子水平来减轻气道炎症, 从而改善肺功能^[59]。

3.7 其他药理作用

近年研究表明, 太子参具有显著的增强小鼠认知记忆的作用, 环肽类成分 HB (22)可以透过血脑屏障进入大

脑, 促进神经突起再生, 上调皮层和海马区 5-羟色胺水平, 调控多巴胺的代谢^[60]; HB 还可逆转 β 淀粉样蛋白(amyloid β -protein, A β)诱导的小鼠皮层神经元轴突萎缩和神经元凋亡, 改善脑室注射 A β_{1-42} 引起的阿尔茨海默病小鼠的记忆损伤, 调节脾脏辅助 T 细胞功能, 并改善神经炎症^[61]以及溃疡性结肠炎^[62]; 另外, 太子参多糖 H-1-2 (3)还可以通过下调缺氧诱导的人前梯度蛋白 2 (anterior gradient-2, AGR2)的表达来抑制胰腺癌细胞的浸润和迁移, 起到抗胰腺癌的作用^[63]。太子参的药理作用及潜在作用机制总结如图 7 所示, 太子参的各类成分的生物活性总结见表 8。

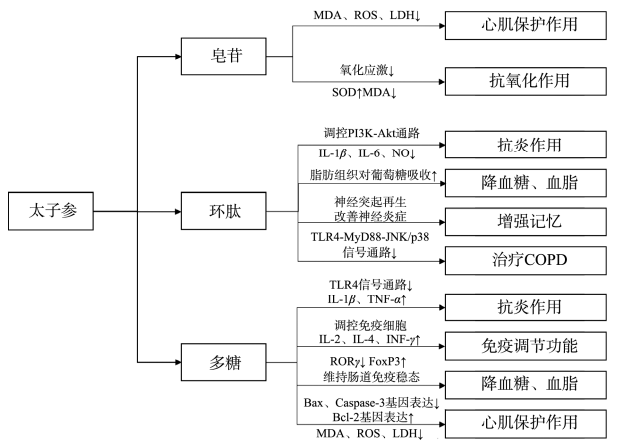


图 7 太子参药理作用及潜在的作用机制
Fig.7 Pharmacological effects and potential mechanisms of *Pseudostellaria heterophylla*

表 8 太子参各成分药理作用汇总
Table 8 Summary of pharmacological effects of *Pseudostellaria heterophylla*

组分分类	药理作用	参考文献
环肽	pseudostellarin A~D、F、G 酪氨酸酶抑制作用	[17-18,20,22]
	pseudostellarin B 抗菌作用	[19]
	pseudostellarin E 免疫调控、降血糖、酪氨酸酶抑制作用	[22,51,54]
	heterophyllin B 改善炎症, 氧化应激; 促血管生成; 改善记忆作用	[45,62-63]
多糖	0.5 MSC-F 降血糖作用	[7]
	PF40 降血糖作用	[55]
	H-1-2 降血糖和抗胰腺癌作用	[56]
	总多糖提取物 抗炎、免疫调节、心肌保护、抗应激、抗疲劳作用	[46,49,59,63]
皂苷	皂苷提取物 改善视网膜损伤、抗疲劳、心脏保护作用	[52-53,60]

4 结束语

综上所述,太子参作为一种传统中药,含有多糖、皂苷、环肽等多种活性成分,具有抗炎、免疫调节、降血糖血脂、改善记忆等多种药理作用。目前,对太子参的活性部位研究主要集中在多糖和环肽类成分,其中对多糖部位研究较多,但仍停留在对总多糖效用的发现,而未深入探究其作用靶点和通路,近年来糖蛋白或糖肽类成分的活性研究引起了很大关注,但太子参糖蛋白或糖肽类的研究并未见报道,或将是未来值得关注的方向;太子参环肽是太子参中的特征性成分,目前,太子参中发现的环肽类成分已有 19 个,其中研究最多的是太子参环肽 B,有酪氨酸酶抑制、抗炎、抗氧化等作用,最新的研究表明太子参环肽 B 能够促进突起再生和伸长,有增强记忆和改善认知的作用。另外,对一些微量成分如苷类、生物碱、磷脂类、挥发油及有机酸类的生物活性研究还相对较少,更深入的研究或许能够揭示太子参不同的药理活性和作用机制。

太子参提取物具有抗氧化、抗炎、免疫调节等丰富的药理作用,但具体哪种药效物质成分起作用?作用靶点是什么?以及具体的作用机制是什么?这些问题还有待进一步的研究,以下几个方面的研究或对揭示太子参的药效物质和机制大有裨益:(1)对太子参传统药效(如润肺健脾)进行深入的物质基础研究,建立合理的生物效应评价体系;(2)不同产区(如福建柘荣、贵州施秉、安徽宣城等)太子参化学成分含量不同,应分析比较地域、品种以及环境条件对太子参不同成分积累的影响,建立合理动态的药效学成分评价标准,为太子参的生产、开发利用提供质量保障;(3)利用微流控芯片、荧光素酶报告基因、亲和柱色谱、无标记分子探针、磷酸化蛋白质组学等手段揭示太子参药效物质及作用靶点,深入阐明其作用机制,或能为保健品和药物等的研发提供理论基础。

此外,中医药对疾病的治疗是一个复杂多靶点的作用体系,同时也可能是一个多组织器官协同作用的结果。如作者发现太子参具有增强记忆的中枢神经系统作用,但同时太子参是一个归脾经的中药,可能对中焦(胃肠道)具有调控作用,而肠道微生物同样可以通过“肠-脑轴”影响记忆,除此之外,太子参也具有较强的免疫调控作用,增强外周脾淋巴 B 和 T 细胞活力,那么,“脾-肠-脑轴”是否协同改善认知功能这一研究是值得期待的。因此,多组织器官协同互作的作用也是阐明太子参等中药药效的重要途径。

参考文献

- [1] HU DJ, SHAKERIAN F, ZHAO J, *et al.* Chemistry, pharmacology and analysis of *Pseudostellaria heterophylla*: A mini-review [J]. *Chin Med-UK*, 2019, 14: 21.
- [2] 姚先梅, 段贤春, 吴健, 等. 太子参多糖对实验性糖尿病大鼠血糖、血脂代谢和肾脏病理的影响[J]. *安徽医药*, 2014, 18(1): 23–26.
- YAO XM, DUAN XC, WU J, *et al.* Effects of polysaccharides from *Pseudostellaria heterophylla* on blood sugar, blood lipid metabolism and renal pathology in experimental diabetic rats [J]. *Anhui Med Pharm*, 2014, 18(1): 23–26.
- [3] 杨昌贵, 江维克, 周涛, 等. 不同种源太子参中多糖和氨基酸含量的比较研究[J]. *中国现代中药*, 2014, 16(1): 32–37.
- YANG CG, JIANG WK, ZHOU T, *et al.* Comparative study on polysaccharide and amino acid content from *Pseudostellaria heterophylla* from different sources [J]. *Mod Chin Med*, 2014, 16(1): 32–37.
- [4] 孔钰婷, 何丹, 安风平, 等. 太子参活性成分及利用研究进展[J]. *粮食科技与经济*, 2019, 44(10): 110–113.
- KONG YT, HE D, AN FP, *et al.* Research progress on active ingredients and utilization of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. *Grain Sci Technol Econ*, 2019, 44(10): 110–113.
- [5] 刘训红, 阚毓铭, 王玉玺. 太子参多糖的研究[J]. *中草药*, 1993, 24(3): 119.
- LIU XH, KAN YM, WANG YX. A study on polysaccharides from *Pseudostellaria heterophylla* [J]. *Chin Herb Med*, 1993, 24(3): 119.
- [6] 栗园. 太子参抗 T2DM 活性部位均一多糖的分离、结构表征及其吸收特征研究[D]. 福州: 福建中医药大学, 2018.
- LI Y. Isolation, structural characterization and absorption characteristics of polysaccharides from *Pseudostellaria heterophylla* anti-T2DM active site [D]. Fuzhou: Fujian University of Traditional Chinese Medicine, 2018.
- [7] CHEN JL, PANG WS, KAN YJ, *et al.* Structure of a pectic polysaccharide from *Pseudostellaria heterophylla* and stimulating insulin secretion of INS-1 cell and distributing in rats by oral [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 106: 456–463.
- [8] HU DJ, HAN BX, CHEN CW, *et al.* Determination of seven oligosaccharides and sucrose in *Pseudostellaria heterophylla* by pressurized liquid extraction and ultra-high performance liquid chromatography with charged aerosol detector and tandem mass spectrometry [J]. *J Chromatogr A*, 2020, 1609: 460441.
- [9] XU WY, ZHU HT, TAN NH, *et al.* An *in vitro* system to study cyclopeptide heterophyllin B biosynthesis in the medicinal plant *Pseudostellaria heterophylla* [J]. *Plant Cell Tiss Org*, 2012, 108(1): 137–145.
- [10] 丁中涛, 周俊. 石竹科植物环肽研究进展[J]. *化学研究与应用*, 1999, 11(5): 493–494.
- DING ZT, ZHOU J. Research progress of cyclopeptides in caryophyllaceae [J]. *Chem Res Appl*, 1999, 11(5): 493–494.
- [11] YANG YB, TAN NH, ZHANG F, *et al.* Cyclopeptides and amides from *Pseudostellaria heterophylla* (caryophyllaceae) [J]. *Helv Chim Acta*, 2003, 86(10): 3376–3379.
- [12] 陈前锋, 赵筱斐, 赵郁涛, 等. 太子参须根中环肽类化学成分研究[J]. *中国中药杂志*, 2022, 47(1): 122–126.
- CHEN QF, ZHAO XF, ZHAO HT, *et al.* Study on the chemical constituents of cyclopeptides from the fibrous roots of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. *China J Chin Mater Med*, 2022, 47(1): 122–126.
- [13] MORITA H, KOBATA H, TAKEYA K, *et al.* Pseudostellarin G, a new tyrosinase inhibitory cyclic octapeptide from *Pseudostellaria heterophylla* [J]. *Tetrahedron Lett*, 1994, 35(21): 3563–3564.
- [14] ZHAO XF, ZHANG Q, ZHAO HT, *et al.* A new cyclic peptide from the fibrous root of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. *Nat Prod Res*, 2022, 36(13): 3368–3374.
- [15] TAN NH, ZHOU J, ZHAO SX, *et al.* Heterophyllin A and B, two cyclopeptides, from the roots of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. *Chin Chem Lett*, 1992, 1: 629–632.
- [16] 谭宁华, 周俊. 太子参中新环肽——太子参环肽 C[J]. *云南植物研究*, 1995, 17(1): 1.

- TAN NH, ZHOU J. Heterophyllin C of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. ACTA Bot Yunnan, 1995, 17(1):1.
- [17] MORITA H, KAYASHITE T, KOBATA H, *et al.* Pseudostellarins D-F, new tyrosinase inhibitory cyclic peptides from *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Tetrahedron, 1994, 50(33): 9975–9982.
- [18] MORITA H, KAYASHITE T, TAKEYA K, *et al.* Crystal and solution forms of a cyclic heptapeptide, pseudostellarin D [J]. Tetrahedron, 1995, 51(46): 12539–12548.
- [19] TAN NH, ZHOU J, CHEN CX, *et al.* Cyclopeptides from the roots of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Phytochemistry, 1993, 32(5): 1327–1330.
- [20] MORITA H, KAYASHITE T, TAKEYA K, *et al.* Conformational analysis of a tyrosinase inhibitory cyclic pentapeptide, pseudostellarin A, from *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Tetrahedron, 1994, 50(44): 12599–12608.
- [21] MORITA H, KAYASHITE T, KOBATA H, *et al.* Pseudostellarins A-C, new tyrosinase inhibitory cyclic peptides from *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Tetrahedron, 1994, 50(23): 6797–6804.
- [22] MORITA H, KAYASHITE T, TAKEYA K, *et al.* Conformational analysis of a cyclic heptapeptide, pseudostellarin D by molecular dynamics and Monte Carlo simulations [J]. Chem Pharm Bull (Tokyo), 1996, 44(11): 2177–2180.
- [23] MORITA H, KAYASHITE T, TAKEYA K, *et al.* Cyclic peptides from higher plants, Part 15. Pseudostellarin H, a new cyclic octapeptide from *Pseudostellaria heterophylla* [J]. J Nat Prod, 1995, 58(6): 943–947.
- [24] LU F, YANG H, LIN SD, *et al.* Cyclic peptide extracts derived from *Pseudostellaria heterophylla* ameliorates COPD via regulation of the TLR4/MyD88 pathway proteins [J]. Front Pharmacol, 2020, 11(9): 850.
- [25] 王喆星, 徐绥绪, 张国刚, 等. 太子参化学成分的研究(IV)[J]. 中国药物化学杂志, 1992, 3: 65–67.
- WANG ZX, XU SX, ZHANG GG, *et al.* Study on chemical constituents of *Pseudostellaria heterophylla* (IV) [J]. Chin J Med Chem, 1992, 3: 65–67.
- [26] 秦民坚, 余永邦, 黄文哲. 江苏栽培太子参的化学成分研究[J]. 现代中药研究与实践, 2005, 1: 38–40.
- QIN MJ, YU YB, HUANG WZ. Study on chemical constituents of *Pseudostellaria heterophylla* cultured in Jiangsu [J]. Res Pract Chin Med, 2005, 1: 38–40.
- [27] 王哲星, 徐绥绪, 邱峰, 等. 太子参的化学成分研究[J]. 中草药, 1992, 23(6): 331, 336.
- WANG ZX, XU SX, QIU F, *et al.* Study on chemical constituents of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Chin Herb Med, 1992, 23(6): 331, 336.
- [28] 李滢, 杨秀伟. 太子参(柘参1号)的化学成分[J]. 中国中药杂志, 2008, 20: 2353–2355.
- LI Y, YANG XW. The chemical constituents of *Pseudostellaria heterophylla* (Zhe Shen 1) [J]. China J Chin Mater Med, 2008, 20: 2353–2355.
- [29] 张春丽, 徐国波, 刘俊, 等. 太子参化学成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2017, 29(7): 1132–1135, 1164.
- ZHANG CL, XU GB, LIU J, *et al.* Study on chemical constituents of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Nat Prod Res Dev, 2017, 29(7): 1132–1135, 1164.
- [30] 张健, 李友宾, 王大为, 等. 太子参化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2007, 11: 1051–1053.
- ZHANG J, LI YB, WANG DW, *et al.* Study on chemical constituents of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. China J Chin Mater Med, 2007, 11: 1051–1053.
- [31] XU GB, ZHU QF, WANG Z, *et al.* Pseudosterins A-C, three 1-ethyl-3-formyl- β -carbolines from *Pseudostellaria heterophylla* and their cardioprotective effects [J]. Molecules, 2021, 26(16): 5045.
- [32] 刘义宁, 易骏, 陈体强, 等. 太子参挥发油化学成分研究[J]. 时珍国医国药, 2009, 20(1): 50–51.
- LIU YN, YI J, CHEN TQ, *et al.* Study on chemical constituents of volatile oil from *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2009, 20(1): 50–51.
- [33] 王喆星, 徐绥绪, 张秀琴. 太子参化学成分的研究(III)挥发性成分的分析鉴定[J]. 沈阳药学院学报, 1993, 3: 221–222.
- WANG ZX, XU SX, ZHANG XQ. Study on chemical constituents of *Pseudostellaria heterophylla* (III) analysis and identification of volatile components [J]. J Shenyang Pharm Univ, 1993, 3: 221–222.
- [34] 林文津, 徐榕青, 张亚敏. 超临界 CO₂ 萃取与水蒸气蒸馏法提取太子参挥发油化学成分气质联用研究[J]. 药物分析杂志, 2011, 31(7): 1300–1303.
- LIN WJ, XU RQ, ZHANG YM. Study on chemical constituents of volatile oil from *Pseudostellaria heterophylla* by supercritical CO₂ extraction and steam distillation [J]. Chin J Pharm Anal, 2011, 31(7): 1300–1303.
- [35] 沈祥春, 陶玲. 贵州产太子参挥发油化学成分的气相色谱-质谱分析[J]. 中成药, 2007, 11: 1659–1661.
- SHEN XC, TAO L. Chemical composition analysis of volatile oil from *Pseudostellaria heterophylla* from Guizhou by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chin Tradit Pat Med, 2007, 11: 1659–1661.
- [36] REINECKE M, ZHAO Y. Phytochemical studies of the Chinese herb Tai-zi-shen, *Pseudostellaria heterophylla* [J]. J Nat Prod, 2004, 51(6): 1236–1240.
- [37] 李学农. 规范化种植的太子参氨基酸成分分析[J]. 福建医药杂志, 2011, 33(4): 79–80.
- LI XN. Analysis of amino acid components of *Pseudostellaria heterophylla* in standardized cultivation [J]. Fujian Med J, 2011, 33(4): 79–80.
- [38] 许益民, 宗颂梅, 王永珍. 甘草、太子参和山茱萸中磷脂成分的原子吸收光谱法测定[J]. 南京中医学院学报, 1991, 3: 156–157.
- XU YM, ZONG SM, WANG YZ. Determination of phospholipids in *Glycyrrhiza*, *Pseudostellaria heterophylla* and *Cornus officinalis* by atomic absorption spectrometry [J]. J Nanjing Univ Tradit Chin Med, 1991, 3: 156–157.
- [39] 陶华平. ICP-MS 同时测定柘参太子参中七种微量元素[J]. 现代食品, 2019, 12: 181–184.
- TAO HP. Simultaneous determination of seven trace elements in Zherong *Pseudostellaria heterophylla* by ICP-MS [J]. Mod Food, 2019, 12: 181–184.
- [40] ZANG Y. Revaluation on antioxidant activity of tonic Chinese herbs *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Anim Husb Feed Sci, 2020, 12(1): 11–16.
- [41] 孔钰婷, 何洪, 安凤平, 等. 太子参醇提物的肠道益生及增强抗氧化作用[J]. 现代食品科技, 2021, 37(5): 9–16.
- KONG YT, HE H, AN FP, *et al.* Intestinal probiotics and enhancing antioxidant effects of alcohol extract of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Mod Food Sci Technol, 2021, 37(5): 9–16.
- [42] RUI G, WEI W, WANG YL, *et al.* Protective effects of *Radix Pseudostellariae* extract against retinal laser injury [J]. Cell Physiol Biochem, 2014, 33(6): 1643–1653.
- [43] YANG CJ, YOU LT, YIN XB, *et al.* Heterophyllin B ameliorates lipopolysaccharide-induced inflammation and oxidative stress in RAW 264.7 macrophages by suppressing the PI3K/Akt pathways [J]. Molecules, 2018, 23(4): 717.
- [44] YOU SY, LIU XW, XU GT, *et al.* Identification of bioactive polysaccharide from *Pseudostellaria heterophylla* with its anti-inflammatory effects [J]. J Funct Food, 2021, 78(150): 104353.
- [45] 闵思明, 赵晓瑶, 陈赛红, 等. 太子参参须多糖对免疫抑制小鼠的免疫

- 调节作用研究[J]. 动物医学进展, 2020, 41(8): 23–28.
- MIN SM, ZHAO XY, CHEN SH, *et al.* Study on immunomodulatory effects of polysaccharide from *Pseudostellaria heterophylla* on immunosuppressed mice [J]. Prog Vet Med, 2020, 41(8): 23–28.
- [46] CHOI YY, KIM MH, AHN KS, *et al.* Immunomodulatory effects of *Pseudostellaria heterophylla* (Miquel) Pax on regulation of Th1/Th2 levels in mice with atopic dermatitis [J]. Mol Med Rep, 2017, 15(2): 649–656.
- [47] 宋玉龙, 丘富安, 吴秀钦, 等. 硒化修饰太子参多糖对免疫损伤小鼠的免疫保护作用[J]. 中国兽医学报, 2017, 37(11): 2163–2167, 2180.
- SONG YL, QIU FAN, WU XQ, *et al.* Protective effect of selenated polysaccharide of *Pseudostellaria heterophylla* on immune-impaired mice [J]. Chin J Vet Sci, 2017, 37(11): 2163–2167, 2180
- [48] YANG Q, CAI X, HUANG M, *et al.* Immunomodulatory effects of *Pseudostellaria heterophylla* peptide on spleen lymphocytes via a $Ca^{2+}/CaN/NFATc1/IFN-\gamma$ pathway [J]. Food Funct, 2019, 10(6): 3466–3476.
- [49] 刘训红, 陈彬, 王玉玺. 太子参总皂甙药理作用的初步研究[J]. 江苏药学与临床研究, 2000, 3: 6–8.
- LIU XH, CHEN B, WANG YX. Preliminary study on pharmacological effects of total saponins from *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Pharm Clin Res, 2000, 3: 6–8.
- [50] CHEN J, PANG W, SHI W, *et al.* Structural elucidation of a novel polysaccharide from *Pseudostellaria heterophylla* and stimulating glucose uptake in cells and distributing in rats by oral [J]. Molecules, 2016, 21(9): 1233.
- [51] FANG ZH, DUAN XC, ZHAO JD, *et al.* Novel polysaccharide H-1-2 from *Pseudostellaria heterophylla* alleviates type 2 Diabetes mellitus [J]. Cell Physiol Biochem, 2018, 49(3): 996–1006.
- [52] HU J, PANG WS, CHEN JL, *et al.* Hypoglycemic effect of polysaccharides with different molecular weight of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. BMC Complem Altern M, 2013, 13(10): 267.
- [53] LIU Y, KAN Y, HUANG Y, *et al.* Physicochemical characteristics and antidiabetic properties of the polysaccharides from *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Molecules, 2022, 27(12): 3719.
- [54] 张伟云, 姚芳华, 王青, 等. 太子参环肽类化合物 Pseudostellarin E 对 3T3-L1 前脂肪细胞分化和葡萄糖吸收的作用[J]. 时珍国医国药, 2018, 29(5): 1028–1030.
- ZHANG WY, YAO FH, WANG Q, *et al.* Effects of pseudostellarin E of *Pseudostellaria heterophylla* on the differentiation and glucose absorption of 3T3-L1 preadipocytes [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2018, 29(5): 1028–1030.
- [55] WANG Z, LIAO SG, HE Y, *et al.* Protective effects of fractions from *Pseudostellaria heterophylla* against cobalt chloride-induced hypoxic injury in H9c2 cell [J]. J Ethnopharmacol, 2013, 147(2): 540–545.
- [56] 孙弼, 宛蕾, 林晓坚, 等. 太子参多糖对缺血再灌注损伤模型大鼠心肌细胞凋亡的抑制作用研究[J]. 中国药房, 2018, 29(16): 2175–2179.
- SUN B, WAN L, LIN XJ, *et al.* Study on the inhibitory effect of polysaccharide from *Pseudostellaria heterophylla* on myocardial cell apoptosis in rats with ischemia-reperfusion injury [J]. China Pharm, 2018, 29(16): 2175–2179.
- [57] 陶玲, 彭佼, 范晓飞, 等. 太子参粗多糖对大鼠急性心肌梗死诱发心肺损伤的保护作用[J]. 中华中医药杂志, 2012, 27(8): 2079–2082.
- TAO L, PENG J, FAN XF, *et al.* Protective effect of crude polysaccharide from *Pseudostellaria heterophylla* on cardiopulmonary injury induced by acute myocardial infarction in rats [J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2012, 27(8): 2079–2082.
- [58] 王崇敏, 李军, 晋海军, 等. 太子参多糖的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(24): 9481–9489.
- WANG CM, LI J, JIN HJ, *et al.* Research progress of polysaccharides from *Pseudostellaria heterophylla* [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(24): 9481–9489.
- [59] PANG WH, LIN SD, DAI QW, *et al.* Antitussive activity of *Pseudostellaria heterophylla* (Miq.) Pax extracts and improvement in lung function via adjustment of multi-cytokine levels [J]. Molecules, 2011, 16(4): 3360–3370.
- [60] YANG ZY, ZHANG C, LI X, *et al.* Heterophyllin B, a cyclopeptide from *Pseudostellaria heterophylla*, enhances cognitive function via neurite outgrowth and synaptic plasticity [J]. Phytother Res, 2021, 35(9): 5318–5329.
- [61] DENG JH, FENG XY, ZHOU LJ, *et al.* Heterophyllin B, a cyclopeptide from *Pseudostellaria heterophylla*, improves memory via immunomodulation and neurite regeneration in i.c.v.A β -induced mice [J]. Food Res Int, 2022, 158: 111576.
- [62] CHEN C, LIANG H, WANG J, *et al.* Heterophyllin B an active cyclopeptide alleviates dextran sulfate sodium-induced colitis by modulating gut microbiota and repairing intestinal mucosal barrier via AMPK activation [J]. Mol Nutr Food Res, 2022, 66(17): e2101169.
- [63] SUN HW, SHI KQ, QI K, *et al.* *Pseudostellaria heterophylla* extract polysaccharide H-1-2 suppresses pancreatic cancer by inhibiting hypoxia-induced AG2 [J]. Mol Ther-Oncolytics, 2020, 17: 61–69.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



王奕霏, 主要研究方向为神经免疫药理学。

E-mail: wangyifei1@stu.gdou.edu.cn



杨志友, 博士, 副教授, 主要研究方向为抗神经退行性疾病药物发现开发及作用机制研究。

E-mail: yang_zhiyou@sina.com