

肉苁蓉生物活性成分及其免疫功效研究进展

周亚西¹, 周士琦¹, 冯 朵¹, 闫文杰^{1,2*}

(1.北京联合大学生物化学工程学院, 生物活性物质与功能食品北京市重点实验室, 北京 100023; 2.北京联合大学应用文理学院保健食品功能检测中心, 北京 100191)

摘要: 肉苁蓉是我国传统的名贵中药材之一, 2020年被列为药食同源试点物质, 具有极高的保健和药用价值。肉苁蓉含有丰富的营养成分和生物活性成分, 具有调节免疫力、抗氧化、抗衰老等多种功效。文章系统归纳了肉苁蓉中苯乙醇苷类、木脂素类、环烯醚萜类、糖类及其衍生物等生物活性成分的具体化合物, 并结合免疫系统, 对不同种类生物活性成分的免疫功效进行了系统总结, 期望为深入研究肉苁蓉的免疫功效提供参考。

关键词: 肉苁蓉; 生物活性成分; 免疫系统; 功效; 研究进展

中图分类号: R 284.2 文献标志码: A 文章编号: 1005-9989(2022)06-0133-07

DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2022.06.004

Progress in Understanding the Bioactive Components and Immune Efficacy of *Cistanche*

ZHOU Yaxi¹, ZHOU Shiqi¹, FENG Duo¹, YAN Wenjie^{1,2*}

(1.Beijing Key Laboratory of Bioactive Substances and Functional Food, College of Biochemical Engineering, Beijing Union University, Beijing 100023, China; 2.Health Food Function Testing Center, College of Applied Arts and Sciences, Beijing Union University, Beijing 100191, China)

Abstract: *Cistanche* is one of the traditional and valuable Chinese herbs in China and was listed as a pilot substance for medicinal food in 2020, with high health and medicinal value. *Cistanche* is rich in nutrients and bioactive components, and has various effects, such as improving immunity, anti-oxidation, anti-aging, etc. This paper systematically summarizes the specific compounds of bioactive components in *Cistanche*, including phenethyl glycosides, lignans, cyclic enol ether terpenoids, sugars and their derivatives, etc. Besides, combined with the immune system, the immune efficacy of different types of bioactive components was systematically summarized, hoping to provide a reference for in-depth research on the immune efficacy of *Cistanche*.

Key words: *Cistanche*; bioactive components; immune system; efficiency; research progress

收稿日期: 2022-01-26

*通信作者

基金项目: 北京联合大学科研项目(ZK70202004、XP202006)。

作者简介: 周亚西(1997—), 男, 河南周口人, 硕士研究生, 研究方向为食物营养与功能食品。

2020年1月2日,国家市场监督管理总局发布了9种按照传统既是食品又是中药材的试点物质名单,肉苁蓉(荒漠)列于其中,食用部位为其肉质茎。肉苁蓉具有“从容”“和缓”的特性,为补肾壮阳、润肠通便之良药,享有“沙漠人参”的美誉^[1]。《本草汇言》有曰:“此乃平补之剂,温而不热,补而不峻,暖而不燥,滑而不泄,故有从容之名”,肉苁蓉的名称因此得来。现已证实,中国的肉苁蓉属植物有4种,且主要分布在内蒙古、甘肃、新疆、宁夏以及青海等西北部干旱地区,分别为荒漠肉苁蓉(*C. deserticola* Y.C.Ma)、管花肉苁蓉[*C. tubulosa*(Schenk)Wight]、沙苁蓉(*C. sinensis* G.Beck)和盐生肉苁蓉[*C. salsa*(C.A.Mey)G.Beck]^[2]。大量研究文献已表明,肉苁蓉及其有效成分具有抑菌、抗衰老、抗疲劳、抗氧化、护肝、调节免疫力、调节内分泌、抗肿瘤、提高记忆力、通便润肠、改善生殖功能、预防骨质疏松和阿尔茨海默症等功能^[3-5],且未见其不良反应,常被用于药品或保健食品的原料。本文综合了肉苁蓉及其有效成分在免疫功效方面的有关文献,为其进一步研究提供理论基础。

1 肉苁蓉化学成分

目前,已经从中国的4种肉苁蓉属植物中分别分离得到了120、75、31、20个化合物^[5]。众多化合物中,主要含有苯乙醇苷类、木脂素类、环烯醚萜类、糖类及其衍生物、挥发性物质以及多种氨基酸和微量元素等。其中,能发挥其免疫功效的成分主要有肉苁蓉苷类、糖类以及黄酮类化合物。

1.1 苯乙醇苷类

在肉苁蓉肉质茎中,苯乙醇苷是其主要化学成分,也是肉苁蓉中主要的活性成分物质。目前,从肉苁蓉中分离得到的苯乙醇苷类已达70余个^[6]。刘晓明等^[7]采用色谱分析法对肉苁蓉进行分离鉴定,从其醇提物中共鉴定出17个化合物,其中含有毛蕊花糖苷、2'-乙酰基毛蕊花糖苷、肉苁蓉苷C、肉苁蓉苷D、异毛蕊花糖苷、管花苷B、管花苷E、盐生肉苁蓉苷D、盐生肉苁蓉苷E和松果菊苷等12种苯乙醇苷类化合物。张开梅^[8]采用正、反相硅胶柱色谱技术,从肉苁蓉总苷中分离得到异类叶升麻苷、管花苷B和类叶升麻苷3个苯乙醇苷类化合物。肉苁蓉中苯乙醇苷类化合物汇总见表1,结构通式见图1。

表1 肉苁蓉中苯乙醇苷类化合物^[9]

序号	化合物名称	来源
1	肉苁蓉苷A	Cd、Ct、Csa
2	肉苁蓉苷B	Cd
3	肉苁蓉苷C	Cd、Csa
4	顺式异肉苁蓉苷C	Cd
5	异肉苁蓉苷C	Cd
6	肉苁蓉苷D	Cd、Csa
7	肉苁蓉苷E	Cd
8	肉苁蓉苷F	Csa
9	肉苁蓉苷G	Cd
10	肉苁蓉苷H	Cd
11	肉苁蓉苷J	Cd
12	顺式肉苁蓉苷J	Cd
13	肉苁蓉苷K	Cd
14	顺式肉苁蓉苷K	Cd
15	肉苁蓉苷L	Cd
16	肉苁蓉苷M	Cd
17	肉苁蓉苷N	Cd
18	毛蕊花糖苷	Cd、Ct
19	顺式毛蕊花糖苷	Ct
20	异毛蕊花糖苷	Cd、Ct、Csa
21	2'-乙酰基毛蕊花糖苷	Cd、Ct、Csa
22	去咖啡酰基毛蕊花糖苷	Cd
23	松果菊苷	Cd、Ct、Csa
24	紫葳新苷I	Ct
25	异紫葳新苷I	Ct
26	紫葳新苷II	Ct、Csa
27	管花肉苁蓉苷	Ct
28	管花肉苁蓉苷A	Cd、Ct
29	管花肉苁蓉苷B1	Cd、Ct
30	管花肉苁蓉苷B2	Cd、Ct
31	管花苷B	Cd、Ct、Csa、Csi
32	顺式管花苷B	Cd
33	管花苷C	Ct
34	管花苷D	Ct
35	管花苷E	Cd、Ct
36	盐生肉苁蓉苷D	Cd、Csa
37	盐生肉苁蓉苷E	Cd、Csa
38	盐生肉苁蓉苷F	Csa
39	甘蓝苷E	Cd
40	甘蓝苷F	Ct
41	甘蓝苷G	Ct
42	甘蓝苷H1	Ct
43	甘蓝苷H2	Ct
44	甘蓝苷I	Ct
45	甘蓝苷J1/J2	Ct
46	甘蓝苷K1/K2	Ct
47	甘蓝苷O	Cd
48	甘蓝苷P	Cd
49	沙苁蓉苷A	Csi

续表

序号	化合物名称	来源
50	沙苻蓉苷B	Csi
51	2'-O-乙酰基金石蚕苷	Csi
52	去咖啡酰毛蕊花糖苷	Cd、Ct
53	桂叶苷	Cd、Csa
54	红景天苷	Cd、Ct
55	Syringalide A-3'- α -L-rhamnopyranoside	Cd、Ct
56	isosyringalide A-3'- α - β -L-rhamnopyranoside	Ct
57	金石蚕苷	Csi
58	jionoside D	Csi
59	eutigoside A	Csa
60	黄药苷	Ct
61	桂叶苷B6(E)	Cd
62	桂叶苷B6(Z)	Cd
63	车前草苷C	Cd
64	arenarioside	Ct
65	wiedemannoside C	Ct
66	isomartynoside	Cd
67	epimeridinoside A	Cd
68	6'-acetylsalidroside	Cd
69	phenylethyl-glucopyranoside	Cd
70	2'-acetylacteoside	Cd、Ct、Csa、Csi
71	异类叶升麻苷	Cd
72	类叶升麻苷	Cd

注：Cd为肉苻蓉；Ct为管花肉苻蓉；Csa为盐生肉苻蓉；Csi为沙苻蓉。

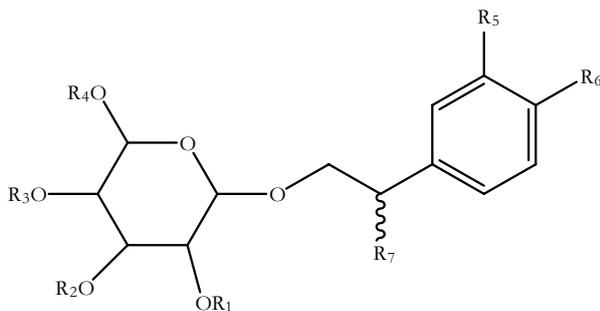


图1 苯乙醇苷类结构通式^[10]

1.2 木脂素类

木脂素是一类天然化合物，属于植物雌激素。目前，从肉苻蓉属中已经分离得到18个木脂素类化合物。南泽东等^[11]运用NMR、MS等波谱方法对荒漠肉苻蓉肉质茎分离得到的化合物进行结构鉴定，从其85%乙醇提取物中分离得到了11个木脂素类化合物，其中，化合物(+)-Isoeucommin A、dehydrodiconifery1 alcohol 4-O- β -D-glucopyranoside、dehydrodiconifery1 alcohol γ '-O- β -D-glucoside为首次从肉苻蓉中

分离得到。此外，还从肉苻蓉中分离得到了丁香脂素-O- β -D-吡喃葡萄糖苷和丁香树脂酚葡萄糖苷。肉苻蓉中木脂素类化合物汇总见表2，主要成分母核化学结构见图2。

表2 肉苻蓉中木质素类化合物^[12]

序号	化合物名称	来源
1	(+)-松脂素	Cd
2	(+)-松脂素-O- β -D-葡萄糖苷	Ct
3	(+)-丁香树脂酚	Cd
4	(+)-syringaresinol-O- β -D-glucopyranoside	Cd、Ct
5	syringalied A-3'- α -L-rhamnopyranoside	Cd
6	isosyringalied-3'- α -L-rhamnopyranoside	Cd
7	liriodendrin	Cd、Ct
8	杜仲素A	Cd、Ct
9	(+)-isoeucommin A	Cd、Ct
10	(+)-pinoresinol monomethylether- β -D-glucoside	Cd
11	dehydrodiconifery alcohol-4-O- β -D-glucoside	Cd、Ct
12	dehydrodiconifery1 alcohol γ '-O- β -D-glucoside	Cd、Ct
13	Lariciresinol 4'-O- β -D-glucopyranoside	Cd
14	落叶松脂素4-O- β -D-葡萄糖苷	Cd
15	isolariciresinol-9'-O- β -D-glucopyranoside	Csi
16	conicaoside	Cd
17	柠檬素A	Cd
18	alasanoside A	Cd

注：Cd为肉苻蓉；Ct为管花肉苻蓉；Csi为沙苻蓉。

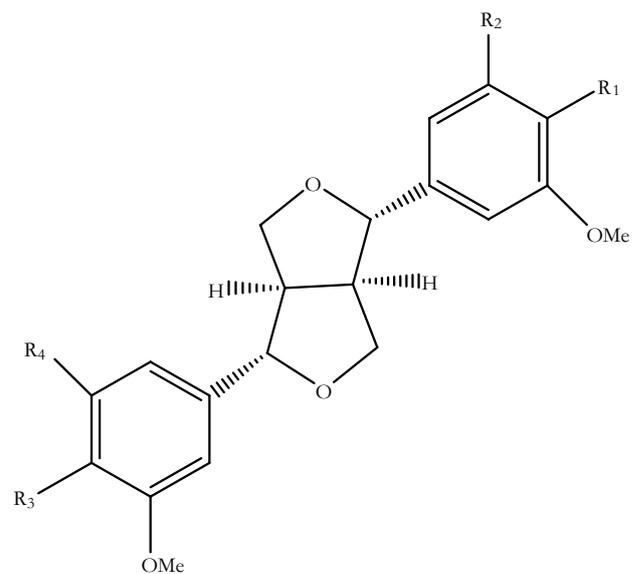


图2 木质素类化合物母核结构^[10]

1.3 环烯醚萜类

环烯醚萜类化合物是以环戊烷结构为母核的

一类化合物，普遍存在于植物界中。目前，从不同种肉苁蓉中共分离得到28种环烯醚萜类化合物，包括肉苁蓉素、肉苁蓉氯素、格鲁苷、6-去氧梓醇以及8-表脱氧马钱酸等。王力伟^[9]通过色谱法分离纯化还得到了leonuride、巴尔蒂苷、玉叶金花甘酸等环烯醚萜类化合物。环烯醚萜类化合物汇总见表3，其母核化学结构见图3。

表3 肉苁蓉环烯醚萜类化合物^[9]

序号	化合物名称	来源	序号	化合物名称	来源
1	肉苁蓉素	Cd	13	6-去氧梓醇	Cd、Ct、Csa
2	肉苁蓉氯素	Cd、Ct	14	catapol	Cd
3	kankanol	Ct	15	8-表马钱子酸	Cd、Ct、Csa、Csi
4	argyol	Ct	16	8-表去氧马钱子酸	Cd、Ct、Csi
5	甘蓝苷A	—	17	8-表番木鳖碱	Csi
6	甘蓝苷B	Ct	18	京尼平苷酸	Cd、Ct
7	甘蓝苷C	Ct	19	京尼平苷	Cd、Ct
8	甘蓝苷D	Ct	20	leonuride	Cd、Ct、Csa、Csi
9	甘蓝苷L	Ct	21	玉叶金花甘酸	—
10	甘蓝苷M	Ct	22	玉叶金花甘酸甲酯	Cd、Ct
11	甘蓝苷N	Ct	23	五福花苷酸	Ct
12	甘蓝苷O	Ct	24	antirrhide	Ct
13	甘蓝苷P	Ct	27	Phelypaeside	—
14	巴尔蒂苷	Cd、Ct	28	格鲁苷	Cd、Ct

注：Cd为肉苁蓉；Ct为管花肉苁蓉；Csa为盐生肉苁蓉；Csi为沙苁蓉。“—”为未标明来源。

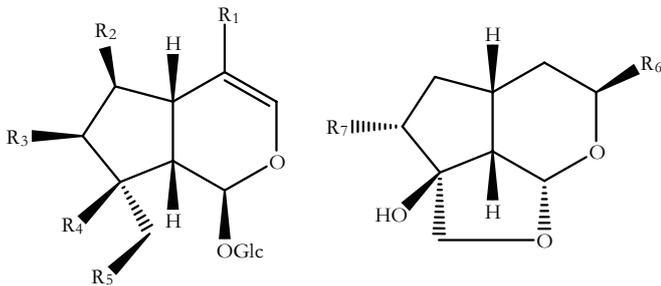


图3 环烯醚萜类化合物母核结构^[10]

1.4 糖类及其衍生物

糖类化合物在肉苁蓉属植物的干物质中占有很高的比例。龚立冬等^[13]对肉苁蓉粗多糖的组成进行了研究，发现肉苁蓉粗多糖是由葡萄糖、阿拉伯糖、半乳糖、果糖和鼠李糖5种单糖组成。GUO Y H等^[14]采用反相高效液相色谱法对肉苁蓉中糖类化合物进行了分析，共得到9种单糖及其衍

生物，分别为葡萄糖、阿拉伯糖、甘露糖、木糖半乳糖、果糖、鼠李糖、半乳糖醛酸和甘露醇，其中，半乳糖醛酸为首次在肉苁蓉中发现。在9种糖类中，以果糖和甘露醇的含量最高。由此可见，肉苁蓉糖类物质不仅含量丰富，而且种类多样，也是肉苁蓉中重要的活性物质。

1.5 其他成分

除上述成分之外，在肉苁蓉中还含有半乳糖醇、尿囊素、甜菜碱和黄酮类化合物等物质^[6]。通过氨基酸分析仪对肉苁蓉蛋白分析发现，肉苁蓉蛋白中的氨基酸不仅种类其全，而且含量高，必需氨基酸和非必需氨基酸分别为7种和10种。肉苁蓉中还含有一定的微量元素，以新疆野生肉苁蓉为例，其中含有10种微量元素，分别为Li、Mn、Fe、Cu、Zn、Sr、Se、Mo、I和Ca。采用气相色谱-质谱联用法还检测出了24种挥发性物质，其中，丁香酚为其挥发性物质的主要成分。

2 免疫系统

免疫器官、免疫细胞和免疫分子共同组成了免疫系统。由于免疫系统的存在，机体的免疫应答和免疫功能才得以严格执行。如图4所示，免疫反应被分为先天性免疫反应和适应性免疫反应，且这两种免疫反应类型之间具有协同作用。

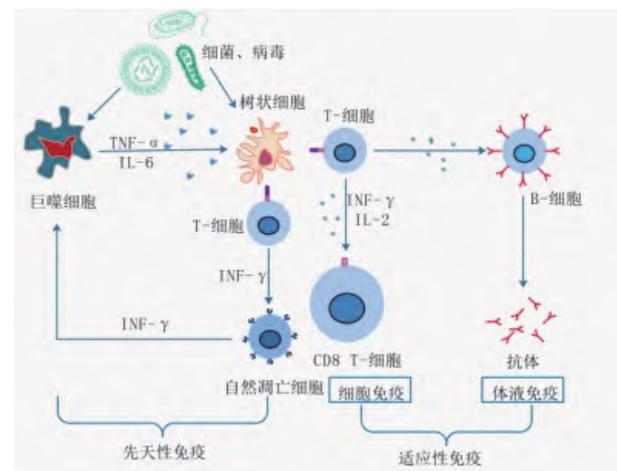


图4 先天性和适应性免疫系统^[16]

免疫类型的启动由免疫反应的速度和特异性决定。先天免疫系统是机体抵御外来物质的第一道防线，它既可以识别内源性损伤相关分子，还可以识别外源性病原体相关分子；适应性免疫系统是由T淋巴细胞和B淋巴细胞介导的更复杂的免疫应答，它们由高度特异性的识别受体、T细胞受

体和B细胞受体组成。在时空上,免疫系统由各种类型免疫细胞的信号网络严密控制,在不造成组织损伤的情况下对感染部位发起适当的免疫反应。这些信号网络的动态调节很大程度上依赖于各种修饰过的蛋白质,这也突出了它们在免疫反应中的特异性作用^[15]。

免疫系统的运行受多种因素的影响。免疫器官的状态、细胞免疫和体液免疫的过程,以及超敏免疫反应都能够影响机体的免疫功能。研究发现,肉苁蓉可以通过刺激免疫器官、增强吞噬细胞的吞噬功能、促进淋巴细胞转化和抗体的生成,从而提高机体免疫功能。还可通过影响核酸、免疫因子和蛋白质的代谢来调节机体的免疫功能。

3 肉苁蓉免疫功效

3.1 肉苁蓉提取物的免疫功效

根据提取时所用溶剂不同,肉苁蓉提取物可分为醇提物、水提物、乙酸乙酯提取物等。不同提取物中所含的有效成分不同,其对免疫功能的影响也不同。施大文等^[17]用肉苁蓉乙酸乙酯提取物和水提物进行免疫药理实验,发现两种提取物在一定浓度下均有激活淋巴细胞的作用。淋巴细胞在免疫系统的作用中扮演着重要角色,淋巴细胞的激活说明了肉苁蓉乙酸乙酯提取物和水提物在免疫功效方面有作用。动物实验过程中发现,肉苁蓉水提物可以增强小鼠的细胞免疫和体液免疫。沈敬华等^[18]以小鼠T淋巴细胞转化反应、腹腔巨噬细胞IL-1分泌、脾淋巴细胞IL-2生成、NK细胞活化和T细胞亚群变化等指标对肉苁蓉提取物的免疫功效进行评价,结果显示,肉苁蓉提取物不仅可以促进T淋巴细胞增殖,还可以促进IL-1和IL-2的释放,以及活化NK细胞,增加CD3、CD4和CD8的表达,这充分表明肉苁蓉提取物对机体的免疫功能具有显著调节作用。FENG S S等^[19]用肉苁蓉水提物进行细胞实验,结果显示肉苁蓉水提物可以通过激活树状细胞诱导强大和持久的抗原特异性免疫应答,树状细胞通过TLR4相关的NF- κ B通路参与调控成熟标志物和细胞因子的表达,这表明肉苁蓉水提物是一种潜在的免疫调节剂。杨秀梅等^[20]采用卵清白蛋白为抗原,研究肉苁蓉醇提物对小鼠机体免疫功能的影响,证明了肉苁蓉醇提物能够促进卵清白蛋白特异性的Th1/Th2免疫反应,尤其对促进Th1型反应,具有良

好的免疫调节活性。肉苁蓉的提取物包含了各种物质,对机体免疫功能的影响也是多方面的,以上研究表明了肉苁蓉提取物主要通过激活免疫细胞、释放细胞因子来调节机体免疫功能。

3.2 肉苁蓉苷类的免疫功效

在肉苁蓉中,苷类物质不仅含量丰富,而且多种多样,具有较强的生物活性。研究发现,不论是肉苁蓉总苷,还是具体的某种苷类化合物,均有显著的免疫功效。

肉苁蓉总苷是指提取的多种有效成分的总称,包含有多种苷类,对机体的免疫功能具有多方面的影响。GULINUER M等^[21]采用小鼠“血清碳粒检测”方法,测定小鼠血清OD值随时间的变化。实验数据显示,肉苁蓉苷类化合物可提高小鼠免疫器官质量以及血液中巨噬细胞的吞噬指数。除此之外,肉苁蓉总苷可以提高小鼠淋巴细胞的转化能力、增加其外周血IL-2含量以及提高NK细胞活性,证明了肉苁蓉总苷明显增强衰老小鼠的免疫机能。

骆紫燕等^[22]通过巨噬细胞激活实验,考察管花肉苁蓉苯乙醇苷对巨噬细胞吞噬活性和TNF- α 和IL-6等分泌的影响,结果显示,苯乙醇苷可诱导iNOS表达,刺激巨噬细胞合成NO,同时刺激巨噬细胞释放TNF- α 和IL-6,激活巨噬细胞的免疫调节功能。TIAN S等^[23]研究证明,肉苁蓉苯乙醇苷可提高大鼠器官指数(胸腺、脾脏、子宫),提高血清中E2、BGP水平以及下丘脑中AR水平,这些因子均与动物机体的免疫功能息息相关。苯乙醇苷还可以通过增强和恢复下丘脑的神经细胞作用,进而提高免疫功能。

肉苁蓉中的松果菊苷具有补肾益精、提升机体免疫力的药理作用。李媛等^[24]用肉苁蓉提取物中的松果菊苷对小鼠进行灌胃,检测后发现小鼠血清中IL-2含量有所提高,除此之外,不仅巨噬细胞的吞噬功能有所增强,其淋巴细胞的增殖也明显提高,说明松果菊苷可以提高机体的免疫功能。进一步研究表明,松果菊苷还可以通过调控JAK1/STAT3信号通路来改善大鼠的免疫功能紊乱。毛蕊花糖苷是一种具有抗菌、抗炎活性的蛋白激酶C抑制剂。LEE J Y等^[25]研究发现,毛蕊花糖苷可以通过抑制iNOS蛋白的表达来抑制NO产生,并可抑制巨噬细胞发生炎症反应,表明了毛蕊花糖苷对机体的免疫功能也有影响。

3.3 肉苁蓉糖类的免疫功效

糖类是肉苁蓉化学成分的重要组成部分,同样具有较强的生物活性,能显著增强机体的免疫功能。DONG Q等^[26]从肉苁蓉水提物中分离出2种多糖,分别为CDA-1A和CDA-3B。通过实验发现,CDA-3B对T、B细胞增殖均有刺激作用,CDA-1A只能刺激B细胞增殖,这说明肉苁蓉多糖对机体免疫功能有影响,且不同种类的多糖对免疫功能的影响不同。艾拉旦·麦麦提艾力等^[27]采用CCK-8法检测各种肉苁蓉多糖对小鼠巨噬细胞增殖率的影响,结果显示,肉苁蓉多糖可显著增加小鼠巨噬细胞的增殖率,体现了肉苁蓉多糖较强的免疫活性。除此之外,ZHANG A等^[28]发现肉苁蓉水浸多糖可以显著促进小鼠树突状细胞的成熟和功能,并能明显增强T、B细胞的增殖,研究结果表明,肉苁蓉水浸多糖是一种有效的疫苗佐剂,可通过TLR₄信号通路激活DCs,诱导小鼠机体发生体液免疫和细胞免疫。相比于肉苁蓉苷类物质来说,肉苁蓉糖类主要是通过促进或刺激免疫细胞的成熟和增殖,来增强机体的免疫功能。

3.4 肉苁蓉复方制剂的免疫功效

肉苁蓉复方制剂也有增强免疫力的功效。卿德刚等^[29]采用管花肉苁蓉复方制剂饲喂小鼠,发现管花肉苁蓉复方制剂增加了小鼠迟发型超敏反应能力,还增强了小鼠NK细胞活性和抗体的生成,表明了管花肉苁蓉复方制剂对小鼠具有增强免疫力的功能。与肉苁蓉中的活性物质相比,肉苁蓉复方制剂对机体的免疫调节作用更积极,更有利于发挥免疫功效。

4 总结与展望

免疫是人体通过抵抗或防止外来物质的感染来维持自身健康一种生理机能,可以分为固有免疫和适应性免疫2种。免疫系统不仅可以抵御外来物质的侵犯,还能及时地把体内不利物质准确地识别和清除,从而维持机体的稳定。对于机体内的突变细胞,免疫系统也能够特异性的识别,以防止机体发生癌变。肉苁蓉具有较强的免疫活性,其中的苷类化合物、糖类化合物以及肉苁蓉复方制剂能够较明显地提高机体的免疫功能,这些有效成分主要有以下几方面的作用:(1)提高机体血液中巨噬细胞的吞噬指数,增加机体免疫器官质量;(2)刺激和促进T、B细胞的增殖,并增强T细胞免疫反应以及NK细胞的活性;(3)提高机体

内IL-1和IL-2含量。

目前,肉苁蓉中有效成分对免疫系统的作用机制研究还不够全面、透彻。比如,肉苁蓉多糖促进T、B细胞增殖的具体途径和方式还不明确,以及肉苁蓉有效成分影响核酸、蛋白质代谢和各种免疫因子相关功能的相关机制。因此,研究者在还需要进行更深入的探索。截止2021年2月,已批准的以肉苁蓉为原料的保健食品中,单一功能类型中有9种食品声称能够增强免疫力,4种食品声称具有免疫调节作用^[30],这表明肉苁蓉免疫功效在保健食品行业已经有较好的应用。随着相关机制的深入研究,未来肉苁蓉在健康产业的应用会更加广泛。可以预见,2020年肉苁蓉(荒漠)被列为药食同源物质后,肉苁蓉相关产业会得到较快发展,其免疫功效也会越来越被人们所关注,肉苁蓉广阔的应用前景也终将为提高人民健康水平做出巨大贡献。

参考文献:

- [1] 杨宗正.沙漠人参肉苁蓉[J].养生月刊,2019,40(4):320-321.
- [2] 冯朵,何悦,蒋勇军,等.肉苁蓉抗衰老功能的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2021,12(11):4429-4437.
- [3] 孙建,宋广侠.服用肉苁蓉口服液对运动员抗疲劳效果研究[J].运动精品,2020,39(10):79-80.
- [4] 侯建华,王劫,周玉碧,等.不同产地荒漠肉苁蓉苯乙醇苷成分与抗氧化活性分析[J].甘肃农业大学学报,2021,56(4):154-161.
- [5] 毕萃萃,刘银路,魏芬芬,等.肉苁蓉的主要化学成分及生物活性研究进展[J].药物评价研究,2019,42(9):1896-1900.
- [6] 宋青青.中药肉苁蓉的化学成分组及抗血管性痴呆的体内药效物质研究[D].北京:北京中医药大学,2019:10-17.
- [7] 刘晓明,姜勇,孙永强,等.肉苁蓉化学成分研究[J].中国药学杂志,2011,46(14):1053-1058.
- [8] 张开梅.肉苁蓉化学成分及其神经保护作用初探[D].大连:大连工业大学,2017:1-8.
- [9] 王力伟.肉苁蓉成分的分离鉴定、定量分析及生物活性研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2016:4-11.
- [10] 王金芳.肉苁蓉不同部位苯乙醇苷类成分的定性定量研究[D].北京:北京协和医学院,2014:7-26.
- [11] 南泽东,赵明波,姜勇,等.塔中栽培荒漠肉苁蓉中的木脂素类成分[J].中国中药杂志,2015,40(3):463-468.
- [12] 支雅婧,甄亚钦,田伟,等.肉苁蓉化学成分和药理作用研究进展及质量标志物(Q-Marker)的预测分析[J].中草药,2021,52(9):2758-2767.
- [13] 龚立冬,曹玉华,侯建霞,等.毛细管电泳电化学检测法研究肉苁蓉多糖的单糖组成[J].中国中药杂志,2007,32(19):2073-2075.
- [14] GUO Y H, ZHAO B. A Novel Method for the Analysis of

- Soluble Carbohydrates from *Cistanche deserticola*[J]. Current Analytical Chemistry,2017,13(4):317-324.
- [15] YANG W Y, GU Z W, ZHANG H Y, et al. To TRIM the immunity: from innate to adaptive immunity[J]. Frontiers in Immunology,2020,11:02157.
- [16] JIANG L L, ZHANG G Q, LI Y, et al. Potential Application of Plant-Based Functional Foods in the Development of Immune Boosters[J]. Frontiers in Pharmacology,2021,12:398.
- [17] 施大文,何松春,蒋莹,等.中药肉苁蓉及其同属生药对免疫功能及酯质过氧化的作用[J].上海医科大学学报,1995,(4):306-308.
- [18] 沈敬华,杨丽敏,吕炳中,等.五种中药提取物对正常小鼠细胞免疫的影响[J].中国实验方剂学杂志,2006,12(2):57-59.
- [19] FENG S S, YANG X M, WENG X, et al. Aqueous extracts from cultivated *Cistanche deserticola* YC Ma as polysaccharide adjuvant promote immune responses via facilitating dendritic cell activation[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2021,277(10):114256.
- [20] 杨秀梅,杨雨,王丹阳,等.新疆野生荒漠肉苁蓉醇提物调节小鼠DCs成熟对Th₁/Th₂的免疫增强作用[J].畜牧兽医学报,2021,52(3):820-830.
- [21] GULINUER M, LIU M J, LU J F. Effect of Cistanoside compounds on oxidative stress and immunity[J]. Journal of Chinese Pharmaceutical Sciences,2001,10(3):157.
- [22] 骆紫燕,卿德刚,孙宇,等.管花肉苁蓉苯乙醇苷的巨噬细胞激活作用及其与当归、黄芪在调节免疫方面的协同作用[J].食品工业科技,2020,41(21):311-316.
- [23] TIAN S, MIAO M S, LI X M, et al. Study on neuroendocrine-immune function of Phenylethanoid Glycosides of Desertliving *Cistanche* herb in perimenopausal rat model[J]. Journal of Ethnopharmacology,2019,238:111884.
- [24] 李媛,宋媛媛,张洪泉.松果菊苷对衰老小鼠免疫功能和线粒体DNA相对含量的影响[J].中国药理学通报,2010,26(6):810-813.
- [25] LEE J Y, WOO E R, KANG K W. Inhibition of lipopolysaccharideinducible nitric oxide synthase expression by acteoside through blocking of AP-1 activation[J]. Journal of Ethnopharmacology,2005,97(3):561-566.
- [26] DONG Q, YAO J, FANG J N, et al. Structural characterization and immunological activity of two cold-water extractable polysaccharides from *Cistanche deserticola* YC Ma[J]. Carbohydrate Research,2007,342(10):1343-1349.
- [27] 艾拉旦·麦提艾力,李洋,姚军,等.管花肉苁蓉多糖水提物的分离及免疫活性研究[J].中国药房,2021,32(12):1479-1484.
- [28] ZHANG A, YANG X, LI Q, et al. Immunostimulatory activity of water-extractable polysaccharides from *Cistanche deserticola* as a plant adjuvant in vitro and in vivo[J]. Plos one, 2018,13(1):e0191356.
- [29] 卿德刚,张娟,孙宇,等.管花肉苁蓉复方制剂增强免疫力的研究[J].新疆中医药,2014,32(3):62-64.
- [30] 周刚,高家敏,曹进.肉苁蓉在保健食品中的应用[J].食品安全质量检测学报,2021,12(3):898-903.

(上接第132页)

- formation of pyrazines in Maillard model systems[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2015,63(22):5364-5372.
- [23] THOMAS A F. An analysis of the flavor of the dried mushroom, *Boletus edulis*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,1973,21(6):954-960.
- [24] HOFMANN T, Mü nch P, SCHIEBERLE P. Quantitative model studies on the formation of aroma-active aldehydes and acids by Strecker-type reactions[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2000,48(2):434-440.
- [25] MISHARINA T A, MUKHUTDINOVAB S M, ZHARIKOVAB G G, et al. The Composition of Volatile Components of Dry Cepe and Oyster Mushroom[J]. Biochemistry and Microbiology,2009,45(5):544-549.
- [26] BOZOK F, ZARIFIKHOSROSHAHI M, KATKAS E, et al. Comparison of volatile compounds of fresh *Boletus edulis* and *B. pinophilus* in Marmara region of Turkey[J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca,2015,31(1):192-195.
- [27] 周超,黄裕怡,胡旭佳.不同干燥方式和酶解对茶褐牛肝菌挥发性风味成分的影响[J].食品工业科技,2017,38(23):203-209.
- [28] 张玉玉,陈怡颖,孙颖,等.牛肝菌及其酶解液挥发性风味成分的对比分析[J].中国食品学报,2016,11:233-239.
- [29] SHI J, TONG G Q, YANG Q, et al. Characterization of Key Aroma Compounds in Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) by Means of Sensory-directed Flavor Analysis[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021,69:11361-11371.