

云参的营养组分分析及食用安全性评价

丰贵江¹, 普岳红¹, 王曙彩²,
李海燕¹, 陈来凤¹, 罗亚楠¹, 周金萍¹, 林秋叶^{1*}

¹ 云南农业大学食品科学技术学院, 昆明 650201; ² 云南协信健康产业有限公司, 昆明 650501

摘要: 本文根据国标方法系统地分析了云参的营养组分, 并开展大鼠急性经口毒性试验和三项遗传毒性试验对云参进行食用安全性评价。结果表明, 云参中蛋白质、脂肪和多糖的含量分别为 9.190、3.700 mg/100 g 和 12.100%, 氨基酸总含量达 5.238 g/100 g, 含有 K、Ca 等 21 种矿物元素, 含量最高的 K 为 8120.000 mg/kg; 含有维生素 A、维生素 C、维生素 E 和 B 族维生素 4 种维生素, 其中 B 族维生素含量最高且种类丰富; 苯醚甲环唑、井冈霉素、四聚乙醛、咪酰胺、噻呋酰胺、吡虫啉和烯酰吗啉 7 种农药残留以及沙门氏菌和金黄色葡萄球菌在云参中均未检出; 云参对雌、雄大鼠的半数致死剂量 (LD₅₀) > 60.0 g/kg BW, 按急性毒性剂量分级, 属实际无毒; 三项遗传毒性试验即细菌回复突变试验、哺乳动物红细胞微核试验及小鼠精原细胞染色体畸变试验结果均为阴性。云参富含蛋白质、氨基酸、矿物元素和维生素 (特别是 B 族维生素), 农药残留和微生物指标均符合我国食品安全国家标准的规定, 且在本实验条件下, 未见明显毒性作用。

关键词: 云参; 成分检测; 维生素; 农残; 急性毒性; 遗传毒性

中图分类号: R114

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2024)5-0815-10

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2024.5.011

Nutritional component analysis and edible safety evaluation of Yunshen

FENG Gui-jiang¹, PU Yue-hong¹, WANG Shu-cai²,
LI Hai-yan¹, CHEN Lai-feng¹, LUO Ya-nan¹, ZHOU Jin-ping¹, LIN Qiu-ye^{1*}

¹ College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

² Yunnan Xiexin Health Industry Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650501, China

Abstract: The present study systematically analyzed the nutritional components of Yunshen (*Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf. var. *volubilis* (Nannf.)) based on national standard methods, and conducted acute oral toxicity tests in rats and three genetic toxicity tests to evaluate the food safety of Yunshen. The results showed that the contents of protein, fat and polysaccharides in Yunshen were 9.190, 3.700 mg/100 g, and 12.100%, respectively. The total content of amino acids reached 5.238 g/100 g, containing 21 mineral elements such as K and Ca. The highest content of K was 8120.000 mg/kg; Four types of vitamins: vitamin A, vitamin C, vitamin E, and B vitamins were found, with B vitamins having the greatest content and a rich variety; Seven pesticide residues, including feniconazole, Jingtangmycin, tetraacetaldehyde, imidamide, thiafuramide, imidacloprid, and enoylmorpholine, as well as *Salmonella* and *Staphylococcus aureus*, were not detected in Yunshen; The median lethal dose (LD₅₀) of Yunshen was higher than 60.0 g/kg BW and it was classified into actually non-toxic according to acute toxicity dose; Three genotoxicity tests, including bacterial reverse mutation test, mammalian erythrocyte micronucleus test and mouse spermatogonium chromosome aberration test, were negative. Taken together, Yunshen was rich in protein, amino acids, mineral elements, and vitamins (especially B-group vitamins). Furthermore, pesticide residues and microbial indicators met the requirements of China's national food safety standards, and no significant toxic effects were observed under the conditions of this experiment.

Key words: Yunshen; components determination; vitamin; pesticide residue; acute toxicity; hereditary toxicity

收稿日期: 2023-06-14

接受日期: 2023-11-15

基金项目: 昆明市农业生产项目 (KX141901100, KX141901200)

* 通信作者 Tel: 86-817-65227843; E-mail: linquye@126.com

云参, 俗名臭参、臭药, 又名云南参、胡毛洋参、土党参等^[1-3], 为桔梗科 (Campanulaceae) 党参属

(*Codonopsis*), 因具有特殊且浓烈的臭味, 俗称臭参^[4]。云参属于云南高寒山区的一种特有植物, 生长于海拔 700~2 800 m 的林缘和灌木丛中, 主要分布于滇中、滇西、滇南等地区, 是云南地区很早就被广为应用并有文字记载的药食两用植物^[5], 常作为廉价滋补品与排骨、鸡肉等炖服, 用以补气生血、健脾益胃、滋补强壮等^[6]。据文献资料统计, 在云南地区被称为云参的基源植物主要包括管钟党参 (*Codonopsis bulleyana* Forrest ex Diels) (别名兰花臭参、胡毛洋参)、小花党参 (*Codonopsis micrantha* Chipp)、球花党参 (*Codonopsis subglobosa* W. W. Sm.) (别名天宁党参、巫山党参、单枝党参)、拟心叶党参 (*Codonopsis cordifolioides*) (别名心叶党参、棱子党参、古灯茶根) 和缠绕党参 (*Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf. var. *volubilis* (Nannf.) L. T. Shen) 等^[7]。云南昆明寻甸、宜良是云参主要栽培地区, 具有悠久的种植和食用历史, 该地区种植的云参经鉴定为缠绕党参^[7,8]。

云参富含蛋白质、氨基酸、胡萝卜素、维生素、糖和脂肪等营养成分, 是一种营养物质均衡的药食两用植物^[9]。Li 等^[10]研究发现, 云参含有黄酮、香豆素、挥发油、生物碱、鞣质、酚类、树脂、皂苷类等植物化学成分, 其中黄酮类香豆素是主要成分之一。据《中国民族药辞典》《云南植物志》《全国中草药名鉴》等书籍记载, 云参的根具有补中益气, 健脾生津的功效^[11,12]。现代药理学研究表明, 它与党参的功效相似, 具有补气生血、促进肠胃蠕动、抗疲劳、提高机体免疫能力及耐缺氧能力的作用^[13-15]。目前, 在云参的种植、营养成分等方面有了初步研究, 但鲜见有关安全性评价的系统性研究报告。本文针对云参的营养组成成分、有害残留物等进行测定, 并开展毒理学安全评价试验, 以期对云参的营养组成及食用安全提供参考依据, 为云参的深入研究与开发利用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 主要材料试剂

主要材料: 云参: 购自昆明寻甸, 经云南农业大学孟珍贵副教授鉴定为缠绕党参 (*Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf. var. *volubilis* (Nannf.) L. T. Shen) 的根; SPF 级 SD 大鼠 (雌雄各 10 只, 质量合格证号: 110324200102731757) 和 SPF 级昆明小鼠 (雄性 55 只, 雌性 25 只, 质量合格证号: 110324200103153717、110324200103153556) 均购自斯贝福 (北

京) 生物技术有限公司, 所有动物实验经云南农业大学生命伦理委员会批准 (审批号: 202102002); 动物维持饲料 (江苏省协同医药生物工程有限责任公司); 玉米芯垫料 (德州谷美农业科技有限公司)。

主要试剂: 环磷酸胺 (批号 O1110A)、2-氨基蒽 (批号 10197304) (Alfa Aesar 公司); 敌克松 (Accustandard 公司, 批号 4030165-01); 叠氮钠 (天津市风船化学试剂科技有限公司, 批号 20160720); 2-氨基茱 (Solarbio 公司, 批号 929A031); 9-氨基吡啶 (Sigma, 批号 BCBT2829); 1,8-二羟基蒽醌 (西格玛奥德里奇贸易有限公司, 批号 WXBB0392V), 均为分析纯。

1.2 主要仪器与设备

STX2201ZH 型电子天平、NV2201ZH 型电子分析天平、SQP/QUINTIX6101-1CN 型电子分析天平 (赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司); Nikon Eclipse E100 正置显微镜 (南京江南永新光学有限公司); HH-S4 恒温水浴锅 (上海力辰邦西仪器科技有限公司); BPN-80CW 恒温培养箱 (上海福玛试验设备有限公司); THZ-25 恒温振荡器 (太仓市华美生化仪器厂)。

1.3 云参中成分的检测

1.3.1 云参营养组分分析

总灰分按 GB 5009.4-2016 测定; 水分按 GB 5009.3-2016 测定; 多糖按 SN/T 4260-2015 测定; 蛋白质按 GB 5009.5-2016 第一法测定; 脂肪按 GB 5009.6-2016 测定; 胡萝卜素按 GB 5009.83-2016 测定; 维生素 A 和维生素 E 按 GB 5009.82-2016 测定; 维生素 C 按 GB 5009.86-2016 测定; 维生素 B₁ 按 GB 5009.84-2016 第一法测定; 维生素 B₂ 按 GB 5009.85-2016 第一法测定; 维生素 B₆ 按 GB 5009.154-2016 第一法测定; 泛酸按 GB 5009.210-2016 第二法测定; 烟酸按 GB 5009.89-2016 测定; 叶酸按《中华人民共和国药典》2015 年版二部测定; 膳食纤维按 GB 5009.88-2014 测定。

1.3.2 氨基酸组成及含量测定

天冬氨酸 (Asp)、苏氨酸 (Thr)、丝氨酸 (Ser)、谷氨酸 (Glu)、脯氨酸 (Pro)、甘氨酸 (Gly)、丙氨酸 (Ala)、缬氨酸 (Val)、蛋氨酸 (Met)、异亮氨酸 (Ile)、亮氨酸 (Leu)、酪氨酸 (Tyr)、苯丙氨酸 (Phe)、组氨酸 (His)、赖氨酸 (Lys) 和精氨酸 (Arg) 按 GB 5009.124-2016 测定。

1.3.3 矿物元素的组成及含量测定

Mg、Ca、K、Na 和 P 按 GB5009.268-2016 第一法测定;Mn、Fe、Zn、Cu、B、Co、Mo、Si、Se、Sr、V、Al 和 N 按 GB 5009.268-2016 第一法测定;Hg、As 和 Pb 按 WM/T-2-2004 测定;Cd 按 WM/T-2-20044 测定;Li 按 GB/T 35871-2018 测定;Be 按 HJ/T 59-2000 测定;Cr 按 GB 5009.123-2014 测定。

1.3.4 污染物及有害物质的分析

农药残留:苯醚甲环唑按 GB 23200.8-2016 测定;井冈霉素按 GB 23200.74-2016 测定;四聚乙醛按 SN/T 4264-2015 测定;咪酰胺按 GB 23200.11-2016 测定;噻呋酰胺按 GB 23200.9-2016 测定;吡虫啉按 GB 23200.13-2016 测定;烯酰吗啉按 GB 23200.13-2016 测定。

微生物:沙门氏菌按 GB 4789.4-2016 测定;金黄色葡萄球菌按 GB 4789.10-2016 第一法测定。

1.4 小鼠安全性评价试验

1.4.1 云参浓缩液制备

称取 300 g 样品加 3 L 纯水,在常压、温度为 80~90 °C 条件下浸泡 30 分钟,重复两次,合并两次提取液浓缩至 200 mL,备用,每毫升浓缩液相当于原样品 1.5 g。

1.4.2 实验动物饲养条件

适应性饲养 3~5 d 后用于实验,温度 20~26 °C,相对湿度 40%~70%,维持正常昼夜节律(12 h/12 h),自由进食、饮水。

1.4.3 大鼠急性经口毒性试验

参考国标 GB 15193.3-2014 的方法。选用适应期结束,禁食后体重为 180~220 g 的 SD 大鼠 20 只,雌雄各半。剂量设计:以限量法,将浓缩液原液按 20 mL/kg BW 的灌胃体积(相当于原样品 60 g/kg BW 的剂量),分两次灌胃给予 SD 大鼠,每次间隔 4 h。灌胃后连续观察 14 d 内动物的中毒症状及死亡情况,试验开始、试验第 7 d 及第 14 d 称量大鼠体重,试验结束后处死动物并作大体解剖。

1.4.4 三项遗传毒性试验

1.4.4.1 细菌回复突变试验

参考国标 GB 15193.4-2014 的方法。采用经鉴定符合要求的 TA98、TA100、TA102、TA1535 和 TA1537 五种菌株,在加与不加大鼠肝 S9 的条件下进行标准平皿掺入法试验(S9 mix 用量为 0.5 mL/皿),整个试验共进行二次。剂量设计:第一次剂量为 5 000、1 581、500、158、50 $\mu\text{g}/\text{皿}$ 五个剂量组及溶媒(灭菌纯水)对照组、自发回变组和阳性对照组;

第二次剂量为 5 000、1 000、200、40、8 $\mu\text{g}/\text{皿}$ 五个剂量组及溶媒(灭菌纯水)对照组、自发回变组和阳性对照组。样品配制:准确吸取 1 mL 浓缩液,加纯水至 20 mL,混合均匀,即为浓度 5% 的溶液,第一次以该浓度为基准用纯水依次作倍稀释获得浓度 1.581%、0.5%、0.158% 和 0.05% 的溶液;第二次以浓度 5% 的溶液为基准用纯水依次作 5 倍稀释获得浓度 1%、0.2%、0.04% 和 0.008% 的溶液。所有配制的受试样品进行高压蒸汽灭菌(0.103 MPa, 20 min)。试验时分别取各浓度溶液 0.1 mL 加入平皿即为样品各剂量,每个试验剂量作三个平行皿。不加 S9 试验的阳性对照为 1.5 $\mu\text{g}/\text{皿}$ 的叠氮钠(TA100、TA1535),50.0 $\mu\text{g}/\text{皿}$ 的敌克松(TA98、TA102),50.0 $\mu\text{g}/\text{皿}$ 的 9-氨基吡啶(TA1537);加 S9 试验的阳性对照为 20.0 $\mu\text{g}/\text{皿}$ 的 2-氨基芴(TA98、TA100),50.0 $\mu\text{g}/\text{皿}$ 的 1,8-二羟基蒽醌(TA102),2.0 $\mu\text{g}/\text{皿}$ 的 2-氨基蒽(TA1535、TA1537)。每皿加入阳性对照的体积为 0.1 mL。

1.4.4.2 哺乳动物红细胞微核试验

参考国标 GB 15193.5-2014 的方法。选用昆明小鼠 50 只,体重 25.0~35.0 g,雌雄各半。将小鼠随机分为 5 组,每组 10 只动物,雌雄各半。试验设计:设浓缩液原液 20 mL/kg BW 为高剂量、10 mL/kg BW 为中剂量、5 mL/kg BW 为低剂量,另设溶媒(纯水)对照组及环磷酰胺阳性对照组(CP, 40 mg/kg BW)。样品配制:中、低剂量分别吸取 10.0、5.0 mL 浓缩液加纯水至 20 mL 充分混匀,分别配成浓度为 50.0%、25.0% 的溶液;取 CP 0.04 g 加纯水至 20 mL,充分溶解,备用。灌胃体积按 20 mL/kg BW,试验采用 30 h 灌胃法,两次间隔 24 h,于第二次给予受试样品后 6 h 脱颈椎处死动物,取股骨骨髓涂片,固定,Giemsa 染色后,在油镜下每只小鼠计数 2 000 个嗜多染红细胞(PCE)中的微核细胞数,计算微核的千分率。观察 200 个红细胞,计数嗜多染红细胞在总红细胞中的比例,即 PCE/RBC 的比值。

1.4.4.3 小鼠精原细胞染色体畸变试验

参考国标 GB 15193.8-2014 的方法。选用雄性昆明小鼠 30 只,体重 25.0~35.0 g,将小鼠随机分为 5 组,高剂量组 10 只动物,其余每组 5 只动物。试验设计:设浓缩液原液 20 mL/kg BW 为高剂量、10 mL/kg BW 为中剂量、5 mL/kg BW 为低剂量,另设溶媒(纯水)对照组及环磷酰胺阳性对照组(CP, 40 mg/kg BW)。中、低剂量分别吸取 10.0、5.0 mL 浓缩液加纯水至 20 mL 充分混匀,分别配成浓度为

50.0%、25.0%的溶液。灌胃体积按 20 mL/kg BW, 经口灌胃一次给予受试样品, 另称取 0.04 g CP, 加 0.9% 氯化钠注射液至 10 mL 充分溶解均匀, 配成浓度为 0.4% 的溶液, 按 10 mL/kg BW 单次腹腔注射。高剂量组于末次给予受试样品后 24 h 和 48 h 两个时间点处死动物采样, 每个采样时间点有 5 只动物。其余各组动物均在末次给予受试样品后 24 h 处死动物采样, 所有动物处死前 5 h 按 6 mg/kg BW 的剂量给小鼠腹腔注射秋水仙素溶液(注射体积 10 mL/kg BW)。脱颈椎处死动物分离取双侧睾丸, 放入 1% 柠檬酸三钠液中并去膜、分离曲细精管, 37 °C 水浴锅中低渗 30 min。仔细吸尽低渗液, 再经固定-离心-固定-离心-固定后, 弃上清, 留 0.5 ~ 1.0 mL 细胞悬液滴冰片。干燥后 Giemsa 染色, 在油镜下观察, 每只动物计数 100 个中期分裂相细胞, 记录染色体畸变类型、数量和畸变细胞率, 每只动物观察 1 000 个细胞以确定精原细胞有丝分裂指数, 高剂量组精原细胞有丝分裂指数应不低于对照组的 50%。

1.5 数据统计分析

实验重复测定三次, 数据采用 Excel 2010 软件

录入, 并计算营养成分、矿物质元素、氨基酸组成及污染物测定结果的均值; 大鼠急性毒性经口试验及三项遗传毒性试验数据采用 SPSS 24.0 统计软件进行分析, 结果以均值 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 云参中成分的检测

2.1.1 云参营养组分分析

云参营养组分及含量见表 1。由表 1 可知, 云参中富含维生素 E, 含量为 6.000 mg/100 g, 是轮叶党参的 4.3 倍^[16]。维生素 B 含量较高, 尤以泛酸(维生素 B₅)、维生素 B₆ 最多, 含量分别为 6.820 mg/100 g 和 0.740 mg/100 g, 均高于轮叶党参的含量^[16], 因此, 云参对防治维生素 B 缺乏症, 如脚气病、口舌炎、癞皮病、防止贫血、抑制胆固醇沉积、防止动脉粥样硬化、防止胎儿畸形等可能具有一定作用^[17]。云参中还含有丰富的膳食纤维, 达到 22.100 g/100 g, 与党参的含量基本一致, 高于白条党参^[18,19], 其可作为很好的膳食纤维源, 为人体补充这一营养素。

表 1 云参中常规营养成分及含量

Table 1 The conventional nutrients and their content in Yunshen

成分 Component	含量 Content	成分 Component	含量 Content
总灰分 Total ash	4.000%	水分 Moisture	8.580%
多糖 Polysaccharide	12.100%	蛋白质 Protein	9.190 g/100 g
脂肪 Fat	3.700 g/100 g	胡萝卜素 Carotene	786.400 μ g/100 g
维生素 A Vitamin A	7.850 μ g/100 g	维生素 E Vitamin E	6.000 mg/100 g
维生素 C Vitamin C	2.150 μ g/kg	维生素 B ₁ Vitamin B ₁	0.369 mg/100 g
维生素 B ₂ Vitamin B ₂	1.720 mg/100 g	维生素 B ₆ Vitamin B ₆	0.740 mg/100 g
泛酸 Pantothenic acid	6.820 mg/100 g	烟酸 Nicotinic acid	4 318.000 μ g/kg
叶酸 Folic acid	26.900 μ g/100 g	膳食纤维 Dietary fiber	22.100 g/100 g

2.1.2 云参的氨基酸组成及含量

云参的氨基酸组成及含量见表 2。由表 2 可见, 云参中共检测到 16 种氨基酸, 包括 7 种必需氨基酸和 9 种非必需氨基酸, 氨基酸总量为 5.238 g/100 g。其中必需氨基酸含量为 1.181 g/100 g, 含量最高的是亮氨酸, 为 0.260 g/100 g, 其次是赖氨酸和缬氨酸, 均为 0.190 g/100 g; 非必需氨基酸含量前三位分别是精氨酸、谷氨酸、天冬氨酸, 分别为 2.010、0.670、0.400 g/100 g。所有检测的氨基酸中, 精氨酸、谷氨酸、天冬氨酸含量排名前三, 约占总氨基酸含量的 59%, 与党参、素花党参和川党参基

本一致^[20]。精氨酸可间接参与三磷酸腺苷的快速再生、细胞增殖、血管扩张、神经传递和钙释放, 最终达到调节免疫、抗疲劳等作用^[21,22]。谷氨酸不仅有提鲜作用, 还具有保护肝脏^[23]、保护胃黏膜^[24]等功效。天冬氨酸具有防止和缓解疲劳的作用^[25]。

药用氨基酸是植物中含量少, 有些人体不能合成, 维持机体氮平衡所必需的营养因子, 包括谷氨酸、天冬氨酸、精氨酸、甘氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、赖氨酸 9 种^[26]。由表 2 可知, 云参中的药用氨基酸含量为 4.032 g/100 g, 占总氨基酸含量的 76.98%, 高于党参、素花党参和川党参中药用

氨基酸的占比^[20],表明云参是具有较高药用价值的党参属植物。

表2 云参中氨基酸的组成及含量

Table 2 Composition and content of amino acids in Yunshen

氨基酸 Amino acid	含量 Content(g/100 g)	氨基酸 Amino acid	含量 Content(g/100 g)
天冬氨酸 Asp	0.400	苏氨酸 Thr	0.150
丝氨酸 Ser	0.210	谷氨酸 Glu	0.670
脯氨酸 Pro	0.210	甘氨酸 Gly	0.170
丙氨酸 Ala	0.220	缬氨酸 Val	0.190
蛋氨酸 Met	0.091	异亮氨酸 Ile	0.150
亮氨酸 Leu	0.260	酪氨酸 Tyr	0.091
苯丙氨酸 Phe	0.150	组氨酸 His	0.076
赖氨酸 Lys	0.190	精氨酸 Arg	2.010

2.1.3 云参中矿物元素的组成及含量

由表3可知,云参中共检测出K、Ca等21种矿物元素,且多数为生物体生长发育所必需,其中K、Ca、P、Mg、Fe等元素的含量较高。Bai等^[27]研究发现党参中K、Mg、Ca、Fe和Na元素的含量较高,与本文云参中矿物元素含量研究结果总体一致。在检测的9种潜在毒性元素中,Al、As、Cr、Cd、Cu、Hg、Mn

和Ni均符合世界卫生组织和药用植物及制剂外经贸绿色行业标准^[28]。与Bai等^[29]研究的党参、素花党参和川党参相比,云参中Al、Ni、Pb和Cd含量高于党参和素花党参,但低于川党参;Cr含量高于素花党参,低于党参和川党参;Mn、Cu和As含量均低于党参、素花党参和川党参。

表3 云参中的矿物元素组成及含量

Table 3 Composition and content of mineral elements in Yunshen

元素 Elemen	含量 Content(mg/kg)	元素 Elemen	含量 Content(mg/kg)
Mg	801.000 0	Se	-
Na	9.180 0	Cr	1.340 0
Fe	424.000 0	As	0.151 0
B	5.260 0	Li	-
Si	295.000 0	K	8 120.000 0
V	1.040 0	Mn	21.900 0
Hg	-	Cu	2.600 0
Cd	0.218 0	Mo	-
Co	0.186 0	Sr	4.560 0
Ca	1 060.000 0	Al	808.000 0
P	1 560.000 0	Pb	0.442 0
Zn	8.810 0	Be	0.013 2
Ni	1.550 0		

注:“-”表示未检出。

Note:“-”indicates not detected.

2.1.4 云参中污染物的检测结果

烯酰吗啉、井冈霉素、咪酰胺、吡虫啉、苯醚甲环唑、四聚乙醛、噻呋酰胺7种农药残留分别以0.000

09、0.010 00、0.004 14、0.044 00、0.075 00、0.010 00、0.050 00 mg/kg为定限量时,均未检出;也未检测出金黄色葡萄球菌和沙门氏菌。

2.2 大鼠急性经口毒性试验

急性经口毒性试验作为最基础的毒理学安全性评价试验,能初步评估毒性作用的靶器官和作用机制,为亚急(慢)性等毒性试验提供毒性作用和剂量选择的依据。由表4可见,以限量法 60.0 g/kg BW (相当于人体推荐用量的 400 倍)剂量的云参受试样品给予大鼠灌胃后,大鼠生长良好,未见其体重受到影响,也未见动物有明显中毒症状。继续观察 14 d,未出现大鼠死亡情况。试验结束后解剖动物,大

体观察肝、肾、脾、心、肺、胃、肠等主要脏器均未见明显异常改变。即该样品雌、雄大鼠的半数致死量 (LD_{50}) > 60.0 g/kg BW,属实际无毒。未见关于云参的急性经口毒性试验的报道,但有学者对轮叶党参和纹党参等进行了研究,例如:Lee 等^[30]对轮叶党参提取物进行了急性经口毒性试验,结果发现轮叶党参对 SD 大鼠 LD_{50} > 5 000 mg/kg; Xu 等^[31]对纹党参进行了食用安全性毒理学评价,发现纹党参对昆明小鼠 LD_{50} > 38.72 g/kg; 研究结果显示均属实际无毒。

表4 大鼠急性经口毒性试验结果 ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

Table 4 Results of acute oral toxicity test in rats ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

性别 Sexuality	动物数 Number of the animals (n)	剂量 Dose (g/kg BW)	初始体重 Initial body weight (g)	第 7 天体重 Body weight on day 7 (g)	第 14 天体重 Body weight on day 14 (g)	出现中毒症 状动物数 Number of animals with poisoning symptoms	死亡数 Number of deaths	LD_{50} (g/kg BW)
雌性 Female	10	60.0	188.9 ± 7.0	226.6 ± 10.0	247.8 ± 12.9	0	0	> 60.0
雄性 Male	10	60.0	205.9 ± 5.5	282.1 ± 13.0	339.6 ± 24.4	0	0	> 60.0

2.3 三项遗传毒性试验

2.3.1 细菌回复突变试验

细菌回复突变试验的结果见表5和表6。由表可知,两次试验中云参各剂量组在加和不加 S9 条件下,各剂量组的回变菌落数均未超过自发回变菌落数的两倍,各剂量组间亦无剂量-反应关系,表明在加与不加 S9 条件下,云参对 TA98、TA100、TA102、

TA1535 和 TA1537 5 株菌株的诱变试验结果为阴性,即云参对这 5 株菌株均未出现遗传毒性,说明云参无致突变作用。前人利用细菌回复突变试验对纹党参进行食用安全性毒理学评价,结果发现纹党参对鼠伤寒沙门菌 TA97a、TA98、TA100、TA102、TA1535 五株试验菌株,在加与不加 S9 时,均无致突变作用^[31],与本文结果一致。

表5 第一次细菌回复突变试验结果 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 5 Results of the first bacterial reverse mutation test ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

剂量 Dose (μ L/dish)	S9	每皿回变菌落数 Number of reverted colonies per dish				
		TA98	TA100	TA102	TA1535	TA1537
50	-	35.0 ± 2.0	134.0 ± 5.3	254.3 ± 5.9	12.7 ± 2.3	10.0 ± 1.0
158	-	35.0 ± 3.0	140.7 ± 6.0	256.0 ± 6.1	12.3 ± 2.1	11.0 ± 2.0
500	-	34.3 ± 2.5	137.7 ± 6.1	260.3 ± 10.6	13.3 ± 2.1	11.3 ± 1.2
1 581	-	35.3 ± 2.1	138.0 ± 8.2	255.3 ± 7.0	13.0 ± 2.6	9.3 ± 1.5
5 000	-	36.0 ± 3.0	133.3 ± 5.9	256.0 ± 7.0	13.7 ± 2.5	9.7 ± 1.2
自发回变 Spontaneous back change	-	34.7 ± 2.5	136.7 ± 6.1	256.3 ± 7.5	14.0 ± 2.0	10.7 ± 1.2
溶媒对照 Solvent control	-	35.0 ± 2.6	137.3 ± 7.5	262.3 ± 7.6	13.3 ± 2.1	9.3 ± 1.5
阳性对照 Positive control	-	1 667.3 ± 152.9 **	2 909.3 ± 77.4 **	1 081.3 ± 70.5 **	644.3 ± 54.6 **	223.0 ± 22.1 **
50	+	34.7 ± 2.1	143.0 ± 6.6	259.0 ± 6.2	12.7 ± 1.5	10.3 ± 1.5
158	+	34.3 ± 2.5	139.0 ± 7.2	262.3 ± 8.6	14.0 ± 1.7	8.7 ± 1.2
500	+	37.0 ± 2.0	137.0 ± 6.9	261.7 ± 9.6	14.7 ± 1.5	9.0 ± 1.0
1 581	+	35.0 ± 2.0	139.0 ± 6.2	258.7 ± 7.0	13.7 ± 1.5	9.3 ± 1.5
5 000	+	36.3 ± 2.1	140.3 ± 6.7	259.3 ± 7.4	13.0 ± 1.7	10.0 ± 1.7

续表 5 (Continued Tab. 5)

剂量 Dose ($\mu\text{L}/\text{dish}$)	S9	每皿回变菌落数 Number of reverted colonies per dish				
		TA98	TA100	TA102	TA1535	TA1537
自发回变 Spontaneous back change	+	37.0 \pm 2.0	141.3 \pm 8.0	264.0 \pm 7.0	13.7 \pm 1.5	10.3 \pm 1.2
溶媒对照 Solvent control	+	36.7 \pm 2.1	134.3 \pm 8.4	260.7 \pm 7.8	12.7 \pm 1.5	10.0 \pm 1.0
阳性对照 Positive control	+	4 133.3 \pm 287.2 **	2 516.7 \pm 62.9 **	947.3 \pm 72.2 **	137.3 \pm 11.9 **	70.7 \pm 6.7 **

注:“-”和“+”分别表示不添加和添加 S9。与溶媒对照组比较,** $P < 0.01$ 。

Note:“-” and “+” mean the absence and presence of S9, Compared with the solvent control group, ** $P < 0.01$.

表 6 第二次细菌回复突变试验结果 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)Table 6 Results of second bacterial recovery test ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

剂量 Dose ($\mu\text{L}/\text{dish}$)	S9	每皿回变菌落数 Number of reverted colonies per dish				
		TA98	TA100	TA102	TA1535	TA1537
8	-	34.0 \pm 2.6	135.7 \pm 5.5	250.3 \pm 8.1	14.7 \pm 2.9	9.3 \pm 1.5
40	-	33.3 \pm 2.5	134.7 \pm 6.8	258.7 \pm 9.0	12.0 \pm 2.6	10.3 \pm 2.1
200	-	33.0 \pm 1.7	135.0 \pm 7.0	259.0 \pm 5.6	12.7 \pm 2.5	10.3 \pm 1.5
1 000	-	33.7 \pm 1.5	139.7 \pm 6.8	251.7 \pm 7.5	13.7 \pm 3.1	9.7 \pm 1.2
5 000	-	33.3 \pm 1.5	133.0 \pm 7.0	258.7 \pm 6.8	11.7 \pm 2.1	9.3 \pm 1.5
自发回变 Spontaneous back change	-	34.3 \pm 1.5	138.3 \pm 8.1	252.0 \pm 6.1	13.0 \pm 2.0	10.7 \pm 1.5
溶媒对照 Solvent control	-	34.7 \pm 1.5	134.3 \pm 9.0	252.0 \pm 5.6	13.7 \pm 2.1	9.7 \pm 1.2
阳性对照 Positive control	-	1 716.0 \pm 150.9 **	2 968.7 \pm 41.5 **	1 149.3 \pm 66.6 **	654.3 \pm 44.2 **	216.0 \pm 22.6 **
8	+	36.0 \pm 2.0	140.7 \pm 6.8	263.3 \pm 9.9	13.3 \pm 1.5	10.7 \pm 1.5
40	+	35.3 \pm 2.1	134.3 \pm 8.0	263.0 \pm 8.9	13.0 \pm 2.0	9.3 \pm 1.2
200	+	36.7 \pm 1.5	143.3 \pm 6.7	261.3 \pm 9.3	12.7 \pm 1.5	9.3 \pm 1.5
1 000	+	37.3 \pm 2.3	139.7 \pm 7.6	259.0 \pm 8.2	13.0 \pm 1.0	10.3 \pm 1.5
5 000	+	36.0 \pm 2.0	140.0 \pm 7.2	265.0 \pm 6.0	13.7 \pm 1.5	10.7 \pm 1.5
自发回变 Spontaneous back change	+	34.0 \pm 1.7	137.0 \pm 8.7	261.0 \pm 6.6	14.0 \pm 2.0	10.0 \pm 1.0
溶媒对照 Solvent control	+	35.3 \pm 2.5	136.7 \pm 6.1	263.7 \pm 6.1	14.0 \pm 1.0	9.3 \pm 1.2
阳性对照 Positive control	+	4 174.7 \pm 278.1 **	2 571.7 \pm 78.9 **	937.7 \pm 49.9 **	141.3 \pm 8.3 **	76.7 \pm 6.0 **

注:“-”和“+”分别表示不添加和添加 S9。与溶媒对照组比较,** $P < 0.01$ 。

Note:“-” and “+” mean the absence and presence of S9, Compared with the solvent control group, ** $P < 0.01$.

2.3.2 哺乳动物红细胞微核试验

由表 7 可见,云参低、中、高 3 个剂量组雌雄小鼠骨髓嗜多染红细胞微核发生率为 $(0.90 \pm 0.22)\% \sim (1.20 \pm 0.27)\%$;各剂量组小鼠的骨髓细胞微核率与溶媒对照组比较,差异均无显著性($P > 0.05$),亦无剂量依赖效应;但环磷酰胺阳性对照组雌、雄小鼠骨髓嗜多染红细胞的微核率达到 $(22.60 \pm 2.68)\%$ 和 $(23.80 \pm 2.20)\%$,与其他组相比均有极显著性差异($P < 0.01$);各剂量组的 PCE/RBC 值均在正常值范围内,且 PCE 占红细胞总数的比例均不少于溶媒对照组的 20%,与溶媒对照组比较也无显著差异($P > 0.05$)。上述结果表明,在本试验剂量 $(5.0 \sim 20.0 \text{ mL/kg BW})$ 范围内,云参不会对小

鼠骨髓嗜多染红细胞微核数造成显著影响,即云参样品的微核试验结果为阴性。

2.3.3 小鼠精原细胞染色体畸变试验

由表 8、9 可见,高剂量组精原细胞有丝分裂指数未低于对照组的 50%。与溶媒对照组比较,环磷酰胺阳性对照组小鼠畸变细胞率明显高于溶媒对照组,均有极显著差异($P < 0.01$);云参各剂量组畸变细胞率和染色体畸变率与溶媒对照组比较,差异均无显著性($P > 0.05$)。染色体畸变类型主要表现为断裂、断片,上述结果表明,在本试验剂量 $(5.0 \sim 20.0 \text{ mL/kg BW})$ 范围内,云参对小鼠精原细胞染色体畸变试验结果均为阴性,初步认为云参对小鼠精原细胞无明显致畸作用。

表7 哺乳动物红细胞微核试验结果($\bar{x} \pm s, n=5$)Table 7 Results of mammalian erythrocyte micronucleus test($\bar{x} \pm s, n=5$)

性别 Gender	剂量 Dose (mL/kg BW)	动物数 Number of the animals	受检 PCE 数 Number of PCE detected	微核数 Number of micronuclei	微核率 Frequencies of micronucleus (%)	嗜多染红 细胞数 PCE	成熟红 细胞数 NCE	PCE/RBC
雌性 Female	20.0	5	2 000 × 5	9	0.90 ± 0.42	104.2 ± 4.1	95.8 ± 4.1	0.52 ± 0.02
	10.0	5	2 000 × 5	10	1.00 ± 0.35	106.2 ± 5.4	93.8 ± 5.4	0.53 ± 0.03
	5.0	5	2 000 × 5	11	1.10 ± 0.22	103.8 ± 6.1	96.2 ± 6.0	0.52 ± 0.03
	溶媒对照 Solvent control	5	2 000 × 5	10	1.00 ± 0.50	107.2 ± 7.6	92.8 ± 7.6	0.54 ± 0.04
	CP(40 mg/kg BW)	5	2 000 × 5	226	22.60 ± 2.68*	100.0 ± 7.0	100.0 ± 7.0	0.50 ± 0.03
雄性 Male	20.0	5	2 000 × 5	11	1.10 ± 0.42	100.8 ± 7.9	99.2 ± 7.9	0.50 ± 0.04
	10.0	5	2 000 × 5	12	1.20 ± 0.27	105.2 ± 7.3	94.8 ± 7.3	0.53 ± 0.04
	5.0	5	2 000 × 5	9	0.90 ± 0.22	104.8 ± 8.6	95.2 ± 8.6	0.52 ± 0.04
	溶媒对照 Solvent control	5	2 000 × 5	10	1.00 ± 0.35	99.4 ± 9.2	100.6 ± 9.2	0.50 ± 0.05
	CP(40 mg/kg BW)	5	2 000 × 5	238	23.80 ± 2.20*	103.6 ± 3.4	96.4 ± 3.4	0.52 ± 0.02

注:与溶媒对照组比较, ** $P < 0.01$ 。Note: Compared with the solvent control group, ** $P < 0.01$.表8 小鼠精原细胞染色体畸变试验结果($\bar{x} \pm s, n=5$)Table 8 Results of chromosome aberration test of mouse spermatogonia($\bar{x} \pm s, n=5$)

剂量 Dose (mL/kg BW)	动物数 Number of the animals	观察细胞数 Observe the number of cells	有丝分裂指数 Mitotic index (%)	受检中期相细胞数 Number of metaphase cells examined	畸变细胞数 Number of distorted cells	畸变细胞率 Distortion cell rate(%)
20.0(48 h)	5	1 000 × 5	34.5 ± 1.5	100 × 5	3	0.60 ± 0.55
20.0(24 h)	5	1 000 × 5	34.0 ± 1.9	100 × 5	4	0.80 ± 0.84
10.0	5	1 000 × 5	33.8 ± 1.6	100 × 5	3	0.60 ± 0.55
5.0	5	1 000 × 5	33.6 ± 1.2	100 × 5	3	0.60 ± 0.55
溶媒对照 Solvent control	5	1 000 × 5	33.5 ± 1.0	100 × 5	4	0.80 ± 0.84
CP(40 mg/kg BW)	5	1 000 × 5	34.0 ± 1.4	100 × 5	30	6.00 ± 1.58**

注:与溶媒对照组比较, ** $P < 0.01$ 。Note: Compared with the solvent control group, ** $P < 0.01$.表9 小鼠精原细胞染色体畸变试验结果($\bar{x} \pm s, n=5$)Table 9 Results of chromosome aberration test of mouse spermatogonia($\bar{x} \pm s, n=5$)

剂量 Dose (mL/kg BW)	动物数 Number of the animals	染色体畸变数 Number of chromosome aberrations(n)							畸变总数 Total number of distortion (n)	染色体畸 变率 Mhromosome aberration rate (%)
		断裂 Fracture	断片 Fragment	环状 Ring	多着丝点 Multiple centromere	单体互换 Monomer interchange	无着丝点环 Centrifugal - free dot ring	微小体 Microbody		
20.0(48 h)	5	1	1	0	0	0	0	2	4	0.80 ± 0.84
20.0(24 h)	5	3	1	0	0	0	0	1	5	1.00 ± 1.00
10.0	5	2	2	0	0	0	0	0	4	0.80 ± 0.84
5.0	5	1	0	0	0	1	1	0	3	0.60 ± 0.55
溶媒对照 Solvent control	5	2	2	0	0	0	0	0	4	0.80 ± 0.84
CP(40 mg/kg BW)	5	18	11	1	0	2	2	8	42	8.40 ± 1.14**

注:与溶媒对照组比较, ** $P < 0.01$ 。Note: Compared with the solvent control group, ** $P < 0.01$.

3 结论

研究表明:云参(缠绕党参)具有丰富的营养成分,还富含氨基酸、维生素(特别是B族维生素)及多种矿物元素。云参中氨基酸的总含量达到5.238 g/100 g,其中排在前三位的必需氨基酸分别是亮氨酸、赖氨酸和缬氨酸,而排在前三位的非必需氨基酸是精氨酸、谷氨酸和天冬氨酸,所有氨基酸中药用氨基酸占比较高,药用前景广阔;B族维生素(尤以维生素B₅最多)及维生素E在云参中占有很大的比例;所含矿物元素包括K、Ca等21种,含量最高的是K,其次是P和Ca。无烯酰吗啉、井冈霉素、咪酰胺、吡虫啉、苯醚甲环唑、四聚乙醛、噻呋酰胺7种农药残留,也不含金黄色葡萄球菌和沙门氏菌食源性致病菌。急性经口毒性试验结果显示其LD₅₀>60.0 g/kg BW,表明云参属实际无毒;三项遗传毒性试验(细菌回复突变试验、哺乳动物红细胞微核试验及小鼠精原细胞染色体畸变试验)的结果均为阴性,进一步证明了云参的安全性。表明云参无毒副作用,具有很好的食用价值,可广泛应用于医学、食品等领域,应用开发前景广阔。

参考文献

- Shi GX. The characteristics and cultivation techniques of Yunshen[J]. Yunnan Agric Sci Tech(云南农业科技), 2013,3:44-45.
- Chen YG, Wei JX, Liang NJ. Volatile components of fresh Yunshen root[J]. China J Chin Mater Med(中国中药杂志), 1993,18:492-493.
- Qiu MH, Ding JK, Nie RL. The volatile chemical components with special smell from *Codonopsis* sp. [J]. Plant Divers(植物分类与资源学报), 1987,9:371-373.
- Mei RQ, Lu Q, Hu YF, et al. Chemical constituents from *Codonopsis cordifolioides* [J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2010,22:238-240.
- Lin PH, Wang J, Wang F, et al. Adsorption of bile salts, cholesterol and grease by water soluble constituents from *Codonopsis bulleyana* aboveground parts[J]. Food Sci Tech(食品科技), 2016,41:81-85.
- Li XZ, Yan YM, Zhuang XC, et al. Compounds from *Codonopsis pilosula* produced in Xundian of Yunnan province[J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2017,29:1858-1866.
- Zhuang XC, Yan YM, Zhang QZ, et al. Chemical constituents from n-BuOH extract of *Codonopsis pilosula* [J]. Mod Chin Med(中国现代中药), 2017,19:1233-1239.

- Wei JX. Diannan Modern research on 'Southern Yunnan Materia Medica' plant medicine and Yunnan famous Chinese herbal medicine(《滇南本草》植物药及云南名产中草药的现代研究)[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Publishing House, 2010.
- Lin PH, Liu MY, Zhang YG, et al. Study on nutritional components of *Codonopsis bulleyana* forrest [J]. J Yunnan Agric Univ: Nat Sci(云南农业大学学报: 自科版), 2015,30:418-423.
- Li SZ, Ye GZ. Preliminary studies on *Codonopsis bulleyana* forest ex diels [J]. J Yunnan Univ Tradit Chin Med(云南中医学院学报), 1994,17:17-20.
- Su HJ. Study on chemical constituents of *Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf. from Yunnan [D]. Chengdu: Chengdu University of TCM(成都中医药大学), 2018.
- Ye PF, Luo C, Huang SY, et al. Optimization and functional study on *Codonopsis bulleyana* Forrest ex Diels ferment with lactic acid bacteria [J]. J Yunnan Agric Univ: Nat Sci(云南农业大学学报: 自科版), 2019,34:896-905.
- Chen ZJ, Li YS, Lu L, et al. Pham acodynam ic study on qi-blood-enriching effects of *Codonopsis bulleyana* Forrest ex Diels [J]. Shanghai J Tradit Chin Med(上海中医药杂志), 2009,43:68-71.
- Chen ZJ, Li YS, Zhou JY, et al. Effects of different parts of *Codonopsis bulleyana* extract on animal models of qi deficiency and blood deficiency [J]. J Chin Med Mater(中药材), 2009,32:1731-1733.
- Gao SM, Liu JS, Wang M, et al. Traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicology of *Codonopsis*: areview [J]. J Ethnopharmacol, 2018,219:50-70.
- Piao KS, Han CJ, Shen YA, et al. Study on the nutritive compositions of *Codonopsis lanceolata* [J]. Chin Wild Plant Res(中国野生植物资源), 1998,17:30-32.
- Kiyoshi T, Misora A, Akiko K. Insufficiency of B vitamins with its possible clinical implications [J]. J Clin Biochem Nutr, 2020,67:19-25.
- Hua M, Fan ML, Lu JX, et al. Study on the *in vitro* antioxidant and bile salts binding activity of the dietary fibers from seven edible traditional Chinese medicines [J]. Sci Technol Food Ind(食品工业科技), 2021,42:314-320.
- Jia XS. Study on solid fermentation process of fresh *Codonopsis pilosula* with yeast and its composition and antioxidant activity [D]. Lanzhou: Lanzhou University(兰州大学), 2021.
- Wang Y, Wang YP, Cui F, et al. Amino acid composition and nutritional evaluation analysis and variety classification of three kinds of *Codonopsis* medicinal materials [J]. Lishizhen Med Mater Med Res(时珍国医国药), 2021,32:2421-

- 2425.
- 21 Wang YB, Jang SQ, Gou ZY, et al. Study on the biological function of lysine and nutritional requirement of broilers[J]. Guangdong J Anim Vet Sci (广东畜牧兽医科技), 2018, 43:17-20.
- 22 Nieves C, Langkamp-Henken B. Arginine and immunity: a unique perspective[J]. Biomed Pharmacother, 2002, 56:471-482.
- 23 Cauli O, Rodrigo R, Llansola M, et al. Glutamatergic and gabaergic neurotransmission and neuronal circuits in hepatic encephalopathy[J]. Metab Brain Dis, 2009, 24:69-80.
- 24 Tang MQ. Effects of sodium glutamate on intestinal function and intestinal flora[D]. Harbin: Northeast Agricultural University (东北农业大学), 2020.
- 25 Liu D, Chen YQ, Xiao XW, et al. Nutrient properties and nuclear magnetic resonance-based metabonomic analysis of macrofungi[J]. Foods, 2019, 8:397.
- 26 Wang XY, Wang RR, Wang T, et al. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating the free amino acid composition of inner and outer lily bulb scales from different cultivars[J]. Food Sci (食品科学), 2020, 41:211-220.
- 27 Bai R, Zhang J, Cao Y, et al. Multi-element analysis of three *Codonopsis Radix* varieties in China and its correlation analysis with environmental factors[J]. J Food Compos Anal, 2021, 104:104127.
- 28 Ministry of Commerce of the People's Republic of China. Green standards of medicinal plants and preparations for foreign trade and economy: WM/T2-2004 (药用植物及制剂外经贸绿色行业标准: WM/T2-2004) [S]. 2005.
- 29 Bai R, Wang Y, Zhang Y, et al. Analysis and health risk assessment of potentially toxic elements in three *Codonopsis Radix* varieties in China[J]. Biol Trace Elem Res, 2022, 200:2475-2485.
- 30 Lee JS, Kim Y H, Kim DB, et al. Acute and subchronic (28 days) oral toxicity studies of *Codonopsis lanceolata* extract in sprague-dawley rats[J]. Regul Toxicol Pharmacol, 2015, 71:491-497.
- 31 Xu XH, Wang JR, Zhang DC, et al. Toxicological evaluation of safety of *Codonopsis tangshen* [J]. J Toxicol (毒理学杂志), 2022, 36:91-95.

(上接第 754 页)

- 17 Pohl K, Moodley P, Dhanda A. The effect of increasing intestinal short-chain fatty acid concentration on gut permeability and liver injury in the context of liver disease: a systematic review[J]. J Gastroenterol Hepatol, 2022, 37:1498-1506.
- 18 Wang JJ, Lai CC, Zhang SG. The effect of acarbose on the intestinal flora and its metabolites in type 2 diabetes mellitus[J]. Chin J Diabetes (中国糖尿病杂志), 2022, 30:633-635.
- 19 Zhao LP, Zhang F, Ding XY, et al. Gut bacteria selectively promoted by dietary fibers alleviate type 2 diabetes[J]. Science, 2018, 359:1151-1156.
- 20 Zhang YK, Zhang ML, Bai X. Effects of dietary fiber and short chain fatty acids on intestinal microbial composition [J]. J Chin Cereals Oils Assoc (中国粮油学报), 2023, 38:195-202.
- 21 Deng MJ, Qu F, Chen L, et al. SCFAs alleviated steatosis and inflammation in mice with NASH induced by MCD[J]. J Endocrinol, 2020, 245:425-437.
- 22 Wang Z, Zhang XX, Zhu LL, et al. Inulin alleviates inflammation of alcoholic liver disease via SCFAs-inducing suppression of M1 and facilitation of M2 macrophages in mice[J]. Int Immunopharmacol, 2020, 78:106062.

(上接第 792 页)

- 7 Yang Z, Wu YQ, Zhou H, et al. A novel strategy for screening new natural products by a combination of reversed-phase liquid chromatography fractionation and ¹³C NMR pattern recognition: the discovery of new anticancer flavone dimers from *Dysosma versipellis* (Hance) [J]. RSC Adv, 2015, 5:77553-77564.
- 8 Sun YJ, Han RJ, Bai HY, et al. Structurally diverse biflavonoids from *Dysosma versipellis* and their bioactivity [J]. RSC Adv, 2022, 12:34962-34970.
- 9 Sun YJ, Bai HY, Han RJ, et al. Dysosmaflavonoid A-F, new flavonols with potent DPPH radical scavenging activity from *Dysosma versipellis* [J]. Fitoterapia, 2023, 166:105440.
- 10 Si YY, Wang WW, Feng QM, et al. Neuroinflammatory inhibitors from *Gardneria nutans* Siebold & Zuccarini [J]. RSC Adv, 2021, 11:27085-27091.
- 11 Jaidee W, Maneerat W, Andersen RJ, et al. Antioxidant neolignans from the twigs and leaves of *Mitrephora wangii* HU [J]. Fitoterapia, 2018, 130:219-224.
- 12 Zheng DD, Ruan JY, Zhang Y, et al. The flavonoids from *Cnidium monnieri* (L.) Cuss [J]. Chin J Med Chem (中国药物化学杂志), 2020, 30:542-548.