

人参中精氨酸双糖苷和单糖苷的研究进展

李亚杰^{1,2}, 郭盛源^{1,2}, 张卓^{2,3*}, 秦培友², 王英平⁴, 任贵兴^{1,2,3*}

(1. 成都大学食品与生物工程学院, 成都 610106; 2. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081;
3. 山西大学生命科学学院, 太原 030006; 4. 吉林农业大学中药材学院, 长春 130118)

摘要: 人参作为我国传统的一种药食同源植物, 已被广泛应用于流行性功能食品 and 膳食补充剂中。在其加工过程中(蒸制和烘烤等), 很容易就会发生美拉德反应。精氨酸双糖苷(arginyl-fructosyl-glucose, AFG)和精氨酸单糖苷(arginyl-fructose, AF)就是通过美拉德反应生成的一类比较典型的化合物, 分别是精氨酸和麦芽糖或葡萄糖在美拉德反应早期形成的主要阿马利多(Amadori)重排化合物, 既可通过蒸制和烘烤人参进行制备, 又可通过精氨酸和糖反应进行人工合成。由于目前关于 AFG 和 AF 的研究相对较少, 且常规的药理活性尚未综合报道, 因此本文通过对人参中 AFG 和 AF 的理化性质、制备方法、含量测定以及药理活性进行综述, 以期今后改进制备工艺、研究和产品开发提供理论依据。

关键词: 人参; 精氨酸双糖苷; 精氨酸单糖苷; 药理活性

Research progress of arginyl-fructosyl-glucose and arginyl-fructose in *Panax ginseng* C.A. Meyer

LI Ya-Jie^{1,2}, GUO Sheng-Yuan^{1,2}, ZHANG Zhuo^{2,3*}, QIN Pei-You²,
WANG Ying-Ping⁴, REN Gui-Xing^{1,2,3*}

(1. College of Food and Bioengineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China; 2. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. College of Life Sciences, Shanxi University, Taiyuan 030006 China; 4. College of traditional Chinese medicine, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

ABSTRACT: *Panax ginseng* C.A. Meyer, as a traditional Chinese medicine food homologous plant, has been widely used in popular functional foods and dietary supplements. Maillard reaction is easy to occur during its processing (e.g. steaming and baking). Arginyl-fructosyl-glucose (AFG) and arginyl-fructose (AF) are typical compounds generated by Maillard reaction. They are mainly Amadori rearrangement compounds formed by arginine and maltose or glucose at the early stage of Maillard reaction. They can be prepared by steaming and baking *Panax ginseng* C.A. Meyer, and can also be artificially synthesized by arginine and sugar reaction. Since there are relatively few studies on AFG and AF, and the conventional pharmacological activities have not been reported comprehensively, this paper reviewed the physicochemical properties, preparation methods, content determination and pharmacological activities

基金项目: 吉林省重大科技专项(20200504001YY)

Fund: Supported by the Major Science and Technology Project of Jilin Province (20200504001YY)

***通信作者:** 张卓, 博士, 主要研究方向为天然产物化学结构修饰及活性评价。Email: 1518599925@qq.com

任贵兴, 博士, 研究员, 主要研究方向为杂粮营养与功能。Email: renguixing@cdu.edu.cn

***Corresponding author:** ZHANG Zhuo, Ph.D, College of Life Sciences, Shanxi University, Taiyuan 030006, China. E-mail: 1518599925@qq.com

REN Gui-Xing, Ph.D, Professor, College of Food and Bioengineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China.
E-mail: renguixing@cdu.edu.cn

of AFG and AF in *Panax ginseng* C.A. Meyer to provide a theoretical basis for future preparation process improvement, research and product development.

KEY WORDS: *Panax ginseng* C.A. Meyer; arginyl-fructosyl-glucose; arginyl-fructose; pharmacological activity

0 引言

人参(*Panax ginseng* C.A. Meyer)是五加科人参属多年生珍贵药食同源植物,具有大补元气、复脉固脱、补脾益肺、生津安神、益智等功效,在《神农本草经》中被列为上品,是常用的滋补强壮药^[1]。人参具有非常丰富的植物化学成分,如皂苷、多糖、蛋白、挥发油、氨基酸、微量元素等^[2],这些成分使其具有广泛的药理活性,例如抗炎^[3]、抗疲劳^[4]、抗癌^[5]、抑菌^[6]、抗过敏^[7]、保护心脑血管^[8]以及降脂^[9]等。

精氨酸是人参中主要的氨基酸,郑毅男等^[10]检测了人参、西洋参、三七中精氨酸含量,其中西洋参中含量最高。美拉德反应是还原糖、醛、酮的羰基与蛋白质、肽、氨基酸等含氮化合物的游离氨基之间发生的脱水缩合反应,能改善食品的功能特性并使其发挥各种生物学活性^[11-14],被广泛应用于食品和生物医药等多个领域^[15]。人参在蒸制过程中还原糖与精氨酸因发生美拉德反应产生了新的化合物,郑毅男等^[16]首次鉴定该化合物为精氨酸双糖苷(arginyl-fructosyl-glucose, AFG)和精氨酸单糖苷(arginyl-fructose, AF)。

AFG 和 AF 是麦芽糖或葡萄糖等还原糖和精氨酸脱水缩合形成的产物,可用甲醇在红参中提取得到,也可通过人工合成得到,具有多种药理活性,例如,抗氧化、抗糖尿病、抗衰老、抗疲劳以及抗炎等。为了更好的将 AFG 和 AF 的药理活性运用到食品和制药等方面,进行了急性毒性实验。齐晶华等^[17]给小鼠灌喂人工合成 AFG,并观察小鼠的反应及死亡情况,结果显示小鼠的最大耐受量为 6 g/kg,相当于成人日用人参量(3~9 g)的 4~13 倍,因此,人工合成 AFG 无急性毒性作用,在临床用量范围内是安全的;宋明铭等^[18]此实验基础上连续给药 60 d,发现小鼠血液中生化指标无明显变化,再次证明了 AFG 无毒性。雷涛等^[19]通过在 24 h 内 4 次给小鼠灌喂 AF,观察到小鼠 7 d 内无死亡情况,证明 AF 无明显急性毒性反应;另外, TSEMENKO 等^[20]给小鼠注射一种从越桔中提取的酚类化合物糖苷与精氨酸的复合物,发现当肌肉注射 20000 mg/kg 剂量时,没有检测到中毒和致死的迹象,因此可被认为是相对无害的物质。

经过查阅大量文献发现,目前对于 AFG 和 AF 的研究相对较少。人参中 AFG 和 AF 主要通过蒸制合成,具有加工时间长、产量低、成本高等缺点,仍需进一步改进合成

方法;纯化方法也存在许多不足之处,例如,纯化过程复杂、成本高、不适合工业生产等。此外,一些比较常规的药理活性(包括降血压、抗抑郁和抑菌等)还未有报道,而对于已知药理活性的作用机制还不是很明确,相关产品衍生物也比较少。本文综述了国内外关于人参美拉德反应产物 AFG 和 AF 的研究情况,主要从理化性质、制备方法、不同人参品种中的含量、药理活性 4 个方面进行了介绍,期望为 AFG 和 AF 在食品、药品以及工业等方面的应用提供理论依据。

1 AFG 和 AF 的理化特点

AFG 最初是由郑毅男等^[16]在红参中发现的,是鲜参在蒸制成红参的过程中经精氨酸与麦芽糖经羟醛脱水缩合而成的产物,属于非皂苷类氨基酸衍生物。其分子式为 $C_{21}H_{22}O_{11}$, 分子量为 498.49, 其结构是 1'-(精氨酸-N²基)-1-去氧-4'-O(α -D-吡喃葡萄糖基)-D-果糖。AFG 单体为白色粉末,易溶于水,难溶于甲醇、乙醇等有机溶剂,与水合茚三酮加热反应显紫色,具有一定的热不稳定性 and 吸水性,因此在提取分离和储存过程中要尽量保持低温干燥状态。此外,AFG 在碱的作用下容易被水解为精氨酸、果糖和葡萄糖。王昆等^[21]通过对 AFG 在大鼠体内的药代动力学进行研究,发现 AFG 在大鼠体内消除较快,不易蓄积,在体内会分解为 AF 等其他形式。毕筱婷等^[22]采用液相色谱串联质谱(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)法测定给药小鼠血浆中 AFG 浓度,同样发现血浆 AFG 随时间延长快速下降,生物利用度低,但具体原因还需进行更深一步的药代动力学研究。

AF, 又称为精氨酸果糖苷,存在于自然界的许多动植物中,分子量为 337.3, 化学名称为 1-(精氨酸-N²基)-1-去氧-D 果糖,单体为白色粉末,AF 极易溶于水,几乎不溶于有机溶剂,如甲醇等,具有吸湿性,对热不稳定^[23]。

2 AFG 和 AF 的合成、分离纯化方法

AFG 和 AF 最早是 1996 年郑毅男在红参水提液中首次发现并鉴定其结构^[16],合成过程如图 1 所示。这两种物质的合成主要通过精氨酸与麦芽糖、葡萄糖、蔗糖等物质反应,以丙二醇、乙醇、丙三醇和冰醋酸作为反应介质,同时加入酸性催化剂如亚硫酸钠、苹果酸和乳酸等加速反应的进行,之后采用有机溶剂丙酮沉淀,洗涤沉淀后冻干,即为精氨酸糖苷^[24-26],具体流程如图 2 所示。

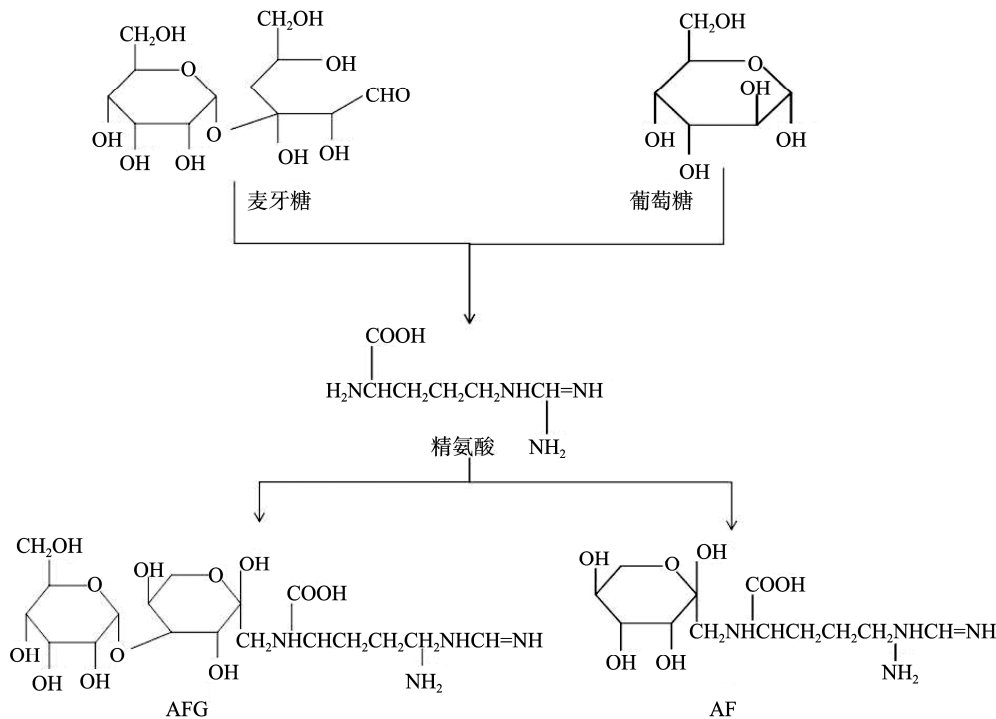


图 1 AFG 和 AF 的合成图^[16]

Fig.1 Synthesis map of AFG and AF^[16]

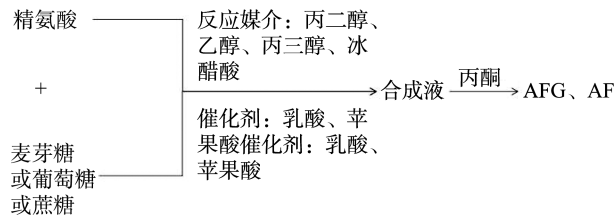


图 2 AFG 和 AF 合成流程图^[24-26]

Fig.2 Synthesis flowchart of AFG and AF^[24-26]

2.1 合成方法

2.1.1 蒸制

AFG 和 AF 主要是通过人参蒸制提取得到, 通过对加工过程的时间及温度进行优化, 从而得到最佳提取工艺。曹国军等^[27]从动态角度研究了 AFG、AF 及游离精氨酸在红参加工各阶段的含量变化, 结果表明 AFG 和 AF 是在第一次烘干阶段形成的, 之后又采用正交方法对红参加工条件进行优化, 发现影响 AFG 形成的条件的主次顺序为蒸制温度>烘干温度>烘干时间>蒸制时间, 最佳加工条件是 105℃下蒸制 100 min, 70℃下烘干 14 h, 在此条件下处理的红参 AFG 含量为 2.61%, 质量也较好^[28]。此外, KIM 等^[29]研究表明红参经过重复热处理后, AFG 的含量高于 AF, 经过反复多次热处理会降低 AFG 和 AF 含量, 并且两次热处理得到的 AFG 和 AF 总量最高。此外, 有研究提出在加工前对红参进行预热处理, 可提高美拉德反应程度,

从而增加 AFG 和 AF 的含量^[30]。赵晶等^[31]研究发现, 随着预热时间的延长, AFG 与 AF 含量呈上升趋势, 这是由于经过长时间预热, 红参中淀粉糊化更加完全, 红参质量有所提高。综上, 通过热处理红参即可得到 AFG 和 AF, 操作简单, 绿色无污染, 但是耗时久, 合成率低, 成本高, 不适合工业生产。

2.1.2 双螺杆挤压

双螺杆挤压是搅拌、混合、剪切、加热、熔融、蒸煮等单元操作在短时间内迅速发生的单一工艺, 与传统热处理相比, 挤压具有合成效率高和成本低的优点, 张君艳^[32]利用双螺杆挤压技术加工人参后可提高相关制品中 AFG 的含量。与传统红参相比, 挤压后人参中 AFG 含量增加了 4 倍, 并且当原料含水量为 20%, 机筒温度为 140℃时, 挤压后的人参表现出较强的还原能力和清除自由基能力。原料水分含量不同, 挤压效果也有所不同, 双螺杆挤压技术在物理模型建立和数学模型求证方面存在困难, 还需进一步研究。

2.1.3 辐照

辐照技术是利用射线(包括电子射线、X 射线和 γ 射线等)改变微生物体的分子和原子形态, 从而促进有效成分的溶出。此外, 辐照技术还可以促进美拉德反应产物的形成。KANG 等^[33]研究发现利用辐照技术可提高 AF 含量, 经 γ 辐照后的黑参提取物(black ginseng extract, BGE)增加了 AF 的含量, 100 kGy 辐照后的 AF 含量从 62.04 mg/g 增

加到了 226.06 mg/g, 并且辐照后抗过敏作用也有所增强。辐照技术虽具有对环境污染少、能耗低、穿透率高等优点, 但辐照后产品中的放射性物质是否会危害人体健康, 仍然存在一些不确定因素, 因此需要将辐照剂量控制在 10 kGy 以内, 严格遵守相关标准规定, 确保辐照食品不会引起毒理学的危害。

2.2 分离纯化方法

关于 AFG 和 AF 的纯化方法, 最早是郑毅男等^[16]利用聚丙烯酰胺(Bio-gel P-II)柱从红参中提取分离到了 AFG。孙彦君^[34]使用甲醇获得 AFG 和 AF 粗提物, 然后利用大孔树脂 NKA 柱和蒸馏水洗脱后再依次过硅胶低压干柱、Sephadex LH-20 葡萄糖凝胶柱和 Bio-gel P-II 凝胶柱, 反复几次后可得到纯度 98.65% 的 AFG 和 AF。冯梓航^[35]将合成的 AFG 粗提液加入 4 倍体积的乙醇, 反复醇沉 3 次, 每次搅拌 45 min, 过聚丙烯酰胺柱 4 次可得到 90% 以上纯度的 AFG。丁传波等^[36]利用膜分离技术纯化 AFG, 且纯化过程对环境和人体无污染, AFG 纯度在 95% 以上, 适合工业生产。综上所述, 使用柱子分离纯化 AFG 和 AF, 可提高纯化率, 但操作烦琐, 耗时耗力; 膜分离方法的膜材料具有一定的局限性, 容易损坏, 成本较高。因此, 绿色无污染、纯化率高、成本低、适合工业化的纯化方法还有待开发。

3 不同人参中 AFG 和 AF 含量

经过查阅相关文献发现, 不同品种人参 AFG 和 AF 含量存在明显的差异, 具体情况如表 1 所示。从表 1 中可以看出红参中 AFG 和 AF 含量最高, 其次是白参, 西洋参最低; 郑毅男等^[16]测得红参中 AFG 和 AF 含量比曹国军等^[37]较高, 原因可能提取方法不同, 前者采用甲醇浸

提 12~24 h 后测定上清液, 而后者利用甲醇超声 30 min 代替长时间浸提, 虽然节约了时间, 含量却有所降低; BAE 等^[39]研究发现, 韩国红参 AFG 含量高于美国红参, 并且在冷冻干燥的人参中均没有检测到 AFG。因此, 在人参的应用当中选择合适的人参品种以及干燥方法。

4 人参中 AFG 和 AF 的药理活性

美拉德反应产物是一类复杂的化合物, 这些物质因其较强的活性被应用在食品、药品、烟草研制、酿酒等领域。同样作为美拉德产物的 AFG 和 AF 也具有类似的活性, 下面对其抗氧化、抗糖尿病、抗衰老、抗疲劳、抗炎以及免疫等活性进行简单介绍。

4.1 抗氧化作用

AF 的过氧自由基清除活性远高于 AFG, 这与它们提供电子或氢原子的还原能力相关。另一方面, AF 的羟自由基清除活性弱于 AFG, 这与它们金属螯合活性一致。LEE 等^[41]研究表明 AFG 比 AF 多连接了 1 个葡萄糖分子(图 2), AFG-Cu²⁺复合物的氧化还原活性可能比 AF-Cu²⁺复合物低。此外, KIM 等^[29]研究发现 AF 和 AFG 都通过增加细胞膜的渗透性和增强过氧化氢和羟基自由基的清除能力而表现出较强的抗氧化作用。综上, AFG 和 AF 具有较强的清除自由基能力, 可作为抗氧化剂加入到化妆品中通过外用来增强皮肤的抗氧化能力。

4.2 抗糖尿病作用

糖尿病(diabetes mellitus, DM)是最主要的健康风险疾病之一, 其发病率每年都在迅速增加, 已经成为世界上一个主要的公共卫生问题。HA 等^[42]首次通过体外和动物实验研究 AFG 和 AF 对 II 型糖尿病餐后高血糖抑制的作用模式和影响, 通过给大鼠喂养含淀粉和蔗糖的食物, 发现食用 AFG 和 AF 的大鼠肠道蔗糖酶抑制活性较低, 能够显著降低餐后血糖水平, 其作用机理可能是 AFG 和 AF 通过抑制胃肠对碳水化合物的吸收。随后, 其团队进一步评估了 AF 是否能降低糖尿病 db/db 小鼠(II 型糖尿病的遗传模型)的血糖水平^[43], 通过给小鼠喂养 AF 后, 发现小鼠的血糖、体重、糖化血红蛋白(glycated hemoglobin, HbA1c)水平都显著降低, 这些结果表明 AF 通过抑制葡萄糖吸收和降低 HbA1c 水平改善餐后高血糖。赵婷^[44]研究表明摄入低剂量的 AF 可以降低糖尿病小鼠的空腹血糖值, 同时改善链脲佐菌素(streptozotocin, STZ)诱导的 II 型糖尿病的糖耐值。此外, LIU 等^[45]通过给小鼠服用 AFG 后发现了 STZ 引起的胰岛素冲突和肝脏不适得到显著改善, 其作用机制是通过调节 PI3K/AKT/GSK3 β 信号通路来减轻 II 型糖尿病的细胞凋亡和胰岛素分泌障碍。除了体外活性检测方法和动物模型之外, PARK 等^[46]还对 AF 的降糖活性进行了临床实验, 结果表明每天补充 AF (1500 mg/d)可能有利于降低糖尿病前

表 1 不同人参品种中美拉德反应产物含量
Table 1 Content of Maillard reaction products in different ginseng varieties

人参品种	AFG 含量/(mg/g)	AF 含量/(mg/g)	参考文献
中国红参	53.70	17.50	[16]
生晒人参	2.1	16	[37]
中国红参	49.1	6.6	
干西洋参根	1.50	7.57	[38]
鲜西洋参根	0.79	0.90	
鲜人参果		2.84	[39]
韩国红参	32.5	4	
中国红参	27.5	3	[40]
生晒人参	6	12.5	
韩国白参	18.4		[40]
韩国红参	73.9		
美国白参	12.2		
美国红参	42.9		

期或II型糖尿病患者餐后血糖水平。综上所述, AFG 和 AF 均可通过降低餐后血糖水平来改善糖尿病患者病情, 在抗糖尿病领域具有较大的发展潜力, 可作为新型的抗糖尿病药物。

4.3 抗衰老作用

衰老是机体各组织器官随着年龄的增长, 开始逐步降低的一种生理现象, 一种不可避免的自然规律, 虽然衰老是不可避免的, 但对于如何抗衰老, 一直以来都是研究人员关注的重点方向之一。孙荣花等^[47]研究发现给小鼠灌喂人工合成的 AFG (50 mg/g)可显著提高小鼠脑指数、脑组织总抗氧化能力和皮肤中羟脯氨酸含量, 灌喂 AFG (30 mg/g)可显著提高小鼠胸腺指数、皮肤中羟脯氨酸含量和血清中超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)水平等, 具有抗衰老作用, 可用于制备抗衰老药物。因此, 可将 AFG 应用到食品、药品和保健品等领域以增强相关产品的抗衰老效果。

4.4 抗疲劳作用

疲劳是机体在过度紧张、繁重或长时间体力、脑力下引起工作效率降低的一种病理现象。黄宝亮^[48]为了研究 AFG 对小鼠的抗疲劳作用及其初步机制, 通过将红参 AFG 提取物连续灌喂给药 28 d 后对小鼠进行强迫性游泳实验, 发现给药组小鼠游泳时间增加的同时血清中乳酸(lactic acid, LD)、尿素氮(urea nitrogen, BUN)及丙二醛(malondialdehyde, MDA)的含量均显著降低; 而肝糖原(liver glycogen, Gly)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)和 SOD 的含量显著提高; 此外, 小鼠血清中的白细胞介素-2(interleukin-2, IL-2)、免疫球蛋白 G (immunoglobulin G, IgG)表达量明显增多; 脾脏淋巴细胞中的 CD3、CD4、CD8 的含量及脾淋巴细胞增殖指数显著提高; 腓肠肌中 *PGC-1 α* mRNA 基因表达水平显著增加^[49]。这些结果表明 AFG 具有抗疲劳活性, 在应用于功能性饮料或保健食品领域具有很大潜力。然而, 目前还未有关于 AF 抗疲劳活性的研究, 因此还需进一步探索 AF 的抗疲劳效果及其作用通路。

4.5 抗炎作用

炎症是机体对感染或组织损伤做出的天然防御机制, 是一个复杂的病理过程, 过度的炎症会扰乱免疫系统, 影响机体的免疫能力, 而美拉德反应产物已被证明具有非常明显抗炎效果。高铭彤等^[50]将人工合成的 AFG 用于 RAW264.7 细胞, 结果表明 AFG 对 RAW264.7 细胞无明显抑制作用, 各浓度给药组降低了炎症因子 No、白细胞介素 1 β (interleukin-1 β , IL-1 β)、IL-6、肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)和前列腺素 E₂ 的含量, 因此猜测 AFG 可能是通过抑制炎症因子的释放从而达到抗炎的效

果。因此, 可将 AFG 应用到食品和药品领域增强其抗炎效果, 同时为 AF 的抗炎研究提供了研究基础, 但仍需进一步探索其抗炎机制。

4.6 免疫作用

免疫是存在于体内的一种自我防御系统, 是人体识别、清除和代谢各种外来入侵物(毒素、生命体)的过程等。邵莹等^[51]采用拮抗环磷酰胺(cyclophosphamide, CTX)诱导小鼠免疫功能障碍, 通过体内和体外实验证明了 AFG 可显著提高小鼠的免疫功能。宋明铭等^[52]研究发现 AF 主要通过促进脾淋巴细胞的自然转化与增殖, 提高小鼠的胸腺和脾脏指数, 增强巨噬细胞吞噬功能, 提高小鼠血清中免疫球蛋白 G (immunoglobulin G, IgG)、TNF- α 、IL-2 含量, 从而达到免疫效果。此外, YU 等^[53]利用体外和体内雄性 BALB/c 小鼠模型评估了 AF 和富含 AF 的天然产物对正常小鼠脾细胞增殖的影响, 结果表明 AF 通过增加免疫球蛋白和细胞因子如 IgM、IgG、IL-2、IL-4、IL-6 的表达和小鼠胸腺重量, 从而激活适应性免疫系统以达到增强免疫的作用。由上表明, 将 AFG 和 AF 添加到食品和药品中, 可改善现代年轻人因生活节奏快导致的免疫力低下的问题。

4.7 对肾病的治疗作用

急性肾损伤(acute renal injury, AKI)是一种临床常见的病症, 由多种病因导致。余欣鑫等^[54]研究表明, 人参皂苷对顺铂(cisplatin, CDDP)诱导的 AKI 具有保护作用, 同时非人参皂苷成分 AFG 对肾脏也有一定的保护作用。AFG 通过减轻肾脏病理损伤、降低小鼠 24 h 尿蛋白总量、减少肾脏中转化生长因子- β 1 (transforming growth factor- β 1, TGF- β 1)和胶原蛋白IV基因的表达来保护因糖尿病引起的肾损伤。LI 等^[55]也发现 AFG 可以降低小鼠体内血清肌酐(serum creatinine, SCr)和 BUN 水平, 改善小鼠体内氧化应激指标, 减轻 CDDP 诱导的炎症和细胞凋亡, 从而逆转 CDDP 引起的肾功能异常。另外, 上皮间质转化(epithelial-mesenchymal transition, EMT)是导致肾间质纤维化的主要驱动因素, 经研究发现 AFG 能够抑制 ERK/STAT3 信号通路的激活, 从而抑制 TGF- β 1 诱导的肾小管上皮细胞的 EMT 过程、增殖和迁移^[56], 减少肾损伤。综上所述, AFG 对肾脏具有一定的保护作用, 可将其应用于医疗领域, 但还需进行临床试验来验证其疗效与安全性。

4.8 抗癌作用

近年来癌症成为诱导人类死亡的第二大疾病, 且发病率和死亡率一直呈现逐年上升的趋势, 因此急需开发药效好、毒副作用少的新型药物。雷涛等^[57]研究发现 AF 通过抑制人体胃癌细胞 SCG-791 增殖能力, 从而达到抗癌的效果。但对人肝癌细胞 SMMC-7721 没有明显抑制效果, 还需进一步研究。此外, 冯梓航等^[58]利用 AFG 抑制黑色素瘤

B16 细胞的增殖及诱导凋亡, 研究发现当 AFG 浓度为 50、75、100 $\mu\text{mol/L}$ 时, B16 细胞的存活率显著降低, 抑制效果最佳, 推测其抗肿瘤机制可能与上调 *Bcl-2* 基因和 *Caspase-3* 基因, 下调 *Bcl-2*-相关 X 蛋白质有关。因此, AFG 和 AF 是通过抑制某些特定癌细胞的增殖从而达到一定的抗癌效果, 但并非对所有癌细胞都有抑制效果, 仍具有一定的局限性。

4.9 抗肥胖作用

AF 可以抑制碳水化合物的吸收, 这有助于控制因过量碳水化合物消化引起的体重增加。最近, LEE 等^[59]利用 C57BL/6 小鼠和 3T3-L1 前脂肪细胞模型评估富含 AF 的大麦提取物(barley extract, BEE)的减肥效果, 研究发现富含 AF 的 BEE 可以抑制饮食诱导的体重增加, 并且抗肥胖效果部分是通过抑制脂肪生成和增加脂联素水平来介导的。因此, 可将 AF 应用于减肥食品中, 研发相应的减肥饼干、面条、面包等产品满足市场需求。

5 结束语

目前关于人参的研究大多数集中在皂苷和多糖等方面, 而对于加工过程中的美拉德反应产物研究较少, 这主要是由于其结构复杂且分离纯化较困难而被忽视^[60]。但同时人参美拉德反应产物又具有非常广泛的药理活性, 因此, 将美拉德反应产物分离纯化并且解析其化学结构将是未来研究的热点。

到目前为止, AFG 和 AF 的合成和纯化方法已经有了一定的研究基础。一方面, 从人参中提取分离纯化, 其缺点是时间长、产量低、成本高; 另一方面, 人工合成, 其缺点是所用合成媒介和催化剂还有很多不足之处, 有待进一步提高。例如, 冰醋酸挥发产生刺激性气体; 亚硫酸钠受高热分解产生有毒的硫化物烟气; 丙三醇黏度较大, 流动性差, 后续丙酮沉淀和洗涤次数增加, 增加了成本, 且产物不易于分离; 丙酮是有毒物质, 使用时具有一定的危险性。因此, 开发一种绿色无污染, 高效的合成和纯化方法是研究热点, 可选用安全无毒的试剂例如可食用乙醇等作为媒介和催化剂, 为之后合成物在食品、日用品以及药品等方面的应用打下基础。

关于 AFG 和 AF 的药理活性研究方面, 目前已有一些活性被证实, 但作用机制还不是很明确。精氨酸酶抑制剂(2,3,5,4'-四羟基苯乙烯-2-O- β -D-葡萄糖苷)具有改善血管的作用, AFG 和 AF 是否也具有此作用, 还需进一步研究^[61-62]。美拉德反应产生的类黑精具有抑菌的功效, 抑菌效果处于中等程度^[63-66], WEI 等^[67]研究发现壳聚糖与木糖、果糖或葡萄糖反应制备的美拉德反应产物对牛肉具有一定保鲜作用, 因此推测人参中 AFG 和 AF 可能也具有此功效, 可进一步研究其抑菌和防腐保鲜机制, 开发相关的

产品。此外, 在降血压、抗抑郁、调节肠道菌群等活性方面还没有相关文献报道, 下一步可加强作用机制和其他活性方面的研究。同时, 为满足我国畜禽养殖业对绿色环保、高效安全的饲料添加剂的需求, AFG 和 AF 的抑菌活性可使其成为饲料中的抗生素替代品。

总而言之, 人参中 AFG 和 AF 具有较高的研究价值, 并且在食品、药品、抗生素替代和饲料添加剂等领域的市场应用前景十分广阔。

参考文献

- [1] 陈虹宇, 曹洋, 杨华平. 林下山参与栽培人参的应用价值剖析[J]. 中医药导报, 2019, 25(6): 67-68, 81.
- [2] CHEN HY, CAO Y, YANG HP. Analysis on the application value of ginseng cultivation under the foot of the forest [J]. Guid J Tradit Chin Med Pharm, 2019, 25(6): 67-68, 81.
- [3] YANG Y, JU Z, YANG Y, *et al.* Phytochemical analysis of *Panax* species: A review [J]. J Ginseng Res, 2021, 45(1): 1-21.
- [4] SHI L, FU W, XU H, *et al.* Ginsenoside Rc attenuates myocardial ischaemic injury through antioxidative and anti-inflammatory effects [J]. Pharm Biol, 2022, 60(1): 1038-1046.
- [5] GUANYU L, ZHUOTING L, XU W, *et al.* Recent advances in *Panax ginseng* C.A. Meyer as a herb for anti-fatigue: An effects and mechanisms review [J]. Foods, 2021, 10(5): 1030.
- [6] ZHAI FG, LIANG QC, WU YY, *et al.* Red ginseng polysaccharide exhibits anticancer activity through GPX4 downregulation-induced ferroptosis [J]. Pharm Biol, 2022, 60(1): 909-914.
- [7] WANG LJ, HUANG Y, YIN G, *et al.* Antimicrobial activities of Asian ginseng, American ginseng, and notoginseng [J]. Phytother Res, 2020, 34(6): 1226-36.
- [8] HAN MJ, KIM DH. Effects of red and fermented ginseng and ginsenosides on allergic disorders [J]. Biomolecules, 2020, 10(4): 634.
- [9] IRFAN M, KWAK YS, HAN CK, *et al.* Adaptogenic effects of *Panax ginseng* on modulation of cardiovascular functions [J]. J Ginseng Res, 2020, 44(4): 538-543.
- [10] CHARALAMPIA A, KALIORA AC, ARISTEA G. The efficacy of *Panax ginseng* in obesity and the related metabolic disorders [J]. Pharm Res, 2021, 1: 100013.
- [11] 郑毅男, 韩立坤, 崔淑玉, 等. 人参中精氨酸的分离与鉴定[J]. 吉林农业大学学报, 1994, (4): 65-68.
- [12] ZHENG YN, HAN LK, CUI SY, *et al.* Isolation and identification of arginine in ginseng [J]. J Jilin Agric Univ, 1994, (4): 65-68.
- [13] NOOSHKAM M, VARIDI M, VERMA DK. Functional and biological properties of Maillard conjugates and their potential application in medical and food: A review [J]. Food Res Int, 2020, 131.
- [14] HSIEH HJ, LIN JA, CHEN KT, *et al.* Thermal treatment enhances the alpha-glucosidase inhibitory activity of bitter melon (*Momordica charantia*) by increasing the free form of phenolic compounds and the contents of Maillard reaction products [J]. J Food Sci, 2021, 86(7): 3109-3121.

- [13] YANG H, ZHANG Y, ZHOU F, *et al.* Preparation, bioactivities and applications in food industry of chitosan-based Maillard products: A review [J]. *Molecules*, 2021, 26(1): 166.
- [14] TODA M, HELLWIG M, HENLE T, *et al.* Influence of the Maillard reaction on the allergenicity of food proteins and the development of allergic inflammation [J]. *Curr Allergy Asthm R*, 2019, 19(1): 1–7.
- [15] 张翼鹏, 段焰青, 刘自单, 等. 美拉德反应在食品和生物医药产业中的应用研究进展[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2022, 44(1): 203–212.
- ZHANG YP, DUAN YQ, LIU ZD, *et al.* Research progress of Maillard reaction in food and biomedical industry [J]. *J Yunnan Univ (Nat Sci Ed)*, 2022, 44(1): 203–212.
- [16] 郑毅男, 松浦幸永, 韩立坤, 等. 红参中新化合物-精氨酸衍生物的分 离与结构鉴定[J]. *药学学报*, 1996, (3): 191–195.
- ZHENG YN, SONGPU XY, HAN LK, *et al.* Isolation and structural identification of arginine derivatives, a new compound in red ginseng [J]. *Acta Pharm Sin*, 1996, (3): 191–195.
- [17] 齐晶华, 郑毅男, 刘文丛. 人工合成精氨酸双糖苷 AFG 的急性毒性实验[J]. *人参研究*, 2013, 25(2): 39–40.
- QI JH, ZHENG YN, LIU WC. Acute toxicity experiment of synthetic arginine diglycoside AFG [J]. *Ginseng Res*, 2013, 25(2): 39–40.
- [18] 宋明铭, 王佳奇, 孙荣花, 等. 精氨酸双糖苷对小鼠毒性实验研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2016, 28(5): 786–790.
- SONG MM, WANG JQ, SUN RH, *et al.* Study on the toxicity of argininy-fructoul-glucose in mice [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2016, 28(5): 786–790.
- [19] 雷涛, 常乐, 孟楠, 等. 精氨酸果糖苷(AFG)急性毒理研究[J]. *实验室科学*, 2013, 16(2): 44–45.
- LEI T, CHANG L, MENG N, *et al.* Acute toxicological studies on the water extracts from AF [J]. *Lab Sci*, 2013, 16(2): 44–45.
- [20] TSEMENKO KV, KIREYEV IV, KOSHOVIY OM, *et al.* The study of the acute toxicity in mice after administration of a phytosubstance glycosides of phenolic compounds from vaccinium vitis-ideaea leaves in combination with arginine amino acid [J]. *Clin Pharm*, 2019, 23(3): 52–56.
- [21] 王昆, 徐晓华, 李佳琪, 等. 精氨酸双糖苷(AFG)在大鼠体内的药代动力学研究[J]. *吉林农业大学学报*, 2014, 36(2): 213–218.
- WANG K, XU XH, LI JQ, *et al.* Study on pharmacokinetics of AFG in rats with different doses [J]. *J Jilin Agric Univ*, 2014, 36(2): 213–218.
- [22] 毕筱婷, 王长远, 李珂珂, 等. 精氨酸双糖苷检测方法的建立及药动学研究[J]. *药物评价研究*, 2019, 42(6): 1141–1145.
- BI XT, WANG CY, LI KK, *et al.* Establishment of a method for detecting arginyl-fructosyl-glucose and pharmacokinetic study [J]. *Drug Eval Res*, 2019, 42(6): 1141–1145.
- [23] 宋明铭, 王佳奇, 李莹, 等. 响应曲面法优化精氨酸单糖苷合成工艺 [J]. *中国兽药杂志*, 2016, 50(5): 45–51.
- SONG MM, WANG JQ, LI Y, *et al.* Optimization of arginyl-fructose synthesis process by response surface methodology [J]. *Chin J Vet Drug*, 2016, 50(5): 45–51.
- [24] 李伟, 段月阳, 刘伟, 等. 一种人参特有化合物精氨酸糖苷 AF 的分离纯化方法: 中国, CN 112679564A [P]. 2021-04-20.
- LI W, DUAN YY, LIU W, *et al.* Separation and purification of arginine glycoside AF, a unique compound of ginseng: China, CN 112679564A [P]. 2021-04-20.
- [25] 李伟, 陈轩, 林向辉, 等. 一种化合物精氨酸双糖苷 AFG 的合成新方法: 中国, CN 111592575A [P]. 2020-08-28.
- LI W, CHEN X, LIN XH, *et al.* A new synthetic method of compound arginine diglycoside AFG: China, CN 111592575A [P]. 2020-08-28.
- [26] 李伟, 李燕飞, 王梓, 等. 化合物精氨酸果糖苷-AF 的规模化合成制备新方法: 中国, CN 111518146A [P]. 2020-08-11.
- LI W, LI YF, WANG Z, *et al.* A new method for large-scale synthesis of compound arginine fructoside AF: China, CN 111518146A [P]. 2020-08-11.
- [27] 曹国军, 郑毅男, 许传莲, 等. 红参加工过程中精氨酸及其衍生物的含量变化[J]. *吉林农业大学学报*, 2001, (3): 69–71.
- CAO GJ, ZHENG YN, XU CL, *et al.* Changes of the content of arginine derivatives of red ginseng at different stages of processing [J]. *J Jilin Agric Univ*, 2001, (3): 69–71.
- [28] 曹国军, 许传莲, 郑毅男. 红参加工与精氨酸双糖苷(AFG)的形成[J]. *中药材*, 2003, (2): 97–98.
- CAO GJ, XU CL, ZHENG YN. Processing of red ginseng and formation of arginine diglycoside (AFG) [J]. *J Chin Med Mater*, 2003, (2): 97–98.
- [29] KIM GN, LEE JS, SONG JH, *et al.* Heat processing decreases amadori products and increases total phenolic content and antioxidant activity of Korean red ginseng [J]. *J Med Food*, 2010, 13(6): 1478–1484.
- [30] SUZUKI Y, CHOI KJ, UCHIDA K, *et al.* Effects of the preheating treatments of raw ginseng in the model system on the synthesis of the Maillard type-browning reaction products of red ginseng [J]. *J Ginseng Res*, 2004, 28(3): 136–142.
- [31] 赵晶, 长城, 徐钰琳, 等. 不同预热时间对红参中 AF、AFG 含量的影响[J]. *现代农业科技*, 2010, (8): 364–366.
- ZHAO J, CHANG C, XU YL, *et al.* Effect of different preheating time on the contents of AF and AFG in red ginseng [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2010, (8): 364–366.
- [32] 张君艳. 双螺杆挤压人参制品美拉德反应产物抗氧化活性研究[D]. 延边: 延边大学, 2014.
- ZAHNG JY. Antioxidant activity of maillard reaction products from twin-screw extruded ginseng products [D]. Yanbian: Yanbian University, 2014.
- [33] KANG JA, SONG HY, BYUN EH, *et al.* Gamma-irradiated black ginseng extract inhibits mast cell degranulation and suppresses atopic dermatitis-like skin lesions in mice [J]. *Food Chem Toxicol*, 2018, 111: 133–143.
- [34] 孙彦君. 人参果中非皂苷类活性物质的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2006.
- SUN YJ. Study on non saponin active substances in ginseng fruit [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2006.
- [35] 冯梓航. 精氨酸双糖苷的纯化关键技术优化及生物活性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2020.
- FENG ZH. Study on the key technology optimization and biological

- activity of AFG purification [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2020.
- [36] 丁传波, 郑毅男, 赵婷, 等. 一种快速分离, 纯化人参精氨酸糖苷的方法: 中国, CN106467561B [P]. 2019-04-23.
- DING CB, ZHENG YN, ZHAO T, *et al.* A method for rapid separation and purification of ginseng arginine glycoside: China, CN106467561B [P]. 2019-4-23.
- [37] 曹国军, 郑毅男, 许传莲, 等. 人参加工品中精氨酸衍生物测定方法研究[J]. 中国药学杂志, 2003, (1): 54–55.
- CAO GJ, ZHENG YN, XU CL, *et al.* Study on a quantitative method for arginine derivatives in ginseng products after processing [J]. Chin Pharm J, 2003, (1): 54–55.
- [38] GAO FF, ZHANG WY, LIU LM, *et al.* Detection and distribution of arginine derivatives in *Panax quinquefolius* L. and investigations of their antioxidant properties [J]. LWT-Food Sci Technol, 2012, 49(1): 34–41.
- [39] BAE BS, LEE MW, LEE JS, *et al.* Comparison of the constituents of processed Korean and American ginseng grown in Korea for six years [J]. Korean J Med Crop Sci, 2021, 29(1): 35–44.
- [40] CHEN W, HE D, SHAO Y. Determination of AF and AFG in red ginseng by high performance liquid chromatography with evaporative light scattering detector (HPLC-ELSD) [J]. Anim Husb Feed Sci, 2019, 11(5/6): 131–134.
- [41] LEE JS, KIM GN, LEE SH, *et al.* *In vitro* and cellular antioxidant activity of arginyl-fructose and arginyl-fructosyl-glucose [J]. Food Sci Biotechnol, 2009, 18(6): 1505–1510.
- [42] HA KS, JO SH, KANG BH, *et al.* *In vitro* and *in vivo* antihyperglycemic effect of 2 amadori rearrangement compounds, arginyl-fructose and arginyl-fructosyl-glucose [J]. J Food Sci, 2011, 76(8): H188–H93.
- [43] LEE KH, HA KS, JO SH, *et al.* Effect of long-term dietary arginyl-fructose (AF) on hyperglycemia and HbA1c in diabetic db/db mice [J]. Int J Mol Sci, 2014, 15(5): 8352–8359.
- [44] 赵婷. 人工合成 *L*-精氨酸单糖苷(AF)及其抗糖尿病药理活性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2013.
- ZHAO T. Study on synthetic *L*-argininy-fructose (AF) and its anti-diabetic activity [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2013.
- [45] LIU X, LIU W, DING C, *et al.* Antidiabetic effects of arginyl-fructosyl-glucose, a nonsaponin fraction from ginseng processing in streptozotocin-induced type 2 diabetic mice through regulating the PI3K/AKT/GSK-3 beta and Bcl-2/Bax signaling pathways [J]. Evid-Based Compl Alt, 2020. DOI: org/10.1155/2020/3707904
- [46] PARK SE, KIM OH, KWAK JH, *et al.* Antihyperglycemic effect of short-term arginyl-fructose supplementation in subjects with prediabetes and newly diagnosed type 2 diabetes: Randomized, double-blinded, placebo-controlled trial [J]. Trials, 2015, 16(1): 1–8.
- [47] 孙荣花, 郑毅男, 邵莹, 等. 一种精氨酸双糖苷的合成方法及其在抗衰老中的应用: 中国, CN 104610384A [P]. 2015-05-13.
- SUN RH, ZHENG YN, SHAO Y, *et al.* A synthetic method of arginine diglycoside and its application in anti-aging: China, CN 104610384A [P]. 2015-05-13.
- [48] 黄宝亮. 红参中精氨酸双糖苷抗疲劳及增强免疫作用机制的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2016.
- HUANG BL. Study on the anti fatigue and immune enhancing mechanism of arginine diglycoside in red ginseng [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2016.
- [49] 黄宝亮, 丁传波, 王佳奇, 等. 红参中精氨酸双糖苷对小鼠的抗疲劳作用[J]. 吉林大学学报(医学版), 2017, 43(5): 897–902.
- HUANG BL, DING CB, WANG JQ, *et al.* Anti-fatigue effect of arginyl fructosyl glucose from red ginseng in mice [J]. J Jilin Univ (Med Ed), 2017, 43(5): 897–902.
- [50] 高铭彤, 王佳奇, 陈凯, 等. 精氨酸双糖苷对脂多糖诱导的巨噬细胞分泌炎症因子的影响[J]. 中国兽药杂志, 2016, 50(11): 65–69.
- GAO MT, WANG JQ, CHEN K, *et al.* Effects of arginyl-fructosyl-glucose on the secretion of inflammatory cytokines in macrophages induced by lipopolysaccharide [J]. Chin J Vet Med, 2016, 50(11): 65–69.
- [51] 邵莹, 孙荣花, 王迪, 等. 精氨酸双糖苷对环磷酰胺致免疫抑制小鼠免疫功能的影响[J]. 营养学报, 2015, 37(3): 265–269.
- SHAO Y, SUN RH, WANG D, *et al.* The protective effect of arginyl-fructosyl-glucose against cyclophosphamide-induced immunosuppression in mice [J]. Acta Nutr Sin, 2015, 37(3): 265–269.
- [52] 宋明铭, 王佳奇, 黄宝亮, 等. 精氨酸单糖苷(AF)对免疫抑制小鼠免疫功能的影响[J]. 中国免疫学杂志, 2017, 33(3): 347–351.
- SONG MM, WANG JQ, HUANG BL, *et al.* Protective effect of arginyl-fructose immunosuppression in mice [J]. Chin J Immunol, 2017, 33(3): 347–351.
- [53] YU JA, LEE JY, KIM TY, *et al.* Immune modulatory activities of arginyl-fructose (AF) and AF-enriched natural products in *in-vitro* and *in-vivo* animal models [J]. Molecules, 2021, 26(8): 2251.
- [54] 余欣鑫, 高铭彤, 刘兴龙, 等. 精氨酸双糖苷对糖尿病肾病小鼠的治疗作用及基因转化生长因子- $\beta 1$ 和胶原蛋白 IV 相关性研究[J]. 中国药学杂志, 2018, 53(19): 1645–1651.
- SHE XX, GAO MT, LIU XL, *et al.* Therapeutic effect of arginyl-fructosyl-glucose on diabetic nephropathy mice and correlation of gene TGF- $\beta 1$ and collagen-IV [J]. Chin Pharm J, 2018, 53(19): 1645–1651.
- [55] LI RY, ZHANG WZ, YAN XT, *et al.* Arginyl-fructosyl-glucose, a major Maillard reaction product of red ginseng, attenuates cisplatin-induced acute kidney injury by regulating nuclear factor kappa B and phosphatidylinositol 3-kinase/protein kinase B signaling pathways [J]. J Agric Food Chem, 2019, 67(20): 5754–5763.
- [56] LIN XD, XIANG M, CHEN HY, *et al.* Arginyl-fructosyl-glucose from red ginseng alleviates TGF- $\beta 1$ -induced epithelial-mesenchymal transition of renal tubular epithelial cells [J]. Gen physiol biophys, 2022, 41(4): 329–338.
- [57] 雷涛, 潘艳明, 武蕾蕾, 等. 精氨酸果糖苷(AF)抑制人体胃癌细胞 SCG-7901 增殖研究[J]. 实验室科学, 2015, 18(2): 17–19.
- LEI T, PAN YM, WU LL, *et al.* Study on SCG-7901 inhibition rates of AF [J]. Lab Sci, 2015, 18(2): 17–19.
- [58] 冯梓航, 刘兴龙, 赵迎春, 等. 精氨酸双糖苷对黑色素瘤 B16 细胞的作用及其机制[J/OL]. 吉林农业大学学报: 1-11, [2022-10-13]. <http://>

- 211.85.197.33:80/rwt/CNKI/http/NNYHGLUDN3WXTLUPMW4A/kcms/detail/22.1100.s.20200526.1433.004.html
- FENG ZH, LIU XL, ZHAO YC, *et al.* Effect of arginyl-fructosyl-glucose on melanoma B16 cells and its mechanism [J/OL]. J Jilin Agric Univ, 1-11. [2022-10-13]. <http://211.85.197.33:80/rwt/CNKI/http/NNYHGLUDN3WXTLUPMW4A/kcms/detail/22.1100.s.20200526.1433.004.html>
- [59] LEE SY, KIM TY, HONG JY, *et al.* Anti-obesity and anti-adipogenic effects of administration of arginyl-fructose-enriched Jeju barley (*Hordeum vulgare* L.) extract in C57BL/6 mice and in 3T3-L1 preadipocytes models [J]. Molecules, 2022, 27(10): 3248.
- [60] HYUN SH, KIM SW, SEO HW, *et al.* Physiological and pharmacological features of the non-saponin components in Korean red ginseng [J]. J Ginseng Res, 2020, 44(4): 527-537.
- [61] YI BG, NGUYEN MC, WON MH, *et al.* Arginase Inhibitor 2,3,5,4'-tetrahydroxystilbene-2-O- β -D-glucoside activates endothelial nitric oxide synthase and improves vascular function [J]. Planta Med, 2017, 83(3-4): 210-216.
- [62] 유승우, 민병선, AINIENG W. Piceatannol-3'-O- β -D-glucopyranoside as an active component of rhubarb activates endothelial nitric oxide synthase through inhibition of arginase activity [J]. Exp Mol Med, 2010, 42(7): 524-532.
- [63] KUKUMINATO S, KOYAMA K, KOSEKI S. Antibacterial properties of melanoidins produced from various combinations of Maillard reaction against pathogenic bacteria [J]. Microbiol Spectr, 2021, 9(3): e0114221-e0114221.
- [64] KIM Y, KIM S, LEE S, *et al.* Antimicrobial activity of fermented Maillard reaction products, novel milk-derived material, made by whey protein and *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus gasseri* on *Clostridium perfringens* [J]. Anim Biosci, 2019, 44(9): 60-64.
- [65] 章银良, 李鑫, 蔡亚玲. 美拉德反应产物与不同防腐剂抑菌性能的对比较研究[J]. 中国调味品, 2019, 44: 60-64.
- ZAHNG YL, LI X, CAI YL. Comparative study on antibacterial properties of Maillard reaction products and different preservatives [J]. China Cond, 2019, 44(9): 60-64.
- [66] HAFSA J, SMACH MA, BEN MR, *et al.* Functional properties of chitosan derivatives obtained through Maillard reaction: A novel promising food preservative [J]. Food Chem, 2021, 349: 129072.
- [67] WEI QJ, NIE P, GONG JT, *et al.* Antibacterial and food preservative attributes of Maillard reaction products of shrimp shell chitosan [J]. Curr Top Nutraceut Res, 2022, 20(1): 64-69.

(责任编辑: 黄周梅 韩晓红)

作者简介



李亚杰, 硕士研究生, 主要研究方向为植物蛋白饮料加工工艺及功能活性评价。
Email: 1825868303@qq.com



张 卓, 博士, 主要研究方向为天然产物化学结构修饰及活性评价。
Email: 1518599925@qq.com



任贵兴, 博士, 研究员, 主要研究方向为杂粮营养与功能。
Email: renguixing@cdu.edu.cn