

张颜, 涂雯, 王书珍, 等. 黄精代谢调节功能及其应用的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(16): 451–461. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090284

ZHANG Yan, TU Wen, WANG Shuzhen, et al. Research Progress on Metabolic Regulation Function and Its Applications of *Polygonatum* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(16): 451–461. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090284

· 专题综述 ·

黄精代谢调节功能及其应用的研究进展

张 颜^{1,*}, 涂 雯¹, 王书珍^{1,*}, 吴 伟^{1,2,*}

(1. 黄冈师范学院生物与农业资源学院, 湖北黄冈 438000;

2. 黄冈师范学院经济林木种质改良与资源综合利用湖北省重点实验室, 湖北黄冈 438000)

摘 要: 黄精是一种非常重要的药食同源植物, 它的主要活性成分包括黄精多糖、黄精皂苷、黄酮、多酚和生物碱等。黄精具有增强免疫力、抗疲劳、抗氧化、降低血糖、抗炎症等作用。因此, 黄精在保健食品和药物研发等方面具有广阔的应用前景。本文综述了黄精多糖、黄精黄酮、黄精皂苷和黄精水提物在代谢调节方面的研究进展, 论述了黄精主要活性物质在糖代谢、脂质代谢和其他代谢方面的作用机制, 同时还分析了目前黄精相关的专利和产业开发现状, 为黄精用于代谢调节类功能产品的研发提供参考依据。

关键词: 黄精, 药食同源, 活性成分, 代谢调节, 作用机制, 产品开发

中图分类号: TS201.2 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2024)16-0451-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090284



本文网刊:

Research Progress on Metabolic Regulation Function and Its Applications of *Polygonatum*

ZHANG Yan¹, TU Wen¹, WANG Shuzhen^{1,*}, WU Wei^{1,2,*}

(1. College of Biology and Agricultural Resources, Huanggang Normal University, Huanggang 438000, China;

2. Hubei Key Laboratory of Economic Forest Germplasm Improvement and Resources Comprehensive Utilization, Huanggang Normal University, Huanggang 438000, China)

Abstract: *Polygonatum sibiricum*, a plant homologous to both medicine and food, is of significant importance. Its primary active components include polysaccharides, saponin, flavonoids, polyphenols, and alkaloids. These constituents are known for their roles in enhancing immune function, combating fatigue, providing anti-oxidative benefits, reducing blood sugar, and offering anti-inflammatory effects. Consequently, *P. sibiricum* presents wide-ranging prospects in health food and pharmaceutical research and development. This paper provides a comprehensive summary of research advancements in the polysaccharides, flavonoids, saponins, and solomonseal rhizome extract of *P. sibiricum*, particularly in metabolic regulation. It delves into the mechanisms by which the main active substances of *P. sibiricum* influence glucose and lipid metabolism. Simultaneously, the paper analyzes current patents and the state of industrial development related to *P. sibiricum*, aiming to provide a reference for future research and development of metabolic regulation functional products based on this plant.

Key words: *Polygonatum*; medicine food homology; active ingredient; metabolic regulation; mechanism; product development

黄精(*Polygonatum sibiricum*)为百合科黄精属植物^[1], 为百合科黄精属植物滇黄精(*Polygonatum*

kingianum Coll.et Hemsl.)、黄精(*Polygonatum sibiricum* Red.)和多花黄精(*Polygonatum cyrtonema* Hua)

收稿日期: 2023-09-26

基金项目: 黄冈市市本级项目 (ZDXM20220023)。

作者简介: 张颜 (2003-), 女, 大学本科, 研究方向: 天然产物提取分离, E-mail: 15827291090@163.com。

* 通信作者: 王书珍 (1984-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 植物学, E-mail: wangshuzhen710@whu.edu.cn。

吴伟 (1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 药食同源植物资源开发与利用, E-mail: woowe97417@hgnu.edu.cn。

的干燥根茎。黄精喜阴耐寒性,大多生长于土壤疏松肥沃、阴湿的林下以及山坡阴处。目前中国黄精资源主要分布于东北、华东、西北、华北以及东南等地区海拔三千六百米下的灌木丛、林下或山坡阴处等地^[2],主要产自于中国黑龙江、吉林、河北、内蒙古、陕西、河南、山东等地区。黄精在中国有两千多年的药用历史,可治疗脾虚胃虚、口干乏力、精血不足、体疲乏力等多种症状^[3]。国家卫生健康委员会于2002年将黄精列入药食同源的物品名单^[4],并被2020版的《中国药典》记载。

黄精中含有多种营养物质,例如维生素、氨基酸、矿物质、淀粉以及膳食纤维等^[5]。黄精中有多糖、多酚、凝集素、黄酮、生物碱和皂苷等活性成分^[6],具有抗疲劳、抗炎、抗氧化、降血糖、提高免疫功能、抗癌等功能活性^[7],使得黄精主要活性成分在糖代谢、脂质代谢等方面的作用机制对糖尿病、高血脂、贫血和免疫力低下等都可起到一定的治疗效果^[8]。近年来,随着经济的发展和人们健康意识的提高,市场对黄精的需求逐渐增加。这导致野生黄精资源的储量迅速减少,只有通过大规模的人工种植才能满足市场需求。目前,黄精产业的发展受到黄精品种的选育、配套栽培技术的研发以及产品市场的开发和推广等方面的限制。首先是对优良黄精品种的栽培技术措施研究不够深入,人工种植技术不成熟,科学化管理水平低;其次,由于缺乏强大企业的引领和资金投入,导致黄精加工产品难以打开市场^[9]。在深加工和综合利用方面的研发不足,使得黄精产品加工的档次较低,规模较小,从而影响产品的附加值^[10]。目前在我国市场上,常见的黄精产品包括黄精饮片、黄精丸、黄精赞育胶囊、黄精冲剂、黄精茶、黄精酒、黄精酥、黄精糖等。然而,这些产品并未有效地激发整个黄精产业的蓬勃发展^[11]。

随着人们生活质量水平的不断提升,人们更加追求绿色健康食品。伴随“健康中国2030”国家战略的推动,药食同源的产品越来越受大家的关注,其产业发展潜力巨大,市场前景广阔,同时黄精类产业也是大健康产业发展的重要内容和途径。为促进传统中医药产业的振兴发展,政府陆续发布了一系列政策文件,包括《中医药健康服务发展规划(2015~2020年)》、《中药材保护和发展规划(2015~2020年)》、《中医药发展战略规划纲要(2016~2030年)》等。这些政策细化了在中药资源保护、驯化、栽培以及产业推广等多个方面的支持措施,为中医药产业提供了资金扶持和政策支持。中西医结合治疗新冠肺炎取得令人满意的案例,这进一步突显黄精作为药食同源药材在人类生活中的重要性^[12]。目前,黄精作为功能突出的植物原料,在功能饮料中的应用已有相关研究^[13]。另外黄精在片糖果、米粉、馒头、固体饮料等方面已有产品开发^[14-15]。此外,生产企业可以根据产品的定位和生产设备等因素,灵活调配产品配方,

还可以开发黄精系列产品,以形成企业独特的产品特色^[16]。因此本文基于黄精产业可持续发展路径,通过查阅大量文献,综述了黄精中的主要活性成分以及在代谢调节方面的药理作用,并汇总了黄精相关的专利和产业开发现状,为黄精用于代谢调节类功能产品的研发提供参考依据。

1 黄精中的主要活性成分

1.1 多糖类成分

《中国药典》规定多糖为黄精的质量标志物,多糖是一种大分子聚合物,一般是由十个及以上的单糖通过脱水缩合组成^[17]。黄精多糖是黄精属植物中主要的化学成分^[18-19]。黄精多糖由不同比例单糖组成,主要包括甘露糖、半乳糖、葡萄糖、木糖、鼠李糖、阿拉伯糖、葡萄糖醛酸和半乳糖醛酸8种^[20]。王艳等^[21]通过对黄精多糖进行纯化得到PSP-1a,其成分主要由半乳糖、葡萄糖、木糖、阿拉伯糖、鼠李糖组成,摩尔百分占比分别为0.18%、0.30%、0.77%、1.50%和97.25%。刘柳等^[22]从黄精中提取得到以半乳糖为主要构成单位的五种多糖,其中PSW1B-b是中性半乳聚糖,PSW2A-1和PSW3A-1则是酸性多糖,而PSW4A和PSW5B则属于糖蛋白。郭信东等^[23]在对黄精进行炮制前后多糖含量的测定中,其结果显示黄精的生品和酒黄精多糖含量分别为65.05 mg/g和30.50 mg/g,而炮制后多糖含量降低近2倍。目前对大多数黄精多糖的结构解析仅限于对单糖组成和相对分子质量的测定,只有少数研究报道了完整的糖链重复单位结构^[24]。近年来,尽管在黄精多糖的研究方面取得了一些进展,但仍然面临一些挑战。首先,由于不同来源和提取纯化方法的差异,所得到的黄精多糖在含量、结构特征和生物活性方面存在较大的变异。这种差异可能是由于地理位置、土壤质地和气候条件等环境因素的不同所导致的。

1.2 皂苷类成分

黄精的主要化学成分之一是黄精皂苷(Saponin of *Rhizoma Polygonati*)。这些黄精皂苷可分为两大类,即甾体皂苷类和三萜皂苷类^[19]。甾体皂苷属于高极性的化合物,可以进一步细分为螺旋甾烷型皂苷(Spirostanol Saponins)和呋甾烷型皂苷(Furostanol Saponin)两个亚类^[25-26]。三萜皂苷类包括齐墩果烷型五环三萜皂苷、乌苏酸型五环三萜皂苷和达玛烷型四环三萜皂苷等类别^[27]。陈辉等^[19]从黄精中共分离出57种甾体皂苷化合物,其中包括15种呋甾烷醇型、螺旋甾烷醇型与异螺旋甾烷醇型42种。在黄精皂苷的结构鉴定方面,有研究者从多花黄精中分离到甾体皂苷类成分6个^[28-29]。刘爽等^[30]从黄精、滇黄精以及多花黄精中提取出77种甾体皂苷类化合物;任洪民等^[31]从多花黄精生品及黄精酒制品中共鉴定得到15个甾体皂苷类成分。

1.3 黄酮类成分

黄酮类化合物是以 2-苯基色原酮为母核结构的一类色素,从黄精属植物的根茎中可以分离到大量黄酮类化合物,黄酮类化合物的分子结构由一个亚型母核结构和不同的侧链基团组成^[32]。根据亚型母核结构的不同,可以将这些化合物分为六大类,包括黄酮类、异黄酮类、高异黄酮类、二氢黄酮类、查耳酮类和紫檀烷类^[33]。梁焕焕等^[34]发现不同种源多花黄精在炮制过程中,总黄酮含量随蒸制次数增加先升高后趋于稳定;陶爱恩等^[35]总结了目前从黄精属植物中分离得到 54 个黄酮类化合物并做具体阐述。但目前关于黄精黄酮成分的研究大多只停留在总黄酮的检测,而对黄酮单体的检测较少,且黄酮类物质的成分可能因生长环境、采收季节等因素而变化。

2 代谢调节及作用机制

2.1 糖代谢调节

2.1.1 降低胰岛素抵抗或增加胰岛素分泌 胰岛素抵抗(insulin resistance, IR)是指靶器官,如肝脏、脂肪组织和肌肉等,对胰岛素的敏感性下降,与正常情况相比,它们对胰岛素的响应减弱。这一现象导致了胰岛素无法有效降低血糖水平,进而可能引发代谢综合征和 II 型糖尿病(diabetes mellitus type 2, T2DM)。大量的实验及临床研究表明,IR 参与了多种病理生理状态的发生发展,如:葡萄糖耐量异常、T2DM、脂代谢的紊乱、动脉粥样硬化等。如何改善 IR,从而改善机体代谢紊乱的状态,一直是临床治疗的难点与重点。陈瑶^[36]考察了黄精对于 T2DM 大鼠体内 IR 的改善作用,经过 6 周的中药干预后,中药组的实验结果显示,空腹胰岛素(FINS)水平较模型组下降了 24.2%,而胰岛素抵抗指数(Homeostasis model assessment, HOME-IR)降低了 63.5%,基本接近正常大鼠的水平。这表明经过黄精干预后,大鼠体内的 IR 状态已得到了明显的控制和改善。研究还发现,中药干预后,小鼠血清及肝脏组织内 TNF- α 水平较模型组有明显差异,血清与肝脏内 TNF- α 水平较模型组分别降低了 34.1%、15.16%,而 IR 的程度与肝脏组织内 TNF- α 水平密切相关,研究结果指出,黄精有可能减少脂肪细胞释放的 TNF- α ,修复受损的胰岛素信号传递通路,从而减轻了小鼠 IR 的状况。因此,它可能有助于改善对糖脂代谢的调控和减轻代谢紊乱的情况。贾璐等^[37]研究了 PCP 对血糖的影响,通过建立糖代谢异常小鼠模型进行实验,结果显示 PCP 对因为高血糖所引起的 IR 有一定的改善作用。胰岛素受体底物(insulin receptor substrate, IRS)家族是胰岛素通路中的关键物质,胰岛素受体 IRS-2 功能异常也是导致胰岛素抵抗的重要原因之一,而 PCP 能明显增加 IRS-2 的表达量,从而达到治疗 IR 的效果^[38]。

2.1.2 调节葡萄糖转运蛋白的表达 GLUT-4(plasma

membrane glucose transporter 4, PM-GLUT4)是一种跨膜转运蛋白,存在于仅对胰岛素敏感的心肌、骨骼肌和脂肪组织中。它的主要作用是协助葡萄糖转运体进入对胰岛素敏感的组织细胞内,以维持细胞正常的生理功能。在胰岛素的调控下,胞浆内的总葡萄糖转运体 4(T-GLUT4)会移位至细胞膜上,这使得膜上的 GLUT4 能够有效地促使葡萄糖进入细胞内。GLUT4 的移位和膜上 GLUT4 的含量变化与胰岛素抵抗密切相关^[39]。T2DM 在诱导出胰岛素抵抗之前,骨骼肌细胞中 GLUT4 的转位水平已经降低。一旦发生胰岛素抵抗,胰岛素受体的活化遭受干扰,导致胰岛素受体无法被激活,因而细胞膜上的 GLUT4 转位减少。这一现象导致血糖升高,细胞对葡萄糖的摄取减少。因此, GLUT4 的转位在调控细胞对葡萄糖摄取的过程中起到关键作用^[40]。有研究表明, T2DM IR 大鼠肌肉组织 GLUT-4 减少,导致葡萄糖进入细胞内代谢障碍,能使血糖升高^[41-42]。因此,通过葡萄糖转运蛋白的表达能有效调节 T2DM 和血糖之间的关系。

2.1.3 抑制 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶 α -葡萄糖苷酶(α -glucosidase)属于糖苷水解酶大家族的一类,广泛分布于生物体内,主要负责调节生物体的食物代谢、多糖的分解以及糖蛋白的合成等关键生物过程^[43]。在机体摄入食物(淀粉)后,唾液淀粉酶便会将多糖消化为寡糖,而随后进入小肠的寡糖则通过 α -葡萄糖苷酶的作用被分解成单一的葡萄糖分子,这些葡萄糖随后被小肠吸收,导致餐后血糖水平上升^[44]。因此,通过抑制小肠内 α -葡萄糖苷酶的活性,可以调节机体血糖水平,有望改善 T2DM 患者的临床症状^[45]。陆建美等^[46]进行了关于滇黄精不同提取成分对 α -葡萄糖苷酶活性的抑制研究。研究结果表明,滇黄精以及其不同提取物在一定程度上能够抑制 α -葡萄糖苷酶的活性。滇黄精总皂苷表现出最高的抑制效果,抑制率达到了 84.2%;其次是滇黄精生水提取物,抑制率为 27.7%。此外,包瑞敏等^[47]的研究发现,当黄精总皂苷浓度达到 3.0 mg/mL 时,对 α -葡萄糖苷酶的抑制率最高可达 74%,接近于抑制率为 82% 的阿卡波糖(0.5 mg/mL);而当黄精总皂苷浓度为 2.0 mg/mL 时,其对 α -淀粉酶的抑制效果最高,抑制率可达到 82%,甚至超过了阿卡波糖(0.5 mg/mL)对 α -葡萄糖苷酶的抑制效果。因此,黄精总皂苷对 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶有较为明显的抑制活性,可能是黄精降糖活性的主要基础物质,这为黄精总皂苷的开发利用和降血糖药物的研制提供了参考依据。

2.1.4 抗氧化作用 在生物系统中,氧化应激是由活性氧的产生和消耗不平衡引起的^[48],这会导致多种疾病,例如癌症、糖尿病、心血管疾病和神经退行性疾病如阿尔茨海默等^[49-50]。氧化应激是 T2DM 发展的重要因素。长期高糖环境使胰岛 β 细胞发生氧化应激导致机体氧化系统与抗氧化系统失衡,自由基

过度释放诱导胰岛 β 细胞凋亡减少胰岛素分泌。研究显示,抑制胰岛 β 细胞氧化应激和凋亡是控制糖尿病发展的有效治疗手段^[51-53]。基于复杂的发病机制临床上尚无治疗效果良好的药物,晚期会带来严重的并发症。曾立等^[54]研究了 PCP 对糖尿病模型小鼠的降血糖作用和机制,结果表明,不同剂量的 PCP 均对糖尿病模型小鼠的生物指标产生积极影响。它们改善了血糖、总胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)水平,同时也提高了血清中的胰岛素(INS)水平。此外,肝脏在维持机体血糖浓度的稳定方面扮演着关键角色,它通过调控磷酸戊糖和糖异生等生物途径来实现这一功能^[55]。在曾立等^[54]的研究中,通过建立糖尿病小鼠模型进行实验证明,不同剂量的 PCP 都能有效地提高肝脏中超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性,同时减少丙二醛(MDA)水平。这有助于减轻机体因氧化应激而引起的糖代谢紊乱。PCP 通过激活 PI3K-Akt-GSK-3 β -GSY 等多条信号通路来促进肝脏内葡萄糖的消耗并合成糖原,从而改善了机体的血糖水平。PCP 能够减少力竭训练后小鼠肝组织中的自由基生成,并提高抗氧化酶的活性。通过小鼠体外实验证明黄精多糖对过度训练引起的肝组织损伤有保护作用^[56]。这些结果表明,PCP 在一定程度上通过减轻氧化应激等途径来降低血糖水平,还能改善小鼠肝脏中超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性,减少丙二醛(MDA)的含量,并提高肝脏组织中的肝糖原(HG)水平。如今,具有抗氧化潜力的黄精属多糖被认为是体外和体内抗氧化作用的工具^[57-58]。例如,黄精杂多糖可以通过增强抗氧化防御系统和减少脂质过氧化来防止小鼠因强迫游泳运动引起的氧化应激^[50]。同时,黄精多糖对因高糖诱导的视网膜色素上皮细胞氧化应激也有治疗作用^[59]。在抗氧化研究过程中,新型抗氧化剂黄精多糖-硒纳米粒子(PSP-SeNPs)对由过氧化氢诱导的大鼠肾上腺嗜铬细胞瘤贴壁细胞(PC-12 细胞)氧化损伤具有较高的保护作用,且细胞毒性较低。故它可以在一定程度上弥补 SeNPs 毒性低、稳定性差的不足^[60]。综上所述,PCP 不仅可以通过抑制胰岛 β 细胞氧化应激和保护肝脏来改善血糖水平从而控制糖尿病发展,而且可以作为体外和体内抗氧化作用的工具。随着作用机制的进一步明确,有望将黄精多糖开发为糖尿病、肝病等辅助治疗药物。

2.1.5 抗炎作用 IL-6 参与机体的炎症反应,在机体免疫平衡中尤为重要,常作为抗炎活性的筛选指标之一。陶梦婷等^[61]研究表明,多花黄精和滇黄精中的酸性多糖能降低细胞中 IL-6 mRNA 表达,且滇黄精酸性多糖更佳,提示多花黄精酸性多糖和滇黄精酸性多糖有较好的抗炎活性。李思媛等^[62]在使用脂多糖诱导的小鼠腹腔巨噬细胞(RAW264.7)模型中研究了黄精皂苷的体外抗炎作用及其机制。他们发现,不

同质量浓度的黄精皂苷均能有效抑制 TNF- α 的释放和 NO 的生成,同时也对 iNOS、COX-2、p-IKK α/β 、p-I κ B α 、p-p38、p-ERK 等蛋白的表达产生了抑制作用。这一研究结果表明,黄精皂苷通过抑制 NF- κ B/MAPKs 信号通路来发挥体外的抗炎作用。近年来,一些研究也证实了原薯蓣皂苷甲酯(methyl protodioscin, MPD)具有抗炎活性,是黄精甾体皂苷根状茎中含量较丰富的皂苷之一。MPD 通过调节肠道免疫改善肠黏膜炎症,增强肠道屏障分化,治疗慢性肠道炎症性疾病^[63]。同时,MPD 对降低白细胞介素 IL-6、IL-8 和 TNF- α 水平具有累加性抑制作用,主要通过抑制 A549 细胞中 JNK 和 c-JUN 的激活来实现^[64]。综上所述,黄精多糖和黄精皂苷都能通过降低 IL-6、TNF- α 等抗炎活性指标的含量和抑制信号通路的表达,在机体发挥抗炎作用。

综上所述,黄精在糖代谢调节主要作用机制如图 1 所示。

2.2 脂质代谢调节

肝脏是物质代谢的主要器官,有利于维持血糖稳定,其可以通过多种途径调节血糖的稳定。在调节糖代谢的同时,肝脏在脂质的代谢中也是至关重要的一个中枢环节。大量的临床研究表明,T2DM 会出现血糖、甘油三酯、低密度脂蛋白升高和高密度脂蛋白降低的表现,长期的高血糖与肝脏损害互为因果。因此长期的高血糖与高血脂产生的糖脂毒性对肝脏可能会有损伤,肝脏损伤后则会加重代谢的紊乱。陈瑶等^[36]研究了黄精对 T2DM 大鼠糖脂代谢的影响,实验结果表明,经 6 周的中药干预后,中药组空腹血糖、动脉粥样硬化指数、总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白水平较模型组分别下降了 44.0%、49.4%、17.6%、28.1%、19.8%,高密度脂蛋白水平比模型组升高了 18.2%。中药组与西药组在降脂效果上无明显统计学差异($P>0.05$),这表明黄精与二甲双胍的降脂功效接近。结合肝脏病理切片油红 O 染色的结果,更能说明黄精可清除分解肝脏组织内多余的脂肪,具有良好的改善糖脂代谢的功效。糖尿病的血管病变是糖尿病常见的并发症之一,动脉粥样硬化指数可以用来衡量动脉硬化的程度。结果表明,黄精组的动脉硬化指数较模型组有明显下降,表明黄精可明显延缓动脉硬化的发生,降低心脑血管疾病及糖尿病并发症发生的危险性。在动脉粥样硬化模型中,黄精多糖的降血脂活性主要表现在对于总胆固醇、低密度脂蛋白和脂蛋白的调节。龚莉等^[65]是对内皮细胞(endothelial cells, ECS)进行研究,结果表明 PCP 不仅能对 ECS 的增殖有影响,还可以保护 ECS 免受由过氧化氢和脂多糖所诱导的损伤和凋亡。综上所述,PCP 可能通过改善主动脉形态功能、降低血脂活性和减少泡沫细胞数量等途径发挥抗动脉粥样硬化的作用。

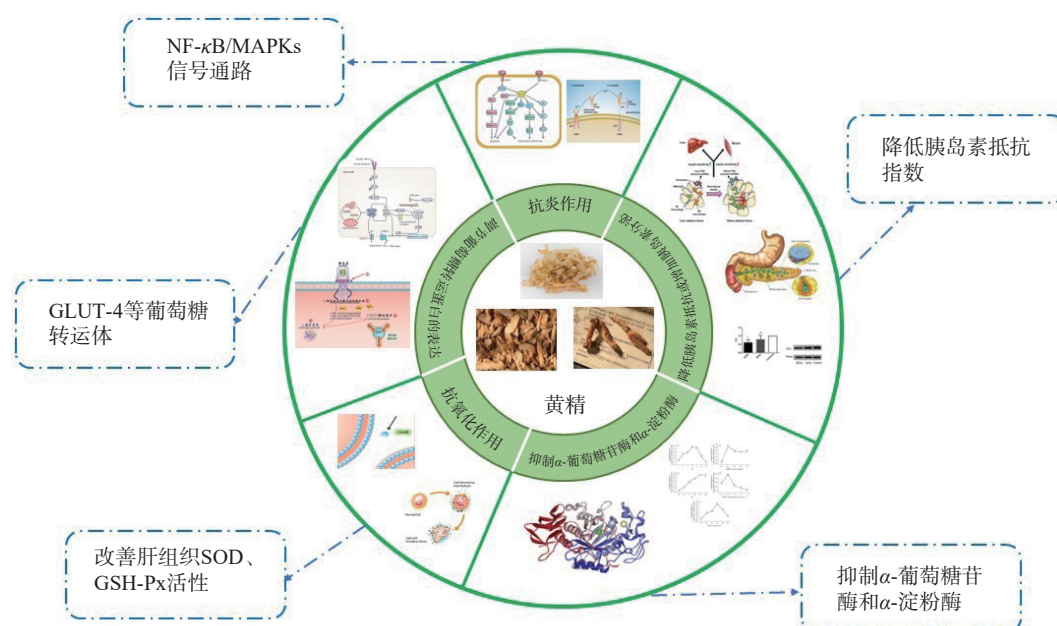


图 1 黄精在糖代谢调节类主要作用机制示意图

Fig.1 Schematic diagram of the main mechanism of action of *P. sibiricum* in the regulation of glucose metabolism

2.3 其他代谢调节

2.3.1 PI3K/AKT 信号通路 与阿尔茨海默 (AD)

PI3K/AKT 信号通路是细胞内抗凋亡, 参与细胞增殖、分化的重要信号转导通路。AKT 是 PI3K 信号通路下游靶分子, 在 PI3K 依赖激酶(PI3K-dependent kinase, PDK)的作用下, AKT 的磷酸化被激活调节细胞生长和迁移细胞的生存功能, 调控下游蛋白^[66]。近年来有研究证实, AD 的发展是与神经细胞的退化相关的脑部病理变化^[67-69]。另有体外研究表明, PCP 的预处理显著减少了大鼠 PC-12 细胞的凋亡率, 同时提高了 BAX/BCL-2 比值, 这有助于抑制细胞色素释放到细胞质和线粒体功能的混乱^[70]。此外, PCP 还能够抑制 A β 25-35 引起的 Caspase-3 活化, 并提高大鼠 PC-12 细胞中 P-AKT 蛋白的水平。因此, PCP 对 A β 25-35 诱导的大鼠 PC-12 细胞凋亡的保护作用可能与 PI3K/AKT 信号通路的增强有关, 这表明 PCP 可以减轻 A β 引起的 PC-12 细胞神经毒性。还有相关的研究证明, PCP 可能对 AD 有治疗效果^[71]。

2.3.2 5-HT1AR 信号通路与抑郁症 5-HT1AR 是一种 G 蛋白偶联受体, 存在于大脑皮层、海马等脑部区域。当受到激动剂的刺激时, 5-HT1AR 会激活并与 G α s 蛋白结合。这一相互作用通过 G 蛋白-AC-cAMP 信号传递途径, 使信号从细胞外传递到细胞内。这一过程会导致功能性蛋白的活性发生变化以及基因表达模式的改变, 从而实现对细胞功能的调控。与实验过程中的模型组相比, 黄精皂苷组抑郁大鼠海马 5-HT1AR、CREB、cAMP、PKA 表达均显著提高, 这表明黄精皂苷可以上调 5-HT1AR 介导的信号通路^[72]。在陈程等^[73] 研究中, 通过构建慢性应激抑郁大鼠模型, 验证得出黄精皂苷组可以增加大脑

皮层 5-HT1AR 表达, 显著减少 β -arrestin2、AKT 表达, 说明黄精皂苷对慢性应激抑郁大鼠大脑皮层中 5-HT1AR 介导的信号通路有调节作用。黄精多糖作为白藜芦醇的主要抗抑郁成分之一, 也对治疗抑郁症有较好的疗效。

2.3.3 p38/p53 信号通路 与抗肿瘤、抗癌症 癌症是致死率最高的一种疾病, 大多数抗癌的药物都来自植物。黄精对多种肿瘤和癌症有良好的缓解和预防作用。从黄精中提取纯化的同型异黄酮可抑制非小细胞肺癌 A549 细胞在细胞周期中间期的 G2/M 时期的增殖和阻滞, 表明同型异黄酮可能与由线粒体介导的细胞凋亡和 p38 丝裂原活化蛋白激酶相关^[74]。醇提纯化的同源异黄酮-1(5,7-二羟基-6-甲基-8-甲氧基-3-(4'-羟基苄基)-铬-4-酮)显著抑制肿瘤细胞生长并诱导 A549 细胞以剂量依赖性方式凋亡。其机制是通过调节线粒体半胱天冬酶依赖性和内质网应激信号通路, 激活 p38/p53 信号通路, 导致 G2/M 期阻滞, 从而诱导 A549 细胞凋亡^[75]。同型异黄酮-1 在预防和治疗癌症方面可能对体内其他信号通路有影响。因此, 为了减少对人体其他不必要的伤害, 我们应该更加关注不同加工方法对同型异黄酮-1 活性的影响。现在越来越多的黄精抗肿瘤和抗癌机制主要体现在对肿瘤的细胞增殖、转移的抑制和肿瘤细胞凋亡的促进等方面。

黄精在代谢调节方面能发挥非常重要作用, 在各种调控作用机制中, PI3K/AKT 信号通路是其中一条非常重要的信号通路。在糖代谢方面, 黄精多糖可以通过激活 PI3K/AKT 通路信号有效改善小鼠肝脏中的胰岛素抵抗, 从而能够调节糖代谢。黄精多糖还可以通过激活 PI3K-Akt-GSK-3 β -GSY 等信号通路来改善机体血糖水平。在脂质代谢层面, 黄精多糖可

能通过增强 P13K/AKT 信号通路与对 A β 25-35 诱导的 PC-12 细胞凋亡的保护效果相关,由此说明黄精多糖可以降低因 A β 诱导的 PC-12 细胞神经毒性。除此之外, TNF- α 和 IL-6 是黄精在作用机制调控过程中的重要信号因子。在糖代谢中,对 TNF- α 和 IL-6 的抑制能起到抗炎的作用。通过减少肝脏中 IL-6 和 TNF- α 基因的表达水平,可以有效抑制肝脏中脂质的氧化过程。这种作用有助于调控与脂质代谢相关的基因和蛋白的表达,因此对于预防和治疗高脂血症具有一定的益处。

综上所述,黄精在脂代谢和其他代谢调节主要作用机制如图 2 所示。

3 黄精健康产品开发现状分析

黄精入口味道口感甘甜、无异味,质地滋润而不粗糙,极具风味和适口性。在全国各地的黄精产区,人们习惯将鲜黄精蒸熟食用,或者将黄精制粉掺入主食中,以丰富食物的口感和营养。民间传统上还通过制作黄精菜肴和药膳来充分发挥黄精的食疗效果。因此,将黄精开发成大众易于接受的食物,不仅能够满足人们对美味的需求,还有望极大地促进黄精产业的发展,推动其更广泛的应用^[76]。

3.1 黄精类食品研发现状

黄精根茎富含非淀粉糖类成分,其肉质肥厚,口感甘甜。除了常见的煮粥、制成蜜饯和煲汤的用法外,黄精还可以作为一种杂粮食用。相对于其他主要以淀粉为主的谷类食物,黄精的营养成分中淀粉含量较低,这使得它成为糖尿病患者较为适宜的食材^[77]。目前,黄精已经成功加工出多种产品,包括各类黄精饮料和黄精食品(图 3)。张松等^[15]成功地使用黄精粉、薏仁粉、面粉等原料进行加工,研发出一款口感良好、具有出色感官特点的产品—黄精薏仁馒头。这项创新为未来的推广和开发提供了有力的支持,不

仅在口感上有所突破,同时也充分利用了黄精和薏仁的营养特性。这种新型馒头的独特风味和潜在的营养价值,为市场上研发更健康的黄精类食品提供了更多选择。王杰等^[78]通过将黄精多糖添加到酸奶中,成功制作了一款独特的产品—黄精酸奶,为酸奶赋予了全新的品质特色。这种组合不仅提升了酸奶的口感和风味,还为消费者带来了一种更为丰富和有趣的食品体验。封铎^[79]以黄精作为主要原料,成功研发出黄精酱。黄精酱的制作不仅提高了食用黄精的便捷性,还为消费者提供了一种新颖而美味的调味选择,丰富了市场上的食品品类。

在国家知识产权局专利检索及分析系统中进行查询,以“黄精”为关键词进行检索,黄精在食品领域开发的产品专利共 1755 项。目前市场上黄精产品主要有黄精丸、黄精茶、黄精酒、黄精酥、黄精糖等。黄精属于药食同源植物,因此,其产品开发可以在保健功能基础上结合现代药品和食品加工技术,开发更多功能成分明确、食用方便的药品或食品。例如,黄精功能性食品的研发与生产可利用食品企业优势从食品产业链上生产类似“酸枣糕”的黄精糕、类似“王老吉”的黄精功能性饮料、类似“娃哈哈”的黄精乳饮品,还可生产黄精饼、黄精粉、果脯、蜜饯、罐头等。《抱朴子内篇》中对黄精称赞道:“服其花胜其实,服其实胜其根”^[80]。黄精全身价值较高,而目前主要关注于其地下根茎的药用和食用应用,而对其花、叶、果实等非药用部位的综合利用却相对较少。一些研究表明,非药用部位的黄精,如花、嫩芽、嫩叶,含有与地下根茎相似的化学成分,具备良好的生物活性。为这些非药用部位的综合利用提供了巨大的开发潜力和广阔的应用前景。例如,由花、嫩芽、嫩叶制成的花茶、嫩茶富含多种生物活性成分,被认为具有抗疲劳、抗氧化、降脂、降糖等多种功效^[81]。因

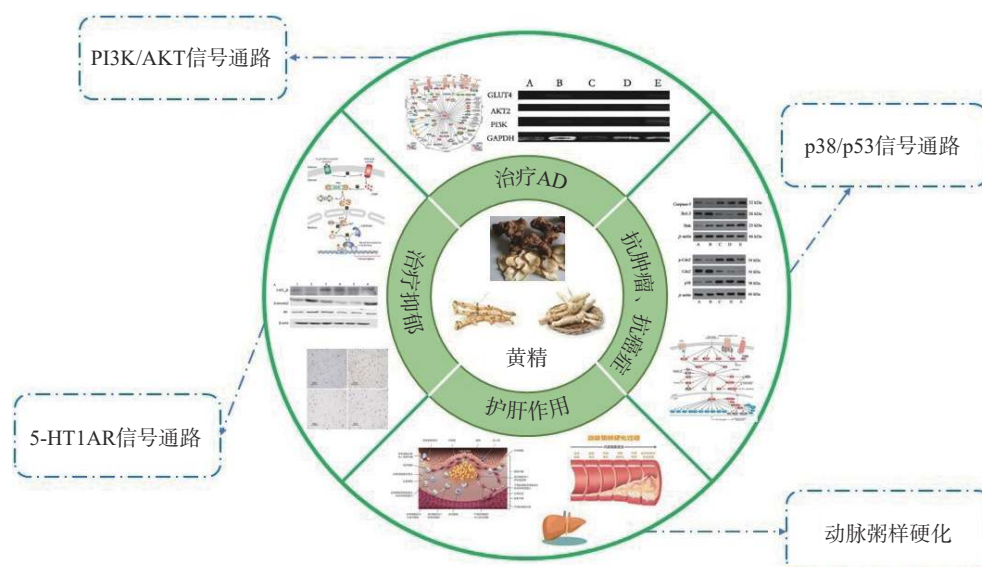


图 2 黄精在脂代谢和其他代谢调节类作用机制示意图

Fig.2 Schematic diagram of the mechanism of action of *P. sibiricum* in the regulation of lipid and others

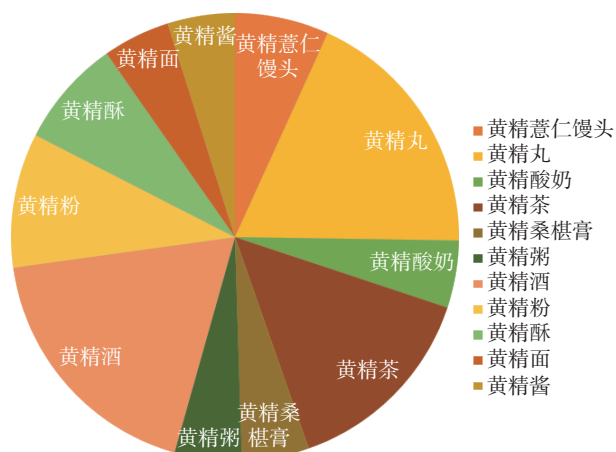


图 3 黄精在食品领域开发的产品分类情况

Fig.3 Classification of products developed by *Polygonatum* in the food field

此,充分挖掘黄精全身各个部位的潜在价值,有望为其更广泛的应用领域带来新的可能性。

3.2 黄精相关专利及其他产品开发现状

目前,全球共有 583 件与黄精相关的专利,其中 73% 是专利申请,27% 是授权专利,只有不到 0.01% 是有限专利,其中,美国(37%)和中国(34%)的专利数量最多,占总量的 71%。黄精相关专利明细如图 4 所示^[82]。在产品分类方面,这些专利在许多领域具有广泛的应用潜力,其中包括抗衰老制剂(16%)、膳食类制剂(11%)、皮肤护理类制剂(9%)、抗肿瘤药物(10%)、降糖类药物(8%)、皮肤类药物(12%)、化妆品类(8%)、中草药类(9%)、护发类(8%)、医疗器械(7%)和其他(2%),如图 5 所示^[82]。目前,黄精已经在许多领域实现了实用化生产和销售饮料、泡腾片、外用敷料、饼干、胶囊药物、保健品等,具有改善睡眠质量,辅助改善记忆力,降低血糖,治疗贫血和免疫力调节等功效。总体而言,黄精产品的开发还处于起步阶段,主要是开发药物和制剂类,还可在皮肤护理、化妆品、医疗器械等方面进行发展。

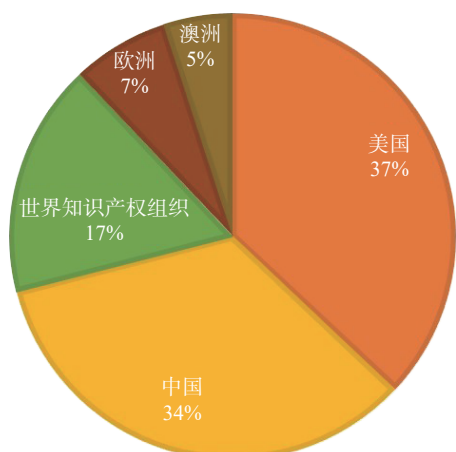


图 4 黄精的相关专利数量分布情况

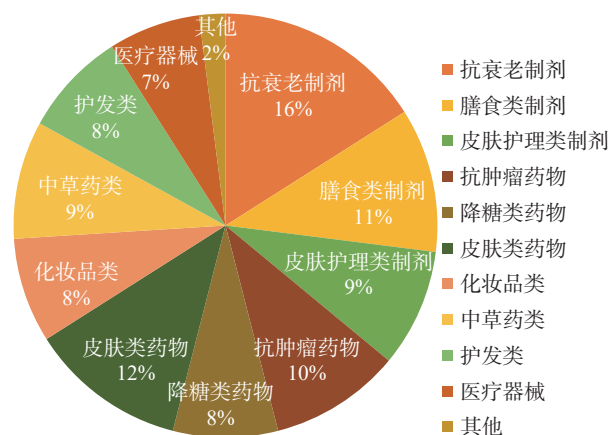
Fig.4 Distribution of the number of patents related to *Polygonatum*

图 5 黄精在多领域开发的产品分类情况

Fig.5 Classification of products developed by *Polygonatum* in various fields

4 结论与展望

黄精产业是“健康中国”战略背景下的大健康产业朝阳产业。本文中系统阐明黄精在糖脂代谢方面的作用并分析其作用机制。众多研究表明黄精具有抗氧化、降血糖、抗炎症等作用,能改善糖尿病,降血脂和抗动脉粥样硬化作用,护肝等病症。这为黄精代谢类产品开发奠定基础,为全面健康的开发黄精产业资源提供支撑和参考依据。

黄精作为我国历史悠久的“药食同源”植物,含有大量黄精多糖、黄酮、黄精皂苷、生物碱和多酚等活性成分。《中国药典》规定,入药的黄精品种大多是黄精、滇黄精和多花黄精,仅占黄精属植物种类的一小部分。目前,黄精在农业、医疗保健、食品和化妆品等多个领域的开发都取得了显著的进展。市场对黄精的需求量巨大,以黄精作为主要原料的食品产品种类繁多,包括黄精酒、黄精茶、黄精速溶冲剂、黄精压片糖果、黄精口服液等。结合近年来以黄精为主要原料申报的专利产品表明,黄精作为药食同源物品正广泛应用于保健食品的开发中,涵盖了黄精酒、黄精糖、黄精饮料、黄精酸奶、黄精茶干、黄精酥、黄精面等多类产品。目前,大多数黄精产品仍处于初加工阶段,技术含量相对较低,研发水平不够高,创新能力较弱。

黄精药理活性显著,原料需求量正随着新产品的研发问世逐年增加。但黄精野生资源有限,难以满足市场需求。为扩大黄精产业未来发展,相关人员有必要加强对黄精进行规范化种植,对黄精进行深入研究,开发更多黄精食品精加工产品,使产品种类丰富,产品质量提高,产业结构完善,才能解决黄精产业中存在的诸多问题。黄精在未来作为保健食品的开发建议从整体的角度研究黄精的功效、口感、消化和吸收效率。此外,以黄精为原料的产品将扩展到医疗定制餐饮、食品和基于全材料利用的处方生产。

License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 王若男, 厉荣玉, 郑鹏, 等. 黄精多糖微生物发酵提取、表征及其抗氧化活性分析[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(9): 54–62. [WANG Ruonan, LI Rongyu, ZHENG Peng, et al. Extraction, characterization and antioxidant activity of *Polygonum* polysaccharide by microbial fermentation[J]. Chinese Food Additives, 2022, 33(9): 54–62.]
- [2] 郑玲艳, 马小龙, 孙艺琦. 药食同源黄精的资源分布与开发应用现状[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(8): 1679–1684. [ZHENG Lingyan, MA Xiaolong, SUN Yiqi. Resource distribution and development and application of homologous *Polygonatum* in medicine and food[J]. Zhejiang Agricultural Sciences, 2022, 63(8): 1679–1684.]
- [3] 李彦力, 苏艺, 袁晚晴, 等. 黄精主要活性成分、功能及其作用机制研究进展[J]. 现代食品科技, 2023, 39(12): 354–363. [LI Yanli, SU Yi, YUAN Wanqing, et al. Research progress of main active ingredients, function and mechanism of action of *Polygonum officinalis*[J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(12): 354–363.]
- [4] 阙灵, 杨光, 李颖, 等. 《既是食品又是药品的物品名单》修订概况[J]. 中国药学杂志, 2017, 52(7): 521–524. [QUE Ling, YANG Guang, LI Ying, et al. Overview of the revision of the list of items that are both food and medicine[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2017, 52(7): 521–524.]
- [5] 张凯, 张昭, 范永芳, 等. 药食同源药材黄精玉竹营养及生物活性成分分析[J]. 中国现代中药, 2022, 24(8): 1463–1472. [ZHANG Kai, ZHANG Zhao, FAN Yongfang, et al. Analysis on nutrition and bioactive components of chinese medicinal and edible homologous herbs *Polygonatum* Yuzhu[J]. Modern Chinese Medicine, 2022, 24(8): 1463–1472.]
- [6] CUI X, WANG S, CAO H, et al. A review: The bioactivities and pharmacological applications of *polygonatumsibiricum* polysaccharides[J]. Molecules, 2018, 23(5): 1888.
- [7] 马娟, 张怡雯, 董晨阳, 等. 不同产地黄精的化学成分及体外降血糖功效的比较[J]. 现代食品科技, 2022, 38(8): 116–126. [MA Juan, ZHANG Yiwen, DONG Chenyang, et al. Comparison of chemical composition and *in vitro* hypoglycemic effect of *Polygonatum* from different regions[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(8): 116–126.]
- [8] 周艺璇, 陈如一, 李芬芬, 等. 基于网络药理学探讨黄精防治痛风的机制[J]. 中国现代应用药学, 2023, 40(2): 154–162. [ZHOU Yixuan, CHEN Ru, LI Fenfen, et al. Study on mechanism of *Polygonatum* in prevention and treatment of gout based on network pharmacology[J]. Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy, 2023, 40(2): 154–162.]
- [9] 牟小钢, 张利民, 杨圣祥, 等. 泰山野生黄精的组培快繁技术研究[J]. 山东农业科学, 2010(1): 12–13, 17. [MOU Xiaolin, ZHANG Limin, YANG Shengxiang, et al. Study on tissue culture and rapid propagation technology of wild *Polygonatum* of Taishan[J]. Shandong Agricultural Science, 2010(1): 12–13, 17.]
- [10] 易思荣, 全健, 李品明, 等. 初步分析中药材黄精生产发展面临的问题及对策[J]. 中华中医药杂志, 2017, 32(11): 5007–5010. [YI Silong, QUAN Jian, LI Pinming, et al. A preliminary analysis of the problems and countermeasures in the production and development of *Polygonatum*[J]. Chinese Journal of traditional Chinese Medicine, 2017, 32(11): 5007–5010.]
- [11] 张从敬, 陈子怡, 牟欣尚, 等. 黄精产业发展现状与趋势[J]. 农业科技通讯, 2021(3): 10–12. [ZHANG Congjing, CHEN Ziyi, MOU Xinshang, et al. The present situation and trend of *Polygonatum* industry[J]. Agricultural Science and Technology Newsletter, 2021(3): 10–12.]
- [12] 姜程曦, 洪涛, 熊伟. 黄精产业发展存在的问题及对策研究[J]. 中草药, 2015, 46(8): 1247–1250. [JIANG Chengxi, HONG Tao, XIONG Wei. Study on the problems and countermeasures in the development of *Polygonatum* industry[J]. Chinese Herbal Medicine, 2015, 46(8): 1247–1250.]
- [13] 宋艺君, 郭涛, 李积秀. 黄精果酒主发酵工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(20): 108–112. [SONG Yijun, GUO Tao, LI Jixiu. Study on the main fermentation technology of *Polygonatum* wine[J]. Food Research and Development, 2018, 39(20): 108–112.]
- [14] 苏一. 玛咖无糖型压片糖果配方研究[J]. 现代食品, 2017(15): 125–128. [SU Yi. Study on the formula of Maca sugar-free tablet-pressing candy[J]. Modern Food, 2017(15): 125–128.]
- [15] 张松, 张睿, 张瑛, 等. 黄精薏仁馒头加工工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(19): 110–116. [ZHANG Song, ZHANG Rui, ZHANG Ying, et al. Study on the processing technology of steamed bread with *Polygonatum* Coix seed[J]. Food Research and Development, 2018, 39(19): 110–116.]
- [16] 李慧, 朱海燕. 黄精食品的开发及发展探讨[J]. 农产品加工, 2019(15): 86–88. [LI Hui, ZHU Haiyan. Discussion on the development and development of *Polygonatum* food[J]. Processing of Agricultural Products, 2019(15): 86–88.]
- [17] 张凯. 黄精属植物化学成分的比较研究[D]. 北京: 北京协和医学院(药用植物研究所), 2022. [ZHANG Kai. Comparative study on chemical constituents of *Polygonum* plants[D]. Beijing: Peking Union Medical College (Institute of Medicinal Plants), 2022.]
- [18] 汪娟, 梁爽, 陈应鹏, 等. 黄精属植物非皂苷类化学成分研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2016, 18(1): 74–78. [WANG Juan, LIANG Shuang, CHEN Yingpeng, et al. Research progress on the non-saponins of *Polygonum* plants[J]. Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2016, 18(1): 74–78.]
- [19] 陈辉, 冯珊珊, 孙彦君, 等. 3种药用黄精的化学成分及药理活性研究进展[J]. 中草药, 2015, 46(15): 2329–2338. [CHEN Hui, FENG Shanshan, SUN Yanjun, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of three medicinal *Polygonatum*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2015, 46(15): 2329–2338.]
- [20] 吴柳花, 吕圭源, 李波, 等. 黄精对长期超负荷游泳致阴虚内热模型大鼠的作用研究[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(10): 1886–1891. [WU Liuhua, LU Guiyuan, LI Bo, et al. Study on the effect of Rhizoma *Polygonatum* on Yin deficiency internal heat model rats induced by long-term overload swimming[J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine, 2014, 39(10): 1886–1891.]
- [21] 王艳, 董鹏, 金晨钟, 等. 黄精多糖组成及其抗氧化活性分析[J]. 基因组学与应用生物学, 2019, 38(5): 2191–2199. [WANG Yan, DONG Pen, JIN Chenzhong, et al. Analysis of polysaccharide composition and antioxidant activity of *Polygonatum*[J]. Genomics and Applied Biology, 2019, 38(5): 2191–2199.]
- [22] 刘柳, 郑芸, 董群, 等. 黄精中的多糖组分及其免疫活性[J]. 中草药, 2006(8): 1132–1134. [LIU Liu, ZHENG Yun, DONG Qun, et al. Polysaccharide components and immune activity of *Polygonatum*[J]. Chinese Herbal Medicine, 2006(8): 1132–1134.]

- [23] 郭信东,袁小凤,杨昌贵,等.黄精酒制后活性成分的变化研究[J].*时珍国医国药*,2022,33(6):1366–1368. [GUO Xindong, YUAN Xiaofeng, YANG Changgui, et al. Study on the changes of active components of *Polygonatum* after production[J]. *Shi Zhen-guo Medicine*, 2022, 33(6): 1366–1368.]
- [24] LIU Y, LI T, CHEN H, et al. Structural characterization and osteogenic activity *in vitro* of novel polysaccharides from the rhizome of *Polygonatum sibiricum*[J]. *Food Funct*, 2021, 12(14): 6626–6636.
- [25] 杨崇仁,张影,王东,等.黄精属植物甾体皂苷的分子进化及其化学分类学意义[J].*云南植物研究*,2007(5):591–600. [YANG Chongren, ZHANG Ying, WANG Dong, et al. Molecular evolution and chemotaxonomic significance of steroidal saponins in *Polygonum* plants[J]. *Plant Diversity*, 2007(5): 591–600.]
- [26] ZHANG Hongyang, HU Weicheng, MA Guoxu, et al. A new steroidal saponin from *Polygonatum sibiricum*[J]. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2018, 20(6): 586–592.
- [27] WANG Z, ZHOU J, JU Y, et al. Effects of two saponins extracted from the *Polygonatum zanlanscianense* pamp on the human leukemia (HL-60) cells[J]. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 2001, 24(2): 159–162.
- [28] 高嫣.多花黄精的活性成分及药理作用研究进展[J].*福建农业科技*,2021,52(8):39–44. [GAO Yan. Research progress on active components and pharmacological action of *Polygonatum*[J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2021, 52(8): 39–44.]
- [29] 范佐旺,柯晓燕,陈靓雯,等.多花黄精的化学成分及药理研究进展[J].*中医药信息*,2020,37(5):119–126. [FAN Zuowang, KE Xiaoyan, CHEN Liangwen, et al. Advances in chemical components and pharmacological studies of *Polygonatum*[J]. *Information of Traditional Chinese Medicine*, 2020, 37(5): 119–126.]
- [30] 刘爽,胡舒婷,贾巧君,等.黄精的化学组成及药理作用的研究进展[J].*天然产物研究与开发*,2021,33(10):1783–1796. [LIU Shuang, HU Shuting, JIA Qiaojun, et al. Research progress on chemical composition and pharmacological action of *Rhizoma Polygonatum*[J]. *Research and Development of Natural Products*, 2021, 33(10): 1783–1796.]
- [31] 任洪民,张金莲,邓亚玲,等.基于UPLC-Q-TOF-MS的多花黄精酒制前后化学成分分析[J].*中国实验方剂学杂志*,2021,27(4):110–121. [REN Hongmin, ZHANG Jinlian, DENG Yaling, et al. Analysis of chemical constituents of *Polygonatum* wine before and after production based on UPLC-Q-TOF-MS[J]. *Chinese Journal of Experimental Pharmaceutics*, 2021, 27(4): 110–121.]
- [32] 叶碧欢,杨阳,朱杰丽,等.基于比较转录组学的多花黄精黄酮类化合物合成基因表达分析[J].*食品与生物技术学报*,2022,41(4):84–92. [YE Bihuan, YANG Yang, ZHU Jieli, et al. Analysis of synthetic gene expression of flavonoids in *Polygonatum* multi-florum based on comparative transcriptome[J]. *Journal of Food and Biotechnology*, 2022, 41(4): 84–92.]
- [33] 李友元,邓洪波,张萍,等.黄精多糖对糖尿病模型小鼠糖代谢的影响[J].*中国临床康复*,2005(27):90–91. [LI Youyuan, DENG Hongbo, ZHANG Ping, et al. Effects of *Polygonum* polysaccharide on glucose metabolism in diabetic mice[J]. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*, 2005(27): 90–91.]
- [34] 梁焕焕,贾安全,朱灵芝,等.不同种源多花黄精炮制过程化学成分的变化[J].*南方林业科学*,2022,50(1):1–4,18. [LIANG Huanhuan, JIA Quanquan, ZHU Lingzhi, et al. Changes of chemical constituents in the processing of *Polygonatum* from different provenances[J]. *Southern Forestry Science*, 2022, 50(1): 1–4,18.]
- [35] 陶爱恩,张晓灿,杜泽飞,等.黄精属植物中黄酮类化合物及其药理活性研究进展[J].*中草药*,2018,49(9):2163–2171. [TAO Aien, ZHANG Xiaocan, DU Zefei, et al. Advances in the study of flavonoid compounds and their pharmacological activities in *Polygonatum*[J]. *Chinese Herbal Medicine*, 2018, 49(9): 2163–2171.]
- [36] 陈瑶.黄精对2型糖尿病大鼠糖脂代谢及TNF- α 水平影响的研究[D].北京:北京中医药大学,2018. [CHEN Yao. Effects of *Polygonatum* on glucose and lipid metabolism and TNF- α level in type 2 diabetic rats[D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2018.]
- [37] 贾璐,石洁,段志倩,等.黄精多糖对高脂饲料诱发糖尿病小鼠糖代谢功能的影响[J].*中国医药导报*,2017,14(8):24–28. [JIA Lu, SHI Jie, DUAN Zhiqian, et al. Effects of *Polygonum* polysaccharide on glucose metabolism in diabetic mice induced by high fat diet[J]. *China Medical Herald*, 2017, 14(8): 24–28.]
- [38] 孙加琳,荆凡波,徐文,等.胰岛素受体底物的功能及其基因多态性与2型糖尿病的关系[J].*中国药房*,2018,29(3):369–374. [SUN Jialin, JING Fanbo, XU Wen, et al. Relationship between insulin receptor substrate function and gene polymorphism and type 2 diabetes mellitus[J]. *Chinese Pharmacy*, 2018, 29(3): 369–374.]
- [39] SIMPSON I A, CUSHMAN S W. Hormonal regulation of mammalian glucose transport[J]. *Annual Review of Biochemistry*, 1986, 55: 1059–1089.
- [40] GURLEY J M, GRIESEL B A, OLSO. In alncreased skeletal muscle GLUT4 expression in obese mice after voluntary wheel running exercise is posttranscriptional[J]. *Diabetes*, 2016, 65(10): 2911–2919.
- [41] 金实,刘聪,任剑明,等. GLUT4 mRNA 在糖尿病大鼠骨骼肌及脂肪组织中的表达及意义[J].*山东医药*,2011,51(23):27–28. [JIN Shi, LIU Cong, REN Jianming, et al. Expression and significance of GLUT4mRNA in skeletal muscle and adipose tissue of diabetic rats[J]. *Shandong Medical Journal*, 2011, 51(23): 27–28.]
- [42] 姚勇,屈阳,朱旅云,等.脂联素与2型糖尿病血管病变的关系[J].*新乡医学院学报*,2011,28(1):89–91,94. [MU Yong, QU Yang, ZHU Luyun, et al. The relationship between adiponectin and vasculopathy in Type 2 diabetes mellitus[J]. *Journal of Xinxiang Medical University*, 2011, 28(1): 89–91,94.]
- [43] HOSSAIN U, DAS A K, GHOSH S, et al. An overview on the role of bioactive α -glucosidase inhibitors in ameliorating diabetic complications[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2020, 145: 111738.
- [44] GOVERNA P, BAINI G, BIRGONETTI V, et al. Phytotherapy in the management of diabetes: A review[J]. *Molecules*, 2018, 23(1): 105.
- [45] PADHI S, NAYAK A K, BEHERA A. Type II diabetes mellitus: a review on recent drug based therapeutics[J]. *Biomedicine Pharmacotherapy*, 2020, 1311: 10708.
- [46] 陆建美,闫鸿丽,王艳芳,等.滇黄精及其活性成分群对 α -糖苷酶活性抑制作用研究[J].*中国现代中药*,2015,17(3):200–203. [LU Jianmei, YAN Hongli, WANG Yanfang, et al. Study on the inhibitory effect of *Polygonatum kingianum* and its active constituents on α -glucosidase activity[J]. *Chinese Modern Chinese Medicine*, 2015, 17(3): 200–203.]
- [47] 包瑞敏,张智,杜亚飞,等.黄精总皂苷提取工艺优化及其对 α -淀粉酶及 α -葡萄糖苷酶抑制活性[J].*食品工业科技*,2020,41(16):163–168,175. [BAO Ruimin, ZHANG Zhi, DU Yafei, et al. Optimization of extraction process of total saponins and its inhibitory activity on α -amylase and α -glucosidase[J]. *Science and*

- Technology of Food Industry, 2020, 41(16): 163–168, 175.]
- [48] HE Yanan, CHEN Zhejie, NIE Xin, et al. Recent advances in polysaccharides from edible and medicinal *Polygonati rhizoma*: From bench to market[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 195: 102–116.
- [49] LI Ruoshi, TAO Aien, YANG Runmei, et al. Structural characterization, hypoglycemic effects and antidiabetic mechanism of a novel polysaccharides from *Polygonatum kingianum* Coll. et Hemsl [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2020, 131: 110687.
- [50] YANG Hongjie, ZHANG Xianhao. Polysaccharides from *Polygonatum odoratum* strengthen antioxidant defense system and attenuate lipid peroxidation against exhaustive exercise-induced oxidative stress in mice[J]. Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 2017, 16(4): 795.
- [51] HANCHANG W, KHAMCHAN A, WONGMANEE N, et al. Hesperidin ameliorates pancreatic β -cell dysfunction and apoptosis in streptozotocin-induced diabetic rat model[J]. Life Sci, 2019, 235: 116858.
- [52] GURZOV E N, KE P C, AHIGREN U, et al. Novel strategies to protect and visualize pancreatic β -cells in diabetes[J]. Trends Endocrinol Metab, 2020, 31(12): 905–917.
- [53] WU X, HUANG L T, ZHOU X L, et al. Curcumin protects cardiomyopathy damage through inhibiting the production of reactive oxygen species in type 2 diabetic mice[J]. Biochem Biophys Res Commun, 2020, 5301(1): 15–21.
- [54] 曾立, 向荣, 张运良, 等. 黄精多糖对糖尿病小鼠的降血糖作用及机制[J]. 中成药, 2022, 44(9): 2989–2994. [ZENG Li, XIANG Rong, ZHANG Yunliang, et al. Hypoglycemic effect and mechanism of *Polygonatum japonicum* polysaccharide on diabetic mice[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2022, 44(9): 2989–2994.]
- [55] 舒祥兵, 操颖, 顾晔, 等. 强肝胶囊促进肝糖原合成降低大鼠高血糖的机制研究[J]. 上海中医药大学学报, 2021, 35(3): 45–51. [SHU Xiangbing, CAO Ying, GU Ye, et al. Study on mechanism of Qianggan Capsule promoting glycogen synthesis and reducing hyperglycemia in rats[J]. Journal of Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, 2021, 35(3): 45–51.]
- [56] 黎健民. 黄精多糖对力竭训练小鼠肝组织损伤的保护作用[J]. 基因组学与应用生物学, 2016, 35(5): 1036–1041. [LI Jianming. The protective effect of *Polyspermum flaviflorum* polysaccharide on liver tissue injury in exhaustive training mice[J]. Genomics and Applied Biology, 2016, 35(5): 1036–1041.]
- [57] LI L, THAKUR K, LIAO B, et al. Antioxidant and antimicrobial potential of polysaccharides sequentially extracted from *Polygonatum cyrtoneura* Hua[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 114.
- [58] MA Wanjun, WEI Shanshan, PENG Weijun, et al. Antioxidant effect of polysaccharides in D-galactose-induced heart aging mice[J]. BioMed Research International, 2021, 2021.
- [59] WANG Wenjun, LI Shang, SONG Meixia. Polygonatum sibiricum polysaccharide inhibits high glucose-induced oxidative stress, inflammatory response, and apoptosis in RPE cells[J]. Journal of Receptor and Signal Transduction Research, 2022, 42(2): 189–196.
- [60] CHEN Zherui, ZHU Baojie, CHEN Zhixin, et al. Effects of steam on polysaccharides from *Polygonatum cyrtoneura* based on saccharide mapping analysis and pharmacological activity assays[J]. Chinese Medicine, 2022, 17(1): 97.
- [61] 陶梦婷, 李丽霞, 王怀莹, 等. 黄精、多花黄精、滇黄精的多糖组分及其抗炎、抗氧化作用比较[J]. 中成药, 2023, 45(4): 1367–1372. [TAO Mengting, LI Lixia, WANG Huaiying, et al. Comparison of Polysaccharide components and their anti-inflammatory and antioxidant effects of *Polygonum flavescens*, *Polygonum flavescens* and *didianum flavescens*[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2023, 45(4): 1367–1372.]
- [62] 李思媛, 崔玉顺, 李新星, 等. 黄精皂苷对脂多糖诱导 RAW264.7 细胞炎症模型的抗炎作用及其机制[J]. 中成药, 2021, 43(10): 2659–2665. [LI Siyuan, CUI Yushun, LI Xinxing, et al. Effects of Polygonin on inflammation of RAW264.7 cells induced by lipopolysaccharide and its mechanism[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2021, 43(10): 2659–2665.]
- [63] ZHANG Rongli, GILBERT Shila, YAO Xinsheng, et al. Natural compound methyl protodioscin protects against intestinal inflammation through modulation of intestinal immune responses[J]. Pharmacology Research & Perspectives, 2015, 3(2): e00118.
- [64] HEE J L, JAI H L, WOO C L, et al. Methyl protodioscin from the roots of asparagus cochinchinensis attenuates airway inflammation by inhibiting cytokine production[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine (eCAM), 2015, 2015: 640846.
- [65] 龚莉, 向大雄, 隋艳华. 黄精心血管活性部位的筛选[J]. 中药新药与临床药理, 2007(4): 301–302, 331. [GONG Li, XIANG Daxiong, SUI Yanhua. Screening of vasoactive sites of *Polygonatum* [J]. Traditional Chinese Drug Research and Clinical Pharmacology, 2007(4): 301–302, 331.]
- [66] 刘洁, 潘嘉, 张力涵. 基于 PI3K/AKT/GSK3 β 信号通路探讨“还神至圣汤”对 AD 大鼠学习记忆的影响[J]. 中药与临床, 2023, 14(5): 56–59, 70. [LIU Jie, PAN Jia, ZHANG Lihan. To explore the effect of "Huanshen Zhisheng decoction" on learning and memory of AD rats based on PI3K/AKT/GSK3 β signal pathway[J]. Traditional Chinese Medicine and Clinical Practice, 2023, 14(5): 56–59, 70.]
- [67] LESLIE C, ELIEZER M. Molecular mechanisms of neurodegeneration in Alzheimer's disease[J]. Human Molecular Genetics, 2010, 19(R1).
- [68] MACCIONI B R, MUÑOZ P J, BARBEITO L. The molecular bases of alzheimer's disease and other neurodegenerative disorders[J]. Archives of Medical Research, 2001, 32(5): 367–381.
- [69] 程肖蕊, 周文霞, 张永祥. 阿尔茨海默病发病机制及防治药物研究思考[J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2017, 31(12): 1129–1141. [CHENG Xiaorui, ZHOU Wenxia, ZHANG Yongxiang. Research thoughts on pathogenesis and prevention of Alzheimer's disease[J]. Chinese Journal of Pharmacology and Toxicology, 2017, 31(12): 1129–1141.]
- [70] ZONG Shaohui, ZENG Gaofeng, ZOU Bin, et al. Effects of *Polygonatum sibiricum* polysaccharide on the osteogenic differentiation of bone mesenchymal stem cells in mice[J]. International Journal of Clinical and Experimental Pathology, 2015, 8(6): 6169–80.
- [71] 公惠玲, 李卫平, 尹艳艳, 等. 黄精多糖对链脲菌素糖尿病大鼠降血糖作用及其机制探讨[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(9): 1149–1154. [GONG Huiling, LI Weiping, YIN Yanyan, et al. Study on the hypoglycemic effect and mechanism of *Polygonatum sibiricum* polysaccharides on streptococcin diabetic rats[J]. Chinese Journal of Chinese Materia Medica, 2009, 34(9): 1149–1154.]
- [72] 魏浩洁, 徐维平, 魏伟, 等. 黄精皂苷对慢性应激抑郁大鼠海马 5-HT1AR/cAMP/PKA 信号通路的影响[J]. 安徽医科大学学报, 2012, 47(5): 522–526. [WEI Haojie, XU Weiping, WEI Wei,

- et al. Effects of saponin of *Rhizoma Polygonati* on 5-HT_{1A}/cAMP/PKA signaling pathway in hippocampus of chronic stress-induced depression rats[J]. *Journal of Anhui Medical University*, 2012, 47(5): 522–526.]
- [73] 陈程, 胡婷婷, 黄莺, 等. 黄精皂苷对慢性应激抑郁大鼠大脑皮层 5-HT_{1A}R- β -arrestin2-akt 信号通路的影响[J]. 安徽医科大学学报, 2013, 48(3): 262–266. [CHEN Cheng, HU Tingting, HUANG Ying, et al. Effects of saponin of *Rhizoma polygonati* on 5-HT_{1A}R- β -arrestin2-akt signaling pathway in cerebral cortex of rats with chronic stress depression[J]. *Journal of Anhui Medical University*, 2013, 48(3): 262–266.]
- [74] 宁德利, 刘军, 李敏, 等. 玉竹高异黄酮抑制人肺癌细胞 A549 增殖的作用及机制[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(19): 174–179. [[NING Deli, LIU Jun, LI Min, et al. Inhibitory effect and mechanism of hyperisoflavones in human lung cancer cells A549[J]. *Chinese Journal of Experimental Formulae*, 2017, 23(19): 174–179.]
- [75] NING Deli, JIN Ming, XÜ Tao, et al. Homoisoflavanone-1 isolated from *Polygonatum odoratum* arrests the cell cycle and induces apoptosis in A549 cells[J]. *Oncology letters*, 2018, 16(3): 3545–3554.
- [76] 杨德, 薛淑静, 卢琪, 等. 黄精药理作用研究进展及产品开[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(21): 5–9. [YANG de, XUE Shujing, LU Qi, et al. *Polygonatum* Pharmacology for research and development and product development[J]. *Hubei Agricultural Science*, 2020, 59(21): 5–9.]
- [77] 斯金平, 朱玉贤. 黄精——一种潜力巨大且不占农田的新兴优质杂粮[J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(11): 1477–1484. [SHI Jinping, ZHU Yuxian. *Rhizoma polygonatum*——a new high-quality miscellaneous grain with great potential and does not occupy farmland[J]. *Chinese Science: Life Science*, 2021, 51(11): 1477–1484.]
- [78] 王杰, 江润生, 王秋艳, 等. 黄精多糖酸奶的研制及其品质分析[J]. 农产品加工, 2019(1): 4–9. [WANG Jie, JIANG Runsheng, WANG Qiuyan, et al. Preparation and quality analysis of *Polygonatum* polysaccharide yoghurt[J]. *Processing of Agricultural Products*, 2019(1): 4–9.]
- [79] 封铎. 黄精酱加工工艺及品质研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019. [FENG Hua. Study on processing technology and quality of *Polygonatum* Sauce[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2019.]
- [80] 葛洪(东晋). 抱朴子内篇[M]. 北京: 中国中医药出版社, 1997: 99. [GE Hong (Eastern Jin Dynasty). Hold Puzi's inner article[M]. Beijing: China traditional Chinese Medicine Press, 1997: 99.]
- [81] 谢蕾, 张羽师, 李卫东. 药用植物非药用部位开发利用现状与展望[J]. 中药材, 2019, 42(2): 470–473. [XIE Lei, ZHANG Yushi, LI Weidong. Present situation and prospect of development and utilization of non-medicinal parts of medicinal plants[J]. *Chinese Herbal Medicine*, 2019, 42(2): 470–473.]
- [82] HE Y, CHEN Z, NIE X, et al. Recent advances in polysaccharides from edible and medicinal *Polygonatirhizoma*: From bench to market[J]. *Int J Biol Macromol*, 2022, 195: 102–116.