

黄精化学成分·生理功能及产业发展研究进展

杨冰峰, 胥峰, 李淑立, 李立房, 李立波, 李仲芳, 陶雪莲 (九垣张家口食品有限公司, 河北张家口 075000)

摘要 主要对黄精的化学成分、生理功能和产业发展现状进行了阐述, 并对其进行了展望, 以期对黄精的全面开发利用提供理论依据。**关键词** 黄精; 化学成分; 生理功能; 产业发展现状

中图分类号 R284 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)11-0008-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.11.003



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research Advances on Chemical Composition, Physiological Function and Industrial Development of *Polygonatum sibiricum***YANG Bing-feng, XU Feng, LI Shu-li et al** (Jiuyuan Zhangjiakou Food Co., Ltd., Zhangjiakou, Hebei 075000)**Abstract** The chemical composition, physiological functions and industrial development of *Polygonatum sibiricum* were expounded, and its prospect was forecasted, in order to provide a theoretical basis for the comprehensive development and utilization of *Polygonatum sibiricum*.**Key words** *Polygonatum sibiricum*; Chemical composition; Physiological functions; Industrial development status

黄精(*Polygonatum sibiricum*)又名仙人余粮、老虎姜、鸡头参、大黄精、姜形黄精, 记载于《名医别录》^[1], 为百合科(Liliaceae)黄精属(*Polygonatum*)多年生草本植物根茎的总称^[2]。黄精分为3个品种, 分别是黄精(*Polygonatum sibiricum*)、滇黄精(*P. kingianum*)和多花黄精(*P. cyrtoneura*), 目前全球范围内共有60多种, 且大部分分布在北温带以及北亚热带, 我国有39种左右, 由于黄精对环境要求较高, 适应性较差, 主要生长在我国西南部和河北、内蒙古、陕西等地^[2-3]。黄精是我国中药的重要组成部分, 同时也是药食同源的材料, 其历史已有2000多年, 在古代被视为“长生不老和延年益寿”药用植物, 言其“久服轻身延年不饥”“血气双补之王”。《本草纲目》言其“得坤土之精, 为补养中宫之胜品”^[4]。李时珍《神仙芝草经》云: “黄精宽中益气, 使五脏调和, 肌肉充盈, 骨髓坚强, 其力倍增, 多年不老, 颜色明显, 发白更黑, 齿落更生”^[5]。传统中医学认为黄精性平、味甘, 无毒, 归脾、肺、肾经, 具有补肾益精、滋阴润燥的功效, 用于治疗肾虚亏损、肺虚燥咳、脾胃虚弱, 病后体虚等^[5]。现代医学研究证明, 黄精含有众多活性成分, 如多糖、甾体皂苷、生物碱、黄酮、木质素、三萜皂苷、植物甾醇、挥发油等, 其中多糖和皂苷类化合物为主要活性成分, 具有抗氧化、抗疲劳、抗肿瘤、增强免疫力、提高记忆力、降血脂、降血糖、抗炎、抗病毒、抗菌等生理功能^[6-7]。

黄精作为一种大宗药材, 其药理活性已被研究证明具有众多的生理功能, 广泛地运用于医药、食品、化妆品等行业, 近年来逐渐被众人所熟知, 市场需求也在加大, 但目前黄精原料大部分来源于野生资源, 且野生黄精资源随着不断被掠夺式开采越来越少, 人工种植尚未形成规模, 远远无法满足市场的需求, 且人工种植的黄精药理活性低于野生黄精。据调查, 在黄精精深加工方面, 虽然目前已开发出黄精系列产品, 如黄精酒^[8]、黄精茶^[9]、黄精冲剂^[10]、黄精口服液^[11]、黄精胶囊^[12]等, 但大部分未形成产业, 黄精的价值没有体现出

来, 这使得黄精产业的发展受到了极大的制约。九垣张家口食品有限公司与北京中医药大学、张家口农业科学院等科研院所, 在黄精规范种植、可追溯体系建设、食品安全体系建设、新产品研发等进行深入合作, 为黄精产业发展打下坚实基础。目前, 九垣张家口食品有限公司已开发出黄精饮料、九蒸九制黄精制品、黄精口服液等产品, 并已投入市场, 获得了良好的市场效应。笔者对黄精的化学成分、生理功能特性及栽培现状等方面进行了阐述。

1 化学成分

黄精含有很多化学成分, 主要有黄精多糖、皂苷、黄酮、生物碱类、木脂素类、挥发油、氨基酸等, 其中黄精多糖、皂苷类是黄精中的主要成分, 发挥黄精诸多药理作用。

1.1 多糖类 黄精多糖含量较高, 为4.47%~21.34%^[13]。刘娜^[14]采用水提醇沉法提取黄精多糖, 利用Sevage试剂脱蛋白, 利用活性炭脱色, 然后对黄精粗多糖进行分离纯化, 得到4种组分, 分别为PSP1、PSP2、PSP3、PSP4。Liu等^[15]从黄精中分离纯化得到2个中性多糖, 分别为PSW-1a、PSW-1b-2。王艳等^[16]通过碱提法、Sevage法脱蛋白得到水溶性粗多糖(PSP), 又将PSP进一步分离纯化得到纯化品PSP-1a, 其由半乳糖、阿拉伯糖、鼠李糖、木糖、葡萄糖构成, 所占百分比分别为0.18%、1.50%、97.25%、0.77%、0.30%。王聪^[17]通过对多花黄精的分离纯化得到黄精多糖PCPs-1、PCPs-2、PCPs-3, 其中PCPs-1、PCPs-2由葡萄糖和半乳糖组成, PCPs-3主要由半乳糖组成。

1.2 皂苷类 黄精皂苷类主要包括甾体皂苷类和三萜皂苷类。据报道, 目前黄精中有72个甾体皂苷^[18]和12个三萜皂苷^[19]。甾体皂苷类包括螺甾烷醇型、异螺甾烷醇型、呋甾烷醇型, 其中螺甾烷醇型、异螺甾烷醇型是黄精甾体皂苷类成分中的主要成分, 螺甾烷醇型C-25的构型为S, 甲基位于直立键; 异螺甾烷醇型C-25的构型为R, 甲基位于平伏键, 具有稳定的化学性质^[19]。目前呋甾烷醇型甾体皂苷共发现29个, 滇黄精含有14个, 黄精含有15个, 多花黄精未检测到^[18]。三萜皂苷类化合物包括2个乌苏酸型五环三萜皂苷, 分别为积雪草苷和羟基积雪草苷^[20], 3个达玛烷型四环三萜

作者简介 杨冰峰(1988—), 男, 河北张家口人, 硕士, 从事食品加工与食品安全研究。**收稿日期** 2020-11-09

皂苷,分别为伪人参皂苷 F11^[21]、人参皂苷 Rc^[22] 和人参皂苷 Rb1^[23],7 个齐墩果烷型五环三萜皂苷,分别为 3 β -羟基-(3 \rightarrow 1)葡萄糖-(4 \rightarrow 1)葡萄糖-齐墩果烷、3 β -羟基-(3 \rightarrow 1)葡萄糖-(4 \rightarrow 1)葡萄糖-(28 \rightarrow 1)阿拉伯糖-(2 \rightarrow 1)阿拉伯糖-齐墩果酸、3 β ,30 β -二羟基-(3 \rightarrow 1)葡萄糖-(2 \rightarrow 1)葡萄糖-齐墩果烷、3 β -羟基-(3 \rightarrow 1)葡萄糖-(2 \rightarrow 1)葡萄糖-齐墩果酸^[24] 以及 3 种 polygonoide C~E^[25]。

1.3 黄酮类 黄精中含有大量的黄酮类化合物,主要分为 3 种结构,分别为查耳酮、二氢黄酮、高异黄酮^[3]。其中高异黄酮为主要成分,且是黄精黄酮类化合物中特征性成分^[26]。研究表明,目前已分离鉴定出 3 种高异黄酮类化合物,分别为 4',5,7-三羟基-6,8-二甲基高异黄酮^[27]、2',4',5,7-四羟基-高异黄酮^[28]、[(3R)-5,7-dihydroxy-8-methyl-3-(2'-hydroxy-4'-methoxybenzyl)chroman-4-one]^[29]。滕树锐等^[30] 采用水提醇沉法对黄精黄酮综合提取工艺进行优化,得出总黄酮含量为 6.954%。Yu 等^[23] 从滇黄精中提取出了新异甘草苷、甘草素、异甘草素、2',7-二羟基-3',4'-二甲氧基异黄烷苷等黄酮类成分。

1.4 氨基酸及微量元素 黄精中含有丰富的氨基酸,种类多达 18 种,由 10 种非必需氨基酸和 8 种必需氨基酸组成,其中苏氨酸和丙氨酸含量较为丰富^[31]。黄赵刚等^[32] 分析了 8 个不同产地黄精的化学成分,发现不同产地之间的黄精化学成分含量差异很大,但均含有 18 种氨基酸,其中苏氨酸、赖氨酸、甘氨酸、亮氨酸、精氨酸含量较多。王曙东等^[33] 分析了多花黄精的化学成分,并从中分离出 16 种氨基酸,如谷氨酸、天冬氨酸等,但未检测出胱氨酸、半胱氨酸、色氨酸、鸟氨酸,同时检测出 18 种无机元素,其中包含 K、Mg、Ca、P 等常量元素和 Fe、Zn、Sr、Ba、Ge、Mn 等微量元素。

1.5 挥发性成分 高茜等^[34] 分析了黄精中的挥发性成分,发现其组成主要是烃类、萜类和醛酮类。王进等^[35] 采用水蒸气蒸馏-气质联用法分离出 51 种黄精挥发性成分,采用吹扫捕集-热脱附气质联用法分离出 11 种挥发性成分,并发现经过炮制的黄精挥发性成分含量明显降低。吴丽群等^[36] 采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析了福建、贵州、河南等地黄精中的挥发性成分,发现不同地区之间黄精挥发性成分差异较大,福建地区鉴定出黄精挥发性成分 31 种,贵州和河南地区均鉴定出黄精挥发性成分 35 种,其中有相同部分也有不同部分。陈龙胜等^[37] 分析了 9 个不同产地多花黄精的挥发性成分,鉴定出 67 种挥发性化合物,且不同产地之间多花黄精挥发性成分差异较大。

1.6 其他成分 孙隆儒等^[27] 从黄精中分离纯化出 4 种木质素化合物,分别为右旋丁香脂素-O- β -D-吡喃葡萄糖苷、右旋丁香脂素、右旋松脂醇-O- β -D-吡喃葡萄糖基(6 \rightarrow 1)- β -D-吡喃葡萄糖苷、鹅掌楸碱。目前研究表明,从黄精和多花黄精中已分离出 18 种生物碱类成分,分别为 11 种和 7 种,且生物碱主要类型有 β -咪啉类、吲哚啉酮类及酰胺类等^[18]。黄精中含有甾醇类化合物,目前已分离得到 4 种化合物,分别为(22S)-cholest-5-ene-1,3,16,22-tetrol-1-O- α -L-rh-

amnopyransyl-16-O- β -D-glucopyranoside^[38]、 β -谷甾醇^[39-40]、胡萝卜苷^[41]、棕榈酸-3- β -谷甾醇^[40]。

2 生理功能

黄精有诸多的生理功能特性,如增强免疫力、延缓衰老、抗疲劳、提高记忆力、抗肿瘤、降血糖、降血脂、改善睡眠、抗菌消炎、抗病毒等功效,目前已被临床所证实。

2.1 增强免疫力 华岩等^[42] 研究了黄精多糖对大鼠脾脏免疫功能的影响,结果显示,黄精多糖能显著缓解强迫运动引起的脾脏免疫功能低下,且能够使大鼠脾脏的免疫功能恢复正常水平。徐维平等^[43] 研究了黄精总皂苷对大鼠免疫力的影响,结果证明黄精总皂苷可以显著提高抑郁模型大鼠体质量增长率,同时可以提高其胸腺、脾脏指数及血清 IgA、IgG、IgM 和 IL-2 含量,达到增强慢性应激抑郁模型大鼠的免疫功能。傅圣斌等^[44] 通过提取黄精多糖,研究其对免疫缺陷小鼠的影响,结果表明,黄精多糖能够提高免疫抑制小鼠的脾脏、胸腺指数和腹腔巨噬细胞吞噬鸡红细胞的吞噬率,从而增加小鼠的免疫力。邓旭坤等^[45] 研究了黄精多糖对环磷酰胺诱导小鼠免疫抑制的影响,结果显示,黄精多糖对小鼠脾细胞增殖有明显促进作用,同时可以提高免疫力低下小鼠的脾脏和胸腺指数,增强巨噬细胞的吞噬能力,加快 IL-6 和 TNF- α 的分泌,说明黄精多糖对环磷酰胺致小鼠免疫功能下降有改善作用。Liu 等^[46] 研究了黄精多糖对环磷酰胺诱导小鼠免疫抑制的保护作用,结果显示,黄精多糖能够保护环磷酰胺诱导小鼠的免疫功能不被破坏。傅圣斌等^[47] 对黄精多糖进行了提取,并研究了其免疫活性,结果表明,黄精多糖可以有效促进溶血素生成,增强免疫低下小鼠腹腔巨噬细胞的吞噬能力。

2.2 延缓衰老 原丽容等^[48] 通过测定 \cdot OH 生成和对红细胞膜破坏程度、肝匀浆脂质过氧化损伤等,结果表明,黄精多糖能够显著抑制 \cdot OH 的生成和降低红细胞破裂程度,且防止肝匀浆脂质发生过氧化反应,说明黄精多糖具有很强的抗氧化性。巫永华等^[49] 通过大孔树脂纯化黄精多酚,并对其抗氧化性进行分析,结果表明,黄精多酚具有很强的抗氧化能力,且纯化后的黄精多酚抗氧化能力高于纯化前的黄精多酚。宫江宁等^[50] 通过提取黄精多糖并对其抗氧化活性进行研究,结果显示,黄精多糖清除自由基的能力依次为 ABTS+ \cdot > \cdot OH>DPPH \cdot >O₂⁻ \cdot ,说明黄精多糖具有较强的抗氧化能力。Li 等^[51] 对多花黄精的多糖进行了抗氧化性研究,结果表明,4 种多花黄精醇不溶性提取物:稀碱可溶固体、螯合剂可溶固体、缓冲液可溶固体、浓碱可溶固体均具有抗氧化能力,其中稀碱可溶固体抗氧化活性最强。Debnath 等^[52] 对黄精提取物的抗氧化性进行了研究,结果显示,黄精提取物能有效清除 DPPH \cdot 、羟基自由基,且可以抑制 iNOS 和 TNF- α 蛋白的表达。

2.3 抗疲劳 杨显辉等^[53] 对滇黄精总黄酮抗疲劳作用进行了研究,结果表明,黄精总黄酮可以显著延长大鼠游泳力竭时间,同时提高大鼠肝组织中 GSH-Px 和骨骼肌 SOD 活性,且使 MDA 含量减少,说明黄精总黄酮对脂质过氧化具有抑

制作用。陈靛雯等^[54]研究了古法炮制多花黄精提取物对抗疲劳作用的机制,结果显示,黄精多糖可以延长小鼠游泳时间、增加肝糖原含量、减少血清尿素氮和血乳酸含量,这表明黄精多糖对抗疲劳具有显著效果。杨华杰等^[55]对不同炮制的黄精进行抗疲劳研究,结果发现黄精各炮制品均能提高肝糖原含量,延长负重自由活动的时间,说明黄精炮制品具有抗疲劳作用。马怀芬等^[56]研究了黄精多糖对抗疲劳的作用,结果显示,黄精多糖可以显著提高小鼠肝糖原水平,延长小鼠负重游泳时间。

2.4 提高记忆力 唐伟等^[57]研究了黄精多糖对学习记忆能力的影响,结果表明黄精多糖能够抑制尼氏体减少,降低海马神经元损伤,提高慢性脑缺血大鼠的记忆能力。未小明等^[58]通过对黄精影响AD模型大鼠学习记忆能力的研究发现,黄精可以显著提高其学习记忆能力,这与调节 $\alpha 7$ nAChR表达有关。王威等^[59]通过探讨黄精的抗衰老作用机制发现,黄精多糖可以改善慢性脑缺血大鼠神经元结构,抑制前额皮质和海马区A β 1-42的蛋白表达,从而提高其学习记忆能力。王威等^[60]研究发现黄精多糖能够降低细胞结构紊乱,抑制前额皮质和海马区PS-1蛋白表达,从而提高慢性脑缺血大鼠学习记忆能力。

2.5 抗肿瘤 Long等^[61]研究了黄精多糖的抗癌机制,结果发现,黄精多糖对肺癌具有免疫作用,其作用机制是通过TLR4-MAPK/NF- κ B信号通路完成。Ma等^[62]从黄精中提取得到甲基原薯蓣皂苷,并对其抗肿瘤机制进行了分析,结果显示,甲基原薯蓣皂苷可以阻滞宫颈癌海拉细胞G2/M期的周期,使其细胞内积累ROS,同时激活死亡受体途径和促成线粒体途径,诱导其凋亡,从而抑制宫颈癌海拉细胞的生长。龙婷婷^[63]探讨了黄精多糖抗肿瘤作用机制,证明了黄精多糖对抗肿瘤具有免疫调节作用,且其作用机制是通过TLR4-MAPK/NF- κ B信号通路完成的。

2.6 降血糖 王艺^[64]通过对黄精、滇黄精多糖进行提取,分析了其结构表征及降血糖机制,结果表明,黄精多糖可以降低脏器损伤程度,调节血糖代谢,从而降低血糖含量。庞红霞等^[65]优化了黄精皂苷提取工艺,并对黄精皂苷降血糖作用进行了评价,结果表明,黄精皂苷可以显著降低用四氧嘧啶建立糖尿病小鼠的血糖。Zhai等^[66]研究发现,黄精中的多酚类物质能够减少链脲佐菌素诱导的小鼠血糖含量,具有降血糖功效。Yan等^[67]通过研究滇黄精总皂苷和多糖对糖尿病大鼠肠道微生物的影响发现,滇黄精总皂苷和多糖可有效改善糖尿病大鼠的肠道菌群,且可以和短链脂肪酸进行交替,从而降低糖尿病大鼠血糖水平。Cai等^[68]研究了黄精多糖降血糖机制,结果发现,黄精多糖通过调节Nr2表达使3T3-L1脂肪细胞中的葡萄糖被摄取。

2.7 抗菌消炎 张建萍等^[69]采用不同极性溶剂提取黄精活性成分,结果发现,生黄精提取物含量大于熟黄精提取物含量,抗菌能力由强到弱依次为正丁醇相、乙酸乙酯相、水相、石油醚相,抗霉菌能力由强到弱依次为正丁醇相、水相、石油醚相、乙酸乙酯相,且抗菌能力大于抗霉菌能力。郑

春艳等^[70]研究了黄精多糖的抗菌消炎作用,结果表明,黄精多糖对白葡萄球菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌等具有抑菌作用,同时可以减轻二甲苯引起小鼠的耳肿胀,具有消炎作用。曹冠华等^[71]比较了生黄精与制黄精多糖的抗菌效果,结果发现,制黄精多糖对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌具有较强的抑菌作用,生黄精多糖对枯草芽孢杆菌具有较强的抑菌作用。苏伟等^[72]采用滤纸片抑菌圈法研究了黄精多糖的抗菌效果,结果显示,黄精多糖具有一定的抑菌作用,其中对金黄色葡萄球菌的抗菌作用最强,对大肠杆菌的抗菌作用最弱。

2.8 其他作用 Yang等^[73]通过研究黄精多糖降血脂和抗动脉粥样硬化作用机制发现,其作用机制可能与调节主动脉形态、降低内皮细胞损伤程度和抑制泡沫细胞生成有关。王建忠等^[74]通过研究黄精对非酒精性脂肪肝模型大鼠的护肝作用发现,黄精提取物可调节肝组织CYP2E1蛋白表达和血清氧化应激因子,从而达到保护肝组织形态、增强肝功能。Jo等^[75]研究发现黄精能够改善睡眠,这主要是由于黄精可以调节GABA A-R2和5-HT1A受体蛋白质和mRNA。成威等^[76]研究了黄精多糖对痴呆小鼠海马线粒体的影响,结果发现,黄精多糖可以增加线粒体密度,并降低线粒体损伤程度,说明黄精多糖具有防止老年痴呆的功效。黄莺等^[77]通过对抑郁模型大鼠进行黄精皂苷干预试验发现,黄精皂苷可以调节体内微量元素,从而达到抗抑郁的作用。

3 产业发展现状

黄精产地主要分布在河北、陕西、内蒙古等地,滇黄精产地主要分布在广西、贵州、云南等地,多花黄精产地主要分布在安徽、浙江、湖南、贵州、云南等地^[78]。黄精具有诸多的生理功效,一直以来备受关注,黄精药材的来源一般为野生资源,但近几年市场需求量逐渐增大,人工种植规模小,野生资源越来越少,黄精供给量远远无法满足市场需求。目前,黄精种植规模小、科技含量不高、杂乱无章、质量低下、生产周期长、产量少等问题严重制约着黄精产业的发展,并针对黄精不同药效均采用同一质量标准进行控制,这直接导致黄精药材及相关产品的生产与市场药效需求无法精准对接,无法实现黄精药材质量升级和资源的充分利用。药农种植黄精缺乏专业知识,疏于管理,凭借自己的经验种植,滥用农药、化肥,导致黄精连作现象严重、病虫害增加、农药残留超标,使得黄精产量和质量下降,陷入恶性循环^[5,79]。有学者对黄精种植技术进行了研究,薛谄安^[80]介绍了黄精仿野生环境栽培技术,认为该技术是黄精种植技术中的重要技术。李谋德^[81]研究了多花黄精林下栽培技术,包括土地选取、种植注意事项、田间管理、采收周期等,为黄精种植提供了参考。刘勇勇^[82]通过试验对多花黄精的种茎选择和杉木林下种植技术进行了探讨。但黄精种植技术并未普及,大部分药农还是凭借经验种植黄精,黄精产业的发展仍存在很多问题。

中药材产业是河北省的支柱产业,其中鸡头黄精味道微甜,适宜开发成为食品,河北省为主要产地。九垣张家口食

品有限公司已在河北省张家口市赤城县雕鄂镇椴木沟村发现了鸡头黄精的野生品种,公司依托张家口多处生态良好山地建设了黄精仿野生种植基地,分别有赤城县黄精仿野生种植基地,投入200余万元,占地20 hm²;宣化区河子西乡黄精仿野生种植基地,投入150万元,占地约13.33 hm²;万全区万全镇黄精仿野生种植基地,投入1000万元,占地约66.7 hm²。同时公司与北京中医药大学、张家口农业科学院等科研院所,在黄精规范种植、可追溯体系建设、食品安全体系建设、新产品研发等进行深入合作,为黄精产业发展打下坚实基础。

4 展望

黄精作为一种药食同源的植物,其具有诸多的药理活性,现已广泛应用于食品、药品、化妆品等领域。目前已开发出黄精饮片、黄精饮料、黄精速溶粉、黄精酒、黄精口服液、十一味黄精颗粒、黄精冲剂、当归黄精膏、黄精保湿焕肤面膜、美白中药面膜素等^[83],但大部分产品还处于初加工阶段,产品普遍技术含量不高,研发水平低下,创新能力较弱。栽培种植方面,黄精种植规模普遍小,药农缺乏专业知识,科技含量不高,质量低、产量少,生产周期长,针对不同药效没有相关质量标准控制。这些严重制约着黄精产业的发展,无法满足市场的需求。加强对黄精进行规范化种植,对黄精药效进行深入研究,开发黄精深加工产品,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。因此,黄精产业具有广阔的发展前景。

参考文献

[1] 陶弘景集,尚志钧辑校. 名医别录(辑校本)[M]. 北京:人民卫生出版社,1986:23.

[2] 王晓慧,赵祺,姜程曦. 九华黄精药材道地性研究[J]. 园艺与种苗,2019,39(4):19-23,26.

[3] 李亚霖,周芳,曾婷,等. 药用黄精化学成分与活性研究进展[J]. 中药导报,2019,25(5):86-89.

[4] 高韵,司雨柔,王元媛,等. 不同产地、不同种属黄精的红外光谱鉴别研究[J]. 化学试剂,2020,42(3):275-279.

[5] 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.

[6] 陈晔,孙晓生. 黄精的药理研究进展[J]. 中药新药与临床药理,2010,21(3):328-330.

[7] 张洁,马百平,杨云,等. 黄精属植物甾体皂苷类成分及药理活性研究进展[J]. 中国药学杂志,2006,41(5):330-332.

[8] 陶涛. 发酵型黄精米酒加工工艺研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2012.

[9] 王俊杰,刘思好,李洁,等. 黄精茶提取物对2型糖尿病肾病大鼠的保护作用[J]. 中南药学,2017,15(8):1061-1064.

[10] 郭庆,范九良,周青明,等. 黄精冲剂及制备方法、用途:CN201710574959.X[P]. 2017-10-27.

[11] 贾宇涵. 黄精口服液产品研发及品质鉴定[D]. 泰安:山东农业大学,2019.

[12] 陈晓春,廖朝林. 一种黄精胶囊及其制备方法:CN201611087258.5[P]. 2018-06-08.

[13] 曹明菊,郑晓燕,陈丽华. 黄精多糖的研究进展[J]. 中国食品添加剂,2008(4):52-55.

[14] 刘娜. 黄精多糖的分离、鉴定及免疫调节功效研究[D]. 济南:山东大学,2017.

[15] LIU L, DONG Q, DONG X T, et al. Structural investigation of two neutral polysaccharides isolated from rhizome of *Polygonatum sibiricum*[J]. Carbohydr Polym, 2007, 70(3):304-309.

[16] 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.

[17] 王聪. 多花黄精多糖提取分离、分子量测定及其粗多糖的初步药效研究[D]. 成都:成都中医药大学,2012.

[18] 任洪民,邓亚玲,张金莲,等. 药用黄精炮制的历史沿革、化学成分及药理作用研究进展[J]. 中国中药杂志,2020,45(17):4163-4182.

[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.

[20] 王彩霞,徐德平. 黄精中乌苏酸型皂苷的分离与结构鉴定[J]. 食品与生物技术学报,2008,27(3):33-36.

[21] 马百平,张洁,康利平,等. 滇黄精中一个三萜皂苷的NMR研究[J]. 天然产物研究与开发,2007,19(1):7-10.

[22] YU H S, MA B P, KANG L P, et al. Saponins from the processed rhizomes of *Polygonatum kingianum*[J]. Chem Pharm Bull, 2009, 57(9):1011-1014.

[23] YU H S, MA B P, SONG X B, et al. Two new steroidal saponins from the processed *Polygonatum kingianum*[J]. Helv Chim Acta, 2010, 93(6):1086-1092.

[24] 徐德平,孙婧,齐斌,等. 黄精中三萜皂苷的提取分离与结构鉴定[J]. 中草药,2006,37(10):1470-1472.

[25] HU C Y, XU D P, WU Y M, et al. Triterpenoid saponins from the rhizome of *Polygonatum sibiricum*[J]. J Asian Nat Prod Res, 2010, 12(9):801-808.

[26] 马健锦. 长梗黄精总黄酮提取、分离纯化及其抗氧化活性的研究[D]. 福州:福建农林大学,2012.

[27] 孙隆儒,李锐. 黄精化学成分的研究(II)[J]. 中草药,2001,32(7):586-588.

[28] 张洁. 滇黄精化学成分的研究[D]. 郑州:河南中医学院,2006.

[29] GAN L S, CHEN J J, SHI M F, et al. A new homoisoflavanone from the rhizomes of *Polygonatum cyrtonea*[J]. Nat Prod Commun, 2013, 8(5):597-598.

[30] 滕树锐,廖婧婧,武艺,等. 黄精多糖与黄酮综合提取工艺优化及硒肥对其含量的影响[J]. 湖北农业科学,2017,56(23):4572-4576.

[31] 王冬梅,朱玮,张存莉,等. 黄精化学成分及其生物活性[J]. 西北林学院学报,2006,21(2):142-145,153.

[32] 黄赵刚,夏泉,张平等. 不同产地黄精中微量元素及氨基酸的分析[J]. 时珍国医国药,2004,15(11):809-810.

[33] 王曙东,宋炳生,金亚丽,等. 黄精根茎及须根中微量元素及氨基酸的分析[J]. 中成药,2001,23(5):369-370.

[34] 高茜,向能军,沈宏林,等. 固相微萃取和同时蒸馏萃取法分析黄精的挥发成分[J]. 中国高新技术企业,2008(14):129-130.

[35] 王进,岳永德,汤锋,等. 气质联用法对黄精炮制前后挥发性成分的分析[J]. 中国中药杂志,2011,36(16):2187-2191.

[36] 吴丽群,林菁,张增弟. 不同产地黄精中挥发性成分分析与比较[J]. 药学研究,2016,35(12):693-696,711.

[37] 陈龙胜,杜李继,陈世金,等. GC-MS对同产地多花黄精生药材挥发性物质差异性研究[J]. 中药材,2018,41(4):894-897.

[38] AHN M J, CHO H, LEE M K, et al. A bisdesmosidic cholestane glycoside from the rhizomes of *Polygonatum sibiricum*[J]. Nat Prod Sci, 2011, 17(3):183-188.

[39] 李晓,来国防,王易芬,等. 滇黄精的化学成分研究(II)[J]. 中草药,2008,39(6):825-828.

[40] 王易芬,穆天慧,陈纪军,等. 滇黄精化学成分研究[J]. 中国中药杂志,2003,28(6):524-527.

[41] YU H S, ZHANG J, KANG L P, et al. Three new saponins from the fresh rhizomes of *Polygonatum kingianum*[J]. Chem Pharm Bull, 2009, 57(1):1-4.

[42] 华岩,李鸿敏,王春亮,等. 黄精多糖对强迫运动大鼠脾脏免疫功能的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2019,40(1):57-61.

[43] 徐维平,祝凌丽,魏伟,等. 黄精总皂苷对慢性应激抑郁模型大鼠免疫功能的影响[J]. 中国临床保健杂志,2011,14(1):59-61.

[44] 傅圣斌,钱建鸿,陈乐意,等. 黄精多糖的提取及其对小鼠免疫活性的影响[J]. 中国食品学报,2013,13(1):68-72.

[45] 邓旭坤,段欢,刘钊,等. 黄精多糖对环磷酰胺诱导小鼠免疫抑制的影响[J]. 中南民族大学学报(自然科学版),2018,37(2):49-53.

[46] LIU N, DONG Z H, ZHU X S, et al. Characterization and protective effect of *Polygonatum sibiricum* polysaccharide against cyclophosphamide-induced immunosuppression in Balb/c mice[J]. Int J Biol Macromol, 2018, 107:796-802.

[47] 傅圣斌,钱建鸿,陈乐意,等. 黄精多糖的提取及其对小鼠免疫活性的影响[J]. 中国食品学报,2013,13(1):68-72.

[48] 原丽容,叶芝璐. 黄精多糖体外抗氧化作用研究[J]. 海峡药学,2020,32(2):18-21.

[49] 巫永华,张建萍,赵节昌,等. 大孔树脂纯化黄精多酚及其抗氧化性与组成分析[J]. 农业工程学报,2020,36(1):318-326.

- [50] 宫江宁,云成悦,吴婕,等. 黄精多糖的提取优化及抗氧化活性研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2019,37(3):18-23.
- [51] LI L,THAKUR K,LIAO B Y,et al. Antioxidant and antimicrobial potential of polysaccharides sequentially extracted from *Polygonatum cyrtone-ma* Hua[J]. Int J Biol Macromol,2018,114:317-323.
- [52] DEBNATH T,PARK S R,KIM D H,et al. Antioxidant and anti-inflammatory activity of *Polygonatum sibiricum* rhizome extracts[J]. Asian Pac J Trop Dis,2013,3(4):308-313.
- [53] 杨显辉,代培春,曾磊,等. 滇黄精总黄酮抗运动疲劳作用研究[J]. 现代食品,2019(8):134-137.
- [54] 陈靓雯,柯晓燕. 古法炮制多花黄精提取物抗疲劳作用研究及其机制探讨[J]. 科学技术创新,2019(4):3-4.
- [55] 杨华杰,龚千锋,于欢,等. 黄精不同炮制品抗疲劳及抗氧化作用比较研究[J]. 江西中医药,2018,49(2):64-67.
- [56] 马怀芬,方欢乐,刘卓越. 黄精多糖抗疲劳作用的研究[J]. 现代交际,2017(9):190.
- [57] 唐伟,王威,谭丽阳,等. 黄精多糖对慢性脑缺血大鼠学习记忆能力及脑组织超微结构影响[J]. 中国中医药科技,2017,24(2):173-176.
- [58] 未小明,王爱梅,罗朝辉,等. 黄精对 AD 模型大鼠空间学习记忆及 $\alpha 7$ nAChR 表达的影响[J]. 神经解剖学杂志,2016,32(3):391-396.
- [59] 王威,刘文博,唐伟,等. 黄精多糖对慢性脑缺血大鼠学习记忆及脑组织 β -淀粉样蛋白表达的影响[J]. 中医药导报,2016,22(16):26-29.
- [60] 王威,刘文博,唐伟,等. 黄精多糖对慢性脑缺血大鼠学习记忆及脑组织 PS-1 蛋白表达的影响[J]. 中国中医急症,2016,25(3):408-410.
- [61] LONG T T,LIU Z J,SHANG J C,et al. *Polygonatum sibiricum* polysaccharides play anti-cancer effect through TLR4-MAPK/NF- κ B signaling pathways[J]. Int J Biol Macromol,2018,111:813-821.
- [62] MA Y L,ZHANG Y S,ZHANG F,et al. Methyl protodioscin from *Polygonatum sibiricum* inhibits cervical cancer through cell cycle arrest and apoptosis induction[J/OL]. Food Chem Toxicol,2019,132[2020-05-25]. https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110655.
- [63] 龙婷婷. 基于 TLR4-MAPK/NF- κ B 信号通路探讨黄精多糖免疫调节抗肿瘤作用机制研究[D]. 重庆:重庆医科大学,2018.
- [64] 王艺. 黄精、滇黄精多糖的结构表征与降血糖活性分析[D]. 西安:陕西师范大学,2019.
- [65] 庞红霞,崔婧,范桂强,等. 黄精皂苷提取条件的 Design-Expert 优化及其降血糖效果初步研究[J]. 中国药师,2018,21(9):1531-1534,1546.
- [66] ZHAI L P,WANG X. Syringaresinol-di-O- β -D-glucoside, a phenolic compound from *Polygonatum sibiricum*, exhibits an antidiabetic and antioxidative effect on a streptozotocin-induced mouse model of diabetes[J]. Mol Med Rep,2018,18(6):5511-5519.
- [67] YAN H L,LU J M,WANG Y F,et al. Intake of total saponins and polysaccharides from *Polygonatum kingianum* affects the gut microbiota in diabetic rats[J]. Phytomedicine,2017,26:45-54.
- [68] CAI J L,ZHU Y L,ZUO Y J,et al. *Polygonatum sibiricum* polysaccharide alleviates inflammatory cytokines and promotes glucose uptake in high-glucose-and high-insulin-induced 3T3-L1 adipocytes by promoting Nrf2 expression[J]. Mol Med Rep,2019,20(4):3951-3958.
- [69] 张建萍,巫永华,师聪,等. 黄精提取物的抗菌活性研究[J]. 食品科技,2019,44(7):273-276.
- [70] 郑春艳,汪好芬,张庭廷. 黄精多糖的抑菌和抗炎作用研究[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版),2010,33(3):272-275.
- [71] 曹冠华,李泽东,赵荣华,等. 生黄精多糖与制黄精多糖抑菌效果比较研究[J]. 食品科技,2017,42(9):202-206.
- [72] 苏伟,赵利,刘建涛,等. 黄精多糖抑菌及抗氧化性能研究[J]. 食品科学,2007,28(8):55-57.
- [73] YANG J X,WU S,HUANG X L,et al. Hypolipidemic activity and antiatherosclerotic effect of polysaccharide of *Polygonatum sibiricum* in rabbit model and related cellular mechanisms[J]. Evid Based Complement Alternat Med,2015,2015:1-6.
- [74] 王建忠,兰少波,黄敏敏. 黄精调控氧化应激对非酒精性脂肪肝大鼠的保肝作用[J]. 中国临床药理学杂志,2020,36(17):2650-2653.
- [75] JO K,SUH H J,CHOI H S. *Polygonatum sibiricum* rhizome promotes sleep by regulating non-rapid eye movement and GABAergic/serotonergic receptors in rodent models[J]. Biomed Pharmacol,2018,105:167-175.
- [76] 成威,李友元,邓洪波,等. 黄精多糖对痴呆小鼠海马线粒体超微结构的影响[J]. 中南药学,2014,12(10):969-972.
- [77] 黄莺,徐维平,魏伟,等. 黄精皂苷对慢性轻度不可预见性应激抑郁模型大鼠行为学及血清中微量元素的影响[J]. 安徽医科大学学报,2012,47(3):286-289.
- [78] 董治程. 不同产地黄精的资源现状调查与质量分析[D]. 长沙:湖南中医药大学,2012.
- [79] 宋东平,吴维春,丁志国. 东北黄精栽培技术[J]. 特种经济动植物,2004(9):21-22.
- [80] 薛诒安. 黄精林下仿野生环境栽培技术及其必要性探讨[J]. 安徽农学通报,2020,26(11):42-43.
- [81] 李谋德. 多花黄精林下栽培技术[J]. 乡村科技,2019(27):91,93.
- [82] 刘勇勇. 多花黄精的种茎选择及杉木林下的种植技术[J]. 新农业,2017(21):34-35.
- [83] 钱枫,赵宝林,王乐,等. 安徽药用黄精资源及开发利用[J]. 现代中药研究与实践,2009,23(4):33-34.

(上接第7页)

重,减少果指的弯曲度,还可以减少残次果;另一方面也可应用于香蕉栽培调控,为良种良法配套提供新方法,进一步推动香蕉栽培数字化研究。

参考文献

- [1] 曹宏鑫,王世敬,戴晓华. 土壤基础肥力和肥水运筹对春小麦产量和品质及植株氮素状况的影响[J]. 麦类作物学报,2003,23(2):52-56.
- [2] 曹宏鑫,刘世军,张立民,等. 小麦群体叶面积的动态模型[J]. 沈阳农业大学学报,2000,31(3):246-248.
- [3] 袁隆平. 杂交水稻超高产育种[J]. 杂交水稻,1997,12(6):1-6.
- [4] CAO H X,JIN Z Q,YANG Y W,et al. Researches of digital design system of rice cultivation based on web and simulation models[J]. International federation for information processing,2007,259:1077-1086.
- [5] 曹宏鑫,孙立荣,高亮之,等. 长江下游地区马肝土小麦生长期土壤氮素动态的模拟[J]. 中国农业气象,1999,20(2):35-38.
- [6] CAO H X,LIU Y,LIU Y X,et al. Biomass-based rice (*Oryza sativa* L.) aboveground architectural parameter models[J]. Journal of intergrative agriculture,2012,11(10):1621-1632.
- [7] 张伟欣. 基于生物量的油菜植株地上部形态结构模型研究[D]. 南京:南京农业大学,2013.
- [8] 陈显利,杨平,张文宇,等. 基于生物量的冬小麦越冬前植株地上部形态结构模型[J]. 作物学报,2016,42(5):743-750.
- [9] 刘永霞,岳延滨,刘岩,等. 基于生物量的水稻根系生长动态模型[J]. 江苏农业学报,2011,27(4):704-709.
- [10] 刘岩,陆建飞,曹宏鑫,等. 基于生物量的水稻叶片主要几何属性模型研究[J]. 中国农业科学,2009,42(11):4093-4099.
- [11] 张文宇,张伟欣,葛道润,等. 基于生物量的油菜主茎叶片形态参数模拟研究[J]. 作物学报,2015,41(9):1435-1444.
- [12] 丰锋,叶春海,李映志,等. 香蕉主要农艺性状与产量相关性的研究[J]. 福建果树,2007(2):6-8.
- [13] 安佳佳,李茂富,黄锦伟,等. 香蕉叶面积回归模型的建立[J]. 广西农业科学,2009,40(6):724-727.
- [14] 刘永霞,周兆禧,唐粉玲,等. 巴西香蕉叶面积与叶片形态特征关系的定量分析[J]. 热带作物学报,2013,34(9):1641-1645.
- [15] 刘永霞,井涛,唐粉玲,等. 基于“3414”试验的巴西蕉施肥效应与最佳施肥量的研究[J]. 江苏农业科学,2014,43(11):177-180.
- [16] 刘永霞,鞠俊杰,何应对,等. 巴西蕉产量与果实形态特征的相关分析[J]. 热带作物学报,2015,36(8):1375-1379.
- [17] 刘永霞,何应对,鞠俊杰,等. 巴西蕉叶面积指数的动态模型研究[J]. 中国南方果树,2015,44(5):11-15.
- [18] 李国良,姚丽贤,杨芭梅,等. 香蕉适宜留果梳数试验研究[J]. 中国农业科技导报,2011,13(2):88-92.
- [19] 余海强,吴志祥,王令霞,等. 留果梳数对香蕉果实性状影响初探[J]. 安徽农学通报,2007,13(18):115-116.