中国科学: 生命科学 2026 年 第 56 卷 第 8 期: 1974 ~ 1983
SCIENTIA SINICA Vitae lifecn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

评 述

新兴林粮黄精食品化研究进展

张新凤[1], 麦迪乃·萨比尔[1], 刘京晶[1], 俞巧仙[2], 邹辉[3], 宋大伟[4], 胡红芳[5], 斯金平[1*]

1. 浙江农林大学森林食物资源挖掘与利用全国重点实验室, 杭州 311300
2. 浙江森宇有限公司, 义乌 322000
3. 湖南颐朴源黄精产业有限公司, 新化 417600
4. 池州市九华府金莲智慧农业有限公司, 池州 247100
5. 黄山徽药饮片有限公司, 歙县 341021
* 联系人, E-mail: lssjp@163.com

收稿日期: 2025-09-19; 接受日期: 2025-12-31; 网络版发表日期: 2026-04-01
国家自然科学基金(批准号: 32200214)、宁波市重大研发项目(批准号: 2024Z280)和苍南黄精全产业链支撑技术开发项目(批准号: KJCHX20250128)资助

摘要 黄精(Polygonati rhizoma, Huangjing)是中国传统经典的药食同源物质, 灾年可以代粮, 但长期以来, 黄精关注的重点是药品与保健食品的开发. 进入21世纪, 与饮食相关的慢性疾病席卷全球, 人民群众对食品消费从“解决温饱”转向“营养多元”. 黄精林下种植的快速发展, Agavin型果聚糖等物质基础的发现, 黄精食品化、生活化引起高度关注. 本文通过系统梳理黄精代粮历史、物质基础、食品化的现代文献, 明确黄精果聚糖的高度支链与短链特性, 九制黄精的炮制与复配过程中, 果聚糖不仅赋予产品独特的能量缓释与风味协同效应, 还能通过成分复配实现功能增效; 调控食品中淀粉/蛋白微观结构、消化特性、降低升糖指数(glycemic index, GI), 成为主粮能量缓释伴侣; 它亦是益生菌、酵母菌等生长的天然优良基质, 具有开发酒类、酸奶、酵素、面包等发酵食品的独特优势. 同时, 还明确黄精“花胜于实、实胜于根”的物质基础与应用价值. 黄精食品化不仅为解决全球粮食安全和营养失衡问题提供创新路径, 也为其他药食同源物质的食品化开发提供借鉴.

关键词 黄精, 林粮, 食药物质, 糖尿病, 低GI, 发酵

进入21世纪, 与饮食相关的慢性疾病席卷全球. 2025年7月, 联合国粮食及农业组织、国际农业发展基金、联合国儿童基金会、世界粮食计划署和世界卫生组织联合发布的《2025年世界粮食安全和营养状况》报告显示, 2024年全球约有6.73亿人挣扎在饥饿线上, 约20亿人遭受隐性饥饿(www.who.int). 约70%的糖尿病、心脑血管疾病、癌症等慢性疾病与隐性饥饿有关[1]. “营养多元”“食物即药物”等观点成为人们普遍共识[2], 提升健康膳食可负担性已经成为当今世界的首要问题, 野生或半野生植物重新驯化为新的补充作物获得极大关注[3], 在这些方面黄精具有独特的优势. 为了进一步推动黄精林粮产业的发展, 探索国内外粮食安全和营养问题提供新的路径, 本文系统地总结黄精的发展历史、林粮物质基础、产品开发等食品化研究的进展.

引用格式: 张新凤, 麦迪乃·萨比尔, 刘京晶, 等. 新兴林粮黄精食品化研究进展. 中国科学: 生命科学, 2026, 56: 1974–1983
Zhang X F, Madinai S, Liu J J, et al. Development of forest grain Polygonati rhizoma foodification (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2026, 56: 1974–1983, doi: 10.1360/SSV-2025-0319

© 2026《中国科学》杂志社 www.scichina.com
https://www.sciengine.com/doi/10.1360/SSV-2025-0319

1　黄精代粮的发展历史

黄精属植物起源于喜马拉雅(距今2010万年), 中国是世界黄精进化与分布的中心[4]. 黄精属植物在全球范围内有60多种, 广泛分布于北半球亚热带、温带、寒温带, 生长在林下、灌丛或山坡阴处. 中国有39种, 其中特有种20种.

《神农本草经》(25~220年)首次记载黄精属植物药材“女萎(包括当今的玉竹和黄精), 味甘, 平. 主中风, 暴热, 不能动摇, 跌筋结肉, 诸不足. 久服去面黑黯, 好颜色, 润泽, 轻身, 不老.” 《名医别录》(220~450年)记载“黄精, 味甘, 平, 无毒. 主补中益气, 除风湿, 安五脏. 久服轻身、延年、不饥.” “葳蕤(玉竹), 无毒. 主治心腹结气, 虚热, 湿毒, 腰痛, 茎中寒, 及目痛眦烂泪出.” 明确黄精主补, 玉竹主治[5]. 《抱朴子内篇》(306年)“服黄精仅十年, 乃可大得其益耳.” “黄精甘美易食, 凶年可以与老小休粮, 人不能别之, 谓为米脯也.” 《食疗本草》(713~741年)首次记载“九蒸九曝”“饵黄精, 能老不饥.” 同时也记载“根、叶、花、实, 皆可食之.” 《本草纲目》(1578年)系统总结“黄精为服食要药, ……可以代粮.”其后历代本草沿用至今[6,7].

除本草典籍外, 大量唐诗宋词记载了黄精的栽培和食用, 《见李白诗又吟》(许宣平安徽歙县)“一池荷叶衣无尽, 两亩黄精食有余.” 《太平寺泉眼》(杜甫甘肃天水)“三春湿黄精, 一食生毛羽.” 《乾元中寓居同谷县作歌七首(二)》(杜甫甘肃成县)“黄精无苗山雪盛, 短衣数挽不掩胫.” 《酬惠米》(金乔觉安徽九华山)“而今飧食黄精饭, 腹饱忘思前日饥.” 《寄王侍御》(张籍安徽和县)“见欲移居相近住, 有田多与种黄精.” 《诗其二十四》(拾得浙江天台)“一入双溪不计春, 炼暴黄精几许斤.” 《赠丘郎中》(姚合河南陕县)“绕篱栽杏种黄精, 晓侍炉烟暮出城.”推测在土豆、番薯引进以前, 黄精或许是重要的根茎类栽培植物.

1963年黄精首次列入《中国药典》, 规定2个基原物种, 包括适合长江以北生长的鸡头黄精(*Polygonatum sibiricum* Delar ex Redoute), 适合长江流域及其以南的多花黄精(*P. cyrtonema* Hua). 1977年版《中国药典》增加了适宜云贵川渝的滇黄精(*P. kingianum* Coll. et Hemsl), 其后历版药典沿用至今. 2002年列入首批药食同源物质. 2020年随着我国脱贫攻坚取得全面胜利, 人民群众对食品消费从“解决温饱”转向“营养多元”, 黄精林下种植快速发展, 成为不占良田、不争林地的新兴林粮(图1)[8~11].

2　林粮黄精的物质基础

2.1　黄精根茎不含淀粉富含Agavin型果聚

蔗糖、淀粉和果聚糖为植物三大储存碳水化合物, 是植物生命过程和人类生活中最重要的物质. 蔗糖在植物生长和发育中发挥关键作用, 并成为人类重要的糖源. 淀粉是当今人类粮食的主要能量来源, 人类大约12000年前开始作物驯化, 超过2500种植物接受驯化或半驯化为食物, 其中水稻、小麦和玉米等淀粉为主要营养的作物提供人类消耗的60%热量. 果聚糖大约在15%的开花植物中作为储存碳水化合物. 1804年, Rose从菊芋中分离出果聚糖(菊粉), 随后Levans, Graminan, Neoinulin, Neolevan等结构被发现. 在近两个世纪的历史中, 因菊粉等果聚糖不能直接被小肠吸收, 产生能量值低, 在不能满足温饱的时代一直没有被重视, 直到膳食纤维功能的发现, 成为第七大营养素, 果聚糖才重新回到人们的视野[12].

2006年, Agavin型果聚糖被定名前, 果聚糖通常以



图 1　黄精林下种植. A: 杂木林下; B: 毛竹林下; C: 香榧林下

Figure 1　In forest cultivation of Huangjing. A: In mixed forest; B: in forest of *Phyllostachys edulis*; C: in forest of *Torreya grandis*

https://www.sciengine.com/doi/10.1360/SSV-2025-0319

菊粉为代表. 与菊粉相比, Agavin是具有β-(2→6)和β-(2→1)果糖键的高度支链结构. Agavin除具有膳食纤维的作用外, 具有易降解、能产生能量、营养多元、调节血糖等新型特性, 与菊粉存在巨大的区别, 为营养多元的健康膳食开发开辟全新的空间[12]. 至今为止, Agavin仅在天门冬科黄精属、龙舌兰属、知母属以及石蒜科葱属大蒜等有报道. 中美洲瓦哈卡河谷考古发现, 作为史前人类主粮的龙舌兰中, 主要营养能量物质就是Agavin[12]. 古代美洲原住民将龙舌兰植物的芯(髓)放在土炉中加热40 h, 并将其作为主食食用[13]. 在现代, 龙舌兰是墨西哥的重要产业, 将龙舌兰在60℃~80℃下烘烤, 用于制作龙舌兰酒, 市场价值约147亿美元.

2021年, 研究者首次发现黄精根茎不含淀粉, 富含Agavin型等高度支链结构的特异果聚糖(至今未发现直链型果聚糖), 并以短链果聚糖(聚合度≤29)为主, 适当加工后可获单糖、双糖总量约46%, 能量值约为主粮的67.5%[6,7], 成为黄精代粮的最主要物质基础, 由此提出林粮发展战略[8,11,12]. 黄精根茎与水稻、小麦、玉米、土豆、番薯等主要粮食作物的碳水化合物含量相当(图2), 约为65%, 但主粮中碳水化合物主要为淀粉, 而黄精根茎中的主要碳水化合物为非淀粉多糖与寡糖. 从黄精中已经分离鉴定到的47种非淀粉多糖和寡糖, 除果聚糖(多糖和寡糖)外, 还有半乳聚糖、葡聚糖、甘露聚糖等为主链的糖类结构[6,7].

2.2 黄精根茎富含蛋白质、皂苷和黄酮等营养功效物质

黄精根茎中除含有丰富的果聚糖外, 还有约10%蛋白质和氨基酸, 约1%的脂肪(图2). 蛋白质、氨基酸、脂肪含量与小麦相当, 明显高于其他主粮. 此外, 黄精根茎中还含有约5%甾体皂苷、3%三萜皂苷、2%黄酮等次生代谢物质, 而现有主要农作物中含量很低(图2). 已鉴定黄精甾体皂苷124个、三萜皂苷21个; 黄酮类化合物39种, 包括黄酮、黄酮醇、二氢黄酮、异黄酮和高异黄酮等类型; 生物碱主要为吲哚嗪类和酰胺类[6].

2.3 黄精安全性

《神农本草经》将黄精属植物列为上品, 《食疗本草》记载“其生者, 若初服, 只可一寸半, 渐渐增之. 十日不食, 能长服之, 止三尺五寸.” 历代本草均记载黄精宜“久服”, 两千年来没有负面报道. 黄精属植物玉竹现代研究表明, 急性毒性(64.5 g/kg), 慢性毒性6个月试验(51.6 g/kg), 没有出现动物异常体征或死亡; 遗传毒性也没有在小鼠的Ames试验、骨髓微核试验和精子畸形试验中发现[15].

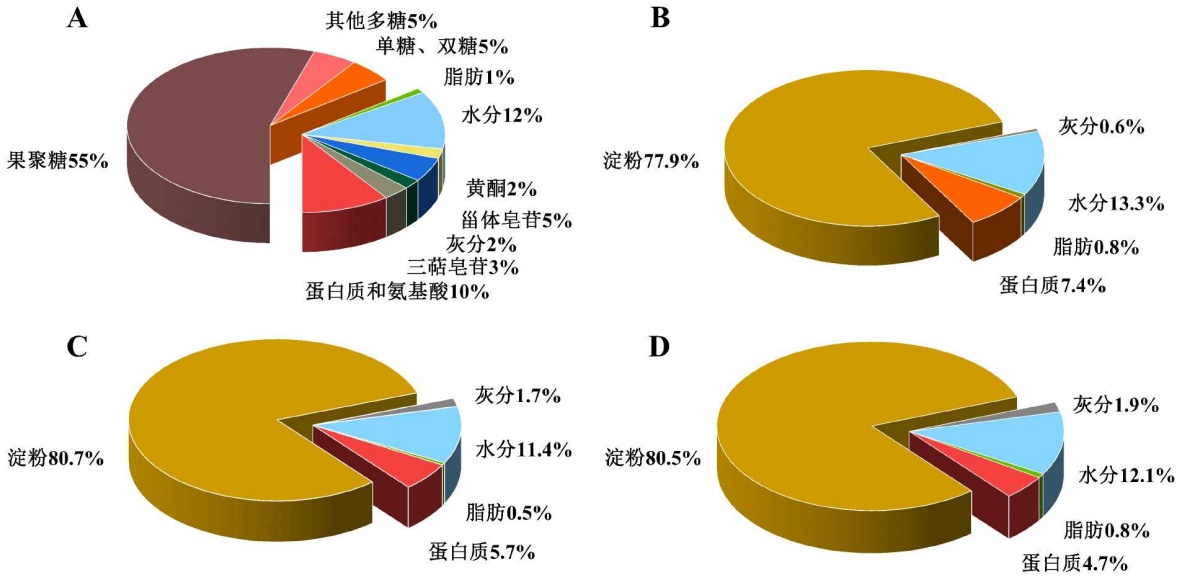

图 2 黄精主要成分与主粮比较. A: 黄精; B: 大米; C: 土豆; D: 甘薯. B~D引自中国食物成分表, 第一册[14]

Figure 2 Comparison of the main components between Huangjing and staple foods. A: Huangjing; B: rice; C: potato; D: sweet potato. Data for B–D sourced from the *Chinese Food Composition Table: Volume 1*[14]

https://www.sciengine.com/doi/10.1360/SSV-2025-0319

3　黄精林粮产品的开发

3.1　九蒸九制黄精成分与功效变化

传统中医认为黄精具有健脾、润肺、益肾，补五脏虚劳的功效，现代药理研究证明黄精具有抗糖尿病、调节肠道菌群、提高免疫力、抗肿瘤、降血脂、抗病毒、抗菌、抗炎、抗氧化、抗疲劳、神经保护、预防骨质疏松等活性.

九蒸九制是黄精传统加工的重要路径之一，能够降低生品的麻、苦、涩味，并促进能量的释放与功效的转化(图3). 在九蒸九制过程中，多糖糖苷键发生断裂，果聚糖、果糖、蔗糖含量变化最为显著，在黄精蒸制1~3次时果聚糖快速降解，到6次蒸制时果聚糖基本降解为0, 果糖含量达到高峰, 可达38.3%, 葡萄糖含量变化趋势与果糖相同; 蔗糖在前两次略有增加, 其后下降[16~18]; 黄精酒蒸和炆制亦有同样的规律[19]. 制黄精中的多糖主要是分枝型半乳聚糖，有些观点推测是由蒸制过程中多糖结构重塑形成的[18,20,21]，但事实上该类多糖可能是果聚糖降解后凸显出来的.

亦有报道九制黄精中黄酮、皂苷等次生代谢物含量有明显变化[22]. 大部分氨基酸、核苷和碱基则呈现持续下降的趋势，多数磷脂和游离脂肪酸的丰度连续增加[22]. 蒸制过程中，黄精中的果聚糖分解生成还原糖，与氨基酸等物质参与美拉德反应和焦糖化反应，这些反应转化生成一系列美拉德反应产物，包括5-羟甲基糠醛(5-HMF)、3,5-二羟基-6-甲基-2,3-二氢-4H-吡喃-4-酮、氨基化衍生物及类黑素等，这些产物在加工食品的颜色、风味、稳定性和货架期等方面发挥着重要作用, 且与多种生物活性密切相关, 如抗氧化、抗诱变、抗病毒、抗增殖、降血压等[22~26].

九蒸九制炮制工艺能够提升黄精的多重生物活性, 随着蒸制次数的增加, 黄精在抗氧化、抗炎、免疫

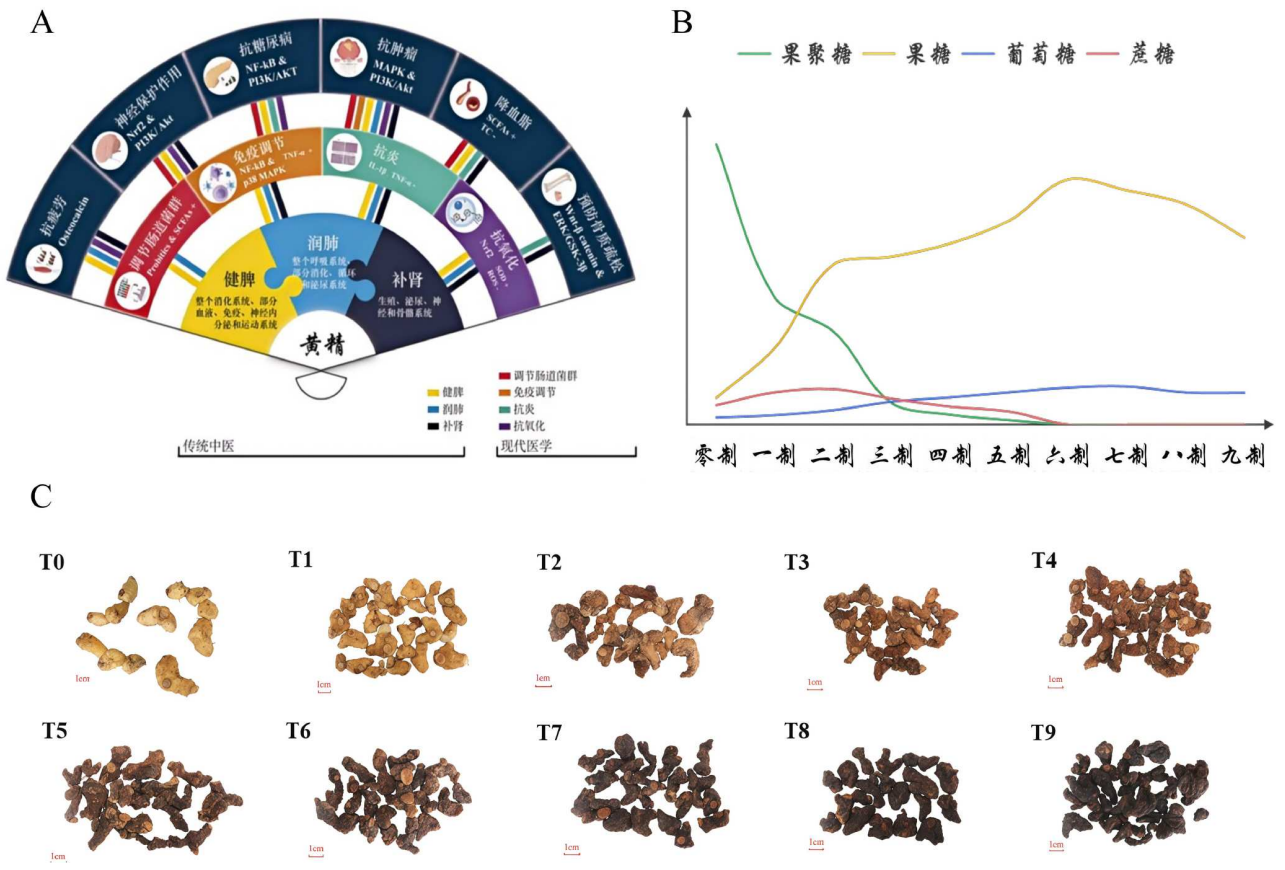

图 3　黄精功效与九蒸九制过程成分变化. A: 黄精传统与现代功效[7]; B: 九制过程成分变化; C: 九制过程外观变化

Figure 3　Bioactivity of Huangjing and changes in the composition during the process of nine cycles of steaming and sun-drying. A: Traditional and modern efficacy of Huangjing[7]; B: component changes; C: appearance changes

https://www.sciengine.com/doi/10.1360/SSV-2025-0319

调节、代谢改善及组织保护等功效上显著增强，且普遍优于生品. 在抗氧化与代谢改善方面，九制黄精提取物不仅清除自由基和铁还原能力显著增强[16]，还能有效抑制α-淀粉酶与α-葡萄糖苷酶活性，改善肝细胞(HepG2)的葡萄糖消耗，减轻氧化应激和胰岛素抵抗，表现出优越的抗2型糖尿病潜力，且蒸制程度越高效果越显著[27].

在抗炎与组织保护方面，制品黄精水提物能通过降低IL-6，IL-8等促炎因子，提高SOD，GSH等抗氧化标志物, 并调控相关信号通路, 有效缓解酒精引起的胃黏膜损伤[28]. 体外研究进一步证实，制品黄精(以四次蒸制为优)可抑制滑膜成纤维细胞的增殖、迁移与侵袭, 通过调节IL-1β, IL-6, IL-10等因子表达及诱导细胞凋亡, 展现抗炎与免疫调节潜力[29]. 另外, 制品黄精中的多糖(尤以六制、九制为佳)能显著提升免疫器官指数、关键免疫因子(如IL-2，IFN-γ，IgA)及$CD4^+$/$CD8^+$比值，也能优化肠道菌群结构，增加有益菌(拟杆菌门)比例和短链脂肪酸含量, 实现肠道微生态与全身免疫的协同调节[30]. 此外，研究还表明制品黄精在延缓疲劳、提高运动耐力方面具有显著效果[31~33].

3.2 黄精主粮伴侣

针对淀粉食品营养单一、升糖快的问题，利用黄精中丰富的多糖调控食品中淀粉/蛋白微观结构、消化特性、升糖指数等功能与品质潜力巨大. 黄精与面粉、米粉、红薯粉混合生产面条、年糕、馒头、面包、饼干等食品, 延缓血糖的上升, 为糖尿病人食品开发提供一条新路径. 黄精果聚糖自身不升糖, 可通过多价氢键与α-淀粉酶形成高亲和力结合(吉布斯自由能ΔG=−17.6 kcal/mol), 同时通过空间位阻效应阻碍酶的活性，浓度为0.25 mg/mL时，对α-淀粉酶抑制率可达84.3%. 黄精多糖能够附着在淀粉颗粒的表面，抑制其吸水能力，并延缓糊化过程，从而增强面团的稳定性，并改善面粉制品的质量[34]. 通过包裹淀粉颗粒，淀粉酶与淀粉之间的接触减少，从而降低淀粉的消化速率[35]. 含有40%黄精多糖的米饼在消化180 min后，其淀粉水解程度显著降低，与对照组相比降低了29.8%[34~36].

黄精多糖能够促进面筋蛋白的交联，增加二硫键的含量, 并通过非共价相互作用(氢键、离子键和疏水相互作用)与面筋蛋白结合，从而增加α-螺旋和β-折叠结构的含量，并提高面筋蛋白的保水能力和流变性能[37]. 此外, 黄精多糖能够提升烘焙产品的品质. 添加黄精多糖能显著提高饼干的酥脆度和面包的风味. 在烘焙过程中，多糖和蛋白质会发生美拉德反应，从而使得烘焙产品呈现出金黄色的外观，并具有浓郁的风味[34].

3.3 黄精基发酵酒

黄精发酵酿酒在历代本草中就有明确记载，如《千金翼方》五精酒: “黄精、天门冬、松叶、白术、枸杞”, 上五味皆生者, 纳釜中, 以水三石煮之一日, 去滓, 以汁渍曲如家酿法, 任性饮之, 一剂长年, 疗万病, 发白返黑，齿落更生. 其后《圣济总录》《太平圣惠方》《本草纲目》等均有类似的记载. 目前市场上有黄精果酒、米酒、蒸馏酒、啤酒. 黄精对酿酒酵母的生长具有促进作用，有利于缩短米酒发酵周期，使米酒更具醇香味[38]. 酵母、料液比(黄精、糯米、其他添加物与水的比例)对黄精酒的总糖、还原糖、总酸、氨基酸及衍生物、花色苷和总黄酮含量等营养和功效成分，2-烯丙基苯酚、2-甲基呋喃、十四烷、石竹烯、2-羟甲基呋喃、庚醛、5-羟甲基糠醛、金合欢烯、糠醛、棕榈酸、异戊酸乙酯、异丁酸乙酯、α-蒎烯等风味特征成分产生明显的影响[39~46].

3.4 黄精复配产品

中药配伍具有悠久的历史, 在增强疗效, 减轻副作用方面具有令人信服的证据. 《圣济总录》《备急千金要方》《千金翼方》《丹溪心法》《太平惠民和剂局方》等历代方书均有大量的黄精经典名方，且多数复配物质是药食同源物质. 《圣济总录》记载二精丸、黄精丸、灵仙散、白术丸、黄精地黄丸、黄精煎、地黄汤、生地黄煎等黄精复配产品. 2025年版《中国药典》中收载的含有黄精且具有治疗作用的中成药有36种, 均为配伍产品. 主要配伍物质也多是药食同源物质, 其中黄芪53.9%、枸杞子35.9%、丹参(可用于保健食品的物质名单)28.2%，还有麦冬、当归、葛根、甘草、党参、山楂等[47].

在以黄精根茎或提取物为原料的351个保健食品中, 具有抗疲劳功效的占36.2%, 增强免疫力33.1%, 调节血糖9.2%，还有延缓衰老、改善睡眠、肝脏保护、改善记忆、增加骨密度、调节血脂、改善贫血、祛黄

https://www.sciengine.com/doi/10.1360/SSV-2025-0319

褐斑、通便、调节血压、改善视疲劳、减肥、辅助抑制肿瘤、清咽润喉、对辐射危害有辅助保护等功能产品. 主要配伍物质枸杞子49%、黄芪27%、人参23.6%、西洋参21.9%, 还有茯苓、山药、当归、葛根、大枣、刺五加、灵芝、蜂蜜、酸枣仁、杜仲、肉桂、覆盆子、龙眼肉、山茱萸、桑叶、麦冬、五味子、沙棘、党参等.

近年来, 黄精复配在普通食品中的应用也取得一定的进展, 开发出黄精石斛浸膏、黄精燕麦饮、黄精芝麻丸、黄精桑葚糕、黄精-枸杞复合酸奶、黄精益智仁固体饮料、人参黄精枸杞复合饮料、黄精留胚米乳饮料、马铃薯黄精复合醋、黄精枸杞陈皮茶、黄精红茶等具有良好风味和功效的复配食品[48~54]. 但对于黄精复配的产品活性、风味, 及质构的影响机理尚无深入研究.

4　黄精植物资源菜肴加工

黄精根茎、花、叶、果实在古籍记载中均可食用(图4), 《本草纲目》“其苗初生时, 人多采为菜茹, 谓之笔菜, 味极美”. 《抱朴子》“服其花胜其实, 服其实胜其根.” 现代研究表明黄精花和嫩芽均含有丰富的多糖、皂苷、酚性成分、氨基酸和矿质元素[55,56], 黄精花与嫩芽总氨基酸含量分别为111.85~131.03和193.13~248.74 mg/g, 均高于根茎. 花中的必需氨基酸占总氨基酸含量的35.57%~39.44%, 接近FAO/WHO提出的理想蛋白质的标准. 嫩芽清甜可口, “味极美”, 在不同生长期味觉氨基酸达到160.12~208.29 mg/g, 为根茎中的4.54倍. 黄精花多糖含量为60.88~97.00 mg/g, 约为根茎的1/2; 皂苷含量为32.55~40.93 mg/g, 总酚含量为40.79~50.95 mg/g, DPPH自由基清除IC_{50}为1.77~3.25 mg/mL, 抗氧化活性约为根茎的5倍[49]. 多花黄精嫩芽在展叶前后多糖含量为2.34%~12.73%, 皂苷含量变幅为13.95~20.23 mg/g, 总酚含量51.21~58.76 mg/g, 均高于根茎, 清除DPPH自由基的IC_{50}为0.53~1.83 mg/mL[57].

5　展望

5.1　黄精食品化营养功效风味的形成机制与健康密码破译

食品中的营养、功效、色香味形是构成食品质量



图 4　黄精主食及菜肴
Figure 4　Staple foods and dishes made with Huangjing

https://www.sciengine.com/doi/10.1360/SSV-2025-0319

的最重要组成部分, 在黄精食品化加工过程中会触发物理-化学-生物级联反应, 产生新的质量标志物, 同步影响色香味形及健脾润肺益肾的功效. 因此, 深入开展黄精食品化过程中营养功效的再评价, 对于阐明黄精中核心营养功效物质的形成-储存-递送机理, 明确功能因子、作用靶点与信号通路至关重要.

5.2 黄精复杂结构果聚糖构效解析与食品化的深度利用

黄精富含低聚合度、高度分支、易降解、成膜性好的果聚糖, 以及黄酮、皂苷等营养功效成分, 充分发挥黄精特殊果聚糖与营养多元的优势, 深入解析其高级结构和介观尺度与血糖、免疫活性、肠道菌调节等构效关系, 进一步研究果聚糖与蛋白质、脂肪、氨基酸、皂苷、黄酮等成分的相互作用机制. 除开发兼具营养均衡与健康功效的新型功能性主粮外, 还可利用黄精的减糖、减盐特性及肠道健康促进作用, 延伸开发黄精强化乳制品、低盐卤制品、高蛋白豆制品等系列健康食品.

5.3 微生物发酵黄精体系构建及功效研究

黄精生品有麻舌感, 传统的九蒸九晒工艺复杂、能耗高、原料利用率低. 黄精简单加工可获得约50%的单糖和5%的多糖, 为益生菌、酵母提供优质碳源. 筛选强发酵菌株, 修饰多糖、皂苷、黄酮结构, 形成高价值新化合物, 对增强活性、改善风味、降低能耗, 具有重要意义.

5.4 加强以全物料应用为基础的健康产品开发

现有黄精研究多聚焦于单体成分的分离与功效验证, 忽视了其全物料成分的协同作用机制. 现代医学认为营养功能因子的储存和传送借助食物载体(或结构载体)可发挥更好的功效. 因此, 回归黄精食物的本质, 研究载体、饮食方式、愉悦程度、消化和吸收的效率, 开发全物料利用的可负担健康膳食, 并构建智能化、数字化、智慧化健康评估及营养供给体系, 不仅为解决全球粮食安全和营养失衡问题提供创新路径, 也为其他药食同源物质的食品化开发提供借鉴.

参考文献

1 Gashu D, Nalivata P C, Amede T, et al. The nutritional quality of cereals varies geospatially in Ethiopia and Malawi. Nature, 2021, 594: 71–76
2 Downer S, Berkowitz S A, Harlan T S, et al. Food is medicine: actions to integrate food and nutrition into healthcare. BMJ, 2020, 369: m2482
3 Siddique K H M, Li X, Gruber K. Rediscovering Asia's forgotten crops to fight chronic and hidden hunger. Nat Plants, 2021, 7: 116–122
4 Xia M, Liu Y, Liu J, et al. Out of the Himalaya-Hengduan Mountains: phylogenomics, biogeography and diversification of *Polygonatum* Mill. (Asparagaceae) in the Northern Hemisphere. Mol Phylogenet Evol, 2022, 169: 107431
5 Liu J J, Si J P. Herbal textual research on Chinese medicine "Huangjing" (Polygonati rhizoma) and some enlightenments (in Chinese). China J Chin Mater Med, 2018, 43: 631–636 [刘京晶, 斯金平. 黄精本草考证与启迪. 中国中药杂志, 2018, 43: 631–636]
6 Shi Y, Liu J, Si D, et al. Huangjing—from medicine to healthy food and diet. Food Front, 2023, 4: 1068–1090
7 Shi Y, Si D, Chen D, et al. Bioactive compounds from *Polygonatum* genus as anti-diabetic agents with future perspectives. Food Chem, 2023, 408: 135183
8 Si J P, Zhu Y X. Polygonati rhizoma—a new high-quality crop with great potential and not occupying farmland (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2021, 51: 1477–1484 [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. 中国科学: 生命科学, 2021, 51: 1477–1484]
9 Chen D, Han Z, Si J. Huangjing (Polygonati rhizoma) is an emerging crop with great potential to fight chronic and hidden hunger. Sci China Life Sci, 2021, 64: 1564–1566
10 Chen D, Si D, Liu J, et al. Huangjing is not only a good medicine but also an affordable healthy diet. Sci China Life Sci, 2024, 67: 2520–2522
11 Si J P, Qiu Y H, Sun Y J. Development strategy of Huangjing industry (in Chinese). Strat Stud CAE, 2024, 26: 113–120 [斯金平, 裘雨虹, 孙云娟. 新兴林粮——黄精产业发展战略研究. 中国工程科学, 2024, 26: 113–120]
12 Si D, Liu J, Shi Y, et al. Huangjing fructan: a kind of novel active carbohydrate with energy-supply function. Trends Food Sci Tech, 2025, 162: 105097
13 Leach J D, Sobolik K D. High dietary intake of prebiotic inulin-type fructans in the prehistoric Chihuahuan Desert. Br J Nutr, 2010, 103: 1558–1561

https://www.sciengine.com/doi/10.1360/SSV-2025-0319

14 Yang Y X. Chinese Food Composition Table: Volume 1 (in Chinese). Beijing: Peking University Medical Press, 2018 [杨月欣. 中国食物成分表: 第一册. 北京: 北京大学医学出版社, 2018]
15 Chen H, Feng R, Guo Y, et al. Toxicity studies of *Rhizoma Polygonati Odorati*. J EthnoPharmacol, 2001, 74: 221–224
16 Guan Y, Liang Z, Li R, et al. Chemical composition and antioxidant activity of *Polygonatum kingianum* processed by the traditional method of "Nine Cycles of Steaming and Sun-Drying". Food Chem X, 2024, 22: 101292
17 Zheng X Q, Jin C S, Zhang Y Z, et al. Chemical components dynamic variation of root of Polygonati rhizoma during a nine—time repeat of the steaming and sun—drying process (in Chinese). Chin Tradit Pat Med, 2020, 42: 1837–1841 [郑晓倩, 金传山, 张亚中, 等. 黄精九蒸九晒炮制过程中糖类成分动态变化. 中成药, 2020, 42: 1837–1841]
18 Mei X, Xia J, Li W, et al. Glycan degradation in Polygonati rhizoma: effects of traditional 'nine steaming and nine basking' on low molecular weight Fructans and polysaccharides. Food Chem X, 2025, 25: 102131
19 Zhang Y X, Zhou Q, Zhang X L, et al. Content change and transformation mechanism of oligosaccharides and monosaccharides before and after processing in *Polygonatum cyrtonema* (in Chinese). J Chin Med Mater, 2020, 43: 318–322 [张艳雪, 周巧, 张学兰, 等. 黄精炮制前后寡糖与单糖类成分含量变化与转化机制研究. 中药材, 2020, 43: 318–322]
20 Guan Y, Li R, Lv Z, et al. The change in structure and improvement of anti-aging effects of polysaccharides in Polygonati rhizoma after the traditional "Nine Steaming-Nine Sun-Drying". Carbohydr Polym, 2026, 373: 124597
21 Luo W, Li X, Zhang C, et al. Physicochemical characterization and protective effects of raw and nine-steamed *Polygonatum cyrtonema* polysaccharides on cyclophosphamide-induced immunosuppression in mice. Int J Biol Macromol, 2025, 307: 141911
22 Zhu S, Liu P, Wu W, et al. Multi-constituents variation in medicinal crops processing: investigation of nine cycles of steam-sun drying as the processing method for the rhizome of *Polygonatum cyrtonema*. J Pharm Biomed Anal, 2022, 209: 114497
23 Bharate S S, Bharate S B. Non-enzymatic browning in citrus juice: chemical markers, their detection and ways to improve product quality. J Food Sci Technol, 2012, 51: 2271–2288
24 Ren W, Wu M, Wang B, et al. Constant temperature and humidity combined with vacuum-steam pulsed steaming of *Polygonatum cyrtonema* rhizome: quality attribute and browning mechanism. Food Chem, 2025, 463: 141472
25 Zhang F. Study one the formation regularity of sensory quality and changes of main active substances of *Polygonatum* during NINE-STEAM-NINE-BASK processing preparation (in Chinese). Dissertation for Master's Degree. Nanning: Guangxi University, 2022 [张帆. 九蒸九制过程中黄精感官品质形成规律及主要活性物质变化研究. 硕士学位论文. 南宁: 广西大学, 2022]
26 Zhang Y L, Lu M M, Zhang L Y. Review on antioxidant activities of Maillard reaction products under different conditions (in Chinese). China Condiment, 2015, 40: 120–127 [章银良, 卢慢慢, 张陆燕. 不同条件下美拉德反应产物抗氧化活性的研究综述. 中国调味品, 2015, 40: 120–127]
27 Nie X, Wang L, Wang S, et al. *In vitro* hypoglycemic and antioxidant activities of steamed *Polygonatum cyrtonema* Hua with various steaming degrees: relationship with homoisoflavonoids. Food Biosci, 2023, 53: 102518
28 Sun C Y, Li Y T, Liu D, et al. Gastroprotective potential of the aqueous extract of nine-steaming and nine-sun-drying processed *Polygonatum cyrtonema* Hua against alcoholic gastric injury in mice. J Ethnopharmacol, 2025, 338: 119103
29 Wang Z, Xie R, Wang B. Comprehensive evaluation and anti-inflammatory activity of "Zhi" *Polygonatum cyrtonema* produced by the classical steaming approach. Pharmacol Res Modern Chin Med, 2023, 6: 100229
30 Su L, Li X, Guo Z, et al. Effects of different steaming times on the composition, structure and immune activity of *Polygonatum* polysaccharide. J Ethnopharmacol, 2023, 310: 116351
31 Xian J, Chen Q, Zhang C, et al. Polygonati rhizoma polysaccharides relieve exercise-induced fatigue by regulating gut microbiota. J Funct Foods, 2023, 107: 105658
32 Li Y, Liu Z, Yan H, et al. *Polygonatum sibiricum* polysaccharide ameliorates skeletal muscle aging and mitochondrial dysfunction via PI3K/Akt/mTOR signaling pathway. Phytomedicine, 2025, 136: 156316
33 Zhang X, Ye Y, Sun J, et al. *Polygonatum sibiricum* polysaccharide extract relieves FB1-induced neurotoxicity by reducing oxidative stress and mitochondrial damage in *Caenorhabditis elegans*. Food Biosci, 2022, 49: 101939
34 Xiong S, Li Y, Chen G, et al. Incorporation of Huangjing flour into cookies improves the physicochemical properties and *in vitro* starch digestibility. LWT, 2023, 184: 115009
35 Zheng T, Chen H, Yu Y, et al. Property and quality of japonica rice cake prepared with *Polygonatum cyrtonema* powder. Food Chem X, 2024, 22:

https://www.sciengine.com/doi/10.1360/SSV-2025-0319

101370
36 Zhang M, Golding J B, Pristijono P, et al. Effects of Huangjing polysaccharides on the properties of sweet potato starch. LWT, 2024, 204: 116474
37 Xiong S, Wang S S, Ge W, et al. Effect of *Polygonatum cyrtonema* Hua polysaccharides on the gluten network and protein aggregation behavior under low-voltage electrostatic field. Food Hydrocolloids, 2025, 163: 111065
38 Li J S, Zhang C, Zhang H S, et al. Effect of *Polygonatum sibiricum* on Chinese rice wine (in Chinese). China Brew, 2017, 36: 64–67 [李锦松, 张超, 张怀山, 等. 黄精在酿造黄酒中的作用研究. 中国酿造, 2017, 36: 64–67]
39 Wang J J, Zhang W W, Guan Z J, et al. Effect of fermentation methods on the quality and *in vitro* antioxidant properties of *Lycium barbarum* and *Polygonatum cyrtonema* compound wine. Food Chem, 2023, 409: 135277
40 Liu R B, Zou Z, Tang J H, et al. Optimization of brewing process and quality analysis of *Polygonatum sibiricum* and black glutinous rice wine (in Chinese). China Brew, 2024, 43: 192–196 [刘日斌, 邹卓, 唐嘉辉, 等. 黄精黑糯米酒酿造工艺优化及其品质分析. 中国酿造, 2024, 43: 192–196]
41 Liu X H, Yang X, Tian Q F, et al. Analysis of antioxidant activity and flavor substance in *Polygonatum cyrtonema* wine fermented by 3 different of yeasts (in Chinese). J Food Saf Qual, 2022, 13: 5153–5161 [刘晓辉, 杨雪, 田钱丰, 等. 3种不同酵母发酵黄精酒的抗氧化活性及风味物质分析. 食品安全质量检测学报, 2022, 13: 5153–5161]
42 Song Y J, Guo T, Li J X, et al. Main fermentation technology of Polygonati rhizoma wine (in Chinese). Food Res Dev, 2018, 39: 108–112 [宋艺君, 郭涛, 李积秀, 等. 黄精果酒主发酵工艺研究. 食品研究与开发, 2018, 39: 108–112]
43 Song Y J, Guo T, Li J X, et al. Optimization of fermentation process and antioxidant activity of Polygonati rhizoma-Jujubae fructus fruit wine by response surface methodology (in Chinese). Sci Technol Food Ind, 2021, 42: 156–161 [宋艺君, 郭涛, 李积秀, 等. 响应面法优化黄精-大枣果酒发酵工艺及其抗氧化活性. 食品工业科技, 2021, 42: 156–161]
44 Xue W H. The research of brewing technology and the analysis of flavor compounds on *Ploygonatum* beer (in Chinese). Dissertation for Master's Degree. Nyingchi: Xizang University, 2019 [薛文华. 黄精啤酒酿造工艺及其风味物质分析. 硕士学位论文. 林芝: 西藏大学, 2019]
45 Zhang G T, He S Q, Meng Q Q, et al. Effects of *Polygonatum sibiricum* on microbial community structure and functional genes of Wheat Qu (in Chinese). Sci Technol Food Ind, 2024, 45: 56–64 [张国泰, 贺思桥, 蒙倩倩, 等. 黄精对麦曲微生物群落结构及其功能基因的影响. 食品工业科技, 2024, 45: 56–64]
46 Zhang J P, Cai W Q, Chen, S L, et al. Preparation of cider with treated *Polygonatum sibsibiricum* and analysis of its volatile compounds (in Chinese). Food Res Dev, 2019, 40: 165–170 [张建萍, 蔡望秋, 陈尚龙, 等. 黄精苹果酒的研制及挥发性成分分析. 食品研究与开发, 2019, 40: 165–170]
47 National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China (in Chinese). Beijing: China Medical Science Press, 2025 [国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 北京: 中国医药科技出版社, 2025]
48 Liu R B, Zhang L S, Tang J H. Formula optimization and stability of *Polygonatum* germ rice milk functional beverage (in Chinese). Food Sci Technol, 2023, 48: 141–147 [刘日斌, 张林尚, 唐嘉辉. 黄精留胚米乳功能饮料配方优化及其稳定性研究. 食品科技, 2023, 48: 141–147]
49 Qin Y, He X L, Lin C S, et al. Optimization of technology conditions and quality analysis of *Polygonatum sibiricum-Lycium barbarum* compound yoghurt (in Chinese). China Brew, 2022, 41: 156–162 [覃引, 何晓亮, 林长松, 等. 黄精-枸杞复合酸奶工艺条件优化及其品质分析. 中国酿造, 2022, 41: 156–162]
50 Xie Y M, Li X M., Liu H X. Study on the activity of Ginseng, Polygonati rhizoma and wolfberry extract and its beverage sensory optimization (in Chinese). Food Ferment Sci Technol, 2023, 59: 65–71 [谢煜敏, 李晓敏, 刘洪霞. 人参黄精枸杞提取液活性研究及其饮料感官优化. 食品与发酵科技, 2023, 59: 65–71]
51 Yang J J, Zhao S L, Ma Y G. The preparation and formula optimization of compound Polygonati rhizome tea bag (in Chinese). Sci Technol Food Ind, 2020, 41: 180–185 [杨婧娟, 赵声兰, 马雅鸽. 黄精袋泡茶的制备及配方优化. 食品工业科技, 2020, 41: 180–185]
52 Yang Y, Hou T T, Wang C. Study on preparation technology and immunomodulatory effect of *Polygonatum cyrtonema* Hua-keemum black tea drink (in Chinese). J Food Saf Qual, 2022, 13: 7083–7090 [杨迎, 侯婷婷, 王成. 黄精茶饮的制备工艺及其免疫调节作用研究. 食品安全质量检测学报, 2022, 13: 7083–7090]
53 Yu Y R, Feng N, Xie H X. Study on the technology of compound vinegar with potato and *Polygonatum sibiricum* (in Chinese). Agri Prod Process, 2023, 2023: 42–45 [俞媛瑞, 冯那, 谢华秀. 马铃薯黄精复合醋的工艺研究. 农产品加工, 2023, 2023: 42–45]
54 Zhang R B, Yan X J, Zhang H Y. Formula process of *Polygonatum sibiricum* and Alpiniae oxyphyllae fructus solid beverage based on fuzzy mathematics sensory evaluation method (in Chinese). China Condiment, 2025, 50: 141–146 [张瑞博, 张海悦, 闫海娟. 基于模糊数学感官评价

https://www.sciengine.com/doi/10.1360/SSV-2025-0319

法优化黄精益智仁固体饮料的配方工艺. 中国调味品, 2025, 50: 141–146]

55 Shen W D, Li X Y, Deng Y Y, et al. *Polygonatum cyrtonema* Hua polysaccharide exhibits anti-fatigue activity via regulating osteocalcin signaling. Int J Biol Macromol, 2021, 175: 235–241

56 Zhang Z R, Huang S, Liu J, et al. Main nutrients and functional ingredients in flowers of *Polygonatum cyrtonema* and *P. filipes* (in Chinese). China J Chin Mater Med, 2020, 45: 1329–1333 [张泽锐, 黄申, 刘京晶, 等. 多花黄精和长梗黄精花主要营养功效成分. 中国中药杂志, 2020, 45: 1329–1333]

57 Huang S, Liu J J, Zhang X F, et al. Main nutrients and functional ingredients in shoots of *Polygonatum cyrtonema* (in Chinese). China J Chin Mater Med, 2020, 45: 1053–1058 [黄申, 刘京晶, 张新凤, 等. 多花黄精嫩芽主要营养与功效成分研究. 中国中药杂志, 2020, 45: 1053–1058]

Development of forest grain Polygonati rhizoma foodification

ZHANG XinFeng[1], MADINAI Sabir[1], LIU JingJing[1], YU QiaoXian[2], ZOU Hui[3], SONG DaWei[4], HU HongFang[5] & SI JinPing[1*]

[1] *National Key Laboratory of Development and Utilization of Forest Food Resources, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China*
[2] *Zhejiang Senyu Co., Ltd., Yiwu 322000, China*
[3] *Hunan Yipuyuan Huangjing Industry Co., Ltd., Xinhua 417600, China*
[4] *Chizhou Jiuhuafu Jinlian Smart Agriculture Co., Ltd., Chizhou 247100, China*
[5] *Huangshan Hui Pharmaceutical Decoction Pieces Co., Ltd., She County 341021, China*
* *Corresponding author, E-mail: lssjp@163.com*

Polygonati rhizoma (Huangjing) is a traditional medicinal and edible substance in China with a history of over 2000 years of use in both food and medicine. It has served as a grain substitute during famines, although its development has long focused on medicinal and health food applications. Entering the new century, the global prevalence of diet-related chronic diseases-coupled with China's success in poverty alleviation, has shifted public dietary needs from "mere sustenance" toward "diversified nutritional". Advances in forest cultivation of Huangjing development and the discovery of Agavin-type fructans in Huangjing have greatly accelerated its transition toward food-based and lifestyle applications. This article systematically reviews the history of Huangjing as a food substitute, the chemical composition, and the food applications of Huangjing. It clarifies the highly branched and short-chain characteristics of Huangjing fructans. In the processing of "nine cycles of steaming and sun-drying" and "Chinese herbal compound formulas", Agavin-type fructans not only impart unique energy-sustaining and flavor-enhancing effects but also achieve functional synergy through ingredient blending. The Agavin-type fructans in Huangjing regulate the microstructure of starch/protein in food, improve digestibility, and lower the glycemic index, making them ideal companions for staple food energy release. Additionally, they serve as excellent natural substrates for the growth of probiotics, yeast, and other microorganisms, offering unique advantages for developing fermented products such as wine, yogurt, enzymes, and bread. The article also clarifies the material basis and application value of "flowers superior to fruits, fruits superior to roots" in Huangjing. The food application of Huangjing not only provides an innovative approach to addressing global food security and nutritional imbalances but also offers insights for the food development of other food-medicine homologous substances.

Polygonati rhizoma (Huangjing), forest grains, food-medicine substances, diabetes, low GI, fermentation

doi: 10.1360/SSV-2025-0319

https://www.sciengine.com/doi/10.1360/SSV-2025-0319