

# 天麻品质及贮藏保鲜研究进展

贾莉莉, 顾敏华, 吴小华, 陈柏, 魏丽娟, 王学喜  
(甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 天麻作为药食同源植物, 具有丰富的营养价值和药用价值。新鲜天麻因其良好的口感、丰富的营养及保健功能等优势, 深受消费者欢迎, 市场需求量日益增长。但由于鲜天麻采挖期短, 易腐烂发霉, 严重影响品质, 造成较大的经济损失。为了更好地开发和利用天麻, 本文在前人研究的基础上, 查阅整理国内外相关文献, 综述了天麻品质与采后保鲜技术的研究现状, 梳理了影响天麻品质及采后保鲜的因素, 并对提升果实品质和贮藏保鲜的方法进行了展望, 有望为天麻品质的提升和贮藏保鲜技术的发展提供理论基础。

**关键词:** 天麻; 品质; 影响因素; 贮藏; 保鲜技术

中图分类号: S567.23

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)01-0020-08

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2025.01.004

## Study Progress on the Quality, Storage and Preservation of *Gastrodia elata*

JIA Lili, XIE Minhua, WU Xiaohua, CHEN Bai, WEI Lijuan, WANG Xuexi  
(Agricultural Product Storage and Processing Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences,  
Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** As a medicinal and edible homologous plant, *Gastrodia elata* has rich nutritional value and medicinal value. Fresh *Gastrodia elata* is well received by consumers because of its good taste, rich nutrition and health care functions, and the market demand is growing day by day. However, due to the short excavation period of fresh *Gastrodia elata*, it is prone to spoilage and mold, severely affecting its quality and causing significant economic losses. To better develop and utilize *Gastrodia elata*, this paper reviews the current research on its quality and post-harvest preservation techniques by consulting and organizing relevant domestic and international literature based on previous studies. It outlines the factors affecting the quality and post-harvest preservation of *Gastrodia elata* and provides an outlook on methods to improve fruit quality and storage preservation, aiming to provide a theoretical foundation for the enhancement of its quality and the development of preservation technologies.

**Key words:** *Gastrodia elata*; Quality; Influencing factor; Storage; Preservation technology

天麻是兰科植物天麻(*Gastrodia elata* Blume)的干燥块茎, 为名贵中药材, 富含酚类、多糖类、氨基酸、甾醇类和有机酸类等多种有效成分, 主治头晕目眩、肢体麻木、小儿惊风等症, 具有多种药理活性<sup>[1]</sup>。随着天麻被列入“食药物质”名单<sup>[1]</sup>, 在全国范围内掀起天麻食品的开发热潮, 推动了天麻在食品领域的研究和发。天麻是甘肃康县最具特色和开发潜力的生物资源, 其干燥块茎是名贵中药材之一。天麻属于呼吸跃变型块茎, 含水量高, 采后代谢旺盛, 易腐烂发霉, 室温下存

放3~5 d, 品质劣变快, 严重降低其食用、药用价值, 造成较大的经济损失<sup>[2]</sup>。大量学者针对天麻品质及贮藏保鲜进行了相关研究<sup>[3-8]</sup>。为了更好地开发和利用天麻, 了解天麻的生理生化特性并采用适宜的贮藏保鲜技术维持较好的外观品质和延长保质期显得十分重要。为此, 我们在前人研究的基础上, 对天麻品质、采后生理、天麻保鲜技术、影响天麻贮藏的因素等研究进展进行综述, 旨在为天麻的高效利用和采后贮藏保鲜技术的深入研究提供参考。

收稿日期: 2024-05-09; 修订日期: 2024-10-17

基金项目: 甘肃省科技计划乡村振兴专项(23CXNA046)。

作者简介: 贾莉莉(1994—), 女, 甘肃靖远人, 研究实习员, 硕士, 研究方向为果蔬贮藏保鲜。Email: jiall0806@163.com。

通信作者: 吴小华(1984—), 女, 甘肃靖远人, 副研究员, 硕士, 研究方向为果蔬贮藏保鲜。Email: wuxiaohua.84@163.com。

## 1 天麻品质研究进展

### 1.1 营养成分

天麻中的基本营养物质主要包括可溶性固形物、维生素、氨基酸、矿物质以及其他物质。康明等<sup>[3]</sup>的研究表明, 天麻是一种优秀的氨基酸营养提供者, 在日常饮食中, 应与富含氨基酸的食材合理搭配, 保证人体所需必需氨基酸均衡。此外, 矿物质元素 K 能维持血液和体液的酸碱平衡, Mn 可以较好地调节神经中枢, 德江天麻可作为人体补充上述矿物质元素的重要来源<sup>[3]</sup>。

1.1.1 可溶性固形物 可溶性固形物是农产品贮藏过程中品质评价的指标之一, 与果实风味有关<sup>[9]</sup>。曹森等<sup>[1]</sup>研究发现, 鲜天麻中含有较高的可溶性固形物, 在温度 25、1 °C 下贮藏, 天麻中的可溶性固形物含量均随贮藏天数的增加呈下降趋势, 并且不同温度处理组之间无显著性差异, 但在第 24~30 天, 贮藏在 25 °C 条件下的可溶性固形物含量高于贮藏在 1 °C 条件下的。

1.1.2 维生素 维生素是日常饮食中的重要营养素<sup>[10]</sup>。李立郎等<sup>[11]</sup>研究发现, 贵州乌天麻维生素 C 含量为 38.4 ~ 99.7 g/kg, 营养价值高。Wang 等<sup>[4]</sup>采用转录组和代谢组学分析了天麻维生素生物合成的营养特性和分子基础, 检测到 13 种维生素, 鉴定了编码负责烟酸等维生素生物合成或代谢酶的基因。李新月等<sup>[12]</sup>对不同规格天麻营养成分进行分析, 其中维生素质量分数为 91.516 ~ 162.739 μg/g。

1.1.3 氨基酸 氨基酸含量和组成是判断食品质量的重要指标<sup>[13]</sup>。康明等<sup>[3]</sup>从德江天麻中检测到 17 种氨基酸, 总量达到 100.34 g/kg, 其中呈鲜味的谷氨酸、天冬氨酸含量分别达到了 16.32、12.49 g/kg。李立郎等<sup>[11]</sup>在乌天麻中共检出 15 种氨基酸, 必需氨基酸占氨基酸总量的 44.93%。段桂媛等<sup>[14]</sup>从 5 批重庆乌红杂交天麻中检出十余种氨基酸。李新月等<sup>[12]</sup>对不同品种、产地、规格天麻中氨基酸进行分析评价, 发现游离氨基酸和水解氨基酸质量分数为 5.447 ~ 19.394 g/kg 和 16.238 ~ 66.055 g/kg。在天麻样品中共检出 345 个代谢物和 21 513 个转录本, 这些代谢物表明新鲜的转基因组织含有人类所必需的氨基酸, 是一种很好的补充饮食<sup>[13]</sup>。

1.1.4 矿物质 矿物质元素对提升果实品质起重要作用。王玉悦等<sup>[15]</sup>研究发现, 天麻中含有多种人体所必需的矿物质。在德江天麻营养成分的分析研究中发现, 矿物质元素含量丰富, 常量元素以 K 含量最高, 微量元素以 Mn 的含量最高, 分别为 41 234.43、20.5 mg/kg<sup>[3]</sup>。赵晓慧等<sup>[16]</sup>研究发现, 冬麻中 Ca、Fe、K、Cr 含量优于春麻, 这可能和冬麻的生长期较春麻长有关。

1.1.5 其他营养成分 天麻中还含有淀粉、蛋白质、粗纤维等营养物质。段桂媛等<sup>[14]</sup>研究发现, 重庆天麻相较于其他地区天麻营养物质含量更高, 高海拔地区天麻的粗纤维、浸出物等含量普遍高于低海拔地区。徐广等<sup>[17]</sup>研究发现, 不同产地种植天麻的浸出物和灰分含量均能达到药典要求, 但含量差异较大。王伟等<sup>[18]</sup>对不同类型天麻的品质进行比较发现, 红乌杂交天麻中蛋白质含量最高, 且其品质最好。

### 1.2 活性成分

目前, 对天麻活性成分的研究已取得较多进展。据统计, 已从天麻中分离鉴定出一百多种活性物质, 主要含有酚类及其糖苷类、多糖类、有机酸类等<sup>[19]</sup>。研究表明, 天麻活性成分在阿尔茨海默病、癫痫等神经系统疾病中的应用效果显著<sup>[19]</sup>, 且具有降血脂、血压, 抗病毒, 免疫调节等药理功效<sup>[20-23]</sup>。

1.2.1 酚类及其糖苷类 从天麻中分离得到的酚类及糖苷类化合物达到了七十多种<sup>[19]</sup>。陈琛等<sup>[24]</sup>研究表明, 不同产地天麻中主要含有的多酚组分为咖啡酸、表儿茶素、对羟基苯甲酸、肉桂酸等。朱锦峰等<sup>[25]</sup>对天麻 5 个发育阶段中的活性成分进行了测定, 发现米麻阶段中巴利森苷类物质(A、B、E)和天麻素含量最高, 原球茎阶段中巴利森苷 C 和对羟基苯甲醇含量最高, 白麻阶段中对羟基苯甲醛的含量最高。Gao 等<sup>[26]</sup>研究发现, 贵州、云南和山西天麻中对羟基苯甲醇含量较高, 且始终具有较高的抗氧化活性, 而安徽天麻中天麻素含量最高, 表明不同区间天麻品质有较大的差异, 为天麻的选育和应用提供了参考。

1.2.2 多糖类 目前, 已从天麻中分离得到了十余种多糖<sup>[19]</sup>。洪其明等<sup>[27]</sup>从天麻中提纯得到天麻粗多糖, 再经多种步骤转化成均一多糖, 发现

该多糖是由多个单糖组成的葡聚糖。张双奇等<sup>[28]</sup>研究发现, 商洛天麻多糖含量为 32.83 mg/g, 且天麻多糖含量在一定范围内有良好的清除自由基效果。赵湘蓉等<sup>[29]</sup>在最佳条件下提取得到天麻多糖量为 14.89%。Du 等<sup>[30]</sup>研究发现, 不同品种天麻地上部位多糖的单糖含量差异较大, 葡萄糖和半乳糖含量最高, 均超过 20%。马凤伟等<sup>[31]</sup>对不同采挖期乌天麻中的多糖含量的研究表明, 多糖含量受不同采收期的影响, 其中冬至采收的乌天麻中多糖含量最高, 但不同采收时间(立冬、冬至、立春)乌天麻中的多糖得率均大于 20%, 表明在这一段时间内采收均能保证较好的天麻质量。

1.2.3 有机酸类 有机酸及其酯类是天麻的主要成分, 作为调味剂、酸化剂和螯合剂应用于几乎所有食品和制药行业。杨式华等<sup>[32]</sup>采用 GC-MS 法测定天麻中挥发性有机酸的含量, 结果表明, 天麻富含大量的有机酸, 其中苹果酸含量较高, 可达 5.00 mg/g; 其次是柠檬酸, 达 3.47 mg/g; 油酸含量较低, 仅 0.13 mg/g。此外, Zeng 等<sup>[33]</sup>通过 UPLC-MS/MS 和 HPLC-UV 测定了 3 个品种天麻代谢特征和化学成分, 发现绿天麻中丁香酸的含量更高, HPLC 指纹图谱检测到的柠檬酸与代谢组学数据相似。

### 1.3 风味成分

风味成分的差异影响消费者的购买欲望。黄名正等<sup>[34]</sup>从天麻中鉴定出 39 种挥发性物质, 总量为 283.32  $\mu\text{g/g}$ , 其中 11 种具有风味特点; 5 种具有药物功效。卢义龙<sup>[35]</sup>研究发现, 天麻挥发性成分主要包括醚类、酯类、醇类、醛类等化合物, 其中二甲基二硫醚可能与天麻特殊的“马尿臭”味有关。Duan 等<sup>[36]</sup>通过顶空-气相色谱-离子迁移谱联合主成分分析研究了云南黄天麻(含冬春采期)、红天麻、乌天麻和绿天麻 4 个不同品种挥发性物质的差异, 结果表明, 不同品种、不同采收时间天麻风味物质主要由醛类、醇类、酮类、杂环类、酯类、酸类等组成, 并且推测天麻中的特殊气味可能与所富含的醛类有关。

### 1.4 影响天麻品质的因素

天麻的品质评价受多种因素的影响, 如外观、质地、营养物质等。随着科学技术的不断发展, 对天麻的质量评价也从外在指标逐渐过渡到内在指标<sup>[37]</sup>, 为天麻的品质提供了保障。天麻的品

种、等级、产地、树种菌材及生态环境因子等因素都会影响天麻的品质。

1.4.1 品种 天麻种类繁多, 多数种植地区主要以红天麻、乌天麻、乌红杂交天麻为主, 少数地区以黄天麻和绿天麻为主。天麻中有效成分的含量受不同产地的影响表现出较大的差异, 并且同一产地不同品种的天麻在有效成分含量上也存在较大差异<sup>[38-39]</sup>。杨肖衣等<sup>[40]</sup>研究发现, 贵州不同产区乌天麻、红天麻既具有地域差异也存在品种差异, 天麻素、腺苷、巴利森苷 C 含量是乌天麻和红天麻的质量差异成分。巩晴晴等<sup>[41]</sup>研究了大别山区天麻质量差异, 发现对羟基苯甲醇、巴利森苷类成分在杂交天麻和红天麻中有显著性差异。

1.4.2 等级 任守利<sup>[42]</sup>研究发现, 天麻等级与浸出物含量存在相关关系, 即等级越高, 醇溶性和水溶性浸出物含量就越高。不同等级与天麻中矿物质元素之间也存在相关性, Fe、Mg、Ni、B 元素含量随等级下降大多呈下降趋势, P、Cd、Cu 元素含量随等级下降逐渐升高<sup>[43]</sup>。另外, 天麻多糖含量与其等级有关, 一、二、三、四等级天麻中多糖含量分别为 32.65%、32.89%、21.71%、14.57%; 而不同等级天麻中天麻素含量基本相近<sup>[44]</sup>。研究表明, 不同等级天麻素、天麻多糖和对羟基苯甲醇含量差异显著, 但与规格等级之间不具有相关性<sup>[45]</sup>。

1.4.3 产地 田野等<sup>[46]</sup>基于天麻素含量的变化分析了不同产地天麻的品质, 发现陕西西乡所产天麻天麻素含量最高。对安徽、陕西和贵州等地所产天麻的天麻素含量进行检测发现, 贵州毕节天麻中天麻素的含量高达 1.44%<sup>[47]</sup>。葛进等<sup>[48]</sup>研究了不同产地天麻的品质, 发现云南镇雄天麻的营养价值相对较高, 而云南彝良天麻的天麻素和天麻多糖等药用价值较高。基于 UPLC-MS/MS 分析了天麻不同产区的质量差异, 其中 8 种有效物质的含量差异较大, 且巴利森苷类与天麻素成分存在显著相关性<sup>[49]</sup>。

1.4.4 树种菌材 天麻栽培中, 使用不同伴栽菌材影响天麻的产量和生长品质。研究表明, 使用白栎作为天麻的树种菌材, 天麻在各个时期的生长最好, 天麻素含量较高<sup>[50]</sup>。以马尾松、法国梧桐、柿树、枫树等树种作菌材栽培天麻, 所培育

的天麻在形态、天麻素含量方面有较大差异<sup>[51]</sup>。申爱荣等<sup>[52]</sup>研究发现, 使用不同树种菌材对天麻的品质影响显著, 其中所产天麻的对羟基苯甲醇和天麻素总含量均大于 0.25%; 总灰分含量均低于 4.5%。田玉桥等<sup>[53]</sup>以黄檀、尾叶樱作为伴栽菌材时, 天麻产量较高, 外观品质较好。在贵州天麻产区混合菌材处理中, 天麻的产量和品质为贵州青冈 + 亮叶桦伴栽 > 贵州青冈 + 竹柳伴栽 > 贵州青冈 + 亮叶桦伴栽 + 竹柳伴栽<sup>[54]</sup>。

**1.4.5 生态环境因子** 生态环境因子对天麻内在品质及相关成分含量有重要作用。研究发现, 天麻在 20 ~ 25 °C 时生长较快, 气温高于 30 °C 时, 会抑制天麻的生长<sup>[55]</sup>。红天麻在河南、陕西等海拔相对较低的地区分布广泛, 而乌天麻适宜生长在贵州和云南等海拔较高的地区<sup>[56]</sup>。朱成豪等<sup>[57]</sup>研究发现, 生态环境因子对天麻的影响由大到小为气候、海拔、土壤。此外, 微酸性或中性疏松的土壤对天麻的生长有较好的促进作用<sup>[58]</sup>。

## 2 天麻贮藏保鲜研究进展

新鲜天麻因其良好的口感、丰富的营养及保健功能等优势, 深受消费者欢迎。然而鲜天麻采后受物理因素、微生物侵染等易腐烂发霉, 制约鲜天麻产业的发展。目前, 天麻的贮藏保鲜技术

主要有物理、化学和生物保鲜。

### 2.1 贮藏期生理变化

天麻属于呼吸跃变型块茎, 含水量较高, 采收期短而集中, 采挖后极易腐烂, 不耐贮藏<sup>[1]</sup>。研究表明, 随贮藏时间的延长, 天麻的硬度、含水量、可溶性固形物含量、 $L^*$  值(亮度)、蛋白质和天麻多糖含量呈下降趋势, 腐烂率逐渐上升, 呼吸强度先上升后下降, 腺苷和天麻素含量均下降。鲜天麻贮藏过程中过氧化氢酶、超氧化物歧化酶、多酚氧化酶、抗坏血酸过氧化物酶和过氧化物酶活性呈现一定的波动状态, 这可能与天麻在贮藏过程中氧化衰老和受逆境胁迫等相关<sup>[1,5-7]</sup>。

### 2.2 保鲜技术

**2.2.1 物理保鲜技术** 由于消费者对使用化合物时残留物危害的担忧增加, 物理处理保鲜技术应运而生, 成为保护果蔬质量和安全的替代方案。天麻采后物理保鲜技术主要有低温、气调、臭氧、超高压等, 其处理条件和保鲜效果见表 1。

**2.2.2 化学保鲜技术** 使用化学制剂通过控制果实成熟衰老和杀菌来提高果实的质量和安全性, 被认为是一种有效的采后处理方法。天麻采后化学保鲜技术主要有保鲜剂处理和涂膜两种方式, 其具体处理条件和保鲜效果见表 2。

表 1 天麻采后物理保鲜技术

方法	处理条件	结果	参考文献
低温	3±2 °C	能较好地保持天麻的营养与药用价值	[8]
	-80 °C液氮预冻 24 h 后转移至 -18 °C冷冻保存	延长天麻的贮藏期至 210 d	[2]
气调	N <sub>2</sub> 与 H <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 和气态水的体积比为(80-95):(5-20)	保鲜效果较好	[59]
	(1%~3%)O <sub>2</sub> +(5%~7%)CO <sub>2</sub> +(90%~94%)N <sub>2</sub>	抑制 PAL 和 PPO 的活性, 抑制天麻有效成分含量的减少	[8]
臭氧	O <sub>3</sub> 40~60 mg/m <sup>3</sup>	养分含量和水分损耗较少, 延长天麻保鲜期 150 d, 可食率达 90%以上	[60]
	臭氧水溶液 5 mg/L 处理 10 min	延缓天麻至第 15 d 开始腐烂, 第 20 d 时腐烂指数仅为 1.56	[61]
超高压	30 °C、300 MPa 处理 10 min	相比常温常压, 超高压处理可抑制鲜切天麻的呼吸强度, 延缓腐烂	[61]
包装方式	微孔膜	抑制含水量减少, 维持较好的外观形态, 但活性成分含量降低速度快	[62]
	PE 保鲜袋	抑制呼吸强度, 延缓营养成分含量的减少, 降低腐烂	[5]
	塑料袋	水分散失少, 能维持良好的外观品质, 可延长天麻保鲜达 40 d	[63]

2.2.3 生物保鲜技术 生物保鲜技术通过使用安全、天然或受控的微生物和无毒的生物活性化合物延长果蔬的贮藏期，是一种替代的、新颖的保鲜方法，消费者对此越来越感兴趣。天麻采后生物保鲜技术主要有生物剂保鲜，其处理条件和保鲜效果见表 3。

2.3 影响天麻保鲜的因素

2.3.1 采收期 采收期对果蔬的贮藏品质和货架期有重要影响。曹森等<sup>[73]</sup>研究表明，采收期Ⅱ组(2016年12月15日)和采收期Ⅲ组(2017年1月15日)的天麻贮藏品质更好，能降低天麻保存期间的腐烂率，延缓营养物质含量的下降；而采收期Ⅰ组(2016年11月15日)和采收期Ⅳ组(2017年2月15日)的贮藏品质较差，这可能是由于过早采收的天麻干物质含量少，抗性差，贮藏后期衰老快，过晚采收的天麻由于产区温度低，影响其自身生理代谢，导致天麻的贮藏期缩短。因此，天麻的适宜采收期为12月中旬至翌年1月中旬，可保证较好的天麻品质，并适合长期贮藏。

2.3.2 贮藏环境 天麻的采后贮藏环境是影响天

麻保鲜的重要因素之一。适宜的温度、水分和干净的场所等可以降低微生物侵染，获得较长的保质期。黄万兵等<sup>[74]</sup>研究了采后天麻的相关生理特性，发现鲜天麻贮藏时含水量的变化与呼吸强度呈显著正相关，说明维持适宜的环境水分，合理减少天麻的含水量可以降低天麻的呼吸强度，延长天麻贮藏时间。研究发现，采用无污染、无营养来源、透气性好、不易积水的泥沙、木屑等贮藏介质保存鲜天麻，可以有效延长天麻的贮藏时间<sup>[75]</sup>。

3 结束语

随着天麻的保健功效被消费者认知以及天麻进入食药物质目录，天麻市场需求量越来越大。适宜的保鲜技术，对于维持天麻贮藏品质、延长贮藏时间具有重要作用。尽管目前用于天麻保鲜的方法在一定程度上延长了天麻的贮藏时间，但也存在诸多问题，如技术单一导致保鲜效果差，气调保鲜成本高不能大规模使用，保鲜剂的用量和使用时间把握不精准等。因此，为了更好地开发利用天麻，延长采后贮藏期，未来可以从以下

表 2 天麻采后化学保鲜技术

方法	处理条件	结果	参考文献
保鲜剂	1-MCP 0.9 g, 熏蒸 12 h	抑制天麻呼吸强度，延缓多糖、维生素 C 和蛋白质的消耗	[6]
	1.5% 壳寡糖	改善天麻的抗氧化性能，延缓老化，维持较好的质量	[64]
	微酸性电解水	抑制褐变度、褐变率、腐烂指标和菌落总数，延缓天麻素和维生素 C 的下降	[65]
	1.25%茶多酚、0.90%壳聚糖、0.50%柠檬酸、0.20%抗坏血酸	抑制鲜切天麻中有效成分含量的减少，维持 PPO 和 CAT 的活性	[66]
	1.25 g/L 脱氢乙酸钠和 1 μL/L 香芹酚	导致鲜天麻表皮真菌群落发生变化，抑制天麻腐烂	[67]
	10 μmol/L 独脚金内酯类似物	抑制天麻赤霉素信号进而抑制花茎芽生长，从而发挥保鲜作用	[7]
	50 μM 褪黑素	增加抗氧化能力和调节苯丙烷代谢来维持天麻质量	[68]
涂膜	2% 壳聚糖、20 μL 薄荷精油+2% 壳聚糖	相比空白组，涂膜显著抑制失重率和蛋白质的下降，延长天麻保鲜期	[70]
	0.4 mM 富氢水	通过提升能量水平和减轻氧化损伤，从而保持鲜切天麻的采后品质	[69]

表 3 天麻采后生物保鲜技术

方法	处理条件	结果	参考文献
生物保鲜剂	草豆蔻、花椒、八角、丁香等的提取物	抑制天麻内生菌如细菌、霉菌等，维持天麻硬度，抑制腐烂	[71]
	以蔓生假丝酵母、乳酸克鲁维酵母、黑曲霉、乳酸乳球菌、混淆乳杆菌制备的发酵液	常温状态下贮藏至 60 d 以上	[72]

几个方面进行探究: 一是加强天麻抗性品种的选育, 根据天麻种植栽培条件, 选育具有抗病虫害的天麻品种, 延长贮藏期。二是规范天麻人工栽培管理技术, 我国天麻的人工栽培方式仍具有一定的发展完善空间, 而在种植、提质增效等方面, 尚处于探索阶段, 应深入优化栽培管理技术。三是开发安全高效的天麻保鲜技术, 结合物理、化学和生物等技术, 降低保鲜成本, 提高保鲜效果。四是挖掘影响天麻成熟与衰老的关键基因, 通过分子生物学和基因工程等技术, 敲除相关基因, 延缓天麻成熟与衰老, 延长贮藏期, 从根本上促进天麻贮藏保鲜的发展。此外, 目前对天麻活性成分的研究已取得较多进展, 然而对天麻活性物质的研究多集中在天麻素, 其他物质的功效特性缺乏深入的研究。未来应加大对其他活性物质的研究力度, 为天麻的合理开发提供数据支持。

#### 参考文献:

- [1] 曹 森, 雷霖卿, 吉 宁, 等. 鲜天麻采后生理品质变化规律及病原菌鉴定的研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 285-293.
- [2] 李 莹, 王 瑞, 马风伟, 等. 不同预冻方式结合冷冻贮藏对天麻品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(11): 60-66.
- [3] 康 明, 李刚凤, 霍 蓓, 等. 德江天麻营养成分分析与评价[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(24): 128-131.
- [4] WANG Y, SHAHID M Q. Insights into the nutritional properties and molecular basis of biosynthesis of amino acids and vitamins of *Gastrodia elata* offered by metabolomic and transcriptomic analysis[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14: 1183139.
- [5] 孙海燕, 马 骏, 钟爱民, 等. 不同保鲜包装对天麻贮藏生理和效果的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(12): 329-333.
- [6] 马 骏, 孙海燕, 钟爱民, 等. 不同 1-MCP 处理对汉中红天麻保鲜效果的研究[J]. 保鲜与加工, 2016, 16(4): 14-17; 22.
- [7] 曹艺颖, 陈虞超, 刘天睿, 等. 独脚金内酯类似物在天麻贮藏保鲜中的应用研究[J]. 中国中药杂志, 2023, 48(12): 3149-3155.
- [8] 陈 娜, 李永强, 李瑞平, 等. 不同包装条件下冷藏天麻的保鲜效果[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(1): 251-255.
- [9] 王 鑫, 于柱英, 赵连鑫, 等. 沙地桃品种果实物候期和果实品质比较研究[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(1): 44-49.
- [10] 张冰雪, 张晓敏, 邢燕平, 等. 影响禾谷类作物籽实营养素含量的遗传因素分析[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(8): 687-698.
- [11] 李立郎, 胡 萍, 陈 冉, 等. 贵州乌天麻的营养成分分析[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(5): 175-178.
- [12] 李新月, 张辰辰, 程 蒙, 等. 不同规格天麻主要营养素含量分析[J]. 中国中药杂志, 2024, 49(17): 4572-4577.
- [13] CHENG Y, GAO C G, LUO S D, et al. Effects of storage temperature at the early postharvest stage on the firmness, bioactive substances, and amino acid compositions of chili pepper (*Capsicum annuum* L.)[J]. *Metabolites*, 2023, 13(7): 820.
- [14] 段桂媛, 张 曼, 唐鑫静, 等. 乌红杂交鲜天麻质量评价研究[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(5): 157-167.
- [15] 王玉悦, 包海鹰. 天麻种子的营养成分及其对惊厥小鼠的抗氧化作用[J]. 中国老年学杂志, 2019, 39(10): 2458-2462.
- [16] 赵晓慧, 徐丹先, 栾 杰, 等. 昭通彝良小草坝新鲜天麻营养成分分析评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(10): 3727-3731.
- [17] 徐 广, 李品明, 谭秋生, 等. 不同产地栽培天麻的质量研究[J]. 中国野生植物资源, 2022, 41(8): 31-36.
- [18] 王 伟, 文 欢, 张大燕, 等. 不同类型天麻的品质比较[J]. 食品工业, 2018, 39(1): 305-308.
- [19] 段 昊, 闫文杰. 天麻生物活性成分及功效研究进展[J]. 食品科学, 2023, 44(17): 332-340.
- [20] KIM K J, LEE O H, HAN C K, et al. Acidic polysaccharide extracts from *Gastrodia rhizomes* suppress the atherosclerosis risk index through inhibition of the serum cholesterol composition in Sprague Dawley rats fed a high-fat diet[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2012, 13(2): 1620-1631.
- [21] ZHU Z Y, CHEN C J, SUN H Q, et al. Structural characterisation and ACE-inhibitory activities of polysaccharide from *Gastrodia elata* Blume[J]. *Natural Product Research*, 2019, 33(12): 1721-1726.
- [22] TONG X K, QIU H, ZHANG X, et al. WSS45, a sulfated alpha-D-glucan, strongly interferes with Dengue 2 virus infection in vitro[J]. *Acta Pharmacologica Sinica*, 2010,

- 31(5): 585–592.
- [23] CHEN J C, TIAN S, SHU X Y, et al. Extraction, characterization and immunological activity of polysaccharides from rhizoma *Gastrodiae* [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2016, 17(7): 1011.
- [24] 陈琛, 蔺蓓蓓, 苏鹏超, 等. 不同产地红天麻多酚组成及体外抗氧化活性研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2021, 49(12): 144–154.
- [25] 朱锦峰, 刘博, 徐倩, 等. 天麻不同发育阶段7种有效成分的动态变化规律及质量差异标志物确认[J]. *中华中医药学刊*, 2024, 42(2): 197–203.
- [26] GAO X X, MIAO J, GUO X H, et al. Multicomponent quantitative analysis combined with antioxidant and alpha-glucosidase inhibitory activities for the quality evaluation of *Gastrodia elata* from different regions [J]. *Biomedical Chromatography*, 2019, 33(7): e4508.
- [27] 洪其明, 施松善, 王彩, 等. 天麻中一种葡聚糖的结构鉴定[J]. *中药材*, 2010, 33(5): 726–729.
- [28] 张双奇, 刘琳, 何念武, 等. 超声辅助提取陕产天麻多糖的工艺优化及抗氧化活性研究[J]. *中国农学通报*, 2021, 37(9): 131–136.
- [29] 赵湘蓉, 方伟, 刘胜贵, 等. 湖南雪峰山天麻多糖提取工艺优化研究[J]. *农产品加工*, 2020(2): 46–50.
- [30] DU C J, LIU X Y, ALGADI H, et al. Polysaccharide extraction optimization, monosaccharide composition, and antioxidant activity analysis of different varieties of *Gastrodia elata* Bl. aerial parts [J]. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2023, 13: 1–3.
- [31] 马风伟, 李莹, 潘成, 等. 不同采收期乌天麻中多糖的提取及含量测定[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(22): 47–51.
- [32] 杨式华, 刘祥义, 徐济仓, 等. GC-MS法同时测定天麻6种非挥发性有机酸[J]. *贵州农业科学*, 2019, 47(11): 125–128.
- [33] ZENG X, LI J X, CHEN T Y, et al. Global metabolic profile and multiple phytometabolites in the different varieties of *Gastrodia elata* Blume [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14: 1249456.
- [34] 黄名正, 李鑫. SDE-GC-MS分析天麻挥发性成分的种类及含量[J]. *贵州农业科学*, 2018, 46(5): 110–113.
- [35] 卢义龙. 天麻、核桃挥发性成分分析及其产品的研发[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017.
- [36] DUAN H, ZHOU S Q, GUO J H, et al. HS-GC-IMS analysis of volatile organic compounds in different varieties and harvesting times of *Rhizoma gastrodiae* (Tian Ma) in Yunnan province [J]. *Molecules*, 2023, 28(18): 6705.
- [37] 肖伟香, 张士齐, 杜洪志, 等. 天麻产地加工及其质量评价研究进展[J]. *农业技术与装备*, 2023(2): 55–60.
- [38] 刁飞燕, 李俊婕, 李启艳, 等. 不同产地天麻药材的指纹图谱建立及分析[J]. *中国药师*, 2020, 23(10): 1920–1925.
- [39] 秦梦圆. 陕西汉中天麻质量评价与加工工艺研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2021.
- [40] 杨肖衣, 唐成林, 符凌玮, 等. 贵州不同区域乌、红天麻质量差异分析[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(17): 241–251.
- [41] 巩晴晴, 俞年军, 王广政, 等. 大别山区金寨县杂交天麻和红天麻质量差异分析[J]. *化学试剂*, 2022, 44(11): 1650–1656.
- [42] 任守利. 中药天麻商品规格等级相关性及其划分合理性的研究[D]. 长沙: 湖南中医药大学, 2011.
- [43] 颜鸿远, 龚文玲, 刘引, 等. 不同产地和规格等级天麻矿质元素分析与评价[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2021, 27(12): 147–156.
- [44] 雷有成, 李建蕊, 肖佳佳, 等. 天麻商品等级与天麻素和天麻多糖的相关性研究[J]. *中草药*, 2015, 46(3): 418–423.
- [45] 郑治洪, 邵先强, 邱志龙, 等. 不同规格等级天麻的主要成分测定及其相关性分析[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(16): 223–224; 234.
- [46] 田野, 李秀芳, 杨莲, 等. HPLC法对三产地天麻中天麻素的含量测定[J]. *云南中医学院学报*, 2008(3): 6–8.
- [47] 肖薇, 尹珉, 庄志宏, 等. 不同产地天麻中天麻素含量的测定[J]. *北京中医药*, 2011, 30(12): 945–946.
- [48] 葛进, 张磊, 刘大会, 等. 产地、商品级别和干燥工艺对天麻品质影响研究[J]. *中药材*, 2017, 40(3): 637–640.
- [49] 康传志, 吕朝耕, 杨健, 等. 基于UPLC-MS/MS的不同主产区天麻药材质量评价研究[J]. *中华中医药杂志*, 2017, 32(5): 2010–2015.
- [50] 刘威, 赵致, 王华磊, 等. 不同树种菌材对贵州仿野生栽培天麻的影响[J]. *北方园艺*, 2015(10): 129–132.
- [51] 王永珍, 李建新, 吴启南, 等. 不同菌材栽培天麻

- 的质量研究[J]. 中国中药杂志, 1989(3): 15-18; 62.
- [52] 申爱荣, 谭云, 谭著明, 等. 菌材树种对天麻产量和品质的影响[J]. 湖南林业科技, 2021, 48(2): 1-10.
- [53] 田玉桥, 邱小燕, 肖深根, 等. 不同菌材对雪峰天麻产量和品质的影响[J]. 中成药, 2022, 44(3): 1017-1021.
- [54] 代波, 罗夫来, 李金玲, 等. 不同菌材伴栽天麻对其产量与品质的影响研究[J]. 时珍国医国药, 2023, 34(2): 431-434.
- [55] 刘鹏, 曹永直, 彭成江, 等. 利用天麻空窝和废菌材栽培白鬼笔技术[J]. 食用菌, 2022, 44(1): 49-51.
- [56] 罗紫屹, 邱俊杰, 吴伊莉, 等. 不同变型与产地天麻中6种多酚类成分的比较[J]. 华西药学杂志, 2022, 37(3): 280-284.
- [57] 朱成豪, 郭怡博, 王尚涛, 等. 生态环境因子与天麻品质相关成分含量的关系研究[J]. 广西科学, 2023, 30(6): 1190-1203.
- [58] 王璐瑶. 天麻生长与生态因子的关系及贵州天麻种植现状[J]. 农技服务, 2019, 36(11): 45-46; 48.
- [59] 贵州省科创气体有限公司. 一种鲜天麻保鲜气体及其配制方法与配制装置: CN107373279A[P]. 2017-11-24.
- [60] 王瑞, 曹森, 吉宁, 等. 带土天麻保鲜方法: CN105557985A[P]. 2016-05-11.
- [61] 孙海燕, 马骏, 郝丹青, 等. 超高压处理对鲜切天麻保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(5): 53-58; 65.
- [62] 文欢, 张大燕, 王伟, 等. 不同保藏方法对鲜天麻保鲜效果比较[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(6): 201-205.
- [63] 杨顺强, 武婷, 吴珊珊. 不同包装方式对鲜天麻保鲜效果的比较[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(13): 3221-3224.
- [64] 吴仲珍, 刘丽丹, 陈旭东, 等. 壳寡糖处理对天麻贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2014, 14(2): 21-24; 29.
- [65] 邓秋秋, 庞文婷, 亢凯杰, 等. 微酸性电解水浸渍对天麻鲜切片贮藏品质影响的动力学研究[J]. 食品工业科技, 2023, 44(22): 303-310.
- [66] 曹森, 赵成飞, 崔世江, 等. 复合保鲜剂对鲜切天麻贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(1): 31-36.
- [67] 张旭, 王瑞, 吉宁, 等. 两种食品添加剂对鲜天麻采后真菌多样性的影响[J]. 菌物学报, 2023, 42(11): 2203-2217.
- [68] DONG B, DA F, CHEN Y, et al. Melatonin treatment maintains the quality of fresh-cut *Gastrodia elata* under low-temperature conditions by regulating reactive oxygen species metabolism and phenylpropanoid pathway [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2023, 24(18): 14284.
- [69] DONG B, ZHU D, YAO Q, et al. Hydrogen-rich water treatment improves fresh-cut *Gastrodia elata* quality by regulating reactive oxygen species metabolism and energy metabolism during low temperature storage [J]. Frontiers in Sustainable Food Systems, 2023, 7: 1274701.
- [70] 于丽娟, 普红梅, 李雪瑞, 等. 不同涂膜处理对云南新鲜天麻保鲜效果的影响[J]. 西南农业学报, 2020, 33(6): 1285-1290.
- [71] 贺君宇, 李庚, 吕琪, 等. 天麻保鲜剂的制备及其抑菌保鲜实验研究[J]. 巴楚医学, 2018, 1(1): 87-93.
- [72] 钟爱民, 刘瑛. 鲜天麻保鲜剂及其制备方法与鲜天麻的保鲜方法: CN103749663A[P]. 2015-01-21.
- [73] 曹森, 巴良杰, 潘成, 等. 不同采收期对天麻贮藏品质的影响[J]. 食品工业, 2019, 40(12): 192-196.
- [74] 黄万兵, 朱国胜, 钱珍珍, 等. 鲜天麻保存中相关生理特性的研究[J]. 中药材, 2016, 39(7): 1525-1529.
- [75] 陆春云, 黄明进, 邵先强, 等. 天麻种质资源箭麻越冬贮藏条件探究[J]. 中成药, 2020, 42(8): 2204-2207.