



DOI:10.14188/j.ajsh.2023.01.001

新鲜天麻贮藏保鲜的影响因素和相关技术研究进展

闫昱辛^{1,2}, 李宇¹, 闫加力^{3*}, 谭旭辉¹, 廖路婧¹, 何银生¹, 罗凯², 艾伦强^{1*}, 何美军¹

- (1. 湖北省农业科学院中药材研究所 农业农村部中药材生物学与栽培重点实验室, 湖北 恩施 445000;
2. 湖北民族大学 生物与食品工程学院, 湖北 恩施 445000;
3. 湖北省地质科学研究所, 湖北 武汉 430000)

摘要: 鲜天麻是一种营养丰富、功效显著的药食同源药材,但是鲜天麻组织脆嫩、富含微生物,在贮藏和运输过程中极易受到机械损伤和微生物侵害而腐败变质,严重影响其食用和商品价值,因此研究鲜天麻的高效保鲜技术延长其货架期是亟待解决的产业瓶颈问题。综述分析鲜天麻的物理损伤、酶促褐变和内源微生物等腐败机制,并重点阐述了现有物理保鲜技术(臭氧、低温、气调、包装、超高压、⁶⁰Co- γ 辐照处理)、化学保鲜技术(化学保鲜剂、涂膜技术)以及生物保鲜技术(生物保鲜剂、组培技术)的作用原理、方式、保鲜效果、技术缺陷等,旨在为新鲜天麻保鲜技术研究提供参考,促进鲜天麻资源发展。

关键词: 鲜天麻;物理保鲜;化学保鲜;生物保鲜

中图分类号: R282.4

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2023)01-0001-08

Research progress on influencing factors and related technologies of storage and preservation of fresh *Gastrodia elata*

YAN Yuxin^{1,2}, LI Yu¹, YAN Jiali^{3*}, TAN Xuhui¹, LIAO Lujing¹, HE Yinsheng¹, LUO Kai²,
AI Lunqiang^{1*}, HE Meijun¹

- (1. Key Laboratory of Biology and Cultivation of Herb Medicine, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Chinese Herbal Medicines, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Enshi 445000, Hubei, China;
2. School of Biological and Food Engineering, Hubei University for Nationalities, Enshi 445000, Hubei, China;
3. Hubei Institute of Geosciences, Wuhan 430000, Hubei, China)

Abstract: *Gastrodia elata* is a kind of medicinal and edible homologous material with rich nutrition and significant efficacy. However, fresh *G. elata* is brittle and rich in microorganisms, which is easy to be damaged by mechanical damage and microorganisms during storage and transportation. The spoilage of fresh *G. elata* will seriously affect its edible and commodity value. Therefore, it is an urgent bottleneck problem to study the efficient preservation technology of fresh *G. elata* to extend its shelf life. The physical damage, enzymatic browning and endogenous microorganism decay mechanism of fresh *G. elata* are reviewed. And we focus on the principles, methods, preservation effects, technical defects of the existing physical preservation technology (ozone, low temperature, gas conditioning, packaging, ultra-high pressure, ⁶⁰Co- γ ir-

收稿日期: 2022-11-08 修回日期: 2023-01-08 接受日期: 2023-02-20

作者简介: 闫昱辛(2000-),女,硕士生,研究方向为农产品加工及贮藏工程。E-mail: yanyuxin0117@163.com

*通讯联系人: 闫加力(1988-),女,硕士,工程师,研究方向: 富硒产业发展, E-mail: yanjiali2013@foxmail.com; 艾伦强(1980-)男,硕士,副研究员,研究方向为药用植物天然产物, E-mail: ailunqiang@hbaas.com

基金项目: 湖北省现代农业产业技术体系(HBHZD-ZB-2020-005);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21);湖北省农业科技创新中心2020年度重大科技研发项目-道地药材安全高效生产关键技术与示范(2020-620-000-002-04);湖北省重点研发计划项目-道地药材黄连、湖北贝母新品种培育及关键技术研究(2020BCA059)

引用格式: 闫昱辛, 李宇, 闫加力, 等. 新鲜天麻贮藏保鲜的影响因素和相关技术研究进展[J]. 生物资源, 2023, 45(1): 1-8.

Yan Y X, Li Y, Yan J L, et al. Research progress on influencing factors and related technologies of storage and preservation of fresh *Gastrodia elata* [J]. Biotic Resources, 2023, 45(1): 1-8.

radiation treatment), chemical preservation technology (chemical preservative and coating technology) and biological preservation technology (biological preservative and tissue culture technology) of fresh *G. elata*, so as to provide a reference for further research to solve the problem of fresh *G. elata* preservation and promote the development of *G. elata* industry.

Key words: fresh *G. elata*; physical preservation; chemical preservation; biological preservation

0 引言

天麻为兰科(Orchidaceae)天麻属(*Gastrodia*)植物天麻(*Gastrodia elata* Bl.)的干燥块茎,主产湖北、四川、贵州、云南等地。天麻性味甘、平,具有平息肝风、制止痉挛抽搐,抑制肝阳上亢,祛风除湿,舒经活络的作用。传统上应用在治疗肝风内动导致的小儿惊风、癫痫抽搐、破伤风,肝阳上亢导致的头痛眩晕,以及由于外风导致的中风手足不遂、肢体麻木、风湿痹痛等症状^[1]。它既是一种食品又是中药材,其中的活性成分主要是天麻素、天麻多糖等^[2]。现代药理学研究发现,天麻有镇静^[3]、镇痛^[4]、抗炎^[5]、抗氧化^[6]、防抽搐^[7]、抗抑郁^[8]、改善记忆力^[9],增强免疫^[10]以及降血压、抑制凝血防血栓^[11]等作用。

随着天麻在功能食品方面的开发利用,新鲜天麻作为功效食品有着良好的口感和独特的风味以及丰富的营养、保健功能和无毒性物质等优势^[12],市场对新鲜天麻的需求量日益增长。天麻与蜜环菌(*Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm.)存在紧密的共生关系,蜜环菌能分解枯木纤维素供菌丝生长,天麻的皮层组织有功能特化的细胞能消化入侵的蜜环菌菌丝体,为天麻生长提供营养。但这是一种动态平衡关系,当外界环境不适宜天麻生长时(如采挖、运输、贮藏状态),蜜环菌菌丝体突破皮层组织细胞,分解吸收鲜天麻内部组织,造成天麻的腐败变质^[13]。因此天麻与微生物共生的特殊生长习性,极大限制了鲜天麻保鲜工艺发展。天麻独特的生长要求,导致其产量较低,虽然近年来有很多研究天麻的室内培育以提高产量,但野生天麻的资源日益紧缺,并被列为国家二级重点保护野生植物。鲜天麻在采摘及采后的贮藏及运输中极易受到物理因素、酶促褐变以及内源微生物的影响而引起霉烂、变质^[14],贮运保鲜技术的缺乏,已经成为了限制天麻产业发展的重要问题^[15]。因此,研究天麻保鲜对减少鲜天麻的损失,满足鲜食天麻的市场需求,对天麻产业在食品领域的发展有重要意义^[16]。

1 天麻腐败的影响因素

1.1 物理原因

天麻块茎质地脆弱,在采摘及运输销售期间易

受到机械损伤,从而使病原菌入侵,导致天麻腐烂褐变的速度加快。其次,天麻在贮藏过程中,不适宜的湿度、温度等也会影响鲜天麻的呼吸作用和营养物质的消耗,同时减弱其对病原微生物的抵抗力。有研究发现,低温能显著抑制蜜环菌生长,在5~−5℃下贮藏7 d,其腐烂率仅为7.5%~11.2%;湿度控制在65%时,能有效延长天麻的保鲜期^[17,18]。

1.2 酶促褐变

天麻块茎富含天麻素、对羟基苯甲醇和对羟基苯甲醛等酚类化合物,是天麻的主要活性成分。但切碎的新鲜天麻块茎3 d以后逐渐变成褐色,天麻素、对羟基苯甲醇和对羟基苯甲醛等酚类化合物含量减少,其在空气中氧气和细胞内溶物中多酚氧化酶共同作用下发生氧化偶联、加成、聚合、裂环、重排等反应生成褐色的醌类物质,发生酶促褐变^[19,20]。

1.3 内源微生物

天麻与多种微生物共生,且块茎携带多种微生物,是影响天麻采后贮藏的重要因素。研究发现木霉属(*Trichoderma*)、镰刀菌属(*Fusarium*)、土赤壳属(*Ilyonectria*)等真菌是使天麻块茎腐烂的主要病原菌^[21,22]。其次,天麻还携带多种病原微生物如褐腐病、黑腐病和软腐病等病菌,造成天麻块茎的腐烂^[23~25]。通过对天麻褐腐病的病原菌进行鉴定,发现其中土赤壳属真菌的丰度最高^[26]。有学者在贵州天麻中分离鉴定了镰刀菌属类褐腐病致病菌^[27]。蜜环菌是天麻的共生菌,但两者的关系是较为复杂的动态平衡关系,若生长环境适宜天麻的生长,天麻浸入蜜环菌的菌丝体中汲取营养;若生长环境适宜蜜环菌生长,蜜环菌生长过旺,削弱天麻长势,蜜环菌就会消化天麻,造成天麻的腐烂、空壳^[22,24]。

2 天麻的保鲜技术

目前天麻的保鲜技术以低温冷藏、真空包装、保鲜剂等常规方法为主,而微波保鲜、纳米保鲜、结构化水保鲜以及遗传基因编辑技术等新型技术在果蔬保鲜中鲜有提及,尚未应用于天麻保鲜^[28~30]。天麻的保鲜技术按其机理可以分为物理方法、化学方法和生物方法^[31]。天麻保鲜技术的原理、技术特点见表1。

表 1 天麻的保鲜技术
Table 1 The preservation technology of *G. elata*

保鲜技术		优点	缺点	参考文献
物理保鲜技术	臭氧处理	具有较强的氧化和抑菌作用,杀菌速度快、效率高、易分解	操作成本高、臭氧浓度不易控制;浓度过高伤害人体、损害鲜天麻	[32~36]
	低温贮藏	有效减弱呼吸作用、营养物质消耗、内源菌繁殖速度,是最常见的保鲜方式	易导致鲜天麻发生冷害、冻结烧,降低鲜天麻品质;技术成本大,难实现贮藏、运输、销售各环节的全程冷链,应用推广受限	[37~40]
	气调贮藏技术	通过改变贮藏环境中气体成分以及比例来有效调节对CO ₂ 、O ₂ 、N ₂ 敏感的内源微生物代谢,延长保质期	难以调控对CO ₂ 、O ₂ 、N ₂ 不敏感的内源微生物如兼性厌氧微生物;人工气调需要大量设备配气且包装材料成本高,各项参数不易控制	[37,41~43]
	包装方式	通过密封显著减少外源污染,保持相对恒定水分,操作简单、安全性较高	不能有效减弱呼吸作用、内源菌繁殖,保鲜效果极差;包装易破损、机械性能差、实用性不高	[15,44,45]
	超高压处理	可改变蛋白、核酸等生物高分子结构,达到鲜天麻灭菌保鲜	条件要求严格准确,具有一定危险系数;超高压破坏鲜天麻营养活性成分、改变其风味	[35,46,47]
	⁶⁰ Co- γ 辐照	γ 射线可显著杀菌,同时抑制鲜天麻呼吸强度延长保质期	⁶⁰ Co- γ 辐照技术没有相关的标准规定,对操作人员有辐射危险;其次高剂量辐射杀灭天麻细胞,导致组织损伤,应用到工业上有一定的困难	[48]
化学保鲜技术	化学保鲜剂	操作简便、成本低、效率高	缺乏安全用量标准,残留药物对人体具有毒副作用,影响鲜天麻的品质和风味	[31,49~51]
	涂膜技术	操作简便、成本低	不能有效抑制兼性厌氧等微生物生长,保鲜效果差	[45]
生物保鲜技术	生物保鲜剂	绿色、安全	此类保鲜剂气味重,可食性差,部分生物保鲜剂会使产品品质发生变化;生产成本低、易分解、效果不稳定,推广应用难	[16,52,53]
	组织培养	将天麻的组织或器官在人为条件下培育获得无菌鲜天麻	具有技术难度且存在植物激素污染的问题	[54]

2.1 物理保鲜方法

2.1.1 臭氧处理

臭氧(O₃)具有强氧化性,能渗透微生物细胞膜组织,氧化破坏细胞器、大分子活性物质蛋白和核酸物质,从而高效杀灭微生物,且具有杀菌速度快、效率高、易分解等优点。近年来作为新型的食品消毒剂在食品贮藏和保鲜应用中得到普及^[32~34]。有学者研究发现,无处理的天麻在贮藏的第10 d时出现腐烂,在第20 d时腐烂指数达到4.39;同等条件下,臭氧水溶液5 mg/L处理10 min后的天麻延迟到第15 d才开始腐烂,第20 d时腐烂指数仅为1.56,臭氧处理对天麻保鲜具有显著的效果^[35]。但是该技术操作成本较高,且在实操过程中臭氧浓度过高对人体和周边环境易造成伤害;其次,氧化破坏天麻组织中的活性成分,降低其营养功效和改变其风味。因此,该保鲜技术待进一步研究升级^[36]。

2.1.2 低温贮藏

通过低温减弱新鲜天麻和内源微生物的呼吸作用,延缓鲜天麻的营养消耗速率和内源微生物的繁殖速度,从而延长天麻的保鲜期,研究发现天麻在低

温冷藏(3±2)℃条件下贮藏42 d,失重率低于5%,维持了较好的新鲜度,能较好地保持天麻的营养与药用价值^[37]。以贵州乌天麻为试验材料,将天麻-80℃液氮预冻24 h后转移至-18℃冷冻保存效果最佳,可以使天麻的贮藏期延长到210 d^[38]。但是该技术易导致食品发生冷害、出现冻结烧,使货架品质降低,且技术成本较大,很难实现贮藏、运输、销售各环节全程冷链,限制其应用推广^[39,40]。

2.1.3 气调贮藏技术

气调贮藏分为自发气调和人工气调两种,是一种通过改变贮藏环境中气体成分以及比例来影响新鲜天麻和内源微生物的代谢速度,从而延长保质期的技术。该技术主要是通过增加CO₂浓度、降低O₂浓度的方式降低新鲜天麻和内源好氧微生物的呼吸强度,并同时融合了调控低温的先进贮藏技术^[41]。通过气调贮藏技术调节O₃与CO₂混配气体,在贮存条件下,空气中的O₃浓度为40~60 mg/m³,可以使天麻的保鲜贮藏期延长到150 d,且养分含量和水分损耗较少,可食率在90%以上^[42]。当稀释气体(N₂)与功效气体(H₂、O₂、CO₂和气态水)的体积比为(80~95):(5~20)时,最有利于天麻保鲜^[43]。研究

还发现, (1%~3%) O₂ + (5%~7%) CO₂ + (90%~94%) N₂的气调组成成分及比例能使丙二醛的积累减少,抑制苯丙氨酸解氨酶和多酚氧化酶的活性,抑制天麻素与对羟基苯甲醇含量的减少,延长天麻保鲜^[37]。气调贮藏是一种较为先进的保鲜技术,从之前的研究中可以看出气调贮藏对于天麻保鲜是有效果的。但是人工气调需要大量设备配气,各项参数不易控制,且具有较高的操作成本;同时每种微生物对气体成分的敏感性不一样,难以有效抑制对CO₂、O₂、N₂不敏感的内源微生物如兼性厌氧微生物。

2.1.4 包装方式

包装材料通过隔绝空气和外界环境减少污染,同时降低天麻的呼吸强度和水分含量的蒸发速度,使天麻保持新鲜。不同的包装方法和包装材料,对天麻的贮藏性能有一定的影响,通过改变包装方法对天麻进行保鲜研究,操作简单、方便、安全性较高。研究发现新鲜天麻采用微孔膜密封保存,可以抑制天麻的含水量减少,较好地维持新鲜天麻的外观形态和自身特性,但在天麻中发挥功效的天麻素和对羟基苯甲醇含量降低速度快^[44]。使用纳米果蔬保鲜袋能有效延长天麻保鲜期,但其性能还有待研究^[45]。有研究发现,对汉中天麻保鲜效果最好的是PE 20保鲜袋,在储藏过程中可以抑制天麻的呼吸强度,降低天麻素、总糖和蛋白质含量的减少,防止天麻的腐烂,常规塑料袋包装的天麻在35 d时的腐烂指数为4,而PE 20保鲜袋包装的天麻在35 d时的腐烂指数只有1.2,可以延长天麻的保鲜期到65 d,腐烂指数不超过2。但是包装密封的方式对呼吸作用的减弱效果有限,不能有效抑制内源菌繁殖,整体保鲜效果极差,且大部分保鲜材料包装易破损、机械性能差、实用性不高^[15]。

2.1.5 超高压处理

超高压技术通过一定的温度和超高压环境改变天麻及其内源微生物中的蛋白、核酸等生物高分子物质的结构,从而达到灭菌保鲜^[46]。有学者在2019年研究发现,在常温常压条件下,第20 d的天麻腐烂指数为1.56,而超高压条件为30℃、300 MPa处理10 min后,可以抑制鲜切天麻的呼吸强度,降低天麻失重率,延长贮藏期到20 d,且腐烂指数只有1.02,很好地维持了天麻的外观品质,保留其营养成分^[35]。但是该学者在2022年发现,不合理的超高压处理使天麻中的木瓜蛋白酶表达量升高,加剧天麻的软化程度。因此,超高压条件要求严格准确,具有一定危险系数,其次超高压破坏鲜天麻营养活性成分、改变

其风味^[47]。

2.1.6 ⁶⁰Co-γ辐照

⁶⁰Co-γ辐照是利用放射源Co产生的γ射线杀灭新鲜食材内源微生物,同时抑制新鲜食材的呼吸强度延长保质期。⁶⁰Co-γ辐照方法在果蔬、肉制品以及中药材的保鲜中都有研究,但在天麻保鲜中鲜有报道。因此,在后续的研究中可以尝试⁶⁰Co-γ辐照对天麻进行保鲜。⁶⁰Co-γ辐照技术的加工工艺复杂且缺乏相关的标准规定,对操作人员有辐射危险;其次,高剂量辐射杀灭新鲜食材的细胞导致组织损伤。因此,⁶⁰Co-γ辐照技术应用到工业上还有一定的困难^[48]。

2.2 化学保鲜方法

2.2.1 化学保鲜剂

化学保鲜方法主要采用化学保鲜剂,利用有抑菌或杀菌活性的化学合成物质处理天麻,以达到保鲜作用。主要的化学保鲜剂包括:山梨酸钾、柠檬酸、壳聚糖、二氧化氯、1-甲基环丙烯(1-MCP)等,能够抑制天麻腐败、延长保鲜期、维持天麻外观及营养成分。最常见的化学保鲜剂有1-MCP和壳聚糖,具有无毒无味、使用方便、安全高效等优点^[31]。研究发现1-MCP可以抑制天麻的呼吸强度,延缓多糖、维生素C和蛋白质的消耗,抑制天麻含水量的减少,延长天麻的保鲜期高于31 d^[49]。采用1.5%壳寡糖浸泡可以改善天麻的抗氧化性能,并能有效地延缓其老化,使其质量得以维持^[50]。有学者研制了复合保鲜剂,其配方为茶多酚1.25%、壳聚糖0.90%、柠檬酸0.50%、抗坏血酸0.20%,能够抑制鲜切天麻的天麻素和天麻多糖含量的减少,维持多酚氧化酶和过氧化氢酶的活性^[51]。化学保鲜剂虽然操作简便、成本低、效率高,但还存在缺乏安全用量标准、残留药物超标的问题,且残留药物对人体具有毒副作用;其次化学合成物质具有异味,影响鲜天麻的品质和风味。

2.2.2 涂膜技术

涂膜技术是指对产品进行浸泡或者喷涂,使其表面产生薄膜,隔绝氧气,抑制呼吸作用,从而起到贮藏保鲜的效果。采用2%壳聚糖和20 μL薄荷精油+2%壳聚糖涂膜处理,并设置不涂膜的空白对照,发现在第80 d,2%壳聚糖涂膜的天麻失重率为4.03%,20 μL薄荷精油+2%壳聚糖的为6.09%,相比空白组的9.76%,涂膜组有显著效果;80 d内天麻的蛋白质含量都有明显减少,空白组减少29.86%,2%壳聚糖涂膜组减少15.28%,20 μL薄荷精油+2%壳聚糖涂膜组减少11.81%,涂膜处理

可以显著延长天麻的保鲜期^[45]。但涂膜技术不能有效抑制兼性厌氧等微生物生长,且运用于天麻的研究较少,在未来还需深入研究其对天麻保鲜有作用的涂膜材料。

2.3 生物保鲜方法

2.3.1 生物保鲜剂

生物保鲜剂是一种从动植物或微生物中获得的具有抑菌活性的提取物,目前已经有较多的研究,但此类保鲜剂气味重,可食性差。研究发现夏枯草、茶多酚、溶菌酶均能维持新鲜天麻贮藏时的外观及营养成分,延长天麻的储藏时间^[16]。以草豆蔻、花椒、八角、丁香等佐料的提取物制备的生物保鲜剂,能抑制天麻内生菌如细菌、霉菌、酵母菌,维持新鲜天麻总可溶性固形物含量以及新鲜天麻的硬度,抑制新鲜天麻的腐烂^[52]。利用蔓生假丝酵母(*Candida humilis*)、乳酸克鲁维酵母(*Kluyveromyces lactis*)、黑曲霉(*Aspergillus niger*)、乳酸乳球菌(*Lactococcus lactis*)和混淆乳杆菌(*Lactobacillus confuses*)这五种产酸菌种制备发酵液,使新鲜天麻在常温状态下储藏时间延长至2个月以上^[53]。但部分生物保鲜剂会使产品品质发生变化,且生物保鲜剂的成本高、易分解、效果不稳定,推广应用难。

2.3.2 组织培养

组织培养是指将植物的部分组织、器官在人为条件下培育成完整的新植株。研究发现,利用组织培养对天麻进行保藏,可以有效地预防杂菌的侵染,并使其在较长时期内保持一定的生长状态^[54]。然而,由于天麻的生长周期较长,且与密环菌等真菌之间存在着共生关系。因此,进行组织培养具有技术难度;且存在植物激素污染的问题。

3 结 语

在天麻的保鲜技术研究中,物理保鲜技术所需条件相对不好控制,一个贮藏条件波动可能就会造成天麻的腐败,其次作用方式单一、整体保鲜效果差,目前尚无成熟稳定的物理保鲜技术应用。化学保鲜技术的保鲜效果较好,但是存在药物残留等问题,长期使用对环境、身体和药材本身具有强烈的副作用,存在食品安全风险。生物保鲜剂相对较安全,但时效短、用量大、成本高,尚无大规模实际生产使用。由于鲜天麻组织脆嫩、富含微生物,极易受到机械损伤和微生物侵害而腐败变质的特性,而中国的天麻保鲜技术还相对薄弱且技术研发与实际贮藏保鲜不能有效衔接,主要采用单一、效果不佳的袋装密封保鲜技术,甚至无保鲜处理,造成了鲜天麻产业的

巨额损失。

因此,研究人员应深入鲜天麻生产一线,研究采收、包装、运输等各个环节鲜天麻形态的动态变化规律和存在的问题。针对这些问题采取多种保鲜技术相结合的方式达到同时解决鲜天麻生产各个环节如减少采摘和运输时间,减少机械损伤,抑制内源微生物繁殖,降低呼吸强度的作用,并进一步将多种保鲜技术相结合的方式形成行业技术标准,解决鲜天麻产业的瓶颈问题。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 59-60.
Pharmacopoeia Commission of the People's Republic of China. Pharmacopoeia of the People's Republic of China (Part I)[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2020: 59-60.
- [2] Zhan H D, Zhou H Y, Sui Y P, *et al.* The rhizome of *Gastrodia elata* blume—an ethnopharmacological review [J]. J Ethnopharmacol, 2016, 189: 361-385.
- [3] 邹宁, 吕剑涛, 薛仁余, 等. 天麻素对小鼠的镇静催眠作用[J]. 时珍国医国药, 2011, 22(4): 807-809.
Zou N, Lü J T, Xue R Y, *et al.* Effects of gastrodin on sedation and hypnosis of mice [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2011, 22(4): 807-809.
- [4] Xiao M M, Zhang Y Q, Wang W T, *et al.* Gasterodin protects against chronic inflammatory pain by inhibiting spinal synaptic potentiation [J]. Sci Rep, 2016, 6: 37251.
- [5] 魏征人, 刘国梁, 梁蕾, 等. 天麻对病毒性心肌炎实验小鼠心肌细胞凋亡的影响[J]. 临床儿科杂志, 2008, 26(5): 392-394.
Wei Z R, Liu G L, Liang L, *et al.* The effects of *Gastrodia elata* on apoptosis in myocardial cells of mice with viral myocarditis [J]. Journal of Clinical Pediatrics, 2008, 26(5): 392-394.
- [6] 韩学超, 徐菁蔓, 徐森, 等. 线粒体通透性转换孔在天麻素抗心肌细胞氧化应激损伤中的作用[J]. 南方医科大学学报, 2018, 38(11): 1306-1311.
Han X C, Xu J M, Xu S, *et al.* Role of mitochondrial permeability transition pore in mediating the inhibitory effect of gasterodin on oxidative stress in cardiac myocytes in vitro [J]. Journal of Southern Medical University, 2018, 38(11): 1306-1311.
- [7] Chen L M, Liu X N, Wang H, *et al.* Gasterodin attenuates pentylene-tetrazole-induced seizures by modulating the mitogen-activated protein kinase-associated inflammatory responses in mice [J]. Neurosci Bull, 2017, 33

- (3): 264-272.
- [8] Chen W C, Lai Y S, Lin S H, *et al.* Anti-depressant effects of *Gastrodia elata* Blume and its compounds gastrodin and 4-hydroxybenzyl alcohol, via the monoaminergic system and neuronal cytoskeletal remodeling [J]. *J Ethnopharmacol*, 2016, 182: 190-199.
- [9] 黄红, 陈碧清, 姜宁, 等. 鲜天麻对睡眠干扰诱导小鼠学习记忆障碍的改善作用[J]. *中草药*, 2020, 51(9): 2509-2516.
- Huang H, Chen B Q, Jiang N, *et al.* Fresh *Gastrodia elata* ameliorates learning and memory impairments in sleep interruption induced mice [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2020, 51(9): 2509-2516.
- [10] 李晓冰, 展俊平, 张月腾, 等. 天麻多糖对环磷酰胺所致免疫功能低下小鼠体液免疫功能的影响[J]. *中国老年学杂志*, 2016, 36(5): 1027-1028.
- Li X B, Zhan J P, Zhang Y T, *et al.* Effect of polysaccharide from *Gastrodia elata* B1 on humoral immune function in immunosuppressed mice induced by cyclophosphamide [J]. *Chinese Journal of Gerontology*, 2016, 36(5): 1027-1028.
- [11] 程巧巧, 杨为民, 刘璇. 天麻对心血管及代谢性疾病的作用机制研究进展[J]. *上海中医药大学学报*, 2019, 33(4): 96-100.
- Cheng Q Q, Yang W M, Liu X. Research progress on pharmacological mechanism of *Gastrodiae Rhizoma* in cardiovascular and metabolic diseases [J]. *Academic Journal of Shanghai University of Traditional Chinese Medicine*, 2019, 33(4): 96-100.
- [12] Jiang X, Huang L F, Zheng S H, *et al.* Sulfur fumigation, a better or worse choice in preservation of Traditional Chinese Medicine [J]. *Phytomedicine*, 2013, 20(2): 97-105.
- [13] 赵麒麟, 吴鹏, 刘鸿高, 等. 蜜环菌与天麻的共生关系研究进展[J]. *云南农业科技*, 2022(2): 56-58.
- Zhao Q M, Wu P, Liu H G, *et al.* Research progress on symbiotic relationship between *Armillaria mellea* and *Gastrodia elata* [J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2022(2): 56-58.
- [14] 曹森, 王瑞, 李莹, 等. 不同保鲜剂处理对鲜天麻贮藏品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(23): 71-76.
- Cao S, Wang R, Li Y, *et al.* Effect of different preservatives on the storage of *Gastrodia elata* [J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(23): 71-76.
- [15] 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.
- Sun H Y, Ma J, Zhong A M, *et al.* Effect of different packing bags on quality of *Gastrodia elata* B1 [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(12): 329-333.
- [16] 陈琛, 蔺蓓蓓, 吴伟, 等. 6种保鲜剂对天麻保鲜效果的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2019, 47(9): 112-119.
- Chen C, Lin B B, Wu W, *et al.* Effect of six anti-staling agents on quality of *Gastrodia elata* during room temperature storage [J]. *Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition)*, 2019, 47(9): 112-119.
- [17] 王潇, 王正前, 张宝花, 等. 天麻块茎腐烂原因的研究[J]. *中国食用菌*, 2022, 41(5): 71-74, 85.
- Wang X, Wang Z Q, Zhang B H, *et al.* Study on the causes of rotting of *Gastrodia elata* tuber [J]. *Edible Fungi of China*, 2022, 41(5): 71-74, 85.
- [18] 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.
- Lu C Y, Huang M J, Shao X Q, *et al.* Study on overwintering storage conditions of *Gastrodia elata* germplasm resources [J]. *Chinese Traditional Patent Medicine*, 2020, 42(8): 2204-2207.
- [19] 段志芳, 李方满. 酚类化合物的氧化反应研究进展[J]. *肇庆学院学报*, 2003, 24(5): 44-47.
- Duan Z F, Li F M. Progress on oxidation reaction of phenolic compounds [J]. *Journal of Zhaoqing University*, 2003, 24(5): 44-47.
- [20] 陆春云, 聂鲜钰, 林立, 等. 不同贮藏时间对天麻药用成分含量的影响[J]. *时珍国医国药*, 2020, 31(2): 315-317.
- Lu C Y, Nie X Y, Lin L, *et al.* Effect of different storage time on the content of medicinal components in *Gastrodiae Rhizoma* [J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2020, 31(2): 315-317.
- [21] 田伟光. 云南昭通天麻真菌病害的研究[D]. 昆明: 云南大学, 2020.
- Tian W G. Pathogenic fungi of *Gastrodia elata* in Zhao-tong, Yunnan [D]. Kunming: Yunnan University, 2020.
- [22] 柏秋月. 天麻病害发生与其微生物群落变化研究[D]. 汉中: 陕西理工大学, 2021.
- Bai Q Y. Study on the occurrence of *Gastrodia* diseases and the changes of microbial community [D]. Hanzhong: Shaanxi University of Technology, 2021.
- [23] 靳艳伟. 天麻栽培中的主要病虫害及防治技术[J]. *农业科技通讯*, 2011(9): 156-158.
- Jin Y W. Main pests and diseases in *Gastrodia* cultivation and control technology [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2011(9): 156-158.
- [24] 张进强, 袁青松, 欧阳臻, 等. 不同生态型天麻块茎腐

- 烂病抗性差异分析[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(9): 2281-2287.
- Zhang J Q, Yuan Q S, Ouyang Z, *et al.* Resistance of different ecotypes of *Gastrodia elata* to tuber rot [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2022, 47(9): 2281-2287.
- [25] 吴大椿, 秦亚平, 秦锋. 天麻褐腐病的研究[J]. 湖北农学院学报, 2002(3): 196-198.
- Wu D C, Qin Y P, Qin F. Study on *Gastrodia elata* brown rot [J]. Journal of Hubei Agricultural College, 2002(3): 196-198.
- [26] 唐鑫, 张进强, 江维克, 等. 天麻褐腐病原菌的分离鉴定及致病性研究[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(9): 2288-2295.
- Tang X, Zhang J Q, Jiang W K, *et al.* Isolation, identification, and pathogenicity research of brown rot pathogens from *Gastrodia elata* [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2022, 47(9): 2288-2295.
- [27] 李诚, 李锦绍, 陈旭君, 等. 贵州天麻褐腐病原菌鉴定[J]. 植物病理学报, 2022, 52(4): 699-701.
- Li C, Li J S, Chen X J, *et al.* Identification of the pathogen causing brown rot on *Gastrodia elata* in Guizhou Province [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2022, 52(4): 699-701.
- [28] 陈冰洁, 乔勇进, 张国强, 等. 香菇采后保鲜技术研究进展[J]. 食用菌学报, 2019, 26(3): 141-147.
- Chen B J, Qiao Y J, Zhang G Q, *et al.* Research progress on postharvest preservation technology of *Lentinus edodes* [J]. Acta Edulis Fungi, 2019, 26(3): 141-147.
- [29] 吴秀兰, 任诗欣, 何俊杰, 等. 果蔬保鲜技术现状及展望[J]. 山东化工, 2022, 51(12): 111-114.
- Wu X L, Ren S X, He J J, *et al.* Current status and future trends of postharvest technology on fruits and vegetables [J]. Shandong Chemical Industry, 2022, 51(12): 111-114.
- [30] 郇海燕, 吴伟杰, 穆宏磊, 等. 食品新技术在生鲜农产品供应链绿色保鲜中的应用[J]. 中国食品学报, 2022, 22(9): 1-12.
- Gao H Y, Wu W J, Mu H L, *et al.* The application of new food technology in fresh agricultural product supply chain green preservation [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(9): 1-12.
- [31] 王彩云, 侯俊, 黄晓旭, 等. 天麻保鲜技术研究进展[J]. 农业工程, 2021, 11(11): 61-66.
- Wang C Y, Hou J, Huang X X, *et al.* Research progress of preservation technology of *Gastrodia elata* [J]. Agricultural Engineering, 2021, 11(11): 61-66.
- [32] Horvitz S, Cantalejo M J. Application of ozone for the postharvest treatment of fruits and vegetables [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2014, 54(3): 312-339.
- [33] Karaca H, Velioglu Y S. Ozone applications in fruit and vegetable processing [J]. Food Rev Int, 2007, 23(1): 91-106.
- [34] Tzortzakis N, Singleton I, Barnes J. Deployment of low - level ozone - enrichment for the preservation of chilled fresh produce [J]. Postharvest Biol Technol, 2006, 43(2): 261-270.
- [35] 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.
- Sun H Y, Ma J, Hao D Q, *et al.* Effect of ultra-high pressure treatment on preservation of fresh-cut *Gastrodia elata* bl [J]. Storage and Process, 2019, 19(5): 53-58, 65.
- [36] 韩爱云, 侯惠静, 左晓磊, 等. 臭氧在鸡蛋保鲜中的应用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(21): 215-220.
- Han A Y, Hou H J, Zuo X L, *et al.* Applied research progress of ozone in shell eggs preservation [J]. Food Research and Development, 2018, 39(21): 215-220.
- [37] 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.
- Chen N, Li Y Q, Li R P, *et al.* Preservative effects of different packaging methods on *Gastrodia elata* under refrigeration conditions [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(1): 251-255.
- [38] 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.
- Li Y, Wang R, Ma F W, *et al.* Effect of different pre-freeze conditions with frozen storage method on the quality of *Gastrodia elata* [J]. Food Research and Development, 2019, 40(11): 60-66.
- [39] 崔国梅, 李顺峰, 高帅平, 等. 香菇采后品质劣变与保鲜技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 460-468.
- Cui G M, Li S F, Gao S P, *et al.* Research progress on postharvest quality deterioration and preservation technologies of *Lentinus edodes* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(2): 460-468.
- [40] 杨壮, 王永霞. 浅谈食品的低温处理与保藏[J]. 福建茶叶, 2019, 41(10): 15.
- Yang Z, Wang Y X. Discussion on low - temperature treatment and preservation of food [J]. Tea in Fujian, 2019, 41(10): 15.
- [41] 任宽亮. 气调贮藏技术在苹果储藏中的应用现状及展

- 望[J]. 农业技术与装备, 2021(8): 83-84.
- Ren K L. Application status and prospect of controlled atmosphere storage technology in apple storage [J]. Agricultural Technology & Equipment, 2021(8): 83-84.
- [42] 王瑞, 曹森, 吉宁, 等. 带土天麻保鲜方法: CN105557985A[P]. 2016-05-11.
- Wang R, Cao S, Ji N, *et al.* Preservation method for gastrodia elata with soil: CN105557985A [P]. 2016-05-11.
- [43] 郑端强, 陈实, 龙秀黔, 等. 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.
- Zheng D Q, Chen S, Long X Q, *et al.* A fresh-keeping gas of *Gastrodia elata* and its preparation method and preparation device: CN107373279A [P]. 2017-11-24.
- [44] 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.
- Wen H, Zhang D Y, Wang W, *et al.* Comparison of preservative effects of different preservation methods on fresh *Gastrodia elata* [J]. Food Research and Development, 2017, 38(6): 201-205.
- [45] 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.
- Yu L J, Pu H M, Li X R, *et al.* Effects of different coating treatments on preservation of fresh *Gastrodia elata* in Yunnan Province [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(6): 1285-1290.
- [46] 王良玉, 郑朕, 熊波, 等. 几种新型食品保鲜技术的研究进展[J]. 农产品加工(学刊), 2011(7): 134-136, 140.
- Wang L Y, Zheng Z, Xiong B, *et al.* Research progress of several new kinds of food preservation technology [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2011(7): 134-136, 140.
- [47] 孙海燕, 田芸, 郝丹青, 等. 不同处理方式对鲜切天麻贮藏软化相关酶表达的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(17): 198-205.
- Sun H Y, Tian Y, Hao D Q, *et al.* Impacts of different treatment methods on softening related enzymes expression of fresh-cut *Gastrodia elata* BI [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2022, 50(17): 198-205.
- [48] 龙明秀, 吴凤玉, 田竹希, 等. ^{60}Co - γ 辐照处理对蓝莓保鲜效果的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(11): 2165-2176.
- Long M X, Wu F Y, Tian Z X, *et al.* Effect of ^{60}Co - γ irradiation treatment on preservation effects of blueberry [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(11): 2165-2176.
- [49] 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.
- Ma J, Sun H Y, Zhong A M, *et al.* Storage effects of different 1-MCP treatments on red *Gastrodia elata* from Hanzhong [J]. Storage and Process, 2016, 16(4): 14-17, 22.
- [50] 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.
- Wu Z Z, Liu L D, Chen X D, *et al.* The effect of chito-oligosaccharide treatment on storage quality of *Rhizoma Gastrodiae* [J]. Storage and Process, 2014, 14(2): 21-24, 29.
- [51] 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.
- Cao S, Zhao C F, Cui S J, *et al.* Effects of compound preservatives on storage quality of fresh-cut *Gastrodia elata* [J]. Packaging Engineering, 2020, 41(1): 31-36.
- [52] 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.
- He J Y, Li G, Lü Q, *et al.* Preparation of antistaling agent for *Gastrodia elata* BI and its experimental study on bacteriostasis and preservation [J]. Bachu Medical Journal, 2018, 1(1): 87-93.
- [53] 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.
- Zhong A M, Liu Y. Fresh *Gastrodia* preservative and its preparation method and fresh *Gastrodia* preservation method: CN103749663A [P]. 2015-01-21.
- [54] 陈琦, 王晓丽. 组织培养法保存新鲜天麻样品对天麻块茎总DNA提取效果的影响[J]. 现代中药研究与实践, 2014, 28(1): 6-8.
- Chen Q, Wang X L. The effect of genomic DNA extraction from *Gastrodia elata* BI with the tissue culture method for protecting the tubers of fresh samples [J]. Research and Practice on Chinese Medicines, 2014, 28(1): 6-8.

□

(编辑: 杨晓翠)