

# 中药材贮藏期虫蛀现象的研究现状

程云霞, 刘震营, 徐博, 宋平平, 巢志茂\*

(中国中医科学院 中药研究所, 北京 100700)

**[摘要]** 中药材在贮藏过程中,受自身性质及外界贮藏因素的影响,容易发生虫蛀现象。虫蛀后的中药材,轻则影响外观,降低消费者的购买力;重则影响品质,降低其药用价值,并产生虫体、排泄物及分泌物等杂质,严重污染中药材。该研究对影响中药材虫蛀发生的相关因素和虫蛀后的成分变化进行文献整理,对预防虫蛀发生的养护措施进行系统总结,首次对可应用于中药材贮藏过程中的虫蛀发生检测技术进行综述。在贮藏过程中,虫蛀的发生是生物因素(害虫的来源、种类和虫口密度等)、内在因素(水分、化学成分和自身的新陈代谢等)和环境因素(温度、相对湿度和环境含氧量等)共同作用的结果。虫蛀发生后,中药材所含的成分含量存在明显的变化。通过对中药材入库前的严格检查、入库后的定期养护及采用恰当的贮藏养护方法,可降低虫蛀发生率,提高中药材的保存完好率。中药材的贮藏养护是保证质量的关键环节,通过科学规范的贮藏,严格执行操作管理规范,就能降低被虫蛀的风险,保证中药材的品质。

**[关键词]** 中药材; 虫蛀; 影响因素; 成分; 贮藏养护; 检测技术

## Research status of insect infestation of Chinese medicinal materials during storage

CHENG Yun-xia, LIU Zhen-ying, XU Bo, SONG Ping-ping, CHAO Zhi-mao\*

(Institute of Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China)

**[Abstract]** During the storage process, Chinese medicinal materials are susceptible to insect infestation due to their own nature and external storage factors. Infestation by insects can have varying impacts on the materials. In mild cases, it affects the appearance and reduces consumer purchasing power, while in severe cases, it affects the quality, reduces medicinal value, and introduces impurities such as insect bodies, excrement, and secretions, resulting in significant contamination of the medicinal materials. This study reviewed the relevant factors influencing insect infestation in Chinese medicinal materials and the compositional changes that occur after infestation and summarized maintenance measures for preventing insect infestation. Additionally, it provided an overview of detection techniques applicable to identifying insect infestation during the storage of Chinese medicinal materials. During the storage process, insect infestation is the result of the combined effects of biological factors (source, species, and population density of insects), intrinsic factors (moisture, chemical composition, and metabolism), and environmental factors (temperature, relative humidity, and oxygen content). After infestation, there are significant changes in the content of constituents in the medicinal materials. By implementing strict pre-storage inspections, regular maintenance after storage, and appropriate storage and maintenance methods, the occurrence of insect infestation can be reduced, and the preservation rate of Chinese medicinal materials can be improved. The storage and maintenance of Chinese medicinal materials are critical for ensuring their quality. Through scientifically standardized storage and strict adherence to operational management standards, the risk of insect infestation can be minimized, thus guaranteeing the quality of Chinese medicinal materials.

**[Key words]** Chinese medicinal materials; insect infestation; influencing factors; component; storage and maintenance; detection techniques

DOI:10.19540/j.cnki.cjcm.20230529.101

**[收稿日期]** 2023-03-24

**[基金项目]** 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系项目(CARS-21);中国中医科学院科技创新工程重大攻关项目(CI2021A04512)

**[通信作者]** \*巢志茂,研究员,主要从事中药材贮藏与包装研究,E-mail: chaozhimao@163.com

**[作者简介]** 程云霞,博士研究生,主要从事中药材贮藏与包装研究,E-mail: cyx2982753537@163.com

中药材在采收、加工后,通常贮存在仓库中。如果贮藏过程中养护管理不当,受自身特性及贮存环境的影响,会发生虫蛀、霉变、色变、酸败、气味散失等变质现象,极大地影响品质。其中,虫蛀是最常见的变质现象之一,它是指中药材在贮藏过程中因管理不到位,受热、受潮,仓储害虫大量生长繁殖而被蛀蚀,轻则表面被蛀成孔洞,重则可全部被蛀空成粉末,使活性成分损失殆尽,而害虫蛀蚀时产生的排泄物和分泌物及发育阶段的残体和尸体会对中药材产生污染。此外,害虫在蛀蚀过程中,分泌出大量的热量和水分,又促使中药材产生霉变、发热、色变等一系列变化,导致更严重的变质现象,严重降低品质<sup>[1-2]</sup>。一些富含糖类、淀粉、油脂、蛋白质的中药材,如枸杞子、党参、柏子仁、瓜蒌、款冬花等,在贮藏过程中易发生虫蛀,不仅造成严重的经济损失,而且会产生强烈的刺鼻气味,并混杂着蛀粉、害虫尸体和排泄物,对人们的健康也都是有害的<sup>[2-3]</sup>。

在中药材的贮藏库中,因多个品种共存,一种药材产生的蛀虫还会引起库内近邻药材的蛀蚀,甚至殃及整个仓库。为保证品质,做好中药材的贮藏养护工作尤为重要。本文以仓储中药材为研究对象,兼顾粮食作物,就导致虫蛀发生的因素、虫蛀后品质的变化及养护措施进行了文献整理,对可用于中药材虫蛀的检测技术进行较为全面的分析,为科学、规范地贮藏养护中药材提供理论借鉴。

## 1 虫蛀发生的原因

### 1.1 生物因素

生物因素主要包括害虫的来源、种类和虫口密度<sup>[4]</sup>。

害虫是一种带菌的载体,对中药材和人的身体健康都有严重的危害。因此,在贮藏养护过程中,对害虫的来源、种类等因素进行具体分析,能够降低虫蛀发生的几率。通常害虫的来源主要有4种途径:①中药材在生长过程中被害虫侵害,因采收、加工过程中处理不到位,使得害虫及其虫卵出现残留;②中药材在采收、加工及运输等环节中被侵害,入库前未能将药材或包装上的害虫和虫卵完全消灭;③库房或贮藏装置本身不洁,内附害虫或虫卵;④因贮藏养护管理不当,害虫由外界进入。

中药仓库害虫种类繁多,已多达200多种<sup>[5]</sup>。本研究对害虫的种类进行了总结,包括①鞘翅目,是昆虫纲中数量最多的类群,也是中药材在贮藏过程中发生数量最多、危害最严重的一类害虫,有锯谷盗、赤拟谷盗、双齿谷盗、大谷盗、长头谷盗、阔角谷盗、锈赤扁谷盗、烟草甲虫、扁薪甲、玉米象、褐蕈甲、米象、中华粉蠹、褐粉蠹、黑皮蠹虫、花斑皮蠹、谷蠹、日本蛛甲、澳洲蛛甲;②鳞翅目,是昆虫纲中数量仅次于鞘翅目的第二大目,有蚕、印度谷螟、粉斑螟、紫斑谷螟、大斑螟、麦蛾、古毒蛾、四点谷蛾、谷蛾;③真螨目,是在许多中药材中都可寄生的一类害虫,有干酪螨、奥氏嗜木螨、腐食酪螨、棉兰皱皮螨、菌食嗜菌螨、家食甜螨,以及蟑螂、美洲大蠊、澳洲大蠊、德国小蠊等蜚蠊目,毛衣鱼等衣鱼目,嗜卷书虱等啮虫

目害虫。其中,米象、印度谷螟多为害果实种子类中药材,甲虫、日本蛛甲大多为害芳香类中药材,黑皮蠹虫喜好为害动物类和含油脂高的植物类中药材,大谷盗、药材甲虫喜好为害根及根茎类中药材<sup>[6-8]</sup>。锯谷盗、烟草甲虫、药材甲虫、粉斑螟和麦蛾是金银花贮藏过程中为害较严重的几种害虫,成虫喜欢在金银花堆的表层活动,抗性较强,通常将卵散产或聚产在金银花堆凹陷处、碎屑内或金银花褶沟处;幼虫行动较活泼,喜欢隐藏在金银花堆中取食碎屑或钻入蛀孔内为害,老熟幼虫停止取食,分泌物缀连碎屑在缝隙处结茧化蛹<sup>[8-9]</sup>。印度谷螟食性复杂,可为害款冬花、瓜蒌、山楂、党参等中药材<sup>[10]</sup>。如瓜蒌中糖分含量高,每年的5—10月,印度谷螟的成虫和幼虫共同为害,短则7d便可将切丝瓜蒌蛀碎<sup>[11]</sup>。山楂容易被桃小食心虫等害虫为害<sup>[12]</sup>。

害虫的虫口密度增加可加快对中药材的为害速度。在相同的为害时间内,金银花中的蛋白质含量、总糖含量、总黄酮含量、绿原酸含量和维生素C含量随着锯谷盗虫口密度逐步增大而明显下降<sup>[9]</sup>。

### 1.2 自身内部因素

自身内部因素主要包括水分、化学成分、新陈代谢和携带的微生物。

水分是反映中药材品质的一个重要参数,是害虫体内生命代谢活动的介质<sup>[6]</sup>。一般虫体含水量占体质量的一半以上,在生长发育过程中,含水量会逐渐降低<sup>[13]</sup>。以玉米象为例,正常的生命代谢需要的水分必须高于体质量的10%,在10%~70%,随着水分降低,生长速度将会逐渐下降,繁殖能力显著降低;当水分低于9%时,将停止繁殖,处于休眠状态;当水分低于8%时,玉米象死亡<sup>[14]</sup>。对中药材来说,含水量控制在10%~15%为宜。纹党参水分低于10%时,即使温度条件适宜,也不会发生虫蛀;当高于15%时,会发生严重的虫蛀,故为防止虫蛀的发生,纹党参在加工干燥时,水分应低于13%<sup>[15]</sup>。蕲蛇、白芷、泽泻等在贮藏过程中,水分高于11%时,容易加速害虫的繁殖和生长速度<sup>[16]</sup>。

昆虫的生长发育需要比例平衡的脂肪、蛋白质、碳水化合物、维生素等<sup>[17]</sup>。富含淀粉(如山药、薏苡仁)、糖类(如枸杞子、桑葚、党参、纹党参、白芷)、脂肪油(如苦杏仁、柏子仁、桃仁、酸枣仁)、蛋白质类(如蕲蛇、金钱白花蛇)和挥发油类(如菊花、当归、川芎)的物质,若贮藏养护不当,极易发生虫蛀现象<sup>[2,6]</sup>。菊花含有丰富的挥发油,在温湿度适宜的贮藏条件下,会发生虫蛀变质,影响菊花药材的品质<sup>[18]</sup>。纹党参富含糖类组分,是其贮藏中虫蛀发生的营养条件<sup>[15]</sup>。物质的组织结构和所含的营养成分能显著影响印度谷螟的生长发育,当印度谷螟蛀蚀高蛋白、高碳水和高脂肪的物质时,幼虫的生长率显著提高、死亡率降低、体型增大且适应能力增强;若早期营养不良,对成虫的大小、寿命长短及繁殖力等会产生负面影响。一些植物中的酚类、黄酮、单宁和挥发性成分等次生代谢产物,对印度谷螟的产卵、生长及发育有一定

的影响<sup>[19]</sup>。

此外,采收后的中药材贮藏多以堆放为主,堆放方式对贮存品质也有影响。在贮藏前期,呼吸强度并未减弱,生理生化过程不断进行,新陈代谢相对活跃,若堆放量过大,内含的营养物分解产生的大量内生热难以散出,物料间温度升高,为害虫和微生物的生长繁殖提供适宜的温度条件<sup>[20]</sup>。

### 1.3 环境外部因素

环境因素是中药材贮藏过程中虫蛀发生的外部条件,包括温度、湿度、环境含氧量、化学环境、光照、包装材料、害虫为害时间及药材的品种、生长环境和贮藏前的加工方式等多种因素<sup>[9,21]</sup>。

**1.3.1 温度** 温度能直接影响害虫的分布、活动、生长、发育等行为<sup>[17]</sup>。中药材贮藏养护需要适宜的环境温度,温度较高容易引起一系列物理和化学的变化,有助于害虫的生长和繁殖;温度过低则会造成本在元素损伤,导致药用价值和营养价值的降低。

印度谷螟、赤拟谷盗等害虫是变温动物,对体温有效保持和调节的能力差,故环境温度可影响其存活、生长发育、繁殖等生命活动和种群的建立、发生、扩散等生理反应<sup>[22]</sup>。中药材在5~15℃贮藏时,性质比较稳定。在20~30℃时,害虫开始生长和发育,如印度谷螟在26~30℃的最适发育温区能较好地完成发育和繁殖,且随着温度的升高,生长发育加快;幼虫在此温区内,随温度升高,各龄期的发育历程均显著缩短,死亡率也随之下降;对成虫来说,随温度升高,活动能力增强,交配率显著提高<sup>[19]</sup>。在30~35℃时,害虫生长繁殖和活动加快,中药材发生严重的虫蛀变质<sup>[22-23]</sup>。在40~45℃时,绝大多数害虫会停止生长发育。当贮藏温度升高到50℃时,害虫呈昏迷状态,如赤拟谷盗成虫在50℃条件下暴露39 min后就不能生长繁殖;莲草直胸跳甲成虫随暴露温度的升高寿命降低,产卵前期显著延长,雌虫产卵量降低,F<sub>1</sub>代卵的孵化率降低,F<sub>1</sub>代成虫的羽化率下降;Q型烟粉虱在45℃条件下暴露1 h后,成虫存活率为21.4%,F<sub>1</sub>代的存活率仅为31.3%;桃小食心虫经41℃处理后,成虫的寿命、产卵量和存活率显著降低<sup>[24]</sup>。4℃以下的温度是害虫致死低温区,如粉斑螟幼虫在0℃低温下7 d便可死亡<sup>[8]</sup>。

温度因素引起害虫存活率低的原因是在高温条件下,害虫表皮的蜡质层开始瓦解,造成大量失水,体液离子浓度增加,对细胞产生了不可恢复的损伤,同时高温引起害虫体内酶活力下降,造成代谢紊乱,使害虫机体受损甚至死亡<sup>[24-26]</sup>。随着温度的升高,雌成虫产卵前期显著延长,产卵期缩短,产卵量下降的原因可能是高温条件影响了害虫卵黄蛋白的合成,抑制了卵巢的发育<sup>[24,27]</sup>。随着温度的升高,F<sub>1</sub>代孵化率和羽化率在不断下降的原因可能是高温致使害虫生殖的适应性下降。

**1.3.2 湿度** 害虫营养物质的输入、代谢废物的排出以及激素的递送等新陈代谢过程都依赖于体液运输来实现,介质

均为水<sup>[17]</sup>。害虫获取水分的途径有取食、代谢、体壁和气管系统吸收。湿度通过影响环境和中药材中的水分来影响害虫体内水分的稳定性,进而影响其存活。通常,当环境相对湿度(RH)在45%~70%时,中药材中水分变化不大,当RH超过75%时,水分就会增加,促进害虫的生长、发育和繁殖。

我国夏季的雨季,温度高、湿度较大,闷热潮湿的仓储环境为虫蛀的高发创造有利条件,给中药材的仓储带来较大的困难<sup>[15]</sup>。螨类害虫在25℃,RH高于80%条件下,生长繁殖速度最快。含糖较多的枸杞子、红参片和红枣片,在贮藏过程中会吸收环境中的水分而变软,促进害虫的繁殖<sup>[2]</sup>。故对于一些易虫蛀的中药材,宜在阴凉或低温(2~10℃)条件下贮藏,并控制库房RH在70%以下<sup>[22]</sup>。

**1.3.3 环境氧含量** 仓储环境中的氧和臭氧对害虫的生长发育有至关重要的影响。当环境含氧量过低时,原有的害虫窒息死亡,新害虫也不再产生,故实际仓储中多采用充氮气或二氧化碳的方法降氧杀虫<sup>[22]</sup>。充氮气后,即使仓库温度为23~25℃,RH高于62%,贮藏21 d的红花、款冬花、猪苓等药材中的害虫也全部被杀死<sup>[16]</sup>。采用二氧化碳置换氧气并密封塑料袋,可预防80多种中药材不被印度谷螟等害虫为害<sup>[21]</sup>。

**1.3.4 贮藏前的加工方式** 贮藏前的加工方式和入库时的状态对中药材的贮藏和保质具有重要的影响。

菊花在贮藏前有多种加工方式,不同加工方式对菊花虫蛀有一定影响,虫蛀程度由重到轻依次为阴干>蒸后晒干>微波干燥>硫熏晒干>烘干<sup>[18]</sup>。郁金、枳壳、金果榄、姜黄等中药材,整体贮藏5年均未发生虫蛀,但切成饮片后均发生中度或重度虫蛀。

贮藏前的炮制加工也会影响虫蛀的发生。如生南星极易虫蛀,胆南星贮藏5年后无虫蛀或仅轻微虫蛀<sup>[28]</sup>。贮藏前经50℃烘干处理的桃仁,无论是否经过磷化铝熏蒸,置于麻袋中常温贮藏1年,虫蛀率高达63%~67%,贮藏3年后完全虫蛀;而经远红外干燥、间歇冷冻或<sup>60</sup>Co-γ辐照灭菌处理的桃仁,在相同的条件下贮藏,虫蛀发生的较缓慢<sup>[29]</sup>。一定程度的微波处理可以杀灭印度谷螟,阻止为害小包装的瓜蒌<sup>[16]</sup>。有研究发现,与未处理组相比,贮藏前经微波处理1 min后的白芷虫蛀发生时间由132 d延长到143 d,防风由98 d延长到122 d,党参由107 d延长到127 d,表明贮藏前的微波处理,可大大延长虫蛀发生的时间<sup>[30]</sup>。采用盐水腌制白芷,在简易仓库中贮藏2年也没有出现虫蛀现象<sup>[31]</sup>。

**1.3.5 包装材料** 包装材料对害虫具有一定的阻隔效果,且不同的包装材料,效果各异。

采用聚乙烯编织袋包装的川芎,在常温条件下贮藏3个月即可发生虫蛀<sup>[20]</sup>。桃仁以真空包装贮藏的防虫蛀效果最好,其次为纸箱和麻袋<sup>[29]</sup>。金银花在贮藏过程中选用绿色聚乙烯28丝(1丝=0.01 mm)、镀铝阴阳铝箔袋或PET塑料瓶包装,均可有效避免虫蛀和变色的发生<sup>[32]</sup>。经50℃烘烤

后的桃仁,置于麻袋中常温贮藏24个月虫蛀面积达70%,36个月虫蛀面积达100%;真空包装的桃仁在阴凉库贮藏36个月未发生虫蛀现象;微波处理后的瓜蒌,以聚乙烯塑料袋(0.1~0.2 mm厚度)、铝塑复合膜包装袋或BOPP/PE复合膜包装袋真空封口贮藏1年,未发生虫蛀现象<sup>[21]</sup>。

**1.3.6 药材的品种和生长环境** 中药材种类繁多,品种各异,在贮藏过程中,虫蛀发生的难易程度也有差异。在中药材采收时,常附有泥沙、残叶等杂物,容易粘带虫卵,若不及时处理,虫卵孵化成虫,会导致其在贮藏过程中发生虫蛀<sup>[33]</sup>。

不同品种的菊花自然贮藏3年后,虫蛀程度由高到低依次为怀菊~济菊~大马牙>滁菊>贡菊>杭菊>祁菊;道地湖菊、引种小白菊和大白菊3类杭菊的栽培品,在自然贮藏3年后,湖菊及其胎菊(未开放的湖菊)均无虫蛀现象,小白菊的胎菊部分虫蛀,大白菊则完全虫蛀成粉末。菊花虫蛀程度还受分布的地理位置影响,分布在高纬度和低纬度的菊花,如祁菊、杭菊、滁菊、贡菊不易虫蛀,在中纬度的较易虫蛀,如济菊、怀菊、亳菊<sup>[18]</sup>。

此外,影响虫蛀发生的因素还与光照、贮藏年限和化学环境等因素有关。长时间的光照会使中药材表面温度升高,所含成分发生化学反应,造成品质降低。随着贮藏年限的延长,虫蛀程度也会加重。通过与相关中药材的对抗贮藏、充填乙醇气体或者硫磺熏蒸等方法可以改变贮藏的化学环境,预防虫蛀的发生<sup>[16]</sup>。

## 2 虫蛀对品质的影响

被害虫蛀蚀过的中药材会对人体健康产生负面影响<sup>[34]</sup>。研究贮藏过程中害虫为害与品质变化的关系,既可以确保中药材的药用和食用价值,还可以为其安全贮藏提供理论依据<sup>[9]</sup>。

金银花、款冬花、纹党参、明党参、陈皮、白芷和川芎等中药材,在贮藏过程中易受多种害虫为害,虫蛀前后所含的化学成分发生明显的变化。锯谷盗为害后的金银花,蛋白质、总黄酮、总糖、绿原酸和维生素C的含量均降低,且随着虫口密度的增加和虫蛀时间的延长,各成分含量下降的尤为显著<sup>[9]</sup>。烟草甲虫蛀蚀过的款冬花,款冬酮的含量显著降低;害虫排泄物中绿原酸、异绿原酸含量降低,缬氨酸、异亮氨酸等氨基酸的含量显著升高<sup>[3]</sup>。纹党参在贮藏过程中,随着虫蛀程度的加重,多糖和水分含量均增加<sup>[15]</sup>。虫蛀后的明党参HPLC指纹图谱较未虫蛀有显著差异且水溶性浸出物含量降低<sup>[34]</sup>。白芷被虫蛀后,欧前胡素和异欧前胡素的含量均降低<sup>[35]</sup>。川芎被虫蛀后,多糖、总酚、阿魏酸、绿原酸、川芎嗪、苯酚、总荧光物质、丁羟基苯酚、洋川芎内酯A、(Z)-藜本内酯的含量显著降低<sup>[7,20]</sup>;一些挥发油组分,如(-)- $\alpha$ -蛇床烯仅存在于虫蛀组,桉烯仅存在于未虫蛀组,3-亚丁基-1(3H)-异苯并呋喃酮、(Z)-藜本内酯和(E)-藜本内酯含量在虫蛀组远低于未虫蛀组<sup>[36]</sup>。随着虫蛀程度的增加,陈皮中

$\alpha$ -石竹烯、4-萜烯醇、 $\gamma$ -榄香烯、4-羟基-3-甲基苯乙酮、(-)-桉油烯醇、 $\beta$ -榄香烯、D-杜松萜烯、 $\beta$ -桉叶醇等组分含量先升高后降低直至消失<sup>[37]</sup>。

## 3 预防虫蛀发生的养护措施

### 3.1 贮藏养护对策

中药材在贮藏过程中,因贮藏条件不当,易发生虫蛀。目前,关于中药材的贮藏养护多遵循“以防为主、以治为辅,综合防护”的对策。

首先,中药材的入库验收是贮藏养护环节中预防虫蛀发生的前提,可减轻或避免害虫的为害。为保证品质,仓库管理人员须严格检查每一入库品种的外观、规格、数量、外包装,必要时应打开外包装查看内部是否有害虫存在<sup>[22]</sup>。若有害虫,则应禁止入库;若害虫曾为害过,但在加工或炮制后已被杀死(如当归、泽泻),且蛀孔少、蛀蚀不严重的中药材,可入库;若蛀孔较多、影响外观,不能入库。其次,做好在库检查也是一项重要的工作。中药材入库时虽未被为害,但在贮藏过程中受各种因素的影响,仍有被虫蛀的几率,且害虫体型较小、善隐蔽、喜潮湿阴暗的角落,故入库后每间隔一段时间就应对仓库内外进行全面检查,包括中药材表面、仓库墙壁、天花板、四周角落、缝隙和堆垛底等处有无虫迹,敲打振动有无害虫、蛀屑和排泄物落下,必要时拆包装过筛<sup>[8,38]</sup>。中药材来源广,应做到分类检查:①根及根茎类,检查是否有蛀孔、蛀粉,如党参的蛀屑、藕节的蛀粉;②果实、种子类,检查是否有结丝成串、蛀屑,如香橼的蛀屑、酸枣仁的结串,必要时应打开果实(瓜蒌),观看果实中是否有害虫;③花类,检查其结构形态的完整性,如菊花花心处易被虫蛀,款冬花虫蛀后出现棉絮状细丝;④一些动物类,检查外观是否有蛀孔,如蕲蛇肉易被蛀蚀<sup>[38]</sup>。此外,干燥、整洁的仓库环境可有效降低虫害的发生率。党参、山药、黄精等易发生虫蛀的中药材,建议贮藏于低温(2~10℃)或阴凉环境中。需定期对中药贮藏库做通风处理,阴雨天或梅雨时节,要勤检查、翻晒,有条件的可利用自然气候调节库房的温湿度,对容易吸潮的(如芒硝、昆布)和含糖较高的(如枸杞子、麦冬)中药材,贮藏时可放置一定量的干燥剂,降低库房环境中水分<sup>[20]</sup>。

### 3.2 贮藏养护方法

虫害是中药材贮藏养护的重点和难点。绝大多数中药材,因贮藏时间过长或贮藏环境不当,容易发生虫蛀。在实际仓储中,多通过控制中药材水分和环境温湿度、含氧量等来达到贮藏养护目的。传统的贮藏养护方法包括密封贮藏、高温或低温防治、对抗贮藏和化学防治等方法,随着现代科学技术的发展,许多新技术逐步得到应用,有气调养护、微波干燥、远红外干燥和辐射防治等<sup>[2]</sup>。根据害虫防治原理,贮藏养护方法又可以分为物理防治、化学防治和生物防治三大类<sup>[19]</sup>。各种贮藏养护方法的特点和应用范围见表1。

**3.2.1 密封法** 密封法是将中药材采用不透气、导热性能差的包装材料密封起来,使其与环境中水分、光照、氧气、霉

表1 中药材贮藏过程中预防虫蛀发生的养护方法

Table 1 Maintenance methods for preventing insect infestation during storage of Chinese medicinal materials

贮藏养护法	特点	应用	防治原理	
传统贮藏法	密封法	操作简单,需注意防潮,一般选择霉季之前进行	富含糖、淀粉、黏液质、蛋白质的中药材适用	物理防治
	暴晒法	高温杀死或驱赶害虫	富含油脂、糖、挥发性组分及色素的中药材 不适用	物理防治
	烘干法	高温致使害虫体内蛋白质凝固而死亡	富含挥发性组分的种子和果实类中药材 不适用	物理防治
	急炒法	武火急炒以杀死害虫	可炒、炙的中药饮片适用	物理防治
	低温法	操作简单,防虫效果好,可保持原药材质量,但冷藏 贮存费用高,需注意温度不得低于0℃	贵重药材、易虫蛀的药材及无较好办法保管 的中药材适用	物理防治
对抗法	效果好,需注意防潮及药材间的串味和掺混	一些动物类药材和数量、品种不多的植物类 药材适用	物理防治	
新型贮藏法	化学药剂法	广谱,效率高,效力可靠,但操作要求高,害虫易产 生抗药性,污染环境,对人体有一定的健康影响	质地脆嫩,易变色、变味的中药材和一些花 类、虫类药材不宜	化学防治
	生物防治法	来源广泛,安全、高效、环保	应用范围广泛	生物防治
	低氧气调养护法	费用低,无污染,无残留	应用范围广泛	物理防治
	微波干燥法	时间短,干燥均匀,中药材保质效果好,但设备费用 较高	富含淀粉、挥发性、热敏性成分的中药材不 适用	物理防治
	远红外干燥法	设备易操作,高效,保质效果好,杀虫效果佳	应用范围较为广泛,但对不同种类中药材, 加热范围条件需掌控好	物理防治
	精油熏蒸法	来源广泛,安全环保,不易产生抗药性	应用范围十分广泛,有潜力的化学药剂代替品	化学防治
	真空干燥法	药材不会发生氧化变质、变色,绿色环保,但费用 高,效率低	应用范围广泛,尤其适用于富含脂肪、色素、 挥发性组分的中药材	物理防治
	冷冻干燥法	蛋白质等组分不会变性或失活,挥发性组分损失 小,药材不易发生氧化变质,但处理周期较长,仪器成 本高	一些含挥发性组分、蛋白质、脂肪等组分的 中药材适用	物理防治

菌及害虫等隔绝,少受或免受外界环境因素的干扰,以保证其原有的性状和品质,避免虫蛀损失,广泛应用于富含糖类、淀粉、黏液质和蛋白质的动、植物类中药材,属于物理防治。值得注意的是,虫蛀是在一定的温湿度条件下发生的,所以密封时应确保贮藏库温湿度正常且稳定,入库前的中药材无活虫和虫卵<sup>[38-39]</sup>。

密封的材料包括缸、坛、桶、瓶、罐、木箱及各种塑料薄膜袋等<sup>[39]</sup>。一些胶类(如鹿胶、龟胶)、含糖类(如人参、枸杞)、花类(如款冬花、红花)和动物类(如乌梢蛇、蕲蛇、蜈蚣、蛤蚧)中药材贮藏时,将药材放在干燥箱的同时需在箱底放干燥剂(木炭、生石灰、无水氯化钙)来吸收水分,以降低环境湿度,抑制害虫生长繁殖<sup>[2,40-42]</sup>。

**3.2.2 高温法** 高温法是以高温胁迫为前提开展的<sup>[24]</sup>,属于物理防治。害虫生长、发育和繁殖所需的水分除了来源于中药材,也可通过表皮呼吸从环境中获得。当中药材的水分在8%~12%,环境RH在30%~40%时,害虫因体内水分不足而生理失调甚至死亡<sup>[40]</sup>。高温防治主要包括暴晒法、烘干法和急炒法<sup>[2,38]</sup>。

暴晒法是将中药材摊薄在干净的竹匾或干燥的水泥地上,厚度以3~10 cm为宜,晾晒期间不断进行翻动,使日光中的紫外线充分照射以杀死或驱赶害虫。50~60℃是害虫致死的高温区,夏季水泥地表温度可达50℃以上,杏仁、半夏

和金银花等中药材,在经过反复、强烈的日光暴晒后,能够直接杀死附着的害虫和虫卵,其他季节尽管地面温度达不到,也能起到干燥药材和驱虫的目的<sup>[40]</sup>。枸杞子、麦冬等富含糖类的中药材久晒会变黑,大黄、黄连、黄芩等富含色素的中药材久晒易变色,荆芥、丁香、木香、细辛、八角茴香等暴晒后挥发性成分会散失,厚朴、郁金久晒易开裂,均不宜采用此法<sup>[2,43]</sup>。烘干法是将中药材放在50~70℃烘箱中烘烤2~4 h,使害虫体内的蛋白质凝固而死亡。陈列的中药材标本多采用此方法制作<sup>[23]</sup>,而富含挥发性组分的种子和果实类中药材不适合此方法,以免成分损失,影响品质<sup>[40]</sup>。急炒法是用武火将锅烧烫,倒入中药材急炒数分钟,将害虫杀死,多以可炒、炙的中药饮片为主,如柏子仁、土鳖虫。开水浸烫法通常是将豆类(如赤小豆)药材倒入滚烫开水中,边浸边搅约2 min后捞出,立即倒入冷水中,再捞出晒干即可,此法不影响疗效,在6个月内不会发生虫蛀<sup>[38]</sup>。

高温可影响害虫的生长、发育和繁殖。温度在36~48℃,随着温度的升高,锯谷盗成虫的存活率逐渐降低,雌成虫的产卵前期延长、产卵期缩短、产卵量显著下降,F<sub>1</sub>代的存活率显著下降<sup>[24]</sup>。赤拟谷盗成虫在50℃暴露39 min,无法繁殖;Q型烟粉虱成虫在45℃暴露1 h,存活率仅为21.4%,F<sub>1</sub>代存活率仅为32.7%<sup>[44]</sup>;莲草直胸跳甲在45℃暴露1 h,雄成虫寿命从45 d降到31 d,雌成虫寿命从39 d降到20 d、产

卵前期由 4.1 d 延至 7.3 d,产卵量由对照组(暴露于 25 ℃)的 965.1 粒降至 256.9 粒<sup>[45]</sup>。B 型烟粉虱成虫在 45 ℃暴露 1 h,存活率仅为 42.6%,后代成活率为 25.1%;而温室白粉虱成虫存活率仅为 13.5%,存活不超过 1 d<sup>[46]</sup>。

**3.2.3 低温法** 低温法是将中药材贮藏在 0~17 ℃的低温条件中来抑制害虫生长发育的一种方法,防虫蛀效果好且能保证原材料品质,但因冷藏贮存费用高,此法主要用于贵重、易虫蛀及其他无较好方法保管的中药材,属于物理防治。需注意,低温冷藏所设置的温度不得低于 0 ℃,以防止中药材上冻结冰,原生质失去水分,蛋白质和其他胶体发生凝固,对有效组分含量产生不利影响<sup>[2]</sup>。实际应用较广的冷藏法是通过建立阴凉库或用冷柜、冷库贮藏<sup>[39]</sup>。

天麻、冬虫夏草等中药材放置冰箱 24 h 取出并干燥,后进行密闭贮存,可完全杀死害虫的幼虫和虫卵<sup>[43]</sup>。大枣、枸杞子、人参、西红花和西洋参密封包装后,放在 5 ℃冰箱中冷藏,既防蛀,又保证了药材质量<sup>[2]</sup>。麝香用有色玻璃瓶盛装,加蜡封口后冷藏,可防蛀<sup>[41]</sup>。

**3.2.4 对抗法** 对抗法是一种基于中药材吸湿特性和能够散发特殊气味或产生特有的驱虫化学成分的性质来预防另一种中药材虫蛀的养护方法,防虫蛀效果更佳,适用于特定的动植物药材,属于物理防治<sup>[39]</sup>。采用对抗贮藏法,应在霉季前进行,并与密封法结合,但应避免药材之间的串味和掺混<sup>[2]</sup>。

丹皮和白术、泽泻、天花粉同放,既保色又防虫;冬虫夏草与西红花共贮于低温干燥的环境中,两者均可久贮不坏;芡实、薏苡仁、土鳖虫、斑蝥、全蝎、红娘虫、僵蚕等与大蒜同贮可防虫蛀;白花蛇、蛤蚧、全蝎、海龙、海马等动物类中药可与花椒同贮,花椒中的苯甲酸和爱草脑可抑制害虫呼吸,有防虫功效,兼保持药材颜色不变;陈皮与高良姜同放,可免生虫;吴茱萸同蛤蚧同贮,防虫又吸潮;细辛与人参、当归、三七同放,细辛独特的辛辣味可防虫;鹿茸片与花椒或细辛同贮,不仅可以防虫和防风干破裂,还能保持鹿茸片的光泽;茴香与山药、郁金香与莲米、蜈蚣与樟脑、当归与麝香等同贮可防虫蛀;花类药材和富含油脂、挥发油的种子类药材,与明矾同贮,防虫又防变色;熟地黄、黄精、怀牛膝等用酒贮藏养护,防虫且保持药材色泽不变;三七、蜈蚣、瓜蒌及人参、西洋参、冬虫夏草、红参、鹿茸等贵重药材与酒同贮不生虫<sup>[2,16,20,38-39,41]</sup>。

**3.2.5 化学药剂法** 化学药剂法可在短时间内杀灭害虫和虫卵,属于化学防治。尽管此法效力可靠,但操作要求高、密闭性要好、周期较长、防毒措施复杂,害虫易产生抗药性,污染环境,对人体有一定的健康影响。对于质地脆嫩,易变色、变味的中药材和一些花类、虫类药材不易使用此法<sup>[39,47]</sup>。所用的化学药剂有硫磺、磷化铝、磷化氢、溴化甲烷、四氯化碳、环氧乙烷、甲酸乙酯、噻虫嗪、异硫氰酸烯丙酯和溴氰菊酯类试剂等,其中较为常用的是硫磺、磷化铝和环氧乙烷。

硫磺熏蒸法是将硫磺放在瓦容器上,点燃后置于密封库

房中,利用产生的 SO<sub>2</sub> 有毒气体来熏杀库房中害虫的虫卵、蛹、幼虫和成虫。磷化铝熏蒸法是将磷化铝置于铁盘、搪瓷盘或木盘上,全仓密封熏蒸,可根据货垛体积在垛上或者走廊处设多点投药。环氧乙烷作为一种气体杀虫剂,对各种害虫、虫卵具有较好的杀灭效果。将附有害虫或虫卵的中药材(如川芎、薏苡仁)置白铁箱中(42 cm×50 cm×60 cm),放入磷化铝片,密封 48~96 h 能完全杀灭虫及虫卵<sup>[38]</sup>。将敌敌畏、溴氰菊酯等化学试剂稀释到一定浓度,喷洒在仓库墙角和地面上,害虫接触后便死亡<sup>[40]</sup>。经硫磺熏蒸后,天麻中天麻素类成分含量降低,白芷中香豆素类成分含量也会降低,影响品质,且化学熏蒸试剂长期使用,会使害虫产生抗药性,甚至对人们健康造成一定程度的危害<sup>[48-51]</sup>。一些新型、绿色的仓储熏蒸试剂,如苯甲酸甲酯、甲酸乙酯已被研究<sup>[52]</sup>。甲酸乙酯在 25 μL·L<sup>-1</sup>熏蒸 48 h 和 30 μL·L<sup>-1</sup>熏蒸 12 h,锯谷盗成虫的校正死亡率可达 100%,熏蒸效果具有速效性<sup>[51]</sup>。

**3.2.6 低氧气调养护法** 害虫的生长、发育和繁殖需要有氧环境,当环境缺氧时,害虫的呼吸速率加快,体内的有机物难以被分解,无法提供生命活动所需要的能量,气门关闭,停止取食,出现昏迷甚至死亡<sup>[40]</sup>。低氧气调养护法就是在密闭的贮藏环境中,采用惰性气体填充代替氧气,以抑制害虫生长繁殖,具有费用低、无污染、无残留的优势<sup>[39]</sup>,主要包括充氮降氧法、充二氧化碳降氧法、真空降氧法和自然降氧法<sup>[20]</sup>,属于一种新型物理防治方法。

金银花贮藏过程中易受多种害虫危害,采用气调养护法,即金银花贮藏于低氧的环境中,原有害虫因缺氧而窒息死亡,新害虫也不会产生和入侵,保证了其品质<sup>[8]</sup>。当归和黄芪贮藏于高氮低氧的环境中,可有效抑制和杀灭各种害虫,显著减轻表面的氧化变色现象,较好地保存了药材的质量<sup>[53-54]</sup>。党参采用低氧气调法贮藏时,以氧气≤1%处理 36 h,印度谷螟幼虫校正死亡率为 64.41%±2.94%,处理 96 h 的虫蛹均未羽化;以氧气≤2%处理 36 h,印度谷螟成虫全部死亡,处理 96 h 后的虫卵均未孵化<sup>[10]</sup>。在 CO<sub>2</sub> 为 20%~50% 的贮藏环境下,锯谷盗成虫和幼虫分别在 25 ℃暴露 4~6 d 和 35 ℃条件暴露 3~5 d,均全部死亡;在 N<sub>2</sub> 为 97% 的贮藏环境下,其成虫和幼虫分别在 35 ℃暴露 2~3 d 和 5 d,均全部死亡<sup>[55]</sup>。

**3.2.7 微波干燥法** 微波干燥法是基于电磁波的振荡频率(300~3 000 MHz)可穿透物质,使内含的脂肪分子和水分子发生互相摩擦和撞击而产生热量,实现中药材的干燥<sup>[30]</sup>,具有干燥速度快、干燥均匀、所需时间短的特点,是一种新型物理防治法。害虫和虫卵均含有脂肪和水分,故采用此法可彻底被消灭,有利于中药材长期贮藏。

川贝母、冬虫夏草、鹿茸、蛤蚧、海马、金钱白花蛇等药材,采用微波法干燥后贮藏 3 年,均未虫蛀。瓜蒌经微波处理后,以聚乙烯塑料袋、铝塑复合膜包装袋或 BOPP/PE 复合膜包装袋真空封口,可免受印度谷螟等害虫为害,有效保存 1

年以上且酸值在合理范围之内<sup>[21]</sup>。麻黄、甘草经微波处理后,内含的有机酸、生物碱等成分基本没有被破坏,含量较未处理几乎无变化<sup>[23]</sup>。

**3.2.8 远红外干燥法** 远红外技术是将中药材置于远红外干燥箱内,红外线能使药材内部分子剧烈运动而产生热量,温度升高,水分被蒸发而达到干燥效果<sup>[56]</sup>。此法简便、易行,杀虫效果佳,是一种物理防治法。操作温度多控制在50~60℃,加热20~60 min。对于耐热中药材,温度可升至60~70℃以缩短干燥时间;对于含挥发油、脂肪油类的中药材,可降至45~50℃并延长干燥时间。大型库房使用2 kW远红外干燥箱为宜<sup>[38]</sup>。

**3.2.9 中药精油熏蒸法** 尽管化学试剂法杀虫效果较好,但害虫抗药性、环境破坏和人类健康问题的出现正驱使科学家们寻求有效的替代品。鉴于较高的安全性和环保性,中药精油认为是最有潜力的<sup>[57-58]</sup>。

芥末、大蒜、花椒、生姜和八角茴香的精油对锯谷盗成虫有强烈的熏蒸、驱避和灭虫作用,以0.1 μL·L<sup>-1</sup>的芥末精油熏蒸24 h后,成虫校正死亡率高达99.38%;毒力效果依次为大蒜精油>八角茴香精油>生姜精油>花椒精油<sup>[59]</sup>。姜黄、肉桂、小茴香和丁香的精油对赤拟谷盗具有较强的驱避、熏蒸、触杀和种群抑制作用,其中姜黄精油可干扰幼虫化蛹过程,使其发育成畸形,也可抑制成虫正常发育<sup>[60]</sup>。大蒜精油对赤拟谷盗和谷蠹具有较好的防治效果<sup>[61]</sup>。小茴香、肉桂、丁香、辣椒和生姜的精油对长头谷盗均有显著的驱避活性,其中,小茴香、丁香、肉桂的精油具有明显的触杀作用<sup>[62]</sup>。肉桂、八角、枫杨、芳樟、香茅、柠檬叶、苍耳、苦楝油、留兰香和松节的精油可有效控制玉米象的为害<sup>[63-64]</sup>。红桔、山苍子、柠檬叶、红河橙、留兰香、松节、黄樟、互叶白千层、蓝桉叶的精油对长角扁谷盗均具有较好的熏蒸效果,在40 mL·L<sup>-1</sup>熏蒸60 h,害虫死亡率达100%<sup>[65]</sup>。

**3.2.10 生物防治法** 生物防治法是利用病菌、昆虫或害虫本身的生物学特性,针对性地干扰、拦截和吸引害虫来达到杀灭的目的,具有安全、高效、环保等特点,包括诱杀、激素干扰、天敌投放、繁殖期捕杀等方法<sup>[8,66]</sup>。

基于害虫的一些生理特性进行诱杀。锯谷盗有向上爬的特性,可采用高峰竖棒诱集法诱杀成虫。害虫多具有趋光性,每年5—9月,在贮藏金银花的库内或周围安装黑光灯,灯下放置装满水的盆,使害虫扑灯落入水中淹死。放置糖醋液(糖-乙醇-醋-水6:1:2:10)并加适量敌百虫或向加热炒香的麦麸或米糠中加入0.1%的除虫菊酯溶液,拌匀后做成毒饵料,可诱杀害虫<sup>[8]</sup>。

性外激素能够干扰害虫的交配活动,降低繁殖能力,减少害虫数量。一些保幼激素及其类似物可使害虫不能正常发育而死亡<sup>[8]</sup>。在性信息素诱捕器中,β-紫罗兰酮作为性信息素诱捕器,可以增加烟草甲虫的捕获量<sup>[67]</sup>。

每种害虫至少有1种天敌。锯谷盗、烟草甲、赤拟谷盗、

印度谷螟等害虫的天敌是黄色花蝽和仓双环猎蝽,玉米象的天敌是米象金小峰,印度谷螟、麦蛾、粉斑螟的天敌是麦蛾茧蜂,投放天敌能有效抑制害虫的生长繁殖。

在害虫繁殖交配期内进行人工捕杀也是一种杀灭害虫的有效方法。武汉地区,每年的4—5月是甲虫类害虫的交配繁殖期,期间进行人工捕杀可切断其繁殖链,降低虫蛀发生率<sup>[40]</sup>。此法尽管操作简单,效果佳,但受季节性影响较大。

**3.2.11 其他防治法** 一些新型防蛀剂(壳聚糖养护液、纳米二氧化硅、石墨烯、纳米氧化铝、硅藻土联合杀虫剂和六氟嘧啶)和贮藏养护技术(真空干燥、冷冻干燥法、喷雾干燥法、蒸汽灭菌法、辐射防治法、气幕防潮技术)在贮藏过程中防治害虫已得到逐步应用<sup>[56,68]</sup>。

## 4 虫蛀的检测技术

### 4.1 常规检测技术

常规的害虫检测方法有直接观察法、筛虫法、探针取样法、诱捕法、染色法和化学检测法等<sup>[69]</sup>。

直接观察法是通过肉眼观察直接识别害虫种类并计数,适用于个体较大、数量较多的害虫检测。诱捕法是在仓库多个位置放置不同的诱饵来诱捕不同的害虫,通过工作人员识别和计数以获得害虫情况。筛虫法是分别在仓库不同位置扦取一定量的粮食,过不同目数的筛子以筛选不同种类的害虫,并识别和计数的一种方法,适用于个体较大、数量较多的害虫检测。染色法是基于贮藏物与不同种类害虫的染色程度差异而进行的害虫检测法。化学检测法是用不同的染色材料(酸性品红、高锰酸钾、龙胆紫)对害虫为害样本进行染色,并根据预判的害虫种类添加化学催化剂,将有虫卵的地方直观地显示出来的检测方法。

然而,传统的虫害检测技术主要依靠人力调查、识别和计数,具有取样点有限、耗时、耗力、主观且效率低的劣势,难以准确地判断出害虫的种类及密度,不能实时地反映仓库中害虫的为害情况<sup>[70]</sup>。一些生物检测和现代检测方法逐步得到应用。

### 4.2 生物检测技术

生物检测方法可通过害虫之间的生物信息传导,将其诱导出并杀灭。也可以利用害虫的趋光性和对食物的敏感程度,采用灯光和食物引诱的方法,设置诱捕器,诱引出害虫并集中杀灭。这种检测方法对贮藏物的破坏小,还可以减少时间和人力的耗费,适用于大规模贮藏物害虫检测<sup>[69]</sup>。

### 4.3 现代检测技术

随着科学技术的发展,一些分析技术也逐步应用到虫蛀检测中,如高效液相色谱法、X射线成像、近红外光谱法、电子鼻、固相微萃取和声探测<sup>[71]</sup>。

采用高效液相色谱法测定小麦粉虫蛀后的尿酸含量,可对其污染程度作出判断。结合软X射线与低场核磁技术可检测小麦隐蔽性害虫玉米象<sup>[72]</sup>。核磁共振氢谱结合多元统

计可对正常、烟草甲虫蛀蚀的款冬花及蛀后的排泄物进行完全区分<sup>[3]</sup>。太赫兹成像方法可实现麦粒内部被虫蛀区域的检测<sup>[73]</sup>。空气耦合超声波技术可成功识别玉米种子的虫蛀孔洞<sup>[74]</sup>。近红外光谱技术可识别大米中害虫的有无<sup>[75]</sup>。傅里叶变换近红外光谱结合化学计量学可鉴别水稻是否被害虫为害,并快速评估小麦的虫蛀情况<sup>[76-77]</sup>。DNA 分子指纹图谱技术可检测面粉中 3 种害虫的虫卵情况<sup>[78]</sup>。气相色谱-质谱联用技术结合化学计量可分析赤拟谷盗蛀蚀糙米前后的挥发性组分并筛选用于表征被害后挥发性生物标记物<sup>[79]</sup>。

将传统二维成像技术和光谱技术相结合的高光谱成像技术,可同时获得被测样品的光谱信息和图像信息,分辨率高,波段广,可实现对害虫的精确、无损检测<sup>[12]</sup>。采用该技术,可对稻螟的虫害和正常样本进行快速、无损地区分<sup>[80]</sup>;可对山楂损伤和虫害缺陷的样本快速、高效地识别<sup>[12]</sup>;可对豆荚螟的虫害高效地识别出<sup>[81]</sup>;还可对大豆、小麦中的活虫进行准确的检测<sup>[82]</sup>。利用近红外高光谱成像技术,可实现长枣上虫孔的无损识别<sup>[83]</sup>。

此外,基于害虫声信号和基于图像识别的实仓在线监测技术也已应用于害虫的检测<sup>[70]</sup>。

## 5 讨论

众所周知,虫蛀对中药材品质危害极大。害虫为害中药材内部后会引发中药的破坏和变质,轻则产生蛀孔,重则被蛀成粉末,失去药用和营养保健价值。2020 年版《中国药典》一部收录的中药材及饮片,就有 210 种要求在“贮藏”中进行“防蛀”,占全部收录的 1/3。可见,虫蛀是危害中药材品质的一个重要的、无法忽略的问题。

中药材的变质现象主要有霉变、酸败、色变和虫蛀。对于霉变,有黄曲霉毒素作为限量指标;对于酸败,有酸值、过氧化值、碘值等指标的含量限定;对于色变,除了有外观性状的限制外,还以 5-羟甲基糠醛作为变质指标,并制订了 0.02% 的限量指标<sup>[84-86]</sup>,但是对于虫蛀,尚无特征的标志物成分及其限量标准。现阶段,笔者对大量易虫蛀药材开展系统研究,力求寻找出可用于标志虫蛀发生的变质指标或组分,并进行限量测定,以便快速、准确地对中药材及其制品进行虫蛀鉴定。

查阅相关文献和资料发现,对于中药材虫蛀现象的研究大多集中于虫蛀发生的影响因素及传统的贮藏养护方法,关于对药材品质的影响、采用现代技术识别虫蛀药材、进行科学的中药材养护等方面的报道缺乏。与中药材一样,粮食等农作物在贮藏过程中也有虫蛀现象发生,粮食虫蛀的成熟检测技术和贮藏方法可以借鉴于中药材。故本研究以中药材虫蛀为焦点,兼顾粮食作物,全面、系统地总结了贮藏过程中发生虫蛀的因素、虫蛀前后品质的比较、贮藏养护的系列措施以及用于虫蛀发生的检测技术,为贮藏环节中药材的质量提供技术保证。同时,虫蛀对中药材品质影响及虫蛀发生的

现代检测技术和贮藏养护方法方面的研究短板,也是今后重点研究方向,力求为中药材的贮藏养护提供理论和技术支持。

## [参考文献]

- [1] 吴启南,钱大玮,段金廉. 中药材贮藏过程中的质量变化机制探讨[J]. 中国中药杂志, 2010, 35 (14): 1904.
- [2] 庞玉扬,彭志婷,于军平. 中药饮片虫蛀的原因及预防措施[J]. 中国民族民间医药, 2017, 26 (11): 123.
- [3] 徐博,宋平平,吴翠,等. <sup>1</sup>H-NMR 对烟草甲虫蛀蚀款冬花前后化学成分的变化研究[J]. 中国中医基础医学杂志, 2022, 28 (3): 463.
- [4] 禹娟红,张尚智. 贮藏期影响党参药材品质的主导因素研究综述[J]. 中央民族大学学报, 2020, 29 (1): 72.
- [5] 谢景峰,何玉宝. 中药材虫害防治法概述[J]. 时珍国医国药, 2000, 11 (6): 569.
- [6] 夏彤. 中药饮片贮藏方法研究[J]. 西部中医药, 2019, 32 (7): 147.
- [7] 鄢玉芬. 川芎贮藏策略及预警模型的研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2019.
- [8] 向玉勇,田超,张敏,等. 安徽省金银花贮藏期害虫种类调查及综合防治技术[J]. 江苏农业科学, 2015, 43 (10): 188.
- [9] 向玉勇,骆惠花,丁雅娟. 锯谷盗危害对贮藏期金银花化学成分的影响[J]. 浙江大学学报, 2017, 43 (2): 203.
- [10] 姬亚男,高吉鑫,马云锡,等. 中药材储藏害虫印度谷螟气调防治技术研究[J]. 中国植保导刊, 2020, 40 (9): 63.
- [11] 巢志茂,焦春红,张永刚,等. 一种瓜萎的微波处理贮存方法:CN101642483B[P]. 2011-06-29.
- [12] 刘德华,张淑娟,王斌,等. 基于高光谱成像技术的山楂损伤和虫害缺陷识别研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2015, 35 (11): 3167.
- [13] 党豪,孙福艳,吕宗旺,等. 混沌理论在储粮害虫预测中的应用研究展望[J]. 粮油食品科技, 2015, 23 (4): 112.
- [14] 党豪. 基于混沌理论的储粮害虫预测研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016.
- [15] 靳贵林,杨春艳,达瓦,等. 纹党参多糖、水分含量与虫蛀现象发生的研究[J]. 西藏科技, 2020, 329 (8): 54.
- [16] 于莉,吴晓毅,廖永红,等. 贮藏过程中影响中药材质量的相关因素分析[J]. 中南药学, 2015, 13 (5): 547.
- [17] 高富强. 小麦粉中赤拟谷盗生态学特性与防治技术研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2022.
- [18] 张玲,王德群. 不同产地药用菊花贮藏变化观察[J]. 中国中药杂志, 2013, 38 (20): 3458.
- [19] 杨兴钧. 印度谷螟在不同花生品种中的发生状态比较研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021.
- [20] 梁乙川. 川芎贮藏过程中质量变化及影响因素研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2018.
- [21] 吴翠,于莉,巢志茂. 中药材的贮藏与化学成分的相关性研究进展[J]. 中南药学, 2015, 13 (12): 1289.
- [22] 卢萍红. 中药材虫蛀霉变的原因分析与对策[J]. 中国药业,

- 2010, 19 (24): 68.
- [23] 王荣祥, 许亮. 中药标本虫蛀防治方法的研究[J]. 辽宁中医药大学学报, 2008, 48 (4): 174.
- [24] 向玉勇, 戴荣涛. 短时高温对金银花贮藏期害虫锯谷盗存活及繁殖的影响[J]. 应用昆虫学报, 2016, 53 (4): 802.
- [25] YODER J, DENLINGER D. Water balance in flesh fly pupae and water vapor absorption associated with diapause[J]. J Exp Biol, 1991, 157 (1): 273.
- [26] MUTERO A, BRIDE J M, PRALAVORIO M, et al. Drosophila melanogaster acetylcholinesterase: identification and expression of two mutations responsible for cold-and heat-sensitive phenotypes[J]. Mol Gen Genet, 1994, 243 (6): 699.
- [27] 叶恭银, 胡萃, 龚和. 高温对珍贵绢丝昆虫天蚕卵巢生长发育的影响[J]. 生态学报, 2000, 20 (3): 490.
- [28] 王德群, 陆业银. 植物类药材的虫蛀实验观察[J]. 中药材, 1993, 16 (2): 23.
- [29] 张丽娟, 孙雪梅, 唐梅, 等. 不同贮藏条件对桃仁质量的影响[J]. 成都中医药大学学报, 2013, 36 (1): 58.
- [30] 刘紫全, 黄群莲, 郝富强. 微波炉处理对中药材储藏的影响实验[J]. 时珍国医国药, 2006, 17 (11): 2349.
- [31] 马玉翠, 吴翠, 徐靓, 等. 白芷的产地盐水腌制干燥技术分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24 (22): 17.
- [32] 李梦焕. 金银花的包装与贮藏研究[D]. 开封: 河南大学, 2019.
- [33] 木合塔尔·吐尔逊, 牙克甫江·尼亚孜. 维吾尔医草药虫蛀问题及应对措施[J]. 中国民族医药杂志, 2010, 16 (11): 40.
- [34] 段志富, 陈建伟, 李祥. 明党参虫蛀前后质量初步分析[J]. 现代中药研究与实践, 2007, 21 (3): 43.
- [35] 郑潇潇, 王潇霖, 黄凤, 等. 基于虫蛀对白芷有效成分的影响探讨虫蛀白芷的资源价值[J]. 中药与临床, 2017, 8 (4): 7.
- [36] 郑潇潇, 李泞汐, 余梅, 等. 虫蛀川芎挥发油成分 GC-MS 研究[J]. 中药与临床, 2017, 8 (3): 7.
- [37] 王智磊, 伍清芳, 刘素娟, 等. GC-MS 结合 AMDIS 及 Kováts 保留指数研究不同虫蛀程度陈皮挥发性成分变化规律[J]. 中华中医药杂志, 2018, 33 (8): 3327.
- [38] 李国祥, 张立华, 杨鹏. 中药饮片虫蛀的研究进展[J]. 内蒙古民族大学学报, 2010, 16 (2): 125.
- [39] 何圣鑫. 防止中药虫蛀霉变的几种方法[J]. 航空航天医学杂志, 2014, 25 (4): 561.
- [40] 吴亚立. 中药饮片防虫蛀简易九法[J]. 医学信息, 2011, 24 (5): 1914.
- [41] 何立兰. 浅议中药在仓储中霉变和虫蛀的预防[J]. 新疆医学, 2008, 38 (9): 278.
- [42] 温而良. 防治中药材发霉、虫蛀方法[J]. 江西医药, 1965, 5 (7): 904.
- [43] 吴继军. 中药材虫蛀的防治[J]. 中国民间疗法, 2009, 17 (6): 56.
- [44] 崔旭红, 徐建信, 李晓宇, 等. 短时高温暴露对 Q 型烟粉虱成虫存活和生殖适应性的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27 (5): 377.
- [45] 赵鑫, 傅建炜, 万方浩, 等. 短时高温暴露对莲草直胸跳甲生殖特性的影响[J]. 昆虫学报, 2009, 52 (10): 1110.
- [46] 崔旭红, 谢明, 万方浩. 短时高温暴露对 B 型烟粉虱和温室白粉虱存活以及生殖适应性的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41 (2): 424.
- [47] TSAGANO F K, VASSILAKOS T N, ATHANASSIOU C G. Insecticidal effect of thiamethoxam against seven stored-product beetle species[J]. J Stored Prod Res, 2021, 93: 101843.
- [48] 康传志, 蒋靖怡, 杨婉珍, 等. 不同贮藏时间硫熏天麻化学成分及二氧化硫变化规律研究[J]. 中国中药杂志, 2018, 43 (2): 261.
- [49] 吴晓毅, 巢志茂, 王梦缘, 等. 硫磺熏蒸对白芷中欧前胡素含量的影响[J]. 中国中医药信息杂志, 2014, 21 (8): 85.
- [50] 张蓉, 杨亚玲, 邓爱平, 等. 硫磺对百合药材质量和安全的影响[J]. 中国中药杂志, 2023, 48 (3): 660.
- [51] 唐培安, 宋伟, 张婷. 甲酸乙酯对锯谷盗的熏蒸活性研究[J]. 粮食储藏, 2010, 39 (6): 3.
- [52] WANG L, DING S S, ZHANG N J, et al. The insecticidal activity of methyl benzoate against *Tribolium castaneum* by transcriptional analysis and in-silico simulation[J]. J Stored Prod Res, 2022, 97: 101972.
- [53] 曹玉璧, 康彩琴. 甘肃道地中药材氮气养护贮藏技术研究[J]. 农业科技与信息, 2021 (1): 58.
- [54] 陶蕾, 赵凤舞, 廖爱琴, 等. 充氮降氧技术在中药材贮藏中的应用[J]. 中兽医医药杂志, 2016, 35 (6): 61.
- [55] HASHEM M, KHALIFA E, AHMED S. The effect of modified atmospheres on the saw-toothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) and the quality of semi-dried dates[J]. J Stored Prod Res, 2021, 93: 101850.
- [56] 唐韵强. 中药贮藏保管中常见问题及对策[J]. 亚太传统医药, 2015, 11 (4): 142.
- [57] DEMETER S, LEBBE O, HECQ F, et al. Insecticidal activity of 25 essential oils on the stored product pest, *Sitophilus granarius* [J]. Foods, 2021, 10 (2): 200.
- [58] YANG X B, LIU Y B. Anisole is an environmentally friendly fumigant for postharvest pest control[J]. J Stored Prod Res, 2021, 93: 101842.
- [59] 向玉勇, 黄安迪, 戴荣涛. 4 种植物精油对金银花贮藏期害虫锯谷盗的生物活性[J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27 (6): 971.
- [60] 刘静, 陈丽, 张春红, 等. 3 种植物精油对赤拟谷盗的控制作用[J]. 粮油加工, 2007(5): 94.
- [61] 鲁玉杰, 刘凤杰. 大蒜和芦荟提取物防治几种储粮害虫效果的研究[J]. 粮食储藏, 2003, 32 (3): 14.
- [62] 郭钰, 曾玲, 梁广文. 5 种植物精油对长头谷盗的控制作用研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28 (5): 57.
- [63] 李前泰, 宋永成. 几种植物挥发油杀虫效果的试验研究[J]. 粮食储藏, 2001, 30 (1): 19.
- [64] 邓永学, 王进军, 鞠云美, 等. 九种植物精油对玉米象成虫的熏蒸作用比较[J]. 农药学报, 2004, 6 (3): 85.

- [65] 张海燕, 邓永学, 王进军. 几种植物精油对长角扁谷盗成虫的熏蒸作用[J]. 植物保护, 2005, 31 (2): 60.
- [66] 雒珺瑜, 张帅, 任相亮, 等. 近十年我国棉花虫害研究进展[J]. 棉花学报, 2017, 29 (1): 100.
- [67] GUARINO S, BASILE S, RANNO P, et al. Beta-ionone increases catches of *Lasioderma serricorne* (F.) (Coleoptera: Anobiidae) in traps baited with sex pheromone[J]. J Stored Prod Res, 2022, 96: 101948.
- [68] 李芳蓉, 牛娟, 张建军, 等. 超声-壳聚糖联用科学养护党参的初步研究[J]. 时珍国医国药, 2022, 33 (6): 1471.
- [69] 王世霞. 应用害虫检测与识别技术 确保粮食储存安全[J]. 中国食品, 2019, 782 (22): 121.
- [70] 钱志海, 张超, 付松林. 储粮害虫实仓在线检测识别技术研究现状与展望[J]. 粮食科技与经济, 2021, 46 (2): 105.
- [71] 袁园, 刘凤杰, 王争艳, 等. 高效液相色谱法检测小麦粉感染害虫后尿酸含量的研究[J]. 河南工业大学学报, 2015, 36 (4): 20.
- [72] 邵小龙, 徐水红, 徐文. 基于软 X 射线与低场核磁共振检测小麦隐蔽性害虫玉米象[J]. 中国粮油学报, 2019, 34 (7): 101.
- [73] 据新刚, 廉飞宇, 张元, 等. 虫蛀麦粒的太赫兹成像检测方法研究[J]. 中国粮油学报, 2018, 33 (8): 106.
- [74] 晋艳云, 高万林, 张晗, 等. 虫蛀玉米种子的空气耦合超声波检测[J]. 声学学报, 2017, 42 (5): 577.
- [75] BIANCOLILLO A, FIRMANI P, BUCCI R, et al. Determination of insect infestation on stored rice by near infrared (NIR) spectroscopy[J]. Microchem J, 2019, 145: 252.
- [76] SRIVASTAVA S, MISHRA G, MISHRA H. Identification and differentiation of insect infested rice grains varieties with FTNIR spectroscopy and hierarchical cluster analysis[J]. Food Chem, 2018, 268 (1): 402.
- [77] MISHRA G, SRIVASTAVA S, PANDA B K, et al. Rapid assessment of quality change and insect infestation in stored wheat grain using FT-NIR spectroscopy and chemometrics [J]. Food Anal Method, 2018, 11: 1189.
- [78] 鲁玉杰, 袁园, 刘凤杰, 等. 利用 DNA 分子指纹图谱技术检测小麦粉中害虫的研究[J]. 中国粮油学报, 2018, 33 (11): 105.
- [79] TIAN X M, HAO J R, WU F H, et al. 1-Pentadecene, a volatile biomarker for the detection of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) infested brown rice under different temperatures[J]. J Stored Prod Res, 2022, 97: 101981.
- [80] 欧阳爱国, 万启明, 李雄, 等. 高光谱成像的水稻螟虫蛀入检测方法[J]. 光谱学与光谱分析, 2021, 41 (12): 3844.
- [81] 马亚楠, 黄敏, 李艳华, 等. 基于能量信息的毛豆荚螟高光谱图像检测[J]. 食品工业科技, 2014, 35 (14): 59.
- [82] 田有文, 程怡, 吴琼, 等. 农产品病虫害高光谱成像无损检测的研究进展[J]. 激光与红外, 2013, 43 (12): 1329.
- [83] 吴龙国, 何建国, 刘贵珊, 等. 基于 NIR 高光谱成像技术的长枣虫眼无损检测[J]. 发光学报, 2013, 34 (11): 1527.
- [84] WU C, XU L, XU B, et al. Correlation between 5-hydroxymethylfurfural content and color of *Rehmanniae Radix* and *Rehmanniae Radix Praeparata*[J]. J Chin Pharm Sci, 2020, 29 (5): 314.
- [85] 吴翠, 徐靓, 马玉翠, 等. 市售罗汉果 5-羟甲基糠醛的含量测定与质量标准的制订[J]. 中南药学, 2019, 17 (12): 2123.
- [86] 吴翠, 马玉翠, 巢志茂. 龙眼肉理化指标与两类贮藏库温度积的动态分析[J]. 中国中医基础医学志, 2017, 23 (8): 1158.

[责任编辑 吕冬梅]