专 论 与 综 述
Reviews

影响花生果安全储藏的环境因素研究进展

王殿轩[1*]， 刘 磊[1]， 黄依林[1]， 陈 亮[1]， 渠琛玲[1]，
张 浩[1]， 白春启[1]， 唐培安[2]

（1. 河南工业大学粮油食品学院，国家粮食产业（仓储害虫防控）技术创新中心，粮食储运国家工程研究中心，郑州 450001；2. 江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心，南京 210023）

摘要 花生生长中土壤虫害、收获后的荚果带菌量、荚果发育不良或成熟过度、收获中机械损伤、收获后干燥不及时、荚果水分过高、储藏中吸湿受潮、储藏害虫为害等影响花生果的安全储藏。含水量为47%的湿花生果在10～25℃、RH 60%～90%时储存1 d，或在4～5℃、RH 65%～79%条件下存放10 d即会出现霉变。含水量为39%的花生果在9～18℃、RH 62%～89%条件下存放1～2 d即会出现霉变。温度9～19℃时大规模仓储的干燥花生果在其水分活度为0.43～0.57时，储藏期间因温差和湿热转移造成花生果堆内局部水分增高，在半年的储藏时间内也会出现霉变或产毒。含水量为6%的花生果在20℃、RH 70%以下时可安全储藏，相对湿度达到70%及以上则会发生霉变。含水量为9%的花生果在25～27℃、RH 70%条件下，或在环境氧气含量低于1%，或二氧化碳含量60%以上安全储藏时间可达1年。

关键词 花生果； 储藏； 环境因素； 霉变
中图分类号： S435.652 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2021093

Advances in the environmental factors influencing safe storage of peanut pods

WANG Dianxuan[1*]， LIU Lei[1]， HUANG Yilin[1]， CHEN Liang[1]， QU Chenling[1]，
ZHANG Hao[1]， BAI Chunqi[1]， TANG Pei'an[2]

（1. *School of Food Science and Technology, National Grain Industry (Storage Insect Pest Control) Technology Innovation Center, Grain Storage and Logistics National Engineering Technology Research Center, Henan University of Technology, Zhengzhou* 450001, *China*; 2. *Jiangsu Collaborative Innovation Center of Modern Grain Circulation and Safety, Nanjing* 210023, *China*）

Abstract The safe storage of peanut pods can be affected by soil pest feeding during peanut growth, the amount of contaminated fungi in harvested peanut pods, immature or excessive mature pods, physical damage in harvest, drying not in time after harvest, higher moisture content, moisture re-absorption in storage, storage insect pest infestation and so on. Mildew grew in the peanut pods with a moisture content of 47% when at 10－25℃ and RH 60%－90% for only one day or at 4－5℃ and RH 65%－79% for ten days. Mildew grew in the peanut pods with a moisture content of 39% under the conditions of 9－18℃ and RH 62%－89% just in two days. Mildew or toxin production will occur within half a year in the large-scale stored dried peanuts with a water activity of 0.43－0.57 when the moisture in the peanut pile increases due to sharp temperature gradient and transfer of moisture and heat at the temperature of 9－19℃. The peanut pods with a moisture content of 6% can be safely stored at 20℃, a relative humidity below 70%, and it will mildew in a short time if the relative humidity reaches 70% or above. The peanut pods with a moisture content of 9% could be safely stored for up to one year at 25－27℃ and RH 70%, or in an environment with an oxygen content less than 1%, or a carbon dioxide content more than 60%.

Key words peanut pods; storage; environmental factors; mildew

收稿日期： 2021－02－18 **修订日期：** 2021－03－21
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(CARS-13)
* 通信作者 E-mail：wangdianxuan62@126.com

花生 *Archis hypogaea* 是世界上第四大油料和第十三大人类食源作物[1]，是人类重要的优质植物蛋白和油脂来源，也是深受人们喜爱的食品[2-3]。花生广泛种植于亚洲、非洲、美洲等许多地区。中国花生种植面积约占世界种植面积的 20%，居世界第 2 位，产量约占世界总产的 40%，居第 1 位[4-5]。近年来世界上花生种植面积和产量增加趋势明显[6]。中国国家统计局资料显示，2019 年中国花生播种面积为 46.3 万 hm^2，较 2018 年增加了 1.38 万 hm^2；2019 年中国花生产量为 1 752 万 t，较 2018 年的 1 733.2 万 t 同比增长 1.08%。花生收获及安全储藏对其产业良好发展有着直接影响。我国花生收获时间较为集中，尤其是花生生产过程中的机械化导致短时间内大量湿花生果积聚[7]，使其霉变与产生毒素的风险大大提高。花生种植、储藏和加工中黄曲霉毒素超标事件时有发生[8]。2015 年我国出口欧盟食品违例事件 251 起，其中花生黄曲霉毒素超标事件占 98 起，在单一事件中比例最高[9]。花生中的真菌毒素以黄曲霉毒素为主，包括黄曲霉毒素 AFB_1、AFB_2、AFG_1 和 AFG_2，其中 AFB_1 占绝大部分且毒性最强[10]。花生收获后大多先以荚果的形式处理和存储，包括田间自然干燥、露天晾晒、带秆码垛、仓场储存等，期间极易受到霉菌污染甚至产生毒素[11-12]。花生果的霉变和毒素产生与处理过程中的环境因素及条件关系密切[13-17]。干燥花生果在高湿环境吸湿快，花生果壳吸收的水分比籽仁高[18]，因而更易霉变。果实质量、环境温度、湿度、气体成分、气流状况、仓储条件等影响花生果的安全储藏。

1 收获花生果的质量与安全储藏

1.1 花生果田间收获时的质量因素与安全储藏

生长期带菌量较多、虫害、发育不良、成熟过度等都会对花生果后期储藏造成不利影响。花生果后期的安全储藏与收获时花生果的带菌量关系密切，收获前被霉菌污染的花生果在后期储藏中因条件不当而继续霉变[2]。收获前，土壤中的真菌种类、温度、水分含量和湿度等都会影响霉菌感染[2,19]。黄曲霉 *Aspergillus flavus* 和镰刀菌 *Fusarium* spp. 可以在花生果收获后的几个月内被检出[20]。花生果收获前 30～50 d，温度适宜(24～28℃)时花生果被黄曲霉污染的概率高，在此期间天气越干旱，黄曲霉的感染率和产毒率越高。未成熟或过度成熟的花生果黄曲霉污染率较高[21]。

花生果在收获前若受到土壤中害虫如蛴螬等为害，或收获前 30～50 d 内土壤温度达 28～30.5℃，或收获前 4～6 周受到干旱等的胁迫，其感染黄曲霉和寄生曲霉 *Aspergillus parasiticus* 的几率增加[21-22]。地下害虫对花生果的为害使其对霉菌的抵抗力降低，更容易感染黄曲霉和青霉 *Penicillium*[23-26]。适时收获对减少霉菌和毒素污染以及后期安全储藏都是必要的[2]。土壤中主要以蛴螬、金针虫等为害花生果[4,27-28]，如南美玉米苗斑螟 *Elasmopalpus lignosellus* Zeller 可能携带和传播黄曲霉等植物病原体[24]。

将黄曲霉和寄生曲霉的非产毒株与栽培土混合，其在生长过程中与产毒株竞争[29-30]，可显著降低花生果产生黄曲霉毒素的含量，被认为很有应用前景。

1.2 花生果收获后的质量因素与安全储藏

收获的花生果带有的微生物含量会影响其后期储藏安全，储藏条件不当的情况下花生果中的微生物会消耗其营养物质造成质量下降[31]。收获的未成熟果、机械损伤果、破损果、开裂荚果、干燥不及时的果实会影响后期安全储藏，尤其是后期花生返潮吸湿后更容易霉变[32-35]。花生果的病、残、秕果抗感染能力下降，这类花生果含量多时也会增加黄曲霉侵染的机率。储藏中的害虫为害可能会间接导致黄曲霉侵染和毒素产生。

2 环境温度与花生果安全储藏

2.1 储藏过程中温度变化与干花生果的霉变与产毒

温度影响多种农产品及制品中黄曲霉和寄生曲霉的消长动态及毒素产生[12-13]。花生中黄曲霉和寄生曲霉生长的最适温度分别为 25℃和 25～30℃[21]。在寄生曲霉产生的黄曲霉毒素 B_1(AFB_1)和黄曲霉毒素 G_1(AFG_1)中，AFG_1 的含量随温度升高而相对减少。实验室条件下寄生曲霉在 pH 5.9 和 5.5 时产生毒素的最适温度分别为 27.84℃和 27.32℃[36]。

在阿根廷，将 2 600 t 品种为‘Runner’的花生果散存于长 120 m、宽 12 m、高 20 m 的钢板顶仓房中，该仓房配有可降低温湿度的机械通风系统，储藏期在 5 月—10 月，并于 9 月进行了磷化氢熏蒸杀虫。仓房 5 月、6 月、8 月、9 月和 10 月平均环境温度分别为 12、9、10、15℃和 19℃，相应月份花生的

水分活度分别为 0.57、0.48、0.45、0.48 和 0.43，对相应月份花生仁进行检测其总带菌量在 3.38～4.74(log cfu/g)范围内。检测到的霉菌种类包括青霉 *Penicillium* sp.、镰刀菌 *Fusarium* sp. 和黄曲霉，以及较少的枝孢霉 *Cladosporium* sp.、黑曲霉 *Aspergillus niger*、链格孢 *Alternaria* sp.、散囊菌 *Eurotium* sp. 和曲霉 *Aspergillus* spp.。期间对应月份所取样品的平均 AFB_1 含量分别为<1 μg/kg、<1 μg/kg、2.85(最大 12.09)μg/kg、68.86(最大 342.4)μg/kg 和 69(最大 314)μg/kg。在 8 月平均温度仅 10℃、水分活度 0.45 的情况下检测样品的 AFB_1 含量最大达到 12.09 μg/kg[34]。其原因可能是 5 月—8 月的昼夜温差变化使得大规模花生果堆产生了明显的温差[34]，导致湿热转移使得花生堆局部水分增高，创造了利于霉菌繁殖的条件，导致花生果霉变，进而产生毒素。

2.2　高水分含量的湿花生果在几个场所的霉变时间

将 90 kg 含水量为 47.3%的湿花生果储藏于直径 500 mm、高 600 mm 的透气金属网囤中，在温度 10～25℃、RH 60%～90%的持续阴雨天气下，料堆中心 1 d 后出现霉变发热。在温度 13～16℃时堆存不足 2 d 即有霉变。将含水量 47.3%的湿花生果装入直径 650 mm 铁皮小钢板仓囤，在温度 4～5℃、RH 65%～79%的冷库中 10 d 即出现霉变发热，至 18 d 时料堆中心温度可达 28℃。水分含量 39.1%的湿花生果在 9～18℃、RH 62%～89%持续阴雨天气下置于楼道内走廊地面上，摊开厚度 10～15 cm，每天翻动 2～3 次，2 d 后出现霉变[37]。花生果堆存时，堆内因湿花生果及霉菌生长的积热容易导致进一步霉变和毒素产生，即使短时间也难以安全储藏。

3　环境湿度与花生果安全储藏时间

花生果干燥至含水量 10%以下可安全储藏[38-39]。国家标准 GB/T 1532－2008 中要求花生果的含水量为 10%[40]。花生果储藏中霉菌的生长与花生水分活度关系更为密切，通常黄曲霉生长要求的最低水分活度为 0.78～0.80[41]，花生果上黄曲霉生长的最低水分活度为 0.67～0.72[42]。通常只有少数干性霉菌在水分活度 0.75 或以下时能生长[43]。含水量 8%～10%的花生果在 RH 82%条件下可滋生黄曲霉，产生毒素则需要含水量在 10%以上[44]。含水量 9%的花生果在 25～27℃、RH 70%时可安全储存近 1 年[22,45-46]。

初始含水量为 6%的花生果在温度 20℃、RH 70%时可长时间不出现霉变，在 RH 80%环境可安全存放 14 d 无霉变，在 RH 90%时可安全储藏8 d，在温度 25～30℃、RH 70%环境中可长时间不发生霉变，而在 RH 80%环境中只能安全储藏 13 d，在 RH 90%时只能安全储藏 8 d[47]。干燥花生果可吸湿返潮，含水量高于 9%的花生果吸湿时霉菌活动概率增大[4,48]。干燥花生果在相对湿度大于其平衡相对湿度时会吸湿导致含水量和水分活度升高，进而诱发霉菌生长，即使环境温度在 20℃以下，储藏花生果的环境相对湿度也不宜超过 70%。

黄曲霉的侵染和毒素的产生需要一定的条件和时间积累，储藏时间也影响花生果的安全和品质[49]。适合黄曲霉生长的相对湿度为 83%～85%[10,50]。将 5 包 25 kg 包装的‘Runner IAC 886’花生果置于仓内通风良好的木架上，在为期 12 个月的储藏中温度为 19.4～27.0℃，前 6 个月 RH 为 58.03%～71.93%，最后 3 个月 RH 大于 82%，整个储藏期间花生壳水分活度为 0.38～0.65，去壳花生仁的水分活度 0.44～0.65，储藏期间的第 3 个月即有 6.7%的样品 AFB_1 含量达 15～23 μg/kg，说明透气包装储存的花生果在非适宜黄曲霉产生毒素的条件下，经过 3 个月也会有霉变和产生 AFB_1[10]，其中 20℃以上的温度和较高的相对湿度起了重要作用。

4　环境气体成分和包装方式与花生果安全储藏时间

低氧环境中花生的内部生理活动受到抑制。氧含量小于 8%时储藏 4～5 个月，期间花生的自由基和乙醛含量变化很小；氧含量小于 2%时储藏 6～7 个月无霉变[51]。将二氧化碳按质量比 0.11 mL/g 充入小包装的含水量 6.4%的花生果可即时形成吸附结块，在 45℃下存放 25 d 其酸价仅从 0.2 mg/g 上升至 0.3 mg/g，且不出现霉变现象[52]。氧气含量 1%、氮气含量 19%、二氧化碳含量 80%时可完全抑制花生果黄曲霉毒素的产生[35]。26℃、二氧化碳含量 60%可使花生在 1 年内不霉变、不产生毒素[53]。25℃、氧含量为 10%、环境中水分活度为 0.97 的花生储藏 21 d 时出现霉变[54]。

含水量 8%的花生果在 40℃、RH 80%条件下 5 d 出现霉变，在－0.06 MPa 真空度下经 15 d 才会出现轻微霉变[55]。真空包装可以抑制霉菌发生，但需要适合的包装材料和包装气密性处理。

含水量 10%的新收获花生果可用透气包装袋储藏，以避免无氧呼吸和种胚中毒，也利于呼吸产生的水分和热量散发[56-58]，包装应以编织袋、麻袋为好。安全水分（含水量低于 10%）的花生果适合用高阻隔性材料包装，含水量略高于安全水分的花生果适合用低气密性的包装材料，较高含水量的花生果，不适合密闭性包装[59-61]。充分干燥且低温储藏的花生，在环境湿度大于其平衡相对湿度时宜采用适当的密封包装储藏。花生果在 RH 70%以上环境储藏时，应防止其吸湿增加含水量[47]。

5 花生储藏害虫与储藏安全

世界范围内有 600 多种甲虫，70 多种蛾类和 350 多种螨为害农产品及其加工品，导致农产品数量减少和质量受损[62]。一些国家对食品源农产品中的害虫容忍度为零[63-64]。为害花生的储藏害虫有 100 多种，主要包括谷斑皮蠹 *Trogoderma granarium* Everts、花生豆象 *Caryedon serratus*（Olivier）、锯谷盗 *Oryzaephilus surinamensis*（Linnaeus）、印度谷斑螟 *Plodia interpunctella*（Hübner）、粉斑螟 *Ephestia cautella*（Walker）、烟草粉斑螟 *Ephestia elutella*（Hübner）和赤拟谷盗 *Tribolium castaneum*（Herbst），以及扁谷盗科的害虫如锈赤扁谷盗 *Cryptolestes ferrugineus*（Stephens）等[65-70]。这些害虫可为害花生果实，有时也是霉菌传播的载体[26]，可携带传播黄曲霉和青霉等[34]。

花生豆象是钻蛀花生荚果为害种仁的害虫，其在花生大田晾晒期间即能为害。雌虫在荚果或种仁上产卵，孵化后幼虫即钻透果壳食害种仁。老熟幼虫在果壳内或果壳外做茧化蛹，在花生堆垛顶部化蛹较多，不利条件下其蛹可在茧内停留数月至2 年。成虫多在花生果堆垛顶上交尾，然后爬到垛内产卵，产卵多在仓内，偶有产卵于田间。成虫寿命 2～3 周，一年可发生 2～6 代，世代重叠严重，常造成严重损失[67,70]。花生豆象在我国云南省、台湾省有分布记录。

谷斑皮蠹为我国和国际上最重要的检疫性害虫之一，现已遍布非洲、亚洲、欧洲等 60 多个国家和地区，我国目前仅在台湾省有分布。该虫以幼虫取食为害，除直接取食外，还有粉碎食物的习性，特别对花生、谷物、干果等为害严重，造成的损失率一般为 5%～30%，最高能达到 75%[71]。谷斑皮蠹常随动植物产品及其包装物长距离传播蔓延，适应性强，对干燥、高温、低温以及杀虫剂有较强的抵抗力，当条件不适时其幼虫可滞育。滞育幼虫隐藏于破碎粮和缝隙中，具有强大的耐饥饿力，断绝食物的情况下可持续休眠和滞育 4～8 年[72]。近年来我国多次从进口花生中检出谷斑皮蠹。

印度谷斑螟是花生储藏过程中的重要害虫之一，分布广泛，可为害约 200 种储藏物品。其幼虫可通过花生壳上的裂缝进入内部为害，对花生仁为害严重。幼虫可在花生堆垛表面吐丝结网，网内含有幼虫排泄物和虫蜕等污染物[73-80]。

烟草粉斑螟为常见的世界性分布害虫，主要以幼虫为害谷物和油料等，其可以取食完整储藏物，也可通过取食、吐丝连缀、产生排泄物等进行为害。烟草粉斑螟雌成虫一生可产卵 150～200 粒，孵化的幼虫在储藏物表面取食，老熟幼虫则觅隐蔽处化蛹，环境适宜时其发育繁殖迅速，造成严重危害[81-83]。

锈赤扁谷盗广泛分布于世界各地，幼虫和成虫均可为害破碎和受损的粮粒[84-86]。储藏花生果中发生的扁谷盗科害虫虫体上检出的霉菌样品多为黄曲霉，也有部分寄生曲霉[34]。储藏中发生的扁谷盗科害虫可能还包括长角扁谷盗 *Cryptolestes pusillus*（Schonherr）和土耳其扁谷盗 *Cryptolestes turcicus*（Grouvelle）等，这些害虫不直接取食花生，在花生堆中发生主要是因其可取食物品粉屑，喜欢有霉变储藏物品的场所[68,87]。扁谷盗类害虫对霉菌传播具有促进作用。

6 花生果安全储藏因素调控

6.1 产前因素与调控

花生果被霉菌污染和毒素的产生量受产前和收获花生果质量及花生对霉菌抵抗力的影响，更受后期水分、温度、湿度等储藏条件的影响。高水分活度与适宜温度是霉菌发生和毒素产生的关键[88-89]。提高花生的抗旱性、抗病性和抗虫性能有效降低收获花生果被霉菌污染的程度，培育抗黄曲霉花生品种是防止霉菌发生的途径之一[90]，也是经济有效的预

防措施[91],但迄今国际上应用于生产的抗黄曲霉的花生品种还很少。

高水平毒素污染易出现于霉变和损伤的花生果上[92]。约 80%的毒素污染出现在较小和有开裂的果体上[93],收获后去除霉变带毒果粒是减少后期毒素污染的有效措施[94]。去除机械损伤、霉菌污染、变色、变形、开裂、瘪小粒等果体可以减小黄曲霉毒素污染[2]。颗粒完整(少虫害、少机械损伤,少开裂、少未成熟、少成熟过度)、田间晾晒防雨淋、晾晒中防土壤接触、保持通风良好、及时干燥、适度干燥等也可防止花生果被霉菌污染[4]。产前的控制措施也包括生物制剂抑霉、适当种植管理、采用抗性品种[2]。

土壤含钙量低时会使花生果壳组织变松,选择含钙较高且疏松的沙石土壤可大大降低花生田间生长中感染黄曲霉毒素的风险。土壤含水量高时容易产生烂果而有利于黄曲霉侵染[4]。花生果成熟后及时收获可减少花生感染黄曲霉毒素的风险[95]。

6.2　收获后的因素与调控

花生带秧收获后应堆码成通风垛以利于迅速干燥降低含水量。收获后去除杂质、去除坏果可减少带菌污染。杂质含量达到 4%或裂口荚果达到 5%时安全储藏比较困难,花生果中混杂的籽仁会加快料堆霉变和产生毒素[22]。保持环境清洁卫生、降低花生含水量、控制环境低温条件可减少毒素产生,仓房受潮、通风不当、出现结露、干燥不当等导致花生果含水量升高影响安全储藏[93]。选择适当的储藏容器并进行充分合理通风是减少霉菌发生和毒素污染的有效办法[6]。

花生果仓内散存时要求含水量控制在 10%以内,堆高不超过 2 m,低温 20℃以下一般可长期保存。冬季通风降温后趁冷密闭储藏效果更好,可将堆垛下面垫高并再铺一层 10 cm 厚的秸秆防潮[58]。市场收购的花生果可在仓内设置通风笼后堆存,适时通入空气以带走因物料呼吸产生的热量,控制仓内温度 20℃以下至 15℃左右,相对湿度 70%以下。也可装袋后置于室外通风处作短时间存放[35]。对不同类型花生种质进行品质分析,结果表明常温密闭保存和低于 8%的含水量对种子活力有较好的保持作用[96]。

农户储藏花生果一般可分为 3 个阶段处理:第一是田间自然通风干燥,使花生含水量由 40%以上降到 20%以下;第二是庭院地面露天、屋顶晾晒或带秆码垛储存,使花生含水量由 18%降到 9%以下;第三是花生果储存,干燥花生果采用农家仓房、席茓囤或编织袋储存,待销售时集中脱壳[58]。

干燥花生果在储藏、运输和市场流通中应避免受潮、结露[97],达到安全水分(含水量低于 10%)的花生果应储藏于干净、干燥、低温、防害虫侵染[22]的环境条件下。包装于黄麻包中的花生果可用丁香 *Syzygium aromaticum* 粉按 3%(m/m)拌和以有效抑制寄生曲霉的感染,当花生含水量增加至 18.5%时该方法失效[98]。在堆存、包装时去除不完善粒和杂质也是防止花生果霉变和毒素污染的重要措施[99]。花生果的含水量直接关系到其水分活度,温度 25℃时花生的水分活度达到 0.85,适宜霉菌萌发和生长,水分活度 0.75 则对霉菌有抑制作用[100]。收获后快速干燥将花生水分活度降低可防止毒素产生[2]。

参考文献

[1] REDDY E C S, SUDHAKAR C, REDDY N P E. Aflatoxin contamination in groundnut induced by *Aspergillus flavus* type fungi: A critical review [J]. International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology, 2011, 2(2): 180-192.

[2] BEDIAKO K A, OFORI K, OFFEI S K, et al. Aflatoxin contamination of groundnut (*Arachis hypogaea* L.): Predisposing factors and management interventions [J]. Food Control, 2019, 98(2): 61-67.

[3] ADEBESIN A A, SAROMI O T, AMUSA N A, et al. Microbiological quality of some groundnut products hawked in Bauchi, a Nigerian city [J]. Food Technology in Africa, 2001, 6(2): 53-55.

[4] 王海鸥,陈守江,胡志超,等. 花生黄曲霉毒素污染与控制[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(1): 270-273.

[5] 刘娟,汤丰收,张俊,等. 国内花生生产技术现状及发展趋势研究[J]. 中国农学通报, 2017, 33(22): 13-18.

[6] MARTEY E, ETWIRE P M, DENWAR N. Improved storage technique and management of aflatoxin in peanut production: evidence from Northern Ghana [J/OL]. Scientific African, 2020, 8: e00381. DOI: 10.1016/j.sciaf.2020.e00381.

[7] 闫荣常. 花生生产全程机械化技术[J]. 农业与技术, 2017, 37(12): 92.

[8] ANNE D. Mycotoxins: risks in plant, animal and human systems [J]. AAHE-ERIC/Higher Education Research Report, 2003, 9(7): 48-50.

[9] 刘肖,邢福国,王利敏,等. 种植至储藏期花生黄曲霉毒素 B_1

污染研究[J]. 核农学报，2017，31(5)：899－905.

[10] NAKAI V K，ROCHA L D O，GONCALEZ E，et al. Distribution of fungi and aflatoxins in a stored peanut variety [J]. Food Chemistry，2008，106(1)：285－290.

[11] VILLA P，MARKAKI P. Aflatoxin B_1 and ochratoxin A in breakfast cereals from athens market：Occurrence and risk assessment [J]. Food Control，2009，20(5)：455－461.

[12] MUTEGI C K，WAGACHA J M，CHRISTIE M E，et al. Effect of storage conditions on quality and aflatoxin contamination of peanuts (*Arachis hypogaea* L.) [J]. International Journal of Agriscience，2013，3(10)：746－758.

[13] GQALENI N，SMITH J E，LACEY J，et al. Effects of temperature，water activity，and incubation time on production of aflatoxins and cyclopiazonic acid by an isolate of *Aspergillus flavus* in surface agar culture [J]. Applied and Environmental Microbiology，1997，63(3)：1048－1053.

[14] DOHLMAN E. Mycotoxin hazards and regulations：Impacts on food and animal feed crop trade [M]. United States：Economic Research Service，2003：97－108.

[15] KABAK B，DOBSON A D W，VAR I. Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed：A review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition，2006，46(8)：593－619.

[16] DORNER J W. Management and prevention of mycotoxins in peanuts [J]. Food Additives & Contaminants，2008，25(2)：203－208.

[17] GUCHI E. Aflatoxin contamination in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) caused by *Aspergillus* species in Ethiopia [J]. Journal of Applied & Environmental Microbiology，2015，3(1)：11－19.

[18] BRUSEWITZ G H. Effect of air movement on peanut pod moisture variation during storage [J]. Journal of Stored Products Research，1973，9(4)：213－216.

[19] 史军，王金水，刘进玺，等. 花生毒素种类及脱毒方法研究进展[J]. 粮食与油脂，2006(2)：48－50.

[20] RILEY R T，NORRED W P，BACON C W. Fungal toxins in foods：recent concerns [J]. Annual Review of Nutrition，1993，13(1)：167－189.

[21] 张建成，江晨，李双铃，等. 花生黄曲霉毒素污染状况及防控技术[J]. 作物杂志，2006，33(1)：67－68.

[22] TORRES A M，BARROS G G，PALACIOS S A，et al. Review on pre- and post-harvest management of peanuts to minimize aflatoxin contamination [J]. Food Research International，2014，62(8)：11－19.

[23] VANBRONSWIJK J E M H，SINHA R N. Role of fungi in the survival of *Dermatophagoides* (Acarina：Pyroglyphidae) in house-dust environment [J]. Environmental Entomology，1973，2(1)：142－145.

[24] LYNCH R E，WILSON D M. Enhanced infection of peanut，*Arachis hypogaea* L. seeds with *Aspergillus flavus* group fungi due to external scarification of peanut pods by the lesser cornstalk borer，*Elasmopalpus lignosellus* (Zeller) [J]. Peanut Science，1991，18(2)：110－116.

[25] CARTER J B H. The influence of the testa，damage and seed dressing on the emergence of groundnut (*Arachis hypogaea*) [J]. Annals of Applied Biology，2010，74(3)：315－323.

[26] DOWD P F. Involvement of arthropods in the establishment of mycotoxigenic fungi under field conditions [M]. New York：Agricultural Research Service，1998：307－350.

[27] 王新云. 花生主要病虫害及其综合防治[J]. 园艺与种苗，2011(3)：74－76.

[28] 张金岭. 花生主要病虫害防治技术[J]. 现代农业科技，2013(17)：169－170.

[29] DORNER J W，COLE R J，BLANKENSHIP P D. Use of a biocompetitive agent to control preharvest aflatoxin in drought stressed peanuts [J]. Journal of Food Protection，1992，55(11)：888－892.

[30] PITT J I，HOCKING A D. Mycotoxins in Australia：biocontrol of aflatoxin in peanuts [J]. Mycopathologia，2006，162(3)：233－243.

[31] LACEY J，MAGAN N. Fungi in cereal grain：Their occurrence and water and temperature relationship [M]// CHEŁKOWSKI J. Cereal grains mycotoxins，fungi and quality in drying and storage. Amsterdam：Elsevier，1991：77－118.

[32] ORY R L，CRIPPEN K L，LOVEGREN N V. Off-flavors in peanuts and peanut products [J]. Developments in Food Science，1992，28(1)：57－75.

[33] SANDERS T H，VERCELLOTTI J R，GRIMM D T. Shelf-life peanuts and peanuts products [M]// CHARALAMBOUS G. Shelf life stability of foods and beverages. Amsterdam：Elsevier，1993：289－309.

[34] MONTEMARANI A N A，ETCHEVERRY M，et al. Assessment of mycoflora and infestation of insects，vector of *Aspergillus* section *Flavi*，in stored peanut from Argentina [J]. Mycotoxin Research，2011，27(1)：5－12.

[35] 刘丽，王强，刘红芝. 花生干燥贮藏方法的应用及研究现状[J]. 农产品加工(创新版)，2011(8)：49－52.

[36] BEDIAKOA K A，DZIDZIENYOA D，OFORIA K. Prevalence of fungi and aflatoxin contamination in stored groundnut in Ghana [J]. Food Control，2019，104(5)：152－156.

[37] 王雪珂，渠琛玲，汪紫薇，等. 高水分花生短期储存发热霉变研究[J]. 粮食储藏，2019，48(4)：25－28.

[38] 李光河. 花生安全贮藏[J]. 河南科技，2002(18)：26－27.

[39] 李秀缺，张薇，张爱菊，等. 花生中黄曲霉毒素的防控及去除方法[J]. 食品工程，2010(2)：25－27.

[40] 全国粮油标准化技术委员会. 花生：GB/T 1532－2008 [S]. 北京：中国标准出版社，2008.

[41] ARORA. Handbook of applied mycology：Foods and feeds

[M]. New York: Marcel Dekker, 1991: 12 - 77.

[42] PASSONE M A, BLUMA R, NESCI A, et al. Impact of food grade antioxidants on peanut pods and seeds mycoflora in storage system from Córdoba, Argentina [J]. Journal of Food Safety, 2010, 28(4): 550 - 566.

[43] PITT J I, HOCKING A D. Significance of fungi in stored products [C]// Australia Centre for International Agriculture Research. Fungi and mycotoxins in stored products, Bangkok, Thailand, 1991: 16 - 21.

[44] DIENER U L, DAVIS N D. Limiting temperature and relative humidity for aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in stored peanuts [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 1970, 47(9): 347 - 351.

[45] WALIYAR F, NTARE B R, DIALLO A T, et al. On farm management of aflatoxin contamination of groundnut in west Africa. A synthesis report [R]. India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 2007.

[46] WALIYAR F, KUMAR L, TRAORÉ A, et al. Pre- and postharvest management of aflatoxin contamination in peanuts [M]// LESLIE J F, VISCONTI A. Mycotoxins: Detection methods, management, public health, and agricultural trade. Trowbridge, UK: CAB International/Cromwell Press, 2008: 209 - 218.

[47] 王晨光, 王殿轩, 渠琛玲, 等. 干燥花生果在不同温湿度条件下的水分含量及霉变研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2020, 41(3): 94 - 99.

[48] 高秀芬, 荫士安, 计融. 中国部分地区花生中 4 种黄曲霉毒素污染调查[J]. 中国公共卫生, 2011, 27(5): 541 - 542.

[49] 李宁, 刘红芝, 刘丽, 等. 贮藏与加工过程对花生黄曲霉毒素含量影响研究进展[C]//第二届全国农产品产地初加工学术研讨会论文集, 2013: 52 - 58.

[50] CHRISTENSEN C M, NELSON G H. Mycotoxins and mycotoxicoses [J]. Modern Veterinary Practice, 1976, 57(5): 367 - 371.

[51] JENSEN P N, DANIELSEN B, BERTELSEN G, et al. Storage stabilities of pork scrachings, peanuts, oatmeal and muesli: Comparison and ESR spectroscopy, headspace-GC and sensory evaluation for detection of oxidation in dry foods [J]. Food Chemistry, 2005, 91(1): 25 - 38.

[52] 何家林, 冯健雄, 付晓记, 等. 花生二氧化碳充气包装贮藏技术研究[J]. 河南农业科学, 2013, 42(5): 169 - 172.

[53] WILSON D M, JAY R, HILL R A. Microflora changes in peanuts (groundnuts) stored under modified atmospheres [J]. Journal of Stored Products Research, 1985, 21(1): 47 - 52.

[54] ELLIS W O, SMITH J P, SIMPSON B K, et al. Growth of and aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in peanuts stored under modified atmosphere packaging (MAP) conditions [J]. International Journal of Food Microbiology, 1994, 22(2/3): 173.

[55] 王安建, 高帅平, 田广瑞, 等. 真空包装对花生贮藏效果的影响[J]. 河南农业科学, 2015, 44(9): 125 - 128.

[56] 金建猛, 任丽, 谷建中, 等. 影响花生种子安全贮藏的原因分析与对策[J]. 种子科技, 2007, 25(3): 173 - 187.

[57] 陈红, 熊利荣, 王晶, 等. 包装材料对常温花生耐贮性的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 269 - 273.

[58] 王希仁, 陈百会, 李孝柏. 辽北地区花生储藏状况及应对建议[J]. 粮油仓储科技通讯, 2016(5): 27 - 29.

[59] MITSUDA H, KAWAI F, KUGA M, et al. Mechanisms of carbon dioxide gas adsorption by grains and its application to skin-packaging [J]. Journal of Nutritional Science and Vitaminology, 1973, 19(1): 71 - 83.

[60] 刘光宪, 祝水兰, 周巾英, 等. CO_2 密闭贮藏对花生脂肪氧化及黄曲霉生长的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(6): 197 - 200.

[61] 付晓记, 幸胜平, 闵华, 等. 不同包装材料密闭储藏对花生品质影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(10): 118 - 122.

[62] RAJENDRAN S. Postharvest pest losses [M]// DEKKER M. Encyclopedia of pest management. 2002: 654 - 656.

[63] WHITE N D G. Insects, mites and insecticides in stored-grain ecosystems [M]. New York, USA: Marcel Dekker, Inc. 1995: 123 - 167.

[64] HIGHLEY E, WRIGHT E J, WEBB M C, et al. Stored grain in Australia [C]// Proceeding of the Australian Postharvest Technical Conference, Canberra, National Tax Association, 2003.

[65] DICK K M. Information Bulletin no. 22: Pest management in stored groundnuts [R]. India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1987: 1 - 32.

[66] ARTHUR F H. Effects of cleaning peanuts on insect damage, insect population growth and insecticide efficacy [J]. Peanut Science, 1989, 16(2): 100 - 105.

[67] 张建成, 李国荣. 花生仓库的主要害虫[J]. 植物医生, 1997, 23(2): 37 - 38.

[68] TOEWS M D, PHILLIPS T W, SHUMAN D. Electronic and manual monitoring of *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera: Laemophloeidae) in stored wheat [J]. Journal of Stored Products Research, 2003, 39(5): 541 - 554.

[69] RAJENDRAN S, SRIRANJINI V. Plant products as fumigants for stored-product insect control [J]. Journal of Stored Products Research, 2008, 44(2): 126 - 135.

[70] 张生芳. 储藏物甲虫[M]. 北京: 科学出版社, 2016.

[71] ATHANASSIOU C G, KAVALLIERATOS N G, BOUKOUVALA M C. Population growth of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on different commodities [J]. Stored Product Research, 2016, 69(1): 72 - 77.

[72] BELL C H. A review of diapause in stored-product insects [J]. Journal of Stored Products Research, 1994, 30(2): 99 - 120.

[73] MBATA G N. Studies on the susceptibility of groundnut varie-

ties to infestation by *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. Journal of Stored Products Research, 1987, 23(1): 57 - 63.

[74] 简富明. 印度谷螟生物学特性初步研究[J]. 西南农业学报, 1993, 6(3): 80 - 84.

[75] REES D. Insects of stored products [M]. Entomological Society of America: CSIRO Publishing, 2004.

[76] RAJENDRAN S. Detection of insect infestation in stored foods [J]. Advances in Food and Nutrition Research, 2005, 49(4): 163 - 232.

[77] MOHANDASS S, ARTHUR F H, ZHU K Y, et al. Biology and management of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) in stored products [J]. Journal of Stored Products Research, 2007, 43(3): 302 - 311.

[78] THRONE J E, ARBOGAST R T. A computer model for simulating population development of the Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae) in stored corn [J]. Journal of Economic Entomology, 2010, 103(4): 1503 - 1507.

[79] 王殿轩, 冀乐, 白春启, 等. 我国 11 省 79 地市(州)储粮场所中印度谷螟和麦蛾的发生分布调查研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2017, 38(6): 110 - 114.

[80] 姜碧若, 王殿轩, 何明聪, 等. 印度谷螟对花生仁虫蚀粒率, 酸值和含油量的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(5): 89 - 95.

[81] RICHARDS O W, WALOFF N. The study of a population of *Ephestia elutella* Hubn. (Lep. Phycitidae) living on bulk grain [J]. Ecological Entomology, 2010, 97(11): 253 - 298.

[82] 张皓, 张德胜, 花保祯. 烟草粉斑螟 *Ephestia elutella* (Hübner)生活史与种群动态研究[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(2): 28 - 32.

[83] 刘学辉, 范成平, 卓娅, 等. 我省烟草粉斑螟发生规律及其绿色防控措施[J]. 农技服务, 2017, 34(16): 47 - 48.

[84] 禹建辉. 湖北 5 个地区锈赤扁谷盗磷化氢抗性比较及氧化酶系初探[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2013.

[85] JIAN Fuji, JAYAS D S, WHITE N D G. Optimal environmental search and scattered orientations during movement of adult rusty grain beetles, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens), in grain bulks-suggested movement and distribution patterns [J]. Journal of Stored Products Research, 2009, 45(3): 177 - 183.

[86] 段锦艳, 吴海晶, 唐培安, 等. 8 个品系锈赤扁谷盗和谷蠹的磷化氢抗性测定[J]. 粮食储藏, 2016, 45(1): 1 - 4.

[87] 赵欣欣, 王殿轩, 白春启, 等. 锈赤扁谷盗等 3 种菌食性储粮害虫的发生分布调查[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(3): 83 - 89.

[88] 付英. 原料花生贮藏技术研究综述[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(11): 312 - 314.

[89] NORTHOLT M D, VAN EGMOND H P, PAULSCH W E. Differences between *Aspergillus flavus* strains in growth and aflatoxin B_1 production in relation to water activity and temperature [J]. Journal of Food Protection, 1977, 40(11): 778 - 781.

[90] SOBOLEV V S, GUO Baozhu, HOLBROOK C C, et al. Interrelationship of phytoalexin production and disease resistance in selected peanut genotypes [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(6): 2195 - 2200.

[91] 王卫琴. 花生黄曲霉病的预防措施[J]. 河南农业, 2020(7): 32.

[92] TURNER P C, SYLLA A, GONG Yunyun, et al. Reduction in exposure to carcinogenic aflatoxins by postharvest intervention measures in west Africa: a community-based intervention study [J]. Lancet, 2005, 365(9475): 1950 - 1956.

[93] DAVIDSON J R, WHITAKER T B, DICKENS J W. Grading, cleaning, storage, shelling and marketing of peanuts in the United States [M]// PATTEE H E, YOUNG C T. Peanut science and technology. American Peanut Research and Education Society, USA, Inc. Texas, 1982: 571 - 623.

[94] COLE R J, DORNER J W, HOLBROOK C C. Advances in mycotoxin elimination and resistance [M] // PATTEE H E, STALKER H T. Advances in peanut science. American Peanut Research and Education Society, USA, Inc. Texas, 1995: 456 - 474.

[95] 张春林, 张晶, 张莹. 预防花生感染黄曲霉毒素的措施[J]. 中外食品工业, 2014, 24(12): 85 - 86.

[96] 单世华, 李春娟, 许婷婷, 等. 贮藏期对花生种质籽粒成分影响的研究[J]. 花生学报, 2005, 34(3): 21 - 25.

[97] WAGACHA J M, MUTHOMI J W. Mycotoxin problem in Africa: Current status, implications to food safety and health and possible management strategies [J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 124(1): 1 - 12.

[98] AWUAH R T, ELLIS W O. Effects of some groundnut packaging methods and protection with *Ocimum* and *Syzygium* powders on kernel infection by fungi [J]. Mycopathologia, 2002, 154(1): 26 - 29.

[99] DIAO Enjie, DONG Haizhou, HOU Hanxue, et al. Factors influencing aflatoxin contamination in before and after harvest peanuts: a review [J]. Journal of Field Robotics, 2014, 4(1): 148 - 154.

[100] HASSANE A M A, EL-SHANAWANY A A, ABO-DAHAB N F, et al. Influence of different moisture contents and temperature on growth and production of aflatoxin B_1 by a toxigenic *Aspergillus flavus* isolate in wheat flour [J]. Journal of Ecology of Health & Environment, 2017, 5(3): 77 - 83.

(责任编辑: 杨明丽)