

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.03.024

稻谷储藏条件及储藏技术分析

李娜¹, 周红丽¹, 周涛², 任建豪¹, 宗平¹

(1. 湖南农业大学 食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128;

2. 中南粮油食品科学研究院有限公司, 湖南 长沙 410008)

摘要: 稻谷储藏过程中其品质的变化深受外界条件的影响, 外界因素包括温度、水分、空气比例以及虫害和微生物等, 尤其是在储粮温度较高且稻谷水分偏大的条件下, 稻谷霉菌生长较快, 导致稻谷品质下降。综述储粮条件对稻谷品质的影响以及稻谷储藏期间储粮害虫和有害微生物和对稻谷的危害, 讨论现有的稻谷储藏技术以及新型储粮技术的研究, 目前低温储粮、气调储粮、利用 CO₂ 法检测稻谷霉菌以及天然防霉剂的研发等新型技术的开发为我国稻谷的安全储藏提供了更有效的技术保障, 只是一些新技术对粮仓的要求较高, 实现全国性推广, 存在一定的困难。

关键词: 储粮条件; 稻谷品质; 储藏技术

中图分类号: S379 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)03-0148-06

Analysis of paddy storage conditions and technology

LI Na¹, ZHOU Hong-li¹, ZHOU Tao², REN Jian-hao¹, ZONG Ping¹

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China;

2. Zhongnan Cereals, Oils and Food Research Institute Co. Ltd., Changsha, Hunan 410008, China)

Abstract: The quality changes of paddy during storage are greatly affected by external conditions. The external factors include temperature, moisture, air proportion, pests and microorganisms, etc., especially under the condition of high temperature of stored grain and high moisture of rice, mold of rice grows faster, which leads to the reduction of rice quality. This paper introduced the effects of storage conditions on paddy quality and the harmfulness of pests and harmful microorganisms to paddy storage. The research on existing paddy storage and new grain storage technologies were further discussed. The development of new technologies such as grain storage, the use of CO₂ to detect rice mold, and the development of natural antifungal agents has provided more effective technical guarantees for the safe storage of paddy in our country. However, some new technologies have higher requirements on grain silos and it is difficult to realize nationwide popularization.

Key words: grain storage conditions; rice quality; storage technology

稻谷作为我国主要粮食之一, 针对其储藏安全问题开展研究显得尤为重要。每年收获的稻谷

大多需储存在粮仓里, 而储藏环境温度、湿度、气体成分等条件在稻谷储藏期间会发生一定的变化, 对稻谷品质和稻谷中微生物的状态都会产生影响。目前大多地区粮仓设施仍旧落后, 承担国家粮食收储工作的一线收纳库多为 70、80 年代修建的平房仓, 甚至 60 年代修建的苏式仓仍在使用的仓房不具备配置环流熏蒸、粮情电子检测等技术的条件, 且仓房气密性差, 机械通风效

收稿日期: 2019-12-30

基金项目: 湖南省科技计划项目: 粮食绿色储藏湖南省重点实验室 (2018TP1032)

作者简介: 李娜, 1994 年出生, 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。

通讯作者: 周红丽, 1972 年出生, 女, 教授, 博士, 研究方向为食品安全控制。

果不佳, 稻谷在储存过程中水分损失较大。如湖南省稻谷入库水分一般为 13.5%, 储藏 1 年后水分一般降低 0.8%~1.0%, 储藏 3 年水分可降低 2%~3%^[1-2]。因此及时关注储粮条件的变化, 及时根据稻谷品质变化情况做出相应的储粮技术调整, 可极大减少稻谷在储藏期间的损失, 同时也使稻谷的食用品质和商业价值得到保障。

1 储粮条件对稻谷品质的影响

1.1 物理因素

1.1.1 储粮温度

温度可直接影响稻谷储藏品质与储藏时间, 是稻谷储藏过程中的关键控制因素, 在稻谷储存过程中, 为保证稻谷的品质以及食用安全性, 国内外在储粮过程中主要对温度进行调控, 以达到安全储粮的目的^[3]。王诚^[4]等通过研究不同储粮温度对稻谷品质的影响, 发现在 15 °C、20 °C 条件下储存的稻谷, 脂肪酸含量变化比较稳定, 且两种温度下稻谷脂肪酸值的差别不大, 25 °C 条件下储存的稻谷, 脂肪酸含量明显增大。另外随着温度的上升, 整精米率下降速度也越来越快。张海洋^[5]等研究发现低温和低水分可降低粮粒自身生理活动, 利于发芽率的保持。低温可在一定程度上抑制真菌活动, 少量真菌生长对籽粒损伤相对小些。真菌虽对稻谷品质的影响显著, 但除去真菌影响, 处于高温区的稻谷, 其发芽率也是明显低于低温区的, 高温区稻谷谷粒的损伤程度也更严重。

另外温度升高, 稻谷中的霉菌会大量生长繁殖, 稻谷更易发生霉变, 造成稻谷品质的下降, 如出糙率降低、黄粒米和脂肪酸值升高。稻谷霉变也会导致储粮害虫的大量生长, 造成谷粒整精米率降低, 感官品质整体下降。

1.1.2 储粮水分

稻谷在储藏期间发热霉变的主要原因是水分的变化, 储粮水分低, 谷粒自身呼吸作用受到抑制, 稻谷发热以及发生霉变的几率降低, 储粮时间得到延长。储粮水分高, 呼吸作用旺盛, 较容易发热甚至霉变。在季节转换时节, 高温粮堆的表层会引起水分分层和结顶现象, 通常发生在粮面下 15~30 cm 处, 造成稻谷结露、发热霉变, 甚

至是发芽霉烂, 引起湿热转移。粮堆内温度或水分偏高, 导致粮堆内局部发热霉变, 如处理不及时, 持续发展就会演变成霉变^[6]。有研究发现, 大多数细菌和霉菌生长繁殖的最低水分活度分别为 0.91 与 0.80, 因此稻谷在储藏期间, 其水分活度对稻谷微生物的影响十分重要, 也进一步说明储藏期间稻谷水分含量对储粮安全的重要性^[7]。王诚^[4]等研究发现随着储藏水分和温度的增加, 稻谷内部复粒淀粉颗粒明显增多, 单粒体逐渐向复粒发展。T.Genkawa^[8]等通过研究储藏过程中不同水分含量的糙米脂肪酸值的变化规律, 发现糙米的水分含量越高, 其脂肪酸值上升的越快。

由于新收的稻谷本身带有来自田间、土壤等环境的霉菌, 稻谷水分含量高时, 这些霉菌更易生长繁殖, 导致稻谷霉变, 另外在一定温度下, 高水分稻谷以及其他有机物质的呼吸作用增强, 也会引发一系列的品质问题。但是水分含量过低, 也会导致稻谷及其加工食品食味品质降低, 因此稻谷入仓时水分含量对其储藏期间品质的变化至关重要。

1.1.3 储粮气体含量

在稻谷储藏过程中, 为了保证稻谷的品质安全, 大多会采用气调储粮技术, 气调储粮主要是改变空气中 CO₂、N₂、O₂ 的比例来抑制甚至杀灭稻谷中的有害微生物以及储粮害虫, 保障稻谷品质。张兴亮^[7]研究在气体浓度为 8%O₂+20%CO₂、8%O₂+30%CO₂、8%O₂+50%CO₂、8%O₂+80%CO₂, 环境温度 15 °C 下, 贮藏 5 个月的稻谷食味品质及其相关理化指标动态变化, 发现高 CO₂ 气调贮藏能明显抑制稻谷陈化。在高浓度 CO₂ 条件下, 谷粒自身的呼吸强度明显降低, 且稻谷的水分损失较低, 使得谷粒持有充足的结合水以及较高的感官评价。在低温储藏与 CO₂ 气调相结合的储粮条件下, 可有效防止稻谷脂肪氧化酸败, 降低游离脂肪酸包埋入直链淀粉螺旋结构中, 利于淀粉糊化, 降低米粒硬度, 避免产生陈米“酸败”味道^[9]; 高浓度 N₂ 处理可以延缓稻谷脂肪酸值的增加, 有效减缓高温对稻谷的不良影响, 高温条件下充 N₂ 气调可降低约 5 °C 对粮食品质的影响, 且对有害微生物以及储粮害虫有一定的抑制甚至杀灭作用; 周建新^[10]等研究发现臭氧处理

高水分稻谷,其微生物量降低明显,脂肪酸值增加,高浓度时尤为明显;臭氧处理后的稻谷,其保鲜期能够得到延长,考虑到臭氧处理对稻谷品质的影响以及实际成本,臭氧浓度以 55 mL/m^3 为宜。

在实际储粮过程中,二氧化碳气调、充氮气调方法使用的比较广泛,但是气调对于储粮粮仓的要求极为严格,粮仓密封性必须得到保障,否则会造成气调处理达不到预期效果且会导致稻谷品质下降,造成一定的经济损失。

1.2 生物因素

1.2.1 储粮害虫

稻谷储藏期间储粮害虫会对稻谷品质造成严重影响,被储粮害虫侵害过的稻谷其加工制品也会受到极大的危害。据世界粮农组织调查显示粮食在收获后,其损失约为10%,其中储粮害虫造成的损失约占储粮损失的50%^[11]。稻谷收获时正值高温季节,极易受到害虫危害,危害稻谷的储粮害虫以玉米象为主。早稻收获入仓后若散温不及时就会发生虫害,一般以谷蠹较为严重^[6]。高源^[12]研究象虫对谷物的影响,结果表明米象和玉米象对粮食的千粒重、面筋吸水量有严重的影响;常温储藏下,经象虫感染后,稻谷千粒重和面筋吸水量下降显著、虫蚀粒率明显增大。白玉玲^[13]研究了玉米象对稻谷储藏品质的影响,结果表明,随着玉米象虫口密度的增加和感染时间的增加,电导率、丙二醛、脂肪酸值均增大,过氧化氢酶、过氧化物酶逐渐降低。

在研究储粮害虫对稻谷的危害时,实验结果会受到很多外界因素的干扰,如在实验中所使用的稻谷,其自身可能会携带虫卵,从而影响到实验人员对实验结果的判断,另外若实验所用害虫处于繁殖期或存活末期,也会对实验人员判断实验结果有影响。因此在研究储粮害虫中,对害虫的选取以及稻谷样品的选择,都需要有较高的要求,如实验所用害虫需要是同一时期培养且活动状态一致的,稻谷样品需谷粒完好,且经过紫外灯照射处理。

1.2.2 储粮霉菌

粮食中的微生物对粮食品质影响严重,稻谷

霉菌的生长繁殖会导致其营养成分损失,甚至携带致病毒素,使粮食的食用价值和加工质量降低。何荣等^[14]通过分析不同微生物对稻谷结块的影响,发现引起稻谷结块的主要霉菌有黑曲霉、黄曲霉以及产黄青霉。稻谷结块后,其出糙率和整精米率普遍较低,不完善粒率增加,无法达到国家三级粳稻谷的要求。另外结块稻谷中的淀粉抗剪切能力下降,淀粉粒易破裂,所制得的米饭硬度大、粘性小,整体品质较差。一些产毒霉菌的生长繁殖会产生大量的真菌毒素,如部分黄曲霉和所有的寄生曲霉在代谢过程中会产生黄曲霉毒素^[15]。联合国粮农组织FAO统计,世界上多数发展中国家每年因霉菌和储粮害虫造成的储粮损失至少在10%~15%^[16]。

稻谷霉菌是影响稻谷品质以及稻谷储粮期限的主要原因之一,且对于产毒霉菌所产生的真菌毒素很难去除,目前针对霉菌毒素现有的脱毒方法主要有吸附、热处理、射线处理、萃取、酸碱处理等。但这些方法脱毒效率低、成本高、原料的营养成分均有不同程度的破坏且易产生副产物和处理剂残留。因此,采取更为安全有效的方法对霉菌毒素进行脱毒处理是解决问题的关键^[17]。目前研究较多的是生物降解法,即利用微生物或其代谢物质破坏霉菌毒素的毒性基团,最后生成无毒的代谢产物的方法^[18]。

2 储粮技术

2.1 传统储粮技术

目前研究及应用最普遍的储粮技术主要有低温储粮、气调储粮、化学储粮、辐射保藏等,其中低温储粮技术和气调储粮的研究较多。

2.1.1 低温储粮

低温储粮是实现绿色储粮最有效的方法之一,常见的低温储粮方法有利用反光隔热涂料、吊顶隔热、屋架隔热等^[19]。宋永令等^[3]通过测定不同储藏温度下稻谷各项品质指标,并同时考察温度对微生物生长的影响,结果表明稻谷陈化速度受温度影响较大,温度越低,陈化速度越慢;稻谷在15~20℃条件下储存时,稻谷微生物在一定程度上得到抑制,其品质不会发生明显的变化,稻谷的储存期得到延长^[20]。Chan等^[21]在报道中

说明, 储粮条件在 4 °C 和 20 °C 时, 稻谷在保持一定色度值的前提下, 可分别保存 3 个月及 2 个月, 在高温条件下稻谷色度值变化明显。

2.1.2 气调储粮

低氧气调、二氧化碳气调、氮气气调和臭氧处理是目前常用的气调储粮方法。低氧气调主要通过降低环境中氧气含量, 抑制储粮有害生物的生长; 氮气气调储粮原理类似于低氧气调, 其主要原理是使仓内氮气含量增多, 以此来排挤氧气, 形成仓内缺氧的环境, 使储粮有害生物缺氧而死, 延缓粮食陈化及品质劣变^[18]。二氧化碳气调目前研究的比较多, 主要是利用高浓度的二氧化碳抑制甚至杀灭有害生物, 抑制稻谷自身的呼吸作用; 臭氧作为一种强氧化剂, 能破坏微生物的细胞壁, 分解微生物中的有机物质并改变细胞膜渗透性, 具有杀菌广谱高效、无污染、无残留等优点, 不过相对于霉菌, 臭氧对细菌的杀灭作用要更好^[10]。

2.2 新型储粮技术

2.2.1 脉冲强光杀菌

脉冲光 (pulsed light, PL) 是利用短时脉冲的强广谱光对物体表面进行灭菌的一种新型非热物理杀菌技术。它使用氙气灯发出的瞬时高强度广谱脉冲光进行微生物净化。PL 处理可以灭活存在于固体表面, 气体或透明液体 (包括细菌、孢子、真菌、真菌孢子、病毒和原生动物的) 中的多种致病和腐败微生物, 其优点是低能耗, 杀菌效率高, 对产品质量和营养的负面影响低^[22], 与其他灭菌方法 (例如加热或化学消毒剂处理) 相比, PL 处理具有灭菌更快且没有残留物等优点^[23]。丁超等^[24]研究了脉冲时间和脉冲距离对稻谷的灭霉效果, 以及对稻谷水分、温度和出糙率、整精米率及色度的影响。结果发现, 脉冲强光可有效杀灭稻谷表面的霉菌, 脉冲时间、脉冲距离对稻谷灭霉率影响显著 ($P < 0.05$)。在脉冲频率 3 Hz, 脉冲距离 8 cm, 脉冲时间 5 min 条件下, 灭霉率 $\geq 99\%$ 。稻谷经脉冲强光处理后含水量略有下降, 出糙率及整精米率提高 ($P > 0.05$), 稻谷和精米的黄度指数随脉冲时间的延长而降低, 结果说明, 脉冲强光可实现对稻谷的储藏和加工处理。Manal O 等^[25]通过研究温控脉冲光处理对

花生油中黄曲霉毒素水平和质量参数的影响, 发现 PL 对花生米可以显著降低黄曲霉毒素, 且不会造成通常与热法相关的质量损失。在工业规模上, PL 可以提供对黄曲霉毒素污染油的经济处理。但是考虑到经济方面以及在实际储粮中脉冲强光技术能否同时处理大量稻谷这一问题还有待研究。

2.2.2 新型干燥储粮技术

新型干燥技术有红外干燥、微波干燥以及微波热风联合干燥技术等。

红外干燥主要原理是稻谷吸收红外辐射到达一定程度后, 稻谷和分子振动加剧, 形成不同的温度梯度使稻谷中水分脱离, 以达到降低水分的目的。有研究表明, 将高强度红外辐射和对流热风技术排湿相结合, 有利于加快水分含量 18% 以下的稻谷干燥速率^[26]。

微波加热主要利用微波穿透到食品内部, 引起偶极子摆动而产生效应^[27]。微波干燥加热均匀且热能利用效率高、加热速率快。采用低功率微波干燥法干燥稻谷, 受热温度 50 °C 以下且受热均匀, 干燥效果较好且对稻谷的食用和糊化特性影响较小。也有文献表明, 在用微波干燥的过程中, 间歇干燥有利于发挥微波的后期作用, 干燥效率更快^[26]。

稻谷入仓时的水分含量对稻谷储藏期间的品质变化以及储粮安全问题至关重要, 传统的晾晒干燥方法效率较低且需要投入大量的人力以及占用大量的晾晒空间, 因此新型干燥技术的研究和应用是十分必要的, 只是目前新型干燥技术能否同时用于大量谷物的干燥以及对稻谷品质是否存在影响等问题还有待解决。

2.2.3 新型天然防霉剂的研究

2.2.3.1 微生物源天然防霉剂 微生物源抑菌剂目前研究较多的有纳他霉素、乳酸链球菌素等, 主要是微生物代谢产生的抑菌、抗菌物质。He 等^[28]研究表明纳他霉素对灰葡萄孢菌和青霉菌有很高的抑制作用, 100 mg/L 的纳他霉素可以完全抑制葡萄果实中灰霉病的发生, 并且研究了纳他霉素的作用原理, 即那他霉素可破坏致病菌的质膜真菌, 导致细胞内内容物释放并最终导致细胞死亡。Lacumin 等^[29]研究发现汉逊德巴利酵母

和腓肠糖酵母对腌制、熏制以及调味制成的肉制品中的曲霉和青霉有很好的抑制作用。

2.2.3.2 植物源天然防霉剂 许多天然植物中含有的生理活性物质具有抗菌作用,如陈皮、博落回、蒲公英等。王辉等^[30]通过研究柠檬皮提取物发现,柠檬皮中柠檬苦素对霉菌的抑菌作用较强,对黑曲霉、青霉、根霉的最低抑菌浓度(MIC)分别为 156.25 μg/mL、625 μg/mL、5 000 μg/mL,但对细菌的抑菌效果非常弱甚至没有抑菌效果;有研究表明博落回中主要功能活性成分为血根碱、白屈菜红碱、原阿片碱、等异喹啉类生物碱,具有抗微生物、抗炎、杀虫等多种生物学活性,血根碱和白屈菜红碱对多种真菌具有明显的抗真菌活性^[31]。有研究发现,博落回总碱对毛霉的抑菌效果较好,盐酸血根碱对根霉、黄曲霉、黑曲霉、米曲霉、毛霉和木霉的抑菌效果较强,对青霉和酵母的作用效果较弱^[32]。博落回提取物作为一种新型植物源防霉剂,环保储藏、绿色无害,具有一定实际生产意义。

另外还有研究表明龙葵提取物具有重要的抗真菌作用,在 7 天的贮藏期内可观察到 100% 的抑制作用。无花果乙醇提取物对斜体假单胞菌的抗真菌作用^[33],抗真菌实验显示主要的类黄酮松新霉素-7- α - β -d-葡萄糖苷作为一种强抗真菌剂的存在。酸枝蔓属植物的乙酸乙酯提取物,显示出对几种柑橘病原体的抵抗力,并显示出良好的抗真菌性能^[34]。

2.2.4 CO₂ 定位监测储粮霉变

在粮堆中霉菌活动产生的 CO₂,其浓度分布遵循一定的规律,霉变所在层 CO₂ 浓度最高,上层最低。下层浓度随着扩散距离增加逐渐超过中层及上层,可检测到气体浓度明显变化的时间也提前,说明 CO₂ 气体具有朝下层聚集的特点。随着霉变时间的增加,CO₂ 浓度分布规律仍符合中层>下层>上层的特点^[35]。

刘焱等^[36]通过对储粮霉变产气与毒素含量变化的相关性分析,发现快速生长及产毒菌株的产气会出现明显的加速现象,且产气速率变化时间比产毒时间提前一周左右,因此该特点可应用于对实仓中霉变危害的预测。白静静等^[37]通过对影

响粮堆 CO₂ 检测值的相关因素及传感器相关参数进行分析,发现不同温度下储粮中霉菌生长早期阶段的增量均与 CO₂ 浓度变化同步,两者相关性系数>0.99,通过合理设定参数,CO₂ 法可灵敏地监测储粮霉菌活动。

在稻谷储藏过程中,谷粒本身也有呼吸作用,呼吸强度受储粮条件的影响。当储量环境温度偏高,湿度偏大时,稻谷的呼吸强度也显著提高。呼吸作用增强,稻谷中 CO₂ 浓度也会有一定的改变。因此在实际应用 CO₂ 定位监测储粮霉变的方法时,稻谷的呼吸作用所产生的 CO₂ 对其会有一定的干扰。

3 结论

由于新收的稻谷本身带有来自田间、土壤等环境的霉菌,稻谷水分含量高时,随着储粮温度升高,稻谷中的霉菌会大量生长繁殖,稻谷更易发生霉变;在一定的温度下,高水分稻谷以及其他有机物质的呼吸作用增强,也会引发一系列的品质问题,而稻谷入仓前,传统的晾晒干燥方法效率较低且需要投入大量的人力且占用大量的晾晒空间。

随着科技的发展以及人们对食品安全的重视,绿色储粮已经成为稻谷储藏技术研究的主要方向,其中低温储粮和气调储粮是目前公认的绿色储粮技术,只是低温储粮对能源的需求较高,气调储粮对粮仓的密封度也有较高的要求,从开发新型清洁能源和加强粮仓密封度两个方面进行研究,对于安全储粮十分重要,另外天然防霉剂的研究也逐渐成熟,有望取代现有的化学防霉剂;只是由于很多新型储粮技术仍处于实验及部分地区试用阶段,如新型干燥技术能否同时用于大量谷物的干燥以及对稻谷品质是否存在影响等问题还有待解决;CO₂ 定点监测储粮霉变,仍存在问题,如在稻谷储藏过程中,谷粒本身也有呼吸作用,当储量环境温度偏高,湿度偏大时,稻谷的呼吸强度也显著提高。呼吸作用增强,稻谷中 CO₂ 浓度也会有一定的改变。因此在实际应用 CO₂ 定位监测储粮霉变的方法时,稻谷的呼吸作用所产生的 CO₂ 对其会有一定的干扰等情况,大范围推广应用,仍需一定的时间。

参考文献:

- [1] 覃世民. 湖南省粮食企业储粮技术应用现状及发展方向[J]. 粮食科技与经济, 2014, 39(6): 40-42.
- [2] 李丹, 林中, 李亮. 湖南粮食安全中长期预测研究[J]. 湖南农业科学, 2017(10): 83-85.
- [3] 宋永令, 杨绍铭, 王若兰. 储粮温度对稻谷品质和微生物含量的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(9): 204-208.
- [4] 王诚, 陈宝成. 储藏温度和水分对稻谷品质的影响[J]. 现代食品, 2016(5): 15-16.
- [5] 张海洋, 欧阳毅, 祁智慧, 等. 稻谷储存水分和温度对真菌生长和稻谷主要品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2017, 25(2): 39-43.
- [6] 蔡巍. 鲁西地区高大平房仓储存散装稻谷品质变化规律研究[D]. 河南工业大学, 2017.
- [7] 李凯龙, 田芳, 王达能, 等. 不同水分活度下稻谷和糙米黄曲霉毒素累积风险的比较[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(10): 98-103.
- [8] GENKAWA T, UCHINO T, INOUE A, et al. Development of a low-moisture-content storage system for brown rice: Storability at decreased moisture contents[J]. Biosystems Engineering, 2008, 99(4): 515-522.
- [9] 张兴亮. 高 CO₂ 气调贮藏对稻谷食味品质的影响[J]. 农业技术与装备, 2015(8): 7-10.
- [10] 周建新, 黄永军, 包月红, 等. 臭氧处理高水分稻谷储藏过程中理化和微生物指标变化研究[J]. 粮食储藏, 2015, 44(2): 30-33.
- [11] 周鸿达. 谷蠹及两种象虫发生特性数字化模拟研究[D]. 河南工业大学, 2018.
- [12] 高源. 不同条件下象虫对小麦和玉米的危害特性研究[D]. 河南工业大学, 2018.
- [13] 白玉玲. 玉米象感染对稻谷储藏品质指标的影响[D]. 河南工业大学, 2012.
- [14] 何荣, 章铨, 陈尚兵, 等. 微生物对储藏稻谷结块及品质影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(5): 107-115.
- [15] 周玉庭, 任佳丽, 张紫莺. 粮食中霉菌污染检测方法现状及发展趋势[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(1): 244-250.
- [16] 奚萌, 周建新, 葛志文, 等. 稻谷粮堆储藏过程中微生物区系演替规律研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(5): 90-94+100.
- [17] 左瑞雨, 张旭. 霉菌毒素生物降解的研究现状[J]. 北方牧业, 2015(19): 24-25.
- [18] 戎晓平. 霉菌毒素生物降解技术与传统吸附剂区别[J]. 广东饲料, 2017, 26(12): 15-17.
- [19] 葛蒙蒙, 马涛, 陈家豪. 绿色储粮技术及其使用效果分析[J]. 粮食科技与经济, 2019, 44(1): 53-55.
- [20] SORAYA S, SHANTAE A, WILSON G G, et al. Impacts of storage temperature and rice moisture content on color characteristics of rice from fields with different disease management practices[J]. Journal of Stored Products Research, 2018(9): 89-97.
- [21] CHAN E P, YUN S K, KEE J P, et al. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures[J]. Journal of Stored Products Research, 2012(1): 25-29.
- [22] RUIXUE Z, WENGUI Z, FENG G, et al. Advances in research and application of pulsed light in food industry[J]. Food Science, 2017.
- [23] CHEN B Y, LUNG H M, YANG B B, et al. Pulsed light sterilization of packaging materials[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2015, 5: 1-9.
- [24] 丁超, 裴永胜, 陶婷婷, 等. 脉冲强光对高水分稻谷灭霉效果及加工品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(10): 123-129.
- [25] ABUAGELA M O, IQDIAM B M, BAKER G L, et al. Temperature-controlled pulsed light treatment: impact on aflatoxin level and quality parameters of peanut oil[J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(13): 1-9.
- [26] 孙凤阳. 整仓环流结合压盖储粮技术对东北地区偏高水分稻谷品质的影响[D]. 吉林农业大学, 2018.
- [27] 陈春莲, 徐小烽, 彭秀分, 等. 微波干燥对果蔬制品的影响[J]. 农产品加工, 2019(19): 34-37+40.
- [28] HE C, ZHANG Z, LI B, et al. Effect of natamycin on botrytis cinerea and penicillium expansum—postharvest pathogens of grape berries and jujube fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 151: 134-141.
- [29] LACUMIN L, MANZANO M, ANDYANTO D, et al. Biocontrol of ochratoxigenic moulds (*Aspergillus ochraceus* and *Penicillium nordicum*) by *Debaryomyces hansenii* and *Saccharomycopsis fibuligera* during speck production[J]. Food Microbiology, 2017, 62(Complete): 188-195.
- [30] 王辉, 冯卫华, 曾晓房, 等. 柠檬皮中柠檬苦素抑制霉菌的活性及稳定性[J]. 食品科技, 2019, 44(3): 216-220.
- [31] 曾建国, 刘华. 博落回主要功能成分及其在动物生产中的应用[J]. 饲料工业, 2019(7): 1-6.
- [32] 胡贵丽, 刘靖, 田莎, 等. 茶籽多糖和博落回生物碱对黄羽肉鸡肠道菌群的影响及博落回血根碱的抑菌活性[J]. 动物营养学报, 2018, 30(11): 4619-4625.
- [33] WAN C P, CHEN C Y, LI M X, et al. Chemical constituents and antifungal activity of *Ficus hirta* vahl. fruits[J]. Plants, 2017, 6: 44.
- [34] ZHOU M J, WAN C P, CHEN J Y. Research progress on inhibition of citrus postharvest diseases and preservation effects of plant extraction[J]. Northern Horticulture, 2014(02): 194-198.
- [35] 韩枫. 二氧化碳监测法对储粮早期霉变位点定位的研究[D]. 河南工业大学, 2016.
- [36] 刘焱, 翟焕趁, 蔡静平. 利用监测 CO₂ 方法预警储藏玉米中黄曲霉菌产毒[J]. 现代食品科技, 2015, 31(5): 309-315.
- [37] 白静静, 翟焕趁, 张帅兵, 等. 粮仓储粮霉变 CO₂ 法监测值主要影响因素[J]. 食品与机械, 2018, 34(9): 132-136. ㊟