

# 大米贮藏保鲜技术研究进展

段小明<sup>1</sup>, 戴慧媛<sup>2</sup>, 冯叙桥<sup>1,2\*</sup>, 张蓓<sup>1</sup>, 蔡茜彤<sup>1</sup>, 范林林<sup>1</sup>

(1. 渤海大学食品科学研究院, 辽宁省食品安全重点实验室, 锦州 121013;

2. 沈阳农业大学食品学院, 沈阳 110866)

**摘要:** 大米(*Oryza sativa* L.)营养物质丰富, 是人类最重要的粮食作物之一。大米经长时间贮藏后, 其中的淀粉、蛋白质、脂肪等组分会发生各种变化, 使其食用品质下降。大米贮藏保鲜技术能够在一定程度上抑制大米生虫、霉变和陈化现象的发生, 延长大米的贮藏期。本文从贮藏温度和相对湿度的控制、电离辐射保鲜、介电加热保鲜、涂膜保鲜、包装保鲜和保鲜剂保鲜等方面, 概述了大米贮藏保鲜技术的研究和应用现状。目前, 大米的贮藏方式落后, 贮藏保鲜技术大多仅处于实验室研究阶段、较难实现工业化应用。有关大米贮藏保鲜方面的研究还不够全面和深入是大米贮藏保鲜中主要存在的问题。大米复合保鲜和大米品种的优选优育、从分子水平上对大米进行保鲜是大米贮藏保鲜技术的发展趋势。

**关键词:** 大米; 贮藏; 保鲜技术; 进展

## Research advances on rice storage technology

DUAN Xiao-Ming<sup>1</sup>, DAI Hui-Yuan<sup>2</sup>, FENG Xu-Qiao<sup>1,2\*</sup>, ZHANG Bei<sup>1</sup>,  
CAI Xi-Tong<sup>1</sup>, FAN Lin-Lin<sup>1</sup>

(1. Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Food Science Research Institute of Bohai University, Jinzhou 121013, China;

2. College of Food Science, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110866, China)

**ABSTRACT:** Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the staple foods for human beings as it is rich in nutrients. However, occurrence of various biological and biochemical changes of starch, protein, fat and other components in rice during long period storage result in the decline of rice edible quality. To an extent, rice storage technology can inhibits the growth of insect pests, mildew and aging process of rice. Research advances on rice storage technology, including the control of storage temperature and relative humidity, ionizing radiation, dielectric heating, coating preservation, packaging technology and preservation with fresh keeping agents, were reviewed in this paper. Present storage technology of the rice is, overall, outdated. And most technologies for rice storage are in the stage of laboratory research and still far away to be applied in the rice industry. In addition, research on rice storage is not comprehensive and extensive. Trends of technological development for rice storage include but not limited to the application of compound preservation technology, selection of best rice variety for storage, and implementation of rice preservation at molecular level.

**KEY WORDS:** rice; storage; preservation technology; progresses

基金项目: 渤海大学人才引进基金项目(BHU20120301)

**Fund:** Supported by Bohai University Talent Introduction Foundation (BHU20120301)

\*通讯作者: 冯叙桥, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为果蔬质量与安全控制。E-mail: feng\_xq@hotmail.com

\*Corresponding author: FENG Xu-Qiao, Professor, Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province, Food Science Research Institute of Bohai University, No.19, Technology Road, Songshan District, Jinzhou 121013, China. E-mail: feng\_xq@hotmail.com

大米(*Oryza sativa* L.)是人类最重要的粮食作物之一,全世界约有39个国家、超过世界半数以上人口以大米为主食,亚洲对大米的依赖性最强;我国也是稻米的消费大国,约有67%的居民以稻米为主食;为保证食物安全和人民的基本生活,每个国家都必须有一定数量的稻谷储备,贮藏过程中,稻米的陈化、霉变、虫害等问题是稻米贮藏中的历史难题<sup>[1-2]</sup>。陈化会引起大米的理化性质如糊化性质、颜色、风味、成分组成等发生变化,影响稻米的食用和蒸煮品质,大米的陈化主要由以下原因引起,包括细胞壁和蛋白质的变化,蛋白质间的相互作用,油脂氧化产物的分解,淀粉和蛋白质的相互作用等<sup>[3]</sup>。大米中含有一定数量的真菌,随着贮藏时间的延长,真菌大量繁殖导致大米霉变;岛青霉(*Penicillium islandicum*)和黄曲霉(*Aspergillus flavus*)是贮藏大米中生长的主要有害真菌<sup>[4]</sup>。米象(*Sitophilus oryzae* L.)、玉米象(*Sitophilus zeamais* M.)、谷象(*Rhyzopertha dominica* F.)是大米中存在的3种主要象鼻虫,俗称“米虫”<sup>[5]</sup>。为缓解和抑制大米贮藏过程中老化、霉变、虫害的发生,许多学者也尝试采用不同的方法对大米进行处理,以延长其贮藏期。大米的贮藏保鲜对于提升其食用安全性,减少粮食资源的损失意义重大。本文概述了大米贮藏保鲜技术的研究和应用现状,指出了大米贮藏保鲜中存在的一些问题,并对其发展前景进行了展望。

## 1 大米贮藏保鲜技术

### 1.1 贮藏温度和相对湿度的控制

贮藏温度和相对湿度是大米贮藏的外界环境条件,对大米的品质影响较大。为保证贮藏效果,需了解温度及相对湿度对贮藏期间大米品质的影响,在此基础上选择适宜的大米贮藏环境条件。Kanlayakrit等<sup>[6]</sup>将水稻Kalasin11和KhawDokMali105的糙米和脱壳精米分别在20±5℃、30±5℃、40±5℃下贮藏10个月,并对其贮藏期间的理化性质进行了测定。结果表明,40±5℃下贮藏时,两种稻米的糙米和精米其凝胶稳定性、伸长率、糊化性质均明显发生了变化,对大米的食用品质产生间接影响。Kaminski等<sup>[2]</sup>研究了贮藏温度(0.5、20、35℃)和时间对灌溉稻贮藏期间(180 d)品质的影响,认为贮藏温度和时间对大米的烹饪品质、糊化性质影响较大;贮藏时间较长、温

度较高的条件下,大米体积膨胀率、熟制时间、米粒完整性、伸长率的变化更明显;贮藏180 d后,与0.5、20℃下贮藏的大米相比,35℃下贮藏的大米老化程度最大。Park等<sup>[3]</sup>研究了大米在4、20、30、40℃下贮藏期间理化性质的变化,结果表明与较低温度(4、20℃)下贮藏的大米相比,较高温度(30、40℃)下贮藏的大米脂肪酸败程度较高,色泽保持较差,制得米饭的凝聚性和硬度较高。贮藏1个月后,高温(30、40℃)贮藏大米制得米饭的感官评分显著降低,大米低于室温下贮藏有利于其品质的保持。Kim等<sup>[7]</sup>研制了一种容量为10 t的自然干燥低温贮藏装置,室温下对收获后的稻谷进行自然通风处理,随后在15℃下进行贮藏。贮藏期间稻米发芽率、水分含量、破碎率、脂肪酸度测定结果表明,稻谷贮藏期间(一年)品质良好。张蕾等<sup>[8]</sup>将使用低密度聚乙烯(LDPE)包装的大米置于温度38℃,相对湿度分别为8%、34%、75%、96%的条件下进行贮藏,研究相对湿度对大米霉变的影响,结果表明,相对湿度较低(8%、34%)的环境中,大米的主要品质变化是由失水引起米粒爆裂,霉菌生产缓慢;相对湿度较高(75%、96%)的环境中,霉菌生长迅速,加速了大米品质的劣变;相对湿度对大米水分活度影响显著,当外界水蒸汽压高于大米的水分活度时,大米易吸湿返潮,生霉发热;因此相对湿度对大米的贮藏稳定性有较大影响。Choi等<sup>[9]</sup>研究了不同碾磨程度的大米中蜡样芽孢杆菌、嗜中温需氧菌、霉菌和酵母菌在温度为12℃或21℃,相对湿度分别为43%、68%、85%的条件下贮藏期间(24周)的生长模型。结果表明,在温度12℃,相对湿度85%的条件下,霉菌和酵母菌的数量仅在糙米中显著升高;而在温度21℃,相对湿度85%的条件下,不同碾磨程度的大米中霉菌和酵母菌的数量均显著增加。上述研究表明,低温更利于抑制大米的脂质氧化,维持大米的色泽,抑制大米的老化,提升大米的食用品质,是大米保鲜的有效途径之一;贮藏相对湿度应适中,避免因相对湿度过低引起大米的爆裂和过高引起真菌大量繁殖导致大米霉变。大米贮藏温度宜保持在15℃,相对湿度保持在75%,可使大米处于休眠状态<sup>[10]</sup>,延长其贮藏期。

### 1.2 电离辐射保鲜

辐照保鲜加工是一种无污染、无残留的物理加工过程,常温条件下即可进行。辐照造成昆虫、微生物

死亡或不育的原因在于电离辐射能够引起昆虫或微生物体内蛋白质及核酸在分子水平上发生变化, 破坏了其新陈代谢, 抑制 RNA 和 DNA 的代谢, 最终导致其生理代谢、发育速度、活动能力和繁殖能力下降<sup>[11]</sup>。许多学者的研究表明, 辐照技术在控制大米中的有害微生物和害虫、延长大米贮藏期方面有较好的效果(表 1)。

由表 1 可知, 大米辐照中常采用的辐照类型为电子束辐照和  $\gamma$  射线辐照, 一定剂量的辐照可以部分或完全杀灭大米中的有害微生物和害虫。需要指出的是, 高剂量的辐照往往对大米品质产生较大的负面影响, 如大米严重褐变<sup>[18]</sup>, 脂质氧化程度增加<sup>[13]</sup>, 淀粉结晶度增大<sup>[14]</sup>, 风味劣变<sup>[15]</sup>等, 因此利用辐照技术保鲜大米应严格控制剂量。

### 1.3 介电加热保鲜

介电加热包括射频(radio frequency, RF)和微波(microwave, MW)这两种方式, 微波加热常用频率为 2450 MHz 或 915 MHz, 射频加热常用的频率为  $13.56 \pm 0.067$  MHz (工业)、 $27.12 \pm 0.160$  MHz (科研)和  $40.68 \pm 0.020$  MHz (医疗)<sup>[20-21]</sup>。介电加热的生物效应主要是源于其热特性<sup>[22]</sup>, 以较高的温度杀灭食品中

的害虫和微生物, 达到食品保鲜的目的。与常规加热方式如熏蒸、热风等相比, 介电加热的主要优势在于加热迅速、均匀, 对物料穿透性较强<sup>[20, 23]</sup>, 杀菌灭虫的同时对物料品质影响较小。介电加热对大米的保鲜效果见表 2。

由表 2 可知, 大米经一定条件下的微波或射频处理后, 虫害可得到有效的控制, 大米贮藏期间的稳定性和食用品质有所提升。关于高频介电用于谷物储藏害虫防治的报道始于 1946 年, 在保证谷物品质的前提下, 确定合理的微波、射频参数对害虫进行防治, 是值得深入研究的方向<sup>[29]</sup>。

### 1.4 涂膜保鲜

涂膜保鲜是一种较为新型的保鲜方式, 目前主要用于生鲜食品的保鲜。可食膜可以抑制食品水分流失、脂质氧化和褐变的发生, 改善食品外观, 保持产品风味, 作为抗氧化剂和抑菌剂的载体<sup>[30]</sup>。闫清平<sup>[31]</sup>研究了不同成膜材料对大米贮藏性能的影响, 确定大豆分离蛋白(SPI)为最佳成膜材料, 其最佳成膜条件为: pH 8.17, 温度 82 °C, SPI 浓度为 6.0%。不同处理方式的大米陈化后, 涂膜大米的脂肪酸值变化量较低; 米饭的硬度及胶质感减小, 陈化进程得到延缓。

表 1 辐照处理对大米的保鲜效果  
Table 1 Effect of irradiation treatment on rice preservation

方式	对象	辐照剂量	结果	参考文献
	龙稻 1 号	0.4~0.8 kGy	常温下贮藏 1 年, 无虫蛀现象, 营养成分及感观指标变化不明显。	孟丽芬等 <sup>[12]</sup>
	香米 KDML-105	0.2~0.5 kGy	控制包装香米中的虫害, 同时大米品质受辐照影响较小。	Sirisoontarak 等 <sup>[13]</sup>
$\gamma$ 射线辐照	澳大利亚长粒米 Inga	1.0 kGy 以下	微生物数量随着辐照剂量的增大而降低, 大米黄度值和水溶性直链淀粉含量增大。	Wootton 等 <sup>[14]</sup>
	籼米	2~4 kGy	杀灭害虫和部分微生物, 改善籼稻品质。	Bao 等 <sup>[15]</sup>
	糙米 KDML-105	6 kGy	室温下(30±2 °C)贮藏 4 个月, 真空或密封包装接种糙米的真菌数减少 80%以上。	Boonchoo 等 <sup>[16]</sup>
	大米	120 Gy	可以实现大米象鼻虫检疫安全。	Peter 等 <sup>[17]</sup>
	水分 14.50 % 的大米	能量 $E=1.8$ Mer; 剂量 $2.4 \times 10^5$ rad	30 °C 下可安全储藏一年, 对大米品质影响不大。	呼玉山等 <sup>[18]</sup>
电子束辐照	脱壳稻米	1.1 kGy	杀灭大肠杆菌群、亚硫酸盐还原梭状芽孢杆菌、真菌。	Sarrías 等 <sup>[19]</sup>
	未脱壳稻米	7.5 kGy	杀灭大肠杆菌群、亚硫酸盐还原梭状芽孢杆菌、真菌。	

表2 介电加热对大米的保鲜效果  
Table 2 Effect of dielectric heating on rice preservation

方式	对象	处理参数	结果	参考文献
微波	大米	频率 2450 MHz, 微波功率 384 W 或 539 W, 处理 30 s 后停 1 min, 样品取出后混匀, 在 25±3 °C, 相对湿度 65±3% 的条件下冷却 1 min 后放回炉内, 上述操作重复 3 次	部分钝化脂肪酶和脂肪氧合酶, 减少贮藏期间大米游离脂肪酸的释放。	Zhong 等 <sup>[24]</sup>
	大米	频率 2450 MHz, 微波能耗 0.017 kWh/kg, 相应大米温度约 55 °C	大米中米象的成虫和虫卵的死亡率均为 100%。	Zhao 等 <sup>[25]</sup>
	大米	频率 2450±50 MHz, 微波能耗 0~0.03 kWh/kg	贮藏期间大米水分、游离脂肪酸、蛋白质含量降低, 碘蓝值和米饭感官评分随微波能耗的增大而升高。	Zhao 等 <sup>[26]</sup>
射频	糙米	55~60 °C 的低热负荷射频处理 5min	不同成长阶段(卵、幼虫、蛹、成虫)麦蛾的死亡率高于 99%。	Lagunas -Solar 等 <sup>[27]</sup>
	大米	13.56 MHz 下处理 105 s 或 27.12 MHz 下处理 95 s	大米害虫的致死率达 100%。	Mirhoseini 等 <sup>[28]</sup>

欧阳建勋<sup>[32]</sup>应用乳化型大米被膜剂作为载体与保护剂, 对大米进行赖氨酸、VB<sub>1</sub>、VB<sub>2</sub>、Ca 的强化及着色、增香加工。被膜剂最佳配方为单甘酯:蔗糖酯:色拉油:β-环糊精:水=55:45:450:3:650。对被膜大米在加工与陈化过程中品质变化的研究表明, 涂膜对延缓大米陈化、维持大米的粘弹性有一定的作用; 可实现对大米的营养强化、着色和增香。Laohakunjit 等<sup>[33]</sup>采用一种大米淀粉膜(5%大米淀粉(w/w), 30%山梨糖醇(w/w), 25%班兰叶提取物, 蒸馏水)对 3 种非香稻 RD23、SPR1 和 SPR90 进行喷动床涂膜。3 种非香稻的涂膜、未涂膜样品和未涂膜香稻(KDML 和 PTT1)样品塑料袋包装后置于 25 °C 下贮藏 6 个月。分析结果表明, 涂膜非香稻样品的风味与香稻样品接近; 香稻品种的典型风味物质 2-乙酰基-1-吡咯啉(2-acetyl-1-pyrroline, 2-AP)存在于涂膜非香稻中, 不存在于未涂膜非香稻中; 与香稻 PTT1 相比, 涂膜非香稻样品的 2-AP 含量较高。该大米淀粉膜可较好地改善稻米风味, 降低稻米贮藏过程中氧化酸败的可能性。上述研究表明, 将涂膜保鲜应用于大米也有一定的可行性。目前大米涂膜的主要目的在于营养强化, 选择合适的涂膜剂实现大米的保鲜仍需更多的基础研究。

### 1.5 包装保鲜

大米包装保鲜涉及到化学、物理、微生物学等多门学科, 要解决大米生虫霉变、变酸变味等问题, 需

综合运用多学科的知识; 包装方式及包装材料对大米保鲜效果有很大影响<sup>[34]</sup>。大米保鲜包装的关键在于如何控制和调节包装中的气体组成及浓度, 包装材料的透气性是调节包装中气体浓度的主要因素<sup>[35]</sup>。大米包装保鲜主要包括气调包装(modified atmosphere packaging, MAP)、真空包装(vacuum packaging, VP)和普通保鲜膜密封(内含空气)包装这 3 种方式。大米气调保鲜主要是通过人为控制包装内的气体组分和比例来控制害虫和微生物的繁殖, 较高浓度的 CO<sub>2</sub> 和较低浓度的 O<sub>2</sub> 不利于微生物和害虫的生长繁殖, 故可达到保鲜的效果。在缺 O<sub>2</sub> 的情况下, 大米的腐败, 特别是由虫害引起的腐败可以被有效抑制, 故可采用真空包装的方式对大米进行保鲜<sup>[36]</sup>。普通薄膜包装中, 包装薄膜的阻隔性能对大米的保鲜效果影响很大。适宜的包装方式和包装材料对延缓大米陈化, 维持大米品质作用明显(表 3)。

### 1.6 保鲜剂保鲜

保鲜剂保鲜是一种较为传统的大米保鲜方式, 其主要优势在于成本低廉, 使用方便<sup>[49]</sup>, 化学保鲜剂如磷化铝、磷化氢多年来一直用于大米的防霉防虫<sup>[34]</sup>。随着人们食品安全意识的不断提高, 化学保鲜剂带来的化学残留、环境污染、危害人体健康等问题逐渐引起人们的关注, 相关学者越来越倾向于寻求天然、高效、安全的大米保鲜剂, 尝试将食品添加剂、天然植物精油或提取物应用于大米的保鲜(表 4)。

表 3 不同包装对大米的保鲜效果  
Table 3 Effect of different packaging on rice preservation

方式	对象	包装参数	结果	参考文献
气调包装	精米	常温气调大帐贮藏(O <sub>2</sub> :CO <sub>2</sub> = 19.0:5.0); PE 保鲜袋包装	与对照及自发气调相比, 储存 3 个月后, 游离脂肪酸生成量、亚油酸损失量最少, 储存期间脂肪酶活力较低, 脂类分解有所延缓。	霍雨露等 <sup>[37]</sup>
	大米	CO <sub>2</sub> 含量 60%; 阻隔性好的塑料膜包装	延缓大米的陈化变质过程, 较好的防虫、防霉功效。	刘建伟等 <sup>[38]</sup>
	大米	60% CO <sub>2</sub> 、40% N <sub>2</sub> ; 0.06 mm 的 PA/PE 膜包装	有效避免大米在贮藏期间的水分流失, 延缓大米陈化。	Zhang 等 <sup>[39]</sup>
	大米	大帐气调包装(5%O <sub>2</sub> 、5%CO <sub>2</sub> )	有效抑制游离脂肪酸的增加和脂氧合酶的活性。	Cao 等 <sup>[40]</sup>
真空包装	大米	真空度-0.057 Mpa; 0.06 mm 的 PP 膜包装	防止破袋, 保持大米新鲜度, 贮存 30 d 后蒸煮, 食味值 70 分, 脂肪酸 14.23 mg KOH/100 g, 还原糖 0.18%。	徐雪萌和唐静静 <sup>[41]</sup>
	大米	真空度-0.09 MPa; 0.03 mm 的 PA/PE 袋包装	常温贮藏 180 d 后, 大米脂肪酸仅增加 12.75 mgKOH/(100 g); 还原糖含量 0.22%; 黏度仅降低 3%。高真空度可有效延缓大米的陈化, 保鲜效果较好。	巩雪和常江 <sup>[42]</sup>
	留胚米	尼龙(15 μm)/PE(95 μm)复合膜包装	非真空包装和真空包装留胚米的白度值分别下降了 4 和 2, 水分含量分别下降了 1.3 和 0.8%(湿基), 真空包装留胚米的过氧化值增长较为缓慢, 从 4.51 ~ 7.00 meq/kg, 非真空包装的过氧化值较快的增至 10.22 meq/kg。	Yan 等 <sup>[43]</sup>
保鲜膜(袋)密封	有机香米	OPP/Al/LLDPE 袋包装	15 °C 下贮藏(6 个月)期间, 较好地抑制脂质氧化产物的形成, 更大程度地保留包括 2-AP 在内的有益风味成分。	Tananuwong 和 Lertsiri <sup>[44]</sup>
	大米	自制防霉保鲜膜(防霉剂特克多、壳聚糖、PE 蜡、抗静电剂、开口剂、LDPE 树脂等制成)	与布袋、复合膜、PE 膜包装大米相比, 真菌污染最少(23%); 对陈米醛类挥发性物质的代谢积累有显著的调控作用, 醛类总含量明显低于其他 3 种包装材料的醛类含量。	董国庆等 <sup>[45]</sup>
	大米	0.05 mm 的 PVC 膜包装	对大米醛类挥发性物质的代谢积累有显著的调控作用。	李喜宏等 <sup>[46]</sup>
	大米	防霉保鲜膜(国家农产品保鲜技术研究中心研制)	具有延缓大米陈化、维持储藏期间大米品质和防霉功能。	于莉等 <sup>[47]</sup>
	黑米	0.1 mm 的 PE/PP 复合膜	与 PE 和 PP 包装黑米相比, PE/PP 包装黑米的酸度最低, 己醛含量增加最少, 亚油酸含量变化最小, 复合膜(PE/PP)对黑米的保鲜效果优于 PE 和 PP。	Kim 等 <sup>[48]</sup>

注: PE(polyethylene): 聚乙烯袋; PA(polyamide): 聚酰胺; OPP(oriented polypropylene): 定向聚丙烯; LLDPE(linear low density polyethylene): 线性低密度聚乙烯; PVC(polyvinyl chloride): 聚氯乙烯; PP(Propene Polymer): 聚丙烯

表4 不同保鲜剂对大米的保鲜效果  
Table 4 Effect of different fresh keeping agents on rice preservation

对象	保鲜剂	用量	结果	参考文献
大米	食用乳化剂; 棕榈油; $\beta$ -环糊精混合制得	0.3%~0.4%	大米外观、贮藏性能显著提升, 食用品质有一定改善。	胡元斌 <sup>[50]</sup>
大米	茶多酚、魔芋精粉、 <i>L</i> -抗坏血酸	茶多酚 0.03%、魔芋精粉 1.0%、 <i>L</i> -抗坏血酸 0.5%	大米储藏中抗氧化作用显著	罗小虎 <sup>等</sup> <sup>[51]</sup>
大米	曲酸	浓度为 1.5%、用量比为 1:150 时	在大米储藏中能起到较好的抗氧化作用, 保鲜效果较好。	
大米	芥末精油	5 $\mu$ L/kg(米)	对高水分含量(17%)的大米有较好的防霉效果。	张旭 <sup>等</sup> <sup>[52]</sup>
大米	生姜水提取物、 海藻糖、Vc	生姜水提取物: 海藻糖: Vc=2:1:0.5	在抑制大米陈化霉变方面, 与模拟市售的大米保鲜剂效果相当, 生姜水提取物能替代传统化学防腐剂双乙酸钠。涂膜大米与对照组大米的感官性质接近, 加速陈化一周, 食味下降不多。	陈伟畅 <sup>[53]</sup>
大米	CO <sub>2</sub>	90~95% CO <sub>2</sub> 和 0.7~2.1% O <sub>2</sub>	3 种气调贮藏(筒仓中 29.6 $\pm$ 0.1 $^{\circ}$ C 下贮藏 26 d, 筒仓中 34.1 $\pm$ 0.2 $^{\circ}$ C 下贮藏 10d, 大密封袋中 22 $^{\circ}$ C 下贮藏 26 d)中, 玉米象和米象及其虫卵的死亡率接近 100%。	Carvalho <sup>等</sup> <sup>[5]</sup>
糙米	杀虫剂 <i>parad</i>	1000 g 米 1 g 干粉	<i>parad</i> 处理样品贮藏期间游离脂肪酸含量和丙二醛含量变化较小, 可以阻止糙米碳水化合物、蛋白质和脂质的流失, 延长糙米货架期。	Das <sup>等</sup> <sup>[54]</sup>
大米	复合植物精油	6 $\times$ 10 <sup>-2</sup> mg/mL	显著抑制大米霉变, 具有延缓大米陈化的作用。防霉效果随着复合精油浓度的增加而提高, 用 6 $\times$ 10 <sup>-2</sup> mg/mL 的复合精油处理的大米, 比同等储藏条件下其他浓度处理的大米感官品质更好。	曲春阳 <sup>等</sup> <sup>[55]</sup>
大米	芫荽精油中的芳樟醇、 樟脑	芳樟醇在精油中达 1617 mg/kg; 樟脑>400 mg/kg	芳樟醇对 3 种大米中的害虫(米象、谷象、长角扁谷盗)均有毒害作用; 樟脑对谷象和长角扁谷盗有毒性。	Lo'pez <sup>等</sup> <sup>[56]</sup>
大米	葛缕子精油中的香芹 酮、柠檬烯、 <i>E</i> -茴香脑、 葑酮	香芹酮达 972 mg/kg; <i>E</i> - 茴香脑达 880 mg/kg; 柠 檬烯达 1416 mg/kg; 葑酮 达 554 mg/kg	香芹酮对米象最有效, <i>E</i> -茴香脑对谷象有毒性; 柠檬烯和茴香酮仅可以杀死长角扁谷盗成虫。	
大米	辣椒素	辣椒素与聚乙二醇(分散 剂)、蒸馏水定量混合	涂有辣椒素的 PE 保鲜膜可有效抑制被包装大米中细菌和真菌的生长, 抑菌效果与涂有合成杀虫剂(胺菊酯、灭百可)的 PE 保鲜膜接近; 贮藏期间大米游离脂肪酸含量的增加和风味变化均较小。	Li <sup>等</sup> <sup>[57]</sup>

## 2 大米贮藏保鲜中存在的问题

随着食品贮藏保鲜技术的不断发展,越来越多的新技术被尝试应用于大米的贮藏保鲜,推动了大米贮藏保鲜技术的发展,但仍存在一些问题。首先,我国大米贮藏技术和方式仍比较落后,保鲜效果比较差。主要的储藏方式包括:编织袋、麻袋包装存粮、仓内散存、格仓散存、囤存、水泥柜存,缸、桶存、挂架存等,大米产后占各环节总损失率的15%左右,约277.5亿kg,鼠耗占大米总量的5%~10%<sup>[1]</sup>。其次,大多保鲜技术仍处于实验室研究阶段。出于对经济性、能耗、安全性等的考虑,许多大米保鲜技术的工业化应用目前还较难实现,如辐照技术设备装置较为复杂,需辐射屏蔽控制系统和其他辅助设备,成本较高,也难以连续化应用<sup>[49]</sup>;介电加热技术的高能耗和高成本也使其短期内难以实现工业化应用<sup>[22]</sup>。最后,有关大米贮藏保鲜的科学研究还不够全面和深入。如介电加热的灭菌机制是否单独取决于其热效应仍然有争议;某些抑菌剂的活性成分仍不够明确等;对大米的保鲜大多从控制其外界环境的角度来考虑,而较少从大米育种方面寻求突破。

## 3 大米贮藏保鲜技术的发展前景与展望

我国人口众多,粮食安全是关系民生的首要问题,大米作为我国大部分人民的主食,其贮藏保鲜具有很大的现实意义。随着科学技术的进步,大米贮藏保鲜技术也不断发展,主要有以下两大趋势。第一,复合保鲜技术的研究。Ha等<sup>[58]</sup>将电离辐射与次氯酸钠处理结合,研究其对大米中蜡样芽胞杆菌F4810/72孢子的影响,考察两种处理是否具有协同效应。结果表明,采用联合处理,孢子数量的减少情况优于单一处理;0.1、0.2、0.3 kGy的辐照处理结合5~20 min的次氯酸钠(600~1000 mg/kg)处理可完全杀灭原料米中的孢子。Sharp等<sup>[59]</sup>研究了贮藏时间、温度(3、22、38℃)、不同包装方式对糙米货架期的影响。结果表明,3℃下包装于密封PE袋的糙米货架期最长。第二,大米品种的优选、优育,从分子水平上对大米进行保鲜。Zhang等<sup>[60]</sup>将含有和不含脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)同工酶的稻米在同一条件下贮藏,并对其贮藏期间的虫害情况和种子活力进行了测定。

结果表明,不含LOX-1,2的稻米长期贮藏后品质优良,含有LOX-1,2的稻米品质严重劣变;不含LOX-3的稻米虫害情况不严重,而含有LOX-3的稻米虫害情况较严重,故推测稻米中的LOX-3对其抗虫害能力影响较大。因此,通过人工诱变等方式,抑制相关酶的合成也是大米保鲜可考虑的新途径之一。

## 参考文献

- [1] 潘巨忠. 大米储藏保鲜技术研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.  
Pan JZ. Study on storage and preservation technology of rice [D]. Yangling: Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2004.
- [2] Kaminski TA, Brackmann A, Silva LP da, et al. Changes in culinary, viscoamylographic and sensory characteristics during rice storage at different temperatures [J]. J Stored Prod Res, 2013, 53: 37-42.
- [3] Park CE, Kim YS, Park KJ, et al. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures [J]. J Stored Prod Res, 2012, 48: 25-29.
- [4] Dharmaputra OS, Retnowati I. *Aspergillus flavus* and *Penicillium islandicum* on milled rice collected from different parts of the postharvest handling chain [M]. CABI: Stored product protection: Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-product Protection, 1994, 985-987.
- [5] Carvalho MO, Pires I, Barbosa A, et al. The use of modified atmospheres to control *Sitophilus zeamais* and *Sitophilus oryzae* on stored rice in Portugal [J]. J Stored Prod Res, 2012, 50: 49-56.
- [6] Kanlayakrit W, Maweng M. Postharvest of paddy and milled rice affected physicochemical properties using different storage conditions [J]. Int Food Res J, 2013, 20(3): 1359-1366.
- [7] Kim YK, Choe JS, Yoon HS, et al. Development of a natural air-drying and low-temperature storage facility for paddy rice [J]. J Fac Agr Kyushu Univ, 2013, 58(1): 61-67.
- [8] 张蕾, 王颖, 张秀玉, 等. 贮存环境相对湿度对大米霉变影响的研究 [J]. 包装工程, 2006, 27(6): 129-131.  
Zhang L, Wang Y, Zhang XY, et al. Study on the effect of relative humidity on mildewing of rice [J]. Packag Eng, 2006, 27(6): 129-131.
- [9] Choi S, Kim H, Kim Y, et al. Fate of *Bacillus cereus* and naturally occurring microbiota on milled rice as affected by temperature and relative humidity [J]. Food Microbiol, 2014, 38: 122-127.
- [10] 马涛, 毛闯, 赵银. 大米水分与食味品质和储藏关系的研究

- [J]. 粮食与饲料工业, 2007, (5): 3-4.
- Ma T, Mao C, Zao K. Study on the relationship between rice moisture and rice quality or rice storage [J]. Cereal Feed Ind, 2007, (5): 3-4.
- [11] 陈玲玲. 基于辐照保鲜技术的绿色大米加工工艺研究 [J]. 绿色科技, 2013, (1): 269-270.
- Cheng LL. Study on processing technology of green rice based on irradiation preservation technology [J]. J Green Sci and Technol, 2013, (1): 269-270.
- [12] 孟丽芬, 许德春, 付立新, 等. 绿色大米辐照保鲜技术及加工工艺的研究 [J]. 黑龙江农业科学, 2006, (2): 48-50.
- Meng LF, Xu DC, Fu LX, et al. Irradiation preservation technique and processing technology for green rice [J]. Heilongjiang Agric Sci, 2006, (2): 48-50.
- [13] Sirisoontarak P, Noomhorm A. Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice [J]. J Stored Prod Res, 2006, 42(3): 264-276.
- [14] Wootton M, Djojonegoro H, Driscoll R. The effect of  $\gamma$ -irradiation on the quality of Australian rice [J]. J Cereal Sci, 1988, 7(3): 309-315.
- [15] Bao J, Shu Q, Xia Y, et al. Effects of gamma irradiation on aspects of milled rice (*Oryza sativa*) end-use quality [J]. J Food Qual, 2001, 24(4): 327-336.
- [16] Boonchoo T, Jitareerat P, Photchanachai S, et al. Effect of Gamma irradiation on *Aspergillus flavus* and brown rice quality during storage [C]. Bangkok: International Symposium "New Frontier of Irradiated food and Non-Food Products", 2005.
- [17] Follett PA, Snook K, Janson A, et al. Irradiation quarantine treatment for control of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) in rice [J]. J Stored Prod Res, 2013, 52: 63-67.
- [18] 呼玉山, 陈双兴, 王经权, 等. 电子加速器辐照大米防霉技术研究 [J]. 中国粮油学报, 1999, 14(1): 55-58.
- Hu YS, Chen SX, Wang JQ, et al. Experiment of controlling mould by electron-accelerator irradiation treatment for rice storage [J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 1999, 14(1): 55-58.
- [19] Sarrias JA, Valero M, Salmerón MC. Elimination of *Bacillus cereus* contamination in raw rice by electron beam irradiation [J]. Food Microbiol, 2003, 20(3): 327-332.
- [20] Das I, Kumar G, Shah NG. Microwave heating as an alternative quarantine method for disinfestation of stored food grains [J]. Int J Food Sci, 2013, doi: 10.1155/2013/926468.
- [21] Wang S, Ikediala JN, Tang J, et al. Radio frequency treatments to control codling moth in in-shell walnuts [J]. Postharvest Biol Technol, 2001, 22(1): 29-38.
- [22] Nelson SO. Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control [J]. Trans Am Soc of Agric Eng, 1996, 39(4): 1475-1484.
- [23] Zhao Y, Flugstad B, Kolbe E, et al. Using capacitive (radio frequency) dielectric heating in food processing and preservation—a review [J]. J Food Process Eng, 2000, 23(1): 25-55.
- [24] Zhong Y, Tu Z, Liu C, et al. Effect of microwave irradiation on composition, structure and properties of rice (*Oryza sativa* L.) with different milling degrees [J]. J Cereal Sci, 2013, 58(2): 228-233.
- [25] Zhao S, Qiu C, Xiong S, et al. A thermal lethal model of rice weevils subjected to microwave irradiation [J]. J Stored Prod Res, 2007, 43(4): 430-434.
- [26] Zhao S, Xiong S, Qiu C, et al. Effect of microwaves on rice quality [J]. J Stored Prod Res, 2007, 43(4): 496-502.
- [27] Lagunas-Solar MC, Pan Z, Zeng NX, et al. Application of radio-frequency power for non-chemical disinfestation of rough rice with full retention of quality attributes [J]. Appl Eng Agr, 2007, 23(5): 647-654.
- [28] Mirhoseini SMH, Heydari M, Shoulaie A, et al. Investigation on the possibility of foodstuff pest control using radiofrequency based on dielectric heating (case study: rice and wheat flour pests) [J]. J Biol Sci, 2009, 9(3): 283-287.
- [29] 张习军. 微波处理对稻谷品质的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- Zhang XJ. Effect of microwave on paddy quality [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008.
- [30] Gennadios A, Hanna MA, Kurth LB. Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods: a review [J]. LWT - Food Sci Technol, 1997, 30(4): 337-350.
- [31] 闫清平. 多功能可食用膜开发及其应用 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2002.
- Yan QP. Development and application of multifunctional edible films [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2002.
- [32] 欧阳建勋. 乳化型被膜剂及其对大米品质的影响研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2004.
- Ouyang KX. Studies on film-coating reagent of emulsifying and its influence on rice quality [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2004.
- [33] Laohakunjit N, Kerdchoeuchuen O. Aroma enrichment and the change during storage of non-aromatic milled rice coated with extracted natural flavor [J]. Food Chem, 2007, 101(1): 339-344.
- [34] 周显青, 伦利芳, 张玉荣, 等. 大米储藏与包装的技术研究进展 [J]. 粮油食品科技, 2013, 21(2): 71-75.
- Zhou XQ, Lun LF, Zhang YR, et al. Research progress on rice storage and packing technology [J]. Sci Technol Cereals, Oils



- Foods, 2013, 21(2): 71–75.
- [35] Gong X. Experimental research on vacuum fresh-keeping packaging technology of rice and dynamical model [J]. *Appl Mech Mater*, 2012, 200: 462–465.
- [36] Tananuwong K, Malila Y. Changes in physicochemical properties of organic hulled rice during storage under different conditions [J]. *Food Chem*, 2011, 125(1): 179–185.
- [37] 霍雨露, 李喜宏, 张兴亮, 等. 不同气调储存条件对大米脂类变化的影响 [J]. *粮油加工*, 2009, (10): 97–100.  
Huo YX, Li XH, Zhang XL, *et al.* Effect of different modified atmosphere packages on the changes of lipid in rice [J]. *Cereals Oils Process*, 2009, (10): 97–100.
- [38] 刘建伟, 张萃明, 包清彬. 大米的薄膜袋小包装储藏形态研究 [J]. *粮食储藏*, 2002, (5): 26–29.  
Liu JW, Zhang CM, Bao QB. Research on rice storage with film sack [J]. *Grain Storage*, 2002, (5): 26–29.
- [39] Zhang L, Fang R, Sun ZH. Effects of rice quality by modified atmosphere packing with PA/PE composite membrane [J]. *Adv Mater Res*, 2011, 380: 274–277.
- [40] Cao DG, Liu X, Li XH. Effect of paddy hermetic plastic tent MAP on free fatty acid property of rice during storage [J]. *Adv Mater Res*, 2011, 282–283: 227–230.
- [41] 徐雪萌, 唐静静. 大米真空包装最佳真空度的确定方法 [J]. *包装工程*, 2007, 27(4): 31–32.  
Xu XM, Tang JJ. Research of vacuum degree optimization design for rice vacuumizing [J]. *Packag Eng*, 2007, 27(4): 31–32.
- [42] 巩雪, 常江. 大米真空保鲜包装技术及动力学模型实验研究 [J]. *包装工程*, 2013, 34(1): 26–28.  
Gong X, Chang J. Experimental research on rice vacuum keeping-fresh packaging technology and its dynamical model [J]. *Packag Eng*, 2013, 34(1): 26–28.
- [43] Yan TY, Chung JH, Rhee CO. The effects of vacuum packaging on the quality of embryo-retaining milled rice [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2004, 13(4): 467–471.
- [44] Tananuwong K, Lertsiri S. Changes in volatile aroma compounds of organic fragrant rice during storage under different conditions [J]. *J Sci Food Agric*, 2010, 90(10): 1590–1596.
- [45] 董国庆, 金春媚, 刘思辰, 等. 防霉保鲜膜对大米贮藏保鲜效果的影响 [J]. *保鲜与加工*, 2009, 9(3): 27–29.  
Dong GQ, Jin CM, Liu SC, *et al.* Effects of mildewproof and freshness film on preservation of rice [J]. *Storage Process*, 2009, 9(3): 27–29.
- [46] 李喜宏, 王静, 葛玲艳. 大米 PVC 保鲜膜常温超长期储藏效果研究 [J]. *食品科技*, 2010, 35(9): 174–177.  
Li XH, Wang J, Ge LY. Effect of PVC plastic film on rice under ultra-long-term storage at room temperature [J]. *Food Sci Technol*, 2010, 35(9): 174–177.
- [47] 于莉, 陈丽, 张建新, 等. 粮食防霉保鲜膜在大米小包装储藏保鲜中的应用研究 [J]. *食品工业科技*, 2008, 29(3): 253–256.  
Yu L, Chen L, Zhang JX, *et al.* Research on application of different film package to the preservation of milled rice with small film pack [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2008, 29(3): 253–256.
- [48] Kim JD, Kim K, Eun JB. Storage of black rice using flexible packaging materials [J]. *Korean J Food Sci Technol*, 1999, 31(1): 158–163.
- [49] Wang S, Tang J. Radio frequency and microwave alternative treatments for insect control in nuts: a review [J]. *Agric Eng J*, 2001, 10(3&4): 105–120.
- [50] 胡元斌. 大米品质改良探讨 [J]. *粮食与食品工业*, 2001, (3): 4–7.  
Hu YB. Exploring the improvement of rice quality [J]. *Cereal Food Ind*, 2001, (3): 4–7.
- [51] 罗小虎, 包清彬, 许琳, 等. 大米生物保鲜研究 [J]. *食品科技*, 2008, (6): 221–223.  
Luo XH, Bao QB, Xu L, *et al.* Biopreservation study of rice [J]. *Food Sci Technol*, 2008, (6): 221–223.
- [52] 张旭, 盛宏达, 关文强, 等. 植物精油对大米防霉保鲜效果的影响 [J]. *保鲜与加工*, 2008, 8(5): 38–40.  
Zhang X, Sheng HD, Guan WQ, *et al.* Antifungal effect of essential oils on rice during storage [J]. *Storage Process*, 2008, 8(5): 38–40.
- [53] 陈伟畅. 大米天然防霉保鲜剂的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2008.  
Chen WC. Studies on rice natural mouldproof preservation [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [54] Das A, Das S, Subudhi H, *et al.* Extension of shelf life of brown rice with some traditionally available materials [J]. *Indian J Tradit Know*, 2012, 11(3): 553–555.
- [55] 曲春阳, 潘磊庆, 屠康, 等. 一种复合精油对大米品质变化的影响 [J]. *中国粮油学报*, 2012, 27(2): 1–5.  
Qu CY, Pan QL, Tu K, *et al.* Effect of a blend of essential oil on the quality of rice [J]. *J Chin Cereals Oils Assoc*, 2012, 27(2): 1–5.
- [56] Lo'pez MD, Jorda'n MJ, Pascual-Villalobos MJ. Toxic compounds in essential oils of coriander, caraway and basil active against stored rice pests [J]. *J Stored Prod Res*, 2008, 44 (3): 273–278.
- [57] Li XH, Lei GM, Liu X. Effect of capsaicin-coated PE film on microbiological and physiological properties of rice during sto-

rage [J]. *Adv Mater Res*, 2010, 156-157: 1109–1112.

[58] Ha JH, Kim HJ, Ha SD. Effect of combined radiation and NaOCl/ultrasonication on reduction of *Bacillus cereus* spores in rice [J]. *Radiat Phys Chem*, 2012, 81(8): 1177–1180.

[59] Sharp RN, Timme LK. Effects of storage time, storage temperature, and packaging method on shelf life of brown rice [J]. *Cereal Chem*, 1986, 63(3): 247–251.

[60] Zhang Y, Yu Z, Lu Y, *et al.* Effect of the absence of lipoxygenase isoenzymes on the storage characteristics of rice grains [J]. *J Stored Prod Res*, 2007, 43(1): 87–91.

(责任编辑: 赵静)

## 作者简介



段小明, 硕士, 主要研究方向为农产品加工与贮藏工程。

E-mail: yunssica@163.com



冯叙桥, 博士, 教授, 主要研究方向为果蔬质量与安全控制。

E-mail: feng\_xq@hotmail.com