

热处理在稻谷及大米贮藏与加工中的应用研究进展

Research progress of heat treatment in paddy and rice storage and processing

宗平¹ 王燕¹ 吴卫国¹ 任剑豪¹ 李娜¹ 周涛²

ZONG Ping¹ WANG Yan¹ WU Wei-guo¹ REN Jian-hao¹ LI Na¹ ZHOU Tao²

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南长沙 410128; 2. 中南粮科院, 湖南长沙 410008)

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China;
2. Central South Academy of Grain Sciences, Changsha, Hunan 410008, China)

摘要:文章介绍了在稻谷及大米贮藏与加工中常用的热处理方法,阐述了热处理对稻谷中害虫、微生物、酶及其品质的影响,并分析了热处理对稻谷及大米的不利影响及其预防措施。

关键词:稻谷;热处理;虫害;微生物;酶活性;品质改善

Abstract: The heat treatment methods commonly used in the storage and processing of paddy and rice are introduced in this paper and the effects to insect pests, sterilization, enzymatic inactivation and quality are summarized. Meanwhile, the negative effects of heat treatment on rice quality and some countermeasures are proposed.

Keywords: paddy and rice; heat treatment; insect pest; microorganism; enzymatic activity; quality improvement

稻谷是世界上最重要的粮食作物之一,也是中国粮仓重要的储备资源。热处理是稻谷及大米贮藏与加工常用的工艺,该方法不仅可以用于稻谷及大米干燥,还可以杀灭稻谷及大米中的害虫和微生物、抑制稻谷内酶活性以及改善其品质。与化学防霉剂(丙酸、双乙酸钠、二氧化硅等)和化学熏蒸剂(磷化铝、磷化锌、磷化铁等)相比,热处理后稻谷及大米的安全性更高,无残留,无污染。此外,热处理在大米及其制品加工中还可以替代单甘脂、黄原胶、 β -环状糊精、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶、茶多酚和纤维素酶等食品添加剂^[1],用于改良大米及其制品品质。

热处理在稻谷及大米贮藏与加工中有众多优势,但

若处理条件和处理方式不当,反而会对稻谷与大米及其制品造成不利影响,如产生裂纹、米粒颜色变深、米饭硬度增大、黏度下降、破坏硫胺素、淀粉回生值上升等。因而,改善其品质需选择适当的热处理方式与处理条件。文章拟介绍在稻谷贮藏与加工中常用的热处理方法,综述热处理对稻谷中害虫、微生物与酶的影响及其机理,以及在稻谷与大米及其制品品质改善中的应用,并分析热处理对稻谷与大米的不利影响及预防措施,期望为热处理在稻谷及大米贮藏与加工中的合理应用提供参考。

1 常用的热处理方法

稻谷及大米贮藏与加工中常用的热处理方法有热风处理^[2]、微波处理^[3-7]、蒸谷处理^[8-9]、过热蒸汽处理^[10-15]、湿热处理^[16]和红外热处理^[17-18] 6种。热风处理采用热空气对物料进行加热,是最常见的热处理方式^[2],主要用于谷物、果蔬干燥。微波处理是利用特定波长(1~1 000 mm)的电磁波推动固体物料内极性分子运动来产热,达到加热效果,能耗较热风处理少,加热均匀、调控方便,营养物损失少^[3],目前微波处理在稻谷贮藏中主要应用于干燥^[4]、防虫灭菌^[5-6]、钝酶^[3,7]等。蒸谷处理是指以稻谷为原料,经清理、浸泡、蒸煮、烘干、砻碾等加工方法制成大米制品^[8],具有营养价值高、出油率高、蒸煮时间短、储存期长等特点,但其对物料品质的影响要大于其他热处理方法^[9]。过热蒸汽处理是指在恒定压力下利用蒸汽在过热状态下将自身潜热传递给物料,实现物料加热过程。由于水的比热容远大于空气,因此过热蒸汽具有高热效性。此外,过热蒸汽不含氧,可以避免热处理时物料的氧化反应,有效保护原料品质。研究^[11]表明,过热蒸汽还可以降解、溶出霉菌毒素和不良的气味物质。近年来,过热蒸汽越来越多地应用于稻谷与大米加

基金项目:湖南省重点实验室开放研究基金项目(编号:2018TP1032)

作者简介:宗平,男,湖南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:王燕(1968—),女,湖南农业大学教授,博士。

E-mail: 693675748@qq.com

收稿日期:2020-05-20

工中,包括干燥^[13]、钝化酶^[14]、预熟化^[15]等。湿热处理是指在一定水分(体积分数 20%~30%)条件下,在一定温度范围内处理大米粉、淀粉等物料的一种热处理方法。湿热处理常用于淀粉物理改性,可以改变淀粉的理化性质而不引起分子结构的变化^[16]。红外热处理是利用物料对红外(0.75~1 000.00 μm)辐射的吸收而产生热效应,促使物料所含水分蒸发减少的一种热处理方法,主要用于谷物、果蔬等产品的加热、干燥以及食品的焙烤^[17],该热处理耗能少,设备成本低,对稻谷加工品质的影响小于热风处理与自然通风,但其穿透力不如微波处理,故在红外热处理稻谷时物料的厚度会影响其干燥效果^[18]。为了满足人们对稻谷及大米品质越来越高的要求,学者们更是将多种热处理方法进行联合使用来达到预期效果,同时还能减少对稻谷及大米品质的不利影响,如张斌等^[4]采用微波—热风联合处理稻谷,相比单一热处理方式,该方法的干燥时间显著缩短、其加工品质更稳定、杀菌效果显著;钟业俊^[19]利用微波—过热蒸汽处理发芽糙米,大大延长了其贮藏期。

2 热处理在稻谷贮藏与加工中的应用现状

2.1 对虫害的影响

稻谷与大米贮藏过程中,若粮仓温度、仓内空气湿度、粮仓密闭性等贮藏条件不适宜,会导致害虫滋生,侵害稻谷,造成稻谷的直接损失,从而降低稻谷及大米品质。25~33 $^{\circ}\text{C}$ 最适合储粮害虫生长和繁殖,但当温度高于 33 $^{\circ}\text{C}$ 时,会抑制其生长和繁殖,甚至致其死亡^[20]。因此,在稻谷及大米贮藏时,热处理法可作为杀灭害虫或抑制害虫的生长和繁殖的一种有效手段。

王亮^[21]研究表明,赤拟谷盗与谷蠹及其幼虫在 42, 46 $^{\circ}\text{C}$ 时具有较高的耐受能力,处理 90 min 时死亡率仍在 10%以下;在 58 $^{\circ}\text{C}$ 或 60 $^{\circ}\text{C}$ 下处理 60 min 后两种害虫死亡率达 100%,说明热处理对储粮害虫有很好的防治效果。严容军^[22]研究了利用加热板系统以不同加热速率加热到不同温度对谷物中米象死亡率的影响,发现米象成虫在 44, 46, 48, 50 $^{\circ}\text{C}$ 下分别保温 130, 50, 12, 4 min 能获得 100%的死亡率,证明热处理具有较好的杀虫效果。陈智斌等^[5]利用微波防治大米中玉米象虫卵,发现在含水量 14%、功率 200 W、温度 60 $^{\circ}\text{C}$ 的微波处理条件下,玉米象子代种群抑制率达 100%。

综上,热处理对稻谷中的害虫均具有较好的杀灭效果,采用 45~70 $^{\circ}\text{C}$ 的热处理即可对部分害虫起到较好的杀灭效果。热处理主要通过高温破坏害虫细胞内外水分含量与相对湿度之间的平衡来引起害虫体内水分流失、蛋白质变性、破坏害虫体内酶系统和正常的生理代谢活动等作用来杀灭害虫^[21]。

2.2 对微生物的影响

稻谷及大米贮藏与加工过程中,微生物的滋生会对

其品质产生严重的影响。因此,稻谷和大米的灭菌消毒对于保障粮食安全具有重要意义。梁礼燕等^[23]分别采用微波处理和热风处理对稻谷进行干燥,在降低至相同安全水分的前提下,微波处理和热风处理均能有效地抑制稻谷的霉菌总量和细菌总量,但微波处理的抑菌效果更好。此外,张斌等^[4]研究表明,采用有效微波功率 927 W,热风干燥 20 min,通过 4 h 缓苏处理后,其含水量较快速下降到安全水分,同时对稻谷内部霉菌可实现 95%的灭菌,且不影响稻谷的加工品质。Wang 等^[24]发现利用红外加热至 60 $^{\circ}\text{C}$,然后回火 120 min,能杀死 91.9%的黄曲霉孢子。Pei 等^[25]将大米样品加热至(60.2 \pm 0.5) $^{\circ}\text{C}$,在 2 780 W/m^2 的红外强度下持续 110 s 时,大米中玉米象与豆象的死亡率达 100%。

热处理能杀灭微生物的主要原因是高温能使微生物细胞膜产生透性化作用和破坏微生物蛋白质。另外,水分活度也是影响灭菌效果的重要因素之一。当水分活度较低时,细胞内部水分含量与相对湿度之间的平衡会被打破,细胞失水皱缩、细胞膜厚度增加,从而保护细胞^[26]。此外,热处理虽然可以杀灭稻谷和大米中的微生物,但热处理杀菌过程中采取的温度一般较高,也可能会对稻谷及大米的品质产生负面影响。

2.3 对酶的影响

稻谷中的酶主要包括淀粉酶、蛋白酶、脂类分解酶、过氧化物酶和多酚氧化酶等,其中某些酶的催化作用会对稻谷及大米制品品质产生不良影响,如稻谷贮藏过程中,在过氧化物酶与脂肪分解酶的催化下,脂肪产生一系列的氧化与裂解,生成挥发性酸败味物质,导致酸败。

Satou 等^[27]研究表明,较低温度(125 $^{\circ}\text{C}$)的过热蒸汽可在短时间内钝化糙米脂肪分解酶。微波处理也可以使脂肪酶和脂肪氧化酶部分失活,从而减少贮藏过程中游离脂肪酸的释放,而且功率越高,产生的游离脂肪酸越少^[7,28]。这是因为微波处理既存在热效应又存在非热效应,热效应会使酶分子变性,导致酶活性下降,非热效应会干扰与破坏酶的空间结构,导致酶分子结构中氢键被破坏,降低酶对底物的亲和力,两者综合作用使脂肪酶活性下降^[29-30]。

综上,热处理对脂肪酶、脂肪分解酶等的活性均有一定的抑制作用,其原理是高温条件会破坏酶蛋白质特定的空间结构,导致其变性。因此,细胞内的非酶蛋白质也可能会受热处理温度的影响而变性,改变稻谷的品质。

2.4 对稻谷与大米及其制品品质的改良

目前,热处理对大米品质进行改良的主要目的包括提高大米的营养价值^[6,31]、增强大米贮藏稳定性^[31-32]、改变大米黏性^[33]、改善新型制粉技术^[34]、提高大米中抗性淀粉和慢消化淀粉含量^[35-36]、改变蛋白质特性^[37-38]和改变淀粉特性^[39-41]等。热处理过程中,稻谷与大米及其制品在高温或水的作用下,谷壳以及米糠层营养素(矿

物质、维生素 B、谷维素)向胚乳内部发生迁移,细胞内蛋白质结构因变性而发生改变,淀粉酶、脂肪酶等活性下降,淀粉链结构重新排列组合,从而导致大米品质变化。

表 1 为不同热处理方法用于稻谷与大米及其制品品质改善的研究概况。实际加工应用中,应根据不同稻谷与大米及其制品品质的要求,选择合适的热处理方法及条件。

表 1 热处理在稻谷与大米及其制品品质改良中的应用概况

Table 1 Application of heat treatment in improving the quality of paddy, rice and their products

对象	热处理方法及条件	改良效果	参考文献
稻谷	过热蒸汽钝酶处理	具有良好的食用品质、贮藏性能和营养价值	[6]
早籼稻	蒸谷,包括浸泡、蒸煮、干燥	整精米率、贮藏稳定性、大米矿物质和维生素 B 含量有所提高	[31]
糙米	红外热处理	糙米的贮藏稳定性明显提高,品质未受到影响	[32]
大米	微波处理、水浴热处理以及混合加热	黏性下降、热糊稳定性和冷糊稳定性上升	[33]
籼米及米粉	热处理,60 °C 90 min、120 °C 15 min、180 °C 1 min	热处理半干制粉其粉质特性与湿磨粉相当	[34]
大米淀粉	热处理,120 °C 70 min,淀粉乳质量分数 30%	大米中抗性淀粉含量显著提高	[35]
大米淀粉	湿热处理	大米慢消化淀粉和抗消化淀粉显著提高	[36]
大米	碱与热处理,不同 pH,50~90 °C,40 min	乳化性、乳化稳定性、起泡性随热处理温度升高而提高	[37]
大米粉	高压结合热处理	改善大米粉的溶解度和凝胶膨胀率	[39]
大米淀粉	压热处理、微波处理、超声波处理	淀粉的溶解度、膨胀能力、凝沉性有所升高	[40]
大米淀粉	糊化处理与湿热处理	高水分淀粉凝胶强度、溶解性及膨胀性提高	[41]

3 对稻谷与大米品质的不利影响及其预防措施

尽管热处理在稻谷及大米贮藏与加工中应用广泛、优势众多,但若处理条件和处理方式不当,反而会对稻谷与大米及其制品造成不利影响。因为稻谷中的水分、蛋白质、淀粉、酶等大分子物质对热较为敏感,容易受其影响。如高水分的稻谷在温度较高、长时间热处理后,由于水分散失过多,容易在米粒内部产生水分梯度,高水分部位压应力与低水分部位的张应力相互作用,最终生成裂纹,导致碎米增多^[2];蒸谷米因其在热处理过程中伴随着高湿条件,色素会由稻壳和米糠层扩散到胚乳内部,还存在美拉德反应、酶促反应,导致米色较深,同时高湿高温条件还会影响稻米淀粉结构,致使淀粉颗粒排列更紧密以及与蛋白质紧密结合,从而导致米饭硬度提高,黏性下降^[30];长时间微波处理不仅会使大米脂肪酶和脂肪氧化酶部分失活,破坏硫胺素,还会使大米胚乳表面崩裂,稻米内复合淀粉粒崩解,产生膨化大米^[7]。

热处理对稻谷及大米的不利影响主要包括产生裂纹、碎米增多、米粒颜色变深、米饭硬度增大、黏度下降、破坏硫胺素、产生膨化大米、回生值上升等,从而影响稻谷及大米品质。为了减少或避免热处理对稻谷品质的影响,需要探究其在热处理中的变化规律,并以此改善稻谷品质。而物料含水量、时间、温度是热处理过程中影响稻谷及大米品质的主要因素,为了避免对其产生不利影响,需根据所要求严格控制这 3 个工艺参数。稻谷在采用热处理方法降低稻谷及大米含水量的过程中,热处理时

间越长,热处理温度越高,籽粒内部出现水分梯度的可能性越大,产生的碎米越多。因此,在保障达到所要求的前提下,可以缩短热处理时间或降低热处理温度。此外,针对不同的目标,采取的热处理条件也不尽相同,如钝化稻谷及大米中的酶所需要的温度远远高于杀灭其中害虫的温度。

4 展望

热处理具有无残留、无污染、安全性高的优点,可以有效替代部分化学熏蒸剂和食品添加剂用于稻谷和大米的杀虫、灭菌、钝酶和改善品质,但要选择合适的热处理方式与热处理条件,否则反而会对稻谷品质造成不良影响。后续应更加深入探究热处理过程中稻谷与大米品质变化规律及其机理,缓解其对品质的不良影响,开发适用于工业化应用的热处理设备,以期望热处理技术在稻谷及大米贮藏与加工中应用越来越广泛。

参考文献

- [1] 杨喆,韩雪,张丽娟,等.抑制大米制品回生技术的研究进展[J].食品工业,2017(12):258-262.
- [2] 杨国峰,周雯,夏宝林,等.高温连续干燥与干燥-通风联合对稻谷品质的影响[J].食品科学,2014,35(17):1-7.
- [3] 袁建,赵腾,丁超,等.微波处理对稻谷品质及脂肪酶活性的影响[J].中国农业科学,2018,51(21):4131-4142.
- [4] 张斌,刘雅婧,丁超,等.微波-热风联合干燥对高水分稻谷加工品质及微生物量的影响[J].中国粮油学报,2018,33(9):106-113.
- [5] 陈智斌,吴树会,夏列,等.微波防治大米中玉米象虫卵的

- 效果研究[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(6): 69-71.
- [6] 徐艳阳, 李科静, 仇洋, 等. 大米黑曲霉的微波杀菌工艺优化[J]. 食品工业科技, 2014, 35(22): 245-248, 253.
- [7] ZHONG Ye-jun, TU Zong-cai, LIU Cheng-mei, et al. Effect of microwave irradiation on composition, structure and properties of rice (*Oryza sativa* L.) with different milling degrees[J]. Journal of Cereal Science, 2013, 58(2): 228-233.
- [8] 吴芳. 蒸谷米的概述[J]. 现代食品, 2018(8): 120-121.
- [9] 宋玉, 曹磊, 陶澍, 等. 蒸谷米加工的原料适应性及营养特性研究[J]. 粮食与饲料工业, 2019(3): 6-12.
- [10] 吴建永. 过热蒸汽法制备轻碾营养米及其理化性质研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2016: 43-48.
- [11] ANTO A, BV K, GC T, et al. Recent developments in superheated steam processing of foods: A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2014, 56(13): 2 191-2 208.
- [12] 黄小丽, 肖波, 王振华, 等. 过热蒸汽干燥稻米力学特性试验[J]. 农业机械学报, 2014, 45(2): 199-203.
- [13] RORDPRAPAT W, NATHAKARANAKULE A, TIA W, et al. Comparative study of fluidized bed paddy drying using hot air and superheated steam[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 71(1): 28-36.
- [14] WU Jian-yong, MCCLEMENTS D J, CHEN Jun, et al. Improvement in nutritional attributes of rice using superheated steam processing[J]. Journal of Functional Foods, 2016, 24: 338-350.
- [15] SOPONRONNARIT S, NATHAKARANAKULE A, JIRAJINDALERT A, et al. Parboiling brown rice using superheated steam fluidization technique[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 75(3): 423-432.
- [16] BRUNA A, JOSIANE B, MARJANA R, et al. Impact of heat-moisture treatment on rice starch, applied directly in grain paddy rice or in isolated starch[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 2(60): 708-713.
- [17] 丁超. 稻谷红外干燥的动力学特性及对稻米储藏品质的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015: 3-6.
- [18] PAN Z L, KHIR R, GODFREY L D, et al. Feasibility of simultaneous rough rice drying and disinfestations by infrared radiation heating and rice milling quality [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84(3): 469-479.
- [19] 钟业俊. 一种微波一过热蒸汽联合处理延长发芽糙米贮藏期的方法: 102960439[P]. 2013-03-13.
- [20] 白旭光. 储藏害虫与防治[M]. 北京: 科学出版社, 2018: 274-281.
- [21] 王亮. 热处理对四种重要仓储害虫致死作用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011: 25-30.
- [22] 严容军. 储藏害虫热致死动力学与气调加热板加热均匀性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015: 10-19.
- [23] 梁礼燕. 热风、微波薄层干燥稻谷品质研究[D]. 南京: 南京财经大学, 2012: 60-66.
- [24] WANG Bei, KHIR R, PAN Zhong-li, et al. Effective disinfestation of rough rice using infrared radiation heating[J]. Journal of Food Protection, 2014, 77(9): 1 538-1 545.
- [25] PEI Yong-sheng, TAO Ting-ting, YANG Guo-feng, et al. Lethal effects and mechanism of infrared radiation on *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* in rough rice[J]. Food Control, 2018, 88: 149-158.
- [26] ARONSSON K, RONNER U. Influence of pH, water activity and temperature on the inactivation of *Escherichia coli*, and *Saccharomyces cerevisiae*, by pulsed electric fields[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2001, 2(2): 105-112.
- [27] SATOU K, TAKAHASHI Y, YOSHII Y. Effect of superheated steam treatment on enzymes related to lipid oxidation of brown rice[J]. Food Science and Technology Research, 2010, 16(1): 93-97.
- [28] BERGONIO K B, DULDULAO J B A, RAMOS N C. Improved shelf life of brown rice by heat and microwave treatment[J]. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 2016, 5(4): 378-385.
- [29] VENKATESH M S, RAGHAVAN G S V. An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials[J]. Bio-systems Engineering, 2004, 88(1): 1-18.
- [30] 胡国洲, 胡鹏, 陈光静, 等. 食品中酶的微波钝化技术研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(3): 141-146.
- [31] 吕斌. 蒸谷米色泽、食味品质及其营养学评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009: 1-9.
- [32] DING Chao, KHIR R, PAN Zhong-li, et al. Improvement in shelf life of rough and brown rice using infrared radiation heating[J]. Food and Bio-process Technology, 2015, 8(5): 1 149-1 159.
- [33] 程学勋, 许永亮, 瞿明勇, 等. 热处理对大米黏性的影响[J]. 食品科技, 2007(3): 73-76, 80.
- [34] 任梦影, 周素梅, 佟立涛, 等. 不同热处理对籼米及其半干粉品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(7): 170-174.
- [35] 李翠莲, 方北曙, 黄小玲. 大米抗性淀粉压热处理制备工艺的研究[J]. 中国粮油学报, 2010(5): 37-40.
- [36] 王宏伟, 李晓玺, 黄吉东, 等. 湿热处理对大米淀粉多层次结构及消化特性的影响[J]. 现代食品科技, 2017(6): 163, 190-194.
- [37] 刘芳, 许宙, 陈茂龙, 等. 碱与热处理对大米蛋白质结构与功能性质的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(8): 16-21.
- [38] YANG Qin, CAO Qiu, LIU Xiong, et al. Effect of dry heat treatment on the properties of glutinous rice mixed flour and rice proteins[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(9): 180-184.
- [39] 管弋钰. 超高压结合热处理对大米粉理化特性及蛋白质的影响[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2017: 18-33.
- [40] 张民, 吴娜, 董家美, 等. 不同改性方法对大米淀粉理化性质及颗粒结构的影响[J]. 现代食品科技, 2013(1): 26-30.
- [41] 刘成梅, 杨晓会, 钟业俊, 等. 钝化及湿热处理对大米淀粉理化特性和微观结构的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(5): 44-48.