

## 常温真空包装对保持小米储藏品质的影响

石建春, 李志刚, 王 愈\*, 陈振家, 高俊宇, 刘雅琪, 白旭婷

(山西农业大学食品科学与工程学院, 太谷 030801)

**摘要:** 为了探究一种有效的小米储藏方法, 以晋谷42号小米为试材, 采用0.08 mm厚尼龙 (polyamide, PA) 复合聚乙烯 (polyethylene, PE) 袋包装, 常温 (20±2) °C 环境中储藏, 研究小米在常规、常规密闭和真空包装储藏120 d品质指标的变化规律。结果表明: 相对于常规包装, 真空包装储藏有效降低脂肪氧合酶的活性 ( $P<0.05$ ), 延缓小米脂质的氧化分解 ( $P<0.05$ ), 抑制小米游离脂肪酸含量的升高 ( $P<0.05$ ), 较好地保持了小米的水分 ( $P<0.05$ ), 延缓了小米黄色素的损耗 ( $P<0.05$ ), 较好地保持了小米的亮度 ( $P<0.05$ )、米黄色 ( $P<0.05$ ) 以及弹性 ( $P<0.05$ ) 和黏附性 ( $P<0.05$ ); 常规密闭包装具有一定的储藏效果, 但不及真空包装。因此, 常温下真空包装储藏可以有效延缓小米的陈化, 保持小米的储藏品质。研究结果为小米储藏, 提升小米储藏品质提供了理论依据和技术支持。

**关键词:** 储藏; 品质控制; 包装; 小米; 真空; 质构

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.06.031

中图分类号: S379.2 文献标志码: A 文章编号: 1002-6819(2020)-06-0262-07

石建春, 李志刚, 王 愈, 陈振家, 高俊宇, 刘雅琪, 白旭婷. 常温真空包装对保持小米储藏品质的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(6): 262-268. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.06.031 <http://www.tcsae.org>

Shi Jianchun, Li Zhigang, Wang Yu, Chen Zhenjia, Gao Junyu, Liu Yaqi, Bai Xuting. Effect of vacuum packaging at room temperature on maintaining storage quality of millet[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(6): 262-268. (in Chinese with English abstract)

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.06.031 <http://www.tcsae.org>

### 0 引言

小米又名粟米, 是禾本科狗尾草属植物谷子经脱壳后所得的产物, 是世界上最古老的农作物之一, 是中国传统谷物的一种, 起源于中国黄河流域, 广泛种植于中国北方地区, 是常见小杂粮的一种<sup>[1-2]</sup>。小米营养丰富, 富含碳水化合物、蛋白质、脂肪及多种维生素和钙、磷、铁等人体所必需的矿物元素, 不仅能为人体提供能量物质, 还可以满足人体机能的需求<sup>[3-4]</sup>。小米营养配比合理, 易于消化吸收, 是一种深受消费者青睐的药食同源天然保健佳品。

然而, 由于小米失去外壳的保护, 导致其储藏稳定性非常差, 在储藏过程中极易受到环境温度、湿度、氧气、微生物等的影响, 使其发生陈化、发热霉变、虫害等品质劣变现象, 大大降低其食用品质和商品价值<sup>[5]</sup>。随着现代消费的升级, 大健康时代的到来, 人们对小米的需求量在逐步增加, 小米在现代饮食中的地位越来越重要, 小米的储藏安全性也越来越受到重视。为此, 探究有效的小米储藏保鲜方法, 保证小米的品质稳定, 对于保证粮食安全, 促进小米产业的健康发展具有重要意义。

目前常用的粮食储藏方法有常温储藏<sup>[6]</sup>、低温储

藏<sup>[7]</sup>、气调储藏<sup>[8-9]</sup>、化学储藏<sup>[10-11]</sup>、电离辐射储藏<sup>[12-14]</sup>等方法, 多数研究主要集中在大米、小麦、玉米、大豆等大众粮食上, 而关于小米的储藏研究还很少, 实际生产中小米的储藏方式仍然比较粗放。为此, 本文以小米为原料, 探究不同包装方式下小米品质指标的变化规律, 以求寻找出一种绿色、有效、简单、可行的小米储藏方法, 为实际生产提供理论依据和技术支持。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

小米: 晋谷42号, 产自山西省吕梁市岚县, 试验当年产新米, 试验实施时脱去谷壳。

包装袋: 尼龙 (polyamide, PA) 复合聚乙烯 (polyethylene, PE) 袋, 厚0.08 mm, 深圳市康运包装制品有限公司。

#### 1.2 主要试剂

盐酸、无水乙醇、无水乙醚、氢氧化钾、氢氧化钠、酚酞指示剂、邻苯二甲酸氢钾、硼酸盐缓冲液、吐温20、水饱和正丁醇等均为分析纯。

#### 1.3 主要仪器与设备

质构仪 (TMS-Pro型, 美国 Food Technology Corporation 公司)、色差仪 (CM-5型, 日本 KONICA MINOLTA 公司)、真空包装机 (DZD-400/S型, 南通腾通包装机械有限公司)、低速自动平衡离心机 (TDZ4-WS型, 长沙湘仪离心仪器有限公司)、可见分光光度计 (V-1200型, 上海美普达仪器有限公司)、多功能粉碎机 (JY15A750型, 永康市江业制造有限公司)、电子天平 (JA5003N,

收稿日期: 2019-12-01 修订日期: 2020-03-01

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2017YFD0400206)

作者简介: 石建春, 讲师, 现主要从事农产品采后生理、贮藏及加工方面的研究。Email: shijianchun688@163.com

\*通信作者: 王 愈, 教授, 博士, 博士生导师, 现主要从事农产品贮藏与加工方面的研究。Email: sxtgwy@126.com

上海精密科学仪器有限公司)、恒温水浴锅(HHS型,上海博讯实业有限公司医疗设备厂)、数显鼓风干燥箱(GZX-9240 MBE,上海博讯实业有限公司医疗设备厂)。

#### 1.4 处理方法

供试小米分装于0.08 mm厚尼龙复合聚乙烯袋中,每袋400 g,随机分成3组,其中一组真空包装(绝对真空度为0.01 MPa)储藏,一组常规密闭储藏,一组常规储藏作为对照组(CK),每组设置3个重复,3组小米均置于常温( $20\pm 2$ ) $^{\circ}\text{C}$ 环境中储藏,每30 d各取一袋小米测定相关指标,共测定5次。

#### 1.5 测定指标及方法

粗脂肪含量的测定:按照GB5009.6-2016中的酸水解法进行测定。

游离脂肪酸的测定:参照霍雨霞<sup>[15]</sup>的方法测定。

脂肪氧合酶(lipoxygenase, LOX)活性的测定:参照孙海峰等<sup>[16]</sup>的方法测定。以1 min内3 mL反应体系在234 nm的吸光度增加0.001作为一个酶活力单位(U)。

水分的测定:按照GB5009.3-2016中的直接干燥法测定。

黄色素的测定:参照杨延兵等<sup>[17]</sup>的方法,略作修改,样品充分湿润后,离心管震荡40 min,在445 nm测定吸光度,结果以小米黄色素的吸光度值表示。

色差采用色差仪进行测定。生小米色差测定时将供试小米装满并压实于平皿中,然后将平皿置于色差仪探头上进行测量,每个处理重复3次,求平均值。根据CIELAB表色系统, $L$ 表示亮度, $a$ 和 $b$ 为彩度指数, $a$ 正值表示偏红,负值表示偏绿; $b$ 正值表示偏黄,负值表示偏蓝。

熟化小米色差测定时先称取供试小米15 g置于平皿中,加30 g蒸馏水,盖盖室温下浸泡30 min,然后将平皿置于已经煮沸的蒸锅中,平皿不可与锅壁接触,蒸30 min,停止加热,焖20 min,然后将平皿从蒸锅中取出置于试验台上室温下冷却30 min,再将平皿置于色差仪探头上进行测量,每个处理重复3次,求平均值。

小米质构采用质构仪进行测定。测定前先将小米熟化,熟化方法同上。将熟化后的小米置于质构仪载物台上测定小米的质构特性。

质构仪检测模式为质地多面分析(texture profile analysis, TPA),探头选取直径为25 mm圆柱形探头,测试温度为室温,TPA参数设置为起始力0.4 N,测试速度60 mm/min,挤压距离6 mm,间隔时间5 s,测后速度200 mm/min,数据采集速率为200次/s。

#### 1.6 数据分析

采用Excel 2007和SPSS Statistics17软件进行数据处理和分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同包装方式下小米粗脂肪含量的变化

小米中脂肪的平均质量分数为4%左右,其中不饱和脂肪酸占脂肪总量85%,属于优质脂肪,对防止动脉

粥样硬化和软化血管等具有较好的功效<sup>[3,18]</sup>。从图1可以看出,随着储藏时间的延长,不同包装方式下小米粗脂肪含量均呈下降趋势,对照组下降最快,常规密闭处理组和真空包装处理组下降均比较平缓,但常规密闭处理组要稍快于真空包装处理组。

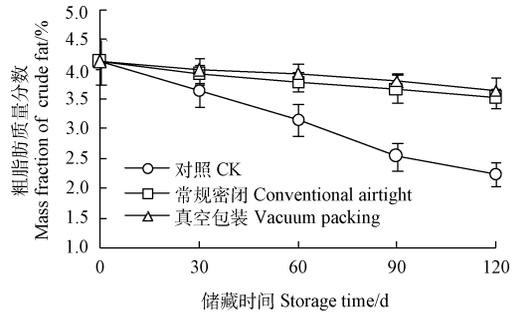


图1 不同包装方式下小米粗脂肪含量的变化

Fig.1 Changes of crude fat content in millet under different packaging methods

方差分析表明,储藏30 d后对照组粗脂肪含量与常规密闭处理组和真空包装处理组存在显著( $P<0.05$ )差异,两处理组之间没有显著( $P>0.05$ )差异。可见,真空包装储藏和常规密闭储藏均可以有效抑制小米粗脂肪含量的降低。

### 2.2 不同包装方式下小米游离脂肪酸含量的变化

粮食在储藏过程中脂质会发生水解氧化产生游离脂肪酸,脂肪酸值可以反映粮食脂质水解氧化的程度,是粮食储藏过程中品质评价的重要指标。从图2可以看出,不同包装方式下小米的脂肪酸值随着储藏时间的延长均呈上升趋势,对照组上升最快,常规密闭处理组次之,真空包装处理组最慢。

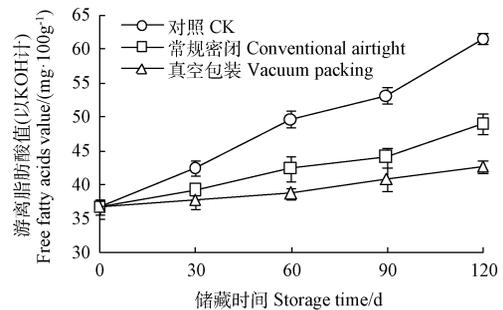


图2 不同包装方式下小米游离脂肪酸的变化

Fig.2 Changes of free fatty acids in millet under different packaging methods

对照组在储藏30 d时的脂肪酸值已明显高于2个处理组,储藏至120 d时,对照组脂肪酸值比初始值增加了67.39%,而常规密闭处理组和真空包装处理组分别增加了33.42%和16.03%。

方差分析表明,整个储藏过程中对照组与处理组之间存在显著( $P<0.05$ )差异,两处理组之间没有显著( $P>0.05$ )差异。可见,真空包装和常规密闭储藏均可以有效抑制小米脂质的氧化分解,减缓脂肪酸值的升高,较好的保持小米的品质。

2.3 不同包装方式下小米脂肪氧合酶(LOX)活性的变化  
脂肪氧合酶(LOX)是一种含非血红素铁的蛋白

质, 在生物体内专一催化含有顺、顺-1、4-戊二烯结构的多元不饱和脂肪酸的加氧反应, 生成具有共轭双键的多元不饱和酸的氢过氧化物<sup>[19]</sup>, 对于粮食陈化起着关键的作用。由图3可以看出, 对照组脂肪氧合酶的活性在贮藏前90 d快速上升, 90 d达到峰值后开始下降, 而两处理组则呈逐步上升趋势, 常规密闭处理组上升相对于真空包装处理组, 但两组均低于对照组。

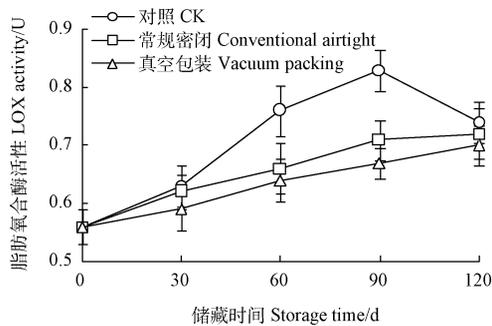


图3 不同包装方式下小米脂肪氧合酶活性的变化

Fig.3 Changes of lipoxygenase (LOX) activity in millet under different packaging methods

方差分析表明, 对照组与常规密闭处理组在贮藏60~90 d存在显著 ( $P<0.05$ ) 差异, 贮藏结束时二者没有显著 ( $P>0.05$ ) 差异。整个贮藏过程中两处理组之间也没有显著 ( $P>0.05$ ) 差异, 但对照组与真空包装处理差异显著 ( $P<0.05$ )。可见, 真空包装贮藏可以有效抑制小米脂肪氧合酶的活性, 从而延缓小米的陈化。

#### 2.4 不同包装方式下小米含水率的变化

含水率是影响小米贮藏品质和贮藏稳定性的重要因素之一<sup>[20]</sup>。水分过高生命活动旺盛, 易发生霉变、虫变和其他生化反应, 造成粮食变质; 水分过低会导致米粒过度干燥, 甚至出现米粒爆裂等现象, 降低食用品质<sup>[21-22]</sup>。由图4可知, 随着贮藏时间的延长, 不同包装方式下小米的含水率均呈下降趋势, 两处理组小米的含水量下降较为平缓, 对照组下降较快, 贮藏第60天时已明显低于处理组, 贮藏120 d时较初始含水量下降了33.36%, 而常规密闭处理组和真空包装处理组分别下降了16.46%和13.85%。

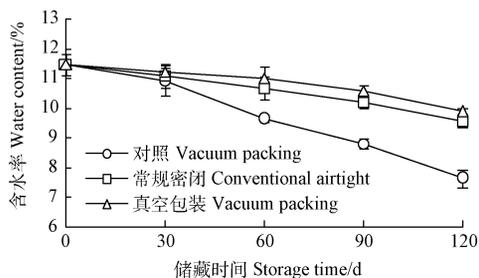


图4 不同包装方式下小米含水率的变化

Fig.4 Changes of water content of millet under different packaging methods

方差分析表明, 贮藏30 d后对照组与处理组之间存在显著 ( $P<0.05$ ) 差异, 两处理组之间差异不显著 ( $P>0.05$ )。可见, 在小米贮藏的安全水分12%之内, 真空包装处理和常规密闭处理均可以较好的抑制小米水分的散失, 保持小米的水分, 使其保持较好的食味品质。

#### 2.5 不同包装方式下小米黄色素的变化

黄色素是小米的重要营养成分之一, 也是评价小米品质优劣的重要指标之一。小米黄色素属于天然类胡萝卜素, 其在445 nm波长时的吸光度值最大, 其值大小可以反映小米中黄色素含量的多少<sup>[18]</sup>。由图5可以看出, 随着贮藏时间的延长, 不同贮藏条件下小米黄色素吸光度值均呈先小幅上升后逐渐下降的变化趋势, 30 d后对照组下降最快, 常规密闭处理组次之, 真空包装处理组下降较为平缓。贮藏第120天时, 真空包装处理组、常规密闭处理组和对照组小米的黄色素吸光度值较初始时分别下降了12.88%、44.57%、60.49%, 表明小米在真空包装贮藏条件下黄色素的损耗较小, 常规密闭贮藏次之, 对照组损耗最大。

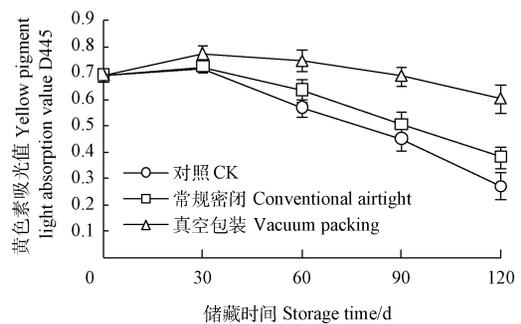


图5 不同包装方式下小米黄色素的变化

Fig.5 Changes of millet yellow pigment under different packaging methods

方差分析表明, 对照组在整个贮藏过程中与常规密闭处理组之间没有显著差异 ( $P>0.05$ ), 但与真空包装处理组存在显著 ( $P<0.05$ ) 差异。可见, 真空包装贮藏可以有效减缓小米黄色素损失, 保持较好的色泽品质, 常规密闭贮藏较常规贮藏效果要好, 但不如真空包装贮藏的效果好。

#### 2.6 不同包装方式下小米L值和b值的变化

L表示亮度, L值越大说明样品越亮, 越小越暗。由图6a、b可以看出, 随着贮藏时间的延长, 不同包装方式下小米的亮度均呈先上升后下降的变化趋势。在整个贮藏过程中, 对照组小米熟化前后的L值一直低于处理组, 常规密闭处理组的L值稍高于对照组, 真空包装处理组的L值最大。

方差分析表明, 整个贮藏过程中对照组L值与常规密闭处理组之间没有显著 ( $P>0.05$ ) 差异, 但与真空包装处理组存在显著 ( $P<0.05$ ) 差异。可见, 真空包装贮藏可以较好的保持小米的亮度。

小米米色是小米品质的重要评价指标之一。由图6c、d可知, 不同包装方式下的小米熟化前后的b值均为正值, 且随着贮藏时间的延长均呈先上升后下降的变化趋势。b值为正值说明小米米色发黄, b值先上升后下降说明小米在贮藏过程中的米色先有个黄色加深的过程, 随后黄色逐渐变浅。其中对照组在整个贮藏过程的b值一直低于两个处理组, 贮藏至30 d时达到峰值并开始下降, 常规密闭处理组的b值略高于对照组, 真空包装处理组b值最大。

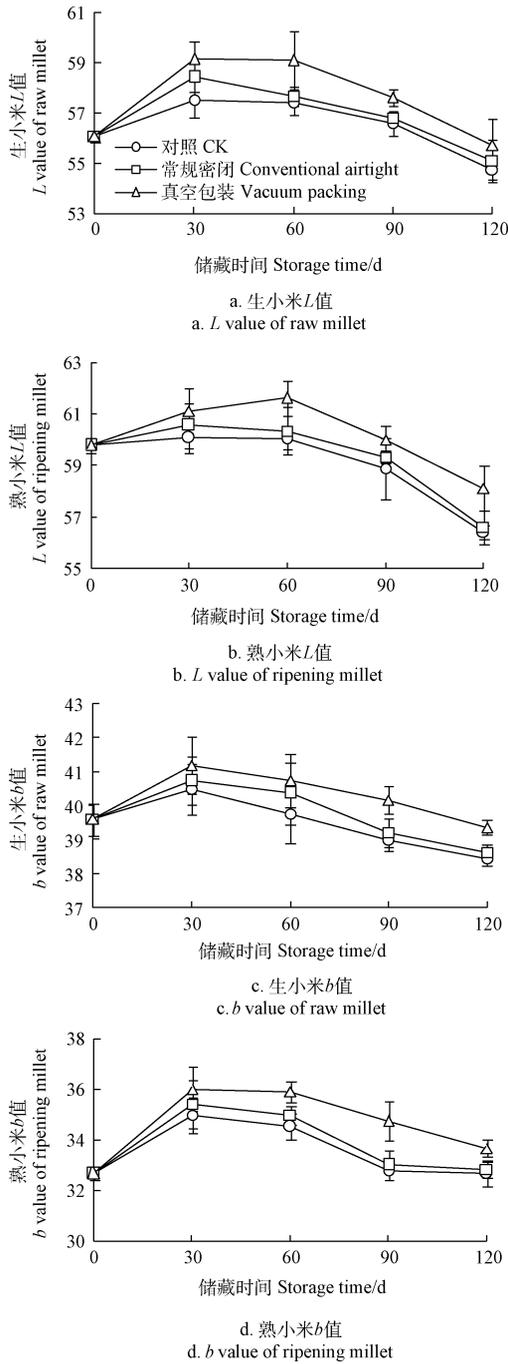


图6 不同包装方式下小米L值和b值的变化

Fig.6 Changes of L value and b value of millet under different packaging methods

方差分析表明, 整个储藏过程中对照组与常规密闭处理组之间没有显著 ( $P>0.05$ ) 差异, 但与真空包装处理组存在显著 ( $P<0.05$ ) 差异。可见, 真空包装储藏有效的保持了小米的黄色, 较好延缓小米色泽的变化。

### 2.7 不同包装方式下小米弹性和黏附性的变化

弹性表征样品经过压缩后恢复形变的能力, 是反映小米质地品质的重要指标之一。由图7a可以看出, 随着储藏时间的延长, 不同包装方式下小米的弹性均呈先上升后下降的变化趋势。对照组在储藏30d时达到最大值, 之后开始下降, 且在整个储藏过程中对照组的弹性一直低于处理组; 常规密闭处理组和真空包装处理组储藏至60d时达到峰值, 60d后开始下降, 常规密闭处理

组的弹性在储藏前90d接近于真空包装处理组, 但在储藏后期却下降较快, 到储藏第120天时接近对照组。

方差分析表明, 储藏30d后对照组与真空包装处理组存在显著差异 ( $P<0.05$ ), 与常规密闭处理组 (除了储藏60d外) 没有显著 ( $P>0.05$ ) 差异, 常规密闭处理组与真空包装处理组到储藏第120天时差异显著 ( $P<0.05$ )。可见, 真空包装处理组可以较好地保持小米的弹性, 保持小米的质地品质。

黏附性是指探头脱离样品表面所做的功, 表征咀嚼米饭时克服接触表面吸引力所需要的能量。由图7b可以看出, 随着储藏时间的延长, 不同包装方式下小米的黏附性均呈先上升后下降的变化趋势, 储藏至第60天时均达到最大值, 之后开始下降, 对照组下降最快, 常规密闭处理组次之, 真空包装处理组下降最慢。

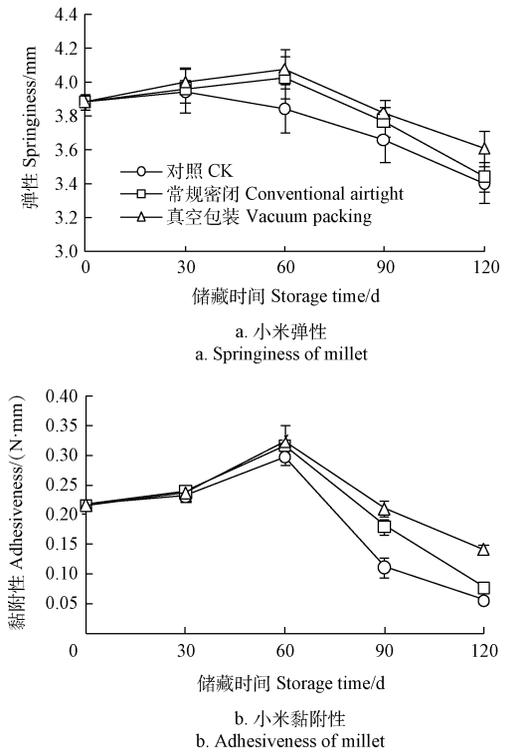


图7 不同包装方式下小米弹性和黏附性的变化

Fig.7 Changes of millet springiness and adhesiveness under different packaging methods

方差分析表明, 储藏60d后对照组与真空包装处理组之间存在显著 ( $P<0.05$ ) 差异, 对照组与常规密闭处理组在储藏60d到90d存在显著 ( $P<0.05$ ) 差异, 但到储藏结束时差异不显著 ( $P>0.05$ ), 储藏60d后两处理组之间存在显著 ( $P<0.05$ ) 差异。可见, 真空包装储藏可较好保持小米的黏附性, 使小米具有较好的食味品质。

### 3 讨论

谷子采收后本身有保护外壳, 且原始含水率低, 因此, 具有良好的储藏特性。然而, 经脱壳后, 小米失去了保护层, 环境条件的改变会引起其生理生化及品质的变化。本试验发现, 包装方式对小米黄色素、脂肪、脂肪氧合酶、含水率、色泽及质地品质的影响较大。真空

包装储藏有效的延缓了小米黄色素的损耗,抑制了脂肪氧合酶(LOX)的活性和脂质的氧化分解,较好的保持了含水率,延缓了小米的陈化,使小米保持较好的色泽和质地品质。常规密闭包装储藏效果次之。常规包装储藏条件下小米的品质最差。造成此现象的原因可能与不同包装方式下储藏环境中的氧气含量有关。常规包装储藏,小米与空气充分接触,储藏环境中氧气充足,脂肪氧合酶活性较强,加速脂质的氧化酸败,使小米中的游离脂肪酸含量增多;小米与空气充分接触,小米中的黄色素不断被氧化分解,同时由于类胡萝卜素是一种脂溶性的多烯色素<sup>[23]</sup>,小米的脂类不断被氧化,从而失去保护色素的能力,因此黄色素损耗最快,最终导致小米的黄色变浅最严重;另外可能由于游离脂肪酸的产生,包裹了小米内部的淀粉粒,造成淀粉膨胀困难<sup>[24]</sup>,最终导致小米的黏附性降低,使小米的食味品质降低,然而小米的质构特性与小米的组分、组织结构、熟化过程中组分的变化等因素有关,为此,不同包装方式下小米的质地品质不同的具体原因有待进一步研究。常规密闭储藏条件下环境中氧气含量相对固定,且随着小米自身呼吸和氧化消耗,氧气含量越来越少,可在一定程度上抑制小米脂质的氧化,减缓黄色素的损耗,延缓小米的陈化,保持较好的品质。真空包装是通过降低包装袋内空气含量,特别是氧气含量,从而达到保持品质,延长货架期的目的<sup>[25]</sup>。本试验中,真空包装方式下,由于抽真空的作用把储藏环境中的绝大部分氧气抽走排到外界,相对常规储藏和常规密闭储藏,储藏环境的氧气含量大大降低,从而有效隔绝了小米与氧气的接触,因此较好的抑制了脂肪氧合酶(LOX)的活性,延缓了脂质的氧化分解,降低了游离脂肪酸的产生,使小米保持了较高的黄色素含量,保持较高的亮度值和黄度值,食味品质最佳。此结果与陶菲等<sup>[26]</sup>应用真空包装研究包装方式对山核桃脂肪氧化影响的结果相近。可见,采用真空包装,尽可能隔绝氧气有利于延缓含油脂类食物的品质劣变。

#### 4 结论

1) 隔绝空气,降低储藏环境中的氧气含量可以有效延缓小米的陈化,保持小米的食味品质。常温( $20\pm 2$ ) $^{\circ}\text{C}$ 条件下,小米采用0.08 mm厚尼龙(Polyamide, PA)复合聚乙烯(Polyethylene, PE)袋真空包装储藏120 d效果较佳;采用0.08 mm厚尼龙复合聚乙烯袋常规密闭包装具有一定的储藏效果,但不及真空包装;常规包装储藏效果最差。

2) 相对于常规包装,真空包装储藏有效的降低了脂肪氧合酶的活性( $P<0.05$ ),延缓了小米脂质的氧化分解( $P<0.05$ ),抑制了小米游离脂肪酸含量的升高( $P<0.05$ ),较好地保持了小米的水分( $P<0.05$ ),延缓了小米黄色素的损耗( $P<0.05$ ),较好地保持了小米的色泽( $P<0.05$ )和质地品质( $P<0.05$ ),延缓了小米的陈化,小米的储藏品质最佳。

3) 小米真空包装常温储藏,有效隔绝了小米与空气的接触,降低了小米储藏环境中的氧气含量,可以保持较好的储藏品质。本研究结果对于指导小米储藏、提升小米的品质具有一定的实际意义,为真空包装储藏技术在粮食生产上的推广和应用提供了理论依据。

#### [参 考 文 献]

- [1] 李诗炜,张晖,钱海峰,等.不同储藏方式的熟化小米粉的氧化劣变分析[J].食品工业科技,2017,38(11):318—323.  
Li Shiwei, Zhang Hui, Qian Haifeng, et al. Oxidation analysis of cooked millet powder with different storage ways[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017,38(11):318—323. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张玲艳.不同谷子营养成分分析及加工贮藏对其酚含量的影响[D].无锡:江南大学,2017.  
Zhang Lingyan. Nutrition Analysis of Different Millets and Effects of Processing and Storage on Their Phenolic Contents[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [3] 张超,张晖,李冀新.小米的营养以及应用研究进展[J].中国粮油学报,2007,22(1):51—55,78.  
Zhang Chao, Zhang Hui, Li Jixin. Advances of millet research on nutrition and application[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2007,22(1):51—55,78. (in Chinese with English abstract)
- [4] 程建军,徐丽,欧才智,等.优化催芽温度及CaCl<sub>2</sub>溶液浓度提高发芽小米中 $\gamma$ -氨基丁酸含量[J].农业工程学报,2019,35(3):301—308.  
Cheng Jianjun, Xu Li, Ou Caizhi, et al. Optimization of germination temperature and CaCl<sub>2</sub> concentration to improve  $\gamma$ -amino butyric acid content in germination millet[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019,35(3):301—308. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘晶,程璐,张瑞杰,等.小米脂氧合酶活性与储藏稳定性关系[J].核农学报,2018,32(10):1969—1976.  
Liu Jing, Cheng Lu, Zhang Ruijie, et al. Relationship between lipoxygenase activity and storage stability of foxtail millet[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018,32(10):1969—1976. (in Chinese with English abstract)
- [6] 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 Juzhong. Study on Storage and Preservation Technology of Rice[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2004. (in Chinese with English abstract)
- [7] 曹阳,魏雷,赵会义,等.我国绿色储粮技术现状与展望[J].粮油食品科技,2015(S1):11—14.  
Cao Yang, Wei Lei, Zhao Huiyi, et al. Status and prospect of technology of green grain storage in China[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2015(S1):11—14. (in Chinese with English abstract)
- [8] 袁小平,严忠军,付鹏程.粮食气调储藏技术的优势及应用前景[J].粮食储藏,2012,41(5):16—19.  
Yuan Xiaoping, Yan Zhongjun, Fu Pengcheng. Advantage of controlled atmosphere storage of grain and its application prospect[J]. Grain Storage, 2012,41(5):16—19. (in Chinese)

- with English abstract)
- [9] Tananuwong K, Malila Y. Changes in physicochemical properties of organichulled rice dur under different conditions[J]. Food Chemistry, 2011, 125(1): 179—185.
- [10] 翟燕萍, 沈美庆, 王军, 等. 磷化氢熏蒸剂的研究进展[J]. 化学工业与工程, 2003(4): 248—251.  
Zhai Yanping, Shen Meiqing, Wang Jun, et al. The progress on study of phosphine fumigant gas[J]. Chemical Industry and Engineering, 2003(4): 248—251. (in Chinese with English abstract)
- [11] 罗来凌, 麦焕明, 吴敬荣, 等. 敌敌畏对小包装大米缓释熏蒸的研究[J]. 粮食储藏, 1996, 25(6): 9—12.  
Luo Lailing, Mai Huanmin, Wu Jingrong, et al. Research of slow-releasing fumigation of ddvp in small-package rice[J]. Grain Storage, 1996, 25(6): 9—12. (in Chinese with English abstract)
- [12] 李湘, 郭东权, 陈云堂, 等. 电子束辐照对大米营养和蒸煮品质的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 251—257.  
Li Xiang, Guo Dongquan, Chen Yuntang, et al. Effect of electron beam irradiation on nutritive and cooking qualities of rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(15): 251—257. (in Chinese with English abstract)
- [13] Bao J, Shu Q, Xia Y, et al. Effects of gamma irradiation on aspects of milled rice (*Oryza sativa*) end-use quality[J]. Journal of Food Quality, 2001, 24(4): 327—336.
- [14] 付立新, 孟丽芬, 许德春, 等. 绿色食品辐照保鲜技术研究[J]. 吉林农业大学学报, 2010, 32(6): 697—700.  
Fu Lixin, Meng Lifen, Xu Dechun, et al. Study on irradiation preservation technology of green food[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2010, 32(6): 697—700. (in Chinese with English abstract)
- [15] 霍雨霞. 大米气调储藏与脂类变化研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2010.  
Huo Yuxia. Studies on Controlled Atmosphere Storage and Changes of Lipids of Rice[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [16] 孙海峰, 王丽霞, 王玉文, 等. 小米陈化过程中脂肪氧合酶与黄色素变化特征的研究[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(6): 93—97.  
Sun Haifeng, Wang Lixia, Wang Yuwen, et al. Change of lipoxigenase and yellow pigments during aging of millets[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2008, 23(6): 93—97. (in Chinese with English abstract)
- [17] 杨延兵, 管延安, 秦岭, 等. 不同地区谷子小米黄色素含量与外观品质研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(1): 14—19.  
Yang Yanbing, Guan Yan'an, Qin Ling, et al. The studies on yellow pigment content and appearance quality of millet from different regions[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(1): 14—19. (in Chinese with English abstract)
- [18] 董力. 不同贮藏方式对小米品质影响的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016.  
Dong Li. Research of The Effects of Different Storage Methods on Millet Quality[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2016. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王若兰, 白栋强. 脂肪氧合酶缺失稻谷新品种储藏品质研究[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(4): 115—121.  
Wang Ruolan, Bai Dongqiang. Study on the storage performance of new rice varieties lacking lipoxigenase[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2005, 20(4): 115—121. (in Chinese with English abstract)
- [20] 杨作梅, 孙静鑫, 郭玉明. 不同含水率对谷子籽粒压缩学性质与摩擦特性的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(23): 253—260.  
Yang Zuomei, Sun Jingxin, Guo Yuming. Effect of moisture content on compression mechanical properties and frictional characteristics of millet grain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(23): 253—260. (in Chinese with English abstract)
- [21] 周显青, 赵希雷, 张玉荣, 等. 谷物水分检测技术现状与展望[J]. 粮食加工, 2015, 40(4): 29—34.  
Zhou Xianqing, Zhao Xilei, Zhang Yurong, et al. Present situation and expectation on moisture inspection technique of cereal[J]. Grain Processing, 2015, 40(4): 29—34. (in Chinese with English abstract)
- [22] 李闯. 包装材料对大米小米贮藏期间品质变化影响的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2017.  
Li Chuang. Effects of Packaging Materials on the Quality of Rice and Millet During Storage[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [23] 孙远明. 食品营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2010.
- [24] 张玉荣, 刘敬婉, 周显青, 等. CO<sub>2</sub>气调解除后大米蒸煮特性、质构特性及食味品质的变化研究[J]. 粮食与饲料工业, 2015(9): 12—16.  
Zhang Yurong, Liu Jingwan, Zhou Xianqing, et al. Changes of texture, cooking and eating quality of rice after the release of CO<sub>2</sub> controlled atmosphere[J]. Cereal & Feed Industry, 2015(9): 12—16.
- [25] 林婉玲, 丁莫, 王锦旭, 等. 包装方式和材料对调理脆肉鲩鱼片冷藏过程品质的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(2): 284—291.  
Lin Wanling, Ding Mo, Wang Jinxu, et al. Effects of packaging methods and materials on quality of prepared crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) fillets during cold storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(2): 284—291. (in Chinese with English abstract)
- [26] 陶菲, 郜海燕, 陈杭君, 等. 不同包装对山核桃脂肪氧化的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 303—305.  
Tao Fei, Gao Haiyan, Chen Hangjun, et al. Effect of different types of packaging on lipid oxidation of walnut (*Carya cathayensis* Sarg.) during storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(9): 303—305. (in Chinese with English abstract)

## Effect of vacuum packaging at room temperature on maintaining storage quality of millet

Shi Jianchun, Li Zhigang, Wang Yu\*, Chen Zhenjia, Gao Junyu, Liu Yaqi, Bai Xuting

(College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

**Abstract:** Millet is the product of the husk removal of Foxtail Millet, one of the oldest crops in the world, which originated in the Yellow River basin, and now widely planted in the northern region of China. Millet serves as a kind of common coarse cereals, and natural health-care product, which can be used both as food and medicine, attracting a large amount of consumers. However, the storage of millet become challenge because the millet easy to change without the protection of shell. In the storage process, the millet can be disturbed by many parameters, including temperature, humidity, oxygen and microorganism, to deteriorate product quality, such as aging, fever, mildew, insect damage, etc. Therefore, it is necessary to explore the effective methods for the millet storage and preservation, in order to ensure the stability of millet quality and food security. This study aims to investigate some effects of vacuum packaging on the storage quality of the millet. In this experiment, Jingu 42 millet was used as the test material. The test millet was packed in 0.08mm thick polyamide composite polyethylene bags, each containing 400g. Samples were randomly divided into three groups. The first group of millet was sealed with vacuum (absolute vacuum is 0.01MPa) for storage. The second group of millet was conventional closed storage. The third group of millet was conventional storage as the control condition. All samples were stored at room temperature. Taking a bag of millet every 30 days to measure the relevant indicators, such as the crude fat, free fatty acid, lipoxygenase (LOX) activity, water content, yellow pigment, color difference and texture, 5 times in total (150 days). The results showed that compared with the conventional storage, the vacuum packaging storage can effectively inhibit lipoxygenase activity ( $P < 0.05$ ), delay the oxidative decomposition of millet lipid ( $P < 0.05$ ), reduce the levels of the free fatty acids in millet ( $P < 0.05$ ), better maintain millet moisture ( $P < 0.05$ ), reduce millet yellow pigment loss ( $P < 0.05$ ), better keep the brightness ( $P < 0.05$ ), beige ( $P < 0.05$ ), elasticity ( $P < 0.05$ ) and adhesion ( $P < 0.05$ ), of the millet. Isolation of air and reduction of oxygen during storage can effectively delay the aging of millet, and maintain the taste of millet. At room temperature, the storage effect of millet is better than before in the 0.08 mm thick polyamide composite polyethylene bag under conventional closed storage, but not as good as the vacuum packaging. The storage effect of the conventional storage was the worst. The reason for this phenomenon can be related to the oxygen content in the storage environment under different packaging methods. The quality of millet was easily deteriorated by the conventional packaging storage, because the millet was in full contact with the air, if the storage environment was rich in oxygen. The oxygen content in the environment was relatively fixed under the condition of conventional closed storage, while with the consumption of millet itself, the oxygen content was less and less, which can inhibit the oxidation of millet lipid to a certain extent ( $P < 0.05$ ), slow down the loss of yellow pigment, and delay the aging of millet. Under the vacuum packing mode, most of the oxygen in the storage environment was pumped out to the outside, and the oxygen content in the storage environment was greatly reduced, which effectively insulated the contact between millet and oxygen, so the vacuum packing effectively delayed the quality deterioration of millet. The storage of millet in vacuum packaging at room temperature can keep good storage quality. The results of this study have a promising practical significance for guiding the storage of millet and improving millet quality. This finding can also provide a theoretical basis for the promotion and application of vacuum storage technology in grain production.

**Keywords:** storage; quality control; packaging; millet; vacuum; texture