

氧气含量与光照对薏仁米储藏中脂肪氧化的影响

吴煜樟, 卢红梅, 陈莉, 杨凤仪, 牟灿灿, 栾琳琳

(贵州省发酵工程与生物制药重点实验室, 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州贵阳 550025)

摘要: 探讨不同氧气含量和光照条件下薏仁米贮藏过程中水分含量、脂肪酸值、过氧化值、丙二醛、脂肪酶活动度及电导率等指标的变化对薏仁米脂肪氧化的影响。结果表明: 脂肪酸值、过氧化值、丙二醛、电导率能灵敏体现薏仁米不同储藏时间、氧气含量和光照条件下的脂肪氧化。随着储藏时间的延长, 到 180 d 时, 虽然氧气含量低或未检出, 脂肪酸值、过氧化值、丙二醛、电导率与初始值比增加了 113.6%、103.62%、6.32% 和 18.91%, 在一定的氧气含量下, 各指标比氧气含量低或未检出样增加了 14.86%、52.34%、52.92% 和 24.07%; 在避光下, 薏仁米储藏 180 d 时脂肪酸值、过氧化值、丙二醛和电导率分别增加了 84.85%、132.33%、31.34% 和 12.95%; 受光照条件的影响, 这四项指标比避光下分别增加了 28.24%、38.72%、27.53% 和 5.09%。氧气含量低或未检出及避光下不能避免薏仁米储藏的脂肪氧化, 氧气含量与光照强度加速薏仁米储藏中的脂肪氧化, 在放脱氧剂的条件下, 抽真空、充 CO₂ 或 N₂ 和避光能减缓薏仁米中脂肪氧化的速度。

关键词: 薏仁米; 氧气; 光照; 脂肪氧化

文章编号: 1673-9078(2019)05-109-116

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.5.016

Effect of Oxygen Content and Light on Fat Oxidation during Storage of *Coix* Seeds

WU Yu-zhang, LU Hong-mei, CHEN Li, YANG Feng-yi, MOU Can-can, LUAN Lin-lin

(Key Lab of Fermentation Engineering and Biological Pharmacy of Guizhou Province, School of Liquor-making and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: The effects of changes in water content, fatty acid value, peroxide value, malondialdehyde content, lipase activity and electrical conductivity during the storage of *coix* seeds under different oxygen and light conditions, on the fat oxidation of *coix* seeds were investigated. The results showed that the fatty acid value, peroxide value, malondialdehyde content and electrical conductivity can reflect sensitively the fat oxidation of *coix* seeds under different storage times, oxygen contents and light conditions. With the storage time extending to 180 days, the fatty acid value, peroxide value, malondialdehyde content, electrical conductivity increased by 113.6%, 103.62%, 6.32% and 18.91, respectively, compared with the initial values, even though the oxygen content was low or not detected. At a certain level of oxygen, the indicators were 14.86%, 52.34%, 52.92% and 24.07% higher than those when the oxygen content was low or undetected; During storage of *coix* seeds in the dark for 180 days, the fatty acid value, peroxide value, malondialdehyde content and electrical conductivity increased by 84.85%, 132.33%, 31.34% and 12.95%, respectively. Under the influence of light conditions, these four indicators increased by 28.24%, 38.72%, 27.53% and 5.09 respectively. At a low or undetected level of oxygen, oxidation of fat could not be avoided during storage of *coix* seeds. The presence of oxygen and light accelerated the oxidation of fat during storage of *coix* seeds. In the presence of a deoxidizer, vacuum, CO₂ or N₂ and keeping out of light could slow down the rate of fat oxidation in *coix* seeds.

Key words: *Coix* seed; oxygen; illumination; fat oxidation

薏苡 (*Coix lacryma-jobi* L. var. *ma-yuen* Stapf) 为禾本科薏苡属或草本植物, 其种子去除外壳和种皮入药, 为薏仁 (*Semen coicis*), 又名薏仁米、薏米、薏

收稿日期: 2018-12-10

基金项目: 贵州省科技计划(重大专项)(黔科合重大专项字[2014]6023)

作者简介: 吴煜樟(1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全

通讯作者: 卢红梅(1967-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 酿酒工程、发酵

工程、酶工程、食品生物技术

珠子等^[1], 薏米营养价值丰富且具有药理作用^[2]。其中, 薏仁米富含不饱和脂肪酸, 具有抗肿瘤^[3]、抑制癌症^[4]和降血压^[5]等功效。研究表明, 薏仁米是华夏民族最早开发利用的禾本科植物之一, 约有 6000 多年的栽培历史^[6]。

近年来, 随着市场薏仁米需求量逐渐上升, 产量也大幅升高, 薏仁米的储藏成为急需解决的问题。薏仁米中含有较多不饱和脂肪酸, 含量高达 80.72%^[7],

不饱和脂肪酸易受光照、氧气、温度、水分等因素的影响发生油脂氧化,分解成游离的脂肪酸,进一步生成氢过氧化物,并降解成为醛、酮等混合物,从而使薏仁米产生哈败味,严重影响其质量及食用安全^[8]。穆同娜^[9]等研究得出,在室温未经任何直接光照、未加任何催化剂等条件下,不饱和脂肪酸易与空气中的氧发生完全自发的氧化反应。油脂氧化是一个动态平衡的过程,经历了链引发-链传播-链终止三大阶段的连锁反应,这种自发的氧化一旦开始,直到氧气消耗殆尽或自由基结合产生稳定的化合物为止^[10]。孙丽琴^[11]等研究得出光照能使氧分子活化并导致油脂中游离基生成增多,从而加快薏仁米油脂自动氧化、酸败。可见,氧气和光照可作为薏仁米储藏过程中影响脂肪氧化的重要因素。杨凤仪^[12]等研究发现脂肪酸值和过氧化值是衡量薏仁米质量下降的重要指标。此外,食品中脂肪氧化中丙二醛为主要次生产物^[13]。周显青等^[14]研究发现电导率能够反映籼稻在新鲜程度上存在的差异。因此,以脂肪酸值、过氧化值、脂肪酶活性、丙二醛、电导率作为衡量指标,探究贮藏过程中不同氧气含量和光照条件对薏仁米脂肪氧化的影响,旨在找到薏仁米储藏中最佳氧气含量和光照储藏方式,为进一步探讨薏仁米的脂肪氧化机理奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

薏仁米由贵州兴诚华英食品有限公司提供,在-18℃下真空袋中已储藏半年的兴仁县产纯种小薏仁米。真空袋:厚度结构为PA15/PE65,大小15×20 cm,水蒸气透过率1.5 g/(m²·24 h),氧气透过率80 cm³/(m²·24 h·0.1 MPa),真空度为0.09 MPa。

三氯甲烷、磷酸氢二钠,天津市科密欧化学试剂有限公司;硫代巴比妥酸,重庆茂业化学试剂有限公司;三氯乙酸,天津市瑞金特化学品有限公司;磷酸二氢钾,成都金山化学试剂有限公司;100型铁系脱氧剂,莒南县志达包装有限公司。以上均为分析纯。透明真空袋、镀铝箔阴阳袋、纯铝箔袋等河北沧州众信塑业有限公司。

1.2 仪器与设备

80-2 电动离心机,HH-b 型数显恒温水浴锅,常州奥华仪器有限公司;101-1 电热干燥箱,北京科伟永兴仪器有限公司;722S 可见分光光度计、FA2004N 精密电子天平,上海菁海仪器有限公司;SPX-250 型生化培养箱,上海悦丰仪器仪表有限公司;HGA-02

顶空气体测定仪,济南兰光机电技术有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 设置不同氧气含量

称取90±1 g 相同质量密封样品的薏仁米,通过有无脱氧剂,抽真空与否、充CO₂或N₂等方式研究薏仁米储藏中氧气对其脂肪氧化的影响。设置8个处理组,分别为不放脱氧剂、热封(不放、封);放脱氧剂、热封(放、封);不放脱氧剂、抽真空(不放、抽);放脱氧剂、抽真空(放、抽);不放脱氧剂、充CO₂(不放、CO₂);放脱氧剂、充CO₂(放、CO₂);不放脱氧剂、充N₂(不放、N₂)和放脱氧剂、充N₂(放、N₂),均用真空袋包装,充气时间均为8 s。将样品放置25℃下储藏,每隔30 d测定其水分含量、脂肪酸值、过氧化值、丙二醛、脂肪酶活动度和电导率,共观测180 d。

1.3.2 设置不同光照条件

称取90±1 g 相同质量的薏仁米进行真空包装,设置3个处理组,分别为光照,半透及避光。光照处理即将包装好的样品于透明真空袋中,放置在25℃的培养箱(光源为日光灯,光照强度为1500 Lux)上层;半透处理是将包装好的样品置于镀铝箔阴阳袋内,同样竖立放置在培养箱上层;避光是将包装好的样品置于纯铝箔袋内,以达到避光的效果。将处理好的样品放置在25℃下储藏,每隔30 d测定其水分含量、脂肪酸值、过氧化值、丙二醛、脂肪酶活动度和电导率,共观测180 d。

1.3.3 测定方法

1.3.3.1 水分含量

参照《GB/T 5497-1985》^[15],采用直接干燥法进行测定。

1.3.3.2 脂肪酸值

参照《GB/T 5510-2011》^[16],采用滴定法测定。

1.3.3.3 过氧化值

参照《GB/T 5009.37-2003》^[17],采用比色法测定。

1.3.3.4 丙二醛

采用比色法测定丙二醛含量^[18,19]。

1.3.3.5 脂肪酶活动度

参照《GB/T 5523-2008》^[20]粮油检验粮食、油料的脂肪酶活动度的测定对薏仁米中脂肪酶活动度进行测定。

1.3.3.6 电导率的测定

选取大小均匀、籽粒饱满且无损伤的薏仁米25粒,平行3次,每组平行样品的重量相差小于0.1 g;用蒸馏水冲洗3次,然后将待测样品放入装有50 mL

蒸馏水的烧杯中；在 30 °C 下恒温水浴 12 h，用数字电导率仪测定电导率^[21]。

1.3.3.7 氧气残留量

抽取已知含量的标准气体对顶空气体测定仪进行调试并记录实验温湿度，将测试包装样品浸入装有水的玻璃水缸中并保证不浮出水面，用胶塞封堵住漏斗的漏斗倒置浸入水中，保证放置于包装的上方，同时漏斗不浮出水面。水下剪开包装封口，把包装内气体通过开口赶进倒置的漏斗中。将仪器穿刺针通过漏斗封口处的胶塞穿刺浸入漏斗内，点击仪器“试验”按键，仪器开始自动抽取气体进行分析。

1.3.3.8 数据分析方法

采用 Origin 8.6、Excel、SPSS 17.0 等软件进行实

验数据处理，每个样品重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 不同氧气含量对薏仁米脂肪氧化的影响

为探讨氧气含量对薏仁米脂肪氧化的影响，测量了实验设置 8 个处理的氧气含量。结果如表 1 所示，不同处理样品中氧气含量差异显著，不放脱氧剂、热封（不放、封）和不放脱氧剂、抽真空（不放、抽）处理的氧气含量明显高于放脱氧剂的样品，充 CO₂ 或 N₂ 能有效降低氧气含量，最理想的是在有脱氧剂的前提下抽真空、充 CO₂ 或 N₂。

表 1 不同处理条件下氧气含量的测定结果

Table 1 The results of oxygen contents in different treatments

项目	不放、封	放、封	不放、抽	放、抽	不放、CO ₂	放、CO ₂	不放、N ₂	放、N ₂
O ₂ /%	18.8	2.97	14	ND	1.3	ND	0.04	ND

注：ND 表示未检出。

2.1.1 不同氧气含量下水分含量的变化

从图 1 看出，在 180 d 内，从不同处理样品中来看，各处理组均呈波动下降趋势，放脱氧剂的水分含量变化率明显低于不放脱氧剂。充 CO₂ 和充 N₂ 变化趋势相同；抽真空和密封变化趋势相同。180 d 时，放、封和不放、N₂ 差异显著且分别降低了 3.77% 和 13.34%，不放、CO₂；放、CO₂；放、N₂；不放、抽；放、抽；不放、封组的水分含量分别降低了 5.85%、7.14%、7.64%、11.07%、7.27% 和 9.45%。原因可能是由于随着储藏时间的延长，薏仁米自身生命活动消耗和一系列生理生化反应所致^[12]。因此，较其他处理组而言，充 CO₂ 能有效延缓水分含量的下降。

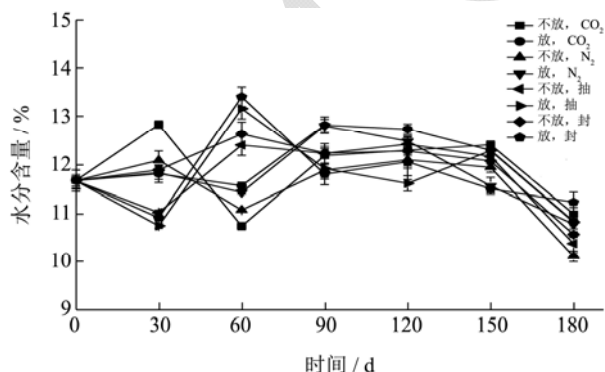


图 1 不同氧气含量下水分含量的变化

Fig.1 Moisture content changes in different oxygen content

2.1.2 不同氧气含量下脂肪酸值的变化

由图 2 可知，180 d 的贮藏过程中，不同条件下的各处理组呈上升趋势且一致性较好。180 d 时，脂肪酸值由 61.68 mg/100 g 增加至 131.74 mg/100 g（最

低值）和 151.32 mg/100 g（最高值）。由表 2 可知，放、抽和放、CO₂ 处理组的脂肪酸值均显著低于其他处理组 ($p>0.05$)；不放、封和放、封处理组的脂肪酸值上升速率均显著高于其他处理组 ($p<0.05$)。由此可见，随着储藏时间的不同，除放、封和不放、封外，其余各处理在 0~90 d 内脂肪酸值上升速率缓慢，90 d 后，随着储藏时间的延长和陈化程度的加深，脂肪酸值的变化速率增大。放、封和不放、封在 0~90 d 内与氧气含量有良好的对应关系，而不放、抽与氧气含量对应关系不显著。90 d 后，各处理组易受氧气含量的影响而发生氧化，在脂肪酶的作用下生成脂肪酸和甘油等，从而使脂肪酸值升高^[22]。对各处理组间的差异性可得出，放脱氧剂和不放脱氧剂间存在显著差异，充 CO₂ 比充 N₂ 更有利于抑制脂肪的氧化。其中，放、抽和放、CO₂ 的效果最好。

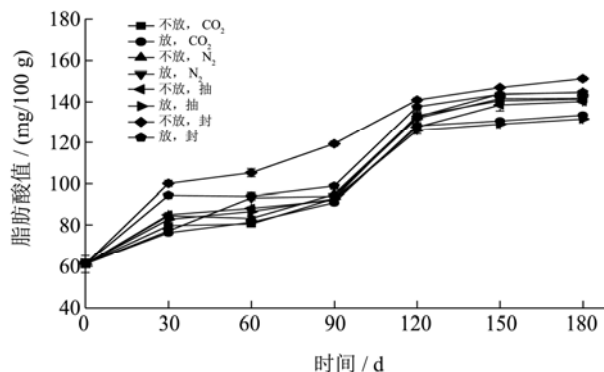


图 2 不同氧气含量下脂肪酸值的变化

Fig.2 Fatty acid value changes in different oxygen content

2.1.3 不同氧气含量下过氧化值的变化

过氧化值是油脂中不饱和脂肪酸被氧化生成过氧化物多少的具体体现,过氧化物继续分解可产生的醛、酮、酸等小分子使油脂产生哈喇味^[23]。由图3可知,在整个储藏的过程中,随着时间的延长各处理组的过氧化值呈波动上升趋势。180 d时,过氧化值由4.05 meq/kg 增加至 8.25 meq/kg (最低值)和 12.56 meq/kg (最高值);放、封和不放、封的过氧化值氧气含量越高,其增幅越大,说明与氧气含量有良好的对应关系;由表2可知,放、CO₂和放、抽组的过氧化值显著低于其他处理组且它们之间差异不显著 ($p>0.05$)。说明降低薏仁米储藏中的氧气含量,可抑制其过氧化值的升高,从而延缓薏仁米的脂肪氧化。在实验的各个处理中,放、CO₂和放、抽实验组的效果最好,其中充CO₂的效果优于充N₂。

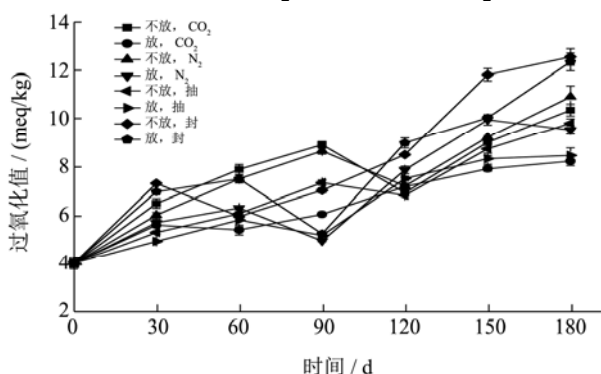


图3 不同氧气含量下过氧化值的变化

Fig.3 Peroxide value changes in different oxygen content

2.1.4 不同氧气含量下脂肪酶活动度的变化

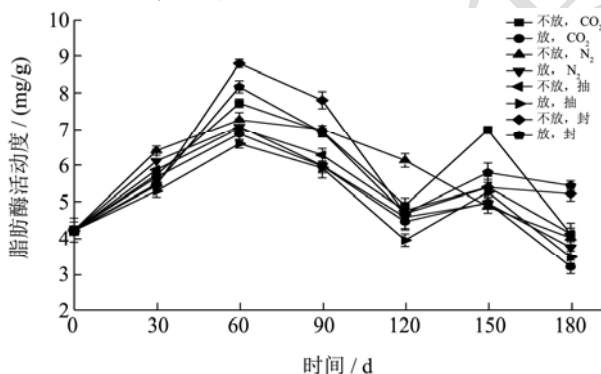


图4 不同氧气含量下脂肪酶活动度的变化

Fig.4 Lipase activity changes in different oxygen content

脂肪酶作为脂肪水解代谢中第一个参与反应的酶,对脂肪的转化速率起重要的调控作用,是稻谷储藏过程中脂肪酸败变质的主要原因之一^[24]。由图4可知,在180 d内,除了放、封和不放、封组的脂肪酶活性呈波动上升趋势以外,其余各组均呈波动下降趋势。60 d时,不放、封的脂肪酶活动度上升至8.81 mg/g且为最大值,180 d时,放、封和不放、封组的脂肪酶活动度分别增加了24.03%和29.25%,其酶活在180 d

时显著高于其他处理组,说明其处理组与氧气有良好的对应关系;而放、CO₂,放、N₂和放、抽组脂肪酶活动度分别降低了23.79%、10.92%、17.38%。原因可能是随着储藏时间的延长,薏仁米中水分含量和脂肪酶与氧气接触时间的增长,脂肪酶的氧化消耗会导致脂肪酶活性的降低^[25]。实验表明:充N₂储藏比充CO₂更有利于维持薏仁米脂肪酶活性的稳定,其中放入脱氧剂的效果优于未放入脱氧剂。在180 d内,放、CO₂,放、N₂和放、抽组的酶活性较低,说明此条件下储藏效果较好。

2.1.5 不同氧气含量下丙二醛含量的变化

薏仁米中的脂类物质在储藏期间会水解生成游离脂肪酸,在脂肪氧化酶的作用下氧化为脂肪氢过氧化物,然后进一步分解为醛、酮等小分子产物,此过程为膜脂过氧化,其主要产物为丙二醛^[26]。由图5可知,在整个储藏的过程中,各处理间变化的差异较大。各处理组随储藏时间的延长呈波动上升的趋势。同样条件下未放入脱氧剂的实验组丙二醛含量高于放入脱氧剂的处理组。180 d时,丙二醛由0.32 μmol/L 增加至 0.342 μmol/L (最低值)和 0.52 μmol/L (最高值);放脱氧剂样品的丙二醛含量增加都在20%以上,而不放脱氧剂样品的丙二醛含量增加都在20%以下,其中丙二醛含量增加的最大值(62.59%)约为最低值(6.32%)的10倍。说明氧气对丙二醛含量的升高有促进作用,其中不放、封;不放、抽;放、CO₂和放、抽与氧气含量有良好的对应关系。实验表明:放、CO₂和放、抽处理能最大程度的排除氧气对于脂肪自动氧化的影响,有利于将薏仁米的丙二醛含量维持稳定且较低的水平,在各处理组间效果最好。

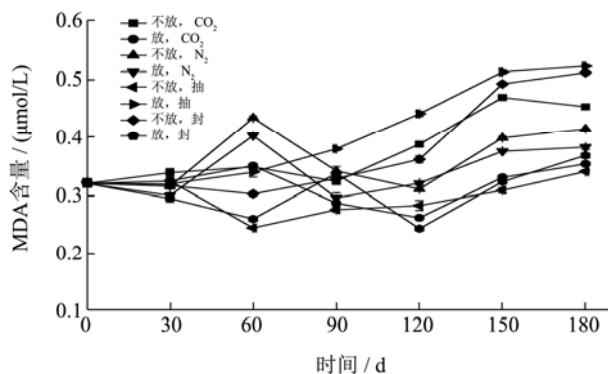


图5 不同含氧量下MDA含量的变化

Fig.5 MDA content changes in different oxygen content

2.1.6 不同氧气含量下电导率的变化

电导率对储藏质量有显著影响,在新鲜程度上存在差异^[14]。由图6可知,经过180 d的储藏,随着储藏时间的延长,不同含氧量下的薏仁米电导率均呈上升趋势。180 d时,薏仁米的电导率由60.8 μs/(cm g)

增加至 72.3 $\mu\text{s}/(\text{cm g})$ (最低值) 和 89.7 $\mu\text{s}/(\text{cm g})$ (最高值)。由表 2 可知, 放入脱氧剂的实验组电导率显著低于其他组 ($p < 0.05$), 在 180 d 时, 不放、封与其他处理组差异显著, 但是不放、 N_2 和放入脱氧剂的实验组的电导率无显著差异 ($p > 0.05$)。原因可能是随着储藏时间的延长, 薏仁米细胞膜透性逐渐地增大, 其膜脂中的不饱和脂肪酸受到活性氧自由基的攻击而启动膜脂质过氧化反应, 使原来膜上排列整齐的磷脂分子变得疏松且不整齐^[27]。这些变化导致细胞膜流动性和完整性的丧失, 从而使细胞膜内大量电解质发生渗漏。因此, 放入脱氧剂和充 N_2 能明显延缓薏仁米在储藏过程中膜脂氧化的速度, 从而延缓电导率上升的速率。

表 2 不同处理条件下 180 d 部分指标显著性分析

Table 2 Significant analysis of 180 d partial indicators under different treatment conditions

处理组	放、抽	放、 CO_2	不放、抽	不放、 CO_2	放、 N_2	不放、 N_2	放、封	不放、封
脂肪酸值	131.74±0.37 ^a	133.58±0.81 ^b	140.30±0.62 ^c	141.37±0.99 ^d	141.83±2.06 ^d	144.69±0.17 ^e	144.75±1.10 ^e	151.32±1.11 ^f
过氧化值	8.48±0.31 ^a	8.25±0.18 ^a	9.82±0.19 ^{bc}	10.37±0.24 ^{cd}	9.55±0.17 ^b	10.92±0.45 ^d	12.36±0.36 ^e	12.56±0.33 ^e
电导率	72.30±2.90 ^a	74.20±1.80 ^b	76.30±2.00 ^c	81.20±2.30 ^d	74.20±3.10 ^b	73.80±1.80 ^b	74.00±1.20 ^b	89.70±2.30 ^e

2.2 光照对薏仁米脂肪氧化的影响

2.2.1 不同光照条件下水分含量的变化

由图 7 可知, 在整个储藏过程中, 各处理组呈波动下降趋势。180 d 时, 光照、半透、避光分别比初始值降低了 8.18%、6.46%、6.37%。0~60 d 内, 各处理组变化幅度均较小; 在 60~180 d 内, 光照处理下的水分含量波动较大, 避光处理组次之, 半透处理组较光照及避光处理组变化幅度较小。在 180 d 时, 各水分含量差异不显著, 大致为 10.91% 左右。原因可能是由于光照引起温度上升, 使薏仁米内部自由水分而向外迁移, 之后内部调节达到相对平衡的状态, 而普遍出现的水分活度值轻微浮动的现象^[28]。因此, 各处理组对薏仁米储藏过程中水分含量的变化影响差异不大。

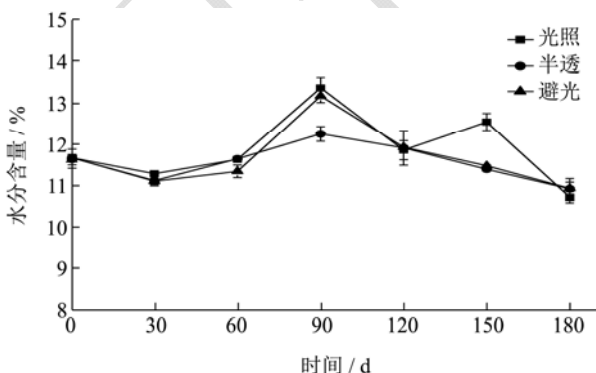


图 7 不同光照条件下水分含量的变化

Fig.7 Moisture content changes in different lighting conditions

2.2.2 不同光照条件下脂肪酸值的变化

由图 8 可知, 不同光照条件下的脂肪酸值均随储

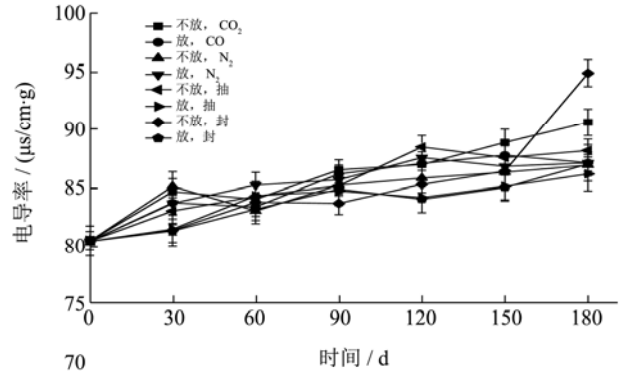


图 6 不同氧气含量下电导率的变化

Fig.6 Electric conductivity changes in different oxygen content

藏时间的延长呈上升趋势, 接触的光照面积越大, 脂肪酸值的变化速率越大。180 d 时, 脂肪酸值由 61.61 mg/100 g 增加至 113.88 mg/100 g (最低值) 和 146.05 mg/100 g (最高值)。由此可见, 光照能显著加快薏仁米中脂肪水解和氧化的速度, 使脂肪酸值加速增长。而避光下, 能有效抑制薏仁米在储藏过程中脂肪酸的产生。因此, 薏仁米应尽量避光储藏。

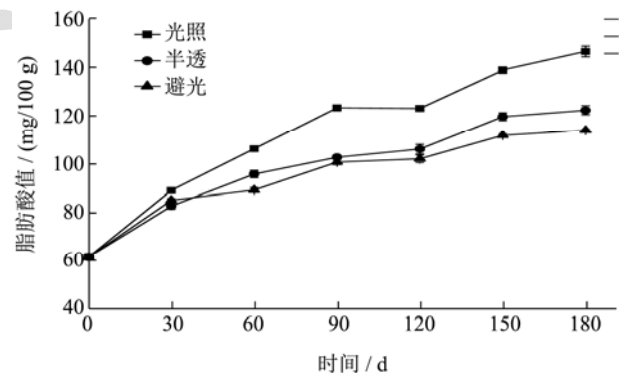


图 8 不同光照条件下脂肪酸值的变化

Fig.8 Fatty acid value changes in different lighting conditions

2.2.3 不同光照条件下过氧化值的变化

由图 9 可知, 180 d 内, 随着储藏时间的延长, 不同光照条件下薏仁米的过氧化值均呈波动上升之势, 光照强度越大, 上升幅度越大。其中, 光照组过氧化值的上升速率显著高于半透和避光组, 原因是由于日光中所含的紫外光具有较高的能量, 有利于氧的活化。同时, 光照能引起光氧化反应, 从而共同促使了薏仁米中油脂的氧化酸败, 使过氧化值升高。较半透和光照组而言, 避光组过氧化值在储藏的各个时期均处于

最小值。180 d 时,过氧化值由 4.05 meq/kg 增加至 9.41 meq/kg (最低值) 和 13.05 meq/kg (最高值)。因此,避光有利于延缓过氧化值上升的速率且储藏效果最好。

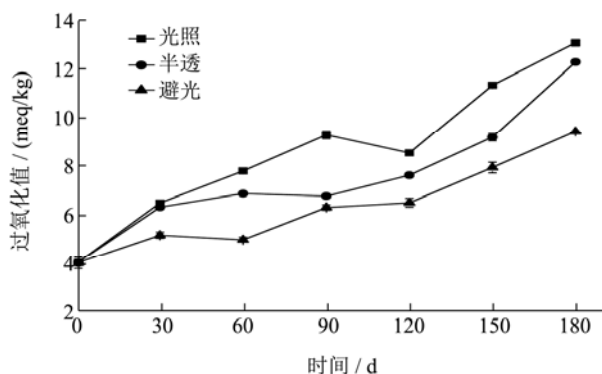


图9 不同光照条件下过氧化值的变化

Fig.9 Peroxide value changes in different lighting conditions

2.2.4 不同光照条件下丙二醛的变化

由图 10 可知,在 180 d 内,各处理组随储藏时间的延长呈波动上升之势。180 d 时,丙二醛由 0.32 $\mu\text{mol/L}$ 增加至 0.42 $\mu\text{mol/L}$ (最低值) 和 0.54 $\mu\text{mol/L}$ (最高值)。由此可见,光照能加速薏仁米中脂质的过氧化反应,过氧化物作为脂类自动氧化的主要初期产物,它经过许多复杂的分裂和相互作用,导致产生丙二醛的生成,从而使丙二醛含量升高^[29]。因此,避光能抑制丙二醛的生成,使其含量维持在较低的水平。

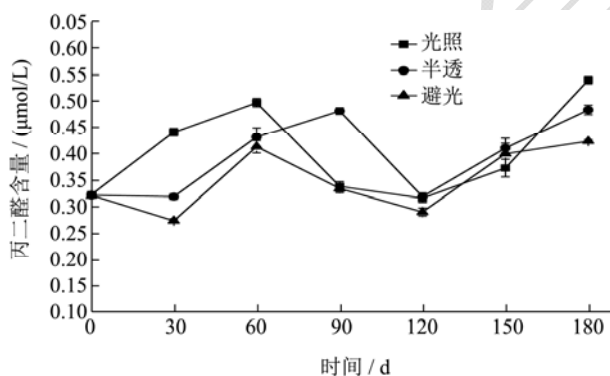


图 10 不同光照条件下丙二醛的变化

Fig.10 Malondialdehyde content changes in different lighting conditions

2.2.5 不同光照条件下脂肪酶活动度的变化

由图 11 可知,在 180 d 内,不同处理组的脂肪酶活动度均随着储藏时间的延长呈先升后降之势。光照面积越大,脂肪酶活力也越高。脂肪酶活动度受光照影响较大,光照组的脂肪酶活动度在 0~30 d 内迅速由初始值 4.82 mg/g 上升至 8.11 mg/g,增幅达 68.17%。半透和避光组均在 60 d 时达到各自酶活的最大值,同光照组相比,均延缓了 30 d 到达最

大值的时间,随后脂肪酶活动度均逐渐降低。在整个储藏期间,较光照和半透组而言,避光组始终处于最小值。因此,避光储藏有利于抑制薏仁米中脂肪酶的活力,从而减少脂肪的水解。

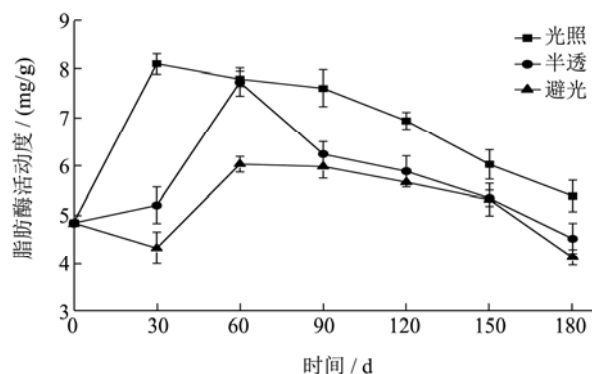


图 11 不同光照条件下脂肪酶活动度的变化

Fig.11 Lipase activity changes in different lighting conditions

2.2.6 不同光照条件下电导率的变化

由图 12 可知,在 180 d 内,各处理组的电导率均随储藏时间的延长而呈上升趋势。180 d 时,薏仁米的电导率由 70.55 $\mu\text{S/cm/g}$ 增加至 79.68 $\mu\text{S/cm/g}$ (最低值) 和 83.74 $\mu\text{S/cm/g}$ (最高值)。由此可见,虽然光照和半透组在整个储藏期间电导率波动较大,但整体变化量不大。较温度和含水量的影响来看,光照对薏仁米在储藏过程中电导率的影响较小。虽然在 0~180 d 的储藏时间内,各处理组变化率较小,但从长期储藏的角度考虑,避光更有利于维持电导率的稳定和延缓电导率的升高。

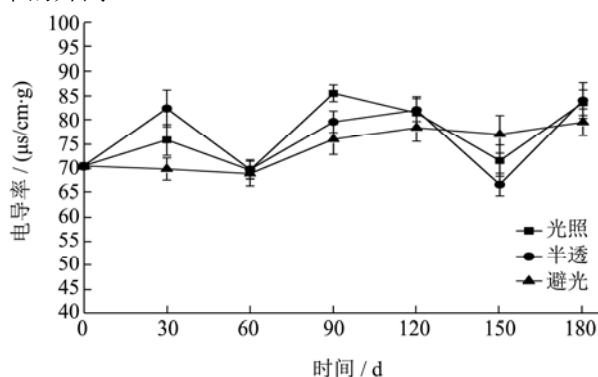


图 12 不同光照条件下电导率的变化

Fig.12 Electric conductivity changes in different lighting conditions

2.3 讨论

氧气和光照对薏仁米脂肪氧化影响显著,但有关氧气和光照对薏仁米脂肪氧化研究鲜有,相关研究报道^[30], N_2 和真空包装能提高大米保鲜品质,但本文在有脱氧剂下,再以密封、抽真空、充 CO_2 或 N_2 探讨薏仁米脂肪氧化的各指标,并使其得以量化,目前

并未见氧气对薏仁米脂肪氧化具体机理的研究报道, 后续有必要进一步对薏仁米储藏过程中脂肪氧化的机理进行探讨。相关学者通过实验^[31,32], 透光率对脂肪氧化效果的影响呈正相关关系, 避光包装材料可有效抑制脂肪氧化变质, 这与图 8~10 光照条件对脂肪氧化变化趋势一致, 但是有关光照度对薏仁米脂肪氧化起作用的阈值或具体范围有待进一步研究。

3 结论

3.1 薏仁米在储藏过程中经过不同处理后, 样品氧气含量差异显著。在不同氧气含量处理条件下储藏 180 d 时, 放入脱氧剂处理组的储藏效果优于未放入脱氧剂, 不放、封, 放、封, 放、抽, 放、CO₂, 放、N₂ 的脂肪酸值、过氧化值、丙二醛和电导率与氧气含量有良好的对应关系。在不同氧气含量处理下, 即使氧气含量很低或未检出, 指标的增加仍不可避免, 经过 180 d 储藏薏仁米的脂肪酸值、过氧化值、丙二醛和电导率与初始值比分别增加了 113.6%、103.62%、6.32% 和 18.91%。在不同氧浓度下的变化值, 由于受氧气含量的影响, 各指标比氧气含量低或未检出样分别增加了 14.86%、52.34%、52.92% 和 24.07%, 说明氧气对薏仁米脂肪氧化影响显著。

3.2 在避光下, 薏仁米储藏 180 d 时脂肪酸值、过氧化值、丙二醛和电导率分别增加了 84.85%、132.33%、31.34% 和 12.95%; 由于受光照强度的影响, 脂肪酸值、过氧化值、丙二醛和电导率比避光分别增加了 28.24%、38.72%、27.53% 和 5.09%。综上所述, 氧气和光照是影响薏仁米脂肪氧化的重要因素, 在放脱氧剂的前提下抽真空、充 CO₂ 或 N₂ 且避光能较好地减缓薏仁米的脂肪氧化。

参考文献

[1] 杨爽, 王李梅, 王姝麒, 等. 薏苡化学成分及其活性综述[J]. 中药材, 2011, 8: 1306-1312
YANG Shuang, WANG Li-mei, WANG Shu-lin, et al. Review of chemical constituents and their activities [J]. Chinese Traditional Medicine, 2011, 8: 1306-1312

[2] Bai C, Peng H, Xiong H, et al. Carboxymethylchitosan-coated proliposomes containing *coix* seed oil: Characterisation, stability and in vitro release evaluation [J]. Food Chemistry, 2011, 129: 1695-1702

[3] Huang D W, Wu C H, Shih C K, et al. Application of the solvent extraction technique to investigation of the anti-inflammatory activity of adlay bran [J]. Food Chem., 2014, 145(2): 445-453

[4] Chung C P, Hsia S M, Lee M Y, et al. Gastroprotective activities of adlay (*Coix lachryma-obi* L. var. ma-yuen Stapf) on the growth of the stomach cancer AGS cell line and indomethacin-induced gastric ulcers [J]. J Agric Food Chem., 2011, 59(11): 6025-6033

[5] Fernandes F, Flick J R, Silva J L, et al. Influence of processing schemes on indicative bacteria and quality of fresh aquacultured catfish fillets [J]. Journal of Food Protection, 1997, 60: 54-62

[6] 吕峰. 我国薏仁米资源主要质量及薏仁米活性多糖的研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2008
LYU Feng. Study on the main quality of barley rice resources and the active polysaccharides of barley rice in China [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2008

[7] 常冬妹, 卢红梅, 陈莉, 等. 兴仁薏仁米营养成分分析与评价 [J]. 食品工业, 2017, 38(6): 303-307
CHANG Dong-mei, LU Hong-mei, CHEN Li, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in Xingren bay rice [J]. Food Industry, 2017, 38(6): 303-307

[8] 王茜茜. 菜籽油储藏稳定性研究 [D]. 南京: 南京财经大学, 2013
WANG Qian-qian. Study on storage stability of rapeseed oil [D]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2013

[9] 穆同娜, 张惠, 景全荣. 油脂的氧化机理及天然抗氧化物的简介 [J]. 食品科学, 2004, S1: 243-246
MU Tong-na, ZHANG Hui, JING Quan-rong. Introduction of oxidation mechanism of oils and fats and natural antioxidants [J]. Food Science, 2004, S1: 243-246

[10] 余少华. 新疆薄皮核桃风味产品的研制及其货架期的研究 [D]. 石河子: 石河子大学, 2009
YU Shao-hua. Research on the development of Xinjiang thin-skinned walnut flavor products and its shelf life [D]. Shihezi: Shihezi University, 2009

[11] 孙丽琴, 杨凤仪, 卢红梅, 等. 不同储藏方式对薏仁米储藏保鲜效果的影响 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(19): 339-344
SUN Li-qin, YANG Feng-yi, LU Hong-mei, et al. Effects of different storage methods on fresh-keeping effect of *coix* seed rice [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(19): 339-344

[12] 杨凤仪, 卢红梅, 陈莉, 等. 不同储藏方式对薏仁米储藏保鲜效果的影响 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(19): 339-344
YANG Feng-yi, LU Hong-mei, CHEN Li, et al. Effects of different storage methods on the storage and preservation effect of *Coix* seed rice [J]. Science and Technology of Food

- Industry, 2016, 37(19): 339-344
- [13] Adams A, Kimpe Nd, Van Boekei Majs. Modification of casein by the lipid oxidation product malondialdehyde [J]. *J Agric. Food Chem.*, 2008, 56(5): 1713-1719
- [14] 周显青,张玉荣. 储藏稻谷质量指标的变化及其差异性[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(12): 238-242
ZHOU Xian-qing, ZHANG Yu-rong. Changes and differences of quality indicators of stored rice [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(12): 238-242
- [15] GB 5497-85, 油料检验水分测定法[S]
GB 5497-85, Oil test moisture measurement method [S]
- [16] GB/T 5510-2011, 粮油检验粮食、油料脂肪酸值测定[S]
GB/T 5510-2011, grain and oil testing of food, oil fatty acid value determination [S]
- [17] GB/T 5009.37-2003, 食用植物精油卫生标准的分析方法[S]
G B/T 5009.37-2003, edible plant oil health standards analysis method [S]
- [18] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2015
CHEN Jian-xun, WANG Xiao-feng. *Experimental Guidance of Plant Physiology* [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2015
- [19] 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999
Shanghai Institute of Plant Physiology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai Society of Plant Physiology, *Modern Plant Physiology Experiment Guide* [M]. Beijing: Science Press, 1999
- [20] GB/T 5523-2008, 粮油检验粮食、油料的脂肪酶活动度的测定[S]
GB/T 5523-2008, Inspection of grains and oils-Determination of lipase activity of grain and oil seeds [S]
- [21] 童茂彬, 李岩, 董晓欢, 等. 不同储藏方式对糙米储藏质量的影响研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2013, 1: 96-102
TONG Mao-bin, LI Yan, DONG Xiao-huan, et al. Study on the effect of different storage methods on the storage quality of brown rice [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2013, 1: 96-102
- [22] 黄文浩, 肖建文, 张浩, 等. 不同储藏方式对南方籼米食味质量的影响[J]. *粮食与饲料工业*, 2016, 12: 10-13
HUANG Wen-hao, XIAO Jian-wen, ZHANG Hao, et al. Effects of different storage methods on the quality of southern glutinous rice [J]. *Cereal & Feed Industry*, 2016, 12: 10-13
- [23] 郑诗超, 陈宗道, 阚健全. 油脂天然抗氧化剂研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2003, 6: 43-46
ZHENG Shi-chao, CHEN Zong-dao, KAN Jian-quan. Research progress on natural antioxidants of oils and fats [J]. *Grain and Oil*, 2003, 6: 43-46
- [24] 张志慧, 张习军, 赵思明. 微波对稻谷储藏过程脂肪酶和脂肪酸的影响[J]. *粮食与饲料工业*, 2010, 5: 13-17
ZHANG Zhi-hui, ZHANG Xi-jun, ZHAO Si-ming. Effect of microwave on lipase and fatty acid in rice storage [J]. *Cereal & Feed Industry*, 2010, 5: 13-17
- [25] 包晓婷. 小麦脂肪氧化酶活性与部分质量性状的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2017
BAO Xiao-ting. Study on the activity of wheat lipoxygenase and some quality traits [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2017
- [26] 伦利芳. 大米低温储藏后在不同环境条件下其质量变化[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013
LUN Li-fang. The quality of rice under different environmental conditions after low temperature storage [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2013
- [27] 周显青, 杨文生, 张玉荣. 模拟典型储粮环境下大米质量指标的变化及其差异性分析[J]. *粮食与饲料工业*, 2009, 5: 1-5
ZHOU Xian-qing, YANG Wen-sheng, ZHANG Yu-rong. Analysis of changes in rice quality indicators and their differences under simulated typical grain storage environment [J]. *Food and Food Industry*, 2009, 5: 1-5
- [28] 申晓曦, 李汴生, 阮征, 等. 水分含量对花生仁储藏过程中的质量影响研究[J]. *现代食品科技*, 2011, 27(5): 495-498, 501
SHEN Xiao-xi, LI Bian-sheng, Ruan Zheng, et al. Study on the effect of water content on the quality of peanut kernels during storage [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2011, 27(5): 495-498, 501
- [29] Scheeder M R L, Casutt M M, Roulin M, et al. Fatty acid composition, cooking loss and texture of beef patties from meat of bulls fed different fats [J]. *Meat Science*, 2001, 58: 321-328
- [30] 翟爱华, 徐炳政, 崔铭育. 不同比例气调包装对贮藏大米品质的单因素影响[J]. *农产品加工*, 2015, 12: 13-16
ZHAI Ai-hua, XU Bing-zheng, CUI Ming-yu. The single factor effect of different proportions of modified atmosphere packaging on the quality of stored rice [J]. *Agricultural Products Processing*, 2015, 12: 13-16

(下转第 22 页)