

不同颜色包装袋对核桃仁脂肪酸氧化的影响

罗淑芬¹, 马雪梅¹, 胡花丽¹, 陶旭², 李鹏霞¹

(1. 江苏省农业科学院农产品加工所, 江苏南京 210014) (2. 南京林业大学南方学院, 江苏南京 210037)

摘要: 探讨不同颜色包装袋对核桃仁脂肪酸氧化的影响。在 35±1 °C, 湿度 85%~95%, 光强 1000 Lux 条件下, 研究了蓝色 (对 500~520 nm 波长光透光率达 65%)、绿色 (对 400~750 nm 波长光透光率低于 48%) 和红色 (对 630 nm 以上波长光透光率高于 70%) 聚乙烯 (polyethylene, PE) 包装袋对核桃仁感官品质、抗氧化酶、脂氧合酶活性及油脂氧化相关指标的影响。结果表明: 与透明包装袋 (CK) 相比, 蓝色和绿色袋可有效保持核桃仁品质, 减缓脂氧合酶活性、酸价、过氧化值和饱和脂肪酸含量升高, 并抑制碘价、不饱和脂肪酸含量和脂肪酸不饱和指数 (index of unsaturated fatty acid, IUFA) 下降, 蓝色袋对保持核桃仁抗氧化酶活性的效果较绿色袋更好; 而红色袋中抗氧化酶活性及贮藏 20 d 和 40 d 时的 IUFA 值低于 CK。因此, 透短波长光的蓝色袋和透光率低的绿色袋有利于减缓核桃仁脂肪酸氧化, 而对长波长光透光率高的红色袋不利于核桃仁贮藏。

关键词: 核桃仁; 脂肪酸; 氧化; 贮藏; 光照

文章编号: 1673-9078(2017)7-205-212

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.030

Effects of Packaging Bags of Different Colors on the Fatty Acid Oxidation in Walnut Kernel

LUO Shu-fen¹, MA Xue-mei¹, HU Hua-li¹, TAO Xu², LI Peng-xia¹

(1. Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

(2. Southern College, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: The effects of packaging bags with different colors on the fatty acid oxidation in walnut kernel were explored in this paper. At the following experimental conditions (temperature: 35±1 °C, relative humidity: 85~95%, and fluorescent light intensity: 1000 Lux), the effects of blue (transmittance of 65% to a light with the wavelength of 500~520 nm), green (transmittance of <48% to a light with the wavelength of 400~750 nm), and red (transmittance of >70% to a light with the wavelength of >630 nm) polyethylene (PE) packaging bags on the sensory quality, activities of antioxidant enzymes and lipoxigenase (LOX), and lipid oxidation related indexes of walnut kernels were studied. The results revealed that compared with the transparent packaging bag (CK), blue and green packaging bags could effectively maintain the sensory qualities of walnut kernel, significantly slow down the increase in the LOX activity, oil acid/peroxide values, and the amounts of saturated fatty acids, while inhibit the decrease in the oil iodine value, the amounts of unsaturated fatty acids, and index of unsaturated fatty acid (IUFA). The blue packaging bag showed a better effect on maintaining the activities of antioxidant enzymes in the walnut kernels than its green counterpart. However, the activities of antioxidant enzymes and IUFA values after 20 and 40 days of storage in the red packaging bag were lower than those of CK. Therefore, the blue packaging bag with short wavelength light transmission and the green packaging bag with low light transmittance were beneficial in alleviating the oxidation of fatty acid in walnut kernels, while the red packaging bag with high transmittance on long-wavelength light was unsuitable for the storage of walnut kernel.

Key words: walnut kernel; fatty acid; oxidation; storage; light

核桃 (*Juglans regia* L.) 为核桃科核桃属植物, 其果仁富含蛋白质、磷脂、维生素、矿物质及人体必需的脂肪酸等营养物质, 被认为是一种优质的健脑食

收稿日期: 2016-12-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31401555)

作者简介: 罗淑芬 (1988-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 果蔬采后生理研究

通讯作者: 李鹏霞 (1976-), 女, 研究员, 研究方向: 果蔬采后生物学

品。核桃仁中含油率可达 60%~70%, 而核桃油中不饱和脂肪酸高达 90%, 具有降低血压, 保护血管, 预防动脉硬化, 抗衰老和抑制机体脂质过氧化反应的作用。但由于核桃油中不饱和脂肪酸含量高, 采后核桃仁极易发生脂肪酸氧化, 从而影响营养价值和商品价值。

影响核桃仁脂肪酸氧化的主要因素有温度、光、氧、湿度以及核桃仁的破碎程度等。例如, 郝利平等^[1]发现核桃的水分含量、贮藏温度对其脂肪酶活性影

响显著,而品种、水分含量、贮藏形态及温度等条件对其酸价具有显著影响。Bakkalbas^[2]等研究了不同包装材料、贮藏条件、品种对核桃仁氧化稳定性的影响,发现,在 30℃下核桃仁的过氧化值和乙醛迅速上升,且与不同包装材料的透氧率相比,贮藏温度和品种对核桃仁氧化稳定性的影响更大,同时还发现 20℃下 PA(Polyamide)/PE(polyethylene)薄膜袋[透氧率 63.4±0.4 mL/(m²·24 h) (23℃)]对抑制核桃仁油脂氧化最有效。此外,多项研究证明,适宜的包装处理,如充氮,低氧包装可有效保持核桃仁品质^[3,4]。

光是影响油脂氧化的重要因素之一,已有研究发现,黑暗条件下贮藏的核桃仁品质较日光灯下好。Jense 等^[5]也发现,在光照条件下,尤其在高温下核桃仁油脂迅速氧化,而在 5℃的黑暗条件下,贮藏 25 周后仍未发现任何氧化迹象。另外,据刘兆洁等^[6]报道,不同光照条件下,核桃油稳定性依次为:避光>紫外光>自然光>日光灯;而 Sattar 等^[7]得出,琥珀色玻璃瓶、黑色 PE 袋及银色 PE 袋包装的核桃仁油脂氧化程度显著低于透明 PE 袋。但迄今,不同颜色塑料袋包装对核桃仁脂肪酸氧化影响的相关报道还较少。

本论文研究了蓝色、绿色和红色包装袋对核桃仁脂肪酸氧化的影响,以期对核桃仁销售及保藏提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本试验中所用核桃,为陕西秦岭野生灯笼核桃,采摘后自然风干(含水量 5.00%±0.10%),运至样品处理实验室。将核桃去壳,取果仁,均匀切分成 1/2 核桃仁,剔除带壳病虫和霉烂果,挑选大小基本一致的果仁作为试验材料。

棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸等试剂为分析标准品,购自美国 sigma 公司;甲硫氨酸、氮蓝四唑和核黄素等为生物试剂,购自上海瑞永生物科技有限公司;其他所用溶剂均为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器与设备

UV-1102 型紫外可见分光光度计,上海天美科学仪器有限公司; testo-540 型照度仪,德图仪器国际贸易(上海)有限公司; A11 basic 型液氮研磨器,艾卡(广州)仪器设备有限公司; seven multi pH 计,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; GZX-250BS-III 型光照培养箱,上海新苗医疗器械制造有限公司; KY-

II 型水浴式氮吹仪,安简(北京)科技有限公司; GC-7820 型气相色谱仪,安捷伦科技(中国)有限公司。

1.3 试验方法

将挑选好的核桃仁随机分组,每组 100 g,装入 30 μm 厚度及透气性相同的蓝色、绿色和红色 PE 包装袋中(这里简称蓝色袋、绿色袋和红色袋),用热封机封口,每种颜色塑料袋包装 15 组,以厚度及透气性相同的无色透明 PE 包装袋(简称透明袋)为对照。包装完成后,置于 35±1℃,相对湿度 85%~95%,全天 24 h 日光灯照射下(光强 1000 Lux)贮藏 40 d。每 10 d 取样一次,每个包装袋随机从样品中抽取三组用于相关指标分析;取样前感官评价。

1.4 指标测定方法

1.4.1 包装袋透光率及最大波长测定

参考李梅等^[8]的方法,剪取不同颜色塑料袋小块(1 cm×4 cm)贴于比色皿上,以空气为参照,在可见区 400~750 nm 波长范围扫描谱图。

1.4.2 感官评价

表 1 核桃仁感官品质评价标准

Table 1 Evaluation standard for the sensory quality of walnut

kernel			
品质等级	气味	种皮及种仁颜色	口感
优(9~10分)	无哈喇味	浅棕色	涩味淡
中等(6~8分)	轻微哈喇味	棕褐色	涩味中等
劣(0~5分)	哈喇味严重	深褐色	涩味重

核桃仁的感官评价参照李大鹏等^[9]的方法,略作修改。基于各组核桃仁无明显霉变虫蛀变化,且各组间无差异,未将霉变虫蛀列入评价范围,重点针对核桃仁在贮藏期间的主要品质变化,如气味、种皮及种仁颜色和口感等,依据表 1 进行评价。对感官评价员按照标准 GB/T 16291.1-2012 进行筛选培训,组成 10 人评定小组,评价地点为江苏省农业科学院农产品加工研究所感官评审室。

1.4.3 超氧化物歧化酶活性(superoxide dismutase, SOD)和过氧化氢酶(catalase, CAT)活性的测定

SOD 活性测定采用氮蓝四唑法^[10]。取 2 g 核桃仁样品,加入 0.1 mol/L 磷酸缓冲液 pH 7.2、8 mL,振荡后,静置 2 h,离心(10000 r/min, 20 min, 4℃),上清液即为粗提液。反应体系包括:130 mmol/L 甲硫氨酸,750 μmol/L 氮蓝四唑,20 μmol/L 核黄素,100 μmol/L EDTA,适量样品液。混匀后,将对照管完全遮光,与样品管同时置于光照 4000 Lux 下进行 20 min

的光照反应。反应结束后,将所有试管完全遮光以终止反应。在 560 nm 处测定吸光度。计算酶活性,以 U/g 表示。

CAT 活性的测定采用过氧化氢法^[11]。粗酶液制备同 SOD 测定中粗酶液制备方法。取 100 μ L 粗酶液和 3 mL、0.05 mol/L 磷酸缓冲液 (pH 7.0) 在 25 $^{\circ}$ C 水浴下预热 5 min,加入 0.5 mL、0.2%过氧化氢,立即于 240 nm 处扫描,以 1 min 内 Δ OD₂₄₀减少 0.01 个单位为一个酶活单位,以 U/g 表示 CAT 活性的单位。

1.4.4 脂肪氧合酶(lipoxygenase, LOX)活性的测定

按照 Fu^[12]等的方法,略有修改。取 2 g 核桃仁粉末样品,加入 0.2 mol/L 磷酸缓冲液 (pH 7.8, 含 0.05 mol/L 巯基乙醇) 8 mL,混合均匀后,于 4 $^{\circ}$ C 下 10000 r/min 离心 20 min,上清液即为待测的粗酶液。反应液包括: 2.70 mL、0.1 mol/L 磷酸钠缓冲液 (pH 6.0), 50 μ L、10 mmol/L 亚油酸钠和 0.25 mL 酶液;空白为: 2.95 mL、0.1 mol/L 磷酸钠缓冲液 (pH 6.0) 和 50 μ L、10 mmol/L 亚油酸钠, 30 $^{\circ}$ C 反应,在 234 nm 下作吸光度扫描。酶活以 U/g 表示,反应体系以每分钟增加吸光度 0.01 为一个活力单位。

1.4.5 核桃仁油样的提取

核桃仁油样的提取:将核桃仁用液氮研磨器粉碎后,称取 25 g 粉末样,加入 60 mL 无水乙醚,浸提 12 h,过滤,滤液于氮吹仪下蒸发除去乙醚,得到油样,用于酸价、碘值和过氧化值的测定。

1.4.6 核桃仁油脂酸价的测定

酸价测定参照 GB/T 5530-2005^[13] (热乙醇测定法)。

1.4.7 核桃仁油脂碘值的测定

参照 GB/T 5532-2005^[14],采用硫代硫酸钠滴定法测定碘值。

1.4.8 核桃仁油脂过氧化值的测定

参照 GB/T 5538-2005^[15]。

1.4.9 核桃仁脂肪酸分析

脂肪酸的甲酯化:核桃仁的脂肪酸分析参考 Nkwonta 等^[16]的方法,略作修改。称取油样 0.2 g 加入 2 mL 正己烷,完全混合后,加入 2 mL、0.4 mol/L 氢氧化钾-甲醇溶液,震荡 30 s,于室温下静置 5 min 待分层,上层液体用于气相色谱检测脂肪酸甲酯含量。样品脂肪酸含量以脂肪酸甲酯含量表示。脂肪酸不饱和度用不饱和指数表示,计算公式为:不饱和指数 (index of unsaturated fatty acid, IUFA)=1 $\times$ 油酸含量 (%) + 2 $\times$ 亚油酸含量 (%) + 3 $\times$ 亚麻酸含量 (%)。

气相色谱检测条件:色谱柱:Agilent DB-23 毛细

管色谱柱 (30 m $\times$ 250 mm $\times$ 0.2 mm); FID 检测器;进样器温度:250 $^{\circ}$ C;检测器温度:250 $^{\circ}$ C;升温程序:初始温度 120 $^{\circ}$ C,持续 5 min,由 120 $^{\circ}$ C 以 4 $^{\circ}$ C/min 的升温速率升至 170 $^{\circ}$ C,保持 5 min,由 170 $^{\circ}$ C 以 3 $^{\circ}$ C/min 的升温速率升至 190 $^{\circ}$ C,保持 5 min,由 190 $^{\circ}$ C 以 4 $^{\circ}$ C/min 的升温速率升至 240 $^{\circ}$ C,保持 5 min,由 240 $^{\circ}$ C 以 15 $^{\circ}$ C/min 的降温速率降至 120 $^{\circ}$ C,检测结束;载气为氮气;分流比为 20:1;进样体积为 0.5 μ L。

1.5 数据处理

数据为重复的平均值 $\pm$ 标准误差。所有数据用 SPSS 20.0 软件进行统计分析,采用 ANOVA 进行邓肯氏多重差异分析 ($p<0.05$)。

2 结果分析

2.1 不同颜色 PE 包装袋的透光特性

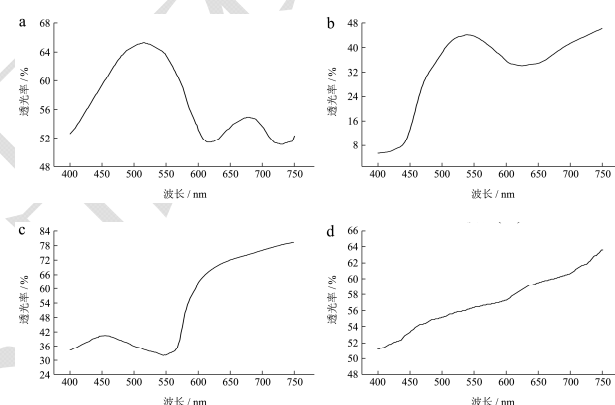


图 1 不同颜色 PE 包装袋透光特性扫描图谱

Fig.1 Scanning spectra of light transmittance characteristics of different colored PE packaging bags

注: a, 蓝色包装袋; b, 绿色包装袋; c, 红色包装袋; d, 透明包装袋 (CK)。

如图 1a 所示,蓝色袋主要透光波长区间为 400~600 nm,透光率高于 50%,最大透光波长为 500~520 nm,透光率达 65%;绿色袋透光波长在 530~550 nm 出现峰值,在波长大于 630 nm 时透光率又逐渐增加,总体上,绿色袋主要透光区较宽 (500~750 nm),且透光率较低,小于 48% (图 1b);红色袋在 400~570 nm 区间透光率低于 42%,其主要透过光的波长大于 630 nm,透光率达 70%以上 (图 1c);而透明包装袋 (CK) 几乎能透过各种光,对所有可见光透过率大于 50%,且光波长越大,透过率越高 (图 1d)。

2.2 不同颜色塑料袋包装对核桃仁感官品质

的影响

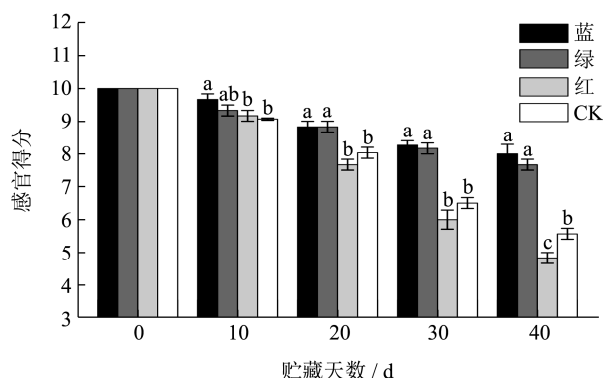


图2 不同颜色塑料袋包装对核桃仁感官品质的影响

Fig.2 Effects of packaging bags of different colors on the sensory quality of walnut kernel

注: 不同字母表示同一取样时间点不同处理间数据的差异显著 ($p < 0.05$), 下同。

由图2可知, 随着贮藏时间延长, 蓝色和绿色袋中核桃仁感官品质下降较慢, 而红色袋和CK迅速下降。贮藏至30 d, 红色袋及CK中核桃仁均呈现褐色, 有轻微哈喇味, 入口有明显涩味, 其感官得分为6.00和6.50; 至40 d, 核桃仁表皮褐色加重, 有明显哈喇味及涩味, 尤其以红色袋最为严重, 感官评分下降至4.83, 已失去商品价值。蓝色和绿色袋中核桃仁在贮藏期间颜色及口感变化不明显, 感官得分在40 d分别维持在8.00分和7.50分以上, 仍具有较好商品价值, 且皆与CK达到显著性差异 ($p < 0.05$), 但蓝色及绿色袋两者间无差异。可知, 与CK相比, 蓝色及绿色袋有效保持了核桃仁的品质。

2.3 不同颜色塑料袋包装对核桃仁 SOD 及

CAT 活性的影响

由图3A可看出, 蓝色及绿色袋中核桃仁SOD活性在贮藏期间整体趋于平稳, 而红色袋及CK整体下降。贮藏10 d后, 红色袋中核桃仁SOD活性显著低于其他包装袋 ($p < 0.05$); 蓝色袋则始终显著高于CK ($p < 0.05$); 绿色袋与CK在整个贮藏期间仅在第30 d差异显著 ($p < 0.05$)。贮藏40 d时, 红色袋中核桃仁SOD活性仅为初始值的80.80%, 而CK、蓝色和绿色袋分别为初始值的90.49%、96.63%和99.75%。可见, 蓝色袋对保持核桃仁SOD活性效果最好, 其次为绿色袋。

如图3B所示, 各包装袋中核桃仁CAT活性皆呈先下降后上升, 再下降的趋势。贮藏10 d后, 蓝色袋

中核桃仁CAT活性始终显著高于CK ($p < 0.05$), 与绿色袋仅在第20 d时差异显著 ($p < 0.05$); 而红色袋却始终低于其他包装袋 ($p < 0.05$)。此外, 在20 d~30 d期间, 绿色袋显著高于CK ($p < 0.05$)。可见, 蓝色和绿色袋对保持核桃仁CAT活性都具有一定效果, 其中蓝色袋更佳。

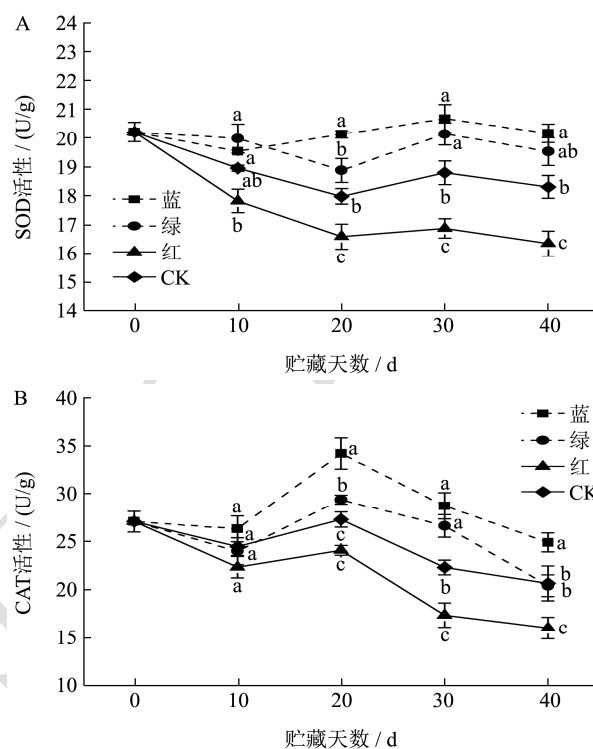


图3 不同透光特性包装袋对核桃仁SOD (A) 和CAT (B) 活性的影响

Fig.3 Effects of packaging bags of different colors on the SOD (A) and CAT (B) activities of walnut kernel

2.4 不同颜色塑料袋包装对核桃仁 LOX 活性的影响

的影响

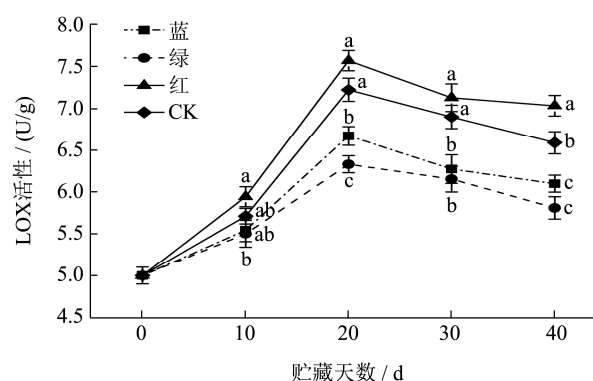


图4 不同颜色塑料袋包装对核桃仁LOX活性的影响

Fig.4 Effects of packaging bags of different colors on the LOX activity of walnut kernel

由图 4 可知,各包装袋中核桃仁 LOX 活性呈先上升后下降的趋势。贮藏 10 d 后,蓝色和绿色袋中核桃仁 LOX 活性始终显著低于红色袋和 CK ($p<0.05$),两者在第 20 d 时差异显著 ($p<0.05$);至第 40 d 时,红色显著高于 CK ($p<0.05$)。由此说明,蓝色和绿色袋较红色袋和 CK 更有利于抑制核桃仁 LOX 活性。

2.5 不同颜色塑料袋包装对核桃仁油脂酸价、碘值及过氧化值的影响

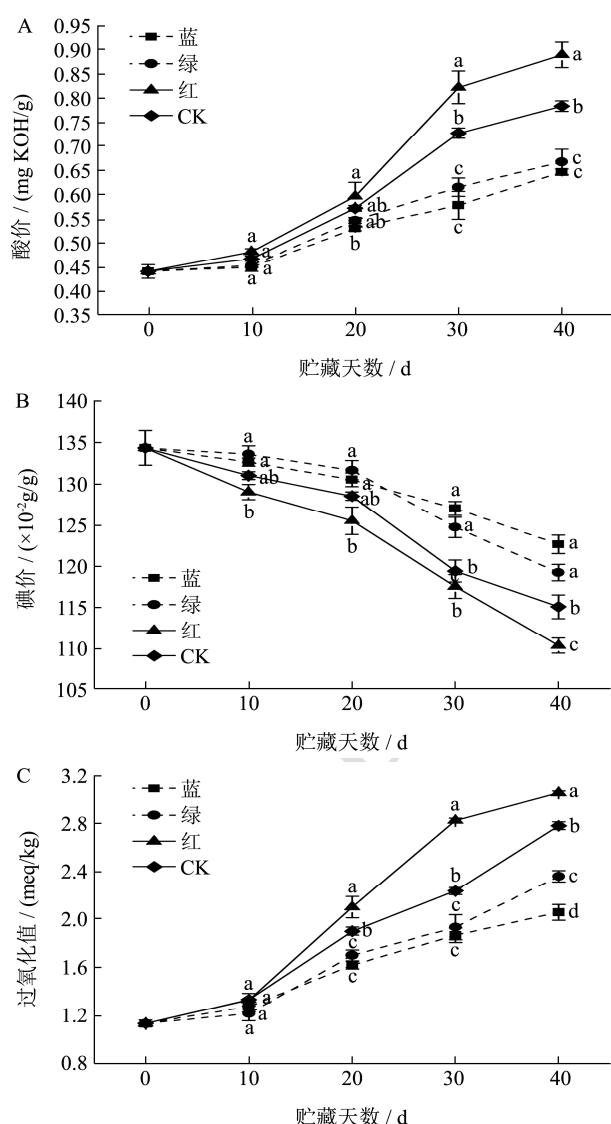


图 5 不同颜色塑料袋包装对核桃仁油脂酸价 (A)、碘值 (B)、过氧化值 (C) 的影响

Fig.5 Effects of packaging bags of different colors on the oil acid value (A), iodine value (B), and peroxide value (C) of walnut kernel

图 5A 显示,各包装袋中核桃仁油脂的酸价在贮藏前 10 d 无明显变化,10 d 后迅速升高。至贮藏 40 d 时,红色袋中核桃仁油脂的酸价分别较 CK、蓝色袋

和绿色袋高 13.37%、39.06%和 32.83%,且其中绿色与蓝色袋显著低于 CK ($p<0.05$),但两者间无明显差异。

由图 5B 可知,核桃仁油脂的碘价在贮藏期间呈逐渐下降的趋势。贮藏 40 d 时,红色袋中核桃仁油脂的碘价显著低于其他各包装袋 ($p<0.05$);蓝色及绿色袋则显著高于 CK ($p<0.05$),但两者间无差异。由此说明,对保持核桃仁油脂的碘价,蓝色和绿色袋具有较好的效果,而红色却没有。

如图 5C 所示,各处理中核桃仁油脂过氧化值变化趋势相似,但不同包装袋涨幅有所不同。贮藏至 40 d 时,红色袋中核桃仁油脂过氧化值涨幅最大,为 0 d 的 2.69 倍;其次为 CK,上升至 0 d 的 2.44 倍,显著高于蓝色及绿色袋 ($p<0.05$);蓝色袋中核桃仁油脂过氧化值涨幅最小,为 0 d 的 1.81 倍,显著低于绿色袋 ($p<0.05$)。可见,与 CK 相比,蓝色和绿色袋可有效减缓核桃仁油脂过氧化值升高,其中蓝色袋效果更好。

2.6 不同颜色塑料袋包装对核桃仁脂肪酸含量及不饱和指数的影响

棕榈酸和硬脂酸都是植物组织内饱和脂肪酸,由图 6A 可知在整个贮藏期间,蓝色和绿色袋中核桃仁棕榈酸含量始终显著低于 CK ($p<0.05$),且除第 20 d 外,蓝色和绿色袋两者间并无差异。红色袋中核桃仁棕榈酸含量在贮藏期间迅速上升,到贮藏 30~40 d,其含量高于 CK 及其他包装袋 ($p<0.05$)。

如图 6B 所示,各处理中核桃仁硬脂酸含量变化均逐渐升高。在 10 d 时,红色袋中核桃仁硬脂酸含量最低,其次为蓝色袋,两者皆显著低于绿色袋和 CK ($p<0.05$);在 20~30 d 期间,仅蓝色袋在 20 d 时显著低于 CK ($p<0.05$),其他颜色袋与 CK 无差异;到 40 d 时,红色袋中核桃仁硬脂酸含量增加 15.53%,而此时蓝色及绿色袋分别仅增加 10.86%和 9.28%。总体上,各处理中,蓝色袋对减缓核桃仁硬脂酸含量增加效果较好。

油酸、亚油酸和亚麻酸是植物中的不饱和脂肪酸。图 6C 显示,贮藏 10 d 后,各包装袋中核桃仁油酸含量迅速下降;至 20 d 时,红色袋及 CK 油酸含量较贮藏 10 d 时分别下降 11.16%和 15.24%,两者皆显著低于绿色袋 (下降 8.34%) 和蓝色袋 (下降 6.35%)。至 30~40 d 期间,蓝色袋显著高于其他包装袋 ($p<0.05$),尤其在 30 d 时,其油酸含量分别较红色袋和 CK 高 23.22%和 16.14%;相比之下,红色袋在 30 d 时却较 CK 低 ($p<0.05$);而绿色袋在 30~40 d 期间也显著高

于 CK ($p<0.05$)。总体而言,蓝色袋对抑制油酸氧化效果最好,其次为绿色袋。

由图 6D 得出,核桃仁中主要的脂肪酸为亚油酸,且在贮藏过程中,其含量呈先上升后下降的趋势。在整个贮藏期间,蓝色和绿色袋中核桃仁亚油酸含量始终显著高于红色袋和 CK ($p<0.05$),其中红色袋分别在第 20 d 和 40 d 时明显低于 CK ($p<0.05$)。此外,蓝色袋与绿色袋两者在整个贮藏期间无差异。可知,绿色核蓝色袋可有效保持核桃仁亚油酸含量。

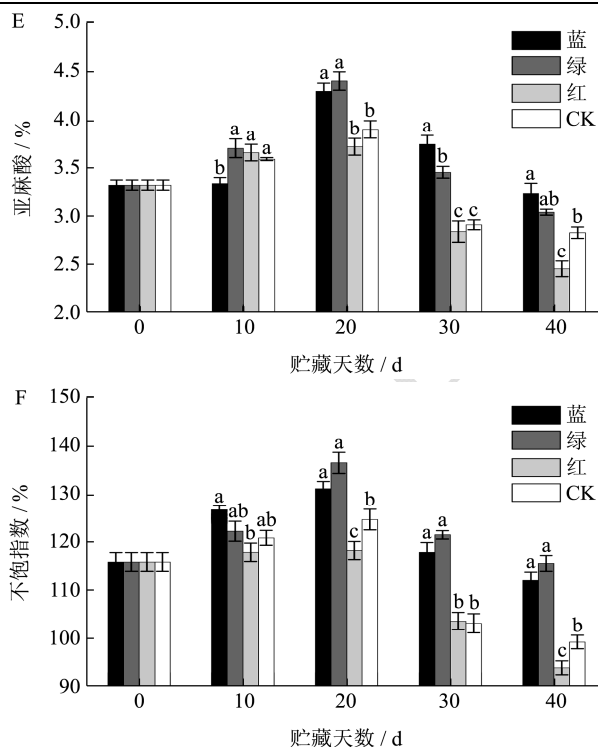
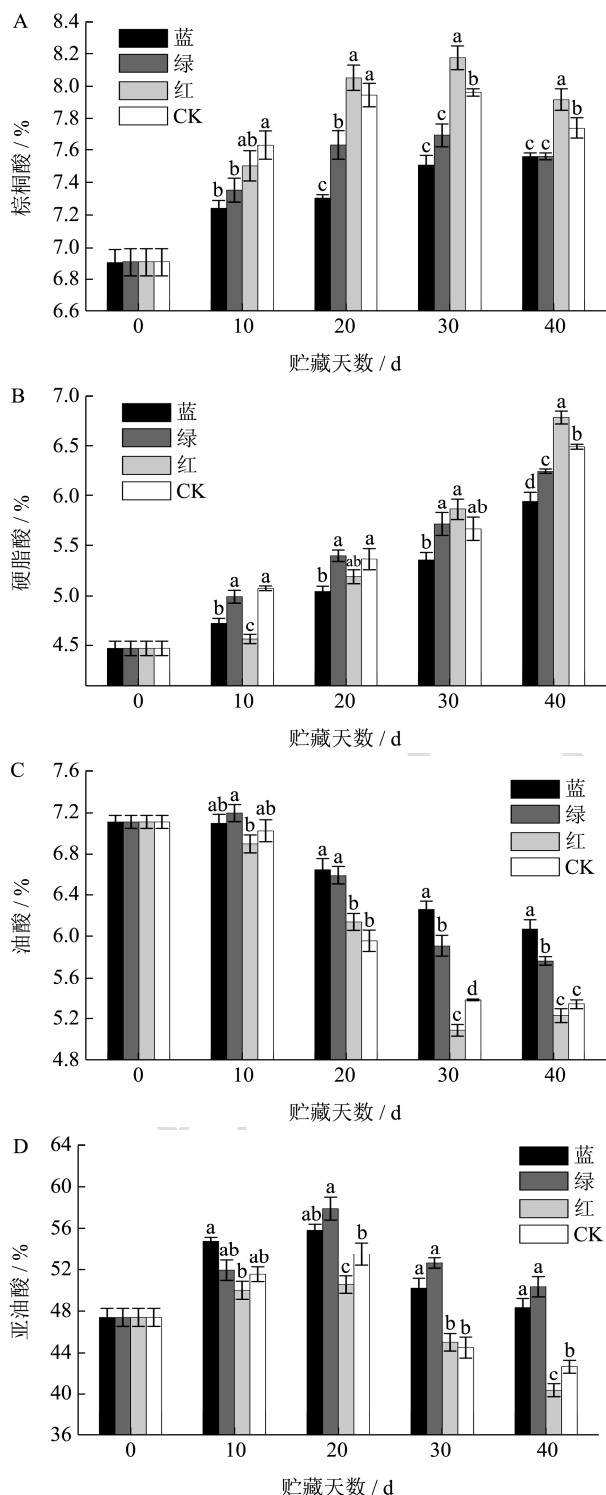


图 6 不同颜色塑料袋包装对核桃仁脂肪酸含量及其不饱和指数的影响

Fig.6 Effects of packaging bags of different colors on the fatty acid contents and IUFA value of walnut kernel

注: A, 棕榈酸; B, 硬脂酸; C, 油酸; D, 亚油酸; E, 亚麻酸; F, 脂肪酸不饱和指数(IUFA)。

图 6E 结果显示,贮藏期间核桃仁中亚麻酸含量的变化与亚油酸相似。贮藏第 10 d,蓝色袋中核桃仁亚麻酸含量虽低于其他包装袋 ($p<0.05$),但 10 d 后,蓝色袋迅速升高至显著高于红色袋和 CK ($p<0.05$)。贮藏 30 d 时,绿色袋分别较红色袋和 CK 高出 21.55% 和 18.62%;蓝色袋则已升高至红色袋和 CK 的 1.32 和 1.30 倍,其中红色袋与 CK 无差异。至贮藏 40 d 时,红色袋较 CK 低 13.48%,绿色袋与 CK 无差异。

从图 6F 可知,各处理核桃仁 IUFA 在 20 d 时出现最大值,此时,蓝色和绿色袋显著高于 CK ($p<0.05$),而红色袋却低于 CK ($p<0.05$)。贮藏 20 d 后,各处理核桃仁 IUFA 水平急剧下降,其中红色袋和 CK 下降最为明显,在贮藏 30 d 时分别较第 20 d 下降 13.21% 和 17.27%,而蓝色和绿色袋分别下降 11.05% 和 10.16%;至第 40 d 时,蓝色和绿色袋仍然保持较高 IUFA 水平,红色袋下降至低于 CK ($p<0.05$)。可知,蓝色和绿色袋可有效保持核桃仁 IUFA 值,且两者效果相当。

3 讨论

在核桃仁的贮藏环境中,光照是一个不容忽视的

因素,且光照条件不同,核桃仁油脂氧化稳定性也不同。Martínez^[17]等发现,在 800 Lux 光照条件下,即使添加抗氧化剂也不能减缓核桃油的光氧化进程,而在黑暗条件下添加抗氧化剂却可显著抑制核桃油脂氧化。在本试验中,我们将核桃仁贮藏于透光特性不同的包装袋中,结果显示:贮藏期间,主要透短波长可见光(500~520 nm,图1)的蓝色袋中核桃仁品质最好;其次为透光率较低(<48%)的绿色袋;贮藏 20 d 后,对长波长光透光率高(波长>630 nm,透光率>70%)的红色袋中,核桃仁品质较 CK 差(图2)。基于各包装袋具有相同厚度及透气性,我们推测各颜色袋对核桃仁贮藏品质的影响与包装袋透光率,及透过光的波长长短有关;王伟等^[18]也发现,将核桃分别置于 30 μm 紫色聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)袋、白色 PVC 袋和 40 μm 普通聚乙烯袋中贮藏时发现,紫色 PVC 袋较白色 PVC 袋更有利保持核桃品质。

LOX 在果实组织衰老过程中,启动膜脂过氧化作用,使膜磷脂不断水解,产生游离脂肪酸;而植物体内 SOD 和 CAT 属于抗氧化酶,能够及时清除机体内活性氧自由基,从而防止膜脂过氧化反应。在本实验中,与 CK 相比,蓝色袋对保持核桃仁 SOD 和 CAT 活性的效果较绿色袋更好,但对 LOX 活性的抑制效果略低于绿色袋。而红色袋中核桃仁 SOD 和 CAT 活性却一直低于 CK,且其中 LOX 活性未能得到抑制;其原因可能为红色袋与透明袋透相比,其对长波长光透光率高于 70%,加速了核桃仁脂肪酸氧化,从而导致活性氧积累过快,果实组织内细胞膜和酶系统较其他包装袋更早遭到破坏。由此说明,蓝色和绿色袋可通过保持核桃仁抗氧化酶活性及抑制 LOX 活性来减缓机体内的膜脂过氧化作用,保持核桃仁品质,而红色袋具有一定加速作用。

植物体脂肪酸的含量及其不饱和指数可直观的反映核桃组织的营养价值。油脂的酸价和过氧化值客观反映了脂肪酸的氧化程度;碘价则是鉴别不饱和脂肪酸的重要参数;而 LOX 会催化油脂中不饱和脂肪酸(主要是亚油酸和亚麻酸及其酯类)发生氢过氧化反应,产生一系列醛、酮类等物质,从而影响油脂的质量。本试验发现,蓝色和绿色袋可有效减缓核桃仁油脂酸价、过氧化值上升及碘价下降,这两者间效果相当;红色袋中核桃仁油脂酸价、过氧化值在贮藏 20 d 后明显高于 CK,而碘价则明显低于 CK(图6)。这一结果证实了蓝色和绿色袋通过抑制 LOX 活性延缓了核桃仁不饱和脂肪酸的氧化,而红色袋对核桃仁脂肪酸氧化具有一定加速作用。从各颜色袋的透光特性,这一结果可能是因为蓝色袋透过的短波长光较长波长

光更有利于油脂贮藏;绿色袋透光率较其他袋更低,脂肪酸氧化速率更慢;红色袋主要透长波长光,且透光率高于其他颜色袋,相比而言加速了脂肪酸氧化。这也证实了红色袋中核桃仁 SOD 和 CAT 活性在贮藏期间较其他包装袋更早遭到破坏的推测。与本试验结果相似,刘兆洁等^[6]得出,核桃油稳定性在黑暗条件下较光照条件下更好,且紫外照射下较日光灯照射下更好。Mexis 等^[19]也发现,与光照条件相比,黑暗条件更有利于减缓核桃仁油脂氧化。

本试验还得出,与透明袋相比,蓝色和绿色袋保持了较高的核桃仁不饱和脂肪酸,和较低的饱和脂肪酸含量,抑制了核桃仁 IUFA 值下降,保持了核桃仁的品质,这一结果与以不饱和脂肪酸为催化底物的 LOX 的试验结果相印证;而红色袋在贮藏 20 d 和 40 d 时 IUFA 值却低于 CK(图7)。这一结果进一步说明蓝色和绿色袋较透明袋更有利于减缓核桃仁脂肪酸氧化,而红色袋却不适用于核桃仁贮藏。但各颜色袋对核桃仁脂肪酸氧化的影响具体由透光率还是透光波长主导,仍需进一步研究。Cuellar-Bermudez 等^[20]也认为,在光密度 600 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, pH 9 的条件下集胞藻中棕榈酸和油酸生成量最大,而硬脂酸和油酸含量与光密度无关,亚麻酸在光密度 400~1600 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, pH 7.7~8.7 范围内生成量最大,但光密度对其总脂肪酸含量却无影响,这可能与不同品种有关。

4 结论

经不同颜色塑料袋包装试验,蓝色和绿色袋分别因透短波长光和透光率低的特性有效保持了核桃仁抗氧化酶活性,减缓了脂肪酸氧化,抑制了 IUFA 值下降,最终保持了核桃仁的品质;红色袋可能因其透长波长光且透光率高的特性对核桃仁脂肪酸氧化具有一定增强作用,不适用于核桃仁贮藏。

参考文献

- [1] 郝利平,杨剑婷.贮藏因素对核桃脂肪酶活性与油脂酸价的影响[J].农业工程学报,2005,21(5):170-172
HAO Li-ping, YANG Jian-ting. Effects of different storage methods on lipase activity and the acid value of oil in walnut [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(5): 170-172
- [2] Bakkalbasi E, Yilmaz M O, Javidipour I. Effects of packaging materials, storage conditions and variety on oxidative stability of shelled walnuts [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 46(1): 203-209
- [3] Verardo V, Ricciuti Y, Sorrenti G, et al. Effect of nitrogen

- fertilisation rates on the content of fatty acids, sterols, tocopherols and phenolic compounds, and on the oxidative stability of walnuts [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(2): 732-738
- [4] 陶菲, 郇海燕, 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 Hai-yan, CHEN Hang-jun, 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, 2008, 24(9): 303-305
- [5] Jensen P N, Sorensen G, Engelsen S B, et al. Evaluation of quality in walnut kernels (*Junglans regia* L.) by Vis/NIR spectroscopy [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(12): 5790-5796
- [6] 刘兆洁, 李晓飞, 李小康, 等. 不同贮藏条件对核桃油氧化稳定性的影响[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(9): 140-142
LIU Zhao-jie, LI Xiao-fei, LI Xiao-kang, et al. Effect of different storage conditions on oxidation stability of walnut oil [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2013, 41(9): 140-142
- [7] Sattar A, Mohammad J, Saleem A, et al. Effect of fluorescent light, gamma radiation and packages on oxidative deterioration of dry nuts [J]. Sarhad Journal of Agriculture, 1998, 6(3): 235-240
- [8] 李梅, 田世龙, 顾敏华, 等. 不同颜色 PE 食品包装袋对马铃薯绿化和龙葵素含量的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(4): 264-267
LI Mei, TIAN Shi-long, XIE Min-hua, et al. Effect of different color polyethylene food packaging bags on greening and steroidal glycoalkaloids content of potatoes [J]. Food Science, 2010, 31(4): 264-267
- [9] 李大鹏, 杨春燕, 王文倩, 等. 不同包装条件对云南三台核桃抗氧化功能成分稳定性与品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 317-321
LI Da-peng, YANG Chun-yan, WANG Wen-qian, et al. Effect of different packaging conditions on stability of antioxidative functional components and quality of yunnan santai walnut [J]. Food Science, 2013, 34(12): 317-321
- [10] 王肇慈. 粮油食品品质分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000
WANG Zhao-ci. Grain and oil food quality analysis [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2000
- [11] Sun Y, Zhang W, Zeng T, et al. Hydrogen sulfide inhibits enzymatic browning of fresh-cut lotus root slices by regulating phenolic metabolism [J]. Food Chemistry, 2015, 177: 376-381
- [12] Fu M, Qu Q, Yang X, et al. Effect of intermittent oven drying on lipid oxidation, fatty acids composition and antioxidant activities of walnut [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65: 1126-1132
- [13] GB/T 5530-2005, 动植物油脂-酸值和酸度测定[S]
GB/T 5530-2005, Animal and vegetable fats and oils-determination of acid value and acidity [S]
- [14] GB/T 5532-2005, 动植物油脂-酸值和酸度测定[S]
GB/T 5532-2005, Animal and vegetable fats and oils-determination of iodine value [S]
- [15] GB/T 5538-2005, 动植物油脂-过氧化值测定[S]
GB/T 5538-2005, Animal and vegetable fats and oils-determination of peroxide value [S]
- [16] Nkwonta C G, Alamar M C, Landahl S. Effects of postharvest storage and processing techniques on the main fatty acids in the profile of oil extracted from African walnut (*Tetracarpidium conophorum* Mull. Arg.) [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2016, 45: 87-94
- [17] Martinez M L, Penci M C, Ixtaina V, et al. Effect of natural and synthetic antioxidants on the oxidative stability of walnut oil under different storage conditions [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 51: 44-50
- [18] 王炜, 李鹏霞, 梁丽松, 等. 常温下 MAP 对核桃脂肪酸氧化的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(23): 10175-10177
WANG Wei, LI Peng-xia, LIANG Li-song, et al. Effects of modified atmosphere packaging (MAP) on fatty acid oxidation of walnut at room-temperature [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(23): 10175-10177
- [19] Mexis S F, Badeka A V, Riganakos K A, et al. Effect of packaging and storage conditions on quality of shelled walnuts [J]. Food Control, 2009, 20(8): 743-751
- [20] Cuellar-Bermudez S P, Romero-Ogawa M A, Vannela R, et al. Effects of light intensity and carbon dioxide on lipids and fatty acids produced by *Synechocystis* sp. PCC6803 during continuous flow [J]. Algal Research, 2015, 12: 10-16