

水气耦合对青皮核桃贮期腐烂的控制与品质保持的效应

王进¹, 弓弼², 马惠玲¹, 陈金海³

(1. 西北农林科技大学生命科学院, 陕西杨凌 712100) (2. 西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100)
(3. 宜君县核桃产业开发办公室, 陕西宜君 727200)

摘要: 为了探究适当失水与自发气调包装对青皮核桃保鲜的协同效应, 本文以‘西扶2号’核桃鲜果为试材, 采取0、5%、10% 3种果实失重率与PE30、PE50两种自发气调包装(水气耦合)条件复合处理, 以0失水加食品保鲜膜包装为对照, (0±0.5)℃下贮藏。结果发现, 各处理对果实的保鲜效果和核桃仁品质保持能力均高于对照, 以失水10%复合PE50包装处理(10%+PE50)最强, 5%+PE30其次。贮藏80 d后10%+PE50的裂果率、腐烂率、褐变指数最低, 分别为: 2.1%、2.0%、10%, 对照分别为: 81.6%、42.4%、80.0%; 10%+PE50的核桃仁总酚、类黄酮含量、总抗氧化能力最高, 均显著高于对照($p < 0.05$), 核桃仁感官品质下降最少, 核桃仁的丙二醛(MDA)、过氧化氢含量、酸价、过氧化值最小。贮藏110 d后, 10%+PE50的果实腐烂率11%, 因褐变指数大于20%, 贮藏中止。因此, 失水10%复合PE50包装处理被选为最有效的水气耦合条件, 能使青皮核桃保鲜期延长至110 d。

关键词: 青皮核桃; 自发气调; 失水率; 腐烂率; 核桃仁品质

文章编号: 1673-9078(2015)12-296-301

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.12.044

Effect of Moisture Loss and Modified Atmosphere Packaging on Decay Control and Quality Maintenance of Green Walnut during Storage

WANG Jin¹, GONG Bi², MA Hui-ling¹, CHENG Jin-hai³

(1. College of Life Science, Northwest A& F University, Yangling 712100, China) (2. College of Forestry, Northwest A& F University, Yangling 712100, China) (3. Walnut Industry Office of Yijun County, Yijun 727200, China)

Abstract: In order to investigate the synergistic effect of a combination of appropriate moisture loss and modified atmosphere packaging (MAP) on the preservation of green walnut fruit. Cultivar Xifu 2 fresh walnut fruits were sampled, and treated with three moisture loss rate (0, 5%, and 10%) and two MAP (PE30 and PE50) combinations. The treatment with 0% moisture loss coupled with food-wrapping film packaging served as a control, and all samples were stored at 0 ± 0.5 °C. The results demonstrated improved preservative effect on fresh fruits and the quality maintenance of walnut kernels compared with the control; the best results were obtained using the combination of 10% moisture loss and PE50 packaging (10% + PE50), followed by 5% + PE30. After 80-day storage, the green walnut fruits treated with 10% + PE50 showed the lowest fruit cracking rate (2.1%), decay incidence (2.0%) and browning index (10%), but those indexes of of the control were 81.6%, 42.4%, and 80.0%, respectively. The walnut kernels treated with 10% + PE50 had the highest total phenolic and flavonoid content and total antioxidant activity. The walnut kernels treated with 10% + PE50 showed the smallest decline in the sensory quality, and the lowest acid value, peroxide value, and malondialdehyde (MDA) and H₂O₂ contents. After 110-day storage, the decay rate of the fruits treated with 10% + PE50 was 11%, and the experiment was stopped because the browning index was more than 20%. In conclusion, 10% moisture loss coupled with PE50 packaging was determined to be the optimal combination of moisture loss and MAP, which can extend the shelf life of green walnut up to 110 days.

Key words: green walnut fruit; modified atmosphere packaging; moisture loss rate; decay incidence; quality of walnut kernel

收稿日期: 2015-02-09

基金项目: 中央财政林业科技推广示范项目(2014-14-1)

作者简介: 王进(1986-), 男, 硕士, 主要从事果实采后生理与技术研究; 并列第一作者: 弓弼(1963-), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要从事植物产品保鲜与利用领域的研究

通讯作者: 马惠玲(1965-), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事果实采后生理与技术研究

核桃含有不饱和脂肪酸、蛋白质、维生素 E 等多种营养物质^[1]。研究发现,常食核桃可以预防糖尿病、心脑血管等疾病的发生。鲜核桃含水量是干核桃的 6 倍,口感脆嫩香甜、少油不腻,具有更高的必需氨基酸及其他氨基酸、VE 等^[2-3]。因此,鲜核桃的市场需求量逐年增加。然而鲜核桃采后极易腐烂或霉变,上市期很短,市场供不应求。

新鲜果实水分饱满,是构成果实良好商品品质的必要条件。可是,贮藏期间果肉水分过多又会为微生物的滋生提供良好的环境引起腐烂,所以果实含水量是影响果实贮藏的关键因素之一^[4-5]。失水处理是近年来研究较热门且对环境无污染的一种新型绿色保鲜方法^[6-7]。研究表明,在不影响果实新鲜度的前提下,贮藏前适当失水处理是提高果实抗病性的有效途径。穆晶晶等^[6]研究得出,适当的失水处理有效的延缓了猕猴桃果实的褐变及酚类物质的降解,延长其贮藏时间。姜丹等^[7]也发现软枣猕猴桃采后适当的失水,延缓了果实的成熟和衰老进程,保持了果实的品质。自发气调包装能够调节果实微环境中气体浓度,并保持了饱和的相对湿度,在很多果品和鲜切产品的保鲜中得到应用^[8],也是近两年青皮核桃保鲜技术得以突破的关键技术之一。宋光泉(2002)等早期研究已经注意到了虽然自发气调包装将荔枝的褐变期由 6 h 延长至 7~8 d,可是在较低的失水率(2%)下就开始腐烂,裸置荔枝即就是达到 50%失水(8 d),果实完全褐变但仍无腐烂^[9]。可见,失水在防腐,包装在保鲜方面各具优势,如何使二者结合,发挥协同作用至今却鲜有研究。本研究以‘西扶 2 号’青皮核桃为试材,在不同水气耦合条件下贮藏,观测青皮核桃采后耐贮性和核桃仁品质指标。以期为青皮核桃的贮藏保鲜提供新的方法,为进一步提高核桃鲜贮效果提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试核桃鲜果为‘西扶 2 号’(中晚熟品种),2013 年 8 月 28 日(花后约 150 d)采摘于陕西省扶风县杏林镇核桃示范园,当天运回西北农林科技大学生命科学院试验冷库,(0±0.5)℃下预冷 24 h 后进行处理。2014 年 8 月 29 日再次采摘同一品种,重复试验。

1.2 试验方法

1.2.1 鲜果处理与贮藏

本文水气耦合指果实贮藏前 3 种失水率与自发气调包装提供的两种气体条件组合处理。由于短期内果实

损失率基本等于其失水率,故以青皮核桃失重率代替不同失水率水平。具体操作如下:挑选无病害、无机械损伤且大小均匀的果实,以 3~4 层的厚度平摊于塑料筐,置于冷库,通过吹风使其快速失水,定期称重,分别于失重率达到 0、5%和 10%左右(0~7 d)时随机取出足量果实分别进行 PE30(改良聚乙烯膜,厚 30 μm,一个大气压下 O₂ 和 CO₂ 透气系数分别为 1.01×10⁴、4.82×10⁴ mL/(m² d atm),天津国家保鲜工程中心生产)、PE50 包装(改良聚乙烯膜,厚 50 μm,一个大气压下 O₂ 和 CO₂ 透气系数分别为 6.13×10³、2.92×10⁴ mL/(m² d),天津国家保鲜工程中心生产),各处理重复 3 次,每重复 80 个果,以 0 失水保鲜膜(厚 6 μm)包装为对照。每袋果实随机置于冷库不同位置贮藏,冷藏条件为温度(0±0.5)℃,相对湿度 70%~80%。

1.2.2 取样

包装处理前以及贮藏结束(80 d)时各取样一次,每次随机取 20 个鲜果,剥取核桃仁(除去种皮),分别经液氮冷冻,粉碎后装入自封袋中存放于-80℃冰箱,用于各品质指标的测定。

1.3 测试项目与方法

1.3.1 青皮核桃腐烂指标测定

裂果率:以果实出现明显的裂痕计为裂果,以裂果数占统计果实总数的百分比计;腐烂率:以烂果占统计果实总数的百分比计,果实贮藏期间以青皮变黑面积达到 20%或青皮开裂定为烂果;褐变指数:取 20 个果实,按褐变发生程度分 5 个等级,即 0 级,无褐变;1 级,褐变面积小于 5%;2 级,褐变面积为 5~25%;3 级,褐变面积为 25~50%;4 级,褐变面积大于 50%。按照下面的公式计算褐变指数。褐变指数=∑(褐变级别×该级别果实个数)/(4×测定果实总数)。

1.3.2 核桃仁抗氧化指标测定

总酚、类黄酮含量:准确称取 0.5 g 核桃仁样品,采用福林酚法测定,分别以没食子酸、芦丁作标准曲线;总抗氧化活性:准确称取 0.5 g 核桃仁样品,采用 Zou 等^[10]的 FRAP 法测定。

1.3.3 核桃仁品质指标测定

核桃仁的感官品质:分别对种皮颜色、种皮分离度、核桃仁色泽、核桃仁风味四项指标进行了分级式评价,将采收时各指标的级别规定为 1(核桃仁品质最好),以后各指标按其变化程度分别划分为 2、3、4、5 级,5 级为最差,各级别的划分标准参考王进等^[11]的方法;可溶性蛋白质含量:采用考马斯蓝法测定;丙二醛(MDA)含量:采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定;过氧化氢含量:准确称取 0.5 g 冷冻核桃仁样品,参考

Zhou 等^[12]的方法测定;酸价、过氧化值:参照 Mexis^[13]的方法提取核桃仁油脂,并有所改进,准确称取 10 g 冷冻核桃仁样品,放入 75 °C 烘箱烘至恒重,放入索氏提取器中,加入 25 mL 石油醚(沸程 30~60 °C)静置 12 h,然后水浴 50 °C 提取 12 h,分别根据 GB/T 5530-2005、GB/T 5538-2005 测定酸价、过氧化值。

1.4 数据分析

测定结果(每个指标重复 3 次)分别采用 Excel 2010、SPSS Statistics 17.0 对数据进行作图和方差分析,并进行 Duncans 差异显著性分析,差异显著水平为 0.05 或 0.01。

2 结果与分析

2.1 不同包装对袋内气体成分的影响

在贮藏的 30 d 内,果实失水率为 0 复合不同包装的袋内气体体积分数的变化如表 1 所示。 O_2 体积分数在对照袋内一直维持在 20% 左右,在 PE30 和 PE50 袋内前 6 d 急剧下降,6~12 d 小幅回升,18 d 后趋于平衡,分别维持在 16.67%~17.90%, 4.09%~4.58%;各包装内 CO_2 体积分数变化与 O_2 完全同步,方向恰恰相反,同样于 18 d 后达到平衡。与前人在其他各薄膜包装贮藏过程中袋内气体体积分数的变化趋势一致^[14],可见,供试的 2 种薄膜包装均较对照保鲜膜具有明显的自发气调作用,而且它们的厚度越大,最终引起袋内 O_2 体积分数越低, CO_2 体积分数越高,这与薄膜的透气系数随厚度增加而下降的基本原理是一致的。

表 1 不同包装袋内气体成分的变化

Table 1 Changes of O_2 and CO_2 concentration under different packaging conditions

气体成分/%	处理	贮藏时间/d			
		0	6	12	18~30
O_2	对照	20.90 ± 0.10	20.33 ± 0.56*	20.50 ± 0.92	20.11 ± 1.07~20.34 ± 0.68
	PE30	20.90 ± 0.10	13.28 ± 1.41	17.10 ± 1.83	16.67 ± 0.81~17.90 ± 0.66
	PE50	20.90 ± 0.10	4.15 ± 0.47	9.54 ± 0.68	4.09 ± 0.67~4.58 ± 0.54
CO_2	对照	0.03 ± 0.15	0.33 ± 0.06	0.40 ± 0.03	0.27 ± 0.04~0.32 ± 0.02
	PE30*	0.03 ± 0.15	4.47 ± 0.72	3.00 ± 0.88	2.03 ± 0.50~2.70 ± 0.42
	PE50*	0.03 ± 0.15	5.80 ± 0.26	4.12 ± 0.21	5.33 ± 0.51~5.70 ± 0.21

注:均值 ± 标准差,同列不同字母表示不同处理间差异达统计学显著水平 ($P < 0.05$),下同。*均为失水 0 时包装处理的值。

2.2 水气耦合对青皮核桃腐烂的影响

表 2 贮藏后果实腐烂状况

Table 2 Decay indices of green walnut fruits under different packaging conditions after storage

处理	2013 年贮藏 80 d 后		2014 年贮藏 80 d 后			2014 年贮藏 110 d 后
	裂果率/%	腐烂率/%	裂果率/%	腐烂率/%	褐变指数/%	腐烂率/%
CK	90.50 ^a ± 6.82	48.50 ^a ± 4.24	81.60 ^a ± 4.82	42.40 ^a ± 2.50	80 ^a ± 0.07	100 ^a ± 3.40
失水 0 + PE30	63.30 ^b ± 5.55	26.60 ^b ± 1.28	48.20 ^b ± 3.58	16.30 ^b ± 2.98	26 ^b ± 3.06	30.60 ^b ± 2.98
失水 5% + PE30	16.60 ^c ± 2.77	10.00 ^d ± 0.89	9.40 ^c ± 2.24	6.00 ^c ± 0.89	15 ^c ± 1.42	19.00 ^c ± 0.89
失水 10% + PE30	53.30 ^b ± 3.36	18.70 ^c ± 5.77	35.30 ^b ± 1.18	15.40 ^b ± 4.23	20 ^b ± 5.45	20.40 ^c ± 4.23
失水 0 + PE50	46.60 ^b ± 3.82	15.60 ^c ± 1.51	30.50 ^b ± 2.71	10.60 ^b ± 3.07	22 ^b ± 2.35	25.60 ^b ± 3.07
失水 5% + PE50	26.70 ^c ± 2.55	10.20 ^d ± 3.00	15.30 ^c ± 3.58	6.00 ^c ± 1.70	16 ^c ± 4.85	18.00 ^c ± 1.70
失水 10% + PE50	5.30 ^d ± 0.77	5.00 ^e ± 0.62	2.10 ^d ± 0.42	2.00 ^d ± 0.46	10 ^d ± 6.04	11.00 ^d ± 0.46

如表 2 所示,2013 年试验中,青皮核桃贮藏 80 d 后,各处理裂果、腐烂、褐变指数均大于对照。以 PE30 包装时,起始失水 5% 和 10% 均较不失水减轻了裂果、腐烂和褐变,以失水 5% 效果最好;以 PE50 袋包装时,起始失水 5% 和 10% 亦均较不失水减轻了裂果、腐烂和褐变,以失水 10% 效果最好,且显著低于失水 5% +

PE30。2014 年重复试验中各处理和对照的果实裂果和腐烂进程均有所延迟,但处理间的变化差异趋势与 2013 年的完全一致,贮藏 110 d 后失水 10% + PE50 处理果实的腐烂率仅为 11%。可见,贮藏前失水 10% 复合 PE50 包装为减少青皮核桃腐烂的最佳水气耦合条件。

本课题组前期研究得出, ‘西扶2号’青皮核桃在PE50包装下贮藏80d的腐烂率约为20%,宜终止贮藏^[11]。在此,复合贮藏前10%失水处理使80d腐烂率降低为2%~5%,可见果实含水率的下降增强了自发气调的保鲜效果,与姜丹等^[7]在猕猴桃上得出4%失水处理可以有效延缓果实腐烂的结果一致;PE50包装袋比PE30保持了更低的O₂和更高的CO₂水平,其对起始失水的要求高于PE30,说明O₂和CO₂没有得到足够控制时,如PE30包装,果实对失水比较敏感,适当失水能够发挥干燥抑制微生物侵染的作用,有利于果实抵抗腐烂,失水过多却因为加速衰老引起果实抗病

性下降而恢复了腐烂效应;反之,严格控制O₂和CO₂时,如PE50包装,果实对水分的敏感度降低,可以通过多至10%的失水增强果实抵抗病害的能力。由于失水率大于10%时会引起青皮明显皱缩而降低核桃仁的新鲜度,因此,10%为最大失水率处理。10%失水率+PE50包装发挥了最佳的保鲜效果,以青皮果实腐烂率小于20%为标准^[11],可使青皮果实的冷藏保鲜期延长至110d以上。这水—气耦合条件对果实保鲜的作用在之前的国内外文献中尚未见报道。

2.3 水气耦合对核桃仁抗氧化特性的影响

表3 贮藏80d后果实核桃仁的抗氧化指标测定

Table 3 Antioxidant indices of walnut kernel under different packaging conditions after 80-day storage

处理	总酚/ (mg GAE/g Fw)	类黄酮/ (mg Rutin/g Fw)	总抗氧化能力/ (FeSO ₄ 当量/mmol/L)
贮藏前	56.92 ^a ± 6.82	7.52 ^a ± 4.24	8.65 ^a ± 0.87
CK	22.46 ^d ± 4.72	2.29 ^d ± 0.57	1.25 ^c ± 0.24
失水0 + PE30	32.81 ^c ± 4.55	3.56 ^c ± 0.28	4.22 ^b ± 0.06
5% + PE30	45.86 ^b ± 3.72	5.80 ^b ± 0.89	4.26 ^b ± 0.14
失水10% + PE30	28.53 ^c ± 6.36	3.41 ^c ± 0.77	5.13 ^b ± 0.45
失水0 + PE50	40.46 ^b ± 4.82	4.17 ^b ± 0.47	4.18 ^b ± 0.35
失水5% + PE50	42.12 ^b ± 3.55	4.72 ^b ± 0.19	5.13 ^b ± 0.85
失水10% + PE50	52.06 ^a ± 2.77	7.28 ^a ± 0.62	5.48 ^b ± 0.42

青皮核桃贮藏80d后,核桃仁总酚、类黄酮含量和总抗氧化能力均较贮藏前有所下降,但各处理果实的该3项指标均显著高于对照(p<0.05)(表3)。以PE30包装时,失水率5%较0和10%失水维持了较高的总酚、类黄酮含量;以PE50包装时,10%失水处理均较0和5%失水更显著地维持了总酚、类黄酮含量(p<0.05)。两种包装下,各处理间的总抗氧化能力差异不显著。可见,不同的失水率复合自发气调包装有助于保持核桃仁酚类物质含量和抗氧化性,其中以失水率10%复合PE50处理效果最为明显。贮藏80d后,失水率10%+PE50处理核桃仁总酚、类黄酮含量

分别为: 50.06 mg GAE/g Fw 和 7.28 mg Rutin/g Fw,是单独PE50自发气调包装下的核桃仁总酚和类黄酮含量的2倍以上(21.50 mg GAE/g Fw、3.55 mg Rutin/g Fw)^[11]。说明,与单独自发气调相比,失水率10%复合PE50处理更好地延缓了贮藏期酚类抗氧化物质含量的下降,保护了青皮内的抗病物质,是该处理保鲜效果最佳的原因之一。

2.4 水气耦合对核桃仁品质的影响

2.4.1 核桃仁感官品质

表4 贮藏80d后各处理的核桃仁感官品质

Table 4 Sensory quality in walnut kernel under different packaging conditions after 80-day storage

处理	种皮颜色(级)	种皮分离度(级)	核桃仁色泽(级)	核桃仁风味(级)	各感官品质级别总和
CK	3.0	2.5	2.0	3.0	9.5
失水0 + PE30	1.8	1.0	1.5	2.0	6.3
失水5% + PE30	1.0	1.5	1.5	1.5	5.5
失水10% + PE30	1.5	2.0	1.5	2.0	7.0
失水0 + PE50	2.0	1.0	1.0	2.0	6.0
失水5% + PE50	1.5	1.0	2.0	2.0	6.5
失水10% + PE50	1.5	1.5	1.0	1.0	5.0

由表4可知,青皮核桃贮藏80d后,各处理的核

桃仁品质均优于对照。其中,在PE30包装下,失水

率 5%的核桃仁种皮颜色新鲜如初,核桃仁颜色稍发黄,种皮可小片剥取,有残留。而对照的核桃仁种皮呈暗褐色,难以剥取,有大量残留,核桃仁呈黄白色,口感似脆非脆,鲜味变淡;在 PE50 包装下,10%失水率处理的核桃仁除种皮剥取时有小片残留,其他品质均新鲜如初,其他处理的核桃仁种皮颜色呈暗黄色,种皮可小片剥取,有残留,核桃仁风味脆而不浓,核桃仁颜色稍微发黄。说明,适宜的失水率复合自发气调包装可以有效的延缓核桃仁感观品质的下降。其中,失水率 10%复合 PE50 处理效果最优。本课题组前期研究得出,单独的 PE50 自发气调包装下,贮藏 80d 后,核仁感官品质级别总和为 8 分,而本实验中,为 5 分,说明失水 10%+PE50 处理较单独的自发气调包装更有效的维持核仁的感官品质^[11]。

2.4.2 核桃仁丙二醛过氧化氢和可溶性蛋白质的含量

表 5 贮藏 80d 后各处理的核桃仁丙二醛,过氧化氢和可溶性蛋白质的含量

Table 5 MDA, H₂O₂ and soluble protein content of walnut kernel under different packaging conditions after 80-day storage

处理	丙二醛/ ($\mu\text{mol/g Fw}$)	过氧化氢/ ($\mu\text{mol/g Fw}$)	可溶性蛋白质/ (mg/g Fw)
贮前	1.03 ^c ±0.18	1.21 ^c ±0.24	22.50 ^a ±2.31
CK	4.06 ^a ±0.22	4.21 ^a ±0.57	10.64 ^c ±1.78
失水 0 + PE30	1.98 ^b ±0.05	3.09 ^a ±0.47	15.39 ^b ±2.04
失水 5% + PE30	1.28 ^c ±0.17	1.86 ^b ±0.19	19.82 ^a ±3.21
失水 10% + PE30	2.24 ^b ±0.16	3.59 ^a ±0.17	13.60 ^b ±3.05
失水 0 + PE50	1.80 ^b ±0.08	2.33 ^b ±0.38	16.21 ^b ±1.65
失水 5% + PE50	1.75 ^b ±0.25	2.16 ^b ±0.19	16.85 ^b ±1.20
失水 10% + PE50	1.10 ^c ±0.02	1.32 ^c ±0.42	20.54 ^a ±2.01

丙二醛(MDA)积累可间接反映核桃仁质膜受损的程度^[15]。贮藏 80 d 后,与贮藏前相比,各处理的核桃仁 MDA 含量均有所升高(表 5)。其中,对照核桃仁 MDA 含量是贮藏前的 4 倍。在 PE30 包装下,失水 5%较 0 和 10%失水更显著的抑制了 MDA 的产生($p<0.05$);在 PE50 包装下,失水 10%较 0 和 5%失水较有效的降低了 MDA 的含量($p<0.05$)。两组包装间比较,以失水 10%+PE50 的作用最强。贮藏 80 d 后 10%+PE50 处理的 MDA 含量也仅为 PE50 包装单独处理(2.80 $\mu\text{mol/g Fw}$)的 1/2 以下,表现了贮前失水对自发气调在减轻膜脂氧化方面的的增效作用,与穆晶晶等^[6]研究得出猕猴桃适当的失水(6%)处理可以有效减缓其膜脂过氧化进程的结果一致。

过氧化氢是生物细胞代谢过程中产生的一种活性氧,而当活性氧产生量超过系统的清除能力时,会

造成组织氧化受损^[16]。贮藏 80 d 后,对照组的过氧化氢含量急剧上升。在 PE30 包装下,失水 0 和 10%处理的核桃仁过氧化氢含量与对照差异不显著,但二者共同显著高于失水 5%的处理($p<0.05$);在 PE50 包装下,各处理核桃仁的过氧化氢含量均显著低于对照($p<0.05$),其中 10%失水处理的过氧化氢含量最低。说明,自发气调复合一定的失水率通过有效地降低活性氧的产生而达到延长果实贮藏寿命的目的。

贮藏 80 d 后,对照核桃仁的可溶性蛋白含量与贮藏前相比急剧下降,而各处理核桃仁的可溶性蛋白含量均保持在较高的水平(表 5)。其中,失水 0 时,PE50 和 PE30 包装处理的显著高于对照,以 PE50 作用更强。与 PE30 复合包装时,5%失水处理的可溶性蛋白质显著地高于 0 和 10%处理($p<0.05$);与 PE50 复合包装时,核桃仁可溶性蛋白质含量表现为:失水 0<失水 5%<失水 10%,后者显著高于前两者($p<0.05$)。以上结果说明,果实失水 10%复合 PE50 包装处理更有利于保持核桃仁较高可溶性蛋白质的含量。

2.4.3 核桃仁油脂的酸价、过氧化值

表 6 贮藏 80d 后各处理核桃仁油脂的酸价和过氧化值

Table 6 Acid value and peroxide value of walnut oil under different packaging conditions after 80-day storage

处理	酸价 (mg NaOH/g 油样)	过氧化值 (10^{-2}mgKOH/g 油样)
贮前	0.63 ^c ±0.02	0.20 ^c ±0.04
CK	4.33 ^a ±0.27	1.55 ^a ±0.17
失水 0 + PE30	2.08 ^b ±0.15	0.79 ^b ±0.10
失水 5% + PE30	0.96 ^c ±0.04	0.24 ^c ±0.09
失水 10% + PE30	2.58 ^b ±0.16	0.95 ^b ±0.06
失水 0 + PE50	1.81 ^b ±0.18	0.62 ^b ±0.08
失水 5% + PE50	1.79 ^b ±0.05	0.59 ^b ±0.02
失水 10% + PE50	0.78 ^c ±0.07	0.22 ^c ±0.03

青皮核桃贮藏 80 d 后,对照和处理的核桃仁油脂酸价较贮藏前均有所增加,表明青皮核桃在贮藏期间其脂肪水解使脂肪酸不断增加。由表 6 可知,贮藏前核桃仁油脂的酸价很低为 0.63 mg/g ,贮藏 80 d 后对照的酸价达到了 4.33 mg/g ,超过了 GB 2716-2005《食用植物油卫生标准》规定食用油酸价不得大于 4 mg/g 的标准。而各处理的均保持在较低的水平。其中,以 PE30 包装时,失水率 5%较 0 和 10%失水显著的抑制核桃仁酸价的上升($p<0.05$);以 PE50 包装时,10%失水处理均较 0 和 5%失水显著维持较低的酸价($p<0.05$)。其中,以 10%失水率复合 PE50 包装处理效果最佳,其贮藏 80 d 时的酸价(0.78 mg/g)甚至低于 PE50 包装单独处理 60 d 时的值(2.0 mg/g)^[17]。

与酸价相同,过氧化值也是判断油脂酸败的重要指标。贮藏 80 d 后核桃仁油脂的过氧化值均有所上升(见表 6),其中对照增幅最大,高达 1.55×10^{-2} mg KOH/g;失水率 5%复合 PE30 包装和失水率 10%复合 PE50 包装处理的核桃仁油脂过氧化值最小,分别为 0.24×10^{-2} mg KOH/g 和 0.22×10^{-2} mg KOH/g。而在前人研究中,同品种下贮藏 80d 后,核仁油脂的过氧化值为 0.32×10^{-2} mg KOH/g^[11]。说明,适当失水也明显增强了 PE50 包装延缓核桃仁氧化劣变的作用。

3 结论

3.1 青皮核桃果实贮前适当失水与自发气调复合处理可进一步延长青皮核桃保鲜期,明显增强了自发气调包装控制果实腐烂和保持核桃仁品质的作用。不同失水率处理在不同自发气调条件下所表现的减少果实腐烂的效应不同:PE30 包装下,5%失水率处理较 10%作用更强;PE50 包装下,则 10%失水率较 5%的作用更强。

3.2 不同失水率复合 PE30 或 PE50 包装下,青皮核桃贮藏 80 d 后,各处理核桃仁的总酚、类黄酮的含量均显著高于对照,其中 PE50 复合 10%失水率的含量最高,分别为:52.06 mg/g Fw、7.28 mg/g Fw,其核桃仁的抗氧化能力也最强为 5.48 mmol/L。

3.3 不同失水率复合 PE30 或 PE50 包装下,青皮核桃贮藏 80 d 后,与对照相比各处理的核桃仁保持了较好感官品质,较低的酸价和过氧化值等良好的营养状况。其中失水 10%复合 PE50 包装处理效果最好,各处理对核桃仁品质的保持作用与对青皮的保鲜结果完全一致,说明核桃仁品质的保持与青皮的新鲜度密切相关,腐烂率越低的青皮果实对其内核仁的保护作用越强,延迟其膜脂过氧化等衰老进程,从而保持了较高的品质。

参考文献

- [1] Tapia I M, Morgado J R S, Parra J S, et al. Comparative study of the nutritional and bioactive compounds content of four walnut (*Juglans regia* L.) cultivars [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2013, 31: 232-237
- [2] 徐效圣,傅力,李建飞,等.鲜核桃营养成分分析及风味物质 GC-MS 研究[J].食品工业,2012,11(33):188-190
XU Xiao-sheng, FU Li, LI Jian-fei, et al. Main nutritional components of fresh walnut and GC-MS analysis of volatile [J]. The Food Industry, 2012, 11(33):188-19
- [3] 马艳萍,马艳萍,马惠玲,刘兴华.鲜食核桃和干制核桃贮藏生理及营养品质变化比较[J].食品与发酵工业, 2011, 37(3):235-238
MA Yan-ping, MA Hui-ling, LIU Xing-hua, et al. Comparison of physiology and nutrition in dry and flesh walnut during the storage [J]. Food and Fermentation industry, 2011, 37(3): 235- 238
- [4] Bryant P H. A model of postharvest moisture loss under air currents to reduce pericarp browning of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 73: 8-13
- [5] Linke M, Herppich W B, Geyer M. Green peduncles may indicate postharvest freshness of sweet cherries [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58(2): 135-141
- [6] 穆晶晶,张博,李书倩,等.失水处理对软枣猕猴桃贮藏期间褐变相关因子的影响[J].食品科学,2013,34(20):307-311
MU Jing-jing, ZHANG Bo, LI Shu-qian, et al. Effect of dehydration treatment on parameters associated with browning of actinidia arguta sieb. et zucc during storage at room temperature [J]. Food Science, 2013, 34(20): 307-311
- [7] 姜丹,张博,李书倩,等.采后适当失水处理对软枣猕猴桃 20℃下生理生化变化的影响[J].果树学报,2013,30(2):299-303
JIANG Dan, ZHAN Bo, LI Shu-qian, et al. Effects of appropriate dehydration treatment on physiology and bio-chemistry of actinidia arguta during postharvest stored under 20℃ [J]. Journal of Fruit Science, 2013, 30(2): 299-303
- [8] Caleb O J, Mahajan P V, Al-Said F A J, et al. Modified Atmosphere Packaging Technology of Fresh and Fresh-cut Produce and the Microbial Consequences-A Review [J]. Food Bioprocess Technol, 2013, 6: 303-329
- [9] 宋光泉,柳建良,梁世强.荔枝果皮褐变与失重关系的研究.仲恺农业技术学院学报,2002,15(3):1-7
SONG Guang-quan, LIU Jian-liang, LIANG Shi-qiang. Study on the relation between browning and weight-loss of litchi pericarp [J]. Journal of Zhongkai Agrotechnical College. 2002, 15(3):1-7
- [10] Zou Y, Chang S K C, Gu Y, et al. Antioxidant activity and phenolic compositions of lentil (*Lens culinaris* var. Morton) extract and its fractions [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(6): 2268-2276
- [11] 王进,马艳萍,陈金海,等.自发气调方式对核桃鲜贮及核桃仁品质的影响[J].现代食品科技,2014,30(3): 169-176
WANG Jin, MA Yan-ping, CHENG Jin-hai, et al. Effect of modified atmosphere package conditions on preservation of green walnut fruit and kernel traits [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(3): 169-176

- [12] Zhou Q, Ma C, Cheng S, et al. Changes in antioxidative metabolism accompanying pitting development in stored blueberry fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 88: 88-95
- [13] Mexis S F, Badeka A V, Riganakos K A. Effect of packaging and storage conditions on quality of shelled walnuts [J]. *Food Control*, 2009, 20: 743-751
- [14] 马惠玲,宋淑亚,马艳萍,等.自发气调(MA)包装对核桃青果的保鲜效应[J].*农业工程学报*,2012,28(2):262-267
MA Hui-ling, SONG Shu-ya, MA Yan-ping, et al.Effects of modified atmosphere package on preservation of green walnut fruit [J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(2): 262-267
- [15] Ge T D, Sui F G, Bai L P, et al. Effects of water stress on the protective enzyme activities and lipid peroxidation in roots and leaves of summer maize [J]. *Scientia Agriculhura Sinica*, 2005, 38(5): 922-928
- [16] 刘零怡,赵丹莹,郑杨,等.植物在低温胁迫下的过氧化氢代谢及信号转导[J].*园艺学报*,2009,36(11):1701-1708
LIU Ling-yi, ZHAO Dan-ying, ZHENG Yang, et al. Hydrogen peroxide metabolism and signal transduction under cold stress in plants [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2009, 36(11): 1701-1708
- [17] 冯文煜,蒋柳庆,马惠玲,等.不同厚度 PE 膜包装对核桃果实采后生理与鲜贮的效应[J].*食品科学*, 2013,34(18): 295-300