

自发气调方式对核桃鲜贮及核桃仁品质的影响

王进¹, 马艳萍², 陈金海³, 马惠玲¹, 冯文煜¹, 王典茹¹

(1. 西北农林科技大学生命科学学院, 陕西杨凌 712100) (2. 西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100)

(3. 宜君县核桃产业办公室, 陕西宜君 727200)

摘要: 为了确定青皮核桃自发气调的准确方式, 以“辽宁2号”、“西扶2号”核桃鲜果为试材, PE50包装下被动自发气调(pPE50)为对照, 另设主动自发气调(aPE50)、80~85% CO₂脉冲自发气调(CO₂+pPE50)两种处理, 采取青皮核桃--湿鲜坚果二步法, 在0~1℃, 相对湿度70~80%条件下冷藏。两个品种均以aPE50包装袋内气体浓度变化最大, 贮藏18 d达到相对稳定后, O₂、CO₂体积分数均分别为4.6~5.4%、9.6~11.0%。贮藏80 d后, 两个品种的青皮果实腐烂率均以aPE50最低, 分别为12.2%、15.7%; 核桃仁感观品质下降以aPE50慢于对照, CO₂+pPE50快于对照; 两个处理果实的青皮总酚、类黄酮等物质的含量均极显著高于对照(p<0.01)。湿鲜坚果继续贮藏期间, aPE50核桃仁酸价、过氧化值上升最慢, 总酚、类黄酮含量后期增加, 丙二醛(MDA)含量和脂氧合酶(LOX)活性持续最低, aPE50被选为更适合青皮核桃保鲜的自发气调方式。

关键词: 青皮核桃; 自发气调贮藏; 腐烂率; 青皮组分; 核桃仁品质

文章编号: 1673-9078(2014)3-169-176

Effect of Modified Atmosphere Package Conditions on Preservation of Green Walnut Fruit and Kernel Traits

WANG Jin¹, MA Yan-ping², CHEN Jin-hai³, MA Hui-ling¹, FENG Wen-yu¹, WANG Dian-ru¹

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

Abstract: To explore the proper mode of modified atmosphere package for fresh walnut preservation, green walnut fruit of cv. Liaoning2 and Xifu2 were harvested and stored in active modified atmosphere package with PE50 (aPE50) and pPE50 with pretreatment of 80~85% CO₂ pulse (CO₂ + pPE50), passive modified atmosphere package with PE50 (pPE50) was as control. Then they were stored with two-step way at 0~1℃, with RH of 70~80%. The results showed that aPE50 package presented most effective function of atmosphere modification on both varieties, after 18d-storage when they reached stable relatively, the volume fraction of O₂ and CO₂ were 4.6~5.4% and 9.6~11.0%, respectively. Storage decay rates of the fruit from aPE50 were the lowest, being 12.2% in Liaoning 2 and 15.7% in Xifu 2 after 80 d. Sensory quality decline of kernel was slower in aPE50 and faster in CO₂+pPE50 compared with control. Content of total phenols, flavonoids, tannin, ascorbic acid(V_C), reduced glutathione (GSH) in green husk from both aPE50 and CO₂ + pPE50 were greater statistically than those from control (p<0.01). During the continuous storage of peeled fresh walnut, kernel from aPE50 gained the least increase in acid value and peroxide value, showed increase of total phenols and flavonoid in later stage; persistent lower MDA content and lipoxygenase (LOX) activity than control and CO₂+pPE50. Therefore, aPE50 was a better mode of modified atmosphere package for fresh walnut preservation than others.

Key words: green walnut fruit; modified atmosphere storage; decay rate; constituent of green husk; kernel trait

核桃是传统的高营养食品, 是日常消费和保健养生的常备佳品。近年研究表明, 核桃对心脑血管疾病、II型

收稿日期: 2013-11-01

基金项目: 陕西省农业攻关项目(2012K01-29); 陕西省自然科学基金项目(2011JQ3002)

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
马艳萍, 为并列第一作者

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

糖尿病、癌症和神经系统疾病有一定的康复治疗 and 预防效果^[1-2]。美国加利福尼亚核桃委员会(The California Walnut Commission, CWC)将核桃称之为“21世纪的超级食品”。核桃可以鲜食, 也可干制, 鲜食核桃不但脆嫩香甜、少油不腻, 而且具有营养优势: 鲜食核桃的氨基酸总量、必需氨基酸及其他氨基酸的含量、γ-VE的含量均极显著(p<0.01)高于干制核桃^[3-4], 因此, 鲜食核桃的市场需求量不断扩大。然而, 除了采收季鲜食核桃大量上市和延后30~40 d的少量供应外,

一年中其他时间核桃一律以干制品形式销售,鲜食核桃的供应期极其有限,攻克鲜食核桃保鲜技术以进一步延长其市场供应期显得尤为必要。前人经过对核桃的湿鲜坚果、青皮果实不同处理下的冷藏研究,得出青皮核桃自发气调贮藏是迄今为止最有效而简易的鲜食核桃保鲜方法^[5-6]。但是,适宜的包装条件尚不清楚。自发气调贮藏(MAP)分为不控制起始气体浓度而密封包装袋的被动自发气调(pMAP,也就是以往常用的MA)和给袋内充入一定浓度O₂、CO₂和再密封的主动自发气调(aMAP,以往与MA对应,将此法表示为MAP)两种方式^[7]。冯文煜等^[8]采用PE30(30 μm)、thk-PE(45 μm)、PE50(50 μm)3种不同厚度薄膜袋对青皮核桃进行pMAP保鲜,结果以PE50包装保鲜效果最好,贮藏60 d果实腐烂指数小于10%,核桃仁品质高于其他两种包装。在此基础上,我们进一步比较主动自发气调和高CO₂脉冲自发气调处理对青皮核桃的保鲜效应,以期获得更加有效的核桃鲜贮条件,为生产应用提供理论依据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

供试核桃鲜果为“辽宁2号”和“西扶2号”两个中晚熟品种,2012年8月26日采摘于陕西省扶风县杏林镇核桃示范园,当天运回(0.5 h)西北农林科技大学生命科学学院试验冷库,(0~1)℃下预冷12 h后进行处理。

1.2 实验方法

1.2.1 试验处理

PE50包装被动自发气调(pPE50, CK):果实直接包装于PE50塑料袋中(PE50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),天津国家保鲜中心生产),密封后冷藏,作

为对照。

PE50包装主动自发气调(aPE50):果实装于PE50塑料袋中,充CO₂至袋内气体组分达到6% CO₂+18% O₂水平,密封后冷藏。

高二氧化碳脉冲自发气调(CO₂+PE50):果实装于PE50塑料袋中,充CO₂气体至袋内气体组分达到80.00~85.00% CO₂+(2±0.05)% O₂,密封后冷藏48 h,开袋释放袋内气体,于空气条件下平衡1 d,然后密封继续冷藏。

“辽宁2号”和“西扶2号”分别均设以上3组处理,前者重复6袋,后者重复3袋,80个果/袋。冷藏条件为温度0~1℃,相对湿度70~80%。每袋果实随机置于冷库不同位置贮藏,进行青皮果实-湿鲜坚果二步法贮藏。第一步贮藏至“辽宁2号”的对照果实(pPE50)腐烂率达到20%(试验中需实际贮藏天数为80 d)时,人工脱去“辽宁2号”各处理果实的青皮,同样温度、湿度条件下分别摊晾48 h,再装回原来各自的保鲜袋中继续进行第二步冷藏;“西扶2号”果实只进行第一步贮藏。

1.2.2 测试项目与方法

袋内气体浓度:采用O₂、CO₂分析仪(CheckMate 9900,丹麦)测定。

腐烂率:以烂果占统计果实总数的百分比计,青果贮藏期间以青皮变黑面积达到20%或青皮开裂定为烂果。

核桃仁的感官品质:在青皮果实入贮(第一步贮藏)前和第二步湿鲜坚果继续贮藏0、10、20、30、40 d时,从每种处理样品中随机取10个核桃,分别观测种皮颜色、种皮分离难易程度、核桃仁

色泽、品尝香气、种仁风味,按照以下(表1)标准分别对5个方面的感官品质进行分级:

表1 核桃仁各感官品质分级定义

Table 1 Definitions for each sensory quality of kernel

性状	1级	2级	3级	4级	5级
种皮颜色	浅亮黄色	暗黄色	暗褐色	褐色	黑褐色
种皮分离度	可轻易大片剥取	可小片剥取,有残留	难以剥取,有大量残留		
核桃仁色泽	白色	黄白色	黄色	黄褐色	黑褐色
香气	浓郁清香	清香	淡清香	微弱清香	无香气
风味	香脆味浓	脆而味不浓	似脆非脆,鲜味淡	失脆,无异味	有微酸味和韧感

按照以下公式依据各个果实的品尝结果计算每个处理核桃仁的各感官品质级别:

$$\text{各感官品质级别} = \frac{\sum(\text{品质级别} \times \text{本级核桃数})}{\text{总核桃数}}$$

还原型谷胱甘肽(GSH)的含量:采用衍生化

法测定^[9]。

抗坏血酸 (Vc) 的含量: 采用2,6-二氯酚滴定法测定。

单宁、总酚和类黄酮的含量均参考Toor和Savage^[10], 采用Folin-Denis比色法测定。

丙二醛 (MDA) 含量: 采用分光光度计法测定^[9]。

脂氧合酶 (LOX): 采用分光光度计法测定^[9]。

总抗氧化活性: 参考Benzie与Strain的FRAP法测定^[11]。

酸价: 参照Mexis^[12]的方法提取核桃仁油脂, 根据GB/T 5530-2005测定酸价。

过氧化值: 参照Vanhanen^[13]的方法提取核桃仁油脂, 根据GB/T 5538-2005测定过氧化值。

1.3 数据分析

每个指标重复3~5次, 测定结果采用Excel 2003及SPSS Statistics 17.0数据分析软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 各种自发气调方式对包装袋内气体成分的影响

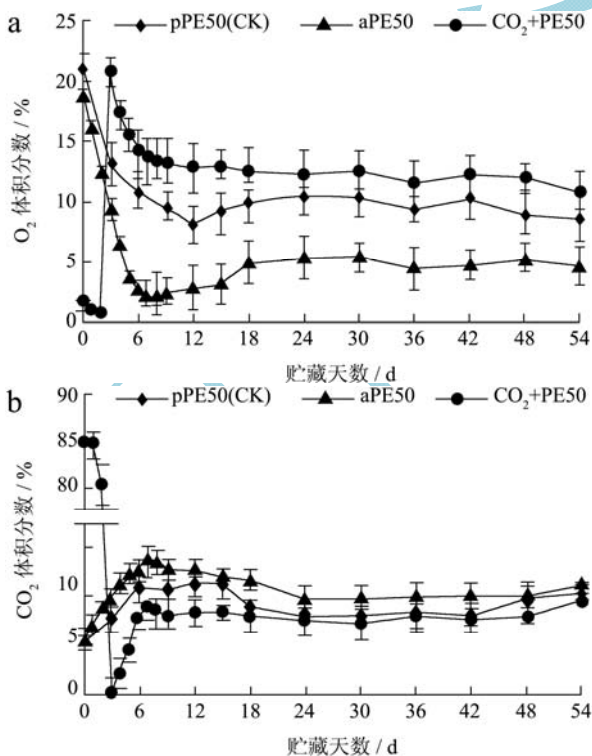


图1 辽宁2号各包装袋内O₂(a)和CO₂(b)体积分数的变化

Fig.1 Volume fraction changes of O₂ (a) and CO₂ (b) in each modified atmosphere package of Liaoning 2

贮藏期间“辽宁2号”袋内O₂和CO₂的变化分

别如图1(a)、(b)所示, 对照(pPE50)袋内O₂体积分数在前12d急剧下降到最低点, 12~18d上升, 以后稳定于8.6~10.6%; 主动自发气调(aPE50)袋内前期O₂体积分数下降较快, 第8d达到最低点, 以后回升,

同样于18d后达到平衡, 但稳定水平为4.6~5.4%; 高CO₂脉冲处理(CO₂+PE50)虽然于第3d才再次封袋开始自发气调贮藏, 但是同样于18d时达到体积分数平衡, O₂维持在10.9~12.7%。各包装内CO₂体积分数变化节奏与O₂的完全同步, 并且方向恰恰相反, 达到平衡时aPE50、pPE50、CO₂+PE50的CO₂体积分数分别为9.6~11.0%、7.8~10.1%、7.3~9.6%, 说明同种塑料袋包装下, 主动自发气调实现了更低的O₂和更高的CO₂水平; 高CO₂脉冲稍有削弱果实贮期袋内气体的变化幅度。

“西扶2号”袋内气体的变化趋势与“辽宁2号”趋于一致(图略)。

pPE50和aPE50袋内气体浓度的差别说明, 同种薄膜包装下控制起始气体成分也会影响袋内气体达到平衡时的各组分气体体积分数, 可见, 起始降O₂和升高CO₂的主动自发气调对贮藏过程中气体变化有累积效应。高CO₂脉冲处理较单纯自发气调袋内O₂体积分数下降和CO₂体积分数上升均放缓, 以3~18d表现更明显, 推测该处理抑制果实呼吸的作用最强, 耗O₂和释放CO₂均慢所致。由于前人鲜有对此3种自发气调方法进行对比研究, 本文得出这些结果尚需进一步验证。

2.2 各种自发气调方式对青皮核桃腐烂的影响

如图2所示, 3种自发气调方式贮藏过程中, “辽宁2号”和“西扶2号”均于35d后有个别果实腐烂, 直到50d腐烂率均低于2.5%。55d以后腐烂有所加快, 高CO₂脉冲自发气调(CO₂+PE50)果实腐烂率增长最快, 主动自发气调(aPE50)最慢, 对照居中, 80d时不同处理间腐烂率在“辽宁2号”果实表现为CO₂+PE50显著高于对照(p<0.05), aPE50显著低于对照(p<0.05)。在“西扶2号”上表现为CO₂+PE50与对照间差异不显著, 但二者共同极显著高于aPE50(p<0.01), 可见同一薄膜包装下, 主动自发气调较被动自发气调对青皮核桃的腐烂有更明显的延缓作用, 高CO₂脉冲加剧了果实腐烂。湿鲜坚果继续贮藏期间, 40d后陆续出现坚果发霉现象, 故建议脱青皮后坚果便先后上市, 最大延期贮藏限度为40d。

2.3 各种自发气调方式对核桃仁感官品质的影响

影响

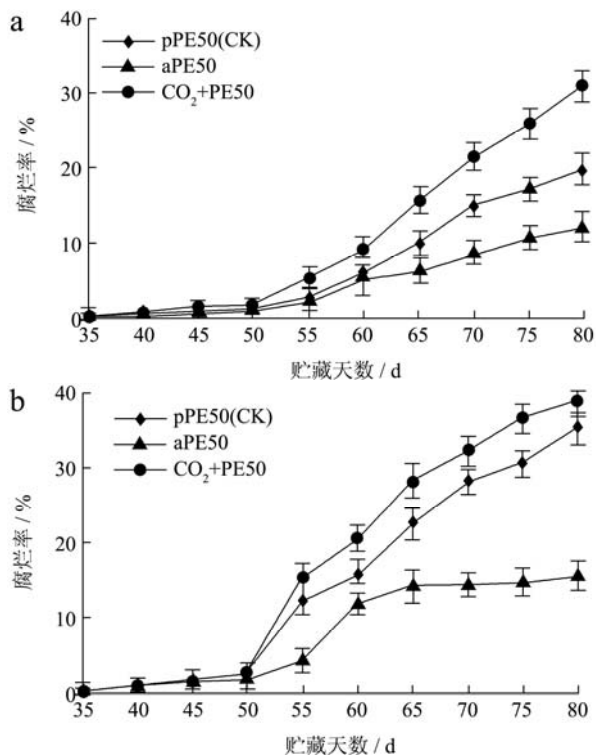


图2 青皮核桃果实自发气调贮藏过程中腐烂率的变化

Fig.2 Decay rate changes of green walnut fruit from two

表2 各种自发气调方式贮藏下核桃仁感官品质的变化

Table 1 Changes of sensory quality of walnut kernel under different MAP storage

贮藏天数 /d	处理	种皮颜色 /级	种皮分离度 /级	核桃仁色泽 /级	香气 /级	风味 /级	各感观品质 级别总和
0	pPE50(CK)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5
	aPE50	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5
	CO ₂ +PE50	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5
80	pPE50(CK)	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	8
	aPE50	1.5	2.0	1.0	1.0	1.0	6.5
	CO ₂ +PE50	2.3	2.0	1.0	2.0	2.0	9.3
80+10	pPE50(CK)	2.3	3.0	1.0	2.0	2.0	10.3
	aPE50	2.2	3.0	1.0	2.0	1.0	9.2
	CO ₂ +PE50	2.8	3.0	1.0	2.0	2.0	10.8
80+20	pPE50(CK)	2.8	3.0	1.0	2.0	2.0	10.8
	aPE50	2.5	3.0	1.0	2.0	2.0	10.5
	CO ₂ +PE50	3.7	3.0	1.0	3.0	3.0	13.7
80+30	pPE50(CK)	3.5	3.0	1.0	2.0	2.0	11.5
	aPE50	3.1	3.0	1.0	2.0	2.0	11.1
	CO ₂ +PE50	3.8	3.0	1.0	3.0	3.0	13.8
80+40	pPE50(CK)	3.5	3.0	1.0	2.0	2.0	11.5
	aPE50	3.2	3.0	1.0	2.0	2.0	11.2

varieties during MAP storage

注: a.辽宁2号青果腐烂率; b.西扶2号青果腐烂率。

见表2, 青皮果实贮藏80 d后, 主动自发气调(aPE50)贮藏下核桃仁除了种皮稍稍发黄, 可小片剥取, 有残留外, 其他性状均新鲜如初。而对照(pPE50)和高CO₂脉冲自发气调(CO₂+PE50)除了种皮的变化外, 香气已不浓。CO₂+PE50风味也变淡。在湿鲜坚果贮藏期间, 随贮藏天数的增加, CO₂+PE50核桃仁的种皮颜色、种皮分离度、核桃仁色泽、香气、风味均下降最快, 至(80+20) d时各方面感观性状均全面变化; aPE50下降最慢, (80+20) d时种仁仍白净; 对照变化居中, 香气和风味早于aPE50开始变淡, 其他感观性状与aPE50变化同速。可见, PE50包装下主动自发气调较被动自发气调不但于青皮果实贮藏期间有效保持了核桃仁的品质, 而且在青皮剥除后湿鲜坚果继续冷藏期也延缓了核桃仁品质的下降, CO₂+PE50处理则较被动自发气调加促了这两个阶段核桃仁感观品质的下降。

2.4 各种自发气调方式对贮后青皮几种化学组分含量的影响

测定了各处理青皮果实贮藏前后青皮中几种化学组分的含量, 结果见表3。

CO₂+PE50 3.9 3.0 2.0 3.0 3.0 14.9

注：贮藏天数列的‘80+x’中 80 表示青皮果实贮藏的天数，x 表示脱青皮后以湿鲜坚果包装于原保鲜袋内继续贮藏的天数。

表 3 各种自发气调方式贮藏下青皮化学成分含量的变化 (mg/g)

Table 3 Changes of several constituent content of green husk under different MAP storage

指标	贮前	贮后		
		pPE50(CK)	aPE50	CO ₂ +PE50
总酚	40.35±1.18 ^A	18.45±1.23 ^B	36.65±0.54 ^A	31.65±1.73 ^A
类黄酮	5.71±0.81 ^A	2.66±0.75 ^D	4.89±0.75 ^B	3.60±0.421 ^C
单宁	9.48±0.26 ^A	6.70±0.29 ^C	8.85±0.39 ^A	7.40±0.51 ^B
抗坏血酸	4.55±0.44 ^C	6.45±0.12 ^B	8.53±0.32 ^A	6.19±0.42 ^B
还原型谷胱甘肽	0.90±0.25 ^A	0.49±0.37 ^D	0.65±0.16 ^C	0.74±0.36 ^B

注：表中数据一律为均值±SD，表中不同字母表示同一行不同处理间差异达统计学显著水平 (p<0.01)。

总酚、类黄酮、单宁等酚类物质为次生代谢物，同时具有一定抗氧化能力，并作为保护物质参与植物组织抗病反应。贮藏后的核桃青皮总酚、类黄酮、单宁含量均普遍低于贮藏前，并以对照 (pPE50) <CO₂+PE50<aPE50，但是 aPE50 的总酚 (包括单宁) 与贮前差异不显著。对照的总酚、类黄酮、单宁含量均与贮前差异显著，而且极显著低于两个处理 (p<0.01)。单宁下降率最小的 aPE50 果实腐烂率也最低，与朱慧波等^[14]在石榴上的研究结果一致。反映出贮藏起始适当降 O₂，提升 CO₂ 有利于果实酚类物质 (包括类黄酮、单宁) 的合成或减少降解，促进了果实抗病性。

贮后青皮抗坏血酸 (Vc) 含量均极显著高于贮藏前 (p<0.01)，其中主动自发气调 (aPE50) 处理又极显著高于对照和 CO₂+PE50，后两者间差异不显著，可见青皮核桃经过冷藏过程 Vc 的合成大于降解，PE50 包装下主动自发气调促进了这一合成过程。一般果蔬在贮藏过程中 Vc 含量一律下降，本研究测得核桃青皮中是上升，由于自发气调贮藏过程中青皮失水小于 2%^[8]，可以排除失水对 Vc 的浓缩作用。贮后 Vc 含量上升的现象在板栗上也有报道，作者认为是随着果实体内抗氧化物质的生产，合成酶作用所致^[15]。青皮核桃冷藏 30 d 后抗氧化酶活性增大^[16]，抗病物质含量随之增大，推测贮后 Vc 含量增加，与在板栗上有共同的机制。

贮藏后青皮的还原型谷胱甘肽 (GSH) 含量均极显著低于贮藏前，并以对照 (pPE50) <aPE50 <CO₂+PE50，三者间依次呈极显著差异 (p<0.01)。Vc 和 GSH 都具有抗氧化作用，贮藏后二者含量高的果实腐

烂率趋于较低，aPE50 在促进 Vc 积累的同时也延缓了 GSH 降解，说明合理的气体条件保护了抗氧化物质，与增强青皮抵抗褐变，进而减少腐烂的作用有关。

2.5 各种自发气调方式对脱青皮后坚果生理与品质的影响

2.5.1 不同自发气调方式对核桃仁丙二醛 (MDA) 含量和脂氧合酶 (LOX) 活性的影响

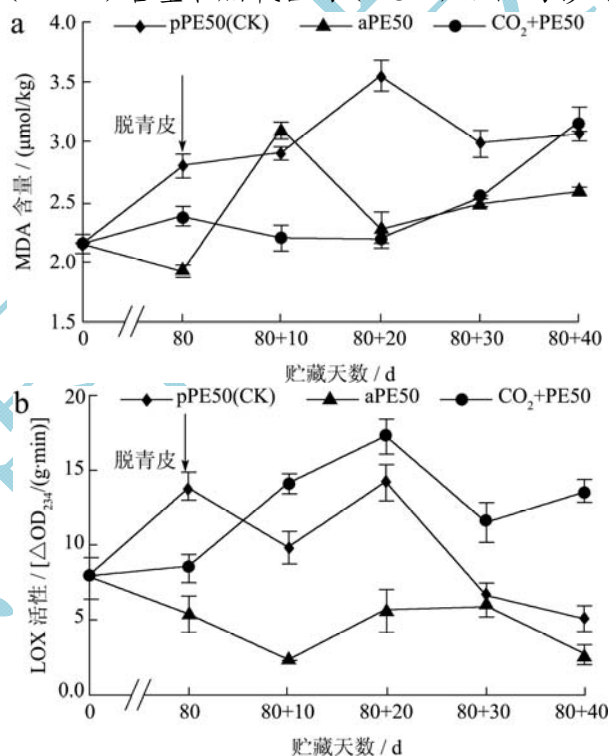


图 3 不同自发气调方式贮藏下核桃仁丙二醛含量 (a) 和脂氧合酶活性 (b) 的变化

Fig.3 Changes of MDA content (a) and LOX activity (b) in walnut kernel under different MAP storage

丙二醛 (MDA) 是膜脂过氧化作用的主要产物之一，其含量可以反映核桃仁细胞膜衰老破坏的程度。由图 3 (a)、(b) 可知，青皮果实贮藏 80 d 内，只有对照 (pPE50) 核桃仁的 MDA 含量上升，高 CO₂ 脉冲自发气调 (CO₂+PE50) 几乎未变，主动自发气调 (aPE50) 有所下降，三者间差异依次极显著 (p<0.01)；对应时间段内各处理脂氧合酶 (LOX) 活性表现相同的变化趋势。表明 PE50 包装下，主动自发气调、贮前高 CO₂ 脉冲处理分别抑制、不影响青皮核桃贮藏期间核桃仁膜脂氧化。

第二步贮藏期间，对照核桃仁的 MDA 含量在前 20 d 持续增长，以后平稳；aPE50 和 CO₂+PE50 处理

下的MDA含量先后加速增长,加速早的aPE50于20d后回落到低水平;处理与对照核桃仁LOX活性变化与MDA含量虽不完全一致,却表现了主动自发气调较被动自发气调降低LOX活性,减少MDA积累的趋势。高CO₂脉冲促进了第二步贮藏期LOX活性,虽然没有以MDA持续增多表现出来,依然预示了该处理会加快第二步贮藏期核桃仁膜脂氧化的进程。

2.5.2 不同自发气调方式对核桃仁酸价、过氧化值含量的影响

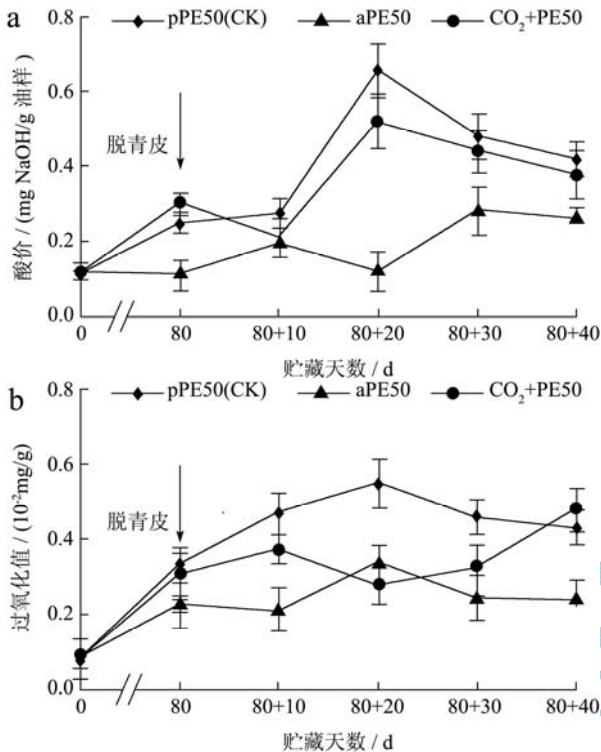


图4 不同自发气调方式贮藏下核桃仁酸价(a)和过氧化值(b)的变化

Fig.4 Changes of acid value(a) and peroxide value(b) in walnut kernel under different MAP storage

如图4(a)、(b)所示,在第一步贮藏期间,3种贮藏条件下样品的酸价与过氧化值均呈缓慢上升趋势,到80d时被动自发气调(pPE50,CK)和二氧化碳脉冲(CO₂+PE50)处理间差异不显著,二者却显著高于主动自发气调(aPE50)(p<0.01)。第二步贮藏期间,aPE50核桃仁的酸价和过氧化值一直变化不大;pPE50在前20d内酸价和过氧化值都加快上升,20d后放缓;CO₂+PE50的酸价变化在前20d与pPE50一致,过氧化值保持稳定,30d后开始增大;40d时,pPE50、CO₂+PE50的酸价、过氧化值均显著高于aPE50(p<0.05)。反映出同为PE50包装条件下,主动自发气调贮藏青皮核桃较被动自发气调明显延缓了核桃仁的酸败和过氧化进程,并且这一效应在脱青皮后湿鲜坚果贮藏期间得到延续,保持了核桃仁的品质。

2.5.3 不同自发气调方式对核桃仁总酚、类黄酮含量的影响

如图5所示,不同自发气调贮藏下核桃仁的总酚、类黄酮含量变化大体趋势一致,带青皮贮藏的80d内,总酚的含量升高,在脱青皮贮藏的前10d内各处理条件下的样本总酚含量都有所下降,随后开始升高,30d时主动自发气调(aPE50)出现峰值,显著高于其他处理(p<0.01),最终三者总酚含量为aPE50>pPE50>CO₂+PE50,酚类物质为次生代谢物,是有助于果实的抗病性,由结果来看,主动自发气调贮藏的果实酚类物质含量最高,最利于其贮藏。

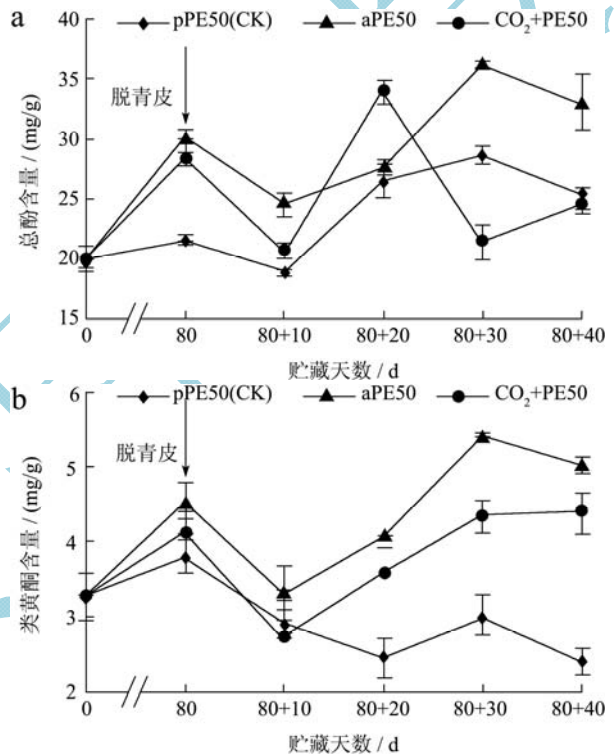


图5 不同自发气调方式贮藏下核桃仁总酚(a)、类黄酮(b)含量的变化

Fig.5 Changes of total phenols (a) and flavonoid content (b) in walnut kernel under different MAP storage

2.5.4 不同自发气调方式对核桃仁总抗氧化活性的影响

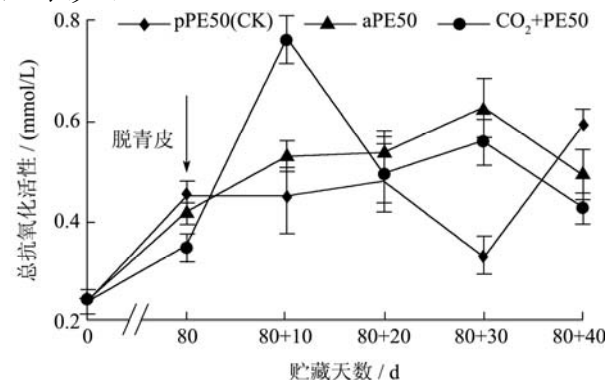


图6 不同自发气调方式贮藏下核桃仁总抗氧化活性的变化

Fig.6 Changes of total antioxidant activity in walnut kernel of fruit from different MAP storage

如图 6 所示, 在青皮核桃贮藏 80 d 内, 3 种处理果实核桃仁的总抗氧化能力均有所上升, pPE50 (CK) 和 aPE50 间差异不显著, 二者同时显著大于 CO₂+PE50 ($p<0.05$)。在脱青皮贮藏期间, aPE50 核桃仁总抗氧化能力缓慢上升, 30 d 后转而下降; CO₂+PE50 急剧上升, 在第 10d 时达到一个高峰, 随后下降; pPE50 (CK) 在大幅度起伏后末期上升; 30 d 时三者的抗氧化活性为 aPE50 和 CO₂+PE50 差异不显著, 二者同时显著高于 pPE50 ($p<0.05$)。可见, 与对照(被动自发气调)相比, 主动自发气调促进了湿鲜坚果继续贮藏期核桃仁抗氧化活性的稳定增长, 高 CO₂ 脉冲处理则表现脱皮后高峰式变化效应。

核桃仁的总抗氧化能力未表现与其总酚(包括类黄酮)含量变化的正相关性, 与 Jiang 等^[17]观测到的结果一致。说明核桃仁的抗氧化活性可能与其体内其他抗氧化物质, 如维生素 E 关系更密切。同时根据青皮 Vc 含量较高的现象, 建议今后进一步测定核桃仁 Vc 含量以说明其抗氧化活性的形成机制。

3 结论

3.1 本研究中所用3种自发气调贮藏方式下, 一致表现为主动自发气调具有促进青皮核桃贮藏期Vc生成, 减少青皮核桃腐烂, 使核桃仁保持了较高级别的感观品质、较低酸价和过氧化值的效应, 可是高CO₂脉冲处理的作用几乎与之相反, 在蓝莓采用高CO₂脉冲处理减少了果实腐烂^[18], 但是在青皮核桃却没有出现, 说明高CO₂脉冲的作用因果实种类不同而异。观察它们的袋内气体动态水平可知, 该处理平衡后袋内O₂体积分数高于被动自发气调, CO₂体积分数与之接近, 因此果实腐烂的加剧应该归因于高CO₂脉冲带来的伤害, 而不是贮藏中后期气体体积分数不适引起。其脉冲伤害的机理有待进一步研究。

3.2 PE50包装下主动自发气调(aPE50)较被动自发气调(pPE50, CK)更有效延长了青皮核桃的冷藏保鲜期, 贮80 d腐烂率小于16%, 其实现的贮期气体条件为4.6~5.4% O₂、9.6~11.0% CO₂。高CO₂脉冲处理则加剧了青皮核桃的自发气调贮藏的腐烂, 不宜采用。

3.3 主动自发气调(aPE50)较被动自发气调(pPE50, CK)对促进冷藏期间青皮抗坏血酸(Vc)的积累, 减少酚类(包括类黄酮)、还原型谷胱甘肽(GSH)下降的作用更强。

3.4 主动自发气调贮藏下核桃仁在青皮果实和湿鲜坚果两段贮藏期间酸价、过氧化值持续最低, 总酚(包

括类黄酮)含量总体较高, 抗氧化活性亦稳定较高, 坚果延期贮藏 30~40 d 较被动自发气调和高 CO₂ 脉冲处理保持了较好的营养状态。

参考文献

- [1] Pribis P, Bailey RN, Russell AA. Effects of walnut consumption on cognitive performance in young adults [J]. *Brit. J. Nutr.*, 2012, 107: 1393-1401
- [2] Vito Verardo, Ylenia Ricuputi, Giovambattista Sorrenti. 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: 732-738
- [3] Cannella C, Dermisi S. Walnut: insights and nutritional value [J]. *Acta Hort.*, 2006, 705: 547-550
- [4] 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 Y P, Ma H L, Liu X H, 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
- [5] 马艳萍, 刘兴华, 袁德保, 等. 不同品种鲜食核桃贮藏期间呼吸强度及品质变化[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(1): 370-374
Ma Y P, Liu X H, Yuan D B, et al. Changes of respiration intensity and quality of different varieties of fresh walnut during cold storage [J]. *Transactions of CSAE*, 2010, 26(1): 370-374
- [6] 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 H L, Song S Y, Ma Y P, et al. Effects of modified atmosphere package on preservation of green walnut fruit [J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(2): 262-267
- [7] 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
- [8] 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
Feng W Y, Jiang L Q, Ma H L, et al. Effect of Different PE Film Thickness in Packaging on the Postharvest Physiology and Preservation of Green Walnut Fruit [J]. *Food Science*, 2013, 34(18): 295-300
- [9] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007
Cao J K, Jiang W B, Zhao Y M. *Experiment Guidance of Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and*

- Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [10] Toor R K, Savage GP. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes [J]. *Food Res. Int.*, 2005, 38: 487-494
- [11] Benzie I F F, Strain J J. The ferric reducing ability of plasma as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay [J]. *Analytical Biochemistry*, 1996, 239(1): 70-76
- [12] 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
- [13] Vanhanen L P, Savage G P. The use of peroxide value as a measure of quality for walnut flour stored at five different temperatures using three different types of packaging [J]. *Food Chem.*, 2006, 99: 64-69
- [14] 朱慧波, 张有林, 宫文学, 等. 新疆喀什甜石榴采后生理与贮藏保鲜技术[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(12): 339-344
Zhu H B, Zhang Y L, Gong W X, et al. Postharvest physiology and storage technology of Xinjiang Kashi sweet pomegranate [J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(12): 339-344
- [15] 谭正林, 王清章, 彭光华, 等. 板栗沙藏腐烂机理研究[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(2): 217-219
Tan Z L, Wang Q Z, Peng G H, et al. Rotting mechanism of Chinese Chest nut stored in sand [J]. *Transactions of the CSAE*, 2004, 20(2): 217-219
- [16] 孙雯, 宋淑亚, 陈金海, 等. 采收期对青皮核桃抗氧化特性及耐贮性的影响[J]. *食品科学*, 2013 (录用待发)
Sun W, Song S Y, Chen J H, et al. Effect of Harvest Stage on Antioxidant Property and Storability of Green Walnut Friut [J]. *Food Science*, 2013
- [17] Liuqing Jiang, Wenyu Feng, Fang Li, et al. Effect of One-methylcyclopropene (1-MCP) and chlorine dioxide (ClO₂) on preservation of green walnut fruit and kernel traits [J]. *J. Food Sci. Technol.*, 2013, DOI 10.1007/s13197-013-0996-9
- [18] 姜爱丽, 孟宪军, 胡文忠, 等. 高 CO₂ 冲击处理对采后蓝莓生理代谢及品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(3): 362-368
Jiang A L, Meng X J, Hu W Z, et al. Effects of high CO₂ shock treatments on physiological metabolism and quality of postharvest blueberry fruits [J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(3): 362-368