

王纪辉, 耿阳阳, 侯 娜. 不同贮藏方式下鲜核桃生理指标响应及动力学模型[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(4): 927-932.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.04.025

不同贮藏方式下鲜核桃生理指标响应及动力学模型

王纪辉, 耿阳阳, 侯 娜
(贵州省核桃研究所, 贵州 贵阳 550005)

摘要: 为探讨不同贮藏方式下鲜食核桃品质的变化规律, 在常温条件下, 以鲜食核桃仁为研究材料, 采用 PA/PE 复合膜真空袋、自封铝箔袋及普通自封袋进行包装, 定期对相关指标进行测定, 并结合一级反应动力学模型就相关指标的变化进行非线性拟合。结果显示, 真空塑料袋贮藏鲜食核桃的保鲜效果较佳, 真空贮藏可有效减缓油脂酸价、过氧化值的变化速率, 减少丙二醛的积累, 推迟过氧化氢酶活性高峰出现时间, 保持较高的过氧化物酶活性。真空贮藏能延缓油脂中不饱和脂肪酸被氧化, 能较好保持鲜食核桃品质, 一级反应动力学模型能较好地折射出鲜食核桃贮藏期间相关指标变化。

关键词: 鲜核桃; 贮藏; 生理指标; 动力学模型

中图分类号: S664.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)04-0927-06

Physiological response and dynamic model of fresh walnut under different storage methods

WANG Ji -hui, GENG Yang-yang, HOU Na
(Guizhou Institute of Walnut, Guiyang 550005, China)

Abstract: In order to study the quality change of fresh walnut under different storage methods, fresh walnut kernel was used as experimental material under normal temperature, the vacuum bag of PA/PE composite membrane, self-sealing aluminum foil bag and ordinary self-sealing bag were used for packaging. The related indicators were measured periodically, and the changes of related indicators were fitted nonlinearly with the first-order reaction kinetics model. The results showed that the vacuum plastic bag had better preservation effect on fresh walnut, vacuum storage could effectively slow down the change rate of acid value and peroxide value, decrease the accumulation of malondialdehyde, delay the peak time of catalase activity and maintain higher peroxidase activity. Vacuum storage can effectively delay the oxidation of unsaturated fatty acids in oil, and maintain the quality of fresh walnut better. The first-order reaction kinetics model can better reflect the changes of related indicators of fresh walnut during storage.

Key words: fresh walnut; storage; physiological index; dynamic model

收稿日期: 2018-11-04

基金项目: 贵州省核桃工程技术研究中心项目[黔科合平台人才(2019)5202号]; 贵州省林业厅青年科技人才培养对象专项[黔林科合J字(2015)12号]; 国家自然科学基金项目(3186030247号); 贵州省核桃研发团队服务企业行动计划项目[黔科合企企(2015)4010号]; 贵州省科技厅科技支撑计划项目[黔科合支撑(2017)2552号]

作者简介: 王纪辉(1988-), 男, 河南周口人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为林产品开发。(E-mail)shikewangjihui@163.com

通讯作者: 耿阳阳, (E-mail)1833247257@qq.com

鲜食核桃果仁饱满、澄白、滋味甘甜, 能有效保持营养物质、风味品质, 在市场上深受消费者喜爱^[1]。然而鲜食核桃水分含量较高, 在贮藏、运输及加工中容易腐烂变质, 严重影响鲜食核桃的推广销售^[2]。鲜食核桃因水分含量高, 在贮藏、运输过程中品质变化与干核桃存在显著差异^[3]。目前针对国内外鲜核桃贮藏研究已有部分报道, 杨曦等^[4]对青核桃鲜果展开研究, 发现真空贮藏能有效延长

青核桃鲜果贮藏期限,鲜核桃品质较佳,贮藏至 120 d 时,核桃青皮褐变指数较低,为 0.18,并且真空贮藏下,鲜核桃果仁保护酶活性较高;Christopoulos 等^[5]研究低温(1℃)对核桃鲜果贮藏的影响,结果表明,低温能有效降低核桃鲜果的呼吸强度,贮藏 40 d,核桃鲜果果仁品质无太大变化;韩强等^[6]开展了 ClO_2 (二氧化氯)处理及包装方法对鲜核桃仁贮藏品质影响的研究,发现低浓度 ClO_2 处理结合真空贮藏能降低果仁呼吸强度、蛋白质分解及还原糖氧化,LOX(脂氧合酶)活性明显被抑制,保护酶活性峰值明显后移;魏雯雯等^[7]研究 CF 保鲜剂对青核桃冷藏效果的影响,结果表明,贮藏 28 d 内,低温加保鲜剂处理可有效抑制果实呼吸强度,抑制多酚氧化酶、过氧化物酶活性,显著降低核桃青皮褐变指数,对种皮和核仁风味影响较小,能用于延长青核桃采后保鲜期;冯文煜等^[8]进行了不同厚度 PE 膜包装对核桃果实采后生理与鲜贮的保鲜效应研究,发现不同厚度包装材料对核桃鲜果呼吸强度及生理指标影响显著,PE50 材质包装能有效防止核桃鲜果氧化酸败。目前鲜核桃研究的热点主要集中在不同保鲜剂对鲜核桃品质影响、低温冷藏期间鲜食核桃品质及生理变化^[9],而有关常温贮藏下鲜核桃仁生理指标响应方面的报道却少见,但就运用一级反应动力学模型结合鲜食核桃生理指标预测鲜食核桃品质变化却未见相关报道。因此本研究以新疆薄皮核桃为研究材料,将鲜食核桃去青皮和壳后阴干 1 d,采用 PA/PE 复合膜真空袋进行真空包装和用自封铝箔袋进行避光包装,以普通自封袋包装作为对照,研究酸价、过氧化值、丙二醛含量、过氧化氢酶活性、过氧化物酶活性变化,并运用 SPSS19.0 分析 3 种贮藏方式的差异性,旨在为薄皮核桃贮藏提供一种新的思路。

1 材料与方法

1.1 材料

乙醚、无水乙醇、正己烷、酚酞、冰乙酸、氢氧化钾、磷酸氢二钾、硫酸、碘化钾、三氯甲烷、盐酸、高锰酸钾、硫代硫酸钠均为分析纯,由成都金山化学试剂有限公司生产。

L5S 型紫外可见分光光度计,上海仪电分析仪器有限公司生产;DZ400/2D 型真空包装机,温州市鹿城区黄龙华能机械厂生产;MS104TS 型电子精密

天平,梅特勒-托利多仪器有限公司生产;XMA-600 型数显鼓风干燥箱,上海叶拓仪器仪表有限公司生产;DKB-8 型数显恒温水浴锅,上海精宏实验设备有限公司生产。

1.2 方法

以新疆薄皮核桃为试验材料,将采摘的核桃去青皮和壳后阴干 1 d,除去表面水分,分别用透明 PA/PE 复合膜真空袋进行真空包装贮藏和用自封铝箔袋进行避光包装贮藏,普通自封袋包装贮藏作为对照。每袋装大约 180 g 核桃仁,置于室温 24℃ 下进行贮藏。3 种贮藏方式各包装 16 袋。每次取样测定时先测丙二醛、过氧化氢酶活性、过氧化物酶活性,而后取剩余样品进行酸价和过氧化值的测定。每个指标测定 3 次,取平均值。

1.3 测定项目

(1) 酸价、过氧化值测定:分别参照 GB5009.229-2016《食品中酸价的测定》和 GB 5009.227-2016《食品中过氧化值的测定》中的方法测定。

(2) 过氧化氢酶(CAT)活性、过氧化物酶(POD)活性、丙二醛(MDA)含量的测定参考文献[9]进行。

(3) 核桃仁油脂的提取参考文献[10]的方法进行。

1.4 数据处理

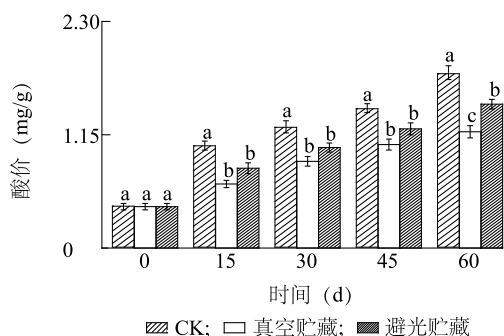
研究结果以平均值±标准差表示,采用 SPSS19.0 统计分析软件中的 Duncan's 法进行多重比较,采用 Origin9.1 图表绘制软件对研究结果进行制图。

2 结果与分析

2.1 不同贮藏方式下酸价的变化

酸价是油脂中游离脂肪酸含量的标志,反应油脂的酸败程度。由图 1 可知,3 种贮藏方式下果仁的酸价均呈逐渐升高的变化趋势,但真空和避光贮藏酸价增加速率有所下降,其中真空包装及避光贮藏效果较好,酸价均低于对照。0~30 d 真空和避光贮藏酸价增加速率较大,30 d 时酸价分别为 0.88 mg/g、1.02 mg/g,与 0 d 相比增加了 2.09 倍、2.43 倍,对照贮藏 0~30 d 酸价增加速率更大,30 d 时其酸价为 1.23 mg/g,与真空和避光贮藏相比,增加了 39.77%、20.59%;由组间方差分析可知,贮藏 0 d 时 3 种贮藏方式之间酸价均无显著差异($P>0.05$),15~60 d 时,对照与真空及避光贮藏之间均达到显

著差异 ($P < 0.05$), 15~45 d 时, 真空和避光贮藏之间差异不明显, 但避光贮藏的酸价高于真空贮藏, 60 d 时真空与避光贮藏差异显著。综上, 真空和避光贮藏能有效延缓核桃仁的氧化酸败, 维持果仁鲜食特性。



不同小写字母表示在 0.05 水平下差异显著。

图 1 不同贮藏方式对酸价的影响

Fig.1 Effect of different storage methods on acid value

2.2 不同贮藏方式下过氧化值的变化

过氧化值是衡量核桃果仁发生氧化酸败的重要指标。由图 2 可知, 随贮藏时间的延长, 3 种贮藏方式下过氧化值变化显著。对照果仁过氧化值增幅最大, 变化明显, 真空贮藏和避光贮藏下过氧化值变化较为缓慢, 其趋势走向较为平缓, 贮藏 45 d 时, 3 种贮藏方式下的果仁过氧化值分别为 0.63 mg/g、0.31 mg/g、0.38 mg/g, 此时真空和避光贮藏与对照之间的差值较大, 与对照相比, 减少 50.79%、39.68%; 由组间方差分析可知, 除 0 d 时, 3 种贮藏方式的果仁过氧化值无差异外, 其余贮藏时间均表现出一定的差异性, 其中 15~60 d 时, 真空、避光贮藏均和对照呈现出显著差异, 30 d 时真空和避光贮藏之间差异不明显, 而 15 d、45 d、60 d 时真空与避光贮藏之间差异显著。

2.3 不同贮藏方式下丙二醛含量的变化

丙二醛 (MDA) 是膜脂氧化的主要产物, 反应细胞膜脂过氧化程度。由图 3 可知, 随贮藏时间延长, 3 种贮藏方式下果仁丙二醛含量呈增加趋势。对照果仁被微生物污染以及被氧化酶破坏程度较大, 膜脂过氧化产物生成较快, 趋势变化较快, 走向较陡, 丙二醛增加幅度较大, 相比对照, 真空和避光贮藏条件下丙二醛含量变化则较为缓慢。就 3 种贮藏方式的丙二醛含量整体变化趋势而言, 从 30 d 开始, 真空和避光贮藏与对照的差异逐渐显现, 丙二醛

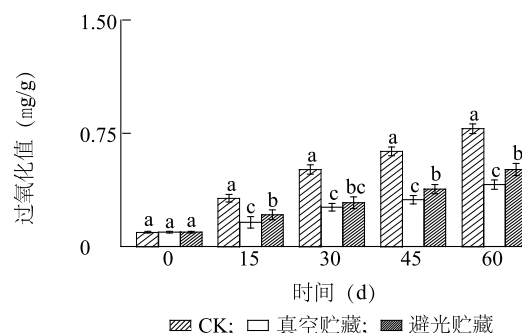


图 2 不同贮藏方式对过氧化值的影响

Fig.2 Effect of different storage methods on peroxide value

含量差值逐渐加大, 60 d 时对照果仁丙二醛生成量为 8.52 mmol/g, 真空和避光贮藏下丙二醛含量分别为 5.57 mmol/g、6.62 mmol/g, 与对照相比分别减少了 34.62%、22.30%; 由组间方差分析可知, 0~45 d 真空和避光贮藏之间丙二醛含量无差异, 而贮藏至 60 d 时, 真空和避光贮藏之间差异显著, 贮藏至 15 d 时, 对照与避光贮藏无差异, 但与真空贮藏差异显著, 30~60 d 真空与避光贮藏均与对照差异显著。

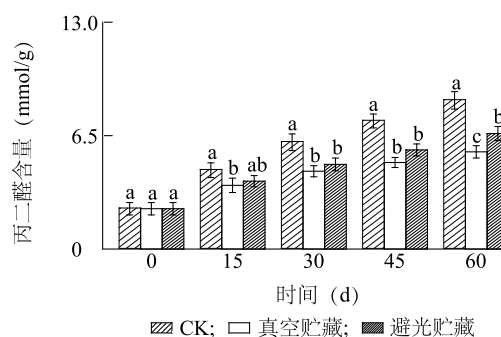


图 3 不同贮藏方式对丙二醛含量的影响

Fig.3 Effects of different storage methods on content of malondialdehyde

2.4 不同贮藏方式下过氧化氢酶活性的变化

过氧化氢酶 (CAT) 是一种氧化还原酶, 可以促进 H_2O_2 发生分解生成 H_2O 和 O_2 , 能够有效地破坏鲜食核桃果仁在贮藏期间因氧化作用生成的有毒有害物质, 进而保护果仁品质。由图 4 可知, 3 种贮藏方式下过氧化氢酶活性变化有所不同, 对照和避光贮藏下过氧化氢酶活性呈先升高后逐渐下降的变化趋势, 而真空贮藏下过氧化氢酶活性逐渐升高, 但贮藏后期升高速率逐渐降低, 对照条件下核桃果仁贮

藏 15 d 时酶活性达到最高,在 60 d 时真空贮藏酶活性达到最高,避光贮藏 45 d 时过氧化氢酶活性达到最高,3 种贮藏方式下,过氧化氢酶活性达到最高的时间不同,对照条件下,果仁暴露在空气和光照中,加之微生物的污染,较易氧化变质,产生的自由基激发了过氧化氢酶活性,导致在较短的时间内酶活性达到最高值,而真空和避光贮藏在一定程度上能隔绝空气和光照,延缓果仁的氧化酸败;由组间方差分析可知,15 d、60 d 时,3 种贮藏方式两两之间表现出显著差异,30 d 时,对照和真空贮藏之间无显著差异,但均与避光贮藏达到显著差异水平,45 d 时,真空与避光贮藏之间无显著差异,但均与对照差异显著。

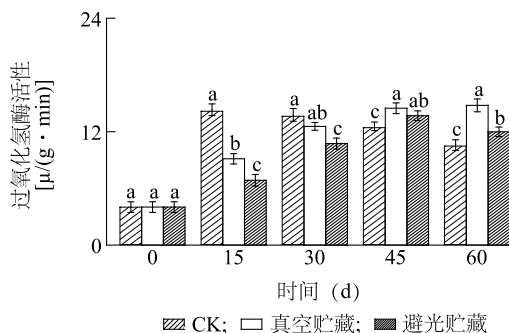


图 4 不同贮藏方式对过氧化氢酶活性的影响

Fig.4 Effects of different storage methods on activity of catalase

2.5 不同贮藏方式下过氧化物酶活性的变化

植物的各个组织器官均有过氧化物酶(*POD*)分布,*POD*与植物组织内的呼吸强度、细胞壁组成、细胞生长、分化等多种复杂的生理代谢活动均有关联。由图 5 可知,3 种贮藏方式下,过氧化物酶活性呈现出不同的变化,对照条件下,过氧化物酶活性呈倒“V”型变化,而真空和避光贮藏条件下过氧化物酶活性变化走向一致,均呈现出正“V”型变化;对照条件下过氧化物酶在贮藏 30 d 时达到最大值,真空和避光贮藏在 0~30 d 时酶活性是逐渐降低的,之后逐渐上升;从组间方差分析可知,0 d 时 3 种贮藏方式之间无差异,15~30 d 时真空和避光贮藏之间无显著差异,却均与对照差异显著,45 d 时 CK 与真空贮藏无显著差异,但均与避光贮藏差异显著,60 d 时 3 种贮藏方式下过氧化物酶活性两两之间差异显著。

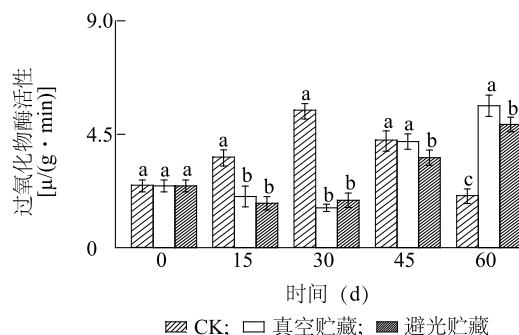


图 5 不同贮藏方式对过氧化物酶活性的影响

Fig.5 Effects of different storage methods on activity of peroxidase

2.6 核桃仁贮藏过程中油脂氧化反应的动力学分析

在食品加工贮藏过程中,与食品质量相关的品质变化大都遵循零级或者一级反应动力学规律。鲜食核桃仁在贮藏中品质变化是由氧化酸败所引起,其反应规律符合动力学变化,而油脂氧化过程则遵循一级反应动力学模型^[11]。一级反应动力学方程表达式为:

$$\pm dA/dt = k \times A^n \quad (1)$$

(1)式可变形为

$$A = A_0 \times e^{kt} \quad (2)$$

其中,*A*:品质因子数值;*A*₀:初始值;*t*:贮藏时间;*k*:反应速率常数;*n*:反应级数。

用一级反应动力学模型对不同贮藏方式下核桃仁的酸价、过氧化值及丙二醛含量进行非线性回归拟合,得到各理化指标值的反应速率常数 *k* (表 1)。

从表 1 中可以看出,不同贮藏方式下,果仁理化指标的决定系数(*R*²)有所不同,*R*²越大,表明油脂氧化指标与一级反应动力学模型拟合程度越好。就酸价而言,3 种贮藏方式下,对照决定系数最小,为 0.829,真空贮藏方式下决定系数最大,为 0.938;从过氧化值可知,避光贮藏下其决定系数最大,为 0.941;由丙二醛含量变化可知,真空贮藏下其决定系数最大为 0.912。综上可知,真空和避光贮藏下油脂氧化与一级反应动力学模型拟合程度均好于对照,其中真空贮藏条件下酸价和丙二醛变化与一级反应动力学模型拟合程度最好,避光贮藏下过氧化值与一级反应动力学模型拟合程度最佳。

表1 鲜食核桃仁一级反应动力学方程非线性拟合参数

Table 1 Nonlinear fitting parameters of first-order reaction kinetics equation of fresh walnut kernel

指标	贮藏方式	非线性回归方程	反应速率常数	决定系数 (R^2)
酸价	CK	$y = 0.560e^{0.021x}$	0.021	0.829
	真空贮藏	$y = 0.471e^{0.017x}$	0.017	0.938
	避光贮藏	$y = 0.508e^{0.019x}$	0.019	0.901
过氧化值	CK	$y = 0.014e^{0.032x}$	0.032	0.850
	真空贮藏	$y = 0.011e^{0.023x}$	0.023	0.915
	避光贮藏	$y = 0.011e^{0.026x}$	0.026	0.941
丙二醛	CK	$y = 2.828e^{0.021x}$	0.021	0.898
	真空贮藏	$y = 2.636e^{0.015x}$	0.015	0.912
	避光贮藏	$y = 2.690e^{0.016x}$	0.016	0.906

3 讨论

酸价、过氧化值是鉴定油脂氧化程度的重要指标,油脂氧化酸败越严重,该指标的值越高。陶菲等^[12]研究发现,PE/A1 真空包装可显著降低山核桃油脂氧化速率。宋丽丽等^[13]发现,真空包装处理香榧坚果贮藏时间明显延长,坚果酸价、过氧化值增加幅度较小,脂肪氧化酸败减轻。本研究发现,真空包装通过降低贮藏环境中 O_2 浓度及提高 CO_2 浓度显著抑制鲜核桃果仁呼吸强度,延缓酸价、过氧化值升高,与杨剑婷等^[14]、郝利平等^[15]在干核桃研究上得出的结论一致,即核桃酸败与氧气浓度等环境因素有关。鲜核桃仁经过真空贮藏虽可延缓酸价及过氧化值升高,但却并不能降低酸价和过氧化值,究其原因可能是鲜核桃仁含水量高,脂肪酶活性强,加之微生物及氧气作用,脂肪水解产生游离脂肪酸增多,脂肪被氧化或水解而变质,脂肪含量降低,导致酸价、过氧化值升高^[16-17]。

CAT、POD 能够有效清除活性氧 (ROS),是维持植物组织内活性氧代谢平衡的重要物质^[18-19]。本研究发现,3 种贮藏方式下, CAT 活性所呈现的变化走向各不相同,对照和避光贮藏下酶活性先升后降,但酶活性达到最高值的时间不同,真空贮藏下 CAT 活性缓慢升高,但速率有所下降;3 种贮藏方式下,真空和避光贮藏时, POD 活性先降低后逐渐升高,而对照 POD 活性先升后降,该研究结果与前人报道存在相似性。究其原因可能是对照下果仁暴露于空

气、光照下,加之微生物生长繁殖产生各种氧化酶等原因,在贮藏初期果实机体内活性氧迅速增加, CAT、POD 协同发挥效用,清除活性氧,所以贮藏初期 CAT、POD 活性表现为上升,之后活性氧大量积累,机体内活性氧代谢平衡被打破,果实组织细胞膜系统被破坏, CAT、POD 活性下降^[20];真空与避光贮藏因能隔绝空气和光照,在贮藏初期 (0~30 d) 活性氧生成量较少,可能是 CAT 对活性氧反应较为敏感, POD 反应较为滞后, CAT 活性首先被激发而发挥作用,将 H_2O_2 被分解为 H_2O 和 O_2 ,初期 CAT 活性表现为上升, POD 活性则呈下降趋势。贮藏后期可能是大量的活性氧钝化了 CAT 活性或超出其清除能力,加之组织细胞膜系统被破坏,引起 CAT 活性呈下降趋势,而 POD 活性则仍在上升,没有出现降低趋势,可能是研究的贮藏时间有限,未观察到其下降变化,也可能是未超出 POD 活性发挥效用的范围,但具体原因还需进一步研究^[21-22]。本研究发现,对照 CAT 活性在 15 d 时出现峰值, POD 活性峰值在 30 d 时出现,之后 2 种抗氧化酶活性均下降,而其他处理均能较好地保持核桃鲜果组织内的抗氧化酶活性。PA/PE 真空包装贮藏 CAT 活性峰值出现最晚,而且数值最高,表明真空贮藏可有效降低核桃鲜果机体内活性氧物质的累积速度,延迟活性氧清除系统平衡点的出现,进而更有效地延长核桃鲜果的贮藏时间^[23]。鲜核桃仁贮藏时通过及时提高抗氧化酶活性积极适应环境变化,然而不同抗氧化酶,其响应速度却不尽相同,本研究发现 CAT 反应迅速,其酶活性增加较快, CAT 与 POD 在贮藏过程中起协同作用,共同清除活性氧及自由基;鲜核桃果仁在贮藏时因贮藏环境中空气、微生物及光照、金属离子等因素影响,导致组织被氧化产生自由基, O_2^- 和 H_2O_2 的产生使膜脂中不饱和脂肪酸过氧化, MDA 等过氧化物物质积累,导致 MDA 含量增加。

综上,贮藏环境中氧气浓度是限制贮藏效果的关键因素,氧气浓度越低,鲜食核桃贮藏品质越佳。真空贮藏能延缓酸价、过氧化值升高,减少鲜核桃仁不饱和脂肪酸的转化损失,良好地保持过氧化氢酶和过氧化物酶活性,减少丙二醛的生成量,达到良好的贮藏效果,一级反应动力学模型能够较好地反应鲜食核桃贮藏期间品质变化。

参考文献:

- [1] 耿阳阳,徐 俐,马宝军,等. 不同品种鲜食核桃冷藏期间品质

- 及生理变化[J]. 食品科技, 2013, 38(3): 49-54.
- [2] 耿阳阳, 徐俐, 刘昕, 等. 解淀粉芽孢杆菌发酵液在鲜核桃保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(9): 214-218.
- [3] 耿阳阳, 张彦雄, 胡译文, 等. 鲜食核桃研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 396-399.
- [4] 杨曦, 张润光, 韩军岐, 等. 不同贮藏方式对核桃鲜果采后生理及贮藏品质的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(10): 2029-2038.
- [5] CHRISTOPOULOS M V, TSANTILI E. Storage of fresh walnuts (*Juglans regia* L.) low temperature and phenolic compounds[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 73(11): 80-88.
- [6] 韩强, 郜海燕, 陈杭君, 等. ClO_2 处理和包装方法对鲜核桃仁贮藏品质的影响[J]. 中国食品学报, 2017, 17(5): 130-137.
- [7] 魏雯雯, 段文凯, 孙斐, 等. CF 保鲜剂对青核桃冷藏效果的影响[J]. 北方园艺, 2017(10): 114-117.
- [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.
- [9] 曹建康. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [10] 王萍, 赵欢, 黄腾腾, 等. 不同包装保鲜方式对南疆温 185 鲜核桃果仁品质变化规律研究[J]. 塔里木大学学报, 2015, 27(4): 16-24.
- [11] LABUZA T P. Application of chemical kinetics to deterioration of food[J]. Journal of Chemical Education, 1984, 61(4): 348-357.
- [12] 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(9): 303-305.
- [13] 宋丽丽, 郜海燕, 葛林梅, 等. 包装对香榧坚果贮藏中的油脂酸败和抗氧化能力的影响[J]. 林业科学, 2009, 45(3): 49-53.
- [14] 杨剑婷, 郝利平. 关于引起核桃中油脂哈败因素的研究初探[J]. 山西农业大学学报, 2001(3): 271-273.
- [15] 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(5): 170-172.
- [16] ABBYE M, NOAKES M, BELLING B G, et al. Partial replacement of saturated fatty acids with almonds or walnuts lowers total plasma cholesterol and low-density-lipoprotein cholesterol[J]. Am J Clin Nutr, 1994, 59(5): 995-999.
- [17] LIEBSON P R. Value and walnut[J]. Preventive Cardiology, 2004, 7(4): 195-196.
- [18] GAO H Y, CHEN H J, SONG L L. Effects of short-term N_2 treatment on quality of loquat fruit during cold storage[J]. Acta Horticulturae, 2010(877): 899-903.
- [19] MA Y P, LIU X H, YUAN D B. Changes of respiration intensity and quality of different varieties of fresh walnut during cold storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(1): 370-374.
- [20] DONG Y Z, CHEN H, LIANG F L. Investigation and analysis on the wild walnut in Gongliu, Xinjiang[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(3): 386-392.
- [21] CHRISTOPOULOS M V, TSANTILI E. Storage of fresh walnuts (*Juglans regia* L.) low temperature and phenolic compounds[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 73(11): 80-88.
- [22] VANHANEN L, 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(1): 64-69.
- [23] JIANG L Q, FENG W Y, LI F. Effects of one-methylcyclopropene (1-MCP) and chlorine dioxide (ClO_2) on preservation of green walnut fruit and kernel traits[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(1): 267-275.

(责任编辑: 陈海霞)