

# 核桃仁氧化酸败及其延缓措施研究进展

张文涛<sup>1</sup>, 徐 华<sup>2</sup>, 蒋林惠<sup>1</sup>, 肖红梅<sup>1,\*</sup>

(1.南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095; 2.南京市产品质量监督检验院, 江苏 南京 210028)

**摘 要:** 核桃是世界四大干果之一, 果仁营养丰富, 经济价值颇高。但由于核桃仁脂肪含量高, 贮藏中易出现脂肪氧化酸败现象。对核桃仁氧化酸败的机理及影响酸败的温度、相对湿度、氧气、光照、含水量等因素进行探讨。同时, 综述延缓核桃仁氧化酸败的相应措施, 以期对核桃仁的大规模贮藏提供理论参考。

**关键词:** 核桃仁; 脂肪氧化; 影响因素; 延缓措施

## Research Progress in Oxidative Rancidity of Walnut and Delay Measures

ZHANG Wen-tao<sup>1</sup>, XU Hua<sup>2</sup>, JIANG Lin-hui<sup>1</sup>, XIAO Hong-mei<sup>1,\*</sup>

(1.College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2.Nanjing Institute of Supervision and Testing on Product Quality, Nanjing 210028, China)

**Abstract:** Walnut is one of the world's four major nuts. Its kernel has high nutritional and economic value. The fat content of walnut is higher than 60%, resulting in easy oxidative rancidity during storage. Here we review the recent research progress in the mechanism of oxidative rancidity in walnut and affecting factors such as temperature, relative humidity, oxygen, light, water content. Meanwhile, measures for delaying oxidative rancidity in walnut are put forward with the aim of providing theoretical references for large-scale storage of walnut.

**Key words:** walnut kernel; rancidity; factors; strategy for delaying rancidity

中图分类号: S664.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)03-0272-05

核桃(*Juglans regia* L.)原产于东亚、欧洲东南部及北美地区, 是人类种植的最古老的树生坚果之一。在我国, 核桃不仅是农产品, 核桃的叶子、树皮、枝条、青皮、果实、花和隔膜可做药用<sup>[1-2]</sup>。核桃仁营养丰富, 含有大量的磷脂、蛋白质和VE, 油脂含量高于60%, 核桃油中不饱和脂肪酸(油酸、亚油酸和亚麻酸)一般占总量的90%以上, 特别是亚麻酸含量明显高于其他植物。因此, 核桃仁自古以来都被认为是一种优质的健脑食品, 诸多成分能够改善大脑的代谢平衡, 改善神经细胞的生物膜功能, 降低血液黏稠度, 有清除自由基、抗衰老作用, 抑制机体的脂质过氧化反应<sup>[3-5]</sup>。在传统中医中, 核桃仁具有补肾、暖肺和调理内脏的功效<sup>[6]</sup>。经常食用核桃可以降低心血管疾病的发病率, 提高血液中褪黑激素的浓度, 核桃仁中的植物化学物质, 尤其是多酚类物质被认为是对人体健康有益的重要生物活性化合物, 这些活性物质具有抗氧化和抗增生作用<sup>[7-10]</sup>。

核桃油脂中的不饱和脂肪酸含量高, 在采后贮藏中容易发生酸败, 严重时会出现哈败气味, 产生有害的物质, 降低了核桃的营养价值及商品价值。我国核桃产后基本都是常温贮藏, 同时在贮藏去壳核桃仁时, 由于控制不当所引起的损耗率比较大, 造成一定的经济损失。核桃仁在贮藏过程中, 由于氧气、水分或微生物等各种因素的作用, 使核桃仁中的游离脂肪酸上升, 逐渐产生一种不愉快气味和苦味, 甚至酸臭味<sup>[11]</sup>。

## 1 核桃仁的酸败过程

核桃仁氧化酸败的根本原因是脂质过氧化而产生过氧化物。脂质过氧化一般定义为多不饱和脂肪酸或脂质的氧化变质。油脂发生酸败可分为3种类型, 水解型酸败、酮型酸败和氧化型酸败。

### 1.1 核桃仁的水解型酸败

水解型酸败是指脂肪在高温、酸、碱或酶的作用

收稿日期: 2011-01-25

作者简介: 张文涛(1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为采后生物学。E-mail: zwt0223@126.com

\*通信作者: 肖红梅(1970—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为农产品贮藏加工与质量安全控制。E-mail: xhm@njau.edu.cn

下,水解为含C10以下的游离脂肪酸(如丁酸、己酸等)和甘油,具有特殊的汗臭气和苦涩味。在油脂含量高的食品中,游离脂肪酸(C10以下)含量在0.75%以上时,脂肪酸的分解反应容易发生;当游离脂肪酸含量高于2%时,食品便会产生不良的风味<sup>[11]</sup>。

## 1.2 核桃仁的酮型酸败

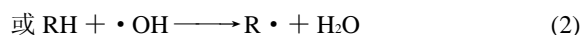
酮型酸败是指在微生物的作用下,油脂水解产生甘油和脂肪酸,游离脂肪酸在一系列酶的催化下生成 $\beta$ -酮酸,最后脱羧生成具有苦味和臭味的低级酮类。影响核桃仁的微生物主要有细菌、真菌等,如青霉菌、炭疽菌、粉红单端孢菌、链格孢菌、黑霉菌等<sup>[12]</sup>,这些微生物可以促进脂肪的酸败,严重时会出现霉烂现象。

## 1.3 核桃仁的氧化型酸败

油脂氧化型酸败是由于不饱和脂肪酸在空气中发生自动氧化生成一些C10以下的低级脂肪酸、醛、酮,产生恶劣的臭味。水解型酸败和氧化型酸败在核桃仁酸败的过程中经常同时发生,但是在酸败过程中氧化比水解作用更大。油脂在光和热的作用下,与空气中的氧气反应产生过氧化物,微生物和金属离子会进一步促进氧化反应,使过氧化物进一步分解生成醛、酮、酸等,从而导致酸败。核桃仁油脂酸败的主要方式是氧化型酸败,主要发生在核桃仁的贮藏过程中。由于氧化型酸败的引发是油脂自身作用而非催化剂作用,故又称为自动氧化。油脂氧化酸败过程是一个动态平衡过程,油脂氧化遵循自由基的反应机制,经历了链引发—链传递—链终止这几大阶段<sup>[13]</sup>。

### 1.3.1 引发(initiation)

引发阶段是由产生一个反应性足够强的起始自由基开始的。自由基可由光、高能辐射等因子诱导产生,也可由其他自由基诱导产生,例如所有的活性氧都可直接或间接地引发脂质过氧化的链反应。产生自由基的一般途径有辐射诱导(可见光、紫外光、电离辐射、高能粒子等)、热诱导、单电子( $\text{Fe}^{2+}$ 等)氧化还原。脂肪氧化的引发是脂质分子RH被抽去一个氢原子从而生成起始脂质自由基 $\text{R}\cdot$ :



春夏季节脂质氧化比较严重,可能与链反应引发的时间性有关。进入春夏,气温回升,同时贮藏温度对脂肪酶活力影响显著,温度升高可以增强核桃仁的脂肪酶活性<sup>[14]</sup>,从而使脂肪水解累积的游离脂肪酸增多,脂质分子RH氧化链反应的引发概率必然增加;另外,温度升高,能使共价键均裂,生成自由基,从而促进引发阶段的反应进一步加快;春夏季节适宜微生物的生长繁殖,这也可能是一个影响因素。

### 1.3.2 增长(propagation)

作为链反应的引发剂所需的量是很小的,因为反应一经引发,所生成的新自由基就可通过加成、脱氢、断裂等任一种或几种方式使链反应增长:



(3)和(4)步骤可以反复进行,从而使整个过程成为链式反应。

不饱和脂肪酸的氧化稳定性不仅与双键数目有关,而且与双键的相对位置有关。不饱和度越高越容易受到自由基的攻击,在脱氢后能形成共轭结构的不饱和脂肪酸容易发生自动氧化<sup>[15]</sup>。能脱氢而引发脂质过氧化的因子很多,最有效的是羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )。 $\cdot\text{OH}$ 从两个双键之间的一 $\text{CH}_2$ —抽去一个氢原子后,可以在该碳原子上留下一个未成对电子,形成脂质自由基 $\text{R}\cdot$ 。后者经过分子重排、双键共轭化、形成较稳定的共轭二烯衍生物。在有氧的条件下,共轭二烯自由基与氧分子结合生成脂质过氧自由基 $\text{ROO}\cdot$ 。 $\text{ROO}\cdot$ 能从附近另一个脂质分子RH脱氢从而生成新的脂质自由基 $\text{R}\cdot$ 。这样反应就形成循环,这就是脂质过氧化的链增长阶段。链增长的结果是导致脂质分子的不消耗和脂质过氧化物的大量形成。

### 1.3.3 终止(termination)

链反应中两个自由基之间可以发生偶联或歧化反应,生成稳定的非自由基产物,例如:



如果这些反应占优势,链式反应过程就会终止。然而在任何给定时刻反应中的自由基浓度都是很低的,两个自由基互相碰撞的概率极小,因此这样的终止步骤很少发生。但是只要有少量的能捕捉和清除自由基的抗氧化剂就可以有效地使链反应减慢或终止。此外,氢过氧化物进一步生成更多的游离基和稳定的产物,主要是短链羰基化合物——小分子质量的醛、酮、酸等<sup>[16]</sup>。

## 1.4 核桃仁酸败的评定指标

核桃仁酸败后,往往会在颜色、气味、口感状况上发生一系列的变化,主要表现为种皮和种仁的颜色从浅黄变为黄褐色甚至褐色,并且口感渐渐变淡,逐渐产生一种不愉快气味和苦味,甚至酸臭味。

核桃仁是高油脂食品,因此过氧化值、酸价、游离脂肪酸和TBA值是评价油脂酸败程度的理化指标。酸价是用来表示核桃仁水解酸败程度的指标,氧化变质的程度则用过氧化值和TBA值来衡量。过氧化值是油脂

氧化变质的一个重要指标,但是只能用来衡量油脂初期氧化酸败的程度。核桃仁的过氧化值与酸价在贮藏过程中呈显著正相关,二者关系密切。氧化反应的后期就需要测定油脂的TBA值,即丙二醛的含量<sup>[17]</sup>。TBA值说明油脂氧化后期的败坏程度,但随着更深度的氧化酸败,TBA值也会下降。此外,羰基价、皂化价、碘价等也是表征油脂质量的指标。也有研究者通过可见-近红外光谱法来评价核桃仁的品质变化,相对于过氧化值和己醛含量的化学描述有更高的精准度,但是由于生物差异性比较大,此种方法可能存在一定的局限性<sup>[18]</sup>。

## 2 核桃仁酸败的影响因素及延缓措施

带壳核桃自然氧化速度缓慢,如果没有虫蛀,在干燥处保存较好,可保存一年左右。核桃仁若在饱和含水量状态下、于37℃左右高温、空气并有光照的环境中将会很快变质,产生明显的哈败气味。大量研究表明,影响核桃仁酸败变质的主要因素有温度、相对湿度、氧气、光照、含水量、重金属离子以及天然抗氧化剂等。

### 2.1 温度和相对湿度对核桃仁贮藏品质的影响

温度是影响核桃仁油脂自动氧化的重要因素,自然氧化速度随着温度上升而增高。而且温度也可以影响反应机制,而在较高温度条件下,以形成过氧化物的途径为主;在较低温度下,形成氢过氧化物的途径占优势。相对湿度对核桃仁的贮藏也同样重要,最合适的相对湿度既要保证核果的最优质地、颜色、风味和稳定性,也要将霉菌的生长速度控制到最小<sup>[19]</sup>。Lopez等<sup>[20]</sup>对核桃在低温贮藏环境下的品质变化进行了研究,结果表明,核桃在10℃、相对湿度60%的条件下贮藏,品质可以保持最少一年,其物理、化学、感官等品质指标均在规定的范围内。冷藏是果蔬保鲜的一个重要方面,冷藏处理可以延缓果蔬的膜脂氧化程度和衰老进程。冷藏处理可以减缓山核桃脂肪氧化过程,使其内部抗氧化酶处在较高的活性范围内<sup>[21]</sup>。

### 2.2 光和射线对核桃仁贮藏品质的影响

核桃仁中油脂的氧化,由于光照而显著地加快,因为不饱和脂肪酸的共轭双键强烈吸收紫外线后,引发链反应,并且加速过氧化物的分解。如果用能量较大的放射线照射,不饱和脂肪酸会因氧化而生成氢过氧化物,甚至部分饱和脂肪酸也能生成氢过氧化物。射线能显著提高自由基的生成速度,使脂肪酸的氧化敏感性增加,加重酸败变质。辐照处理可以杀死核桃仁表面的真菌、细菌、病毒或者害虫,但辐照处理的一个缺点是,要杀灭微生物就需要相对高的辐照强度,且所需辐照剂量随着贮藏时间延长和温度的升高而增加<sup>[22]</sup>,

这样势必会造成核桃仁的品质的破坏。在射线的辐照下,核桃仁的脂肪氧化会明显增加,颜色和质构不受影响,但核桃仁的气味和口味受辐照的影响比较显著,尤其是在高的辐照强度(> 3.0kGy)下<sup>[23]</sup>。辐照食品相对于未辐照食品的脂肪氧化速度会随着贮藏时间的延长而明显加快<sup>[24]</sup>。因此,在贮藏时可以采用有色包装和避光装置来隔绝光照和射线,减少脂肪的氧化变质。

### 2.3 氧气对核桃仁贮藏品质的影响

高度木质化的核桃外壳可以阻碍底物的气体交换,阻遏核桃仁脂肪的自然氧化过程。然而去壳后的核桃仁暴露在空气中,使得核桃仁与空气中的氧气可以直接接触,因而使其很容易氧化变质。高浓度的氧气会引起核桃果的腐败,促进霉菌生长和害虫滋生。Mate等<sup>[25]</sup>认为核桃在高氧环境(> 21.0%)下贮藏与低氧(< 2.5%)贮藏的核桃有明显差异,前者的过氧化值和己醛含量会显著高于后者。当氧浓度低于1%时有利于延缓干果的腐败变质;浓度低于0.5%或二氧化碳浓度高于80%有利于控制害虫的活动。去壳的核桃仁若没有特殊的隔氧包装,是很容易酸败变质。因此核桃可以采用气调贮藏或薄膜大帐贮藏,以抑制呼吸,遏制霉菌活动,降低脂肪氧化速度,保持核桃仁的风味和营养成分。李鹏霞等<sup>[26]</sup>利用30μm紫色聚氯乙炔气调包装袋处理带壳核桃,使包装袋内形成低O<sub>2</sub>高CO<sub>2</sub>环境,对保持核桃的贮藏品质有明显效果。同时,采用低透氧率薄膜包装袋(如EVOH)并作充氮处理,可以使核桃仁在不冷藏、不使用除氧剂的情况下保持较好的品质<sup>[27]</sup>。也有研究者采用醇溶蛋白对核桃仁进行涂膜处理来达到隔绝氧气、保持水分的效果,以延长核桃仁的贮藏期<sup>[28]</sup>,涂膜保鲜效果主要取决于涂膜剂的特性及隔氧效力<sup>[29]</sup>。

### 2.4 水分含量对核桃仁贮藏品质的影响

含水量是影响核桃仁贮藏品质的一个重要因素<sup>[30]</sup>,水分含量增高,其自然氧化速度明显加快。我国对需要进行贮藏的核桃仁含水量一般要求在6%~8%,但不能低于3.5%<sup>[31]</sup>。美国也是将核桃干燥后的含水量控制在8%以下。核桃仁中的含水量小于8%时,其水分活度一般小于0.64,在此条件下,可以抑制大多数微生物的生长繁殖。张志华等<sup>[32]</sup>的研究结果表明:核桃坚果含水量在8%以下时,呼吸速率较低而且平稳。对核桃进行干燥处理不能完全消除哈败变质,如果含水量过低反而会促进哈败<sup>[18]</sup>。

### 2.5 金属离子对核桃仁贮藏品质的影响

Fe、Cu、Ni及Co等微量元素能大大加快油脂中不饱和脂肪酸的氢过氧化物的分解,因为这些重金属离子可加速游离基的形成。对于这些金属离子可以采用添加螯合剂的方法去除,目前在核桃仁的贮藏中未见相关研究。

### 2.6 抗氧化剂对核桃仁保鲜的作用

核桃仁内存在的丰富的抗氧化物质,它们可以通过破坏游离基或与游离基相结合以终止链锁反应的传递、抑制催化剂和促使氢过氧化物趋于稳定、延迟引发过程、对氧的竞争性结合等来抑制核桃仁自然氧化,其中最关键的作用还在于终止链反应。这些抗氧化物质对DPPH 自由基、碱性连苯三酚体系产生的 $O_2^{\cdot-}$  都有很强清除作用,对亚油酸的氧化体系也有较好的抑制作用。在所有坚果种类中,核桃是含有VE和酚类物质最多的物种之一<sup>[33]</sup>。VE是一种重要的自由基清除剂,是抗氧化作用的主要化合物<sup>[34]</sup>,而多酚类化合物大都具有SOD的功能,可以有效清除 $O_2^{\cdot-}$ ,抑制亚油酸的氧化<sup>[8,35]</sup>。多酚类物质对核桃仁抗氧化起到很好的保护作用,而且对核桃仁的外观品质和口感品质有直接的影响。在核桃仁的贮藏过程中,可以通过添加一些抗氧化剂从而延缓核桃仁的自然氧化,延长保质期。目前使用较多的油脂抗氧化剂为BHA、BHT、TBHQ、PG、合成VE、柠檬酸等,赵声兰等<sup>[36]</sup>研究证实对核桃油抗氧化性能较好的为TBHQ。狄建兵<sup>[37]</sup>用加入抗氧化剂(VC、TBHQ、Cys)的涂膜对核桃仁进行处理,不仅阻止了外界空气中的氧,其中的抗氧化剂还能抑制核桃仁中氧化酸败相关的酶类,从而更好地保持核桃仁品质。

### 2.7 其他因素对核桃仁保鲜的影响

在核桃仁保质期间,核桃仁中不饱和脂肪酸可以通过酶促的脂质过氧化作用造成酸败。这种酸败主要是由核桃仁中的脂氧合酶引起的,脂氧合酶是一种含非血红素铁的蛋白质,只能催化具有顺、顺-1,4-戊二烯结构的多元不饱和脂肪酸加氧反应,产物是具有共轭双键的过氧化氢物<sup>[38]</sup>。核桃仁脂肪酸中的亚油酸、亚麻酸及花生四烯酸等均可以被脂氧合酶催化而生成过氧化物。有研究表明,55℃或60℃处理2~10min可使核桃仁内的脂氧合酶失活,进而延长核桃的保质期<sup>[39]</sup>。

此外,微生物、核桃仁的破碎程度、核桃的种类等也可以影响核桃仁脂肪的氧化酸败。微生物可以把油脂分解为游离的脂肪酸和甘油,一些低级脂肪酸本身就具有臭味,而且脂肪酸经过系列酶促反应也产生挥发性的低级酮,甘油可被氧化成具有异臭的1,2-环氧丙醛。微生物侵害严重时还会导致核桃仁霉变,从而失去商品价值,因此在贮藏过程中要注意控制环境条件,抑制微生物的生长。王伟等<sup>[40]</sup>研究发现在常温贮藏期间,核桃半仁品质明显优于核桃碎仁。不同品种的核桃仁不仅在抗氧化物质方面有一定的不同,而且在脂肪酸尤其是不饱和脂肪酸上的含量及其变化上也存在差异,在抗氧化活性方面元丰和香玲较好,其中前者强于后者<sup>[41-42]</sup>。

## 3 结 语

随着人们生活水平的不断提高,对保健食品的需求也在进一步增长,核桃仁作为一种智力型高营养健康食品,营养丰富、全面、合理,其市场潜力巨大。然而,核桃仁含有大量的不饱和脂肪酸,极易被氧化,造成色泽、风味及品质的改变,甚至产生不愉快气味,降低了商品价值。因此,核桃仁的抗氧化和贮藏技术研究就显得极为关键,对指导核桃仁加工、销售前所进行的大量贮藏有重要理论意义。目前国内外研究人员对核桃仁氧化酸败影响因子及贮藏方法进行了大量的研究,对核桃仁品质保持比较好的贮藏方法有低温冷藏、气调保鲜和涂膜保鲜方法,其中气调保鲜主要以充氮包装和气调库贮藏为主。然而这些研究还不够深入,气调和涂膜处理对核桃仁加工品的品质及货架期的影响尚未有相关研究;纳米袋气调包装及高CO<sub>2</sub>气调对核桃仁贮藏效果的影响还缺少研究;涂膜保鲜应用于核桃仁的大规模贮藏还存在诸多困难,有待于进一步研究解决。

## 参考文献:

- [1] 陆斌,宁德鲁,暴江山.核桃营养药用价值与加工技术研究进展[J].中国果菜,2006(4):41-43.
- [2] 吕海宁,折改梅,吕扬.核桃和核桃楸的化学成分及生物活性的研究进展[J].华西药杂志,2010,25(4):489-493.
- [3] 王志平.核桃油及维生素E复合核桃油对动物功能行为影响的研究[J].山西医药杂志,2000,29(4):325-326.
- [4] 江城梅,丁昌玉,赵红,等.核桃仁拮抗HgCl<sub>2</sub>致脂质过氧化作用[J].中华预防医学杂志,1995,29(4):255.
- [5] 毕敏,尹政.核桃仁提取物抗脑衰老作用的实验研究[J].现代中药研究与实践,2006,20(3):35-37.
- [6] ZHANG Zijia, LIAO Liping, MOORE J, et al. Antioxidant phenolic compounds from walnut kernels (*Juglans regia* L.)[J]. Food Chemistry, 2009, 113(1): 160-165.
- [7] YANG Jun, LIU Ruihai, HALIM L. Antioxidant and antiproliferative activities of common edible nut seeds[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(1): 1-8.
- [8] FUKUDA T, ITO H, YOSHIDA T. Antioxidative polyphenols from walnuts(*Juglans regia* L.)[J]. Phytochemistry, 2003, 63(7): 795-801.
- [9] REITER R J, MANCHESTER L C, TAN Dunxian. Melatonin in walnuts: influence on levels of melatonin and total antioxidant capacity of blood[J]. Nutrition, 2005, 21(9): 920-924.
- [10] CARVALHO M, FERREIRA P J, MENDES V S, et al. Human cancer cell antiproliferative and antioxidant activities of *Juglans regia* L.[J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(1): 441-447.
- [11] 支红波,韩永生.核桃仁的酸败及抑制[J].包装工程,2006,27(5):22-24.
- [12] 田雪亮,单长卷,吴雪平.核桃仁霉烂病原菌鉴定及生物学特性研究[J].安徽农业科学,2006,34(15):3732-3735.
- [13] 王镜堂.生物化学[M].北京:高等教育出版社,2002:93-103.
- [14] 袁德保,刘兴华,马艳萍,等.鲜食核桃贮藏中脂肪酶活性及油脂酸价变化[J].食品研究与开发,2006(11):79-81.
- [15] 张文华,石碧.不饱和脂肪酸结构与自动氧化关系的理论研究[J].皮

- 革科学与工程, 2009, 19(4): 5-9.
- [16] 岳红, 殷建华, 翟文俊. 核桃仁自然氧化的原因及延缓措施初探[J]. 陕西教育学院学报, 1994, 10(1): 87-93.
- [17] 朱加虹. 浅谈油脂酸败及其过氧化值测定[J]. 食品工业, 2001(3): 44-46.
- [18] JENSEN P N, SORENSEN G, ENGELSEN S B, et al. Evaluation of quality changes in walnut kernels (*Juglans regia* L.) by Vis/NIR spectroscopy[J]. J Agric Food Chem, 2001, 49(12): 5790-5796.
- [19] 张宁波, 饶景萍, 郭春慧. 扁桃种仁保藏的关键技术研究[J]. 陕西农业科学, 2004(5): 116-118.
- [20] LOPEZ A. Influence of cold-storage conditions on the quality of unshelled walnuts[J]. International Journal of Refrigeration, 1995, 18(8): 544-549.
- [21] 陶菲, 邹海燕, 陈杭君, 等. 冷藏对山核桃原料脂肪氧化和衰老进程的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(12): 88-90; 113.
- [22] 王柏楠, 王万里, 陈云堂, 等.  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 射线对高脂肪食品的辐照效应研究[J]. 河南科学, 2008, 26(10): 1202-1206.
- [23] MEXIS S F, KONTOMINAS M G. Effect of  $\gamma$ -irradiation on the physicochemical and sensory properties of walnuts (*Juglans regia* L.)[J]. Eur Food Res Technol, 2009, 89(5): 823-831.
- [24] 陈云堂, 毕艳兰, 胡秀菊, 等. 辐照及贮藏条件对食品脂肪氧化影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2001, 16(3): 18-21.
- [25] MATE J I, SALTVEIT M E, KROCHTA J M. Peanut and walnut rancidity: effects of oxygen concentration and relative humidity[J]. Journal of Food Science, 1996, 61(2): 465-469.
- [26] 李鹏霞, 王炜, 梁丽松, 等. 常温下气调包装对核桃贮藏生理和品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(5): 1151-1155.
- [27] JENSEN P N, SORENSEN G, BROCKHOFF P, et al. Investigation of packaging systems for shelled walnuts based on oxygen absorbers[J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(17): 4941-4947.
- [28] 周柏玲, 李蕾, 孙秋雁, 等. 玉米醇溶蛋白复合膜包衣对核桃仁酸败抑制效果的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 180-183.
- [29] MATÉ J I, FRANKEL E N, KROCHTA J M. Whey protein isolate edible coatings: effect on the rancidity process of dry roasted peanuts[J]. J Agric Food Chem, 1996, 44(7): 1736-1740.
- [30] 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.
- [31] 黄凯, 袁德保, 宋国胜, 等. 核桃贮藏技术及采后生理研究现状[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(2): 128-131.
- [32] 张志华, 高仪. 核桃坚果呼吸特性研究[J]. 园艺学报, 1994, 21(3): 209-212.
- [33] KORNSTEINER M, WAGNER K H, ELMADFA I. Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types[J]. Food Chemistry, 2006, 98(2): 381-387.
- [34] ARRANZ S, CERT R, PEREZ-JIMENEZ J, et al. Comparison between free radical scavenging capacity and oxidative stability of nut oils[J]. Food Chemistry, 2008, 110(4): 985-990.
- [35] SALCEDO C L, LÓPEZ DE MISHIMA B A, NAZARENO M A. Walnuts and almonds as model systems of foods constituted by oxidisable, pro-oxidant and antioxidant factors[J]. Food Research International, 2010, 43(4): 1187-1197.
- [36] 赵声兰, 李涛, 蔡绍芬, 等. 几种抗氧化剂对核桃油抗氧化性能的研究[J]. 食品科学, 2002, 23(2): 135-138.
- [37] 狄建兵. 涂膜抑制核桃哈败的研究[D]. 太古: 山西农业大学, 2005.
- [38] 胡廷章, 胡宗利, 屈霄霄, 等. 植物脂肪氧化酶的研究进展[J]. 生物工程学报, 2009, 25(1): 1-9.
- [39] BURANASOMPOB A, TANG J, POWERS J R, et al. Lipoxigenase activity in walnuts and almonds[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(5): 893-899.
- [40] 王炜, 李鹏霞, 王贵禧, 等. 常温下不同状态核桃种仁的脂肪酸氧化研究[J]. 农产品加工: 学刊, 2008(8): 8-10; 33.
- [41] 张烨. 不同贮藏条件对核桃仁自身抗氧化物质的影响[D]. 内蒙古: 内蒙古农业大学, 2005.
- [42] 杨春梅. 影响核桃仁中多酚类物质抗氧化活性因素的研究[D]. 内蒙古: 内蒙古农业大学, 2007.