

抗氧化能力的体外测定方法研究进展

王晓宇¹, 杜国荣², 李华^{*3}

(1. 陕西师范大学 食品工程与营养科学学院, 陕西 西安 710062; 2. 西安文理学院 生命科学系, 陕西 西安 710065; 3. 西北农林科技大学 葡萄酒学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 水果、蔬菜、茶叶和红葡萄酒等食品被认为对人体健康具有积极的作用, 其主要原因在于这些产品中的一些天然产物具有抗氧化作用。随着对天然抗氧化物质的关注程度不断提高, 研究者开发出许多种体外抗氧化能力测定方法。常用的体外抗氧化测定方法有: 总氧自由基清除能力法、还原能力测定法、ABTS 自由基清除能力法、DPPH 自由基清除能力法、羟自由基清除能力法、超氧自由基清除能力法和脂质过氧化法等。这些方法的反应原理和反应环境各不相同。作者系统地介绍了体外各种抗氧化能力测定方法, 分析了这些方法的原理、特点和优缺点, 并且对现行方法在实际中的应用现状和研究动态进行了评述。

关键词: 抗氧化能力; 体外; 分析方法

中图分类号: Q 502 文献标志码: A 文章编号: 1673-1689(2012)03-0247-06

Progress of Analytical Methods for Antioxidant Capacity in Vitro

WANG Xiao-yu¹, DU Guo-rong², LI Hua^{*3}

(1. College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China; 2. College of Life Science, Xi'an University of Arts and Science, Xi'an 710065, China; 3. College of Enology, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Due to high antioxidant activity, many foodstuffs and beverages such as fruits, vegetables, tea, and red wine were exhibited the excellent beneficial influence on human health. With increasing interest in the function and diversity of antioxidants in foods, several in vitro methods for measuring antioxidant activity of food, beverages and biological samples have been developed. The most commonly assay methods include oxygen radical absorbance capacity (ORAC), reducing power, determination of total phenols, 2,2-azino-di-(3-ethylbenzothiazoline-sulphonic acid) (ABTS), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), hydroxyl radical-scavenger activity, superoxide radical-scavenger activity and lipid peroxidation inhibition. These methods differ in terms of their assay principles and experimental conditions. This review describes the methodology for assessing in vitro antioxidant capacity, including the principles, characteristics, merits and drawbacks of every method. In addition, their current status and problems in practical application are critically evaluated.

Key words: antioxidant capacity, in vitro, analytical methods

收稿日期: 2010-12-15

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(GK201002003); 陕西师范大学青年基金项目(200901003)。

作者简介: 王晓宇(1979-), 男, 山西太谷人, 农学博士, 讲师, 主要从事葡萄与葡萄酒方面的研究。E-mail: wxyputj@yahoo.com.cn

* 通信作者: 李华(1959-), 男, 重庆梁平人, 理学博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事葡萄与葡萄酒方面的研究。

E-mail: lihuawine@nwsuaf.edu.cn.

医学研究结果显示:动脉粥样硬化、癌症、神经性疾病等多种疾病都与氧化胁迫有关。当机体内正常代谢产生的活性氧、活性氮超出人体自身抗氧化保护系统的范围就会对机体造成伤害。许多外源的小分子例如:抗坏血酸、维生素 E、 β -胡萝卜素以及各种多酚物质等,作为抗氧化剂可以抵抗活性氧造成的危害^[1-2]。各种食品、药品、天然动植物中富含这些物质,因此他们是保护人体健康的重要来源。

由于天然物质成分非常复杂,评价它们的抗氧化能力非常困难。抗氧化能力作为评价食品、药品功效的一个重要指标至今未能标注在商标或者说明中,用以指导消费者购买真实有效的商品。这其中最重要的原因就是没有一种标准方法可以准确评价抗氧化物质的抗氧化能力^[3]。作者介绍了主要的体外抗氧化能力测定方法,分析这些方法的原理、特点和优缺点,并且对现行方法在实际中的应用和研究动态进行了评述。

1 体外抗氧化能力测定方法

目前使用的抗氧化测定方法非常多,根据不同的原则有不同的分类。根据生物体试验与否可以分为:体内试验和体外试验;根据测定目标是否为酶可以分为:酶法测定和非酶测定;根据反应机理不同可以分为:以供氢为机理的方法、以供电子为机理的方法和二者兼有的方法;根据实验所用仪器可以分为:分光光度法、荧光法、化学发光法、色谱法、电子自旋共振法、毛细管凝胶电泳法等。作者主要介绍体外非酶类方法中使用最多、最广泛的一些方法。根据抗氧化活性主要表现在抑制脂质的氧化降解、清除自由基、抑制促氧化剂(如螯合过渡金属)和还原能力等几方面的原理,将这些方法可以归为 5 大类:1) 以脂质的氧化降解为基础的方法;2) 以清除自由基为基础的方法;3) 螯合过渡金属防止产生自由基的方法;4) 测定待测物的还原能力的方法;5) 其它方法。大多数方法涉及到直接或间接测量:底物或标记底物的衰减;氧化产物的生成;特征自由基的形成或衰减的速度或程度。

1.1 以脂质的氧化降解为基础的方法

脂质中的不饱和脂肪酸自动氧化或加速氧化,生成不稳定的氢过氧化物,氢过氧化物继续分解形

成短碳链的醛、酮、酸等小分子化合物。抗氧化剂的加入可以延缓氢过氧化物及其分解产物的形成,由此可测得抗氧化活性。脂质过氧化的常用检测方法见表 1。有过氧化值法、硫氰酸铁法、共轭二烯法和硫代巴比妥酸法等。在这些方法中,硫代巴比妥酸法是生物样品中常使用的,过氧化值法和硫氰酸铁法是我国测定脂质品的国标方法。经典的脂质过氧化的方法最大的缺点就是需要很长时间,尽管现在采用了加速氧化代替自氧化的方法,整个过程也需要很长时间。但是,脂质过氧化的方法不需要贵重仪器,操作也非常简单。

表 1 体外抗氧化能力测定方法

Tab. 1 Analytical methods for antioxidant capacity in vitro

机理	方法	参考文献
脂质的氧化降解	过氧化值法	4—7
	硫氰酸铁法	
	共轭二烯法	
	硫代巴比妥酸反应物法	
清除自由基		
1 自由基	氧自由基吸收能力	8—21
	总自由基吸收能力	
	藏花素漂白法	
	β -胡萝卜素漂白法	
	羟自由基清除能力	
	超氧阴离子清除能力	
	过氧化氢清除能力	
2 人工合成自由基	清除 ABTS 能力	
	清除 DPPH 能力	
	清除 DMPD 能力	
	清除 DMPD 能力	
还原能力	铁离子还原能力	22—24
	铜离子还原能力	
	循环伏安法	
螯合金属离子	总酚测定	
	铁离子螯合能力	
	铜离子螯合能力	
其他	电化学法	3
	高效液相色谱法	
	气相色谱法	
	毛细管凝胶电泳法	

1.2 以清除自由基为基础的方法

以清除自由基测定抗氧化能力的方法,是目前最流行、使用最多的方法,因为其简便、快捷。根据自由基的种类不同可以分为两大类:1)生物体中存在的自由基:超氧自由基($O_2^{\cdot-}$),过氧化氢(H_2O_2),过氧自由基(ROO^{\cdot}),羟自由基(HO^{\cdot}),单线态氧(1O_2)和过氧化氮自由基($ONOO^{\cdot}$)等。其中,单线态氧和过氧化氢并非自由基,而是类似自由基的活性氧,也会对机体产生破坏作用。主要方法有氧自由基吸收能力(ORAC)、藏花素漂白法、 β -胡萝卜素漂白法、以及其它各种自由基清除法;2)人工合成的自由基:主要有 ABTS 自由基法、DMPD 自由基法和 DPPH 自由基法。目前最常用的自由基清除测定方法是 ABTS 法、DPPH 法、ORAC 法、羟自由基清除能力和超氧自由基清除能力。

1.3 测定还原能力的方法

该类方法测定的是抗氧化剂的还原能力,主要方法有铁离子还原能力(FRAP)、铜离子还原能力(CUPRAC)、总酚测定(FC)和循环伏安法(CV),此外还有其它一些金属离子的还原(例如锰离子等)。这些方法测定的是抗氧化物质氧化还原的潜力,通常人们称这些方法为“总抗氧化能力”。然而许多研究者对该方法是否可以代表总抗氧化能力提出质疑,他们认为该方法的生物相关性较差,所以不是一种测定抗氧化能力的好方法,但却是目前应用最广泛的方法。

1.4 其它方法

这些方法主要包括金属离子螯合能力、毛细管凝胶电泳法以及色谱法等估计抗氧化能力的方法。金属离子螯合能力测定的基本原理是:抗氧化剂被认为具有螯合金属离子的能力,从而避免发生芬顿反应产生自由基。当最后加入 Ferrozine 试剂后,未被螯合的铁离子将会与其形成显色法团,在 562 nm 下有强吸收,间接的反映抗氧化物质的抗氧化能力。毛细管凝胶电泳法、高效液相色谱和气相色谱均是将复杂混合物先进行有效分离,然后再定性、定量,通过抗氧化物质的含量来判断其抗氧化能力的强弱。在过去的十几年中,已经广泛的应用于葡萄酒、茶叶、果实和蔬菜等富含多酚的食品中。但是目前没有一种方法可以把所有的酚类物质全部检测出来,聚合体酚类物质最难鉴定。即使把所

有的酚类物质都知道了,抗氧化活性也很难从这些数据中统计出。首先,单体酚类的抗氧化能力信息还比较少,并且比较混乱。其次,总的抗氧化性并不是单体酚抗氧化物质简单的加和,它们之间存在协同作用。

2 目前的方法研究及使用现状

目前抗氧化能力的测定方法有很多,细数起来有几十到上百种。之所以会出现这样的结果,其原因很简单——没有公认的标准方法。抗氧化能力测定之所以没有标准方法,主要原因是由于以下几方面的原因:1)生物体中有多个抗氧化系统,目前认为至少 4 个,包括:抗氧化酶系统(超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、谷胱甘肽过氧化物酶);蛋白质等大分子;多酚、维生素、抗坏血酸等小分子;激素。这些存在于体内的抗氧化系统的工作原理、相互之间的关系还没有搞清楚,所以很难对抗氧化物质进行综合评价。2)在系统中存在多种自由基和抗氧化剂资源(羟自由基、超氧阴离子、过氧自由基、脂质自由基、单线态氧、氮自由基等),他们各自都有不同的化学和物理特征。某一抗氧化剂可能在单一系统中同时有多重机制,或者在不同系统中表现出不同的机制。此外对于不同的自由基,抗氧化剂的清除机制也不相同,例如类胡萝卜素与酚类物质相比其清除过氧自由基能力较弱,但它具有强的清除单线态氧的能力。3)现在采用的抗氧化方法大多为体外抗氧化测定,无法真实模拟生理环境,且各方法都仅测定了抗氧化能力中的某一方面,故无法模拟生理条件下的多条抗氧化途径。4)测定的样品大多为混合物如食品等,其成分非常复杂,各抗氧化物质的抗氧化作用无法用单一的机制解释。由此可以看出真实反映物质的抗氧化能力是非常困难的^[25]。

由于没有统一的标准方法,所以大家在研究物质的抗氧化作用时,一般选取不同机制为基础的两种方法以上,来共同说明该物质的抗氧化能力,几种方法测定的结果可能有很高的一致性,也可能有相反的结果,因此这些方法之间是不可替代的。人们对氧化的认识越来越多,因此有更多的研究者对不同的抗氧化剂资源进行了研究,包括食品、药

品、天然动植物等。但由于方法的不统一以及一些研究者、研究实验室自身的问题使得目前有关抗氧化作用的研究十分混乱。主要表现为: 1) 盲目地选择抗氧化方法。对于目前众多的抗氧化方法选择时, 没有目标性的选择, 所选用的方法很可能不能反映抗氧化作用的多个方面, 而是重复的使用同一类型的多种方法, 这样不仅不能说明抗氧化能力而且是在浪费。2) 各个研究者之间的结果无法进行比较, 即使采用了同样的方法测定同样的抗氧化剂也可能由于研究者偏好、实验室条件而无法比较。例如, 在使用总酚估计抗氧化能力时, 结果的表述方式有没食子酸盐等价、儿茶酚等价、阿魏酸等价、单宁酸等价、咖啡酸等价等多种, 不同表述方式其结果不同, 所以造成了不同文章中的数据无法比较。而对于不同表述方式是否合理、正确没有人研究过。3) 许多研究者使用方法不当造成数据的错误。4) 由于各抗氧化方法的结果不一致, 许多行业滥用数据作为健康标准。

因此, 我们因该尽快制定出一种或几种方法的标准, 包括方法的程序、结果表述、适用对象以及适用范围等。这样才能保证各研究者的工作正确, 并且具有可比性, 不需要做许多不必要的重复工作。

3 国内外抗氧化方法的研究动态

由于抗氧化方法存在的问题, 2004 年和 2005 年美国化学学会在奥兰多举办了第一和第二届中国国际抗氧化方法会议。大会就目前抗氧化方法的使用、以及方法的机理研究进行了讨论, 试图解决目前抗氧化研究中存在的问题, 并且找到一种标准方法。非常遗憾的是大会并没有真正制定出标准方法。

尽管如此, 大会还是为抗氧化方法的研究和应用提供了一些建议和思路。Prior 等将目前常使用的抗氧化方法分为两类: 基于 H 原子转移的方法 (HAT) 和基于电子转移的方法 (SET)。它们的结果是相同的, 但其动力学和潜在的副反应是不相同的。它们是可以同时发生的, 在一个既定的系统中, 谁占主要地位由抗氧化剂的结构、溶解性、分配系数和系统溶剂决定^[3]。众多研究者认为 HAT 机制是抗氧化剂所扮演的最相关的反应。这一机制的主要方法有: ORAC、TRAP、脂质过氧化法等。

许多大会专家认为 ORAC 是其中最好的一种方法。ORAC 法采用延长时间的反应 30 min, 抗氧化剂的保护性影响采用荧光衰减的下面积表示, 避免了选择终点所带来的误差。此法测得的是总的抗氧化活性, 而且可自动化、标准化。但该方法需要使用荧光计 (普通实验室可能没有), 测定所需时间稍长。目前, 国外一些生产商已经将 ORAC 值作为抗氧化能力的指标写在商标上。

基于电子转移的方法 (SET) 主要有: FRAP、ABTS、DPPH 等。他们测定的是基于测定抗氧化物质维持氧化还原状态的能力。这些方法多采用分光光度计测定颜色的变化, 使用简单快速, 但是测定时干扰很多, 例如 FRAP 不能测定硫醇类化合物的抗氧化能力且易受金属离子的影响, 最关键的是它们不如 HAT 法那样接近生理环境中抗氧化剂所扮演的角色。

表 2 为 10 种抗氧化方法基于多方面标准考虑的综合比较。不论哪种方法都各有利弊, 生物相关性高的方法操作性较差, 而操作性好的方法生物相关性差。因此, 在目前状况下没有一种方法可以代替全部的方法而作为标准方法, 因此在具体应用时还需要使用不同方法来说明抗氧化剂的不同方面。

表 2 抗氧化方法关键标准的比较^[26]

Tab. 2 Methods for assessing antioxidant capacity compared by key criteria

方法	难易程度	仪器	生物相关	机理	溶解性
HRSA	+	++	+	ROS	--
SRSA	+	++	+	ROS	--
ORAC	++	--	+++	HAT	+++
TBARS	-	+++	+++	HAT	--
FTC	-	+++	++	HAT	--
DPPH	+	+	-	SET	-
ABTS	+	+	-	SET	+++
FRAP	+++	+++	--	SET	---
FC	+++	+++	--	SET	---
MC	+	+++	---		--

注: +, ++, +++ 表示优良等级, -, --, --- 表示差的等级

李华等对使用频率最高的 10 种方法进行了文献研究, 试图从其中找到一种有代表性的方法作为

标准方法。首先从 SCI 文章中统计出现频率最高的 10 种方法依次为: DPPH、羟自由基、超氧自由基、ABTS、FRAP、ORAC、总酚估计法、TBARS 法、硫酸氰铁法、螯合金属离子。从 SCI 文章和中文核心期刊中筛选出近 400 篇文献(这些文献中有可以采集的数据)。虽然这些文章中的数据由于测定标准不统一,单位表述不同,文献之间的数据无法统计比较,但不同作者在同一文献中使用了多种方法测定相同物质的抗氧化能力。因此,通过科学的数据处理可以统计出这些方法在测定同一物质时方法之间的相关性^[26]。研究结果并没有像预期的目标那样选择出一种方法与其它方法均有很好的相关性。在统计的数据中,不管是哪两种方法之间的相关性其数值变化范围均为 0.00X~0.9XX,数据的变化差异非常大。造成这一差异的原因除不同作者、不同实验室的实验误差外,主要是由于测定样品的不同所导致的,统计的样品包括:化学物质、果酒、水果、蔬菜、农作物、草药等^[27,28]。由于测定样品的不同,测定方法间的相关性明显不一致,

例如:Ou 等人在测定不同蔬菜的抗氧化能力时 ORAC 法和 FRAP 法的相关系数为 0.0055、0.96、0.13、0.78、0.15、0.64、0.65、0.59、0.87、0.78、0.57 和 0.43^[29]。可见测定的抗氧化物质不同,不同方法之间的相关性也就不同,有的甚至差异很大。

4 展 望

在目前的方法条件下,不能只用一种方法来评价抗氧化物质的抗氧化能力。结合抗氧化反应的机理学说,笔者提出两种解决方案:1)在选择方法的时候要考虑不同机理的方法(HAT 和 SET)和不同自由基清除的方法,这样可以兼顾到多个方面;2)对于一些具体的抗氧化物质,将抗氧化剂先归类后进行抗氧化方法的筛选,即专用方法。对于不可知的抗氧化剂应该进行多种方法的测定(基于多种原理),然后从中优选方法。同时,为了科学研究结果的共享以及实验结果的可比较性,实验方法和步骤应标准化,实验结果应该尽量使用统一表述方式。

参考文献(References):

- [1] 李华,王华,袁春龙,等. 葡萄酒化学[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [2] Xiaoyu Wang, Hua Li, Hua Wang. Involvement of wine polyphenols in the protective effect against cardiovascular diseases[J]. **Proceedings of the Fifth International Symposium on Viticulture and Enology**, 2007, 5:171-177.
- [3] Prior R L, Wu X L, Schaich K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2005, 53 (10): 4290-4302.
- [4] 范婧,向传万,姜元荣. 氧气含量对花生油氧化的影响[J]. **食品与生物技术学报**, 2010, 29(6): 825-828.
FAN Jing, XIANG Chuan-wan, JIANG Yuan-rong. Influence of oxygen concentration on the oxidation of peanut oil[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2010, 29(6): 825-828. (in Chinese)
- [5] 张丽萍,童华荣. 抗氧化能力测定方法的研究进展[J]. **中国食品添加剂**, 2004(3):108-113.
ZHANG Li-ping, TONG Hua-rong. Advanced studies on the methods for antioxidants screening [J]. **China Food Additives**, 2004(3):108-113. (in Chinese)
- [6] Gulcin I, Elmastas M, Aboul-Enein H. Determination of antioxidant and radical scavenging activity of basil (*Ocimum basilicum* L. family *Lamiaceae*) assayed by different methodologies [J]. **Phytotherapy Research**, 2007, 21 (4): 354-361.
- [7] Nevin K G, Rajamohan T. Virgin coconut oil supplemented diet increases the antioxidant status in rats [J]. **Food Chemistry**, 2006, 99(2): 260-266.
- [8] 王会,郭立,谢文磊. 抗氧化剂抗氧化活性的测定方法(一)[J]. **食品与发酵工业**, 2006, 32(3):92-98.
WANG Hui, GUO Li, XIE Wen-lei. Methods for determining antioxidative activity of antioxidants(I) [J]. **Food and Fermentation Industries**, 2006, 32(3):92-98. (in Chinese)
- [9] 王会,郭立,谢文磊. 抗氧化剂抗氧化活性的测定方法(二)[J]. **食品与发酵工业**, 2006, 32(3):98-102.
WANG Hui, GUO Li, XIE Wen-lei. Methods for determining antioxidative activity of antioxidants(II) [J]. **Food and Fermentation Industries**, 2006, 32(3):98-102. (in Chinese)

- [10]Cao G, Alessio H M, Culter R G. Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants [J]. **Free Radical Biology and Medicine**, 1993, 14(3): 303–311.
- [11]Ou B X, Hampsch W M, Prior R L. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2001, 49(10): 4619–4626.
- [12]Ghiselli A, Serafini M, Maiani G, et al. A fluorescence-based method for measuring total plasma antioxidant capability [J]. **Free Radical Biology and Medicine**, 1995, 18(1):29–36.
- [13]Tubaro F, Ghiselli A, Rapuzzi P, et al. Analysis of plasma antioxidant capacity by competition kinetics [J]. **Free Radical Biology and Medicine**, 1998, 24(7–8):1228–1234.
- [14]Kulisic T, Radonic A, Katalinic V, et al. Use of different methods for testing antioxidative activity of or egano essential oil [J]. **Food Chemistry**, 2004, 85(4):633–640.
- [15]Ou B, Hampsch-Woodhill M, Flanagan J, et al. Novel fluorometric assay for hydroxyl radical prevention capacity using fluorescein as the probe [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2002, 50(10):2772–2777.
- [16]Quick K L, Hardt J I, Dugan L L. Rapid microplate assay for superoxide scavenging efficiency [J]. **Journal of Neuroscience Methods**, 2000, 97(2): 138–144.
- [17]Mueller S. Sensitive and nonenzymatic measurement of hydrogen peroxide in biological systems [J]. **Free Radical Biology and Medicine**, 2000, 29(5):410–415.
- [18]Fu Y L, Krasnovsky A A, Foote C S. Quenching of singlet oxygen and sensitized delayed phthalocyanine fluorescence. [J]. **Journal of Physical Chemistry**, 1997, 101(14):2552–2554.
- [19]Pannala A, Razaq R, Halliwell B, et al. Inhibition of peroxynitrite dependent tyrosine nitration by hydroxycinnamates: Nitration or electron donation? [J]. **Free Radical Biology and Medicine**, 1998, 24(4):594–606.
- [20]Rice-Evans C, Miller NJ. Total antioxidant status in plasma and body fluids [J]. **Methods In Enzymology**, 1994, 234(15):279–293.
- [21]Re R, Pellegrini N, Proteggente A, et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay [J]. **Free Radical Biology and Medicine**, 1999, 26(9–10):1231–1237.
- [22]Benzie I F F, Strain J J. The Ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of " antioxidant power": the FRAP assay [J]. **Analytical Biochemistry**, 1996, 239:70–76.
- [23]Apak R, Gücülü K G, Özyürek M, et al. Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric iron reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2004, 52(26):7970–7981.
- [24]Kohen R, Beit-Yannai E, Berry Em, et al. Overall low Molecular weight antioxidant activity of biological fluids and tissues by cyclic voltammetry [J]. **Methods In Enzymology**, 1999, 300:285–290.
- [25]Ishige K, Schubert D, Sagara Y. Flavonoids protect neuronal cells from oxidant stress by three distinct mechanisms [J]. **Free Radical Biology and Medicine**, 2001, 30(4):433–446.
- [26]李华,李佩洪,王晓宇,等. 抗氧化检测方法的相关性研究[J]. 食品与生物技术学报, 2008, 27(4): 6–11.
LI Hua, LI Pei-hong, WANG Xiao-yu, et al. Relativity about ten antioxidant methods [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2008, 27(4): 6–11. (in Chinese)
- [27]黄优生,谢明勇,聂少平,等. 山楂提取物的抗氧化活性研究[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 29(6): 189–192.
HUANG You-sheng, XIE Ming-yong, NIE Shao-ping, et al. Anti-oxidative activity of extracts from hawthorn [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2010, 29(6): 189–192. (in Chinese)
- [28]张静,张晓鸣,佟建明,等. 银杏黄酮抑制脂质氧化的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 29(6): 842–846.
ZHANG Jing, ZHANG Xiao-ming, TONG Jian-ming, et al. Inhibiting effect of ginkgo flavonoid on lipid peroxidation [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2010, 29(6): 842–846. (in Chinese)
- [29]Ou B, Huang D, Hampsch-Woodill M, et al. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays; a comparative study [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2002, 50(11):3122–3128.