

茶多酚对水产品的保鲜机理及其 应用研究进展

李颖畅, 张笑, 仪淑敏, 励建荣*

(渤海大学化学化工与食品安全学院, 辽宁省食品安全重点实验室,
辽宁省高校重大科技平台“食品贮藏加工及质量安全控制工程技术研究中心”, 辽宁锦州 121013)

摘要:水产品营养丰富, 含有丰富的蛋白质和不饱和脂肪酸, 并且水分含量高, 容易腐败变质, 因此水产品的保鲜技术成为研究的热点, 尤其是生物保鲜。茶多酚是茶叶中酚类物质的总称, 具有良好的抗氧化、抑菌、抗肿瘤等保健功能。本文介绍了天然防腐剂茶多酚的组成、抗氧化机理及抑菌机理, 综述了茶多酚在水产品保鲜中的应用, 并展望了茶多酚的应用前景。

关键词:茶多酚, 水产品, 保鲜机理, 应用

Research progress in preservative mechanism and application of tea polyphenols in aquatic product

LI Ying-chang, ZHANG Xiao, YI Shu-min, LI Jian-rong*

(College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety, Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning Province,
Engineering and Technology Research Center of Food preservation, Processing and Safety Control of Liaoning Province,
Jinzhou 121013, China)

Abstract: There are proteins, unsaturated fatty acids and large amounts of water in aquatic products. Aquatic products are easy to corrupt, degenerate, so the aquatic products preservation technology has been become a hot research, especially bio-preservation. Tea polyphenols are phenolic compounds in general. It has a good antioxidant, antibacterial and antitumor etc. In this paper, constitute, antioxidative and antibacterial mechanism of tea polyphenols were introduced. Its application of tea polyphenols in aquatic products was summarized, and the application prospect of tea polyphenols was also predicted.

Key words: tea polyphenol; aquatic product; preservative mechanism; application

中图分类号: TS205

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2013)08-0365-04

水产品因其具有味道鲜美、营养丰富、蛋白质含量高、脂肪含量相对较少等特点, 深受人们青睐, 然而水产品的收获期相对集中, 其蛋白质和水分含量高、自身携带大量的细菌, 在贮运、加工和销售过程中, 容易引起变色、变味, 甚至腐败变质, 因而水产品保鲜已经成为国内外研究人员关注的热点。目前, 常应用于水产品保鲜的技术主要有低温保鲜、化学保鲜、气调保鲜和辐照保鲜等^[1]。随着人们环保意识的提高与保鲜技术的发展, 化学保鲜的安全性逐渐引起人们的担忧, 一些以天然无毒的生物保鲜剂为原料进行的生物保鲜技术逐渐引起人们的关注, 并开始应用于水产品的加工、贮藏、运输与消费过程中。茶多酚, 又称茶鞣质或茶单宁, 是从茶叶中提取出来的一种多羟基酚类物质^[2]。茶多酚安全、无毒, 是

一种纯天然的生物保鲜剂。我国是世界上最大的茶叶生产国之一, 开发茶多酚有充足的资源保证。加上广大科技人员对茶多酚提取工艺不断研究, 茶多酚的产量得到了大大地提高。同时茶多酚对水产品具有良好的抗菌和抗氧化作用, 能有效地抑制微生物的生长、延缓脂肪氧化、延长水产品的货架期^[3-4]。本文综述了茶多酚的组成、理化性质、保鲜机理以及在水产品保鲜上的应用。

1 茶多酚的组成和性质

茶多酚包括黄烷醇类、花色苷类、黄酮类、黄酮醇类和酚酸类, 其中黄烷醇类中的儿茶素类化合物是茶多酚的主要活性成分, 占茶多酚总量的60%~80%。近年来的研究表明, 茶多酚具有抗氧化和清除自由基、抑制微生物生长、抑制肿瘤细胞生长等多种生理活性^[5-6], 其研究范围已涉及食品、医药、日用化学品等许多领域。

茶多酚是一种混合物, 有涩味, 略带茶香, 有回味感, 并略有吸潮性。具有淡黄至茶褐色的水溶液、白色无定型粉末状、粗晶体三种形态。易溶于水、乙

收稿日期: 2012-11-16 * 通讯联系人

作者简介: 李颖畅(1973-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农、水产品加工与贮藏。

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2012BAD29B06)。

醇、乙酸乙酯、丙酮等有机溶剂,微溶于油脂,不溶于氯仿,水溶液pH为3.0~4.0。茶多酚对热和酸比较稳定,碱性条件下容易发生聚合和氧化褐变^[7]。

2 茶多酚的保鲜机理

2.1 茶多酚的抗氧化机理

茶多酚具有抗氧化作用,尤其是儿茶素抗氧化能力更强。茶多酚具有活泼氢能和自由基结合,还能螯合金属离子,抑制脂质过氧化,同时能增强体内抗氧化酶活性。

2.1.1 清除活性氧自由基 茶多酚是多羟基化合物,由于苯环上的 π 电子与氧原子尚不成对的单电子相互作用,发生共轭效应,其结果是不成对的单电子靠向苯环,氢氧键减弱,所以含酚基的物质具有较活泼的羟基氢,能提供氢离子,竞争性地与不饱和脂肪酸争夺活性氧,能与脂肪酸自由基结合,使自由基转化为惰性化合物,中止自由基的连锁反应,即中止油脂自动氧化。同时各茶多酚分子在抗氧化后产生的游离基间也会互相作用,生成新的酚型化合物,而其仍具有抗氧化功能^[8]。由于茶多酚分子的苯环上有4~8个羟基,故其抗氧化能力强而持久,是非常优良的强抗氧化剂。Almajano^[9]测定绿茶、白茶、黑茶、红茶等抗氧化能力,发现绿茶、白茶清除自由基能力最高。Staszewski^[10]研究不同种类的绿茶多酚的抗氧化能力,发现抗氧化能力不依赖绿茶多酚的浓度,而是主要取决于茶多酚的组成。同时也发现在茶叶提取物中加入如维生素C、维生素E或植酸等物质其抗氧化化效果会增强^[11]。

2.1.2 螯合金属离子 茶多酚的邻位酚羟基可螯合钙、铜、铁等金属离子,减少金属离子对氧化反应的催化作用^[12]。但是,茶多酚主要是螯合过量游离铁,并不会造成缺铁性贫血。李颖畅等^[13]研究表明, Fe^{2+} 能促进卵磷脂脂质体过氧化。茶多酚抑制油脂过氧化,可以通过螯合铁离子实现。赵保路^[14]也表明茶多酚对铁离子的络合作用在其抗氧化方面起到一定作用,但不是唯一因素。茶多酚也可以通过螯合细胞内钙,抑制黄嘌呤氧化酶生成,起到抗氧化作用。

2.1.3 结合氧化酶及促进抗氧化酶活性 在反应体系中,茶多酚能与氧化酶蛋白结合,形成一种复合物而降低该酶对氧化作用的催化活性。如绿茶茶多酚能抑制由黄嘌呤氧化酶引起的氧化应激,维持细胞的活力和形态。茶多酚也能促进和调节机体内抗氧化酶的活性。赵秀兰^[15]报道,绿茶对小鼠各脏器中的谷胱甘肽S—转移酶(GST)含量均有一定的诱导作用,其中肺脏中的GST活性以及肝脏、肾脏、小肠中的GSH含量显著高于对照组。

2.2 茶多酚的抑菌机理

茶多酚对引起食源性疾病的细菌,如金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、大肠杆菌、弧菌等有抑制作用。将其添加到食品中,不失为一种良好的天然抑菌剂。不同的细菌对茶多酚的耐受力不同,取决于细菌的种类、茶多酚的浓度、茶多酚的结构。Sakanaka等^[16]研究发现绿茶多酚可以降低芽孢杆菌芽孢的耐热性,加入茶多酚以后嗜热脂肪芽孢杆菌和热乙酸梭菌芽孢的耐热性

降低。研究发现,绿茶能够抑制一些食源性的致病菌,如*Escherichia coli* O157:H7、*Salmonella Typhimurium* DT104、*Listeria monocytogenes*、*Staphylococcus aureus*、*Bacillus cereus*等。付慧等^[17]研究表明:茶多酚对细菌有较强的抑菌活性,茶多酚对金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌和大肠杆菌的最低抑菌浓度分别为6.25%、12.5%、25%;茶多酚的抑菌效果与茶多酚的浓度和作用时间有关。Si等^[18]采用高速逆流色谱法鉴定了绿茶中4种抑菌成分,分别是表儿茶素没食子酸酯(ECG)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、表儿茶素(EC)、咖啡因(CN),并且EGCG的抑菌能力最强。茶多酚和某些物质具有协同抑菌作用,用抗坏血酸可增强表儿茶素的抑菌作用。

目前,茶多酚的抑菌机理尚未明确,被认为是多种因素共同作用的结果:a.影响基因的复制和转录;b.茶多酚分子中的酚羟基与蛋白质分子中的氨基或羧基发生氢结合,疏水性的苯环也可与蛋白质发生疏水结合,影响蛋白质和酶的活性;c.破坏细胞膜的脂质层,细胞膜的通透性发生改变,使得细胞膜微脂粒凝集而起作用;d.茶多酚还可与金属离子发生络合反应,导致微生物因某些必需元素的缺乏而代谢受阻,甚至死亡。Yi^[19]表明了茶多酚通过损坏绿脓杆菌的细胞膜而表现出显著的抑菌活性。钱丽红等^[20]研究茶多酚对金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞菌的抑菌机理表明,茶多酚可破坏细胞膜的结构、导致细胞通透性增加,进而使细胞内容物外泄;同时证实茶多酚可以阻碍细菌蛋白质的正常表达,以致影响其细胞的结构组成以及酶的催化活性,最终导致细菌正常生理功能的丧失。仪淑敏等^[21]研究表明,茶多酚可以降低细菌体内的碱性磷酸酶和三磷酸腺苷酶的活性,对细菌膜蛋白有显著影响,茶多酚可使细菌代谢发生紊乱,破坏细胞膜结构。蓝蔚青^[22]以冷藏带鱼中分离出的革兰氏阳性优势菌——松鼠葡萄球菌(*Staphylococcus sciuri*)为实验菌,研究复合生物保鲜剂(配比浓度为:茶多酚3.0g/L、壳聚糖10.0g/L与溶菌酶0.3g/L)对松鼠葡萄球菌的抑菌效果与作用机理。结果表明,复合保鲜剂对松鼠葡萄球菌的最小抑菌浓度与最小杀菌浓度分别为0.8mg/mL与1.6mg/mL,随着处理时间的延长,复合生物保鲜剂显著抑制松鼠葡萄球菌的生长,增加菌体细胞外碱性磷酸酶的含量,增大细菌菌体细胞壁通透性,破坏细胞结构的完整性,显著升高菌液电导率值,使菌体电解质等内容物外泄,影响细胞内环境和细胞膜的稳定性。

3 茶多酚在水产品上应用的研究进展

茶多酚应用于鱼类等水产品保鲜,能够有效地抑制鱼脂质氧化和三甲胺、挥发性盐基氮(TVB-N)等的生成。茶多酚能有效地抑制细菌繁殖,减缓脂肪氧化,延缓腐败变质,从而延长鱼类等水产品保鲜期。蓝蔚青^[22]研究了冷藏0~4℃条件下不同浓度的茶多酚保鲜液对带鱼段的保鲜效果,结果表明在相同的贮藏期内,经茶多酚溶液处理后的带鱼段pH、TVB-N及菌落总数明显低于冷藏对照组,而感官值优于对照组。Fan^[23]研究茶多酚对鲢鱼微冻冷藏过程

中品质变化的影响,发现鲢鱼的感官评分值下降减缓,细菌总数、pH、TVB-N值、硫代巴比妥酸(TBA)值、鲜度指标(K值)明显低于对照样品。茶多酚能够延长鲢鱼保鲜期。张旭光等^[14]研究表明,茶多酚能延长冷藏过程中的大黄鱼货架期7~8d,有效地抑制细菌繁殖,并减慢脂肪氧化。赵进等^[15]研究表明,大黄鱼片在0℃真空包装冷藏过程中,0.2%茶多酚能够有效降低化学指标活性,抑制微生物的生长,保持和延长大黄鱼片保质期。欧阳涛^[16]研究表明,茶多酚对冷藏草鱼肉具有一定的保鲜效果。茶多酚抑制冷藏草鱼的感官分值的下降,可以减缓pH下降和TVB-N值的上升,一定程度上抑制细菌生长速度。2.00%茶多酚溶液组相对其他浓度组对4℃冷藏草鱼有更好的保鲜效果。茅林春等^[17]研究表明,茶多酚对微冻状态下的鲫鱼具有良好的抑菌和抗氧化作用,能够明显延缓鲫鱼的腐败变质。同样,Li等^[20]也采用茶多酚对鲫鱼进行保鲜,根据感官指标进行评价发现未用茶多酚处理的鲫鱼的货架期为7~8d,用茶多酚处理的鲫鱼的货架期为13~14d,同时pH、挥发性盐基氮、K值和硫代巴比妥酸相对对照显著降低,茶多酚能够延长冷藏过程中的鲫鱼货架期。Xi等^[21]研究表明绿茶多酚提取物能够降低牡蛎肉中的副溶血性弧菌,延长其货架期。励建荣等^[28]研究表明茶多酚同样能提高梅鱼鱼丸的凝胶性能,延长梅鱼鱼丸的货架期,其添加量为200~300mg/kg时保鲜效果显著。刘焱^[29]研究也表明,茶多酚能降低冷藏鱼糜的酸价、过氧化值、挥发性盐基氮;延缓冷藏鱼糜和冷冻鱼糜的水分含量的减少;能显著地延缓冷藏鱼糜凝胶强度的降低。

茶多酚还可以和其他保鲜剂复合使用提高水产品保鲜效果。如李虹等^[30]研究了茶多酚、乳酸链球菌素、溶菌酶以及山梨酸钾对蟹糊的抑菌作用,结果表明,用0.50%茶多酚+0.08%乳酸链球菌素+0.03%溶菌酶+0.10%山梨酸钾复配成的保鲜剂可有效地抑制蟹糊中微生物的生长。Li^[31]采用0.2%的茶多酚、0.2%的迷迭香提取物、1.5%的壳聚糖对大黄鱼进行涂膜保鲜,与对照组相比能够延长冷藏过程中的大黄鱼货架期8~10d。Feng等^[32]采用臭氧水(1mg/mL)清洗黑鲷鱼后,然后用0.2%(w/v)茶多酚涂膜处理,在4℃贮藏15d。结果表明:茶多酚和臭氧处理后能有效降低核酸降解、脂质过氧化、蛋白质分解、微生物生长,能够保持较好的质地、颜色和感官特性。Li^[33]研究葡萄籽提取物+壳聚糖、茶多酚+壳聚糖对红鼓(美国红鱼)鱼片冷藏效果的影响,将样品储存在(4±1)℃下20d,对微生物、理化和感官特性进行定期评估。结果表明,两种处理方法均可以更有效地保持质量和延长冷藏期,与对照组相比,可以延长保质期6~8d。

4 茶多酚保鲜剂应用于水产品保鲜的特点

茶多酚安全,无毒副作用^[11]。其在消化道内可降解为食物的正常成分,是安全无害的食品添加剂,能够满足消费者对水产品安全的要求;茶多酚抑菌谱广,对有细胞壁和无细胞壁的革兰氏阳性、阴性菌均有明显抑制作用^[11];茶多酚水溶性好,对水产品的质量影响小,能较好的保持水产品的风味;茶多酚使用

剂量低,效率高;茶多酚的价格相对较高,成本较高,在一定程度上限制了推广应用。

5 展望

化学合成的抗氧化剂和抑菌剂抗氧化能力、抑菌能力强,但是对人体有一定的毒副作用。茶多酚属于天然抗氧化剂和抗菌剂,对人体安全、无毒。我国是茶叶生产大国,以茶叶为原料生产茶多酚将具有广阔的市场前景。在人们日益重视生活质量,对水产品的要求越来越高的同时,茶多酚作为天然、绿色的食品保鲜剂在水产品中应用也会有更好的发展前景。鉴于茶多酚在实际应用中还存在一定的局限性,茶多酚在以下几方面需要进行深入研究。a.茶多酚的极性,油脂中溶解性差,使其在食品中的应用受到一定限制,近年来利用酯化或甲基化等方法将茶多酚进行化学修饰,在不影响其抗氧化活性的前提下增强其脂溶性,已成为茶多酚研究的热点。b.茶多酚是一种混合物,结构复杂,具有良好的抗氧化能力的同时,自身会发生氧化而产生具有较强氧化性的物质和新的自由基,影响水产品的贮藏,因此,在贮藏过程中茶多酚自身氧化变化的研究,最终产物的结构以及对水产品的感官和营养成分是否有影响,如何平衡抗氧化和自身氧化等成为有待解决的问题。c.在水产品贮藏中探讨茶多酚与其他天然添加剂复配增强保鲜效果,是值得深入研究的课题。目前茶多酚的制备技术也在逐步改善和优化,随着诸多研究工作的不断深入,茶多酚必将得到充分的开发和应用。

参考文献

- [1] 龚婷,陆利霞,熊晓辉. 生物保鲜技术在水产品保鲜中的应用研究[J]. 食品工业科技,2008,29(4):311-313.
- [2] 朱桂勤,李建科. 茶多酚的功能研究进展[J]. 食品研究与开发,2005,26(2):33-35.
- [3] 茅林春,段道富,许勇泉,等. 茶多酚对微冻鲫鱼的保鲜作用[J]. 中国食品学报,2006,6(4):106-110.
- [4] 张旭光,李婷婷,朱军莉,等. 茶多酚处理对冷藏养殖大黄鱼品质的影响[J]. 茶叶科学,2011,31(2):105-111.
- [5] Khan N, Mukhtar H. Tea polyphenols for health promotion[J]. Life Science,2007,81(7):519-533.
- [6] 李学鸣,孟宪军,彭杰. 茶多酚生物学功能及应用的研究进展[J]. 中国酿造,2008(24):13-16.
- [7] 王小军,秦福生,李小勇. 天然抗氧化剂茶多酚在肉制品贮藏保鲜中的应用[J]. 肉类研究,2006(3):33-36.
- [8] 韩国麒. 油脂化学[M]. 郑州:河南科学技术出版社,1994.
- [9] Almajano M P, Carbó R, Jiménez J A L, et al. Antioxidant and antimicrobial activities of tea infusions[J]. Food Chemistry, 2008,108(1):55-63.
- [10] Staszewski M, Pilosof A M R, Jagu R J. Antioxidant and antimicrobial performance of different Argentinean green tea varieties as affected by whey proteins[J]. Food Chemistry,2011,125(1):186-192.
- [11] 王莹. 茶多酚的抗氧化和抑菌活性及其增效剂[J]. 生物学杂志,2007,24(5):54-56.
- [12] 李颖畅,孟宪军. 蓝莓花色苷抗氧化活性的研究[J]. 食品

与发酵工业,2007,33(9):61-64.

- [13] Leopoldini M, Russo N, Toscano M. The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants[J]. Food Chemistry, 2011, 125(2):288-306.
- [14] 赵保路. 茶多酚的抗氧化作用[J]. 科学通报, 2002, 47(16):1206-1210.
- [15] 赵秀兰, 赵长峰, 梅行, 等. 绿茶对小鼠体内谷胱甘肽S-转移酶活性及谷胱甘肽含量的影响[J]. 中国公共卫生学报, 1997(4):332-335.
- [16] Sakanaka S, Juneja L R, Taniguchi M. Antimicrobial effects of green tea polyphenols on thermophilic spore-forming bacteria. Journal of Bioscience and Bioengineering[J]. 2000, 90(1):81-85.
- [17] 付慧, 杨萍, 汪秋宽. 茶多酚的制备及其抑菌活性的研究[J]. 食品科技, 2012, 37(6):273-276.
- [18] Si W D, Gong J H, Tsao R, et al. Bioassay-guided purification and identification of antimicrobial components in Chinese green tea extract[J]. Journal of Chromatography A, 2006, 1125(2):204-210.
- [19] Yi S M, Zhu J L, Li J R. Tea polyphenols inhibit *Pseudomonas aeruginosa* through damage to the cell membrane[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 144(1):111-117.
- [20] 钱丽红, 陶妍, 谢晶. 茶多酚对金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞菌的抑菌机理[J]. 微生物学通报, 2010, 37(11):1628-1633.
- [21] 仪淑敏, 王菟, 励建荣, 等. 茶多酚对假单胞菌抑菌机理研究[J]. 渤海大学学报:自然科学版, 2011, 32(4):376-382.
- [22] 蓝蔚青, 谢晶, 侯伟峰, 等. 复合生物保鲜剂对松鼠葡萄球菌的抑菌性能及其作用机理研究[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24:741-746, 753.
- [23] 蓝蔚青, 谢晶, 赵海鹏, 等. 茶多酚对冷藏带鱼保鲜效果的比较研究[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(1):159-161.
- [24] Fan W J, Chi Y L, Zhang S. The use of a tea polyphenol dip

to extend the shelf life of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) during storage in ice[J]. Food Chemistry, 2008, 108(1):148-153.

- [24] 赵进, 汪金林, 励建荣, 等. 茶多酚浸泡大黄鱼片真空包装0℃贮藏期间品质变化特性[J]. 茶叶科学, 2012, 32(4):297-304.
- [25] 欧阳涛, 赵利, 苏伟, 等. 茶多酚对冷藏草鱼片保鲜效果的研究[J]. 食品科技, 2011, 36(9):157-160.
- [26] Li T T, Li J R, Hu W Z, et al. Shelf-life extension of crucian carp (*Carassius auratus*) using natural preservatives during chilled storage[J]. Food Chemistry, 2012, 135(1):140-145.
- [27] Xi D Y, Liu C C, Su Y C. Effects of green tea extract on reducing *Vibrio parahaemolyticus* and increasing shelf life of oyster meats[J]. Food Control, 2012, 25:368-373.
- [28] 励建荣, 林毅, 朱军莉, 等. 茶多酚对梅鱼鱼丸保鲜效果的研究[J]. 中国食品学报, 2009, 9(6):128-132.
- [29] 刘焱, 丁玉珍, 姜爱华, 等. 茶多酚在鱼糜贮藏中的应用[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2008, 34(6):724-727.
- [30] 李虹, 姜永江. 常用防腐剂对蟹糊抑菌作用的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(1):74-77.
- [31] Li T T, Hu W Z, Li J R, et al. Coating effects of tea polyphenol and rosemary extract combined with chitosan on the storage quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Food Control, 2012, 25(1):101-106.
- [32] Feng L F, Jiang T J, Wang Y B, et al. Effects of tea polyphenol coating combined with ozone water washing on the storage quality of black sea bream (*Sparus macrocephalus*) [J]. Food Chemistry, 2012, 135(4):2915-2921.
- [33] Li T T, Li J R, Hu W Z, et al. Quality enhancement in refrigerated red drum (*Sciaenops ocellatus*) fillets using chitosan coatings containing natural preservatives[J]. Food Chemistry, 2013, 138(2/3):821-826.

(上接第341页)

- [9] Rigney C J, Wills R B H. Calcium movement, a regulating factor in the initiation of tomato fruit ripening[J]. Horticultural Science, 1981, 16(4):550-551.
- [10] 刘军凯, 雷泞菲, 吴虹霖, 等. 常见蔬菜中维生素C含量的研究[J]. 广东微量元素科学, 2006, 13(4):56-60.
- [11] Ferguson I B, Drobak B K. Calcium and the regulation of plant growth and senescence[J]. Horticultural Science, 1998, 23(2):262-266.
- [12] Rushing J W. Cytokinins affect respiration, ethylene production, and chlorophyll retention of packaged broccoli florets[J]. Horticultural Science, 1990, 25(1):88-90.
- [13] 崔彦. 减压条件对大久保桃采后活性氧代谢及品质的影响[J]. 保鲜研究, 2009(1):17-20.
- [14] Lin H T, Xi Y F, Chen S J. Postharvest softening physiological mechanism of Huanghua pear fruit[J]. Science Agricultural, 2003, 36(3):349-352.
- [15] 张立科, 田水泉, 谢太平, 等. 紫外可见分光光度法测定果蔬中的V_d[J]. 河北化工, 2009, 32(1):50-52.
- [16] 陈锦屏, 孙灵霞, 段玉峰. 番茄红素性质及提取方法研究

进展[J]. 粮食与油脂, 2004(8):70-73.

- [17] 张平, 孟宪军. 分光光度法测定大叔不同组织还原型谷胱甘肽含量[J]. 中华实验外科杂志, 1989, 6(3):141-142.
- [18] Greenfield R E, Price V E. Liver catalase I Amanometric determination of catalase activity[J]. Journal of Biological Chemistry, 1954, 209(1):355-361.
- [19] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2006:159-160.
- [20] Kevers C, Pincemail J, Tabart J, et al. Influence of cultivar, harvest time, storage conditions, and peeling on the antioxidant capacity and phenolic and ascorbic acid contents of apples and pears[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(11):6165-6171.
- [21] 崔彦. 减压条件对梨枣生理生化变化的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(29):12900-12901.
- [22] 梅晓岩, 孟宪军, 梁婧婧. 番茄红素抗氧化活性的研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(11):2315-2317.
- [23] 常燕平, 王如福. 冬枣减压贮藏期间生理变化的研究[J]. 食品工业科技, 2003, 24(12):85-86.