

核桃抗氧化作用研究进展

陈永浩¹, 李俊², 郭雪霞³, 齐建勋¹, 吴春林¹, 郝艳宾^{1,*}

(1.北京市农林科学院林业果树研究所, 北京 100093;

2.北京市园林科学研究所, 北京 100102;

3.农业部规划设计研究院, 北京 100125)

摘要:核桃素有“抗氧化之王”之称, 本文对核桃抗氧化活性评价方法, 各组织器官包括核桃花、核桃壳、核桃仁、核桃青皮、叶片以及枝条, 所含成分包括核桃蛋白及其酶解物、核桃油脂、多酚等的抗氧化作用及其生理功能进行了综述, 提出了核桃抗氧化研究中存在的问题, 并对应予关注的研究方向进行了展望。

关键词:核桃, 抗氧化, 研究进展

Research progress in antioxidation of walnut

CHEN Yong-hao¹, LI Jun², GUO Xue-xia³, QI Jian-xun¹, WU Chun-lin¹, HAO Yan-bin^{1,*}

(1. Institute of Forestry & Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Science, Beijing 100093, China;

2. Beijing Institute of Landscape Architecture, Beijing 100102, China;

3. Academy of Planning and Designing of the Ministry of Agriculture, Beijing 100125, China)

Abstract: Walnut is always well known for its super antioxidation and often called “the king of antioxidation”. In this paper, the antioxidation and the physiological function of walnut organ including walnut blossom, nutshell, green peel, blade and branch, and its components including protein and its zymolyte, oil, polyphenol and so on, were reviewed. The problems in study on the antioxidation of walnut were proposed and the research direction which should be paid attention to was prospected.

Key words: walnut; antioxidation; research progress

中图分类号: TS214.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2012)17-0409-05

核桃(*Juglans regin* L.)系胡桃科核桃属植物, 又名胡桃、羌果, 是世界四大干果之一。核桃在我国栽培历史悠久, 人们对核桃的保健功能有着较深刻的认识。《本草纲目》记载, 核桃性温、味甘、无毒, 具有补气养血、润燥化痰、益命门、利三焦、温肺润肠等功能, 素有“万岁子”、“长寿果”之称。现代科学研究表明, 核桃仁具有健脑益智、抑制炎症发生、延缓衰老等作用。核桃仁的保健功能与其抗氧化活性是密不可分的, 不仅核桃仁, 核桃的其它组织器官包括花、青皮、壳, 各组成成分包括油脂、蛋白质、多酚类物质、维生素 E 等均具有良好的抗氧化活性, 因此, 核桃常被称为“抗氧化之王”。自由基学说很好地解释了氧化作用, 认为自由基具有高度的化学活性, 体内自由基过多, 可导致细胞和组织器官损伤、诱发各种疾病、加速机体衰老, 最终导致疾病的发生。虽然人体本身具有内源性保护机制, 但外源性的抗氧化剂在抵御自由基的侵害时也非常重要。近几年对核桃功能性的研究较多, 核桃的抗氧化活性引起了国内外研究者的广泛关注。本文通过查阅近几年国内外

核桃抗氧化研究方面的文献, 归纳整理并分析探讨了核桃各组织器官和组成成分的抗氧化作用, 较系统地综述了核桃抗氧化作用的研究进展, 以期核桃的开发利用提供理论参考。

1 核桃抗氧化评价方法

核桃提取物在低浓度下能有效延缓或阻止底物氧化, 是一种良好的抗氧化剂。抗氧化剂的活性分为体外和体内活性, 目前研究较多的是体外活性。按测定手段来划分, 抗氧化活性测定方法包括: 比色法、化学发光法、荧光法、电子自旋共振法(ESR)。常用抗氧化作用测定方法主要有以下几种: 氧自由基吸收能力法、总抗氧化能力测定法(ORAC 值测定法)、化学发光法、 β -胡萝卜素亚油酸体系法、低密度脂蛋白氧化反应、福林酚法、ABTS 自由基清除法、DPPH 自由基清除法、总抗氧化能力检测试剂盒(FRAP 法)。抗氧化能力强弱的表达方式主要有抑制率、半抑制浓度(IC₅₀)、抗氧化效率(AE)^[1]。不同抗氧化测定方法的反应机理不同, 取得的结果也不尽相同, 因此, 要全面评价样品抗氧化活性, 应该在不同条件下采取多种测定方法以获得较客观的抗氧化能力评价。

核桃抗氧化活性的测定主要通过各类活性氧自由基清除能力或脂质过氧化抑制能力来判断。核桃花

收稿日期: 2012-02-27 * 通讯联系人

作者简介: 陈永浩(1979-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 核桃深加工及其功能活性物质研究。

提取物的抗氧化活性可通过对 DPPH 自由基清除能力来反映^[2]。在对核桃壳的抗氧化活性的测定中,胡博璐^[3]采用化学发光法测定样品对超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)的清除作用,采用抗坏血酸-CuSO₄-酵母-H₂O₂产生的发光体系来考察对羟基自由基($\cdot OH$)的清除能力,采用亚油酸脂质过氧化体系,通过检测脂质过氧化物(Lipid peroxides, LPO)含量来表示提取物对脂质过氧化反应的抑制作用。核桃蛋白酶解产物抗氧化活性的测定主要是测定 DPPH 自由基清除作用^[4], $\cdot OH$ 清除作用^[5], $O_2^{\cdot-}$ 清除作用^[6]以及 ABTS 自由基清除作用。总抗氧化能力的测定^[5]是在一定温度下,将待测液使反应体系吸光度增加 0.01 为一个抗氧化能力单位(U/mL)进行测定,另外,对还原能力进行测定也可以表征核桃蛋白酶解物的抗氧化活性^[6]。核桃油脂的氧化稳定性分析主要是采用 Rancimat 仪法进行测定^[7],油脂的氧化稳定性越强,其抗氧化活性越高。

2 核桃各组织器官的抗氧化作用

2.1 核桃花的抗氧化作用

核桃各组织器官的抗氧化作用主要归因于含量较高的抗氧化活性成分。核桃花含有蛋白质 18%~21%,高于核桃仁中蛋白质含量(15%)。核桃花粉中维生素 C、维生素 B₆、维生素 B₁、维生素 B₂、胡萝卜素等含量较高,上述成分均具有较高的抗氧化活性。俞秀玲等^[7]研究表明,核桃花粉中锌、硒的含量高于其它各类花粉平均值,硒参与谷胱甘肽过氧化酶的合成,具有抑制过氧化反应、清除自由基、分解过氧化物和修复分子损伤的作用。汪海波等^[2]比较了新鲜核桃花提取物和对照物清除 DPPH 自由基的能力,发现抗氧化活性成分主要存在于中等极性的乙酸乙酯提取物中,其作用与丁基羟基茴香醚(BHA)相当;水溶性提取物和正丁醇提取物等大极性物质虽具有一定的自由基清除作用,但活性比较弱;石油醚提取物基本不具有自由基清除作用。

2.2 核桃壳的抗氧化作用

核桃壳中含有核桃醌、氢化胡桃醌、鞣质、没食子酸等具有抗氧化作用的成分。胡博璐等^[3]研究表明,核桃壳提取物可有效地抑制亚油酸的脂质过氧化,其中以正己烷和乙酸乙酯提取物的抑制效果较好。核桃壳提取物能有效清除 $\cdot OH$,而对 $O_2^{\cdot-}$ 无清除作用,表明核桃壳可能主要是通过清除 $\cdot OH$ 抑制脂质过氧化。

2.3 核桃仁的抗氧化作用

核桃仁具有显著的体外抗氧化作用,主要通过有机溶剂提取物的抗氧化活性测定进行分析。康文艺等^[8]利用 DPPH 法、ABTS 法和 FRAP 法 3 种方法对核桃仁体外抗氧化活性进行了考察,发现核桃仁乙酸乙酯提取物清除 DPPH 和 ABTS 自由基的能力比阳性对照 BHA、2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(BHT)好,还原 Fe³⁺的能力最强,抗氧化活性强于正丁醇提取物;核桃仁正丁醇提取物清除 DPPH 和 ABTS 自由基的能力及还原 Fe³⁺的能力高于阳性对照 BHT。孟洁等^[9]的研究表明,核桃仁 95% 乙醇提

取物对 DPPH 自由基、碱性连苯三酚体系产生的 $O_2^{\cdot-}$ 都有很强的清除作用,其清除能力随提取物用量的增加而增大,但当浓度达一定值后其清除率不再变化。乙醇提取物对亚油酸的氧化体系、Fe²⁺及 Feton 反应催化的过氧化体系都有较好的抑制作用,且强于同浓度的茶多酚。核桃仁乙酸乙酯提取物对 DPPH 自由基有清除作用,对亚油酸的氧化体系亦有抗氧化作用,但都弱于 95% 乙醇的提取物;核桃仁正丁醇提取物对 DPPH 自由基有一定的清除作用。汤昆等的研究表明^[10],核桃仁对自由基 DPPH 的清除率、清除时间、清除浓度三者相互关联。提高提取物浓度,清除率提高,最大清除时间缩短;降低提取物浓度,清除率减小,最大清除时间增加,其 IC₅₀ 值与萃取溶剂有关,酯酸乙酯相高于正丁醇相。

核桃仁的抗氧化作用在动物实验和人体实验中也得到了验证。由于核桃仁含有较高含量的抗氧化成分,可以阻止人体自由基从细胞和其他组织夺取氧原子,防止自由基对正常细胞组织的破坏^[11],从而具有抑制炎症发生、抗衰老、促进生长发育、减少心血管疾病和癌症风险等作用。江城梅等研究发现,饲喂核桃仁 3 个月后的老龄大鼠与对照组相比,血清 LPO 含量下降,红细胞中超氧化物歧化酶(SOD)活性增高,肝、脑组织匀浆体外培养,加核桃仁试管中的 LPO 明显低于对照组^[12]。研究核桃饮食疗法发现,经常食用核桃能降低血浆中的甘油三酯水平和提高高密度脂蛋白水平,降低冠状动脉疾病发生的危险^[13]。McKay 等^[14]进行核桃仁在人体中的抗氧化实验,发现食用核桃并没有显著改变健康、营养良好的老年人的血浆抗氧化能力,但通过长期食用核桃,体内亚油酸和吡哆醛磷酸盐含量有所增加,总的血浆硫醇含量显著增加,这一研究结果为研究核桃在人体的抗氧化活性奠定了基础,并建议将大样本调查和食用限量控制引入到实验中。

2.4 核桃其它组织器官的抗氧化作用

核桃其它组织器官包括青皮、叶片、枝条等均有一定的药理作用,这与各组织器官的抗氧化活性有很强的关联性。在中医验方中,核桃青皮又叫青龙衣,可用于治疗皮肤瘙痒、疼痛等病症,止痛效果明显。另外,鲜青皮汁(干皮蒸水)可涂治顽癣,用刀削下鲜嫩核桃绿色外皮外用可治体癣、股癣、牛皮癣、头癣及秃疮。赵国建等^[15]研究了核桃青皮中多酚的抗氧化能力,发现核桃青皮多酚的抗氧化能力随其浓度的增加而增强,在所选浓度下,核桃青皮多酚对 DPPH 自由基、 $O_2^{\cdot-}$ 和过氧化氢的清除能力、对三价铁离子的还原能力均显著高于 V_C。Ivo 等对 5 个核桃品种青皮中多酚类物质进行了测定,多酚类物质含量在 32.61~74.08mg/g 之间,并通过 DPPH 清除实验和 β -胡萝卜素-亚油酸体系验证了其抗氧化活性^[16]。欧阳瑾等^[17]研究了核桃青皮提取物对鼠 Lewis 肺癌生长的影响,结果表明核桃青皮提取物对肿瘤有明显的抑制作用,且抑制率与浓度呈正相关。

核桃叶提取物中抗氧化的主要化学成分包括酚类和鞣质类、黄酮类、植物甾醇及萜类,不同溶剂提

取物均对油脂的氧化有一定的抑制作用,其中以70%丙酮提取物效果最好,抗氧化效果随提取物添加浓度的增加而提高,浓度达到0.10%时的抗氧化效果已超过0.02% BHT^[18]。翟梅枝等^[19]对核桃叶制茶后的化学成分分析表明,核桃叶茶维生素C含量高达1600mg/100g以上,分别是龙井茶和茉莉花茶的8.6倍7.3倍,比人们公认的维生素C含量较高的猕猴桃、沙棘、红枣还要高出数倍。核桃叶茶黄酮含量为25.86mg/g,分别为龙井茶、茉莉花茶的3.2倍和2.6倍。维生素C和黄酮类物质均具有良好的清除自由基作用,对预防和治疗心血管系统疾病、增强抵抗力、抗癌、抗辐射均有一定功效。刘慎等^[20]通过微波辅助提取核桃叶中的黄酮类物质,得率达6.86mg/g,经测定0.08g/L的核桃叶黄酮与0.06g/L的BHT和0.04g/L的TBHQ还原能力相当。胡珏^[21]研究发现,野核桃叶乙醇粗提物经石油醚、乙酸乙酯依次萃取后的提取物具有良好的抑制肿瘤活性作用,并从该植物中分离得到了19个单体成分,其中7个单体成分具有良好的抗肿瘤活性。

核桃枝条中的抗氧化物质主要为酚类物质,一年生枝条韧皮部中总酚含量高于除果实外的其他器官,并于休眠期达到高峰^[22]。近年来临床实验证实,核桃枝条加龙葵全草制成的核葵注射液,对于宫颈癌及甲状腺癌有不同程度的疗效^[23]。

3 核桃组成成分的抗氧化作用

3.1 核桃蛋白及其酶解物的抗氧化作用

核桃蛋白主要由4种蛋白质构成,分别为清蛋白、球蛋白、醇溶谷蛋白和谷蛋白,占核桃蛋白总量的6.81%、17.57%、5.33%和70.11%。研究发现,核桃蛋白含有18种氨基酸,包括8种为必需氨基酸,其中精氨酸和谷氨酸含量较高^[24]。核桃多肽是核桃蛋白经过酶解处理获得的分子量较低的化合物,具有较强的抗氧化活性。多肽分子的供氢能力和其自身的结构稳定性决定了其抗氧化活性,影响因素包括相对分子质量、氨基酸序列、氨基酸侧链基团、金属盐络合等。核桃多肽通过捕捉自由基反应链的过氧化自由基,阻止或减弱自由基链反应的进行,氢原子给予自由基后,本身成为自由基中间体,此中间体越稳定越易形成,其前体就越易清除自由基,则抗氧化能力越强^[25]。

不同酶解条件下获得的核桃多肽,其抗氧化能力有较大差异。易建华等发现^[26],不同蛋白酶酶解产物有明显的清除DPPH自由基的作用,清除能力各不相同,不同酶解产物的抗氧化能力大小次序为:复合酶水解产物>Alcalase水解产物>Neutrase水解产物,随着酶解产物浓度的增大,其抗氧化性增强。许慧娇等^[27]研究表明,酶解5h,碱性蛋白酶酶解产物的DPPH自由基清除率显著高于其它蛋白酶酶解产物,其次是中性蛋白酶和复合蛋白酶的酶解产物。陈金海^[28]研究了碱性蛋白酶酶解产物的抗氧化特性,当酶用量为3000U/g底物,底物质量浓度为40mg/mL时的酶解液抗氧化活性较高,OH·清除率为72.3%,氧自由基清除率为83.1%,DPPH·清除率

为102.6%,总抗氧化能力为162.99U/mL,而经过葡聚糖凝胶分离的分子量集中在1321~607u的多肽,与混合肽相比其抗氧化活性有所降低。陈永浩等^[29]比较了不同酶解方式对酶解产物抗氧化活性的影响,发现双酶酶解对提高产物清除DPPH自由基和羟自由基能力不显著,而碱性蛋白酶分别与中性蛋白酶和木瓜蛋白酶组合,可以显著提高产物对O₂·的清除能力。包怡红等^[30]利用风味蛋白酶对山核桃蛋白进行水解,发现不同水解度的水解液对自由基的清除率不同,水解度为5.0%时,对自由基的清除率最大,可达50.9%,水解度5%以上时,随着水解度的增加,清除率呈下降趋势。利用酶法改性后的核桃蛋白抗氧化性明显提高的特点,可作为日用化学品的抗氧化剂,也可以作为生产酸奶等发酵食品的原料或添加剂。

3.2 核桃油的抗氧化作用

核桃仁油脂含量为65%~70%,居木本油料之首,有“树上油库”的美誉。核桃油脂的主要成分为不饱和脂肪酸,约占其总量的90%。不饱和脂肪酸是脑组织细胞结构脂肪的良好来源,具有良好的抗氧化和抗衰老作用^[24]。在所含的不饱和脂肪酸中,亚油酸比例约为63.0%,油酸18.0%, α -亚麻酸9.0%,油酸含量为普通菜籽油含量的3~4倍。亚油酸和 α -亚麻酸均为人体必需脂肪酸,必需脂肪酸不仅为营养所必需,而且与儿童生长发育、智力发育、记忆等生理功能有一定关系。其中, α -亚麻酸是 ω -3家族成员之一,也是组成各种细胞的基本成分。由于核桃仁中富含人体必需的脂肪酸,且不含胆固醇,被誉为优质的天然“脑黄金”^[23]。

核桃油可清除体内导致机体衰老的自由基,增强机体抗氧化能力。有研究表明^[31],核桃油对O₂·的最大抑制率可达53.3%,而花生油、大豆油分别为47.7%和22.8%。张清安等^[32]研究发现,适量核桃油可显著降低小鼠脑、肝组织中丙二醛(MDA)含量,明显提高肝、脑组织的总抗氧化能力(T-AOC)、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)等抗氧化物质活性,从而增强机体抗氧化能力,延缓衰老。范学辉等^[33]研究表明,17mL/(kg·d)核桃油对小鼠肝、脑组织中T-AOC、SOD、CAT、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)等抗氧化物质活性有显著提高作用,当剂量达33mL/(kg·d)时,对抗氧化酶活性影响极显著,从而间接说明适量核桃油有助于增强机体清除自由基能力。Cortés等研究发现^[34],核桃油能有效维持内皮细胞的抗氧化、抗炎症作用及维持非对称二甲基精氨酸(asymmetric dimethylarginine, ADMA)水平,从而改善高脂饮食导致的内皮功能障碍与调节脂肪代谢。最近,有研究者从6种不同地域核桃仁中提取的脂肪酸、亚油酸酯有明显的清除DPPH·的作用,并且随剂量的增加抗氧化作用逐渐增强^[24]。

3.3 核桃多酚的抗氧化作用

核桃树体和果实内存在丰富的酚类物质,在核桃树体中的分布随器官组织和季节的不同而有差异^[22]。核桃种皮虽然只有整个核桃的5%,但其酚类

物质含量占核桃总酚含量的 93%~97%^[35],是核桃仁具有收敛性的主要原因。万政敏等采用高效液相色谱法对核桃仁种皮中的多酚类物质进行分析,发现核桃仁种皮中的酚酸类物质有 17 种,其中芦丁的含量最高^[36]。何志平等^[37]用 60% 甲醇溶液对山核桃叶进行提取,获得的多酚含量为 (10.63 ± 0.31) mg/g 山核桃叶,此时提取物的 DPPH 自由基清除活性最高。

核桃多酚具有良好的抗氧化作用和与此相关的生理功能。核桃仁中含有的 ω -生育酚是维生素 E 的形式之一,与 α -生育酚交互影响,促进细胞中 α -生育酚的摄取。这种 ω -生育酚可以抗氧化,阻止前列腺和肺部癌细胞的生长。Spaccarotella 等^[38]研究发现,在经过核桃饮食治疗后,受试者的血清中,游离前列腺癌生物标记因子 PSA 与总的 PSA 的比例明显增加, γ -生育酚含量也明显增加,这可能是核桃饮食治疗及预防前列腺癌和心血管疾病的机制之一。

3.4 其他成分的抗氧化作用

2005 年 Reiter 等^[39]发现核桃坚果中含有 2.5~4.5 ng/g 的褪黑激素,并证明核桃是褪黑激素的天然来源。褪黑激素是一种吲哚类激素,化学名称为 N-乙酰基-5-甲氧基色胺(N-acetyl-5-methoxytryptamine),在人和动物体内,褪黑激素合成于松果体,具有延缓人体衰老的功能,俗称“脑白金”。褪黑激素可有效清除人体内生理生化反应中产生的大量自由基,并可抑制过氧化氢引起的过氧化脂含量的升高。动物实验表明,饲喂核桃后,血液中褪黑激素的含量会增加 3 倍,而且抗氧化剂活性有所增强^[23]。

4 问题与展望

综上所述,核桃各组织器官以及所含成分均具有较高抗氧化作用和良好的生理功能,但研究方面仍存在问题:除了核桃仁制备油脂、蛋白及其酶解物的工艺比较明确外,从其它器官中提取抗氧化成分的工艺尚不完善,得率、纯度等有待提高;对桃花、青皮、壳、叶等部位抗氧化成分的纯化以及结构鉴定等工作开展较少;对核桃抗氧化作用在食品中的应用研究不足;核桃不同品种之间抗氧化作用差异的研究较少。

为了充分利用核桃抗氧化活性高的特性,核桃抗氧化作用研究应予以关注的发展方向主要包括以下几个方面:通过对核桃可食部分(核桃仁)的适宜加工,对其脂肪和蛋白的抗氧化作用进行深入挖掘和利用,开发新型保健食品;核桃能够抗氧化,在加工、贮藏过程中也容易被氧化,因此在油脂、蛋白产品的研发中,如何通过改善工艺防止核桃加工产品的氧化,延长其货架期,将是重要的研究方向;对核桃非可食用部分进行抗氧化成分的分离、提取、纯化,提高得率和纯度,开发天然抗氧化剂,作为合成抗氧化剂的替代品;对核桃各组织器官的提取物进行药理学方面的研究,对核桃的抗氧化机理和生理功能的发挥作进一步的深入研究;通过对不同核桃品种之间抗氧化作用差异的研究,为品种选育和不同品种核桃加工适性的研究提供参考。

参考文献

- [1] Prior RL, Wu XL, 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.
- [2] 汪海波, 肖建青, 刘锡葵. 核桃花抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 140-142.
- [3] 胡博路, 杭瑚. 核桃壳抗氧化作用的研究[J]. 中国油脂, 2002, 27(2): 22-23.
- [4] 刘昭明, 黄翠姬, 孟陆丽, 等. 核桃蛋白肽的抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(1): 58-61.
- [5] 李艳伏, 徐怀德, 陈金海, 等. 木瓜蛋白酶酶解核桃粕蛋白产物抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2008, 8(5): 8-14.
- [6] 朱振宝, 易建华, 田呈瑞. 提取方法对核桃油特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(9): 56-59.
- [7] 俞秀玲, 张杰. 核桃花粉营养成分分析与评价[J]. 林业科技开发, 2007, 39(21): 45-47.
- [8] 康文艺, 宋艳丽, 李彩芳. 核桃仁抗氧化活性研究[J]. 精细化工, 2009, 26(3): 269-272.
- [9] 孟洁, 杭瑚. 核桃仁活性成分的提取及体外抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2001, 22(12): 44-47.
- [10] 汤昆, 邱娜, 邱金东. 核桃仁抗氧化活性成分对自由基 DPPH 清除时间和清除率的研究[J]. 中成药, 2009, 31(8): 1287-1288.
- [11] Davis L, Stonehouse W, Loots D, et al. The effects of high walnut and cashew nut diets on the antioxidant status of subjects with metabolic syndrome[J]. European Journal of Nutrition, 2007, 46(3): 155-164.
- [12] 江城梅, 丁昌玉, 赵红, 等. 核桃仁对大鼠体内外脂质过氧化的影响[J]. 蚌埠医学院学报, 1995, 20(2): 81-82.
- [13] Li Z B, Wang J Y, Jiang B, et al. Benzobijuglone, a novel cytotoxic compound from Juglans mandshurica, induced apoptosis in HeLa cervical cancer cells[J]. Phytomedicine, 2007, 14(12): 846-852.
- [14] McKay D L, Chen C Y, Yeum K J, et al. Chronic and acute effects of walnuts on antioxidant capacity and nutritional status in humans: a randomized, cross-over pilot study [J]. Nutrition Journal, 2010(12): 9-21.
- [15] 赵国建, 王向东, 王未芳. 核桃青皮多酚的抗氧化性研究[J]. 农产品加工·学刊, 2011(2): 36-39.
- [16] Oliveira I, Sousa A, Ferreira Isabel C F R, et al. Total phenols, antioxidant potential and antimicrobial activity of walnut (Juglans regia L.) green husks [J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(7): 2326-2331.
- [17] 欧阳瑾, 曹志友, 王爽, 等. 核桃青皮提取物抑制小鼠 Lewis 肺癌生长的实验研究[J]. 时珍国医国药, 2009, 20(11): 2749-2750.
- [18] 尉芹, 马希汉, 韩学文, 等. 核桃叶抗氧化作用的研究[J]. 食品科学, 2001, 22(7): 81-83.
- [19] 翟梅枝, 高绍棠, 段鹏慧, 等. 核桃叶制茶工艺改进及其茶叶营养学特性的研究[J]. 西北林学院学报, 1995, 10: (下转第 416 页)

cross-linking of κ -casein on proteolysis by pepsin [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25: 71–81.

[21] Vashbinder A J, Rollemans H S, Bot A, et al. Gelation mechanism of milk as influenced by temperature and pH; studied by the use of transglutaminase cross-linked casein micelles [J]. Dairy Science, 2003, 86: 1556–1563.

[22] Mounsey J S, O' Kennedy B T, Kelly P M. Influence of transglutaminase treatment on properties of micellar casein and products made therefrom [J]. Lait, 2005, 85: 405–418.

[23] Jaros D, Partschfeld C, Henle T, et al. Transglutaminase in dairy products: Chemistry, physics, applications [J]. Texture Study, 2006, 37: 113–155.

[24] Özrenk E. The use of transglutaminase in dairy products [J]. International Journal of Dairy Technology, 2006, 59: 1–7.

[25] O' Sullivan M M, Kelly A L, Fox P F. Influence of transglutaminase treatment on some physico-chemical properties of milk [J]. Dairy Research, 2002, 69: 433–442.

[26] O' Sullivan M M, Lorenzen P C, O' Connell J E, et al. Influence of transglutaminase on the heat stability of milk [J]. Dairy Science, 2001, 84: 1331–1334.

[27] Huppertz T, de Kruif C G. Ethanol stability of casein micelles cross-linked with transglutaminase [J]. International Dairy Journal, 2007, 17: 436–441.

[28] Partschfeld C, Schwarzenbolz U, Richter S, et al. Crosslinking of casein by microbial transglutaminase and its resulting influence on the stability of micelle structure [J].

Biotechnol, 2007(2): 456–461.

[29] Yin W W, Su R X, Qi W, et al. A casein-polysaccharide hybrid hydrogel cross-linked by transglutaminase for drug delivery [J]. J Mater Sci, 2012, 47: 2045–2055.

[30] Aline C, Tezcucano M, Intez A, et al. Effect of dephosphorylation on bovine casein [J]. Food Chemistry, 2007, 101: 1263–1271.

[31] 李丹, 赵新淮. 酪蛋白的谷氨酰胺酶水解及其产物的金属离子螯合能力 [J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(11): 21–25.

[32] 张志, 王旭, 王强, 等. 不同因素对酪蛋白酶解产物与锌盐螯合效果的影响 [J]. 食品科学, 2009, 30(9): 129–132.

[33] 吴丹, 李铁晶, 赵新淮. 酪蛋白水解物的酶法修饰优化与抗氧化活性改善 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(1): 139–145.

[34] Otte J, Shalaby M S, Zakora M, et al. Angiotensin-converting enzyme inhibitory activity of milk protein hydrolysates: effect of substrate, enzyme and time of hydrolysis [J]. International Dairy Journal, 2007, 17(5): 488–503.

[35] 胡文琴, 王恬. 酪蛋白酶解物体外抗氧化作用的研究 [J]. 食品科学, 2004, 25(4): 158–162.

[36] Zhao X H, Wu D, Li T J. Preparation and radical scavenging activity of papain-catalyzed casein plasteins [J]. Dairy Sci Technol, 2010, 90: 521–535.

[37] 陈东平, 牟光庆. 不同分子量酪蛋白肽对自由基清除作用研究 [J]. 中国酿造, 2010, 217(4): 33–35.

[38] 徐微, 赵新淮. 酪蛋白水解物的 Plastein 反应修饰及 ACE 抑制活性变化 [J]. 中国乳品工业, 2011, 39(4): 8–11.

(上接第 412 页)

137–141.

[20] 刘慎, 邓煜, 鲁双, 等. 核桃叶黄酮微波辅助提取及抗氧化性研究 [J]. 食品研究与开发, 2009, 30(6): 21–23.

[21] 胡珏. 野核桃叶化学成分的研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.

[22] 王勇. 核桃优良系选育和核桃酚类物质含量变化的研究 [D]. 太谷: 山西农业大学, 2002.

[23] 李敏, 刘媛, 孙翠, 等. 核桃营养价值研究进展 [J]. 中国粮油学报, 2009, 24(6): 166–170.

[24] 刘玲, 韩本勇, 陈朝银. 核桃蛋白研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(9): 116–118.

[25] 刘慧, 冯志彪. 抗氧化肽的研究进展 [J]. 农产品加工, 2009(7): 64–66.

[26] 易建华, 朱振宝, 董文宾. 核桃蛋白酶解产物抗氧化性的研究 [J]. 食品工业科技, 2007, 28(4): 184–186.

[27] 许慧娇, 郝艳宾, 齐建勋, 等. 核桃蛋白酶解物体外抗氧化及降血压活性研究 [J]. 农产品加工·创新版, 2009(10): 38–42.

[28] 陈金海, 徐怀德, 李艳伏, 等. 碱性蛋白酶酶解核桃粕蛋白产物抗氧化特性研究 [J]. 西北农业学报, 2010, 19(11): 88–92.

[29] 陈永浩, 王克建, 郝艳宾, 等. 酶解方式对核桃蛋白肽及其抗氧化活性的影响 [J]. 食品与机械, 2011, 27(5): 63–67.

[30] 包怡红, 盛和静. 山核桃蛋白多肽的制备及对羟自由基的清除作用 [J]. 食品科学, 2005, 26(9): 515–519.

[31] 周凤娟, 苏朋, 孔翠萍, 等. 核桃油体外清除自由基活性的研究 [J]. 中国油脂, 2007, 32(7): 32–33.

[32] 张清安, 李建科, 李泽珍. 核桃油对小鼠肝脏与脑组织的抗氧化作用 [J]. 营养学报, 2004, 26(5): 408–409.

[33] 范学辉, 李建科, 张清安, 等. 核桃油对小鼠体内抗氧化酶活性及总抗氧化能力的影响 [J]. 西北农业大学学报: 自然科学版, 2004, 32(11): 121–122.

[34] Cortés B, Núñez I, Cofán M, et al. Acute effects of high-fat meals enriched with walnuts or olive oil on postprandial endothelial function [J]. Journal of the American College of Cardiology, 2006, 48(8): 1666–1671.

[35] Diana O L, Damián M M, Milton P, et al. Phenolics from walnut (*Juglans regia* L.) kernels: Antioxidant activity and interactions with proteins [J]. Food Chemistry, 2008, 107(2): 607–612.

[36] 万政敏, 郝艳宾, 杨春梅, 等. 核桃仁种皮中的多酚类物质高压液相色谱分析 [J]. 食品工业科技, 2007, 28(7): 212–213.

[37] 何志平, 庞林江, 茅林春, 等. 山核桃叶提取物的抗氧化活性比较 [J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 45–47.

[38] Spaccarotella K J, Kris-Etherton P M, Stone W L, et al. The effect of walnut intake on factors related to prostate and vascular health in older men [J]. Nutrition Journal, 2008(7): 13.

[39] Reiter R J, Manchester L C, Tan D X, et al. Melatonin in walnuts: Influence on levels of melatonin and total antioxidant capacity of blood [J]. Nutrition, 2005, 21(9): 920–924.