

乌龙茶抗氧化活性研究态势

郭晓娜, 郭雅玲*, 廖泽明, 郑丽鹏, 邹晓庆

(福建农林大学园艺学院, 福州 350002)

摘要: 乌龙茶是我国的特种茶类, 历史悠久, 具有独特的风味和丰富的营养价值及保健功效。抗氧化作用一直是乌龙茶保健功能研究的重要内容, 国内外在这方面也开展了大量研究, 并取得了一定成果。近年来, 关于乌龙茶抗氧化能力的物质基础和抗氧化机制也日渐被揭示。乌龙茶茶叶中如茶多酚、茶多糖、茶色素、维生素等有机成分, 以及锌、锰、铜和硒等微量元素都具抗氧化作用, 对羟自由基、超氧阴离子自由基、DPPH 自由基均具有一定的清除效果, 并且能有效抑制脂质过氧化, 提高机体抗氧化能力。本文综述了抗氧化检测方法在茶叶中的应用, 以及近年来关于乌龙茶抗氧化活性的研究进展, 并探讨了未来乌龙茶抗氧化研究发展方向以及应用前景。

关键词: 乌龙茶; 抗氧化活性; 活性物质; 检测方法

Research on antioxidant activities of Oolong tea

GUO Xiao-Na, GUO Ya-Ling*, LIAO Ze-Ming, ZHENG Li-Peng, ZOU Xiao-Qing

(College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

ABSTRACT: Oolong tea is one of special type tea in our country with long history. It has a unique flavor, rich in nutritional value and health benefits. Antioxidant effect has been considered as an important part of health function studies on Oolong tea, considerable researches have also been carried out in this respect and achieved certain results at home and abroad. In recent years, the material basis and antioxidant mechanisms for the antioxidant capacity of Oolong tea have also been revealed increasingly. Tea polyphenols, tea polysaccharide, tea pigments, vitamins and other organic ingredients have antioxidant effects in Oolong tea, as well as Zn, Mn, Cu, Se and other trace elements *etc.* They also have some scavenging effect on $\cdot\text{OH}$, $\text{O}_2^{\cdot-}$, DPPH radical, and can effectively inhibit lipid peroxidation, improve the body's antioxidant capacity. This paper reviewed the application of the antioxidant detection methods about tea and the research progress on antioxidant activity of Oolong tea in recent years, and discussed the development direction of future research and prospects on Oolong tea.

KEY WORDS: Oolong tea; antioxidant activities; active ingredients; detection method

1 引言

茶叶中复杂的活性成分及含量与其对人体健康的影

响一直是我国茶叶科学研究的热点。乌龙茶作为我国特有的茶叶品类之一, 以独特的品质风味著称于世。近年来, 国内外大量研究证明乌龙茶及其所含成分对人体有多方面的

基金项目: 现代农业产业技术体系项目(CARS-23)、《茶叶品质化学》课程质量研究项目

Fund: Supported by the Contemporary Agricultural Industry Technology System (CARS-23) and the Research on the Quality of Curriculums of Chemistry of Tea Quality

*通讯作者: 郭雅玲, 副系主任, 教授, 主要研究方向为茶叶加工与质量评价。E-mail: yaling7819@126.com

*Corresponding author: GUO Ya-Ling, Associate Head of Tea Department, Professor, College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China. E-mail: yaling7819@126.com

保健和药理作用,如清除自由基^[1-4]、抗氧化^[5-7]、降血脂^[8]、降胆固醇^[9]、抗癌^[10]、抑菌^[11-15]等。历次临床实验研究结果^[16]也证明乌龙茶可以减轻人们过度疲劳或由不良生活习惯引起的各种症状,具有明显的抗氧化作用。

2 茶叶的抗氧化活性的相关研究

2.1 茶叶中主要的活性物质

茶多酚又称茶鞣质、茶单宁,是茶叶中儿茶素类、黄酮类、酚酸类和花色素类化合物的总称^[17,18],能有效地清除超氧阴离子、羟自由基、单线态氧及过氧化氢等活性氧,起预防性抗氧化效果,其量效关系优于维生素C和维生素E^[19],亦可清除脂过氧自由基和烷氧自由基,抑制脂质过氧化^[20]。儿茶素作为多酚类物质的主体成分,约占茶叶中多酚类总量的70%~80%,具有氧化损伤^[21]、抗癌及抑制肿瘤^[22]、抗衰老和抗菌^[23]等多种生物活性。儿茶素对超氧阴离子的清除率高达90%以上,远远高于V_E和V_C^[24,25]。

黄酮类物质主要表现在:在体外能抗油脂氧化^[26],在体内能提高抗氧化酶活性,减少冠心病^[27]与心肌梗死的死亡率^[28]。其清除自由基的能力大于V_C和V_E^[29]。

茶氨酸可增强阿霉素抑制肿瘤生长,起预防大鼠肝脏损伤的作用,其清除超氧化物自由基的效应比儿茶素组分强^[30]。氨基酸、多肽等已分析出具有较高的抗氧化活性,也是潜在的抗氧化物质资源^[31]。

2.2 茶叶抗氧化活性常用测定方法与应用

茶叶抗氧化活性的评价方法有多种(如表1),每种方法都可以评价茶叶的抗氧化作用但又都不全面。各种评价

方法的实验结果也存在差异,原因可能在于各评价体系的原理不同^[32],因此,研究中多同时采用两种以上评价方法来测定茶叶的抗氧化能力,以达到综合评价的目的。大量研究认为茶叶所含的物质具有抗氧化作用,但是这些物质的抗氧化作用大都在体外实验证实。

3 乌龙茶抗氧化活性的研究

3.1 乌龙茶的化学组分及其保健功效

乌龙茶鲜叶的氨基酸总量占2%以上,茶多酚含量占25%左右,水浸出物含量占40%左右,儿茶素总量为160 mg/g以上^[54]。闽台乌龙茶中的茶黄素含量在0.15%~0.19%,茶红素含量在1.50%~2.15%,茶褐素含量在1.66%~2.74%^[55]。多糖含量约占干质量的2.63%,高于绿茶和红茶^[56]。乌龙茶的微量元素Mn、Se、Zn平均含量分别为354.0 μg/g、52.6 ng/g、62.4 ng/g^[57]。化学成分的特性与乌龙茶采制的鲜叶成熟度、工艺有关。

乌龙茶属于半发酵茶,半发酵使其生物活性成分更加丰富且复杂,具有多种保健功效。当前研究已经证明乌龙茶主要有抗氧化,体重控制,防止心血管疾病,抗糖尿病,抗过敏,抗癌症及抗突变,抗病原菌,调节肠道菌群等多种防病保健作用。日本科学家^[58]已成功从台湾冻顶乌龙茶中分离鉴定出两种具有抗过敏功能的新型儿茶素衍生物,研究证实:甲基化EGCG(表没食子儿茶素没食子酸酯)对治疗花粉过敏等过敏反应症有极其显著效果。而抗氧化作用作为其重要的保健功效之一,也是近年来研究的重点及热点,尤其是其体外抗氧化功效。

表1 茶叶抗氧化能力常用测定方法与应用

Table 1 Common measurement methods and applications on the antioxidant ability of tea

方法	类别	黑茶	乌龙茶	红茶	绿茶	白茶
自由基清除能力的检测方法	ABTS自由基的清除能力	√	√			√
	DPPH自由基的清除能力	√√	√√√√√	√	√	
	.OH自由基的清除能力	√√√	√√√√	√	√√	
	O ² 自由基的清除能力	√√√	√√√√		√√	
还原能力的检测方法	铁离子还原能力	√		√	√√	√
	FRAP总抗氧化能力的测定		√	√		
脂质体系抗氧化能力的检测方法		√	√√	√	√√√	
文献		[34],[37],[42],[43],[45]	[35],[40],[41],[44],[46],[47]	[38],[51][52]	[36][39],[48],[49],[50]	[33],[53]

3.2 乌龙茶抗氧化活性的研究

乌龙茶中含有大量的多酚类、多糖类等活性成分, 这些物质的分子结构中具有活泼羟基的抗氧化物质, 能够使自由基氧化减缓或停止自由基氧化, 即所谓的抗氧化作用。研究结果表明乌龙茶具有较高 DPPH, 超氧阴离子和羟自由基清除能力和抑制油脂过氧化特性^[41], 且能提高血清 CAT 活力和 T-AOC 能力, 差异显著($P < 0.05$)^[59]。

乌龙茶茶多酚及其氧化产物的抗氧化、清除自由基的作用已受到国内外学者的广泛关注。乌龙茶中的茶多酚含量介于绿茶和红茶之间, 由于茶叶中茶多酚含量与其自由基的清除能力呈现良好的量效关系, 因此乌龙茶茶多酚的体外抗氧化活性也在绿茶与红茶之间。马森等^[60]检测乌龙茶茶多酚清除超氧阴离子自由基能力的研究结果显示加入 1 mg/mL 的茶多酚对邻苯三酚自氧化体系具有显著的抑制作用, 剂量从 0.1 增加到 0.2~0.3 mL 时, 抑制率从 23.94 ± 4.06% 增加到 34.81 ± 3.59% 和 47.42 ± 2.30% ($P < 0.01$ 和 0.05), 但抑制作用均不及同样剂量的维生素 C; 对武夷岩茶(乌龙茶)茶多酚的脂质体系抗氧化能力测定结果表明, V_C 、 V_E 和茶多酚对油脂氧化的抑制率分别达到 31.7%、4.8%、92.5% ($P < 0.05$ 或 0.01)^[61]。

乌龙茶中的茶多糖是一类无还原性并结合蛋白质的酸性异多糖, 具有抗氧化作用^[62,63]。乌龙茶多糖(OTPS) 的分子质量分布为 5.3 ~ 100.9 ku, 组成中的糖醛酸、蛋白质、中性糖含量分别为 40.65%、19.59% 和 26.66%^[64]。不同茶叶的茶多糖含量与抗氧化作用的关系复杂^[63], 乌龙茶中多糖含量高于绿茶和红茶^[62], 但其清除 DPPH 自由基、羟自由基及抑制脂质过氧化能力均低于绿茶多糖和红茶多糖, 不同种茶多糖的抗氧化活性差异可能与多糖中的单糖组分和分子质量分布不同相关^[25]。研究结果显示^[44]: 乌龙茶茶多糖对羟自由基、DPPH 自由基、超氧阴离子自由基的 IC_{50} 分别为 0.1289 g/L, 0.5233 g/L, 0.9181 g/L, 虽然均低于 V_C (0.0205 g/L, 0.0255 g/L, 0.2287 g/L), 但是仍具有良好的自由基清除效果。

倪德江等^[65]利用链脲佐菌素(STZ)复制糖尿病大鼠模型, 研究了乌龙茶多糖对糖尿病大鼠肝肾抗氧化功能和组织形态变化的影响, 结果证明乌龙茶中茶多糖对糖尿病大鼠肝肾组织有保护作用。

Sava 等^[66]指出, 茶色素无论是从茶叶中直接提取, 还是由茶多酚转化而来, 都具有清除自由基的能力。乌龙茶中茶褐素富含蛋白质(21.47%)、糖(28.28%)和总酚(11.9%), 对羟自由基、超氧阴离子自由基和 DPPH 自由基具有一定的清除效果, 但是低于 V_C ^[67]。

目前关于乌龙茶抗氧化活性的研究大都是在体外进行的, 随着科学技术的进步, 关于乌龙茶抗氧化的体内研究这一难关也将会被攻克。

4 结 语

按照自由基学说的理论, 组织中自由基含量的改变使细胞功能遭到破坏, 从而加速肌体的衰老进程。研究表明, 过氧化脂质在体内的增加与肌体衰老进程是一致的, 当体内自由基过剩时, 出现肌体的逐渐衰老。乌龙茶含有多种活性物质能阻止体内脂质过氧化的进行, 从而起抗氧化、抗衰老效应。国内外有关乌龙茶的抗氧化活性研究表明, 乌龙茶的抗氧化活性与其品种, 不同加工工艺都密切相关, 但是目前还没有对其系统地比较和分析, 因此下一步的工作重点为: (1) 继续探究加工过程中乌龙茶抗氧化活性的变化趋势以及工艺改进过程中生化成分、感官评价与抗氧化作用之间的相关性; (2) 目前关于乌龙茶活性成分的研究多数是对茶叶浸提物如总多酚, 总多糖等抗氧化活性的研究, 不同溶剂提取物以及单体化合物的抗氧化活性亦可作为乌龙茶抗氧化后续研究的参考。(3) 从分子水平上探究乌龙茶抗氧化活性物质的结构、性质及其应用价值也将是未来茶叶科学研究的又一重要方向。

参考文献

- [1] 赵保路. 氧自由基和天然抗氧化剂[M]. 北京: 科学技术出版社, 1999. Zhao BL. Oxygen radical and natural antioxidants [M]. Beijing: Science and Technology Press, 1999.
- [2] Zhang J, Wang XF, Lu ZB, *et al.* The effects of meso-2,3-dimercaptosuccinic acid and oligomeric procyanidins on acute lead neurotoxicity in rat hippocampus [J]. *Free Rad Biol Med*, 2004, 37(7): 1037-1050.
- [3] Lee SC, Jeong SM, Lee JM, *et al.* Effect of irradiation on total phenol and catechins contents and radical scavenging activity of green tea leaf and stem extract [J]. *J Food Biochem*, 2008, 32(6): 782-794.
- [4] Muzolf M, Gliszczynska-Swigo A, Tyrakowska B. The radical scavenging capacity of green tea [J]. *Polish J Nat Sci Suppl*, 2007, 16(4): 63-69.
- [5] 励建荣, 陆海霞. 茶叶产品开发现状与进展[J]. *食品科学*, 2004, 25(2): 193-199. Li JR, Lu HX. The status quo and progress of tea product development [J]. *Food Sci*, 2004, 25(2): 193-199.
- [6] Kumamoto M, Sonda T. Evaluation of the antioxidative activity of tea by an oxygen electrode method [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 1998, 62(1): 175-177.
- [7] 韩驰. 茶的抗氧化作用研究[J]. *茶业通报*, 2004, 25(4): 161-163. Han C. Antioxidant effects of tea [J]. *Tea Bull*, 2004, 25(4): 161-163.
- [8] 傅冬和, 刘仲华, 黄建安. 茶叶降脂减肥作用研究进展[J]. *中国茶叶*, 2004, 26(2): 8-10. Fu DH, Liu ZH, Huang JA. The research progress of role of lipid-lowering diet of tea [J]. *China Tea*, 2004, 26(2): 8-10.
- [9] Yang CS, Chen L, Lee MJ, *et al.* Blood and urine levels of tea catechins after ingestion of different amounts of green tea by human volunteers [J]. *Cancer Epidemiol Biomark Prev*, 1998, 7(4): 351-354.
- [10] Mukhtar H, Ahmad N. Tea polyphenols: prevention of cancer and optimizing health [J]. *Am J Clin Nutr*, 2000, 71(6): 1698s-1702s.

- [11] 石碧, 狄莹. 植物多酚[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
Shi B, Di Y. Plant polyphenols [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [12] 宋立江, 狄莹, 石碧. 植物多酚的研究与利用的意义及发展趋势[J]. 化学进展, 2000, 12(2): 161-170.
Song LJ, Di Y, Shi B. The significance and development trend in research of plant polyphenols [J]. Prog Chem, 2000, 12(2): 161-170.
- [13] Seer ked gi Eva J, Ma moi ova N. Plant polyphenol complex inhibits the production of in jemez and herpes simplex virus [A]. He ming way R, Lakes P.P la Polyp He moles[C]. New York: Plenum press, 1992.
- [14] 梁文红. 茶多酚的抗菌作用研究概况[J]. 国外医药口腔医学分册, 2004, 31(4): 26-28.
Liang WH. Research overview of the antibacterial effect of tea polyphenols [J]. Anal Part Foreign Med Stomatol, 2004, 31(4): 26-28.
- [15] 王岳飞. 茶多酚(TP)对细菌的抑制作用[J]. 茶叶, 1994, 20(3): 37-41.
Wang YF. Polyphenols (TP) inhibition of bacteria [J]. J Tea, 1994, 20(3): 37-41.
- [16] 陈玲, 朱贵峰, 贺肇东, 等. 福建乌龙茶抗氧化作用的研究[J]. 福建中医药大学学报, 2009, 18(6): 21-22.
Chen L, Zhu BF, He ZD, *et al.* Antioxidation effect research of Fujian Oolong tea [J]. J Fujian Univ TCM, 2009, 18(6): 21-22.
- [17] 吉宁, 李宁. 茶多酚的健康促进作用及分子机制研究进展[J]. 国外医学: 卫生学分册, 2007, 34(4): 249-252.
Ji N, Li N. Research progress in molecular mechanisms and health promotion action of tea polyphenols [J]. Foreign Med Sci: Sect Hyg, 2007, 34(4): 249-252.
- [18] 孙海燕, 罗兵, 吴佳平. 茶多酚对干旱胁迫下黄瓜幼苗生理特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(36): 11751-11752.
Sun HY, Luo B, Wu JP. Effects of tea polyphenol on the physiological characteristics of cucumber seedlings under draught stress [J]. J Anhui Agric Sci, 2007, 35(36): 11751-11752.
- [19] 曾磊, 张玉军. 茶多酚的功能特性及应用[J]. 郑州工程学院学报, 2003, 23(1): 43-46.
Zeng L, Zhang YJ. Functional properties and application of tea polyphenols [J]. J Zhengzhou Grain College, 2003, 23(1): 43-46.
- [20] 王树华, 杨林, 齐亚娟, 等. 茶多酚抑制 MDA 生成及对阿霉素在小鼠肝细胞内蓄积的影响[J]. 西北药学杂志, 2000, 15(2): 63-64.
Wang SH, Yang L, Qi YJ, *et al.* Effects of tea polyphenols on inhibition of MDA production and ADM level in mice hepatic cells [J]. Northwest Pharm J, 2000, 15(2): 63-64.
- [21] Leanderson P, Faresjo AO, Tagesson C. Green tea polyphenols inhibit oxidant-induced and breakage cultured lung cells [J]. Free Radic Biol Med, 1997, 23: 235-242.
- [22] Yang CS, Chung JY, Yang GU, *et al.* Tea and tea polyphenols in cancer prevention [J]. J Nutr, 2000, 130: 472-478.
- [23] 陈继英, 郭嘉林, 张存彦, 等. 茶多酚的研究进展[J]. 中草药, 2004, 35(10): i011-i013.
Chen JY, Guo JL, Zhang CY, *et al.* Research progress in tea polyphenols [J]. Chin Her Med, 2004, 35(10): i011-i013.
- [24] 赵保路, 刘珊林. 用分子轨道计算方法研究儿茶素对自由基的清除作用[J]. 中国药理学报, 1992, 13(1): 9-13.
Zhao BL, Liu SL. Research on free radical scavenging effect of catechin by calculation method of molecular orbital [J]. Chin J Pha, 1992, 13(1): 9-13.
- [25] 贾之慎, 杨贤强. 茶多酚(TP)清除活性氧自由基 $O_2^{\cdot-}$ 和 $\cdot OH$ 的分光光度法研究[J]. 茶叶, 1993, 19(1): 25-27.
Jia ZS, Yang XQ. Spectrophotometric study of Polyphenols (TP) on clearing reactive oxygen species of $O_2^{\cdot-}$ and $\cdot OH$ [J]. J Tea, 1993, 19(1): 25-27.
- [26] 李姣娟, 龚建良, 周尽花, 等. 油茶总黄酮的提取及其抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2008, (12): 93-96.
Li JJ, Gong JL, Zhou JH, *et al.* Research on extraction and antioxidant activity of the total flavonoids from camellia oleifera abel leaves [J]. Food Res Devel, 2008, (12): 93-96.
- [27] Kandaswami C, Middleton E. Free radical scavenging antioxidant activity of plant flavonoids [J]. Adv Exp Med Biol, 1994, 366: 351-376.
- [28] Hertog MG. Dietary antioxidant flavonoid and risk of comtmry heart disease: the Zutphen Elderly Study [J]. Lancet, 1993, 342: 1007-1011.
- [29] 郭长江. 食物天然成分之一类黄酮物质的生物学作用[C]. 中国营养学会第九次全国营养学术会议论文摘要汇编, 2004.
Guo CJ. Biological effects of flavonoids-one of the natural ingredients of food[C]. Abstracts on Ninth National Nutrition Conference of Chinese Nutrition Society, 2004.
- [30] 孙册. 饮茶与健康[J]. 生命的化学, 2003, 23(1): 44-46.
Sun C. Tea and health [J]. Chem Life, 2003, 23(1): 44-46.
- [31] 孔浩, 张继. 天然抗氧化剂研究进展[J]. 牡丹江师范学院学报(自然科学版), 2008, (1): 32-34.
Kong H, Zhang J. Research progress on natural antioxidants [J]. J Mudanjiang Nor Univ (Nat Sci Edit), 2008, (1): 32-34.
- [32] Fukumoto LR, Mazza G. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds [J]. J Agric Food Chem, 2000, 48: 3597-3604.
- [33] 王春燕. 白茶的风味及抗氧化性的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
Wang CY. Researches on white tea flavor and antioxidant capacity [D]. Chongqing: Southwest Univ, 2010.
- [34] 张小娜, 邹先伟, 李莹, 等. 茯砖茶不同溶剂提取物抗氧化活性研究[J]. 中国医药导报, 2014, 11(10): 9-13.
Zhang XN, Zhou XW, Li Y, *et al.* Research on antioxidant activity of Fuzhuan tea extract with different solvents [J]. Chin Herald Med, 2014, 11(10): 9-13.
- [35] 叶琼仙, 尹胜, 周盈利, 等. 白叶单枞黑茶降血糖活性成分的高速逆流色谱分离[J]. 食品工业科技, 2013, (6): 85-87.
Ye QX, Yin S, Zhou YL, *et al.* Study on antioxidant and in vitro hypoglycemia activities of dark tea prepared from camellia sinensis var. Baiye Dancong [J]. Food Ind Tech, 2013, (6): 85-87.
- [36] 李春梅, 高山, 郭佳. 绿杨春绿茶的抗氧化作用[J]. 生物加工过程, 2012, (12): 69-73.
Li CM, Gao S, Guo J. Antioxidant activity of Lüyangchun green tea [J]. Chin J Bioproc Eng, 2012, (12): 69-73.
- [37] 金裕范. 不同产地、加工工艺及储存年限普洱茶化学成分和药理活性的比较研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2012.
Jin YF. A comparative study of different origin, processing and storage life of Pu'er tea's chemical composition and pharmacological activity [D]. Beijing: Beijing Univ TCM, 2012.
- [38] 刘建, 龚加顺. 不同发酵工艺对红茶抗氧化活性的影响[J]. 食品工业, 2014, 34(12): 40-43.
Liu J, Gong JS. Influence on antioxidant activity of black tea with different fermented processes [J]. Food Ind, 2014, 34(12): 40-43.

- [39] 于淑池, 刘畅, 王乘慧, 等. 安吉白茶茶多酚的抗氧化活性研究[J]. 时珍国医国药, 2012, (5): 1184–1187.
Yu SC, Liu C, Wang CH, *et al.* The antioxidant capacity of tea polyphenol [J]. Lishizhen Med Mat Med Res, 2012, (5): 1184–1187.
- [40] 郑善元, 陈填烽, 郑文杰, 等. 单丛茶水提物清除 DPPH 和 ABTS 自由基的光谱学研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, (9): 2417–2423.
Zheng SY, Chen TF, Zheng WJ, *et al.* Spectrometric investigation of the antioxidant activities of dangcong tea aqueous extracts against DPPH and ABTS free radicals [J]. Spect Spectral Anal, 2010, (9): 2417–2423.
- [41] 苏新国, 蒋跃明, 汪晓红, 等. 凤凰单枞乌龙茶抗氧化特性研究[J]. 食品科学, 2006, 27(3): 55–59.
Su XG, Jiang YM, Wang XH, *et al.* The original research of the oolong tea (*camellia sineensis cv. fenghuangdancong*) antioxidant property [J]. Food Sci, 2006, 27(3): 55–59.
- [42] 刘蓉, 刘石泉, 龙立平, 等. 黑茶乙醇提取物及其抗氧化性的研究[J]. 湖南城市学院学报(自然科学版), 2014, 23(1): 52–55.
Liu R, Liu SQ, Long LP, *et al.* Study of antioxidant activity for the ethanol extract from black tea [J]. J Hunan City Univ (Nat Sci Edit), 2014, 23(1): 52–55.
- [43] 陈玉琼, 樊蓉, 刘思思, 等. 普洱茶提取物主要活性成分及抗氧化作用(英文)[J]. 食品科学, 2013, (19): 133–137.
Chen YQ, Fan R, Liu SS, *et al.* The main active ingredient and antioxidant effects in Pu'er tea extracts (English) [J]. Food Sci, 2013, (19): 133–137.
- [44] 周向军, 高义鑫, 袁毅君, 等. 乌龙茶多糖提取工艺及抗氧化作用研究[J]. 中国酿造, 2011, (8): 80–83.
Zhou XJ, Gao YX, Yuan YJ, *et al.* The optimization of extraction process and antioxidant study on Oolong tea polysaccharide [J]. Chin Brew, 2011, (8): 80–83.
- [45] 郭金龙. 雅安藏茶活性级筛选和评价研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
Guo JL. The research of appraising and screening on the Ya'an Tibetan tea activity fractions[D]. Ya'an: Sichuan Agric Univ, 2010.
- [46] 王尔茂, 江建军, 苏新国. 做青方式对凤凰单枞乌龙茶抗氧化特性的影响[J]. 食品与机械, 2010, (4): 49–51.
Wang EM, Jiang JJ, Su XG. Effect of green-making technology on the antioxidant character of Fenghuangdancong Oolong tea [J]. Food Mach, 2010, (4): 49–51.
- [47] 周向军, 高义鑫, 袁毅君, 等. 乌龙茶茶褐素提取工艺的优化及抗氧化研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(4): 36–40.
Zhou XJ, Gao YX, Yuan YJ, *et al.* Study on extraction technology and antioxidant activity of theabrownine from Oolong tea [J]. Chin J Exp Tra Med For, 2011, 17(4): 36–40.
- [48] 安晶晶. 富硒 SOD 绿茶抗氧化效应的动物实验研究[D]. 重庆: 第三军医大学, 2009.
An JJ. Research in vivo on the anti-oxidation effect of green tea rich in Selenium and SOD [D]. Chongqing: Third Military Med Univ, 2009.
- [49] 魏威. 绿茶化学成分及其抗氧化性的研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2010.
Wei W. Research of green tea's chemical composition and antioxidant activity [D]. Dalian: Liaoning Normal Univ, 2010.
- [50] 范芝凡, 隋华嵩, 陈佑长, 等. '紫娟'晒青绿茶中花色苷与水提物体外抗氧化研究[J]. 食品与发酵科技, 2013, (6): 38–42.
Fan YF, Sui HS, Chen YC, *et al.* Study on in vitro antioxidant activity of water extract and anthocyanin from 'Zi-Juan' sun-dried green tea [J]. Food Fer Tech, 2013, (6): 38–42.
- [51] 李淑琴, 陈海霞, 曲志爽, 等. 红茶多糖的体外抗氧化及糖苷酶抑制活性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, (6): 1615–1620.
Li SQ, Chen HX, Qu ZS, *et al.* Studies on the in vitro antioxidant and glycosidase inhibitory effects of polysaccharides from black tea [J]. J Food Saf Qual, 2014, (6): 1615–1620.
- [52] 孙世利, 曾琼, 刘军, 等. 丹霞红茶体外抗氧化与抗胃癌活性研究[J]. 广东农业科学, 2013, (1): 1–2.
Sun SL, Zeng Q, Liu J, *et al.* Research on anti-oxidant and anti-gastric cancer activity of Danxia black tea in vitro [J]. Guangdong Agric Sci, 2013, (1): 1–2.
- [53] 杨莉莉, 侯冬岩, 回瑞华. 流动注射-化学发光法分析月光白茶的抗氧化性能[C]. 中国化学会第 29 届学术年会摘要集, 2014.
Yang LL, Hou DY, Hui RH. Analyze oxidation resistance of moonlight white tea by flow injection-chemiluminescence method [C]. Abstracts of 29th Academy Annual Meeting of Chinese Chemical Society, 2014.
- [54] 张天福. 茶树品种与制茶工艺对乌龙茶品质风格的影响[J]. 福建茶叶, 1994, (3): 5–7.
Zhang TF. Varieties of tea tree and tea processing technology's influence on the style of oolong tea quality [J]. Tea Fujian, 1994, (3): 5–7.
- [55] 邵宛芳, 张耀新, 王付仙. 闽台乌龙茶品质特点的初步研究[J]. 中国茶叶加工, 2003, (1): 34–36.
Shao WF, Zhang YX, Wang FX. Preliminary study on quality characteristics of Fujian and Taiwan oolong tea [J]. Chin Tea Pro, 2003, (1): 34–36.
- [56] 宛晓春. 茶叶生物化学(第 3 版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 9–54.
Wan XC. Tea biochemistry (3rd Edition) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008: 9–54.
- [57] 李凯年. 茶叶化学成分含量及其对人体的影响[J]. 中国食物与营养, 2004, (9): 44–45.
Lee KN. Tea chemical composition content and its effects on the human body [J]. Food Nut Chin, 2004, (9): 44–45.
- [58] Philip G, Sewing A. Fluorescence readouts in HTS: no gain without pain? [J]. Drug Discovery Today, 2003, 8(22): 1035–1043.
- [59] 陈雪. 不同类型茶叶抗氧化功能的比较研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
Chen X. Study on anti-oxidant capacity of different tea [D]. Changsha: Hunan Agric Univ, 2012.
- [60] 马森. 武夷岩茶茶多酚的体外抗氧化作用[J]. 武夷学院学报, 2009, (2): 22–25.
Ma S. The antioxidant effects In vitro of polyphenols in Wuyi Yancha [J]. J Wuyi Univ, 2009, (2): 22–25.
- [61] 马森, 陈培珍, 游玉琼, 等. 武夷岩茶茶多酚对油脂的抗氧化效果[J]. 福建茶叶, 2008, (4): 24–25.
Ma S, Chen PZ, You YQ, *et al.* The antioxidant effect of polyphenols on fat in Wuyi tea [J]. Tea in Fujian, 2008, (4): 24–25.
- [62] Chen HX, Wang ZS, Qu ZS, *et al.* Physicochemical characterization and antioxidant activity of polysaccharide isolated from Oolong tea [J]. Eur Food Res Tech, 2009, 229(4): 629–635.
- [63] 陈金娥, 丰慧君, 张海容. 红茶、绿茶、乌龙茶活性成分抗氧化性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(3): 62–66.
Chen JE, Feng HJ, Zhang HR. The oxidation resistance study on active ingredient of black tea, green tea, Oolong tea [J]. Food Sci, 2009, 30 (3): 62–66.

- [64] 倪德江, 陈玉琼, 谢笔钧, 等. 绿茶、乌龙茶、红茶的茶多糖组成、抗氧化及降血糖作用研究[J]. 营养学报, 2004, 26(1): 57-60.
Ni DJ, Chen YQ, Xie BJ, *et al.* The research on polysaccharide antioxidant and hypoglycemic effects of Green tea, Oolong tea and black tea [J]. ACTA Nut Sinica, 2004, 26 (1): 57-60.
- [65] 倪德江, 陈玉琼, 宋春和, 等. 乌龙茶多糖对糖尿病大鼠肝肾抗氧化功能及组织形态的影响[J]. 茶叶科学, 2003, 23(1): 11-15.
Ni DJ, Chen YQ, Song CH, *et al.* Effect of Oolong tea polysaccharide on hepatic-nephritic antioxidation and histomorphology in the diabetic rats [J]. Tea Sci, 2003, 23(1): 11-15.
- [66] Sava VM, Yang SM, Hong MY, *et al.* Isolation and characterization of melanic pigments derived from tea and tea polyphenols [J]. Food Chem, 2001, 73(2): 177-184.
- [67] Hertog MG. Dietary antioxidant flavonoid and risk of comtmry heart disease: the zutphen elderly study [J]. Lancet, 1993, 342: 1007-1011.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



郭晓娜, 硕士研究生, 主要研究方向为茶叶加工与品质评价。

E-mail: 736676212@qq.com



郭雅玲, 教授, 福建农林大学园艺学院茶学系副主任, 福建农林大学茶叶研究所副所长, 主要研究方向为茶叶加工工程与品质评价研究。

E-mail: yaling7819@126.com