

体外试验法模拟芒果中主要抗氧化物的相互作用关系

高红豆^{1,2}, 胡文忠^{1,2}, 姜爱丽^{1,2}, 管玉格^{2,3}, 张艳慧^{1,2}, 赵曼如^{1,2}

(1. 大连民族大学生命科学学院, 辽宁大连 116600) (2. 生物技术与资源利用教育部重点实验室, 辽宁大连 116600) (3. 大连理工大学生命科学与技术学院, 辽宁大连 116024)

摘要: 本文研究了芒果中所含的4种主要抗氧化物-没食子酸、芦丁、维生素C(Vc)、还原型谷胱甘肽(GSH)的抗氧化活性。应用体外试验法模拟芒果中的4种抗氧化物及其复配组合,通过分析各抗氧化物及其复配组合对羟自由基($\cdot\text{OH}$)、超氧阴离子($\text{O}_2^{\cdot-}$)、1,1-二苯基-2-苦基肼(DPPH)的清除能力大小来判断抗氧化能力的强弱。结果表明, $\cdot\text{OH}$ 的清除率最高的是没食子酸+芦丁+GSH+Vc复配组,达99%,清除率最低组为单一抗氧化物Vc组,较最高组低27%; $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除率最高的是GSH+Vc复配组,达87%,而没食子酸+GSH+芦丁的复配组对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除率最低只有4%;DPPH清除率最高组为芦丁+GSH复配组合,为35%,Vc+没食子酸复配组对DPPH的清除率最低,为2.50%。综上所述,抗氧化物的抗氧化性可单独发挥作用,也可能是组合式发挥叠加作用,对自由基清除效果最佳的是GSH+Vc。

关键词: 体外试验法; 芒果; 抗氧化物; 相互作用

文章编号: 1673-9078(2019)03-101-105

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.3.016

Study on the Interaction Relationship of Main Antioxidants in Mango Using *Vitro* Mimetic Experiment

GAO Hong-dou^{1,2}, HU Wen-zhong^{1,2}, JIANG Ai-li^{1,2}, GUAN Yu-ge^{2,3}, ZHANG Yan-hui^{1,2}, ZHAO Man-ru^{1,2}

(1. College of Life Science Dalian Minzu University, Dalian 116600, China)

(2. Key Laboratory of Biotechnology and Bioresources Utilization Ministry of Education, Dalian 116600, China)

(3. College of Life Science and Biotechnology Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: We have analyzed the antioxidant ability of four main antioxidants (gallic acid, rutin, vitamin C (Vc), glutathione (GSH)) of mango using *vitro* mimetic experiment and determined the influence of different antioxidant combinations on the scavenging capacities of hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$), superoxide anion ($\text{O}_2^{\cdot-}$) and 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH). It showed that the highest scavenging rate of $\cdot\text{OH}$ was gallic acid + rutin + GSH + Vc, which could reach 99%, however, the single Vc group was the lowest, 27% lower than the highest group. The highest scavenging rate of $\text{O}_2^{\cdot-}$ was GSH + Vc, which reached 87%, the complex group of gallic acid + GSH + rutin was only 4%. The rutin+GSH complex group had the highest clearance rate of DPPH (35%), while gallic acid + Vc was merely 2.50% on DPPH clearance rate. It indicated that the antioxidant capacity of the antioxidants may act alone or in combination, and the best effect on free radicals was GSH + Vc.

Key words: *vitro*; mango; antioxidants; interaction

芒果 (*Mangifera indica* Linn) 属漆树科杧果属, 是一种亚热带水果, 深受人们喜爱^[1]。芒果中富含酚类、类黄酮及维生素类等抗氧化物质^[2-6]。其中主要的

收稿日期: 2018-10-30

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2016YFD0400903); 国家自然科学基金项目(31471923; 31172009); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD38B05)

作者简介: 高红豆(1994-), 女, 在读硕士, 研究方向: 食品加工与质量安全控制

通讯作者: 胡文忠(1959-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学

酚类物质是没食子酸和单宁, 黄酮类物质主要是槲皮素和异槲皮素(芦丁)^[7,8], 维生素类包括Vc和VE^[9], 这些物质均具有很强的抗氧化作用, 使芒果抗氧化效果增强, 使得芒果具有很高的药用价值, 表现为对机体的抗炎性、抗癌性以及改善机体多种慢性疾病的作用^[10-16]。同时 Kathleen 等^[17]的研究也表明, 芒果对肺病、白血病和前列腺癌均有一定的抑制作用, 对乳腺癌和结肠癌抑制效果尤为显著, 由此可见, 其抗氧化作用已得到体内研究支持。

通常情况下, 果蔬中多种抗氧化物质的相互作用

能延缓或预防细胞氧化^[18-20]。但抗氧化物的结构和浓度变化、外界物质影响等因素均可影响它的抗氧化效果^[21,22]。从茶多酚抗氧化实验中可以发现,抗氧化物可以抑制氧化酶活性,且可以与自由基结合形成更稳定的物质,起到清除自由基的作用,从而达到抗氧化效果^[23]。这些抗氧化效果均得到体内抗氧化实验证实,而在体外抗氧化研究中,除了莫树平等^[24]利用部分现有的抗氧化物及增效剂对芒果原汁抗氧化效果进行试验外,根据芒果内部抗氧化物比例进行体外复配实验的研究未见报道。因此,本试验在我们前期试验测定了芒果中4种酚类抗氧化物质(包括:没食子酸、类黄酮、Vc及GSH)含量^[25]的基础上,采用体外实验法模拟芒果中这4种主要抗氧化物及其复配组合进行自由基清除能力试验,旨在为评价芒果果实的营养保健功效提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

没食子酸,芦丁,Vc,GSH,盐酸,甲醇,草酸,EDTANa₂-Fe²⁺,NaH₂PO₄,Na₂HPO₄,H₂O₂,邻苯三酚,DPPH,三羟甲基氨基甲烷(Tris),番红花红,以上试剂纯度均为分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司。

T-25型匀浆机,德国IKA公司;BR4i型台式高速冷冻离心机,法国Jouan公司;PL203精密电子天平,梅特勒-托利多仪器上海有限公司;DK-S26型电热恒温水浴锅,上海精宏实验设备有限公司;SIM-F140型制冰机,日本三洋;UV-2100型紫外可见分光光度计,上海尤尼柯公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品配制

根据实验室分析测得芒果中主要抗氧化物含量:没食子酸为50 mg/100 g,芦丁为30 mg/100 g,Vc为80 mg/100 g、GSH为12 mg/100 g^[25],配制出0.3 mmol/L没食子酸,0.05 mmol/L芦丁(均用1:99盐酸-甲醇溶液作溶剂),0.46 mmol/L Vc(20 g/L的草酸溶液作溶剂)及0.04 mmol/L GSH(去离子水作溶剂)4种母液。

将上述配制出的4种溶液按在芒果中所占比例(没:芦:Vc:GSH=50:30:80:12)进行复配。Vc:没=8:5、Vc:芦=8:3、Vc:GSH=20:3、没:GSH=25:6、GSH:芦=2:5、没:芦=5:3、Vc:GSH:芦=8:1.2:3、没:GSH:芦=5:1.2:3、Vc:没:芦=8:5:3、Vc:没:GSH=8:5:1.2及Vc:没:芦:GSH=

8:5:3:1.2,复配液备用,以上配制比例均为4种母液的浓度比。

1.2.2 ·OH清除能力的测定

利用Fenton反应检测抗氧化物对·OH的清除作用^[25]。分别取pH值为7.4,0.15 M的磷酸缓冲液1.5 mL,260 μg/mL的番红花红溶液0.2 mL,2 mmol/L的EDTANa₂-Fe²⁺0.7 mL,不同的样品溶液1 mL,最后加入3%的H₂O₂0.8 mL启动反应。于37℃水浴保温30 min,在波长510 nm处测定吸光值A。空白组以等体积的去离子水代替样品溶液;对照组以等体积的3% H₂O₂代替样品溶液和EDTANa₂-Fe²⁺溶液。

$$\cdot\text{OH清除率}(\%) = (A_{\text{样品}} - A_{\text{空白}}) / (A_{\text{对照}} - A_{\text{空白}}) \times 100\% \quad (1)$$

式中:A_{样品}为样品组吸光值;A_{对照}为对照组吸光值;A_{空白}为空白组吸光值。

1.2.3 O₂⁻清除能力的测定

利用邻苯三酚自氧化体系测定抗氧化物对O₂⁻清除作用^[26]。取0.05 M,pH 8.25的Tris-HCl缓冲液4.5 mL,加入1 mL不同的样品液,于25℃条件下保温25 min,然后加入25℃预温的3 mmol/L的邻苯三酚0.4 mL。空白组以等量Tris-HCl缓冲液代替样品,混匀后反应4 min,加0.5 mL的浓盐酸终止反应,325 nm条件下,迅速测定吸光值。

$$\text{O}_2^{\cdot-}\text{清除率}(\%) = (1 - A_{\text{样品}} / A_{\text{空白}}) \times 100\% \quad (2)$$

式中:A_{样品}为样品组吸光值;A_{空白}为空白组吸光值。

1.2.4 DPPH清除能力的测定

用甲醇配制5×10⁻⁴ M的DPPH溶液,避光冷藏备用,实验设置样品组和空白组,测三组平行样,取其平均值。样品组:向0.5 mL 5×10⁻⁴ M的DPPH溶液中加入1 mL样品溶液和1 mL甲醇溶液,混匀后避光反应30 min,立即在517 nm波长处测定吸光值。空白组:用1 mL甲醇代替样品溶液。

$$\text{DPPH清除率}(\%) = (1 - A_{\text{样品}} / A_{\text{空白}}) \times 100\% \quad (3)$$

式中:A_{样品}为样品组吸光值;A_{空白}为空白组吸光值^[27]。

测定单一及复配组对·OH、O₂⁻及DPPH的清除率大小按公式1、2及3计算。

1.3 数据分析

分别用数字代表4种抗氧化物及其复配组,即:没食子酸(1)、芦丁(2)、Vc(3)、GSH(4)、Vc+没食子酸(5)、Vc+芦丁(6)、Vc+GSH(7)、没食子酸+GSH(8)、GSH+芦丁(9)、没食子酸+芦丁(10)、Vc+GSH+芦丁(11)、没食子酸+GSH+芦丁(12)、Vc+没食子酸+芦丁(13)、Vc+GSH+没食子酸(14)、Vc+GSH+没食子酸+芦丁(15)。

所有试验重复 3 次, 试验结果用 (平均值 $\pm$ 标准偏差)表示。采用 Excel 2010 软件进行数据分析及作图, 采用 SPSS 22.0 软件进行差异显著性分析, 含相同字母组差异性不显著 ($p>0.05$), 字母完全不同组差异性显著 ($p<0.05$)。采用皮尔森积差相关法分析数据间的相关性。

2 结果与讨论

2.1 抗氧化物对 $\cdot\text{OH}$ 清除能力比较

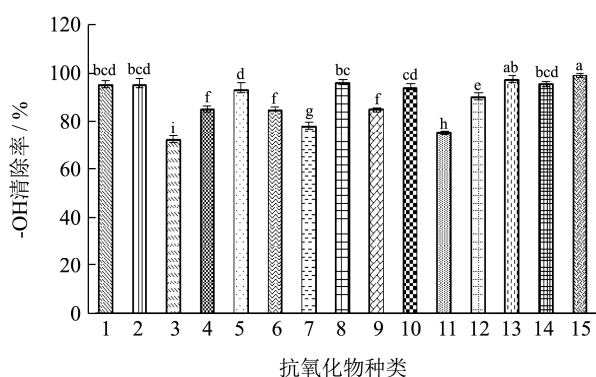


图1 抗氧化物对 $\cdot\text{OH}$ 清除能力的影响

Fig.1 Effect of different antioxidants on $\cdot\text{OH}$ scavenging rate

注: 图中标的不同字母的值在 0.05 水平上差异显著。

$\cdot\text{OH}$ 是一种非常强的氧活性物质, 并且在人体中没有特定的酶能清除, 是一种极具损害性的自由基, 能够破坏活细胞中绝大多数分子^[28,29]。由图 1 可知, 4 种抗氧化物及其复配组均具有较好的 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力, 且清除率均在 70%以上, 清除效果依次为: 15>13>8>14>1=2>10>5>12>9>4>6>7>11>3。单一组中, 没食子酸和芦丁对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力显著高于其他两种抗氧化物, Vc 对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率在 4 种单一组分中最低, 仅为 72%, 且显著低于其他 14 组 ($p<0.05$); 2 种抗氧化物复配组合中含 Vc 组对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力相对于 1、2 和 4 组均较弱, 但均高于 Vc 本身的清除能力。由此可见, 没食子酸和芦丁对 $\cdot\text{OH}$ 均有很强的清除能力, 与芒果体外消化实验中多酚和类黄酮类物质能够有效地清除 $\cdot\text{OH}$ ^[30]的效果一致。Vc 结合其他抗氧化物减弱了抗氧化物本身的自由基清除能力, 可能是 Vc 优先结合 $\cdot\text{OH}$ 阻碍了其他抗氧化物与 $\cdot\text{OH}$ 结合。

2.2 抗氧化物对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除能力比较

过量的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 会攻击 DNA, 脂质和蛋白质, 导致细胞损伤和凋亡, 故抑制 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的产生是延缓机体衰老病变的关键因素之一^[31]。由图 2 可知, 单一组对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除能力较强, 均大于 50%, 而复配组清除能力除 5、6 和 7 组外其余相对较弱。从单一组清除率 3>4>2>1 可

以看出, Vc 对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除能力相对其他单一组分明显偏高 ($p<0.05$); 两种抗氧化物复配组中含 Vc 组对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除能力也明显高于其他组, 其中 Vc+GSH 对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除率达 87%, Vc+芦丁达 54.50%。数据显示, 1~2 种抗氧化物组合对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除效果较好, 尤其是 Vc+GSH 清除效果最佳, 这可能与 Vc 自身的氧化还原作用有关, Vc 在氧化还原过程中会降低氧含量, 因此含 Vc 组合抗氧化能力增强^[32]。而 3 种及以上复配组合对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除效果明显变差, 可能是由于各抗氧化物之间对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 有竞争作用, 降低了对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除能力。

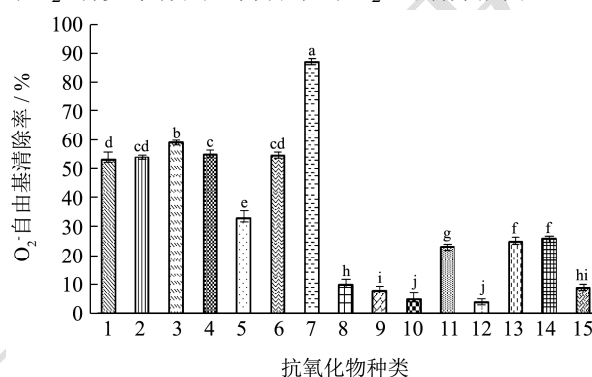


图2 抗氧化物对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除能力的影响

Fig.2 Effect of different antioxidants on $\text{O}_2^{\cdot-}$ scavenging rate

注: 图中标的不同字母的值在 0.05 水平上差异显著。

2.3 抗氧化物对 DPPH 清除能力比较

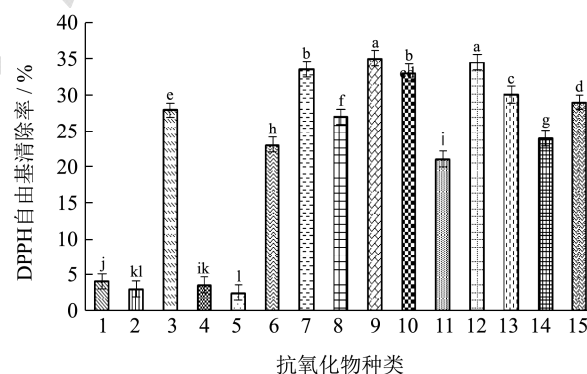


图3 抗氧化物对 DPPH 自由基清除能力的影响

Fig.3 Effect of different antioxidants on DPPH scavenging rate

注: 图中标的不同字母的值在 0.05 水平上差异显著。

DPPH 清除率测定法是最常见的抗氧化能力测定方法之一, 该测定法简单快速, 再现性强, 且在室温下具有可行性^[33]。由图 3 可知, 4 种单一组分对 DPPH 的清除能力较弱, 除 Vc 外, 其余均在 5%以下。而复配后 DPPH 清除能力得到显著提升。由数据得出, 除 Vc 其他三种单一组分对 DPPH 的清除能力差异性不显著 ($p>0.05$), 趋势均较弱; 当抗氧化复配组分在 2~4 种时, 除 Vc+没食子酸对 DPPH 的清除能力较弱外, 其余复配组合均能够增强对 DPPH 的清除能力,

且 2 种抗氧化物复配时 GSH 能明显增加另一抗氧化物的抗氧化能力。有研究表明果蔬对 DPPH 的清除能力与其酚类物质的含量呈正相关^[34-36],但这些研究在某种程度上也将 Vc 和 GSH 在果蔬中所起的作用掩盖。可见,单一组中 Vc 对 DPPH 清除效果较强,而多种抗氧化物结合阻碍了其发挥作用,Vc 对 DPPH 清除能力较高的原因可能是 Vc 具有破坏 DPPH 结构的功能,提供电子与 DPPH 内部的孤对电子进行配对,使 DPPH 得到有效的清除^[37]。而 GSH 在多种复配组中增强了清除 DPPH 的效果,可能与 GSH 清除活性氧的能力有关^[38]。

3 结论

本试验采用体外法研究芒果中 4 种抗氧化物及其复配组合相互作用关系,结果表明:没食子酸、芦丁、Vc 及 GSH 4 种抗氧化物之间相互作用后对 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 、DPPH 三种自由基的清除结果各不相同。4 种抗氧化物单独使用亦或复配使用均对 $\cdot\text{OH}$ 清除的能力没有太大影响;而就 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除能力而言,4 种抗氧化物单独使用的作用效果好于 2 种复配的,更好于 3 种复配的;DPPH 自由基清除能力结果则表明:4 种抗氧化物复配使用的作用效果优于单独使用的,从整体上看 Vc+GSH 组合对三种自由基清除效果最佳。本次试验可为后续研究芒果营养保健功效提供一定的理论参考。

参考文献

- [1] 李春美,田燕,钟慧臻,等.芒果核提取物的抑菌活性组分分析[J].食品工业科技,2011,32(3):172-174,177
- [2] Ma X, Wua H, Liua L, et al. Polyphenolic compounds and antioxidant properties in mango fruits [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 129(1): 102-107
- [3] Berardini N, Knodler M, Schieber A, et al. Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2005, 6: 442-452
- [4] Schieber A, Ullrich W, Carle R. Characterization of polyphenols in mango puree concentrate by HPLC with diode array and mass spectrometric detection [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2000, 1: 161-166
- [5] Grundhofer P, Niemetz R, Schilling G, et al. Biosynthesis and subcellular distribution of hydrolysable tannins [J]. Phytochemistry, 2001, 57: 915-927
- [6] Palafoxcarlos H, Yahia E M, Gonzálezaguilar G A. Identification and quantification of major phenolic compounds from mango (*Mangifera indica*, cv. Ataulfo) fruit by HPLC-DAD-MS/MS-ESI and their individual contribution to the antioxidant activity during ripening [J]. Food Chemistry, 2012, 135: 105-111
- [7] Kim Y, Brecht J K, Talcott S T. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage [J]. Food Chemistry, 2007, 105: 1327-1334
- [8] Masibo M, He Q. Major mango polyphenols and their potential significance to human health [J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2010, 7(4): 309-319
- [9] Ajila C M, Bhat S G, Prasada Rao U J S. Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties [J]. Food Chemistry, 2007, 102: 1006-1011
- [10] Matheyambath A C, Subramanian J, Paliyath G. Mangoes [J]. Encyclopedia of Food & Health, 2016: 641-645
- [11] Vithana M D K, Singh Z, Johnson S K. Cold storage temperatures and durations affect the concentrations of lupeol, mangiferin, phenolic acids and other health-promoting compounds in the pulp and peel of ripe mango fruit [J]. Postharvest Biology & Technology, 2018, 139: 91-98
- [12] Banerjee N, Kim H, Krenke K, et al. Mango polyphenolics suppressed tumor growth in breast cancer xenografts in mice: role of the PI3K/AKT pathway and associated microRNAs [J]. Nutrition Research, 2015, 35(8): 744-751
- [13] Kim H, Banerjee N, Ivanov I, et al. Comparison of anti-inflammatory mechanisms of mango (*Mangifera indica* L.) and pomegranate (*Punica granatum* L.) in a preclinical model of colitis [J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2016, 60(9): 1912-1923
- [14] Abu Bakar M F, Mohamad M, Rahmat A, et al. Cytotoxicity, cell cycle arrest, and apoptosis in breast cancer cell lines exposed to an extract of the seed kernel of *Mangifera pajang* (bambangan) [J]. Food & Chemical Toxicology, 2010, 48(6): 1688-1697
- [15] Nemec M J, Kim H, Marcianti A B, et al. Polyphenolics from mango (*Mangifera indica* L.) suppress breast cancer ductal carcinoma in situ proliferation through activation of AMPK pathway and suppression of mTOR in athymic nude mice [J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2017, 41: 12-19
- [16] Maribel, Robles-Sánchez, Humberto, et al. Influence of whole and fresh-cut mango intake on plasma lipids and

- antioxidant capacity of healthy adults [J]. Food Research International, 2011(44): 1386-1391
- [17] Kathleen P. Mango fruit been found to prevent or stop certain colon and breast cancer cells in the lab [N]. Science Daily, 2010-12-01
- [18] Halliwell B. Antioxidants in human health and disease [J]. Annual Review of Nutrition, 1996, 16(1): 33-50
- [19] Bartosz G. Oxidative stress in plants [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 1997, 19(1): 47-64
- [20] Nacz M, &Shahidi F. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis [J]. Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2006, 41: 1523-1542
- [21] Scalzo J, Politi A, Pellegrini N, et al. Plant genotype affectstotal antioxidant capacity and phenolic contents in fruit [J]. Nutrition, 2005, 21(2): 207-213
- [22] Torunn S, Sivf R, Kårea L. Total antioxidant activity in 35 Ugandan fruits and vegetables [J]. Food Chemistry, 2009, 113(1): 85-91
- [23] 胡秀芳,沈生荣,朴宰日,等.茶多酚抗氧化机理研究现状[J]. 茶叶科学,1999,2:93-103
- HU Xiu-fang, SHEN Sheng-rong, PIAO Jae-il, et al. Review on antioxidative mechanism of tea polyphenols [J]. Journal of Tea Science, 1999, 2: 93-103
- [24] 莫树平,张菊梅,柏建玲,等.抗氧化剂及其增效剂对荔枝、龙眼和芒果原果汁抗氧化作用研究[J]. 饮料工业,2010,13(10): 14-17
- MO Shu-ping, ZHANG Ju-mei, BAI Jian-ling, et al. Study on effects of antioxidants and their synergists applied to raw juices of lilchl, bngan and mango [J]. The Beverage Industry, 2010, 13(10): 14-17
- [25] 李晓博,胡文忠,姜爱丽,等.芒果果肉抗氧化成分测定及其对自由基清除能力的研究[J]. 食品工业科技,2016,37(10): 161-164
- LI Xiao-bo, HU Wen-zhong, JIANG Ai-li, et al. Study on the antioxidant components and antioxidant capacity of the *Mangifera indica* Linn pulp [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(10): 161-164
- [26] 文良娟,刘昊,王维.不同品种芒果总黄酮的抗氧化活性[J]. 食品科学,2011,32(19):79-82
- WEN Liang-juan, LIU Hao, WANG Wei. Antioxidant activity of total flavonoids from different mango varieties [J]. Food Science, 2011, 32(19): 79-82
- [27] 李卫,郑成,宁正祥,等.二氢杨梅素的酯化及其抗氧化规律探讨[J]. 食品科技, 2007,5:198-201
- LI Wei, ZHENG Cheng, NING Zheng-xiang, et al. Esterification of dihydromyricetin and their antioxidation activities [J]. Food Science and Technology, 2007, 5: 198-201
- [28] Bajpai V K, Baek K H, Kang S C. Antioxidant and free radical scavenging activities of taxoquinone, a diterpenoid isolated from *Metasequoia glyptostroboides* [J]. South African Journal of Botany, 2017, 111: 93-98
- [29] Liu C. On changes of activity of antioxidases in hippocampus of rats with multi-infarct dementia and the intervention effects of acupuncture [J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine & Pharmacy, 2005, 20(12): 724-726
- [30] 邱松山,姜翠翠,周天,等.熏蒸处理对芒果体外消化后抗氧化能力的影响[J]. 食品工业,2011,3:11-13
- QIU Song-shan, JIANG Cui-cui, ZHOU Tian, et al. Effects of fumigate treatment on the antioxidant activity of *in vitro* digestibility of polyphenolics of mango fruit during shelf life [J]. The Food Industry, 2011, 3: 11-13
- [31] Kim Y S, Hwang J W, Sung S H, et al. Antioxidant activity and protective effect of extract of *Celosia cristata* L. flower on tert-butyl hydroperoxide-induced oxidative hepatotoxicity [J]. Food Chemistry, 2015, 168: 572-579
- [32] Riceevans C A, Miller N J, Bolwell P G, et al. The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids [J]. Free Radical Research Communications, 1996, 22(4): 256-259
- [33] Tan J B L, Lim Y Y. Critical analysis of current methods for assessing the *in vitro*, antioxidant and antibacterial activity of plant extracts [J]. Food Chemistry, 2015, 172: 814-822
- [34] 周毅刚,许文天,马小卫,等.芒果果皮和果肉的抗氧化能力分析[J]. 广东农业科学,2013,40(24):87-90
- ZHOU Yi-gang, XU Wen-tian, MA Xiao-wei, et al. Antioxidant capacity of pulp and peel from mango cultivars [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(24): 87-90
- [35] 黄利华,张业辉,赵力超,等.贮藏条件对苹果多酚成分及抗氧化活性的影响[J]. 现代食品科技,2009,25(3):252-255
- HUANG Li-hua, ZHANG Ye-hui, ZHAO Li-chao, et al. Effects of storage condition on apple polyphenol composition and antioxidant activity [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 25(3): 252-255

(下转第 200 页)