

4种茶叶水提物及茶多酚的体外抗氧化性能研究

马慧¹, 茹鑫², 王津¹, 赵路漫², 王硕^{1,*}

(1. 南开大学 医学院, 天津市食品科学与健康重点实验室, 天津 300350; 2. 上海康识食品科技有限公司, 上海 201103)

摘要: 采用水提法对红茶、乌龙茶、绿茶和茉莉花茶进行提取, 并对抽提物中总酚含量和各个儿茶素单体含量进行测定, 通过常见的3种抗氧化能力测试方法, 即DPPH法、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[(2,2-azino-bis (3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt, ABTS)]法及铁离子还原/抗氧化能力 (ferric ion reducing antioxidant power, FRAP)法对4种茶叶水提物的体外抗氧化能力进行评价, 同时比较茶多酚和V_C的抗氧化活性。结果表明: 4种茶叶水提物均有很强的体外抗氧化活性, 绿茶、茉莉花茶、乌龙茶的DPPH法及FRAP法抗氧化活性测试结果优于红茶, 红茶的ABTS⁺清除率略高于其他3种茶。相关性分析结果显示儿茶素总量、总酚含量、没食子儿茶素(gallocatechin, GC)、表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)、表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)、表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG)含量和DPPH法、FRAP法结果呈现正相关, 而与ABTS法结果呈现负相关。此外, 试验结果表明茶多酚的抗氧化能力高于V_C。

关键词: 茶叶水提物; 茶多酚; V_C; 抗氧化; 相关性分析

Study on the Antioxidant Capacity of Four Tea Water Extracts and Tea Polyphenols *in Vitro*

MA Hui¹, RU Xin², WANG Jin¹, ZHAO Lu-man², WANG Shuo^{1,*}

(1. Tianjin Key Laboratory of Food Science and Health, School of Medicine, Nankai University, Tianjin 300350, China; 2. Shanghai Kangshi Food Technology Company Limited, Shanghai 201103, China)

Abstract: Hot water extraction technique was used for the preparation of four kinds of tea infusions and four tea water extracts were analyzed for their total phenolic content and catechins. Antioxidant activities were evaluated using three most common methods, i.e. DPPH radical scavenging assay, ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2,2-azino-bis (3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) cation radical scavenging assay. Meanwhile, the antioxidant capacity between tea polyphenol and V_C was also evaluated. Results showed that four tea water extracts had strong antioxidant activity. Green tea, jasmine tea, and oolong tea had higher values on DPPH and FRAP assays than black tea. Black tea exhibited slightly higher ABTS cation radical scavenging activity than the other three teas. Correlation analysis showed that there was a significant positive correlation between the levels of total catechins, total phenolic content, gallocatechin(GC), epigallocatechin(EGC), epigallocatechin gallate(EGCG), epicatechin gallate(ECG) and antioxidant activities measured using the DPPH and FRAP assays, however a negative correlation using ABTS assay. In addition, our result showed that tea polyphenols had stronger antioxidant potential than V_C.

Key words: tea water extracts; tea polyphenols; V_C; antioxidation; correlation analysis

作者简介: 马慧(1991—), 女(汉), 博士研究生, 研究方向: 生物化学与分子生物学。

* 通信作者: 王硕(1969—), 男(汉), 教授, 研究方向: 食品安全与营养。

引文格式:

马慧,茹鑫,王津,等.4种茶叶水提物及茶多酚的体外抗氧化性能研究[J].食品研究与开发,2019,40(8):65-70

MA Hui, RU Xin, WANG Jin, et al. Study on the Antioxidant Capacity of Four Tea Water Extracts and Tea Polyphenols in *Vitro*[J]. Food Research and Development, 2019, 40(8): 65-70

茶起源于中国,是世界上仅次于水的第二大饮品,其发挥的益处被广泛熟知,深受人们的喜爱。茶多酚是茶叶或茶饮料中的重要活性成分,是茶叶中酚类及其衍生物的总称,茶多酚主要包括黄烷醇类(儿茶素类)、花色苷类、黄酮及黄酮醇类、酚酸及缩酚酸类等化合物。根据不同的制造工艺,茶可分为未发酵茶(绿茶)、半发酵茶(乌龙茶)、全发酵茶(红茶)和后发酵(黑茶)^[1]。总体上全球绿茶年产量约为20%,乌龙茶约为2%,红茶约为78%^[2]。茶叶中的茶多酚主要是儿茶素类,包括(-)-表儿茶素[(-)-epicatechin, EC]、(-)-表没食子儿茶素没食子酸酯[(-)-epigallocatechin gallate, EGCG]、(-)-表没食子儿茶素[(-)-epigallocatechin, EGC]和(-)-表儿茶素没食子酸酯[(-)-epicatechin gallate, ECG]和少量的其他儿茶素。不同茶叶的儿茶素组成和数量不同,一般来说,绿茶含有高水平的儿茶素单体,占有酚类化合物的80%~90%,然而在发酵之后,红茶中的儿茶素单体含量仅占20%~30%,儿茶素聚合物即茶黄素和茶红素占红茶的60%~70%^[3-4]。乌龙茶中单体和多聚体形式的儿茶素含量处于红茶和绿茶之间。随着国内外研究人员对茶多酚研究的不断深入,已发现茶多酚具有多种生物活性作用,包括抗辐射、抗炎症和抑菌等特性,在预防神经退行性疾病、代谢性疾病和癌症等方面也具有潜在的作用^[5],而抗氧化能力是茶多酚发挥多种功效的核心。

茶多酚是重要的天然抗氧化剂,本文以4种茶叶为原料,比较4种茶叶水提物的抗氧化性及与总酚、儿茶素含量的相关性,并对对比分析不同浓度下茶多酚与V_c的抗氧化能力,为茶多酚的开发利用提供体外试验参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

高效液相色谱标准品:没食子酸(gallic acid, GA)、(+)-儿茶素[(+)-catechin, C]、EC、EGC、EGCG、ECG、(-)-没食子儿茶素[(-)-gallocatechin, GC]、(-)-儿茶素没食子酸酯[(-)-catechin gallate CG]、(-)-没食子儿茶素没食子酸酯[(-)-gallocatechin gallate, GCG]、茶多

酚:维克奇生物科技有限公司;V_c:德国DRE公司;DPPH、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[2,2-azino-bis(3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt, ABTS]:上海阿拉丁生化科技股份有限公司;总抗氧化能力(T-AOC)检测试剂盒、磷酸盐缓冲液(phosphate buffer, PBS):北京索莱宝科技有限公司。以上试剂均为分析纯。

红茶:云南大叶种;乌龙茶:福建大白毫;绿茶:浙江武阳早;茉莉茶:广西大叶种。

1.2 仪器与设备

紫外可见分光光度计(UV-1800)、高效液相色谱仪(LC-20A):日本岛津仪器公司;酶标仪(Varioskan LUX):赛默飞世尔科技有限公司;数显磁力搅拌水浴锅(HH-6SC):常州普天仪器制造有限公司;高速离心机(Allegra 64R):贝克曼库尔特公司。

1.3 方法

1.3.1 茶叶水提物的制备

取适量红茶、乌龙茶、绿茶以及茉莉花茶,用粉碎机研磨成粉末,分别取0.5 g固体茶叶粉末于50 mL离心管中,再以1:50(g/mL)的料液比倒入煮沸后的双蒸水,每一个样品设立3个平行,然后将离心管统一放入恒温水浴锅中,提取温度为85℃,提取时间为10 min,在此过程中用锡箔纸包住以避光,并加以恒定转速磁力搅拌,以进行充分提取。提取完之后将离心管取出,冷却至室温,之后以5 000 r/min转速4℃离心10 min,将上清液即茶叶水提物分装,分别置于4℃及-20℃,密封避光保存,便于进行之后的分析。

1.3.2 茶叶水提物中总酚含量的测定

参考GB/T 8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》,采用福林酚(Folin-Ciocalteu)试剂比色法测定茶叶中茶多酚的总量,在765 nm波长条件下用分光光度计测定吸光值A,结果表示为每毫升样品提取物中没食子酸微克数^[6]。

1.3.3 茶叶水提物中儿茶素含量的测定

儿茶素含量采用高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)分析,使用Agilent ZORBAX SB-AQ色谱柱,流动相A为水,流动相B为

乙腈,流动相A与B都加入终浓度为0.2%乙酸作为稳定剂,柱温:35℃,检测波长:270 nm,流速:1 mL/min,进样量为20 μ L,洗脱梯度为:10 min~15 min: 3%B~10%B; 15 min~20 min: 10%B~20%B; 20 min~25 min: 20%B~25%B; 25 min~30 min: 25%B~30%B; 30 min~35 min: 30%B~35%B; 35 min~40 min: 35%B~3%B; 40 min~45 min: 3%B,检测茶叶中GA、C、EC、EGC、EGCG、ECG、GC、CG以及GCG的含量,制作9个单体的标准曲线。

1.3.4 抗氧化能力测试

分别准确称量50 mg茶多酚与 V_c ,配制成1.0 mg/mL的母液,然后稀释为终浓度为0.1、0.2、0.4、0.6、0.8 mg/mL的溶液,进行抗氧化能力比较,同时对4种茶叶水提物的抗氧化能力进行测试。

1.3.4.1 ABTS $^{+}$ 清除能力测定

ABTS在适当的氧化剂作用下氧化成绿色的ABTS $^{+}$,在抗氧化物存在时,ABTS $^{+}$ 的产生会被抑制,在734 nm测定吸光度即可测定并计算出样品的总抗氧化能力。配制终浓度为7 mmol/L ABTS和2.45 mmol/L过硫酸钾的混合液,室温避光条件下静置过夜12 h,制得ABTS $^{+}$ 储存液,使用时用PBS稀释至734 nm处吸光度为 0.70 ± 0.05 的溶液,取0.1 mL的样品与3.9 mL稀释过的ABTS $^{+}$ 溶液在避光下反应5 min,用双蒸水作对照,在734 nm处测吸光值 A ^[7]。

$$\text{ABTS}^{+}\text{清除率}/\% = (1 - A_{\text{样品}}/A_{\text{对照}}) \times 100$$

1.3.4.2 DPPH 自由基清除能力

DPPH自由基在有机溶剂中是一种稳定的自由基,其醇溶液呈紫色,且需低温避光储藏,具有单一电子,故能接受一个电子或氢离子,在波长为517 nm下具有最大吸收。有自由基清除剂存在时,DPPH自由基的单电子被捕捉而使其颜色变浅,在最大光吸收波长处的吸光值下降。用无水乙醇配制浓度为0.2 mmol/L的DPPH溶液,取2 mL不同浓度的样品与2 mL DPPH溶液混合均匀后,室温避光下反应30 min,在517 nm处测吸光值 A ^[8]。

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = [1 - (A_{\text{样品}} - A_{\text{空白}})/A_{\text{对照}}] \times 100$$

1.3.4.3 FRAP 法测定总抗氧化能力

按照T-AOC试剂盒说明书进行检测,在酸性环境下,还原 Fe^{3+} -三吡啶三吡嗪(Fe^{3+} -TPTZ)产生蓝色的 Fe^{2+} -TPTZ的能力反映了总抗氧化能力,先配制不同浓度的 Fe^{2+} -TPTZ溶液,在 λ 为593 nm处测吸光值 A ,制作标准曲线,样品的抗氧化能力以达到同样吸光度变化值(ΔA)所需的标准液离子浓度表示。

2 结果与分析

2.1 茶叶水提物总酚含量及儿茶素含量

4种茶叶水提物总酚含量见表1。

表1 4种茶叶水提物总酚含量

Table 1 Total polyphenol contents of four kinds of tea water extracts

茶叶水提物	总酚含量(μ g GAE/mL)
红茶水提物	2 323.1 $\pm$ 31.83 ^d
乌龙茶水提物	2 801.65 $\pm$ 54.53 ^a
绿茶水提物	2 488.12 $\pm$ 9.9 ^c
茉莉花茶水提物	2 712.54 $\pm$ 58.01 ^b

注:同一列不同字母表示显著性差异($P < 0.05$, $n = 3$)。

根据表1可以看出,4种茶叶水提物中乌龙茶所含的总酚含量最高,其次是茉莉花茶、绿茶,最后是红茶。各类茶叶水提物总酚含量及各组分含量不同主要与其加工方式有关,本试验样品分别属于不发酵茶,半发酵茶及发酵茶,绿茶和茉莉花茶属于不发酵茶,乌龙茶属于半发酵茶,红茶属于发酵茶,除了红茶外,另外3种茶在加工过程中都要经过杀青步骤,这一步通过高温使得多酚氧化酶失活,因此总酚含量比较高,而红茶则未经杀青,经过萎凋,再揉捻或揉切、发酵等步骤,不断氧化聚合,形成茶黄素或茶红素等酚类氧化聚合物,因此酚类含量较低^[9]。

4种茶叶水提物儿茶素含量见图1。

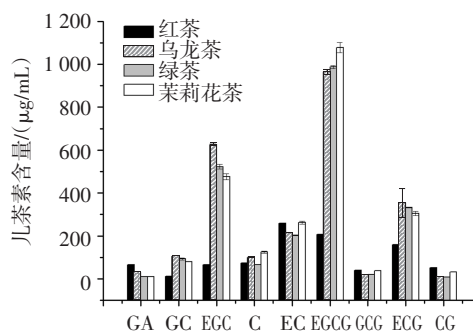


图1 4种茶叶水提物儿茶素含量

Fig.1 Catechin content of four kinds of tea water extracts

由图1可以计算出儿茶素总量由高到低依次为茉莉花茶(2 396.472 μ g/mL)、乌龙茶(2 386.404 μ g/mL)、绿茶(2 235.539 μ g/mL)及红茶(867.901 μ g/mL),与总酚含量趋势基本一致。在各个儿茶素单体中,EGCG含量最高,4种茶叶所含的EGCG含量大小为茉莉花茶>绿茶>乌龙茶>红茶,而含有GA的顺序为红茶>乌龙茶>绿茶>茉莉花茶。红茶中的没食子酸含量略高,可能是制作过程中酚类物质降解造成的,另外不同产地、不同季节采摘等因素都会对其品质有所影响。

2.2 4种茶叶水提物抗氧化能力及相关性分析

本试验采用3种常见的抗氧化能力测试方法对4种茶叶水提物的体外抗氧化能力进行评估,其结果如表2所示。

表2 4种茶叶水提物抗氧化能力

茶叶水 提物	抗氧化能力		
	ABTS ⁺ 清除率/%	DPPH·清除率/%	FRAP/($\mu\text{mol/mL}$)
红茶	84.32±0.01 ^a	89.09±0.01 ^d	0.455 2±0.045 1 ^b
乌龙茶	83.26±0.27 ^b	93.90±0.14 ^a	0.870 5±0.119 9 ^a
绿茶	83.40±0.01 ^b	92.50±0.14 ^c	0.879 0±0.026 6 ^a
茉莉花茶	83.26±0.27 ^b	93.03±0.07 ^b	0.822 6±0.001 2 ^a

注:同一列不同字母表示显著性差异($P<0.05$)。

整体上不发酵或半发酵茶的抗氧化能力高于发酵茶的抗氧化能力,在ABTS法测抗氧化活性试验

中,红茶ABTS⁺清除能力较高,为84.32%,而乌龙茶、绿茶、茉莉花茶的ABTS⁺清除率无显著性差异($P>0.05$),分别为83.26%、83.40%、83.26%;在DPPH法测抗氧化活性试验中,乌龙茶的DPPH·清除率达到93.90%,茉莉花茶和绿茶次之,分别为93.03%、92.50%,红茶DPPH·清除率较低为89.09%,4种茶叶的DPPH·清除能力具有显著性差异($P<0.05$);FRAP法测抗氧化活性试验结果,以达到同样吸光度变化值的Fe²⁺浓度表示,4种茶叶水提物的抗氧化能力顺序依次为绿茶(0.879 0 $\mu\text{mol/mL}$)>乌龙茶(0.870 5 $\mu\text{mol/mL}$)>茉莉花茶(0.822 6 $\mu\text{mol/mL}$)>红茶(0.455 2 $\mu\text{mol/mL}$),且绿茶、乌龙茶及茉莉花茶并无显著性差异($P>0.05$)。

将抗氧化能力测试结果与总酚含量(total phenolics, TP)或各个儿茶素单体含量进行相关性分析,结果如表3所示。

表3 总酚及儿茶素单体含量与不同抗氧化能力测试的相关性分析

Table 3 Correlation coefficients amongst TP, catechins and the antioxidant capacities determined by different types of assays

项目	TP	GA	GC	EGC	C	EC	EGCG	GCG	ECG	CG	儿茶素总量
ABTS	-0.801**	0.859**	-0.907**	-0.911**	-0.498	0.434	-0.927**	0.553	-0.804**	0.776**	-0.931**
DPPH	0.891**	-0.71	0.971**	0.967**	0.471	-0.434	0.907**	-0.558	0.877**	-0.787*	0.969**
FRAP	0.656	-0.907**	0.948**	0.942**	0.191	-0.713*	0.950**	-0.777*	0.967**	-0.917**	0.954**

注:*表示差异显著($P<0.05$);**表示显著性极差异($P<0.01$)。

ABTS法抗氧化能力值与总酚含量($r=-0.801$)、GC($r=-0.907$)、EGC($r=-0.911$)、EGCG($r=-0.927$)、ECG($r=-0.804$)显示极强负相关,而与GA($r=0.859$)、CG($r=0.776$)含量呈现极强正相关;而DPPH法抗氧化测试值与总酚含量(total phenolics, TP)($r=0.891$)、GC($r=0.971$)、EGC($r=0.967$)、EGCG($r=0.907$)、ECG($r=0.877$)显示极强的正相关,与CG($r=-0.787$)显示强负相关;FRAP法测定的抗氧化能力结果与GC($r=0.948$)、EGC($r=0.942$)、EGCG($r=0.950$)、ECG($r=0.967$)含量呈极强正相关,与EC($r=-0.713$)、GCG($r=-0.777$)呈强负相关。其中总酚含量与DPPH自由基清除能力以及FRAP与EGCG含量的正相关关系,也在LvHP等的研究中有所报道^[10],值得注意的是,ABTS与EGCG含量呈现极强负相关,与Wu Z等报道的结论^[11]正好相反,儿茶素总量与DPPH与FRAP法呈现极强正相关,与高玉萍等结果一致^[12],但是与ABTS法呈现极强负相关。不同的儿茶素结构不同,对不同自由基反应不同,这可能是影响不同茶叶水提物抗氧化能力高低的主要原因,另外茶叶水提物含有的除了儿茶素之外的其他物质也会不同程度地影响其抗氧化能力,具体的原因有待进一步研究分析。

2.3 茶多酚与V_c的抗氧化能力比较

本试验采用3种抗氧化能力测试法对茶饮料中V_c和茶多酚常见浓度水平(0~1 mg/mL)进行比较,得到的结果如图2、图3、图4所示。

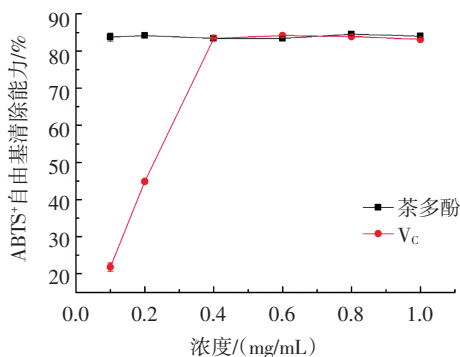
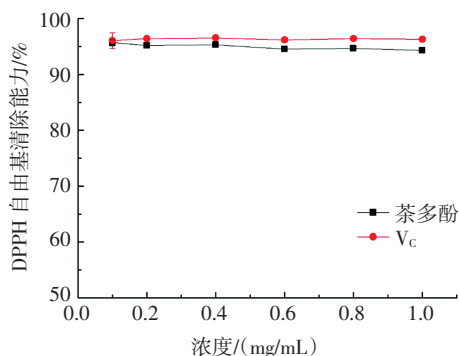
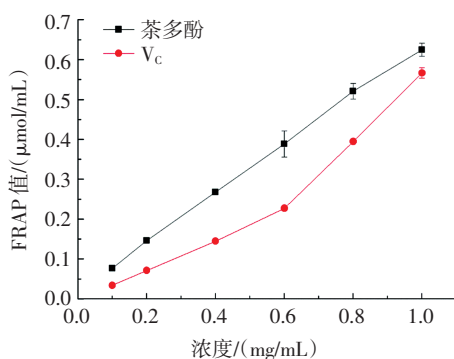


图2 茶多酚与V_c对ABTS⁺清除率的比较

Fig.2 Comparisons of ABTS cation radical scavenging capacity of tea polyphenols and V_c

总体上同浓度的茶多酚抗氧化能力高于V_c,在ABTS法比较抗氧化能力试验中,在低浓度即0~0.4 mg/mL范围内,茶多酚抗氧化活性高于V_c,而0.4 mg/mL~1 mg/mL浓度范围内,二者抗氧化活性均保持较高水平,无显著性差异;DPPH法比较抗氧化能力试验中,在所测试的

图3 茶多酚与V_c对DPPH自由基清除率的比较Fig.3 Comparisons of DPPH radical scavenging capacity of tea polyphenols and V_c图4 茶多酚与V_c对铁离子还原抗氧化能力的比较Fig.4 Comparisons of ferric reducing antioxidant potential (FRAP) of tea polyphenols and V_c

范围内,茶多酚与V_c的抗氧化能力处于较高水平,其中茶多酚DPPH·清除值略低于V_c,可能由于茶多酚本身为淡黄色,造成一定的背景干扰有关;在FRAP法测茶多酚与V_c的抗氧化能力试验中,茶多酚和V_c的抗氧化能力均随浓度的增大而增加,且茶多酚的FRAP值始终高于V_c。

3 结论

本试验结果表明,不同的茶叶水提取物均有很强的体外抗氧化活性,且对不同的抗氧化能力测试方法中的自由基或离子反应不同,因此在对某一活性物质进行抗氧化能力评价时,要综合多种方法。总体上,不发酵茶及半发酵茶的抗氧化能力高于发酵茶,绿茶、茉莉花茶、乌龙茶的DPPH法及FRAP法抗氧化活性测试结果优于红茶,4种茶叶的ABTS法抗氧化活性测试结果均处于较高水平,且红茶的ABTS·清除率略高于其他3种茶。ABTS法抗氧化能力值与总酚含量、GC、EGC、EGCG、ECG显示极强负相关,而与GA、CG含量呈现极强正相关;而DPPH法抗氧化测试值与TP、GC、EGC、EGCG、ECG显示极强的正相关,与CG显示强负

相关;FRAP法测定的抗氧化能力结果与GC、EGC、EGCG、ECG含量呈极强正相关,与EC、CG呈强负相关,另外儿茶素总量与DPPH与FRAP法呈现极强正相关,证明茶叶水提取物中的儿茶素在这两种抗氧化活性测试中发挥重要作用,相反儿茶素总量与ABTS法呈现极强负相关,茶叶水提取物成分复杂,多酚类物质除儿茶素之外,还有槲皮素、山奈酚等,并且水提取物中还有茶多糖、茶氨酸等物质,影响其抗氧化能力。

V_c因其抗氧化性而广泛应用于食品加工制作中,本试验将茶多酚与V_c的抗氧化能力进行比较,结果发现同浓度的茶多酚抗氧化能力高于V_c,在ABTS法比较抗氧化能力试验中,在低浓度即0~0.4 mg/mL范围内,茶多酚抗氧化活性高于V_c,而0.4 mg/mL~1 mg/mL浓度范围内,二者抗氧化活性均保持较高水平,在DPPH法比较抗氧化能力试验中,茶多酚与V_c的抗氧化能力处于较高水平;在FRAP法测茶多酚与V_c的抗氧化能力试验中,茶多酚和V_c的抗氧化能力均随浓度的增大而增加,且茶多酚的FRAP值始终高于V_c。表明茶多酚具有良好的抗氧化性能,为茶多酚作为抗氧化剂应用到食品加工中提供了一定的依据。

参考文献:

- [1] Cheng M,Zhang X,Guo X,et al. The interaction effect and mechanism between tea polyphenols and intestinal microbiota: Role in human health[J]. Journal of Food Biochemistry,2017,41(6):e12415
- [2] Jilani H,Cilla A,Barberá R,et al. Biosorption of green and black tea polyphenols into *Saccharomyces cerevisiae* improves their bioaccessibility[J]. Journal of Functional Foods,2015,17: 11-21
- [3] Heber D,Zhang Y,Yang J,et al. Green tea,black tea,and oolong tea polyphenols reduce visceral fat and inflammation in mice fed high-fat,high-sucrose obesogenic diets[J]. Journal of Nutrition,2014,144(9): 1385-1393
- [4] Van D J,Vaughan E E,Van D F,et al. Interactions of black tea polyphenols with human gut microbiota: implications for gut and cardiovascular health[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2013,98(6): 1631S
- [5] Yang C S,Wang H,Sheridan Z P. Studies on prevention of obesity, metabolic syndrome,diabetes,cardiovascular diseases and cancer by tea[J]. Journal of Food & Drug Analysis,2018,26(1): 1-13
- [6] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法:GB/T 8313-2018[S].北京:中国标准出版社,2018
- [7] 孙世利,刘淑媚,赵超艺,等. 茶多酚与维生素C/E的协同抗氧化作用研究[J]. 广东农业科学,2013,40(1): 96-98
- [8] 杨皓彬,杨娜,柏雪,等. 白茶中茶多酚提取工艺及抗氧化活性的研究[J]. 中国食品学报,2014,14(12): 24-31
- [9] Tenore G C,Campiglia P,Giannetti D,et al. Simulated gastrointestinal

反应条件对沙棘果提取物降解亚硝酸盐效果的影响

彭潇, 陈义伦*

(山东农业大学 食品科学与工程学院 山东省高校食品加工技术与质量控制重点实验室, 山东 泰安 271018)

摘要:以沙棘果为原料,采用溶剂提取法制取沙棘果提取物,研究添加量、反应温度、反应时间和反应 pH 值对沙棘果提取物降解亚硝酸盐效果的影响,优化了沙棘果提取物降解亚硝酸盐的反应条件。结果表明:影响沙棘果提取物亚硝酸盐降解率的主要因素是反应 pH 值,其次是反应温度和添加量,反应温度和 pH 值之间的交互作用对亚硝酸盐降解率影响显著。在提取物添加量 6 mL,反应温度 50 ℃,反应时间 20 min, pH 2 的反应条件下,沙棘果提取物亚硝酸盐降解率达到 96.10 %。

关键词:沙棘;亚硝酸盐;降解;反应条件;响应面法

Effects of Reaction Conditions on Nitrite Degradation by Sea Buckthorn Fruit Extracts

PENG Xiao, CHEN Yi-lun*

(Key Laboratory of Food Processing Technology and Quality Control in Shandong Province, College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, Shandong, China)

Abstract: Sea buckthorn fruit was used as raw material, and its extract was obtained by the method of solvent extraction. The effects of additive amount, reaction temperature, reaction time and pH value of the extract on nitrite degradation were investigated. The reaction conditions of sea buckthorn fruit extracts on nitrite degradation were optimized. The results showed that the main influencing factor on nitrite degradation was pH value, followed by reaction temperature and additive amount. In addition, the interaction between reaction temperature and pH value had a significant effect on nitrite degradation rate. When the additive amount was 6 mL, the reaction temperature was 50 ℃, the reaction time was 20 min, pH value was 2, the degradation rate of nitrite by sea buckthorn fruit extracts was up to 96.10 %.

Key words: sea buckthorn; nitrite; degradation; reaction conditions; response surface methodology

基金项目:山东省(农业)重大应用技术创新项目(2130106);山东省“双一流”奖补资金资助(SYT2017XTTD04)

作者简介:彭潇(1994—),女(汉),硕士研究生,研究方向:食品质量与安全。

*通信作者:陈义伦(1966—),男(汉),教授,博士,研究方向:果蔬深加工与食品安全。

digestion, intestinal permeation and plasma protein interaction of white, green, and black tea polyphenols[J]. Food Chemistry, 2015, 169:320-326

[10] Lv H P, Zhang Y, Shi J, et al. Phytochemical profiles and antioxidant activities of Chinese dark teas obtained by different processing technologies[J]. Food Research International, 2017, 100(Pt 3):486-493

[11] Wu Z, Teng J, Huang L, et al. Stability, antioxidant activity and *in vitro* bile acid-binding of green, black and dark tea polyphenols during simulated *in vitro* gastrointestinal digestion [J]. Rsc Advances, 2015, 112(5):92089-92095

[12] 高玉萍, 唐德松, 龚淑英. 茶提取物抗氧化活性与茶多酚、儿茶素关系探究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(6):40-47

收稿日期:2018-09-27