

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2017.03.008

文章编号:2095-6002(2017)03-0055-06

引用格式:唐煜括,左聪聪,李佳笑,等. 汉中仙毫茶多酚与维生素C抗氧化及抑菌活性的协同作用[J]. 食品科学技术学报, 2017,35(3):55-60.



TANG Yukuo, ZUO Congcong, LI Jiaxiao, et al. Synergism of antioxidant and antibacterial activities between hanzhong-xianhao tea polyphenols and vitamin C[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017,35(3):55-60.

## 汉中仙毫茶多酚与维生素C抗氧化及抑菌活性的协同作用

唐煜括, 左聪聪, 李佳笑, 李璐\*, 张华峰\*

(陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西西安 710119)

**摘要:**采用 DPPH· 和 ABTS<sup>+</sup>· 方法研究了汉中仙毫茶多酚与维生素C(VC)体外抗氧化活性的协同作用,采用二倍稀释法和牛津杯法研究了茶多酚与VC混合物对大肠杆菌的抑菌作用。茶多酚与VC的混合物 [ $m(\text{茶多酚}):m(\text{VC})=1:1,1:2,2:1$ ] 具有较强的 DPPH· 清除能力,其 EC<sub>50</sub> 值低于茶多酚和VC;并且混合物中VC所占比例越高,EC<sub>50</sub> 值就越低。 $m(\text{茶多酚})$ 与 $m(\text{VC})$ 的1:1混合物对 ABTS<sup>+</sup>· 的 EC<sub>50</sub> 值略低于VC。基于体外抗氧化活性与样品浓度之间量效关系构建的数学模型具有较高的拟合度。 $m(\text{茶多酚})$ 与 $m(\text{VC})$ 的1:1和2:1混合物对大肠杆菌的最小抑菌浓度分别为38和46 mg·mL<sup>-1</sup>。 $m(\text{茶多酚})$ 与 $m(\text{VC})$ 的2:1混合物的抑菌圈直径较大,其抑菌活性略高于茶多酚。茶多酚与VC以特定比例混合后,自由基清除能力有所提高,并且抑菌活性有明显的提升。

**关键词:** 茶多酚; 自由基; 大肠杆菌; 维生素C; 协同作用

**中图分类号:** TS272.2

**文献标志码:** A

茶叶中含有丰富的营养素和活性成分,如氨基酸和茶多酚<sup>[1]</sup>。茶多酚具有抗氧化、抑菌等活性<sup>[2-3]</sup>。2011年,我国正式将茶多酚列为食品抗氧化剂<sup>[4]</sup>。同茶多酚一样,维生素C(vitamin C, VC)也是国家标准收录的食品抗氧化剂,在食品工业中具有广泛用途<sup>[4-5]</sup>。王岳飞等<sup>[6]</sup>通过铁离子还原法研究了茶多酚与VC的体外协同抗氧化能力。肖波等<sup>[7]</sup>研究表明茶多酚和VC具有协同抑制幽门螺杆菌(*Helicobacter pylori*)的作用。邢淑婕等<sup>[8]</sup>发现茶多酚和VC可以协同抑制鼠伤寒沙门氏菌(*Salmo-*

*nella typhimurium*)。汉中仙毫茶是陕西省的特色茶叶品种,被国家质量监督检验检疫总局认定为国家地理标志产品。迄今未见关于汉中仙毫茶多酚与维生素C协同抗氧化作用及其对模式菌——大肠杆菌(*Escherichia coli*)协同抑菌活性的报道。本研究拟通过DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼,1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)法和ABTS(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)法分析汉中仙毫茶多酚与VC的协同抗氧化活性,并

收稿日期:2016-08-28

基金项目:陕西师范大学勤助科研创新基金项目(KY2015YB40);陕西师范大学大学生创新创业训练计划项目(cx16124);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2016CSZ008)。

作者简介:唐煜括,男,硕士研究生,研究方向为食品营养学;

\*李璐,女,研究助理,主要从事食品营养学方面的研究,通信作者;

\*张华峰,男,副教授,博士,主要从事食品营养与安全方面的研究,通信作者。

探究茶多酚与 VC 对大肠杆菌的联合抑菌作用,为汉中仙毫茶的科学开发以及新型食品抗氧化剂、防腐剂的研制提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料与仪器

汉中仙毫茶购自陕西省西安市茶叶市场。没食子酸(纯度 $\geq 98\%$ )、VC(纯度 $\geq 99\%$ )、ABTS、DP-PH、考马斯亮蓝 G-250、Folin-Ciocalteu 试剂,购自美国 Sigma 公司。大肠杆菌 ATCC25922 来自中国工业微生物菌种保藏管理中心。无水乙醇(分析纯)等购自天津市富宇精细化工有限公司。琼脂粉、LB 肉汤(培养基)等购自北京奥博星生物技术有限公司。

Multiskan Go 型全波长酶标仪,美国 Thermo Electron 公司;GSP-9080MBE 型隔水式恒温培养箱,上海博远实业有限公司医疗设备厂;722 型分光光度计,上海仪电分析仪器有限公司;LDZX-30KBS 型立式压力蒸汽灭菌器,上海申安医疗器械厂;RE-52 型旋转蒸发仪,上海安亭实验仪器有限公司;LGJ-18C 型真空冷冻干燥机,北京四环科学仪器厂;JPCQ0328 型全数字式超声波清洗机,武汉嘉鹏电子有限公司;DL-4C 型低速大容量离心机,上海安亭科学仪器厂;FW400A 型高速万能粉碎机,北京科伟永兴仪器有限公司;BS224S 型电子天平,德国 Sartorius 公司。

### 1.2 茶多酚制备与测定

#### 1.2.1 茶多酚制备

将茶叶粉碎、过筛(80目)后在 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重,冷却至室温,置阴凉干燥处密闭避光保存。参考郑海燕<sup>[9]</sup>的方法提取茶多酚。准确称取茶叶粉末,按照 $1:30(\text{g}/\text{mL})$ 液料比(茶叶质量与乙醇体积的比例)加入体积分数 $\varphi(\text{乙醇})=50\%$ 的乙醇水溶液,在超声波功率 $480\text{ W}$ 、频率 $30\text{ kHz}$ 、温度 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下超声波辅助提取 $15\text{ min}$ 。离心取上清液,用 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 有机系滤膜过滤,经真空冷冻干燥后得到茶多酚固体粉末。

#### 1.2.2 茶多酚定性与定量分析

参考文献<sup>[10]</sup>,采用三氯化铁颜色反应鉴定茶多酚。采用国家标准方法<sup>[11]</sup>测定茶多酚含量。

### 1.3 体外抗氧化活性分析

采用本实验室优化的 DPPH $\cdot$ 、ABTS $\cdot$ 清除

实验方法<sup>[12]</sup>考察茶多酚、VC 及其混合物[ $m(\text{茶多酚}):m(\text{VC})=1:1,1:2,2:1$ ]的体外抗氧化作用。每个实验重复 3 次,取平均值。

### 1.4 抑菌活性分析

#### 1.4.1 实验菌株活化与菌悬液制备

将供试菌接种在新鲜斜面培养基(牛肉膏蛋白胨斜面培养基:牛肉膏 $3\text{ g}$ ,蛋白胨 $10\text{ g}$ ,琼脂 $20\text{ g}$ ,氯化钠 $5\text{ g}$ ,水 $1000\text{ mL}$ )上,在 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养箱中活化培养 $24\text{ h}$ 。用接种环从斜面培养基上挑取菌种接种于 $10\text{ mL}$ 液体培养基(牛肉膏蛋白胨液体培养基:牛肉膏 $3\text{ g}$ ,蛋白胨 $10\text{ g}$ ,氯化钠 $5\text{ g}$ ,水 $1000\text{ mL}$ )中,在摇床中振荡培养 $24\text{ h}$ (培养温度 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,振荡速度 $110\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ),制得活化菌悬液,用灭菌生理盐水稀释至 $1\times 10^6\sim 1\times 10^7\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$ (备用)。

#### 1.4.2 最小抑菌浓度测定

采用二倍稀释法<sup>[13]</sup>测定茶多酚、VC 及其混合物[ $m(\text{茶多酚}):m(\text{VC})=1:1,1:2,2:1$ ]的最小抑菌浓度(minimum inhibitory concentration, MIC)。取 6 支灭菌试管并编号,在 1 号试管中加入 $1\text{ mL}$ 液体培养基,再加入 $1\text{ mL}$ 浓度为 $200\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的样品溶液,混合均匀;从 1 号试管中吸取 $1\text{ mL}$ 混合溶液加入 2 号试管,再加入等体积的液体培养基,混合均匀;以此类推,在 3,4,5 号试管中均加入 $1\text{ mL}$ 的前一试管混合溶液和 $1\text{ mL}$ 液体培养基。在 6 号试管中加入 $1\text{ mL}$ 灭菌生理盐水和等体积的液体培养基,作为对照。在 1~6 号试管中分别加入 $200\text{ }\mu\text{L}$ 活化菌悬液,塞上棉塞,在 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养 $16\sim 18\text{ h}$ ,观察试管中是否有菌落长出,从没有明显菌落生长的试管中吸取 $200\text{ }\mu\text{L}$ 液体,涂布在平板培养基上培养 $24\text{ h}$ ,观察是否有菌落长出,确定样品溶液 MIC 的范围。在该范围内再次设置样品浓度梯度,同上操作进一步确定 MIC。每组实验设 2 个重复,取平均值。

#### 1.4.3 抑菌圈直径测定

分别配制最小抑菌浓度的茶多酚及其与 VC 混合物[ $m(\text{茶多酚}):m(\text{VC})=1:1,2:1$ ]的溶液,采用牛津杯法<sup>[14]</sup>测定其抑菌圈直径。每组实验设 3 次重复,取平均值。

### 1.5 数据分析

采用 Excel 软件绘图,运用 SPSS 12.0 软件统计分析实验数据。多重比较采用 One-Way ANOVA 分析和最小显著差异(LSD)的  $t$  检验方法, $p<0.05$  表

示差异显著。

## 2 结果与讨论

### 2.1 茶多酚的鉴定与含量测定

汉中仙毫茶多酚提取物的三氯化铁颜色反应呈阳性,说明其中含有多酚成分。测定发现,提取物中多酚含量为  $39.04\% \pm 5.75\%$ 。

### 2.2 抗氧化活性

研究茶多酚、VC 及其混合物对 DPPH· 清除能力的影响,见图 1。可知在实验浓度范围内,茶多酚、VC 及其混合物 [ $m(\text{茶多酚}):m(\text{VC})=1:1, 1:2, 2:1$ ] 的 DPPH· 清除率随着样品浓度的升高而增加,说明茶多酚、VC 及其混合物均具有一定的 DPPH· 清除能力。建立茶多酚、VC 及其混合物的抗氧化活性及其量效关系的数学模型,见表 1。可知茶多酚与 VC 混合物的  $EC_{50}$  (半数有效浓度, 50% effective concentration) 值低于茶多酚、VC, 混合物中 VC 所占比例越高,其  $EC_{50}$  值也越低,提示

表 1 茶多酚、VC 及其混合物的抗氧化活性和量效关系数学模型

Tab. 1 Antioxidant capacity of tea polyphenols, VC, and their mixture and mathematical model of dose-effect relationship

样品种类	ABTS 实验			DPPH 实验		
	拟合方程	$R^2$	$EC_{50}/$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )	拟合方程	$R^2$	$EC_{50}/$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )
茶多酚	$y=0.0118x+0.0532$	0.9880	37.86	$y=0.1386x-0.2258$	0.9594	5.24
VC	$y=0.0087x+0.0727$	0.9878	49.12	$y=0.1017x-0.0255$	0.9706	5.17
$m(\text{茶多酚}):m(\text{VC})=1:1$	$y=0.0121x-0.0002$	0.9957	41.34	$y=0.1426x-0.0526$	0.9517	3.88
$m(\text{茶多酚}):m(\text{VC})=1:2$	$y=0.0088x+0.0298$	0.9751	53.43	$y=0.0812x+0.2131$	0.9969	3.53
$m(\text{茶多酚}):m(\text{VC})=2:1$	$y=0.0084x+0.0037$	0.9957	59.08	$y=0.1136x-0.0253$	0.9494	4.62

$x$  表示样品浓度,  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ;  $y$  表示自由基清除率, %;  $R^2$  表示相关系数;  $EC_{50}$  表示半效剂量。

进行茶多酚、VC 及其混合物对  $ABTS^+$ · 清除能力的研究,见图 2。可知在  $10\sim 50\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  浓度范围内,茶多酚、VC 及其混合物 [ $m(\text{茶多酚}):m(\text{VC})=1:1, 1:2, 2:1$ ] 对  $ABTS^+$ · 清除率随着样品浓度的升高而增加,呈现出剂量依赖性,说明茶多酚、VC 及其混合物均具有一定的  $ABTS^+$ · 清除能力。由表 1 可知,茶多酚的  $EC_{50}$  值低于 VC,两者以 1:1 质量比例混合时  $EC_{50}$  值也低于 VC,但是两者以 1:2, 2:1 质量比例混合时  $EC_{50}$  值高于 VC,提示 VC 与茶多酚以不同比例混合后对  $ABTS^+$ · 清除能力有一定的影响,但影响并不明显。 $ABTS^+$ · 既可以

VC 对茶多酚的 DPPH· 清除能力具有明显的增效作用。DPPH· 可以通过快速电子转移 (rapid electron transfer) 和慢速氢原子转移 (slow hydrogen atom transfer) 与抗氧化剂发生反应,酚类化合物的氢原子转移反应通常较慢,VC 的电子转移反应较快<sup>[15]</sup>,两者以适当比例混合时有助于促进其与 DPPH· 之间的氧化还原反应。

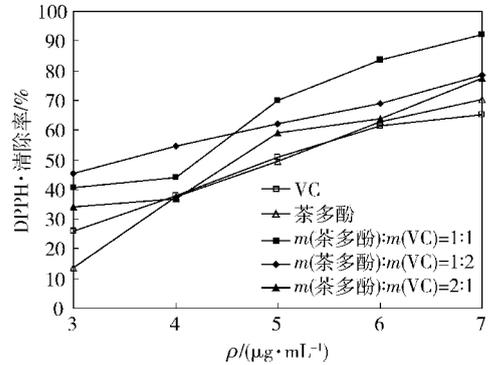


图 1 茶多酚、VC 及其混合物对 DPPH· 的清除能力

Fig. 1 DPPH· radical-scavenging ability of tea polyphenols, VC, and their mixture

通过电子转移被消除,也可以通过氢原子转移被消除,此外,  $ABTS^+$ · 还可与某些羟基化的芳香族化合物发生反应(但与芳香族化合物的抗氧化能力无关),这可能是造成 VC 与茶多酚以不同比例混合后对  $ABTS^+$ · 清除能力的影响不尽相同的原因<sup>[16]</sup>。由表 1 还可看出,样品浓度与  $ABTS^+$ · 清除活性之间量效关系的相关系数较高(0.9751~0.9957),说明数学模型的拟合度较高,样品浓度与抗氧化活性之间存在较高的相关性。

综上所述,茶多酚、VC 均具有较强的自由基清除活性,两者以特定比例混合后表现出一定的增效

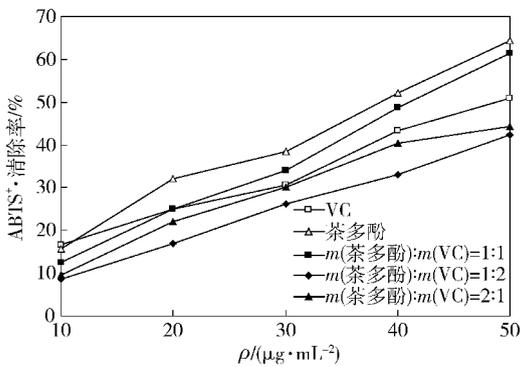


图2 茶多酚、VC及其混合物对 $ABTS^+ \cdot$ 的清除能力

Fig. 2  $ABTS^+ \cdot$  radical-scavenging ability of tea polyphenols, VC, and their mixture

作用。Majchrzak 等<sup>[17]</sup>研究发现,在红茶提取物中添加 VC 后抗氧化活性会有所升高。谢华等<sup>[18]</sup>发现,给原发性高尿酸血症伴脂代谢异常的男性患者同时补充茶多酚与 VC,可以显著降低血清丙二醛水平,改善机体的氧化应激状态。这些研究提示 VC 对茶多酚的抗氧化活性可能具有增效作用。Dai 等<sup>[19]</sup>认为,茶多酚中的表没食子儿茶素没食子酸酯((-)-epigallocatechin-3-gallate)可与活性氧分子发生氧化还原反应,产生苯氧基自由基,VC 可以还原苯氧基自由基,促使表没食子儿茶素没食子酸酯再生。这可能是茶多酚与 VC 混合物抗氧化活性较强的原因。

### 2.3 抑菌作用

#### 2.3.1 最小抑菌浓度

进行茶多酚、VC 及其混合物对大肠杆菌抑菌效果的研究,见表 2。可知 VC 在实验浓度范围内对大肠杆菌没有明显的抑制作用, $m$ (茶多酚)与 $m$ (VC)的 1:2 混合物对大肠杆菌的抑制作用较差,而 $m$ (茶多酚)及其与 $m$ (VC)的 1:1 和 2:1 混合物的抑菌活性较高,其 MIC 依次为 56,38,46  $mg \cdot mL^{-1}$ 。可以看出,茶多酚与 VC 以特定比例(1:1,2:1)混合后抑菌能力明显增强。

#### 2.3.2 抑菌圈

进行茶多酚与 VC 混合物对大肠杆菌最小抑菌浓度实验,见图 3。由图 3 的 MIC 实验可知, $m$ (茶多酚)及其与 $m$ (VC)的 1:1,2:1 混合物的抑菌活性较高,为了进一步确认其抑菌能力,又采用牛津杯法测定了抑菌圈直径。可以看出,当样品量在 100 ~ 250  $\mu L$  时,随着样品量的增加,抑菌圈直径也逐渐

表 2 大肠杆菌最小抑菌浓度实验结果

Tab. 2 Minimum inhibitory concentration against *Escherichia coli*

样品种类	$\rho$ (样品)/( $mg \cdot mL^{-1}$ )					
	0	38	46	56	60	70
茶多酚	+	+	+	-	-	-
VC	+	+	+	+	+	+
$m$ (茶多酚): $m$ (VC) = 1:1	+	-	-	-	-	-
$m$ (茶多酚): $m$ (VC) = 1:2	+	+	+	+	+	-
$m$ (茶多酚): $m$ (VC) = 2:1	+	+	-	-	-	-

+ 表示有菌生长, - 表示无菌生长。

增大。相对而言, $m$ (茶多酚)与 $m$ (VC)的 2:1 混合物以及茶多酚的抑菌能力较强。由表 2 和图 3 可知, $m$ (茶多酚)与 $m$ (VC)的 2:1 混合物的抑菌活性较高,明显高于 VC ( $p < 0.05$ ),略高于茶多酚,说明将 $m$ (茶多酚)与 $m$ (VC)以一定比例(2:1)混合能够增强其对大肠杆菌的抑菌能力。田元春<sup>[5]</sup>研究证明大剂量 VC 在体外可以抑制幽门螺旋杆菌。肖波等<sup>[7]</sup>和邢淑婕等<sup>[8]</sup>研究发现,茶多酚与 VC 以一定比例混合可以提高其对幽门螺旋杆菌的抑制活性。这些发现与本研究结果基本一致。茶多酚抑菌作用的机理十分复杂<sup>[20]</sup>,VC 可能是通过影响大肠杆菌体内氧化还原状态的方式发挥其对茶多酚抑菌能力的增效作用。

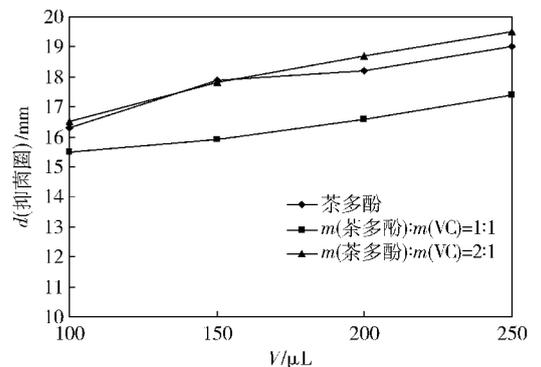


图3 大肠杆菌抑菌圈实验结果

Fig. 3 Diameter of inhibition zone against *Escherichia coli*

## 3 结语

汉中仙毫茶多酚与 VC 的混合物 [ $m$ (茶多酚): $m$ (VC) = 1:1,1:2,2:1] 具有显著的 DPPH·清除活性和一定的  $ABTS^+ \cdot$ 清除活性。茶多酚与 VC 混合物 [ $m$ (茶多酚): $m$ (VC) = 1:1,1:2,2:1] 的 DPPH·

清除率高于茶多酚、VC。 $m$ (茶多酚)与 $m$ (VC)的1:1混合物的 $ABTS^+$ ·清除活性高于VC。基于自由基清除活性与样品浓度之间量效关系构建的数学模型具有较高的拟合度。 $m$ (茶多酚)与 $m$ (VC)的2:1混合物对大肠杆菌的抑菌活性较高,略高于茶多酚。茶多酚与VC以特定比例混合后,自由基清除能力与抑菌活性均有较明显的增加。本研究为汉中仙毫茶的深度开发以及新型食品添加剂的研制提供了参考依据。

#### 参考文献:

- [1] HARA-KUDO Y, YANASAKI A, SASAKI M, et al. Antibacterial action on pathogenic bacterial spore by green tea catechins[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2005, 85(14): 2354 - 2361.
- [2] YANG C S, HONG J, HOU Z, et al. Green tea polyphenols: antioxidative and prooxidative effects[J]. *Journal of Nutrition*, 2004, 134(11): 3181.
- [3] OKUBO T, ISHIHARA N, OURA A, et al. *In vivo* effects of tea polyphenol intake on human intestinal microflora and metabolism[J]. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 1992, 56(4): 588 - 591.
- [4] 国家卫生和计划生育委员会. 食品添加剂使用标准: GB 2760—2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011. National Health and Family Planning Commission. The standard use of national food safety standards of food additives: GB 2760—2011[S]. Beijing: China Standard Press, 2011.
- [5] 田元春. 维生素C对幽门螺旋杆菌体外抑菌试验[J]. *药学实践杂志*, 2001, 19(2): 80.
- [6] 王岳飞, 徐平, 李磊, 等. 茶多酚与几种天然抗氧化物质的协同作用研究[J]. *茶叶科学*, 2010, 30(2): 109 - 114. WANG Y F, XU P, LI L, et al. Research on total antioxidant activity of tea polyphenols and other natural antioxidants[J]. *Journal of Tea Science*, 2010, 30(2): 109 - 114.
- [7] 肖波, 屈慧鸽, 黄清荣, 等. 茶多酚与维生素C混合抑制幽门螺杆菌的研究[J]. *茶叶科学*, 2006, 26(4): 295 - 298. XIAO B, QU H G, HUANG Q R, et al. Study on the inhibition of mixture of tea-polyphenol and vitamin C on *Helicobacter pylori*[J]. *Journal of Tea Science*, 2006, 26(4): 295 - 298.
- [8] 邢淑婕, 刘开华. 茶多酚与VC联合抑制牛肉干沙门氏菌研究[J]. *食品科技*, 2008, 33(11): 118 - 119. XING S J, LIU K H. Study on the inhibitive effect of mixture of tea polyphenol and vitamin C on *S. typhimurium* in beef jerky[J]. *Food Science and Technology*, 2008, 33(11): 118 - 119.
- [9] 郑海燕. 陕南绿茶中茶多酚的提取分离与抗氧化性研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2009. ZHENG H Y. Study on extraction and purification of tea polyphenols in Shannan green tea and its antioxidants[D]. Xi'an: Northwest A & F University, 2009.
- [10] 孙健. 茶多酚的定性定量分析方法及大孔吸附树脂纯化工艺条件优化的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2002.
- [11] 国家质量监督检验检疫总局. 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法: GB/T 8313 - 2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Determination of total polyphenols and catechins content in tea: GB/T 8313 - 2008[S]. Beijing: China Standard Press, 2008.
- [12] ZHANG H F, ZHANG X, YANG X H, et al. Microwave assisted extraction of flavonoids from cultivated *Epimedium sagittatum*: extraction yield and mechanism, antioxidant activity and chemical composition[J]. *Industrial Crops and Products*, 2013, 50(5): 857 - 865.
- [13] JOSHI S C, MATHELA C S. Antioxidant and antibacterial activities of the leaf essential oil and its constituents furanodienone and curzerenone from *Lindera pulcherrima* (Nees.) Benth. ex hook. f. [J]. *Nordisk Medicin*, 2012, 4(2): 80 - 84.
- [14] SHANG R, LIU Y, XIN Z, et al. Synthesis and antibacterial evaluation of novel pleuromutilin derivatives[J]. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 2013, 63(5): 231 - 238.
- [15] SCHAICH K M, TIAN X, XIE J. Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy: a critical evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC assays[J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, 14(1): 111 - 125.
- [16] ARTS M J T, DALLINGA J S, Voss H P, et al. A critical appraisal of the use of the trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay in defining optimal antioxidant structures[J]. *Food Chemistry*, 2003, 80(3): 409 - 414.
- [17] MAJCHRZAK D, MITTER S, Elmadfa I. The effect of

- ascorbic acid on total antioxidant activity of black and green teas[J]. *Food Chemistry*, 88(3): 447–451.
- [18] 谢华, 戢璐, 陈敏, 等. 茶多酚和维生素 C 联合补充对高尿酸血症伴脂代谢异常者的改善效果研究[J]. *营养学报*, 2010, 32(6): 575–578.
- XIE H, JI L, CHEN M, et al. Effect of tea polyphenols and vitamin C intervention on patients with hyperuricemia and dyslipidemia [J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2010, 32(6): 575–578.
- [19] DAI F, CHEN W F, ZHOU B. Antioxidant synergism of green tea polyphenols with  $\alpha$ -tocopherol and L-ascorbic acid in SDS micelles[J]. *Biochimie*, 2008, 90(10): 1499–1505.
- [20] MORIN M P, BEDRAN T B, FOURNIER-LARENTE J, et al. Green tea extract and its major constituent epigallocatechin-3-gallate inhibit growth and halitosis-related properties of *Solobacterium moorei*[J]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2015, 15(48): 1–11.
- [19] DAI F, CHEN W F, ZHOU B. Antioxidant synergism of

## Synergism of Antioxidant and Antibacterial Activities Between Hanzhongxianhao Tea Polyphenols and Vitamin C

TANG Yukuo, ZUO Congcong, LI Jiaxiao, LI Lu\*, ZHANG Huafeng\*

(College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

**Abstract:** Synergistic effect of vitamin C (VC) and Hanzhongxianhao tea polyphenols on *in vitro* antioxidant capacity of was investigated by DPPH· and ABTS<sup>+</sup>· assays. Antibacterial activity of the mixtures of tea polyphenols and VC against *Escherichia coli* was analyzed by broth dilution method and Oxford cup method. The mixtures of tea polyphenols and VC [ $m$  (tea polyphenols):  $m$  (VC) = 1:1, 1:2, 2:1] exhibited strong ability to scavenge DPPH·, and their EC<sub>50</sub> values were lower than those of tea polyphenols and VC. Moreover, the more VC the mixture contained, the lower EC<sub>50</sub> value was. EC<sub>50</sub> value of the mixture of tea polyphenols and VC [ $m$  (tea polyphenols):  $m$  (VC) = 1:1] for ABTS<sup>+</sup>· was slightly lower than that of VC. Mathematical model based on dose-effect relationship between antioxidant capacity and sample concentration possessed high goodness of fit. Minimum inhibitory concentrations against *Escherichia coli* of the mixtures of tea polyphenols and VC [ $m$  (tea polyphenols):  $m$  (VC) = 1:1, 2:1] were 38 and 46 mg·mL<sup>-1</sup>. Antibacterial activity of the mixture of tea polyphenols and VC [ $m$  (tea polyphenols):  $m$  (VC) = 2:1] was higher than those of VC and tea polyphenols due to its relatively large diameter of inhibition zone. After tea polyphenols were mixed with special quantity of VC, their free radical-scavenging abilities were slightly improved and antibacterial activities were notably increased.

**Keywords:** tea polyphenols; free radical; *Escherichia coli*; vitamin C; synergistic effect

(责任编辑:李 宁)