

绿茶萃取物对 N-亚硝基二乙胺体外合成的影响

金菁, 卢云浩, 何强*

(四川大学轻纺与食品学院, 成都 610065)

摘要: **目的** 研究绿茶萃取物对 N-亚硝基二乙胺体外合成的影响。**方法** 采用分级萃取法获得绿茶二氯甲烷萃取物、乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃取物和水提物, 利用高效液相色谱法研究各萃取物主要成分, 并在模拟胃液条件(37 °C, pH 3)下萃取物与 20 mmol/L 亚硝酸钠、40 mmol/L 二乙胺进行反应, 分析其体外对 N-亚硝基二乙胺(N-nitrosodiethylamine, NDEA)合成和 NO₂⁻清除的影响。**结果** 二氯甲烷萃取物主要成分为咖啡碱, 剩余水相中主要成分为多糖、蛋白质和氨基酸, 2 种萃取物对 NDEA 的合成无显著影响; 乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物主要成分为茶多酚, 能有效阻断 NDEA 的合成, 在 4 mg/mL 条件下阻断率分别为 51.9%和 45.7%, 其中 EGCG 含量与其阻断率呈显著正相关, 酸性降低和温度升高有利于其阻断作用; 乙酸乙酯萃取物在浓度低于 1.6 mg/mL 时可促进 NDEA 生成。**结论** 绿茶萃取物的主要有效成分为茶多酚, 能有效阻断 NDEA 合成, 在高浓度、强酸性环境和升温条件下阻断作用更强。

关键词: 亚硝胺; N-亚硝基二乙胺; 绿茶萃取物; 茶多酚

Effects of green tea extracts on the synthesis of N-nitrosodiethylamine *in vitro*

JIN Jing, LU Yun-Hao, HE Qiang*

(College of Light Industry, Textile and Food Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of green tea extracts on N-nitrosodiethylamine synthesis. **Methods** Green tea was extracted with different polarity solvents to obtain green tea dichloromethane extract, ethyl acetate extract, n-butanol extract and water extract. The constituents of the four extracts were analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC), and the extracts were reacted with 20 mmol/L NaNO₂ and 40 mmol/L diethylamine in simulated gastric solution (37 °C, pH 3) to study the effects on synthesis of N-nitrosodiethylamine (NDEA) and scavenging of NO₂⁻ *in vitro*. **Results** The main component of dichloromethane extract was caffeine, main components of water extract were carbohydrates, proteins and amino acids, and the 2 extracts had no significant effect on the synthesis of NDEA. The main component of ethyl acetate extract and n-butanol extract was polyphenols, which could effectively block the synthesis of NDEA. The blocking rates were respectively 51.9% and 45.7% with the concentration of 4 mg/mL, and it was positively correlated with the concentration of EGCG. The decrease of acidity and the increase of temperature were beneficial to its blocking effect. Ethyl acetate extract could promote NDEA formation at the concentration less than 1.6 mg/mL. **Conclusion** The main component in green tea is tea polyphenols, which can effectively block the synthesis of NDEA. The blocking effect was stronger under the conditions of high concentration, strong acidity and high temperature.

KEY WORDS: nitrosamine; N-nitrosodiethylamine; green tea extracts; tea polyphenol

*通讯作者: 何强, 教授, 主要研究方向为农产品加工及质量安全。E-mail: heq361@163.com

*Corresponding author: HE Qiang, Professor, State Key Laboratory of Agricultural Product Processing and Safety, Sichuan University, Chengdu 610065, China. E-mail: heq361@163.com

1 引言

N-亚硝胺和 N-亚硝基化合物是强致癌物, 通过使 DNA、RNA 和蛋白质发生甲基化或烷基化作用, 从而使机体产生癌变^[1]。在已测验的 130 多种 N-亚硝基化合物中, 90%具有致癌性^[2], 尤其对人类的胃癌、食道癌、膀胱癌及鼻咽癌具有高诱发性^[3,4]。饮食摄入的亚硝酸盐、硝酸盐可在人体内与胺类直接或间接发生亚硝化反应生成 N-亚硝胺, 从而增加患癌风险。因此, 通过抑制亚硝化反应来减少 N-亚硝胺的生成, 是控制其致癌的重要手段。

绿茶中含有多种天然活性成分, 研究报道表明绿茶具有抑制亚硝化反应、阻断 N-亚硝胺合成的作用^[5-7]。本研究采用分级萃取法对绿茶进行处理, 通过高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)研究各绿茶萃取成分对 N-亚硝胺合成的影响, 找出绿茶中起阻断作用的主要有效成分, 并探讨反应物浓度、pH 值、温度对阻断作用的影响, 以期揭示其作用机制, 为绿茶活性成分在食品行业尤其是食品安全方面的应用提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 试剂与仪器

N-亚硝基二乙胺(N-nitrosodiethylamine, NDEA, 纯度为 99%, 安耐吉化学试剂公司); Griess 试剂(I: 1.0%对氨基苯磺酸, II: 0.1%盐酸萘乙二胺)(分析纯, 成都科龙化工试剂厂); 乙腈、冰乙酸(色谱纯, 成都科龙化工试剂厂); 亚硝酸钠、二乙胺、乙醇、二氯甲烷、乙酸乙酯、正丁醇等(分析纯, 成都科龙化工试剂厂)。

绿茶分级萃取物: 绿茶(市售, 产地福建)粉碎, 用 60%乙醇溶液 70 °C 水浴浸提 90 min, 旋转蒸发除去乙醇后依次用等体积二氯甲烷、乙酸乙酯、正丁醇溶剂进行萃取, 浓缩冻干得到 a. 二氯甲烷萃取物、b. 乙酸乙酯萃取物、c. 正丁醇萃取物、d. 剩余水提物。

SPD-M20A 高效液相色谱仪(日本岛津公司); UV-1800BPC 紫外-可见分光光度计(上海美谱达仪器有限公司); IKA-RV10 旋转蒸发器(德国 IKA 公司); LGJ-30F 冷冻干燥机(北京松源华兴科技发展有限公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 亚硝酸钠检测

基于 Griess 法^[1]在 540 nm 波长处获得亚硝酸盐标准曲线: $Y=0.03398X+0.00117(r^2=0.9994)$, X 为亚硝酸钠浓度($\mu\text{g/L}$), Y 为吸光度 A , 线性范围为 0~12.5 $\mu\text{g/L}$ 。取 0.1 mL 反应物溶液稀释至 20 mL, 加入 1 mL Griess 试剂 I, 混匀静置 3 min 后加入 1 mL Griess 试剂 II, 于 540 nm 处测定样品吸光度 A_i , 空白样品吸光度 A_0 , 亚硝酸钠清除率公式: 清除率% $=(A_0-A_i)/A_0\times 100\%$ 。

2.2.2 HPLC 分析

NDEA 检测条件^[8]: 色谱柱: Agela Innoval C₁₈(250 mm×4.6 mm, 5 μm); 检测器: 二极管阵列检测器; 检测波长 254 nm; 等度洗脱条件为: 2.0%冰乙酸(A): 乙腈(B)(70:30, V:V); 流速为 1.0 mL/min; 柱温为 30 °C; 进样量为 10 μL ; 待测样品用 0.45 μm 微孔滤膜过滤。测定样品中 NDEA 浓度(c), 空白样品中 NDEA 浓度(c_0), 以 NDEA 相对生成量 c/c_0 表征各萃取物对 NDEA 合成的影响。若 $c/c_0 > 1$, 表示萃取物促进了 NDEA 合成; 反之 $c/c_0 \leq 1$, 表示萃取物阻断 NDEA 合成, 相对生成量越小, 表示阻断作用越强, 并计算阻断率: 阻断率% $=(c_0-c)/c_0\times 100\%$ 。

绿茶分级萃取物 HPLC 初步分析条件^[9-11]: 检测波长为 280 nm、380 nm(280 nm 检测茶多酚、咖啡碱、蛋白质, 380 nm 检测茶色素); 流动相为 2.0%冰乙酸(A)和乙腈(B); 梯度洗脱程序: 0~10min, 8%B; 10~20 min, 8%B~18%B; 20~25 min, 18%B; 25~35 min, 18%B~28%B; 流速为 1.0 mL/min; 柱温为 30 °C; 进样量为 10 μL , 待测样品用 0.45 μm 微孔滤膜过滤。

2.2.3 绿茶分级萃取物对 NDEA 生成的影响

本实验模拟胃液条件, 在 25 mL 刻度带塞试管中分别加入 0.5 mL 1 mol/L NaNO₂ 溶液、1 mL 1 mol/L 二乙胺溶液和 5 mL 各萃取物溶液(20 mg/mL, 以超纯水配制), 混匀后以 pH=3 的柠檬酸-柠檬酸钠缓冲液定容至 25 mL, 在 37 °C 恒温水浴中反应 2 h 后, 加入 1 mL 20 mmol/L 对氨基苯磺酸溶液终止亚硝化反应, 测定样品组和空白组的 NDEA 生成量并计算 NDEA 相对生成量。

在此实验基础上, 另外分别设置萃取物溶液浓度梯度(0.4、0.8、1.6、2.4、3.2、4.0 mg/mL)、pH 值梯度(2、3、4、5、6)、温度梯度(4、25、37、60、100 °C)进行单因素对照实验, 测定 NDEA 相对生成量和亚硝酸钠清除率, 对反应影响因素进行探讨。

2.3 数据分析

采用 Origin 8.0 软件作图, 运用 SPSS 软件进行相关性分析和显著性分析($P < 0.05$ 为显著, $P < 0.01$ 为极显著)。

3 结果与分析

3.1 绿茶分级萃取物成分分析

HPLC 初步分析结果表明, 绿茶二氯甲烷萃取物主要成分为咖啡碱, 含量占干物质的 88.5%。乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物主要成分为茶多酚, 含量达干物质的 92.6%和 77.1%, 其中表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)含量最高, 表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG)和表儿茶素(epicatechin, EC)含量次之, 三者含量占比见表 1。2 种萃取物 EC 与 ECG 含量无显著差异($P > 0.05$), 而前者 EGCG 含量显著高于后

表 1 绿茶萃取物中茶多酚主要种类及含量占比(% , n=3)
Table 1 Species and contents of tea polyphenols in green tea extracts (% , n=3)

样品名称	EGCG	ECG	EC	茶多酚
乙酸乙酯萃取物	60.1±3.2 ^a	16.1±1.1 ^a	14.2±1.4 ^a	92.6±4.1 ^a
正丁醇萃取物	46.3±2.2 ^b	16.4±1.4 ^a	12.0±2.1 ^a	77.1±3.5 ^b

注: 同列数据字母相同表示差异不显著($P > 0.05$), 字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

者($P < 0.05$)。水提取物中主要含有多糖、蛋白质等, 还有少量的水溶性茶色素。

3.2 绿茶分级萃取物对 NDEA 合成的影响

20 mmol/L NaNO₂、40 mmol/L 二乙胺与 4 mg/mL 萃取物溶液在 pH 3、37 °C 条件下反应 2 h, 观察绿茶萃取物溶液对 NDEA 生成的影响, 结果如图 1 所示。绿茶乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物的相对生成量 $c/c_0 < 1$, 分别为(0.480±0.037)和(0.543±0.016), 都能够抑制 NDEA 的生成, 表明两者含有阻断 NDEA 合成的有效成分。成分分析表明这 2 种萃取物的主要成分均为茶多酚, 推断茶多酚是绿茶中起阻断作用的主要有效成分。这一结果与吴永宁等^[12]报道的绿茶对亚硝基吗啉起阻断作用的有效成分为茶多酚的研究结果一致。茶多酚在低浓度促进亚硝胺生成, 高浓度抑制亚硝胺生成^[13,14], 本实验中也发现上述 2 种萃取物有相似的反应现象, 证明了茶多酚能够影响 NDEA 的体外合成。二氯甲烷萃取物和剩余水提取物的 NDEA 相对生成量 c/c_0 分别为 (1.016±0.003) 和 (1.038±0.054), 没有明显阻断或促进效果, 表明两者主要成分对 NDEA 合成无显著影响。

由表 2 可知, 2 种萃取物的 NDEA 阻断率与 EGCG 含量有显著相关性($r=0.902$, $P < 0.05$), 说明 EGCG 含量对萃取物阻断作用有显著影响。有研究也表明 EGCG 是绿茶清除和抑制亚硝化前体物 NO 的主要成分^[14], 阻断亚硝化反应能力以 EGCG 最强, EGC 和 ECG 次之, EC 较差^[7,12]。基于此, 可以推断两者阻断效果的差异主要源于 EGCG 的含量差异, 说明茶多酚的种类和含量差异会影响茶叶阻断亚硝化反应的能力。

3.3 浓度对萃取物阻断效果的影响

浓度对萃取物清除 NO₂⁻和 NDEA 相对生成量的影响见图 2, 由图 2 可知, 在 37 °C、pH 3、反应 2 h 的条件下, 乙酸乙酯萃取物对 NO₂⁻的清除效果随萃取物浓度的增加而增强, 当浓度增加到 1.6 mg/mL 时, 清除率趋于平缓, 达到 (72.7±0.4)%。萃取物的浓度 > 1.6 mg/mL 时, NDEA 相对生成量 $c/c_0 \leq 1$, 体现出阻断 NDEA 合成的作用, 效果随萃取物浓度的增加而增强; 但当浓度 < 1.6 mg/mL 时, NDEA 相对生成量 $c/c_0 > 1$, 表现出促进 NDEA 合成的现象, 萃取物浓度为 0.8 mg/mL 时促进效果最明显。

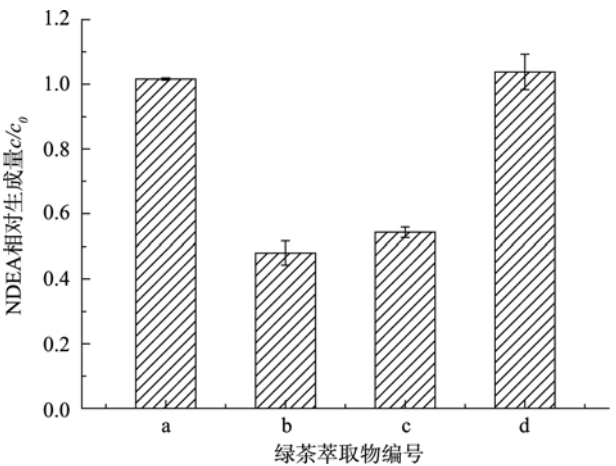


图 1 绿茶萃取物对 NDEA 生成的影响(n=3)
Fig. 1 Effect of green tea extracts on NDEA synthesis (n=3)
a.二氯甲烷萃取物; b.乙酸乙酯萃取物; c.正丁醇萃取物; d.剩余水提取物

表 2 NDEA 阻断率与 EGCG 含量相关性分析(n=3)
Table 2 Correlation between the blocking rate of NDEA and the contents of EGCG (n=3)

样品名称	乙酸乙酯萃取物	正丁醇萃取物
阻断率%	51.9±2.6	45.7±0.2
EGCG 含量占比%	60.1±3.2	46.3±2.2
相关性 r	0.902	
显著性 P	0.014	

乙酸乙酯萃取物主要成分为茶多酚, 茶多酚在酸性条件下会与 NO₂⁻发生氧化还原反应生成醌类化合物, 先于胺类与 NO₂⁻结合, 通过清除 NO₂⁻来阻断亚硝化反应, 抑制 N-亚硝胺的生成^[16]。但茶多酚被 NO₂⁻氧化生成的醌类化合物不稳定, 会继续与 NO₂⁻反应生成亚硝基酚, 亚硝基酚可转化成 1 种同分异构的脲类衍生物^[17], 这种脲类衍生物又能与亚硝酸继续反应, 生成 1 种亚硝化反应促进物, 该物质可能会促进 N-亚硝胺生成^[18]。当反应液中的 NO₂⁻过量时, 茶多酚生成的亚硝基酚浓度大大上升, 并与过量的 NO₂⁻生成更多的亚硝化促进物, 促进物底物浓度的增大加快了其与仲胺生成 N-亚硝胺的反应速率, 从而促进了 N-亚硝胺的合成。

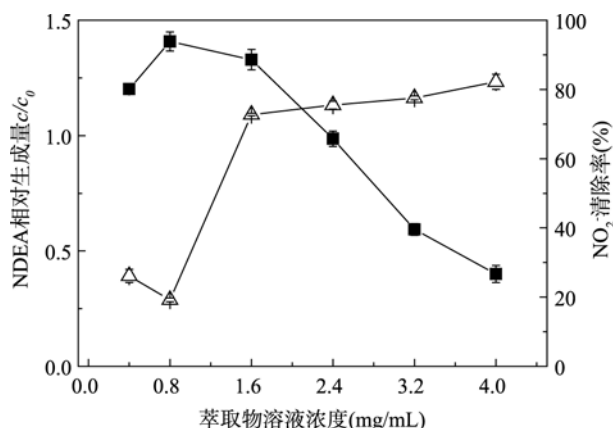


图2 浓度对萃取物清除 NO_2^- 和NDEA相对生成量的影响($n=3$)

Fig. 2 Effect of concentration of green tea extracts on NO_2^- scavenging and NDEA synthesis ($n=3$)
■: NDEA 相对生成量; △: NO_2^- 清除率

3.4 pH 值对萃取物阻断效果的影响

pH 值对萃取物清除 NO_2^- 和NDEA相对生成量的影响见图3,由图3可知,在4 mg/mL 萃取物溶液、37 °C 反应2 h的条件下,乙酸乙酯萃取物对 NO_2^- 的清除效果随pH值减小而逐渐增强,说明酸性条件有利于萃取物的清除作用。在pH 2、pH 3条件下,NDEA生成较少,茶多酚的酚羟基在酸性条件下有更高的稳定性,体现出更强的抗氧化活性,而亚硝酸钠在低pH值条件下与 H^+ 结合生成亚硝酸,易被酚类化合物还原成非亚硝化反应前体物质的 $\text{NO}^{[19]}$,或与酚类化合物结合从而降低亚硝酸根离子含量,阻断N-亚硝胺合成。而在pH 4条件下,NDEA相对生成量有一个明显增加,这可能是因为茶多酚的结构中存在间位酚羟基结构,有研究就表明间苯二酚与亚硝胺前体物反应生成的催化产物能改变生成亚硝胺的最适pH,从pH 3改变至pH 4^[18]。而在pH 5、pH 6条件下,由于多酚在该条件下稳定性不如强酸性条件^[8],所以其对亚硝化反应发挥的作用减弱。

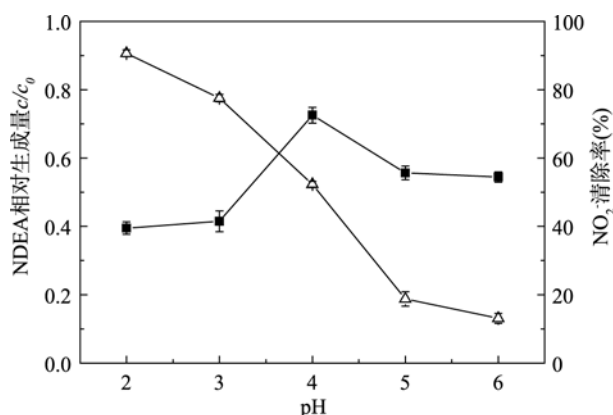


图3 pH 值对萃取物清除 NO_2^- 和NDEA相对生成量的影响($n=3$)

Fig. 3 Effect of pH value of green tea extracts on NO_2^- scavenging and NDEA synthesis ($n=3$)
■: NDEA 相对生成量; △: NO_2^- 清除率

3.5 温度对萃取物阻断效果的影响

实验在4 °C模拟食品冷藏、25 °C模拟室温储存、37 °C模拟人体体温、60 °C和100 °C模拟热加工和高温处理的条件下,分别考察在食品加工贮藏环境下和人体中乙酸乙酯萃取物对亚硝酸盐清除和NDEA阻断的效果。由图4可知,在4 mg/mL 萃取物溶液、pH 3、反应2 h的条件下, NO_2^- 清除率随温度升高而逐渐上升;NDEA相对生成量随温度升高而下降,在100 °C时相对生成量低于0.1,即阻断率达到90%以上。有研究表明,温度每上升10 °C,N-亚硝胺的生成速率就增加1倍^[20],而萃取物的NDEA阻断率随温度升高而上升,推断在高温条件下,茶多酚对NDEA合成的抑制主要源于对亚硝酸盐的清除作用。

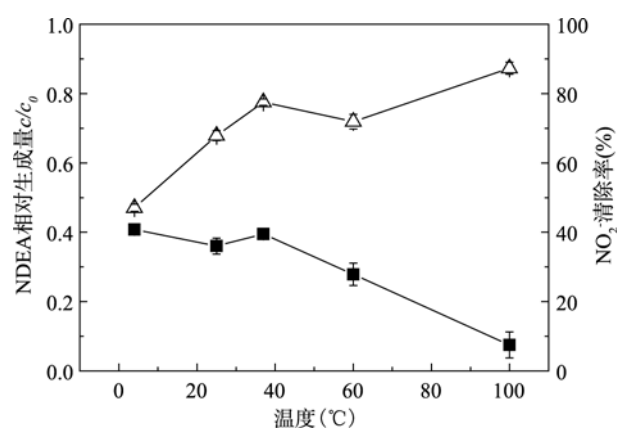


图4 温度对萃取物清除 NO_2^- 和NDEA相对生成量的影响($n=3$)

Fig. 4 Effect of temperature of green tea extracts on NO_2^- scavenging and NDEA synthesis ($n=3$)
■: NDEA 相对生成量; △: NO_2^- 清除率

4 结 论

本研究通过分级萃取法获得了绿茶4种不同萃取组分,基于构效关系研究了绿茶成分对N-亚硝胺体外合成的影响。结果表明绿茶所含的茶多酚是其阻断NDEA合成的主要有效成分,并分析发现EGCG含量与绿茶萃取物的阻断作用存在明显关系,EGCG含量越高,其阻断效果越强,即EGCG可能是绿茶起阻断作用的主要茶多酚物质。反应物的浓度、pH和温度也会明显影响N-亚硝胺阻断作用,实验发现在一定的亚硝酸盐浓度下,萃取物在低浓度时表现出促进亚硝胺合成作用,高浓度表现阻断作用;pH降低和温度升高能够增强绿茶萃取物的阻断效果。

参考文献

- [1] 姜慧萍. 黄酮类化合物体外抑制N-亚硝基二乙胺生成的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2009.
Jiang HP. Study on inhibitory effects of N-nitrosodiethylamine formation in vitro [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2009.
- [2] 吴彬影, 赵阳, 王剑清, 等. 茶多酚对外源性亚硝酸盐清除作用的研究

- [J]. 癌变·畸变·突变, 2010, 22(6): 473–476.
- Wu BZ, Zhao Y, Wang JQ, *et al.* The effects of tea polyphenols on eliminating exogenous nitrite [J]. *Carcinog, Teratog, Mutag*, 2010, 22(6): 473–476.
- [3] 蔡鲁峰, 杜莎, 谭雅, 等. N-亚硝基化合物的危害及其在体内外合成和抑制的研究进展[J]. *食品科学*, 2016, 37(5): 271–277.
- Cai LF, Du S, Tan Y, *et al.* Hazard of N-nitrosocompounds and its research progress of synthesis and inhibition *in vitro* and *in vivo* [J]. *Food Sci*, 2016, 37(5): 271–277.
- [4] 张文敏. N-亚硝基化合物在动物及人体内的合成[J]. *国外医学: 卫生学分册*, 1981, (2): 78–81.
- Zhang WM. Synthesis of N-nitroso compounds in animals and human body [J]. *Foreign Med Sci: Hyg*, 1981, (2): 78–81.
- [5] Masuda S, Uchida S, Terashima Y, *et al.* Effect of green tea on the formation of nitrosamines, and cancer mortality [J]. *J Health Sci*, 2006, 52(3): 211–220.
- [6] 钟希琼, 梁少珊, 蔡绮纯, 等. 几种茶叶冲泡液对亚硝化反应抑制作用比较[J]. *食品科技*, 2014, 39(3): 45–48.
- Zhong XQ, Liang SS, Cai QC, *et al.* Effect of tea infusions on inhibition of nitrosification [J]. *Food Sci Technol*, 2014, 39(3): 45–48.
- [7] Tanaka K, Hayatsu T, Negishi T, *et al.* Inhibition of N-nitrosation of secondary amines *in vitro* by tea extracts and catechins [J]. *Mutat Res/Genetic Toxicol Environ Mutagen*, 1998, 412(1): 91–98.
- [8] 李学理. 二乙基亚硝胺形成及植物多酚对其阻断作用机理研究[D]. 成都: 四川大学, 2016.
- Li XL. Study on the Formation of N-nitrosodiethylamine (NDEA) and the inhibition effect of plant polyphenols [D]. Chengdu: Sichuan University, 2016.
- [9] 王增明, 郭庆东, 谢芳, 等. HPLC 测定茶多酚中儿茶素类及咖啡因含量[J]. *中国药学杂志*, 2011, 46(21): 1674–1676.
- Wang ZM, Guo QD, Xie F, *et al.* Determination of catechins and caffeine in tea polyphenols by HPLC [J]. *J Chin Pharm*, 2011, 46(21): 1674–1676.
- [10] 刘丽霞. 茶叶中 6 种主要儿茶素的高效液相色谱方法建立及应用[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
- Liu LX. The establishment and application of DAD-HPLC method for six major catechins in tea [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2009.
- [11] 李大祥, 宛晓春, 刘莉华, 等. 茶色素中茶黄素的 HPLC 定量[J]. *茶叶科学*, 2004, 24(2): 124–128.
- Li DX, Wan XC, Liu LH, *et al.* HPLC quantitation of the aflavins in tea pigments [J]. *J Tea Sci*, 2004, 24(2): 124–128.
- [12] 吴永宁, 王淮洲, 李钰声, 等. 绿茶中阻断亚硝胺合成的有效成分的分
- 离鉴定[J]. *卫生研究*, 1993, 22(3): 157–161.
- Wu YN, Wang WZ, Li YS, *et al.* Separation and identification of active constituents in green tea for blocking N-nitrosamine formation [J]. *J Hyg Res*, 1993, 22(3): 157–161.
- [13] Nakamura M, Kawabata T. Effect of Japanese green tea on nitrosamine formation *in vitro* [J]. *J Food Sci*, 2010, 46(1): 306–307.
- [14] 李玲, 张余, 周光宏, 等. 植物多酚对模拟胃酸体系中亚硝酸盐清除能力与亚硝胺生成的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2013, 36(3): 111–116.
- Li L, Zhang C, Zhou GH, *et al.* Effects of polyphenols on nitrite scavenging and N-nitrosamine formation in simulated gastric acid [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2013, 36(3): 111–116.
- [15] Nakagawa T, Yokozawa T. Direct scavenging of nitric oxide by green tea [J]. *Food Chem Toxicol*, 2002, 40(12): 1745–1750.
- [16] 吴永宁, 王淮洲. 食物中酚类对亚硝胺体内外合成的影响[J]. *国外医学: 卫生学分册*, 1985, (5): 282–285.
- Wu YN, Wang WZ. Effects of polyphenols from food on N-nitrosamine formation *in vitro* and *vivo* [J]. *Foreign Med Sci: Hyg*, 1985, (5): 282–285.
- [17] Panzella L, Manini P, Napolitano A, *et al.* The acid-promoted reaction of the green tea polyphenol epigallocatechingallate with nitrite ions [J]. *Chem Res Toxicol*, 2005, 18(18): 722–729.
- [18] Walker EA, Pignatelli B, Castegnaro M, *et al.* Catalytic effect of p-nitrosophenol on the nitrosation of diethylamine [J]. *J Agric Food Chem*, 1978, 27(2): 393–396.
- [19] Lu M-J, Chen C. Enzymatic tannase treatment of green tea increases *in vitro* inhibitory activity against N-nitrosation of dimethylamine [J]. *Proc Biochem*, 2007, 42(9): 1285–1290.
- [20] Foreman JK, Goodhead K. The formation and analysis of N-nitrosamines [J]. *J Sci Food Agric*, 1975, 26(11): 1771–1783.
- (责任编辑: 姚 菲)

作者简介



金 菁, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品加工贮藏保鲜技术。
E-mail: jinj698@163.com



何 强, 教授, 主要研究方向为农产品加工及质量安全。
E-mail: heq361@163.com