

模拟体外消化评定超微绿茶粉的冲泡饮用效果

Evaluation of the brewing effect of ultrafine green tea powder by simulated in vitro digestion

周 尧 童华荣

ZHOU Yao TONG Hua-rong

(西南大学食品科学学院, 重庆 400715)

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

摘要:测定了超微绿茶粉模拟体外消化前后多种物质的释放情况。结果表明,超微绿茶粉在体外消化过程中,游离氨基酸、总酚、总黄酮及大部分儿茶素组分释放量有所减少;咖啡碱释放量保持不变;可溶性蛋白、没食子酸、儿茶素没食子酸酯、没食子儿茶素、没食子儿茶素没食子酸酯、异槲皮素的释放量有所增加,不可萃取多酚有所释放。说明冲泡饮用超微绿茶粉有利于提高人体对茶叶的综合利用率。

关键词:超微绿茶粉;体外消化;儿茶素;多酚;可溶性蛋白

Abstract: The release of various substances before and after in vitro digestion of ultrafine green tea powder was measured. The results showed that the release of free amino acids, total phenols, total flavones and most catechins declined during the in vitro digestion of ultrafine green tea powder; caffeine remained unchanged; The release of soluble protein, gallic acid, catechin gallate, gallocatechin, gallocatechin gallate, and isoquercetin increased. The non-extractable polyphenols were released. Brewing and drinking ultrafine green tea powder are beneficial to improve the comprehensive utilization of tea by the human body.

Keywords: ultrafine green tea powder; in vitro digestion; catechins; polyphenols; soluble protein

绿茶含有丰富的生物活性化合物^[1], 是最受欢迎的饮料之一^[2]。超微绿茶粉由茶树鲜叶经杀青、揉捻、烘干、初制、杀菌等工序, 再利用超微粉碎技术制成, 最大限度地保持了绿茶原有的色香味品质和各种天然成分, 具有良好的分散性、溶解性、吸附性、化学活性和生物活性^[3]。

基金项目:重庆市现代山地特色高效农业茶叶产业技术体系(编号: 2019-6, 2018-6)

作者简介:周尧, 男, 西南大学在读硕士研究生。

通信作者:童华荣(1963—), 男, 西南大学教授, 博士。

E-mail: huart@swu.edu.cn

收稿日期:2020-05-26

目前, 有关超微绿茶粉的研究多集中于相关食品饮料的开发应用^[4-7], 其体外消化研究相对较少, 如李季^[6]建立了胃消化模型, 但未研究肠消化; 舒阳^[8]研究了体外消化对不同粒径绿茶粉主要功能成分溶出量的影响, 但未研究蛋白质、氨基酸、总黄酮及儿茶素等物质的动态溶出情况。研究拟通过测定超微绿茶粉在消化前及模拟胃、肠两个消化阶段中蛋白质、氨基酸、茶多酚、没食子酸、儿茶素、咖啡碱、总黄酮等多种物质的释放量, 以评定超微绿茶粉的冲泡饮用效果, 旨在为合理利用超微绿茶粉提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

超微绿茶粉: 800 目以上, 绍兴御茶村茶业有限公司; 胃蛋白酶(15 000 U/g)、胰酶(4 000 U/g): 上海阿达玛斯试剂有限公司;

猪胆盐: 胆酸含量 $\geq 65\%$, 北京索莱宝科技有限公司; 其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

高效液相色谱: U3000 型, 赛默飞世尔科技(中国)有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱: DHG-9070A 型, 上海精宏实验设备有限公司;

电热恒温水浴锅: HWS-26 型, 上海齐欣科学仪器有限公司;

台式高速冷冻离心机: TGL20M 型, 常州金坛良友仪器有限公司;

电子天平: FB224 型, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司;

紫外—可见分光光度计: UV2400 型, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 水分测定 采用恒重法。

1.3.2 模拟体外消化 根据文献[9—11]稍作修改,用胃蛋白酶和 0.1 mol/L HCl 配制模拟胃液(≥ 300 U/mL),用胰酶、猪胆盐和 1 mol/L NaHCO_3 配制模拟肠液(胰酶 25 mg/mL+猪胆盐 4 mg/mL)。分别取 0.2 g 超微绿茶粉于离心管中,各加 10 mL 沸水冲泡,冷却后置于 37 °C 水浴中。在模拟体外消化前先取一支离心管于 8 000 r/min 离心 10 min,取上清液分析。

(1) 模拟胃消化:先用 3 mol/L HCl 将 pH 值调至 2.5,然后加入 100 μL 模拟胃液,分别在 5, 10, 15, 30, 60 min 时取出一支离心管,沸水浴 5 min 灭酶,冷却,离心,取上清液分析。

(2) 模拟肠消化:超微绿茶粉经模拟胃消化 60 min 后,先用 1 mol/L NaHCO_3 将 pH 值调至 7.5,然后加入 1 mL 模拟肠液,分别在模拟肠消化 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180 min 时取出一支离心管,沸水浴灭酶,离心,取上清液分析。重复 3 次模拟体外消化。

1.3.3 可溶性蛋白测定 采用考马斯亮蓝法,以蛋白质浓度(mg/mL)为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线,得回归方程 $y = 6.6657x + 0.025$, $R^2 = 0.9921$ 。

1.3.4 游离氨基酸测定 参照 GB/T 8314—2013 的茚三酮比色法,以 L-谷氨酸浓度(mg/mL)为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线,得回归方程 $y = 0.96x - 0.1474$, $R^2 = 0.9346$ 。

1.3.5 茶多酚测定 采用福林酚法,以没食子酸浓度($\mu\text{g/mL}$)为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线,得回归方程 $y = 0.123x - 0.0118$, $R^2 = 0.9963$ 。

1.3.6 没食子酸、儿茶素和咖啡碱测定 样品过 0.45 μm 滤膜后用高效液相色谱测定。色谱柱: Ascentis RP-Amide 液相色谱柱(25 cm $\times$ 4.6 mm, 5 μm);流动相 A 为 2% 冰乙酸;流动相 B 为纯乙腈;进样量 10 μL ;流速 1 mL/min;柱温 35 °C;检测波长 278 nm。

1.3.7 总黄酮测定 根据 Gursoy 等^[12]的方法稍作修改,吸取待测样品 1 mL,分别加入 5% 亚硝酸钠 1 mL, 5% AlCl_3 2 mL,混匀。避光保存 10 min,以试剂空白溶液作参比,测定 415 nm 处吸光度。以芦丁浓度(mg/mL)为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线,得回归方程 $y = 4.9019x - 0.0246$, $R^2 = 0.9992$ 。

1.4 数据统计与分析

结果以($\bar{X} \pm SD$)表示。利用 Excel 2013 软件进行数据整理及计算,采用 IBM SPSS Statistics 19.0 软件进行显著性分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与讨论

2.1 超微绿茶粉水分含量

试验测得绿茶粉水分含量为(4.41 ± 0.04)%,符合最适贮藏条件^[6],表明试验所用超微绿茶粉保存较好,品质稳定,结果可靠。

2.2 可溶性蛋白释放情况

由图 1 可知,消化前可溶性蛋白释放量占茶粉干重的 0.7% 左右,与模拟胃消化阶段相差不大,表明超微绿茶粉在模拟胃消化环境中可溶性蛋白释放稳定。茶叶中蛋白质含量丰富,但经冲泡进入茶汤中的蛋白质很少,仅占茶叶干重的 0.2%~0.6%^[13]。模拟肠消化 5 min 后,可溶性蛋白释放量迅速增加,最多增加到 15.38 mg/g,表明冲泡饮用超微绿茶粉有利于提高人体对茶叶中蛋白质的利用率。

2.3 游离氨基酸释放情况

由图 2 可知,超微绿茶粉在体外消化前与模拟胃消化阶段中的游离氨基酸释放量相差不大,大约占茶粉干重的 7.5%,茶叶中游离氨基酸含量一般占干物质总量的 1%~4%,有的高达 7% 左右^[13],表明在模拟胃消化中游离氨基酸的释放较为稳定,与李季^[6]的研究结果一致。模拟肠消化 15 min 内,游离氨基酸释放量显著减少,最终减至 49.77 mg/g,可能与 pH 值的改变有关,表明模拟肠消化环境会减少游离氨基酸的释放。

2.4 茶多酚释放情况

由图 3 可知,超微绿茶粉在模拟胃消化阶段中的茶多酚释放量与消化前水平相差不大,而在模拟肠消化阶段显著降低,与舒阳^[8]的研究结果一致。茶多酚是茶叶

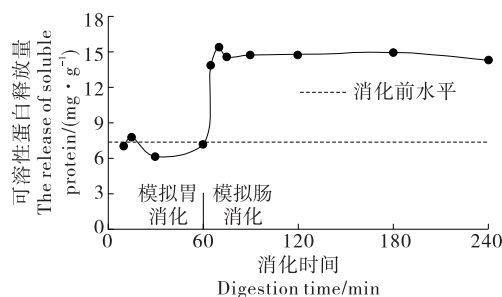


图 1 超微绿茶粉体外消化前及消化过程中可溶性蛋白释放量

Figure 1 The release of soluble protein before and during in vitro digestion of ultrafine green tea powder

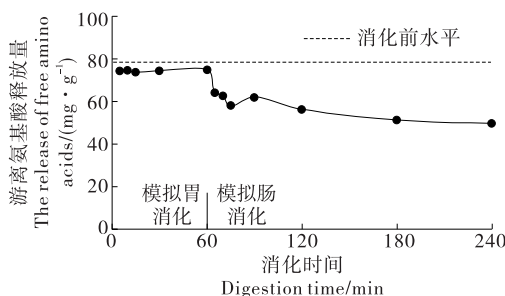


图 2 超微绿茶粉体外消化前及消化过程中游离氨基酸释放量

Figure 2 The release of free amino acids before and during in vitro digestion of ultrafine green tea powder

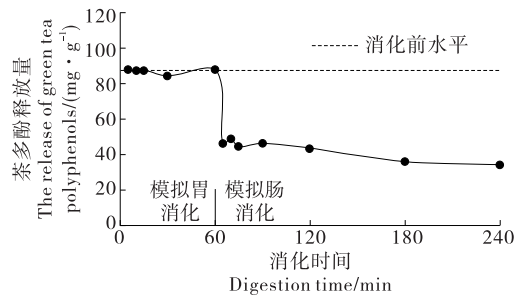


图 3 超微绿茶粉体外消化前及消化过程中茶多酚释放量

Figure 3 The release of green tea polyphenols before and during in vitro digestion of ultrafine green tea powder

中所有多酚类物质及其衍生物的总称,在酸性环境中较稳定,但在碱性、光照、潮湿条件下易氧化聚合形成有色物质^[13]。因此在模拟胃消化阶段超微绿茶粉茶多酚释放量稳定,而在模拟肠消化环境中部分被氧化从而导致释放量减少。

2.5 高效液相色谱

高效液相色谱的出峰顺序为没食子酸(GA)、没食子儿茶素(GC)、咖啡碱(CAF)、表没食子儿茶素(EGC)、儿茶素(C)、表儿茶素(EC)、没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、儿茶素没食子酸酯(CG)。

由表 1 可知,超微绿茶粉 GC 和 GCG 的释放量在模拟胃消化阶段显著高于消化前,CG 的释放量在消化前与

表 1 超微绿茶粉体外消化前及消化过程中没食子酸、儿茶素和咖啡碱释放量[†]

Table 1 The release of gallic acid, catechins and caffeine before and during in vitro digestion of ultrafine green tea powder

阶段	消化时间/min	GA/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	GC/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	CAF/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	EGC/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	C/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
胃	消化前	261.95±9.25 ^g	598.91±41.17 ^c	29.60±0.79 ^a	10.48±0.95 ^a	—
	5	264.64±14.37 ^g	833.04±16.06 ^a	29.30±0.52 ^a	10.78±0.51 ^a	—
	10	275.04±19.75 ^g	759.32±62.95 ^{ab}	30.05±1.68 ^a	10.14±0.92 ^a	—
	15	261.59±9.29 ^g	806.09±62.72 ^a	29.41±0.63 ^a	10.68±0.63 ^a	—
	30	247.42±9.75 ^g	679.12±23.65 ^b	27.04±1.65 ^b	9.43±0.35 ^a	—
	60	263.45±8.57 ^g	723.28±27.91 ^b	29.00±1.25 ^a	10.67±0.62 ^a	—
	65	403.42±49.83 ^f	168.63±14.49 ^e	30.35±0.93 ^a	1.29±0.10 ^b	—
	70	469.78±4.70 ^e	380.21±36.43 ^d	30.08±0.70 ^a	1.59±0.09 ^b	—
	75	541.37±2.85 ^d	315.44±1.37 ^d	29.30±0.25 ^a	0.41±0.02 ^b	—
肠	90	644.92±8.51 ^c	204.95±19.72 ^e	29.21±0.37 ^a	1.15±0.02 ^b	—
	120	755.78±57.70 ^b	176.30±14.42 ^e	29.27±0.64 ^a	0.61±0.04 ^b	—
	180	860.36±57.75 ^a	—	29.60±0.75 ^a	0.51±0.04 ^b	—
	240	749.64±57.34 ^b	—	29.46±0.79 ^a	0.54±0.04 ^b	—
阶段	消化时间/min	EC/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	GCG/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	EGCG/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	ECG/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	CG/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)
胃	消化前	3.55±0.19 ^{ab}	0.75±0.03 ^{efg}	47.00±1.17 ^a	8.82±0.28 ^a	—
	5	3.60±0.11 ^a	1.52±0.06 ^{ab}	48.23±1.67 ^a	8.70±0.37 ^a	—
	10	3.64±0.27 ^a	1.55±0.05 ^a	49.49±3.26 ^a	8.97±0.78 ^a	—
	15	3.59±0.08 ^a	1.01±0.04 ^d	47.58±1.39 ^a	8.71±0.34 ^a	—
	30	3.29±0.23 ^{ab}	1.19±0.02 ^c	46.59±3.75 ^a	8.38±0.18 ^{abc}	—
	60	3.56±0.12 ^{ab}	1.47±0.05 ^b	47.19±2.75 ^a	8.62±0.55 ^{ab}	—
	65	3.60±0.18 ^a	0.81±0.04 ^e	21.59±1.60 ^b	7.82±0.19 ^{cd}	350.78±27.59 ^d
	70	3.51±0.18 ^{ab}	0.71±0.04 ^g	21.02±1.22 ^b	7.96±0.31 ^{bcd}	373.60±17.85 ^d
	75	3.41±0.08 ^{abc}	0.73±0.06 ^{fg}	15.69±0.58 ^c	7.60±0.31 ^{de}	535.87±32.28 ^c
肠	90	3.27±0.09 ^{bcd}	0.72±0.03 ^g	9.28±0.62 ^d	7.09±0.48 ^{ef}	1 036.53±87.55 ^a
	120	3.18±0.09 ^{cd}	0.80±0.03 ^{ef}	7.08±0.43 ^d	6.81±0.18 ^f	937.00±31.23 ^a
	180	3.08±0.15 ^{de}	0.74±0.03 ^{efg}	1.69±0.06 ^e	6.61±0.14 ^f	1 030.29±92.14 ^a
	240	2.85±0.12 ^e	0.59±0.03 ^h	0.71±0.02 ^e	5.07±0.34 ^g	817.02±73.27 ^b

[†] “—”表示未检出。

模拟胃消化阶段均未检出,但在模拟肠消化阶段逐渐增加,表明超微绿茶粉在模拟消化过程中部分儿茶素组分释放量增加。整个过程中均未检测出C的释放量,与舒阳^[8]的研究结果不一致。其他儿茶素组分释放量都有所减少,儿茶素是绿茶中主要的多酚,约占多酚总干重的1/3^[14],由C、CG、EC、GC、ECG、EGC、GCG、EGCG 8种天然物质组成^[15]。整体而言,儿茶素的释放量逐渐减少,与茶多酚结果一致。消化前儿茶素的释放量依次为EGCG>EGC>ECG>EC>GCG>GC,模拟胃消化后为EGCG>EGC>ECG>EC>GCG>GC,模拟肠消化后为ECG>EC>CG>EGCG>GCG>EGC。Zuo等^[16]报道EGCG是绿茶和乌龙茶中最丰富的黄酮-3-醇,含量为22~53 mg/g,其次是EGC、ECG和EC,与消化前及模拟胃消化后的儿茶素释放结果一致。表明超微绿茶粉儿茶素在模拟胃消化环境中较稳定,而在模拟肠消化环境中受到明显影响,不同组分表现不同。没食子酸的释放量在模拟肠消化阶段中显著增加;咖啡碱的释放量在消化前与两个模拟消化阶段均无显著性差异,一直维持在30 mg/g左右;与Cabrera等^[17]报道的茶叶中没食子酸、儿茶素和咖啡碱含量的释放情况相符。

由图4可知,超微绿茶粉模拟胃肠消化后其他物质的释放量也有所增加。初步判断25 min左右的出峰物质为异槲皮素,在模拟肠消化阶段显著增加,可能是由芦丁在消化酶的作用下生成^[18]。异槲皮素比芦丁少一个鼠李糖苷基,也是一种多酚类物质,具有极高的药用价值^[19]。根据多酚的结合方式和萃取方法的不同,可将其分为可萃取多酚(EPP)和不可萃取多酚(NEPP)^[20],其中NEPP通过咀嚼、胃中酸性pH等都不能显著地从食物基质中释

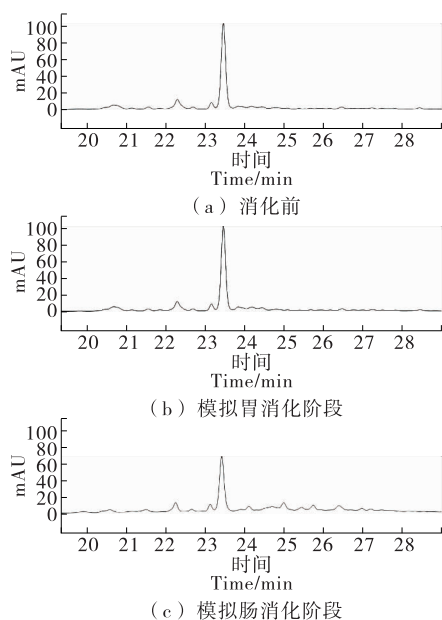


图4 超微绿茶粉的高效液相色谱图

Figure 4 Chromatograms of ultrafine green tea powder

放出来,几乎可以完整地到达结肠完成主要的代谢转化^[21]。高效液相色谱结果表明超微绿茶粉在模拟消化过程中多种物质的释放量有所增加,NEPP得到了有效释放。

2.6 总黄酮释放情况

由图5可知,超微绿茶粉在模拟胃消化阶段中总黄酮的释放量与消化前相差不大,在模拟肠消化阶段开始15 min内迅速减少,与茶多酚结果一致。表明超微绿茶粉总黄酮在模拟胃消化环境中较稳定,在模拟肠消化环境受到影响。

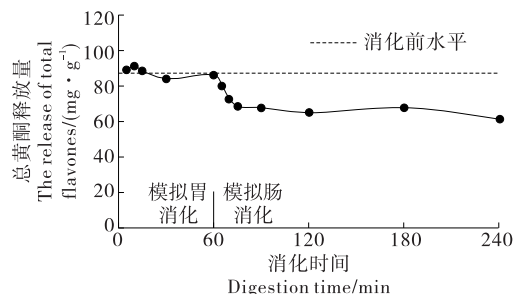


图5 超微绿茶粉体外消化前及消化过程中总黄酮释放量

Figure 5 The release of total flavones before and during in vitro digestion of ultrafine green tea powder

3 结论

试验表明,超微绿茶粉在模拟胃消化阶段较稳定,各物质释放量变化主要发生在模拟肠消化阶段。模拟消化过程中,没食子酸、儿茶素没食子酸酯、没食子儿茶素、没食子儿茶素没食子酸酯、异槲皮素及可溶性蛋白释放量增加,不可萃取多酚有所释放。传统的泡茶方式难以将茶叶中的各种成分完全浸出,许多难溶性物质仍存留于茶渣之中,冲泡饮用超微绿茶粉变喝茶为吃茶,有利于提高人体对茶叶的综合利用率。超微绿茶粉在模拟体外消化过程中还释放出许多其他物质,后续可对这些物质进行测定并与体内实际消化结果进行对比,不断完善体外消化模型。

参考文献

- [1] LORENZO J M, MUNEKATA P E S. Phenolic compounds of green tea: Health benefits and technological application in food[J]. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2016, 6(8): 709-719.
- [2] KABOOSAYA B, WULANSARI L K, TRANG NGUYEN V N, et al. Drinking green tea alleviates alveolar bone resorption in ligature-induced periodontitis in mice[J]. Journal of Oral Biosciences, 2020, 62(2): 162-168.
- [3] 李琳, 刘天一, 李小雨, 等. 超微茶粉的制备与性能[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(1): 53-56.

- [4] HAN Chuan-wu, MA Meng, ZHANG Hai-hua, et al. Progressive study of the effect of superfine green tea, soluble tea, and tea polyphenols on the physico-chemical and structural properties of wheat gluten in noodle system[J]. Food Chemistry, 2020, 308: 125676.
- [5] 刘悦强, 周惠明. 超微茶粉对麦胚固体饮料抗氧化性的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(6): 31-36.
- [6] 李季. 超微茶粉理化分析及红茶巧克力饼干的开发[D]. 重庆: 西南大学, 2017: 5-33.
- [7] 孙峰. 超微绿茶粉的制备及其茶饮料开发研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012: 7-10.
- [8] 舒阳. 不同粒径绿茶粉理化性质及体外消化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016: 42-51.
- [9] YAN Shuai-shuai, SHAO Hong-jun, ZHOU Zhi-hao, et al. Non-extractable polyphenols of green tea and their antioxidant, anti- α -glucosidase capacity, and release during in vitro digestion[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 42: 129-136.
- [10] CHEN Guan-lin, HU Kun, ZHONG Nan-jing, et al. Antioxidant capacities and total polyphenol content of nine commercially available tea juices measured by an in vitro digestion model[J]. European Food Research and Technology, 2013, 236(2): 303-310.
- [11] TENORE G C, CAMPIGLIA P, GIANNETTI D, et al. Simulated gastrointestinal digestion, intestinal permeation and plasma protein interaction of white, green, and black tea polyphenols[J]. Food Chemistry, 2015, 169: 320-326.
- [12] GURSOY N, SARIKURKCU C, CENGİZ M, et al. Antioxidant activities, metal contents, total phenolics and flavonoids of seven *Morchella* species[J]. Food and Chemical Toxicology, 2009, 47(9): 2 381-2 388.
- [13] 杨晓萍. 茶叶深加工与综合利用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2019: 9-13.
- [14] KOO S, NOH S. Green tea as inhibitor of the intestinal absorption of lipids: Potential mechanism for its lipid-lowering effect[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2007, 18(3): 179-183.
- [15] DONLAO N, OGAWA Y. The influence of processing conditions on catechin, caffeine and chlorophyll contents of green tea (*Camelia sinensis*) leaves and infusions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 116: 108567.
- [16] ZUO Yue-gang, CHEN Hao, DENG Yi-wei. Simultaneous determination of catechins, caffeine and gallic acids in green, Oolong, black and pu-erh teas using HPLC with a photodiode array detector[J]. Talanta, 2002, 57(2): 307-316.
- [17] CABRERA C, GIMÉNEZ R, LÓPEZ M C. Determination of tea components with antioxidant activity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(15): 4 427-4 435.
- [18] 吴迪. 芦丁鼠李糖苷酶的酶性质及异槲皮苷的纯化精制[D]. 大连: 大连工业大学, 2012: 2-9.
- [19] 王秋月. 高效异槲皮素产生菌的选育及转化条件优化[D]. 保定: 河北大学, 2015: 6-7.
- [20] 韩彩静, 金磊, 林新明, 等. 蓝莓不可萃取多酚的纯化及组分分析[J]. 食品科学技术学报, 2016, 34(1): 50-54.
- [21] PÉREZ-JIMÉNEZ J, DÍAZ-RUBIO M E, SAURA-CALIXTO F. Non-extractable polyphenols, a major dietary antioxidant: Occurrence, metabolic fate and health effects[J]. Nutrition Research Reviews, 2013, 26(2): 118-129.
- (上接第 137 页)
- [14] PENG Xin-yan, XIONG You-ling L, KONG Bao-hua. Antioxidant activity of peptide fractions from whey protein hydrolysates as measured by electron spin resonance[J]. Food Chemistry, 2008, 113(1): 196-201.
- [15] 佟立涛, 陈倩倩, 钱海峰, 等. 大米蛋白体外消化产物抗氧化活性的研究[J]. 现代食品科技, 2015(9): 99-104.
- [16] 庞忠莉, 郑建仙. 双酶法制备牡蛎干酶解液及其体外抗氧化活性评价[J]. 食品与机械, 2020, 36(4): 151-156.
- [17] BIER M C J, MEDEIROS A B P, KIMPE N D, et al. Evaluation of antioxidant activity of the fermented product from the biotransformation of R-(+)-limonene in solid-state fermentation of orange waste by *Diaporthe* sp.[J]. Biotechnology Research and Innovation, 2019, 3: 168-176.
- [18] 严欢, 韩飞, 李慕春. ORAC 法对薰衣草非精油组分的抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2018, 43(12): 277-280.
- [19] QIU Xiu-yuan, ZHANG Jiang-tao, LI Guo-ming, et al. Structure and composition of a potential antioxidant obtained from the chelation of pea oligopeptide and sodium selenite[J]. Journal of Functional Foods, 2020, 64: 103619.
- [20] 刘珊珊, 敖静, 谢宁宁, 等. 酪蛋白抗氧化肽的胃肠消化稳定性研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 47-54.
- [21] 王熙, 刘晓攀, 刘冰, 等. 酶解法制备条苣荬抗氧化肽工艺优化及其消化稳定性研究[J/OL]. 食品工业科技. [2020-05-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20200310.1728.025.html>.
- [22] 徐兆刚, 董周永, 徐敏, 等. 响应面优化酶法制备河蚌蛋白抗氧化肽[J]. 中国食品学报, 2017, 17(3): 120-126.
- [23] SCHMELZER C E, SCHÖPS R, REYNELL L, et al. Peptic digestion of β -casein: Time course and fate of possible bioactive peptides[J]. Journal of Chromatography A, 2007, 1 166(1/2): 108-115.
- [24] RAJAPAKSE N, MENDIS E, JUNG W K, et al. Purification of a radical scavenging peptide from fermented mussel sauce and its antioxidant properties[J]. Food Research International, 2005, 38(2): 175-182.
- [25] 顾敏. 青养蛋白抗氧化肽的分离纯化及胃肠道消化特性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014: 26-29.