

表没食子儿茶素没食子酸酯对微波加热海鲈鱼鱼片消化特性的影响

李颖畅, 朱永丽, 崔蕾, 董高缘, 仪淑敏*, 励建荣

(渤海大学食品科学与工程学院 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心 辽宁锦州 121013)

摘要 研究表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)对微波加热的海鲈鱼鱼片消化特性和蛋白质氧化的影响。通过模拟胃肠消化过程,测定了消化率、粒径、羰基、游离巯基、游离氨基酸含量变化和观察了消化产物的形态。结果表明:对照组的海鲈鱼鱼片在肠中反应 40 min 其消化基本完成,蛋白质消化率为 75.23%。EGCG 处理的海鲈鱼鱼片消化时间延长,而对消化率没有显著影响,肠道消化 120 min 后,蛋白质消化率达 72.13%~76.16%。胃部消化期间的羰基含量显著高于肠道,EGCG 显著降低胃和肠道中的羰基,在肠中消化 40 min 后,相对对照,羰基含量降低 20.76%~30.58%;延缓游离巯基含量的降低,降低蛋白质的氧化水平。EGCG 处理组消化产物的粒径呈浓度依赖型递减,且其微观形态聚集减少,使游离氨基酸含量降低。

关键词 表没食子儿茶素没食子酸酯;微波加热;海鲈鱼鱼片;消化特性;蛋白质氧化

文章编号 1009-7848(2023)12-0029-08 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.12.004

蛋白质在加工过程中会发生氧化反应,进入人体后受消化道内高活性氧化物质的影响,会产生更多的氧化产物,进而破坏机体平衡。多年来,对蛋白质氧化的研究主要集中在加工和贮藏过程中,通过添加不同的物质(化学合成抗氧化剂、香辛料、天然抗氧化剂等)来减缓肉类蛋白的氧化速度。目前有关肉类蛋白质在消化道中氧化的研究很少。多酚类物质常用于改善蛋白质的氧化程度,减少蛋白质在加工贮藏中的聚集和氨基酸残基的修饰^[1],降低蛋白质的消化速率和生物利用率^[2-3]。儿茶素类物质——表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)可用来改善食品品质、蛋白质功能和营养品质^[4-5]。在热加工中,EGCG 可有效降低蛋白质的氧化程度,然而人体消化道环境复杂,EGCG 在胃肠道中是否能保护蛋白质免受过高的氧化攻击,是否会干扰蛋白质的消化吸收值得探讨。体外消化,为一种成本低、周期较短、重复性较好、操作简便的研究手段,多用于研究各种营养元素在消化过程的变化。本文探究经 EGCG 处理的海鲈鱼鱼片在胃肠道消化过程中蛋白质的氧化情况,以及 EGCG 对蛋白质消

化特性的影响。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

胃蛋白酶(1:3 000)、胃脂肪酶(20 000 U/g)、胰酶(1:400)、胆盐(>75%),购于上海阿拉丁有限公司;BCA 蛋白质含量测试盒,购于北京索莱宝有限公司。

1.2 试验仪器

高效液相色谱 LC2030,日本巯基 IMADZU 公司;全自动氨基酸分析仪 L-8900,日立 Hitachi 公司;激光粒度仪 NanoBrook 90Plus Zeta,美国布鲁克海文仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品准备 将去皮的海鲈鱼背部肌肉切成 4 cm×4 cm×1 cm(长×宽×厚),质量为(18.80 ± 2.91)g 的鱼片,于 4℃下备用。分别制备 0.2、0.4 mg/mL 和 0.6 mg/mL 的 EGCG 水溶液。鱼片以 1:1 (g/mL) 浸泡上述水溶液中,共浸泡 1 h,间隔 30 min 翻面。对照组鱼片用超纯水浸泡,全过程置于 4℃环境中操作。浸泡后的鱼片沥干表面多余水分,称重至每(54.31 ± 2.83)g 为一组,放入微波专用碗进行微波加热处理。微波加热条件为 400 W,加热时间为 90 s(中心温度达到 73.9℃ ± 0.2℃)。加热后立即取出,置于冰中冷却至室温,4℃搅碎待用。称取 2.00 g 碎鱼肉与 8 mL,10 mmol/L

收稿日期: 2022-12-13

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目
(2018YFD0901004)

第一作者: 李颖畅,女,博士,教授

通信作者: 仪淑敏 E-mail: yishumin@163.com

磷酸钠缓冲溶液(pH 7.0)在冰浴下匀浆,10 000 r/min 匀浆 5 s,间隔 10 s,重复 2 次。进入胃部消化之前,样品匀浆液无明显的块状颗粒,为可吞咽的糊状流体。样品在胃肠道消化整个过程设置 8 个取样点(胃消化 0,40,80 min 和 120 min;胃肠道消化 0,40,80 min 和 120 min),每个样品在每个时间节点设置 3 组平行。

1.3.2 模拟体外消化 体外消化液配制和试验方法参考 INFOGEST 静态体外模拟胃肠食物消化手册^[6]。胃部消化 2 h;肠道消化 2 h;胃肠消化过程中分别间隔 40 min 采样进行分析;模拟环境条件:恒温振动摇床,转速 150 r/min,温度 37 ℃。在消化过程中,用 1 mol/L HCl/NaOH 调节 pH 值。胃部消化终止采用 1 mol/L NaOH 将消化混合物的 pH 值调至 7.0;肠道消化终止采用高热灭酶法,在 95 ℃下水浴 5 min。

1.3.3 蛋白质消化率测定 取样品消化混合物与无水乙醇按比例(体积比 1:3)混合,在 4 ℃下静置过夜后离心 20 min(10 000×g,4 ℃),收集沉淀,于烘箱中烘干至恒重,并称重。消化前后鱼肉和鱼肉消化残留物的蛋白含量用凯氏定氮法测定。消化率的计算如下:

$$\text{蛋白质消化率(\%)} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

式中: C_0 ——消化前鱼肉的粗蛋白含量, g;
 C_1 ——消化沉淀物烘干后粗蛋白含量, g。

1.3.4 消化产物总羰基的测定 蛋白质羰基含量参考于小番^[7]方法进行测定。

1.3.5 消化产物游离巯基测定 总巯基和游离巯基的含量测定分别参考 Jiang 等^[8]和 Rakotondramavo 等^[9]的方法。

1.3.6 消化产物粒径的测定 消化液中粒径测定参照 Cheng 等^[10]方法。将消化上清液稀释 50 倍,将样品离心 10 min(10 000×g,25 ℃),采用激光粒度仪测定不同时间段样品消化液的平均粒径,每组样品至少 3 个平行。

1.3.7 消化产物形态变化 采用激光共聚焦观察最初鱼肉食糜和胃肠道消化物的形态,参考 Baugreet 等^[11]的方法进行测定。取 200 μL 消化产物与 5 μL 配制染色剂(尼罗蓝:尼罗红,5:1)混合,在 4 ℃下避光保存。取 10 μL 混合液置于载玻片中央。

尼罗红和尼罗蓝的激发波长分别为 433 nm 和 633 nm。

1.3.8 消化产物游离氨基酸的测定 消化产物中游离氨基酸含量的测定参照 Zhou 等^[12]方法。2 mL 的体外消化液与预先冷却的 20 mL,15%的磺基水杨酸混合,在 4 ℃冰箱中静置 2 h,离心 15 min(15 000×g,4 ℃),收集上清液。取 2 mL 的上清液与等体积 2 mL 15%磺基水杨酸混合,离心 15 min(15 000×g,4 ℃),再过 0.22 μm 微孔滤膜过滤,用氨基酸分析仪测定。

1.3.9 数据分析 本试验数据处理均使用 Origin 2022 和 SPSS 25.0 进行统计学分析和处理,处理结果均以平均值±标准差。

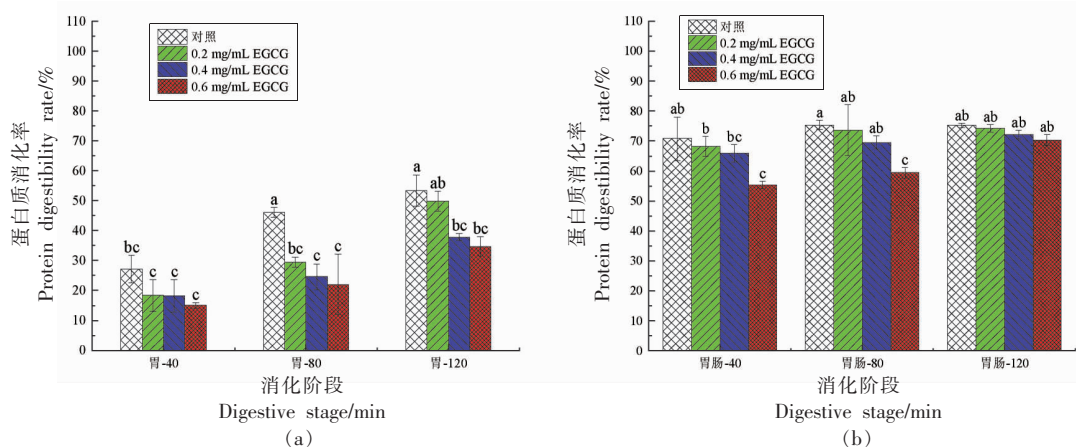
2 结果与分析

2.1 蛋白质消化率的变化

蛋白质消化率是肉类蛋白质在人体消化吸收后评价其营养价值和利用率的一个重要指标^[13]。蛋白质的氧化损伤会降低肉类的感官特性,同样也会妨碍人体对蛋白质的消化利用率^[14]。由图 1 可知,蛋白质消化率随着消化时间延长而升高。在胃部消化 80,120 min 时,对照组的消化率显著高于 EGCG 处理组,并随着 EGCG 浓度的增加,蛋白质消化率降低。EGCG 与蛋白质之间形成稳定化合物,EGCG 浓度越高,被胃蛋白酶水解的程度就越小。在肠道消化期间,蛋白质发生大量降解,对照组在肠道消化 40 min 后,蛋白质消化率无明显上升,说明对照组蛋白质消化基本完成,在胃肠道消化 120 min 时,消化率达到 75.23%。EGCG 处理组延长了蛋白质消化的时间。EGCG 处理的海鲈鱼鱼片于胃肠道消化 120 min 后,随着 EGCG 浓度升高蛋白消化率分别达到 74.20%,72.12%和 70.28%,与对照组无显著差异。说明 EGCG 的添加使蛋白质消化时间延长,但对蛋白质消化率并没有显著影响。

2.2 总羰基的变化

蛋白质氧化不仅仅发生在食物的加工和贮藏过程中,食物蛋白经人体摄入后,暴露在胃肠道环境中会继续氧化^[15]。羰基是评价蛋白质氧化修饰程度最显著的标记产物之一,羰基化合物生成后还会继续与易被氧化的氨基酸之间相互作用,产



注:图中不同小写字母表示不同处理之间差异显著。

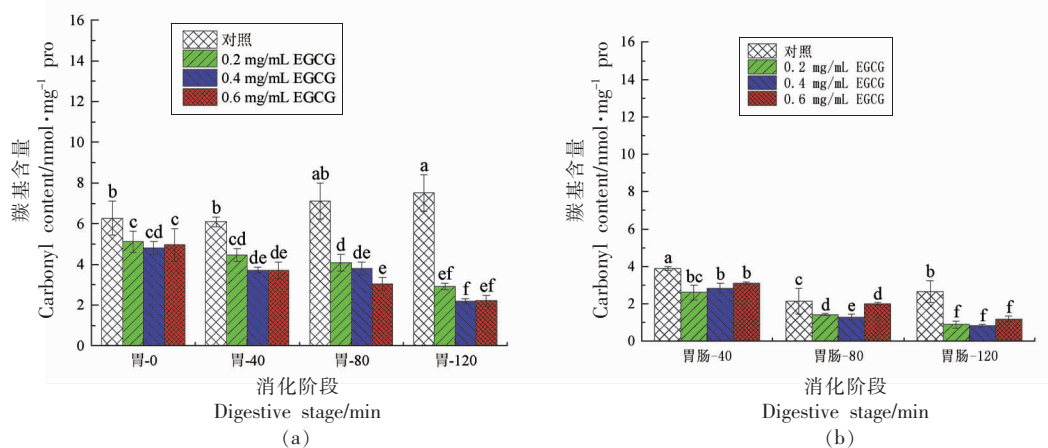
图 1 EGCG 对海鲈鱼蛋白质消化率的影响

Fig.1 Effects of EGCG on protein digestibility of sea bass

生更高级羰基化产物。

图 2 是消化过程中蛋白羰基含量的变化。在胃部消化期间,对照组羰基含量呈上升趋势,在肠道消化期间羰基含量成下降趋势。胃部消化期间羰基含量上升原因如下:第一,胃部消化是处于微氧环境,更利于自由基的生成^[16];且胃部消化期间,脂肪会氧化生成 4-羟基-2-壬烯醛或丙二醛等醛、酮类等物质,都为促氧化因子,更容易攻击蛋白质氨基酸侧链的物质。胡吕霖^[17]曾发现 6 种不同烹饪方式加工的鲟鱼肉在胃部消化时

TBARS 显著上升,同时伴随着羰基含量的上升。相比对照组,EGCG 处理组在胃消化期间羰基含量显著下降;说明 EGCG 起到抗氧化作用,减少自由基等氧化反应的发生。在肠道消化中,对照组和 EGCG 处理组的羰基含量明显低于胃部消化羰基含量。原因是蛋白质在胃肠道消化时会分解出大量的某些抗氧化性的氨基酸或者小肽会切断氧化级联反应^[18]。与对照组相比,EGCG 处理组的羰基含量显著下降,说明 EGCG 在肠道中起到抗氧化作用,EGCG 不同浓度之间羰基含量无显著差别。



注:图中不同小写字母表示不同处理之间差异显著。

图 2 在胃肠道消化过程中 EGCG 对海鲈鱼蛋白质羰基含量的影响

Fig.2 Effects of EGCG on carbonyls of sea bass during gastrointestinal digestion

2.3 游离巯基的变化

巯基的变化是评价蛋白质氧化程度的指标之一,主要评价半胱氨酸的氧化程度。巯基基团损失

主要是半胱氨酸的氧化形成可逆或者不可逆的氧化产物。图 3a 和图 3b 分别是在胃部和胃肠道中游离巯基含量变化。胃部消化期间的游离巯基含

量显著高于肠道消化的游离巯基含量。

胃部消化期间,对照组游离巯基含量呈先上升后下降趋势,蛋白质结构展开暴露出内部的游离巯基或者可逆的二硫键被还原释放出游离巯基;之后暴露在胃部氧化环境下,游离巯基被氧化成次磺酸、亚磺酸等不可逆的氧化硫化物^[19],造成

巯基损失。游离巯基的含量随着 EGCG 浓度的升高,含量逐渐升高。肠道消化中,游离巯基值明显低于胃部消化期间,在胰蛋白酶的作用下蛋白质彻底分解,游离巯基在肠道环境氧化分解。对照的游离巯基含量略高于 EGCG 处理组,且 EGCG 处理组之间无显著差异。

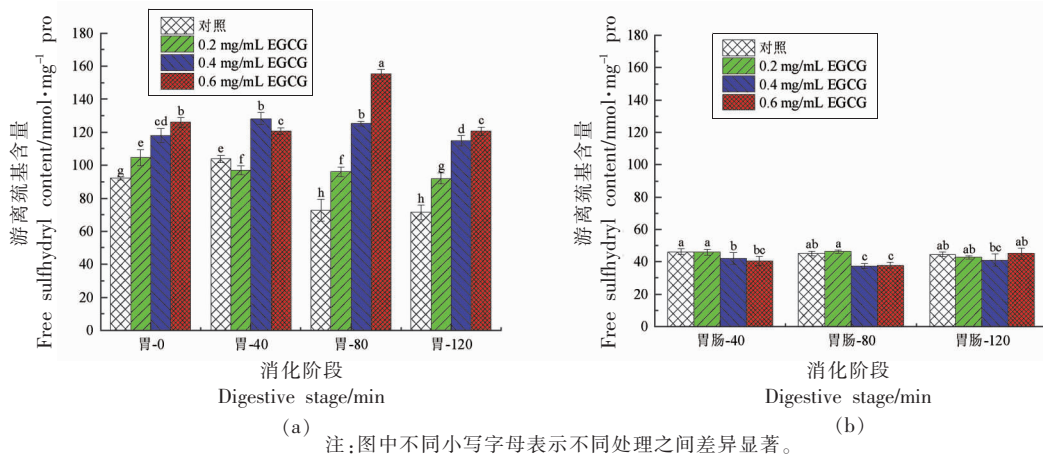


图3 胃肠道消化过程中 EGCG 对海鲈鱼蛋白游离巯基含量的影响

Fig.3 Effects of EGCG on free sulfhydryl groups of sea bass during gastrointestinal digestion

2.4 消化产物粒径的变化

在食品领域,加热会诱导肉类蛋白质聚集交联,大分子聚集体摄入人体会降低蛋白质的营养价值^[20]。而粒径大小常用于评价食物在胃肠道消化程度的重要指标,可以间接反应消化体系中的氧化水平。在未消化之前,EGCG 处理组的粒径都低于对照组。首先,经过 EGCG 处理组粒径下降的原因是 EGCG 与蛋白质结合后,极性增强,蛋白质的亲水区域暴露于水中^[21],减少不溶性聚集体在

水中的个数和形态大小。其次,EGCG 的添加会破坏蛋白质与蛋白质之间的非共价作用,使聚集体被破坏,蛋白质粒径下降^[22]。Ren 等^[23]研究发现:黑豆种皮提取物(富含没食子酸和芦丁等多酚类化合物)与大豆蛋白络合之后可以有效地抑制由热诱导引起蛋白粒径增大现象,此结果与 Ren 等研究结果一致。食物在整个消化期间,粒径大小随消化时间的延长而下降,原因是随着消化时间延长,胃蛋白酶将蛋白分解成小聚集体或肽段,使消化

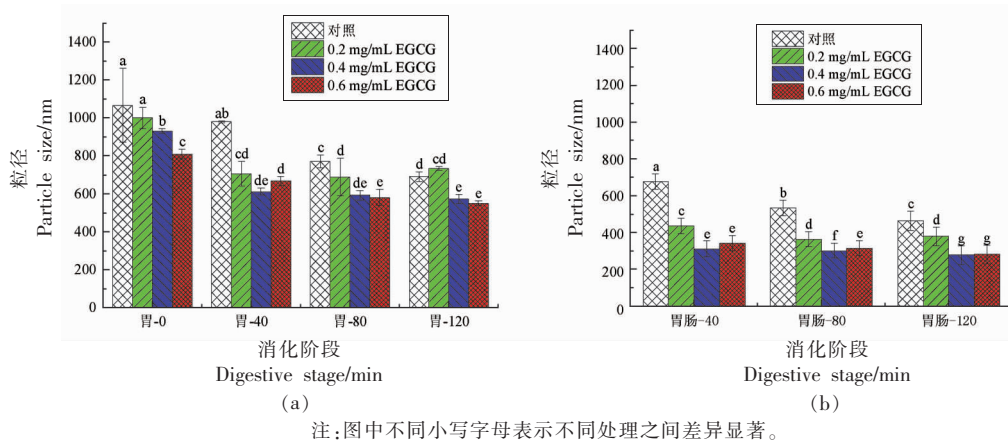


图4 EGCG 对海鲈鱼消化产物粒径的影响

Fig.4 Effects of EGCG on the particle size of digested products of sea bass during gastrointestinal digestion

产物的粒径逐渐减小。肠道消化中的胆盐有助于脂肪乳化,有助于减小颗粒大小,从而促进脂肪酶的脂解^[24]。

在肠道消化中,对照组的粒径显著高于 EGCG 处理组 ($P < 0.05$)。在肠道消化中,不同浓度的 EGCG 处理的消化产物的最终粒径均小于对照组。蛋白质表面疏水性的增强会增加蛋白质脱水、氧化和聚集,而 EGCG 可以增强蛋白质的亲水性,降低蛋白在消化过程中的聚集和氧化。

2.5 消化产物的微观结构变化

图 5 是 EGCG 处理的未经消化和胃肠道消化终点消化产物的微观结构变化。图中红色斑点为蛋白质,绿色斑点为脂类。胃消化前,对照组出现大片肌肉纤维组织和较多的脂质,且蛋白质出现多处聚集,表面粗糙,这源于微波加热后蛋白质出现聚集和交联导致肌肉组织发生粘连,肌丝聚集

交叠^[10]。随着 EGCG 浓度增加,蛋白聚集体颗粒体积逐渐下降,且变得均匀平滑,球状脂质滴粒径减小,同时也分散的更加均匀。可能是 EGCG 改变蛋白质的极性使其在微波加热后生成的多为低聚体,结构更亲水。说明 EGCG 可以有效的降低微波加热后蛋白质大聚集体的体积和数量,Zhu 等^[25]发现经过儿茶素类物质可以有效的降低糖基化修饰后蛋白质的粒径。

肠道消化后,对样品的微观结构产生较大的影响,脂类物质基本全都消失,肌肉蛋白组织完全降解变形为大片不规则的、大小不同蛋白簇。对照组在消化后,出现体积较大、分布不均和表面光滑的蛋白聚集体;而经过 EGCG 处理的鱼肉在肠道消化后,聚集体明显变小,且蛋白质彼此分散均匀。尤其是随着 EGCG 的浓度升高,消化后的蛋白质的颗粒逐渐变小、变得分散。

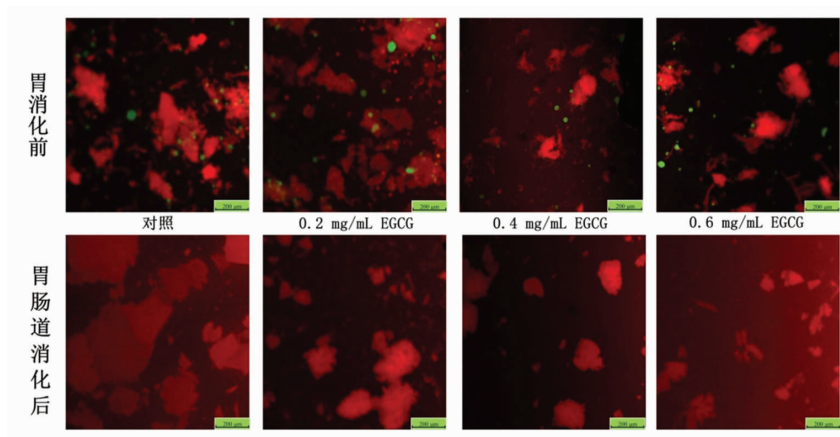


图 5 EGCG 对海鲈鱼消化产物的微观结构的影响

Fig.5 Microstructural changes of digestive products of sea bass affected by EGCG during gastrointestinal digestion

2.6 消化液游离氨基酸的变化

氨基酸的含量和种类常用来评价蛋白质的营养价值,因为蛋白质的氨基酸侧链最容易受到氧化因子的攻击,不同氨基酸氧化后产生的氧化产物虽不相同,但是都会降低蛋白质的营养价值。例如赖氨酸、精氨酸、脯氨酸和苏氨酸的氧化后会产生羰基化衍生物,而初级羰基化合物会继续氧化,生成更加稳定的氧化产物,如 α -氨基己二酸(AAA)、 γ -羧基-DL-谷氨酸(GCS)和 p -氨基苯甲酸半醛(AAS)^[26],这些都是致病致癌因子^[27],人体吸收后会刺激氧化应激通路^[28]。图 6 分别是海鲈鱼在消化前后的游离氨基酸含量的变化。在消化

前后,添加 EGCG 的游离氨基酸含量下降,证明 EGCG 的添加可以提高蛋白质的稳定性,对消化酶的敏感性降低^[12]。胃部消化前后,对照组的氨基酸含量高于 EGCG 添加组的氨基酸含量,是因为 EGCG 与蛋白结合,减少游离氨基酸的暴露量和延缓了蛋白质的分解程度消化速度。

3 结论

1) 经 EGCG 处理的海鲈鱼鱼片蛋白质消化时间显著延长,但是对蛋白质消化率无显著影响。在胃肠道消化中 EGCG 起到抗氧化效果,有效减少了羰基含量;在胃部保留较高含量的游离巯基,

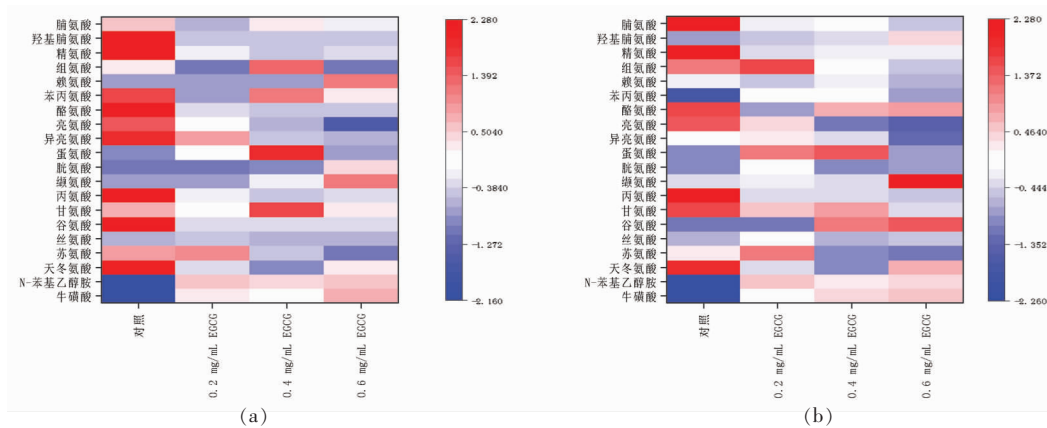


图6 EGCG对游离氨基酸含量的影响

Fig.6 Effects on free amino acid content by EGCG

肠道消化后游离巯基的迅速下降。

2) EGCG处理的消化产物体系中的粒径呈浓度依赖型递减,EGCG可以使体系中的大颗粒物分散更容易被酶解成小粒径产物,EGCG减少了游离氨基酸的含量。

参 考 文 献

- [1] CHENG J R, ZHU M J, LIU X M. Insight into the conformational and functional properties of myofibrillar protein modified by mulberry polyphenols[J]. Food Chemistry, 2020, 308: 125592.
- [2] DUQUE-ESTRADA P, BERTON-CARABIN C C, NIEUWKOOP M, et al. Protein oxidation and *in vitro* gastric digestion of processed soy-based matrices [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(34): 9591-9600.
- [3] DUFOUR C, LOONIS M, DELOSIERE M, et al. The matrix of fruit & vegetables modulates the gastrointestinal bioaccessibility of polyphenols and their impact on dietary protein digestibility [J]. Food Chemistry, 2018, 240(2): 314-322.
- [4] SAE-LEAW T, BENJAKUL S, VONGKAMJAN K. Retardation of melanosis and quality loss of pre-cooked Pacific white shrimp using epigallocatechin gallate with the aid of ultrasound[J]. Food Control, 2018, 84: 75-82.
- [5] YIN C Y, YANG L, ZHAO H, et al. Improvement of antioxidant activity of egg white protein by phosphorylation and conjugation of epigallocatechin gallate[J]. Food Research International, 2014, 64: 855-863.
- [6] BRODKORB A, EGGER L, ALMINGER M, et al. INFOGEST static *in vitro* simulation of gastrointestinal food digestion [J]. Nature Protocols, 2019, 14 (4): 991-1014.
- [7] 于小番. 不同烹调热处理对刀额新对虾蛋白质结构, 氧化特性及消化性的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2021. YU X F, Effects of different cooking heat treatments on protein structure, oxidation characteristics and digestibility of *metapenaeus ensis*[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021.
- [8] JIANG L, LIU Y, LI L, et al. Covalent conjugates of anthocyanins to soy protein: Unravelling their structure features and *in vitro* gastrointestinal digestion fate[J]. Food Research International, 2019, 120 (1): 603-609.
- [9] RAKOTONDRAVAO A, RIBOURG L, MEYNIER A, et al. Monitoring oxidation during the storage of pressure-treated cooked ham and impact on technological attributes[J]. Heliyon, 2019, 5(8): e02285.
- [10] CHENG Y, CHI Y, GENG X, et al. Effect of 2, 2'-azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride (AAPH) induced oxidation on the physicochemical properties, *in vitro* digestibility, and nutritional value of egg white protein[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 143: 111103.
- [11] BAUGREET S, GOMEZ C, AUTY M A E, et al. *In vitro* digestion of protein-enriched restructured beef steaks with pea protein isolate, rice protein and lentil flour following sous vide processing[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019, 54: 152-161.

- [12] ZHOU S D, LIN Y F, XU X, et al. Effect of non-covalent and covalent complexation of (-)-epigallocatechin gallate with soybean protein isolate on protein structure and in vitro digestion characteristics[J]. Food Chemistry, 2020, 309(134): 125718.
- [13] 李立敏. 茶多酚对冻融羊肉糜乳化及凝胶特性的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
- LI L M. Effect of tea polyphenols on the emulsifying and gelling properties of mutton batters after repeated freeze-thaw cycles[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2021.
- [14] LI L, LIU Y, ZOU X, et al. *In vitro* protein digestibility of pork products is affected by the method of processing[J]. Food Research International, 2017, 92: 88-94.
- [15] ZHANG H, TROISE A D, QI Y, et al. Insoluble dietary fibre scavenges reactive carbonyl species under simulated physiological conditions: The key role of fibre-bound polyphenols [J]. Food Chemistry, 2021, 349: 129018.
- [16] GATELLIER P, MEYNIER A, DUFOUR C, et al. Characterisation of the free radical chemistry in physicochemical conditions of the digestive tract[C]. 61st International Congress of Meat Science and Technology, Clermont-Ferrand, France, 23-28th August 2015.
- [17] 胡吕霖. 烹饪对鲟鱼蛋白质氧化及消化性的影响研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- HU L L. Effect of cooking styles on protein oxidation and proteolysis of muscle from sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- [18] 张丽, 余群力, 孙宝忠. 肌肉蛋白氧化对肉类品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(5): 268-276.
- ZHANG L, YU Q L, SUN B Z. The review of effect of muscle protein oxidation on meat quality[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(5): 268-276.
- [19] 韦婕妤. 热加工方式对羊肉制品蛋白质氧化及体外模拟消化性的影响研究[D]. 成都: 西南民族大学, 2019.
- WEI J Y. Effects of thermal processing on protein oxidation and digestive simulation of mutton products *in vitro*[D]. Chengdu: Southwest University for Nationalities, 2019.
- [20] HAN Z Y, LI X X, LIU Y B, et al. The evolution of pork myosin aggregates and the relationship between aggregation modes and microstructures of O/W emulsions[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 119(2): 106825.
- [21] SHI T, LIU H, SONG T, et al. Use of l-arginine-assisted ultrasonic treatment to change the molecular and interfacial characteristics of fish myosin and enhance the physical stability of the emulsion[J]. Food Chemistry, 2021, 342: 128314.
- [22] XUE H, TU Y, ZHANG G, et al. Mechanism of ultrasound and tea polyphenol assisted ultrasound modification of egg white protein gel [J]. Ultrason Sonochem, 2021, 81: 105857.
- [23] REN C, XIONG W, PENG D, et al. Effects of thermal sterilization on soy protein isolate/polyphenol complexes: Aspects of structure, in vitro digestibility and antioxidant activity[J]. Food Research International, 2018, 112(10): 284-290.
- [24] MALDONADO-VALDERRAMA J, WILDE P, MACIERZANKA A, et al. The role of bile salts in digestion [J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2011, 165(1): 36-46.
- [25] ZHU Z, BASSEY A P, KHAN I A, et al. Inhibitory mechanism of catechins against advanced glycation end products of glycated myofibrillar protein through anti-aggregation and anti-oxidation[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 147: 111550.
- [26] UTRERA M, MORCUENDE D, RODRIGUEZ-CARPENA J G, et al. Fluorescent HPLC for the detection of specific protein oxidation carbonyls-alpha-amino adipic and gamma-glutamic semialdehydes-in meat systems[J]. Meat Science, 2011, 89(4): 500-506.
- [27] DIAZ-VELASCO S, GONZALEZ A, PENA F J, et al. Noxious effects of selected food-occurring oxidized amino acids on differentiated CACO-2 intestinal human cells[J]. Food Chemistry Toxicology, 2020, 144: 111650.
- [28] JIANG H, LI D. Polyphenols as reactive carbonyl species scavengers-the solution to the current puzzle of polyphenols' health effects [J]. Med Hypotheses, 2020, 142: 110144.

Effect of Epigallocatechin Gallate on Digestive Properties of Sea Bass Fillets by Microwave Heating

Li Yingchang, Zhu Yongli, Cui Lei, Dong Gaoyuan, Yi Shumin*, Li Jianrong

(College of Food Science and Technology, Bohai University, National and Local Joint Engineering Research Center for Storage, Processing and Safety Control Technology of Fresh Agricultural Products, Jinzhou 121013, Liaoning)

Abstract The effects of gallic chatechin gallate (EGCG) on the digestion properties and protein oxidation of sea bass fillets by microwave heating was studied. By simulating the gastrointestinal digestion process, the digestibility, particle size, carbonyl, free sulfhydryl, free amino acid contents changes and the morphology of the digestion products were determined. The results showed that digestion of sea bass fillets was basically completed at 40 min, and the protein digestibility was 75.23%. The sea bass slices by EGCG-treating were digested for a longer time, but there was no significant effect on the digestibility. After 120 min of intestinal digestion, the protein digestibility reached 72.13%~76.16%. The carbonyl content in gastric digestion was significantly higher than that in intestinal digestion. After 40 min of digestion in the intestine, the carbonyl content was decreased by 20.76%~30.58%. EGCG delayed the reduction of free sulfhydryl content, and reduced the oxidation level of protein. The particle size in the digestion product system of the EGCG treatment group decreased in concentration-dependent type and reduced the micromorphological aggregation, while reducing the content of free amino acids.

Keywords epigallocatechin gallate; microwave heating; sea bass fillets; digestive properties; protein oxidation