

研究报告

不同热处理牛奶的动态体外消化研究

岳淑琴¹, 黄建¹, 刘文颖², 王丽娟¹, 何丽¹, 唐艳斌¹

(1. 中国疾病预防控制中心营养与健康所, 国家卫生健康委员会微量元素与营养重点实验室, 北京 100050; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要:目的 研究4种不同热处理方式对牛奶消化的影响。方法 采用动态人胃肠消化系统模拟人体消化过程, 分析奶场样品、巴氏杀菌乳、超高温瞬时灭菌(UHT)乳和蒸汽侵入式直接杀菌(INF)乳的pH变化、蛋白质消化率、胃排空速度以及胃肠消化后的肽段分布等。结果 奶场样品和巴氏杀菌乳在胃内的pH变化趋势基本一致, 巴氏杀菌乳在胃内消化接近空腹状态的时间最短。巴氏杀菌乳中蛋白质消化率最高, UHT灭菌乳的消化率明显低于其他3种样品。4种牛奶经体外单独胃消化后生成的肽段分子质量基本在5 000 u以下, 而经体外连续胃肠消化后基本在1 000 u以下, 更易于人体消化吸收。巴氏杀菌乳和INF灭菌乳的消化率和消化产物的肽段分子质量分析上各有优势, 但总体趋势基本一致, 无显著差异, 且均优于UHT灭菌乳。结论 INF杀菌乳和巴氏杀菌乳的体外消化结果基本相当, 优于UHT灭菌乳, 为消费者提供了一种新的奶制品选择。

关键词: 热处理; 牛奶; 蛋白质; 动态体外消化

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2024)02-0126-07

DOI: 10.13590/j.cjfh.2024.02.003

***In vitro* digestion of heat-treated milk using the dynamic human stomach-intestine IV +**YUE Shuqin¹, HUANG Jian¹, LIU Wenyong², WANG Lijuan¹, HE Li¹, TANG Yanbin¹

(1. National Institute for Nutrition and Health, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Key Laboratory of Trace Element and Nutrition, National Health Commission, Beijing 100050, China; 2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Objective To study the effects of different heat treatments on milk digestion *in vitro*. **Methods** The dynamic human stomach-intestine IV + was used to analyze the pH change, protein digestibility, gastric emptying and peptide distribution of four different heat-treated milk products: raw milk, pasteurized milk, ultra-high-temperature sterilized (UHT) milk and direct steam infusion (INF) milk. **Results** The pH change trends of raw milk and pasteurized milk in the stomach were very similar. Pasteurized milk took the shortest time to digest into a near-fasting state in the stomach. The protein digestibility of pasteurized milk was also the highest, whereas that of UHT milk was significantly lower than the other three samples. The molecular weight of peptides generated by the four kinds of milk after *in vitro* gastric digestion was below 5 000 u. After *in vitro* gastrointestinal digestion, the molecular weight of the peptides reached below 1 000 u, which is easy for digestion and absorption by the human body. Pasteurized milk and INF milk have advantages in protein digestibility and the molecular weight analysis of peptides of their digestion products. However, the general trend was the same without significant differences; they were both superior to UHT milk. **Conclusion** The *in vitro* digestion profiles of INF milk and pasteurized milk were the same, which were better than those of UHT milk, providing consumers with a new choice for dairy products.

Key words: Heat treatment; milk; protein; *in vitro* dynamic digestion

牛奶中含有丰富的必需氨基酸及人体所需的多种营养成分, 对人的生长发育十分重要, 且一直被

认为是优质蛋白质来源^[1-3]。工业生产会对牛奶进行热处理来消灭其中对人体有害的微生物, 但热

收稿日期: 2023-05-10

基金项目: 中国食品科学技术学会项目-不同工艺牛奶中活性蛋白研究项目

作者简介: 岳淑琴 女 硕士研究生 研究方向为营养与食品卫生学 E-mail: yueshuqinhn@163.com

通信作者: 唐艳斌 女 副研究员 研究方向为营养干预与改善 E-mail: tangyb@nih.chinacdc.cn

处理会导致牛奶中的蛋白质变性,造成一定程度的营养成分损失^[1]。国内外目前主要的牛奶热处理方式有巴氏杀菌和超高温瞬时灭菌(Ultra-high-temperature, UHT)^[4]。随着食品工业的发展,蒸汽侵入式直接杀菌(Direct steam infusion, INF)技术成为国际上一种先进的牛奶杀菌方式,该技术将牛乳在 159 °C、0.09 s 的条件下瞬时加热,采用此技术制备的牛奶中蛋白质等营养物质的破坏程度小,营养成分保留更高,产品口感新鲜^[5]。

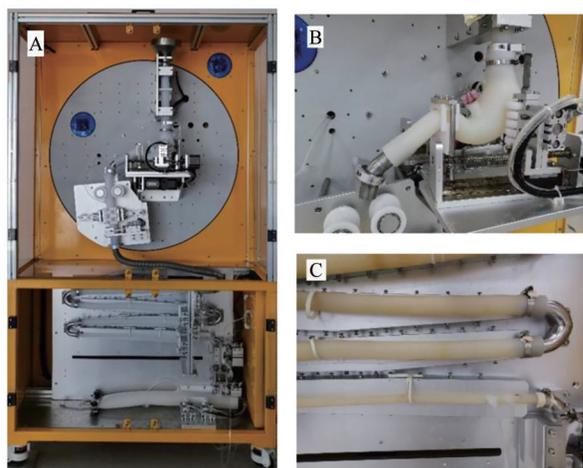
蛋白质的消化吸收率对评价牛奶的营养价值至关重要。理想条件下,研究牛奶的消化过程应该在人或动物体内进行,然而由于个体的差异性,体内消化试验的结果重复性差,且存在试验费用高、周期长以及伦理审查复杂等问题^[6-7],因此体外消化模型对于研究食物的消化过程是十分必要的。体外消化模型主要用于研究食物消化过程中的结构变化和消化吸收,现已被广泛应用于营养健康等方面的研究。

本研究通过 4 种不同热处理牛奶的体外动态模拟胃肠消化试验,分析消化过程中 pH 的变化、胃排空速度、蛋白质消化率以及胃单独消化、胃肠连续消化后的肽段分布情况,研究不同热处理对牛奶消化的影响,从而为牛奶产业的热处理提供新的选择。

1 材料与方 法

1.1 主要仪器与试剂

动态人胃消化系统(DHSI-IV+)来自晓东宜健(苏州)仪器设备有限公司^[8],该系统由硅胶人胃和十二指肠模型、分泌和排空系统以及中央系统和触摸屏组成,其中硅胶人胃和十二指肠如图 1 所示。



注:A为动态人胃肠消化系统设备整体外观示意图;B为一体化硅胶胃模型;C为一体化硅胶十二指肠及小肠模型

图1 动态人胃肠消化系统示意图

Figure 1 The images of the DHS-IV

磷酸二氢钾、三氯乙酸、盐酸、三氯乙酸(Trichloroacetic acid, TCA)、二水氯化钙($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (均为分析纯,购自国药化学试剂有限公司),胆盐、胃蛋白酶、胰蛋白酶和 α -淀粉酶(Sigma-Aldrich 化学试剂公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 牛奶样品的采集和热处理

本研究中所有牛奶样品均采集自同一时间,同一奶场。

奶场样品:当天采集,不进行任何热处理;巴氏杀菌乳:取奶场样品于 65 °C 的水浴锅中加热 30 min; INF 杀菌乳:采用新型 INF 杀菌方式对奶场牛乳进行热处理,于 157 °C 下加热 0.09 s; UHT 灭菌乳:取奶场样品于 137 °C 下加热处理 4 s。其中,巴氏杀菌乳的热处理在实验室完成, INF 杀菌乳和 UHT 灭菌乳送至厂家进行热处理加工。

1.2.2 模拟消化液的配制

蛋白质的消化主要有胃液消化和肠液消化,消化模拟液主要由电解质储备液、酶、 CaCl_2 和水组成。依据文献[9],胃液模拟液(Simulated gastric fluid, SGF)、肠液模拟液(Simulated intestinal fluid, SIF)中电解质的浓度如下表 1 所示。

表1 胃液、肠液模拟液中电解质的浓度

Table 1 The concentration of electrolyte in gastric and intestinal simulation fluid

| 电解质 | SGF/(mmol/L) | SIF/(mmol/L) |
|------------------------------------|--------------|--------------|
| K^+ | 7.80 | 7.60 |
| H_2PO_4^- | 0.90 | 0.8 |
| $\text{HCO}_3^-, \text{CO}_3^{2-}$ | 25.50 | 85.00 |
| Cl^- | 70.20 | 55.50 |
| Mg^{2+} | 0.10 | 0.33 |
| NH_4^+ | 1.00 | — |
| Na^+ | 72.20 | 123.40 |
| Ca^{2+} | 0.15 | 0.60 |

1.2.2.1 SGF的配制

将胃蛋白酶溶解于 80 mL 的母液中,加入 0.05 mL 的 $\text{CaCl}_2(\text{H}_2\text{O})_2$ (0.3 mol/L) 和 19.95 mL 的去离子水,使得胃蛋白酶在 SGF 中的最终浓度达到 4 000 U/mL,用 6 mol/L HCl 调节 SGF 的 pH 至 1.6。

1.2.2.2 SIF的配制

将胰酶和胆盐溶解于 80 mL 母液中,加入 0.2 mL 的 $\text{CaCl}_2(\text{H}_2\text{O})_2$ (0.3 mol/L) 和 19.8 mL 的去离子水,使得胰酶在 SIF 中的最终浓度达到 200 U/mL,胆盐达到 20 mmol/L,用 6 mol/L HCl 调节 SIF 的 pH 至 7.0。

1.2.3 体外模拟胃肠消化过程

正确安装胃肠模型和一次性进液装置,并将当天配制的消化模拟液吸入针筒内与模型正确连接。

设置设备运行参数如表2所示,所有样品均使用相同的运行参数。实验开始后启动设备,取4种样品各230 g分别加入系统内,随后进行取样。

表2 动态体外胃肠消化设备运行参数
Table 2 Operation parameters of *in vitro* dynamic gastrointestinal digestion model

| 需控制的指标 | 运行参数 |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| 系统温度 | 37 °C |
| 进样时间 | 5 min |
| 胃蠕动频率 | 3次/min |
| 幽门开口大小 | 0~0.5 mm |
| 幽门开口频率 | 1次/2 min (即胃蠕动5次,幽门打开1次) |
| 空腹胃液 | 30 mL |
| 胃液进液速度 | 1.2~2.5 mL/min |
| 肠液进液速度 | 1.9 mL/min |
| 1 mol/L HCl和NaHCO ₃ 进液速度 | 1 mL/min, 34~50 min |

1.2.4 样品的采集和保存

1.2.4.1 单独胃消化和连续胃肠消化取样

单独胃消化90 min,连续胃肠消化120 min,模拟消化的过程中,分别在15、30、60、90 min时从排入十二指肠的食糜内取20 mL样品;并分别于30、60、90和120 min从小肠排泄物中取出20 mL消化样品。模拟胃消化完成后,收集胃内剩余物。模拟胃肠消化完成后,从胃内剩余物和小肠剩余物中分别收集20 mL左右样品。

1.2.4.2 样品的保存

收集到的所有样品均立即放入液氮中冷冻,随后一起冷冻干燥成固体粉末,低温干燥保存。取10 mL需要用凯氏定氮法测量蛋白质的样品先加入等体积的TCA静置20 min,随后在4 °C离心,离心条件为:9 500 r/min,20 min(离心半径:10 cm),取上清液3 mL煮沸灭酶待测。

1.2.5 消化过程中胃内pH的测定

单独胃消化(G)和连续胃肠消化(GI)时在胃内插入pH检测探头,实时监测胃内pH的变化(每30 s记录一个数据)。

1.2.6 胃排空速度的测定

通过优化Elashoff幂指数模型[式(1)]对动态体外消化实验得到的胃排空曲线的数据进行拟合后得到胃排空拟合曲线和排空参数。Elashoff幂指数模型已经被广泛用于描述固体和液体的胃排空^[10-12]:

$$y(t) = 1 - (1 - e^{-kt})^\beta \quad \text{式(1)}$$

式(1)中 $y(t)$ 为 t 时刻的胃内剩余分数; k 是每分钟的胃排空率(1/min), β 为推断出的曲线截距。

胃的半排空时间($t_{1/2}$)是在 $y(t)=0.5$ 时通过式(2)计算得到:

$$t_{1/2} = -\frac{1}{k} \times \ln(1 - 0.5^{1/\beta}) \quad \text{式(2)}$$

假设式(1)的二阶导数为0,则排空停滞期(t_{lag})为试验餐后胃排空达到最大速度用的时间^[10]:

$$t_{lag} = \frac{\ln \beta}{k} \quad \text{式(3)}$$

1.2.7 蛋白质消化率和水解率的测定

样品中蛋白质的消化率测定采用凯氏定氮法。取1.2.4.2中煮沸灭酶的样品3 mL,加入10 mL的10%三氯乙酸沉淀蛋白,4 000 r/min离心10 min,随后取上清液,经凯氏定氮法测定样品中可溶性蛋白含量以计算蛋白质消化率,公式如下:

$$\text{蛋白质消化率} = \frac{M_1 + M_2 + M_{0-T} - M_0}{M_{total}} \times 100\% \quad \text{式(4)}$$

其中 M_1 和 M_2 分别是胃肠消化120 min后胃内和肠内剩余物上清液中的总 N 量。 M_{0-T} 为小肠排出物中的蛋白质水解总量, M_0 为消化液模拟液上清液中的总 N 量, M_{total} 为未消化样品中的总 N 量。

1.2.8 消化后样品的分子质量分布测定

采用凝胶渗透色谱法进行肽段分子质量分布的分析。乙氨酸-乙氨酸-乙氨酸(分子质量189 u)、乙氨酸-乙氨酸-酪氨酸-精氨酸(分子质量451 u)、杆菌酶(分子质量1 450 u)和细胞色素C(分子质量12 500 u)分别用作标准样品,并配置成质量分数为0.1%的溶液,用于制作相对分子质量校准曲线。将4种不同的热处理牛奶样品通过孔径为0.2 μm的聚氯乙烯过滤膜后进行凝胶过滤。采用TSK凝胶G2000 SWXL(300 mm×7.8 mm)凝胶柱,流速设置为0.5 mL/min,进样体积为10 μL,紫外检测波长为220 nm。

1.3 统计学分析

实验数据采用SPSS 25.0软件分析处理,并进行显著性差异分析。其中不同样品间的构成比差异采用Kruskal-Wallis检验。

2 结果和讨论

2.1 消化过程中胃内pH的测定结果

由表3可知,奶场样品和巴氏杀菌乳的胃内pH变化趋势较为一致,15 min时两者的pH分别为2.56和2.54,25 min时均接近空腹状态;其次为INF杀菌乳,15 min时胃内pH为4.21,40 min时接近空腹状态;UHT灭菌乳的pH变化最缓慢,15 min时胃内pH为5.67,50 min时接近空腹状态。

由图2可知,4种不同热处理牛奶的胃食糜pH值在消化开始时均显著增加,pH值由初始值1.6提高到几乎中性,这是由于进食后食物的缓冲稀释

表3 不同热处理牛奶胃内消化 50 min 的 pH 变化情况
Table 3 pH changes of different heat-treated milk samples during digestion for 50 min

| 时间/ min | 样品 | | | |
|------------|--------------|-------|---------|---------|
| | 奶场样品 samples | 巴氏杀菌乳 | INF 灭菌乳 | UHT 灭菌乳 |
| 5 | 6.30 | 6.31 | 6.25 | 5.85 |
| 10 | 3.37 | 3.73 | 5.52 | 5.76 |
| 15 | 2.56 | 2.54 | 4.21 | 5.67 |
| 20 | 1.85 | 2.26 | 3.63 | 4.97 |
| 25 | 1.55 | 1.60 | 2.69 | 4.30 |
| 30 | 1.34 | 1.33 | 2.27 | 3.65 |
| 35 | 1.19 | 1.30 | 1.88 | 3.17 |
| 40 | 1.23 | 1.18 | 1.54 | 2.19 |
| 45 | 1.29 | 1.26 | 1.53 | 2.13 |
| 50 | 1.38 | 1.25 | 1.52 | 1.63 |

作用,随着消化时间的增加,胃内容物的排空以及胃酸的不分泌,胃内食糜的 pH 逐渐下降^[13]。

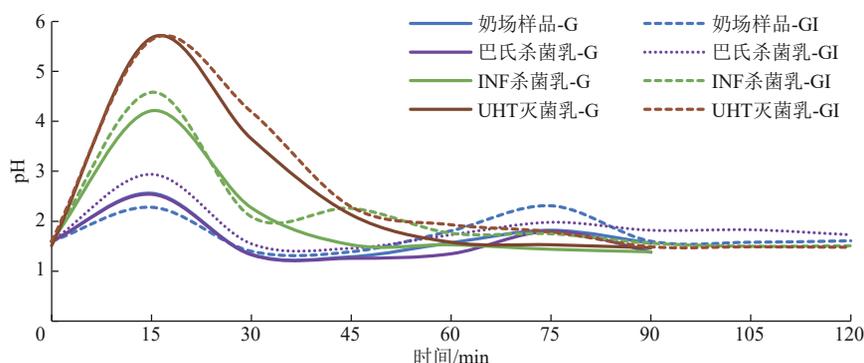


图2 模拟胃消化(G)和胃肠消化(GI)时4种不同热处理奶的胃内 pH 变化

Figure 2 pH changes in stomach of the four different heat-treated milk samples during simulated gastric digestion (G) and gastrointestinal digestion (GI)

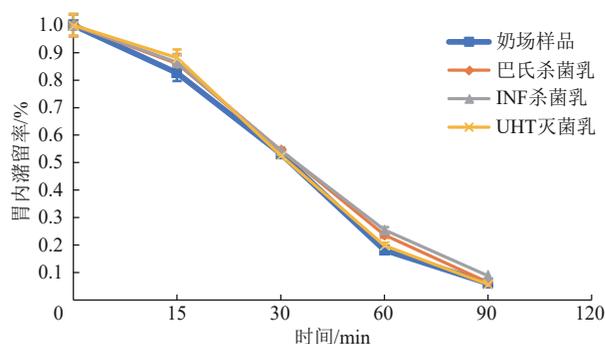


图3 不同热处理牛奶胃排空的优化 Elashoff 模型拟合图(n=4)

Figure 3 Modified Elashoff's model fitting diagram gastric emptying of different heat-treated milk samples (n=4)

4 种不同热处理牛奶的优化 Elashoff 幂指数模型参数如表 4 所示。可以看出,4 种样品的胃排空 Elashoff 模型参数中 β 值均大于 1,故 4 种牛奶样品都出现了排空停滞期。UHT 灭菌乳的排空停滞期 (t_{lag}) 最长,4 种牛奶样品的半排空时间 ($t_{1/2}$) 无显著差异。

2.3 四种样品的蛋白质消化率

采用凯氏定氮法对 4 种不同热处理样品连续

2.2 胃排空速度的测定结果

本实验得到的 4 种不同热处理样品的胃排空拟合曲线如图 3 所示。由图 3 可得,4 种不同热处理样品的胃排空曲线基本一致,胃排空速度无显著差异。随着消化时间的增加,胃内容物含量持续下降,模拟消化 30 min 后,INF 杀菌乳的胃排空曲线高于奶场牛乳和 UHT 灭菌乳,与巴氏杀菌乳相似。

胃排空的快慢决定了食物在胃内的停留时间,影响了食物和胃液的接触时间,也会影响食物的分解破碎程度和肠道营养物质的吸收,因此胃排空与糖尿病、肥胖及胃功能紊乱等疾病有着密切的联系。胃排空受多种因素的影响,如神经系统、胃肠激素以及局部某些调节因子的调控^[14]。陈先祥^[15]的研究表明,食物的理化性质(如成分、粒径、黏度、体积等)也是影响胃排空的主要因素之一。

表4 不同热处理牛奶胃排空的优化 Elashoff 模型参数

Table 4 Modified Elashoff's model parameters for gastric emptying of different heat-treated milk

| 样品 | k | β | $t_{1/2}/\text{min}$ | t_{lag}/min |
|---------|---------|---------|----------------------|----------------------|
| UHT 灭菌乳 | 0.043 8 | 2.62 | 33.3 | 22.0 |
| 奶场样品 | 0.040 7 | 2.21 | 32.2 | 19.4 |
| 巴氏杀菌乳 | 0.037 5 | 2.2 | 34.5 | 20.6 |
| INF 杀菌乳 | 0.034 5 | 1.98 | 35.4 | 19.8 |

胃肠消化 2 h 后的蛋白质消化率进行测定,结果如图 4 所示。结果表明,除 UHT 灭菌乳的总蛋白消化率为 85.98% 外,其他 3 种热处理样品均在 90% 以上,其中巴氏杀菌乳最高,为 96.81%,INF 杀菌乳次之,为 93.97%。

2.4 不同热处理牛奶经胃单独消化后的肽段分布

4 种不同热处理牛奶经胃单独消化后的肽段分布分别如图 5 和表 5 所示。由图 5 可得,UHT 灭菌乳分子量 < 132 u 的肽段含量高于其他 3 种热处理牛奶,奶场样品的含量最小,但与其他热处理方式无显著差异。巴氏杀菌乳和 INF 杀菌乳经胃单独消化后肽段分布基本一致。

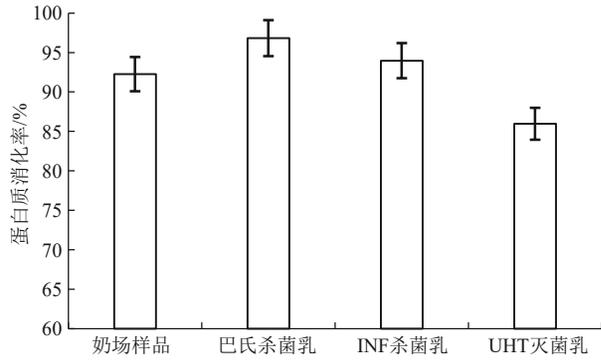


图4 不同热处理牛奶连续胃肠消化2 h后的蛋白质消化率 (n=4)

Figure 4 Protein digestibility of different heat-treated milk samples after continuous gastrointestinal digestion for 2 h (n=4)

食物蛋白质进入人体后要经过胃肠道消化成氨基酸或短肽才能被吸收,且机体吸收短肽的能力比氨基酸高得多^[16]。营养物质的消化与人体胃肠道中的消化酶密切相关,膳食蛋白质在人体肠道中被分解为小分子肽段^[17]。另有研究表明,蛋白质消化会产生许多肽类物质,其中分子量为132~576 u的二肽和三肽可以被胃肠道完整吸收利用^[18]。由表5可知,4种不同热处理样品在经过90 min的模拟单独胃消化后,肽段分子量90%左右都集中在5 000 u以下,其中UHT灭菌乳有95.92%,巴氏杀菌乳和INF杀菌乳基本相当,分别为90.10%和

90.79%。在分子量1 000 u的多肽中,UHT灭菌乳所占比例最大,巴氏杀菌乳所占比例最小($P<0.05$)。

表5 不同热处理牛奶胃单独消化后的肽段分子质量构成

Table 5 Molecular weight composition of peptide in different heat-treated milk samples after gastric digestion

| 样品 | 分子量/% | | | |
|--------|--------------------|----------|----------|-----------|
| | <1 000 u | <3 000 u | <5 000 u | <10 000 u |
| 奶场样品 | 46.78 ^a | 84.80 | 94.60 | 98.32 |
| 巴氏杀菌乳 | 39.11 ^b | 78.99 | 90.10 | 97.46 |
| INF杀菌乳 | 44.83 ^a | 80.73 | 90.79 | 95.81 |
| UHT灭菌乳 | 56.37 ^c | 86.89 | 95.92 | 99.03 |
| P | <0.05 | 0.192 | 0.347 | 0.764 |

注:不同样品间的构成比差异采用Kruskal-Wallis检验,同列上标字母不同表示差异有统计学意义

2.5 不同热处理牛奶经胃肠连续消化后的肽段分布

4种不同热处理牛奶经连续胃肠消化后的肽段分布分别如图6和表6所示。由图6可知,在分子量<132 u这部分游离氨基酸的占比中,INF杀菌乳含量最高,但与其他热处理方式没有显著性差异。4种不同热处理牛奶样品中分子量为132~576 u的肽段所占比例均为最高。

由表6可知,4种不同热处理样品在经过120 min的模拟胃肠连续消化后,肽段分子量基本都集中在1 000 u以下,其中巴氏杀菌乳的占比最高,

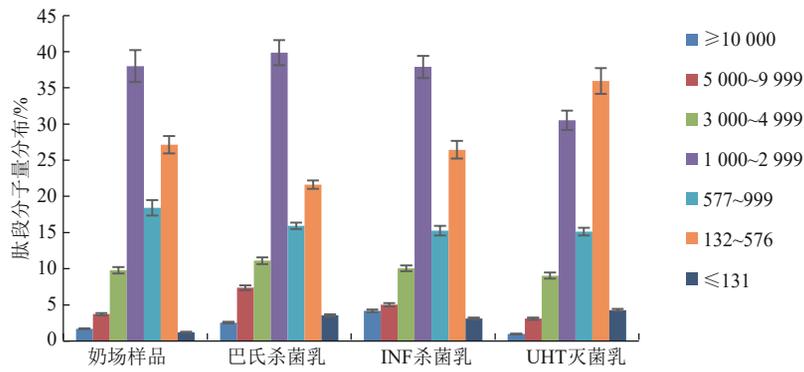


图5 不同热处理牛奶胃单独消化后的肽段分子质量

Figure 5 Molecular weight distribution of peptides in different heat-treated milk samples after gastric digestion

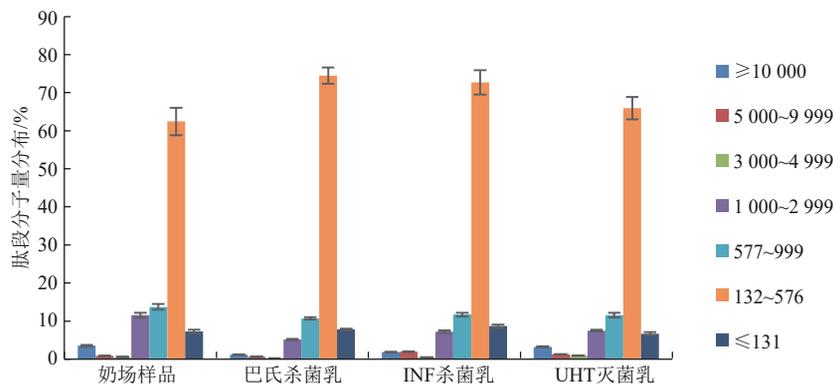


图6 不同热处理牛奶胃肠连续消化后的肽段分子质量

Figure 6 Molecular weight distribution of peptide in different heat-treated milk samples after gastrointestinal digestion

达 92.76%,其次是 INF 杀菌乳,为 86.27%。在同一肽段分布下,4 种不同热处理牛乳之间均无显著性差异($P>0.05$)。与单独胃消化相比,连续胃肠消化后牛奶的降解程度更高,这与林岚^[19]通过 SDS-PAGE 电泳分析对模拟体外消化后的胶原蛋白制品的分子量变化分析结果一致。

表 6 不同热处理牛奶胃肠连续消化后的肽段分子量构成
Table 6 Molecular weight composition of peptides in different heat-treated milk samples after gastrointestinal digestion

| 样品 | 分子量/% | | | |
|----------|----------|----------|----------|-----------|
| | <1 000 u | <3 000 u | <5 000 u | <10 000 u |
| 奶场样品 | 83.51 | 95.04 | 95.60 | 98.47 |
| 巴氏杀菌乳 | 92.76 | 97.91 | 98.15 | 96.81 |
| INF 杀菌乳 | 86.27 | 96.30 | 96.77 | 96.76 |
| UHT 灭菌乳 | 84.10 | 94.74 | 94.66 | 97.95 |
| <i>P</i> | 0.103 | 0.764 | 0.764 | 0.779 |

3 结论

本文通过动态体外模拟消化的方法,研究不同热处理方式对牛奶胃肠消化的影响。新工艺 INF 杀菌乳的热处理时间仅需 0.09 s,低于巴氏杀菌乳和 UHT 灭菌乳。体外胃肠模拟消化后,新工艺 INF 杀菌乳的消化结果与巴氏杀菌乳相当,优于 UHT 灭菌乳。同时经新工艺 INF 灭菌后,牛奶的货架保存期显著大于巴氏杀菌乳。经连续胃肠消化后,4 种牛奶样品主要生成 1 000 u 以下的肽段,其中 INF 杀菌乳在分子质量为 132~576 u 的肽段占比均为最大,更易于人体消化吸收。不同热处理方式对蛋白质消化的影响也不同,选择适当的热处理方式对乳品加工非常重要。本文的新工艺 INF 杀菌乳为消费者提供了一种新的奶制品选择。

参考文献

- [1] 刘晓,姜竹茂,芦晶,等.热处理对牛乳蛋白质消化率的影响[J].中国乳品工业,2017,45(11):14-18.
LIU X, JIANG Z M, LU J, et al. Effect of heat-treatment process on the digestibility of milk protein [J]. China Dairy Industry, 2017, 45(11): 14-18.
- [2] 吴相佚,刘泽朋,毛学英.热处理对乳蛋白结构和消化特性的影响[J].乳业科学与技术,2019,42(3):8-12.
WU X Y, LIU Z P, MAO X Y. Effect of Heat Treatment on the Structure and Digestibility of Milk Protein [J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2019, 42(3): 8-12.
- [3] 阴明杰,吴丹.论牛奶的营养价值与健康的密切关系[J].畜牧兽医科技信息,2021(4):95-96.
YIN M J, WU D. On the close relationship between nutritional value and health of milk [J]. Chinese Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2021(4): 95-96.
- [4] 郭利亚,赵广英,武旭芳,等.牛奶主要热处理工艺对比分

析[J].中国乳业,2021(4):70-74.

GUO L Y, ZHAO G Y, WU X F, et al. Research development of heat treatment technology of milk [J]. China Dairy, 2021(4): 70-74.

- [5] 陈晓玲.乳品超高温杀菌工艺研究[J].中国食物与营养,2012,18(9):40-44.
CHEN X L. UHT Technologies for Dairy Products [J]. Food and Nutrition in China, 2012, 18(9): 40-44.
- [6] 陈贲,贾慧.体外消化模型的研究进展[J].农产品加工(上半月),2017(5):61-64,68.
CHEN Z, JIA H. The advances of digestion simulation in vitro [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2017(5): 61-64,68.
- [7] BOISEN S, EGGUM B O. Critical evaluation of in vitro methods for estimating digestibility in simple-stomach animals [J]. Nutrition Research Reviews, 1991, 4(1): 141-162.
- [8] 陈晓东,廖振镕.一种仿生人体十二指肠、小肠和大肠消化系统:CN201920217031.0[P].2019-04-16.
CHEN X D, LIAO Z K. A bionic human duodenum small intestine and large intestine digestive system: CN201920217031.0 [P]. 2019-04-16.
- [9] MINEKUS M, ALMINGER M, ALVITO P, et al. A standardised static in vitro digestion method suitable for food - an international consensus [J]. Food & Function, 2014, 5(6): 1113-1124.
- [10] Bornhorst G M, Chang L Q, Rutherford S M, et al. Gastric emptying rate and chyme characteristics for cooked brown and white rice meals in vivo [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(12): 2900-2908.
- [11] SIEGEL J A, URBAIN J L, ADLER L P, et al. Biphasic nature of gastric emptying [J]. Gut, 1988, 29(1): 85-89.
- [12] WU P, BHATTARAI R R, DHITAL S, et al. In vitro digestion of pectin- and mango-enriched diets using a dynamic rat stomach-duodenum model [J]. Journal of Food Engineering, 2017, 202: 65-78.
- [13] 傅丹宇.人工胃消化系统(AGDS)的优化、评价与应用研究[D].杭州:浙江工商大学,2019.
FU D Y. Optimization, evaluation and application of the Artificial Gastric Digestive System (AGDS) [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2019.
- [14] 侯叶廷,苏秉忠,张占军.胃排空异常影响因素的研究进展[J].内蒙古医学杂志,2010,42(9):1082-1085.
FU Y T, SU B Z, ZHANG Z J. The research progress of gastric emptying abnormal factors [J]. Inner Mongolia Med J, 2010, 42(9): 1082-1085.
- [15] 陈先祥.影响胃排空的因素[J].腹部外科,1998,11(6):275-276.
CHEN X X. Factors affecting gastric emptying [J]. Journal of Abdominal Surgery, 1998, 11(6): 275-276.
- [16] 庞广昌,陈庆森,胡志和,等.蛋白质的消化吸收及其功能评述[J].食品科学,2013,34(9):375-391.
PANG G C, CHEN Q S, HU Z H, et al. Bioactive Peptides: absorption, utilization and functionality [J]. Food Science, 2013, 34(9): 375-391.
- [17] MOURAD F H, SAADÉ N E. Neural regulation of intestinal

- nutrient absorption[J]. Prog Neurobiol, 2011, 95(2): 149-162.
- [18] Roberts P R, Burney J D, Black K W, et al. Effect of chain length on absorption of biologically active peptides from the gastrointestinal tract[J]. Digestion, 1999, 60(4): 332-337.
- [19] 林岚. 罗非鱼胶原蛋白的工业制备与产品开发[D]. 厦门: 集美大学, 2015.
- LIN L. Industrial preparation of tilapia collagen and product development [D]. Xiamen: Jimei University, 2015.

《中国食品卫生杂志》投稿须知

《中国食品卫生杂志》是中华预防医学会、中国卫生信息与健康医疗大数据学会共同主办的国家级食品卫生学术期刊,为中文核心期刊、中国科技核心期刊。《中国食品卫生杂志》的办刊方针是普及与提高并重。设专家述评、论著、研究报告、实验技术与方法、监督管理、调查研究、风险监测、风险评估、食品安全标准、食物中毒、综述等栏目。《中国食品卫生杂志》既报道食品安全领域的重大科研成果,也交流产生、发现于实际工作的研究结论;既涉足实验室,又深入监督管理现场;全方位报道国内外食品安全的政策、理论、实践、动态。

1 投稿的基本要求

文稿应具有创新性、科学性、实用性,文字精练,数据准确,逻辑性强。文章一般不超过5000字,如遇特殊情况请与编辑部联系。投稿时邮寄单位推荐信,介绍该文的作者、单位,文章的真实性,是否一稿两投,是否属于机密,是否受各类基金资助。如为基金资助项目,应附带资助的合同文本封面和课题参加者名单页复印件或获奖证书复印件。

2 文稿中应注意的问题

投稿前最好先阅读本刊,以便对本刊有基本的了解。尤其要注意以下问题。

- 2.1 作者和单位的中英文名字、所在地、邮编分别列于中英文题目之下,单位的英文名称应是系统内认可的、符合规范的。
- 2.2 个人署名作者在2人(含2人)以上以及集体作者,应指定一位通信作者(corresponding author)。第一作者及通信作者应有简短的中文自传:姓名、性别、学位、职称、主攻研究方向,放在文稿第一页的左下方。副高职称以上的作者应有亲笔签名。
- 2.3 受资助的情况(资助单位、项目名称、合同号)用中英文分别列于文稿左下方。
- 2.4 所有稿件都应有中英文摘要。一般科技论文的摘要包括:目的、方法、结果、结论。作者应能使读者通过阅读摘要就能掌握该文的主要内容或数据。为便于国际读者检索并了解文章的基本信息,英文摘要应比中文摘要更详细。
- 2.5 每篇文章应标注中英文关键词各3~8个。
- 2.6 缩略语、简称、代号除了相邻专业的读者清楚的以外,在首次出现时必须写出全称并注明以下所用的简称。如新术语尚无合适的中文术语译名可使用原文或译名后加括号注明原文。
- 2.7 用于表示科学计量和具有统计意义的数字要使用阿拉伯数字。
- 2.8 研究对象为人时,须注明试验组、对照组受试者的来源、选择标准及一般情况等。研究对象为试验动物时需注明动物的名称、种系、等级、数量、来源、性别、年龄、体重、饲养条件和健康状况等。动物试验和人体试验均需伦理审查文件。
- 2.9 药品、试剂使用化学名,并注明主要试剂的剂量、单位、纯度、批号、生产单位和日期。
- 2.10 主要仪器、设备应注明名称、型号、生产单位、精密度或误差范围。
- 2.11 图、文字和表格的内容不要重复,图、表应有自明性,即不看正文就能理解图意、表意。
- 2.12 所引的参考文献仅限于作者亲自阅读过的。未公开发表或在非正式出版物上发表的著作如确有必要引用,可用圆括号插入正文或在当页地脚加注说明。原文作者若不超过3人应将作者姓名依次列出,中间用“,”隔开,3位以上作者则列出前3位,逗号后加“等”。参考文献格式如下:

期刊文章:[序号] 主要责任者(外文人名首字母缩写,缩写名后不加缩写点). 文献题名[文献类型标志]. 刊名, 年,卷(期): 起页-止页.