

牛奶对茶汤纳米聚集体茶多酚分布特性的影响

蔡翠玲, 陈忠正, 张媛媛, 李斌, 林晓蓉

(华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

摘要: 茶汤纳米聚集体是茶多酚和蛋白质等自组装而成的纳米胶粒, 是各组分介于游离分子与沉淀颗粒的中间状态。为探究牛奶对茶汤茶多酚分布特性的影响, 本研究以云南大叶种蒸青绿茶、红茶为原料, 以 1:50 茶水比浸提茶汤, 按不同比例添加全脂、半脱脂和脱脂牛奶, 利用超滤离心技术分离茶汤纳米聚集体, 采用动态光散射技术分析各组茶汤纳米聚集体的总光强和平均直径, 采用福林酚法分析其茶多酚浓度和分布率, 比较研究牛奶添加比例、脂肪含量和茶类等因素对纳米聚集体物理化学特性和茶多酚分布特性的影响。结果表明: 添加不同脂肪含量的牛奶均会促使部分牛奶纳米胶粒与茶汤纳米聚集体结合, 导致茶汤超过 90% 的茶多酚富集于纳米聚集体, 使绿茶和红茶的游离茶多酚比例分别降低 78% 和 67%。初步证实: 添加牛奶会促进绿茶、红茶的茶多酚参与分子聚集, 使游离茶多酚比例大幅降低。

关键词: 奶茶; 绿茶; 红茶; 纳米聚集体; 茶多酚

文章编号: 1673-9078(2017)10-30-36

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.10.005

Effects of Milks on the Distribution of Tea Polyphenols in Nano-aggregates from Green Tea and Black Tea Infusions

CAI Cui-ling, CHEN Zhong-zheng, ZHANG Yuan-yuan, LI Bin, LIN Xiao-rong

(College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Tea nano-aggregates were colloidal particles spontaneously assembled by tea polyphenols, proteins and other components in natural tea infusions. These peculiar particles were the intermediate states of tea components between free molecules and precipitates. To primarily explore the effects of milks on the distribution of tea polyphenols in tea infusions, tea infusions extracted from green tea and black tea at tea-water ratio of 1:50, and then mixed with whole milk, semi-skimmed milk and skimmed milk of various percentages, respectively. Tea nano-aggregates in these milk teas were subsequently separated by ultrafiltration centrifugal technology. In addition, total intensity and average diameter of tea nano-aggregates were analyzed by dynamic light scattering; meanwhile, the concentration and distribution of tea polyphenols in tea nano-aggregates were evaluated by Folin-Ciocalteu method. The effect of milk addition ratio, fat content and variety of tea on the physical and chemical characteristics of nano-aggregates, as well as the distribution characteristics of tea polyphenols was studied. The results showed that the addition of milk with different fat content would promote the combination of some milk nanometer micelles and tea nano-aggregates, resulting in more than 90% of tea polyphenols in original tea infusions enriched in tea nano-aggregates, and the ratio of free tea polyphenols in green tea and black tea infusions reduced by 78% and 67%, respectively. In conclusion, adding milks to green tea and black tea infusions would strengthen the aggregation of tea polyphenols and remarkably reduce the ratio of free tea polyphenols.

Key words: milk tea; green tea; black tea; nano-aggregates; tea polyphenols

茶起源于中国, 经过几千年从药到食的漫长历史, 已成为当今世界三大无酒精饮料之一。茶富含茶多酚, 具有突出的抗氧化活性, 大量流行病学调查显示, 饮

收稿日期: 2017-04-21

基金项目: 农业部现代茶叶产业技术体系专项资金项目 (CARS-23)

作者简介: 蔡翠玲 (1990-), 女, 硕士在读, 研究方向: 茶饮料多组分相互作用研究

通讯作者: 李斌 (1960-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 茶叶精深加工与功能特性研究; 林晓蓉 (1986-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 茶叶组分相互作用及功能特性研究

茶能降低心脏病等心血管疾病风险^[1]。但在 1997 年, Hertog 等对威尔士人的流行病学调查却发现, 该人群缺铁性心脏病风险与其饮茶量无关, 他们推测与该地区居民习惯向红茶中添加牛奶的饮茶方式有关^[2]。这一报道立即引起相关研究者对奶茶功能特性的关注, Hof 等 (1998) 和 Reddy 等 (2005) 先后指出, 添加牛奶不会影响红茶中茶多酚的生物利用率^[3]及其提高人体血清总抗氧化活性的能力^[4]; 但 Lorenz 等 (2007) 和 Ryan 等 (2010) 却发现, 添加牛奶会完全削弱红茶的血管扩张能力^[5]和抗氧化活性^[6], 并且这种作用与

牛奶脂肪含量有关, 添加脱脂牛奶的红茶总抗氧化活性降幅比全脂和半脱脂牛奶更大^[6]。尽管国内外研究者采用诸多不同研究模型、技术方法, 但至今仍未能确证添加牛奶是否影响茶多酚功效发挥。

纳米聚集体是溶液中的化合物自发结合形成的纳米胶粒, 是化合物介于游离分子和沉淀颗粒的中间状态, 广泛存在于药物单体溶液^[7]、复方中药汤剂^[8]和植物水提物^[9]等体系。早在 1995 年, Gröning 等就已证实天然红茶汤中存在大量由多酚类和生物碱构成、平均直径约 200 nm 的纳米聚集体^[10]; 2016 年, 本团队研究发现, 绿茶的茶多酚、蛋白质和糖等在茶叶浸提溶出过程中会自组装成平均直径约 300 nm 的球型纳米胶粒^[11]。纳米聚集体的形成降低了茶汤等体系中游离茶多酚等活性组分的浓度, 并可能阻碍参与分子聚集的活性组分被小肠吸收^[12]和靶细胞摄入^[13]等。这种特殊的纳米构造为探讨牛奶对茶汤茶多酚活性发挥的影响提供了新角度。

为此, 本研究以云南大叶种绿茶、红茶为原料, 分别按不同比例添加全脂、半脱脂和脱脂牛奶, 采用超滤离心技术分离各组茶汤的纳米聚集体, 利用动态光散射 (dynamic light scattering, DLS) 技术分析各组茶汤及其纳米聚集体的总光强、平均水合直径 (hydrodynamic diameter, D_H) 等物理化学参数, 采用福林酚法分析各组茶汤茶多酚在纳米聚集体的浓度和分布率, 初步探讨了牛奶添加比例、脂肪含量和茶类等因素对奶茶中茶多酚分布特性的影响, 以期为从茶汤纳米聚集体的独特角度深入揭示奶茶的功能特性提供前期理论研究基础。

1 材料与方法

1.1 原料

1.1.1 茶叶原料

云南大叶种蒸青绿茶和红茶由广东省华海糖业发展有限公司提供, 磨碎后筛取 20~30 目茶样; 超高温瞬时杀菌全脂牛奶 (脂肪含量为 3.6 g/100 mL, 蛋白质含量为 3.1 g/100 mL)、半脱脂牛奶 (脂肪含量为 1.6 g/100 mL, 蛋白质含量为 3.2 g/100 mL) 和脱脂牛奶 (脂肪含量为 0 g/100 mL, 蛋白质含量为 3.2 g/100 mL) 均由西班牙 VIDRERES LLET S.L. 公司生产。

1.1.2 主要试剂

福林酚试剂 (2 mol/L) 购自北京普博欣生物科技有限公司; 实验用水为 Milli-Q 超纯水, 电阻率不低

于 18.2 MΩ·cm。

1.1.3 主要仪器设备

Zetasizer Nano ZS 90 纳米粒度仪购自英国 Malvern 公司; Amicon Ultra-4 离心过滤器 (PES 滤膜) 购自德国 Merk-Millipore 公司; Centrifuge 5804R 冷冻离心机购自德国 Eppendorf AG 公司; Milli-Q Integral 3 超纯水系统购自德国 Merk-Millipore 公司; UV-2102C 紫外可见分光光度计购自上海尤尼科有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 茶叶浸提与奶茶制备

准确称取 0.9 g 磨碎茶叶, 按 1:50 茶水比加入 45 mL 沸水, 100 °C 水浴浸提 30 min, 每隔 10 min 振荡一次; 浸提完毕后, 经真空抽滤分离茶渣, 滤液冷却后定容至 50 mL。

按 5~95%、每个处理相差 5% 的比例 (V/V) 将全脂、半脱脂和脱脂牛奶分别添加到绿茶、红茶的浸提液中, 涡旋混合 2 min 备用, 以水替代牛奶与茶汤混匀作为对照。

1.2.2 茶汤纳米聚集体分离

参考李斌等 (2016) 方法^[11], 取 4 mL 茶汤加入截留孔径为 10 nm 的离心过滤器内衬管中, 经 5578 r/min、4 °C 离心 20 min, 收集内外管样品, 分别定容至 5 mL。内管截留的纳米聚集体用于物理化学特性分析, 外管分离的上清用于茶多酚浓度测定。

1.2.3 茶汤与纳米聚集体物理化学特性表征

采用 DLS 技术测定各组茶汤与超滤分离的纳米聚集体的粒径分布、总光强、平均水合直径与多分散系数 (polydispersity index, PDI) 等参数, 测定温度为 25 °C, 测定结果采用 Malvern DTS 6.20 软件分析。

1.2.4 茶汤茶多酚分布特性研究

由于牛奶的蛋白质等组分可能干扰对纳米聚集体茶多酚的直接检测, 本研究采用福林酚比色法分别测定原始茶汤及上清的茶多酚浓度^[14], 根据二者差值计算纳米聚集体的茶多酚浓度 (mg/mL), 并根据茶多酚在纳米聚集体与茶汤的浓度比值, 评价茶多酚在纳米聚集体部分的分布率 (%)。

1.2.5 数据分析

所有实验平行 3 次, 重复 2 次, 图表数据以平均值±标准偏差表示。采用 Fisher 最小显著差数法分析样品组间差异显著性, 不同大写字母表示组间差异极显著 ($p < 0.01$), 不同小写字母表示组间差异显著 ($p < 0.05$), 相同小写字母表示组间差异不显著 ($p > 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 添加牛奶对茶汤基本物理化学特性影响

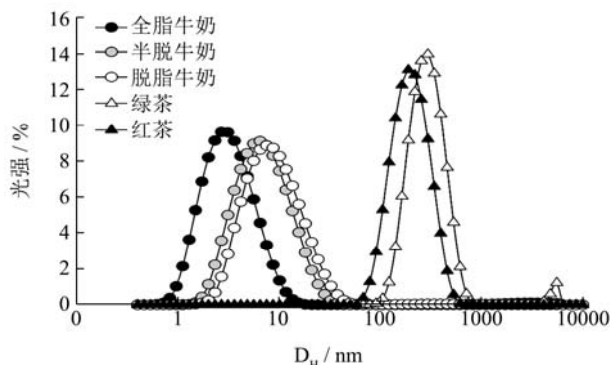


图1 红/绿茶汤和三种牛奶纳米胶粒的水合直径(D_H)-光强分布曲线

Fig.1 Intensity distribution of hydrodynamic diameter (D_H) of colloidal particles in two tea infusions and three milks

表1 红/绿茶汤和三种牛奶纳米胶粒的基本物理化学特性

Table 1 Physicochemical profile of colloidal particles in two tea infusions and three milks

| 物理化学参数 | 绿茶 | 红茶 | 全脂牛奶 | 半脱脂牛奶 | 脱脂牛奶 |
|----------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 总光强/kcps | 1978.50±74.68 ^{Bb} | 3463.73±241.37 ^{Aa} | 282.10±2.76 ^{Cc} | 421.37±2.15 ^{Bb} | 548.28±15.05 ^{Aa} |
| 平均直径/nm | 287.23±5.65 ^{Aa} | 185.90±6.15 ^{Bb} | 2.78±0.08 ^{Cc} | 5.93±0.30 ^{Bb} | 7.45±0.37 ^{Aa} |
| PDI | 0.27±0.03 ^{Aa} | 0.20±0.01 ^{Bb} | 0.21±0.01 ^{Cc} | 0.22±0.00 ^{Bb} | 0.24±0.00 ^{Aa} |

注：不同大写字母表示组间（两茶类间或三种牛奶间）差异极显著($p < 0.01$)，不同小写字母表示组间差异显著($p < 0.05$)，相同小写字母表示组间差异不显著($p > 0.05$)。

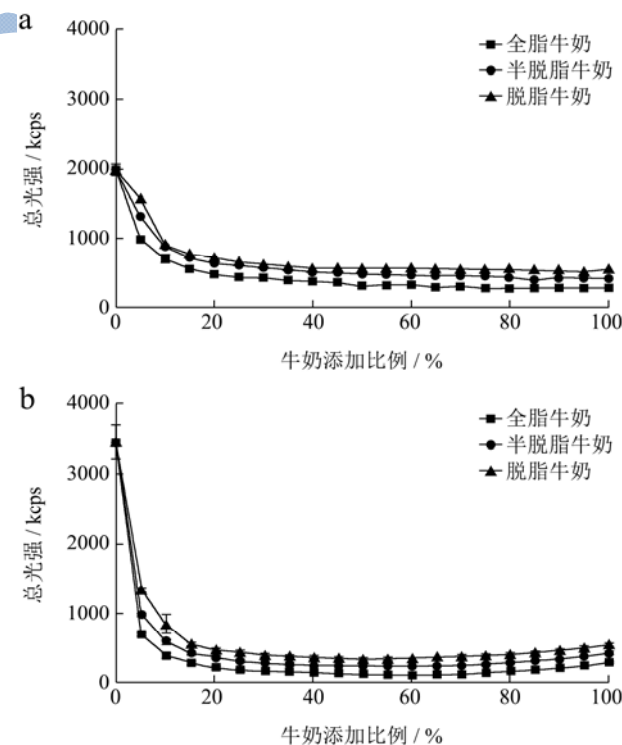
在此基础上，按5%~95%的体积比向两茶类茶汤中添加全脂、半脱脂和脱脂牛奶，比较各组奶茶的原始茶汤总光强和纳米胶粒平均直径，结果如图2所示。

由图2可知，添加5%~15%全脂、半脱脂和脱脂牛奶均会显著降低两茶类原始茶汤的总光强和胶粒平均直径($p < 0.05$)，但继续增大三种牛奶的添加比例时，两茶类原始茶汤总光强和胶粒平均直径的变化逐渐变小，并趋近于三种牛奶的物理化学特性；其中，全脂牛奶对两茶类茶汤总光强的影响最大，半脱脂牛奶次之，脱脂牛奶影响较小，但三种牛奶对两茶类胶粒平均直径的影响差异较小；两茶类中，添加牛奶对红茶总光强的影响比绿茶更大，但绿茶胶粒平均直径的变化更突出。

上述研究表明，添加全脂、半脱脂和脱脂牛奶均会显著降低绿茶、红茶的总光强和胶粒平均直径，且这种作用可能与牛奶脂肪含量、茶类有关，牛奶脂肪含量越高、作用越强，红茶物理化学特性的变化幅度比绿茶更大。

为初步比较绿茶、红茶及全脂、半脱脂和脱脂牛奶的基本物理化学特性，本研究首先采用DLS技术分析两茶类茶汤及三种牛奶的粒径分布、总光强、平均直径和PDI等参数，结果如图1和表1所示。

由图1和表1可知：①红/绿茶汤纳米胶粒的平均直径约200~300 nm，其中绿茶总光强极显著低于红茶，但其平均直径、PDI均极显著大于后者。相同条件下，体系总光强与胶粒直径的六次方、胶粒数目成正比，胶粒直径越大、数目越多，总光强越高。说明红茶汤中纳米胶粒总数多于绿茶，且胶粒的粒径分布更集中。②三种牛奶纳米胶粒的平均直径均低于10 nm，其中，全脂牛奶总光强最低、平均直径和PDI最小，其次是半脱脂牛奶，脱脂牛奶胶粒总光强、平均直径和PDI均最高。说明牛奶纳米胶粒的直径及其分布的分散性可能与其脂肪含量有关，脂肪含量越高，牛奶纳米胶粒的直径越小、粒径分布越集中。



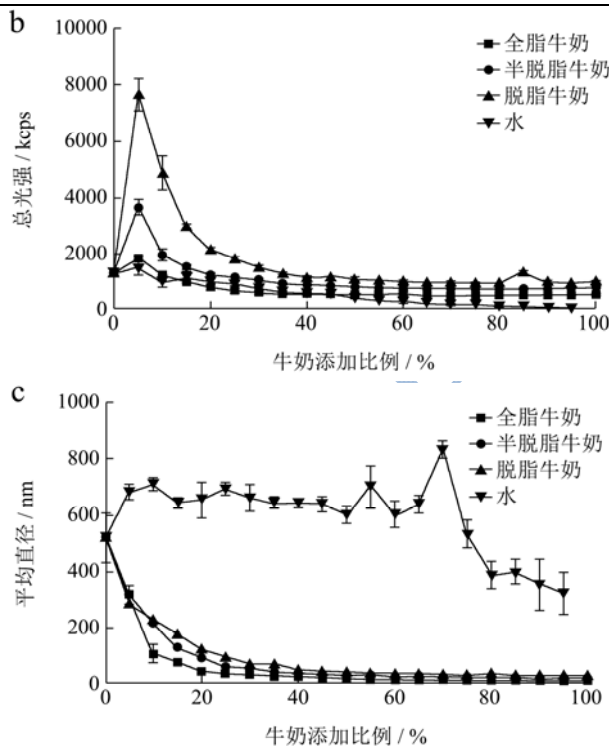
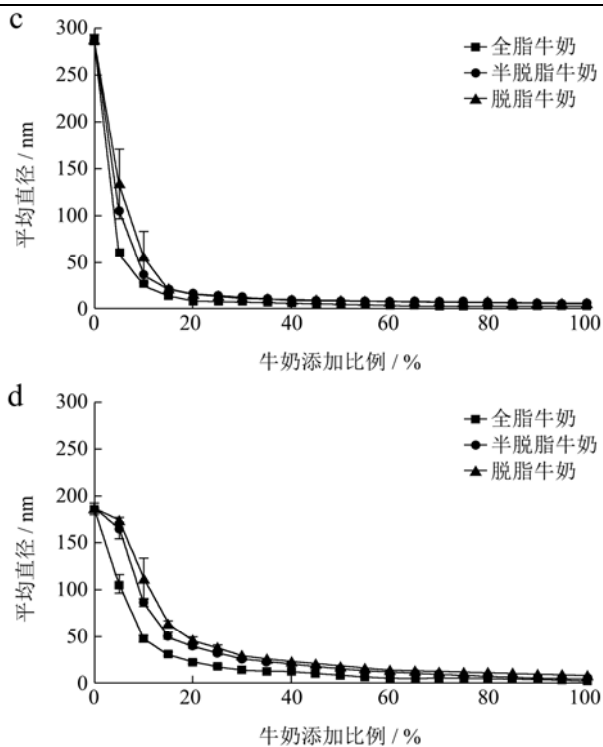


图2 添加三种牛奶对两茶类茶汤总光强 (a. 绿茶; b. 红茶) 和纳米平均直径 (c. 绿茶; d. 红茶) 的影响

Fig.2 Total intensity (a, b) and average D_H (c, d) of colloidal particles in green tea (a, c) and black tea (b, d) adding with three various milks of different ratio

2.2 添加牛奶对纳米聚集体物理化学特性的影响

为进一步验证添加牛奶对两茶类茶汤物理化学特性的影响是否与纳米聚集体有关, 本研究以添加不同比例全脂、半脱脂和脱脂牛奶的两茶类茶汤为材料, 并以水替代牛奶为对照, 利用截留孔径为 10 nm 的超滤膜分离其纳米聚集体, 比较牛奶添加比例、牛奶种类和茶类对纳米聚集体总光强和平均直径的影响, 结果如图 3 所示。

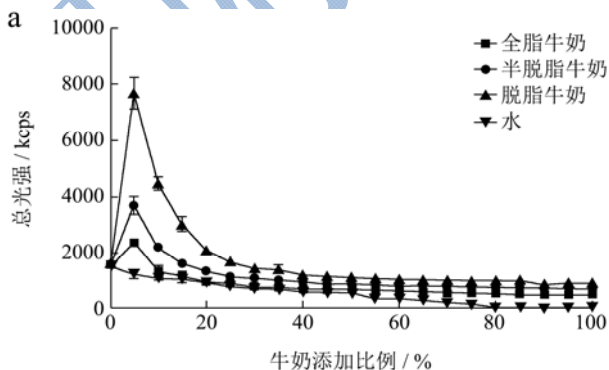


图3 按不同比例添加三种牛奶对两茶类茶汤纳米聚集体总光强 (a. 绿茶; b. 红茶) 和平均直径 (c. 绿茶; d. 红茶) 的影响

Fig.3 Effects of three various milks on the total intensity (a, b) and average d_H (c, d) of nano-aggregates in green tea (a, c) and black tea (b, d)

比较图 3a 和 3b 可知, 添加 5% 的全脂、半脱脂和脱脂牛奶时, 两茶类纳米聚集体的总光强均显著增大, 增幅最高达到添加前的 5 倍; 但继续提高三种牛奶的添加比例, 两茶类纳米聚集体总光强反而显著减小; 当三种牛奶添加比例超过 25% 后, 两茶类纳米聚集体总光强的变化逐渐趋缓。以水替代牛奶时, 两茶类纳米聚集体总光强随水添加比例增大而逐渐降低, 表现为典型的稀释作用。

由图 3c 可知, 随全脂、半脱脂和脱脂牛奶的添加比例增大, 绿茶纳米聚集体的平均直径逐渐减小, 当三种牛奶添加比例超过 20% 时, 绿茶纳米聚集体的平

均直径变化幅度较小;以水替代牛奶时,绿茶纳米聚集体的平均直径显著增大,当水的添加比例超过75%时,绿茶纳米聚集体的平均直径反而减小。由图3d可知,添加5%全脂、半脱脂牛奶时,红茶纳米聚集体的平均直径显著增大,但添加5%脱脂牛奶时,红茶纳米聚集体平均直径无显著变化;继续提高三种牛奶添加比例,红茶纳米聚集体的平均直径均显著减小;但当牛奶添加比例超过30%时,红茶纳米聚集体平均直径的变化趋缓;以水替代牛奶时,红茶纳米聚集体的平均直径无显著变化,但当水的添加比例达到60%时,红茶纳米聚集体的平均直径显著增大。这些结果说明,向两茶类茶汤中添加牛奶,部分牛奶纳米胶粒可被超滤膜截留,使内衬管的茶汤纳米聚集体平均直径降低。Spiro等(1997)指出,将牛奶添加到红茶中,游离的茶多酚分子会吸附到酪蛋白胶束中,并结合到牛奶脂肪球的蛋白膜表面^[15]。由此推测,平均直径小于截留孔径(10 nm)的牛奶纳米胶粒之所以能够被超滤膜截留,可能与牛奶蛋白质和茶汤茶多酚间的分子相互作用有关。

由图3可知,三种牛奶中,以脱脂牛奶对两茶类纳米聚集体的总光强、平均直径的影响最大,半脱脂牛奶次之,全脂牛奶影响最小,说明牛奶脂肪可能不利于其胶粒与茶汤茶多酚等结合而转移到纳米聚集体部分;添加牛奶对两茶类纳米胶粒总光强的影响相近,但对绿茶纳米聚集体平均直径的影响比红茶更大。

比较图2与图3可知,绿茶、红茶纳米聚集体(即牛奶添加比例为0%)总光强分别为其原始茶汤的78%和37%,但其平均直径分别为原始茶汤的1.8和1.3倍,说明两茶类茶汤纳米聚集体数目较少,茶汤中仍存在相当比例未被超滤膜截留的小粒子;三种牛奶(即牛奶添加比例为100%)经超滤后,截留部分的总光强增大68~85%,平均直径增大1.5~2.5倍,说明牛奶纳米胶粒可被超滤膜截留,且超滤过程中,牛奶纳米胶粒间发生一定程度聚集,使该部分体系总光强和平均直径明显增大;两茶类茶汤添加5~95%牛奶后,纳米聚集体的总光强和平均直径均显著增大,说明被截留的牛奶纳米胶粒会促使茶汤纳米聚集体发生胶粒间聚集。

上述研究表明,两茶类茶汤添加全脂、半脱脂和脱脂牛奶后,牛奶纳米胶粒可被超滤膜截留,促使茶汤纳米聚集体发生胶粒间聚集;随牛奶添加比例增加,被截留的牛奶纳米胶粒比例增多,截留部分胶粒的平均直径减小,这种作用与牛奶脂肪含量、茶类有关,脂肪含量越低、作用越强,对绿茶汤截留部分物理化学特性的影响比红茶更突出。

2.3 添加牛奶对茶汤茶多酚分布特性的影响

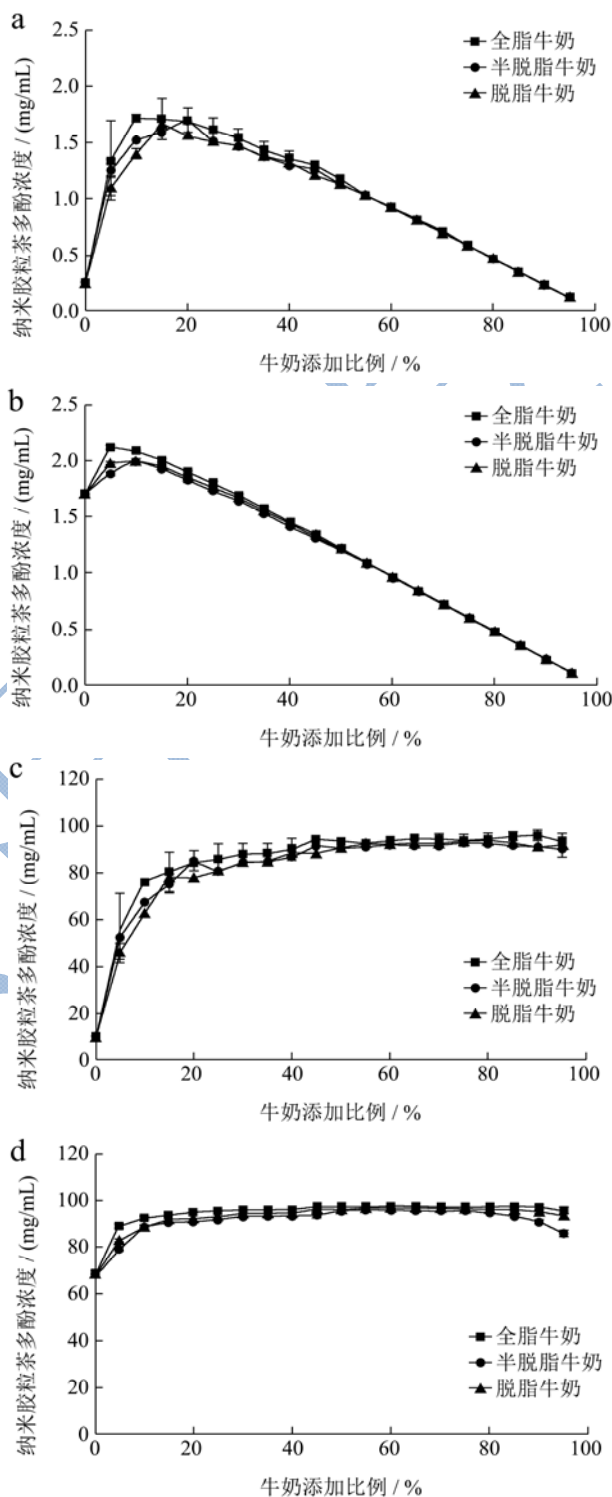


图4 按不同比例添加三种牛奶对两茶类纳米聚集体系中茶多酚的浓度(a.绿茶, b.红茶)和分布率(c.绿茶, d.红茶)的影响

Fig.4 Effects of three various milks on the concentrations (a, b) and distribution percentages (c, d) of tea polyphenols in nano-aggregates of green tea (a, c) and black tea (b, d)

为探究添加牛奶对绿茶、红茶中茶多酚分布特性

的影响,本研究分别比较了添加不同比例全脂、半脱脂和脱脂牛奶的两茶类纳米聚集体的茶多酚浓度和分布率,结果如图4所示。

由图4可知,未添加牛奶前,绿茶纳米聚集体茶多酚浓度和分布率均显著小于红茶,红茶原始茶汤中近70%茶多酚分布于纳米聚集体部分;添加三种牛奶后,两茶类纳米聚集体茶多酚浓度和分布率均显著增大,特别是两茶类茶多酚在纳米聚集体的分布率均超过90%,其中绿茶纳米聚集体的茶多酚浓度和分布率增幅比红茶更大;当牛奶添加比例超过15%时,两茶类纳米聚集体茶多酚浓度随牛奶添加比例增大而逐渐降低,茶多酚的分布率变化趋缓。三种牛奶对两茶类茶多酚分布特性的影响相近。

上述研究结果表明,添加不同脂肪含量的牛奶均能促使两茶类茶汤茶多酚转移到纳米聚集体部分,降低游离茶多酚的比例,且这种作用对绿茶的影响更为突出。Kartsova等^[16]利用胶束电动力学色谱证实,向绿茶、红茶的茶汤添加5~10%牛奶后,牛奶中的酪蛋白会与茶多酚结合形成复合物,导致绿茶游离茶多酚的浓度降低50%~80%,红茶降低20%~40%。Kanakis等^[17]指出,茶多酚主要通过氢键和疏水相互作用与 β -乳球蛋白结合,蛋白质的部分氨基酸残基通过延伸氢键网络进一步稳固多酚-蛋白质复合物。Ye等^[18]分别将两茶类茶汤与不同比例牛奶混合,发现绿茶和红茶中分别有73%和35%的茶多酚分布到牛奶的乳清蛋白与酪蛋白胶束中。由此推测,两茶类茶汤茶多酚可能通过与牛奶蛋白质的相互作用,吸附到牛奶蛋白胶束内部或表面,使牛奶纳米胶粒直径增大而被截留;或以茶多酚为“分子桥”将牛奶蛋白吸附到茶汤纳米聚集体部分,进而通过牛奶蛋白-茶多酚的相互作用使游离的茶多酚富集于纳米聚集体中。其中,绿茶多酚与牛奶蛋白质的结合亲和力比红茶的茶多酚更强,但在本实验条件下的全脂牛奶与半脱脂、脱脂牛奶蛋白质含量的差异对牛奶蛋白与茶汤茶多酚的相互作用无明显影响。

Arts等^[19]采用TEAC(Trolox equivalent antioxidant capacity)法分析指出,茶多酚与乳清蛋白、 α -酪蛋白、 β -酪蛋白和 κ -酪蛋白结合后,其抗氧化活性均有不同程度降低,降幅最高达到20%,且绿茶多酚EGCG、ECG、EGC和EC的降幅均高于红茶的茶黄素;Xiao等^[20]指出,添加牛奶会显著降低茶多酚清除DPPH自由基的活性,且这种作用随牛奶蛋白-茶多酚复合物的比例增加而增强。Bourassa等^[21]指出,添加牛奶酪蛋白会使茶多酚抗氧化活性降低6%~75%,这种作用因茶多酚的分子结构差异而不同,对EGC、EC和C等

小分子多酚抗氧化活性的影响最大,EGCG、ECG等分子量较大的绿茶多酚次之,对茶黄素抗氧化活性的影响较小。这些研究说明,添加牛奶后两茶类茶汤的游离茶多酚比例降低,可能会削弱茶汤的体外抗氧化活性。然而,Green等^[22]利用模拟胃肠道消化系统证实,添加50%牛奶可使绿茶多酚的体外消化回收率提高52%,Xie等^[23]利用人结肠癌Caco-2细胞构建小肠上皮细胞吸收模型,发现添加10%和20%脱脂牛奶可显著提高绿茶多酚的小肠上皮细胞透过率,且牛奶添加比例越高,牛奶提高绿茶多酚体外生物利用率的作用越强。因此,添加牛奶促使绿茶和红茶的茶多酚富集于纳米聚集体是否会影响这部分茶多酚的功效发挥,仍需要借助模拟消化和吸收模型进一步研究纳米聚集构造对茶多酚生物可及性和生物利用率等影响。

3 结论

本研究通过比较添加不同比例全脂、半脱脂、脱脂牛奶对绿茶和红茶纳米聚集体的基本物理化学特性和茶多酚分布特性的影响,结果发现:①向两茶类茶汤添加牛奶后,部分牛奶胶粒会转移到两茶类茶汤的纳米聚集体部分,使茶汤纳米聚集体的总光强、平均直径趋近于牛奶,且牛奶脂肪含量越低,对茶汤纳米聚集体物理化学特性的影响越突出;②添加牛奶促使茶汤大部分茶多酚富集于纳米聚集体中,降低茶汤游离茶多酚的比例,且绿茶游离多酚的降幅比红茶更大,但这种作用与牛奶脂肪含量无关。本研究从茶汤纳米聚集体的新角度,初步探讨了牛奶脂肪含量、添加比例和茶类等因素对茶汤茶多酚分布特性的影响,为未来深入探究奶茶功能特性提供了前期理论研究基础。

参考文献

- [1] Kris-Etherton P M, Keen C L. Evidence that the antioxidant flavonoids in tea and cocoa are beneficial for cardiovascular health [J]. *Current Opinion in Lipidology*, 2002, 13(1): 41-49
- [2] Hertog G L, Sweetnam P M, Fehily A M, et al. Antioxidant flavonols and ischemic heart disease in a Welsh population of men: the caerphilly study [J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1997, 65(5): 1489-1494
- [3] Kh V H H, Kivits G A A, Weststrate J A, et al. Bioavailability of catechins from tea: the effect of milk [J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1998, 52(5): 356-367
- [4] Reddy V C, Sagar G V V, Sreeramulu D, et al. Addition of milk does not alter the antioxidant activity of black tea [J]. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 2005, 49(3): 189-195
- [5] Lorenz M, Jochmann N, Von K A, et al. Addition of milk

- prevents vascular protective effects of tea [J]. *European Heart Journal*, 2007, 28(10): 219-223
- [6] Ryan L, Petit S. Addition of whole, semiskimmed, and skimmed bovine milk reduces the total antioxidant capacity of black tea [J]. *Nutrition Research*, 2010, 30(1):14-20
- [7] Mcgovern S L, Caselli E, Grigorieff N, et al. A common mechanism underlying promiscuous inhibitors from virtual and high-throughput screening [J]. *Journal of Medicinal Chemistry*, 2002, 45(8): 1712-1722
- [8] ZHUANG Yan, YAN Jing-jing, ZHU Wei, et al. Can the aggregation be a new approach for understanding the mechanism of traditional Chinese medicine? [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2008, 117(2): 378-384
- [9] 吴志生,庞文生,黄美霞,等.银杏叶提取物分子聚集形态(英文)[J].*天然产物研究与开发*,2009,6:939-942,959
WU Zhi-sheng, PANG Wen-sheng, HUANG Mei-xia, et al. Study on molecular morphology of ginkgo biloba extract [J]. *Natural Product Research and Development*, 2009, 6: 939-942, 959
- [10] Gröning R, Baroth V, Breitzkreuz J. Nanoparticles in plant extracts-investigations into the colloidal structure of aqueous infusions of black tea [J]. *Pharmaceutical and Pharmacological Letters*, 1995, 5(2): 77-79
- [11] 李斌,康雨婷,陈忠正,等.绿茶天然茶汤纳米聚集体的分离与分析[J].*食品工业科技*,2016,37(21):105-109,137
LI Bin, KANG Yu-ting, CHEN Zhong-zheng, et al. Separation and characterization of spontaneously assembled nano-aggregates in natural green tea infusions [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(21): 105-109, 137
- [12] Frenkel Y V, Arthur C J, Das K, et al. Concentration and pH dependent aggregation of hydrophobic drug molecules and relevance to oral bioavailability [J]. *Journal of Medicinal Chemistry*, 2005, 48(6): 1974-1983
- [13] Duan D, Doak A K, Petrova L, et al. Colloidal aggregation and the *in vitro* activity of traditional Chinese medicines [J]. *ACS Chemical Biology*, 2015, 10(4): 978-988
- [14] 李斌,罗维,陈忠正,等.浸提方式对绿茶沉淀胶体特性与理化组成的影响[J].*现代食品科技*,2016,32(7):115-123
LI Bin, LUO Wei, CHEN Zhong-zheng, et al. Impacts of extraction methods on formation of green tea cream: physicochemical profiles and phytochemical nature [J]. *Modern Food Science & Technology*, 2016, 32(7): 115-123
- [15] Spiro M, CHONG Yuen-ying. Kinetics and equilibria of tea infusion, part 14. surface films formed in hard water by black tea brews containing milk [J]. *Food Chemistry*, 1997, 59(2): 247-252
- [16] Kartsova L A, Alekseeva A V. Effect of milk caseins on the concentration of polyphenolic compounds in tea [J]. *Journal of Analytical Chemistry*, 2008, 63(11): 1107-1111
- [17] Kanakis C D, Hasni Imed, Bourassa Philippe, et al. Milk β -lactoglobulin complexes with tea polyphenols [J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(3): 1046-1055
- [18] YE Jianhui, FAN Fangyuan, XU Xinqing, et al. Interactions of black and green tea polyphenols with whole milk [J]. *Food Research International*, 2013, 53(1): 449-455
- [19] Arts M J T J, Haenen G R M M, Wilms L C, et al. Interactions between flavonoids and proteins: effect on the total antioxidant capacity [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2002, 50(5):1184-1187
- [20] XIAO Jianbo, MAO Fangfang, YANG Fan, et al. Interaction of dietary polyphenols with bovine milk proteins: molecular structure-affinity relationship and influencing bioactivity aspects [J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2011, 55(11): 1637-1645
- [21] Bourassa P, Cote R, Hutchandani S, et al. The effect of milk alpha-casein on the antioxidant activity of tea polyphenols [J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology B-Biology*, 2013, 128(9): 43-49
- [22] Green R J, Murphy A S, Schulz B, et al. Common tea formulations modulate *in vitro* digestive recovery of green tea catechins [J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2007, 51(9): 1152-1162
- [23] Xie Y, Kosińska A, Xu H, et al. Milk enhances intestinal absorption of green tea catechins in *in vitro*, digestion/Caco-2 cells model[J]. *Food Research International*, 2013, 53(2):793-800