

# 绿茶提取液沉淀形成机理的研究\*

戴前颖,夏 涛,朱 博,高 俊

(安徽农业大学教育部茶叶生物化学与生物技术重点实验室,安徽合肥,230036)

**摘 要** 以绿茶为试验材料,从茶汤体系的物化性质和化学成分两方面探讨了茶汤沉淀形成的机理。通过对沉淀形成过程中沉淀颗粒形态变化、电解质和氢键裂解剂的作用、红外光谱变化等内容的研究,来判断茶汤形成沉淀前后的性质改变,初步判定经低温贮存后的茶汤体系介于胶体分散系和粗分散系;茶汤颗粒间的氢键、静电作用是影响茶汤沉淀形成的因素,共价键不是沉淀形成的主要因素。通过计算茶汤中各主要成分进入上清相和沉淀相的分配系数,来判断该成分进入上清相和沉淀相的趋势,结果表明:茶多酚是构成茶汤沉淀物的主体物质,其次是果胶、咖啡碱,而在沉淀相中分配系数较大的成分依次是叶绿素、没食子酸、果胶、蛋白质、花青素、咖啡碱、可可碱。

**关键词** 绿茶提取液,沉淀,机理,分配系数,作用力

在茶饮料加工过程中,经热水浸提出的茶汤清澈明亮,但在冷却或贮存后会出现乳酪状的浑浊物,随着时间的延长和温度的降低,会形成一定量的沉淀,不仅影响茶饮料的感观品质,而且还直接影响产品的货架期,这一直是茶饮料加工中的技术难题<sup>[1]</sup>。

对茶乳酪的研究起源于红茶<sup>[2,3]</sup>,研究的焦点多集中在茶乳酪的组分上。随后,许多研究揭示<sup>[4~6]</sup>,不仅红茶会产生冷后浑,久置的绿茶汤也会产生沉淀,这些沉淀物多呈颗粒状<sup>[7]</sup>或细长形<sup>[8]</sup>,具有负电溶胶的特点<sup>[9]</sup>,其主要化学成分为淀粉、蛋白质、果胶、柯豆素、咖啡酸、五倍子酸、叶绿素、黄酮醇配糖体、脂类、EGCG、EGC、EC以及矿物质等<sup>[10]</sup>。但到目前为止,有关茶汤沉淀形成的机理仍然不清楚。

本文通过对茶汤沉淀形成过程中沉淀颗粒形态变化、粒径分布、电解质和氢键裂解剂的作用、红外光谱变化等内容的研究;通过对沉淀物中主要成分的分析、主要成分对沉淀形成的贡献率等内容的研究,来了解促使茶汤沉淀形成的作用力及物质基础,为茶汤沉淀形成机理的探讨和茶饮料的品质调控提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

实验所用炒青绿茶原料由安徽农业大学茶厂提供,经粉碎机粉碎,收集24目筛下和40目筛上茶粉

于保鲜库中保存,茶粉含水量为5.71%。

### 1.2 主要试剂

没食子酸(gallic acid, GA),咖啡碱(cafeine, CAF),表儿茶素(epicatechin, EC),儿茶素(catechins, C),表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG),表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)和表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG),可可碱(theobromine, THB),茶叶碱(Theophylline, THP),均购于美国Sigma公司;乙腈(Acetonitrile)和甲醇(Methanol)(色谱分析级),购于美国Tedia公司;其余试剂均为分析纯;所有实验用水均为蒸馏水。

### 1.3 主要仪器

BP-211D电子天平( $d=0.01$  mg),Sartorius,德国;HIg3703-11浊度测量仪,意大利哈纳公司;HH-6数显恒温水浴锅,江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司;LGJ1.5冷冻干燥机,北京四环科学仪器厂生产;WATERS600紫外检测器高效液相色谱仪,美国WATERS公司;PL5243 PURELABClassic超纯水系统,美国Pall公司;Motic Digital imaging显微镜,麦克奥迪(中国)实业集团有限公司;BECKMAN centrifuge高速离心机,美国BECKMAN公司;PHILIPS Sieries XL 20扫描电子显微镜,荷兰飞利浦公司等。

### 1.4 茶汤的制备

以1g:100mL的茶水比浸提炒青绿茶粉,取3.0 g茶样于锥形瓶中,加入300 mL蒸馏水于85℃水浴下浸提15 min。依次用脱脂棉和0.8 μm微孔

第一作者:博士研究生(夏涛为通讯作者)。

\*教育部科学技术研究重点项目(02067),安徽省优秀青年基金和自然科学基金资助(2001kj089zd)

收稿日期:2007-12-10,改回日期:2008-01-29

滤膜过滤,微波灭菌,所得茶汤于4℃贮存,备测各项指标,所有指标的测定重复3次以上。

### 1.5 茶汤沉淀物的制备

将已产生沉淀的茶汤,于4℃,8 000 r/min,离心20 min,取出上清液,保存,备测各项指标。用10 mL蒸馏水分3次将沉淀洗入培养皿中,置于-10℃冰柜中预冷,待液体凝固后,将沉淀冷冻干燥至恒重,备测各项指标。

### 1.6 茶汤浑浊度的测定

取不同贮存期的茶汤10 mL于比色皿中,加盖,充分摇匀,用HANNAHI-93703-11浊度计测定茶汤浑浊度。

### 1.7 茶汤沉淀的形态学观察

定期取贮存的茶汤,滴于血球计数平板上,用Motic Digital Imaging光学显微镜下观察沉淀颗粒的总体形态。

取冷冻干燥后的沉淀粉末,用双面胶固定于金属台上,置于PHILIPS Series XL 20扫描电子显微镜内,抽真空,于10.0 kV的电场下进行扫描,观察沉淀颗粒的微观结构。

### 1.8 茶汤粘度测定

参考文献[11]用乌氏粘度计,于25℃下,分别测量纯水和茶汤通过毛细管的时间 $t_0$ 和 $t_{\text{茶汤}}$ ,以纯水做标准液(25℃粘度为0.890 4 mPa·s),根据下面的公式计算粘度。

$$\eta_{\text{茶汤}} = \frac{t_{\text{茶汤}}}{t_0} \eta_0$$

### 1.9 氢键裂解剂(盐酸胍)对茶汤沉淀形成的影响

根据参考文献[12],称取一定质量的盐酸胍,分别加入到各贮存期的茶汤中,使盐酸胍的终浓度分别为0%、0.5%、1.0%、1.5%、2%、4%、8%、10%、12%,充分水解6 h,按1.8方法测定各处理茶汤的粘度。

### 1.10 电解质NaCl对茶汤粒子聚沉的影响

将一定量的NaCl分别加入到50 mL的茶汤中,使茶汤体系中的NaCl溶液终浓度分别为0%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3%,充分混匀后,按1.6方法测定各处理茶汤的浑浊度。

### 1.11 茶汤体系共价键的测定

取各贮存期的茶汤,经冷冻干燥,在红外水分测定仪上进一步干燥,取少许与KBr共压片,于红外光谱仪上扫描。

### 1.12 茶汤沉淀主要理化成分分析

固形物的测定:105℃烘干法<sup>[13]</sup>;茶多酚的测定:酒石酸铁比色法<sup>[13]</sup>;氨基酸的测定:茚三酮比色法<sup>[13]</sup>;花青素的测定:酸性乙醇比色法<sup>[13]</sup>;可溶性糖的测定:蒽酮比色法<sup>[13]</sup>;总黄酮的测定:三氯化铝比色法<sup>[13]</sup>;果胶的测定:果胶酸钙重量法<sup>[13]</sup>;蛋白质的测定:考马斯亮蓝法<sup>[14]</sup>;叶绿素总量的测定:分光光度法<sup>[15]</sup>;咖啡碱和儿茶素的测定:HPLC法, HPLC条件:泵 Waters600;2487 双波长紫外检测器;检测波长 280 nm;柱 phenomenex Synergi 4u Fusion-RP 80,(250×4.6)mm;分别取2 mL样品,用0.22 μm膜过滤后,进样分析,进样体积5ul;采用外标法定量,流动相 A:1%乙酸, B:100%乙腈,流速为1.2 mL/min,梯度变化见表1。

表1 儿茶素及咖啡碱 HPLC 分析的洗脱梯度

时间/min	A相/%	B相/%
0	90	10
20	87	13
40	70	30
41	90	10

图1为各种儿茶素和咖啡碱的HPLC分离色谱图,各样品的标准曲线的回归方程和相关系数如下:

$$\begin{aligned} \text{GA: } y &= 14\,054x & R^2 &= 1 \\ \text{THB: } y &= 14\,904x & R^2 &= 1 \\ \text{THP: } y &= 17\,162x & R^2 &= 1 \\ \text{EGC: } y &= 1\,111.1x - 3\,217.8 & R^2 &= 0.998\,7 \\ \text{CAF: } y &= 13\,394x + 1\,131.3 & R^2 &= 0.999\,9 \\ \text{C: } y &= 3\,460.7x - 1\,290.3 & R^2 &= 0.999\,9 \\ \text{EC: } y &= 3\,941.6x - 758.22 & R^2 &= 0.999\,9 \\ \text{EGCG: } y &= 4\,805.3x - 13\,380 & R^2 &= 0.999 \\ \text{GCG: } y &= 10\,000x - 48\,898 & R^2 &= 0.999 \\ \text{ECG: } y &= 9\,278.1x - 5\,632.7 & R^2 &= 1 \end{aligned}$$

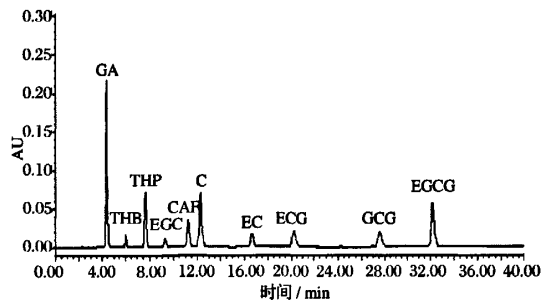


图1 儿茶素及生物碱的HPLC图谱

### 1.13 茶汤成分分配系数KA计算

将茶汤上清液和沉淀物的主要化学成分,按照下

面公式<sup>[9]</sup>计算相关物质(A)在两相中的分配系数 $K_A$ ,以判断该物质对沉淀的贡献率。

$$K_A = \frac{\text{沉淀中 A 的量} \div \text{沉淀的量}}{\text{上清中 A 的量} \div \text{上清的量}}$$

## 2 结果与分析

### 2.1 贮存期间茶汤沉淀的形成

图2表明,刚浸提出的茶汤的浑浊度仅为70FTU,茶汤清澈。在4℃的低温条件下,5d内浊度上升很快,达到了118FTU。在随后的15d内,浑浊度缓慢上升。

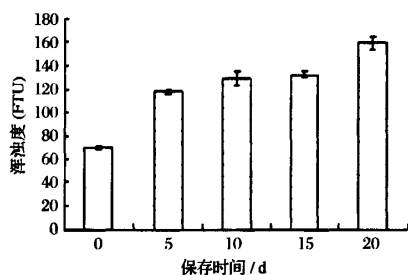


图2 茶汤贮存期的浑浊度变化

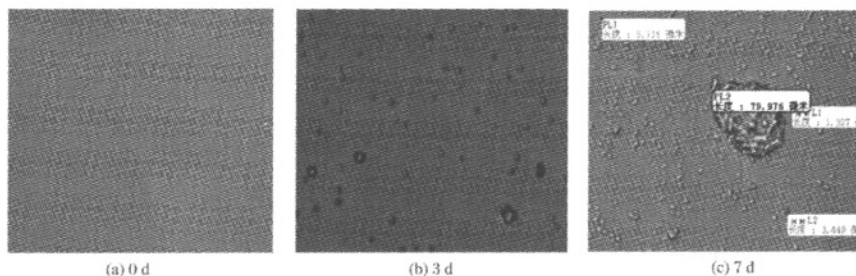


图3 不同贮存时间茶汤沉淀的光学显微形态图(×400倍)

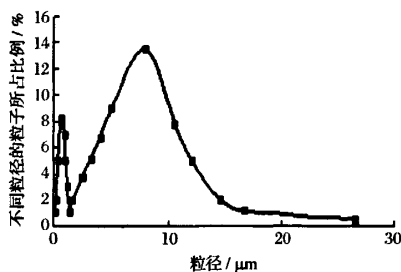


图4 茶汤颗粒粒径分布图

### 2.3 电解质 NaCl 对茶汤粒子聚沉的影响

茶汤内含物分子,如茶多酚等,带有大量—OH、—COOH等亲水基,这些基团的水化作用很强,使有机分子外围有很厚的水化膜,可以阻止高分子化合物的聚集。当往初制的茶汤中加入盐溶液时,盐的离子被有机高分子选择吸附,使表层带电且彼此排斥,与

慢上升。说明贮存早期是沉淀形成的主要时期。

### 2.2 贮存期间茶汤沉淀形态的变化

图3中分别比较了贮存期间茶汤沉淀形成的形态变化,结果发现,刚浸泡的茶汤的颗粒粒径很小,光学显微镜难以辨认;贮藏3d后,茶汤出现一些表面光滑的球状沉淀颗粒,粒径多为0.2~1.02 μm;贮藏7d后的茶汤,其沉淀物出现许多不规则的聚集,颗粒多呈团块状,粒径增大,多集中在10 μm左右。图4是保存1W的茶汤粒子的粒径分布图,结果显示,茶汤颗粒粒径分布多集中在0.1 μm和10 μm左右的2个区域。小粒径的颗粒所占的比例较少,而粒径在5~15 μm的占50%以上,有的聚集粒径甚至达到几十微米。推测可能是一些小颗粒之间相互碰撞,从而直接形成大颗粒,并不是颗粒逐渐增加壮大的。因此,呈现出了2个分布区间,而不是连续分布。

从沉淀物的扫描电镜图上看,茶汤中的沉淀物呈松散的碎片状聚集,规整性不强(见图5),是由沉淀中多种分子或分子集团聚集而成的不同形状颗粒,体现了绿茶沉淀物的无定形微观结构。

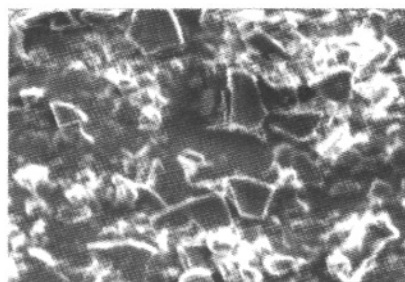


图5 贮存1周的茶汤沉淀的扫描电镜图(×1557倍)

水分子间的作用反而加强,使有机物的溶解度非但不减少,还有增大的趋势(见图6)。而当加入的盐溶液浓度增大时,水的活度降低,原来溶液中的大部分自由水转变为盐离子的水化水,从而降低了有机高分子的亲水基团与水分子间的相互作用,破坏了表面的水膜,失去其保持稳定性的因素而发生聚沉。向析出的

沉淀中继续加入水时,使电解质的浓度减少,沉淀物还能重新溶解。

而分散在茶汤中的固体颗粒表面带负电<sup>[7]</sup>,由于带有相同的电荷,在茶汤颗粒间会产生了一定的静电斥力,从而阻止它们互相接触而聚沉,茶汤具有相对稳定性<sup>[16]</sup>。由图 6 中的结果可知,NaCl 的加入使茶汤浑浊度提高,且随浓度的增加,茶汤产生的沉淀越多。根据胶体化学理论,NaCl 对茶汤的沉淀作用主要决定于茶汤中粒子的荷电性质。由于茶汤的颗粒表面带负电,因此,当它们混溶时,由于静电作用使粒子间发生电荷中和反应,从而使粒子间的静电斥力减少或消失,从而相互凝结、沉淀。该沉淀物加水不易再次溶解,体现出类似憎液溶胶的性质。

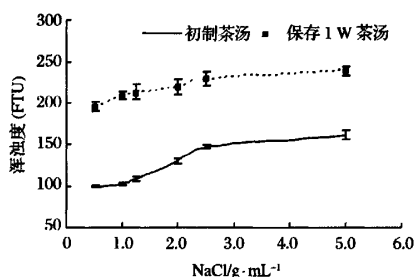


图 6 电解质 NaCl 对茶汤浑浊度的影响

## 2.4 盐酸胍对茶汤粘度的影响

根据流变学原理,溶液中存在的氢键越强,其粘度越大,氢键被裂开后,粘度变小。故通过测其粘度变化,并结合茶汤浑浊度的变化来判断氢键对沉淀形成的贡献,以及判断加工过程中相关处理是否是通过削弱或增强氢键而起作用。

盐酸胍被认为是典型的氢键开裂剂<sup>[12]</sup>,从图 7 中可看出,无论茶汤有没有产生沉淀,盐酸胍对贮存前后的茶汤的粘度均有一定影响,随添加量的增加,粘度均有所下降。产生沉淀的茶汤,其粘度下降幅度较大。表明茶汤中确实存在一些氢键,并随着沉淀的产生,氢键增加。因此推测,氢键结合是茶汤沉淀形成的因素之一。

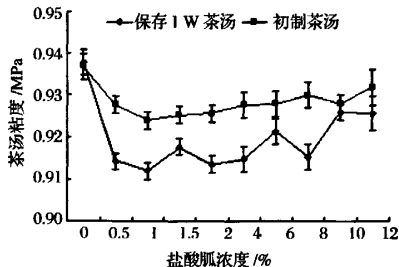


图 7 盐酸胍对茶汤粘度的影响

## 2.5 贮存期间茶汤中的共价键变化

红外线光谱技术(infrared spectroscopy) 具有高度的特征性,可以根据光谱中吸收峰的位置和形状来推断结构的差异,来研究分子的结构和化学键的测定,可以广泛用于表征和鉴别化学物种<sup>[12]</sup>。

图 8 比较了贮存前后茶汤的红外光谱图,结果表明茶汤沉淀形成前后,其红外光谱图中吸收峰的位置、形状以及特征吸收峰的强度都没有发生明显的变化。由此推测在茶汤沉淀形成过程中,其主要成分间没有发生大量共价结合,共价键不是沉淀形成的主要因素。

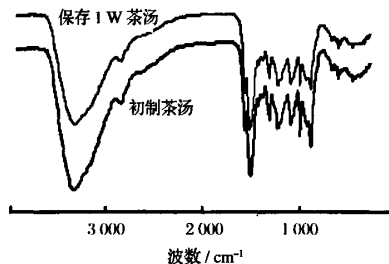


图 8 贮存前后茶汤的红外光谱

## 2.6 沉淀物的化学物质组成及各成分对沉淀的贡献率

Penders(1998)<sup>[9]</sup>在研究茶汤的胶体及物理特性时,引入了热力学中的“相界”(phase boundaries)的概念,即分别计算上清液和沉淀中某成分的分配系数,从而判断该成分进入上清相或沉淀相的趋势。若分配系数  $K_A > 1$ ,则该物质更易进入沉淀相,数值越大,越容易形成沉淀。

表 2 结果显示,沉淀物占茶汤的 11.04%;在沉淀物中能检测的除 C、GCG、茶叶碱、可溶性糖外的其他茶汤物质;各成分在沉淀中的分配情况有所不同,茶多酚是构成茶汤沉淀物的主体物质,占沉淀总量的 43.13%;其次是果胶、咖啡碱,分别占 22.89%、12.63%。但是从各成分的分配系数看,叶绿素、没食子酸、果胶、蛋白质、花青素、咖啡碱、可可碱的分配系数较大,其在沉淀相的分配系数均  $> 1$ ,分别为  $+\infty$ 、7.03、3.95、3.35、2.52、2.09、1.01,因此可以推断,虽然这些物质在沉淀质量中所占的比例均小于茶多酚,但却较易进入绿茶提取液沉淀中,对沉淀的贡献率大。

另外,茶多酚中不同的组成成分对沉淀的贡献率也各不相同。没食子酸的贡献率最大,其次是黄酮类。6 种主要儿茶素中,沉淀贡献率从大到小的顺序

依次为 EGCG、EGC、ECG、EC、C 和 GCG。

表 2 茶汤中各组分的分配系数 mg/100 mL

成 分	初制茶汤	保存 1W 茶汤		K <sub>A</sub>
		上清液	沉淀物	
固形物	540.21±10.03	475.00±2.33	58.99±0.57	
茶多酚	258.78±3.79	228.91±5.63	25.44±0.22	0.89
GA	4.93	4.03	3.52	7.03
EGC	26.77	22.13	0.86	0.31
C	7.43	7.1452	ND	0.00
EC	7.97	6.9098	0.05	0.06
EGCG	104.44	76.35	2.49	0.26
GCG	3.49	16.08	ND	0.00
ECG	14.56	11.5	0.2481	0.17
黄 酮	8.83±0.03	8.12±0.11	0.64±0.01	0.63
果 胶	41.00±0.38	27.50±0.14	13.50±0.05	3.95
花青素	0.20±0.03	0.20±0.03	0.06±0.02	2.52
咖啡碱	36.17±0.33	28.72±0.14	7.45±0.68	2.09
茶叶碱	ND	ND	ND	—
可 碱	1.00	0.88	0.11	1.01
蛋白质	7.68±1.02	5.28±1.59	2.19±0.79	3.35
氨基酸	27.68±0.63	26.28±0.51	0.33±0.08	0.10
叶绿素	1.28±0.08	ND	1.10±0.03	—
可溶性糖	9.01±0.66	7.47±0.32	ND	0.00

注:ND 为未检出。

### 3 讨 论

根据物理化学概念,按照溶液中分散相粒子的大小,可以把分散系分为真溶液、胶体分散系和粗分散系 3 类<sup>[17]</sup>,它们具有不同的扩散速度、膜的通透性和滤纸的通透性能。粒径<1 nm 的为真溶液,如低分子或离子溶液;粒径在 1~100 nm 的为胶体分散系,如分子、离子、原子的聚集体和高分子溶液;粒径>100 nm 的为粗分散系,如乳汁等。低温贮存后的绿茶体系应该介于胶体分散系和粗分散系。粗分散系是非均相、热力学不稳定系统,随着分散相粒径的增加发生聚沉现象。而胶体分散系的稳定性也是相对的、有条件的,当溶胶的稳定因素受到破坏,胶粒碰撞时会合并变大,从介质中析出而下沉。加热、辐射、加入电解质等可引起溶胶聚沉。本试验发现,氢键形成、静电消失均是茶汤沉淀形成的促进因素。

茶汤沉淀颗粒的形成和沉降还受到 Stokes 方程的推论公式中的各种因素影响<sup>[18]</sup>,

$$u_{\pi} = \frac{4}{3} \frac{\pi r^3 \rho g \rho - \rho_0}{6 \pi \eta r} = \frac{2}{9} \frac{r^2 g (\rho - \rho_0)}{\eta}$$

式中: $\rho$  和  $\rho_0$  分别为分散相质点和分散介质的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ); $\eta$  为介质粘度 ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ); $r$  为质点半径 (m); $g$  为重力加速度 ( $\text{m}/\text{s}^2$ ); $u_{\pi}$  为颗粒的沉降速度

( $\text{m}/\text{s}$ )。

溶液中微粒的沉降速度与粒子半径的平方、液体和粒子的密度差成正比、与液体粘度成反比。为了稳定茶汤体系,必须减小粒子的大小,控制粒子的密度,同时提高分散相质点和分散介质的密度差。在实际生产中可以针对性地采用微粒化技术控制颗粒大小;通过控制原茶汤浓度或添加糖来增加两相密度差;同时注意选择适当的食品增稠剂以提高饮料的粘度。

本试验参考了 Penders 等人<sup>[8]</sup>在研究茶汤的胶体及物理特性时引入的热力学中的“相界”(phase boundaries)的概念,分别判断了各成分进入上清相或沉淀相的趋势。茶汤成分对沉淀的贡献率的顺序依次是:叶绿素、没食子酸、果胶、蛋白质、花青素、咖啡碱、可可碱。叶绿素、果胶完全进入了沉淀相,这应该与它们的溶解特性相关,在热水中溶出的一部分脂溶性叶绿素,随着茶汤温度的降低很快地聚沉下来。

由于对沉淀有重要影响的物质,并非茶汤品质的主要特征物质。因此,可以针对性地采取措施剔除,如等电点法去蛋白、酶法水解果胶<sup>[19]</sup>、淋洗法脱咖啡碱<sup>[20]</sup>等,为茶汤的稳定排除干扰;而茶汤的品质成分含量高,如茶多酚和儿茶素等,为沉淀的生成提供了一定的物质基础,但是茶多酚进入沉淀相的系数并不高,因此,可以采取合适方式提高其稳定性,使其在上相的分布更加稳定,从而提高茶饮料的稳定性。

### 4 结 论

茶汤在沉淀形成过程中,粒径逐步增大,形成不规则形态的团块状,初步判定经低温贮存后的茶汤体系介于胶体分散系和粗分散系;茶汤颗粒间的氢键、静电作用是影响茶汤沉淀形成的因素,共价键不是沉淀形成的主要因素。通过引入胶体热力学中的“相界”概念,分别判断了茶汤中各主要成分进入上清相和沉淀相的趋势,结果表明:茶多酚是构成茶汤沉淀物的主体物质,但是进入沉淀相的系数并不高,而在沉淀相中分配系数较大的成分依次是叶绿素、没食子酸、果胶、蛋白质、花青素、咖啡碱、可可碱。

### 参 考 文 献

- 1 Bee R D, Izzar, M J, Harbron R S, et al. The Morphology of black tea cream[J]. Food Microstructure, 1987, 6: 47
- 2 Roberts E H. The phenolic substances of manufactured tea-the creaming down of liquor[J]. J Sc Food Agric, 1963, (14): 700~705

- 3 Seshadre R, Nagalakshmi D. New polydophobic lipid interaction in tea cream[J]. J Sci Food Agric, 1988, 45: 79
- 4 Sanclerson G C. The chemistry of tea and tea manufacturing[J]. Adv Phytochem, 1972, 5: 247
- 5 Smith R F. Studies on the formation and composition of cream in tea infusions[J]. J Sci Food Agric, 1968, (19): 530~534
- 6 Nagalakshmi S, Seshadri R. A study of nitrogenous constituents of tea cream[J]. J Food Sci Tech, 1983, 20: 243
- 7 梁月荣, Bee R D. 绿茶冷后“沉降物”粒子形态的研究[J]. 浙江农业大学学报, 1992, 8(4): 17~20
- 8 Marcel H G M P, Donncha J P S, Dave Needham, et al. Some molecular and colloidal aspects of tea cream formation[J]. Food Hydrocolloids, 1998, 12: 443~450
- 9 Harbron R S. Colloid-chemical Study of Tea Cream From instant Black Tea[M]. UK: University of Bristol, 1986. 1~90
- 10 方元超. 茶汤沉淀机理的研究[J]. 茶叶通讯, 1999, (3): 17~20
- 11 沈 钟, 赵振国, 王果庭. 胶体与表面化学(第三版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004
- 12 龚加顺. 魔芋多糖在茶饮料中的稳定性机理研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2001
- 13 钟萝主编. 茶叶品质理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989. 303~304
- 14 陆建良, 梁月荣, 张凌云. 考马斯亮蓝法在茶汤可溶性蛋白含量分析中的应用和改良[J]. 茶叶, 2002, 28(2): 89~93
- 15 吴 莉. 绿茶提取液中叶绿素稳定性的研究[J]. 武汉化工学院学报, 2004, 26(4): 33~34
- 16 金志琳, 侯万国, 戴国亮, 等. 电解质对 Mg-Al HTlc 溶胶聚集动力学行为的影响[J]. 化学学报, 2004, 62(20): 2 025~2 029
- 17 沈 钟, 赵振国, 王果庭. 胶体与表面化学(第三版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004
- 18 赵振国编. 胶体与界面化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004. 191
- 19 Zhongxiang Fang, Min Zhang, Yunfei Sun, et al. How to improve bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) juice color quality: effect of juice processing on bayberry anthocyanins and polyphenolics[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(1): 99~106
- 20 Huiling Liang, Yuerong Liang, Junjie Dong, et al. Decaffeination of fresh green tea leaf (*Camellia sinensis*) by hot water treatment[J]. Food Chemistry, 2007, 101: 1 451

## The Mechanism of Sediment Formation in Green Tea Beverage

Dai Qianying, Xia Tao, Gao Jun, Zhu Bo

(Key Lab of Tea Biochemistry and Biotechnology, Ministry of Education, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

**ABSTRACT** The mechanism of sediment formation in green tea beverage were studied based on the chemical elements and infusion system in green tea extraction. The viscosity character, micrograph of tea cream particles and IR spectrum of tea infusion were compared between original tea infusion and stored tea infusion. Effects of NaCl on turbid of tea infusion and guanidine hydrochloride on the viscosity of tea infusion were also investigated. The results showed that the hydrogen bond and ion bond in tea infusion system caused sediment formation, while covalent bond was not a major factor. The phase of green tea infusion stored at low temperature was between the colloid and dispersed phase, which was confirmed according to the shape of tea cream particles. An effective distribution coefficient  $K_A$  was introduced in this study to estimate the diffusing tendency of components in tea infusion to supernatant or sediment part. The results showed that polyphenol was the main component contributed to the sediment formation, and then the protein and caffeine. However,  $K_A$  of main components in green tea infusion showed that the primary components affected the sediment formation from strongest to weakest was chlorophyll, gallic acid, pectin, protein, anthocyanin and caffeine.

**Key words** green tea extract, sediment formation, mechanism, distribution coefficient, interaction