

## 北苑贡茶品质成分测定及其点茶沫饽物质组成分析

何春梅<sup>1</sup>, 曾 柔<sup>1</sup>, 林进龙<sup>1</sup>, 项文懿<sup>2</sup>, 张悌吉<sup>3</sup>, 王松清<sup>4</sup>, 庄明珠<sup>1</sup>, 叶乃兴<sup>1</sup>, 金 珊<sup>1\*</sup>

1. 茶学福建省高校重点实验室/福建农林大学园艺学院, 福建福州 350002; 2. 建瓯市粟粒香茶叶研究所, 福建南平 353199; 3. 福建省建瓯市科学技术协会, 福建南平 353199; 4. 建瓯市松清茶业有限公司, 福建南平 353033

**摘 要:** 北苑贡茶源产于福建省建瓯市, 是我国茶叶发展史中的一颗璀璨明珠。以建瓯市水仙茶树品种为原料, 分别以北苑贡茶研膏茶传统工艺制得团饼茶(龙团凤饼), 以建瓯现代闽北乌龙茶加工工艺制得条形散茶(南路水仙); 以团饼茶为原料, 经点茶技艺获得点茶沫饽与茶汤。利用一系列生化成分测定方法及广泛靶向代谢组检测技术, 比较分析团饼茶和散茶的主要品质成分的含量, 及团饼茶点茶沫饽与茶汤物质组成的差异, 以期以北苑贡茶及其点茶的品质及文化挖掘提供科学数据支撑。结果显示, 团饼茶与散茶的含水量、水浸出物含量和游离氨基酸总量无显著差异, 但团饼茶茶多酚总量、咖啡碱含量显著高于散茶, 茶黄素、茶红素、茶褐素的含量显著低于散茶。此外, 从团饼茶点茶的茶汤和沫饽中检测出 12 大类 1245 个共有代谢物, 未检测到特有物质。通过主成分分析和正交偏最小二乘判别分析, 共筛选出 5 大类 26 个差异代谢物。其中, 除落新妇苷在茶汤里含量多于沫饽外, 25 个差异代谢物在沫饽中均多于茶汤, 主要包括溶血磷脂酰胆碱类、溶血磷脂酰乙醇胺类和游离脂肪酸类等脂质类物质。这些差异代谢物多为网状结构, 比水轻, 易浮于茶汤上层, 主要起乳化作用和表面活性剂作用, 是较好的泡沫稳定剂, 因此点茶沫饽能够形成并能较稳定地悬浮于茶汤之上。研究结果可为北苑贡茶的产业发展和文化传承与创新提供一定的理论依据和科学支撑。

**关键词:** 龙团凤饼; 品质成分; 点茶沫饽; 代谢物; 广泛靶向代谢组学

中图分类号: TS272 文献标识码: A

## Determination of Quality Components of Beiyuan Tribute Tea and Analysis of Components of Tea Foam

HE Chunmei<sup>1</sup>, ZENG Rou<sup>1</sup>, LIN Jinlong<sup>1</sup>, XIANG Wenyi<sup>2</sup>, ZHANG Tiji<sup>3</sup>, WANG Songqing<sup>4</sup>, ZHUANG Mingzhu<sup>1</sup>, YE Naixing<sup>1</sup>, JIN Shan<sup>1\*</sup>

1. Key Laboratory of Tea Science in Universities of Fujian Province / College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2. Jian'ou Sulixiang Tea Research Institute, Nanping, Fujian 353199, China; 3. Jian'ou Association for Science and Technology, Nanping, Fujian 353199, China; 4. Jian'ou Songqing Tea Industry Co., Ltd., Nanping, Fujian 353033, China

**Abstract:** Beiyuan Tribute tea (BTT), originated from Jian'ou city in Fujian province, is a bright pearl in the history of tea development in China. In this paper, the fresh leaves of Shuixian tea variety in Jian'ou were used as the raw materials, cake tea (Dragon and Phoenix cake tea) and loose tea (Nanlu Shuixian tea) were produced by the traditional process of ground tea and the modern process of Oolong tea in Jian'ou of Northern Fujian, respectively. The cake tea was then taken as the material to obtain tea foam and liquid with the Diancha technique. To provide scientific data supporting for the quality and cultural mining of BTT and its Diancha, the content of the main quality components of cake tea and loose tea, as well as the difference in the composition of the tea foam and liquid of cake tea, were compared and ana-

收稿日期 2022-05-10; 修回日期 2022-10-08

基金项目 建瓯市茶叶科技创新专项 (No. JO2022001); 科技特派员后补助项目 (No. 2022S2070); 福建张天福茶叶发展基金会科技创新基金项目 (No. FJZTF01)。

作者简介 何春梅 (1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 茶叶品质化学。\*通信作者 (Corresponding author): 金 珊 (JIN Shan), E-mail: jinshan0313@163.com。

lyzed by using a series of biochemical component determination methods and extensive targeted metabolome detection technique. The results showed that there was no significant difference in water content, water extract content and total free amino acids between cake tea and loose tea, but the total polyphenol and caffeine contents of cake tea were significantly higher than that of loose tea, and the contents of theaflavin, thearubin and theafuscin were significantly lower than that of loose tea. Moreover, 1245 common metabolites in 12 categories were detected from the tea liquid and foam of the cake tea, and no specific substances were detected. Through principal component analysis and orthogonal partial least squares discriminant analysis, 26 differential metabolites in 5 categories were screened. Among them, except that the content of astilbin in tea liquid was significantly higher than that in tea foam, 25 differential metabolites in tea foam were significantly higher than that in tea liquid, mainly including lysophosphatidylcholine, lysophosphatidylethanolamine, free fatty acids and other lipid substances. The differential metabolites were mostly reticular, lighter than water, and easy to float on the upper layer of tea liquid, and they were the good foam stabilizers that mainly acting as emulsions and surfactants. Therefore, tea foam can be formed and stably suspended on tea liquid. The results of this study would provide a theoretical basis and scientific support for the industrial development, cultural inheritance and innovation of BTT

**Keywords:** Dragon and Phoenix cake tea; quality components; Diancha tea foam; metabolites; widely-targeted metabolomics

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.08.023

北苑贡茶产于福建省建瓯市，始现于南唐，兴盛于宋元，极具盛名<sup>[1-3]</sup>。当前，建瓯市按照茶文化、茶产业、茶科技“三茶”统筹的要求，加快茶产业高质量步伐，将当地历史名茶龙团凤饼、南路水仙、矮脚乌龙等统一到“北苑贡茶”公共品牌下，重振建瓯“北苑贡茶”品牌，大力促进北苑贡茶的文化、产业和科技的融合发展<sup>[4-5]</sup>。北苑贡茶中最著名的当数龙团凤饼。龙团凤饼是以带有龙凤图案的模具压制成的茶饼，在北宋期间深受帝王喜爱<sup>[6]</sup>。点茶则是以龙团凤饼为原料，将其碾磨成粉，经茶罗筛出茶粉，注水击拂，形成极具观赏性的沫饽（汤花）的技艺<sup>[7]</sup>。北苑贡茶和点茶技艺作为中华传统文化的载体，承载着经济与文化双重价值，是我国的优秀文化遗产<sup>[8]</sup>。

然而，前人关于龙团凤饼茶的研究大多着重于其历史发展、工艺溯源和文化意义的解读<sup>[9-11]</sup>，鲜有对其化学品质及点茶沫饽成分的研究。目前关于龙团凤饼的各类研究报道均属于文史类论文。虽然黄鉴舜等<sup>[12]</sup>在 1993 年概述了形成茶沫的主要物质以及憎水性固体粉末，并讨论了点茶“汤花”形成与稳定的影响因素。但是，该综述性论文主要通过茶叶中的基础物质来推断“汤花”的物质组成，并未对点茶沫饽的生化成分进行测定。梁爽等<sup>[13]</sup>研究了红茶汁液态发酵时生成的泡沫组成成分，研究得出产生的泡沫会带走茶叶中较多的品质成分，虽然该论文能侧面反映茶叶沫饽中的物质组成，但是，其试验材料为茶叶鲜叶经萎凋后的匀浆液通气发酵过程中收集的泡沫，

跟龙团凤饼点茶技艺制备的沫饽截然不同。

为探索龙团凤饼的品质化学特点，了解点茶沫饽中的组成成分，本研究以建瓯市水仙茶树品种为原料，以北苑贡茶研膏茶传统工艺制得团饼茶（龙团凤饼），以建瓯现代闽北乌龙茶加工工艺制得条形散茶（南路水仙）；以团饼茶为原料，经点茶技艺获得点茶沫饽与茶汤，测定和比较龙团凤饼和南路水仙的主要品质化学成分，并利用广泛靶向代谢组学技术检测和对比点茶沫饽和茶汤中的代谢物，解析点茶沫饽中的功能成分，以期为北苑贡茶文化和茶产业的发展提供科学支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

团饼茶（又称研膏茶）以福建省建瓯市南雅镇闽北乌龙茶科技小院示范基地松清茶业茶园的水仙茶树品种的新梢为原料，经采茶、拣芽、泉水濯芽、蒸芽、杵磨研碾、压片去膏、烘焙成型等工序制得，制作时间为 2021 年 4 月，地点为福建省建瓯市南雅镇闽北乌龙茶科技小院示范基地松清茶业茶厂。取得样品后用食品级自封袋避光密封保存于 4℃ 冰箱内。散茶为同一时期同一茶园相同茶树品种鲜叶，以闽北乌龙茶制作工艺制得的建瓯水仙，具体加工过程包括茶叶采摘、萎凋、做青、杀青、揉捻和烘焙。

生化成分测定所用化学试剂均购自福州美利莎生物科技有限公司。代谢组试验所用试剂为甲

醇、乙腈，色谱纯（德国 Merck 公司）。标准品，色谱纯（美国 BioBioPha/Sigma-Aldrich 公司）。

点茶所用建盏与茶筴由福建农林大学茶学重点实验室提供。生化成分测定所用 UV-2700 紫外可见分光光度计（日本岛津公司）。代谢组实验所用仪器设备：冻干机（Scientz-100F），研磨仪（MM 400, Retsch），超高效液相色谱仪（日本岛津公司），串联质谱（美国赛默飞世尔科技公司），SB-C<sub>18</sub> 色谱柱（1.8 μm, 2.1 mm×100 mm, 美国安捷伦公司）。

## 1.2 方法

### 1.2.1 团饼茶和散茶品质相关成分的测定

磨碎茶样制备：将团饼茶和散茶磨碎并过 40 目筛。

茶叶含水量测定：参照 120 °C 快速法<sup>[14]</sup>测定，每个重复用 3 g（精确到 0.001 g）茶样。

茶叶水浸出物含量测定：称取 1 g（精确到 0.001 g）磨碎茶样于 500 mL 锥形瓶中，加入 300 mL 煮沸蒸馏水，摇匀。100 °C 水浴浸提 30 min，每 10 min 摇动 1 次。趁热减压过滤。其余步骤和计算方法参照 GB/T 8305—2013<sup>[15]</sup>。

茶多酚总量、游离氨基酸总量、咖啡碱含量测定：分别参照 GB/T 8313—2002<sup>[16]</sup>、GB/T 8314—2013<sup>[17]</sup>、GB/T 8312—2013<sup>[18]</sup>中的方法。

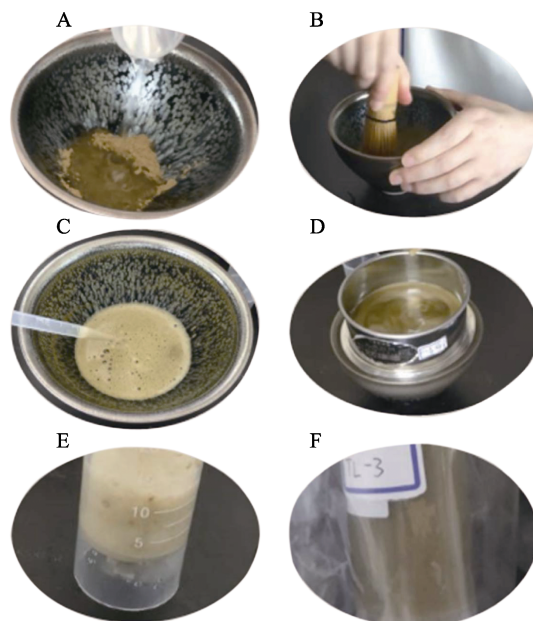
茶黄素、茶红素和茶褐素含量测定：参照系统分析法<sup>[19]</sup>。称取 3 g（精确到 0.001 g）茶样，计算结果以干态质量分数表示。

### 1.2.2 沫饽和茶汤制备

将团饼茶磨碎，过 200 目筛，用 100 °C 沸水烫建盏，取 3 g（精确到 0.01 g）茶粉，加入热水共 75 mL，以点茶法击拂茶汤制得沫饽，取尽沫饽后过滤取得茶汤（图 1）。本研究以茶汤（tea liquid, TL）和沫饽（tea foam, TF）为材料。取上层沫饽和剩余茶汤分别加入 50 mL 离心管，于 -20 °C 冰箱保存备用。广泛靶向代谢组检测由武汉迈特维尔生物科技有限公司完成。设置 3 个重复，沫饽样品分别标 TF-1、TF-2、TF-3，茶汤样品分别标为 TL-1、TL-2、TL-3。

### 1.2.3 样品前处理

将沫饽和茶汤样品真空冷冻干燥后，于研磨仪中均匀研磨至粉末状。参考林洁鑫等<sup>[20]</sup>的样品制备方法制得样本提取物，将样本提取物保存于 2.0 mL 棕色进样瓶中，于 -80 °C 冰箱保存，用于超高效液相色谱串联质谱（ultra high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS）分析。



A: 调膏; B: 点茶起沫; C: 吸取沫饽; D: 取尽沫饽后过滤取茶汤; E: 沫饽样品; F: 茶汤样品。  
A: Paste; B: Whisking; C: Get the tea foam; D: Get the tea liquid after all tea foam taken away; E: Tea foam; F: Tea liquid.

图 1 沫饽和茶汤制备流程

Fig. 1 Preparation process of tea foam and tea liquid

### 1.2.4 超高效液相色谱条件

采用 Agilent SB-C<sub>18</sub> 色谱柱，规格为 1.8 μm, 2.1 mm×100 mm，流动相洗脱梯度设置如表 1 所示。流速设置为 0.35 mL/min，柱温设置为 40 °C，进样量为 4 μL。

表 1 流动相洗脱梯度

时间 Time/min	0.1%甲酸 0.1% formic acid/%	0.1%甲酸乙腈 0.1% formic acid acetonitrile/%	持续时间 Lasting time/min
0	95	5	0
9	5	95	1
11	95	5	5
14	95	5	0

### 1.2.5 质谱条件

仪器的参数设置参照林洁鑫等<sup>[20]</sup>的质谱条件，使用 MRM 模式进行 QQQ 扫描，碰撞气体参数中等，去簇电压（declustering potential, DP）和碰撞能（cell exit potential, CE）优化，完成各个 MRM 离子对的 DP 和 CE<sup>[21]</sup>。根据每个时期内洗脱的代谢物，监测特定的 MRM 离子对。

### 1.2.6 样本质控

质控样本（quality control, QC）由均匀混合的茶汤和沫饽样本的提取物制备而成，用于分析实验样品的重复性。在整个仪器分

析的过程中, 每 3 个检测分析样本中插入一个质控样本, 以监测仪器分析过程的重复性。

### 1.3 数据处理

运用 Microsoft Excel 软件对生化成分测定所得数据进行初步计算与统计处理, 用 IBM SPSS Statistics 26 软件进行单因素方差分析, 利用 Analyst 1.6.3 软件处理仪器分析所得质谱数据, 基于武汉迈特维尔生物科技有限公司的自建数据库 (metware database, MWDB) 进行茶汤和沫饽样本的代谢物质谱的定性定量分析, 用 MultiaQuant 软件进行色谱峰的积分和色谱峰校正, 代谢组学数据分析软件以及版本信息如表 2 所示, 所用软件为 R 软件。

表 2 软件信息  
Tab. 2 Software information

分析方法 Analytical method	软件 Software	版本 Version
PCA	R (base package)	3.5.1
皮尔逊相关系数	R (base package; Hmisc)	3.5.1; 4.4.0
样品间相关系数	R (corrplot)	0.84
热图	R (ComplexHeatmap)	2.8.0
OPLS-DA	R (MetaboAnalystR)	1.0.1

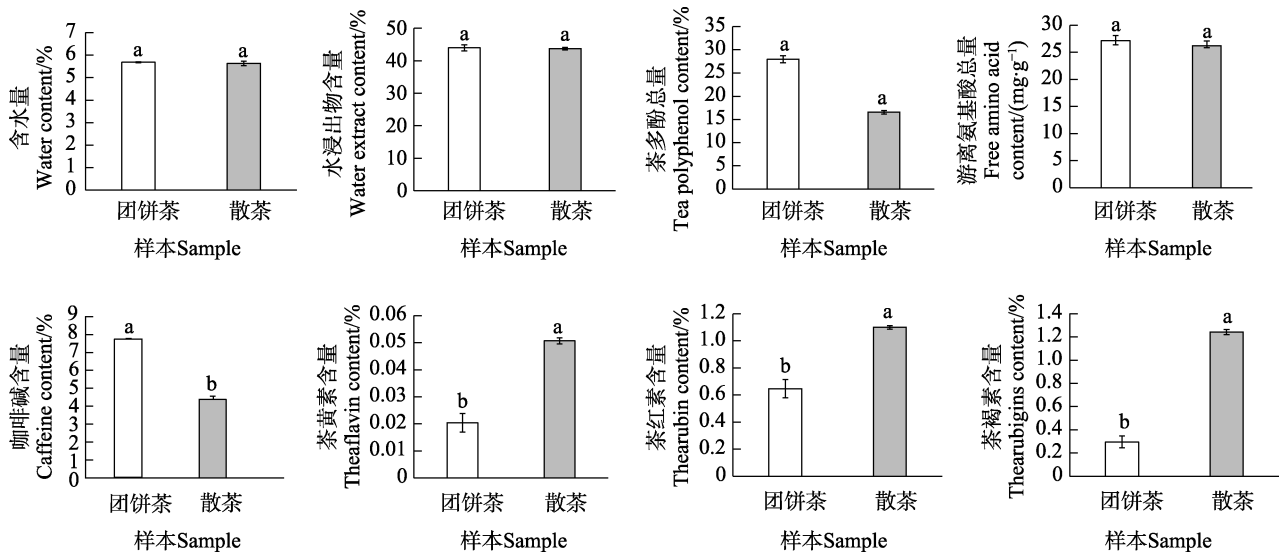


图 2 团饼茶和散茶的生化成分比较

Fig. 2 Comparison of biochemical components in cake tea and loose tea

## 2.2 沫饽和茶汤代谢组测定分析

### 2.2.1 样本质控及统计分析

对质控样本进行检测分析, 质控样本质谱结果表明, 仪器分析过程中仪器稳定, 实验过程具有较好的稳定性, 检测结果可靠。

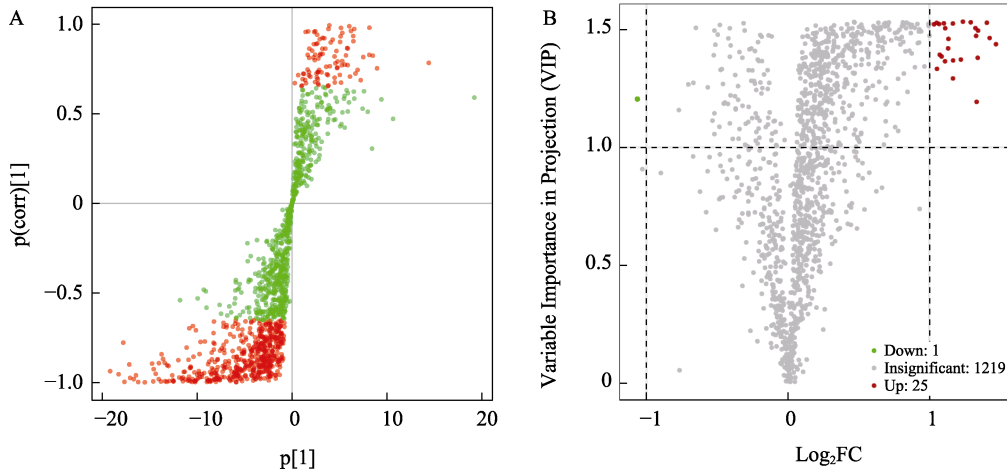
## 2 结果与分析

### 2.1 团饼茶和散茶品质相关生化成分比较

对团饼茶和散茶主要品质相关生化成分进行测定, 结果如图 2 所示。从图 2 可以看出, 龙团凤饼茶的含水量、水浸出物含量和游离氨基酸总量略高于散茶, 但均无显著差异。鲜叶原料均产自同一片茶园、采自同一时期、于同一生产厂加工制作而成, 水浸出物含量和游离氨基酸总量无显著差异是合理的。另外, 团饼茶中茶多酚总量与咖啡碱含量显著高于散茶, 而团饼茶中茶黄素、茶红素、茶褐素的含量显著低于散茶。这可能是加工工艺不同造成的。散茶制作工艺为乌龙茶加工工艺, 做青工序会使茶叶中的多酚类物质在多酚氧化酶等的作用下发生部分氧化, 生成茶黄素、茶红素、茶褐素等新的物质, 导致未被氧化的多酚类物质减少。而团饼茶加工过程中, 蒸青工序的高温使茶叶中多酚氧化酶等氧化酶迅速失活, 使茶多酚物质较少发生氧化反应而被大量保留下来, 最终导致团饼茶的茶多酚总量显著高于散茶。因此, 团饼茶中茶黄素、茶红素和茶褐素等茶色素的含量显著低于散茶。而咖啡碱在团饼茶和散茶之间的差异可能也与不同的加工工艺有关。

基于 UPLC-MS/MS 检测, 对全部样本进行主成分分析。主成分分析得分图 (图 3) 显示, 沫饽和茶汤 2 组样本有明显的分离趋势, 2 组样本间存在明显差异。沫饽 (TF) 和茶汤 (TL) 组内样品聚集在一起, 组内生物学重复较好。





A: OPLS-DA 的 S-plot 图; B: 差异代谢物火山图。  
A: OPLS-DA S-plot; B: Differential metabolite volcano plot.

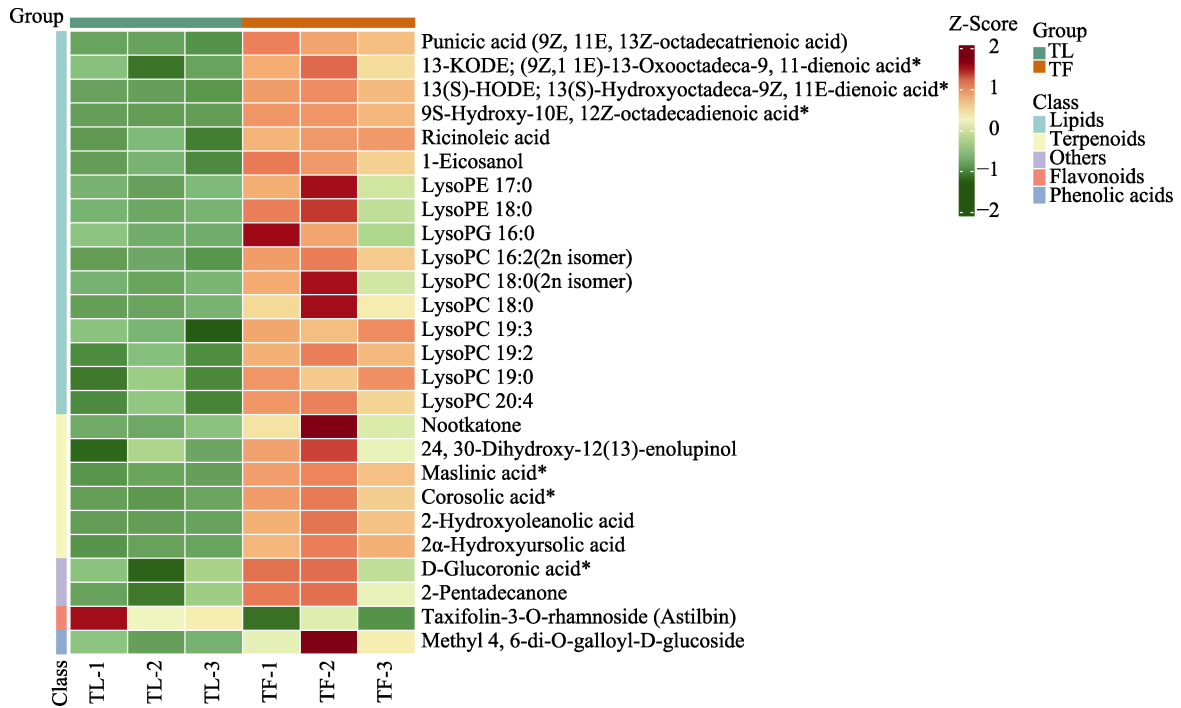
图 6 茶汤和沫饽中差异代谢物的筛选

Fig. 6 Data filtering of differential metabolites of tea liquid and tea foam

选标准为  $FC \geq 2$  或  $FC \leq 0.5$ , 如图 6B, 红色点表示茶汤 vs 沫饽上调的差异代谢物, 绿色点表示茶汤 vs 沫饽下调的差异代谢物, 灰色点表示差异不显著的代谢物。本试验主要依据 FC 值筛选沫饽和茶汤样本中的差异代谢物质。

(2) 沫饽和茶汤差异代谢物质。将所筛出的茶汤 (TL) vs 沫饽 (TF) 差异代谢物数据归一化处理, 绘制成聚类热图 (图 7), 以便观察筛选出

的差异代谢物的变化规律。结果显示, 从沫饽与茶汤中共筛选出 5 大类 26 个差异代谢物, 其中 25 个差异代谢物质在沫饽中多于茶汤, 1 个差异代谢物质在茶汤中多于沫饽。各类差异代谢物数量由多到少分别为脂质类代谢物 (16 个)、萜类代谢物 (6 个)、其他类代谢物 (2 个)、黄酮类代谢物 (1 个, 落新妇苷, 在茶汤中含量高于沫饽)、酚酸类代谢物 (1 个)。



\*表示检出的物质中有该物质的同分异构体, 且当前检测手段无法有效区分这些同分异构体。

\* indicates that there are isomers of the substance detected, and the current detection methods cannot effectively distinguish these isomers.

图 7 茶汤和沫饽的差异代谢物聚类热图

Fig. 7 Clustering heat map of tea liquid and tea foam in differential metabolites

由图 8 和表 3 可以看出，上调幅度排在前 20 的差异代谢物中，脂质类物质溶血磷脂酰胆碱 19:0、溶血磷脂酰胆碱 20:4，萜类物质 2 $\alpha$ -羟基熊果酸，脂质类物质溶血磷脂酰胆碱 19:2、正二十

醇、13-羟基十八烷基-9,11-二烯酸\*、9S-羟基-10E,12Z-十八碳二烯酸\*、石榴酸、13-氧代十八碳-9,11-二烯酸\*、溶血磷脂酰胆碱 19:3、蓖麻油酸、2-羟基齐墩果酸在沫饽中的含量极显著高于

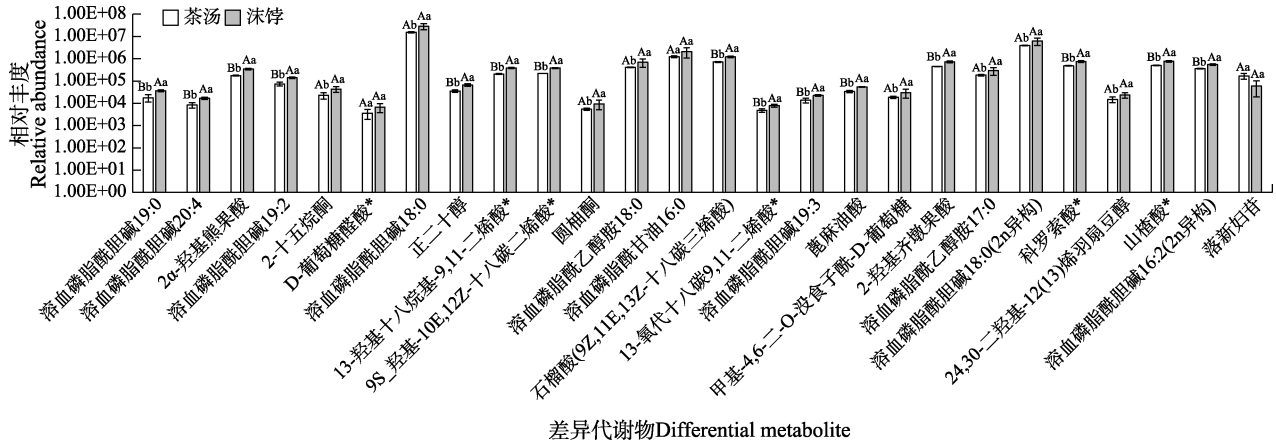


图 8 Relative abundance of differential metabolites of tea foam and tea liquid

表 3 茶汤 vs 沫饽 Log<sub>2</sub>FC 前 20 的差异代谢物

Tab. 3 Differential metabolites of tea foam and tea liquid in the first 20 multiples

编号 No.	差异代谢物 Differential metabolite	分类 Class	Log <sub>2</sub> FC	变化类型 Change type
1	溶血磷脂酰胆碱 19:0	溶血磷脂酰胆碱 (LPC)	1.468 34	上调
2	溶血磷脂酰胆碱 20:4	溶血磷脂酰胆碱	1.423 76	上调
3	2 $\alpha$ -羟基熊果酸	三萜	1.403 78	上调
4	溶血磷脂酰胆碱 19:2	溶血磷脂酰胆碱	1.341 82	上调
5	2-十五烷酮	其他	1.339 31	上调
6	D-葡萄糖醛酸*	糖及醇类	1.331 73	上调
7	溶血磷脂酰胆碱 18:0	溶血磷脂酰胆碱	1.328 09	上调
8	正二十醇	游离脂肪酸	1.323 54	上调
9	13-羟基十八烷基-9,11-二烯酸*	游离脂肪酸	1.290 06	上调
10	9S-羟基-10E,12Z-十八碳二烯酸*	游离脂肪酸	1.234 76	上调
11	圆柚酮	倍半萜	1.220 27	上调
12	溶血磷脂酰乙醇胺 18:0	溶血磷脂酰乙醇胺 (LPE)	1.165 85	上调
13	溶血磷脂酰甘油 16:0	甘油酯	1.164 76	上调
14	石榴酸	游离脂肪酸	1.164 25	上调
15	13-氧代十八碳-9,11-二烯酸*	游离脂肪酸	1.132 75	上调
16	溶血磷脂酰胆碱 19:3	溶血磷脂酰胆碱	1.130 60	上调
17	蓖麻油酸	游离脂肪酸	1.110 01	上调
18	甲基-4,6-二-O-没食子酰-D-葡萄糖	酚酸类	1.108 69	上调
19	2-羟基齐墩果酸	三萜	1.100 55	上调
20	溶血磷脂酰乙醇胺 17:0	溶血磷脂酰乙醇胺	1.084 52	上调

注：\*表示检出的物质中有该物质的同分异构体，且当前检测手段无法有效区分这些同分异构体。  
 Note: \* indicates that there are isomers of the substance detected, and the current detection methods cannot effectively distinguish these isomers.

茶汤中含量, 这些物质可区别沫饽和茶汤的主要差异代谢物。其他类物质 2-十五烷酮, 脂质类溶血磷脂酰胆碱 18:0, 萜类物质圆柚酮, 脂质类溶血磷脂酰乙醇胺 18:0, 酚酸类物质甲基-4,6-二-O-没食子酰-D-葡萄糖, 脂质类溶血磷脂酰乙醇胺 17:0 等在沫饽中的含量显著高于茶汤。综上, 差异代谢物中脂质类物质含量大部分表现为在沫饽中极显著或显著高于茶汤; 糖及醇类物质 D-葡萄糖醛酸\*, 脂质类溶血磷脂酰甘油 16:0 等在沫饽与茶汤中的含量差异不显著。上调幅度前 10 的差异代谢物中有 4 种 LPC 类代谢物质, 3 种游离脂肪酸类代谢物质, 1 种三萜类代谢物质, 1 种糖及醇类物质, 1 种其他类代谢物质。由此可见, 差异代谢物中的主要是落新妇昔在茶汤里的含量高于沫饽。落新妇昔具有强抗氧化性, 可抑制脂质类物质氧化, 间接增强沫饽持久性。而在沫饽中含量高于茶汤的差异代谢物种类较多, 以脂质类物质为主, 主要是溶血磷脂酰胆碱类物质和游离脂肪酸物质。

### 3 讨论

目前, 南路水仙和龙团凤饼是福建省建瓯市主推的两大产品, 是北苑贡茶品牌的主要代表。为了适应现代茶叶市场, 通常将水仙品种茶树鲜叶制成 2 类产品, 既按历史传承下来的传统工艺制成团饼茶做为点茶茶艺的原料, 又按闽北乌龙茶加工工艺制成条形散茶——南路水仙, 以占领岩茶市场。因此, 本研究中团饼茶和散茶生化成分上的差异更多地与加工工艺有关。鲜叶采自同一时期同一片茶园, 于同一生产厂加工制作, 在含水量、水浸出物含量和游离氨基酸总量上团饼茶与散茶均无显著差异。团饼茶制作工艺为龙团凤饼茶的初制工艺, 更像是蒸青绿茶, 经过采茶、拣芽、濯芽、蒸芽、杵磨研碾、压片去膏、烘焙成型等工序, 多酚氧化酶在蒸芽过程中失去活性, 使团饼茶的茶多酚大量保留。而散茶制作工艺为闽北乌龙茶的加工工艺, 萎凋和做青工序伴随着多酚类物质氧化的过程, 从而形成多酚类物质的氧化产物茶黄素、茶红素和茶褐素等。团饼茶的茶多酚总量显著高于散茶, 而团饼茶的茶黄素、茶红素和茶褐素等含量显著低于散茶。团饼茶的咖啡碱含量显著高于散茶, 这与 SOBOLEY 等<sup>[22]</sup>研究中绿茶比乌龙茶含有更多的咖啡碱的结果相似。

自唐朝起, 认为沫饽是一碗茶汤中的精华,

在日常品饮或闲时斗茶中经常以沫饽的多少来评判茶的优劣以及茶艺的高低<sup>[23]</sup>。本研究应用广泛靶向代谢组学技术, 以南路水仙茶树品种新梢经龙团凤饼茶初制工艺制得的团饼茶的点茶沫饽和茶汤作为材料, 通过化学计量方法分析二者代谢物质的差异, 从沫饽和茶汤样品中筛选出 5 大类共 26 个差异代谢物, 其中 25 个差异代谢物在沫饽中多于茶汤, 这些差异代谢物的分子结构多为网状结构, 容易形成稳定泡沫<sup>[24]</sup>; 1 个差异代谢物(落新妇昔)在茶汤中多于沫饽, 落新妇昔具有强抗氧化性, 可以抑制脂质类物质氧化, 具有抗炎抗菌、免疫抑制、护肝、镇痛等药理活性<sup>[25]</sup>。各类差异代谢物及其数量分别为脂质类 16 个、萜类 6 个、其他类 2 个、酚酸类 1 个、黄酮类 1 个。梁爽等<sup>[13]</sup>研究红茶汁液态发酵时生成的泡沫组成成分时发现, 泡沫会带走较多的品质成分。本研究筛选出的 25 个茶汤 vs 沫饽上调差异代谢物中, 以抗肿瘤、抗炎作用的萜类物质, 降脂和表面活性剂作用的脂质类物质为主要成分。游离脂肪酸类物质蓖麻油酸和正二十醇具有合成乳化剂、表面活性剂的作用<sup>[26]</sup>。甘油酯类的溶血磷脂酰甘油 16:0 也是主要的食品乳化剂、天然表面活性剂<sup>[27]</sup>。酚酸类物质甲基-4,6-二-O-没食子酰-D-葡萄糖, 糖及醇类物质 D-葡萄糖醛酸\*, 三萜类物质科罗素酸\*、2-羟基齐墩果酸和 2 $\alpha$ -羟基熊果酸等均具有抗肿瘤、抗炎等功效, 而且这些物质所具有的一端亲水基团、另一端疏水基团的结构有利于稳定泡沫, 使茶汤表面的沫饽不易消散<sup>[28-31]</sup>。游离脂肪酸类物质石榴酸、13-氧代十八碳-9,11-二烯酸\*、13-羟基十八烷基-9,11-二烯酸\*和 9S-羟基-10E,12Z-十八碳二烯酸\*等具有调节血脂和降脂的功能<sup>[32]</sup>。这些上调差异代谢物均有一定的健康功效, 研究结果也印证了“沫饽, 汤之华也”的说法, 这也从科学的角度说明了古人点茶时主要品饮上层的沫饽的原因。

点茶技艺以沫饽细腻、咬盏持久、观赏性强为佳。点茶茶汤上层的沫饽又称为茶沫、汤花。叶宝存等<sup>[33]</sup>研究了汤花形成的影响因素, 推断茶汤中的大量表面活性物质如蛋白质、氨基酸、多糖、茶皂素、果胶等是形成汤花的物质基础, 尤其是氨基酸组分中的脯氨酸和甘氨酸, 具有起泡作用和很强的稳泡作用。茶汤中一些表面活性物质中的基团间能够形成氢键, 由于分子间氢键的作用, 汤花中泡沫之间的膜壁比较牢固稳定。茶

皂素是一类五环三萜类皂苷的混合物, 是一种天然良好的非离子型表面活性剂, 茶皂素基本由 3 部分结构组成, 即皂苷元、糖苷配基和有机酸。茶皂素具有乳化、分散、发泡、湿润等功效, 并且具有消炎、镇痛、抗渗透等药理作用<sup>[34-37]</sup>。黄鉴舜等<sup>[12]</sup>研究发现, 茶皂素的糖苷一端具有亲水性, 由皂苷元与另一端有机酸基团连接, 这种一端亲水另一端疏水的结构, 能有效降低茶汤的表面张力, 使其具有良好的表面活性作用, 因此, 认为茶皂素是茶汤起泡的主要影响物质。而本研究发现, 茶汤 vs 沫饽中脂质类物质的溶血磷脂酰胆碱 (LPC) 和溶血磷脂酰乙醇胺 (LPE) 类物质为主要上调代谢物, 这 2 类物质比水轻, 易存在于茶汤上层, 可能是点茶沫饽主要的起泡剂和稳泡剂。而主要下调差异代谢物落新妇苷具有强抗氧化性, 可以抑制脂质类物质氧化, 从而保护起泡和稳泡。溶血磷脂是天然的食品添加剂和食品乳化剂<sup>[38]</sup>。LPC 类物质由磷脂水解所产生, 具有诱导细胞性状改变、引起溶血和改变细胞的渗透性等多种生物学效应<sup>[39-40]</sup>。LPC 类物质由甘油、磷酸、胆碱、长链脂肪酸组成, 分子间可以形成众多的氢键, 因此, 溶血磷脂酰胆碱类物质既是良好的起泡剂, 同时具有较好的泡沫稳定性, 所以溶血磷脂酰胆碱类和溶血磷脂酰乙醇胺类物质在沫饽中的含量多于茶汤, 说明脂质类物质是龙团凤饼茶点茶沫饽中的关键物质, 由此也说明宋代茶文化中斗茶时以沫饽持续时间长短来评判茶的优劣是有科学依据的。这些脂质类物质在点茶过程中富集于上层沫饽中, 能使泡沫稳定持久, 这与目前认为茶皂素是引起点茶沫饽的主要物质有所不同。研究结果为进一步研究与利用点茶沫饽提供一定的理论依据。

## 参考文献

- [1] 赖少波. 北苑御焙名冠天下——《建瓯茶志》总述选萃[J]. 中国茶叶, 2017, 39(12): 37-39.  
LAI S B. Northern gardens tribute tea Honour the world — The summary of *Jian'ou Tea Records*[J]. *China Tea*, 2017, 39(12): 37-39. (in Chinese)
- [2] 张静文. 全面推进乡村振兴视角下的“建茶”[J]. 智慧中国, 2021(7): 88-90.  
ZHANG J W. Building tea from the perspective of comprehensively promoting rural revitalization[J]. *Wisdom China*, 2021(7): 88-90. (in Chinese)
- [3] 潘宏英. 建瓯市茶产业发展现状与思考[J]. 中国农技推广, 2021, 37(1): 35-37.  
PAN H Y. Current situation and thinking of tea industry development in Jian'ou city[J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2021, 37(1): 35-37. (in Chinese)
- [4] 李锦生. 浅谈建瓯北苑贡茶文化的挖掘与弘扬[J]. 中国茶叶, 2020, 42(4): 67-70.  
LI J S. The excavation and promotion of the tribute tea culture in Jian'ou Beiyuan[J]. *China Tea*, 2020, 42(4): 67-70. (in Chinese)
- [5] 魏敦强. 建瓯市统筹“三茶”高质量发展大会召开[EB/OL]. (2022-05-22) [2022-06-01]. <http://jo.gov.cn/cms/html/joszf-wz/2022-05-22/729821431.html>.  
WEI D Q. Conference of coordinate tea culture, tea industry and tea science and technology for high quality development held in Jian'ou city[EB/OL]. (2022-05-22) [2022-06-01]. <http://jo.gov.cn/cms/html/joszf-wz/2022-05-22/729821431.html>. (in Chinese)
- [6] 范小辉, 黄悦. 建瓯市宋代点茶茶艺复原研发获重要突破[J]. 福建农业, 2014(2): 11.  
FAN X H, HUANG Y. An important breakthrough in the research and development of ancient tea art restoration in Jian'ou city in the Song Dynasty[J]. *Fujian Agriculture*, 2014(2): 11. (in Chinese)
- [7] 林更生. 福建建瓯摩崖碑碣茶文化[J]. 农业考古, 2004(2): 207-208.  
LIN G S. Fujian Jian'ou cliff tablet tea culture[J]. *Agricultural Archaeology*, 2004(2): 207-208. (in Chinese)
- [8] 程启坤. 对《大观茶论》点茶法的理解[J]. 中国茶叶, 2000(1): 5.  
CHENG Q K. Understanding of *Grand View on Tea* method of pointing tea[J]. *China Tea*, 2000(1): 5. (in Chinese)
- [9] 朱世桂, 周杰灵. 农业文化遗产中手工技艺的传承与保护发展探讨——以古代武夷分茶技艺茶百戏为例[J]. 安徽农业大学学报(社会科学版), 2015, 24(4): 121-124.  
ZHU S G, ZHOU J L. Discussion on the inheritance and protection and development of handicrafts in agricultural cultural heritage — Taking the ancient Wuyi tea art tea opera as an example[J]. *Journal of Anhui Agricultural University (Social Science Edition)*, 2015, 24(4): 121-124. (in Chinese)
- [10] 沈冬梅, 李涓. 大观茶论[M]. 上海: 中华书局, 2013.  
SHEN D M, LI J. *Grand view on tea*[M]. Shanghai: China Book Company, 2013. (in Chinese)
- [11] 丰田裕章, 曹建南. 略论宋代点茶汤色的变迁[J]. 农业考古, 2020(5): 27-30.  
TOYOTA Y Z, CAO J N. On the change of tea soup color in Song Dynasty[J]. *Agricultural Archaeology*, 2020(5): 27-30.
- [12] 黄鉴舜, 叶宝存, 王少壮. 汤花形成的基础及影响条件[J].

- 福建茶叶, 1993(2): 18-21, 30. (in Chinese)
- HUANG J S, YE B C, WANG S Z. The formation basis and influencing conditions of Tanghua[J]. Tea in Fujian, 1993(2): 18-21, 30. (in Chinese)
- [13] 梁爽, 傅燕青, 尹军峰, 许勇泉. 红茶汁液态发酵生成的泡沫组成分析与调控[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 238-246.
- LIANG S, FU Y Q, YIN J F, XU Y Q. Compositional analysis and regulation of foam formed during black tea juice fermentation[J]. Food Science, 2022, 43(8): 238-246. (in Chinese)
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 茶水分测定: GB/T 8304—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Tea—Determination of water content: GB/T 8304—2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013. (in Chinese)
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 茶水浸出物测定: GB/T 8305—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Tea—Determination of water extracts content: GB/T 8305—2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013. (in Chinese)
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 茶 茶多酚测定: GB/T 8313—2002 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Tea—Determination of tea polyphenols content: GB/T 8313—2002[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013. (in Chinese)
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 茶 游离氨基酸总量的测定: GB/T 8314—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Tea—Determination of free amino acid content: GB/T 8314—2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013. (in Chinese)
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 茶 咖啡碱测定: GB/T 8312—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Tea—Determination of caffeine content: GB/T 8312—2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013. (in Chinese)
- [19] 张正竹. 茶叶生物化学实验教程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 44-45.
- ZHANG Z Z. Tea biochemistry experiment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009: 44-45. (in Chinese)
- [20] 林洁鑫, 王鹏杰, 金珊, 叶乃兴, 黄建锋, 颜廷宇, 郑德勇, 杨江帆. 基于广泛靶向代谢组学的不同产地红茶代谢产物比较分析[J]. 食品工业科技, 2022(2): 9-19.
- LIN J X, WANG P J, JIN S, YE N X, HUANG J F, YAN T Y, ZHENG D Y, YANG J F. Comparative analysis of black tea metabolites from different origins based on extensively targeted metabolomics[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022(2): 9-19. (in Chinese)
- [21] CHEN W, GONG L, GUO Z L, WANG W S, ZHANG H Y, LIU X Q, YU S B, XIONG L Z, LUO J. A novel integrated method for large-scale detection, identification, and quantification of widely targeted metabolites: application in the study of rice metabolomics[J]. Molecular Plant, 2013, 6(6): 1769-1780. (in Chinese)
- [22] SOBOLEY A P, DI L A, CIRCI S, SANTARCANGELO C. NMR, RP-HPLC-PDA-ESI-MSn, and RP-HPLC-FD characterization of green and Oolong teas (*Camellia sinensis* L.)[J]. Molecules, 2021, 26(17): 5125-5125. (in Chinese)
- [23] 郑立盛. 茶沫与唐代茶文化[J]. 农业考古, 1995(2): 48-49.
- ZHENG L S. Tea foam and tea culture of tang dynasty[J]. Agricultural Archaeology, 1995(2): 48-49. (in Chinese)
- [24] 赵柯. 蓖麻油酸基表面活性剂的合成及性能研究[D]. 西安: 西北大学, 2018.
- ZHAO K. Synthesis and properties of castor oil acid-based surfactants[D]. Xi'an: Northwest University, 2018. (in Chinese)
- [25] 李玉琪, 袁婷婷, 茅风燕, 黄芳华. 落新妇苷的药理活性及植物来源研究进展[J]. 中国药房, 2017, 28(19): 2718-2723.
- ZHAO Y Q, YUAN T T, MAO F Y, HUANG F H. Research progress on pharmacological activities and plant sources of astilbin[J]. China Pharmacy, 2017, 28(19): 2718-2723. (in Chinese)
- [26] 黄清铎, 黄俊生, 黄冬婷, 黎鹏, 谢建伟, 孟飞. 3 种不同甘蔗品种蔗蜡中多甘烷醇分离及其成分[J]. 食品工业, 2020, 41(11): 161-164.
- HUANG Q H, HUANG J S, HUANG D T, LI P, XIE J W, MENG F. Polycosanols separation and its components in sugarcane wax of three different sugarcane varieties[J]. The Food Industry, 2020, 41 (11): 161-164. (in Chinese)
- [27] 蒋增良, 杨明, 杜鹃, 张辉, 冯凤琴. 月桂酸单甘油酯抑菌抗病毒特性及其在食品中的应用[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(2): 142-146.
- JIANG Z L, YANG M, DU J, ZHANG H, FENG F Q. Antibacterial and antiviral properties of monoglyceride lauric acid and its application in food[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30 (2): 142-146. (in Chinese)

- Chinese)
- [28] JOEMARK N, AKIRA I, SEIKO O, TAKAO O. Production of a novel dimeric 4-deoxy-L-erythro-5-hexoseulose uronic acid by a PL-17 exolytic alginate lyase from *Hydrogenophaga* sp. UMI-18[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2020, 525(4): 982-988.
- [29] WANG J L, XU Y, HOLIC R, YU X C, SINGER S D, CHEN G Q. Improving the production of punicic acid in baker's yeast by engineering genes in acyl channeling processes and adjusting precursor supply[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(33): 9616-9624.
- [30] ZHAO J W, ZHOU H, AN Y N, SHEN K S, YU L. Biological effects of corosolic acid as an anti-inflammatory, anti-metabolic syndrome and anti-neoplastic natural compound[J]. Oncology Letters, 2021, 21(2): 84-84.
- [31] HUNG H Y, CHENG K C, KUO P C. Chemical constituents of *Hedyotis diffusa* and their anti-inflammatory bioactivities[J]. Antioxidants, 2022, 11(2): 335-335.
- [32] LU L Y, YANG P, CHEN T, SHEN Y F, YAO Q, YAN J. Changes in biological activities after olive oil, pomegranate seed oil, and grape seed oil were formulated into self-nano-emulsifying systems[J]. Journal of Oleo Science, 2020, 69(2): 161-166.
- [33] 叶宝存, 黄鉴舜. 汤花试释[J]. 福建茶叶, 1991(3): 34-37. YE B C, HUANG J S, Tea foam[J]. Tea in Fujian, 1991(3): 34-37. (in Chinese)
- [34] 马园园, 吴扬. 茶皂素的生物活性及应用研究进展[J]. 茶叶通讯, 2021, 48(1): 15-19. MA Y Y, WU Y. Research progress on bioactivity and application of tea saponin[J]. Journal of Tea Communication, 2021, 48(1): 15-19. (in Chinese)
- [35] 刘渝港, 丁泽敏, 夏会平, 郭时印, 曾朝喜. 茶皂素分离纯化及其在医药食品领域中的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(4): 195-202. LIU Y G, DING Z M, XIA H P, GUO S Y, ZENG C X. Separation and purification of tea saponin and its research progress in the field of medicine and food[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(4): 195-202. (in Chinese)
- [36] 岳翠男, 江新风, 李延升, 杨普香. 茶皂素提取技术及生物活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(7): 326-331. YUE C N, JIANG X F, LI Y S, YANG P X. Research progress on extraction technology and biological activity of tea saponin[J]. Science and Technology of Food industry, 2019, 40(7): 326-331. (in Chinese)
- [37] FU G M, CHEN K D, WANG J T, WANG M, LI R Y, WU X J. Screening of tea saponin-degrading strain to degrade the residual tea saponin in tea seed cake[J]. Preparative Biochemistry & Biotechnology, 2020, 50(7): 697-707.
- [38] 周家春. 溶血磷脂开发应用[J]. 粮食与油脂, 2002(3): 33-34. ZHOU J C. Development and application of lysophospholipids[J]. Cereals & Oils, 2002(3): 33-34. (in Chinese)
- [39] ZHANG Q, ZHANG W, LIU J, YANG H S, HU Y X, ZHANG M D, BAI T Y, CHANG F H. Lysophosphatidylcholine promotes intercellular adhesion molecule-1 and vascular cell adhesion molecule-1 expression in human umbilical vein endothelial cells via an orphan G protein receptor 2-mediated signaling pathway[J]. Bioengineered, 2021, 12(1): 4520-4535.
- [40] LI X, NAKAYAMA K, GOTO T. High level of phosphatidylcholines/lysophosphatidylcholine ratio in urine is associated with prostate cancer[J]. Cancer Science, 2021, 112(10): 4292-4302.