

## 冷萃咖啡制备技术及其风味特征研究进展

高敏, 蔡妍培, 吴继红, 王一盛, 黄春, 劳菲

**Research Progress on Preparation Technology and Flavor Characteristics of Cold Brew Coffee**

GAO Min, CAI Yanpei, WU Jihong, WANG Yisheng, HUANG Chun, and LAO Fei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022040063>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 牦牛乳风味物质及影响因素研究进展

Research Progress on Flavor Substances and Influencing Factors of Yak Milk

食品工业科技. 2020, 41(10): 363-368 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.10.061>

#### 猕猴桃果酒风味物质研究进展

Research Progress of the Flavor Compounds in Kiwifruit Wine

食品工业科技. 2018, 39(17): 305-308 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.17.051>

#### 葡萄酒风味物质研究进展

Research progress of the flavor compounds in wine

食品工业科技. 2017(14): 310-313 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.14.061>

#### 鸡肉中挥发性风味物质及其影响因素的研究进展

Research Progress on Volatile Flavor Substances and Their Influencing Factors of Chicken

食品工业科技. 2019, 40(21): 337-343,351 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.21.055>

#### 外源抑制物对风干肠风味变化的影响

Effects of Exogenous Inhibitors on the Microbial Community Composition and Flavor Changes of Air-Dried Sausage

食品工业科技. 2021, 42(4): 215-225,231 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020040146>

#### 低温等离子体冷杀菌对盐水鸭货架期及风味品质的影响

Effects of Cold Plasma Sterilization on Shelf Life and Flavor Quality of Salted Duck

食品工业科技. 2021, 42(17): 70-77 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021010031>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

高敏, 蔡妍培, 吴继红, 等. 冷萃咖啡制备技术及其风味特征研究进展 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(3): 508–521. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040063

GAO Min, CAI Yanpei, WU Jihong, et al. Research Progress on Preparation Technology and Flavor Characteristics of Cold Brew Coffee[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(3): 508–521. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040063

· 专题综述 ·

# 冷萃咖啡制备技术及其风味特征研究进展

高 敏<sup>1,2,3</sup>, 蔡妍培<sup>1,2</sup>, 吴继红<sup>1,2</sup>, 王一盛<sup>4</sup>, 黄 春<sup>4</sup>, 劳 菲<sup>1,2,3,\*</sup>

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083;

2. 国家果蔬加工工程技术研究中心, 农业农村部果蔬加工重点实验室,  
北京市食品非热加工重点实验室, 北京 100083;

3. 中国农业大学(兴化)健康食品产业研究院, 江苏兴化 225700;

4. 顶能科技有限公司, 江苏兴化 225700)

**摘要:** 冷萃咖啡是指用冷水或冰水浸泡或滴加至烘焙咖啡粉所得的具有咖啡风味的液体。近两年其线上的销售量呈爆发式增长, 深受青年一代的喜爱。相比传统的热冲咖啡, 冷萃咖啡具有更加顺滑的口感和更少的苦味。对冷萃咖啡制备技术、风味化学成分和感官特征的科学研究近年来才逐渐兴起, 围绕以上三个研究切入点简单介绍了现有冷萃咖啡的基本类型, 全面总结了冷萃咖啡制备及其风味改良的相关技术专利, 并系统介绍了评价冷萃咖啡品质的常用指标和工艺参数, 综述了冷萃咖啡感官描述和典型咖啡特征风味化合物, 为冷萃咖啡的规模化生产和进一步推广提供理论参考和实践指导。

**关键词:** 冷萃咖啡, 感官品质, 影响因素, 风味物质, 差异

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)03-0508-14

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040063

本文网刊:



## Research Progress on Preparation Technology and Flavor Characteristics of Cold Brew Coffee

GAO Min<sup>1,2,3</sup>, CAI Yanpei<sup>1,2</sup>, WU Jihong<sup>1,2</sup>, WANG Yisheng<sup>4</sup>, HUANG Chun<sup>4</sup>, LAO Fei<sup>1,2,3,\*</sup>

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. National Engineering Research Center for Fruit and Vegetable Processing, Key Laboratory of Fruit and Vegetable Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing Key Laboratory for Food Non-thermal

Processing, Beijing 100083, China;

3. Xinghua Industrial Research Centre for Food Science and Human Health,

China Agricultural University, Xinghua 225700, China;

4. Topower Technology Limited, Xinghua 225700, China)

**Abstract:** Cold brew coffee refers to coffee-flavored liquid obtained by steeping or dripping roasted coffee bean grounds with cold or iced water. Cold brew coffee is in trend and highly favored by the young generation, with its online sales bloomed in the past two years. Compared to traditional hot brew coffee, cold brew coffee is claimed to have a smoother mouth feel and less bitter taste. The scientific research on cold brew coffee preparation technology, chemical composition and sensory property has gradually sprung up in recent years. Basic types of cold brew coffee are introduced from the three above mentioned perspectives. Technical patents in relevant to cold brew coffee preparation and flavor enhancement, as well as the commonly used quality indicators and process parameters of cold brew coffee are comprehensively summarized. The sensory description and characteristic flavor compounds of cold brew coffee are reviewed. Valuable theoretical

收稿日期: 2022-04-08

基金项目: 中国农业大学兴化健康食品产业研究院开放基金(201907);“中国农业大学2115人才工程”。

作者简介: 高敏(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工技术, E-mail: gaomin\_1996@163.com。

\* 通信作者: 劳菲(1988-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬加工与品质控制, E-mail: fei.lao@cau.edu.cn。

reference and practical guidance for large-scale cold brew coffee production and further promotion will be provided.

**Key words:** cold brew coffee; sensory quality; influencing factors; flavor compounds; difference

咖啡豆是茜草科(Rubiaceae)咖啡属(*Coffea*)植物的种子, 原产于非洲中北部, 主要分布在南美、中美洲、非洲和亚洲等少数国家<sup>[1]</sup>。咖啡豆经过烘焙、研磨、萃取等一系列步骤处理后能够制作出世界范围内最为普遍且深受全世界消费者喜爱的饮品——咖啡<sup>[2]</sup>。在生咖啡豆烘焙和萃取过程中, 其复杂的化学成分会发生美拉德反应等一系列变化, 从而形成其特征风味和香气<sup>[3]</sup>。我国越来越多的消费者开始接受并喜欢这种有着独特风味和香气特征的“西方饮料”。iiMedia Research(艾媒咨询)数据显示, 2021 年中国咖啡市场规模约 3817 亿元, 中国消费者饮食观念发生了改变, 咖啡逐渐在中国消费者生活中普及, 中国咖啡市场进入一个高速发展的阶段, 预计行业保持 27.2% 的增长率上升, 2025 年中国咖啡市场规模将达 10000 亿元<sup>[4]</sup>。

冷萃咖啡, 也称为荷兰咖啡、京都式咖啡或冷水萃取咖啡, 是指用冷水或冰浸泡或滴加一段时间后提取的具有烘焙咖啡渣香气和味道的液体<sup>[5]</sup>。Starbucks、Dunkin' Donuts、雀巢、UCC、永璞和三顿半等区域性咖啡供应商已经将这种产品推向市场, 多数生产商宣称冷萃咖啡比传统的热冲咖啡口感更顺滑, 苦味更少。Rao 等<sup>[6]</sup>提到冷萃咖啡比热冲咖啡的酸度低, 且由于冷萃咖啡的低酸度, 会使一些人觉得冷萃咖啡更甜一些。冷萃咖啡还具有改善巨噬细胞、肠道免疫及抗氧化等生物活性功能<sup>[7]</sup>。CBNData 报告显示, 冷萃咖啡的线上销售量在近两年来呈爆发式增长, 尤其受到 95 后、90 后年轻人的喜爱, 成为购买冷萃咖啡的主力消费人群<sup>[8]</sup>。尽管冷萃咖啡的消费量不断增长, 人们对该市场也很感兴趣, 但关于冷萃咖啡制备技术及其对咖啡风味化学成分和感官特征的科学的研究仍然比较有限<sup>[7, 9]</sup>。本文通过介绍现有冷萃咖啡的基本类型, 全面总结冷萃咖啡制备及其风味改良的相关技术专利, 并系统介绍评价冷萃咖啡品质的常用

指标和工艺参数, 特别综述了冷萃咖啡感官描述和典型咖啡特征风味化合物的含量差异, 以期为冷萃咖啡的规模化生产和进一步推广提供理论参考和实践指导。

## 1 冷萃咖啡制备技术

### 1.1 冷萃咖啡制备概述

冷萃咖啡的制备方法包括滴加和浸泡两种, 如图 1 所示。滴加法是在一段时间内持续的将冷水滴加到咖啡粉上, 并以冷萃的形式获得咖啡液, 如中啡 (ZHONGFEI) 冰滴 8 h 冷萃纯黑咖啡、永夏日式冰滴 18 h 咖啡等。浸泡法在商业上的使用更为广泛, 例如星巴克使用的浸泡法是将咖啡粉浸泡在装有冷水的容器中 20 h, 从而获得冷萃咖啡提取物<sup>[10]</sup>。

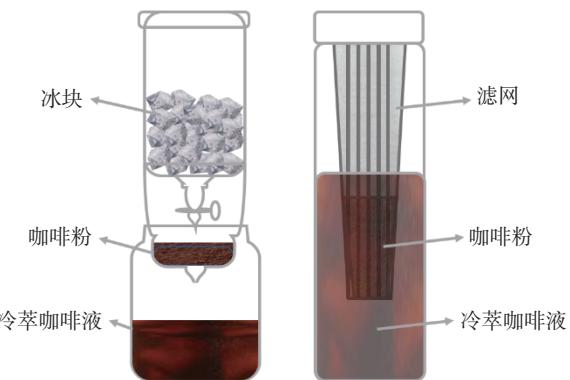


图 1 冷萃咖啡的常规冲泡方法

Fig.1 Conventional methods for cold brew coffee preparation  
注: 冰滴法(左)和浸泡法(右)。

冷萃咖啡通常建议在制备后立即饮用, 或者在冷藏条件下短期储存后饮用。然而, 相对短的赏味期限限制了冷萃咖啡的消费半径, 近年来, 许多商业咖啡供应商开始投资和研发三个月以上储存期的即饮冷萃咖啡。Bellumori 等<sup>[9]</sup>评估了高压处理(High pressure processing, HPP)、微滤(Microfiltration)、紫

表 1 不同货架期延长技术对冷萃咖啡灭菌效果、贮藏期限及品质变化的影响

Table 1 Effect of different shelf life extension techniques on cold brew coffee microbial reduction, shelf life and quality change

| 处理技术                 | 工艺参数   | 总菌数减少值<br>(CFU/mL) | 贮藏期限                                   | 品质变化( $t_0$ )  |
|----------------------|--|--------------------|--|--|
| 急速冷却 <sup>[9]</sup>  | -18 ℃, 60 min                                    | 881.7              | 7 d后显示出微生物污染                           | 与未处理样品相比, 绿原酸含量降低11%, 总挥发性化合物含量显著降低至20.1 mg/kg(未处理样品24.6 mg/kg), 具有水果香气的关键挥发性物质乙酸糠酯含量降低了25%, 感官表现出强烈的酸味和咸味 |
| 紫外线照射 <sup>[9]</sup> | 25±5 ℃温度下, 1 cm咖啡液在254 nm低压汞灯下照射                 | 890.7              | 7 d后显示出微生物污染                           | pH4.98±0.02, 显著高于未处理和其他处理样品, 风味感知与未处理样品较相似   |
| 微滤 <sup>[9]</sup>    | 1500 g/m <sup>2</sup> , 5 μm标称截止过滤, 600 mL/min流速 | 990                | 30 d后显示出超过微生物接受限度的霉菌存在( $10^3$ CFU/mL) | 与未处理样品相比, 具有麦芽香气的关键挥发性物质2-甲基丁醛含量降低了20%, 感官表现出强烈的苦味   |
| 巴氏杀菌 <sup>[9]</sup>  | 65 ℃, 30 min                                     | >995               | 四个月                                    | 与未处理样品在pH、咖啡因、绿原酸和挥发性风味物质含量差异不显著, 风味感知与未处理样品较相似  |
| 高压处理 <sup>[9]</sup>  | 200 s加压到608 MPa, 保持6 min                         | >995               | 四个月                                    | 与未处理样品在pH、咖啡因、绿原酸和挥发性风味物质含量差异不显著, 风味感知与未处理样品较相似  |

外线照射(UV irradiation)、巴氏杀菌(Pasteurization)和急速冷却(Blast chilling process)等5种货架期延长技术对冷萃咖啡品质的影响(表1),发现经过四个月的储存,巴氏杀菌和高压处理的冷萃咖啡样品保持了咖啡因和绿原酸的稳定含量,也保证了样品的微生物安全性;在相同的保质期内,巴氏灭菌的冷萃咖啡样品的风味特征没有表现出明显的变化,而高压处理的冷萃咖啡样品的挥发性化合物总含量减少了约25%。

## 1.2 冷萃咖啡相关专利

在国家知识产权局及欧洲专利局分别以“冷萃”和“cold brew coffee”、“flavor”为关键词检索冷萃咖啡相关专利,共检索到专利申请500余条,检索结果大多为冷萃咖啡制备设备;重点关注冷萃咖啡风味相关专利,发现大多专利聚焦新型食品加工技术的应用或原料的复配两种方式来改善冷萃咖啡风味,其他已授权专利还包括不同咖啡萃取方式的特征标志物及其筛选方法与应用等<sup>[11]</sup>。

新型冷萃咖啡加工技术方面,大润食品(漳州)有限公司<sup>[12]</sup>采用逆流冷萃、冷冻浓缩等非热加工技术加工咖啡浓缩液,充CO<sub>2</sub>技术可以防止油脂氧化和

营养物质氧化褐变和抑制微生物生长以及繁殖,从而达到改善冷萃咖啡风味及延长货架期的作用。韩国송현<sup>[13]</sup>利用超临界二氧化碳技术萃取咖啡液,得到的咖啡液也具有脂质含量高、香气浓郁的特点。除CO<sub>2</sub>外,类似的惰性气体也可用于生产和贮运过程中咖啡风味的保护,国际食品巨头雀巢选择使用氮气辅助制备高产率冷萃咖啡<sup>[14-15]</sup>。Ewing Todd<sup>[16]</sup>混合冷水、咖啡豆、甜味剂和用作乳液稳定剂的膳食纤维,将混合物研磨30 s到3 min得到冷萃咖啡,提供了一种天然萃取咖啡饮料的方法。如表2,上述采用新型加工技术来改善冷萃咖啡风味的国内外专利均已授权。2019年以来,陆续有咖啡研发人员将超高压技术、脉冲压力技术以及高压二氧化碳技术等应用于冷萃咖啡制备,国内外相关专利的申请数量也在逐年增加<sup>[17-21]</sup>。

原料的复配方面,如表3,韩国研究者通过向咖啡中添加蓝莓提取物(花色苷)和皂角,使得咖啡风味均衡协调,且长期保存也不会产生沉淀<sup>[22]</sup>;添加平卧绞股蓝,得到的咖啡具有更柔和、更丰富的味道和香气<sup>[23]</sup>;将海洋深层水作为冷萃咖啡萃取溶剂并加入碱

表2 基于新型食品加工技术(不含装备)的冷萃咖啡风味改良国内外专利汇总

Table 2 Summary of domestic and foreign patents for flavor improvement of cold brew coffee based on new food processing technology (excluding equipment)

| 编号 | 国别 | 专利申请号            | 申请/公开年份   | 专利名称   | 申请单位/申请人                   | 专利信息概述  | 法律状态   |
|----|----|------------------|-----------|--|----------------------------|---|--------|
| 1  | 中国 | CN201610421797.1 | 2016/2016 | 一种高品质咖啡浓缩液的生产方法  | 大润食品(漳州)有限公司               | 采用逆流冷萃、冷冻浓缩结合CO <sub>2</sub> 填充等非热加工技术。                 | 已授权    |
| 2  | 欧洲 | EP2017064021W    | 2017/2017 | A nitrogen infused high yield soluble coffee and methods thereof | Nestec SA [CH]             | 注入氮的高产率咖啡HYC,脱水碳水化合物含量在25%~42%w/w之间。                    | 已授权    |
| 3  | 美国 | US201716462297A  | 2017/2022 | Roast and ground coffee powder and methods of making thereof     | Nestec SA [CH]             | 涉及烘焙和研磨,在5 min内制备出冷萃咖啡。                                 | 已授权    |
| 4  | 中国 | CN201810497357.3 | 2018/2018 | 不同咖啡萃取方式特征标志物及其筛选方法与应用   | 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所      | 液相色谱-质谱技术应用于咖啡冲泡方式的鉴别。                                  | 已授权    |
| 5  | 美国 | US201816004448A  | 2018/2020 | Cold brew compositions and methods                               | Ewing Todd [US]            | 混合冷水、咖啡豆、甜味剂和用作乳液稳定剂的膳食纤维;研磨混合物0.5~3.0 min,风味和颜色同时溶进水相。 | 已授权    |
| 6  | 中国 | CN201911405499.3 | 2019/2020 | 一种天然产物的脉冲压力冷萃方法  | 中国农业大学                     | 脉冲压力冷萃技术,提取不同极性天然产物。                                    | 实质审查生效 |
| 7  | 欧洲 | EP19204121A      | 2019/2021 | Cold-brew coffee extracts and methods of producing the same      | Master cold brewer Ag [CH] | 咖啡豆加入低温水形成悬浮液,分多步湿磨至平均粒径小于100 μm,取液相得冷泡咖啡提取物;提取时间短至几分钟。 | 进入欧洲阶段 |
| 8  | 中国 | CN202010129738.3 | 2020/2020 | 一种高香速溶冷萃咖啡粉的制备方法   | 大润食品(漳州)有限公司               | 投料至柱式保温高压萃取罐,进行分段萃取,收集头道液和末道液混合,经冻干过筛到高香速溶冷萃咖啡粉。        | 实质审查生效 |
| 9  | 中国 | CN202010837229.6 | 2020/2021 | 冰滴冷萃植物原料萃取液的萃取方法及其应用   | 优特比咖啡(天津)有限公司              | 用低温水以每分钟40~120滴匀速滴滤研磨颗粒,萃取用时8~12 h。                     | 实质审查生效 |
| 10 | 中国 | CN202011122555.5 | 2020/2021 | 一种冷萃咖啡的制备方法  | 苏州金猫咖啡有限公司                 | 用低温水连续负压萃取预湿的咖啡粉。                                       | 实质审查生效 |
| 11 | 中国 | CN202011121669.8 | 2020/2021 | 一种冷萃冷冻咖啡粉的制备方法   | 苏州金猫咖啡有限公司                 | 用低温水连续负压萃取预湿的咖啡粉,浓缩所得咖啡液,冻干。                            | 实质审查生效 |
| 12 | 中国 | CN202011469741.6 | 2020/2021 | 一种冷萃方法   | 魔饮咖啡(青岛)有限公司               | 多次喷洒水,控制时间和水量达到传统冷萃工艺的效果。                               | 实质审查生效 |
| 13 | 中国 | CN202110842969.3 | 2021/2021 | 使用温和高压快速制备冷萃咖啡的方法  | 中国农业大学                     | 咖啡粉注入低温水,置于高压二氧化碳容器进行处理。                                | 实质审查生效 |
| 14 | 韩国 | KR20210101184A   | 2021/2021 | Method for producing supercritical cold brew coffee with flavor  | 송현                         | 咖啡豆泡在150 bar压力处理的水中5 min后,再经10 min超临界合成二氧化碳处理。          | 已授权    |

表 3 基于原料复配改良冷萃咖啡风味的国内外专利汇总

Table 3 Summary of domestic and foreign patents based on compounding of raw materials to improve the flavor of cold brew coffee

| 编号 | 国别 | 专利申请号            | 申请/公开年份   | 专利名称  | 申请单位/申请人                 | 专利信息概述                                       | 法律状态   |
|----|----|------------------|-----------|---|--------------------------|--|--------|
| 1  | 韩国 | KR20140032076A   | 2014/2016 | Manufacturing method of dutch coffee with blueberry extract | 이준화                      | 添加蓝莓花色苷, 味道和香气均衡协调, 添加皂角, 长期保管不会产生沉淀。        | 已授权    |
| 2  | 韩国 | KR20140067290A   | 2014/2016 | Manufacturing method of dutch coffee                        | 가톨릭관동대학교산학협력단            | 将海洋深层水作为萃取溶剂制成冷萃咖啡, 加入碱性离子水, 长期保存风味不变。       | 已授权    |
| 3  | 韩国 | KR20150052085A   | 2015/2015 | Manufacturing method of coffee powder using sambung nyawa   | Haslla art world Co [KR] | 含有平卧绞股蓝, 保持咖啡原有味道和香气, 比一般咖啡更能感受到柔和、丰富的味道和香气。 | 已授权    |
| 4  | 中国 | CN201910575314.7 | 2019/2019 | 一种薄荷咖啡的配制方法   | 深圳春沐源控股有限公司              | 添加新鲜薄荷叶研磨成的薄荷汁, 使得咖啡口感不局限于香醇浓厚。              | 实质审查生效 |
| 5  | 中国 | CN202022465805.7 | 2020/2021 | 含有茯苓提取物的高浓度咖啡饮料萃取装置   | 杭州利生美健康科技有限公司            | 含有茯苓提取物的高浓度咖啡饮料萃取装置。                         | 已授权    |
| 6  | 中国 | CN202110539476.2 | 2021/2021 | 一种抗疲劳功能性风味冷萃咖啡及其制备方法  | 普洱丰华联合实业发展有限责任公司         | 以咖啡豆和酶解红枣汁为主要原料, 兼具咖啡和红枣汁风味。                 | 实质审查生效 |
| 7  | 中国 | CN202110160586.8 | 2021/2021 | 一种芝士咖啡的制备方法   | 上海亮靓生物科技有限公司             | 芝士和其它辅料及咖啡在冷萃低温中结合成萃取液, 水融性好。                | 实质审查生效 |
| 8  | 中国 | CN202111108108.9 | 2021/2022 | 一种具有保健功效的咖啡饮品及其制备方法   | 上海应用技术大学                 | 咖啡萃取物2份、中草药40份、净化水200份和功能低聚糖1份。              | 实质审查生效 |

性离子水, 可长期保存风味不变<sup>[24]</sup>。以上通过原料复配改善咖啡风味的专利均已在韩国授权, 我国还有添加薄荷汁、芝士、发酵红枣汁以及中草药等的咖啡专利处于实质性审查阶段<sup>[25~28]</sup>。

## 2 评价冷萃咖啡品质的常用指标

咖啡是依托于主观喜好的饮料。对于如何定义一杯高品质的咖啡, 每个人都有自己独特的见解。精品咖啡协会将萃取率在 18%~22% 的萃取区间定义为金杯萃取区间, 咖啡行业内普遍认为萃取率位于此区间时, 咖啡液所呈现的风味品质最佳。从可量化的品质评价角度出发, 咖啡的品质可以从挥发性化合物、滋味与功能性化合物、pH 和可滴定酸度、可溶性固形物含量和提取率这几方面来综合评估。

### 2.1 挥发性化合物

烘焙咖啡中已经鉴定出 1000 多种挥发性化合物, 然而, 并不是所有的挥发性化合物都能被咖啡品鉴人员感知到。咖啡的香气受这些化合物种类及含量的影响, 一般来说, 香气浓度超过人嗅觉感知阈值时才能被品鉴者感受到。文献表明, 这些化合物中可能只有大约 5% 对咖啡的香气感知有重要贡献<sup>[29]</sup>, 主要包括吡嗪类、呋喃类、醛类、酮类和酯类等 11 类物质, 这些物质的感官描述词及其在冷萃与传统热冲咖啡中的含量差异汇总于表 4。

咖啡中的吡嗪类物质一般被描述为具有坚果、泥土和烘烤的香味, 以 2,6-二甲基吡嗪、2,5-二甲基吡嗪和 2-乙基吡嗪为代表的吡嗪类是两种哥伦比亚精品咖啡豆 Nariño 和 Huila 制备的冷萃咖啡中含量第二高的挥发性风味物质种类<sup>[7]</sup>。2-甲氧基吡嗪、2-甲基-5-乙烯基吡嗪和 2-乙酰基吡嗪在埃塞俄比亚阿拉比卡冷萃咖啡中被报道<sup>[30]</sup>。巴西阿拉比卡冷萃咖啡中含有 2-甲基吡嗪、2,3-二甲基吡嗪和 2-乙基-6-甲基吡嗪等吡嗪类物质<sup>[31]</sup>。吡嗪类物质感官阈值较

低, 它们对咖啡整体风味的贡献至关重要, 且其所呈现的香气在烘焙程度较深的咖啡豆中更能够被注意到<sup>[7, 9, 32]</sup>。

呋喃类化合物, 如糠醛、5-甲基糠醛、2-乙酰基呋喃和呋喃是 Nariño 和 Huila 两种精品咖啡豆的主要香气贡献成分之一, 与咖啡中的其他化合物相比具有较高的阈值, 主要提供烘烤甜香类的香气<sup>[7, 33]</sup>。哥伦比亚 Nariño 豆冷萃咖啡中较丰富的呋喃类物质有 5-甲基糠醛、乙酸糠酯、2-呋喃甲醇和糠醛, 其中具有水果味的乙酸糠酯因其香气活性值 (Odor activity value, OAV) 较大而被认为是最重要的呋喃类化合物之一, 其含量在采用滴滤进行萃取的冷萃咖啡中显著高于浸润或热冲 ( $P<0.05$ )<sup>[32]</sup>。以浸润和滴滤两种方式制备的乌干达阿拉比卡冷萃咖啡的呋喃含量没有显著性差异 ( $P>0.05$ ), 而同种冷萃方式在 20 °C 下萃取的呋喃含量显著低于 5 °C 下萃取的 ( $P<0.05$ ), 说明呋喃含量受萃取方式影响不显著, 受萃取温度影响显著, 冷萃温度低于呋喃沸点 (31 °C), 也就导致冷萃咖啡中呋喃含量相较热冲咖啡中较高<sup>[32, 34~35]</sup>。

咖啡中的醛类物质一般被描述为带有花果香的甜味, 如 2-甲基丁醛、3-甲基丁醛和正己醛是浅烘焙埃塞俄比亚阿拉比卡冷萃咖啡中检测出的三种典型醛类物质, 经过高压处理、微滤、紫外线照射、巴氏杀菌和急速冷却等货架期延长技术处理仍能检出<sup>[9]</sup>。前两种被认为与咖啡中巧克力味和麦芽味有关的醛类物质同样在哥伦比亚 Nariño 和 Huila 豆冷萃咖啡中有较高的含量<sup>[7]</sup>。巴西阿拉比卡冷萃咖啡也检出了前两种醛类物质的存在, 而苯乙醛仅在热冲和超声波辅助萃取冷萃咖啡中检出。来自萨尔瓦多、危地马拉、玻利维亚和巴西的阿拉比卡冷萃咖啡仅检测到了 3-甲基丁醛<sup>[36]</sup>。通过超快速气相色谱法在某品

表4 冷萃与热冲提取对咖啡特征挥发性风味物质含量的影响

Table 4 Effect of cold and hot brew on coffee characteristic volatile flavor compounds

| CAS        | 化合物                   | 感官描述 <sup>[9,43-45]</sup>  | OAV <sup>[9]</sup> | 香气活性值 | 品种   | 含量(mg/100 mL, mg/kg <sup>*</sup> )               |  |
|------------|-----------------------|--|--------------------|-------|--|--|--|
|            |                       |  |                    |       |  | 冷萃咖啡   | 热冲咖啡   |
| <b>吡嗪类</b> |                       |  |                    |       |  |  |  |
| 109-08-0   | 2-甲基吡嗪                | 酚类(phenolic)、烟味(smoky)、香料味(spicy)  | /                  | 阿拉比卡  | 0.11~0.20 <sup>[33]</sup> 、0.43~10 <sup>2~3</sup> <sup>[38]</sup>  | 0.30~0.40 <sup>[33]</sup>                        | 0.13~10 <sup>1~2</sup> 、0.05~10 <sup>1~3</sup>   |
| 1325-0-3   | 2-乙基吡嗪                | 坚果味(nutty)、霉味(roasted)   | /                  | 阿拉比卡  | 0.48~10 <sup>1~2</sup> 、0.74~10 <sup>1~3</sup>   | 1.13~10 <sup>1~2</sup> 、3.22~10 <sup>2~3</sup>   | 1.0~10 <sup>2~3</sup>                            |
| 123-32-0   | 2,5-二甲基吡嗪             | 坚果味(nutty)、可可味(cocoa)  | >1                 | 阿拉比卡  | 1.89 <sup>[9]</sup> 、1.0~10 <sup>2~3</sup> 、3.95~10 <sup>2~3</sup>   | 0.93~0.95 <sup>[33]</sup>                        | 1.0~10 <sup>2~3</sup>                            |
| 108-50-9   | 2,6-二甲基吡嗪             | 可可味(cocoa)、烘焙味(roasted)、坚果味(nutty)、霉味(roasted)                                   | /                  | 阿拉比卡  | 0.26~0.48 <sup>[33]</sup> 、0.81~10 <sup>2~3</sup> 、2.29~10 <sup>2~3</sup>  | 0.93~0.95 <sup>[33]</sup>                        | 0.35~10 <sup>1~2</sup> 、0.38~10 <sup>1~3</sup>   |
| 5910-89-4  | 2,3-二甲基吡嗪             | 坚果味(nutty)、可可味(cocoa)、烘焙味(roasted)、焦糖味(caramel)                                  | /                  | 阿拉比卡  | 0.11~10 <sup>1~2</sup> 、0.21~10 <sup>1~3</sup>   | 0.35~10 <sup>1~2</sup> 、0.38~10 <sup>1~3</sup>   | 0.35~10 <sup>1~2</sup> 、0.38~10 <sup>1~3</sup>   |
| 13238-84-1 | 2,5-二乙基吡嗪             | 坚果味(nutty)、榛果味(hazelnut)   | /                  | 阿拉比卡  | 0.6~10 <sup>3~4</sup> 、2.9~10 <sup>3~3</sup>   | /  | 1.3~10 <sup>3~4</sup> 、3.6~10 <sup>3~3</sup>     |
| 15707-23-0 | 2-乙基-3-甲基吡嗪           | 坚果味(nutty)、花生味(peanuts)  | /                  | 阿拉比卡  | 0.8~10 <sup>3~4</sup> 、4.5~10 <sup>3~3</sup>   | 0.33~10 <sup>2~3</sup> 、1.08~10 <sup>2~3</sup>   | 1.3~10 <sup>3~4</sup> 、3.6~10 <sup>3~3</sup>     |
| 13925-09-2 | 2-甲基-6-乙基吡嗪           | 榛果味(hazelnut)  | /                  | 阿拉比卡  | 0.28~10 <sup>1~3</sup>   | /  | 0.44~0.55 <sup>[33]</sup>                        |
| 13925-03-6 | 2-乙基-6-甲基吡嗪           | 烘焙味(roasted)、榛果味(hazelnut)   | /                  | 阿拉比卡  | 0.15~0.28 <sup>[33]</sup>  | 0.44~0.55 <sup>[33]</sup>                        | 0.44~0.55 <sup>[33]</sup>                        |
| 13360-65-1 | 3,6-可可吡嗪              | 可可味(cocoa)、烘焙味(roasted)、坚果味(nutty)、榛果味(hazelnut)                                 | /                  | 阿拉比卡  | 0.14~0.32 <sup>[33]</sup> 、0.3~10 <sup>2~3</sup> 、1.54~10 <sup>2~3</sup>   | 0.42~0.55 <sup>[33]</sup>                        | 0.42~0.55 <sup>[33]</sup>                        |
| 13925-07-0 | 3,5-可可吡嗪              | 烧焦味(burnt)、烘焙味(roasted)、杏仁味(almond)、甜的(sweet)、坚果味(nutty)、焦糖味(caramel)、可可味(cocoa) | /                  | 阿拉比卡  | 0.5~10 <sup>3~4</sup> 、2.3~10 <sup>3~3</sup>   | 0.49~10 <sup>1~2</sup> 、0.52~10 <sup>1~3</sup>   | 0.49~10 <sup>1~2</sup> 、0.52~10 <sup>1~3</sup>   |
| 23747-48-0 | 5-甲基-6,7-二氢-5H-环戊并吡嗪  | 泥土味(earthy)、烘焙味(roasted)、花生味(peanuts)、坚果味(nutty)、霉味(musty)                       | /                  | 阿拉比卡  | 0.19~10 <sup>1~2</sup> 、0.37~10 <sup>1~3</sup> 、0.3~10 <sup>3~4</sup> 、1.5~10 <sup>3~3</sup>                         | 0.49~10 <sup>1~2</sup> 、0.52~10 <sup>1~3</sup>   | 0.49~10 <sup>1~2</sup> 、0.52~10 <sup>1~3</sup>   |
| 14667-55-1 | 2,3,5-三甲基吡嗪           | 泥土味(earthy)  | >1                 | 阿拉比卡  | 2.16 <sup>[9]</sup> 、0.21~0.40 <sup>[33]</sup>   | 0.75 <sup>[33]</sup>                             | 0.75 <sup>[33]</sup>                             |
| 71257-37-9 | 3,4-二氢-2-吡咯并[1,2-a]吡嗪 | /  | /                  | 阿拉比卡  | 0.28~10 <sup>1~3</sup>   | /  | /  |
| 22047-26-3 | 2-甲基-6-乙酰吡嗪           | 烘焙味(roasted)、可可味(cocoa)  | /                  | 阿拉比卡  | 0.16~10 <sup>1~2</sup> 、0.20~10 <sup>1~3</sup>   | 0.30~10 <sup>1~2</sup> 、0.32~10 <sup>1~3</sup>   | 0.30~10 <sup>1~2</sup> 、0.32~10 <sup>1~3</sup>   |
| 18217-82-8 | 2-甲基-5-[E]-1-烯丙基吡嗪    | /  | /                  | 阿拉比卡  | 0.21~10 <sup>1~2</sup> 、0.34~10 <sup>1~3</sup>   | 0.32~10 <sup>1~2</sup> 、0.46~10 <sup>1~3</sup>   | 0.32~10 <sup>1~2</sup> 、0.46~10 <sup>1~3</sup>   |
| 98-96-4    | 吡嗪酰胺                  | /  | /                  | 阿拉比卡  | 0.10~10 <sup>1~2</sup> 、0.14~10 <sup>1~3</sup>   | /  | /  |
| <b>呋喃类</b> |                       |  |                    |       |  |  |  |
| 110-00-9   | 呋喃                    | 像醚的味道(etheral)   | /                  | 阿拉比卡  | 1.01~10 <sup>3~4</sup> 、2.37~10 <sup>3~3</sup>   | /  | /  |
| 98-00-0    | 糠醇                    | 面包味(bread-like)、焦糖味(caramel)   | >1                 | 阿拉比卡  | 4.94 <sup>[9]</sup> 、0.811~10 <sup>1~2</sup> 、2.259~10 <sup>2~3</sup> 、0.6~10 <sup>2~3</sup> 、1.91~10 <sup>2~3</sup> | 0.836~10 <sup>1~2</sup> 、2.211~10 <sup>1~3</sup> | 0.836~10 <sup>1~2</sup> 、2.211~10 <sup>1~3</sup> |
| 534-22-5   | 2-甲基呋喃                | 烟味(smoky)、香料味(spicy)   | >1                 | 阿拉比卡  | 0.58 <sup>[9]</sup> 、1.1~10 <sup>3~4</sup> 、2.4~10 <sup>3~3</sup>  | 0.4~10 <sup>3~4</sup> 、2.6~10 <sup>3~3</sup>     | 0.4~10 <sup>3~4</sup> 、2.6~10 <sup>3~3</sup>     |
| 3208-16-0  | 2-乙基呋喃                | 化工的(chemical)、像醚的味道(etheral)、麦芽糖(malty)  | /                  | 阿拉比卡  | 0.03~0.08 <sup>[33]</sup>  | /  | /  |
| 625-86-5   | 2,5-二甲基呋喃             | 烟味(smoky)、香料味(spicy)   | /                  | 阿拉比卡  | 0.03 <sup>[9]</sup>  | /  | /  |
| 10599-69-6 | 2-甲基-5-丙酰呋喃           | 榛果味(hazelnut)、绿色植物味(green)   | /                  | 阿拉比卡  | 0.12~10 <sup>1~2</sup> 、0.16~10 <sup>1~3</sup> 、1.0~10 <sup>4~5</sup>  | 1.98~10 <sup>2~3</sup> 、2.4~10 <sup>3~3</sup>    | 1.98~10 <sup>2~3</sup> 、2.4~10 <sup>3~3</sup>    |
| 623-17-6   | 乙酸糠酯                  | 水果味(fruity)  | >1                 | 阿拉比卡  | 0.80 <sup>[9]</sup> 、0.31~10 <sup>1~2</sup> 、2.95~10 <sup>2~3</sup> 、6.03~10 <sup>2~3</sup>                          | 1.98~10 <sup>2~3</sup> 、4.38~10 <sup>2~3</sup>   | 1.98~10 <sup>2~3</sup> 、4.38~10 <sup>2~3</sup>   |
| 3188-00-9  | 2-甲基二氢-3(2H)-呋喃酮      | 甜的(sweet)、黄油味(buttery)、坚果味(nutty)  | /                  | 阿拉比卡  | 0.13~10 <sup>1~2</sup> 、0.30~10 <sup>1~3</sup>   | 0.44~10 <sup>1~2</sup> 、0.51~10 <sup>1~3</sup>   | 0.44~10 <sup>1~2</sup> 、0.51~10 <sup>1~3</sup>   |
| 3777-71-7  | 2-庚基呋喃                | 绿色植物味(green)、坚果味(nutty)、烘焙味(roasted)   | /                  | 阿拉比卡  | 0.15~10 <sup>1~2</sup> 、0.37~10 <sup>1~3</sup>   | /  | /  |
| 4412-91-3  | 3-呋喃甲醇                | /  | /                  | 阿拉比卡  | 0.73~1.09 <sup>[33]</sup>  | 1.50~1.62 <sup>[33]</sup>                        | 1.50~1.62 <sup>[33]</sup>                        |

续表 4

| CAS        | 化合物                                    | 感官描述 <sup>[9, 45]</sup>   |    | OAV <sup>[9]</sup>  | 品种   | 冷萃咖啡   |   | 含量 (mg/100 mL, mg/kg <sup>*</sup> ) |
|------------|--|---|----|---|------|--|---|-------------------------------------|
|            |  | 香气活性值   | 描述 |   |      | 冷萃咖啡   | 热冲咖啡  |                                     |
| 1192-62-7  | 2-乙酰基呋喃                                | 甜的(sweet)、杏仁味(almond)、焦糖味(caramel)、可可味(cocoa)   | /  | /   | 阿拉比卡 | 0.83×10 <sup>-1</sup> ~1.47×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 0.23~0.26 <sup>[33]</sup>                                     |                                     |
| 3194-15-8  | 2-丙酰基呋喃                                | 水果味(fruity)   | /  | 0.02 <sup>[33]</sup>  | 阿拉比卡 | 0.52×10 <sup>-1</sup> ~1.01×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 0.52×10 <sup>-1</sup> ~1.10×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>  |                                     |
| 4466-24-4  | 2-丁基呋喃                                 | 甜的(sweet)、水果味(fruity)   | /  | 0.25×10 <sup>-1</sup> ~0.50×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>  | 阿拉比卡 | 0.66×10 <sup>-1</sup> ~1.10×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 0.66×10 <sup>-1</sup> ~2.48×10 <sup>-1</sup> <sup>[36]</sup>  |                                     |
| 98-01-1    | 糠醛                                     | 甜的(sweet)、杏仁味(almond)、木质味(woody)、坚果味(nutty)、涩口的焦糖味(caramellic with a burnt astringent nuance) | /  | 0.26~0.50 <sup>[33]</sup> 、0.377×10 <sup>-1</sup> ~2.484×10 <sup>-1</sup> <sup>[36]</sup> 、0.32×10 <sup>-2</sup> ~3.54×10 <sup>-2</sup> <sup>[38]</sup> | 阿拉比卡 | 0.84~1.07 <sup>[33]</sup>                                    | 0.37×10 <sup>-1</sup> ~1.837×10 <sup>-1</sup> <sup>[36]</sup> |                                     |
| 620-02-0   | 5-甲基呋喃醛                                | 香料味(spicy)、焦糖味(caramel)、枫糖味(maple)  | /  | 0.64~1.05 <sup>[33]</sup> 、1.86×10 <sup>-2</sup> ~4.90×10 <sup>-2</sup> <sup>[36]</sup> 、0.52×10 <sup>-2</sup> ~3.23×10 <sup>-2</sup> <sup>[38]</sup>   | 阿拉比卡 | 2.09~2.12 <sup>[33]</sup>                                    | 1.83×10 <sup>-2</sup> ~3.59×10 <sup>-2</sup> <sup>[36]</sup>  |                                     |
| 10410-20-5 | 2-(1-羟基-1-甲基-2-氧代丙基)-2,5-二甲基呋喃-3(2H)-酮 | /   | /  | /   | 阿拉比卡 | 0.13×10 <sup>-1</sup> ~0.17×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | /   |                                     |
| 13679-46-4 | 甲基糠基糠醛                                 | 烘焙咖啡味(roasted coffee)   | /  | 0.40 <sup>[9]</sup>   | 阿拉比卡 | /  | /   |                                     |
| 1438-91-1  | 糠基甲基糠醛                                 | 烘焙味(roasted)、烧焦味(burnt)   | /  | 0.12 <sup>[9]</sup>   | 阿拉比卡 | /  | /   |                                     |
| 4437-22-3  | 二糠基糠醛                                  | 坚果味(nutty)、泥土味(earthy)  | /  | 0.24×10 <sup>-1</sup> ~0.82×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> 、0.6×10 <sup>-3</sup> ~6.6×10 <sup>-3</sup> <sup>[38]</sup>                                | 阿拉比卡 | 0.73×10 <sup>-1</sup> ~1.19×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 0.73×10 <sup>-1</sup> ~1.19×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>  |                                     |
| 醛类         |  |   |    |   |      |  |   |                                     |
| 122-78-1   | 苯乙醛                                    | 甜味(sweet)、花香味(floral)   | /  | 0.10×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>   | 阿拉比卡 | 0.22×10 <sup>-1</sup> ~0.44×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 0.22×10 <sup>-1</sup> ~0.44×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>  |                                     |
| 96-17-3    | 2-甲基丁醛                                 | 麦芽糖(malty)  | >1 | 0.14×10 <sup>-1</sup> ~0.50×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>  | 阿拉比卡 | 0.52×10 <sup>-1</sup> ~0.56×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 0.52×10 <sup>-1</sup> ~0.56×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>  |                                     |
| 590-86-3   | 3-甲基丁醛                                 | 麦芽糖(malty)  | >1 | 0.08×10 <sup>-1</sup> ~0.38×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>  | 阿拉比卡 | 0.32×10 <sup>-1</sup> ~0.40×10 <sup>-1</sup> <sup>[36]</sup> | 0.32×10 <sup>-1</sup> ~0.40×10 <sup>-1</sup> <sup>[36]</sup>  |                                     |
| 66-25-1    | 正己醛                                    | 蔬菜味(vegetable)、绿色植物味(green)   | >1 | 1.59×10 <sup>-2</sup> ~5.62×10 <sup>-2</sup> <sup>[36]</sup>  | 阿拉比卡 | 0.28×10 <sup>-2</sup> ~2.65×10 <sup>-2</sup> <sup>[36]</sup> | 0.28×10 <sup>-2</sup> ~2.65×10 <sup>-2</sup> <sup>[36]</sup>  |                                     |
| 124-19-6   | 壬醛                                     | 玫瑰花味(rose)、新鲜的(fresh)、橙子味(orange)、椰子味(coconut)、坚果味(nutty)、生的(raw)                             | /  | 0.00~8×10 <sup>-4</sup> <sup>[38]</sup>   | 阿拉比卡 | /  | /   |                                     |
| 酮类         |  |   |    |   |      |  |   |                                     |
| 600-14-6   | 2,3-戊二酮                                | 黄油味(buttery)、焦糖味(caramel)   | >1 | 3.84 <sup>[9]</sup> 、0.16×10 <sup>-1</sup> ~0.49×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>   | 阿拉比卡 | 0.78×10 <sup>-1</sup> ~1.10×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 0.78×10 <sup>-1</sup> ~1.10×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>  |                                     |
| 699-83-2   | 2,6-二羟基苯乙酮                             | /   | /  | 1.28×10 <sup>-2</sup> ~5.16×10 <sup>-2</sup> <sup>[36]</sup>  | 阿拉比卡 | 1.51×10 <sup>-2</sup> ~3.12×10 <sup>-2</sup> <sup>[36]</sup> | 1.51×10 <sup>-2</sup> ~3.12×10 <sup>-2</sup> <sup>[36]</sup>  |                                     |
| 75-97-8    | 3,3-二甲基-2-丁酮                           | /   | /  | 0.12~0.27 <sup>[33]</sup>   | 阿拉比卡 | /  | /   |                                     |
| 592-20-1   | 乙酸基丙酮                                  | 水果味(fruity)、黄油味(buttery)、坚果味(nutty)   | /  | 0.54×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>   | 阿拉比卡 | 0.30×10 <sup>-1</sup> ~0.52×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 1.00×10 <sup>-1</sup> ~1.00×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>  |                                     |
| 875-59-2   | 4-羟基-2-甲基苯乙酮                           | /   | /  | 0.15~0.35 <sup>[33]</sup>   | 阿拉比卡 | 0.15×10 <sup>-1</sup> ~0.19×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 0.68~0.68 <sup>[33]</sup>                                     |                                     |
| 1575-57-1  | 1-乙酰氧基-2-丁酮                            | 大马士酮  | >1 | 0.03 <sup>[9]</sup>   | 阿拉比卡 | 3.3 <sup>[9]</sup>   | /   |                                     |
| 23726-93-4 | 丁酮                                     | 水果味(fruity)   | /  | 0.8×10 <sup>-3</sup> ~8.9×10 <sup>-3</sup> <sup>[36]</sup>  | 阿拉比卡 | 2.5×10 <sup>-3</sup> ~5.4×10 <sup>-3</sup> <sup>[36]</sup>   | 2.5×10 <sup>-3</sup> ~5.4×10 <sup>-3</sup> <sup>[36]</sup>    |                                     |
| 78-93-3    | 2,3-丁二酮                                | 黄油味(buttery)  | /  | 3×10 <sup>-4</sup> ~9×10 <sup>-4</sup> <sup>[38]</sup>  | 阿拉比卡 | /  | /   |                                     |
| 431-03-8   | 乙基环戊烯醇酮                                | 甜的(sweet)、焦糖味(caramel)、枫糖味(maple)、水果味(fruity)、坚果味(nutty)                                      | /  | 0.2×10 <sup>-3</sup> ~1.9×10 <sup>-3</sup> <sup>[38]</sup>  | 阿拉比卡 | 0.2×10 <sup>-3</sup> ~1.9×10 <sup>-3</sup> <sup>[38]</sup>   | 0.2×10 <sup>-3</sup> ~1.9×10 <sup>-3</sup> <sup>[38]</sup>    |                                     |
| 21835-01-8 | (3E,5E)-辛-3,5-二烯-2-酮                   | 水果味(fruity)   | /  | 0.12 <sup>[33]</sup>  | 阿拉比卡 | 0.12 <sup>[33]</sup>   | 0.12 <sup>[33]</sup>  |                                     |
| 38284-27-4 | 2,4-二甲基环戊烷-1,3-二酮                      | /   | /  | 0.14×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>   | 阿拉比卡 | /  | /   |                                     |
| 34598-00-6 | 2-甲基色原酮                                | /   | /  | /   | 阿拉比卡 | /  | /   |                                     |
| 5751-48-4  | 2-甲基色原酮                                | /   | /  | /   | 阿拉比卡 | /  | /   |                                     |

续表4

| CAS        | 化合物                 | 感官描述 <sup>[9,45]</sup>               |      | 香气活性值<br>OAV <sup>[9]</sup>                                  | 品种   | 含量(mg/100 mL, mg/kg <sup>*</sup> )                           |  |
|------------|---------------------|--------------------------------------|------|--|------|--|--|
|            |                     | 冷萃咖啡                                 | 热冲咖啡 |  |      | 冷萃咖啡   | 热冲咖啡   |
| 酯类         |                     |                                      |      |  |      |  |  |
| 547-65-9   | 2-甲烯基丁内酯            | /                                    | /    | /  | 阿拉比卡 | 0.17×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>                        | 0.22×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>                    |
| 36760-43-7 | 叔丁基苯基甲酸酯            | /                                    | /    | 0.43×10 <sup>-1</sup> ~0.57×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 阿拉比卡 | 1.17×10 <sup>-1</sup> ~1.47×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | /  |
| 79-20-9    | 乙酸甲酯                | 像醚的味道(etheral)、水果味(fruity)、甜的(sweet) | /    | 0.35×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>                        | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 6203-89-0  | 2,6-二甲基-1-环己烯-1-乙酸酯 | /                                    | /    | 0.42×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>                        | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 13290-00-1 | N-(2-呋喃基)廿二氨基甲酸甲酯   | /                                    | /    | 0.36×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>                        | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 7779-73-9  | 异戊酸异龙脑酯             | 木质味(woody)                           | /    | 0.25×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>                        | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 119-36-8   | 柳酸甲酯                | 甜的(sweet)、焦糖味(caramel)、杏仁味(almond)   | /    | 2.19×10 <sup>-2</sup> ~3.15×10 <sup>-2</sup> <sup>[38]</sup> | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 碳氢类        |                     |                                      |      |  |      |  |  |
| 3891-99-4  | 2,6,10-三甲基十三烷       | /                                    | /    | 0.07×10 <sup>-1</sup> ~0.28×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 阿拉比卡 | 0.22×10 <sup>-1</sup> ~0.40×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | /  |
| 1921-70-6  | 2,6,10,14-四甲基十五烷    | /                                    | /    | 0.16×10 <sup>-1</sup> ~0.36×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 阿拉比卡 | 0.62×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>                        | /  |
| 96-37-7    | 甲基环戊烷               | /                                    | /    | 0.33×10 <sup>-1</sup> ~0.99×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 阿拉比卡 | 1.12×10 <sup>-1</sup> ~1.82×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | /  |
| 4634-87-1  | 2,6-二甲基-2,4-庚二烯     | /                                    | /    | 0.24×10 <sup>-1</sup> ~0.26×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 55401-75-7 | 9-十二烷基十四氢葱          | /                                    | /    | 0.51×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>                        | 阿拉比卡 | 0.97×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>                        | /  |
| 醇类         |                     |                                      |      |  |      |  |  |
| 98-55-5    | <i>a</i> -松油醇       | 丁香味(clove)、木质味(woody)、花香(floral)     | /    | 0.14×10 <sup>-1</sup> ~0.30×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 阿拉比卡 | 0.25×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>                        | /  |
| 78-70-6    | 芳樟醇                 | 花香(floral)、甜的(sweet)                 | /    | 0.19×10 <sup>-1</sup> ~0.57×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 阿拉比卡 | 0.30×10 <sup>-1</sup> ~0.84×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | /  |
| 768-95-6   | 1-金刚醇               | /                                    | /    | 0.29×10 <sup>-1</sup> ~0.63×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 阿拉比卡 | 0.92×10 <sup>-1</sup> ~0.94×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | /  |
| 60-12-8    | 苯乙醇                 | 花香(floral)、玫瑰花味(rose)                | /    | 0.48×10 <sup>-1</sup> ~0.64×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 543-49-7   | 2-庚醇                | 柠檬(lemon)、青草味(grass)                 | /    | 0.24×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>                        | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 14003-34-0 | 3-甲基-3-噁唑醇          | /                                    | /    | 0.14×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup>                        | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 1075-04-3  | 1-苯基-1,2-丙二醇        | /                                    | /    | 0.68×10 <sup>-1</sup> ~0.93×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 酸类         |                     |                                      |      |  |      |  |  |
| 503-74-2   | 异戊酸                 | 酸味(sour)                             | /    | 0.14 <sup>[33]</sup>   | 阿拉比卡 | 0.09 <sup>[33]</sup>   | /  |
| 112-05-0   | 壬酸                  | 绿色植物味(green)、酸味(sour)                | /    | 0.3×10 <sup>-3</sup> ~8.3×10 <sup>-3</sup> <sup>[38]</sup>   | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 143-07-7   | 月桂酸                 | 椰子味(coconut)                         | /    | 2×10 <sup>-4</sup> ~6×10 <sup>-4</sup> <sup>[38]</sup>       | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 544-63-8   | 肉豆蔻酸                | 椰子味(coconut)                         | /    | 0.00~1×10 <sup>-4</sup> <sup>[38]</sup>                      | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 334-48-5   | 癸酸                  | 酸味(sour)、水果味(fruity)                 | /    | 0.00~6×10 <sup>-4</sup> <sup>[38]</sup>                      | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 硫醚类        |                     |                                      |      |  |      |  |  |
| 624-92-0   | 二甲基二硫醚              | 蔬菜味(vegetable)                       | /    | 1×10 <sup>-4</sup> ~9×10 <sup>-4</sup> <sup>[36]</sup>       | 阿拉比卡 | 0.1×10 <sup>-3</sup> ~6×10 <sup>-3</sup> <sup>[36]</sup>     | 0.1×10 <sup>-3</sup> ~6×10 <sup>-3</sup> <sup>[36]</sup> |
| 酚类         |                     |                                      |      |  |      |  |  |
| 108-05-2   | 苯酚                  | 酚类(phenolic)、橡胶味(rubber)             | /    | 0.89×10 <sup>-1</sup> ~1.19×10 <sup>-1</sup> <sup>[33]</sup> | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 118-71-8   | 麦芽酚                 | 甜的(sweet)、焦糖味(caramel)、水果味(fruity)   | /    | 1.3×10 <sup>-2</sup> ~6.5×10 <sup>-3</sup> <sup>[38]</sup>   | 阿拉比卡 | /  | /  |
| 90-05-1    | 愈创木酚                | 烟味(smoky)、酚类(phenolic)               | >1   | 0.48 <sup>[9]</sup> 、0.18~0.19 <sup>[33]</sup>               | 阿拉比卡 | 0.25~0.49 <sup>[33]</sup>                                    | 0.25~0.49 <sup>[33]</sup>                                |

续表 4

| CAS        | 化合物                | 感官描述 <sup>[9, 45]</sup>                             |      | 香气活性值<br>OAV <sup>[9]</sup> | 品种   | 含量(mg/100 mL, mg/kg <sup>*</sup> )  |  |
|------------|--------------------|---|------|-----------------------------|------|---|--|
|            |                    | 冷萃咖啡  | 热冲咖啡 |                             |      | 冷萃咖啡  | 热冲咖啡   |
| 7786-61-0  | 4-乙烯基愈创木酚          | 木质味(woody)、口干的(mouthdryng)、烘焙味(roasted)、丁香味(clove)  | /    | /                           | 阿拉比卡 | $1 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-4}$ <sup>[36]</sup> 、 $1 \times 10^{-4} \sim 3.5 \times 10^{-3}$ <sup>[38]</sup>         | $1 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-4}$ <sup>[36]</sup>       |
| 96-76-4    | 2,4-二叔丁基苯酚         | 酚类(phenolic)  | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.58 \times 10^{-2} \sim 1.19 \times 10^{-2}$ <sup>[38]</sup>  | /  |
| 1138-52-9  | 3,5-二叔丁基苯酚         | /   | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.37 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup>   | $0.67 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup>                          |
| 2785-89-9  | 4-乙基愈创木酚           | 酚类(phenolic)、烟味(smoky)、木质味(woody)、丁香味(clove)        | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.27$ <sup>[31]</sup> 、 $0.13 \times 10^{-2} \sim 1.73 \times 10^{-2}$ <sup>[38]</sup>                                       | $0.30 \sim 0.37$ <sup>[33]</sup>                               |
| 108-39-4   | 间甲酚                | 药味(medicinal)、木质味(woody)、酚类(phenolic)               | /    | /                           | 阿拉比卡 | $2 \times 10^{-4} \sim 8 \times 10^{-4}$ <sup>[38]</sup>  | /  |
| 95-48-7    | 邻甲酚                | 霉味(musty)、酚类(phenolic)                              | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.39 \times 10^{-1} \sim 0.51 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup>  | /  |
| 106-44-5   | 对甲酚                | 酚类(phenolic)  | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.37 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup>   | $1.13 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup>                          |
| 杂环类        |                    |   |      |                             |      |   |  |
| 1438-94-4  | 1-糠基吡咯             | 蔬菜味(vegetable)、绿色植物味(green)                         | >1   | /                           | 阿拉比卡 | $0.07$ <sup>[9]</sup> 、 $0.26 \times 10^{-1} \sim 0.47 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup>  | /  |
| 86688-96-2 | (吡咯-3-基)-乙酸        | /   | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.1 \times 10^{-3} \sim 1.7 \times 10^{-3}$ <sup>[38]</sup>  | /  |
| 1003-29-8  | 2-吡咯甲醛             | 可可味(cocoa)、坚果味(nutty)、烘焙味(roasted)、霉味(musty)        | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.27 \times 10^{-1} \sim 1.22 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup>  | /  |
| 1192-58-1  | N-甲基-2-吡咯甲醛        | 坚果味(nutty)、烘焙味(roasted)                             | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.24 \times 10^{-1} \sim 0.28 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup> 、 $1.7 \times 10^{-3} \sim 5.3 \times 10^{-3}$ <sup>[38]</sup> | $0.43$ <sup>[33]</sup>   |
| 19713-89-4 | 3,4-二甲基-1H-吡咯-2-羧醛 | /   | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.16 \sim 0.30$ <sup>[33]</sup>  | $1.43 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup>                          |
| 932-16-1   | 2-乙酰基-1-甲基吡咯       | 坚果味(nutty)  | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.26 \times 10^{-1} \sim 0.40 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup>  | /  |
| 1072-83-9  | 2-乙酰基吡咯            | 霉味(musty)、樱桃味(cherry)、坚果味(nutty)                    | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.02$ <sup>[9]</sup> 、 $0.1 \times 10^{-3} \sim 3.9 \times 10^{-3}$ <sup>[38]</sup>  | $0.11 \sim 0.19$ <sup>[33]</sup>                               |
| 110-86-1   | 吡啶                 | 酸味(sour)、陈腐味(stale)                                 | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.41 \sim 1.15$ <sup>[33]</sup> 、 $0.508 \times 10^{-1} \sim 1.695 \times 10^{-1}$ <sup>[38]</sup>                           | $0.85 \times 10^{-1} \sim 2.74 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup> |
| 536-78-7   | 3-乙基吡啶             | 烟味(tobacco)、焦糖味(caramel)、烘焙味(roasted)、榛果味(hazelnut) | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.09 \times 10^{-2} \sim 1.11 \times 10^{-2}$ <sup>[38]</sup>  | /  |
| 67402-83-9 | 1-(1(4H)-吡啶基)乙酮    | /   | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.2 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3}$ <sup>[38]</sup>  | /  |
| 6380-23-0  | 3,4-二甲氧基苯乙烯        | 绿色植物味(green)、花香(floral)、木质味(woody)、水果味(fruity)      | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.20 \times 10^{-1} \sim 0.48 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup> 、 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3}$ <sup>[38]</sup> | $0.55 \times 10^{-1} \sim 0.84 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup> |
| 491-36-1   | 4-羟基喹唑啉            | /   | /    | /                           | 阿拉比卡 | $0.19 \times 10^{-1} \sim 0.50 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup>  | $0.56 \times 10^{-1}$ <sup>[33]</sup>                          |

注:通常认为香气活性值(Odor activity value, OAV)大于1代表对样品风味有贡献;“/”表示在参考文献中未查询到。

牌冷萃咖啡中共鉴定出八种醛类物质为: 乙醛、丙烯醛、丙醛、2-甲基丙醛、丁醛、3-甲基丁醛、2-甲基丁醛和苯甲醛<sup>[37]</sup>。

酮类物质一般被描述为具有黄油、焦糖、霉味或水果味, 2,3-戊二酮、大马士酮和丁酮是埃塞俄比亚阿拉比卡冷萃咖啡检测出的三种酮类物质<sup>[9]</sup>。2,3-戊二酮在哥伦比亚 Nariño 和 Huila、萨尔瓦多、危地马拉、玻利维亚和巴西阿拉比卡冷萃咖啡中均有检出<sup>[7, 33, 36]</sup>。

吡嗪类、呋喃类、醛类和酮类是对咖啡的香气具有关键影响的四大类主要化合物<sup>[7]</sup>。冷萃咖啡挥发性成分还包括酯类、醇类、酸类、硫醚类和酚类等其他物质。酯类化合物一般具有强烈果系甜香, 其香气特征与咖啡豆收获后的处理方式有关<sup>[7]</sup>。柳酸甲酯也是阿拉比卡冷萃咖啡中有一种含量较高的酯类物质, 具有焦糖、杏仁香<sup>[38]</sup>。通过超快速气相色谱法在某品牌冷萃咖啡中鉴定出具有水果、新割青草及百合等香气的 2-甲基丁酸甲酯<sup>[37]</sup>。己醇、异戊烯醇、3-甲基-3-丁烯醇等醇类物质也在云南小粒咖啡的冷萃液中检出<sup>[39-40]</sup>。巴西阿拉比卡冷萃咖啡含有  $\alpha$ -松油醇、芳樟醇、1-金刚醇、苯乙醇和 2-庚醇等醇类物质, 其中具有花香、木质、柠檬和青草味芳樟醇和 2-庚醇对冷萃咖啡香气贡献较大。冷萃咖啡中的挥发性酸类包括云南小粒咖啡冷萃液中检出的异戊酸<sup>[33]</sup>, 肯尼亚 AA、哥伦比亚两种混合豆制备的冷萃液中检出的壬酸、月桂酸、肉豆蔻酸和癸酸<sup>[38]</sup>。二甲基二硫醚是一种具有蔬菜味硫醚类物质, 在咖啡中通常被认为是负面香气, 见于萨尔瓦多、危地马拉、玻利维亚和巴西阿拉比卡冷萃咖啡中<sup>[36]</sup>。4-乙烯基愈创木酚和愈创木酚具有酚味和烟熏味, 见于 Nariño 冷萃咖啡, 是咖啡的主要风味化合物之一<sup>[41]</sup>。

以吡咯类和吡啶类为代表的芳香族杂环类物质也常在冷萃咖啡中检出。哥伦比亚 Nariño 和 Huila 的冷萃咖啡中也有吡咯类检出<sup>[7]</sup>, 一些吡咯类化合物给咖啡赋予特殊的甜香和轻微的燃烧气味, 但烷基吡咯和乙酰吡咯大多情况下与咖啡的负面气味相关<sup>[7, 32]</sup>。阿拉比卡冷萃咖啡中同样检出具有焦味、烟味的吡啶<sup>[42]</sup>。3,4-二甲氧基苯乙烯是另一种常见的具有绿色植物类气味的咖啡杂环类挥发性成分, 在肯尼亚 AA、哥伦比亚混合豆和巴西阿拉比卡豆冷萃咖啡中均有检出<sup>[33, 38]</sup>。

冷萃咖啡的挥发性风味物质的鉴定近年多有报道, 而冷萃咖啡挥发性风味物质及其与感官描述之间相关性还需进一步研究, 对于利用气相色谱-嗅闻仪 (Gas chromatography olfactometry, GC-O) 探究冷萃咖啡活性香气成分以及利用 OAV (Odor activity value) 法、香味提取物稀释分析法 (Aroma extract dilution analysis, AEDA) 确定冷萃咖啡关键香气成分的研究还有待深入挖掘。

## 2.2 非挥发性化合物

冷萃咖啡中的非挥发性成分主要是由生物碱、

多酚、多糖和类黑精化合物等构成, 这些物质在冷萃与传统热冲咖啡中的含量差异汇总于表 5<sup>[38, 46-47]</sup>。

生物碱是冷萃咖啡中的主要苦味物质, 主要包括咖啡因和葫芦巴碱等<sup>[48-49]</sup>。咖啡因不是冷萃咖啡主要的苦味来源, 但其是腺苷受体 A1 和 A2 的生物碱拮抗剂, 参与刺激中枢神经系统, 具有提高警惕性和工作能力, 以及减少运动反应时间和疲劳的功能<sup>[49-50]</sup>。Portela 等<sup>[46, 51]</sup>研究了阿拉比卡和罗布斯塔豆经不同研磨粒度、不同冷萃温度和不同冷萃时间的咖啡中咖啡因含量为 1160~1930 mg/L, 葫芦巴碱的含量为 580~1080 mg/L。Fuller 等<sup>[52]</sup>探究了不同烘焙程度及研磨粒度阿拉比卡冷萃咖啡中咖啡因的平衡浓度为 990~1230 mg/L (1440 min 后), Maksimowski 等<sup>[31]</sup>得到不同烘焙程度、萃取时间及温度的阿拉比卡冷萃咖啡咖啡因含量为 417.5~655.5 mg/L。Zhang 等<sup>[53]</sup>将研磨咖啡粉及咖啡整豆在粉水比为 1:10 的条件下利用超高压辅助萃取得到冷萃咖啡中咖啡因含量分别为 490、360 mg/L, 说明超高压辅助萃取可显著提高咖啡整豆萃取冷萃咖啡中的咖啡因含量。生物碱中还有两种具有生物活性的 norharman 和 harman, 它们在冷萃咖啡中的含量要显著低于热冲咖啡, 可以作为鉴别这两种冲泡方式的特征标记物<sup>[54]</sup>。

多酚是咖啡苦味的另一主要来源, 具有一定的抗氧化活性<sup>[7]</sup>。绿原酸(CGA)属于多酚类物质中的一种, 是由咖啡酸与奎宁酸生成的缩酚酸, 占咖啡质量的 6%~12%<sup>[55]</sup>。埃塞俄比亚阿拉比卡冷萃咖啡的绿原酸(CGA)含量为  $2.90 \pm 0.07$  mg/mL, 其中 5-O-咖啡酰奎宁酸(5-CQA)是最丰富的绿原酸, 其次是其异构体 3-CQA 和 4-CQA<sup>[9]</sup>。Portela 等<sup>[51]</sup>整理了 2017~2021 年发表的 11 篇冷萃咖啡研究, 发现阿拉比卡冷萃咖啡绿原酸含量范围为 51~407 mg/100 mL, 罗布斯塔冷萃咖啡绿原酸含量范围为 478~492 mg/100 mL。一般来说, 罗布斯塔豆制备的冷萃咖啡的绿原酸含量和咖啡因含量都高于阿拉比卡豆制备的冷萃咖啡<sup>[46, 56]</sup>, 并且这些化合物对冷萃咖啡中的抗氧化活性有重大贡献<sup>[57]</sup>。绿原酸是热敏性化合物, 其含量受烘焙温度影响显著 ( $P < 0.05$ ), 在咖啡豆烘焙过程其含量随温度升高而下降<sup>[55]</sup>; 由于巴氏杀菌条件相对温和, 研究发现经巴氏杀菌 (65 °C, 30 min) 的冷萃咖啡中绿原酸含量并没有下降<sup>[9]</sup>。粗磨咖啡粉(根据哥伦比亚技术标准 NTC 2441, 平均粒径为 701~900  $\mu\text{m}$ )冷萃 22 h 的 Nariño 咖啡中总酚含量达到  $1.50 \pm 0.37$  g/L 没食子酸当量<sup>[7]</sup>。

冷萃咖啡中的其他非挥发性风味成分还包括类黑精和多糖等。类黑精是烘焙咖啡豆呈棕色的主要原因, 有助于提升冷萃咖啡的抗氧化活性<sup>[58]</sup>; 由于其溶解性依赖于温度, 类黑精在冷萃咖啡中的含量通常比热冲咖啡低<sup>[59]</sup>。冷萃咖啡中的多糖可以改善巨噬细胞和肠道免疫系统功能, 并能够与冷萃咖啡香气成分结合, 达到保留咖啡挥发性风味物质的效果<sup>[60-61]</sup>。

表 5 冷萃与热冲对咖啡特征非挥发性风味物质含量的影响  
Table 5 Effect of cold and hot brew on coffee characteristic nonvolatile flavor compounds

| CAS      | 化合物      | 品种   | 含量  |  |
|----------|----------|------|---|--|
|          |          |      | 冷萃咖啡  | 热冲咖啡   |
| 58-08-2  | 咖啡因      | 阿拉比卡 | 121~123 <sup>a[51]</sup> 、94~142 <sup>a[32]</sup> 、75~80 <sup>a[64]</sup> 、6050~7900 <sup>b[36]</sup> 、56~60 <sup>a[33]</sup> | 80~82 <sup>a[32]</sup> 、83~85 <sup>a[64]</sup> 、6010~7700 <sup>b[36]</sup> 、64~68 <sup>a[33]</sup> |
|          |          | 罗布斯塔 | 167~175 <sup>a[51]</sup>  | /  |
|          |          | 未知   | 59~97 <sup>a[38]</sup>  | /  |
| 535-83-1 | 葫芦巴碱     | 阿拉比卡 | 107~108 <sup>a[51]</sup> 、53~68 <sup>a[32]</sup> 、51~55 <sup>a[64]</sup> 、5200~6870 <sup>b[36]</sup> 、31~50 <sup>a[33]</sup>  | 46~47 <sup>a[32]</sup> 、55~56 <sup>a[64]</sup> 、5230~6450 <sup>b[36]</sup> 、49~54 <sup>a[33]</sup> |
|          |          | 罗布斯塔 | 58 <sup>a[51]</sup>   | /  |
|          |          | 未知   | 11~33 <sup>a[38]</sup>  | /  |
| 906-33-2 | 5-咖啡酰奎宁酸 | 阿拉比卡 | 48~79 <sup>a[32]</sup> 、40~42 <sup>a[64]</sup> 、2270~2940 <sup>b[36]</sup>  | 39~43 <sup>a[32]</sup> 、43 <sup>a[64]</sup> 、2290~2790 <sup>b[36]</sup>                            |
| 905-99-7 | 4-咖啡酰奎宁酸 | 阿拉比卡 | 30~48 <sup>a[32]</sup> 、34~35 <sup>a[64]</sup> 、2810~3700 <sup>b[36]</sup>  | 24~27 <sup>a[32]</sup> 、36 <sup>a[64]</sup> 、2780~3530 <sup>b[36]</sup>                            |
| 327-97-9 | 绿原酸      | 阿拉比卡 | 6780~8970 <sup>b[36]</sup> 、125~137 <sup>a[33]</sup>  | 6950~8710 <sup>b[36]</sup> 、129~153 <sup>a[33]</sup>   |
| 67-47-0  | 5-羟甲基糠醛  | 阿拉比卡 | 490~720 <sup>b[36]</sup>  | 500~690 <sup>b[36]</sup>   |
| 149-91-7 | 没食子酸     | 阿拉比卡 | 230~490 <sup>b[36]</sup>  | 260~440 <sup>b[36]</sup>   |

注: a: mg/100 mL; b: mg/kg; “/”表示在参考文献中未查询到。

冷萃咖啡的大分子量多糖还与充氮冷萃咖啡的泡沫稳定性有正相关关系<sup>[62]</sup>。

冷萃咖啡的苦味、涩味和酸味等典型滋味特征均主要由非挥发性风味物质所提供, 这些物质浓度与感官之间的量效关系较为复杂, 至今没有明确的一一对应的关联。如类黑精除影响冷萃咖啡的颜色外, 还可以与一些香气成分共价结合, 实现冷萃咖啡香气释放的调节<sup>[61]</sup>。此外, 烘焙咖啡豆中非挥发性风味物质的浓度因咖啡豆的来源、收获后加工、烘焙和储存条件而有所不同<sup>[63]</sup>, 可用于解释不同类型和不同提取方法所得咖啡非挥发性化合物浓度的差异。

### 2.3 pH 和总滴定酸度

酸度是评价冷萃咖啡优劣的重要指标, 因为平衡的酸度通常与良好的咖啡风味相关联<sup>[9]</sup>。不管是冷萃咖啡还是热冲咖啡, 其可滴定酸度值大多随着烘焙程度的增加而降低, 194、203 和 209 °C 烘焙豆制备的冷萃咖啡 pH 比相应的热冲咖啡平均高 0.20、0.26 和 0.34 个 pH 单位, 这可能是由于热解过程中酸类物质的分解或烘焙风味合成反应中的消耗, 可溶质子化酸性化合物因此明显减少<sup>[59]</sup>; 然而无论咖啡豆质量如何, 冷萃咖啡的总滴定酸度值都低于热冲咖啡, 这是由于溶解度随着温度的升高, 有机酸提取在热冲咖啡中变得更加有效<sup>[65]</sup>。咖啡豆品种、咖啡豆研磨水平和冷萃时间对冷萃咖啡 pH 和可滴定酸度有显著影响( $P<0.05$ )<sup>[7]</sup>。Nariño 和 Huila 咖啡豆在粗研磨(根据哥伦比亚技术标准 NTC 2441, 平均粒径为 701~900  $\mu\text{m}$ )和 14 h 萃取后的最低 pH 分别为  $4.81\pm0.01$  和  $4.88\pm0.0$ , Bellumori 等<sup>[9]</sup>当天制备的冷萃咖啡 pH 范围为 4.90~4.98, Rao 等<sup>[6, 9]</sup>制备的冷萃咖啡 pH 范围为 4.85~5.13, Portela 等<sup>[46]</sup>用阿拉比卡和罗布斯塔咖啡豆制备冷萃咖啡 pH 范围略高, 为 5.15~5.38, 阿拉比卡咖啡豆(Kona Typica)的冷萃液 pH 在 5.40~5.63 之间<sup>[52]</sup>。除 pH 外, 总滴定酸度也是描述咖啡酸度的主要指标之一。Portela 等<sup>[46]</sup>用

阿拉比卡和罗布斯塔咖啡豆制备冷萃咖啡的总滴定酸度范围在 3.6~4.6 mL(0.1 mol NaOH, 20 mL)。综上所述, 冷萃能够影响咖啡的 pH 和可滴定酸度, 理想的酸度有助于咖啡甜味、水果味以及新鲜程度的感知, 可以用于咖啡品质的评价<sup>[66~68]</sup>。

### 2.4 可溶性固形物含量和提取率

可溶性固形物含量(Total dissolved solids, TDS)与咖啡浓度直接相关, 反映了咖啡的提取水平。阿拉比卡和罗布斯塔冷萃咖啡的可溶性固形物含量在 1912~2100 mg/100 mL 范围内, 在 15% 研磨粒度(0.850 mm 筛网的筛上物)和 5 °C 的萃取温度下, 阿拉比卡冷萃咖啡的 TDS( $2035\pm7$  mg/100 mL)与罗布斯塔冷萃咖啡的 TDS( $2015\pm7$  mg/100 mL)较为接近<sup>[46]</sup>。在经过粗研磨(平均粒度为 701~900  $\mu\text{m}$ )和长时间萃取(22 h)的 Nariño 和 Huila 豆冷萃咖啡提取率范围在 19.05%~20.39% 之间, 总溶性固形物含量为 1.96%~2.04%; 而经过中度研磨(平均粒度为 501~700  $\mu\text{m}$ )和同样萃取时间的提取率范围在 9.40%~10.72% 之间, 总可溶性固形物含量为 0.94%~1.09%<sup>[7]</sup>。对比萃取时间为 18、24 和 30 h 的冷萃咖啡, 可溶性固形物含量随着萃取时间延长而增加<sup>[69]</sup>。

### 3 影响冷萃咖啡品质的工艺参数

冷萃咖啡的生产工艺主要有四个步骤, 如图 2 所示。在其生产过程中, 咖啡品种、咖啡豆烘焙程度、咖啡豆研磨颗粒大小、咖啡粉和水的比例、冷萃过程中的温度和时间等因素会影响冷萃咖啡中挥发性成分、非挥发性成分、pH 和可滴定酸度、可溶性



图 2 冷萃咖啡生产工艺流程图

Fig.2 Process flowchart of cold brew coffee

固形物含量和提取率这些评价冷萃咖啡品质的常用指标,从而影响冷萃咖啡的品质。这些工艺参数对冷萃咖啡品质的影响是相互的,正是因为这些相互作用因素的存在,理论上两杯完全一样的咖啡几乎是不存在的<sup>[70]</sup>。

### 3.1 咖啡品种

不同品种的咖啡中的挥发性和非挥发性风味物质种类、含量差异不等,而这些差异将直接影响冷萃咖啡的品质。咖啡因及绿原酸是冷萃咖啡苦味的主要来源,对比咖啡市场上最常见的两种咖啡豆种,阿拉比卡豆制备的冷萃咖啡比罗布斯塔冷萃咖啡的绿原酸和咖啡因含量低,抗氧化活性化合物含量较低<sup>[46]</sup>。产自乌干达的罗布斯塔冷萃咖啡较阿拉比卡冷萃咖啡具有更浓郁的咖啡味和丰满度,而阿拉比卡冷萃咖啡的风味混合度更协调,即其中的单个物质的味道不会突出甚至压倒性的盖过其他味道<sup>[5]</sup>。

### 3.2 咖啡豆的烘焙程度

烘焙的步骤对于咖啡的特定滋味、香味和颜色等感官特性非常重要<sup>[71]</sup>。中度烘焙的冷萃咖啡一般具有更强的可可味和更平衡的味道<sup>[5, 59]</sup>。随着中度烘焙向深度烘焙的延伸,虽然冷萃咖啡的绿原酸(CGA)浓度有所降低,但咖啡苦味和苦余味明显加重<sup>[5, 59]</sup>。Maksimowski 等<sup>[31]</sup>研究了 210、220 和 230 °C 烘焙温度所得咖啡豆的冷萃液,发现随烘焙温度升高绿原酸(CGA)含量降低,而咖啡因含量则在 220 °C 时达到最大,吡嗪化合物及其衍生物浓度也随着烘焙程度的增加而增加。咖啡抗氧化活性和烘焙程度之间的关系较为复杂,因为烘焙过程中,一些抗氧化成分被降解的同时另一些具有抗氧化作用的美拉德反应产物同时生成<sup>[72]</sup>。

### 3.3 研磨颗粒大小

研磨是对冷萃咖啡萃取率、总可溶性固形物含量、总酚含量、pH 和可滴定酸度等理化参数影响最大的因变量之一<sup>[5]</sup>。对于咖啡豆的研磨程度通常用粗细来表述,需要注意的是较粗或较细的表述是相对的。采用浸渍法制备粗研磨程度(符合 ASTM 标准 E11: 2011 的 16 号标准实验筛)的冷萃咖啡,与冰滴法制备的细研磨程度(符合 ASTM 标准 E11: 2011 的 20 号标准实验筛)的冷萃咖啡作对比,发现较细研磨程度可以增加萃取过程中挥发性和非挥发性化合物的可提取率<sup>[5]</sup>。Cordoba 等<sup>[7]</sup>也发现在粗磨(根据哥伦比亚技术标准 NTC 2441, 平均粒径为 701~900 μm)和 22 h 提取的冷萃咖啡的总可溶性固形物含量、提取率、pH、可滴定酸度和总酚含量更高,推测可能是由于咖啡粉在滤袋中萃取,而非直接接触萃取,导致中度研磨咖啡粉更易结块导致萃取效果不理想。但研磨程度对冷萃咖啡基本指标的影响并不唯一,Portela 等<sup>[46]</sup>的研究对比了粗、细两种咖啡研磨物的冷萃咖啡,其中粗研磨物由 30% 保留在#20 筛(0.850 mm 网眼开口)的咖啡颗粒、60% 保留在

#40 筛(0.420 mm 网眼开口)的咖啡颗粒和 10% 保留在盘中的咖啡颗粒组成,细研磨物由 15% 保留在#20 筛的咖啡颗粒、55% 保留在#40 筛的咖啡颗粒和 30% 保留在盘中的咖啡颗粒组成,较粗研磨粒度冷萃咖啡的抗氧化活性、总可溶性固形物含量、可滴定酸度要比较细研磨的冷萃咖啡低一些<sup>[46]</sup>;阿拉比卡咖啡豆在 15 °C 冷萃,咖啡因的提取效率与咖啡研磨程度无关,而更细的研磨粒度和更低的温度有助于提高罗布斯塔豆冷萃咖啡的咖啡因提取率<sup>[46]</sup>。另一项研究表明研磨粒度对于夏威夷 Kona 地区的阿拉比卡(铁皮卡种)豆冷萃液的咖啡因和咖啡酰奎宁酸的浓度没有显著影响<sup>[52]</sup>。

### 3.4 咖啡粉水比

咖啡粉水比是影响咖啡化合物提取质量的因素之一。在润湿过程中,过量的咖啡粉可能导致咖啡粉不能充分膨胀而引起过度压实,从而干扰渗透。相比之下,过少的咖啡粉可能导致过度提取,苦味浓郁<sup>[73]</sup>。相比 80 g/L 的粉水比,较高的 120 g/L 咖啡粉水比制备的冷萃咖啡在颜色强度、苦味、酸味、咖啡味、苦余味、口涩感、总体感受、持久度等属性的强度更高,其中苦味和苦余味的强度高是由于高咖啡粉水比冷萃咖啡中绿原酸和咖啡因的浓度也较高,高咖啡粉水比也会使冷萃咖啡的吡啶类、吡咯类和吡嗪类等特征香气物质含量更高,使其具有更浓郁的烟味、木质味和发酵味<sup>[5]</sup>。

### 3.5 冷萃温度和时间

相对较高的冷萃温度能够提取更多的咖啡因,与 5 °C 相比,在 22 °C 制备的冷萃咖啡中咖啡因和绿原酸提取率更高<sup>[5, 70]</sup>。水温控制在 15 °C 左右的冷萃咖啡生物活性化合物含量、抗氧化活性、总可溶性固形物含量和总滴定酸度比 5 和 10 °C 得到的结果要高<sup>[46]</sup>。Angeloni 等<sup>[70]</sup>在室温(22 °C)提取约 6 h 获得的冷萃咖啡咖啡因浓度为  $0.97 \pm 0.12 \text{ mg/mL}$ ,与 Bellumori 等<sup>[9]</sup>报道的咖啡因浓度平均值( $0.72 \text{ mg/mL}$ )相似。Morresi 等<sup>[69]</sup>发现冷萃咖啡的萃取时间与可溶性固形物含量呈正相关,但经过 24 h 萃取的冷萃咖啡在苦味、霉味/泥土味、蜂蜜味、总体香气和口涩感等感官特性上的喜好性得分较低,这说明这些感官特征与可溶性固形物含量随时间增加无关。

## 4 结语

近年来,冷萃咖啡市场爆发性的增长促进了学界对冷萃咖啡的风味特征、制备技术及风味保持技术等的深入研究,为进一步解读消费者喜好、满足规模化生产、扩展冷萃咖啡市场提供了理论参考和实践指导。但目前多数研究局限于对冷萃咖啡风味物质含量或感官品质描述的单一研究,探索冷萃咖啡风味成分与其感官品质评价的相关性和量效关系研究依旧相对有限。另一方面,为满足消费者对冷萃咖啡产品多样性与便携性的追求,兼具浓郁风味与便携体验的冷萃咖啡浓缩液及冻干粉陆续问世,但控制加工

过程中的咖啡特征风味逸散、保持贮藏期内的咖啡独特风味品质的研究尚不多见。咖啡是主观嗜好特征极强的饮品, 关联风味物质与冷萃咖啡喜好度的量效关系, 减少冷萃咖啡加工和贮运过程中的风味损耗将是未来冷萃咖啡消费链延伸产业化运作需持续关注和重点研究的方向。

### 参考文献

- [1] 沈晓静, 字成庭, 辉绍良, 等. 咖啡化学成分及其生物活性研究进展[J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(1): 112-122. [ SHEN X J, ZI C T, HUI S L, et al. Advances on chemical components and biological activities of coffee[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2021, 29(1): 112-122. ]
- [2] 刘铖珺, 黄晓燕, 刘丽敏, 等. 咖啡产品的加工技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(4): 349-355. [ LIU C J, HUANG X Y, LIU L M, et al. Advance on processing technology of coffee products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(4): 349-355. ]
- [3] ESQUIVEL P, JIMENEZ V M. Functional properties of coffee and coffee by-products[J]. Food Research International, 2012, 46(2SI): 488-495.
- [4] 雪球. 艾媒咨询 | 2021 年中国咖啡行业发展研究报告 [EB/OL] (2021-11-22) [2022.02.18] <https://xueqiu.com/9582690951/203804767>. [ Snowball. iMedia Consulting | 2021 China coffee industry development research report [EB/OL]. (2021-11-22) [2022. 02.18]. <https://xueqiu.com/9582690951/203804767>. ]
- [5] SENINDE D R, CHAMBERS E, CHAMBERS D. Determining the impact of roasting degree, coffee to water ratio and brewing method on the sensory characteristics of cold brew Ugandan coffee [J]. Food Research International, 2020, 137(prepublish): 109667.
- [6] RAO N Z, FULLER M. Acidity and antioxidant activity of cold brew coffee[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 16030.
- [7] CORDOBA N, PATAQUIVA L, OSORIO C, et al. Effect of grinding, extraction time and type of coffee on the physicochemical and flavour characteristics of cold brew coffee[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 1-12.
- [8] 东方财富网. 2019 年中国咖啡行业市场现状及发展趋势分析 [EB/OL]. (2019-05-13) [2022.02.10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1633387222869597837&wfr=spider&for=pc>. [ Eastmoney. Analysis of the market status and development trend of China's coffee industry in 2019 [EB/OL]. (2019-05-13) [2022.02.10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1633387222869597837&wfr=spider&for=pc>. ]
- [9] BELLUMORI M, ANGELONI G, GUERRINI L, et al. Effects of different stabilization techniques on the shelf life of cold brew coffee: Chemical composition, flavor profile and microbiological analysis[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 142: 111043.
- [10] PARK S H, JO A, LEE K G. Effect of various roasting, extraction and drinking conditions on furan and 5-hydroxymethylfurfural levels in coffee[J]. *Food Chemistry*, 2021, 358: 129806.
- [11] 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所. 不同咖啡萃取方式特征标志物及其筛选方法与应用: 中国, 201810497357.3[P]. 2018-10-23. [ Institute of Agricultural Quality Standard and Inspection Technology, China Academy of Agricultural Sciences. Different coffee extraction method characteristic markers and screening method and application thereof: China, 201810497357.3[P]. 2018-10-23. ]
- [12] 大闽食品(漳州)有限公司. 一种高品质咖啡浓缩液的生产方法: 中国, 201610421797.1[P]. 2016-10-26. [ Damin Foodstuff (Zhangzhou) Co. Ltd. Method for producing high quality coffee concentrated solution: China, 201610421797.1[P]. 2016-10-26. ]
- [13] 송현. Method for producing supercritical cold brew coffee with flavor: Republic of Korea, 20210101184A[P]. 2021.
- [14] Nestec S A. A nitrogen infused high yield soluble coffee and methods thereof: Europe, 2017064021W[P]. 2017.
- [15] Nestec S A. Roast and ground coffee powder and methods of making thereof: The United States of America, 201716462297A[P]. 2022.
- [16] Ewing Todd. Cold brew compositions and methods: The United States of America, 201816004448A[P]. 2020.
- [17] 中国农业大学. 一种超高压冷萃咖啡及其制备方法: 中国, 201910479864.9[P]. 2019-08-30. [ China Agricultural University. Ultrahigh-pressure cold-extracted coffee and preparation method thereof: China, 201910479864.9[P]. 2019-08-30. ]
- [18] 上海应用技术大学. 一种快速冷萃咖啡的制备方法: 中国, 201910869658.9[P]. 2019-11-22. [ Shanghai Institute of Technology. Preparation method of fast cold brew coffee: China, 201910869658.9[P]. 2019-11-22. ]
- [19] 中国农业大学. 一种天然产物的脉冲压力冷萃方法: 中国, 201911405499.3[P]. 2020-05-05. [ China Agricultural University. Pulse pressure cold extraction method of natural product: China, 201911405499.3[P]. 2020-05-05. ]
- [20] 上海应用技术大学. 一种抗疲劳功能性风味冷萃咖啡及其制备方法: 中国, 202010418280.3[P]. 2020-08-14. [ Shanghai Institute of Technology. Anti-fatigue functional flavored cold-extracted coffee and preparation method thereof: China, 202010418280.3[P]. 2020-08-14. ]
- [21] 中国农业大学. 使用温和高压快速制备冷萃咖啡的方法: 中国, 202110842969.3[P]. 2021-11-12. [ China Agricultural University. Method for rapidly preparing cold-extracted coffee by using mild high pressure: China, 202110842969.3[P]. 2021-11-12. ]
- [22] 이준화. Manufacturing method of dutch coffee with blueberry extract: Republic of Korea, 20140032076A[P]. 2016-12-20.
- [23] Haslla Art World Co. Manufacturing method of coffee powder using sambung nyawa: Republic of Korea, 20150052085A[P]. 2015-11-05.
- [24] 가톨릭관동대학교산학협력단. Manufacturing method of dutch coffee: Republic of Korea, 20140032076A[P]. 2016-06-20.
- [25] 深圳春沐源控股有限公司. 一种薄荷咖啡的配制方法: 中国, 201910575314.7[P]. 2019-08-16. [ Shenzhen Spring Woods Holdings Co. Ltd. Preparation method of mint coffee: China, 201910575314.7[P]. 2019-08-16. ]
- [26] 上海应用技术大学. 一种具有保健功效的咖啡饮品及其制备方法: 中国, 202111108108.9[P]. 2022-01-11. [ Shanghai Institute of Technology. Coffee beverage with health-care effect and preparation method thereof: China, 202111108108.9[P]. 2022-01-11. ]
- [27] 普洱丰华联合实业发展有限责任公司. 一种抗疲劳功能性风味冷萃咖啡及其制备方法: 中国, 202110539476.2[P]. 2021-08-

17. [Puerfenghua United Ind Development Co. Ltd. Anti-fatigue functional flavor cold extraction coffee and preparation method thereof: China, 202110539476.2[P]. 2021-08-17.]
- [28] 上海亮靓生物科技有限公司. 一种芝士咖啡的制备方法: 中国, 202110160586.8[P]. 2021-05-18. [Shanghai Liangliang Diagnostic Tech Co. Ltd. Preparation method of cheese coffee: China, 202110160586.8[P]. 2021-05-18.]
- [29] GRUMEZESCU A M, HOLBAN A M. Natural and artificial flavoring agents and food dyes[M]. San Diego: Academic Press, 2018: 397-425.
- [30] LIU X, WANG W, FEI Y, et al. Effect of sterilization methods on the flavor of cold brew coffee[J]. *Beverage Plant Research*, 2022, 2(1): 1-7.
- [31] MAKSIMOWSKI D, PACHURA N, OZIEMBŁOWSKI M, et al. Coffee roasting and extraction as a factor in cold brew coffee quality[J]. *Applied Sciences*, 2022, 12(5): 2582.
- [32] CÓRDOBA N, MORENO F L, OSORIO C, et al. Chemical and sensory evaluation of cold brew coffees using different roasting profiles and brewing methods[J]. *Food Research International*, 2021, 141: 110141.
- [33] ZHAI X, YANG M, ZHANG J, et al. Feasibility of ultrasound-assisted extraction for accelerated cold brew coffee processing: Characterization and comparison with conventional brewing methods[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 849811-849811.
- [34] KANG D, LEE H, DAVAATSEREN M, et al. Comparison of acrylamide and furan concentrations, antioxidant activities, and volatile profiles in cold or hot brew coffees[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2020, 29(1): 141-148.
- [35] HAN J, BOO H, CHUNG M. Effects of extraction conditions on acrylamide/furan content, antioxidant activity, and sensory properties of cold brew coffee[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2020, 29(8): 1071-1080.
- [36] STANEK N, ZAREBSKA M, BIŁOS Ł, et al. Influence of coffee brewing methods on the chromatographic and spectroscopic profiles, antioxidant and sensory properties[J]. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 21377-21377.
- [37] 王炜清, 金丽娟, 承超, 等. 采用 Heracles NEO 超快速气相色谱探究冷冻干燥速溶咖啡加工过程中香气变化[J]. *饮料工业*, 2020, 23(6): 12-16. [WANG W Q, JIN L J, CHENG C, et al. Analysis of aroma changes during the processing of coffee freeze-dried powder by Heracles NEO ultra-fasted gas chromatography[J]. *The Beverage Industry*, 2020, 23(6): 12-16.]
- [38] HEO J, ADHIKARI K, CHOI K S, et al. Analysis of caffeine, chlorogenic acid, trigonelline, and volatile compounds in cold brew coffee using high-performance liquid chromatography and solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Foods*, 2020, 9(12): 1746.
- [39] 邢彦纯, 翁键航, 吴源泉, 等. 不同萃取时间对冷萃咖啡液香气成分的影响[J]. *饮料工业*, 2021, 24(1): 36-42. [XING Y C, WENG J H, WU Y Q, et al. Aroma analysis of cold brew coffee liquor with different extraction times[J]. *The Beverage Industry*, 2021, 24(1): 36-42.]
- [40] 陈仲娜, 谢妍纯, 谢欣妍. 云南阿拉比卡咖啡冷萃和热萃香气分析[J]. *饮料工业*, 2019, 22(3): 44-52. [CHEN Z N, XIE Y C, XIE X Y. Aroma analysis of Yunnan Arabica coffee cold extract and hot extract[J]. *The Beverage Industry*, 2019, 22(3): 44-52.]
- [41] DORFNER R, FERGE T, KETTRUP A, et al. Real-time monitoring of 4-vinylguaiacol, guaiacol, and phenol during coffee roasting by resonant laser ionization time-of-flight mass spectrometry[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(19): 5768-5773.
- [42] ZIEFUSS A R, HUPFELD T, MECKELMANN S W, et al. Ultrafast cold-brewing of coffee by picosecond-pulsed laser extraction[J]. *NPJ Science of Food*, 2022, 6(1): 19.
- [43] Sensory Lexicon[EB/OL]. [2022.02.26]. <https://worldcoffee-research.org/resources/sensory-lexicon>.
- [44] The Good Scents Company Information System[EB/OL]. [2022.03.15] <http://www.thegoodsentscompany.com/index.html>.
- [45] "Flavor Extract Manufacturers Association (FEMA)." [EB/OL]. [2022.02.27]. <https://www.femaflavor.org>.
- [46] PORTELA C D S, ALMEIDA I F D, MORI A L B, et al. Brewing conditions impact on the composition and characteristics of cold brew Arabica and Robusta coffee beverages[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 143: 111090.
- [47] BATALI M E, FROST S C, LEBRILLA C B, et al. Sensory and monosaccharide analysis of drip brew coffee fractions versus brewing time[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(7): 2953-2962.
- [48] POOLE R L, TORDOFF M G. The taste of caffeine[J]. *Journal of Caffeine Research*, 2017, 7(2): 39-52.
- [49] 陈钰莹, 孙红波, 宋萧萧, 等. 咖啡苦味特性研究进展[J]. *食品科学*, 2020, 41(9): 285-293. [CHEN Y Y, SUN H B, SONG X X, et al. Recent advances in research the bitterness of coffee[J]. *Food Science*, 2020, 41(9): 285-293.]
- [50] BARROSO L A, MACEDO A S, LEMOS I L, et al. Optimization of the brewing parameters on coffee extraction using a central composite rotatable design[J]. *JSFA Reports*, 2022, 2(3): 107-115.
- [51] PORTELA C D S, ALMEIDA I F D, REIS T A D D, et al. Effects of brewing conditions and coffee species on the physico-chemical characteristics, preference and dynamics of sensory attributes perception in cold brews[J]. *Food Research International*, 2022, 151: 110860.
- [52] FULLER M, RAO N Z. The effect of time, roasting temperature, and grind size on caffeine and chlorogenic acid concentrations in cold brew coffee[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 17979.
- [53] ZHANG L, WANG X, MANICKAVASAGAN A, et al. Extraction and physicochemical characteristics of high pressure-assisted cold brew coffee[J]. *Future Foods*, 2022, 5: 100113.
- [54] XU L, LAO F, XU Z, et al. Use of liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrometry and metabolomic approach to discriminate coffee brewed by different methods[J]. *Food Chemistry*, 2019, 286: 106-112.
- [55] 刘兴勇, 陈兴连, 杜丽娟, 等. 多因素交互作用导致烘焙咖啡中绿原酸快速降解[J]. *食品科学*, 2021, 42(9): 7-14. [LIU X Y, CHEN X L, DU L J, et al. The interaction of various factors leads to

- rapid degradation of chlorogenic acid in roasted coffee beans during processing[J]. *Food Science*, 2021, 42(9): 7–14. ]
- [ 56 ] PREEDY V R. Coffee in health and disease prevention[M]. San Diego: Academic Press, 2015: 247–254.
- [ 57 ] GROSSO G, GODOS J, GALVANO F, et al. Coffee, caffeine, and health outcomes: An umbrella review[J]. *Annual Review of Nutrition*, 2017, 37(1): 131–156.
- [ 58 ] LIU Y, KITTS D D. Confirmation that the Maillard reaction is the principle contributor to the antioxidant capacity of coffee brews[J]. *Food Research International*, 2011, 44(8): 2418–2424.
- [ 59 ] RAO N Z, FULLER M, GRIM M D. Physicochemical characteristics of hot and cold brew coffee chemistry: The effects of roast level and brewing temperature on compound extraction[J]. *Foods*, 2020, 9(7): 902.
- [ 60 ] SHIN K. The chemical characteristics and immune-modulating activity of polysaccharides isolated from cold-brew coffee[J]. *Preventive Nutrition and Food Science*, 2017, 22(2): 100–106.
- [ 61 ] CORDOBA N, FERNANDEZ-ALDUENDA M, MORENO F L, et al. Coffee extraction: A review of parameters and their influence on the physicochemical characteristics and flavour of coffee brews[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 96: 45–60.
- [ 62 ] YU D, WANG X, LIM L T. Investigation of the factors affecting foamability and foam stability of cold brew coffee[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2022, 102(13): 5875–5882.
- [ 63 ] SUNARHARUM W B, WILLIAMS D J, SMYTH H E. Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective[J]. *Food Research International*, 2014, 62: 315–325.
- [ 64 ] CÓRDOBA N, MORENO F L, OSORIO C, et al. Specialty and regular coffee bean quality for cold and hot brewing: Evaluation of sensory profile and physicochemical characteristics[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 145: 111363.
- [ 65 ] SEVERINI C, RICCI I, MARONE M, et al. Changes in the aromatic profile of espresso coffee as a function of the grinding grade and extraction time: A study by the electronic nose system[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(8): 2321–2327.
- [ 66 ] SALAMANCA C A, FIOL N, GONZÁLEZ C, et al. Extraction of espresso coffee by using gradient of temperature. Effect on physicochemical and sensorial characteristics of espresso[J]. *Food Chemistry*, 2017, 214: 622–630.
- [ 67 ] DUARTE G S, PEREIRA A A, FARAH A. Chlorogenic acids and other relevant compounds in Brazilian coffees processed by semi-dry and wet post-harvesting methods[J]. *Food Chemistry*, 2010, 118(3): 851–855.
- [ 68 ] LUDWIG I A, SANCHEZ L, CAEMMERER B, et al. Extraction of coffee antioxidants: Impact of brewing time and method[J]. *Food Research International*, 2012, 48(1): 57–64.
- [ 69 ] MORRESI A M, TRUGLIO K, SPECCHIO J, et al. Effects of grind size and brew time upon sensory traits, consumer likability and antioxidant activity of Arabica cold brew[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2021, 56(4): 1929–1936.
- [ 70 ] ANGELONI G, GUERRINI L, MOSELLA P, et al. What kind of coffee do you drink? An investigation on effects of eight different extraction methods[J]. *Food Research International*, 2019, 116: 1327–1335.
- [ 71 ] HERNANDEZ J A, HEYD B, IRLES C, et al. Analysis of the heat and mass transfer during coffee batch roasting[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 78(4): 1141–1148.
- [ 72 ] BILGE G. Investigating the effects of geographical origin, roasting degree, particle size and brewing method on the physicochemical and spectral properties of Arabica coffee by PCA analysis[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2020, 57(9): 3345–3354.
- [ 73 ] ANDUEZA S, VILA M A, PAZ DE PEÑA M, et al. Influence of coffee/water ratio on the final quality of espresso coffee[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2007, 87(4): 586–592.