

陈诗宇, 肖瀛, 姜峰, 等. 水质因子对冷萃咖啡主要成分及风味的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(5): 70-80. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050076

CHEN Shiyu, XIAO Ying, JIANG Feng, et al. Effects of Water Quality Factors on the Main Components and Flavor of Cold Brew Coffee[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(5): 70-80. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050076

· 研究与探讨 ·

水质因子对冷萃咖啡主要成分及风味的影响

陈诗宇¹, 肖瀛^{2,*}, 姜峰³, 蒋天宁¹, 何笑丛⁴, 朱婧⁵, 唐文潇¹, 周一鸣¹

(1.上海应用技术大学香料香精技术与工程学院, 上海 201418;

2.上海城建职业学院食品与旅游学院, 上海 201415;

3.上海市技师协会咖啡专业委员会, 上海 200050;

4.上海市贸易学校, 上海 200092;

5.上海臻致培训学校, 上海 200062)

摘要:为探究水质因子对冷萃咖啡主要成分及感官风味的影响, 本研究选择 6 种不同的市售水通过冷萃的方式制备咖啡萃取液, 采用高效液相色谱 (HPLC) 技术和顶空固相微萃取-气质联用 (HS-SPME-GC-MS) 技术鉴定 6 组冷萃咖啡液, 比较分析 6 组冷萃咖啡理化指标、非挥发性成分、挥发性成分、感官评价的差异, 并进行相关性和主成分分析 (PCA)。结果显示, 不同类型的水样主要离子含量差异较大, 水中离子对冷萃咖啡的萃取浓度、萃取率、pH、可滴定酸、咖啡因、葫芦巴碱和呋喃类挥发性化合物整体有较大影响, 对总酚、绿原酸、咖啡酸、抗氧化活性影响较小。水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 与冷萃咖啡的萃取浓度、萃取率、咖啡因、葫芦巴碱呈显著正相关 ($P<0.05$), 与可滴定酸值呈显著负相关 ($P<0.05$)。糠醇、5-甲基糠醛、1-糠基吡咯、糠基甲基硫醚、2-异丁基-3-甲氧基吡嗪、乙酸糠醇酯这些挥发性化合物与水中总离子含量有较大关联。PCA 图分析显示, 水中较低的离子含量能促进咖啡花果风味的体现, 随着水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 的增加, 咖啡的花果味、酸味、甜味会有不同程度的减弱。较高的离子含量 (尤其是 Na^+ 、 K^+) 能促进咖啡焦糖味、苦涩味的体现, Na^+ 、 K^+ 对糠醇含量影响较大, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 对 1-糠基吡咯、5-甲基糠醛、糠基甲基硫醚含量影响较大, 而用中等的离子含量的水冲泡的冷萃咖啡有较好的坚果味、烘焙味、甜味、风味和总体感官评价。研究结果可为深入认识水质因子对咖啡理化特性与主要成分的影响提供一定理论依据。

关键词:冷萃咖啡, 水质因子, 理化指标, 挥发性成分, 相关性分析, 主成分分析 (PCA)

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)05-0070-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050076

本文网刊:



Effects of Water Quality Factors on the Main Components and Flavor of Cold Brew Coffee

CHEN Shiyu¹, XIAO Ying^{2,*}, JIANG Feng³, JIANG Tianning¹, HE Xiaocong⁴, ZHU Jing⁵,

TANG Wenxiao¹, ZHOU Yiming¹

(1.School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China;

2.School of Food and Tourism, Shanghai Urban Construction Vocational College, Shanghai 201415, China;

3.Coffee Professional Committee, Shanghai Technician Association, Shanghai 200050, China;

4.Shanghai Trade School, Shanghai 200092, China;

5.Shanghai Acme Academic School, Shanghai 200062, China)

Abstract: In this study, six types of commercially available water were selected for preparing cold brew coffee to explore the influence of water quality factors on the main components and sensory flavor of the coffee. High-performance liquid

收稿日期: 2023-05-10

基金项目: 上海科技成果转化促进会“联盟计划”项目 (LM201956)。

作者简介: 陈诗宇 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 咖啡科学, E-mail: chenshiyuy7@126.com。

* 通信作者: 肖瀛 (1981-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品营养学与生化、咖啡科学, E-mail: y-xiaomn@163.com。

chromatography (HPLC) and headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) were used for analysis of the coffee. Physical and chemical indices, volatile and non-volatile components, and sensory evaluation were analyzed and compared, and correlations and principal component analysis (PCA) were performed. It was found that the different types of water had significantly different compositions of major ions. The contents of total phenol, chlorogenic acid, and caffeic acid, as well as antioxidant activity in the cold brew coffee were not significantly affected by the water ions, but they were significantly affected by the extraction concentration, extraction rate, pH, and titratable acid, caffeine, trigonelline, and furan volatile chemical components. The Ca^{2+} , Mg^{2+} , and HCO_3^- ions in the water were positively correlated with the extraction concentration, extraction rate, and caffeine and trigonelline concentrations in the cold brew coffee ($P < 0.05$), and negatively correlated with titratable acid ($P < 0.05$). The ions in the water had significant effects on volatile compounds such as furfuryl alcohol, 5-methylfurfural, 1-furfurylpyrrole, furfuryl methyl sulfide, 2-isobutyl-3-methoxy-pyrazine, and furfuryl acetate. PCA showed that lower ion concentrations in the water promoted fruit and flower flavors in the coffee, and higher concentrations of Ca^{2+} , Mg^{2+} , and HCO_3^- reduced the fruit and flower flavor, as well as sweet and sour taste in different degrees. Higher ion contents (especially Na^+ and K^+) enhanced caramel flavors and bitterness in the coffee. Na^+ and K^+ significantly affected the furfuryl alcohol content, while Ca^{2+} , Mg^{2+} , and HCO_3^- influenced 1-furfuryl pyrrole, 5-methylfurfural, and furfuryl methyl sulfide. Cold brew coffee brewed in water with moderate ion contents showed better nutty, roasted, and sweet flavors, as well as better overall sensory evaluation. These results could provide a theoretical basis for further understanding the effects of water quality factors on the physicochemical properties and main components of coffee.

Key words: cold brew coffee; water quality factors; physicochemical indexes; volatile components; correlation analysis; principal component analysis (PCA)

咖啡豆是仅次于石油的全球第二大贸易商品, 咖啡饮品是全球消费最广泛的饮料之一^[1], 是仅次于水的第二大消费饮品^[2]。近年来, 冷萃咖啡以其制备方式简单, 口感独特等特点, 深受消费者喜爱, 具有广阔的市场前景^[3]。冷萃咖啡选用的水通常低于室温, 其在冷水中低温萃取 12~24 h, 从而获得更加温和而又平衡的口感。然而, 现有的研究主要还是集中在热萃咖啡上, 相较于热萃咖啡, 涉及冷萃咖啡理化特性与组分的研究相对较少。现有研究表明, 与热萃咖啡相比, 冷萃咖啡具有独特的风味特征, 通常表现出强烈的甜味、果香和花香, 较弱的苦味和较低的酸度^[4-6]。冷萃咖啡的咖啡因和绿原酸含量更高, 而热萃咖啡的抗氧化活性更强^[4,7]。研究发现, 咖啡的研磨度和萃取时间对冷萃咖啡的风味及理化特性有很大影响^[6], 烘焙程度、粉水比、萃取方法及其相互作用也会影响冷萃咖啡的感官特征^[8]。

水质对咖啡或茶叶萃取的影响是很重要的, 已有研究表明水中的 HCO_3^- 对意式浓缩咖啡油脂的丰富度有至关重要的影响^[9]。Fibrianto 等^[10]的研究表明, 不同的冲泡水会影响热萃咖啡甜味和巧克力的香味强度。而 McGee^[11]的报道称, 用软化水冲泡咖啡和茶会导致过度萃取并带来咸味。影响水质的因子有很多, 包括水的 pH、碱度、硬度、阴阳离子含量等。国际组织精品咖啡协会 (Specialty coffee association, SCA) 对精品咖啡萃取用水也有一定的标准, 其中包括对气味、氯含量、硬度、碱度和 pH 的要求, 但水中的 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 SiO_3^{2-} 等水质因子对咖啡萃取的影响国内外鲜有研究, 尤其是水质因子对冷萃咖啡的影响尚未有研究报道, 水中离子对冷萃咖啡主要成分及风味的影响尚不明确。

因此, 本研究选择 6 种不同的市售水制备冷萃咖啡, 对咖啡基本理化特性进行检测; 利用高效液相色谱 (HPLC) 技术和顶空固相微萃取-气质联用 (HS-SPME-GC-MS) 对非挥发性成分和挥发性成分进行检测, 结合感官评价, 通过相关性分析和主成分分析首次阐释水质因子对冷萃咖啡理化特性、主要成分及风味的影响。本研究将对选择合适的水冲泡冷萃咖啡以提升感官品质及其质量评价分析提供了依据和参考, 研究具有一定的理论价值和实践指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

咖啡豆 上海焱焙咖啡有限公司, 为中国云南省生产的水洗浅烘豆 (卡蒂姆种, Catimor); 瓶装水 当地超市; 咖啡因 (纯度 99%)、绿原酸 (纯度 99%)、咖啡酸 (纯度 99%)、葫芦巴碱标准品 (纯度 99%)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) (纯度 98%) 上海源叶生物科技有限公司; 2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸) (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid, ABTS) (纯度 99%)、2-辛醇标准品 (纯度 99%)、甲基橙 (纯度为 98%) 上海泰坦科技股份有限公司; 钼酸铵 (纯度 98%) 旭硕生物; 偏硅酸标准溶液 (1000 mg/L) 坛墨质检科技股份有限公司; 福林酚溶液 (2N) 美国 Sigma 公司。

UV-1800 分光光度计、LC-20A 高效液相色谱仪、GCMS-TQ80 气相-质谱联用仪、SPD-M20A 二级管阵列检测器 日本岛津公司; EK43s 咖啡磨豆机 意大利 Mahlkonig 公司; Pal-Coffee TDS 测定仪 日本 ATAGO 公司; FE28 梅特勒 pH 计 北京

联合科仪科技有限公司; ICAP QC 电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS) 赛默飞世尔科技; BEC-6800 实验室 TDS 仪 贝尔分析仪器(大连)有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 咖啡样品制备 冷萃咖啡的制备方法及温度参考唐文潇等^[12]的方法,将咖啡豆磨粉(研磨度 11, 粒径范围 400~600 μm),选用 1 款饮用纯净水(W_1)、2 款饮用天然水(W_2 、 W_3)、2 款饮用天然矿泉水(W_4 、 W_6)和经净化自来水(上海市奉贤区, W_5)作为咖啡萃取用水,根据 TDS 值从小到大编号为 W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 、 W_5 、 W_6 ,按照咖啡粉:水=1:16 的比例添加 5 $^{\circ}\text{C}$ 冷水,置于容器中密封,并于 5 $^{\circ}\text{C}$ 中冷藏浸泡 16 h,浸泡完毕后过滤除去咖啡渣即可。本研究制备得到的咖啡萃取量均趋于饱和。

1.2.2 水样理化指标测定 水样的溶解性固体总量(Total dissolved solids, TDS)采用实验室 TDS 仪(按照电导率的原理)测定;水样的 pH 采用 pH 计测定。水样中 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 SiO_3^{2-} 的测定参照 GB 8538-2016《食品安全国家标准 饮用天然矿泉水检验方法》^[13]。

1.2.3 咖啡液萃取浓度、萃取率的测定 咖啡液萃取浓度使用 Pal-Coffee TDS 测定仪测定,咖啡液萃取率计算参照 Liang 等^[14]的方法,按公式(1)计算。

$$\text{萃取率}(\%) = \frac{\text{萃取浓度}(\%) \times \text{咖啡液质量}(\text{g})}{\text{咖啡粉质量}(\text{g})} \quad \text{式 (1)}$$

1.2.4 咖啡液可滴定酸及总酚的测定 咖啡液可滴定酸的测定参照 Córdoba 等^[5]的方法。取稀释 10 倍的咖啡液 10 mL,加入 1~2 滴酚酞溶液,以 0.1 mol/L NaOH 溶液滴定至溶液黄褐色,加入 5 mL 70 $^{\circ}\text{C}$ 蒸馏水,再滴定至溶液呈现微红色即停止,记录此时 NaOH 溶液滴定量。

咖啡液总酚的测定参照 Bilge^[15]的方法。取稀释 50 倍咖啡液 0.5 mL,加入等量 0.25 mol/L 福林酚试剂,混匀静置 3 min 后再加入 1 mL 15% Na_2CO_3 溶液,混匀后于 25 $^{\circ}\text{C}$,以 120 r/min 避光离心 1 h,使用紫外分光光度计在波长 765 nm 处测定吸光度,根据焦性没食子酸标准曲线 $y = 11.741x + 0.120$ ($R^2 = 0.9998$),计算总酚含量。

1.2.5 咖啡液咖啡因、葫芦巴碱及绿原酸的测定 咖啡因含量的测定参照 GB 5009.139-2014《食品安全国家标准 饮料中咖啡因的测定》^[16],葫芦巴碱含量的测定参照 NY/T 3012-2016《咖啡及制品中葫芦巴碱的测定》^[17],绿原酸含量的测定参照 GB/T 22250-2008《保健食品中绿原酸的测定》^[18],均采用高效液相色谱法(HPLC)。色谱柱选用岛津 WondaSilTM C_{18} 柱(150 mm $\times$ 3.9 mm, 5 μm);使用外标法定量。

1.2.6 咖啡液抗氧化能力的测定 咖啡液 DPPH 自由基当量测定参照 Bilge^[15]的方法。样品组:取稀

释 50 倍咖啡液 0.25 mL 和 0.75 mL 蒸馏水,再加入 DPPH 试剂(0.2 mmol/L, 1 mL),于室温下避光 30 min,使用紫外分光光度计在 517 nm 处测吸光度为 A_i ;样品对照组:实验方法同上,无水乙醇代替 DPPH 试剂,测得吸光度为 A_j ;空白对照组:实验方法同样品组,蒸馏水代替稀释后的咖啡液,测得吸光度为 A_c 。咖啡液 DPPH 自由基清除率 R_1 按公式(2)计算。

$$R_1(\%) = \left[1 - \frac{(A_i - A_j)}{A_c} \right] \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

咖啡液 ABTS⁺自由基当量测定参照 Górecki 等^[19]的方法。取稀释 50 倍咖啡液 0.1 mL 和 1.9 mL ABTS 试剂,于室温下避光 6 min,使用紫外分光光度计在 734 nm 处测吸光度为 A_x ,并以蒸馏水代替咖啡液测得 A_0 。咖啡液 ABTS⁺自由基清除率 R_2 按公式(3)计算。

$$R_2(\%) = \frac{(A_0 - A_x)}{A_0} \times 100 \quad \text{式 (3)}$$

将 R_1 、 R_2 分别带入水溶性 V_E 配制的标准曲线,分别得到 DPPH 自由基当量和 ABTS⁺自由基当量。

1.2.7 感官评定 感官评定是按照美国精品咖啡协会(SCA)制定的感官评价标准进行的^[20]。感官评价小组由 10 人组成(5 名男性和 5 名女性),均具有三年以上的咖啡感官分析经验,能够准确识别咖啡的香气。在小组成员讨论之后,参照世界咖啡研究所(WCR)制定的《咖啡感官词典》^[21]确定样品风味的属性,包括坚果味、果味、花香、焦糖味、烘焙味、甜味、酸味、涩味、苦味、风味、醇厚度、余韵、总体评价(表 1)。所有样本在室温(19 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 下提供,并按随机顺序评估,一式两份。小组成员用 0~15 分的等级评估属性强度,0.5 分为一个增量(0=无;15=极度强烈)^[21]。其中,0 代表“无强度”,2 代表“难以察

表 1 感官评价指标

Table 1 Sensory evaluation index

感官属性	定义
坚果味	略带甜味、涩味和苦味,具有褐变反应产物的味道
果味	由多种成熟水果混合而成的甜味、花香和芳香
花香	一种甜、淡、微香的芳香,类似鲜花的香气
焦糖味	一种圆润、浓郁、香甜、中度褐变反应产物的味道,类似煮熟的糖和其他碳水化合物化合物的味道
烘焙味	高温下煮熟的食物所特有的褐变反应的味道
甜味	以蔗糖为典型的基本味觉因子
酸味	与柠檬酸溶液相近的基本味觉因子
涩味	舌头和嘴的表面或边缘干燥、起皱或刺痛的感觉
苦味	与咖啡因溶液相关的基本味觉因子
风味	所有味蕾的感觉和从入口到鼻后嗅觉香气的综合印象
醇厚度	液体在口中的触感,尤其是舌头和上颚之间的触感
余韵	从上颚后部散发并在吐出或咽下咖啡后残留的积极风味品质的持久度
总体评价	最主要的整体感官印象,它反映了每个小组成员对样本的整体综合评级

注:感官属性和定义参考 SCA 标准^[20]和 WCR 制定的《咖啡感官词典》^[21]。

觉”, 4 代表“可识别到但并不强烈”, 6 代表“稍有强度的”, 8 代表“适中的强度”, 10 代表“强烈的”, 12 代表“非常强”, 15 代表“极度强烈的”。

1.2.8 咖啡液挥发性化合物的测定 咖啡液挥发性化合物的测定参照 Cheong 等^[22]的方法, 采用顶空固相微萃取气质联用技术(HS-SPME-GC-MS)。

SPME 条件: 采用 1 cm 50/30 μm DVB/CAR/PDMS StableFlex 固相微萃取头, 准确量取咖啡液 5 mL, 加入内标 20 μL, 水浴 60 ℃, 平衡 15 min, 吸附 30 min。

GC 条件: RTX-WAX 聚乙二醇强极性毛细管柱 (30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 升温程序: 起始 40 ℃ 保持 2 min, 以 2 ℃/min 升至 130 ℃, 以 4 ℃/min 升至 220 ℃, 保持 4 min, 以 10 ℃/min 升至 250 ℃, 保持 5 min; 载气(He)(纯度 99.999%)流速 1.6 mL/min, 压力 2.4 kPa; 进样方式: 进样口温度 200 ℃, SPME 顶空进样 2 min; 不分流。

MS 条件: 电子电离源; 电子能量 70 eV; 传输线温度 275 ℃; 离子源温度 230 ℃; 母离子 285 m/z; 激活电压 1.5 V; 质量扫描范围 35~350 m/z。

定量方式: 参考 Bonino 等^[23]的方法使用 2-辛醇作为内标物质, 结果根据每个化合物峰面积相对于内标物峰面积之比, 按照内标物质浓度换算, 按如下公式(4)计算。

$$\text{化合物含量}(\mu\text{g/kg}) = \frac{\text{化合物峰面积}}{\text{内标峰面积}} \times \text{内标含量}(\mu\text{g/kg})$$

式 (4)

1.3 数据处理

所有实验重复 3 次, 数据采用平均值±标准差表示; 采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差 (0.01<P<0.05 表示差异显著, P<0.01 表示差异极显著) 及 Pearson 相关性分析; 采用 Origin 2021 软件进行相关性热图的绘制, 采用 SIMCA 14.1 软件进行 PCA 图的绘制。

2 结果与分析

2.1 水样的理化指标与主要离子含量

如表 2 所示, 对比不同市售水, 从 pH 看, 六种水样 pH 差异显著 (P<0.05), 除了 W₆ 呈碱性外, 其它样品均接近中性。进一步分析其离子组成发现, 水中离子含量与 TDS 数值变化趋势一致, 6 种水样的离

子含量各有差别, 其中 W₅ 和 W₆ 中离子含量相对较多, W₃ 和 W₄ 中离子含量处于相对中等水平。水中 Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻会影响水质的硬度, 硬度过高的水会对咖啡风味产生不利影响^[9]; K⁺、Na⁺是水中常见的离子; 而 SiO₃²⁻是《食品安全国家标准 饮用天然矿泉水》^[13]中重要的一项。W₅ 含有较多的 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、HCO₃⁻等离子, 其中 K⁺、Na⁺的含量在所有水样中最高, W₆ 主要含有 Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻、SiO₃²⁻等离子, 其中 Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻含量在所有水样中最高, 而 W₄ 是 SiO₃²⁻离子含量最高的水样。此外, W₁ 和 W₂ 离子含量相对较少, 但 W₂ 中的 SiO₃²⁻相对较多。由此可见, 6 种水样离子含量差别大且具有代表性。

2.2 不同水样对冷萃咖啡理化指标的影响

本研究运用二次多项式曲线模型将水的 TDS 与咖啡萃取浓度、萃取率、pH、可滴定酸进行拟合的曲线如图 1 所示, 模型决定系数 (R²) 均大于 0.98, 说明模型拟合能力较好。由图 1(a)可知, 随着

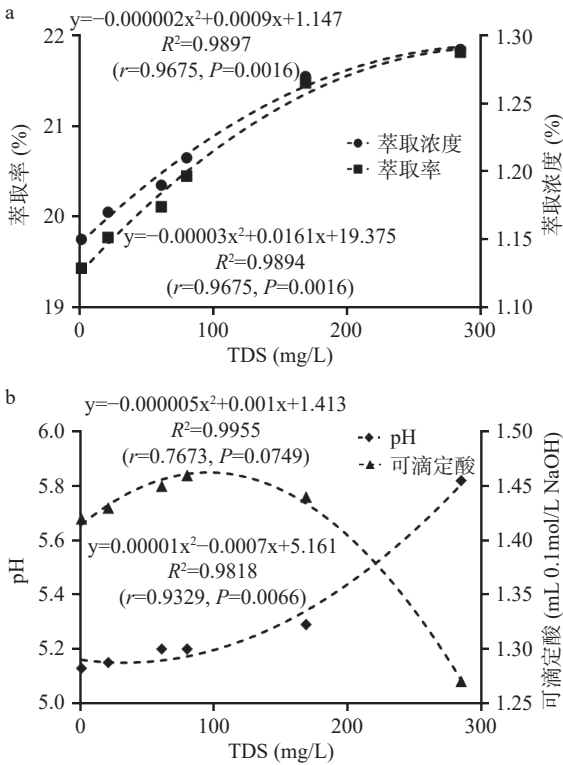


图 1 不同水样对冷萃咖啡理化指标的影响

Fig.1 Effects of different water samples on physicochemical indexes of cold brew coffee

表 2 水样的 pH、TDS 值及主要离子含量

Table 2 pH, TDS and major ion content in water samples

水样	pH	TDS (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SiO ₃ ²⁻ (mg/L)
W ₁	6.41±0.07 ^f	1±0 ^f	—	—	0.31±0.11 ^f	—	3.08±0.03 ^f	—
W ₂	7.06±0.11 ^d	21±1 ^e	0.31±0.08 ^d	3.06±0.05 ^d	1.82±0.14 ^e	0.41±0.09 ^e	12.31±0.06 ^e	8.79±0.03 ^e
W ₃	7.32±0.06 ^c	61±2 ^d	1.10±0.04 ^b	12.73±0.03 ^c	3.33±0.08 ^d	1.80±0.12 ^e	44.43±0.11 ^d	6.57±0.10 ^d
W ₄	6.70±0.09 ^e	80±2 ^c	1.16±0.12 ^b	12.91±0.13 ^c	4.99±0.19 ^c	1.52±0.11 ^d	47.52±0.12 ^c	29.51±0.05 ^a
W ₅	7.58±0.12 ^b	169±2 ^b	4.01±0.06 ^a	28.57±0.21 ^b	34.13±0.22 ^a	5.94±0.14 ^b	66.19±0.03 ^b	2.59±0.03 ^e
W ₆	8.17±0.08 ^a	285±1 ^a	0.82±0.01 ^c	58.66±0.08 ^a	5.23±0.06 ^b	19.13±0.30 ^a	195.46±0.04 ^a	12.50±0.15 ^b

注: 同列不同字母表示显著差异 (P<0.05); —表示未检出。

水样 TDS 值上升,冷萃咖啡的萃取浓度和萃取率均呈现显著上升趋势($P<0.05$),由此可见水中溶解的离子在促进萃取过程中的重要作用,已有相似的研究结果表明,咖啡中有机化合物的溶解和提取依赖于水中溶解的矿物质总含量^[24]。由图 1(b)可得,随着水样 TDS 值上升,冷萃咖啡的 pH 呈现显著上升趋势($P<0.05$),与可滴定酸的先上升后下降趋势并不完全相对应,可能是因为水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 等离子会与溶液中 H^+ 、 OH^- 结合,从而影响咖啡溶液的 pH,而可滴定酸是对样品中所有酸性质子的测量,包括非电离质子^[25]。这与先前的研究结果相似,该研究结果表明 pH 与不同烘焙度咖啡的萃取浓度只有弱相关,而可滴定酸与咖啡的萃取浓度呈显著正线性相关^[26]。

2.3 不同水样对冷萃咖啡非挥发性成分和抗氧化能力的影响

由图 2 可见,不同水样对冷萃咖啡中葫芦巴碱、绿原酸、咖啡酸含量的影响较为显著($P<0.05$)。其中 W_6 水样冲泡的冷萃咖啡的咖啡因和葫芦巴碱含量最高,分别为 0.72、0.49 mg/mL, W_2 和 W_4 水样冲泡的冷萃咖啡的绿原酸含量较高,分别为 0.81、0.84 mg/mL, W_4 和 W_6 水样冲泡的冷萃咖啡的咖啡酸含量均较高,分别为 11.670、11.672 $\mu\text{g/mL}$ 。此外,结果表明不同水样对冷萃咖啡中咖啡因含量的影响较小,先前的研究已有相似发现,研究表明咖啡因不易受萃取条件的影响,水对咖啡因的提取没有显著影响^[27]。在水质对绿茶浸提的研究中,李小满^[28]研究了不同水质对绿茶茶汤的影响,用 TDS 值较高的水样萃取的茶汤活性成分更丰富,但是对咖啡碱的浸出并无显著差异,与本研究结果相近。

咖啡中的抗氧化活性成分较多,其中酚类、绿原酸和葫芦巴碱是主要的抗氧化活性成分^[29]。本研究发现不同水样对冷萃咖啡的总酚含量影响不大,这与水样对茶水中酚类物质的影响不同,茶多酚对水中离

子比较敏感,受水样中离子含量的影响较大^[30]。另外,不同水样对冷萃咖啡的抗氧化活性(ABTS^+ 自由基和 DPPH 自由基清除能力)有一定的影响(表 3), W_3 水样冲泡的冷萃咖啡的 ABTS^+ 自由基清除能力和 DPPH 自由基清除能力均最弱。同时,该冷萃咖啡中绿原酸、咖啡酸的含量均较低,绿原酸是咖啡酸与奎宁酸生成的缩酚酸,是主要的咖啡多酚之一,具有较强的抗氧化特性^[31],这可能是导致 W_3 水样冲泡的冷萃咖啡的 ABTS^+ 自由基清除能力和 DPPH 自由基清除能力较弱的主要原因。

表 3 不同水样对冷萃咖啡抗氧化能力的影响
Table 3 Effects of different water samples on antioxidant capacity of cold brew coffee

样品编号	ABTS ⁺ 自由基当量(mmol/L)	DPPH自由基当量(mmol/L)
C ₁	1.93±0.12 ^b	5.79±0.23 ^b
C ₂	1.92±0.09 ^b	6.41±0.27 ^a
C ₃	1.67±0.03 ^c	4.98±0.21 ^c
C ₄	2.06±0.08 ^b	6.45±0.29 ^a
C ₅	2.65±0.09 ^a	6.00±0.25 ^{ab}
C ₆	1.95±0.07 ^b	6.12±0.24 ^{ab}

2.4 不同水样对冷萃咖啡感官的影响

用不同水样冲泡的咖啡具有不同的感官特征,表 4 感官评价结果表明,不同水样冲泡的冷萃咖啡总体评价存在明显差异。随着水样 TDS 值的上升,冷萃咖啡的焦糖味、涩味、苦味的感官得分总体呈现上升趋势(C_6 除外),其中 C_5 的这些感官指标得分最高,果味、花香味、酸味、余韵的感官得分总体呈现下降趋势,说明水中的离子会加强冷萃咖啡中焦糖味、苦涩味的呈现,但会弱化花果味、酸味的呈现。冷萃咖啡坚果味、甜味、风味和总体评价的感官评分会随着水样 TDS 值的增加呈现先上升后下降趋势,其中 C_3 的评分在六组样品中最高,具有较强的甜味、坚果风味和较好的总体评价。本研究发现水样 TDS 值的增加会提高冷萃咖啡的总体感官得分,但

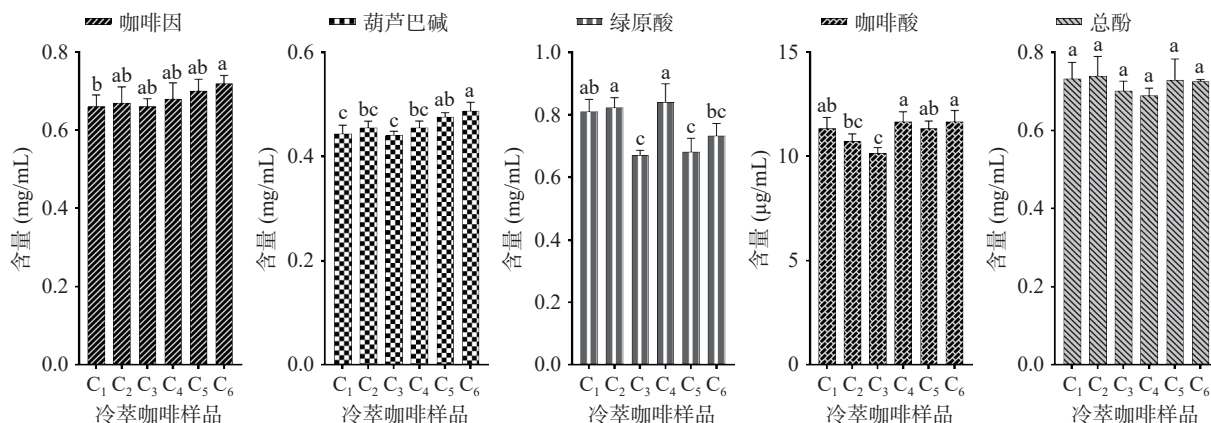


图 2 不同水样对冷萃咖啡非挥发性成分的影响

Fig.2 Effects of different water samples on non-volatile components of cold brew coffee

注: C_1 ~ C_6 为分别使用 W_1 ~ W_6 水样制备的冷萃咖啡;不同字母表示不同水样对冷萃咖啡同一指标的影响差异显著($P<0.05$);表 3、表 4 同。

表 4 不同水样对冷萃咖啡感官得分的影响

Table 4 Effects of different water samples on sensory evaluation of cold brew coffee

感官属性	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
坚果味	6.50±0.50 ^b	5.33±0.29 ^c	7.23±0.25 ^a	6.27±0.25 ^b	6.20±0.36 ^b	5.93±0.40 ^{bc}
果味	6.93±0.40 ^a	6.03±0.25 ^b	4.17±0.35 ^c	4.40±0.36 ^c	2.40±0.20 ^d	2.30±0.50 ^d
花香	1.25±0.25 ^{ab}	1.50±0.30 ^a	1.31±0.22 ^{ab}	0.90±0.20 ^{ab}	0.40±0.20 ^c	0.10±0.10 ^c
焦糖味	6.83±0.35 ^b	7.00±0.50 ^b	7.50±0.40 ^b	7.23±0.25 ^b	8.43±0.31 ^a	7.53±0.50 ^b
烘焙味	6.93±0.40 ^{ab}	7.19±0.76 ^{ab}	7.30±0.50 ^a	6.10±0.50 ^b	7.62±0.40 ^a	6.90±0.50 ^{ab}
甜味	6.47±0.50 ^b	6.50±0.50 ^b	7.91±0.10 ^a	7.20±0.40 ^{ab}	5.47±0.50 ^c	4.50±0.50 ^d
酸味	6.00±0.50 ^a	5.22±0.25 ^{ab}	4.50±0.50 ^{bc}	4.17±0.35 ^c	4.00±0.40 ^c	3.00±0.50 ^d
涩味	5.47±0.50 ^c	5.67±0.61 ^{bc}	5.50±0.50 ^c	5.90±0.40 ^{bc}	8.90±0.50 ^a	6.60±0.50 ^b
苦味	5.91±0.40 ^b	5.81±0.50 ^b	6.50±0.50 ^b	6.80±0.50 ^{ab}	7.70±0.50 ^a	6.30±0.70 ^b
风味	7.00±0.50 ^{bc}	7.20±0.50 ^{bc}	8.75±0.45 ^a	7.58±0.45 ^b	6.80±0.50 ^{bc}	6.40±0.30 ^c
醇厚	6.44±0.35 ^{bc}	6.25±0.35 ^{bc}	6.75±0.55 ^{abc}	6.80±0.50 ^{ab}	8.50±0.50 ^a	5.87±0.45 ^c
余韵	7.47±0.50 ^a	6.87±0.45 ^{ab}	6.66±0.55 ^{ab}	6.40±0.50 ^b	6.20±0.48 ^b	6.13±0.55 ^b
总体评价	6.50±0.50 ^{cd}	6.87±0.45 ^{bc}	8.50±0.50 ^a	7.66±0.55 ^{ab}	5.00±0.50 ^c	5.70±0.50 ^{de}

是水样过高的 TDS 值反而会降低对冷萃咖啡的总体评价,这与 Cao 等^[32]在茶水中的研究相似,该研究表明高 TDS 值水样冲泡的茶水具有较低的总体感官可接受性。此外水质对啤酒酿造感官评价也有类似现象,如高欣^[33]发现水中阴阳离子适量存在的时候对啤酒酿造几乎没有负面影响,甚至是有利的,但一旦过量存在,则或多或少会对酿造过程的生化变化和啤酒口味产生不利的影响。因此,在咖啡冲泡用水的选择上,应选择适中 TDS 值的水样冲泡咖啡。除此之外,水中各种离子组成也是影响感官的重要因素,对冷萃咖啡的感官起作用的具体离子还需进一步分析。

2.5 水质因子与咖啡理化特性和非挥发性成分的相关性分析

为了进一步探究水质因子与咖啡品质之间的关

联程度,进行了 Pearson 相关性分析,结果如图 3 所示。相关性分析表明,水样的 pH 与冷萃咖啡的萃取浓度、萃取率呈显著正相关($P<0.05$)。本研究的数据显示,6 种水样的 pH 位于 6.4~8.2 之间(表 2),冷萃咖啡的萃取浓度和萃取率可能会随着水样碱性的增加而显著增加,这与水样 pH 对茶水萃取率的影响相似^[34]。此外,相关性分析还表明水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 与冷萃咖啡的萃取浓度、萃取率、咖啡因含量和葫芦巴碱含量呈显著正相关($P<0.05$),与可滴定酸值呈显著负相关($P<0.05$),而 K^+ 、 Na^+ 对冷萃咖啡中活性成分的萃取没有显著影响($P>0.05$)。已有研究表明,水中溶解的阳离子会与咖啡中咖啡因、咖啡酸等成分的亲核基团相互作用,其中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的相对结合能与其他离子相比较^[24]。因此,

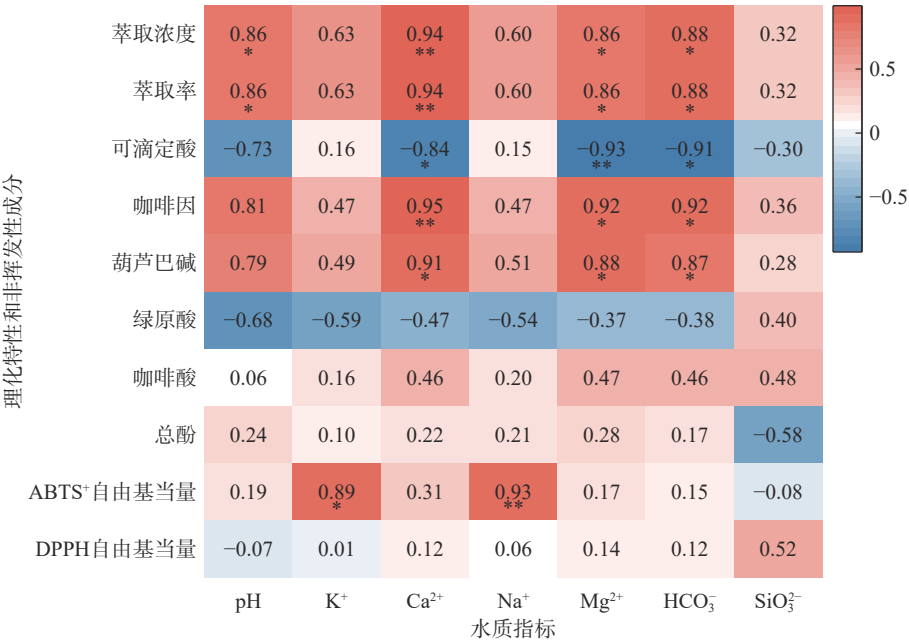


图 3 水质指标与冷萃咖啡理化特性和非挥发性成分相关性分析

Fig.3 Correlation analysis of water quality indexes with physical and chemical properties and non-volatile components of cold extracted coffee

注: *显著相关, $P<0.05$, **极显著相关, $P<0.01$; 图 5 同。

Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 会显著增加一些化合物的萃取,而 K^{+} 、 Na^{+} 与咖啡豆中大多数化合物的结合能力都很弱^[24]。从咖啡的抗氧化能力看,除 K^{+} 、 Na^{+} 与 ABTS^{+} 自由基清除能力呈显著正相关($P<0.05$)外,水质其他指标与抗氧化活性均未呈现显著相关性。

2.6 不同水样对冷萃咖啡中挥发性化合物的影响

本研究采用 HS-SPME-GC-MS 技术分析 6 种水样冲泡的冷萃咖啡,通过香气数据库筛选出匹配度均大于 90% 的 57 种主要挥发性成分,包括酮类化合物 9 种、醛类化合物 8 种、醇类化合物 4 种、吡嗪类化合物 11 种、呋喃类化合物 12 种、含氮类化合物 7 种、酚类化合物 4 种和含硫化合物 2 种。6 种水样冲泡的冷萃咖啡中含量较高的化合物均为糠醇、5-甲基糠醛、乙酸糠醇酯、2,6-二乙基吡嗪、2-乙基-6-甲基吡嗪和 1-甲基-2-吡咯甲醛。

随着水样 TDS 值的上升,挥发性化合物含量总体呈同步增加趋势(图 4a),表明冷萃咖啡挥发性化合物含量会随着水样 TDS 值的上升而逐渐增加,对

茶汤风味研究也有类似结果,水中的矿物质离子能促进茶汤特征风味的释放^[35]。但从占比角度来看,随着水样 TDS 值的增加,大多数挥发性化合物的相对含量占比呈下降趋势,但 5-甲基糠醛、糠醇、1-糠基吡咯、糠基甲基硫醚的相对含量占比呈上升趋势(图 4b),表明这几种化合物可能与水中总离子含量有较大关联。5-甲基糠醛为呋喃甲醛衍生物,主要由还原糖和氨基酸发生美拉德反应而生成,具有令人愉悦的焦糖味^[36]。糠醇属于呋喃类化合物,具有烘烤味,是咖啡中主要的呈香物质^[37]。另外,乙酸糠醇酯相对含量占比呈先下降后上升趋势(图 4b),其具有香蕉样的甜果香气;2-异丁基-3-甲氧基吡嗪的含量占比呈先上升后下降趋势(图 4b),其具有绿豌豆、坚果、甜椒样香气。本研究发现随着水样 TDS 值的增加,咖啡中相对含量占比上升的化合物多为呋喃类的化合物,这些化合物是咖啡巧克力味、焦糖味、坚果味、焙烤味的主要来源^[38],说明水中总离子含量的增加会促进冷萃咖啡焦糖、焙烤风味的呈现,乙酸糠醇

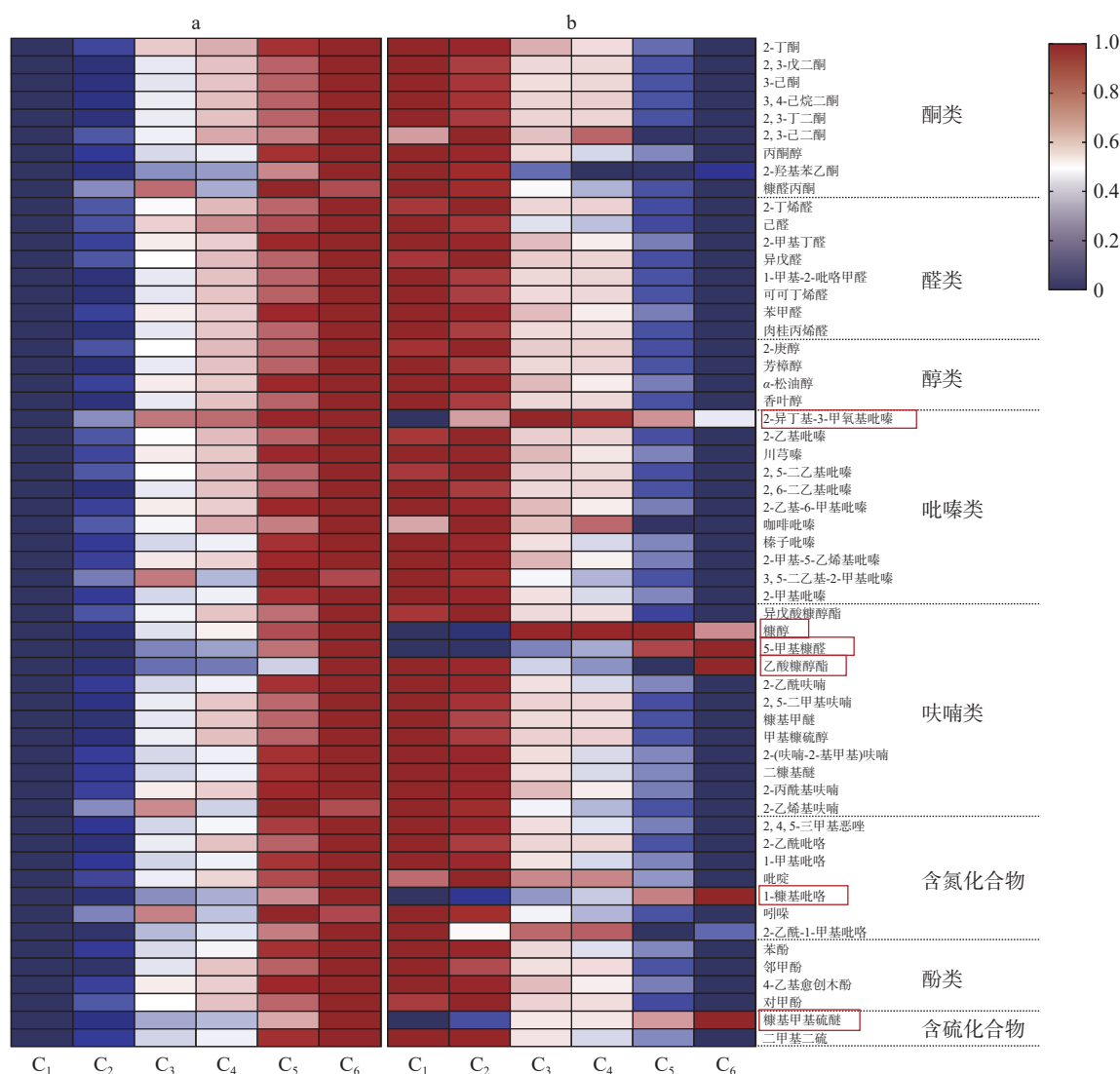


图 4 6 种水样冷萃咖啡主要挥发性成分热图分析

Fig.4 Heat map analysis of the main volatile components of six kinds of water cold brew coffee

注: a.含量; b.占比; 化合物的分类参考相关文献^[5,39]。

酯、2-异丁基-3-甲氧基吡嗪含量的增加也会增加冷萃咖啡的甜果样风味的丰富度。但值得注意的是,随着水样 TDS 值的上升,1-糠基吡咯、糠基甲基硫醚这类具有辛辣蔬菜等瑕疵风味的成分也会随之出现,这可能会让消费者感受到浓郁咖啡香气的同时也感受到一些令人不悦的气味。所以,合理地控制咖啡冲泡用水的 TDS 值能对冷萃咖啡的香气品质产生积极的影响。

2.7 水质因子与冷萃咖啡感官品质的相关性分析

6 种不同水样冲泡的冷萃咖啡在感官品质上有显著差异,图 5 评估了水样的 TDS 值、pH 以及水中的 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 SiO_3^{2-} 与冷萃咖啡坚果味、果味、花香味、焦糖味、烘焙味、甜味、酸味、涩味、苦味、风味、醇厚度、余韵、总体评价之间的相关性。相关性结果显示,水样的 TDS 值、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、pH 与冷萃咖啡的花香味、酸味呈显著负相关($P<0.05$),TDS 值、 Ca^{2+} 与冷萃咖啡的果味呈显著负相关($P<0.05$), Mg^{2+} 与冷萃咖啡的甜味呈显著负相关($P<0.05$)。可见水中金属离子的增多会对冷萃咖啡的花果味、酸味、甜味产生不同程度的负面影响,这可能是导致总体感官评价下降的主要原因,在水质对茶水的研究中也有相似的发现,具有较高 pH 和 TDS 值的水冲泡的茶水会有较低的总体感官评价^[32]。Kiki 等^[40]在水质硬度对咖啡叶茶的研究中发现,较低的水硬度有增强冷泡咖啡叶茶甜味的趋势,依次可以推断出 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对减弱冷泡咖啡叶茶甜味有影响,与本研究 Mg^{2+} 与冷萃咖啡甜味呈显著负相关($P<0.05$)的结果相似。也有研究发现, Ca^{2+} 浓度的增加会减弱茶水的苦味、鲜味和甜味,增加涩味^[41],本研究在这方面的结果虽不显著,但值得关注的相同点是 Ca^{2+} 浓度的增加会减弱冷萃咖啡的

甜味且增加涩味。另外, K^+ 、 Na^+ 与冷萃咖啡的焦糖味、涩味、苦味、醇厚度呈显著正相关($P<0.05$),龚芝萍等^[30]关于水质对茶汤品质研究发现,离子含量较高的水冲泡的茶水带有涩味,可能是水样中 K^+ 、 Na^+ 作用的结果。

2.8 主成分分析

现有文献中关于水质因子对冷萃咖啡的影响未曾报道,为进一步探究水质因子对冷萃咖啡主要成分的影响,将具有代表性的挥发性成分、理化指标、感官及水质指标进行主成分分析(PCA)。主成分 1 的方差贡献率为 70.7%,主成分 2 的方差贡献率为 12.3%,两者总方差贡献率为 83.0%。由图 6 可知,6 组不同 TDS 值水样冲泡的冷萃咖啡样品在 PC1 维度上有很好的分离,较低 TDS 水样冲泡的咖啡样品(C_1 、 C_2)在 PC1 负轴上,较高 TDS 水样冲泡的咖啡样品(C_5 、 C_6)在 PC1 正轴上,而中等 TDS 水样冲泡的咖啡样品(C_3 、 C_4)位于 PC1 轴中点附近。

较低 TDS 水样冲泡的咖啡样品点(C_1 、 C_2)均位于第二象限,附近的感官特点是果味、余韵、酸味和花香味(蓝圈),可见水中较少的离子有利于咖啡中花果味、酸味物质的萃出,并且会增加咖啡的余韵。已有研究发现,缺乏电解质离子的水样会凸显咖啡的酸味,本研究结果与之相似^[42]。 C_5 咖啡样品点附近的感官特点是涩味、焦糖味、苦味,且与 Na^+ 、 K^+ 距离较近(黄圈),可见咖啡冲泡用水中较多的 Na^+ 、 K^+ 会促进咖啡中苦味、涩味和焦糖味的物质萃出,可能是因为含量过高的 Na^+ 会提升萃取效率^[43],从而导致更多苦味物质的萃出。从 ABTS⁺ 自由基当量和 C_5 咖啡样品点的距离来看,水中的 Na^+ 、 K^+ 可能会提高咖啡的 ABTS⁺ 自由基清除能力,一定程度上增强咖啡的抗氧化能力,可能是 Na^+ 、 K^+ 有利于绿原酸、咖啡酸

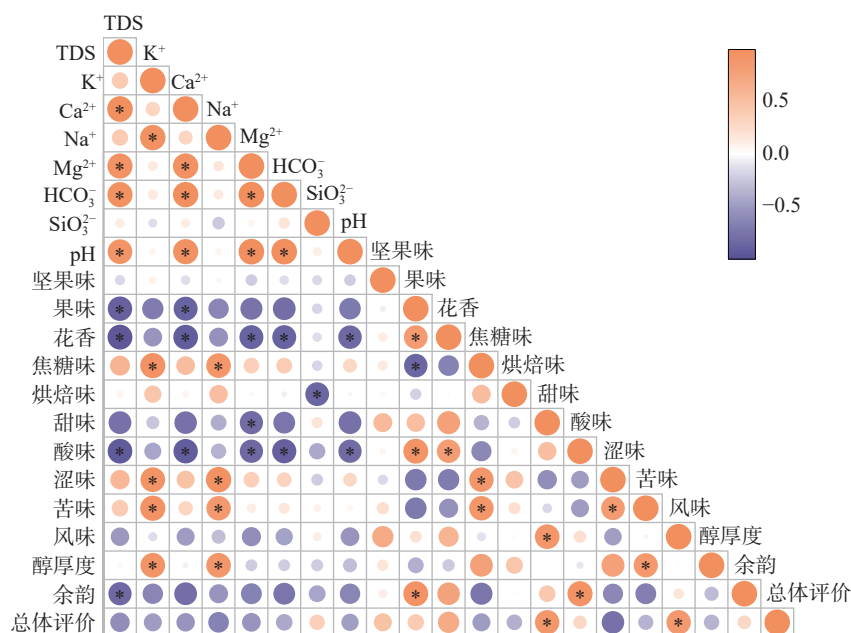


图 5 水质指标与冷萃咖啡感官的相关性分析

Fig.5 Correlation analysis of water quality index and sensory properties of cold brew coffee

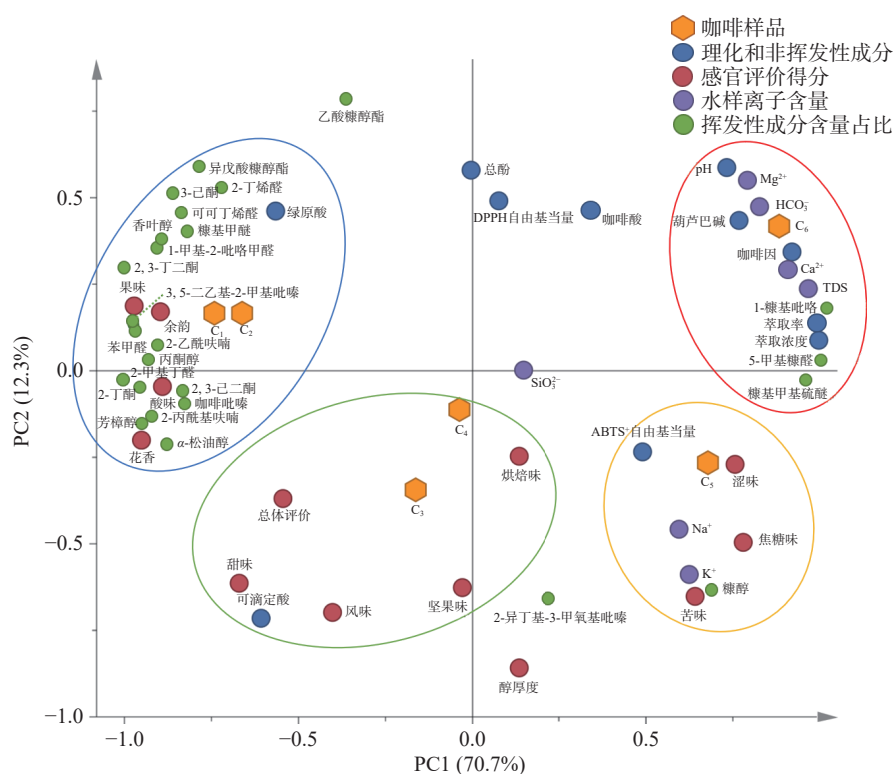


图6 6种水样冷萃咖啡主成分分析图

Fig.6 Principal component analysis of 6 kinds of water cold brew coffee

等具有较强抗氧化能力物质的萃出^[31],从而影响到冷萃咖啡抗氧化能力的提升。 C_6 咖啡冲泡用水是6个水样中TDS值最高的水样,且水中的 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 含量在6个水样中最高(红圈),由图6可得水中的离子会提高咖啡中活性物质的萃取率,尤其是咖啡因、葫芦巴碱的含量。咖啡因、葫芦巴碱是咖啡中主要的苦味物质^[44],这也是导致较高TDS值水样冲泡的咖啡苦味明显的重要原因。中等TDS水样冲泡的咖啡样品点(C_3 、 C_4)附近分布的感官评价都趋于正面, C_3 、 C_4 的咖啡样品具有较好的总体评价、烘焙味、甜味、坚果味和风味(绿圈),说明中等TDS值水样冲泡的咖啡总体感官品质较好。

从挥发性化合物含量占比看,大多数挥发性化合物都与较低TDS水样冲泡的咖啡样品点相聚集,分布于第二、三象限,可见大多数挥发性化合物的含量受离子变化影响较小。但1-糠基吡咯、5-甲基糠醛、糠基甲基硫醚与 C_6 样品点分布较近,糠醇、2-异丁基-3-甲氧基吡嗪与 C_5 样品点分布较近,分布于第一、四象限。因此,1-糠基吡咯、5-甲基糠醛、糠基甲基硫醚、糠醇、2-异丁基-3-甲氧基吡嗪受水中离子变化的影响较大,随着水样中离子含量的增加,这些挥发性化合物含量增幅明显。5-甲基糠醛、糠醇都是典型具有焦糖风味的挥发性成分^[37],因此随着水样TDS值的上升,咖啡样品焦糖味、苦味、涩味、烘焙味会逐渐明显。1-糠基吡咯、糠基甲基硫醚具有洋葱、蔬菜样的刺激性气味,接近于 C_6 样品点,说明随着水样TDS值的上升,一些负面的瑕疵风味也会随之产生。从与离子的距离看, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、

TDS值对1-糠基吡咯、5-甲基糠醛、糠基甲基硫醚含量的影响较大, Na^+ 、 K^+ 对糠醇含量的影响较大。已有文献报道,富含 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的水会与咖啡中更多的理想风味结合,实现更好的风味平衡^[24],与本研究结果不同,可能是过高的离子含量反而会导致瑕疵类风味的产生。

因此,适度地调整水样中的离子含量可能对改善冷萃咖啡的风味与感官品质有积极影响,较低的离子含量能促进咖啡花果风味的体现,较高的离子含量能促进咖啡焦糖、焙烤风味的体现。但由于水质因子的复杂性,没有一种特定的离子能使咖啡产生所有令人愉悦的风味,多个离子共同作用冷萃咖啡的复杂体系需要更系统地研究验证。

3 结论

以往对咖啡的研究主要集中在萃取方式或烘焙度对咖啡液成分的影响上,本研究探究了水质因子对冷萃咖啡的理化性质、抗氧化活性、非挥发性成分、挥发性成分和感官评价的影响。本研究发现水质因子对冷萃咖啡的萃取浓度、萃取率、pH、可滴定酸、咖啡因、葫芦巴碱和呋喃类挥发性成分有较大影响,主要影响的离子指标是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- ,但对总酚、绿原酸、咖啡酸、抗氧化活性影响较弱。结合PCA结果分析表明, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 有利于冷萃咖啡中葫芦巴碱、咖啡因的萃出,同时对咖啡的花果味、酸味、甜味等风味会有不同程度的减弱,水中 Na^+ 、 K^+ 对糠醇含量的影响较大,能促进咖啡焦糖味、苦涩味的体现。本研究对选择适合的冲泡水提升冷萃咖啡的感官品质提供了参考依据,但研究仅采用感

官评价的方式对冷萃咖啡的风味进行评价,具有一定的局限性,后续可通过 GC-O、电子鼻、电子舌等技术鉴定冷萃咖啡的特征风味。此外,鉴于水质因子的复杂性,需要进一步深入探究水中各种离子对冷萃咖啡共同作用的影响及其机制。

参考文献

- [1] RIDDER M. Global coffee consumption 2012/13-2020/21 [R/OL]. (2023-03-09) [2023-06-08]. <https://www.statista.com/statistics/292595/global-coffee-consumption/>.
- [2] HU G, PENG X, GAO Y, et al. Effect of roasting degree of coffee beans on sensory evaluation: Research from the perspective of major chemical ingredients[J]. *Food Chemistry*, 2020, 331(14): 127329.
- [3] JAIN A. Global cold brew coffee market report by distribution channel (supermarkets & hypermarkets, company owned outlets, convenience stores, online) and by regions - industry trends, size, share, growth, estimation and forecast, 2022-2030[R/OL]. (2022-12)[2023-06-08]. <https://www.valuemarketresearch.com/report/cold-brew-coffee-market>.
- [4] ANGELONI G, GUERRINI L, MASELLA P, et al. Characterization and comparison of cold brew and cold drip coffee extraction methods[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(1): 391-399.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] MUZYKIEWICZ-SZYMAŃSKA A, NOWAK A, WIRA D, et al. The effect of brewing process parameters on antioxidant activity and caffeine content in infusions of roasted and unroasted arabica coffee beans originated from different countries[J]. *Molecules*, 2021, 26(12): 3681.
- [8] SENINDE D R, CHAMBERS IV 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: 109667.
- [9] NAVARINI L, RIVETTI D. Water quality for espresso coffee[J]. *Food Chemistry*, 2010, 122(2): 424-428.
- [10] FIBRIANTO K, ARDIANTI A D, PRADIPTA K, et al. The influence of brewing water characteristic on sensory perception of pour-over local coffee[J]. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2018, 102: 012095.
- [11] MCGEE H. On food and cooking: The science and lore of the kitchen[M]. Simon and Schuster, 2007.
- [12] 唐文潇, 肖斌, 蒋天宁, 等. 烘焙度对冷萃咖啡理化指标与风味成分的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(24): 239-248. [TANG Wenxiao, XIAO Ying, JIANG Tianning, et al. Effect of roasting degree on physicochemical indexes and flavor components of cold brew coffee[J]. *Food Science*, 2022, 43(24): 239-248.]
- [13] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB 8538-2016 食品安全国家标准 饮用天然矿泉水检验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-187. [Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB 8538-2016 National food safety standard for drinking natural mineral water test method[S]. Beijing: China Standards Press, 2016: 1-187.]
- [14] LIANG J, CHAN K C, RISTENPART W D. An equilibrium desorption model for the strength and extraction yield of full immersion brewed coffee[J]. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 1-13.
- [15] 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.
- [16] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB 5009.139-2014 食品安全国家标准 饮料中咖啡因的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 1-4. [Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB 5009.139-2014 National food safety standard for determination of caffeine in beverages[S]. Beijing: China Standards Press, 2014: 1-4.]
- [17] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. NY/T 3012-2016 咖啡及制品中葫芦巴碱的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-3. [Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. NY/T 3012-2016 Determination of trigonelline in coffee and its products[S]. Beijing: China Standards Press, 2016: 1-3.]
- [18] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 22250-2008 保健食品中绿原酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-3. [Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 22250-2008 Determination of chlorogenic acid in health food[S]. Beijing: China Standards Press, 2008: 1-3.]
- [19] GÓRECKI M, HALLMANN E. The antioxidant content of coffee and its in vitro activity as an effect of its production method and roasting and brewing time[J]. *Antioxidants*, 2020, 9(4): 308.
- [20] LINGLE T R, MENON S N. Cupping and grading—Discovering character and quality[M]. The Craft and Science of Coffee, Academic Press, 2017: 181-203.
- [21] World Coffee Research. Research, world coffee, sensory lexicon: Unabridged definition and references[R]. USA: College Station, TX, 2017.
- [22] CHEONG M W, TONG K H, ONG J J M, et al. Volatile composition and antioxidant capacity of Arabica coffee[J]. *Food Research International*, 2013, 51(1): 388-396.
- [23] BONINO M, SCHELLINO R, RIZZI C, et al. Aroma compounds of an Italian wine (Ruché) by HS-SPME analysis coupled with GC-ITMS[J]. *Food Chemistry*, 2003, 80(1): 125-133.
- [24] HENDON C H, COLONNA-DASHWOOD L, COLONNA-DASHWOOD M. The role of dissolved cations in coffee extraction[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(21): 4947-4950.
- [25] SCHENKER S, HEINEMANN C, HUBER M, et al. Impact of roasting conditions on the formation of aroma compounds in coffee beans[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 67(1): 60-66.
- [26] BATALI M E, COTTER A R, FROST S C, et al. Titratable acidity, perceived sourness, and liking of acidity in drip brewed coffee[J]. *ACS Food Science & Technology*, 2021, 1(4): 559-569.
- [27] 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.
- [28] 李小满. 不同水质对绿茶饮料品质影响的研究[J]. 中国茶

- 叶加工, 2001(2): 28-30. [LI Xiaoman. Study on the influence of different water quality on green tea beverage quality[J]. Chinese Tea Processing, 2001(2): 28-30.]
- [29] SAMSONOWICZ M, REGULSKA E, KARPOWICZ D, et al. Antioxidant properties of coffee substitutes rich in polyphenols and minerals[J]. *Food Chemistry*, 2019, 278: 101-109.
- [30] 龚芝萍, 尹军峰, 陈根生. 不同类型水质对龙井茶汤风味品质及主要化学成分的影响[J]. 茶叶科学, 2020, 40(2): 215-224. [GONG Zhiping, YIN Junfeng, CHEN Gensheng. Effects of different water quality on flavor quality and main chemical components of Longjing tea soup[J]. Journal of Tea Science, 2020, 40(2): 215-224.]
- [31] TAJIK, N, TAJIK, M, MACK, I, et al. The potential effects of chlorogenic acid, the main phenolic components in coffee, on health: A comprehensive review of the literature[J]. *European Journal of Nutrition*, 2017, 56(7): 2215-2244.
- [32] CAO Q Q, WANG F, WANG J Q, et al. Effects of brewing water on the sensory attributes and physicochemical properties of tea infusions[J]. *Food Chemistry*, 2021, 364(2): 130235.
- [33] 高欣. 浅谈水中离子对啤酒酿造的影响[J]. 中国食品工业, 2022(22): 102-105. [GAO Xin. Discussion on the influence of ions in water on beer brewing[J]. China Food Industry, 2022(22): 102-105.]
- [34] VUONG Q V, GOLDING J B, STATHOPOULOS C E, et al. Effects of aqueous brewing solution pH on the extraction of the major green tea constituents[J]. *Food Research International*, 2013, 53(2): 713-719.
- [35] 马春华, 林志奎, 朱雪芬, 等. 不同水质泡茶对武夷岩茶品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(15): 235-240. [MA Chunhua, LIN Zhiluan, ZHU Xuefen, et al. Influence of different water quality on quality of Wuyi rock tea[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(15): 235-240.]
- [36] 吕文佳, 翟晓娜, 杨凯舟, 等. 不同烘焙强度对云南咖啡主要挥发香气成分的影响[J]. 食品科学技术学报, 2015, 33(3): 13-21. [LÜ Wenjia, ZHAI Xiaona, YANG Kaizhou, et al. Effects of different roasting intensity on main volatile aroma components of Yunnan coffee[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 33(3): 13-21.]
- [37] MOON J K, SHIBAMOTO T. Role of roasting conditions in the profile of volatile flavor chemicals formed from coffee beans[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(13): 5823-5831.
- [38] DIPPONG T, DAN M, MELINDA H K, et al. Analysis of volatile compounds, composition, and thermal behavior of coffee beans according to variety and roasting intensity[J]. *Foods*, 2022, 11: 3146.
- [39] CORDOBA 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*, 2021, 145: 111363.
- [40] KIKI F, SUDARMINTO S Y, DEVY S. Influence of water hardness on functional and sensory quality of cold infused robusta coffee leaf tea[J]. *Advances in food science, sustainable agriculture and agroindustrial engineering*, 2022, 5(2): 201-205.
- [41] YIN J F, ZHANG Y N, DU Q Z, et al. Effect of Ca^{2+} concentration on the tastes from the main chemicals in green tea infusions[J]. *Food Research International*, 2014, 62: 941-946.
- [42] PANGBORN R M, TRABUE I M, LITTLE A C. Analysis of coffee, tea and artificially flavored drinks prepared from mineralized waters[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 36(2): 185-362.
- [43] GARDNER D G. Effect of certain ion combinations commonly found in potable water on rate of filtration through roasted and ground coffee[J]. *Journal of Food Science*, 1958, 23(1): 76-84.
- [44] FUJIMOTO H, NARITA Y, IWAI K, et al. Bitterness compounds in coffee brew measured by analytical instruments and taste sensing system[J]. *Food Chemistry*, 2021, 342: 128228.