

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240826001

引用格式: 冯黎莎. 湿法发酵小粒咖啡工艺优化及咖啡品质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(7): 282–288.

FENG LS. Process optimization and quality analysis of small grain coffee by wet fermentation [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(7): 282–288. (in Chinese with English abstract).

湿法发酵小粒咖啡工艺优化及咖啡品质分析

冯黎莎*

(云南开放大学, 云南国防工业职业技术学院化学工程学院, 文山 650504)

摘要: 目的 深入探索并优化小粒咖啡的湿法发酵工艺, 同时对该工艺条件下制得的咖啡进行品质分析。**方法** 首先对精选的小粒咖啡鲜果进行清洗与脱皮处理, 随后在防水环境中引入自然微生物进行充分发酵。发酵完成后, 去除黏液并进行妥善干燥, 完成湿法发酵全过程。在咖啡品质实验中, 利用发酵罐制备实验样品, 采用分光光度计测定咖啡的没食子酸、葡萄糖、咖啡因、游离氨基酸的含量值, 并开展了湿法发酵环节的抗氧化性测试及感官评价实验。**结果** 湿法发酵工艺显著优化了咖啡的各项指标, 不仅香气更加浓郁持久, 甜度与口感也达到完美平衡, 展现出醇厚细腻的优良品质, 且咖啡的抗氧化性能尤为突出。**结论** 本研究可为市场提供更高品质的咖啡选择。

关键词: 小粒咖啡; 湿法发酵; 咖啡发酵工艺; 品质

Process optimization and quality analysis of small grain coffee by wet fermentation

FENG Li-Sha*

(School of Chemical Engineering, Yunnan Polytechnic of National Defense Industry, Yunnan Open University, Wenshan 650504, China)

ABSTRACT: Objective To further explore and optimize the wet fermentation process of small grain coffee, and conduct quality analysis on the coffee produced under this process condition. **Methods** Firstly, the selected small coffee fresh fruits were cleaned and peeled, and then natural microorganisms were introduced in a waterproof environment for full fermentation. After fermentation, the mucus was removed, and it was dried properly to complete the entire wet fermentation process. In the coffee quality experiment, a fermentation tank was used to prepare experimental samples, and the content values of gallic acid, glucose, caffeine, and free amino acids in coffee were measured using a spectrophotometer. The experiment of antioxidant activity and sensory evaluation of wet fermentation was carried out. **Results** The wet fermentation process significantly optimized various indicators of coffee, not only made the aroma more rich and long-lasting, but also achieved a perfect balance between sweetness and taste, demonstrating excellent quality of richness and delicacy, and the antioxidant properties of coffee were particularly outstanding. **Conclusion** This study can provide the market with higher quality coffee options.

KEY WORDS: small grained coffee; wet fermentation; coffee fermentation process; quality

收稿日期: 2024-08-26

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金项目(2018JS367)

第一作者/*通信作者: 冯黎莎(1981—), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向为资源植物。E-mail: mali987687@163.com

0 引 言

小粒咖啡,这一咖啡品种以其植株高度一般在 5~8 m 之间而著称。它最初源自非洲大陆,但如今已在全球多个地区得到了广泛的栽培。特别是在云南等拥有适宜气候条件的地方,小粒咖啡不仅成功落地生根,还孕育出了独具一格的云南小粒咖啡,深受人们喜爱^[1]。值得一提的是,小粒咖啡不仅在中国享有盛誉,在全球范围内也被公认为品质较好的咖啡之一^[2]。其独特的口感和风味,使得它在咖啡市场上占据了举足轻重的地位。

在当前的小粒咖啡加工工艺中,应用较为广泛的有干法、湿法以及半湿法等^[3-5]。相较于其他两种方法,小粒咖啡的湿法发酵工艺可以通过精确控制发酵条件,包括温度、湿度和时间等,确保发酵过程的稳定性和可重复性,保持咖啡豆品质的稳定性,在实践应用中有着较高的生产稳定性水平。同时,小粒咖啡的外果皮上含有由糖、酶、原果胶质和果胶质组成的黏液,这些物质难以直接去除。通过湿法发酵,这些黏液在细菌的作用下自然溶解,便于后续的清洗过程,从而确保咖啡豆表面的清洁度^[6-8]。这不仅有助于减少微生物的滋生,避免咖啡在贮藏过程中出现霉味等不良风味,还能确保在烘焙与冲泡过程中,咖啡风味得以稳定且充分地释放。

但当前的小粒咖啡湿法发酵工艺仍不够成熟,存在水资源过度浪费等问题。对此,本研究针对小粒咖啡的湿法发酵工艺进行设计^[9-11]。在这一发酵工艺中,咖啡豆中的糖类物质在酶的作用下发生复杂的生化反应,产生多种芳香化合物,这些化合物赋予了咖啡独特的香气和口感。

为了验证湿法发酵工艺对咖啡品质的影响,本研究主要开展了系列的咖啡品质实验分析,分析了发酵条件(涵盖温度、湿度、时间等要素)与咖啡品质之间的联系。在此过程中,严格控制发酵环境,包括温度、湿度、发酵时长以及微生物活性的调节,确保咖啡豆在发酵流程中达到最优状态。通过精确调控上述发酵条件,能够提升咖啡的整体品质,进而为生产人员提供调整咖啡风味特性的科学依据,以满足市场上不同消费者的多元化需求。

1 材料与方 法

1.1 材料、试剂与仪器

本研究选用产自云南的小粒咖啡鲜果作为实验对象。该咖啡鲜果采摘于云南省普洱市咖啡工业园区,生长环境的海拔高度约为 1300 m。对采购的咖啡鲜果进行筛选,标准如表 1 所示。材料选取中,应选取若干个颗粒饱满、无瑕疵的小粒咖啡鲜果^[12-13]。

福林酚(优级纯,上海鼓臣生物技术有限公司);甲醇(分析纯,上海源叶生物技术有限公司);磷酸氢二钠(化学

纯,河南标准物质研发中心);鼠李糖(化学纯,天津西典化学科技有限公司);石油醚(优级纯,深圳鑫荷实业有限公司);乳酸菌(活菌数量:1000 亿 CFU/g,西安超邦生物科技有限公司);酿酒酵母(活菌数量:200 亿个/袋,山东新佰源生物科技有限公司)。

表 1 咖啡鲜果样品筛选
Table 1 Selection of fresh coffee fruit samples

标准	参数
果长/mm	12~16
直径/mm	10~12
形态	背面凸起,腹面平坦
纵槽长度/mm	8~10
纵槽直径/mm	5~7

GS8100-3L/B 发酵罐(上海广世生物工程设备有限公司);KL-TZ-JB 同轴分散搅拌机(安徽库勒机电科技有限公司);GDH 恒温加热器(南京舜玛仪器设备有限公司);LS-TH01 温度传感器(深圳市微科易控智能系统有限公司);UV-1700 分光光度计(上海美析仪器有限公司);BA1104IE 微量分析天平(精度 0.1 mg,杭州秋籁科技有限公司);DHG-9023A 台式电热鼓风干燥箱(无锡玛瑞特科技有限公司);YT-FM1T 全自动还原糖测定仪(山东云唐智能科技有限公司);CBMF06 多样品组织研磨仪[上海测博生物科技发展有限公司(有限合伙)];AW-PAL-401 咖啡浓度仪(郑州兆为仪器设备有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 小粒咖啡湿法发酵工艺设计

(1)前期准备

选用高品质的小粒咖啡鲜果 1000 kg,去除其中的杂质和不良果实后,经过发酵和晾晒处理,最终获得的咖啡豆重量大约为 800 kg。将筛选出的咖啡鲜果放入清水池中清洗,除掉咖啡鲜果表面的泥污和杂物^[14-15]。同时,通过浮选的方式进一步去除其中的不良果实。在此基础上,采用合适的脱皮机进行小粒咖啡的脱皮,得到带黏液层的咖啡豆。咖啡鲜果的层次结构如图 1 所示。基于图 1 的层次结构,采用脱皮机去除胚乳外层的全部果皮层次,得到含有胚乳和中间线的咖啡豆。由此完成小粒咖啡湿法发酵工艺的前期准备环节。

(2)湿法发酵

将脱皮处理后的小粒咖啡豆放置在防水的发酵池中,并加入适量的水进行发酵。发酵时间设置为 12~72 h。在发酵的过程中定时观察咖啡豆的发酵状态^[16-18],并记录咖啡豆的温度、湿度以及发酵池中的微生物活性等数据。当咖啡豆呈现表面略有粗糙感的状态时,即完成发酵。

在湿法发酵过程中,咖啡豆的各类物质元素变化如图 2 所示。

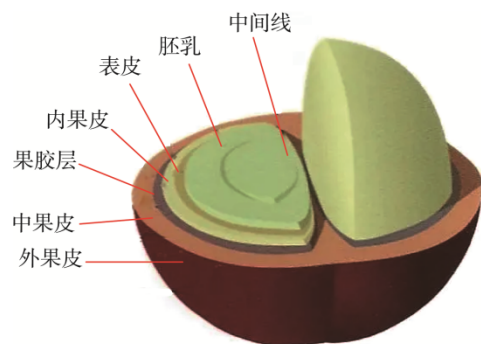
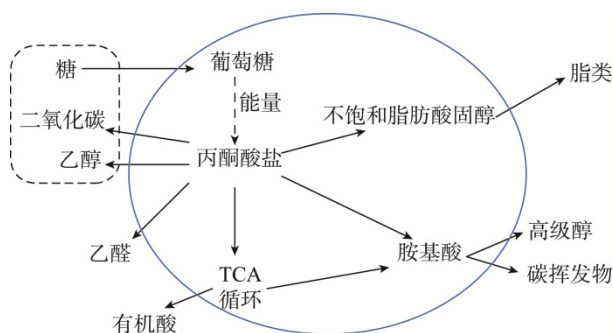


图 1 咖啡鲜果层次结构
Fig.1 Hierarchical structure of fresh coffee fruits



注：三羧酸(tricarboxylic acid, TCA)循环。

图 2 咖啡豆湿法发酵物质元素变化
Fig.2 Changes in elemental substances during wet fermentation of coffee beans

发酵过程中，咖啡豆中的糖被微生物，如酵母和细菌等，逐渐转化为酒精和酸等化合物^[19-21]。同时，咖啡豆表面的黏液层在微生物的作用下逐渐分解。发酵完成后，采用清水洗去咖啡豆表面的黄色果胶。洗涤过程需要重复多次，以确保咖啡豆完全清洗干净^[22-23]。

(3)后期处理

发酵结束后，洗涤后的咖啡豆需要进行干燥处理以降低水分含量。使用专门的干燥机或者在自然环境下进行晾晒。

在干燥的过程中，实时监测干燥环境的湿度状态，使咖啡豆始终保持在较低的湿度环境下，防止咖啡豆在干燥过程中重新吸收水分。此外，在咖啡豆干燥的全程，定期翻动咖啡豆，从而保证咖啡豆均匀受热，较好地完成干燥处理。

当咖啡豆的含水量达到 10.0%~12.0%后，完成干燥处理过程。将干燥的咖啡豆放置在干燥、通风且避光的环境中进行储存^[24-25]，避免后期环境造成咖啡豆受潮、发霉或变质的问题。

通过上述步骤，完成小粒咖啡的湿法发酵过程，实现工艺流程的设计。

1.2.2 咖啡品质分析

将满足标准的咖啡鲜果随机划分为 50 等份[图 3(a)]，

并在发酵罐中采用本研究所设计的工艺进行湿法发酵。完成发酵后的咖啡豆状态如图 3(b)所示。



注：a. 发酵前咖啡豆；b. 发酵后咖啡豆；c. 研磨的咖啡豆样品。

图 3 咖啡样品

Fig.3 Coffee samples

将清洗干净并干燥的咖啡豆采用多样品组织研磨仪研磨成咖啡粉，得到如图 3(c)所示的样品。在此基础上，按照欧洲精品咖啡协会(Specialty Coffee Association of Europe, SCAE)的国际标准，采用 98 °C 的热水进行冲泡^[26-30]，热浸 50 min 后，过滤得到咖啡溶液样品。

1.3 数据处理

本研究采用 Excel 2019 和 VISIO 2016 制表和绘图，直观展示咖啡溶液含量及品质评价结果。

2 结果与分析

2.1 没食子酸、葡萄糖、咖啡因、游离氨基酸含量测定结果分析

取 100 mL 的咖啡溶液样品，在其中加入 3 mL 福林酚和 5 mL 甲醇溶液，并加入蒸馏水定容至 50 mL 充分摇匀。将混匀后的溶液放置在恒温加热器中，在 50 °C 的温度环境下反应 60 min。完成反应后，采用温度传感器对溶液的温度进行监测，待完全冷却至室温后，采用分光光度计以及全自动还原糖测定仪等设备对咖啡溶液样品中的多项含量(没食子酸、葡萄糖、咖啡因、游离氨基酸)进行测定。在本研究中，为减小结果误差，共测定 5 组咖啡溶液样品，并计算相应的平均值作为测定结果。

根据测定的含量标准曲线结果，计算咖啡溶液样品中没食子酸、葡萄糖、咖啡因、游离氨基酸的含量，分别为 3.3 g/L、28.18 mg/g、0.96 g/L、0.26 g/L。

咖啡溶液样品中没食子酸含量的标准曲线线性回归方程为 $Y=0.0094X+0.0062$ ，相关系数(r^2)为 0.994，表明该线性模型对数据有很好的拟合度。没食子酸是一种天然多酚类化合物，具有抗氧化、抗炎等多种生物活性。在湿法发酵过程中，没食子酸的含量变化可被视为咖啡豆中抗氧化物质保留情况的一个重要指标。如果咖啡溶液中的没食子酸含量随着发酵过程的深入而呈现出显著的增长趋势，这意味着咖啡豆中的抗氧化物质得到较充分的保留。相反，如果其含量出现下降，则可能表明抗氧化物质在发酵过程中遭到降解或损失。

葡萄糖是咖啡豆中的主要糖类成分之一,其含量变化可以反映咖啡豆在发酵过程中的糖代谢情况。葡萄糖含量标准曲线具有很高的拟合度($r^2=0.9962$),表明在给定的浓度范围内,线性相关性良好。

咖啡因是咖啡中特有的生物碱,具有提神醒脑的作用。在湿法发酵过程中,咖啡因的含量变化可以反映咖啡豆中生物碱类物质的稳定性。咖啡溶液样品中咖啡因含量的标准曲线线性回归方程为 $Y=0.0163X+0.00124$,随着咖啡因浓度的增加,吸光度也呈现出相应的线性增长趋势。相关系数(r^2)高达 0.9999,表明该模型对数据具有很好的拟合度,即吸光度与咖啡因浓度之间存在强烈的线性相关性。这为量化分析咖啡样品中咖啡因的含量提供了可靠的方法。

游离氨基酸是咖啡豆中重要的风味前体物质,其含量变化对咖啡的风味品质具有重要影响。咖啡溶液样品中游离氨基酸含量的标准曲线线性回归方程为 $Y=0.0157X+0.0227$,相关系数(r^2)高达 0.9994,非常接近 1,这充分说明线性回归模型对数据具有很好的拟合度。通过该标准曲线,科研人员可以准确地测量出咖啡豆中游离氨基酸的含量,进而分析其对咖啡风味品质的影响。

2.2 含水量测定结果分析

为了确保实验结果的可靠性和准确性,本研究在每个时间点都设置了至少 3 个平行实验组,这样可以减少由于操作误差、仪器误差或偶然因素导致的实验误差。通过对各时间点的平行实验组数据进行方差分析,可以评估不同时间点之间含水量的差异是否具有统计学意义。对发酵过程中咖啡豆中含水量状态进行测定的结果如图 4 所示。本研究测定了 60 h 内的含水量状态,分析发现小粒咖啡在发酵过程中基本呈现为含水量下降的趋势。发酵初期,咖啡豆吸收了外界的少量水分,含水量呈现小幅度地升高。在 20~37 h 时段,含水量大幅度降低,这很可能与微生物

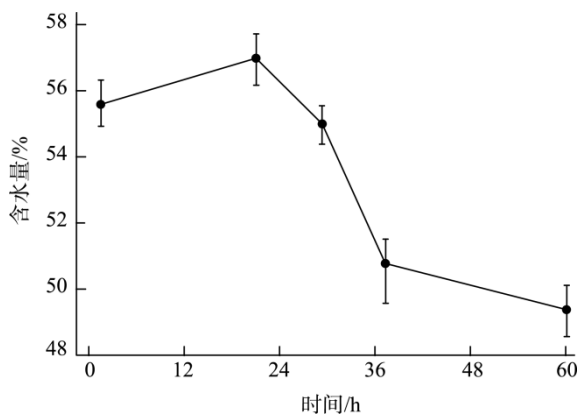


图 4 含水量测定结果

Fig.4 Measurement results of moisture content

活动的增强密切相关。在这一阶段,微生物(如细菌、酵母等)大量繁殖,它们通过代谢活动消耗咖啡豆中的水分和可溶性物质,产生各种风味物质和挥发性化合物。后续阶段,含水量下降速度逐渐减缓,这可能是由于微生物活动逐渐减弱,或者咖啡豆中的水分已经接近一个稳定的最低水平。此外,随着发酵的进行,咖啡豆的结构也可能发生变化,如细胞壁的破坏、可溶性物质的释放等,这些变化可能影响了水分的进一步释放和消耗。

2.3 抗氧化性能测定结果分析

选取了未研磨的发酵咖啡豆 50 粒,平均分为 5 份样品作为一组实验数据(即一个平行实验组),重复上述实验过程至少 3 次,即设置了 3 个平行实验组。在每个平行实验组中,本研究都按照相同的步骤与 10 mL 石油醚混合,并采用同轴分散搅拌机进行充分搅拌,然后加入 100 mL 蒸馏水制备出样品溶液。采用半微量分析天平测定混合物中的水溶性维生素 E 成分含量,结果如图 5 所示。由图 5 分析可知,咖啡样品中的水溶性维生素 E 成分基本在 2~3 mmol/L 的范围内。在此基础上,采用 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除法测定咖啡溶液的抗氧化性能。结果显示,经过湿法发酵的小粒咖啡溶液表现出显著的抗氧化活性,其 DPPH 自由基清除率显著高于未发酵的咖啡溶液。方差分析的结果显示,不同平行实验组之间的抗氧化性能测定结果没有显著差异,说明实验数据具有较好的稳定性和一致性。同时,发酵咖啡溶液与未发酵咖啡溶液之间的 DPPH 自由基清除率存在显著差异,进一步证实了湿法发酵工艺不仅优化了咖啡的风味和品质,还显著提升了其抗氧化性能。

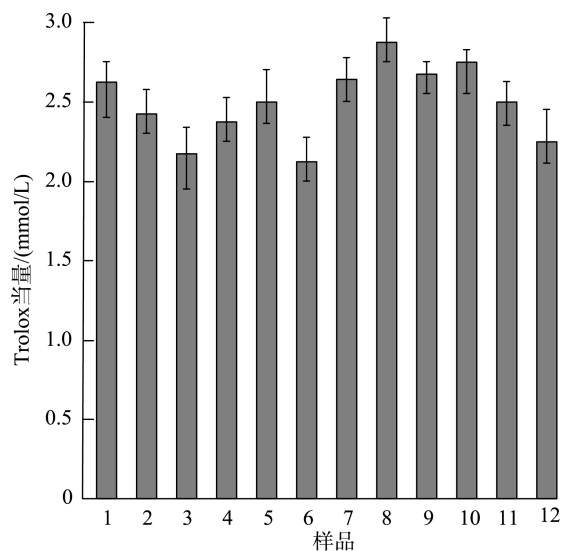


图 5 水溶性维生素 E 的含量

Fig.5 Content of water-soluble vitamin E

2.4 咖啡品质感官评价

基于 SCA 杯测协议，对咖啡的感官品质进行评价分析。邀请 10 名咖啡品鉴师按照如表 2 所示的属性分数进行评价。

表 2 咖啡品质感官评价标准
Table 2 Sensory evaluation criteria for coffee quality

指标	评价标准	权重/%
香气	适中(91~100 分)	20
	极度强烈(76~90 分)	
	可识别(60~75 分)	
苦度	适中苦味(91~100 分)	10
	微苦(76~90 分)	
	浓郁苦味(60~75 分)	
甜度	适中甜味(91~100 分)	10
	微甜(76~90 分)	
	浓郁甜味(60~75 分)	
醇厚度	浓厚顺滑(91~100 分)	20
	清爽顺滑(76~90 分)	
	质密黏稠(60~75 分)	
酸度	愉悦酸味(91~100 分)	30
	平和酸味(76~90 分)	
	尖锐酸味(60~75 分)	
一致性	60~100 分	10

基于表 2 中的 6 个评价维度，得到本次咖啡品质的测定结果，如图 6 所示。

结合图 6 和表 2 中的感官评价标准，对咖啡的香气、苦度、甜度和醇厚度等 6 个维度进行评分，发现咖啡在香气、甜度和醇厚度方面均获得了较高的评分，表明湿法发酵工艺显著提升了咖啡的整体品质。此外，感官评价的一致性较高，说明本次评价结果具备较高的参考性。

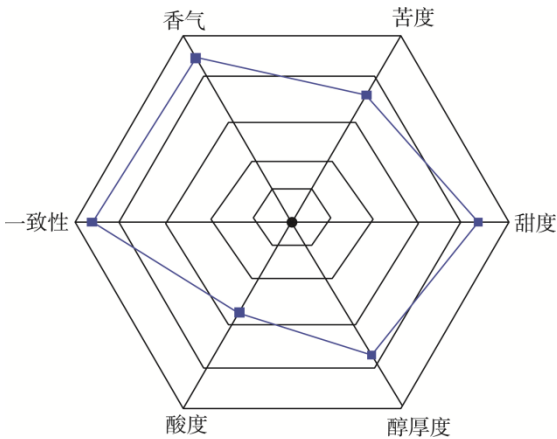


图 6 咖啡品质感官评价
Fig.6 Sensory evaluation of coffee quality

3 讨论

由上述的咖啡品质实验结果可知，湿法发酵过程中微生物作用使得咖啡豆中的糖分转化为酒精和酸等化合物，为咖啡带来了丰富的风味物质。发酵过程中咖啡豆表面的黏液层被有效分解，提高了咖啡豆的清洁度。此外，湿法发酵还显著提升了咖啡的抗氧化性能，为市场提供了更高质量的咖啡选择。具体如下：

- (1)小粒咖啡湿法发酵工艺所浸泡出的咖啡，含有一定的没食子酸，为咖啡增添了一定的酸度风味，但整体水平并不算太高，未呈现出较大的酸味。
- (2)相比于其他已知工艺制作的咖啡，咖啡中的葡萄糖含量较高，赋予了它更为适中的甜味，从而在一定程度上提升了咖啡的整体风味。
- (3)咖啡中的咖啡因含量整体较为适中，不会因为过高的咖啡因含量导致咖啡变得过于苦涩，口感较为醇厚。
- (4)咖啡中的游离氨基酸含量较高，有助于保持咖啡风味的稳定性。在咖啡冲泡的过程中，游离氨基酸参与化学反应，生成更多的挥发性香气成分和风味物质，不仅增强了咖啡的香气，还使得咖啡的香味更加复杂和持久。
- (5)咖啡在湿法发酵环节中，含水量的变化规律表明咖啡豆中的好氧微生物大量生长，使得发酵过程较为完全。同时，在发酵后期，好氧微生物的生长在酸性环境下受到一定的抑制，保持了咖啡的原有风味。
- (6)咖啡中的水溶性维生素 E 含量较高。这一物质使得咖啡能够抑制自由基，具有更高的抗氧化性能。
- (7)杯测结果说明咖啡有着高水平的香气以及甜度水平，酸度与苦度均适中，醇厚度优良，整体品质较优。

4 结论

本研究设计了一套针对小粒咖啡的湿法发酵工艺，该工艺有效提升了咖啡的香气，同时保留了其独特的口感和风味。品质分析结果显示，湿法发酵工艺能够显著降低咖啡豆中不良风味物质的含量，同时增加有益风味物质的生成，从而提高了咖啡的感官品质和营养价值，为咖啡产业提供了一种新的、高效的加工方法。

参考文献

[1] 李学玲, 龙婷, 杨莉, 等. 超声辅助酶法提取咖啡果皮白藜芦醇工艺优化及其体外抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(24): 71–77.
LI XL, LONG T, YANG L, *et al.* Optimization of ultrasound-assisted enzymatic method extraction and antioxidant activity of resveratrol from coffee bean peels [J]. Food Research and Development, 2023, 44(24): 71–77.

[2] 沈晓静, 袁文娟, 邵俊文, 等. 云南小粒咖啡生豆的抗氧化及 α -淀粉酶抑制活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(5): 96–102.
SHEN XJ, YUAN WJ, SHAO JW, *et al.* Analysis of antioxidant activity

- anda-amylase inhibition activities of Yunnan *Coffea arabica* [J]. China Food Additives, 2023, 34(5): 96–102.
- [3] 王国莉, 黄齐林, 严亚铃, 等. 咖啡壳中咖啡因的提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 现代农业科技, 2023(13): 201–205.
- WANG GL, HUANG QL, YAN YL, *et al.* Study on extraction technology and antioxidant activity of caffeine from coffee husks [J]. Modern Agricultural Science Technology, 2023(13): 201–205.
- [4] 李雪瑞, 刘秀薇, 李宏, 等. 湿法加工关键环节对咖啡品质的影响[J]. 食品与机械, 2023, 39(6): 195–200.
- LI XR, LIU XW, LI H, *et al.* Effects of wet processing on coffee quality [J]. Food Machinery, 2023, 39(6): 195–200.
- [5] 赵桐桦, 徐心悦, 罗麟霜, 等. 咖啡湿法发酵中产醇酵母的筛选及产醇条件优化[J]. 食品工业, 2023, 44(7): 44–48.
- ZHAO TH, XU XY, LUO LS, *et al.* Screening of ethanol-producing yeast in coffee degumming and optimization of ethanol-producing conditions [J]. Food Industry, 2023, 44(7): 44–48.
- [6] 徐媛, 王璐, 王红波, 等. 云南小粒咖啡生豆烘焙特性研究及烘焙工艺优化[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2023, 51(3): 5–18.
- XU Y, WANG L, WANG HB, *et al.* Roasting characteristics and roasting process optimization of small grain green coffee bean in Yunnan Province [J]. Journal of Jiangnan University (Natural Science Edition), 2023, 51(3): 5–18.
- [7] 张树竹, 蒙锦, 薛笑然, 等. 基于云南小粒咖啡湿法加工的异常威克汉姆酵母产果胶酶发酵条件优化(英文)[J]. Agricultural Science Technology, 2022(3): 30–39.
- ZHANG SZ, MENG J, XUE XR, *et al.* Optimization of Wickerhamomyces anomalus fermentation conditions for pectinase production based on wet processing of arabica coffee in Yunnan Province [J]. Agricultural Science Technology, 2022(3): 30–39.
- [8] 路莎莎, 李斐, 王凝, 等. 响应面法优化叶下珠中没食子酸、咖啡酸和原儿茶酸的提取工艺[J]. 河西学院学报, 2023, 39(2): 52–59.
- LU SS, LI F, WANG N, *et al.* Star-point design response surface methodology optimize phyllanthus urinary of gallic acid, caffeic acid and protocathechuic extraction process [J]. Journal Hexi University, 2023, 39(2): 52–59.
- [9] 蒙锦, 张树竹, 赵桐桦, 等. 小粒咖啡湿法发酵中产果胶酶菌株的筛选鉴定及产酶条件优化[J]. 云南民族大学学报: 自然科学版, 2023, 32(2): 192–198.
- MENG J, ZHANG SZ, ZHAO TH, *et al.* Screening and identification of pectinase-producing strains in wet fermentation of *Coffea arabica* and optimization of enzyme-producing conditions [J]. J Yunnan Minzu University (Natural Science Edition), 2023, 32(2): 192–198.
- [10] 张柏生, 热依木古丽·阿布都拉, 信学雷, 等. 洋甘菊中2种咖啡酰基奎宁酸大孔树脂纯化工艺的优化[J]. 食品与药品, 2023, 25(2): 203–208.
- ZHANG BS, REYIMUGULI ABDL, XIN XL, *et al.* Optimization of purification process of two cafeoyl quinic acids by macroporous resins from chamomile [J]. Food and Drug, 2023, 25(2): 203–208.
- [11] 郑琰, 赵丽娟. 响应面优化微波协同双水相体系提取咖啡豆中绿原酸的工艺研究[J]. 现代食品, 2022, 28(24): 97–101, 106.
- ZHENG Y, ZHAO LJ. Study on the extraction of chlorogenic acid from coffee bean by microwave assisted two-phase system optimized by response surface [J]. Modern Food, 2022, 28 (24): 97–101, 106.
- [12] 张树竹, 薛笑然, 孔德婷, 等. 云南小粒种咖啡初加工技术及生物脱胶应用展望[J]. 热带农业科技, 2023, 46(2): 33–37.
- ZHANG SZ, XUE XR, KONG DT, *et al.* Application prospect for primary processing technology and biological degumming of *Coffea arabica* in Yunnan Province [J]. Tropical Agricultural Science Technology, 2023, 46(2): 33–37.
- [13] 赵林芬, 弘子珊, 杨凯, 等. 酿酒酵母多物混合发酵对咖啡豆风味品质的影响[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39(4): 72–78.
- ZHAO LF, HONG ZS, YANG K, *et al.* Effect of multi-composition mixed fermentation of *saccharomyces cerevisiae* on flavor quality of coffee beans [J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 39(4): 72–78.
- [14] 李泽林, 李梦月, 赵春燕, 等. 云南小粒咖啡果皮果胶酶提取工艺的优化及其结构表征[J]. 中国调味品, 2022, 47 (10): 12–17.
- LI ZL, LI MY, ZHAO CY, *et al.* Optimization of enzymatic extraction process of pectin from Yunnan *Coffea arabica* peel and its structural characterization [J]. China Condiment, 2022, 47(10): 12–17.
- [15] 杜娇, 董文江, 程金煊, 等. 超声波辅助冷萃制备咖啡液工艺优化及其理化特性分析[J]. 热带作物学报, 2022, 43(10): 2122–2131.
- DU J, DONG WJ, CHENG JH, *et al.* Optimization of ultrasonic-assisted cold extraction process for coffee liquor preparation and its physicochemical characteristics [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(10): 2122–2131.
- [16] 黄梦, 苏丽媛, 张丽红, 等. 咖啡精油超临界CO₂萃取工艺优化及理化特性分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 145–154.
- HUANG M, SU LY, ZHANG LH, *et al.* Optimisization of supercritical CO₂ extraction process and analysis of physicochemical properties of coffee essential oil [J]. Science and Technology Food Industry, 2022, 43(3): 145–154.
- [17] 沈晓静, 黄璐璐, 聂凡秋, 等. 云南小粒咖啡花多糖提取工艺优化及其抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(4): 238–245.
- SHEN XJ, HUANG LL, NIE FQ, *et al.* Study on optimization of extraction technology and antioxidant activity of polysaccharides from Yunnan *Coffea arabica* flowers [J]. Science and Technology Food Industry, 2022, 43(4): 238–245.
- [18] 陈云兰, 李积华, 陈文进, 等. 云南4个产区咖啡豆的主要风味成分及感官品质分析[J]. 热带作物学报, 2024, 45 (7): 1445–1454.
- CHEN YL, LI JH, CHEN WJ, *et al.* Analysis of main flavor components and sensory quality of coffee beans from four production areas in Yunnan [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2024, 45(7): 1445–1454.
- [19] 姚倩儒, 于忠钊, 张德鹏, 等. 应用于烘焙产品的咖啡麦芽预拌粉储藏期内的品质变化研究[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(1): 105–112.
- YAO QR, YU ZZ, ZHANG DP, *et al.* Study on the quality changes of coffee malt premixed powder applied to baking products during storage [J]. Science and Technology of Cereals Oils and Food, 2024, 32(1): 105–112.
- [20] 赵茜, 苗玥, 季圣阳, 等. 咖啡豆品质评价体系构建及国产咖啡豆品质评价[J]. 食品科学, 2024, 45(3): 193–202.

- ZHAO X, MIAO Y, JI SY, *et al.* Construction of quality evaluation systems for coffee beans and their application to Chinese coffee beans [J]. Food Science, 2024, 45(3): 193–202.
- [21] 徐心悦, 赵桐桦, 万丽琼, 等. 咖啡产香酵母的分离鉴定及其挥发性成分分析[J]. 食品工业, 2023, 44(6): 137–142.
- XU XY, ZHAO TH, WAN LQ, *et al.* Molecular identification and analysis of volatile components of aroma-producing yeast isolated from coffee [J]. The Food Industry, 2023, 44(6): 137–142.
- [22] 沈晓静, 解富娟, 黄璐璐, 等. 小粒咖啡多糖的水-碱连续提取及其抗氧化活性比较研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(9): 42–47.
- SHEN XJ, XIE FJ, HUANG LL, *et al.* Water-alkali continuous extraction of crude polysaccharides from Arabic coffee beans and comparative study on their antioxidant activities [J]. China Food Additives, 2023, 34(9): 42–47.
- [23] 沈晓静, 解富娟, 黄璐璐, 等. 咖啡生豆多糖的纯化及抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(12): 85–90.
- SHEN XJ, XIE FJ, HUANG LL, *et al.* Purification and antioxidant activity of polysaccharide from green coffee beans [J]. China Food Additives, 2023, 34(12): 85–90.
- [24] 李雪瑞, 严静, 刘秀敏, 等. 基于主成分分析优化咖啡微水脱胶工艺[J]. 食品工业科技, 2023, 44(18): 217–224.
- LI XR, YAN J, LIU XW, *et al.* Optimization of coffee micro-water degumming process based on principal component analysis [J]. Science and Technology Food Industry, 2023, 44(18): 217–224.
- [25] 李钰莲, 郑建伟, 黄旭辉, 等. 多组学技术融合电子感官的咖啡风味品质分析[J]. 食品科学, 2023, 44(20): 292–299.
- LI YL, ZHENG JY, HUANG XH, *et al.* Analysis of the flavor quality of coffee using multiple omic technologies combined with electronic sensory detection technology [J]. Food Science, 2023, 44(20): 292–299.
- [26] 黄梅, 胡荣锁, 董文江, 等. 酿酒酵母介导的半干法加工咖啡豆风味品质比较分析[J]. 现代食品科技, 2023, 39(4): 249–262.
- HUANG M, HU RS, DONG WJ, *et al.* Comparative analysis of flavor quality of semi-dry processed coffee beans mediated by *saccharomyces cerevisiae* [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(4): 249–262.
- [27] 杨清华, 仇倩颖, 王金鑫, 等. 分散固相萃取与 GC-MS 联用检测咖啡豆及速溶咖啡中糠醛类化合物[J]. 食品科技, 2023, 48(2): 311–316.
- YANG QH, QIU QY, WANG JX, *et al.* Determination of furfural compounds in coffee beans and instant coffee by GC-MS combined with dispersive solid phase extraction [J]. Food Science and Technology, 2023, 48(2): 311–316.
- [28] 石有权, 李南, 代妮娅. 咖啡生产中保香留香的方法概述[J]. 云南化工, 2023, 50(1): 113–115.
- SHI YQ, LI N, DAI NY, *et al.* Summarizing of method of retaining fragrance on coffee production [J]. Yunnan Chemical Technology, 2023, 50(1): 113–115.
- [29] 施雪颖, 李娜, 李玥, 等. 烘焙程度对云南日晒和水洗咖啡豆理化性质及风味物质的影响[J]. 中国食品学报, 2024, 24(12): 396–413.
- SHI XY, LI N, LI Y, *et al.* Effect of roasting degree on physicochemical properties and flavor substances of Yunnan sun-dried and washed coffee beans [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(12): 396–413.
- [30] 高子琪, 李泽林, 牛之瑞, 等. 不同初加工方式云南小粒咖啡游离氨基酸差异及其呈味机制[J/OL]. 食品工业科技, 1–18. [2025-03-15]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024060419>
- GAO ZQ, LI ZL, NIU ZR, *et al.* Difference of free amino acids in different primary processed Yunnan arabica coffee and its taste forming mechanism [J/OL]. Science and Technology of Food Industry, 1–18. [2025-03-15]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024060419>

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)