DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250815001
引用格式: 刘超, 曹平波, 张绍龙, 等. 阿拉比卡种咖啡果皮安全性毒理学评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(2): 300–308.
LIU C, CAO PB, ZHANG SL, *et al*. Toxicological safety evaluation of arabica coffea pulp [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(2): 300–308. (in Chinese with English abstract).

阿拉比卡种咖啡果皮安全性毒理学评价

刘 超[1], 曹平波[1*], 张绍龙[1], 吴绍花[1], 尹海飞[1], 郑淑君[1], 杨 艳[1], 段丽娜[1], 邱碧丽[1], 梅丽宝[2], 尹学博[3]

[1. 保山市检验检测院, 国家市场监督管理总局重点实验室(咖啡品质与安全), 保山 678000; 2. 云南省产品质量监督检验研究院, 昆明 650200; 3. 上海工程技术大学化学化工学院, 上海 201620]

摘 要: 目的 研究阿拉比卡种咖啡果皮毒理学安全性。**方法** 依据 GB 15193.3—2014《食品安全国家标准 急性经口毒性试验》等毒理学试验方法, 对咖啡果皮进行急性经口毒性试验、90 d 经口毒性试验、大鼠致畸试验、3 项遗传毒性试验。**结果** 一次性给予实验动物 15.0 g/(kg·BW)的咖啡果皮, 未出现明显中毒表现, 观察期内无死亡, 表明阿拉比卡种咖啡果皮对实验动物的半数致死剂量大于 15.0 g/(kg·BW); 大鼠 90 d 经口毒性试验期内, 活动自如, 生长发育状况良好, 无中毒死亡情况, 大鼠未观察到明显变化, 血液学等指标均在正常值范围内, 且差异无统计学差异(P>0.05), 解剖和病理组织学研究, 未观察到咖啡果皮对大鼠的特异性损伤及典型病理组织学改变; 在 10.0 g/(kg·BW)剂量下, 大鼠未见明显的胚胎毒性和致畸作用; 3 项遗传毒性试验结果为阴性, 未见致突变作用。**结论** 阿拉比卡种咖啡果皮在给定的试验条件下, 无遗传、无致畸、无毒性作用, 在食品开发方面具有较高的安全性。

关键词: 咖啡果皮; 急性毒性试验; 致畸试验; 遗传毒性试验; 毒理学评价

Toxicological safety evaluation of arabica coffea pulp

LIU Chao[1], CAO Ping-Bo[1*], ZHANG Shao-Long[1], WU Shao-Hua[1], YIN Hai-Fei[1], ZHENG Shu-Jun[1], YANG Yan[1], DUAN Li-Na[1], QIU Bi-Li[1], MEI Li-Bao[2], YIN Xue-Bo[3]

(1. *Baoshan Inspection Institute*, *Key Laboratory of Coffee Quality and Safety*, *State Administration for Market Regulation*, *Baoshan* 678000, *China*; 2. *Yunnan Institute of Product Quality Supervision & Inspection*, *Kunming* 650200, *China*; 3. *College of Chemistry and Chemical Engineering*, *Shanghai University of Engineering Science*, *Shanghai* 201620, *China*)

ABSTRACT: Objective To study the toxicological safety of arabica coffea pulp. **Methods** The acute oral toxicity tests, 90-day oral toxicity tests, teratogenicity tests and 3 genetic toxicity tests were conducted on arabica coffea pulp in accordance with GB 15193.3—2014 *National food safety standard-Acute oral toxicity test* and other toxic test methods. **Results** No obvious signs of poisoning symptoms appeared when the experimental animals were

收稿日期: 2025-08-15
基金项目: 国家自然科学基金地区项目(C0209); 国家市场监督管理总局科技计划项目(2024MK124); 云南省市场监督管理局科技计划项目(2024YSJK20)
第一作者: 刘超(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: chaoliu2003@163.com
***通信作者:** 曹平波(1978—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 3718370@qq.com

given 15.0 g/(kg • BW) of arabica coffea pulp in one time, and there was no death during the observation period, which indicated that the lethal dose of 50% of coffee pulp for experimental animals was more than 15.0 g/(kg • BW); during the 90-day oral toxicity test in rats, the rats were able to move freely, their growth and development were in good condition, and there was no death, there was no obvious change in rats, the blood routine and other indicators were within the normal value range, and there was no statistically significant difference (P>0.05); no specific damage and typical pathological and histological changes were observed in anatomical and pathological studies; at a dose of 10.0 g/(kg • BW), the rats showed no obvious embryotoxicity and teratogenic effects; the results of the 3 genetic toxicity tests were negative, and noagenic effects were seen. **Conclusion**　The arabica coffea pulp has no genetic, no teratogenic and no toxic under the given test conditions, and has high safety in food development.

KEY WORDS: coffea pulp; acute oral toxicity test; teratogenicity test; genotoxicity test; toxicological evaluation

0　引　言

云南是我国咖啡的主产区, 2024 年咖啡种植面积 8.13 万 hm^2, 产量 15.23 万 t[1], 产量和面积均占全国的 98%以上。咖啡鲜果脱去咖啡豆后留下的部分通常被称为咖啡果皮[2], 约占咖啡鲜果重量的 45%[3]。每年咖啡收获季节, 云南将产生 50 万 t 咖啡鲜果皮[4]。除少量用于堆肥外, 大部分被丢弃[5], 造成环境污染。研究表明: 咖啡果皮含有丰富的营养成分和生物活性物质, 如膳食纤维、蛋白质、总糖、绿原酸、芦丁、花色苷、芒果苷、葫芦巴碱和花青素等[6–8], 具有抗氧化[9–13]、抑菌[14]等功效, 是开发功能性食品的良好原料[15–20]。同时, 果皮中的某些成分, 具有降血压、护肝脏、减脂功效的功能[21–22]。如果将咖啡果皮作为食品原料进行开发利用, 生产相关食品[23–28], 不仅可以减少环境污染, 还可有效提升咖啡的附加值。

但咖啡果皮作为食品原料, 其食用安全性和毒理学鲜少有相关文献报道、安全性和潜在风险尚未得到充分研究, 严重限制了咖啡果皮的开发利用, 阻碍了我国咖啡产业的高质量发展, 因此本研究系统研究不同剂量咖啡果皮的安全性, 对于指导其合理应用、制定相关标准以及开发新型食品具有重要意义。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

1.1.1　样　品

阿拉比卡种咖啡果皮样品于 2020 年 1 月采自云南省保山市隆阳区潞江镇新寨村万亩咖啡园。为保证样品的均匀性、代表性, 本研究采用梅花桩式布点采样法, 设置 5 个采样点。每个采样点采集 30 kg 全红咖啡鲜果样品, 混均匀后, 运回实验室脱皮处理。样品处理工艺为: 全红咖啡鲜果, 清洗, 晾干表面水分, 手工挤压脱皮, 收集果皮, 按质量 1:1 比例加水于匀浆机上匀浆, 后经 60 ℃真空干燥 12 h, 蒸发样品水分 50%, 还原至果皮原重, 冷冻保存, 使用前将样品解冻。样品推荐食用量: 小于等于 3.0 g/d, 成人按 60 kg 体重计, 则样品每日最大推荐摄入量为 50 mg/(kg • BW)。

1.1.2　试验动物及其饲养条件

无特定病原体动物(specific pathogen free, SPF)级 SD 大鼠、昆明(KM)小鼠(北京维通利华实验动物技术有限公司)[合格证号: SCXK(京)2016-0006]; 饲料来源: 斯贝福(北京)生物技术有限公司, 生产许可证号为 SCXK(京)2019-0010, 北京维通利华实验动物技术有限公司, 生产许可证号: SCXK(京)2019-0003。实验动物饲养环境为 SPF 级动物实验室, 室温 20~25 ℃、相对湿度 40%~70%, 许可证号: SYXK(津)2019-0005。

1.1.3　主要试剂

戊巴比妥钠(纯度≥98.0%, 美国 Sigma 公司); 乙二胺四乙酸(ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA)二钾抗凝(纯度>99.0%)、柠檬酸钠抗凝(浓度 3.2%, 德国西门子公司); 白蛋白、总蛋白、总胆固醇、血糖、甘油三酯、尿素氮、谷氨酰转肽酶、碱性磷酸酶试剂盒(北京九强生物技术有限公司); 氯、钾、钠试剂盒(美国 MEDICA 公司)。

1.2　仪器与设备

Sysmex XT-2000 全自动血液分析仪、Sysmex CS-2100 全自动血液凝固分析仪(日本希森美康公司); TBA-40FR 全自动生化分析仪(日本 TOSHIBA 公司); MEDICA-Easylute Plus 离子分析仪(美国 MEDICA 公司); H-500 尿液分析仪(吉林省迪瑞实业集团有限公司)。

1.3　试验方法

1.3.1　大、小鼠急性经口毒性试验

选取 SPF 级昆明种小鼠和 Wistar 种大鼠各 20 只, 小鼠体重 18~22 g、大鼠体重 180~220 g, 雌雄各半, 雌性未经交配和生育, 于动物房检疫室适应 3 d, 观察健康状况良好后, 依据标准 GB 15193.3—2014《食品安全国家标准 急性经口毒性试验》按限量法灌胃 15.0 g/(kg • BW)的咖啡果皮。剂量: 称取咖啡果皮样品 150.0 g, 加蒸馏水至 200 mL, 质量浓度为 0.75 g/mL, 给予受试物前 16 h 禁止喂食, 但可

自由饮水，动物称重后一次给予灌胃量 20 mL/kg·BW 的摇匀受试物，灌胃后继续停食 3 h，连续观察 14 d，记录中毒表现和死亡情况。对试验期间死亡、人道处死和试验结束处死的动物进行大体解剖，观察记录病理变化，当大体解剖出现病理改变时，用 4%甲醛固定，石蜡包埋、切片、苏木精-伊红(hematoxylin-eosin staining, HE)染色，在光镜下进行组织学检查。

1.3.2 大鼠 90 d 经口毒性试验

根据样品每日最大推荐摄入量 50 mg/(kg·BW)，依据标准 GB 15193.13—2015《食品安全国家标准 90 天经口毒性试验》，设计 2.5、5.0、10.0 g/(kg·BW) 3 个剂量组，分别相当于人拟用剂量的 50、100、200 倍。将试验动物随机分成低、中、高 3 个受试物组和一个溶剂对照组，每组 20 只，雌雄各半。低剂量组：称取 50 g 咖啡果皮样品，加蒸馏水至 200 mL；中剂量组：称取 100 g 咖啡果皮样品，加入蒸馏水至 200 mL；高剂量组：称取 200 g 咖啡果皮样品。混匀后，每日同一时段灌胃 1 次(每周灌胃 6 d)，试验期间，前 4 周每周称重 2 次，之后每周 1 次。灌胃量为 10 mL/kg·BW，连续灌胃 90 d，对照组灌胃等量蒸馏水。各组均单笼喂养，自由饮水。每周记录大鼠体重、进食量，连续规察 90 d。试验末期腹腔注射 50 mg/(kg·BW)戊巴比妥钠麻醉后，腹主动脉取血，经 15% EDTA 二甲抗凝，血液分析仪上测定红细胞计数、血红蛋白含量等。然后每只大鼠取脑、心脏、胸腺、肾上腺、睾丸、卵巢等器官称湿重，计算脏/体比，并进行病理组织学观察。

1.3.3 大鼠致畸试验

根据样品推荐日摄入量 50 mg/(kg·BW)，依据标准 GB 15193.14—2015《食品安全国家标准 致畸试验》，设计 2.5、5.0、10.0 g/(kg·BW) 3 个剂量组和对照组试验，剂量相当于人拟用剂量的 50、100、200 倍。自交交配之日起，每日将交配成功的母鼠按照体重随机分配到 4 个试验组中，至交配期结束，每组获得孕鼠不少于 16 只。大鼠于受孕的第 6~15 d 以灌胃的方式引入受试物，每天经口给予质量浓度为 250、500、1000 mg/mL 的受试物，灌胃量均为 1.0 mL/100 g·BW，对照组灌胃等量蒸馏水。母鼠受孕后，给受试物，期间每隔 3 d 称一次体重，按体重增长校正受试物量。

1.3.4 3 项遗传毒性试验

细菌回复突变试验：选用 TA97a、TA98、TA100、TA102、TA1535 试验菌株，依据标准 GB 15193.4—2014《食品安全国家标准 细菌回复突变试验》，以无菌蒸馏水将样品稀释至 50、158、500、1580、5000 μg/皿的梯度，同时设计空白对照、二甲基亚砜(dimethyl sulfoxide, DMSO)对照和阳性对照，在加和不加条件下进行测试，测定培养基上各菌株的回变菌落数；哺乳动物红细胞微核试验：将 50 只体重在 25~30 g 的小鼠随机分为 5 组，每组 10 只，雌雄各半。采用 30 h 给受试物法，以 40.0 mg/(kg·BW)剂量的环磷酰胺为阳性对照，依据标准 GB 15193.5—2014《食品安全国家标准 哺乳动物红细胞微核试验》，设计 2.5、5.0、10.0 g/(kg·BW) 3 个剂量组：分别称取 5.0、10.0、20.0 g 的咖啡果皮样品，各加蒸馏水至 40 mL，充分混匀，制成质量浓度为 0.125、0.250、0.500 g/mL 的受试物，以 0.02 mL/(kg·BW)的量灌胃，对照组给等量蒸馏水，共计 2 次，间隔 24 h。末次给受试物 6 h 后，颈椎脱臼处死实验动物，取胸骨骨髓制成骨髓片，甲醇固定，Giemsa 染色。观察每只动物的嗜多染红细胞并计数，采用泊松分布法进行统计处理，计算嗜多染红细胞(polychromatic erythrocytes, PCE)与红细胞(red blood cell, RBC)的比例；小鼠精母细胞染色体畸变试验：依据标准 GB 15193.8—2014《食品安全国家标准 小鼠精原细胞或精母细胞染色体畸变试验》，每天给小鼠灌胃质量浓度分别为 0.125、0.250、0.500 g/mL 的受试物，灌胃量为 0.02 mL/(kg·BW)，对照组给等量蒸馏水，连续灌胃 5 d。于首次灌胃后的第 13 d，5 组同时腹腔注射 6 mg/(kg·BW)的秋水仙素，5 h 后处死小鼠，取双侧睾丸制片、Giemsa 染色。每组分析 5 只动物染色体，每只动物分析 100 个中期分裂细胞，计算睾丸染色体畸变发生率。

1.4 数据处理

采用 SPSS 21.0 FOR WINDOWS 进行统计分析。体重、子宫连胎重、活胎重、体长、尾长等均为计量资料，采用方差分析，如果方差齐，用多个实验组和一个对照组间均数的两两比较方法进行统计；对非正态或方差不齐的数据进行适当的变量转换，待满足正态或方差齐要求后，用转换后的数据进行统计；若变量转换后仍未达到正态或方差齐的目的，改用秩和检验进行统计[29–30]；记数资料，如畸形率、死亡率等用卡方检验，以 P<0.05 作为是否具有统计学意义的标准。

2 结果与分析

2.1 急性经口毒性试验分析结果

试验期间，大、小鼠均无明显中毒现象，无死亡情况，观察期满对动物进行大体解剖检查，各主要脏器未见异常。结果表明阿拉比卡种咖啡果皮对大、小鼠急性经口毒性，雄半数致死剂量(lethal dose of 50%, LD_{50})>15.0 g/(kg·BW)、雌 LD_{50}>15.0 g/(kg·BW)水平下，属实际无毒(表 1)。

2.2 大鼠 90 d 经口毒性试验结果

试验期间各组动物活动自如，被毛有光泽，鼻、眼、口腔无异常分泌物，无中毒死亡情况发生。实验末期血液学各项指标、生化指标、尿液指标均在本检测单位正常值范围内，实验动物系统剖检后，外观一般检查未见异常，肉眼观察各组各主要脏器未见明显病变，开颅后脑膜及脑

未见异常。

表 1　阿拉比卡种咖啡果皮大、小鼠急性经口毒性试验 ($\bar{x}$ ±s, *n*=10)

Table 1　Acute oral toxicity of arabica coffea pulp in mice and rats ($\bar{x}$ ±s, *n*=10)

项目	性别	始重/g	终重/g	死亡数/只	LD_{50}/[g/(kg • BW)]
大鼠	雄性	216±5	334±16	0/10	>15.0
	雌性	192±6	270±11	0/10	>15.0
小鼠	雄性	24.3±0.8	43.7±1.1	0/10	>15.0
	雌性	23.5±1.1	37.9±2.2	0/10	>15.0

2.2.1　对大鼠体重、进食量和食物利用率的影响

咖啡果皮受试物灌胃 90 d, 大鼠未出现拒食现象, 各组动物体重总体呈增长趋势, 未见明显毒性反应, 各组动物每周体重、总增重、总进食量及总食物利用率与对照组比较, 差异均无统计学意义(P>0.05)(表 2)。

2.2.2　对大鼠血液学指标的影响

试验末期, 各剂量组大鼠与阴性对照组相比, 血液学各指标整体上无显著性差异(P>0.05)。结果表明阿拉比卡种咖啡果皮对试验大鼠白细胞计数、红细胞计数、血红蛋白、红细胞压积等未见明显影响。实验数据显示, 雌性中剂量组红细胞计数低于对照组, 差异具有统计学意义(P<0.05), 雄性低剂量组中性细胞百分比高于对照组, 雄性低剂量组淋巴细胞百分比低于对照组, 差异具有统计学意义(P<0.05), 但其检测值均在正常值范围内。其余各剂量组各项指标与对照组比较差异均无统计学意义(P>0.05)(表 3)。

表 2　阿拉比卡种咖啡果皮对大鼠体重、进食量及食物利用率的影响($\bar{x}$ ±s, *n*=10)

Table 2　Effects of arabica coffea pulp on body weight, food intake and food utilization of rats ($\bar{x}$ ±s, *n*=10)

性别	剂量/[g/(kg • BW)]	始重/g	终重/g	总增重/g	总进食量/g	总食物利用率/%
雄	0	88±5	511±27	423±27	2300±113	18.4±1.0
	2.5	88±5	510±23	422±22	2265±62	18.6±0.9
	5.0	88±5	511±23	423±23	2259±103	18.8±0.7
	10.0	88±5	512±25	424±23	2308±133	18.4±1.1
雌	0	86±3	301±17	215±15	1742±79	12.3±0.5
	2.5	86±3	305±20	219±19	1723±93	12.7±0.7
	5.0	85±4	306±10	221±8	1751±69	12.6±0.3
	10.0	86±2	302±12	216±11	1729±73	12.5±0.5

表 3　阿拉比卡种咖啡果皮对大鼠血液学的影响($\bar{x}$ ±s, *n*=10)

Table 3　Effects of arabica coffea pulp on hematology in rats ($\bar{x}$ ±s, *n*=10)

性别	剂量/[g/(kg • BW)]	白细胞计数/($\times10^9$/L)	红细胞计数/($\times10^{12}$/L)	血红蛋白/(g/L)	红细胞压积/(g/L)	血小板/($\times10^9$/L)	活化部分凝血活酶时间/s	凝血原酶时间/s
雄	0	4.99±1.12	7.19±0.25	132.3±2.7	36.7±0.9	1130.1±131.5	14.8±1.8	8.4±0.3
	2.5	4.25±1.74	7.16±0.37	128.7±11.1	36.1±2.8	1152.2±163.4	14.4±1.1	8.4±0.4
	5.0	4.72±2.81	7.03±0.47	131.4±7.9	36.9±2.2	1071.3±161.7	14.2±1.1	8.3±0.3
	10.0	4.69±1.54	7.42±0.27	136.9±4.1	37.9±1.2	1116.9±168.3	14.6±1.8	8.2±0.2
雌	0	2.17±1.09	6.71±0.39	126.1±7.6	35.5±1.9	1008.5±139.3	16.6±1.7	8.0±0.3
	2.5	2.13±1.11	6.66±0.34	128.0±4.2	36.2±1.4	1028.4±108.7	15.8±2.4	8.0±0.5
	5.0	2.56±1.26	6.32±0.31*	122.3±5.9	35.1±1.9	1081.6±124.4	15.4±3.0	7.9±0.3
	10.0	2.63±1.58	6.65±0.27	127.1±6.8	36.1±1.7	1042.3±128.6	16.7±1.3	8.2±0.3

性别	剂量/[g/(kg • BW)]	白细胞分类				
		中性细胞/%	淋巴细胞/%	单核细胞/%	嗜酸细胞/%	嗜碱细胞/%
雄	0	14.7±2.4	80.5±2.8	3.2±1.2	1.60±0.72	0.00±0.00
	2.5	22.6±10.8*	71.5±11.4*	3.9±1.1	1.96±0.53	0.00±0.00
	5.0	19.9±6.7	73.3±8.1	4.3±1.1	2.51±1.00	0.00±0.00
	10.0	18.8±5.7	75.7±5.6	3.7±1.2	1.80±0.57	0.00±0.00
雌	0	21.9±6.1	70.7±6.9	4.4±1.0	3.09±0.94	0.00±0.00
	2.5	21.9±5.3	72.1±5.1	3.2±1.5	2.75±1.19	0.00±0.00
	5.0	30.3±18.5	64.5±19.0	2.9±1.2	2.32±0.81	0.00±0.00
	10.0	18.8±6.9	74.8±8.2	3.7±2.3	2.68±1.22	0.00±0.00

注: *表示与对照组相比, P<0.05。表 5、10~11 同。

2.2.3 对大鼠血生化指标的影响

实验末期实验动物各项血生化指标均在本检测单位正常值范围内，各剂量组各项指标与对照组比较，差异均无统计学意义(P>0.05)(表 4)。

2.2.4 对大鼠脏器重量及脏体比值的影响

研究结果表明，各组动物脏器重量及脏体比值与对照组相比较，雌性动物中剂量组子宫重高于对照组，差异有统计学意义(P<0.05)，无生物学意义：子宫内膜呈分泌期—静止期变化，黏膜下腺体丰富，间质可见嗜酸性白细胞浸润，肌层未见异常，卵巢可见不同生长发育阶段的卵泡细胞及黄体、白体，均未见异常。其余各组各项指标与对照组比较，差异无统计学意义(P>0.05)(表 5)。

表 4 阿拉比卡种咖啡果皮对大鼠血生化指标的影响($\bar{x}$ ±s, n=10)

Table 4 Effects of arabica coffea pulp on blood biochemistry in rats ($\bar{x}$ ±s, n=10)

性别	剂量/[g/(kg・BW)]	丙氨酸氨基转移酶/(U/L)	天冬氨酸氨基转移酶/(U/L)	总蛋白/(g/L)	白蛋白/(g/L)	谷氨酸/(mmol/L)	碱性磷酸酶/(U/L)	γ-谷氨酰转移酶/(U/L)
雄	0	43.7±7.0	66.9±6.3	54.7±1.9	35.5±1.0	7.71±1.03	79.5±7.5	0.47±0.26
	2.5	46.8±8.7	66.7±14.9	54.3±2.0	35.1±0.9	7.42±0.76	75.3±9.7	0.44±0.23
	5.0	44.7±7.7	68.4±9.8	55.5±2.6	36.4±1.4	7.13±1.27	76.6±14.1	0.46±0.19
	10.0	46.0±8.4	61.9±12.0	55.5±2.1	36.1±1.3	7.42±1.31	75.9±8.3	0.57±0.31
雌	0	44.4±5.7	73.1±9.7	54.7±4.6	37.5±2.7	7.60±0.78	53.3±14.3	0.49±0.35
	2.5	44.6±8.0	65.7±7.5	55.4±3.1	37.6±2.3	7.80±0.59	47.3±10.0	0.43±0.23
	5.0	38.4±6.8	66.3±10.9	52.9±2.7	35.5±1.8	7.57±1.07	43.7±7.3	0.47±0.37
	10.0	41.7±7.1	67.0±11.5	52.9±1.6	35.6±1.8	7.08±1.03	47.0±6.8	0.66±0.38

性别	剂量/[g/(kg・BW)]	血尿素氮/(mmol/L)	耐碳青霉烯类肠杆菌科细菌/(μmol/L)	中国仓鼠卵巢细胞/(mmol/L)	甘油三酯/(mmol/L)	Na^+/(mmol/L)	K^+/(mmol/L)	Cl^-/(mmol/L)
雄	0	5.18±0.65	33.8±3.3	2.32±0.51	0.35±0.13	140.1±0.7	4.11±0.29	107.5±1.6
	2.5	5.76±0.87	33.0±4.1	2.40±0.34	0.41±0.11	141.3±0.9	4.16±0.12	108.6±1.8
	5.0	5.03±0.52	36.7±2.6	2.56±0.69	0.35±0.11	139.6±0.9	3.96±0.27	106.9±1.4
	10.0	5.47±0.40	34.8±2.6	2.53±0.57	0.48±0.14	139.3±0.6	3.99±0.16	107.0±1.6
雌	0	5.37±0.74	39.0±2.4	1.74±0.36	0.28±0.07	139.8±1.5	3.77±0.16	109.2±1.8
	2.5	5.53±0.51	37.7±1.5	2.09±0.40	0.32±0.14	139.5±1.6	3.62±0.19	108.0±1.2
	5.0	5.86±0.86	40.6±6.0	1.81±0.75	0.27±0.09	138.7±1.7	3.71±0.15	107.4±1.9
	10.0	5.63±0.79	38.4±2.1	1.80±0.23	0.29±0.12	140.6±2.2	3.69±0.28	109.8±0.9

表 5 阿拉比卡种咖啡果皮对大鼠脏器重的影响($\bar{x}$ ±s, n=10)

Table 5 Effects of arabica coffea pulp on visceral weight in rats ($\bar{x}$ ±s, n=10)

性别	剂量/[g/(kg・BW)]	空腹重/g	脑重/g	心重/g	胸腺重/g	肝重/g
雄	0	489±25	2.06±0.12	1.40±0.14	0.44±0.098	12.89±0.98
	2.5	489±22	2.00±0.11	1.30±0.16	0.49±0.19	12.14±2.40
	5.0	487±24	2.03±0.09	1.35±0.20	0.46±0.16	13.12±2.00
	10.0	492±24	2.08±0.10	1.36±0.15	0.46±0.14	13.29±1.59
雌	0	279±20	1.89±0.10	0.86±0.06	0.35±0.06	6.99±0.57
	2.5	285±18	1.83±0.06	0.88±0.09	0.32±0.05	7.53±0.73
	5.0	288±9	1.89±0.08	0.89±0.12	0.37±0.09	7.36±1.05
	10.0	283±12	1.88±0.10	0.86±0.06	0.37±0.08	7.46±1.60

性别	剂量/[g/(kg・BW)]	脾重/g	肾重/g	肾上腺重/g	(♂)睾丸重或(♀)子宫重/g	(♂)附睾重或(♀)卵巢重/g
雄	0	0.98±0.11	3.36±0.25	0.08±0.02	4.07±0.43	1.56±0.16
	2.5	1.04±0.14	3.10±0.50	0.08±0.03	3.75±0.42	1.45±0.18
	5.0	1.06±0.10	3.34±0.44	0.09±0.02	3.95±0.64	1.42±0.16
	10.0	1.04±0.10	3.15±0.54	0.08±0.02	3.89±0.25	1.46±0.24
雌	0	0.68±0.07	1.87±0.12	0.10±0.02	0.55±0.11	0.19±0.03
	2.5	0.70±0.13	1.92±0.17	0.09±0.02	0.71±0.21	0.17±0.03
	5.0	0.73±0.08	1.84±0.18	0.10±0.02	0.74±0.26*	0.21±0.08
	10.0	0.76±0.22	1.86±0.20	0.10±0.02	0.53±0.20	0.18±0.04

2.2.5　对大鼠尿液检查和病理学检查的影响

对大鼠尿液检验结果显示: 实验期间, 实验动物各项尿液指标均在正常值范围内, 各组各项指标与对照组比较, 差异无统计学意义(P<0.05)。尹雄等[23]利用云南小粒种咖啡果皮粗提取物对人脐静脉内皮细胞抗氧化损伤进行研究显示: 咖啡果皮粗提物对细胞具有保护作用。病理切片镜检显示: 对照组 3 只、高剂量组 2 只肝脏汇管区可见少量炎细胞浸润, 其余无明显差别; 对照组 3 只、高剂量组 2 只肾脏间质可见少量小圆形炎细胞浸润、小管上皮细胞坏死、嗜碱性变、小管蛋白变性, 其余无明显差别; 对照组 3 只、高剂量组 2 只肺脏可见轻度间质性或局灶性肺炎及血管周围炎细胞浸润, 其余无明显差别。研究结果综合显示, 受试物未引起高剂量组雌、雄大鼠相关病理组织学变化和特异性损伤改变, 因此, 未见受试物引起的动物中毒性损伤。

2.3　大鼠致畸试验结果

2.3.1　对孕鼠及胎仔存活率的影响

染毒期间每天同一时间观察动物中毒体征, 监测孕鼠受试过程中体重和死亡情况。孕鼠体重呈增长趋势, 一般情况良好, 未见明显异常, 未见明显流产体征, 妊娠期间无孕鼠死亡。各剂量组孕鼠体重、总增重、净增重、子宫连胎重、着床数、黄体数、窝平均吸收胎、活胎数、死胎数及百分率与对照组比较, 差异均无统计学意义(P>0.05)(图 1、表 6)。

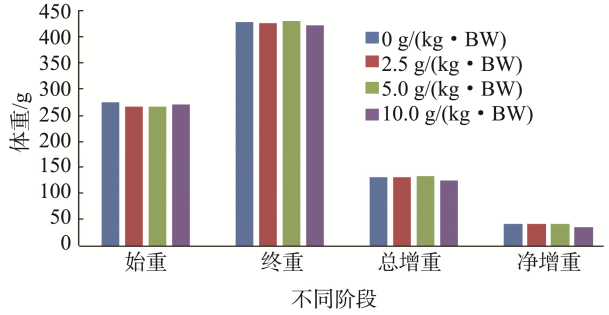


图 1　阿拉比卡种咖啡果皮对孕鼠体重的影响

Fig.1　Effects of arabica coffea pulp on body weight of pregnant mice

2.3.2　对胎仔外观的影响

受试物经口灌胃给予孕鼠后, 逐一取出胎仔, 称量胎仔体重, 量取体长和尾长后记录并统计结果提示, 各剂量组胎鼠体重、体长和尾长与对照组比较, 差异均无统计学意义(P>0.05)(表 7)。各剂量组胎仔头部、躯干、四肢和其他外观均未见明显畸形。从头部至尾部顺序肉眼观察, 未发现明显的头部畸形、躯干畸形、四肢畸形等。

表 6　阿拉比卡种咖啡果皮对子宫重量、着床数、黄体数及胎仔存活率的影响

Table 6　Effects of arabica coffea pulp on uterine weight, number of implantations, number of corpora lutea and fetal survival

剂量/[g/(kg • BW)]	孕鼠数/只	子宫连胎重/g	着床数/个	黄体数/个	吸收胎/只	活胎数/只	死胎数/只	活胎百分率/%	死胎百分率/%	吸收胎百分率/%
0	18	88.99±12.78	16.7±2.2	16.7±2.2	0.8±1.0	15.9±1.8	0	95.7±5.3	0	4.3±5.3
2.5	18	87.51±16.07	16.6±2.7	16.6±2.7	0.5±0.6	16.1±2.8	0	96.8±4.7	0	3.2±4.7
5.0	18	90.77±13.01	17.1±1.8	17.1±1.8	0.8±1.0	16.3±2.4	0	95.2±6.2	0	4.8±6.2
10.0	18	88.16±14.04	16.8±2.1	16.8±2.1	0.5±0.6	16.3±2.1	0	97.0±3.6	0	3.0±3.6

表 7　阿拉比卡种咖啡果皮对胎仔发育的影响

Table 7　Effects of arabica coffea pulp on fetal development

剂量/[g/(kg • BW)]	胎仔数/只	胎仔体重/g	胎仔体长/cm	胎仔尾长/cm
0	286	3.64±0.76	3.69±0.32	1.35±0.13
2.5	289	3.61±0.36	3.72±0.22	1.37±0.15
5.0	294	3.67±0.61	3.73±0.24	1.37±0.13
10.0	294	3.63±0.47	3.70±0.20	1.37±0.12

2.3.3　对胎仔骨骼的影响

受试物经口灌胃给予孕鼠后, 未见其对大鼠胎仔骨骼发育有明显影响。在透射光源体视显微镜下整体观察, 未发现有头骨发育不全、颈椎畸形、胸椎畸形、腰椎畸形等情况。在对照组和各个剂量组中肋骨数量为 13 对或 12 对的胎仔均有发现, 此种现象属于正常胎仔发育的变异, 不属于畸形。

2.3.4　对胎仔内脏的影响

胎仔经内脏检查后, 各剂量组胎仔未观察到脑畸形、额唇舌畸形、眼畸形、鼻畸形、腭裂等。暴露胸腔和腹腔内各器官, 检查心、肺、肝、胃、肠等脏器的大小、位置、形状时, 未观察到心畸形、肺畸形、肝畸形, 未见肠异位及肠疝。检查肾脏、输尿管、膀胱、子宫或睾丸位置及发育情况时, 未观察到肾脏发育不全, 未见肾盂及输尿管积水, 子宫或睾丸未见一侧或双侧发育不全。

2.4　3 项遗传毒性试验结果

2.4.1　细菌回复突变试验

以 50、158、500、1580、5000 μg/皿 5 个剂量对受试物进行细菌回复突变试验。在加与不加 S9 时, 受试物对鼠伤寒沙门氏菌 TA97a、TA98、TA100、TAI102、TA1535 5 株试验菌株, 回变菌落数均在正常范围内, 均未超过空白对照菌落数 2 倍, 且无剂量一反应关系。在该试验条件下, 受试物对测试菌株不诱发基因突变, 试验结果为阴性(表 8)。以 8、40、200、1000、5000 μg/皿 5 个剂量对咖啡果皮受试物重复进行细菌回复突变试验, 结果为阴性(表 9)。两次重复试验结果相同。

表 8 细菌回复突变试验结果(第一次实验, *n*=3)

Table 8 Results of bacterial reverse mutation test (first experiment, *n*=3)

组别	剂量/(μg/皿)	TA97a		TA98		TA100		TA102		TA1535	
		–S9	+S9	–S9	+S9	–S9	+S9	–S9	+S9	–S9	+S9
受试物	50	133±10	144±11	31±2	37±5	145±21	157±20	246±11	266±20	13±3	14±5
	158	135±14	147±12	34±3	39±4	142±13	155±10	249±11	272±11	14±3	16±4
	500	137±16	145±18	34±2	38±3	144±10	157±22	244±11	271±12	14±4	15±2
	1580	136±18	139±15	35±3	37±6	142±15	159±9	250±13	269±18	15±4	14±4
	5000	138±16	144±15	33±4	39±7	146±11	163±8	251±15	267±15	15±3	15±2
空白对照	/	145±7	145±11	41±4	40±8	152±11	163±7	276±32	288±13	13±3	13±5
二甲亚砜对照	/	143±5	1414±9	43±8	41±4	155±7	160±7	282±13	274±27	13±4	14±5
聚二氧杂环乙烷	50.0	1834±72	/	880±12	/	/	/	1306±69	/	/	/
叠氮钠	3.0	/	/	/	/	1802±52	/	/	/	548±12	/
2-氨基芴	20.0	/	1316±128	/	2637±72	/	2177±135	/	/	/	566±17
1,8-二羟基蒽醌	50.0	/	/	/	/	/	/	/	1143±142	/	/

注: /表示无具体数值, 表 9 同。

表 9 细菌回复突变试验结果(重复实验, *n*=3)

Table 9 Results of bacterial reverse mutation test (repeat the experiment, *n*=3)

组别	剂量/(μg/皿)	TA97a		TA98		TA100		TA102		TA1535	
		–S9	+S9	–S9	+S9	–S9	+S9	–S9	+S9	–S9	+S9
受试物	8	134±14	143±7	38±5	39±2	156±15	162±7	251±13	271±14	13±3	14±3
	40	135±15	139±17	37±5	40±4	154±8	163±10	255±14	265±13	16±3	16±4
	200	133±14	137±8	35±3	39±4	149±14	160±13	258±13	268±21	14±5	15±4
	1000	130±20	138±10	37±4	37±6	149±14	159±11	251±14	267±12	13±4	16±3
	5000	129±13	139±18	37±6	40±3	159±9	162±10	253±12	262±17	16±4	14±3
空白对照	/	137±4	135±6	42±1	39±4	155±4	164±4	282±9	292±7	12±1	17±3
二甲亚砜对照	/	139±8	140±8	40±2	41±2	156±1	163±6	293±8	282±9	15±5	14±2
聚二氧杂环乙烷	50.0	1861±58	/	871±17	/	/	/	1257±142	/	/	/
叠氮钠	3.0	/	/	/	/	1830±103	/	/	/	574±11	/
2-氨基芴	20.0	/	1313±162	/	2634±107	/	2199±41	/	/	/	593±13
1,8-二羟基蒽醌	50.0	/	/	/	/	/	/	/	1162±131	/	/

2.4.2 *哺乳动物红细胞微核试验*

受试物各剂量组微核率与阴性对照组比较, 差异均无统计学意义(P>0.05)。而环磷酰胺组与阴性对照组比较, 差异有统计学意义(P<0.05)。受试物各剂量组嗜多染红细胞占红细胞总数的比例不少于阴性对照组的 20%, 未见明显的细胞毒性。未见受试物对小鼠骨髓细胞微核产生影响(表 10)。

表 10 哺乳动物红细胞微核试验结果

Table 10 Results of mammalian erythocyte micronucleus test

性别	剂量/[g/(kg • BW)]	动物数/只	观察 PCE 数/个	含微核的 PCE 数/个	含微核的 PCE 率/%	受检 RBC/个	PCE 数/个	PCE/RBC ($\bar{x}$ ±s)
雄	0	5	10000	10	1.00	1000	503	0.50±0.04
	2.5	5	10000	7	0.70	1000	467	0.47±0.03
	5.0	5	10000	10	1.00	1000	484	0.48±0.03
	10.0	5	10000	9	0.90	1000	469	0.47±0.03
	环磷酰胺	5	10000	169	16.90*	1000	469	0.47±0.03
雌	0	5	10000	8	0.80	1000	466	0.47±0.03
	2.5	5	10000	9	0.90	1000	489	0.49±0.03
	5.0	5	10000	8	0.80	1000	456	0.46±0.03
	10.0	5	10000	10	1.00	1000	492	0.49±0.04
	环磷酰胺	5	10000	185	18.50*	1000	501	0.50±0.04

2.4.3　小鼠精母细胞染色体畸变试验

受试物各剂量组小鼠精母细胞染色体畸变发生率与阴性对照组比较, 差异无统计学意义(P>0.05)。而环磷酰胺阳性对照组与阴性对照组比较, 差异有统计学意义(P<0.05), 表明阿拉比卡种咖啡果皮对小鼠精母细胞染色体畸变试验未见明显影响(表 11)。

表 11　小鼠精母细胞染色体畸变试验结果

Table 11　Results of chromosome aberration test in mouse spermatocytes

剂量/[g/(kg • BW)]	动物/只	观察细胞数/个	常染色体单价体/个	性染色体单价体/个	染色体畸变构成/个					染色体畸变总数/个	染色体畸变率/%
					裂隙	易位	环状体	断片	微小体		
0	5	500	2	2	0	0	0	0	0	0	0.0
2.5	5	500	4	2	0	0	0	0	0	0	0.0
5.0	5	500	3	4	0	0	0	0	0	0	0.0
10.0	5	500	3	3	0	0	0	0	0	0	0.0
环磷酰胺	5	500	10	7	0	0	0	3	0	3	0.6*

3　讨论与结论

试验结果显示, 在给定试验条件与剂量范围内, 阿拉比卡种咖啡果皮急性经口毒性试验雌雄大、小鼠 LD_{50}>15.0 g/(kg • BW), 90 d 经口毒性试验期间显示, 各组动物活动自如, 生长发育良好, 无中毒死亡情况发生, 实验末期血液学的各项指标、生化指标、尿液指标均在本检测单位正常值范围内, 差异无统计学意义(P>0.05), 实验结束后对全部实验动物大体解剖, 各主要脏器未见明显病变, 开颅后脑膜及脑未见异常, 未观察到有害作用剂量为 10.0 g/(kg • BW); 在 10.0 g/(kg • BW)剂量下, 未见明显的胚胎毒性和致畸作用; 遗传毒性试验(细菌回复突变试验、哺乳动物红细胞微核试验和小鼠精母细胞染色体畸变试验)结果均为阴性, 表明该受试物未显示致突变作用。阿拉比卡种咖啡果皮在大、小鼠中均未表现出急性毒性、亚慢性毒性、遗传毒性和致畸性, 属实际无毒级。

通过对阿拉比卡种咖啡果皮毒理学试验系统研究评价, 为咖啡果皮的食用安全性提供了科学依据, 有助于咖啡果皮在食品领域的开发利用, 助力我国乃至全球咖啡产业的高质量开发。

参考文献

[1] 黄家雄, 吕玉兰, 罗心平, 等. 2024 年中国咖啡产业发展报告[J/OL]. 热带农业科技, 1-5. [2025-06-24]. DOI: 10.16005/j.cnki.tast.20250605
HUANG JS, LV YL, LUO XP, *et al*. Chinese coffee industry development report 2024 [J/OL]. Tropical Agricultural Science & Technology, 1-5. [2025-06-24]. DOI: 10.16005/j.cnki.tast.20250605

[2] 刘超, 李树珍, 段丽娜, 等. 云南省居民咖啡果皮中五种重金属摄入水平及健康风险评估[J]. 湖北农业科学, 2023, 62(6): 147–151.
LIU C, LI SZ, DUAN LN, *et al*. Intake levels and health risk assessment of five heavy metals in coffee peel of residents in Yunnan Province [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2023, 62(6): 147–151.

[3] ESQUIVEL P, JIMENEZ VM. Functional properties of coffee and coffee by products [J]. Food Research International, 2012(46): 488–495.

[4] 胡荣锁, 董文江, 宗迎, 等. 5 个产区咖啡果皮成分分析与营养评价[J]. 热带作物学报, 2018, 39(5): 987–992.
HU RS, DONG WJ, ZONG Y, *et al*. Analysis and evaluation of nutritional components of coffee peel from five different growing regions [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(5): 987–992.

[5] 刘丽, 林珊, 严亮, 等. 探讨咖啡果皮茶加工技术提高咖啡产品附加值[J]. 中国食品, 2020(23): 107–108.
LIU L, LIN S, YAN L, *et al*. To explore the processing technology of coffee peel tea and improve the added value of coffee products [J]. China Food, 2020(23): 107–108.

[6] 张佳欣, 韩泽邦, 吕玉兰, 等. 咖啡果皮综合利用浅析[J]. 热带农业科技, 2023, 46(2): 56–60, 82.
ZHANG JX, HAN ZB, LV YL, *et al*. Analysis of the comprehensive utilization of coffee peels [J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2023, 46(2): 56–60, 82.

[7] GEMECHU FG. Embracing nutritional qualities, biological activities and technological properties of coffee byproducts in functional food formulation [J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 104: 235–261.

[8] 张云鹤, 付晓萍, 梁文娟, 等. 云南小粒种咖啡果皮初提物花青素成分及抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2016, 41(5): 219–223.
ZHANG YH, FU XP, LIANG WJ, *et al*. Antioxidant activity and compsition of anthocyanins of crude extracts from Yunnan arabica coffee husk [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(5): 219–223.

[9] 徐紫琪, 王道滇, 李学玲. 咖啡果皮色素的提取及体外抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2024, 35(9): 18–24.
XU ZQ, WANG DD, LI XL. Optimization of extraction of pigment from coffee peel and its antioxidant activity *in vitro* [J]. China Food Additives, 2024, 35(9): 18–24.

[10] 杨圆慧, 徐柠檬, 资璐熙, 等. 云南小粒咖啡果皮不同溶剂提取物主成分分析及其抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2023, 48(2): 230–238, 245.
YANG YH, XU NM, ZI LX, *et al*. Principal component analysis and antioxidant activities of different solvent extracts from coffea Arabica pericarp [J]. Food Science and Technology, 2023, 48(2): 230–238, 245.

[11] 王彦兵, 匡钰, 李国明, 等. 小粒咖啡果皮多酚提取工艺优化及抗氧化活性[J]. 福建农业学报. 2020, 35(6): 682–690.
WANG YB, KUANG Y, LI GM, *et al.* Extraction and antioxidant activity of polyphenols from coffee bean peels [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2020, 35(6): 682–690.

[12] 陈小伟, 范昊安, 张婷, 等. 咖啡果皮酵素发酵过程中代谢产物与抗氧化功能评价[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(9): 18–25, 50.
CHEN XW, FAN HAN, ZHANG T, *et al*. Study on the evaluations of metabolites and antioxidant activity during the fermentation process of coffee peel Jiaosu [J]. Food Research and Development, 2019, 40(9): 18–25, 50.

[13] 付晓萍, 张云鹤, 谷大海, 等. 云南小粒种咖啡果皮粗提取物对人脐静脉内皮细胞抗氧化损伤的研究[J]. 食品科技, 2016, 41(12): 183–188.
FU XP, ZHANG YH, GU DH, *et al*. Effect on anti-oxidative injuries of human umbilical vein endothelial cell of crude extracts from Yunnan Arabica coffee husk [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(12): 183–188.

[14] 李晓娇, 付文相, 杨丽华, 等. 云南小粒咖啡果皮中果胶的提取及其水解物抑菌活性研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(11): 79–84, 110.
LI XJ, FU WX, YANG LH, *et al.* Study on extraction of pectin from *Coffea arabica* pericarp and antibacterial activity of its hydrolysate [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(11): 79–84, 110.

[15] IRIONDO DA, APARICIO GN, FERNANDEZ GB, *et al*. Validation of coffee by-products as novel food in gredients [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019, 51: 194–204.

[16] COLLAZO BS, ORTEGAT R, CHIRALT A. Improving properties of thermoplastic starch films by incorporating active extracts and cellulose fibres isolated from rice or coffee husk [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2019, 22: 100383.

[17] 张京文, 黄家雄, 吕玉兰, 等. 咖啡废弃物利用研究初探[C]//第十六届中国科协年会——分 17 精品咖啡豆认证与公平交易及庄园标准化国际论坛论文集. 昆明: 云南科技出版社, 2014: 62–64.
ZHANG JW, HUANG JX, LV YL, *et al*. Preliminary study on coffee waste utilization [C]//Proceedings of the 16th Annual Meeting of the Chinese Association for Science and Technology. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2014: 62–64.

[18] REICHEMBACH LH, DE-OLIVEIRA-PETKOWICZ CL. Extraction and characterization of a pectin from coffee (*Coffea arabica* L.) pulp with gelling properties [J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 245: 116473.

[19] 张坤, 刘小刚, 李永惠, 等. 加热时长和糖含量对咖啡果皮酱品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(24): 97–104.
ZHANG K, LIU XG, LI YH, *et al*. Effect of heating time and sugar content on the quality of coffee peel jam [J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(24): 97–104.

[20] 胡荣锁, 周晶, 董文江, 等. 基于 HS-SPME/GC-MS 和感官分析技术的单菌发酵对咖啡果酒风味影响研究[J]. 农学学报, 2016, 6(2): 107–112.
HU RS, ZONG J, DONG WJ, *et al*. Flavor impact of single strain ferment on coffee wine based on HS-SPME/GC-MS and sensory analysis technology [J]. Journal of Agriculture, 2016, 6(2): 107–112.

[21] ONTAWONG A, BOONPHANG O, PASACHAN T, *et al*. Hepatoprotective effect of coffee pulp aqueous extract combined with simvastatin against hepatic steatosis in high-fat diet-induced obese rats [J]. Journal of Functional Foods, 2019, 54: 568–577.

[22] REBOLLO HM, ZHANG QZ, AGUILERA Y, *et al*. Phenolic compounds from coffee by-products modulate adipogenesisrelated inflammation, mitochondrial dysfunction, and insulin resistance in adipocytesvia insulin /PI3K/AKT signaling pathways [J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 132: 110672.

[23] 尹雄, 李泽林, 付晓萍, 等. 云南小粒咖啡果皮粉发酵酸奶的研制[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(3): 104–110.
YIN X, LI ZL, FU XP, *et al*. Development of fermented yoghurt with Yunnan coffee pericarp powder [J]. Storage and Process, 2019, 19(3): 104–110.

[24] 刘静, 傅冰, 刘苏瑶, 等. 云南咖啡果发酵型果酒的酿造[J]. 食品工业科技, 2017, 38(10): 194–199.
LIU J, FU B, LIU SY, *et al*. Study on wine brewing technology of coffee pulp grown in Yunnan Province [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(10): 194–199.

[25] 冯黎莎, 陈秋. 响应面法优化咖啡果皮饮料配方[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(16): 288–296.
FENG LS, CHEN Q. Optimization of coffee peel beverage formula by response surface methodology [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(16): 288–296.

[26] 罗娅婷, 张国忠, 谢恩翰, 等. 咖啡果皮茶制作工艺初步研究[J]. 普洱学院学报, 2018, 34(6): 15–17.
LUO YT, ZHANG GZ, XIE ENH, *et al*. Preliminary study on the processing technology of coffee peel tea [J]. Journal of Puer University, 2018, 34(6): 15–17.

[27] 文志华, 程金焕, 何红艳. 咖啡果皮茶的加工技术[J]. 食品安全导刊, 2019(18): 163.
WEN ZH, CHENG JH, HE HY. Processing technology of coffee peel tea [J]. China Food Safety Magazine, 2019(18): 163.

[28] 孙岳, 周地娇, 何飞飞, 等. 咖啡果皮茶冲泡条件研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(12): 97–101.
SUN Y, ZHOU DJ, HE FF, *et al*. The brewing methods of coffee pericarp tea [J]. Food Research and Development, 2021, 42(12): 97–101.

[29] 陆罗定, 张颖, 赵悦, 等. 低聚木糖的毒理学安全性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(13): 100–109.
LU LD, ZHANG Y, ZHAO Y, *et al*. Toxicological safety study of xylooligosaccharides [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(13): 100–109.

[30] 李蕊瑞, 刘科亮, 吴德举, 等. 龙安柚花毒理学安全性评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(16): 6586–6593.
LI RR, LIU KL, WU DJ, *et al*. Toxicological safety evaluation on the flower of *Citrus grandis* var. Longanyou [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(16): 6586–6593.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)