

# 蝙蝠蛾拟青霉发酵小粒咖啡前后 营养和安全指标对比\*

杨瑾屏<sup>1</sup>, 姜国银<sup>1</sup>, 丁友谊<sup>2</sup>, 张炳炎<sup>3</sup>, 杨本寿<sup>1\*\*</sup>

(1. 曲靖医学高等专科学校 微生物研究所, 云南 曲靖 655000; 2. 盈江帆盛旅游文化有限公司, 云南 德宏 679300;  
3. 昆明罗望子科工贸有限公司, 云南 昆明 650091)

**[摘要]** 利用蝙蝠蛾拟青霉 *Paecilomyces hepiali* JY6-6 对云南小粒咖啡粉进行发酵, 检测并对比了发酵前后一般营养成分、矿质元素、氨基酸、以及咖啡特有指标绿原酸、咖啡因、葫芦巴碱等成分的含量变化, 也对发酵前后样品中的重金属、农药残留、真菌毒素、致病菌等食品安全指标进行了检测和对比。检测结果表明, 发酵后产品中蛋白质、粗脂肪、维生素 C 的含量比发酵前分别提高了 17.21%, 69.86%, 576.11%, 而粗纤维、水分、总糖的含量则分别下降了 44.49%, 55.00%, 41.55%。发酵后矿质元素磷、锌、铁、镁、钙、铜的含量比发酵前分别提升了 206.748%, 152.000%, 278.378%, 67.089%, 95.789%, 22.124%, 而锰、钠、钾、硒的含量则出现较明显的降低, 分别比发酵前降低了 23.645%, 79.149%, 41.757%, 88.182%。所检测的 18 种氨基酸中, 苏氨酸、脯氨酸、丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、胱氨酸这 5 种氨基酸的含量比发酵前有所增加, 缬氨酸含量没有发生变化, 其余 12 种氨基酸的含量与发酵前相比则出现了不同程度的降低。在特有指标的检测中, 发酵后咖啡因和葫芦巴碱的含量比发酵前升高了, 分别提升了 9.684% 和 8.720%。而发酵后绿原酸的含量则较发酵前下降了 19.343%。发酵后的样品各项安全指标参数均符合国家安全标准。上述研究结果可为进一步开发小粒咖啡新工艺和新产品提供参考。

**[关键词]** 蝙蝠蛾拟青霉 JY6-6; 小粒咖啡; 发酵; 营养成分; 安全指标

**[中图分类号]** Q939.99 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1674-5639(2023)03-0081-07

**DOI:** 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2023.03.013

咖啡是世界三大饮料作物之一, 其产量、产值和消费量均居三大饮料之首<sup>[1,2]</sup>。云南是中国最大的咖啡豆产地, 其咖啡种植面积和产量均占到全国的 99% 以上, 主要种植品种为小粒咖啡<sup>[3]</sup>。云南小粒咖啡又称阿拉伯种咖啡、阿拉比卡咖啡, 原产于非洲埃塞俄比亚西南部和苏丹东南部, 属茜草科 (Rubiaceae)、咖啡属 (*Coffea*) 多年生常绿灌木或小乔木。云南小粒咖啡“浓而不苦、香而不烈、略带果味”, 风味独特, 深受消费者欢迎<sup>[4]</sup>, 曾被国际咖啡组织评为一类产品<sup>[5]</sup>。然而云南小粒咖啡产业存在规模小、产量少、竞争力低的问题<sup>[6]</sup>, 因此提高其品质, 促进云南咖啡产业化升级, 提高国际竞争力, 已成为当前云南咖啡产业的发展方向。

微生物转化是指通过微生物生命活动中产生的酶及代谢产物对外源性化合物进行加工, 将某特定物质转化为另一种物质的过程<sup>[7]</sup>。其具有特异性强、反应类型广、副产物少、环保无污染、反应条件温和可控等优点<sup>[8-11]</sup>。微生物发酵技术是微生物转化技术的一种<sup>[12]</sup>, 被广泛应用于食品加工工艺改造、功能性食品开发、细胞蛋白生产等领域<sup>[13]</sup>。微生物发酵技术与传统的工艺相比优势显著, 不仅能提升食品的口感、风味, 改善食品的营养价值, 还能使发酵后的食品具有一定的生物学活性, 使其在兼具美味的同

\* [收稿日期] 2022-03-30

[作者简介] 杨瑾屏, 女, 云南曲靖人, 曲靖医学高等专科学校副教授, 研究方向为分析化学。

\*\* [通信作者] 杨本寿, 男, 河南获嘉人, 曲靖医学高等专科学校教授, 博士, 研究方向为微生物资源与利用, E-mail: yangbenshou@163.com.

[基金项目] 云南省教育厅科学研究基金项目 (2020J0797)。

时具有保健功能<sup>[14,15]</sup>。此外,微生物发酵技术还可以延长食品的保质期<sup>[14]</sup>。因此,该技术促进了食品生产工业的发展,为丰富人们的饮食、提升生活质量做出了重要贡献<sup>[16]</sup>。

在微生物发酵技术中,发酵选用的微生物菌种在生产中至关重要。选择不同菌种发酵将对食品风味和物质成分造成不同的影响<sup>[17]</sup>。蝙蝠蛾拟青霉(*Paecilomyces hepiali* JY6-6)<sup>[18]</sup>分离自云南省德钦县白马雪山天然冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*),是一种被批准的保健食品真菌<sup>[19]</sup>。本文拟选用*P. Hepiali* JY6-6对云南小粒咖啡进行发酵转化,以期研发新的功能性饮料奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料和仪器

云南小粒咖啡样品:某品牌小粒咖啡豆原料(未经灭菌处理)。

发酵菌种:*P. Hepiali* JY6-6由中国科学院微生物研究所鉴定,培养基和培养条件:斜面试管培养采用PPDA培养基(在PDA培养基成分中加入1%蛋白胨);液体培养采用PPDB培养基;固体菌种制作用湿度50%的麦麸,25℃恒温培养。

仪器:智能精密摇床(BSD-YF2600,上海博讯实业有限公司医疗设备厂);人工气候箱(BIC-250,上海博讯实业有限公司医疗设备厂);立式压力蒸汽灭菌器(YXQ-75G,上海博讯实业有限公司医疗设备厂);原子吸收分光光度计(AA-7000,日本岛津公司);原子荧光分光光度计(AFS-8510,北京海光仪器有限公司);高效液相色谱仪(LC-20AT, LC-16, LC-2030-3D-plus,日本岛津公司);高效液相色谱仪(UltiMate3000,美国戴安公司);万分之一电子天平(ME204E,梅特勒-托利多仪器有限公司);火焰/石墨炉原子吸收光谱仪(PinAAcle 900T,珀金埃尔默(PerkinElmer));液相原子荧光联用仪(PF52,北京普系统用仪器有限公司);电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9070A,上海精宏实验设备有限公司)等。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 样品处理

小粒咖啡豆发酵前处理方法:首先,云南小粒咖啡豆干品经过粉碎,弃表皮后得到粒径约3~4mm的咖啡颗粒,经清水浸泡15~20h,沥干水分,拌入80目过筛,得到粒径约0.3mm的咖啡颗粒细粉,调整湿度到60%~65%左右,取适量拌好的咖啡粉装入到500mL组培瓶内,约占瓶高的2/3,压实拧紧,在1.05 kg/cm<sup>2</sup>蒸汽压和121.3℃条件下,维持60min进行灭菌。

咖啡粉接种及发酵方法:首先,将生长好的菌种*P. Hepiali* JY6-6从PPDA试管斜面无菌条件下接种到组培瓶内小粒咖啡粉中,经25℃培养45~60d,直至白色菌丝体长满瓶底。然后从组培瓶中掏出咖啡粉,经烘干,粉碎,灭菌后形成发酵后的小粒咖啡粉,称之为“妙醇咖啡”粉。

#### 1.2.2 检测项目与方法

本研究所涉及发酵前后咖啡粉中的一般营养成分、矿质元素、氨基酸、绿原酸、咖啡因、葫芦巴碱以及重金属、农药残留、真菌毒素、致病菌含量的检测项目与方法依据见表1。

表1 检测项目与方法依据

检测项目	检测方法	检测项目	检测方法
蛋白质	GB 5009.5—2016	铅	GB 5009.12—2017
维生素C	GB 5009.86—2016	镉	GB 5009.15—2014
水分	GB 5009.3—2016	铬	GB 5009.123—2014
总糖	GB 5009.8—2016	砷	GB 5009.11—2014
粗纤维	GB/T 5009.10—2003	汞	GB 5009.17—2014
粗脂肪	GB 5009.6—2016	咖啡因	GB 5009.139—2014
磷	GB 5009.87—2016	绿原酸	T/C CCMHPIE 1.16—2016
锌	GB 5009.14—2017	葫芦巴碱	NY/T 3012—2016
铁	GB 5009.90—2016	菌落总数	GB 4789.2—2016
锰	GB 5009.242—2017	大肠菌群	GB 4789.3—2016
镁	GB 5009.241—2017	金黄色葡萄球菌	GB 4789.10—2016

续表 1

检测项目	检测方法	检测项目	检测方法
钙	GB 5009. 92—2016	沙门氏菌	GB 4789. 4—2016
铜	GB 5009. 13—2017	志贺氏菌	GB 4789. 5—2012
钾、钠	GB 5009. 91—2017	溶血性链球菌	GB 4789. 11—2014
硒	GB 5009. 93—2017	赭曲霉毒素 A	GB 5009. 96—2016
氨基酸总量	GB 5009. 5—2016	六六六	GB/T 5009. 19—2008
氨基酸	GB 5009. 124—2016	滴滴涕	GB/T 5009. 19—2008

## 2 结果与分析

### 2.1 发酵前后咖啡中一般营养成分比较

由表 2、表 3 可见, 发酵后产品中的蛋白质、粗脂肪、维生素 C 等一般营养成分的含量与发酵前相比发生了变化. 其中, 蛋白质、粗脂肪、维生素 C 的含量比发酵前分别提高了 17. 21%, 69. 86%, 576. 11%; 粗纤维、水分、总糖的含量则分别下降了 44. 49%, 55. 00%, 41. 55%. 上述营养成分中, 维生素 C、粗脂肪和水分含量的升降变化比较明显. 造成这种变化的原因是发酵过程中微生物进行的新陈代谢活动. 由于粗纤维、水分、总糖都是微生物生命活动需要消耗较多的物质, 因此随着微生物的新陈代谢, 粗纤维、水分、总糖的含量下降, 而蛋白质、粗脂肪、维生素 C 的含量升高. 而维生素 C 是一种对人体较为重要的营养成分, 其主要具有抗氧化和提高免疫力的作用. 发酵后咖啡粉中维生素 C 含量明显升高, 提升了其保健功能; 粗纤维含量的降低, 增加了其适口性, 改善了口感. 蛋白质含量的提升, 提高了其营养价值. 因此, 通过 *P. Hepiali* JY6-6 的发酵转化, 妙醇咖啡粉的营养品质、保健功能以及口感与发酵前相比均得到了改善.

表 2 云南小粒咖啡发酵前后一般营养成分及含量比较

样品	蛋白质/ (g/100 g)	粗纤维/ (g/100 g)	粗脂肪/ (g/100 g)	水分/ (g/100 g)	总糖 (以葡萄糖计) / (g/100 g)	维生素 C/ (mg/100 g)
发酵前	12. 20	27. 20	7. 30	10. 00	7. 10	2. 47
发酵后	14. 30	15. 10	12. 40	4. 50	4. 15	16. 70

表 3 云南小粒咖啡发酵后较发酵前一般营养成分含量变化比例

蛋白质	粗纤维	粗脂肪	水分	总糖(以葡萄糖计)	维生素 C	%
+17. 21	-44. 49	+69. 86	-55	-41. 55	576. 11	

### 2.2 发酵前后咖啡中矿质元素含量比较

由 *P. Hepiali* JY6-6 发酵云南种小粒咖啡前后矿质元素的变化 (表 4、表 5) 可见, 通过发酵, 发酵后咖啡中的矿质元素含量出现了较大变化. 发酵后咖啡粉中磷、锌、铁、镁、钙的含量与发酵前相比出现了较明显的提升, 分别比发酵前提升了 206. 748%, 152. 000%, 278. 378%, 67. 089%, 95. 789%, 铜的含量提升了 22. 124%, 与前者相比提升较不显著. 而锰、钠、钾、硒的含量则出现较明显的降低. 其分别比发酵前降低了 23. 645%, 79. 149%, 41. 757%, 88. 182%. 发酵后含量有较大的提升的 5 种矿质元素对人体的生命活动有着重要的作用. 磷是构成骨骼和牙齿的重要原料, 也是蛋白质、核酸、辅酶和磷酸的组成成分, 还参与着人体内重要的代谢, 并对于人体体液渗透压和酸碱平衡也起到重要作用. 锌是人体必需的微量元素, 所需量不多但作用显著. 儿童缺锌不仅会导致生长发育停滞, 还会影响智力发育. 而合理的补充锌, 可使白细胞作用增强, 提高免疫力. 铁是人体内载体及酶的组成部分, 参与血红蛋白与肌红蛋白的组成. 缺铁会出现缺铁性贫血, 也会引起免疫功能下降和代谢紊乱. 人体内缺镁, 则会使人体产生疲乏感, 易激动, 还会导致心跳加快. 钙是人体中含量最多的矿质元素, 99% 沉积在骨骼和牙齿中, 被称为“生命元素”, 缺钙会影响人体正常的生理代谢.

表4 云南小粒咖啡发酵前后矿质元素含量比较

样品	P/ (mg/100 g)	Zn/ (mg/kg)	Fe/ (mg/kg)	Mn/ (mg/kg)	Mg/ (mg/kg)	Ca/ (mg/kg)	Cu/ (mg/kg)	Na/ (mg/100 g)	K/ (mg/100 g)	Se/ (mg/kg)
发酵前	97.800	5.000	25.900	60.900	1 580.000	950.000	11.300	18.800	1 480.000	0.660
发酵后	300.000	12.600	98.000	46.500	2 640.000	1 860.000	13.800	3.920	862.000	0.078

表5 云南小粒咖啡发酵后较发酵前矿质元素含量变化比例

P	Zn	Fe	Mn	Mg	Ca	Cu	Na	K	Se
+206.748	+152.000	+278.378	-23.645	+67.089	+95.789	+22.124	-79.149	-41.757	-88.182

与上述元素含量变化相对的,发酵后咖啡中钠和钾的含量均出现了较为明显的降低,但是发酵后K/Na比值明显提高,由发酵前的78.7提高到了发酵后的219.9.而高钾低钠产品的摄入有利于降低高血压患者的血压、改善患者血管内皮功能、降低动脉僵硬、有效预防高血压等心血管疾病<sup>[20,21]</sup>.因此,发酵后咖啡粉与发酵前相比,其保健功能得到了提升.

2.3 发酵前后咖啡中氨基酸质量分数比较

通过比较样品经*P. Hepiali* JY6-6发酵前后的氨基酸质量分数(表6、表7),可以看出所检测的18种氨基酸含量出现了不同程度的变化.其中苏氨酸、脯氨酸、丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、胱氨酸这5种氨基酸质量分数比发酵前有所增加,缬氨酸没有发生变化,其余12种氨基酸质量分数与发酵前相比则出现了不同程度的降低.发酵后所检测的赖氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、蛋氨酸和色氨酸这8种必需氨基酸总质量分数达到了4.46%,占发酵后氨基酸总量的35.97%.发酵前8种必需氨基酸总质量分数为4.58%,占发酵前氨基酸总量的35.50%.发酵后8种必需氨基酸在氨基酸总量中所占比例较发酵前提升了0.47%.对婴儿来说,组氨酸也是必需氨基酸.而发酵后的组氨酸含量也比发酵前提升了3.13%.由此可见,通过*P. Hepiali* JY6-6对云南小粒咖啡的发酵,样品的营养品质得到了一定地提升.

表6 云南小粒咖啡发酵前后氨基酸质量分数比较

氨基酸名称	发酵前样品	发酵后样品	发酵后变化量	发酵后变化比例
天冬氨酸	1.22	1.16	-0.06	-4.92
苏氨酸	0.49	0.51	+0.02	+4.08
丝氨酸	0.67	0.65	-0.02	-2.99
谷氨酸	2.63	2.40	-0.23	-8.75
脯氨酸	0.66	0.74	+0.08	+12.12
甘氨酸	0.79	0.76	-0.03	-3.80
丙氨酸	0.58	0.60	+0.02	+3.45
缬氨酸	0.71	0.71	0	0
蛋氨酸	0.15	0.14	-0.01	-6.67
异亮氨酸	0.50	0.49	-0.01	-2.00
亮氨酸	1.12	1.05	-0.07	-6.25
酪氨酸	0.41	0.39	-0.02	-4.88
苯丙氨酸	0.67	0.62	-0.05	-7.46
赖氨酸	0.73	0.75	+0.02	+2.74
精氨酸	0.73	0.67	-0.06	-8.22
组氨酸	0.32	0.33	+0.01	+3.13
色氨酸	0.21	0.19	-0.02	-9.52
胱氨酸	0.28	0.29	+0.01	+3.57
氨基酸总量	12.90	12.40	-0.50	-3.88

表7 云南小粒咖啡发酵前后特有指标质量分数比较

%

氨基酸名称	发酵前	发酵后	发酵后变化比例
绿原酸	0.548	0.442	-19.343
咖啡因	0.444	0.487	+9.684
葫芦巴碱	0.344	0.374	+8.720

#### 2.4 发酵前后咖啡特有指标比较

绿原酸 (chlorogenic acid, CGA)、咖啡因 (Caffeine) 和葫芦巴碱 (Trigenolline, TG) 是咖啡中独特的次生代谢产物<sup>[22]</sup>, 因此, 上述3种成分往往被作为检验咖啡品质的特有指标。绿原酸是一种重要的生物活性物质, 是饮食中含量较为丰富的一种水溶性酚类化合物, 在植物界中分布广泛, 其具有抗病毒、抗菌、抗炎、抗氧化、清除自由基、增高白血球、抑制突变、抗癌、治疗代谢类疾病、保护心血管系统等药理作用<sup>[23,24]</sup>, 并具有降低脂质和葡萄糖的特性, 从而具备降脂减肥的功效<sup>[25-27]</sup>。咖啡因是一种具有刺激特性的脂溶性生物碱, 能够穿过血脑屏障而影响神经功能。其通过增加交感神经系统的兴奋性、促进脂肪氧化和棕色脂肪组织活化来抑制食欲和增加能量消耗<sup>[28]</sup>。葫芦巴碱是一种具有降血脂<sup>[29]</sup>、降血糖、保护肾脏<sup>[30]</sup>、保护心血管及心脏<sup>[31]</sup>等药理作用的生物碱类物质。对比发酵前后样品的咖啡特有指标(表7)可知, 发酵后咖啡因和葫芦巴碱的质量分数比发酵前升高了, 分别提升了9.684%和8.720%。而发酵后绿原酸质量分数则较发酵前下降了19.343%。绿原酸、咖啡因和葫芦巴碱都是咖啡中重要的生物活性物质, 通过上述测试结果也说明了蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 能耐云南小粒咖啡活性物质的抑制而正常发酵。

#### 2.5 发酵前后咖啡中重金属、农药残留、真菌毒素比较

发酵前后咖啡粉样品中重金属、农药残留含量检测结果见表8。可见在发酵前后的样品中均未检出重金属铅、总砷、总汞以及农药残留滴滴涕。而在发酵前样品中检出重金属镉的含量为0.031 mg/kg, 在发酵后样品中为0.098 mg/kg, 镉含量比发酵前有所提高。依据国标 NYT 289—2012 绿色食品咖啡产品认证检验必检项目的规定, 镉限量要求 $\leq 0.5$  mg/kg。因此, 发酵后样品镉含量虽有提升, 但远远低于国标的限量规定。在发酵前样品中检出农药残留六六六含量为0.09 mg/kg, 而在发酵后样品中未检出。以上结果说明 *P. Hepiali* JY6-6 对咖啡的发酵过程会一定程度上积累重金属并降解农药残留。根据《食品安全国家标准》规定, 食品中污染物限量应符合 GB 2762 的规定, 真菌毒素限量应符合 GB 2761 的规定, 农药残留限量应符合 GB 2763 的规定。而根据上述检测结果可知, 发酵后样品中重金属污染物、农药残留及真菌毒素限量均达到了国家安全标准的要求。

表8 小粒咖啡发酵前后重金属、农药残留、真菌毒素含量比较

mg/kg

检验项目	发酵前	发酵后
铅(以 Pb 计)	—	—
总砷(以 As 计)	—	—
镉(以 Cd 计)	0.031	0.098
总汞(以 Hg 计)	—	—
六六六	0.090	—
滴滴涕	—	—
赭曲霉毒素 A	—	—

#### 2.6 发酵前咖啡中致病菌含量比较

经 *P. Hepiali* JY6-6 发酵后咖啡粉样品中致病菌含量的检测结果见表9。分析结果表明, 发酵前后样品中金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、志贺氏菌、溶血性链球菌等致病菌均未检出, 符合国家安全标准 GB 29921 对致病菌限量的规定。发酵前样品和发酵后菌落总数含量均  $< 10$  CfU/g、大肠菌群含量均  $< 10$  CfU/g。根据《GB 7101—2015 食品安全国家标准 饮料》对固体饮料的要求, 发酵前后样品中菌落总数、大肠菌群的含量均达到了限量要求, 这是因为灭菌处理可显著降低菌落总数, 从而使发酵前、后样品中致病菌限量符合了国标 GB 29921 的规定。

表9 云南小粒咖啡发酵前后致病菌含量比较

样品	菌落总数/ (CFU/g)	大肠菌群/ (CFU/g)	金黄色葡萄球 菌/25 g	沙门氏 菌/25 g	志贺氏菌/ (CFU/g)	溶血性链球 菌/(CFU/g)
发酵前	<10	<10	—	—	—	—
发酵后	<10	<10	—	—	—	—

### 3 讨论

本研究利用 *P. Hepiali* JY6-6 对云南小粒咖啡进行了发酵, 根据国家食品安全标准对发酵前后的蛋白质、粗纤维、粗脂肪、总糖、维生素 C、水分、矿物质、氨基酸、氨基酸总量以及特有指标(绿原酸、咖啡因、葫芦巴碱)等成分进行了检测和对比分析。通过对比, 发现发酵后产品中蛋白质、粗脂肪、维生素 C 的含量比发酵前分别提高了 17.21%, 69.86%, 576.11%, 而粗纤维、水分、总糖的含量则分别下降了 44.49%, 55.00%, 41.55%。发酵后矿物质磷、锌、铁、镁、钙、铜的含量比发酵前分别提升了 206.748%, 152.000%, 278.378%, 67.089%, 95.789%, 22.124%, 而锰、钠、钾、硒的含量则出现较明显的降低, 分别比发酵前降低了 23.645%, 79.149%, 41.757%, 88.182%。所检测的 18 种氨基酸中, 苏氨酸、脯氨酸、丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、胱氨酸等 5 种氨基酸的含量比发酵前有所增加, 缬氨酸含量没有发生变化, 其余 12 种氨基酸的含量与发酵前相比则出现了不同程度的降低。发酵后 8 种必需氨基酸含量在氨基酸总量中所占比例较发酵前提升了 0.47%。在特有指标的检测中, 发酵后咖啡因和葫芦巴碱的含量比发酵前升高了, 分别提升了 9.684% 和 8.720%。而发酵后绿原酸的含量则较发酵前下降了 19.343%。

本研究对发酵前后样品的各项安全指标也进行了检测和对比分析。从检测结果可以看出, 发酵后样品中的重金属污染物、农药残留及真菌毒素限量均达到了国家安全标准的要求。发酵后样品中金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、志贺氏菌、溶血性链球菌等致病菌均未检出, 符合国家安全标准 GB 29921 对致病菌限量的规定。发酵后的样品各项安全指标参数均符合国家安全标准, 本研究为进一步开发小粒咖啡新工艺和新产品提供了参考。

### [参考文献]

- [1] 杜彬. 延吉咖啡行业发展研究 [D]. 延吉: 延边大学硕士学位论文, 2018.
- [2] 陆英, 贺春萍, 吴伟怀, 等. 我国咖啡炭疽病菌致病力分化 [J]. 西南农业学报, 2021, 34 (5): 1008-1014.
- [3] 吴建, 蒋快乐, 时玲, 等. 云南小粒种咖啡初加工工艺发展现状及趋势 [J]. 中国农机化学报, 2021, 42 (11): 205-213.
- [4] 王瑶, 王晓娜, 张雪辉, 等. 云南小粒咖啡类黑精的抗氧化及减肥功能 [J]. 食品科学, 2019, 40 (1): 183-189.
- [5] 黄家雄. 小粒咖啡标准化生产技术 [M]. 北京: 金盾出版社, 2009.
- [6] 吴建, 蒋快乐, 时玲, 等. 云南小粒咖啡初加工工艺发展现状及趋势 [J]. 中国农机化学报, 2021, 42 (11): 205-213.
- [7] 陈智慧, 邹宇晓, 刘凡, 等. 基于微生物转化技术的桑椹食品加工研究进展 [J]. 蚕业科学, 2016, 42 (2): 336-340.
- [8] 匡海学. 中药化学 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 2017: 2-8.
- [9] 关松磊, 吴雅馨, 孙赫, 等. 微生物转化技术在中药开发中的应用进展 [J]. 微生物学通报, 2018, 45 (4): 900-906.
- [10] 马宗敏, 段绪红, 秦梦, 等. 微生物发酵技术在中药苷类生物转化中的应用进展 [J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2017, 19 (5): 858-864.
- [11] 李艳, 周剑, 何东贤, 等. 微生物转化在现代中药研发中的应用 [J]. 中国抗生素杂志, 2020, 45 (5): 418-422.
- [12] 焦巧芳. 中药渣微生物转化利用菌种筛选研究 [D]. 金华: 浙江师范大学硕士学位论文, 2010.
- [13] 贺颖, 吴添伟, 金泽彬, 等. 微生物发酵技术在食品领域中的应用 [J]. 吉林医药学院学报, 2021, 42 (6): 453-455.

- [14] 裴志朵. 微生物发酵工程对食品营养及保健功能的影响探究 [J]. 现代食品, 2020 (2): 81-84.
- [15] 周艳玲. 食品发酵中微生物的应用现状与发展方向 [J]. 现代食品, 2020 (9): 63-64.
- [16] 谢建军, 王晓燕. 微生物发酵工程对食品营养及保健功能的影响分析 [J]. 科技创新与应用, 2016 (21): 79.
- [17] 白昆立. 微生物发酵茶饮料研究进展 [J]. 广东茶业, 2016 (5): 38-40.
- [18] 杨本寿, 杨瑾屏, 姜国银, 等. 一株冬虫夏草内生真菌的鉴定 [J]. 微量元素与健康研究, 2017, 34 (3): 36-38.
- [19] 王娟. 蝙蝠蛾拟青霉液体发酵菌丝体多糖对实验性糖尿病保护作用探讨 [D]. 长春: 吉林大学博士学位论文, 2017.
- [20] 尹婷婷, 文功雄, 张宏玉. 低钠高钾盐对高血压的影响研究进展 [J]. 实用临床护理学杂志, 2017 (21): 189.
- [21] 田国祥, 魏万林, 尤洪帅, 等. 低钠高钾平衡盐对高血压患者内皮功能及动脉僵硬度的影响 [J]. 河北医学, 2014, 20 (6): 881-884.
- [22] KOSHIRO Y, JACKSON M C, KATAHIRA R, et al. Biosynthesis of chlorogenic acids in growing and ripening fruits of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* plants [J]. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 2007, 62: 731-742.
- [23] 邓良, 袁华, 喻宗沅. 绿原酸的研究进展 [J]. 化学与生物工程, 2005 (7): 4-6.
- [24] 王庆华, 杜婷婷, 张智慧, 等. 绿原酸的药理作用及机制研究进展 [J]. 药学学报, 2020, 55 (10): 2273-2280.
- [25] NAVEED M, HEJAZI V, ABBAS M, et al. Chlorogenic acid (CGA): A pharmacological review and call for further research [J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2018, 97: 67-74.
- [26] STEFANELLO N, SPANEVELLO R M, PASSAMONTI S, et al. Coffee, caffeine, chlorogenic acid, and the purinergic system [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2019, 123: 298-313.
- [27] VELICKOVIC K, WAYNNE D, LEIJA H A L, et al. Caffeine exposure induces browning features in adipose tissue in vitro and in vivo [J]. *Scientific Reports*, 2019, 9 (1): 1-11.
- [28] 梁淑, 黄蓉, 王略力, 等. 减肥产品及其药理作用机制研究进展 [J]. 食品与营养科学, 2022, 11 (1): 73-79.
- [29] 卢芙蓉, 秦铀, 沈霖, 等. 葫芦巴提取物对肾病综合征大鼠肾损伤的保护作用 [J]. 中西医结合研究, 2009, 1 (6): 281-284.
- [30] XUE W, LEI J, LI X, et al. *Trigonella foenum graecum* seed extract protects kidney function and morphology in diabetic rats via its antioxidant activity [J]. *Nutrition Research*, 2011, 31 (7): 555-562.
- [31] MUKTHAMBA P, SRINIVASAN K. Hypolipidemic influence of dietary fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) seeds and garlic (*Allium sativum*) in experimental myocardial infarction [J]. *Food & Function*, 2015, 6 (9): 3117-3125.

### Comparison of Nutritional and Safety Indexes of Arabica Coffee Fermented by *Paecilomyces hepiali*

YANG Jinping<sup>1</sup>, JIANG Guoyin<sup>1</sup>, DING Youyi<sup>2</sup>, ZHANG Bingyan<sup>3</sup>, YANG Benshou<sup>1</sup>

(1. *Institute of Microbiology, Qujing Medical College, Qujing, Yunnan, China 655000;*

2. *Yingjiang Fansheng Travel Culture Co., LTD, Dehong, Yunnan, China 679300;*

3. *Kunming Tamarind Science, Industry and Trade Co., LTD, Kunming, Yunnan, China 650091*)

**Abstract:** Arabica coffee powder was fermented using the strain *Paecilomyces hepiali* JY6-6. The contents of general nutrients, mineral elements, amino acids, chlorogenic acid, caffeine and trigonelline were determined and compared before and after fermentation. The food safety indexes such as heavy metals, pesticide residues, mycotoxins and pathogens in samples before and after fermentation were also detected and compared. The results showed that after fermentation, the contents of protein, crude fat and vitamin C increased by 17.20%, 69.86% and 576.11% respectively, while the contents of crude fiber, water and total sugar decreased by 44.49%, 55.00% and 41.55% respectively. After fermentation, the contents of mineral elements phosphorus, zinc, iron, magnesium, calcium and copper increased by 206.748%, 152.000%, 278.378%, 67.089%, 95.789%, 22.124% compared with that before fermentation, while the contents of manganese, sodium, potassium and selenium decreased significantly by 23.645% compared with that before fermentation. 79.149%, 41.757%, 88.182%. Among the 18 amino acids tested, the contents of threonine, proline, alanine, lysine, histidine and cystine increased, while the contents of valine did not change, and the contents of the other 12 amino acids decreased to varying degrees compared with before fermentation. In the detection of specific indexes, the contents of caffeine and trigonelline after fermentation increased by 9.684% and 8.720%, respectively. The content of chlorogenic acid after fermentation decreased by 19.343% compared with that before fermentation. All the safety indexes after fermentation were in accordance with the national safety standards. This study provides a reference for the further development of new technology and new products of Arabica coffee.

**Key words:** *Paecilomyces hepiali* JY6-6; Arabica coffee; fermentation; nutrient composition; safety indexes

(责任编辑: 陈伟超)