

doi:10.12301/j.issn.2095-6002.2021.03.000

文章编号:2095-6002(2021)03-0000-00

引用格式:赵林芬,弘子姗,杨凯.基于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(3):-.

[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021,39(3):-.

基于酿酒酵母多物混合发酵对咖啡豆风味品质的影响

赵林芬, 弘子姗, 杨 凯, 龚加顺, 谭 超*

(云南农业大学 食品科学技术学院, 云南 昆明 650201)

摘 要:中国咖啡主产于云南,云南咖啡在花果风味及甜香风味方面有所欠缺,发酵是影响咖啡风味品质的重要因素之一。利用酿酒酵母在低温厌氧条件下发酵咖啡鲜果,添加香草、肉桂、热带水果、蜂蜜等原料为基底共同发酵,最终对发酵咖啡豆进行理化、香气成分分析及主观评价,探究发酵对咖啡品质的影响。结果表明,添加香草、肉桂、苹果、甜橙、香蕉、蜂蜜发酵的咖啡与无添加的对照组咖啡相比,灰分和脂肪含量无差异($P > 0.05$),可溶性蛋白含量显著提高($P < 0.05$),底物的添加对最终咖啡豆中多糖、还原糖、总蛋白、多酚有不同程度的影响,无明显规律。采用气相离子迁移色谱(gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)对发酵咖啡生豆挥发性成分进行分析,共定性出36种化合物,9种酯、6种酮、8种醛、6种醇、5种烯萜、1种呋喃、1种酸类,其中酮、醛、醇、酯类共占挥发性成分的60%以上。结合主观评价结果香草、肉桂、热带水果与咖啡发酵可赋予咖啡水果香气,提升咖啡花果香特质,其中香料组、甜橙组达精品咖啡标准,香蕉组香气较为突出,蜂蜜组在香气方面未有突出特点,且酸度过高对甜度提升不足。研究为进一步改善云南咖啡花果甜香特质,提升咖啡风味提供一定理论依据和数据支持。

关键词:咖啡;酿酒酵母;发酵;风味;气相离子迁移色谱

中图分类号:TS273

文献标志码:A

咖啡豆(coffee bean)是茜草科(Rubiaceae)咖啡属(*Coffea*)植物的种子^[1]。作为一种古老的天然饮品,具有多种活性成分,烘焙后散发诱人的芳香^[2-3]。云南是中国第一个种植咖啡的省份,也是目前我国最大的咖啡产地,主要种植小粒咖啡(*Coffea arabica* Linn.)咖啡。种植区分布在云南西南部北纬15°至北回归线间,海拔约800~2 000 m的区域^[4]。得天独厚的自然条件,海拔和纬度造就了云南咖啡豆酸味适中、浓而不苦、香味醇和、略带果味的特质^[5],但与瑰夏(Geisha)等精品咖啡相比花果

甜香风味不足。咖啡风味不仅受品种和种植环境的影响,采收后加工过程中发酵环节也起到至关重要的作用^[6]。

国内外主要聚焦于咖啡风味成分分析及烘焙对风味的影响研究,针对咖啡发酵风味的研究相对不多。近年来,微生物发酵对咖啡风味品质形成的影响研究逐渐成为热点。佟世生等^[7]对酶解偶联发酵处理的云南小粒咖啡鲜果和生豆进行电子舌分析,发现通过酶解偶联发酵咖啡鲜果可以得到与天然麝香猫咖啡风味相同的咖啡豆。Wang等^[8]通过

收稿日期:2019-11-11

基金项目:云南农业大学自然科学基金青年科研基金项目(2016ZR04);云南省高校食品加工与安全控制重点实验室开放基金项目(YJK[2014]16 KF06);云南省建立农科教相结合新型农业社会化服务体系试点项目(2014NG004-08)。

第一作者:赵林芬,女,硕士研究生,研究方向为食品加工与工艺。

*通信作者:谭 超,男,讲师,博士,主要从事咖啡及其制品方面的研究。

添加葡萄糖控制乳酸乳球菌亚种 (*Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*) 发酵生咖啡豆, 发现乳酸乳球菌亚种可显著提高咖啡的风味属性。魏敏等^[9]研究了桑肠杆菌 (*Enterobacter mori* I4-3, CCTCC M2012020) 发酵对咖啡提取物挥发性成分的影响, 发现发酵后咖啡提取物中带有咖啡特征香气的同时还带有浓郁坚果奶香等丰富香气, 刺激性成分、苦涩感减少。这些研究均是利用微生物在咖啡本身风味特质的基础上进行的改善研究, 通过外添天然的风味物质利用微生物发酵过程改善咖啡风味品质的研究报道较少。

酿酒酵母又称面包酵母或出芽酵母, 适宜生长温度为 25 ~ 30 °C, 在低温条件下非酒精发酵时, 会抗性生长, 累积包括挥发性醇、酯、酚、酮、芳香族等丰富的香气成分^[10]。本研究拟在云南咖啡鲜果中添加可能提供香料气味(肉桂、香草)、水果气味(苹果、甜橙、香蕉)、甜香气味(蜂蜜)的底物, 利用酿酒酵母发酵混合物, 对发酵后的咖啡生豆进行理化性质、香气成分分析, 以及对烘焙后的咖啡风味进行主观评价。探索混合发酵对咖啡花果甜香风味的改善, 为进一步改善云南咖啡花果甜香特质, 提升咖啡风味提供一定理论依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料及设备

咖啡鲜果 (*Coffea arabica* Linn., 2018 年云南省普洱市苡榕庄园产); 酿酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*, 2018 年安琪酵母股份有限公司产); 白砂糖, 太古糖业(中国)有限公司; 百花蜂蜜, 云南农业大学东方蜜蜂研究所; 苹果、甜橙、香蕉、肉桂、香草, 市售; 其他实验试剂均为分析纯。

EU-K1-20T 型超纯水机, 南京欧铠环境科技有限公司; TGC20M 型离心机, 湖南湘立科学仪器有限公司; KDN-04B 型凯氏定氮仪, 浙江托普仪器有限公司; SOX406 型索氏抽提仪, 济南阿尔瓦仪器有限公司; METTLER TOLEDO HS153 型水分测定仪, 上海锐析仪器设备有限公司; Brewista 型 200 mL 专业咖啡杯测碗勺, 苏州顺和丰家电科技有限公司; R500F 型咖啡烘焙机, 北京三豆客科技有限公司; SW-CJ-2D 型超净工作台, 苏州净化设备有限公司; FlavourSpec®型气相离子迁移色谱仪, 济南海能仪器

股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 咖啡鲜果的发酵

咖啡鲜果用超纯水清洗浸泡 3 min 后经 121 °C 灭菌 15 min。白砂糖、蜂蜜、苹果、甜橙、香蕉、肉桂、香草原料经紫外照射灭菌 30 min。灭菌后的咖啡鲜果和风味底物放入超净工作台中备用。样品设置为 A ~ F 共 6 个组, 3 个平行, 每个样品按 m (咖啡鲜果): m (酿酒酵母): m (风味底物) = 60 g: 3 g: 37 g 配制, 风味底物按每个样品质量分数配比, 包括对照组 A 为水 37%; 香料组 B 为肉桂粉 1.5%、香草粉 1.5%、水 34%; 苹果组 C 为苹果 18%、糖 2.4%、水 16.6%; 甜橙组 D 为甜橙 18%、糖 2.4%、水 16.6%; 香蕉组 E 为香蕉 18%、糖 2.4%、水 16.6%; 蜂蜜组 F 为蜂蜜 6%、水 31%。配制好的样品装入灭菌后的蒸煮袋, 并真空封装。于 20 °C 恒温发酵 24 h 后隔袋手工揉捻让咖啡豆与果皮分离, 再继续 20 °C 恒温发酵 24 h, 取出分离咖啡豆于不锈钢托盘中 40 °C 鼓风干燥至豆体水分质量分数为 10% ~ 12%。

1.2.2 咖啡生豆的烘焙

根据中度烘焙豆在香气和口感上的相对优势, 采用中度烘焙^[11]。准确称取 100 g 咖啡豆, 置于咖啡烘焙机中烘焙, 入豆温度 150 °C, 并以 5 °C/min 升温, 12 min 后温度达到 210 °C 后恒温烘焙, 当咖啡豆烘焙时产生第一次爆破音后 10 s 迅速出豆冷却, 烘焙咖啡豆艾格壮数值 (Agtron number) 为 58 ± 1 , 研磨粉艾格壮数值为 63 ± 1 , 装入带单向透气阀的袋子放置 24 h。

1.2.3 烘焙咖啡豆风味的主观评价

咖啡风味的主观评价, 也称为咖啡杯测, 是采用美国精品咖啡协会 (Specialty Coffee Association of America, SCAA) 所设立的标准, 利用人的嗅、味、触觉来评价咖啡的品质。本研究参考 SCAA 评分标准^[12], 每个样品 5 次重复。将烘焙后咖啡豆磨粉后过美标 20 目网筛, 取过筛后的咖啡粉 11 ± 0.25 g 加入 200 mL 93 °C 的超纯水静置 3 min 后开始评定。评定指标包括干/湿香气、风味、余韵、酸质、体脂感、一致性、平衡性、干净度、甜度等级、综合考虑 10 项, 最终扣除瑕疵度分值, 得到最终分数。杯测表从 6 分开始标注, 一共分为 4 个级别, 6 分为“好”; 7 分为“非常好”; 8 分为“优秀”; 9 分为“超凡”。每个等级又分 4 个给分等级, 给分单位是 0.25 分, 4 个

等级共 16 个给分点。最终得分高于 80 分,即为精品级。

1.2.4 混合发酵后咖啡生豆的理化性质测定

总灰分的测定按 GB 5009. 4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》方法;水分含量的测定采用 METTLER TOLEDO HS153 型快速水分测定仪;还原糖含量的测定按 GB 5009. 7—2016《食品安全国家标准 食品中还原糖的测定》直接滴定法;多糖含量的测定采用蒽酮-硫酸比色法^[13-14];脂肪含量按 GB 5009. 6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》索式抽提法;蛋白质含量的测定按 GB 5009. 5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》凯氏定氮法。可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G250 染色法^[15];多酚含量参考 GB/T 31740. 2—2015《茶制品 第 2 部分:茶多酚》的方法。

1.2.5 挥发性成分的测定

气相色谱条件:1 g 样品于 20 mL 顶空进样瓶中,40 ℃ 平衡 20 min,取顶空气体进样 200 μL 用 GC-IMS 进行测试,载气 N₂(纯度≥99. 999%),进样

针温度 45 ℃,色谱柱 FS-SE-54-CB-1 (15 m × 0. 53 mm,1 μm),柱温箱温度 60 ℃,载气流量程序为 0 ~ 2 min,2 mL/min;2 ~ 10 min,2 ~ 15 mL/min;10 ~ 20 min,20 ~ 80 mL/min;20 ~ 40 min,100 ~ 130 mL/min。离子迁移谱条件:漂移管长度 98 mm;管内线性电压 500 V/cm;漂移管温度 45 ℃;漂移气 N₂(纯度≥99. 999%);漂移气流速 150 mL/min;离子源 β-射线(氚);离子化模式正离子。

1.3 数据分析

采用 Excel 2017 进行数据整理,采用 IBM SPSS 22 进行数据差异性分析,采用 Laboratory Analytical Viewer 和 GC × IMS Library Search Software 分析样品中挥发性有机物的差异谱图,并结合 NIST 数据库和 IMS 数据库对物质初步定性。

2 结果与分析

2.1 混合发酵咖啡生豆理化性质分析

将发酵完毕的咖啡生豆样品 A ~ F 组进行理化分析,结果见表 1。

表 1 混合发酵后的咖啡生豆基本理化成分
Tab. 1 Basic chemical components of green coffee after mixed fermentation g/100 g

指标	样品					
	A	B	C	D	E	F
多糖	9. 72 ± 0. 53 ^{ab}	9. 24 ± 0. 47 ^b	9. 69 ± 0. 50 ^{ab}	11. 6 ± 0. 43 ^a	9. 61 ± 0. 28 ^b	9. 76 ± 0. 52 ^{ab}
还原糖	8. 14 ± 0. 19 ^a	8. 28 ± 0. 39 ^a	7. 17 ± 0. 11 ^c	7. 61 ± 0. 11 ^b	8. 23 ± 0. 30 ^a	7. 91 ± 0. 18 ^{ab}
脂肪	9. 23 ± 0. 34 ^a	8. 57 ± 0. 60 ^a	8. 87 ± 1. 01 ^a	9. 06 ± 0. 11 ^a	9. 07 ± 0. 11 ^a	9. 33 ± 0. 18 ^a
总蛋白	5. 89 ± 0. 31 ^a	6. 34 ± 0. 32 ^a	5. 45 ± 0. 30 ^{ab}	4. 80 ± 0. 62 ^b	5. 24 ± 0. 62 ^b	5. 46 ± 0. 31 ^{ab}
可溶性蛋白	1. 49 ± 0. 01 ^b	1. 87 ± 0. 01 ^a	1. 87 ± 0. 08 ^a	1. 82 ± 0. 04 ^a	1. 82 ± 0. 02 ^a	1. 80 ± 0. 02 ^a
多酚	2. 91 ± 0. 08 ^b	3. 10 ± 0. 10 ^{ab}	2. 88 ± 0. 03 ^b	3. 06 ± 0. 05 ^{ab}	2. 95 ± 0. 04 ^b	3. 16 ± 0. 09 ^a
总酸 g/kg	7. 13 ± 0. 49 ^{ab}	7. 42 ± 0. 99 ^{ab}	7. 99 ± 0. 49 ^a	6. 85 ± 0. 86 ^{ab}	6. 28 ± 0. 49 ^b	7. 42 ± 0. 99 ^{ab}
灰分	3. 84 ± 0. 83 ^a	3. 91 ± 0. 48 ^a	3. 96 ± 0. 42 ^a	3. 67 ± 0. 69 ^a	3. 52 ± 0. 69 ^a	3. 99 ± 0. 69 ^a

同行上标不同字母表示显著性差异, $P < 0. 05$ 。

对 6 组发酵完毕的咖啡生豆进行理化分析表明,添加不同风味底物的咖啡生豆 B ~ F 组中脂肪和灰分的含量与对照组 A 均无显著差异($P > 0. 05$),但咖啡生豆可溶性蛋白含量比对照组 A 均显著增加($P < 0. 05$),增加的可溶性蛋白可能来源于添加的风味底物,因为酿酒酵母利用碳水化合物进行生长代谢,合成可溶性蛋白的能力较弱。香料组 B 的还原糖、总蛋白、可溶性蛋白含量是所有组中最高,分别为 $8. 28 \pm 0. 39$ 、 $6. 34 \pm 0. 32$ 和

$1. 87 \pm 0. 01$ g/100 g,其中还原糖在苹果组 C、甜橙组 D 中差异显著($P < 0. 05$),总蛋白在甜橙组 D、香蕉组 E 中差异显著($P < 0. 05$)。有研究表明,发酵后的香草还原糖可达 14. 58%,肉桂中蛋白含量约 11. 70%^[16],这可能是导致香料组 B 还原糖、总蛋白最高的原因之一。苹果组 C 添加了 2. 4% 蔗糖,发酵过程中糖会转化为酸类,同时苹果本身含有大量酸类物质,因此苹果组 C 总酸含量在所有组中最高为 $7. 99 \pm 0. 49$ g/kg 与香蕉组 E 差异显著

($P<0.05$),但与其他组差异不明显。添加了蔗糖的苹果组 C、甜橙组 D、香蕉组 E,还原糖的变化情况与对照组 A 相比参差不齐,排除一定程度上的统计误差,可认为外来糖源的添加会对咖啡豆还原糖含量造成一定影响,其中苹果组 C、甜橙组 D 与对照组 A 相比还原糖含量显著下降($P<0.05$)。利用蜂蜜无氧发酵后,蜂蜜品质会降低,酸度增加,总糖和蔗糖含量下降^[17]。蜂蜜组 F 酸度、多糖、还原糖含量与对照组 A 相比有变化,但变化不明显($P>0.05$),多酚含量最高为(3.16 ± 0.09)g/100 g 与对照组 A、苹果组 C、甜橙组 D 差异显著($P<0.05$),将其烘焙后进行风味主观评价发现其酸味过重。

从理化分析结果来看,添加不同底物与咖啡发酵对咖啡豆中灰分和脂肪含量无影响($P>0.05$),但可显著提高可溶性蛋白的含量($P<0.05$),而风味底物的添加对最终咖啡豆中多糖、还原糖、总蛋白、多酚具有不同的影响,表现为有的增加有的减少,有些显著有些不显著,变化无明显规律,可能是受到添加风味底物本身的影响。

2.2 混合发酵咖啡生豆香气分析

利用 GC-IMS 对发酵后的咖啡生豆香气进行测试,在所有样品中共检出包括未知成分在内的 53 种化合物,结合 GC-IMS 自带谱库及 NIST 谱库共定性出 36 种化合物,分别为 9 种酯类、6 种酮类、8 种醛类、6 种醇类、5 种烯萜、1 种呋喃、1 种酸类以及检出 17 个信号的未知成分(图 1)。通过计算相对含量(图 2),所有咖啡生豆中酮、醛、醇、酯类共占检出香味物质的 60% 以上,这 4 大类成分含量和丰富度也较高。添加不同的底物进行发酵会导致咖啡生豆中酮、醛、醇类(除蜂蜜组 F 外)含量均下降,酯类、烯萜、呋喃(除香料组 B 外)含量上升。

在 A~F 组发酵后的咖啡生豆香气中,丙酮含量最高为 12.6%~18.5%,在添加风味底物发酵后丙酮(辛辣,微甜,愉悦香气,带特征性芳香)、甲基异丁酮(香蕉,水果甜,愉悦香气)、2-丁酮含量均有不同程度下降,其他酮类化合物有增有减。

生豆醛类物质中以壬醛(果味,脂肪玫瑰香)、己醛(果味,木质味,苹果,草,橙子味)、2-甲基丁醛(可可,咖啡,果味甜)为主各占 4.25%~4.75%、3.55%~5.96%、1.51%~5.72%。在添加风味底物发酵后己醛、2-甲基丁醛、丁醛(发霉,杂味,发酵刺激味)、3-甲基丁醛(苹果,脂肪,杏仁味)、戊醛均

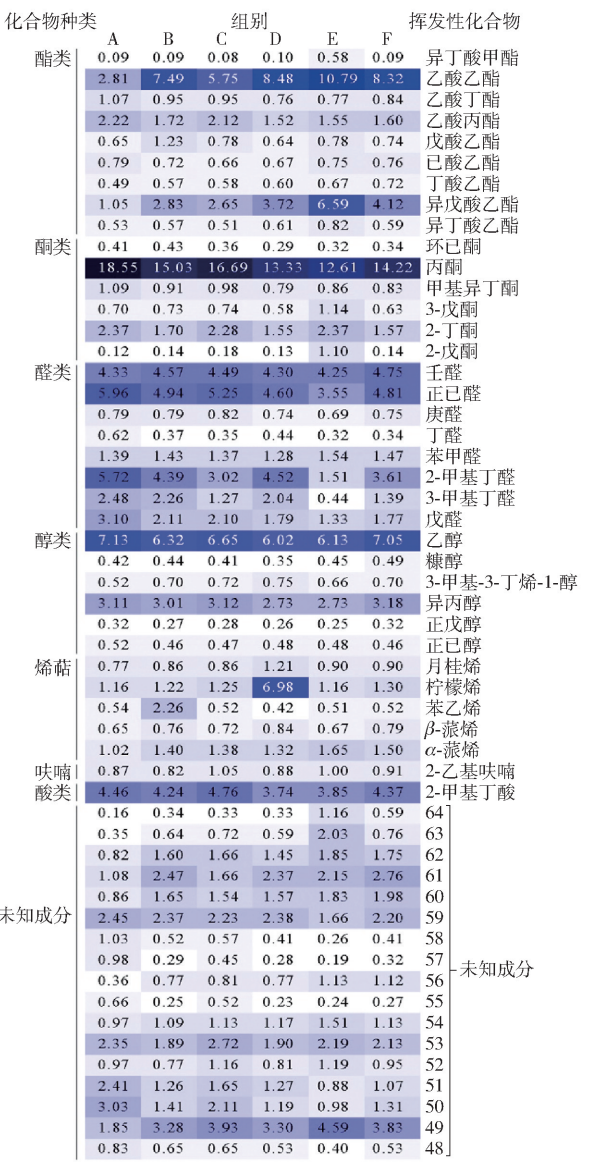


图 1 混合发酵后的咖啡生豆挥发性香气含量热图
Fig. 1 Heat map of volatile aroma content of mixture fermented coffee beans

有不同程度下降,其他醛类化合物有增有减。

生豆醇类物质中以乙醇(愉悦酒精味)、异丙醇(尖锐,不愉快燃烧味)为主各占 6.02%~7.13%、2.73%~3.18%,在添加风味底物发酵后乙醇、正戊醇、正己醇均有不同程度下降,3-甲基-3-丁烯-1-醇(水果香,草本,木质,甜美)有不同程度上升,其他醇类化合物有增有减。

生豆中酯类物质最为丰富,以乙酸乙酯(香蕉苹果白葡萄果香,甜美)、异戊酸乙酯(果味,酒味,甜味,发乳味)、乙酸丙酯(梨覆盆子味,愉悦的苦甜)为主各占 2.81%~10.79%、1.05%~6.59%、1.52%~2.22%。在添加风味底物发酵后乙酸乙

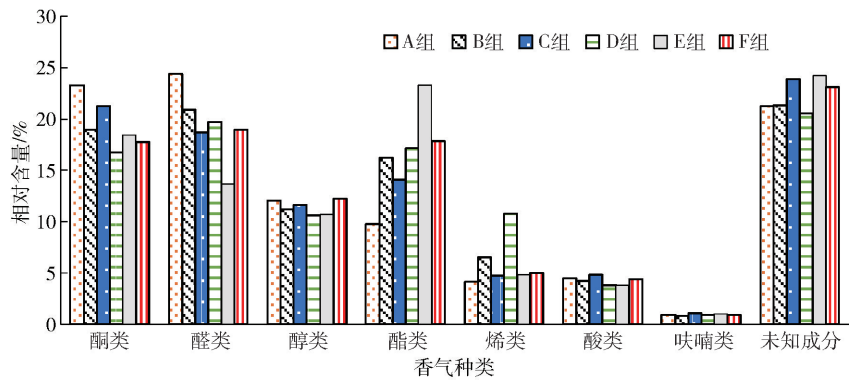


图 2 混合发酵咖啡生豆香气成分含量汇总

Fig. 2 Aroma components of mixture fermented coffee beans

酯、异戊酸乙酯大幅度上升,丁酸乙酯不同程度上升,乙酸丁酯(果味,菠萝)、乙酸丙酯、己酸乙酯(果味,菠萝,香蕉,烟味)下降,其他酯类化合物有增有减。在酯类化合物中 E 组添加了香蕉的发酵咖啡酯类含量增加最为明显,这与香蕉本身所带有的酯类香气物质存在较大关系。大量增加的乙酸乙酯和异戊酸乙酯能为咖啡香气增加独特的果香,与此同时 E 组酮类中丙酮、醛类中己醛、庚醛(果味,不愉快脂肪味)、丁醛、2-甲基丁醛、3-甲基丁醛下降最明显,这在烘焙咖啡豆风味主观评价中也得以体现。

烯萜具有香料香味,月桂烯(甜美,香酯,玫瑰芹菜胡萝卜,薄荷,柑橘热带水果味)、柠檬烯(甜,橙,柑桔味)分别有类似肉桂和柠檬清淡的香气,生豆中烯萜类中香料组 B 添加了肉桂和香草的咖啡苯乙烯大幅度增加 318.52%,甜橙组 D 添加了甜橙的咖啡柠檬烯大幅增加 501.72%。香料组 B、甜橙组 D 在最终烘焙后风味主观评价中也能够表现出相应桂皮、香草、橙香。

香料、水果与咖啡发酵可以使得香料、水果本身所带有的香气赋予咖啡,提升咖啡花果香特质,蜂蜜

与咖啡发酵在香气方面未发现有突出特点,不同香料、水果对咖啡果香味提升有不同针对,因此如需特定提升某种花果香味尚需进行进一步的配比调和研究。

2.3 混合发酵后的烘焙咖啡豆风味主观评价

对混合发酵后的烘焙咖啡豆风味进行主观评价,得分见表 2。香料组 B 和甜橙组 D 达到精品咖啡标准,得分超过 80 分,风味描述上可明显辨识出精品咖啡中所希望呈现出的桂皮、香草、甜橙等加分风味。B~E 组评分均高于对照组 A,说明添加香料及水果在低温厌氧条件下利用酿酒酵母发酵咖啡鲜果对最终的烘焙咖啡豆风味有一定提升。但蜂蜜组 F 酸度过高,风味主观评价分低于对照组 A,主要与酿酒酵母利用蜂蜜中糖类发酵产酸有关。烘焙咖啡豆风味主观评价结果中所有样品均存在酸度偏高、风味单一、苦味突出且醇厚度低的问题。这与酿酒酵母发酵糖类产酸有关,苦味主要来源于咖啡中绿原酸和咖啡因的变化。在利用酿酒酵母发酵咖啡增香的同时,如何抑制咖啡酸苦味的增加需进一步研究。

表 2 混合发酵后的烘焙咖啡豆风味主观评分

Tab. 2 Subjective score of roasted coffee beans after mixed fermentation

底物类型 项目	组别					
	A	B	C	D	E	F
评分/分	78.5	82.5	79	82	79	70
风味描述	可可、面包、 果糖、低酸	桂皮、香草、 奶油、可可	可可、面包、 果糖、低酸	橙香、桔酸、 果脯、果糖	果香、微酸、 焦糖	挥发性酸、 薄苦

3 结 论

利用酿酒酵母在低温厌氧条件下添加天然风味

底物与咖啡发酵,与无底物对照组相比发酵后的咖啡生豆中灰分和脂肪含量无影响($P > 0.05$),可溶性蛋白的含量显著提高($P < 0.05$),而底物的添加

对最终咖啡豆中多糖、还原糖、总蛋白、多酚具有不同程度的影响,无明显规律。对发酵后的咖啡生豆进行 GC-IMS 香气分析,共定性出 36 种化合物,9 种酯、6 种酮、8 种醛、6 种醇、5 种烯萜、1 种呋喃、1 种酸类及 17 个未知信号成分。其中酮、醛、醇、酯类共占检出香味物质的 60% 以上。对发酵后烘焙咖啡豆风味进行主观评价,表明香料、水果与咖啡发酵可使其香气赋予咖啡,提升咖啡花果香特质,其中香料组、甜橙组风味主观评价达精品咖啡标准,香蕉组香气较为突出。蜂蜜组在香气方面未有突出特点,酸度较高、甜度不足。综合理化、香气成分和风味主观评价结果来看,添加天然风味底物利用酿酒酵母在低温厌氧条件下发酵云南咖啡鲜果,能将底物香气和风味物质赋予咖啡并在一定程度上改善咖啡风味品质。

参考文献:

- [1] 南京中医药大学. 中药大辞典(上册)[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2006: 1893-1894.
Nanjing University of Chinese Medicine. Dictionary of traditional Chinese medicine (volume 1) [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2006: 1893-1894.
- [2] DIAS E C, PEREIR R G, BOREM F M, et al. Biogenic amine profile in unripe Arabica coffee beans processed according to dry and wet methods[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(16): 4120-4125.
- [3] CHIANG D, LIN C Y, HU C T, et al. Caffeine extraction from raw and roasted coffee beans[J]. Journal of Food Science, 2018, 83(4): 1-9.
- [4] 赵会杰, 赵璟. 云南小粒咖啡绿色产业竞争力研究[J]. 合作经济与科技, 2017(24): 48-49.
ZHAO H J, ZHAO W. Research on the competitiveness of Yunnan small grain coffee green industry[J]. Cooperative Economy and Technology, 2017(24): 48-49.
- [5] 萧自位, 张洪波, 田素梅, 等. 云南咖啡生豆品质研究[J]. 食品工业, 2019, 40(2): 29-33.
XIAO Z W, ZHANG H B, TIAN S M, et al. Study on the quality of green beans in Yunnan[J]. Food Industry, 2019, 40(2): 29-33.
- [6] HAMEED A, HUSSAIN S A, IJAZ M U, et al. Farm to consumer: factors affecting the organoleptic characteristics of coffee. II: postharvest processing factors[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2018, 17(5): 1184-1237.
- [7] 佟世生, 王丽, 靳静言, 等. 酶解偶联发酵体外模拟麝香猫咖啡的电子舌相关性分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(22): 133-142.
TONG S S, WANG L, PENG J Y, et al. Correlation analysis of electronic tongue simulating civet cat coffee *in vitro* by enzymatic uncoupling fermentation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(22): 133-142.
- [8] WANG C H, SUN J C, LASSABLIERE B, et al. Coffee flavour modification through controlled fermentation of green coffee beans by *Lactococcus lactis* subsp. cremoris[J]. LWT Food Science and Technology, 2020, 120(19): 1-21.
- [9] 魏敏, 宋旭艳, 罗诚浩, 等. 微生物发酵对咖啡提取物挥发性成分的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(333): 94-97.
WEI M, SONG X Y, LUO C H, et al. Effects of microbial fermentation on volatile components in coffee extracts[J]. Food Research and Development, 2018, 39(333): 94-97.
- [10] 张安东, 贝鑫临, 张欣, 等. 产香酵母在食品工业中的应用[J]. 绿色科技, 2015(11): 260-264.
ZHANG A D, BEI Z L, ZHANG X, et al. Application of fragrant yeast in food industry[J]. Green Science and Technology, 2015(11): 260-264.
- [11] 李娜, 张富县, 李妙清, 等. 不同焙炒程度对罗布斯塔咖啡豆香气成分的影响[J]. 饮料工业, 2019, 22(182): 53-59.
LI N, ZHANG F X, LI M Q, et al. Effects of different roasting degrees on the aroma components of Robusta coffee beans[J]. Beverage Industry, 2019, 22(182): 53-59.
- [12] The Specialty Coffee Association. Coffee standards[S/OL]. [2019-11-11]. <https://sca.coffee/research/coffee-standards.html>.
- [13] 丁钢强, 于村, 张双凤, 等. 食品多糖含量不同测定方法的研究[J]. 实用预防医学, 2000(5): 325-327.
DING Q G, YU C, ZHANG S F, et al. Study on different determination methods of food polysaccharide content[J]. Practical Preventive Medicine, 2000(5): 325-327.
- [14] 傅博强, 谢明勇, 聂少平, 等. 茶叶中多糖含量的测定[J]. 食品科学, 2001(11): 69-73.
FU B Q, XIE M Y, NIE S P, et al. Determination of polysaccharide content in tea[J]. Food Science, 2001(11): 69-73.
- [15] 焦洁. 考马斯亮蓝 G-250 染色法测定苜蓿中可溶性蛋白含量[J]. 农业工程技术, 2016, 36(17): 33-34.

- JIAO J. Determination of soluble protein content in alfalfa by coomassie brilliant blue G-250 staining method [J]. Agricultural Engineering Technology, 2016, 36 (17): 33–34.
- [16] 陆冰琳,唐桂芳,朱静. 肉桂多糖含量的测定[J]. 轻工科技, 2017, 33(10): 22–26.
- LU B L, TANG G F, ZHU J. Determination of cinnamon polysaccharide content[J]. Light Industry Technology, 2017, 33(10): 22–26.
- [17] 李开悦. 蜂蜜的发酵及应采取的措施[J]. 蜜蜂杂志, 1993(4): 7–8.
- LI K Y, Fermentation of honey and measures to be taken [J]. Bee Journal, 1993(4): 7–8.

Effect of Multi-Composition Fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* on Flavor Quality of Coffee Beans

ZHAO Linfen, HONG Zishan, YANG Kai, GONG Jiashun, TAN Chao*

(College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: Chinese coffee is mainly produced in Yunnan, which is lacking in flower and fruit flavor. Fermentation is one of the important factors affecting the quality of coffee flavor. The physicochemical analysis, aroma composition analysis, and subjective evaluation were used to analyze the coffee beans in coffee fruits after fermentation under low temperature and anaerobic conditions using *Saccharomyces cerevisiae* adding vanilla, cinnamon, tropical fruits, honey and other raw materials. And the effect of fermentation on coffee quality was explored. The results showed that the ash and fat content had no significant difference ($P > 0.05$) and soluble protein content was significantly increased ($P < 0.05$) in coffee after fermentation with vanilla, cinnamon, apple, sweet orange, banana and honey compared with that in the control group. The addition of the substrates had various effects on the polysaccharide, reducing sugar, total protein and polyphenol in the final coffee bean without obvious regularity. A total of 36 compounds including 9 esters, 6 ketones, 8 aldehydes, 6 alcohols, 5 olefins, 1 furan and 1 acid were preliminarily identified by gas chromatography-ion migration analysis in fermented coffee green bean. The ketones, aldehydes, alcohols and esters accounted for more than 60% of the volatile components in coffee green beans. Combined with the results of subjective evaluation, vanilla, cinnamon, tropical fruit fermentation with coffee could increase fruit aroma of coffee and promote the flower and fruit aroma characteristics of coffee. Among them, the spice group and sweet orange group met the standard of specialty coffee, the banana group had a more prominent aroma. However, there was no obvious change of aroma in the honey group accompanied with high acidity and no enough sweetness. This study provided a theoretical basis and data support for further improving the sweet and fragrant characteristics of Yunnan coffee and improving the fruit flavor of coffee.

Keywords: coffee; *Saccharomyces cerevisiae*; fermentation; flavor; gas chromatography-ion mobility spectrometry

(责任编辑:李 宁)