

湿法加工关键环节对咖啡品质的影响

Effects of wet processing on coffee quality

李雪瑞 刘秀薇 李宏 严静 田浩

LI Xue-rui LIU Xiu-wei LI Hong YAN Jing TIAN Hao

(云南省农业科学院农产品加工研究所, 云南 昆明 650205)

(Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650205, China)

摘要:目的:优化咖啡湿法加工工艺。方法:探究果胶酶添加量、温度及咖啡干燥方式对咖啡豆风味前体物质、滋味呈味物质含量的影响,通过灰色关联度分析获得质量排序并开展挥发性物质分析。结果:不同果胶酶添加量、温度及晒干、烘干处理样品的蛋白质、粗脂肪、咖啡酸、咖啡因、绿原酸含量及挥发性物质相对含量之间有显著性差异,灰色关联度分析得到 2% 果胶酶 + 27 °C + 晒干处理组咖啡质量排序第一,其生豆中蛋白质含量为 14.04%,粗脂肪含量为 9.05%,熟豆中咖啡酸含量为 1.05 mg/g,咖啡因含量为 1.41%,绿原酸含量为 13.89 mg/g,主要挥发性物质酯类、酸类的相对含量分别为 40.87, 7.62 μg/g。结论:2% 果胶酶 + 27 °C + 晒干处理得到的咖啡综合品质最佳。

关键词:咖啡;湿法加工;酶促脱胶;干燥方式;灰色关联度

Abstract: Objective: This study aimed to optimize the wet processing of coffee. **Methods:** The effects of pectinase concentration, temperature and drying method on the contents of flavor precursors and flavor substances in coffee beans were investigated. The quality ranking was obtained by grey correlation analysis and the volatile substances were analyzed. **Results:** There were significant differences in the contents of protein, crude fat, caffeic acid, caffeine, chlorogenic acid and volatile compounds among different pectinase concentration, temperature, sun drying and heat pump drying. Grey correlation analysis showed that the quality ranking of coffee in the 2% pectinase + 27 °C + sun-drying treatment group was the first. The protein content in green coffee beans was 14.04%, the crude fat content was 9.05%, the caffeic acid content in roasted coffee beans was

1.05 mg/g, the caffeine content was 1.41%, and the chlorogenic acid content was 13.89 mg/g. The relative contents of the main volatile substances esters and acids were 40.87 μg/g and 7.62 μg/g, respectively. **Conclusion:** The comprehensive quality of coffee obtained by 2% pectinase + 27 °C + sun-drying was the best.

Keywords: coffee; wet processing; enzymatic degumming; drying method; grey correlation degree

云南 80% 以上的咖啡采用湿法加工的方式处理,其中脱胶工艺、干燥方式在咖啡初加工过程中对咖啡豆品质具有重要影响。目前主要的脱胶工艺有自然发酵脱胶、机械脱胶、化学脱胶、物理脱胶、生物法脱胶^[1]。传统水洗脱胶工艺主要是将脱皮后的咖啡豆放入发酵池中用水浸泡 24~48 h 后去除果胶^[2],但脱胶过程中温度、时间等无法控制,水洗咖啡豆品质不均一。近年来,将酶用于咖啡发酵脱胶逐步得到应用^[1,3],商业酶有 Benefax、Pectozyme、Cofepec、Ultrazym^[4] 及 Pectinex Ultra SP-L 等,程金焕等^[5] 主要围绕不同果胶酶浓度对咖啡脱胶效率及咖啡豆品质的影响开展讨论。果胶酶是一种特殊的蛋白质,环境、温度的变化会对酶的催化作用产生影响^[1],目前针对酶促脱胶过程中温度对品质的影响尚无相关报道。干燥过程影响咖啡加工的质量和效率,一般选择自然干燥和机械干燥使得生豆的含水量达到 10%~12%,从而抑制微生物的生长^[6-8]。传统干燥采用自然晾晒干燥,人工劳动强度大,受天气和人为因素影响大,干燥质量较难保证。机械烘干可以缩减干燥时间,并减少微生物污染的风险,常见的包括背压式热风干燥、微波干燥、微波热风联合干燥及热泵干燥等,其中热泵干燥在保持咖啡整体风味品质方面较优^[9],且当热泵干燥温度低于 50 °C 时,与日晒样品差异较小^[10],而使用果胶酶的咖啡湿法加工中干燥方式对咖啡品质的影响目前也无报道。

研究拟精准控制咖啡湿法加工脱胶环节中 Pectinex UF 果胶酶添加量和温度,探究酶添加量、温度及干燥方

基金项目: 云南省重大科技专项计划(编号:202202AE090017)

作者简介: 李雪瑞,女,云南省农业科学院助理研究员,硕士。

通信作者: 田浩(1982—),男,云南省农业科学院副研究员,博士。

E-mail: tianhao@yaas.org.cn

收稿日期: 2022-10-14 **改回日期:** 2023-01-16

式的改变对咖啡豆风味前体物质、滋味呈味物质及挥发性物质含量的具体影响,以期对咖啡湿法加工工艺改进提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

咖啡鲜果:卡蒂姆品种,1 500 m 海拔,云南省保山市潞江坝;

果胶酶:Pectinex UF,诺维信(中国)生物技术有限公司;

丙酮:分析纯,四川西陇科学有限公司;

甲醇:色谱纯,美国 Sigma 公司;

乙酸:分析纯,天津市致远化学试剂有限公司;

电子分析天平:BSA223S 型,德国 Sartorius 公司;

电热恒温水浴锅:DK-98-II 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

气相色谱—质谱联用仪:7890B-5977 型,美国 Agilent 公司;

高效液相色谱仪:2695 型,美国 Waters 公司;

凯氏定氮仪:K9840 型,济南海能仪器股份有限公司;

恒温恒湿培养箱:HHWS-111-250 型,上海博迅医疗生物仪器股份有限公司;

咖啡鲜果脱皮机:AF-150 型,云南奥福实业有限公司;

脱壳机:DRC-2X 型,德国 Pinhalense 公司;

箱式热泵烘干机:TF-KG01-Z/2 型,四川蜀冷冷暖设备有限公司;

磨粉机:SMF2002(019-A7)型,浙江苏泊尔家电制造有限公司;

咖啡烘焙机:Pro-100 型,英国 IKAWA 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品处理 将新鲜采摘的咖啡鲜果迅速运回实验室,机械剥壳后,取 500 g 鲜果,置于 500 mL 水中进行水洗脱胶。按体积分数 1.0%,1.5%,2.0%,2.5% 加入果胶酶,CK1,CK2 除外,放入 27,37,47 °C 恒温培养箱中,定期测定 pH 值,以手搓方式评价脱胶程度。脱胶完成后分别进行日晒、50 °C 热泵烘干处理。取 10 g 生豆样品经过磨粉机研磨过 40 目筛,剩余样品浅度烘焙获得熟咖啡豆样品,同样经过研磨机研磨后过 40 目筛,留样检测。

1.2.2 咖啡内含物检测方法

(1) 蛋白质:按 GB/T 5511—2008 执行。

(2) 粗脂肪:按 GB/T 6433—2006 执行。

(3) 咖啡因:按 GB/T 19182—2003 执行。

(4) 咖啡酸、绿原酸:按 YC/T 202—2006 执行。

1.2.3 挥发性风味物质测定 参照文献[11]。

1.2.4 灰色关联分析 参照文献[12]的方法,对 14 个处理咖啡生豆和熟豆的蛋白质、粗脂肪、咖啡酸、咖啡因、绿原酸含量指标形成指标矩阵开展灰色关联度分析。

表 1 湿法加工 14 个不同工艺处理的咖啡样品

Table 1 Information about 14 samples of coffee beans under different technology of wet processing

样品编号	处理方式	样品编号	处理方式
1(CK1)	水洗脱胶,晒干	8	1.5%,27 °C,烘干
2(CK2)	水洗脱胶,烘干	9	2.0%,27 °C,烘干
3	1.0%,27 °C,晒干	10	2.5%,27 °C,烘干
4	1.5%,27 °C,晒干	11	1.5%,37 °C,晒干
5	2.0%,27 °C,晒干	12	1.5%,47 °C,晒干
6	2.5%,27 °C,晒干	13	1.5%,37 °C,烘干
7	1.0%,27 °C,烘干	14	1.5%,47 °C,烘干

1.2.5 数据统计分析 采用 Excel 2010 软件处理数据,SPSS 20.0 软件进行标准差、差异显著性分析(当 $P < 0.05$ 时,认为差异显著)。

2 结果与分析

2.1 酶促脱胶对咖啡脱胶效率的影响

如表 2 所示,传统水洗脱胶的脱胶时间为 48 h,当环境温度 27 °C 时,加入 Pectinex UF 果胶酶后脱胶时间减少至 25 h,效率明显增加,且随着酶添加量由 1.0% 增加到 2.5%,脱胶时间也由 25 h 减少到 16 h。当脱胶环境温度由 27 °C 增加到 47 °C 时,同样用 1.5% 酶脱胶,脱胶时间减少 2 h。果胶酶水解果胶的反应速度与酶添加量、脱胶温度具有强相关性,酶添加量越高、脱胶温度越高,脱胶效率越快^[5]。对脱胶过程中 pH 值进行监测发现,整个脱胶过程中,pH 保持在 3~5,且随脱胶时间延长,其

表 2 酶促脱胶工艺对脱胶时间及溶液 pH 的影响

Table 2 Effects of pectin removing time and pH in solution under different removal mucilage processing

样品	脱胶时间/h	初始 pH	中间过程 pH	取样 pH
1	48	4.71	3.96	3.88
2	48	4.81	3.93	3.89
3	25	4.47	3.83	3.72
4	18	4.40	3.97	3.82
5	17	4.22	3.90	3.70
6	16	3.95	3.84	3.67
7	25	4.51	3.93	3.73
8	18	4.00	3.98	3.70
9	17	4.34	3.93	3.72
10	16	3.92	3.88	3.69
11	17	4.11	3.83	3.77
12	16	4.12	4.00	3.91
13	17	4.20	3.81	3.66
14	16	4.10	3.93	3.89

pH 值降低。薛茂云等^[13]研究发现果胶酶一般最适作用 pH 范围为 3.5~5.5, 稳定范围为 3.0~6.0, 与 Pectinex UF 果胶酶脱胶过程中 pH 范围相近。

2.2 干燥方式、果胶酶添加量对咖啡豆品质的影响

如表 3 所示, 传统水浸泡脱胶, 晒干与烘干处理后咖啡生豆中蛋白质、咖啡因和绿原酸含量有显著性差异, 咖啡熟豆中所有指标含量均有显著性差异。酶促脱胶相同的酶添加量下, 晒干与烘干处理的咖啡生豆、熟豆中所测指标大部分有显著性差异, 这是由晒干与热泵干燥原理不同导致的。咖啡豆晒干会产生较高含量的糖, 这能为烘焙咖啡豆带来较好的感官体验, 而热泵烘干通过可控的温湿度来快速烘干, 对其质量会产生不同影响^[8,14]。

晒干条件下, 不同添加量的果胶酶脱胶后生豆中蛋白质含量无显著性差异, 均在 14% 左右, 此含量与前人^[15]研究不同干燥处理后咖啡生豆中蛋白质含量 13% 以上一致。熟豆中除 1.0% 的添加量外, 其余处理无显著性差异。酶添加量为 1.0%, 1.5% 时, 生豆中粗脂肪含量有显著性差异; 酶添加量为 2.0%, 2.5% 时粗脂肪含量无显著性差异, 熟豆中两两之间也无显著性差异。蛋白质、脂肪作为咖啡中一种重要的风味前体物质^{[15]25}, 酶浓度的改变对其无显著影响, 相同处理条件下两者均较稳定。生豆中咖啡酸、绿原酸含量在 4 个添加量之间无显著性差异。2.5% 时, 咖啡因含量最低为 0.16%。熟豆中咖啡酸、咖啡因含量, 酶添加量为 2.0%, 2.5% 时无显著性差异, 绿原酸含量各处理均有显著性差异。加酶脱胶与传统水洗不加酶脱胶相比, 咖啡生豆中绿原酸含量无显著性差异, 但咖啡熟豆中内含物含量之间均具有显著性差异。

烘干条件下, 不同添加量的果胶酶脱胶后生豆中蛋白质、粗脂肪、咖啡酸、绿原酸含量之间无显著性差异。

酶添加量为 2.5% 时, 生豆中咖啡因含量最低为 1.39%。熟豆中粗脂肪、咖啡因、绿原酸含量之间有显著性差异, 其中酶添加量为 1% 时, 其粗脂肪含量最低为 6.36%; 酶添加量为 1.5% 时其咖啡酸含量最低为 0.90 mg/g; 酶添加量为 2.5% 时咖啡因含量最低为 1.39%; 酶添加量为 1% 时, 绿原酸含量最低为 10.82 mg/g。咖啡因、咖啡酸、绿原酸是咖啡中苦味物质的主要来源之一^[16-17], 不同添加量果胶酶脱胶时间不一样, 咖啡发酵时间直接影响咖啡呈味物质的含量^[18]。加酶脱胶与传统水洗不加酶脱胶处理样品的内含物含量之间具有显著性差异, 其中生豆中蛋白质、咖啡因、绿原酸含量明显增加, 传统水洗烘干处理样品的咖啡因含量为 0.16%, 但加酶处理的样品咖啡因含量均高于 1.39%。这可能是由于使用的果胶酶(聚半乳糖醛酸酶)催化果胶分子多聚 α -(1,4)-聚半乳糖醛酸的裂解, 果胶降解使得植物细胞结构发生变化^[13,19], 咖啡因等物质溶出导致其含量增加。

综上所述, 不同的果胶酶添加量脱胶处理对咖啡生豆中蛋白质、咖啡酸及绿原酸含量无显著性影响, 但对咖啡熟豆中内含物含量均具有显著性影响。加酶脱胶与传统水洗不加酶脱胶相比, 晒干条件下生豆中粗脂肪、咖啡因、绿原酸含量无显著性差异, 但咖啡熟豆中内含物含量之间均具有显著性差异。晒干与烘干处理对咖啡生豆、熟豆内含物均有显著性影响。

2.3 果胶酶脱胶温度对咖啡豆品质的影响

如表 4 所示, 晒干条件下, 在 27, 47 °C 条件下使用果胶酶脱胶后生豆中蛋白质、绿原酸含量之间无显著性差异, 但与 37 °C 条件下处理样品有显著性差异。其中 27 °C 条件下咖啡酸含量最高为 0.25 mg/g。不同温度条件下使用果胶酶脱胶后咖啡熟豆中粗脂肪、咖啡酸、绿原酸含量有显著性差异。其中 27 °C 条件下粗脂肪含量最高为

表 3 果胶酶添加量对咖啡豆品质指标的影响[†]

Table 3 Effects of quality content of coffee beans under different pectinase concentration

样品	生豆					熟豆				
	蛋白质/ %	粗脂肪/ %	咖啡酸/ (mg·g ⁻¹)	咖啡因/ %	绿原酸/ (mg·g ⁻¹)	蛋白质/ %	粗脂肪/ %	咖啡酸/ (mg·g ⁻¹)	咖啡因/ %	绿原酸/ (mg·g ⁻¹)
1	12.13±0.28 ^a	9.52±0.24 ^{de}	0.22±0.03 ^b	0.15±0.00 ^a	49.27±0.50 ^{bcd}	13.57±0.12 ^a	10.82±0.27 ^f	1.29±0.02 ^f	1.28±0.00 ^a	15.01±0.07 ^b
2	13.71±0.33 ^b	9.84±0.36 ^e	0.22±0.00 ^b	0.16±0.00 ^{bc}	45.04±0.82 ^a	14.61±0.11 ^{cd}	10.28±0.27 ^{de}	1.10±0.00 ^e	1.39±0.00 ^b	15.95±0.09 ⁱ
3	13.88±0.33 ^{bc}	9.61±0.24 ^{de}	0.24±0.01 ^{bc}	0.17±0.00 ^{cd}	48.27±0.48 ^{bc}	14.84±0.11 ^e	10.55±0.25 ^{ef}	1.00±0.00 ^e	1.40±0.00 ^d	13.28±0.03 ^c
4	13.90±0.33 ^{bc}	7.90±0.75 ^a	0.25±0.01 ^c	0.17±0.00 ^{cd}	47.39±0.52 ^b	14.45±0.06 ^{bc}	10.83±0.45 ^f	0.90±0.00 ^a	1.39±0.00 ^b	14.09±0.06 ^e
5	14.04±0.31 ^{bcd}	9.05±0.07 ^{cd}	0.26±0.02 ^c	0.17±0.00 ^{cd}	48.32±2.32 ^{bc}	14.55±0.07 ^{bcd}	10.07±0.14 ^d	1.05±0.00 ^d	1.41±0.00 ^e	13.89±0.04 ^d
6	14.19±0.35 ^{cd}	9.10±0.14 ^{cd}	0.24±0.01 ^{bc}	0.16±0.00 ^b	47.86±0.42 ^{bc}	14.63±0.09 ^{cd}	10.24±0.29 ^{de}	1.04±0.00 ^d	1.41±0.00 ^e	14.25±0.08 ^f
7	14.51±0.11 ^d	8.61±0.54 ^{bc}	0.03±0.00 ^a	1.41±0.00 ^f	49.11±0.14 ^{bc}	14.71±0.11 ^{de}	6.36±0.19 ^a	0.93±0.00 ^b	1.41±0.00 ^e	10.82±0.01 ^a
8	14.29±0.07 ^{cd}	8.80±0.23 ^{bc}	0.03±0.00 ^a	1.41±0.00 ^f	51.02±1.47 ^d	14.38±0.12 ^b	7.35±0.15 ^b	0.90±0.00 ^a	1.44±0.00 ^e	12.21±0.03 ^b
9	14.26±0.11 ^{cd}	8.27±0.43 ^{ab}	0.02±0.01 ^a	1.41±0.00 ^f	49.26±0.61 ^{bcd}	14.49±0.13 ^{bcd}	10.04±0.24 ^d	0.93±0.00 ^b	1.42±0.00 ^f	14.50±0.06 ^f
10	14.27±0.10 ^{cd}	8.64±0.37 ^{bc}	0.02±0.00 ^a	1.39±0.00 ^e	49.36±0.03 ^{cd}	14.52±0.19 ^{bcd}	9.20±0.04 ^c	0.93±0.00 ^b	1.39±0.00 ^e	14.11±0.06 ^e

† 字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

表 4 果胶酶脱胶温度对咖啡豆品质指标的影响[†]

Table 4 Effects of quality content of coffee beans under different pectinase degumming temperature

样品	生豆					熟豆				
	蛋白质/ %	粗脂肪/ %	咖啡酸/ (mg·g ⁻¹)	咖啡因/ %	绿原酸/ (mg·g ⁻¹)	蛋白质/ %	粗脂肪/ %	咖啡酸/ (mg·g ⁻¹)	咖啡因/ %	绿原酸/ (mg·g ⁻¹)
4	13.90±0.33 ^{ab}	7.90±0.75 ^a	0.25±0.01 ^b	0.17±0.00 ^a	47.39±0.52 ^a	14.45±0.06 ^{abc}	10.83±0.45 ^e	0.90±0.00 ^b	1.39±0.00 ^c	14.09±0.06 ^e
11	14.27±0.12 ^c	9.09±0.65 ^{bc}	0.01±0.01 ^a	1.40±0.00 ^d	49.70±0.55 ^b	14.61±0.12 ^c	9.55±0.19 ^d	1.00±0.00 ^e	1.39±0.00 ^c	13.39±0.03 ^d
12	13.93±0.08 ^{ab}	8.51±0.29 ^{ab}	0.01±0.00 ^a	1.34±0.00 ^b	47.71±0.11 ^a	14.24±0.15 ^a	8.29±0.45 ^b	0.96±0.01 ^d	1.35±0.00 ^b	13.20±0.01 ^c
8	14.29±0.07 ^c	8.80±0.23 ^{abc}	0.03±0.00 ^a	1.41±0.00 ^e	51.02±1.47 ^c	14.38±0.12 ^{ab}	7.35±0.15 ^b	0.90±0.01 ^b	1.44±0.00 ^e	12.21±0.03 ^a
13	14.19±0.08 ^{bc}	8.28±0.19 ^{ab}	0.02±0.00 ^a	1.38±0.00 ^c	48.13±0.12 ^a	14.48±0.11 ^{bc}	7.03±0.45 ^a	0.81±0.01 ^a	1.40±0.00 ^d	12.66±0.03 ^b
14	13.84±0.05 ^a	9.52±0.64 ^e	0.01±0.00 ^a	1.33±0.00 ^b	48.03±0.08 ^a	14.24±0.12 ^a	8.67±0.14 ^c	0.94±0.01 ^c	1.34±0.00 ^a	15.05±0.11 ^f

† 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

10.83%，绿原酸含量最高为 14.09 mg/g。烘干条件下，不同温度处理后咖啡生豆中蛋白质、粗脂肪、咖啡因含量有显著性差异。其中，27℃条件下蛋白质含量最高为 14.29%，咖啡因含量最高为 1.41%，绿原酸含量最高为 51.02 mg/g。不同温度条件下使用果胶酶脱胶后咖啡熟豆中粗脂肪、咖啡酸、咖啡因及绿原酸含量差异显著。其中，27℃条件下咖啡熟豆中咖啡因含量最高为 1.44%。Mesfin 等^[20]提出在脱胶过程中，微生物的种类及代谢活动受加工环境的影响，进而影响咖啡中的化学成分含量及杯品质量，温度的变化是加工环境的一个重要影响因素，影响微生物的代谢活动。

综上所述，不同温度条件下使用果胶酶脱胶对咖啡豆内含物的含量有显著性影响。晒干条件下，27℃条件下咖啡生豆中咖啡酸含量最高，咖啡熟豆中粗脂肪、绿原酸含量最高。烘干条件下，27℃条件下咖啡生豆中蛋白质、咖啡因、绿原酸含量最高，熟豆中咖啡因含量最高。

2.4 灰色关联度分析

对不同酶促脱胶工艺处理后咖啡豆生豆、熟豆的蛋白质、粗脂肪、咖啡酸、咖啡因、绿原酸含量进行灰色关联度分析得到不同加工工艺的相关度，结果见表 5。14 种工艺的相对关联度为 0.486~0.513，表明不同工艺处理后咖啡豆的质量存在差异。样品 5, 2, 6, 1, 3, 4 咖啡豆的相对关联系数分别为 0.513, 0.512, 0.511, 0.511, 0.510, 0.505，排序为 1, 2, 3, 4, 5, 6, 14 个样品中排名前 6。

2.5 酶促脱胶工艺对咖啡生豆中挥发性物质的影响

按照上述灰色关联度分析得到的排序结果，选择前 6 个样品进行挥发性物质分析，通过与 NIST08 谱图库对照，从各处理组中共鉴定出 30 种挥发性成分，对其进行定性定量分析得到表 6。30 种挥发性风味物质中包含酮类 4 种、烯类 3 种、酚类 2 种、烷烃 10 种、醛类 3 种、酯类 7 种和酸类 1 种，文献^[21-22]报道咖啡生豆挥发性化合物主要也是上述几类。在生豆和熟豆中都比较常见的挥发性物质有γ-丁内酯、芳樟醇、愈木酚、吡啶、糠醛、5-甲基

表 5 酶促脱胶工艺关联度与相对关联度及质量排序

Table 5 Correlation degree, relative correlation degree and quality ranking of coffee beans under different removal mucilage processing

样品	关联度			质量排序
	最优	最差	相对关联度	
1	0.903	0.866	0.511	4
2	0.903	0.860	0.512	2
3	0.901	0.865	0.510	5
4	0.895	0.879	0.505	6
5	0.911	0.863	0.513	1
6	0.902	0.864	0.511	3
7	0.868	0.906	0.489	13
8	0.878	0.892	0.496	11
9	0.896	0.876	0.505	7
10	0.889	0.881	0.502	9
11	0.895	0.880	0.504	8
12	0.870	0.900	0.491	12
13	0.863	0.913	0.486	14
14	0.884	0.887	0.499	10

糠醛、1-甲基吡咯和β-大马士革酮^[23-24]，此试验中检测到的大马士酮被 Wang 等^[25]认为是对烘焙咖啡豆风味有主要贡献的化合物之一，会产生花香、蜂蜜味，不同工艺加工咖啡后咖啡生豆中大马士酮含量分别为 1.85, 0.94, 1.41, 0.62, 0.68, 1.29 μg/g，其中传统水洗+晒干处理样品组大马士酮含量最高为 1.85 μg/g。如图 1 所示，当酶添加量由 1.5% 增加到 2.5% 时，各化合物含量整体呈增加趋势，但是当酶添加量为 1.0% 时，酮类、烷烃类、醛类、酯类、酸类化合物的含量均最高，分别为 37.98, 69.77, 19.44, 138.32, 82.56 μg/g，可能与酶脱胶速率有关，酶添加量为 1.0% 时脱胶速率最低，发酵时间长，果胶中的糖会促进微生物生长，其通过代谢增加了挥发性物质的产

表 6 不同酶促脱胶工艺咖啡生豆的挥发性成分及其含量

Table 6 Volatile components and contents of green beans under different removal mucilage processing

物质	CAS	保留时间	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)					
			样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	样品 6
大马士酮	23726-93-4	32.213	1.85	0.94	1.41	0.62	0.68	1.29
β -石竹烯	87-44-5	34.243	1.83	0.26	0.28	0.10	0.24	0.21
大根香叶烯	37839-63-7	37.958	0.55	0.25	0.45	0.10	0.22	0.19
2,6-二叔丁基对甲酚	128-37-0	40.034	7.85	1.95	2.67	1.83	2.09	1.97
2,4-二叔丁基苯酚	96-76-4	40.519	40.57	8.71	39.13	9.50	10.51	11.74
正十六烷	544-76-3	45.549	1.03	0.77	2.10	0.98	0.51	0.15
1-十四烯	1120-36-1	49.367	1.15	0.47	1.33	0.69	0.55	0.83
正十七烷	629-78-7	51.028	1.66	0.78	2.88	1.07	0.76	1.27
肉豆蔻醛	124-25-4	51.559	7.90	6.50	17.11	4.48	4.72	6.53
3,5-二叔丁基-4-羟基苯甲醛	1620-98-0	53.589	1.00	0.22	1.15	0.26	0.32	0.35
环十四烷	1795-18-2	53.774	0.97	0.29	1.57	0.51	0.25	0.42
正十五烷	629-62-9	54.743	0.90	0.32	1.58	0.54	0.33	0.57
正十八烷	593-45-3	56.243	4.80	1.63	6.38	2.58	1.58	2.35
正十三烷	629-50-5	56.727	2.39	0.94	3.04	1.04	0.66	1.20
蒎烷	6876-13-7	58.112	13.02	1.23	30.63	1.62	3.87	11.24
植酮	502-69-2	58.296	19.85	5.52	25.63	7.16	8.73	9.34
邻苯二甲酸二丁酯	84-74-2	59.000	20.28	4.07	12.90	4.19	2.14	8.25
(9Z)-十八碳-9,17-二烯醛	56554-35-9	60.177	0.78	0.30	1.19	0.27	0.37	0.50
环 15 烷	295-48-7	60.811	3.32	1.25	6.30	1.59	1.41	2.25
正十九烷	629-92-5	61.215	5.88	1.82	9.12	2.23	2.23	3.39
7,9-二叔丁基-1-氧杂螺[4.5]癸-6,9-二烯-2,8-二酮	82304-66-3	61.330	5.53	0.83	5.30	1.10	1.13	1.32
4-(3-羟基丁基)-3,5,5-三甲基环己-2-烯-1-酮	36151-02-7	61.711	2.16	0.41	5.63	0.44	0.55	2.00
1,2-环氧十八烷	7390-81-0	61.873	1.99	1.03	6.19	1.87	1.73	2.06
棕榈酸甲酯	112-39-0	62.346	5.16	11.33	96.83	23.40	30.63	32.82
棕榈酸乙酯	628-97-7	65.714	42.43	101.67	818.87	215.76	257.88	290.85
棕榈酸	1957-10-3	66.302	10.25	11.22	82.56	5.27	7.62	15.61
亚油酸甲酯	112-63-0	69.971	3.25	8.01	54.18	11.67	17.02	17.76
亚油酸乙酯	544-35-4	73.063	30.41	85.41	513.66	115.15	155.25	174.92
油酸乙酯	111-62-6	73.340	10.12	14.61	100.22	23.15	32.26	34.05
硬脂酸乙酯	111-61-5	74.816	6.12	9.51	84.65	19.94	30.10	31.78

生^[6]。传统水洗晒干处理的咖啡豆中挥发性物质相对含量高于烘干处理样品。Gilberto等^[6]认为,咖啡生豆中的挥发性物质酮类、烷烃类及醛类在烘焙后大部分得不到保留,因此咖啡生豆的挥发性物质分析仅作为不同处理后咖啡生豆品质的一个评价指标,相对含量的高低与其被测结果的一致性还需要进一步验证。

3 结论

果胶酶添加量对咖啡生豆中蛋白质、咖啡酸、绿原酸

含量无显著性影响,但对咖啡熟豆中内含物含量有显著性影响,与陈云兰等^[26]的研究结论一致,咖啡生豆中挥发性化合物含量随酶添加量(1.5%~2.5%)的增加而增加;果胶酶使用的不同温度对咖啡熟豆中粗脂肪、咖啡酸、绿原酸等含量有显著性影响,这可能与果胶酶活性^[13]、微生物代谢活动^[20]等受温度的影响有关;干燥方式不同,传热传质机制不同,这导致熟豆中内含物含量具有显著性差异。综合考虑各项指标,使用果胶酶脱胶的湿法加工最

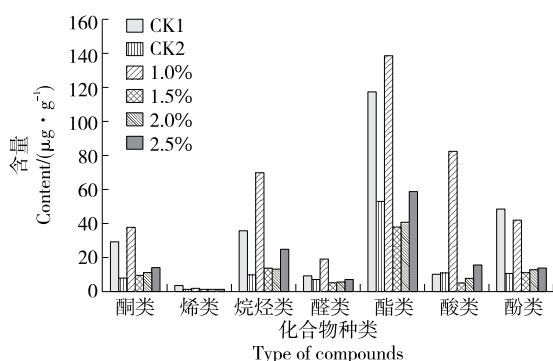


图 1 不同酶促脱胶工艺咖啡生豆样品中挥发性物质含量对比图

Figure 1 Comparison of volatile substances content in green coffee beans samples under different removal mucilage processing

优工艺为:2%果胶酶+27℃+晒干处理。杯品是咖啡品质评价的重要方式,未来要结合具体的感官打分对不同湿法加工工艺展开讨论。此外,果胶酶脱胶(浓度、温度)、干燥方式对咖啡中各风味前体物质、滋味呈味物质及挥发性物质的具体影响机理也有待研究,今后可以围绕单一物质做代谢通路分析。

参考文献

[1] 李晓娇, 杨鸾芳. 小粒咖啡脱胶技术研究进展[J]. 中国农业信息, 2014(11): 104.
 LI X J, YANG L F. Research progress of arabica coffee degumming technology[J]. China Agriculture Information, 2014(11): 104.

[2] PUSHPA S M, NAIDU M M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition: A review[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2012, 66: 45-58.

[3] KASHYAP D R, VOHRA P K, CHOPRA S, et al. Applications of pectinases in the commercial sector: A review [J]. Bioresource Technology, 2001, 77(3): 215-227.

[4] NIGAM P S, SINGH A. Cocoa and coffee fermentations[M]. Boca Raton: CRC Press, 2014: 485-492.

[5] 程金焕, 何红艳, 李慧敏, 等. 酶促发酵在咖啡初加工过程中的应用研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(6): 83-84, 90.
 CHEN J H, HE H Y, LI H M, et al. Application of enzymosis on the pretreating process of coffee [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2016, 44(6): 83-84, 90.

[6] GILBERTO V D, D'ÁO P D, ANTONIO M J, et al. Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans: A review[J]. Food Chemistry, 2019, 272: 441-452.

[7] BELITZ H D, GROSCH W, SCHIEBERLE P. Coffee, tea, cocoa[J]. Food Chemistry, 2009, 21: 874-904.

[8] DONG W J, HU R S, CHU Z, et al. Effect of different drying techniques on bioactive components, fatty acid composition, and volatile profile of Robusta coffee beans[J]. Food Chemistry, 2017,

234: 121-130.

[9] FAREEYA K, CHALEEDA B, INTHAWOOT S, et al. Impact of drying process on chemical composition and key aroma components of Arabica coffee[J]. Food Chemistry, 2019, 291: 49-58.

[10] 董文江, 杨静园, 陆敏泉, 等. 热泵干燥对生咖啡豆活性物质和挥发性成分的影响研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(4): 141-149.
 DONG W J, YANG J Y, LU M Q, et al. Effect of heat pump drying on the bioactive components and volatile compounds in green coffee beans[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(4): 141-149.

[11] 刘帅帅. 烤烟 GC/MS 指纹图谱构建与验证[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012: 22-24.
 LIU S S. Structure and validation of GC/MS fingerprint of tobacco [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012: 22-24.

[12] 刘付松, 李尧尧, 聂绪强, 等. 基于感官特征结合灰色关联度法评价积雪草质量[J]. 中国新药杂志, 2021, 30(20): 1 881-1 889.
 LIU F S, LI Y Y, NIE X Q, et al. Quality evaluation of Centella asiatica based on sensory characteristics and gray relational analysis[J]. Chinese Journal of New Drugs, 2021, 30(20): 1 881-1 889.

[13] 薛茂云, 杨爱萍, 郑萍, 等. 果胶酶酶学特性研究[J]. 中国调味品, 2016, 41(3): 74-76.
 XUE M Y, YANG A P, ZHENG P, et al. Study on the enzymatic properties of pectinase[J]. China Condiment, 2016, 41(3): 74-76.

[14] BOREM F M, MARQUES E R, ALVES E. Ultrastructural analysis of drying damage in parchment arabica coffee endosperm cells[J]. Biosystems Engineering, 2008, 99: 62-66.

[15] 杨静园. 不同干燥方法对咖啡风味品质影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
 YANG J Y. Effect of different drying methods on the flavor and quality of coffee beans [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.

[16] DAWIDOWICZ A L, TYPEK R. Transformation of chlorogenic acids during the coffee beans roasting process[J]. European Food Research and Technology, 2017, 243(3): 379-390.

[17] PERRONE D, DONANGELO C M, FARAH A. Fast simultaneous analysis of caffeine, trigonelline, nicotinic acid and sucrose in coffee by liquid chromatography-mass spectroscopy [J]. Food Chemistry, 2008, 110(4): 1 030-1 035.

[18] PEREIRA G V M, NETO E, SOCCOL V T, et al. Conducting starter culture-controlled fermentations of coffee beans during on-farm wet processing: Growth, metabolic analyses and sensorial effects[J]. Food Research International, 2015, 75: 348-356.

[19] SILVA C F, BATISTA L R, ABREU L M, et al. Succession of bacterial and fungal communities during natural coffee (Coffea arabica) fermentation [J]. Food Microbiology, 2008, 25(8): 951-957.

(下转第 240 页)

- [39] 程燕. 乳制品中双酚类物质及其环氧衍生物的检测方法研究 [D]. 上海: 华东理工大学, 2017: 14-25.
CHENG Y. The study on the detection methods of bisphenols, bisphenols diglycidyl ethers and their derivatives in dairy products [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2017: 14-25.
- [40] 周松华, 林勤保, 李波, 等. 气相色谱—质谱联用检测聚丙烯食品包装材料中的 18 种有毒有害物质 [J]. 包装与食品机械, 2015, 33(1): 56-62.
ZHOU S H, LIN Q B, LI B, et al. Determination of 18 substances in polypropylene food packaging materials by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Packaging and Food Machinery, 2015, 33(1): 56-62.
- [41] 张慧艳, 刘诗文, 齐诗哲, 等. 食品组学技术在食品真伪鉴别和溯源方面应用进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(3): 948-955.
ZHANG H Y, LIU S W, QI S Z, et al. Application progress of food omics technology in food authenticity identification and traceability [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022, 13(3): 948-955.
- [42] LIU F, GRAUWET T, KEBEDE B T, et al. Comparing the effects of high hydrostatic pressure and thermal processing on blanched and unblanched mango (*Mangifera indica* L.) nectar: Using headspace fingerprinting as an untargeted approach [J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(10): 3 000-3 011.
- [43] BELEGGIA R, MENGA V, PLATANI C, et al. Metabolomic analysis can detect the composition of pasta enriched with fibre after cooking [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(9): 3 032-3 041.
- [44] LEE A P, BARBANO D M, DRAKE M A. The influence of ultra-pasteurization by indirect heating versus direct steam injection on skim and 2% fat milks [J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(3): 1 688-1 701.
- [45] GIANNETTI V, BOCCACCI MARIANI M, MANNINO P, et al. Volatile fraction analysis by HS-SPME/GC-MS and chemometric modeling for traceability of apples cultivated in the Northeast Italy [J]. Food Control, 2017, 78: 215-221.
- [46] CAJKA T, RIDDELLOVA K, KLIMANKOVA E, et al. Traceability of olive oil based on volatiles pattern and multivariate analysis [J]. Food Chemistry, 2010, 121(1): 282-289.
- [47] CASTRO-PUYANA M, PÉREZ-MÍGUEZ R, MONTERO L, et al. Reprint of: Application of mass spectrometry-based metabolomics approaches for food safety, quality and traceability [J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2017, 96: 62-78.

(上接第 200 页)

- [20] MESFIN H, WON H K. The role of microbes in coffee fermentation and their impact on coffee quality [J]. Journal of Food Quality, 2019(12): 1-6.
- [21] BERTRAND B, BOULANGER R, DUSSERT S, et al. Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green Arabica coffee bean as well as coffee beverage quality [J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 2 575-2 583.
- [22] WENNY B S, DAVID J W, HEATHER E S, et al. Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective [J]. Food Research International, 2014, 62: 315-325.
- [23] OSCAR G R, MIRNA L S Q, RENAUD B, et al. Impact of "ecological" post-harvest processing on the volatile fraction of coffee beans: I Green coffee [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2007, 20(3/4): 289-296.
- [24] POYRAZ, I E, ÖZTÜRK, N, KIYAN, H T, et al. Volatile compounds of *Coffea arabica* L. green and roasted beans [J]. Anadolu University Journal of Science and Technology, 2016, 5: 31-35.
- [25] WANG X Y, WANG Y B, HU G L, et al. Review on factors affecting coffee volatiles: From seed to cup [J]. Journal Science Food Agricultural, 2022, 102: 1 341-1 352.
- [26] 陈云兰, 李学玲, 蒋快乐, 等. 咖啡湿法发酵中使用果胶酶对脱胶时间与杯品质量的影响 [J]. 热带作物学报, 2020, 41(2): 371-377.
CHEN Y L, CHEN Z H, JIANG K L, et al. Effects of pectinase on pectin removing time and cup quality in wet fermentation of coffee [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(2): 371-377.

(上接第 233 页)

- [49] CHEN X Q, HU Y X, WANG B J, et al. Characterization of theabrownins prepared from tea polyphenols by enzymatic and chemical oxidation and their inhibitory effect on colon cancer cells [J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 849728.
- [50] LIU T T, XIANG Z M, CHEN F, et al. Theabrownin suppresses in vitro osteoclastogenesis and prevents bone loss in ovariectomized rats [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2018, 106: 1 339-1 347.
- [51] GIRARD-LALANCETTE K, PICHETTE A, LEGAULT J. Sensitive cell-based assay using DCFH oxidation for the determination of pro- and antioxidant properties of compounds and mixtures: Analysis of fruit and vegetable juices [J]. Food Chemistry, 2009, 115(2): 720-726.
- [52] DRÖGE W. Free radicals in the physiological control of cell function [J]. Physiological Reviews, 2002, 82(1): 47-95.
- [53] 徐甜. 四川边茶茶褐素优化提取及降血脂活性研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2010: 7-8.
XU T. Study on the hypoglycemic activity and optimum extraction of theabrownine from Sichuan brick tea [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2010: 7-8.
- [54] HE Y X, CHEN Y X. The potential mechanism of the microbiota-gut-bone axis in osteoporosis: A review [J]. Osteoporosis International, 2022, 33(12): 2 495-2 506.