

生物转化对罗汉果提取物挥发性成分的影响

Effect of biotransformation on volatile components of *Siraitia grosvenorii* extract

魏 敏 宋旭艳 李 冉 彤 霖 董爱君 潘 曦

WEI Min SONG Xu-yan LI Ran RONG Ling DONG Ai-jun PAN Xi

(湖北中烟工业有限责任公司, 湖北 武汉 430040)

(China Tobacco Hubei Industrial Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430040, China)

摘要:目的:研究产香菌生物转化对罗汉果提取物挥发性成分的影响。方法:以植生拉乌尔菌(*Raoultella planticola* VP4-4)对罗汉果提取液进行生物转化,采用同时蒸馏萃取、气相色谱—质谱法分析罗汉果提取液生物转化前后挥发性成分的变化。结果:罗汉果发酵物中挥发性成分主要香气成分或香气前体物包括棕榈酸、岩芹酸、亚麻酸、2-甲基丁酸、己酸、油酸乙酯、棕榈酸乙酯、苯乙醛、5-甲基糠醛、苯甲醛、壬醛、糠醇和对乙烯基愈疮木酚等,生物转化产生了具有天然浓郁奶香的香兰素;酸类物质由 6 种增加到 11 种,相对含量提高至 60.07%;其他酯类、羧基类、烷烃类、醇类、酚类等物质相对含量分别降低至 30.72%, 4.07%, 0.81%, 0.34%, 0.29%;发酵后化合物种类增多,由 50 种增加至 64 种。结论:生物转化赋予了罗汉果发酵物花香、果甜香、奶香等丰富的天然香气,减少了大分子刺激性成分的种类和相对含量,起到了增香减杂的作用。

关键词:罗汉果;植生拉乌尔菌;生物转化;同时蒸馏萃取;气相色谱—质谱;挥发性成分

Abstract: Objective: In order to study the effect of biotransformation of aroma producing bacteria on volatile components of *Siraitia grosvenorii* extract. **Methods:** *Raoultella planticola* VP4-4 was used to biotransform the extract of *Siraitia grosvenorii*, and the volatile component of *Siraitia grosvenorii* before and after fermentation were analyzed by simultaneous distillation extraction and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). **Results:** The main aroma components or aroma precursors in the

fermentation products of *Siraitia grosvenorii* were hexadecanoic acid, (z)-6-octadecenoic acid, (z,z)-9,12-octadecadienoic acid, methyl-Butanoic acid, hexanoic acid, (Z)-9-Octadecenoic acid ethyl ester, hexadecanoic acid ethyl ester, benzeneacetaldehyde, 5-methyl-2-furancarboxaldehyde, benzaldehyde, nonanal, 2-furanmethanol, Ethenyl-2-methoxy-phenol, etc. In addition, vanillin with strong milk flavor was produced by biotransformation. The number of acids increased from 6 to 11, and the relative content increased to 60.07%. The relative contents of esters, carbonyls, alkanes, alcohols and phenols were reduced to 30.72%, 4.07%, 0.81%, 0.34% and 0.29%, respectively. And the compounds increased from 50 to 64 after fermentation. **Conclusion:** Biotransformation endows *Siraitia grosvenorii* fermented products with rich natural aroma such as flower aroma, fruit sweet aroma and milk aroma, reduces the types and relative content of macromolecular irritant components, and plays a role in increasing aroma and reducing impurities.

Keywords: *Siraitia grosvenorii*; *Raoultella planticola*; biotransformation; simultaneous distillation and extraction (SDE); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); volatile components

罗汉果(*Siraitia grosvenorii*)是葫芦科苦瓜属植物的果实。黄世杰等^[1]分析了罗汉果浸膏的香味成分,主要有糠醛、糠醇、5-甲基糠醛、2,4-二羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃-3-酮、5-羟甲基糠醛和反式角鲨烯等。研究表明,酶促反应^[2]或者微生物发酵^[3-6]可以改善天然香料质量,而且反应条件温和、专一性强、对环境友好^[7]。陈义坤等^[8]利用食甲醇芽孢杆菌生物转化山楂提取物,减少了其刺激性成分,提高了香气质;罗诚浩等^[9]研究食甲醇芽孢杆菌生物转化当归提取物,新生成了丁酸、浓馥香兰素、香兰素、高香草醇等 28 种挥发性物质,其香气更丰富柔和;食甲醇芽孢杆菌还具有生物转化阿魏酸转化生产香兰素的功能^[10]。近年来,以丁香酚、异丁香酚和阿魏

基金项目:湖北中烟工业有限责任公司科研项目(编号:2016A010JC08)

作者简介:魏敏,女,湖北中烟工业有限责任公司高级工程师,硕士。

通信作者:潘曦(1987—),女,湖北中烟工业有限责任公司工程师,学士。E-mail:276809576@qq.com

收稿日期:2021-04-15

酸为底物的细菌、真菌生产香兰素的研究逐渐变为研究热点^[11]。

从香荚兰植株栽培土壤中筛选的产香菌——植生拉乌尔菌(*Raoultella planticola* VP4-4)^[12],该菌株具有转化阿魏酸生成天然香兰素的功能和丰富的酶体系,能利用罗汉果提取物中的阿魏酸^[13]、多糖、蛋白质等进行生物转化,生成香味物质或香味前体物。试验拟探究产香菌 VP4-4 生物转化对罗汉果提取物挥发性成分的影响,以期为罗汉果增香提质及开发利用方面提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

植生拉乌尔菌(*Raoultella planticola* VP4-4): CCTCC NO: M 2012005 2012.01.11,该菌从海南香荚兰植株栽培土壤中分离得到,武汉大学中国典型培养物保藏中心;

麦芽汁、葡萄糖、琼脂、麦芽糖、蛋白胨:BR 级,北京三药科技开发公司;

二氯甲烷、无水硫酸钠、95%乙醇、盐酸、氯化钠:AR 级,国药集团化学试剂有限公司;

斜面培养基:麦芽汁 125 mL,葡萄糖 20 g/L,琼脂 15 g/L;

原始种子培养基:麦芽糖 50 g/L,蛋白胨 10 g/L,氯化钠 5 g/L;

罗汉果果实:产地为神农架。

1.1.2 仪器与设备

生化培养箱:SHP-080 型,上海精宏试验设备有限公司;

灭菌锅:YX.350Z 型,上海三申医疗器械有限公司;

超净工作台:SW-CJ-1FD 型,苏净集团安泰公司;

数显电热恒温干燥箱:DM101 A-1 型,武汉鼎立烘箱炉业有限公司;

旋转蒸发器:RE-5IAA 型,上海亚荣生化仪器厂;

循环式真空泵:SHZ-D 型,巩义市予华仪器有限公司;

电热套:TWCL-T 型,巩义市予华仪器有限公司;

恒温摇床:HQL 300B 型,武汉中科科仪技术发展有限责任公司;

pH 计:DELTA-320 型,瑞士 Mettler Toledo 公司;

密度折光仪:DMA4500 型,奥地利安东帕有限公司;

电子天平:ALC-210.2 型,德国 Sartorius 公司;

气相色谱质谱联用仪:TRACE GC Ultra-DSQ II 型,美国 Thermo Fisher 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 罗汉果发酵物及其提取物对照的制备

(1) 罗汉果发酵物的制备:用接种环挑取一环植生拉乌尔菌(*Raoultella planticola* VP4-4)到装有 200 mL 液

体种子培养基的 500 mL 三角锥瓶中,35 ℃,120 r/min 培养 3 d,然后接种到斜面培养基(麦芽汁、葡萄糖、琼脂)上,在恒温培养箱中 35 ℃静置培养 3 d,挑取一块斜面菌种,接种到 60 mL 原始种子培养基(麦芽糖、蛋白胨、氯化钠培养基)上,在 35 ℃,转速 120 r/min 条件下振荡培养 2 d,制得 VP4-4 种子培养液。

将罗汉果果实粉碎至 40 目粉末,取 50 g 粉末装入圆底烧瓶中,加入 25 倍质量水混合均匀,装上冷凝管,电热套加热,冷凝回流提取 5 h,抽滤,取滤液,115 ℃灭菌 20 min,得到罗汉果提取液,作为发酵底物。将 VP4-4 种子培养液与罗汉果提取液按 $V_{\text{种子培养液}}:V_{\text{提取液}}=1:5$ 接种,混合均匀,取混合液 350 mL 置于 1 L 三角锥瓶中,用 0.01 mol/L 的 HCl 溶液调整培养液 pH 为 6.5,恒温摇床设置温度 35 ℃、转速 120 r/min,发酵 72 h,抽滤浓缩得到浸膏,加入 3 倍质量的体积分数 95%乙醇进行醇沉,静置过夜后抽滤,将滤液减压浓缩,制得黄褐色浸膏,其相对密度为 1.23,为植生拉乌尔菌发酵制备的罗汉果发酵物。

(2) 罗汉果提取物对照的制备:将罗汉果果实粉碎至 40 目粉末,取 50 g 装入圆底烧瓶中并加入 25 倍质量水混合均匀,装上冷凝管,电热套加热,冷凝回流提取 5 h,抽滤,将滤液抽滤浓缩为浸膏,然后加入 3 倍质量的体积分数 95%乙醇进行醇沉,静置过夜、抽滤,将滤液减压浓缩得到黄褐色浸膏,其相对密度为 1.21,为罗汉果提取物对照。

1.2.2 挥发性成分分析

(1) 同时蒸馏萃取预处理:将植生拉乌尔菌 VP4-4 发酵的罗汉果发酵物和罗汉果提取物对照分别取 5.0 g,装入 1 L 圆底烧瓶中,加入 400 mL 水,用电热套加热至沸腾,另一侧的圆底烧瓶中加入 200 mL 的二氯甲烷,60 ℃水浴沸腾,待中间分液管处液面出现分层后计时萃取 5 h。萃取结束后,向二氯甲烷萃取液中加入无水硫酸钠,过夜,过滤并减压浓缩至 1 mL,浓缩液用于进行 GC-MS 分析。

(2) 挥发性成分 GC-MS 分析:HP-5MS(50 m × 0.25 mm × 0.25 μm)毛细管柱;进样温度 250 ℃;分流比 20:1;载气为 He,流速 1 mL/min;升温程序:从 50 ℃(1 min)以 5 ℃/min 升到 250 ℃(5 min);传输线温度 250 ℃;EI 离子源;电子能量 70 eV;扫描范围为 50~400 amu;使用 WILEY 和 MINILAB 谱库进行检索,采用峰面积归一化的方法分析,计算每一挥发性组分在产物中的相对百分比含量。

2 结果与分析

2.1 挥发性化学组分分析

GC-MS 总离子流谱图见图 1。经 GC-MS 分析,通过 WILEY 和 MINILAB 谱库检索,罗汉果发酵物及其提取物对照共分离鉴定出 89 种挥发性化学组分,结果见表 1。

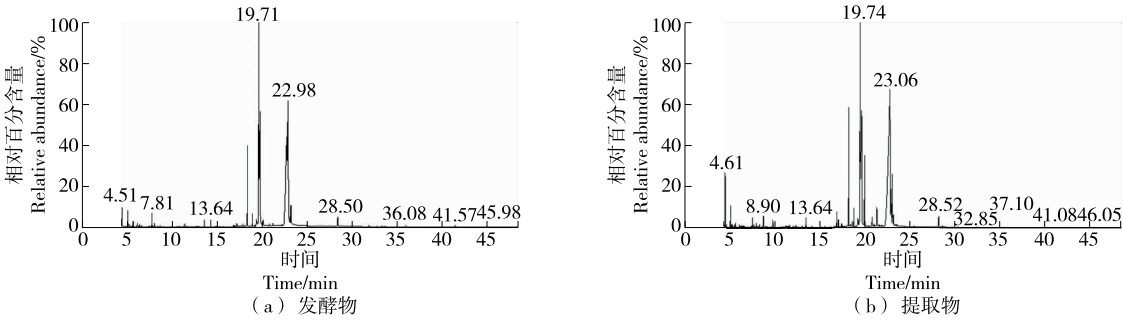


图 1 罗汉果发酵物和提取物 GC-MS 总离子流图

Figure 1 Total ion chromatogram of *Siraitia grosvenorii* fermentation and extract by GC-MS

表 1 罗汉果发酵物及其对照的挥发性成分及含量[†]

Table 1 Volatile components and contents of *Siraitia grosvenorii* fermentation and its control

化合物名称	保留时间/min		相对百分含量/%	
	对照组	罗汉果发酵物	对照组	罗汉果发酵物
2,4-二甲基-1-戊烯-3-酮	—	4.44	—	0.10
糠醛	4.49	—	0.10	—
2,4-二甲基-1-戊烯-3-酮	4.53	—	0.11	—
4-羟基-4-甲基-2-戊酮	4.61	4.51	2.81	0.85
2-甲基丁酸	—	4.64	—	0.06
糠醇	4.78	4.70	0.18	0.09
2-环戊烯-1,4-二酮	—	5.15	—	0.96
原白头翁碱	5.23	—	1.29	—
2-乙酰基呋喃	—	5.59	—	0.12
2,4-二甲基-环己醇	5.64	—	0.11	—
1,2,3,4,5-五甲基-环戊烯	5.75	5.74	0.48	0.42
2,3,3-三甲基-1-己烯	—	5.94	—	0.09
3-乙基-1-辛烯	—	6.18	—	0.33
二异戊烯	6.21	—	0.32	—
5-甲基糠醛	—	6.43	—	0.14
苯甲醛	6.52	6.48	0.10	0.10
二甲基三硫	6.65	—	0.09	—
己酸	—	6.69	—	0.16
苯酚	6.73	—	0.12	—
2-乙基-1-己醇	7.52	—	0.07	—
苯甲醇	7.65	—	0.60	—
2-丁烯酸丁酯	7.77	7.75	0.10	0.08
苯乙醛	7.82	7.81	0.16	0.74
1-(1 <i>H</i> -吡咯-2-基)-乙酮	—	8.09	—	0.23
2-甲氧基-3 <i>H</i> -氮杂	8.17	8.16	0.13	0.10
四甲基-吡嗪	8.43	—	0.21	—
壬醛	—	8.73	—	0.07
苯乙醇	8.90	—	0.72	—
5-甲基-1 <i>H</i> -吡咯-2-甲醛	—	9.06	—	0.11
(3 <i>E</i> ,5 <i>Z</i>)-1,3,5-十一烯	9.96	—	0.38	—

续表 1

化合物名称	保留时间/min		相对百分含量/%	
	对照组	罗汉果发酵物	对照组	罗汉果发酵物
丁基卡必醇	—	9.96	—	0.06
3-羟基-2,6-二甲基-4 <i>H</i> -吡喃-4-酮	—	10.02	—	0.08
5-[3-(4-甲氧基-苯基)-恶嗪杂环丙烷-2-基]-戊烷-1-醇	—	11.06	—	0.12
茴香脑	—	11.48	—	0.40
2-环辛四烯	—	11.59	—	0.10
4,5-二甲氧基-2-甲基苯酚	11.72	—	0.10	—
对乙烯基愈疮木酚	—	11.81	—	0.08
5-戊基-2(5 <i>H</i>)-呋喃酮	12.20	—	0.09	—
(2,6-二甲基苯基)膦酸	12.31	—	0.09	—
1,2,4-三甲氧基苯	12.56	—	0.12	—
对甲氧基苯基丙酮	—	12.80	—	0.07
4-羟基-3-甲氧基-苯甲醛(香兰素)	—	12.99	—	0.10
邻苯二甲酸二甲酯	13.64	13.64	0.53	0.40
柏木脑	15.79	15.78	0.14	0.10
3-亚丁基-1(3 <i>H</i>)-异苯并呋喃酮	16.43	—	0.08	—
7-氨基-1,4-二甲基嘧啶[4,5- <i>c</i>]吡嗪-3,5-(1 <i>H</i> ,2 <i>H</i>)-二酮	—	16.95	—	0.13
3-丁基-1(3 <i>H</i>)-异苯并呋喃酮	17.10	17.09	0.84	0.14
肉豆蔻酸	17.30	17.28	0.51	0.28
肉豆蔻酸乙酯	17.66	—	0.17	—
9-氮杂环丁烯基苄	—	17.72	—	0.15
菲	17.76	—	0.11	—
(2-羟基-4-苯基喹啉)4-苯基-2(1 氢)喹啉酮	—	17.96	—	0.18
2-甲基-9-(丙-1-烯-3-醇-2-基)-双环[4.4.0]癸-2-烯-4-醇	—	18.20	—	0.07
邻苯二甲酸二异丁酯	18.46	18.44	8.15	5.33
嘌呤-2,6(1 <i>H</i> ,3 <i>H</i>)-二 1-(2-乙氧基乙基)-3,7-二甲基酮	18.60	—	0.10	—
3,7-二氢-3,7-二甲基-1 <i>H</i> -嘌呤-2,6-二酮	18.67	—	0.24	—
十五烷酸乙酯	18.80	—	0.26	—
棕榈油酸	—	19.45	—	0.76
氧杂环十七烷-2-酮	19.47	—	0.87	—
邻苯二甲酸二丁酯	19.74	19.71	22.96	19.79
棕榈酸	19.90	19.87	18.20	19.67
棕榈酸乙酯	20.22	20.20	4.86	0.40
2-乙酰基- α -萘啉	—	20.61	—	0.10
油酸	21.07	20.92	0.83	0.21
十七烷酸	21.29	21.28	0.21	0.30
9-十六酸乙酯	—	21.58	—	0.07
2-己基环丙烷辛酸甲酯	21.59	—	1.59	—
顺式-3-辛基环氧辛酸	—	21.65	—	0.07
亚油酸甲酯	—	21.85	—	0.09

续表 1

化合物名称	保留时间/min		相对百分含量/%	
	对照组	罗汉果发酵物	对照组	罗汉果发酵物
十七酸乙酯	21.87	—	0.15	—
亚油酸	—	22.83	—	16.17
岩芹酸	23.07	22.98	17.04	22.33
亚油酸乙酯	23.19	23.16	2.57	0.44
油酸乙酯	23.32	23.29	4.59	2.50
柠檬酸三丁酯	23.64	23.61	0.15	0.13
硬脂酸乙酯	23.85	23.85	0.14	0.09
棕榈酸 2-(十四烷氧基)乙酯	—	23.99	—	0.06
二十二烷	—	26.28	—	0.08
Z,Z,Z-4,6,9-壬十三烯	—	26.68	—	0.08
油酸酰胺	—	27.68	—	0.10
己二酸二辛酯	28.51	28.51	1.26	1.24
苯酚	28.91	28.89	0.22	0.21
2-乙基己二苯酯磷酸	—	29.20	—	0.06
二十五烷	—	31.97	—	0.21
邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯	32.84	32.84	0.12	0.10
二十九烷	—	33.43	—	0.08
2,3,8,9-四甲氧基-6-甲基-11-乙酰氧基-6H-5-氧代乙酰胆碱	—	33.80	—	0.07
二十六烷	—	36.08	—	0.22
二十七烷	—	41.57	—	0.22

† “—”表示未检测到。

由表 2 可知,罗汉果提取物的挥发性化学成分主要为酸类、酯类、羰基类、烷烃类、醇类和酚类,相对含量分别为 41.20%(6 种),38.07%(15 种),6.15%(13 种),2.81%(1 种),1.14%(5 种),0.54%(2 种)。经产香菌植生拉乌尔菌 VP4-4 生物转化后的罗汉果发酵物的挥发性化学组分,主要为酸类、酯类、羰基类、烷烃类、醇类和酚类,相对含量分别为 60.07%(11 种),30.72%(14 种),4.07%(21 种),0.81%(5 种),0.34%(4 种),0.29%(2 种)。与生物转化前相比,罗汉果发酵物的酸类物质相对含量大幅增加,酯类、羰基类、烷烃类、醇类、酚类相对含量减少。

2.2 挥发性成分种类分析

2.2.1 酸类物质 罗汉果发酵物挥发性成分中,酸类物质含量占比最高,是罗汉果发酵物主要香气成分或香味前体,对其风味有重要贡献。经 VP4-4 生物转化后的罗汉果发酵物挥发性成分中酸类物质相对含量和种类变化较大,由 6 种增加到 11 种,相对含量由 41.20%提高至 60.07%。选取对罗汉果发酵物中几种相对含量较高、对风味影响较大的挥发性成分进行详细分析:棕榈酸(18.20%)、岩芹酸(17.04%)、十七烷酸(0.21%),相对含

量分别提高至 19.67%,22.33%,0.30%;新增的挥发性成分有亚油酸(16.17%)、2-甲基丁酸(0.06%)、己酸(0.16%)和棕榈油酸(0.76%);相对含量降低的有肉豆蔻酸(从 0.51%降至 0.28%)和油酸(从 0.83%降至 0.21%)。有机酸在卷烟的加香加料过程中添加用以改善卷烟制品

表 2 罗汉果发酵物及其对照挥发性成分比例及种类数量

Table 2 Proportion and species of volatile components of fermented substance of *Siraitia grosvenorii* fermentation and its control

化合物	罗汉果提取物		罗汉果发酵物	
	相对含量/%	种类数量	相对含量/%	种类数量
酸类	41.20	6	60.07	11
酯类	38.07	15	30.72	14
羰基类	6.15	13	4.07	21
烷烃类	2.81	1	0.81	5
醇类	1.14	5	0.34	4
酚类	0.54	2	0.29	2
合计		42		57

的吸味品质^[14],长链脂肪酸如棕榈酸、十七烷酸、亚油酸、肉豆蔻酸、油酸、棕榈油酸等具有调节烟草酸碱度,增加烟气浓度、甜味、蜡味和丰满度的功效,并间接影响烟草香气,在烟气中起到平衡作用^[15-16];2-甲基丁酸可以增进水果、酒香和乳脂香味,添加到卷烟中使烟气柔和滋润,改善辛辣刺激^[17];己酸具有奶酪香气^[18]。

2.2.2 酯类物质 罗汉果发酵物挥发性成分中酯类物质共有 14 种,新产生了 4 种,消失了 5 种,6 种含量减少,4 种含量变化不明显。邻苯二甲酸二异丁酯(从 8.15%降至 5.33%)和邻苯二甲酸二丁酯(从 22.93%降至 19.79%)作为大分子刺激性物质相对含量减少,油酸乙酯(从 4.59%降至 2.50%)具有花香和果香^[19],亚油酸乙酯(从 2.57%降至 0.44%)具有降低血液中胆固醇和血脂的作用^[20],棕榈酸乙酯(从 4.86%降至 0.40%)呈蜂蜡香、果香^[21],柠檬酸三丁酯(0.13%)有果香味,硬脂酸乙酯(0.09%)可增加卷烟烟气的甜度,使烟香纯正丰满^[22]。酯类物质是由酸和醇在相关酶的催化下经过酯化反应生成的,主要呈果香和花香,对整个罗汉果发酵物香气的结构和特点产生重要影响。

2.2.3 羰基类物质 罗汉果发酵物挥发性成分中羰基类物质由 13 种变为 21 种,总相对含量由 6.15%减少至 4.07%。主要羰基类香气成分中 4-羟基-4-甲基-2-戊酮(二丙酮醇,从 2.81%降至 0.85%)有愉快香气,可能来自于加热浓缩过程中的美拉德反应^[23],苯乙醛(从 0.16%降至 0.74%)呈花香、玫瑰花香和蜂蜜香^[24],新产生的香气成分为 5-甲基糠醛(0.14%),具有持久的焦糖和水果香味,可使香气丰满、柔和、清润、协调、绵长^[25],苯甲醛(0.10%)有苦杏仁味^[25],壬醛(0.07%)具有柑橘香气^[26],4-羟基-3-甲氧基-苯甲醛(香兰素 0.10%)具有香草及浓郁的奶香^[27],罗汉果原料中含有丰富的阿魏酸,经 VP4-4 生物转化阿魏酸产生香兰素。这些酮类、醛类物质对其整体香气起到了丰富花香、果甜香及奶香作用。

2.2.4 烷烃类、醇类和酚类物质 烷烃类、醇类和酚类物质相对含量在罗汉果发酵物挥发性成分中占比为 1.44%,种类由 8 种增加为 11 种,其中糠醇(从 0.18%降至 0.09%)具有花香味^[28],同时醇类物质也是酯类物质的前体物;新产生的对乙烯基愈疮木酚(0.08%)具有辛香、木香^[29],在发酵过程中阿魏酸发生非酶脱羧反应得到,也是加热氧化生成香草醛的前体物^[30]。这些物质相对含量较低,但也为罗汉果发酵物提供了花香及香味前体物等修饰作用。

3 结论

通过产香兰素菌株植生拉乌尔菌 *Raoultella planticola* VP4-4 菌株转化阿魏酸生成天然香兰素的功能和丰富的酶体系,对罗汉果提取物中的阿魏酸、多糖、蛋白质

等进行生物转化、酯化反应、结合加热过程中的美拉德增香反应,生成香味物质或香味前体物,通过同时蒸馏萃取和 GC-MS 技术进行分离鉴定,研究产香菌生物转化前后挥发性成分的变化。结果表明:经产香菌 VP4-4 生物转化后,罗汉果发酵物挥发性成分中化合物种类增多,由罗汉果提取物的 50 种增加为罗汉果发酵物的 64 种,其中新产生的挥发性成分有 39 种,酸类物质含量大幅增加,酯类种类和占比含量稍减少,羰基类、烷烃类的化合物种类增多,占比含量减少;主要香气成分或香气前体物为棕榈酸、岩芹酸、亚麻酸、2-甲基丁酸、己酸、油酸乙酯、棕榈酸乙酯、柠檬酸三丁酯、硬脂酸乙酯、4-羟基-4-甲基-2-戊酮、苯乙醛、5-甲基糠醛、苯甲醛、壬醛、糠醇、对乙烯基愈疮木酚香兰素等,这些挥发性组分协同作用,赋予了罗汉果发酵物花香、果甜香、奶香等丰富的天然香气,减少了大分子刺激性成分的种类和相对含量,起到了增香减杂的作用,对罗汉果的生物产香和生物香料利用开发有一定的指导作用。但发酵香气成分变化的机理仍需进一步研究。

参考文献

- [1] 黄世杰, 张文洁, 宋凌勇, 等. 罗汉果浸膏的提取及其热裂解产物分析研究[J]. 化学试剂, 2021, 43(1): 115-120.
HUANG Shi-jie, ZHANG Wen-jie, SONG Ling-yong, et al. Extraction of *Siraitia grosvenorii* extract and analysis of thermal pyrolysis products[J]. Chemical Reagents, 2021, 43(1): 115-120.
- [2] 高锐, 杨威, 宋鹏飞, 等. 微生物制备烟用香料的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(2): 92-96.
GAO Rui, YANG Wei, SONG Peng-fei, et al. Research progress on production of tobacco flavor by microbial fermentation[J]. Journal of Anhui Agri, 2017, 45(2): 92-96.
- [3] 南海珍. 鸢尾生香菌的分离鉴定及产香研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019: 8-9.
NAN Hai-zhen. Isolation and identification of aroma-producing strains from iris rhizomes and biosynthesis of irone[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019: 8-9.
- [4] 玉云, 尹团章, 庞登红, 等. 茶用荔枝产香菌的筛选与鉴定[J]. 河南农业科学, 2019, 48(7): 150-154.
YU Yun, YIN Tuan-zhang, PANG Deng-hong, et al. Screening and identifying of aroma-producing strains suitable for tea from Litchi[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2019, 48(7): 150-154.
- [5] 玉云, 尹团章, 庞登红, 等. 菠萝产香菌的筛选与鉴定[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(12): 36-39.
YU Yun, YIN Tuan-zhang, PANG Cheng-hong, et al. Screening and identifying the aroma-producing strains from pineapple[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2018, 57(12): 36-39.
- [6] 丁亿, 李源栋, 刘秀明, 等. 普洱茶茶梗发酵香料制备及成分对比分析[J]. 中国测试, 2019, 45(8): 67-74.
DING Yi, LI Yuan-dong, LIU Xiu-ming, et al. Preparation and composition analysis of fermented flavor of Pu-erh tea stem[J]. China

- measurement & Test, 2019, 45(8): 67-74.
- [7] ST J, FRANZ J, DIETRICH D, et al. A plasmid borne, functionally novel glycoside hydrolase family 30 subfamily 8 endoxylanase from solventogenic *Clostridium* [J]. *Biochemical Journal*, 2018 (475): 1 533-1 551.
- [8] 陈义坤, 罗诚浩, 魏敏, 等. 微生物转化对山楂提取物挥发性香气成分的影响[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(7): 149-153.
- CHEN Yi-kun, LUO Cheng-hao, WEI Min, et al. Influence of bio-transformation on the volatile aroma components of Hawthorn extract[J]. *Food Research and Development*, 2017, 38(7): 149-153.
- [9] 罗诚浩, 陈义坤, 魏敏, 等. 生物转化对当归提取物挥发性成分的影响[J]. *食品工业*, 2017, 38(2): 307-310.
- LUO Cheng-hao, CHEN Yi-kun, WEI Min, et al. Influence of bio-transformation on the volatile components of angelica sinensis extract[J]. *The Food Industry*, 2017, 38(2): 307-310.
- [10] 李丹, 魏敏, 罗诚浩, 等. 一种食甲醇芽孢杆菌及其生物转化阿魏酸生产天然香兰素的方法: CN201210113901.2[P]. 2014-04-16.
- LI Dan, WEI Min, LUO Cheng-hao, et al. A method of producing natural vanillin by *Bacillus methanolyticus* and its biotransformation of ferulic acid: CN201210113901.2[P]. 2014-04-16.
- [11] 党玥, 陈雪峰, 刘欢, 等. 香兰素生物合成的研究进展微生物学通报[J]. *微生物学通报*, 2020, 47(11): 3 678-3 688.
- DANG Yue, CHEN Xue-feng, LIU Huan, et al. Research progress on vanillin biosynthesis [J]. *Microbiology China*, 2020, 47(11): 3 678-3 688.
- [12] 魏敏, 陈义坤, 罗诚浩, 等. 一种植生拉乌尔菌及其生物转化阿魏酸生产天然香兰素的方法: CN201210324407.0[P]. 2015-07-01.
- WEI Min, CHEN Yi-kun, LUO Cheng-hao, et al. A new strain of *Raoultella planticola* and its biotransformation of ferulic acid to produce natural vanillin: CN201210324407.0[P]. 2015-07-01.
- [13] 张妮, 魏孝义, 林立东. 罗汉果叶的化学成分研究[J]. *热带亚热带植物学报*, 2014, 22(1): 96-100.
- ZHANG Ni, WEI Xiao-yi, LIN Li-dong. Chemical constituents from the leaves of *Siraitia grosvenorii* (Swingle) C. Jeffrey [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2014, 22(1): 96-100.
- [14] 赵铭钦. 卷烟调香学[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 98-115.
- ZHAO Ming-qin. *Cigarette flavoring* [M]. Beijing: Science Press, 2008: 98-115.
- [15] 林顺顺. 基于风格特征剖析的上部烟叶降低烟碱提质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016: 6.
- LIN Shun-shun. The research on nicotine reducing and quality improving for tobacco upper-leaves based on flavoring characteristics[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016: 6.
- [16] 赵得瑞. 苦参的化学成分及改善卷烟评吸品质的植物挥发性成分研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2018: 60.
- ZHAO De-rui. Studies on the chemical constituents of *Sophora flavescens* and the volatile constituents used to improve the taste of cigarette [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2018: 60.
- [17] 常健, 徐世涛, 黄静, 等. 不同菌种菊苣根发酵提取物的挥发性成分分析及应用[J]. *中国酿造*, 2019, 38(5): 199-203.
- CHANG Jian, XU Shi-tao, HUANG Jing, et al. Analysis and application of volatile components in extracts from chicory roots fermented by different strains [J]. *China Brewing*, 2019, 38 (5): 199-203.
- [18] 牛云蔚. 樱桃酒的特征风味及品质调控研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012: 20.
- NIU Yun-wei. Study on characteristic flavor and directional control of cherry wine[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012: 20.
- [19] 雷丹, 吴敏, 胡琼, 等. 川西高原野樱桃果酒发酵条件优化及其风味成分分析[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(24): 13-21, 30.
- LEI Dan, WU Min, HU Qiong, et al. Optimization of fermentation conditions and volatile components analysis of wild cherry fruit wine of western sichuan plateau [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(24): 13-21, 30.
- [20] 王丹, 张岚, 王佳鑫, 等. HS-SPME-GC-MS 法分析发酵过程中荞麦和小麦面团香气成分变化 [J]. *食品科学*, 2018, 39(20): 207-217.
- WANG Dan, ZHANG Lan, WANG Jia-xin, et al. HS-SPME-GC-MS analysis of variations in the aroma composition of buckwheat and wheat during fermentation [J]. *Food Science*, 2018, 39(20): 207-217.
- [21] 姚瑶, 张亚飞, 刘晓燕, 等. 不同产区赤霞珠干红葡萄酒香气成分分析[J]. *中国酿造*, 2019, 38(7): 178-183.
- YAO Yao, ZHANG Ya-fei, LIU Xiao-yan, et al. Analysis of aroma components of Cabernet Sauvignon dry red wine in different production areas [J]. *China Brewing*, 2019, 38(7): 178-183.
- [22] 李丹丹, 陈宣钦, 赵得瑞, 等. 铁皮石斛改善卷烟评吸品质的物质基础研究[J]. *昆明理工大学学报(自然科学版)*, 2016, 41(5): 100-105.
- LI Dan-dan, CHEN Xuan-qin, ZHAO De-rui, et al. Study on agent foundation of *Dendrobium officinale* in improving cigarette smoking quality [J]. *Journal of Kunming University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2016, 41(5): 100-105.
- [23] 王惠惠, 马纪兵, 刘小波, 等. 甘肃牧区传统风干牦牛肉加工过程中挥发性风味物质变化分析[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(4): 200-205.
- WANG Hui-hui, MA Ji-bing, LIU Xiao-bo, et al. Analysis of the changes of volatile flavor compounds during processing of traditional air-dried beef in pastoral area in Gansu province [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(4): 200-205.
- [24] 谭伟, 许明秀, 谢思琦, 等. ‘赤霞珠’‘梅鹿辄’和‘品丽珠’不同营养系果实与葡萄酒挥发性香气成分分析[J]. *果树学报*, 2021, 38(1): 107-120.
- TAN Wei, XU Ming-xiu, XIE Si-qi, et al. Analysis of volatile aroma components in berries and wines of 'Cabernet Sauvignon' 'Merlot' and 'Cabernet Franc' clones [J]. *Journal of Fruit Science*, 2021, 38(1): 107-120.

(下转第 187 页)

- Technology, 1994(6): 21-24.
- [8] 毛多斌, 张槐岭, 贾春晓, 等. 卷烟香味化学[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1993: 360-366.
- MAO Duo-bin, ZHANG Hui-ling, JIA Chun-xiao, et al. Cigarette flavor chemistry[M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1993: 360-366.
- [9] 李辉, 张明文, 岳先领, 等. 不同烘焙条件对白肋烟氨基酸含量影响[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2016, 28(2): 83-86.
- LI Hui, ZHANG Wen-ming, YUE Xian-ling, et al. Effect of different baking conditions on the amino acids of white rib tobacco[J]. Journal of Hunan University of Arts and Science (Science and Technology), 2016, 28(2): 83-86.
- [10] 刘开楠. 白肋烟烘焙工艺研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014: 10.
- LIU Kai-nan. Baking technology of Burley Tobacco[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014: 10.
- [11] 张杰, 杜国荣, 白若石, 等. 加糖对白肋烟烘焙过程中致香产物的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(6): 580-586.
- ZHANG Jie, DU Guo-rong, BAI Ruo-shi, et al. Effects of sugar addition on aroma products in the process of burley tobacco roasting [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2018, 44(6): 580-586.
- [12] 舒俊生, 陈开波, 毛健. 烘焙对国产白肋烟中糖氨 Maillard 反应的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(3): 59-64.
- SHU Jun-sheng, CHEN Kai-bo, MAO Jian. Effects of roasting on Maillard reactions of reducing sugar and ammonia in domestic burley tobacco[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(3): 59-64.
- [13] 程传玲, 牛婷婷, 杨艳勤, 等. 烘焙条件对白肋烟增香效果的影响及其评价指标考察[J]. 轻工学报, 2017, 32(2): 58-63.
- CHENG Chuan-ling, NIU Ting-ting, YANG Yan-qin, et al. influence of baking conditions on the aroma enhancement effect of burley Tobacco and its evaluation index[J]. Journal of Light Industry, 2017, 32(2): 58-63.
- [14] 邓波, 王维维, 张小涛, 等. 顶空固相微萃取—气相色谱/质谱联用法结合化学计量学分析白肋烟烘焙前后挥发性、半挥发性成分[J]. 色谱, 2019, 37(12): 1 373-1 382.
- DENG Bo, WANG Wei-wei, ZHANG Xiao-tao, et al. Analysis of volatile and semivolatile components of burley tobacco before and after baking by headspace solid-phase microextraction gas chromatography/mass spectrometry with chemometrics [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2019, 37(12): 1 373-1 382.
- [15] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 水溶性糖的测定 连续流动法: YC/T 159—2002 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 399-401.
- State Tobacco Monopoly Bureau. Tobacco and tobacco products: Determination of water-soluble sugars: Continuous flow method: YC/T 159—2002[S]. Beijing: China Standard Press, 2002: 399-401.
- [16] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总氮的测定 连续流动法: YC/T 161—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 411-413.
- State Tobacco Monopoly Bureau. Tobacco and tobacco products: Determination of total nitrogen, Continuous flow method: YC/T 161—2002[S]. Beijing: China Standard Press, 2002: 411-413.
- [17] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总植物碱的测定 连续流动法: YC/T 160—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 405-407.
- State Tobacco Monopoly Bureau. Tobacco and tobacco products: Determination of total alkaloids, Continuous flow method: YC/T 160—2002[S]. Beijing: China Standard Press, 2002: 405-407.
- (上接第 165 页)
- [25] 刘真, 朱丽霞. 5-羟甲基糠醛、糠醛、乙酰呋喃、呋喃酮、5-甲基糠醛的高效液相检测方法[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(18): 166-170.
- LIU Zhen, ZHU Li-xia. High performance liquid phase method for determination of Pentahydroxymethylfurfural, Furfural, Acetylfuran, Furanone and Pentamethylfurfural[J]. Food Research and Development, 2019, 40(18): 166-170.
- [26] 樊杉杉, 管桂坤, 苏雅芝, 等. 采用 GC-O-MS 结合香气活力值分析兰陵美酒香气活性组分特征[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(1): 243-249.
- FAN Shan-shan, GUAN Gui-kun, SU Ya-zhi, et al. Characterization of the aroma-active components in Lanling Meijiu based on GC-O-MS and OAV[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(1): 243-249.
- [27] 朱珠芸茜, 王斌, 邓乾坤, 等. 新疆 5 种鲜食葡萄挥发性香气成分比较分析[J]. 农产品加工, 2020(20): 68-74.
- ZHU Zhu-yun-qian, WANG Bin, DENG Qian-kun, et al. Comparing analysis of aroma components among five table grapes from Xinjiang region[J]. Farm Products Processing, 2020(20): 68-74.
- [28] 吕姗, 凌敏, 董浩爽, 等. 烘干温度对大枣香气成分及理化指标的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(2): 139-145.
- LU Shan, LING Min, DONG Hao-shuang, et al. Effect of drying temperature on the aroma components and physiochemical properties of jujube[J]. Food Science, 2017, 38(2): 139-145.
- [29] 孙优兰, 黄永光, 唐东亚, 等. 基于香气活性值及感官属性对金银花尾酒酿造风味食醋特征的分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(15): 233-242.
- SUN You-lan, HUANG Yong-guang, TANG Ya-dong, et al. Analysis of flavor characteristics of vinegar brewed by honeysuckle tail liquor based on odor activity value and sensory attributes[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(15): 233-242.
- [30] 莫新良, 徐岩, 范文来. 黄酒储存期间 4-乙基愈疮木酚和香草醛的变化及影响因素[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(2): 29-34.
- MO Xin-liang, XU Yan, FAN Wen-lai. Evolution of 4-vinylguaiacol and vanillin as well as factors affected its change during the storage of Chinese rice wines[J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(2): 29-34.