

红心猕猴桃发酵液的工艺优化及其风味分析

张龙飞, 刘潇潇, 马娟, 李文静, 甘钰培, 陈梦颖, 陈大卫, 顾瑞霞, 肖丽霞

(扬州大学江苏乳品生物技术与安全控制重点实验室, 江苏扬州 225000)

摘要: 以感官评价与活菌数为检测指标, 筛选出具有一定耐酸、耐胆盐能力且适宜发酵红心猕猴桃的乳酸菌。通过单因素与正交实验, 确定红心猕猴桃发酵液的发酵工艺条件并通过 GC-MS 对发酵前后的红心猕猴桃发酵液进行风味物质分析。结果表明: 筛选所得的植物乳杆菌 11 与 154 号菌按照 3% 的接菌量, 菌株比例为 1:1, 加糖量为 6%, 料水比为 2:1, 发酵时间为 22 h, 此条件下感官评价分 93.34 分, 酸度为 97.47 °T、pH 值分别为 4.14、活菌数分别为 2.21×10^9 CFU/mL。发酵前后挥发性物质种类显著升高, 由 70 种丰富成 107 种, 其中酯类与酸类变化尤为大, 由原来的酯类 11 种、酸类 4 种增加为 18 种和 17 种。综合以上指标, 该工艺条件下的猕猴桃发酵液活菌数高, 风味物质丰富, 酸甜可口。

关键词: 植物乳杆菌; 发酵液; 工艺; 风味分析

文章编号: 1673-9078(2021)05-212-19

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.5.0853

Process Optimization and Flavor Analysis of Red Kiwi Fruit Fermentation Broth

ZHANG Long-fei, LIU Xiao-xiao, MA Juan, LI Wen-jing, GAN Yu-pei, CHEN Meng-ying, CHEN Da-wei,
GU Rui-xia, XIAO Li-xia

(Key Lab of Dairy Biological Technology and Safety Control, Yangzhou University, Yangzhou 225000, China)

Abstract: The sensory evaluation outcome and the number of viable bacteria were used as the indicators for screening lactic acid bacteria with certain acid and bile tolerance and suitability for fermenting red kiwifruit. Through single factor and orthogonal experiments, the fermentation process conditions for red kiwifruit fermentation broth were determined and its flavor substances before and after fermentation were analyzed by GC-MS. The results showed that under the conditions of the selected *Lactobacillus plantarum* 11 and 154 strains inoculated at 3% and a ratio of 1:1, sugar added at 6%, material-to-water ratio of 2:1, and fermentation time of 22 h, the sensory evaluation score was 93.34, with the acidity being 97.47 °T, pH being 4.14 and the number of viable bacteria being 2.21×10^9 CFU/mL. The types of volatile substances increased significantly after fermentation (from 70 types before fermentation to 107 types after fermentation), among which, esters and acids changed greatly (from the original 11 types of esters and 4 types of acids to 18 types and 17 types, respectively). Based on the above indicators, the kiwifruit fermentation broth under the process conditions had a large number of viable cells, was rich in flavor substances, and tasted delicious.

Key words: *Lactobacillus plantarum*; fermentation broth; process; flavor analysis

引文格式:

张龙飞, 刘潇潇, 马娟, 等. 红心猕猴桃发酵液的工艺优化及其风味分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(5): 212-219

ZHANG Long-fei, LIU Xiao-xiao, MA Juan, et al. Process optimization and flavor analysis of red kiwi fruit fermentation broth [J].

Modern Food Science and Technology, 2021, 37(5): 212-219

收稿日期: 2020-09-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31701627); 江苏省高等学校自然科学基金研究重大项目 (19KJA140004); 江苏省高等学校自然科学研究面上项目 (17KJB550009)

作者简介: 张龙飞 (1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏

通讯作者: 肖丽霞 (1966-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏

猕猴桃中营养成分种类多、含量高, 因此有“水果之王”的美名^[1]。猕猴桃果实具有丰富的营养成分以及良好的医疗保健作用^[2], 其含有丰富的多酚, 具有抗炎和抗癌性, 可预防某些癌症并降低患糖尿病的风险, 也能够很好地抑制部分肿瘤细胞的增殖, 具有抗氧化和预防心血管疾病的功能^[3]。其中红心猕猴桃, 因其果味浓香、甜而不腻、品质优良而深受消费者的青睐, 市场供不应求^[4]。

益生菌有利于机体健康,可以直接被人类服用^[5]。益生菌的功能较多,如调节肠道功能^[6]、抗氧化^[7]、维持口腔健康、预防糖尿病^[8]、防治肥胖^[9]、预防癌症^[10]等功能。乳酸杆菌是典型的有益人体肠道健康益生菌,其在肠道中定植、繁殖,进而改善肠道环境,当摄入足够的量时,直接或通过宿主或其他微生物的相互作用提供健康益处^[11]。

猕猴桃果蔬汁经过益生菌发酵后,除了风味物质的增加外,还有调节肠道菌群、抗氧化、降低脂肪和胆固醇、软化血管、降血压、美容、增强抵抗力等^[12]功效。同时,猕猴桃发酵液的生物活性使其具有多种功效:抵抗外来病原菌感染;促进代谢和能量吸收;净化血液;活化与修复细胞组织^[13]。

红心猕猴桃发酵液的工艺已有研究,因而本研究从江苏省乳品生物技术与安全控制重点实验室前期筛选的9株益生菌(3株植物乳杆菌、3株发酵乳杆菌以及3株鼠李糖乳杆菌),以感官评价与耐酸耐胆盐为检测指标,筛选出适宜发酵红心猕猴桃的植物乳杆菌两株,通过单因素正交实验对红心猕猴桃发酵液的发酵工艺进行研究,而后利用GC-MS对最优发酵条件下的红心猕猴桃发酵液进行挥发性风味物质研究。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 实验材料

红心猕猴桃,连云港金傲来农业开发有限公司提供;在4℃相对湿度为90%条件下保存;果胶酶、蔗糖(食品级)、盐酸、氢氧化钠,国药集团化学试剂有限公司;胃蛋白酶,北京索莱宝;牛胆盐,荣氏生物制品。

菌株:植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*) 11、154、58,发酵乳杆菌(*Lactobacillus fermentum*) 56、57、8,鼠李糖乳杆菌(*Lactobacillus rhamnosus*) 98、19、22,其中11、154、58、56、57由广西巴马长寿人群肠道中筛选而出,8、19、22以及98由云南西藏传统乳制品中筛选所得,保藏于实验室。

1.1.2 实验仪器

美国西屋0965真空破壁机,美国Westhouse公司;SRH60-70申鹿均质机,上海申路均质机有限公司;真空脱气机,张家港兆恒机械有限公司;海尔HBL-P08D1B搅拌机,青岛海尔成套家电服务有限公司;梅特勒托利多FE28型酸度计,上海右一仪器有限公司;Trace ISQ气相色谱-质谱联用仪,美国Thermo

公司。

1.2 方法

1.2.1 菌株活化

在10 mL MRS液体培养基中接种3%菌液,37℃培养24 h活化二代,置于4℃冰箱冷藏,备用。

1.2.2 耐酸、耐胆盐实验

将活化好的菌以3%加入到制备的人工胃液^[14]和含有0.3%牛胆盐^[15]MRS液体培养基中。在37℃培养箱中孵育3 h后采用平板菌落计数法计算其活菌数并计算菌株的存活率^[16]。

$$\text{存活率}/\% = \frac{0\text{h的活菌数}}{3\text{h的活菌数}} \times 100\%$$

1.2.3 酸度

酸碱滴定法分别测猕猴桃发酵液在发酵0、6、12、18、22、26、28、30、32、38、40 h的酸度^[17]。

1.2.4 活菌数

用平板计数法在与测量酸度同一发酵时间处测定猕猴桃发酵液的活菌数^[18]。

1.2.5 工艺流程

新鲜猕猴桃→去皮初榨、去籽→胶磨→均质→真空脱气→酶解→灭菌→接菌→发酵→后酸化→成品

↑

目的菌株→感官初筛→耐酸、耐胆盐、耐药性、抑菌验证

1.3 操作要点

1.3.1 去皮、去籽、榨汁

选择成熟、新鲜的红心猕猴桃果实,清洗去皮,切块后按照一定料水比4 s初榨,过筛去籽,无籽果肉进入破壁机榨汁80 s。

1.3.2 胶磨、酶解、均质

将制备好的猕猴桃浆进入胶磨机,重复两次后加入0.30%果胶酶,45℃水浴1 h酶解^[19]。酶解后在20 MPa压力下均质两次^[20]。

1.3.3 脱气、分装、杀菌

压力为80 kPa下真空脱气30 min^[21],分装后,进行热力杀菌(70℃、15 min)^[22],果胶酶失活。

1.3.4 冷却、发酵、后酸化

杀菌后进行接触水冷却,接菌后置于37℃恒温培养箱中培养。而后放入4℃冰箱中12 h进行后酸化^[23],制成成品猕猴桃发酵液。

1.4 单因素与正交

1.4.1 单因素实验

以感官与活菌数为检测指标,固定接菌量为3%

(11 和 154 为 1:1), 蔗糖添加量为 6%, 设置料水比分别为 4:1、3:1、2:1、1:1、1:2、1:3、1:4; 固定接菌量为 3%, 料水比为 1:1, 设置蔗糖添加量分别为 4%、6%、8%、10%、12%; 固定蔗糖添加量为 6%, 料水比为 1:1, 设置接菌量为接菌量为 2%、3%、4%、5%、6%。

1.4.2 正交实验

在单因素试验的基础上, 通过感官评价的方法, 以蔗糖的添加量 (A)、接菌量 (B)、料液比 (C) 为考察因素, 进行正交试验, 以感官评分标准为依据,

表 2 猕猴桃发酵液的感官评定标准

Table 2 The sensory evaluation criteria for kiwi fruit fermentation broth

项目	评价标准	感官评分
色泽 (30 分)	呈现亮黄绿色, 色泽均匀一致	20~30
	呈现浅黄色	10~20
	绿色消失, 完全发黄, 偏色	<10
香味 (30 分)	具有猕猴桃自身拥有的较浓郁果香, 且协调	20~30
	具有猕猴桃淡果香, 较协调	10~20
	不具备猕猴桃自身所具有的果香	<10
滋味 (30 分)	滋味柔和且协调, 酸甜适中	20~30
	滋味较协调, 偏酸或偏甜或平淡	10~20
	滋味口感偏差	<10
组织状态 (10 分)	果浆分布均匀	6~10
	果浆分布不均匀	3~6
	大部分果浆沉入瓶底	<3

1.4.3 感官评价

本实验采用描述型分析感官评价^[24], 评价人员按照表 2 感官评价表打分, 满分为 100 分, 分为色泽、香味、滋味、组织状态这四个方面, 各占 30%、30%、30%、10%。具体评分标准如表 2。

1.5 猕猴桃发酵液的风味分析

采用 GC-MS 对未发酵的猕猴桃汁和猕猴桃发酵液成品中的挥发性物质的进行分析^[23,24]。5 mL 的样品放入顶空固相瓶中, 将老化 (250 °C, 40 min) 好的固相萃取头进行挥发性风味物质的萃取, 萃取时间为 30 min。

气相色谱条件: DB-5MS 色谱柱 (50 m×0.25 mm×0.25 μm), 柱箱升温程序为: 40 °C 保持 3 min, 以 10 °C/min 升温至 220 °C, 保持 3 min, 而后以 4 °C/min 升温至 250 °C, 维持 1 min。载气 He; 流速 0.8 mL/min; 不分流。

质谱条件: 电子轰击 (EI) 离子源; 电子能量 70 eV; 离子源温度 230 °C; 质量扫描范围 35~550 u, 进样口温度 250 °C, MS 四极杆温度 150 °C。

确定猕猴桃发酵液的最佳配方, 实验因素与水平详见表 1。

表 1 正交实验因素水平表

Table 1 The factors and levels of orthogonal experiment

水平	因素			空列
	A 蔗糖添加量/%	B 接菌量/%	C 料水比/(g:g)	
1	6	2	3:1	1
2	8	3	2:1	2
3	10	4	1:1	3

1.6 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 进行数据统计, 并进一步利用 Origin 2018 进行分析。所有样品均重复三次。

2 结果与分析

2.1 菌株的耐酸、耐胆盐能力分析

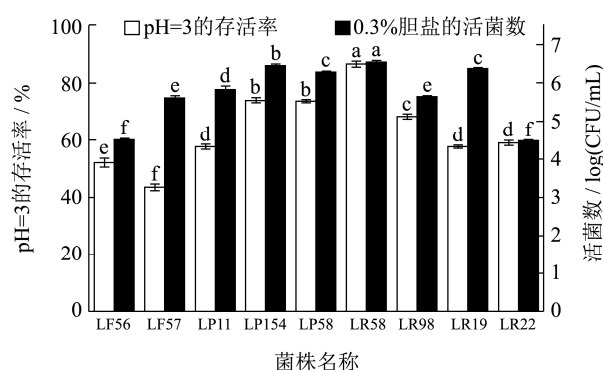


图 1 菌株耐酸、耐胆盐情况

Fig.1 Strain resistance to acid and bile salts

由图 1 分析可知, 在耐酸实验中, 在 pH=3 的耐

酸试验中, 9 株菌都有较好的耐酸能力, 其中植物乳杆菌 11、154 与 58 存活率达 70% 以上, 显著高于发酵乳杆菌 56、57 和 8 以及鼠李糖乳杆菌 98、19 和 22, 这与某些植物乳杆菌本身具有耐酸性一致^[25,26]; 在耐胆盐实验中, 3 h 以后的活菌数低于 10^6 CFU/mL, 则认为该菌株不具备耐胆盐能力, 只有植物乳杆菌 11、154 和 58 的活菌数达到了 10^6 CFU/mL, 可作为发酵菌株, 这与人报道^[27]的从人和动物来源的乳杆菌具有高的存活能力一致。

表 3 不同菌株发酵后的感官评价

Table 3 Sensory evaluation of different strains after fermentation

序号	菌株	感官评价/分
1	LF56	73.67±1.03 ^d
2	LF57	78.67±1.64 ^b
3	LF8	71.17±1.17 ^e
4	LP11	84.50±1.05 ^a
5	LP154	84.83±1.72 ^a
6	LP58	77.50±1.25 ^{bc}
7	LR98	76.00±1.41 ^c
8	LR19	77.83±0.75 ^{bc}
9	LR22	78.50±1.76 ^b

注: $p < 0.05$, 不同字母表示呈显著性差异。

由表 3 分析可知, 9 株菌在料水比为 1:1 猕猴桃液中的发酵 24 h 后的感官评价, 其中 11 与 154 的感官评分均显著高于其他菌株, 达到 80 分以上, 该两株菌间存在无显著差异。因而后续利用 11 与 154 号菌进行实验。

2.2 菌株的发酵性能

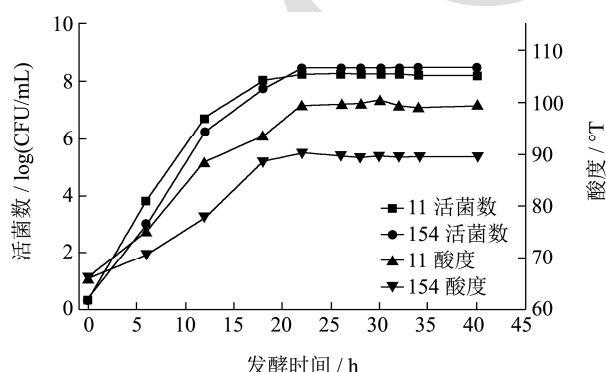


图 2 发酵时间对酸度与活菌数的影响

Fig.2 Effect of fermentation time on acidity and viable count

由图 2 分析, 在 0~22 h 时, 活菌数与酸度随着发酵时间而增长, 在发酵 22 h 时两株菌活菌数均达到最大值。22 h 后, 活菌数均保持平稳或略有下降, 酸度也由原始 66.00 °T 变成 89.47 °T 与 99.47 °T。这可能

是由于前期菌株发酵产物使得发酵液环境酸度升高, 发酵环境不适宜菌株继续生长繁殖, 抑制了活菌的生长, 因而确定后续菌株的发酵时间为 22 h。

2.3 单因素实验

2.3.1 料水比对发酵液的感官与活菌数的影响

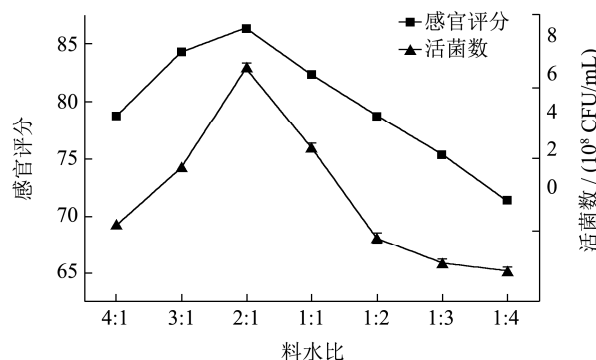


图 3 料水比对感官与活菌数的影响

Fig.3 Effects of material-water ratio on sensory evaluation and viable count

由图 3 可知, 料水比过高或过低时, 猕猴桃的果香味会过强或过弱, 同时发酵液的 pH、酸度及果糖含量等也会发生显著变化, 从而影响菌株的生长状态。感官评价分数超过 80 分的料水比有 3:1、2:1、1:1 (g:g), 其感官评价分分别为 84.33、86.33、82.33 分, 此时的活菌数也分别达到了 3.71×10^8 CFU/mL、 6.54×10^8 CFU/mL、 4.31×10^8 CFU/mL。

2.3.2 蔗糖添加量对发酵液的感官与活菌数的影响

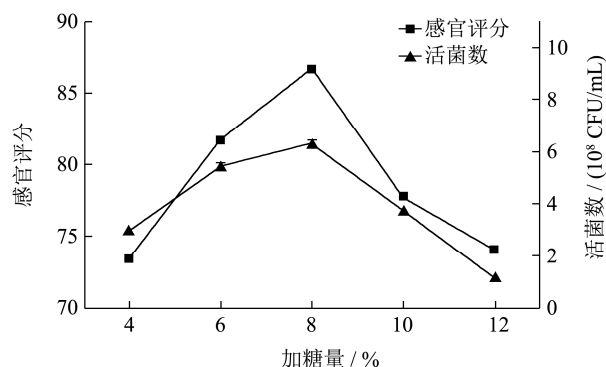


图 4 蔗糖添加量对感官与活菌数的影响

Fig.4 Effects of sucrose addition on sensory evaluation and viable count

作为菌株生长的碳源, 在一定范围内的增加蔗糖可以使得活菌数升高, 但过多会造成溶液的浓度与渗透压发生变化, 从而导致菌体死亡; 由图 4 可知, 感官评价分与活菌数随着蔗糖添加量的增加先上升后下降。感官评价分数较高的蔗糖添加量有 6.00%、8.00%、10.00%, 其感官评价分分别为 81.67、86.67、

77.67 分;活菌数分别达到了 5.41×10^8 CFU/mL、 6.28×10^8 CFU/mL、 3.71×10^8 CFU/mL。

2.3.3 接菌量对发酵液的感官与活菌数的影响

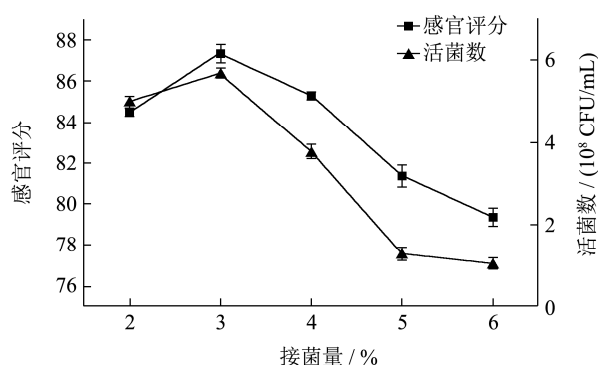


图5 接菌量对感官与活菌数的影响

Fig.5 Effects of inoculum amount on sensory evaluation and viable count

接种量高低直接影响发酵液的发酵效率,过低会影响菌株生长速率从而导致产酸速率过慢,过高则会

在短时间内造成发酵产物快速积累,从而导致菌株死亡,影响口感^[28],由图5可知,感官评价分数达到84分及以上的有84.47、87.33、85.26分,其对应的接菌量分别为2.00%、3.00%、4.00%,此时对应的活菌数分别为 4.97×10^8 CFU/mL、 5.68×10^8 CFU/mL、 3.78×10^8 CFU/mL。

2.4 最佳猕猴桃发酵液配方的确定

由表4可知,猕猴桃发酵液的感官评价分会随蔗糖添加量、接菌量、料水比的变化而改变,其中感官评价分数最高的是2号实验组,感官评价分为93.34分。其酸甜适中、组织状态较为均匀、呈略微偏绿的黄色、带有猕猴桃自身的果香味,其对应的优化组合为 $A_1B_2C_2$,其配方为蔗糖添加量为6.00% (g:g),接菌量为3.00% (g:g),料水比为2:1 (g:g)。通过极差R分析发现影响猕猴桃发酵液感官的因素关系为 $A>C>B>D$,理论的最优组合为 $A_1B_2C_2$,感官评价结果一致。

表4 正交实验设计及结果

Table 4 Orthogonal experimental design and results

水平	因素				感官评分/分
	A 蔗糖添加量/%	B 接菌量/%	C 料水比/(g:g)	D 空列	
1	6	2	1:1	1	89.37±1.75 ^b
2	6	3	2:1	2	93.34±1.43 ^a
3	6	4	1:1	3	83.32±1.58 ^{cd}
4	8	2	2:1	3	85.31±0.64 ^c
5	8	3	1:1	1	79.24±1.70 ^d
6	8	4	3:1	2	82.14±3.26 ^{cd}
7	10	2	1:1	2	79.72±2.25 ^d
8	10	3	3:1	3	82.45±2.76 ^{cd}
9	10	4	2:1	1	83.32±1.76 ^{cd}
$\bar{K}_1$	88.68	84.80	84.653	83.98	
$\bar{K}_2$	82.23	85.01	87.32	85.07	
$\bar{K}_3$	81.83	82.93	80.76	83.69	
R	6.847	2.01	5.90	1.37	
因素主次	$A>C>B>D$				
较优组合	$A_1B_2C_2$				

2.5 猕猴桃发酵液风味分析

2.5.1 GC-MS 对未发酵的猕猴桃汁和猕猴桃发酵液风味物质的分析结果

采用 GC-MS 在未经发酵的猕猴桃汁和猕猴桃发酵液中分别鉴定出近百种风味物质成分。如图6所示,未经发酵的猕猴桃汁中有70种挥发性物质,其中醇类20种、酯类11种、酸类4种、烷烃类11种、醛酮类12种和其他类10种;而猕猴桃发酵液中有107

种挥发性物质,其中醇类22种、酯类18种、酸类17种、烷烃类11种、醛酮类12种和其他类25种。这与张业芳^[29]的研究结果一致,她运用气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术对猕猴桃乳酸菌饮料进行挥发性风味物质检测,共检测酸类、酯类、醇类及其他类。由图6还可知,未经发酵的猕猴桃汁与猕猴桃发酵液中的各物质的相对含量均有变化。这两者中醇类的相对含量分别为7.89%、11.96%;酯类的相对含量分别为15.07%、23.02%;酸类的相对含量分别为30.46%、

38.90%；烷烃类的相对含量分别为 28.07%、0.85%；醛酮类的相对含量分别为 13.42%、12.91%；其他类的相对含量分别为 1.85%、4.76%。经过益生菌发酵及后酸化后，猕猴桃发酵液中的醇类、酯类、酸类、其他类的风味物质种类和相对含量明显增加。这与熊涛^[30]等人的研究结果一致，他们研究发现经植物乳杆菌发酵的胡萝卜汁醇酯类物质增加，富有丰富的胡萝卜清香。其中，发酵后的酸类种类是发酵前的 4 倍多，主要是菌体利用糖类进行发酵后，产生了许多包括乳酸、乙酸在内的有机酸；烷烃类的种类数目未变，但含量明显下降。猕猴桃发酵液中相对含量较高的风味物质分别是 2-乙基丁酸（36.28%）、苯甲酸乙酯（19.06%）、2-甲基环戊酮（10.03%）、正己醇（2.2%）、乙醇（1.82%）、乙酸（1.66%）；酸度剂，增香剂、乙醛（1.46%）、1-戊炔-3-醇（1.21%）、油酸甲酯（1.12%）、桉叶油醇。发酵后猕猴桃汁的挥发性风味物质种类丰富，有猕猴桃独特的清凉协调感，数据与感官评价相贴合。

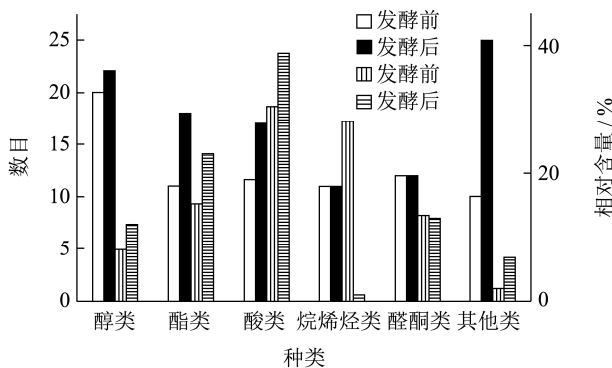


图 6 猕猴桃发酵前后中各成分种类数目及其相对含量
Fig.6 The relative contents of various components in kiwifruit fermentation broth

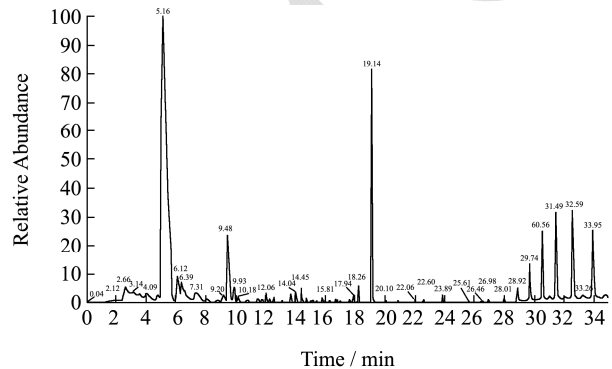


图 7 猕猴桃发酵前挥发性风味物质的总离子流图
Fig.7 Total ion chromatogram of volatile flavor compounds in kiwifruit before fermentation

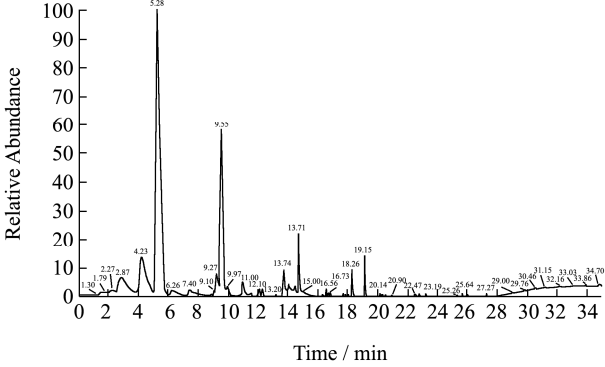


图 8 猕猴桃发酵后挥发性风味物质的总离子流图
Fig.8 Total ion current diagram of volatile flavor compounds in kiwi fruit after fermentation

2.5.2 猕猴桃发酵液理化指标与微生物指标参数

表 5 理化指标与微生物指标参数
Table 5 The physicochemical parameters and microbial parameters

指标	发酵后
酸度/°T	97.47±0.21
pH	4.14±0.14
活菌数/(CFU/mL)	2.21×10 ⁹ ±0.11

经植物乳杆菌 11 以及 154 混合发酵后，其酸度达到 97.47 °T，pH 为 4.14，活菌数为 2.21×10⁹ CFU/mL，此时产品酸甜可口，风味口感俱佳，活菌数高，具有良好益生功能潜力。

3 结论

3.1 植物乳杆菌 11、58、154 的耐酸、耐胆盐能力较优，优于其余包括发酵乳杆菌与鼠李糖乳杆菌，而 11 与 154 发酵的红心猕猴桃浆感官评价结果较好，因而 11 和 154 号菌株适宜发酵红心猕猴桃浆的生产。

3.2 11 与 154 号菌株在红心猕猴桃浆中 22 h 时的酸度最高，活菌数达到最大，因而选择 22 h 为发酵终点。以红心猕猴桃和 11、154 号菌为原料，通过单因素、正交实验确定益生菌发酵猕猴桃发酵液的配方。配方为：蔗糖添加量为 6.00%，接菌量为 3.00%，料水比为 2:1 (g:g)，经过酶解、胶磨、均质、脱气、灭酶杀菌以及发酵工艺后，最终制成的猕猴桃发酵液成品呈略微偏绿的黄色，色泽均匀一致，组织状态均匀稳定，拥有猕猴桃自身的果香，滋味酸甜适中。经植物乳杆菌发酵后的猕猴桃汁具有丰富的挥发性风味物质，其中含量较高的风味物质具有柑橘、猕猴桃等清凉感。

参考文献

- [1] Yang H, Lee Y C, Han K S, et al. Green and gold kiwifruit peel ethanol extracts potentiate pentobarbital-induced sleep in mice via a GABAergic mechanism [J]. Food Chemistry, 2013, 136(1): 160-163
- [2] Pinto D, Delerue-Matos C, Rodrigues F. Bioactivity, phytochemical profile and pro-healthy properties of actinidia arguta: a review [J]. Food Research International, 2020, 136: 109449
- [3] 焦岩,常影,余世锋,等.超声波辅助提取猕猴桃皮黄酮及其抑菌作用研究[J].食品科技,2013,38(4):228-231,236
- JIAO Yan, CHANG Ying, YU Shi-feng, et al. Ultrasonic wave-assisted extraction and antibacterial activity of flavonoids from kiwifruit peels [J]. Food Science and Technology, 2013, 38(4): 228-231, 236
- [4] Sun X, Jia P, Bu T, et al. Conversional fluorescent kiwi peel phenolic extracts: sensing of Hg^{2+} and Cu^{2+} , imaging of HeLa cells and their antioxidant activity [J]. Spectrochimica Acta Part A Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2021, 244(5): 118857
- [5] Zhu M T, Huang Y S, Wang Y L, et al. Comparison of (poly) phenolic compounds and antioxidant properties of pomace extracts from kiwi and grape juice [J]. Food Chemistry, 2019, 271(JAN.15): 425-432
- [6] 董亚文.多种灭活益生菌静脉注射对小鼠免疫功能影响研究[D].泰安:山东农业大学,2018
- DONG Ya-wen. Effects of different inactive probiotic injection on immune functions and antibacterial action in mice [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2018
- [7] Cagno R D, Coda R, Angelis M D, et al. Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation [J]. Food Microbiology, 2013, 33(1): 1-10
- [8] 薛俊敬.益生菌对草鱼生长、营养代谢和机体免疫的影响[D].南昌:南昌大学,2018
- XUE Jun-jing. The effects of dietary probiotics on growth, nutritional metabolism and body immunity of the grass carp [D]. Nanchang: Nanchang University, 2018
- [9] 刘侃,王秋明,宋婉玉,等.口服益生菌对妊娠期糖尿病小鼠肠道菌群及调节性免疫细胞的影响[J].中国微生态学杂志, 2020,32(2):166-171
- LIU Kan, WANG Qiu-ming, SONG Wan-yu, et al. Effects of oral probiotics on intestinal flora and regulatory immune cells in gestational diabetic mice [J]. Chinese Journal of Microecology, 2020, 32(2): 166-171
- [10] 张兰威.益生菌干预对小鼠肥胖的影响研究[C].中国食品科学技术学会.第十四届益生菌与健康国际研讨会摘要集, 2019:47-48
- ZHANG Lan-wei. Effect of probiotics on obesity [C]. Chinese institute of Food Science and Technology. Summary of the 14th International Symposium on Probiotics and Health, 2019: 47-48
- [11] Vinderola C G, Costa G A, Regenhart S, et al. Influence of compounds associated with fermented dairy products on the growth of lactic acid starter and probiotic bacteria [J]. International Dairy Journal, 2002, 12(7): 579-589
- [12] 闫新望,刘瑞娟.微生物群在癌症发展及治疗中的进展[J].临床荟萃,2019,34(8):764-768
- YAN Xin-wang, LIU Rui-juan. Microbiota's progress in cancer development and treatment [J]. Clinical Focus, 2019, 34(8): 764-768
- [13] Kim A N, Kim H J, Chun J, et al. Degradation kinetics of phenolic content and antioxidant activity of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta*) puree at different storage temperatures [J]. LWT, 2018, 89: 535-541
- [14] Yazdi F T, Falah F, Vasiee A, et al. Evaluation of adherence and anti-infective properties of probiotic *Lactobacillus fermentum* strain 4-17 against *Escherichia coli* causing urinary tract infection in humans [J]. Microbial Pathogenesis, 2019, 131(8): 246-253
- [15] Ruiz L, Margolles A, Sánchez, et al. Bile resistance mechanisms in *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* [J]. Frontiers in Microbiology, 2013, 24(4): 396
- [16] 李利,孔丽,张宁,等.耐酸耐胆盐乳酸菌的鉴定及筛选[J].食品科学,2015,36(21):123-128
- LI Li, KONG Li, ZHANG Ning, et al. Identification and selection of lactic acid bacteria resistant to acid and bile salt [J]. Food Science, 2015, 36(21): 123-128
- [17] 李宏军,刘德宗,史权,等.酸奶在贮藏过程中酸度和pH值变化的研究[J].中国乳品工业,2000,6:8-10
- LI Hong-jun, LIU De-zong, SHI Quan, et al. Study on changes in acidity and pH value in yogurts during storage [J]. China Dairy Industry, 2000, 6: 8-10
- [18] 陈影,卢宗梅,俞建良,等.微生物发酵饲料中益生菌的计数方法[J].当代化工,2018,47(5):991-994
- CHEN Ying, LU Zong-mei, YU Jian-liang, et al. Counting method of probiotics in microbial fermentation feed [J]. Contemporary Chemical Industry, 2018, 47(5): 991-994
- [19] 徐文晖.软枣猕猴桃乳饮料制备工艺的研究[J].现代农村科技,2013,3:65-66

- XU Wen-hui. Study on the preparation technology of jujube and kiwi milk beverage [J]. Modern Rural Technology, 2013, 3: 65-66
- [20] 孙红艳,王小云,刘文星.绿茶-猕猴桃复合饮料制取工艺研究[J].食品工业科技,2014,35(1):227-231
- SUN Hong-yan, WANG Xiao-yun, LIU Wen-xing. Optimization of processing technology and formulation of green tea-kiwi fruits compound beverage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(1): 227-231
- [21] Lone S A, Sathya R, Davoodbhasha M A, et al. An investigation on the sterilization of berry fruit using ozone: an option to preservation and long term storage [J]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2019, 20: 101212
- [22] Soufleros E H, Pissa I, Petridis D, et al. Instrumental analysis of volatile and other compounds of Greek kiwi wine; sensory evaluation and optimisation of its composition [J]. Food Chemistry, 2001, 75(4): 487-500
- [23] Aprea E, Corollaro M L, Betta E, et al. Sensory and instrumental profiling of 18 apple cultivars to investigate the relation between perceived quality and odour and flavor [J]. Food Research International, 2012, 49(2): 677-686
- [24] 刘常园,方东路,张毅航,等.基于电子鼻和气质联用评价煮制方式对香菇汤挥发性风味物质的影响[J].食品工业科技, 2020,41(20):6-11,9
- LIU Chang-yuan, FANG Dong-lu, ZHANG Yi-hang, et al. Effect of cooking methods on volatile flavor compounds in *Lentinus edodes* soups analyzed by electron nose and SPME-GC-MS [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(20): 6-11, 9
- [25] Ortakci F, Sert S. Stability of free and encapsulated *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 in yogurt and in an artificial human gastric digestion system [J]. Journal of Dairy science, 2012, 95(12): 6918-6925
- [26] Charteris, Kelly, Morelli, et al. Development and application of an *in vitro* methodology to determine the transit tolerance of potentially probiotic *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* species in the upper human gastrointestinal tract [J]. Journal of Applied Microbiology, 1998, 84: 759-768
- [27] Xanthopoulos V, Litopoulou-Tzanetaki E, Tzanetakis N. Characterization of *Lactobacillus* isolates from infant feces as dietary adjuncts [J]. Food Microbiol, 2000, 17: 205-215
- [28] 雷海容,张枫燃,梁洪祥,等.大豆益生元发酵豆乳的制备及其对益生菌数量的影响[J].食品研究与开发,2020,41(1): 139-146
- LEI Hai-rong, ZHANG Feng-ran, LIANG Hong-xiang, et al. Preparation of fermented soybean milk with prebiotics and its effect on the number of probiotics [J]. Food Research and Development, 2020, 41(1): 139-146
- [29] 张业芳.猕猴桃发酵饮料的研制及生物活性成分分析[D]. 贵阳:贵州医科大学,2018
- ZHANG Ye-fang. Development of kiwi fruit fermented beverage and analysis of biologically active ingredients [D]. Guiyang: Guizhou Medical University, 2018
- [30] 熊涛,马晓娟.植物乳杆菌 NCU166 发酵胡萝卜浆风味物质的分析[J].食品科学,2013,34(2):152-154
- XIONG Tao, MA Xiao-juan. Analysis of the flavor compounds of fermented carrot pulp with *Lactobacillus plantarum* NCU166 [J]. Food Science, 2013, 34(2): 152-154

(上接第 152 页)

- [32] Sheykhnazari S, Tabarsa T, Shakeri A, et al. Bacterial synthesized cellulose nanofibers; Effects of growth times and culture mediums on the structural characteristics [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 86(3): 1187-1191
- [33] Kaewnopparat S, Sansernluk K, Faroongsarng D. Behavior of freezable bound water in the bacterial cellulose produced by *Acetobacter xylinum*: an approach using thermoporosimetry [J]. Aaps Pharmscitech, 2008, 9(2): 701-707
- [34] Whitney S E C, Gothard M G E, Mitchell J T, et al. Roles of cellulose and xyloglucan in determining the mechanical properties of primary plant cell walls [J]. Plant Physiology, 1999, 121(2): 657-663
- [35] Lanasa S M, Hoffecker I T, Bryant S J. Presence of pores and hydrogel composition influence tensile properties of scaffolds fabricated from well-defined sphere templates [J]. Journal of Biomedical Materials Research, 2011, 96(2): 294-302
- [36] Lopez-Sanchez P, Cersosimo J, Wang D, et al. Poroelastic mechanical effects of hemicelluloses on cellulosic hydrogels under compression [J]. PLoS One, 2015, 10(3): e0122132