

DMDC 发酵前处理对荔枝酒发酵特性的影响

邓莎莎^{1,2}, 刘忠义¹, 吴继军^{1,2}, 余元善², 徐玉娟²

(1. 湘潭大学化工学院, 湖南湘潭 411105) (2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东广州 510610)

摘要: 本文以发酵荔枝酒为研究对象, 比较了二甲基二碳酸盐 (DMDC)、亚硫酸盐以及巴氏杀菌发酵前处理对荔枝汁中微生物菌群、荔枝酒主发酵 6 d 期间可滴定酸、乙醇、高级醇、色泽、多酚以及主发酵结束后各挥发性风味物质的影响。结果表明: 与对照组相比, 添加 DMDC 和亚硫酸盐以及巴氏杀菌处理均能很好的抑制荔枝汁中天然污染菌的生长, 减缓荔枝果酒 pH 的下降和可滴定酸的升高, 提高荔枝发酵酒的乙醇得率。其中, DMDC 对荔枝汁中酵母菌、乳酸菌和霉菌的杀菌能力显著强于亚硫酸盐 ($p < 0.05$)。添加亚硫酸盐的实验组多酚保留率显著高于其它三个发酵前处理组 ($p < 0.05$), ΔE^* 变化最小, 能起到明显护色效果; 巴氏杀菌使得荔枝酒典型风味成分损失较大。综合而言, DMDC 是可以代替或部分代替亚硫酸盐和巴氏杀菌在荔枝酒中推广应用。

关键词: 荔枝酒; 二甲基二碳酸盐; 亚硫酸盐; 巴氏杀菌

文章编号: 1673-9078(2016)3-239-245

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.038

Effect of Pre-Fermentation Treatment with Dimethyl Dicarbonate on the Fermentation Characteristics of Litchi Wine

DENG Sha-sha^{1,2}, LIU Zhong-yi¹, WU Ji-jun^{1,2}, YU Yuan-shan², XU Yu-juan²

(1. College of Chemical Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

(2. Sericulture & Agri-Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China)

Abstract: This study examined the effects of pre-fermentation treatment with dimethyl dicarbonate (DMDC), sulfite, and pasteurization on litchi juice microflora; color; and titratable acid, alcohol, fusel oil, and polyphenol contents in litchi wine during 6 days of primary fermentation and on volatile components in litchi wine at the end of the primary fermentation. DMDC, sulfite, or pasteurization pretreatment effectively inhibited the growth of naturally occurring bacteria, slowed the decline in pH, increased the content of titratable acids, and improved the yield of alcohol compared with control treatment. DMDC pretreatment inhibited the growth of yeast, lactobacilli, and molds in litchi juice compared with sulfite pretreatment ($p < 0.05$). Sulfite pretreatment significantly increased polyphenol retention rate, induced minimal change in ΔE^* , and exerted an apparent color-protective effect compared with the other three pretreatments ($p < 0.05$). In contrast, pasteurization pretreatment resulted in the loss of a unique flavor ingredient in litchi wine. Thus, these results indicated that DMDC could completely or partially replace sulfite or pasteurization pretreatment in the production of litchi wine.

Key words: litchi wine; dimethyl dicarbonate; sulfites; pasteurization

荔枝酒是以新鲜荔枝为原料, 经酿酒酵母低温发酵制得的一种营养健康的发酵果酒, 其酒体香醇细腻, 口感清静爽快, 色泽风味俱佳, 符合现代城市居民的健康饮食理念, 具有广阔的市场开发前景^[1]。但由于采摘季节高温多湿, 富含多种营养物质的荔枝加工过程中经常会受到野生酵母、乳酸菌等杂菌污染^[2], 进而

收稿日期: 2015-01-29

基金项目: 国家自然科学基金 (31401531); 科技部创新方法工作专项 (2013IM030700); 广州市科技计划项目 (2014J4100188)

作者简介: 邓莎莎 (1988-), 女, 硕士研究生, 主要从事食品营养与食品加工方面的研究

通讯作者: 刘忠义 (1964-), 男, 博士, 教授, 主要从事天然产物开发利用及食品的质量、安全以及功能性质的研究

影响酒精发酵的正常进行, 导致荔枝酒酒度低, 产生异味, 甚至酸败, 所以抑制杂菌生长是荔枝酒酿造中的关键工艺之一。巴氏杀菌能较好的抑制荔枝酒发酵期间杂菌的生长, 但荔枝热敏性较强, 热杀菌会明显改变荔枝的原有风味。目前, 大多数荔枝酒厂主要是借鉴葡萄酒的生产工艺, 通过添加亚硫酸盐来达到抑制杂菌生长的目的, 但添加亚硫酸盐存在一定的食品安全隐患, 消费者对这种荔枝酒产生了一定的心理排斥。因此, 大力开发应用一些新型、高效、安全的食品防腐剂是发展荔枝酒产业的重要课题。

二甲基二碳酸盐 (Dimethyl dicarbonate, 简称 DMDC) 是我国食品添加剂使用标准中允许使用的一种果汁饮料防腐剂^[3]。研究证明, DMDC 在常温甚至

低温下具有杀菌迅速、广谱的效果,且在水中很快分解为微量的甲醇和二氧化碳,不会影响人体健康和产品品质,是一种很有潜力的非热杀菌技术^[4,5]。目前,国内外对于 DMDC 的应用正处于推广阶段,主要是用于果蔬保鲜和果汁饮料的杀菌中^[6,7]。在果酒工艺中,除了在葡萄酒酿造中得到应用且研究较为深入,如有文献记载,联合使用 50 mg/L DMDC 和 25 mg/L 游离 SO₂ 可以很好抑制葡萄汁中 400 CFU/mL *S. cerevisiae* *Montrachet*, 而在酒精含量 100 mL/L 和 120 mL/L 葡萄酒中添加 150 mg/L DMDC, 可以完全抑制经常感染葡萄酒的 *S. cerevisiae* 和 *S. bayanus* (500 CFU/mL) 的生长^[4]。而关于 DMDC 在荔枝酒发酵和贮藏过程中对污染菌抑制效果方面的研究还未见报道。

本文主要比较了二甲基二碳酸盐 (DMDC)、亚硫酸盐以及巴氏杀菌发酵前处理对荔枝汁中微生物菌群、荔枝酒主发酵 6 d 期间的可滴定酸、乙醇、高级醇、色泽、多酚以及主发酵结束后各挥发性风味物质的影响,探究 DMDC 在荔枝酒发酵中的应用价值,以期 DMDC 的推广应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜荔枝,品种为“妃子笑”,购于广州市场;二甲基二碳酸盐, Sigma 公司;安琪葡萄酒活性干酵母,安琪酵母股份有限公司;PCA 琼脂、孟加拉红琼脂和 MRS 琼脂,广东环凯微生物科技有限公司;其他化学试剂均为国产分析纯。

水果榨汁机,广东美的金品电器制造有限公司;洁净工作台 SW-CJ-2FD,苏净集团苏州安泰空气技术有限公司;生化培养箱 SPX-250B-Z,上海佳胜实验设备有限公司;UV1800 型紫外可见分光光度计,日本岛津公司;PB-10 型 PH 计,德国 Sartorius 公司;酸碱滴定仪,上海仪电科技股份有限公司;密度计 DMA35,奥地利 Anton Paar 有限公司;高效液相色谱仪 LC1200,美国安捷伦科技有限公司;气相色谱-质谱连用仪 Agilent 6890N/5975B,美国安捷伦科技有限公司;Ultra Scan VIS 型全自动色差仪,美国 Hunter Lab 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 荔枝果酒的发酵工艺

选取九成熟、色泽均一、形态良好、无病虫害的荔枝鲜果,清洗后,经人工剥壳去核后放入榨汁机中

处理,然后过 100 目滤布,在所得荔枝汁 (pH 为 3.82, 糖度为 18.33 Brix) 中添加蔗糖,糖度调至 23.00 Brix。

将调整好糖度的荔枝汁按表 1 要求分成四个不同的处理组,分别取样测定处理前和处理 3 h 后微生物量。测定方法按照 1.2.2 操作进行。

将活化的酿酒酵母接种到处理 3 h 后 4 °C 荔枝汁中 (活化方法参考产品使用说明),浓度约为 10⁶ CFU/mL,纱布封口置于 25 °C 条件下发酵,连续 6 d 每隔 24 h 取样测定其理化指标。

表 1 荔枝汁四种不同的发酵前处理方式

Table 1 Four types of pre-fermentation treatments of litchi juice

分组	CM 组	SO ₂ 组	DMDC 组	巴氏杀菌组
处理方式	无添加, 做空白对照	添加有效 SO ₂ 终浓度为 200 mg/L 的 Na ₂ SO ₃	添加终浓度为 250 mg/L 的 DMDC	煮沸 30 s, 冰水冷却至室温

1.2.2 微生物分析方法

采用稀释倒平板法测定荔枝汁中的菌落总数、酵母菌数、霉菌数以及乳酸菌数。菌落总数采用 PCA 琼脂计数,在 37 °C 生化培养箱中培养 2~3 d 后计数;酵母菌和霉菌采用孟加拉红琼脂计数,乳酸菌采用 MRS 琼脂计数,均在 30 °C 生化培养箱中培养 2~3 d 后计数。结果以每毫升荔枝汁中菌落数的常用对数值表示^[8]。

1.3 发酵荔枝汁的理化指标测定

1.3.1 pH 和滴定酸的测定

pH 值用 pH 计直接测定;总滴定酸按照 GB/T 15038-2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》,采用电位滴定法测定,以酒石酸计。

1.3.2 酒精度的测定

酒精度参考 GB/T15038-94《葡萄酒、果酒-酒精度的测定-密度瓶法》,采用密度计测定。

1.3.3 高级醇含量的测定

取 50 mL 荔枝发酵液置于 500 mL 圆底烧瓶中,添加 50 mL 蒸馏水,蒸馏出 50 mL 样品。蒸馏液经二氯甲烷萃取后,用 GC-MS 和标准品外标法分析测定其含量。

GC-MS 的色谱条件为采用 DB-5MS 弹性毛细管柱 (30 m×0.25 mm×0.25 μm),氮气为载气,其流速为 20 mL/min,分流比为 10:1;进样口温度为 160 °C,进样量为 1 μL;程序升温方式为初始温度 35 °C,保持 5 min,以 10 °C/min 的速率升至 130 °C 并保持 2 min。GC-MS 的质谱条件为 EI 离子源 (70 eV),离子源温度 230 °C,接口温度为 280 °C,质量扫描范围

m/z 10~450。

1.3.4 多酚含量的测定

多酚含量采用福林酚法测定^[9,10]。

1.3.5 色泽的测定

采用自动色差仪直接测定，以 ΔE^* （总色差）作为色泽考察指标。按公式（1）计算总色差 ΔE^* 值。

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (1)$$

式中： L 、 a 、 b 表示发酵液样品色差值； L_0 、 a_0 、 b_0 为灭菌前实验样品的色差值。

1.3.6 挥发性物质的测定

采用顶空固相微萃取法联合 GC-MS 技术测定荔枝发酵酒中的挥发性物质。具体为：将 0.5 mL 荔枝发酵酒样、0.1 mL 10 mg/L 环己酮甲醇溶液（内标）和 4.4 mL 蒸馏水置于 20 mL 顶空瓶中，50 °C 搅拌预热 20 min 后，用 CAR/DVB/PDMC 萃取头吸附 50 min，于气质联用仪解析 5 min，获得的总离子流图经人工解析及谱图检索，并参考保留指数 RI，进行定性，采用 TIC 峰面积归一化法，计算出各组分的相对含量。

色谱条件采用 DB-5MS 弹性毛细管柱，参照 Chang-Cherng Chyau 等的方法并在此基础上改进^[11]。

1.4 统计分析

所有的不同处理均重复 3 次，数据结果采用统计软件 SPSS 17.0 进行方差分析，并用 Microcal Origin 7.5（美国 Microcal 公司）软件制图。显著性水平取 0.05，数值以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 荔枝汁经不同发酵前处理后天然微生物菌群的数量

表 1 是新鲜荔枝汁经不同发酵前处理后天然微生物菌群的数量。从表 1 可知，未经杀菌的荔枝汁中菌落总数多达 8.53 log CFU/mL，乳酸菌是主要污染菌群。因此，荔枝酒发酵前的杀菌或抑菌处理是十分必要的。巴氏杀菌处理能有效杀灭荔枝汁中天然污染的酵母、霉菌和乳酸菌，而亚硫酸盐的添加对荔枝汁中酵母和霉菌几乎没有杀菌作用，并且乳酸菌也仅仅下降了 0.84 log CFU/mL。DMDC 添加对荔枝汁中酵母菌表现出较强的杀菌能力^[5]，对乳酸菌和霉菌的杀菌能力也显著强于亚硫酸盐（ $P < 0.05$ ）。

表 2 荔枝汁经不同发酵前处理后天然微生物菌群的数量 (log CFU/mL)

实验分组	菌落总数	酵母菌	霉菌	乳酸菌
CK 组	8.53±0.24 ^a	3.18±0.22	2.78±0.12 ^a	8.18±0.28 ^a
SO ₂ 组	7.43±0.26 ^b	3.15±0.04	2.66±0.07 ^a	7.34±0.24 ^b
DMDC 组	6.41±0.16 ^c	N.D.	1.78±0.02 ^b	5.94±0.22 ^c
巴氏杀菌组	4.11±0.12 ^d	N.D.	N.D.	N.D.

注：“N.D.”表示菌数在检测限以下（1 CFU/mL）；同列数据后英文字母不同者表示差异显著（ $p < 0.05$ ）。

2.2 不同发酵前处理对荔枝酒主发酵期间 pH

和可滴定酸含量的影响

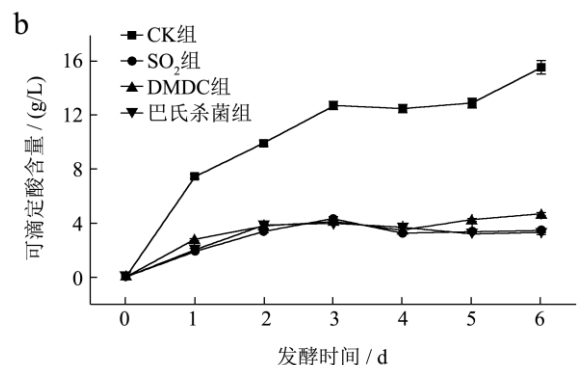
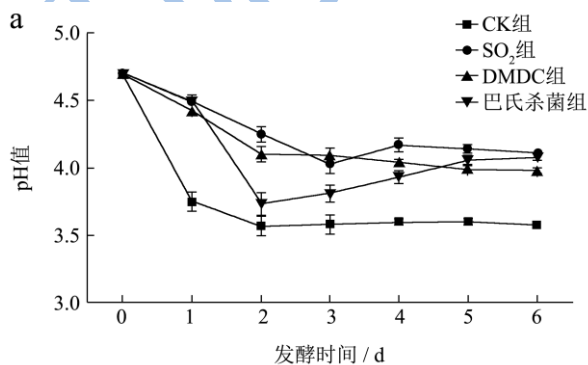


图 1 荔枝酒主发酵期间 pH (a) 和可滴定酸 (b) 的变化
Fig.1 Changes in pH (a) and titratable acid (b) content during the primary fermentation of litchi wine

图 1 提供了经不同发酵前处理后荔枝酒主发酵期

间 pH 值和可滴定酸含量的变化。从图 1 可知, CK 组荔枝汁在主发酵前期(即发酵 0~3 d) pH 下降较快, 相应的可滴定酸含量也明显上升。这可能是因为未经发酵前处理的荔枝汁中含有大量产酸菌, 其能与酵母菌竞争性的利用果汁中糖分, 代谢生成乳酸、醋酸等有机酸。而在巴氏处理组和添加亚硫酸盐或 DMDC 处理组, 发酵前期 pH 下降较慢, 可滴定酸含量也未出现明显升高, 说明上述三个发酵前处理均能有效抑制荔枝汁中产酸菌在发酵前期的快速繁殖, 避免荔枝果酒中可滴定酸含量的升高。

2.3 不同发酵前处理对荔枝酒主发酵期间乙醇和高级醇含量的影响

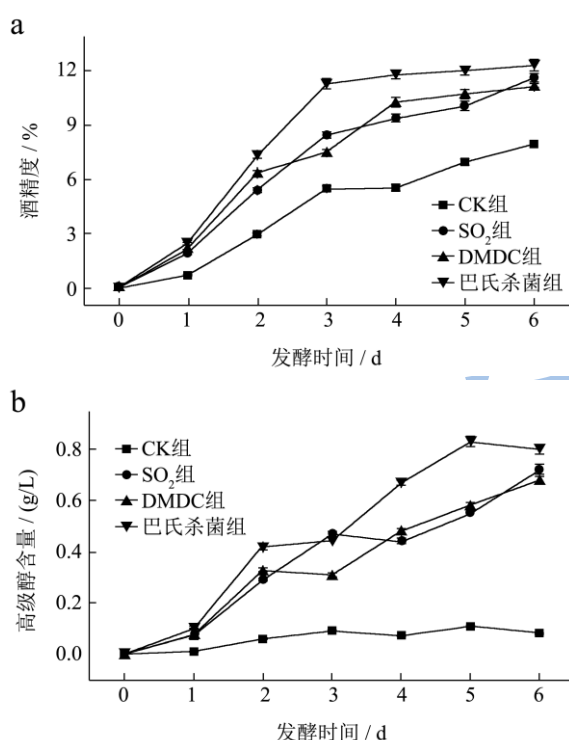


图 2 荔枝酒主发酵期间乙醇 (a) 和高级醇 (b) 的变化
Fig.2 Changes in alcohol (a) and fusel oil (b) contents during the primary fermentation of litchi wine

图 2 提供了经不同发酵前处理后荔枝酒主发酵期间乙醇和高级醇含量的变化, 其中高级醇以异丙醇、异戊醇、活性戊醇计。从图 2 可知, 不同处理组在主发酵前期, 乙醇含量增加较快, 是因为发酵液中含有充足的糖分, 利于酵母菌进行酒精发酵。主发酵后期, 随着糖分消耗及乙醇含量增加, 酵母发酵受到抑制, 到发酵第六天三个处理组酒精度为 11.00~12.50% vol 且不再明显增加, 故此主发酵结束。主发酵期间, 三个处理组的乙醇和高级醇含量显著高于对照组, 而巴氏杀菌组显著高于另外两个处理组 ($p < 0.05$)。这可

能是因为 CK 组中含有大量杂菌, 不利于酵母发酵; 巴氏杀菌能有效杀灭荔枝汁中的杂菌, 糖分、高级醇前体物质(氨基酸等)在很大程度上得到保留, 从而进入酒精发酵及其它发酵途径, 使得蒸馏酒样中乙醇和高级醇的浓度大大提高。DMDC 组和 SO₂ 组发酵液中不同程度地含有其它杂菌, 不同微生物在发酵期间的生长代谢不同, 使得二者主发酵结束乙醇和高级醇得率没有显著差别 ($p > 0.05$)。

2.4 不同发酵前处理对荔枝酒主发酵期间多酚含量和色泽的影响

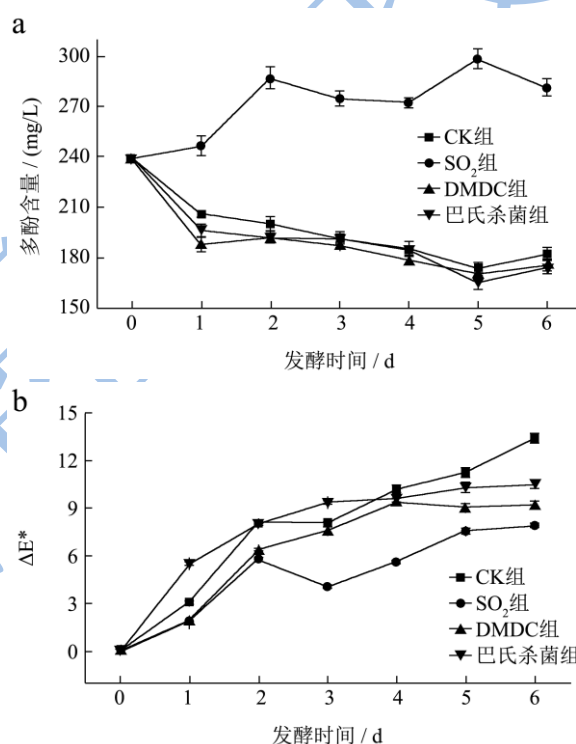


图 3 荔枝酒主发酵期间多酚 (a) 和色泽 (b) 的变化

Fig.3 Changes in polyphenolic content (a) and color (b) during the primary fermentation of litchi wine

图 3 提供了经不同发酵前处理后荔枝酒主发酵期间多酚含量和色泽的变化。从图 3 可知, SO₂ 组的多酚含量明显高于其它组, 并呈增加趋势, 其色泽变化最小, 有明显护色效果。这可能是由于 SO₂ 具有较强还原性, 使发酵液中多酚不被氧化, 且荔枝汁中存在一部分结合态多酚, 在发酵过程中可能被水解释放, 导致多酚含量增加。其余三个实验组的多酚含量趋于相等, 色差值呈现差异性 ($p < 0.05$), 其中 DMDC 组色泽改变比巴氏杀菌组、CK 组小。这可能是由于热处理、美拉德反应、焦糖化反应、微生物酶解等使得发酵液发生了的不同程度褐变^[12]。

2.5 不同发酵前处理对荔枝酒主发酵结束挥发性组分和含量的影响

表 3 提供了经不同发酵前处理后荔枝酒主发酵结束挥发性组分和含量的变化。通过查阅已有文献和 GC-MS 比对分析, 检测出主发酵结束共 49 种挥发性成分, 包括醇类、酯类、烯萜类、醛类、酸类等, 其中体现荔枝酒典型香气的成分主要为香叶醇、苯乙醇

及其衍生物、烯萜类、乙酸乙酯、辛酸等^[11, 13, 14]。从表 3 可知, CK 组中醇类含量较低, 易使得酒体酒香不足。巴氏杀菌组的醇类含量最高, 但荔枝酒特有香气成分中烯萜类、乙酸乙酯及乙酸香叶酯含量较低, 并且辛酸、柠檬烯、香茅醇没有检出, 可能是由于高温热处理使得荔枝特有风味损失较大。SO₂ 组和 DMDC 组各大类香气成分(醇类、酯类等)和荔枝酒特征香气成分含量没有显著差异 ($p > 0.05$), 乙酸香叶酯除外。

表 3 荔枝酒主发酵结束挥发性组分和含量的变化 (%)

Table 3 Changes (%) in aromatic components and their contents after the primary fermentation of litchi wine

保留时间/min	化合物名称	RI	CK 组	SO ₂ 组	DMDC 组	巴氏杀菌组
	醇类		10.17 ± 2.70 ^a	16.78 ± 2.86 ^b	17.10 ± 2.36 ^b	24.10 ± 4.20 ^c
1.99	乙醇	<500	8.91 ± 2.98 ^a	13.97 ± 2.79 ^a	14.49 ± 2.63 ^a	22.47 ± 4.65 ^b
3.20	异丁醇	647	0.31 ± 0.09 ^a	0.57 ± 0.10 ^b	0.38 ± 0.17 ^{ab}	-
5.86	异戊醇	736	0.38 ± 0.17 ^a	0.91 ± 0.13 ^c	0.69 ± 0.05 ^b	0.64 ± 0.04 ^b
5.99	活性戊醇	739	0.16 ± 0.06 ^{ab}	0.40 ± 0.07 ^{bc}	0.45 ± 0.22 ^c	0.09 ± 0.16 ^a
20.51	苯乙醇	1112	0.43 ± 0.15 ^a	1.00 ± 0.04 ^b	0.97 ± 0.06 ^b	0.72 ± 0.31 ^{ab}
35.98	金合欢醇	1718	0.02 ± 0.03	-	-	0.07 ± 0.02
	酯类		88.18 ± 2.68 ^a	80.74 ± 2.75 ^b	80.72 ± 2.43 ^b	73.98 ± 4.33 ^c
2.99	乙酸乙酯	628	0.24 ± 0.12 ^{ab}	0.64 ± 0.05 ^c	0.45 ± 0.19 ^{bc}	0.17 ± 0.02 ^a
11.86	乙酸异戊酯	879	0.54 ± 0.14 ^a	0.91 ± 0.13 ^b	0.69 ± 0.05 ^a	0.64 ± 0.04 ^a
16.57	己酸乙酯	999	0.36 ± 0.08 ^a	0.40 ± 0.05 ^{ab}	0.35 ± 0.03 ^a	0.47 ± 0.02 ^b
20.77	辛酸甲酯	1120	0.76 ± 0.24 ^a	0.30 ± 0.29 ^{ab}	0.43 ± 0.19 ^{ab}	0.15 ± 0.27 ^b
23.13	辛酸乙酯	1198	12.40 ± 1.73 ^a	12.29 ± 0.39 ^a	10.96 ± 1.28 ^a	12.91 ± 0.37 ^a
23.42	乙酸辛酯	1208	0.17 ± 0.03 ^a	0.24 ± 0.01 ^b	0.18 ± 0.03 ^a	0.19 ± 0.01 ^a
24.75	乙酸苯乙酯	1256	1.07 ± 0.12 ^a	1.16 ± 0.09 ^a	1.21 ± 0.02 ^a	1.20 ± 0.03 ^a
26.42	6-甲基辛酸甲酯	1316	1.49 ± 0.81 ^a	1.12 ± 1.41 ^a	1.12 ± 0.71 ^a	0.43 ± 0.64 ^a
26.67	癸酸甲酯	1326	3.02 ± 0.92 ^a	0.80 ± 0.65 ^b	1.62 ± 0.66 ^b	0.75 ± 0.65 ^b
27.27	辛酸异丁酯	1347	0.26 ± 0.02	-	-	0.05 ± 0.09
27.57	乙酸橙花酯	1358	0.21 ± 0.02 ^a	0.21 ± 0.01 ^a	0.21 ± 0.02 ^a	-
28.11	乙酸香叶酯	1378	0.64 ± 0.11 ^{ab}	0.87 ± 0.06 ^c	0.69 ± 0.08 ^b	0.53 ± 0.04 ^a
28.48	癸烯酸乙酯	1391	15.58 ± 1.25 ^a	23.75 ± 0.90 ^b	16.18 ± 1.96 ^a	15.25 ± 0.04 ^a
28.83	癸酸乙酯	1404	36.26 ± 3.37 ^a	24.60 ± 0.30 ^c	30.97 ± 2.62 ^b	28.18 ± 0.63 ^{bc}
28.99	乙酸癸酯	1409	0.45 ± 0.04 ^a	0.44 ± 0.02 ^a	0.27 ± 0.24 ^a	0.38 ± 0.01 ^a
29.93	辛酸异戊酯	1443	0.34 ± 0.02 ^{ab}	0.31 ± 0.02 ^{ab}	0.41 ± 0.10 ^b	0.25 ± 0.02 ^a
30.01	辛酸-2-甲基丁酯	1445	0.17 ± 0.01 ^a	0.22 ± 0.05 ^a	0.09 ± 0.15 ^a	0.15 ± 0.01 ^a
31.26	癸酸丙酯	1488	0.05 ± 0.04	-	-	-
32.00	十二烯酸甲酯	1517	0.09 ± 0.08 ^a	0.08 ± 0.13 ^a	0.14 ± 0.13 ^a	0.11 ± 0.11 ^a
32.23	月桂酸甲酯	1526	2.10 ± 0.76 ^a	1.04 ± 0.58 ^a	1.96 ± 1.01 ^a	1.17 ± 0.60 ^a
32.54	9-癸烯酸丁酯	1540	0.14 ± 0.01 ^a	0.24 ± 0.06 ^b	0.16 ± 0.01 ^c	0.11 ± 0.01 ^d
32.73	癸酸异丁酯	1548	0.35 ± 0.04 ^a	0.19 ± 0.01 ^b	0.32 ± 0.05 ^a	0.20 ± 0.02 ^b
33.66	十一酸乙酯	1587	0.60 ± 0.06 ^a	1.31 ± 0.01 ^b	1.06 ± 0.01 ^c	1.26 ± 0.04 ^b
33.88	月桂酸乙酯	1597	6.94 ± 0.88 ^a	5.32 ± 0.21 ^{bc}	6.25 ± 0.59 ^{ab}	4.41 ± 0.29 ^c

转下页

接上页						
34.38	乙酸十二碳二烯醇酯	1624	-	0.10±0.01	-	-
34.78	癸酸异戊酯	1646	0.35±0.06 ^{bc}	0.24±0.02 ^a	0.39±0.06 ^c	0.26±0.02 ^{ab}
35.88	肉豆蔻脑酸甲酯	1711	0.15±0.06 ^a	0.15±0.10 ^a	0.28±0.15 ^a	0.13±0.10 ^a
36.04	肉豆蔻酸甲酯	1722	0.05±0.04 ^a	0.02±0.04 ^a	0.04±0.04 ^a	0.03±0.05 ^a
36.89	肉豆蔻脑酸乙酯	1781	0.23±0.03 ^{ab}	0.27±0.02 ^b	0.27±0.03 ^b	0.21±0.01 ^a
37.06	肉豆蔻酸乙酯	1792	0.10±0.02 ^a	0.09±0.01 ^a	0.09±0.02 ^a	0.08±0.01 ^a
37.18	2,3-Dihydrofarnesyl acetate	1868	0.03±0.03 ^a	0.10±0.01 ^b	0.10±0.01 ^b	0.14±0.02 ^c
37.59	金合欢醇乙酯	1835	0.38±0.05 ^b	0.26±0.01 ^a	0.53±0.08 ^c	0.63±0.02 ^d
38.46	十六烯酸甲酯	1909	0.91±0.50 ^a	1.08±0.53 ^a	1.43±0.73 ^a	1.30±0.98 ^a
38.70	棕榈酸甲酯	1929	0.18±0.08 ^a	0.21±0.02 ^a	0.23±0.07 ^a	0.21±0.08 ^a
39.23	十六烯酸乙酯	1974	1.22±0.39 ^a	1.40±0.11 ^a	1.25±0.24 ^a	1.63±0.16 ^a
39.46	棕榈酸乙酯	1994	0.36±0.11 ^a	0.37±0.05 ^a	0.35±0.05 ^a	0.34±0.06 ^a
烯萜类			0.84±0.14 ^a	1.67±0.28 ^b	1.49±0.25 ^b	0.77±0.08 ^a
17.66	柠檬烯	1033	-	0.16±0.28	0.16±0.21	-
23.92	D-香茅醇	1226	0.03±0.05 ^a	0.18±0.02 ^b	0.17±0.02 ^b	-
27.33	2,6-二甲基-2,6-辛二烯	1350	0.81±0.09 ^a	1.32±0.04 ^b	1.14±0.15 ^b	0.77±0.08 ^a
醛类			0.32±0.03 ^a	0.38±0.10 ^a	0.4±0.11 ^a	0.57±0.28 ^a
20.19	壬醛	1102	0.12±0.03 ^a	0.13±0.03 ^a	0.13±0.02 ^a	0.33±0.29 ^a
23.36	癸醛	1206	0.20±0.03 ^a	0.25±0.09 ^a	0.26±0.10 ^a	0.24±0.01 ^a
其它			0.43±0.1 ^{ab}	0.43±0.1 ^{ab}	0.29±0.12 ^a	0.58±0.19 ^b
20.00	正十一烷	1100	0.11±0.01 ^a	0.07±0.06 ^a	0.04±0.08 ^a	0.11±0.01 ^a
22.77	辛酸	1186	2.26±0.02	0.02±0.04	-	-
28.25	癸酸	1383	-	-	-	0.23±0.04
31.56	正十五烷	1500	-	-	0.04±0.07	-
33.25	月桂酸	1570	0.04±0.07-	-	-	-
33.96	正十六烷	1600	-	0.03±0.05 ^a	0.03±0.05 ^a	0.05±0.09 ^a
34.64	溴代异戊烷	1638	0.16±0.02 ^a	0.31±0.01 ^c	0.22±0.01 ^b	0.15±0.01 ^a
35.71	正十七烷	1700	-	-	-	0.03±0.05

注: -: 未检出; 同类成分数据上英文字母不同者表示差异显著($p<0.05$)。

3 结论

3.1 未经杀菌的荔枝汁含有大量污染菌,天然污染菌的生长影响了乙醇和高级醇得率,与发酵前处理组相比,在主发酵前期发酵液体系的 pH 下降较快,可滴定酸含量显著上升。

3.2 热巴氏杀菌能有效杀灭荔枝汁中天然污染的酵母、霉菌和乳酸菌,使得乙醇和高级醇得率显著高于其余组 ($p<0.05$),但是高温处理使得荔枝酒典型风味成分损失较大。

3.3 亚硫酸盐使发酵液色泽变化最小,能起到明显护色效果,且多酚保留率显著高于其它三个发酵前处理组 ($p<0.05$),但在杀菌能力上不及 DMDC 处理组,其余指标与 DMDC 处理组没有显著差异。

3.4 综上所述,DMDC 是可以代替或部分代替亚硫

酸盐及巴氏杀菌在荔枝酒中推广应用。

参考文献

- [1] 韩珍,郭庆东,肖招燕.荔枝酒的产业发展现状[J].酿酒科技,2014,5:89-91
HAN Zhen, GUO Qing-dong, XIAO Zhao-yan. Present situations and development of litchi wine industry [J]. Liquor-making Science & Technology, 2014, 5: 89-91
- [2] 郝文娟.荔枝酒挥发酸的控制研究[D].海口:海南大学;2012
HAO Wen-juan. Study on the controlling of volatile acid of litchi wine [D]. Haikou: Haikou University, 2012
- [3] 中华人民共和国国家标准.食品安全国家标准食品添加剂使用标准[S].北京:中国标准出版社,2011
The national standard of the People's Republic of China. The national food safety of food additive use standard [S]. Beijing:

- China Standard Publishing House,2011
- [4] 尹卓容.DMDC 在葡萄酒及饮料中的应用[J].食品科学,1992:26-28
YIN Zhuo-rong. Application of DMDC in wine and drinks [J]. Food Science, 1992: 26-28
- [5] Costa A, Barata A, Malfeito-Ferreira M, et al. Evaluation of the inhibitory effect of dimethyl dicarbonate(DMDC) against wine microorganisms [J]. Food Microbiology, 2008, 25: 422-427
- [6] Chen Y L, Wang H H, Xu Y J, et al. Effect of treatment with dimethyl dicarbonate on microorganisms and quality of Chinese cabbage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 76: 139-144
- [7] Yu Y S, Xiao G S, Xu Y J, et al. Effects of dimethyl dicarbonate (DMDC) on the fermentation of litchi juice by *Lactobacillus casei* as an alternative of heat treatment [J]. Journal of Food Science, 2014, 79: 947-954
- [8] Zheng X, Yu Y S, Xiao G S, et al. Comparing product stability of probiotic beverages using litchi juice treated by high hydrostatic pressure and heat as substrates [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 23: 61-67
- [9] Cao X M, Zhang Y, Zhang F S, et al. Effects of high hydrostatic pressure on enzymes, phenolic compounds, anthocyanins, polymeric color and color of strawberry pulps [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2011, 91: 877-885
- [10] 郑欣,余元善,吴继军,等.荔枝汁经乳酸菌发酵后营养品质的变化及贮藏稳定性研究[J].现代食品科技, 2013, 29(12): 9-14
ZHENG Xin, YU Yuan-shan, Wu Ji-jun, et al. Quality changes of litchi juice after fermentation and the stability during low-temperature storage [J]. Food Science, 2013, 29(12): 9-14
- [11] Chyaua C-C, Kob P-T, Changa C-H, et al. Free and glycosidically bound aroma compounds in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) [J]. Food Chemistry, 2003, 80: 387-392
- [12] 万鹏,刘亮,徐玉娟,等.热处理对荔枝果汁品质的影响[J].食品科学,2010,31(7):22-27
WAN Peng, LIU Liang, XU Yu-juan, et al. Effect of thermal treatment on quality of litchi juice [J]. Food Science, 2010, 31(7): 22-27
- [13] Johnston J C, Welch R C, Hunter G L K. Volatile constituents of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) [J]. Food Chemistry, 1980, 28: 859-861
- [14] Wu Y, Pan Q, Qu W, Duan C, et al. Comparison of volatile profiles of nine litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) cultivars from southern china [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57: 9676-9681