

高产酯酿酒酵母与乳酸菌共发酵过程中的相互作用研究

刘彩霞¹, 郭学武^{1,2}, 李玲玲¹, 唐取来¹, 王亚平¹, 邢爽¹, 李镇江³, 肖冬光¹

(1. 工业微生物教育部重点实验室, 天津市工业微生物重点实验室, 天津科技大学生物工程学院, 天津 300457)

(2. 河北衡水老白干酿酒(集团)有限公司, 河北衡水 053000)(3. 成都金开生物工程有限公司, 四川成都 611130)

摘要: 酵母菌和乳酸菌是各种酿酒生产中两类非常重要的发酵微生物, 其相互作用对酒的产量和质量有很大影响。本试验主要研究了高产酯酿酒酵母 MY-15 和酿酒过程中三种常见乳酸菌 (*Lactobacillus casei* lca、*Pediococcus pentosaceus* L1 和 *Bacillus coagulans* NJ) 在生长和代谢方面相互间的影响。结果表明, 乳酸菌对高产酯酿酒酵母 MY-15 的生长和产乙酸乙酯有明显的抑制作用, 对产酒的影响不大; 但乳酸菌的代谢产物乳酸对酿酒酵母的生长和代谢有明显的抑制作用。高产酯酿酒酵母 MY-15 对于酪乳杆菌 lca 的生长抑制作用明显, 但少量的酵母菌对戊糖片球菌 L1 和凝结芽孢杆菌 NJ 的生长有促进作用; 随着酵母菌接种量的增加, 乳酸菌代谢乳酸呈先增后减的趋势; 酵母菌代谢产物乙醇对乳酸菌的生长和代谢, 在乙醇含量少于 7.5% (V/V) 时, 抑制作用不明显; 当酒精含量达 17.5% (V/V) 时, 乳酸菌的生长被完全抑制。

关键词: 酿酒; 乳酸菌; 酵母菌; 共发酵; 相互作用

文章编号: 1673-9078(2017)7-79-84

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.012

Interactions of High Ester Producing *Saccharomyces cerevisiae* and Lactic Acid Bacteria during Co-fermentation

LIU Cai-xia¹, GUO Xue-wu^{1,2}, LI Ling-ling¹, TANG Qu-lai¹, WANG Ya-ping¹, XING Shuang¹, LI Zhen-jiang³,
XIAO Dong-guang¹

(1. Key Laboratory of Industrial Fermentation Microbiology, Ministry of Education, Tianjin, Tianjin Industrial Microbiology Key Laboratory, College of Biotechnology of Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China) (2. Hengshui Laobaigan Wine Co. Ltd, Hengshui 053000, China) (3. Chengdu Jin Kai Biological Engineering Co., Ltd, Chengdu 611130, China)

Abstract: Yeast and lactic acid bacteria are two kinds of important fermentative microorganisms in liquor production and their interactions that have significant impact on the production and quality of liquor. The effects of the interactions of *Saccharomyces cerevisiae* MY-15, producing high levels of ester, and three common lactic acid bacteria (*Lactobacillus casei* lca, *Pediococcus pentosaceus* L1, and *Bacillus coagulans* NJ) in liquor production on the growth and metabolism were analyzed in this study. The results demonstrated that lactic acid bacteria significantly inhibited the growth and ethyl acetate-production of *S. cerevisiae* MY-15, and had marginal impact on the liquor production. However, lactic acid, the metabolite produced by lactic acid bacteria, had a remarkable inhibitory effect on the growth and metabolism of *S. cerevisiae*. *S. cerevisiae*, producing high-yield ester could significantly inhibit the growth of *L. casei* lca; however, in small amounts it stimulated the growth of *P. pentosaceus* L1 and *B. coagulans* NJ. With increasing amounts of inoculated *S. cerevisiae* cells, the amount of lactic acid produced as a result of the metabolism of lactic acid bacteria showed a downward trend after an initial increase. The inhibitory effect of ethanol on the growth and metabolism of lactic acid bacteria was not significant when the content of ethanol was less than 7.5% (V/V). However, when the content of ethanol was increased to 17.5% (V/V), the growth of lactic acid bacteria was completely suppressed.

Key words: brewing; lactic acid bacteria; yeast; co-fermentation; interaction

收稿日期: 2016-11-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31471724); 中国博士后科学基金资助项目 (2017M611169)

作者简介: 刘彩霞 (1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 现代酿造技术

通讯作者: 肖冬光 (1956-), 男, 教授, 博导, 研究方向: 现代酿造技

酵母菌和乳酸菌是各种酿酒生产中两类非常重要的发酵微生物。酵母菌按其作用大致分成两大类：一类是酿酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*)，主要进行酒精发酵；另一类是非酿酒酵母 (*non-Saccharomyces*)，能够合成多种风味物质^[1]。乳酸菌 (*Lactic acid bacteria*, LAB) 主要发酵产乳酸，主要包括乳杆菌属 (*Lactobacillus*)、链球菌属 (*Streptococcus*)、明串珠菌属 (*Leuconostocvan*)、片球菌属 (*Pediococcus*) 和双歧杆菌属 (*Bifidobacterium*)^[2,3]。在白酒发酵过程中，乳酸菌能为其他微生物提供生长繁殖可利用的氨基酸和各种维生素，促进酒体发酵，维护与保持酿酒微生态环境等作用^[4]。

在白酒生产中，酿酒酵母生长代谢旺盛往往会抑制产酸，导致酯香物质含量低；而酸度过高会抑制酒精发酵，不仅出酒率很低，而且酯含量也不高。夏季气温高导致发酵品温有利于细菌生长，以乳酸菌尤为突出。这样导致酸度过高，酿酒酶系活力被钝化，将妨碍糖化发酵的正常进行；酵母发酵受到抑制，导致出酒率及酒质下降^[5]，甚而发生酸败。由此可见，在白酒生产中控制合适的酒醅酸度显得特别重要。白酒生产需要适量的乳酸菌，否则无乳酸及其酯类，而乳酸及其酯类是白酒重要的呈味物质。适量的乳酸和乳酸乙酯可降低白酒刺激感、增加酒体的浓厚度和回甜感、延长白酒后味^[4,6]。乳酸含量太低，酒味寡淡发苦，后味短，邪杂味露头，酒不净，单调不协调；乳酸含量太高，放香差，闻香不正，酸味大，酒味粗糙，口感差^[7]。

白酒酿造是多种不同微生物共同发酵，相互作用的结果，研究微生物之间的相互作用有助于认识微生物群体发酵机制，对酿造技术发展具有重要作用^[8]。在前期的研究中，本研究室采用分子生物学技术选育出了高产酯酿酒酵母菌株 MY-15，该菌株的酿酒性能与普通酿酒酵母相当，产酯性能高于一般产酯酵母菌，可实现产酒产香同步。本试验旨在研究高产酯酿酒酵母与乳酸菌共发酵的相互作用，了解乳酸菌与酿酒酵母在白酒发酵过程中的协同性，为白酒生产中高产酯酿酒酵母的应用和酒醅酸度的控制提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

1.1.1 菌株

干酪乳杆菌 (*Lactobacillus casei* lca)、戊糖片球菌 (*Pediococcus pentosaceus* L1)、凝结芽孢杆菌 (*Bacillus coagulans* NJ)，自白酒发酵酒醅中分离，天

津市工业微生物重点实验室保存。

高产酯酿酒酵母 MY-15 (CGMCC No.5635)，天津市工业微生物重点实验室保存。

1.1.2 培养基

高产酯酿酒酵母发酵培养基：玉米粉水解液，pH 自然，调节糖度至 12 °Bx，115 °C 高压蒸汽灭菌 15 min。

乳酸菌发酵培养基：葡萄糖质量浓度为 4% 的 MRS 培养基。

1.1.3 原料与主要试剂

乳酸 (分析纯)：天津市北方天医化学试剂厂；无水乙醇 (分析纯)：天津市北方天医化学试剂厂；放线菌酮：北京百奥莱博科技有限公司；玉米粉：某超市购买。

1.2 仪器与设备

1260 Infinity 型高效液相色谱仪：美国安捷伦科技公司；UV-5200 型紫外可见分光光度计：上海元析仪器有限公司；SeverEasy 型 pH 计：瑞士梅特勒托利多仪器有限公司；Agilent 7890B 气相色谱仪：美国安捷伦科技公司

1.3 分析方法

- (1) 乳酸菌菌体浓度的测定：光电比浊法^[9]
- (2) 酒度的测定：酒精计法^[10]
- (3) 酵母细胞数的测定：血球计数板法
- (4) 发酵液主要成分的测定：高效液相色谱法^[11]
- (5) 主要风味物质的测定：气相色谱法^[12]
- (6) 乳酸菌活菌计数：MRS 平板计数法^[13]

待完全溶化的 MRS 固体培养基冷却至 50~60 °C 时，添加配好的放线菌酮溶液至终浓度为 20 μg/mL。待倒好的平板冷却后，取 100 μL 稀释后的样液均匀涂布于平板表面。

1.4 实验内容

1.4.1 乳酸菌对高产酯酿酒酵母生长和代谢的影响

高产酯酿酒酵母发酵培养基，高产酯酿酒酵母接种量 10%(V/V)，同时接种 1% 或 5% 乳酸菌，以不接种乳酸菌作对照，总发酵体积 100 mL/250 mL。30 °C，静置培养。24 h 取样测定酵母细胞数；96 h 测定酒度及乙酸乙酯的含量。

1.4.2 高产酯酿酒酵母对乳酸菌生长和产乳酸的影响

乳酸菌发酵培养基，乳酸菌接种量 10% (V/V)，

同时接种 1%、5%或 10%高产酯酿酒酵母, 以不接种酿酒酵母作对照, 总发酵体积 100 mL/250 mL。30 °C, 静置培养。24 h 取样测定发酵液中乳酸菌活菌数、pH、残糖量、乳酸和乙醇的含量。

1.4.3 乙醇对乳酸菌生长和产酸的影响

MRS 培养基, 无水乙醇添加量 (V/V): 2.5%、5%、7.5%、10%、12.5%、15%、17.5%和 20%, 同时接种 10% (V/V) 乳酸菌, 总发酵体积 100 mL/250 mL。30 °C, 静置培养。每隔 12 h 取样测定乳酸菌浓度和乳酸的含量。

1.4.4 乳酸对高产酯酿酒酵母生长和代谢的影响

高产酯酿酒酵母发酵培养基, 乳酸终浓度: 5 g/L、10 g/L 和 15 g/L, 以不加乳酸作对照, 同时接种 10% (V/V) 高产酯酿酒酵母种子液, 总发酵体积为 100 mL/250 mL。30 °C, 静置培养。24 h 取样测定酵母细胞数; 96 h 测定酒度及主要风味物质的含量。

2 结果与讨论

2.1 乳酸菌对高产酯酿酒酵母生长和代谢的影响

乳酸菌对高产酯酿酒酵母生长的影响见表 1。由表 1 可知三株乳酸菌对高产酯酿酒酵母 MY-15 的生长都有一定的抑制作用, 其中凝结芽孢杆菌对 MY-15 生长的抑制作用相对较弱。当干酪乳杆菌、戊糖片球菌和凝结芽孢杆菌接种量为 1% (V/V) 时, 酿酒酵母的数量分别减少 48.43%、29.34%和 11.11%; 接种量为 5% (V/V) 时, 酿酒酵母的数量分别减少 50.14%、60.97%和 38.18%。这可能是因为接种乳酸菌后, 乳酸菌与高产酯酿酒酵母共同竞争发酵液的营养成分, 导致酿酒酵母的数量减少。

表 1 乳酸菌对高产酯酿酒酵母生长的影响

Table 1 Effect of lactic acid bacteria on the growth of *Saccharomyces cerevisiae* producing high-yield of acetate esters

菌株	lca: MY-15		L1: MY-15		NJ: MY-15		MY-15
	1	5	1	5	1	5	
乳酸菌加入量/(%)	1	5	1	5	1	5	0
酵母菌数目/ ($\times 10^7$ 个/mL)	1.81 \pm 0.23*	1.75 \pm 0.53*	2.48 \pm 0.50	1.37 \pm 0.20*	3.12 \pm 0.22	2.17 \pm 0.38*	3.51 \pm 0.26

注: 试验结果表示为: 平均值 \pm 标准偏差 (3 个平行), 并使用 t-test 对实验组与对照组之间差异进行方差分析, ($p < 0.05$) 视作有显著差异 (* $p < 0.05$, $n = 3$); ($p < 0.01$) 视作差异极显著 (** $p < 0.01$, $n = 3$)。

表 2 乳酸菌对高产酯酿酒酵母代谢的影响

Table 2 Effect of lactic acid bacteria on the metabolism of *Saccharomyces cerevisiae* producing high-yield of acetate esters

菌株	lca: MY-15		L1: MY-15		NJ: MY-15		MY-15
	1	5	1	5	1	5	
乳酸菌加入量 /(%)	1	5	1	5	1	5	0
酒度/(% vol)	6.40 \pm 0.28	6.10 \pm 0.07	7.00 \pm 0.00**	6.90 \pm 0.35	6.20 \pm 0.21*	6.10 \pm 0.00*	6.50 \pm 0.07
乙酸乙酯/(mg/L)	72.63 \pm 3.09**	56.21 \pm 0.00**	83.11 \pm 3.50	62.54 \pm 0.00**	78.81 \pm 4.52*	74.93 \pm 0.26**	87.74 \pm 0.39

注: 试验结果表示为: 平均值 \pm 标准偏差 (3 个平行), 并使用 t-test 对实验组与对照组之间差异进行方差分析, ($p < 0.05$) 视作有显著差异 (* $p < 0.05$, $n = 3$); ($p < 0.01$) 视作差异极显著 (** $p < 0.01$, $n = 3$)。

乳酸菌对高产酯酿酒酵母代谢的影响见表 2。表 2 酒度数据显示, 接种干酪乳杆菌 lca 和凝结芽孢杆菌 NJ, 酒度稍有下降, 最大减幅为 0.4 度; 接种戊糖片球菌 L1, 酒度稍有上升, 最大增幅为 0.5 度。这可能是因为乳杆菌 lca 和 NJ 与酿酒酵母 MY-15 所带电荷不同发生凝聚, 促使部分酵母菌凝聚沉结在底部, 导致酵母菌的发酵作用减弱, 酒度下降^[14]。表 2 乙酸乙酯数据表明, 三株乳酸菌对高产酯酿酒酵母 MY-15 产乙酸乙酯有一定地抑制作用, 其中凝结芽孢杆菌 NJ 的抑制作用相对较小, 而干酪乳杆菌 lca 的抑制作用最显著。当干酪乳杆菌 lca、戊糖片球菌 L1 和凝结芽

孢杆菌 NJ 接种量为 1% (V/V) 时, 乙酸乙酯含量分别下降 17.22%、5.28%和 14.60%; 接种量为 5% (V/V) 时, 乙酸乙酯含量分别下降 35.94%、28.72%和 10.18%。

2.2 高产酯酿酒酵母对乳酸菌生长和产乳酸的影响

高产酯酿酒酵母对乳酸菌生长和产乳酸的影响见表 3, 从结果看, 高产酯酿酒酵母 MY-15 对干酪乳杆菌的生长有较明显地抑制作用; 而少量的 MY-15 有利

于戊糖片球菌和凝结芽孢杆菌的生长, 闫彬等提到酵母泥中的大分子物质通过乙醇提取后, 添加在合成培养基上, 可以缩短乳酸菌的迟滞期, 增加乳酸菌的数量^[15]。从表 3 中乳酸含量的变化看, 三株乳酸菌乳酸生成量随高产酯酿酒酵母接种量的增加先增后减。当高产酯酵母 MY-15 接种量为 1% (V/V) 时, 戊糖片球菌、干酪乳杆菌和凝结芽孢杆菌的乳酸产量分别增加

0.16 g/L、0.51 g/L 和 2.96 g/L; 当接种量增至 5% 时, 乳酸含量有小幅下降。发酵体系中 pH 的变化与乳酸生成量的变化一致, 这是因为发酵体系 pH 的变化主要是由乳酸菌所产乳酸引起的。三株乳酸菌都是同型发酵乳酸菌^[3], 代谢产物几乎纯为乳酸, 发酵液中的乙醇主要是由酿酒酵母 MY-15 产生的, 乙醇含量随酿酒酵母添加量的增加而增加。

表 3 高产酯酿酒酵母对乳酸菌生长和代谢的影响

Table 3 Effect of *Saccharomyces cerevisiae* with high-yield of acetate ester production on the growth and metabolism of lactic acid bacteria

菌株	酵母菌加入量 /% (V/V)	乳酸菌活菌数 /($\times 10^9$ CFU/mL)	pH	乳酸/(g/L)	残余葡萄糖/(g/L)	乙醇/(g/L)
MY-15: L1	0	4.20±0.17	4.04±0.07	15.36±0.04	21.34±0.29	0.09±0.07
	1	5.70±0.12*	3.92±0.01*	15.52±0.00	3.03±0.00	8.08±0.04
	5	3.70±0.07*	4.00±0.01	14.62±0.06**	0.69±0.07	9.41±0.00
	10	2.70±0.24**	4.05±0.03	13.14±0.63*	0.12±0.06	9.99±0.08
MY-15: lca	0	6.10±0.16	3.80±0.01	18.24±0.19	18.73±0.08	0.24±0.17
	1	4.10±0.23*	3.78±0.03	18.75±0.50	1.09±0.07	7.66±1.07
	5	4.00±0.07*	3.89±0.01	16.30±0.43**	0.01±0.00	8.92±0.10
	10	2.80±0.09**	3.95±0.03*	14.80±0.91**	0.01±0.00	9.26±0.25
MY-15: NJ	0	7.00±0.15	3.83±0.01	19.72±0.25	18.96±0.03	0.14±0.02
	1	7.40±0.08	3.72±0.01	20.68±0.42	3.29±0.23	5.54±0.66
	5	7.20±0.32	3.79±0.02	18.71±0.71	0.56±0.08	7.34±0.33
	10	2.20±0.29*	3.81±0.01	18.46±0.50	0.01±0.00	7.87±0.15

注: 试验结果表示为: 平均值±标准偏差 (3 个平行), 并使用 t-test 对实验组与对照组之间差异进行方差分析, ($p < 0.05$) 视作有显著差异 (* $p < 0.05$, $n = 3$); ($p < 0.01$) 视作差异极显著 (** $p < 0.01$, $n = 3$)。

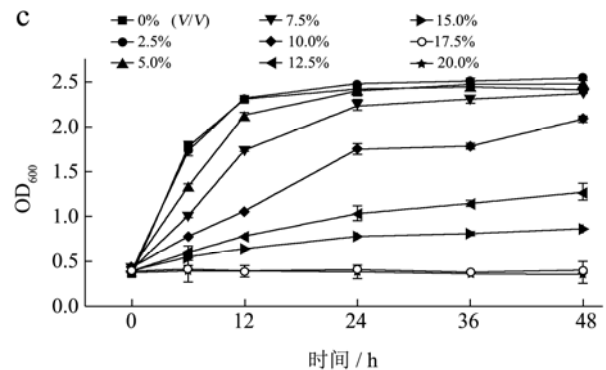
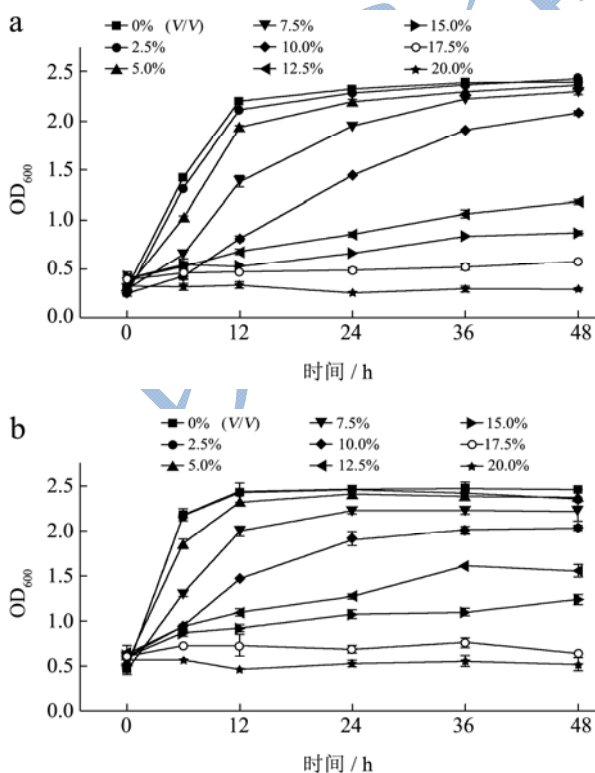


图 1 不同乙醇添加量对干酪乳杆菌 lca (a)、戊糖片球菌 L1 生长 (b) 和凝结芽孢杆菌 NJ (c) 的影响

Fig.1 Effect of different amounts of supplemented ethanol on the growth of *Lactobacillus casei* lca (a), *Pediococcus pentosaceus* L1 (b) and *Bacillus coagulans* NJ (c)

2.3 乙醇对乳酸菌生长和产乳酸的影响

乙醇对乳酸菌生长的影响见图 1。由图 1 可知, 乙醇对三株乳酸菌的生长有抑制作用, 随乙醇添加量的增加抑制作用增强, 10.0% (V/V) 的乙醇添加量对

三株乳酸菌的生长呈现较明显的抑制作用, 乳酸菌进入稳定期的时间明显延长。当乙醇添加量达到 17.5% 时, 三株菌的生长几乎完全被抑制。白酒发酵中酒醅酒度一般为 5~10% (V/V), 而三株乳酸菌在乙醇添加量为 10% (V/V) 时仍能较好的生长, 故白酒生产过程中酒醅中的乙醇不会对乳酸菌的生长和代谢有明显的抑制作用。

乙醇对乳酸菌产乳酸的影响见图 2。由图 2 可知, 乙醇对三株乳酸菌产乳酸有抑制作用, 随乙醇添加量的增加抑制作用增强。乙醇添加量增至 7.5% (V/V) 时开始对乳酸菌产乳酸有较明显的抑制作用, 与对照相比, 24 h 时干酪乳杆菌 lca、戊糖片球菌 L1 和凝结芽孢杆菌 NJ 的乳酸生成量分别减少 4.55 g/L、4.87 g/L 和 4.39 g/L, 降低 26.16%、30.19% 和 24.56%。当乙醇添加量达到 20% 时, 三株乳酸菌几乎不产乳酸。

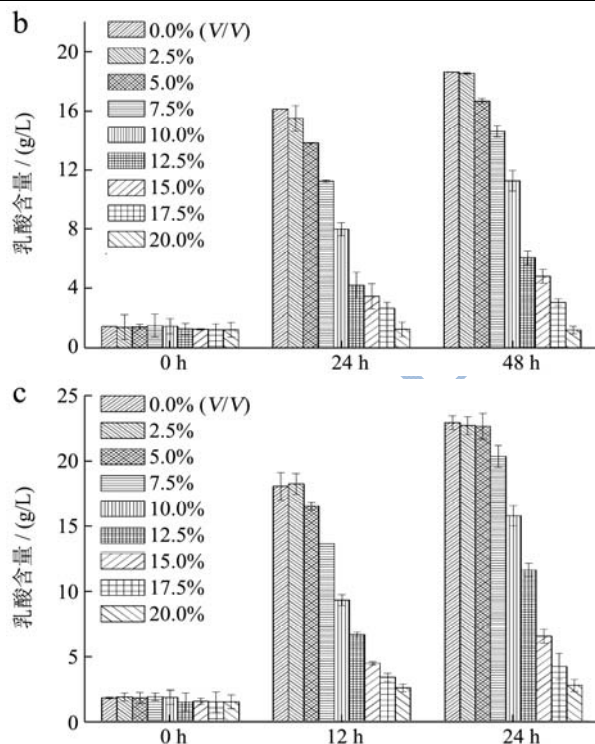
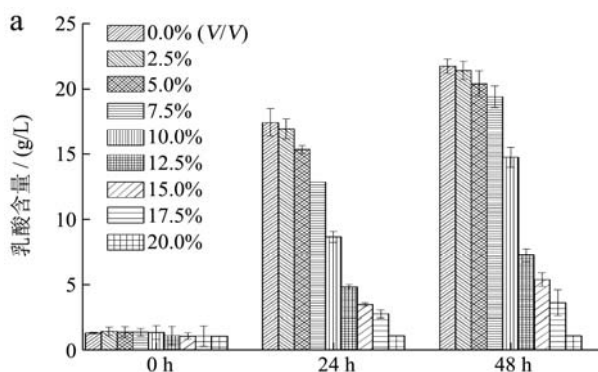


图 2 不同乙醇添加量对干酪乳杆菌 lca (a)、戊糖片球菌 L1 (b) 和凝结芽孢杆菌 NJ (c) 产乳酸的影响

Fig.2 Effect of different amounts of supplemented ethanol on the lactic acid production of *Lactobacillus casei* lca (a), *Pediococcus pentosaceus* L1 (b) and *Bacillus coagulans* NJ (c)

表 4 乳酸对高产酯酿酒酵母生长和代谢的影响

Table 4 Effect of lactic acid on the growth and metabolism of *Saccharomyces cerevisiae* producing high-yield of acetate esters

乳酸添加量/(g/L)	酿酒酵母数量/($\times 10^7$ 个/mL)	酒度/(% vol)	乙酸乙酯/(mg/L)	乳酸乙酯/(mg/L)
0	6.50 \pm 0.16	7.50 \pm 0.00	133.22 \pm 3.51	-
5	6.00 \pm 1.38	7.40 \pm 0.00	82.99 \pm 1.33*	26.22 \pm 0.60
10	5.80 \pm 0.77	6.55 \pm 0.35*	49.39 \pm 0.47**	50.34 \pm 0.31
15	4.00 \pm 0.30**	5.35 \pm 0.78*	29.48 \pm 0.01**	75.58 \pm 1.35

注: 试验结果表示为: 平均值 \pm 标准偏差 (3 个平行), “-”表示未检测到, 并使用 t-test 对实验组与对照组之间差异进行方差分析, ($p < 0.05$) 视作有显著差异 (* $p < 0.05$, $n = 3$); ($p < 0.01$) 视作差异极显著 (** $p < 0.01$, $n = 3$).

2.4 乳酸对高产酯酿酒酵母生长和代谢的影响

乳酸对高产酯酿酒酵母生长和代谢的影响见表 4。由表 4 可知, 乳酸对高产酯酿酒酵母 MY-15 的生长有一定的抑制作用, 且随乳酸添加浓度的增加, 酿酒酵母数量明显减少。当乳酸浓度为 10 g/L 时, 发酵液中酵母数减少 10.77%。乳酸对酒度和乙酸乙酯的影响随其添加量的增加抑制作用明显增强。乳酸乙酯的含量随乳酸添加量的增加成比例上升, 是由于酿酒酵母生成乙醇与乳酸发生化学反应合成乳酸乙酯之故。

3 结论

3.1 从乳酸菌对高产酯酿酒酵母 MY-15 生长和代谢影响的结果看, 乳酸菌对高产酯酿酒酵母 MY-15 的生长和代谢都有一定的影响, 且不同乳酸菌对高产酯酿酒酵母的影响有所不同。不同乳酸菌对酿酒酵母的生长和酯代谢表现为一定的抑制作用, 对生长抑制强度依次为干酪乳杆菌、戊糖片球菌和凝结芽孢杆菌; 对产乙酸乙酯的抑制强度依次为酪乳杆菌、凝结芽孢杆菌和戊糖片球菌。不同乳酸菌对酿酒酵母产酒的影响则有所不同, 干酪乳杆菌和凝结芽孢杆菌对酿酒酵母产酒有一定抑制作用, 酒度最大减幅为 0.4°; 而戊糖

片球菌对产酒有一定促进作用,酒度最大增幅为 0.5°。

3.2 乳酸对高产酯酿酒酵母 MY-15 的生长和代谢有较明显地抑制作用,且随乳酸添加浓度的增加抑制作用明显增强。故在白酒发酵过程中要合理控制酒醅中乳酸菌的数量来维持酒醅合适的酸度,酸度太高对酿酒酵母的生长和代谢有严重影响。

3.3 从高产酯酿酒酵母对乳酸菌的生长和产酸的影响结果看,接种小量酿酒酵母(1%)对戊糖片球菌 L1 和凝结芽孢杆菌 NJ 的生长有一定促进作用,接种量较大时对三种乳酸菌都有明显的抑制作用;三株乳酸菌乳酸生成量均随酿酒酵母接种量的增加先增后减,但变化幅度不大。

3.4 乙醇对三株乳酸菌的生长和产乳酸都有一定的抑制作用,但在乙醇浓度小于 7.50% (V/V) 时抑制作用较小,当乙醇浓度达 10.0% (V/V) 时三株乳酸菌的生长和产酸有较明显的抑制作用,抑制幅度为 30% 左右。

参考文献

- [1] 唐洁,王海燕,徐岩.酿酒酵母和异常毕赤酵母混菌发酵对白酒液态发酵效率和风味物质的影响[J].微生物学通报,2012,39(7):921-930
TANG Jie, WANG Hai-yan, XU Yan. Effect of mixed culture of *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia anomala* on fermentation efficiency and flavor compounds in chinese liquor [J]. Microbiology China, 2012, 39(7): 921-930
- [2] 任晓璞,李明杨,陈胜慧子,等.乳酸菌分离及混菌培养对酿酒酵母乙醇发酵的影响[J].农业机械学报,2016,47(8):258
REN Xiao-pu, LI Ming-yang, CHENSHENG-Hui zi, et al. Isolation of lactic acid bacteria from musalais and effects of mixed-culture on *Saccharomyces cerevisiae* ethanol fermentation [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2016, 47(8): 258
- [3] 杜连详,赵征.乳酸菌及其发酵制品生产技术[M].天津:天津科学技术出版社,1999
DU Lian-xiang, ZHAO Zheng. Technology of lactic acid bacteria and fermented products [M]. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 1999
- [4] 谢玉球,钟雨,谢旭,等.乳酸菌在固态发酵白酒生产中的地位和作用[J].酿酒科技,2008, 11:83-86
XIE Yu-qiu, ZHONG Yu, XIE Xu, et al. Roles & functions of lactic acid bacteria in the production of liquor by solid fermentation [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2008, 11: 83-86
- [5] 沈怡芳.关于浓香型大曲酒夏季生产掉排的思考与对策[J].酿酒,1998,6:1
SHEN Yi-fang. Thought and strategy of yield decrease of luzhou-flavor liquor in summer [J]. Liquor Making, 1998, 6: 1
- [6] 李维青.浓香型白酒与乳酸菌、乳酸、乳酸乙酯[J].酿酒,2010,37(3):90-93
LI Wei-qing. Relationship between luzhou flavor liquor, lactic acid bacteria, lactic acid and ethyl lactate [J]. Liquor Making, 2010, 37(3): 90-93
- [7] 吴广黔.白酒的品评[M].北京:中国轻工业出版社,2008
WU Guang-qian. Liquor tasting [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2008
- [8] 邱并生.混菌发酵对白酒液态发酵效率和风味物质的影响.微生物学通报[J].2014,41(7):1477-1478
QIU Bing-sheng. Effect of mixed culture on fermentation efficiency and flavor compounds in chinese liquor [J]. Microbiology China, 2014, 41(7): 1477-1478
- [9] 严益民.比浊法在测定发酵液菌体浓度中的应用[J].抚顺石油学院学报,2001,21(1):23-26
YAN Yi-min. Application of nephelometry on determining the cell concentration in fermentation liquid [J]. Journal of Fushun Petroleum Institute, 2001, 21(1): 23-26
- [10] 牟建楼,王颀,张伟,等.乙醇的测定方法综述[J].酿酒,2006, 33(2):46-48
MU Jian-lou, WANG Jie, ZHANG Wei, et al. Methods for determination of alcohol [J]. Liquor Making, 2006, 33(2): 46-48
- [11] 黄文连,陈叶福,付更新,等.Spathaspora passalidarum 突变株 U-30 木糖乙醇发酵条件研究[J].酿酒科技,2015,11:49-53
HUANG Wen-lian, CHEN Ye-fu, FU Geng-xin, et al. Xylose-ethanol fermentation conditions for *Spathaspora passalidarum* mutant U-30 [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2015, 11: 49-53
- [12] 唐取来,李晶晶,李玲玲,等.新型液态发酵生产米香型白酒的研究 I -酶制剂在液态发酵米香型白酒中的应用[J].酿酒科技,2015,9:8-12
TANG Qu-lai, LI Jing-jing, LI Ling-ling, et al. Study in the liquid fermentation of novel rice-flavour liquor application of enzyme preparation in rice-flavour liquor of liquid fermentation [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2015, 9: 8-12
- [13] 冯慧杰.乳酸菌高密度发酵及产 γ -氨基丁酸的研究[D].无锡:江南大学,2014
FENG Hui-jie. High-cell density of lactic acid bacteria and application on production of γ -aminobutyric acid [D]. Wuxi:

- Jiangnan University, 2014
- [14] 毛青钟.论黄酒发酵过程酵母和乳酸杆菌协同作用关系[J].山东食品发酵,2006,1:31
- MAO Qing-zhong. Synergistic action of yeast and *Lactobacillus* in the fermentation of Shaoxing wine [J]. Shandong Food Fermentation, 2006, 1: 31
- [15] 闫彬,贺银凤.乳酸菌与酵母菌共生机理综述[J].食品科学,2012,33(3):278
- YAN Bin, HE Yin-feng. A review on symbiotic mechanisms between lactic acid bacteria and yeasts [J]. Food Science, 2012, 33(3): 278

现代食品科技