

香糟大黄鱼的红酒糟中优势菌生长动力学研究

张秀洁^{1,2,3}, 郭全友^{1,2*}, 杨絮², 郑尧², 郑昇阳¹, 李丹¹

(¹ 宁德师范学院生命科学学院 福建宁德 352100

² 中国水产科学研究院东海水产研究所 上海 200090

³ 上海海洋大学食品学院 上海 201306)

摘要 研究发酵过程中微生物在不同环境因子下的生长动力学,对发酵鱼产业发展及产品质量提高具有重要意义。红酒糟为福建特产香糟大黄鱼的发酵原料。以源自红酒糟中优势菌株短乳杆菌和酿酒酵母为研究对象,研究环境因子对发酵菌株的影响,测定不同 NaCl、pH 和乳酸条件下的生长曲线,分析环境因子对香糟大黄鱼优势菌株生长动力学参数的影响,并用 Gompertz 模型评估发酵菌株耐受性。结果表明,短乳杆菌耐受质量分数 6%NaCl。此外,短乳杆菌具有良好的耐酸性,pH 值为 6 时,生长速率最高,能更好地启动发酵。酿酒酵母在 NaCl 质量分数为 1%~6%时生长良好,在 NaCl 质量分数为 10%时较明显地被抑制。酿酒酵母在 pH 3~7 条件下,发酵不受影响,可快速启动发酵。在低浓度乳酸条件下生长无较大差异,在质量分数 6%时才有较明显的抑制作用。

关键词 红酒糟; 短乳杆菌; 酿酒酵母; 生长动力学; Gompertz 模型

文章编号 1009-7848(2023)10-0073-08 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.10.008

大黄鱼(*Pseudoshian crocea*)俗称黄花鱼、黄瓜鱼等,2022 年全国养殖产量约 25.8 万 t,其中福建省产量约为 21.5 万 t,为我国东南沿海重要经济鱼类^[1-2]。发酵是使鱼类产生特殊风味的一种重要的加工方式^[3-4]。随着社会经济的发展,发酵的技术与方法不断得到改进^[5-6]。世界各地发酵鱼类丰富多样^[7],其中香糟大黄鱼为福建省特色。以新鲜大黄鱼和提前发酵完毕的红酒糟为原料,经密闭发酵后形成的一种醇香浓郁,风味独特的发酵制品。

发酵过程中辅料的加入、原料本身携带和加工时进入的微生物等均可对发酵制品的菌系组成造成影响^[8-9]。红酒糟大黄鱼传统生产工艺中以红酒糟为原料,其中含有的微生物是发酵体系中微生物的主要来源。在不同发酵条件(NaCl、pH、Aw、温度等)下,菌种经短暂的停滞期后,以适当的速度发挥良好的发酵性能^[10]。刘璐等^[11]从贵州黔东南地区具有饮食文化特色的鱼酱酸中分离出多株具

有产 γ -氨基丁酸能力的乳酸菌,其中植物乳杆菌 Y279 和 Y64 具有较高的产 GABA 能力,同时也显现出良好的耐酸、耐胆盐、生长速率及产酸速率快等发酵性能。Zeng 等^[12]在传统低盐发酵酸鱼中共分离并筛选得到 5 株表现出较强的益生菌性状和理化性质的酵母菌,通过评估对 pH、温度、盐浓度的耐受性以及测定其蛋白水解、脂解活性,以此筛选性能较好的酿酒酵母菌株来制作发酵剂,提高传统发酵酸鱼质量。Khusro 等^[13]在印度传统发酵鱼 Ngari 中分离得到对病原体具有较强拮抗活性的腐生葡萄球菌,除具有高酸性耐受性外,该菌株表现出明显的疏水性。梁慧等^[14]从湖北传统腊鱼中分离筛选得到季也蒙毕赤酵母和近平滑假丝酵母,对它们进行耐盐性、亚硝酸盐耐受性、耐酸性等发酵适应性试验,有望将其开发成为新型肉品发酵剂。

在实验室前期研究的基础上^[15],本研究以短乳杆菌和酿酒酵母为对象,研究其生长动力学等,以期对香糟大黄鱼产业工业化生产及产品质量提高提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 菌株、材料与试剂

在实验室前期研究中,经分离纯化和 BI-

收稿日期: 2022-10-16

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31871872); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2021M01)

第一作者: 张秀洁,女,硕士生

通信作者: 郭全友 E-mail: dhsguoqy@163.com

OLOG 鉴定后,采用 16S rDNA 测序确认酿酒酵母和短乳杆菌为红酒糟中的优势菌,其比例分别为 41.74%和 55.28%^[15]。新鲜大黄鱼购自福建省宁德市某公司,层冰层鱼方式放入泡沫箱,冷链运至上海,备用。

MRS 培养基、马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基,北京陆桥技术股份有限公司;MRS Borth,北京索莱宝科技有限公司;YPD Borth,青岛海博生物技术有限公司;微孔板,芬兰 Bioscreen 公司;氯化钠,国药集团化学试剂有限公司;乳酸(食品级),郑州高研生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

Bioscreen C 全自动生长曲线分析仪,芬兰 Bioscreen 公司;ZHWHY-200H 恒温培养振荡器,上海智城分析仪器制造有限公司。

1.3 方法

1.3.1 NaCl 和 pH 对乳酸菌生长的影响 根据发酵食品中菌株所需的耐受性,NaCl 质量分数梯度设置为 2%,4%,6%,8%,用 HCl 调节 pH 值,pH 值梯度设置为 3,4,5,6,7,根据上述条件配制相应 MRS 接种液,121 °C 灭菌 15 min,即为无菌接种液。Bioscreen 微孔板中每孔加入 180 μL 无菌接种液体,同时取约 10⁴ CFU/mL 浓度的新鲜培养菌悬液 20 μL 接种至微孔板中,每个梯度 5 组平行,无菌 MRS Borth 作为对照。将微孔板放入 Bioscreen 微生物生长测定仪中中速振荡,每 1 h 测定其 OD_{600nm} 值,30 °C 共培养 5 d。

1.3.2 NaCl、pH 和乳酸对酵母菌生长的影响 根据发酵食品中菌株所需的耐受性,NaCl 质量分数梯度设置为 2%,4%,6%,8%,10%,用 HCl 调节 pH 值至 3,4,5,6,7,乳酸质量分数梯度设置为 1%,2%,3%,4%,5%,6%,7%;根据上述条件配制相应 YPD 接种液,121 °C 灭菌 15 min,即为无菌接种液。取配制好的无菌接种液,Bioscreen 微孔板中每孔加入 180 μL 无菌接种液体,同时取约 10⁴ CFU/mL 浓度的新鲜培养菌悬液 20 μL 接种至微孔板中,每个梯度 5 组平行,无菌 PDA Borth 作为对照。将微孔板放入 Bioscreen 微生物生长测定仪中中速振荡,每 1 h 测定其 OD_{600nm} 值,30 °C 共培养 5 d。

1.3.3 菌株生长动力学建模与评价 模型构建:

采用修正的 Gompertz 模型进行数据拟合^[16],见式 (1)。

$$N_t = N_0 + (N_{\max} - N_0) \times \exp \left\{ -\exp \left[2.718 \times \mu_{\max} \times \frac{(\text{Lag} - t)}{(N_{\max} - N_0)} + 1 \right] \right\} \quad (1)$$

式中, t ——时间 (h); N_t —— t 时间对应的 OD_{600nm} 值; N_{\max} ——最大的 OD_{600nm} 值; N_0 ——初始 OD_{600nm} 值; μ_{\max} ——最大比生长速率 (h⁻¹);Lag——延滞期 (h)。

模型评价:采用判定系数 R^2 ,均方误差 (RMSE),偏差因子 (B_f) 和准确因子 (A_f)^[17] 计算模型的拟合优度,其中 R^2 、 A_f 和 B_f 值越接近于 1, RMSE 越接近于 0,表明预测效果越好,评价方程如下。

$$A_f = 10 \frac{\sum \left| \lg \left(\frac{y_{\text{obs}}}{y_{\text{cal}}} \right) \right|}{n} \quad (2)$$

$$B_f = 10 \frac{\sum \lg \left(\frac{y_{\text{obs}}}{y_{\text{cal}}} \right)}{n} \quad (3)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (y_{\text{cal}} - y_{\text{obs}})^2}{n}} \quad (4)$$

式中, y_{obs} ——实测值; y_{cal} ——预测值; n ——实测值个数。

1.4 数据处理

采用 Excel 2016 进行数据处理及计算,并采用 Origin 9.0(美国 OriginLab 公司)进行 Gompertz 模型拟合。

2 结果与分析

2.1 短乳杆菌生长动力学

短乳杆菌可产生具有拮抗或杀死致病菌的细菌素等物质^[18],并具有益生特性,常从传统发酵食品中分离得到并被用作发酵食品的发菌菌株或辅助发酵剂^[19-20]。图 1 和图 2 分别为 NaCl 和 pH 对短乳杆菌生长的影响,表 1、表 2 分别为 NaCl 和 pH 对短乳杆菌生长动力学参数的影响。可见短乳杆菌生长曲线呈“S”型持续增长趋势,模型评价中 R^2 均 > 0.99, A_f 在 1.000~1.100 之间, B_f 在 0.990~1.040 之间, RSME 在 0.000~0.100 之间,生长模型拟合优度良好。

由图 1 及表 1 可知,当 NaCl 质量分数在 2%~6% 范围内时,短乳杆菌能够生长;当增加至 8%

时,短乳杆菌在 120 h 内 OD 值无显著差异(OD 值 ≤ 0.05),判定为不生长。30 °C 条件下, μ_{\max} 随 NaCl 质量分数增大而减小,未添加 NaCl 时, μ_{\max} 为 0.022 h^{-1} ,Lag 为 12.3 h,当 NaCl 质量分数增加至 6% 时, μ_{\max} 降至 0.008 h^{-1} ,Lag 增加至 27.9 h,此时短乳杆菌虽然生长受到抑制,但其仍能生长。食盐是加工过程中是必不可少的一种辅料,不仅对腐败微生物具有抑制作用,并可促进发酵制品良好质构和滋味的形成^[21]。根据该菌的耐盐特性,在提倡减盐理念的当下,可作为强化低盐发酵鱼制

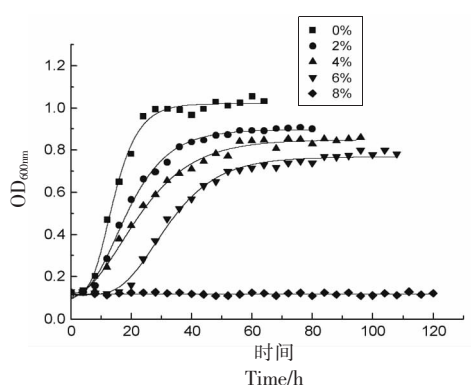


图 1 NaCl 对短乳杆菌生长的影响
Fig.1 Effects of NaCl on the growth of *Lactobacillus brevis*

表 1 不同 NaCl 条件下短乳杆菌生长动力学参数
Table 1 Growth kinetic parameters of lactic acid bacteria under different NaCl conditions

NaCl 质量分数/%	最大比生长速率 (μ_{\max})/h ⁻¹	迟滞期(Lag)/h
0	0.022 ± 0.002	12.3 ± 0.4
2	0.012 ± 0.000	15.1 ± 0.5
4	0.008 ± 0.000	16.8 ± 1.0
6	0.008 ± 0.000	27.9 ± 0.6

2.2 酿酒酵母生长动力学

酿酒酵母在发酵制品中对风味的形成具有重要作用^[23],也通常是发酵制品体系中的优势菌株^[24]。图 3、图 4 和图 5 分别为 NaCl、pH 和乳酸对酿酒酵母生长的影响,表 3、表 4、表 5 分别为 NaCl、pH 和乳酸对酿酒酵母生长动力学参数的影响。模型评价中 R^2 均 > 0.98 , A_f 在 1.000~1.100 之间, B_f 在 0.980~1.000 之间,RSME 在 0.000~0.005 之间,

表明生长模型拟合优度良好。

由图 2 及表 2 可知,当 pH 值为 3 时,此时 μ_{\max} 为 0.003 h^{-1} ,Lag 为 48.1 h;当 pH 值增加至 6 时,此时 μ_{\max} 最大,Lag 最短,分别为 0.019 h^{-1} ,11.7 h;当 pH 值增加至 7 时, μ_{\max} 下降,Lag 增加,其 N_{\max} 达到最大值。以上表示 pH 值在 3~7 范围内,短乳杆菌均能生长,表现出良好的耐酸能力,当 pH 值为 6 时短乳杆菌生长速率最大,能更好的启动发酵。

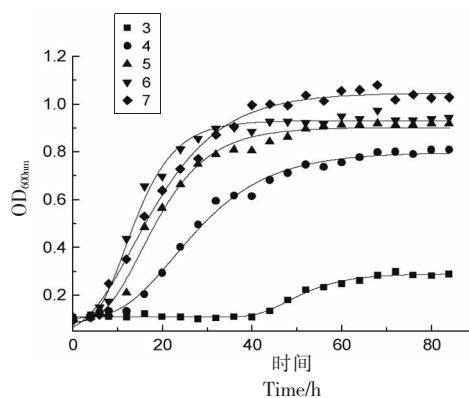


图 2 pH 对短乳杆菌生长的影响
Fig.2 Effect of pH on the growth of *Lactobacillus brevis*

表 2 不同 pH 值下短乳杆菌生长动力学参数
Table 2 Growth kinetic parameters of lactic acid bacteria under different pH values

pH 值	最大比生长速率 (μ_{\max})/h ⁻¹	迟滞期(Lag)/h
3	0.003 ± 0.000	48.1 ± 0.6
4	0.008 ± 0.000	22.5 ± 0.7
5	0.013 ± 0.001	15.3 ± 0.8
6	0.019 ± 0.001	11.7 ± 0.5
7	0.013 ± 0.001	13.6 ± 1.0

表明生长模型拟合优度良好。

由图 3 可知,在 NaCl 质量分数 2%~10% 范围内,酿酒酵母均能生长,随着 NaCl 质量分数的增大,生长逐渐受到抑制。当 NaCl 质量分数为 6% 时, μ_{\max} 为 0.024 h^{-1} ,Lag 为 27.5 h,在 10%NaCl 质量分数下经过延滞期之后仍能生长,即酿酒酵母表现出良好的食盐耐受性。酵母菌通常与乳酸菌协同发酵,故酵母菌需能够适应酸性环境并有较

好的状态使发酵持续进行^[8]。由图4可知,酿酒酵母对酸碱度不敏感,pH值在3~7范围内,酿酒酵母生长状况良好;除pH值为3时,其 μ_{\max} 和Lag均无显著差异($P<0.05$);当pH值为6时,其 μ_{\max} 值与pH值为7时相近,然而其Lag值略小于pH值为7时的Lag值;pH值为7时,其有最大 N_{\max} 值,表明酿酒酵母生长速率优于中性条件,在酸性条件下迟滞期小于中性条件,此酿酒酵母具有嗜酸的特点。由图5可知,在乳酸质量分数在1%~6%范围内,随着乳酸添加量的增加,酿酒酵母的生长逐渐受到抑制。当乳酸质量分数为1%时,此时 μ_{\max} 为 0.088 h^{-1} ,Lag为6.8 h,相比未添加乳酸条件下的酿酒酵母的生长, μ_{\max} 增大,Lag降低;在乳酸质量分数由1%~4%范围内时,酿酒酵母生长受到明显抑制。乳酸质量分数为7%时,120 h内OD值无显著差异(OD值 ≤ 0.05),判定为不生长。Zeng等^[12]对酿酒酵母的耐受性测试中,设定乳酸质量分数为0.6%~1.2%。在本研究中当乳酸质量分数增大至4%时,对酿酒酵母才有明显的抑制作用,在经过延滞期后酿酒酵母仍能正常生长。在乳酸质量分数为1%条件下,表现出对酿酒酵母生长的促进作用,此时有最大的生长速率和最短的延滞期,已有学者研究表明乳酸菌和酵母菌之间存在互作关系,上清液能促进或者抑制彼此生长^[25-27],关于在本研究中分离自红酒糟的酿酒酵母与短乳杆菌混合培养体系中两者的相互作用还需进一步研究。

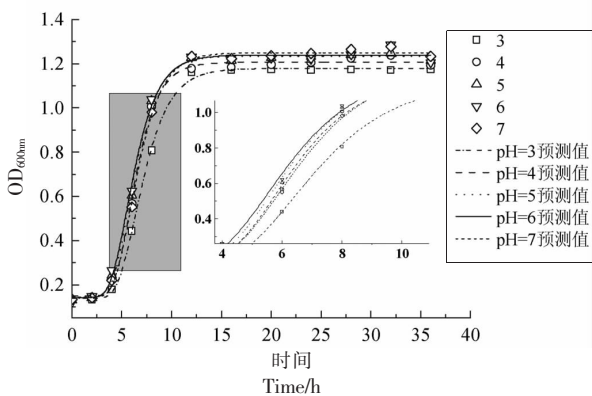


图4 pH对酿酒酵母生长的影响
Fig.4 Effects of pH on the growth of *Saccharomyces cerevisiae*

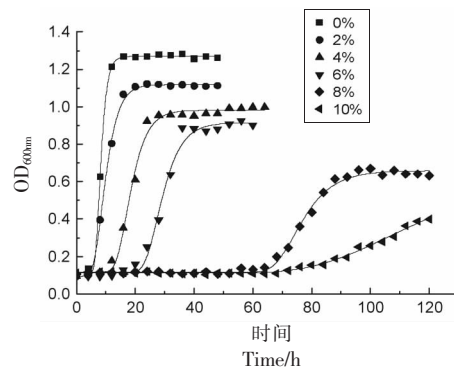


图3 NaCl对酿酒酵母生长的影响
Fig.3 Effects of NaCl on the growth of *Saccharomyces cerevisiae*

表3 不同NaCl条件下对酿酒酵母生长动力学的影响
Table 3 Growth kinetic parameters of *Saccharomyces cerevisiae* under different NaCl conditions

NaCl 质量分数/%	最大比生长速率 (μ_{\max})/h ⁻¹	迟滞期(Lag)/h
0	0.109 ± 0.009	7.7 ± 0.1
2	0.046 ± 0.002	8.7 ± 0.1
4	0.031 ± 0.003	17.1 ± 0.3
6	0.024 ± 0.003	27.5 ± 0.5
8	0.010 ± 0.001	74.1 ± 0.4
10	0.003 ± 0.000	107.7 ± 4.7

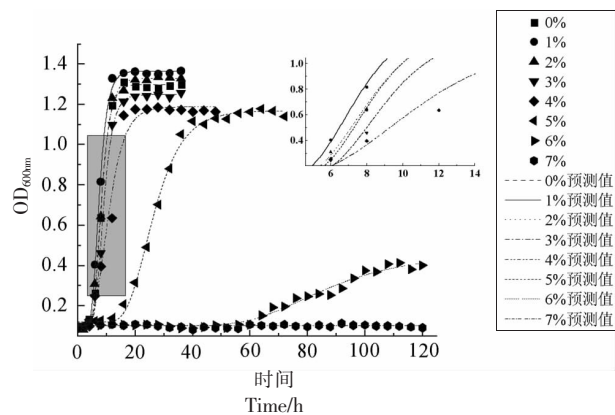


图5 乳酸对酿酒酵母生长的影响
Fig.5 Effect of lactic acid on the growth of *Saccharomyces cerevisiae*

表 4 不同 pH 值对酿酒酵母生长动力学的影响

Table 4 Growth kinetic parameters of *Saccharomyces cerevisiae* under different pH values

pH 值	最大比生长速率 (μ_{\max})/h ⁻¹	迟滞期(Lag)/h
3	0.076 ± 0.003	6.4 ± 0.1
4	0.092 ± 0.007	5.8 ± 0.1
5	0.091 ± 0.006	5.6 ± 0.1
6	0.087 ± 0.007	5.5 ± 0.1
7	0.019 ± 0.005	5.9 ± 0.1

表 5 不同乳酸条件下对酿酒酵母生长动力学的影响

Table 5 Growth kinetic parameters of *Saccharomyces cerevisiae* under different lactic acid conditions

乳酸质量分数/%	最大比生长速率 (μ_{\max})/h ⁻¹	迟滞期(Lag)/h
0	0.081 ± 0.005	7.5 ± 0.1
1	0.088 ± 0.005	6.8 ± 0.1
2	0.076 ± 0.005	7.4 ± 0.1
3	0.070 ± 0.005	8.2 ± 0.1
4	0.039 ± 0.005	9.3 ± 0.5
5	0.021 ± 0.001	23.8 ± 0.4
6	0.002 ± 0.000	78.3 ± 2.0

3 结论

本文以源自福建特产糟制大黄鱼发酵原料红酒糟中的优势菌短乳杆菌和酿酒酵母为研究对象,测定不同环境因子下优势菌株生长曲线,分析对两株菌动力学参数的影响,并使用 Gompertz 模型评估优势菌株耐受性。结果表明:在模型评价中,生长模型拟合优度良好。短乳杆菌具有 6%(质量分数)NaCl 的耐受性,在减盐的趋势下,短乳杆菌满足对食盐耐受性的要求;此外短乳杆菌具有良好的耐酸能力,在 pH 值为 6 时,生长速率最高,能更好的启动发酵。在对酿酒酵母生长特性分析中发现,酿酒酵母对各环境因子均具有较强的耐受性,具体表现为在 10%(质量分数)NaCl 条件下,虽经过了较长的延滞期,但其仍能够生长,在 1%~6%(质量分数)NaCl 条件下生长良好;酿酒酵母在 pH 3~7 条件下,各梯度生长无明显差别,具有较短的延滞期,故在发酵中能够不受体系 pH 值的影响,更好的启动发酵;在不同质量分数乳酸条件下,低浓度乳酸条件下生长无较大差异,在质量分数 6%条件下才有较明显的抑制作用,对不同环境因子下的短乳杆菌和酿酒酵母生长动力学的影响,可为实际生产提供参考。

参 考 文 献

[1] 周静, 火玉明, 张华丹, 等. 大黄鱼卵鱼露的发酵工艺[J]. 食品工业科技, 2022, 43(10): 198-205.
ZHOU J, HUO Y M, ZHANG H D, et al. Fermentation process of fish sauce by large yellow

croaker (*Larimichthys crocea*) roe[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(10): 198-205.

- [2] 蒋慧琪, 王晶, 汪愈超, 等. 养殖大黄鱼肌肉品质评价及其营养调控的研究进展[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2021, 47(3): 275-283.
JIANG H Q, WANG J, WANG Y C, et al. Research progress of flesh quality evaluation and nutrition regulation of farmed large yellow croaker[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2021, 47(3): 275-283.
- [3] 班雨函, 朱明坤, 董晶晶, 等. 发酵水产品中生物胺控制技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(3): 199-206.
BAN Y H, ZHU M K, DONG J J, et al. Research progress on control technology of biogenic amines in fermented aquatic products[J]. Food Research and Development, 2022, 43(3): 199-206.
- [4] 吴燕燕, 陈茜, 王悦齐, 等. 传统发酵水产品微生物群落与品质相关性的研究进展[J]. 水产学报, 2021, 45(7): 1248-1258.
WU Y Y, CHEN Q, WANG Y Q, et al. Advances in research on the correlation between microbial community and quality of traditional fermented aquatic products[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(7): 1248-1258.
- [5] 孙海鑫, 陈智慧, 王盛美, 等. 发酵鱼中菌群组成及发酵特性研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(5): 424-431.
SUN H X, CHEN Z H, WANG S M, et al. Research progress on microflora composition and fermentation characteristics of fermented fish[J]. Science

- and Technology of Food Industry, 2022, 43(5): 424-431.
- [6] 陈镜如, 边鑫, 杨杨, 等. 中国传统发酵食品微生物多样性研究进展[J]. 中国调味品, 2022, 47(2): 205-210.
- CHEN J R, BIAN X, YANG Y, et al. Research progress on microbial diversity of traditional fermented food in China[J]. China Condiment, 2022, 47(2): 205-210.
- [7] 刘英丽, 李文采, 张慧娟, 等. 传统发酵食品产香酵母菌的筛选及其发酵产香特性研究[J]. 中国食品学报, 2015, 15(4): 63-70.
- LIU Y L, LI W C, ZHANG H J, et al. Screening of aroma-producing yeast strains from traditional fermented food and research on their aroma-production and fermentation characteristics[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(4): 63-70.
- [8] 张大为, 张洁, 田永航. 发酵酸鱼工艺条件的优化及品质分析[J]. 现代食品科技, 2019, 35(10): 139-147.
- ZHANG D W, ZHANG J, TIAN Y H. Optimization of technological conditions of fermented Suanyu and their quality analysis[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(10): 139-147.
- [9] 罗美燕, 刘唤明, 香江, 等. 虾酱中风味菌株的筛选及其发酵性能分析[J]. 广东海洋大学学报, 2022, 42(2): 79-87.
- LUO M Y, LIU H M, XIANG J, et al. Isolation of Flavor strains in shrimo paste and analysis of fermentation characteristic[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2022, 42(2): 79-87.
- [10] 杨晓钢, 赵鑫锐, 堵国成. 低酸牛肉发酵剂的筛选、工艺优化及品质特性研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(19): 185-195.
- YANG X G, ZHAO X R, DU G C. Screening, fermentation conditions optimization and quality evaluation of commercial low acidity fermented beef starter[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(19): 185-195.
- [11] 刘璐, 吴江丽, 杨金桃, 等. 发酵鱼酱酸产 GABA 乳酸菌的分离筛选及发酵特性[J]. 食品科学, 2021, 42(18): 73-79.
- LIU L, WU J L, YANG J T, et al. Isolation and fermentation characteristics of γ -aminobutyric acid-producing lactic acid bacteria from Yujiangsuan, a traditional miao ethnic fermented condiment[J]. Food Science, 2021, 42(18): 73-79.
- [12] ZENG X F, FAN J, HE L P, et al. Technological properties and probiotic potential of yeasts isolated from traditional low-salt fermented Chinese fish Suan yu[J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(8): e12865.
- [13] KHUSRO A, AARTI C, SALEM A Z M, et al. Techno-functional traits and safety aspects of coagulase-negative *Staphylococcus saprophyticus* isolated from traditional fermented food[J]. Food Biotechnology, 2020, 34(1): 77-99.
- [14] 梁慧, 马海霞, 李来好. 腊鱼产香酵母菌的筛选及其发酵产香特性初步研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(12): 213-217.
- LIANG H, MA H X, LI L H. Screening of aroma-producing yeast strains from dry-cured fish and initial study on their aroma-production and fermentation characteristics [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(12): 213-217.
- [15] 张秀洁, 郭全友, 杨絮, 等. 源自香糟大黄鱼的红酒糟优势菌特性及发酵能力研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(11): 50-57.
- ZHANG X J, GUO Q Y, YANG X, et al. Characterization and fermentation capacity of dominant strains in red vinasse from vinasse large yellow croaker[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(11): 50-57.
- [16] TP O. Predictive models for growth of *Salmonella typhimurium* DT104 from low and high initial density on ground chicken with a natural microflora[J]. Food Microbiology, 2007, 24(6): 640-651.
- [17] 朱彦祺, 郭全友, 李保国, 等. 不同温度下腐败希瓦氏菌(*Shewanella putrefaciens*)生长动力学模型比较与评价[J]. 食品科学, 2016, 37(13): 147-152.
- ZHU Y Q, GUO Q Y, LI B G, et al. Comparison and evaluation of models for the growth of *Shewanella putrefaciens* at different temperatures[J]. Food Science, 2016, 37(13): 147-152.
- [18] 宫璐婵, 李悦, 侯英敏, 等. 发酵条件对短乳杆菌 P-347 生长和产细菌素的影响[J]. 大连工业大学学报, 2014, 33(6): 423-426.
- GONG L C, LI Y, HOU Y M, et al. Effect of fermentation condition on the growth and the bacteriocin production by *Lactobacillus brevis* P-347 [J]. Journal of Dalian Polytechnic University, 2014, 33

- (6): 423–426.
- [19] 林泽永, 梁倩雯, 苏燧, 等. 一株短乳杆菌烈性噬菌体的分离鉴定与生化特性[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(12): 226–232.
LIN Z Y, LIANG Q W, SU S, et al. Isolation, identification and characterization of a virulent phage of *Lactobacillus brevis*[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(12): 226–232.
- [20] 张香美, 赵玉星, 闫晓晶, 等. 1 株具抑菌和抗氧化活性乳酸菌的筛选及鉴定[J]. 食品科学, 2018, 39(2): 93–98.
ZHANG X M, ZHAO Y X, YAN X J, et al. Screening and identification of lactic acid bacterium with antimicrobial and antioxidant activity[J]. Food Science, 2018, 39(2): 93–98.
- [21] AASLYNG M D, VESTERGAARD C, KOSH A G. The effect of salt reduction on sensory quality and microbial growth in hotdog sausages, bacon, ham and salami[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 47–55.
- [22] 葛钰瑛, 李焕荣, 傅力, 等. 发酵肉制品中乳酸菌的分离鉴定及菌种性能的研究[J]. 食品研究与开发杂志, 2008, 29(12): 23–26.
GE Y Y, LI H R, FU L, et al. Study on isolation and identification of the lactic acid bacteria from natural fermented meat products and their properties [J]. Food Research and Development, 2008, 29(12): 23–26.
- [23] 周惠敏, 施文正, 郑昌亮, 等. 酵母接种发酵对鳊鱼肉气味的影响[J]. 水产学报, 2022, 46(7): 1201–1209.
ZHOU H M, SHI W Z, ZHENG C L, et al. Effect of yeast inoculation and fermentation on the flavor of *Hypophthalmichthys nobilis*[J]. Journal of Fisheries of China, 2022, 46(7): 1201–1209.
- [24] 李林. 微生物在发酵酸鱼中对脂质变化和风味组成的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
LI L. The contribution of microorganisms on lipid changes and flavor formation in fermented fish [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- [25] 段小果, 李博, 贺银凤. 乳酸菌与酵母菌共生机理的研究进展[J]. 微生物学通报, 2017, 44(8): 1988–1995.
DUAN X G, LI B, HE Y F. Progress in symbiotic mechanism between lactic acid bacteria and yeast[J]. Microbiology China, 2017, 44(8): 1988–1995.
- [26] 刘豪栋, 杨昶津, 林高节, 等. 酵母与乳酸菌的相互作用模式及其在发酵食品中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(9): 268–274.
LIU H D, YANG Y J, LIN G J, et al. Research progress on interaction patterns between yeast and lactic acid bacteria and their application in fermented foods[J]. Food Science, 2022, 43(9): 268–274.
- [27] 周袁璐, 师苑, 陆跃乐, 等. 传统发酵过程微生物互作研究进展[J]. 中国食品学报, 2021, 21(11): 349–358.
ZHOU Y L, SHI Y, LI Y L, et al. Research progress on microbial interaction in traditional fermentation[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(11): 349–358.

Studies on Growth Kinetics of Dominant Strains in Red Vinasse from Vinasse Large Yellow Croaker

Zhang Xiujie^{1,2,3}, Guo Quanyou^{1,2*}, Yang Xu², Zheng Yao², Zheng Shengyang¹, Li Dan¹

(¹College of Life Science, Ningde Normal University, Ningde 352100, Fujian

²East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090

³College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract Research on the growth kinetics of microorganisms in fermentation under different environmental factors is significance for the development of the fermented fish industry and the improvement of the quality of fermented products. *Lactobacillus brevis* and *Saccharomyces cerevisiae*, the dominant strains from red vinasse, were used to study the effects of environmental factors on the fermentation strains. The growth curves were determined under different NaCl, pH and lactic acid conditions to analyze the effects of the environmental factors on the growth kinetic parameters of the dominant strains, and the tolerance of the fermentation strains was evaluated by the Gompertz model. The results showed that *Lac-*

tobacillus brevis tolerated a mass fraction of 6% NaCl. In addition, *Lactobacillus brevis* had a high acid tolerance, with the highest growth rate at pH 6 for better initiation of the fermentation. *Saccharomyces cerevisiae* grew well at 1% to 6% NaCl and was more significantly inhibited at 10% NaCl. The fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* was unaffected at pH 3–7 and fermentation could be initiated quickly. There was no major difference in growth at low concentrations of lactic acid, and a more pronounced inhibition was only observed at 6% lactic acid.

Keywords red vinasse; *Lactobacillus brevis*; *Saccharomyces cerevisiae*; growth kinetics; Gompertz model