

# 海带盐渍加工尾水处理菌株筛选及 生物处理工艺研究

江雪莲<sup>1</sup>, 杨婷婷<sup>1</sup>, 孔珮雯<sup>1</sup>, 王佳<sup>1</sup>, 何云海<sup>1</sup>, 李雨晴<sup>1</sup>, 崔亦斌<sup>2</sup>, 刘晓勇<sup>3</sup>, 汪秋宽<sup>1\*</sup>

(1. 大连海洋大学食品科学与工程学院, 国家海藻加工技术研发分中心, 辽宁省水产品加工及综合利用重点实验室, 大连 116023; 2. 大连市鑫隆顺食品有限公司, 大连 116023; 3. 山东海之宝海洋科技有限公司, 威海 264300)

**摘要:** **目的** 筛选海带盐渍加工尾水处理菌株, 并研究其生物处理工艺。**方法** 将海水来源微生物通过初筛、复筛, 以甘露醇去除率为主要指标, 筛选出 2 株目标菌株应用于海带尾水处理, 经 PCR 扩增鉴定目标菌株, 以化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)(即  $COD_{Mn}$  去除率)为指标, 通过单因素、正交实验优化 2 个菌株的最佳培养条件, 而后将混合菌株应用于海带盐渍加工尾水中, 研究生物处理前后海带盐渍加工尾水中  $COD_{Mn}$  去除率、生化需氧量(biochemical oxygen demand, BOD)(即  $BOD_5$  去除率)的变化。**结果** 本研究筛选 2 株耐高盐的海带盐渍加工尾水处理菌株分别为二尖梅奇酵母(*Metschnikowia bicuspidata*)和季也蒙毕赤酵母(*Meyerozyma guilliermondii*), 优化条件分别为二尖梅奇酵母菌培养温度 25 °C、接种量 8%和培养转速 100 r/min; 季也蒙毕赤酵母菌培养温度 28 °C、接种量 5%和培养转速 200 r/min; 2 种菌株混合对尾水处理优化条件为接种量 3%, 最佳培养时间 60 h,  $COD_{Mn}$  去除率 85.98%。**结论** 耐高盐菌株经扩繁对海带盐渍加工尾水进行了生物处理, 混合菌株生物处理降低了盐渍海带尾水中的  $COD_{Mn}$  值,  $COD_{Mn}$  去除率为 81.35%;  $BOD_5$  含量降低了 98.70%。技术解决了褐藻加工行业高盐尾水难以处理的问题, 可为后续酵母菌处理高盐尾水提供依据。**关键词:** 盐渍海带尾水; 耐盐菌筛选;  $COD_{Mn}$  去除率;  $BOD_5$  去除率

## Screening of kelp salted processing tail water treatment strains and study on biological treatment technology

JIANG Xue-Lian<sup>1</sup>, YANG Ting-Ting<sup>1</sup>, KONG Pei-Wen<sup>1</sup>, WANG Jia<sup>1</sup>, HE Yun-Hai<sup>1</sup>, LI Yu-Qing<sup>1</sup>,  
CUI Yi-Bin<sup>2</sup>, LIU Xiao-Yong<sup>3</sup>, WANG Qiu-Kuan<sup>1\*</sup>

(1. Liaoning Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Comprehensive Utilization, National Seaweed Processing Technology R&D Sub-Center, School of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 2. Dalian Xinlongshun Food Co., Ltd., Dalian 116023, China; 3. Shandong Haizhibao Marine Technology Co., Ltd., Weihai 264300, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the strain screening and biological treatment of kelp salting processing tail water. **Methods** The seawater-derived microorganisms were screened and re-screened, and the removal rate of mannitol was used as the main indicator. Two target strains were screened out to be used in the treatment of kelp tail water. The target strains were identified by PCR amplification and the  $COD_{Mn}$  removal rate was used as an indicator

基金项目: 国家农业产业技术体系项目(CARS-50)

Fund: Supported by the National Agricultural Industrial Technology System Program (CARS-50)

\*通信作者: 汪秋宽, 教授, 主要研究方向为水生生物资源利用。E-mail: wqk320@dlou.cn

\*Corresponding author: WANG Qiu-Kuan, Professor, Dalian Ocean University, No. 52 Heishijiao Street, Shakekou District, Dalian 116023, China. E-mail: wqk320@dlou.cn

optimized the optimal culture conditions of the two strains through single factor and orthogonal experiments, and then applied the mixed strains to the kelp salted processing tail water. Changes in the removal rate of  $COD_{Mn}$  and  $BOD_5$  in the kelp salted processing tail water before and after biological treatment were studied. **Results** In this experiment, two strains of salt-tolerant kelp processing tail water treatment strains were selected, namely *Metschnikowia bicuspidata* and *Meyerozyma guilliermondii*. The optimized conditions were as follows: and. *Metschnikowia bicuspidata* culture temperature 25 °C, inoculation amount 8%, and culture speed 100 r/min; *Meyerozyma guilliermondii* culture temperature 28 °C, inoculation amount 5% and culture speed 200 r/min. Two strains were mixed to treat tail water, and the optimized conditions were 3% inoculum, 60 h of culture time, and the removal rate of  $COD_{Mn}$  was 85.98%. **Conclusion** The high-salt-tolerant strains biologically treat the tail water of salted kelp after propagation. The biological treatment of mixed strains reduce the  $COD_{Mn}$  value in the tail water of salted kelp, the removal rate of  $COD_{Mn}$  is 81.35% and the content of  $BOD_5$  is reduced by 98.70%. The technology solves the problem of difficult treatment of high-salt tail water in the brown algae processing industry, and can provide a basis for subsequent yeast processing of high-salt tail water.

**KEY WORDS:** saline kelp tail water; screening of salt tolerant bacteria; chemical oxygen demand; biochemical oxygen demand

## 0 引言

我国海藻产量居世界首位,占世界产量的 50.1%<sup>[1]</sup>;其中海带又是我国主要养殖的大型经济海藻,2018年人工养殖产量占海藻总产量的 67.79%<sup>[2]</sup>。海带营养丰富,富含海藻多糖、蛋白质、膳食纤维、甘露醇、碘等,还含有钙、镁等微量元素,经常食用有利健康。海带盐渍加工是海带前处理加工的主要方法,盐渍加工产品可直接销售或作为其他加工产品的原料。海带在加热海水漂烫盐渍过程中,溶解了部分的甘露醇、褐藻胶等物质,使盐渍加工尾水中的化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)、生化需氧量(biochemical oxygen demand, BOD)指标超出废水排放标准。据统计,每生产 1 t 盐渍海带能产生 0.2~0.4 t 尾水,这部分漂烫水如不经任何处理排放到海水中会对沿海水域环境造成污染;因为漂烫水为海水,因此传统的污水生物处理技术并不适应处理这部分加工尾水。

目前,常见的工业废水处理方法包括物理法、化学法、物化法和生物法<sup>[3-4]</sup>;物理法运用物理作用将废水中的不溶性悬浮污染物进行分离和回收的处理方法,包括重力沉降法、气浮法、吸附法、过滤法等<sup>[5]</sup>,但物理法只能一定程度上净化废水,经处理的废水仍达不到排放标准<sup>[6]</sup>;化学法通过向废水中投加化学药剂使其中的污染物发生化学反应转化为无毒无害的物质的处理方法,包括中和法、催化氧化法等;物化法利用物理化学作用去除废水中的污染物质,主要包括絮凝-氧化-吸附工艺<sup>[7-9]</sup>、超滤(ultrafiltration)膜、纳滤(nanofiltration)膜的集成工艺<sup>[10-12]</sup>;生物法是利用微生物(细菌、霉菌及原生动物等)特有的功能(如代谢作用)吸附、降解废水中的有机污染物,将废水中

呈溶解、悬浮状态的微细有机物、有毒物以及胶体等污染物,转化成无害、稳定的物质的处理方法<sup>[13]</sup>,包括活性污泥法<sup>[14-17]</sup>、生物膜法<sup>[18-20]</sup>、酸化水解-好氧生物接触氧化工艺<sup>[21-25]</sup>以及生物混凝工艺<sup>[22,26]</sup>等。其中,生物法处理废水具有运行成本低、运行效果稳定、作用明显、应用范围广、可回收能源以及有效减少处理废水可能造成的水体二次污染等优点。目前,许多研究者采用微生物法处理常见的工业尾水,常见的工业尾水多为淡水,但对于高盐度尾水的处理一直是处理工业尾水的难题。所以,本研究通过筛选耐盐微生物,优选了用于盐渍海带漂烫水生物处理的耐盐菌,通过研究建立盐渍加工尾水生物处理技术,以解决盐渍加工尾水的排放问题。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

海水、污水取自大连旅顺柏岚子养殖场海域;盐渍海带尾水取自旅顺地区褐藻加工工厂。

### 1.2 试剂

甘露醇、硝酸铵、硫酸镁、氯化钙、硫酸亚铁、磷酸氢二钾、氢氧化钠、高锰酸钾、硫酸、硫代硫酸钠、淀粉、碘化钾(分析纯,天津博迪化工股份有限公司);27F1492R 引物、EXTAQ(上海生物工程有限公司);高碘酸钠、L-鼠李糖、Nash 试剂等(优级纯,美国 Sigma 公司);实验用水均为去离子水(美国 Millipore 公司)。

### 1.3 仪器

LDZM-60KCS 立式蒸汽灭菌器(上海申安医疗器械厂);DRP-9052 电热恒温培养箱(上海森信实验仪器有限公司)

司); SW-CJ-2FD 超净工作台(苏州安泰空气技术有限公司); Milli-Q 水系统(美国 Millipore 有限公司); AL24 精密电子天平(瑞士梅特勒仪器系统有限公司); HWS24 电热恒温水浴锅(上海一恒科技有限公司); Hereus Fresco17 微型台式小型离心机(美国 Thermo Fisher 公司)等。

## 1.4 实验方法

### 1.4.1 培养基的配制

富集培养基(M/V): 甘露醇 8%、氯化钠 3%、硝酸铵 0.2%、蛋白胨 0.2%、氯化钙 0.02%、硫酸镁 0.02%、磷酸氢二钾 0.01%、硫酸亚铁 0.001%、去离子水。

初筛培养基(M/V): 甘露醇 8%、氯化钠 3%、琼脂 2%、硝酸铵 0.2%、氯化钙 0.02%、硫酸镁 0.02%、磷酸氢二钾 0.01%、硫酸亚铁 0.001%、去离子水。

复筛培养基(M/V): 甘露醇 8%、氯化钠 3%、硝酸铵 0.2%、氯化钙 0.02%、硫酸镁 0.02%、磷酸氢二钾 0.01%、硫酸亚铁 0.001%、去离子水。

尾水培养基: 将尾水进行粗过滤, 灭菌处理制成尾水培养基。

### 1.4.2 菌株富集

将海水、污水样品以 10% 的接种量接种于含有富集培养基的锥形瓶中, 在 25 °C、180 r/min 条件下摇床培养 4 d。

### 1.4.3 菌株初筛

分别在无菌条件下将培养 4 d 的富集菌液梯度稀释为  $10^{-1}$ 、 $10^{-2}$ 、 $10^{-3}$ 、 $10^{-4}$ 、 $10^{-5}$  的菌液, 再分别取 100  $\mu$ L 菌液涂布于初筛平板培养基上, 在 25 °C 条件下恒温培养 3 d。从培养后的平板中选取单菌落进行平板划线, 在 25 °C 条件下恒温培养 3 d; 重复此步骤 3 次, 直到得到分离纯化的单菌落。

### 1.4.4 菌株复筛

挑取初筛培养基中分离纯化的单菌落接种于装有 15 mL 复筛培养基的离心管中, 在 25 °C、180 r/min 条件下摇床培养 24 h, 制备种子液。将种子液以 5% 的接种量接种于 50 mL 复筛培养基中, 于 25 °C、150 r/min 培养条件下摇瓶振荡 72 h, 同时以空白培养基作为空白对照, 比对各菌株甘露醇的利用率及生物量选择高效甘露醇利用菌株。

### 1.4.5 甘露醇的测定

根据侯建革等<sup>[27]</sup>的方法, 进行甘露醇的测定。

#### (1) 甘露醇标准曲线的绘制

取甘露醇标准品溶液(150  $\mu$ g/mL)各 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 于试管中, 用去离子水补至 1 mL, 随后加入 1 mL 0.15 mol/L 的高碘酸钠, 室温放置 10 min, 再加入 2.0 mL 0.1% 的 L-鼠李糖、4.0 mL 新配 Nash 试剂, 振荡混匀, 53 °C 恒温水浴中放置 15 min 使其显色, 冷却至室温, 测定吸光度值  $OD_{413}$ 。以标准品甘露醇含量  $y(\mu$ g/mL) 为横坐标, 以标准品甘露醇吸光度值  $OD_{413}$  为纵坐标, 绘制甘露醇标准曲线。

#### (2) 测定样品中甘露醇利用率

取样品 0.5 mL, 去离子水补至 1 mL, 再按照上述方法进行测定。甘露醇利用率计算公式(1):

$$Z=(1-y/y_0)\times 100\% \quad (1)$$

式中, Z: 甘露醇利用率, %;

y: 发酵后培养基的甘露醇含量,  $\mu$ g/mL;

$y_0$ : 空白培养基的甘露醇含量,  $\mu$ g/mL。

### 1.4.6 $COD_{Mn}$ 值的测定

依照环境行业标准 HJ/T 132—2003 《高氯废水 化学需氧量的测定 碘化钾碱性高锰酸钾法》<sup>[28]</sup>, 进行  $COD_{Mn}$  值的测定。

#### (1) 尾水 $COD_{Mn}$ 的测定

在 250 mL 锥形瓶中加入 100 mL 摇匀的水样(每一水样取 2 份)和玻璃珠, 然后加入 1.0 mL 250 g/L 的 NaOH 溶液及 10.00 mL 0.01 mol/L  $K_2MnO_4$  溶液。在电陶炉上煮沸 10 min。冷却至室温, 加入 5 mL 25%(W/V) $H_2SO_4$  溶液和 0.4 g KI, 待溶液颜色褪尽, 立即用 0.01 mol/L  $Na_2S_2O_3$  溶液滴定至淡黄色, 同时不断振荡, 加入 1 mL 0.5% 淀粉溶液, 继续滴定至溶液蓝色消失, 记录读数  $V_2$ 。2 次水样滴定读数相差不大于 0.10 mL。另取 100 mL 去离子水代替水样, 重复上述步骤测定分析空白对照滴定值  $V_1$ 。

#### (2) 结果与计算

$COD_{Mn}$  的计算如下式(2):

$$C=20\times 0.01/V$$

式中, C: 标定的硫代硫酸钠浓度, mol/L;

V: 滴定时消耗硫代硫酸钠的体积, mL。

$$COD_{Mn}=C\times (V_1-V_2)\times 8\times 10 \quad (2)$$

式中, C: 标定的硫代硫酸钠浓度, mol/L;

$V_1$ : 空白对照硫代硫酸钠滴定体积, mL;

$V_2$ : 待测样品硫代硫酸钠滴定体积, mL。

### 1.4.7 生物量的测定

将复筛培养后的菌液样品在 600 nm 条件下进行吸光度的测定, 同时以空白培养基作为空白对照。

### 1.4.8 菌种鉴定

按照 GÜSSOW 等<sup>[29]</sup>的方法进行菌株 DNA 提取, 挑取初筛培养基中目标菌株单菌落于灭菌离心管中, 再加入 100  $\mu$ L 灭菌超纯水混匀, 100 °C 水浴 10 min, 离心后所得上清即为 PCR 扩增的目的基因。

采用姜龙<sup>[30]</sup>的方法进行菌株 DNA 的 PCR 扩增, 将目标菌株的目的基因作为 PCR 扩增模板, 选取正向引物 27F 和反向引物 1492R, 在无菌条件下将 2  $\mu$ L 目的基因, 1  $\mu$ L 正向引物, 25  $\mu$ L EX TAQ 及 21  $\mu$ L 灭菌超纯水混匀, 放入 PCR 仪中进行目标菌株的 PCR 扩增。

将三羟甲基氨基甲烷 [tris(hydroxymethyl)aminomethane, Tris] 溶液稀释为 0.5 $\times$ 三羟甲基氨基甲烷醋酸盐 [tris(hydroxymethyl)aminomethane acetate, TAE] 备用, 称取琼脂糖粉末 0.5 g 溶于 50 mL 去离子水制成 1% 琼脂糖

胶体浓度的溶液,然后加入4  $\mu\text{L}$ 的核酸染料Goldview。将未凝固的混有Goldview的琼脂糖溶液沿着板壁倒入带有制胶模具梳的板中,待胶体凝固后,放入电泳槽中。将2  $\mu\text{L}$  LodingButter与10  $\mu\text{L}$  PCR扩增产物混合,然后点样,同时以DNAMarker作为对照,在电压100 V,电流90 mA电泳条件下进行,电泳完成后,在凝胶成像仪上观察结果。完成PCR扩增后,将扩增样品送至生工生物工程(上海)股份有限公司进行测序,将测序结果在Blast微生物基因库中与菌株基因片段序列进行比对,同时选取其他相似的菌株基因序列输入MEGA软件绘制系统发育树。

#### 1.4.9 菌株繁殖正交实验优化

根据菌株的单因素优化条件,选用 $L_9(3^3)$ 设计表格进行正交实验设计。以 $COD_{Mn}$ 去除率为主要指标基础上进行菌株条件优化。

#### 1.4.10 混合菌株在海带尾水中最佳接种量、最佳生物处理时间的测定

各菌株制成种子液后等量混合,以占实验尾水体积1%、3%、5%、7%、9%的比例应用于高温灭菌的尾水培养基中,在28  $^{\circ}\text{C}$ 、150 r/min培养条件下摇瓶振荡72 h,测定上清液中的 $COD_{Mn}$ 含量,以 $COD_{Mn}$ 去除率为主要指标,进行混合菌株接种量条件优化。

各菌株制成种子液后等量混合,以混合菌株在海带尾水培养基中得最佳接种量为标准,将其应用于尾水培养基中,同样条件下摇瓶培养,分别在培养12、24、36、48、60、72 h时,对上清液中的 $COD_{Mn}$ 值进行测定,并计算其 $COD_{Mn}$ 去除率,确定混合菌株的最佳培养时间。

各菌株制成种子液后等量混合,按照混合菌株的最佳接种量和最佳生物处理时间为标准,应用于海带尾水中,测定上清液的 $COD_{Mn}$ 含量,并计算 $COD_{Mn}$ 去除率。

#### 1.4.11 $BOD_5$ 值的测定

根据五日生化培养法<sup>[31]</sup>测定尾水的 $BOD_5$ 值。使用配制好的稀释水将尾水水样稀释至适宜倍数后,分装充满2个碘量瓶,并使样品少量溢出,其中一瓶直接用碘量法<sup>[32]</sup>测定样品在培养前的溶解氧浓度 $D_1$ ,剩下一瓶水封后用塑

料膜包装密封,放在20  $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱中培养5 d后,测定剩余的溶解氧浓度 $D_2$ 。

$BOD_5$ 的计算公式如(3):

$$BOD(\text{mg/L})=(D_1-D_2)\times\text{稀释倍数}f \quad (3)$$

式中, $D_1$ —第1个样品溶氧度,mg/L;

$D_2$ —5 d后样品中剩余溶氧度,mg/L;

$f$ —原样品在培养液中所占的比例。

## 2 结果与分析

### 2.1 初筛菌株的甘露醇去除率测定

利用甘露醇为唯一碳源的初筛培养基初筛了微生物,将海水来源的初筛微生物命名为sh-0、sh-3、sh-4、sh-5和sh-6,废水来源的初筛微生物命名为w-1、w-2、w-3、w-4、w-6和w-7,经过25  $^{\circ}\text{C}$ 、150 r/min在复筛液体培养基中培养72 h,样品甘露醇依照本研究制定的标准曲线推算公式 $Y=14.4928X-1.0923$ ( $Y$ :甘露醇含量 $\mu\text{g/mL}$ ; $X$ :样品在413 nm的吸光度)计算,测定发酵液中的甘露醇去除率。由图1可见,甘露醇去除率最高的菌株为sh-0、sh-6、w-1、w-6,其利用率分别为23.2%、15.2%、17.2%和19.9%;因此将这4株菌作为目标菌株应用于海带尾水处理中,发现只有菌株sh-0、w-1能在海带尾水中繁殖生长,因此选择这2株菌株进行下一步的实验。

### 2.2 菌株的生长曲线

菌株sh-0、w-1在海带尾水中繁殖过程中,尾水中生物量、甘露醇和 $COD$ 的变化如图2所示,很显然,2种菌株变化趋势基本一致,菌株 $COD_{Mn}$ 去除率、甘露醇去除率和生物量随着培养时间的延长均随之增大,其中甘露醇去除率在培养48 h时均达到了90%以上;以 $COD_{Mn}$ 去除率为指标,选定菌株优化的培养时间,结果表明w-1和sh-0菌株均在培养60 h后 $COD_{Mn}$ 去除率达到最大值,去除率分别为81.70%、61.11%,因此在后续优化实验中将菌株在培养基中培养60 h。

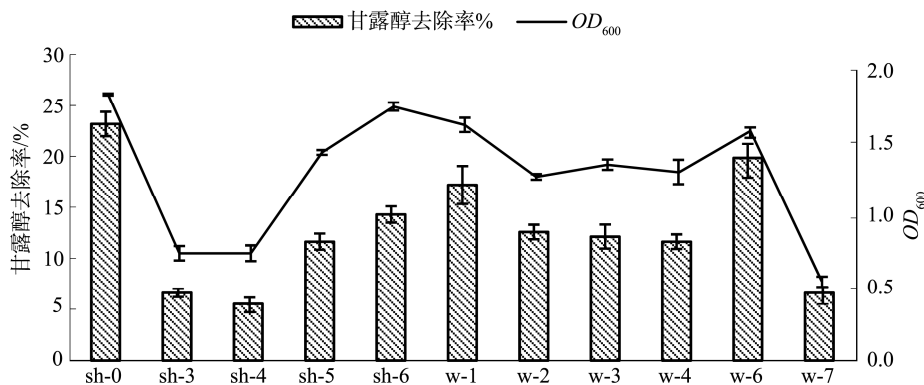


图1 初筛获得菌株去除能力测定( $n=3$ )

Fig.1 Screening for degradation determination( $n=3$ )

### 2.3 菌株鉴定结果

菌株 w-1 和 sh-0 的基因片段长度依次为 536、588 bp。经 Blast 比对分析,与 w-1 的基因片段相似度超过 99% 为 *Metschnikowia bicuspidata*(二尖梅奇酵母),与 sh-0 的基因片段相似度超过 99% 为 *Meyerozyma guilliermondii*(季也蒙毕赤酵母)。

将菌株 w-1、sh-0 基因片段在 Blast 上查询,并选取相似度较高菌株的基因序列,并下载序列绘制系统发育树结果如图 3 所示。

由图 3 可知,菌株 w-1 可能为 *Metschnikowia bicuspidata*(二尖梅奇酵母)、菌株 sh-0 可能为 *Meyerozyma guilliermondii*(季也蒙毕赤酵母)。

### 2.4 菌株对尾水处理的正交优化

研究首先对菌株二尖梅奇酵母菌培养进行了单因素优化,基于其单因素条件优化结果(最佳温度 25 °C、最佳接种量 5%、最佳转速 150 r/min)进行正交实验的设计(详见表 1),正交优化结果如表 2 所示。表 2 正交实验结果表明二尖梅奇酵母菌的  $COD_{Mn}$  去除率最优组合为  $A_2B_3C_1$ ,即当温度为 25 °C、接种量为 8%、转速为 100 r/min 时,  $COD_{Mn}$

去除率达到最高值,为 82.92%。根据极差判断菌株的影响主次为温度 > 接种量 > 转速。温度为影响菌株处理尾水最重要的因素。通过极差分析结果表明正交实验的最优水平为  $A_2B_3C_3$ 。因此研究对这 2 个组合进行了验证实验,  $A_2B_3C_3$  和  $A_2B_3C_1$  两组结果发现其  $COD_{Mn}$  去除率分别为 81.12% 和 82.92%,验证组 < 实验组,因此选择  $A_2B_3C_1$  即温度为 25 °C、接种量为 8%、转速 100 r/min 为最佳培养条件。

基于对季也蒙毕赤酵母菌单因素条件的优化结果(最佳温度 28 °C、最佳接种量 5%、最佳转速 150 r/min)进行正交实验的设计(详见表 3),正交优化结果如表 4 所示。由表 4 正交实验结果表明季也蒙毕赤酵母菌菌株的  $COD_{Mn}$  去除率最优组合为  $A_2B_2C_3$ ,即温度为 28 °C、接种量为 5%、转速为 200 r/min,  $COD_{Mn}$  去除率达到最高值为 84.11%。根据极差判断菌株的影响主次为温度 > 接种量 > 转速。温度为影响菌株处理尾水最重要的因素。通过极差分析结果表明正交实验的最优水平为  $A_2B_3C_2$ 。因此研究对这 2 个组合进行了验证实验,  $A_2B_3C_2$  和  $A_2B_2C_3$  两组结果发现其  $COD_{Mn}$  去除率分别为 80.37% 和 84.11%,验证组 < 实验组,因此选择  $A_2B_2C_3$  即温度为 28 °C、接种量为 5%、转速 200 r/min 为最佳培养条件。

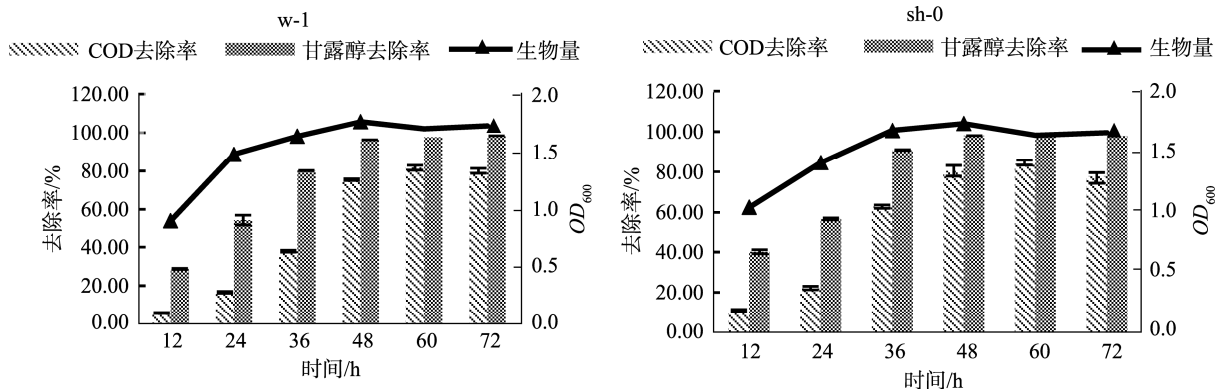
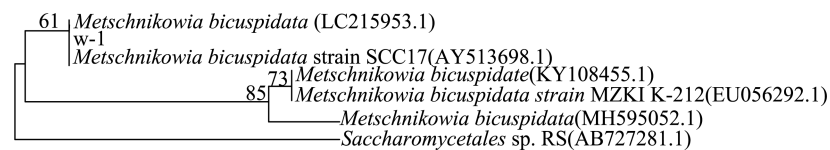


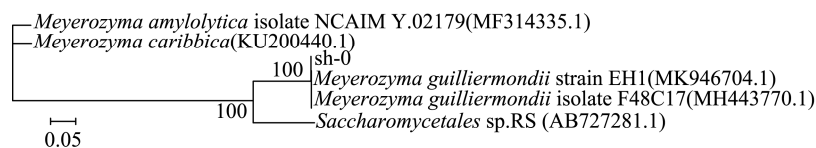
图2 w-1 和 sh-0 菌株生物量及海带尾水各指标的变化( $n=3$ )

Fig.2 Changes in the biomass of w-1 and sh-0 strains and various indicators of kelp tail water( $n=3$ )

A: w-1



B: sh-0



注: A: w-1; B: sh-0。

图3 菌株 w-1 和 sh-0 的系统发育树

Fig.3 Phylogenetic tree of strains w-1 and sh-0

表 1 二尖梅奇酵母菌对尾水处理的正交因素水平表  
Table 1 Factor level table of strain *Metschnikowia bicuspidata*

水平	A 温度/°C	B 接种量/%	C 转速/(r/min)
1	22	2	100
2	25	5	150
3	28	8	200

表 2 二尖梅奇酵母菌株对尾水处理的正交优化实验结果  
Table 2 Results of orthogonal experimental of strain *Metschnikowia bicuspidata*

实验号	A	B	C	$COD_{Mn}$ 去除率/%
1	1	1	1	50.56±2.70
2	1	2	2	55.96±0.90
3	1	3	3	76.63±1.80
4	2	1	2	75.73±0.90
5	2	2	3	77.53±2.70
6	2	3	1	82.92±0.90
7	3	1	3	47.87±1.80
8	3	2	1	46.97±0.90
9	3	3	2	59.55±2.70
$k_1$	0.610	0.581	0.602	
$k_2$	0.787	0.602	0.637	
$k_3$	0.515	0.730	0.673	
优水平	$A_2$	$B_3$	$C_3$	81.12±0.90
优组合	$A_2B_3C_1$			82.92±0.90
极差	0.272	0.149	0.071	

表 3 季也蒙毕赤酵母菌对尾水处理的正交因素水平表  
Table 3 Factor level table of strain *Meyerozyma guilliermondii*

水平	A 温度/°C	B 接种量/%	C 转速/(r/min)
1	26	2	100
2	28	5	150
3	30	8	200

2 株菌株正交实验中根据极差判断菌株的影响主次均为温度 > 接种量 > 转速, 2 次实验组均大于验证组, 并且对比分析实验组及验证组的差异均为转速及接种量, 温度并无变化, 分析其原因可能是转速及接种量对菌株作用不显著, 导致实验结果差异不显著, 也有可能为实验组及验证组所用的尾水批次不同导致的系统差异。

表 4 季也蒙毕赤酵母菌株对尾水处理的正交优化实验结果  
Table 4 Results of orthogonal experimental of strain *Meyerozyma guilliermondii*

实验号	A	B	C	$COD_{Mn}$ 去除率/%
1	1	1	1	78.50±0.93
2	1	2	2	80.37±3.74
3	1	3	3	79.44±1.87
4	2	1	2	81.31±1.87
5	2	2	3	84.11±0.93
6	2	3	1	80.37±0.93
7	3	1	3	72.90±1.87
8	3	2	1	73.83±0.93
9	3	3	2	74.77±0.93
$k_1$	0.751	0.746	0.755	
$k_2$	0.827	0.790	0.805	
$k_3$	0.763	0.805	0.780	
优水平	$A_2$	$B_3$	$C_2$	80.37±1.87
优组合	$A_2B_2C_3$			84.11±0.93
极差	0.081	0.018	0.012	

### 2.5 混合菌株接种量对海带盐渍加工尾水 $COD_{Mn}$ 去除率的影响

为了加快菌株繁殖的速度, 研究将 2 株混合菌株培养, 混合菌株对海带加工尾水培养基中  $COD_{Mn}$  的去效率如图 4 所示。由图 4 可看出, 当 2 株混合菌株(二尖梅奇酵母菌、季也蒙毕赤酵母菌)的菌液接种量为 3% 时, 对海带尾水培养基中  $COD_{Mn}$  的去效率最高, 为 86.49%, 所以选择接种量为 3% 作为混合菌株组合的后续培养条件。

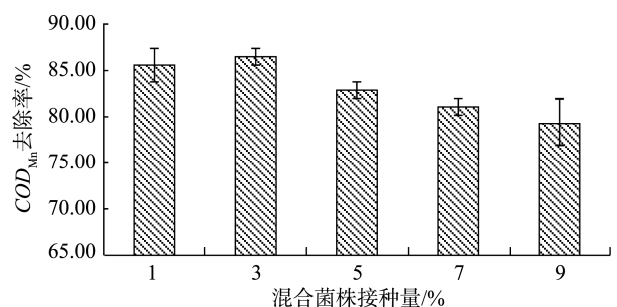


图 4 海带尾水  $COD_{Mn}$  去除率随混合菌株接种量的变化( $n=3$ )  
Fig.4  $COD_{Mn}$  removal rate of kelp tail water varies with the inoculation amount of mixed strains( $n=3$ )

2株混合菌株对海带加工尾水培养基中 $COD_{Mn}$ 去除率如图5所示。由图5可看出,对接种2株混合菌株(二尖梅奇酵母菌、季也蒙毕赤酵母菌)的尾水培养基培养72h的 $COD_{Mn}$ 去除率结果发现,在混合菌株培养60h时,海带尾水培养基中 $COD_{Mn}$ 的去除率最高,为85.98%,所以选择培养时间为60h作为混合菌株组合的后续培养条件。

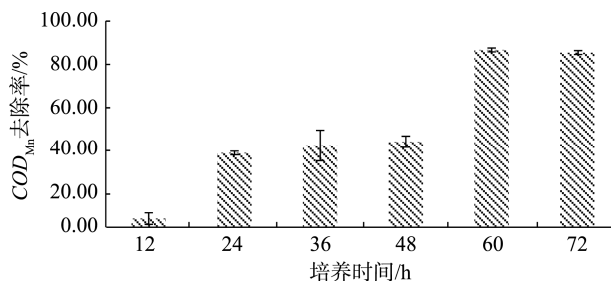


图5  $COD_{Mn}$ 去除率随培养时间的变化情况( $n=3$ )

Fig.5 Change of  $COD_{Mn}$  removal rate with cultivation time( $n=3$ )

本研究通过对比各菌株应用于海带废水的 $COD_{Mn}$ 去除率,分析将2种菌株混合应用在海带尾水中 $COD_{Mn}$ 去除率发现,尽管混合菌株不能将尾水培养时间缩短,也不能将尾水培养基的 $COD_{Mn}$ 去除率明显提高,但是经过优化混合菌株接种量及培养时间,发现当海带尾水培养基的 $COD_{Mn}$ 去除率最大时,混合菌株的接种量为3%,而在各菌株对尾水处理的正交优化实验中发现,海带尾水中 $COD_{Mn}$ 去除率最大时,菌株接种量为5%,因此混合菌株的应用可以降低菌株接种量,降低工业处理尾水的成本。

## 2.6 生物处理前后盐渍海带尾水各指标变化

将混合菌株扩繁后转移至山东企业海带盐渍加工尾水处理池中,盐渍海带尾水生物处理前后的各指标变化情况如表5所示,盐渍海带尾水的 $COD_{Mn}$ 值从2430.00 mg/L降低至435.20 mg/L,去除率为81.35%; $BOD_5$ 值从2222.00 mg/L降低至28.91 mg/L,去除率为98.70%;盐渍海带尾水经生物处理后通过絮凝沉淀处理,絮凝沉淀后的 $COD_{Mn}$ 和 $BOD_5$ 含量均符合城市管网排放标准。

表5 盐渍海带尾水生物处理前后各指标的变化

Table 5 Changes of various indicators of salted kelp waste water before and after biological treatment

盐渍海带尾水	$COD_{Mn}/(mg/L)$	$BOD_5/(mg/L)$
生物处理前	2430.00±118.00	2222.00±189
生物处理后	453.20±8.00	28.91±0.99
去除率/%	81.35	98.70

## 3 结论与讨论

海藻养殖和加工业为劳动密集型初加工行业,长期以

来海藻加工企业拉动了地方的人员就业,承担着地方海域特色海藻经济的重任。作为海藻盐渍加工尾水处理的行业难题一直限制了行业发展。生物处理废水排放技术已经应用在多个行业,但大部分仅限于淡水废水的处理。

本研究对海带加工高盐尾水 $COD$ 均有去除作用的菌株w-1、sh-0经鉴定为*Metschnikowia bicuspidata*(二尖梅奇酵母)和*Meyerozyma guilliermondii*(季也蒙毕赤酵母)。酵母菌株因其代谢旺盛、繁殖快、耐盐以及耐酸等特点,常被应用于处理食品工业废水,达到净化啤酒废水、味精废水、蔗糖废水等目的<sup>[33-34]</sup>。励飞等<sup>[35]</sup>筛选得到一株耐高温、耐酸且传代稳定的热带假丝酵母菌,并且有一定的 $COD$ 去除效果。黑亮等<sup>[36]</sup>从高浓度味精废水中筛选出的一组酵母菌混合菌群,将其应用于味精废水的处理,可使 $COD$ 去除率稳定在80%以上。杨清香等<sup>[37]</sup>通过选择性富集培养基筛选出2种酵母菌,分别为假丝酵母和粘红酵母,将混合菌株应用于味精离交尾液中,可使 $COD$ 去除率达到84.50%。郑少奎等<sup>[38]</sup>将5种酵母菌处理色拉油加工废水,可有效降低尾水中 $COD$ 含量, $COD$ 去除率高达94%。还有研究者从油区土壤中筛选出热带假丝酵母和解脂假丝酵母等9种假丝酵母,可应用于高浓度的食品加工、制糖、制油、酒精、养殖等有机废水的处理过程中<sup>[39-40]</sup>。虽然目前酵母菌的尾水处理技术已经十分成熟,已经在多个行业中应用推广,但煤炭尾水、垃圾渗滤液、味精尾水、色拉油尾水及酒精尾水等有机尾水均属于淡水废水,酵母菌在高盐尾水中的应用较少。

二尖梅奇酵母菌的正交实验结果表明菌株最佳培养条件为温度25℃、接种量为8%、转速100 r/min, $COD_{Mn}$ 去除率为82.92%;季也蒙毕赤酵母菌的正交实验结果表明菌株最佳培养条件为温度28℃、接种量为5%、转速为200 r/min, $COD_{Mn}$ 去除率达到最高值为84.11%;2种菌株混合对尾水处理优化条件为混合菌株最佳接种量为3%、最佳培养时间60h, $COD_{Mn}$ 去除率为85.98%。生物处理可将盐渍海带尾水中的 $COD_{Mn}$ 降低80%以上、 $BOD_5$ 降低98%以上。周岩枫等<sup>[41]</sup>通过混凝预处理、厌氧处理、好氧处理等生物法处理制药废水,可将其废水中 $COD$ 含量去除93%。于霞等<sup>[42-44]</sup>证明混合菌株比单一菌株的 $COD$ 去除率更高,降解效果更好。微生物间具有促进和协同作用,混合菌株的应用可增强其在混合污染物复杂体系内利用营养物的能力。本研究中混合菌株的应用虽未明显提高其 $COD$ 去除率,但经过条件优化,可降低菌株接种量,同样达到尾水处理效果。另外,目前文献中报道的用于处理有机尾水的酵母菌多数为假丝酵母,且处理的尾水均为淡水尾水,而本研究首次将二尖梅奇酵母与季也蒙毕赤酵母混合应用于盐渍海带尾水处理过程中,可为后续酵母菌处理高盐尾水提供依据。经生物处理后盐渍海带尾水通过絮凝沉淀处理,絮凝沉淀后的 $COD_{Mn}$ 和 $BOD_5$ 含量均符合城市管网排放标准。

## 参考文献

- [1] 联合国粮食及农业组织. 2018 世界渔业和水产养殖状况报告[M]. 罗马: 联合国粮食及农业组织, 2018.  
Food and Agriculture Organization of the United Nations. State of World Fisheries and Aquaculture report 2018 [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.
- [2] 曹万云. 荣成海带养殖时空变化与适宜性评价研究[D]. 烟台: 鲁东大学, 2019.  
CAO WY. Study on spatiotemporal variation and suitability evaluation of kelp culture in Rongcheng [D]. Yantai: Ludong University, 2019.
- [3] 张勇, 万金泉. 工业废水污染控制方法的新进展[J]. 工业水处理, 2001, 1(1): 9-12.  
ZHANG Y, WAN JQ. New progress of industrial wastewater pollution control methods [J]. Ind Water Treat, 2001, 1(1): 9-12.
- [4] 郭文倩, 宋运学, 杜海声, 等. 常用焦化废水中氨氮去除方法的比较[J]. 工业用水与废水, 2007, (1): 64-67.  
GUO WQ, SONG YX, DU HS, *et al.* Comparison of ammonia nitrogen removal methods in coking wastewater [J]. Ind Water Wastewater, 2007, (1): 64-67.
- [5] 布和. 废水中悬浮胶态固体物的交流电絮凝方法[J]. 环境工程学报, 1983, (12): 78-83.  
BU H. Method of AC flocculation for suspended colloidal solids in wastewater [J]. J Environ Eng, 1983, (12): 78-83.
- [6] 李成成. 工业废水的处理方法探讨[J]. 中国化工贸易, 2014, (35): 125-125.  
LI CC. Discussion on treatment methods of industrial wastewater [J]. Chin Chem Trade, 2014, (35): 125-125.
- [7] 胡立阁. 絮凝-氧化-吸附工艺处理海洋褐藻胶生产废水研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004.  
HU LG. Study on the treatment of marine alginate wastewater by flocculation-oxidation-adsorption process [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2004.
- [8] 罗咏. 絮凝沉淀—吸附工艺处理钒冶炼重金属/氨氮复合废水的研究[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2013.  
LUO Y. Study on the treatment of heavy metal/ammonia nitrogen composite wastewater from vanadium smelting by flocculation sedimentation-adsorption process [D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2013.
- [9] 李薇, 展侠, 李继定, 等. 吸附氧化/纳滤/吸附组合工艺处理丙烯腈工业废水[J]. 环境工程学报, 2013, 7(4): 1290-1294.  
LI W, ZHAN X, LI JD, *et al.* Adsorption oxidation/nanofiltration/adsorption combined process for treatment of acrylonitrile industrial wastewater [J]. J Environ Eng, 2013, 7(4): 1290-1294.
- [10] 薛明德, 于品早, 张国防, 等. 膜技术处理褐藻酸钠废水[J]. 膜科学与技术, 2003, 23(4): 47-50.  
XUE MD, YU PZ, ZHANG GF, *et al.* Treatment of sodium alginate wastewater by membrane technology [J]. Membrane Sci Technol, 2003, 23(4): 47-50.
- [11] 夏仙兵, 蔡邦肖, 缪佳, 等. 膜工艺在电镀废水处理工程中的应用[J]. 环境工程学报, 2016, 10(1): 495-502.  
XIA XB, CAI BX, MIAO J, *et al.* Application of membrane technology in electroplating wastewater treatment project [J]. J Environ Eng, 2016, 10(1): 495-502.
- [12] 宋跃飞. 超滤-纳滤集成膜法海水软化工艺的试验研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.  
SONG YF. Experimental study on ultrafiltration-nanofiltration integrated membrane seawater softening process [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.
- [13] 胡杨勇. 工业废水废气的处理方法探讨[J]. 环球市场, 2019, (16): 361.  
HU YY. Discussion on treatment methods of industrial wastewater and waste gas [J]. Global Market, 2019, (16): 361.
- [14] 张姿, 汤兵. 活性污泥系统中微生物菌群及其功能特性的研究进展[J]. 工业水处理, 2015, (3): 5-9.  
ZHANG Z, TANG B. Research progress of microbial flora and its functional characteristics in activated sludge system [J]. Ind Water Treat, 2015, (3): 5-9.
- [15] 朱海霞, 陈林海, 张大伟, 等. 活性污泥微生物菌群研究方法进展[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 314-322.  
ZHU HX, CHEN LH, ZHANG DW, *et al.* Advances in research methods of activated sludge microbial flora [J]. Acta Ecologica Sin, 2007, 27(1): 314-322.
- [16] 李鹏章, 李爱民, 陈博之, 等. 基于活性污泥呼吸速率的化工废水水质评价方法[J]. 化工进展, 2020, 39(6): 2472-2478.  
LI PZ, LI AM, CHEN BZ, *et al.* Chemical wastewater quality evaluation method based on activated sludge respiration rate [J]. Prog Chem Ind, 2020, 39(6): 2472-2478.
- [17] 刘凯. 好氧活性污泥法处理水污染研究[J]. 资源节约与环保, 2020, (6): 97-98.  
LIU K. Study on the treatment of water pollution by aerobic activated sludge [J]. Res Conserv Environ Protect, 2020, (6): 97-98.
- [18] 姜浩, 彭永臻, 李夕耀, 等. 微电极在污水生物处理生物膜微观特性研究中的应用[J]. 北京工业大学学报, 2020, 46(4): 412-420.  
JIANG H, PENG YZ, LI XY, *et al.* Application of microelectrodes in the study of microscopic characteristics of biological membranes in biological wastewater treatment [J]. J Beijing Univ Technol, 2020, 46(4): 412-420.
- [19] 张寒冰, 黄凤莲, 周艳红, 等. 生物膜法处理养殖废水的研究[J]. 生态环境学报, 2005, 14(1): 26-29.  
ZHANG HB, HUANG FL, ZHOU YH, *et al.* Study on the treatment of aquaculture wastewater by biofilm method [J]. J Ecoenviron, 2005, 14(1): 26-29.
- [20] 郝梦影, 杨宇杰, 敬双怡, 等. 厌氧/特异性移动床生物膜反应器处理低碳氮比工业废水脱氮效果优化分析[J]. 环境污染与防治, 2020, 42(4): 437-441, 448.  
HaO MY, YANG YJ, JING SY, *et al.* Optimization analysis of denitrification effect of anaerobic/specific moving bed biofilm reactor for treating industrial wastewater with low carbon to nitrogen ratio [J]. Environ Pollut Control, 2020, 42(4): 437-441, 448.
- [21] 许翔, 许玉东. 海带工业生产废水的处理技术研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2001, 2(1): 77-79.  
XU X, XU YD. Research on treatment technology of kelp industrial production wastewater [J]. Environ Pollut Control Technol Equip, 2001, 2(1): 77-79.
- [22] 刘贤辉, 陈小刚, 李珊珊, 等. 混凝气浮-水解酸化-生物接触氧化工艺处理纤维板生产废水[J]. 中国化工贸易, 2018, 10(26): 99.  
LIU XH, CHEN XG, LI SS, *et al.* Treatment of fiberboard wastewater by coagulation air flotation-hydrolysis acidification-biological contact oxidation process [J]. China Chem Ind Trade, 2018, 10(26): 99.
- [23] 相会强, 刘良军, 胡宇庭. 水解酸化-两段生物接触氧化工艺处理制药废水[J]. 环境科学与技术, 2005, 28(1): 92-93.  
XIANG HQ, LIU LJ, HU YT. Hydrolytic acidification-two-stage biological contact oxidation process for the treatment of pharmaceutical wastewater [J]. Environ Sci Technol, 2005, 28(1): 92-93.
- [24] 李亚峰, 高颖. 气浮-水解酸化-生物接触氧化-气浮工艺处理造纸废水工程实例[J]. 水处理技术, 2014, 40(9): 128-130.  
LI YF, GAO Y. An engineering example of papermaking wastewater



- treatment by air flotation-hydrolysis acidification-biological contact oxidation-air flotation process [J]. *Water Treat Technol*, 2014, 40(9): 128-130.
- [25] 孙美琴, 彭超英. 水解酸化-好氧生物法处理工业废水[J]. *工业水处理*, 2003, 23(5): 16-18.  
SUN MQ, PENG CY. The treatment of industrial wastewater by hydrolytic acidification-aerobic biological method [J]. *Ind Water Treat*, 2003, 23(5): 16-18.
- [26] 李克勋, 近藤和史, 张振家. 高浓度褐藻酸钠生产废水处理工程设计[J]. *城市环境与城市生态*, 2003, 16(2): 65-66.  
LI KX, JIN THS, ZHNAG ZJ. Design of high-concentration sodium alginate production wastewater treatment engineering [J]. *Urban Environ Urban Ecol*, 2003, 16(2): 65-66.
- [27] 侯建革, 王芳, 王丽丽, 等. 布氏乳杆菌产生甘露醇的发酵研究[J]. *河北科技大学学报*, 2010, 31(2): 132-136, 180.  
HOU JG, WANG F, WANG LL, *et al.* Study on fermentation of *Lactobacillus brucei* to produce mannitol [J]. *J Hebei Univ Sci Technol*, 2010, 31(2): 132-136, 180.
- [28] HJ/T 132—2003 高氯废水 化学需氧量的测定 碘化钾碱性高锰酸钾法[S].  
HJ/T 132—2003 High-chlorine wastewater-Determination of chemical oxygen demand-Potassium iodide alkaline potassium permanganate method [S].
- [29] GÜSSOW D, CLACKSON T. Direct clone characterization from plaques and colonies by the polymerase chain reaction [J]. *Nucleic Acids Res*, 1989, 17(10): 4000.
- [30] 姜龙. 褐藻多糖硫酸酯降解酶产酶菌株筛选及其发酵研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2017.  
JIANG L. Screening of brown algae polysaccharide sulfate-degrading enzyme-producing strains and its fermentation research [D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2017.
- [31] 孔蕾, 张晓辉, 郑天伦, 等. 海水常规监测中五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)的测定[J]. *福建分析测试*, 2007, 16(4): 76-78.  
KONG L, ZHANG XH, ZHENG TL, *et al.* Determination of five-day biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>) in routine seawater monitoring [J]. *Fujian Anal Test*, 2007, 16(4): 76-78.
- [32] GB/T 5009.267—2016. 食品安全国家标准食品中碘的测定[S].  
GB/T 5009.267—2016. National food safety standard-Determination of iodine in food [S].
- [33] 陈晓航. 食品工业废水处理中酵母菌的使用分析[J]. *能源与环境*, 2019, (2): 90-91.  
CHEN XH. Analysis of the use of yeasts in food industry wastewater treatment [J]. *Energy Environ*, 2019, (2): 90-91.
- [34] 赵秀文, 纪凤娣, 宋昊, 等. 酵母菌在食品工业废水处理中的应用现状[J]. *中国酿造*, 2016, 35(6): 20-23.  
ZHANG XW, JI FD, SONG H, *et al.* The application status of yeast in food industry wastewater treatment [J]. *China Brew*, 2016, 35(6): 20-23.
- [35] 励飞, 梅雪臣, 缪礼鸿, 等. 一株发酵木薯酒糟的热带假丝酵母菌株的分离及营养分析[J]. *中国酿造*, 2012, 31(7): 62-65.  
LI F, MEI XC, MIAO LH, *et al.* Isolation and nutritional analysis of a *Candida tropicalis* strain fermenting cassava distillers grains [J]. *China Brew*, 2012, 31(7): 62-65.
- [36] 黑亮, 杨清香, 杨敏, 等. 利用酵母菌处理高浓度味精废水的连续小试[J]. *环境科学*, 2002, 23(4): 62-66.  
HEI L, YANG QX, YANG M, *et al.* Continuous trial of using yeast to treat high-concentration monosodium glutamate wastewater [J]. *Environ Sci*, 2002, 23(4): 62-66.
- [37] 杨清香, 杨敏, 郑少奎, 等. 酵母菌对味精生产中离交尾液的处理初探[J]. *环境科学*, 2001, 22(6): 44-48.  
YANG QX, YANG M, ZHENG SK, *et al.* Preliminary study on yeast's treatment of ionized tail liquid in MSG production [J]. *Environ Sci*, 2001, 22(6): 44-48.
- [38] 郑少奎, 杨敏, 刘芳, 等. 利用酵母菌处理色拉油加工废水连续小试初探[J]. *中国环境科学*, 2001, 21(4): 347-350.  
ZHENG SK, YANG M, LIU F, *et al.* Preliminary study on the treatment of salad oil processing wastewater by yeast [J]. *Chin Environ Sci*, 2001, 21(4): 347-350.
- [39] CHIGUSA K, HASEGAWA T, YAMAMOTO N, *et al.* Treatment of wastewater from oil manufacturing plant by yeasts [J]. *Water Sci Technol*, 1996, 34(11): 51-58.
- [40] 李雪玲. 污水处理系统中酵母菌的种属分布及产酶特征研究[D]. 新乡: 河南师范大学, 2013.  
LI XL. Study on the species distribution and enzyme production characteristics of yeast in sewage treatment system [D]. Xinxiang: Henan Normal University, 2013.
- [41] 周岩枫, 张福贵, 刘继亮. 关于制药工业生产废水特点分析及其处理方式的选择[J]. *黑龙江环境通报*, 2009, 33(2): 59-61, 89.  
ZHOU YF, ZHANG FG, LIU JL. Analysis of the characteristics of wastewater from the pharmaceutical industry and the choice of treatment methods [J]. *Heilongjiang Environ Bull*, 2009, 33(2): 59-61, 89.
- [42] 于霞. 煤化工废水COD降解菌筛选及生物强化研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2015.  
YU X. Screening of COD degrading bacteria in coal chemical wastewater and bioaugmentation research [D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2015.
- [43] 于霞, 宋文军, 李霏, 等. 煤化工废水 COD 高效降解菌降解性能研究[J]. *浙江农业科学*, 2015, 56(6): 911-915.  
YU X, SONG WJ, LI F, *et al.* Study on the degradation performance of COD efficient degrading bacteria in coal chemical wastewater [J]. *Zhejiang Agric Sci*, 2015, 56(6): 911-915.
- [44] 邱忠平, 杨立中, 刘丹. 垃圾渗滤液 COD 降解菌株的筛选及其降解特性初探[J]. *四川环境*, 2007, (1): 9-12, 17.  
QIU ZP, YANG LZ, LIU D. Screening of COD Degrading strains in landfill leachate and preliminary study on its degradation characteristics [J]. *Sichuan Environ*, 2007, (1): 9-12, 17.

(责任编辑: 于梦娇)

## 作者简介



江雪莲, 硕士, 主要研究方向为水生生物资源利用。  
E-mail: 996086127.qq.com



汪秋宽, 教授, 主要研究方向为水生生物资源利用。  
E-mail: wqk320@dlou.edu.cn