



China Agriculture  
Research System  
现代农业产业技术体系

藻类产业技术体系  
(CARS-50)

---

## 2021-2022 年荣成海带灾害调查报告（二期）

国家藻类产业技术体系

2022 年 7 月 13 日

---

藻类产业技术研发中心

地址：中国青岛市南海路七号 邮编：266071

Add: 7 Nanhai Road, Qingdao 266071, China

电话(Tel): +86-532-82893661(单)

+86-532-82898831(逢)

E-mail: shantifeng@qdio.ac.cn



## 目 录

1.荣成地区 2021-2022 年海带生产整体情况 .....	3
2.代表生产企业海带生长情况.....	4
3.荣成代表海区海水环境因子变化情况.....	7
4.荣成地区 2 月-6 月份水温、盐度、风向和海流模拟情况 .....	9
5.高光照对海带光合作用过程危害研究进展.....	12
7.生产补救措施开展的效果.....	16
8.荣成海带灾害爆发综合原因分析、遗留问题和展望.....	19
报告撰写人.....	22
致谢.....	22
资助.....	22

## 1. 荣成地区 2021-2022 年海带生产整体情况

荣成是我国重要的海带产区，海带养殖年产量 170 万吨（鲜重）。2021-2022 年荣成海带灾害由北向南，依次从鸡鸣岛附近、荣成湾、马道湾、俚岛湾、爱伦湾、桑沟湾、石岛湾、人和湾逐渐蔓延，具体情况如下：2021 年 11 月中旬，荣成各海域陆续开始海带夹苗工作；受渤海湾发生的赤潮影响，11 月下旬，荣成北部海区（桑沟湾以北）开始出现水色异常，期间海带生长缓慢；12 月中旬以后，海带开始出现白烂、畸形、烂梢等；2021 年 12 月下旬至 2022 年 1 月，生产单位多批次重新夹苗，但海带仍生长缓慢且出现畸形、烂梢等现象。2022 年 1 月底之前，荣成南部海区（桑沟湾以南）的海带生长正常，此后海带也开始出现畸形、烂梢等；2 月底，荣成全市海域的海带全面受灾，给荣成乃至全省、全国海带产业带来巨大影响。



图 1 海带灾害扩散示意图

据统计，2022 年度荣成市海带几乎绝产，预计直接经济损失价值近 20 亿元人民币；受灾后，养殖企业和养殖户投入了大量的抗灾成本，造成的间接损失约 4.7 亿元人民币。与此同时海带及其加工产品的价格随之上涨，截止 2022 年 6 月，

海带鲜菜价格较 2020 年提高 3-4 倍；盐渍海带较 2020 年提高 2-3 倍；干菜较 2020 年提高 1.7-2.4 倍。受荣成海带灾害影响，2022 年鲍养殖饵料主要使用了配方饲料和龙须菜，其中鲍配方饲料价格 10000-11000 元/吨，比去年增长 10%-20%，是今年鲜海带价格的 3-4 倍，造成了鲍养殖成本显著增加。

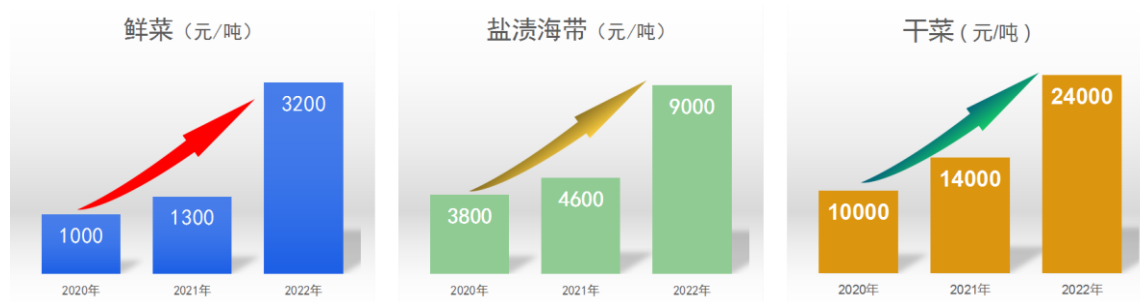


图 2 海带鲜菜、盐渍海带和干菜 2020 年-2022 年的价格变化

## 2.代表生产企业海带生长情况

**荣成市港西镇新状养殖场：**养殖区位于荣成北部鸡鸣岛海域。2 月 10 日现场调查显示，2021 年 11 月-12 月正常生产季夹苗的低区和中区海带溃烂严重，大部分长度只有 10-20cm，残留的海带基部变形，叶片发黄、质地脆；高区正常生产季夹苗的海带已全部溃烂脱落，养殖绳上仅有少量海带柄部和假根，而 2022 年 1 月初补夹的海带生长部变形、边缘溃烂，藻体中下部白烂，长度仅 20-40cm。之后海带继续溃烂，最终未能收获。

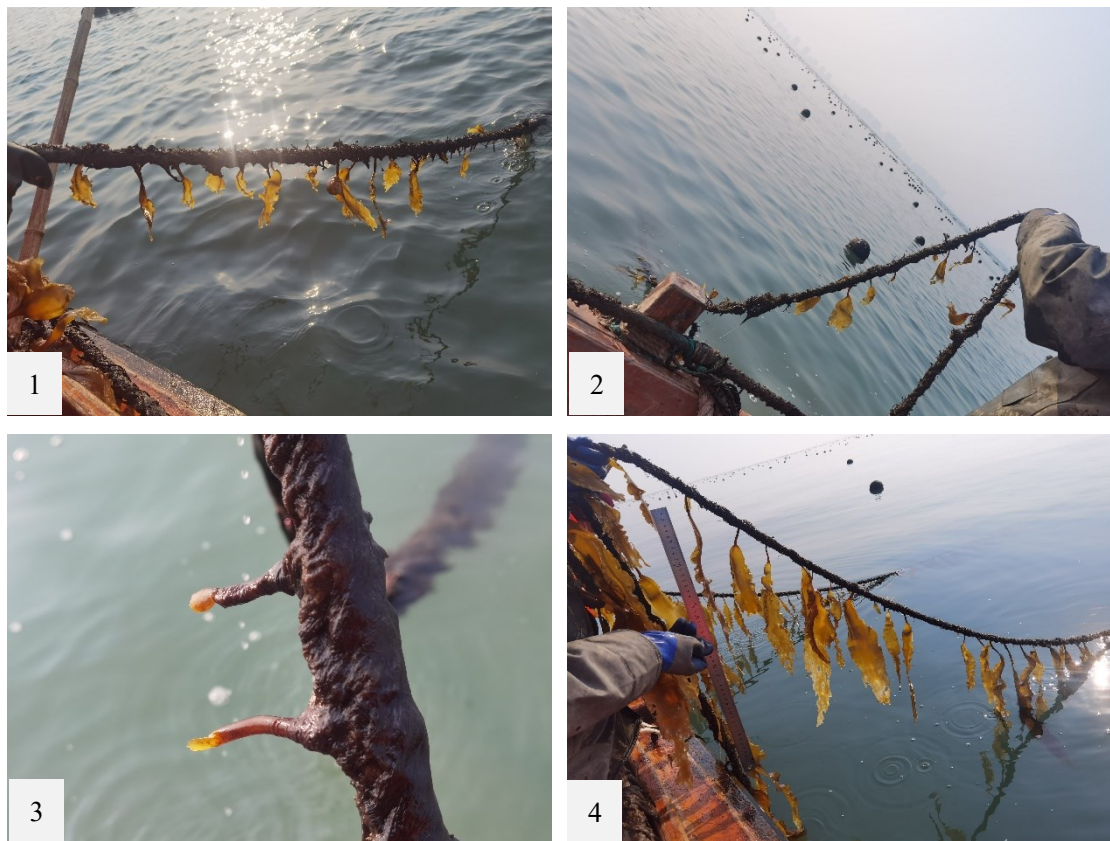


图3 新状养殖场海带生长情况（1-3. 2021年11月-12月正常生产季夹苗的海带，1.低区，2.中区，3.高区；4. 2022年1月初补夹的海带。2022年2月10日拍摄）

**荣成泉海水产有限责任公司：**养殖区位于楮岛海域。2月9日现场调查显示，2021年11月中旬夹苗的南海养殖低区和中区海带生长部变形，边缘卷曲，叶片色泽浅、黄，中下部白烂，剩余藻体长度约1-1.5m；12月初夹苗的高区海带生长部变形严重，藻体大部分溃烂脱落，剩余长度约0.3-0.6m，有些仅余不足10cm。2021年11月中下旬夹苗的北海养殖区海带生长部同样变形严重，藻体边缘和中下部白烂，剩余长度约0.5-1.3m。此后海带病烂不断加剧，2月下旬开始抢收，4月初结束，盐渍海带产量仅为正常年份的1.5%，且品质很差。



图4 泉海水产有限责任公司海带生长情况(1.低区, 2021年11月16日夹苗; 2.中区, 2021年11月18日夹苗; 3.高区, 2021年12月4日夹苗; 2022年2月10日拍摄。4.收获的海带, 企业提供, 2022年3月9日拍摄)

**镆鄒岛海域养殖户:** 2月10日现场调查显示, 2021年11月20日前后夹苗的低区和中区海带长度约 1.0-1.7m, 生长部变形、边缘卷曲或溃烂, 梢部白烂; 2021年11月下旬和12月初夹苗的高区海带长度 0.5-1m, 生长部变形和边缘溃烂程度加重、部分有撕裂, 藻体中下部白烂。此后海带溃烂速度加快, 部分藻体因生长部撕裂而脱落, 于2月下旬开始抢收, 干海带产量仅为正常年份的2%。



图5 镆镆岛海区海带生长情况 (1.低区, 2021年11月17日夹苗; 2.中区, 2021年11月22日夹苗; 3.高区, 2021年11月23日夹苗; 4.高区, 2021年12月5日夹苗。2022年2月10日拍摄。)

### 3. 荣成代表海区海水环境因子变化情况

#### (1) 调查海区营养盐成分分析

2022年2月10日、23日和5月11日所采集的海水样品中溶解无机氮(DIN)、活性磷酸盐(DIP)、活性硅酸盐(DISI)进行了调查分析,结果见图6-10。一般认为,海区DIN含量 $\geq 0.2$  mg/L属于肥区,含量0.1-0.2mg/L属于中肥区,含量 $< 0.05$ mg/L属于瘦区;海区DIP含量 $< 0.004$  mg/L时,海带生长受到影响;海区氮磷比(N/P) $> 16:1$ ,海带生长主要受活性磷酸盐限制;海区硅磷比(Si/P) $< 16$ 且硅氮比(Si/N) $< 1$ 时,海带生长主要受活性硅酸盐限制。

2022年2月、5月大部分调查海区中 DIN 含量处于中肥区和肥区水平；大部分调查海区 DIP 含量低于 0.004mg/L；全部调查海区 N/P 比值 >16:1 且 Si/P 比值 >16:1。因此，研究海区 DIN 和 DISi 含量水平不会对海带生长造成限制，而 DIP 含量较低和氮磷比值偏大是影响海带生长的主要限制因素。

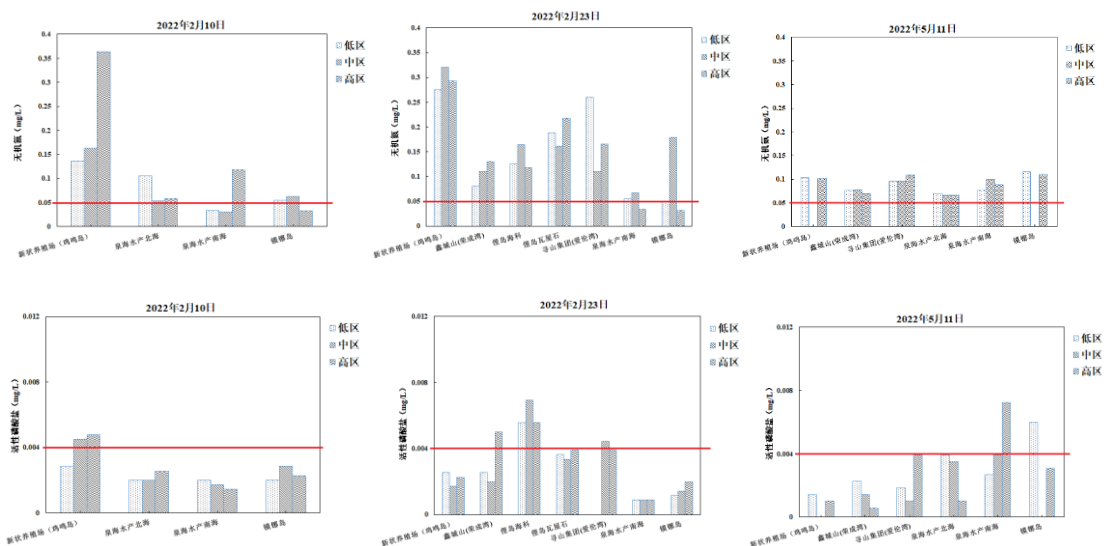


图 6 调查海区无机氮和活性磷酸盐含量

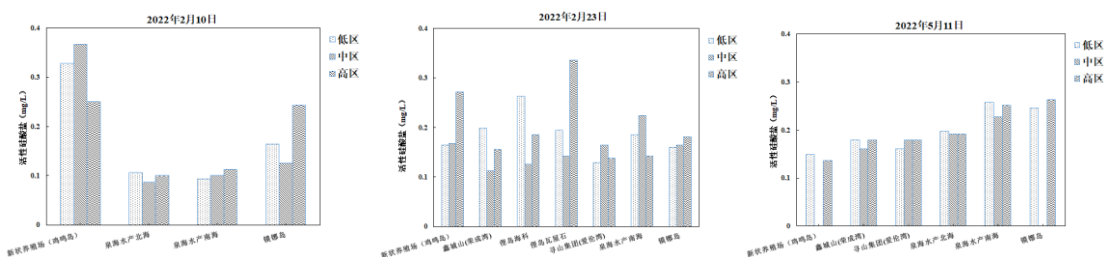


图 7 调查海区活性硅酸盐含量

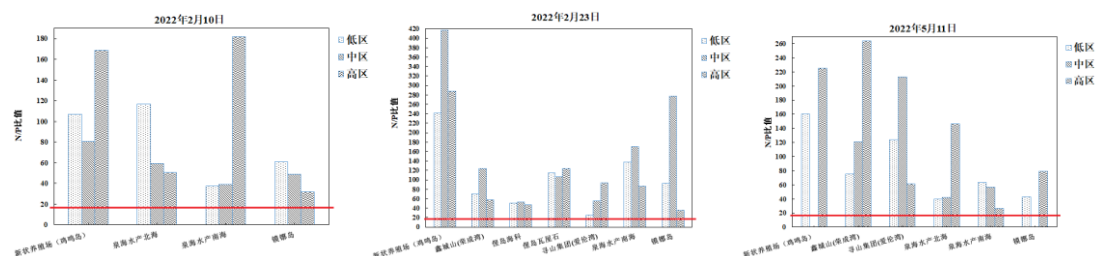


图 8 调查海区氮磷比值



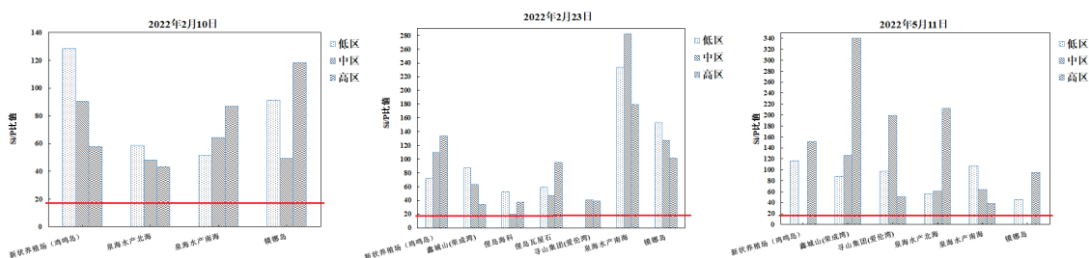


图9 调查海区硅磷比值

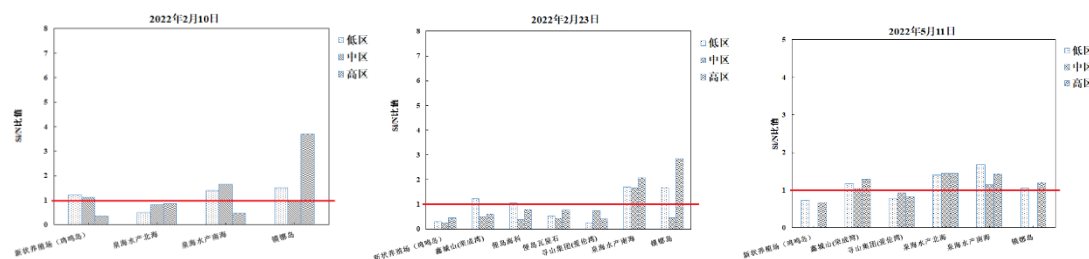


图10 调查海区硅、氮比值

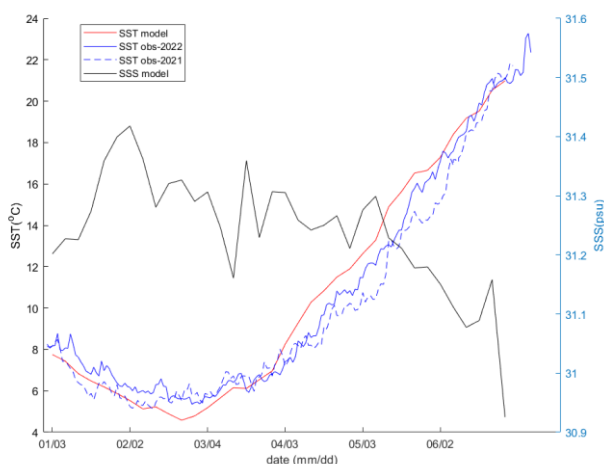
## (2)调查海区海水环境因子变化情况

各调查海区 DIN 含量差别相对较大, 5 月新状养殖场、鑫城山和寻山集团海区 DIN 含量低于 1 月 (第一期数据) 和 2 月 (包括 2 月 10 日和 23 日数据); 各月份泉海水产北海和南海海区 DIN 含量相对稳定。对于 DIP, 大部分调查海区 DIP 含量处于较低水平 (低于 0.004 mg/L), 且各海区氮磷比均大于 16:1; 今年以来, DIP 含量较低和氮磷比值偏大一直是影响海带生长的主要限制因素。对于 DISi, 新状养殖场海区 DISi 含量呈降低趋势, 泉海水产海区 DISi 含量呈上升趋势, 鑫城山、寻山集团和镆镲岛海区 DISi 含量较稳定; 整体而言, 所调查海区 DISi 含量范围为 0.09-0.37 mg/L, 硅磷比均大于 16:1, 所以 DISi 含量不会对海带生长造成较大影响。

## 4.荣成地区 2 月-6 月份水温、盐度、风向和海流模拟情况

根据荣成海域卫星观测的海表面温度和模式模拟的对比 (图 11), 可以看到 2-6 月荣成海域的海表面温度变化主要受季节信号影响, 温度 3 月初最低, 3 月

到6月逐渐升高。模式模拟的海表面温度和观测基本吻合，4月到6月初模拟的温度较模式略高，总体误差在2°C以内，表明模式较好的模拟了荣成海域的温度变化趋势。与去年同期相比，温度相差不大，4月到6月海温略高。模式模拟的盐度在5月份以前在31.2-31.4之间变化。5月份以后，盐度开始显著下降，可能和降水和径流的增大有关。



**图 11** 卫星观测及模式模拟的荣成海域(120°E-124°E, 36.5°N-38°N)的海表面温度 (SST) 对比 (红色模式, 蓝色卫星观测, 虚线为 2021 年卫星观测, 左轴)。模式模拟的海表面盐度 (黑色实线, 右轴)

根据渤海和黄海海域月平均风场的变化情况 (图 12), 这一海域的风场主要受季风控制, 1-3 月偏北风, 4 月处于季风转换期, 黄海中心有一显著的反气旋式环流。5 月以后以偏南季风为主。风场变化的水平尺度较大, 整个海域风场相对一致。

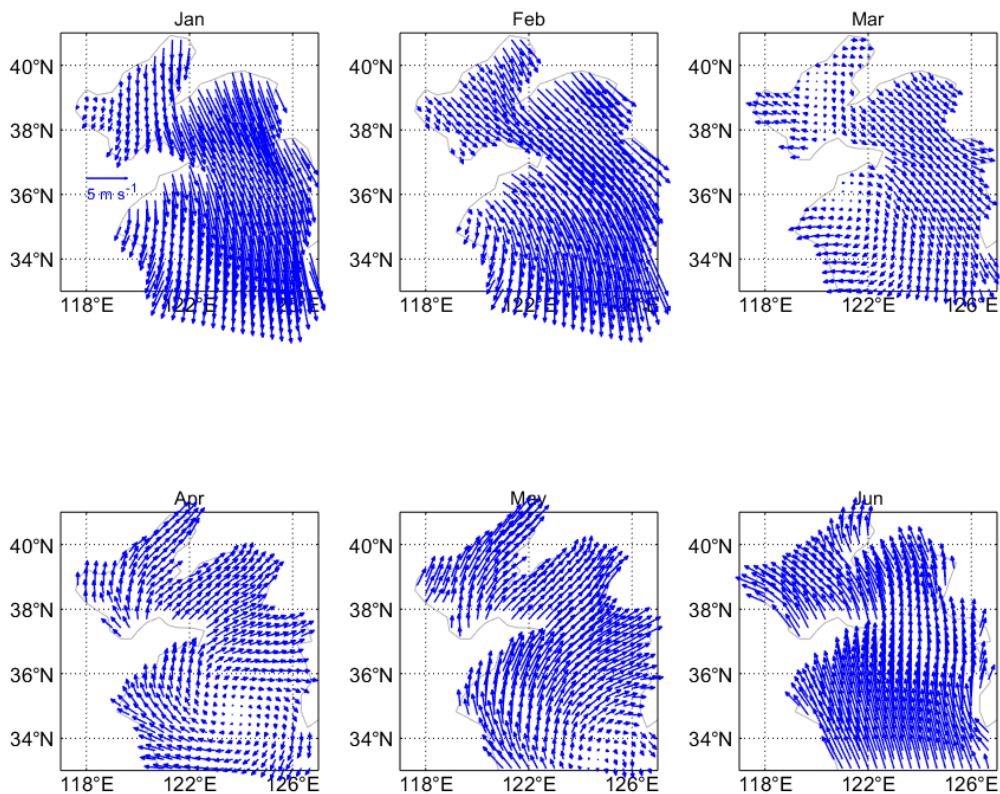


图 12 2022 年 1-6 月渤海和黄海 10m 风场，数据来自于 ERA5 数据集

通过模拟的 2022 年月平均的海表面流场（图 12），可以看到海表面流场主要受风场控制，冬季（1-2 月）在北风的控制下，海流主要以南向为主。春季（3-5 月）处于季节转换期，流场逐渐转变方向，6 月份开始，受夏季风影响，海表面流场逐渐转为北向流。

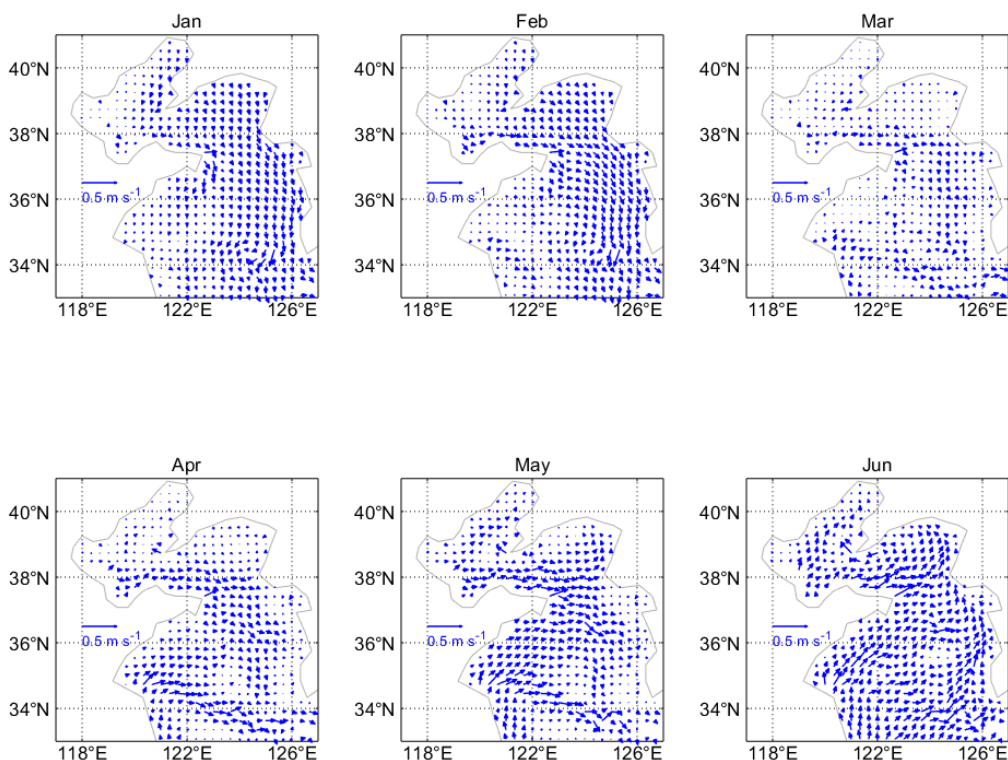


图 13 模拟的 2022 年 1-6 月渤海和黄海海表面流场

## 5. 高光照对海带光合作用过程危害研究进展

海带光合捕光色素蛋白复合体由叶绿素 a/c-岩藻黄素-叶绿素蛋白复合物 (FCP) 构成, 这使其对自然海区变化的太阳光辐射具有生理适应的“弹性”。在弱光条件下, 可以最大限度地吸收蓝光和绿光, 而在瞬时强光条件下, 可对过剩能量吸收进行有效耗散。岩藻黄素是容易被氧化失活的还原性分子, 因此, 持续强光照对海带捕光色素复合体可造成较严重伤害。研究表明海带幼苗可较长时间耐受  $700-900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  强光照, 在海区栽培现场条件下, 波浪引起的藻体摆动及藻体间相互遮挡等效应, 可较大幅度提升藻体耐受强光能力。另一方面, 海带抗氧化酶活性及相关基因在强光胁迫条件下可上调,  $\beta$ -胡萝卜素合成增加,

这是海带应对强光胁迫的重要生理机制之一。海水营养盐对光系统修复及抗氧化能力维持具有重要作用。在水流大和波浪丰富的海区，海水交换充分，营养供应充足，海带接受光照强度处于变动状态，海带生长通常较好；当栽培海区长时间水流不畅，波浪较小，水质过于清澈时，海带持续遭受强光辐射，将导致其光系统损伤，并最终引发病烂。

## 6.环境微生物调查结果

2021年12月，对荣成俚岛海域病烂海带表面微生物进行了分析，结果显示，与2018年相比，*Pseudoalteromonas* (假交替单胞菌属)、*Neptunomonas* (海神单胞菌属)和 *Cellulophaga* (噬纤维素菌属)的比例增加，这些微生物具有较强的褐藻酸降解活性，同时具有纤维素和有机物降解活性，可能加剧了海带的病烂。

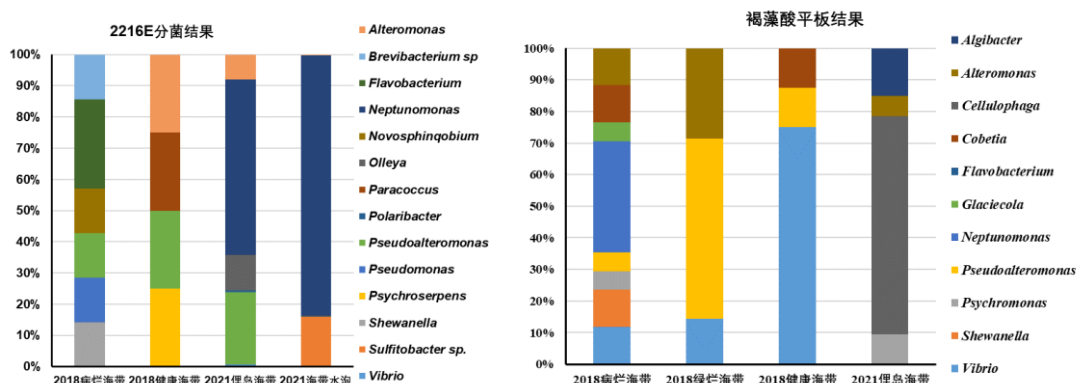


图 14 2021 年荣成俚岛海域可培养微生物分析

2022年2月，对荣成北、中、南三个海带栽培区的海水和病烂海带进行了微生物组学分析和褐藻酸降解菌分离鉴定。分析结果显示，水体菌群  $\alpha$  多样性指数从北向南递减，北部鸡鸣岛海域的菌群种类数和相对密度最高，且甲藻藻华相关细菌和潜在有害细菌丰度增加，表明海域菌群发生显著变化，与赤潮的发生有密切关系；与2019年相比，2022年2月荣成中部爱伦湾海带表面附生条件致病菌的丰度显著提高，正常优势菌群的丰度显著降低。从栽培区的水体和病烂海带中均分离到了大量的褐藻酸降解菌，水体褐藻酸降解菌数量超过往年100倍以上。

(包括 2021 年 12 月), 其中的优势菌鉴定为盐单胞菌。该菌人工感染海带苗 48 小时后, 幼苗变白并迅速病烂、破碎, 从病烂的藻体和侵染水体中可重新分离到该盐单胞菌, 表明该菌对海带苗具有较强的致病性。

综上所述, 赤潮引起了荣成海带栽培区微生物种群的变化, 导致潜在有害菌的丰度增加、褐藻酸降解菌等条件致病菌增多, 可能加剧了荣成海区海带病烂的进程。

表 1 2022 年 2 月采样海区环境指标和褐藻酸降解菌数量

	位置	温度	盐度	pH	溶解氧 (mg/L)	褐藻酸降解菌
鸡鸣岛低区	N 37°26.542'E 122°26.771'	3.2	31.1 1	8.3	10.31	>10 <sup>4</sup> cfu/ml
鸡鸣岛高区	N 37°27.065'E 122°26.787'	3.5	31.1 8	8.3	9.96	>10 <sup>4</sup> cfu/ml
爱伦湾低区	N 37°10.221'E 122°34.606'	4	31.4 4	8.3	10.18	>10 <sup>4</sup> cfu/ml
爱伦湾中区	N 37°08.945'E 122°36.452'	4	31.4 6	8.3 1	10.27	>10 <sup>4</sup> cfu/ml
爱伦湾高区	N 37°08.945'E 122°37.555'	4.1	31.4 7	8.2 7	10.31	>10 <sup>4</sup> cfu/ml
镆镆岛低区	N 36°54.719'E 122°32.097'	3.6	31.4 5	8.3 9	10.69	>10 <sup>4</sup> cfu/ml
镆镆岛高区	N 36°54.376'E 122°32.557'	3.5	31.4 3	8.3 9	10.80	>10 <sup>4</sup> cfu/ml

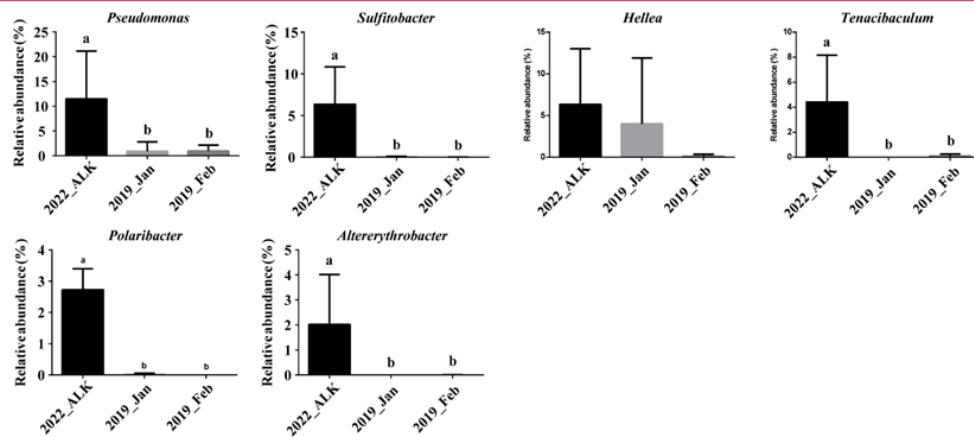


图 15 爱伦湾海带的重要附生细菌与往年比较

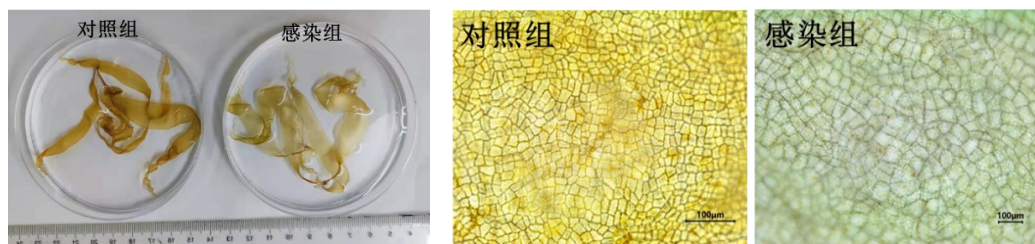


图 16 海带苗感染盐单胞菌发生病烂

## 7.生产补救措施开展的效果

(1)龙须菜生长和生产情况：在系统统一部署下，于2022年1月26日-2月15日，从广东、连江、莆田、莆田南日岛调拨四批次400斤龙须菜到荣成，分发给荣成市从北到南三家企业（鑫城山、俚岛科技和寻山集团）海域进行“低温栽培试验”。

2月18日海区水温 $2^{\circ}\text{C}$ - $4^{\circ}\text{C}$ ，总体来看龙须菜生长虽不明显，但仍可见新鲜分枝，没有发现明显的龙须菜受胁迫情况，垂养与平养效果在较短养殖时间内未发现明显差别。

3月20日海区水温 $5^{\circ}\text{C}$ ；鑫城山海域中高区龙须菜有泥附着，低区没有。龙须菜重量未增，但状态较好。荣成龙须菜养殖企业积极自救，从2月底开始有一定规模的福建进苗养殖，龙须菜状态保持稳定，中高区藻体末梢有泥附着，低区水清干净。

4月份海区水温 $7$ - $9.5^{\circ}\text{C}$ ；俚岛科技海区龙须菜表面附着黄绿色膜，龙须菜新分枝较少；寻山集团海域龙须菜较干净，但增长不明显。总体来看因水温低，有增重但不明显，龙须菜表面有泥附着，高绿公司以垂挂方式养殖的龙须菜生长状态较好。

4月28日海区水温 $10$ - $11^{\circ}\text{C}$ ，低温试养的龙须菜均表现出生物量增长，龙须菜生长状态较好：颜色鲜艳、分枝明显，而垂养方式好于平养，有“泥”附着，经显微观察是大量硅藻。

5月9日海区水温 $12^{\circ}\text{C}$ ，不同海区龙须菜附着物较为严重，经盖布过夜和淡水30分钟处理可得到缓解。尤其以淡水处理更为明显。

5月底到6月初海区水温 $15$ - $16^{\circ}\text{C}$ ，龙须菜附着物减少、生长迅速。这个时期，龙须菜也出现了各种异物附着现象，包括双壳类幼贝、绿藻、水媳，对生长造成的影响有限。至6月中旬，俚岛科技海区冬季平养在黑石低区一绳可以收获龙须菜鲜重24斤，莆田南日岛材料挂在高区，也增重明显。



总体来看：在荣成地区冬季开始龙须菜养殖可行，2°C时夹苗的龙须菜虽没有实质性增重，但藻体状态较好，有新鲜分枝，颜色健康；到10°C开始恢复生长，到16°C进行快速生长，并且有浪情况下促进生长；龙须菜生长情况在三个试养企业有差别，主要表现为附着物的多少。在整个冬季，龙须菜在低区生长好于高区，垂养方式好于平养。

### (2) 马尾藻（铜藻）夹苗生长情况

海带养殖筏架上铜藻是低温季节生长旺盛，漂浮于海水表层，能够抵御高光照。2022年3月，威海综合试验站收集海区野生铜藻进行夹苗和养殖，夹苗和养殖方式参考龙须菜，以200克左右为一簇，每隔5-10cm夹一簇，每绳夹苗2.5kg-4.0kg，在海带养殖筏架上养殖，每绳间距80cm-90cm。威海综合试验站对4月7日夹苗的铜藻进行了跟踪监测。养殖30天后，重量由初始的3kg/绳增长至6.88kg/绳，平均每日增长107.9g左右。4月份水温在6°C-10°C，比较适宜铜藻生长。

2022年荣成海域养殖的铜藻干菜产量约2500-3000吨。马尾藻干菜价格变化较大，3月平均为6000元/吨；6月平均为5000元/吨。



图 17 马尾藻生长情况

### (3) 野生海带种苗培育、暂养和后期生长情况

2021年12月-2022年1月，荣成海带养殖企业（俚岛海科、高绿水产、鑫

城山、荣成海兴、寻山集团等) 挑选海区带孢子囊的野生海带作为亲本进行采苗培育。野生海带采苗方法参考大生产用海带。野生海带阴干处理 1 小时左右, 进行游孢子放散, 游孢子附着苗绳后, 直接挂养在海区进行暂养。野生海带在海上需要 2 个月以上才能长成显微镜下可见的小苗, 正常在车间繁育的海带苗一般 35-40 天即可发育到同等大小。2022 年全市养殖野生海带 5000 余亩。2022 年 1-5 月, 野生海带长势良好, 5 月中上旬野生海带苗已长至 1 米以上。但进入 6 月海带开始出现严重的白烂, 只剩根部 10cm 左右。



图 18 萌发的野生海带幼苗



图 19 野生海带生长情况

(左: 5 月中上旬, 右: 6 月中旬)

## 8. 荣成海带灾害爆发综合原因分析、遗留问题和展望

### (1) 荣成海带灾害爆发综合原因分析

2021年11月份至2022年7月份，藻类产业技术体系多个岗位科学家、综合试验站团队以及其他合作单位相关研究团队对荣成海带灾害进行了跟踪持续调查，开展了培养实验，分析了野外观测数据，结合一线生产企业现场观察等综合情况，2021年11月份-2022年5月份荣成海带灾害爆发原因综合分析如下：

**环境条件变化情况：**灾害爆发海域的温度季节变化同往年基本相同，没有根本区别；多个栽培海域海水营养盐含量分析表明，在灾害爆发初期（2021年11月-2022年2月份），海水中无机磷酸盐水平显著偏低，海水中无机硝酸盐水平同往年基本相似，没有本质区别；海水盐度在5月份之后有明显下降，但整体都在海带正常适应范围之内，没有出现极端低盐度的情况；2021年10月荣成地区各个海带育苗场海带苗生产正常，从海带苗出库下海暂养到夹苗生产都没出现重大问题，截止到这个时期，荣成海域没有异常，海带已经完成夹苗并生长了几十天。海带白烂、卷曲出现在夹苗开始养殖一段时间之后，同时期荣成栽培海域北部地区爆发了赤潮，自北至南逐渐蔓延。位于南部的栽培企业，受影响的时间最迟，在2-4月份，抢收了一部分尚未完全长成的海带。其余养殖区的海带基本全军覆没，这导致荣成海带在2021-2022年度基本绝收。

被广泛关注的栽培海域环境变化是整个海域显著过高的海水透明度。2021年11月份-2022年6月份，定点观测的几个养殖海域海水透明度都显著高于上一个年度。高透明度海水持续时间长并伴随海水中严重缺乏可溶解磷酸盐是2021-2022年度海带灾害爆发时期的栽培海域环境的一个显著特征。

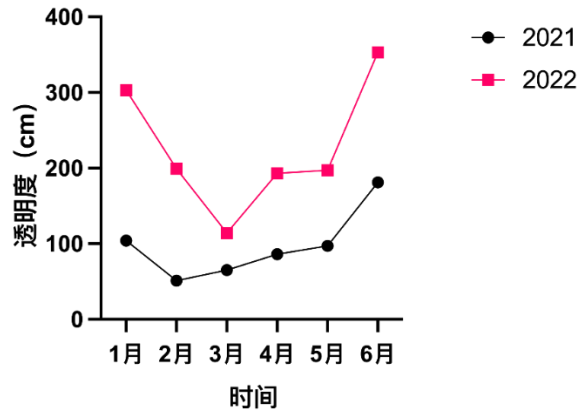


图 20 寻山集团海带栽培海域海水透明度平均值变化对比（2021 和 2022 年）

**赤潮爆发问题：**海洋中的赤潮藻是一类单细胞海藻，其爆发性生长需要的几个先决条件包括（1）海水中各类营养盐含量处于较高水平；（2）海水中含有赤潮藻类；（3）海水在爆发期相对静止，没有很强的水流交换；（4）海水的浑浊度不能太高。从这些条件来看，荣成北部海带栽培海域在爆发赤潮之前，需要满足上面的所有条件，缺一不可。因此海水透明度高（太阳光辐射可以穿透到表层 2-4 米的水深）是赤潮爆发的一个重要条件，赤潮藻在接受了充足的光照之后，才能快速繁殖，实现爆发。分离的赤潮藻之一膝沟藻是 2021 年 11 月份爆发的优势赤潮藻之一，室内纯培养显示其具有很强的趋光性。荣成地区在 2021 年 11 月份爆发的表层水赤潮（水色发红）印证了这个观察。将海带栽培海域的赤潮爆发和同一个海区海带卷曲、白烂进行关联分析来看，在透明度较高表层水爆发的赤潮藻消耗掉了海带生长所必须的营养盐（包括磷酸盐和微量元素比如铁元素），有限的水交换（同样是赤潮爆发的先决条件之一）同样阻滞营养元素传输给海带，导致其各类代谢活动受阻，这些从受灾海域海带脆黄得到印证（缺乏营养所致）。

**表层海水透明度过高问题：**海带自然生长在潮下带，白天大部分时间没有很多机会暴露在比较强烈的太阳辐射中。太阳光中过强的可见光以及对海藻细胞有很强杀伤作用的紫外线，在穿过表层、中层水到达海底海带生长的生态位时，基本都已经消减到了海带可以承受的水平。低潮位时期，短时间的强光和紫外线照

射，海带可以承受，但长时间暴露在比较强烈的太阳辐射条件下，比如筏式养殖的海带当海水透明度比较高的时候，其最脆弱的生长部处在最靠近水表层位置，首先接受到强光和紫外线照射，导致海带细胞出现光伤害，出现扭曲、病变和溃烂，这种强光伤害如果同时伴以营养盐缺乏的双重影响，损伤会成倍加剧，导致海带出现溃烂。

**海水中过量的褐藻酸降解菌问题：**溃烂的海带组织，为海水中的褐藻酸（海带的主要化学组成成分）降解菌提供了“培养基”，后者在海水中大量繁殖。在正常条件下，水体中的褐藻酸降解菌数量较低，与海带处于一个动态平衡的状态，褐藻酸降解菌可以将海带一些老化、受损的细胞分解掉，防止更多的病原菌粘附和繁殖，海带自身的生长能力远远超过分解速度，表现为海带生长。当栽培海域褐藻酸降解菌大量增多，而海带处于营养不良、环境胁迫的状态时，褐藻酸降解菌可以持续侵染亚健康甚至健康的海带个体，导致溃烂在种群中持续蔓延。如果说早期爆发在荣成北部的海带溃烂的直接因素是赤潮的爆发和海水透明度偏高的话，那后期逐渐向南蔓延的海带溃烂现象则大概率和海水中褐藻酸降解细菌大量繁殖有关，2021-2022 冬季和早春，荣成海带栽培海域的表层流是自北至南，北部地区因海带溃烂导致的大量增生的褐藻酸降解细菌就会跟随水流逐渐扩展到中、南部水域，而这个水域表层水栽培的海带也正在遭受海水透明度过高引起的光伤害，双层因素叠加导致海带逐渐、逐步溃烂，并大范围蔓延。

## (2) 遗留问题和未来展望

2021-2022 年荣成海带灾害系我国海带 70 多年栽培历史中首次发生，对整个地区的水产养殖产业带来巨大冲击。目前来看最大的问题是：是什么原因导致问题海域出现长时间、高透明度的海况？这种状况是否会在未来继续出现？如果如此，海带栽培产业在品种、栽培模式上应当做出何种调整？这些重要问题，需要在未来继续深入研究和探索。

未来迫切需要开展的工作是对栽培海域的各项水质因子进行持续、高强度监测，及时进行综合分析，做出判断。栽培企业要积极开展多物种养殖测试，降低

单一物种生产发生灾害所带来的经济风险。政府机构、科研和生产部门采取密切合作、数据共享的工作方式，争取早日掌握整个灾害发生的全部真相，做到防患于未然，保障海带生产的安全。

## 报告撰写人

逢少军研究员，中国科学院海洋研究所，国家藻类产业技术体系首席科学家。

李晓捷研究员，山东东方海洋科技股份有限公司，国家藻类产业技术体系岗位科学家。

王广策研究员，中国科学院海洋研究所，国家藻类产业技术体系岗位科学家。

刘涛教授，厦门大学，国家藻类产业技术体系岗位科学家。

隋正红教授，中国海洋大学，国家藻类产业技术体系岗位科学家。

李杰副研究员，中国水产科学院黄海水产研究所，国家藻类产业技术体系岗位科学家。

李晓波经理，寻山集团有限公司，国家藻类产业技术体系威海综合实验站站长。

常丽荣高级工程师，寻山集团有限公司，国家藻类产业技术体系威海综合实验站成员。

单体锋副研究员，中国科学院海洋研究所，国家藻类产业技术体系秘书。

李晓东博士，中国科学院海洋研究所，中国科学院海藻种质库成员。

徐英江研究员，山东省海洋资源与环境研究院，山东省藻类产业技术体系岗位专家。

杨德周研究员，中国科学院海洋研究所，海洋环流与波动重点实验室。

## 致谢

感谢所有直接或者间接参与此次调研报告的政府、企业和科研院所的工作人员。

## 资助

1. 国家藻类产业技术体系（CARS-50）
2. 中国科学院海藻种质库专项运补费
3. 2022年山东省渔业软科学研究课题（202219）