

# 导致热带产卡拉胶海藻大规模死亡原因分析 与藻株抗病差异性比较\*

刘建国<sup>1</sup> 庞通<sup>1,2</sup> 王莉<sup>1,3</sup> 李俊<sup>1,3</sup> 林伟<sup>1</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所 266071 青岛; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049;  
3. 海南大学海洋学院 海口 570228)

**提要** 2008 年夏季东南亚地区栽培的产卡拉胶海藻麒麟菜类陆续发生冰样白化病害并造成大规模死亡。本文根据作者近年来的观测和实验数据探讨了产生该现象的环境因素, 通过重演性实验验证和比较了不同株系抗病力差异。结果表明: 1) 不同海藻株系的抗病能力差异很大, 从印度尼西亚引进株系比从菲律宾引进株系抗病能力强, 其中株系 5 抗病能力最强, 没有发生冰样白化病症; 株系 4、6 和 11 的抗病能力次之, 只在 10% 以下的藻株出现病害症状, 日生长速率在 7% 以上的高水平; 株系 7、8 和 9 号病害损伤程度是印度尼西亚引进株系中最为严重的, 但比原产菲律宾海藻要轻。2) 与往年同期气象数据相比, 在病害发生期间光照时间短、强度弱、海水温度高、降雨量多、蒸发量少、海水盐度下降, 上述变化明显不能满足热带产胶海藻生长所需要环境条件, 导致了海藻生理状况和生长速率下降。3) 从海湾内海藻发病分布和死亡程度上, 越远离海湾口和偏离主航道、水浅流速小区域所栽培的海藻发病越早、死亡也越严重; 相反, 在靠近湾口与外海具有较好水交换和离航道近、水深流速大的区域, 海藻发病相对较晚。4) 重演实验证实, 将海藻浸泡在盐度 28 的海水中 2h, 1 天后部分株系就会出现冰样白化病症, 3 天后藻体软化而死亡; 海藻浸泡在 22 盐度的海水 2h, 会导致更多株系的海藻发生严重的白化病害并死亡。上述结果表明, 过多降雨所导致的海水盐度下降是诱发热带产胶海藻爆发大面积病害发生和死亡的主要原因。

**关键词** 麒麟菜, 长心卡帕藻, 产胶海藻, 冰样白化病

**中图分类号** S968.4

热带海洋麒麟菜类大型经济红藻的细胞壁内富含红藻多糖卡拉胶, 一直是国际上生产卡拉胶的主要生物资源。卡拉胶是 D-半乳糖及其衍生物组成的大分子, 具有凝胶和保水特性, 是支撑奶制品、火腿、冰淇淋等食品制造行业的重要加工原料。卡拉胶在医药上也有较好的应用前景, 皮下注射卡拉胶可使结缔组织可逆刺激生长, 并能刺激骨胶原生长, 增加骨骼对钙的吸收。有报道表明麒麟菜提取物对风湿性关节炎有疗效, 对胃溃疡和十二指肠溃疡也有治疗作用, 在抗血凝(Kawakubo *et al*, 1997, 1999)及免疫方面(Yuan *et al*, 2005)也具有重要的生理活性等。

菲律宾、印度尼西亚和我国是国际上产胶海藻麒麟菜类栽培及其卡拉胶加工的主要国家, 维持国际产量的 90% 以上。2008 年由于东南亚热带地区麒麟菜大面积爆发疾病, 造成该产品国际市场价格产生剧烈波动, 粗干海藻(含水量在 60%—70% 之间)从年初的每吨 600 美元一路上升到 2900 美元以上。尽管如此, 从 6 月份开始仍然出现供应断货问题, 直接造成经济损失十几亿元。那么, 是什么因素导致 2008 年热带产胶海藻发生大规模死亡? 但目前为止, 国际上没有相关研究报道, 本文根据作者多年的实验观测数据和对不同株系发病程度观察, 予以分析探讨。

\* 国家海洋行业公益性科研专项资助, 200705010 号; 国家自然科学基金项目资助, 30771638 号。刘建国, 博士, 研究员, E-mail: jgliu@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 2008-09-23, 收修改稿日期: 2008-11-25

## 1 材料与方方法

实验观测的热带产海藻麒麟菜共 12 个株系,在分类上分别属于红藻门、真红藻纲、杉藻目、红翎菜科的麒麟属和卡帕藻属。其中长心卡帕藻(*Kappaphycus alvarezii*, 曾用名异枝麒麟菜, 俗称麒麟菜)系 1984 中国科学院海洋研究所吴超元和夏恩湛研究员从菲律宾宿务海区引进(吴超元等, 1988), 实验编号为 12 藻株, 其余株系由中国科学院海洋研究所刘建国研究员和上海北连食品有限公司王晋源总经理于 2008 年春末从印度尼西亚泗水和巴厘岛引进, 实验编号分别为 1—11 藻株。

实验观察场地选择在海南省陵水县黎安海湾(110°5' E, 18°27' N)。该海湾是目前我国热带产胶海藻栽培和保苗基地, 海湾口狭窄, 最大高潮时不足百米宽, 退潮后只有 40 多米宽, 海湾内水阔平静, 水面积随潮涨潮落在 6km<sup>2</sup> 左右波动, 周边没有淡水河流注入。实验过程共选择 5 个站位, 依次为靠近居民活动频繁的湾底、海藻栽培的湾中部海区、虾塘区以及水交换的湾口区区和外海。取样测定的海水为距离水面 0.3—0.5m 深的表层水体, 该水深度也为海藻栽培水层。

光照气象和降雨资料来自陵水县气象局, 海水温度和盐度资料来自作者在陵水的麒麟菜生产与实验平台基地, 分别利用温度计和盐度计每天定时测定获得的数据。基于 2002—2007 年资料分析, 选取 2004 年气象资料为对照, 代表正常年份气象信息。

不同株系的海藻发生白化程度的统计, 每个株系的海藻随机选 10 棵(藻体重量 200—300g), 在海区中挂养栽培, 统计每棵海藻上的白化斑点, 计算比较不同株系发病程度的差异, 获知植株的抗病能力。

重演性实验, 利用向海水添加淡水的方式模拟降雨过程, 致使海水盐度降低到降雨后实测到的海水盐度 28 和 22。分别称取 15g 重量的不同株系藻株, 放入到预先配置盐度为 28 和 22 的海水中, 浸泡 2h 后转移到天然海水(盐度为 34)中培养, 观察是否发生白化病、发病时间及程度。

## 2 结果与分析

### 2.1 冰样白化病暴发时间、地点和程度

2008 年麒麟菜栽培产业大面积发生的冰样白化病害开始于菲律宾西南栽培区, 该地区为国际上麒麟菜主要栽培区, 干菜量约占世界总产量的 40%。从

4 月份开始菲律宾西南海区栽培的长心卡帕藻大规模出现冰样白化症状, 菜苗局部腐烂, 不仅造成海藻陆续死亡, 而且在风浪作用下从发病处折断, 导致大量海藻掉入海底而腐烂, 因此可收获的海藻产量急剧下降。随后, 印度尼西亚部分海区的栽培海藻也出现了冰样白化病害症状。

进入 6 月份, 我国海南省海藻栽培和保苗基地陵水黎安发现有病害症状出现, 随后发病面积迅速扩大, 到 7 月 20 日为止, 中国科学院海洋研究所于 20 世纪 80 年代中期从菲律宾引进、并已经成功栽培 24 年的长心卡帕藻(产胶热带海藻麒麟菜的 1 个品种)种苗基本全部发病, 除在湾口处和靠近主航道一侧网箱内小部分染病苗零星尚存外, 其余几乎全部死亡, 死亡率达到 90% 以上。从海湾内不同海藻栽培区域的海藻发病分布状况和死亡程度上看, 越远离海湾口和偏离主航道、水浅流速小的区域所栽培海藻发病越早、死亡也越严重, 死亡率高达 90% 以上, 大部分海区的海藻全部死亡。相反, 在靠近湾口与外海, 具有较好水交换和离航道近、水深流速大的区域, 海藻发病相对较晚并有小部分存活下来。

上述热带产胶海藻大规模爆发的疾病, 造成种苗短缺、养殖面积和产量迅速缩减, 直接造成经济损失十几亿元。同时导致该产品国际市场价格产生剧烈波动, 进一步影响卡拉胶加工企业和食品制造产业。

### 2.2 不同藻株间发病情况观察

比较海区不同海藻株系的生长与发病程度可以发现: 株系之间抗病能力存在很大差异性。新近从印度尼西亚引进的株系不同程度地比原来从菲律宾引进株系抗病能力强。在夏季发病期间: 其中株系 5 抗病能力最强, 没有发生冰样白化病症, 生长状况最好; 株系 4、6 和 11 的抗病能力次之, 只在 10% 以下的藻株有病害症状发生, 日生长速率保持在 7%—9% 的高水平, 最高达到 10.9%; 株系 1 号海藻附生的其它杂藻数量较多, 藻体生长缓慢; 株系 3 表面的附生藻最多, 生长也非常缓慢, 虽然也存在白化病害发生, 但不很严重; 株系 2 号存在轻微腐烂, 程度也没有原来引进的栽培 12 号藻株严重; 同样, 株系 7、8 和 9 号部分藻体都有病害发生并导致腐烂, 损伤程度系从印度尼西亚引进的株系中最严重的, 但是都比 1984 年从菲律宾引进的 12 株系明显要轻得多。

2008 年热带产胶海藻病害发病期间, 每个株系从同一栽培区随机选择 10 棵藻体, 检查藻体发生冰样白化的白斑数量, 结果如表 1 所示。藻体发生白化

频率统计可以看出: 原产菲律宾的海菜不仅每棵都发病, 而且每棵上的白斑数量也最多, 每株藻体平均白化斑点 6.2 个, 几天后藻株死亡或断裂掉入海中。而从印度尼西亚引进海菜中, 只有部分发生冰样白化症状, 另外一部分藻体没有病害症状, 平均白化斑点数量明显较少, 在 2、7、8 和 9 号株系中较普遍地发生轻微白化现象, 平均每棵 1 个斑点, 其它藻株只有个别藻体发现存在病害症状, 远比原产菲律宾的海菜要少; 而 5、1、3、4、6 和 11 号只有极少藻体上偶尔存在斑点。上述结果表明, 印度尼西亚热带产胶海藻的抗白化病能力要比原产菲律宾海菜强。

### 2.3 病害发生期间的环境变化因素分析

**2.3.1 气候因素** 热带产胶海藻快速生长需要充足的光照, 以满足光合作用顺利进行, 光照包括光照强度和光照时间。而根据我们实测的光照强度数据分析, 光照强度随着测定时间、云量多少和阴雨天气影响而发生很大变化。一般而言, 在午后 2 点, 每天太阳光线最强情况下的光照强度大多在十几万勒克斯;

在阳光灿烂的日子, 光照强度最高达到二十多万勒克斯。正常情况下, 上述光线强度满足产胶海藻光合作用没有多大问题。而在阴雨天气, 光照强度只有几万勒克斯, 尽管短时阴雨不会对海菜生长造成不利影响, 但是如果持续出现连续的阴雨天气, 也将直接影响到产胶海藻的光合作用速率, 光合代谢累积物质明显不足, 一定程度上影响藻体生长和降低抗病力。

在光照时间方面, 对比 2008 年冰样白化病害发生前后与 2004 年同期情况(结果参见表 2), 可以发现, 2008 年 5—8 月份的月光照时间均比 2004 年有不同程度的减少, 平均日光照时间也明显偏低, 特别是病害大规模爆发的 6 月降低幅度最大, 只有正常年份的 1 半。光照时间不足是降低海菜光合生长的重要因素之一。

光照时间不足主要由降雨天数多和云层厚造成的。从表 3 可以看出, 2008 年海菜大规模爆发病害的 6 月份降雨天数明显增加, 比 2004 年增加近 1 倍。

表 1 病害发生期间, 不同株系藻体上发生白化症状的白斑数量(单位: 个/棵)

Tab.1 The spot number in different stains of carrageenan producing seaweeds during the ice-ice disease outburst period (unit, spots/plant)

原产地 株系编号	印度尼西亚										菲律宾	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12 绿	12 褐
A	1	2	1	1	0	0	2	1	2	0	9	10
B	0	3	0	0	0	0	2	1	2	0	8	5
C	0	2	0	0	0	0	1	0	3	0	8	8
D	0	3	0	0	0	0	1	0	1	1	9	3
E	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	2	9
F	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	7	3
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4
H	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	6
I	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	7	7
J	0	2	0	0	0	1	1	5	2	0	6	8
平均	0.1	1.2	0.2	0.3	0	0.1	1.1	0.9	1.2	0.3	6.2	6.3

注: A—J 为对每个株系进行观察的 10 颗重复海藻的编号

表 2 2008 年热带产胶海藻病害发生前后与 2004 年同期光照时间比较

Tab.2 The illumination hours in 2008 ice-ice disease outburst period in tropic carrageenan producing seaweeds and the same season in 2004

观察指标	2004 年				2008 年			
	5 月	6 月	7 月	8 月	5 月	6 月	7 月	8 月
月光照总时数(h)	233.2	267.5	223.4	248.8	220.1	134.7	201.7	187.4
统计天数(d)	31	30	30	31	31	30	31	31
日平均光照时数(h)	7.5	8.9	7.2	8.0	7.1	4.5	6.5	6.0

表 3 2008 年热带产胶海藻病害发生前后降雨量和蒸发量与 2004 年同期比较  
Tab.3 The rainfall during the period of ice-ice disease outburst in tropic carrageenan producing seaweeds and during the same period in 2004

观察指标	2004 年				2008 年				
	5 月	6 月	7 月	8 月	5 月	6 月	7 月	8 月	
降雨量	月降雨总量(mm)	86.3	162.6	195.0	72.1	83.2	470.8	276.5	254.2
	统计天数(d)	15	9	16	14	13	17	17	15
	最大日降雨量(mm)	20.2	51.6	40.0	17.3	21.4	153.5	86.5	106.1
蒸发量	月蒸发总量(mm)	140.0	156.8	127.8	148.0	161.2	100.0	122.1	117.2
	统计天数(d)	31	28	30	31	31	27	30	30
	日平均蒸发量(mm)	4.6	5.6	4.3	4.8	5.2	3.7	4.1	3.9

与此同时, 6—8 月份的月降雨总量比 2004 年同期都有明显增加, 其中 6 月份的降雨量是 2004 年同期的 3 倍。2008 年夏季, 热带海区的大量降雨, 不仅造成光照长度和光照强度的下降, 而且由于栽培海菜的湾内水浅, 有的地方只有 1—2m 深, 大量降雨及周边沿岸汇进的淡水会直接导致海水盐度发生改变, 对海水温度和盐度变化产生直接影响, 间接影响到蒸发量、海菜的生长状况和抗病能力。从表 3 还可以看出, 不同月份的月蒸发总量和日平均蒸发量变化幅度都不是很大, 同时 2008 年蒸发量比 2004 年同期蒸发量要低, 但是无论月蒸发总量还是日平均蒸发量的降低幅度都没有降雨量增加幅度那样明显。

**2.3.2 水文因素** 在海水温度方面, 对比作者在陵水黎安海湾的实测水温变化, 2004 年最高温度出现在 9 月份, 达到 28.7℃, 最低温度出现在 2 月份, 为 23.5℃, 年水温表现较缓的变化。而在 2008 年测得的海水温度比 2004 年同期有一定程度的升高, 月水温平均上升了 1.5—2.3℃, 在海菜大规模发生病害的 6—8 月份实测水温月平均都达到 29℃, 比麒麟菜生长最适宜温度略高。

黎安湾港门码头附近系水质交换较好地区, 实际上也是海菜主要栽培保苗区域。作者 2004 年在该区测定的数据表明, 海水盐度尽管存在一定的季节性波动, 但是全年各月的平均盐度基本维持在 34.0 以上。而 2008 年同样地区, 作者测到的最高盐度在 4 月旱季, 为 36; 到 6、7 月份雨季海水盐度比往年低, 月平均海水盐度下降到 33.1, 其中在 7 月份主要降雨日(3、6、12 和 13 日)盐度下降到 30。14 和 15 日盐度更低, 为 28。此时, 该海区只有靠近主航道尚存有很小部分的发病苗外, 其余海区已经没有任何海菜保存下来了。而受降雨影响, 湾底和中部海菜栽培区的海水盐度降低程度更大, 其中 7 月 20 日和 30 日下

降到 22, 8 月 7 日海水盐度为 25, 12 日和 14 日海水盐度为 24, 15 日和 16 日盐度为 22, 此时该区海菜几乎已经烂完。

陵水黎安海湾湾口狭窄, 周边没有淡水河流注入, 影响盐度降低的主要因素是降雨和地表雨水径流。对比盐度降低与期间降雨情况可以看出二者密切相关, 例如 8 月 11 日有 106.1mm 降雨, 随后 12 日海湾内盐度为 24。而 6 月 6 日为测到的最大降雨日, 单日降雨量为 153.5mm, 加上前一天晚间降雨 60.4mm, 共 213.9mm。虽然作者未能测到当时盐度数据, 但依据上述 8 月 11 日降雨与盐度情况可以估计, 当时海湾内海水盐度更低, 不排除曾经降到 20 以下。如此低的海水盐度十分不利于产胶海藻正常生长, 可能是诱导麒麟菜大规模爆发冰样病害的最重要因素。

作者对当地海水的酸碱度进行检测, 在 2004 年 5—8 月和今年同期海水 pH 值没有实质性变化, 基本维持在 8.20 上下变化, 变化范围  $\pm 0.05$ , 至少排除存在大规模化学废液排放造成海水质量改变, 进一步引起海菜爆发疾病的可能性。

众所周知, 水体中无机营养物质影响产胶海菜生长。根据作者常年对陵水黎安海湾海水进行检测的数据分析, 无机氮(包括硝酸氮、亚硝酸氮和氨氮)是水体中含量最丰富的营养物质, 其次为无机磷。该海湾上述无机氮磷在不同季节存在一定幅度的变化, 常年水质保持在国家 1—2 类海洋水质标准。同时, 从海湾口, 经过港门码头、养殖池塘、湾中部和人口密集生活的湾底区域, 水体中浓度逐渐增加。对比 2008 年病害发病期间和 2004 年数据, 无机氮磷营养基本维持在 1—2 类海洋水质标准, 并没有出现剧烈的起伏。说明, 无机营养变化并不构成此次海菜大规模爆发疾病的原因。

**2.3.3 海洋微生物** 2008 年 4—8 月, 作者对该海

湾海菜栽培区的细菌数量也进行了分析, 其中水体中异养菌群和弧菌数量在海湾不同位置存在一定差异, 其数量沿人口密集生活的湾底区域、湾中部、养殖池塘、经过港门码头到海湾口, 以及外海依次降低。尽管 2008 年病害爆发期间异养菌群和弧菌数量出现增加, 但增加幅度并不剧烈。因此微生物变化属于环境变化的结果, 并非造成产胶海藻疾病爆发的根本原因(具体实验结果和数据资料将另文发表)。

#### 2.4 盐度降低重演性诱导病害发生的验证实验

针对 2008 年夏季大规模的持续大量暴雨引起海水盐度突然降低, 同时造成光照时间减少的问题, 作者在满足海菜生长光照基础上, 设计了重演性实验模拟淡水增加造成海水盐度降低, 然后将海菜在低盐冲击胁迫环境中浸泡 2h, 再恢复正常培养, 成功地

诱导热带产胶海菜发生冰样白化症状, 结果见表 4。

验证实验结果表明:

1) 在低盐胁迫冲击后 24h 内, 并没有观察到病害症状发生, 但是到 48h, 不同株系海菜不同程度地出现冰样白化症状, 3 天后很多株系的海菜藻体软化和死亡。盐度降低确实是导致海菜发生冰样白化症状。

2) 不同海菜的抗低盐冲击或其抗病能力存在差异性, 其中原产菲律宾的海菜抗低盐冲击或抗病能力最差, 印度尼西亚海菜抗病能力相对较强, 而 5 号株系抗病能力最强。低盐度重演性实验结果与在海区观察到不同株系发病死亡情况是一致的。

3) 对比 28 和 22 盐度浸泡下海菜受损伤程度, 非常明显地呈现低盐冲击胁迫越强, 发生冰样白化症状越早, 死亡也越严重的现象。

表 4 海水低盐度冲击对不同株系热带产胶海藻冰样白化病症诱导效果比较(每棵重量 15g)

Tab.4 The comparative effects of low salinity-shock on ice-ice disease inducement in different strains of carrageenan producing seaweeds (plant weight, 15g)

原产地 株系号	印度尼西亚										菲律宾		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12 绿	12 褐	
0h	28 盐度	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22 盐度	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24h	28 盐度	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	3	0
	22 盐度	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	2	0
48h	28 盐度	3	0	2	0	0	0	2	2	3	0	3	1
	22 盐度	5	0	4	2	0	0	2	1	4	0	死	0
72h	28 盐度	死	1	2	1	0	1	死	死	死	1	死	死
	22 盐度	死	1	死	死	0	2	死	死	死	3	死	死

### 3 讨论

从 20 世纪 70 年代人工养殖麒麟菜开始, 人们发现冰样白化病是导致产卡拉胶海藻减产的一个重要原因(Doty *et al.*, 1975), 患病藻体组织颜色褪成白色, 最终导致分支断裂丢失, 因此菲律宾人借用了英语中的 ice 来给它命名。Mendoza 等(2002)利用  $^{13}\text{C}$   $^1\text{HNMR}$ 、FT-IR、GPC-IR 等方法研究了白化病部位藻体中成分化学以及物理性质的变化, 发现白化病部位藻体中 型胶含量减少、胶产量、胶强度甲基化程度以及分子质量均降低。Largo 等(1995a)在日本亚热带海域作的实验显示, 光照小于  $50 \mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、盐度小于或等于 20、水温高于 33 都会引起藻体发白, 出现类似于冰样白化病症状。Largo 等(1995b, 1999)的研究结果分别显示某些细菌与白化病发生相关, 但是受到逆境刺激藻体更容易白化。这表明白化

病发生与光照、盐度、水温和细菌等众多环境因素有着密切关系, 属于生理性疾病。

2008 年麒麟菜栽培产业先后大规模爆发的冰样白化病害涉及范围非常广, 从菲律宾、印度尼西亚到我国海南地区, 远隔数千公里的直线距离。因此, 病害发生不可能系短期、局部人为活动或生物病害因素造成的, 而属于大环境变化因素导致的。

从天气情况分析, 影响海菜生长的不利因素主要有以下几点: 阴雨天气多、光照时间降低、降雨增加; 从水文资料分析, 影响海菜生长的不利因素主要是海水盐度下降而温度偏高。综合气象和水文资料可以认为, 过多的阴雨天气和降雨, 造成海水盐度下降、光照时间降低和温度偏高是导致这次热带产胶海菜大规模爆发疾病死亡的诱因。盐度重演性实验也进一步证明了海水盐度剧烈下降可迅速导致藻体出现冰样白化症状, 随后导致藻体死亡。另外, 来自菲律

宾、印度尼西亚、马来西亚海菜栽培部门的信息也表明,病害发生期间降雨量都比往年有大幅度的增加。上述不同证据表明,2008年大量降雨造成的海水盐度降低是这次大规模病害发生的最重要原因。

那么,进一步探究海洋气候和水文发生上述变化又是如何产生的?从物理海洋角度分析,厄尔尼诺与拉尼娜现象及交替可对海洋环境气候变化产生重大影响。作者推测,从2007年底海洋气候从厄尔尼诺向拉尼娜进行的演变导致了本次疾病爆发。事实上,每几年进行1次厄尔尼诺和拉尼娜交替时常影响到热带海区海菜栽培产业,以往很多菜农已经注意到海菜栽培存在大小年问题,但是时间没有固定规律,3—5年不等甚至更长,也都没有2008年这样明显。

4月份从菲律宾开始的大规模冰样白化症状,陆续发生在印度尼西亚、我国海南等地。最近了解到,马来西亚东部海区近年来也开始栽培热带产胶海藻,2008年也发生类似的冰样白化病症导致严重的死亡。该病害发生造成产胶海菜栽培的苗源供应急剧减少,栽培面积大幅度下降,不可避免地造成产量锐减。其影响不仅仅在过去几个月没有产量,而且全面恢复苗源生产到病害发生前规模水平还需要很长时间,预计到2008年底才能初步恢复苗源大规模供应,到2009年3—4月份才能完全恢复。也就是说,本次病害直接导致热带产胶海藻全年没有多少产量。从以往菲律宾和印度尼西亚等统计数据,年产量在20多万吨干品以上。按照往年正常价格直接经济损失达到十几亿元,如果按照今年特殊时期的非常规价格计算,损失更大。

为避免类似现象再次发生,作者建议:海菜栽培相关产业应当关注大的海洋环境变化,及时提供预测、进行产业指导、督促预防措施的落实;同时,建议菜农应当特别关注气象变化,如在连续阴天降雨或台风季节,及早将菜苗转移到封闭养殖池内,采取防雨措施,提前存放高盐度海水、严格禁止在雨后从海域吸纳低盐度海水浸泡海菜。另外,将海菜向水流畅通,交换条件相对好的深水海区转移,并适当地将栽培海菜下沉,避免海水盐度突然降低造成大量病害发生和死亡。

从十多个热带产胶海菜株系的抗病力和生长速度对比分析,可以看出不同株系之间的抗病和生长

特征存在着非常明显的差异,因此十分有必要开展海菜人工栽培品系培育,选育和培养生长快、抗病力强、产胶量高和凝胶强度大的新品种,并在生产过程中替代现在栽培品系,推动该产业的健康稳定发展。

致谢 在实验数据检测过程中,得到了海南省陵水县黎安豪天实业有限公司郑照亮、黄宏贤先生的大力协助,前期部分数据由路克国博士测定,谨致谢忱。

## 参 考 文 献

- 吴超元,李家俊,夏恩湛等,1988. 异枝麒麟菜的移植和人工栽培. 海洋与湖沼, 19(5): 410—418
- Doty M S, Alvarez V B, 1975. Status, problem, advances and economics of *Euचेuma* farms. Mar Technol Soc J, 9: 30—35
- Kawakubo A, Makino H, Ohnishi J *et al*, 1999. Occurrence of highly yielded lectins homologous within the genus *Euचेuma*. J Appl Phcol, 11: 149—156
- Kawakubo A, Makino H, Ohnishi J *et al*, 1997. The marine red alga *Euचेuma serra* J. Agardh, a high yielding source of two isolectins. J Appl Phcol, 9: 331—338
- Largo O B, Fukami K, Nishijima T *et al*, 1995a. Laboratory-induced development of the ice-ice disease of the farmed red algae *Kappaphycus alvarezii* and *Euचेuma denticulatum* (Solieriaceae, Gigartinales, Rhodophyta). J Appl Phcol, 7: 539—543
- Largo O B, Fukami K, Nishijima T, 1995b. Occasional pathogenic bacteria promoting ice-ice disease in the carrageenan-producing red algae *Kappaphycus alvarezii* and *Euचेuma denticulatum* (Solieriaceae, Gigartinales, Rhodophyta). J Appl Phcol, 7: 545—554
- Largo O B, Fukami K, Nishijima T, 1999. Time-dependent attachment mechanism of bacterial pathogen during ice-ice infection in *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta). J Appl Phcol, 11: 129—136
- Mendoza W G, Montano N E, Ganzon-Forbes E T *et al*, 2002. Chemical and gelling profile of ice-ice infected carrageenan from *Kappaphycus striatum* (Schmitz) Doty "sacol" strain (Solieriaceae, Gigartinales, Rhodophyta). J Appl Phcol, 14: 409—418
- Yuan H, Song J, 2005. Preparation, structural characterization and *in vitro* antitumor activity of kappa-carrageenan oligosaccharide fraction from *Kappaphycus striatum*. J Appl Phcol, 17: 7—13

## THE REASONS CAUSING CATASTROPHIC DEATH IN TROPICAL CARRAGEENAN PRODUCING SEAWEEDS AND THEIR DIFFERENCE IN RESISTANCE TO ILLNESS

LIU Jian-Guo<sup>1</sup>, PANG Tong<sup>1,2</sup>, WANG Li<sup>1,3</sup>, LI Jun<sup>1,3</sup>, LIN Wei<sup>1</sup>

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049; 3. Marine College, Hainan University, Haikou, 570228)

**Abstract** A large scale of ice-ice disease burst out and caused catastrophic death in tropical carrageenan producing seaweeds like eucheumatoid and *Kapaphycus* species in Southeast Asia during the summer of 2008. The resistances of 12 strains collected from different countries were studied by calculating the incidence of ice-ice disease in Li'an Bay, Hainan, China. The main reasons causing the catastrophic death were analyzed by comparing our measured data during the ice-ice disease outbreak season in 2008 with the same period in 2004. Then, a paleogenetic experiment was carried out to verify the concluded reason for the catastrophic death.

The results show that the disease resistance of different strains varied widely, that all the strains originally collected from Indonesia had higher resistance than the Philippine strains. Of all the strains tested, strain 5 showed the best growth behavior without any symptom of ice-ice disease followed by strains 4, 6, and 11 with <10% incidence of ice-ice symptom. The daily specific growth rates (*SGR*) of strains 5, 4, 6 and 11 varied from 7% to 9%. All the Philippine strains cultured in Hainan Island were died during the disease burst out period.

Meteorological data indicated an obvious climatic change like short illumination time, low light intensity, relative high seawater temperature, strong rainfall and low evaporation, as well as low seawater salinity during the disease outbreak period, which could not meet the normal growth of carrageenan producing eucheumatoid and *Kapaphycus*, and caused low *SGR* and poor physiological status.

In terms of distribution of ice-ice disease and the death status inside bay, we found that the farther the seaweed culture area from the bay-mouth and the deep principal channel, the earlier the incidence of disease outbreak and the higher the mortality rate. On the contrary, the seaweed cultured in the place near to the bay-mouth or to the main channel with high current and abundant water exchange had relatively low symptom of ice-ice disease. The paleogenetic experiment indicate that after soaking in seawater of 28 salinity for 2 hours, part of the tested strains become illness within 1 day and dead in 3 days, besides more strains were sick and dead while they exposed to seawater of 22 salinity for 2 hours.

Based on the above results, we concluded that low seawater salinity caused by excessive rainfall is the main reason for the large scale outbreak of ice-ice disease and the catastrophic death in carrageenan producing seaweed.

**Key words** Eucheumatoid, *Kapaphycus*, Carrageenan producing seaweed, Ice-ice disease