

不同温度、盐度下浒苔(*Enteromorpha prolifera*)群体增长和生殖的显微观测^{*}

张晓红^{1,2}, 王宗灵^{1,2}, 李瑞香^{1,2*}, 李艳^{1,2}, 王晓^{1,2}

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 2. 海洋生态环境科学与工程国家海洋局重点实验室, 山东 青岛 266061)

摘要:为研究温度、盐度对浒苔(*Enteromorpha prolifera*)群体增长和生殖的影响,在实验室内设10个温度梯度、每个温度下又设4个盐度梯度,比较了不同培养条件下藻体的湿重、特定生长率(SGR)。浒苔生长对温度的变化较盐度的变化为敏感。在同一盐度下,浒苔SGR随温度的增加呈先升高后降低的趋势。随着盐度的降低,最适生长温度有升高的趋势。20℃、S为26时浒苔SGR最高,达37.80%。SGR高的实验组最先进入生殖生长期,随之,SGR骤降,藻体形态也发生的变化。通过对这一变化过程的观测研究加深对绿潮暴发及演化过程的理解。

关键词:浒苔;特定生长率;营养生长;生殖生长

中国分类号:Q142

文献标识码:A

文章编号:1671-6647(2012)02-0276-08

自2007年以来,我国黄海连续暴发大规模的浒苔(*Enteromorpha prolifera*)绿潮,其规模、覆盖范围、持续时间和对环境的影响程度属世界罕见。尤其是2008年,青岛近岸海域在2008-06月中旬涌现大规模浒苔绿潮,2008-06月底最大影响面积达25 000 km²,仅青岛市就打捞浒苔近80万t,造成直接经济损失13.22亿元;2009年黄海海域最大分布面积达58 000 km²,此后几年黄海浒苔绿潮的影响面积都在20 000 km²以上,对沿岸地区造成不同程度的经济损失^[1]。浒苔生长到底有多快?其适宜的环境因子有哪些?能否根据其生长速率来预测绿潮发展态势?浒苔对温度、盐度的适宜性如何?这些都是我们的重要研究内容。

有研究表明,浒苔生长的最适宜的 t 为15~25℃,S为20.2~26.9^[2]。孢子释放的最适宜的 t 为20~35℃,S为28~40,均相对较高^[8]。也有学者对孢子的早期分裂和叶状体的形成进行了显微观察^[4]。浒苔的大量增殖与其多种生殖方式有关,主要包括有性生殖和无性生殖及营养生殖^[5]。王晓坤等^[6]、林阿朋和沈颂东^[5]观察到以藻段再生、原生质体(细胞)再生所代表的营养繁殖普遍存在于浒苔的各种生活史中。国外学者Hiraoka等^[7]发现浒苔存在3种生活史(1种有性生活史和2种无性生活史),并阐述了3种生活史的交替。通过定量观测发现,扁浒苔(*E. compressa*)的大部分生殖细胞均能在短时间内附着,但也会有一些不能附着^[8]。通过野外取样和室内培养的方法,证明冬季水体中孢子的存储量决定了第2年浒苔的新生个体量^[9]。研究盐度、营养盐和光照对浒苔属孢子早期生长影响时发现,盐度对其影响最大,高盐度有促进作用,低盐度抑制其生长^[10]。

漂流聚集的浒苔通常是以营养繁殖的方式不断进行藻体扩增^[11],而大量生殖细胞的释放又向海区内输入了更多的新个体。温度、盐度对浒苔的这2个关键阶段及其之间过渡均有较大影响。通过藻体培养和同步显微观测实验,探讨了不同温度、盐度对浒苔群体增长和生殖过程的影响。

^{*} 收稿日期:2010-10-11

资助项目:国家重点基础研究发展计划——我国近海藻华灾害演变机制与生态安全(2010CB428703);国家科技支撑项目——浒苔绿潮藻暴发应急处置关键技术研究与应用(2008BAC49130);青岛近海浒苔绿潮形成的生物学与生态学机制(2008T30)

作者简介:张晓红(1986-),女,山东临沂人,硕士研究生,主要从事绿潮生态学方面研究。E-mail:zxh0828a@163.com

^{*} 通讯作者,E-mail: liruixiang@fio.org.cn

(高峻 编辑)

1 材料与方法

1.1 实验材料

浒苔藻体于 2009-04 采自江苏南通如东近海紫菜养殖区筏架,采集后用消毒海水冲洗,低温充气暂养带回实验室。马上选取健康、较完整的藻体用于实验。在 15 ℃,光强 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 驯化 3 d 后进行试验。实验用海水取自山东青岛沙子口附近海域,沉淀过滤,高温消毒后使用。培养液为 PES^[6]。

1.2 培养条件

GXZ3-250D 型培养箱,光强 $100 \sim 110 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,光暗比 12 L : 12 D。

10 个温度梯度,分别为 5 ℃,8 ℃,11 ℃,14 ℃,17 ℃,20 ℃,23 ℃,26 ℃,29 ℃,32 ℃。每个温度又设 4 个盐度梯度 14,20,26,32。共 40 个温盐组合,每个组合设 3 个平行样。

500 mL PES 培养液内加入 (0.50 ± 0.01) g 驯化后的藻体。培养过程中每天定时用玻璃棒搅拌水体 3 ~ 5 次,6 d 更换一次培养液。实验共进行 15 d。

1.3 称重方式

3 d 取样称重一次。捞出培养液中的藻体,抽干表面水分。抽滤装置由布氏漏斗(漏斗内铺有直径 9 cm 的定性滤纸)、抽滤瓶和真空泵组成,泵压在 0.02 MPa 左右。每个样品抽滤 1 min(预实验证明,此压力下抽滤对藻体无明显影响,抽滤 1 min 后藻体重量基本稳定),用 Mettler Toledo PL203 型 10^{-3} g 电子天平称量。

1.4 数据处理

计算特定生长率(SGR)^[12]: $\text{SGR}(\%) = [(W_t/W_0)^{1/t} - 1] \times 100\%$

式中, W_0 为藻的初始湿重(g); W_t 为试验结束时藻的湿重(g); t 为试验持续的天数。其中第 1~6 天的 SGR 用统计软件 SPSS 13.0 进行双因子方差分析以及 Duncan 多重比较,分析不同温度、盐度下浒苔 SGR 的差异显著性($P < 0.05$)。

1.5 显微观察

取样称重时,捞出藻体,将培养水体混匀后取 5 mL 水样,Lugol's 溶液固定^[13]。使用 Nikon ECLIPSE TE2000-U 显微镜,观察并拍照记录水体中和藻体细胞的变化。

2 结 果

2.1 不同温度、盐度下 15 d 内浒苔湿重及特定生长率的变化

2.1.1 藻体湿重随时间变化

S 为 14,15 d 时,32 ℃ 下的湿重最大,达 5.40 g,5 ℃ 温度组湿重最低,为 2.46 g(图 1)。S 为 20,20 ℃ 组湿重始终最高,15 d 后增至 5.95 g,较初始量增加了近 11 倍;5 ℃ 组的湿重最低,15 d 时的湿重仅为 2.68 g(图 2)。S 为 26,20 ℃ 组的湿重明显高于其他温度组的,15 d 后湿重达 6.02 g。然而 32 ℃ 湿重和 14 ℃ 的相当,相对较低。S 为 32 下,20 ℃ 组各时间点的湿重均最高,15 d 后湿重高达 6.13 g,其次 23 ℃,29 ℃,17 ℃ 三个温度组的湿重较高,26 ℃,32 ℃ 组湿重较低,其中湿重最低的温度组是 5 ℃(图 4)。

各温度、盐度组合下浒苔湿重随培养时间呈不断增长的趋势,在实验结束时各温度、盐度梯度组的湿重

较初始值都有极大的升高。从图 1~4 可以较明显地看出 S 为 20~32, 最适的生长温度在 20 °C; 在 S 为 14 时, 浒苔最适生长的温度较高, 为 29 °C。随着盐度的降低, 最适生长温度有升高的趋势。

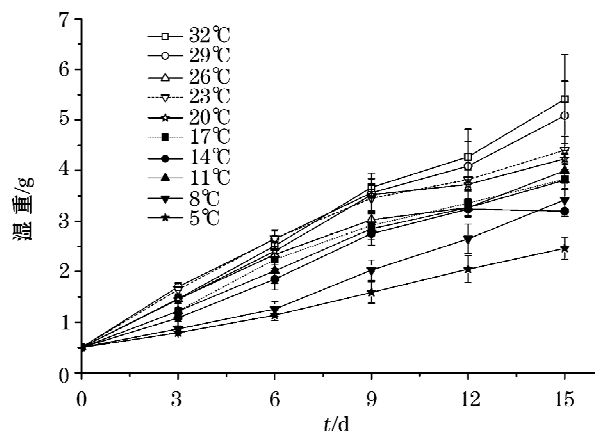


图 1 S 为 14 时不同温度下藻体湿重随时间变化

Fig. 1 Changes of wet weight of *E. prolifera* during culture time at salinity of 14

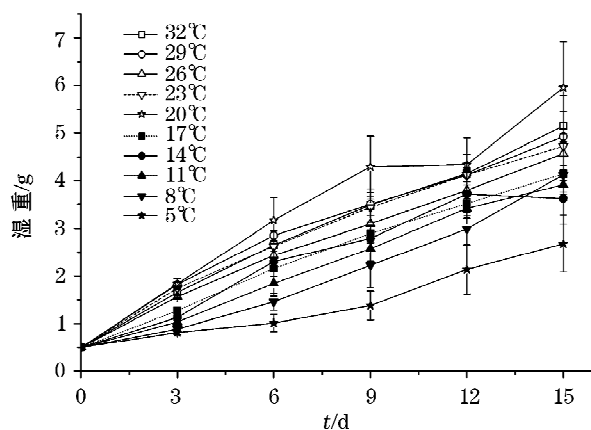


图 2 S 为 20 时不同温度下藻体湿重随时间变化

Fig. 2 Changes of wet weight of *E. prolifera* during culture time at salinity of 20

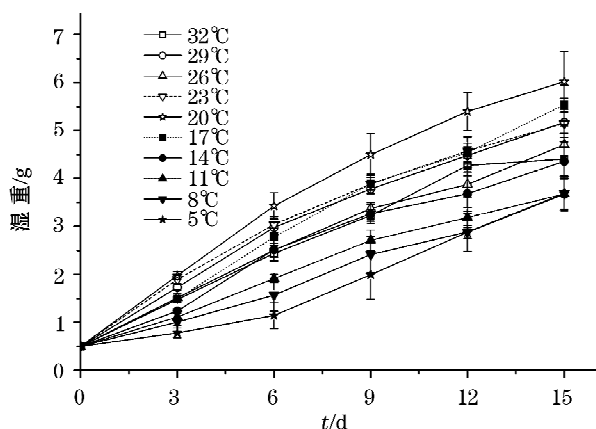


图 3 S 为 26 时不同温度下藻体湿重随时间变化

Fig. 3 Changes of wet weight of *E. prolifera* during culture time at salinity of 26

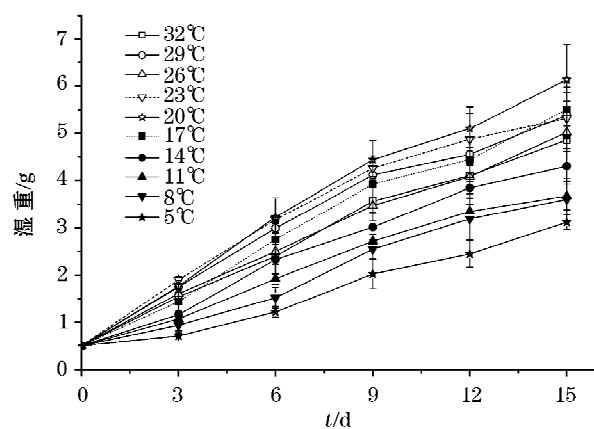


图 4 S 为 32 时不同温度下藻体湿重随时间变化

Fig. 4 Changes of wet weight of *E. prolifera* during culture time at salinity of 32

同一温度不同盐度条件下的比较发现, t 为 32 °C, S 为 14 组的湿重最高 (5.41 g), S 为 20 组次之 (5.15 g), S 为 26 组最低。 t 为 14~29 °C 时各实验组均在 S 为 32 时终湿重最高, 其中最高湿重为 6.13 g (20 °C, S 为 32 组)。 5~11 °C 各实验组在 S 为 14~20 范围内最终湿重较高 (4.00 g 左右)。基本呈现极高温、极低温环境下低盐度较利于浒苔生长, 而在 14~29 °C 时高盐度较利于其生长。

2.1.2 特定生长率随时间变化

4 个盐度组的 SGR 变化趋势基本相同。在此仅列举了 S 为 26 的不同温度组 15 d 内特定生长率 (SGR) 的变化 (图 5)。第 1~3 天的 SGR, 除 5 °C 外, 其余温度组均在 25% 以上。在第 3~6 天除 14 °C 和 17 °C 两组外, 其余温度组的 SGR 均降至 20% 以下。第 6~9 天较低温组的 5 °C、8 °C 的 SGR 较高, 分别为 20.20% 和 15.75%, 而其他温度组均在 10% 左右。第 9~12 天 5 °C、8 °C 的 SGR 有所下降, 分别为 13.59% 和 12.41%, 其他温度组的 SGR 均在 10% 以下。第 12~15 天各组的 SGR 均在 10% 以下, 但 5 °C、8 °C 的 SGR 仍相对较高 (8.45% 左右), 32 °C 组的 SGR 已降至 1.25%。

因为 4 个盐度组的 SGR 变化趋势基本相同,故分为 14~32 °C 温度组和 5~11 °C 温度组讨论。14~32 °C 组在第 1~3 天时 SGR 最高,第 1~3 天时 SGR 骤降,第 6~15 天 SGR 均较低且变化趋势较缓;5~11 °C 组的 SGR 呈先降低后升高再降低的趋势。第 1~6 天 14~32 °C 温度组的 SGR 明显高于 5~11 °C 组,第 6~15 天后者 SGR 高于前者的。

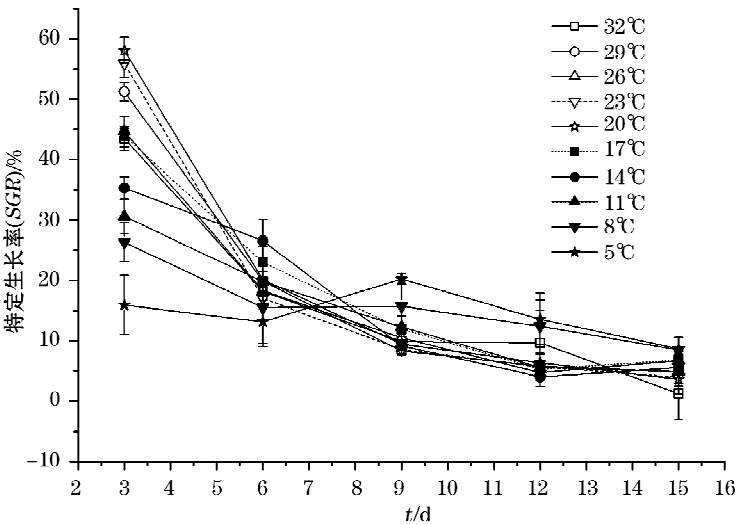


图 5 S 为 26 时下不同温度梯度藻体的特定生长率随培养时间的变化
Fig. 5 Changes of specific growth rate (SGR) for *E. prolifera* at different temperatures and 26 salinity during culture time

2.2 不同温度、盐度下特定生长率(SGR)比较

对藻体及培养水体的显微观测表明,约培养第 6 天前藻体陆续进入生殖生长阶段,很多实验组 SGR 骤降。在比较温度、盐度对生长率的影响时,为避免生殖生长的影响,仅对前 6 天的 SGR 数据进行方差分析和 Duncan 多重比较。

2.2.1 浒苔生长受温度、盐度影响的方差分析结果

方差分析结果表明,温度、盐度单因子对浒苔的生长都有极显著影响($P<0.01$)。从均方值来看,浒苔生长对温度的变化更为敏感。温度和盐度对浒苔生长存在显著交互效应($P<0.05$)(表 1)。

表 1 温度、盐度对浒苔 SGR 影响的可重复两因素方差分析统计结果

Table 1 The statistic results of repeatable two-factors variance analysis on the effects of temperature and salinity on the growth rate of *E. prolifera*

项 目	处 理	Df	均方	F	P 值
因子	t 5,8,11,14,17,20,23,26,29,32	9	538.49	114.42	0.000**
	S 14,20,26,32	3	54.89	11.66	0.000**
因子间	t 和 S	27	8.08	1.72	0.034*

注:“*”为差异显著,“**”为差异极显著

2.2.2 不同温度对浒苔生长影响的比较

在 5~20 °C,SGR 范围是 14%~35%,并存在显著差异($P<0.05$),生长率随温度增加而明显升高。在 t 为 20~26 °C,SGR 达到最高(34%左右),且温度间无显著差异。但随温度继续上升至 29 °C,32 °C 时,浒苔生长率却出现了下降趋势。综上所述,浒苔生长率随温度的增加呈先升高后降低的趋势,20~26 °C 最适

宜浒苔生长。

2.2.3 不同盐度对浒苔生长的影响

盐度对浒苔藻体生长的影响较大,随着盐度的升高生长率也在增加,其中 S 为 26 时生长率最高,32 时较高。 S 为 14 组 SGR 明显低于 S 为 20 组,低盐度组(14 和 20)生长率显著低于高盐组(26 和 32)($P < 0.05$)。

2.2.4 温度和盐度的交互效应

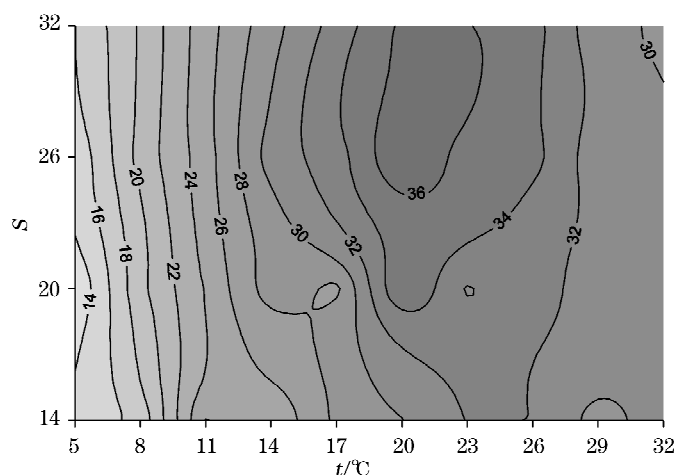


图 6 各温度、盐度条件下藻体第 1~6 天的 SGR(%)

Fig. 6 Specific growth rate (SGR) of *E. prolifera* at different temperatures and salinities(%)

在同一盐度下,生长率随温度的增加先升高后降低。 S 为 20~32 时,浒苔最大增长率出现在 20 °C; S 为 14 时浒苔在 23~26 °C 时增长率最大。比较盐度对浒苔 SGR 的影响时发现,5~11, 29 和 32 °C 时盐度对浒苔 SGR 的影响并不明显,14~26 °C 时盐度的影响相对明显。

第 1~6 天, $t > 20$ °C 与所有盐度组合下的 SGR 均在 30% 以上,其中 t 为 20~23 °C, S 为 26~32 时浒苔 SGR 均高于 36%; 20 °C、 S 为 26 实验组 SGR 最高,达 37.80%(如图 6)。

2.3 对藻体及其繁殖体的观测

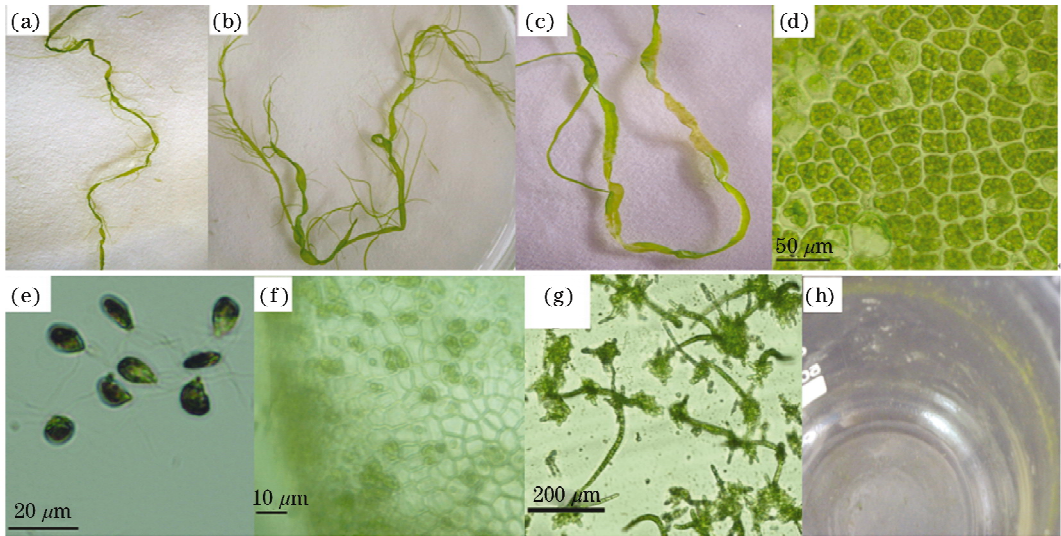
在实验过程中,也对藻体和繁殖体进行了显微镜观测。由于本实验温度梯度较多,将分 3 组进行讨论: 5~11 °C, 14~23 °C 和 26~32 °C。

不同温度下,藻体形态随时间变化的趋势大致相同。早期藻体均以营养生长为主,主枝变粗(部分呈囊泡状或片状),分枝增殖明显(图 7b)。之后,藻段(或藻体)颜色由绿色变为淡黄色(图 7c),进入了生殖生长阶段。在此期间,显微镜下观察有孢子(配子)囊出现(图 7d)。1 d 后的显微观察发现培养水中有较多游动的生殖细胞出现(图 7e)。几天后观察到,在培养水体和培养器皿壁上均出现生殖细胞固着后萌发成的幼体(图 7h)。

生殖生长出现的时间, 26~32 °C 组出现的最早, 5~11 °C 组出现的最晚。观测的详细情况见表 2。

培养液中共存着浒苔的多种繁殖体,如各种类型的生殖细胞、不同时期的萌发幼体、断裂后继续营养生长的小藻段等,各种形态、数量巨大的繁殖体构成了浒苔的“繁殖体库”。

实验观察表明,相对于温度而言,盐度对生殖生长的影响并不明显。



(a)实验前的藻体形态;(b)3 d 后藻体主干变粗;分枝增殖明显;(c)培养 5~6 d 后,部分藻段呈淡黄色;(d)形成孢子囊或配子囊($\times 200$ 倍);(e)取样水体中的四鞭毛孢子($\times 400$ 倍);(f)释放了部分孢子后的藻体细胞($\times 400$);(g)有较多的萌发体出现($\times 100$ 倍);(h)培养后期贴在壁上萌发的幼体

图 7 浒苔藻体的形态

Fig. 7 Morphological changes of *E. prolifera*

表 2 各温度条件下的藻体形态变化及显微观察结果

Table 2 Morphological changes and microscopic observation of different temperature groups

时 间	<i>t</i>		
	26~32 ℃	14~23 ℃	5~11 ℃
0~第 3 天	深绿,主枝变粗,分枝增殖明显(图 7b)	同 26~32 ℃ 条件	同 26~32 ℃ 条件
第 3 天~第 6 天	末期部分藻段呈现淡黄色(图 7c),水中观察到游动生殖细胞(图 7e)	末期出现淡黄色藻段,水体中未发现生殖细胞	11 ℃,S 为 32 组出现淡黄色藻段,其余组颜色正常
第 6 天~第 9 天	大部分藻体变黄色,萌发的幼体在培养液和器皿壁上出现(图 7g)	黄色藻段开始增多,水中发现游动的生殖细胞	11 ℃,S 为 32 组有生殖细胞出现,其余组无异常
第 9 天~第 12 天	大部分藻体变为黄色或褐色,出现部分白色藻段,培养液和器皿壁上萌发幼体量增多	黄色藻段增多,培养液和器皿壁上出现少量萌发幼体	均出现黄色藻段,培养液中发现了少量生殖细胞(11 ℃ 的部分组较多)
第 12 天~第 15 天	大部分藻体呈黄褐色,部分白色,培养液和器皿壁上附着大量萌发幼体(图 7h)	大部分藻体呈黄褐色,培养液和器皿壁上有较多萌发幼体	黄色藻段均较少,培养液中出现少量生殖细胞,器皿壁上出现少量萌发幼体(11 ℃ 的部分组较多)

3 讨 论

3.1 藻体生长率变化与生殖生长

整个培养期内,浒苔藻体一进入生殖生长阶段,生长率会出现显著下降,5 ℃组,8 ℃组在 9~15 d 生长率明显高于 26~32 ℃,主要原因可能是低温组前期生长缓慢,后期仍有较多藻体处于营养生长期从而保持了较高生长率。

培养前期,26~32 ℃组浒苔藻体生长率较高,同时也较早地进入生殖生长阶段,而其藻体形态的表现是

主枝由管状变为片状。曾有学者报道,片状叶状体的孢子释放能力要明显强于丝状或管状叶状体^[8]。这与本文的结果相吻合。

3.2 浒苔最适生长的温度、盐度条件

20℃、S为26实验组的SGR最高,达37.80%。本实验中浒苔最适生长条件是 t 为20~26℃,S为26~32,此期间增长率能达到36%以上。与王建伟等^[3]实验得出浒苔生长的最适宜的 t 为20~25℃、S为24~28相近。

在同一实验盐度下,浒苔SGR均随温度的增加呈先升高后降低的趋势。5~11℃和29~32℃均不利于浒苔的生长。高盐度下(S为20~32),浒苔在20℃时增长率最大,低盐度下(S为14)浒苔在23~26℃时增长率最大,低盐度下最大生长率出现的温度有升高的趋势。

3.3 藻体形态及颜色的变化

在藻体顶端的细胞容易形成生殖细胞囊^[4]。但本研究中,生殖细胞囊也可能开始形成于藻体中部。成熟的叶状体形成生殖细胞囊,反映在藻段颜色变化上,是由深绿变成淡黄色,颜色变化范围由某个藻段扩展到整个藻体。形成孢子(配子)囊的藻段可在几分钟内释放大量的生殖细胞(如显微镜高光强条件下),释放后的细胞形成空壳。藻体形态和颜色的变化可以作为藻体生长阶段的标识。

3.4 浒苔繁殖体的显微观察

培养后期,对培养液显微观察发现,有大量的萌发幼体在水体中悬浮或漂浮生长。此现象说明生殖细胞可以固着于水体中微小的悬浮物上萌发生长。还有的生殖细胞固着在原藻体上萌发生长。烧杯底部出现大量的萌发幼体,主要是由于生殖细胞在重力作用下下沉后固着,萌发^[8]。

培养液中、器皿壁上固着的生殖细胞以及其他各种繁殖体可以近似的看做是浒苔的“繁殖体库”^[14]。但由于生殖细胞的释放,藻段的分解,致使微生物和原生动物大量繁殖。浒苔繁殖体库会因原生动物等的摄食而遭受损失。不良环境下其繁殖体能存活数月,等环境适宜它们就会萌发生长^[15]。繁殖体库对于海藻的生命史至关重要,对浒苔繁殖体库的研究还有待于进一步探讨。

参考文献(References):

- [1] State Oceanic Administration People's Republic of China. Chinese Marine Disaster Bulletin. [2010-3-05] <http://www.soa.gov.cn/hyjww/ml/gb/lj/webinfo/2010/03/1265846970202624.htm>. 国家海洋局. 中国海洋灾害公报. [2009-3-12] <http://www.soa.gov.cn/hyjww/ml/gb/lb/webinfo/2009/03/1225332553271301.htm>.
- [2] WU H X, XU A G, WU M N. Preliminary study on experimental ecology of *Enteromorpha prolifera* (Müll.) [J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science, 2000, 19(3): 230-234. 吴洪喜, 徐爱光, 吴美宁. 浒苔实验生态的初步研究[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2000, 19(3): 230-234.
- [3] WANG J W, YAN B L, LIN A P. Ecological factor research on the growth and induction of spores release in *Enteromorpha Prolifera* (Chlorophyta) [J]. Marine Science Bulletin, 2007, 26(2): 60-65. 王建伟, 阎斌伦, 林阿朋. 浒苔生长及孢子释放的生态因子研究[J]. 海洋通报, 2007, 26(2): 60-65.
- [4] WANG J W, LIN A P, LI Y Y, et al. Microscopic observation on the development of *Enteromorpha prolifera* (Chlorophyta) [J]. Ecologic Science, 2006, 25(5): 400-404. 王建伟, 林阿朋, 李艳燕, 等. 浒苔(*Enteromorpha prolifera*)藻体发育的显微观察[J]. 生态科学, 2006, 25(5): 400-404.
- [5] LIN A P, SHIEN S D, WANG J W, et al. Reproduction diversity of *Enteromorpha prolifera*. Journal of Integrative Plant Biology, 2008, 50(5): 622-629.
- [6] WANG X K, MA J H, YE D C, et al. Preliminary study on the life history of *Enteromorpha prolifera* [J]. Marine Science Bulletin, 2007, 26(5): 112-116. 王晓坤, 马家海, 叶道才, 等. 浒苔生活史的初步研究[J]. 海洋通报, 2007, 26(5): 112-115.

- [7] HIRAOKA M, DAN A, SHIMADA S, et al. Different life histories of *Enteromorpha prolifera* (Ulvaes, Chlorophyta) from four rivers on Shikoku Island, Japan[J]. *Phycologia*, 2003, 42(3):275-284.
- [8] CALLOW M E, CALLOW J A. Primary adhesion of *Enteromorpha prolifera* (Chlorophyta, Ulvaes) propagules: quantitative settlement studies and video microscopy [J]. *Journal of Phycology*, 1997, 33: 938-947.
- [9] SCHORIES D. Sporulation of *Enteromorpha* spp. (chlorophyta) and overwintering of spores in sediments of the Wadden Sea, Island Sylt, North Sea[J]. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 1995, 29(3-4):341-347.
- [10] SOUSA A I, MARTINS I. Influence of salinity, nutrients and light on the germination and growth of *Enteromorpha* sp. spores[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007, 341:142-150.
- [11] LIANG Z Y, LIN X Z, MA M, et al. A preliminary study of the *Enteromorpha prolifera* drift gathering causing the green tide phenomenon[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2008, 38(4):601-604. 梁宗英, 林祥志, 马牧, 等. 浒苔漂流聚集绿潮现象的初步分析[J]. *中国海洋大学学报*, 2008, 38(4):601-604.
- [12] GUO G L, DONG S L. Effects of desiccation on the growth and photosynthetic rate of four intertidal macroalgae from different vertical locations [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2008, (4):78-84. 郭赣林, 董双林. 干出对潮间带不同垂直位置海藻的生长及光合作用速率的影响[J]. *海洋湖沼通报*, 2008, (4):78-84.
- [13] SUN J, LIU D Y. Preliminary study on marine phytoplankton sampling and analysis strategy for ecosystem dynamic research in coastal waters [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2003, 34(2):225-232. 孙军, 刘东艳. 近海生态系统动力学研究中浮游植物采样及分析策略[J]. *海洋与湖沼*, 2003, 34(2):224-232.
- [14] ZOU D H, XIA J R. Studies progresses of sexual reproductive ecology in seaweeds [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12):2871-2877. 邹定辉, 夏建荣. 海藻有性繁殖生态学研究进展[J]. *生态学报*, 2004, 24(12): 2871-2877.
- [15] HOFFMANN A J, SANTELICES B. Banks of algal microscopic forms: hypotheses on their functioning and comparisons with seed banks[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1991, 79: 185-194.

Microscopic Observation on Population Growth and Reproduction of *Enteromorpha prolifera* Under Different Temperature and Salinity

ZHANG Xiao-hong^{1,2}, WANG Zong-ling^{1,2}, LI Ri-xiang^{1,2}, LI Yan^{1,2}, WANG Xiao^{1,2}

(1. *The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China*; 2. *Key Lab of Science and Engineering for Marine Ecological Environment, SOA, Qingdao 266061, China*)

Abstract: In order to study the effects of temperature and salinity on the growth and reproduction of *Enteromorpha prolifera*, ten temperature levels (5~32 °C) and four salinity levels (14~32) under each temperature level were set, and the algae wet weight and specific growth rate (SGR) under different culture conditions were studied. The growth of the algae was sensitive to the changes of temperature, other than to that of salinity. At the same salinity, the SGR had a trend of increase followed with a decrease. With the decrease of the salinity, the increase of the temperature was suitable for growth. *E. prolifera* had a highest SGR of 37.80% at 20 °C and salinity of 26. Those groups with high SGR entered reproductive phase first and followed with a sharp decrease of SGR and morphological changes of the algae. This observation will help us deeply understand the green algae bloom and evolvement process.

Key words: *Enteromorpha prolifera*; specific growth rate; vegetative growth; reproductive growth

Received: October 11, 2010