

环境因子对萱藻(*Scytosiphon lomentaria*) 孢子附着的影响*

张文健 宫相忠 高伟

(中国海洋大学海洋生命学院 青岛 266003)

提要 将实验室保存的萱藻丝状体经过扩增、诱导得到具有成熟孢子囊的丝状体作为实验材料,在实验室条件下研究了光照强度[0—126 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]、温度(7—27 $^{\circ}\text{C}$)、盐度(8—56)、pH(6.7—9.7)对萱藻孢子附着的影响。结果表明:(1)萱藻孢子附着的最适光照强度为 54 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,在此光照强度下,单位面积的孢子附着量最大;(2)温度对萱藻孢子附着的影响显著,19 $^{\circ}\text{C}$ 是萱藻孢子附着的最佳温度条件;(3)盐度过低(24)或过高(40)都会造成孢子的死亡,萱藻孢子附着的最适盐度为 30;(4)在设定的 pH 范围内,当 pH 为 8.2 时,最有利于萱藻孢子的附着。

关键词 萱藻;孢子附着;光照强度;温度;盐度;pH

中图分类号 Q945.51

萱藻 (*Scytosiphon lomentaria*) 隶属于褐藻门 (Phaeophyta)、褐子纲 (Phaeosporaeae)、网管藻目 (Dictyosiphonales)、萱藻科 (Scytosiphonaceae)、萱藻属 (*Scytosiphon*), 广泛分布于我国北起辽东半岛南至广东省海陵岛之间的广大沿海海域, 系泛温带性海藻。据报道, 萱藻在抗氧化性 (Kuda *et al*, 2005)、抗肿瘤 (Noda *et al*, 1990; 徐年军等, 2001)、抗病毒 (Hudson *et al*, 1999) 等方面均有显著效果; 此外, 萱藻口味鲜美、营养价值高, 具有较高含量的褐藻胶、不溶性膳食纤维、蛋白质和脂肪 (张宇等, 2011)。这都说明了萱藻是一种具有极大栽培潜力的优质海藻资源。

萱藻具有异型世代交替的生活史, 由大型的叶状配子体世代和微小的孢子体世代构成, 孢子体世代主要有垫状体、类垫状体、丝状体三种存在形式 (邢永泽等, 2010)。到目前为止, 国内外对萱藻的生活史 (Clayton, 1976, 1978; Pedersen, 1980; Kogame, 1996; 邢永泽等, 2010)、形态分类 (Clayton, 1978; Kogame, 1998; Parente *et al*, 2003)、遗传多样性 (Cho *et al*, 2007)、孢子放散 (高伟等, 2012) 等方面进行了报道。但是作为苗种繁育过程中的重要环节, 萱藻孢子附

着条件的研究国内外尚未见报道。作者重点研究了光照强度、温度、盐度以及 pH 等环境条件对萱藻孢子附着的影响, 以期获得萱藻孢子附着的最佳条件, 为萱藻的苗种繁育及繁殖生物学的研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

研究所用萱藻丝状体取自本实验室萱藻种质库, 为获取足够量的萱藻丝状体, 先将其在一定条件下进行扩增培养, 培养条件为 (22.0 \pm 0.5) $^{\circ}\text{C}$, L/D = 14/10, 光强 86.4—97.2 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 所用培养液为 F₁ 培养液 (高伟等, 2012)。充气培养 2 个月, 当萱藻丝状体生物量达到实验要求时, 对其进行单室孢子囊的诱导培养, 诱导条件为 (17.0 \pm 0.5) $^{\circ}\text{C}$, L/D = 10/14, 光强 (28.0 \pm 2.7) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。诱导 1 个月后, 收集具有成熟孢子囊的丝状体用于实验研究。

1.2 实验方法

1.2.1 孢子液的准备 将一定量的含有成熟孢子囊的萱藻丝状体藻液用消毒的 200 目尼龙筛绢过滤, 去除培养液后进行阴干处理, 3h 后放入消毒海水中进

* 国家 863 计划项目资助, 2012AA10A413 号。张文健, E-mail: zwj19881121@yeah.net

通讯作者: 宫相忠, 教授, E-mail: gxzhw@163.com

收稿日期: 2012-05-29, 收修改稿日期: 2012-09-17

行孢子的放散,放散条件为光照强度(54.0 ± 2.7) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、温度(12.0 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$ 。放散 30min 后,将丝状体取出,得到一定密度的孢子液,进行如下实验。

1.2.2 光照强度实验 将得到的孢子液用消毒海水稀释至 $5.00 \times 10^4 \text{ind}/\text{mL}$,用于研究光照强度对孢子附着的影响。光照强度设置 0、18、36、54、72、90、108、126(± 2.7) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 8 个梯度。向经过灭菌的直径为 9cm 的玻璃培养皿中加入 40mL 孢子液,并置入 5 个 18mm \times 18mm 的盖玻片,各盖玻片不重叠。将培养皿放入光照培养箱中,温度设置为(12.0 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$,光周期为 L:D=12:12。每个梯度设置 3 个平行样。

实验周期为 48h,在 4h、12h、24h、48h 时分别取每个培养皿中的一个盖玻片,用消毒海水反复冲洗附着面,以冲掉附着面上未附着牢固的孢子,每个玻片随机镜检 10 个视野,统计各视野中的孢子附着数量,求得 3 个平行样中的平均值,以减小误差。

1.2.3 温度实验 温度设置为 7、12、17、19、22、24、27(± 0.5) $^{\circ}\text{C}$ 7 个梯度。将得到的孢子液用消毒海水稀释至 $5.00 \times 10^4 \text{ind}/\text{mL}$ 用于研究温度对孢子附着的影响。向经过灭菌的直径为 9cm 的玻璃培养皿中加入 40mL 的孢子液,并置入 5 个 18mm \times 18mm 的盖玻片,各盖玻片不重叠。将培养皿移入光照培养箱中,光照强度设置为(54.0 ± 2.7) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光周期为 L:D=12:12。每个梯度设置 3 个平行样。

实验周期与检测方法同 1.2.2。

1.2.4 盐度实验 将得到的孢子液用蒸馏水、消毒海水和氯化钠配制成盐度梯度为 8、16、24、30(灭菌海水)、40、48、56(± 0.5),密度为 $5.00 \times 10^4 \text{ind}/\text{mL}$ 的孢子液用于研究盐度对孢子附着的影响。向经过灭菌的直径为 9cm 的玻璃培养皿中加入 40mL 的孢子液,并置入 5 个 18mm \times 18mm 的盖玻片,各盖玻片不重叠,然后将培养皿放入光照培养箱,光照强度设置为(54.0 ± 2.7) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光周期为 L:D=12:12,温度(12.0 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$ 。每个梯度设置 3 个平行样。

实验周期与检测方法同 1.2.2。

1.2.5 pH 实验 将得到的孢子液用消毒海水稀释至 $5.00 \times 10^4 \text{ind}/\text{mL}$ 用于研究 pH 对孢子附着的影响。pH 设置为 6.7、7.2、7.7、8.2、8.7、9.2、9.7(± 0.05) 7 个梯度,用 0.1mol/L 的盐酸和 0.1mol/L 的氢氧化钠溶液调节孢子液的 pH 值。向经过灭菌的直径为 9cm 的玻璃培养皿中加入 40mL 的孢子液,并置入 5 个 18mm \times 18mm 的盖玻片,各盖玻片不重叠,将培养

皿放入光照培养箱,光照强度设置为(54.0 ± 2.7) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光周期为 L:D=12:12,温度为(12.0 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$ 。每个梯度设置 3 个平行样。

实验周期与检测方法同 1.2.2。

2 结果

2.1 萱藻孢子的附着

刚放散的萱藻孢子呈梨形,大小 3—7 μm 。有两条侧生前长后短的不等长鞭毛,长鞭毛约 12—17 μm ,短鞭毛约 6—10 μm 。游孢子从孢子囊放散出来以后在水中活泼游动,经过 30min 左右就可观察到孢子开始附着。

2.2 光照强度对萱藻孢子附着的影响

萱藻孢子附着密度在不同光照强度下的变化情况见图 1,在设定的光照强度范围内[0—126 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]萱藻孢子均有附着。从总体上看,孢子附着密度在 0—54 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 范围内随光照强度的加强而增加,在 54—126 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 范围内随光照强度加强而降低。光强为 54 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,在 4h、12h、24h、48h 时,孢子附着密度分别为: 1.18×10^4 、 1.75×10^4 、 2.29×10^4 、 $2.93 \times 10^4 \text{ind}/\text{cm}^2$,均大于同期其它梯度的孢子附着密度。

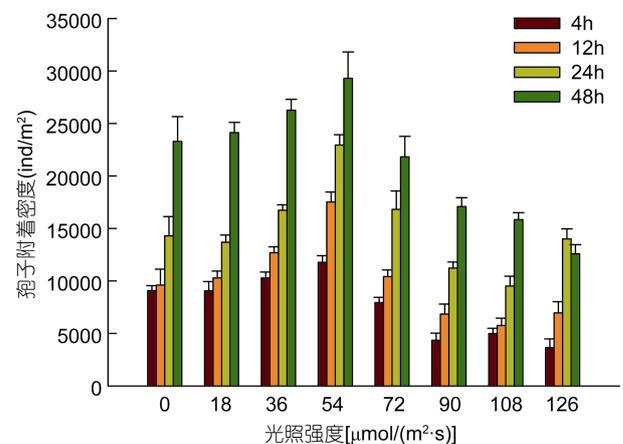


图 1 光照强度对萱藻孢子附着的影响

Fig.1 Effects of light intensity on spore attachment of *S. lomentaria*

随光照强度的升高,其它条件下 48h 时的附着密度依次为 54 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时的 79.54%、82.39%、89.65%、74.56%、58.34%、54.07%、43.01%(表 1)。另外,光强在 0—108 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,孢子附着密度均随时间的延长而增加,均在 48h 时达到最大。而在 126 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,孢子附着密度随时间的延

长呈现先增加后降低的趋势, 孢子附着密度在 24h 时达到最大, 且该条件下孢子附着不均匀。

在一定的附着密度范围内, 萱藻孢子附着的越牢固、越均匀、附着密度越大, 越有利于萱藻的苗种生产。因此, 光照强度为 $54\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时最适宜萱藻孢子的附着。

2.3 温度对萱藻孢子附着的影响

温度对萱藻孢子附着的影响显著。由图 2 可知, 在设定的温度范围(7—27℃)内, 萱藻孢子均可附着。各温度条件下, 孢子附着密度均随附着时间的延长而增大, 附着 48h 后随温度的升高, 其值依次为: 1.22×10^4 、 1.74×10^4 、 1.92×10^4 、 2.38×10^4 、 2.08×10^4 、 1.44×10^4 、 $1.25 \times 10^4 \text{ind}/\text{cm}^2$ 。

表 1 光照强度对萱藻孢子相对附着率(%)的影响
Tab.1 Effects of light intensity on spore relative attachment rates (%) of *S. lomentaria*

光照强度 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	附着时间(h)			
	4	12	24	48
0	77.06	54.85	62.31	79.54
18	76.82	58.69	59.66	82.39
36	87.32	72.42	72.95	89.65
54	100.00	100.00	100.00	100.00
72	67.27	59.40	73.28	74.56
90	36.87	39.07	48.90	58.34
108	42.33	32.93	41.49	54.07
126	30.93	39.71	61.02	43.01

相对附着率 = 某光强条件下的孢子附着密度 / 同期 $54\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时的附着密度

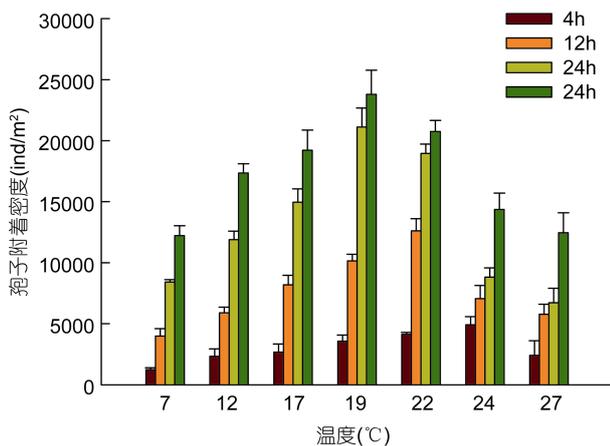


图 2 温度对萱藻孢子附着的影响

Fig.2 Effects of temperature on spore attachment of *S. lomentaria*

在实验周期内, 4h 时的附着密度在 7—24℃ 范围内随温度的升高而增加, 在 24—27℃ 范围内随温度的升高而降低, 22℃ 和 24℃ 时的附着密度依次是 $4.13 \times$

$10^3 \text{ind}/\text{cm}^2$ 、 $4.91 \times 10^3 \text{ind}/\text{cm}^2$, 分别为 19℃ 时的 115.59%、137.48% (表 2)。12h 的附着密度在 7—22℃ 范围内随温度的升高而增加, 在 22—27℃ 范围内随温度的升高而降低, 22℃ 的孢子附着密度为 $1.26 \times 10^4 \text{ind}/\text{cm}^2$, 高于同期其它梯度的附着密度, 是 19℃ 条件下附着密度的 124.2% (表 2)。24h 和 48h 的附着密度在 7—19℃ 范围内随温度的升高而增加, 在 19—27℃ 范围内随温度的升高而降低。

表 2 温度对萱藻孢子相对附着率(%)的影响
Tab.2 Effects of temperature on spore relative attachment rates (%) of *S. lomentaria*

温度(°C)	附着时间(h)			
	4	12	24	48
7	34.85	39.29	39.88	51.38
12	65.32	58.07	56.30	72.94
17	74.78	80.67	70.80	80.72
19	100.00	100.00	100.00	100.00
22	115.59	124.20	89.73	87.21
24	137.48	69.46	41.75	60.36
27	67.60	56.96	31.80	52.35

相对附着率 = 某温度条件下的孢子附着密度 / 同期 19℃ 时的附着密度

在萱藻采苗过程中, 为使孢子附着密度达到生产要求, 延长附着时间是很有必要的, 生产上一般附着 48h 左右。尽管 22℃ 和 24℃ 条件下的孢子附着密度在附着前期(4h, 12h)较大, 但是后期(24h, 48h)却低于 19℃ 条件下的附着密度。而且高温(24℃)条件下, 孢子游泳能力明显降低, 放散 2h 后孢子就将不再游动, 对后期孢子的萌发及配子体早期发育也有一定的不利影响。综合比较, 19℃ 是萱藻孢子附着的最佳温度。

2.4 盐度对萱藻孢子附着的影响

萱藻孢子在不同盐度条件下的附着密度有很大差别。图 3 结果表明, 4h、12h、24h、48h 时, 孢子附着密度在 8—30 范围内, 均随盐度的增高而增加, 在 30—56 范围内均随盐度的增高而降低。盐度为 24、30、40 时, 孢子附着密度均随时间的延长而增加; 盐度为 16、48、56 时, 孢子附着密度随时间的延长呈现先增加后降低的趋势, 均在 24h 时达到附着密度的最大值; 盐度为 8 时, 孢子附着密度几乎为零。另外, 由表 3 可知, 附着 48h 后随盐度的增高, 其它各盐度条件下的孢子附着密度只有盐度为 30 时的 2.30%、22.41%、38.19%、43.10%、24.61%、0.94%。研究还

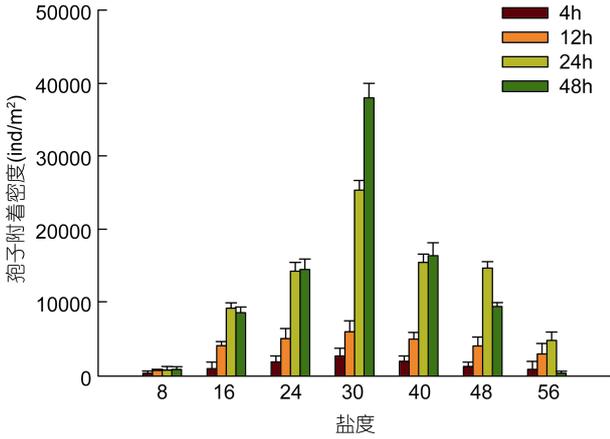


图3 盐度对萱藻孢子附着的影响

Fig.3 Effects of salinity on spore attachment of *S. lomentaria*

表3 盐度对萱藻孢子相对附着率(%)的影响

Tab.3 Effects of salinity on spore relative attachment rates (%) of *S. lomentaria*

盐度	附着时间(h)			
	4	12	24	48
8	13.23	12.59	3.13	2.30
16	37.12	68.52	36.10	22.41
24	70.30	84.68	56.43	38.19
30	100.00	1.00.00	100.00	100.00
40	73.55	83.63	61.12	43.10
48	48.03	67.89	58.06	24.61
56	33.18	49.63	18.92	0.94

相对附着率 = 某盐度条件下的孢子附着密度/同期盐度为30时的附着密度

发现, 低盐度条件(8, 16)下孢子因吸水而胀破, 高盐度条件(40, 56)下孢子因失水而缢缩。综上所述, 盐度为30的条件下, 最有利于萱藻孢子的附着。

2.5 pH对萱藻孢子附着的影响

图4结果表明, 各pH条件下孢子附着密度均随时间的延长而增加。在4h、12h、24h、48h时, 孢子附着密度均在6.7—8.2范围内随pH的增大而呈现缓慢增加的趋势, 在8.2—9.7范围内随pH的增大而呈现缓慢降低的趋势。实验结果还表明, 在设定的pH范围内, 不同pH条件下的孢子附着情况只存在数量上的差异, 并未发现孢子在活力、附着均匀度等方面的不同。附着48h后, 随pH的增大, 附着密度依次为 1.46×10^4 、 1.73×10^4 、 1.84×10^4 、 2.09×10^4 、 2.01×10^4 、 1.75×10^4 、 1.30×10^4 ind/cm²。而表4显示, 附着48h后, 随pH的升高, 各pH条件下的孢子附着密度分别为 pH 8.2 时的 69.85%、82.84%、87.96%、

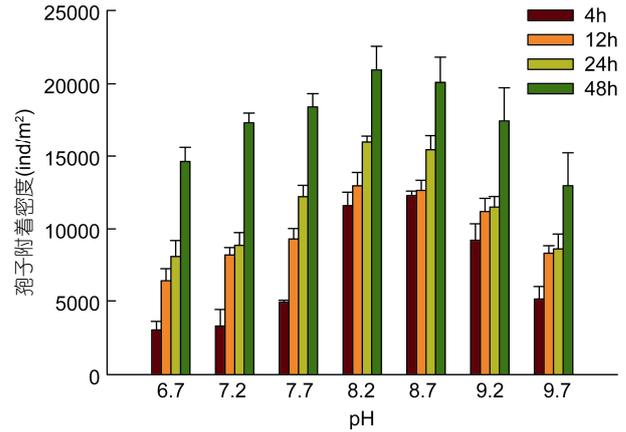


图4 pH对萱藻孢子附着的影响

Fig.4 Effects of pH on spore attachment of *S. lomentaria*

表4 pH对萱藻孢子相对附着率(%)的影响

Tab.4 Effects of pH on spore relative attachment rates (%) of *S. lomentaria*

pH	附着时间(h)			
	4	12	24	48
6.7	26.15	49.68	50.78	69.85
7.2	28.39	63.34	55.61	82.84
7.7	42.32	71.87	76.50	87.96
8.2	100.00	100.00	100.00	100.00
8.7	105.93	97.53	96.74	95.97
9.2	79.51	86.33	72.06	83.43
9.7	44.20	64.31	54.05	61.94

相对附着率 = 某 pH 条件下的孢子附着密度/同期 pH=8.2 时的附着密度

95.97%、83.43%、61.94%。因此, 从附着密度上看, 萱藻孢子附着的最佳 pH 值为 8.2。

3 讨论

在萱藻的苗种生产过程中, 孢子的放散和附着都是在育苗池中进行的。但是萱藻孢子能否牢固的附着到附着基上, 受到育苗池的各种理化因子的影响, 萱藻孢子在网帘上的附着量直接决定了采苗的效果, 是萱藻育苗过程中的重要环节。

不同海藻孢子在黑暗条件下的附着情况不同。紫菜(李世英等, 1979)和舌状蜈蚣藻(宋志民等, 2013)的孢子必须在光照条件下才能附着, 在黑暗条件下基本不附着。萱藻孢子无论是在强光、弱光还是黑暗条件下均可附着, 说明光照不是萱藻孢子附着的必要条件, 这与海带孢子的附着规律具有相似性(曾呈奎等, 1984)。另外, 光照强度为 $126 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, 在

48h 的附着周期内, 孢子附着量出现先增加后降低的趋势, 分析原因可能是高光强降低了孢子的活力甚至导致了附着孢子的死亡, 这些孢子极易被海水冲洗掉。因此, 在萱藻的采苗过程中要避免因光强过高而导致孢子状态不佳的情况发生。另外, 在观察附着后孢子的萌发过程中还发现, 在黑暗条件下萱藻孢子基本不萌发, 当光照低于 $18\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时, 孢子萌发率较低。因此, 在实际生产中要控制育苗池中放入网帘的数目, 防止因网帘层数过多造成育苗池底部光强降低, 进而造成采苗效果达不到生产要求。

温度对萱藻孢子的附着具有重要的影响。作者在对萱藻游动孢子的连续观察过程中发现, 温度为 7°C 的条件下, 孢子长时间内不附着, 48h 后仍会有游动的孢子, 随着温度的升高, 游动时间逐渐缩短, 这一现象与海带孢子在各温度下的游泳状态类似(曾呈奎等, 1984)。研究还证明, 萱藻孢子的耐高温能力较强, 较高温度条件下($22\text{—}27^\circ\text{C}$), 萱藻孢子的附着密度仍随时间的延长而增加, 而且形态上无明显变化。而裙带菜的孢子当温度高于 18°C 时会导致孢子的大量死亡, 附着密度呈现先多后少的趋势(刘佰先等, 1991)。这也恰恰为萱藻的广温性分布提供了科学解释。本实验室位于长岛的萱藻育苗和养殖基地一般在海水温度降低至 15°C 左右时进行采苗。根据本项研究结果, 19°C 是萱藻孢子附着的最佳温度, 比实际生产中的采苗温度高 4°C , 从而可以考虑将萱藻采苗时间提前两周左右, 进而实现萱藻的提前采收, 提高经济效益。但是, 该结论能否应用于实际生产, 真正实现萱藻的提前采苗, 还需进一步研究温度对于附着后孢子的萌发以及幼苗生长的影响。

有报道称, 海洋藻类对盐度的耐受程度很大程度上决定了其在潮间带中的生态分布(Perkins, 1974)。萱藻孢子对盐度的变化比较敏感, 这必然与萱藻在潮间带的分布特点有着某种联系。研究证明, 盐度为 30 条件下, 孢子附着密度最大, 随盐度的升高或降低, 孢子附着密度呈现急剧下降的趋势, 这一点与条斑紫菜壳孢子在 24—30 条件下都有很高的附着密度有较大的差异(崔广法等, 1982)。就萱藻而言, 在较低盐度(8—24)和较高盐度条件下(48—56), 由于孢子原生质与环境之间渗透压的差别, 孢子活力以及形态极易受到很大的影响, 进而造成一定的伤害, 不利于附着后孢子的萌发以及幼苗的生长。由于海藻栽培海域经常受到降雨天气、河流入海等的影响, 有时会导致栽培海域海水盐度的剧烈变化, 这一点在萱

藻采苗过程中应加以重视。

在萱藻的实际采苗过程中经常会遇到硅藻暴发的情况, 极大地影响了萱藻的采苗效果。根据本研究结果, 在 6.7—9.7 的 pH 范围内, 不同 pH 对萱藻孢子的影响主要体现在附着密度上的差异, 孢子活力以及附着均匀度上并无多大差别。而据报道, 大部分硅藻易于在微碱性环境中生长(Passy *et al*, 2004), 并且以 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 的形式吸收硅元素, pH 的变化必然会导致 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 含量的改变, 进而影响硅藻的生长(Lee, 2008)。因此, 这为人们在实际生产中抑制硅藻的暴发提供了一个可参考的解决办法, 深入研究能否通过调节 pH 来抑制育苗池中硅藻的暴发, 具有重要的实践意义。

关于孢子附着机制方面的研究, 有的学者认为藻类本身分泌的一种粘液类物质——硫酸化的脱氧半乳糖, 对孢子的附着起着决定性作用。这种糖类有的是孢子本身分泌的, 如仙菜属(*Ceramium*)(Chamberlain *et al*, 1973)、浒苔属(*Enteromorpha*)(Callow *et al*, 1974); 有的是在孢子将要放散时由藻体上的特殊分泌细胞合成并随着孢子的放散而分泌, 如海带(*Laminaria*)(Evans *et al*, 1973)、海囊藻(*Nereocystis*)(Walker *et al*, 1977)。作者在对萱藻孢子放散和附着的研究过程中也发现有粘液状物质出现, 这种粘液状物质的具体成分如何, 以及这种物质是否与萱藻孢子的附着有关, 有待进一步研究。

参 考 文 献

- 邢永泽, 宫相忠, 尹宝树等, 2010. 萱藻不同发育阶段形态学及生活史的研究. 中国海洋大学学报, 40(8): 98—10
- 刘佰先, 赵焕登, 1991. 裙带菜常温育苗试验. 海洋湖沼通报, 3: 73—79
- 李世英, 崔广法, 费修缙, 1979. 光线强度对条斑紫菜壳孢子附着的影响. 海洋与湖沼, 10(2): 183—186
- 宋志民, 陈伟洲, 刘 涛等, 2013. 温度光强和盐度对舌状蜈蚣藻果孢子放散与附着的影响. 海洋湖沼通报, 1: 90—96
- 张 宇, 付晓婷, 林 洪等, 2011. 萱藻营养品质的分析和评价. 营养学报, 33(6): 619—623
- 徐年军, 范 晓, 韩丽君等, 2001. 山东沿海海藻抗肿瘤活性的筛选. 海洋与湖沼, 32(4): 408—413
- 高 伟, 宫相忠, 张必达, 2012. 环境因子对萱藻(*Scytosiphon lomentaria*)丝状体孢子放散的影响. 海洋与湖沼, 43(2): 244—248
- 崔广法, 陈美琴, 林汉刚, 1982. 海水比重对条斑紫菜丝状体放散壳孢子和壳孢子附着的影响. 海洋科学, 4: 44—45
- 曾呈奎, 王素娟, 刘思俭, 1984. 海藻栽培学. 上海: 上海科学技术出版社, 77—79

- Callow M E, Evans L V, 1974. Studies on the ship-fouling alga *Enteromorpha* III. Cytochemistry and autoradiography of adhesive production. *Protoplasma*, 80: 15—27
- Chamberlain A H L, Evans L V, 1973. Aspects of spore production in the red alga *Ceramium*. *Protoplasma*, 76: 139—159
- Cho G Y, Kogame K, Kawai H *et al*, 2007. Genetic diversity of *Scytosiphon lomentaria* (Scytosiphonaceae, Phaeophyceae) from the Pacific and Europe based on RuBisCO large subunit and spacer, and ITS nrDNA sequences. *Phycologia*, 46(6): 657—665
- Clayton M N, 1976. The Morphology, anatomy and life history of a complanate form of *Scytosiphon lomentaria* (Scytosiphonales, Phaeophyta) from southern Australia. *Marine Biology*, 38: 201—208
- Clayton M N, 1978. Morphological variation and life history in cylindrical forms of *Scytosiphon lomentaria* (Scytosiphonaceae: Phaeophyta) from southern Australia. *Marine Biology*, 47: 349—357
- Evans L V, Simpson M, Callow M E, 1973. Sulphated polysaccharide synthesis in brown algae. *Planta*, 110: 237—252
- Hudson J B, Kim J H, Lee M K *et al*, 1999. Antiviral compounds in extracts of Korean seaweeds: Evidence for multiple activities. *Journal of Applied Phycology*, 10(5): 427—434
- Kogame K, 1996. Morphology and life history of *Scytosiphon canaliculatus* comb. nov. (Scytosiphonales, Phaeophyceae) from Japan. *Phycological Research*, 44: 85—94
- Kogame K, 1998. A taxonomic study of Japanese *Scytosiphon* (Scytosiphonales, Phaeophyceae), including two new species. *Phycological Research*, 46: 39—56
- Kuda T, Sunekawa M T, Goto H *et al*, 2005. Antioxidant properties of four edible algae harvested in the Noto Peninsula, Japan. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(7): 625—633
- Lee R E, 2008. *Phycology* (fourth edition). Cambridge University Press, New York, USA: 481—486
- Noda H, Amano H, Arashima K *et al*, 1990. Antitumor activity of marine algae. *Hydrobiologia*, 204/205: 577—584
- Parente M I, Neto A I, 2003. Morphology and life history of *Scytosiphon lomentaria* (Scytosiphonaceae, Phaeophyceae) from the Azores. *Journal of Phycology*, 39(2): 353—359
- Passy S I, Bode R W, Carlson D M *et al*, 2004. Comparative environmental assessment in the studies of benthic diatom, macroinvertebrate, and fish communities. *Internat Rev Hydrobiol*, 89(2): 121—138
- Pedersen P M, 1980. Culture studies on complanate and cylindrical *Scytosiphon* (Fucophyceae, Scytosiphonales) from Greenland. *British Phycological Journal*, 15: 391—398
- Perkins E J, 1974. *The Biology of Estuaries and Coastal Waters*. Academic Press, London, UK: 678
- Walker D C, Bxsalputra T, 1977. A re-examination of the mucilage duct system of *Nereocystis luetkeana* (Mertens) postels and Ruprecht, (Phaeophyta). *Protoplasma*, 93: 109—126

EFFECT OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON SPORE ATTACHMENT OF *SCYTOSIPHON LOMENTARIA*

ZHANG Wen-Jian, GONG Xiang-Zhong, GAO Wei
(College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao, 266003)

Abstract To understand the effect of environmental factors on the spore attachment of *Scytosiphon lomentaria*, we prepared its filaments of mature sporangia by amplification and induction as experimental material. The experiment was performed under laboratory conditions of light intensity 0—126 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, temperature (7—27 $^{\circ}\text{C}$), salinity (8—56), and pH (6.7—9.7). The results show that, for best per-unit-area spore attachment, the optimal conditions were: light intensity 54 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, temperature 19 $^{\circ}\text{C}$, salinity 24—40 in range (best at 30), and pH at 8.2.

Key words *Scytosiphon lomentaria*; spore attachment; light intensity; temperature; salinity; pH