

鼠尾藻池塘栽培生态观察

胡凡光 王志刚 李美真* 徐智广 王翔宇

(山东省海水养殖研究所, 青岛 266002)

摘要 2009年3月~2010年7月对鼠尾藻池塘栽培生长情况进行了研究分析。试验根据池塘水环境因子(水温、光照强度、盐度和pH)及鼠尾藻的生长特性,设置了自然苗、人工苗、帘子苗生长对比试验,不同水层、不同流速栽培试验及不同光照强度对鼠尾藻生长影响的试验。结果表明,1)相同试验条件下,自然苗生长最好,帘子苗其次,人工苗生长最慢;2)不同水层栽培结果显示,40~60 cm水层鼠尾藻生长最好,其次是0~20 cm水层,再次80~100 cm水层,150~200 cm水层生长最慢,并且于5月中旬即开始衰退脱落;3)流速1 m/s条件下鼠尾藻生长最快,随着流速的逐渐降低,鼠尾藻生长也逐渐变慢;4)光照强度为4 000~6 000 lx时鼠尾藻生长良好,高于10 000 lx或低于3 000 lx则鼠尾藻生长相对较缓慢。观察发现,池塘水温在12~18 ℃时鼠尾藻生长最快,在9~12 ℃和18~24 ℃时生长较缓慢,24 ℃以上停止生长并出现腐烂脱落现象。

关键词 鼠尾藻 池塘栽培 环境因子 生物量 生殖托

中图分类号 S968.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2013)06-0124-09

Ecological observations on *Sargassum thunbergii* cultivated in ponds

HU Fan-guang WANG Zhi-gang LI Mei-zhen*

XU Zhi-guang WANG Xiang-yu

(Mariculture Institute of Shandong Province, Qingdao 266002)

ABSTRACT To investigate the bioremediation function of *Sargassum thunbergii*, the seaweed was cultivated in ponds from March 2009 to July 2010, and the growth of thalli cultured in four modes with different temperature, light intensity, salinity and pH was determined. The results showed that, 1) under the same experimental conditions, wild seedlings grew faster than the curtain seedlings, and artificial seedlings grew even slower; 2) water-level of 40-60 cm was most suitable for the growth of *S. thunbergii*, better than 0-20 cm or 80-100 cm, while 150-200 cm showed the slowest growth and the thalli began to drop off due to decaying in mid May; 3) the thalli grew most rapidly at water flow rate of 1 m/s, which slowed down with the decrease of flow rate; 4) the thalli growth was at its best at light intensity between 4 000-6 000 lx, and the growth rate was relatively slower with the light intensity above 10 000 lx or below 3 000 lx. Additionally, this study also showed that from late April to mid May (water temperature, 14-18 ℃), *S. thunbergii* entered the fast-growth stage, with rapid increase of length and biomass;

国家863项目(2012AA10A413)、国家海洋公益项目(201105008-2;201305005)、山东省科技攻关计划项目(2009GG10005012)和山东省农业重大应用技术创新(2012.6-2014.6)共同资助

* 通讯作者。E-mail: li-meizhen@163.com

收稿日期:2012-05-17;接受日期:2012-11-14

作者简介:胡凡光(1977-),男,工程师,主要从事大型海藻养殖与应用研究。E-mail: hfg_2006@sohu.com

from mid May to early June (water temperature, 18-23 °C), the seaweed started to spawn and its length and biomass reached the maximal values; from mid-to-late June (water temperature, >24 °C), the seaweed began to decay and rot off due to the increasing water temperature.

KEY WORDS *Sargassum thunbergii* Pond culture Environmental factors
Biomass Receptacle

鼠尾藻 *Sargassum thunbergii* (Mert.) O. Kuntze 隶属褐藻门、圆子纲、墨角藻目、马尾藻科、马尾藻属,是北太平洋西部特有的暖温带性海藻,在我国北起辽东半岛、南至雷州半岛均有分布,是沿海常见野生海藻 (Phillips 1995;原永党等 2006),具有重要的经济价值,在海洋生态系统中占有重要地位(李美真等 2009)。作为一种新近开发的栽培品种,鼠尾藻具有许多潜在价值和应用领域:如提取凝集素和抗细菌、真菌的活性物质;含有可促进免疫的多糖类可用于代血浆;生产经济价值较大的甘露醇、碘等化工原料;作为食品抗氧化天然添加剂及中药药材等(郑怡 1994;张尔贤等 1995;师然新等 1997;于广利等 2000;魏玉西等 2002;韩晓弟等 2005;邹吉新等 2005)以及富集无机砷等重金属离子(净化海区)等。

近年来,随着海水养殖业的迅速发展,池塘养殖规模正在逐年扩大,特别是近几年兴起的海参池塘养殖热潮,发展势头迅猛,且呈现继续增长的趋势。高密度的池塘养殖导致养殖池塘水质下降、溶氧降低、氮磷含量大大超标,造成养殖动物病害频发,死亡现象时有发生;养殖池塘为防治动物疾病而大量用药,带来水产品安全隐患;养殖池塘废水大量排放,不但污染海洋环境,同时引起养殖池塘自身污染,造成恶性循环,这些现象严重制约了池塘养殖的可持续发展。近年的研究表明,养殖大型海藻是吸收利用营养物质、净化水质和延缓水域富营养化的有效措施之一(包杰等 2008;Ahn *et al.* 1998)。鼠尾藻具有吸附砷、锌、镉的能力,同时能净化海水中的氨氮、亚硝氮、磷酸盐等有害物质,而且鼠尾藻藻体长,生长快,春、秋季都可生长,黏液少,是一种可与增殖型鱼礁结合修复海区的好藻种(詹冬梅等 2006;吴海一等 2010),本研究试图将鼠尾藻这种潮间带大型褐藻引入池塘栽培,为鼠尾藻作为生物修复材料用于池塘生态修复奠定理论基础。

本研究于2009年3月~2010年7月在山东省青岛胶南市某海参养殖池塘进行了两次鼠尾藻池塘栽培试验,试验根据池塘水环境因子及鼠尾藻的生长特性设置了4种不同的栽培模式,并重点观测了池塘水温、光照强度和盐度对鼠尾藻生长的影响。

1 材料与方 法

1.1 自然苗、人工苗、帘子苗生长对比试验

1.1.1 试验材料

1.1.1.1 试验池塘

选择山东省青岛市胶南一个海参养殖池塘(3.3 hm²)作为试验用池塘。池塘底质为泥沙底质,泥:沙为(10%~20%):(80%~90%)、池塘海水盐度29~31、pH 7.8~8.3、水深1.5~2.5 m。

1.1.1.2 试验苗种

自然苗为采自青岛太平角海域的自然野生鼠尾藻苗;人工苗为实验室人工培育的鼠尾藻苗,经室内悬浮培育越冬;帘子苗为经池塘越冬后的鼠尾藻人工苗帘。试验苗架为16个用PVC管制成的长6 m、宽2 m的“日”字形框架,以及聚乙烯纤维绳和浮漂若干。

1.1.2 试验方法

1.1.2.1 苗种处理

将采回的自然苗先用过滤海水浸泡5 h,使附着在藻株上的甲壳类和多毛类等动物游离下来。挑选个体完整、无损伤的鼠尾藻,用毛刷在水龙头上将附着的软体动物(多见为贻贝)和多毛类动物以及泥沙洗刷掉。共生的杂藻,如珊瑚藻、石莼等,要仔细地用手从鼠尾藻上剥离下来。洗刷时注意不要破坏藻体的完整性,即一个藻株必须包括固着器、主茎、枝和叶片4部分,将处理好的野生鼠尾藻苗置于大的玻璃容器中暂养。人工苗及越冬苗按上述步骤处理。

1.1.2.2 试验设计

消毒后的聚乙烯纤维绳截成 2 m 长的绳段,480 根作为苗绳,然后把采集的自然苗和人工苗每 2~3 株为一簇夹到苗绳上,夹苗间距为 5 cm。然后把夹苗苗绳间隔 20 cm 均匀固定在 PVC 管制成的“日”字形框架上,自然苗框架 14 个,人工苗框架两个,同样把鼠尾藻苗帘间隔 20 cm 均匀固定在“日”字形框架上,帘子苗框架 3 个。本研究取 6 个自然苗框架、两个人工苗框架和 3 个帘子苗框架按一定顺序布置于池塘 0~20 cm 水层。

在日常管理方面,采用柴油压力喷水器冲刷苗帘和苗绳,隔天 1 次。

1.1.2.3 观察及测量

研究期间详细观察记录鼠尾藻出现次生分枝、气囊、生殖托,生殖托成熟、放散、大量排散,次生分枝和主枝脱落及初生分枝再生等生长情况。

研究设定每 10 d 定期测量鼠尾藻藻体体长和藻体湿重,测量方式为随机采下 30 株野生苗、30 株人工苗和 30 株帘子苗,分别测量其藻体体长和藻体湿重(称重时把鼠尾藻苗体放置在脱脂纱布上吸干表面水),取平均值作为单株生物量。每天测量池塘表层水温 and 池塘底层水温,每 10 d 定期测量池塘盐度和 pH,试验数据为测量当日 08:00、12:00、15:00 3 个不同时间点测量数据的平均值。

1.2 不同水层栽培鼠尾藻生长试验

材料、方法同 1.1.1、1.1.2,试验取 4 个自然苗框架,分别悬挂于池塘 0~20、40~60、80~100、150~200 cm 4 个不同水深条件下,观察鼠尾藻生长的情况。

1.3 不同流速栽培鼠尾藻生长试验

试验材料、方法同 1.1.1、1.1.2。试验设计在 0~20 cm 水层一自然苗框架一端固定 1 台充氧机,利用充氧机运转制造不同流水速度来达到试验效果。

1.4 光照强度对鼠尾藻藻体生长影响试验

试验材料、方法同 1.1.1、1.1.2。通过测量池塘不同水深光照强度值,分别设定 $>10\ 000$ 、 $4\ 000\sim 6\ 000$ 、 $2\ 000\sim 3\ 000$ 和 $<1\ 000$ lx 4 个不同光照强度区间,试验取 4 个自然苗框架,分别悬挂于 4 个光照强度区间所对应深度,每日定时测量不同水深的光照强度值,试验数据为测量当日 08:00、12:00、15:00 3 个不同时间点测量数据的平均值。根据测量数据相应地调整自然苗框架的悬挂水深。

1.5 统计分析

所有测定结果表示为平均数±标准差($n\geq 3$),用方差分析(ANOVA)和 t -检验进行统计显著性分析,以 $P<0.05$ 作为差异显著性水平。

2 结果与分析

2.1 自然苗、人工苗、帘子苗生长情况比较

表 1 列出了池塘栽培鼠尾藻自然苗、人工苗、帘子苗生长的试验数据。由表 1 分析得知,随着试验时间的推移,池塘水温从 3 月 26 日的 $9.3\ ^\circ\text{C}$ 持续升至 6 月 22 日的 $24.8\ ^\circ\text{C}$;池塘水体盐度变化范围保持在 $29.7\sim 30.8$ 之间;pH 变化范围为 $7.9\sim 8.2$ 。研究分析发现,鼠尾藻藻体体长和湿重的生长受水温的影响较大,水温在 $12\sim 18\ ^\circ\text{C}$ 时鼠尾藻生长最快,在 $9\sim 12\ ^\circ\text{C}$ 和 $18\sim 24\ ^\circ\text{C}$ 时生长缓慢, $24\ ^\circ\text{C}$ 以上停止生长并出现腐烂脱落;盐度和 pH 对鼠尾藻生长影响相对较小。由表 1 试验数据分析可知,在同一试验条件下,自然苗藻体生长最好,其藻体长度最长、湿重最重,帘子苗其次,离体越冬后的人工苗藻体生长最慢、藻体长度最短、湿重增长最慢($P<0.05$)。观察发现,4 月下旬~5 月中旬是鼠尾藻快速生长期,这期间鼠尾藻藻体体长生长最快,5 月中旬~6 月上旬是鼠尾藻藻体湿重快速增长期,这期间也是鼠尾藻次生分枝生长旺盛期,其中帘子苗从 6 月上旬开始出现藻体体长缩短、湿重降

低,分析原因是因为帘子背面光线太暗,出现部分苗体开始衰退,从而影响其平均长度和湿重。至 6 月下旬,自然苗和人工苗均出现藻体体长缩短、湿重降低,分析原因是温度升高导致鼠尾藻苗体出现衰退所致。

表 1 池塘环境因子和鼠尾藻自然苗、人工苗、帘子苗生长情况

Table 1 Pond environment factors and growth conditions of *S. thunbergii* natural seedling, artificial seedling and curtain seedling

苗种 Seedling	日期(月-日) Date (m-d)	水温 Water temperature(°C)	盐度 Salinity	pH	藻体平均体长 Average length of thalli (cm)	单株藻体平均湿重 Average wet weight of individual seaweed (g)
自然苗 Natural seedling	03-26	9.3	30.3	8.2	8.7±2.53	0.97±0.28
	04-09	14	29.8	8.1	12.4±3.60	1.34±0.45
	04-21	14	30	7.9	16.1±4.08	1.75±0.71
	04-29	16	30.2	7.9	26.1±6.01	2.90±0.96
	05-11	17.4	30.8	8	35.3±4.93	4.74±2.14
	05-21	18.5	30.2	8.1	37.5±6.88	7.50±1.90
	05-31	22.5	29.7	7.9	40.5±7.23	13.3±4.02
	06-11	24.5	30.3	8.1	43.6±6.73	16.52±5.06
人工苗 Artificial seedling	06-22	24.8	30.8	8.2	38.0±7.58	11.03±3.23
	03-26	9.3	30.3	8.2	5.4±1.72	0.49±0.21
	04-09	14	29.8	8.1	5.9±1.74	0.55±0.20
	04-21	14	30	7.9	6.0±1.68	0.58±0.33
	04-29	16	30.2	7.9	7.0±3.40	0.85±0.39
	05-11	17.4	30.8	8	12.6±3.47	1.58±0.97
	05-21	18.5	30.2	8.1	14.5±4.02	2.82±0.79
	05-31	22.5	29.7	7.9	16.0±4.63	4.75±1.21
帘子苗 Curtain seedling	06-11	24.5	30.3	8.1	17.5±4.89	6.68±1.30
	06-22	24.8	30.8	8.2	14.0±3.48	6.03±1.16
	03-26	9.3	30.3	8.2	6.0±3.04	0.59±0.35
	04-09	14	29.8	8.1	7.4±3.40	0.74±0.37
	04-21	14	30	7.9	11.2±4.0	1.23±0.40
	04-29	16	30.2	7.9	14.2±4.63	1.60±0.99
	05-11	17.4	30.8	8	16.1±4.58	1.87±1.07
	05-21	18.5	30.2	8.1	20.0±4.72	4.10±1.77
	05-31	22.5	29.7	7.9	22.3±6.82	7.13±2.12
	06-11	24.5	30.3	8.1	19.0±5.71	6.72±1.75
	06-22	24.8	30.8	8.2	16.1±4.18	6.10±1.58

2.2 不同水层栽培对鼠尾藻生长的影响

表 2 为不同悬挂水层鼠尾藻生长情况,从表 2 试验数据分析可知,不同悬挂水层对鼠尾藻生长影响很大 ($P<0.05$),40~60 cm 水层鼠尾藻生长最好,6 月上旬藻体平均体长达到 55.2 cm,单株藻体平均湿重达到 21.5 g;其次是 0~20 cm 水层生长的鼠尾藻,6 月上旬藻体平均体长 43.6 cm,单株藻体平均湿重达到 16.5 g;80~100 cm 水层生长的鼠尾藻至 6 月上旬时藻体平均体长 34.6 cm,单株藻体平均湿重达到 12.7 g;以上 3 个水层生长的鼠尾藻至 6 月上旬时,其藻体体长和湿重均生长至最大,6 月中旬起,由于水温升高至 24 °C 以上,这时藻体出现腐烂脱落现象导致其藻体体长和湿重均出现缩小。150~200 cm 水层生长的鼠尾藻至 5 月中旬

表2 鼠尾藻栽培不同水层环境因子及其生长情况

Table 2 Growth of *S. thunbergii* cultured at different depth and different environment

水层 Water level (cm)	日期(月-日) Date(m-d)	水温 Water temperature(°C)	盐度 Salinity	pH	藻体平均体长 Average length of thalli (cm)	单株藻体平均湿重 Average wet weight of individual seaweed (g)
0~20	03-26	9.3	30.3	8.2	8.7±2.53	0.97±0.28
	04-09	14	29.8	8.1	12.4±3.60	1.34±0.45
	04-21	14	30	7.9	16.1±4.08	1.75±0.71
	04-29	16	30.2	7.9	26.1±6.01	2.90±0.96
	05-11	17.4	30.8	8	35.3±4.93	4.74±2.14
	05-21	18.5	30.2	8.1	37.5±6.88	7.50±1.90
	05-31	22.5	29.7	7.9	40.5±7.23	13.30±4.02
	06-11	24.5	30.3	8.1	43.6±6.73	16.52±5.06
40~60	06-22	24.8	30.8	8.2	38.0±7.58	11.03±3.23
	03-26	9.4	30.3	8.2	8.7±2.53	0.97±0.28
	04-09	14.1	29.8	8.1	12.7±3.68	1.35±0.46
	04-21	14.2	30	7.9	19.8±5.0	2.10±0.75
	04-29	16.1	30.2	7.9	34.2±5.32	3.81±1.11
	05-11	17.4	30.8	8	46.2±6.17	5.80±1.95
	05-21	18.4	30.2	8.1	51.3±7.07	10.50±2.32
	05-31	22.4	29.7	7.9	53.3±6.75	19.60±5.18
80~100	06-11	24.3	30.3	8.1	55.2±7.82	21.49±4.94
	06-22	24.6	30.8	8.2	50.1±7.08	15.30±3.93
	03-26	9.5	30.3	8.2	8.7±2.53	0.97±0.28
	04-09	14.2	29.8	8.1	11.2±2.87	1.24±0.49
	04-21	14.3	30	7.9	14.3±4.54	1.56±0.66
	04-29	16.2	30.2	7.9	23.0±5.51	2.60±0.93
	05-11	17.3	30.8	8	28.5±7.16	3.91±1.13
	05-21	18.2	30.2	8.1	31.5±4.75	6.28±2.62
150~200	05-31	22.3	29.7	7.9	33.1±7.09	10.80±2.47
	06-11	24.3	30.3	8.1	34.6±6.71	12.70±3.93
	06-22	24.5	30.8	8.2	32.0±6.16	9.30±2.74
	03-26	9.8	30.3	8.2	8.7±2.53	0.97±0.28
	04-09	14.5	29.8	8.1	11.0±3.61	1.22±0.40
	04-21	14.7	30	7.9	12.1±3.79	1.35±0.53
	04-29	16.4	30.2	7.9	20.0±4.65	2.26±0.73
	05-11	17.2	30.8	8	23.2±5.52	2.70±1.19
150~200	05-21	18	30.2	8.1	19.5±5.01	2.80±0.82
	05-31	22.1	29.7	7.9	15.8±4.94	2.40±1.26
	06-11	24	30.3	8.1	11.6±4.16	2.02±0.81
	06-22	24.2	30.8	8.2	8.5±2.88	1.31±0.70

时,其藻体平均体长生长至最大 23.2 cm,5月下旬时其单株藻体平均湿重生长至最大 2.8 g。分析原因,150~200 cm 水层生长的鼠尾藻由于水深,光线照射不足,不能充分地进行光合作用,所以5月中旬以后该水层鼠尾藻停止生长并逐渐出现腐烂脱落现象。该试验显示不同水层栽培的鼠尾藻生长情况不同,主要是由于不同水层受到光照的强度不同导致的。

2.3 不同流速栽培对鼠尾藻生长的影响

表3为不同流速栽培鼠尾藻生长试验数据,由表3可知,在0、0.3、0.5、1 m/s 4个不同流速条件下鼠尾藻生长的情况不同,流速1 m/s 条件下鼠尾藻生长最快,随着流速的逐渐降低,鼠尾藻生长也逐渐减慢。各流速条件下生长的鼠尾藻至6月中旬时,其藻体平均体长和单株藻体平均湿重均达到最大,6月中旬以后,由于池塘水温逐渐升高,超过鼠尾藻生长所能承受的极限温度,所以鼠尾藻藻体出现腐烂脱落现象。研究发现,水流速度快则鼠尾藻藻体生长较快,说明鼠尾藻生长受水流速度影响比较明显($P < 0.05$)。

研究过程中观察发现,1 m/s 流速条件下生长的鼠尾藻,其藻体表面比静水条件下生长的鼠尾藻明显干净,其表面附泥、杂藻、软体动物和藻勾虾等明显少,其气囊和生殖托的生长发育相比净水条件下生长的鼠尾藻提前3~8 d。本研究限于条件,流速1 m/s 以上未测,有待以后研究。

2.4 光照强度对鼠尾藻生长的影响

如表4所示,在不同光照强度条件下生长的鼠尾藻,其生长情况差别较大,光照强度为4 000~6 000 lx 时,鼠尾藻生长最好,超过10 000 lx 和低于3 000 lx 时,鼠尾藻生长较缓慢。当低于1 000 lx 时,鼠尾藻生长很慢($P < 0.05$),并且在该光照强度条件下,其整个生长过程未发现生殖托,并于5月中旬即停止生长,同时开始出现腐烂脱落现象。本研究显示,最适合鼠尾藻生长的光照强度区间为4 000~6 000 lx,高于10 000 lx 或低于3 000 lx,则鼠尾藻生长相对较缓慢,说明光照强度的强弱能够对鼠尾藻的生长及发育产生极显著的影响。

3 讨论

本研究结果显示,池塘水温在12~18 °C 时,鼠尾藻生长最快。在9~12 °C 和18~24 °C 时,生长缓慢,24 °C 以上停止生长并出现腐烂脱落;光照强度为4 000~6 000 lx 时,鼠尾藻生长良好,高于10 000 lx 或低于3 000 lx,则鼠尾藻生长相对较缓慢,这表明鼠尾藻生长受池塘水温和光照强度的变化影响明显。原永党等(2006)在威海海区研究发现,鼠尾藻的生长适温范围为10~20 °C,其中12~18 °C 时生长速度较快,当水温在21 °C 以上时,藻体顶端开始腐烂脱落。而在本研究中,当池塘水温升至24 °C 以上时,鼠尾藻才出现腐烂脱落现象。造成这种差别的原因是否因为生长区域和环境不同等原因造成,需要进一步研究。詹冬梅等(2006)在实验室里研究了光照强度对鼠尾藻生长的影响,发现其最适光照强度可能超过4 000 lx,这与本研究结果基本相符。鼠尾藻能耐受一定的盐度变化,在27~30 盐度下生长较好,但无显著性影响(詹冬梅等 2006)。Kunii 等(2000)研究了 Ohashi 河下游的水域中鼠尾藻的温度和季节分布发现,鼠尾藻在平均盐度为18.9 左右的 Honjou 水域也是优势大型藻之一。海黍子 *Sargassum muticum* 一般适宜盐度在20~35 之间(Norton 1997),而马尾藻 *Sargassum filipendula* 的适宜盐度为15~35(Dawes *et al.* 1988)。本研究中,盐度在29~31 之间变化未对鼠尾藻生长产生显著影响。

鼠尾藻的生长、生物量等有明显的季节性变化,生物量的消长与平均藻体长度消长的季节性变化趋势一致(何平等 2011;Largo *et al.* 1992)。王志芳等(2008)将山东烟台芦洋湾鼠尾藻的生活周期划分为4个时期:3月底前为休止期,此时海水温度偏低,藻体生长缓慢;从4月初~6月中旬为生长期,此时鼠尾藻快速生长,藻体长度和生物量均在这一时期迅速增加;6月中旬~7月下旬为有性生殖期,此时生殖托出现,并逐渐成熟,藻体长度和生物量均在这一时期达到最高值;从7月下旬~9月为衰退期,这一时期水温达到最高值,鼠尾藻开始腐烂脱落。本研究发现,池塘栽培的鼠尾藻4月下旬~5月中旬(水温14~18 °C)是鼠尾藻快速生长期,此时期藻体长度和生物量均迅速增加;5月中旬~6月上旬(水温18~23 °C)是鼠尾藻有性生殖期,这一时期鼠尾藻次生分枝生长旺盛,生殖托生长并成熟,藻体长度和生物量均在这一时期达到最高值;6月中下旬

表3 池塘环境因子和鼠尾藻不同流速栽培生长情况

Table 3 Pond environment factors and growth conditions of *S. thunbergii* under different water flow rate

流速 Flow rate(m/s)	日期(月-日) Date(m-d)	水温 Water temperature(°C)	盐度 Salinity	pH	藻体平均体长 Average length of thalli (cm)	单株藻体平均湿重 Average wet weight of individual seaweed (g)
0	03-26	9.3	30.3	8.2	8.7±2.53	0.97±0.28
	04-09	14	29.8	8.1	12.4±3.60	1.34±0.45
	04-21	14	30	7.9	16.1±4.08	1.75±0.71
	04-29	16	30.2	7.9	26.1±6.01	2.90±0.96
	05-11	17.4	30.8	8	35.3±4.93	4.74±2.14
	05-21	18.5	30.2	8.1	37.5±6.88	7.50±1.90
	05-31	22.5	29.7	7.9	40.5±7.23	13.30±4.02
	06-11	24.5	30.3	8.1	43.6±6.73	16.52±5.06
	06-22	24.8	30.8	8.2	38.0±7.58	11.03±3.23
0.3	03-26	9.3	30.3	8.2	8.7±2.53	0.97±0.28
	04-09	14	29.8	8.1	12.5±4.04	1.35±0.48
	04-21	14	30	7.9	17.0±4.71	1.86±0.75
	04-29	16	30.2	7.9	28.5±6.37	3.20±1.36
	05-11	17.4	30.8	8	39.2±8.70	5.30±1.97
	05-21	18.5	30.2	8.1	43.6±6.78	8.8±2.19
	05-31	22.5	29.7	7.9	46.2±5.59	15.31±3.60
	06-11	24.5	30.3	8.1	49.3±6.85	19.80±3.40
	06-22	24.8	30.8	8.2	44.5±5.75	13.70±4.97
0.5	03-26	9.3	30.3	8.2	8.7±2.53	0.97±0.28
	04-09	14	29.8	8.1	12.8±3.84	1.37±0.57
	04-21	14	30	7.9	18.3±4.57	1.99±0.62
	04-29	16	30.2	7.9	32.2±5.18	3.66±1.39
	05-11	17.4	30.8	8	45.6±8.08	6.31±2.33
	05-21	18.5	30.2	8.1	50.3±7.29	11.6±3.18
	05-31	22.5	29.7	7.9	54.3±6.59	19.91±4.81
	06-11	24.5	30.3	8.1	57.6±8.23	24.47±4.75
	06-22	24.8	30.8	8.2	53.0±5.85	18.12±5.33
1	03-26	9.3	30.3	8.2	8.7±2.53	0.97±0.28
	04-09	14	29.8	8.1	14.0±4.07	1.40±0.44
	04-21	14	30	7.9	23.4±5.38	2.5±0.69
	04-29	16	30.2	7.9	41.2±7.55	4.52±2.0
	05-11	17.4	30.8	8	56.8±8.29	7.81±2.07
	05-21	18.5	30.2	8.1	60.3±9.44	13.5±3.14
	05-31	22.5	29.7	7.9	65.1±8.93	25.1±5.59
	06-11	24.5	30.3	8.1	67.5±8.73	31.0±6.05
	06-22	24.8	30.8	8.2	62.3±9.81	23.5±5.79

表 4 池塘环境因子和光照强度对藻体生长的影响
Table 4 Growth of algae in different pond environment and light intensity

光照强度 Light intensity (lx)	日期(月-日) Date(m-d)	水温 Water temperature(°C)	盐度 Salinity	pH	藻体平均体长 Average length of thalli (cm)	单株藻体平均湿重 Average wet weight of individual seaweed (g)
>10 000	03-26	9.3	30.3	8.2	8.7±2.53	0.97±0.28
	04-09	14	29.8	8.1	12.4±3.60	1.34±0.45
	04-21	14	30	7.9	16.1±4.08	1.75±0.71
	04-29	16	30.2	7.9	26.1±6.01	2.90±0.96
	05-11	17.4	30.8	8	35.3±4.93	4.74±2.14
	05-21	18.5	30.2	8.1	37.5±6.88	7.50±1.90
	05-31	22.5	29.7	7.9	40.5±7.23	13.30±4.02
	06-11	24.5	30.3	8.1	43.6±6.73	16.52±5.06
	06-22	24.8	30.8	8.2	38.0±7.58	11.03±3.23
4 000~6 000	03-26	9.4	30.3	8.2	8.7±2.53	0.97±0.28
	04-09	14.1	29.8	8.1	13.29±3.91	1.42±0.51
	04-21	14.1	30	7.9	21.0±5.32	2.19±0.74
	04-29	16.1	30.2	7.9	37.1±6.39	4.01±1.27
	05-11	17.4	30.8	8	48.6±5.80	6.30±1.99
	05-21	18.4	30.2	8.1	53.6±8.56	12.06±3.19
	05-31	22.4	29.7	7.9	54.5±8.22	21.02±4.25
	06-11	24.3	30.3	8.1	57.4±9.08	22.78±5.30
	06-22	24.7	30.8	8.2	51.2±6.72	15.87±4.88
2 000~3 000	03-26	9.5	30.3	8.2	8.7±2.53	0.97±0.28
	04-09	14.2	29.8	8.1	11.4±3.43	1.27±0.46
	04-21	14.3	30	7.9	14.7±4.87	1.62±0.66
	04-29	16.1	30.2	7.9	23.2±3.91	2.72±0.91
	05-11	17.3	30.8	8	29.13±7.15	4.06±1.0
	05-21	18.3	30.2	8.1	31.2±5.02	7.03±2.95
	05-31	22.3	29.7	7.9	32.8±7.84	10.66±2.31
	06-11	24.3	30.3	8.1	34.7±7.62	12.56±3.89
	06-22	24.6	30.8	8.2	31.7±5.70	9.32±2.65
<1 000	03-26	9.8	30.3	8.2	8.7±2.53	0.97±0.28
	04-09	14.5	29.8	8.1	10.9±3.21	1.16±0.30
	04-21	14.6	30	7.9	12.3±3.79	1.46±0.52
	04-29	16.4	30.2	7.9	20.2±4.13	2.34±0.72
	05-11	17.2	30.8	8	22.7±4.71	2.60±1.14
	05-21	18	30.2	8.1	18.0±5.24	2.74±0.84
	05-31	22.1	29.7	7.9	13.5±4.07	2.33±1.21
	06-11	23.9	30.3	8.1	9.95±3.73	1.86±0.74
	06-22	24.1	30.8	8.2	7.25±2.11	1.20±0.62

(水温>24 °C)开始为衰退期,这一时期由于水温继续升高,鼠尾藻开始腐烂脱落。本研究与烟台芦洋湾鼠尾藻生活周期不同,分析原因主要是因为相同时期池塘水温高于海区水温所致。本研究观察发现,生殖托成熟放散后鼠尾藻藻体开始腐烂脱落,其气囊、生殖托和叶片首先腐烂,随后次生分枝逐渐腐烂脱落,最后只剩主枝。孙修涛等(2006)研究发现,鼠尾藻产卵后 2~3 d 即可看见处于高潮位的鼠尾藻成熟枝条上面的侧枝和生殖

托、气囊、叶片等附件腐烂、液化,枝条死亡的外观变化为初期外形无变化→叶片间隙生出白色菌→外表面被白色菌丝菌膜包被→膨胀破碎。

鼠尾藻繁殖季节因地域的差异呈现多样化,大多在春季和夏季进行有性生殖。郑怡等(1993)报道的福建平潭岛鼠尾藻繁殖季节在4~7月,王伟定(2003)报道的浙江鼠尾藻繁殖季节在5~8月,辽宁沿岸鼠尾藻生殖季节是7~10月;孙修涛等(2007)报道的青岛海区鼠尾藻繁殖季节在7月中下旬~9月中旬,盛期在8月;刘启顺等(2006)报道的威海地区鼠尾藻繁殖季节是7月初~9月中旬;Umezaki(1974)报道的日本舞鹤湾鼠尾藻于6月产生生殖托,7、8月为藻体生长的高峰期。以上结果显示,低纬度地区鼠尾藻比高纬度地区鼠尾藻的繁殖时间要早,而本研究中,鼠尾藻于5月中旬即进入繁殖期,至6月上旬,生殖托大部分已经成熟并开始放散,相比同纬度海区养殖的鼠尾藻成熟时间提前,主要原因为池塘水温高于同时期海区水温,导致鼠尾藻提前成熟。

鼠尾藻在不同环境条件下都能较快地吸收水体中的N、P,并且能较好地同时吸收 NH_4^+ -N和 NO_3^- -N,显示了它对环境中营养盐具有较强的吸收能力(包杰等2008)。本研究期间通过对养殖池塘海藻栽培区和无海藻栽培区的 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N及P等指标进行测量对比发现,海藻栽培区 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N及P等指标明显比无海藻栽培区低,说明鼠尾藻对养殖水体中的营养盐具有较强的吸收能力。因此在养殖池塘人工栽培鼠尾藻,可有效地吸收、利用水体中过量的营养盐,达到净化池塘水质和延缓水域富营养化的目的。

参 考 文 献

- 王伟定. 2003. 浙江省马尾藻属和羊栖菜属的调查研究. 上海水产大学学报, 12(3): 227-232
- 于广利, 吕志华, 王曙光, 薛长湖, 李兆杰, 林洪. 2000. 海黍子提取物对不饱和脂质抗氧化作用. 青岛海洋大学学报, 30(1): 75-80
- 王志芳, 张全胜, 潘金华. 2008. 烟台芦洋湾鼠尾藻种群生物量结构的季节变化. 中国水产科学, 15(6): 992-998
- 包杰, 田相利, 董双林, 姜宏波. 2008. 温度、盐度和光照强度对鼠尾藻氮、磷吸收的影响. 中国水产科学, 15(2): 293-300
- 师然新, 徐祖洪. 1997. 青岛沿海9种海藻的类脂及酚类抗菌活性的研究. 中国海洋药物, 4: 16-194
- 孙修涛, 王飞久, 刘桂珍. 2006. 鼠尾藻新生枝条的室内培养及条件优化. 海洋水产研究, 27(5): 7-12
- 孙修涛, 王飞久, 张立敬, 王希明, 李峰, 刘桂珍, 刘勇. 2007. 鼠尾藻生殖托和气囊的形态结构观察. 海洋水产研究, 28(3): 125-131
- 刘启顺, 姜洪涛, 刘雨新, 刘洪斌, 童伟, 张学超. 2006. 鼠尾藻人工育苗技术研究. 齐鲁渔业, 23(12): 5-9
- 李美真, 丁刚, 詹冬梅, 于波, 刘玮, 吴海一. 2009. 北方海区鼠尾藻大规格苗种提前育成技术. 渔业科学进展, 30(5): 75-82
- 张尔贤, 愈丽君, 肖湘. 1995. 多糖类物质对 O^{2-} 和 OH^- 的清除作用. 中国生化药物杂志, 16(1): 9-11
- 邹吉新, 李源强, 刘雨新, 张庭卫, 王义民. 2005. 鼠尾藻的生物学特性及筏式养殖技术研究. 齐鲁渔业, 22(3): 25-29
- 吴海一, 刘洪军, 詹冬梅, 李美真. 2010. 鼠尾藻研究与利用现状. 国土与自然资源研究, 1: 95-96
- 何平, 许伟定, 王丽梅. 2011. 鼠尾藻研究现状及发展趋势. 上海海洋大学学报, 20(3): 363-367
- 郑怡. 1994. 福建部分海藻凝集素的检测. 福建师范大学学报(自然科学版), 10(1): 101-105
- 郑怡, 陈灼华. 1993. 鼠尾藻生长和生殖季节的研究. 福建师范大学学报, 9(1): 81-85
- 原永党, 张少华, 孙爱凤, 刘海燕. 2006. 鼠尾藻劈叉筏式养殖试验. 海洋湖沼通报, (2): 125-128
- 韩晓弟, 李岚萍. 2005. 鼠尾藻特征特性与利用. 特种经济动植物, (1): 27
- 詹冬梅, 李美真, 丁刚, 宋爱环, 于波, 黄礼娟. 2006. 鼠尾藻有性繁育及人工育苗技术的初步研究. 海洋水产研究, 27(6): 57-59
- 魏玉西, 于曙光. 2002. 两种褐藻乙醇提取物的抗氧化活性研究. 海洋科学, 26(9): 49-51
- Ahn O, Petrell RJ, Harrison PJ. 1998. Ammonium and nitrate uptake by *Laminaria saccharina* and *Nereocystis leutkeana* originating from a salmon sea cage farm. J Appl Phycol 10(4): 333-340
- Dawes CJ, Tomasko DA. 1988. Physiological responses of perennial bases of *Sargassum filipendula* from three sites on the west coast of Florida. Bull Mar Sci 42(2): 166-173
- Kunii H, Minamoto K. 2000. Temporal and spatial variation in the macrophyte distribution in coastal lagoon Lake Nakaumi and its neighboring waters. J Mar Systems 26(2): 223-231
- Largo DB, Ohno M. 1992. Phenology of two species of brown seaweeds, *Sargassum myriocystum* J Agardh and *Sargassum siliquosum* J Agardh (Sargassaceae, Fucales) in Liloan, Cebu, in Central Philippines. Bull Mar Sci 12: 17-27
- Norton TA. 1977. Ecological experiments with *Sargassum muticum*. J Mar Biol Ass UK 57: 33-43
- Phillips N. 1995. Biogeography of *Sargassum* (Phaeophyta) in the Pacific basin. In: (Abbott IA, Eds) Taxonomy of Economic Seaweeds. California Sea Grant College System 5: 107-145
- Umezaki I. 1974. Ecological studies of *Sargassum thunbergii* (Mertens) O'Kuntze in Maizuru Bay, Japan Sea. J Plant Res 87(4): 285-292