

武汉东湖湖水和底泥对黄丝草生长的影响*

邱东茹 吴振斌 邓家齐 詹发萃

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

摘要 利用人工栽培方法,研究了武汉东湖重污染区湖水和底泥对黄丝草(*Potamogeton maackianus* A. Benn.)生长的影响。以湖滨黄棕色粘土作对照,在上覆水条件相同时,东湖底泥上培养的黄丝草生长良好,生物量高,枝条较长。东湖底泥中黄丝草根系较纤细,每个植株的根数也较少,但根系活力明显高于对照。底泥中有机质过高对黄丝草根系发育不利。东湖湖水的水质状况对黄丝草的生长也有一定的影响,在底质相同的情况下,在湖水中生长的黄丝草生物量低,根茎重量比小,根数少。对东湖黄丝草种群消失机理和水生植被重建对策也作了探讨。

关键词 黄丝草;上覆水;底泥;根系活力

Effects of overlying water and sediment from Donghu Lake of Wuhan on the growth of *Potamogeton maackianus* A. Benn. Qiu Dong-Ru, Wu Zhen-Bin, Deng Jia-Qi, Zhan Fa-Cui (Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072), *J. Plant Resour. & Environ.* 1997, 6(4): 45~49

The effects of the overlying water and sediment from the heavily polluted area of Donghu Lake of Wuhan on the growth of *Potamogeton maackianus* A. Benn. were surveyed under using artificial culture method. The shoots of *P. maackianus* are well developed on the lake sediment when it is cultured in cement tank, and the biomass and shoot height of the plant are both much higher than those of the control plants cultured on the brown clay in the same tank. The activity of root system in the lake sediment is also much higher than that of the root system in clay. However, the roots of this plant are slender and the root number per shoot is lower in the lake sediment as compared to the control. It is shown that the sediment is certainly the main source of nutrients for submerged macrophytes and the roots play an important role in the uptake of nutrients from sediment besides the attachment to substrate. The results also showed that the overlying water from the heavily polluted area of Donghu Lake affected on the growth and development of *P. maackianus*. When *P. maackianus* grow in the lake water, their biomass, weight ratio between root weight and shoot weight and root numbers are low. The mechanism responsible for the extinction of *P. maackianus* and strategies for aquatic macrophyte rehabilitation are also discussed.

Key words *Potamogeton maackianus* A. Benn.; overlying water; sediment; activity of root system

黄丝草(*Potamogeton maackianus* A. Benn.,或称微齿眼子菜)是50~60年代武汉东湖水生植被中占绝对优势的沉水植物^[1,2],也是江汉湖群中许多浅水湖泊水生植被的优势种。随

* 国家“八五”科技攻关项目 85-908-01-02-01 的部分内容

涂炎香女士协助 N、P 测定,致以由衷的谢意!

收稿日期 1996-09-16

着湖泊富营养化的加剧和草食性鱼类的人工放养,东湖沉水植物的分布面积大大降低,黄丝草已经消失,大茨藻(*Najas marina* L.)、聚草(*Myriophyllum spicatum* L.)和苦草(*Vallisneria spiralis* L.)取而代之成为优势种^[1]。为探讨长江中下游浅水型湖泊中水生植被演替的特点,特别是东湖黄丝草消失的原因,并为湖泊水生植被的重建提供参考,作者对东湖重污染区的湖水和底泥对黄丝草生长的影响进行了研究。

1. 材料与方法

1994年5月用彼得逊采泥器挖取东湖水果湖重污染区的底泥和湖滨地区的黄棕色粘土,分别装入陶制花盆,后者加水浸胀。剪取节数和叶片数相同、长度近似的黄丝草枝条,每盆插3根,置入同一水池中培养,水深约50 cm。至11月份取两种底质上栽培的黄丝草各两盆,用Cole-Palmer公司产笔式测定仪测定底质的pH值、电导值和氧化还原电位。取底质和池水样品测定N、P含量^[3],底质用离心法取间隙水,再测N、P,换算出底质N、P含量。采用灼烧法测定有机质含量。用水冲洗掉底质,将黄丝草样品带回室内,测定生物量、形态学参数、叶片色素和根系活力。根系活力测定采用红四唑法,剪取1 cm长根尖0.2 g,置入装有0.1 M的磷酸缓冲液和1%的TTC溶液各2 ml的试管中,加塞,置入培养箱黑暗中37℃下培养3 h,用2 ml 2 N硫酸终止反应。取出根尖,用滤纸吸干,加3 ml乙酸乙酯和少许石英砂研磨,提取还原型的TTC(TTCH),反复提取2~3次,定容至4 ml,在751型分光光度计上485 nm处测定光密度。用联二亚硫酸钠还原已知浓度的TTC,采取同样的方法提取、分离、定容和比色,绘制标准曲线。每份样品作两个重复。根系活力单位为每克根尖每小时还原的TTC(μ mol)。

取湖泥和粘土分别装入4个40cm×60cm×40cm的塑料箱中,厚度约10 cm,取东湖水和自来水分别小心加入上述两种底质的箱中,得到4种底质和上覆水组合,扦插10余根黄丝草枝条,将之置于室外具玻璃平顶的架上培养。定期监测水质的pH值、电导值和氧化还原电位的变化。7月初结束培养,测定生物量、叶片色素和根系形态参数。

2. 结果与讨论

2.1 不同底质对黄丝草生长的影响

2.1.1 不同底质对黄丝草的生物量、植株高度及叶片中色素组成的影响 在同一水泥池中不同底质(东湖底泥和粘土)上黄丝草的生物量、植株高度和叶片中色素组成均有明显的区别(表1)。湖泥上黄丝草生物量高,枝条也较长。粘土上的黄丝草叶呈黄褐色,而湖泥上的黄丝草叶片嫩绿、褐色较淡,叶片中叶绿素a与类胡萝卜素的比值高于粘土上黄丝草叶片。湖泥上黄丝草分蘖多,植株数量大;粘土上黄丝草分蘖少,植株数量也较少。湖泥中每个植株根数少,也很纤细,但由于植株数量多,根系布满整个花盆;根也较短,所测最大根长为25.8 cm,平均为23 cm。粘土上植株根数多,较粗壮,且在泥-水界面以上的几个节也生发不定根长入底质中;根较长,最长为30 cm,平均为26.1 cm。

2.1.2 不同底质对黄丝草根系活力的影响 不同底质上黄丝草根系活力如图1所示。湖泥中黄丝草根系活力以单位重量计算明显高于粘土,这是水草对厌氧状态的一种适应。湖泥呈

高度还原状态,所测最低氧化还原电位为 -159 mV;粘土亦呈还原状态,但氧化还原电位高于湖泥,最低电位为 -116 mV。在粘土盆中,有黄丝草生长部分的底质氧化还原电位明显高于周围没有水草生长的部位,最高电位可达 -13 mV,这可能是由于水草根部分泌氧气造成的。Jaynes 和 Carpenter 的研究也表明水生维管束植物能提高底泥的电位,降低 pH 值^[4]。由于湖泥呈高度还原状态,根系泌氧造成的根际微氧化带难以形成,因而在湖泥中没有这种现象出现。已有研究表明,植物向根系输氧能力或根系酶活力的提高对植物营养吸收等生理功能有重要意义^[5]。因此,湖泥中黄丝草根系酶活力的提高有利于黄丝草对湖泥有机质的吸收。

表 1 不同底质对黄丝草生物量、株高以及叶片叶绿素 a 与类胡萝卜素之比的影响

Tab 1 The biomass, shoot length and rate of chlorophyll a to carotenoid in the leaf of *Potamogeton maackianus* on different substrates cultured in the tank

底质 Substrates	生物量 Biomass (g·DW)	株高 Shoot height (cm)	叶绿素 a/ 类胡萝卜素 Chl a/ carotenoid
东湖底泥 Lake sediment	49.9	38.7 ± 2.06	1.64
黄棕色粘土 Brown clay	6.6	20.8 ± 4.08	1.03

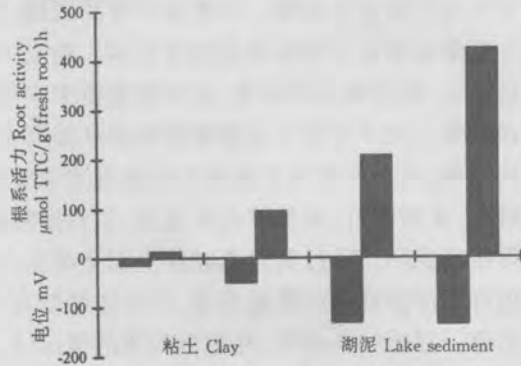


图 1 不同底质对黄丝草根系活力和根区电位的影响
Fig 1 The root activity of *Potamogeton maackianus* in the different substrates and the redox potential in the rhizosphere

2.1.3 底质的 pH 值及剩余营养物的含量 在实验结束后对两种底质的理化性质、有机质和营养物的含量进行了测定(表 2)。湖泥中有机质和总溶解氮含量明显高于粘土;但氨态氮、总溶解磷和无机磷的含量略低于粘土。

表 2 实验结束后不同底质和池水 pH 值及剩余营养物的含量

Tab 2 The pH value and nutrient contents of the substrate and overlying water on the termination of plant culture in tank

样品 Sample	pH	有机质含量(%) Organic content	总溶解氮 Dissolved TN	氨态氮 Ammonium N	总溶解磷 Dissolved TP	无机磷 Inorganic P
东湖底泥 Lake sediment	7.5	8.25	16.870	1.223	3.210	1.944
黄棕色粘 Brown clay	7.8	3.95	4.425	1.674	3.370	2.502
池水 Overlying water	9.5		0.447	0.095	0.133	0.027

* 底泥和池水营养物含量分别计为 mg/g 干重和 mg/L. The nutrient contents of the substrates and overlying water are separately mg/g (dry weight) and mg/L.

在同一水泥池中培养,上覆水条件基本一致,因为已有实验证明底泥营养物质特别是正磷酸盐的释放非常缓慢^[6]。而且与东湖水不同的是,池中浮游藻类少,水质较好,对水草生长不构成障碍。在这种条件下,可以认为黄丝草生长发育的不同主要是受底质的影响。实验中黄丝草根系是从扦插的枝条上生发的不定根组成,可以看出其发育明显受底质条件影响。

沉水植物的根系不发达,叶片可吸收水中溶解性无机营养,因此很长时间其根系被认为仅具有固着作用,营养吸收功能较弱。但近年来的研究表明沉水根着植物的根系具重要的吸收功能,所需的磷是根直接从底泥中吸收的,氮素和微量元素也可通过根从底质中吸收^[7~9]。因为无机磷容易沉淀,上覆水中磷浓度较低,因此根系的营养吸收对沉水植物本身和水生生态系

营养元素的循环有重要的作用。粘土上黄丝草枝条生长明显低于湖泥,这可能因为湖泥中营养物的可利用性高于粘土,还原性条件下磷等营养成分活化,可能更多地溶解于间隙水中。

2.2 不同上覆水对黄丝草生长的影响

在不同底质(湖泥、粘土)与上覆水(湖水、自来水)的4种组合中黄丝草的生长情况如表3所示。湖泥+湖水组合中黄丝草根系发育不良,每个植株上根数少,重量低,其根茎重量比和黄丝草生物量也最低。但黄丝草叶片嫩绿,叶片中叶绿素a与类胡萝卜素的比值较高。湖泥+自来水组合中黄丝草生物量最高。粘土+湖水组合与粘土+自来水组合中黄丝草生物量差别不大,前者略低于后者,这可能是由于早期阶段湖水透明度低不利于黄丝草生长所造成的。在湖泥+湖水组合中浮游植物和丝状藻类大量发生,水草叶片上附生植物也较多,对黄丝草生长不利,这与作者在东湖所作的挂盘栽培黄丝草的实验结果相似。湖泥+自来水组合在起始阶段,水质较好,黄丝草生长迅速,但浮游植物和丝状藻类逐渐增多,这可能是由于湖泥中营养释放造成的,不过,黄丝草叶片上附生植物并不多,这可能与黄丝草的旺盛生长有关,此外,本组合中浮游动物的数量较多,对浮游植物有一定的控制作用,其水质状况一直优于湖泥+湖水组合。以上结果表明,在底质相同的情况下,湖水中生长的黄丝草与对照相比差别明显,因此,目前东湖水体状况不适合于黄丝草的生长。

表3 不同底质与上覆水组合对黄丝草叶片色素和根系生长的影响

Tab 3 The effects of the treatments with four combinations of different substrates and overlying water on leaf pigment composition and root development of *Potamogeton maackianus*

样品 Sample	每株根数 Root number per shoot	总根重 Total root weight (g·FW)	生物量 Biomass (g·FW)	根茎重比 Root weight/ shoot weight	叶绿素 a/ 类胡萝卜素 Chl a/ carotenoid
湖泥+湖水 Lake sediment + lake water	7	0.55	21.5	0.0262	3.202
湖泥+自来水 Lake sediment + tap water	20	4.10	80.5	0.0537	3.110
粘土+湖水 Clay + lake water	40	6.70	60.5	0.125	2.251
粘土+自来水 Clay + tap water	43	6.50	68.5	0.106	2.014

两部分实验还表明,底质是黄丝草等沉水植物重要的营养来源,根系对营养的吸收对黄丝草的生长发育至关重要。在一定程度上,底质中有机物可以矿化,释放出N和P,对黄丝草生长有利。如果有机质含量过高,则产生不利的影响,因为它可造成高度厌氧状态,并导致 NO_2^- 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 S^{2-} 、有机酸、酚类和乙醇等有毒物质形成,对黄丝草根系产生毒害^[10,11]。作者测得东湖取样处底泥硫化物含量最高可达2.81 mg/g干重,因此对黄丝草根系的毒害是可以预期的。沉水根着植物通常会遇到厌氧基质条件,因此它可能具有较好的适应厌氧环境的机制^[11]。Penhale和Wetzel发现在厌氧条件下,大叶藻(*Zostera marina* L.)根系呼吸作用并没有降低,而且根中的气腔系统发达^[12],这与本实验结果是一致的。从实验结果看,黄丝草对底质厌氧环境有一定的适应能力,其根系活力较高。在上覆水水质较好的情况下,东湖底泥中黄丝草的枝条生长良好,但根系瘦弱,固着能力降低。大中型浅水湖泊水位涨落明显,风浪较大,加之鱼类的摄食和扰动,黄丝草不易扎根,根系容易断裂,生长必然受到影响。因此在恢复水生植物时必须注意对根系的保护,在早期阶段,可考虑在避风的湖汊先引种,或人工建立防风消浪设施,保护根系,并促进根状茎的发展。

东湖黄丝草消失的原因是多方面的,与草食性鱼类过度摄食和其有性繁殖能力差有关。

由于东湖受到严重的水体污染,藻类大量生长,对沉水植物有很强的遮蔽作用和竞争作用,也是导致黄丝草等沉水植物衰退的重要原因。在现存条件下,如不采取适当的治理措施,改善水质状况和环境条件,黄丝草在东湖是难以恢复的。

参 考 文 献

- 1 邱东茹,吴振斌,周元祥等. 武汉东湖水生植物生态学研究 I. 水生植被现状和演替动态. 水生生物学报, 1995, 19 (suppl.): 103~114.
- 2 陈洪达,何楚华. 武昌东湖水生维管束植物的生物量及其在渔业上的合理利用问题. 水生生物学集刊, 1975, 5(3): 410~412.
- 3 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- 4 Jaynes M L, Carpenter S R. Effects of vascular and nonscular macrophytes on sediment redox and solute dynamics. Ecology, 1986, 67: 875~882.
- 5 Barko J W, Smart R M. Effects of organic matter addition to sediment on the growth of aquatic plants. J Ecol, 1983, 71: 161~175.
- 6 王少梅. 武汉东湖沉积物中氮和磷释放试验. 水生生物学报, 1991, 15(4): 379~380.
- 7 Barko J W, Smart R M, McFarland G *et al.* Interrelationships between the growth of *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle and sediment nutrient availability. Aquat Bot, 1988, 32: 205~216.
- 8 Anderson M R, Kalf J. Submerged aquatic macrophyte biomass in relation to sediment characteristics in ten temperate lakes. Freshwater Biol, 1988: 115~121.
- 9 Rattray M R, Howad-Williams C, Brown J M A. Sediment and water as sources of nitrogen and phosphorus for submerged rooted aquatic macrophytes. Aquat Bot, 1991, 40: 225~237.
- 10 Smolders A, Roelofs J G M. Sulphate-mediated iron limitation and eutrophication in aquatic ecosystems. Aquat Bot, 1993, 46: 247~253.
- 11 Van Wijk, De Groot C C J, Grillas P. The effect of anaerobic sediment on the growth of *Potamogeton pectinatus* L.: the role of organic matter, sulphide and ferrous iron. Aquat Bot, 1992, 44: 31~49.
- 12 Penhale R A, Wetzel R G. Structural and functional adaptations of eelgrass (*Zostera marina* L.) to anaerobic sediment environment. Can J Bot, 1983, 61: 1421~1428. (责任编辑: 惠 红)

(上接第 18 页 Continued from page 18)

- 4 Lamnaouer D, Martin M T, Molho D *et al.* Isolation of daucane esters from *Ferula communis* var. *brevifolia*. Phytochemistry, 1989, 28(10): 2711~2716.
- 5 Gonzalez A G, Bermejo J, Diaz J G *et al.* Humulenes and other constituents of *Ferula latipinna*. J Nat Prod, 1988, 51(4): 1140~1144.
- 6 朱耕新,张涵庆. 铜山阿魏根化学成分的研究. 中国药科大学学报, 1996, 27(10): 585~588.
- 7 王年鹤,马场きみ江,谷口雅彦. 核磁共振氢谱法在芹亚科植物化学分类中的简便应用. 植物资源与环境, 1996, 5(2): 40~44.
- 8 王年鹤. 芹亚科植物的化学系统分类浅探. 见: 南京中山植物园研究论文集编辑组编. 南京中山植物园研究论文集, 1990. 南京: 江苏科学技术出版社, 1991. 51~55.
- 9 潘泽慧,刘心恬,余孟兰等. 四川当归属八种植物的核型及地理分布研究. 植物分类学报, 1991, 29(5): 431~438.

(责任编辑: 许定发)