

重污染水体中沉水植物的繁殖及移栽技术探讨

程南宁 朱 伟 张 俊

(河海大学环境科学与工程学院 江苏 南京 210098)

摘要 通过对沉水植物繁殖方式的归类和分析 ,揭示了沉水植物繁殖方式的多样性。在总结常见的沉水植物移栽方法的基础上 ,提出了渐沉式沉床快速移栽技术。研究结果表明 :在冬季低温条件下 ,植物纤维作为生长基质的沉床上菹草和伊乐藻均有一定程度的生长。

关键词 沉水植物 ;营养繁殖 ;移栽 ;渐沉式沉床

中图分类号 S339.4 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2004)06-0008-04

由于工农业的发展、人口数量的不断增加以及城市化进程的加剧 ,通过地表水进入河流湖泊等水体的污染物日益增多 ,人类赖以生存的淡水生态系统正日益退化 ,特别是富营养化问题 ,已经严重威胁到社会经济的持续发展和人类健康。如何治理已经被严重污染的富营养化水体已经成为当前我国面临的重大环境问题。

在重污染水体的治理中 ,污染源的控制尤为重要。此外 ,引水释污、底泥清淤以及投放化学试剂等强化治理措施也被经常采用 ,并可在短时期内取得一定的效果。另一方面 ,许多学者的研究表明 ,恢复高等水生植物的生态修复技术也是修复已经严重退化和丧失功能的水生态系统、改善水体自净能力的重要工具^[1~4]。沉水植物作为河流湖泊等淡水水体主要的生物组分 ,对水生生态系统的结构和功能又起着重要的作用^[5~7]。一些事实也证明 ,在有沉水植物存在的水域 ,水体透明度明显增高、底泥营养盐的释放可以得到有效控制 ,水质有较为明显的改善^[8~10]。因此 ,在污染水体的生态修复过程中沉水植被的恢复非常重要^[11,12]。

在自然条件下 ,高等水生植物可以通过种子或营养繁殖体进行繁殖 ,并以营养繁殖较为普遍^[13]。但是在重污染水体治理中 ,由于透明度低 ,种苗不能进行必须的光合作用 ,加上氧气供给等生境条件恶劣 ,水生植被的恢复非常困难^[14]。特别是对于沉水植物 ,由于整个植物体完全浸没在水中 ,受到透明度、底质、风浪等水环境因子的胁迫最为明显。因此 ,在进行人工协助下的水生植被恢复时 ,必须采取人为的措施 ,改善必须的生境条件 ,才能达到高等水

生植物移栽成活的目的。同时 ,为了满足生态稳定性的要求 ,具有一定的恢复面积和沉水植物群落的形成是必要的。在进行生态修复时 ,掌握沉水植物的繁殖规律 ,探求如何快速有效移栽沉水植物有重要的实践意义^[15]。

1 沉水植物的繁殖策略及移栽方法

1.1 沉水植物繁殖策略

根据生物形成新的个体的方式 ,生物的繁殖一般分为无性繁殖(asexual reproduction)和有性繁殖(sexual reproduction)两大类。无性繁殖为广义的克隆繁殖(clone propagation) ,也称营养繁殖(vegetation propagation) ,是指无性系植物——克隆植物(clone plant) ,即进行无性繁殖的植物在基株上形成的块茎、鳞茎、芽苞、地面匍匐茎和地下根茎等 ,除种子以外的繁殖构件(propagation module)产生的新的无性系分株(ramets)拓展其无性系的过程^[16]。

植物界在其自然进化过程中 ,似乎呈现出有性繁殖方式取代无性繁殖方式的普遍趋势。但水生植物的有性繁殖却由于水环境的压力常常受到限制 ,而营养繁殖在这种生境中却能充分发挥作用 ,可迅速地占据生境 ,因而绝大多数水生维管植物不仅都进行营养繁殖 ,而且很发达。只是不同的植物在进行营养繁殖时 ,方式上有一定的不同 ,这既是生物适应不同的生境所致 ,也是生物的生存对策不同所致。

根据实际调查和总结前人的研究成果^[16~18] ,总结出沉水植物主要有以下几种繁殖方式。

1.1.1 有性繁殖

尽管水环境的胁迫 ,有性繁殖作为一种较为进

化的繁殖方式在沉水植物中还是有一定程度的存在。有性繁殖的植物在开花期通过自花或异花授粉产生种子,当种子成熟后沉入水底,等第二年春天开始萌发,形成新的植株。轮叶黑藻、苦草、金鱼藻等常见沉水植物都可以进行有性繁殖。值得注意的是,以种子为繁殖体的有性繁殖方式在沉水植物中却难以占优势地位,这主要是由于水环境条件的限制,营养繁殖往往更能充分发挥作用^[16]。

1.1.2 无性繁殖

借鉴李天煜^[16]、郭友好^[17]等人对水生维管束植物的繁殖分类,沉水植物无性繁殖可以有下述几种方式。

芽苞式营养繁殖(vegetation reproduction by bulblet) 这是指在植株分蘖丛的基部产生大量珠芽,芽苞与母体脱离后可随水漂流传播至较远的距离,遇到阻隔或在静水中沉于水底基质上即可生根长成新植株。进行此类营养繁殖的植物常见的有眼子菜科的菹草(*Potamogeton crispus*),金鱼藻科金鱼藻(*Ceratophyllum demersum* L.),水鳖科的苦草(*Vallisneria spiralis*)等。

折段式营养繁殖(vegetation reproduction by broken) 或称断裂式营养繁殖,这类植物一般较脆,很容易在自然外力的作用下成段状断开,这些折段植物体即可作为营养繁殖体进行繁殖。其折段可在水中随水流或波浪漂流传播较远的距离,遇到阻隔或在静水中沉于水底基质上,从茎节的叶腋处分新枝,有时还伴有细线状的不定根,通过不定根的固持和营养吸收作用长成新植株。如水鳖科的轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*),伊乐藻(*Elodea Nuttallii*)等。

接力走茎式营养繁殖(vegetation reproduction by rhizome relay) 此类植物的繁殖特征是在一个植株上长出一条横走茎,不分节,端部为一新植株的生长点(或球茎、块茎),当其生长点(或球茎、块茎)与底泥或其它基质接触时,即可向上长出茎叶,向下生出根来,形成一个新植株,新植株通过横走茎与母体相连,以同样方式进行再一次的繁殖,如此般接力传递繁殖。如果有偶然的因素截断了横走茎,新植株就成为一个独立的个体。常见的有水鳖科的苦草(*Vallisneria spiralis*),眼子菜科的马来眼子菜(*Potamogeton malaianus*)等。

走茎式营养繁殖(vegetation reproduction by rhizome) 这种繁殖与上一类的极为相似,所不同的仅是由母株长出一条横走茎,有分节,不管是在水面漂浮或是在水中,底部平卧、匍匐,甚而在泥中穿行,几乎每一节上都可能生根,长出一个新植株。横走茎不仅可以无限生长,而且,新植株也可长出新的

横走茎。大多数植物可进行此种营养繁殖。如水鳖科的伊乐藻(*Elodea Nuttallii*),轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*),金鱼藻科的金鱼藻(*Ceratophyllum demersum* L.)等。

接力走茎式营养繁殖和走茎式营养繁殖这两种营养繁殖方式也可认为是构件生长,但由于它们可以极快地产生大量与母体几乎完全一样的植株,根茎叶完整,在截断以后可以独立生长,与分蘖生长的植物不太一样。在正常情况下它们不会断开而成为独立的植株,除非有人力作用。因新植株与母体相连,一般传播不远,常于母体周围连片密集生长,形成几乎由单一种类组成的斑块,从而可快速有效地占领适宜生境。这类植物由于所有的子体均连成一体,可通过基因整合作用而使植株获得更大的适应能力^[19],因此具有较大的竞争优势。

部分植物具有多种繁殖方式,而且往往是几种繁殖方式均可以在一定的环境条件下成为优势。例如,轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*)可以结出种子,能在枝尖形成特化的营养繁殖器官——鳞状芽苞,当水温适宜的时候沉落水底的芽苞开始生长,形成新的植株,但也可以通过其断枝进行繁殖,断枝具有很强的分枝能力和营养繁殖能力。此外,黑藻也可以由直立茎基部产生横向的匍匐茎,在适宜的环境下也可以产生新的植株^[20]。金鱼藻(*Ceratophyllum demersum* L.)既可以结实种子和芽苞,也可以通过断枝繁殖形成新的植株。

1.2 常见沉水植物的移栽技术

尽管在自然条件下,沉水植物可以通过产生大量的营养繁殖体或芽苞等异化的营养繁殖体进行自然繁殖,但是由于水环境条件的限制,在重污染水体中依靠植物的自然恢复是不现实的。利用芽苞等异化的营养繁殖体进行繁殖和栽培又受到季节的严格限制^[15]。为此,在生态修复的过程中,探寻适合沉水植物大面积繁殖与栽培的技术方法是非常必要的。在生态治理中人们依靠实践经验摸索出比较有效的沉水植物的快速移栽技术主要有以下几种。

1.2.1 扦插移栽

扦插法是水生植物栽培的最常用的方法^[15]。在水深不大、透明度和底质适宜的条件下可用此方法。其方法是将水生植物植株捆扎成小束,用5cm宽的竹片头部做一个缺口,然后将植物的根部卡入缺口,手持竹片将沉水植物插进水底的底泥中,然后轻轻地拔出竹片。

1.2.2 沉栽法

当水深超过2m扦插栽种不方便的时候,可以考虑将植物的营养繁殖体用黄泥包裹,利用重力作

用自动沉入水底,此即沉栽法^[15]。这类方法简单易行,可以克服水深的限制和清淤后底质坚硬等不利条件,但是其移栽的成活率无法保证。

1.2.3 沉缸载体移栽

沉水植物的生长受到水深及透明度的极大限制,因此采用沉缸结构的载体(内装满淤泥),这样便大大减低了水深,然后再栽种上各种不同的沉水植物,就比较容易成活。另一方面沉缸能抵抗一定的湖流作用,同时又有促淤作用,一举多得。对于不考虑航运、流速等要求的(大水深的水体)的湖泊,此法有一定的应用价值。

1.2.4 半浮式载体移栽

针对水深较大或透明度不足的情况下水生植物的移栽困难,张圣照等^[21]发明了利用载体移栽沉水植物的技术。其方法是将沉水植物首先通过扦插或芽苞繁殖移栽到吊盆、营养钵等载体上,通过载体的逐步沉降来克服富营养化水体透明度低的问题,等植物营养繁殖体发芽生长到一定阶段后,再撒播到水体中。试验表明在透明度低的富营养化水体中利用半浮式载体移栽可以直接恢复水生高等植物。

2 重污染水体特征对沉水植物移栽的影响

2.1 透明度的影响

沉水植物的生长受到透明度、光照强度的极大限制,当光照强度小于植物的光补偿点时沉水植物群落无法形成^[10,22]。在重污染水体透明度不能满足沉水植物的生长要求时。对于大水深严重富营养化的河湖底部移栽沉水植物,往往会因为得不到足够的光照而难以成活^[23]。在Okeechobee湖历时28年的观测资料显示,沉水植物生物量与高水位呈负相关,与透明度呈正相关^[10,24]。因此,要想有效恢复沉水植被,必须克服水体透明度的限制。

2.2 底质条件的影响

湖泊的底泥是沉水植物的固着基础,也是植物生长所需矿质元素的主要来源。但是重污染水体中有机污染物质在底泥中大量累积^[25,26],消耗过多的溶解氧,造成植物根系的呼吸困难,从而导致植物的死亡。还有,当采用底泥清淤等辅助工程措施时,清淤后的底质往往比较贫瘠坚硬,也不利于沉水植物移栽以至移栽后植物的健康生长。因此,底质条件的不适宜是影响沉水植物恢复的限制因素之一,室内实验的结果也证明了这一点^[27]。

3 渐沉式沉床移栽技术研究

为了克服重污染水体透明度低、大水深以及底质条件恶劣等不利条件,创造适合于沉水植物移栽

和生长的水体环境,提出了渐沉式沉床的概念。渐沉式沉床能够克服水深、重污染、透明度低等水生植物生长的不利因素,创建适宜于水生植物生长繁衍的环境,促进水生植被恢复。

在重污染水体中移栽沉水植物,首先必须提高水体的透明度。在提高水体透明度方面,植物浮床技术被证明是非常有效的措施之一^[28,29]。通过在水体表面放置植物浮床净化水体,提高表层水体的透明度,当水体透明度达到沉水植物的生长要求,水下光照强度满足沉床上沉水植物的光补偿点时,可以在水体中放置大量的沉床,利用升降部件逐步沉降,克服透明度和水深的限制,逐层净化水体,最终使沉床放置在河湖底层。通过沉床上的沉水植物群落恢复水生植被,重建良好的水生生态系统。

3.1 渐沉式沉床的结构

渐沉式沉床由载体层、基质层、覆盖层以及升降部件组成。其基本结构如图1所示。底部的载体层主要起支撑作用,载体的结构和形式必须满足基质的附着要求和一定的承重能力。沉水植物通过栽种孔栽种在基质层上,植物根系通过在基质层上固着和吸收营养。基质层材料必须具有一定的力学强度以保证附着在载体上,另外,基质层中保证含有一定数量的营养元素,维持沉水植物最基本的成长需要,同时要尽可能做到水体中的污染物释放量最小。覆盖层用以固持基质,减少基质在水体中释放污染物。沉床可通过升降部件(吊环)在水中上下自由移动。

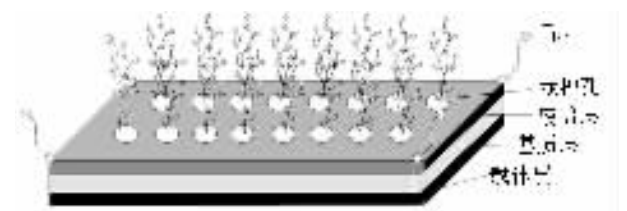


图1 渐沉式沉床结构

3.2 渐沉式沉床移栽技术研究

对于渐沉式沉床技术来说,沉床基质材料的选择是关键。基质材料首先要求能满足沉水植物生长需要,同时具有一定的力学强度以保证能够附着在载体上。另外,还要求在水体中的污染物释放最少。

沉水植物物种的筛选原则是尽量考虑选取当地现有的原生物种。在此基础上再选择耐污能力强、净化效果好、生存周期长的沉水植物。试验中选取常见的菹草和伊乐藻作为研究对象,观察其不同基质的渐沉式沉床上的生长情况。

2003年12月1日至12月30日,以土工合成材料作为载体,分别用不同的植物纤维添加到取自秦淮河的底泥里,形成不同的基质材料。在基质上通

过断枝繁殖移栽菹草和伊乐藻,放入 50 cm×30 cm×50 cm 的敞口玻璃箱,观察植物的生长情况。结果表明,在平均水温为 0℃左右的条件下,菹草和伊乐藻仍然有不同程度的生长(见表 1)。这说明利用植物纤维作为沉床基质材料可以满足植物生长的基本要求。

表 1 在不同基质的渐沉式沉床上菹草、伊乐藻的生长状况

载体编号	植物	移栽方式	生长状况	平均生长长度/cm	最大生长长度/cm
1	菹草	断枝	瘦弱 植株发黄	3.0	4.9
2	菹草	断枝	较好	4.1	6.0
3	菹草	整株移栽	瘦弱 植株发黄	3.5	5.5
4	菹草	整株移栽	较好	5.5	8.1
5	伊乐藻	断枝	较好,有分枝和不定根出现	2.0	3.5
6	伊乐藻	断枝	较好,有分枝和不定根出现	1.9	2.8

4 讨 论

沉水植物的存在是健康水生生态系统的标志^[1]。对重污染水体的生态修复,其重点和难点都在于沉水植被的恢复^[11]。因此如何克服重污染水体透明度、光照强度及水深等不利条件,快速规模化的移栽沉水植物,是水生植被恢复的关键。

通过对沉水植物繁殖策略的对比研究以及传统的沉水植物移栽方法的总结运用,提出了渐沉式沉床快速移植技术。试验表明:采用植物纤维作为沉床基质,可以满足植物基本的生长要求。但对于基质材料在水体中的污染物扩散,以及沉床植物物种的选择等方面的内容还有待进一步研究。

参考文献:

[1] 濮培民,王国祥,李正魁,等.健康水生态系统的退化及其修复——理论、技术及应用[J].湖泊科学,2001,13(3):193~203.

[2] 邱东茹,吴振斌.富营养化浅水湖泊沉水水生植被的衰退与恢复[J].湖泊科学,1997,9(1):82~88.

[3] Bradshaw A D. Restoration of mined lands using natural processes[J]. Ecol Eng,1997,8:255~269.

[4] 王国祥,成小英,濮培民.湖泊藻型富营养化控制——技术、理论及应用[J].湖泊科学,2002,14(3):273~282.

[5] 崔心红,熊秉红,蒲云海,等.5种沉水植物无性繁殖和定居能力的比较研究[J].植物生态学报,2000,24(4):502~505.

[6] Haslam S M. River plants of western europe[M]. London: Cambridge University Press,1987.10~20.

[7] Wiegleb G. Aphy to sociological study of the macrophyte vegetation of running water in western Lower Saxony(Federal Republic of Germany)[J]. Aquatic Botany,1983,17:251~274.

[8] 水利部太湖流域管理局,中国科学院南京地理与湖泊研究所.太湖生态环境地图集[M].北京:科学出版社,2000.108~120.

[9] Petr K, Arnulf M. Chronological relationship between eutrophication and reed decline in three lakes of southern German[J]. Folia Geobotanica & Phytotaxonomica,1997,32(1):15~23.

[10] 秦伯强.长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探[J].湖泊科学,2002,14(3):193~202.

[11] 邱东茹,吴振斌,刘宝元,等.武汉东湖水生植被的恢复试验研究[J].湖泊科学,1997,9(2):168~174.

[12] Moss B. Engineering and biological approaches to the restoration from eutrophication of shallow lakes in which aquatic plant communities are important comportsants[J]. Hydrobiologia,1991,200/201:367~372.

[13] 陈洪达.菹草的生活史、生物量和断枝的无性繁殖[J].水生生物学报,1985,9(1):32~39.

[14] 李文朝.五里湖营养化过程中生物及生态环境的演变[J].湖泊科学,1996,8(增刊):37~45.

[15] 连光华,张圣照.伊乐藻等水生高等植物快速营养繁殖技术和栽培方法[J].湖泊科学,1996,8(增刊):11~16.

[16] 李天煜,李洪敬,谢素霞.水生维管植物克隆繁殖方式的多样性[J].广西植物,2000,20(3):233~238.

[17] 郭友好,黄双全,陈家宽.水生被子植物的繁育系统与进化[J].水生生物学报,1998,22(1):79~85.

[18] Leakey R R B. Adaptive biology of vegetatively regenerating weed[J]. Adv Appl Biol,1981,6:57~90.

[19] 董鸣.切断根茎对根茎禾草沙鞭和赖草克隆生长的影响[J].植物学报,1999,41(2):194~198.

[20] 文明,盛哲,林亲众.蛋白质新资源——黑藻的研究 I.黑藻生物学特性及营养成分的分析[J].湖南农业大学学报,1994,20(5):457~463.

[21] 张圣照,王国祥.太湖藻型富营养化对水生高等植物的影响及植被的恢复[J].植物资源与环境学报,1998,7(4):52~57.

[22] 刘鸿亮,宋复.草海大型水生植物恢复技术[A].沈国舫主编,中国环境问题院士谈[C].北京:中国纺织出版社,2001.35~60.

[23] 李文朝.富营养水体中常绿水生植被组建及净化效果研究[J].中国环境科学,1997,17(1):53~57.

[24] 陈洪达.武汉东湖水下光照强度对水生植物的影响[J].湖北渔业,1990,14(5):20~24.

[25] 李文朝.五里湖营养状况及治理对策探讨[J].湖泊科学,1994,8(2):136~143.

[26] 李文朝.五里湖底质条件与水生高等植物的适应性研究[J].湖泊科学,1996,8(增刊):30~36.

[27] 倪乐意.富营养水体中肥沃底质对沉水植物生长的胁迫[J].水生生物学报,2001,25(4):399~405.

[28] 戴全裕,陈源高.水培经济植物对酿酒废水净化与资源生态化工程研究[J].科学通报,1996,41(6):547~551.

[29] 戴全裕,蒋兴昌,汪越斌,等.太湖入湖河道污染物控制生态工程模拟研究[J].应用生态学报,1995,6(2):201~205.

(收稿日期 2004-04-28 编辑 舒建)