

## 4种沉水植物断枝再生能力研究

葛绪广<sup>1,2</sup>, 王国祥<sup>2</sup>, 陆贻超<sup>2</sup>

(1. 湖北师范学院地理科学系, 湖北 黄石 435002;

2. 南京师范大学地理科学学院, 江苏省环境演变与生态建设重点实验室, 江苏 南京 210046)

**摘要:** 比较研究了4种长江中下游湖泊常见的沉水植物(金鱼藻、伊乐藻、黑藻和穗花狐尾藻)断枝在投掷和扦插的移植方式下, 生物量、株高、节数的变化及不定根和新芽形成的时间。结果表明, 在试验期间, 各种断枝均发生了明显的变化, 除金鱼藻外, 其他3种沉水植物均有不定根产生; 除穗花狐尾藻外, 其他3种沉水植物断枝均有新芽产生。投掷和扦插对金鱼藻断枝生物量、节数和新芽的产生无明显影响, 对株高影响显著; 对黑藻和伊乐藻断枝生物量、株高、节数、不定根和新芽的产生影响显著; 对穗花狐尾藻断枝的生物量、株高影响显著, 对节数影响不明显, 而对不定根的产生有一定的影响。研究结果为退化水体的修复、恢复和重建提供了参考。

**关键词:** 沉水植物; 断枝; 再生能力; 不定根; 芽; 投掷法; 扦插法

**中图分类号:** Q945.5    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1674-3075(2009)04-0023-06

沉水植物作为浅水湖泊主要的生物组分和重要的生物环境, 对湖泊生态系统的结构和功能起关键作用(刘建康, 1990; 刘建康, 1995; Wiegleb G, 1983; Haslam S M, 1987)。它们不仅会影响食物链结构、控制其它生物类群的结构和大小、维持水环境的稳定性, 而且在恢复环境生态中也起着举足轻重的作用, 其群落的重建与恢复是水生生态系统修复工程的基础和关键(濮培民, 2001; 程南宁等, 2004)。而沉水植物群落重建和恢复首要环节是沉水植物的引种, 因此了解沉水植物繁殖和定居能力对于沉水植物重建和恢复具有重要的意义。

沉水植物以无性繁殖为主, 无性繁殖体主要有匍匐茎、根状茎、鳞茎、块茎和断枝等(Sculthorpe C D, 1967; Aiken S G et al, 1979; Kadono Y, 1984; Spencere A, Ksander W, 1991; Titus J E & Hoover D T, 1991; Barrat-Segretain et al, 1998)。其中断枝是沉水植物繁殖的重要方式, 关于沉水植物断枝生殖能力的研究较多, 包括环境因子、断枝长度及位置、引种方式对沉水植物繁殖的影响(邵留等, 2003; 袁妙森等, 2006; 高莹等, 2007), 但缺乏在受控条件下沉水植物断枝再生能力的比较研究。以4种长江中下游湖泊常见的沉水植物金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、伊乐藻(*Elodea nuttallii*)、黑藻[*Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle]和穗花狐尾藻(*Myriophyl-*

*lum spicatum*)为例, 用在相同时间内不定根和新芽的形成情况, 生物量、株高和节数的变化等指标来衡量其再生能力。

### 1 材料与方法

于2008年4月在南京师范大学水环境中试平台取4种沉水植物金鱼藻、伊乐藻、黑藻和穗花狐尾藻断枝, 选取生长良好、性状均一的植株顶部, 其中狐尾藻、伊乐藻、黑藻均无芽无根, 金鱼藻有芽无根, 每株具体指标如表1所示。

各种断枝均取180个, 放入77 cm × 60 cm × 55 cm的塑料水箱内, 底部铺满混匀的10 cm厚的塘泥, 水深为40 cm, 试验分2组, 1组抛掷培养, 另1组扦插培养。每次随机取出5株进行相关指标的监测。每种断枝均做3次重复。放置于南京师范大学水环境中试平台中。试验水质状况见表2。

不定根、芽、生物量、节数和株高等指标自断枝培养之日起, 每2 d检测1次, 以肉眼可以分辨的不定根、节数和新芽长度(约2 mm)记为已形成。不定根发生率 = 产生新根的断枝数/断枝总数 × 100%; 新芽发生率 = 产生新芽的断枝数/断枝总数 × 100%。

### 2 结果与分析

#### 2.1 4种沉水植物断枝的形态描述

在上述试验条件下, 4种沉水植物断枝的生物量、株高和节数均有不同程度的增加。各种沉水植物断枝都能够产生新芽; 除金鱼藻外, 其他断枝均有

收稿日期: 2008-10-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(40873057)。

作者简介: 葛绪广, 1976年生, 山东临沂人, 博士研究生, 主要从事水环境生态修复研究。E-mail: gxg76@126.com

表 1 4 种沉水植物断枝的初始情况

Tab. 1 Initial properties of the four submersed macrophytes segments

种类 Species	鲜重/g Fresh weight	株高/cm Height	节数/个 Node number	芽数/个 Sprout number	根数/个 Root number
伊乐藻 <i>Elodea nuttallii</i>	0.15	10	25	0	0
黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle	0.37	10	12	0	0
穗花狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i>	1.08	10	15	0	0
金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i>	0.95	10	13	6	0

生根现象;伊乐藻、黑藻断枝均有不定根和新芽生成进而发展成新植株的能力,新芽由叶腋处形成,不定根从形态学上的下端节处产生,新生的根为白色,以后逐渐变为浅黄色和浅褐色,产生须根,最后老化时变为暗褐色;穗花狐尾藻断枝均有不定根产生,试验进行 10 d 时,不定根上生成须根,试验期间很少有新芽产生;金鱼藻只生成新芽,各种处理组均无不定根产生。

表 2 试验水体的水质指标

Tab. 2 Properties of the experimental water

指标 Index	总氮/ mg · L <sup>-1</sup> TN	总磷/ mg · L <sup>-1</sup> TP	氨氮/ mg · L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	高锰酸盐指数/ mg · L <sup>-1</sup> Permanganate Index
数值 Value	0.41	0.03	0.08	3.95

## 2.2 4 种沉水植物断枝的生物量变化

由图 1~图 4 可以看出,4 种沉水植物断枝生物量均有不同程度的增加。不同的引种方式对不同物种有一定的影响,其中引种方式抛掷和扦插对金鱼藻无显著影响( $P=0.48 > 0.05$ ),对穗花狐尾藻、伊乐藻和黑藻影响极显著( $P$  均小于 0.01),从影响显著程度看,黑藻 > 伊乐藻 > 穗花狐尾藻 > 金鱼藻。在抛掷方式下,4 种沉水植物断枝生物量增加率顺序为:黑藻(35.423%) > 金鱼藻(35.415%) > 穗花狐尾藻(30.152%) > 伊乐藻(23.904%);而在扦插方式中下:黑藻(84.519%) > 伊乐藻(63.385%) > 穗花狐尾藻(60.885%) > 金鱼藻(36.986%)。可见,在 2 种不同的移植方式下,黑藻的生物量增加率都是最大的,因此在恢复、修复及重建水体生态系统或净化水体时,可优先考虑黑藻。

## 2.3 4 种沉水植物断枝的株高变化

由图 5~图 8 可以看出,4 种沉水植物断枝株高均具有不同程度的增加。不同的引种方式对不同物种均有显著影响,金鱼藻、穗花狐尾藻、伊乐藻和黑藻  $P$  值分别为 0.005、0.003、0.002、0.0006 < 0.05,从影响显著程度看,黑藻 > 伊乐藻 > 穗花狐尾藻 > 金鱼藻。抛掷方式下,4 种沉水植物断枝株高增加率为:穗花狐尾藻(49.65%) > 黑藻(39.48%) > 金

鱼藻(30.07%) > 伊乐藻(20.89%);而扦插方式方式下:穗花狐尾藻(78.17%) > 黑藻(75.31%) > 金鱼藻(57.63%) > 伊乐藻(48.72%)。

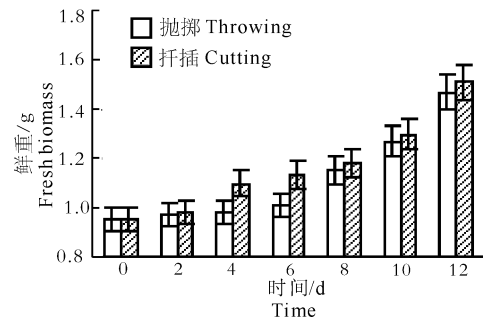


图 1 金鱼藻断枝生物量的变化

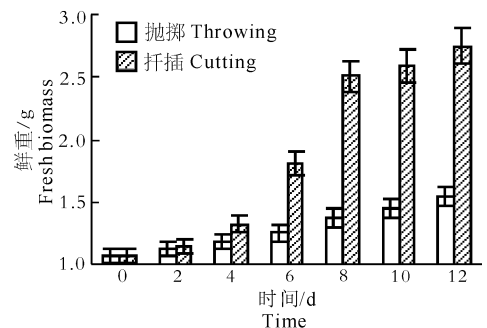
Fig. 1 Biomass change of *Ceratophyllum demersum* segments

图 2 穗花狐尾藻断枝生物量的变化

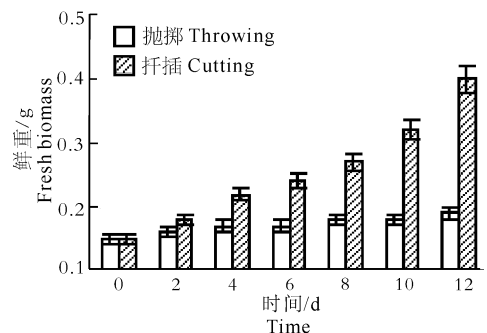
Fig. 2 Biomass change of *Myriophyllum spicatum* segments

图 3 伊乐藻断枝生物量的变化

Fig. 3 Biomass change of *Elodea nuttallii* segments

### 2.4 4种沉水植物断枝的节数变化

由图9~图12可以看出,4种沉水植物断枝节数均具有不同程度的增加。不同的引种方式对不同物种有一定的影响,其中抛掷和扦插对金鱼藻( $P=0.07>0.05$ )、穗花狐尾藻( $P=0.28>0.05$ )无显著影响,对黑藻( $P=0.01<0.05$ )影响显著,对伊乐藻( $P=0.0006<0.01$ )影响极显著;从影响显著程度看,伊乐藻>黑藻>金鱼藻>穗花狐尾藻。抛掷方式对4种沉水植物断枝节数增加率亦有不同程度的影响:黑藻(35.423%)>金鱼藻(35.415%)>穗花狐尾藻(30.152%)>伊乐藻(23.904%);扦插方式对4种沉水植物断枝节数增加影响的不同程度为:黑藻(84.519%)>伊乐藻(63.385%)>穗花狐尾藻(60.885%)>金鱼藻(36.986%)。

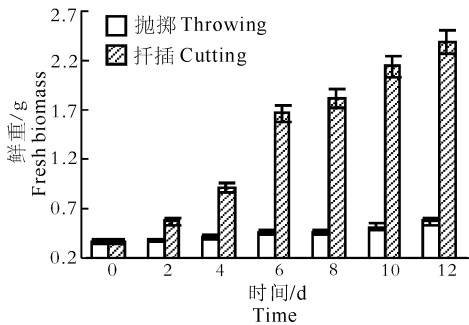


图4 黑藻断枝生物量的变化

Fig. 4 Biomass change of *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle segments

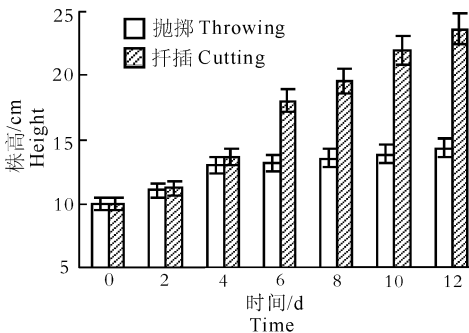


图5 金鱼藻断枝株高的变化

Fig. 5 Height change of *Ceratophyllum demersum* segments

### 2.5 4种沉水植物断枝不定根和芽的发生率

由表3可以看出,在试验期间,除金鱼藻外,其他3种沉水植物断枝均有生根现象,不同引种方式对不同沉水植物断枝有不同的影响。抛掷引种方式下,根的发生率达到100%的时间顺序为:黑藻>穗花狐尾藻>伊乐藻;扦插引种方式下,根的发生率达到100%的时间,黑藻、穗花狐尾藻相近,而伊乐藻最迟。

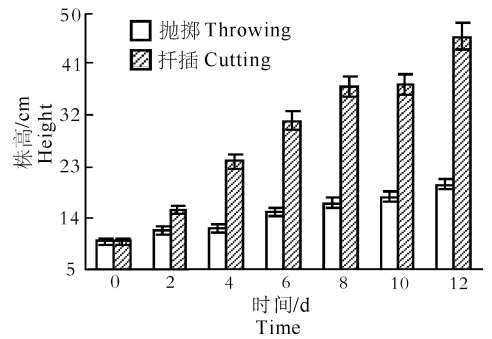


图6 穗花狐尾藻断枝株高的变化

Fig. 6 Height change of *Myriophyllum spicatum* segments

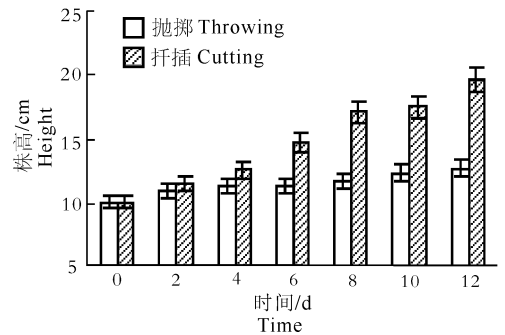


图7 伊乐藻断枝株高的变化

Fig. 7 Height change of *Elodea nuttallii* segments

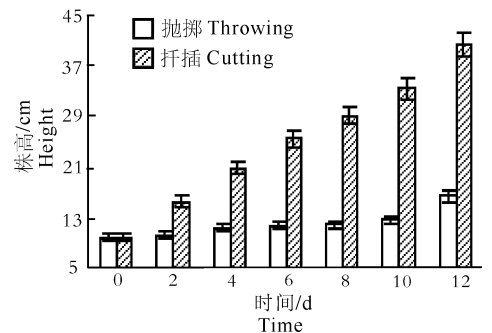


图8 黑藻断枝株高的变化

Fig. 8 Height change of *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle segments

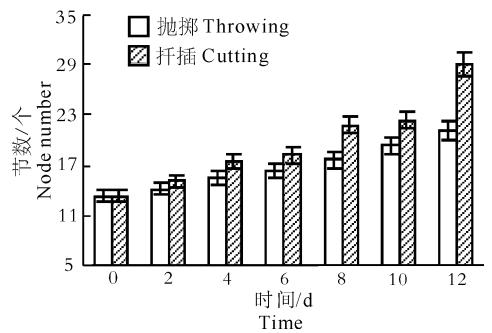


图9 金鱼藻断枝节数的变化

Fig. 9 Node number change of *Ceratophyllum demersum* segments

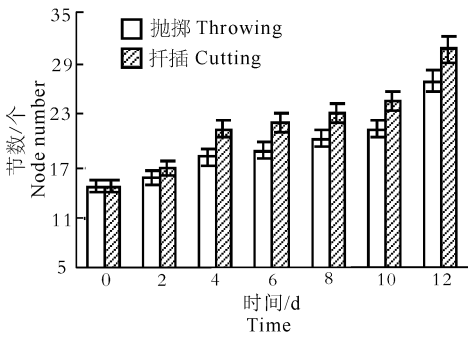


图 10 穗花狐尾藻断枝节数的变化

Fig. 10 Node number change of *Myriophyllum spicatum* segments

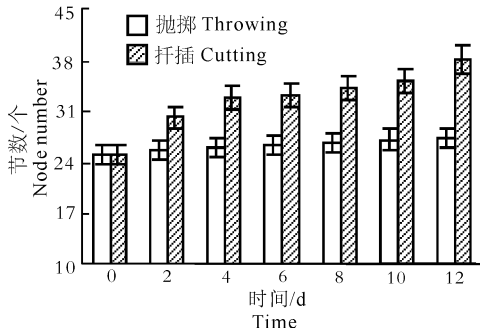


图 11 伊乐藻断枝节数的变化

Fig. 11 Node number change of *Elodea nuttallii* segments

由表 4 可以看出,在试验期间,除穗花狐尾藻外,其他 3 种沉水植物断枝均有新芽发生,不同引种方式对不同沉水植物断枝有不同的影响。抛掷引种方式下,新芽的发生率达到 100% 的时间表现为伊乐藻、金鱼藻相近,黑藻最迟;扦插引种方式下,新芽的发生率达到 100% 的时间表现为伊乐藻最早,金鱼藻、黑藻相近。

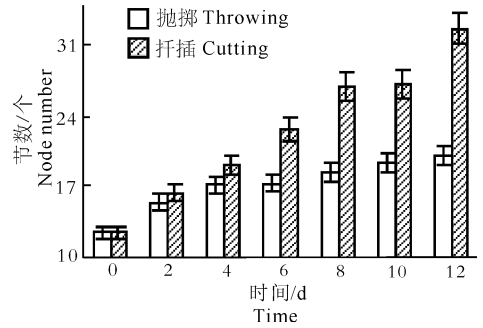


图 12 黑藻断枝节数的变化

Fig. 12 Node number change of *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle segments

### 3 讨论

穗花狐尾藻、黑藻、伊乐藻和金鱼藻因其具有较强的环境适应、生存能力而常被选作退化水体生态

表 3 4 种沉水植物断枝不定根的发生率

Tab. 3 Incidence of adventitious roots formation of four submerged macrophytes segments

时间/d Time	伊乐藻 <i>Elodea nuttallii</i>		黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle		穗花狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i>		金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i>	
	抛掷/% Throwing	扦插/% Cutting	抛掷/% Throwing	扦插/% Cutting	抛掷/% Throwing	扦插/% Cutting	抛掷/% Throwing	扦插/% Cutting
	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	50	25	0	0	0	0
4	20	80	100	100	67	100	0	0
6	57	80	100	100	80	100	0	0
8	71	100	100	100	100	100	0	0
10	83	100	100	100	100	100	0	0
14	100	100	100	100	100	100	0	0

表 4 4 种沉水植物断枝芽的发生率

Tab. 4 Incidence of sprouts formation of four submerged macrophytes segments

时间/d Time	伊乐藻 <i>Elodea nuttallii</i>		黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle		穗花狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i>		金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i>	
	抛掷/% Throwing	扦插/% Cutting	抛掷/% Throwing	扦插/% Cutting	抛掷/% Throwing	扦插/% Cutting	抛掷/% Throwing	扦插/% Cutting
	0	0	0	0	0	0	0	0
2	60	100	20	75	0	0	20	60
4	80	100	40	100	0	0	80	100
6	100	100	50	100	0	0	100	100
8	100	100	60	100	0	0	100	100
10	100	100	100	100	0	0	100	100
14	100	100	100	100	0	0	100	100

修复、恢复和重建的先锋物种(张秀敏等,1998)。可是上述几种沉水植物的种子萌发、幼苗生长都需要一定的环境条件,如溶解氧和光照等。而需要修复、恢复和重建的水体中,其水底的溶解氧常常很低,而且光照条件也难以达到它们的光照强度要求(苏文华等,2004),即使种子萌发形成幼苗,也难以存活并拓殖成一定规模的种群。

断枝在穗花狐尾藻、黑藻、伊乐藻和金鱼藻物种的快速传播方面起着重要作用(崔心红等,2000; Grace J B & Wetzel R G,1978)。本文研究表明,因机械折断形成的断枝无论在抛掷条件下还是在扦插条件下都具有较强的繁殖生长能力,多数断枝都有不定根和芽发生。不同移植方式对不定根和芽发生没影响,但影响了不定根和芽的发生时间,这对上述几种沉水植物种群定居、拓殖有重要影响。尤其是在退化水体中,不定根和芽发生时间的长短,往往决定该物种是否能够成功定居、拓殖,恢复健康的生态系统。在可能的条件下,应以扦插为主,但金鱼藻抛掷和扦插对其生物量和芽形成无显著影响,可以抛掷,既降低采挖和运输种苗的成本、提高施工效率,又可以得到很好的效果。通过以上试验可以看出,在物种的选择上,可优先选择黑藻,其无论生物量、株高和节数的增加,还是须根和新芽的产生,都具有优势。

自然状态下,许多沉水植物可以通过内在机制自动形成断枝或在外力作用下形成断枝,并发育形成新个体。对许多沉水植物通过内在机制自动形成断枝的过程以及影响断枝形成的环境因素已有很多研究(崔心红等,2000; Smith D H et al,2002)。而退化水体的修复、恢复和重建需要在人为因素的作用下进行,上述试验研究结果为人为利用沉水植物修复、恢复和重建退化水体提供了依据。

#### 参考文献:

程南宁,朱伟,张俊. 2004. 重污染水体中沉水植物的繁殖及移栽技术探讨[J]. 水资源保护, 20(6):8-11.

崔心红,熊秉红,蒲云海,等. 2000. 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, 24(4):502-505.

高莹,余小敏,刘杰,等. 2007. 狐尾藻断枝上不定根与芽发生的初步研究[J]. 水生生物学报, 31(5):727-731.

刘建康. 1990. 东湖生态学研究(一)[M]. 北京:科学出版社.

刘建康. 1995. 东湖生态学研究(二)[M]. 北京:科学出版

社.

濮培民. 2001. 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,13(3):193-203.

邵留,沈益绿,罗亚平. 2003. 几种生态因子对黑藻断枝生殖的影响[J]. 水利渔业, 23(6):16-18.

苏文华,张光飞,张云孙,等. 2004. 5种沉水植物的光合特征[J]. 水生生物学报, 28(4):391-395.

袁妙姝,顾传燕,杨万年. 2006. 狐尾藻与黑藻断枝的不定根和新芽的形成[J]. 植物生理学通讯, 42(5):885-887.

张秀敏,陈娟,杨树华. 1998. 滇池水生植被恢复规划研究[J]. 云南环境科学, 17(3):38-40.

Aiken S G, Newroth P R, Wile I. 1979. The biology of Canadian weed (34): *Myriophyllum spicatum* L [J]. Canadian Journal of Plant Science, 59: 201-215.

Barrat-Segretain M H, Bornette G, Hering-Vilas-Boas A. 1998. Comparative abilities of vegetative regeneration among aquatic plants growing in disturbed habitats[J]. Aquatic Botany, 60: 201-211.

Grace J B, Wetzel R G. 1978. The production biology of Eurasian water milfoil (*Myriophyllum spicatum* L.): a review [J]. J Aquat Plant Manage, 16:1-11.

Haslam S M. 1987. River plants of Western Europe[M]. London: Cambridge University Press.

Kadono Y. 1984. Comparative ecology of Japanese *Potamogeton*: an extensive survey with special reference to growth form and life cycle[J]. Japanese Journal of Ecology, 34: 161-172.

Sculthorpe C D. 1967. The biology of aquatic vascular plants [M]. London: Edward Arnold.

Smith D H, Madsen J D, Dickson K L, et al. 2002. Nutrient effects on autofragmentation of *Myriophyllum spicatum* [J]. Aquatic Botany, 74:1-17.

Spencere A, Ksander W. 1991. Comparative growth and propagate production by *Hydrilla verticillata* grow from axillary turions or subterranean turions[J]. Hydrobiologia, 222: 153-158.

Titus J E, Hoover D T. 1991. Toward predicting reproductive success in submersed freshwater angiosperms [J]. Aquatic Botany, 41: 111-136.

Wiegleb G. 1983. A phytosociological study of the macrophyte vegetation of running water in western Lower Saxony (Federal Republic of Germany) [J]. Aquatic Botany, 17: 251-274.

## Study on Regeneration Ability of Segment in Four Submerged Macrophytes

GE Xu-guang<sup>1,2</sup>, WANG Guo-xiang<sup>2</sup>, LU Yi-chao<sup>2</sup>

- (1. Department of Geographical Science, Hubei Normal University, Huangshi 435002, China;  
2. Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction,  
College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

**Abstract:** This paper compared the effects of transplanting method, throwing method or cottage, on the changes of biomass, height, node and the time for adventitious roots and sprout formation after transplanting segments of 4 submerged macrophytes, *Ceratophyllum demersum*, *Elodea nuttallii*, *Hydrilla verticillata* and *Myriophyllum spicatum*, which are common dominant submerged macrophytes in lakes along the middle and lower reaches of the Yangtze River. The results showed that all segments had obvious changes. After transplantation, all the segments developed adventitious roots except those of *C. demersum* and developed sprout except those of *M. spicatum*. Throwing method and cottage had no significant influences on biomass, node and the time for sprout formation, but had significant influences on the plant height of *C. demersum*. The transplantation method had significant influences on biomass, node and the time for adventitious roots and sprout formation of *E. nuttallii* and *H. verticillata*, and on biomass and height of *M. spicatum*, but no significant influences on the node and the time for adventitious roots and sprout formation of *M. spicatum*. The results can provide reference to the remediation, restoration and reconstruction of degraded water.

**Key words:** Submerged macrophyte; Segment; Regeneration ability; Adventitious root; Sprout; Throwing; Cottage