

# 狐尾藻断枝上不定根与芽发生的初步研究

高 莹<sup>1</sup> 余小敏<sup>1</sup> 刘 杰<sup>1</sup> 杨万年<sup>1</sup> 李敦海<sup>2</sup> 刘永定<sup>2</sup>

(1 华中师范大学生命科学学院 武汉 430079; 2 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

**摘要:**本文比较研究了不同节位和不同长度狐尾藻断枝的不定根和芽的发生时间及其形成幼苗的频率(本文中的幼苗指最终形成了不定根和芽的断枝)。结果表明:在狐尾藻顶芽以下叶已完全展开的茎段部分,不定根和芽的发生时间呈现出随着节位下降而逐渐缩短的趋势,而幼苗形成频率呈现出随着节位下降而增高的趋势;断枝的长度(用断枝所含的茎节数表示)对不定根和芽的发生时间及幼苗形成频率也有明显的影响。断枝长度增加,不定根和芽的发生时间缩短,形成幼苗的频率升高。另外与抛掷方式相比,扦插延长多节断枝的不定根和芽形成时间,但提高幼苗的形成频率。这些研究结果为制定水体生态系统中狐尾藻的恢复和管理措施提供了参考。

**关键词:** 狐尾藻; 断枝; 不定根; 芽

中图分类号:Q945 文献标识码:A 文章编号:1000-3207(2007)05-0726-05

穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum* L.)是小二仙草科(Haloragidaceae)多年生沉水植物,常与金鱼藻、菹草等形成各种类型的水生植物群落<sup>[1-3]</sup>。在水生植被的自然修复中,狐尾藻也是最先侵入和定居的先锋物种之一<sup>[4, 5]</sup>。由于狐尾藻耐污染能力较强,因而水生植被恢复工程中是被优先考虑的先锋物种之一<sup>[6]</sup>。自然条件下狐尾藻以种子、根状茎和断枝三种方式进行繁殖<sup>[7, 8]</sup>。在两种营养繁殖方式中,匍匐枝对种群的扩增起着重要作用,而断枝对狐尾藻的传播起着重要作用。狐尾藻具有自动形成断枝的特点,当断枝形成启动时,首先在茎端15—20cm位置形成不定根,然后从形成不定根的部位断裂而成为一个新的植株<sup>[7, 9]</sup>。除了自动形成断枝外,机械损伤也能够导致狐尾藻断枝的形成。据崔心红等报道,这类断枝也具有一定的生根能力<sup>[10]</sup>。但断枝节位和断枝长度对不定根和芽形成的影响尚无研究,本文报道了这方面的研究结果。

## 1 材料与方法

**1.1 实验材料** 穗花狐尾藻幼苗采自武汉市附近的池塘。选取大小一致的10—15cm长的小苗定植

于盛有塘泥的77cm×60cm×55cm的塑料水箱内,塘泥厚约5cm,水深45cm,每桶种植15株。当植株长到高约20cm时取材进行后续实验。

**1.2 不同节位与长度狐尾藻断枝的定义** (1)顶芽段:指顶芽及其周围尚未完全展开的叶;(2)一节断枝:只含有一个节的断枝。倒数第一片完全展开叶所在节及其上、下各1/2节间称为一节断枝1;以此类推其下分别为一节断枝2、一节断枝3和一节断枝4(如图1A);(3)二节断枝:含有二个节的狐尾藻断枝。倒数第一和第二片完全展开叶所在节及其上、下各1/2节间称为二节断枝(如图1B);(4)三节断枝:含有三个节的断枝。倒数第一、二、三片完全展开叶所在节及其上、下各1/2节间称为三节断枝(如图1C);(5)四节断枝:倒数一至四片完全展开叶及其上、下各1/2节间称为四节断枝(如图1D)。

**1.3 狐尾藻断枝的培养方式** (1)抛掷培养:将上述各种断枝掷入盛有自来水(水深10cm)的塑料盒中,断枝自由漂浮于水面,25W日光灯下培养,温度25℃。(2)扦插培养:塑料盒中铺有5cm池塘底泥,水深10cm,按照形态学上端朝上或者朝下两种方向扦插,25W日光灯下培养,温度25℃。

收稿日期:2005-05-20 修订日期:2006-09-03

基金项目:国家863计划项目(2002AA601013)资助

作者简介:高莹(1983—),女,湖北省襄樊人;学士;主要从事植物发育生物学方面的研究

通讯作者:杨万年, E-mail: yangwn@mail.ccnu.edu.cn

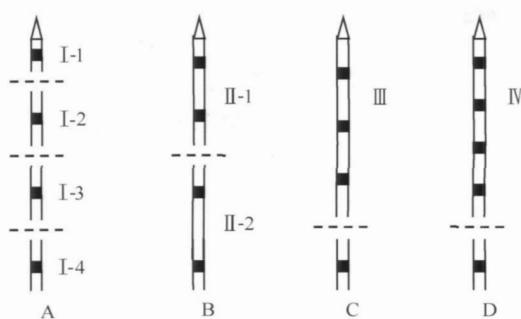


图 1 断枝节位和长度定义示意图

Fig. 1 Definitions of node positions and length of fragments  
I - 1 至 I - 4 示一节断枝 1 至一节断枝 4; II - 1, II - 2 示二节断枝 1 及二节断枝 2; III 示三节断枝; IV 示四节断枝。

A-D 顶端的三角形示顶芽

I - 1, I - 2, I - 3 and I - 4 show one node fragment 1, 2, 3 and 4 respectively. II - 1 and II - 2 show two node fragment 1 and 2 respectively. III and IV show three node and four node fragment respectively. The top triangle in each profile shows the apical bud

**1.4 不定根与芽的统计** 自狐尾藻断枝培养之日起, 每三天观察一次不定根和芽的形成, 肉眼可以分辨的不定根和芽长度达到 2mm 时记为已发生。以 10% 的断枝形成不定根和芽的时间分别表示不定根和芽的形成时间。培养 60d 后, 统计各种条件下形成幼苗的频率。每个实验做三个重复, 实验结果以三次重复的平均值±标准误表示。

## 2 结果

### 2.1 狐尾藻断枝上不定根和芽发生的形态描述

我们所试验的一节断枝、二节断枝、三节断枝和四节断枝, 在抛掷和扦插条件下都能够形成不定根和芽, 进而发展成一棵新的植株。一节断枝在其形态学下端形成愈伤组织突起, 不定根从愈伤组织突起上发生。而多节的狐尾藻断枝在培养过程中, 形态上首先发生一定程度的弯曲, 不定根一般从弯曲处的节上发生, 根形成后向下生长。实验中也观察到部分多节断枝的不定根从形态学下端形成的愈伤组织突起上发生。不定根发生后芽逐渐从断枝的叶腋内发生, 在多节断枝中, 芽更多地发生于断枝的形态学上部节位, 少数与根在同一节位发生。不同长度的断枝上形成的根和芽长势有明显差别。一节断枝上发生的根纤细、短, 生长缓慢, 当芽出现时, 其长度常常不超过 1cm。二节断枝上的根也较纤细, 但生长速度略快一些, 当芽出现时, 长度能够达到

3—5cm。三节断枝和四节断枝上的根生长更快, 芽出现时常常能够达到 6—7cm, 与三节断枝相比, 四节断枝上的根更加粗壮、数目更多, 而且部分根还形成侧根。从一节断枝、二节断枝和三节断枝上发生的芽在初期均很瘦弱, 四节断枝上形成的芽较前两者健壮, 生长更快。正向扦插有利于根和芽的生长, 在正向扦插条件下所形成的根和芽比抛掷条件下形成的根和芽更健壮, 生长更快, 并形成侧根。反向扦插条件下仍然能形成一定频率的幼苗, 不定根发生在茎段的形态学下端部分, 形成后向下弯曲生长, 而芽形成于形态学的上端部分, 发生后向上弯曲生长。说明在沉水植物中, 形态学的方向仍然对不定根和芽的发生部位起着决定作用。

### 2.2 节位对断枝不定根和芽发生时间的影响

在抛掷条件下, 随着断枝所处节位的下降, 不定根和芽的发生时间均呈现明显缩短的趋势, 与顶芽段相邻的一节断枝(一节断枝 1)的不定根发生时间为 27d, 而其下的一节断枝 2 和一节断枝 3 的根发生时间仅 12d, 一节断枝 4 仅 9d(图 2)。芽的发生时间一般较不定根晚, 但发生时间随着节位下降缩短的趋势与不定根相同。一节断枝 1 的芽发生时间为 33d, 一节断枝 2 和一节断枝 3 为 18d, 一节断枝 4 为 9d(图 3)。我们推测这种变化趋势与不同节位的发育程度不同有关, 随着节位的下降, 所在茎段逐渐发育成熟, 茎和叶的各项机能更趋完善, 因而更利于不定根和芽的发生。我们统计的最终幼苗形成频率也与此相吻合, 不同节位的断枝形成幼苗的频率呈现出随着节位下降而增加的趋势, 与顶芽部相邻的一节断枝的幼苗形成频率仅 20%, 而其下的一节断枝的幼苗形成频率均较高, 一节断枝 4 的形成频率达

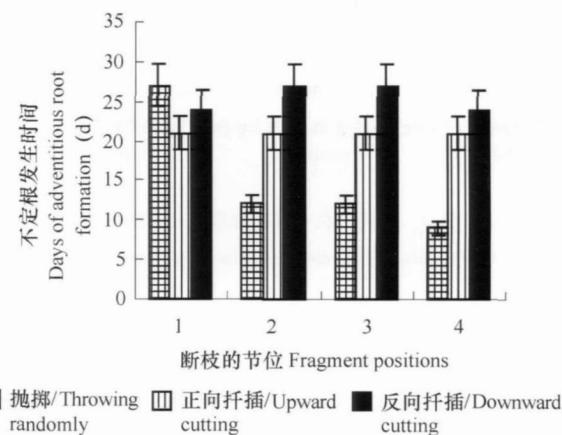


图 2 不同样本一节断枝的不定根发生时间  
Fig. 2 The production of adventitious roots on mononode fragments

83% (图 4)。对于一节断枝而言,除了与顶芽部相邻的 1 位断枝之外,正向和反向扦插均明显延迟一节断枝的不定根和芽形成时间,降低幼苗形成频率(图 2~4)。我们推测其原因是一节断枝太短,在实际操作中容易受到人为损伤,而且在扦插时大部分断枝被插入底泥中,光合作用等生理过程可能受到干扰,因而影响到不定根和芽的发生。

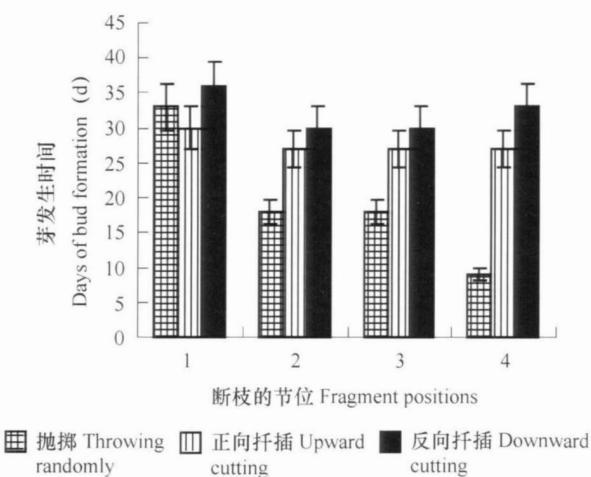


图 3 不同节位一节断枝的芽发生时间

Fig. 3 The production of adventitious buds on mono node fragments

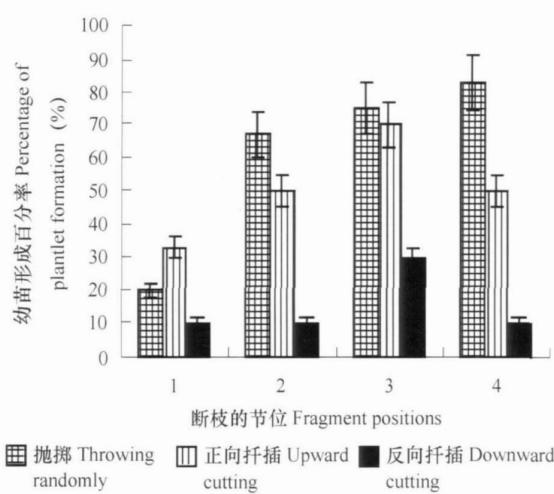


图 4 不同节位一节断枝形成幼苗的频率

Fig. 4 Frequency of plantlet production from mono node fragments

## 2.3 微茎段长度对不定根和芽发生的影响

比较与顶芽部相邻的一节断枝、二节断枝、三节断枝和四节断枝的根芽发生时间,发现在抛掷条件下,二节断枝的不定根和芽的发生时间最短,仅需要 6d 时间,三节和四节断枝的根芽发生时间比二段次之,不定根的发生时间为 9d,芽的发生

时间均为 12d;一节断枝时间最长,不定根和芽的发生时间分别为 27d 和 33d(图 5,6)。其他节位不同长度断枝的根芽发生时间,也呈现相同的变化趋势(结果未报道)。在抛掷条件下,尽管二节断枝形成不定根和芽的时间最短,但最终形成幼苗的频率却比三节和四节断枝低,幼苗形成频率呈现出随着断枝长度(节数)增加而增高的趋势(图 7)。正向扦插明显延迟二节断枝的不定根发生时间,对三节和四节断枝不定根的发生时间没有影响,显著延迟所有多节断枝芽的形成时间,但能够提高三节和四节断枝的幼苗形成频率,在此条件下三节段的成苗率达 95% 以上,四节段的成苗率达 100%(图 5~7)。反向扦插明显延迟不定根和芽的形成时间,但在反向扦插条件下,三节和四节断枝的幼苗形成频率比抛掷条件下高,四节断枝的成苗率达 100%。推测四节断枝可能是狐尾藻形成幼苗的理想长度。

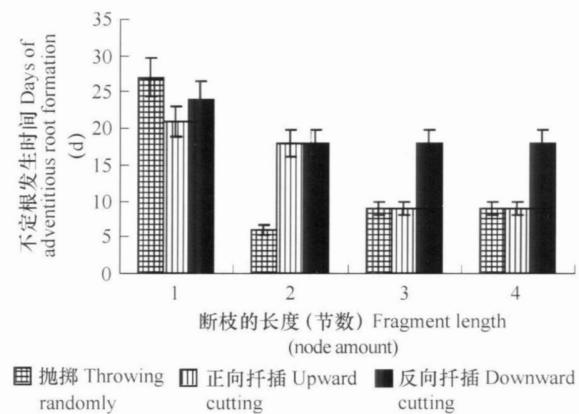


图 5 不同长度断枝的不定根发生时间

Fig. 5 Adventitious production on fragments with different lengths

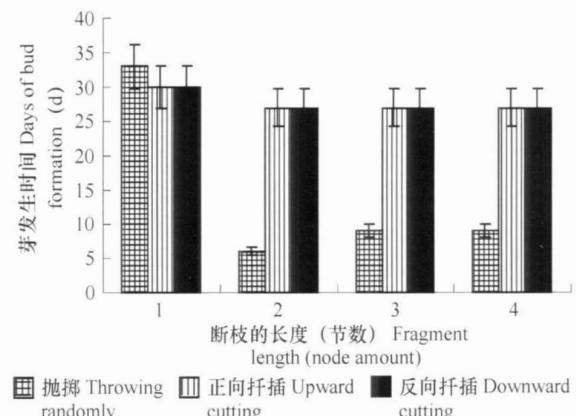


图 6 不同长度断枝的芽发生时间

Fig. 6 Adventitious bud production on fragments with different lengths

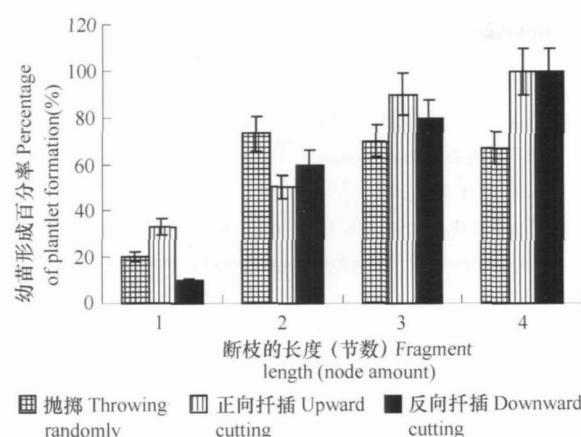


图7 不同长度断枝形成幼苗的频率

Fig. 7 Frequency of plantlet production from fragments with different lengths

### 3 讨论

断枝在狐尾藻物种的快速传播方面起着重要作用<sup>[10, 11]</sup>。我们的研究结果显示因机械折断形成的狐尾藻断枝无论在抛掷条件下还是在扦插条件下都具有较强的不定根和芽的形成能力, 多数断枝(特别是多节断枝)都能够发育成新的植株。不同节位的断枝形成新植株的能力有区别, 在顶芽部分以下, 随着茎节和片叶的发育成熟, 形成不定根和芽的能力呈现增强的趋势, 断枝长度的增加有利于不定根和芽的形成。这体现在两个方面, 一是断枝能够更早地形成不定根和芽, 二是断枝形成幼苗的频率更高。前人研究了狐尾藻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<sup>[10, 12]</sup>, 在本实验中我们观察了不同节段机械断枝的根芽发生能力以及其形成新植株的能力。我们根据观察结果推测, 自然条件下因风浪等机械原因形成的狐尾藻断枝也是一种有效的繁殖体, 与狐尾藻自动形成的断枝相比, 其区别在于机械断枝是在漂浮生长过程中形成不定根和芽, 再定居生长。因而其发生和传播在时间与空间上都具有较大的随机性。而自动断枝是先形成不定根, 然后从母株上脱落, 定居生长, 其发生有一定的季节性, 常常发生在生长季节结束, 达到最大生物量的时候<sup>[7, 12]</sup>。

狐尾藻因其较强的耐污能力而常被选作水体生态恢复的先锋物种<sup>[6]</sup>。狐尾藻的种子难于胜任生态恢复的要求, 这是因为狐尾藻种子萌发率不高(本实验室未发表的实验结果), 而且种子在水底萌发, 形成的幼苗被固定在水底。而需要恢复水生植被的水体中, 其水底的溶氧量常常很低, 而且光照条件也难

于达到狐尾藻的高光强要求<sup>[13]</sup>。因而即使种子萌发形成幼苗, 也难于存活并扩增成一定规模的种群。我们的工作为在低风浪水体中通过抛掷狐尾藻断枝恢复狐尾藻种群提供了依据, 由于断枝漂浮在水体上层, 可以避免溶氧和光强的限制, 因而能够发育成健壮的新植株并逐渐定居和扩增。这是一种值得在实践中进一步探讨的方法。我们的研究结果还为繁育生态恢复所需的种苗提供了新的思路。在目前的生态恢复实践中, 狐尾藻种苗主要由自然水体中采集而来, 这种作法可能会对采集地的水生植被造成一定程度的破坏。解决这一问题的办法之一是专门建立种苗塘, 快速繁育生态恢复所需的种苗<sup>[14]</sup>。根据我们的研究结果, 我们认为通过机械断枝繁殖狐尾藻幼苗可能是一种既经济又简单的办法。

另一方面, 由于狐尾藻在合适生长条件下种群扩增速度快, 常形成水表层的优势种群, 导致水域下层的其他大型沉水植物不能生长, 当其大量发展时又会带来新的生态灾难<sup>[7, 12, 15]</sup>。因此在生态恢复到一定程度时, 需要对部分种群进行一定程度的限制。狐尾藻的特点决定了其在恢复初期充当先锋物种, 而在水生植被全面恢复后又是要加以限制的物种。我们的工作为科学地制定狐尾藻管理措施提供了一定的参考依据。例如, 在定期刈草时, 应当考虑到刈下的断枝形成新植株的能力及其扩散和传播问题。

### 参考文献:

- Zhan C W, Yu D, Wu Z H, et al. The community ecology of aquatic plant in the water land ecotone of Liangzi Lake [J]. *Acta Phytogeographica Sinica*, 2001, 25(5): 573—580[詹存卫, 于丹, 吴中华, 等. 梁子湖水-陆交错区水生植物群落生态学研究. 植物生态学报, 2001, 25(5): 573—580]
- Chen Z Y, Lei Z X, Zhou J, et al. Monthly quantitative and biomass dynamics of six submerged macrophytes populations in Liangzi Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, 24(6): 582—588[陈中义, 雷泽湘, 周进, 等. 梁子湖六种沉水植物种群数量和生物量周年动态. 水生生物学报, 2000, 24(6): 582—588]
- Li W, Cheng Y. Quantitative analysis on the main submerged communities in HongHu Lake. III Ceratophyllum demersum+ Potamogeton crispus + Myriophyllum spicatum community [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, 24(1): 30—35[李伟, 程玉. 洪湖主要沉水植物群落的定量分析III. 金鱼藻+ 菹草+ 穗花狐尾藻群落. 水生生物学报, 2000, 24(1): 30—35]
- Yang L Y, Liang H T, Hu W P, et al. The study on natural restoration of aquatic vegetation in the northern lakeside, Lake Taihu [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2002, 14(1): 60—66[杨龙元, 梁海棠, 胡维平, 等. 太湖北部滨岸区水生植被自然修复观测研究. 湖泊科学, 2002, 14(1): 60—66]

- [ 5 ] Ma J M, Yan G A, Luo Y P, et al . The aquatic vegetation restoration and its structure improvement and water quality dynamics in the controlled ecosystem in East Lake (Wuhan) [ J ]. *J of Lake Sciences*, 1997, 9( 4 ) : 359—363[ 马剑敏, 严国安, 罗岳平, 等. 武汉东湖受控生态系统中水生植被恢复结构优化及水质动态. 湖泊科学, 1997, 9( 4 ) : 359—363]
- [ 6 ] Zhang X M, Chen J, Yang S H. Study on restoration of aquatic vegetation in Dianchi Lake [ J ]. *Journal of Yunnan Environment*, 1998, 17( 3 ) : 38—40[ 张秀敏, 陈娟, 杨树华. 滇池水生植被恢复规划研究. 云南环境科学, 1998, 17( 3 ) : 38—40]
- [ 7 ] Smith C S, Barko J W. Ecology of Eurasian watermilfoil [ J ]. *Aquat Plant Manage*, 1990, 28: 55—64
- [ 8 ] Chen Z Y, Lei Z X, Zhou J, et al . A preliminary study of winter seed bank of dominant submerged macrophytes in Lake Liangzi [ J ]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2001, 25( 2 ) : 152—158[ 陈中义, 雷泽湘, 周进, 等. 梁子湖优势沉水植物冬季种子库的初步研究. 水生生物学报, 2001, 25( 2 ) : 152—158]
- [ 9 ] Kimbel J C. Factors influencing potential intralake colonization by *Myriophyllum spicatum* L. [ J ]. *Aquat Bot*, 1982, 14: 295—307
- [ 10 ] Cui X H, Xiong B H, Pu Y H, et al . Comparative study of regeneration and colonization ability in five submersed macrophytes [ J ]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24( 4 ) : 502—505[ 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. 植物生态学报, 2000, 24( 4 ) : 502—505]
- [ 11 ] Grace J B, Wetzel R G. The production biology of Eurasian watermilfoil (*Myriophyllum spicatum* L.): a review [ J ]. *J Aquat Plant Manage*, 1978, 16: 1—11
- [ 12 ] Smith D H, Madsen J D, Dickson K L, et al . Nutrient effects on auto-fragmentation of *Myriophyllum spicatum* [ J ]. *Aquatic Botany*, 2002, 74: 1—17
- [ 13 ] Su W H, Zhang G F, Zhang Y S, et al . The photosynthetic characteristics of five submerged aquatic plants [ J ]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, 28( 42 ) : 391—395[ 苏文华, 张光飞, 张云孙, 等. 5种沉水植物的光合特征. 水生生物学报, 2004, 28( 42 ) : 391—395]
- [ 14 ] Lian G H, Zhang S Z. Artificial vegetative reproduction and plantation technique for *Elodea nuttallii* and six other species of submerged plants [ J ]. *J Lake Sciences*, 1996, 8( suppl ): 11—16[ 连光华, 张圣照. 伊乐藻等水生高等植物的快速营养繁殖技术和培养方法. 湖泊科学, 1996, 8( 增刊 ): 11—16]
- [ 15 ] Aiken S G, Newroth P R, Wile I. The biology of Canadian Weeds. 34. *Myriophyllum spicatum* L. [ J ]. *Can J Plant Sci*, 1979, 59: 210—215

## PRODUCTION OF ADVENTITIOUS ROOTS AND BUDS ON FRAGMENTS OF *MYRIOPHYLLUM SPICATUM* L.

GAO Ying<sup>1</sup>, YU Xiao-Min<sup>1</sup>, LIU Jie<sup>1</sup>, YANG Wan-Nian<sup>1</sup>, LI Durr-Hai<sup>2</sup> and LIU Yong-Ding<sup>2</sup>

(1. College of Life Sciences, Central China Normal University, Wuhan 430079, China; Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** The time for adventitious roots and buds formation and the frequency of plantlet production from watermilfoil fragments were compared among fragments from different node positions or with different lengths. The results demonstrated that the time for adventitious roots and buds formation was gradually shortened with the descending of node positions from the top down while the frequency of plantlet formation increased. The length of fragments (expressed by the amount of nodes on fragments) also has some effects on the time of root and bud formation as well as frequency of plantlet formation. Multi-node fragments produced adventitious roots and buds in a shorter time than mono-node fragments and developed to plantlets with a higher frequency. Compared with throwing method which means throwing the cuttings into the water randomly, cutting method delayed the formation of adventitious roots and buds from the multi-node fragments, but increased the frequency of plantlet formation.

**Key words:** *Myriophyllum spicatum* L.; Fragments; Adventitious roots; Buds