

# 菹草石芽萌发影响因子及其阶段性生物学积温研究

蔺庆伟<sup>1</sup>, 杨佩昀<sup>1</sup>, 高伟<sup>1</sup>, 王洁玉<sup>1</sup>, 马剑敏<sup>1</sup>, 刘碧云<sup>2</sup>, 贺锋<sup>2</sup>, 吴振斌<sup>2</sup>

(1. 河南师范大学 生命科学学院, 河南 新乡 453007; 2. 中国科学院 水生生物研究所, 武汉 430072)

**摘要:**通过模拟实验研究了水位、光照、基质和絮凝剂对菹草石芽萌发及幼苗的影响,并探究了其幼苗去除顶芽再发新枝的阶段性生物学积温。结果表明:水位越深初始萌发越迟,全萌发所需天数浅水位<中水位<深水位,水位对幼苗形态特征有明显影响。光照下10 d萌发率大于黑暗处理,湖泥中,有光和无光对石芽萌发影响并不明显,而在营养液中,有光明显促进石芽的萌发。光照下枝条数和根数大于黑暗处理。絮凝剂显著( $P<0.05$ )延迟石芽萌发,但不影响最终发芽率。去除顶叶的菹草幼苗萌发新枝的生物学有效积温为177.84日度,生物学零点温度为5.57℃,相同温度下随去除幼苗顶芽数增加再发新枝所需历期增长。

**关键词:**菹草;萌发;生物学积温

**中图分类号:**Q178.1

**文献标志码:**A

菹草(*Potamogeton crispus*)属眼子菜科,是典型的秋季发芽,冬春生长的多年生沉水植物,4-5月份开始繁殖,形成无性繁殖器官石芽<sup>[1]</sup>,世界性分布,生于湖沼、河沟、池塘和稻田。具有较大的经济价值和一定的营养价值,是草食性鱼类的天然饵料<sup>[2]</sup>,对水质净化起到重要作用。菹草虽然产生有种子,但主要是靠特殊的生殖芽体(以下简称石芽)繁殖<sup>[3-5]</sup>。自然界中菹草石芽萌发受水深、光照、基质、营养盐等多因素的影响<sup>[2,5-9]</sup>,且形态学特征有所响应。国家十二五水专项之西湖子课题中,湖西水域中生长较多菹草,而西湖引江入湖之水均经过絮凝剂处理,絮凝剂主要成分是聚合铝盐,入湖后对水生植物的生长会产生什么样的影响,是需要关注的问题。因此本文结合西湖水环境特点,研究了水深、光照、基质和絮凝剂对菹草石芽萌发生长的影响,并初步探讨了菹草幼苗顶枝断掉后再发新枝的阶段性生物学有效积温,为了解西湖湖西水域沉水植物群落的动态变化和结构优化提供依据。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 实验材料

采自中国科学院水生生物研究所的菹草石芽,种植前蒸馏水清洗干净,挑选出大小、形状一致的石芽。后放置于地面阴干6 h,以促其发芽一致。采自西湖小南湖底泥,混匀置于实验容器中。

### 1.2 实验方法

1) 不同因子对菹草石芽萌发的影响。为研究水深的影响:自然光照条件下设3个水深梯度,分别为10 cm, 25 cm, 50 cm, 两组平行。在高37.5 cm, 口直径40 cm的小瓦缸及高77 cm, 口直径62 cm的水缸中预置12 cm厚的底质(湖泥:沙=1:1),分别加自来水10 cm、25 cm、50 cm高,等水澄清后,将菹草石芽按环形每缸种植16颗,种植两环,外环9颗,内环6颗,中心1颗。为研究光照和基质的影响:4组1 L的锥形瓶,每组设两个重复。1组、2组中加1/10浓度的Hoaglands培养液800 ml,3组、4组加经风干、研磨、筛选出

收稿日期:2014-10-10

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07101007-005)

作者简介:蔺庆伟(1988-),男,河南安阳人,河南师范大学硕士研究生,研究方向为生态污染与修复, E-mail: heshidaalin@163.com.

通信作者:马剑敏(1964-),男,河南偃师人,河南师范大学教授,博士,主要从事生态污染与修复和环境生物学研究, E-mail: mjm6495@sina.com.

的湖泥 20 g,另加 800 mL 自来水.置于 15 °C 光照培养箱培养,1、3 组 33%光照(5 000 lx),2、4 组做暗处理.每个锥形瓶投放 6 颗菹草石芽.

为研究絮凝剂的影响:设 3 个高 37.5 cm,口直径 40 cm 的小瓦缸,加 12 cm 厚底质(湖泥:沙=1:1),引 25 cm 深自来水.絮凝剂加到水中,加速水中悬浮物沉降,将菹草石芽按环形每缸种植 16 颗,种植两环,外环 9 颗,内环 6 颗,中心 1 颗.以研究水深影响的实验中 25 cm 中水位为对照.

实验从 2013 年 11 月 6 日至 12 月 10 日,试验期间每日照管,保持水深,观测石芽情况、水温、水深、浊度,记录发芽数、生根数.收获时小心将植株清洗干净先测定植株的枝条长度、根长,后将植株分为枝条、根、石芽 3 部分,分别称其鲜重,并在 65 °C 下连续烘 2 d 至恒重,记下生物量.

2) 阶段性生物学积温测定.根据有效积温法则公式  $N \cdot (T - C) = K$  ( $N$  为发育历期, $T$  为温度, $K$  为有效积温, $C$  为发育起点温度),某生物完成某一发育阶段所需的  $K$  和  $C$  值是确定的,只要获知  $K$  和  $C$  值就可以建立其有效积温法则.据此,可以推测菹草在受损后不同气候条件下可能的发展态势,估计菹草可能分布的界限,预测菹草生物量变化等.优选长势优良、大小一致的菹草幼苗(约 15~18 cm),分 3 类分别剪去顶端 2 对、3 对、5 对顶叶,每类 6 株分 2 组分别栽培于两个盛湖泥的玻璃容器中,置于两个光照培养箱中培养,设定黑夜:白天=14 h:10 h,光照统一为 6 000 lx,温度分别设定为昼温 15 °C、夜温 7 °C(均温 10.33 °C)和昼温 20 °C、夜温 10 °C(均温 14.17 °C).每天观察记录菹草生长情况,规定菹草幼苗从剪掉顶端叶基处长出新枝条 2 cm 为标准,记录生长天数,得到两组数据( $N, T$ ),根据有效积温法则公式可算出 3 类经处理的菹草幼苗新枝生发的生物学零点温度  $C$  和阶段有效积温  $K$ .试验从 2014 年 2 月 23 日至 4 月 16 日.

3) 参数统计.利用 Excel 统计数据作图、表,分析各因子对菹草石芽萌发的影响.用 SPSS17.0 软件统计分析各因子影响差异进行显著性单因素方差分析检验.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同因子对菹草石芽萌发的影响

表 1 不同因子条件下菹草石芽不同萌发阶段所需天数

天数	水深			光照		黑暗		絮凝剂	
	浅水位	中水位	深水位	营养液	湖泥	营养液	湖泥	絮凝剂	空白
开始萌发	4.5	6	6.5	4	4.5	6.5	5.5	13	4.5
萌发率 50% 天数	9	12	10	7	6.5	9	8	19	12
全萌发天数	18.5	26.5	29	10.5	10.5	13	12	29	26.5
全生根天数	—	—	—	15.5	13.5	17	14.5		

随水位增加初始萌发延迟,10 d 的萌发率降低,浅水位、中水位、深水位分别为 46.88%、40.63%、37.5%,萌发率为 50% 时的天数分别为 9、12、10 d.由表 1 可知,水位对菹草石芽初始萌发呈一定规律影响,水位越深起始萌发越迟,对其全萌发所需天数影响较大.深水位石芽全萌发所需天数大于中水位,明显大于浅水位,即随水深增加菹草石芽萌发率降低.

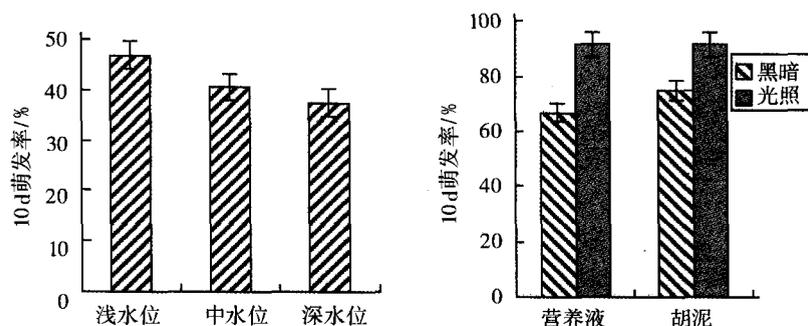


图 1 水位、光照和基质对石芽 10 d 萌发率影响

光照条件下,营养液和湖泥中菹草石芽 10 d 萌发率均为 91.65%,大于黑暗处理下的营养液和湖泥的

10 d 萌发率 66.7%、75%。温度为 15 ℃ 条件下,湖泥培养的菹草石芽,有光和无光对石芽萌发影响并不显著 ( $P>0.05$ ),而在营养液培养中,有光明显促进石芽的萌发,第 4 d 即开始萌芽,黑暗处理下第 6.5 d 才有萌芽。

实验表明,基质的类型对菹草石芽萌发率影响不大,不管是在有光还是在无光的条件下,营养液和湖泥培养的菹草石芽萌发率总是很接近,且光照条件下,湖泥中石芽 10 d 萌发率与营养液相同。除全生根天数营养液略大于湖泥,其他指标天数基本相同,表明湖泥基质的存在促进根的生成。

絮凝剂实验在 4.7 ~ 16.7 ℃ 范围进行,单因素方差统计分析表明,絮凝剂的添加显著 ( $P<0.05$ ) 延迟菹草石芽萌发,但对最终萌发率影响并不大。

## 2.2 不同因子对菹草幼苗形态学的影响

### 2.2.1 水位对菹草幼苗形态学影响

实验结束时,浅水位、中水位、深水位枝条数分别为 20、18、15,根数分别为 79、72、61,可见枝条数和根数随水位加深而减少,这可能与植株固着土壤吸取养分有关。浅水位、中水位、深水位最长枝条分别为 6.95、9.35、12.35 cm,最长根长分别为 18.05、19.8、18.3 cm,浅水位枝条均较短,最长枝条长度明显较深水位小。在实验初期,观察到浅水位下萌发的枝条发黄。由图可知枝条湿重、根干重表现为中水位>浅水位>深水位。根湿重表现为浅水位>中水位>深水位,根干重浅水位>深水位>中水位,但均无显著差异 ( $P>0.05$ )。

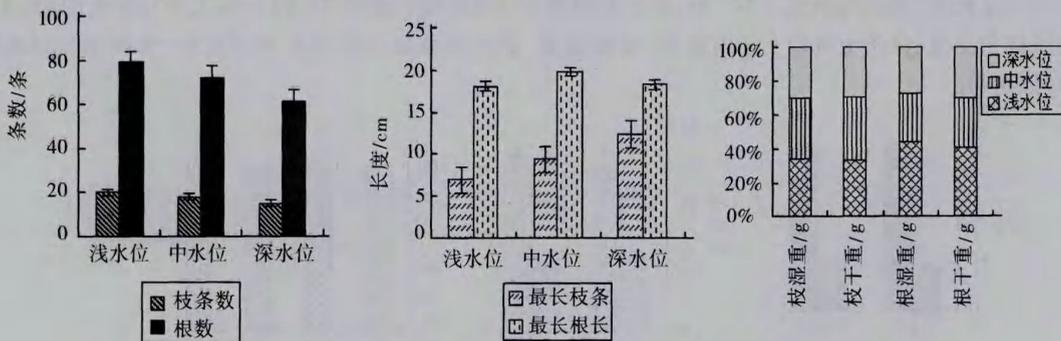


图2 不同水位对菹草石芽萌发幼苗形态影响

### 2.2.2 光照对菹草幼苗形态学影响

结果显示,光照条件下枝条数、根数为 26、33,明显大于黑暗处理 20、22。光照条件下菹草幼苗生物量略大于黑暗处理,其枝条干重、湿重分别为 0.149 g、0.891 g 和 0.116 g、0.712 g。黑暗处理下的菹草幼苗最长枝条和最长根长分别为 6.35 cm 和 5.8 cm,均大于光照下的 5.15 cm 和 5 cm。黑暗根湿重、根干重为 0.067 g、0.009 g,光照下根湿重、根干重为 0.0645 g、0.0155 g。由图 3 可知除黑暗处理下根湿重略大于光照,其他重量光照下均大于黑暗。平均根重黑暗处理大于光照下的,光照条件下的根系纤细,根直径小于黑暗处理。

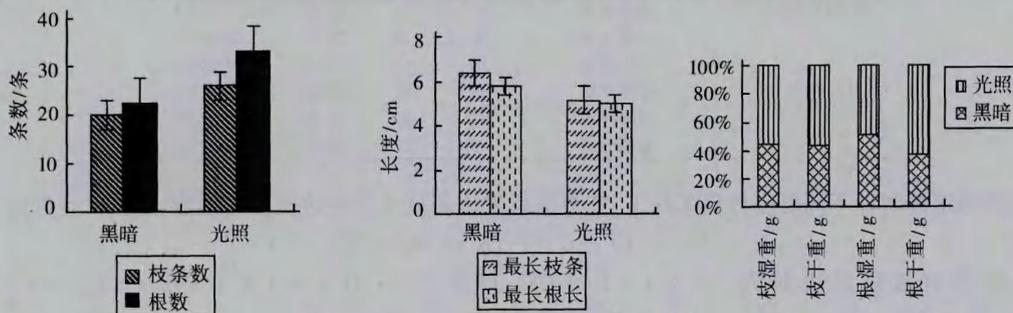


图3 黑暗和光照对菹草石芽萌发幼苗形态影响

### 2.2.3 基质对菹草幼苗形态学影响

由图 4 可知,不同基质对菹草萌芽数影响不大,但对其枝条和根形态有明显影响。湖泥中枝条数、根数分别为 26、27,营养液中分别为 26、33。湖泥培养下的菹草石芽生长枝条最长枝条、最长根长均大于营养液培养条件下,发生根数量小于后者,但其平均根重明显较其大。实验结束时湖泥培养和营养液中的菹草最长枝条分别为 6.5 cm、5.15 cm,最长根长分别为 9.7 cm、5.0 cm。湖泥中的菹草幼苗生物量略大于营养液中的,

枝条湿重分别为 0.986 5 g、0.891 g,枝条干重分别为 0.18 g、0.149 g. 湖泥中根湿重显著( $P < 0.05$ )大于营养液培养的,根干重无显著差异,表明湖泥基质能够促进根生长.

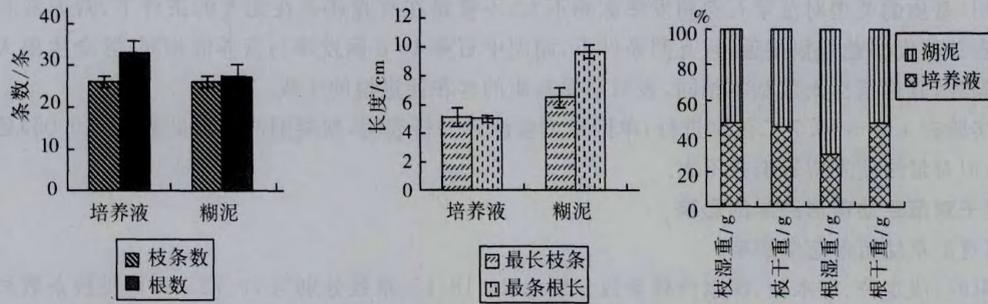


图4 营养液和湖泥培养对菹草石芽萌发幼苗形态影响

2.2.4 絮凝剂对菹草幼苗形态学影响

结果显示,絮凝剂组枝条数大于对照,分别为 22 和 18. 而根数则小于对照,分别为 70.5 和 72. 絮凝剂组枝条平均长度较短,最长枝条长 7.95 cm,小于对照组 9.35,而最长根长 21.65 cm,大于对照组的 19.8 cm. 絮凝剂组枝条湿重、枝条干重均小于对照组,而根湿重、根干重絮凝剂组均大于对照组,絮凝剂组根系较发达,较对照组粗.

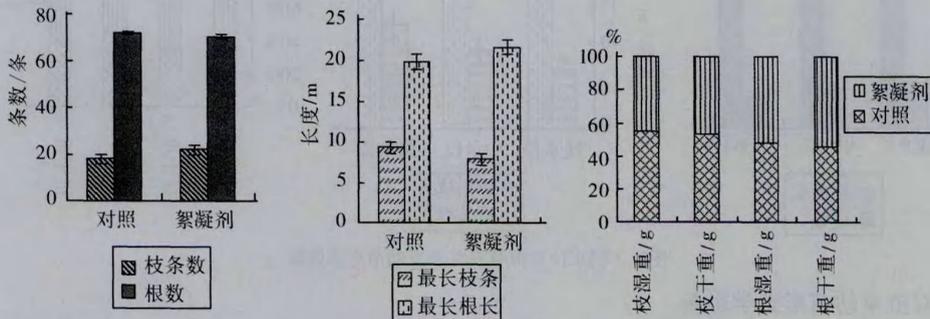


图5 絮凝剂对菹草石芽萌发幼苗形态影响

2.3 菹草幼苗阶段性生物学积温

表 2 不同处理下发出新枝历期及发育速率

T/C (昼温、夜温)均温	处理	发出新枝条历期 N/d			发育速率 V/(1/N)
		最短	最长	平均	
(20,10)14.17	去掉 2 对	18	3	20.67	0.048 4
	去掉 3 对	20	28	23.67	0.042 2
	去掉 5 对	28	36	33	0.0303
(15,7)10.33	去掉 2 对	33	41	37.33	0.026 8
	去掉 3 对	37	47	41.67	0.024 0
	去掉 5 对	43	52	48.67	0.020 5

根据所采用的两种不同温度处理条件下,完成菹草发出新枝条发育阶段所需天数,得出二个联立式:

$$K = N_1 \cdot (T_1 - C)(1), K = N_2 \cdot (T_2 - C) \quad (2)$$

由生物学有效积温法则  $K = N \cdot (T - C)$ , 得知  $N_1 \cdot (T_1 - C) = N_2 \cdot (T_2 - C)$ , 所以

$$C = \frac{N_1 \cdot T_1 - N_2 \cdot T_2}{N_1 - N_2}$$

, 再将 C 代入(1)式得到 K 值, 计算得到结果如表 3.

表 3 菹草幼苗去除顶芽再发新枝的生物学零点温度及有效积温统计结果

处理	生物学零点 C/C	有效积温 K/日度	回归方程
去除顶芽再发新枝	5.57	177.84	$T = 5.57 + 177.84V$

由表 3 可知,菹草幼苗去除顶芽再发新枝的有效积温为 177.84 日度,生物学零度为 5.57 °C, 低于此温

度去除顶芽后菹草幼苗不再发育.由表2可知,在同一温度条件下,经处理去除2、3、5对顶叶的菹草幼苗再发新枝所需历期呈明显的规律,即随去除顶叶的增加,所需历期也增大,且去除5对顶叶的幼苗所需历期显著( $P < 0.05$ )大于去除2对的幼苗.同一去除顶芽数处理在(昼温,夜温=20℃,10℃)下所需历期明显小于(昼温,夜温=15℃,7℃)条件下.

## 3 讨论

### 3.1 菹草石芽萌发的影响因子

作为水生植被恢复的先锋种,菹草繁殖方式有3种,即种子繁殖、断枝繁殖、石芽繁殖,但自然界中以石芽繁殖为主,所以菹草石芽的正常萌发和幼苗生长是其种群建立和扩增的关键.底质类型、光照、水温、营养水平、水深、CO<sub>2</sub>和溶氧等生态因子都可能对此过程有影响<sup>[2,5-10]</sup>.关于环境因子对菹草石芽萌发的影响研究很多,简永兴<sup>[2]</sup>通过野外调查研究水深对石芽萌发率的影响,得出结论:水深越大萌发起始时间越迟,同期萌发率越低.此次模拟实验,深水位菹草石芽萌发率低,但萌发枝条较大、较绿.冬季水深增大引起水温升高,光照减弱可能是萌发率降低的原因之一.有学者<sup>[11]</sup>研究,在低水位条件下,光能够到达底泥和萌发的种子,能促进光合有效辐射到达新的区域,能够促进植物种子库的显露和萌发.Rogers和Breen<sup>[3]</sup>指出,在15~25℃的温度区间内,随温度的降低菹草石芽的萌发率明显升高.低温对菹草石芽萌发有利而高温有碍这一结论已被不少研究者所证实<sup>[3,9,12]</sup>.陈小峰<sup>[8]</sup>等通过室内模拟试验,研究了基质和光照对菹草石芽萌发、幼苗生长的影响,发现在光照和缺乏基质的条件下,菹草石芽的萌发率和出芽率提高,基质的存在促进了根的生长,但光对根的生长并未起到促进作用.本研究结果表明光照下石芽萌发率大于黑暗处理,基质有无对萌发率影响不显著.温度为15℃条件下,湖泥培养的菹草石芽,有光和无光对石芽萌发影响并不显著,而在营养液培养中,有光明显促进石芽的萌发,这与简永兴<sup>[2]</sup>研究结果一致.湖泥的营养盐全面且释放温和,而且湖泥基质的添加可能存在微生物对石芽萌发生根有刺激作用,有湖泥时光的作用就被弱化.而营养液中营养始终均衡,光的有无则产生很大影响.高健<sup>[9]</sup>指出,氧对菹草冬芽萌发影响达极显著水平,厌氧条件下菹草冬芽萌发率高于氧饱和条件.絮凝剂对澄清水体有很大帮助,很多引水工程在引水入湖前会经过添加絮凝剂处理,如此却影响了湖泊、河流中菹草石芽的萌发,笔者模拟实验初探了絮凝剂对石芽萌发的影响,结果表明絮凝剂的添加明显延迟石芽初始萌发,而对最终萌发率影响不大,可能是絮凝剂中某种成分对石芽萌发产生了抑制作用.絮凝剂组的枝条普遍较短,而根系较为发达.

### 3.2 菹草幼苗去除顶枝发新枝阶段性生物学积温

对生物学有效积温的研究,最初是在研究植物发育时总结出来的,之后多用在害虫发育、繁殖及传代研究<sup>[13-14]</sup>上,以期预测预报害虫可能的发展态势及分布的范围,来选择有利时机进行治理.国内对植物生物学有效积温的研究多集中在有效积温建模<sup>[15-18]</sup>,而对沉水植物的研究少见报道,菹草是一种断枝无性繁殖很强的沉水植物,而作为某些鱼类的良好天然饵料,常遭到牧食及人为损伤.菹草幼苗损伤之后再发新枝需要一定的时间与积温,而气候和温度影响生发新枝所需的历期.据李永涵<sup>[6]</sup>等报道,35℃以下,离体60d的鳞枝随温度升高萌发时间缩短;38℃时,鳞枝不萌发;2℃是鳞枝的生物学零度.张聪<sup>[19]</sup>研究表明,菹草喜低温不适宜耐高温,最高耐受温度通常为30℃,超过24℃则停止生长,30℃以上植株逐渐开始死亡,最适合菹草生长温度范围为10~20℃.此次实验初步探究菹草幼苗顶枝断掉后再发新枝的生物学有效积温及生物学零度,结果在昼温20℃、夜温10℃和昼温15℃、夜温7℃时均发现去除2对顶叶较3对顶叶早发新枝条,更比去除5对顶叶的早.与植物学顶端优势有很大相似性,即越靠近顶端发育越早也越快.随去除顶叶数的增加,再萌发2cm新枝所需历期增加,同一去除顶芽数处理在高温条下所需历期明显小于低温条件下.

生物学有效积温法则在应用时,并不是无限的,无条件的,而是有其局限性.菹草有其适宜生长温度范围,超出最高或最低温度都会影响菹草的正常生长,有效积温法则在菹草生长发育速率与温度成正比关系范围内才有效.有效积温的研究多在实验室恒温条件下进行,而菹草在自然界中的生长发育处于变温之中,在变温下其生长较恒温下要快.菹草生长不仅受温度一个因子的影响,还受营养、光照等的影响.

**致谢:**本研究主要在国家水专项课题西湖工作站完成,在此特别感谢课题组老师及研究生给予的大力支

持和帮助.

### 参 考 文 献

- [1] 高华梅,谷孝鸿,曾庆飞,等.不同基质下菹草的生长及其对水体营养盐的吸收[J].湖泊科学,2010,22(5):655-659.
- [2] 简永兴,王建波,何国庆,等.水深、基质、光和去苗对菹草石芽萌发的影响[J].水生生物学报,2001,25(3):224-229.
- [3] Rogers K H, Breen C M. Growth and reproduction of *Potamogeton crispus* in a South African lake[J]. Ecol,1980,68:561-571.
- [4] Sastroutomo, S. S., Environmental control of turion formation in curly pondweed (*Potamogeton crispus*) [J]. *Physiol Plant*,1980,49:261-264.
- [5] Kadono, Y., Germination of the turion of *Potamogeton crispus* L[J]. *Physiol Ecol Jpn*,1982,19:1-5.
- [6] 李永涵,金送笛,史进禄,等.几种生态因子对菹草鳞枝形成和萌发的影响[J].大连水产学院学报,1989,4(3-4):1-9.
- [7] 杨文斌,王国祥,郑海洋,等.菹草石芽萌发及幼苗生长对光、温因子的响应[J].生态与农村环境学报,2009,25(1):96-100.
- [8] 陈小峰,陈开宁,肖月娥,等.光和基质对菹草石芽萌发、幼苗生长及叶片光合效率的影响[J].应用生态学报,2006,17(8):1413-1418.
- [9] 高健,罗青,李刚,等.溶氧、温度、氮和磷对菹草(*Potamogeton crispus* L.)冬芽萌发及生长的影响[J].武汉大学学报:理学版,2005,51(4):511-516.
- [10] Juan Wu, Shuiping Cheng, Wei Liang, ect. Effects of sediment anoxia and light on turion germination and early growth of *Potamogeton crispus*[J]. *Hydrobiologia*,2009,628:111-119.
- [11] 吴振斌,马剑敏,贺锋,等.水生植物与水体生态修复[M].北京:科学出版社,2011:53-60.
- [12] 苏胜齐.环境对菹草生长和繁殖的影响及菹草对富营养化水净化能力的研究[D].重庆:西南农业大学,2001.
- [13] 刘德经,黄德尧,王家滂,等.西施舌胚胎发育生物学零点温度和有效积温的初步研究[J].特产研究,2003(4):22-24.
- [14] 向玉勇,尹培峰,汪美英,等.金银花尺蠖发育起点温度和有效积温的研究[J].应用昆虫学报,2011,48(1):152-155.
- [15] 简小春,文凯玲,李尧,等.基于有效积温的甜玉米茎粗模拟研究[J].仲恺农业工程学院学报,2014,27(2):1-3.
- [16] 施泽平,郭世荣,康云艳,等.基于生长度日的温室甜瓜发育模拟模型的研究[J].南京农业大学学报,2005,28(2):129-132.
- [17] 谢祝捷,陈春宏,赵京音.自控温室黄瓜生长发育动态及基于有效积温的发育模型研究[J].上海农业学报,2007,23(2):46-49.
- [18] 王绍柏,余昌俊.天麻阶段性生物学积温的确定及意义[J].武汉植物学研究,1999,17(3):285-288.
- [19] 张聪.杭州西湖湖西区沉水植物群落结构优化研究[D].武汉:武汉理工大学,2012.

## Effect Factors of *Potamogeton crispus* Clint Germination and Its Periodic Biological Accumulated Temperature

LIN Qingwei<sup>1</sup>, YANG Peiyun<sup>1</sup>, GAO Wei<sup>1</sup>, WANG Jieyu<sup>1</sup>, MA Jianmin<sup>1</sup>,  
LIU Biyun<sup>2</sup>, HE Feng<sup>2</sup>, WU Zhengbin<sup>2</sup>

(1 College of Life Science, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China;

2 Hydrobiology Institute, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** By simulated experiment, the effects of water depth, illumination, matrix and flocculating agent on the germination of *Potamogeton crispus* turion as well as seeding was investigated. And the authors preliminarily explored the biological accumulated temperature of the seedlings sprouting new branch after removing parietal lobes. The results showed: the effect of the initial germination for *P. crispus* clints influenced by water level showed a certain regularity, the deeper the water level the initial germination later. The required number of days of all clints germination: shallow water level < medium water level < deep water levels. Besides, the water level has obvious influence on seedling morphological feature. The 10th day germination rate under light is greater than that under the darkness. Cultured by lake muds, whether light or darkness is not evident for germination of *P. crispus* clints. While being cultured by nutrient solution, it is significant to promote the germination of clint under light. The branch numbers and root numbers cultured under light are bigger than that darkness. Adding flocculant significantly delay the clints germination, however didn't influence the final germination rate. Removed parietal lobes, the biological accumulated temperature needed for the seedlings sprouting new branches was 177.84 day-degrees, the threshold temperature of development was 5.57°C. The developmental duration for the seedlings sprouting new branch prolonged with the increase of numbers of parietal lobes removed at the same temperature.

**Keywords:** *Potamogeton crispus*; germinate; the biological accumulated temperature