

## 溶氧、pH及其他理化因子对莼齿眼子菜种子萌发的影响

高健<sup>1</sup> 熊勤<sup>1</sup> 李祝<sup>1</sup> 杨劭<sup>1</sup> 陈洪达<sup>2</sup>

(1. 华中师范大学生命科学学院, 武汉 430079; 2. 湖北省水产科学研究所, 武汉 430071)

**摘要:**研究了溶氧、pH、光强、冷处理、温度、营养以及激素处理等条件对莼齿眼子菜种子萌发的影响。结果表明:溶氧对种子的最终萌发率有影响,缺氧条件下比正常条件和氧饱和条件下的萌发率高,但缺氧条件下萌发的幼苗为白化苗,不能正常生长发育;光照和pH对种子萌发的影响不显著。4℃冷处理能够使种子萌发时间提前和提高种子的萌发率;在15—27℃之间,提高温度能够加快种子的萌发速度,但温度过高则萌发率降低,在15、20和27℃下的最终萌发率分别为90.0%、90.0%和56.7%;不同的营养水平对种子萌发影响不显著。生长素NAA(0.1—5.0mg/L)、细胞分裂素6-BA(0.1—5.0mg/L)、赤霉素GA<sub>3</sub>(0.1—5.0mg/L)不能加快莼齿眼子菜种子萌发的速度和提高萌发率。

**关键词:**莼齿眼子菜;种子;萌发;溶氧;pH

**中图分类号:**Q948.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3207(2006)05-0524-06

沉水植物是淡水生态系统尤其是浅水湖泊生态系统的主要成员,在维持水生生态系统的结构和功能以及生物多样性方面执行关键的作用。然而随着水体富营养化程度的和范围的不增大,沉水植物群落普遍退化或消失<sup>[1]</sup>,随之造成水生生态系统功能的普遍退化,引起水华频发。而莼齿眼子菜(*Potamogeton pectinatus*)具有生态幅度宽、耐污染和适应性强、有较强净化和抗风浪能力的特点<sup>[2,3]</sup>,同时它还能耐受发生水华的水体条件,并且通过化感作用对水华藻生长具有抑制作用<sup>[4]</sup>,因此可作为先锋物种在水生植被恢复方面发挥重要作用。目前,重建水生生态系统已经成为湖泊富营养化生态治理的重要手段,并已经或正在实施,如太湖和滇池。

莼齿眼子菜具有有性和无性两种繁殖方式。其有性繁殖中具有水表和气泡两种传粉方式,在自然界中,种子发生量较大,但种子萌发率低,不到6%<sup>[5]</sup>;而无性繁殖系统,可以通过断株、根状茎、地上块茎、地下块茎、地上茎节以及叶腋基部进行繁殖,其中最重要的是地下块茎和根状茎,次年种群恢复主要来自于地下块茎和根状茎。但由于其种子产生量大,易于获得,方便保藏和运输,种植简便,而且

不会破坏种源地水生植物群落,因此比植株移植和无性繁殖体更适用于水生植被恢复工程,因此了解莼齿眼子菜种子萌发生态规律,对于提高其种子萌发率,促进其种群扩增具有显著意义。国外对莼齿眼子菜的种子萌发的报道中,不同地点和国家的研究结果有一定差别<sup>[6—10]</sup>,国内陈开宁研究了温度、光照、激素等因子对莼齿眼子菜种子萌发的影响<sup>[11]</sup>,但对缺氧、pH等因子没有研究,因此本文侧重研究了溶氧和pH对莼齿眼子菜种子萌发的影响,同时也比较了预处理对种子萌发率的影响。

### 1 材料与方法

**1.1 材料和预处理** 莼齿眼子菜种子。2003年6—7月采集于滇池,阴干保藏。需要灭菌的种子经70%乙醇灭菌3min,然后无菌水洗3遍再置于1.05%次氯酸钠溶液(TWEEN-20一滴/100mL)灭菌15min,无菌水洗3遍。需要冷处理的种子置于单蒸水中,4℃避光保藏。

**1.2 实验方法** (1)溶解氧、光照和pH对种子萌发的影响。种子(未灭菌)置于自来水中进行萌发实验,下层放置经高压灭菌的湖泥。试验选择三因素

收稿日期:2005-05-08;修订日期:2006-02-20

基金项目:国家十五“863”水污染控制重大专项课题资助(课题编号2002AA601013)

作者简介:高健(1981—),男,硕士,河南信阳,从事水生植物恢复生态学研究

通讯作者:杨劭, E-mail: yangshaol@126.com

三水平 :A 氧 (1-氧饱和 ,2-正常氧 ,3-缺氧)、B 光照 (1-2000lx , 2-500lx , 3-0lx)、C-pH (1-pH6 , 2-pH7 , 3-pH8)。作正交实验 ,选取  $L_9(3^4)$ 。氧饱和条件 ( $>10\text{mg/L}$ )采用气泵连续冲空气的方法提供 ,正常氧条件采用透气封口膜 ,缺氧条件是通过用氮气排尽水中的溶解氧 ( $<1.0\text{mg/L}$ ) ,然后加盖橡胶塞并用封口膜封闭<sup>[12]</sup> ,水中溶解氧通过 YSI 55 溶氧仪测定 ;培养在光照培养箱 ;pH 通过 10 %NaOH 和 0.1 mol/L HCl 调整。温度为 20 ℃。(2)激素对种子萌发的影响。实验选择 NAA、6-BA、GA<sub>3</sub> 浓度分别为 0.1mg/L、1.0mg/L、5.0mg/L ,液体 MS 培养基经高压灭菌 ;对照为不添加任何激素的液体 MS 培养基。(3)冷处理和灭菌处理对种子萌发的影响。冷处理实验取 4 冷处理 30、150d 的种子和未冷处理的种子 ,灭菌处理的实验取经冷处理 150d 的种子 ,均放置于经高压灭菌的液体 MS 培养基中。(4)温度对种子萌发的影响实验设置三个温度 15 ℃、20 ℃、27 ℃ ,培养基为高压灭菌的液体 MS。(5)营养对种子萌发的影响。种子培养基为 MS、MS/ 10、MS/ 100、单蒸水四种条件。

以上实验每一处理均为 30 粒种子。激素、冷处理、温度和营养对种子萌发的实验菹齿眼子菜种子经过灭菌处理且实验均重复三次 ,溶氧等、温度和营养对种子萌发的实验菹齿眼子菜种子经冷处理 30d。

1.3 数据处理方法 溶氧、pH 和光强采用正交实验的方差分析。不同激素对种子萌发采用 Dunnett 方法进行分析。冷处理、温度和营养对种子萌发采用 Tukey's 方法进行分析。

2 结果

2.1 溶解氧、光照和 pH对种子萌发的影响

以  $L_9(3^4)$  正交表做实验的结果见表 1。最终萌发率的方差分析结果表明 (表 2) ,溶氧对种子萌发的影响达显著水平 ,缺氧条件下种子萌发率高于正常条件下和氧饱和条件下菹齿眼子菜种子萌发率 ,但缺氧时萌发的幼苗为白化苗 ,不能正常生长发育。光强 (0—2000lx)和 pH(6—8)的范围对种子萌发影响不显著。

表 1 溶解氧、光照和 pH对菹齿眼子菜种子萌发的影响

Tab.1 Effect of dissolved oxygen , light intensity and pH on the germination of <i>P. pectinatus</i>									
正交	组 1	组 2	组 3	组 4	组 5	组 6	组 7	组 8	组 9
实验	氧饱和	氧饱和	氧饱和	正常氧	正常氧	正常氧	缺氧	缺氧	缺氧
结果	2000lx	500lx	0lx	500lx	0lx	2000lx	0lx	2000lx	500lx
( %)	pH6	pH7	pH8	pH8	pH6	pH7	pH7	pH8	pH6
5d	16.7	3.3	13.3	16.7	20.0	10.0	10.0	0	3.3
15d	50.0	50.0	36.7	70.0	56.7	50.0	63.3	70.0	66.7
25d	50.0	50.0	40.0	70.0	56.7	50.0	63.3	70.0	73.3

表 2 菹齿眼子菜种子最终萌发率的方差分析

Tab.2 Statistical analysis results of final seed germination rate of <i>P. pectinatus</i>						
	df	SS	S <sup>2</sup>	F	F <sub>0.05</sub>	F <sub>0.01</sub>
A	2	0.074	0.037	11.38 *	6.94	18.00
B	2	0.019	0.0095	2.923		
实验误差	4	0.013	0.00325			
总变异	8	0.106				

注 :因 pH 的 F 值小于 1 ,把它的平方和和自由度与误差项的平方和和自由度合并 ,作为实验误差平方和的估计值。这样可以增加实验误差的自由度 ,也可减少实验误差的方差 ,从而提高假设检验的灵敏度<sup>[13]</sup>

Label :Since the F factor of pH was less than 1 ,SS and df of pH were combined with those of error as the estimated sum of square experimental error , in order to increase the df of error and decrease square deviation of experimental error , and finally increase the sensitivity of hypothesis test<sup>[14]</sup>.

2.2 激素对种子萌发的影响

各种激素处理条件不能加快菹齿眼子菜种子萌发速度和提高种子萌发率 (图 1) ,在第 10d 时 ,不同处理仅 NAA1.0mg/L 和 GA<sub>3</sub>5.0mg/L 的萌发率高于对照 ,但差异不显著 ;第 30d 结果表明 ,激素处理不能提高萌发率 ,对照的萌发率高达 66.7 %。

2.3 冷处理和灭菌处理对种子萌发的影响

经过冷处理的种子比未冷处理的种子约提前 5d 萌发 (图 2) ,在 15d 左右就能够达到最大萌发率 ,冷处理 150d 的种子在 5d 时萌发率最高 ,差异极显著 ( $P < 0.01$ ) ,而未经处理的种子萌发滞后 ,且达到最大萌发率的时间约晚 10d。15d 后经过冷处理的种子萌发率大于对照 ,差异极显著 ( $P < 0.01$ )。最终萌发结果也表明 ,冷处理 30、150d 的种子萌发率

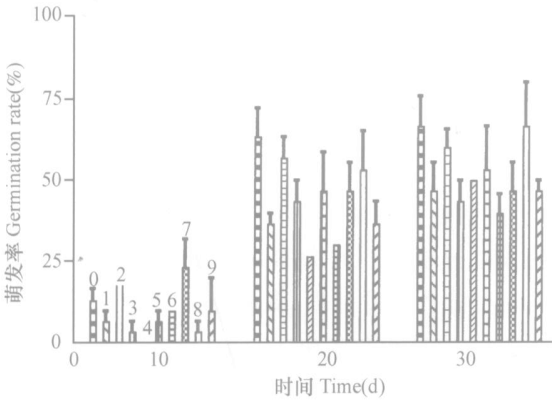


图 1 不同激素对菹齿眼子菜种子萌发的影响(平均值 ± 标准误)

Fig.1 Effect of different hormones on the seed germination of *P. pectinatus* (Error bar represents standard error)

0 control 1 NAA5.0 2 NAA1.0 3 NAA0.1 4 6-BA5.0  
5 6-BA1.0 6 6-BA0.1 7 GA3 5.0 8 GA3 1.0 9 GA3 0.1

(90.0%和 88.3%)大于未冷处理的种子(66.7%),但差异不显著。而表面灭菌处理不能加快种子的萌发速度和提高最终萌发率(图 3)。

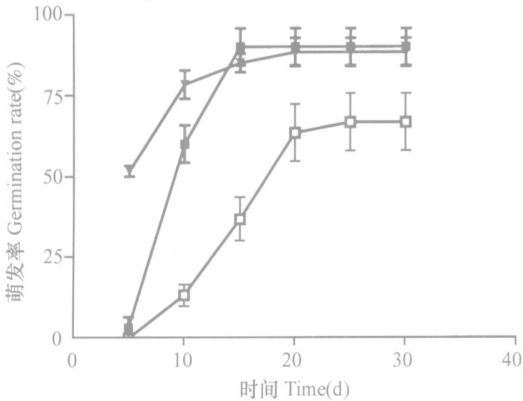


图 2 冷处理对菹齿眼子菜种子萌发的影响(平均值 ± 标准误)

Fig.2 Effect of pre-cooling treatment on the seed germination of *P. pectinatus* (Error bar represents standard error)

□ control ▲ 150d ■ 30d

2.4 温度对种子萌发的影响

结果表明温度越高,萌发越快,但 27 条件下种子的最终萌发率最低(图 4)。27 条件下菹齿眼子菜种子最先开始萌发,比 15 和 20 约提前 5d。15 和 20 下最终萌发率(90.0%和 90.0%)高于 27 下的萌发率(56.7%) ( $P < 0.01$ ),因此温度对菹齿眼子菜种子萌发的速度和萌发率均有显著影响。

2.5 营养对种子萌发的影响

营养水平对菹齿眼子菜种子萌发时间和最终萌发率影响不显著(图 5),种子萌发的时间和速度趋

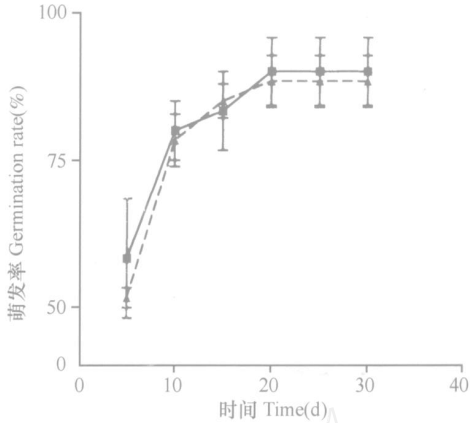


图 3 灭菌处理对种子萌发的影响(平均值 ± 标准误)

Fig.3 Effect of surface-sterilized treatment on the seed germination of *P. pectinatus* (Error bar represents standard error)

■ control ▲ treatment

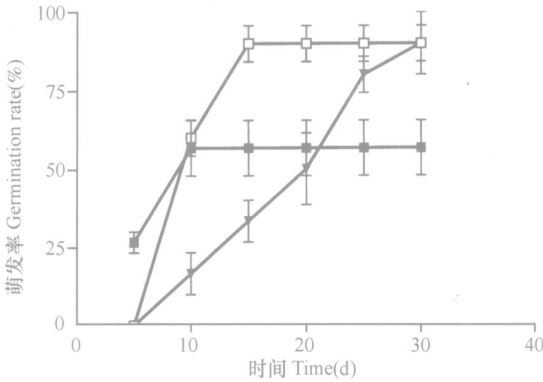


图 4 温度对菹齿眼子菜种子萌发的影响(平均值 ± 标准误)

Fig.4 Effect of temperature on the seed germination of *P. pectinatus* (Error bar represents standard error)

■ 27℃ □ 20℃ ▲ 15℃

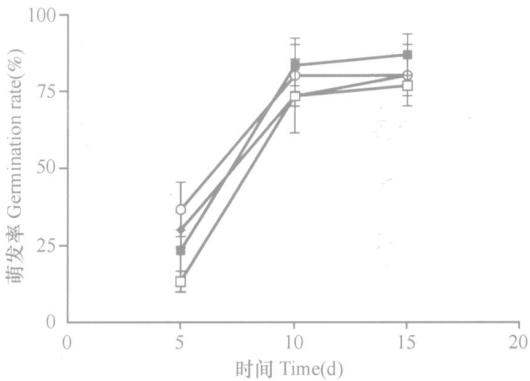


图 5 营养对菹齿眼子菜种子萌发的影响(平均值 ± 标准误)

Fig.5 Effect of nutrients on the seed germination of *P. pectinatus* (Error bar represents standard error)

■ MS □ MS/10 ○ MS/100 ◆ distilled water

势一致,在 5d 内均开始萌发,到 15d 时 MS、MS/10、MS/100 和单蒸水条件下的种子萌发率分别达 86.7%、76.7%、80.0% 和 80.0%。

### 3 讨论

由于自然条件下莼齿眼子菜种子萌发率较低,使得通过种子撒播的方法进行水生植物群落恢复具有一定的障碍,因此本研究试图分析溶氧、pH 和其他理化因子对萌发的影响,结合文献报道的其他研究,总结莼齿眼子菜种子萌发的主要影响因子,以便在水生植物群落恢复过程中采用应对措施提高其萌发率。

因为水中溶氧很难控制在一个恒定的水平,因此在前人对水生植物种子萌发的研究中,溶氧水平大多设定在缺氧条件下、正常状态下,而缺氧条件的设定也只是控制初始溶氧浓度<sup>[14-16]</sup>,并不能维持恒定。因此本实验设定缺氧、正常条件和氧饱和三个水平,来比较莼齿眼子菜种子萌发对溶氧水平的响应。结果表明,溶氧对莼齿眼子菜种子萌发有显著的影响,缺氧条件下种子萌发率高于正常和氧饱和条件。Brenchley 等人以及 Moore 等人分别发现大叶藻 (*Zostera capricorini*) 和 (*Zostera marina*) 在无氧条件下种子的萌发率高于好氧条件<sup>[17]</sup>; Smolders 等发现缺氧条件下 *Stratiotes aloides* L. 种子的萌发率比好氧条件下稍高,但在低温下缺氧对种子萌发无影响;而 Lorenzen 等人研究两种湿生植物克拉莎 (*Cladium jamaicense*) 和香蒲 (*Typha domingensis*) 的种子萌发时发现,低氧对前者萌发没有影响,但在低温的条件下低氧提高了后者的萌发率;但 Hootsmans 等报道,缺氧时,大叶藻 (*Zostera marina*) 的种子完全失去萌发能力<sup>[18]</sup>。不过 Van Wilk 认为缺氧对莼齿眼子菜种子萌发无影响,但其文章没有给出实验过程和方法。以上的报道大部分与本文结果相似。不过缺氧条件促进水生植物种子萌发的具体机制还不清楚。尽管缺氧提高了种子萌发率,但对萌发的幼苗的生长发育则有负面影响。缺氧条件下萌发的幼苗均为白化苗,且逐渐腐烂。在 Smolders 等人的研究中, *Stratiotes aloides* L. 的种子在缺氧条件下萌发的幼苗也不能正常发育,在两周内就死亡。这些原因可能类似于水稻的萌发现象,水稻无氧呼吸时间过久,则会消耗较多的有机物,释放较少的能量,还积累过多酒精,使种子受毒,而且胚芽鞘迅速生长,而根和真叶不长或生长微弱。另外,叶绿素的形成必须在有氧条件下才能合成,有氧条件下粪卟啉原和脱氢生成原卟啉,原卟啉是形成叶绿素和亚铁血红素

的分水岭<sup>[19]</sup>。也就是说在无氧的条件下不能形成叶绿素,这致使了幼苗的白化现象的产生。

光照和 pH 对莼齿眼子菜种子的萌发的影响均不显著。陈开宁等研究自然条件下莼齿眼子菜种子的萌发时发现种子萌发不受光的影响。pH 在 6—8 之间对莼齿眼子菜种子萌发无影响,表明种子对水体 pH 值的轻度变化有一定的适应能力。

有研究表明,适当的激素浓度对陆生植物的种子萌发有一定的促进作用,这在很多研究中已经得到验证,如赤霉素能打破休眠,促进营养生长;细胞分裂素能够促进种子发育,打破休眠,提高种子的活力;生长素在低浓度促进种子萌发,高浓度抑制<sup>[20]</sup>。但本研究中,不同的激素对莼齿眼子菜种子无明显的打破休眠和提高萌发率的作用,而且有些反而抑制了种子萌发。对莼齿眼子菜种子的处理结果与陆生植物种子处理有一定差异,其原因可能是沉水植物种子其内源激素含量高。陈开宁以 60mg/L GA 浸种结果表明也不能提高种子的萌发率。

冷处理对莼齿眼子菜种子的萌发时间和萌发率都有一定的影响。冷处理可加快莼齿眼子菜种子萌发速度,且可以提高其最终萌发率。Van Wilk 发现低温处理(4、6 个月)对莼齿眼子菜种子和地下茎萌发有刺激作用,但是对于风干的种子的萌发,无论是否低温处理,其萌发率均低于 20.0%<sup>[7]</sup>,陈开宁取采集的种子保存在 4℃ 冰箱中 36d,种子萌发率显著增加,而本实验阴干的种子再经过冷藏 90d 处理的种子萌发率大大高于其结果。冷处理可能可以解除胚的休眠,解除抑制物对种子萌发的影响,从而提高种子的萌发率,这在一些陆生植物和水生植物的种子萌发中都得到验证<sup>[21]</sup>。而种子经过表面灭菌处理不能加快萌发速度和提高最终萌发率,间接说明微生物对种子萌发影响不大。

温度对莼齿眼子菜种子萌发具有一定影响。萌发速率为 27℃ > 20℃ > 15℃。这可能与温度升高、代谢增强有关。但是在 20℃ 和 15℃ 时,其最终萌发率要高于 27℃。这种现象与苦草、大茨藻和角果藻种子的萌发结果类似<sup>[22-24]</sup>,高温萌发速度快,但最终萌发率低。而 Van Wilk 发现高温一般有利于莼齿眼子菜种子萌发,其最高萌发率在 25℃<sup>[7]</sup>,高于本文的最适温度,但其萌发率低于 50.0%。陈开宁研究了温度改变对种子萌发的影响,虽然变温能够一定程度的提高种子萌发率,但其最高萌发率低于 30%。莼齿眼子菜是世界广泛分布种,在中国南北各省均有分布,其不同区域的不同株系对温度的适

应性可能有一定差异。

本研究结果表明,不同的营养水平对种子萌发影响不大。种子萌发时贮藏的有机物质发生强烈的转变,淀粉、脂肪和蛋白质在酶的作用下,被消化为简单的有机物。因此,外界的营养对萌发影响不大,主要作用于萌发后的幼苗生长。

莼齿眼子菜种子被认为是短期种群的生存不重要,这种繁殖体的主要功能可能对种群的扩散和长久的生存有重要的作用<sup>[7]</sup>。一些研究报道眼子菜属的种子萌发率基本上都很低<sup>[5,7,8]</sup>。但这些实验种子保藏处理方法有较大的差异,其种属也可能存在不同,这可能是造成结果相差较大的原因。本实验用采集于自然水体的种子,然后阴干保藏,研究中发现即便是在蒸馏水中,其最终萌发率也达到80.0%,结果表明莼齿眼子菜种子本身具有较高的萌发潜力。但在自然水体中,由于有诸多不适的理化因子和底泥中微生物的分泌物质的影响,可能抑制了种子的萌发,同时水生动物对种子和幼苗的摄食,也大大降低了莼齿眼子菜长成完整植株的可能性。至于文献中报道的萌发率大大低于本文的数值,其原因可能与株系、种子的保藏方法、条件及保藏时间有关。

总结本实验结果,水温和溶氧是影响莼齿眼子菜种子萌发率的主要因子。因此在利用莼齿眼子菜种子进行水生植物群落恢复时,应主要关注水温和水底溶氧。但同时不能忽略光、营养等环境因子和水中动物对萌发后幼苗生长的影响,这些因素可能导致种子萌发后不能成苗,从而影响莼齿眼子菜种群的建立和扩增。

## 参考文献:

- [1] Xie P, Chen Y Y. Enhance biodiversity research and protection in freshwater ecology system [J]. *Journal of CAS*, 1996, **4**: 276—281 [谢平, 陈宜瑜. 加强淡水生态系统中生物多样性的研究和保护, 中国科学院院刊, 1996, **4**: 276—281]
- [2] Ozimek T, Pieczynska E, Hankiewicz A. Effects of filamentous algae on submerged macrophyte growth: a laboratory experiment [J]. *Aquatic botany*, 1991, **41**: 309—315
- [3] Chen Y, Ren J C, Cai X M. Effects of cadmium on nitrate reductase and peroxide dismutase of submerged macrophytes [J]. *Acta scientiae circumstantiae*, 1998, **18**(3): 313—317 [陈愚, 任久长, 蔡晓明. 镉对沉水植物硝酸还原酶和超氧化物歧化酶活性的影响. 环境科学学报, 1998, **18**(3): 313—317]
- [4] Chen D H, Liu Y D, Song L R. The allelopathy of macrophyte *Potamogeton pectinatus* L. on chlorophyta (*Scenedesmus obliquus*) and cyanobacteria (*Microcystis aeruginosa*) and calculation of allelopathic parameter [J]. *Acta hydrobiologica sinica*, 2004, **28**(2): 163—168 [陈德辉, 刘永定, 宋立荣. 莼齿眼子菜对栅藻和微囊藻的化感作用及其参数. 水生生物学报, 2004, **28**(2): 163—168]
- [5] Chen K N, Qiang S, Li W C, et al. Studies on reproduction diversity in *Potamogeton pectinatus* [J]. *Acta phytocologica sinica*, 2003, **27**(5): 672—676 [陈开宁, 强胜, 李文朝, 等. 莼齿眼子菜繁殖多样性研究. 植物生态学报, 2003, **27**(5): 672—676]
- [6] Van Wilk, R J. Ecological studies on *Potamogeton pectinatus* L. . Reproductive strategies and germination [J]. *Aquatic botany*, 1989, **33**: 271—299
- [7] Acosta L W, Sabbatini M R, Hernandez L F, et al. Regeneration of propagules in *Potamogeton pectinatus*, *Ruppia maritima*, *Zannichellia palustris* and *Chara contraria*: effect of temperature [J]. *Phyton (Buenos aires)*, 1998, **63**: 167—178
- [8] Santamaria L, Charalambidou I, Figuerola J, et al. Effect of passage through duck gut on germination of fennel pondweed seeds [J]. *Archiv fuer hydrobiologie*, 2002, **156**: 11—22
- [9] Haag R W. Emergence of aquatic macrophytes from lake sediments [J]. *Can. J. Bot*, 1983, **61**: 148—156
- [10] Congdon R A, McComb A J. The vegetation of the blackwood river estuary, Southwest Australia [J]. *J. Ecol*, 1981, **69**: 1—16
- [11] Chen K N. Studies on biology and ecology of *Potamogeton pectinatus* L. and its application for ecological restoration in Dianchi lake [D]. 2002: 55—56 [陈开宁. 莼齿眼子菜生物生态学及其在滇池富营养水体生态修复中的应用研究. 中国优秀硕博论文数据库, 2002: 55—56]
- [12] Snits A J M, van Avesaath P H, van der velde G. Germination requirements and seed banks of some nymphaeid macrophytes: *Nymphaea alba* L., *Nuphar lutea* (L.) Sm. and *Nymphaoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze [J]. *Freshwater Boil*, 1990, **24**: 315—316
- [13] Li Chun-xi, Wang Zhi-he, Wang Wen-lin. Biostatistics (2nd Ed) [M]. Beijing: Science Press, 2000, 153—156 [李春喜, 王志和, 王文林. 生物统计学 (第二版). 北京: 科学出版社, 2000, 153—156]
- [14] Brenchley J L, Probert R J. Seed germination response to some environmental factors in the seagrass *Zostera capricorni* from eastern Australia [J]. *Aquatic Botany*, 1998, **62**: 177—188
- [15] Lorenzen B, Brix H, McKee K L, et al. Seed germination of two everglades species, *Cladium jamaicense* and *Typha domingensis* [J]. *Aquatic botany*, 2000, **66**: 169—180
- [16] Smolders A J P, den Hartog C, Roelofs J G M. Germination and seedling development in *Stratiotes aloides* L. [J]. *Aquatic botany*, 1995, **51**: 269—279
- [17] Moore K A, Orth R J, Nowak J F. Environmental regulation of seed germination in *Zostera marina* L. (eelgrass) in Chesapeake Bay: effects of light, oxygen and sediment burial [J]. *Aquatic botany*, 1993, **45**: 79—91
- [18] Hootsmans M J M, Vermaat J E, Van Vierssen W. Seed-bank development, germination and early seedling survival of two seagrass species from the Netherlands: *Zostera marina* L. and *Zostera noltii* Hornem [J]. *Aquatic botany*, 1987, **28**: 275—285
- [19] Pan R Z, Dong Y D. Plant physiology (3rd Ed) [M]. Beijing: Higher

- Education Press. 1993, 235—236, 77[潘瑞炽,董愚得. 植物生理学. 北京: 高等教育出版社, 1993, 235—236, 77]
- [20] Sechenbater, Manliang, Amulan, *et al.* Effect of plant hormones on seed germination of *Prunus mongolica maxim*[J]. *Journal of inner Mongolia normal university (Nat. sci. ed)*, 2002, **31**(4): 384—387 [斯琴巴特尔, 满良, 阿木兰, 等. 植物激素对蒙古扁桃种子萌发的影响. 内蒙古师范大学学报(自然科学版), 2002, **31**(4): 384—387]
- [21] Tao L, Ren J. Effect of different seed pretreatments on germination of ten calligonum species [J]. *Acta bot boreal-occident sin*, 2004, **24**(4): 601—609 [陶玲, 任. 不同种子预处理对 10 种沙拐枣植物萌发的影响. 西北植物学报, 2004, **24**(4): 601—609]
- [22] You W H, Song Y C. Seed germination ecology of three submerged macrophytes in Dian shan lake [J]. *Chinese journal of applied ecology*, 1995, **6**(2): 196—200 [由文辉, 宋永昌. 淀山湖 3 种沉水植物的种子萌发生态. 应用生态学报, 1995, **6**(2): 196—200]
- [23] Li Y D, Cui Y Q. Germination experiments on seeds and stem tubers of *Vallisneria natans* in lake donghu of Wuhan[J], *Acta hydrobiologica sinica*, 2000, **24**(3): 298—300 [李亚东, 崔艳秋. 武汉东湖苦草种子和块茎发芽实验. 水生生物学报, 2000, **24**(3): 298—300]
- [24] Lombardi T, Bedini S, Onnis A. The germination characteristics of a population of *Zannichellia palustris* subsp. *Pedicellata* [J]. *Aquatic botany*, 1996, **54**: 287—296

## EFFECTS OF DISSOLVED OXYGEN, pH AND OTHER PHYSICO-CHEMICAL FACTORS ON THE SEED GERMINATION OF POTAMOGETON PECTINATUS

GAO Jian<sup>1</sup>, XIONG Qin<sup>1</sup>, LI Zhu<sup>1</sup>, YANG, Shao<sup>1</sup> and CHEN Hong-Da<sup>2</sup>

(1. Central China Normal University, Wuhan 430079; 2. Hubei fisheries research institute, Wuhan 430071)

**Abstract :** Restoration of aquatic ecosystem in eutrophic lakes relies on restoration of submerged vegetation. Vegetative and sexual reproduction under eutrophic conditions may play important role in the establishment of submerged plant community. *Potamogeton pectinatus* were widely distributed and abundant in Chinese lakes. In this study the effects of anoxia and other ecological factors, e. g. nutrients, light intensity, temperature, pH, pre-cooling treatment, on the germination of seeds of *Potamogeton pectinatus* were investigated.

The effects of dissolved oxygen, pH, light, pre-cooling treatment, temperature, nutrients, and hormones on the germination of seed of *Potamogeton pectinatus* were investigated. In comparison to the high dissolved oxygen condition, the germination rate under anoxia condition was enhanced, however, the sprouts loose capacity of pigment synthesis and cease development. Light intensity (0—2000lx) and pH (6—8) had no effect on the germination. Pre-cooling treatment of seeds under 4 °C for 30d and 150 d speeded up the germination and promoted germination rate. Incubation under higher temperature germinated earlier in the range of 15—27 °C. The germination rates under 15, 20 and 27 °C were 90 %, 90 % and 56.7 % respectively. Nutrients had no effect on the germination. Auxin NAA (0.1—5.0 mg/L), cytokinin 6-BA (0.1—5.0 mg/L) or gibberellin GA<sub>3</sub> (0.1—5.0 mg/L) did not enhanced the germination rate.

**Key words :** *Potamogeton pectinatus*; Seed; Germination; Dissolved oxygen; pH