

## 三峡库区3种豆科植物种子水淹耐受性及淹后萌发动态\*

潘晓娇, 林 锋, 刘园园, 牛汉刚, 史邵华, 李斯琪, 张松林, 杨 熙, 曾 波

(三峡库区生态环境教育部重点实验室 重庆市三峡库区植物生态与资源重点实验室 西南大学生命科学学院, 重庆 400715)

**摘要:**【目的】明确合萌(*Aeschynomene indica*)、天蓝苜蓿(*Medicago lupulina*)及印度草木犀(*Melilotus indica*)3种河岸带常见一年生豆科植物在三峡库区消落带的生存能力。【方法】以未经历水淹的野外自然条件(CK)为对照,探究了3种植物的种子在三峡库区消落带不同海拔高程(170, 165, 160, 155 m)的水淹耐受性及水淹后的萌发动态。【结果】1) 3种植物的种子在经历不同高程水淹后,都能保持较高的完好种子比率;即使在经历155 m高程水淹250 d后,完好种子比率最低的印度草木犀仍能保持在32.67%以上。2) 在CK及170, 165, 160和155 m高程水淹后,合萌种子的成苗比率分别为60.17%, 95.33%, 88.67%, 74.17%和85.33%;天蓝苜蓿种子的成苗比率分别为48.47%, 70.00%, 56.33%, 48.17%和50.33%;印度草木犀种子的成苗比率分别为93.47%, 74.33%, 42.33%, 43.00%和29.50%。3) 海拔165 m以上高程适度的水淹加快了3种物种种子的萌发进程,有利于植物在消落区生长窗口期快速建成植被;随着高程的降低,合萌种子仍能保持良好的适应性,天蓝苜蓿及印度草木犀种子的适应性有所下降。【结论】在三峡库区消落带植被恢复与重建工作中,可根据3种豆科植物在消落区不同高程的生存能力对它们进行合理的配置。

**关键词:**三峡库区;豆科植物;水淹耐受;植被恢复

**中图分类号:**Q142.9

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-6693(2017)04-0033-07

在现行的调度模式下,三峡水库水位呈现周期性的涨落;每年9—11月为蓄水期,水位由海拔145 m上升至175 m;每年11月—翌年1月份为高水位期,水位维持在170~175 m;每年1—5月为退水期,水位由高水位逐渐下降至145 m;每年5—8月为低水位期,水位维持在145 m左右。这样周期性地水位涨落在三峡水库库岸形成了最大淹没深度达30 m,最长淹没时间达8个月的季节性水位消落区<sup>[1]</sup>。水文节律性地剧烈变动导致了三峡库区消落带植被面临严峻考验:一方面,在消落区大深度长时间反季节水淹作用下,消落区原生植被退化严重<sup>[2-3]</sup>;另一方面,在水库蓄水浸泡、水流冲刷、雨水淋溶等共同作用下,消落区水土流失加剧、土壤营养元素含量明显下降,严重威胁消落区现存植被的稳定性<sup>[4]</sup>。植被是消落区生态系统多样性和稳定性以及服务功能的重要保障<sup>[5]</sup>,因此三峡库区消落带现存植被的持续存在显得尤为重要。

野外调查发现,目前三峡库区消落带现存植被主要由一年生植物构成。这些一年生植物能在消落区出露期有限的生长期迅速且大量覆盖裸露的消落区,是改善消落区生态系统结构、提升消落区生态系统服务功能的重要资源<sup>[6]</sup>。一年生植物能否在消落区长期存活取决于两个最基本的条件:1) 种子的水淹耐受能力,即种子能否耐受住消落区极端水淹并且在退水后能迅速萌发形成幼苗<sup>[7]</sup>;2) 种子的生产力,即植株能否在消落区有限的生长窗口期内完成生活史并产生成熟的种子<sup>[8-9]</sup>。其中,种子的水淹耐受性是决定该物种能否在消落区存活的关键因素。而种子萌发是一年生植物生活史周期的起始阶段,关系着幼苗的发生及植物整个生活史进程的表达,从而直接影响物种的繁殖、种群的维持、扩展及植被的分布、动态和多样性等<sup>[10-11]</sup>。因此,水淹过程中种子的水淹耐受性及水淹后种子的萌发特性是决定一年生植物在消落区存活状况的关键因素。

豆科(Leguminosae)植物常拥有具备固氮能力的根瘤,能够在氮素缺乏的土壤环境中生长良好,且具有很好的保持土壤肥力并改良土壤的作用<sup>[12-13]</sup>,对其他伴生植物的生长有一定的促进作用。合萌(*Aeschynomene indica*)、天蓝苜蓿(*Medicago lupulina*)及印度草木犀(*Melilotus indica*)是长江自然河岸带常见的一年生豆科

\* 收稿日期:2016-10-28 修回日期:2017-05-29 网络出版时间:2017-5-16 11:25

资助项目:国家自然科学基金(No.31370443;No.31070474;No.30500041);国务院三峡办三峡后续工作库区生态与生物多样性保护专项项目(No.5000002013BB5200001;No.5000002013BB5200002)

第一作者简介:潘晓娇,女,研究方向为植物生态学,E-mail: panjiaode@163.com;通信作者:曾波,教授,E-mail: bzeng@swu.edu.cn

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20170516.1125.028.html>

植物,它们根系发达,具根瘤,有较好的水土保持能力<sup>[14-16]</sup>。本研究考察了它们的种子在三峡库区消落带不同高程的水淹耐受能力及水淹后剩余完好种子的萌发动态,从种子的水淹耐受能力和萌发特性这两个角度探讨了这 3 种豆科植物能否在三峡库区消落带各高程长期生存,为它们被用于三峡库区消落带水土保持和植被恢复的实践提供理论基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究物种及种子采集

合萌,一年生草本植物,豆科合萌属(*Aeschynomene*),荚果,花期 7—8 月,果期 8—10 月;天蓝苜蓿,一年生草本植物,豆科苜蓿属(*Medicago*),荚果,花期 7—9 月,果期 8—10 月;印度草木犀,一年生草本植物,豆科草木犀属(*Melilotus*),荚果,花期 3—5 月,果期 5—7 月。

2013 年 7—9 月,在重庆市忠县涂井乡三峡库区消落带(东经 107°30′~108°14′、北纬 30°03′~30°35′)多个植株上采集 3 个物种已成熟的植物种子(果实),室内自然风干后挑选出籽粒饱满、大小均一的种子,每 200 粒装入 120 目的尼龙袋中(保证水能透过但种子不能透过)。

### 1.2 研究地概况

研究地为重庆市忠县涂井乡三峡库区消落带植被恢复示范区,地处三峡库区腹地地带,属亚热带东南季风气候,年平均气温 18.2 °C,年平均降水量 1 200 mm。实验过程中实验样地的水位变动情况见图 1。

### 1.3 实验方法

1.3.1 实验设计 实验分为非水淹对照组和水淹处理组,分别记为 CK 组和 T 组。CK 组于 2013 年 9 月 15 日将未接受水淹的种子(3 个重复,每个重复 1 000 粒种子)置于西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室实验基地(该基地位于三峡库区内,具有与三峡库区野外自然环境相同的气候条件)内的萌发床土壤表面,萌发床土壤为消落区采回的土壤。胚根突破种皮视为种子萌发,每个月记录 1 次种子萌发数并将幼苗移走,直至种子全部腐烂为止,以此表征种子成熟后在野外自然条件下的萌发情况<sup>[17]</sup>。T 组种子经历三峡库区消落带不同高程水淹后进行萌发实验。本研究以海拔高程表征水淹强度,设计了 170,165,160 和 155 m 共 4 个水淹梯度(表 1)。2013 年 9—10 月,在每个高程水淹之前,将装有成熟种子的尼龙网袋固定在重庆市忠县涂井乡消落区相应高程接受水淹,每高程 3 个重复,每个重复有 200 粒种子。

2014 年 1—5 月,当不同高程水淹结束后,将种子取回实验室,若种子完好或种子胚部结构完整且用镊子适当用力挤压后无浆汁冒出则视为完好种子。记录完好种子数目,然后将完好种子置于西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室实验基地萌发床上进行萌发实验,胚根突破种皮视为种子萌发,每个月记录 1 次种子萌发数并移除,直至种子全部腐烂。

1.3.2 测定指标 水淹后完好种子比率计算公式为  $L = (S/T) \times 100\%$ ,式中: $L$  为水淹结束后完好种子数所占被

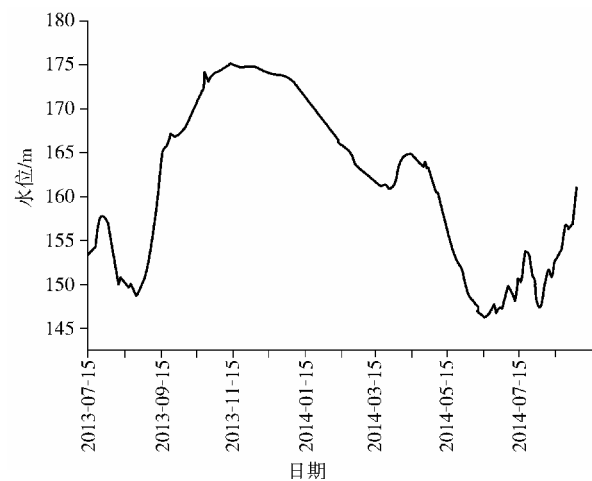


图 1 2013 年 7 月 15 日至 2014 年 8 月 15 日三峡库区忠县段水位变化

Fig. 1 Variation of water level at Zhongxian County section of the Three Gorges reservoir area from July 15th, 2013 to August 15th, 2014

表 1 2013 年三峡库区消落带忠县段不同高程的受淹情况  
Tab. 1 Submergence details of different elevations in water-level-fluctuating-zone at Zhongxian county section of the Three Gorges reservoir in 2013

高程/m	水淹深度/m	水淹起始日期	水淹停止日期	水淹持续时间/d
170	5	2013-10-14	2014-01-21	100
165	10	2013-09-17	2014-02-19	156
160	15	2013-09-12	2014-05-05	236
155	20	2013-09-08	2014-05-15	250

淹种子总数的百分比, $S$ 为水淹后完好种子的数量, $T$ 为用于水淹实验的种子总数(200粒)。该指标用于表征种子的水淹耐受力。种子成苗比率计算公式为 $P=(g_i/T) \times 100\%$ ,式中: $P$ 为萌发的幼苗总数占被淹种子总数的百分比, $g_i$ 为萌发的幼苗总数。该指标用于表征供试种子接受实验处理后的总体萌发能力。种子累积萌发率计算公式为 $G=(G_i/R) \times 100\%$ ,式中: $G$ 为截止到 $i$ 时种子的累积萌发率, $G_i$ 为截止到 $i$ 时的种子累积萌发数, $R$ 为用于萌发实验的完好种子总数。该指标用于表征经历水淹后剩余完好种子的萌发能力。

1.3.3 数据分析 采用SPSS 19.0中的单因素方差分析(One-way ANOVA)对实验数据进行分析。对不同高程水淹后完好种子比率及种子成苗比率的差异采用Duncan法进行多重比较。当 $p < 0.05$ 时,统计结果具有统计学意义。

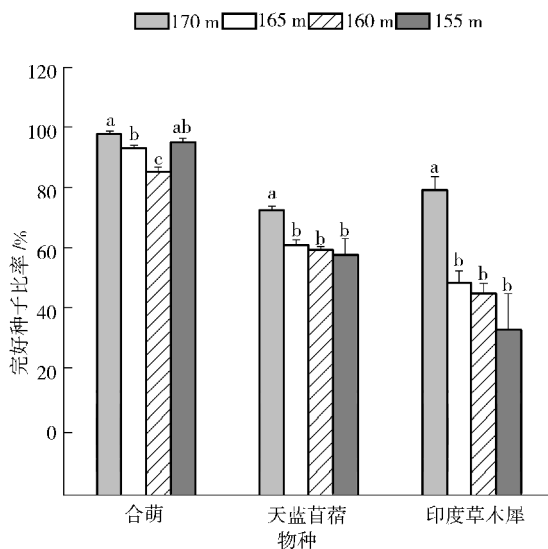
## 2 结果

### 2.1 消落区不同高程水淹后种子的完好比率

合萌、天蓝苜蓿和印度草木犀的种子在经历不同高程的水淹后都能保持较高的完好比率(图2)。经历170,165,160和155 m高程水淹后,合萌种子的完好比率分别为97.67%,93.17%,85.17%和94.67%。随着水淹强度的增加,天蓝苜蓿的种子完好比率呈先降低后平稳的趋势:经历170 m高程水淹后的种子完好比率为72.17%;经历165,160和155 m高程水淹后的种子完好比率分别下降至60.83%,59.17%和57.50%,三者之间无统计学意义上的差异。印度草木犀的种子完好比率也呈先降低后平稳的趋势:经历170 m高程水淹后的种子完好比率为79%;经历165,160和155 m高程水淹后的种子完好比率分别下降至48.33%,44.83%和32.67%,三者之间无统计学意义上的差异。

### 2.2 消落区不同高程水淹后种子的成苗比率

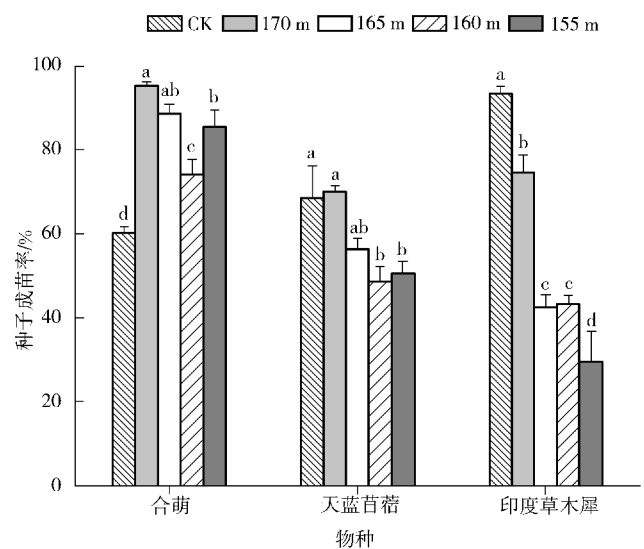
图3显示了CK组和T组种子的成苗比率。从图中可见,水淹显著促进了合萌种子的萌发。CK组合萌种子成苗比率为60.17%;而经历170,165,160和155 m高程水淹后,合萌种子成苗比率分别提高至95.33%,88.67%,74.17%和85.33%,与CK组相比差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。随着水淹强度的增大,天蓝苜蓿种子的成苗比率呈先平稳后下降的趋势。CK组天蓝苜蓿种子成苗比率为68.47%;170,165 m高程水淹后天蓝苜蓿种子成苗比率为70.00%,56.33%,与CK组相比差异无统计学意义;160 m,155 m高程水淹后天蓝苜蓿种子成苗比率下降至48.67%,50.33%,与CK组相比差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。印度草木犀种子的成苗比率随着水淹强度的增大而降低。CK组印度草木犀种子的成苗比率为93.47%;在经历170,165,160和155 m高程水淹后,印度草木犀种子成苗比率分别下降至74.33%,42.33%,43.00%和29.50%,与CK组相比差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。



注:不同字母表示某一物种在不同水淹条件下的研究指标数据间差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。

图2 不同高程水淹后完好种子的比率

Fig. 2 Proportion of intact seeds under different elevations of water submergence



注:不同字母表示某一物种在不同水淹条件下的研究指标数据间差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。

图3 不同高程水淹后种子的成苗比率

Fig. 3 Seed seeding ratio under different elevations of water submergence

### 2.3 不同高程水淹后种子的萌发动态

CK 组合萌种子在 2013 年 11 月出现第 1 个萌发峰,此后萌发峰集中在 2014 年 5—8 月,直到 2015 年 5 月和 8 月又再次出现萌发峰;经历不同高程水淹后,合萌种子的萌发动态并没有改变,种子的萌发峰仍集中在 5 月和 8 月之间,但水淹明显提高了合萌种子的累积萌发率。在消落区第 1 年的生长窗口期内(截至 2014 年 8 月 15 日),CK 组合萌种子的累积萌发率为 41.77%,经历 170,165,160 和 155 m 高程水淹后,累积萌发率分别为 58.86%,68.34%,31.63%和 23.70%。这说明在有限的窗口期内,中、高高程适度的水淹提高了合萌种子的累积萌发率,种子出水后在短时间内完成比 CK 组种子更多的萌发量,萌发效率有所提高;而低高程水淹后,窗口期内完成的萌发量下降(图 4a)。

CK 组天蓝苜蓿种子的萌发峰集中在 1—3 月;经历不同高程水淹后,天蓝苜蓿种子的萌发动态没有改变,种子的萌发峰仍集中在 1—3 月,水淹同样提高了天蓝苜蓿种子的累积萌发率。在消落区第 1 年的生长窗口期内(截至 2014 年 8 月 15 日),CK 组天蓝苜蓿种子的累积萌发率为 47.97%,经历 170,165,160 和 155 m 高程水淹后,种子累积萌发率分别为 73.60%,53.46%,13.47%和 13.15%。该结果说明中、高高程适度的水淹提高了天蓝苜蓿种子的累积萌发率和萌发效率,但随着海拔高程的降低,种子累积萌发率明显下降(图 4b)。

CK 组印度草木犀种子的萌发峰出现在 2014 年 1 月;经历 170,165 m 高程水淹后有少部分种子在 2014 年 3 月萌发,且 2015 年 1 月、3 月及 2016 年 1 月又出现萌发峰;经历 160 和 155 m 高程水淹后,2014 年种子几乎没有萌发,在 2015 年 1 月、3 月及 2016 年 1 月同样出现萌发峰,至实验结束时各高程累积萌发率分别为 93.45%,91.45%,96.19%和 88.22%。在消落区第 1 年的生长窗口期内(截至 2014 年 8 月 15 日),CK 组印度草木犀种子的累积萌发率为 80.23%,经历 170,165,160 和 155 m 高程水淹后,种子累积萌发率分别为 75.37%,29.30%,2.25%和 0(图 4c)。

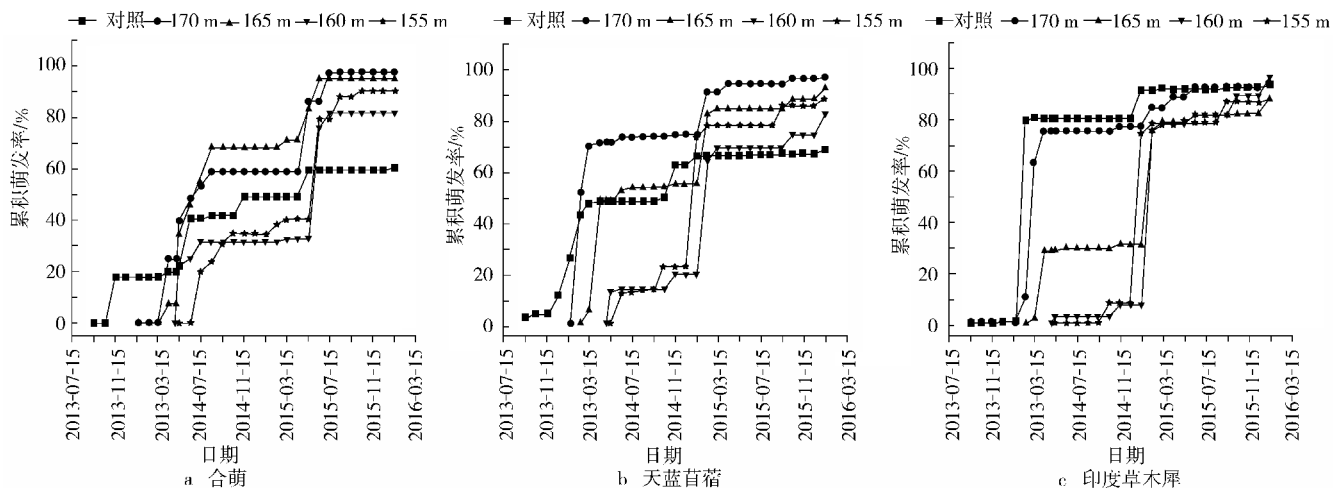


图 4 不同高程水淹后合萌、天蓝苜蓿、印度草木犀种子的萌发动态

Fig. 4 Seed germination dynamics of *A. indica*, *M. lupulina*, and *M. indica* under water submergence of different elevations

### 3 讨论

在三峡库区消落带遭受逐年水淹,土壤营养元素大量流失的情况下,豆科植物的存在对消落区现存植物生长的益处将越发凸显。然而,大深度长时间反季节的水淹常导致消落区土壤种子库中种子大量死亡<sup>[17-18]</sup>,且短暂的出露期限制了消落区中一年生植物的生长时间,从而影响种子的产量。因此,一年生豆科植物要长期在三峡库区消落带生存,它们的种子需具有很好的水淹耐受能力,且需在消落区出露初期迅速萌发以争取在有限的生长期内完成生活周期并产生大量成熟的种子。

水淹对于众多的陆生植物种子而言是一种严重的环境胁迫,高强度的水淹会造成种子直接腐烂或者形态和生理发生严重劣变<sup>[19-20]</sup>。本研究结果显示,在经历三峡库区消落带不同高程的水淹之后,3 种豆科植物的种子仍然能保持较高的完好比率(图 2),且剩余的完好种子能大量萌发形成幼苗(图 3),说明这 3 种豆科植物的种子对消落区极端水淹有较强的耐受能力。物理休眠(硬实)在豆科植物种子中普遍存在<sup>[21-23]</sup>。硬实种子一般有着坚



硬致密的种皮结构,透水性差,甚至种皮中含有某些抑制种子吸水的化学物质<sup>[24-26]</sup>。这些特点可以使种子在不利的条件下很长一段时间仍保持活力<sup>[23]</sup>,或者进入土壤种子库,最终形成幼苗<sup>[17-18]</sup>。有研究报道,豆科物种 *Senna multijuga* 能成为巴西热带雨林的先锋树种,与它的种子种皮具有不透水性并由此能够建立土壤种子库有很大关系<sup>[27]</sup>; *Copaiifera lucens* 种子也具硬实特性,对水淹有一定的耐受性,能应用于河岸林的播种造林恢复工程<sup>[28]</sup>。因此,本研究中3种豆科植物种子具有较强的水淹耐受性很可能跟它们的硬实特性有关。但不同物种种子的水淹耐受能力表现不同,结合水淹后完好种子的比率及成苗率来判断,合萌种子的耐淹性最好,印度草木犀和天蓝苜蓿次之。这可能与不同物种种子本身的性质有关,例如种皮透水性、种皮致密程度、种皮中所含化学物质、种子在受水淹时物理休眠被打破的程度等<sup>[29-31]</sup>。

从种子的萌发动态(图4)来看,水淹后3种豆科植物完好种子的累积萌发率都在80%以上,表明水淹并没有影响完好种子的萌发活力。同时,水淹对种子萌发的时间格局影响不大。CK组与经历各高程水淹后的T组种子的萌发高峰期大致相同,出水后种子在2014,2015,2016等不同年份间相近的月份集中萌发。其中原因可能在于不同季节的气温不同,而种子的萌发需要一定的温度域<sup>[32]</sup>。但水淹对种子的萌发进程也有一定影响,表现为:在2014年1—8月消落区出露的第1个生长窗口期内,经历170,165 m水淹后合萌及天蓝苜蓿种子的萌发曲线比非水淹对照组种子的萌发曲线更陡,表明适度水淹后种子的萌发效率提高,在短时间内完成大量萌发,有利于植物在消落区早期定居从而建立竞争优势<sup>[33]</sup>。水淹能够提高种子的成苗率,这可能与水淹有利于打破种子的物理休眠,使坚硬的种皮或果皮软化,萌发时胚根胚芽比较容易突破种皮的束缚有关<sup>[34]</sup>。例如:Abbott等人<sup>[35]</sup>的研究表明长时间的水流冲洗可以打破欧洲千里光(*Senecio vulgaris*)种子的休眠;王欣等人的研究发现一定时间的水淹可以打破稗(*Echinochloa crusgalli*)、金色狗尾草(*Setaria glauca*)等一年生植物种子的休眠从而明显提高累积萌发率,且加快种子萌发进程<sup>[7]</sup>;Lin等人<sup>[17]</sup>的研究表明水淹后垂穗鹅观草(*Roegneria nutans*)种子的萌发效率提高。本研究中,在第1个生长窗口期内(2014年),经历170 m高程水淹的T组与CK组印度草木犀种子的累积萌发率无明显差异,各水淹组之间该物种种子的累积萌发率随着高程的降低而降低。结合种子的萌发高峰期及各高程的退水时间来看,位于160,155 m高程处的印度草木犀种子在5月份出水,而该物种种子的萌发高峰集中在冬季1月,此时夏季的温度不适于种子的萌发,因此种子累积萌发率较低。

本研究中,3种豆科植物种子均具有较强的水淹耐受能力,经历水淹后能够快速并大量萌发,有利于植物快速占据消落区。根据3种植物种子在不同高程有不同表现推测,印度草木犀和天蓝苜蓿在165 m以上高程具有较强的生存能力,而合萌在各高程均具有较强的生存能力。在对三峡库区消落带进行植被恢复与重建工作中,可根据3种豆科植物对消落区不同高程的适应性进行合理的配置。然而,本研究仅从种子的水淹耐受性及萌发特性角度讨论了如和运用这3种豆科植物在消落区持续存活的潜能,未能进一步研究它们的植株的在窗口期内完成生活史的状况,也未能更深层次地探究它们种子的耐淹机制。后续研究将从这两方面继续进行。

#### 参考文献:

- [1] 苏维词.三峡库区消落带的生态环境问题及其调控[J].长江科学院院报,2004,21(2):32-34.  
SU W C. Main ecological and environmental problems of water-level-fluctuation zone (WLFZ) in Three Gorges reservoir and their controlling measures[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2004, 21(2): 32-34.
- [2] 卢志军,李连发,黄汉东,等.三峡水库蓄水对消落带植被的初步影响[J].武汉植物学研究,2010,28(3):303-314.  
LU Z J, LI L F, HUANG H D, et al. Preliminary effects of impounding on vegetation in drawdown zone of the Three Gorges reservoir region [J]. Journal of WuHan Botanical Research, 2010, 28(3): 303-314.
- [3] 朱妮妮,郭泉水,秦爱丽,等.三峡水库奉节以东秭归和巫山段消落带植物群落动态特征[J].生态学报,2015,35(23):7852-7867.  
ZHU N N, GUO Q S, QIN A L, et al. Plant community dynamics in the hydro-fluctuation belt of the Three Gorges reservoir at the Zigui and Wushan section, east of Fengjie county, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(23): 7852-7867.
- [4] 郭泉水,康义,赵玉娟,等.三峡库区消落带土壤氮磷钾,pH值和有机质变化[J].林业科学,2012,48(3):7-10.  
GUO Q S, KANG Y, ZHAO Y J, et al. Changes in the contents of N, P, K, pH and organic matter of the soil which experienced the hydro-fluctuation in the Three Gorges reservoir [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(3): 7-10.
- [5] NEW T, XIE Z. Impacts of large dams on riparian vegetation: applying global experience to the case of China's Three Gorges dam [J]. Biodiversity & Conservation, 2008, 17(13): 3149-3163.
- [6] 袁慎鸿,曾波,苏晓磊,等.水位节律差异对三峡水库消落区不同物候类型一年生植物物种构成的影响[J].生态学报,

- 2014,34(22):6481-6488.
- YUAN S H, ZENG B, SU X L, et al. Effect of water-level fluctuation discrepancy on the composition of different annuals in Three Gorges reservoir drawdown zone[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(22): 6481-6488.
- [7] 王欣, 高贤明. 模拟水淹对三峡库区常见一年生草本植物种子萌发的影响[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(12): 1404-1413.
- WANG X, GAO X M. Effects of simulated submergence on seed germination of four common annual herbs in the Three Gorges reservoir region, China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2010, 34(12): 1404-1413.
- [8] 陶敏, 鲍大川, 江明喜. 三峡库区 9 种植物种子萌发特性及其在植被恢复中的意义[J]. *生态学报*, 2011, 31(4): 906-913.
- TAO M, BAO D C, JIANG M X. Effects of submergence on seed germination of nine annual plant species in the Three Gorges reservoir region and their implication to vegetation restoration[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4): 906-913.
- [9] 申建红, 曾波, 类淑桐, 等. 三峡水库消落区 4 种一年生植物种子的水淹耐受性及水淹对其种子萌发的影响[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(3): 237-246.
- SHEN J H, ZENG B, LEI S T, et al. Seed submergence tolerance of four annual species growing in the water-level fluctuation zone of Three Gorges reservoir, China, and effects of long-term submergence on their seed germination[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2011, 35(3): 237-246.
- [10] 张佳宁, 刘坤, 王桔红. 青藏高原东部植物种子萌发能力与其在群落中相对多度的关系[J]. *植物分类与资源学报*, 2013, 35(3): 317-326.
- ZHANG J N, LIU K, WANG J H. The Relationship between seed germinability and species abundance in communities on eastern Qinghai-Tibet plateau[J]. *Plant Diversity and Resources*, 2013, 35(3): 317-326.
- [11] FREAS K E, KEMP P R. Some relationships between environmental reliability and seed dormancy in desert annual plants[J]. *Journal of Ecology*, 1983, 71(1): 211-217.
- [12] LEDGARD S F, STEELE K W. Biological nitrogen fixation in mixed legume/grass pastures[J]. *Plant & Soil*, 1992, 141(1/2): 137-153.
- [13] ROCHESTER I J, PEOPLES M B, HULUGALLE N R, et al. Using legumes to enhance nitrogen fertility and improve soil condition in cotton cropping systems[J]. *Field Crops Research*, 2001, 70(1): 27-41.
- [14] 萧运峰, 孙发政, 尹良治. 合萌的生态生物学特性及其经济性状评价[J]. *中国草地学报*, 1989(5): 23-28.
- XIAO Y F, SUN F Z, YIN L Y. The study on ecological and biological characteristics of *Aeschynomene indica* and evaluation of its economic properties[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 1989(5): 23-28.
- [15] 张德辉. 天蓝苜蓿固氮结瘤过程中与铜胁迫相关基因的筛选[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- ZHANG D H. Isolation of copper stress-related genes involved in symbiotic nitrogen fixation in *Medicago lupulina*[D]. Yangling: North West Agriculture and Forestry University, 2015.
- [16] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1998, 42(2): 302.
- Chinese Flora Editorial Board of Chinese Academy of Sciences. *Chinese Flora*[M]. Beijing: Science Press, 1998, 42(2): 302.
- [17] LIN F, LIU J, ZENG B, et al. Submergence tolerance and germination dynamics of roegneria nutans seeds in water-level fluctuation zones with different water rhythms in the Three Gorges reservoir[J]. *PLoSOne*, 2016, 11(3): e0151318.
- [18] 王晓荣, 程瑞梅, 肖文发, 等. 三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系[J]. *生态学报*, 2010, 30(21): 5821-5831.
- WANG X R, CHENG R M, XIAO W F, et al. Relationship between standing vegetation and soil seed bank in water-level-fluctuating zone of Three Gorges reservoir at the beginning after charging water[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5821-5831.
- [19] 宋松泉. 种子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 100-234.
- SONG S Q. *Seed biology*[M]. Beijing: Science Press, 2008: 100-234.
- [20] 秦洪文, 刘正学, 钟彦, 等. 狗牙根种子对模拟水淹的生理及萌发响应[J]. *中国草地学报*, 2014, 36(5): 76-82.
- QIN H W, LIU Z X, ZHONG Y, et al. The physiological and germination responses of *Cynodon dactylon* seeds to simultaneous submergence[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2014, 36(5): 76-82.
- [21] RODRIGUES JUNIOR A G, FARIA J M R, VAZ T A A. Physical dormancy in *Senna multijuga* (Fabaceae: Caesalpinioideae) seeds: the role of seed structures in water uptake[J]. *Seed Science Research*, 2014, 24(2): 147-157.
- [22] 杨期和, 尹小娟, 叶万辉. 硬实种子休眠的机制和解除方法[J]. *植物学报*, 2006, 23(1): 108-118.
- YANG Q H, YIN X J, YE W H. Dormancy mechanism and breaking methods for hard seeds[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2006, 23(1): 108-118.
- [23] JAYASURIYA K M G G, WIJETUNGA A S T B. Seed dormancy and storage behaviour in tropical Fabaceae: a study of 100 species from Sri Lanka[J]. *Seed Science Research*, 2013, 23(4): 257-269.
- [24] DUKE S H, KAKEFUDA G. Role of the testa in preventing cellular rupture during imbibition of Legume seeds[J]. *Plant Physiology*, 1981, 67(3): 449-56.
- [25] WANG Y R, HANSON J, MARIAM Y W. Effect of sulfuric acid pretreatment on breaking hard seed dormancy in diverse accessions of five wild *Vigna* species[J]. *Seed Science & Technology*, 2007, 35(3): 550-559.

- [26] ZENG L W, COCKS P S, KAILIS S G, et al. The role of fractures and lipids in the seed coat in the loss of hard-seededness of six Mediterranean Legume species[J]. *Journal of Agricultural Science*, 2005, 143(2): 43-55.
- [27] LACERDA D R, FILHO J P L, GOULART M F. Seed-dormancy variation in natural populations of two tropical leguminous tree species: *Senna multijuga* (Caesalpinoideae) and *Plathymenia reticulata* (Mimosoideae)[J]. *Seed Science Research*, 2004, 14(2): 127-135.
- [28] VIDAL D B, ANDRADE I L, ANDRADE E L P, et al. Effects of submergence in water on seed germination and vigor of the *Copaifera lucens* (Fabaceae) seedlings[J]. *Journal of Forestry Research*, 2014, 25(4): 903-908.
- [29] GAMA-ARACHCHIGE N S, BASKIN J M, GENEVE R L, et al. Identification and characterization of ten new water gaps in seeds and fruits with physical dormancy and classification of water-gap complexes[J]. *Annals of Botany*, 2013, 112(1): 69-84.
- [30] GAMA-ARACHCHIGE N S, BASKIN J M, GENEVE R L, et al. Identification and characterization of the water gap in physically dormant seeds of Geraniaceae, with special reference to *Geranium carolinianum*[J]. *Annals of Botany*, 2010, 105(6): 977-990.
- [31] VENABLE D L, BROWN J S. The selective interactions of dispersal, dormancy, and seed size as adaptations for reducing risk in variable environments[J]. *American Naturalist*, 1988, 131(3): 360-384.
- [32] SY A, GROUZIS M, DANTHU P. Seed germination of seven Sahelian legume species[J]. *Journal of Arid Environments*, 2001, 49(4): 875-882.
- [33] GRIME J P, MASON G, CURTIS A V, et al. A comparative study of germination characteristics in a local flora[J]. *Journal of Ecology*, 1981, 69(3): 1017-1059.
- [34] VOESENEK L A C J, BLOM C W P M. Germination and emergence of *Rumex* in river flood-plains. I. timing of germination and seedbank characteristics[J]. *Acta Botanica Neerlandica*, 1992, 41(3): 319-329.
- [35] 任祝三, 阿伯特·利查德. 欧洲千里光种子休眠与萌发特性的研究[J]. *植物分类与资源学报*, 1992, 14(1): 80-86.
- REN Z S, ABBOTT R J. Seed dormancy and germination in Mediterranean *Senecio vulgaris* [J]. *Journal of Plant Resources and Taxonomy*, 1992, 14(1): 80-86.

## Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

### Seed Submergence Tolerance and Germination Dynamic of Three Legume Species Growing in Three Gorges Reservoir Area

PAN Xiaojiao, LIN Feng, LIU Yuanyuan, NIU Hangang, SHI Shaohua,  
LI Siqi, ZHANG Songlin, YANG Xi, ZENG Bo

(Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region ( Ministry of Education),  
Chongqing Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research in Three Gorges Reservoir Region,  
College of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** [Purposes] In order to make sure the survival potential of *Aeschynomene indica*, *Medicago lupulina*, *Melilotus indica* which are all common annual leguminous plants in the riparian zone. [Methods] The water tolerance of their seeds are conducted here, as well as the germination dynamic after water flooding at different elevations (170, 165, 160, 155 m), the seeds are also studied without suffering logging in nature condition as control. [Findings] 1) after water flooding, the seeds can keep a high proportion of intact seeds at different elevations, even if the ones of *M. indica*, underwent a 250-day flooding at 155 m, whose intact seeds proportion remained above 32.67%. 2) The seed seeding rates of *A. indica* in control group and in the elevation of 170, 165, 160, 155 m were 60.17%, 95.33%, 88.67%, 74.17%, 85.33%, respectively; similarly, the rates of *M. lupulina* in different groups were 48.47%, 70.00%, 56.33%, 48.17%, 50.33%, and the rates of *M. indica* were 93.47%, 74.33%, 42.33%, 43%, 29.50%. 3) All seeds showed good adaptability to the water logging in the elevation of 170, 165 m. [Conclusions] Water logging accelerated the germination process, as compared with the gradually process of that of CK, and was also beneficial to the vegetation recovery at the initial stage of water-break in the TGR region, with the increasing intensity of submergence, adaptability of *M. lupulina* and *M. indica* declined.

**Keywords:** Three Gorges reservoir area; leguminous plants; submergence tolerance; vegetation restoration