

DOI: 10.5846/stxb201708311573

李文, 王鑫, 何亮, 刘以珍, 葛刚. 鄱阳湖洲滩湿地植物生长和营养繁殖对水淹时长的响应. 生态学报, 2018, 38(22): - .

Li W, Wang X, He L, Liu Y Z, Ge G. The responses of growth and vegetative reproduction of wetland plants in Poyang Lake to duration of submergence. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(22): - .

鄱阳湖洲滩湿地植物生长和营养繁殖对水淹时长的响应

李 文¹, 王 鑫¹, 何 亮^{1,2}, 刘以珍¹ 葛 刚^{1,2,*}

1 南昌大学生命科学学院鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 南昌 330031

2 南昌大学资源环境与化工学院, 南昌 330031

摘要:水淹时长是影响湿地植物分布的重要因素。在水情不断变化的背景下, 鄱阳湖洲滩湿地植物种群和群落的变化规律还不清楚。为了探究淹水时长对鄱阳湖洲滩 3 种优势植物生长和繁殖的影响, 并预测在水文发生剧烈变化后, 3 种优势植物分布的趋势, 本研究采用控制实验模拟了不同水淹时长(0、60、90、120、150 d 和 180 d)下鄱阳湖湿地 3 种优势植物(灰化薹草(*Carex cinerascens*)、南荻(*Miscanthus lutarioriparius*)和藨草(*Phalaris arundinacea*))的生长和繁殖情况。研究结果表明: 1) 南荻在水淹超过 120 d 后, 存活率开始降低, 水淹到达 180 d 完全死亡。而灰化薹草和藨草在淹水 180 d 后仍全部存活。表明南荻耐淹水的能力弱于其它两种植物。2) 水淹显著降低灰化薹草的总生物量, 并且总生物量随水淹时长的增加而逐渐降低。而短时间(小于 150 d)的水淹没有对藨草总生物量产生显著影响。3) 退水初期, 灰化薹草的恢复生长趋向于地上部分, 而藨草表现为地下和地下部分同步生长。该研究结果可以为预测水文情势变化下鄱阳湖湿地植物种群和群落的动态变化提供依据。

关键词:灰化薹草; 南荻; 藨草; 水淹时长; 恢复生长

The responses of growth and vegetative reproduction of wetland plants in Poyang Lake to duration of submergence

LI Wen¹, WANG Xin¹, HE Liang^{1,2}, LIU Yizhen¹ GE Gang^{1,2,*}

1 Key Laboratory of Poyang Lake Environment and Resource Utilization, Ministry of Education School of Life Sciences, Nanchang University, Nanchang 330031, China

2 School of Resources Environmental and Chemical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China

Abstract: Flooding strongly determines the distribution and abundance of wetland plants, such as like the zonation along a wetland shoreline. However, the mechanism of flooding affecting the distribution of wetland plants is not full understand. In this study, an outdoor experiment was conducted to examine the responses of growth and vegetative reproduction of three dominant species (*Carex cinerascens*, *Miscanthus lutarioriparius* and *Phalaris arundinacea*) in Lake Poyang to duration of submergence, with a goal to link their strategies to submergence to their distribution along the elevation of Poyang Lake. The results showed that 1) after 120 days submergence, the survival rate of *M. lutarioriparius* began to decrease and all the individuals died after 180 days submergence, whereas all *C. cinerascens* and *P. arundinacea* could re-grow after 180 days submergence, 2) Submergence significantly reduced the total biomass of *C. cinerascens* by the end of the experiment, whereas a short duration of submergence did not significantly affect total biomass of *P. arundinacea*. 3) After removing the submergence, *C. cinerascens* tended to allocate more biomass to leaves at the beginning of the re-grow phase, whereas *P.*

基金项目:国家自然科学基金(31260110, 31560143); 江西省水利厅重大科技项目(KT201505); 江西省科技计划项目(20122BBG70074)资助

收稿日期:2017-08-31; **网络出版日期:**2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gge@ncu.edu.cn

arundinacea did not change the allocation among the treatments. Our results could help us understand and predict the population and community changes of wetland plants in Poyang Lake in response to the changing hydrological conditions changing caused by climate change or dams construction.

Key Words: *Carex cinerascens*; *Miscanthus lutarioriparius*; *Phalaris arundinacea*; flooding duration ; Poyang Lake

湿地生态系统中,水位季节性波动是不同于其它生态系统的一个重要特征。所以,水位变化成为制约湿地植物生长和营养繁殖的重要因素^[1]。在长期干湿交替的环境中,湿地植物往往会形成自己特有的适应策略。一些植物调整内部结构而耐受不同程度的水淹,如改变通气组织的大小^[2-3]。也有一些植物在水淹过程会改变某种酶促反应提高对水淹的适应性,如一些氧化酶^[4-5]。但功能性状的改变是植物应对水淹最直观的表现,如株高、分株数、生物量的分配等^[6]。当丰水期延长时,能够耐受较长时间水淹的湿地植物,可以在退水后的洲滩上占据绝对的优势。所以,湿地植物对水淹的耐受能力对于其在水位波动环境中的生存与分布起着至关重要的作用^[7]。

鄱阳湖是我国最大的淡水湖泊,同时也是一个典型的季节性湖泊。每年干湿交替的水位变化,使得鄱阳湖在枯水期呈现出广袤的洲滩面积。而洲滩上的植被是鄱阳湖湿地生态系统重要的组成部分:在丰水期为鱼类提供丰富的食物^[8];在枯水期是大量候鸟取食的对象^[9]。然而,近年来由于气候和水利枢纽等人为因素的影响,鄱阳湖水文情势发生了显著变化。在 2010 年,鄱阳湖洲滩植被水淹长达 6 个月,而如今水位低枯化越来越明显。这种高幅度变化的水位,对洲滩植被的生存和分布产生了显著的影响^[10-11]。植被分布格局的改变不仅影响湿地植物多样性的维持,而且关系到整个湿地生态系统的稳定性。如在莫莫格国家湿地自然保护区由于长芒稗逐渐占据扁秆藨草的生态位,从而影响越冬白鹤的数量^[10]。因而探究水文情势变化(水淹时长)下洲滩植物分布格局对鄱阳湖植被变化的预测和管理具有重要的意义。

南荻、灰化藨草、藨草是鄱阳湖洲滩的优势物种,依次从高到低分布在不同的高程^[11]。但是,葛刚的研究发现,藨草群落分布下限沿高程往湖中心下移了 3 m,芦苇、南荻群落也向低水位区移动了 1 m^[12](黄海高程,下同)。这种植被带的下移与鄱阳湖淹水时长的变化是否有关联还不清楚。本文假设鄱阳湖洲滩优势植物,灰化藨草、南荻、藨草对不同时长水淹具有不同的响应策略,从而形成植被带。我们通过模拟实验,监测三种优势物种在不同水淹时长下存活率、株高、分株数、生物量的变化,对假设进行验证,以阐明植被分布变化的机制,为鄱阳湖植被恢复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 野外调查

2010 年 10 月—11 月,对鄱阳湖洲滩植被进行了全面调查,在不同的高程设置若干 1m×1m 样方,记录每个样方内的植被种类、盖度。

1.2 模拟实验

1.2.1 实验过程

2016 年 3 月上旬,在江西南矶山湿地国家级自然保护区(28°52'5"—29°6'50"N,116°10'33"—116°25'5"E)的东湖采集南荻、藨草、灰化藨草各 5 大盆(100 cm×60 cm),移入南昌大学先骕园进行培养。两个月后,在这些大盆内分别选取长势良好,根系大小相近的南荻、藨草、灰化藨草的无性系分株各 30 株,去掉已存在的芽,记录每株植株的株高和生物量。将这些无性分株移栽到直径 17 cm,高 20 cm 的花盆中,每盆一株。花盆里土壤厚度为 19cm,土壤取自鄱阳湖南矶山滩涂并经过了充分混匀。所有植株在湿润的环境中培养一周,使其长势稳定。于 2016 年 5 月 8 日移入水深 2m 的实验水池中,设置 6 个时长梯度(0、60、90、120、150、180 d),每个时长 5 个重复。0 d 的时长组,一直放置在 0m 的水位梯度(保持湿润)。60 d 后取出第一组时长梯度,放置在

0 m 的水位梯度上进行恢复生长(3 d 后不能长出新叶或者萌发新植株为死亡),然后每隔 30 d 取出一组,并且记录每个组植物的生长和存活状况。12 月份,取出最后一组长梯度。15 d 后,测量每组植物的存活数、株高、分株数,记录数据。然后收获植株,在 80℃ 下进行烘干称量,记录植株地上部分和地下部分的重量。

1.2.2 水位控制

所有实验组在统一实验池中,接受相同的自然光照(同一时长组)。为了保持固定水位,每天定时补充水量。每隔一个星期测定实验池中叶绿素含量,每隔一个月换一次水。

1.3 数据处理

由于蝶形湖水文动态与主湖区显著不同,我们选择主湖区样方数据(共 2747 个样方),从低高程至高高程区,将每 0.5m 高程内所有样方的植物盖度数据和高程值取平均值(黄海高程)。结合鄱阳湖水文数据和 DEM 地形数据,计算上述对应高程淹水 1.5 m 的时长(选择该淹水深度是因为鄱阳湖南荻在丰水期可达 1.2—1.5 m)。然后用 R 软件中 loess() 函数(局部加权回归散点平滑法)对淹水时长和三种植物的盖度关系进行拟合^[13]。

由于灰化藁草丛生化生长,后期观察其分株比较困难,所以我们选择植丛周长作为它分株能力的指标^[14]。

其余部分数据的分析用 SPSS 21.0 进行。分析方法采用单因素方差分析。在 95% 的置信度水平上,用 LSD 显著性检验方法比较不同水淹时长间的差异。

2 结果

2.1 鄱阳湖 3 种植物野外分布

根据 2010 年野外调查的数据显示,南荻在水淹 50 d 的时候分布的盖度达到最高,但水淹超过 150 d 时,南荻几乎没有分布。而灰化藁草在水淹 100 d 的时候分布盖度达到最高,并且水淹 200 d 后植被的盖度接近 27%。藨草在水淹时间少于 50 d 的地方分布较少,在水淹达到 150 d 的地方分布达到最高,但是随着水淹时间的继续增加,藨草的分布盖度迅速降低,在水淹 200 d 的时候只有 5%。

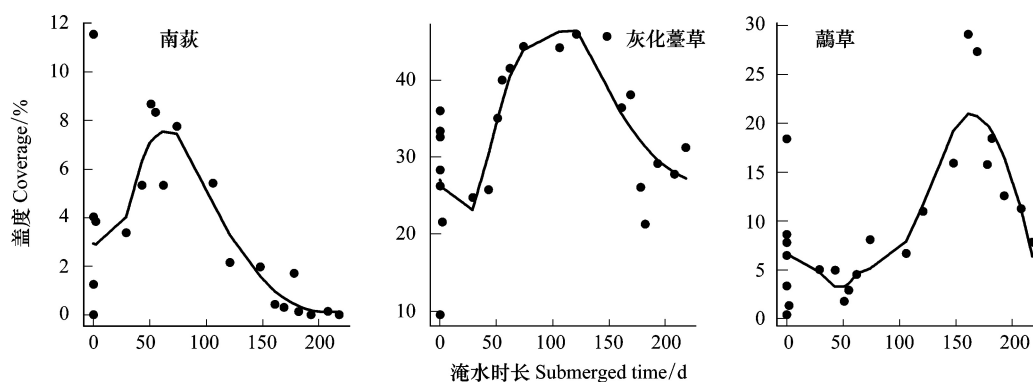


图 1 2010 年冬季鄱阳湖主湖区南荻、灰化藁草、藨草盖度与水淹时间关系图

Fig.1 The relationship between the submerged time and the coverage of *Carex cinerascens*, *Miscanthus lutarioriparius* and *Phalaris arundinacea* in main lake district of Poyang Lake

2.2 模拟实验结果

2.2.1 在不同水淹时长下,3 种优势物种的存活率

在长达 180 d 的水淹时长下,灰化藁草和藨草出水后都可以恢复生长。而南荻在水淹 150 d 后,存活率开始降低,达到 40%。随着水淹时长的增加,水淹 180 d 后,南荻都无法恢复生长(表 1)。

表 1 不同水淹时长下,灰化薹草、南荻、藨草的存活率/%

Table 1 The survival of *C.cinerascens*, *T.lutarioriparia* and *P.arundinacea* in different submerged TIME (N=5)

物种 Species	水淹时长 Day of water submergence /d					
	0	60	90	120	150	180
灰化薹草 <i>C.cinerascens</i>	100	100	100	100	100	100
南荻 <i>T.lutarioriparia</i>	100	100	100	100	40	0
藨草 <i>P.arundinacea</i>	100	100	100	100	100	100

2.2.2 水淹时长对 3 种优势植物生长的影响

不同水淹时长对 3 种优势植物的生物量产生了显著的影响。没有被水淹的灰化薹草总生物量显著大于淹水条件下的总生物量,并且随着水淹时长的增加,灰化薹草总生物量表现为逐渐下降的趋势。而藨草在水淹时长小于 120 d 的条件下,水淹对藨草总生物量没有产生显著影响。并且藨草在水淹 120 d 后,总生物量达到最高 (3.80 ± 0.56 g) (图 2)。

对 3 种优势物种各部分生物量做统计分析,做出地上生物量和地下生物量的分配趋势图,结果显示:灰化薹草水淹超过 60 d 时,地上生物量占总生物量的比例逐渐增大,并且在水淹时长 180 d 的条件下,地上生物的比值达到最高 (图 3);南荻水淹时长超过 90 d 时,地上生物量所占的比例逐渐升高,但南荻在水淹超过 150 d 后不能恢复生长 (图 3);藨草则在水淹时长 120 d 时,地上生物量部分所占的比例达到最高。但在整个水淹时长梯度水平上,地上和地下生物量的比值没有发现显著变化。 ($P > 0.05$) (图 3)。

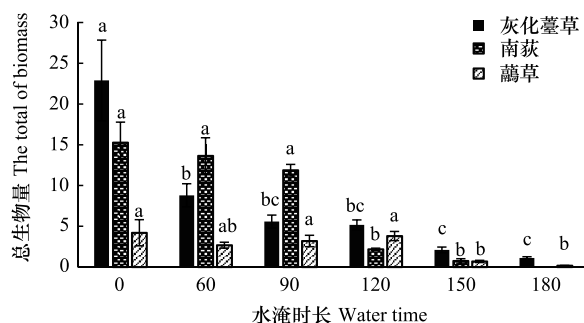


图 2 不同水淹时长下,三种优势物种总生物量的变化情况

Fig.2 The total biomass of three dominant species in different submerged time

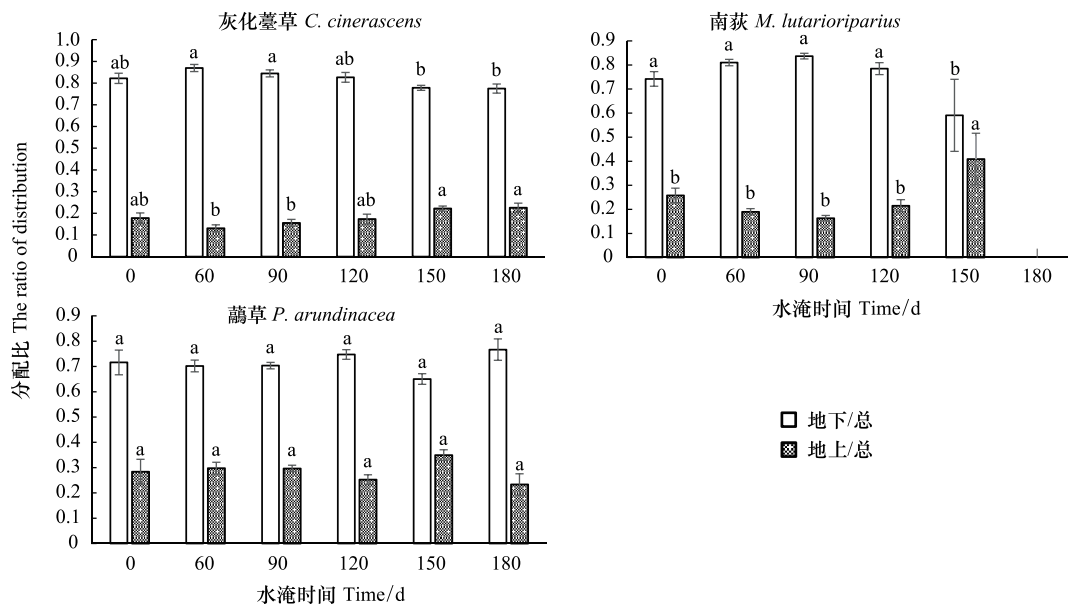


图 3 不同水淹时长下,三种优势物种生物量分配情况

Fig.3 The distribution ratio of three dominant species in different submerged time

3 种优势植物株高的单因素方差分析表明:短暂的水淹 ($T < 90$ d) 对灰化薹草的株高没有产生显著的影响 ($P > 0.05$)。并且在水淹 90 d 时株高达到最高 (39.24 ± 0.68 cm)。随着水淹时间逐渐增加,株高降低。水淹

120 d 和水淹 150 d 株高没有显著差别($P > 0.05$)。在水淹 180 d 时,灰化薹草株高仍可以保持一定的高度(图 4)。一定时长的水淹有利于南荻的生长,在水淹 90 d 时,南荻的株高达到最大(78.98 ± 12.29 cm)。随着水淹时长的增加,株高逐渐降低。在水淹时长达到 180 d 时,南荻不能恢复生长(图 4)。同样,短暂的水淹没有对藨草的株高产生显著的影响($P > 0.05$)。但随着水淹时长的增加,株高逐渐降低,水淹时长达到 180 d 时,藨草还能保持生长(图 4)。

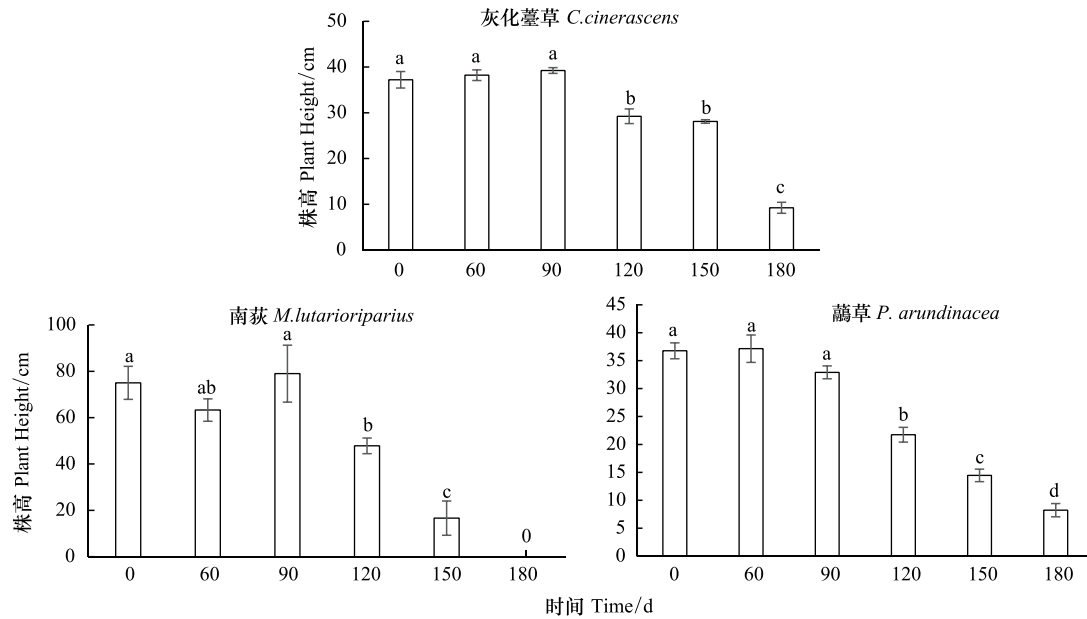


图 4 不同水淹时长下,三种优势植物株高的变化情况

Fig.4 The plant height of three dominant species in different submerged time

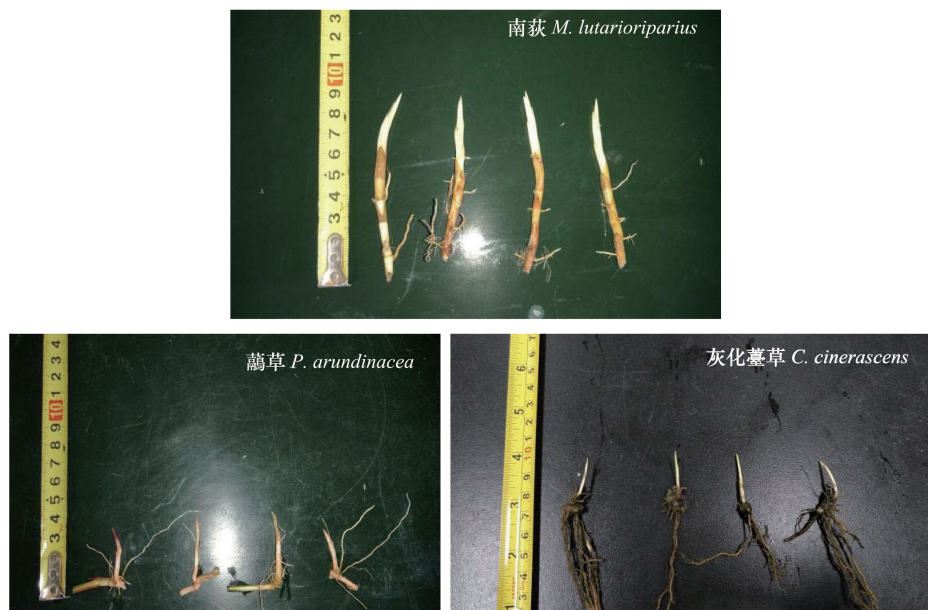


图 5 三种优势植物芽的实物图

Fig.5 The picture of three dominant plant of buds

2.2.3 水淹时长对三种优势植物繁殖的影响

长期处于干湿交替的环境中,鄱阳湖三种优势植物的繁殖主要以芽库繁殖为主。南荻、藨草、灰化薹草芽

的形态特征如图 5 所示。南荻的芽非常的粗壮,长度可达到 10 cm;而藨草和灰化藨草的芽长度只有 2—3 cm,并且非常的脆弱。但是对 3 种芽含水量的研究发现:藨草和灰化藨草芽的含水量显著大于南荻(图 6),其中藨草芽的含水量最高可以达到 87%。

对灰化藨草的植丛周长,南荻和藨草的分株数做单因素方差分析,结果显示:不同水淹时长对灰化藨草的植丛周长没有产生显著影响($P > 0.05$)(图 7)。南荻在水淹 90 d 后,分株数达到最高 8.4 ± 1.94 。但水淹时长一旦超过 90 d,南荻分株数迅速降低。到水淹 180 d 后,南荻不能恢复生长(图 7)。同样,藨草在水淹 90 d 后,分株数达到最高 5.6 ± 1.29 ,但水淹 120 d 和水淹 90 d 没有产生显著差别($P > 0.05$)(图 7)。

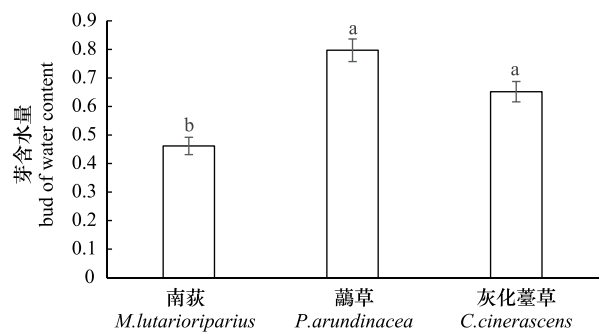


图 6 三种优势植物芽的含水量

Fig.6 The bud water content of three dominant plant

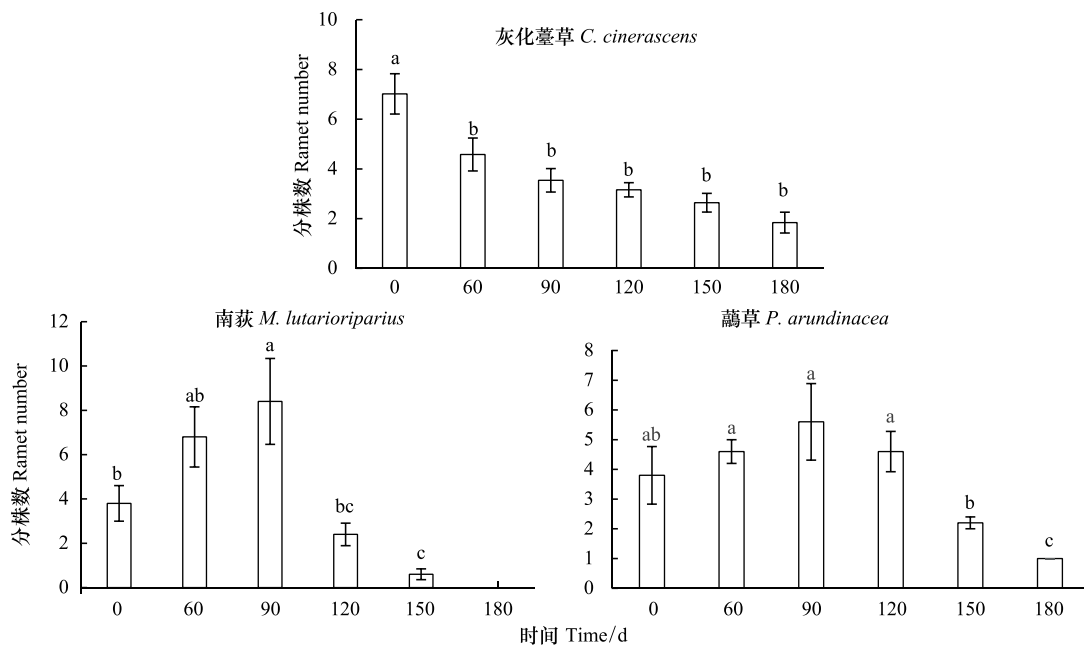


图 7 不同水淹时长下三种优势物种分株数的变化

Fig.7 The ramets number of three dominant species in different submerged time

柱状图代表平均数±标准误;不同字母表示水位间差异显著

3 讨论

本研究发现,南荻在水淹超过 120 d 时,存活率开始下降;而灰化藨草和藨草在水淹 180d 后,出水后都能正常进行恢复生长。这与野外调查的结果相同,南荻在水淹达到 150 d 的高程几乎没有分布。南荻是一种挺水植物,对湿润的环境有很强的适应性^[15],但是一旦被水淹后,南荻存活率开始下降。长期处于水位的波动环境中,南荻不能抵御长时间的水淹,分布范围逐渐上移。正如 Vervuren 等人对莱茵河沿岸植物的发现,在完全水淹的条件下,河岸植物的存活率与植物分布的高程存在显著的相关性^[16]。在水淹的环境中,分布的高程越高,存活率越低。

生物量的变化,是植被应对外界环境最综合的表现^[17]。在水位不断波动的环境中,植被往往会采用不同的生物量分配策略来应对更长时间的水淹^[18]。不同水淹时长对南荻总生物量的影响非常显著。当水淹超过 90 d 时,南荻总生物量急剧减少。南荻主茎明显,是一种挺水植物,适度的水淹有利于南荻的繁殖,但水淹一

且延长,生长开始受到抑制。南荻采用逃逸的策略抵御水淹胁迫,当遭受水淹后,为了获得更多的光照,茎节逐渐伸长^[19-20]。对于长时间的的水淹,这是一种高风险的策略^[21],所以在水淹达到 150 d 后,南荻退水后不能进行恢复生长。灰化藁草和藨草都是采用耐受的策略抵御水淹,但不同水淹时长对两者总生物量的影响却显著不同。水淹使得灰化藁草总生物量显著下降,并且随水淹时长的增加,灰化藁草生物量逐渐降低。一定水淹时长下,藨草总生物量没有显著变化,但水淹超过 120 d 时,总生物量随水淹时间增加而显著减少。灰化藁草没有明显的茎,但具有发达的根状茎。一旦被水淹,为了减少呼吸消耗的能量,地上部分逐渐枯萎,把生物量集中地下部分,通过发达的根系耐受不同时长的水淹^[22-23]。藨草虽然主茎明显,但茎秆纤弱,为了减少水淹时能量的消耗,叶片逐渐凋落^[24]。在野外调查发现,退水后藨草大多以裸茎的形式存在于洲滩。然而,更值得关注的是,在不同水淹时长下,灰化藁草和藨草生物量的分配策略也存在显著区别。灰化藁草水淹 60 d 后,地上部分所占的比例逐渐增加,而水淹时长对藨草生物量的分配没有产生显著变化。水淹使得灰化藁草的生长集中在地上部分,当地上部分积累的生物量达到一定比例时,地下部分的根状茎开始向周边扩张,以应对下一次水淹。水淹促进藨草的无性繁殖,经过一定时长的水淹,藨草的分株数显著增加。有研究表明,藨草地上部分光合速率非常高^[25],使得生物量可以迅速积累。生物量的变化反应出鄱阳湖相邻三种优势植物对水淹的耐受能力及其分布高程。南荻采用逃逸的策略,只能耐受较短时间的水淹,所以分布在高程较高的区域。对藨草而言,在水淹时长小于 150d 的条件下,水淹对藨草总生物量没有产生不利的影响。说明不论是在丰水期和退水后,藨草都可以更好的适应较低高程的水淹压力。在野外的调查结果也证明也这一点,在水淹 150 d 的高程上,藨草分布的盖度在鄱阳湖洲滩上达到最高。

灰化藁草和藨草虽然都是通过耐受的策略抵御水淹,但其生长和繁殖对水淹的响应却不同。本研究表明,不同水淹时长对灰化藁草株高的影响不显著,特别是在水淹时长小于 90 d,和未被水淹的没显著差别。而藨草在水淹 90 d 后,株高随水淹时长的增加逐渐降低。水淹使得灰化藁草总生物量急剧降低,但株高却没有显著变化。说明退水后,灰化藁草的生长主要集中在地上部分。灰化藁草依靠发达的根状茎耐受水淹,为了支撑强大的根系,植株地上部分进行的光合作用必须固定足够的能量。对灰化藁草的分株研究发现,在不同时长的水淹下,分株数没有产生显著差别。说明灰化藁草在经历长时间水淹后,恢复生长主要趋向于地上部分的生长。藨草株高虽然随水淹时长增加而降低,但一定水淹时长下,总的生物量没有发生显著变化。说明退水后,藨草的生长主要表现为分株数的增加。对藨草分株数的研究刚好证明了这一点,一定时长水淹下藨草的分株数大于没有被水淹藨草的分株。而对藨草生物量分配的分析发现,不同水淹时长下,藨草地上和地下生物的比例没有发生显著变化。说明在经历水淹后,藨草为了尽快恢复,占据更多的生存空间,地上部分和地下部分同时进行生长。这种策略有利于藨草在更高程的生存和扩张。并且对藨草芽形态特征的研究发现,藨草芽本身非常脆弱,干旱的土壤环境抑制芽的萌发,但藨草芽含水量非常高,对水淹环境有很好的亲和力。并且在野外调查发现,进入丰水期前,低高程藨草的地下芽密度显著高于相邻高程的藁草和廖科植物^[26]。

近年来,鄱阳湖水文情势的变化受到各界广泛关注。大部分学者认为,淹水时长的变化是造成洲滩植被带状分布的主要因素^[27-28]。鄱阳湖广袤的洲滩上分布着多种多样的植物,而植物自身对水淹的耐受能力决定了其分布的高程。南荻随水淹时长的增加,存活率逐渐降低,所以分布在较高的高程范围;灰化藁草通过发达的根状茎可以耐受长时间的水淹,所以分布于较低的高程;而长时间水淹降低藨草的繁殖能力,所以在鄱阳湖洲滩分布范围小于灰化藁草。在水文不断波动的背景下,鄱阳湖的三种优势植物的分布将发生怎么样的变化是一个关注的焦点。本文研究不同水淹时长对三种优势植物生长和繁殖的影响,为预测其分布提供重要的线索。

参考文献 (References):

- [1] Voesenek L A C J, Rijnders J H G M, Peeteers A J M, van de Steeg H M, de Kroon H. Plant Hormones Regulate Fast Shoot Elongation under Water: From Genes to Communities. *Ecology*, 2004 85(1):16-27.
- [2] Striker G G, Colmer T D. Flooding tolerance of forage legumes. *Journal of Experimental Botany*, 2017, 68(8):1851-1872.

- [3] Wright A J, de Kroon H, Visser E J W, Buchmann T, Ebeling A, Eisenhauer N, Fischer C, Hildebrandt A, Ravenek J, Roscher C, Weigelt A, Weisser W, Voisenek L A C J, Mommer L. Plants are less negatively affected by flooding when growing in species - rich plant communities. *New Phytologist*, 2017, 213(2): 645-656.
- [4] Yamauchi T, Yoshioka M, Fukazawa A, Mori H, Nishizawa N K, Tsutsumi N, Yoshioka H, Nakazono M. An NADPH oxidase RBOH functions in rice roots during lysigenous aerenchyma formation under oxygen-deficient conditions. *The Plant Cell*, 2017, 29(4): 775-790.
- [5] Yamauchi T, Watanabe K, Fukazawa A, Mori H, Abe F, Kawaguchi K, Oyanagi A, Nakazono M. Ethylene and reactive oxygen species are involved in root aerenchyma formation and adaptation of wheat seedlings to oxygen-deficient conditions. *Journal of Experimental Botany*, 2014, 65(1): 261-273.
- [6] 徐金英, 陈海梅, 王晓龙. 水深对湿地植物生长和繁殖影响研究进展. *湿地科学*, 2016, 14(5): 725-732.
- [7] Parolin P. Submergence tolerance vs. escape from submergence: two strategies of seedling establishment in Amazonian floodplains. *Environmental and Experimental Botany*, 2002, 48(2): 177-186.
- [8] 韩瑞, 陈求稳, 王丽, 汤新武, 沈新强. 基于生态通道模型的长江口水域生态系统结构与能量流动分析. *生态学报*, 2016, 36(15): 4907-4918.
- [9] Xia S X, Liu Y, Chen B, Jia Y F, Zhang H, Liu G H, Yu X B. Effect of water level fluctuations on wintering goose abundance in Poyang Lake wetlands of China. *Chinese Geographical Science*, 2017, 27(2): 248-258.
- [10] 刘波, 吕宪国, 姜明, 张文光, 武海涛, 于珊珊. 莫莫格扁秆蔗草恢复湿地土壤种子库对长芒稗入侵的响应. *生态学报*, 2016, 36(8): 2217-2222.
- [11] 谭志强, 张奇, 李云良, 许秀丽, 姜加虎. 鄱阳湖湿地典型植物群落沿高程分布特征. *湿地科学*, 2016, 14(4): 506-515.
- [12] 胡振鹏, 葛刚, 刘成林. 鄱阳湖湿地植被退化原因分析及其预警. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(3): 381-386.
- [13] Zhou Q. A Guide to QTL Mapping with R/qtl. *Journal of Statistical Software*, 2010, 66(32): 658-659.
- [14] 高芳磊, 王浩东, 郭宏宇, 马成仓. 盐地碱蓬和芦苇苗期的竞争作用. *湿地科学*, 2015, 13(5): 582-586.
- [15] 李旭, 宋冰冰, 李峰, 曾静, 侯志勇, 谢永宏, 陈心胜, 邓正苗. 洞庭湖不同水位高程下南荻(*Triarrhena lutarioriparia*) 种群分布格局及生长动态. *湖泊科学*, 2016, 28(05): 1039-1046.
- [16] Vervuren P J A, Blom C W P M, De Kroon H. Extreme flooding events on the Rhine and the survival and distribution of riparian plant species. *Journal of Ecology*, 2003, 91(1): 135-146.
- [17] McConnaughay, K. D. M., & Coleman, J. S. (1999). Biomass allocation in plants: ontogeny or optimality? a test along three resource gradients. *Ecology*, 1999 80(8), 2581-2593.
- [18] Wright S D, McConnaughay K D M. Interpreting phenotypic plasticity: the importance of ontogeny. *Plant Species Biology*, 2008, 17(2-3): 119-131.
- [19] Wang Q L, Chen J R, Liu F, Li W. Morphological changes and resource allocation of *Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf in response to different submergence depth and duration. *Flora*, 2014, 209(5/6): 279-284.
- [20] Sakagami J I, Joho Y, Sone C. Complete submergence escape with shoot elongation ability by underwater photosynthesis in African rice, *Oryza glaberrima*, Steud. *Field Crops Research*, 2013, 152(10): 17-26.
- [21] Voisenek L A C J, Colmer T D, Pierik R, Millenaar F F, Peeters A J M. How Plants Cope with Complete Submergence. *New Phytologist*, 2006, 170(2): 213-226.
- [22] Gao H, Tan H Z, Xie Y H, Zhou M X, Li F, Zhu L L. Morphological responses to different flooding regimes in *Carex brevicuspis*. *Nordic Journal of Botany*, 2016, 34(4): 435-441.
- [23] 王秋林, 陈静蕊, 程平生. 湿地植物灰化苔草对淹水的生态响应. *水生态学杂志*, 2017, 38(1): 24-29.
- [24] 章泉. 鄱阳湖湿地藨草的生态适应性研究[D]. 南昌 南昌大学, 2012.
- [25] 付为国, 李萍萍, 王纪章, 卞新民. 镇江河漫滩草地藨草光合特性研究. *草地学报*, 2007, 15(4): 381-385.
- [26] Chen X S, Deng Z M, Xie Y H, Li F, Hou Z Y, Li X. Belowground bud banks of four dominant macrophytes along a small-scale elevational gradient in Dongting Lake wetlands, China. *Aquatic Botany*, 2015, 122: 9-14.
- [27] Liu B, Jiang M, Tong S Z, Zhang W G, Wu H T, Liu Y, Lu X G. Differential Flooding Impacts on *Echinochloa caudata* and *Scirpus planiculmis*: Implications for Weed Control in Wetlands. *Wetlands*, 2016, 36(5): 979-984.
- [28] Cuda J, Rumlerová Z, Brůna J, Skúlová H, Pyšek P. Floods affect the abundance of invasive *Impatiens glandulifera* and its spread from river corridors. *Diversity and Distributions*, 2017, 23(4): 342-354.