

韦 颖,李鹏善,曹晨亮,等. 酸模叶蓼对水位变化的生长响应[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):486-489.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.139

# 酸模叶蓼对水位变化的生长响应

韦 颖<sup>1</sup>, 李鹏善<sup>1</sup>, 曹晨亮<sup>1</sup>, 洪 为<sup>2</sup>, 袁和忠<sup>3</sup>, 安树青<sup>1</sup>

(1. 南京大学生命科学学院湿地生态研究所, 江苏南京 210046; 2. 南京林业大学生物与环境学院, 江苏南京 210037;  
3. 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 江苏南京 210044)

**摘要:**以酸模叶蓼(*Polygonum lapathifolium* L.)为对象,研究其在周期性波动水位和稳定水位下的形态和生理响应,探索酸模叶蓼对水位变化的适应特征。结果表明,酸模叶蓼在 10 cm 水位波动条件下处理 6 d 时,可溶性蛋白含量与对照相比有显著性差异,株高增幅和叶绿素含量与对照无显著性差异;15 cm 稳定水位条件下,处理 3 d 时酸模叶蓼植株株高增幅显著高于其他处理,可溶性蛋白含量相对最低;波动水位下,不同处理时间酸模叶蓼的叶绿素含量没有显著性差异。波动水位可有效减少水淹胁迫对酸模叶蓼的伤害,提高酸模叶蓼对水位变化的抗性;低水位对酸模叶蓼的影响很小,酸模叶蓼在高水位下具有很好的形态可塑性和生理耐受性。

**关键词:**酸模叶蓼;水位;适应特征;叶绿素;可溶性蛋白;波动;稳定

**中图分类号:** Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0486-04

生境水位是决定挺水植物生长和繁殖的主要因素之一,在长时间高水位的条件下,挺水植物存活率会降低<sup>[1]</sup>。湿地植物在自然情况下,常常面临水位变化的环境胁迫,且不同植物表现出一定的差异性<sup>[2-3]</sup>。湿地植物在受到水淹胁迫时,其形态、解剖和生理生化特征发生改变,植物的根、茎、叶生长形态、体内碳水化合物、生长激素、光合特性等发生变化,植物偏上性生长、茎部伸长、产生不定根<sup>[4-8]</sup>。

淮河流域地处我国中东部,面积约为 27 万 km<sup>2</sup>,受东亚季风气候影响,四季降水多寡分明,特别是 6—9 月降水量集

中,流域径流量大、水位短期波动明显。在这一生境下,河岸植物需要对短期水位波动具有很好的适应性才能维持正常生长,而目前相关性研究较少。酸模叶蓼(*Polygonum lapathifolium* L.)是淮河流域常见的湿生植物,为蓼科蓼属一年生直立草本植物,株高 50~80 cm,茎直立,有分枝,具有生物量大、适应强、易繁殖等特点,广泛分布于陆地和各水域<sup>[9]</sup>。酸模叶蓼既可以作为景观植物,也是一种环境修复植物<sup>[10]</sup>,对水位变化有较强的耐受范围<sup>[11]</sup>。本试验选取酸模叶蓼为对象,研究水位变化对酸模叶蓼短期形态学及生理学适应特征的影响,为酸模叶蓼进一步现实应用提供科学依据。

收稿日期:2015-03-30

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2012ZX07204-004)。

作者简介:韦 颖(1989—),女,江苏徐州人,硕士研究生,主要从事湿地生态学研究。E-mail:543924843@qq.com。

通信作者:安树青,教授,主要从事湿地生态学研究。E-mail:anshq@nju.edu.cn。

壤有机质含量下降,细菌、放线菌生长受到抑制<sup>[6]</sup>。在微生物种群数量方面,T<sub>4</sub>处理的细菌数量比T<sub>1</sub>处理高48.23%,T<sub>4</sub>处理的真菌数量比T<sub>1</sub>处理高12.39%;放线菌、芽孢杆菌数量变化规律与细菌、真菌相似,T<sub>4</sub>处理的放线菌、芽孢杆菌数量均最多,分别比T<sub>1</sub>处理高26.21%、86.79%。在绿肥还田过程中添加纤维素酶制剂处理的设施土壤细菌、放线菌、真菌、芽孢杆菌数量显著增加。结果表明,绿肥还田过程中添加纤维素酶制剂更有利于土壤微生物的快速增加,从而提高土壤的有机质含量。

## 参考文献:

[1] Vargas Gil S, Meriles J, Conforto C, et al. Response of soil microbial communities to different management practices in surface soils of a soybean agroecosystem in Argentina[J]. European Journal of Soil Biology, 2011, 47(1): 55-60.

## 1 材料与方法

### 1.1 材料选取和栽培

2014年6月,沿郑州贾鲁河的支流索须河沿岸河滩(34°53′00.84″N, 113°36′15.11″E—N: 34°53′02.50″N, 113°36′21.42″E),挖取大小相近的幼苗迅速带回南京大学

[2] Sotomayor - Ramírez D, Espinoza Y, Acosta - Martínez V. Land use effects on microbial biomass C,  $\beta$ -glucosidase and  $\beta$ -glucosaminidase activities, and availability, storage, and age of organic C in soil[J]. Biology & Fertility of Soils, 2009, 45(5): 487-497.

[3] Sanchez - Moreno S, Ferris H, Young - Mathews A A, et al. Abundance, diversity and connectance of soil food web channels along environmental gradients in an agricultural landscape[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2011, 43(12): 2374-2383.

[4] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.

[5] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 260-376.

[6] 韩宝坤, 杜艳华. 非无菌操作下分离尖孢镰刀菌的培养基[J]. 植物病理学报, 2001, 31(4): 373-373.

[7] 李卓棣, 喻子牛, 何绍江. 农业微生物学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 305-306.

贾鲁河实验中试基地(34°53′02.50″ N, 113°36′21.42″ E), 移至内径 16 cm、高 17 cm 的塑料植物生长钵中, 每钵 1 株, 定期浇水管理, 待长到适合高度, 备用。

## 1.2 试验设计

2014 年 6 月 29 日, 选取 90 钵长势相近的植株, 分为 6 组, 每组 15 株, 放入上直径为 84 cm、底直径为 67 cm、高为 90 cm 的塑料桶中, 模拟野外水位自然变化进行稳定和波动水位控制试验。取 3 组用于稳定水位处理, 水位分别为 5、10、15 cm (水面至钵土面距离, 下同), 保持水位恒定; 取 2 组用于周期性波动水位处理, 其中 1 组为水位增加处理, 水位从 5、10、15 cm 分 3 个梯度依次增加, 每一水位处理 3 d, 另外 1 组为水位降低处理, 水位从 15 cm 依次降至 10、5 cm, 每一水位同样处理 3 d; 取 1 组为对照组, 保持 0 cm 水位梯度 (水面刚好没过土面)。每处理 5 株, 重复 3 次。

## 1.3 试验测量

分别用直尺准确测量试验前及处理 3、6、9 d 的植株高度。采用乙醇研磨法测定叶绿素含量: 95% 乙醇研磨浸提叶绿素, 过滤至 25 mL 棕色容量瓶中并进行定容; 静置一段时间, 分别在波长 663、645 nm 下测定吸光度; 运用 Arnon 公式<sup>[12]</sup> 计算叶绿素含量。按照考马斯亮蓝 G-250 法测定可溶

性蛋白含量<sup>[13]</sup>。

## 1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS 17.0 进行处理。通过单因素方差分析, 探讨水位变化对酸模叶蓼生长的影响; 以水位和时间作为响应因子进行两因素方差分析, 比较各处理间的差异显著性。

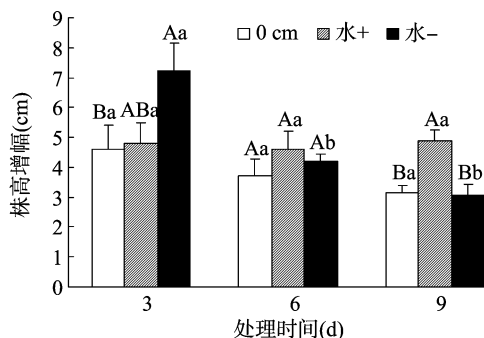
## 2 结果与分析

### 2.1 水位变化对酸模叶蓼株高增幅的影响

由表 1 可见, 在波动水位下, 水位变化和水淹时间对酸模叶蓼的株高增幅有极显著影响 ( $P < 0.01$ ), 而水位变化和水淹时间的交互作用对其没有显著影响 ( $P > 0.05$ )。由图 1 可见, 在波动水位条件下水位升高处理时, 水位分别为 5、10 cm, 酸模叶蓼的株高增幅与对照组没有显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 水位为 15 cm 时, 其株高增幅显著大于对照组, 水位分别为 5、10、15 cm 处理 3 d 时酸模叶蓼的株高增幅没有显著性差异; 水位降低处理时, 水位为 15 cm 时酸模叶蓼的株高增幅显著大于对照组, 水位分别为 10、5 cm 时酸模叶蓼的株高增幅与对照组没有显著性差异, 水位为 15、10 cm 时酸模叶蓼的株高增幅显著大于水位为 5 cm 的处理; 在水位不断波动情况下, 水深达到 15 cm 时酸模叶蓼的株高增长会受到短期促进。

表 1 水位变化及水淹时间对酸模叶蓼形态及生理指标影响的方差分析结果

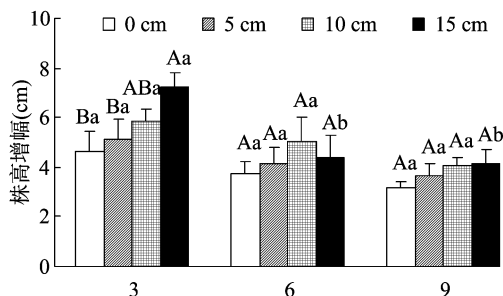
因素	P 值					
	波动水位			稳定水位		
	株高增幅	叶绿素含量	可溶性蛋白含量	株高增幅	叶绿素含量	可溶性蛋白含量
水位	0.001	0.556	0.007	0.020	0.159	0.917
时间	0.002	0.030	0.153	0.000	0.000	0.053
水位 × 时间	0.755	0.342	0.192	0.845	0.568	0.399



水+表示水位升高处理, 3、6、9 d 时水位高度分别为 5、10、15 cm; 水-表示水位降低处理, 3、6、9 d 时水位高度分别为 15、10、5 cm。图 3、图 5 同。柱形图中不同大写字母表示同一时间不同水位处理测得的指标间有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 不同小写字母表示同一处理组或同一水位处理在不同时间测得的指标间有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

图 1 波动水位下酸模叶蓼的株高增幅变化

由图 2 可见, 稳定水位条件下, 水位达到一定高度并保持不变时, 短期内株高增幅随水深的上升呈增加趋势; 水位分别为 5、10 cm 处理 3 d 的酸模叶蓼株高增幅与对照组没有显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 水位为 15 cm 的显著高于对照; 不同水位处理 6~9 d 时, 酸模叶蓼的株高增幅与对照均没有显著性差异 ( $P > 0.05$ ); 同一水位下, 株高增幅均随处理时间的增加逐渐降低, 水位为 15 cm 时处理 3 d, 酸模叶蓼的株高增幅显著高于处理 6~9 d。水深处理能够短期 (3 d) 内促进酸模叶蓼株高伸长, 并随着水深的增加, 酸模叶蓼生长越快, 水深达到



柱形图中不同大写字母表示同一时间不同水位处理测得的指标间有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 不同小写字母表示同一处理组或同一水位处理在不同时间测得的指标间有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

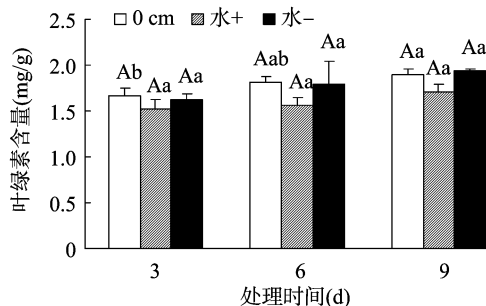
图 2 稳定水位下酸模叶蓼的株高增幅变化

15 cm 时表现出显著的促进作用。

### 2.2 水位变化对酸模叶蓼叶绿素含量的影响

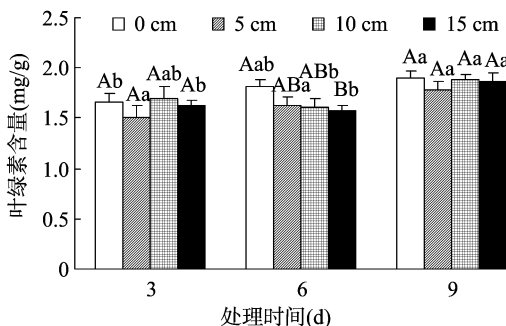
由表 1 可见, 水位、水位与处理时间交互作用对酸模叶蓼叶绿素含量的影响不显著 ( $P > 0.05$ ), 而处理时间对叶绿素含量的影响显著 ( $P < 0.05$ )。由图 3 可见, 在波动水位条件下, 与对照相比, 无论水位升高还是降低, 叶绿素含量均无显著性变化 ( $P > 0.05$ ); 同一处理组植株叶绿素的含量均呈增加趋势, 仅对照组在处理 9 d 时叶绿素含量有显著增加。

由图 4 可见, 不同稳定水位条件下处理 3 d, 各处理间酸模叶蓼的叶绿素含量没有显著性差异 ( $P > 0.05$ ); 5、10 cm 水位处理 6 d, 其叶绿素含量与对照没有显著性差异, 15 cm 水



柱形图中不同大写字母表示同一时间不同水位处理测得的指间标有显著性差异( $P < 0.05$ ), 不同小写字母表示同一处理组或同一水位处理在不同时间测得的指标间有显著性差异( $P < 0.05$ )

图3 波动水位下酸模叶蓼的叶绿素含量变化



柱形图中不同大写字母表示同一时间不同水位处理测得的指间标有显著性差异( $P < 0.05$ ), 不同小写字母表示同一处理组或同一水位处理在不同时间测得的指标间有显著性差异( $P < 0.05$ )

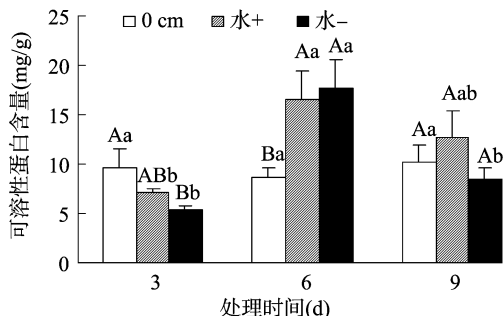
图4 稳定水位下酸模叶蓼的叶绿素含量变化

位处理显著低于对照( $P < 0.05$ );不同水位处理 9 d 时,各处理间叶绿素含量基本相同,没有显著差异( $P > 0.05$ )。同一水位下,随处理时间的增加,对照和 5 cm 水位处理时的酸模叶蓼叶绿素含量均呈逐渐增加趋势;而 10、15 cm 水位处理则呈先降低后增加的波动变化。因此,低水位及其水位波动对酸模叶蓼的叶绿素含量没有明显影响;当水位达到 15 cm 时,水淹会显著降低酸模叶蓼的叶绿素含量,且反应期为 4~6 d,而水位周期波动可以缓冲高水位对酸模叶蓼叶绿素含量的不利影响。

### 2.3 水位变化对酸模叶蓼可溶性蛋白含量的影响

由表 1 可见,波动水位条件下,水位对酸模叶蓼可溶性蛋白含量有极显著影响( $P < 0.01$ ),而时间、水位和时间交互作用对酸模叶蓼可溶性蛋白含量没有显著影响( $P > 0.05$ )。由图 5 可见,在波动水位条件下,水位升高或降低处理 3 d,酸模叶蓼的可溶性蛋白含量均小于对照,且水深 15 cm 时可溶性蛋白含量显著低于对照;水位升高或降低处理 6 d,酸模叶蓼的可溶性蛋白含量均显著高于对照;水位升高或降低处理 9 d,其可溶性蛋白含量与对照没有显著性差异( $P > 0.05$ )。同一处理组,随着处理时间的增加,对照酸模叶蓼的可溶性蛋白含量基本保持稳定,没有显著性差异;水位升高或降低处理组则总体呈“减—增—减”的波动趋势,并均在 6 d 时达到最大值,且水位降低组表现出显著性差异,显著高于其他 2 个处理。

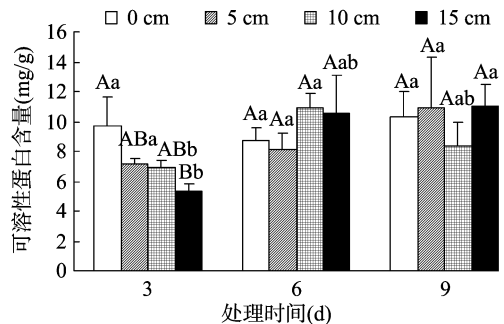
由表 1 可见,稳定水位处理下,水位、时间及水位与时间交互作用对酸模叶蓼的可溶性蛋白含量均没有显著影响



柱形图中不同大写字母表示同一时间不同水位处理测得的指间标有显著性差异( $P < 0.05$ ), 不同小写字母表示同一处理组或同一水位处理在不同时间测得的指标间有显著性差异( $P < 0.05$ )

图5 波动水位下酸模叶蓼的可溶性蛋白含量变化

( $P > 0.05$ )。由图 6 可见,处理 3 d 时,随着水深的增加,可溶性蛋白含量逐渐减少,水位为 15 cm 时,可溶性蛋白含量显著低于其他处理;处理 6、9 d 时,各处理的可溶性蛋白含量没有显著性差异( $P > 0.05$ )。同一水位,对照、5 cm 水位处理不同时间的酸模叶蓼可溶性蛋白含量没有显著性差异( $P > 0.05$ ),10、15 cm 水位处理 3 d 时酸模叶蓼的可溶性蛋白含量相对最低。因此,低水位对酸模叶蓼可溶性蛋白含量影响不大,当水位上升至 15 cm 时,表现出一定的差异显著性;波动水位在处理 6 d 时可增加酸模叶蓼的可溶性蛋白含量,使酸模叶蓼在短期内表现出更强的抗性,保证了酸模叶蓼在水淹环境下正常生长。



柱形图中不同大写字母表示同一时间不同水位处理测得的指间标有显著性差异( $P < 0.05$ ), 不同小写字母表示同一处理组或同一水位处理在不同时间测得的指标间有显著性差异( $P < 0.05$ )

图6 稳定水位下酸模叶蓼的可溶性蛋白含量变化

## 3 结论与讨论

自然条件下,湿地植物受到水位变化影响时其内源激素和能量发生变化,进而产生一系列的形态和生理适应活动<sup>[14]</sup>。水环境变化主要会引起土壤中氧气和光照变化<sup>[15]</sup>,植物为得到生长所需的氧气和光照,通过加快节间的伸长以保持足够的水上部分与空气和阳光接触<sup>[16]</sup>,同时其体内叶绿素、可溶性蛋白含量等生理指标也会发生相应的变化<sup>[17-18]</sup>。在受到水淹时,一些植物会通过调节茎快速伸长来避免外界的水淹胁迫。试验结果表明,在水位波动条件下,无论是水位升高还是水位降低处理,当水位为 15 cm 时酸模叶蓼的株高增幅才表现出短时间的促进作用;在水位稳定条件下出现同样结果,当酸模叶蓼受到水淹胁迫时,随着水位的升高,株高的增长速率逐渐增大,水深达到 15 cm 处理 3 d 时表现出显

著性差异,继续处理酸模叶蓼的株高虽然仍在伸长,但生长速度不断下降,和其他处理组没有显著性差异,而这一现象可能与植物体内激素的变化相关。涉及到植物伸长相关的激素主要包括乙烯(ET)、赤霉素(GA)和脱落酸(ABA)3种<sup>[19]</sup>,有研究表明,植物在受到水淹情况下,由于缺氧,从而诱导植物体内乙烯前体物质1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)的大量合成,乙烯会在短时间内迅速增加<sup>[20]</sup>,而乙烯增加能够促进植物节间伸长<sup>[21]</sup>。同时,乙烯的增加可使植物体内脱落酸浓度降低、赤霉素浓度增加,这3种内源激素相互作用并共同影响植物的偏上生长,控制植物茎芽的伸长<sup>[22]</sup>。

叶绿素作为反映植物光合特性的一个重要指标,其含量反映植物的营养及衰老状况,能够有效表现植物的涝害状态<sup>[23]</sup>。波动水位下,无论显水位升高处理还是水位降低处理,酸模叶蓼的叶绿素含量均无明显差异;而在稳定水位条件下,仅水位15 cm处理6 d时叶绿素含量有显著降低,这表明当水深达到15 cm时,能够使酸模叶蓼体内的叶绿素含量短时间内出现降低,且这一反应的敏感期集中在4~6 d,周期短的水位波动可能会弱化这一效应。水淹胁迫下叶绿素含量的降低,一方面是由于植物缺氧,导致自由基积累而抑制其合成,并且活性氧的作用加速了叶绿素的降解;另一方面可能和植物体内乙烯含量增加相关,乙烯通过促进叶绿素酶基因的表达及增强酶活性,从而使叶绿素含量降低<sup>[24-25]</sup>。

可溶性蛋白作为一种保护剂,在植物受到水淹胁迫时,能够参与调节植物体内的渗透势,使其保持平衡,减少逆境对植物的伤害。研究数据显示,波动水位下,水位升高或降低处理3 d时,酸模叶蓼的可溶性蛋白含量均小于对照,且水深15 cm时可溶性蛋白含量显著低于对照;处理6 d时酸模叶蓼的可溶性蛋白含量均显著大于对照。稳定水位下处理3 d,随着水深的增加,可溶性蛋白含量逐渐减少,水位为15 cm时,可溶性蛋白含量显著低于其他处理。由此可见,水深15 cm处理3 d能够显著降低酸模叶蓼可溶性蛋白的含量,在这期间,酸模叶蓼体内的可溶性蛋白并未对水淹胁迫产生积极的防御,可溶性蛋白含量降低可能是由于水淹胁迫使基因表达发生一些变化,蛋白质合成受到抑制,而原有蛋白质的分解得到增加<sup>[26]</sup>;而波动水位处理6 d时,酸模叶蓼可溶性蛋白含量显著增加,提升了酸模叶蓼对逆境的抗性,这说明此时可溶性蛋白已起到保护作用,调节酸模叶蓼适应水位变化<sup>[23]</sup>。

酸模叶蓼在水位为15 cm的水淹初期会受到一定的胁迫,而这种胁迫在后期会恢复稳定,说明酸模叶蓼对15 cm以内水位具有较强的耐受性,而对15 cm以上水位的适应性则须进一步研究。另外,明确酸模叶蓼对水位变化的响应范畴,可以通过控制水深和波动水位周期,以有效调控酸模叶蓼的生长速率。

#### 参考文献:

[1] Lowe B J, Watts R J, Roberts J, et al. The effect of experimental inundation and sediment deposition on the survival and growth of two herbaceous riverbank plant species[J]. *Plant Ecology*, 2010, 209(1): 57-69.

[2] 王海洋, 陈家宽, 周进. 水位梯度对湿地植物生长、繁殖和生物量分配的影响[J]. *植物生态学报*, 1999, 23(3): 269-274.

[3] 袁桂香, 吴爱平, 葛大兵, 等. 不同水深梯度对4种挺水植物生长繁殖的影响[J]. *环境科学学报*, 2011, 31(12): 2690-2697.

[4] 王秋林, 陈静蕊, 刘晖, 等. 2种挺水植物对水位变化的生长响应[J]. *水生生物学报*, 2012, 36(3): 583-587.

[5] 卢妍. 湿地植物对淹水条件的响应机制[J]. *自然灾害学报*, 2010, 19(4): 147-151.

[6] 谭淑端, 朱明勇, 张克荣, 等. 植物对水淹胁迫的响应与适应[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(9): 1871-1877.

[7] 陈芳清, 李永, 郅光武, 等. 水蓼对水淹胁迫的耐受能力和形态学响应[J]. *武汉植物学研究*, 2008, 26(2): 142-146.

[8] 陈芳清, 郭成圆, 王传华, 等. 水淹对秋华柳幼苗生理生态特征的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(6): 1229-1233.

[9] 任洪霞, 冯玲枫, 潘晶晶, 等. NaCl对酸模叶蓼相关生理指标的影响[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(30): 18551-18552, 18555.

[10] 吴晓薇, 裴红宾, 张永清, 等. 酸模叶蓼对重金属Pb胁迫的生理响应[J]. *河南农业科学*, 2013, 42(10): 105-109, 141.

[11] 张秀梅. 常见生态植物在不同水深中生长适应性分析[J]. *资源节约与环保*, 2014(2): 134, 139.

[12] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*[J]. *Plant Physiology*, 1949, 24(1): 1-15.

[13] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 142-143.

[14] 宋鹏华, 曾其伟, 商敬哲, 等. 植物对水淹胁迫响应的研究进展[J]. *蚕业科学*, 2013, 39(1): 160-165.

[15] Jackson M B, Armstrong W. Formation of aerenchyma and the processes of plant ventilation in relation to soil-flooding and submergence[J]. *Plant Biology*, 1999, 1(3): 274-287.

[16] Kende H, van der knaap E, Cho H T. Deepwater rice: a model plant to study stem elongation[J]. *Plant Physiology*, 1998, 118(4): 1105-1110.

[17] Ashraf M, Arfan M. Gas exchange characteristics and water relations in two cultivars of *Hibiscus esculentus* under waterlogging[J]. *Biologia Plantarum*, 2005, 49(3): 459-462.

[18] Anella L B, Whitlow T H. Photosynthetic response to flooding of *Acer rubrum* seedlings from wet and dry sites[J]. *The American Midland Naturalist*, 2000, 143(2): 330-341.

[19] 施美芬, 曾波, 申建红, 等. 植物水淹适应与碳水化合物的相关性[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(7): 855-866.

[20] 樊明寿, 张福锁. 植物通气组织的形成过程和生理生态学意义[J]. *植物生理学通讯*, 2002, 38(6): 615-618.

[21] Lorbiecke R, Sauter M. Adventitious root growth and cell-cycle induction in deepwater rice[J]. *Plant Physiology*, 1999, 119(1): 21-30.

[22] 石海燕, 郭靖, 周颖, 等. 赤霉素和脱落酸在植物生长发育中相互关系的研究进展[J]. *华中师范大学研究生学报*, 2007, 14(1): 138-142.

[23] 李雪, 金研铭, 郭太君, 等. 连续水淹胁迫对雪柳叶片部分生理指标的影响[J]. *北方园艺*, 2013(12): 54-57.

[24] 蒋明义, 杨文英, 徐江, 等. 渗透胁迫下水稻幼苗中叶绿素降解的活性氧损伤作用[J]. *植物学报*, 1994, 36(4): 289-295.

[25] Ella E S, Kawano N, Yamauchi Y, et al. Blocking ethylene perception enhances flooding tolerance in rice seedlings[J]. *Functional Plant Biology*, 2003, 30(7): 813-819.

[26] 李玉昌, 李阳生, 李绍清. 淹涝胁迫对水稻生长发育危害与耐淹性机理研究的进展[J]. *中国水稻科学*, 1998, 12(S1): 70-76.