

水淹对互花米草生长及生理的影响*

肖强 郑海雷** 叶文景 陈瑶 朱珠

(厦门大学生命科学学院, 厦门 361005)

摘要 研究了互花米草在不同没顶水淹时间处理下,株高、叶面积等生长指标以及叶片光合速率与色素、脯氨酸、可溶性糖和蛋白质含量等生理指标变化情况。结果表明,随着水淹时间延长,米草株高和叶面积呈下降趋势,叶片光合速率下降;叶片中自由水/束缚水、叶绿素和类胡萝卜素含量、可溶性糖在不同水淹时长处理之间也存在显著差异;但可溶性蛋白质和游离脯氨酸含量在各处理间差异无显著性。

关键词 互花米草,水淹胁迫,生长,生理

中图分类号 Q945 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4396(2005)09-1025-04

Effects of waterlogging on growth and physiology of *Spartina alterniflora*. XIAO Qiang, ZHENG Hailei, YE Wenjing, CHEN Yao, ZHU Zhu (School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(9): 1025 ~ 1028.

In this paper, the variations of plant height, leaf area, leaf photosynthetic rate, photosynthetic pigment, proline, soluble sugar and protein content for *Spartina alterniflora* seedlings related to various waterlogging time length were investigated. The results showed that the height and leaf area tended to decrease with the increasing waterlogging duration. Leaf photosynthetic rate decreased significantly with increasing waterlogging. There were significant differences between various waterlogging time and the ratio of free water to bound water, photosynthetic pigment, and soluble sugar content. Content of protein and proline tended to remain stable.

Key words *Spartina alterniflora*, waterlogging, growth, physiology.

1 引言

互花米草 (*Spartina alterniflora*) 是一种滩涂草本盐沼植物,原产于美国东海岸^[9]。它是陆地生态系统和海洋生态系统交错带中重要的物种,其所构成的生态系统对近岸海域的水质、水文动力学和水生生物都具有重要影响^[7],我国于 1979 年引入进行研究和开发。由于它具有耐碱、耐潮汐淹没、繁殖力强、根系发达等特点,曾被认为是保滩护堤、促淤造陆的最佳植物。另一方面,由于其良好的生境适应能力,在引种地生长蔓延,占据了大片良好的滩涂,导致滩涂底质被米草侵占固化,滩面升高,使海水营养盐浓度下降,造成浮游生物减少,生态环境受到破坏,影响滩涂资源的开发利用^[8]。以往对互花米草的研究主要集中于环境因子对其生理功能和生态分布的影响,如通气对互花米草生长影响以及互花米草耐盐性研究^[13,15],还有研究表明,互花米草生境中氧化还原电位变动引起的硫积累,可以通过抑制氮素等营养元素吸收和根的发育来抑制互花米草生长^[12,14,16]。但作为互花米草重要生境因子之一的潮汐水淹对互花米草生理影响的研究则鲜见报

道。本文旨在通过对不同时长没顶水淹胁迫下互花米草生长情况以及一些重要生理指标如光合速率、叶绿素含量及组成、可溶性糖、脯氨酸、可溶性蛋白质含量的变化进行研究,探索互花米草对淹水生境的适应机制,为进一步调控措施研究提供依据。

2 材料与方法

2.1 材料培养

互花米草幼苗采自福建省厦门市海沧开发区东屿村海滩,选取株高为 7 ~ 15 cm 的幼苗,栽种于沙盆中,经 2 周复壮后,分成 5 组,分别以每天水淹时间 0、3、6、12 和 24 h 进行没顶水淹处理,其中以 0 h 组为对照;水淹采用人工模拟方法,在 PVC 强化桶中进行没顶淹水处理,实验所用海水盐度同采样地点。每周更换 1 次新鲜海水。每一处理重复 3 盆。在处理 50 d 后进行生长情况和光合速率测定并采集整株植株进行相关生理指标测定。

*福建省自然科学基金项目(D0210001)和国家自然科学基金资助项目(30271065,39970438,39870630)。

**通讯作者

收稿日期:2004-10-26 改回日期:2004-11-23

2.2 分析方法

植株株高采用米尺测量,叶面积采用 LF3000A 便携式叶面积仪(美国 LF-COR 产)测定。

光合速率测定,选取成熟度一致的完全伸展功能叶,用纱布将待测叶片擦干,用英国 PP 公司产 CIRAS- 便携式光合作用测定仪进行活体测定,在 15~25min 内测量完毕。每一处理测定 3~5 片,取平均值。

自由水/束缚水含量采用阿贝折射仪法^[2],叶绿素含量采用丙酮提取比色法^[10],可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[5],游离脯氨酸含量测定采用茚三酮比色法^[3],可溶性蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝 G250 染色法^[11]。

3 结果与分析

3.1 水淹对互花米草株高和叶面积的影响

图 1 给出了不同水淹时长处理对互花米草叶面积(A)和株高(B)的影响,单因素方差分析显示互花米草平均株高增长率以及单株平均叶面积增加率在不同水淹时长处理之间有显著性差异($P < 0.01$),表明株高和叶面积受水淹时长影响。当时长 $> 3 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 时,株高增长率受到显著抑制,而全时长水淹组(一天 24 h 全被水淹)最低,与此同时,因叶片死亡,互花米草叶面积呈负增长,其增加率变化与株高增加率变化之间存在极显著相关性($r^2 = 0.978, P < 0.01$),说明长时水淹可以抑制互花米草叶面积的扩展,从而影响其生长。

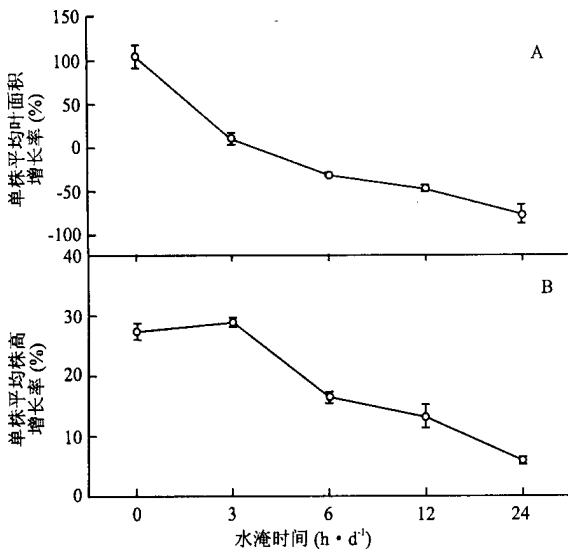


图 1 不同水淹时长处理对互花米草叶面积和株高的影响
Fig.1 Effect of waterlogging on leaf area and height of *S. alterniflora*

3.2 水淹对互花米草光合作用的影响

水淹除了影响互花米草叶面积的扩展以外,对叶片光合作用也有影响。图 2 给出了不同水淹时长对互花米草叶片光合速率(A)、胞间 CO₂ 分压(B)和气孔导度(C)的影响。单因素方差分析显示,互花米草光合速率和气孔导度在各水淹时长处理下存在显著差异($P < 0.05$);而胞间 CO₂ 分压差异则无显著性($P > 0.05$)。有研究表明,植物对水淹胁迫的初期反应是气孔关闭,CO₂ 扩散阻力增加,随水淹时间延长,与光合相关酶活性逐渐下降,绿叶面积减少,叶片早衰,叶片脱落死亡^[1]。本研究与此一致。研究表明,各处理组光合速率均较对照组低,差异显著($P < 0.05$)。在各处理组之间,全时长水淹处理组与其它各组也存在显著性差异($P < 0.01$),表明互花米草作为一种生活在潮间带的重要植物,对水淹生境有很强适应能力,在不同时长水淹胁迫下,可以通过代谢机制调节保持光合速率的相对稳定。但是任何高等植物都不能耐受长期的缺氧环境,因此,在全日水淹胁迫下,互花米草光合速率出现显著降低也是胁迫伤害效应的体现。

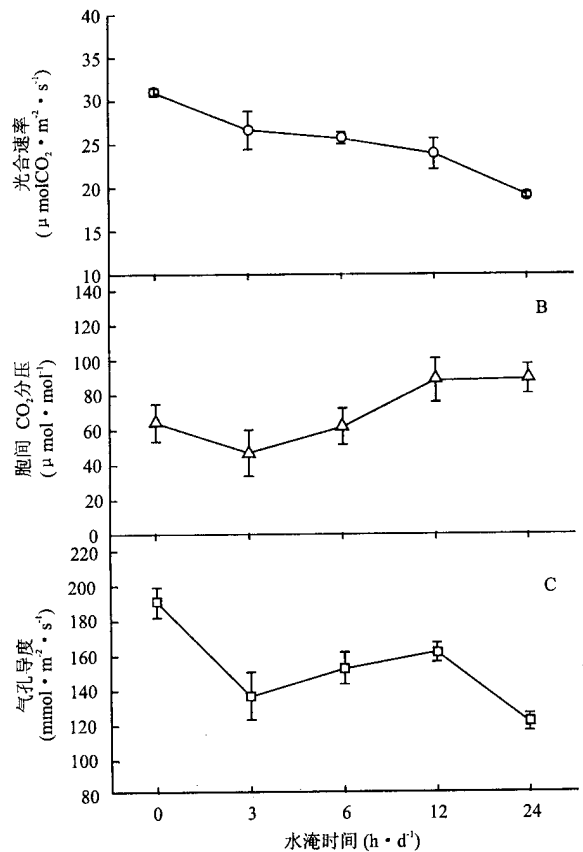


图 2 不同水淹时长处理对互花米草 1 400 μmol · m⁻² · s⁻¹ 光强下光合速率、气孔导度和是 CO₂ 分压的影响
Fig.2 Effect of waterlogging on net photosynthetic rate, Ci and Gs of *S. alterniflora* at PAR 1 400 μmol · m⁻² · s⁻¹

进一步对互花米草叶片在各水淹时长处理下光响应曲线(图1~3)分析表明,各处理组间在光补偿点(均在 $48 \sim 56 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)以及 CO_2 暗呼吸值(均在 $2.5 \sim 3.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)上差异不显著($P > 0.05$),表观光量子效率(都在 $0.74 \sim 0.82 \text{ mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)差异也不显著($P > 0.05$),但全时长水淹处理组最大光合速率较其它各组显著降低,降低 $20.23\% \sim 38.47\%$,且差异显著($P < 0.05$)。推测全日水淹对互花米草光合机构造成了损伤,导致最大光合速率下降。

3.3 水淹对互花米草自由水/束缚水的影响

自由水与束缚水含量的高低与植物生长和抗性有密切关系。从图3可见,不同水淹时长处理下,互花米草叶片中自由水/束缚水变化,3 h $\cdot \text{d}^{-1}$ 水淹时长下互花米草自由水/束缚水比值最低,与其它处理组间差异显著($P < 0.01$)。通常说来,自由水/束缚水比值高时,植物组织或器官代谢活动旺盛,生长较快,抗逆性较弱,反之则生长较缓慢,但抗逆性较强。图3表明,3 h $\cdot \text{d}^{-1}$ 水淹时长处理组具有最好的抗逆性,厦门海域潮汐属正规半日潮,互花米草分布区域在正常海况下,每天平均水淹时间接近3 h。这是互花米草适应潮间带生境的表现;另一方面,对照组自由水/束缚水最高,这与其生长情况最好是相一致的。

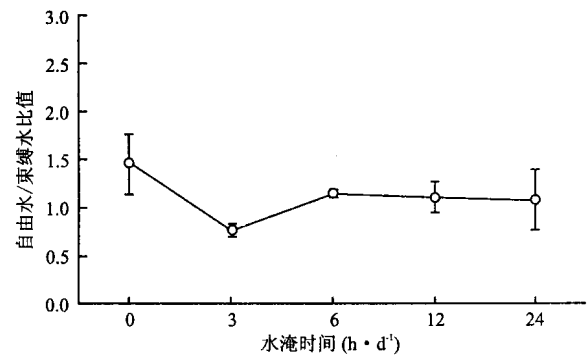


图3 不同水淹时长处理对互花米草自由水/束缚水的影响

Fig.3 Effect of waterlogging on the ratio of free water to bound water in *S. alterniflora*

3.4 水淹对互花米草色素的影响

图4可见,不同水淹处理下互花米草叶片中色素含量及组成变动。方差分析表明,叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素以及叶绿素a/叶绿素b在不同水淹时长处理之间均存在极显著差异($P < 0.01$)。在淹涝时长 $> 6 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 处理组叶绿素含量显著下降,这也是导致光合能力下降的一个因素;利容干等^[1]认为,随水淹时间延长,植株叶绿素含量下降,本研究与此一致。另一方面,在色素组成方面也出现了显著变化,类胡萝卜素含量显著增加,加强了对光合机构保护作用。

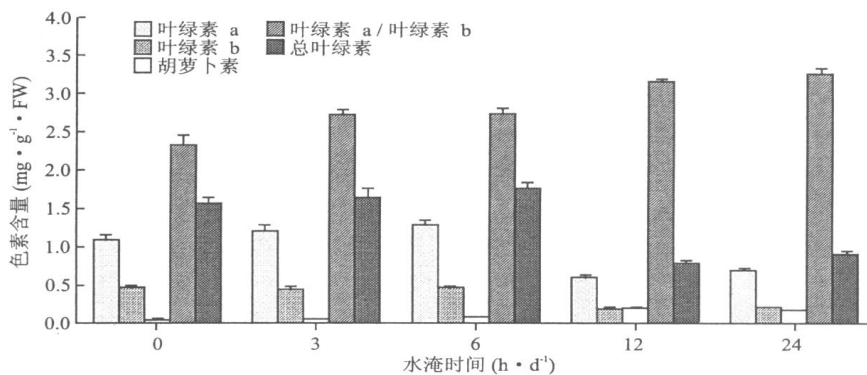


图4 不同淹涝时长处理对互花米草色素的影响

Fig.4 Effect of waterlogging on pigment of *S. alterniflora*

3.5 水淹对互花米草叶片可溶性糖、可溶性蛋白质和游离脯氨酸含量的影响

单因素方差分析显示各时长处理下互花米草叶片中可溶性糖含量有显著差异($P < 0.01$)(表1),从表1可见可溶性糖含量受水淹影响。水淹导致叶片可溶性糖含量显著下降,抑制了互花米草糖合成积累。这与前述互花米草光合速率下降是吻合的。此外,水淹条件下,细胞通过无氧代谢获取生命活动所

需能量,加剧了对糖类物质消耗,也可能是导致其可溶性糖含量下降的重要原因。

对互花米草叶片可溶性蛋白质和游离脯氨酸含量研究表明,互花米草叶片中可溶性蛋白质和游离脯氨酸含量在各水淹时长处理下差异不显著($P > 0.05$)。通常,干旱、高盐等逆境胁迫会引起游离脯氨酸含量增加;本研究显示了水淹胁迫与其它逆境胁迫不同的结果,推测是在长时间水淹胁迫下,互花

米草同化作用受到抑制,光合能力下降,能量物质(糖)积累减少,从而引致互花米草缺乏合成更多脯氨酸的原料和能量来源,最终引起游离脯氨酸含量没有明显改变这一效应。李阳生等^[6]研究表明,随着淹涝时间延长,水稻叶片中脯氨酸含量也较淹涝初期明显下降,本研究提示同样现象在互花米草中也有可能存在。此外,各水淹时长处理下互花米草叶片中可溶性蛋白质含量无显著差异,表明可溶性蛋白质含量不受水淹时长影响。有研究表明,严重水淹胁迫时,蛋白质合成受到抑制,蛋白质分解增加^[4]。在本研究中,蛋白质含量虽然在一定程度上有所降低,但差异并不显著,可能是因为互花米草具有非常发达通气组织,即使在长时间水淹情况下,也可通过代谢调节机制使蛋白质分解不出现明显增加。

表1 不同淹涝时长处理对互花米草可溶性蛋白质和游离脯氨酸含量的影响($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$)

Tab.1 Effect of waterlogging on the content of soluble protein and free proline in *S. alterniflora*

| 水淹时间 (h d ⁻¹) | 可溶性糖 | 可溶性蛋白质 | 游离脯氨酸 |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 0 | 47.37 ± 1.71 ^a | 100.32 ± 4.27 ^a | 8.61 ± 0.79 ^a |
| 3 | 21.12 ± 1.19 ^b | 114.88 ± 7.21 ^a | 9.46 ± 0.46 ^a |
| 6 | 6.45 ± 0.37 ^c | 123.85 ± 4.11 ^a | 10.60 ± 0.01 ^a |
| 12 | 8.66 ± 3.01 ^c | 94.76 ± 5.98 ^a | 8.00 ± 0.15 ^a |
| 24 | 7.58 ± 1.49 ^c | 99.42 ± 4.37 ^a | 6.88 ± 0.64 ^a |

注:不同字母表示在 0.05 水平差异显著。

4 讨论

本研究选择生长指标、抗逆指标以及与光合作用相关的色素变化、糖代谢等生理指标对不同水淹时长处理进行比较研究,研究表明,长时水淹的影响主要表现为受害叶片净光合速率降低,叶片可溶性糖含量降低,水淹后完全伸展的叶片的叶绿素含量降低,而类胡萝卜素含量上升。光合速率下降的主要因素可能源于水淹引起的气孔关闭和色素含量降低。

水淹胁迫对植物的伤害并非只由水分过多而引起的直接效应,还有水淹胁迫诱导的次生胁迫^[1]。植物遭受水淹胁迫后,土壤环境逐步变成缺氧,根系能量代谢逐步由有氧代谢转变成缺氧代谢,因此水淹情况下,植物根系细胞的 ATP 浓度,ATP/ADP 比值和能荷降低^[4]。对于互花米草,长时水淹导致互花米草生长环境缺氧,引起无氧代谢增强,互花米草拥有发达通气组织,可以耐受较长时间缺氧,为了维持生存所需能量,互花米草必定会大量消耗储存糖类物质,因此其可溶性糖含量的变化可以作为米

草对水淹反应的生理指标。许多研究表明,干旱、高盐等逆境胁迫会引起脯氨酸含量显著增加。本研究中,水淹时长对互花米草叶片游离脯氨酸含量没有显著影响,是互花米草缺乏合成更多脯氨酸的原料和能量来源所致,因此该指标是否可以作为反映水淹强度的生理指标需要进一步研究。虽然互花米草是一种具有很强耐淹性的潮间带盐沼植物,但研究表明,在全日水淹下,其生长也会受到严重抑制,结合盐胁迫下,互花米草生长和生理都受到显著影响,因此,可以考虑从这两方面着手,开展对其调控措施的研究。

参考文献

- [1] 利容千,王建波. 2002. 植物逆境细胞及生理学[M]. 武汉:武汉大学出版社.
- [2] 张志良,瞿伟菁. 2003. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社.
- [3] 张殿忠,汪沛洪,赵会贤. 1990. 测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法[J]. 植物生理学通讯, (4): 62~65.
- [4] 李玉昌,李阳生,李绍清. 1998. 淹涝胁迫对水稻生长发育与耐淹性机理研究的进展[J]. 中国水稻科学, 12(增刊): 70~76.
- [5] 李合生. 2000. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社.
- [6] 李阳生,李绍清. 2000. 淹涝胁迫对水稻生育后期的生理特性和产量性状的影响[J]. 武汉植物学研究, 18(2): 117~122.
- [7] 周春霖,安树青. 2002. 海滨盐土农业生态工程[M]. 北京:化学工业出版社.
- [8] 林如求. 1997. 三都湾大米草和互花米草的危害及治理研究[J]. 福建地理, 12(1): 16~19.
- [9] 钦佩,仲崇信. 1992. 米草的应用研究[M]. 北京:海洋出版社.
- [10] Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase *Beta vulgaris* [J]. *Plant Physiol.*, 24: 1~15.
- [11] Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding[J]. *Anal. Biochem.*, 72: 248~254.
- [12] Delaune RD, Smith CJ, Patrick WH. 1983. Relationship of marsh elevation, redox potential and sulfide to *Spartina alterniflora* productivity[J]. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 47: 930~935.
- [13] Hester MW, Mendelssohn IA, Mckee KL. 2001. Species and population variation to salinity stress in *Panicum hemitomon*, *Spartina patens*, and *Spartina alterniflora* morphological and physiological constraints [J]. *Environ. Exp. Bot.*, 46: 277~297.
- [14] King GM, Klug MJ. 1982. Relation of soil water movement and sulfide concentration to *Spartina alterniflora* production in a Georgia salt marsh[J]. *Science*, 218: 61~63.
- [15] Linthurst RA. 1979. The effect of aeration on the growth of *Spartina alterniflora* Loisel [J]. *Amer. J. Bot.*, 66: 685~691.
- [16] Smart RM, Barko JW. 1980. Nitrogen nutrition and salinity tolerance of *Distichlis spicata* and *Spartina alterniflora* [J]. *Ecology*, 61: 630~638.

作者简介 肖强,男,1970年生,博士研究生。主要从事植物生理生态学研究。

责任编辑 王伟