

# 土壤水分条件对克隆植物互花米草表型可塑性的影响

何 军, 赵聪蛟, 清 华, 甘 琳, 安树青\*

(南京大学生命科学学院, 湿地生态研究所, 南京 210093)

**摘要:**在互花米草草滩挖掘沙蚕是海岸带常见的行为, 会造成土壤结构松散, 蓄水能力下降, 局部土壤水分含量低。能否利用这些条件, 降低互花米草种群的入侵性, 并进而对互花米草的控制提供对策是一个重要的生态学命题。为此, 实验模拟 3 种不同土壤蓄水条件, 并测定互花米草在该条件下的形态与存活指标、克隆特征参数及生物量积累与分配格局。结果表明: 土壤水分条件对互花米草的叶长和根状茎生物量均没有显著影响 ( $p > 0.05$ ); 而其株高、分枝强度、克隆存活数、克隆存活率及地上生物量在各土壤水分条件间差异显著 ( $p < 0.05$ ); 在低水分条件下, 互花米草的芽数、基茎粗、地上生物量比和叶生物量比均显著低于其他两组处理 ( $p < 0.05$ ), 地下生物量比则显著高于其他两组处理 ( $p < 0.05$ ); 在中等水分条件下, 互花米草的根状茎长、根状茎节数、地下生物量和茎生物量比与其他两组处理差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 而在其他两组处理间差异显著 ( $p < 0.05$ ); 在高水分条件下, 总生物量、茎生物量和根生物量显著高于其他两组处理 ( $p < 0.05$ ), 根状茎生物量比则显著低于其他两组处理 ( $p < 0.05$ ), 而这些指标在其他两组处理间均差异不显著 ( $p > 0.05$ )。由此推断, 土壤水分条件适中有利于互花米草的生长扩张以占领有利的资源环境, 而土壤水分条件低则抑制互花米草的生长繁殖, 影响其种群延续。

**关键词:**互花米草; 可塑性; 土壤水分条件; 生态响应策略

文章编号: 1000-0933(2009)07-3518-07 中图分类号: Q948 文献标识码: A

## Effect of soil-water condition on morphological plasticity of clonal plant

### *Spartina alterniflora*

HE Jun, ZHAO Cong-Jiao, QING Hua, GAN Lin, AN Shu-Qing\*

School of Life Science, Institute of Wetland Ecology, Nanjing University, Nanjing 210093, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3518 ~ 3524.

**Abstract:** A common phenomenon in the coastal zone, excavating clamworms on the beach covered with *Spartina alterniflora*, will create a loose soil structure, reduce the ability of the soil to store water, and ultimately cause a low soil-water condition. Whether we can use these conditions to reduce the invasiveness of *Spartina alterniflora*, and then provide a solution to control *Spartina alterniflora*, is an important topic of ecology. Therefore, we simulated three different soil-water conditions, and then measured several parameters of *Spartina alterniflora* under these conditions, including the morphological and survival parameters, clonal parameters and biomass accumulation and allocation. The results showed that: the soil-water condition had no significant effect on the leaf length and rhizome biomass of *Spartina alterniflora* ( $p > 0.05$ ), while it had significant effect on the culm height, branching intensity, clonal number alive, survival rate of clones and above-ground biomass ( $p < 0.05$ ); in low soil-water condition, shoot number, stem diameter, above-ground biomass allocation and leaf biomass allocation were significantly lower than the other two groups ( $p < 0.05$ ), while the under-ground biomass allocation was significantly higher than the other two groups ( $p < 0.05$ ); in medium soil-water condition, rhizome length, rhizome node number, above-ground biomass and stem biomass allocation were not significantly different from the other two groups ( $p > 0.05$ ), while significant differences showed between the other two groups ( $p < 0.05$ ); in high soil-water condition, total biomass, stem biomass and root biomass were significantly higher than the other two groups ( $p <$

**基金项目:**国家林业局公益资助项目(200804005); 国家高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(0208116207)

收稿日期: 2008-11-30; 修订日期: 2009-02-25

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: anshuq@nju.edu.cn

0.05), and the rhizome biomass allocation was significantly lower than the other two groups ( $p < 0.05$ ), while these parameters showed no significant differences between the other two groups ( $p > 0.05$ ). Consequently, we can conclude that moderate soil-water condition benefits the growth and spread of *Spartina alterniflora*, while low soil soil-water condition inhibits the growth and reproduction of *Spartina alterniflora*, and thus impacts the continue of its population expansion.

**Key Words:** *Spartina alterniflora*; morphological plasticity; soil-water condition; ecological strategy

生物入侵被公认为是除生境丧失之外导致物种濒危和灭绝的又一重要因素,它对生物多样性以及生态系统结构和功能的严重影响已引起全世界高度重视<sup>[1]</sup>。

互花米草(*Spartina alterniflora*)为原产于美洲大西洋沿岸的多年生草本植物<sup>[2]</sup>,主要生长于平均海平面至平均高潮位之间的广阔滩面以及河口湾<sup>[3]</sup>。互花米草于1979年引入我国,其在保滩护堤、促淤造陆、改良土壤、绿化海滩等方面发挥了一定作用<sup>[4,5]</sup>。而由于耐盐耐淹、繁殖力强等特点<sup>[6]</sup>,该物种急剧扩张,成为入侵种<sup>[7]</sup>,对当地生态系统的结构和功能产生较强的干扰,主要表现为改变潮间带地形,阻碍河道畅通<sup>[6,8,9]</sup>;竞争取代土著植物<sup>[6,10,11]</sup>;改变大型底栖无脊椎动物群落的结构,威胁滩涂养殖业<sup>[12~14]</sup>,降低昆虫、鸟类以及根际微生物的多样性等<sup>[6,15~17]</sup>。国内外学者对互花米草控制的研究已经做了不少工作,如盐和温度胁迫对外来种互花米草生理生态特性的影响<sup>[18]</sup>,水淹对互花米草生长及生理的影响<sup>[19]</sup>,以及淡咸水轮换浇灌抑制互花米草克隆生长和繁殖<sup>[20]</sup>等。

研究表明,在淡水和咸水频繁交替的生境下,互花米草的生物量积累、无性繁殖和有性繁殖能力都会受到抑制,淡、咸水轮换浇灌将可能是控制互花米草种群爆发的措施之一<sup>[20]</sup>。而对于在互花米草草滩挖掘沙蚕这一常见行为,其所形成的土壤松散结构,导致蓄水能力下降,局部土壤水分含量低;而海岸带降雨加潮汐的作用,构成了天然的淡、咸水轮换浇灌。有效利用这一个自然特征将可能控制当地的互花米草生长。

本文的目的在于模拟3种土壤蓄水条件,研究互花米草的克隆存活、生物量特征及其表型可塑性变化,进而为将来的互花米草入侵调控提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

2007年6月,自江苏盐城自然保护区沿海滩涂湿地挖取互花米草当年生克隆苗及部分土壤,在室内沙土中假植备用。室内实验在南京大学生态智能温室进行。选取茎粗基本一致,平均高度为 $(16.91 \pm 0.05)$  cm ( $n=27$ )的健康幼苗,栽入规格为25 cm × 20 cm × 25 cm(口内径 × 底内径 × 高)的塑料桶中,桶内填入20 cm厚的沙土。所用沙土预先以15‰的盐水淋透,以模拟野外互花米草的盐沼土壤环境。

### 1.2 实验设计

实验设置3个处理梯度,分别为A组(低土壤水分含量),B组(中土壤水分含量)与C组(高土壤水分含量),每组处理3个重复,即设置3个规格为25 cm × 20 cm × 25 cm(口内径 × 底内径 × 高)的塑料小桶,每桶内栽入3株互花米草幼苗。

A组塑料桶在桶底和桶侧打洞(桶底2个,桶侧12.5 cm高度处3个),B组塑料桶在桶侧打洞(桶侧12.5 cm高度处3个),打洞半径为2.5 cm;C组塑料桶保持完好。桶内填入20 cm厚的沙土。

6月上旬将互花米草幼苗栽入后,每3日自来水浇灌1次,如遇持续高温天气,则每2日自来水浇灌1次,每次浇水以没过土壤表面1 cm为准。

每周盐度计测定土壤盐度,盐水浇灌1次,调节土壤盐度使之维持在15‰左右。

### 1.3 数据收集与处理

2007年10月收获,分别测量每株植物的生长与存活指标(株高、叶长、基茎粗、克隆存活数和克隆存活率);克隆特征参数(分枝强度、芽数、根状茎长和根状茎节数);以及生物量参数(叶生物量、茎生物量、根生物

量、根状茎生物量和总生物量)并计算生物量分配。株高以克隆系中最高个体为准。叶长为第三全展叶片的长度。基茎粗以克隆系中最粗个体为准。分枝强度为单株包括单个大量的分株植物侧生分生组织长出和形成新无性系分株的数量<sup>[21]</sup>。克隆存活数和克隆存活率分别为一株源株产生的总分枝强度中的存活数和存活率。根状茎长和根状茎节数均以最长的根状茎为准。测量后,将互花米草分解为叶、茎、根和根状茎四部分,80℃烘干称恒重。

数据通过 SPSS (Version13.0) 进行方差分析 (One-way ANOVA) 检验处理间差异显著性,并采用 Duncan 多重比较进行所需的后续检验 ( $p = 0.05$  或  $p = 0.01$ )。

## 2 结果

### 2.1 不同土壤水分含量对互花米草形态及存活指标的影响

在各水分含量梯度下,互花米草的株高、基茎粗、克隆存活数、克隆存活率均表现为随水分含量增加而增加(表1),且株高、克隆存活数和克隆存活率在各处理间均差异显著( $p < 0.05$ )或极显著( $p < 0.01$ ),而基茎粗仅在 A、B 组和 A、C 组间差异极显著( $p < 0.01$ ),而在 B、C 两组之间差异不显著( $p > 0.05$ )。叶长在 3 个处理间无明显变化,差异不显著( $p > 0.05$ )。

表 1 不同土壤水分条件下互花米草的形态及存活指标\*

Table 1 Morphological and survival parameters of *Spartina alterniflora* under different soil-water conditions

| 形态及存活指标<br>Morphological and survival parameters | A 组 Group A      | B 组 Group B      | C 组 Group C      |
|--------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| 株高 Culm height (cm)                              | 83.43 ± 1.76c    | 129.08 ± 2.69b   | 145.09 ± 5.32a   |
| 叶长 Leaf length (cm)                              | 24.29 ± 0.66a    | 27.86 ± 1.69a    | 26.06 ± 1.62a    |
| 基茎粗 Stem diameter (cm)                           | 0.295 ± 0.007b   | 0.378 ± 0.010a   | 0.397 ± 0.013a   |
| 克隆存活数 Clonal number alive                        | 4.2 ± 0.5c       | 12.8 ± 1.0b      | 18.6 ± 1.0a      |
| 克隆存活率 Survival rate of clones                    | 0.3205 ± 0.0405c | 0.6000 ± 0.0158b | 0.7037 ± 0.0190a |

\* 不同的字母表示处理间差异显著( $p < 0.05$ ) The different letters indicate significant differences at  $p < 0.05$ ; 下同 the same below

### 2.2 不同土壤水分含量对互花米草克隆特征参数的影响

互花米草的分枝强度、芽数随水分含量增加而增加(表2),分枝强度在各处理间均差异极显著( $p < 0.01$ ),而芽数在 A、B 组和 A、C 组间差异极显著( $p < 0.01$ ),B 组和 C 组差异不显著( $p > 0.05$ )。根状茎长、根状茎节数随水分含量增加而表现为减少,A、C 组两种处理与 B 组之间差异均不显著( $p > 0.05$ ),而在 A 组和 C 组之间存在极显著差异( $p < 0.01$ )。

表 2 不同土壤水分条件下互花米草的克隆特征\*

Table 2 Clonal parameters of *Spartina alterniflora* under different soil-water conditions

| 克隆指标 Clonal parameters    | A 组 Group A   | B 组 Group B     | C 组 Group C   |
|---------------------------|---------------|-----------------|---------------|
| 分枝强度 Branching intensity  | 13.7 ± 0.9c   | 21.2 ± 1.4b     | 26.6 ± 1.6a   |
| 芽数 Shoot number           | 0.0 ± 0.0b    | 9.6 ± 0.9a      | 10.6 ± 0.5a   |
| 根状茎长 Rhizome length (cm)  | 34.28 ± 1.31a | 31.79 ± 0.91 ab | 29.78 ± 0.46b |
| 根状茎节数 Rhizome node number | 13.8 ± 0.4a   | 12.9 ± 0.3 ab   | 12.2 ± 0.3b   |

### 2.3 不同土壤水分含量对互花米草生物量积累的影响

互花米草的总生物量、地上生物量、地下生物量、叶生物量、茎生物量、根生物量均表现为随水分含量增加而增加(图1)。在各处理间,地上生物量和叶生物量均存在极显著( $p < 0.01$ )或显著差异( $p < 0.05$ )。地下生物量,在 A、C 组两种处理与 B 组之间差异均不显著( $p > 0.05$ ),而在 A 组和 C 组之间差异显著( $p < 0.05$ )。总生物量、茎生物量和根生物量在 A、C 组和 B、C 组间差异均显著( $p < 0.05$ ),A 组和 B 组差异并不显著( $p > 0.05$ )。根状茎生物量在 3 个处理间无明显变化,差异不显著( $p > 0.05$ )。

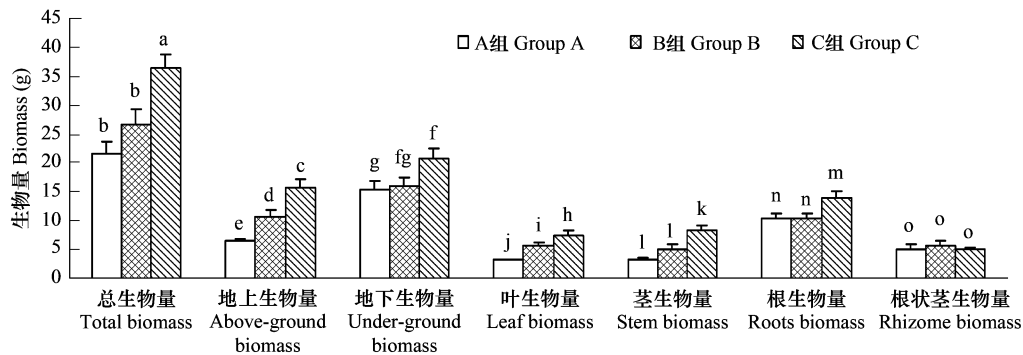


图1 不同土壤水分条件下互花米草生物量积累

Fig. 1 Biomass accumulation of *Spartina alterniflora* under different soil-water conditions

## 2.4 不同土壤水分含量对互花米草生物量分配的影响

地上生物量分配随水分含量增加而增加,而地下生物量分配随水分含量增加而减少,两者的B、C组两种处理与A组处理间差异均极显著( $p < 0.01$ ),B组与C组间差异不显著( $p > 0.05$ )。叶生物量分配随水分含量增加先增加后减少,B、C组两种处理与A组之间差异均显著( $p < 0.05$ ),B组和C组间差异不显著( $p > 0.05$ )。茎生物量分配随水分含量增加而增加,A、C组两种处理与B组间差异均不显著( $p > 0.05$ ),而A组和C组之间差异极显著( $p < 0.01$ )。根生物量分配随水分含量增加先减少后增加,A、B组两种处理与C组之间差异均不显著( $p > 0.05$ ),而A组和B组间差异显著( $p < 0.05$ )。根状茎生物量分配随水分含量增加而减少,A、B组两种处理与C组之间差异均极显著( $p < 0.01$ ),而A、B组处理间差异不显著( $p > 0.05$ )。

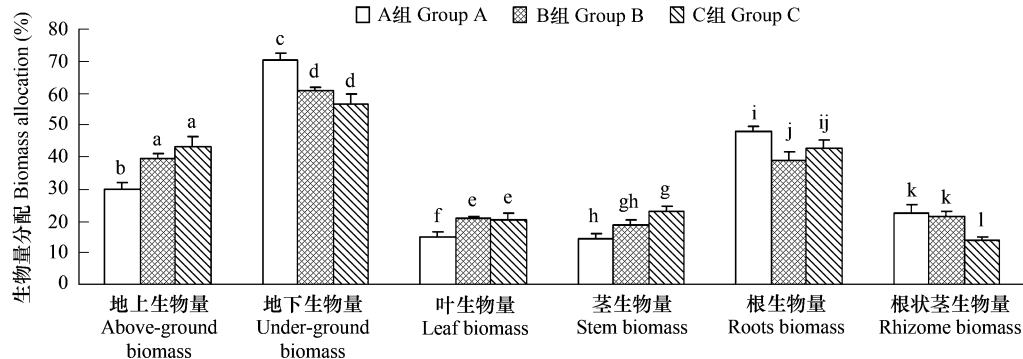


图2 不同土壤水分条件下互花米草生物量分配

Fig. 2 Biomass allocation of *Spartina alterniflora* under different soil-water conditions

## 3 讨论

植物的表型可塑性是物种个体对环境信号作出的有效反应,从而改变其化学、生理、发育、形态或者行为性状<sup>[22,23]</sup>。植物的表型可塑性与适应性密切联系,所以,研究其表型可塑性具有重要的生态学意义。对于克隆植物的可塑性的研究主要体现其克隆生长特性上<sup>[24]</sup>。通过克隆生长,克隆植物能迅速地占据生长空间,进行资源的吸收、利用和共享,进而提高种群的适合度<sup>[25]</sup>。互花米草利用根状茎或营养片段扩散来扩大种群,甚至在一些地区其种群的扩散完全依赖克隆繁殖<sup>[7]</sup>。本文结果表明,在生长与存活指标方面,互花米草的高度、基茎粗、克隆存活数和克隆存活率随土壤水分含量增加而增加,在3个梯度间均差异显著或极显著。在土壤水分含量高的条件下,互花米草的生长存活显著好于水分含量低的条件,水分含量低降低互花米草的存活率,并且抑制其生长。

分枝强度的大小决定着克隆植物利用资源的能力以及产生无性分株的能力,分枝强度随资源水平的上升

而增加<sup>[26]</sup>。互花米草的分枝强度和芽数随土壤水分含量增加而增加,在3个梯度间差异极显著。这表明,土壤水分含量高,相对资源水平和环境容量也高,互花米草生出更多的分蘖,在充分利用有限资源的基础上,力争进行种群的扩张,以占据更为有利的生境,而足够的环境容量也可以容纳更多的无性分株;反之,由于水分条件的限制,分枝强度的增加会导致死亡率的增加,更多的分蘖可能枯死而意味着资源与能量的浪费,因此互花米草的分蘖数少,其分枝强度也低。在根状茎长度和节数方面,两者均随土壤水分含量增加而减少,在水分含量高与低两组处理间差异极显著。这表明在土壤水分含量低的条件下,互花米草依赖较长的根状茎,通过其获得一定的养分,保证生长所需;反之,在相对资源水平较高的条件下,互花米草通过较短的根状茎便可获得充足的养分。

在不同的环境条件下,植物总是对生长、繁殖和维持等功能间进行资源分配的权衡(trade-off),使其各功能分配达到最佳状态<sup>[27,28]</sup>。植物的能量分配格局反映了植物在生长发育过程中对环境的响应规律和能量分配对策<sup>[29]</sup>。在土壤水分含量高的条件下,互花米草根系多且成熟,地下生物量高,足以提供生长所需营养,可以将更多的资源分配给地上部分的生长,保证在光照与空气等方面的竞争力,因此,互花米草的地上生物量分配高;而在土壤水分含量低的条件下,互花米草根系少,只有减少对地上生物量的分配,增加地下生物量的分配,特别是根生物量的分配,以形成更多的根系,来增强吸收水分和矿质营养的能力。

综上所述,土壤水分条件适中有利于互花米草的生长扩张以占领有利的资源环境,而土壤水分条件低则抑制互花米草的生长繁殖,影响其种群延续。在沿海各城市近海岸地区,由于挖掘沙蚕等现象频繁,造成局部土壤蓄水能力下降,土壤水分含量降低,这不仅会导致大量互花米草的克隆分蘖枯死,显著降低其存活率,而且使得其在地下部分的投入偏大,从而显著减少了对地上部分的能量分配,即降低了互花米草个体的株高、茎粗等指标,使其在与芦苇等物种对于阳光、空气等的竞争中处于明显的劣势,进而抑制互花米草的生长繁殖,影响其种群延续;另外,土壤水分含量降低又间接导致土壤盐度的增加,再加上降雨的淡水稀释与潮汐的盐分补给,便构成了天然的淡、咸水轮换浇灌,这干扰了互花米草通过耐盐机制调节的内稳态,影响互花米草生长繁殖的策略<sup>[20]</sup>,进而抑制互花米草种群的存活、生长及繁殖。因此,可以从这些方面入手,开展对其调控措施的研究。

## References:

- [1] Callaway R M, Aschehoug E T. Invasion plants versus new and old neighbors: a mechanism for exotic invasion. *Science*, 2000, 290: 521—523.
- [2] Simenstad C A, Thom R M. *Spartina alterniflora* (smooth cordgrass) as an invasive halophyte in Pacific Northwest estuaries. *Hortus Northwest*, 1995, (6): 9—12, 38—40.
- [3] Daehler C C, Strong D R. Status, prediction and prevention of introduced cordgrass *Spartina spp* invasions in Pacific estuaries, USA. *Biol. Conserv.*, 1996, 78: 51—58.
- [4] Chung C H. Thirty years of ecological engineering with *Spartina* plantations in China. *Ecological Engineering*, 1993, 2: 261—289.
- [5] Chung C H, Zhuo R Z, Xu G W. Creation of *Spartina* plantations for Dongtai, China, tidal flats and offshore sands. *Ecological Engineering*, 2004, 23: 135—150.
- [6] Daehler C C, Strong D R. Variable reproductive output among clones of *Spartina alterniflora* (*Poaceae*) invading San Francisco Bay, California: The influence of herbivory pollination, and establishment site. *American Journal of Botany*, 1994, 81: 307—313.
- [7] Deng Z F, Aa S Q, Zhi Y B, *et al.* Preliminary studies on invasive model and outbreak mechanism of exotic species, *Spartina alterniflora* Loisel. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2678—2686.
- [8] Gleason M L, Elmer D A, Pien N C, *et al.* Effect of stem density upon sediment retention by salt marsh cordgrass, *Spartina alterniflora*. *Loisel Estuaries*, 1979, 2: 271—273.
- [9] Wang A J, Gao S, Jia J J. Impact of *Spartina alterniflora* on sedimentary and morphological evolution of tidal salt marshes of Jiangsu, China. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(1): 92—99.
- [10] Callaway J C, Josselyn M N. The introduction and spread of smooth cordgrass(*Spartina alterniflora*) in south San Francisco. *Bay Estuaries*, 1992,

- 15: 218—226.
- [11] Chen Z Y, Li B, Zhong Y, *et al.* Local competitive effects of introduced *Spartina alterniflora* on *Scirpus mariqueter* at Dongtan of Chongming Island, the Yangtze River estuary and their potential ecological consequences. *Hydrobiologia*, 2004, 528: 99—106.
- [12] Xie Z F, He W S, Liu W L, Lu J J. Influence of *Spartina alterniflora* saltmarsh at its different development stages on macrobenthos. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(1): 63—67.
- [13] Chen Z Y, Fu C C, Wang H Y, *et al.* Effects of *Spartina alterniflora* Invasions on the Benthic Macro-Invertebrates Community at Dongtan of Chongming Salt Marsh, the Yangtze River Estuary. *Wetland Science*, 2005, 1(3): 2—7.
- [14] Xu X J, Wang H, You W H, *et al.* A study on the fluctuation of zoobenthic community in Chongming Dongtan's *Spartina alterniflora* Loisel. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2006, (2): 89—95.
- [15] Gao H, Peng X W, Li B, *et al.* Effects of the invasive plant *Spartina alterniflora* on insect diversity in Jiuduansha wetlands in the Yangtze River Estuary. *Biodiversity Science*, 2006, 14(5): 400—409.
- [16] Wang Q, An S Q, Ma Z J, *et al.* Invasive *Spartina alterniflora*: biology, ecology and management. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2006, 44(5): 559—588.
- [17] Wang M, Chen J K, Li B. Characterization of bacterial community structure and diversity in rhizosphere soils of three plants in rapidly changing saltmarshes using 16s rDNA. *Pedosphere*, 2007, 17: 545—556.
- [18] Shi F C, Bao F. Effects of salt and temperature stress on ecophysiological characteristics of exotic cordgrass, *Spartina alterniflora*. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2733—2741.
- [19] Xiao Q, Zheng H L, *et al.* Effects of waterlogging on growth and physiology of *Spartina alterniflora*. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(9): 1025—1028.
- [20] Chen L, Deng Z F, An S Q, *et al.* Alternate irrigation of fresh and salt water restrains clonal growth and reproduction of *Spartina Alterniflora*. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(4): 645—651.
- [21] Liao M J, Wang Q B, Song M H, Dong M. Clonal architecture and ramet population characteristics of *Leymus chinensis* from different habitats. *Journal of Plant Ecology*, 2002, 26(1): 33—38.
- [22] Agrawal A A. Phenotypic plasticity in the interactions and evolution of species. *Science*, 2001, 294: 321—326.
- [23] Pan X Y, Geng Y P, Zhang W J, Li B, Chen J K. Cover shift and morphological plasticity of invasive *Alternanthera Philoxeroides* along ariparian zone in south China. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(5): 835—843.
- [24] Shan B Q, Du G Z, Liu Z H. Clonal growth of *Ligularia virgaurea*: Morphological responses to nutritional variation. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(1): 46—51.
- [25] Zhang Y, Jia Z B, Yang Ch. Clonal growth characteristics of *Thymus serpyllum* var. *asiaticus*. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(4): 630—636.
- [26] Dong M. Clonal growth in plants in relation to resource heterogeneity: foraging behavior. *Acta Botanica Sinica*, 1996, 38, 828—835.
- [27] Wang Y H, Wang K, Xing F. Advances of studies on themorphological plasticity, integration and foraging behavior of stoloniferous herbaceous plants. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(1): 70—74.
- [28] Cheplick G P. Life history trade-offs in *Aphibromus scabrivalvis*(*Poaceae*): Allocation to clonal growth, storage, and cleistogamous reproduction. *American Journal of Botany*, 1995, 82: 621—629.
- [29] Zhao L, Zhi Y B, Li H L, An S Q, *et al.* Effects of initial clone number on morphological plasticity and biomass allocation of the invasive *Spartina anglica*. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(4): 607—612.

#### 参考文献:

- [7] 邓自发, 安树青, 智颖飙, 等. 外来种互花米草入侵模式与爆发机制. *生态学报*, 2006, 26(8): 2678~2686.
- [9] 王爱军, 高抒, 贾建军. 互花米草对江苏滩涂沉积和地貌演化的影响. *海洋学报*, 2006, 28(1): 92~99.
- [12] 谢志发, 何文珊, 刘文亮, 陆健健. 不同发育时间的互花米草盐沼对大型底栖动物群落的影响. *生态学杂志*, 2008, 27(1): 63~67.
- [13] 陈中义, 付萃长, 王海毅, 等. 互花米草入侵东滩盐沼对大型底栖无脊椎动物群落的影响. *湿地科学*, 2005, 1(3): 2~7.

- [14] 徐晓军, 王华, 由文辉, 等. 崇明东滩互花米草群落中底栖动物群落动态的初步研究. 海洋湖沼通报, 2006, (2): 89~95.
- [15] 高慧, 彭筱葳, 李博, 等. 互花米草入侵九段沙河口湿地对当地昆虫多样性的影响. 生物多样性, 2006, 14(5): 400~409.
- [16] 王卿, 安树青, 马志军, 等. 入侵植物互花米草——生物学、生态学及管理. 植物分类学报, 2006, 44(5): 559~588.
- [18] 石福臣, 鲍芳. 盐和温度胁迫对外来种互花米草生理生态特性的影响. 生态学报, 2007, 27(7): 2733~2741.
- [19] 肖强, 郑海雷, 等. 水淹对互花米草生长及生理的影响. 生态学杂志, 2005, 24(9): 1025~1028.
- [20] 陈琳, 邓自发, 安树青, 等. 淡水水轮换浇灌抑制互花米草的克隆生长和繁殖. 植物生态学报, 2007, 31(4): 645~651.
- [21] 廖明隽, 王其兵, 宋明华, 董鸣. 内蒙古锡林河流域不同生境中羊草的克隆构型和分株种群特征. 植物生态学报, 2002, 26(1): 33~38.
- [23] 潘晓云, 耿宇鹏, 张文驹, 李博, 陈家宽. 喜旱莲子草沿河岸带不同生境的盖度变化及其形态可塑性. 植物生态学报, 2006, 30(5): 835~843.
- [24] 单保庆, 杜国祯, 刘振恒. 不同养分条件下和不同生境类型中根茎草本黄帚囊吾的克隆生长. 植物生态学报, 2000, 24(1): 46~51.
- [25] 张颖, 贾志斌, 杨持. 百里香无性系的克隆生长特征. 植物生态学报, 2007, 31(4): 630~636.
- [26] 董鸣. 克隆生长的特性——觅食性. 生态学报, 1996, 38(10): 828~835.
- [27] 王艳红, 王珂, 邢福. 匍匐茎草本植物形态可塑性、整合作用与觅食行为研究进展. 生态学杂志, 2005, 24(1): 70~74.
- [29] 赵磊, 智颖飘, 李红丽, 安树青, 邓自发, 周长芳. 初始克隆分株数对大米草表型可塑性及生物量分配的影响. 植物生态学报, 2007, 31(4): 607~612.