

## 外源氮输入对互花米草生长及叶特征的影响

张耀鸿, 张富存, 李映雪, 谢晓金, 周晓冬, 李强, 雷俊

南京信息工程大学应用气象学院, 江苏 南京 210044

**摘要:**入侵种互花米草(*Spartina alterniflora*)是滨海盐沼湿地的多年生草本植物,研究人类活动引起的外源氮输入对其生长的影响有助于了解滨海湿地生态系统结构和功能的未来变化趋势。运用随机区组试验设计方法,模拟海滩水分条件(间歇淹水和持续淹水),研究了互花米草的地上部生物量、叶片光合特征以及形态特征对外源氮输入的响应。结果表明:互花米草地上部生物量在施氮条件下显著增加,且在土壤处于间歇淹水状态时表现更为明显;施氮条件下植株分蘖数比对照处理分别增加了60.0%和60.2%,是引起地上部生物量增加的主要原因。施加氮素促进了互花米草叶片的生长,叶面积、叶数、叶长和叶宽均显著增加,而叶数的变化是导致植物叶面积增加的主要因素。外源氮输入促进了互花米草叶绿素含量的增加,而对净光合速率的季节变化特征无明显影响。持续淹水处理的植物地上部生物量、生长速率、分蘖数、净光合速率和叶面积均低于间歇淹水处理,说明持续淹水状态对互花米草生长造成了一定的抑制作用。

**关键词:**外源氮输入;盐沼湿地;互花米草;叶特征

中图分类号:Q948;X173

文献标识码:A

文章编号:1674-5906(2010)10-2297-05

互花米草(*Spartina alterniflora*)属于禾本科米草属多年生草本植物,主要生长于海平面至高潮位之间广阔的滩面和河口湾,具有重要的保滩护岸、促淤造陆功能<sup>[1]</sup>。我国自1979年从美国引进互花米草,目前在我国东部沿岸,从广东省南部至辽宁省东部均有分布,形成了较大规模的互花米草群落。近年来,由于人类的过量开垦,许多沿海滩涂湿地被围垦为农田或鱼塘。农业和渔业生产中流失的氮元素随地表径流、大气沉降等多种途径进入滨海湿地。氮素是沿海湿地植被生长的主要限制因子之一,大量外源氮素输入沿海滩涂后对当地生态系统将产生深刻的影响<sup>[2-4]</sup>。目前,国内外对互花米草湿地的研究主要集中在互花米草入侵扩展机理、种间竞争和种群控制等方面<sup>[5-6]</sup>;而外源氮输入对自然湿地植物影响的研究主要集中在东北三江平原的淡水沼泽湿地区域<sup>[7]</sup>;有关盐沼湿地植物对外源氮输入响应的研究报道很少。因此,本试验选取互花米草为研究对象进行模拟培养试验,研究氮输入影响下互花米草的生长及光合响应特征,旨在探讨外源氮输入对滨海湿地植物生长与光合能力的影响及其机制。为评价人类活动对滨海湿地植物初级生产力、固碳潜力以及湿地的演替和保护提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试材料

2009年4月上旬从江苏省大丰市王港口沿海滩涂湿地挖取当年生互花米草新苗,同时取滩涂湿地表土以培养植物备用。取回后将新苗在南京信息工

程大学农业气象试验站日光温室中进行预培养。4月底选取茎粗、株高基本一致的健康幼苗栽入培养箱中进行试验。

#### 1.2 试验设计

幼苗栽植后用野外取回的沿海滩涂海水浇灌植物。为了模拟野外互花米草湿地潮汐变化规律,本试验设计了2个水分处理:间歇淹水(J)和持续淹水(C)。持续淹水为植物移栽后加入滩涂海水,使整个生育期内土壤表面淹水高度始终保持在5cm左右;间歇淹水为每隔一天保持5cm淹水高度。

研究外源氮输入对互花米草生长及叶特征的影响。氮素施加分别为对照无N( $0\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ),加N( $2.7\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ )(以氮元素量计,不包括补充海水中的氮含量)2个水平。其中,加氮处理的氮输入量与当地大气氮沉降的数量相当。每个氮水平下设置2个水分梯度,共形成4个试验处理,分别为:无N间歇淹水、无N持续淹水、加N间歇淹水和加N持续淹水,分别用J、C、N+J和N+C表示。每个试验处理设3个重复,整个试验为2个氮水平 $\times$ 2个水分处理 $\times$ 3次重复,总共12个培养箱。施氮处理自5月2日第1次施氮起,每隔15d以 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 水溶液的形式模拟外源氮素输入,均匀撒入1次,共分12次输入。每个试验组的培养箱随机摆放,每周随机移位。

#### 1.3 分析方法

于每月中旬,在每个培养箱中随机选取互花米草地上部分植株,采用便携式光合作用测定仪

Li-6400(LI-Cor, Inc, 美国)测定叶片净光合速率 $P_n$  ( $\text{CO}_2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), 测定时选择顶部新成熟的完整叶片, 每个处理测定6个重复, 且每个重复记录3次, 结果取其平均值。然后随机选取3株互花米草植株, 用剪刀沿土壤表面剪下植物的地上部分, 记录每株植物的分蘖数, 然后置于80 °C烘箱中烘干至恒质量, 称其干质量。

2009年9月中旬, 测定每个处理中植物最顶叶片的长度和最大叶宽; 叶数为每株植物的所有叶片数, 包括分蘖生成的植株叶片数; 用Li-1600型叶面积仪测量单株植物的叶面积; 用SPAD叶绿素计测定最顶叶片的SPAD值。每个处理测定6个重复, 且每个重复记录3次结果取其平均值。

运用Excel和SPSS软件进行统计分析和绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮输入对互花米草生物量积累的影响

由表1可见, 在间歇淹水(J)和持续淹水(C)条件下, 增加氮输入量促进了互花米草生物量的积累。其中5、6月份各处理间没有达到显著水平, 可能与植物生长时间较短有关; 7—10月份随着植物生长, 施加氮素显著提高了互花米草地上部生物量的积累, 植物成熟期(10月)分别比对照处理(J、C处理)增加了13.3%、7.6%。

表1 不同处理条件下互花米草地上部分生物量季节动态

Table 1 The seasonal dynamics of aboveground biomass under different treatments  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$

试验处理	处理日期					
	5月	6月	7月	8月	9月	10月
J	250 a	380 a	749 ab	1 736 ab	3 047 ab	3 064 b
N+J	252 a	390 a	801 c	1 900 c	3 455 c	3 472 c
C	248 a	375 a	731 a	1 696 a	2 861 a	2 835 a
N+C	245 a	384 a	769 b	1 816 b	3 100 b	3 050 ab

所给数据为平均值, 数据后附不同字母表示进行显著性检验(LSD)时, 不同处理在 $P=0.05$ 水平上差异显著

互花米草生物量在2种水分状况之间(J、C处理)也表现出一定的差异。其中C处理的植株生物量都低于J处理, 且在10月份达到显著水平; 施加N素提高了2种水分处理间的差异性, 表现为7—10月份N+J与N+C处理间均达到显著水平。

### 2.2 氮输入对植物分蘖的影响

互花米草为禾本科米草属多年生根茎型草本

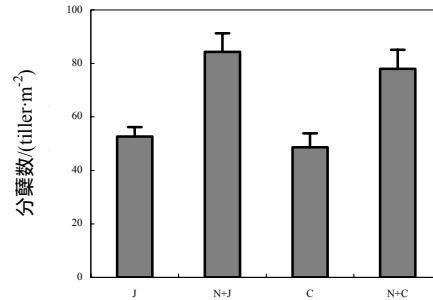


图1 不同处理条件下互花米草的分蘖数

Fig.1 The number of plant tillering under the different treatments

植物, 根茎繁殖是其入侵扩展的主要方式之一。植株的分蘖能力是反映植物生长的重要指标<sup>[8]</sup>。由图1可见, J和C处理条件下, 互花米草的植株数均呈现出随着氮素的施入而增加, 与对照相比分别增加了60.0%和60.2%, 达到极显著水平( $P<0.01$ )。相同氮水平而不同土壤淹水状况条件时互花米草的分蘖能力也不相同。J和C处理相比, 前者的植株数比后者多8.2%, 未达到显著水平; 而在施氮条件下, N+J处理的互花米草株数比N+C处理则多8.1%, 达到了显著水平。

### 2.3 氮输入对植物叶片光合特征的影响

对不同处理条件下植物在不同季节的净光合速率月平均值进行比较(表2)。结果表明, 互花米草的平均净光合速率与植物地上部生长速率变化规律一致: 5—9月快速增加, 9月达到最高, 随后急剧减小。4个处理(J、N+J、C、C+N处理)的植物净光合速率季节变化平均值分别为13.7、14.3、13.2和13.3  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 表现为土壤处于间歇淹水状况时, 外源氮输入对植物净光合速率的促进作用明显。持续淹水与间歇淹水相比, 植株净光合速率明显减低, 且增加氮素条件下这种趋势更为显著, 说明土壤处于间歇淹水时更有利于植物叶片的光合作用。

采用叶绿素计分析植物叶片的叶绿素含量具有非破坏性、快速、简便、自动化程度高特点, 可以精确地诊断同种植物的叶绿素含量、氮素营养水平。本试验中(图2), 4个处理间植物叶片的SPAD值明显不同: 间歇淹水条件下, 外源N输入显著提高叶片叶绿素含量, 而持续淹水条件下则无明显变

表2 不同处理条件下互花米草叶片净光合速率季节动态

Table 2 Seasonal variation of net photosynthetic rate of *Spartina alterniflora*  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

试验处理	5月	6月	7月	8月	9月	10月
J	13.57±0.21	14.45±0.32	15.32±0.34	16.03±0.35	16.74±0.51	6.38±0.30
N+J	14.03±0.18	14.87±0.35	15.68±0.23	16.56±0.27	17.28±0.48	7.56±0.32
C	12.41±0.22	13.86±0.41	15.13±0.33	15.71±0.19	16.07±0.60	5.82±0.19
N+C	12.20±0.24	13.48±0.35	15.41±0.41	16.13±0.30	16.62±0.55	6.11±0.26

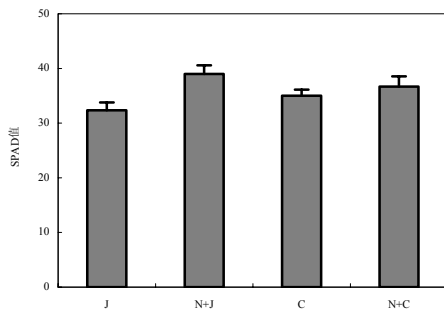


图2 互花米草成熟期叶片叶绿素计读数(SPAD)值  
Fig.2 SPAD values of *Spartina alterniflora* at maturity stage

化;与J处理相比,C条件下叶绿素含量有所增加,可能与叶片的形态变化有关。

#### 2.4 氮输入对植物叶片形态特征的影响

互花米草的叶面积、叶长和叶宽受氮水平或水分梯度的影响达到显著水平( $P<0.05$ )(表3);叶数只受氮水平的显著影响( $P<0.05$ )。在相同水分处理条件下,加氮处理的植株叶数、叶长和叶宽都显著大于无氮处理植株,导致植物总叶面积积极显著大于无氮处理植株( $P<0.01$ )。相同氮素处理条件下,土壤间歇淹水的互花米草叶长均显著大于持续淹水处理植株,而叶宽则只在无氮条件下具有这种差异性,说明土壤持续淹水抑制了植株叶长和叶宽生长,而对叶数则没有显著影响。

表3 不同处理条件下互花米草叶片特征差异  
Table 3 Leaf characteristics of *Spartina alterniflora* under different treatments

试验处理	叶面积/(cm <sup>2</sup> )	叶数	叶长/cm	叶宽/cm
J	832±74 b	38±3 a	31.32±2.45 b	1.12±0.10 b
N+J	1 845±158 d	52±6 b	37.18±3.25 c	1.37±0.08 c
C	667±53 a	33±2 a	28.62±1.03 a	1.08±0.07 a
N+C	1 334±144 c	49±5 b	32.48±2.71 b	1.32±0.11 c

所给数据为平均值+标准差,数据后附不同字母表示进行显著性检验(LSD)时,不同处理在 $P=0.05$ 水平上差异显著

### 3 讨论

#### 3.1 氮输入对互花米草生长状况的影响

自然湿地生态系统中植物的生长大多受到营养元素缺乏的限制。氮素是限制互花米草生长的主要因子,氮输入的增加会刺激植物生长,提高生产力,增加生态系统碳同化量<sup>[9-10]</sup>。刘德燕等<sup>[7]</sup>研究发现,沼泽湿地植物的株高和地上部分生物量均随着氮输入的增多而增大,且土壤处于非淹水状态时差异达到显著水平。从本研究结果来看,在J和C处理条件下,外源氮输入对盐沼湿地植物互花米草地上部分生物量积累均产生了明显的促进作用。而这种促进作用主要表现在植物生育中后期(7—10

月份),与互花米草本身的生长特性有关。互花米草为多年生禾本科米草属植物,具有很强的分蘖能力,在江苏沿海地区其最大分蘖期主要发生在7月中下旬。由于分蘖形成的大量新生植株,使得植物地上部生物量快速增加(表1),此后为植物的拔节生长期,地上部生物量急速增加,到9月份开花期植物的生长速率达到最大。这与Cheng等<sup>[9]</sup>的研究结果一致。相关性分析表明,植株分蘖数与地上部生物量和生长速率均存在显著正相关, $r$ 值分别为0.85和0.79(均达到显著水平),这说明4个处理间的地上部生物量和生长速率存在显著差异,可能与植物的分蘖能力密切相关<sup>[11-12]</sup>。J和C处理条件下,互花米草的植株数与对照相比增幅均超过了60%,可能是N+J和N+C条件下的植物生物量和生长速率比对照处理(J和C处理)显著增加的主要原因。

#### 3.2 氮输入对植物光合特征的影响

互花米草光合速率的季节变化模式不受外源氮素和土壤水分的影响,均在9月份达到最大<sup>[13]</sup>,且与植物地上部生物量显著正相关。J和C处理条件下,植株光合速率季节平均值与对照相比增幅分别为4.4%和0.8%,明显低于植株分蘖数的增幅(>60%),说明在本试验的施氮处理中,植物光合速率对地上部生物量积累的贡献远远低于植物分蘖能力的贡献<sup>[14]</sup>。

本试验中,J和C处理条件下,施加氮素使互花米草叶绿素含量分别增加了21.9%和5.7%,说明土壤处于间歇淹水条件时,外源氮显著促进叶绿素含量增加,与叶片光合速率变化趋势相一致。已有研究发现<sup>[7]</sup>,外源氮输入沼泽湿地后,植物叶片的叶绿素含量与净光合速率表现出一致的变化趋势;土壤处于非淹水状态时随着氮输入的增加依次增大;而土壤淹水时则随着氮输入的增加先增大后减小。本试验中,与间歇淹水相比,土壤持续淹水提高了叶绿素含量,和光合速率变化特征正好相反,可能与持续淹水条件下植物叶片叶长变短、叶宽变窄、叶面积减小有关。

#### 3.3 氮输入对植物叶片形态特征的影响

形态特征的改变是植物适应不同环境和资源水平的重要策略,叶片作为植物进行光合作用的主要器官,其生长发育和性状特征直接影响到植物的基础新陈代谢过程<sup>[15-16]</sup>。氮的增加促进了互花米草的生长,首先表现为植株叶面积的增加。本研究表明,氮水平提高虽然使植物的叶面积增加(表3),但是间歇淹水处理中互花米草对氮的响应程度更大,叶面积增加有利于植物获得较高的生物量。除了叶面积外,在所有叶特征参数中,氮水平对叶数的影响最大。与对照(J和C处理)相比,施氮后互花米

草的叶数分别增加了 36.8%和 48.5%。这与促进了植物的分蘖能力,从而增加了植株密度密切相关。而施氮后互花米草的叶长比对照处理分别仅增加了 18.7%和 13.5%;植物叶宽则分别增加了 22.3%和 22.2%。由此可见,外源氮输入条件下植物叶面积显著增加,是叶数、叶长和叶宽的综合结果,其中叶数对其贡献最大,叶宽其次,叶长最小。

#### 4 结论

(1) 施氮条件下,互花米草地上部生物量明显增大,且土壤处于间歇淹水状态时此促进作用表现更为明显;植株分蘖能力对外源氮输入的强烈响应是生物量增加的主要原因。

(2) 施加氮素、持续淹水均促进了互花米草叶绿素含量的增加;外源氮输入对间歇淹水状态下的植物光合速率具有促进作用,但是对净光合速率的季节变化特征无明显影响。施氮条件下,植物叶面积的增加主要是通过叶数的变化而实现的。

(3) 不同水分处理之间,持续淹水处理的植物地上部生物量、生长速率、分蘖能力、净光合速率和叶面积均低于间歇淹水处理,这些变化说明,持续淹水状态对互花米草生长造成了一定的抑制作用。

#### 参考文献:

- [1] 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[J].生态学报,2006,26(8):2678-2686.  
DENG Zifa, AN Shuqing, ZHI Yingbiao, et al. Preliminary studies on invasive model and outbreak mechanism of exotic species, *Spartina alterniflora* Loisel[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(8): 2678-2686.
- [2] CRAFT C, KRULL K, GRAHAM S, et al. Ecological indicators of nutrient enrichment, freshwater, wetlands, Midwestern United States (U. S.) [J]. Ecological Indicators, 2007, 7: 733-750.
- [3] TYLER A C, LAMBRINOS J G, GROSHOLZ E D. Nitrogen inputs promote the spread of an invasive marsh grass[J]. Ecological Applications, 2007, 17: 1886-1898.
- [4] Liu P, Huang J H, Han X G, et al. Differential responses of litter decomposition to increased soil nutrients and water between two contrasting grassland plant species of Inner Mongolia, China[J]. Applied Soil Ecology, 2006, 34: 266-275.
- [5] 陈琳,邓自发,安树青,等.淡水水轮灌抑制互花米草(*Spartina alterniflora* Loisel.)的生长和繁殖[J].植物生态学报,2007,31(4):645-651.  
CHEN Lin, DEENG Zifa, AN Shuqing, et al. Alternate irrigation of fresh and salt water restrains clonal growth and reproduction of *Spartina alterniflora*[J]. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(4): 645-651.
- [6] 袁琳,张利权,肖德荣,等.刈割与水位调节集成技术控制互花米草的示范研究[J].生态学报,2008,28(11):5723-5730.  
YUAN Lin, ZHANG Liqun, XIAO Derong, et al. A demonstration study using the integrated technique of cutting plus waterlogging for the control of *Spartina alterniflora*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5723-5730.
- [7] 刘德燕,宋长春,孙丽.外源氮输入对湿地植物生长及光合特征的影响[J].中国环境科学,2007,27(4):513-517.  
LIU Deyan, SONG Changchun, SUN Li. Influence of exogenous N import on grow and photosynthesis character of wetland plants[J]. China Environment Science, 2007, 27(4): 513-517.
- [8] 张林海,曾从盛,全川.闽江河口湿地芦苇和互花米草生物量季节动态研究[J].亚热带资源与环境学报,2008,3(2):25-33.  
ZHANG Linhai, ZENG Congsheng, TONG Chuan. Study on biomass dynamics of *Phragmites australis* and *Spartina alterniflora* in the wetlands of Minjiang River Estuary[J]. Journal of Subtropical Resources and Environment, 2008, 3(2): 25-33.
- [9] CHENG, X L, LUO, Y, CHEN, J Q, et al. Short-term C<sub>4</sub> plant *Spartina alterniflora* invasions change the soil carbon in C<sub>3</sub> plant-dominated tidal wetlands on a growing estuarine island[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2006, 38: 3380-3386.
- [10] CHUNG C H, ZHUO R Z, XU G W. Creation of *Spartina* plantations for reclaiming Dongtai, China, tidal flats and offshore sands[J]. Ecological Engineering, 2004, 23: 135-150.
- [11] 高建华,白凤龙,杨桂山,等.苏北潮滩湿地不同生态带碳、氮、磷分布特征[J].第四纪研究,2007,27(5):756-765.  
GAO Jianhua, BAI Fenlong, YANG Guishan, et al. Distribution characteristics of organic carbon, nitrogen, and phosphor in sediments from different ecologic zones of tidal flats in north Jiangsu province [J]. Quaternary Sciences, 2007, 27(5): 756-765.
- [12] 高建华,杨桂山,欧维新.互花米草引种对苏北潮滩湿地TOC, TN和TP分布的影响[J].地理研究,2007,26(4):756-765.  
GAO Jianhua, YANG Guishan, OU Weixin. The influence after introduction of *Spartina alterniflora* on the distribution of TOC, TN and TP in the national Yancheng rare birds nature reserve, Jiangsu Province, China [J]. Geographical Research, 2007, 26(4): 799-808
- [13] 赵广琦,张利权,梁霞.芦苇与入侵植物互花米草的光合特性比较[J].生态学报,2005,25(7):1604-1611.  
ZHAO Guangqi, ZHANG Liqun, LIANG Xia. A comparison of photosynthetic characteristics between an invasive plant *Spartina alterniflora* and an indigenous plant *Phragmites australis*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(7): 1604-1611.
- [14] 刘德燕,宋长春.湿地植物小叶章对外源氮输入响应[J].应用生态学报,2008,19(12):2599-2604.  
LIU Deyan, SONG Changchun. Responses of marsh wetland plant *Calamagrostis angustifolia* to exogenous nitrogen input[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(12): 2599-2604.
- [15] 甘肖梅,杨红兰,李军伟,等.互花米草成熟期光合作用日变化特征研究[J].安徽农业科学,2010,38(1):143-145,149.  
XIAO Ganmei, YANG Honglan, LI Junwei, et al. Study on Diurnal Variation of Photosynthesis of *Spartina alterniflora* in Its Mature Stage[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2010, 38(1): 143-145, 149.
- [16] 何军,赵聪蛟,清华,等.土壤水分条件对克隆植物互花米草表型可塑性的影响[J].生态学报,2009,29(7):3518-3524.  
HE Jun, ZHAO Congjiao, QING Hua, et al. Effect of soil-water condition on morphological plasticity of clonal plant *Spartina alterniflora*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3518-3524.

## Influence of exogenous N import on growth and leaf character of *Spartina alterniflora*

ZHANG Yaohong, ZHANG Fucun, LI Yingxue, XIE Xiaojin, ZHOU Xiaodong, LI Qiang, LEI Jun

College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China

**Abstract:** *Spartina alterniflora*, has become an invasive halophyte in China. Investigating effect of exogenous N on its growth may contribute to understanding variation trend of structure and function of ecosystem in littoral wetland. We studied responses of biomass of *Spartina alterniflora*, photosynthesis and morphology character of leaves, to exogenous N under two water condition. The aboveground biomass significantly increased under N application, and this trend showed be more pronounced under intermittent flood condition compared to persistent flood condition. Tillering number increased by 60.0% and 60.2% under N import, which profoundly resulted in enhancement of aboveground biomass. N application significantly boosted leaf area, leaf number, leaf length and leaf width, and variation of leaf number was the major factor for increase of leaf area. Chlorophyll content enhanced significantly under N import, while seasonal pattern of net photosynthetic rate variation were not significantly influenced. The measured growth index always decreased under persistent flood condition, indicating that persistent flooding inhibited growth of *Spartina alterniflora*.

**Key words:** exogenous N; coastal wetland; *Spartina alterniflora*; leaf character