

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.05.022

# 浙江滨海湿地互花米草生长性状对土壤化学因子的响应

陆琳莹<sup>1</sup>, 邵学新<sup>1</sup>, 杨慧<sup>1</sup>, 吴明<sup>1\*</sup>, 楼科勋<sup>2</sup>, 华克达<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 国家林业和草原局杭州湾湿地生态系统定位观测研究站, 浙江 杭州 311400;

2. 浙江省杭州市富阳区农业和林业局, 浙江 杭州 311400)

**摘要:** [目的] 比较浙江滨海湿地互花米草的生长差异, 探析土壤主要化学因子对其生长的影响, 为滨海湿地互花米草有效管控提供参考。[方法] 以杭州湾、象山港和乐清湾作为采样地点, 调查测定互花米草种群密度、株高、基径和地上生物量等生长性状指标以及土壤 pH、水溶性盐分、有机碳、全氮、全磷、有效氮和有效磷等化学因子, 对各个生长性状指标及土壤化学因子进行统计分析。[结果] (1) 互花米草种群密度、株高、基径、单株地上生物量及样方地上生物量均为杭州湾>象山港>乐清湾, 乐清湾与象山港互花米草个体较矮小, 种群较稀疏且两地差异不显著, 而杭州湾互花米草则显著高于其它两地 ( $P < 0.01$ )。 (2) 乐清湾与象山港湿地土壤养分及盐度较高且两地差异不显著, 而杭州湾湿地则显著低于其它两地 ( $P < 0.01$ )。 (3) 影响互花米草生长最主要的土壤化学因子是水溶性盐分, 其次是土壤全氮、有效磷及 pH。[结论] 土壤化学因子影响浙江滨海湿地互花米草生长, 土壤盐分浓度、养分含量在一定范围内促进互花米草生长, 而高盐高养分则可能抑制其生长。

**关键词:** 互花米草; 生长性状; 土壤化学因子; 滨海湿地

**中图分类号:** Q 948.158

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2020)05-0177-07

互花米草 (*Spartina alterniflora* Loisel.) 是我国沿海地区的主要入侵植物, 分布广泛, 据统计总面积达 34 213  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>, 其在抬高滩面、消浪促堤、促淤固沙等方面发挥重大的作用<sup>[2]</sup>, 但由于缺乏天敌和环境限制因子, 在滨海沿岸的大肆繁殖和扩张对土著植物造成威胁<sup>[3]</sup>, 也影响滨海湿地环境与生产。互花米草能够快速入侵我国滨海湿地, 适应不同的土壤及水热环境, 是因为它在不同生境中通常会表现出不同的形态及功能性状来适应环境<sup>[4]</sup>。目前对互花米草的研究主要集中在分布特征及扩散能力<sup>[5]</sup>、入侵对土壤生态系统的影响<sup>[6]</sup>、种间竞争所导致的生理生化特征变化<sup>[7]</sup>以及治理措施<sup>[8]</sup>等方面, 关于互花米草对不同生境所作出的适应性选择

以及土壤因子对其生长性状的影响研究较少。

从全国范围内基于纬度因子来探究气候水热条件对互花米草生长差异的研究有利于加强宏观整体防控<sup>[9]</sup>, 然而其不能代表相似水热条件下互花米草对不同的土壤环境所产生的生长差异。浙江省最早于 1983 年在玉环县桐丽五门滩涂试种了 16  $\text{m}^2$  互花米草, 之后迅速扩张, 在东部沿海地区分布面积已达到 5 092  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>, 对本地生物多样性以及生态系统稳定性产生了重要影响。浙江东部沿海地区土壤特性存在一定的差异, 因此探析互花米草对异质土壤环境产生的生长差异以及土壤主要化学因子对其生长的影响, 有利于了解其入侵的适应性策略, 为滨海湿地互花米草的合理有效管控提供参考。

收稿日期: 2019-10-19 修回日期: 2020-05-13

基金项目: 浙江省-中国林科院林业科技合作项目 (2018SY03); 浙江省自然科学基金项目 (LY18D010005); 国家自然科学基金项目 (31870597)

\* 通讯作者: 吴明. [hangzhoubay@126.com](mailto:hangzhoubay@126.com)

## 1 材料与方

### 1.1 研究区概况

通过遥感影像解译, 选出浙江沿海地区互花米草分布面积较大的区域, 由北向南分别是杭州湾、象山港、乐清湾西门岛(图1)。三地均位于浙江东部沿海, 属典型的亚热带季风气候区。杭州湾位于浙江慈溪市(30°02'~30°24'N, 121°02'~121°42'E), 西接钱塘江, 东至东海, 呈喇叭口形状, 属河口海湾, 该地区多年平均气温为16.0℃, 全年平均日照时数约2038 h, 无霜期约244 d, 多年平均降水量为1344 mm; 象山港位于浙江象山县(28°51'~29°39'N, 121°34'~122°17'E), 该地区多年平均气温为17.0℃, 全年平日照时数约2004 h, 无霜期约248 d, 多年平均降水量为1463 mm; 乐清湾西门岛(28°20'~28°22'N, 121°10'~121°12'E)位于乐清湾北部, 该地区多年平均气温为18.7℃, 全年平均日照时数约1687.4 h, 无霜期约275 d, 多年平均降水量为2043.1 mm。

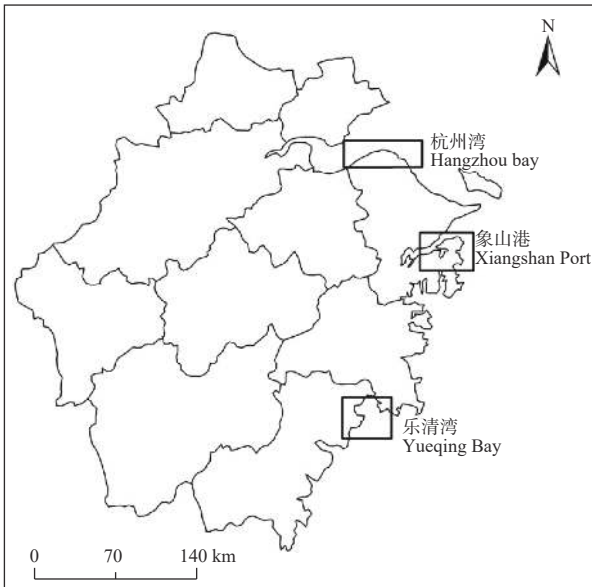


图1 样区分布图

Fig. 1 Distribution map of sampling area

### 1.2 研究方法

通过遥感影像并结合现场问询, 于2017年8月采集1年生互花米草。根据互花米草覆盖面积大小, 在杭州湾设置25个样方, 象山港与乐清湾各设置15个样方。每个样方为10 m×10 m, 用手持式GPS定位中心点坐标, 在大样方内按斜对角线设置3个1 m×1 m的小样方, 齐地收割每个小

样方内互花米草地上部分, 称其鲜质量后标记带回实验室。室内统计各小样方内互花米草的株数、株高、基径, 将其置于80℃的烘箱中烘干至恒质量, 记录生物量, 以3个小样方的均值代表对应大样方内互花米草的生长情况, 以各大样方指标均值代表该地区互花米草的生长情况。

用土钻在3个小样方内分别挖取0~10 cm的表层土, 混合均匀带回实验室, 平摊在阴凉通风处自然风干, 去除杂质后研磨、过筛, 装入密封袋。采用硫酸、重铬酸钾氧化-容量法(外加热法)测定土壤有机碳(SOC); 用硫酸-高氯酸消煮, 全自动凯氏定氮仪测定全氮(TN), 分光光度法测定全磷(TP); 碱解扩散法测定有效氮(AN); NaHCO<sub>3</sub>浸提, 分光光度法测定有效磷(AP); 酸度计测量pH值; 电导率仪测定水溶性盐分(WSS)。具体测定方法参考文献<sup>[10]</sup>。

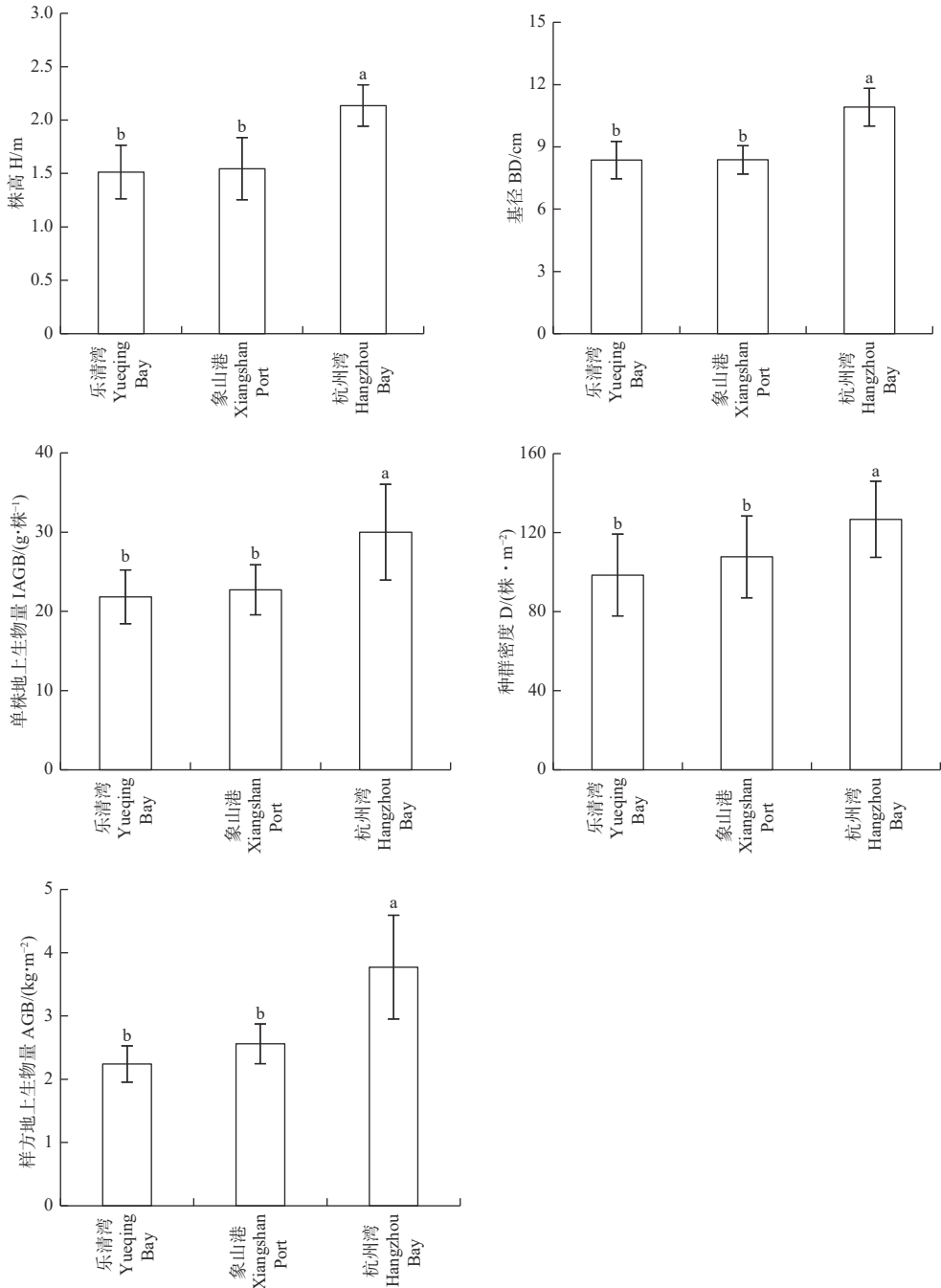
### 1.3 数据分析

使用SPSS22.0软件对数据进行处理, 采用Excel 2013进行数据分析和作图。利用单因素方差分析(one-way ANOVA)对互花米草株高(H)、基径(BD)、种群密度(D)、单株地上生物量(IAGB)、样方地上生物量(AGB)进行差异显著性分析; 对互花米草各生长性状指标与土壤有机碳(SOC)、全氮(TN)、全磷(TP)、有效磷(AP)等土壤化学因子进行Pearson相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同地区互花米草生长性状比较

单因素方差分析表明, 乐清湾、象山港的互花米草各项生长性状指标无显著差异, 而杭州湾互花米草各项生长性状指标均显著高于乐清湾和象山港( $P<0.01$ ) (图2)。乐清湾、象山港互花米草平均株高分别为1.51 m和1.54 m, 杭州湾为2.14 m, 是前两个地区的1.5倍; 乐清湾、象山港互花米草平均基径分别为8.36 cm和8.37 cm, 杭州湾为10.91 cm, 是前两个地区的1.3倍; 3个地区中互花米草种群密度最大的是杭州湾, 为127株·m<sup>-2</sup>, 象山港次之(108株·m<sup>-2</sup>), 乐清湾最小(99株·m<sup>-2</sup>)。杭州湾互花米草的单株地上生物量和样方地上生物量均最高, 分别为29.99 g·株<sup>-1</sup>和3.77 kg·m<sup>-2</sup>; 象山港分别为22.72 g·株<sup>-1</sup>和2.56 kg·m<sup>-2</sup>; 乐清湾分别为21.83 g·株<sup>-1</sup>和2.24 kg·m<sup>-2</sup>。



注: 不同小写字母表示不同地区间差异显著 ( $P < 0.01$ );

Note: Different lower case letters indicate significant difference among different regions at 0.01 level.

图 2 不同地区互花米草生长性状比较

Fig. 2 Growth traits of *S. alterniflora* in different regions

## 2.2 互花米草湿地土壤化学因子比较

由表 1 可知, 3 个地区互花米草湿地土壤全磷含量无显著差异。象山港和乐清湾互花米草湿地土壤全氮、有效氮、有效磷和水溶性盐分无显著差异, 而杭州湾土壤全氮、有效磷、水溶性盐分均显著低于象山港与乐清湾 ( $P < 0.01$ ), 有效氮显著高

于象山港与乐清湾 ( $P < 0.01$ )。3 个地区互花米草湿地土壤有机碳、pH 值差异显著 ( $P < 0.01$ ), 乐清湾土壤有机碳最高, 平均为  $12.93 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 象山港次之 ( $10.65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), 杭州湾最小 ( $6.45 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); 而杭州湾互花米草湿地土壤 pH 值最高 ( $8.52$ ), 乐清湾次之 ( $8.27$ ), 象山港最小 ( $8.15$ )。

表1 不同地区互花米草湿地土壤化学因子比较

Table 1 Comparison of soil chemical properties of *S. alterniflora* wetland in different regions (mean±SD)

地点 Sites	有机碳 SOC/(g·kg <sup>-1</sup> )	全氮 TN/(g·kg <sup>-1</sup> )	有效氮 AN/(mg·kg <sup>-1</sup> )	全磷 TP/(g·kg <sup>-1</sup> )	有效磷 AP/(mg·kg <sup>-1</sup> )	pH	水溶性盐分 WSS/%
乐清湾 Yueqing Bay	12.93±2.38 a	0.98±0.03 a	47.4±6.94 b	0.65±0.06 a	27.3±1.74 a	8.27±0.08 b	2.69±0.38 a
象山港 Xiangshan Port	10.65±1.91 b	0.95±0.13 a	48.7±6.72 b	0.63±0.08 a	26.0±3.21 a	8.15±0.13 c	2.57±0.18 a
杭州湾 Hangzhou Bay	6.45±1.87 c	0.67±0.15 b	56.8±12.5 a	0.58±0.16 a	18.9±3.051 b	8.52±0.12 a	1.60±0.18 b

注: 同列不同小写字母表示相同指标在不同地区间差异显著( $P<0.01$ )。

Note: Different lower case letters within the same column of the same index indicate significant difference among different regions at 0.01 level.

### 2.3 土壤化学因子与互花米草生长性状的相关性分析

由表2可知, 除土壤全磷与互花米草各生长性状均无显著相关性以外, 其它土壤化学因子均在一定程度上影响了互花米草的生长。其中, 互花米草种群密度与土壤水溶性盐分、有机碳、有效氮呈极显著负相关, 与土壤pH值呈显著正相关, 与土壤

全氮、有效磷无显著相关性; 株高、样方地上生物量均与土壤水溶性盐分、有效磷、有机碳、全氮呈极显著负相关, 与土壤pH值、有效氮呈极显著正相关; 基径、单株地上生物量均与土壤水溶性盐分、有效磷、有机碳、全氮呈极显著负相关, 与土壤pH值呈极显著正相关, 与土壤有效氮无显著相关性。

表2 土壤化学因子与互花米草各生长性状间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between soil chemical properties and the growth traits of *S. alterniflora*

项目 Item	有机碳 SOC	全氮 TN	有效氮 AN	全磷 TP	有效磷 AP	pH	水溶性盐分 WSS
株高 H	-0.561**	-0.483**	0.335*	0.004	-0.605**	0.504**	-0.763**
基径 BD	-0.619**	-0.628**	0.201	-0.058	-0.739**	0.552**	-0.718**
种群密度 D	-0.388**	-0.263	0.282*	0.092	-0.252	0.328*	-0.488**
单株地上生物量 IAGB	-0.585**	-0.585**	0.251	-0.096	-0.714**	0.516**	-0.726**
样方地上生物量 AGB	-0.607**	-0.565**	0.308*	-0.073	-0.654**	0.513**	-0.752**

注: \*\*代表在 $P<0.01$ 水平上显著相关, \*代表在 $P<0.05$ 水平上显著相关。

Note: \*\* representatives significantly related at 0.01 level, \*representatives significantly related at 0.05 level.

土壤化学因子之间本身就存在相关性, 某一因子对互花米草生长的影响可能是另一相关因子导致的结果, 因此进行通经分析查找互花米草生长差异的直接影响因素。结果表明(表3), 对互花米草基径影响最显著且负向直接作用的土壤化学因子是水溶性盐分、有效磷和全氮, 决策系数分别为0.468、0.402和0.27; 对单株地上生物量影响最显著且负向直接作用的土壤化学因子水溶性盐分、有效磷, 决策系数分别为0.444、0.407, 且土壤水溶性盐分通过有效磷对单株地上生物量产生的间接影响较大, 与直接影响相当; 对株高影响最显著的土壤化学因子是水溶性盐分、pH, 决策系数分别是0.527、-0.383, 且土壤有效磷通过pH对株高产生正向间接作用; 对种群密度和样方地上生物量影响最显著且均负向直接作用的土壤化学因子是水溶性

盐分, 决策系数分别为0.238和0.566。

### 2.4 互花米草生长性状指标与主要土壤化学因子回归模型

以互花米草各生长性状指标和主要土壤化学因子来构建对应的回归模型。结果表明(表4), 互花米草基径是基于土壤水溶性盐分、有效磷、全氮的多元回归模型; 单株地上生物量是基于土壤水溶性盐分、有效磷的多元回归模型; 株高是基于土壤水溶性盐分、pH的多元回归模型; 种群密度、样方地上生物量均是基于土壤水溶性盐分的二次多项式模型; 所有模型均呈极显著回归关系( $P<0.01$ )。影响互花米草生长最主要的土壤化学因子是水溶性盐分, 其次是土壤全氮、有效磷以及pH。

表 3 土壤主要化学因子与互花米草各生长性状间的通径分析

Table 3 Path analysis between soil chemical properties and the growth traits of *S. alterniflora*

因变量 DV	自变量 IV	与因变量简单 相关系数 Simple correlation coefficient with DV	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient				决策系数 Decision coefficient	
				水溶性盐分 WSS	有效磷 AP	全氮 TN	pH		合计 Total
株高 H	WSS	-0.763	-0.998	-	-	-	0.235	0.235	0.527
	pH	0.504	-0.294	-	0.798	-	-	0.798	-0.383
基径 BD	WSS	-0.718	-0.381	-	-0.21	-0.127	-	-0.337	0.468
	AP	-0.739	-0.46	-0.174	-	-0.105	-	-0.279	0.402
	TN	-0.628	-0.275	-0.176	-0.177	-	-	-0.353	0.27
种群密度 D	WSS	-0.488	-0.488	-	-	-	-	-	0.238
单株地上生物量 IAGB	WSS	-0.726	-0.438	-	-0.288	-	-	-0.288	0.444
	AP	-0.714	-0.393	-0.321	-	-	-	-0.321	0.407
样方地上生物量 AGB	WSS	-0.852	-0.752	-	-	-	-	-	0.566

表 4 互花米草生长性状指标回归模型

Table 4 Regression equations of the growth traits of *S. alterniflora*

生长性状 Growth traits	回归方程 Regression equation	$R^2$	$F$	$p$
株高 H	$H=7.021-0.45WSS-0.542pH$	0.614	41.339	0.000
基径 BD	$BD=13.845-0.136AP-0.669WSS-0.014TN$	0.613	41.241	0.000
种群密度 D	$D=9.557WSS^2-8.436WSS+123.472$	0.259	9.093	0.000
单株地上生物量 IAGB	$IAGB=46.519-4.856WSS-0.737AP$	0.599	38.776	0.000
样方地上生物量 AGB	$AGB=0.826WSS^2-0.721WSS+3.483$	0.617	41.878	0.000

注: WSS表示土壤水溶性盐分, pH表示土壤pH值, AP表示土壤有效磷, TN表示土壤全氮。

Note: WSS represents soil water soluble salt, pH represents soil pH, AP represents soil available phosphorus, TN represents soil total nitrogen.

### 3 讨论

#### 3.1 不同区域间互花米草生长性状及土壤化学因子的差异

植物在适应环境的过程中, 会通过调整其表型特征向有利于物种适合度的方向发展, 以最大限度地减小不良环境给物种生存造成的不利影响<sup>[11]</sup>, 植物在形态学性状(包括地上和地下部分)上发生的变化是其适应环境变化的最直观的策略之一<sup>[12-13]</sup>, 这也是气候、土壤、水分、地形及植物本身的生物学特性等多因素长时间共同影响的结果<sup>[14]</sup>。赵相健等<sup>[8]</sup>研究表明, 我国沿海地区互花米草株高、基径、单株地上生物量、样方地上生物量总体呈现先升后降规律, 而种群密度呈现先降后升规律。本研究互花米草各项生长性状指标表现为随纬度增加而增加, 基本符合由南往北长势趋好规律。结合章莹等<sup>[1]</sup>的研究结果, 浙江杭州湾区域互花米草分布面积最大, 说明杭州湾具有更适合互花米草生长及繁衍扩张的生态环境。

研究区纬度变化幅度较小, 且纬度变化对乐清湾与象山港互花米草生长的影响则更小。但土壤化学因子在不同区域的变化较大。研究区土壤化学因子除 pH 以外均为乐清湾>象山港>杭州湾。这可能与互花米草入侵年限有关, 浙江于 1983 年首先在玉环县引种互花米草, 乐清湾是其最早的定居地, 植物定居时间越长越有利于土壤养分的积累<sup>[15]</sup>。湿地土壤营养元素含量在较大区域尺度内还会受到当地气候、成土母质和水文条件等自然因素的影响<sup>[16-17]</sup>, 乐清湾与象山港土壤盐度越高, 表明海水潮汐作用强, 同时伴随海水而来的营养元素含量也相对变高。野外调查时发现, 乐清湾、象山港土壤湿度较高, 杭州湾土壤湿度较低, 湿地土壤积水量高, 土壤湿度大, 微生物活动较弱, 有机质分解程度低, 随水分流动而流失氮磷养分也会相对减少, 相应有机碳、氮、磷浓度都会变高<sup>[18]</sup>。本研究土壤化学因子与相关研究<sup>[19-21]</sup>结果存在微小差异, 这可能与采样季节和样方的选取有关。此外, 土壤环境

发生变化不仅跟地上植物有关,也与生物、人为因素等有很大关系。

### 3.2 影响互花米草生长的主要土壤化学因子

影响浙江滨海湿地互花米草生长性状差异的主要土壤化学因子是水溶性盐分,其次是全氮、有效磷和 pH。乐清湾、象山港和杭州湾湿地土壤的水溶性盐分与互花米草生长性状呈负相关关系,这与陈伟霖等<sup>[22]</sup>的研究结果一致。在盐分 1%~3% 之间,随着盐浓度的升高,植株高度和基径等均呈下降趋势,高盐环境在一定程度上抑制互花米草生长。其原因可能是随着盐度升高,互花米草种子初始萌发率和种子萌发速率都会受到影响,导致其种群密度降低且生长状态差于低盐状态<sup>[23]</sup>;其次盐度与互花米草繁殖速度有关,土壤盐度在 1.5% 左右时其无性繁殖扩散速度最快且有性繁殖也最旺盛,而 2.5% 盐度以上时互花米草无性繁殖和有性繁殖均受到抑制<sup>[24-25]</sup>;高盐还会影响其根部发育,互花米草成熟根维管柱为多原型,随着盐度升高,根中细胞内液与细胞外界环境渗透压差增大,细胞更易丢失水分,且盐分越高会导致根部氧气供应下降,造成植株形态变小等结果<sup>[26]</sup>。此外,高盐影响其光合作用,随着盐度升高,互花米草光合速率降低,从而导致植株生长受到抑制<sup>[27]</sup>。

乐清湾、象山港和杭州湾湿地土壤的全氮、有效磷含量也与互花米草生长性状呈负相关关系。一方面可能是由于 8 月份互花米草生长到了旺盛的顶峰时期,土壤中的营养元素被地表植物吸收,利用程度较高,土壤中的养分相对较低。另一方面,植物生长离不开土壤养分的支持,但养分过高反而会抑制其生长<sup>[28]</sup>。有关氮浓度对互花米草生长影响程度的控制试验也表明,适当的供氮水平有利于互花米草的生长,而高氮则抑制其生长<sup>[29]</sup>。研究区乐清湾和象山港土壤全氮、有效磷含量在同一水平且均显著高于杭州湾,两地互花米草长势相似但均劣于杭州湾,可能与两地土壤养分含量已超过互花米草适宜的生长浓度范围有关。

## 4 结 论

本研究比较了浙江沿海典型滨海湿地入侵植物互花米草的生长性状及其土壤主要化学因子差异。研究表明,乐清湾、象山港互花米草株高、基径、种群密度、样方地上生物量以及单株地上生物量等指标无显著差异,但显著低于杭州湾湿地。乐清湾

与象山港互花米草湿地土壤养分及盐度差异不显著,但显著高于杭州湾湿地。相关性与通径分析表明,不同区域互花米草生长性状与其土壤化学因子的差异性有关,土壤盐度是影响互花米草生长差异的最主要因素,其次是土壤全氮、有效磷和 pH。除了土壤化学因子外,其它因素也可能影响互花米草生长,具体原因有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 章莹. 中国沿海滩涂入侵物种互花米草(*Spartina alterniflora*)的空间分布及生物质能估测研究[D]. 杭州, 浙江大学, 2010.
- [2] 宋连清. 互花米草及其对海岸的防护作用[J]. 海洋学研究, 1997, 15(1): 11-19.
- [3] 杨东, 万福绪. 外来入侵种互花米草的研究进展[J]. 植物保护, 2014, 40(2): 5-10.
- [4] 马俊改, 石福臣. 养分条件对互花米草表型可塑性的影响[J]. 生态学杂志, 2011, 30(3): 459-463.
- [5] 方民杰. 福建沿岸海域互花米草的分布[J]. 台湾海峡, 2012, 31(1): 100-104.
- [6] 金宝石, 闫鸿远, 章文龙, 等. 互花米草入侵下闽江河口沼泽土壤中各形态氮含量和储量[J]. 湿地科学, 2017, 15(3): 375-384.
- [7] 蒋利玲, 曾从盛, 邵灼炯, 等. 闽江河口入侵种互花米草和本地种短叶茳芩的养分动态及植物化学计量内稳性特征[J]. 植物生态学报, 2017, 41(4): 450-460.
- [8] 王洁, 顾燕飞, 尤海平. 互花米草治理措施及利用现状研究进展[J]. 基因组学与应用生物学, 2017, 36(8): 3152-3156.
- [9] 赵相健, 赵彩云, 柳晓燕, 等. 不同纬度地区互花米草生长性状及适应性研究[J]. 生态科学, 2015, 34(1): 119-128.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [11] Sultan S E. Evolutionary implications of phenotypic plasticity in plants[J]. *Evolutionary Biology*, 1987, 21(1): 127-178.
- [12] Schiffrers K, Tielbörger K, Tietjen B, et al. Root plasticity buffers competition among plants: theory meets experimental data[J]. *Ecology*, 2001, 92(3): 610-620.
- [13] Herr-turoff A, Zedler J B. Does morphological plasticity of the *Phalaris arundinacea* canopy increase invasiveness?[J]. *Plant Ecology*, 2007, 193(2): 265-277.
- [14] 葛刚, 赵安娜, 钟义勇, 等. 鄱阳湖洲滩优势植物种群的分布格局[J]. 湿地科学, 2011, 9(1): 19-25.
- [15] 任丽娟, 王国祥, 仇乐, 等. 江苏潮滩湿地不同生境互花米草形态与生物量分配特征[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(3): 220-226.
- [16] 葛刚, 徐燕花, 赵磊, 等. 鄱阳湖典型湿地土壤有机质及氮素空间分布特征[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 619-622.
- [17] 李丽, 雷光春, 高俊琴, 等. 地下水位和土壤含水量对若尔盖木里苔草沼泽甲烷排放通量的影响[J]. 湿地科学, 2011, 9(2): 173-

- 178.
- [18] 奚立平, 张乐勤, 李荣富. 安徽省淮河流域湿地土壤养分流失及水质动态研究[J]. 水土保持学报, 2016, 30(1): 131-136, 140.
- [19] 刘伟成, 陈少波, 郑春芳, 等. 乐清湾滨海湿地不同植被带土壤养分时空分布特征[J]. 土壤通报, 2014, 45(1): 91-99.
- [20] 张文敏, 吴明, 王蒙, 等. 杭州湾湿地不同植被类型下土壤有机碳及其组分分布特征[J]. 土壤学报, 2014, 51(6): 1351-1360.
- [21] 李文华. 潮滩湿地植物—微生物对磷素形态转化影响的研究[D]. 北京, 中国林业科学研究院, 2013.
- [22] 陈伟霖, 梁梓娇, 缪绅裕, 等. 不同盐度下互花米草生长状况的比较研究[J]. 广东农业科学, 2017, 44(4): 67-72.
- [23] 任丽娟, 仇乐, 王国祥, 等. 盐胁迫对淡水浇灌互花米草种子的萌发及胚生长的效应[J]. 植物研究, 2010, 30(3): 305-310.
- [24] 陈绿青. 不同盐度梯度下互花米草的分布及其无性扩散[J]. 青海农林科技, 2013(3): 19-21.
- [25] 肖燕, 汤俊兵, 安树青. 芦苇、互花米草的生长和繁殖对盐分胁迫的响应[J]. 生态学杂志, 2011, 30(2): 267-272.
- [26] 陈健辉, 缪绅裕, 秦玉环, 等. 不同盐度下互花米草根结构的比较研究[J]. 植物科学学报, 2015, 33(4): 482-488.
- [27] 石贵玉, 康浩, 宜丽娜, 等. NaCl胁迫对互花米草细胞膜和光响应曲线特征参数的影响[J]. 广西植物, 2012, 32(1): 101-106.
- [28] Deegan L A, Johnson D S, Warren R S, *et al.* Coastal eutrophication as a driver of salt marsh loss[J]. Nature, 2012, 490(7420): 388-392.
- [29] 包洪福, 李一葳, 赵雨森. 氮素形态及浓度对互花米草生长的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(11): 1521-1527.

## Response of *Spartina alterniflora* Growth to Soil Chemical Properties in Coastal Wetland of Zhejiang

LU Lin-ying<sup>1</sup>, SHAO Xue-xin<sup>1</sup>, YANG Hui<sup>1</sup>, WU Ming<sup>1</sup>, LOU Ke-xun<sup>2</sup>, HUA Ke-da<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry; Hangzhou Bay Wetland Ecosystem Research Station of National Forestry and Grassland Administration, Hangzhou 311400, Zhejiang, China; 2. Agriculture and Forestry Bureau of Fuyang District, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

**Abstract:** [Objective] The growth differences of *Spartina alterniflora* in coastal wetland of Zhejiang Province were compared to identify the influence of soil chemical properties on the growth of *S. alterniflora* and provide reference for management and control of *S. alterniflora* in coastal wetland. [Method] Field investigation and the related laboratory tests were carried out in Hangzhou Bay, Xiangshan Port and Yueqing Bay. The growth characteristics indexes of *S. alterniflora* population density, plant height, basal stem diameter and aboveground biomass, as well as soil chemical properties such as soil pH, water soluble salt, soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus, available nitrogen and available phosphorus were measured. Single factor ANOVA, correlation analysis, and path analysis were applied to analyze the relationship between soil chemical properties and the growth traits of *S. alterniflora* in sampling sites. [Result] (1) The population density, plant height, basal stem diameter and plant biomass of *S. alterniflora* followed the order of Hangzhou Bay > Xiangshan Port > Yueqing Bay. There was no significant difference in growth traits between Yueqing Bay and Xiangshan Port, while the growth traits in Hangzhou Bay were significantly higher than those in the other two regions ( $P < 0.01$ ). (2) There was no significant difference in soil nutrient contents and soil salinity between Yueqing Bay and Xiangshan Port, significantly higher than those in Hangzhou Bay ( $P < 0.01$ ). (3) The most important soil chemical properties affecting the growth of *S. alterniflora* was soil water-soluble salt and followed by soil total nitrogen, available phosphate and pH. [Conclusion] The growth of *S. alterniflora* is affected by soil chemical properties in coastal wetland of Zhejiang Province. Soil salinity and nutrient content in a certain range can promote the growth of *S. alterniflora*, while high salt and high nutrient content may inhibit its growth.

**Keywords:** *Spartina alterniflora*; growth traits; soil chemical properties; coastal wetland