

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2012.06.001

崇明东滩湿地芦苇和互花米草 N、P 利用策略的生态化学计量学分析

赵美霞³, 李德志^{1,2,3*}, 潘宇³, 吕媛媛³, 高锦瑾³, 程立丽³

(1. 华东师范大学上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200062; 2. 浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站, 浙江宁波 315114; 3. 华东师范大学环境科学系, 上海 200062)

摘要: 测定了崇明东滩湿地典型植物群落内芦苇和互花米草各器官及土壤中的 N、P 含量和 N:P, 揭示了它们的季节性动态, 并对其 N、P 利用对策进行了生态化学计量学分析。结果表明: 两种植物的 N、P 含量差异显著且芦苇 > 互花米草; 不同植物以及同一植物不同器官的 N、P 含量随生长节律发生明显变化; N、P 含量的器官分配模式对于芦苇和互花米草均是叶 > 茎 > 根; 两种植物地上部分和地下部分 N、P 含量 5 月 > 9 月 > 7 月; 芦苇 N、P 积累量 > 互花米草; 2 种植物地上部分 N、P 含量差异显著; 互花米草生境土壤各月份 N 含量均高于芦苇生境土壤; P 含量仅在 5 月份高于芦苇生境土壤, 其它月份均低于芦苇生境土壤。芦苇叶片 N 含量与生境土壤 N 含量相关不显著, 叶片 P 含量与土壤 P 含量显著正相关; 互花米草叶片 N 含量与土壤 N 含量极显著正相关, 叶片 P 含量与土壤 P 含量相关不显著。芦苇和互花米草叶片 N:P 与土壤 N、P 含量及 N:P 间相关均不显著。芦苇在生长初期和生长末期的 N:P < 14, 表明其生长受到 N 限制; 处于生长旺季时, 14 < N:P < 16, 表明其受到 N、P 共同限制。互花米草在各月份的 N:P < 14, 说明其主要受到 N 限制。总体而言, N 素是芦苇和互花米草净初级生产力的主要而经常性的限制因子。

关键词: 芦苇; 互花米草; N、P 含量; 季节变化; 土壤; 崇明东滩湿地

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2012)06-0715-08

Ecological stoichiometrical analysis on the strategies of utilization of nitrogen and phosphorus in *Phragmites australis* and *Spartina alterniflora* in Chongming Dongtan wetland

ZHAO Mei-Xia³, LI De-Zhi^{1,2,3*}, PAN Yu³, LÜ Yuan-Yuan³, GAO Jin-Jin³, CHENG Li-Li³

(1. Shanghai Key Lab for Urban Ecological Processes and Eco-Restoration, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Tiantong National Station of Forest Ecosystem, Ningbo 315114, China; 3. Department of Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: N and P contents and N:P in different organs of *Phragmites australis* and *Spartina alterniflora* and habitat soil in the typical plant community in Chongming Dongtan wetland were measured. Based on the seasonal dynamics and the strategy of N and P utilization of the two species were analyzed using the theory of ecological stoichiomet-

收稿日期: 2012-04-14 修回日期: 2012-07-14

基金项目: 国家自然科学基金(31170387); 国家“十一五”科技支撑重大项目(2006BAC01A14); 上海市科委崇明生态建设重大项目(06DZ2303) [Supported by the National Natural Science Foundation of China(31170387); Key Project of the National Eleventh-Five Year Research Program of China(2006BAC01A14); Key Project of Ecological Construction in Chongming, Shanghai Scientific Committee(06DZ2303)]

作者简介: 赵美霞(1986-), 女, 山东临沂人, 硕士研究生, 主要从事植物生态学的研究, (E-mail) zhaomeixia822@163.com.

* 通讯作者: 李德志, 男, 教授, 主要从事植物生态学和区域生态学的研究, (E-mail) dzli@des.ecnu.edu.cn.

ry. The results showed that the contents of N and P in the two species differed significantly, and the order was *P. australis* > *S. alterniflora*. The contents of N and P in different species and the different organs of the same species differed in course of plant growth. The allocation of N and P in different organs of *P. australis* and *S. alterniflora* was in the order of leaf > stem > root. N and P contents of the above- and below-ground parts of the two species, was in the order of May > September > July. Accumulation of N and P in *P. australis* was higher than those in *S. alterniflora*. The contents of N and P in the above-ground parts of the two species differed significantly. N contents in *S. alterniflora* habitat soil were more than those of *P. australis*. Only in May, soil P contents in *S. alterniflora* habitats were more than that in *P. australis*, but in July and September, soil P contents in *P. australis* more than those in *S. alterniflora* habitats. N contents in leaves of *P. australis* were not significantly correlated with those in its habitat soil, while P contents in leaves of *P. australis* were significantly positively correlated with P contents in its habitat soil. The N contents in leaves of *S. alterniflora* were significantly positively correlated with soil N contents in its habitat soil, while P contents in leaves of *S. alterniflora* were not significantly correlated with P contents in its habitat soil. The N : P ratio in leaves of and *S. alterniflora* had no significant correlation with N, P contents and N : P in habitat soil. At the early and last growth stage, $N : P < 14$ for *P. australis*, suggesting the growth of *P. australis* at these stages were N-limited, but at the fast growth stage, $14 < N : P < 16$ for *P. australis*, suggesting the growth of *P. australis* at this stage was N- and P-limited. For *S. alterniflora*, $N : P < 14$ in May, July and September, suggesting that the growth of *S. alterniflora* was N-limited. Generally, the primary productivity of *P. australis* and *S. alterniflora* was N-limited at most cases.

Key words: *Phragmites australis*; *Spartina alterniflora*; contents of N and P; seasonal dynamic; habitat soil; Chongming Dongtan wetland

湿地生态系统营养元素循环的研究是湿地生态科学研究的关键问题之一(杨永兴, 2002a, b; Stribling, 2001)。植物是湿地生态系统物质循环的重要环节, 植物在湿地生态系统营养元素的吸收、分配及归还的循环过程中起着重要的作用(Keddy, 2000)。芦苇(*Phragmites australis*)和互花米草(*Spartina alterniflora*)是崇明东滩湿地中重要的优势植物。在目前情况下, 芦苇种群一般对于中高潮位生境的适应能力较强, 而互花米草则一般对高盐滩涂具有较强的生态适应性, 并且两者在中潮位的典型生境, 形成了激烈的、近于势均力敌的种间竞争格局。究竟是哪些因素促成了这一竞争格局的形成? 潜在的原因可能是多方面的, 但是, 二者对于土壤中一些重要营养元素的利用策略的差异或许是其中非常重要的诱因之一, 因此值得对此进行深入研究。

养分是影响生态系统结构、功能及其稳定性的重要因素之一, 其供应量是否充足以及生物是否能够充分有效地加以吸收、利用, 势必直接影响到生物的生长、种群结构以及生态系统的稳定性。氮和磷是生物体的重要组成成分, 是生物体生命活动过程所必需的大量营养元素, 也常常成为土壤生产力的重要限制性因素。在大多数陆地生态系统中, 氮和磷是植物生长的重要限制元素, 对植物的各种功能起着重要作用(Vitousek 等, 1991; Niklas 等, 2005;

Chapin, 1980)。近年来的研究不但注意到湿地植被在地球化学循环中的作用如中国内陆淡水湿地(何池全等, 2001)和红树林湿地生态系统植物群落的养分元素生物循环特征(尹毅等, 1993); 同时更加关注营养元素在植物体内的含量与生物量的动态变化, 及其对于植物个体和种群的生长、竞争和结构的稳定所发挥的作用如苏北潮滩湿地植物 N、P 营养元素含量的季节变化及生态作用等(高建华等, 2006)。国内迄今为止的研究有些涉及了不同演替阶段优势植物叶片 N : P 变化规律, 有些涉及中国陆地植被叶片 N、P 含量及 N : P 与全球尺度的对比研究。但对于滨海湿地植物群落中组分种群的 N、P 吸收策略和 N : P 动态及其与土壤 N、P 的关系方面的研究较少, 而这对于深入理解湿地植物群落中组分种群间的生态关系是非常重要的前提和基础。鉴于此, 本文以崇明东滩湿地植物群落中的芦苇和互花米草种群为研究对象, 研究了两种植物各器官中的 N、P 含量、N : P 特征的季节动态以及与生境土壤的 N、P 特征的关系, 并在生态化学计量学的框架内做了相应的分析, 旨在揭示东滩湿地入侵植物互花米草种群和本土植物芦苇种群对 N、P 的摄取、利用和分配、转移特征以及芦苇和互花米草种群的生长和竞争可能受到哪种重要营养元素的限制。研究结果对于进一步认识崇明东滩湿地互花米

草和芦苇种群之间的生态关系以及合理经营和管理该生态系统具有一定的理论和应用价值。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于上海市崇明岛最东端的东滩湿地(121°45' E, 31°30' N)。该区属北亚热带海洋性气候,气候湿润,年均日照时数为 2 138 h,太阳总辐射量为 4 300~4 600 MJ·m⁻²,年均气温为 15.3 °C,最热月为 7~8 月份,月平均气温是 26.8~26.9 °C,最冷月为 1~2 月份,月平均气温在 3.0~3.9 °C 之间。全年平均无霜期为 320 d 左右,降雨量充沛,多年平均降雨量为 1 143.7 mm,主要集中在 6~10 月份,年际降水量的变化较大。夏季是洪季和最大输沙季节;冬季降水量较小,且年际变化较大。东滩湿地南北临长江的入海口,向东延伸至东海,是长江口规模最大、发育最完善的河口型潮汐滩涂湿地。在受到长江影响的同时,崇明东滩作为由陆向海的过渡地带,也受到长江口海洋作用的强烈影响,是陆海相互作用中各种物理过程、化学过程、生物过程较为集中和活跃的区域,也是受人为影响较为强烈的区域。2001 年正式列入《拉姆萨国际湿地保护公约》的国际重要湿地名录。分布于东滩湿地的植物主要有芦苇、互花米草、海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)。此外还有白茅(*Imperata cylindrica*)、碱蓬(*Suaeda gtausa*)、糙叶苔草(*Carex scabrifolia*)和灯芯草(*Juncus setchuensis*)等多呈小斑块状分布的植物。东滩湿地自 1995 年人工引种互花米草以来,互花米草逐渐在东滩定居和扩散,目前互花米草已成功入侵原本呈优势分布的中高潮位生境的芦苇群落,并有进一步推进的态势;而在低潮位原来分布的海三棱藨草带,目前已大部分被互花米草种群所取代。

1.2 样品的采集

在崇明东滩湿地捕鱼港区域采集互花米草和芦苇样品。在中潮位分别选择植物长势、高度大体一致的芦苇和互花米草湿地面积大、发育典型、人为干扰少的区域为研究区,形状为正方形,在每个研究区内分别设置 5 个 10 m×10 m 的样方。选择 5 月、7 月、9 月进行采样,分别代表植物生长的春、夏、秋三个季节。采用平行采样法,重复 3 次,每月月末分别在各样方中随机选取 1 个 1 m×1 m 的小样方,将

其地上部分样品采用收获法齐地面刈割采集,并将叶片和茎分离,用四分法分别采样。在剪过植物的样方挖掘 0~15 cm 的植物地下部分。用直径为 2 cm 的土钻对植物对应的表层土壤(0~15 cm)取样。将所有样品均装入乙烯密封袋,贴上标签,带回实验室分析。

1.3 样品处理

为保持植物样品化学成分不发生转变和损耗,首先,对采集的植物样品进行杀青处理,将样品置于烘箱中在 105 °C 条件下烘 15 min,以终止样品中酶的活动。然后,将植物样品在 80 °C 条件下烘干至恒重,粉碎、过筛(1 mm)。土壤样品在实验室阴凉通风处风干后,经研磨粉碎、过筛(1 mm)。对植物的不同部位和土壤进行养分测定时,用温控硝解炉进行硝解,采用标准凯氏法,称取 0.2 g 待分析样品(精确到 0.0001 g)放入硝解管,每管加入 5 mL 浓硫酸,称取 2.5 g 硫酸钠/硫酸铜(按 10:1 混合)加入管中,摇匀,在 375 °C 下硝解 3 h,冷却后转移到容量瓶中(反复冲洗硝解管)定容,然后采用 Skalar(荷兰)流动注射分析仪进行氮磷测定。

1.4 数据处理

统计分析使用 spss18.0 统计软件和 Excel 2003 软件,采用方差分析(ANOVA)中的单因素、双因素最小显著性多重比较(LSD)检验各月份不同植物不同构件 N、P 含量和积累量的差异以及土壤 N、P 含量。同时,对植物叶片各指标与对应的土壤养分浓度进行 Pearson 相关性分析,并进行双尾显著性检验。通过对互花米草和芦苇植株以及土壤在春、夏、秋三个季节的 N、P 含量测定,旨在分析它们在不同季节对于 N、P 的利用策略及其与土壤养分的关系。

2 结果与分析

2.1 互花米草和芦苇 N、P 含量及 N:P 特征

将 5 月、7 月、9 月份采集的互花米草和芦苇植株各器官的 N、P 含量和 N:P 平均值进行多重比较(表 1)。表 1 表明,在研究区内,处于不同生长阶段的互花米草和芦苇对 N、P 元素的摄取存在差异。芦苇和互花米草叶片 N 含量存在显著差异($P < 0.05$),P 含量差异不显著($P > 0.05$);2 种植物茎中 N 含量差异不显著($P > 0.05$),P 含量呈显著性差异($P < 0.05$),且 N、P 含量表现为芦苇 > 互花米草;2 种植物根中 N、P 元素含量差异不显著($P >$

0.05)。芦苇和互花米草茎中 N:P 存在显著差异 ($P < 0.05$), 且 N:P 表现为芦苇 > 互花米草; 2 种植物叶片和根中 N:P 差异不显著 ($P > 0.05$)。N、P 总含量在芦苇和互花米草不同器官中的分布趋势均为叶 > 茎 > 根。芦苇茎中 N:P 最高 ($14 < N:P < 16$), 叶片中 N:P 最低 ($N:P < 14$), N:P 在芦苇不同器官中的分布趋势为茎 > 根 > 叶; 互花米草各器官中 N:P 均小于 14, N:P 在互花米草各器官中的分布趋势为叶 > 茎 > 根。芦苇和互花米草的各器官合计 N 含量差异不显著 ($P > 0.05$), 但各器官合计 P 含量和 N:P 呈显著性差异 ($P < 0.05$)。

植物各器官中的 N、P 含量差异是由整个植株的生理生态特性和相应器官的生理机能状态决定的。表 1 显示, 芦苇和互花米草植株对 N、P 元素的摄取和富集程度存在差异。芦苇和互花米草各器官 N、P 含量差异的规律基本一致, 即均呈现出叶和茎中 N、P 含量高于根中, 因为叶是植物进行光合作用的器官, 是新陈代谢最旺盛的部位, 对 N、P 的需求最多, 因此, 叶中 N、P 含量最高; 而禾本科植物的茎在生长期内的很长时间内也可以进行光合作用, 因此茎中 N、P 含量也较高 (仅低于叶中的含量); 而根是植物的贮藏器官和吸收水分和矿质元素的主要器官, 其所吸收的大量 N、P 被源源不断地运输到光合作用旺盛的器官中, 因此其本身的 N、P 含量最低。不同植物的不同器官中 P 含量均较低, 这可能与 P 的存在形式有关, 因为 P 主要以磷酸根离子或者化合物的形式存在于植物组织中, 极易流动和淋溶, 损失较快, 而自然状态下可溶性 P 很少, 可被植物吸收利用的 P 少, 因此植物中 P 含量普遍较低。在本研究中, 对两种植物的地上和地下部分 N、P 元素的总含量进行比较, 结果表明芦苇 > 互花米草。

2.2 互花米草和芦苇 N、P 平均积累量分布特征

互花米草和芦苇在不同生长时期内, 各器官的生物量不同, 根据各器官 N、P 元素的含量与其相应时期的生物量乘积求得各器官 N、P 元素的积累量。植物的 N、P 积累量一般主要是由不同器官的生物量决定的, 其不同器官之间的分配差异体现了植物各器官对 N、P 元素总摄取量的不同 (曾从盛等, 2009)。将 5 月、7 月、9 月份互花米草和芦苇各器官的 N、P 元素积累量和 N:P 的平均值进行多重比较 (表 2)。表 2 结果表明, 芦苇和互花米草叶片中的 N、P 积累量之间呈显著性差异 ($P < 0.05$), 而 N:P 差异不显著 ($P > 0.05$)。2 种植物茎中和根中的 N、P

积累量均呈显著差异 ($P < 0.05$), 而茎和根中 N:P 差异性均不显著 ($P > 0.05$)。芦苇和互花米草各器官合计 N、P 含量均呈显著性差异 ($P < 0.05$), 而各器官合计 N:P 差异均不显著 ($P > 0.05$)。

表 1 芦苇和互花米草不同器官 N、P 元素平均含量 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)

Table 1 Average contents of N and P in different organs of *P. australis* and *S. alterniflora* plants

物种 Species	器官 Organ	N	P	N:P
芦苇 <i>P. australis</i>	叶	11.46±3.69a	1.10±0.47a	11.81±1.26a
	茎	6.91±1.67a	0.52±0.21b	14.99±1.80a
	根	5.78±0.59a	0.53±0.16a	11.93±1.08a
	合计	8.07±3.73a	0.69±0.40a	12.84±3.71a
互花米草 <i>S. alterniflora</i>	叶	9.67±2.67b	0.91±0.19a	10.72±1.96a
	茎	7.21±2.12a	0.69±0.20a	10.49±1.69b
	根	5.36±1.31a	0.57±0.11a	10.18±1.10a
	合计	7.28±2.82b	0.71±0.25a	10.44±2.25b

注: a、b、c 表示在 0.05 水平上不同区组间具有显著性差异。数据表示方法为平均值±标准误差。下同。

表 2 芦苇和互花米草植株 N、P 积累量

Table 2 Accumulation of N and P in different organs of *P. australis* and *S. alterniflora* plants

物种 Species	器官 Organ	N	P	N:P
芦苇 <i>P. australis</i>	叶	30.57±9.04a	2.73±1.21a	11.81±2.26a
	茎	30.38±9.49a	3.53±1.62a	9.71±3.11a
	根	13.36±3.29a	1.21±0.39a	11.94±3.07a
	合计	24.01±9.88a	2.39±1.49a	11.21±2.96a
互花米草 <i>S. alterniflora</i>	叶	17.41±5.50b	1.54±0.41b	11.35±2.08a
	茎	15.12±4.63b	1.31±0.40b	11.60±1.87a
	根	7.06±1.90b	0.74±0.23b	10.18±3.10a
	合计	12.72±6.14b	1.16±0.49b	10.98±2.49a

2.3 互花米草和芦苇 N、P 的季节动态

2.3.1 芦苇各器官 N、P 的季节变化 同一植物的不同器官一般不同生长时期对营养元素的种类、数量和比例有不同的需求, 摄取能力也不一致, 这就形成了植物各器官营养元素含量的差异和季节变化。从生长季节动态变化趋势来看, 芦苇植株叶和茎的 N 含量季节变化规律基本相同, 5 月份各器官的 N 含量最高, 7 月份 N 含量最低, 且芦苇叶片和茎中 N 浓度各月份间差异显著 ($P < 0.05$)。5 月是植物的生长初期, 这个时期植物开始生长, 但光合作用还不是特别旺盛, 植株体内的 N 素可以尚未充分利用, 因此此时期植株体内的 N 含量为一年中的最大值; 7 月份芦苇进入生长旺季, 一方面植株体内的 N 素被大量利用, 另一方面随着植物的不断生长和生物量的积累, 体内的 N 素也发生稀释效应, N 含

量降至年度最低;9月份植物各器官的 N 含量相比于 7 月有不同程度的升高,此时期植株的光合作用机能减弱,体内的 N 素利用量减少。

芦苇植株各器官的 P 含量变化规律不尽相同(图 1)。芦苇叶、茎和根中的 P 含量各月份间均存在显著差异($P < 0.05$)。各器官 P 含量 5 月份最高(与 N 素的情况类似)。7 月,植株进入旺盛生长时期,植株体内的 P 素被大量利用,与此同时随着植物的不断生长和生物量的积累,体内的 P 素也被稀释,P 含量降至年度最低;进入 9 月,芦苇的 P 含量出现一定程度的增加,这是由于该时期植株的光合作用减弱,体内的 P 素利用量减少。芦苇根的 P 含量在返青期含量高,随着植物的生长发育逐渐减低,7 月以后 P 含量趋于稳定。

2.3.2 互花米草各器官 N、P 元素含量的季节变化

在不同生长发育时期内,互花米草各器官中 N 含量出现先下降然后逐渐增加的趋势。各月份各器官中 N 含量差异显著($P > 0.05$)(图 2)。5 月各器官的 N 含量达到最高值,其中,叶中 N 含量最高,而根中 N 含量最低。这一时期植物地上部分开始生长,但还未达旺盛的程度。根系所吸收的 N 尚未被植株充分利用,植物生物量也较小,因此对 N 素的稀释效应不显著,根系吸收的 N 素较多留存于植株体内。5 月后,随着植物生长进入旺盛期,对 N 素的利用量增加,生物量显著增加,植株所摄取的 N 素浓度被稀释,植物各器官 N 含量开始下降,因此,在 7 月达到最低值。9 月植株各器官的 N 含量出现不同程度的增加,而茎和根的 N 含量则趋于稳定。其变化规律和原因与芦苇 N 含量变化规律相似。

在互花米草的生长初期,各器官的 P 含量均比较高,随着各器官的生长发育进行,P 含量在 7 月急剧下降至最低并趋于稳定(图 2)。各月份间叶中 P 含量差异显著($P < 0.05$),高峰值主要出现在 5 月、9 月,叶中 P 含量普遍高于茎和根中 P 含量;茎和根中 P 含量各月间的差异性不显著($P > 0.05$)。

2.4 芦苇和互花米草 N:P 的季节动态

芦苇的 N:P 有明显的季节变化,芦苇地上部分的 N:P 在其生长初期较小($N:P < 14$),5 月后,随着生长进入旺盛期间,N:P 先有较大程度的增加又逐渐降低,此时 $N:P > 14$ 。芦苇的地下部分和整体平均的 N:P 变化规律相似。随着植物的生长发育,地下部分 N:P 逐渐增加,但是 N:P 始终小于 14。而植株 N:P 整体平均值在 7 月大于

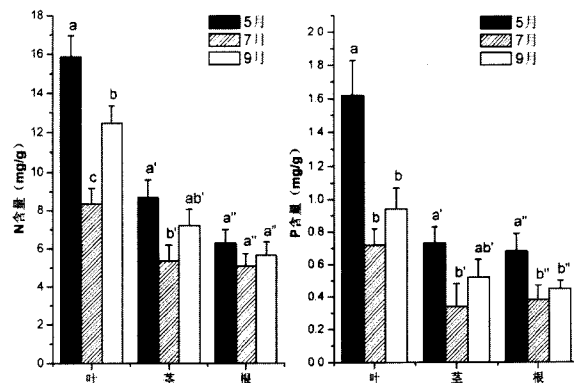


图 1 芦苇植物 N、P 元素含量的季节变化(N、P 含量在相同器官不同月份间分别进行比较)

Fig. 1 Seasonal dynamics of N and P contents in *P. australis* plants

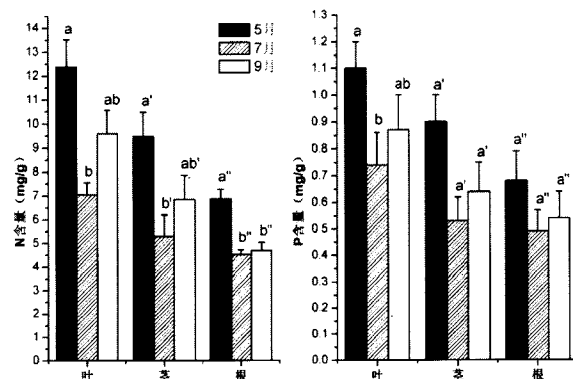


图 2 互花米草植物 N、P 元素含量的季节变化(N、P 含量在相同器官不同月份间分别进行比较)

Fig. 2 Seasonal dynamics of N and P contents in *S. alterniflora* plants

14,其它月均小于 14(图 3),且各月份 N:P 之间差异显著($P > 0.05$)。说明芦苇在 7 月生长旺季时,受 N、P 共同限制,而在 5、9 月植物生长初期和生长末期时,受到 N 限制。

互花米草地上部分和植株整体的 N:P 在各月间差异均不显著($P > 0.05$),而地下部分 N:P 各月之间差异显著($P < 0.05$)(图 4)。互花米草各部分的 N:P 均小于 14,说明互花米草的生长主要受 N 元素限制。其中地上部分和植株整体在各月份之间 N:P 变化波动较小,且 5、9 月 N:P 比值均大,7 月 N:P 比值较小。

2.5 芦苇和互花米草生境土壤 N、P 含量及 N:P 的季节动态

将 5、7、9 月采集的芦苇和互花米草生境土壤的 N、P 和 N:P 分别进行多重比较(表 3),结果表明,

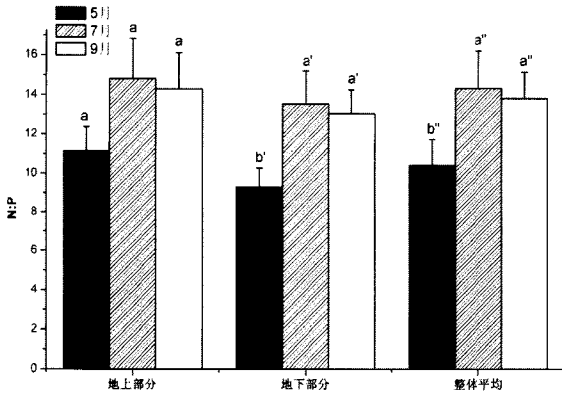


图3 芦苇 N:P 季节动态变化(在相同部分不同月份间进行比较)

Fig. 3 Seasonal dynamic of N:P in *P. australis* plants

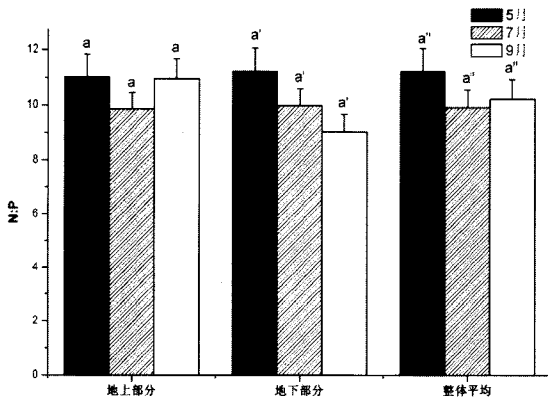


图4 互花米草 N:P 季节动态变化(在相同部分不同月份间进行比较)

Fig. 4 Seasonal dynamic of N:P in *S. alterniflora* plants

表3 芦苇和互花米草生境土壤 N、P 元素含量的季节变化 (N、P、N:P 在不同月份间分别进行比较)

Table 3 Seasonal dynamics of N and P contents in the habitat soil of *P. australis* and *S. alterniflora* plants

物种 Species	月份 Month	N	P	N:P
<i>P. australis</i>	5月	1.17±0.12a	0.46±0.02a	2.50±0.34a
	7月	0.84±0.04b	0.39±0.03b	2.20±0.21a
	9月	1.00±0.32ab	0.41±0.04ab	2.43±0.20a
<i>S. alterniflora</i>	5月	1.41±0.16a	0.48±0.03a	2.94±0.14a
	7月	0.90±0.11b	0.37±0.02b	2.41±0.12b
	9月	1.19±0.21b	0.41±0.05ab	2.96±0.25a

芦苇生境土壤的 N、P 含量在各月间均呈显著性差异 ($P < 0.05$), 且芦苇生境土壤的 N、P 含量均在 5 月较高, 7 月含量较低。互花米草生境土壤的 N、P 含量在各月间差异显著 ($P < 0.05$), 其变化规律与芦苇生境土壤 N、P 含量的变化规律相似。从表 3 看出, 互花米草生境各月份土壤 N 含量均高于芦苇

土壤, 而互花米草生境土壤 P 含量在 5 月份高于芦苇生境土壤, 其它月份均低于芦苇生境土壤 P 含量。芦苇生境土壤的 N:P 在各月间差异均不显著 ($P > 0.05$), 且芦苇土壤生境的 N:P 在 5 月最高、7 月最低。互花米草生境土壤的 N:P 在各月间均呈显著性差异 ($P < 0.05$), 其变化规律和芦苇生境土壤 N:P 的变化规律相似。

2.6 芦苇和互花米草叶片中 N、P 和生境土壤 N、P 含量的关系

将各月份的芦苇和互花米草叶片和生境土壤 N、P 含量各指标的平均值进行 Pearson 相关性分析, 结果表明, 芦苇和互花米草叶片 N 含量与叶片 P 含量之间均呈极显著正相关, 芦苇叶片 N 含量与叶片 N:P 间相关性不显著, 而 P 含量与叶片 N:P 呈显著负相关 (表 4); 互花米草叶片 N、叶片 P 含量与其 N:P 相关性均不显著 (表 5)。芦苇叶片 N 含量与土壤 N 含量相关性不显著; 互花米草叶片 N 含量与土壤 N 含量呈极显著正相关。芦苇叶片 P 含量与土壤 P 含量呈显著正相关; 互花米草叶片 P 含量与土壤 P 含量相关性不显著。芦苇和互花米草叶片 N:P 与土壤 N、P 含量以及土壤 N:P 之间相关性均不显著。

3 结论与讨论

3.1 讨论

(1) 欧洲 40 个湿地植物叶片 N、P 含量差异性很大, 其中 N 含量变化范围为 $6 \sim 20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, P 含量变化范围为 $0.2 \sim 3.3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (Koerselman & Meuleman, 1996)。在本研究中, 芦苇和互花米草在生长季节内叶片 N、P 含量均在此范围内, 而且芦苇和互花米草各器官 N、P 含量变化规律基本一致, 即叶 > 茎 > 根。这与三江平原湿地植物各器官的营养元素浓度分布规律相似。

(2) 植物不同部位 N、P 含量的变化, 不但与生境的 N、P 供给情况有关, 还与其自身结构特点、生长节律和摄取能力有关 (Baldwin 等, 2006)。这种变化也反映了植物体内 N、P 吸收和转移的实际格局。植物地上茎和叶在生长初期的生长速度慢、生物量小, 植物中 N、P 浓度较高, 又由于地上部分消耗、利用少, 地下部分的 N、P 浓度也比较高; 随着地上部分进入生长旺盛时期, 生物量迅速增加, 对 N、P 的需求量增大, 此时地上部分 N、P 浓度受稀释效

表 4 芦苇叶片中 N、P 和生境土壤 N、P 含量的相关性

Table 4 Relationship of N and P contents in between *P. australis* leaves and habitat soil

芦苇 <i>P. australis</i>	叶片 N Leaf N	叶片 P Leaf P	叶片 N:P Leaf N:P	土壤 N Soil N	土壤 P Soil P	土壤 N:P Soil N:P
叶片 N Leaf N	1.000					
叶片 P Leaf P	0.842**	1.000				
叶片 N:P Leaf N:P	-0.199	-0.662*	1.000			
土壤 N Soil N	0.493	0.652*	-0.338	1.000		
土壤 P Soil P	0.461	0.578*	-0.367	0.853**	1.000	
土壤 N:P Soil N:P	0.404	0.530	-0.171	0.901**	0.550	1.000

*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$, 下同。

表 5 互花米草叶片中 N、P 和生境土壤 N、P 含量的相关性

Table 5 Relationships between N and P concentration in *S. alterniflora* leaves and habitat soil

互花米草 <i>P. australis</i>	叶片 N Leaf N	叶片 P Leaf P	叶片 N:P Leaf N:P	土壤 N Soil N	土壤 P Soil P	土壤 N:P Soil N:P
叶片 N Leaf N	1.000					
叶片 P Leaf P	0.805**	1.000				
叶片 N:P Leaf N:P	0.507	-0.090	1.000			
土壤 N Soil N	0.719**	0.534	0.385	1.000		
土壤 P Soil P	0.573	0.205	0.566	0.743**	1.000	
土壤 N:P Soil N:P	0.438	0.580*	-0.059	0.652*	-0.014	1.000

应的影响,降到一年中最低(刘长娥等,2008)。由于根为地上部分 N、P 的供给器官,在植物生长旺盛时期,根输送 N、P 到地上部分,从而导致自身 N、P 浓度降低;在生长末期,地上部分逐渐枯黄,植物开始为越冬和次年生长储存营养物质,地上部分在枯死前,将部分养分转移到地下,N、P 出现回流,导致根系 N、P 浓度有再度升高的可能。崇明东滩湿地受长江水、东海潮汐水和大气降水共同影响,而且一年中水量极不稳定(冬枯夏丰),这也影响到不同时期生境土壤养分状况。东滩湿地芦苇和互花米草叶片 N、P 含量季节动态变化与曾从盛等(2009)的研究结果基本一致。植物的 N、P 积累量一般主要是由不同器官的生物量决定的,其在不同器官之间的分配差异体现了植物各器官对 N、P 总摄取量和积累量的不同(曾从盛等,2009)。东滩湿地芦苇和互花米草叶的生物量以及其中的 N、P 含量最高,因而 N、P 积累量也最大。本研究中芦苇和互花米草各器官 N、P 积累量的差异与三江平原沼泽湿地毛茛草(*Carex lasiocarpa*) 营养元素积累分配(何池全等,2001)、三江平原不同湿地群落 P 元素积累量(何太蓉等,2006)等研究结果相似。

(3)在多数生态系统中,N 和 P 是限制植物生长的重要养分因子(Vitousek & Howarth,1991)。N:P 化学计量学在养分循环和生态系统功能的研究中极为重要,可通过植物的 N:P 大小来判断植

物生长的限制营养因子。欧洲无林湿地植物 N:P 变化范围在 3~40 之间(Gueswell & Koerselman, 2002)。本研究中,芦苇和互花米草 N:P 均在此范围内。Koerselman & Meuleman(1996)认为,当植物 N:P < 14 时,植物生长受 N 限制;当植物 N:P > 16 时,植物生长受 P 限制;当 N:P 介于两者之间时,为两者共同限制或两者都不限制。按照该理论,芦苇在生长初期、生长末期 N:P < 14,表明芦苇生长受到 N 限制;7 月芦苇处于生长旺季时,14 < N:P < 16,表明芦苇生长受到 N、P 共同限制。互花米草在各月份的 N:P 均小于 14,说明互花米草生产力主要受到 N 限制。在对芦苇和互花米草的根、茎、叶各器官中 N:P 进行分析时发现也均小于 14(仅在芦苇茎中 N:P 略高于 14)。总体而言,在东滩湿地,N 素是芦苇和互花米草净初级生产力的重要的和经常性的养分限制因子。

(4)生境土壤养分与植物养分之间具有密切联系。一般认为土壤养分有效性变化时,通常会导致植物叶片氮磷含量和光合作用能力发生变化(Cordell 等,2001a,b; Harrington,2001)。但土壤养分与植物养分之间可能并不存在稳定一致的相关关系,这可能与植物的生长状态以及植物对土壤养分的摄取是否处于饱和以及土壤养分的可利用性有关。

3.2 结论

(1)芦苇和互花米草各器官中 N 含量均大于 P

含量,且在不同器官中的分布规律均是叶>茎>根。芦苇和互花米草叶中N、P含量均呈显著性差异($P<0.05$)。2种植物茎中N、P含量差异显著($P<0.05$),而根中N、P含量差异不显著($P>0.05$)。芦苇和互花米草茎中N:P差异显著($P<0.05$),其它器官中N:P差异性均不显著($P>0.05$)。

(2)芦苇和互花米草的N、P积累量主要与植株的生物量有关。互花米草的N、P总含量平均值排序为叶>茎>根。芦苇N总含量平均值排序为叶>茎>根;P总含量平均值排序为茎>叶>根。芦苇N:P在各器官的排序为根>叶>茎;在互花米草各器官中的排序为茎>叶>根。

(3)芦苇和互花米草各器官N、P含量在生长季内呈现动态变化,总体上,地上部分N、P含量在生长初期较高、生长旺盛期降低、生长缓慢期又有所回升;地下部分N、P含量在生长初期和后期较高,且地上部分N、P含量高于地下部分的含量。

(4)从植物N:P来看,芦苇在生长初期和生长末期N:P均小于14,表明其生长受到N限制,处于生长旺季时, $14<N:P<16$,表明其受到N、P共同限制。互花米草在各月份的N:P均小于14,说明其主要受到N限制。总体而言,N素是芦苇和互花米草净初级生产力的主要而经常性的限制因子。

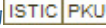
(5)芦苇和互花米草生境土壤的N、P含量各月间差异显著,且N、P含量均在5月较高、7月含量较低、9月居中。互花米草生境土壤各月份N含量均高于芦苇生境土壤,而P含量仅在5月高于芦苇生境土壤,其他月份均低于芦苇生境土壤。

参考文献:

- Keddy PA. 2000. Wetland Ecology; Principles and Conservation [M]. Cambridge, Cambridge University Press, 16-107
- Baldwin DS, Rees GN, Mitchell AM, et al. 2006. The short-term effects of salinization on anaerobic nutrient cycling and microbial community structure in sediment from a fresh water wetland [J]. *Wetlands*, 26: 455-464
- Chapin FS. 1980. The mineral nutrition of wild plants [J]. *Ann Rev Ecol Syst*, 11: 233-260
- Cordell S, Goldstein G, Meinzer FC, et al. 2001a. Morphological and physiological adjustment to N and P fertilization in nutrient-limited *Metrosideros polymorpha* canopy trees in Hawaii [J]. *Tree Physiol*, 21: 43-50
- Cordell S, Goldstein G, Meinzer FC, et al. 2001b. Regulation of life-span and nutrient-use efficiency of *Metrosideros polymorpha* trees at two extremes of a long chronosequence in Hawaii [J]. *Oecologia*, 127: 198-206
- Gao JH(高建华), Yang GS(杨桂山), Ou WX(欧维新). 2006. Influence of tidal flat plant on contents of nitrogen and phosphorus in North Jiangsu Province(苏北潮滩湿地植被对沉积物N、P含量的影响)[J]. *Sci Geogr Sin(地理科学)*, 26(2): 224-229
- Gueswell S, Koerseman W. 2002. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants [J]. *Persp Plant Ecol Evol Syst*, 5: 37-61
- Harrington RA, Fownes JH, Vitousek PM. 2001. Production and resource use efficiencies in N-and P-limited tropical forests: a comparison of responses to long-term fertilization [J]. *Ecosystems*, 4: 646-657
- He CQ(何池全), Zhao KY(赵魁义). 2001. The accumulation, allocation and biological cycle of the nutrient elements in *Carex lasiocarpa* wetland(毛果苔草湿地营养元素的积累、分配及其生物循环特征)[J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 21(12): 2074-2080
- He TR(何太蓉), Yong YX(杨永兴). 2006. Accumulation and biological cycling of pandkin wetland communities in Sanjiang Plain(三江平原湿地植物群落P、K的积累、动态及其生物循环)[J]. *Oceanol Etlimnol Sin(海洋与湖沼)*, 37(2): 178-182
- Koerseman W, Meuleman AF. 1996. The vegetation N:P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation [J]. *J Appl Ecol*, 33: 1441-1450
- Liu CE(刘长娥), Yang YX(杨永兴), Yang Y(杨杨). 2008. Gray correlation analysis on nutrient elements between *Scirpus maritimus* plant and soil in the upper shoal of Jiuduansha(九段沙上沙湿地海三棱藨草与土壤之间营养元素的灰色关联分析)[J]. *Res Environ Sci(环境科学研究)*, 21(4): 138-143
- Niklas KJ, Owens T, Reich PB, et al. 2005. Nitrogen/phosphorus leaf stoichiometry and the scaling of plant growth [J]. *Ecol Lett*, 8: 636-642
- Stribling JM, Cornwell JC. 2001. Nitrogen, phosphorus and sulfur dynamics in a low salinity marsh system dominated by *Spartina alterniflora* [J]. *Wetlands*, 21(4): 629-638
- Vitousek PM, Howarth RW. 1991. Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur [J]. *Biogeochem*, 13: 87-115
- Vitousek PM. 1999. Nutrient limitation to nitrogen fixation in young volcanic sites [J]. *Ecosyst*, 2: 505-510
- Yang YX(杨永兴). 2002a. Main characteristics, progress and prospect of international wetland science research(国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望)[J]. *Prog Geogr(地理科学进展)*, 21(2): 111-120
- Yang YX(杨永兴). 2002b. New knowledge on the progress of international wetland science research and priority field and prospect of Chinese wetland science research(国际湿地科学研究进展和中国湿地科学研究优先领域与展望)[J]. *Adv Earth Sci(地球科学进展)*, 22(4): 318-323
- Yin Y(尹毅), Lin P(林鹏). 1993. The accumulation and biological cycle of Nitrogen and Phosphorus elements in rhizophores *Stylosa* community, Guangxi(红海榄红树林的氮、磷积累和生物循环)[J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 13(3): 221-227
- Zeng CS(曾从盛), Zhang LH(张林海), Tong C(全川). 2009. Seasonal dynamics of nitrogen and phosphorus in phragmites australis and *Spartina alterniflora* in the wetlands of Min River estuary(闽江河口湿地芦苇和互花米草氮、磷养分季节动态)[J]. *Wetland Sci(湿地科学)*, 7: 16-24

作者: [赵美霞](#), [李德志](#), [潘宇](#), [吕媛媛](#), [高锦瑾](#), [程立丽](#), [ZHAO Mei-Xia](#), [LI De-Zhi](#), [PAN Yu](#), [L\(U\) Yuan-Yuan](#), [GAO Jin-Jin](#), [CHENG Li-Li](#)

作者单位: [赵美霞, 潘宇, 吕媛媛, 高锦瑾, 程立丽, ZHAO Mei-Xia, PAN Yu, L\(U\) Yuan-Yuan, GAO Jin-Jin, CHENG Li-Li \(华东师范大学环境科学系, 上海, 200062\)](#), [李德志, LI De-Zhi \(华东师范大学上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海200062; 浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站, 浙江宁波 315114; 华东师范大学环境科学系, 上海200062\)](#)

刊名: [广西植物](#) 

英文刊名: [Guihaia](#)

年, 卷(期): 2012, 32(6)

被引用次数: 3次

参考文献(20条)

- [Keddy PA Wetland Ecology:Principles and Conservation 2000](#)
- [Baldwin DS;Rees GN;Mitchell AM The short-term effects of salinization on anaerobic nutrient cycling and microbial community structure in sediment from a fresh water wetland 2006](#)
- [Chapin FS The mineral nutrition of wild plants 1980](#)
- [Cordell S;Goldstein G;Meinzer FC Morphological and physiological adjustment to N and P fertilization in nutrientlimited Metrosideros polymorpha canopy trees in Hawaii 2001](#)
- [Cordell S;Goldstein G;Meinzer FC Regulation of life-span and nutrient-use efficiency of Metrosideros polymorpha trees at two extremes of a long chronosequence in Hawaii 2001](#)
- [高建华, 杨桂山, 欧维新 苏北潮滩湿地植被对沉积物N、P含量的影响\[期刊论文\]-地理科学 2006\(2\)](#)
- [Gueswell S;Koerselman W Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants 2002](#)
- [Harrington RA;Fowmes JH;Vitousek PM Production and resource use efficiencies in N-and P-limited tropical forests:a comparison of responses to long-term fertilization 2001](#)
- [何池全, 赵魁义 毛果苔草湿地营养元素的积累、分配及其生物循环特征\[期刊论文\]-生态学报 2001\(12\)](#)
- [何太蓉, 杨永兴 三江平原湿地植物群落P、K的积累、动态及其生物循环\[期刊论文\]-海洋与湖沼 2006\(2\)](#)
- [Koerselman W;Meuleman AF The vegetation N:P ratio:A new tool to detect the nature of nutrient limitation 1996](#)
- [刘长娥, 杨永兴, 杨杨 九段沙上沙海梭草湿地植物与土壤间营养元素含量的灰色关联分析\[期刊论文\]-环境科学研究 2008\(4\)](#)
- [Niklas KJ;Owens T;Reich PB Nitrogen/phosphorus leaf stoichiometry and the scaling of plant growth 2005](#)
- [Stribling JM;Cornwell JC Nitrogen, phosphorus and sulfur dynamics in a low salinity marsh system dominated by Spartina alterniflora 2001\(04\)](#)
- [Vitousek PM;Howarth RW Nitrogen limitation on land and in the sea:How can it occur 1991](#)
- [Vitousek PM Nutrient limitation to nitrogen fixation in young volcanic sites 1999](#)
- [杨永兴 国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望\[期刊论文\]-地理科学进展 2002\(2\)](#)
- [杨永兴 国际湿地科学研究进展和中国湿地科学研究优先领域与展望\[期刊论文\]-地球科学进展 2002\(4\)](#)
- [尹毅;林鹏 红海榄红树林的氮、磷积累和生物循环 1993\(03\)](#)
- [曾从盛, 张林海, 全川 闽江河口湿地芦苇和互花米草氮、磷养分季节动态\[期刊论文\]-湿地科学 2009\(1\)](#)

引证文献(2条)

- [杨慧, 李青芳, 涂春艳, 曹建华 桂林毛村岩溶区典型植物叶片碳、氮、磷化学计量特征\[期刊论文\]-广西植物 2015\(04\)](#)
- [韩华, 王昊彬, 余华光, 谭渝峰, 由文辉 崇明滩涂湿地不同盐度梯度下芦苇种群及土壤的生态化学计量学特征\[期刊论文\]-长江流域资源与环境 2015\(05\)](#)

引用本文格式: [赵美霞](#), [李德志](#), [潘宇](#), [吕媛媛](#), [高锦瑾](#), [程立丽](#), [ZHAO Mei-Xia](#), [LI De-Zhi](#), [PAN Yu](#), [L\(U\) Yuan-Yuan](#), [GAO Jin-Jin](#),
[CHENG Li-Li](#) [崇明东滩湿地芦苇和互花米草N、P利用策略的生态化学计量学分析](#)[期刊论文]-[广西植物](#) 2012(6)