

黄河三角洲芦苇生物量空间变化环境解释^{*}

冯忠江¹, 赵欣胜²

(1. 河北师范大学 资源与环境科学学院, 石家庄 050016; 2. 北京师范大学 环境学院 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875)

摘要:在黄河三角洲芦苇生物量调查的基础上,研究了滨海湿地水体及土壤的物理化学性质对芦苇生物量的影响。结果表明:(1)由于环境因子的影响,芦苇生物量较低,为 56.04 ~ 1 668.45 g/m²;地下和地上生物量之比 1.25 ~ 2.37;(2)在多种影响芦苇生物量的因子中,盐度是最主要的限制因子,生物量随盐度的增加而减少;(3)水深是最主要的促进因子,地上生物量随着水深的增加而增加,而地下与地上生物量之比则随着水深的增加而减少,主要原因在于水深改变了芦苇的植株形态特征(株高、茎粗)和结构(密度)特征;(4)半闭流状态的水体中营养物质含量高,N 含量对芦苇的生长有促进作用。

关键词:芦苇;生物量;水深;盐度;黄河三角洲

中图分类号:F323.2;Q142

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)03-0170-05

The Environmental Interpretation for the Space Change of the Reed Biomass in the Yellow River Delta

FENG Zhong-jiang¹, ZHAO Xin-sheng²

(1. College of Resource and Environmental Science, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China;

2. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Basing on the field investigation of the biomass of the reed (*Phragmites australis*) in the Yellow River Delta, we studied the effect of the water body of the coastal wetland and the physical and chemical properties of the soil on the biomass of the reed. The results show that: (1) Affected by the environmental factors, the biomass of the reed is lower ranging from 56.04 to 1 668.45 g/m²; the ratio of the belowground biomass to aboveground biomass is from 1.25 to 2.37; (2) Among various factors affecting the reed biomass, the salinity is the dominant restrictive factor with the increase of which the biomass decrease; (3) The water depth is the most important promotive factor, and with the rise of the water depth, the aboveground biomass increase while the ratio of the belowground to the aboveground biomass decrease. The main reason behind this result is that the water depth changes the morphology characters of the reed plants, such as the plant height and the diameter at breast height, and the structure characters (density); (4) The nutrient substance content in the water body at the state of closed semi-flow is high, and the nitrogen content is productive to the growth of the reed.

Key words: reed; biomass; water depth; salinity; Yellow River Delta

湿地植被以水为生存空间,受水分梯度、水流状况、透明度、生物竞争以及营养物质等环境因子的影响^[1-2]。湿地植物的空间分布与其对水分响应的差异性有一定关系。在滨海地区,湿地生态系统服务功能的重要性格外显著,它不但可以为珍稀鸟类和鱼类提供栖息地和食物^[1],同时在蓄水调洪补充地下水、维持区域水平衡、调节气候、净化环境和保护生物多样性等方面均具有重要意义。芦苇是一种在水陆交错带中广泛分布的无性繁殖的禾本科大型水生植物^[2],具有生物量大、分布广的特点,对湿地生态系统的结构和功能的

控制作用显著,从而影响到湿地生态系统的服务功能。盐度和水深是芦苇生长的主要控制因子。在相同的气候条件下,土壤分异导致了植被变化,尤其是盐生植被和盐渍化土壤的相关性更为明显。湿地土壤中的盐分对植被的生长发育有很大影响,尤其是作为滨海湿地水生植物优势种的芦苇。近年来,关于盐渍土、盐生植被、抗盐生理等方面的研究受到国内外学者的广泛关注,并且逐渐深入,但对水体-盐渍化土壤-芦苇系统相关性的定量研究尚不多见。

黄河三角洲湿地土壤类型以潮土和盐土为主,孕育了大

^{*} 收稿日期:2007-08-31

基金项目:国家自然科学基金重点(50239020);国家自然科学基金项目(40571149)

作者简介:冯忠江(1964-),男,河北沾源人,副教授,硕士,主要从事资源开发与利用及区域可持续发展研究。E-mail: fengzhongjiang@163.com

量的芦苇湿地资源。选择其作为研究区,对生长在盐渍化土壤中的芦苇生物量进行调查分析,可为湿地生态系统服务功能的评价及其生态恢复和管理提供科学依据。

1 研究区概况

研究样地设在黄河三角洲国家级湿地自然保护区下属的大汶流管理站的核心保护区内。黄河三角洲国家级湿地自然保护区地处山东省东营市黄河入海口处(图1),地理坐标为 $37^{\circ}35' - 38^{\circ}12' \text{N}$, $118^{\circ}33' - 119^{\circ}20' \text{E}$,是以保护黄河口新生湿地生态系统和珍稀、濒危鸟类为主体的自然保护区,是我国暖温带最完整、最广阔、最年轻的湿地生态系统和全国最大的河口三角洲自然保护区。其地貌特征为海拔 $<7 \text{ m}$ 的低平原,以坡度 $0.1\% \sim 0.2\%$ 向海倾斜。本区属北温带半湿润大陆性季风气候,四季分明,雨热同期。年平均气温 12.1°C ,无霜期 196 d 。降雨较少,且蒸发旺盛,年均降雨量 551.6 mm ,年均蒸发量为 1962 mm ,干旱指数达到 3.56 。形成和维持本区水系的主体是黄河,地下水基本上为松散岩类孔隙水,微咸,矿化度较高。

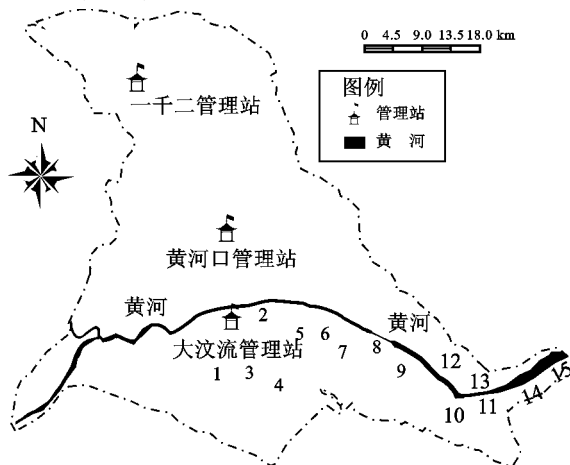


图1 研究区示意图

该区内土壤的形成发育是在三角洲成陆过程中,不断受到黄河泛滥改道、海岸线变迁、海水侵袭、潜水浸润、大气降水、地面蒸发、植被演替以及农业垦殖等多种因素的影响,形成了以潮土和盐土为主的土壤类型。由于地下水位高,潜水平化度也较高,形成大面积盐渍土壤,盐度主要在 $0.1\% \sim 3.0\%$,以 NaCl 为主。在盐度为 $0.5\% \sim 1.5\%$ 的土壤以及 $0.1\% \sim 0.4\%$ 的沼泽和非盐渍化地区的淡水沼泽处都有芦苇群落分布。

此外,由于黄河泥沙沉积形成的新生湿地成土年龄短,有机质含量较低,肥力不高,芦苇生物量较低。区内水生植物种类多,分布广,尤其以芦苇湿地分布最为广泛。同时芦苇作为一种经济植物资源,为当地居民增加了创收机会。

2 研究方法

2.1 样地设置

芦苇的适应性强,在水湿或干旱、淡水或咸水、肥沃或贫瘠的生境中都能生存,为保证各样地间的可比性,在选择样地时,以突出水分和盐度梯度、排除人为干扰为原则。由于当地于2002年开始实施一项湿地恢复工程,恢复区内芦苇

生境得到改善,生长状况良好,与未恢复区土壤、水体和芦苇状况差异显著,在两区内分别设置样地有利于进行本项分析研究。

考虑到影响土壤盐分和有机质含量变化的主要因素,如距海远近、高程大小、微地貌变化等,在研究区内选取15个样地(图1)。

2.2 样品的采集和处理

于2005年9月份进行实验,芦苇此时已经抽穗开花,植株高度及茎粗等不再增加。芦苇属于多年生草本植物,对淹水状态的适应能力随年龄增加而增强^[3],从而使其生长状况随年龄的变化而有所差异。为了消除年龄对生物量的影响,根据芦苇地下根状茎的分蘖情况,统一选择年龄为2a的植物样地。在每个样地设置 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的样方,采取收获法获得芦苇的生物量。

首先测定水深,并采集水样,于当日在实验室分析水质。测量样方内芦苇植株的株数和平均高度(20株)、茎粗以及密度。齐地面割取芦苇植株的地上部分,并挖出样方内地下 1 m 深的全部根系用清水清洗至无泥土为止。阴干后,分别称取地上和地下两部分的鲜重,待完全自然风干后再分别称取其干重。在挖掘地下部分的同时采取不同深度的湿地土壤样品,在实验室进行分析。

2.3 水和土壤样品的分析方法

在实验室内,测定水样中的总氮(TN)和总磷(TP)量。对于土壤样品,用重铬酸钾容量法(外加热法)测定有机质含量;利用电极法测定水溶性盐总量。

3 结果分析与讨论

3.1 芦苇生物量

3.1.1 地上生物量

芦苇虽然是一种 C_3 植物,但生物量还是比较大。在黄河三角洲,由于土壤盐碱化严重,加之成土年龄短,肥力不高,所以15个样地芦苇群落的地上生物量平均为 777.25 g/m^2 。各样点的地上生物量之间相差较为悬殊,介于 $56.04 \sim 1668.45 \text{ g/m}^2$ 。

3.1.2 地下生物量

作为一种多年生植物,芦苇的根及其根状茎常年留在地下。15个样地内的芦苇地下生物量平均为 1276.04 g/m^2 ,介于 $132.78 \sim 3281.61 \text{ g/m}^2$ 。其地下与地上生物量不存在正相关关系,因为芦苇依赖于地下储藏器官的控制领域和克服不利的条件^[3],较高的地下生物量对生态系统的营养循环和能量转化影响较大,有效养分中有相当大的一部分来自生物量较大的地下储藏器官^[4]。

此外,地下生物量和地上生物量的比值是衡量生产力的一项基本指标。Westlake(1982)^[5]提出一个经验值,当芦苇地上生物量达到最大时,比值为2.5。因此,可以选择这个比值作为分析生物量与影响因子关系的一项指标。该次研究设置的15个样点,该比值平均为1.81,介于 $1.25 \sim 2.37$ 。

3.2 环境因素单因子分析

3.2.1 水深

水深变化对芦苇的植株形态及其生物量有较大的调整

能力^[6]。随着水深变化,芦苇群落的形态结构也随之变化。

在黄河三角洲,芦苇植株高度随着水深的增加而增加(图 2),原因在于,如果要获得 CO_2 和光照进行光合作用,就需要植株有足够的高度从水面挺出,从而将 O_2 输送到根系进行呼吸和根围的氧化。因此,在深水环境中生长的芦苇,

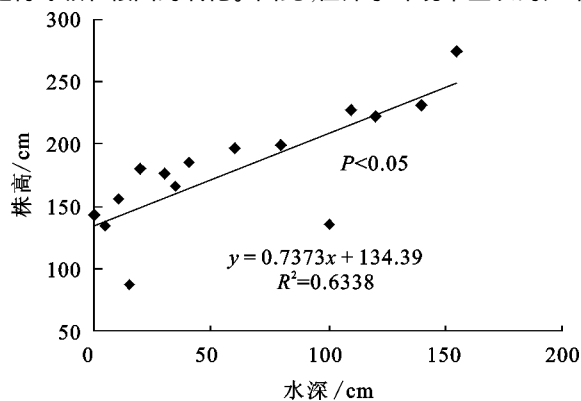


图 2 芦苇植株高度与水深的相互关系

芦苇植株的平均直径为 4.72 mm,样地间差异不显著,但深水芦苇(水深 > 1 m)的植株直径(平均 6.14 mm)总体大于浅水芦苇(水深 < 1 m)的直径(平均 3.98 mm)。芦苇植株的直径在生长期没有显著增加,只与生长速度、周围芦苇的生长有关^[7]。

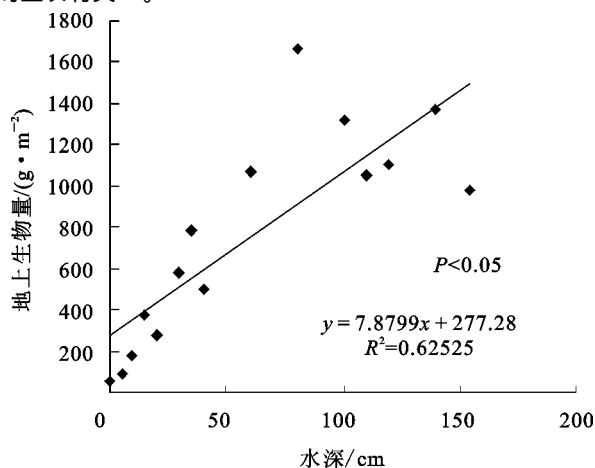


图 4 地上生物量与水深的相互关系

由于形态结构的不同,芦苇生物量也有差异。在黄河三角洲,地上生物量随着水深的增加而增加(图 4)。虽然地下生物量和水深没有明显的相关关系,但生物量在地下储藏器官的分配与水深之间存在负相关关系,即地下与地上生物量的比值随水深而降低(图 5)。原因在于随着水深的增加,为了获取足够的阳光和空气,芦苇植株将更多的生物量分配到光合器官,从而利于进行 O_2 与 CO_2 的交换,相应的地下储藏器官的比例就会降低^[8]。

3.2.2 水体营养负荷

在土壤营养源之外,芦苇的生长在一定程度上还依赖于水体的营养状况,从水体中吸取部分营养物质。由于水体流动性弱,更新能力较差,加之淡水资源补给不足等原因,黄河三角洲湿地水体营养物质含量较高。N 含量均值为 1.64 mg/L,而富营养化标准是 0.2 mg/L,严重超标;而 P 含量为

为了获取更多的资源,植株往往发育得比较高大。在研究区,芦苇生长的湿地生境并非常年处于深水状态,水深多在 0~60 cm 范围,100 cm 以上的深水区域分布不广,所以芦苇植株总体处于较低的水平,比内陆淡水区生长的芦苇植株高度要低。

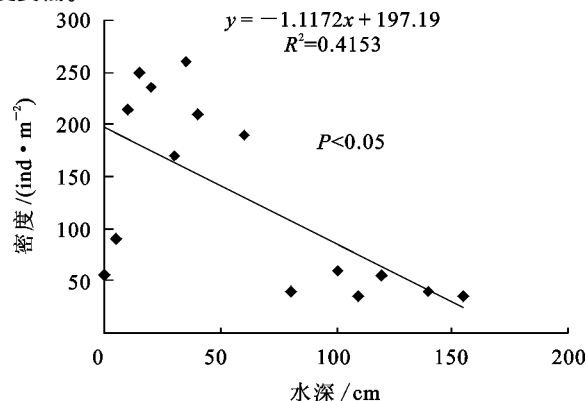


图 3 芦苇群落密度与水深的关系

随着水深的增加,芦苇群落的密度逐渐降低(图 3)。原因是由于芦苇种群的自疏作用,这对芦苇的高度和径向生长是一种补偿,使得浅水芦苇群落的生物量有所增加,但这种补偿作用对生物量的影响不足以改变生物量随水深增加的趋势^[4]。

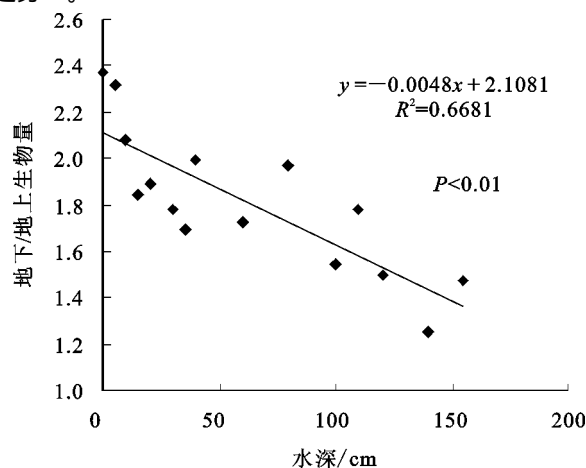


图 5 地下与地上生物量之比与水深的关系

0.12 mg/L,超过标准(0.02 mg/L)6 倍左右。

对生物量与水体中 N、P 营养物质的含量进行分析发现,生物量与 N 含量呈正相关(图 6),与 P 含量并不存在明显的相关性。因此,N 含量高也是芦苇生物量高的原因之一。而在淡水生态系统中,一般并不认为 P 是水生植物生长的限制因子^[6],有利于提高芦苇在水生植物间的竞争能力。

3.2.3 土壤有机质

黄河三角洲湿地土壤有机质含量较低,原因之一在于由泥沙淤积形成的新生土壤成土时间短,有机质累积少,此外还与芦苇的收获有关。在恢复区内,进入冬季结冰期的时候,收获封育的芦苇的地上部分,只有地下的根状茎和根部的一部分在土壤中逐渐分解,成为土壤中的有机质。间歇淹水的芦苇地(主要分布在西部地势较高的地区),每年留在地下的生物量较少,有机质累积不明显(样地有机质平均含量

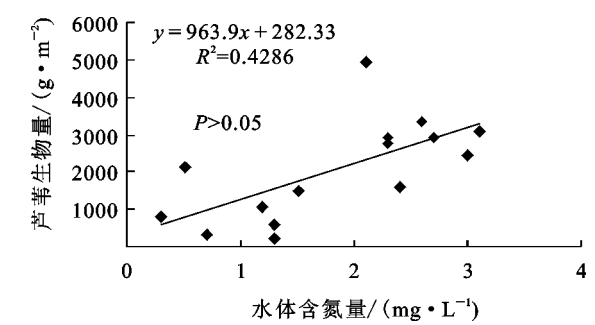


图 6 芦苇生物量与水体含氮量的关系

为 6.82 mg/kg)。在年内淹水期较长的芦苇地(东、中部地势较低洼区),土壤颜色随有机质含量的增加而略有加深,样地内有机质平均含量为 7.95 mg/kg,高于间歇淹水样地。

在未恢复区内,由于土壤盐渍化现象严重,植被以芦苇-黄蒿(*Herba artemisiae Annuae*)及翅碱蓬(*Suaeda heteroptera*)-补血草(*Limnium bicolor*)等耐盐碱植被群落为主。虽然该区淡水资源缺乏,植物生长量低,但土壤有机质含量(样地有机质平均含量为 8.28 mg/kg)仍高于恢复区,主要原因在于:恢复区内,封育的芦苇收割后不利于土壤有机质的累积,以及较好的水湿条件,有利于微生物的活动,枯枝落叶的分解速度较快。而且,该区内土壤有机质分布较为均匀,基本处于 5~10 mg/kg。

由图 7 可以看出,芦苇生物量和土壤有机质含量的相

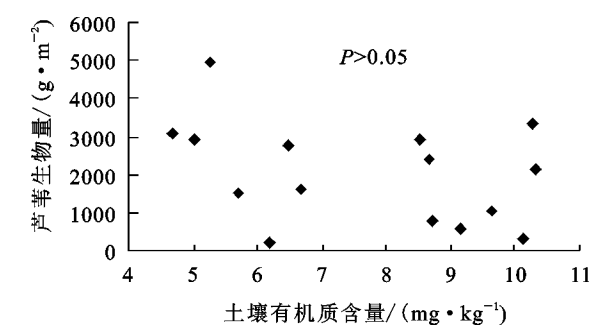


图 7 芦苇生物量与土壤有机质含量的关系

关性不明显(相关系数 $R^2 = 0.1348$)。由于湿地水体营养物质含量较高,对植物生长来讲,土壤营养物质不再是控制因子。因此,有机质分解产生的营养物质对生物量的影响不大,但是不同有机质类型对芦苇的生长有一定影响^[10]。

3.2.4 土壤盐度

黄河三角洲不同生境内的芦苇生物量之间有较大差异,和土壤盐度呈显著负相关(图 8,9),地下与地上生物量之比与盐度相关性不显著。在河滩高地、岗地上,土壤质地多为粉砂质至砂壤质,地下潜水平深在 1.5 m 以上,土壤多发育为滨海盐化潮土,盐度介于 0.1%~0.5%,目前有部分开发为农田和林地,生长的自然植被优势种有芦苇和轻度耐盐的白茅(*Comm. Imperata cylindrica*)和罗布麻(*Comm. Apocynan venetum*)群落,芦苇处于较好生境,生长密集。

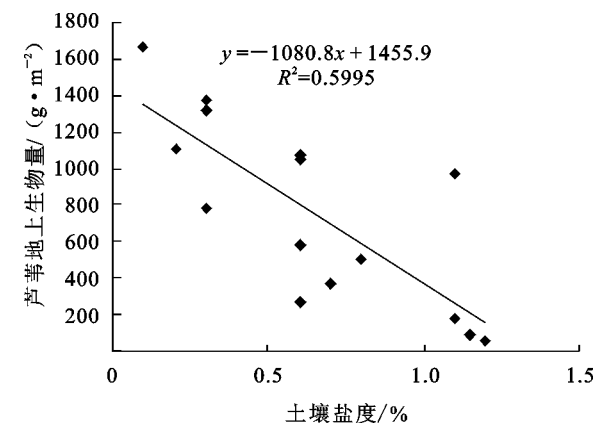


图 8 芦苇地上生物量与土壤盐度的关系

洼地常年或季节性积水,土壤质地多为壤土至重壤土,为水盐汇集中心,但积盐中心不在积水区而在边缘地形平坦的地带,洼地土壤盐度一般在 0.3%~0.6%,生长的芦苇植株高大,生物量高(>1500 g/m²)。近海的缓平低地是滨海湿地盐土集中分布地区,局部高处由于蒸发快,盐度在 2.5%以上,形成光板地;盐度 0.8%~2.0%的稍低处,有翅碱蓬、碱蓬(*Suaeda glauca*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaris*)、补血草等中强度耐盐的植被群落,芦苇处于受抑生境,植株矮而细弱,生物量低(<1000 g/m²);局部盐度 0.8%以下,可见白茅和芦苇群落群聚分布。

3.3 环境因素综合分析

通过以上单因子影响分析,将芦苇地上生物量作为因变量,以各项环境影响因子为自变量,进行多元回归,得到以下

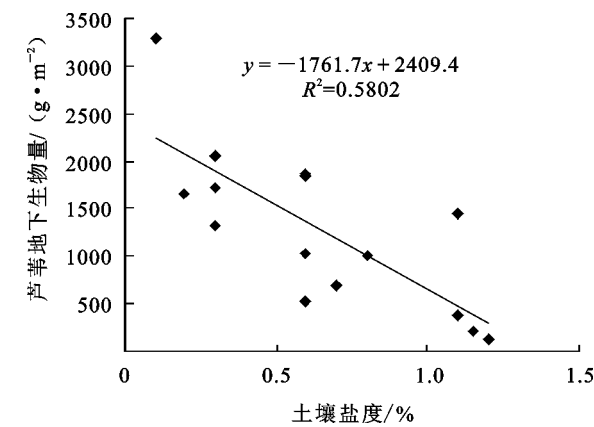


图 9 芦苇地下生物量与土壤盐度的关系

模型:

地上生物量: $y = 693.159 - 719.881x_1 + 3.644x_2$

$F = 27.597$

式中: x_1 ——盐度; x_2 ——水深。

该模型的复相关系数 $R = 0.958$, 判断系数 $R^2 = 0.917$, 进一步证明水深和盐度是滨海湿地芦苇生长的控制因子。综合分析,水体含氮量和土壤有机质对芦苇生物量的影响低于水深和盐度的影响。

由于研究区地势较平坦,水体流动性弱,滞留时间长,芦苇生长受栖息水深波动影响不大,可以顺利完成植株形态的转变,从而影响生物量。但水深和积水时间过长,芦苇在群落中的优势地位逐渐被其他物种代替,如香蒲(*Typha orientalis*),睡莲(*N. tetragona*)、荇菜(*N. vmphoides*)等。

盐度是控制芦苇生长的一项重要环境因子,由于驯化和对生境的适应,芦苇对盐度的耐受性有所不同,已报道的最大耐受极限有英国的 1.2%,纽约的 2.9%,红海岸的 4.0%^[11]。盐度在 2% 以上时可以抑制芦苇种子萌芽,降低到 1% 以下时则不会影响种子的萌发。

4 结 论

(1) 由于环境因子的影响,黄河三角洲湿地芦苇生物量较低,且样地间差异显著,地上生物量介于 56.04~1 668.45 g/m²,地下和地上生物量之比介于 1.25~2.37。

(2) 在影响芦苇生物量的多种限制因素中,最显著的是盐度,地上和地下生物量随土壤盐度的增加而减少。由于生长受到土壤盐度的抑制,芦苇的形态和群落结构特征(株高、茎粗和植株密度等)发生改变,从而影响生物量。

(3) 水深是最主要的促进因子,地上生物量随着水深的增加而增加,而地下与地上生物量的比值则随着水深的增加而减少,这主要是由于水深改变了芦苇群落的结构(群落密度)和植株的形态特征(株高、茎粗)。

(4) 半闭流状态的水体中营养物质含量高,N 含量对芦苇的生长有促进作用。由于新生土壤肥力低,水体中的营养物质是芦苇主要的营养源。N 含量越高,芦苇植株累积的干物质就越多。

(5) 在黄河三角洲,土壤中有机质含量低,对芦苇生物量影响不显著。

参考文献:

- [1] Chambers R M, Meyerson L A, Saltonstall K. Expansion of *Phragmites australis* into tidal wetlands of North America[J]. Aquatic Botany, 1999, 64: 261-273.
- [2] Haslam S M. Biological flora of the British Isles. *Phr*

ragmites communis Trin[J]. Journal of Ecology, 1972, 60: 585-610.

- [3] Mauchamp A, Blanch S, Grillas P. Effect of submergence on the growth of *Phragmites australis* seedling[J]. Aquatic Botany, 2001, 69: 147-164.
- [4] 邵成, 陈中林, 董厚德. 辽河口湿地芦苇的生长及生物量研究[J]. 辽宁大学学报: 自然科学版, 1995, 22(1): 89-94.
- [5] Westlake D F. The primary productivity of water plants[C]// Symoens J J, Hooper S S, Compere P. Studies on aquatic vascular plants. Brussels: Royal Botanical Society Belgium, 1982: 165-180.
- [6] 段晓男, 王晓科, 欧阳志云, 等. 乌梁素海野生芦苇群落生物量及影响因子分析[J]. 植物生态学报, 2004, 28(2): 246-251.
- [7] Tschardt T. Insects on common reed (*Phragmites australis*) community structure and the impact of herbivory on shoot growth[J]. Aquatic Botany, 1999, 64: 399-410.
- [8] Vretare V, Weisner S E B, Strand J A, et al. Phenotypic plasticity in *Phragmites australis* as a functional response to water depth[J]. Aquatic Botany, 2001, 69: 127-145.
- [9] Van Der Putten W H, Peters B A M, Van Der Berg M S. Effects of litter on substrate conditions and growth of emergent macrophytes[J]. New Phytologist, 1997, 135: 527-537.
- [10] 吴志芬, 赵善伦, 张学雷. 黄河三角洲盐生植被与土壤盐分的相关性研究[J]. 植物生态学报, 1994, 18(2): 184-193.

(上接第 169 页)

营养化发生的机理,建立富营养化趋势预测模型,为门楼水库富营养化治理及时准确地提供科学依据。

参考文献:

- [1] 王蕾, 杨敏, 郭志海. 密云水库水质变化规律初探[J]. 中国给水排水, 2006(13): 45-48.
- [2] 陈水勇, 吴振明, 俞伟波. 水体富营养化的形成、危害和

影响[J]. 环境科学与技术, 1999(2): 11-15.

- [3] 黄昕, 刘帮玉. 烟台市区水资源供需矛盾及对策[J]. 水资源保护, 2002(1): 55-57.
- [4] 张智, 林艳, 梁健. 水体富营养化及其治理措施[J]. 重庆环境科学, 2002, 2(4): 52-54.
- [5] 陈英旭. 环境学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001: 118-119.