乌梁素海野生芦苇群落生物量及影响因子分析

段晓男 王效科* 欧阳志云 苗 鸿 郭 然

(中国科学院生态环境研究中心系统生态重点实验室 北京 100085)

摘 要 对内蒙古乌梁素海湿地野生芦苇(*Phragmites australis*)生物量的调查基础上,探讨了富营养化湖泊湿地水体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,芦苇群落生物量变化较大,介于 $1.73 \sim 3.00 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间,地下和地上生物量之比介于 $1.14 \sim 2.19$ 之间;2)芦苇群落生物量受多种因素的影响,其中水深是最主要的限制因子,水上生物量和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)和个体形态(株高和株茎);3)芦苇群落生物量随着水体N浓度增加而增加。芦苇各器官(叶、茎、根状茎和根)的N:P为 $7.59 \sim 12.21$,小于14,这也说明该水体中的N负荷是影响芦苇生长的主要限制因子;4)土壤有机质分解对芦苇生长没有产生毒害作用。

关键词 芦苇 生物量 水深 营养负荷 有机质

THE BIOMASS OF *PHRAGMITES AUSTRALIS* AND ITS INFLUENCING FACTORS IN WULIANGSUHAI

DUAN Xiao-Nan WANG Xiao-Ke* OUYANG Zhi-Yun MIAO Hong and GUO Ran

(Key Laboratory of System Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract There is an increasing need to understand the importance of ecosystem services provided by wetlands, including nutrient storage, water quality improvement, soil organic matter enhancement and biodiversity protection. *Phragmites australis* (common reed) is a dominant plant in many aquatic ecosystems and plays a critical ecosystem service role in wetlands. However, few studies have focused on common reed communities, especially concerning its characteristics in eutrophic wetlands in western China.

To investigate the relationship between the biomass of *P. australis* and the physical and chemical characteristics of water and soil (water depth, N and P water and sediment concentrations, soil organic matter and N and P content of plants), a field study was conducted in September 2002 in Wuliangsu Hai, Inner Mongolia where eutrophication is a very serious problem in this arid climate. We randomly selected 15 sampling sites and determined the reed biomass with harvest method in $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ plots. To eliminate the effects of different aged stands on biomass, we chose uniform plots of two-year old reed stands. The reed height, culm diameter and the number of shoots were measured and soil, water and plant (leave, stem, rhizome, root) were sampled, and the N and P content analyzed.

The results showed that the reed biomass was as high as $1.73 \sim 3.00 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ with a below-ground to above-ground biomass ratio ranging from $1.1 \sim 2.1$. Many factors influenced reed biomass, but water-depth was the most important factor. Above-ground and above-water biomass increased and the ratio of below- to above-ground biomass decreased with water depth. Water-depth effected reed biomass by changing the morphology and structure of the reed community, such as reed height, culm diameter, density, and biomass allocation. There was a significant correlation between reed biomass and water N concentrations. The nitrogen to phosphorus ratio ranged from $7.59 \sim 12.21$ (< 14) indicating that N limited the reed growth at the community level. Reed biomass was not correlated with water P concentrations. Soil organic matter did not influence reed biomass because the soil was primarily consisted of mineral and organic sediment with little reed litter that releases phytotoxic acids. To investigate the combined effect of the physical and chemical characteristics of water and soil on reed biomass, an equation was developed which indicated that the reed biomass of Wuliangsu Hai was mainly influenced by water depth and N concentrations of the water.

Key words *Phragmites australis*, Biomass, Water-depth, Nutrient loading, Organic matter

在干旱半干旱地区,由于水资源的短缺,湿地生态系统的服务功能尤为重要,它不但为鸟类和鱼类提供栖息地和食物(Chambers *et al.*, 1999),固定土壤有机质等,还能够调节区域气候、蓄水防洪、降解

陆源污染物等(肖笃宁,1998)。芦苇(*Phragmites australis*)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(Haslam,1972),由于其生物量大、分布广,对湿地生态系统的结构和功能有很强的控制作用,从而影响到湿地生态系统的服务功能。

富营养化是近半个世纪以来,湿地生态系统所面临的重大环境问题。水体和底泥中 N、P 以及土壤有机质的大量积累,对水生生物的生长发育产生了很大影响,同样也会影响到芦苇的生长和生物量。但目前对富营养化条件下,芦苇群落生长和生物量的研究还比较缺乏。因此本研究选择在我国干旱地区的乌梁素海,对生长在严重富营养化湿地生态系统中的芦苇生物量进行了调查分析,这将为湿地生态系统服务功能的评价和乌梁素海的生态恢复和管理提供科学根据。

1 研究方法

1.1 乌梁素海概况

乌梁素海(108°43'~108°57'E 40°47'~41°03'N)位于内蒙古巴彦淖尔盟乌拉特前旗境内,面积 293 km²,平均水深为 0.90 m。气候属温带大陆性干旱气候,是黄河流域最大的湖泊。乌梁素海为动物、尤其是鸟类提供良好的栖息地,目前生活着 100 多种鸟类,其中属于国家一级保护的有 5 种,国家二级保护的有 25 种(邢莲莲,1996)。主要补水依靠农田灌溉退水,深受农田面源污染的危害,每年排入乌梁素海的总氮为 1 088.594 t,总磷为 65.747 t(金相灿,1995)。湖内沉水植物和挺水植物分布很广,尤其是苇塘区的面积达到 112.97 km²,几乎占到整个湿地面积的一半。芦苇造纸已经取代渔业成为当地居民的最主要经济来源。

1.2 样品的采集和处理

实验是在 2002 年 9 月上旬进行的,此时芦苇已经抽穗开花,高度不再增加。由于芦苇是一种多年生草本植物,它对淹水状态的适应能力随年龄而增强(Mauchamp *et al.*, 2001),所以它的生长状况会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状况,我们统一选取年龄为 2 年的植物样地。在乌梁素海的不同地点设置了 15 个点(图 1),每点取 1 m×1 m 的样方,用收获法获得芦苇的生物量。

首先用玻璃取样器提取水样,迅速冷藏,供分析水质用。然后测定水深、芦苇株高和直径以及密度。

分别剪取芦苇的水上部分和地上部分,并挖出地下超过 0.5 m 的根系用流水清洗。分别称得各部分的鲜重,另取一部分回到实验室进行处理。并且取部分底泥土壤供实验室分析。

将所采的部分植物样品(根、根状茎、地上茎和叶)分别在 105℃烘 2 h 后,再在 85℃烘至恒重。求出各自含水率,根据各器官鲜重计算生物量。另外取部分芦苇各器官样品风干、粉碎,以分析 N、P 含量。

图 1 乌梁素海样点图

Fig.1 The sampling site in Wuliangsu Lake

1.3 水、土壤和植物样品的分析方法

在实验室分别用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法和磷钼酸胺比色法测定水样中的总氮(TN)与总磷(TP)量;用重铬酸钾外加热氧化法测定土壤有机质,用钼蓝比色法测定土壤全磷量;用凯氏法测定土壤和植物体的 N 含量。用硫酸-过氧化氢消煮,钼钼黄比色法分析植物中 P 含量。

2 研究结果和讨论

2.1 芦苇群落的生物量

2.1.1 地上生物量

芦苇虽然是 C₃ 植物,但生物量比较大。在乌梁素海,15 个样地的芦苇群落的地上生物量平均为

2.59 kg·m⁻²。各样点间差异比较大,介于 1.73 ~ 3.01 kg·m⁻²之间。

2.1.2 地下生物量

野生芦苇的根和根状茎常年留在地下,生物量比较大,在乌梁素海,15 个样地的地下生物量平均为 2.91 kg·m⁻²,介于 1.52 ~ 4.31 kg·m⁻²之间。但是地上生物量大的样地的地下生物量并不一定大。芦苇作为多年生植物,依赖于地下储藏器官控制领域和克服不利的条件(Mauchamp *et al.*, 2001)。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很大,相当一部分的有效养分来自生物量较大的地下贮藏器官(邵成等, 1995)。

地下生物量和地上生物量的比值是衡量生产力的一个基本指标。Westlake(1982)提出一个经验值,当芦苇地上生物量达到最大时,这个比值为 2.5。在乌梁素海的 15 个测定点,该比值平均为 1.94,差异也较大,介于 1.14 ~ 2.19 之间。

2.2 环境因素单因子分析

2.2.1 水深

对沼生植物而言,水体的深度梯度变化对植株的形态具有很强的调整能力(Hejny & Hroudová, 1987)。在乌梁素海随着水体深度的变化,芦苇群落的形态结构也随之发生变化。

芦苇植株的高度随着水深的增加而增加(图 2)。这是因为芦苇作为大型的挺水植物,需要从水中挺出水面,去获得 CO₂ 和光照以进行光合作用,并且将 O₂ 输送到根系进行呼吸和根围的氧化。在深水环境的芦苇,为了争夺更多的资源,植株发育比较高大。

芦苇植株的直径,平均为 8.01 mm。样地间的差异不大,但深水芦苇(水深 > 1 m)的植株直径(平均 9.19 mm)总体大于浅水芦苇(水深 < 1 m)的直径(平均 7.51 mm)。芦苇的植株直径在生长期基本不变,只与生长速度、周围芦苇的生长有关(Tschamtké, 1999)。

随着水体深度的增加,芦苇群落的密度逐渐降低(图 3)。这可能是由于芦苇种群的自疏作用,它对芦苇的高度和径向生长是一种补偿(邵成等, 1995),这种补偿作用会使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。

形态结构的不同导致了芦苇生物量的差异。在乌梁素海,地上生物量和水上生物量对水深的响应基本一致,随着水深的增加而增加(图 4a、b)。虽然

没有发现地下生物量与水深有明显的相关关系,但生物量在地下储藏器官的分配与水深成负相关关系,即地下生物量/地上生物量的比值随水深的增加而降低(图 4c)。在富营养化水体中,水分和营养元素不再是稀缺因素,芦苇更多的是对光和空气的争夺。深水芦苇为了争夺光和空气的需要,将生物量更多的分配到光合器官,有利于 O₂ 和 CO₂ 的交换,相应的地下储藏器官的比例就会降低(Vretare *et al.*, 2001)。

图 2 野生芦苇植株高度与水深的相互关系
Fig.2 The relationship between the height of wild reed and water depth

图 3 芦苇群落密度与水深的关系
Fig.3 Effects of water-depth on the density of reed community

2.2.2 营养负荷

在富营养化条件下,营养负荷对芦苇的影响一直是有争议的问题。芦苇的生长在一定程度上要依赖于水体的营养状况,从水体中吸收营养成分。分析乌梁素海样地的芦苇生物量和底泥中的 N、P 营养成分时,发现相关性不显著。这是由于湿地底泥中的有机质含量较高,氧化还原电位较低,芦苇的根部更多的是从水体中而不是从根围吸收营养成分(Lefor, 1987)。在乌梁素海,芦苇群落的生物量只和 水体中的 N 含量成显著相关(图 5),而与 P 的含量相关性不显著。

图4 水深对水上生物量(a)地上生物量(b)以及对地下地上生物量之比(c)的影响

Fig.4 The effect of water-depth on above-water biomass(a), above-ground biomass(b) and the ratio of below-ground to above-ground biomass(c)

表1 芦苇各器官中氮、磷含量及氮磷比			
Table 1 Tissue concentration and weight ratio of N:P of <i>Phragmites australis</i> leaf, stem, rhizome and root			
器官 Component	氮含量 N content (mg·g ⁻¹)	磷含量 P content (mg·g ⁻¹)	氮磷比 N:P
叶 Leave	25.02 ± 10.34	2.32 ± 0.95	10.83 ± 1.22
茎 Stem	18.41 ± 8.36	1.97 ± 0.67	9.42 ± 1.43
根状茎 Rhizome	19.23 ± 7.77	2.01 ± 0.25	9.78 ± 1.12
根 Root	24.02 ± 6.25	2.25 ± 0.29	10.60 ± 0.98

图5 野生芦苇生物量与水中氮浓度的关系

Fig.5 The relationship of reed biomass to water N concentration

植物中的 N:P 可以用来说明限制生长的营养因子。一般来说,当 N 和 P 的重量比小于 14(摩尔比小于 31)时,N 是植物生长的限制因子,而 N 和 P 的重量比大于 16(摩尔比大于 34)时,P 是植物生长的限制因子(Koerselman & Meuleman, 1996)。对乌梁素海芦苇植株的营养元素分析发现(表 1),N 和 P 的重量比在 9.03 ~ 13.93 之间,并且叶 > 根 > 根状茎 > 茎。无论是光合器官还是储藏器官,N:P 都小于 14,说明了 N 是限制芦苇生长的重要因子,P 不是生长的限制因子。Romero 等(1999)在盆栽实验中,发现植物体内的 N、P 含量随着 N 负荷的升高而升高,与磷负荷无关。这与我们观测到芦苇群落生物量与水体中的 N 含量成正相关的结论一致。

乌梁素海芦苇生物量大,主要与水体 N 含量高有关。乌梁素海是一个严重富营养化的湿地生态系统,N 负荷很高。其水体中的 N 的含量非常高(平均 1.9 mg·L⁻¹),一般是通常富营养化标准(TN = 0.2 mg·L⁻¹)的 10 倍,而 P 的浓度(平均 0.11 mg·L⁻¹)较低,超过标准(0.02 mg·L⁻¹)5 倍左右。其次,在淡水生态系统,P 一般被认为是限制水生植物,尤其是藻类生长的因子(Hecky & Kilman, 1988),P 不是芦苇生长的限制因子,有利于提高芦苇在水生植物间的竞争能力。

2.2.3 土壤有机质

在乌梁素海,湿地土壤中有有机质含量不仅与淹水时间的长短有关,而且与芦苇的收获方式有关。由于每年湖泊结冰期,只收获芦苇的水面以上部分,水面以下的茎与土中根状茎和根部会进入底泥土壤,逐渐腐烂分解,成为土壤中的有机质。间歇淹水的芦苇地(主要分布在湖心岛和陆边),土壤类型以砂土为主,颜色为淡黄色,每年能留在地下的生物量比较少,有机质的积累不明显(砂土样地有机质含量 4.49 gC·kg⁻¹)。而常年淹水的芦苇地,土壤类型以粘土和淤泥为主,颜色随有机质含量的增加而加深,其底泥有机质含量平均为 38.10 gC·kg⁻¹,高于间歇淹水样地。在乌梁素海,苇塘区(长期淹水)的底泥中的有机质的分布比较均匀,基本上在 20 ~ 40 gC·kg⁻¹之间。芦苇群落生物量较大(> 2 kg·m⁻²)的样

地,其底泥(不考虑砂土类型)有机质的含量较高(30 $\text{gC}\cdot\text{kg}^{-1}$)。但当有机质含量低于 20 $\text{gC}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,样地的生物量较低。芦苇群落的生物量和底泥中的有机质的相关系数较低($R^2=0.21$,图6)。再者,在富营养化水体中,营养元素不再是控制因子,有机质分解产生的营养物质而对生物量的影响不大。这和芦苇生长会受到不同有机质类型的影响,但并不取决于有机质的含量(van der Putten *et al.*, 1997; Clevering, 1998)的结论类似。

土壤有机质的积累对物种的分布有很大的影响(Smits *et al.*, 1990)。土壤微生物的活动主要受到土壤有机碳和营养状况的限制(Pokorný *et al.*, 1990)。所以在淹水的情况下,有机质的迅速积累对植物生长常常会产生负面影响。土壤中微生物活动造成氧的消耗加大,将会限制植株根围的氧化(Brinson *et al.*, 1981)。在营养充足的条件下,持续增高的N的输入,导致土壤微生物活动的加剧,促使水中的氧消耗,使厌氧环境成为主导,结果,根围氧化能力不强的物种被更有适应力的物种所代替。芦苇之所以在淹水条件下,有很强的竞争能力,就在于它具有发达的通气组织,用植株内部的气体交换机制去弥补外部贫氧条件,能够较好地适应这种环境。

有些学者认为,在淹水、高氮的条件下,土壤微生物的活动会导致毒素的排放(Pokorný *et al.*, 1990; van der Putten *et al.*, 1997),有机质分解释放出的植物性毒素对野生芦苇有害(Amstrong *et al.*, 1996)。但从调查结果来看,不但没有发现乌梁素海野生芦苇的生物量与土壤有机质含量有显著的相关,也没有发现有机质的毒害作用对芦苇的生物量有控制作用。

对植物有害的有机酸如乙酸、丁酸主要是枯枝落叶中的木质素和纤维素厌氧分解释放的(Mason & Bryant, 1975; Drew & Lynch, 1980),富含枯枝落叶的土壤有机质容易释放毒素(Lessen *et al.*, 1999)。而在乌梁素海的两年生的芦苇样地,枯枝落叶积累很少。枯枝落叶层在土壤有机质中的作用不大,毒害效应不明显。

3.3 环境因素综合分析

在以上单个因子对芦苇群落生物量的影响分析基础上,以芦苇的生物量为因变量,各项环境因子(水中N、P含量、土壤中N、P以及有机质的含量)为自变量,通过逐步回归,可得到以下模型:

收获量(水上生物量)

$$y = 0.004\ 08 + 0.764x_1 + 0.354x_2$$

$$(R^2 = 0.735^{**}) \quad F = 16.611$$

$$\text{地上生物量 } y = 0.194 + 1.055x_1 + 0.479x_2$$

$$(R^2 = 0.737^{**}) \quad F = 16.832$$

其中, x_1 为水深, x_2 为水中N含量。这表明芦苇生物量主要受到水深和N浓度的影响。乌梁素海是一个流动性比较差的水体,湖水的滞留时间在160~200 d左右(金相灿,1995),芦苇的生长没有受到水波动的干扰,能够比较容易完成形态结构的转变,继而影响生物量。

富营养化一直被认为是芦苇生长不良的可能性因素,但对它的作用机制还不是很清楚。Schröder (1987)提出“富营养化假说”,认为大量的N、P输入,使芦苇群落的密度增大,但植株容易倒伏。生物量的增加会造成底泥中的有机质的积累,贫氧状况加重,植物毒素的释放和营养物质的改造,使水体向浮游型的超营养化发展。就乌梁素海而言,情况并不完全如此,目前生物填平作用过快,每年以2~5 cm的速度提高湖底(赵军,2001)。这样,芦苇的生长受沼泽化的影响,水深变浅,底泥有机质的积累使生长繁殖以及竞争能力减弱,向沼泽发展形成盐蓬植物群落。

图6 野生芦苇生物量和土壤有机质的相互关系
Fig.6 The relationship between reed biomass and organic soil organic matter

3 结 论

1)乌梁素海野生芦苇群落的生物量比较大,并且受环境因素的影响而存在较大的差异,介于1.73~3.01 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间。

2)水深是制约芦苇生物量的首要因素,它对生物量的影响主要是改变芦苇群落和形态结构(包括株高、株茎、群落密度等)而起作用的。此外,水深也是群落竞争和演替的重要因素,又间接地影响芦苇的生长状况和生物量。

3)N是野生芦苇生长的限制因子。在现有的条

件下,越多的 N 负荷会促进芦苇生物量的提高,造成更多的干物质的积累。

4) 在乌梁素海,芦苇生物量与土壤有机质和 N、P 含量关系不大,并且也没有受到有机质分解的毒害作用。

参 考 文 献

- Armstrong, J. F., Afreeen-Zobayed & W. Armstrong. 1996. *Phragmites* die-back: sulphide- and acetic acid-induced bud and root death, lignifications, and blockages within aeration and vascular system. *New Phytologist*, **134**: 601 ~ 614.
- Brinson, M. M., A. E. Lugo & S. Brown. 1981. Primary productivity, decomposition of consumer activity in freshwater wetlands. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **12**: 123 ~ 161.
- Chambers, R. M., L. A. Meyerson & K. Saltonstall. 1999. Expansion of *Phragmites australis* into tidal wetlands of North America. *Aquatic Botany*, **64**: 261 ~ 273.
- Clevering, O. A. 1998. An investigation into the effects of nitrogen on growth and morphology of stable and die-back populations of *Phragmites australis*. *Aquatic Botany*, **60**: 11 ~ 25.
- Drew, M. C. & J. M. Lynch. 1980. Soil anaerobiosis, micro organisms and root function. *Annual Review of Physiology*, **18**: 37 ~ 66.
- Haslam, S. M. 1972. Biological flora of the British Isles, No. 128: *Phragmites communis* Trin. *Journal of Ecology*, **60**: 585 ~ 610.
- Hejny, S. & Z. Hroudová. 1987. Plant adaptations to shallow water habitats. *Archiv fuer Hydrobiologie-Advances in Limnology*, **27**: 157 ~ 166.
- Hecky, R. E. & P. Kilman. 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environment: a review of recent evidence of the effects of enrichment, *Limnology and Oceanography*, **33**: 796 ~ 822.
- Jing, X. C. (金相灿). 1995. Lakes in China: research of their environment. Beijing: China Ocean Press. 496 ~ 531. (in Chinese)
- Koerselman, W. & A. F. M. Meuleman. 1996. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology*, **33**: 1441 ~ 1450.
- Lefor, M. W. 1987. *Phalaris arundinacea* L. (reed canarygrass-Gramineae) as a hygrophite in Essex, Connecticut, USA. *Environmental Management*, **11**: 771 ~ 773.
- Lessen, J. P. M., F. B. J. Menting, W. H. van der Putten & C. W. P. M. Blom. 1999. Effects of sediment type and water level on biomass production of wetland plant species. *Aquatic Botany*, **64**: 151 ~ 165.
- Mauchamp, A., S. Blanch & P. Grillas. 2001. Effect of submergence on the growth of *Phragmites australis* seeding. *Aquatic Botany*, **69**: 147 ~ 164.
- Mason, C. G. & R. J. Bryant. 1975. Production, nutrient content and decomposition of *Phragmites communis* Trin. and *Typha angustifolia*. *Journal of Ecology*, **63**: 71 ~ 95.
- Pokorny, J., J. Květ & J. P. Ondok. 1990. Functioning of the plant component in densely stocked fishponds. *Bulletin of Ecology*, **21**: 44 ~ 48.
- Romero, J. A., H. Brix & F. A. Comin. 1999. Interactive effects of N and P on growth, nutrient allocation and NH_4 uptake kinetics by *Phragmites australis*. *Aquatic Botany*, **64**: 369 ~ 380.
- Shao, C. (邵成), Z. L. Chen (陈中林) & H. D. Dong (董厚德). 1995. A study on the growth and biomass of *Phragmites communis* in Liaohu Estuary Wetland. *Journal of Liaoning University (Natural Sciences Edition) (辽宁大学学报(自然科学版))*, **22**: 89 ~ 94. (in Chinese with English abstract)
- Smits, A. J. M., P. Laan, R. H. Thair & G. van der Velde. 1990. Root aerenchyma, oxygen leakage patterns and alcoholic fermentation ability of the roots of some nymphaeid and isoetid macrophytes in relation to the sediment type of their habitat. *Aquatic Botany*, **38**: 3 ~ 17.
- Schröder, R. 1987. Das schilfsterben am bodensee-untersee beobachtungen, untersuchungen und Gegenmaßnahmen. *Archiv für Hydrobiologie Supplement*, **76**: 53 ~ 99.
- Tscharntke, T. 1999. Insects on common reed (*Phragmites australis*) community structure and the impact of herbivory on shoot growth. *Aquatic Botany*, **64**: 399 ~ 410.
- Vretare, V., S. E. B. Weisner, J. A. Strand & W. Granéli. 2001. Phenotypic plasticity in *Phragmites australis* as a functional response to water depth. *Aquatic Botany*, **69**: 127 ~ 145.
- van der Putten, W. H., B. A. M. Peters & M. S. van den Berg. 1997. Effects of litter on substrate conditions and growth of emergent macrophytes. *New Phytologist*, **135**: 527 ~ 537.
- Westlake, D. F. 1982. The primary productivity of water plants. In: Symoens, J. J., S. S. Hooper & P. Compère eds. *Studies on aquatic vascular plants*. Brussels: Royal Botanical Society of Belgium. 165 ~ 180.
- Xiao, D. N. (肖笃宁). 1998. The natural resource and regional development in the Liaohu River Delta wetland. *Journal of Natural Resource (自然资源学报)*, **19**: 43 ~ 50. (in Chinese with English abstract)
- Xing, L. L. (邢莲莲). 1996. The avifauna of Wuliangsu Hai, Inner Mongolia. Huhhot: Inner Mongolia University Press. 1 ~ 50. (in Chinese)
- Zhao, J. (赵军). 2001. The present state and perspectives of the resource of *Phragmites australis* in Wuliangsu Hai. *Inner Mongolia Prataculture (内蒙古草业)*, **2**: 47 ~ 48. (in Chinese)

责任编辑: 黄建辉 责任编辑: 张丽赫