

苏州太湖湿地芦苇生物量与水深的动态特征研究^{*}

王 丹 张银龙[#] 庞 博 徐明喜 苏莹莹

(南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏省林业生态工程重点实验室, 江苏 南京 210037)

摘要 随着城市工业化水平和人民生活水平的不断提高, 城市淡水湖泊的破坏越来越严重, 部分湖泊水质污染严重, 湿地面积锐减、功能退化。通过对苏州太湖国家旅游度假区湿地整个生长季的芦苇群落的调查, 分析芦苇生物量的季节分配规律及水深与芦苇根冠比、株高和密度的相互关系, 为苏州太湖湿地生态系统的保护和恢复提供理论依据。结果表明: (1) 芦苇地上生物量从2009年4月至2010年1月呈先增后减的趋势, 10月下旬达到最大值($2\,219.46 \pm 280.86 \text{ g/m}^2$); 10月下旬的芦苇根冠比最高, 达到了2.4, 而4月底的芦苇根冠比最低(1.5); (2) 季节性淹水区(简称SFF区)地上生物量明显高于干旱区(简称AF区), 淹水区(简称FF区)居中; AF区根冠比稍高于FF区和SFF区; (3) 10月下旬芦苇地下0~100 cm深处根系生物量最高, 达到了($5\,113.41 \pm 313.86 \text{ g/m}^2$); 地下50~70 cm处根系生物量(质量分数为 $(28.33 \pm 4.15)\%$)明显高于20~40 cm处根系生物量(质量分数为 $(19.85 \pm 1.59)\%$), 而0~20、80~100 cm处根系生物量质量分数较低, 仅分别为 $(13.05 \pm 2.35)\%$ 和 $(15.87 \pm 3.52)\%$; (4) 芦苇的根冠比及密度与水深呈反比, 芦苇的株高与水深呈正比。

关键词 芦苇 生物量 水深 根冠比

Study on dynamic characteristics between the biomass of *Phragmites communis* and water depth at Taihu wetland in Suzhou WANG Dan, ZHANG Yinlong, PANG Bo, XU Mingxi, SU Yingying. (Jiangsu Key Laboratory of Forestry Ecology Engineering, College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu 210037)

Abstract: With the rising of urban industrialization and elevation of living standard, the destruction of fresh water lake wetlands in city is becoming more and more serious. In this paper, Taihu wetland ecosystem in Suzhou was selected as target area and the *Phragmites communis* planted there was chosen as research object, the growth of *Phragmites communis* during a whole growing season was monitored to analyze the biomass seasonal distribution and the relationship between root-shoot ratio, height, density and water depth. The results as follows: (1) The aboveground biomass increased first and then decreased during the period from April 2009 to January 2010, the biomass reached the highest of $(2\,219.46 \pm 280.86 \text{ g/m}^2)$ in the late October, the maximum root-shoot ratio value (2.4) achieved simultaneously and minimum value of root-shoot ratio (1.5) was found in April; (2) Comparison for aboveground biomass among different observing spots showed that Seasonal Flooded Field ranked the first and Arid Field was the last, but Arid Field, for the underground biomass, was on the top; (3) For the root biomass underground, the maximum reached $(5\,113.41 \pm 313.86 \text{ g/m}^2)$ in the depth ranged 0-100 cm in late October, the mass ratio of root biomass underground 50-70 cm was $(28.33 \pm 4.15)\%$, higher than that of root biomass in other depth; (4) The root-shoot ratio and density had a negative correlation with the water depth, but positive for the height.

Keywords: *Phragmites communis*; biomass; water depth; root-shoot ratio

芦苇(*Phragmites communis*)是多年生禾本科芦苇属植物^[1], 为典型的挺水植物, 在欧洲、亚洲、北美洲、非洲、澳洲都有分布, 通常生长于池沼、河岸、河溪边多水地区, 并形成密集的单优群落^[2,3]。芦苇亦能生长于旱地之上, 但因生境条件的差异, 其生长和生产具有较大的生态可塑性, 这种可塑性则蕴涵着重要的生长与物质分配策略^[4]。由于芦苇的广布性和较高的生态、经济和社会效益, 近年来国内外

很多学者都开始了对芦苇的研究, 包括从芦苇器官的形态结构、光合作用、生物量、生态型、生理生化特征等方面进行的研究, 但是对不同水深梯度变化对芦苇生长规律及其生物量动态变化的影响却鲜有报道, 因此开展这方面研究具有一定的理论与现实意义。

作为太湖湿地水生植物优势种之一的芦苇, 其群落的生长态势对于苏州太湖国家旅游度假区(以下简称太湖度假区)湿地的生态系统健康状况有直接的指

第一作者: 王 丹, 女, 1985年生, 硕士研究生, 研究方向为环境生物学。[#] 通讯作者。

^{*} 江苏省高校自然科学研究重大项目(No. 09KJA180002); 林业公益性行业科研专项课题(No. 200904001-3)。

示作用^[5,6],对区域优势物种的群落生长动态进行研究,不仅有利于准确地评价太湖区域生态系统现状及其太湖湿地生产力和碳收支状况^[7],而且还有助于太湖芦苇湿地受损生态系统的恢复与管理^[8]。因此,通过对太湖度假区整个生长季的芦苇群落进行野外采样调查,研究太湖度假区生态湿地芦苇群落生物量与湿地水深的动态变化特征,分析芦苇生物量的季节分配规律及水深对芦苇根冠比、株高及密度的影响,从而为太湖度假区生态湿地的系统服务功能评价以及湿地的恢复与管理提供理论依据。

1 研究地区与方法

1.1 研究区概况

太湖度假区位于苏州市吴中区的西南角,是太湖风景名胜区的中心。太湖度假区的中心区距离苏州市区15 km,距上海浦东新区100 km,距无锡陆上76 km,水上42 km。沪宁高速公路、312国道、沪宁铁路近在咫尺。区内现有公路通往西山、光福和胥口,水路四通八达。太湖度假区属北亚热带湿润性季风气候,受太湖水体调节作用影响,四季分明,温暖湿润,雨水丰沛,光照充足,全年平均气温为17℃,年平均降雨量1 096.9 mm,适宜休闲度假旅游。主要气候特征如下:极端最低气温-6.6℃;极端最高气温36.8℃;年平均降水日数133.9 d;年平均日照时数2 005~2 179 h;年平均相对湿度79%;常年主导风向为东南风,次主导风向为西北风。太湖度假区中心区西南濒临太湖处为渔洋山,南部和北部部分地区有低山丘陵,其余大部分地形为山间平原。全区平均地面高程4.2 m,最低处约1.5 m,境内土壤主要有水稻土、黄棕壤、沼泽土和石灰岩土4种类型。

1.2 研究方法

本研究的野外取样时间为2009年4月至2010年1月。芦苇地上生物量采用收获法进行测定,按照生境水淹条件选取淹水区(简称FF区)、季节性淹水区(简称SFF区)、干旱区(简称AF区)3个采样点,每个采样点做1 m×1 m样方,将样方内植物地上部齐地剪下,按照不同器官分开测定芦苇鲜质量。取样的同时随机抽取8~10株测株高,并计算单位面积株数;芦苇地下生物量采用挖掘法,取样时将样方内0~100 cm的根状茎与须根全部挖出,按0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60、60~70、70~80、80~90、90~100 cm分层装袋带回实验室洗净并自然风干测其鲜质量。所有样品于105℃杀青2 h,80℃烘干至恒质量,称得样品干质量。

用SPSS13.0软件进行统计分析,以检验不同时期、不同生境下地上生物量和地下生物量之间的差异;采用回归分析法分析芦苇根冠比、株高、密度和水深之间的关系。

2 结果与讨论

2.1 芦苇生物量的动态变化

2.1.1 不同生境芦苇地上生物量的动态变化

不同时期不同生境下芦苇地上生物量(以干质量计)的动态变化如图1所示。从时间角度看,2009年4月至10月下旬为芦苇的生长发育期,其地上生物量呈明显递增趋势,10月下旬芦苇地上生物量达到最大值($2\,219.46 \pm 280.86$ g/m²),10月下旬后芦苇停止生长,地上生物量又呈明显的递减趋势,这一结果表明芦苇群落的地上生物量与其自身生长规律相一致;从生境角度看,总体上芦苇地上生物量在SFF区明显高于AF区,FF区地上生物量又比AF区稍高,居于中间位置。其中,7月地上生物量在AF区与FF区相差较明显,产生这一结果的主要原

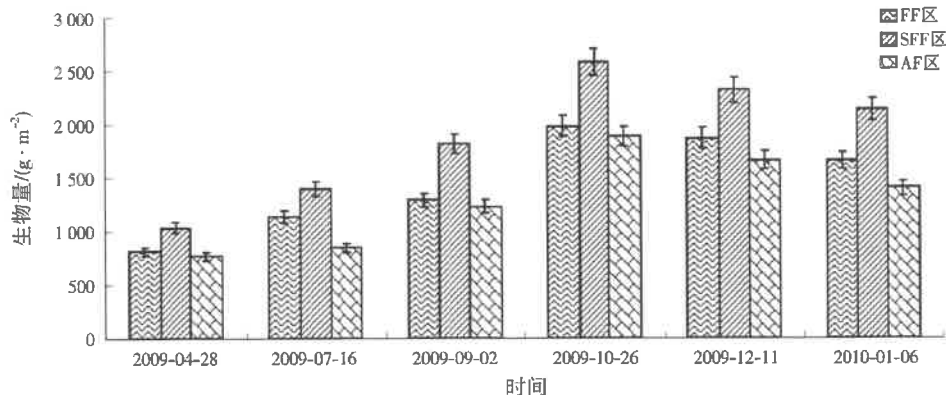


图1 不同生境下芦苇地上生物量的动态变化

Fig. 1 Dynamic of aboveground biomass in different ecological environments

因可能是由于7月正值夏季,作为水生植物的芦苇此时需水性强且蒸发量大^[9],而AF区生长的地势偏高^[10],水分供应不充足,这就在一定程度上抑制了芦苇的生长,从而导致了7月AF区芦苇地上生物量较低^[11]。

2.1.2 不同生境芦苇地下生物量的动态变化

对不同时期不同生境下芦苇地下0~100 cm深处根系生物量进行测定,结果如表1所示。植物光合作用产物向地下分配而形成的结果即为根系生物量。在生长季中,细根(直径 ≤ 2 mm)由于不断生长和死亡(即周转),变化较大,根系生物量季节动态可以反映芦苇碳的地下分配格局^[12,13]。由表1可以看出,芦苇地下0~100 cm深处根系生物量呈明显的变化规律。从时间角度看,10月下旬芦苇地下0~100 cm深处根系生物量最高,达到了 $(5\ 113.41 \pm 313.86)$ g/m²;从生境角度看,FF区、SFF区和

AF区地下生物量质量分数差异不大;从深度角度看,50~70 cm处根系生物量(质量分数为 $(28.33 \pm 4.15)\%$)明显高于20~40 cm处根系生物量(质量分数为 $(19.85 \pm 1.59)\%$),而0~20、80~100 cm处根系生物量质量分数较低,仅分别为 $(13.05 \pm 2.35)\%$ 和 $(15.87 \pm 3.52)\%$ 。

2.2 芦苇根冠比的动态变化

所谓根冠比,即地下生物量与地上生物量的比值^[14],反映了植物光合产物在地上部分和地下部分的分配,是众多地球化学循环模型中估算地下碳蓄积的重要参数^[15,16]。地上与地下部分生物量比值在一定程度上反映了植物的养分资源分配模式^[17]。不同时期芦苇根冠比的动态变化如图2所示。从生境角度看,AF区根冠比稍高于FF区和SFF区;从时间角度看,10月下旬的芦苇根冠比最高,平均达到了2.4,4月底的芦苇根冠比最低,平均只达到了

表1 不同时期地下0~100 cm深处根系生物量质量分数

Table 1 The percentage of root biomass in 0-100 cm depth of underground soil

%

深度/cm	生境	2009-04-28	2009-07-16	2009-09-02	2009-10-26	2009-12-11	2010-01-06
0~10	FF区	5.14	5.63	5.94	7.04	6.96	5.58
	SFF区	4.51	5.89	6.79	7.29	7.09	6.11
	AF区	4.64	6.04	6.05	6.98	6.73	6.49
10~20	FF区	7.29	6.78	7.80	8.44	7.82	6.63
	SFF区	6.19	7.08	8.39	8.03	8.28	7.79
	AF区	6.23	7.87	7.66	8.11	7.63	7.94
20~30	FF区	8.96	8.08	9.47	9.30	9.23	8.37
	SFF区	8.27	9.17	10.17	8.97	8.96	9.11
	AF区	9.17	8.95	10.18	9.29	9.51	9.20
30~40	FF区	11.00	10.18	11.72	10.29	10.31	10.48
	SFF区	10.97	10.84	11.62	10.86	10.28	11.58
	AF区	10.10	10.49	11.26	11.03	10.85	10.37
40~50	FF区	12.93	11.85	13.22	11.17	11.43	12.28
	SFF区	13.50	12.40	14.12	12.20	11.32	13.47
	AF区	13.72	11.90	14.38	13.76	11.92	11.30
50~60	FF区	17.75	14.27	14.50	13.72	12.85	14.35
	SFF区	16.57	14.50	15.34	13.19	13.16	12.36
	AF区	17.52	13.83	15.46	12.80	13.24	13.74
60~70	FF区	14.74	12.77	12.01	11.83	11.59	13.10
	SFF区	13.46	12.28	12.17	11.70	11.54	11.66
	AF区	12.75	12.66	11.93	11.46	11.29	12.27
70~80	FF区	9.83	11.44	10.33	10.45	10.41	11.97
	SFF区	11.35	10.47	9.18	10.65	10.63	10.92
	AF区	10.64	11.09	9.27	10.03	10.47	10.43
80~90	FF区	6.97	10.26	8.13	9.22	9.97	9.36
	SFF区	8.61	9.19	7.27	9.35	9.77	9.17
	AF区	8.58	9.27	7.68	8.67	9.79	9.58
90~100	FF区	5.38	8.75	6.88	8.60	9.43	7.88
	SFF区	6.57	8.19	4.95	7.78	8.98	7.83
	AF区	6.65	7.89	6.12	7.87	8.57	8.68

1.5左右。其中,7月AF区的根冠比最高,达到了3.4。产生这一结果的原因可以归结于芦苇自身的生长规律,芦苇作为湿地水生植物,需水性强,AF区属于旱地,水分条件不充足,这就导致了AF区芦苇根系发达,再加上7月为夏季干旱季节,水分蒸腾作用大,因此7月AF区根冠比最高^[18,19]。

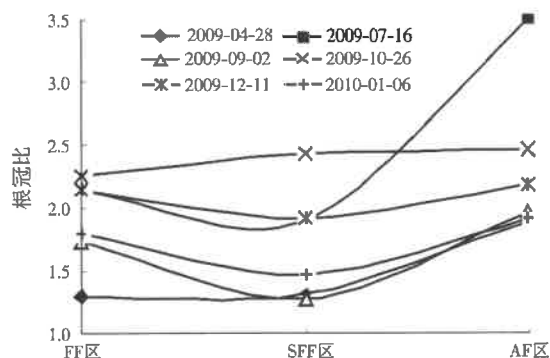


图2 不同时期芦苇根冠比的动态变化

Fig. 2 Dynamic of root-shoot ratio in different periods

2.3 芦苇生物量的相关性研究

2.3.1 不同生境芦苇地上各器官生物量的相关性

芦苇地上各器官生物量在不同生境条件下变化不同,通过对不同生境下芦苇各器官生物量之间的皮尔森相关性分析,发现不同生境下各器官生物量之间相关性显著。

植物在生长和发育的过程中,通过生物量的有

表2 不同生境下芦苇各器官生物量之间的皮尔森相关系数¹⁾

Table 2 Pearson correlation coefficients between different parts of *Phragmites communis* in different ecological environments

茎	FF区	SFF区	AF区	叶	FF区	SFF区	AF区	穗	FF区	SFF区	AF区
FF区	1.000			FF区	1.000			FF区	1.000		
SFF区	0.919 **	1.000		SFF区	0.560 *	1.000		SFF区	0.735 **	1.000	
AF区	0.964 **	0.901 **	1.000	AF区	0.563 *	0.930 **	1.000	AF区	0.843 **	0.933 **	1.000

注:¹⁾ *表示差异显著($P<0.05$); **表示差异极显著($P<0.01$);表3同。

表3 不同时期芦苇地上地下生物量之间的皮尔森相关系数

Table 3 Pearson correlation coefficients of vegetation shoot and root biomass in different periods

地上	2009-04-28	2009-07-16	2009-09-02	2009-10-26	2009-12-11	2010-01-06
2009-04-28	1.000					
2009-07-16	0.921 **	1.000				
2009-09-02	0.948 **	0.955 **	1.000			
2009-10-26	0.933 **	0.889 **	0.959 **	1.000		
2009-12-11	0.962 **	0.971 **	0.966 **	0.919 **	1.000	
2010-01-06	0.741 *	0.762 *	0.747 *	0.731 *	0.824 **	1.000
地下	2009-04-28	2009-07-16	2009-09-02	2009-10-26	2009-12-11	2010-01-06
2009-04-28	1.000					
2009-07-16	0.997 **	1.000				
2009-09-02	0.963 **	0.952 **	1.000			
2009-10-26	0.973 **	0.965 **	0.979 **	1.000		
2009-12-11	0.954 **	0.955 **	0.972 **	0.984 **	1.000	
2010-01-06	0.921 **	0.924 **	0.947 **	0.962 **	0.994 **	1.000

效配置来适应特定的生长环境,从而实现其生存和繁殖的目的^[20]。生物量是反应植物与环境相互作用的重要标志^[21],研究植物生长发育过程中通过同化作用而形成的茎、叶、花、果等各器官生物量的比例,对于研究植物对环境适应能力及生长发育规律意义重大^[22]。生物量分配主要决定于植物的遗传特性,同时也受栽培和环境条件的影响^[23,24]。通过分析表2发现,不同生境下芦苇茎、叶和穗的生物量差异性显著。其中,FF区与SFF区、SFF区与AF区、AF区与FF区的茎和穗的生物量均呈极显著相关($P<0.01$),AF区与SFF区的叶的生物量呈极显著相关($P<0.01$),FF区与SFF区、AF区与FF区的叶的生物量呈显著相关($P<0.05$)。这充分说明,生境对芦苇的生长发育影响很大。

2.3.2 不同时期芦苇地上地下生物量的相关性

通过对不同时期芦苇地上地下部分生物量皮尔森相关性分析,发现不同时期芦苇地上地下生物量显著相关。如表3所示,芦苇在不同生长时期所表现出来的地上生物量和地下生物量均呈显著相关。其中地上生物量在2009-04-28~2010-01-06、2009-07-06~2010-01-06、2009-09-02~2010-01-06、2009-10-26~2010-01-06这几段时间中呈显著相关($P<0.05$),其余时间段在地上生物量上均呈极显著相关($P<0.01$);地下生物量在所有时间段均呈极显著

相关($P < 0.01$)。

从图1与表1可发现,芦苇地上与地下的生物量随时间的变化而不同。通过对不同时期芦苇地上地下生物量的相关性研究可以发现,太湖湿地芦苇群落在整个生长季生物量变化显著,这说明芦苇生物量的增长与其生长规律有显著的相关性。

2.4 芦苇根冠比、株高、密度与水深的关系研究

芦苇作为典型的水生植物,对水生环境的适应力很强。随着水深的梯度变化,芦苇的生长发育也会随之发生相关性变化。研究发现,芦苇的株高、密度及生物量和水深的梯度变化关系密切^[25]。

从图3至图5可以看出,芦苇的根冠比及密度随着水深的增加而降低,而芦苇的株高却随着水深的增加而升高。产生这一结果的原因是,芦苇作为水生植物需水性强,在旱地(即水深为0 cm)芦苇水分需求性大,加之蒸腾作用使得芦苇地下根系发达,通过发达的根系吸收土壤水分和养分,地下生物量也随着增加^[26]。在水分充足地区,芦苇对阳光的需求性强,所以往往长势偏高,以获得更多的光照进行

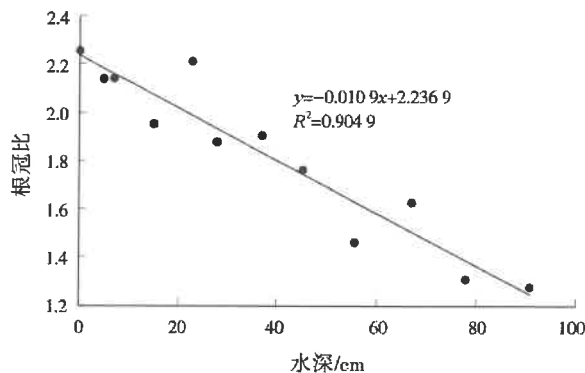


图3 芦苇根冠比与水深的相互关系
Fig. 3 The relationship between the root-shoot ratio of *Phragmites communis* and water depth

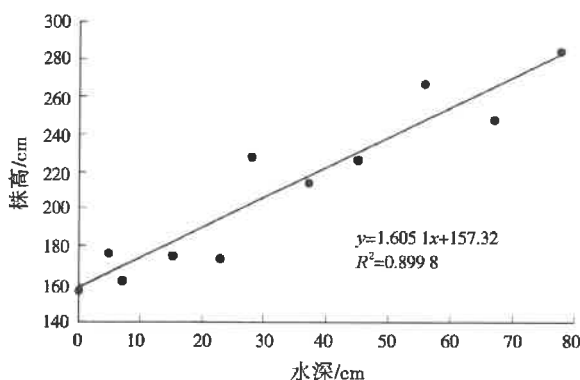


图4 芦苇株高与水深的关系
Fig. 4 The relationship between the height of *Phragmites communis* and water depth

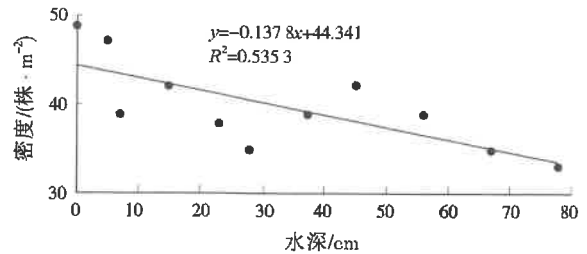


图5 芦苇密度与水深的关系

Fig. 5 The relationship between the density of *Phragmites communis* and water depth

光合作用,此时地上部分发育较好,生物量也随着增加^[27]。然而,随着水深的增加,芦苇群落的密度有所下降,这是由于芦苇自身的自疏作用产生的,这使得芦苇株高普遍较水势较低处偏高,产生一种生长补偿作用^[28,29]。

3 结 论

(1) 芦苇地上生物量变化很大,从时间角度看,4月至10月下旬芦苇的地上生物量呈明显递增趋势,且10月下旬芦苇地上生物量达到峰值,此后又呈明显降低趋势;从生境角度看,芦苇地上生物量大小为:SF区>FF区>AF区。

(2) 从生境角度看,根冠比大小为:AF区>FF区、SF区;从时间角度看,10月下旬的芦苇根冠比最高,平均达到了2.4,4月底的芦苇根冠比最低(1.5),其中,7月AF区的根冠比最高,达到了3.4。

(3) 芦苇地下生物量从时间角度看,10月下旬地下0~100 cm深处根系生物量最高,达到了 $(5113.41 \pm 313.86) \text{ g/m}^2$;从生境角度看,FF区、SF区和AF区地下生物量质量分数差异不大;从深度上看,50~70 cm处根系生物量(质量分数为 $(28.33 \pm 4.15)\%$)明显高于20~40 cm处根系生物量(质量分数为 $(21.05 \pm 4.36)\%$),而0~20、80~100 cm处根系生物量质量分数较低,仅分别为 $(13.05 \pm 2.35)\%$ 和 $(15.87 \pm 3.52)\%$ 。

(4) 芦苇对水生环境的适应性很强,研究发现芦苇的根冠比及密度与水深成反比,水深越深,芦苇的根冠比和密度越小,而芦苇的株高却与水深呈明显正比关系,芦苇的株高随着水深的增加而升高。

参考文献:

- [1] ZUBE E H. The advance of ecology[J]. Landscape Architecture, 1986, 76(2): 58-67.
- [2] 杨允菲,李建东. 松嫩平原不同生境芦苇种群分株的生物量分

- 配与生长分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 30-34.
 - [3] 冯大兰, 刘芸, 黄建国. 三峡库区消落带土壤不同含水量条件下芦苇的氮素与生物量动态变化[J]. 环境科学学报, 2009, 29(9): 2003-2009.
 - [4] NAIMAN R J, DECAMPS H, POLLOCK M. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity[J]. Ecology, 1993, 3(2): 209-212.
 - [5] 张友民, 杨允菲, 王立军. 三江平原沼泽湿地芦苇种群生产与分配的季节动态[J]. 中国草地学报, 2006, 28(4): 1-5.
 - [6] 王丽, 胡金明, 宋长春, 等. 水分梯度对三江平原典型湿地植物小叶草地上生物量的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(4): 19-25.
 - [7] 梅雪英, 张修峰. 长江口典型湿地植被储碳、固碳功能研究——以崇明东滩芦苇带为例[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(2): 269-272.
 - [8] MOOK J H, VAN DER TOORN J. The influence of environmental factors and management on stands of *Phragmites australis*. II: Effects on yield and relationships with shoot density [J]. Journal of Applied Ecology, 1982, 19(3): 501-517.
 - [9] VAN DER PUTTEN W H. Die-back of *Phragmites australis* in European wetland: an overview of the European research program on reed die-back and progression (1993—1994) [J]. Aquatic Botany, 1997, 59(3/4): 263-275.
 - [10] 杨允菲, 郎惠卿. 不同生态条件下芦苇无性系种群调节分析 [J]. 草业学报, 1998, 7(2): 1-9.
 - [11] 赵先明, 周广胜, 周莉, 等. 盘锦芦苇湿地土壤微生物生物量 C 的季节动态[J]. 土壤通报, 2008, 39(1): 43-46.
 - [12] 温达志, 魏平, 孔国辉, 等. 鼎湖山亚热带森林细根生产力与周转[J]. 植物生态学报, 1999, 23(4): 361-369.
 - [13] VOGT K A, VOGT D J, PALMIOTTO P A, et al. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species[J]. Plant and Soil, 1999, 187(2): 159-219.
 - [14] 赵建刚, 杨琼, 陈章和, 等. 几种湿地植物根系生物量研究[J]. 中国环境科学, 2003, 23(3): 290-294.
 - [15] 鲍志娟, 盖平. 吉林省西部地区芦苇地上部生物量季节动态的研究[J]. 吉林农业大学学报, 2002, 24(5): 31-34.
 - [16] 冯忠江, 赵欣胜. 黄河三角洲芦苇生物量空间变化环境解释 [J]. 水土保持研究, 2008, 15(3): 170-174.
 - [17] 赵文智, 常学礼, 李启森, 等. 荒漠绿洲区芦苇种群构件生物量与地下水埋深关系[J]. 生态学报, 2003, 23(6): 1138-1146.
 - [18] 曲向荣, 贾宏宇. 辽东湾芦苇湿地对陆源营养物质净化作用的初步研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 270-272.
 - [19] 高辉远, 李卫军. 北疆平原荒漠区不同生长型芦苇光合作用与呼吸作用日变化的研究[J]. 中国草地, 1995, 17(5): 53-59.
 - [20] 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.
 - [21] 贾庆宇, 周莉, 谢艳兵, 等. 盘锦湿地芦苇群落生物量动态特征研究[J]. 气象与环境学报, 2006, 22(4): 25-29.
 - [22] 段晓男, 王效科, 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.
 - [23] HARPER L J. Population biology of plant[M]. London: Academic Press, 1977: 1-9.
 - [24] 张爱勤, 谭敦炎, 朱进忠. 新牧 1 号杂花苜蓿生物量分配动态及生殖产量的研究[J]. 中国草地学报, 2007, 29(6): 48-53.
 - [25] 李东林, 张记林, 潘伟明, 等. 地表积水状况对芦苇形态结构及生物量的影响[J]. 江苏林业科技, 2009, 36(3): 17-20.
 - [26] 何玉惠, 赵哈尔滨, 刘新平, 等. 科尔沁沙地典型生境下芦苇的生长特征分析[J]. 中国沙漠, 2009, 29(3): 288-292.
 - [27] 欧维新, 高建华, 杨桂山. 芦苇湿地对氮磷污染物质的净化效应及其价值初步估算——以苏北盐城海岸带芦苇湿地为例 [J]. 海洋通报, 2006, 25(5): 90-95.
 - [28] 邵成, 陈中林, 董厚德. 辽河河口湿地芦苇的生长及生物量研究[J]. 辽宁大学学报, 1995, 22(1): 89-94.
 - [29] 闫芊, 何文珊, 陆健健. 崇明东滩湿地植被演替过程中生物量与氮含量的时空变化[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1019-1023.
- 编辑: 陈泽军 (修改稿收到日期: 2010-04-06)
- +++++
- (上接第 48 页)
- [12] CHU H C, CHEN K M. Reuse of activated sludge biomass: II. The rate processes for the adsorption of basic dyes on biomass[J]. Process Biochem., 2002, 37(10): 1129-1134.
 - [13] 孔旺盛, 刘燕. 染料生物污泥吸附[J]. 化学通报, 2007(2): 106-111.
 - [14] 殷先雄, 王栋, 于永海, 等. 测定双组分染料浓度的两种方法比较[J]. 辽宁化工, 2008, 37(2): 131-132.
 - [15] 雷波. 分光光度法对混合染料浓度的同时测定[J]. 染整技术, 2003, 25(3): 35-37.
 - [16] 张自杰, 林荣忱, 金儒霖. 排水工程(下册)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000: 538-545.
 - [17] 唐增荣. 常用染料的检测评定[J]. 印染, 2004(9): 26-29.
 - [18] 金福林, 唐增荣. 常用染料助剂的检测与分析[J]. 印染助剂, 2005, 22(11): 39-42.
 - [19] 戴荣玲, 章钢娅, 宗良纲, 等. 有机粘土和粘土对 P, P'-DDE 的吸附/解吸研究[J]. 环境污染与防治, 2007, 29(2): 85-89.
 - [20] YASSER Z E, JAMAL M S. Adsorption of phenanthrene on organoclays from distilled and saline water[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2004, 269(2): 265-273.
 - [21] 林俊雄. 硅藻土基吸附剂的制备、表征及其染料吸附特性研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- 编辑: 陈泽军 (修改稿收到日期: 2010-05-06)