

石佛寺人工湿地不同营养特征淤积物对水生植物生长的影响

周林飞, 樊海川, 徐也

(沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110866)

摘要:为研究淤积物营养特征对不同生长时期内水生植物生物量的影响,在石佛寺水库人工湿地采集对比了芦苇(*Phragmites communis*)和蒲草(*Typha angustifolia*)两种不同水生植物区域内的淤积物和生物植株,研究了不同营养特征淤积物对水生植物生物量的影响。结果表明:淤积物内营养特征与各时期内水生植物的生物量具有一定的相关关系。生长初期,芦苇和蒲草的生物量与淤积物中氮元素(N)和磷元素(P)呈负相关,其中与 TP 含量的相关性达到显著水平($p < 0.05$),即较高的淤积物中营养元素含量会对水生植物的生长产生抑制作用;随着水生植物的进一步生长,这种抑制作用逐渐变小,并逐渐转变为促进作用,淤积物中营养元素含量与水生植物生物量的相关关系由负相关转为正相关;水生植物进入成熟期后,芦苇和蒲草的生物量达到最大值,淤积物内 TN 及 TP 含量均与水生植物的生物量呈显著正相关关系;之后随水生植物死亡腐解,这种关系逐渐消失。淤积物营养水平会对水生植物生长产生影响,主要表现在生物量的累积上。不同水生植物生长所受影响有所差异,蒲草的生物量与淤积物中营养元素含量的相关性更高。

关键词:石佛寺人工湿地; 淤积物; 水生植物; 营养特征; 生物量

中图分类号:Q948.8; X53

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)06-0377-05

Effects of Sediments with Different Nutrient Characteristics on the Growth of Aquatic Plants in Shifosi Constructed Wetland

ZHOU Linfei, FAN Haichuan, XU Ye

(College of Water Resources, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: The effects of the nutrient characteristics of the sediments on the biomass of aquatic plants in different growth periods were studied by collecting sediments and biological plants in the different wetland areas with the growth of non-reed and the bulrush in the constructed wetland of Shifosi Reservoir, and the effects of sediments with different nutrient characteristics on aquatic plant biomass were compared. The results showed that the nutrient characteristics of the sediments had a certain correlation with the biomass of aquatic plants in each period, in the early growth stage, the biomass of the reeds and the grasses was negatively correlated with the nitrogen and phosphorus in the sediments, the correlation of biomass with TP content reach the significant level ($p < 0.05$), indicating that the higher nutrient content in the sludge inhibited the growth of aquatic plants; with the further growth of aquatic plants, the inhibition effect gradually became weaker, and gradually transformed into the promoting effect, the correlation between nutrient content and aquatic plant biomass in the sediment changed from negative correlation to positive correlation; after the aquatic plants entered maturity, the biomass of reed and raupo reached the maximum, and the contents of TN and TP in the sediments were significantly positively correlated with the biomass of aquatic plants; this relationship gradually disappeared with the process of the aquatic plant exciccation. The nutrient level of sediment affects the growth of aquatic plants, mainly affects the accumulation of biomass. The growth of different aquatic plants is affected differently, and the biomass of the grass is highly correlated with the nutrient content in the sediment.

收稿日期:2019-01-04

修回日期:2019-01-20

资助项目:辽宁省水利科学技术项目“石佛寺人工湿地环境效应及生态建设对策研究”(20160146)

第一作者:周林飞(1970—),女,辽宁沈阳人,副教授,博士,主要从事水环境研究。E-mail:452281618@qq.com

通信作者:樊海川(1992—),男,辽宁铁岭人,硕士研究生,研究方向为水环境研究。E-mail:452281618@qq.com

Keywords: Shifosi constructed wetland; sediments; aquatic plants; nutrient characteristics; biomass

生态修复技术可以让湖泊中水生植物生长趋势得到提升,从而使湖泊所面临的富营养化问题得到有效的控制,其对于水生植物所在湖泊的生态系统恢复有着十分重要的意义。水生植物可以通过自身的吸收和根系环境的构建来改善环境压力,在一定程度上可以说水生植物生长的越好,富营养化湖泊的修复进展越快^[1]。周围环境中的营养元素会对水生植物的生长及分布产生影响,大多数研究表明,环境中营养元素与水生植物的茂盛程度呈正比,水生植物也更多分布在周边营养元素较多的区域。影响水生植物生长的营养元素有很多,其中对水生植物生长产生影响较大的为氮和磷^[2],水生植物在生长过程中,其根系主要从淤积物中吸收氮(N)、磷(P)、铁(Fe)、锰(Me)和一些微量元素,而如钙(Ca)、镁(Mg)、钠(Na)和钾(K)等元素通常是通过地上部分进行吸收的^[3]。通过研究来发现水生植物生物量与淤积物营养特征之间的关系,对于了解水生植物生长特性和人工湿地的治理都具有一定意义。目前国内关于环境营养水平与水生植物生长之间关系的研究较少,且存在一定的局限性。

石佛寺水库位于沈阳市新城子区、法库县依牛堡乡和铁岭市铁法县境内,距离辽宁省沈阳市约 47 km,是辽河干流上唯一的大型控制性水利工程。为改善生态环境,在水库的基础上于 2009 年开始逐步建成石佛寺人工湿地,主要栽植的水生植物包括:芦苇(*Phragmites communis*)、蒲草(*Typha angustifolia*)和荷花(*Nelumbo nucifera*),周边栽植其他旱生植物,同时进行生态蓄水,对环境的改善起到了积极的作用,水生植物面积扩大,种类增多,2016 年调查表明:芦苇、荷花和蒲草面积分别为 173.33,133.33,366.66 hm²,为优势种;此外,还出现了许多新的水生植物。生态水面积 16.13 km²,湿地植物与生态水面,一起构成了石佛寺湖泊型人工湿地,是辽河自然保护区的重要湿地。

本研究主要是将石佛寺人工湿地中覆盖面积相对较大的蒲草与芦苇作为研究对象,以 TN 和 TP 为淤积物中营养含量的主要指标,研究淤积物中营养物质含量对蒲草、芦苇生长的影响,通过比较同一湿地不同样点淤积物中蒲草与芦苇的生物量,来研究淤积物营养物质含量与水生植物生长的关系。

1 材料与方法

1.1 采样点布设

为充分了解淤积物营养成分对水生植物生长状

况的影响,在 2018 年对石佛寺人工湿地分别选取芦苇、蒲草区域采样点各 5 个,分别用 T₁—T₅ 和 P₁—P₅ 表示,具体采样点如图 1 所示。分别于 4 月、5 月、7 月、9 月和 10 月月初,通过活塞式柱状采样器对各个样点内的表层 0—10 cm 深度的淤积物进行采集后,将采集的淤积物装入密封袋内并贴好标签,带回实验室,分析淤积物中 N 和 P 的含量。按照水生植物的生长阶段,将 1 年划分为 4 个时期:蓄积期(1—3 月);生长期(4—6 月);成熟期(7—9 月);枯萎期(10—12 月)。通过对比,研究相同环境条件淤积物营养特征对水生植物生长的影响。

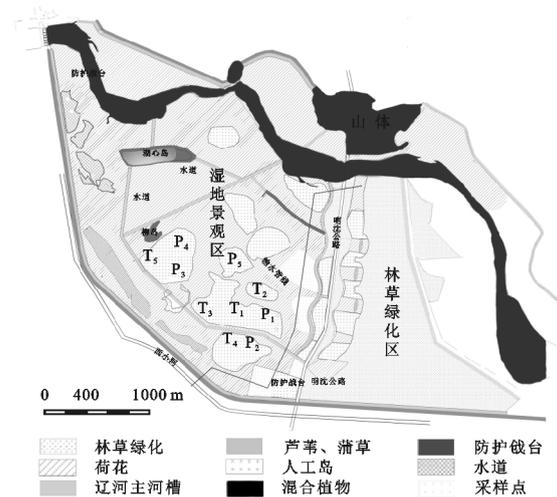


图 1 淤积物采样点布设

1.2 数据测定与处理

对于两个区域内水生植物生物量的测定,在各采样点内随机选取 1 m² 样方来进行研究,统计水生植物的密度后,从中随机选取 10 株水生植物植株,齐地收割地上部分植株,并挖除根部(0—70 cm)土样筛选出地下根茎部分,标记后带回实验室,切割后用 80℃ 恒温将水生植物植株烘干至少 48 h,待其恒重时称得 10 株样本的重量,然后求平均,以平均重量乘以密度就得到样点淤积物内水生植物的生物量。

对于采样点淤积物中营养元素的测定,先将取回的样品淤积物自然风干变得干硬后,将其全部粉碎并过 100 目筛。淤积物中 TN 和 TP 含量分别用水杨酸法和钼锑抗比色法,通过全自动间断式化学分析仪测定。采集的数据利用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 软件进行整理与分析,用 Photoshop CS 6 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同淤积物中芦苇的生长

石佛寺人工湿地 5 个芦苇样点淤积物 TN 与 TP

含量见表 1。其中 5 个样点淤积物内 TN 平均含量均超过 0.90 g/kg, TP 平均含量均超过 0.40 g/kg。其中 T₃ 样点的 TN, TP 的平均含量均为 5 个样点之首, 而 T₅ 样点中 TN, TP 平均含量均为最小。对比发现, 石佛寺人工湿地芦苇样点淤积物中 TN 与 TP 含量, 与目前国内研究较多的东太湖淤积物中 TN 和 TP 的含量相接近^[4]。

表 1 5 个芦苇样点淤积物 TN, TP 含量 g/kg

月份	营养物质	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
4	TN	1.458	1.184	1.466	1.207	1.082
	TP	0.472	0.431	0.613	0.538	0.401
5	TN	0.813	0.684	1.027	0.725	0.621
	TP	0.432	0.388	0.556	0.493	0.396
7	TN	1.483	1.125	1.487	1.225	0.977
	TP	0.463	0.442	0.607	0.567	0.405
9	TN	1.223	0.853	1.375	0.937	0.826
	TP	0.493	0.413	0.587	0.482	0.418
10	TN	1.544	1.288	1.603	1.331	1.196
	TP	0.521	0.434	0.607	0.502	0.409
平均	TN	1.304	1.027	1.373	1.055	0.905
	TP	0.476	0.422	0.594	0.496	0.406

5 个样点不同时期芦苇的生物量变化如图 2 所示。4 月初, 芦苇处于生长初期, 此时期内 T₂ 和 T₅ 两个样点中芦苇的生物量略微高于其他采样点, 总的来看各个样点内芦苇生物量较接近, 并没有表现出明显的差异, 此阶段各样点芦苇生物量比较: T₅ > T₂ > T₁ > T₃ > T₄; 之后随着芦苇的逐渐发育, 5 个样点内芦苇的生物量均开始平稳上升, 各个样点内芦苇的生物量逐渐有了差距, 其中 T₁ 和 T₃ 样点内芦苇的生物量增长趋势最为明显, 而 T₅ 样点内芦苇生物量增长趋势最缓, 其芦苇生物量变为 5 个样点内最低, 此阶段各样点芦苇生物量比较: T₁ > T₃ > T₄ > T₂ > T₅; 7—9 月, 芦苇进入成熟期, 5 个样点内芦苇生物量的增长趋势都逐渐放缓, 并于 9 月达到峰值, 此时 T₁ 样点中芦苇的生物量均明显高于其他 4 个区域, T₃ 次之, T₅ 样点内芦苇生物量仍为最低, 但已与 T₂ 样点内芦苇的生物量较接近, 此阶段各样点芦苇生物量比较: T₁ > T₃ > T₄ > T₂ > T₅。10 月以后, 进入枯萎期的芦苇开始死亡腐解, 各样点内芦苇生物量均逐渐下降, T₂ 样点芦苇生物量下降趋势相对较缓, 但对总体生物量的变化影响不大。总体来看, 5 个样点淤积物中芦苇生物量为: T₁ > T₃ > T₄ > T₂ > T₅。

结合表 1 和图 2 来看, 芦苇的生物量与淤积物中 TN 和 TP 的含量有关, 芦苇的生物量会随着淤积物中营养物质含量的增高而增加, 这种现象在芦苇的成熟期更为显著。但 5 月之后, 淤积物中 TP 和 TN 平均含量最高的 T₃ 样点中芦苇的生物量, 始终低于 T₁ 样点。

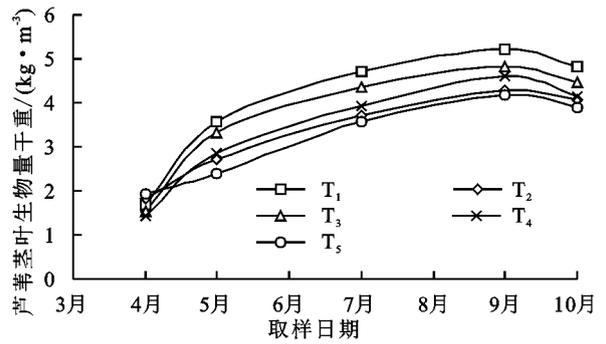


图 2 5 个样点不同时期芦苇生物量

2.2 不同淤积物中蒲草的生长

各采样点淤积物内 TN, TP 含量见表 2。蒲草区域 5 个样点淤积物中 TN 和 TP 的平均含量较接近, 但也存在差别, 其中 P₃ 样点淤积物中 TN 和 TP 的平均含量都略微低于其他采样点。总体来看, 蒲草样点淤积物中 TN, TP 的平均含量均明显低于芦苇样点。

表 2 5 个蒲草样点淤积物中 TN, TP 含量 g/kg

月份	营养物质	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
4	TN	1.125	1.032	1.006	1.053	1.082
	TP	0.483	0.445	0.411	0.453	0.461
5	TN	0.898	0.792	0.799	0.821	0.843
	TP	0.472	0.421	0.398	0.418	0.415
7	TN	1.053	0.915	0.897	0.903	0.972
	TP	0.527	0.448	0.413	0.431	0.476
9	TN	1.133	0.942	0.905	0.976	1.058
	TP	0.413	0.365	0.338	0.373	0.397
10	TN	1.107	0.992	0.938	0.983	1.009
	TP	0.456	0.399	0.374	0.412	0.438
平均	TN	1.063	0.935	0.909	0.947	0.993
	TP	0.470	0.416	0.387	0.417	0.437

5 个蒲草采样点淤积物中, 水生植物的生物量变化趋势如图 3 所示。在 4 月初, P₁ 采样点中蒲草的生物量略高于其他采样点, 整体来看 5 个采样点中蒲草的生物量比较接近, 此阶段各样点蒲草生物量比较: P₄ > P₃ > P₁ > P₅ > P₂。之后, 随着蒲草进一步发育, 各采样点间生物量的差异逐渐体现。P₁ 采样点的生物量逐渐呈现出较大优势, 其他 4 个样点内蒲草的生物量以相近的趋势平稳增加; 而进入 5 月后, P₅ 样点内的蒲草生物量的增长趋势相对于其他样点明显增高, 并于 6 月整体生物量超过 P₁ 样点, 成为 5 个样点之首, 此阶段各样点蒲草生物量比较: P₁ > P₅ > P₂ > P₄ > P₃。蒲草进入成熟期以后, 各样点内蒲草生物量增长趋势逐渐降低, 并达到最大值, 之后各样点内蒲草生物量开始以较接近的趋势逐渐降低, 此阶段各样点蒲草生物量比较: P₅ > P₁ > P₄ > P₂ > P₃。之后随着蒲草进入枯萎期后逐渐死亡, 5 个采样点中蒲草的生物量都逐渐减少, 并趋近于同一数值。在整个

蒲草的发育过程中, P_3 样点内蒲草的生物量始终保持较低水平。

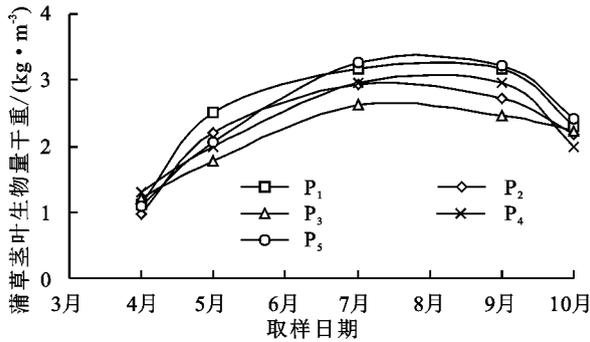


图 3 5 个样点不同时期蒲草生物量

结合表 2 与图 3 可以发现, 当采样点淤积物内 TN 含量小于 0.993 g/kg, TP 含量小于 0.437 g/kg 时, 样点内蒲草的生物量会随淤积物中营养元素含量的降低而减少, 这说明淤积物中营养物质的含量会对

表 3 淤积物中营养元素含量与水生植物生物量的相关系数

植物	4 月		5 月		7 月		9 月		10 月	
	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP
芦苇	-0.540	-0.877*	0.766	0.507	0.955*	0.407	0.832*	0.679	0.901	0.713
蒲草	-0.101	-0.911*	0.753	0.955*	0.737*	0.805	0.897*	0.951*	0.330	0.402

注: * 表示水生植物的生物量与淤积物中营养含量的相关性达到显著水平 ($p < 0.05$); ** 表示相关性达到极显著水平 ($p < 0.01$)。

从表 3 中可以看出, 在 4 月第一次取样时, 芦苇和蒲草的生物量与淤积物中 TP 含量的相关性均为负显著相关, 且与淤积物中 TN 含量也呈负相关, 这说明在生长初期过高的营养元素含量会抑制水生植物的发育。在 5 月, 蒲草的生物量与淤积物中 TP 含量的相关性达到了显著水平, 而在 7 月和 9 月, 芦苇和蒲草的生物量均与淤积物中 TN 含量显著相关, 这说明当水生植物处于成熟期时, 较高的营养元素含量可以促进水生植物的发育; 同时期淤积物内 TP 含量仅在 9 月与蒲草的生物量显著相关, 可见其对水生植物生长的促进作用次于 TN。而在 10 月, 水生植物处于枯萎期, 此时期内淤积物内营养元素含量对水生植物的生物量的影响相对较小。总体来看, 较高的淤积物营养元素含量有利于水生植物的生长发育, 特别是在成熟期, 这种促进现象最为明显。但不论是芦苇还是蒲草, 淤积物中 TN 和 TP 含量最高的样点 (T_3 样点和 P_1 样点), 其生物量均不是 5 个样点之最, 故推测当淤积物中营养元素含量超过某一临界值时, 反而会抑制水生植物的生长发育, 目前国内关于此临界值的界定的文献较少, 还有待进一步研究。

通常, 处于同一相对密闭环境区域的淤积物中, 其营养成分的组成、含量和来源都会比较接近, 但由于水体处于流动状态, 会与其他河流及外界条件产生

水生植物的生长产生一定影响。

2.3 综合分析

结合不同采样点的芦苇和蒲草两种水生植物的生长情况可以发现, 采样点中的 N, P 营养水平与水生植物的生物量存在某种联系: 通常淤积中营养元素含量较低的采样点上所生长的水生植物, 其生物量处于相对较低的水平; 水生植物的生物量会随着采样点淤积物中 TN, TP 含量的增长而增长, 直达到某一个临界值; 之后随着采样点淤积物中 TN, TP 含量的增加, 水生植物的生物量会呈降低趋势, 但仍高于那些淤积物中营养元素较少的采样点。

在水生植物的生长过程中, 将水生植物的生物量与淤积物中 TN 和 TP 含量进行 Pearson 相关分析, 发现在不同的生长时期, 水生植物生物量与淤积物中营养元素含量有不同的相关关系。结果见表 3。

交互, 故不同的采样点中淤积物的各营养元素含量会有较大区别, 在某些湖泊和流域甚至差异会达到显著程度^[5]。由于水生植物在不同的生长阶段都要从水体及淤积物中吸取大量的 N, P 等营养物质从而满足自身的生长需要, 故生长在不同采样点的水生植物, 其长势及生物量都会因此而产生差异^[6]。当芦苇、蒲草等挺水植物处于生长初期时, 周围环境中过多的如 N, P 等营养元素会对水生植物的生长起到抑制作用, 降低水生植物的生物量。这是因为当淤积物中的营养元素较高时, 处于生长初期的水生植物幼苗中的丙二醛(MDA)和超氧化物歧化酶(SOD)的活性会降低, 从而对水生植物的发芽率、幼芽和幼根的生长起到抑制作用, 降低水生植物的生物量^[7]。随着水生植物的进一步生长, 其对营养物质的需求逐渐增加, 淤积物中 TN, TP 含量不足会导致水生植物的发育迟缓, 这种现象产生的原因可能与光照及温度有关。姜瑞芳等^[8]研究发现, 当植物处于遮荫环境下生长时, 其植株的生长和地径生长都会受到不同程度的限制。当植物所受到的光照足够时, 光能可以促进植物部分细胞的分裂与增长, 可以加快植株体各结构器官的生长, 从而加快植物生长发育的速度。杨梅娇^[9]通过对不同光照程度下油樟的生物量进行研究发现, 不同光照处理下的植物生长情况有较大差异, 适宜的光照更

适合植物生物量的累积,而当光照不足时,植物的生物量增长会受到一定程度的限制。同时在植物生长过程中,光照和N元素还会形成交互作用,光照可以通过调控植株内硝酸还原性酶的活性来控制植物对于N元素的吸收,在一定光照强度的范围内,光照越强,植物对N元素的吸收就越快,植物的生物量也越高^[10],这可能是芦苇在成熟期的生物量与淤积物中N元素显著相关的原因。目前有关温度与水生植物生物量变化之间的关系,学术界还没有得出完全统一的结论,但是在适宜温度范围内,水生植物的生物量与温度的增长呈正比这是不争的事实,同时温度的升高也会增加土壤(淤积物)中营养元素的供应能力。王苗^[11]将5种水生植物放在不同温度条件下生长,对比发现在30℃以下时,水生植物的生长会受到温度影响,温度越高植物长势越好。闫志强等^[12]的研究发现,温度与水生植物的生长之间的关系达到了极显著相关($p < 0.01$)的程度。在5—9月期间,日照时间延长,石佛寺人工湿地的水温会逐渐升高至20℃以上,光照和温度会共同调节芦苇与蒲草的生长,同时影响淤积物中N、P等营养元素的释放,淤积物中营养元素较高的采样点所种植的水生植物生物量相对较大,而到了秋季以后,淤积物中营养物质含量对水生植物生物量的影响不再明显。

从本文的研究来看,不同营养特征的淤积物对于芦苇和蒲草的发育情况确实有影响,随着淤积物中营养元素含量的提高,水生植物的发育总体情况得到改善。而当淤积物中营养元素进一步增加,过高的营养元素会对植物的发育产生威胁。目前关于淤积物营养特征对水生植物不同阶段生长发育影响的研究十分迫切,淤积物中过高的营养物质含量可能对于湿地中水生植物的衰减负有较大责任。

3 结论

石佛寺人工湿地内不同采样点淤积物的营养水平有所不同,淤积物中营养元素的含量会对水生植物的生长造成影响,淤积物中较高的营养水平会使水生植物的生物量增加。这种影响在水生植物的不同生长时期有所差异。当水生植物处于生长初期时,N、P

等营养元素会抑制水生植物的生长,这种抑制会随着水生植物的进一步发育逐渐变成促进作用,尤其是当水生植物进入成熟期后,淤积物内营养元素含量与水生植物的生物量的相关性达到显著水平($p < 0.05$)。之后水生植物进入枯萎期,逐渐死亡,淤积物中营养水平对水生植物生长的作用不再明显。淤积物中营养物质含量对于不同水生植物的影响有所差异,从本文来看,蒲草的生物量与淤积物中营养元素含量的相关性更高。此外,光照、温度、pH值和水中溶解氧含量等因素均会对水生植物的生长产生影响。

参考文献:

- [1] 秦伯强,张运林,高光,等.湖泊生态恢复的关键因子分析[J].地理科学进展,2014,33(7):918-924.
- [2] 徐德兰,雷泽湘,刘正文,等.太湖水生植物氮磷与湖水和沉积物氮磷含量的关系[J].植物生态学报,2008,32(2):402-407.
- [3] 潘义宏,王宏镛,谷兆萍,等.大型水生植物对重金属的富集与转移[J].生态学报,2010,30(23):6430-6441.
- [4] 王佩,卢少勇,王殿武,等.太湖湖滨带底泥氮、磷、有机质分布与污染评价[J].中国环境科学,2012,32(4):703-709.
- [5] Radovic T T, Grujic S D, Kovacevic S R, et al. Sorption of selected pharmaceuticals and pesticides on different river sediments[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016,23(24):25232-25244.
- [6] Raun A L, Borum J, Sand-Jensen K. Influence of sediment organic enrichment and water alkalinity on growth of aquatic isoetid and elodeid plants [J]. Freshwater Biology, 2010,55(9):1891-1904.
- [7] 冯彬,何云核,赵爽,等.香蒲不同部位水浸提液对4种水生植物种子的化感作用[J].浙江农林大学学报,2017,34(3):427-436.
- [8] 姜瑞芳,刘艳红.光照对珙桐幼苗光合与生长特性的影响[J].生态科学,2017,36(5):114-120.
- [9] 杨梅娇.不同光照强度对一年生油樟苗生长的影响[J].浙江林业科技,2006,26(3):41-43.
- [10] 陆含.土壤—蔬菜系统中水、光照和氮素的互作效应与生理机制[D].杭州:浙江大学,2010.
- [11] 王苗.不同环境条件对水生植物降解速率和营养释放的影响[D].武汉:湖北大学,2016.
- [12] 闫志强,刘崑,吴小业,等.温度对5种沉水植物生长和营养去除效果的影响[J].生态科学,2014,33(5):839-844.