

储昭升,陈书琴,王长春,等. 洱海沉水植物残体风浪输移量及其时空分布[J]. 环境科学研究, 2014, 27(1): 6-11.

CHU Zhao-sheng, CHEN Shu-qin, WANG Changchun, et al. Temporal-spatial distribution of submerged macrophyte residues transported by wind wave in Lake Erhai[J]. Research of Environmental Sciences, 2014, 27(1): 6-11.

洱海沉水植物残体风浪输移量及其时空分布

储昭升¹, 陈书琴^{1,2}, 王长春¹, 叶碧碧¹, 庞 燕¹

1. 中国环境科学研究院湖泊创新基地, 国家环境保护湖泊污染控制重点实验室, 北京 100012

2. 中国矿业大学(北京)地球与测绘工程学院, 北京 100083

摘要: 为研究洱海沉水植物残体风浪输移特征, 掌握由此而引起的 N、P 变动情况, 通过为期 1 a 的野外定点调查, 研究了风浪对洱海湖滨带沉水植物作用引起的植物残体向滨岸的输移特征, 估算了沉水植物残体带出的 N、P 质量. 结果表明: ①洱海湖滨带有残体输出的沉水植物总计 10 种, 分别为菹草(*Potamogeton crispus*)、黑藻(*Hydrilla verticillata*)、轮藻(*Eichhornia crassipes*)、穿叶眼子菜(*P. perfoliatus*)、扭叶眼子菜(*P. intortifolius*)、穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、马来眼子菜(*P. malaianus*)、苦草(*Vallisneria natans*)及微齿眼子菜(*P. maackianus*); ②沉水植物残体风浪输移量存在明显的时序变化, 在 4 次采样中, 2009 年 12 月(冬季)风浪输移量最高; ③微齿眼子菜和苦草的风浪输移量最大, 植物残体风浪输移量主要受沉水植物的分布和生物量的影响; ④单位岸线沉水植物残体风浪输移总量在空间上表现为西部(1.91 t/km) > 北部(1.73 t/km) > 南部(1.61 t/km) > 东部(0.86 t/km); ⑤洱海湖滨带沉水植物残体风浪输移总量约为 2.27×10^3 t/a(以鲜质量计), 由此可输出的 TN 为 5.64 t, TP 为 0.85 t.

关键词: 风浪输移量; 沉水植物残体; 时空分布; N、P 输出

中图分类号: X524

文章编号: 1001-6929(2014)01-0006-06

文献标志码: A

DOI: 10.13198/j.issn.1001-6929.2014.01.02

Temporal-Spatial Distribution of Submerged Macrophyte Residues Transported by Wind Wave in Lake Erhai

CHU Zhao-sheng¹, CHEN Shu-qin^{1,2}, WANG Chang-chun¹, YE Bi-bi¹, PANG Yan¹

1. State Environmental Protection Key Laboratory for Lake Pollution Control, Research Center of Lake Eco-environment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

2. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China

Abstract: Submerged macrophytes residues that were transported to the shore by wind wave are an important kind of substance cycling in lakeside. An investigation was carried out in Erhai lakeside to depict the characteristics of wave-transported residue of submerged macrophyte and quantify the consequent changes of total phosphorus and total nitrogen of Lake Erhai. Meanwhile, the amount of total nitrogen and total phosphorus in submerged macrophyte residues were estimated as well. The results showed that: (1) There were totally 10 kinds of submerged macrophyte residues transported by wind wave in Lake Erhai including *Ceratophyllum demersum*, *Eichhornia crassipes*, *Hydrilla verticillata*, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton crispus*, *P. intortifolius*, *P. maackianus*, *P. malaianus*, *P. perfoliatus* and *Vallisneria natans*. (2) The weights of submerged macrophyte residues significantly varied among different seasons with the maximum values in the winter. (3) Among 10 species of submerged macrophyte residues observed in lakeside of Lake Erhai, the residue weights of *P. maackianus* and *V. natans* were the greatest among all species. The weights of residues were positively associated with the distribution scale and biomass. (4) The sequence of the weight of residues per unit length collected followed the decreasing order: the west (1.91 t/km), the south (1.73 t/km), the north (1.61 t/km), east (0.86 t/km). (5) The total mass of residues in the lakeshore in Lake Erhai was estimated as 2270 t. It suggests that 5.64 tons total nitrogen and 0.85 tons total phosphorus can be exported by wind wave in the Lake Erhai per year.

Key words: wind waves; submerged macrophyte residue; temporal-spatial distribution; total nitrogen and total phosphorus export

收稿日期: 2013-03-01

修订日期: 2013-10-30

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07105-004)

作者简介: 储昭升(1973-), 男, 安徽安庆人, 研究员, 博士, 主要从事湖泊富营养化研究, chuzs@craes.org.cn.

湖滨带是典型的内陆型水-陆交错带^[1-2],其生态过程对湖泊水生生态系统具有重要影响. 沉水植物是湖泊水体中最重要的初级生产者,在湖泊生态系统中扮演着重要的角色^[3-4],由于风浪的强烈作用,常常产生大量沉水植物残体,并输移到堆积到岸边. 随着水位的变化,植物残体又会重新进入到水体中. 植物残体内所含丰富的 N、P 和其他营养物质释放进入水体^[5-7],从而可能导致局部区域水质恶化. 近年来,关于植物残体的研究已受到众多关注. 潘慧云等^[8]指出,沉水植物残体腐解速率随水温升高而增加. 叶碧碧等^[9]则对比测定了洱海不同挺水植物腐解释放 N、P 的能力. 杨明生等^[10]以武汉南湖为研究对象,发现湖泊沉积物中水生植物残体可作为湖泊富营养化过程的记录材料,其 $w(\text{TP})$ 可以作为指示环境变化的指标. 赵艳等^[11]发现,植物残体散布性很差. 以上研究主要集中在植物残体中 N、P 的释放机理^[12-14],并不关注风浪所引起的湖滨带植物残体输移这一物质交换过程,更缺少关于洱海的具体研究案例. 洱海是云贵高原第二大淡水湖,受局地复杂地形和洱海的影响,洱海盆地近地层常年存在湖陆风、山谷风、峡谷风三者叠加效应引起的局地环流^[15],风浪对洱海湖滨带沉水植物存在着强烈的作用. 笔者通过调查,研究了因风浪携带近岸的沉水植物植物残体物种、总量及其营养盐含量,风浪对植物残体的输移作用以及该过程对湖滨物质交换及湖泊物质循环的影响,以期对近岸沉水植物收集管理提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

洱海(25°25'N ~ 26°16'N, 99°32'E ~ 100°27'E)属澜沧江水系,南北长 42.5 km,最大湖宽 9.2 km,平均湖宽 5.8 km,平均水深 10.6 m^[16]. 洱海湖区常年主导风向是东南风^[17],平均风速 2.3 m/s,最大风速 20.0 m/s,南部的下关更以“风城”著称,年均风速达 4.1 m/s,水面盛行风向白天以东南风为主,夜间以东南风和西西南风为主. 地面白天以东南风为主,夜间以静风和西西北风为主^[18].

1.2 采样区布置

洱海湖滨带总长 128 km,共设置 32 个采样区,西部湖滨带长 48 km,沿岸主要由湖滨滩地、乔木带、码头、建筑用地以及农田、鱼塘构成,水生植物较为茂盛,是湖滨带采样的重点区域,该处每隔约 2 km 设 1 个采样区,共 22 个(1 ~ 22 号);东部湖滨带长 58 km,主要是荒坡陡岸带,设置 8 个采样区(24 ~ 31

号);南、北部湖滨带长度皆在 10 km 左右,其中北部为湖湾区,南部临近城镇生活区,分别各设 1 个采样区(南部 23 号、北部 32 号),具体见图 1.

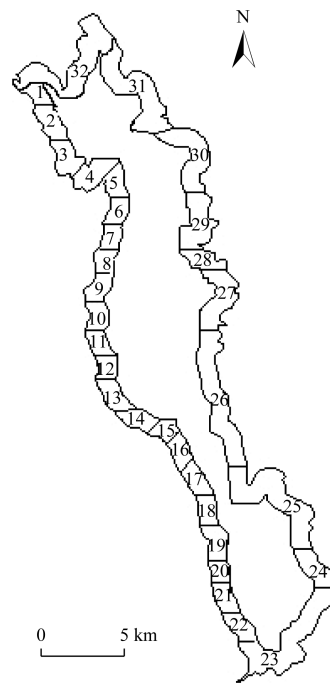


图1 洱海及采样区分布示意

Fig. 1 Sketch map of sampling areas

1.3 采样及分析方法

2009 年 12 月—2010 年 9 月,每季度在各采样区随机选取 10 个以上的 3 m 长岸段作为采样点,用爪耙收集被风浪携带岸边的植物新鲜残体,称其鲜质量. 将植物分类后,取适量于 90 °C 下烘干后,分别通过奈氏比色法和磷钼蓝法^[19]测定植株的 $w(\text{TN})$ 、 $w(\text{TP})$.

1.4 植物残体风浪输移总量估算方法

洱海湖滨带 i 区域每次采样所得输移总量(T_i):

$$T_i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m \frac{W_{ijk} \cdot L_{ij}}{l} \quad (1)$$

式中: W_{ijk} 为 i 区域 j 采样区 k 类植物残体单次采集到的风浪输移量, t ; L_{ij} 为 i 区域 j 采样区的总长度, m ; l 为每个采样区采集的岸段长度, m .

2 结果与讨论

2.1 沉水植物残体风浪输移量时序变化特征

该研究中采集到的洱海风浪输移沉水植物共 10 种,分别是菹草(*Potamogeton crispus*)、黑藻(*Hydrilla verticillata*)、轮藻(*Eichhornia crassipes*)、穿叶眼子菜(*Potamogeton perfoliatus*)、扭叶眼子菜(*Potamogeton intortifolius*)、穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)、金

鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*)、马来眼子菜 (*Potamogeton malaianus*)、苦草 (*Vallisneria natans*) 及微齿眼子菜 (*Potamogeton maackianus*)。4 次采样总输移量表现为苦草 > 微齿眼子菜 > 轮藻 > 马来眼子菜 ≈ 金鱼藻 ≈ 黑藻 ≈ 穗花狐尾藻 > 菹草 ≈ 扭叶眼子菜 ≈ 穿叶眼子菜。其中,苦草与微齿眼子菜是洱海优势种,二者风浪输移量高于其他所有沉水植物风浪输移量的总和(见表 1)。

表 1 洱海沉水植物残体风浪输移量时序特征

Table 1 Temporal characteristics of submerged macrophyte's residue transported by wind wave t

项目	时间(年-月)			
	2010-03	2010-06	2010-09	2009-12
微齿眼子菜	13.29	7.04	7.90	42.73
苦草	17.98	8.66	7.65	42.27
马来眼子菜	0.52	0.33	0.13	5.15
金鱼藻	0.77	0.48	0.29	4.17
穗花狐尾藻	0.78	0.52	0.36	1.88
扭叶眼子菜	0.02	—	—	—
穿叶眼子菜	0.01	—	—	—
轮藻	0.91	—	—	6.33
黑藻	0.05	—	—	3.39
菹草	0.09	—	—	—
合计	34.42	17.03	16.33	105.92

注:以鲜质量计;—为鲜质量 < 0.001 t。

由表 1 可见,4 次采样沉水植物残体风浪总输移量为 2009 年 12 月最高(105.92 t),其次为 2010 年 3 月(34.42 t),再次为 2010 年 6 月(17.03 t),最低值为 2010 年 9 月(16.33 t);在时序上,全湖沉水植物残体风浪总输移量变异系数(coefficient of variance, CV)高达 97.87%,表明沉水植物残体风浪输移量季节性波动很大。根据方差分析(ANOVA)结果,2010 年 3 月、6 月、9 月洱海沉水植物残体输移量差异并不具有显著的统计学意义($P > 0.05$),表明沉水植物残体风浪输移量时序波动主要体现在 2009 年 12 月采样与其他 3 次采样的区别上。将这 4 次采样分别视为洱海春、夏、秋、冬季的代表,可以看出洱海沉水植物残体风浪总输移量表现为冬季 > 春季 > 夏季 > 秋季。

冬季是洱海一年中水位最高、风浪最大的季节,秋季极大的生物量则在冬季急剧减少,大量植物残体输出,加之风浪和水位的影响,可能是导致冬季洱海沉水植物风浪输移量达到最大值的重要原因。而夏、秋两季洱海风浪较小,大多数沉水植物处于生长旺季,茎干粗壮且有韧性,加之野菱等浮叶植物生长旺盛,消浪作用明显^[20],这可能是夏、秋两季沉水植物残体风浪输移量低的主要原因。调查表明,除扭叶眼

子菜、穿叶眼子菜及菹草在夏、秋、冬三季未见残体,黑藻、轮藻在夏、秋季未见残体外,其余 5 种沉水植物残体,特别是苦草和微齿眼子菜残体风浪输移量的季节变化与总输移量的季节变化相符,均呈冬季异常高的规律。苦草和微齿眼子菜皆为多年生草本植物,它们在冬季仍然能够缓慢生长,但是微齿眼子菜前一年的营养体会沉入水底并覆盖在底质上形成垫层逐渐腐解^[21],同时一些老枝也逐渐衰亡;而苦草则在每年 10 月进入衰败期,枝干抗风浪能力减弱,这可能是这 2 种沉水植物在冬季风浪输移量较大的原因之一。其余沉水植物大部分也属于多年生,但这些沉水植物与微齿眼子菜及苦草一样,在冬季会淘汰一些老枝^[22-23],其茎干完整且脆弱,在洱海冬季强风浪^[24]的作用下,植物极易被打断而随风浪输移。而菹草在冬季处于生长初期,茎干短小,即便风浪很大,它的风浪输移量仍然小到可以忽略不计。

2.2 沉水植物残体风浪输移量空间变化特征及其分布

4 次调查中,东、西、南、北 4 个区域沉水植物残体风浪输移量的变异系数高达 82.31%,表明沉水植物残体空间分布波动较大,沉水植物 4 次调查单位岸线风浪输移总量表现为西部(1.91 t/km)、北部(1.73 t/km)高而东部(0.86 t/km)最低,但由于岸线长度不同,沉水植物残体总风浪输移量仍表现为西区(91.73 t) > 东区(50.10 t) > 北区(17.34 t) > 南区(14.61 t),具体见表 2。

表 2 洱海沉水植物残体总风浪输移量空间特征

Table 2 Spatial characteristics of submerged macrophyte's residue transported by wind wave t

项目	西区	南区	东区	北区
微齿眼子菜	42.52	6.83	15.71	5.91
苦草	32.32	7.26	30.27	6.70
马来眼子菜	2.72	0.28	2.96	0.18
金鱼藻	4.84	0.10	0.26	0.51
穗花狐尾藻	2.60	0.14	0.73	0.07
扭叶眼子菜	0.01	0.00	0.07	0.01
穿叶眼子菜	0.01	0.00	0.00	0.00
轮藻	3.60	0.00	0.00	3.64
黑藻	3.04	0.00	0.10	0.30
菹草	0.07	0.00	0.00	0.02
合计	91.73	14.61	50.10	17.34

洱海湖区主导风向为东南风,当东南风风速从 4.4 m/s 升至 17.0 m/s 时,洱海敞水区有效波高从 0.18 m 增至 1.3 m,并且越接近西岸,波高越大,从而导致沉水植物残体由东南往西北运动并向下风向聚

集. 由表2可见,西区的各种沉水植物残体总风浪输移量均远大于其他各区,北区次之,东区最低. 从沉水植物总风浪输移量上看,虽然洱海东区陡岸单位岸线风浪输移量最低,沉水植物生物量密度也不高^[25],但由于其岸线长达58 km,接近南、北两岸的6倍,因此东岸沉水植物总风浪输移量仅次于西岸.

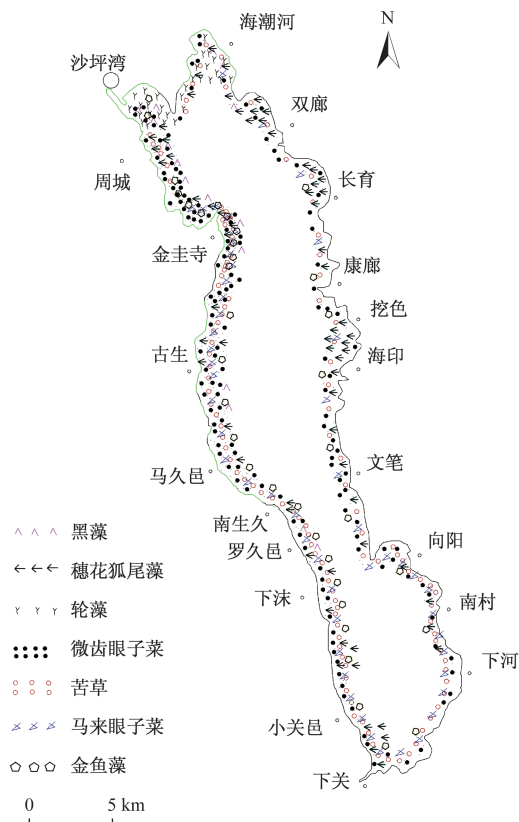
从4次调查单位岸线风浪输移量上看,全湖表现为苦草(0.60 t/km) > 微齿眼子菜(0.55 t/km) > 轮藻(0.06 t/km) > 马来眼子菜(0.05 t/km) > 金鱼藻(0.04 t/km) > 穗花狐尾藻(0.03 t/km) > 黑藻(0.03 t/km) > 菹草 ≈ 扭叶眼子菜 ≈ 穿叶眼子菜(均小于0.01 t/km),基本与这些沉水植物的生物量成正比. 而穗花狐尾藻生物量虽低于黑藻,但其分布范围较广,所以残体风浪输移总量亦较大. 可见,沉水植物残体风浪输移量主要由沉水植物的生物量及其分布范围决定.

从不同种沉水植物分区风浪输移量来看,扭叶眼子菜残体风浪输移量东区高于西区,而穿叶眼子菜残体仅在西区发现,轮藻、菹草则在东、南区未见,黑藻残体在南区未见,而且其输移量在东区最低. 洱海湖滨带水生植物残体风浪输移量呈明显的区域变化,10种沉水植物残体沿湖滨带的分布情况见图2,这与沉水植物生长现状^[26]基本相一致,也与赵艳等^[11]的研究结论相似.

苦草和微齿眼子菜残体在全湖岸带分布较广,分别占总植物输移量的44.1%和40.9%. 马来眼子菜残体在湖岸带分布也较为普遍,但相对于微齿眼子菜和苦草,其风浪输移量要小得多,仅占总风浪输移量的3.5%. 总体看来,10种沉水植物残体4次调查风浪输移量变化范围为0.01~76.55 t,具体为苦草(76.55 t) > 微齿眼子菜(70.97 t) > 轮藻(7.24 t) > 马来眼子菜(6.14 t) > 金鱼藻(5.71 t) > 穗花狐尾藻(3.54 t) > 黑藻(3.44 t) > 菹草(0.09 t) ≈ 扭叶眼子菜(0.09 t) > 穿叶眼子菜(0.01 t). 根据厉恩华等^[27]2009年对洱海水生植物进行的调查,苦草和微齿眼子菜皆为洱海湖滨带的优势种,马来眼子菜也是洱海的广布种,而穗花狐尾藻在分布区虽然生物量相对不大,但其分布较广,因此风浪输移量也相对较大. 这表明沉水植物生物量越大,分布越广,其风浪输移量就越大.

2.3 植物残体N、P输出总量

根据笔者对黑藻、马来眼子菜等沉水植物的观测,沉水植物在离水后,数h内即可失水蜷缩,1d内



注: 菹草、扭叶眼子菜和穿叶眼子菜由于生物量很少,图中未显示.

图2 洱海沉水植物残体在湖滨带分布位置示意

Fig. 2 Current distribution of main submerged macrophyte's residue of Lake Erhai

即能枯败. 而岸线边的沉水植物残体,不定期与水体接触,保鲜时间较长,约在1周左右. 因该研究调查中仅收集新鲜残枝,故可将4次采样数据的平均值视为7d平均输移量,则全年共输出沉水植物残体鲜质量为 2.27×10^3 t,这些植物残体内含有大量的营养盐,由表3可见,每年洱海仅因沉水植物风浪输移即可输出TN为5.64 t,TP为0.85 t. 各类植物残体全年TN风浪输移输出总量为苦草(2.47 t) > 微齿眼子菜(1.98 t) > 马来眼子菜(0.64 t) > 金鱼藻(0.18 t) > 轮藻(0.14 t) > 黑藻(0.12 t) > 穗花狐尾藻(0.11 t) > 菹草、扭叶眼子菜、穿叶眼子菜. TP风浪输移输出总量表现为苦草(0.42 t) > 微齿眼子菜(0.29 t) > 马来眼子菜(0.04 t) > 金鱼藻(0.02 t) > 轮藻(0.02 t) > 穗花狐尾藻(0.02 t) > 黑藻(0.02 t) > 菹草、扭叶眼子菜、穿叶眼子菜.

风浪输移至近岸的沉水植物残体,十分方便打捞. 根据云南洱海流域水污染综合防治“十二五”规划,通过各种途径,每年约有2 628.2 t氮素和176.1 t

表 3 植物残体及 TN、TP 输出量

Table 3 The output of total nitrogen and total phosphorus
of plant residues t

项目	风浪输移量	TN 输出量	TP 输出量
微齿眼子菜	925.14	1.98	0.29
苦草	997.93	2.47	0.42
马来眼子菜	80.00	0.64	0.04
金鱼藻	74.43	0.18	0.02
穗花狐尾藻	46.15	0.11	0.02
扭叶眼子菜	1.17	—	—
穿叶眼子菜	0.13	—	—
轮藻	94.42	0.14	0.02
黑藻	44.89	0.12	0.02
菹草	1.17	—	—
合计	2 265.43	5.64	0.85

注：—表示小于 0.01 t.

磷素进入洱海^[28],如果及时对该部分水生植物残体近岸打捞,每年可输出的 TN、TP 可分别占 TN、TP 输入总量的 0.21%、0.48%,不仅在洱海 N、P 循环过程中起到一定的贡献,而且可以通过影响微生物活性^[29-30]影响整个洱海生态系统.

3 结论

a) 沉水植物残体风浪输移量存在明显的季节变化,4 次采样沉水植物残体风浪输移量 2009 年 12 月(105.93 t)最高,其次为 2010 年 3 月(34.49 t)、2010 年 6 月(17.04 t),最低为 2010 年 9 月(16.33 t),冬季沉水植物残体输移量最高;从空间上看,沉水植物风浪输移量呈东西高而南北低的特征,西区(91.73 t) > 东区(50.10 t) > 北区(17.34 t) > 南区(14.61 t).

b) 共观测到 10 种沉水植物残体,其全年风浪输移量表现为苦草(76.55 t) > 微齿眼子菜(70.97 t) > 轮藻(7.24 t) > 马来眼子菜(6.14 t) > 金鱼藻(5.71 t) > 穗花狐尾藻(3.54 t) > 黑藻(3.44 t) > 菹草(0.09 t) ≈ 扭叶眼子菜(0.09 t) > 穿叶眼子菜(0.01 t),沉水植物生物量越大、分布越广,其残体风浪输移量就越大.

c) 4 次调查沉水植物残体单位岸线风浪输移量在空间上表现为西部(1.91 t/km) > 北部(1.73 t/km) > 南部(1.61 t/km) > 东部(0.86 t/km),沉水植物残体的风浪输移量主要取决于沉水植物总生物量及空间分布情况.

d) 洱海湖滨带沉水植物残体总风浪输移量为 2.27×10^3 t/a(鲜质量),由此每年输出的 TN 为 5.64 t,TP 为 0.85 t,分别相当于洱海 TN、TP 年输入总量的 0.21% 和 0.48%.

参考文献 (References):

[1] 金相灿,尚榆民,徐南妮,等. 湖泊富营养化控制和管理技术 [M]. 北京:化学工业出版社,2001:147-153.

[2] 颜昌宙,金相灿,赵景柱,等. 湖滨带的功能及其管理 [J]. 生态环境,2005,14(2):294-298.

[3] ALI M M. Plant functional types in Lake Nubia in relation to physico-geographic factors [J]. Limnologia, 2003, 33(4):305-315.

[4] 吴振斌,邱东茹,贺峰,等. 水生植物对富营养水体水质净化作用研究 [J]. 武汉植物学研究,2001,19(4):299-303.

[5] LI H, MYNETT A, PENNING E, et al. Revealing spatial pattern dynamics in aquatic ecosystem modelling with Multi-Agent Systems in Lake Veluwe [J]. Ecological Informatics, 2010, 5(2):97-107.

[6] 李文朝,陈开宁,吴庆龙,等. 东太湖水生植物生物腐质分解实验 [J]. 湖泊科学,2001,13(4):331-336.

[7] ZHOU Xiaohong, WANG Guoxiang. Nutrient concentration variations during *Oenanthe javanica* growth and decay in the ecological floating bed system [J]. J Environ Sci, 2010, 22(11):1710-1717.

[8] 潘慧云,徐小花,高士祥. 沉水植物衰亡过程中营养盐的释放过程及规律 [J]. 环境科学研究,2008,21(1):64-68.

[9] 叶碧碧,曹德菊,储昭升,等. 洱海湖滨带挺水植物残体腐解特征及其环境效应初探 [J]. 环境科学研究,2011,24(12):1364-1369.

[10] 杨明生,熊邦喜,杨学芬,等. 武汉南湖沉积物中水生植物残体及其氮磷分布 [J]. 生态学报,2008,28(4):1508-1513.

[11] 赵艳,李佳佳, SAYER C. 浅水湖泊孢粉和植物残体对水生植被的表现率 [J]. 长江流域资源与环境,2005,14(4):456-459.

[12] KNIGHT R L, GU Binhe, CLARKE R A, et al. Long-term phosphorus removal in Florida aquatic systems dominated by submerged aquatic vegetation [J]. Ecological Engineering, 2003, 20(1):45-63.

[13] BARKO J W, SMART M. Mobilization of sediment phosphorus by submersed freshwater macrophytes [J]. Freshwater Biology, 1980, 10(3):229-238.

[14] 张智,刘亚丽,龙腾锐,等. 重庆双龙湖水草对营养盐的吸附与释放试验研究 [J]. 资源环境与工程,2005,19(4):305-310.

[15] 徐安伦,赵晓红,付志嘉,等. 洱海盆地水面与地面气象要素变化特征的比较 [J]. 大气科学学报,2011,34(2):225-231.

[16] 金相灿,刘树坤,章宗涉. 中国湖泊环境:Ⅲ [M]. 北京:海洋出版社,1995:174-208.

[17] 大理白族自治州气象局. 大理白族自治州气象志 [M]. 北京:气象出版社,2008:25-29.

[18] 李岱青. 洱海流域生态区划研究 [D]. 北京:中国环境科学研究院,2000:10-45.

[19] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,1999:263-270.

[20] 杜延成,李清华,曲福贞,等. 利用水生植物防止东平湖二级湖堤风浪破坏的几点建议 [J]. 山东水利,2006(9):35-46.

[21] 靳宝锋,郭友好. 微齿眼子菜繁殖生物学特性的初步研究 [J]. 水生生物学报,2001,25(5):439-448.

- [22] 陈永根,白晓华,李香华,等. 中国 8 大湖泊冬季水-气界面甲烷通量初步研究[J]. 湖泊科学,2007,19(1):11-17.
- [23] 由文辉. 淀山湖水生维管束植物群落的生物量及其季节变化[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,1995(4):81-87.
- [24] 徐安伦,董保举,刘劲松,等. 洱海湖滨大气边界层结构及特征分析[J]. 高原气象,2010,29(3):637-644.
- [25] 金丹越,刘滨,杜劲冬. 洱海东区湖滨带现状及生态修复[J]. 环境科学研究,2004,17(S1):80-85.
- [26] 胡小贞,金相灿,杜宝汉,等. 云南洱海沉水植被现状及其动态变化[J]. 环境科学研究,2005,18(1):1-4.
- [27] 厉恩华,王学雷,蔡晓斌,等. 洱海湖滨带植被特征及其影响因素分析[J]. 湖泊科学,2011,23(5):738-746.
- [28] 大理白族自治州人民政府. 云南洱海流域水污染综合治理“十二五”规划[R]. 大理:大理白族自治州人民政府,2011.
- [29] 王博,叶春,杨劭,等. 腐解黑藻生物量对高硝态氮水体氮素的影响[J]. 环境科学研究,2009,22(10):1198-1203.
- [30] PAERL H W, PINCKNEY J L. A mini review of microbial consortia: their roles in aquatic production and biogeo-chemical cycling[J]. Microbial Ecology, 1996, 31(3):225-247.
- (责任编辑:郑朔方)

关于为本刊稿件注册 DOI 的说明

为了更好地促进期刊的信息化建设,我刊与同方知网(同方知网已被国际 DOI 基金会 IDF 授权为中国 DOI 注册代理机构)合作,为每篇刊发稿件注册 DOI(Digital Object Identifier,是文章唯一标识代码,广泛应用于数字平台,是规范化管理、组织、共享、利用数字资源的有效工具),其中信息内容主要包括作者姓名、摘要、关键词等;同时,通过同方知网与 IDF 授权的其他机构的元数据信息平台统一对接,实现 DOI 代码与网址双向解析,提升稿件的数字化传播效率和引用规范,真正实现与国际接轨。

因此,本刊自创刊以来的所有稿件均会注册 DOI 并可在网络上方便查询,2014 年及以后刊发的稿件将统一在纸版刊物上印刷其 DOI 编码。

对于 2013 年之前本刊已刊发的稿件,DOI 编码规则(由同方知网统一设置):10.13198/j.res.年.期.起始页码.首作者姓名缩写.当期流水号。例如“doi:10.13198/j.res.2013.08.110.wangzh.016”。

2014 年第 1 期及之后刊发的稿件执行本刊设定的 DOI 编码规则:10.13198/j.本刊国际连续出版物号(ISSN).年.期.当期流水号。例如“doi:10.13198/j.issn.1001-6929.2014.01.01”。