

沉水植物对水体净化的研究进展

张饮江^{1,2}, 刘晓培¹, 金晶¹, 董悦¹, 段婷¹, 张曼曼¹, 张乐婷¹, 黎臻¹

1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306
2. 水域环境生态上海高校工程研究中心, 上海 201306

摘要 本文综述了沉水植物对富营养化水体及其他受污水体中的 N、P、重金属和有机物的去除, 及抑制藻类生长化感等作用的研究的进展, 并分析沉水植物对其的去除率, 沉水植物在水域生态修复中较高的应用价值, 同时指出沉水植物净化水质中存在的问题, 展望了沉水植物净化水质的前景及方向。

关键词 沉水植物; 水质; 生态修复

中图分类号 X52 **文献标识码** A **doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.27.012

Research Progress in Submerged Plant for Purifying Water Quality

ZHANG Yinjiang^{1,2}, LIU Xiaopei¹, JIN Jing¹, DONG Yue¹, DUAN Ting¹, ZHANG Manman¹,
ZHANG Leting¹, LI Zhen¹

1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China
2. Engineering Research Center for Water Environment Ecology in Shanghai, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract The progress in submersed macrophyte effectively removing N, P, heavy metals, and organics from the eutrophication water and other waste water body and the allelopathy of algal growth inhibition action are reviewed. And the removal rate of submersed macrophyte is analyzed; submersed macrophyte has a high application value in the waters ecological restoration. The problems involving water quality purification by using submersed macrophyte are pointed out, and the research prospect and direction of submersed macrophyte for purifying water quality are looked forward to.

Keywords submersed macrophyte; water quality; ecological restoration

0 引言

污水处理方法有物理方法: 沸石、活性炭及石英砂等吸附过滤; 化学方法: 臭氧、药物、杀菌剂、增氧方法等; 生物方法: 水生植物净化、微生物代谢净化等。利用沉水植物净化受污水体, 对水域生态系统修复具有重要意义。利用沉水植物做富营养化水体修复系统, 主要由太阳能来驱动, 是一种环保、低碳处理技术。沉水植被形象的比喻为水下森林, 能够净化水质、保持水体美观及改善景观生态环境。它的茎叶能够吸附、固着和沉降水体的悬浮物, 根部牢牢地固着底泥, 能有效地减少底泥的再悬浮, “草型湖泊” 清澈透明, “藻型湖泊” 却十分浑浊。沉水植物为降解微生物提供了良好的栖息场所, 植物叶光合作用产生 O₂ 可输送至根区, 为细菌提供了多氧性的生境, 有利于微生物的好氧呼吸。沉水植物还可作为

水体受污染程度的指示物。Nakamura 等^[1]研究沉水植物对水质和生物群落影响表明, 沉水植物稳定生态系统是净化水质重要因素。在水生态系统中, 适量配置沉水植物, 能够有效稳定水生生态系统, Xu 等^[2]使用 Pamolare II 软件, 对白洋淀的研究表明, 沉水植物密度为 140—180g/m² 时, 可以较好地稳定生态系统的稳定性。水下植被有助于沿海湿地的水生生态系统的重建与恢复^[3]。

中国水生植物资源丰富、种类繁多, 从资源利用和投资成本考虑, 水生植物应用在水域生态修复具有其独特的优越性。然而, 中国在植物修复方面虽有过探索和研究, 但还未形成系统研究, 水生植物的基础研究工作目前还处于起步阶段。沉水植物植株在大部分生活周期中沉水生活, 部分根扎于水底, 部分根悬浮于水中, 除了植物的根吸收营养物质以

收稿日期: 2012-06-28; 修回日期: 2012-08-23

作者简介: 张饮江, 副教授, 研究方向为水域环境修复, 景观水处理等, 电子邮箱: yjzhang@shou.edu.cn

外,茎和叶也会吸收大量的化学物质,形成了其特殊的生理结构,因此其生长过程能够更有效地吸收水体中的化学物质。而且它们的表皮细胞还包含叶绿素,能够进行光合作用,这样的结构也使得沉水植物具有非常强的净化水体的能力,吸收降解营养盐类物质,浓缩富集重金属元素^[4],其对水体的净化能力也越来越被人们发现并应用到实际。中国常见沉水植物有:苦草 (*Vallisneria natans*, *vallisneria spiralls*)、菹草 (*Potamogeton crispus*)、金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*)、马来眼子菜 (*Potamogeton malainus*)、黑藻 (*Hydrilla verticillata*)、伊乐藻 (*Elodea nuttallii*)、狐尾藻 (*Myriophyllum spicata*)等。本文综述沉水植物对水体净化的研究,并讨论了目前沉水植物净化水体存在的问题并指出了今后的研究方向。

1 沉水植物去除富营养化水体氮、磷等营养物质

富营养化水体中含有大量的氮(N)、磷(P)等营养物质,沉水植物能够通过吸收、吸附作用吸收水体中的营养物质,有效降低富营养化水体中 N、P 等营养物质含量水平。Willian^[5]指出,以水生植物为基础的生态处理体系和典型的化学处理体系对污水处理的效果一样好。沉水植物不仅能够过量吸收营养盐,减缓水体营养盐浓度的升高,还能够积累有毒重金属及有机污染物^[6]。沉水植物增加了水体的溶氧量,为水体中鱼、虾、蟹等水生动物及好氧微生物提供呼吸作用所需要的 O₂,对受到破坏的水生态系统重新恢复,并促进好氧微生物通过呼吸作用有效降解水体中有机营养物质;沉水植物自身的生长作用消耗水中 N、P 等营养物质,有效避免水体的富营养化产生,控制蓝藻的爆发。

1.1 沉水植物去除氮、磷机制研究

沉水植物在生长、繁殖过程中,吸收水体及沉积物中氮、磷等营养物质,其中底质吸收是植物组织矿质营养的主要来源,起着“营养泵”和“营养库”的作用^[7]。沉水植物主要通过根系吸收底质中的 N、P,然后分配到枝条,最后通过植物的活体释放或是死亡腐烂释放到水体中^[8]。在天然水体中,沉水植物

之类的大型根着植物因为具备直接从底泥中吸收营养物质的能力,所以比浮游植物更具有竞争优势^[9]。

沉水植物可以直接从水体或沉积物中吸收 N、P。因为水生植物的生命周期一般比藻类要长,直到植株死亡的时候才会释放出这些营养物质,所以 N、P 在沉水植物体内的存储比藻类更加稳定^[10]。与其他的生物处理系统相似,在以沉水植物为主的污水处理系统中,微生物起到的作用也是相当重要的。尽管植物吸收可以去除 N,但是硝化和反硝化作用仍然是主要的去除机制。该处理系统中的沉水植物根际区域提供了微生物代谢所需的微环境。而且,沉水植物的根系还可以分泌一些有机物质,这也可以促进微生物的代谢。这也为好氧微生物群落提供了适宜其生长的环境。厌氧微生物就选择适于其生长的根区以外的区域生存。进行反硝化和有机物的厌氧降解,就是植物和这些微生物联合作用降解 N、P,沉水植物的生理代谢活动直接关系到营养物质的迁移转化^[11]。沉水植物具有控制浮游植物生长,为摄食浮游动物的动物提供避难场所等功能,并且在生物操纵过程中,修复水生态系统,维持水生态系统平衡^[12]。

1.2 沉水植物对氮、磷的去除效果

姚瑶等^[13]通过 6 种沉水植物金鱼藻、苦草、大苦草、黑藻、矮慈姑、皇冠草在模拟污水中的培养实验,研究它们对模拟污水中 N、P 的净化效果。苦草的氮净化效果最好,黑藻和苦草对磷的净化率高,分别为 96.69% 和 92.98%。随着处理时间的增加,氨氮比例降低、硝态氮比例增高。苦草对氮磷均有较好的净化效果。伊乐藻、菹草对底泥上覆水中总磷(TP)、总溶解磷(TDP)都有去除效果,有关研究表明伊乐藻的去除效果要好于菹草^[14]。黄沛生等^[15]的实验中在“三氯化铁+苦草”的实验处理中,处理后水体的总氮含量(TN)保持在 1.6mg/L 左右,总磷含量(TP)稳定在 0.1mg/L。一定范围内的低磷浓度会促进苦草的生长,而在高浓度的磷浓度条件下会抑制苦草的生长^[16]。几种沉水植物对 TN、氨态氮(NH₄-N)、硝态氮(NO₃-N)、TP、可溶性磷(PO₄³⁻)的去除率如表 1。

表 1 几种沉水植物对 N 的去除率

Table 1 Removal rate of N by several submersed macrophyte

沉水植物	TN/%	NH ₄ -N/%	NO ₃ -N/%	TP/%	PO ₄ ³⁻ /%
伊乐 ^[17-18]	60.7	61.8	85.3	74.4	75.1
	61.2	—	—	70.2	—
轮叶黑藻 ^[17]	53.6	54.2	81.8	59.2	63.2
菹草-伊乐藻群落 ^[19]	50.17	83.12	—	32.10	—
刺苦草 ^[20]	42.68	—	—	61.27	—
金鱼藻 ^[20]	43.99	—	—	62.23	—
菹草 ^[21-22]	16.57	—	—	47.4, 76.9, 87.9	—

研究表明,在自然水体中种植沉水植物(0.096mg/L)的区域,氨氮含量低于没有种植沉水植物的区域(0.262mg/L)^[23]。伊乐藻在开放系统的水体中持续进行光合作用,可使水体中的

溶解氧(DO)、pH 升高,促进水体系统氨氮的挥发,同时能够抑制氨态氮向硝态氮转化^[24]。吴振斌等^[9]的围隔实验研究也表明,沉水植物能够降低湖泊的 N、P 水平,沉水植物是控制湖

泊富营养化的有效措施,TP 的含量能够控制在 0.1mg/L 左右。沉水植物也应用在对景观水体水质的净化,如上海世博后滩湿地公园,运用了伊乐藻等沉水植物与其他植物配置来去除营养物质,形成了不同的功能净化区,如表 2^[25]。沉水植物对 P 的吸收主要是通过根的吸收,根吸收远远大于茎的吸收量,根对 P 的吸收占总吸收 P 的 83%—85%^[26]。王丽卿等^[27]

对淀山湖轮叶黑藻、梅花藻、苦草、金鱼藻、马来眼子菜、穗状狐尾藻 6 种沉水植物的研究发现,它们对去除磷的效果都很好,马来眼子菜和穗状狐尾藻对氮磷的去除效率最高,并且发现沉水植物去除氮磷是通过植物体吸收、吸附沉降为主及二者结合。黄子贤等^[28]研究了几种沉水植物对 N、P 净化最好效果的种植密度。

表 2 世博会后滩公园不同功能净化区净化潜力情况

Table 2 Purification potential of different function purification areas in Houtan park after World Expo

功能区	种植植物	种植面积 /m ²	年每 hm ² N 去除量 /(kg·hm ⁻² ·a)	年每 hm ² P 去除量 /(kg·hm ⁻² ·a)	年 N 去除量 /(kg·a ⁻¹)	年 P 去除量 /(kg·a ⁻¹)
重金属 净化区	芦苇伊乐藻,轮叶黑藻,聚草, 眼子菜,金鱼藻,水鳖,满江红	10500	988.28	110.67	1037.69	116.20
营养 净化区	美人蕉,黄菖蒲,金叶欧洲芦葦, 微齿眼子菜,伊乐藻,满江红,水鳖	8300	968.58	108.55	803.92	90.10

2 沉水植物对重金属的去除

2.1 对重金属净化机制研究

随着现代工业的发展,工业废水中污染物也快速增多,重金属污染物是其中一项重要污染物,去除相对困难。沉水植物主要通过根从底泥中吸附、吸收作用去除重金属,以减少底泥中的重金属向水体中释放,达到去除重金属的作用。沉水植物对重金属的去除作用,广泛地应用于水域生态重建与修复。上海世博后滩湿地公园,也设有使用沉水植物去除重金属的功能净化区,如表 2。重金属主要存在于底部沉积物中,通过生物链的富集作用,随着生物链营养级的升高,生物体中金属含量也升高,人最终食用产品,因此重金属富集在人体以后,将危害人类的自身健康。许多种类的沉水植物都是当地水域的优势物种,并且其根部、叶部蓄积重金属的能力很高(根部含量>叶部含量)^[29-30],是很好的蓄积重金属的植物。轮叶黑藻可以蓄积 Fe、Hg、Zn、Cu、Cr 等,金鱼藻、马来眼子菜、菹草、苦草等也可以很好地吸附重金属。沉水植物通过对重金属的吸收积累作用,达到对水体重金属去除的作用。

金属与有机物不同,它是不能被微生物降解的,只能通过生物吸收的办法从环境中去除。Thaer^[31]发现水生植物对受污染水体中的 Mn 和 Zn 有着比较好的富集作用。Arling 等^[32]指出,水中大型植物体内所含金属浓度受到一些因素的影响,包括土壤以及水质 pH 值。水生植物对重金属的耐受能力也因为水生植物种类的不同而有很大的差异,一般为挺水植物的耐受能力强于漂浮植物,浮叶植物强于沉水植物^[33]。但是对于吸收能力而言又是相反的,沉水植物的吸收能力是最强的。根系发达的水生植物大于根系不发达的水生植物^[34]。

2.2 对重金属去除效果

沉水植物吸附了水体中的重金属离子,这些被吸附的重金属离子在植物体内以螯合态和毒性更大的可溶态形式存

在。对小球藻竞争吸附重金属的试验结果也表明,金属离子的竞争吸附能力为 Al³⁺、Ag⁺>Cu²⁺>Cd²⁺>Ni²⁺>Pb²⁺>Zn²⁺、Co²⁺>Cr³⁺^[35]。在一定 pH 值下,Cu²⁺表现出更强地与黑藻的结合能力。Gupta 等^[36]用 20μmol/L Hg 处理苦草 168h,苦草的叶和根中的 Hg 浓度分别为 0.25 和 1.12μmol/gDW。Aamal 等^[37]发现 *Myriophyllum aquaticum*、*Ludwigia palustris* 和 *Mentha aquatic* 3 种沉水植物对废水中 Hg²⁺、Fe²⁺、Cu²⁺和 Zn²⁺的平均去除率分别为 99.8%、76.7%、41.6%和 33.9%。Keskinan 等^[38]研究表明,金鱼藻对锌的最大吸附量为 13.98mg/g,铅为 44.80mg/g,铜为 6.17mg/g。Xue 等^[39]研究黑藻积累和转移铜的结果表明,嫩枝暴露于 4000 g/L 的铜离子溶液中 4d,黑藻干重中铜的积累量达 30830mg/Kg,根和嫩枝都可以吸收铜,铜主要储存于细胞壁中,且铜的积累主要是嫩枝的积累作用,在黑藻体内铜的向上运输要大于向下运输,因此向上运输主要通过木质部,向下运输主要通过韧皮部。印度茨藻同时吸附铁、铬,比单独吸附这两种金属时的能力更强^[40]。沉水植物对重金属离子的去除效果如表 3。

3 沉水植物去除水体有机污染物

3.1 对化学需氧量(COD)的去除作用

沉水植物体系对水体有机物的去除整体呈现下降趋势,但是效果并不显著。虽然水生植物可以去除水中的营养物质,但是实际上整个系统中的有机物并没有去除,只是发生了转化,沉水植物枝叶凋零或者老叶的分解都产生了新的有机物质,这些产生的新的有机物溶入水中,使化学需氧量(COD)又有一定程度的回升。王丽卿等^[27]对 6 种沉水植物系统对淀山湖水质净化效果的研究显示,植物生长前期,水体的 COD 有所降低,但是后期又有所反弹,没有明显的变化规律,这与童昌华等^[51]的研究结果一致。沉水植物生长,需要从

表 3 几种沉水植物对重金属离子的去除效果

Table 3 Removal efficiency of heavy metal by several submersed macrophyte

植物种类	初始浓度/(mg·L ⁻¹)	处理时间	处理效果
苦草 ^[41]	Hg: 0.1, 0.5, 1.0, 3.0	6d	70%—84%
苦草 ^[42]	汞: 4	7d	50—224μg/gDW
黑藻 ^[43]	汞: 0.2	4d	13.2μg/gDW
黑藻 ^[44]	Se: 1, 2, 5, 10, 20, 50	7d	100%, 100%, 100%, 100%, 94.3%, 92.0%
黑藻 ^[45]	Cd, Cu: 2, 4, 8, 16, 24, 36, 72	2h	78%, 90%
轮叶黑藻 ^[46]	Cu: 1, 2, 4, 10, 20, 30, 60	120min	21.55mg/g
狐尾藻 ^[46]	Cu: 1, 2, 4, 10, 20, 30, 60	120min	10.80mg/g
狐尾藻 ^[47]	Co: 0.5; Ni: 4.6; Cu: 1.5; Zn: 612	84d	74%, 75%, 74%, 81%
狐尾藻 ^[48]	Cd: 0—64	4d	85%—94%
菹草 ^[48]			92.5%—96.5%
蓖齿眼子菜 ^[49]	Cd: 0.34; Pb: 5.39; Mn: 6.04; Zn: 5.51	2h	96%, 79%, 89%, 66%, 74%
马来眼子菜 ^[49]	Cu: 4.96		88%, 78%, 83%, 67%, 65%
金鱼藻 ^[50]	Cd: 0.25, 0.5; Zn: 1	15d	515, 816, 2167μg/gDW
水池草 ^[50]	Cd, Cu: 1—7	4d	1955, 6135μg/gDW

底泥中吸收有机营养物质。不同种类的有机物质对水体中有机物质的吸收程度也不同^[52]。水生植物可能吸收和富集某些小分子的有机污染物,更多的是通过促进物质的沉淀和促进微生物的分解作用来净化水体。

3.2 对难降解有机物的去除作用

水生植物能够吸收水体中的酚类和氰类污染物,通过酶系统作用和生化作用进行转化和分解,使其失去毒性,根系吸收的酚和氰,通过根际微生物的作用将其逐步分解、转化^[53]。据 Roxanne 等^[54]研究,受 2,4,6-三硝基甲苯(TNT)污染地表水的植物修复技术,结果表明利用植物降解移除量可达100%。另外据 Perterson 等^[55]报道,利用植物柳枝谿(*Panicum virgatum*)进行 TNT 的降解和修复也是一条有效途径。最近的研究发现,沉水植物狐尾藻等还具有直接吸收降解 TNT 的能力^[56]。在植物体内,酚及氰化物等在植物体内能分解转变为营养物质^[57]。伊乐藻在 6d 内可以完全富集水环境中的二氯二苯基三氯乙烷(DDT),并能将 1%—3%的 DDT 降解为二氯二苯二氯乙烷(DDD)和二氯苯基二氯乙烯(DDE)^[58]。此外,研究还表明,金鱼藻或伊乐藻加入,可以显著降低地表水中异丙甲草胺的浓度^[59],在治理有机污染物等有明显的效果。此外, Zhou 等^[60]对金鱼藻、轮叶黑藻、马来眼子菜、狐尾藻、伊乐藻 5 种沉水植物都可以不同效率的去处氟化物,在 5—20mg/L 的 F⁻中,金鱼藻的去除效果最好,且在不同浓度的 F⁻下金鱼藻相对生长速率最高。

4 沉水植物对水体藻类的化感作用

4.1 沉水植物抑制水体藻类生长

目前中国水体的富营养化导致蓝绿藻类大量生长,严重危害了水体的生态系统健康,所以控制藻类生长成为迫切需要解决的水环境难题。研究显示,一些大型沉水植物的存在

对藻类生长具有抑制作用,之所以沉水植物具有抑藻作用,除了有沉水植物与藻类关于矿物质的竞争以及水生植物对藻类的遮光作用这些因素以外,主要是因为沉水植物可以向水中分泌抑制藻类生长的化感物质^[61]。因此利用沉水植物的化感作用控制藻类爆发,改善富营养化水体状况越来越成为生态抑藻研究的热点。水体富营养化成为当今水污染治理的难题,有害藻类的控制成为富营养化控制领域的重要难题之一^[62]。有关研究发现,伊乐藻对叶绿素 a 的去除率可以达到 93.8%^[13]。菹草-伊乐藻群落对叶绿素 a 的去除率为 38.3%^[14]。陈卫民等^[63]的研究表明,苦草和铜绿微囊藻存在着相互化感作用,苦草的存在对铜绿微囊藻的生长有明显的抑制。另外,在沉水植物存在的情况下,由于沉水植物的光合作用,水下应该是富含氧的,这就抑制了厌氧菌的存活,防止水体恶臭变质,沉水植物与微生物细菌共生能够进一步进化水质^[51]。

水生植物化感作用抑制藻类疯长具有生态危险低、副作用小及效果明显等诸多优点,因此是藻类安全控制的一种很有前景的方法。不同藻类对化感物质的敏感程度不同,并且不同的化感物质能够有效抑制的藻类也不相同。将沉水植物化感作用应用于治理水华藻类疯长,仍需要从化感物质的分离鉴定、化感物质对藻类生长特性、化感物质抑藻机制、化感物质应用的生态安全性、降解特性以及迁移转化特性等多个方面做更深入、系统和全面的研究。

4.2 抑制藻类生长的化感物质

沉水植物同浮游藻类竞争营养物质以及所需的光热条件,沉水植物还能够分泌抑制藻类生长的化感物质,控制水体环境叶绿素 a 处于较低水平。沉水植物抑制藻类正常生长,破坏藻类正常的生理代谢功能^[64],致使藻类死亡,控制富营养化水体藻类水华爆发^[65],这就是植物的化感作用。化感作用是一种植物通过向环境释放化学物质而对另一种植物(包括微

生物)所产生的有害或有益的作用^[66]。当前,国内外广泛研究关于水生植物的化感作用。已经有几十种水生植物被发现具有化感抑藻作用^[67],如金鱼藻、苦草、穗花狐尾藻、凤眼莲等都显示出了很强的抑藻作用。许多的实验室研究以及现场试验都表明了抑藻作用的存在。孙文浩等^[68]从凤眼莲中分离出两种 N-苯基萘胺的化感物质,何池全等^[69]研究发现沉水植物的抑藻物质,主要是根系向水体中分泌化学物质,戴树桂等^[70]认为香蒲抑藻作用的物质为棕榈酸和类似胆固醇油酸酯的物质。袁俊峰等^[71]通过对金鱼藻的抑藻研究,认为主要的化感物质为生物碱,Wium-Andersen 等^[72]研究认为不稳定的含硫化合物是主要的抑制藻类生长的活性物质。汤仲恩等^[73]研究狐尾藻、马来眼子菜、苦草 3 种沉水植物抑藻作用,发现马来眼子菜的培养液对铜绿微囊藻表现出明显的抑制作用,其培养液中可能含有马来眼子菜分泌的能够抑制铜绿微囊藻生长的化感物质,而苦草培养液对铜绿微囊藻生长没有明显影响。马来眼子菜、黑藻、苦草 3 种沉水植物可以分泌多元醇、脂肪酸、酚酸和羧基酸等成分,这些成分中的一些物质能够起到抑制藻类生长的作用^[63-71]。结合鲜启明等^[78-79]的研究,苦草植物体自身含有对铜绿微囊藻具有抑制作用的组分,但不能通过向水中分泌起到化感抑制作用^[73]。

5 沉水植物净化水体存在的问题

大多数水生植物具有抗污染性,还可净化水质,特别是沉水植物,能够调节水生态系统的物质循环速度,增加水体生物多样性,控制藻类,增强水体稳定性,从而有效地提高水质。

在水域环境种植沉水植物还要注重植物的配置。由于各种沉水植物的生长周期及生长状况不同,在种植沉水植物时要注重沉水植物的合理配置。例如,伊乐藻是冬季停止生长,气温在 5℃左右就可生长,夏季生长旺盛,而轮叶黑藻在气温 10℃以上才可生长,所以要先种植伊乐藻,之后配种轮叶黑藻,种植过程中还要注意二者的分区,避免水下沉水植物杂乱无章。在做植物的合理配置时,应考虑水体的面积、当地的气候条件、土壤的成分设定各种植物品种的比例,确定植物的品种,并按各种植物的特性合理安排种植位置。

沉水植物净化受污水体研究目前存在的一些问题如下。

(1) 沉水植物在温度较高时疯狂生长,引起河道、湖泊、旅游景点的水体被大面积的水草覆盖,对游船产生影响。沉水植物过量生长会使水草长出水面,例如引起伊乐藻过早开花,且影响水体的美观效果。水草生长过于旺盛,会引起湖泊沼泽化,为此有关管理部门将耗费大量的人力、物力、才力来打捞长势旺盛的水草,这样就浪费了很多资源,因此,对沉水植物的矮化作用的研究也是很有必要的。因此沉水植物的研究方向之一,就是将植株矮化,提高沉水植物净化水质能力,美化沉水植物的景观效果。

(2) 水生植物过度生长带来的环境负效应。夏季沉水植物疯狂生长,如若不加以控制,大量生长后不仅会影响水体

的透光度,在河蟹养殖池塘还会影响河蟹和鱼类的的生长空间,使它们觅食困难,在阴雨天气鱼类因为空间有限,还与水生植物互相争夺水中的溶解氧,这就会导致大量鱼类死亡。其次,水草大量死亡并沉落水中,继而腐烂、分解,在植物生长期吸收获得的营养盐又重新释放到水体,成为水体营养物质的内源污染。大量的沉水植物长出水面。

(3) 富营养化对沉水植物的胁迫作用。经研究表明,在营养型水体中,水生高等植物大量萎缩,种类趋向于单一化,沉水植物持续减少以至于逐渐消亡。其主要原因有以下几点^[80]。
 ① 降低水体的透明度。在富营养的水体中,以蓝藻、绿藻为优势藻的各种水藻大量生长,使水质变得浑浊,水体透明度降低,沉水植物无法正常进行光合作用,最终导致沉水植物大量衰亡;
 ② 改变水体的 pH 值。蓝藻在 pH 值较高的情况下,可以很好地生长,大量藻类的生长同时又使 pH 值升高,更加促使一些水华藻类大量生长,在偏碱性水体中,藻类大量生长消耗掉大量碳源,使很多非耐碱性的沉水植物死亡;
 ③ 有毒物质的影响。富营养化的水体因为缺氧而产生一些类似 H₂S、CH₄、NH₃ 等有毒有害气体,藻类也会产生某些对沉水植物有毒害的物质,抑制其生长。解决富营养化水体中沉水植物恢复,重建水生态系统,也是将要解决的技术难题之一。

(4) 外源性激素在水生植物方面的研究与应用现状。相比陆生植物而言,外源激素对水生植物影响的研究比较滞后,但是也有一些研究。例如,占金美等研究发现,赤霉素、生长素和矮壮素对伊乐藻的生理状况没有明显的影响规律,但对伊乐藻的表观状况却有一定的影响。赤霉素浓度为 0.5、5 和 50mg/L 时均能促进伊乐藻植株的生长,不过其长度的变化量与赤霉素浓度没有关联;矮壮素浓度为 200mg/L 时,能明显提高伊乐藻植株的粗壮程度,并能提高伊乐藻的侧枝长出率;生长素浓度为 19mol/L 时,能显著提高伊乐藻的长根率。伊乐藻在适宜浓度的矮壮素环境中,其侧枝条长出率能明显提高,而矮壮素浓度偏高或偏低时,其侧枝长出率均受到抑制^[81]。外源激素对沉水植物的研究还相对较少,外源激素流对沉水植物生长、繁殖的影响还有待深入。

参考文献 (References)

- [1] Nakamura K, Kayaba Y, Nishihiro J, et al. Effects of submerged plants on water quality and biota in large-scale experimental ponds [J]. *Land-scape and Ecological Engineering*, 2008, 4(1): 1-9.
- [2] Xu F, Yang Z F, Chen B, et al. Impact of submerged plants on ecosystem health of the plant-dominated Baiyangdian Lake, China [J]. *Ecological Modelling*, Available online 26 July 2012, 1-9.
- [3] Madrid E N, Quigg A, Armitage A R. Marsh construction techniques influence net plant carbon capture by emergent and submerged vegetation in a brackish marsh in the northwestern Gulf of Mexico [J]. *Ecological Engineering*, 2012, 42: 54-63.
- [4] 曹萃禾. 水生维管束植物在太湖生态系统中的作用 [J]. *生态学杂志*, 1987, 6(1): 37-39.
Cao Cuihe. *Chinese Journal of Ecology*, 1987, 6(1): 37-39.

- [5] William J J. The role of water plant in water treatment [J]. *Agricultural Engineering*, 1986, 57(6): 9-10.
- [6] 范媛媛. 富营养水体中氮、磷对沉水植物生长和生理影响的研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2007.
Fan Yuanyuan. The research on the effect of the growth of submerged plants and physiological of eutrophication of nitrogen and phosphorus[D]. Wuhan: Central China Normal University, 2007.
- [7] 尚士友, 杜建民, 李旭英, 等. 草型湖泊沉水植物收割过程对生态改善的实验[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(6): 95-100.
Shang Shiyu, Du Jianmin, Li Xuying, et al. *Transactions of the CSAE*, 2003, 19(6): 95-100.
- [8] 刘建康, 谢平. 揭开武汉东湖蓝藻水华消失之谜 [J]. *长江流域资源与环境*, 1999, 8(3): 312-319.
Liu Jiankang, Xie Ping. *Resources and Environment in Yangtze Basin*, 1999, 8(3): 312-319.
- [9] 吴振斌, 邱东茹, 贺锋, 等. 沉水植物重建对富营养水体氮、磷营养水平的影响[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1351-1353.
Wu Zhenbin, Qiu Dongru, He Feng, et al. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(8): 1351-1353.
- [10] 黄亮, 吴乃成, 唐涛, 等. 水生植物对富营养化水系统中的氮磷的富集与转移[J]. *中国环境科学*, 2010, 30(S1): 1-6.
Huang Liang, Wu Naicheng, Tang Tao, et al. *China Environmental Science*, 2010, 30(S1): 1-6.
- [11] 种云霄, 胡洪营, 钱易. 大型水生植物在水污染治理中的应用研究进展[J]. *环境污染治理技术与设备*, 2003, 4(2): 36-40.
Zhong Yunxiao, Hu Hongying, Qian Yin, et al. *Environmental Pollution Control Technology and Equipment*, 2003, 4(2): 36-40.
- [12] Sylvia D B, Samuel T, Ludwig T. Stabilizing the clear-water state in eutrophic ponds after biomanipulation: Submerged vegetation versus ?sh recolonization[J]. *Hydrobiologia*, 2012, 689(1): 161-176.
- [13] 姚瑶, 黄立章, 陈少毅, 等. 不同沉水植物对水体氮磷的净化效果[J]. *浙江农业科学*, 2011(4): 789-792.
Yao Yao, Huang Lizhang, Chen Shaoyi, et al. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2011, (4): 789-792.
- [14] 徐会玲, 唐智勇, 朱端卫, 等. 菹草、伊乐藻对沉积物磷形态及上覆水水质的影响[J]. *湖泊科学*, 2010, 22(3): 437-444.
Xu Huiling, Tang Zhiyong, Zhu Duanwei, et al. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(3): 437-444.
- [15] 黄沛生, 谭镇, 俞林伟, 等. 三氯化铁和苦草复合应用改善富营养化水体水质的实验[J]. *水资源保护*, 2007, 23(4): 23-25.
Huang Peisheng, Tan Zhen, Yu Linwei, et al. *Water Resources Protection*, 2007, 23(4): 23-25.
- [16] 黄玉源, 雷泽湘, 何柳静, 等. 不同磷浓度对水生植物苦草的影响研究[J]. *环境科学与技术*, 2011, 34(2): 12-16, 25.
Huang Yuyuan, Lei Zexiang, He Liuqing, et al. *Environmental Science & Technology*, 2011, 34(2): 12-16, 25.
- [17] 高光. 伊乐藻、轮叶黑藻净化养鱼污水效果试验[J]. *湖泊科学*, 1996, 8(2): 184-188.
Gao Guang. *Journal of Lake Sciences*, 1996, 8(2): 184-188.
- [18] 孙游云, 沈奕红, 孙跃, 等. 养殖伊乐藻治理富营养水体——以浙江慈溪市的实验为例[J]. *现代城市研究*, 2005(4): 21-24.
Sun Youyun, Shen Yihong, Sun Yue, et al. *Modern Urban Research*, 2005(4): 21-24.
- [19] 王文林, 王国祥, 李强, 等. 菹草-伊乐藻群落对富营养化水体水质的净化效果[J]. *南京师大学报: 自然科学版*, 2006, 29(4): 111-116.
Wang Wenlin, Wang Guoxiang, Li Qiang, et al. *Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition*, 2006, 29(4): 111-116.
- [20] 赵迪. 刺苦草等水生植物对富营养化程度不同水体净化作用研究[D]. 合肥: 安徽师范大学, 2010.
Zhao Di. The study of the function of Vallisneria spirulosa and other six aquatic plants in the purification of eutrophic water [D]. Hefei: Anhui Normal University, 2010.
- [21] 郭长城, 喻国华, 王国祥. 菹草对水体悬浮泥沙及氮、磷污染物的净化[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(3): 108-111, 117.
Guo Changcheng, Yu Guohua, Wang Guoxiang. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(3): 108-111, 117.
- [22] 任文君, 胡晓波, 刘霞, 等. 白洋淀菹草对富营养化水体总磷的净化[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(4): 1053-1058.
Ren Wenjun, Hu Xiaobo, Liu Xia, et al. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(4): 1053-1058.
- [23] 雷泽湘, 徐德兰, 黄沛生, 等. 太湖沉水和浮叶植被及其水环境效应研究[J]. *生态环境学报*, 2006, 15(2): 239-243.
Lei Zexiang, Xu Delan, Huang Peisheng, et al. *Ecology and Environmental Sciences*, 2006, 15(2): 239-243.
- [24] 赵安娜, 冯慕华, 李文朝, 等. 沉水植物伊乐藻光合放氧对水体氮转化的影响[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(4): 757-761.
Zhao Anna, Feng Muhua, Li Wenzhao, et al. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(4): 757-761.
- [25] 朱义, 陈伟良. 上海世博后滩湿地的景观修复 [J]. *中国园林*, 2011(3): 19-23.
Zhu Yi, Chen Weiliang. *Chinese Landscape Architecture*, 2011 (3): 19-23.
- [26] Gabrielson J, Perkins M, Welche B. The uptake, translocation, and release of phosphorus by Elodea densa [J]. *Hydrobiologia*, 1984, 111(1): 43-48.
- [27] 王丽卿, 李燕, 张瑞雷. 6种沉水植物系统对淀山湖水质净化效果的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(3): 1134-1139.
Wang Liqing, Li Yan, Zhang Ruilei. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(3): 1134-1139.
- [28] 黄子贤, 张饮江, 马海峰, 等. 4种沉水植物对富营养化水体氮磷的去除能力[J]. *生态科学*, 2011, 30(2): 102-106.
Huang Zixian, Zhang Yinjiang, Ma Haifeng, et al. *Ecological Science*, 2011, 30(2): 102-106.
- [29] Nirmal-Kumar J I, Soni H, Kumar R N, et al. Macrophytes in phytoremediation of heavy metal contaminated water and sediments in Pariyej Community Reserve, Gujarat, India [J]. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2008, 8: 193-200.
- [30] Mishra V K, Upadhyay A R, Pandey S K, et al. Concentrations of heavy metals and aquatic macrophytes of Govind Ballabh Pant Sagar an anthropogenic lake affected by coal mining effluent [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2008, 141(1-3): 49-58.
- [31] Thaer L K. Heavy metals in water, suspended particles, sediments, and aquatic plants of the upper region of Euphrates river, Iraq[J]. *Journal of Environmental Science and Health*, 1997, 32(10): 2497-2506.
- [32] Arling D W. Metal concentrations in aquatic macrophytes as influenced by soil and acidification [J]. *Water Air Soil Pollut*, 1998, 18 (12): 203-221.
- [33] 胡肆惠, 陈章龙, 陈灵芝. 凤眼莲等水生植物对重金属污水监测和净化作用的研究[J]. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1981, 5(4): 187-192.
Hu Sihui, Chen Zhanglong, Chen Lingzhi. *Acta Phytocologica Et Geobotanica Sinica*, 1981, 5(4): 187-192.
- [34] 周捷, 曾诚. 水生植物对湖泊生态系统的影响[J]. *人民长江*, 2008, 39

- (6): 88-93.
 Zhou Jie, Zeng Cheng. *Yangtze River*, 2008, 39(6): 88-93.
- [35] 李国新, 李庆召, 薛培英, 等. 黑藻吸附 Cd^{2+} 和 Cu^{2+} 的拓展 Langmuir 模型研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(1): 145-151.
 Li Guoxin, Li Qingzhao, Xue Peiying, et al. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(1): 145-151.
- [36] Gupta M, Chandra P. Bioaccumulation and toxicity of mercury in rooted-submerged macrophyte *Vallisneria spiralis* [J]. *Environmental Pollution*, 1998, 103(2-3): 327-332.
- [37] Amal M, Eghaly A, Mahmoud, et al. Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic plants [J]. *Environment International*, 2004, 29 (8): 1029-1039.
- [38] Keskinan O, Goksu M Z L, Basibuyuk M, et al. Heavy metal adsorption properties of a submerged aquatic plant (*Ceratophyllum demersum*) [J]. *Bioresource Technology*, 2004, 92(2): 197-200.
- [39] Xue P Y, Li G X, Liu W J, et al. Copper uptake and translocation in a submerged aquatic plant *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle [J]. *Chemosphere*, 2010, 81(9): 1098-1103.
- [40] Sinha S, Bhatt K, Pandey K, et al. Interactive Metal Accumulation and Its Toxic Effects under Repeated Exposure in Submerged Plant *Najas indica* Cham [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2003, 70(4): 696-704.
- [41] Rai P K, Tripathi B D. Comparative assessment of *Azolla pinnata* and *Vallisneria spiralis* in Hg removal from G.B. Pant Sagar of Singrauli Industrial Region, India [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, 148(1): 75-84.
- [42] Gupta M, Chandra P. Bioaccumulation and toxicity of mercury in rooted-submerged macrophyte *Vallisneria spiralis* [J]. *Environmental Pollution*, 1998, 103(2-3): 327-332.
- [43] Gupta M, Tripathi R D, Rai U N, et al. Role of glutathione and phytochelatin in *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle and *Vallisneria spiralis* L. under mercury stress[J]. *Chemosphere*, 1998, 37(4): 785-800.
- [44] Carvalho K M, Martin D F. Removal of aqueous selenium by four aquatic plants [J]. *Journal of Aquatic Plant Management*, 2001, 39: 33-36.
- [45] 颜昌宙, 曾阿妍, 金相灿, 等. 沉水植物轮叶黑藻和穗花狐尾藻对 Cu^{2+} 的等温吸附特征[J]. 环境科学, 2006, 27(6): 1068-1072.
 Yan Changzhou, Zeng Eyan, Jin Xiangchan, et al. *Environment Science*, 2006, 27(6): 1068-1072.
- [46] Lesage E, Mundia C, Rousseau D P L, et al. Removal of heavy metals from industrial effluents by the submerged aquatic plant *Myriophyllum spicatum* L. [A]//Vymazal J. Wastewater Treatment, Plant Dynamics and Management in Constructed and Natural Wetlands. The Netherlands: Springer, Dordrecht, 2008, 211-221.
- [47] Sivaci A, Elmas E, Gumus F, et al. Removal of cadmium by *Myriophyllum heterophyllum* Michx. and *Potamogeton crispus* L. and its effect on pigments and total phenolic compounds [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2008, 54(6): 612-618.
- [48] Peng K, Luo C, Lou L, et al. Bioaccumulation of heavy metals by the aquatic plants *Potamogeton pectinatus* L. and *Potamogeton malaianus* Miq. and their potential use for contamination indicators and in wastewater treatment[J]. *Science of the Total Environment*, 2008, 392(1): 22-29.
- [49] Bunluesin S, Pokethiyook P, Lanza G R, et al. Influences of cadmium and zinc interaction and humic acid on metal accumulation in *Ceratophyllum Demersum* [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 2007, 180 (1-4): 225-235.
- [50] Kara Y, Zeytinluoglu A. Bioaccumulation of toxic metals (Cd and Cu) by *Groenlandia densa* (L.) Fourr.[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2007, 79(6): 609-612.
- [51] 童昌华, 杨肖娥, 濮培民. 富营养化水体的水生植物净化试验研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1447-1450.
 Tong Changhua, Yang Xiaoe, Pu Peimin. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8): 1447-1450.
- [52] 任文君, 田在锋, 宁国辉, 等. 4 种沉水植物对白洋淀富营养化水体净化效果的研究[J]. 生态环境学报, 2011, 20(2): 345-352.
 Ren Wenjun, Tian Zaifeng, Ning Guohui, et al. *Ecology and Environmental Science*, 2011, 20(2): 345-352.
- [53] 刘音, 张升堂. 被污染水体的植物修复技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(15): 7147-7149.
 Liu Yin, Zhang Shengtang. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(15): 7147-7149.
- [54] Roxanne R, Victor F, Larson L, et al. Phytoreatment of TNT-contaminated ground water[J]. *Journal of Soil Contamination*, 1998, 7(4): 511-529.
- [55] Peterson M M, Horst G L, Shea P J, et al. Germination and seeding development of switch grass and smooth brome grass exposed to 2,4,6-trinitrotoluene[J]. *Environmental Pollution*, 1998, 99(1): 53-59.
- [56] Joseph B, Hughes J. Transformation of TNT by aquatic plants and plant tissue cultures[J]. *Environment Science Technology*, 1997, 31(1): 266-271.
- [57] 潘瑞焱, 董愚得. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1984: 148.
 Pan Ruizhi, Dong Yude. *Plant physiology*[M]. Beijing: Higher Education Press, 1984: 148.
- [58] Gao J, Carrison A W, Mazur C S, et al. Uptake and phytotransformation of o,p'-DDT and p,p'-DDT by axenically cultivated aquatic plants[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(12): 6121-6127.
- [59] Rice P J, Anderson T A, Coats J R. Phytoremediation of herbicide-contaminated surface water with aquatic plants [R]. Washington D C: Phytoremediation of Soil and Water Contaminants, American Chemical Society, 1997: 133-151.
- [60] Zhou J, Gao J Q, Liu Y, et al. Removal of fluoride from water by five submerged Plants[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2012, 89(2): 395-399.
- [61] 鲜啓鸣, 陈海东, 邹惠仙, 等. 淡水水生植物化感作用研究进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6): 664-669.
 Xian Qiming, Chen Haidong, Zou Huixian, et al. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(6): 664-669.
- [62] 李小清. 美国富营养化的研究与进展[J]. 自然杂志, 2002, 24(2): 63-68.
 Li Xiaqing. *Chinese Journal of Nature*, 2002, 24(2): 63-68.
- [63] 陈卫民, 张清敏, 戴树桂. 苦草与铜绿微囊藻的相互化感作用 [J]. 中国环境科学, 2009, 29(2): 147-151.
 Chen Weimin, Zhang Qingmin, Dai Shugui. *China Environmental Science*, 2009, 29(2): 147-151.
- [64] 边归国, 赵卫东, 达来. 沉水植物化感作用抑制藻类生长的研究与应用[J]. 北方环境, 2012, 24(1): 59-64.
 Bian Guiguo, Zhao Weidong, Da Lai. *Northern Environment*, 2012, 24(1): 59-64.
- [65] 胡洪营, 门玉洁, 李锋民. 植物化感作用抑制藻类生长的研究进展[J]. 生态环境学报, 2006, 15(1): 153-157.
 Hu Hongying, Men Yujie, Li Fengmin. *Ecology and Environmental*

- Science*, 2006, 15(1): 153-157.
- [66] Rice E L. Allelopathy [M]. 2nd edition. Orlando: Academic Press, 1984: 422.
- [67] Gross E M. Allelopathic interaction between submerged macrophytes, epiphytes and phytoplankton: Algaecide hydrolysis polyphenol from *Myriophyllum spicatum* L.[D]. Cuvillier: Kiel University, 1995.
- [68] 孙文浩, 余叔文, 杨善元, 等. 凤眼莲根系分泌物中的克藻化合物[J]. 植物生理学报, 1993, 19(1): 92-96.
Sun Wenhao, Yu Shuwen, Yang Shanyuan, et al. *Acta Phytobiologica Sinica*, 1993, 19(1): 92-96.
- [69] 何池全, 叶居新. 石菖蒲克藻效应的研究 [J]. 生态学报, 1999, 19(5): 754-758.
He Chiquan, Ye Juxin. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 754-758.
- [70] 戴树桂, 赵凡, 金朝晖, 等. 香蒲植物提取物的抑藻作用及其分离鉴定[J]. 环境化学, 1997, 16(3): 268-271.
Dai Shugui, Zhao Fan, Jin Zhaohui, et al. *Environmental Chemistry*, 1997, 16(3): 268-271.
- [71] 袁峻峰, 章宗涉. 金鱼藻(*Ceratophyllum demersum* Kom.)对藻类的生化干预作用[J]. 生态学报, 1992, 13(1): 45-50.
Yuan Junfeng, Zhang Zongshe. *Acta Ecologica Sinica*, 1992, 13(1): 45-50.
- [72] Wiim-Andersen S, Anthoni U, Houen G. Elemental sulfur, a possible allelopathic compounds from *Ceratophyllum demersum*[J]. *Phytochemistry*, 1983, 22: 2613.
- [73] 汤仲恩, 种云霄, 吴启堂, 等. 3种沉水植物对5种富营养化藻类生长的化感效应[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(4): 42-46.
Tang Zhongen, Chong Yunxiao, Wu Qitang, et al. *Journal of South China Agricultural University*, 2007, 28(4): 42-46.
- [74] 黄新颖, 种云霄, 汤仲恩, 等. 3种沉水植物水培液中抑藻活性物质
- 的分析 [J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(3): 19-23.
Huang Xinying, Chong Yunxiao, Tang Zhongen, et al. *Journal of South China Agricultural University*, 2010, 31(3): 19-23.
- [75] Xian Q M, Chen H D, Qu L J, et al. Allelopathic potential of aqueous extracts of submerged macrophytes against algal growth [J]. *Allelopathy Journal*, 2005, 15(1): 95-104.
- [76] Erhard D, Gross E M. Allelopathic activity of *Elodea canadensis* and *Elodea nuttallii* against epiphytes and phyto-plankton [J]. *Aquatic Botany*, 2006, 85(3): 203-211.
- [77] Wu Z B, Gao Y N, Wang J, et al. Allelopathic effects of phenolic compounds present in submerged macrophytes on *Microcystis aeruginosa*[J]. *Allelopathy Journal*, 2009, 23(2): 403-410.
- [78] 鲜启明, 陈海东, 邹惠仙, 等. 四种沉水植物的克藻效应[J]. 湖泊科学, 2005, 17(1): 75-80.
Xian Qiming, Chen Haidong, Zou Huixian, et al. *Journal of Lake Sciences*, 2005, 17(1): 75-80.
- [79] 鲜启明, 陈海东, 邹惠仙, 等. 沉水植物中挥发性物质对铜绿微囊藻的化感作用[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3549-3552.
Xian Qiming, Chen Haidong, Zou Huixian, et al. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3549-3552.
- [80] 杨丹青, 靖元孝. 水瓮对富营养化水体氮、磷去除效果及规律研究[J]. 生物学通报, 2002, 37(10): 22-23.
Yang Danqing, Jing Yuanxiao. *Bulletin of Biology*, 2002, 37(10): 22-23.
- [81] 占金美. 利用外源性激素促进滇池底泥环境中沉水植物生长的研究 [D]. 上海: 上海大学, 2009.
Zhan Jinmei. The study of effects of sediment environment of Dianchi Lake on the submerged plant growth and using extrinsic hormones to promoterooting development of submerged macrophyte [D]. Shanghai: Shanghai University, 2009.

(责任编辑 吴晓丽)

· 学术动态 ·



中华医学会第10届显微外科学术会议 暨“世界首例断肢再植50周年庆典”征文

中华医学会第10届显微外科学术会议暨“世界首例断肢再植50周年庆典”定于2013年1月11—13日在上海市召开。本届大会由中华医学会显微外科学分会主办,上海市第六人民医院承办,《中华显微外科杂志》、《中华创伤骨科杂志》、《中国修复重建外科杂志》协办。

征稿范围:再植再造,肢体创伤修复,臂丛与周围神经损伤,骨与关节损伤,基础研究,其他领域应用等。

全文截稿日期:2012年9月30日。

联系电话:029-84771093。

电子邮箱:menggl@fmmu.edu.cn。

会议网站:<http://www.zhsszz.org/ReadNews.asp?rid=628>。