

人工湿地植物研究*

成水平 吴振斌 况琪军

(中国科学院水生生物研究所,淡水生态与生物技术国家重点实验室,武汉 430072)

提 要 本文阐述了植物在人工湿地污水净化过程中作用及存在的若干问题,提出了研究人工湿地植物的一些设想。植物在人工湿地中起着非常重要的作用,不但直接摄取利用污水中的营养物质、吸收富集污水中的重金属等有毒有害物质,而且输送氧气到根区,提供根区微生物生长、繁殖和降解对氧的需求,还能维持和加强人工湿地系统内的水力学传输。但目前人工湿地植物的应用还存在着枯死衰退、杂草丛生和根系扩展较浅等问题,影响人工湿地的净化功能。通过对人工湿地植物生理生态特性如气体代谢、光合作用、逆境生理和相生相克等研究,筛选出优良植物种类,创造适宜人工生境,将有利于充分发挥湿地植物功能,提高人工湿地污水处理能力。

关键词 人工湿地 植物 污水处理

分类号 Q948.8

人工湿地污水处理系统是在自然或半自然净化系统的基础上发展起来的污水处理技术^[1],具有投资省、运行费用低和效果良好等优点^[2-4]。人工湿地是一种人为地将石、砂、土壤、煤渣等一种或几种介质按一定比例构成的基质,并有选择性地植入植物的污水处理生态系统。介质、植物和微生物是其基本构成^[3],其中对植物的研究是一个重点。本文主要阐述人工湿地植物的研究状况及今后的研究设想。

1 植物在人工湿地中作用

植物在污水控制方面有以下优势:1)通过光合作用为净化作用提供能量来源;2)具有美观可欣赏性,能改善景观生态环境;3)可以收割回收资源;4)可作为介质所受污染程度的指示物;5)能固定土壤中的水分,圈定污染区,防止污染源的进一步扩散;6)植物庞大的根系为细菌提供了多样的生境,根区的细菌群落可降解许多种污染物;7)还能输送氧气至根区,有利于微生物的好氧呼吸^[5]。在人工湿地净化污水过程中,植物作用可以归纳为三个重要的方面:1)直接吸收利用污水中可利用态的营养物质、吸附和富集重金属和一些有毒有害物质;2)为根区好氧微生物输送氧气;3)增强和维持介质的水力传输。

1.1 吸收利用、吸附和富集作用

植物根系能从污水中吸收营养物质加以利用、吸附和富集重金属和一些有毒有害物质。进行城镇污水处理试验中发现,种植水烛(*Typha angustifolia*)和灯心草(*Juncus effuses*)的人工湿地基质中氮、磷的含量分别比无植物的对照基质中的含量低 18% - 28% 和 20% - 31%^[6],可见水烛和灯心草吸收利用了污水中部分的氮和磷物质。Ellis 等(1994)的研究结果表明湿地中宽叶香蒲(*Typha latifolia*)和黑三棱(*Sparganium* sp.)是摄取同化、吸附富集高速公路径流油类、有机物、铅和锌的较适宜植物种类^[7]。在海涂,芦苇(*Phragmites australis*)床湿地系统是削减进入海洋过量营养物质的强有力手段之一^[8]。池杉(*Taxodium ascendens*)人工湿地对污水中总氮和氨氮的净化效果明显地好于对照,对重金属亦具有良好的去除作用^[9]。吴振斌等报道芦苇-水葱(*Schoenoplec-*

* 国家杰出青年基金(39925007)、武汉市青年科技晨光计划(20005004044)、中国科学院知识创新重点项目(KSCX2-SW-102)资助。

收稿日期 2001-07-10;收到修改稿日期 2001-12-30。成水平,男,1969年生,副研究员。

tus lacustris)、茭白(*Zizania latifolia*)、菖蒲(*Acorus calamus*)、草(*Scirpus* sp.)、苔草(*Carex* sp.)等植物组合的垂直流人工湿地系统除磷效率及稳定性均高于无植物对照,去除率为 40% - 60%,其中茭白-菖蒲组合的总磷平均去除率达 65%^[10],且对藻毒素有一定的去除作用,芦苇-水葱、茭白-菖蒲组对藻毒素(浓度为 0.117 $\mu\text{g}/\text{L}$)的去除率分别为 68.5%和 34.6%,在三种主要藻毒素 RR、YR、LR 中,对 YR 的去除效果最好,出水浓度在检测限以下(0.01 $\mu\text{g}/\text{L}$)^[11]。垂直流人工湿地处理低浓度重金属污水的试验表明风车草(*Cyperus alternifolius*)能吸收富集水体中 30%的铜和锰,对锌、镉、铅的富集也在 5% - 15%^[12]。Gross 的研究报道了栽种有芋(*Colocasia esculenta*)、美人蕉属一种(*Canna glauca*)等植物的人工湿地对水体中外源生物活性物质、LAS 等具有很好的去除效果^[13]。另外一些研究也显示了植物的吸收和吸附作用,栽种植物的湿地对污水中的营养物质及重金属的去除能力高于无植物系统^[14,15]。

植物的吸收、吸附和富集作用与植株的生长状况和根系发达程度密切相关,因而不同植物构成的人工湿地净化污水效果存在着差异。香蒲属植物我国常见的近 10 种,有的种类能长至几米,有的则高不足 30cm^[16]。长苞香蒲(*Typha angustata*)、和水烛等大型种类具有粗壮的根系和许多发达的不定根,是较佳的净水植物;而小型种类(如小香蒲 *Typha minima*)的根系发达程度无法与前者相比拟,净化污水的效果则差一些。Gerberg 等作了不同高等水生植物人工湿地净化城镇综合污水的研究^[17],发现进水中氨氮的浓度为 24.7mg/L 时,经过草、芦苇和宽叶香蒲三种单一植物的人工湿地处理后,出水氨氮浓度分别为 1.4mg/L、5.3mg/L 和 7.7mg/L,草、芦苇对污水中氨氮的去除能力明显高于香蒲;从三块湿地对污水中 BOD₅ 的去除效果来看,草(去除率 96%)优于芦苇(81%)和宽叶香蒲(74%),它们的出水 BOD₅ 浓度为 5.3 - 30.4mg/L,优于或等效于常规二级水处理出水质量标准(30mg/L)。Adcock 等研究了人工湿地和天然湿地中三种植物的地上、地下和总的生物量、生长状况和组织中营养成份的含量,结果表明通过植物的吸收利用,水麦冬(*Triglochin procerum*)对氮、磷的去除效果是 *Baumea articulata* 和芦苇的 5 倍^[18]。

人工湿地植物的生长受介质、气候、温度等影响,其吸收营养盐的能力随生长与生理活动状态而变化,因而污水净化效果也不一样。在深圳白泥坑水源保护的人工湿地中,灯心草因生长不好而遭淘汰^[19]。而在马鞍山,采用灯心草等处理金属矿酸性废水效果良好;在武汉,人工湿地中的灯心草一直生长旺盛,对凯氏氮的去除率维持在 95% 以上^[20]。灯心草的净化效果表现出不同气候区域的差异。在长江中下游一带,灯心草成为一种适宜的人工湿地植物种类。介质的差异可能是造成灯心草吸收营养盐能力差异的另一个重要因素。白泥坑湿地介质为碎石^[19],灯心草从介质中吸收营养盐能力下降,生长受阻,生物量下降,又反过来影响植物对营养盐的吸收,形成恶性循环。湿地介质为粘土与砂的混合物时^[20],灯心草一直旺盛,吸收营养盐能力正常,净化效果较好。植物对营养盐的吸收能力高低,温度也是一个不容忽视的因素。在冬季,人工湿地中水烛地面部分枯黄,对污水中凯氏氮、氨氮等的去除能力明显低于夏季($P < 0.05$)^[20]。人工湿地对磷的去除研究表明,冬季人工湿地出水中的无机磷浓度甚至高出进水;但在夏季,植物新陈代谢旺盛、生理活动加强,即使加大污染负荷,人工湿地仍表现出一定的无机磷去除能力^[10]。32 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,池杉人工湿地对总氮、总磷的去除效果明显地好于 20 $^{\circ}\text{C}$ 时的去除效果^[9]。可见温度影响了植物的生长及生理活动,从而影响到植物吸收营养盐的能力。

1.2 输氧作用

湿地环境对很多生物来说是一种严酷的逆境,最严酷的条件是湿地土壤缺氧。缺氧条件下,生物不能进行正常的有氧呼吸,还原态的某些元素和有机的浓度可达到有毒的水平。人工湿地中植物能将光合作用产生的氧气通过气道输送至根区,在植物根区的还原态介质中形成氧化态的微环境^[21],这种根区有氧区域和缺氧区域的共同存在为根区的好氧、兼性和厌氧微生物提供了各自适宜的小生境,使不同的微生物各得其所,发挥相辅相成的作用^[2]。Dunbabin 等测试了小型湿地根区的氧浓度、pH 值及氧化能力,发现三者在有植物系统中皆高于无植物系统,即使在人工湿地中补充碳源加大耗氧量,无植物系统中氧浓度大量下降的情况下,有植物系统根区继续保持氧化状态^[22]。由于挺水植物的输氧作用,形成了氧化态的根区,有植物湿地底质中氧化-还原电位明显地高于无植物区域底质,间隙水中的总铁、总锰含量下降^[23]。从香蒲人工湿地中微生物的空间分布状况来看,对照和香蒲湿地中 5 - 10cm 处与 20cm 处的细菌、放线菌和真菌数量之比分别为 :11.1 和 2.0

(平均值),香蒲的存在有利于微生物在人工湿地纵深的扩展^[24]。水生植物植株和根系的输氧作用促进了深层基质中微生物的生长和繁殖。

1.3 加强和维持水力传输的作用

由于植物根和根系对介质的穿透作用,在介质中形成了许多微小的气室或间隙,减小了介质的封闭性,增强了介质的疏松度,从而使得介质的水力传输得到加强和维持^[25]。成水平进行的人工湿地处理污水的试验中发现,经过3-5个月的污水处理后,不种植物的对照土壤介质板结,发生淤积,而种有水烛和灯心草的人工湿地渗虑性能好,污水能很快地渗入介质^[20]。据报道,即使较板结的土壤,在2-5年之内,经过植物根系的穿透作用,其水力传输能力可与砂砾、碎石相当^[25]。植物的生长能加快天然土壤的水力传输程度,且当植物成熟时,根区系统的水容量增大^[26]。即使当植物的根和根系腐烂时,剩下许多的空隙和通道,也有利于土壤的水力传输^[2]。

2 人工湿地植物研究中存在的若干问题

植物在人工湿地污水净化过程中的作用与其生长状况密切相关,生长越旺盛、根系越发达的植株,其净化污水的能力、输氧和穿透的作用越大。但试验或应用的人工湿地中植物的生长也存在一些问题,影响其作用的正常发挥。大多数湿地植物有一个春夏季萌芽、秋冬季枯死的生长周期。在人工湿地这个半自然或人工的生境条件下,植物生长亦存在着这种现象,由此导致根区法污水处理系统冬季的污水净化效果下降^[2]。香蒲人工湿地和芦苇床系统也因在冬季植株地面部分枯黄,对污水中氨氮的去除率明显地低于其他季节^[20,27]。

衰退(Die-back)是湿地植物的又一问题。除直接损伤、擦伤外,水质和基质的不同组成、水位的高低及富营养状态都能引起水生植物的衰退^[17,20,28]。以碎石为基质的人工湿地生境不利于灯心草幼蘖的长出,重新分蘖的管状茎亦稀疏、弯曲死亡^[21]。Amstrong等认为植物体腐烂、超负荷有机污染物冲击或富营养化等产生的植物毒素(如有机酸、硫化物等)在芦苇组织中的富集是引起芦苇衰退的主要原因之一^[29]。氮、磷作为营养元素是水生植物生长发育、繁殖所必需的,但高浓度的N、P污水又影响到植物的正常生长。当污水中凯氏氮的浓度达到54.5mg/l(或氨氮24.7mg/L)时,人工湿地中的香蒲叶将枯黄或致死,且短期内难以恢复^[17,20]。这种N、P污水对植物生长的影响,被认为是植物大量地吸收并积累了 NH_4^+ 而引起的单盐毒害作用^[30]。高浓度的N、P污水也影响到水稻幼苗中的过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶活性(SOD),幼苗苗高及可溶性蛋白含量均与N、P浓度呈负相关关系^[30],而小麦衰老过程中,其SOD活性下降,POD活性升高,膜脂过氧化作用增强,叶片光合作用和根系功能急剧下降,植株整体快速死亡^[31]。

一般在人工湿地中选择一种或几种植物作为优势栽种种,有利于植物的快速生长。但在实际的应用过程中,当人工湿地略为干旱时,杂草便大量地入侵,并抑制栽种植物的生长^[2]。Cooper等建议对湿地进行改造,防止杂草的入侵,或人工拔除杂草,提高大型植物的生长速度^[32]。不过,对于较大面积的日常运行的人工湿地来说,经常性靠人工拔除杂草可能为人工湿地的管理在资金和人力上提出了难题。

植物具有庞大根系是被选为人工湿地净水植物的主要因素之一。但在试验和应用的人工湿地中,植物根系往往扩展不力,不能形成庞大的根系,无法抵达底部,人工湿地的体积得不到充分地利用。Edwards的研究报道,经过两个生长季节之后,人工湿地草的根系主要集中在0.12-0.15m以上的表层,只占据了5%左右的基质^[33]。在设计深度为0.6m的人工湿地中,香蒲和灯心草的根系也主要分布在0.25m以上的空间^[24]。

3 人工湿地植物研究设想及展望

由于上述因素的存在,降低了人工湿地植物的整体净化效果。因此,作者认为目前对人工湿地中水生植物的研究应集中于人工湿地生境条件下水生植物的生理生态研究、植物种类筛选及适宜人工生境的研究与创建,为进一步发挥植物在人工湿地中的作用和完善人工湿地污水处理技术提供依据和手段。

3.1 水生植物生理生态研究

人工湿地是一种半自然或人工的生境,既具有天然湿地积水的特征,又具有人工控制、强化的特点。在这

样的生境中,植物的生理与天然环境下相比有其独特之处。

湿地植物的气体交换与输导代谢是其生存和净化污水的关键因素之一。Bendi(1994)和 Tombjerg(1994)等对宽叶香蒲和水烛内部气体输导规律进行了对比研究,结果表明在相同的环境条件下,水烛的气体交换容量是宽叶香蒲的两倍,水烛的根系输氧作用更为有效,因此后者能生长在较深的水体中,这样便可以解释两种香蒲的不同生长深度^[34,35]。不同湿地植物,气体交换的特征不一。例如宽叶香蒲与其他一些湿地植物相反,其气孔在夜间完全关闭,气孔传输的气体量随昼夜、季节和地域的变化较大^[36]。莎草(*Cyperus papyrus*)是一种 C4 光合途径的挺水植物,黑暗中其茎秆中 CO_2 的浓度为周围大气的 74 倍,而光照条件下光合作用固定部分 HCO_3^- 茎秆胞间的 CO_2 浓度因内部的 CO_2 与 HCO_3^- 的平衡反应声大量地下降,茎秆和根系呼吸作用产生 CO_2 的 35% - 57% 在茎秆中通过光合作用重新固定,光暗的变化也严重地影响到茎秆和根系的 O_2 的浓度^[37]。植物组织中积累的植物毒素如有机酸或硫化物等引起衰退^[29],可能导致植物维管的堵塞,不利于 CO_2 的上行和 O_2 的下输,光合作用和呼吸作用难以正常维持而死亡。因此,研究湿地植物气体输导及其在人工湿地中的调控规律和代谢机制是维持植物正常生长和人工湿地正常发育所必需的。

光合作用是植物的生长、繁殖和净化污水的能量来源^[5],产生的 O_2 为植物根区微生物的好氧呼吸提供氧源。研究人工湿地条件下植物的光合作用特征对发挥植物在人工湿地中的作用非常必要。环境条件的改变能导致植物光合途径的变化、对植物的光合作用和呼吸作用等生理生态特性亦有影响^[38]。

研究胁迫条件下的植物生理,有助于对湿地植物的选择,为维持植物的正常生长提供依据。胁迫条件往往破坏植物细胞内的自由其代谢平衡,过剩自由基的存在,引发或加强脂过氧化作用,膜系统受到伤害,甚至植株死亡。已有研究表明,高浓度的 N、P 污水灌溉下,水稻幼苗的 SOD、POD 活性变化,影响了幼苗的生长高度^[30]。

不同种类植物生长一起,存在着相互之间的作用,包括两个方面:一是对光、水、营养等环境因素的竞争;另一是植物之间通过释放化学物质,影响周围植物的生长,包括促进和抑制作用^[39]。人工湿地常用的植物,如香蒲、芦苇等也存在这样的相生相克作用。Sczepanska 报道了宽叶香蒲、水葱、木贼(*Equisetum limosum*)、苔草等植物体腐烂产生的化感物质对芦苇生长、繁殖具有抑制作用^[40]。黑藻(*Hydrilla verticillata*)对金鱼藻属的一种(*Ceratophyllum* sp.)亦具有抑制作用^[41]。某些植物的枯枝落叶经水淋或微生物的作用也释放出克生物质,抑制植株自身的生长。宽叶香蒲枯枝烂叶腐烂后阻碍其本身新芽的萌发和新苗的生长^[42];芦苇腐烂后产生的乙酸、硫化物等在芦苇组织中的富集,抑制芦苇本身的生长发育,造成大面积的芦苇衰退^[29]。因此,研究人工湿地植物的相生相克作用,对人工湿地杂草的生物控制和防治、净水植物的优化组合及减少残体对湿地植物的生长抑制均具有重要意义。

3.2 植物种类筛选及适宜人工生境的创建

对人工湿地植物生理生态进行研究的最终目的是要促进植物的生长,筛选适宜于人工湿地生境的植物种类。

大多数植物对于污染这种特殊的逆境个有适应性,产生一定的抗性,并且这种抗性在一定程度上具有遗传性,从而可以进行代间传递^[43]。利用植物这种对污染的适应性进化,可以筛选出符合要求的人工湿地植物,包括净化特定污水的特异性植物。应用植物的相生相克原理,有可能筛选出对杂草具有克生作用的、能自身快速生长的湿地植物种类。

研究不同水份状态湿地植物的根系发育规律和地面植株的生长状况,通过一些环境因子的改变和人工湿地的设计、操作、运行的调控,创造有利于根系进一步向深处扩展的条件,充分地利用人工湿地的体积。而如何创造湿地植物越冬生长的条件,使其在冬季仍然表现出良好的生长状况,常年维持人工湿地的高效净化污水能力等也有待于进一步地研究。

致谢 本文承夏宜 研究员审阅,在此深表感谢!

参 考 文 献

- 1 Fetter C W Jr, Sloey W E, Spangler F L. Potential replacement of septic tank drain fields by artificial marsh wastewater treatment systems. *Ground Water*, 1976, **14**(6) 396 – 401
- 2 Brix H. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants – The root-zone method. *Wat Sci Technol*, 1987, **19**:107 – 118
- 3 Conley LM, Dick R I, Lion L W. An Assessment of the root zone method of wastewater treatment. *Res JWPCF*, 1991, **63** 239 – 247
- 4 Green M B, Upton J. Constructed reed beds: A cost-effective way to polish wastewater effluents for small communities. *Water Environ Res*, 1994, **66**(3): 188 – 192
- 5 Shimp J F, Tracy J C, Davis L C, et al. Beneficial-effects of plants in the remediation of soil and groundwater contaminated with organic materials – Critical Reviews. *Environ Sci Technol*, 1993, **27**(1) 41 – 47
- 6 成水平, 夏宜. 香蒲、灯心草人工湿地的研究Ⅲ. 净化污水的机理. 湖泊科学, 1998, **10**(2) 66 – 71
- 7 Ellis J B, Revitt D M, Shutes R B E, et al. The performance of vegetated biofilters for highway runoff control. *Sci Total Environ*, 1994, **146 – 147** 543 – 550
- 8 Hosokawa Y, Horie T. Flow and particulate nutrient removal by wetland with emergent macrophyte. *Sci Total Environ*, 1992, **suppl.** 1271 – 1282
- 9 杨昌凤, 黄淦全, 宋文初等. 模拟人工湿地处理污水的试验研究. 应用生态学报, 1991, **2**(4) 350 – 354
- 10 吴振斌, 陈辉蓉, 成水平等. 人工湿地磷的去除研究. 水生生物学报, 2001, **25**(1) 28 – 35
- 11 吴振斌, 陈辉蓉, 雷腊梅等. 人工湿地系统去除藻毒素研究. 长江流域资源与环境, 2000, **9**(2) 242 – 247
- 12 Cheng S, Grosse W, Karrenbrock F, et al. Efficiency of constructed wetlands in decontamination of water polluted by heavy metals. *Ecol Eng*, 2001, **18**(3) 317 – 325
- 13 Grosse W. Consolidated Report-Project N° ERBIC18CT960059 in INCO-DC-Biotechnology-of the 4th Framework Programme of European Commission, Brussels. 1999
- 14 Rosgers K H, Breen P F, Chick A J. Nitrogen removal in experimental wetland treatment systems: evidence for the role of aquatic plants. *Res JWPCF*, 1991, **63** 934 – 941
- 15 唐述虞, 宋正达, 史建文等. 金属矿酸性废水的湿地生态工程处理研究. 中国环境科学, 1993, **13**(5) 356 – 360
- 16 颜素珠. 中国水生高等植物图说. 北京: 科学出版社, 1983: 335
- 17 Gersberg R M, Elkins B V, Lyon S R, et al. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. *Wat Res*, 1986, **20**(3) 363 – 368
- 18 Adcock P W, Ganf G G. Growth-characteristics of three macrophyte species growing in a natural and constructed wetland system. *Water Sci Technol*, 1994, **29**(4) 95 – 102
- 19 朱 彤, 许振成, 胡康萍等. 人工湿地污水处理系统应用研究. 环境科学研究, 1991, **4**(5) 17 – 22
- 20 成水平, 况琪军, 夏宜. 香蒲、灯心草人工湿地的研究: I. 净化污水的效果. 湖泊科学, 1997, **9**(4) 351 – 358
- 21 Fennessy M S, Cronk J K, Mitsch W J. Macrophyte productivity and community development in created freshwater wetlands under experimental hydrological conditions. *Ecol Eng* 1994, **3**(4) 469 – 484
- 22 Armstrong W. Root aeration in wetland condition. In: Hook D D, Crawford R M, eds. Plant life in anaerobic environments. Ann Arbor: Ann Arbor Science, MI, 1978. 269 – 297
- 23 Dunbabin J S, Pokorny J, Bowmer K H. Rhizosphere oxygenation by *Typha domingensis* Pers. in miniature artificial wetland filters used for metal removal from wastewaters. *Aquat Bot*, 1988, **29** 303 – 317
- 24 成水平, 夏宜. 香蒲、灯心草人工湿地的研究: II. 净化污水的空间. 湖泊科学, 1997, **10**(1) 62 – 66
- 25 Beven K, Germann P. Macropores and water flow in soils. *Wat Resour Res*, 1982, **18**:1311
- 26 Kickuth R. Degradation and incorporation of nutrients from rural wastewaters by plant rhizosphere under limnic conditions. In: Utilisation of manure by land spreading. Comm of the Europe Communities(EUR 5672e), London, 1977. 335 – 343
- 27 李科德, 胡正嘉. 人工模拟芦苇床系统处理污水的效能. 华中农业大学学报, 1994, **13**(5) 511 – 517
- 28 Ostendorf W. “Die-back” of reeds in Europe-A critical review of literature. *Aquatic Bot*, 1989, **35**:5 – 26
- 29 Armstrong J, Armstrong W, Wu Z, et al. A role for phytotoxins in the *Phragmites* die-back syndrome? *Folia Geobot Phytotax*, 1996, **31**:127 – 142
- 30 崔克辉, 何之常, 张甲耀等. 模拟 N、P 污水对水稻幼苗过氧化物酶和氧化木质素酶的影响. 环境科学学报, 1995, **15**(4) 447 – 453
- 31 岳寿松, 于振文, 余松烈. 小麦旗叶与根系衰老的研究. 作物学报, 1996, **22**(1) 55 – 58
- 32 Cooper P F, Hobson J A, Jones S. Sewage treatment by reed bed systems. *J Inst Water Environ Manage*, 1989, **3**:60 – 74
- 33 Edwards G S. Root distribution of soft-stem bulrush (*Scirpus validus*) in a constructed wetland. TVA Coop For Stud Program, TVA. Foresty Bulid, Norris, TN37828, USA. 29054194G, 1992. 239 – 243

- 34 Bendix M, Tombjerg T, Brix H. Internal gas transport in *Typha latifolia* L. and *Typha angustifolia* L. 1. Humidity-induced pressurization and convective throughflow. *Aquatic Bot*, 1994, **49** :75 – 89
- 35 Tombjerg T, Bendix M, Brix H. Internal gas transport in *Typha latifolia* L. and *Typha angustifolia* L. 2. Convective throughflow pathways and ecological significance. *Aquatic Bot*, 1994, **49** :91 – 105
- 36 Knapp A K, Yavitt J B. Gas exchange characteristics of *Typha latifolia* L. from nine sites across North America. *Aquatic Bot*, 1995, **49** :203 – 215
- 37 Li M, Jones M B. CO₂ and O₂ transport in the aerenchyma of *Cyperus papyrus* L. *Aquatic Bot*, 1995, **52** :93 – 106
- 38 Smith W K, Donahue R A. Simulated influence of altitude on photosynthetic CO₂ uptake potential in plants. *Plant, Cell and Environment*, 1991, **14** :333 – 146
- 39 孙文浩, 余叔文. 相生相克效应及其应用. *植物生理学通讯*, 1992, **28** (2) :81 – 87
- 40 Szczepanska W. Allelopathy among the aquatic plants. *Pol Arch Hydrobiol*, 1971, **18** (1) :17 – 30
- 41 Kulshreshtha M, Gopal B. Allelopathic influence of *Hydrilla verticillata* (LF) Royle on the distribution of *Ceratophyllum* species. *Aquatic Bot*, 1983, **16** (2) :207 – 209
- 42 McNaughton S J. Autotoxic feedback in relation to germination and seedling growth in *Typha latifolia*. *Ecol*, 1968, **49** :367 – 369
- 43 段昌群. 植物对环境污染的适应与植物的微进化. *生态学杂志*, 1995, **14** (5) :43 – 50

Macrophytes in Artificial Wetland

CHENG Shuiping WU Zhenbin KUANG Qijun

(State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology , Institute of Hydrobiology , Chinese Academy of Sciences , Wuhan 430072 , P. R. China)

Abstract

The role and problem of macrophyte in artificial wetland for wastewater treatment are summarized and some research interests are proposed in this paper. Macrophyte plays three important roles in artificial wetland. 1) Uptake the nutrients, adsorb and accumulate heavy metal and poisonous substances from wastewater. 2) Transfer oxygen to rhizosphere for the growth, reproduction and decompositions of microorganisms. 3) Enhance and stabilize the hydraulic transportation of media. However, die-back of macrophyte, grown weed and shallow extension of root in the wetland, which affect the growth and purification efficiency of plants in wetland, are problems for artificial wetland management. To strengthen and enhance the roles of macrophyte and the wastewater purification function of artificial wetland, the physiological ecology of macrophyte such as gas transportation and exchange, photosynthesis, stressed physiology and allelopathy of macrophyte should be studied further to select optimum macrophyte species and suitable artificial habitat should be established in the artificial wetland.

Key Words Artificial wetland, macrophyte, wastewater treatment