

不同湿地植物的根系泌氧作用与重金属吸收

李光辉,何长欢,刘建国

(江苏工业学院环境与安全工程学院,江苏 常州 213164)

摘要 :为研究不同湿地植物根系泌氧能力与重金属吸收积累能力间的关系,选用 6 种对废水中重金属吸收能力较强的湿地植物进行盆栽实验。结果表明:不同种类湿地植物的根系向水中的泌氧能力存在明显差异,植物间水体溶解氧质量浓度的差异最大可达 1.05 mg/L;不同种类湿地植物对重金属的吸收积累能力也有显著差异,而且在重金属积累量方面的差异明显高于重金属浓度方面的差异。相关分析表明:不同种类湿地植物水体溶解氧浓度与植株重金属积累量之间存在显著正相关关系,相关系数达到显著水平($P < 0.05$)。该结果说明,湿地植物对废水及底泥中重金属的吸收积累能力在相当大的程度上取决于其根系的泌氧能力。

关键词 :湿地植物;根系泌氧;重金属;吸收

中图分类号 :X703.1 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2010)01-0017-04

Root oxygen release and heavy metal uptake of various wetland plants

LI Guang-hui, HE Chang-huan, LIU Jian-guo

(School of Environmental and Safety Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China)

Abstract :In order to investigate the relationships between root oxygen release ability and heavy metal uptake and accumulation of different wetland plants, a pot experiment was conducted with six kinds of wetland plants with high heavy metal uptake ability. The results showed that there were obvious differences among the wetland plants in root oxygen release ability, and the largest difference between the plants in dissolved oxygen(DO) in pot water was as much as 1.05 mg/L. The variation among the wetland plants in heavy metal uptake was also significant, and the differences in heavy metal accumulation in the plants were larger than the differences in metal concentrations. Relevant analyses indicated that there were significant($P < 0.05$) and positive correlations between pot water DO and heavy metal accumulations in the wetland plants. It can be concluded from the results that the abilities of wetland plants for heavy metal uptake from wastewater and sediment are mainly determined by the root oxygen release ability of the plants.

Key words :wetland plant; root oxygen release; heavy metal; uptake

近年来,重金属污染及其危害已引起社会的广泛关注。人工湿地作为一种新兴的重金属污染废水处理工程,在保护生态环境、节约能源及投资方面具有传统处理技术难以比拟的优点^[1]。湿地植物作为人工湿地的重要组成部分,在污染物净化过程中起着不可替代的作用。所以,关于湿地植物对重金属吸收和积累能力的研究及其应用受到全世界的广泛关注^[2]。

根据 Jaynes 等^[3]的研究,湿地植物能将光合作用产生的或叶片吸收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区域环境。这种有氧区域会改变根区土壤及水体中重金属的氧化还原状态及溶解性,促进湿地植物对重金属的吸收^[4]。为研究不同种类湿地植物的根系泌氧能力与其重金属吸收能力之间的关系,选用 6 种对废水中重金属毒害抵抗能力强、对重金属吸收量较大

基金项目:江苏省自然科学基金(BK2008144)、江苏省高校研究生科研创新计划(CX08S_018Z)、江苏省高校“青蓝工程”资助项目

作者简介:李光辉(1985—)男,山东潍坊人,硕士研究生,研究方向为重金属污染防治。E-mail:lwancql@163.com

通讯作者:刘建国,教授。E-mail:ljg@jpu.edu.cn

的湿地植物 探索不同种类湿地植物间重金属吸收积累能力存在差异的生理机制。研究成果将应用于重金属污染废水的人工湿地处理技术中,为湿地植物种类的选择及技术措施的运用提供依据,以提高人工湿地对废水中重金属的净化效率。

1 材料与方法

1.1 供试湿地植物采集

根据作者前期研究^[5],选用 6 种对重金属毒害抵抗能力强、同时对废水中重金属吸收量较多的湿地植物。植物幼苗在常州市郊区湿地采集,具体科名、种名及学名见表 1。

表 1 供试的湿地植物科名、种名及学名

代号	科名	种名	学名
A	禾本科	稗	<i>Echinochloa crus-galli</i>
B	苋科	空心莲子草	<i>Alternanthera philoxeroides</i>
C	禾本科	茭笋	<i>Zizania latifolia</i>
D	雨久花科	鸭舌草	<i>Monochoria vaginalis</i>
E	禾本科	柳叶箬	<i>Isachne globosa</i>
F	蓼科	辣蓼	<i>Polygonum hydropiper</i>

1.2 试验处理

采用盆栽土培。盆内径 25 cm,盆高 30 cm,每盆装过筛、风干水稻土 8 kg。土质为沙壤土(沙粒质量分数 56.8%),土壤 pH 值 6.73,有机质质量分数 2.47%,阳离子交换量 12.4 cmol/kg。Cd、Pb、Zn、Cu、Cr、Ni 质量比分别为:0.18 mg/kg、32.36 mg/kg、109.68 mg/kg、35.55 mg/kg、56.29 mg/kg、23.49 mg/kg。

盆内加水浸泡(保持水面高于土面 5 cm)1 个月(7 月 15 日),栽入湿地植物幼苗,为保证研究结果的可比性,选择植株大小类似的植物幼苗进行采集。每盆栽湿地植物幼苗 1 株,以不栽植物为对照(CK),设 8 次重复。植物生长过程中,盆内保持水深 5 cm 左右。

在移栽后 16 d(7 月 31 日),植物幼苗生长稳定后,排干清水,在盆中第 1 次加入人工配制的重金属污染废水,每盆 5 L(相当于恢复水深 5 cm),废水中重金属种类及质量浓度配比为: $\rho(\text{Cd})=0.5\text{ mg/L}$; $\rho(\text{Cr})=1.0\text{ mg/L}$; $\rho(\text{Pb})$ 、 $\rho(\text{Cu})$ 、 $\rho(\text{Ni})$ 均为 2.0 mg/L ;

$\rho(\text{Zn})=5.0\text{ mg/L}$ 。根据前人研究,在污染较严重的城市废水中,主要重金属污染物的种类及浓度大致如此^[6]。以后每隔 7 d 加入重金属污染废水 1 次,共加入 3 次。

1.3 取样与测定

在重金属污染废水第 1 次加入后 10 d、20 d、30 d,用溶氧仪测量盆内水体的溶解氧(DO)浓度,DO 值测定后随即对湿地植物(全株)进行取样,每次取 2 盆,先用自来水清洗,再用去离子水清洗,在 70℃烘干称干重。烘干植物样品粉碎后过 100 目筛,取样用国标方法消化,然后用原子吸收光谱仪测定植株中重金属(前述 6 种)的浓度。

2 结果与讨论

2.1 不同湿地植物间水体 DO 浓度的差异

从图 1 可以看出,不同湿地植物水体 DO 质量浓度有明显差异。从 8 月 10 日到 8 月 30 日,所有栽种湿地植物的水体 DO 质量浓度均高于未栽种植物(CK)的水体。这说明,供试 6 种湿地植物的根系对水体都有一定的泌氧作用,但这种泌氧能力在不同湿地植物间有显著差异。8 月 10 日、20 日、30 日,不同湿地植物间水体 DO 质量浓度的最大差异(水体 DO 质量浓度最大的植物与最小的植物之间的差异)分别达到 0.86 mg/L、0.70 mg/L、1.05 mg/L。根系泌氧能力最强的植物是茭笋,从 8 月 10 日到 30 日的平均 DO 质量浓度达 2.78 mg/L,比不栽植物(CK)的平均 DO 质量浓度(1.91 mg/L)高 0.87 mg/L;根系泌氧能力最弱的植物是柳叶箬,其平均 DO 质量浓度仅比 CK 高 0.03 mg/L。6 种湿地植物的根系泌氧能力从强到弱的顺序为:茭笋、空心莲子草、鸭舌草、辣蓼、稗、柳叶箬。

不同湿地植物间水体 DO 质量浓度的差异,可能与不同植物体的地上部形态、结构及生理活动特征、根系生物量和根系通气组织的通透性有关,根系内部通气组织越发达,越有利于氧气向根区的输送,泌氧能力越强。

2.2 不同湿地植物间重金属吸收积累能力的差异

表 2 表明,不同湿地植物对重金属的吸收积累

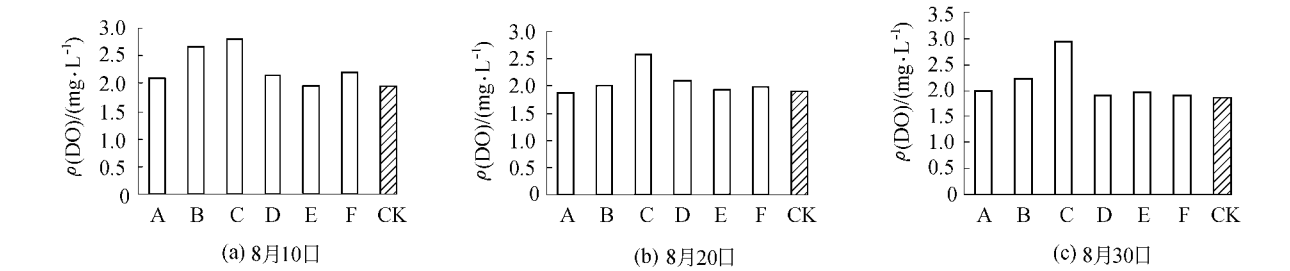


图 1 不同湿地植物水体溶解氧浓度的差异

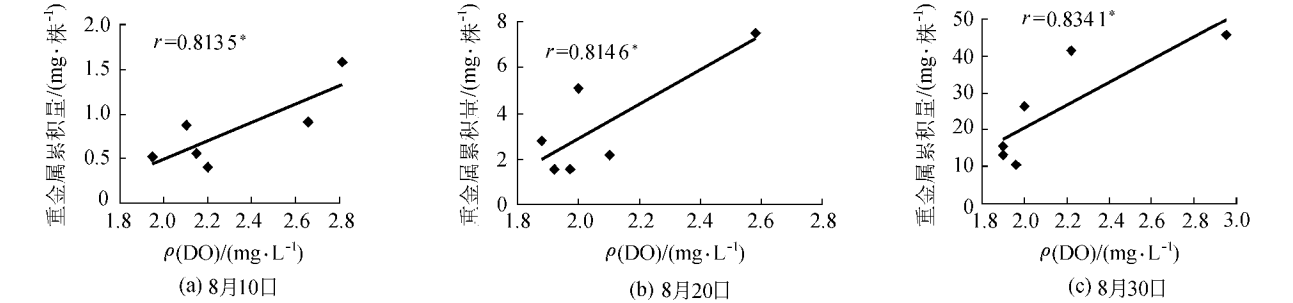


图2 不同湿地植物水体 DO 质量浓度与植株重金属积累量的关系

能力有明显差异。从植物体的重金属积累质量比看,不同湿地植物间的差异相对较小,8月10日、20日、30日湿地植物种类间的差异分别为52.7%、81.0%、145.6%(浓度最高的植物比浓度最低的植物高出的百分率)。不同湿地植物间重金属质量比的差异有随着生育进程而扩大的趋势。

表2 不同湿地植物重金属浓度及积累量的差异(8月)

植物种名	重金属质量比/(mg·kg ⁻¹)			重金属积累量/(mg·株 ⁻¹)		
	10日	20日	30日	10日	20日	30日
稗	114.99	134.21	166.08	0.874	2.805	26.290
空心莲子草	103.48	191.54	289.68	0.911	5.114	41.279
茭笋	94.39	174.07	226.44	1.586	7.520	45.695
鸭舌草	144.15	242.97	338.71	0.548	2.187	13.074
柳叶箬	114.21	147.68	229.36	0.514	1.521	10.482
辣蓼	107.10	194.82	407.96	0.396	1.539	15.584

从植物体的重金属积累量看,不同湿地植物间的差异比重金属质量比的差异要大,8月10日、20日、30日,湿地植物种类间的差异分别为300.2%、394.4%、335.9%(积累量最高的植物比积累量最低的植物高出的百分率),都达到300%以上。不同湿地植物间重金属积累量的差异随着生育进程的变化比较小^[7]。6种湿地植物重金属积累的高低顺序与根系泌氧能力的强弱顺序大体一致。

不同种类湿地植物间重金属积累量的差异高于重金属质量比的差异,其原因是不同湿地植物间生物量的差异大,在8月30日,生物量最大的植物比生物量最小的植物植株干重高出4倍以上。

2.3 不同湿地植物根系泌氧能力与植株重金属吸收能力间的关系

相关分析表明,不同湿地植物的水体 DO 质量浓度与植株重金属质量比间的关系不明显,而与植株重金属积累量之间有良好的正相关关系(图2)。在8月10日、8月20日、8月30日,不同湿地植物水体 DO 质量浓度与植株重金属质量比的相关系数分别为-0.6132、0.2018、0.3485,均未达到显著水平(P>0.05)。而不同湿地植物水体 DO 质量浓度与植株重金属积累量间的相关系数分别达到0.8135、0.8146、0.8341,其相关性均达到显著水平(P<

0.05)。该结果说明,湿地植物植株重金属积累浓度与根系泌氧能力间关系不明显,而植株重金属积累量在很大程度上取决于其根系泌氧能力。湿地植物根系的泌氧量及植株重金属积累量都与植物的生物量、特别是根系的生物量有很大关系,而植物体内重金属积累浓度取决于很多生理因素。不过,就重金属污染废水的净化而言,需要重点关注的是湿地植物的重金属吸收积累量。

根据本研究结果,可以进行如下推论:重金属积累能力强(积累量高)的湿地植物,其根系泌氧能力较强,使水体中有充足的 DO,根区周围、水体及底泥中的氧化还原电位较高,土壤及水体中的重金属氧化态含量高,溶解性和移动性增强,促进了湿地植物对重金属的吸收。本研究结果与笔者以前在文献[8]的研究结果大体一致。但对于不同的植物来说,根系的这种泌氧作用对植物吸收重金属的影响程度可能有差异,因为从本研究结果可以看出,有些植物的数据离相关分析趋势线较远,具体原因还有待进一步研究。

3 结 论

a. 不同湿地植物根系泌氧能力差异较大,所研究6种湿地植物泌氧能力由强到弱的顺序为:茭笋、空心莲子草、鸭舌草、辣蓼、稗、柳叶箬。

b. 不同种类湿地植物的重金属积累能力有很大差异,而且在重金属积累量方面的差异比重金属质量比的差异要大,这与湿地植物间生物量的差异较大有关。

c. 不同种类湿地植物水体 DO 质量浓度与重金属积累量间有较好的正相关性,这说明植物根系泌氧作用在相当大的程度上影响着植物对重金属的吸收能力,但这种影响程度对不同种类的湿地植物而言可能有差异。

参考文献:

[1] GOPAL B. Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: potentials and problems[J]. Water Science and

Technology ,1999 40 27-35.

[2] GREGER M. Metal availability and bioconcentration in plants [C]/PRASAD M N V ,HAGEMEYER J. Heavy metal stress in plants-from molecules to ecosystems. Berlin :Springer ,1999 : 1-27.

[3] JAYNES M L ,CARPENTER S R. Effects of vascular and nonvascular macrophytes on sediment redox and solute dynamics[J]. Ecology ,1986 67 875-882.

[4] BRIX H. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants : the root-zone method [J]. Water Science and Technology ,1987 ,19 :107-118.

[5] LIU J G ,DONG Y ,XU H ,et al. Accumulation of Cd ,Pb and Zn by 19 wetland plant species in constructed wetland[J]. Journal of Hazardous Materials 2007 ,147 947-953.

[6] DEMIREZEN D ,AKSOY A. Accumulation of heavy metals in *Typha angustifolia* and *Potamogeton pectinatus* living in Sultan Marsh (Kayseri ,Turkey) [J]. Chemosphere ,2004 ,56 :685 - 696.

[7] 李光辉 ,杨霞 ,徐加宽 ,等.不同湿地植物的根系酸化作用与重金属吸收 [J]. 生态环境学报 ,2009 ,18(1) :97- 100.

[8] LIU J G ,WANG D K ,XU J K ,et al. Variations among rice cultivars on root oxidation and Cd uptake[J]. Journal of Environmental Sciences 2006 ,18 :120-124.

(收稿日期 2008 -11 -20 编辑 高渭文)

(上接第 8 页)通过建立 $ET_{PM} \sim ET_{harg}$ 的回归方程^[2 9 ,11]找到经验系数的修正倍数的手段来进行修正。利用日、旬和月三种不同时间尺度下两种方法计算得到的 ET_0 数据 ,分别以 Hargreaves 方法的 ET_0 计算结果为自变量建立回归方程。修正系数和修正公式如表 2 所示 ,其中 ET_{harg} 为直接利用 Hargreaves 公式计算得到的 ET_0 、 y 为修正后的 ET_0 结果。

表 2 Hargreaves 法与 PM 法的线性回归公式及修正后的验证误差

项目	修正公式	平均相对误差/%	相关系数
日结果	$y = 0.988ET_{harg}$	4.15	0.973
旬结果	$y = 0.9016ET_{harg}$	4.04	0.983
月结果	$y = 0.9122ET_{harg}$	5.26	0.994

利用 2008 年 1 ~ 5 月的监测数据进行验证 ,修正公式计算结果的相对误差有了不同程度的改善 ,日结果改善最多 ,从 11.4%降低到 4.15% ,其中月结果改善最少 ,结果表明这种修正方法降低了 Hargreaves 方法相对 PM 法的偏差 ,并且对短时间段的计算结果改进更有效果。

3 结 论

在太湖流域应用 Hargreaves 方法计算得到的 ET_0 与 PM 方法的计算结果吻合较好。Hargreaves 法结果在日、旬、月尺度上与 PM 法结果均保持了较好的变化趋势及峰值的一致性 ,误差随计算时间段的延长而减小。Hargreaves 方法在阴雨天较多的夏季计算值会明显偏高。两种方法具有很好的相关性 ,并可以此为依据建立修正方程。经过线性回归方程修正的 Hargreaves 法计算结果平均相对误差明显下降 ,并且以日 ET_0 结果改进最多。

通过对比分析以及修正 ,可以看到 Hargreaves 方法在太湖流域有着较好的适用效果 ,当有一定量的气象资料对其修正的情况下可以达到很好的精

度。Hargreaves 法计算 ET_0 简单易行 ,精度可靠 ,推荐在太湖流域应用。

参考文献 :

[1] 芮孝芳.水文学原理[M].北京 :中国水利水电出版社 , 2004 :104-130.

[2] 王新华 ,郭美华 ,徐中民.分别利用 Hargreaves 和 PM 公式计算西北干旱区 ET_0 的比较 [J].农业工程学报 ,2006 ,22 (10) 21-25.

[3] 彭世彰 ,徐俊增.参考作物蒸发蒸腾量计算方法的应用比较 [J].灌溉排水学报 ,2004 23(6) 5-9.

[4] 陈玉民 ,郭国双 ,王广兴 ,等.中国主要作物需水量与灌溉 [M].北京 :水利电力出版社 ,1995.

[5] ALLEN R G ,PEREIRA L S ,RAES D ,et al. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements FAO irrigation and drainage[M]. Rome ,Italy : FAO ,1998.

[6] HARGREAVES G H ,ALLEN R G. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation[J]. Journal of Irrigation Drainage Engineering 2003 ,129(1) 53-63.

[7] 刘钰.参照腾发量的新定义及计算方法对比 [J].水利学报 ,1997(6) 27-33.

[8] WU I P. A simple evapotranspiration model for Hawaii :the Hargreaves model[C]/CTAHR F S. Engineer 's Notebook. Manoa :Agric & Human Resour ,University of Hawaii ,1997 : 106.

[9] 刘晓英 ,李玉中 ,王庆锁.几种基于温度的参考作物蒸散量计算方法的评价[J].农业工程学报 ,2006 ,22(6) : 12-18.

[10] 李远华.节水灌溉理论与技术[M].武汉 :武汉水利电力大学出版社 ,1999.

[11] 王声锋 ,段爱旺 ,张展羽.半干旱地区不同水文年 Hargreaves 和 P-M 公式的对比分析 [J].农业工程学报 , 2008 24(7) 29-33.

(收稿日期 2009 -03 -09 编辑 徐娟)