

# 湿地植物对含油污水适应能力筛选

胡 舒,肖 昕,贾含帅

(中国矿业大学 环境和测绘学院 江苏省资源环境信息工程重点实验室,江苏 徐州 221008)

**摘 要:**为了筛选出用于处理工业石油采出水的人工湿地植物,以石油采出水中主要成分之一的石油作为研究对象,对8种在含油污水浇灌条件下生长的常见耐寒湿地植物的株高和分蘖数进行了测量,并设置用清水浇灌的对照组,研究了8种湿地植物对含油污水的适应能力。结果表明:在清水浇灌和含油污水浇灌条件下,不同湿地植物的生长情况普遍存在差异。在2种浇灌条件下,芦苇、黄菖蒲和海寿花的株高生长量均较大,其均值分别为43.45、34.58和25.10 cm;海寿花和香蒲的分蘖均较快,分蘖数平均值分别为8和4.5;其它植物生长受含油污水影响显著,甚至枯萎死亡。综上,芦苇、黄菖蒲、海寿花和香蒲对含油污水具有较强的适应能力。因此,在用于处理工业含油废水的人工湿地植物选择上,可优先考虑芦苇、黄菖蒲、海寿花和香蒲。

**关键词:**石油;人工湿地;植物;适应能力;株高;分蘖数

**中图分类号:**Q 945.78 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)17-0097-04

我国各大油田均进入中后期开采阶段。随着油田采收率的逐年增加,伴生的石油采出水量也不断增加。石油采出水的排放对水体、土壤、动植物和人类都将产生巨大的危害,对石油采出水进行有效处理极其必要。然而,石油采出水均存在含油量高、成分复杂<sup>[1]</sup>、矿化度高、水温高<sup>[2]</sup>、细菌含量大等特点,使石油采出水处理成为困扰油田的重大难题之一。

人工湿地是一种新型的废水处理工艺<sup>[3]</sup>,系统通过过滤、吸附、沉淀、离子交换、植物吸收、微生物降解等物理、化学和生物三重协同作用完成废水处理过程。与传统污水生化处理技术相比,人工湿地具有建设成本与运行成本低、处理效果好、兼有生态修复功能与营造生态景观等特点<sup>[4]</sup>。油田地域广阔,人烟稀少,大部分的土地因石油开采导致闲置,并且油田周围已存在部分天然额度人工湿地,这些为人工湿地在油田的发展提供了有利条件。目前,针对石油污染的人工湿地治理技术国内外仍鲜有报道。

植物是人工湿地十分重要的组成部分。湿地植物的选型必须遵循耐污能力强、去污效果好、适合当地环境、根系发达、抗病虫害能力强、具备美观和经济价值等原则<sup>[5]</sup>。研究表明,对于溶解态的石油类化合物,其去除途径主要是填料的截留和微生物的降解作用<sup>[6]</sup>,但植物对石油类化合物的去除能起到显著的促进作用<sup>[7]</sup>。

湿地中的植物不仅可以吸收、吸附和富集污水中的有害物质,更为根区的微生物输送氧气<sup>[8]</sup>,并提供栖息地,加强和维持湿地系统的稳定性<sup>[9]</sup>。全坤等<sup>[10]</sup>选取芦苇为湿地植物,对稠油采出水进行现场试验结果表明,人工湿地对石油类去除率可达77.57%~79.22%。

由中国矿业大学自主研发的旋流-静态微泡浮选柱对石油采出水进行处理,脱油率高达94%,悬浮物脱除率达到56%。采用此方法能使石油采出水的含油浓度降至100 mg/L以内,能够满足油田生产中回注水要求,但仍未达到排放标准。人工湿地将作为旋流-静态微泡浮选柱对石油采出水处理后的后续强化处理。该研究选择在石油采出水中占主要成分的石油为研究对象,探讨了8种常见耐寒湿地植物对含油污水的适应性,筛选有较强耐油性的植物,以期通过人工湿地的净化作用使石油采出水达到外排标准,甚至中水回用标准。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试植物为菖蒲(*Typha orientalis*)、海寿花(*Pontederia cordata* L.)、黄菖蒲(*Iris pseudacorus*)、蓝鸢尾(*Iris tectorum*)、灯芯草(*Juncus effusus*)、香蒲(*Acorus calamus* Linn)、芦苇(*Phragmites australis*)、水葱(*Softstem bulrush*)幼苗。8种供试植物幼苗均采自江苏省泗洪市洪泽湖。试验采用蛭石、果壳和生物陶粒作为填料。此3种填料在前期试验中被证明对含油污水具有较高的去除率。

### 1.2 试验方法

取直径30 cm塑料盆,底部铺带孔塑料布,自下往

第一作者简介:胡舒(1988-),女,重庆人,在读硕士,现主要从事城市生态和人工湿地等研究工作。E-mail:hs365173273@163.com.  
收稿日期:2012-05-15

上依次装入相同厚度的蛭石、果壳和生物陶粒,加清水至填料浸透后,将幼苗植于盆中。根据生物量,每盆种植 1~4 株幼苗。

设置试验组和对照组。试验组浇灌用水为自配浓度为 100 mg/L 的含油污水,该浓度略大于经旋流-静态微泡浮选柱油水分离后的出水含油浓度。幼苗种植后,试验组和空白组均用清水浇灌 2 d,从第 3 天起试验组改为用含油污水浇灌,空白组仍用清水浇灌。每天浇灌 1 次,保证填料含水充足。试验组用含油污水浇灌 7 d

后,对植物进行株高和分蘖数测量,此后每 5 d 测量 1 次,共测量 5 次。

## 2 结果与分析

### 2.1 含油污水对植物株高的影响

在对照组和试验组中,不同植物株高随时间的变化趋势不同。每次测得植株株高与第 1 次测得植株株高的差值为在该段时间内植株株高的生长量(表 1)。

表 1 对照组与试验组 5 次测量的植株株高

cm

供试植物	测量日期/年-月-日									
	2011-04-27		2011-05-02		2011-05-07		2011-05-12		2011-05-17	
	对照组	试验组	对照组	试验组	对照组	试验组	对照组	试验组	对照组	试验组
菖蒲	45.25±7.42	52.25±1.06	41.95±4.45	51.75±0.78	41.50±5.52	44.30±12.59	40.45±5.16	43.65±11.53	39.25±5.73	42.75±12.09
海寿花	12.45±5.73	15.20±3.11	18.05±6.29	20.45±2.62	23.25±7.99	24.95±1.06	31.75±7.14	31.35±0.35	39.80±8.63	38.05±0.92
黄菖蒲	23.40±1.70	19.80±4.53	35.25±1.63	29.50±1.70	41.35±0.35	37.00±0.71	50.30±1.70	45.90±0.71	59.25±1.20	53.10±0.28
蓝鸢尾	31.40±3.11	36.30±6.51	32.80±3.25	35.75±6.86	33.00±3.39	32.65±2.19	30.65±2.19	33.50±3.54	31.15±2.76	33.35±3.89
灯芯草	62.25±6.15	53.20±20.22	55.00±14.99	53.45±17.47	62.95±4.88	37.30±14.57	62.65±4.60	36.05±16.33	62.45±4.31	36.00±16.26
香蒲	84.95±14.78	60.90±13.58	87.50±16.55	71.90±10.47	89.75±16.76	59.95±3.89	89.45±16.48	59.75±2.90	89.85±16.76	61.65±3.61
芦苇	21.75±11.53	8.40±0.28	23.85±2.48	15.80±0.14	29.95±4.60	22.85±1.77	47.70±6.79	34.80±0.42	67.00±5.94	50.05±0.21
水葱	13.00±18.38	16.45±3.18	15.65±22.13	17.30±4.53	21.05±29.77	16.60±6.93	29.75±42.07	19.25±1.48	34.00±48.08	20.95±0.64

由图 1 可知,在对照组中,不同植物株高的变化趋势不同。在 2011 年 4 月 27 日至 5 月 17 日这段时间中,芦苇、黄菖蒲、海寿花和水葱的株高增长较快,其株高变化量分别为 45.25、35.85、27.35 和 21.00 cm;香蒲、灯芯草和蓝鸢尾的株高随时间无明显变化,其株高变化量分别为 4.90、0.20 和 -0.25 cm;菖蒲的株高随时间呈减小的趋势,株高变化量为 -6.00 cm。8 种植物株高的变化量依次为:芦苇>黄菖蒲>海寿花>水葱>香蒲>灯芯草>蓝鸢尾>菖蒲。

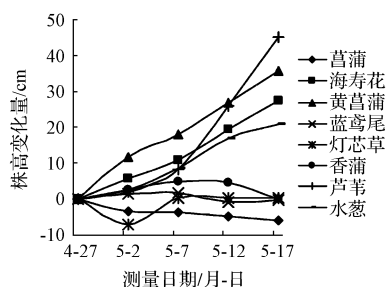


图 1 对照组植株株高变化量

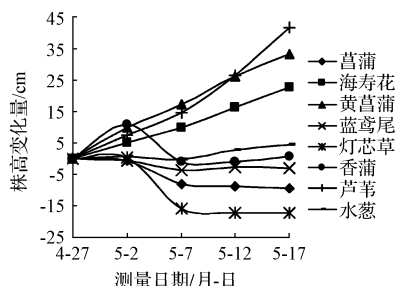


图 2 试验组植株株高变化量

由图 2 可知,在试验组中,不同植物株高的变化趋势也不同。在 2011 年 4 月 27 日至 5 月 17 日这段时间中,芦苇、黄菖蒲和海寿花的株高增长较快,其株高变化量分别为 41.65、33.30 和 22.85 cm;水葱、香蒲和蓝鸢尾的株高随时间无明显变化,其株高变化量分别为 4.50、0.75 和 -2.95 cm;菖蒲和灯芯草的株高随时间呈减小的趋势,其株高变化量分别为 -9.50 cm 和 -17.20 cm。8 种植物株高的变化量依次为:芦苇>黄菖蒲>海寿花>水葱>香蒲>蓝鸢尾>菖蒲>灯芯草。

由此可知,黄菖蒲、芦苇和海寿花在清水和含油污水浇灌条件下,其株高随时间均有较快增长,表明 3 种植物生长受含油污水的影响微小,对含油污水具有较强的适应性和耐受性。在含油污水浇灌条件下,水葱株高随时间仍有较缓慢增长,但与清水浇灌条件相比,其株高增长率有所降低,表明水葱的生长在一定程度上受到了含油污水的负面影响。香蒲和蓝鸢尾的株高在清水浇灌和含油污水浇灌条件下随时间的变化都较稳定,表明此 2 种植物对含油污水具有较好的耐受性。在清水浇灌条件下,灯芯草株高随时间无明显变化,而在含油污水浇灌条件下株高呈下降趋势。表明灯芯草的生长在一定程度上受到了含油污水的抑制。菖蒲在清水浇灌和含油污水浇灌条件下其株高均随时间呈明显下降趋势,可能是由于移植、运输和对生存环境改变的不适应引起了植物枯萎。

将对照组和试验组的 8 种植物在 5 月 2 日、5 月 7 日、5 月 12 日、5 月 17 日相对于 4 月 27 日的株高变化量进行单一变量的双因素方差分析(表 3)可知,菖蒲、海寿

花、灯芯草、香蒲和芦苇在试验组和对照组中,植株株高生长量没有显著性差异( $P>0.05$ ),而黄菖蒲、蓝鸢尾和水葱在试验组和对照组中,植株株高生长量存在显著差异( $0.01<P\leq 0.05$ )。

表3 试验组与对照组株高变化量差异性分析

	菖蒲	海寿花	黄菖蒲	蓝鸢尾	灯芯草	香蒲	芦苇	水葱
差异性	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	*

注: \* 差异显著( $0.01<P\leq 0.05$ ); ns 无显著差异( $P>0.05$ )。

由此可知,芦苇、黄菖蒲和海寿花对含油污水具有极强的适应性和耐受性;香蒲和蓝鸢尾对含油污水具有较强的耐受性;水葱和灯芯草的生长在较小程度上受到含油污水的抑制;菖蒲对生长环境的变化敏感,适应能力弱。

## 2.2 含油污水对植物分蘖数的影响

分蘖数是指禾本科等植物在地面以下或近地面处所发生的分枝,该试验分蘖数表示每次测量的植株枝数与第1次所测得植株枝数的差值。分蘖数为正,表示所测植株枝数与第1次测得植株枝数相比有所增加;分蘖数为负,表示所测得植株枝数与第1次测得植株枝数相比有所减少。由测量结果可知,不同植物的分蘖数随时间的变化量不同。

在对照组的测量后期,除菖蒲外,其它植物的分枝数与第1次所测量数相比均有所增加或接近。在2011年4月27日至5月17日这段时间,海寿花、香蒲和水葱的枝数增加较多,分蘖数分别为4.5、4和1,表明此3种植物长势较旺盛;芦苇、黄菖蒲、灯芯草和蓝鸢尾的分枝数变化不明显,分蘖数分别为0、0、-0.5和-0.5,表明这些植物长势较稳定;菖蒲的分枝数呈明显减少趋势,分蘖数为-4.5,这是由于菖蒲叶片逐渐枯萎所导致的。8种植物的分蘖数变化量依次为:海寿花>香蒲>水葱>芦苇>黄菖蒲>灯芯草>蓝鸢尾>菖蒲。

在试验组中,各种植物的分蘖数变化规律与清水浇灌条件下的变化规律类似:水葱、海寿花和香蒲的分蘖数增加较大,分别为12、11.5和5;灯芯草、芦苇、黄菖蒲和蓝鸢尾的分蘖数变化不大,分别为0.5、0、-0.5和-1;菖蒲的分蘖数呈现负值,为-8.5。8种植物的分蘖数变化量依次为:水葱>海寿花>香蒲>灯芯草>芦苇>黄菖蒲>蓝鸢尾>菖蒲。

将对照组和试验组的8种植物在5月2日、5月7日、5月12日、5月17日相对于4月27日的分蘖数变化量进行单一变量的双因素方差分析(表4)可知,海寿花、黄菖蒲和香蒲在试验组和对照组中,植株分蘖数无显著差异( $P>0.05$ ),蓝鸢尾、灯芯草和水葱的试验组和对照组植株分蘖数存在显著差异( $0.01<P\leq 0.05$ ),菖蒲的试验组和对照组植株分蘖数存在极显著差异( $P\leq 0.01$ )。

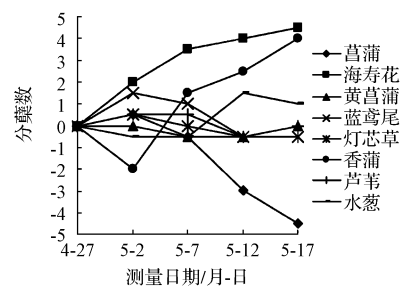


图3 对照组不同植物分蘖数变化

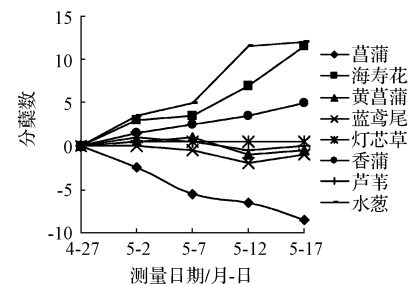


图4 试验组不同植物分蘖数变化

表4 试验组与对照组分蘖数变化差异性分析

	菖蒲	海寿花	黄菖蒲	蓝鸢尾	灯芯草	香蒲	芦苇	水葱
差异性	*	*	ns	ns	*	*	ns	*

注: \* 差异极显著( $P\leq 0.01$ ); \* 差异显著( $0.01<P\leq 0.05$ ); ns 无显著差异( $P>0.05$ )。其中,芦苇在对照组和试验组中的分蘖数变化一致,无法计算差异性。

由此可知,在清水浇灌和含油污水浇灌的条件下,海寿花、香蒲和水葱的分蘖数随时间呈明显增多趋势,此3种植物在2种浇灌条件下均长势旺盛;灯芯草、芦苇、蓝鸢尾和黄菖蒲的分蘖数接近0,这些植物长势较稳定;菖蒲的分枝数呈明显减少趋势,表明菖蒲叶片呈明显枯萎趋势。

## 3 结论

通过在清水浇灌和含油污水浇灌条件下,对8种常见耐寒湿地植物的株高变化量和分蘖数进行测量,结果表明,不同植物对含油污水的适应能力和耐受能力不同。

在清水浇灌条件下,株高生长量较快的植物有芦苇、黄菖蒲、海寿花和水葱,分别为45.25、35.85、27.35和21.00 cm,8种植物的株高变化速率依次为:芦苇>黄菖蒲>海寿花>水葱>香蒲>灯芯草>蓝鸢尾>菖蒲。在含油污水浇灌条件下,株高生长量较快的植物有芦苇、黄菖蒲和海寿花,分别为41.65、33.30和22.85 cm,8种植物的株高变化量依次为:芦苇>黄菖蒲>海寿花>水葱>香蒲>蓝鸢尾>菖蒲>灯芯草。在2种浇灌条件下,芦苇、黄菖蒲和海寿花均有很快的株高生长量;香蒲株高生长量较快且稳定;水葱和灯芯草的株高生长速率受含油污水影响较大;蓝鸢尾和菖蒲均有枯萎的现象。

在清水浇灌条件下,分蘖较快的植物有海寿花和香蒲,分蘖数分别为 4.5 和 4.8 种植物的分蘖数变化量依次为:海寿花>香蒲>水葱>芦苇>黄菖蒲>灯芯草>蓝鸢尾>菖蒲。在含油污水浇灌条件下,分蘖较快的植物有水葱、海寿花和香蒲,分蘖数分别为 12、11.5 和 5,8 种植物的分蘖数变化量依次为:水葱>海寿花>香蒲>灯芯草>芦苇>黄菖蒲>蓝鸢尾>菖蒲。在 2 种浇灌条件下,分蘖均较快的植物有海寿花和香蒲;水葱在含油污水中的分蘖数明显大于在清水中的分蘖数;菖蒲在 2 种浇灌条件下均有枯萎的现象;其它植物分蘖缓慢且稳定。

综上所述,考虑 8 种植物在清水浇灌和含油污水浇灌条件下株高和分蘖数的变化情况可知,芦苇、黄菖蒲、海寿花和香蒲对含油污水具有较强的适应能力和耐受能力;水葱和灯芯草生长受含油污水影响明显,不具有较强的耐受性;蓝鸢尾和菖蒲生命力弱,在 2 种浇灌条件下均有枯萎现象。因此,可以从这 8 种备选植物中选择芦苇、黄菖蒲、海寿花和香蒲 4 种植物作为后期处理含油污水的湿地供试植物。

## 参考文献

- [1] Meeormack P, Jones P, Hetheridge M J. Analysis of oil field Produced Waters and Production Chemicals by Electrospray Ionization Multi-stage Mass Spectrometry[J]. Water Research, 2001, 35(15): 3567-3578.
- [2] 邓述波,周抚生,余刚,等.含油废水的特性及处理技术[J].工业水处理, 2000, 20(7): 10-12.
- [3] Habel R, Perfler R, Mayer H. Constructed wetlands in Europe[J]. Water Science and Technology, 1995, 32(3): 306-318.
- [4] 李善征,方伟.人工湿地工程实例简介[J].北京水利, 2004(1): 54-56.
- [5] 吴建强,丁玲.不同植物的表面流人工湿地系统对污染物的去除效果[J].环境污染与防治, 2006, 28(6): 432-434.
- [6] Foght J M, Westlake D W S. Biodegradation of hydrocarbons in freshwater[A]. In: Vandermeulen J H, Hrudey S E. Oil in freshwater: Chemistry, Biology, Countermeasure Technology[C]. New York: Pergamon, 1987: 217-230.
- [7] 张海,张旭,钟毅,等.潜流人工湿地去除大庆地区湖泊水体中石油类化合物的研究[J].环境科学, 2007, 28(7): 1449-1454.
- [8] Fennessy M S, Cronk J K, Mitsch W J. Macrophyte productivity and community development in created freshwater wetlands under experimental hydrological conditions[J]. Ecol Bot, 1998, 3(4): 469-484.
- [9] 李小霞,解庆林,游少鸿.人工湿地植物和填料的作用与选择[J].工业安全与环保, 2008, 34(3): 54-56.
- [10] 全坤,李刚,籍国东.二级串联人工湿地处理稠油污水的季节变化[J].环境工程, 2008, 26(1): 32-34.

## Filtering of Wetland Plants for Treating Petrochemical Wastewater

HU Shu, XIAO Xin, JIA Han-shuai

(School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Jiangsu Provincial Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Xuzhou, Jiangsu 221008)

**Abstract:** In order to filter out the constructed wetland plants for treating petrochemical wastewater, the oil which was one of the main component of exploiting petroleum water was be considered. Through measuring height and tiller number of eight common cold-resistant wetland plants under the oily wastewater irrigating condition, the adaptability of the plants to petrochemical wastewater were studied. The results showed that different wetland plants had widespread differences growth situation under water and oily wastewater irrigating conditions. Under the two irrigating conditions, *Phragmites australis*, *Iris pseudacorus* and *Pontederia cordata* L management grew faster with the average increasing height respectively were 43.45, 34.58 and 25.10 cm. *Pontederia cordata* L and *Acorus calamus* Linn had the most tiller numbers with 8 and 4.5 respectively. Other plants were significantly affected by oily wastewater, even withered to death. *Phragmites australis*, *Iris pseudacorus*, *Pontederia cordata* L and *Acorus calamus* Linn had the strong adaptation ability for oily wastewater. Therefore, *Phragmites australis*, *Iris pseudacorus*, *Pontederia cordata* L and *Acorus calamus* Linn should be given prior consideration in the choice of the constructed wetland plants for treating industrial petrochemical wastewater.

**Key words:** oil; constructed wetland; plant; adaptation ability; height; tiller