

雨久花对水中有机污染物酚、氨氮的 抗性及其吸收积累效果

张晓菲, 周广柱, 孔重人, 王明辉, 解璐毓, 王振廷

(沈阳农业大学, 林学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘要:以水生植物雨久花为试材,在含有不同浓度的酚、氨氮的营养液中培养,研究了雨久花地上部分、地下部分的生长和其对酚、氨氮的抗性及其吸收积累规律。结果表明:雨久花能够在含有一定浓度酚、氨氮的污水中正常生长,并且对酚和氨氮的去除力也比较可观,平均去除率分别为 85.2%和 73.1%;同时雨久花地上部分、地下部分对酚的富集系数最大,分别达到 9.58 和 4.64,其对氨的积累量分别高达 712.682 和 498.815 mg/株。可见雨久花能够去除水中的酚和氨氮,对净化水质具有良好的作用。

关键词:雨久花;酚;氨氮;抗性;吸收积累

中图分类号:S 68 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)14-0069-04

随着经济的快速发展和人口的逐年增长,工业污水中有机污染物的控制和净化问题已成为目前全球的重大问题之一。植物所能吸收转化的污染物种类及效果,已有大量相关研究^[1-3]。但此类研究多集中于我国南方,对于北方湿生植物的净化能力报道较少。

水生植物是水生生态系统的重要组成部分,自 20 世纪中叶以来,人工湿地为代表的利用水生植物系统净化污水的生物净化模式迅猛发展,同化学治理法(如投放硫酸铜和氢氧化铝)和物理措施(曝气、引水冲刷、挖泥清淤)相比,成本低、效果好,处理优势明显^[4-5]。根据易得易培养性、美观性、植物根系发达和生长期长的选择原则^[6],结合对沈阳市湿地水生植物的实际情况与凤

眼莲实地调查及查阅中国植物志^[7],同时鉴于凤眼莲在南方治理工业污水案例的成功经验,故猜测同科同属的水生植物雨久花同样可以有效地净化工业污水。

雨久花(*Monochoria korsakowii*)属雨久花科雨久花属 1 a 生挺水草本植物,适应性强,常生长于池塘、湖边及沼泽地等浅水处,在生长环境中自播繁衍不需管理,是一种观赏性极强的水生植物^[8]。现以雨久花为试材,通过其在含有不同浓度酚、氨氮的营养液中的培养,初步研究了雨久花对酚和氨氮的抗性及其去除能力,以期在水污染的净化提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试雨久花挖取于沈阳市沈苏家屯地区,将其用水冲洗干净后于营养液中缓苗 2 周左右,待长出新叶后用于试验。营养液的组成^[9]见表 1。

1.2 试验方法

该试验在温室内进行,雨久花用 8 L 的塑料桶进

第一作者简介:张晓菲(1987-),女,硕士研究生,现主要从事水生植物应用研究工作。E-mail:zhxf_fei@126.com

责任作者:周广柱(1964-),男,博士,教授,现主要从事园林植物生理生态与栽培的教学与研究工作。E-mail:zhouguangzhu@sina.com

收稿日期:2013-03-11

Abstract: Taking potted *Petunia hybrida* Vilm flowers as test materials, different proportion matrix of vinegar residue, peatmoss and vermiculite were evaluated as substrates, the physico-chemical properties of matrix, morphological and physiological characteristics of flowers were measured, in order to screen the optimal matrix formula for *Petunia hybrida* Vilm. The results showed that volume ratio of matrix with vinegar residue : peatmoss : vermiculite as 3 : 1 : 1 was the best appropriate formula for the growth of *Petunia hybrida* Vilm with bulk density 0.338 g/cm³, pH 6.6, TN 14.7 g/kg, TP 2.0 g/kg, TK 4.6 g/kg, available N, P and K 2.04 g/kg, 0.50 g/kg, 0.75 g/kg, respectively. Comparing with conventional control treatment, the average plant height of *Petunia hybrida* Vilm, crown breadth, biomass of overground, flowering proportion increased 14.8%, 48.1%, 53.1% and 31.0%, respectively.

Key words: *Petunia hybrida* Vilm; vinegar residue; cultivation matrix; physical and chemical properties; growing index

表 1 营养液的组成

Table 1 The composition of the nutrient solution

物质名称	浓度/mg · L ⁻¹	物质名称	浓度/mg · L ⁻¹
KH ₂ PO ₄	135	KNO ₃	510
MgSO ₄ · 7H ₂ O	490	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	1 180
H ₃ BO ₃	2.86	MnCl ₂ · 4H ₂ O	1.81
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.22	CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.08
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	0.02	EDTA-Na ₂	37.25
FeSO ₄ · 7H ₂ O	27.85		

行培养,每桶营养液为 5 L,营养液组成同表 1。根据预试验结果,酚浓度设为 0、0.1、0.5、1.0、5.0、10.0、50.0、400.0、500.0 mg/L 9 个水平,氨氮浓度设为 0、0.1、0.5、1.0、5.0、10.0、20.0、30.0 mg/L 8 个水平,共计 17 个处理,另加 1 个无植物无处理空白对照组,每组 3 次重复。每个桶内添加不同浓度的酚和氨氮后,选取生长旺盛的雨久花移栽到塑料桶内,确保每桶内的植物量大致相同并且适量,测定并记录每桶的总植物量。

1.3 项目测定

雨久花培养 30 d 后,分别收获各桶培养液及植株样品,并用自来水将植株冲洗干净,用吸水纸把表面水吸干,分成地上部和地下部,以备试验,同时测定并记录每桶的总植物量及地下部分即根量。氨氮被植物吸收后,在植物体内发生转化,故采取测定植物体内总氮的含量,通过比较确定植物体对氨氮的吸收能力。植物中总氮的积累量=植物中总氮的含量(终值)×试验后植物的总重(终值)-植物中总氮的含量(初始值)×试验前植物的总重(初始值)。

水体中酚、氨氮含量的测定:将收获的培养液蒸馏,取蒸馏液分别以 4-氨基安替比林-氯仿萃取比色法^[10]和钠氏试剂光度法^[11]测定水体中酚和氨氮的含量。植物地上部分及地下部分中酚、总氮含量的测定:称取样品地上部和地下部分 10 g,蒸馏,蒸馏后的蒸馏液分别以 4-氨基安替比林-氯仿萃取比色法和微量凯氏法测定植物地上部分、地下部分中酚和总氮的含量。

2 结果与分析

2.1 试验前后雨久花植物量的变化

从表 2 可以看出,雨久花于营养液中生长旺盛,试验前后植物量变化显著,经过 30 d 生长,无处理对照组的植物总重平均增加 406.9%,根重占总重的 32.6%;酚处理组的植物总重平均增加 285.5%,根重占总重的 16.9%;氨氮处理组的植物总重平均增加 542.8%,根重占总重的 42.4%。表明酚会在一定程度上抑制雨久花的生长;氨氮有利于雨久花生长,相对酚处理更能促进根的生长。

表 2 试验前后雨久花植物量的变化

Table 2 The plant weight before and after the experiment g

酚浓度 /mg · L ⁻¹	试验前总重	试验后总重 /根重	氨氮浓度 /mg · L ⁻¹	试验前总重	试验后总重 /根重
0	64	320.7±15e /106	0	62	318±19b /102
0.1	61	271±12.5d /41	0.1	69	410±37c /170
0.5	66	261±11d /42	0.5	65	452±29cd /174
1.0	68	252±7.2cd /42	1.0	62	444.7±42cd /175
5.0	61	234.3±7.8bc /40	5.0	68	501.7±18d /192
10.0	60	220±10.1ab /42	10.0	62	353±29b /180
50.0	67	211±10a /46	20.0	62	218±31 a /165
400.0	68	200±16.5a /40	30.0	—	—
500.0	—	—			

注:酚浓度在 500.0 mg/L 及氨氮浓度在 30.0 mg/L,雨久花均不能正常生长,最终枯萎死亡。

2.2 试验前后培养液中酚、氨氮含量的变化

30 d 的培养过程中,营养液没有更换过,植物生长良好,无植物无处理的空白对照组中营养液已浑浊不堪,但有植物组的桶中营养液仍清澈见底,肉眼直观可见雨久花有改善水质的功能。

从表 3、4 可以看出,通过对试验后各个桶中酚、氨氮的含量的测定,试验后比试验前营养液中酚、氨氮均有明显的降低。营养液中酚的去除率平均为 85.2%,最高为

表 3 试验前后培养液中酚浓度及去除率

Table 3 The phenol concentration in

the culture medium and the removal rate before and after the experiment

试验前酚浓度 /mg · L ⁻¹	试验后酚浓度 /mg · L ⁻¹	去除率 /%
0	—	—
0.1	0.015	97.2±2.0e
0.5	0.065	95.1±2.4de
1.0	0.105	93.7±2.8de
5.0	0.306	90.2±2.8d
10.0	2.135	82.5±3.4c
50.0	14.213	71.3±2.8b
400.0	108.239	66.3±3.3a

表 4 试验前后培养液中氨氮浓度及去除率

Table 4 The ammonia nitrogen concentration in

the culture medium and the removal rate before and after the experiment

试验前氨氮浓度 /mg · L ⁻¹	试验后氨氮浓度 /mg · L ⁻¹	去除率 /%
0	—	—
0.1	0.008	94.7±3.2d
0.5	0.092	88.3±2.5d
1.0	0.186	84.7±1.9cd
5.0	1.898	72.0±3.6bc
10.0	4.012	59.9±9.0a
20.0	12.268	38.7±4.8a

97.2%;氨氮的去除率平均为 73.1%,最高达到 94.7%。对不同浓度处理的酚、氨氮的去除率的变化趋势见图 1 (图中 50.0 mg/L 处对应的氨氮浓度为 20 mg/L)。

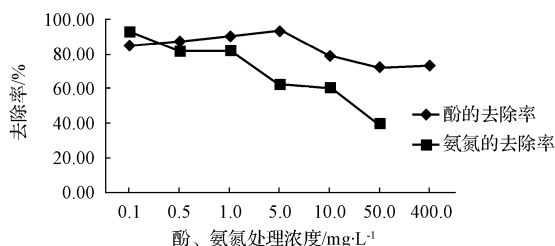


图 1 不同浓度酚、氨氮的去除率变化趋势

Fig. 1 The trend of removal efficiency of phenol of and ammonia nitrogen with different concentrations

2.3 植物地上、地下部分对酚的吸收积累及总氮含量的变化

植物体内污染物的含量是表示环境污染程度和确定植物净化能力大小的主要指标之一^[12]。由表 5 可知,在一定浓度范围内,随着营养液中酚浓度的增加,植物地上部分及地下部分对酚是吸收积累也均增加,且地上部分的积累大于地下部分。为说明某种植物对某种污染物的吸收特点,常用富集系数来表示,即雨久花中酚含量与营养液中酚含量的比值。从图 2 可以看出,在一定的浓度范围内,地上部分及地下部分对酚的富集系数均随着营养液中酚浓度的增加而变大,且地上部分大于地下部分。表明雨久花有从含酚的污染水中吸收外源酚的能力。

表 5 试验后植物地上部分、地下部分中酚的含量及富集系数变化

Table 5 The content of phenol of plants on the ground parts and underground parts and enrichment factor after the experiment

酚浓度 /mg·L ⁻¹	地上部分酚含量(A) /mg·L ⁻¹	富集 系数	地下部分酚含量(B) /mg·L ⁻¹	富集 系数	A/B
0	0	—	0	—	—
0.1	0.056	3.73	0.028	1.87	1.98
0.5	0.257	3.95	0.144	2.22	1.79
1.0	0.563	5.33	0.281	2.68	2.00
5.0	2.930	9.58	1.419	4.64	2.07
10.0	5.129	2.40	2.259	1.06	2.27
50.0	19.701	1.39	15.325	1.08	1.29
400.0	179.716	1.66	110.892	1.02	1.62

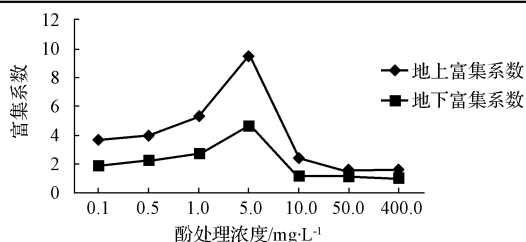


图 2 试验后植物地上部分、地下部分中酚的富集系数的变化

Fig. 2 The trend of enrichment factor with phenol of plants on the ground parts and underground parts after the experiment

从地上部分和地下部分中酚含量的对比来看,酚在 地上部分的含量远高于地下部分,这是由于酚比较活跃,流动性比较大,从根吸收后能够迅速的转移到地上部分。并且该试验是在 7 月份进行,气温较高,蒸腾作用强烈,酚在植物体内转移加速,便更多积累于地上部分。氨氮被植物吸收后,在植物体内发生转化,故采取通过测定植物体内总氮积累量,确定雨久花对氨氮的吸收能力。由表 6 可知,雨久花试验后植株含氮量均明显增加,并且经氨氮处理的雨久花中氮含量大多高于未处理组。

从图 3 可以看出,在一定浓度范围内,雨久花的氮积累量随着营养液中氨氮浓度的升高而增加,在氨氮浓度为 5.0 mg/L 左右的处理时,氮积累量达到最大,之后雨久花的氮积累量又随营养液中氨氮浓度的升高而较少。

表 6 试验前后植株含氮量及氮积累量

Table 6 The amount of plant nitrogen and nitrogen accumulation before and after the experiment mg

氨氮浓度/mg·L ⁻¹	0	0.1	0.5	1.0	5.0	10.0	20.0
试验后整株含氮量	643	882	954	932	1 000	746	694
试验前整株含氮量	128	122	132	137	119	117	141
整株氮积累量	515	760	822	795	883	629	553

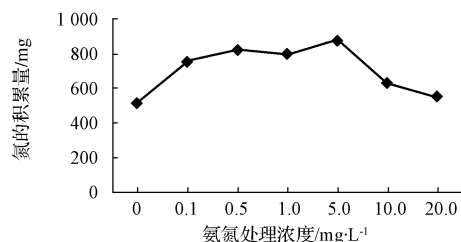


图 3 试验后植株氮的积累量

Fig. 3 The nitrogen accumulation of plant after the experiment

从表 7 可以看出,雨久花地上部分氮含量均高于地下部分,这与氮元素对植物生长的作用有关,氮是制造叶绿素的主要成分,能促进枝叶生长;此外雨久花地上部分的含氮量与地下部分的比值变化与氨氮的处理浓度没有明显关系。

表 7 试验后植物地上部分、地下部分总氮的含量及比值

Table 7 The content of total nitrogen of plants on the ground parts and underground parts and ratio after the experiment mg

氨氮浓度/mg·L ⁻¹	0	0.1	0.5	1.0	5.0	10.0	20.0
地上氮的含量(A)	371	493	560	547	549	434	408
地下氮的含量(B)	272	389	394	385	453	312	286
A/B	1.36	1.27	1.42	1.42	1.21	1.39	1.43

3 结论与讨论

一般植物吸收有机物的浓度是随水中污染有机物

浓度的增高有变大的趋势,当污染有机物的浓度增加到一定程度后,会对植物的生长产生危害,使其生理生化过程受阻,生长发育停滞,甚至死亡。营养液中酚浓度在 500.0 mg/L 及氨氮浓度在 30.0 mg/L 时,雨久花均不能正常生长,最终枯萎死亡。

随着营养液中酚、氨氮浓度的增加,雨久花植株体内酚和氮的含量都增加,这与大量植物积累有机物的研究结果一致。其中,雨久花对酚的吸收积累程度很大,这与酚本身比较活跃的特点有关;而相对酚,雨久花对氨氮的吸收积累较少。有研究表明,大部分湿地不能很好的去除氮^[13-15]。Brix^[16]研究表明,大部分湿地氮的去除率多低于 30%。Reed 等^[14]报道美国大部分正在运行的湿地氨氮去除率都有限。

该试验结果表明,无论是地上还是地下部分对酚的富集趋势是一致的,都是先增大到一定程度后再减小。在酚的浓度为 5 mg/L 时,雨久花对酚的富集达到最大,地上部分和地下部分的富集系数分别为 9.58 和 4.64。同时小于 5 mg/L 时的富集系数一般较大于 5 mg/L 时的富集系数要大,是由于酚的浓度大于 5 mg/L 时,雨久花对酚的吸收量增大的原因。地上部分的富集系数明显大于地下部分,原因是由于酚本身比较活泼。地上部分和地下部分中氮积累量都是随着营养液中氨氮浓度的增加而变大,并且地上部分积累量大于地下部分。地上部分对氮的积累量最大达 712.682 mg,地下部分最大也达到 498.815 mg,对照表 7 中地上与地下部分对氮积累量的比值,在 1.21~1.43 之间变动,比较稳定。通过试验证明,雨久花的确对水中的有机污染物酚、氨氮有较强的去除能力,是净化水质较强的优秀水生物种,在应用中可作为除污染物主要的植物材料。

参考文献

- [1] 袁东海,任全进,高士祥,等. 几种湿地植物净化生活污水 COD、总氮的比较[J]. 应用生态学报,2004,15(12):2337-2341.
- [2] 夏汉平. 香根草和水花生对垃圾污水中 N、P、Cl 的吸收效果[J]. 植物生态学报,2000,24(5):613-616.
- [3] 文乐元,樊国盛. 养殖废水草滤带处理系统的研究[J]. 草业学报,2003,12(3):110-113.
- [4] Merlin G, Pajean J L, Lissolo T. Performances of constructed wetlands for municipal wastewater treatment in rural mountainous area[J]. Hydrobiologia, 2002, 469: 87-89.
- [5] Cristina S C, Calheiros, Antonio O S S, et al. Constructed wetland systems vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater [J]. Water Research, 2007, 41: 1790-1798.
- [6] 单丹. 人工湿地水生植物对氮磷吸收及对重金属镉去除效果的研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
- [7] 中国科学院植物研究所. 中国植物志[DB/OL]. 2004.
- [8] 肖李军. 雨久花[N]. 中国花卉, 2005-10-29(006).
- [9] 张淑英. 水培营养液的配方[J]. 农业科学实验, 1983(4): 24-25.
- [10] 潘如彬, 张明德. 水中苯酚的测定方法[J]. 污染防治技术, 2009, 22(6): 100-103.
- [11] 夏芳. 纳氏试剂光度法测定水中氨氮的质量控制[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(6): 128-129.
- [12] 吴玉树, 鲍奕佳. 酚、氰在凤眼莲-水体系统中的迁移、积累及进化[J]. 植物生态学与地植物丛刊, 1984, 8(4): 336-344.
- [13] Kemp M C, George D B. Subsurface flow constructed wetlands treating municipal wastewater for nitrogen transformation and removal [J]. Water Environment Research, 1997, 69(7): 1254-1262.
- [14] Reed D S C, Brown D. Subsurface flow wetlands - a performance evaluation [J]. Water Environment Research, 1995, 67(2): 244-248.
- [15] White K D. Enhancement of nitrogen removal in subsurface flow constructed wetlands employing a 2-stage configuration, an unsaturated zone, and recirculation [J]. Water Science and Technology, 1995, 32(3): 59-67.
- [16] Brix H. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants-the rootzone method[J]. Water Science and Technology, 1987, 19: 107-118.

Effect of Resistance Uptake and Accumulation of Organic Pollutants in Water Phenol and Ammonia Nitrogen of *Monochoria korsakowii*

ZHANG Xiao-fei, ZHOU Guang-zhu, KONG Zhong-ren, WANG Ming-hui, XIE Lu-yu, WANG Zhen-ting
(College of Forestry, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161)

Abstract: Taking aquatic plants *Monochoria korsakowii* as materials, under the conditions of the nutrient solution containing different concentrations of phenol and ammonia nitrogen on the growth of *Monochoria korsakowii* of the ground part and the underground part, and *Monochoria korsakowii* resistance uptake and accumulation of organic pollutants in water phenol and ammonia nitrogen were studied. The results showed that *Monochoria korsakowii* could grow in the sewage contains a certain concentration of phenol and ammonia nitrogen, and removal force of phenol and ammonia nitrogen was more considerable, the average removal rates respectively was 85.2% and 73.1%; while the enrichment coefficient for phenol of *Monochoria korsakowii* of the ground parts of the underground part respectively reached 9.58 and 4.64, the largest accumulation of its nitrogen were 712.682 mg and 498.815 mg per plant. It showed *Monochoria korsakowii* could remove the phenol and ammonia nitrogen in the waste water and played a good role for purifying water.

Key words: *Monochoria korsakowii*; phenol; ammonia nitrogen; resistance; uptake and accumulation