

# 水生植物对面源污水净化效率研究\*

高吉喜 叶 春

杜 娟 孟裕芳 闫自申

(中国环境科学研究院环境生态所, 北京 100012) (云南省环科所湖泊室, 昆明 650034)

**文 摘** 于自然条件下研究了慈菇、茭白等 7 种水生植物对面源污水的净化率。结果表明, 7 种试验植物对水体中 N、P 均有很高的净化率, 其中以慈菇和茭白的综合净化率为最高。由于不同植物对 N、P 的净化率不同, 所以多种植物配置可提高植物对面源污水的综合净化率。  
**关键词** 水生植物, 面源污水, 净化。

水污染是目前全球重要环境保护问题之一, 其中由暴雨径流产生的面源污染越来越引起了人们的关注。对面源的污染控制, 国内外进行了较为广泛与深入的研究。据目前研究成果看, 水生植物由于可吸收、富集水中的营养物质及其它元素, 因此对面源污水有很好的净化功能<sup>(1-5)</sup>。我国从 80 年代开始在天津、河北和云南等地开展了前置库水生生物净化研究工作, 取得了不少可喜成果, 但距实际推广应用还有很大距离。本文于自然条件下研究了不同水生生物对面源污水的净化功效, 以为今后前置库在我国推广实施提供理论与依据。

## 1 试验方法与技术

### 1.1 试验装置与试验条件

实验在自然条件下进行, 地点选在云南滇池流域前为营。实验设计的主导思想是模拟前置库工程。因此, 在生物试验池前设有分流堰与沉砂池, 将来自汇水域的面源污水首先并入分流堰与沉砂池, 尔后再进入生物净化池。

生物池设计为砌石混凝土结构, 共 6 组 18 个池, 池底及四周均为不透水水泥层, 每个池的设计容量为 9m<sup>3</sup>, 其长宽均为 3m, 深 1m。在每个池的上、下端各设有 3 个流水孔, 每个孔可依据实验要求进行开关, 同时可利用各流水孔的开启控制入池和出水水流大小。每个孔的孔径为 10cm, 每两孔间距 100cm。因本实验的目的是研

究前置库对面源污水净化效率, 所以实验安排在暴雨最为集中的 7 月与 8 月份。

### 1.2 植物种类筛选及种植方法

植物种类筛选的原则是, 对 N、P 净化率高; 具有一定经济价值; 适于面源污水环境条件下生长并且种源来源方便。我们在总结前人已有成果及室内初步研究的情况下, 共选取了 7 种植物作为研究对象, 其中既有挺水植物, 又有沉水植物和漂浮植物, 7 种植物的名称为: 慈菇(*Sagittaria sagittifolia* Linn.); 茭白(*Zizania Latifolia stapf*); 菹草(*Potamogeton crispus* Linn); 金鱼藻(*Ceratophyllum demersum* Linn); 满江红(*Azolla imbricata* Nak.); 水花生(*Alternanthera philoxeroides* Griseb.); 菱角(*Trapa japonica* Fler)。

植物种植采用移栽的方法, 即从滇池流域湖泊、水塘和沟渠中捞取植物后, 运到实验场地栽种, 栽种后采用常规办法管理, 但要根据植物生长情况随时进行间苗, 以保证每种植物覆盖度维持在 80% 左右。

### 1.3 水样采集与分析方法

初次水样在面源污水入池后立即采集, 以后每隔 3 天取一次样, 直到水体 N、P 含量变化很

收稿日期: 1996-05-13

\* 八五国家科技攻关项目

致谢: 本文在实验设计和试验过程中, 得到了曹洪法研究员和金相灿研究员的大力帮助和指导, 在此表示感谢

小为止。样品采集后立即运回实验室分析,分析项目包括总氮和总磷,分析按水质标准分析方法进行。

2 结果与讨论

2.1 前置库适用水生植物种类筛选与净化效益研究

2.1.1 高效除氮植物种类筛选与净化效益研究

根据室内外初步研究结果,实验确定以 13 天为一测定周期,分别在 7 月和 8 月暴雨期就慈菇等 7 种水生生物对氮的净化率进行了测定,结果列于表 1。从表 1 中可见,在 7 月份,以慈菇的净化率为最高,13 天的累积净化率达到了 78.4%,其次是茭白和水花生,两者净化率分别为 76.3% 和 74.5%,净化率较低的为菱角和满江红,其中菱角 13 天的累积净化率只有 49.0%。7 种植物对氮的去除率由大到小排列分别为:慈菇> 茭白> 水花生> 菹草> 金鱼藻> 满江红> 菱角。

| 植物名称 | 累积净化率(%)     |              |       |
|------|--------------|--------------|-------|
|      | 7. 11~ 7. 24 | 8. 13~ 8. 26 | 平均    |
| 慈菇   | 78. 4        | 83. 6        | 81. 0 |
| 茭白   | 76. 3        | 78. 4        | 77. 4 |
| 菹草   | 72. 0        | 78. 6        | 75. 3 |
| 金鱼藻  | 70. 6        | 78. 5        | 74. 6 |
| 菱角   | 49. 0        | 48. 8        | 48. 9 |
| 水花生  | 74. 5        | 80. 8        | 77. 7 |
| 满江红  | 59. 4        | 84. 0        | 71. 7 |

8 月份的测定结果与 7 月份相差较大,除菱角外,其它 6 种植物的净化率均很高,其中慈菇、水花生和满江红的累积净化率均超过了 80%,茭白、菹草和金鱼藻的净化率也均在 78% 以上。所有测试植物中,除菱角的净化率与 7 月份相近外,其它植物的净化率都比 7 月份有所提高,特别是满江红的净化率变化最大,8 月份比 7 月份的累积净化率增加了近 25%。由于各种植物的变化不相同,因此,它们对氮去除率大小的排列也发生了变化,由大到小排列为:满江红> 慈菇> 水花生> 菹草> 金鱼藻> 茭白> 菱角。

不同月份植物净化率不同的原因是,在不同

时期,植物的生长发育阶段不同,因此,其生长速率及代谢功能也不同,由此导致植物对 N、P 等营养元素的吸收量不同,在污水净化方面则表现为对水体氮的去除率不同。一般情况下,漂浮植物和沉水植物生长发育变化较快,挺水植物则相对变化慢,因此,实验中满江红和金鱼藻从 7 月份到 8 月份对氮的净化率变化最大。不同月份植物净化率变化的另一可能原因是,随植物体发育阶段不同,附着于植物体的微型生物群落也产生了变化,而微型生物群落的变化会直接影响植物对水体的净化率。

综合起来看,在暴雨集中的 7、8 月份,始终保持高效除氮的植物有慈菇、茭白、菹草和水花生,这 4 种植物的净化率每月均在 70% 以上。

2.1.2 高效除磷植物种类筛选与净化效益研究

表 2 是 7 种植物对水体磷净化情况,从中可见,在 7 月份,满江红的净化效率最高,13 天的累积净化率为 78.2%,其次是茭白,净化率达 77.5%,净化率最低的是水花生和菱角,两者的累积净化率分别为 50.1% 和 46.1%。到 8 月份,所有植物的净化率均有所提高,除菱角和金鱼藻外,其它植物的净化率均达到了 70% 以上。7 月份各植物的净化率大小依次为:满江红> 茭白> 慈菇> 菹草> 金鱼藻> 水花生> 菱角;8 月份为:满江红> 茭白> 慈菇> 水花生> 菹草> 金鱼藻> 菱角。7、8 月份均保持高效的植物有满江红、茭白、慈菇和菹草 4 种植物。

| 植物名称 | 累积净化率(%)     |              |       |
|------|--------------|--------------|-------|
|      | 7. 11~ 7. 24 | 8. 13~ 8. 26 | 平均    |
| 慈菇   | 66. 7        | 77. 8        | 72. 3 |
| 茭白   | 77. 5        | 77. 8        | 76. 7 |
| 菹草   | 62. 8        | 74. 4        | 68. 6 |
| 金鱼藻  | 57. 8        | 63. 3        | 60. 6 |
| 菱角   | 46. 1        | 55. 6        | 50. 9 |
| 水花生  | 50. 1        | 77. 8        | 64. 0 |
| 满江红  | 78. 2        | 78. 9        | 78. 6 |

比较表 1 和表 2 可发现,有些植物对氮和磷的净化率都很高,而有些植物只对氮或磷一种元素净化率高,产生这种现象的原因,我们认为与

植物本身的组织结构及其生理功能有关,对氮积累强的植物,对水体氮去除能力就强,同样对磷积累强的植物,对水体磷的去除能力就强。

**2.1.3 综合分析评价** 从上所述各种植物对 N 和 P 的净化效果可看出,有些植物对氮的净化效果好,有些对磷的净化效果好,有些对氮磷的净化效果均好,而有些则均不好。为了综合评价各种植物的净化效率,表 3 根据试验结果和专家咨询意见按三级制评分标准给出了各种试验植物对水体的净化功能及其适用性与易成活性。

表 3 试验水生植物综合功效分析

| 植物名称 | 分析指标 |      |     |      |
|------|------|------|-----|------|
|      | 去氮能力 | 去磷能力 | 适用性 | 易成活性 |
| 慈菇   | +++  | ++   | +++ | +++  |
| 茭白   | +++  | +++  | +++ | ++   |
| 菹草   | +++  | ++   | ++  | ++   |
| 金鱼藻  | ++   | +    | +++ | +++  |
| 菱角   | +    | +    | +++ | ++   |
| 水花生  | +++  | +    | ++  | +++  |
| 满江红  | ++   | +++  | ++  | +++  |

注:去氮和磷能力:三个“+”净化率在 75% 以上,两个“+”净化率在 65%~75%,一个“+”净化率小于 65%。适用性:三个“+”经济价值最高,两个“+”经济价值适中,易成活性:三个“+”既容易栽培又容易成活,两个“+”次之

从表 3 中可见,从去氮、去磷、易成活性和适用性 4 个方面考虑,则在所选植物中,以慈菇和茭白最优,金鱼藻、水花生和满江红次之,菹草和菱角最差。

2.2 不同植物配置的净化效益及稳定性研究

从上述研究结果可知,同一水生生物对不同污染物的净化率不同,有些植物对氮的净化率高,而有些对磷的净化率高,因此,不同植物适当配合可提高水体的总体净化效率,也更符合实际情况。

**2.2.1 配置植物种类筛选** 在 7 种试验植物中,慈菇和茭白是挺水植物,有固定根茎,在前置库中一般种植在外围浅水处,通常情况下不会与其它植物发生直接作用,因此,配置试验中未予考虑。余下的 5 种植物在水中都具有一定“侵略性”,其中菱角是浮叶植物,水花生是一种特殊的两栖植物,满江红是漂浮植物,金鱼藻和菹草

是沉水植物,对这两种植物,我们根据实验结果选金鱼藻作为代表,所以实验最后以菱角、水花生、金鱼藻和满江红作为试验对象,研究了不同配置方式下的群落稳定性及其对氮磷的净化功效。4 种植物的配置方式为:菱角+ 水花生;菱角+ 金鱼藻;菱角+ 满江红;水花生+ 金鱼藻;水花生+ 满江红;金鱼藻+ 满江红。

**2.2.2 不同配置群落稳定性研究** 实验中详细观察记录了各种配置方式下植物的生长状况,观察表明,在 6 种植物配置群落中,水花生与金鱼藻配置池和水花生与满江红配置池生长极不稳定。在水花生与满江红配置池中,水花生生长较好,其生长速度非常快,不久便向满江红一侧侵入,约两个星期后,水花生占据了整个水面,而满江红因位于下层而得不到充足的光照则逐渐死去。在水花生与金鱼藻共栖池中,情况与水花生和满江红共栖池的情况基本相近,因水花生生长发育速度快于金鱼藻,因而水花生占据水面越来越大,而金鱼藻占据面积越来越少,最终金鱼藻全部死亡,水花生占据了整个水面。

在其它 4 种配置中,共栖较好的是水花生与菱角,菱角与满江红,其中水花生与菱角池最为稳定,两种植物在池中有明显的分界线,互不侵犯,试验中一直保持着较稳定关系,但两种植物相比较,水花生生长相对较好。菱角与满江红池也一直保持着稳定关系,两种植物间也有较分明界线,但到最后,满江红占据面积有所扩大,菱角占据面积则有所缩小。

剩余的 2 种配置中,虽然各植物间一直保持了稳定的共存关系,但情况与上述两种配置不同。在金鱼藻与满江红配置池中,两种植物原本分开种植,各占据池的一半,但不久后却混合到了一块,最后满江红覆盖了整个水面生活在上层,而金鱼藻生活在下层,但由于满江红覆盖度只占 80% 左右,因此金鱼藻仍可得到较充足光照,且在有风时,满江红往往集中于一较小区域,这时金鱼藻在光照上所受影响更小。另外观察发现,在金鱼藻生长较好的地方,由于金鱼藻紧靠水面,因此,其上通常没有满江红存在,这可能是两者能长期稳定存在的原因之一。对菱角和金鱼

藻池,两者的关系有点类似金鱼藻和满江红的关系,起初,菱角和金鱼藻各占一半,但随时间推移,两者混合在一起,其菱角的浮叶占据了水面的上层,而金鱼藻则在菱角的空隙中生长,相对位于水面的下层。

综合起来看,在 6 种配置方式中,水花生和菱角池,满江红与菱角池生长最好最稳定;其次是金鱼藻与菱角池和金鱼藻与满江红池;而水花生与金鱼藻和水花生与满江红之间不能长期稳定地共存。

**2.2.3 不同配置对氮净化率比较研究** 从上述分析结果可知,在 6 种配置试验中,有 2 种因配合不适而未能长期稳定存活,另 4 种则较为稳定。为此,实验中对后 4 种配置方式的氮磷净化率进行了监测测定,结果分别列于表 4。

从表 4 可见,在 4 种配置中,除水花生和菱角混合池 7 月份净化率低于单种水花生净化率,菱角和满江红混合池 8 月份净化率低于单种满江红池外,其它混合配置后的净化率均高于单种池。如果将 7、8 月份两次实验结果平均,则 4 种配置植物池的净化率均高于或相近于其相应单种植物池的净化率,说明大部分植物相互组合

后,可提高植物对水体氮的整体净化效率。

在本试验的 4 种配置中,以金鱼藻与菱角和满江红与菱角的配置效果最好,从表 4 中可见,单种植植时,金鱼藻和菱角的净化率均较低,如菱角的净化率在 7 月和 8 月两次试验中均只有百分之四十多,但相互配置后,净化率有了显著提高,其中净化率最高达到了 81.4%,最低也达到了 73.6%。

由此可见,某种植物在单种植植时净化率可能很低,但与其它植物配合种植后净化率则会提高。

**2.2.4 不同配置对磷净化率比较研究** 研究结果表明,除个别情况外,各种植物配置后的净化效率在各次试验中均高于相应单种植物的净化率,如水花生和菱角单独种植时在 7 月份的净化率分别只有 50.1%和 46.1%,但混合种植后净化率提高到了 74.7%,如果将 7、8 月份的效率综合起来看,则配置种植后对磷的净化率比单植时提高了近 20%。其它几组植物配置后的净化率变化虽不太大,但也均有一定提高,表明植物配置种植有利于对水体磷的去除,结果见表 4。

从表 4 可见,不同配置方式下植物对氮和磷

表 4 不同植物配置对氮磷的净化效率

| 编组<br>No. | 植物<br>名称   | 植物种<br>植方式 | 氮累积净化率(%)    |              |       | 磷累积净化率(%)    |              |       |
|-----------|------------|------------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|-------|
|           |            |            | 7. 11~ 7. 24 | 8. 13~ 8. 26 | 平均    | 7. 11~ 7. 24 | 8. 13~ 8. 26 | 平均    |
| 1         | 水花生<br>菱角  | 单种 水花生     | 74. 5        | 80. 8        | 77. 7 | 50. 1        | 77. 8        | 64. 0 |
|           |            | 菱角         | 49. 0        | 48. 8        | 48. 9 | 46. 1        | 55. 6        | 50. 9 |
|           |            | 平均         | 61. 8        | 64. 8        | 63. 3 | 48. 1        | 66. 7        | 57. 5 |
|           |            | 混合配置       | 67. 2        | 87. 8        | 77. 5 | 74. 7        | 78. 9        | 76. 7 |
| 2         | 金鱼藻<br>菱角  | 单种 金鱼藻     | 70. 6        | 78. 5        | 74. 6 | 57. 8        | 63. 3        | 60. 6 |
|           |            | 菱角         | 49. 0        | 48. 8        | 48. 9 | 46. 1        | 55. 6        | 50. 9 |
|           |            | 平均         | 59. 8        | 63. 7        | 61. 8 | 52. 0        | 59. 5        | 55. 8 |
|           |            | 混合配置       | 73. 6        | 81. 4        | 77. 5 | 58. 8        | 75. 6        | 67. 2 |
| 3         | 菱角<br>满江红  | 单种 菱角      | 49. 0        | 48. 8        | 48. 9 | 46. 1        | 55. 6        | 50. 9 |
|           |            | 满江红        | 59. 4        | 84. 0        | 71. 7 | 78. 2        | 78. 9        | 78. 6 |
|           |            | 平均         | 54. 2        | 66. 4        | 60. 3 | 62. 2        | 67. 3        | 64. 8 |
|           |            | 混合配置       | 66. 7        | 81. 9        | 74. 3 | 70. 1        | 81. 7        | 75. 9 |
| 4         | 金鱼藻<br>满江红 | 单种 金鱼藻     | 70. 6        | 78. 5        | 74. 6 | 57. 8        | 63. 3        | 60. 6 |
|           |            | 满江红        | 59. 4        | 84. 0        | 71. 7 | 78. 2        | 78. 9        | 78. 6 |
|           |            | 平均         | 65. 0        | 81. 3        | 73. 2 | 68. 0        | 71. 1        | 69. 9 |
|           |            | 混合配置       | 76. 5        | 89. 2        | 82. 9 | 67. 9        | 78. 9        | 73. 4 |

净化效果的提高并不一致, 因此, 在实际应用中, 种植多种植物。  
应视面源污水的含氮、含磷量确定配置方式。

### 3 小结

**3.1** 研究表明, 水生植物对面源污水有很强的净化能力, 而且易于成活, 并具有较好的使用价值, 所以可在前置库污水净化中推广应用。

**3.2** 在试验的 7 种植物中, 以慈菇、茭白、菹草和水花生对水体氮的净化能力最强, 茭白与满江红对磷的净化能力较强; 从去氮能力、去磷能力、适用性和易成活性 4 个方面综合考虑, 以慈菇和茭白最优, 金鱼藻、水花生和满江红次之, 菹草和菱角最差。

**3.3** 不同植物相互配合, 可提高植物对水体氮磷的综合净化率, 因此, 在前置库中应相互配合

### 参考文献

- 1 Brix H. AMBIO, 1989, 18(2): 100~ 107
- 2 由文辉. 环境科学动态, 1993, (2): 8~ 12
- 3 黄文成. 植物资源与环境, 1994, (3): 29~ 33
- 4 叶春芳, 杉莘野. 环境科学与技术, 1994, (2): 1~ 4, 9
- 5 李科德, 胡正嘉. 国外农业环境保护, 1993, (4): 28~ 31

### 作者简介

高吉喜 男, 1964 年 3 月生。现为中国环境科学研究院在职博士。主要从事环境生态学方面研究工作。参加了“酸沉降对生态影响及经济损失估算”、“滇池城市饮用水源地面源污染控制技术”、“城市垃圾生态工程处理技术”等多项国家攻关、国际合作和地方合作项目。发表论文 20 多篇。

## Study of removing ability of macrophytes to N, P in run-off

Gao Jixi<sup>1</sup>, Ye Chun<sup>1</sup>, Du Juan<sup>2</sup>, Meng Yufang<sup>2</sup> and Yan Zishen<sup>2</sup>

1. Institute of Environmental Ecology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012

2. Lake Research Group, Yunnan Institute of Environmental Sciences, Kunming 650034

**Abstract**—The removing ability of nine macrophytes to N and P from run-off was studied. It shows that the elimination efficiency of N, P from water by plants is high in most macrophytes. The tested plants *Sagittaria sagittifolia* Linn. and *Zizania Latifolia stapf* have highest elimination efficiency. As different aquatic plant has different removing ability to N and P, it is better to choose several different plants at the time in application.

**Key words:** macrophytes, run-off, removing.