

洪泽湖湿地主要植物群落的水质净化能力研究

南楠^{1,2}, 张波², 李海东³, 张金池²

(1. 徐州工程学院 环境工程学院, 江苏 徐州 221008; 2. 南京林业大学

森林资源与环境学院, 南京 210037; 3. 环境保护部 南京环境科学研究所, 南京 210042)

摘 要:通过建立围隔实验区的方法,以洪泽湖主要湿生植物群落芦苇、莲、菱、凤眼莲、苦草、金鱼藻为对象,研究了不同湿生植物群落对富营养化水体净化的能力。结果发现:研究区主要水生植物群落对富营养化水体总氮的去除能力从大到小依次为苦草(78.56%)、凤眼莲(66.26%)、金鱼藻(57.61%)、莲(50.18%)、菱(46.04%)、芦苇(37.39%),对总磷的去除能力从大到小依次为苦草(61.84%)、芦苇(46.55%)、菱(44.83%)、金鱼藻(45.00%)、莲(39.66%)、凤眼莲(25.17%),对 COD_{Mn} 的去除能力从大到小依次为金鱼藻(61.33%)、苦草(55.56%)、菱(52.44%)、莲(47.11%)、凤眼莲(27.77%)、芦苇(23.33%)。沉水植物苦草、金鱼藻对各种营养元素的净化效果都较好,产氧能力也较高;浮叶植物菱的净化效果比较稳定;挺水植物芦苇对总磷的净化效果稍好,而对其他各项净化能力均相对较弱。

关键词:湿生植物; 水质净化; 湿地; 洪泽湖

中图分类号:Q146;X173

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)01-0228-04

Water Quality Purification Ability of Main Wetland Plant Community in Hongze Lake

NAN Nan^{1,2}, ZHANG Bo², LI Hai-dong³, ZHANG Jin-chi²

(1. Department of Environment Engineering, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China;

2. College forest Resource and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

3. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China)

Abstract: The quality purification ability of different hygrophytes communities to eutrophication water was studied through the experimental enclosure of Hongze lake, and the different hygrophytes communities are *Phragmites australis*, *Nelumbo nucifera*, *Trapa bispinosa*, *Eichhornia crassipes*, *Vallisneria natans* and *Ceratophyllum demersum*. The results showed that the elimination ability of main wetland plant community to TN in eutrophication water body following the order of *Vallisneria natans* (78.56%), *Eichhornia crassipes* (66.26%), *Ceratophyllum demersum* (57.61%), *Nelumbo nucifera* (50.18%), *Trapa bispinosa* (46.04%), *Phragmites australis* (37.39%), the elimination ability to TP following the order of *Vallisneria natans* (61.84%), *Phragmites australis* (46.55%), *Trapa bispinosa* (44.83%), *Ceratophyllum demersum* (45.00%), *Nelumbo nucifera* (39.66%), *Eichhornia crassipes* (25.17%), the elimination ability to COD_{Mn} following the order of *Ceratophyllum demersum* (61.33%), *Vallisneria natans* (55.56%), *Trapa bispinosa* (52.44%), *Nelumbo nucifera* (47.11%), *Eichhornia crassipes* (27.77%), *Phragmites australis* (23.33%). And the submerged plants, *Vallisneria natans* and *Ceratophyllum demersum*, have a great role to purify the nutritive elements in water and produce oxygen. And the purification effect of *Trapa* community is quite stable. The community of *Phragmites australis* has a better purification effect to total phosphorus, but to the other nutritive indicators of eutrophication water, it is much weaker.

Key words: aquatic plants; water quality purification; wetland; Hongze lake

水体富营养化是一种水体衰老现象,系指氮、磷等植物性营养物大量进入湖泊、海湾等相对封闭、水

流缓慢的水体,引起藻类和其他水生植物大量繁殖,水体透明度和溶解氧下降,水质恶化,其它水生生物

收稿日期:2010-07-20

修回日期:2010-08-04

资助项目:国家“十一五”科技支撑课题(2006BAD03A16)

作者简介:南楠(1982—),女,硕士,江苏徐州人,讲师,主要从事园林景观设计 with 景观生态修复研究。E-mail: nannan2211@163.com

通信作者:张金池(1962—),男,山东人,博士生导师,教授,主要从事林业生态工程研究。E-mail: zhang8811@njfu.edu.cn

大量死亡,水体生态系统和水功能受到阻碍和破坏的现象^[1-3]。自 20 世纪 70 年代以来,国内外对利用高等水生植物净化污水进行了广泛的研究^[4-6],大量研究结果显示,高等水生植物能够大量吸收水体中的氮、磷营养物质,有些品种还能抑制水体中的藻类,故能有效地净化富营养化水体,同时,种植水生植物还有助于水体生态系统恢复正常的功能^[7-9]。笔者以洪泽湖湿地自然保护区为基地,通过对高等水生植物修复富营养化水体的静态实验,研究水生植物对于水体营养盐的去除效果,筛选水体净化能力强、景观效果好的植物种,以期为湿地生态系统的植被重建提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地设在江苏省泗洪洪泽湖国家级湿地自然保护区(以下简称保护区)内。保护区位于江苏西北部,溧河洼下游,北纬 33°10′40″—33°20′27″,总面积 49 365 hm²,占洪泽湖湖区面积的 10.17%,居全国淡水湿地之第 11 位,华东地区第二位,江苏省第一位。保护区北接泗洪县东南部,东靠洪泽湖,南临盱眙,北接泗洪县东南部,紧邻泗洪县的城头乡、临淮镇、西与双沟镇相邻,交通便捷。研究区光热充足,降水充沛。年平均气温为 14.8℃,极端最低气温为-16.1℃;极端最高气温为 39.8℃。多年平均水温为 15.6℃。年降水量多年平均为 925.5 mm,雨季集中在 6—9 月,降水量占全年 65.5%;冬季降水量少,仅占约 7%~8%。年蒸发量为 1 592.2 mm。试验期间试验区平均温度 22.5~27.2℃。区内生物资源十分丰富,共有维管植物 69 科 162 属 217 种,其中以年轻较进化的被子植物,如菊科、禾本科、莎草科等为主体。

1.2 试验设计

1.2.1 湿生植物的选取 水生植物的选择,应尽可能地利用当地优势种,同时考虑以下几方面的因素:①具有较好的水质净化功能;②移植成活率高;③不会对当地的生态环境产生危害;④具有一定的景观价值,综合利用价值大^[4,10-12]。在参考国内外利用水生植物净化富营养水体相关文献的基础上,结合植被调查的结果,确定 6 种水生植物为本次实验的研究对象,其中挺水植物、漂浮植物、沉水植物各 2 种。全部水生植物均是当年移栽,见表 1。

1.2.2 围隔实验区的建立 实验区选在泗洪洪泽湖保护区溧河洼区域的人工湿地内。人工湿地为保护区建设二期工程,因在施工阶段,搭建有塑料顶棚,暂未栽植水生植物,可避免降水对试验的干扰。在人工湿地内建立围隔实验区,实验区分为 7 个 5 m×5 m

的围隔,水泥池壁,平均水深 1.5 m,底部为夯实泥土。其中的 6 个围隔分别种植水生植物,一个围隔作为对照没有种植任何植物。各围隔相互独立,以不透水材料隔离,底泥厚 0.8 m,充分搅匀,整个实验区可近似看作封闭体系。试验水体初始浓度:pH 值为 7.46,溶解氧为 6.40 mg/L,COD_{Mn} 为 4.50 mg/L,BOD₅ 为 2.30 mg/L,总氮为 0.82 mg/L,总磷为 0.09 mg/L,叶绿素 a 3.46 mg/m³,透明度为 45 cm。

表 1 移栽水生植物基本情况

序号	水生植物	生长期	覆盖度/%	生态型
S ₁	芦苇	5—10 月	40	挺水植物
S ₂	莲	5—10 月	40	挺水植物
S ₃	菱	4—10 月	20	漂浮植物
S ₄	凤眼莲	5—11 月	20	漂浮植物
S ₅	苦草	3—11 月	40	沉水植物
S ₆	金鱼藻	5—11 月	40	沉水植物

1.2.3 水样采集及测定 在围隔实验区,于 2007 年 7 月 12 日—9 月 11 日进行样品采集,历时 60 d,每 10 d 在同一样点采样一次,为防止误差,采样时间均安排在下午 2:00 左右,此时植物的光合作用最强。每个水样重复 3 次,取平均值。水样指标测定方法^[4]如下:水体总氮(TN)含量测定采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB11894—89),水体总磷(TP)采用钼酸铵分光光度法(GB11893—8),高锰酸钾盐指数(COD_{Mn})采用酸性高锰酸钾法(GB11892—89),水体溶解氧(DO)采用 JPB—607 便携式溶解氧分析仪于现场测定。

2 结果与分析

2.1 不同湿生植物群落对水体的净化功能分析

2.1.1 对水体总氮的影响 试验期间各水生植物群落中总氮的浓度均低于对照区,并处于比较稳定的下降趋势(图 1)。对照区因水体的自净作用,总氮的浓度减少了 22.05%,但由于天然水体自净能力有限,1 个月后水体的总氮浓度几乎处于平稳状态。

比较各试验植物对于水体总氮的去除效果,可以看出水生植物群落对水体总氮的净化效果显著(图 1)。去除率从大到小顺序表现为:苦草(78.56%)、凤眼莲(66.26%)、金鱼藻(57.61%)、莲(50.18%)、菱(46.04%)、芦苇(37.39%)。挺水植物芦苇、莲群落对总氮的去除率分别为 37.39%和 50.18%。浮叶植物菱和凤眼莲群落在 7 月 12 日至 8 月 2 日期间,总氮浓度变化缓慢,但菱、凤眼莲群落分别自 8 月 2 日和 8 月 12 日开始,对总氮的去除率显著增加。试验结束时,两群落的总氮浓度分别由原来的 0.84 mg/L 降低到为 0.443 mg/L 和 0.287 mg/L,去除率分别为

46.04%和 66.26%。沉水植物中,苦草和金鱼藻群落在 7 月 12 日至 8 月 2 日期间,总氮浓度降低显著,8 月 12 日以后,金鱼藻群落总氮浓度基本保持在 0.413 mg/L,苦草群落一直保持较好的净化效果。至试验结束时,苦草和金鱼藻群落对总氮的去除率分别为 78.56%、57.61%。

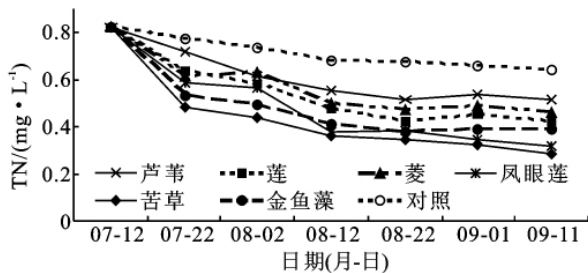


图 1 实验期间围隔内水体总氮浓度变化

2.1.2 对水体总磷的影响 实验期间,各围隔中总磷浓度呈波动性变化,总体呈下降趋势(图 2)。在试验开始 10 d 内各试验围隔内总磷浓度均显著下降,后又升高。这是由于在自净过程中水体中的总磷会随着颗粒物一同沉降而使浓度降低,但水体处于稳定状态后藻类缓慢的恢复生长和颗粒物的再悬浮使水体中总磷浓度回升。具体表现为:在试验结束时对照围隔中总磷浓度下降了 37.59%,试验后期由于水体自净能力有限,总磷浓度下降很少。

挺水植物围隔中总磷的浓度变化比较规律,在经过降低—升高—降低的起伏之后,自 8 月 12 日的实验阶段总磷浓度总体呈下降趋势,但是两个围隔回升后的总磷浓度分别高于对照 0.009 4 mg/L 和 0.014 7 mg/L,这可能是由于水生植物在恢复生长的过程中腐败脱落的部分也会对水体中总磷含量的增加做出贡献,8 月 2 日之后,总磷浓度低于对照,主要依靠水生植物的吸收作用和微生物分解作用(图 2)。由于植物的生长特性,9 月 1 日—9 月 11 日期间莲进入其生长末期,围隔区内总磷浓度没有明显变化,芦苇、莲围隔区在实验结束时总磷浓度比试验初始时降低了 46.55%和 38.85%。凤眼莲围隔内总磷的浓度在 7 月 12 日—7 月 22 日快速下降,比初始浓度降低了 30.11%,在随后的 10 d 又有回升,此后的试验阶段两个围隔中总磷浓度都有不同程度的降低,菱下降趋势较稳定,试验结束时降低了 44.8%;凤眼莲在整个试验期间总磷浓度起伏较大,试验后期浓度有大幅度的回升在 8 月 22 日高出对照 21.44%,因此净化效果不理想,只有 25.17%。由于沉水植物生活在水下,气温对其影响不明显,即使气温降低沉水植物仍能很好的生长,同时沉水植物还能给微生物提供良好的生境,有利于总磷的降解,保持较好的净化效果。

沉水植物围隔内由于水生植物的存在,在 8 月 2 日之后,水体总磷浓度一直保持较好的下降趋势。试验结束时金鱼藻、苦草对水体中总磷的去除率分别为 31.03%和 61.84%。由此可见,对水体总磷的去除效果由大到小依次依次为:苦草(61.84%)、芦苇(46.55%)、菱(44.83%)、金鱼藻(45.00%)、莲(39.66%)、凤眼莲(25.17%)。

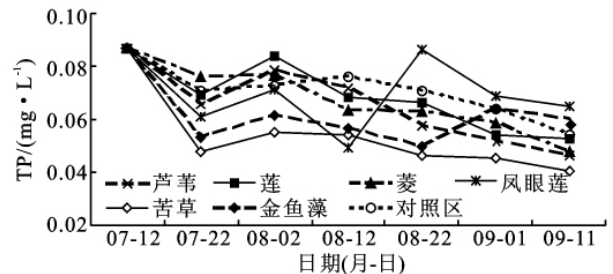


图 2 实验期间围隔内水体总磷浓度变化

2.1.3 对水体 COD_{Mn} 的影响 整个试验过程中各试验围隔中的高锰酸盐指数相对于对照区的变化并不是一致的,具体表现为:由于水体自净作用,7 月 12 日—7 月 22 日,围隔内由于悬浮物的沉降使高锰酸盐指数明显下降 17.3%,之后出现了升高再降低的趋势。试验结束时,对照围隔区的 COD_{Mn} 浓度降低了 20.66%(图 3)。芦苇和莲的净化规律有所差异,实验开始的第 10 天,芦苇围隔的 COD_{Mn} 浓度为 4.23 mg/L,仅下降了 6%,高于对照区,而莲围隔内 COD_{Mn} 浓度下降了 22.44%,此后,随着芦苇植株的生长,芦苇围隔内的 COD_{Mn} 浓度缓慢降低,在 8 月 22 日,浓度为 3.88 mg/L,低于对照区 20.19%,莲围隔的 COD_{Mn} 浓度除在 8 月 2 日有所回升,之后一直保持稳定的下降趋势,实验结束时,芦苇的去除率为 23.33%,莲围隔去除率为 47.11%。凤眼莲和菱对水体中高锰酸盐的影响规律有很大差异,在 7 月 12 日—8 月 22 日,凤眼莲围隔中 COD_{Mn} 浓度始终高于对照,在试验结束时高出对照 8.96%,因此,在本次试验中凤眼莲对 COD_{Mn} 的去除作用并不理想。菱的净化效果相对较好,在整个实验过程中始终低于对照区。金鱼藻和苦草围隔水体中 COD_{Mn} 浓度在 8 月 2 日后总体呈下降趋势。

由此可见,对水体 COD_{Mn} 的去除效果由大到小依次为:金鱼藻(61.33%)、苦草(55.56%)、菱(52.44%)、莲(47.11%)、凤眼莲(27.77%)、芦苇(23.33%)。

2.1.4 对水体溶解氧的影响 溶解氧是主要的水体感官指标和水生生物的生存指标,同时作为表征水体富营养化的重要指标,水体中溶解氧的多少比较直观地反映水体是否处于富营养状态以及富营养化的程

度。试验中,对照区的溶解氧浓度变化幅度不大,试验结束时,溶解氧浓度上升了 25%(图 4)。挺水植物围隔区在实验开始后溶解氧上升后又缓慢下降,芦苇实验区溶解氧的增幅变化较大,20.63%~72.5%;莲围隔内水体溶解氧变化相对稳定,保持在 32.81%~57.97%,试验结束时,相对于对照区,芦苇和莲围隔内的溶解氧浓度分别上升了 18.52%和 32.32%。浮叶植物菱的实验区溶解氧浓度变化不大,且一直高于对照围隔;凤眼莲围隔内溶解氧浓度在实验的前 10 d 中下降了 16.58%,可能由于在移栽过程中,凤眼莲的枝叶残损,导致其光合作用下降,但在此后的实验过程中,凤眼莲的溶解氧浓度上升很快,且始终高于对照围隔,说明种植凤眼莲对增加水体溶解氧作用明显。实验结束时,相对于对照围隔,菱和凤眼莲围隔内的溶解氧浓度分别上升了 48.15%和 55.70%(图 4)。沉水植物围隔中溶解氧浓度的峰值出现在 7 月 12 日—8 月 12 日,此时接近沉水植物的生长旺期,因此对水体中释氧作用强烈,溶解氧浓度增加幅度较大,金鱼藻、苦草围隔区水体中溶解氧增加了 78.75%和 85.16%,进入 9 月之后水生植物的生长达到顶峰,此后由于天气转凉植物生长缓慢,所以此时水生植物对水体中溶解氧的增加作用已经不明显。实验结束时,相对于对照区,金鱼藻和苦草围隔内的溶解氧浓度分别上升了 41.04%和 74.67%。

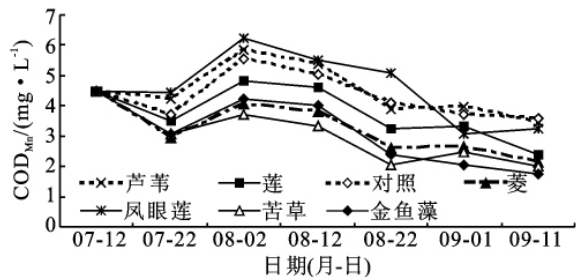


图 3 实验期间围隔内水体 COD_{Mn} 浓度变化

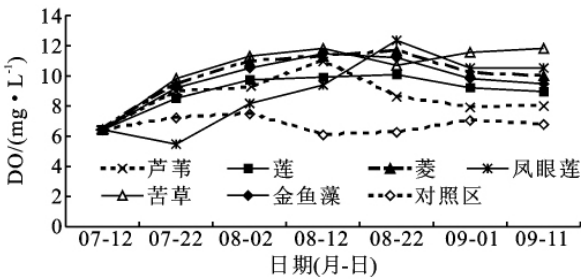


图 4 实验期间围隔内水体溶解氧浓度变化

由此可见,各种植物围隔内的溶解氧浓度增加幅度从大到小依次为:苦草(84.21%)、凤眼莲(64.22%)、菱(56.25%)、金鱼藻(48.75%)、莲(39.53%)、芦苇(20.17%)。

2.2 不同湿生植物群落的水体净化能力类型划分

以水体总氮(TN)、总磷(TP)、高锰酸钾盐指数(COD_{Mn})、水体溶解氧(DO)为指标,对 6 种水生植物的水体净化能力进行类型划分(Q 型聚类分析方法),聚类统计量用欧氏距离(Euclidean Distance),公式为

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

式中: d_{ij} ——第 i 个观察单位与第 j 个观察单位的距离; x_{ik} ——第 i 个样品在指标 k 上的数值; x_{jk} ——第 j 个样品在指标 k 上的数值。其不同湿生植物群落的水体净化能力类型划分见图 5。

综合各植被群落 4 个指标的实测数据及图 5,可以将其对水体的净化能力分为强、中、弱 3 类,依次为:第一弱型类为凤眼莲、莲、芦苇;第二中型类为菱、金鱼藻;第三强型类为苦草。在实验期间内,沉水植物苦草、金鱼藻对各种营养元素的净化效果都较好,产氧能力也较高,浮叶植物菱的净化效果比较稳定,凤眼莲可能由于在移栽过程中的叶片残损,导致其净化能力的不稳定,挺水植物芦苇对于总磷的净化效果稍好,其他各项净化能力都较弱,莲对于各种营养元素和有机物的净化效果为 39.66%~50.18%。

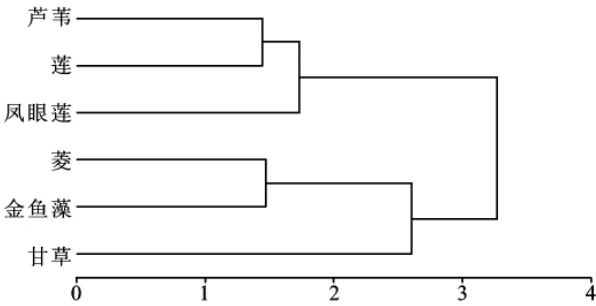


图 5 各植被群落净化水体功能的聚类图

3 结论

研究区主要水生植物群落对富营养化水体总氮的去除能力从大到小依次为苦草(78.56%)、凤眼莲(66.26%)、金鱼藻(57.61%)、莲(50.18%)、菱(46.04%)、芦苇(37.39%),对总磷的去除能力从大到小依次为苦草(61.84%)、芦苇(46.55%)、菱(44.83%)、金鱼藻(45.00%)、莲(39.66%)、凤眼莲(25.17%),对 COD_{Mn} 的去除能力从大到小依次为金鱼藻(61.33%)、苦草(55.56%)、菱(52.44%)、莲(47.11%)、凤眼莲(27.77%)、芦苇(23.33%)。各种植物围隔的溶解氧浓度增加幅度从大到小依次为:苦草(84.21%)、凤眼莲(64.22%)、菱(56.25%)、金鱼藻(48.75%)、莲(39.53%)、芦苇(20.17%)。

溉条件较早 25~30 d,灌溉+膜覆盖较灌溉+无覆盖早 5 d。

3 结论

(1)两种覆盖保水措施对辣木人工林样地土壤水分均具有一定效果。总体看,膜覆盖条件下的保水效果高于草覆盖膜式,而土壤经过草覆盖后,土壤水分变化相对稳定,表层的土壤水分很均匀。在覆盖模式选择上,盖膜处理保水效果虽高于盖草措施,但易损坏,不及时处理可能影响农田环境,属短期断续覆盖。盖草模式前期保持土壤水分,后期草杆还田,增加土壤肥力,可作长期覆盖模式。加上元谋干热河谷草被在植被中占 90% 以上^[8-9],是一种可就地选材,成本低、实用、操作性强的模式。

(2)试验表明两种覆盖保水措施对辣木物候均有影响。干热河谷旱坡地辣木人工林灌溉后经过地表覆盖措施后,一方面土壤水分即有不同程度的增加,另一方面辣木生育期也相应提前,可促进辣木开花结实,提高单位面积辣木生长量及种子产量。

(上接第 227 页)

- [10] 布仁仓,胡远满,常禹,等. 景观指数之间的相关分析[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2764-2775.
- [11] Uuemaa E, Antrop M, Roosaare J, et al. Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research, Living Rev[J]. Landscape Res., 2009, 3(1): 1-28.
- [12] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

(上接第 231 页)

不同水生植物群落对富营养化水体净化能力为,沉水植物苦草、金鱼藻对各种营养元素的净化效果都较好,产氧能力也较高,浮叶植物菱的净化效果比较稳定,凤眼莲可能由于在移栽过程中的叶片残损,导致其净化能力不稳定,挺水植物芦苇对于总磷的净化效果稍好,其他各项净化能力都较弱,莲对于各种营养元素和有机物的净化效果为 39.66%~50.18%。

参考文献:

- [1] 高建平,王珊玲. 水体富营养化评价和防治的一些进展[J]. 农村生态环境, 1989(3): 55-60.
- [2] 张金屯. 应用生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [3] 史丹. 我国湖泊富营养化问题及防治对策[J]. 资源开发与市场, 2005, 21(1): 17.
- [4] 鞠澍. 玄武湖湿地生态系统植物群落人工恢复研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2003.
- [5] Holland D. Down the riverside[J]. Landscape Design,

参考文献:

- [1] 欧晓昆. 云南省干热河谷区生态环境建设[J]. 长江流域资源与环境, 1994, 3(3): 271-275.
- [2] 张建平, 张信宝, 杨忠, 等. 云南元谋干热河谷生态环境退化及恢复重建试验研究[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2001, 26(6): 733-738.
- [3] 张映翠. 金沙江干热河谷土地资源及其开发潜力[J]. 山地研究, 1996, 14(3): 188-193.
- [4] 龙会英, 沙毓沧. 干热河谷草和灌木资源引种及综合利用研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2010(2): 203-210.
- [5] 张明忠, 朱红业, 张映翠, 等. 云南干热河谷旱坡地两种覆盖措施对土壤水分的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 27(3): 38-40.
- [6] 李保国, 龚元石, 左强, 等. 农田土壤水的动态模型及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 168-180.
- [7] 柴宗新, 范建容. 金沙江干热河谷植被恢复的思考[J]. 山地研究, 2001(8): 381-384.
- [8] 龙会英, 张德, 沙毓沧, 金杰. 云南金沙江干热河谷区牧草种质资源的研究利用与开发[J]. 西南农业学报, 2004, 17(S): 313-316.
- [13] 叶延琼, 陈国阶. GIS 支持下的岷江上游流域景观格局分析[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(1): 112-115.
- [14] 隋欣, 童飞, 姚长青, 等. 黄河流域青海片土地利用景观空间格局分析[J]. 水土保持通报, 2007, 27(2): 123-127.
- [15] 赵明华, 杨树佳, 牟文龙. 山东半岛县域土地利用景观格局分析: 以招远市为例[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 155-157.
- [16] 赵雪雁. 甘肃省生态承载力评价[J]. 干旱区研究, 2006, 23(3): 506-512.
- [6] 谢建华, 杨华. 不同植物对富营养化水体净化的静态试验研究[J]. 工业安全与环保, 2006, 32(6): 23-25.
- [7] Robyn A O, David L P. The uptake of uranium by *Eleocharis dulcis* (Chinese water chestnut) in the Ranger Uranium Mine constructed wetland filter[J]. Environmental Pollution, 2004, 132: 307-320.
- [8] Todd L I, Lawrence A R. Nitrate removal in wetland microcosms[J]. Water Research, 1998, 32(3): 677-684.
- [9] 孔繁翔. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 589-595.
- [10] 苗明升, 史凤琴. 水生维管束植物分布与水质污染的相关性研究[J]. 山东师范大学学报: 自然科学版, 1994, 9(1): 111-114.
- [11] 侯亚明. 水生植物在污水净化中的应用研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2004, 38(2): 184-188.
- [12] 吴振斌, 詹德昊, 张晟, 等. 复合垂直流构建湿地的设计方法及净化效果[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2003, 36(1): 12-16.