

上海城区中小河道沉水植被恢复的瓶颈问题及可行性分析

卢晓明,宋英伟,黄民生,徐亚同

(华东师范大学资源与环境科学学院,上海 200062)

摘要 针对上海城区中小河道沉水植被严重退化的现实,阐明了恢复沉水植被的重要性,初步分析了城区中小河道沉水植被恢复的瓶颈问题及可行性,以丽娃河和曹杨环浜生态治理为例进行个案介绍,为上海城区河道水质持续改善与生态恢复提供科学依据。

关键词 上海市;城区河道;沉水植被;水生态恢复

中图分类号 X522 **文献标识码** B **文章编号** 1004-6933(2008)04-0026-05

Key problems and feasibility of submerged macrophytes restoration in medium and small rivers in Shanghai City

LU Xiao-ming, SONG Ying-wei, HUANG Min-sheng, XU Ya-tong

(School of Resources and Environment Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: It is important to restore the seriously degraded submerged macrophytes in medium and small rivers in Shanghai City. Key problems and feasibility of the restoration are discussed. The ecological control projects in the Liwa River and around the Caoyang River are described. The results provide a scientific basis for the improvement of water quality and ecological restoration.

Key words: Shanghai; urban rivers; submerged macrophytes; aquatic ecological restoration

上海市境内河网密集,纵横交错的河道是上海城市生态系统的重要组成部分,更是支撑上海经济社会持续发展的重要资源条件。由于超量纳污等原因,导致以苏州河为典型代表的上海中心城区河道从 20 世纪 80 年代开始相继出现黑臭,水环境污染和水生态退化问题十分严重^[1]。为此,上海市近 20 年来开展了大规模的水污染控制和水环境治理工程建设,并取得了中心城区河道基本消除黑臭的阶段成效^[2]。

国内外的经验表明,城市河道整治是一项长期且艰巨的任务。随着上海中心城区河道生境质量的逐渐改善,水生态恢复成为重现河道‘水清草茂’自然本色的必由之路^[3]。水生态恢复以良好的水环境质量改善为前提基础,反过来,水生态恢复是长效和稳定改善水环境质量的重要手段^[3],而沉水植被的恢复

是水生态恢复的关键和成功与否的重要标志^[4-5]。因此,探讨上海城区中小河道沉水植被恢复的瓶颈问题和可行性具有重要的现实意义和应用价值。

1 恢复上海城区中小河道沉水植被的重要性

作为水生态系统中主要的初级生长者,包括沉水植物在内的高等水生植物对改善和稳定河道水环境质量、维持水体生物多样性、保障水生态系统良性循环等方面具有重要功能。沉水植物的茎叶和根通过吸收河水和底质中的氮、磷等营养盐,能够有效控制水体的富营养化,防止浮游藻类过量滋生;沉水植物的茎叶通过吸附河水中颗粒态悬浮物,能够有效地增加水体透明度,改善河道的景观质量;沉水植物通过光合作用,能够高效地增加水体的溶解氧含量;沉水植物的茎叶可供草食性鱼类食用,沉水植物覆

盖区是鱼类产卵和底栖动物庇护的良好场所,为形成复杂的水体食物链提供了食物、栖息场所等必要条件^[6]。上海是典型的平原河网城市,众多的中小河道密集地穿插在居民区、商业区中间,以中小河道为载体重建和恢复水生植被,对改善城区环境质量、促进社区文化建设具有重要意义。

2 影响上海城区中小河道沉水植被恢复的瓶颈问题

沉水植物依赖于河道水环境而生存,并随着水环境的变迁而演化。而人类活动可以直接作用于沉水植物,也可以通过改变其环境而间接施加影响。

上海位于气候温和、光照充足、雨量充沛的我国东南沿海平原地区,这些自然条件十分适合沉水植物在城区中小河道内生长和繁殖。导致上海城区河道沉水植被退化乃至消失的主要原因在于人类活动及随之带来的环境污染。

2.1 城区河道的环境污染

因城区排污量的增加和治污措施的相对滞后,导致长期以来上海城区的众多河道过量纳污。河道充当城市排污沟和垃圾场的结果,使得上海城区河道水环境质量全方位恶化,黑臭和底泥淤积问题普遍存在,造成包括沉水植物在内的河道高等水生生物加速消亡。

近年来,上海在城市水环境治理过程中大力开展截污治污、河道水面保洁和污染底泥疏浚,为中心城区消除黑臭和景观改善提供了先决条件。但长期和超量纳污加上自净能力差(平原感潮河网流速缓慢,水动力先天不足),导致城区中小河道水环境质量有效改善需要很长时间。另外,上海城区河道沿岸的初期雨水径流和合流污水雨水入河等外源污染是导致每逢暴雨河道环境质量恶化的主要原因。当前,上海中心城区河道水环境质量与沉水植被恢复的基本要求还存在较大差距,河水浑浊、水下光照不足、溶解氧严重不足以及氮、磷等污染物含量居高不下仍然是城区河道水环境的普遍特征和影响沉水植被恢复的瓶颈问题。

a. 河水浑浊、水下光照不足。目前上海城区河道水体颜色由治理前的墨黑、灰黑逐渐改善为灰黄、灰色,但河水中悬浮物含量仍然较高,2005年苏州河市区干流河水中SS质量浓度最高达到200 mg/L左右。特别是雨天(尤其是暴雨时)河道水质和景观恶化,表现在河水阶段性黑臭、水面漂浮大量垃圾。

沉水植物在生长上依赖于水下的光照条件。光补偿点可以作为沉水植物对光需求的最低临界值,只有光照强度大于光补偿点时,沉水植物才得以生

存与生长^[7]。当植物处于光合作用补偿点与饱和点之间时,光强直接决定沉水植物的生产力。沉水植物对空间的需要也与其光照需要相联系^[8],且不同种类沉水植物在不同深度上的分布主要决定于光环境。所谓的‘光补偿深度’即指光补偿点所在深度,是沉水植物在自然水体向深层分布的界限,只有实际水深 $\leq$ 光补偿深度的水域,沉水植物才能生长。

上海城区中小河道水深较浅(1~2 m),水面光照充足,但目前大多数河道河水浑浊,导致水体透明度仅有10~30 cm(夏季低、冬季略高),水下光照不足,这种物理环境条件尚无法满足沉水植被恢复的基本要求。

b. 河水溶解氧严重不足。上海城区河道流速缓慢,水体复氧能力弱,耗氧性污染物(主要是河水和底泥中的BOD₅和氨氮污染物)含量高,导致河水溶解氧含量很低。河水中溶解氧含量呈明显的季节性变化,夏季溶解氧严重不足、冬季溶解氧相对较高(水温影响河水复氧功能和耗氧性污染物的转化速率)。2005年7月、2005年9月、2005年11月、2006年1月,普陀区多数河道溶解氧质量浓度分别为0.08~1.41 mg/L、0.38~2.41 mg/L、0.30~3.76 mg/L、0.62~4.75 mg/L。河水溶解氧质量浓度过低、底质中有机物含量过高将导致沉水植物难以呼吸和出现烂根等问题^[9-10]。

c. 氮、磷等污染物含量高居不下。2006年上半年苏州河及其主要支流的市区段河水中氨氮质量浓度高达6~20 mg/L,为地表水Ⅴ类标准的3~10倍,部分河道其氨氮质量浓度最高达30 mg/L以上。2006年第一季度普陀区河道的河水中总磷质量浓度约为1 mg/L,个别断面总磷质量浓度高达2.573 mg/L。目前,上海城区河道水体富营养化已经十分严重,外源污染未彻底截除、内源污染(底泥)释放和自净能力差是主要原因。

水体中的营养盐浓度,尤其是氮、磷浓度对沉水植物的生长有着显著的影响。在一定的浓度范围内,随着营养盐浓度的增高,营养盐对沉水植物的生长有促进作用,但当营养盐浓度过高时,富营养化造成植物过量吸收水体营养,可能对植物生存产生不良后果。过高的营养盐浓度(特别是NH₄⁺)对沉水植物有损伤作用^[11]。可见,超富营养化水体不利于沉水植物的生长^[12-13]。

河道水体超富营养化已导致上海城区封闭和半封闭型中小河道在夏季暴发藻华。大量浮游植物聚集在水面,水下光照不足,浮游植物腐烂分解过程中消耗大量溶解氧并释放有毒物质,也是造成沉水植被难于恢复的重要原因^[14-15]。

此外,部分工业区附近的中小河道因受纳工业污染物,导致河道底质中重金属等有毒有害物质含量超标,更不利于沉水植物的生长繁殖。

2.2 城市河道的底泥淤积和疏浚

河道底质作为沉水植物根系固着的基础,同时也是沉水植物吸收营养物质的主要来源之一,其性质对沉水植物的生长繁殖有重要的影响。一般认为,较为肥沃的河道底质能供给植物充足的养料,有利于沉水植物的生长、发育与繁殖,促进植株分蘖并提高生物量^[16]。

长期纳污加上水动力不足使上海城区中小河道底泥淤积十分严重,其成分以生活垃圾、建筑渣土和污水的沉积物为主。目前,苏州河干流底泥淤积总量约为 120 万 m^3 ,淤积厚度为 0.5 ~ 3.5 m。大量底泥不仅缩小了河道的过水断面,使河床淤积抬高,泄水功能和自净能力逐渐下降,且成为河道水体重要的污染内源。

近 5 年来,上海市大规模实施了中小河道重污染底泥的疏浚工程,对改善河道水环境质量起到了重要作用。但在以往的河道疏浚过程中,无论是对河床断面或底质性质,都较少考虑沉水植被重建和恢复的要求,导致一些河道在疏浚后,无法开展沉水植物定植^[17-19]。在治理富营养化河道时,有时也采用封闭底泥的方法减少内源性磷源释放,但底泥封闭将严重影响水生植物根系的生长,加速沉水植被退化,从而减少水体中的生物多样性。

2.3 城市河道的硬质化、渠道化

上海市中心城区寸土寸金,长期以来人水争地的结果导致城区许多中小河道被填埋并用于建城、筑路。即便是保留的河道,其两岸土地同样也被道路、民房、工厂等挤占,为保证防汛、排涝的安全,河道护岸普遍被改造成硬质、直立的混凝土和浆砌块石墙,河道的自然形态和滨岸生态缓冲带几乎消失殆尽。

目前,因受城市建设现状限制,上海城区中小河道断面形态的完全自然化和构筑材料的彻底软化改造已不可能,因此只有因地制宜采用生态修复措施(如梯形断面、多孔生态混凝土、木桩等),才能有效解决河道的硬质化、渠道化问题。

2.4 其他问题

随着工业的发展,人为影响(如工业循环水等的排放)可能导致局部上海城区河道(如工业区河道)的水温剧变,进而影响沉水植被的生长^[20]。台风、暴雨、咸潮和潮汐等自然现象可能短期影响上海城区河道的水位,也将一定程度上影响沉水植物生长。研究发现,水体 pH 值通过改变无机碳的存在

形式而间接影响沉水植物的生长与分布^[21-22],而上海市区降水 pH 均值 1987 年、1988 年分别为 6.11、6.33,总体上是中性的^[23],所以,水体 pH 值对上海城区河道沉水植物的生长影响不大。风浪是影响水生植被恢复与生长的因素之一^[24]。一般情况下,风浪对于水生植物的生长是非常不利的,强烈的风浪(如苏州河、黄浦江等水势较急、流量较大的河道)将使水生植物的脆、嫩根茎折断,严重的甚至连根拔起,但较小的风浪却有助于水生植物的生长,其原因之一是可以帮助去掉附着在植物叶片和根茎上的附着生物及黏泥,改善叶片的光合作用;原因之二是适度的风浪可以增强植物叶片与水体间的碳交换而强化光合作用^[25]。由于大多数上海中心城区河道周边有高层建筑阻挡风力,通常风浪较小,所以,风浪不是导致上海中心城区河道沉水植物退化的重要因素,但沉水植物的定植需要避开某些季节(如汛期和台风期)。

3 恢复上海城区中小河道沉水植被的可行性分析

近年来,依托上海城市水环境综合整治的良好基础,生态浮床、生物栅、生态护岸、微生物菌剂等生物-生态技术和产品在城区河道治理中得到了较多的应用,生态治水的优势和效果也逐渐显现。

沉水植物只有在生境条件良好的河道水体中才能生长繁殖。目前上海城区大多数中小河道的水质、底质和光照强度等尚无法满足沉水植被重建和恢复的基本条件,但并不排除在生境质量较好的个别河道成功重建和恢复沉水植被的可能性。以下以丽娃河和曹杨环浜为例,进行个案介绍。

3.1 丽娃河

位于华东师范大学校园内的丽娃河历史上曾是苏州河支流河道之一,分丽娃河和赤水河两个部分。几十年来的苏州河沿岸中心城区以及校园建设,造成丽娃河与苏州河、丽娃河与赤水河之间基本上已被隔断,除汛期开闸、开泵排涝外,丽娃河几成“死水一潭”。由于丽娃河沿岸排污量的增加和排水管道系统建设相对滞后,造成大量污水(主要是生活污水和实验室废水)直接排入水体中,导致水环境质量日益恶化、生态系统逐渐退化,突出表现在水体发生季节性黑臭和藻华暴发。

2004 年在教育部和上海市水务局的共同资助下,华东师范大学实施了丽娃河(包括赤水河)综合整治工程,主要包括污水截流、底泥疏浚、河水循环、水质净化和生态重建等。在沉水植被重建中主要应用了黑藻、苦草、马来眼子菜、菹草、伊乐藻等品种。

监测结果表明(华东师大路桥监测断面) ①河道水质显著好转(图 1),主要水质指标由治理前的劣Ⅴ类改善为治理后的Ⅲ~Ⅳ类(GB 3838—2002《地表水环境质量标准》) ②水生生态系统得到明显改善,由治理前的浊水藻型改善为清水草型。特别是沉水植物的重建获得成功,至 2006 年其植被盖度已达到 30% 以上,“水草茂盛,鱼虾成群”的景象得以再现,景观喷泉、景观湿地和亲水平台为美丽的华东师范大学校园锦上添花 ③水质改善与生态恢复相得益彰。

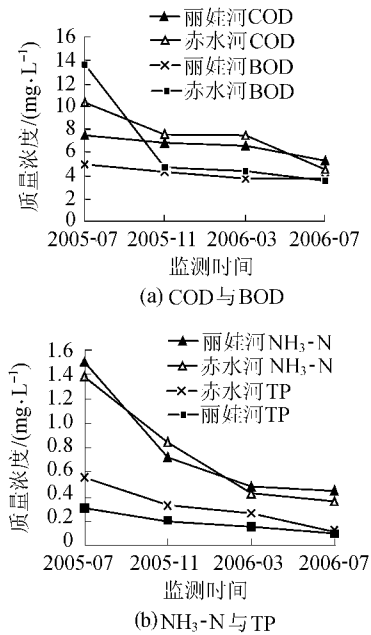


图 1 2005 ~ 2006 年丽娃河与赤水河水质指标变化

3.2 曹杨环浜

曹杨环浜位于上海市普陀区曹杨新村,是一条环形封闭水体,南北距离约 880 m,东西距离约 480 m,护岸总长 2 208 m,环浜宽 8 ~ 14 m,总水面积约 2.49 万 m²。周围人口密度和建筑密度极高。由于大量城市污水、初期雨水直排或渗漏入河,导致水体黑臭并发生严重的水华现象。

2003 年 11 月底,采用综合的环境生态工程技术对曹杨环浜水体进行了生态处理,主要通过完善沿河截污、强制曝气充氧、环浜造流、设置浮藻等悬浮物处理设施、构建水体自净生态系统等措施对水质进行修复。其中主要措施是从太湖流域引进适应性很强、繁殖力很强、针对性很强的净化水质的本地水生动植物种类^[2]。

监测结果表明(杏山路北桥监测断面) ①水质明显改善(与 2003 年比较,见图 2),主要水质指标氨氮、生化需氧量分别达到Ⅲ类、Ⅰ类标准,综合评价为Ⅳ类 ②沉水植物生长良好,已有水生植物 20 多种,鱼虾及底栖动物自然繁殖。

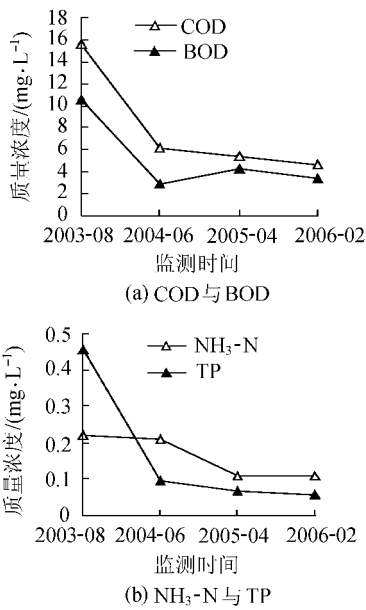


图 2 曹杨环浜水质修复示范工程实施前后水质指标监测结果比较

4 结 论

恢复沉水植被在上海中心城区中小河道的长效治理过程中占有极其重要的地位。沉水植被恢复的瓶颈问题主要源于人类活动及随之带来的环境污染。恢复沉水植被,目前大多数上海中心城区河道尚不具备条件,但少数生境良好的城区中小河道可以开展。具体恢复措施应以比较耐污的先锋物种(如金鱼藻、菹草、黑藻、红线草等)优先定植、重建,然后逐步推进,同时加强管护(放鱼、收割等),使河道水生态系统的输入和输出平衡,否则将可能加速河道淤积和沼泽化。丽娃河、曹杨环浜生态治水的成功经验可供上海城区其他河道深化治理参考、借鉴。

参考文献:

- [1] 卫明,王为人,刘晓涛,等. 自然生态型河道建设的理念及其应用[C]//汪松年. 上海水生态修复调查与研究. 上海:上海科学技术出版社,2005 23-28.
- [2] 卢智灵. 上海市河道水质修复方法研究与探索[C]//汪松年. 上海水生态修复调查与研究. 上海:上海科学技术出版社,2005 29-34.
- [3] 邱东茹,吴振斌,刘保元,等. 武汉东湖水生植被的恢复试验研究[J]. 湖泊科学,1997,9(2):169-174.
- [4] 邱东茹,吴振斌. 富营养化浅水湖泊沉水水生植被的衰退与恢复[J]. 湖泊科学,1997,9(1):82-88.
- [5] 刘保元,邱东茹,吴振斌. 富营养浅湖水生植被重建对底栖动物的影响[J]. 应用与环境生物学报,1997,3(4):323-327.
- [6] 黄祥飞. 东湖富营养化程度的综合评价[C]//刘建康. 东湖生态学研究(二). 北京:科学出版社,1995:404-407.
- [7] 周红,任久长,蔡晓明. 沉水植物昼夜光补偿点及其测定[J]. 环境科学学报,1997,17(2):256-257.

[8] WESTLAKE D F. Water plants and the aqueous environment [J]. Biol Human Affairs,1971,36 :10.

[9] 王斌,李伟.不同 N、P 浓度条件下竹叶眼子菜的生理反应[J].生态学报,2002,22(10) :16-20.

[10] SCHMIEDER K. Littoral zone-GIS of lake constance :a useful tool in lake monitoring and autecological studies with submersed macrophytes [J]. Aquatic Botany,1997,58 :333-346.

[11] NI L Y. Effects of water column nutrient enrichment on the growth of *Potamogeton maackianus* A. Been [J]. Journal of Aquatic Plant Management,2001,39 :83-87.

[12] 蒋海燕,刘敏,顾琦,等.上海城市降水径流营养盐氮负荷及空间分布 [J]. 城市环境与城市生态,2002,15 (1) :15-17.

[13] 顾琦,刘敏,蒋海燕.上海市区降水径流磷的负荷空间分布 [J]. 上海环境科学 2002,21 (4) :213-215.

[14] SPENCE D H N. The zonation of plants in freshwater lakes [C]//MACFADYEN A,FORD E D. Advances in ecological research. London :Academic Press,1982 :37-126.

[15] JUPP B P,SPENCE D H N. Limitations on macrophytes in eutrophic lake,Loch Leven [J]. J Ecology,1977,65 :175-186.

[16] 李亚东,崔艳秋.武汉东湖苦草种子的块茎发芽实验 [J]. 水生生物学报,2000,24 (3) :298-300.

[17] PHILLIPS G L,EMINSON D,MOSS B. A mechanism to account for macrophyte decline in proressively eutrophicated freshwaters [J]. Aquat Bot,1978,4(1) :103-126.

[18] SMOLDERS A,ROELOFS J G M. Sulphate mediated iron limitation and eutrophication in aquatic ecosystems [J]. Aquat Bot,1993,46 :247-253.

[19] WIJK V,De GROOT C C J,GRILLAS P. The effect of anaerobic sediment on the growth of *Potamogeton pectinatus* L The role of organic matter,sulphide and ferrous iron [J]. Aquat Bot,1992,44 :31-49.

[20] ALLEN E D,GORHAM R R. Changes in the submerged macrophyte communities of lake Wabamum as a result of thermal discharge [M]. Alberta :Edmonton Press,1973 :312-314.

[21] WETZEL R G. Limnology [M]. 3th ed. London :Academy Press,2001 :201-208.

[22] VESTERGAARD O,SAND-JENSEN K. Alkalinity and trophic state regulate aquatic plant distribution in Danish lakes [J]. Aquatic Botany,2000,67 :85-107.

[23] 李天杰.上海市区城市化对降水的影响初探 [J]. 水文,1995 (3) :34-41.

[24] 秦伯强,高光,胡维平,等.浅水湖泊生态系统恢复的理论与实践思考 [J]. 湖泊科学,2005,17 (1) :9-16.

[25] SCHEFFER M. Ecology of Shallow Lake [M]. Lelystad :The Netherlands Press,1999 :106-109.

(收稿日期 2007-03-26 编辑 傅伟群)

(上接第 25 页)模糊评判法及其他算法的 BP 网络比较。结果表明,改进的 LM-BP(双极性 S 型)网络应用于水质评价,可避免 BP 网络的自身缺陷,迭代次数少,评价速度快,评价结果也更为客观。

参考文献：

[1] 曹万金.水资源计算、评价、管理 [M]. 南京 :河海大学出版社,1989 :158-174.

[2] 彭文启,张祥伟.现代水环境质量评价理论与方法 [M]. 北京 :化学工业出版社,2005 :32-33,197-209.

[3] 陆书玉,栾胜基,朱坦.环境影响评价 [M]. 北京 :高等教育出版社,2001 :42-52.

[4] CHANG N B,CHEN H W,NING S K. Identification of river water quality using the fuzzy synthetic evaluation approach [J]. Journal of Environmental Management, 2001,63 :293-305.

[5] 方燕,党志良.基于层次分析法的渭河流域水环境质量综合评价 [J]. 水资源与水工程学报,2005,16(1) :45-48.

[6] 赵光影,华德尊.灰色聚类法在地表水环境质量评价中的应用 [J]. 北方环境,2005,30(2) :84-86.

[7] 张海涛,雷晓东,张芳,等.灰色关联度法在盘锦市曙光地区地下水水质评价中的应用 [J]. 世界地质,2005,24 (1) :68-71.

[8] 张立明.人工神经网络的模型及其应用 [M]. 上海 :复旦大学出版社,1993 :34-40.

[9] 阎平凡,张长水.人工神经网络与模拟进化计算 [M]. 北京 :清华大学出版社,2000 :1-10.

[10] RUMELHART D E, HINTON G E, WILLIAMS R J. Learning representations by back-propagating errors [J]. Nature,1986, 323(12) :533-536.

[11] 张昆实,万家云,刘松,等. BP 神经网络在湖泊水质评价中的应用研究 [J]. 长江大学学报,2004,1(2/3) :28-30.

[12] 虞登梅,江晓益.地下水水质评价的人工神经网络方法 [J]. 西安科技学院学报,2003,23(1) :27-29.

[13] 吴凌云. BP 神经网络学习算法的改进及其应用 [J]. 信息技术,2003,27(7) :42-44.

[14] 蒋福兴,田立慧,白国峰.改进的 BP 神经网络在浑河水质评价中的应用 [J]. 辽宁工程技术大学学报,2004,23 (5) :616-617.

[15] 黄志洪,武鹏林.基于 BP 神经网络模型的水质评价方法探讨 [J]. 太原理工大学学报,2005,36(2) :174-176.

[16] 阮仕平,党志良,胡晓寒,等.人工神经网络在综合水质评价中的应用 [J]. 水资源研究,2004,25(2) :21-23.

[17] 王雪光,郭艳兵,齐占庆.激活函数对 BP 网络性能的影响及其仿真研究 [J]. 自动化技术与应用,2002,21 (4) :15-17.

[18] MARTIN T H, HOWARD B D. 神经网络设计 [M]. 戴葵,译.北京 :机械工业出版社,2002 :239-242.

[19] 闻新,周露,李翔,等. MATLAB 神经网络仿真与应用 [M]. 北京 :科学出版社,2003 :281-282.

[20] 贾陈忠,秦巧燕,张竹清,等.模糊数学在地表水环境质量评价中的应用 [J]. 北方环境,2004,29(6) :73-77.

(收稿日期 2007-07-14 编辑 傅伟群)