

城市化进程中水土资源系统耦合配置研究

潘宜, 侣小伟, 金苗, 杨柳

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 在当前城市水土资源供需矛盾日趋尖锐的背景下, 开展水土资源系统耦合研究, 可使区域内系统水资源和土地资源利用实现优化配置。通过建立水土资源系统耦合配置模型, 并运用遗传算法解决多目标求解问题, 对模型进行计算, 最大限度地挖掘资源系统内在的潜力, 实现水土资源可持续利用的发展目标。以西安市浐灞生态区为例进行了实证求解, 得出了水土资源耦合最优结果, 为城市化进程中水土资源系统耦合的配置研究提供依据。

关键词: 城市化; 水土资源; 耦合; 优化配置

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)05-0216-05

中图分类号: F302.4

Optimal Allocation of Water and Land Resource System Coupling in the Process of Urbanization

PAN Yi, SI Xiao-wei, JIN Miao, YANG Liu

(Institute of Water Resources and Hydro-Electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: On the background of the increasing contradiction between supplies and demands of water and land resources, water and land resource system coupling is studied for the optimal allocation of the regional resources. An allocation model of water and land resource system coupling is established and genetic algorithm is used to solve the multi-objective problem. In the calculation of the model established, inherent potential of the resource system is maximally considered so as to achieve the development goals of sustainable utilization of the resources. Finally, the Chanba ecological zone in Xi'an City is taken for an example to make an empirical solution and optimal results of water and land resource coupling are obtained. The study may provide a basis for the research on the allocation of water and land resource system coupling in the process of urbanization.

Keywords: urbanization; water and land resource; coupling; optimal allocation

我国目前正处于城市化发展阶段, 根据国家统计局 2009 年 9 月报告调查显示, 2008 年中国城市化率已由 2000 年的 36.2% 增长为 45.7%^[1]。在城市化迅速发展的过程中, 区域内流动人口增多, 工业化加速发展, 水资源与土地资源用量扩张, 产生了在有限的资源下的两种趋势: 一是资源被片面性粗放利用, 造成资源浪费, 生态环境恶化; 二是资源经过优化配置被有效利用, 促进经济、社会、生态环境各方面的协调发展。

水土资源作为生产和生活要素, 已经成为重要的资产, 水土资源的属性和稀缺性决定了水土资源随着社会不断发展而不断增值, 成为国民经济的重要调控部分。从此情况看, 水资源与土地资源已成为城市发展的核心^[2]。

1 水土资源耦合配置的研究进展

水土资源的天然价值不言而喻, 两者的耦合, 使得城市经济发展、生态环境改善, 社会价值增大。主要体现在城市内河流湖泊水资源大大改善了沿线土地的环境状况, 提高了城市居民的生活环境和生活质量; 改善了周围土地的相对区位条件, 加强了周围土地的相互联系, 提高了土地的互补效应, 使沿线土地成为相互支撑的有机整体, 相邻地块的土地价值联动提高, 相应地吸引更多的投资者进行投资, 促进经济的发展。城市建设和交通的迅速发展, 城市河道两侧经过治理后环境优美, 整洁, 两岸护堤绿化改善城市环境, 减少水土流失, 改善城市空气质量, 提升了两岸地区的土地价格, 使得荒芜地段变成房地产开发的黄金地段。

收稿日期: 2009-12-18

修回日期: 2010-07-29

资助项目: 国家自然科学基金“基于中间件系统服务平台的水资源调度管理模式研究”(50279041)

作者简介: 潘宜(1970—), 女(汉族), 陕西省西安市人, 高级工程师, 博士研究生, 研究方向为水资源管理与水土资源配置。E-mail: xautpan@

163.com.

水土资源的系统耦合优化配置是对区域有限的水资源和土地资源进行生态位和时空上的系统耦合效应增大和景观生态规划设计,以维持土地生态系统的相对平衡,实现水土资源的可持续利用,达到经济、社会和生态综合效益的最优化^[3]。在对资源的耦合研究中,王让会^[4]等根据系统动力学理论的耦合模型,建立了生态用水量估算模型;任继周^[5]等应用系统工程理论和系统动力学理论对荒漠绿洲草地农业系统进行了耦合机制研究并建立了线性规划模型;朱鹤健,何绍福^[6]对农业资源进行了耦合效应研究;对于水土资源的耦合研究多是水资源或者土地资源与环境效应耦合的单方面研究,缺乏科学度量方法。水土耦合的优化配置目标最终应该通过水土资源利用的经济、社会和生态三方面效益来体现,而以往水土资源耦合最多见的是以经济效益为主导性的目标函数,制约着水土耦合模型的科学性和合理性。本文对城市化进程中水土资源耦合优化配置模型研究遵循环境、社会、经济三者效益统一原则。在确保环境可持续发展,取得良好的社会效益下,充分调动研究流域的水土资源优势,实现经济利益最大化。坚持生态区与流域区相互协调发展原则。

2 水土资源系统耦合优化配置

2.1 目标函数的建立

目标函数的确立既要考虑各目标具有可度量性,又要避免各目标之间的相关重复。在各项指标中选取切合水土资源的重要因子作为目标函数,分别对社会价值、经济价值和生态环境3个方面进行耦合模型建立,系统总体发展目标用综合效益最大来衡量,一般形式如下:

$$\begin{cases} Z = \max F(x) = \max\{f_1(x), f_2(x), f_3(x)\} \\ G(x) \leq 0 \\ x \geq 0 \end{cases}$$

式中: x ——决策变量; $F(x)$ ——综合效益系数; $f_1(x), f_2(x), f_3(x)$ ——分别为社会效益、经济效益和生态效益目标; $G(x)$ ——约束条件集。

2.2 社会效益

社会价值描述湿地人类活动强度变化时,认为生态湿地公园处在生态区之内,公园的主要活动人群为生态区和周边的住宅户,随着该生态区的不断完善,吸引生态区之外越来越多的居民和旅游者前来参观游玩,湿地人类活动强度变化逐步增长^[7]。从各水平年水资源度量的角度考虑,可认为缺水量大小和缺水程度直接影响到社会的发展和安定,是社会效益的一个侧面反映。本文研究区为生态湿地公园,因此其用

水量由生态区循环水量来度量,要求生态循环水量必须小于水资源总量。循环水量由湖面蒸发用水量、湖区渗漏水量、湖区绿地灌溉水量、道路喷洒用水量组成。函数如下:

$$F_1(x) = -\min[(Ax \cdot E \cdot 10^{-3} + k \cdot A_{底} \cdot \Delta H) / (L + A_{绿} \cdot q_{灌溉} + A_{道路} \cdot q_{喷洒} - Q)]$$

式中:第1项为湖面蒸发用水量。其中: A ——生态公园面积(m^2); x ——水域面积占公园总面积的比例(%); E ——水面蒸发量(mm)。第2项为湖区渗透水量。其中: k ——渗透系数(m/d); $A_{底}$ ——湖底面积; ΔH ——人工湖水面至地下潜水位的水头差(m); L ——渗透距离(m)。第3项为绿地灌溉用水量。其中: $A_{绿}$ ——绿地面积(m^2); $q_{灌溉}$ ——绿地灌溉定额(m^3/hm^2)。第4项为道路喷洒用水量。其中: $A_{道路}$ ——道路面积(m^2),按规划取道路面积占园地总面积的6.34%; $q_{喷洒}$ ——道路喷洒用水定额 [$m^2/(m^2 \cdot 次)$]。第5项 Q 为研究区水资源总量。

2.3 经济效益

本研究区域为水土资源结合的典型区,因此要充分考虑到水资源和土地资源结合后的经济效益。由于土地用于建筑景观居住小区,故经济效益主要考虑由于水资源的参与而对土地资源价值的提升,最终将其体现在土地价格上^[8],其中也将水资源的建设维护费用考虑进去。

$$F_2(x) = \max[A(1-x) \cdot c \cdot d \cdot P(1 + \frac{x-x}{x}) - Ax F]$$

式中: c ——公园单位面积人口承载力($人/m^2$); d ——人均住房面积; x ——区域内水域面积标准系数; P ——研究区土地面积价格($元/m^2$); F ——研究区水域建设及维护费用;其它符号意义同前。

2.4 生态环境效益

生态环境价值从2个方面进行考虑^[9-10]:各水平年用水体中重要污染物排放量最小和植被覆盖率。

$$F_3(x) = -\min[Ax s_1]$$

$$F_4(x) = \max \frac{A \cdot (1-x) - kA \cdot (1-x)}{A} \times 100\%$$

式中: s_1 ——研究区水体污染物排放量,一般可以用化学需氧量COD、生化需氧量BOD等水质指标来表示(mg/L); k ——湿地公园设计规划中的道路比例;其它符号意义同前。

2.5 约束方程的建立

(1) 生态区水域面积约束: $0 \leq xA \leq A$ 。

(2) 水源供水能力约束: $\sum Q_i \leq Q$ 。

(3) 排水系统的排放量约束: 居民生活污水达标

排放: $s_i \leq S_i$ 。式中: s_i 为用户排放污染物的浓度; S_i 为生活污染物达标排放规定的浓度; 其它符号意义同前。

(4) 非负约束: $x > 0$ 。

3 模型求解

本文把多目标遗传算法引入到耦合模型中来, 利用遗传算法的内在并行机制及其全局优化的特性, 提出基于多目标遗传算法的水土资源耦合配置方法。遗传算法的主要特点是大规模计算和并行搜索, 它是对整个群体进行进化运算操作, 且着眼于个体的集合。由于耦合是多目标优化问题, 往往需要的是整体最优, 而不是单个最优, 所以需要求出一组可选的解决方案, 这样的一组解决方案是非受控的解决方案集合, 称为 Pareto 集, 而遗传算法是求解这种集合的有效手段, 将其引入到耦合模型求解中, 可在求解过程中产生一组 Pareto 解, 进而寻得耦合最优解^[11-13]。

3.1 遗传算法的具体实现

遗传操作过程为一个优胜劣汰的过程。具体求解步骤如下:

(1) 对决策变量进行编码。

(2) 生成初始种群, 解码后代入各子目标函数中计算出函数值, 应用上述的子目标排序方法计算出适应度, 根据适应度大小判断是否满足条件。如果不满足条件, 重新进行种群选择。如果满足条件, 则为我们所需的解集。

(3) 根据遗传算法, 由原来的种群通过选择、交叉、变异等步骤生成新的种群。然后计算新的种群的适应度大小, 根据适应度大小判断是否满足条件。如果不满足条件, 则需要我们进一步生成新的种群; 如果满足条件, 则为我们所需的解集。

3.2 遗传算法的实现过程

3.2.1 初始化编码 根据约束条件随机选择解空间中的解数据作为遗传算法的表现形式, 从表现型到基因型的映射称为编码, 个体一般采用二进制染色体编码的形式, 二进制串的长度取决于变量所要求的精度, 这里也可以采用浮点编码。

3.2.2 适应度确定 适应度函数是由目标函数变换而成的, 而个体是通过适应度来比较优劣的。遗传算法在进行搜索中基本不利用外部信息, 仅以适应度函数为依据, 利用种群中每个个体的适应度值来进行搜索。相对于传统的方法, 多目标遗传算法能够在一次运行中获得问题的近似 Pareto 最优解集。基于排序计算适应度的方法只取决于多目标的本身, 故可采用将种群中所有个体对不同目标函数的优劣进行排序,

从而来计算总的适应度。

用 Z_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) 表示目标函数, n 为目标个数; 对于每一个目标 i , 所有个体都会依据对该目标的函数值优劣生成一个可行解的排序序列 x_i 。对每一个目标都排序后, 可以得到个体对全部目标函数的总体表现。根据个体的排序计算其适应度:

$$F_i(X_j) = \begin{cases} [N - Y_i(X_j)]^2 & [Y_i(X_j) > 1] \\ kN^2 & [Y_i(X_j) = 1] \end{cases}$$

$$F(X_j) = \sum_{i=1}^n F_i(X_j) \quad j=1, 2, \dots, n$$

式中: n ——目标函数总数; N ——个体总数; X_j ——种群的第 j 个个体; Y_i ——在种群所有个体中对目标 i 的优劣排序后所得的序号; $F_i(X_j)$ —— X_j 对目标 i 所得的适应度; $\sum_{i=1}^n F_i(X_j)$ —— X_j 对全部目标所得的综合适应度; k ——(1, 2)区间的常数, 加大个体的函数值表现最优时的适应度。

由上式可以看出, 对于总体表现较优的个体能得到更大的适应度, 获得更多的参与进化的机会。在这个基础上, 我们就可以把本文中提出的 4 个目标函数归结到一个总的适应度函数中去了。

3.2.3 最优保存策略 第一代进化产生的 n 个解作为 pareto 解集保存, 其个数由多目标问题的特性和需要的 pareto 解数量要求而定, 对于每一代进化问题所产生的的最好的一系列解与原有的劣解比较, 用所产生的更好的解代替原有的劣解, 这样计算结束时得到的就是算法中产生的最好 pareto 解。具体操作步骤为: (1) 首先计算当前种群中个体的适应度, 并找出适应度最大和最小的个体; (2) 对种群中除去适应度最大的 n 个个体之外的其它个体进行交叉和变异操作, 然后计算新种群的适应度值, 找出 n 个适应度最小的个体; (3) 用预先保留的 n 个个体替换遗传操作后的适应度小的 n 个个体并形成新的种群。一般设置每次保留适应度值最大的 5 个个体。

4 模型应用

以西安市沪灞生态区广运潭生态公园为研究实例, 按上述模型进行水土资源耦合。研究区广运潭生态公园的规划面积为 $6.57 \times 10^6 \text{ m}^2$; 水面蒸发能力采用《陕西省水资源评价》的蒸发折算系数计算, 风景区多年平均水面蒸发量(蒸发能力)为 982.9 mm ; 湖区渗透损失渗漏损失量为湖底渗漏和岸边侧向渗漏损失的水量, 因侧向渗漏损失水量较小, 不予考虑, 取 0.01 m/d ; 广运潭风景区人工湖设计湖水水深 1.5 m , 湖岸边坡约 40° 左右, 岸边较陡, 湖底面积采用水面总面积 A (m^2); 人工湖水面至地下潜水位水头差

ΔH 为 15.0 m, 渗透距离 L 为 13.5 m, $\Delta H/L$ 近似取 1; 绿地面积为公园总面积减去公园水域和道路面积, $A_{\text{绿地}} = A - A_x - A_{q\text{道}}$, $q_{\text{道}}$ 按规划取 6.34%; 绿地灌溉定额: 根据陕西省政府批准的《陕西省行业用水定额》, 关中南部人工草地灌溉定额和城市绿地灌溉定额综合后, 25% 代表年为 $2.33 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 50% 代表年为 $7.33 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 75% 和 95% 代表年均均为 $12 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 本文选择 50% 代表年计算; 道路喷洒定额: 根据《陕西省行业用水定额》关中南部道路喷洒用水定额为 $2.01 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{次})$, 平均按每天喷洒 1 次; 研究区规划人数: 灞河生态区规划期限为 2005—2020 年, 规划在灞河生态区设定一个相对宽松的人口密度指标, 控制在 $4\ 200 \text{ 人}/\text{km}^2$ 左右, 则在规划末期规划区总人口约在 55 万人左右; 研究区用水定额: 结合灞河生态区的水资源状况和生活水平, 规划期限内人均综合生活用水量指标按 2% 的速率递增, 2005 年人均综合生活用水量为 $150 \sim 170 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$; 根据广运潭生态区设计规划查出, 其公园中道路占地比例为 6.34%; 灞河流域地表水资源量 $6.88 \times 10^8 \text{ m}^3$, 地下水资源量 $2.85 \times 10^8 \text{ m}^3$, 地表水和地下水重复计算量 $1.88 \times 10^8 \text{ m}^3$, 水资源总量 $7.84 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

研究区土地面积价格 P : 土地价格受到很多因素的影响, 诸如供求比例, 经济发展, 居民收入变动情况, 居民的居住水平和居住结构情况等。而这些因素使得土地价格不会保持一个恒定不变的数值, 就研究区现状来说, 灞河生态区居住房的平均价格为 $4\ 000 \text{ 元}/\text{m}^2$ 。

公园单位面积人口承载力 C : 公园单位面积人口承载力为人均生态绿地的倒数, 根据灞河生态规划规定人均生态绿地为 $47.25 \text{ m}^2/\text{人}$ 。

研究区水域建设及维护费用 F : 根据西安市规划区内物业管理服务收费标准(政府定价项目), 物业维修保养费按 $0.4 \sim 0.8 \text{ 元}/(\text{月} \cdot \text{m}^2)$ 。

根据上述水土资源耦合配置模型, 使用 matlab 语言编制基于遗传算法的模型求解程序, 输入已知数据和各项参数, 运行程序, 可得出配比结果如下:

(1) 水域面积占总面积的 34.5% 时, 社会、经济、生态效益最大。

(2) 湿地人类活动强度变化: 因为广运潭湿地公园处在灞河生态区之内, 公园的主要活动人群为灞河生态区和周边的住宅户, 于此同时随着该生态区的不断完善, 会吸引生态区之外越来越多的居民和旅游者前来参观游玩, 因此其湿地人类活动强度变化是逐步增长的。

(3) 植被覆盖率: 根据广运潭生态区设计规划中道路占陆地比例的 6.34%, 以及水域面积占总面积比例为 34.5%, 得出植被的覆盖率为 59.16%。

5 结论

由表 1 比较可以看出, 模型配比值与规划值基本相符, 说明了本次水土资源优化配置的合理性。

广运潭生态区多目标优化模型最终的水土优化面积配比为水域面积占生态区总面积的 34.5% 时, 项目区的经济、生态、社会效益最大。根据此比例, 又分别得出湿地人类活动强度变化、绿地覆盖率、湖区水质状况等结果, 现将这几个配比值与规划值做一比较, 看配比是否合理。研究区的水质特征结果见表 2; 区域水质标准评价标准采用《景观娱乐用水水质标准》(GB12941-91)。根据广运潭风景区人工湖用水水体功能, 本次采用景观娱乐用水 B 类水质标准。

表 1 水土优化配置模型结果分析

水域面积比例 / %		绿地覆盖率 / %		评价结果	
规划值	计算值	规划值	计算值	湖区水质	湿地人类活动强度变化
32.3	34.5	59.37	59.16	水质质量尚好	增长

表 2 马渡王站水质特征值统计结果

特征值	水温/ $^{\circ}\text{C}$	pH 值	污染物排放量/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$							
			溶解氧	氨氮	亚硝酸盐氮	高锰酸盐指数	生化需氧量	挥发酚	铜	锌
多年平均	12.4	7.8	7.8	0.37	0.050	3.8	1.0	—	—	0.030
历年最大	24.2	8.5	16.0	1.94	0.085	40.5	4.1	0.013	—	0.100
历年最小	1.2	7.0	0.3	0.05	0.017	0.7	0.1	0.002	—	0.012
总测次	40	40	40	40	40	40	40	40	6	10
满足标准测次		40	37	33	40	35	39	39	6	10
合格率/ %		100	92.5	82.5	100	87.5	97.5	97.5	100	100

将表 2 与景观娱乐用水 B 类水质标准进行对比分析,可以看出,选用的 10 项水质指标,其中 7 项的合格率在 92.5% 以上,高锰酸盐指数和氨氮的合格率也分别达到 87.5% 和 82.5%,说明该断面水质综合质量尚好,可以满足风景区用水水质要求。超标率相对较高的高锰酸盐指数和氨氮 2 项有机污染参数,达标率将随城市污水处理力度的加大而得到提高。

西安市浐灞河生态区是西安市近期改善生态环境和提高生活质量的重点建设项目,集人居与生态景观协调,生态湿地保护,河道景观,动态旅游,游览观光等为一体,将生态区的水资源和土地资源合理配置,寻求水土资源的最佳利用效益,使得“地尽其力,水尽其用”。通过合理的土地分配利用,将浐灞河生态区成功建设成以滨水生态住宅及旅游度假产业为主,综合现代商贸、会展、物流、教育及科技产业的生态型滨水城市副中心。

[参 考 文 献]

- [1] 中国城市蓝皮书[M]. 北京: 2009.
 [2] 孙靖陶, 解建仓. 城市化过程中水土资源的价值转换相关性研究[J]. 水利科技与经济, 2008, 14(3): 14-18.
 [3] 郑重, 张凤荣. 系统耦合效应与水土资源优化配置的诠释[J]. 石河子大学学报, 2008, 8(8): 415-417.
 [4] 王让会, 于谦龙, 李凤英, 等. 基于生态水文学的新疆绿

洲生态用水若干问题[J]. 水土保持通报, 2005, 25(5): 101-104.

- [5] 任继周, 朱兴运, 王宁, 等. 荒漠—绿洲草地农业系统的耦合与模型[J]. 草业学报, 1995, 6(1): 11-19.
 [6] 朱鹤健, 何绍福. 农业资源开发中的耦合效应[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 583-588.
 [7] 徐建新, 商崇菊, 高峰, 等. 基于可持续发展的水资源优化配置模型研究与应用[J]. 海河水利, 2006(1): 40-43.
 [8] 马斌, 解建仓, 汪妮, 等. 多水源引水灌区水资源调配模型及应用[J]. 水利学报, 2001, 32(9): 59-63.
 [9] Ying Gao, Lei Shi, Pingjing Yao. Study on multi-objective genetic algorithm[C] // Proceedings of the 3th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2000.
 [10] Frank Messner, Oliver Zwirner, Matthias Karkuschke. Participation in multi-criteria decision support for the resolution of a water allocation problem in the Spree River basin[J]. Land Use Policy, 2006, 23(1): 63-75.
 [11] 游进军, 纪昌明, 付湘. 基于遗传算法的多目标问题求解方法[J]. 水利学报, 2003, 34(7): 64-69.
 [12] 杨子晨, 孟波, 熊德林, 等. 基于多目标遗传算法求解多边谈判问题的 Pareto 解[J]. 计算机工程与应用, 2002(1): 39-41.
 [13] 陈南祥, 李跃鹏, 徐晨光. 基于多目标遗传算法的水资源优化配置[J]. 水利学报, 2006, 37(3): 308-313.

(上接第 181 页)

(3) 巢湖水环境时空演变与其特殊的地理环境有密不可分的关系。巢湖是流域内水系的总汇入,而出水口又为人工调节所限制,当然流域内人类活动更是造成水环境污染的直接原因。总体上与丰富的外源汇入加剧水环境压力、持续的内源释放加重富营养化程度、适宜的生长环境等因素有关。

(4) 理清巢湖水环境时空分布特征,如何合理有效地利用取得的时空分布特征去制定巢湖水环境的高效治理将是后续研究的方向,探究从流域角度出发,实施流域生态管理,实现治理管理一体化将是努力的目标。

[参 考 文 献]

- [1] Pauer J J, Anstead A. The lake michigan eutrophication model, LM3—Eutro: model development and calibration[J]. Water Environment Research, 2008, 80(9): 853-861.
 [2] 程炯, 王继增, 刘平, 等. 珠江三角洲地区水环境问题及其对策[J]. 水土保持通报, 2006, 26(2): 91-93.
 [3] 余波, 张斌, 黄正文, 等. 苍溪县工业园水环境评价及污

染防治对策[J]. 水土保持通报, 2008, 28(5): 172-175.

- [4] 陈亚萍, 康永祥. 渭河干流陕西段水体中 COD_{Mn} , $\text{NH}_3\text{-N}$ 的时空变化特征[J]. 水土保持通报, 2006, 26(4): 48-51.
 [5] 周慧平, 高超. 巢湖流域非点源磷流失关键源区识别[J]. 环境科学, 2008, 29(10): 2696-2702.
 [6] 梁宵, 殷福才, 孙世群, 等. 基于人工神经网络的巢湖营养化时分分区评价[J]. 中国环境监测, 2007, 23(3): 74-77.
 [7] 曹德菊, 岳永德, 黄祥明. 巢湖水体 Pb, Cu, Fe 污染的环境质量评价[J]. 中国环境科学, 2004, 24(4): 509-512.
 [8] 高光, 秦伯强, 朱产伟, 等. 太湖梅梁湾中碱性磷酸酶的活性及其与藻类生长的关系[J]. 湖泊科学, 2004, 16(3): 245-251.
 [9] 樊明怀, 周云峰. 巢湖流域水环境综合治理对策[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(16): 6911-6912.
 [10] 吴晓东, 孔繁翔. 太湖与巢湖水华蓝藻越冬和春季复苏的比较研究[J]. 环境科学, 2008, 29(5): 1313-1318.
 [11] 王大齐, 胡恩金. 巢湖生态系统之优化[J]. 中国环境科学, 1994, 14(3): 177-181.