

文章编号: 1004-8227(2009)03-0275-06

# 南水北调中线水源地汉江上游流域 主要生态环境问题及对策

李思悦<sup>1,2</sup>, 刘文治<sup>1,2</sup>, 顾 胜<sup>1,2</sup>, 韩鸿印<sup>3</sup>, 张全发<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院武汉植物园水生植物与流域生态实验室, 湖北 武汉 430074; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;  
3. 中国地质大学武汉生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:** 汉江上游是南水北调中线水源地, 流域生态环境建设是保障水源地水质安全的关键。针对上游流域水环境污染、土地利用以及水土流失等重大生态环境问题, 结合流域数字高程模型及水质调查对其进行了系统分析。结果表明: (1) 丹江流域、库区流域及汉中盆地水质较差,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和氨氮成为水源区主要污染物; (2) 各子流域区植被覆盖占各自面积的 71.2% ~ 95.7%, 表明流域植被覆盖较好, 但沿河岸 100 m 范围内农业用地占 29.2% ~ 43.4%, 且多为坡耕地; (3) 流域水土流失严重, 2000 年左右流域侵蚀图显示汉江源头、秦岭南及大巴山北均出现了大片年均侵蚀模数  $> 2\,200\text{ t/km}^2$  的区域, 且有日益增强的趋势。提出加大水环境污染整治力度、加强农业用肥管理及河岸带建设、水土保持建设以及加强流域水环境及水土保持监测和科研工作等对策。

**关键词:** 南水北调中线; 汉江上游流域; 生态问题

**文献标识码:** A

我国水资源人均拥有量仅为世界平均水平的 1/4, 此外, 分布的极不均衡及一系列的生态环境问题导致华北和西北地区的严重缺水<sup>[1]</sup>。我国政府于 2000 年开始实施南水北调工程(西线、中线和东线)。中线工程从汉江的丹江口水库引水至华北, 是实施我国水资源优化配置, 缓解北方, 尤其是京、津、冀地区水资源短缺及改善生态环境的重大战略工程<sup>[2]</sup>。因此, 作为库区水源的汉江上游流域水环境污染、水土流失及人类活动引起的土地不合理利用等对工程的安全运行与否至关重要。

随着近年来点源及非点源污染剧增<sup>[3]</sup>, 汉江已成为长江流域氮污染最严重的支流之一<sup>[4]</sup>, 微量元素已对工程渠首的丹江口水库水质安全构成威胁<sup>[5]</sup>。此外流域内土地资源稀缺, 水土流失严重, 经济发展滞后。此次由工程引起的丹江口水库大坝的加高将使河谷平原的耕地损失殆尽<sup>[6]</sup>, 将迁移约 25 万人口, 其中农业人口占 94.8%, 他们中的大多数将迁往更偏远的山区, 这将产生一系列的生态环境问题。清洁的水源是南水北调中线工程可持续利用

最基本的保障条件, 水源区的生态环境必须得到较大的改善。因此开展水源区主要生态环境问题及其保护研究尤为重要。本文就流域内水环境污染、土地利用、水土流失等重大问题进行研究。

## 1 研究区概况

汉江是长江中游最大的支流, 发源于秦巴山地的宁强县, 在汉口汇入长江。其干流全长 1 577 km, 流域面积约为  $1.59 \times 10^5\text{ km}^2$ <sup>[7,8]</sup>。其中丹江口以上为汉江上游(图 1,  $31^\circ 20' \sim 34^\circ 10' \text{ N}$ ,  $106^\circ \sim 112^\circ \text{ E}$ ; 210 ~ 3 500 m a. s. l), 流域跨越陕西、四川、湖北、河南、重庆 5 省市, 长 925 km, 流域面积  $95\,200\text{ km}^2$ <sup>[8]</sup>。研究区域位于秦岭山脉和大巴山脉之间, 属我国北亚热带季风区, 年均气温 12 ~ 16℃, 年均降雨量约 700 ~ 1 800 mm, 最大与最小比值为 1.8 ~ 3.5, 其中 5 ~ 10 月占全年降雨量的 80%<sup>[7]</sup>。丹江口水库以上的汉江上游年径流量约  $41.1 \times 10^9\text{ m}^3$ , 其年内分布与降水相似, 年际差异较大, 可达 4 倍<sup>[7,9]</sup>。

收稿日期: 2008-02-19; 修回日期: 2008-04-16

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAC10B02); 中国科学院“百人计划”项目(0629221C01)

作者简介: 李思悦(1978~), 男, 湖北省监利人, 博士研究生, 主要研究方向为流域生态学、水环境以及水文地球化学。

E-mail: lisiyue@wbgeas.cn

\* 通讯作者 E-mail: qzhang@wbgeas.cn

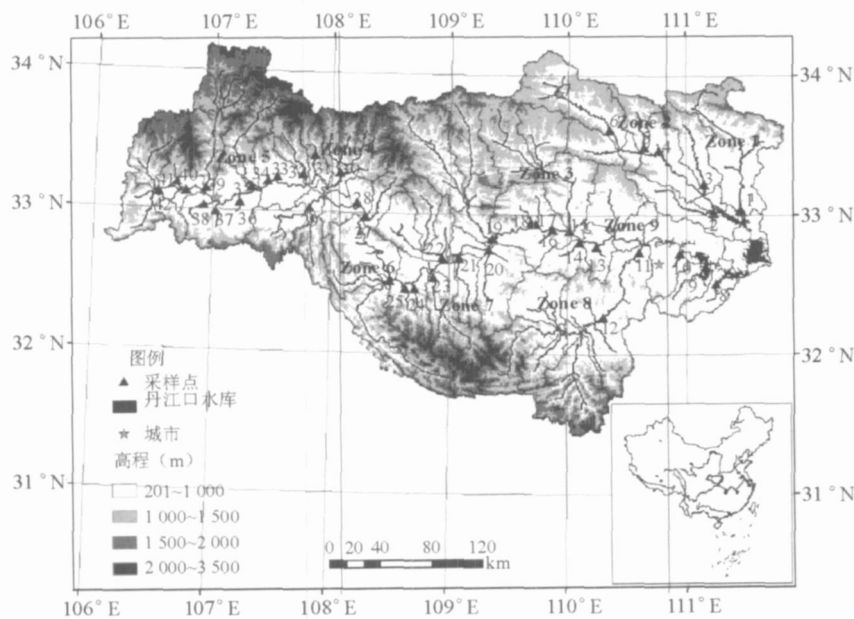


图 1 汉江流域 DEM 图及采样位置图(带圆圈标志为细致研究区域)

Fig. 1 Sampling Sites Including Planning Sites in the Upper Han River Basin, China

区域内主要地带性植被是落叶、常绿阔叶混交林,山地垂直带谱为落叶阔叶林—黄褐土、黄棕壤景观<sup>[10]</sup>。山地植被垂直分异显著。秦岭南坡有典型的亚热带北缘山地植被垂直带谱,从下到上依次为含常绿树的落叶杂木林带、落叶栎林带、桦木林带、针叶林带、高山灌丛草甸带。大巴山北坡的基带植被为常绿落叶阔叶混交林,常绿成分较之秦岭南坡更加丰富<sup>[11]</sup>。农业主要为一年稻、麦两熟,还有棉花、油菜、玉米、花生、芝麻和豆类,以及经济林木漆树、油茶、油桐、油橄榄、桑、柑桔和茶<sup>[10,11]</sup>。

区域内主要的地貌单元包括部分秦岭南坡、伏

牛山南坡、米仓山北坡、大巴山北坡、神农架北及其间的盆地、低山丘陵,以及东侧的部分南阳盆地及周边山地<sup>[11]</sup>。区域地带性土壤主要有黄棕壤、山地棕壤和暗棕壤等,非地带性土壤有水稻土、新积土、潮土、砂姜黑土、石灰土、紫灰土和石质土等<sup>[10]</sup>。

2 研究数据及方法

2.1 水环境化学

2006 年 10 月对汉江上游流域进行了系统的取样分析(图 1,表 1),点位选取时考虑了流域地质、人

表 1 汉江上游监测点位表

Tab. 1 Location of Sampling Sites in the Upper Han River Basin

| 点位名称     | 序号 | 纬度        | 经度         | 点位名称 | 序号 | 纬度         | 经度         |
|----------|----|-----------|------------|------|----|------------|------------|
| 老灌河      | 1  | 33°09.792 | 111°27.704 | 月河   | 22 | 32°40.995  | 108°57.014 |
| 滔河       | 2  | 33°00.786 | 111°15.791 | 岚河   | 23 | 32°32.140  | 108°52.545 |
| 淇河       | 3  | 33°14.473 | 111°09.830 | 大道河  | 24 | 32°28.928  | 108°41.735 |
| 清油河      | 4  | 33°33.328 | 110°44.596 | 洞河   | 25 | 32°28.200  | 108°38.150 |
| 武关河      | 5  | 33°35.374 | 110°38.242 | 任河   | 26 | 32°31.174  | 108°30.153 |
| 丹江河      | 6  | 33°46.317 | 110°06.853 | 池河   | 27 | 32°57.822  | 108°18.881 |
| 南秦河      | 7  | 33°51.839 | 109°52.999 | 饶丰河  | 28 | 33°04.101  | 108°13.304 |
| 浪河       | 8  | 32°25.144 | 111°15.199 | 牧马河  | 29 | 32°58.563  | 107°42.202 |
| 官山河      | 9  | 32°31.891 | 110°58.903 | 子午河  | 30 | 33°19.732  | 108°02.368 |
| 泗水河      | 10 | 32°37.020 | 110°53.019 | 金水河  | 31 | 33°25.887  | 107°51.390 |
| 黄龙滩水库下   | 11 | 32°41.237 | 110°33.068 | 酉水河  | 32 | 33°15.802  | 107°43.681 |
| 堵河       | 12 | 32°14.028 | 110°14.039 | 党水河  | 33 | 33°13.533  | 107°31.869 |
| 将军河      | 13 | 32°45.918 | 110°15.331 | 溢水河  | 34 | 33°12.641  | 107°28.487 |
| 白石河      | 14 | 32°48.378 | 110°06.479 | 胥水河  | 35 | 33°09.447  | 107°22.127 |
| 夹河       | 15 | 32°52.774 | 110°01.101 | 南沙河  | 36 | 33°03.016  | 107°13.936 |
| 冷水河(白河县) | 16 | 32°53.870 | 109°52.826 | 冷水河  | 37 | 33°00.492  | 107°01.130 |
| 仙河       | 17 | 32°55.885 | 109°43.954 | 濂水河  | 38 | 33°01.735  | 106°55.581 |
| 蜀河       | 18 | 32°56.427 | 109°41.907 | 褒河   | 39 | 33°08.182  | 106°55.651 |
| 洵河       | 19 | 32°44.444 | 109°20.470 | 黄沙河  | 40 | 33°09.469  | 106°46.905 |
| 坝河       | 20 | 32°45.039 | 109°20.421 | 堰河   | 41 | 33°09.236  | 106°42.786 |
| 黄洋河      | 21 | 32°41.041 | 109°05.181 | 沮水   | 42 | 33°007.518 | 106°32.547 |

类活动等因素。用 YSI6920 现场测定水面下 10 cm 水质的物理化学指标, 本研究选取的指标为 pH、DO、COD<sub>Mn</sub>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N(图 2)。

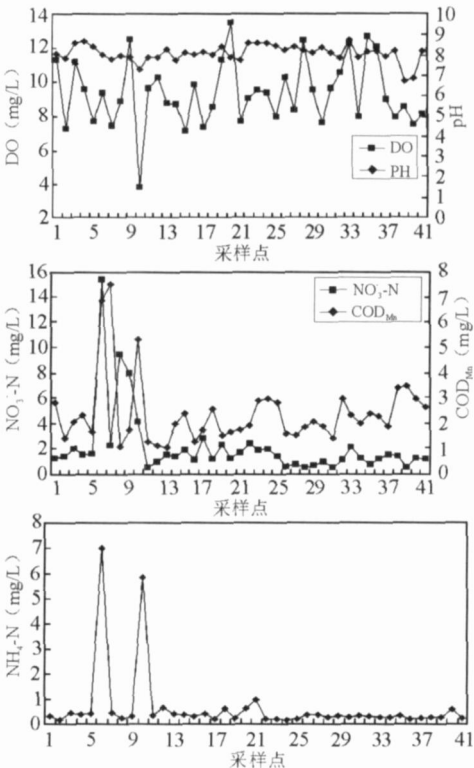


图 2 汉江上游流域水质变化图  
Fig.2 Water Quality Variables in the Upper Han River Basin

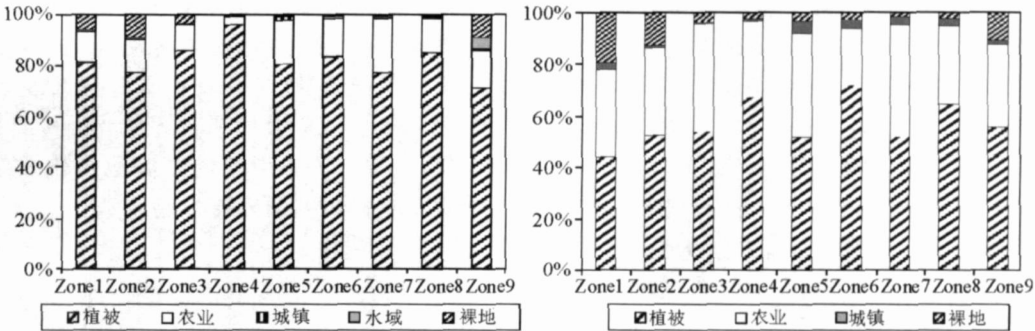


图 3 汉江上游子流域尺度(a)及 100 m 河岸带尺度(b)土地利用/土地覆盖组成  
Fig. 3 Whole Catchment (a) and 100 m Buffer Zone (b) LULC Composition in the 9 Subwatersheds of the Upper Han River Basin

红壤丘陵区并参照土壤侵蚀强度分级标准, 利用 ARCGIS 8.3 进行坡度和 LULC 的联合分析, 对照土壤侵蚀标准确定流域的水土流失状况(图 4)。

3 主要生态环境问题分析

3.1 水环境污染

图 2 显示 pH、DO 较小值出现在库区流域及流

2.2 土地利用/土地覆盖(LULC)格局

采用 2000 年前后(1998~2002 年)的 Landsat TM 影像, 选择植被外貌差别较大的春、秋时相的影像以便识别和解译, 解译过程及数据精度评价等信息见文献[11]。沈泽昊等<sup>[11]</sup>综合考虑中国国土资源部的最新土地利用分类系统和美国联邦 LULC 分类系统以及区域环境特征、影像质量和时相组合, 将区域土地利用类型分为 14 类。本研究主要讨论流域内土地利用的合理性, 按照人类活动及土地退化程度从子流域尺度及河岸带尺度探讨 LULC 的格局, 将土地利用类型合并为 5 类: (1) 植被覆盖土地利用类型, (2) 农业用地, (3) 城镇, (4) 水域, (5) 裸地(图 3)。根据流域地貌、地形、子流域区水质功能并考虑人类活动程度将研究区域分为老灌河流域(Zone 1)、丹江流域(Zone 2)、秦岭南(Zone 3)、子午河流域(Zone 4)、汉中盆地(Zone 5)、大巴山北(Zone 6)、安康盆地(Zone 7)、堵河流域(Zone 8)以及丹江口库区流域(Zone 9)(图 1)。

2.3 坡度及水土流失

利用 DEM 数据生成流域的坡度信息, 然后进行信息提取。坡度划分依据我国的土壤侵蚀分级分类标准 SL190-96 中的面蚀分级指标<sup>[12]</sup>。将研究区划分为 0°~8°、8°~15°、15°~25°及>25°4 个类型, 把汉江流域归为水利侵蚀为主类型区中的南方

域最上游的汉中盆地, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 COD<sub>Mn</sub> 的较大值出现在丹江流域、库区流域(十堰)及汉中盆地, 其中 COD<sub>Mn</sub> 在库区流域出现了超Ⅲ类水限值。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的峰值出现在丹江流域, 库区流域(十堰)出现第二峰值, 达到国家劣 V 类水质标准, 在安康及汉中盆地都出现了超Ⅱ类水现象。COD<sub>Mn</sub> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 已危及流域水质安全。

总体来讲, 流域水质能达到国家地表水环境Ⅱ

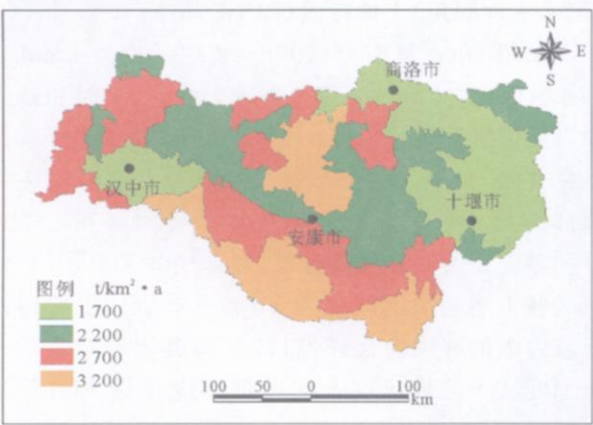


图 4 汉江上游流域面蚀强度图  
Fig.4 Soil Surface Erosion Index of  
the Upper Han River Basin

类水质标准。但不可忽视的是流域年接纳废水量与由人类活动引起的非点源污染逐年增长, 排入汉江上游的工业废水由 2000 年的  $0.61 \times 10^9$  t 预计增至 2010 年的  $1.01 \times 10^9$  t, 处理率仅为 40%<sup>[13, 14]</sup>。汉江上游的作坊式小矿业产生的大量有毒重金属物质对水质安全也构成了严重威胁, 水源区夹河的总汞、总铅、总镉等重金属元素已超 V 类水<sup>[15]</sup>。如果不采取有效措施, 汉江干流水质将达不到国家 II 类水质要求<sup>[16]</sup>。工程渠首的丹江口水库年接纳工业废水及生活污水  $0.12 \times 10^9$  m<sup>3</sup>, 2010 年将达到  $0.3 \times 10^9$  m<sup>3</sup><sup>[13, 14, 17]</sup>。目前 COD 和氨氮已危及水库水质安全<sup>[17]</sup>, 更为严重的是有毒重金属元素 As、Pb、Sb、Se、Cd、Hg 已对库区水质安全构成威胁<sup>[15]</sup>。

中线工程引起的大坝扩建将导致有限土地资源的过度开发, 同时也将增加水体中的营养物质。此外, 大坝的加高还将引起水库水文情势, 即流速、流态的改变, 并相应产生水质、水温的结构变化; 库区支流的严重污染将使水位抬高后局部支流库湾的水质富营养化加重。

3.2 河岸带开垦程度高

研究区域 LULC 组成见图 3。子流域尺度的植被覆盖的土地类型占各自面积的 71.2%~95.7%, 表明流域植被覆盖整体较好。但是 100 m 河岸带土地利用组成表明农业用地占 29.2%~43.4%, 说明河岸带缓冲区的开垦力度较大。而在一个流域内, 位于水陆交错地带的河岸带的生态过程控制着流域内物质从山地向河流的流动, 能吸收或转化废水或地下水中所夹带的大量泥沙、N、P 等化学物质<sup>[18]</sup>。同样, 河岸植被对控制工业地区的水污染, 以及对草原、农业地区因放牧和施肥引起的河水富

营养化也有极为重要的作用。因此河岸带的开发易引起河水颗粒物及营养物质浓度的升高。

此外, 研究区域内农业用地多为坡耕地, 且大于 25°的坡耕地占 6.5%<sup>[11]</sup>, 这些耕地是违背水源区退耕还林还草要求的。

3.3 水土流失严重

2000 年左右流域侵蚀图(图 4)显示汉江源头(Zone 5)、秦岭南(Zone 3)及大巴山北(Zone 7)均出现了大片年均侵蚀模数 > 2700 t/km<sup>2</sup>·a 的区域, 属于中强度侵蚀。只有丹江口水库和汉中盆地的局部区域侵蚀模数 < 1700 t/km<sup>2</sup>·a。和前人的研究结果相比可以发现流域水土流失有增强的趋势(表 2), 当然有些区域可能由于只考虑地形、坡度及植被覆盖度估算水土流失的偏差。

表 2 汉江上游流域各区水土流失情况<sup>[15, 20, 22]</sup>

| Tab.2 Water and Soil Erosion in the Upper Han River Basin |                            |                                |                 |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------|
| 区域                                                        | 流失面积<br>(km <sup>2</sup> ) | 侵蚀模数<br>(t/km <sup>2</sup> ·a) | 中强度侵蚀<br>占比例(%) |
| 十堰                                                        | 14 400                     |                                | 54.4            |
| 河南                                                        | 3 369                      | 2 938                          | 53.9(含中度)       |
| 陕西秦巴高山区                                                   | 10 400                     | 200~1 000                      |                 |
| 陕西秦巴低山丘陵区                                                 | 24 400                     | 500~1 000                      |                 |

已有研究表明面积占长江流域 4% 的陕西秦巴山区年输沙为 1.2 亿 t, 占长江总输沙量的 12%<sup>[19]</sup>; 上游个别地方水土流失模数最高达 5 000 t/km<sup>2</sup>·a<sup>[20]</sup>。除不可避免的人类活动外, 陕西汉江谷地及河南的气候变化<sup>[21]</sup> 以及水文过程改变引起的暴雨频次和年暴雨总量的增加也将增加水土流失程度。因此, 由水土流失引起的土壤贫瘠化及对水体营养物质及有机质的输入将日趋严重。

4 对策

生活贫困、经济落后及人口增长等社会、经济因素是流域生态环境恶化的主要驱动力。在流域保护过程中, 应将湖/库-河流-流域视为一个综合“社会-经济-自然”的复合生态系统, 通过系统学的观点, 协调和处理好生态环境保护及治理、区域经济发展与社会稳定、人民生活水平提高之间的关系, 从而实现经济、社会的可持续发展。为此, 根据流域水环境污染、土地利用不合理及水土流失严重等重大生态环境问题, 提出下述对策。

4.1 加大水环境污染整治力度

参照“丹江口库区及上游水污染防治和水土保

持规划”的近期及远期的水污染防治项目, 修建污水处理厂、垃圾处理厂、工业点源治理项目以及生态农业示范区; 特别是完善水源地安全保障区库区流域的污染治理设施, 实施污水处理达标工程, 而对有毒重金属物质要提高排放标准。由于各地区经济发展不平衡, 则应探索区域性生态环境管理新思路, 如以经济手段来保护水环境, 完善排污费(税)征收制度、分不同区域实行排污权交易制度及生态环境补偿机制等。对作为流域农村经济主导产业的黄姜, 在加工环节采用清洁生产工艺, 其废水处理可采用预处理—厌氧处理—好氧处理—深度处理的环保节能型工艺技术路线。在此前提下, 综合考虑点源和非点源、水质和水量等问题, 解决人类活动对流域水环境的累积和叠加效应, 确保水质满足工程调水要求。

随着上游经济的发展及小城镇建设的进展, 城镇径流引起的非点源污染不容小视, 应加强污水管网收集系统建设, 对于暴雨径流可以考虑滞留塘、林荫道路及湿地相结合的策略。

#### 4.2 加强农业用肥管理及河岸带建设

研究区域内农田大多集中在河岸带, 在我国农村贫困地区化肥施用量 2003 年为  $412.4 \text{ kg/hm}^2$ , 远远超出发达国家  $225 \text{ kg/hm}^2$  的安全上限, 1999 年农药使用量为  $14 \text{ kg/hm}^2$ 。我国化肥及农药利用率仅 30% 左右<sup>[23]</sup>。大量的 N、P 及农药随农田排水及径流进入河流, 引起水质恶化。因此应推广测土配方施肥、叶面施肥、分次施肥、定点施肥等方法, 针对不同土壤和作物计算农业用地吸收肥料的阈值, 加强农业用肥管理。

河岸带位于水陆交错带, 其对化学物质的吸收和转化能力对保护河流水质尤为重要。研究表明在农业区域, 农田与河流间 50 m 宽的沿岸森林带能减少进入河流 89% 的 N 和 80% 的  $\text{P}^{[18]}$ 。研究区域内农业用地主要集中在 100 m 河岸缓冲带, 除  $> 25^\circ$  以上的坡地将被强制退耕还林(草)外,  $< 25^\circ$  坡地应进行坡改梯工程。结合上游流域降雨陡且急特点, 从坡顶至坡脚土地利用设置为林地—坡耕地—乔、灌、草相结合的景观结构<sup>[24]</sup>, 这样有利于土壤中养分保持, 同时可以减少水土流失。

#### 4.3 加强水土保持建设

对流域  $25^\circ$  以上坡耕地实施退耕还林, 对水土流失重点区, 特别是作为水源涵养生态建设区的汉中, 应开展以退耕还林和植树造林为主要内容的流域生态恢复与重建活动, 以达到控制土壤侵蚀、涵养水源、缩小丰枯水季河道流量差异。已有研究表明

森林具有涵养水源, 保持水土的作用, 且森林郁闭度  $\in [0.4, 0.8]$  时, 达到最大保持水土、涵养水源能力, 平均每公顷有林地比无林地多蓄水 300 t 以上<sup>[25]</sup>。

水源区在进行植被恢复时应首选异龄复层的乔灌混交林, 以下依次是阔叶林及针阔混交林、灌木、草地等<sup>[26]</sup>。不同植被条件对水质的影响表明: 针叶林覆盖的土壤流失的硝酸盐浓度比较低<sup>[26]</sup>, 氮的矿化和硝化在落叶林中比在针叶林中高, 但是溶解性有机碳的流失则刚相反<sup>[27]</sup>。因此, 在考虑植被恢复时还要考虑周边地区的 C、N 情况。此外, 还要考虑到森林防火, 例如针叶林为主的林区, 科学的用落叶林及灌丛或草地作为隔离带。在退耕还草区, 尤其要注意当地水文及降雨情势, 在降雨不是很急或有湿地情况下, 草地可以很好地保护水质; 在降雨量很大且急的地区, 草地对水质净化作用不大<sup>[16, 24]</sup>。因此, 流域并不适合大片的还草, 特别是河岸带恢复。

#### 4.4 加强流域水环境及水土保持监测和科研工作

打破行政界限, 以流域为单元成立集监测、科研及执法为一体的机构。加强水源区水质预警体系及水土保持研究, 建议将汉江上游流域主要河流列入长期监测计划, 对堵河(Zone 8)、佛坪(Zone 4)及汉中盆地流域(Zone 5)进行细致研究。加强水源区水土保持关键技术及生态环境建设的区域环境效应评价研究, 水源区区域性大气降水增减、温度升降、季风环流变化等对水源区土壤侵蚀的影响等。积极开展水质与水土保持监测预报, 结合 GIS、GPS 及网络通讯技术建立水源区生态环境监测网络和信息系统; 开发适用于水源区水环境治理与生态恢复技术。

致谢 王宜平、李连发、尚晶晶、盛果, 等, 参加了野外调查, 在此一并表示感谢!

#### 参考文献:

- [1] 高吉喜. 西部生态环境问题及对策建议[J]. 环境科学研究, 2005, 18(3): 49~53.
- [2] 李思悦, 张全发. 对南水北调工程解决中国北方用水问题的分析[J]. 人民黄河, 2005, 27(8): 28~29, 43.
- [3] 王佳宁, 晏维金, 贾晓栋. 长江流域点源氮磷营养盐的排放、模型及预测[J]. 环境科学学报, 2006, 26(4): 658~666.
- [4] LIU S, ZHANG J, CHEN H, et al. Nutrients in the Changjiang and its tributaries [J]. Biogeochemistry, 2003, 62(1): 1~18.
- [5] LI S, XU Z, CHENG X, et al. Dissolved trace elements and heavy metals in the Danjiangkou Reservoir, China [J]. Environ Geol, 2008, 55(5): 977~983.
- [6] 李仁东, 李劲峰, 黄进良, 等. 南水北调对湖北丹江口水库区土地资源的影响[J]. 长江流域资源与环境, 1998, 7(2): 109~114.
- [7] 杨永德, 邹宁, 郭希望, 等. 汉江上游水文特性的初步分析

[ J ]. 水文, 1997( 2 ): 54~ 56.

[ 8 ] 沈大军, 刘昌明. 南水北调中线工程不同调水规模对汉江中下游影响分析[ J ]. 地理学报, 1998, 53( 4 ): 341~ 348.

[ 9 ] 金蓉玲, 郭海晋. 南水北调中线水源区水资源评价及丹江口入库水量分析[ J ]. 人民长江, 1993, 24( 11 ): 7~ 12.

[ 10 ] 蔡述明, 陈国阶, 杜 耘, 等. 汉江流域可持续发展的思考[ J ]. 长江流域资源与环境, 2000, 9( 4 ): 411~ 418.

[ 11 ] 沈泽昊, 张全发, 岳 超, 等. 南水北调中线水源区土地利用/土地覆被的空间格局[ J ]. 地理学报, 2006, 61( 6 ): 633~ 644.

[ 12 ] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分级分类标准 SL190~ 96. 1997[ S ].

[ 13 ] 赵 欣, 张中旺, 刘 超, 等. 南水北调中线工程水源区的环境评价与预测[ J ]. 安全与环境工程, 2003, 10( 4 ): 5~ 8.

[ 14 ] 张中旺, 李新民. 南水北调中线工程水源地的主要问题与对策[ J ]. 华中师范大学学报( 自然科学版 ), 2004, 38( 4 ): 510~ 514.

[ 15 ] 梁雄兵, 张中旺, 谢海燕, 等. 南水北调中线工程水源地的主要环境问题分析[ J ]. 人民长江, 2005, 36( 4 ): 53~ 56.

[ 16 ] 李思悦, 张全发. 南水北调中线丹江口库区主要生态环境问题及植被恢复[ J ]. 中国农村水利水电, 2008( 3 ): 1~ 4.

[ 17 ] 孟春红, 赵 冰. 汉江水质污染分析与治理措施[ J ]. 人民长江, 2007, 38( 1 ): 86~ 88.

[ 18 ] PETERJOHN W T, CORRELL D L. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest[ J ]. Ecology, 1984, 65( 5 ): 1 466~ 1 475.

[ 19 ] 马乃喜, 周文涛, 孙 纲. 陕西汉江流域的生态环境问题及其对丹江口水库的影响[ J ]. 陕西环境, 2003, 10( 6 ): 1~ 3.

[ 20 ] 彭盛华, 翁立达, 赵俊琳. 汉水流域水环境安全管理对策探讨[ J ]. 长江流域资源与环境, 2001, 10( 6 ): 531~ 536.

[ 21 ] 赵德芳, 孙 虎, 延军平, 等. 陕南汉江谷地近 40 年气候变化及其生态环境意义[ J ]. 山地学报, 2005, 23( 3 ): 313~ 318.

[ 22 ] 朱桂香. 南水北调中线河南水源区的水土流失与治理对策[ J ]. 中国水土保持, 2005( 8 ): 26~ 27.

[ 23 ] 汪中华, 郭翔宇. 贫困地区农业产值贡献率折射出的生态环境问题及对策建议[ J ]. 商业研究, 2007( 6 ): 162~ 165.

[ 24 ] HART S C, FIRESTONE M K, PAUL E A, et al. Flow and fate of soil nitrogen in an annual grassland and a young mixed conifer forest[ J ]. Soil Biology and Biochemistry, 1993, 25: 431~ 442.

[ 25 ] 柴发熹, 王三英. 森林改善环境的生态经济功能[ J ]. 林业经济, 2003( 10 ): 216~ 217, 221.

[ 26 ] STARK J M, HART S C. High rates of nitrification and nitrate turnover in undisturbed coniferous forests[ J ], Nature, 1997, 385: 61~ 64.

[ 27 ] ITO M, MITCHELL M J, DRISCOLL C T, et al. Nitrogen input-output budgets for lake containing watersheds in the Adirondack region of New York[ J ]. Biogeochemistry, 2005, 72: 283~ 314.

ECO-ENVIRONMENTAL CRISIS AND COUNTERMEASURES OF THE UPPER HAN RIVER BASIN ( WATER SOURCE AREA OF THE MIDDLE ROUTE OF THE SOUTH TO NORTH WATER TRANSFER PROJECT), CHINA

LI Si-yue<sup>1,2</sup>, LIU Wen-zhi<sup>1,2</sup>, GU Sheng<sup>1,2</sup>, HAN Hong-yin<sup>3</sup>, ZHANG Quan-fa<sup>1</sup>

( 1. Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China; 2 Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The upper Han River basin (approximately 95 200 km<sup>2</sup>) is the water source area of the Middle Route of the South to North Water Transfer Project ( MR-SNWTP ), thus, water conservation and eco-environmental construction for MD-SNWTP is of great importance. Reasonable river basin planning and management can play an important role in maintaining a sound ecological environment. In recent decades, due to anthropogenic activities and climate change, the ecosystems of the basin are degrading. Water samples were measured in October 2006, land use and land cover ( LULC ) pattern was characterized and water and soil erosion was determined by integrating a digital elevation model and LULC data in the paper. The results show that ( 1 ) water quality in Dan River, Danjiangkou Reservoir catchment and Hanzhong Plain is declining, and chemical oxidation demand and nitrogen are the major pollutants; ( 2 ) vegetated land cover accounts for more than 70%, while agricultural land use occupies 29.2% ~ 43.4% in riparian zone at subwatershed scale; ( 3 ) there is increasing soil erosion, and subwatersheds with erosion modulus of more than 2 200 t/ km<sup>2</sup> • a occur in headwaters, the south of Qinlin Mountain and the North of Daba Mountain respectively. The critical problems including water pollution, unreasonable land use practice and soil erosion urgently need approaches of ecological alleviation in the basin to promote environmental reconstruction. Thus, the following countermeasures are put forward: to work out waste water treatment plan and build sewage treatment plants; to manage agricultural fertilizer and construct riparian zone; to construct water and soil conservation; to establish long-time water quality and soil conservation monitoring plans.

**Key words:** the Middle Route of the South to North Water Transfer Project; upper Han River basin; ecology crisis