

文章编号:0559-9350(2011)05-0563-09

## 南水北调东线一期工程受水区生态环境效益评估

杨爱民<sup>1</sup>, 张璐<sup>1,2</sup>, 甘泓<sup>1</sup>, 王浩<sup>1</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100038; 2. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

**摘要:**以南水北调东线一期工程受水区涉及的89个县(市、区)为单元,采用模糊聚类分析法,根据受水区的生态水文特征,将受水区分为5个生态水文区。根据生态系统服务功能理论,提出调水为受水区生态保育措施、城市绿地与湿地生态系统带来的物质质量与价值量的评估方法,计算出调水能够为受水区带来的生态环境效益总价值量为62.33亿元,其中生态保育措施、城市绿地与湿地生态系统的价值量分别为0.41亿元、37.67亿元和24.25亿元。研究结果可为制定南水北调工程生态环境保护及水资源可持续管理策略与措施提供依据。

**关键词:**南水北调东线工程;生态水文分区;生态环境效益;物质质量;价值量;水资源管理

**中图分类号:**X171.1

**文献标识码:**A

南水北调工程是我国跨流域、跨省市的基础性与战略性的重大水资源配置工程,工程的实施将对调水区和受水区的生态环境产生深远影响。目前有关南水北调工程对调水区生态环境影响的研究已有较多文献报道。其研究方法主要是定性描述法、生态图法、生态机理分析法、类比分析法、综合指标法、景观生态学分析法、生产力评价法、生物多样性定量评价法与层次分析法(AHP法)等,研究的侧重点主要为局地气候、地质环境、水文与泥沙情势、水环境、土壤环境、陆生生态、水生生态和施工环境等方面。有关南水北调工程对受水区生态环境影响的研究则很少,采用的研究方法也只是定性描述法,缺乏定量研究<sup>[1-4]</sup>。本文根据生态系统生态服务功能理论及生态经济学和环境经济学基本原理,以受水区生态水文分区为基础,从物质质量与价值量两个层面定量研究南水北调东线一期工程通水后对其受水区带来的生态环境效益。研究结果可为制定南水北调工程生态环境保护和水资源管理策略与措施提供科学依据。

## 1 受水区生态水文分区及水量分配

南水北调东线一期工程供水范围大体分为3片,即黄河以南片、黄河以北片和山东半岛,受水区主要包括江苏省、安徽省、山东3省21个省辖市的89个县(市、区)。这些市、区具有不同的生态水文特征,地形地貌复杂,气候、水资源、生物、土壤等变化多样,经济社会情况也存在较大差异。

**1.1 受水区生态水文分区** 为科学评价调水为受水区带来的生态环境效益,首先对受水区进行生态水文分区。生态水文分区是按照生态环境和水文要素的相似性和差异性,将南水北调东线一期工程受水区涉及的县市划分为若干个区域。每个区内有比较一致的生态水文条件,而各区之间又存在着一定差异<sup>[5]</sup>。

综合分析受水区生态水文特征,选取地下水埋深(m)、平均海拔(m)、多年平均降水深(mm)、多年平均径流深(m)、多年平均水面蒸发量(m)、水域占土地总面积百分比(%)、耕地占土地总面积

收稿日期:2009-07-29

基金项目:“十一五”国家科技支撑重大项目(2006BAB04A15)

作者简介:杨爱民(1963-),男,内蒙古扎来特旗人,博士,教授,主要从事水资源、水生态和水土保持研究。

E-mail: y.aimin@iwhr.com

百分比(%)、建设用地占土地总面积百分比(%)、林地占土地总面积百分比(%)、草地占土地总面积百分比(%)、未利用地占土地总面积百分比(%)与土壤水蚀面积占土地总面积百分比(%)作为分区指标,建立分区指标体系数据库,以89个县级市为单元,利用SPSS软件,采用模糊动态聚类分析法进行分析,将受水区划分为5个生态水文区。分区方案见图1与表1。各分区生态水文特征指标值见表2。



图1 南水北调东线一期工程受水区生态水文分区图

表1 南水北调东线一期工程受水区生态水文分区方案

分区	省	省辖市	县级市、县城
I 淮南平水强度活动生态水文区	江苏	扬州市	高邮市、宝应市、江都市
		淮安市	楚州区、洪泽县、金湖县、涟水县、盱眙县
II 苏北、皖北平水极强度活动生态水文区	江苏	宿迁市	泗阳县、泗洪县、沭阳县、宿豫县
		连云港市	赣榆县、东海县、灌云县、灌南县
	安徽	徐州市	贾汪区、邳州市、铜山县、丰县、沛县、睢宁县、新沂市
		蚌埠市	五河、固镇
III 鲁西缺水极强度活动生态水文区	山东	淮北市	濉溪县
		宿州市	灵璧县、泗县
IV 鲁北极缺水极强度活动生态水文区	山东	枣庄市	滕州市
		济宁市	曲阜市、兖州市、邹城市、微山县、鱼台县、金乡县、嘉祥县、汶上县、梁山
		菏泽市	单县、巨野县、成武县
		济南市	章丘市、平阴县、商河县、济阳县
		聊城市	夏津县、武城县、平原县、陵县、宁津县、乐陵市、庆云县、禹城市
V 胶东半岛缺水强度活动生态水文区	山东	淄博市	桓台县、高青县
		潍坊市	寿光市、昌邑市、高密市
		滨州市	博兴县、邹平县、惠民县、阳信县、沾化县、无棣县
		东营市	垦利县、利津县、广饶县
V 胶东半岛缺水强度活动生态水文区	山东	青岛市	胶州市、即墨市、平度市、胶南市、莱西市
		烟台市	龙口市、莱阳市、莱州市、招远市、栖霞市、蓬莱市、海阳市
		威海市	荣成市、乳山市、文登市

## 1.2 受水区水量分配

1.2.1 新增城市绿地用水量 在生态水文分区的基础上,根据受水区各城市调水配水量来推算调水用于保育各城市绿地的水量。根据《南水北调东线第一期工程可行性研究报告》<sup>[6]</sup>,调水在东线各省市、各用水部门之间的分配见表3。

综合考虑各省市生产、生活与生态用水情况,将城市绿地用水量取值为调水分配给工业(生活工业及城市生态环境)用水中的3.51%。结合表3中工业(生活工业及城市生态环境)占总净增供水量的比例,则可计算出各省市新增城市绿地用水量占总净增供水量的比例为:江苏1.45%、安徽1.31%、山东(鲁南3%、山东半岛3.51%、鲁北3.51%)。根据《南水北调东线第一期工程可行性研究报告》<sup>[6]</sup>中各

表2 南水北调东线一期工程受水区各生态水文区平均指标值

分区代码	地下水平均埋深/m	多年平均降水深/mm	海拔/m	多年平均径流深/mm	多年平均水面蒸发量/mm	水域占幅员面积/%	耕地占幅员面积/%	建设用地占幅员面积/%	林地占幅员面积/%	草地占幅员面积/%	未利用地占幅员面积/%	轻度以上水蚀面积比/%
I	3.29	936.76	8.57	266.41	829.69	23.42	43.89	23.38	2.08	1.01	6.21	3.40
II	2.77	887.08	26.1	262.20	878	9.61	54.81	29.80	2.39	0.70	2.69	2.75
III	7.55	671.62	38.8	133.94	1 006.8	5.78	60.85	25.45	2.67	2.63	2.62	5.28
IV	12.29	568.29	15.3	103.78	1 091.8	5.28	55.87	24.50	0.68	3.92	9.75	0.85
V	5.53	719.81	39.3	235.82	1 142.5	3.70	48.76	20.51	9.21	15.59	2.23	28.31

表3 东线一期工程多年平均净增供水量 (单位: 亿 m<sup>3</sup>)

省	工业(生活工业及城市生态环境)	农业	航运	小计	工业(生活工业及城市生态环境)占总净增供水量比/%
江苏	7.93	10.63	0.69	19.25	41.19
安徽	1.21	2.02		3.23	37.46
山东	鲁南	1.95	0.33	2.28	85.53
	山东半岛	7.46		7.46	100
	鲁北	3.79		3.79	100
	小计	13.2	0.33	13.53	97.56
合计	22.34	12.65	1.02	36.01	

地市调水分水量, 可计算出各市新增城市绿地用水量, 见表4。

表4 南水北调东线一期工程受水区各城市分水量及新增城市绿地用水量

分片	省	省辖市	分水量/亿 m <sup>3</sup>	新增城市绿地用水量/亿 m <sup>3</sup>	
黄河以南	江苏	扬州市	2.35	0.03	
		淮安市	5.41	0.08	
		宿迁市	2.19	0.03	
		连云港市	3.65	0.05	
		徐州市	3	0.04	
	安徽	蚌埠市	2.78	0.04	
		淮北市	0.18	0	
		宿州市	0.27	0	
		山东	枣庄市	0.9	0.03
			济宁市	0.45	0.01
菏泽市	0.75		0.02		
山东半岛	济南市		1	0.04	
	青岛市		1.3	0.05	
	淄博市	0.5	0.02		
	潍坊市	1	0.04		
	滨州市	1.51	0.05		
	东营市	2	0.07		
	烟台市	0.97	0.03		
	威海市	0.5	0.02		
	黄河以北	山东	德州市	2	0.07
			聊城市	1.8	0.06

1.2.2 新增湿地用水量分配 根据《南水北调东线第一期工程可行性研究报告》<sup>[6]</sup>, 东线一期工程受水区蓄水湖泊特性见表5。

表5 南水北调东线一期工程蓄水湖泊特性

湖名	死水位/m	蓄水位/m		死库容 /亿 m <sup>3</sup>	调蓄库容/亿 m <sup>3</sup>			
		汛期	非汛期		汛期	非汛期		
现状	洪泽湖	11.3	12.5	13	7	15.3	23.1	
	骆马湖	21	22.5	23	3.2	4.3	5.9	
	下级湖	31	32.3	32.3	3.45	4.94	4.94	
	合计				13.65	24.54	33.94	
规划	黄河以南	洪泽湖	11.3	12.5	13.5	7	15.3	31.35
		骆马湖	21	22.5	23	3.2	4.3	5.9
		下级湖	31.3	32.3	32.8	3.45	4.94	8
		东平湖	38.8	39.3	39.3	1.2	0.57	0.57
	黄河以北	大屯	21.5		29.05	0.08		0.45
		东湖	19.2		29.9	0.12		0.71
	山东半岛	双王城	3.9		12.5	0.1		0.53
		合计				15.15	25.11	47.51
		其中：黄河以南				14.85	25.11	45.82
		黄河以北				0.08	0	0.45
	山东半岛				0.22	0	1.24	

根据表5, 结合《南水北调东线第一期工程可行性研究报告》<sup>[6]</sup>中关于蓄水工程的描述可得到表6。

表6 南水北调东线一期工程湿地面积变化

湿地	洪泽湖	骆马湖	下级湖	东平湖	黄河以 南小计	大屯	黄河 以北 小计	东湖	双王 城	山东 半岛 小计	合计
现状 面积/km <sup>2</sup>	1 560	320	582	153	2 615	0	0	0	0	0	2 615
增加调节 库容/亿 m <sup>3</sup>	8.25	0	3.06	0.57	11.88	0.45	0.45	0.71	0.53	1.24	13.57
增加 面积/km <sup>2</sup>	90	0	30	57	177	7.41	7.41	6.89	6.29	13.18	197.59

## 2 受水区生态环境效益评估方法

2.1 南水北调工程生态环境效益概念界定 南水北调工程生态环境效益是指南水北调工程通水后, 使受水区各种生态系统在原有生态系统服务功能基础上所产生的生态系统服务功能的增量。

本文主要研究南水北调东线一期工程通水后, 使受水区生态保育措施、城市绿地和湿地等主要生态系统所产生的生态环境效益。

2.2 生态保育措施生态系统 生态保育措施生态系统仅指南水北调东线工程生态保育措施中增加的水土保持林生态系统, 其生态环境效益( $B_{11}$ )主要包括如下各方面。

2.2.1 水源涵养效益 涵养水源的物质质量由水土保持林面积和单位林地的水源涵养能力得出; 物质质量乘以影子工程成本即得到其价值量。表示为:

$$B_{11} = A_1 \times C_{11} \times S_{11} \quad (1)$$

式中:  $B_{11}$ 为受水区水土保持林生态系统水源涵养效益值, 万元/年;  $A_1$ 为调水工程中增加的水土保持林面积,  $\text{hm}^2$ ;  $C_{11}$ 为单位面积林地每年的水源涵养能力,  $C_{11}$ 取  $1\ 105\text{m}^3/\text{hm}^2$ ;  $S_{11}$ 为影子工程成本, 采

用目前的单位库容造价5.71元/m<sup>3</sup>[7-13]。

2.2.2 土壤保持效益 水土保持林的土壤保持效益包括3个方面：固持土壤效益、保肥效益和防止泥沙滞留和淤积效益。

(1)固持土壤效益

$$B_{12} = A_c \div \rho \div h \times S_{12} \quad (2)$$

$$A_c = A_1 \times C_{12} \quad (3)$$

式中： $B_{12}$ 为固持土壤效益值，万元/年； $\rho$ 为土壤容重，取1.39t/m<sup>3</sup>； $A_c$ 为土壤保持量，t/年； $A_1$ 为水土保持林面积，hm<sup>2</sup>； $C_{12}$ 为单位面积林地每年防止土壤侵蚀的能力，取值为11.11t/hm<sup>2</sup>；根据土壤侵蚀量和土壤耕作层的平均厚度来推算土地减少面积，以我国耕作土壤的平均厚度 $h=0.5m$ 作为水土保持林的土层厚度，则可计算出每年可能保持的土壤面积 $S$ ，hm<sup>2</sup>；林业生产的平均收益取 $S_{12}=263.58$ 元/(hm<sup>2</sup>·年)，对林地采用其生产的机会成本，即可估算水土保持林固持土壤的经济价值<sup>[8-14]</sup>。

(2)保肥效益

$$B'_{12} = A_1 \times C'_{12} \times S'_{12} \quad (4)$$

式中： $B'_{12}$ 为保肥效益值，万元/年； $A_1$ 为水土保持林面积，hm<sup>2</sup>； $C'_{12}$ 为单位面积林地每年防止养分流失的能力，取447.23 kg/hm<sup>2</sup>； $S'_{12}$ 为土壤养分的影子价格，取化肥价格2549元/t<sup>[8-11]</sup>。

(3)防止泥沙滞留和淤积的效益。据统计<sup>[8,11]</sup>，全国土壤侵蚀流失的泥沙有24%淤积于水库、河湖，则水土保持林防止泥沙滞留和淤积的效益值可用下式表示：

$$B''_{12} = A_c \div \rho \times 24\% \times S''_{12} \quad (5)$$

式中： $B''_{12}$ 为防止泥沙滞留和淤积的总量价值，万元/年； $A_c$ 为土壤保持量，t/年； $\rho$ 为土壤容重，取1.39t/m<sup>3</sup>； $S''_{12}$ 为修建水库工程费用，元/m<sup>3</sup>，按照工程替代法，以单位库容造价5.71元/m<sup>3</sup>计算<sup>[11-16]</sup>。

2.2.3 固碳释氧效益 根据造林成本来计算水土保持林固定CO<sub>2</sub>和供给O<sub>2</sub>的经济价值。固碳释氧效益用公式表示为：

$$B_{13} = A_1 \times l_{13} \times S_{13} \times 12/44 + A_1 \times l'_{13} \times S'_{13} \times 1.2/1.63 \quad (6)$$

式中： $B_{13}$ 为固碳释氧效益值，万元/年； $A_1$ 为水土保持林面积，hm<sup>2</sup>；据测定，中国北方森林的CO<sub>2</sub>吸收率为 $l_{13}=13.6t/hm^2$ ，固碳造林成本为 $S_{13}=273.3$ 元/t，生产氧气的成本为 $S'_{13}=369.7$ 元/t<sup>[11]</sup>。

2.2.4 净化空气效益 净化空气效益包括吸收有害气体效益(SO<sub>2</sub>、氟化物和氮氧化物)和吸收粉尘的效益，用公式表示为：

$$B_{14} = A_1 \times C_{141} \times S_{141} + A_1 \times C_{142} \times S_{142} + A_1 \times C_{143} \times S_{143} + A_1 \times C_{144} \times S_{144} \quad (7)$$

式中： $B_{14}$ 为净化空气效益值，万元/年； $A_1$ 为水土保持林面积，hm<sup>2</sup>； $C_{141}$ 为单位面积城市绿地吸收SO<sub>2</sub>的能力，取88.65 kg/hm<sup>2</sup>； $S_{141}$ 为消减SO<sub>2</sub>的成本，取0.6元/kg； $C_{142}$ 为单位面积城市绿地吸收氟化物的能力，取0.50 kg/hm<sup>2</sup>； $S_{142}$ 为吸收氟化物的成本，取0.16元/kg； $C_{143}$ 为单位面积城市绿地吸收氮氧化物的能力，当氮氧化物的发生量为106.7万t时，森林的吸收量为6.0 kg/hm<sup>2</sup>，可能的吸收率为3.5%； $S_{143}$ 为影子工程成本，取1.34元/kg； $C_{144}$ 为单位面积城市绿地吸收粉尘的能力，取10.11t/hm<sup>2</sup>； $S_{144}$ 为削减粉尘成本，取0.17元/kg<sup>[10-12]</sup>。

2.2.5 减弱噪声效益 森林生态系统降低噪声价值以造林成本的15%计<sup>[8,10]</sup>，用公式表示为：

$$B_{15} = A_1 \times C_{15} \times S_{15} \times 15\% \quad (8)$$

式中： $B_{15}$ 为减弱噪声效益值，万元/年； $A_1$ 为增加的水土保持林面积，hm<sup>2</sup>； $C_{15}$ 为成熟林单位面积蓄积量，取80m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>； $S_{15}$ 以平均造林成本240.03元/m<sup>3</sup>计<sup>[10]</sup>。

2.3 城市绿地生态系统 城市绿地生态系统的生态环境效益( $B_2$ )主要包括水源涵养( $B_{21}$ )、土壤保持( $B_{22}$ )、固碳释氧( $B_{23}$ )、净化空气( $B_{24}$ )、减弱噪声( $B_{25}$ )、调节小气候( $B_{26}$ )和杀菌( $B_{27}$ )等方面。前5种生态环境效益的评估方法与生态保育措施生态系统类似。

(1)调节小气候效益。城市植被改善小气候效应最明显表现在降温和增湿两方面。国内外研究表明<sup>[8,10]</sup>,绿化能使局地气温降低3~5℃,最大可降低12℃,增加相对湿度3%~12%,最大可增加33%。调节小气候效益用公式表示为:

$$B_{26} = A_i \times CS_{26} \quad (9)$$

式中:  $B_{26}$ 为调节小气候效益值,万元/年;  $A_i$ 为调水可保育的某一城市的绿地面积,  $hm^2$ ;  $CS_{26}$ 为城市绿地生态系统每年调节气温的影子价格,取78 019元/ $hm^2$ <sup>[8,10,17]</sup>。

(2)杀菌效益。森林植被杀菌效益占总环境效益的1%<sup>[18]</sup>。用公式表示为:

$$B_{27} = (B_{21} + B_{22} + B_{23} + B_{24} + B_{25} + B_{26}) \times 1\% \quad (10)$$

**2.4 湿地生态系统** 湿地生态系统的生态环境效益主要包括水资源调节、水质净化、生物多样性、大气调节、文化科研等功能。用公式表示为:

$$B_3 = A_3 \times CS_3 \quad (11)$$

表7 南水北调东线一期工程生态保育措施生态系统生态环境效益

新增生态保育措施面积/ $hm^2$	生态环境效益分类	生态环境效益物质量		成本	生态环境效益价值量
2 444.1	水源涵养	单位面积林地年涵养水源能力/( $m^3/hm^2$ )	涵养水源量/ $万 m^3$	影子工程成本/(元/ $m^3$ )	涵养水源效益/万元
		1 105	270.07	5.71	1 542.12
	土壤保持	土壤保持量/t	每年保持土壤面积/ $hm^2$	林产品平均收益/(元/ $hm^2$ )	固持土壤效益/万元
		27 153.95	3.91	263.58	0.1
土壤保持	单位面积林地每年防止养分流失的能力/( $kg/hm^2$ )	保肥量/t	影子价格/(元/t)	保肥效益/万元	
	447.23	1 093.07	2 549	278.62	
2 444.1	固碳释氧	土壤保持量/t	土壤保持量/ $m^3$	影子工程成本/(元/ $m^3$ )	防止泥沙滞留和淤积的效益/万元
		27 153.95	19 535.22	5.71	2.68
	固碳释氧	$CO_2$ 吸收率/( $t/hm^2$ )	C固定量/t	释放 $O_2$ 量/t	固碳释氧效益/万元
		13.6	9 065.39	24 470.99	1 152.45
净化空气	林地吸收 $SO_2$ 的能力/( $kg/hm^2$ )	吸收 $SO_2$ 的量/kg	消减 $SO_2$ 的成本/(元/kg)	吸收 $SO_2$ 价值/万元	
	88.65	216 669.47	0.6	13	
净化空气	林地吸收氟化物的能力/( $kg/hm^2$ )	吸收氟化物的量/kg	消减氟化物成本/(元/kg)	吸收氟化物价值/万元	
	0.5	1 222.05	0.16	0.02	
净化空气	林地吸收氮氧化物的能力/( $kg/hm^2$ )	吸收氮氧化物量/kg	消减氮氧化物的成本/(元/kg)	吸收氮氧化物价值/万元	
	6	14 664.6	1.34	0.07	
净化空气	林地吸收粉尘的能力/( $t/hm^2$ )	吸收粉尘的量/t	消减粉尘的成本/(元/kg)	吸收粉尘的价值/万元	
	10.11	24 709.85	0.17	420.07	
减弱噪声	林地单位面积蓄积量/( $m^3/hm^2$ )	平均造林成本/(元/ $m^3$ )	比率/%	减弱噪声效益/万元	
	80	240.03	0.15	703.99	
总效益					4 113.12

式中： $B_3$ 为湿地生态系统效益值，万元/年； $A_3$ 为调水可保育的湿地面积， $hm^2$ ； $CS_3$ 采用Costanza的研究成果，即湿地每年能产生的公益价值为122 715.5元/ $hm^2$ ，这里以此作为研究区湿地生态系统的单位价值<sup>[9,19-22]</sup>。

### 3 受水区生态环境效益计算结果

**3.1 生态保育措施生态系统生态环境效益** 根据《南水北调东线一期工程可行性研究报告》<sup>[6]</sup>中关于水土保持方案的描述，南水北调东线一期工程水土保持工程量中栽种乔木407.35万株，按照2m×3m株行距种植计算，则共栽种乔木2 444.1 $hm^2$ 。根据式(1)—(8)，生态保育措施生态系统生态环境效益的价值量为4 113.12万元，见表7。

**3.2 城市绿地生态系统生态环境效益** 单位面积城市绿地年用水量，取值为2 000 $m^3/hm^2$ <sup>[8]</sup>。根据式(1)—(10)，可计算得到城市绿地生态系统生态环境效益的物质质量与价值量，其中价值量为376 669.83万元，见表8与表9。

表8 城市绿地生态系统生态环境效益的物质质量

分区	调水中用于保育城市绿地生态系统的用水量/亿 $m^3$	可增加绿地面积/ $hm^2$	涵养水源量/ $万m^3$	每年保持土壤面积/ $hm^2$	保肥量/t	土壤保持量/ $m^3$	C固定量/t
I区	0.11	5 608.59	619.75	8.97	2 508.33	44 828.37	20 802.77
II区	0.17	8 512.09	940.59	13.61	3 806.86	68 035.48	31 572.12
III区	0.23	11 566.88	1 278.1	18.49	5 173.06	92 451.83	42 902.61
IV区	0.18	8 781.19	970.32	14.04	3 927.21	70 186.35	32 570.23
V区	0.1	4 851.15	536.05	7.75	2 169.58	38 774.3	17 993.36
合计	0.79	39 319.9	4 344.9	62.86	17 585	314 276.32	145 841.1

  

分区	释放 $O_3$ 量/t	吸收 $SO_2$ 量/kg	吸收氟化物量/kg	吸收氮氧化物量/kg	吸收粉尘量/t	林地蓄积量/ $m^3$
I区	56 154.72	497 201.5	2 804.3	33 651.54	56 702.84	448 687.2
II区	85 225.34	754 596.78	4 256.05	51 072.54	86 057.23	680 967.2
III区	115 810.7	1 025 403.91	5 783.44	69 401.28	116 941.2	925 350.4
IV区	87 919.64	778 452.49	4 390.6	52 687.14	88 777.83	702 495.2
V区	48 571.02	430 054.45	2 425.58	29 106.9	49 045.13	388 092
合计	393 681.5	3 485 709.14	19 659.95	235 919.4	397 524.2	3 145 592

**3.3 湿地生态系统生态环境效益** 根据表6及式(11)，经计算新增湿地生态系统生态环境效益的价值量值为242 473.56万元，见表10。

**3.4 生态环境总效益** 南水北调东线工程生态环境总效益的价值量 $B$ 为生态保育措施、城市绿地与湿地生态环境效益的价值量之和，即623 256.51万元，约为62.33亿元。

## 4 结论与讨论

(1)在综合分析南水北调东线一期工程受水区生态水文特征的基础上，选取12个分区指标，以89个县市区为分区单元，将南水北调东线一期工程受水区划分为5个生态水文区：I淮南平水强度活动生态水文区，II苏北、皖北平水极强度活动生态水文区，III鲁西缺水极强度活动生态水文区，IV鲁北极缺水极强度活动生态水文区，V胶东半岛缺水强度活动生态水文区。(2)在总结分析前人研究成果的基础上，研究提出了南水北调东线一期工程受水区生态环境效益的物质质量与价值量评估方法，并据此对生态保育措施、城市绿地和湿地生态系统的生态环境效益进行了分析计算。南水北调东线一期工程受水区生态环境效益的总价值量为62.33亿元，其中生态保育措施、城市绿地和湿地生

表9 城市绿地生态系统生态环境效益的价值量

单位: 万元

分区	涵养水源	固持土壤	保肥	防止泥沙滞留和淤积	固碳释氧	吸收SO <sub>2</sub>	吸收氟化物
I区	3 538.77	0.24	639.37	6.14	2 644.58	29.83	0.04
II区	5 370.75	0.36	970.37	9.32	4 013.65	45.28	0.07
III区	7 298.18	0.49	1 318.61	12.67	5 454.05	61.52	0.09
IV区	5 540.54	0.37	1 001.05	9.62	4 140.53	46.71	0.07
V区	3 060.86	0.2	553.03	5.31	2 287.43	25.8	0.04
合计	24 809.09	1.66	4 482.43	43.07	18 540.24	209.14	0.31

  

分区	吸收氮氧化物	吸收粉尘	减弱噪声	调节小气候	杀菌	总效益
I区	0.16	963.95	1 615.48	43 757.66	531.96	53 728.18
II区	0.24	1 462.97	2 451.79	66 410.47	807.35	81 542.62
III区	0.33	1 988	3 331.68	90 243.64	1 097.09	110 806.35
IV区	0.25	1 509.22	2 529.3	68 509.97	832.88	84 120.49
V区	0.14	833.77	1 397.31	37 848.19	460.12	46 472.19
合计	1.11	6 757.91	11 325.55	306 769.93	3 729.4	376 669.83

表10 新增湿地生态系统生态环境效益

湿地	增加调节库容/亿m <sup>3</sup>	增加面积/km <sup>2</sup>	湿地生态环境效益/万元
洪泽湖	8.25	90	110 443.95
骆马湖	0	0	0
下级湖	3.06	30	36 814.65
东平湖	0.57	57	69 947.84
黄河以南小计	11.88	177	217 206.44
大屯	0.45	7.41	9 093.22
黄河以北小计	0.45	7.41	9 093.22
东湖	0.71	6.89	8 455.1
双王城	0.53	6.29	7 718.8
山东半岛小计	1.24	13.18	16 173.9
合计	13.57	197.59	242 473.56

态系统生态环境的价值量分别为0.41亿元、37.67亿元和24.25亿元。(3)由于资料条件的限制,尚有部分生态环境效益难以量化计算,如美化环境功能、生物多样性价值等,这些有待于今后进一步研究。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] 封光寅.南水北调中线工程对水源区水沙及生态影响研究[M].北京:中国水利水电出版社,2007.
- [ 2 ] 朱党生.水利水电工程环境影响评价[M].北京:中国环境出版社,2006.
- [ 3 ] 李群,彭少明,黄强,等.南水北调西线工程黑山峡宁夏生态建设区供水生态环境效益评估[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(4):206-212.
- [ 4 ] 常玉苗,赵敏.跨流域调水对生态环境影响综合评价指标体系研究[J].水利经济,2007,25(3):6-11.
- [ 5 ] 杨爱民,唐克旺,王浩,等.中国生态水文分区[J].水利学报,2008,39(3):332-338.
- [ 6 ] 南水北调东线一期工程可行性研究总报告[R].长江水利委员会长江勘测规划设计研究院.2005.
- [ 7 ] Caissie D, El-Jabi N, Bourgeois G. Instream flow evaluation by hydrological-based and habitat preference (Hydrobiological) techniques[J]. Rev. Sci. Eau., 1998, 11(3): 347-363.



- [ 8 ] 李善同, 许新宜. 南水北调与中国发展[M]. 北京: 经济科学出版社, 2004.
- [ 9 ] Costanza R, Arge R D, Groot R D. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital[J]. *Nature*, 1997, (387): 253-260.
- [ 10 ] 彭建, 王仰麟, 陈燕飞, 等. 城市生态系统服务功能价值评估初探—以深圳市为例[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2005, 41(4): 594-604.
- [ 11 ] 余新晓, 秦永胜, 陈丽华, 等. 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J]. *生态学报*, 2002, 22(5): 783-786.
- [ 12 ] 向会娟, 曹明宏. 森林生态效益价值的评估计量[J]. *安徽农业科学*, 2005, 33(11): 2164-2165.
- [ 13 ] 靳芳, 张振明, 余新晓, 等. 甘肃祁连山森林生态系统服务功能及价值评估[J]. *中国水土保持科学*, 2005, 3(1): 53-57.
- [ 14 ] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. *生态学报*, 1999, 19(5): 607-613.
- [ 15 ] 肖寒. 区域生态系统服务功能形成机制与评价方法研究[D]. 北京: 中国科学院生态环境研究中心, 2001.
- [ 16 ] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 等. 海南岛生态系统土壤保持空间分布特征及生态经济价值评估[J]. *生态学报*, 2000, 20(4): 552-558.
- [ 17 ] 杨士弘, 等. 城市生态环境学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [ 18 ] 冷平生, 杨晓红, 苏芳, 等. 北京城市园林绿地生态效益经济评价初探[J]. *北京农学院学报*, 2004, 19(10): 25-28.
- [ 19 ] 傅娇艳, 丁振华. 湿地生态系统服务、功能和价值评价研究进展[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(3): 681-686.
- [ 20 ] 段晓男, 王效科, 欧阳志云. 乌梁素海湿地生态系统服务功能及价值评估[J]. *资源科学*, 2005, 27(2): 110-115.
- [ 21 ] 张敬松, 王捷, 王洪禄. 白石水库生态系统服务价值评价[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(9): 3860-3862.
- [ 22 ] 王伟, 陆健健. 三垌湿地生态系统服务功能及其价值[J]. *生态学报*, 2005, 25(3): 404-407.

## Evaluation on eco-environmental benefits in water reception areas of the East-route Phase 1 Project of the South-to-North Water Diversion

YANG Ai-min<sup>1</sup>, ZHANG Lu<sup>1, 2</sup>, GAN Hong<sup>1</sup>, WANG Hao<sup>1</sup>

(1. *China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;*

2. *Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)*

**Abstract:** Implementation of the South-to-North Water Diversion Project will exert a profound influence on the ecological environment in water reception areas. According to the theory of ecosystem service function, the eco-environmental benefits attained by the East-Route Phase 1 Project in the reception areas are expressed as material and value quantity. By using fuzzy cluster analysis method, the 89 counties and districts in the reception areas are divided into 5 eco-hydrological regions according to their eco-hydrological characteristics. The material and value quantity assessment methods of ecological conservation measures, urban green land and wetland ecosystem are proposed, and corresponding values are calculated. It is found that the total eco-environmental benefit is 6.233 billion yuan, among which the value quantity of ecological conservation measures, urban green land and wetland ecosystem is 0.041 billion yuan, 3.767 billion yuan and 2.425 billion yuan respectively. The results provide the basis for formulating the strategies and measures of eco-environmental protection and water resources management of the Project.

**Key words:** East-Route Project of South-to-North Water Diversion; eco-hydrological regionalization; eco-environmental benefit; material quantity; value quantity

(责任编辑: 韩 昆)