

# 我国西部地区水资源环境问题及其可持续对策

宋新山, 邓伟, 闫百兴

(中国科学院长春地理研究所, 吉林 长春 130021)

**摘要:** 提出了水资源环境的概念, 并尝试利用水资源环境的观点透视我国西部地区水资源问题的严峻性。结合西部地区水资源环境的实际情况及如何实现其可持续发展, 提出了保护水资源可持续空间, 对受损水资源环境进行生态恢复与治理, 发展农业节水灌溉等技术措施和实行生态环境可持续优先原则及建立生态补偿机制等政策性对策, 以实现西部开发的可持续性。

**关键词:** 中国西部地区; 水资源环境; 可持续发展

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2000)04-0001-05

中图分类号: TV213

## Problems of Water Resource Environment and Countermeasures for Its Sustainable Development in West Region of China

SONG Xin-shan, DENG Wei, YAN Bai-xing

(Changchun Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, PRC)

**Abstract** The conception of water resource environment is put forward, by which, the author attempt to discover the serious water resource problems in the west region of China. According to the practice of water resource environment in the west region, the technical and policy countermeasures are put forward, it includes protecting sustainable space of water source, renewing and reconstructing the damaged water resource environment by ecological engineering, developing water saving irrigation agriculture, the first grade principle of sustainable eco-environment and ecological compensation mechanism.

**Keywords** the west region of China; water resource environment; sustainable development

为了实现西部地区 21 世纪可持续发展, 西部大开发计划即将实施, 地区生态环境的特点决定了水资源环境问题必将是西部开发中一个十分关键的问题, 因此探讨西部地区的水资源环境问题及其可持续发展对策具有十分重要的战略意义。水资源环境是指水资源得以涵养、蓄集的空间, 由于陆地水循环中, 水的迁移转化涉及到 4 个阶段, 即大气水、地表水、土壤水和地下水, 因此, 水资源环境应该包括大气、湖泊、河流、湿地、土壤及地下水的贮存空间。水资源是实现地区可持续发展的重要物质基础, 水资源环境则是水资源可持续的重要空间, 良好的水资源环境能够持续供给地区发展用水。我国西部地区包括陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、四川、重庆、云南、贵州、西藏等 10 个省、市、自治区, 其土地面积  $5.38 \times 10^6 \text{ km}^2$ , 占全国土地面积的 56%, 目前有  $2.87 \times 10^8$  人口, 占全国总人口的 22.99%。该区地域辽阔, 人口稀少, 属经济欠发

达地区。该区的水能资源、矿产资源、旅游资源等十分丰富, 但生态环境普遍脆弱却是其突出特点, 加上其经济不够发达, 污染治理力度小, 生态环境破坏严重, 地区环境指标十分严峻<sup>[1]</sup>。

### 1 水资源环境时空分布不均衡

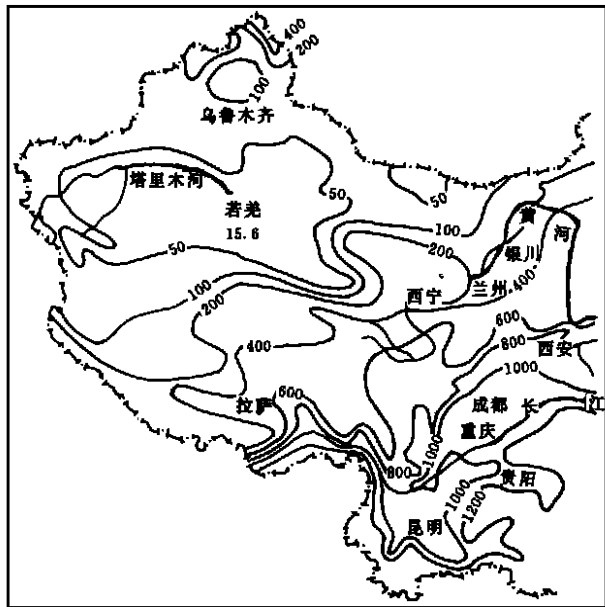
由于自然环境格局不同, 水资源环境时空分布不均衡。大气降水是水资源的主要来源, 中国降水在时空分布上有很大的不均衡性(图 1)<sup>[2]</sup>。总体上, 我国的降水是东部多于西部, 南部多于北部。就西部降水的不均衡性而言, 从西南到西北体现得十分明显。西南的云南、贵州、四川、重庆等省市受印度洋暖湿气流控制, 降水较多, 在 1000 mm 以上, 且水能蕴藏量丰富, 但我国东部许多河流的源头区, 因受海陆季风影响, 年内降水分配极不均匀, 且受人类活动对地表自然环境不良塑造作用的影响, 水土流失严重, 水资源

收稿日期: 2000-04-05

资助项目: 中国科学院重点项目“中国粮食安全的分区水资源供需分析及对策 0(KZ952-J1-032)

作者简介: 宋新山(1972-), 男(汉族), 1996年毕业于武汉大学环境科学系, 博士研究生, 主要从事区域水土环境质量演化与资源研究。电话: (0431)5657715, E-mail: ei@mail.ccig.ac.cn

环境比较脆弱;青藏高原地区,地面高程多在 4000 m 以上,降水较少,在 200~ 600 mm 之间,而且其冬季为冷源,形成青藏冷高压,为反气旋环流,夏季为热源,产生强大的青藏热低压,为气旋性环流,这种环流系统的季节变换,强化了西部乃至全国范围的海陆季风的影响,使其降水的年内不均衡性加剧;在广大的西北地区,由于自大兴安岭经太行山至西南雪峰山一线的西南—东北走向山脉的阻挡,降水很少,陕西省、甘肃省东部、宁夏回族自治区东南部等地多年平均降水深在 400~ 800 mm,甘肃西部、宁夏西北部地区多年平均降水深低于 400 mm,再向西到甘肃河西走廊及内蒙古贺兰山以西地区,整个新疆维吾尔自治区平均降水量在 160 mm 以下,基本不产生地表径流,新疆的若羌地区多年降水深仅 15.6 mm(图 1) 在降水的时间分配上,西北地区的历年最大降水深和历年最小降水深比值最大,可超过 8。这种时空分布既易于在多雨区的丰水季节形成较大洪峰,又易在干旱区形成单次降水的洪灾,影响水资源的有效性。



降水深单位: mm, 比例尺: 1: 36 000 000

图 1 我国西部地区多年平均降水深等值线分布略图

就地表水资源环境而言,西北干旱区河流很少,多年平均径流深低值区可低至 50 mm 以下;黄河中上游地区,气候干旱,植被稀疏,水土流失十分严重,是黄河泥沙的主要来源地,该区易受到风沙、次生盐碱化以及水资源不足的威胁,土地和光热资源丰富,但水资源缺乏;西南的长江中上游地区生态环境复杂多样,水资源充沛,但保水保土能力差,该区多高山峡谷,少平坝,长期以来由于不合理的耕作、草地过牧和大量采伐森林,水土流失日益严重;另外,我国西部许

多湖泊湿地主要分布在西藏、青海、四川等地,西部湖泊水贮量相对丰富,开发中应注意合理利用。

地下水资源环境的形成除受气候、水文、地形等影响外,还受地质构造、地层等条件作用。西南成都平原等地下水年补给模数较大,可达  $2.0 \times 10^5 \sim 2.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ,广大西北地区小于  $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。因此,西北地区地下水一旦超量开采,损失的地下水很难被快速补给,导致一系列的生态环境问题。另外,由于地理条件不同及地球化学的分异,西南地区地表水矿化度较小,平均 148 mg/L,而西北许多内陆河矿化度较高,平均 428 mg/L。这种水资源环境的自然分异要求我们在开发利用水资源时应考虑它们化学性质的差异。

## 2 水资源环境可持续空间减少

由于生态破坏严重,水资源环境可持续空间减少。西部地区地域辽阔,区域差异大,生态系统类型多样,生态环境脆弱。西北地区降雨稀少,干旱高寒,经济欠发达,生态环境恶劣,林草植被一旦遭受破坏,极难恢复;西南地区地形复杂,长期以来由于资源过度利用,自然生产力遭到破坏,水土流失和土地荒漠化问题严重。西部地区水资源环境受损主要表现在过度砍伐、放牧、盲目开垦等导致的森林、湿地急剧减少和水土流失,河湖一体的环境结构被破坏。

森林有巨大的涵养水源、调节径流、保持水土等作用。无论在降水相对丰沛的西南地区还是降水稀少的西北地区,森林对保护地区水资源环境,保证西部地区的可持续水资源利用都具有重要的意义。据研究,我国森林生态系统的年林冠截留降水量变动于 134~ 626 mm 之间,森林枯落物的持水量为本身重量的 4 倍<sup>[3]</sup>,森林的存在不但直接截留降水,蓄于林内,转化为地下径流或在枯水季节补给河流,改变了降水的时空再分配,而且减弱了降雨对地面直接打击造成的水土流失。每  $1 \text{ km}^2$  森林可调蓄水量  $5.0 \times 10^4 \sim 2.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,因此,森林是西部地区重要的水资源可持续空间。但西部地区的森林滥砍乱伐是瞩目的。在西北,天山西部及阿尔泰山山地森林砍伐程度达到 70%~ 80%;祁连山森林界线平均退缩 29.6 km;新疆全区森林资源砍伐量达  $3.89 \times 10^5 \text{ m}^3$ <sup>[4]</sup>;整个西北地区的平均森林覆盖率为 3%,只及全国平均水平的 1/3。在西南,四川东部低山丘陵以及四川西南部山地亚热带常绿阔叶林破坏殆尽,森林覆盖率由 20 世纪 50 年代的 20%~ 30% 下降到了 80 年代的 13% 左右;云南省森林覆盖率 50 年代为 50%,80 年

代减少到了 20%;四川境内的嘉陵江、岷江流域森林覆盖率分别由 20 世纪 50 年代的 19.3% 和 21% 降至 80 年代的 13.2% 和 17.2%。

湖泊、湿地是流域流量调节计,是区域“四水”循环调节场,高效的湿地滤过作用能降解污染,净化水质。湿地土壤具有特殊的水文物理性质,草本沼泽土壤空隙度达 72%~93%,饱和持水量 830%~1030%<sup>[5,6]</sup>。每 1 km<sup>2</sup> 的湿地可调蓄水量达 2.0×10<sup>8</sup>~8.0×10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>,约是森林调蓄水量的 2~4 倍<sup>[7]</sup>。西北干旱区的许多河、湖、湿地是重要的贮水空间,但这些河湖湿地的减少是十分迅速的,如黄河源头第一县玛多境内过去有湖泊 4077 个,现在有 2000 多个已经干涸;西北艾比湖面积由 20 世纪 50 年代的 1070 km<sup>2</sup> 减少到 80 年代的 500 km<sup>2</sup>;新疆 50 年代湖泊面积约 9700 km<sup>2</sup>,1975 年末锐减为 4748 km<sup>2</sup>。

另外,西北干旱区的绿洲是该区重要的水资源可持续空间,但其边缘的生态环境十分脆弱,若水资源利用不当,极易造成土地荒漠化、盐碱化,这种退化相对而言是不可逆的。森林、湿地、湖泊被严重侵占的直接结果就是造成水土流失。我国西北和西南地区的水土流失形势都很严重。陕西省水土流失面积占全省土地面积的 2/3,年均输沙量 9.2×10<sup>8</sup> t,占全国水土流失总量的 1/5;晋陕黄土高原沟壑区,地面侵蚀达 6000~10000 t/km<sup>2</sup>;青海省水土流失面积占土地总面积的 46%,省内年平均输沙量 1.15×10<sup>8</sup> t;新疆石羊河流域水土流失面积达到 8.63×10<sup>5</sup> hm<sup>2</sup>;在西南,长江上游水土流失面积由 20 世纪 50 年代的 2.99×10<sup>7</sup> hm<sup>2</sup> 达到目前的 3.93×10<sup>7</sup> hm<sup>2</sup>。河道淤积、行洪空间减少,水资源的时空分布更加不均,不但减少了有效水资源,也易于形成洪灾。如四川省水灾由 20 世纪 50 年代的平均 4 次/10 a 增加到 80 年代的 8 次/10 a。西部干旱区的塔里木河由于其流域湿地、湖泊被开垦,造成其洪枯水期水量之比变大,总体流量急剧减少。森林、河、湖、湿地被侵占减少了区域水资源可持续空间,在西北干旱区,这种减少是很难逆转的,水资源可持续空间的减少会导致“四水”转换的不畅,并形成恶性循环。

### 3 水资源环境质量下降

由于污染形势更为严峻,改革开放以来,西部地区的经济得到了快速发展,但其经济水平总体来说低于东部地区,其每 1.0×10<sup>8</sup> 元 GDP 的废水排放量高于全国平均水平。如 1995 年全国每 1.0×10<sup>8</sup> 元 GDP 废水排放量为 2.07×10<sup>6</sup> t,贵州为 4.25×10<sup>6</sup> t,青海、

新疆等西部省区每 1.0×10<sup>8</sup> 元 GDP 废水排放量均高于全国平均水平。而且,西部地区废水排放达标率亦低于全国平均水平(图 2,根据中国环境年鉴 1993—1998),因此,西部地区废水排放总量的增长明显高于全国平均增长水平,如 1998 年,全国废水排放总量为 1992 年的 1.13 倍,而同期新疆地区的废水排放总量为 1992 年的 1.62 倍。西部地区以内陆型河湖为主,其水环境容量本来就小,污水排放的增加,必然会导致水资源环境的加速恶化。塔里木河、乌鲁木齐河、黑河等污染十分严重。

另外,西南地区由于地形、气候加上城市大气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 浓度较高(一些地区 SO<sub>2</sub> 年均值可达 463 μg/m<sup>3</sup>,NO<sub>x</sub> 年均值可达 129 μg/m<sup>3</sup>),酸雨发生频率很高(可达 90% 以上),严重影响大气水资源环境。而且由统计结果看,西部地区每 1.0×10<sup>8</sup> 元 GDP 废气排放量除云南省外,均呈上升趋势,尤以宁夏、新疆、贵州等省上升较快。更应注意的是,由于农村经济的逐步发展,西部地区的环境污染正由城市向农村、由点源向非点源扩散,若不及早采取措施,必将使水资源环境的污染更加难于控制。

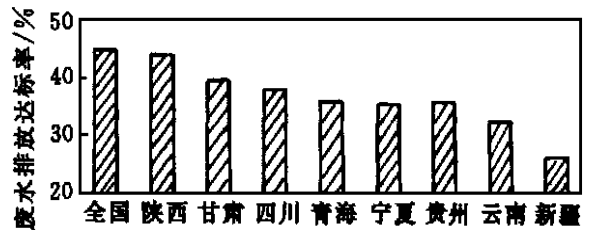


图 2 西部省区废水排放达标率与全国平均水平之比较 (1992—1997 年平均)

### 4 水资源可持续利用环境恶化

西部地区水资源开发利用程度随区内工农业的发展而逐步提高。由于开发利用过度,导致了水资源可持续利用环境恶化。由于河道生态需水的要求,我国河川径流的开采限度不能超过河道年来水量的 40% (陈传友,1998),而西北内陆河和黄河流域水资源的开采利用率均超过这一指标,且除西南诸河外,西部地区水资源开发利用的程度均高于全国平均水平,其中黄河流域、西北内陆的水资源开发利用量占径流量的比例分别为 58.68% 和 50%,而全国水平为 19.85%。在西北干旱区的河西走廊、准噶尔盆地和塔里木盆地,水资源的利用率达 63% 以上,远远超出世界干旱区平均水资源利用率为 30% 的水平<sup>[4]</sup>(图 3)。

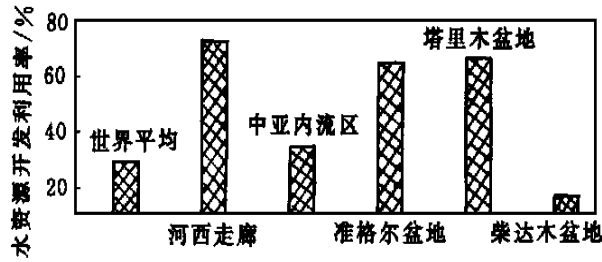


图 3 我国西北干旱区重要盆地水资源开发利用  
与世界干旱区平均水资源利用率之比较

高强度的水资源开发利用使区域水资源可持续空间减少,引起强烈的区域水文效应,如河道缩短,湖泊萎缩甚至退化,区域水资源环境严重恶化。在西北干旱区,这种效应反映得十分明显。如中国干旱区最长的内陆河塔里木河,全长约 2 200 km,在 20 世纪初有常年性河流 128 条,至 90 年代,仅有阿克苏河、和田河、叶尔羌河 3 条支流汇入,其余均在 80 年代初期就全部断流或消失于自流水库或灌溉绿洲<sup>[4]</sup>。20 世纪 30—40 年代,塔里木河干流阿拉尔站年径流量在

$6.0 \times 10^9 \text{ m}^3$  以上,现减少到  $4.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[8]</sup>。其它如黑河、石羊河等流量也明显在逐年下降。由于河流补给环境的影响,西北干旱区的一些主要湖泊水面也在逐渐减小(表 1)<sup>[4]</sup>。

水资源贮存空间的减少,水化学特征亦发生改变,大多湖泊浓缩,矿化度升高,一些湖泊干涸后在地表形成盐壳。水资源的过度开发利用造成的另一后果就是“生态水”减少,森林、草地等蓄水空间减少,脆弱的生态系统更加恶化,反过来又影响区域水资源的可持续空间。如新疆塔里木盆地分布着世界最大的胡杨原始森林,由于中上游过度引水用水,如今塔里木河下游来水比 20 世纪 50 年代锐减了近 80%,塔里木河下游地区的地下水位由 60 年代的 2 m 下降至目前的 16 m 以下,由于缺少水分供应,两岸胡杨林大片枯死,自 1958 年到 1989 年的 30 a 间,胡杨林面积减少了 49.9%,河谷森林面积 80 年代与 50 年代相比,也减少了约  $8.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

表 1 20 世纪西北地区主要湖泊水面及河流水质变化情况

湖 泊	艾比湖		博斯腾湖		台特马湖		艾丁湖		居延湖		青海湖	
	水面	矿化度	水面	矿化度	水面	矿化度	水面	矿化度	水面	矿化度	水面	矿化度
50 年代	1 070	70.0	996	0.383	150	8.56	124	302.0	—	4 635	—	
60 年代	823	—	980	1.496	88	—	22	35.5	2.00	—	12.49	
70 年代	522	85.7	930	1.795	11	17.60	23	—	4.32	4 474	—	
80 年代	500	109.7	864	1.956	0	—	0	23.6	10.15	4 304	14.53	

注:表中水面和矿化度单位:水面为  $\text{km}^2$ ,矿化度为  $\text{g/L}$ 。

## 5 西部水资源环境可持续发展对策

### 5.1 合理保护流域森林、湿地等水资源环境

流域森林、湿地等水资源可持续空间被侵占使水资源在补给、再生的时空上形成断点,严重影响区域水资源的供给<sup>[9]</sup>。在西部大开发中,时刻应保持理性的开发,要加强科学研究,定量阐明流域森林、湿地等生态系统的水资源可持续利用能力,建立其功能与效益评价指标体系,并进行相应的阈值分析与生态风险评价。

目前的措施是:(1)在西部河流上游的生态环境脆弱区,应明确划分出水资源涵养区和经济林区,加强植林种草,对经济林的采伐也要考虑到其自然生息规律。(2)在中下游地区要注意利用河湖湿地一体的水资源环境结构对区域水资源的持续供给能力,尽量避免湖泊、湿地被侵占,或在有条件的地方合理划定洪泛区,发展人工复合湿地生态农业,避免肆意切断

河湖湿地一体结构的水利工程建设,保证水资源环境的连续性。特别是在西北干旱区,保证水资源环境结构的连续性尤为重要,因为该区的水资源环境一旦形成断点,往往导致区域荒漠化,恢复很困难。

### 5.2 受损水资源环境的生态恢复与重建

水资源包括“资源水”和“生态水”。水资源环境问题不但造成“资源水”量减少,而且严重影响“生态水”的质量。所以,水资源环境的保护,受损水资源环境的生态恢复与重建愈加受到人们的重视。在这方面,20 世纪 80 年代发展起来的恢复生态学理论做出了重要贡献。水资源环境的受损,实际是水域生态系统物理、化学及生物学特征改变的结果,所以恢复与重建过程就是恢复受损水资源环境到接近它受干扰前的自然状况,重建该系统受干扰前的结构与功能及有关物理、化学和生物学特征。我国西部地区的水资源环境所受干扰是严重的,其恢复与重建的过程将是长期的,即使在资源开发与利用的过程中,水资源环境的

生态恢复与重建也应同时并举

相关的技术措施包括:(1)小流域综合恢复与治理工作。西部地区不同程度存在水土流失问题,流域综合治理有助于改善水资源储存环境,增加水资源储量,特别是在西北干旱区,因流域水资源的开发利用程度过高,应逐步地退耕还湖,保护该区宝贵的水资源持续空间。(2)区域总量控制技术。目前看来,西部地区废水排放总量不算太大,但其治理率较低,区域总量控制技术通过控制污染物排放总量,达到保护区域水资源环境的目的。(3)水域生物调控技术。即利用生物工程技术增加水域环境容量,该技术在我国东部地区开展较多,并已取得明显进展和经验,在西部地区大有发展前途。

### 5.3 发展节水农业灌溉技术

西部地区水资源环境恶化的重要原因之一是水资源的过度开发利用,尤其是在黄河中上游、西北干旱区更甚。区域大部分水资源应用在农业灌溉上,西北地区是我国重要的耕地后备资源分布区,因此今后西部地区的农业需水还会增加,而且随着西部大开发的进行,各种工业用水也将增加,若不实行节水灌溉,区域水资源供给系统必将更加不堪重负。目前我国西北的农业灌溉定额平均为  $11\,490\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,高于全国平均水平( $8\,280\text{ m}^3/\text{hm}^2$ )。根据农作物合理灌溉定额研究,西北地区为  $7\,500\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,节水率可达 34.7%,潜力是巨大的。和世界农业发达的国家以色列相比(其粮食用水率达到  $4.31\text{ kg}/\text{m}^{3[10]}$ ),我国西部地区的农业节水潜力巨大,若我们的技术手段达到如此水平,我国西北地区的农业灌溉节水率可达 90% 以上(按目前西北地区粮食用水率  $0.21\text{ kg}/\text{m}^3$  计算),诚若如此,西北干旱区的水资源环境势必得到改善,整个西部经济的繁荣与可持续发展不久便可以实现。

### 5.4 树立可持续发展的价值观,建立生态补偿机制

建立在效用价值论和扭曲的劳动价值论基础上的传统资源价值观认为“资源无价,取之不尽,用之不竭”,这是造成当前资源破坏严重的重要价值观念基础<sup>[11]</sup>。可持续的资源价值观必须树立“资源有价,有偿使用”的观念,尤其在我们准备实施资源开发的西部地区,这种观念的确立是十分必要的。一方面通过异地生态补偿机制协调流域性的水资源环境保护,如上游保护水资源的生态环境,下游受益,下游应按一

定的水资源环境价值对上游进行经济性的生态补偿,另一方面通过当地生态补偿保护地区水资源环境,如对当地水资源的开发利用必须交纳一定的生态补偿费,用以保护当地水资源环境。

### 5.5 实行水资源环境可持续性优先的原则

西部地区的自然资源是丰富的,但必须明确,西部地区脆弱的生态环境是以水资源环境为核心的,它是支撑整个生态系统的十分重要的物质基础,一旦水资源环境的损害到难以恢复的程度,其他资源的开采和利用必将受到严重的限制。因此,西部开发中不能片面追求经济效益,应时刻坚持以水资源的可持续发展为优先的原则。正因为此,四川的“长江源头天然防护林工程”、新疆的“塔里木河生态环境治理规划”、云南的“长江、珠江上游生态重建工程”等已准备启动,这将为实施长期的、有计划的西部大开发奠定可持续发展的水资源环境基础。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张落成,董雅文,朱振国.我国中西部地区持续发展中的环境问题及其对策[J].自然资源学报,1999,14(1): 1-8.
- [2] 陈家琪,王浩.水资源学概论[M].北京:中国水利水电出版社,1996.3-15,56-86.
- [3] 李文华.长江洪水与生态重建[J].自然资源学报,1999,14(1): 1-8.
- [4] 王根绪,陈国栋,徐中民.中国西北干旱区水资源利用及其生态环境问题[J].自然资源学报,1999,14(2): 72-78.
- [5] 陈刚起,张文芬.三江平原沼泽对河川径流影响的初步探讨[M].见:黄锡畴.中国沼泽研究.北京:科学出版社,1988.114-117.
- [6] 陈刚起.三江平原沼泽开垦前后下垫面及水平衡变化研究[J].地理科学,1997,17(增刊): 427-433.
- [7] 邓伟,宋新山,翟金良.洪泛湿地保护与水资源可持续利用[J].科技导报,2000,14(3): 54-58.
- [8] 王会让,樊自立.塔里木内陆河流域生态环境脆弱性分析[J].农村生态环境,2000,16(1): 17-20.
- [9] 邓伟,何岩.水资源:21世纪全球更加关注的重大资源问题之一[J].地理科学,1999,19(2): 1-8.
- [10] 中国科学院高新技术领域研究组.农业高新技术领域研究报告[R].北京:中国科学院,1999,15.
- [11] 姜文来.现代可持续发展资源价值观体系研究[J].农业现代化研究,1999,10(3): 62-66.