

水土保持措施对河川径流影响的评价方法研究进展

穆兴民^{1,2}, 王飞^{1,2}, 李靖², 高鹏^{1,2}, 徐学选^{1,2}, 王伟^{1,2}

(1. 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

摘要: 水土保持措施对河川径流影响评价在分析水土保持措施效益和制定水土保持规划中具有重要意义, 而建立和选择科学、合理的评价方法是评价的核心内容。通过对现有的评价方法进行系统总结和整理, 剖析了 2 类 5 种评价方法的特点和存在的不足, 并指出了今后相关研究的工作重点。

关键词: 水土保持; 水文; 河川径流; 评价方法; 进展

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2004)03-0073-06

中图分类号: S157

Review of Evaluation Method of Impact of Soil and Water Conservation Practices on River Flows

MU Xing-min^{1,2}, WANG Fei^{1,2}, LI Jing², GAO Peng^{1,2}, XUE Xu-xian^{1,2}, WANG Wei^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi Province, China;

2. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: Evaluation of impact of soil and water conservation practices on river flow is very important in research of benefit analysis and planning of soil and water conservation. The scientific and reasonable method of evaluation is the core topic in such research. The current methods has been classified into two types and five kinds based on systemic review of various methods. Advantage and shortage of each method are distinguished. Some important suggestions are put forward together.

Keywords: soil and water conservation; hydrology; river flow; evaluation method; review

水土保持措施对河川径流量和径流过程影响评价是水土保持效益分析、土地利用/土地覆被变化和有序人类活动的环境效应等研究的重要内容,也是水土保持规划和决策的理论依据,而建立科学、合理的评价方法又是开展和深入该研究的核心内容之一^[1-4]。我国从 20 世纪 40 年代就开始了水土保持对径流影响的评价研究,随着水利工程建设和水土保持工作的大规模开展,水土保持措施对河川径流的影响研究日渐深入,研究方法也逐渐趋于完善。

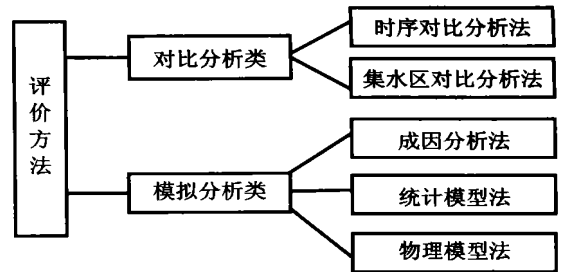


图 1 水土保持水文效应研究方法分类

1 评价方法的类型与特点

按照评价原理不同,现有研究方法可分为对比分析和模拟分析两大类(图 1)。根据对比对象不同,对比分析还可分为集水区对比分析法(空间对比法)和时间序列对比分析法两种方法。根据建模方法不同,模拟分析类可分为成因分析法(也称水保法)、统计模型法和物理模型法等 3 种方法。

1.1 对比分析类

对比分析类以实测资料为基础,根据治理与非治理流域(或基期)实测径流资料,分析不同水土流失治理情况下的水文情势变化,它包括集水区对比分析法和时间序列对比分析法。集水区对比分析法就是在同一地区,选择集水面积、沟道比降、地貌、植被、土壤和气候等因素基本一致的集水区,设定一个不治理的集水区,并与进行治理的集水区同时进行较长期的降水

收稿日期: 2004-01-09 修回日期: 2004-04-29

资助项目: 中国科学院西部行动项目(KZCX1-10-04); Regional impacts of re-vegetation on water resources of the Loess Plateau, China and the Middle and Upper Murrumbidgee Catchment, Australia(LWR1/2002/018); 黄委会水保基金项目

作者简介: 穆兴民(1961—),男(汉族),陕西华阴人,博士,研究员、博导,主要从事生态水文学研究。发表论文 80 余篇,出版专著 5 部。电话

和径流等要素的观测, 对比分析水土保持措施对径流量和径流过程的影响。从地学研究角度看, 集水区对比分析法可以认为是水土保持水文效应评价最为科学合理的研究方法, 但由于要素一致的集水区选择困难和集水区社会经济发展需要等原因, 往往使研究工作难以持续进行。如 20 世纪 50—60 年代, 黄河水利委员会或地方水土保持研究所(站) 在黄土高原建立了大量对比观测流域, 但现在仅有水利部黄河水利委员会还保留部分对比流域观测实验。

时间序列对比分析法以同一流域为研究对象, 根据相同水文站实测资料, 通过分析实行水土流失治理前后水文要素的变化, 评价水土保持对流域水量平衡与水分循环的影响。应用时间序列对比分析的技术关键是确定治理前后临界年份, 但严格地讲, 在不同时期, 降水、灌溉等因素的影响是完全不同的, 在分析时, 应该剔除这些因素的影响^[5]。

1.2 模拟分析法

1.2.1 成因分析法 成因分析法(亦称水土保持分析法, 简称水保法), 是根据水土保持措施对径流形成的影响机理和径流小区观测资料, 通过分析和确定各项措施对径流量的作用强度(又称定额), 计算各项水土保持措施对径流量的影响, 各项之和即为流域水土保持措施对径流的影响量^[3]。随着研究的深入, 以径流小区资料为基础的影响参数也推广到较大流域, 进行水土保持措施对径流影响的定量评价^[6]。该方法能够直观分析实施各项措施对径流量的影响, 也可根据水土保持规划分析未来水量变化趋势, 还可直接用于计算人类活动新增水土流失区的水量效应问题^[3,7]。

由于水土保持措施指标的选择不仅受措施本身状况(包括措施数量、质量、管理以及分布等)的影响, 同时还受水文、气象边界条件以及时间尺度的影响, 指标的正确选取相当困难。目前研究中, 措施面积和影响参数都带有很大的不确定性。为提高研究精度, 水保法还必须解决 3 个关键问题, 即水土保持措施面积及其质量等级的确定、各项水保措施对径流影响的参数确定和坡面与小区资料的尺度放大问题。

此外, 成因分析法不能分析水文过程的变化。水土保持措施拦蓄并渗入土壤中的水分, 除地表和植物的蒸发蒸散外, 还有一部分会以地下径流的形式回归河道, 而目前的成因分析法并不能计算这部分水量; 在大的空间尺度范围内, 该方法尚不能分析措施空间配置对地下径流的影响。

1.2.2 统计模型法 当不考虑降雨到河川径流形成的复杂物理过程, 仅分析降雨—径流量关系时, 应用统计模型在实践上是可行的。用统计模型法研究水土

保持对径流量影响的工作步骤是: 首先确定水土流失综合治理对径流量明显发生作用的临界年份, 并把流域降雨径流量按年序分为影响前和影响后 2 个时段; 然后利用影响前期的降水和径流量资料, 通过数理统计方法建立未治理时期(或未发生显著影响时期)降雨产流统计模型, 并以该模型作为“天然”降雨产流模型; 将治理时期的降雨条件代入模型中, 求得相当于“天然”条件下的产流量; 比较实测径流量与模拟计算的“天然”产流量, 即可求得综合治理对河川径流量的影响。显然, 这种方法的重点在于建立“治理前”降雨产流统计模型^[5]。由于人们对降雨产流规律认识的差异, 因而建立了不同类型的降雨产流统计模型。

(1) 以降水量为主的流域降水—径流统计模型。该类模型主要有线性模型和幂函数模型。

$$R = A_0 + A_i P_i^\alpha \quad (1)$$

$$\text{或} \quad R = \prod B_i P_i^{\beta_i} + B_0 \quad (2)$$

式中: A_0, A_i, α, B_i 及 β_i 等——模型参数; P_i 和 R ——流域降水变量(如年、月、季或特定时段降雨量)和河川径流量。在模型(1)中, 若 α 为零, 则模型成为线性。

这类模型是目前黄河流域应用最为广泛的模型, 实践证明, 用线性回归模型表示年径流量与降水量之间的关系效果较好^[8]。建立和应用回归统计模型的关键是自变量指标的选择, 在水利部水沙二期基金项目中, 研究者分别建立了河龙区间 21 条一级支流降雨径流模型, 在这些模型中, 降雨量指标主要有年降雨量、典型月降雨量、典型时段降雨量(如最大 7 日、最大 10 日、最大 30 日)、有效降雨量(即大于某一临界降雨量的累积降水量)等, 但主要因素是年降雨量或汛期降雨量^[9]。由于径流量还受前期降雨量的影响, 因此, 在建立降雨产流模型时, 应该考虑下垫面湿润程度对产流的影响^[10]。由于降雨空间分布的不均匀性, 建立黄土高原降雨产流模型时如何确定流域面平均雨量仍是一个值得研究的问题, 除常用的泰森多边形法、算术平均外, 梁季阳还提出根据雨强—历时曲线来计算面平均降雨量^[11]。

(2) 以雨强为主的降水产流统计模型。次降雨产流量主要与降雨强度、降雨量和前期土壤含水量等因素有关。通过降雨、入渗、产流的物理过程及产流机理分析, 在建立超渗产流区降雨产流回归模型时可以忽略不产流时段的降雨并建立了以有效雨量及有效雨强(即产流历时内的雨量和平均雨强称为有效雨量和有效雨强)为自变量的降雨产流统计模型^[12]:

$$\ln f = A + B \ln I_e + C \ln P_e \quad (3)$$

式中: f —— 径流系数; I_e —— 有效雨强; P_e —— 有效雨量; A , B 和 C —— 经验系数。

在降雨开始和结束时, 小于 0.2 mm/min 雨强的降雨不产流, 故这两部分降雨对产流的作用可以忽略, 仅取中间时段内的雨强作为有效雨强。降雨量小于 9.0 mm 时也不产流或产流量很少, 故也不予统计。因此, 在统计暴雨资料时要遵循 2 个原则, 次暴雨量 9.0 mm ; 去掉降雨开始和结束时小于 0.2 mm/min 的低强度降雨, 取中间的部分计算有效降雨量和有效雨强^[13]。总体而言, 基于有效雨量和有效雨强的降雨产流模型较为科学合理, 应用效果也好, 但计算繁琐, 模型不便推广, 而且有效雨强和有效雨量的确定方法和指标值很不一致, 仍有待进一步深入研究。

(3) 基于流域降水量和措施面积共线性分析的综合统计模型。现有水土保持措施对径流影响的统计模型多数以降雨量或雨强为自变量, 而穆兴民等^[14]在分析水土保持措施、降雨量时空关系共线性的基础上, 提出了一种对降雨量和水土保持措施面积进行处理以克服原始变量间的共线性问题的方法, 建立了降雨—水土保持措施—径流量综合统计模型。在该方法中, 用因子分析法对原始变量进行处理, 构造了“流域降雨量标度”和“水土保持措施面积标度”新变量。采用新变量所建模型, 既能综合反映水保措施和降雨对径流量的影响, 同时在分析中也能分离水土保持措施对河川径流量的作用大小。以该模型对佳芦河及秃尾河流域的分析结果表明, 随水土保持措施面积增大径流量逐渐减少, 与天然产流量相比, 水土保持使流域径流量平均减少 $10\% \sim 22\%$; 因降水量减少及水土保持措施面积增大, 20 世纪 70—90 年代比 60 年代径流量明显减少, 佳芦河因降水变化及水土保持措施作用约分别占径流量减少量的 25% 和 75% , 而秃尾河分别为 35% 和 65% 。

(4) 其它统计模型。年径流量不仅与汛期雨量有关, 而且还与非汛期降雨量及降雨的集中程度有关。因此, 张经之^[15]提出了反映年内降水分布特征的流域降水产流模型, 即:

$$R = K(P_s f^m + P_k^n) + C \quad (4)$$

式中: R —— 径流量; P_s —— 汛期降雨量; P_k —— 非汛期降雨量; f —— 降雨集中系数 ($f = P_1/P_s$), P_1 —— 汛期最大 1 日降雨量; m, n —— 反映汛期和非汛期降雨对径流量影响程度的参数, K, C —— 经验常数。

该模型考虑了年内不同时期降雨对径流影响的差异, 将汛期和非汛期降雨对产流的影响分开处理, 概念明确, 应用的降雨资料易于获得, 模型便于推广。

徐雨清等^[16]利用遥感与 GIS 技术提取了集水区边界、水系网络、集水区地形景观特征(如坡度、坡向、植被指数、降雨等)指标, 建立了黄河支流祖厉河和苑川河流域的平均降雨径流模型:

$$R = 11100 \times P^{3.165} N_{DVI}^{3.535} A^{0.8013} \quad (5)$$

式中: R —— 年平均径流量(m^3); P —— 年均降雨量(mm); N_{DVI} —— 归一化植被指数; A —— 集水区面积(km^2)。模型复相关系数达 0.801 。

统计模型结构相对简单, 使用方便且能达到一定的精度, 在生产和实践中得到了广泛应用。但这类模型有许多不足: 外延效果差, 不便于模型在不同流域或地区间的移用; 仅给出最终结果, 不能分析水土保持对产流过程的影响; 目前都是假设临界年份(如 1970 年)前时段为未治理时期即认为此时段水土保持措施影响为零来建立降雨产流统计模型, 但这与实际不符; 不能分离水土保持措施对降雨产流量的影响。

1.2.3 物理模型法 现代水科学研究更为迫切地需要与数学、计算机科学、信息科学等的融合。流域水文、遥感及示踪等新的测定技术和 GIS 数据管理技术的应用和计算机运算能力的提高, 极大地推动了水科学研究从点到面, 从定性到定量, 从单一到综合的发展, 并使大中尺度的水文生态过程模拟研究成为现实。尽管对某一水文事件或水文要素的模拟研究已有近百年的历史, 但一般认为最早的流域水文模型是 1967 年开发的 Stanford 模型^[17]。相对于统计模型, 流域水文物理模型描述了从降雨到径流的形成过程, 因此, 被称为白箱模型或物理模型。水文物理模型在解决水文复杂问题和进行水文规律研究上具有重要作用, 因而发展迅速。自 Stanford 水文模型建立以来, 世界各国已开发出各种各样的流域水文模型。Singh 主编的《Computer Models of Watershed Hydrology》一书中收集了目前世界上具有广泛代表性的 26 个流域水文模型, 如 SHE—Mike 模型、Tank 模型、Xinanjing (新安江) 模型、TOPMODEL 模型和 EPIC 模型等。从 SHE 模型发展而来的 SHETRAN 模型已被用于预测土地利用变化和气候变化的水文影响研究^[18]。由于小地形改变和土地利用结构调整等的水文影响未能引起一些水文学家的足够重视, 上述模型没有充分考虑与水土保持措施有关的模型参数设计。因此, 这些模型尚不能直接用于水土保持水文效应的分析研究。

近年来, 随着对产流规律研究的不断深入, 我国学者针对黄河中游地区的特点, 开发了一些能反映水土保持作用的水文模型, 但尚不能用于大中流域或区域。河海大学和黄委会绥德水保站合作开发了小流域

降雨产流模型^[19]。该模型用 Horton 下渗曲线计算产流,用滞后的线性水库及马斯京根连续演算法计算汇流,建立了具有物理成因的概念性小流域水文模型。尽管该模型分别被应用于陕北的裴家峁沟和子洲径流试验站的 6 条小流域并经过了验证,模拟效果好,但其应用的流域面积较小(仅为 187 km²)。汤立群等^[20]在建立黄土丘陵沟壑区小流域产沙过程模型时,以 Horton 产流模型为基础,建立了流域降雨产流模型,其模型结构和参数经陕北桥沟小流域实测资料验证,也有较高精度。

在半干旱半湿润地区,除降雨量和土壤含水量外,雨强和下渗能力对产流也有显著影响。由于流域产流是超渗与蓄满并存的混合产流模式,阎文生等建立了流域超渗—蓄满兼容的产流模型^[21],该模型在理论上更加合理。包为民^[22]提出的流域水沙耦合物理概念模型,已在黄河中游地区十多个流域上得到应用。为避免传统水文物理概念模型计算繁琐且资料不易获取等问题,郭生练等^[23]根据水量平衡原理,建立了以月为基础的流域水文模型^[24],通过在渭河流域应用,证明其模拟效果也很好。

与统计模型相比,物理水文模型具有物理基础,外延精度较高;通过模型参数改变可以反映人类活动如水土保持影响后的水环境变化,代表了水文模型的发展趋势^[17,25];对单次暴雨来说计算精度高;可以考虑边界条件更为复杂的流域。但由于水文物理模型相对复杂,需要输入的参数较多,而且缺乏观测资料,参数获取也较为困难等原因,水文物理模型在我国并未广泛应用。

2 水土保持的水文效应研究

2.1 水土保持对径流过程的影响

水土保持措施既有以林草植被营造为主的生物措施,还有包括梯田、条田、鱼鳞坑、池塘、水坝等的工程措施。按照各项措施对水文过程作用机理的不同,可将水土保持措施划分为 2 大类即滞蓄型和拦蓄型水土保持措施^[26-27]。滞蓄型措施如造林、种草和农田轮作等能通过增加地表覆盖和地表糙度,促进水分下渗,减少并延缓产流。拦蓄型措施,如淤地坝和水库等,具有一定的容水量,以直接拦蓄径流的方式减少水土流失量。梯田改变了地表坡度,在一定程度上能阻滞径流的流出,具有滞蓄型措施的某些特征。蓄滞型水保措施对土壤具有一定的改良作用,可以通过改变土壤结构而增加土壤中的非毛管空隙,增加土层渗透性和流域的蓄水能力,减少超渗形成的地表径流,并且入渗水对土壤含水量的有效补充,可增加植物可

利用水资源。因此,蓄滞型水土保持措施作用强的地区,降水易于下渗,地表径流也更易于转化为壤中流和地下径流的。拦蓄型措施则具有一定的容水量,被拦蓄的径流可转化为下渗、蒸发和土壤水,也可以引起地下径流的增加。汤立群等^[28]和丁琳霞等^[29]的研究表明,黄土高原地区的水土流失综合治理使地表径流更易于向壤中流、地下径流转化,产流形式有从超渗产流向蓄满产流转变的趋势。

水土保持的水文效应研究逐渐从径流小区向小流域推进。20 世纪 50 年代,黄土高原的绥德、天水 and 西峰 3 个水土保持实验站中都设置了对比观测流域,其后在许多地方水土保持试验站也开展了类似的试验研究工作,取得了大量的观测资料。李驾三^[26]利用西峰站 1954—1957 年资料,分析了不同降水条件下小流域综合治理对地表径流量的影响,认为当雨强为 30 mm/h 时,综合治理使径流量减少约 41%;当雨强为 30~100 mm/h 时,综合治理使径流量减少约 47%。穆兴民等^[2,30]对黄土高原 20 余个有对比观测资料的小流域进行了分析,结果表明,在黄土高原丘陵沟壑区,水土保持能使小流域产洪次数减少,地表产流模数和径流系数减小,地表产流模数的年际变率增大;在洪水产流过程中,水土保持使流域产流起始时间滞后,径流持续时间延长,瞬时流量及洪峰流量降低以至消失。

2.2 区域水土保持对河川径流量的影响

美国学者道纳尔德·E·惠兰分析了水土保持对美国米锐马克流域的拜可河(流域面积 143 km²)水文过程线的影响^[26],指出,水土保持可使河川年径流量从 17% 减少到 11%,但可使地下径流量增加 2%,水土保持总体可使年径流量减少 3%;水土保持措施能很好地调节径流,降低洪水流量。李驾山等对前苏联南部欧洲部分的河流分析后指出^[26],由于农林改良土壤措施的影响,许多河流春汛径流量减少而枯水径流量增加,从而使径流量的年内分配趋于均匀;当春汛地表径流减小 39% 时,大河枯水径流量可增加 50%,在同一地区内流域面积约为 5 000~10 000 km² 的中等河流上,地下径流增加的百分率可能更大。

萨尔河(位于北高加索的干草原带)在实行农林改良措施以后,地下径流量由 1 mm 增加到了 3 mm,但在年径流总量中地下径流补给量却仅由 4% 增加到 15%。在原苏联的欧洲部分的草原地带,面积小于 4 000~5 000 km² 的流域内,由于地下水通常是埋藏在河流排出地下径流的水位以下,因而地下径流不可能显著增加。

20 世纪 70 年代以来,黄河水量显著减少以至断流受到社会的高度重视。水利部(水沙和水保基金)、国家自然科学基金委、科技部(“八五”攻关项目)等部门分别立项,开展黄土高原水土保持对径流量影响的研究,结果表明,黄河径流量减少是降水减少和水利水保工程措施综合作用的结果。同时,区域水土流失治理对河川径流量的影响,不同项目采用不同方法所得结果差异甚大(表 1)。

平均而言,1970—1979 年、1980—1989 年和 1990—1996 年各时段,统计模型法比成因法分别高 6%,38% 和 38%。流域水土流失综合治理中的水土保持措施包括的种类很多,但由于基础统计资料限

制,目前的研究中,成因法仅仅分析了梯田、人工林草地和淤地坝等 4 项措施的作用,而统计模型研究结果是流域内所有治理措施及其它因素增水或减水的总效果,与统计模型法相比,成因法计算结果偏小。

另外,采用相同分析方法,不同研究课题计算的水土保持措施对径流的影响差异可高达 2~3 倍,这种差异是水土保持措施面积和蓄水参数不同引起的。因此,进一步开展水土保持对河川径流影响的分析方法研究实有必要,同时,也很有必要建立一种客观的检验各种方法模拟精度及可信度的方法,如选择一条除水土流失治理外而没有其它人为活动作用的流域,进行观测和计算分析。

表 1 不同方法及不同项目研究计算的水土保持措施蓄水量

10^8 m^3

方 法	时 段	水沙基金	水保基金	“八五”攻关	自然基金	水沙基金	平均
统计模型法	1970—1979	10.55	9.89	10.92	16.70	6.53	10.92
	1980—1989	15.55	16.82	13.65	21.24	10.86	15.62
	1990—1996	—	—	—	—	9.73	9.73
成因法	1970—1979	11.14	7.44	11.52	—	5.77	8.97
	1980—1989	11.24	7.34	14.49	—	8.09	10.29
	1990—1996	—	—	—	—	7.05	7.05

注:① 成因法中考虑的水土保持措施均为梯田、人工林、人工草地和淤地坝等 4 项措施;④ 研究区均为河口镇—龙门区间。

3 结 论

从 20 世纪 60 年代特别是 80 年代以来,黄土高原水土保持水文效应研究取得了较大的进展,研究方法的先进性和科学性不断提高,研究精度与可信度较 50—60 年代的研究结果明显提高。但由于流域水文变化的复杂性以及受某些客观条件的限制,现有的计算方法还不十分完善和合理,从而出现在同一流域,水土保持对河川径流量影响的分析结果差异较大。因此,寻求科学合理,精度较高的计算方法,是当前水土保持水文效应研究的一个关键。

目前的研究方法大体可以分为 2 大类 5 种类型,不同类型各有特点,但是大多都属于总量评价,难以有效地区分不同类型人类活动或单项水保措施的水文效应。如何应用模型法对水土保持效益进行分离评估,以切实有效地指导流域综合治理的规划设计仍有待进一步的研究。新技术新方法在水土保持水文效应研究和实践中的应用仍有待加强。如何将径流小区的研究成果放大应用到流域或区域尺度上仍是生态水文模拟研究的难点。水文模型(统计模型或物理模型)在水土保持水文效应研究方面具有重要作用,但气象和下垫面条件变化、资料的不足使它们的应用都受到一定的限制

李玉山、李锐和邵明安研究员及西安理工大学沈冰教授等曾对本研究提出修改建议,谨此致谢。

[参 考 文 献]

- [1] 孟庆枚. 黄土高原水土保持[M]. 郑州:黄河水利出版社,1996. 1—30.
- [2] 穆兴民,徐学选,陈霖巍. 黄土高原生态水文研究[M]. 北京:中国林业出版社,2001.
- [3] 张胜利,于一鸣. 水土保持减水减沙效益计算方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,1994.
- [4] 穆兴民. 黄土高原水土保持对河川径流及土壤水文的影响[C]. 西北农林科技大学博士学位论文,2002.
- [5] 穆兴民,王文龙,等. 水利水保工程对佳芦河流域暴雨洪水影响分析[J]. 水土保持通报,2000,20(7):24—27.
- [6] 吴永红,李倬. 水土保持坡面措施减水减沙效益计算方法探讨[J]. 水土保持通报,1998,18(1):43—47.
- [7] 徐建华,牛玉国. 水利水保工程对黄河中游多沙粗沙区径流泥沙影响的研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2000. 158—174.
- [8] 贾绍凤,梁季阳. 黄土高原降雨径流产沙相互关系的研究[J]. 水土保持学报,1992,6(3):42—47.
- [9] 冉大川,柳林旺,赵力仪,等. 黄河中游河口镇至龙门区间水土保持与水沙变化[M]. 郑州:黄河水利出版社,2000. 124—137.
- [10] 周明衍. 晋西入黄河流产沙规律和流域治理效果[J]. 水文,1991(增刊):21—25.

- [11] 梁季阳. 黄土高原暴雨径流及产沙的分析模拟[J]. 水土保持学报, 1992, 6(2): 12—16.
- [12] 王孟楼, 张仁. 陕北岔巴沟流域次暴雨产沙模型的研究[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 11—18.
- [13] 王向东, 谢树楠. 皇甫川流域产流产沙数学模型及水沙变化原因分析[J]. 泥沙研究, 1999(5): 55—66.
- [14] 穆兴民, 李靖, 王飞, 等. 基于水土保持的流域降雨—径流模型研究[J]. 水利学报, 2004(4): 154—160.
- [15] 张经之. 山东省河川径流还原计算方法及合理性论证[J]. 水文, 1982(增刊): 30—35.
- [16] 徐雨清, 王兮之. 遥感和地理信息系统在半干旱地区降雨—径流关系模拟中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2000, 15(1): 28—31.
- [17] Vijay P Singh. Computer Models of Watershed Hydrology [M]. Water Resources Publications. Colorado, USA. , 1995. 1—22.
- [18] Ewen J, Parkin G. Validation of catchment models for predicting land-use and climate change impacts[J]. J. Hydrology. 1996, 175: 583—594.
- [19] 黄河水利委员会绥德水土保持科学试验站. 黄丘(一)副区小流域产流产沙数学模型及其应用研究[R]. 1992.
- [20] 汤立群, 陈国祥. 物理概念模型在水保效益评价中的应用[J]. 水利学报, 1998(9): 62—65.
- [21] 阎文生, 胡春歧. 流域超渗—蓄满兼容产流模型的研究[C]. 黄河水沙变化研究基金会编写. 黄河水沙变化研究论文集(第五卷)[A]. 1993. 343—350.
- [22] 包为民, 陈耀庭. 中大流域水沙耦合模拟物理概念模型[J]. 水科学进展, 1994, 5(4): 287—292.
- [23] 郭生练, 王国庆. 半干旱地区月水量平衡模型[J]. 人民黄河, 1994(14): 13—16.
- [24] 王国庆, 王云璋. 渭河流域产流产沙模型及径流泥沙变化原因分析[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 22—25.
- [25] Beven K J. Future of distributed modeling[J]. Hydrological Process. 1992, 6: 253—268.
- [26] 人类活动对径流的影响[M]. 北京: 水利电力出版社, 1958.
- [27] 王国庆, 王云璋. 浅析黄河中游水利水保工程措施对暴雨产流产沙机制的影响[J]. 山西水土保持科技, 2000(1): 23—25.
- [28] 汤立群, 陈国祥. 水利水保措施对黄土地区产流模式的影响研究[J]. 人民黄河, 1995(1): 19—22.
- [29] 丁琳霞. 黄土区水土保持对小流域水文环境效应的影响[C]. 中国科学院水利部水土保持研究所研究生论文, 2000.
- [30] 穆兴民, 王文龙. 黄土高塬沟壑区水土保持对小流域地表径流的影响[J]. 水利学报, 1999(2): 71—75.

(上接第 63 页)

3.4 IV 生态经济区

白城地区、松原地区生态环境状况不佳,属于生态条件脆弱的区域。这一区域应利用多样的土壤类型和充沛的光热条件,大力发展第一产业(玉米、水稻等主粮作物的生产);利用西部风能丰富和日照时间长的优势,发展太阳能和风力发电;利用丰富的矿产资源,如石油、天然气等,发展矿产资源开采业,逐步创建西部草原湿地保护与绿色产业生态经济区。

综上所述,吉林省生态系统结构功能上的完善与经济上的落后,充分说明还没有建立起合理的、功能完善的资源、生态服务机制,经济发展与生态环境保护之间没有实现协调统一,同时也表明吉林省具备良好的发展生态环保型效益经济、建设生态省的环境条件。通过系统分析吉林省的土地利用生态系统的结构和功能,从深层次上挖掘土地利用的生态经济分区,为生产力的合理布局指明方向。

吉林省作为北方省份之一,是国家确定的实施生态省战略的重要省份,对该省开展土地利用规划 SEA 可以为生态省、生态市、生态县等的开展提供范例。吉林省作为我国生态环境的缩影,具有多样的地貌特征和独特的生态环境系统,对该省土地利用的景观结构及其服务功能的评价,对全国的生态省等建设也有示范作用。

[参 考 文 献]

- [1] 樊红, 詹小国. ARC/INFO 应用与开发技术[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.
- [2] 邬建国. 景观生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [3] Costanza R, Arge R, Groat R et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387: 253—260.
- [4] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. 科学通报, 2000, 45(1): 17—22.