

# 太湖流域安吉县森林控制土壤侵蚀及养分流失的效益评估

张彪<sup>1</sup>, 董敦义<sup>2</sup>, 张灿强<sup>1</sup>, 杨艳刚<sup>1</sup>, 潘春霞<sup>2</sup>, 王斌<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 浙江省安吉县林业局, 浙江 安吉 313300; 3. 中国林科院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

**摘要:**因土壤流失带来的面源污染是太湖流域水质恶化的主要原因之一,而森林在控制土壤侵蚀以及减少养分流失方面具有重要作用。以安吉县森林资源二类调查数据为基础,采用土壤侵蚀模数法和土壤养分含量估算了森林控制土壤侵蚀及其减少氮、磷养分流失量,并参照污染物入河降解系数与环境资源区域补偿标准,评估了安吉县森林减少氮磷养分流失的生态效益。结果表明:安吉县森林可年均减少 151 万 t 土壤侵蚀量,从而控制住土壤中 1 409 t 总氮和 577 t 总磷养分流失,相当于每年避免了 824 t 总氮和 410 t 总磷输入到河流水体中;仅此一项生态服务功能,安吉县森林每年就应得到 9 255 万元生态补偿资金,约合森林 688 元/(hm<sup>2</sup>·a),相当于目前 47 元/hm<sup>2</sup> 生态补偿标准的 15 倍。该研究揭示了太湖流域上游地区森林控制土壤侵蚀及养分流失对于流域水环境保护的重要性,有助于流域水环境污染治理与保护工作的开展。

**关键词:**森林; 土壤侵蚀; 养分控制; 效益评估; 太湖流域; 安吉县

中图分类号:S157.1;S714.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)06-0111-04

## The Benefit Assessment on Reduction of Soil Erosion and Nutrient Loss from the Forests in Anji County of Taihu Basin

ZHANG Biao<sup>1</sup>, DONG Dun-yi<sup>2</sup>, ZHANG Can-qiang<sup>1</sup>, YANG Yan-gang<sup>1</sup>, PAN Chun-xia<sup>2</sup>, WANG Bin<sup>3</sup>

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS,

Beijing 100101, China; 2. Anji Forestry Bureau of Zhejiang, Anji, Zhejiang 313300, China;

3. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang, Zhejiang 311400, China)

**Abstract:** The non-point source pollution due to nutrient input coming from soil erosion has significant impact on the water body eutrophication of Taihu Lake Basin. To deeply realize and fully utilize the role of forest in reducing nutrient loss increasingly becomes an urgent task, based on the forest inventory data in Anji County (2007), the amounts of soil nutrient fixation (including TN and TP) of forests were calculated by means of the soil erosion modulus and nutrient contents, and the monetary values of protecting the water bodies against nutrients input from soil erosion were estimated by using the river load and degradation ratios as well as the regional compensation standards of environmental resources. The result showed that the forests in Anji County could reduce  $1.51 \times 10^6$  Mg/a or 11 Mg/(hm<sup>2</sup>·a) of soil erosion, decrease the nutrient losses of 1 409 t for total nitrogen and 577 t for total phosphorus, which avoid 824 t of total nitrogen and 410 t of total phosphorus flowing into the rivers. These forests should be compensated 92.55 million Yuan/a or 688 Yuan/(hm<sup>2</sup>·a), which is 15 times as the current ecological compensation of 47 Yuan/(hm<sup>2</sup>·a). The results of this study can contribute to the understanding on the role of forest in water environment management in Taihu Lake Basin and the protection and utilization of forest resources.

**Key words:** forest; soil erosion; nutrient control; benefit assessment; Taihu Basin; Anji County

近年来,太湖流域水体富营养化和水环境质量下降问题日趋突出<sup>[1]</sup>,而土壤侵蚀造成的物质迁移是太

湖流域非点源营养元素输入的主要载体之一<sup>[2]</sup>。土壤侵蚀是指在水力、风力等营力作用下,土壤及其母

质被破坏、剥蚀、搬运以及沉积的过程<sup>[3]</sup>。土壤侵蚀不仅减低土壤有机质和各种营养元素的含量,破坏土地结构,并且随着土壤的流失而污染水体<sup>[4]</sup>。浙江省安吉县位于太湖流域上游西苕溪流域,丰富的降水量和以山地丘陵为主的地貌形态,为土壤侵蚀的发生创造了条件。尤其是近年来该地区土地利用程度不断提高,化肥施用数量不断增加,不同土地利用类型对氮磷养分输出引起了重点关注<sup>[5-7]</sup>。良好的森林植被对土壤侵蚀具有明显的控制作用<sup>[8]</sup>,因而有助于减少土壤侵蚀带来的氮磷养分流失。当前人们似乎更多关注于社会经济活动对流域水环境的影响,而对于自然植被在流域面源污染中的控制作用认识不足。本文以安吉县森林二类调查数据为基础,以现有研究成果为依据,综合评估了该地区森林在控制土壤侵蚀及其养分流失进而减少水污染压力的作用,希望能为太湖流域水污染治理和水环境保护提供参考。

## 1 研究区概况

安吉县位于浙江省北部,地理位置  $30^{\circ}53' - 30^{\circ}23'N$ ,  $119^{\circ}35' - 119^{\circ}14'E$ ,土地总面积  $1\ 886.45\text{ km}^2$ ,下辖递铺、梅溪、孝丰、报福、溪龙等 15 个乡镇。县域地貌有山地、丘陵、岗地、平原 4 种类型,其中丘陵山地占总面积的  $49.84\%$ 。安吉县气候属亚热带季风气候,年均气温在  $12.2 \sim 15.6^{\circ}\text{C}$ ,年降水量  $1\ 100 \sim 1\ 900\text{ mm}$ 。安吉土壤类型主要有红壤、黄壤、岩性土、潮土、水稻土等,山地肥力差异较大。

安吉县属亚热带东部常绿阔叶林北部亚地带青冈、苦槠植被区。天然植被有青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、常绿阔叶林、马尾松林(*Pinus massoniana*)、针阔混交林、竹林(*Phyllostachys heterocyla Pubescens*)以及灌丛植

被。根据 2007 年森林资源二类调查数据,安吉县森林资源主要由针叶林、阔叶林、针阔混交林、竹林、经济林以及灌木林 6 种林地类型组成,其面积分别为  $20\ 383.49, 19\ 497.64, 8\ 401.4, 69\ 698.47, 5\ 495.67, 10\ 952.67\text{ hm}^2$ 。针叶林树种主要是杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)和湿地松(*Pinus elliottii*);落叶阔叶林是以麻栎(*Quercus acutissima*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、黄檀(*Dalbergia balansae*)等为主的次生林,常绿阔叶林主要由壳斗科、樟科、山茶科和木兰科的常绿树种为主;针阔混交林中的阔叶树种主要以苦槠、青冈等组成,针叶树种以马尾松和杉木为主。此外,竹林广泛分布安吉县境内,种类有毛竹(*Phyllostachys pubescens*)、红竹(*Phyllostachys iridescens*)、石竹(*Dianthus chinensis* Linn)和淡竹(*Phyllostachys glauca*)等,经济林以板栗(*Castanea mollissima*)、山核桃(*Carya cathayensis*)、杨梅(*Myrica rubra*)、梨树(*Pyrus sorotina*)和桃树(*Prunus persica*)为主,灌木林主要是白茶(*Koilodepas hainanense*)和桑树(*Morus alba*)。安吉县森林分布情况如附图 6 所示。

## 2 计算方法

### 2.1 森林控制土壤侵蚀量

基于安吉地区森林土壤侵蚀研究成果<sup>[2,9-11]</sup>,分析得到不同林地类型年土壤侵蚀量如表 1 所示。如果以无林地年土壤侵蚀量为对照,森林控制土壤侵蚀量可通过式(1)计算。

$$S = (S_{\text{non}} - S_f)A \quad (1)$$

式中: $S$ ——森林年控制土壤侵蚀量( $\text{t/a}$ ); $S_{\text{non}}$ ——非林地年土壤侵蚀量 $[\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})]$ ;  $S_f$ ——不同林地类型年土壤侵蚀量 $[\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})]$ ;  $A$ ——林地面积( $\text{hm}^2$ )。

表 1 安吉县不同林地类型土壤年侵蚀量

$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$

针叶林	阔叶林	混交林	竹林	经济林	灌木林	无林地
352.15 <sup>[9]</sup>	294.5 <sup>[9]</sup>	186.6 <sup>[10]</sup>	722.78 <sup>[9]</sup>	1469.13 <sup>[2]</sup>	200 <sup>[11]</sup>	1681.2 <sup>[2]</sup>

### 2.2 森林减少养分流失量

根据安吉县林地土壤养分含量测定研究<sup>[12]</sup>,可计算得到 6 种林地土壤 0—40 cm 氮磷养分含量的平均值(表 2),因此安吉县森林控制土壤侵蚀减少的养

分流失量可采用式(2)计算。

$$N = S\beta_i \quad (2)$$

式中: $N$ ——控制土壤侵蚀减少的总氮或总磷养分流失量( $\text{t/a}$ ); $\beta_i$ ——林地土壤总氮或总磷养分含量( $\text{mg/g}$ )。

表 2 安吉地区不同林地土壤养分含量

$\text{mg/g}$

项目	针叶林	阔叶林	针阔混交林	竹林	经济林	灌木林
总氮	0.617	1.176	0.964	0.859	0.838	1.355
总磷	0.267	0.534	0.416	0.361	0.325	0.388

### 2.3 森林减少养分流失的生态效益

森林通过林冠拦截降雨、枯落物截持和土壤层下

渗等生态过程,控制土壤侵蚀的发生,减少因土壤侵蚀带来的林地土壤氮磷养分的流失,相当于减少了总

氮总磷等非点源污染物流入到河流水体中。随着点源污染控制技术的逐步完善和成熟,对非点源污染的研究日益得到重视<sup>[13-16]</sup>。入河系数是描述非点源污染物入河过程的重要参数,是指累积在流域坡面的污染物为降雨冲刷形成的污染负荷,随流域汇流过程进入主河道的比率<sup>[17]</sup>。同时,河流水体自身对输入的氮磷养分也具有一定的稀释降解作用,因此采用非点源污染物入河系数和稀释降解比例,可以计算森林因控制氮磷养分流失而减少入河污染物的数量。由于森林能够控制土壤侵蚀的发生,减少土壤中氮磷养分向流域水体中的输入,从而降低流域水污染治理和水环境保护的经济投入,为人类带来了直接的经济效益。如果按照太湖地区环境资源区域补偿标准,可以估算该生态服务功能带来的经济价值,计算公式为:

$$V = N\lambda(1 - \eta)P \quad (3)$$

式中: $V$ ——森林因控制土壤养分流失产生的经济价值(元/a); $\lambda$ ——总氮或总磷入河系数; $\eta$ ——污染物降解系数; $P$ ——削减单位总氮或总磷的补偿价值(元/t)。

### 3 结果分析

#### 3.1 森林控制土壤侵蚀量

在森林生态系统内部,不同的森林类型对土壤侵蚀的控制作用不同(图 1)。其中,竹林控制 66.80 万 t 土壤免于水土流失,占到安吉县森林土壤保持总量的 44%,其次为针叶林和阔叶林,均固持了 27 万 t 林地土壤,灌木林和针阔混交林分别保持了 16 万 t 和 13 万 t 土壤,经济林固持土壤贡献最小。从单位面积森林保持土壤能力来看,针阔混交林和灌木林最好,均接近 15 t/(hm<sup>2</sup>·a),其次为阔叶林和针叶林,竹林保持土壤能力为 9.58 t/(hm<sup>2</sup>·a),而经济林单位面积保持土壤能力最差。

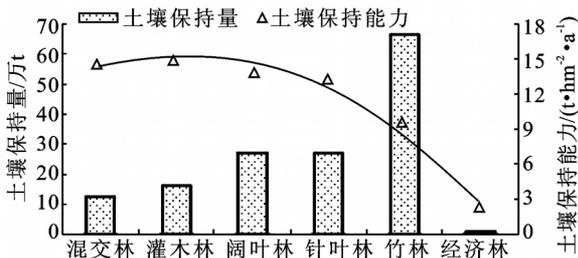


图 1 安吉县森林控制土壤侵蚀量及其保土能力

#### 3.2 森林减少养分流失量

安吉县森林在控制土壤侵蚀发生的同时,减少了土壤养分氮磷的流失。据式(2)计算,安吉县森林因其土壤保持功能,可以避免 1 409 t 总氮(TN)和 577 t 总磷(TP)发生流失。其中,竹林能够控制 574 t 总

氮和 241 t 总磷,分别占到森林减少养分流失总量的 41%和 42%,其次为阔叶林和灌木林,经济林减少养分流失的贡献最小。森林减少土壤养分流失的贡献与其土壤保持量有关,也与土壤养分含量有关。从不同森林类型控制养分流失能力来看,灌木林控制总氮流失能力最大,其次为阔叶林和混交林,竹林和针叶林减少总氮流失能力相差不大,而经济林控制总氮流失能力最差;而阔叶林对总磷养分流失的控制能力比较突出,其次为混交林和灌木林,而竹林和针叶林控制总磷养分流失的能力比较接近,经济林同样对控制总磷流失的能力最小(图 2)。

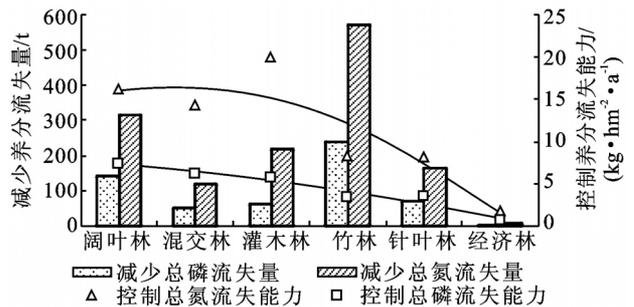


图 2 安吉县森林减少土壤氮磷养分流失量

#### 3.3 森林减少养分流失的生态价值

如果没有安吉县森林生态系统的存在,因土壤侵蚀将会有 1 409 t 总氮(TN)和 577 t 总磷(TP)发生流失。如果按照非点源污染的入河系数为 0.9<sup>[21]</sup>计算,而氮磷养分在河流输移的过程中,受物理、化学及生物过程的影响会发生降解系数分别为 35%和 21%<sup>[22]</sup>,大约将有 824 t 总氮和 410 t 总磷输入到河流水体中,进一步增加了太湖流域水环境污染的压力。森林保持土壤功能的发挥,减少了土壤侵蚀及土壤氮磷养分的流失,进而减少了非点源污染物流入到河流水体中,节约了流域水环境治理和保护的经济投入,因此具备了生态系统服务价值。如果按照太湖流域江苏省环境资源补偿标准,即氨氮 10 万元/t 和总磷万元/t,根据常规生活污水中氨氮与总氮比例(1:1.6),可估算安吉县森林因控制土壤侵蚀、减少氮磷养分流失的生态价值为 9 255 万元/a,其中因控制总氮养分的生态价值为 5 154 万元,控制总磷养分的生态价值为 4 101 万元。如果按照此项生态服务功能进行生态补偿的话,单位林地约合 688 元/hm<sup>2</sup>,而目前安吉县生态公益林生态补偿标准 47 元/hm<sup>2</sup>森林,仅相当于森林减少养分流失价值的 1/15。按照不同森林类型来看,阔叶林和灌木林的单位面积生态补偿价值最高;其次为混交林、针叶林和竹林;而经济林需要进行生态补偿价值最小(图 3)。

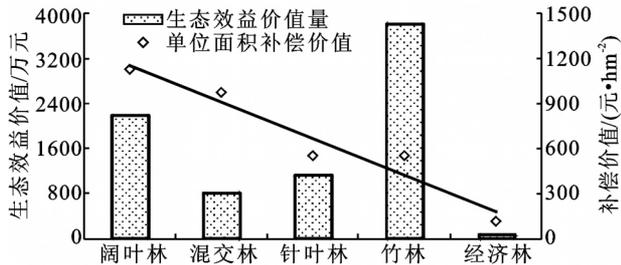


图3 安吉县森林减少氮磷养分流失的生态效益

## 4 讨论

植被是影响土壤侵蚀的最主要因素之一<sup>[18]</sup>。不同森林类型对土壤侵蚀的控制能力不同,乔木林保持水土能力高于灌木<sup>[19]</sup>,混交林由于其地上和地下部分彼此交错镶嵌分布,可以形成良好的结构,从而比纯林具有更大的水土保持功能<sup>[20]</sup>,一般而言,阔叶人工林土壤抗蚀性大于针叶林、荒山荒地和侵蚀裸地<sup>[21]</sup>。在太湖流域,不同林地类型的土壤侵蚀特征也有所不同<sup>[2,4,9-10]</sup>;同时,土壤养分流失与土壤性质密切相关<sup>[4]</sup>。土壤中全氮、全磷和全钾含量主要决定于植物体养分循环过程和土壤的成土母岩类型,同时也受人为施肥措施的影响。在安吉山地,马尾松林、杉木林、阔叶林、毛竹林、针阔混交林、经济林和灌木林下的土壤养分含量不同<sup>[12]</sup>。在太湖流域,高度密集的人类活动和平原水网化的流域特征,每年土壤侵蚀量约3 446.7万 t<sup>[10]</sup>,农耕地每年土壤侵蚀模数为1 681.2 t/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[2]</sup>。但是,相对于其他土地利用类型,森林具有较好的固持土壤功能<sup>[8]</sup>。本研究以太湖流域农耕地土壤侵蚀情况为对照,计算得到安吉县森林每年可减少土壤侵蚀151万 t,平均为11 t/(hm<sup>2</sup>·a),处于全国森林单位面积固土能力4.04~48.64 t/(hm<sup>2</sup>·a)的较低水平<sup>[23]</sup>,说明安吉县森林固土能力还有较大的提升空间。

土壤侵蚀是一个自然过程,任何土地利用类型都存在土壤流失现象。区域土壤侵蚀及养分流失定量评价是一项复杂工作,涉及气候、水文、土壤、地形、植被等多项因子。本研究在评价分析安吉县森林控制土壤侵蚀及其养分流失的过程中,没有考虑不同区位降水特征和地形坡度等因子的影响,也没有涉及同一林地内土壤养分含量的差异性,这是未来需要重点研究和解决的问题。尽管本研究所引用的参数来源于定点实验数据,不能十分精确地反映安吉县林地土壤侵蚀及养分流失的真实情况,并且由于数据资源和研究方法的局限性,仅能针对林地土壤侵蚀和养分流失量做出粗略估计,但是这并不妨碍人们对安吉县森林控制土壤侵蚀及养分流失的重要性的认识。

## 5 结论

安吉县森林可年均减少151万 t土壤侵蚀量,从而控制住土壤中1 409 t总氮和577 t总磷养分流失,相当于每年避免了824 t总氮和410 t总磷输入到河流水体中;仅此一项生态服务功能,安吉县森林每年就应得到9 255万元生态补偿资金,约合688元/(hm<sup>2</sup>·a),相当于目前生态补偿标准的15倍。该研究揭示了太湖流域上游森林因控制土壤侵蚀及其氮磷养分流失带来的生态效益,有助于提高人们对于发挥自然生态系统在流域水环境管理中的重要作用的认识,从而促进太湖流域水环境污染治理和保护工作的有效开展。

### 参考文献:

- [1] 秦伯强,吴庆农,高俊峰,等.太湖地区的水资源与水环境问题、原因与管理[J].自然资源学报,2002,17(2):221-228.
- [2] 王金磊,濮励杰,金平华,等.<sup>137</sup>Cs法应用于流域土壤侵蚀初步研究:以太湖上游浙江省安吉县西苕溪为例[J].南京大学学报:自然科学版,2003,39(6):788-796.
- [3] 韩富伟,张柏,宋开山,等.长春市土壤侵蚀潜在危险度分级及侵蚀背景的空间分析[J].水土保持学报,2007,21(1):39-43.
- [4] 曹慧,杨浩,赵其国.太湖丘陵地区典型坡面土壤侵蚀与养分流失[J].湖泊科学,2002,14(3):242-246.
- [5] 梁涛,张秀梅,章申,等.西苕溪流域不同土地类型下氮元素输移过程[J].地理学报,2002,57(4):389-396.
- [6] 梁涛,王浩,章申,等.西苕溪流域不同土地类型下磷素随暴雨径流的迁移特征[J].环境科学,2003,24(2):35-40.
- [7] 李兆富,杨桂山,李恒鹏.西苕溪流域不同土地利用类型营养盐输出系数估算[J].水土保持学报,2007,21(1):1-4,34.
- [8] 张彪,李文华,谢高地,等.北京市森林生态系统土壤保持能力的综合评价[J].水土保持研究,2009,16(1):240-244.
- [9] 孔维健,周本智,傅懋毅,等.不同土地利用类型水土保持特征研究[J].南京林业大学学报:自然科学版,2009,33(4):57-61.
- [10] 曾海鳌,吴敬禄,林琳.<sup>137</sup>Cs示踪法研究太湖流域土壤侵蚀分布与总量[J].海洋地质与第四纪地质,2008,28(2):79-85.
- [11] 王祖华,蔡良良,关庆伟,等.淳安县森林生态系统服务价值评估[J].浙江林学院学报,2010,27(5):757-761.
- [12] 蒋文伟,周国模,余树全,等.安吉山地主要森林类型土壤养分状况的研究[J].水土保持学报,2004,18(4):73-100.

得到水分的补给,而中间层次 40—60 cm 土壤水分因植被根系分布的差异,造成水分消耗速度不同而差异显著,深层土壤水分补给小,消耗也小,所以没有表层和 中层差异显著。

土壤水分时空变异是由多重尺度上的土地利用(植被)、气象(降雨)、地形、土壤、人为活动等诸因子综合作用的结果,但各个地区都有自己的重点尺度和主控因子,土壤水分时空变异的尺度和影响因子的选择因时间、空间和尺度而异<sup>[12]</sup>。土壤水分的时空变异是地形、植被以及气候等多因子综合作用的结果,土地利用类型只是影响土壤水分含量重要的因素之一。在研究土地利用类型对其影响的同时,还可加入坡度、坡向以及降水等环境因素,从多方面对土壤水分含量进行分析,寻找其主要因素,为该流域水土保持治理提供参考。

### 3 结论

(1)土地利用类型在水平以及垂直方向,都对土壤水分有显著影响。

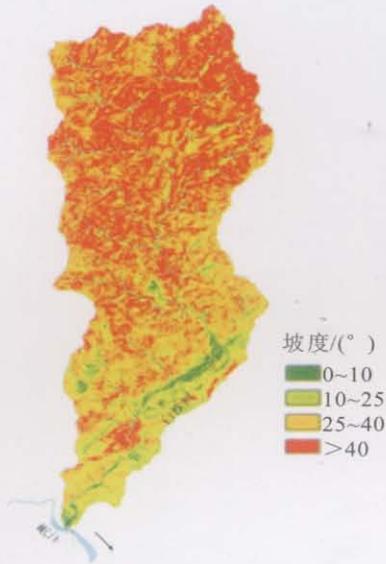
(2)在土壤垂直剖面上,各土地利用类型的土壤水分动态变化总体趋势与降雨保持一致。雨季前干旱时期,层次土壤水分含量呈递增型;雨季中湿润期,农耕地、乔木林地、撂荒地和灌木林地都属于递减型,天然草地、幼林地和果园用地属于波动型;雨季后半湿润期,层次土壤水分含量呈先减后增趋势。

(3)不同土地利用类型之间,农耕地含水量最高;其次是天然草地、撂荒地和乔木林地、果园用地和幼林地;含量最低的为灌木林地。

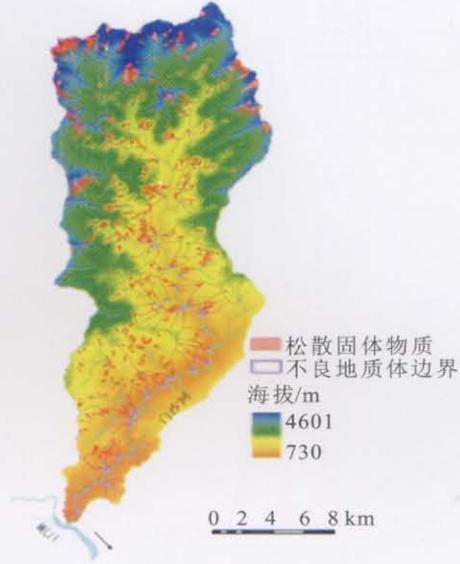
### 参考文献:

- [1] 王军,傅伯杰.黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响[J].地理学报,2000,55(1):84-88.
- [2] 傅伯杰,陈立项,马克明.黄土高原小流域土地利用变化对生态环境的影响[J].地理学报,1999,54(3):1-8.
- [3] 马娟霞,肖玲,关帅朋.黄土高原刺槐林地土壤水分与立地因子关系研究[J].土壤通报,2010,41(6):1311-1314.
- [4] 朱恒峰,赵文武,康慕谊.延河流域土地利用格局时空变化与驱动因子分析[J].干旱区资源与环境,2008,22(8):17-20.
- [5] 邱扬,傅伯杰,王军.黄土丘陵小流域土壤水分空间异质性及其影响因子[J].应用生态学报,2001,12(5):715-720.
- [6] 王红梅,谢应忠,陈来祥.黄土高原坡地土壤水分动态特征及影响因素[J].宁夏农学院学报,2004,25(4):62-65.
- [7] 李娜,魏永霞. MATLAB 和 SPSS 在对坡耕地土壤水分空间变异性研究中的应用[J].东北农业大学学报,2009,40(6):109-113.
- [8] 刘继龙,马孝义,张振华.不同土层土壤水分特征曲线的空间变异及其影响因素[J].农业机械,2010,41(1):46-49.
- [9] 焦峰,温仲明,王飞.黄土丘陵县域尺度整体景观格局分析[J].水土保持学报,2005,19(2):167-170.
- [10] 温仲明,焦峰,赫晓慧.纸坊沟流域黄土丘陵区土地生产力变化与生态环境改善[J].农业工程学报,2006,22(8):91-95.
- [11] 陈佳.小流域土壤水分时空格局与环境因子的关系[D].武汉:华中农业大学,2009.
- [12] 邱扬,傅伯杰,王军.土壤水分时空变异及其与环境因子的关系[J].生态学杂志,2007,26(1):100-107.
- [13] 王康,张仁铎,王富庆.基于不完全分形理论的土壤水分特征曲线模型[J].水利学报,2004(5):1-7.
- [14] 李怀恩,沈晋,刘玉生.流域非点源污染模型的建立与应用实例[J].环境科学学报,1997,17(2):142-147.
- [15] 陈利项,傅伯杰.农田生态系统管理与非点源污染控制[J].环境科学,2000,21(2):98-100.
- [16] 张兴昌,刘国彬,付会芳.不同植被覆盖度对流域氮素径流流失的影响[J].环境科学,2000,21(6):16-19.
- [17] 薛金凤,谢军,马彦涛.非点源污染预测模型研究进展[J].水科学进展,2002,13(5):650-656.
- [18] 程红光,郝芳华,任希岩,等.不同降雨条件下非点源污染氮负荷入河系数研究[J].环境科学学报,2006,26(3):392-397.
- [19] 赵忠海.北京市密云水库北部地区土壤侵蚀情况的遥感调查[J].地质灾害与环境保护,2005,16(4):387-390.
- [20] 吴钦孝,赵鸿雁.植被保持水土的基本规律和总结[J].水土保持学报,2001,15(4):13-15.
- [21] 杨吉华,刘凯生,宫锐,等.山丘地区森林保持水土效益的研究[J].水土保持学报,1993,7(3):47-52.
- [22] 赖仕璋,吴锡玄,杨玉盛,等.论森林与土壤保持[J].福建水土保持,2001,13(2):11-14.
- [23] 李恒鹏,刘晓玫,杨桂山.太湖地区西苕溪流域营养盐污染负荷结构分析[J].湖泊科学,2004,16(增刊1):89-98.
- [24] 中国森林生态服务功能评估项目组.中国森林生态服务功能评估[M].北京:中国林业出版社,2010:24.

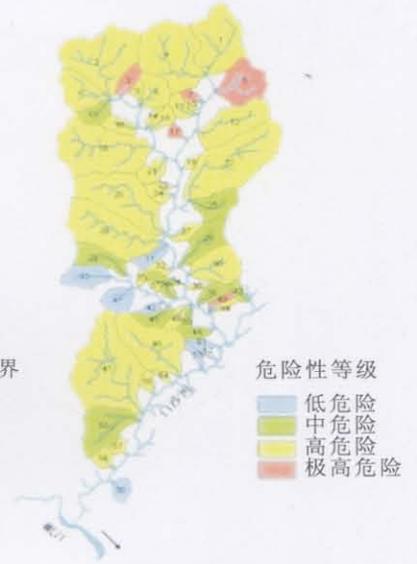
(上接第 114 页)



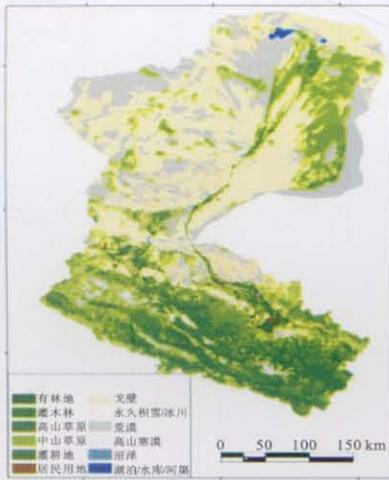
附图1 白沙河流域坡度分布图



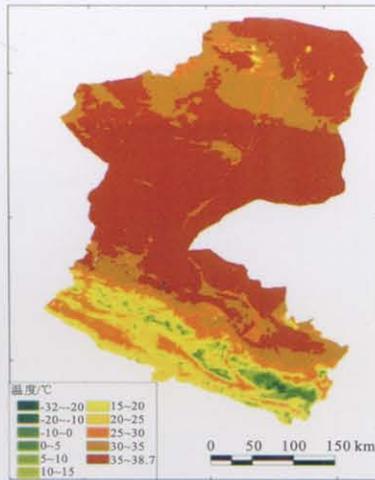
附图2 白沙河流域松散固体物质分布图



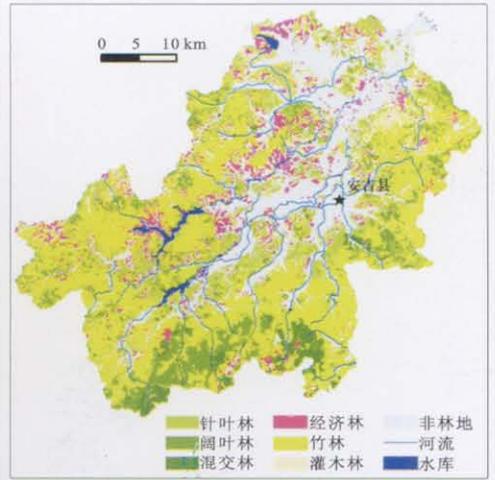
附图3 白沙河各小流域泥石流危险性



附图4 2000年黑河流域土地利用类型图



附图5 黑河流域地表温度反演图



附图6 安吉县森林资源分布图



附图7 绥阳县耕地自然质量等别、利用等别、经济等别分布图