

常熟市土地利用变化对生态服务价值的影响^{*}

陈 姝, 居为民, 李显凤

(南京大学 国际地球系统科学研究所, 南京 210093)

摘 要:采用计算机自动分类和人工目视解译相结合的方法,对常熟地区 1991 年、2001 年、2006 年的三期 Landsat TM 影像进行了土地利用分类,获取了主要土地利用类型信息,并计算了生态服务价值。结果表明,1991 - 2001 年,常熟市的城镇用地显著扩张,湿地和林地面积有所增加,而耕地面积大大减少,生态服务价值有所下降;2001 - 2006 年,城镇用地进一步扩张,耕地和林地面积锐减,湿地面积显著增加,生态服务价值显著增加。分析土地利用变化对生态服务价值的影响可以为科学、合理地进行土地利用,保持生态系统的平衡,以及人口、资源、环境的可持续发展提供决策支持。敏感性分析表明,生态服务价值对生态服务价值系数的变化是缺乏弹性的,因此结果是可信的。

关键词:遥感影像分类;土地利用;生态服务价值;湿地

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)05-0093-05

Effects of Land Use Change on Ecological Service Value in Changshu City

CHEN Shu, JU Wei-min, LI Xian-feng

(International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract :Land use types were classified through the combination of computer automatic classification and manual interpretation based on the Landsat TM images acquired in 1991, 2001, and 2006. Information of land use types was acquired and then ecological service value was estimated. The results showed that the land use in Changshu changed considerably during the period from 1991 to 2006. Town and construction land increased intensively, wetland and forest increased a little, while crop land decreased evidently. The ecological service value declined a little. During the period of 2001 and 2006, the town and construction land was further expanded, wetland area increased notably, while crop land and forest decreased a lot. Analyzing the effects of land use change on ecological service value can provide support for scientific and reasonable land use, keep the balance of ecosystem, as well as the sustainable development of population, resources and environment while making decisions. Coefficient of sensitivity analysis showed that the ecological service value was not sensitive to the change of ecological service value coefficient. So the result was credible.

Key words :remote sensing image classification; land use; ecological service value; wetland

生态系统服务(Ecosystem Service)是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务。生态系统为人类提供的服务包括两大类:一是提供人们生活必需的生态系统产品;二是提供保证人类生活质量的生态功能,包括维持生命物质的生物化学循环和水文循环、维持生物物种与遗传多

样性、土壤肥力的更新与维持、光合作用及分解作用等支撑与维护地球生命支持系统的功能等^[1]。

土地是最基本的自然生态系统。土地利用是人类最基本的经济活动,在各种驱动力的作用下,不断发生着变化。这不但改变了地表的自然景观,同时也引起了生态系统功能和结构的改变,从而带来生态服

^{*} 收稿日期:2009-04-02

基金项目:“十一五”科技支撑项目(2006BAJ10B03)

作者简介:陈姝(1984 -),女,江苏盐城人,研究方向为遥感和 GIS 技术在土地利用变化及其生态效应评价中的应用。E-mail: magic-sue123@yahoo.com.cn

务价值的变化。其变化与全球气候变化、生物多样性的减少、生态环境的演变、生态安全水平以及人类与环境之间的相互作用的可持续性密切相关。

20 世纪 70 年代开始,科学家们就对生态系统服务及其价值进行了研究,但是地球生态系统提供的服务价值由于缺乏相应的价值评估理论与方法体系而很难准确计算。1997 年 Costanza 等人的研究成果使生态系统服务价值评估的原理与方法从科学意义上得以明确^[2]。但是这一研究存在许多不足,如该项研究某些数据存在较大偏差,如耕地的生态服务功能价值估算过低、湿地的生态服务功能价值估算又偏高^[3]。

国内自 20 世纪 90 年代以来,开始引入有关生态系统服务的概念、生态效益的价值理论及评估方法等。近年来,国内众多学者已开展了对全国、区域、以及单个生态系统和生态系统单项服务价值的评估研究。对生态系统服务价值的定量评估已成为国际可持续发展研究的焦点,是当前生态学、资源经济学、环境经济学以及生态经济学的交叉前沿领域^[4]。

目前,国内外关于生态系统服务价值定量评价的方法主要有 3 类:能值分析法、物质质量评价法和价值量评价法。能值方法可以使不同类别的能量转换为同一客观标准,从而可以进行定量的比较;但是能值反映的是物质产生过程中所消耗的太阳能,不能反映人类对生态系统所提供的服务的需求性,也不能反映生态系统服务的稀缺性。物质质量评价方法能够比较客观地评价不同的生态系统所提供的同一项服务能力的大小,但是该方法得出的各单项生态系统服务的量纲不同,无法进行加总,很难评价某一生态系统的综合生态系统服务。而价值量评价方法所得的结果都是货币值,既可以进行不同生态系统与同一项生态系统服务的比较,也能将某一生态系统的各单项服务综合起来^[4]。我国学者谢高地等人针对 Costanza 等人研究成果中的不足,同时参考了其可靠部分,在对我国 200 位生态学者进行问卷调查的基础上,制定出我国生态系统的生态服务价值表,用于我国区域生态资产价值的评估^[3]。近年来,国内许多学者应用这一测评体系,对海河流域、黑河流域、岷江上游、杭州湾南岸以及一些省市的生态系统的服务价值进行了评估^[5-11]。

1 研究区域与方法

1.1 研究区概况

常熟市位于长江下游南岸,江苏省东南部,是苏州下辖的一个县级市,总面积 1 302 km² (含长江界

属水面)。它是我国较早进入城镇化和工业化,经济高速发展的苏南地区典型的城市。该市扼长江黄金水道咽喉,位于东经 120°33' - 121°03',北纬 31°33' - 31°50',东邻太仓,距上海 100 km,南连昆山、苏州,西邻无锡、江阴,北濒长江,与南通隔江相望,西北与张家港接壤,具有得天独厚的区位优势。境内水网交织,各河流湖荡均属太湖水系,其分布呈以城区为轴心向四周辐射状,东南较密,西北较疏,河道较小,水流平稳。境内地势平缓,气候温和,风调雨顺,因年年丰收而得名“常熟”,素有“江南鱼米之乡”的美誉。1986 年,常熟被批准为“国家历史文化名城”,近年来又先后被评为“国家卫生城市”、“中国优秀旅游城市”、“国家园林城市”。

1.2 数据来源

研究采用 3 个时期的 Landsat TM 影像资料进行土地利用分类,成像时间分别为 1991 年 7 月 23 日、2001 年 7 月 26 日和 2006 年 9 月 18 日,轨道号为 119/38。图像在研究区域内没有云层覆盖,图像质量良好。1991 年和 2001 年的两景影像的空间分辨率为 28.5 m,2006 年的一景为 30 m。另外还参考了常熟市土地利用现状图、2001 年和 2006 年的统计年鉴。

1.3 遥感影像分类

以 Landsat TM 卫星遥感影像为数据源,以遥感和 GIS 作为分析手段,对常熟地区的 3 期遥感影像采用计算机监督分类和人工目视解译相结合的图像分类方法,获取土地利用类型信息。影像几何精校正的误差控制在一个像元以内,图像均重采样到空间分辨率为 30 m。用 TM 影像的 5,4,3 波段合成假彩色图像。TM5 是短波红外波段,易于进行城镇和农村土地利用的区分,以及陆地和水体边界的确定。TM4 波段的图像记录了地物的近红外反射信息,水体的反射率低,林地和农田的反射率高,可用于区分水体与农田及林地。TM3 属于红光波段,可以用于林地、农田和水域范围的确定。合成后的假彩色图像上,植被覆盖的区域显示为绿色或黄绿色,城镇建设用地显示为紫红色,水体呈深蓝或蓝黑色,为目视判读奠定了良好的基础。

1.4 生态服务价值的计算

谢高地等人将生态系统服务体系分为 9 种功能,基本包含了 Costanza 的 17 种功能,并结合我国的土壤类型、地形特点,对生态系统单价进行了修正,更适用于我国区域生态服务价值的计算,并在此基础上得出了我国陆地生态系统的生态服务价值。这些研究为生态环境保护和可持续发展战略的实施提供了重

要的决策依据。因此,本文采用谢高地等的方法来对常熟市的生态服务价值进行定量化估算^[3]。

$$ESV = (A_k \times VC_k) \tag{1}$$

式中: ESV ——研究区生态系统服务总价值(元);
 A_k ——研究区内土地利用类型 k 的分布面积(hm^2);
 VC_k ——第 k 类土地利用类型的生态服务价值系数,即单位面积上,土地利用类型 k 的生态服务价值[元/ ($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)]。

1.5 敏感性分析

估算的 ESV 对 VC 的敏感程度采用敏感性指数(Coefficient of Sensitivity, CS) 进行评价。该指数通过计算 ESV 对生态价值单价变化的响应来度量 ESV 对生态价值系数的敏感程度。 CS 的含义是指 VC 变动 1 %引起 ESV 的变化情况,如果 $CS > 1$,说明 ESV 对 VC 是敏感的、富有弹性的;如果 $CS < 1$,则说明 ESV 对 VC 是缺乏弹性的。比值越大,表明 VC 的准确性对估算的 ESV 就越关键^[10]。本文通过将各种土地利用类型的生态价值系数分别上调和下调 50 %来计算 CS ,从而来分析 ESV 对 VC 的敏感程度。计算公式如下:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}} \right| \tag{2}$$

表 1 各土地利用类型的面积及变化 hm²

土地利用类型	面积/ hm ²			1991 - 2001		2001 - 2006	
	1991 年	2001 年	2006 年	面积/ hm ²	百分比/ %	面积/ hm ²	百分比/ %
长江水体	14245.5	14245.5	14316.0	0.0	0.0	0.7	0.5
湿 地	15910.4	16777.9	37153.9	8.7	5.5	203.8	121.4
城 镇	7221.4	18136.6	24718.7	109.2	151.2	65.8	36.3
林 地	1980.9	3306.7	2305.5	13.3	66.9	- 10.0	- 30.3
耕 地	91209.8	78358.5	51948.3	- 128.5	- 14.1	- 264.1	- 33.7

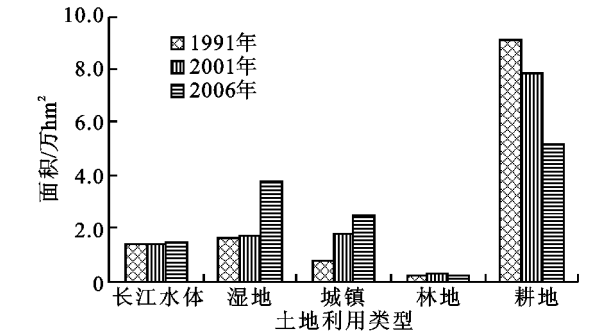


图 1 1991 年、2001 年、2006 年各种土地利用类型的面积

2.2 生态服务价值的计算

根据谢高地等人制定的我国陆地生态系统的生态服务价值表(表 2)^[3],将生态系统的服务功能分为气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性维持、食物生产、原材料生产、休闲娱乐共 9 种生态服务功能的经济价值。

式中: ESV ——总生态服务价值量; VC ——生态服务价值系数, i 和 j ——最初的价值系数和调整后的价值系数; k ——某种土地利用类型; CS ——生态服务价值的敏感度。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化

参考常熟市土地利用现状图,通过最大似然法监督分类和人工目视解译相结合的方法,得到常熟市的土地利用类型图(附图 7),从而可以计算出各种土地利用类型的面积(表 1)。在 1991 - 2001 年,城镇面积显著增加,从 1991 年的 7 221.4 hm^2 增加到 2001 年的 18 136.6 hm^2 ,增加了 151.2 %;耕地面积显著减少,由 1991 年的 91 209.8 hm^2 减少到 2001 年的 78 358.3 hm^2 ,减少了 14.1 %;同时,湿地和林地的面积略有增加。2001 - 2006 年这 5 a 中,城镇面积进一步扩张,面积增加了 65.8 hm^2 ,湿地(主要是鱼塘)面积增加更为显著,由 2001 年的 16 777.9 hm^2 迅速增加到 2006 年的 37 153.9 hm^2 ,增加了 121.4 %;同时,林地和耕地的面积大大减少,分别下降了 30.3 %和 33.7 %。由此可见,城镇和湿地的扩张侵占了大量的耕地和林地。

表 2 生态系统服务价值表 元/ hm²

指 标	森林	农田	湿地	水体
气体调节	3097.0	442.4	1592.7	0.0
气候调节	2389.1	787.5	15130.9	407.0
水源涵养	2831.5	530.9	13715.2	18033.2
土壤形成与保护	3450.9	1291.9	1513.1	8.8
废物处理	1159.2	1451.2	16086.6	16086.6
生物多样性保护	2884.6	628.2	2212.2	2203.3
食物生产	88.5	884.9	265.5	88.5
原材料	2300.6	88.5	61.9	8.8
娱乐文化	1132.6	8.8	4910.9	3840.2

由此估算出常熟市的各种土地利用类型的生态服务价值(表 3)。可以看出,1991 - 2001 年,生态服务价值略有下降,主要原因在于耕地面积大大减少。虽然湿地和林地面积有所增加,带来生态服务价值也

相应增加,但不及耕地面积下降所导致的生态服务价值的减少,因此,总体下降了 0.05 亿元。2001 - 2006 年,生态服务价值显著增加,主要贡献来自于湿地的大面积增加,且由于湿地单位面积所带来的生态服务价值量也较高,所以价值总量增加了 9.54 亿元。

表 3 常熟市生态服务价值 亿元					
年份	长江水体	湿地	林地	耕地	总和
1991	5.79	8.83	0.38	5.58	20.58
2001	5.79	9.31	0.64	4.79	20.53
2006	5.82	20.62	0.45	3.18	30.07
1991 - 2001	0.00	0.48	0.26	- 0.79	- 0.05
2001 - 2006	0.03	11.31	- 0.19	- 1.61	9.54

这期间的湿地大面积增加,这和常熟的农业发展政策密切相关。农村产业结构调整以来,常熟市有相当数量的耕地被改成鱼塘和园艺用地。耕地改建鱼塘是常熟市耕地面积不断减少的重要原因,特别是在 1999 年以后,农村产业结构调整^[12]。农民纷纷将耕地改成鱼塘,传统的农业生产模式发生了质的变化,耕地改成鱼塘增加了农民收入,满足了人们对水产品的需求,改善了农产品的结构^[12]。常熟市的渔业发展使大量农村劳动力通过渔业生产走

上了致富之路,渔业日益成为农村产业结构调整的重要方向。不仅如此,渔业的发展还带动了饲料加工、渔船修造、水产品运销及旅游、休闲、餐饮等相关产业的发展。因此,耕地改建鱼塘符合常熟农村经济发展的现实需要,也是农村产业结构调整的必然选择,对常熟的经济社会发展和建设社会主义新农村发挥了积极作用。

2.3 敏感性分析

将各种土地利用类型的生态服务价值系数分别上下调整 50%,计算出调整后的生态服务价值及其对各种土地利用类型生态服务价值系数的敏感性指数(表 4)。从表中数据可以看出,研究区域内各种土地利用类型的 *ESV* 对 *VC* 的敏感性指数均小于 1,从高到低依次为湿地、长江水体、耕地、林地。其中,湿地的敏感性指数最大,为 0.4~0.7,即当湿地的 *VC* 每增加 1%时,*ESV* 增加 0.4%~0.7%;林地的敏感性指数最小,为 0~0.1;长江水体和耕地的敏感性指数都在 0.1~0.3。可见,赋予土地利用类型生态服务价值系数的大小对研究区域总的生态服务价值影响不大,表明生态服务价值对生态服务价值系数的变化是缺乏弹性的,因此研究结果是可信的。

表 4 各种土地利用类型的生态服务价值的敏感性分析

土地利用类型	生态服务价值系数/ (元·hm ⁻² ·a ⁻¹)	生态服务价值/亿元			敏感性指数		
		1991	2001	2006	1991	2001	2006
长江水体	VC + 50 %	23.48	23.43	32.98	0.2818	0.2825	0.1935
	VC - 50 %	17.69	17.64	27.16	0.2809	0.2815	0.1935
湿地	VC + 50 %	24.99	25.18	40.37	0.4286	0.453	0.6851
	VC - 50 %	16.17	15.88	19.76	0.4286	0.453	0.6857
林地	VC + 50 %	20.77	20.85	30.29	0.0185	0.0312	0.0146
	VC - 50 %	20.39	20.21	19.85	0.0185	0.0312	0.0146
耕地	VC + 50 %	23.37	22.93	31.65	0.2711	0.2338	0.1051
	VC - 50 %	17.79	18.14	28.48	0.2711	0.2328	0.1058

3 结 论

从土地利用变化对生态服务价值的影响来看,1991 - 2006 年,常熟市的生态服务价值先减后增。1991 年,生态服务价值为 20.58 亿元,到 2001 年时下降了 0.05 亿元,湿地和林地面积的增加所带来的价值不能弥补耕地面积减少所带来的损失。到 2006 年,生态服务价值显著增加,达到 30.07 亿元,与 2001 年相比,增加了 46.5%,价值 9.54 亿元。这一阶段增加值的贡献主要在于湿地,也就是常熟农业结构调整以来,渔业迅速发展带来的成果。敏感性分析表明,*ESV* 对于 *VC* 的变化是不敏感的,缺乏弹性的,因而研究结果是可信的。

然而,也应该看到,以耕地为主的土地资源正遭

受着侵蚀,耕地面积逐年下降,并有加速的趋势。如果照此速度发展下去,在不久的将来,耕地资源将消失殆尽,经济和社会的可持续发展终将难以实现。因此,对常熟市的土地利用提出以下两点建议。

(1) 发挥资源潜力,保护湿地。湿地是非常重要的生态系统,有着多方面的功能。它既可以作为直接利用的水源或补充地下水,又能有效控制洪水和防止土壤沙化,还能滞留沉积物、有毒物、营养物质,从而改善环境污染;它能以有机质的形式储存碳元素,减少温室效应,保护海岸不受风浪侵蚀;还是众多动植物生长的乐园,同时又向人类提供食物、能源、原材料,以及旅游场所,是人类赖以生存和持续发展的重要基础。正因为如此众多有益的功能,湿地被人们称为“地球之肾”。

常熟有着众多的江堤河滩,后备资源比较丰富^[13]。要充分发挥资源潜力,保护湿地,合理开发利用。同时要注意保护生态环境,尽量将挖掘鱼塘带来的水土流失以及改建鱼塘带来的负面环境效应降到最低,促进资源和环境的可持续发展。

(2) 加强宏观调控,确保耕地面积。随着社会经济不断发展,常熟的城市面积和人口数量显著增加,城镇建设日新月异,用地面积也随之激增,这些是导致耕地面积不断下降的直接原因,近年来还有不断加速的趋势。耕地是重要的不可再生资源,必须对土地利用进行有效的宏观调控。强化经济手段,加强行政管理,利用法律来约束耕地的占用,健全土地管理机构,对耕地实行保护政策,综合运用经济、行政、法律手段,最大限度控制耕地不合理占用^[14]。同时,加强农田基本建设,减少自然灾害对农业的影响,走集约化生产的道路,提高复种指数。科学规划、合理布局,提高土地利用效率。

本研究采用的是谢高地等人制定的生态服务价值表,该表虽然对 Costanza 的研究成果进行了改进,更适于我国的生态资产价值的评价。但是我国幅员辽阔,生态类型复杂多样,气候条件各不相同,因此该表中的单位面积的生态服务价值在运用到各个不同的地区时会产生误差。此外,本文仅对常熟市当前社会经济和技术条件下主要生态系统的主要服务功能进行了生态服务价值的估算,没有包括生态系统的所有服务功能。因此,研究得出的总服务价值是一个偏低的保守值。要对区域生态服务价值进行更准确、更全面的评价还有待于进一步研究。

参考文献:

[1] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 386: 253-260.

(上接第 92 页)

参考文献:

[1] 胡顺光. 贵州喀斯特地区小流域尺度生态治理的水土流失机制研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2007.

[2] 杨小青, 胡宝清, 曹少英. 喀斯特山区石漠化生态治理效益模式: 以广西都安瑶族自治县为例[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(2): 22-26.

[3] 王礼先, 吴斌. 土壤侵蚀[M]. 洪惜英, 译. 北京: 水利

[2] 黄青, 孙洪波, 王让会, 等. 干旱区典型山地-绿洲-荒漠系统中绿洲土地利用/覆盖变化对生态系统服务价值的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 76-80.

[3] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.

[4] 梁欣, 臧淑英, 张思冲. 基于土地利用变化的生态服务价值损益估算: 以大庆市为例[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(2): 68-72.

[5] 高清竹, 何立环, 黄晓霞, 等. 海河上游农牧交错地区生态系统服务价值的变化[J]. 自然资源报, 2002, 17(6): 706-712.

[6] 张志强, 徐中民, 王建, 等. 黑河流域生态系统服务的价值[J]. 冰川冻土, 2001, 23(4): 360-366.

[7] 王宗明, 张柏, 张树清. 吉林省生态系统服务价值变化研究[J]. 自然资源学报, 2004, 19(1): 55-61.

[8] 张文广, 胡远满, 刘森, 等. 基于土地利用变化的生态服务价值损益估算: 以岷江上游地区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(6): 228-428.

[9] 李加林, 童亿勤, 许继琴, 等. 杭州湾南岸生态服务功能及其经济价值研究[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(6): 104-108.

[10] 吴后建, 王学雷, 宁龙梅, 等. 土地利用变化对生态系统服务价值的影响: 以武汉市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(2): 186-189.

[11] 张爱华, 张华. 北方农牧交错带土地利用变化对生态服务价值的影响: 以内蒙古赤峰市为例[J]. 内蒙古民族大学学报: 自然科学版, 2007, 22(5): 527-532.

[12] 张定祥, 李宪文, 刘顺喜, 等. 基于遥感数据的常熟市耕地资源数量动态变化分析[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(3): 38-41.

[13] 肖靖, 李秉柏, 李泽琴, 等. 基于地理信息系统的常熟市土地利用动态变化[J]. 江苏农业科学, 2006(6): 429-431.

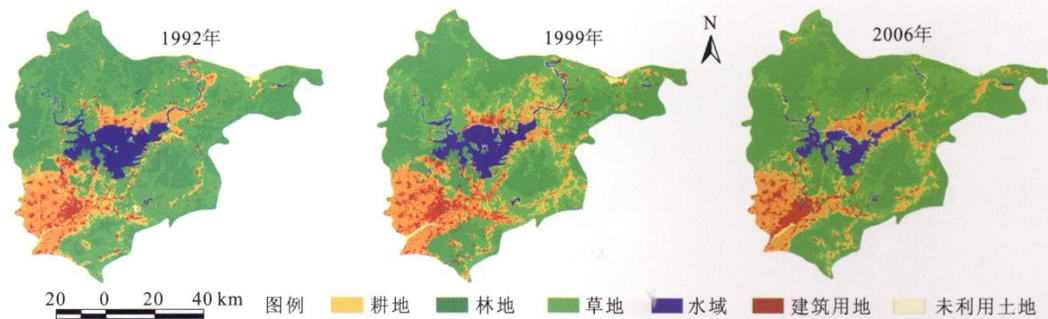
[14] 袁林旺. 江苏耕地变化的数量经济分析[J]. 南京师大学报: 自然科学版, 1997, 20(4): 78-83.

电力出版社, 1985.

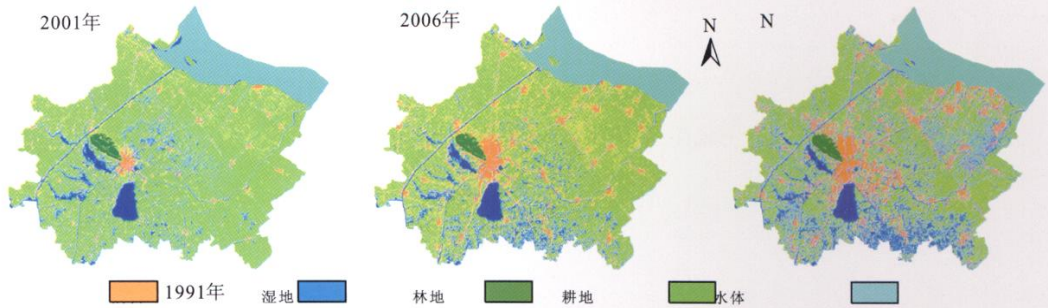
[4] 安裕伦, 蔡广鹏, 熊书益. 贵州高原水土流失及其影响因素研究[J]. 水土保持通报, 1999, 9(3): 48-52.

[5] 梅再美, 熊康宁. 喀斯特地区水土流失动态特征及生态效益评价: 以贵州清镇退耕还林(草)示范区为例[J]. 中国岩溶, 2003, 22(2): 136-143.

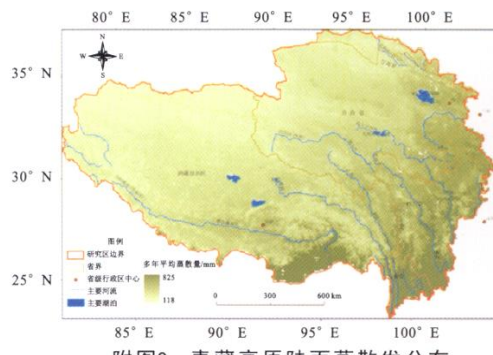
[6] 宁茂岐, 付宇文, 方启彬, 等. 西南喀斯特地区小流域水土流失生态修复监测系统设计: 以贵州毕节市石桥小流域为例[J]. 亚热带水土保持, 2008, 3(1): 55-58.



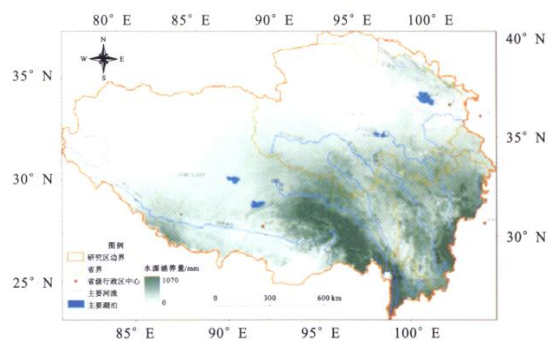
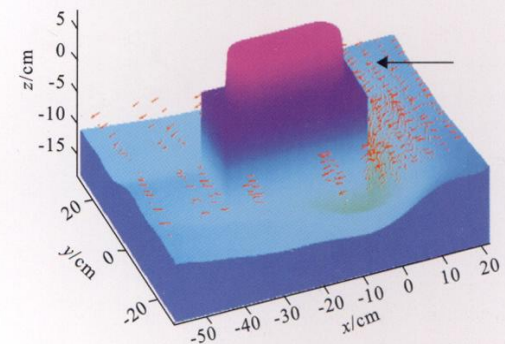
附图6 密云县3个时期的景观类型图



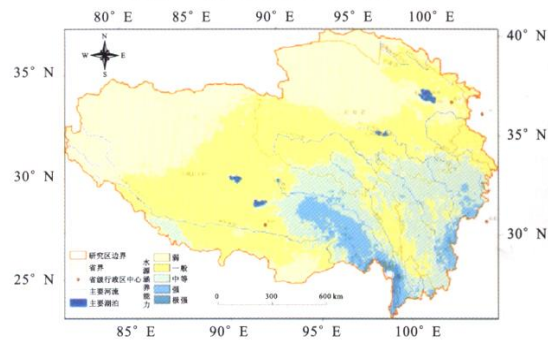
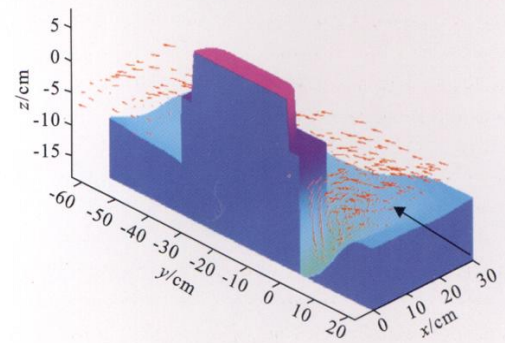
附图7 1991年、2001年和2006年土地利用分类图



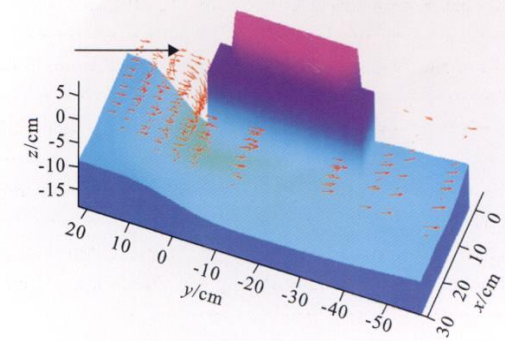
附图8 青藏高原陆面蒸发分布



附图9 青藏高原水源涵养分布



附图10 青藏高原水源涵养能力分区



附图11 桥墩冲刷坑附近测量三维流场图