

陕西黄土台塬区植被—土壤系统碳收支估算

马彩虹^{1,2}, 任志远¹

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 陕西理工学院 秦岭与蜀道地理研究所, 陕西 汉中 723001)

摘要: [目的] 为土地利用的低碳战略提供决策依据。[方法] 基于 GIS 和 RS 分析与处理 NDVI 数据和 Landsat 遥感影像数据源, 采用 CASA 光能利用模型对陕西黄土台塬区植被—土壤系统的碳收支进行估算。[结果] 1990—2010 年陕西黄土台塬区植被—土壤系统碳源效应明显。其中, 咸阳台塬区、宝鸡台塬区和西安台塬区有所减弱, 但渭南台塬区和铜川台塬区有所增强。研究时段内, 陕西黄土台塬区的高碳源区的面积由 38.22% 缩减为 21.13%, 中碳源区由 57.40% 扩大为 67.71%, 低碳源区由 3.43% 扩大为 7.76%; 碳汇区由 0.96% 扩大为 3.40%。[结论] 1990—2010 年该区建设用地占用耕地、林地、草地, 土地利用结构变化不利于碳固定, 提高复种指数有利于降低植被—土壤系统的碳排放。

关键词: CASA; 碳源; 碳汇; 陕西黄土台塬区; 植被—土壤系统

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2015)03-0231-04

中图分类号: X51; F301

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.03.049

Evaluation of Carbon Source or Sink of Vegetation and Soil System in Shaanxi Loess Platform Region

MA Caihong^{1,2}, REN Zhiyuan¹

(1. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University,

Xi'an, Shaanxi 710062, China; 2. Qinling and Intones Geography Research Institute,

School of History and Tourism, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723001, China)

Abstract: [Objective] To provide a decision basis for low-carbon strategy of land use and land cover change. [Methods] Based on RS and GIS, taking the data source of NDVI and Landsat, the carbon of vegetation and soil system in Shaanxi Loess platform region during 1990—2010 was calculated by the Carnegie-Ames-Stanford Approach(CASA) model. [Results] Large part in the research area was carbon source, however, the carbon sink area were small and mainly distributed in the northern part in Weinan loess platform. During the research period, the carbon source degree in Xianyang loess platform, Baoji loess platform and Xi'an loess platform decreased, whereas, of which in Weinan loess platform and Tongchuan platform increased in some degree. From 1990 to 2010, the high degree carbon source area decreased from 38.22% to 21.13%, middle degree carbon source area were the largest and improved from 57.40% to 67.71%, and the area of low degree carbon source increased from 3.43% to 7.76%. At the same period, the area of carbon sink enlarged from 0.96% to 3.40%. [Conclusion] Cultivated land, forest land and grass land were changed into built-up land were not benefit to the carbon sink, and the enhancing of cropping index benefit to the carbon sink of vegetation and soil system.

Keywords: Carnegie-Ames-Stanford Approach (CASA); carbon source; carbon sink; Shaanxi Loess platform region; vegetation and soil system

工业革命以来,以二氧化碳为代表的温室气体排放已成为全球气候变暖的主要原因^[1]。作为世界上

碳排放大国之一,中国政府承诺到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%~

收稿日期:2014-03-27

修回日期:2014-04-21

资助项目:国家自然科学基金“我国生态脆弱区能源开发生态效应测评与调控研究”(41371523); 国家自然科学基金(14XKS019); 教育部人文社会科学重点研究基地项目(14JJD840004)

第一作者:马彩虹(1974—),女(汉族),宁夏回族自治区西吉县人,博士,副教授,主要从事资源环境评价与 GIS/RS 应用、生态经济与区域可持续发展研究。E-mail:mchyanni@aliyun.com。

通信作者:任志远(1953—),男(汉族),陕西省兴平市人,教授,博导,主要从事国土资源开发与生态环境评价研究。E-mail:renzhy@snnu.edu.cn。

45%^[2]。如何有效减少碳排放、增加生态系统的碳汇能力是当前研究的热点问题^[3]。土地利用与覆被变化直接影响陆地生态系统的碳储量和碳通量过程^[4-5]。20世纪80年代中后期以来,学界对不同区域不同类型的生态系统碳收支作了大量研究,并取得了可喜的成果^[6],但评估结果仍然存在较大差异。如葛全胜^[7]等的研究发现,过去300年中土地利用变化导致中国陆地生态系统的碳排放达4.50~9.54 Pg;方精云^[8]等的研究却表明中国土地利用活动引起陆地植被—土壤系统的碳吸收大约为0.45 Pg;张秀梅^[9]等对江苏省土地利用的碳排放研究发现,土地利用和碳排放之间存在复杂的耦合关系,土地利用的碳源/汇效应存在较大的空间差异性和不确定性^[10],需要对不同地方的不同生态系统碳收支情况进行研究,以探究其内在的规律和特征。陕西黄土高原台塬区是西北黄土高原台塬区的主体,既处于关中平原生态保护的屏障地带,又是粮食生产的主体功能区,植被—土壤系统的碳收支对区域碳排放有较大影响。本文对1990—2010年陕西黄土台塬区植被—土壤系统的碳收支情况进行估算,以期对土地利用的低碳战略提供一定的参考依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

研究区陕西黄土台塬区位于34°08′—35°52′N, 106°20′—110°36′E,是介于生态脆弱区和粮食主产区之间的过渡地带,呈带状展布于渭河谷地南北两侧,总面积1 263 773 hm²。按行政隶属关系可分为宝鸡台塬区、咸阳台塬区、西安台塬区、铜川台塬区和渭南台塬区^[11]。处于季风向干旱半干旱气候过渡带,多年均温12.46℃,年均降水量456.3~735.9 mm,主

$$FPAR(x, t)_{NDVI} = \frac{[NDVI(x, t) - NDVI_{i, \min}] \times (FPAR_{\max} - FPAR_{\min})}{NDVI_{i, \max} - NDVI_{i, \min}} + FPAR_{\min} \quad (4)$$

式中: $FPAR(x, t)_{NDVI}$ ——由NDVI计算所得的植被层对入射光合有效辐射的吸收比例; $FPAR(x, t)_{SR}$ ——比值植被指数(SR)计算所得的植被层对入射光合有效辐射的吸收比例; $FPAR_{\max}$ 及 $FPAR_{\min}$ 的值为常数,其值与植被类型无关, $FPAR_{\max} = 0.95$, $FPAR_{\min} = 0.001$; $NDVI_{i, \max}$ 以及 $NDVI_{i, \min}$ ——第*i*种植被类型的NDVI最大值和最小值。

$$FPAR(x, t)_{SR} = \frac{[SR(x, t) - SR_{i, \min}] \times (FPAR_{\max} - FPAR_{\min})}{SR_{i, \max} - SR_{i, \min}} + FPAR_{\min} \quad (5)$$

式中: $SR(x, t)$ ——*t*月份在像元*x*处的太阳总辐射(MJ/m²),常数0.48表示植被所能利用的波长为0.38~0.71 μm的太阳有效辐射占太阳总辐射的比重大小。 $SR_{i, \max}$, $SR_{i, \min}$ ——第*i*种植被类型的比值植被指数SR的最大值及最小值。 $NDVI(x, t)$ ——*t*月份像元*x*处的归一化植被指数和比值植被指数。下同。

$$SR(x, t) = \frac{1 + NDVI(x, t)}{1 - NDVI(x, t)} \quad (6)$$

$$\epsilon(x, t) = f_1(x, t) \times f_2(x, t) \times w(x, t) \times \epsilon_{\max} \quad (7)$$

要集中于夏季。土壤以肥力较高的塋土分布最广,其次是黄壤土。水资源短缺,降水是地表水、地下水以及土壤水的主要补给来源;地下水埋深达50 m以下,开发利用较困难。人口分布较多,产业相对比较密集。根据第六次人口普查数据资料,截至2010年,陕西黄土台塬区的人口为1.01×10⁷人,人口密度约为845.84人/km²。近年来,经济发展较快,城市化水平也有较大提高。

1.2 研究方法

基于碳循环理论,生物生产力是生态系统碳循环过程以及各种碳吸收和排放分量平衡的结果,因此,植被—土壤系统的碳收支估算主要结合生物生产力进行。早期的研究主要关注植被的净初级生产力NPP^[12],即绿色植物在单位时间、单位面积上所积累的有机物数量。后来研究发现NPP只反映植物固定和转化光合产物的效率,不能反映生态系统的碳源/汇功能。CASA模型是一个充分考虑环境条件和植被本身特征的光能利用率模型,适合于估算区域尺度上的植被NPP^[13-15]。NPP减去土壤异养呼吸 R_h 所消耗的光合作用产物之后,即可获得净生态系统生产力NEP,可以直接定性定量地描述植被—土壤系统的碳收支情况。若 $NEP > 0$ 为碳汇,反之则为碳源。CASA模型系列公式如下:

$$NEP = NPP - R_h \quad (1)$$

式中:NEP——植被净生态系统生产力;NPP——植被净初级生产力; R_h ——土壤微生物呼吸量。本文中 R_h 的取值来自于前人研究结果,研究区 R_h 为0.14~0.19,本文取其均值0.17。下同。

$$NPP(x, t) = APAR(x, t) \times \epsilon(x, t) \quad (2)$$

式中:APAR——吸收光合有效辐射(MJ/m²)。下同。

$$FPAR(x, t) = \frac{FPAR(x, t)_{NDVI} + FPAR(x, t)_{SR}}{2} \quad (3)$$

式中: $\epsilon(x, t)$ ——像元*x*在*t*月份的实际光能利用率。FPAR值(植被层对入射光合有效辐射的吸收比

例); $f_1(x, t)$ ——低温胁迫指数; $f_2(x, t)$ ——高温胁迫指数; $w(x, t)$ ——水分胁迫系数; ϵ_{\max} ——理想条件下的最大光能利用率(g C/MJ), 取值根据朱文泉模拟值^[16]。下同。

$$f_2(x, t) = \frac{1.84 \times \{1 + \exp[0.3 \times (-T_{\text{opt}}(x) - 10 + T(x, t))]\}}{1 + \exp\{0.2 \times [T_{\text{opt}}(x) - 10 - T(x, t)]\}} \quad (9)$$

式中: $T(x, t)$ —— t 月的平均气温(°C)。下同。

$$w(x, t) = 0.5 + 0.5 \times E(x, t) / E_p(x, t) \quad (10)$$

式中: $E_p(x, t)$ ——研究区的潜在蒸散量(mm/月);

$$R_H = 0.22 \times [\text{Exp}(0.0913T)] + \ln[0.3145R + 1] \times 30 \times 46.5\% \quad (11)$$

1.3 数据来源

黄土台塬区的范围较小, 所需气象数据主要来源于该范围内的气象站点如铜川站点(53 947)、耀县站点(57 037)、凤翔站点(57 025)、宝鸡站点(57 016)、武功站点(57 034)、西安站点(57 036)、华县站点(57 046)。所需 1990 年数据通过遥感影像提取, 2010 年 NDVI 数据通过 SPOT 卫星 NDVI 数据获取。二者精度有一定差别, 但不影响总体 NPP 的计算精度的比较效果。土地利用变化数据主要来源于 Landsat 陆地资源卫星影像, 基于 ERDAS9.2 进行遥感影像的校正、投影转换及解译; 基于 ArcGIS10.0 支持进行数据处理、统计分析以及制图输出。

2 结果与分析

2.1 植被—土壤系统的碳源/汇效应估算

1990 年, 台塬区的 NEP 位于碳含量 $-99.9 \sim 75$ g/(m²·a) 和 $-124.9 \sim 100$ g/(m²·a) 之间的范围较大, 其中, 前一个区间的值主要分布在陕西黄土台塬区中部和北部, 后一个区间的值的范围主要出现在渭南台塬区的西南部和咸阳台塬区大部分范围, 反映出台塬区的植被—土壤系统的碳源效应明显。2010 年, 台塬区 NEP 的值位于碳含量 $-124.9 \sim 100$ g/(m²·a) 范围的面积有所缩小, 而 $-49.9 \sim 725$ g/(m²·a) 之间区域有所增大。其中, 渭南台塬区植被—土壤

$$f_1(x, t) = 0.8 + 0.02 \times T_{\text{opt}}(x) - 0.0005 \times [T_{\text{opt}}(x)]^2 \quad (8)$$

式中: $T_{\text{opt}}(x)$ ——研究区域内一年之中 NDVI 值为最高值时的当月平均气温(°C)。

$E(x, t)$ ——研究区的实际蒸散量(mm/月), 潜在蒸散量及实际蒸散量的值也取朱文泉模拟值^[15]。

系统的碳源效应有所减弱, 咸阳台塬区的碳源效应有所增强(附图 1)。分析可知, 研究时段内陕西黄土台塬区植被—土壤系统在大部分区域呈现出碳源效应, 只有东北部边缘区很小的范围表现出碳汇效应。

2.2 植被—土壤系统的碳源/汇效应分区评价

根据陕西黄土台塬区 NEP 出现区间, 采用等间距法划分为 4 个等级, 即高碳源区、中碳源区、低碳源区和碳汇区(表 1)。

从分布区域上来看, 1990 年高碳源区主要分布在咸阳台塬区、西安台塬区和渭南台塬区的中部, 中碳源区主要分布在渭南台塬区北部、东部和南部、咸阳台塬区东部和西部、以及宝鸡台塬区北部区域, 低碳源区和碳汇区主要分布在渭南台塬区北部边缘地带。2010 年, 高碳源区范围缩减了很多, 主要分布在宝鸡台塬区西部和东部、咸阳台塬区西部和东部、西安台塬区、渭南台塬区中部也有零星分布区; 中碳源区主要分布于咸阳台塬区中部和东部、铜川台塬区、渭南台塬区南部、西部和中部大部分区域; 低碳源区主要分布为渭南台塬区, 碳汇区面积扩展明显, 主要分布于渭南台塬区北部边缘区(附图 2)。

如表 2 所示, 2010 年高碳源区大幅降低, 中碳源区是陕西黄土台塬区面积最大的一类, 低碳源区比例较小。可以看出, 2010 年土地利用的碳源效应有所降低, 表明 1990—2010 年陕西黄土台塬区的植被覆盖状况改善程度较大。

表 1 陕西黄土台塬区碳/源汇等级划分标准

g/m²

一级分类	碳源(NEP<0)			碳汇(NEP>0)		
二级分类	强碳源	中等碳源	弱碳源	弱碳汇	中等碳汇	强碳汇
NEP 值	NEP<-100	-100<NEP<-50	-50<NEP<0	0<NEP<50	50<NEP<100	NEP>100

表 2 陕西黄土台塬区碳源/汇分区面积及比例

年份	高碳源区		中碳源区		低碳源区		碳汇区	
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
1990	482 958.88	38.22	725 356.49	57.40	43 337.75	3.43	12 119.88	0.96
2010	267 004.64	21.13	855 737.02	67.71	98 060.85	7.76	42 970.49	3.40

2.3 植被—土壤系统碳收支变化原因分析

阔叶林、针叶林、灌丛、草原、草甸、荒漠以及高山稀疏植被等是陕西黄土台塬区主要的植被类型。陕西黄土台塬区农业历史悠久,天然植被很少,主要以人工植被为主。从土地利用变化的基本情况来看,研究区以耕地为主,其次为草地,林地比例很低(表 3)。测算的 NEP 密度值,发现大部分区域表现为 $NEP < 0$,植被—土壤系统表现为碳排放效应,只有台塬区东北部的林地集中分布区表现为微弱的碳汇效应。2010 年,陕西黄土台塬区耕地、林地、草地等贡献 NPP 的地类均有所下降,而建设用地净增加了 26 538.3 hm^2 。因此,从土地利用情况来看,陕西黄土台塬区的土地堆利用变化趋势不利于碳固定。

从 NDVI 的变化情况来看,1990 年陕西黄土台塬区的东北部、东南部及西南部的植被覆盖状况较好,即渭南市及宝鸡市的植被覆盖状况较好,西安市较差。2010 年,宝鸡台塬区、中部的咸阳台塬区植被覆盖比 1990 年明显改善,渭南台塬区和铜川台塬区植被覆盖有所下降。

由于本文研究范围不是很大,因此降水和气温变化的空间差异性对植被—土壤系统的碳收支影响不是很明显。因此,这种以农田生态系统为主导的植被覆盖情况下,研究区的 NEP 应该主要受复种指数的影响。已有研究表明,研究时段内陕西黄土台塬区的复种指数总体表现为升高态势^[17]。可见,复种指数的提高对于提高农田生态系统的碳汇功能有重要贡献。

表 3 1990—2010 年陕西黄土台塬区土地利用变化统计

土地类型	1990 年		2010 年		变化面积 面积/ hm^2
	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%	
耕地	997 931.8	78.96	984 336.9	77.89	-13 594.9
林地	25 740.1	2.04	24 633.8	1.95	-1 106.3
草地	154 073.3	12.19	143 030.8	11.32	-11 042.5
水域	6 446.9	0.51	5 686.2	0.45	-760.7
建设用地	79 333.0	6.28	105 871.3	8.38	26 538.3
未利用地	247.9	0.02	214.1	0.02	-33.8
总面积	1 263 773.0	100.00	1 263 773.0	100.00	0.0

3 结论与讨论

陕西黄土台塬区植被—土壤系统总体表现为碳源效应,只有东北部边缘区很小的范围表现为碳汇效应。1990—2010 年,咸阳台塬区、宝鸡台塬区和西安台塬区的碳源效应有所减弱,渭南台塬区和铜川台塬区的碳源效应有所增强。高碳源区由 1990 年的 38.22% 降低为 2010 年的 21.13%,同期中碳源区面积最大且由 57.40% 增大为 67.71%,低碳源区由 3.43% 提高为 7.76%,碳汇区由 0.96% 扩大为 3.40%。

植被—土壤系统的碳收支估算问题,对于指导区域调整土地利用方式具有重要作用。本研究中发现陕西黄土台塬区土地利用变化呈现出建设用地占用耕地、林地、草地的土地利用基本态势,这种态势不利于碳固定。但复种指数的提高对植被—土壤系统碳固定具有明显的正向作用。另外,植被—土壤系统的碳收支计算存在一定的不确定性,测算精度受土壤系统的 R_H 的影响明显。本研究中采用了前人研究的 R_H 均值,在一定程度上影响了本文测评结果的精度。但研究区为半干旱区, R_H 效应的空间差异较小,总体上不影响结果的时空分布特征,后续研究中拟考虑不同土壤类型的 R_H 对植被—土壤系统的碳收支影响。

[参 考 文 献]

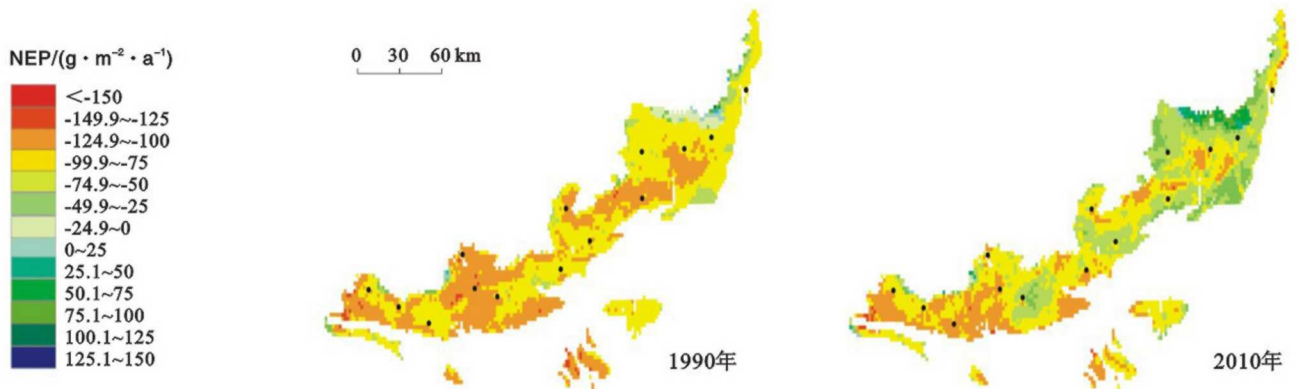
- [1] Kaku K. Global warming and climate change of Asian countries including Japanese domestic greenhouse gas (GHG) reduction in the field of poultry and swine industries[J]. Procedia Engineering, 2011(8):511-514.
- [2] 刘春兰,蔡博峰,陈操操,等. 中国碳减排目标的地区分解方法研究述评[J]. 地理科学,2013,33(9):1089-1096.
- [3] Tick Hui Oh. Carbon capture and storage potential in coal-fired plant in Malaysia: A review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, 14(9): 2697-2709.
- [4] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等. 1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学: D 辑,2007,37(6):804-812.
- [5] 高志强,刘纪远,曹明奎,等. 土地利用和气候变化对农牧过渡区生态系统生产力和碳循环的影响[J]. 中国科学: D 辑,2005,34(10):946-957.
- [6] Li Wenhua. Progresses and perspectives of ecological research in China[J]. Journal of Resources and Ecology, 2010, 1(1):3-14.
- [7] 葛全胜,戴君虎,何凡能,等. 过去 300 年中国土地利用,土地覆被变化与碳循环研究[J]. 中国科学: D 辑,2008, 38(2):197-210.

(下转第 241 页)

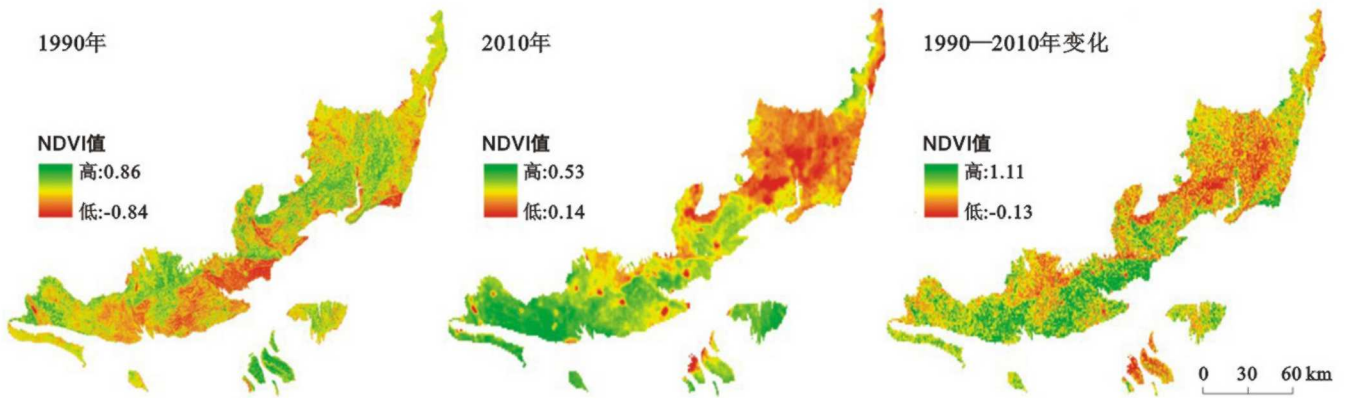
- 21(6):10-15.
- [21] 中华人民共和国水利部. SL446—2009 黑土区水土流失综合防治技术标准[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2009.
- [22] 龚文峰,蔡体久,范文义,等. 松花江流域哈尔滨城区段土壤侵蚀时空格局及动态变化研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(5):56-60.
- [23] 姜文亮,张晓通,李霖,等. 基于 GIS 和空间逻辑回归模型的城市空间扩展预测:以深圳市龙岗区为例[J]. 测绘科学, 2008, 33(4):172-174.
- [24] 邢秋菊,赵纯勇,高克昌,等. 基于 GIS 的滑坡危险性逻辑回归评价研究[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(3):49-51.
- [25] 王海鹰,张新长,赵元. 基于逻辑回归模型的城市边缘区界定方法研究[J]. 测绘通报, 2010(10):7-10.
- [26] 王静,何挺,郭旭东,等. 基于逻辑回归模型的环北京地区土地退化态势分析[J]. 地理科学进展, 2005, 24(5):23-32.
- [27] 刘艺梁,殷坤龙,刘斌,等. 逻辑回归和人工神经网络模型在滑坡灾害空间预测中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(5):92-96.
- [28] 中华人民共和国水利部. SL 190—2007 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2008.
- [29] 伊燕平,卢文喜,许晓鸿,等. 基于 RBF 神经网络的土壤侵蚀预测模型研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2):25-28.
- [30] 黄华. 基于 SPSS 的 PCA-RBF 神经网络模型的仿真试验[J]. 新疆农业大学学报, 2010, 33(6):535-538.
- [31] 张宇,谷建才,曹立颜,等. 基于 RS 和 GIS 的径向基神经网络模型对森林蓄积量的估测[J]. 浙江林业科技, 2009, 29(5):51-54.
- [32] 赵玉芹. 基于神经网络的渭河水质定量遥感研究[D]. 西安:陕西师范大学, 2009:28-31.
- [33] Fredric M H, Kostanic I. 神经计算原理[M]. 北京:机械工业出版社, 2007.
- [34] 王运生,谢丙炎,万方浩,等. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用[J]. 生物多样性, 2007, 15(4):365-372.

(上接第 234 页)

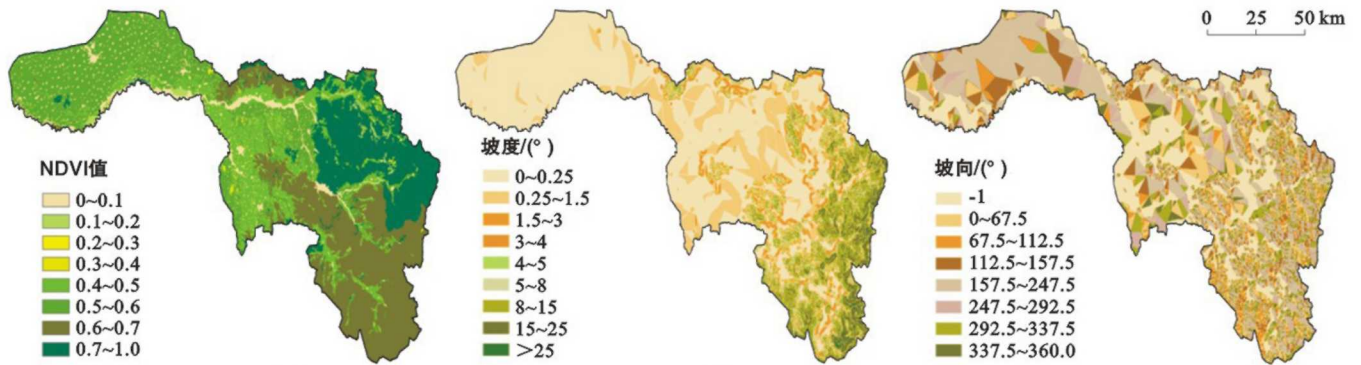
- [8] Fang J, Chen A, Peng C, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. Science, 2001, 292(5525):2320-2322.
- [9] 张秀梅,李升峰,黄贤金,等. 江苏省 1996 年至 2007 年碳排放效应及时空格局分析[J]. 资源科学, 2010, 32(4):768-775.
- [10] 于贵瑞,王秋凤,朱先进. 区域尺度陆地生态系统碳收支评估方法及其不确定性[J]. 地理科学进展, 2011, 30(1):103-113.
- [11] 马彩虹,任志远,李小燕. 黄土台塬区土地利用转移流及空间集聚特征分析[J]. 地理学报, 2013, 68(2):257-267.
- [12] 孙睿,朱启疆. 中国陆地植被净第一性生产力及季节变化研究[J]. 地理学报, 2000, 55(1):36-45.
- [13] 董丹,倪健. 利用 CASA 模型模拟西南喀斯特植被净第一性生产力[J]. 生态学报, 2011, 31(7):1855-1866.
- [14] 汤洁,姜毅,李昭阳,等. 基于 CASA 模型的吉林西部植被净初级生产力及植被碳汇量估测[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(4):1-7.
- [15] 毛德华,王宗明,罗玲,等. 1982—2009 年东北多年冻土区植被净初级生产力动态及其对全球变化的响应[J]. 应用生态学报, 2012, 23(6):1511-1519.
- [16] 朱文泉,潘耀忠,张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J]. 植物生态学报, 2007, 31(3):413-424.
- [17] 李晶,任志远. 基于 SPOTNDVI 的陕西省耕地复种指数时空变化[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10):86-91.



附图1 1990年与2010年陕西黄土台塬区植被土壤系统植物净生态系统生产力(NEP)估算(233页)



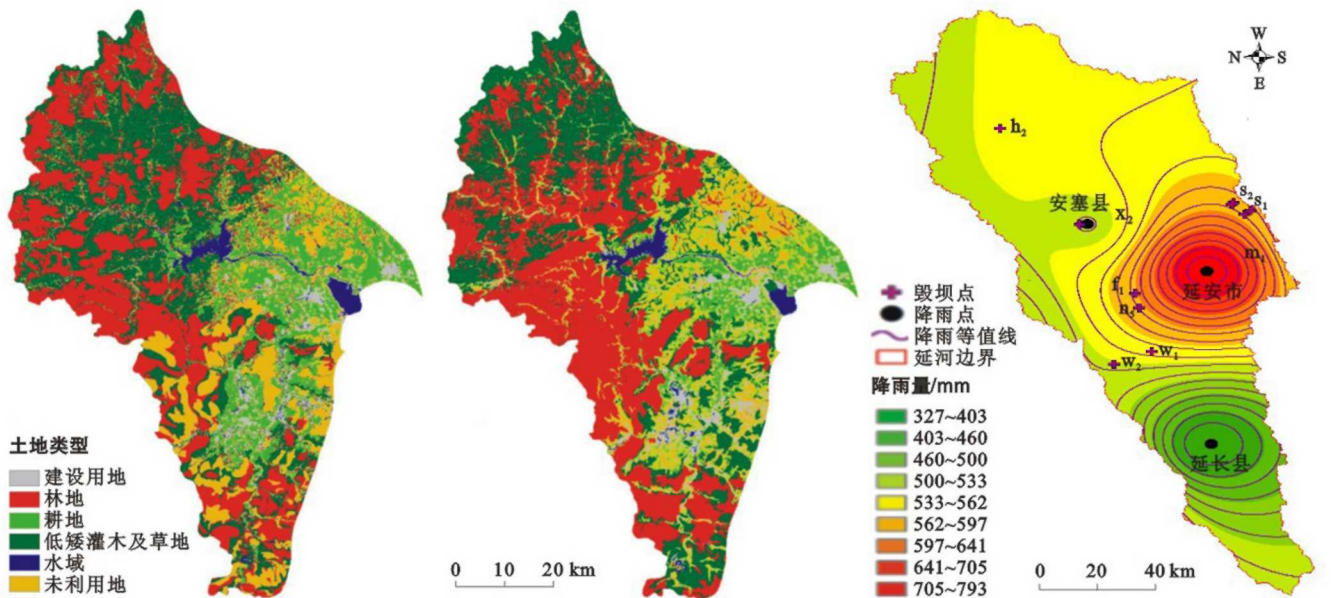
附图2 1990—2010年陕西黄土台塬区NDVI值空间格局变化(233页)



附图3 1992—2012年黑龙江省拉林河流域NDVI分级(236页)

附图4 1992年黑龙江省拉林河流域坡度分级(236页)

附图5 1992年黑龙江省拉林河流域坡向分级(236页)



附图6 2000—2010年河北省石家庄市土地利用状况(244页)

附图7 延河流域2013年7月降雨量分布(251页)