

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第3期 Vol.33 No.3 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 3 期 2013 年 2 月 (半月刊)

目 次

生态系统服务功能模拟与管理

- 保障自然资本与人类福祉:中国的创新与影响 Gretchen C. Daily, 欧阳志云, 郑 华, 等 (669)
- 建立我国生态补偿机制的思路与措施 欧阳志云, 郑 华, 岳 平 (686)
- 区域生态合作机制下的可持续农户生计研究——以“稻改旱”项目为例 梁义成, 刘 纲, 马东春, 等 (693)
- 生态系统服务功能管理研究进展 郑 华, 李屹峰, 欧阳志云, 等 (702)
- 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控 白 杨, 郑 华, 庄长伟, 等 (711)
- 汶川地震灾区生物多样性热点地区分析 徐 佩, 王玉宽, 杨金凤, 等 (718)
- 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例 李屹峰, 罗跃初, 刘 纲, 等 (726)
- 森林生态效益税对陕西省产业价格水平的影响 黎 洁, 刘峥男, 韩秀华 (737)
- 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素 饶恩明, 肖 燧, 欧阳志云, 等 (746)
- 居民对文化林生态系统服务功能的认知与态度 高 虹, 欧阳志云, 郑 华, 等 (756)
- 青海省三江源自然保护区生态移民补偿标准 李屹峰, 罗玉珠, 郑 华, 等 (764)
- 张家界武陵源风景区自然景观价值评估 成 程, 肖 燧, 欧阳志云, 等 (771)
- 国家生态保护重要区域植被长势遥感监测评估 侯 鹏, 王 桥, 房 志, 等 (780)
- 都江堰市水源涵养功能空间格局 傅 斌, 徐 佩, 王玉宽, 等 (789)
- 汶川地震重灾区生态系统碳储存功能空间格局与地震破坏评估 彭 怡, 王玉宽, 傅 斌, 等 (798)

前沿理论与学科综述

- “波特假说”——生态创新与环境管制的关系研究述评 董 颖, 石 磊 (809)
- 生态环境保护与福祉 李惠梅, 张安录 (825)
- 丛枝菌根真菌最新分类系统与物种多样性研究概况 王宇涛, 辛国荣, 李韶山 (834)

个体与基础生态

- “蒸发悖论”在秦岭南北地区的探讨 蒋 冲, 王 飞, 刘思洁, 等 (844)
- 内蒙古荒漠草原主要草食动物食性及其营养生态位 刘贵河, 王国杰, 汪诗平, 等 (856)
- 基于面向对象及光谱特征的植被信息提取与分析 崔一娇, 朱 琳, 赵力娟 (867)
- 桉树叶片光合色素含量高光谱估算模型 张永贺, 陈文惠, 郭乔影, 等 (876)
- 枫杨幼苗对土壤水分“湿-干”交替变化光合及叶绿素荧光的响应 王振夏, 魏 虹, 吕 茜, 等 (888)
- 模拟淹水对杞柳生长和光合特性的影响 赵竑绯, 赵 阳, 张 驰, 等 (898)
- 梨枣花果期耗水规律及其与茎直径变化的相关分析 张琳琳, 汪有科, 韩立新, 等 (907)
- 基于上部叶片 SPAD 值估算小麦氮营养指数 赵 犇, 姚 霞, 田永超, 等 (916)

种群、群落和生态系统

- 我国南亚热带几种人工林生态系统碳氮储量 王卫霞, 史作民, 罗 达, 等 (925)

低效柏木纯林不同改造措施对水土保持功能的影响..... 黎燕琼,龚固堂,郑绍伟,等 (934)

浙江紧水滩水库浮游植物群落结构季节变化特征..... 张 华,胡鸿钧,晁爱敏,等 (944)

黑龙江凤凰山国家级自然保护区野猪冬季容纳量及最适种群密度 孟根同,张明海,周绍春 (957)

云南苍山火烧迹地不同恢复期地表蜘蛛群落多样性..... 马艳滢,李 巧,冯 萍,等 (964)

景观、区域和全球生态

基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析 张调风,张 勃,王有恒,等 (975)

基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟 冯仕超,高小红,顾 娟,等 (985)

研究简报

三大沿海城市群滨海湿地的陆源人类活动影响模式..... 王毅杰,俞 慎 (998)

洋河水库富营养化发展趋势及其关键影响因素..... 王丽平,郑丙辉 (1011)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 350 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 36 * 2013-02



封面图说:卧龙自然保护区核桃坪震后——汶川大地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最大的一次地震,地震的强度、烈度都超过了 1976 年的唐山大地震。在这次地震中,震区的野外大熊猫受到不同程度的影响,卧龙自然保护区繁育中心的赠台大熊猫团团、圆圆居住的屋舍上方巨石垮塌,房舍全部毁坏,只因两只熊猫在屋外玩耍逃过一劫。不过,圆圆一度因惊恐逃走,失踪 5 天后才被找回来。由于繁育基地两面山体滑坡,竹子短缺等原因,繁育基地只能将大熊猫全部转移下山。

彩图提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201204280616

冯仕超, 高小红, 顾娟, 亢健, 郭丽峰, 吴国良, 邹婵. 基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟. 生态学报, 2013, 33(3): 0985-0997.

Feng S C, Gao X H, GU J, KANG J, GUO L F, WU G L, ZOU C. Land use spatial distribution modeling based on CLUE-S model in the Huangshui River Basin. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(3): 0985-0997.

基于 CLUE-S 模型的湟水流域 土地利用空间分布模拟

冯仕超¹, 高小红^{1,*}, 顾娟^{2,3}, 亢健¹, 郭丽峰¹, 吴国良¹, 邹婵¹

(1. 青海师范大学 生命与地理科学学院 青藏高原环境与资源教育部重点实验室, 西宁 810008;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 3. 兰州大学 西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 基于 CLUE-S 模型, 以青海湟水流域为研究区, 分别利用 1987 年和 1996 年两期土地利用数据, 运用逻辑斯蒂逐步回归方法选择自然和社会经济等 18 种驱动因子, 对湟水流域 2007 年土地利用空间分布格局进行模拟。在此基础上, 构建流域 2008—2027 年土地利用变化的 4 种不同情景, 并模拟了 4 种情景下 2027 年土地利用空间分布格局。研究结果表明: (1) 两期模拟总体精度分别达到了 88.31% 和 89.96%, 4 种 Kappa 指数均大于 0.82, 表明 CLUE-S 模型在湟水流域具有良好的土地利用模拟能力。(2) 流域 2008—2027 年不同情景下, 城乡居住建设用地在 4 种情景下均表现为明显增加, 主要沿湟水河谷区域扩展, 而 3 种退耕情景下的坡耕地空间格局模拟结果存在着明显的空间差异, 从情景二、情景三到情景四, 流域内坡耕地范围逐步减小, 林地、草地面积范围增大, 退耕部分主要分布在流域东部、西部和北部; 东部地区退耕的范围主要是集中在乐都县和民和县; 北部地区退耕的范围主要是集中在大通县县城北部; 西部地区退耕范围则主要在湟源县县城西北部的湟水河两岸。研究结论可为湟水流域未来土地利用管理、规划及政策的制定等提供参考依据和决策支持。

关键词: 土地利用/土地覆被变化; CLUE-S 模型; 空间分布; 情景模拟; 湟水流域

Land use spatial distribution modeling based on CLUE-S model in the Huangshui River Basin

FENG Shichao¹, GAO Xiaohong^{1,*}, GU Juan^{2,3}, KANG Jian¹, GUO Lifeng¹, WU Guoliang¹, ZOU Chan¹

1 School of Life and Geographical Sciences, Key Laboratory of Ministry of Education on Environment and Resource in Qinghai-Tibetan Plateau, Qinghai Normal University, Xining 810008, China

2 Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

3 Key Laboratory of Western China's Environmental (Ministry of Education), Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: In this paper, taking the Huangshui river basin of Qinghai province located in Qinghai-Tibetan Plateau and Loess Plateau as the study area, based on CLUE-S model, using land use data in 1987, 1996 and 2007, land use spatial distribution pattern and future scenarios was simulated. Firstly, 18 key driving factors including elevation, slope of between 0°—5°, 5°—15°, 15°—25° and > 25°, aspect (flat aspect, eastern aspect, southern aspect, western aspect and northern aspect), distance to rivers, distance to roads, distance to urban and rural residential areas, population, local financial revenue and so on, were selected by using logistic step-regression method; Secondly, land use data in 1987 and 1996 were used respectively to simulate the spatial pattern of land use in 2007 (the temporal scale was 20 years and 11 years respectively) for the Huangshui river basin. In the end, in order to validate simulation results of two temporal scale,

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40861022); 中国科学院“西部之光”项目 (科发人教字[2006]378 号)

收稿日期: 2012-04-28; **修订日期:** 2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaohonggao226@gmail.com

simulated land use map in 2007 was respectively compared with actual land use map in 2007. The results showed that using CLUE-S model, at 250m spatial resolution level, the simulation accuracy reached respectively 88.31% and 89.96% at two temporal scale, and Kquality indices attained all 0.999, Klocation indices were 0.826 and 0.851 respectively, Kstandard indices were 0.826 and 0.851 respectively, Knoindices were 0.826 and 0.851 respectively, all Kappa indices were more than 0.82, which suggesting that CLUE-S model has a good applicability in simulating land use change in the Huangshui river basin and can be used to predict future land use change.

Focusing mainly on slope cultivated land change of the study area, four kinds different scenarios of land use change for future 20 years (from 2008 to 2027) were constructed, and land use spatial pattern in 2027 in the study area was stimulated under above different scenarios by using the CLUE-S model. The simulation results indicated that in 2027 urban and built-up land was significantly increased under all four kinds different scenarios, mainly distributing in valley regions of the study area, whereas there was obvious spatial difference in the slope cultivated land change under scenario II, III and IV, that is scenario II > scenario III > scenario IV. The returning slope cultivated land will distribute in Ledu county, Minhe county, Datong county and Huangyuan county. The increased area of forest land will mainly distribute in south and north mountains of Xining city. The study conclusions will provide data reference and basic information of decision support for watershed future land use planning, management and policy-making.

Key Words: land use/land cover change; CLUE-S model; spatial distribution; scenarios simulation; the Huangshui river basin

土地利用/土地覆被变化(LUCC)是全球变化与可持续发展的重要研究内容^[1],受自然、人文因素在不同时间、空间尺度上相互作用^[2],表现出复杂的非线性特征。土地利用模型是理解和认识区域土地利用/土地覆被变化的某些关键过程并进行定量描述,从而对未来土地利用变化格局和影响因子进行研究评价的重要工具^[3],因此它的应用已经逐渐成为研究 LUCC 驱动机制^[4]、动态规律^[5]、生态效应^[6]及预测未来土地利用变化及其发展趋势的重要技术手段^[7]。近年来,用于区域土地利用模拟的模型主要包括系统动力学模型、Markov 模型、元胞自动机模型、Agent-based 模型、CLUE 模型以及在其基础上改进的 CLUE-S 模型等。

CLUE-S 模型是 2002 年由荷兰瓦赫宁根农业大学 Verburg 等^[8]科学家在 Veldcamp 和 Fresco^[9]1996 年提出的 CLUE 模型基础上开发的,用于小区域尺度的土地利用变化模拟模型。张永民等^[10-11]于 2002 年最早将该模型分别应用于我国内蒙古科尔沁沙地及其周围地区和内蒙古奈曼旗土地利用的时空动态变化模拟研究,均取得了良好的模拟结果。自此后的近 10 多年来,CLUE-S 模型已经被广泛地用于我国不同区域的土地利用模拟研究,也都取得有效的模拟结果^[12-14],其中包括在西部地区的应用,如:摆万奇等^[15]、魏强^[16]、张华等^[17]和梁友嘉等^[18]分别以四川省大渡河上游地区、新疆托克逊县、甘肃张掖市以及张掖市甘州区等为研究区域,运用该模型模拟其土地利用的时空变化。然而,还未见利用 CLUE-S 模型对青藏高原与黄土高原过渡带复杂地形区的土地利用变化进行模拟研究的报道。

尺度问题是土地变化科学中的关键问题^[19],在土地利用变化研究中,尺度是空间或时间的分析范围,在这一分析范围内,可以用来测量和研究事物及过程,根据尺度的定义,可以把尺度按照性质分为空间尺度和时间尺度^[20]。时间尺度往往以时间粒度和时间幅度来表达,时间粒度指某一现象或事件发生的(取样的)频率或时间间隔,研究对象的发展时期则确定其时间幅度^[19]。据此,本研究中的时间尺度指的是时间粒度,即模拟时间间隔。以往的 CLUE-S 模型模拟研究中,主要是利用某一年份的土地利用数据模拟另一年份或者多个年份的土地利用空间格局^[7-11,21],而利用不同年份的土地利用数据去模拟同一年份的土地利用空间分布格局的研究则比较少。

本文中,分别用 1987 年和 1996 年两期土地利用数据去模拟 2007 年土地利用空间格局分布,时间尺度分别为 20a 和 11a,两次模拟的目的是为了减少模拟中的不确定性因素,增加模拟结果的可靠性和说服力,并为

研究区未来土地利用空间分布格局变化模拟参数的设置提供依据。

基于以上考虑,本论文的研究目标主要为:(1)探究 CLUE-S 模型在青藏高原与黄土高原过渡带高海拔复杂地形区的适用性;(2)分别利用 1987 年和 1996 年两期土地利用数据,对湟水流域 2007 年土地利用的空间变化格局进行模拟,并从数量、位置和整体上分别对两次土地利用模拟结果计算其 Kappa 指数,通过利用不同年份数据去模拟同一年份的土地利用空间格局来验证模拟结果的可靠性;(3)重点针对流域耕地中的坡耕地退耕进行研究,构建湟水流域 2008—2027 年土地利用需求的四种不同情景,对研究区 2027 年土地利用空间分布格局变化进行模拟,以期对湟水流域未来土地发展规划、管理及政策的制定提供参考依据和决策支持。

1 研究区域概况

湟水是黄河上游最大的一级支流,发源于青海省海北藏族自治州海晏县包呼图山,自西北向东南流经青海省海晏、湟源、湟中、西宁、互助、平安、乐都及民和等七县一市,在甘肃省永靖县傅子村注入黄河。湟水干流全长 374km,青海省境内全长 336km。湟水流域地处黄土高原与青藏高原的过渡地带,北依达坂山,南邻拉脊山,西与日月山相邻,东与甘肃省庄浪河流域接壤,地理位置为 $36^{\circ}02'—37^{\circ}28'N$, $100^{\circ}41'—103^{\circ}04'E$ (图 1)。地形由河谷冲积平原、黄土丘陵和中高山地组成,地势自西北向东南倾斜,流域内海拔最高处是位于湟源县西南的野牛山 (4898m),最低处为民和县下川口镇 (1650m)。行政范围除了上述的县市外,还包括大通回族土族自治县。气候属于高原干旱、半干旱大陆性气候。

根据 1961—2010 年气象资料统计,湟水流域多年年平均气温 $2.5—7.5^{\circ}C$,多年平均降水量 453.12mm。青海省境内湟水干流流域面积为 $16120km^2$,虽然仅占青海省总面积的 2.23%,但总人口、地区生产总值及工业总产值却分别占青海的 62.31%、58.17% 和 54.72% (截至到 2010 年末),是青海省的政治、经济、文化、教育、科技、交通中心和主要工农业生产基地。

2 数据源与研究方法

2.1 数据来源与处理

数据源主要包括 1987/1988 年、1994/1995/1996 年和 2006/2007 年 3 个时期的 Landsat-5 TM 影像数据 (表 1), 1:25 万 DEM (数字高程模型)、1:10 万比例尺地形图和相关的人口、社会经济统计数据等。其中影像数据和 DEM 分别来源于中国科学院对地观测与数字地球中心和美国地质调查局网站 (<http://www.usgs.gov/>), 1:10 万比例尺地形图来自青海省基础地理信息中心,口和地方财政收入等统计数据均来源于 1987 年、1996 年和 2007 年《青海省统计年鉴》^[22]。

所有影像数据均已经过了前期的辐射纠正和几何粗纠正,几何精校正和配准采取影像到影像的几何纠正方法,在 ERDAS IMAGINE 9.2 软件支持下,以研究区已有的 1999/2001 年的影像为基准,分别对 1987、1996 和 2007 年的影像进行几何精纠正和配准,几何精纠正的像元误差,平原区控制在 0.5 个像元,山区为 1—2 像元。投影均从通用横轴墨卡托投影转为阿尔伯斯等面积圆锥投影。流域边界的获取是在 ArcGIS 9.3 软件平台下,以 1:10 万比例尺地形图和 Landsat TM 影像为基础,结合 DEM 数据,勾绘出湟水流域边界,根据流域边界分别切割出 3 期流域遥感影像。

土地利用分类系统采用中国科学院“中国资源环境数据库”土地利用遥感分类体系,并结合青海省土地资源调查技术规程和湟水流域的实际情况,将研究区的土地利用/土地覆被类型划分为水浇地、旱地、林地、草地、水域、城乡居住建设用地和未利用土地七类。通过野外实地踏勘,结合影像的地物光谱特征,建立了室内

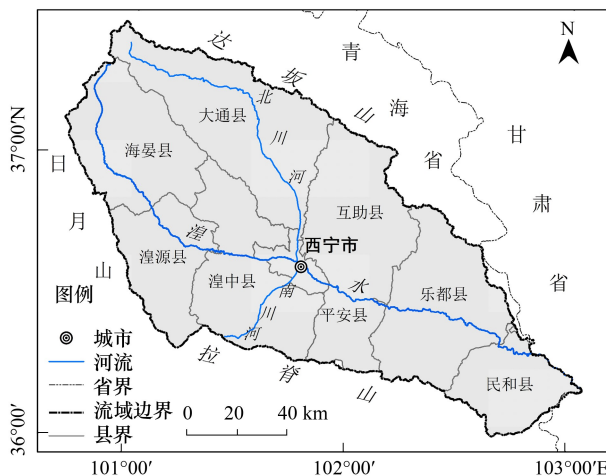


图 1 湟水流域位置图

Fig. 1 Location map of the Huangshui river basin

解译标志。在 ArcGIS 9.3 软件支持下,采用人工交互目视解译方法对影像进行判读解译,分别获得 1987、1996 和 2007 年三期土地利用矢量数据。经野外实地抽样调查验证,2007 年总体解译精度达到 93% 以上。结合地形图和湟水流域相关历史图件和统计数据,对 1987 和 1996 年的解译结果进行精度评价,总体精度分别达到 88% 和 90%,精度符合研究要求。

表 1 遥感影像信息

Table 1 Remote sensing images information

影像轨道号 Path/row of images	接收时间 Receive time	波段 Band	影像空间分辨率/m Spatial resolution of images
13135	1987-9-18	4,3,2	30
13234,13235	1987-09-09	4,3,2	30
13334	1988-08-01	4,3,2	30
13135	1994-07-19	4,3,2	30
13234,13235	1996-08-16	4,3,2	30
13334	1995-08-21	4,3,2	30
13135	2006-08-05	4,3,2	30
13234,13235,13334	2007-07-14,2006-09-20	4,3,2,4,3,2	30,30

以湟水流域三个相应时期的遥感影像为基础,分别数字化获取了各期的水系、城镇和农村居住用地图。流域铁路、国道以及省道数据的获取首先以研究区 1:10 万比例尺地形图为准,参考谷歌地球中湟水流域 2007 年影像信息,并结合 1:400 万国家基础地理信息数据,数字化获得了 2007 年流域铁路、国道和省道数据。在此数据基础上,利用《青海省地图集》(2009 年第一版)、《青海省省志——公路志》及其他辅助数据,分别获取了其他二期铁路、国道和省道数据。将水系、城镇和农村居民用地、铁路、国道以及省道数据分别转成栅格格式、格网大小为 250m×250m。利用 ArcGIS 空间分析模块中的距离制图函数来分别计算每一栅格单元距水系、铁路、国道、省道、城镇和农村居民用地的直线距离,并按距离远近分级。

2.2 研究方法

2.2.1 CLUE-S 模型原理

CLUE-S 模型兼顾了土地利用系统中的自然和社会经济驱动因子,在空间上反映土地利用变化的过程和结果,与其它土地利用模型相比,具有更高的可信度和更强的解释力^[12]。模型以栅格为研究单元,利用研究单元内的主要土地利用类型来表达该栅格内的土地利用情况,即通过计算每一种土地利用类型在该研究单元上的概率大小以确定哪种地类占优势。综合考虑湟水流域面积大小和模型运行的数据运算量,模拟运行的栅格大小设置为 250m×250m。

CLUE-S 模型的输入包括:(1)政策限制区域,是指由于特殊的政策或者地区状况在模拟时间段内部不允许随便发生变化的区域,如:研究区内的自然保护区和基本农田保护区。本研究中,不设置受限制区域,整个研究区都允许发生土地利用变化;(2)土地利用各类型转换规则和转换弹性系数;(3)土地利用需求文件,属于 CLUE-S 模型中的非空间分析模块,主要记录模拟时间段内各个土地利用类型的需求量,它是以 1a 为时间间隔的土地利用类型需求数据,包括模拟起始年到终止年时间段内各个年份的土地利用的面积;(4)区域位置特征与驱动因素的关系,是指土地利用的空间分布格局与其各驱动因素之间的关系。CLUE-S 模型中,运用 Logistic 回归分析方法计算土地利用的空间分布格局与其驱动因子之间的定量关系。其公式如下:

$$\log\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \cdots + \beta_n X_{n,i} \quad (1)$$

式中, P_i 指的是某种土地利用类型 i 在某一个栅格单元内出现的概率; $X_{n,i}$ 为地类分布格局的各驱动因子,如人口、栅格单元到道路的距离以及地形条件等等; β 为 Logistic 回归方程的回归系数,表示各土地类型与驱动因子之间的定量关系。

2.2.2 土地利用需求文件设置

土地利用需求文件的计算是独立于 CLUE-S 模型之外。一般是采用 SD 模型^[18]、Markov 模型^[23]、Grey 模型^[16]或者是通过线性内插的方法来获得,但前 3 种方法需依赖于完善的社会经济统计数据。线性内插方法则是一种简单、快捷的计算方法,常用于缺乏社会经济数据的区域,例如:张永民等^[10]、摆万奇等^[15]、Verburg^[24]等采用线性内插法插值获取研究区的土地利用需求文件,并取得了良好的模拟效果。由于湟水流域县级历史社会经济统计数据的缺乏及获取较为困难,不能满足前 3 种模拟方法对数据的要求。因此我们采用线性内插方法来获取 CLUE-S 模型所需的土地利用需求文件。

2.2.3 土地利用转换弹性参数设置

土地利用转换弹性(ELAS)参数是指土地利用类型的稳定程度,它的值介于 0 与 1 之间,0 表示某种土地利用类型极易转换为其它类型,1 表示某种土地利用类型不易转换为其它类型,ELAS 参数的值越接近 1,表明该土地利用类型越不容易转换为其它类型,发生转换的可能性越小,土地利用就越稳定,对应的土地利用类型发生转变的概率就越小,其设置主要依靠研究者对研究地区土地利用变化的理解^[10]或者根据土地利用转移情况和模型调试相结合的方法进行^[14]。根据湟水流域土地利用类型的转出率,并结合野外实际调查情况,首先对其进行初步的设置,并对照 2007 年土地利用现状图来检验模拟结果的总体精度和 Kappa 指数,将模拟结果再进行多次调试,最终分别为研究区 1987—2007 年与 1996—2007 年模拟期各选择一组合适的参数。据此,1987—2007 年 ELAS 参数设置为:水浇地 0.4,旱地 0.2,林地 0.9,草地 0.6,水域 0.9,城乡居住建设用地 1,未利用土地 0.2;1996—2007 年 ELAS 参数为:水浇地 0.4,旱地 0.2,林地 0.9,草地 0.6,水域 0.9,城乡居住建设用地 1,未利用土地 0.3。

2.2.4 土地利用转换规则的设置

转换规则指在一定的情景模式下,各地类之间相互转移的可能性矩阵^[25]。转换规则的设置是通过转移矩阵来定义各土地利用类型之间能否实现转变,1 表示可以转变,0 表示不能转变。其设置的一般原则:对高投资或者区域生态环境有重要影响的区域不可轻易转换^[18]。本文根据湟水流域 1986—1996 年和 1996—2007 年土地利用的转移变化情况及转换约束条件等综合考虑,来实现对土地利用转换规则的设置。主要对城乡居住建设用地做了转换限制设置,即城乡居住建设用地不能转换为其他地类(表 2)。

表 2 土地利用转换限制

Table 2 Land use transition restrictions

年份 Year	土地利用类型 Land use types	水浇地 Irrigated land	旱地 Dry farming land	林地 Forest land	草地 Grassland	水域 Water bodies	城乡居住 建设用地 Urban and built-up land	未利用土地 Unused land
1987—2007	水浇地	1	1	1	1	1	1	1
	旱地	1	1	1	1	1	1	1
	林地	1	1	1	1	1	1	0
	草地	1	1	1	1	1	1	1
	水域	1	0	1	1	1	1	1
	城乡居住建设用地	0	0	0	0	0	1	0
	未利用土地	1	1	1	1	0	1	1
1996—2007	水浇地	1	1	1	1	1	1	1
	旱地	1	1	1	1	1	1	1
	林地	1	1	1	1	1	1	1
	草地	1	1	1	1	1	1	1
	水域	1	1	1	1	1	1	1
	城乡居住建设用地	0	0	0	0	0	1	0
	未利用土地	1	1	1	1	1	1	1

2.2.5 Kappa 指数

Kappa 指数一般用来评价遥感影像的分类精度,也可以用来比较两幅图件的一致性,由 Cohen 在 1960 年提出^[26]。将模拟得到的土地利用类型图与真实土地利用类型图进行空间叠加,得到两幅图的转移矩阵,见表 3,由此计算 Kappa 指数,其公式为:

$$Kappa = \frac{(P_o - P_c)}{P_p - P_c} \quad (2)$$

式中, $P_o = P_{11} + P_{22} + P_{33} + \dots + P_{JJ}$; $P_c = R_1 \times S_1 + R_2 \times S_2 + R_3 \times S_3 + \dots + R_J \times S_J$; $P_p = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_J$ 。 P_o 指的是对比真实图和模拟图后,得出的各类型比率正确程度的观测值; P_c 指的是在模拟图上,偶然引起的比率正确程度的期望值; P_p 是指真实图上的比率正确程度的真实值,当真实图和模拟图完全一样的情况下为 1^[27]; J 代表的是土地利用类型的总数; j 代表的是各土地利用类型。

表 3 土地利用模拟类型图与真实土地利用类型图的转移矩阵^[28]

Table 3 Transition matrix between simulated and actual land use type maps

模拟土地利用类型图 Simulated land use type map	真实土地利用类型图 Actual land use type map					
	$j=1$	$j=2$	$j=3$	...	$j=J$	合计
$j=1$	P_{11}	P_{12}	P_{13}	...	P_{1J}	$S_1 = \sum (P_{1j})$
$j=2$	P_{21}	P_{22}	P_{23}	...	P_{2J}	$S_2 = \sum (P_{2j})$
$j=3$	P_{31}	P_{32}	P_{33}	...	P_{3J}	$S_3 = \sum (P_{3j})$
...	...	...	...	...	...	...
$j=J$	P_{J1}	P_{J2}	P_{J3}	...	P_{JJ}	$S_J = \sum (P_{Jj})$
合计 Total	$R_1 = \sum (P_{j1})$	$R_2 = \sum (P_{j2})$	$R_3 = \sum (P_{j3})$	...	$R_J = \sum (P_{jJ})$	1

由于公式(2)中的 Kappa 指数并没有说明产生误差的原因,因此 Pontius 等人^[28-30]在此公式的基础上,进一步发展了 Kappa 指数,来量化数量误差和位置误差。数量 Kappa 指数能够说明土地利用类型在数量上的变化,位置 Kappa 指数能够说明土地利用类型在空间位置上的变化,但是上述两者不能综合的反映土地利用类型变化的程度。而随机 Kappa 指数和标准 Kappa 指数分别综合了位置和数量的变化,能对综合信息的变化进行量化^[31]。具体计算方法见公式(3)~(6):

$$\text{数量 Kappa 指数} \quad K_{quantity} = (P_o - NQNL) / (1 - NQNL) \quad (3)$$

$$\text{位置 Kappa 指数} \quad K_{location} = (P_o - NQNL) / (MQPL - NQNL) \quad (4)$$

$$\text{标准 Kappa 指数} \quad K_{standard} = (P_o - MQNL) / (1 - MQNL) \quad (5)$$

$$\text{随机 Kappa 指数} \quad K_{no} = (P_o - NQNL) / (1 - NQNL) \quad (6)$$

与真实土地利用类型图相比,土地利用类型模拟图指定土地利用类型图数量的能力分为:完全(PQ)、中等(MQ)和无(NQ);指定土地利用类型图空间位置的能力分为:完全(PL)、中等(ML)和无(NL)(表4)。

表4中,PQ指的是完全保持了各土地利用类型的原始面积;NQ指的是无法保持各土地利用类型的原始面积;MQ的情况正好位于上述两种情况之间。同理,PL指的是完全准确地保持了各土地利用类型的空间位置;NL指的是无法保持各土地利用类型的空间位置;ML的情况正好位于上述两种情况之间。根据公式(3)~(6),可以分别计算出数量 Kappa 指数、位置 Kappa 指数、标准 Kappa 指数和随机 Kappa 指数。Kappa 指数的取值范围在 0—1 之间,当 $Kappa \geq 0.75$ 时,两者一致性较好; $0.4 \leq Kappa < 0.75$ 时,两者一致性一般; $Kappa < 0.4$ 时,两者一致性差。

3 结果与分析

3.1 Logistic 逐步回归结果与分析

选取水浇地、旱地、林地、草地、水域、城乡居住建设用地和未利用土地 7 种土地利用类型,海拔、坡度(分

为 $0^{\circ} \leq \text{坡度} < 5^{\circ}$, $5^{\circ} \leq \text{坡度} < 15^{\circ}$, $15^{\circ} \leq \text{坡度} < 25^{\circ}$ 和 $\text{坡度} > 25^{\circ}$)、坡向(分为平坡、东坡、南坡、西坡和北坡)、分别距(河流、铁路、国道、省道、城镇和农村居民点)的距离、人口和地方财政收入等 18 种自然、社会经济驱动因子,运用统计软件 SPSS 对各土地利用类型和驱动因子进行 Logistic 逐步回归计算。由于样本量较大,所以我们采用随机抽样的方法,从研究区 257184 个样本点中抽取了 10% 的样本进行 Logistic 回归分析。采用 Pontius 等人^[30]提出的相对工作特性(ROC)方法进行回归效果检验。ROC 的取值介于 0.5—1 之间,0.5 表示回归方程的解释能力最差,当 ROC 值大于 0.7 时,说明模拟的土地利用空间格局和真实的土地利用空间格局之间有良好的 consistency,1 表示方程的解释能力最好。各土地利用类型的两次模拟回归检验结果见表 5,ROC 曲线见附图 1 和附图 2(ROC 曲线下面积越大,表明回归效果越好)。

表 4 百分比正确程度的分类^[28]
Table 4 Proportion correct classification

指定数量的能力 Ability to Specify Quantity	指定位置的能力 Ability to Specify Location		
	完全 Perfect Location PL	中等 Medium Location ML	无 None Location, NL
完全 Perfect quantity PQ	1	$PQNL + Klocation \times (1 - PQNL)$	$\sum_{j=1}^J (R_j^2)$
中等 Medium quantity MQ	$\sum_{j=1}^J MIN(S_j, R_j)$	P_o	$\sum_{j=1}^J (S_j \cdot R_j)$
无 None quantity NQ	$\sum_{j=1}^J MIN((1/J), R_j)$	$(1/J) + Klocation \times (NQPL - (1/J))$	$1/J$

表 5 ROC 检验结果
Table 5 Test results of ROC

年份	水浇地	旱地	林地	草地	水域	城乡居住 建设用地	未利用土地
1987 年模拟 2007 年 2007 simulated upon 1987	0.946	0.814	0.862	0.865	0.709	0.864	0.815
1996 年模拟 2007 年 2007 simulated upon 1996	0.945	0.811	0.855	0.862	0.700	0.871	0.817

从表 5 可以看出,在两次模拟过程中,各土地利用类型的 ROC 值均大于或等于 0.7,表明所选取的驱动因子对各土地利用类型都有良好的解释能力,其中水浇地的 ROC 值最大,1987 年和 1996 年分别为 0.946 和 0.945,说明所选驱动因子对水浇地的解释能力最强;其次分别是城乡居住建设用地、草地、林地、未利用土地和旱地,均达到了 0.8 以上,水域的 ROC 值最低,但也都达到了 0.7。

3.2 模拟结果检验

基于 CLUE-S 模型,分别利用 1987 年和 1996 年两期土地利用数据模拟得到 2007 年土地利用空间模拟图,并以 2007 年实际土地利用图分别验证两期的模拟精度。经计算,两个不同时间段的模拟总体精度分别达到 88.31% 和 89.96%;同时,利用公式(3)—(6)计算两期模拟结果的 4 种 Kappa 指数(表 6),以进一步验证模拟结果的准确性。表 6 显示:两个模拟时间段数量 Kappa 指数均为 0.999,表明在不考虑空间位置变化的情况下,模拟结果图与真实土地利用类型图相比,各土地利用类型面积的一致性非常高。位置 Kappa 指数、标准 Kappa 指数和随机 Kappa 指数均达到 0.75 以上。位置 Kappa 指数表明在不考虑数量变化的情况下,模拟结果图与真实土地利用类型图一致性较好。标准 Kappa 指数表明在中等保持空间位置和数量的能力下,模拟结果图与真实土地利用类型图一致性较好。随机 Kappa 指数表明在不考虑空间位置和数量的情况下,模拟结果图与真实土地利用类型图一致性较好。

综上所述,无论是用总体精度检验的方法还是利用 Kappa 指数进行验证,模拟结果均具有较高的精度,说明 CLUE-S 模型完全适用于湟水流域的土地利用空间格局模拟。

表 6 Kappa 指数计算结果
Table 6 The computed results of Kappa index

类型 Type	1987 模拟 2007 2007 simulated upon 1987	1996 模拟 2007 2007 simulated upon 1996
数量 Kquantity 指数	0.999	0.999
位置 Klocation 指数	0.826	0.851
标准 Kstandard 指数	0.826	0.850
随机 Kno 指数	0.864	0.883

3.3 未来土地利用变化情景构建及模拟

3.3.1 土地利用变化情景构建

CLUE-S 模型能够支持探索未来不同情景下土地利用/土地覆被空间格局变化模拟。本文以流域 2007 年土地利用数据为模拟基准年,构建了 2008—2027 年土地利用变化的 4 种不同情景。

情景 1,自然增长情景。该情景设置主要是依据研究区 1996—2007 年土地利用的变化速率,计算得到 2027 年各土地利用类型需求面积。其设置的主要依据为:根据对研究区域土地利用变化的分析^[32]表明,1987—2007 年期间,湟水流域土地利用的显著变化发生在 1996—2007 年,特别是 1999 年国家“退耕还林、还草”政策和 2000 年“西部大开发战略”实施以来,而 1987—1996 年期间流域的土地利用变化很小,因此情景一依据 1996—2007 年土地利用变化速率设置。

情景 2—情景 4 为退耕情景,即分别为按照坡度 $\geq 15^\circ$ 、 $\geq 20^\circ$ 和 $\geq 25^\circ$ 进行退耕,林地面积分别增加 6.67 万 hm^2 ,城乡居住建设用地均按照 2000—2007 年的变化率恒定增加。这 3 种情景的设置主要是针对耕地类型进行设计,探讨流域不同坡度坡耕地退耕还林、还草和城乡居住建设用地持续增加情况下土地利用空间格局的变化情况。其主要依据:(1)研究区坡度大于 15° 以上的耕地约占流域耕地总面积的 33%,依据《中华人民共和国水土保持法》规定,禁止在 25° 以上陡坡地开垦种植农作物。在干旱、半干旱地区, 15° — 25° 的缓坡耕地虽然不属于国家强制退耕的范畴,但也是退耕的重点,在这个坡度范围内退耕还林、还草工程的实施必须兼顾农民生计和经济发展,因此情景构建须同时考虑生态安全和粮食安全两个方面的因素;(2)根据《青海省国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》,“继续实施西宁南北两山、湟水河流域百万亩人工造林工程”(该工程隶属于三北防护林工程第五期工程),据此,在情景 2—情景 4 中,设置林地面积均增加为 6.67 万 hm^2 。(3)自 2000 年以来,随着西部大开发战略的实施,湟水流域城镇化进程日益加快、城镇周围耕地面积持续减少,故情景 2—情景 4 中城镇建设用地变化依据 2000—2007 年的变化速率。

3.3.2 不同情景下的土地利用空间变化格局模拟

基于 CLUE-S 模型,分别对上述 4 种情景进行模拟,图 2 显示 4 种情景下 2027 年各土地利用模拟图和 2007 年实际土地利用图。从图 2 可以看出:情景 1 中,到 2027 年湟水流域的土地利用格局将按照现有的变化趋势发展,其中变化最明显的是林地和旱地,旱地大面积减少而林地大面积增加,城乡居住建设用地明显扩张,其它土地利用类型变化不是很明显。情景 2—情景 4 中,2027 年模拟图中退耕土地范围,即林地、草地面积增加主要集中在湟水流域东部的乐都县和民和县、北部的大通县县城北部以及西部的湟源县县城西北部的湟水河两岸。其中西部地区的变化最为明显,到 2027 年大部分将退为草地。总之,3 种情景中,退耕面积情景 2>情景 3>情景 4。4 种情景中,城乡居住建设用地面积扩展主要是集中在河谷地区,而林地的增加主要分布在西宁市市区的周边(主要是南山和北山)和流域北部地区(主要是大通和互助县境内)。其它土地利用类型在上述 4 种情景的模拟图中变化均不是很明显。

4 结论和讨论

本研究基于湟水流域 1987 年和 1996 年两期土地利用数据,并结合自然和社会经济等驱动因子,运用 CLUE-S 模型,对湟水流域 2007 年的土地利用空间分布格局进行模拟,经总体精度和 Kappa 指数检验,两个模拟期均取得了良好的效果,表明 CLUE-S 模型在湟水流域具有较好的土地利用模拟能力。在此基础上,依据

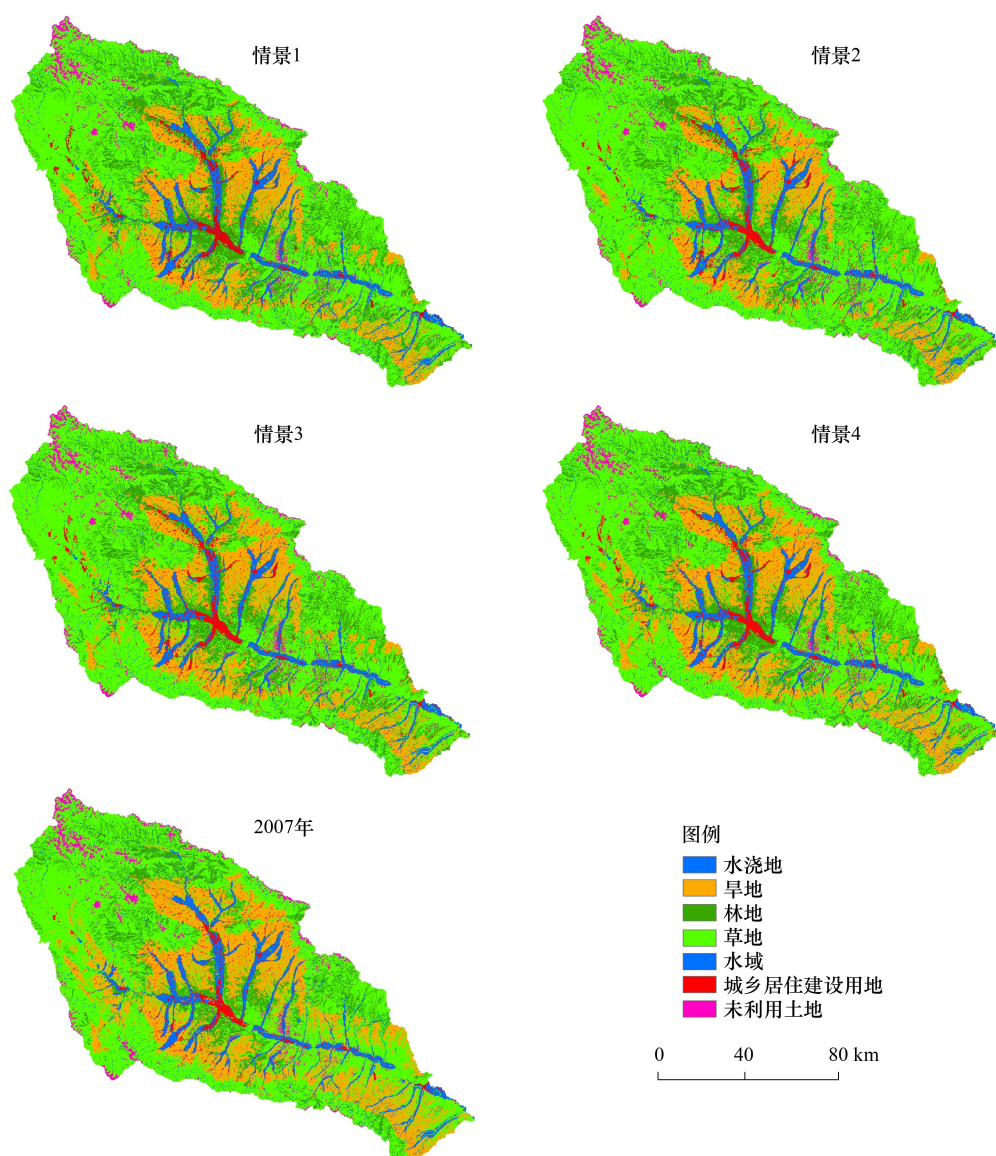


图2 2007年实际土地利用图与四种情景下2027年土地利用模拟图

Fig.2 Land use simulation maps in 2027 under four different scenarios and land use situation map in 2007

湟水流域未来发展规划,构建流域未来20a(2008—2027年)土地利用需求的4种不同情景,并对4种情景下2027年土地利用空间分布格局进行了模拟。研究结论可为湟水流域未来土地的利用规划、管理及政策制定等提供参考依据和决策支持。

由于湟水流域横跨海北藏族自治州(海晏县)、西宁市(包括西宁市市区、大通县、湟中县和湟源县)和海东地区(包括互助县、平安县、乐都县和民和县)8县1市,研究中以县级为单位的长时间序列历史社会经济统计数据的缺少以及数据统计口径的不一致,致使社会经济统计数据选择受到限制和无法使用,故模拟中仅选择了人口和地方财政收入两个社会经济驱动因子,这在一定程度上必将会影响模拟结果。如何更好地获取和量化社会经济驱动因子并将其运用于该流域土地利用模拟有待于今后进一步研究。

虽然CLUE-S模型对于土地利用变化的模拟具有良好的空间表达性,但是和其他模型相比,该模型对给定社会经济条件下各类土地宏观需求的空间表现仍然有限。目前,利用土地利用总量变化模拟模型(如:Grey模型、SD模型或Markov模型)与CLUE-S模型相结合等对土地利用变化进行模拟预测日益成为研究的热点和重要方向。该类研究的主要特点是结合了土地利用总量变化模拟模型在模拟土地利用数量方面的能力和

CLUE-S 模型模拟土地利用空间格局变化的能力,因此已成为弥补 CLUE-S 模型模拟土地利用数量缺陷的一种有效的方法。因此在后续的研究中,将进一步探讨土地利用总量变化模拟模型与 CLUE-S 模型相结合模拟湟水流域土地利用空间分布格局。

随着湟水流域城市化进程的加快,城乡居住建设用地迅速扩展,该类土地类型受政府政策因素的影响比较大,因此土地利用变化呈现出不确定性特征。然而 CLUE-S 模型很难模拟由于政策导向出现的开发区和工业园区等“蛙跳式”的土地利用空间分布格局,城乡居住建设用地不确定性的变化特征在一定程度上会影响模拟的精度。因此在未来土地利用情景模拟的研究中,如何结合地方政策构建合理的土地利用情景也是今后研究的一个重点之一(图 3,图 4)。

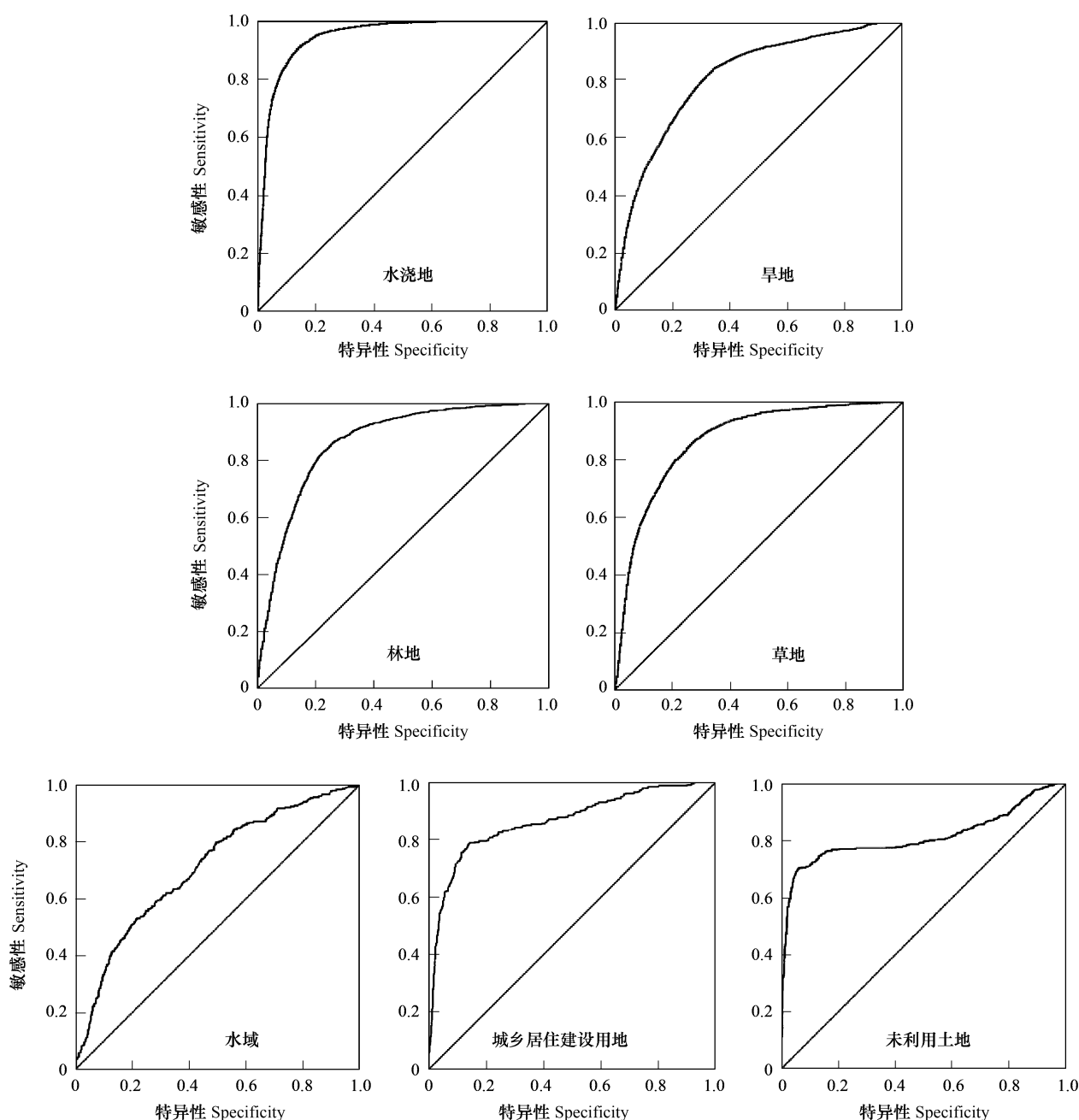


图 3 1987 年 ROC 曲线

Fig. 3 The ROC curve in 1987

直线代表的是参考线;曲线代表 ROC 曲线

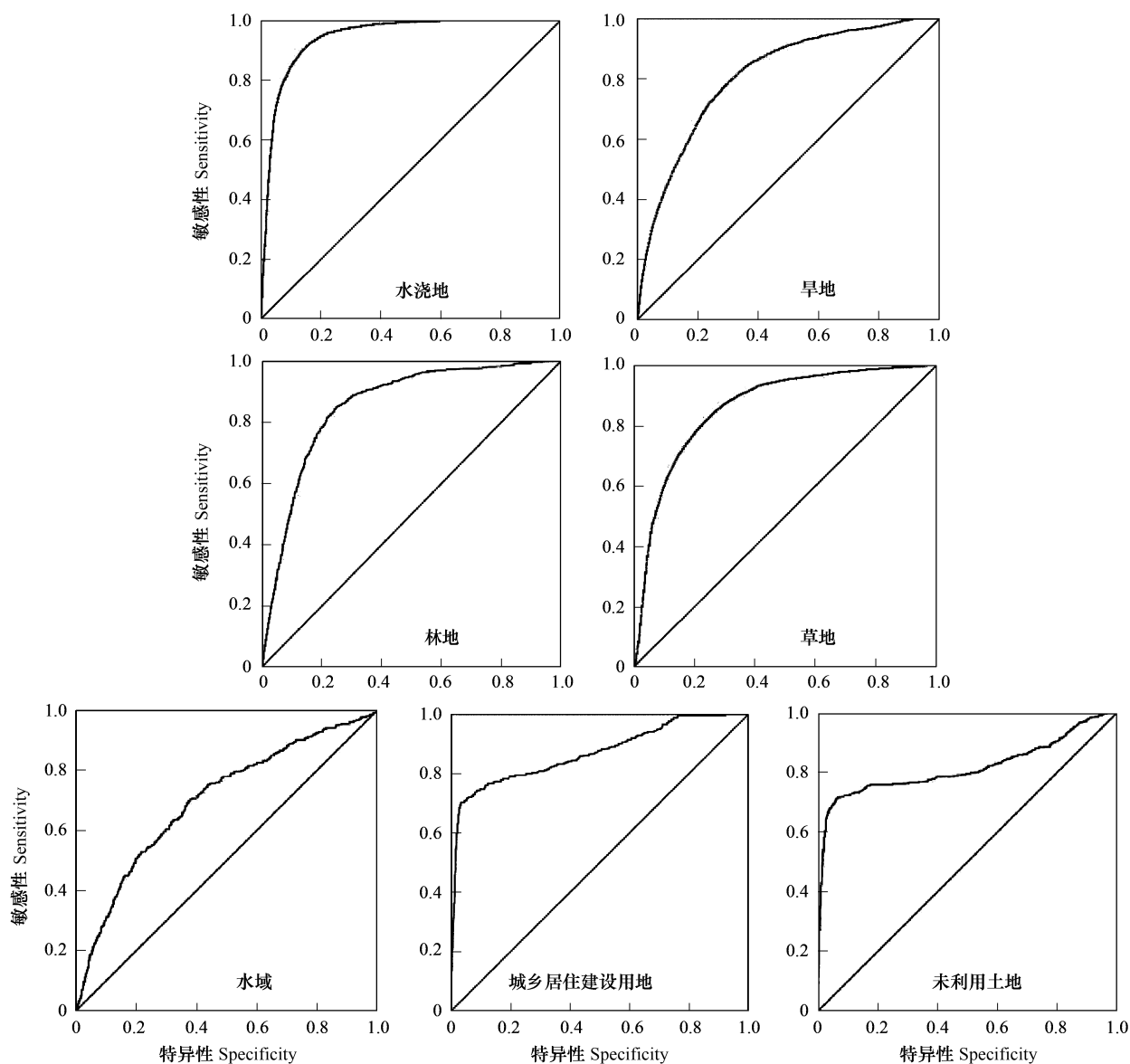


图4 1996年 ROC 曲线

Fig.4 The ROC curve in 1996

直线代表的是参考线;曲线代表 ROC 曲线

References:

- [1] Chen Y Q, Yang P. Recent progresses of international study on land use and land cover change (LUCC). *Economic Geography*, 2001, 21(1): 95-100.
- [2] Cai Y L. A study on land use/cover change: the need for a new integrated approach. *Geographical Research*, 2001, 20(6): 645-652.
- [3] Veldkamp A, Lambin E. Predicting land-use change. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2001, 85(1/3): 1-6.
- [4] Li P, Li X B, Liu X J. Macro-analysis on the driving forces of the land-use change in China. *Geographical Research*, 2001, 20(2): 129-138.
- [5] Lambin E F, Rounsevell M D A, Geist H J. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2000, 82(1/3): 321-331.
- [6] Skole D L, Chomentowski W H, Salas W A, Nobre A D. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *Bioscience*, 1994, 44(5): 314-322.
- [7] Sheng S, Liu M S, Xu C, Yu W, Chen H. Application of CLUE-S model in simulating land use changes in Nanjing metropolitan region. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(2): 235-239.

- [8] Verburg P H, Soepboer W, Veldkamp A, Limpiada R, Espaldon V, Mastura S S A. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. *Environmental Management*, 2002, 30(3): 391-405.
- [9] Veldkamp A, Fresco L O. CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecological Modelling*, 1996, 85(2/3): 253-270.
- [10] Zhang Y M, Zhao S D, P H Verburg. CLUE-S and its application for simulating temporal and spatial change of land use in Naiman Banner. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(3): 310-318.
- [11] Zhang Y M, Zhao S D, Zhang K B. Simulation of changes in spatial pattern of land use in Horqin desert and its outer area. *Journal of Beijing Forestry University*, 2003, 25(3): 68-73.
- [12] Peng Jian, Cai Yunlong, P H Verburg. Simulation of land use/cover change scenarios in Karst mountain areas, *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(7): 64-70.
- [13] Zheng X Q, Zhao L, Hu Y C, Li N. Spatio-temporal allocation of general land-use planning index. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(4): 297-305.
- [14] Liu Q F, Liu J P, Song K S, Li F, Wang Z M. Simulation on spatial pattern of land use change in Bielalong river basin based on CLUE-S model. *Journal of Northeast Forestry University*, 2010, 38(1): 64-67, 73-73.
- [15] Bai W Q, Zhang Y M, Yan J Z, Zhang Y L. Simulation of land use dynamics in the upper reaches of the Dadu river. *Geographical Research*, 2005, 24(2): 206-212.
- [16] Wei Q. Simulation of Dynamic Change in Land Utilization Toksun County Based on CLUE-S Model[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2010.
- [17] Zhang H, Zhang B, Meng B, Ding W H. Land use and land cover change modeling in Zhangye city. *Remote Sensing Technology and Application*, 2004, 19(5): 359-363.
- [18] Liang Y J, Xu Z M, Zhong F L. Land use scenario analyses by based on system dynamic model and CLUE-S model at regional scale: a case study of Ganzhou district of Zhangye city. *Geographical Research*, 2011, 30(3): 564-576.
- [19] Chen R S, Cai Y L. Progress in the study of scale issues in land change science. *Geographical Research*, 2010, 29(7): 1244-1256.
- [20] Chen Y Q, He Y B. Scale issues in the analysis of land use/cover change. *Economic Geography*, 2005, 25(2): 152-155.
- [21] Tan Y Z, Wu C F, Mou Y M, Wang Q R, Yu Z G. Simulation of land use spatial pattern change on county scale in the rapid economic development region. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(12): 72-77.
- [22] Statistics Bureau of Qinghai Province. *Qinghai Statistical Yearbook 1987, 1996, 2007*. Beijing: China Statistics Press, 1988, 1997, 2008.
- [23] Wang Y S, Yu X X, He K N, Li Q Y, Zhang Y S, Song S M. Dynamic simulation of land use change in Jihe watershed based on CA-Markov model. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(12): 330-336.
- [24] Verburg P H. The CLUE-S model — Tutorial CLUE-S(version 2. 4) and DYNA-CLUE(version 2). *Handbook of CLUE-S Model*, 2008.
- [25] Meng J J, Yan F, Zhao C H. Land use change simulation on the edge of metropolis — A case study of Changping district in Beijing. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2010, 18(2): 197-208.
- [26] Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 1960, 2(1): 37-46.
- [27] Bu R C, Li X Z, Hu Y M, Chang Y, He H S. Analyzing the agreement of maps through spatial aggregations *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 659-665.
- [28] Pontius Jr R G. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2000, 66(8): 1011-1016.
- [29] Pontius Jr R G. Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2002, 68: 1041-1049.
- [30] Pontius Jr R G, Schneider L C. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2001, 85(1/3): 239-248.
- [31] Liu M, Hu Y M, Chang Y, Bu R C, Zhang W. Landscape change and its spatial driving force of farmlands in Wenchuan County of Minjiang river upper reach. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(3): 569-574.
- [32] Gao X H, Feng S C, Xie J A, Li J S. Analysis of cultivated land change by remote sensing data in the Huangshui River watershed, northwestern China. *Proceeding of SPIE 8181*, 81811G(2011), 2011.

参考文献:

- [1] 陈佑启, 杨鹏. 国际上土地利用土地覆盖变化研究的新进展. *经济地理*, 2001, 21(1): 95-100.
- [2] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究: 寻求新的综合途径. *地理研究*, 2001, 20(6): 645-652.
- [4] 李平, 李秀彬, 刘学军. 我国现阶段土地利用变化驱动力的宏观分析. *地理研究*, 2001, 20(2): 129-138.

- [7] 盛晟, 刘茂松, 徐驰, 郁文, 陈虹. CLUE-S 模型在南京市土地利用变化研究中的应用. 生态学杂志, 2008, 27(2): 235-239.
- [10] 张永民, 赵士洞, P H Verburg. CLUE-S 模型及其在奈曼旗土地利用时空动态变化模拟中的应用. 自然资源学报, 2003, 18(3): 310-318.
- [12] 彭建, 蔡运龙, P H Verburg. 喀斯特山区土地利用/覆被变化情景模拟. 农业工程学报, 2007, 23(7): 64-70.
- [13] 郑新奇, 赵璐, 胡业翠, 李宁. 土地利用总体规划指标时空分配. 农业工程学报, 2010, 26(4): 297-305.
- [14] 刘庆凤, 刘吉平, 宋开山, 李方, 王宗明. 基于 CLUE-S 模型的别拉洪河流域土地利用变化模拟. 东北林业大学学报, 2010, 38(1): 64-67, 73-73.
- [15] 摆万奇, 张永民, 阎建忠, 张懿铨. 大渡河上游地区土地利用动态模拟分析. 地理研究, 2005, 24(2): 206-212.
- [16] 魏强. 基于 CLUE-S 模型的托克逊县土地利用动态变化预测模拟研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2010.
- [17] 张华, 张勃, 孟宝, 丁文晖. 张掖市土地利用/覆盖变化模拟. 遥感技术与应用, 2004, 19(5): 359-363.
- [18] 梁友嘉, 徐中民, 钟方雷. 基于 SD 和 CLUE-S 模型的张掖市甘州区土地利用情景分析. 地理研究, 2011, 30(3): 564-576.
- [19] 陈睿山, 蔡运龙. 土地变化科学中的尺度问题与解决途径. 地理研究, 2010, 29(7): 1244-1256.
- [22] 青海省统计局编. 青海省统计年鉴 1987, 1996, 2007. 北京: 中国统计出版社, 1988, 1997, 2008.
- [23] 王友生, 余新晓, 贺康宁, 李庆云, 张由松, 宋思铭. 基于 CA-Markov 模型的藉河流域土地利用变化动态模拟. 农业工程学报, 2011, 27(12): 330-336.
- [25] 蒙古军, 严汾, 赵春红. 大城市边缘区土地利用变化模拟研究——以北京市昌平区为例. 应用基础与工程科学学报, 2010, 18(2): 197-208.
- [27] 布仁仓, 李秀珍, 胡远满, 常禹, 贺红土. 尺度变换的正确率分析. 生态学报, 2004, 24(4): 659-665.
- [31] 刘森, 胡远满, 常禹, 布仁仓, 张薇. 岷江上游汶川县耕地景观变化及空间驱动力. 应用生态学报, 2007, 18(3): 569-574.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 3 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecosystem Service Simulation and Management

- Securing Natural Capital and Human Well-Being: Innovation and Impact in China Gretchen C. Daily, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al (677)
- Establishment of ecological compensation mechanisms in China: perspectives and strategies OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, YUE Ping (686)
- Regional cooperation mechanism and sustainable livelihoods: a case study on paddy land conversion program (PLCP) LIANG Yicheng, LIU Gang, MA Dongchun, et al (693)
- Progress and perspectives of ecosystem services management ZHENG Hua, LI Yifeng, OUYANG Zhiyun, et al (702)
- Ecosystem services valuation and its regulation in Baiyangdian basin: Based on InVEST model BAI Yang, ZHENG Hua, ZHUANG Changwei, et al (711)
- Identification of hotspots for biodiversity conservation in the Wenchuan earthquake-hit area XU Pei, WANG Yukuan, YANG Jinfeng, et al (718)
- Effects of land use change on ecosystem services: a case study in Miyun reservoir watershed LI Yifeng, LUO Yuechu, LIU Gang, et al (726)
- Impacts of forest eco-benefit tax on industry price levels in Shaanxi Province, China LI Jie, LIU Zhengnan, HAN Xiuhua (737)
- Spatial characteristics of soil conservation service and its impact factors in Hainan Island RAO Enming, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (746)
- Perception and attitudes of local people concerning ecosystem services of culturally protected forests GAO Hong, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (756)
- Standard of payments for ecosystem services in Sanjiangyuan Natural Reserve LI Yifeng, LUO Yuzhu, ZHENG Hua, et al (764)
- Natural landscape valuation of Wulingyuan Scenic Area in Zhangjiajie City CHENG Cheng, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (771)
- Satellite-based monitoring and appraising vegetation growth in national key regions of ecological protection HOU Peng, WANG Qiao, FANG Zhi, et al (780)
- Spatial Pattern of Water Retention in Dujiangyan County FU Bin, XU Pei, WANG Yukuan, et al (789)
- Spatial distribution of carbon storage function and seismic damage in wenchuan earthquake stricken areas PENG Yi, WANG Yukuan, FU Bin, et al (798)

Frontiers and Comprehensive Review

- The Porter Hypothesis: a literature review on the relationship between eco-innovation and environmental regulation DONG Ying, SHI Lei (809)
- Ecological protection and well-being LI Huimei, ZHANG Anlu (825)
- An overview of the updated classification system and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi WANG Yutao, XIN Guorong, LI Shaoshan (834)

Autecology & Fundamentals

- Evaporation paradox in the northern and southern regions of the Qinling Mountains JIANG Chong, WANG Fei, LIU Sijie, et al (844)
- The diet composition and trophic niche of main herbivores in the Inner Mongolia Desert steppe LIU Guihe, WANG Guojie, WANG Shiping, et al (856)
- Abstraction and analysis of vegetation information based on object-oriented and spectra features CUI Yijiao, ZHU Lin, ZHAO Lijuan (867)
- Hyperspectral estimation models for photosynthetic pigment contents in leaves of *Eucalyptus* ZHANG Yonghe, CHEN Wenhui, GUO Qiaoying, et al (876)
- Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of *Pterocarya stenoptera* seedlings to submergence and drought alternation WANG Zhenxia, WEI Hong, LÜ Qian, et al (888)

Effect of flooding stress on growth and photosynthesis characteristics of <i>Salix integra</i>	
.....	ZHAO Hongfei, ZHAO Yang, ZHANG Chi, et al (898)
Water consumption of pear jujube trees (<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.) and its correlation with trunk diameter during flowering and fruit development periods	ZHANG Linlin, WANG Youke, HAN Lixin, et al (907)
Estimation of nitrogen nutrient index on SPAD value of top leaves in wheat	
.....	ZHAO Ben, YAO Xia, TIAN Yongchao, et al (916)
Population, Community and Ecosystem	
Carbon and nitrogen storage under different plantations in subtropical south China	
.....	WANG Weixia, SHI Zuomin, LUO Da, et al (925)
Impact on water and soil conservation of different bandwidths in low-efficiency cypress forest transformation	
.....	LI Yanqiong, GONG Gutang, ZHENG Shaowei, et al (934)
Seasonal changes of phytoplankton community structure in Jinshuitan Reservoir, Zhejiang, China	
.....	ZHANG Hua, HU Hongjun, CHAO Aimin, et al (944)
Winter carrying capacity and the optimum population density of wild boar in fenghuang Mountains National Nature Reserve of Heilongjiang Province	MENG Gentong, ZHANG Minghai, ZHOU Shaochun (957)
Diversity of ground-dwelling spider community in different restoring times of post-fire forest, Cangshan Mountain, Yunnan Province	
.....	MA Yanyan, LI Qiao, FENG Ping, et al (964)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Drought characteristics in the shiyang river basin during the recent 50 years based on a composite index	
.....	ZHANG Tiaofeng, ZHANG Bo, WANG Youheng, et al (975)
Land use spatial distribution modeling based on CLUE-S model in the Huangshui River Basin	
.....	FENG Shichao, GAO Xiaohong, GU Juan, et al (985)
Research Notes	
Patterns of terrestrial anthropogenic impacts on coastal wetlands in three city clusters in China	WANG Yijie, YU Shen (998)
Eutrophication development and its key affected factors in the Yanghe Reservoir	WANG Liping, ZHENG Binghui (1011)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 3 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 3 (February, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元