

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 1 期
Vol.31 No.1
2011



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 31 卷 第 1 期 2011 年 1 月 (半月刊)

目 次

青藏高原东缘林线杜鹃-岷江冷杉原始林的空间格局	缪 宁,刘世荣,史作民,等 (1)
季风常绿阔叶林不同恢复阶段藤本植物的物种多样性比较	李帅锋,苏建荣,刘万德,等 (10)
越冬和复苏时期太湖水体蓝藻群落结构的时空变化	顾婷婷,孔繁翔,谭 啸,等 (21)
海南新村湾海草床主要鱼类及大型无脊椎动物的食源	樊敏玲,黄小平,张大文,等 (31)
广西涠洲岛造礁珊瑚种群结构的空间分布	梁 文,张春华,叶祖超,等 (39)
宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨根系分布特征及其与根系吸水的关系	席本野,王 烨,贾黎明,等 (47)
干旱河谷-山地森林交错带土壤水分与养分特征	刘 彬,罗承德,张 健,等 (58)
信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷光合和膜脂过氧化的副效应	易小林,杨丙贤,宗学风,等 (67)
UV-B 辐射对南方红豆杉生活史型和紫杉烷类含量的影响	于景华,李德文,庞海河,等 (75)
模拟氮沉降对石栎和苦槠幼苗土壤呼吸的影响	李 凯,江 洪,由美娜,等 (82)
环渤海湾地区连作苹果园土壤中酚酸类物质变化	孙海兵,毛志泉,朱树华 (90)
不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响	王 冉,李吉跃,张方秋,等 (98)
秋华柳和枫杨幼苗对镉的积累和耐受性	贾中民,魏 虹,孙晓灿,等 (107)
祁连山北坡退化林地植被群落的自然恢复过程及土壤特征变化	赵成章,石福习,董小刚,等 (115)
中国北方农牧交错带 C3 草本植物 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度的关系及其对水分利用效率的指示	刘贤赵,王国安,李嘉竹,等 (123)
不同退耕模式细根(草根)分解过程中 C 动态及土壤活性有机碳的变化	荣 丽,李守剑,李贤伟,等 (137)
黑龙江省完达山东部林区东北虎猎物生物量	周绍春,张明海,孙海义 (145)
生态保护项目对大熊猫栖息地的影响	张玉波,王梦君,李俊清 (154)
石灰和 EM 处理条件下土壤动物群落在落叶分解中的变化	高梅香,张雪萍 (164)
基于 EPG 的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较	苗 进,武予清,郁振兴,等 (175)
对映-贝壳杉烷型二萜类化合物对土壤纤毛虫群落的毒性效应	宁应之,杜海峰,王红军 (183)
红脂大小蠹种群空间格局地统计学分析及抽样技术	潘 杰,王 涛,宗世祥,等 (195)
山西不同生态型大豆种质资源蛋白亚基的变异	王燕平,李贵全,郭数进,等 (203)
施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响	李廷亮,谢英荷,任苗苗,等 (212)
近 40a 甘肃省气候生产潜力时空变化特征	罗永忠,成自勇,郭小芹 (221)
基于 GIS 的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例	谢花林,李秀彬 (230)
农户收入差异对生活用能及生态环境的影响——以江汉平原为例	杨 振 (239)
河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因	王 千,金晓斌,周寅康,等 (247)
土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响	罗友进,魏朝富,李 渝,等 (257)
专论与综述	
景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性	刘 宇,吕一河,傅伯杰 (267)
美国煤矿废弃地的生态修复	张成梁,B. Larry Li (276)
农田土壤食物网管理的原理与方法	陈云峰,胡 诚,李双来,等 (286)
学术信息与动态	
旱地、荒漠和荒漠化:探寻恢复之路——第三届国际荒漠化会议述评	吕一河,傅伯杰 (293)

河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因

王 千, 金晓斌*, 周寅康, 阿依吐尔逊·沙木西

(南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210093)

摘要:采用能值理论与地理学研究中的空间自相关分析(ESDA)技术相结合,估算2009年河北省138个县的耕地生态经济系统各项能值指数,在此基础上,重点分析省域范围内耕地生态系统能值指标的空间格局分布规律、特征,从地形地貌、土壤类型、降雨量、耕地集约利用、农业基础设施等方面探讨了空间分布差异原因。结果表明:河北省耕地生态经济系统能值单项指标与综合指标在省域范围呈空间聚集分布,能值综合指标的Moran's I指数较大,聚集特征显著,其大小顺序为EIR > EYR > ELR > ESI,单项指标Moran's I的排列顺序依次为,EMY > EMF > EMR > EMN > EMRI;河北省耕地生态经济系统能值单项指标与综合指标局部空间聚集格局显著,不同能值指标其局部空间分布格局存在差异,主要聚集区为“石家庄-保定-唐山”和“张家口”地区,宏观视角上,能值指标的空间格局分布差异,主要受到地形地貌、土壤类型、年平均降雨量,农业基础设施以及耕地集约利用水平的影响。

关键词:耕地生态经济系统;能值理论;空间格局;河北省

Spatial differences and its driving factors of energy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province

WANG Qian, JIN Xiaobin*, ZHOU Yinkang, Ayituexun. Shamuxi

School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China

Abstract: Energy theory combined with spatial autocorrelation analysis (ESDA) technology was used to evaluate energy indices on cultivated land eco-economic systems of 138 counties in Hebei Province, in 2009. The results showed that energy indices were aggregated spatially in the provincial region, compared with Moran's I of individual energy indices, comprehensive energy indices were larger, and the order of Moran's I were: EIR > EYR > ELR > ESI, and EMY > EMF > EMR > EMN > EMRI. The individual energy indices of cultivated land eco-economic system in Hebei Province were significant in partial space aggregation. The EMN high-density zone was mainly located in the Bashang Plateau, north of Hebei. The EMN low-density zone was mainly located 15 counties to the west of Shijiazhuang and the central area of Chengde. The EMF high-density zone was located west of Shijiazhuang and the central area of Tangshan, while the EMF low-density zone was located in Zhangjiakou and Chengde. The EMRI high-density zone was located 9 counties northwest of the mountainous basin areas of Hebei and north of Chengde. The EMRI low-density zone was located in the flat agricultural regions. The EMY high-density zone was located northeast of the flat areas in Hebei, and the EMY low-density zone was located in the mountainous regions north of Hebei. The comprehensive energy indices were significant in partial space aggregation. The EIR high-density zone was located 19 counties from Shijiazhuang, whereas the EIR low-density zone was located 21 counties from Zhangjiakou and north of Chengde. The EYR high-density zone was mainly located in 16 counties southeast of Xingtai and Handan, and the EYR low-density zone was located in 16 counties in the central and west areas of Shijiazhuang and 9 counties north of Baoding. The ELR high-density zone was located 16 counties from Shijiazhuang,

基金项目:国家科技支撑计划资助(2008BAB38B06)

收稿日期:2010-07-16; 修订日期:2010-11-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jinxiaobin@163.com

Baoding, Xingtai, and Handan, whereas the ELR low-density zone was located 20 counties from Zhangjiakou and Chengde. The ESI high-density zone was located in 11 counties south of Zhangjiakou, and the ESI low-density zone was located 14 counties from the central area of Taihang Mountains, the east of Shijiazhuang, south of Baoding and Ningjin, and Baixiang counties of Xingtai. The energy indices of cultivated land eco-economic system in Hebei Province in general were significant in partial space aggregation, which were mainly located in the regions of Shijiazhuang Baoding-Tangshan and Zhangjiakou. The regions of Shijiazhuang, Baoding, and Tangshan were mountain-front flat areas with a mean annual precipitation of 500—650 mm, the soil layer was thick and mainly brown with high moisture content. These were the high-value regions of the integrated utilization of farmlands with complete agricultural infrastructural facilities, as well as suitable water and temperature conditions. The region of Zhangjiakou was a mountainous highland and the soil layer was sandy and thin, the average temperature ranges from 0 3.5°C, and the mean annual precipitation ranges from 400—500 mm. It has poor natural conditions and the economic development was at a low level. From the macro point of view, the spatial distribution difference in energy indices were mainly influenced by varied terrains and landforms, soil types, annual precipitation, agricultural infrastructural facilities, and integrated utilization of farmlands. The analysis of the spatial distribution differences and its driving factors of energy indices has provided a scientific basis for defining farmland protective zones and designing farmland protection policies based on actual conditions.

Key Words: cultivated land eco-economic system; emergy theory; spatial pattern; Hebei Province

耕地资源是最宝贵的自然资源之一,具有生产、空间承载以及环境保护等多种功能,经过长期人类干预,耕地生态系统逐渐演变成为具有高度耦合性的社会-经济-生态复合系统,系统组成要素以及子系统之间的协调能力的强弱,直接影响了耕地生态经济系统的平衡,决定了其可持续发展能力。在进行耕地生态经济系可持续利用研究时,人们往往关注物质要素或社会经济因素对耕地生态经济系统的作用,如粮食生产能力核算^[1-2]、投入产出分析^[3-4],而忽视自然生态环境对耕地生态经济系统的贡献^[5]。随着能源与生态危机的日趋严重,愈来愈要求综合考虑自然环境与人类生产的关系。合理认识和评估生态环境资源对耕地生态经济系统的贡献,进而对耕地生态经济系统进行客观评价与分析,是实现区域耕地可持续利用战略的关键^[6]。能值分析是著名生态学家 H. T. Odum 创立的一种新的系统分析理论与方法,该方法从一个全新的角度来分析环境资源在生态系统中的作用,将农业生产过程中涉及到的能量分析(能量流)、经济分析(货币流)和物质核算(物质流)有机结合地起来进行综合分析与应用^[7]。

20 世纪 90 年代以来国内外能值分析研究非常活跃,已广泛应用于能量、生态、经济与可持性等领域。在农业方面,Odum 利用能值理论分析了澳大利亚西南部干旱地区土地退化的进程^[8],Edward Lefroy 分析了澳大利亚 3 种不同种植制度的能值特点及对农业持续利用的影响^[9],G. Q. Chen 利用时间序列模型分析了我国农业生态系统能值变化规律^[10],蓝盛芳借助能值理论分别对海南省、三水市的农业经济系统进行了能值投入产出分析^[11-12],郝晋珉利用能值模型对黄淮海平原 17a 农业生态系统演替及可持续性进行了评估^[13]。从目前研究成果来看,国内农业生态系统的能值研究主要集中于省级层次和流域层次等大中尺度上的研究^[14-15],也有针对某些典型县的研究^[16],研究内容局限于计算与比较研究区能值及相关指标。而对省域范围内县级层次的耕地生态经济系统可持续性的空间格局差异规律、特征以及原因的分析鲜有研究。在耕地利用与保护实践中,参与者与管理者往往注重社会经济投入和物质产出,忽视生态环境作用及其整体上的空间格局特征,使得耕地保护规划与决策略显不足。因此,如何更加科学地分析耕地生态经济系统空间差异及其规律,成为亟待深入开展的重要课题。

本文采用能值理论与地理学研究中的空间相关分析(简称 ESDA)技术相结合,基于 2009 年截面数据,估算河北省 138 个县耕地生态经济系统的各项能值指标,重点分析各项能值指标的空间格局分布差异、规律与特征,以此为基础,结合河北省耕地利用的自然条件、社会经济条件以及耕地集约利用水平等因素,在宏观视

角上,探讨与分析其空间格局差异的主要原因,以期为科学划定耕地保护区,因地制宜地制定耕地保护政策提供科学决策依据。

1 研究区域概况

河北省位于华北平原中部,地跨 36°03'—42°40'N,113°27'—119°50'E,总面积为 188.8 × 10⁴ km²。地貌类型主要包括高原、山地、丘陵、盆地和平原等地貌类型,省域内从北向南依次为,冀北坝上高原,冀北(燕山)山地和冀西北山间盆地,东部为太行山山地,中部为太行山山前平原—燕山山前平原,西部为冀中平原—滨海平原。区域内光热资源丰富,年总辐射量为 48.54 × 10⁸—59.81 × 10⁸ J/km²,呈北高南低、东西高中间低的分布趋势。年平均气温由北向南逐渐升高,南北方向相差悬殊很大。年平均降水量为 350—770mm,降水量时空分布不均匀,总体上东南部地区多于西北部地区。2009 全省耕地面积为 590.14 × 10⁴ hm²,北部坝上地区耕地面积大而质量低,农业生产条件差,而滦河下游以及太行山山前平原区耕地面积占总面积 51%,质量高,区域经济发达,农业生产条件较好。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究数据主要来源于河北省统计年鉴、河北省土地资源调查数据、河北省农用地分等定级报告、河北省生态环境本底数据库以及环境质量公报等相关资料。根据《生态经济系统能值分析》^[17]和 Odum 的研究成果结合河北省实际情况,遴选典型能值指标;采用 9.44 × 10²⁴ sej/a (sej: 太阳焦耳)的全球能值基准值,具体能值转化率主要来自 Odum^[18]、蓝盛芳的研究成果,所涉及到的折算数据主要参考《农业生态学》^[19]和农业技术经济手册^[20]。

2.2 研究方法

2.2.1 能值理论

能值分析理论在综合考虑自然资源和社会经济价值的基础上,将系统中各种能物流按统一的评价标准考虑,定性分析与定量分析相结合,较好地体现了系统运行的价值^[21]。经过国内外学者的不断地完善与发展,能值分析过程已逐步成熟,具体过程可借鉴陈百明^[22]、杜博洋^[23]的研究成果。

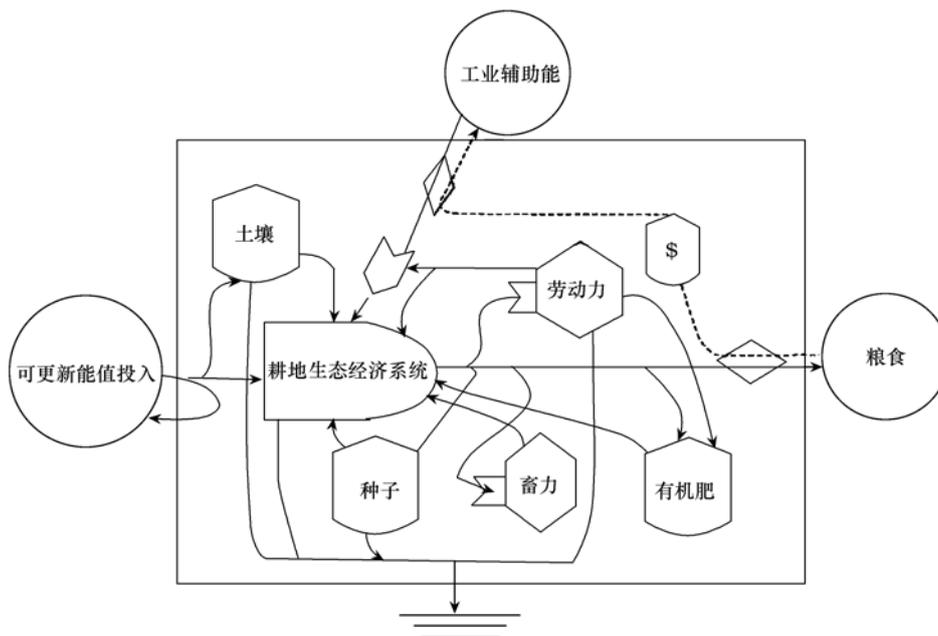


图 1 河北省耕地生态经济系统能值流程图

Fig.1 Diagram of energy flow of cultivated land eco-economic system in Hebei

2.2.2 空间自相关分析

空间自相关(Spatial Autocorrelation)是ESDA研究的重要方法,用以判定一个区域单元上某种地理现象或某一属性与邻近区域单元上同一现象或属性相关程度,是空间域内聚集程度的一种量度,包括全局空间自相关(Global Spatial Autocorrelation)和局部空间自相关(Local Spatial Autocorrelation)两大类^[24]。全局空间自相关是对某种地理现象或某一属性在整个区域的空间特征的描述,判断此现象或属性值在空间上是否有聚集特性存在。而局部空间自相关能够测度一个局部小区域单元上的某种地理现象或某一属性值的空间异质性,推算出聚集地的空间位置和范围^[25-26]。全局空间自相关计算公式:

$$I(d) = n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x}) / n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} \quad (1)$$

式中, n 为研究对象的数目, x_i 为第*i*县观测值, x_j 为第*j*县观测值, \bar{x} 为 x_i 的平均值。 $W(i,j)$ 为研究对象*i*与*j*之间的空间连接矩阵,表示空间单元间潜在相互作用程度。空间连接矩阵一般表示为 N 维的矩阵 $W(n \times n)$,通过空间相邻和空间距离来确定。本文主要采用由GIS生成的拓扑信息提供的空间对象邻接关系,采用Rook方式,构建空间相邻矩阵。

局部空间自相关 Local Moran's I 计算公式:

$$I_i = z_i \sum_{j \neq i}^n w_{ij} z_j \quad (2)$$

式中, Z_i 和 Z_j 分别为局部县域*i*和与其相邻县域*j*的能值指标的标准化值,表示各县域能值指标与其均值的偏差程度,即 $z_i = (x_i - \bar{x})/S$; $S = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 / (n - 1)}$, x_i , x_j 为第*i*县观测值, x_j 为第*j*县观测值; n 为所有县域的总数, w_{ij} 是空间权重矩阵 $W(i,j)$ 的元素。Local Moran's I的期望值为:

$$E(I_j) = - \sum_{j=1}^n w_{ij} / (n - 1) \quad (3)$$

当 $I_i \geq E(I_i)$ 时,表明地理单元*i*的周围有一种相似属性值的空间集聚现象,即空间正相关现象;当 $I_i < E(I_i)$ 时,表明地理单元*i*与其周围区域的属性值差别较大,即存在着一种空间负相关现象。

3 结果与分析

3.1 能值指数全局空间相关分析

利用式(1),计算河北省138个县耕地生态经济系统各项能值指标的Moran's I指数,判定各能值指标在省域范围内的全局空间聚集程度。

表1 河北省耕地生态经济系统能值空间相关性指数

Table 1 Moran's I of emery indices of cultivated land eco-economic system in Hebei

项目 Item	能值指标 Emery indices	计算公式 Formula	Moran's I 指数 Moran's I
单项指标 Individual emery indices	可更新资源能值投入(EMR)	主要包括:太阳能,雨水势能,雨水化学能,地球旋转能	0.24
	不可更新资源能值投入(EMN)	表土净损失	0.21
	工业辅助能投入(EMF)	柴油,农工业机械,农膜,农药,N肥,P肥,K肥,复合肥	0.34
	有机能投入(EMRI)	人力,种子,有机肥	-0.14
	总产出能值(EMY)	小麦,玉米,稻谷,大豆,棉花,薯类,其他油料作物	0.56
综合指标 Comprehensive emery indices	能值投入率(EIR)	$EIR = (EMF + EMRI) / (EMR + EMN)$	0.64
	能值产出率(EYR)	$EYR = EMY / (EMF + EMRI)$	0.63
	环境承载力(ELR)	$ELR = (EMN + EMF) / (EMT + EMR)$	0.6
	可持续发展指数(ESI)	$ESI = EYR / ELR$	0.54

由表1可知,整体上单项能值指标的Moran's I指数相对小于综合指标的各项指数,表明能值综合指标具

有较强的空间相关性,空间聚集效果显著。各能值指数的空间聚集特征与其要素的空间地域分布密切相关^[27]。能值单项指标方面,可更新资源能值投入(EMR)与不可更新资源能值投入(EMN)受到省内自然要素分布的空间地带规律的影响,且自然要素在短时间表现为刚性约束,使其主要在北部和中东部地区存在空间聚集格局;而随着社会经济的发展,各地区的工业辅助能投入(EMF)差异有所减小,但由于受到地形地貌因素的影响,该能值指标具有一定的空间聚集性;河北省主要作物小麦、玉米和水稻的生产具有明显的地域规律,使得总产出能值(EMY)空间聚集分布显著,Moran's I 指数为 0.56;由于大量的化石能源和机械动力的投入并代替有机能源投入,导致有机能投入(EMRI)空间差异聚集情况不显著,只在东北部地区呈聚集分布。在能值综合指标方面,由于耕地利用过程中能值投入率(EIR)、能值产出率(EYR)与区域地形地貌特征的空间分布较为密切,而环境承载力(ELR)和可持续发展指数(ESI)复合指标受社会-经济-环境等多因素影响,加之指标之间各有消长,使其空间聚集程度略小于能值投入率(EIR)与能值产出率(EYR)。

3.2 能值单项指标局部自相关空间格局差异分析

利用公式(2)结合空间相关分析软件得到河北省 138 个县能值单项指标的 LISA 显著性图,进而揭示其空间聚集特征。如图 2。

不可更新资源能值投入(EMN)高值聚集区主要位于冀北坝上高原的沽源县、张北县、尚义县、康保县和承德的围场满族自治县等 5 个县,该地区系内蒙古高原的南缘,土壤主要为栗钙土,土壤质地粗,土层薄,易受风蚀和水侵,EMN 值较高;低值聚集区集中分布在石家庄的西部地区 and 承德中部地区的 15 个县市,这两个地区分别属于太行山南段山地和燕山山地,土壤类型主要为草甸土、淋溶褐土和棕壤为主,河网密度较大,年平均降雨量 600—700mm,该区主要以林、牧业为主,植被为阔叶林和灌丛草原类型,高植被覆盖率,降低了区域土壤侵蚀。

工业辅助能值(EMF)的高低,表征了农业现代化水平的高低,主要受地学条件和经济发展水平的影响。河北省 EMF 高值聚集区主要分布在石家庄的东部和唐山的中部地区,共 14 个县市,该地区处于太行山山前平原和燕山山前平原区,区域地势平坦,经济发展水平较高,农业投入较大;EMF 低值聚集区主要分布在张家口—承德地区的 22 个县市,该地区属于河北省经济落后地区,农业生产条件较差,其中张家口的北部地区已属于冀北坝上高原区,受到自然条件和经济发展水平的双重约束,致使 EMF 投入较低。

有机能投入(EMRI)在河北省分布的聚集特征不显著,其主要原因是随着农业现代化水平的提高,化石能源已经逐步取代有机肥成为农业生产的主要投入要素,其中仍以化肥、农药的使用最为广泛,而农业机械逐步代替人力和畜力,促使区域内有机能投入量在减小,导致区际间的差异在缩小,表现为空间按聚集分布特征的不显著。EMRI 高值聚集区主要分布在冀西北山间盆地和承德北部地区,共 9 个县市,这些地区受到地形地貌和交通条件的限制,农业机械投入水平较低,仍以人、畜力投入为主,EMRI 低值聚集区主要分布在平原地区的集约化农区的 9 个县市。

总产出能值(EMY)高值聚集区主要分布在冀中平原的东北部地区,共 22 个县市,该地区河网密集,由太行山流出的 10 条河流在山麓形成冲积平原,年平均降雨量 500—600mm,土壤以壤质为主,土层较高,土壤质量较好,区域经济水平高,耕地集约利用水平较高;低值聚集区主要分布于河北省的北部山区,包括太行山北段—冀西北山地—冀北坝上高原区,共 24 个县市,该地区年平均降雨量 < 500mm,地貌类型以山地丘陵和高原为主,土壤类型主要为砂质壤土,土层较薄,平均温度在 0—3.5℃ 之间,较差的自然条件和经济发展水平,影响了耕地生态经济系统的产出能值。

可更新资源投入(EMR)局部空间聚集格局不显著。根据“最大功率”原则河北省可更新资源投入为雨水势能。由雨水势能的计算公式,可知能值的大小主要受到耕地面积、降雨量、海拔高度和地表径流系数等因素的影响,河北省地势北高南低,降雨量燕山南麓和太行山东麓以地形雨为主,是全省降雨最高地带,河北省的宁晋、南宫一带和张家口市的张北一带是全省的少雨区,但该地区的耕地面积较大,海拔较高,由于多因素之间的相互抵消,使得 EMR 局部空间聚集格局分布不显著。

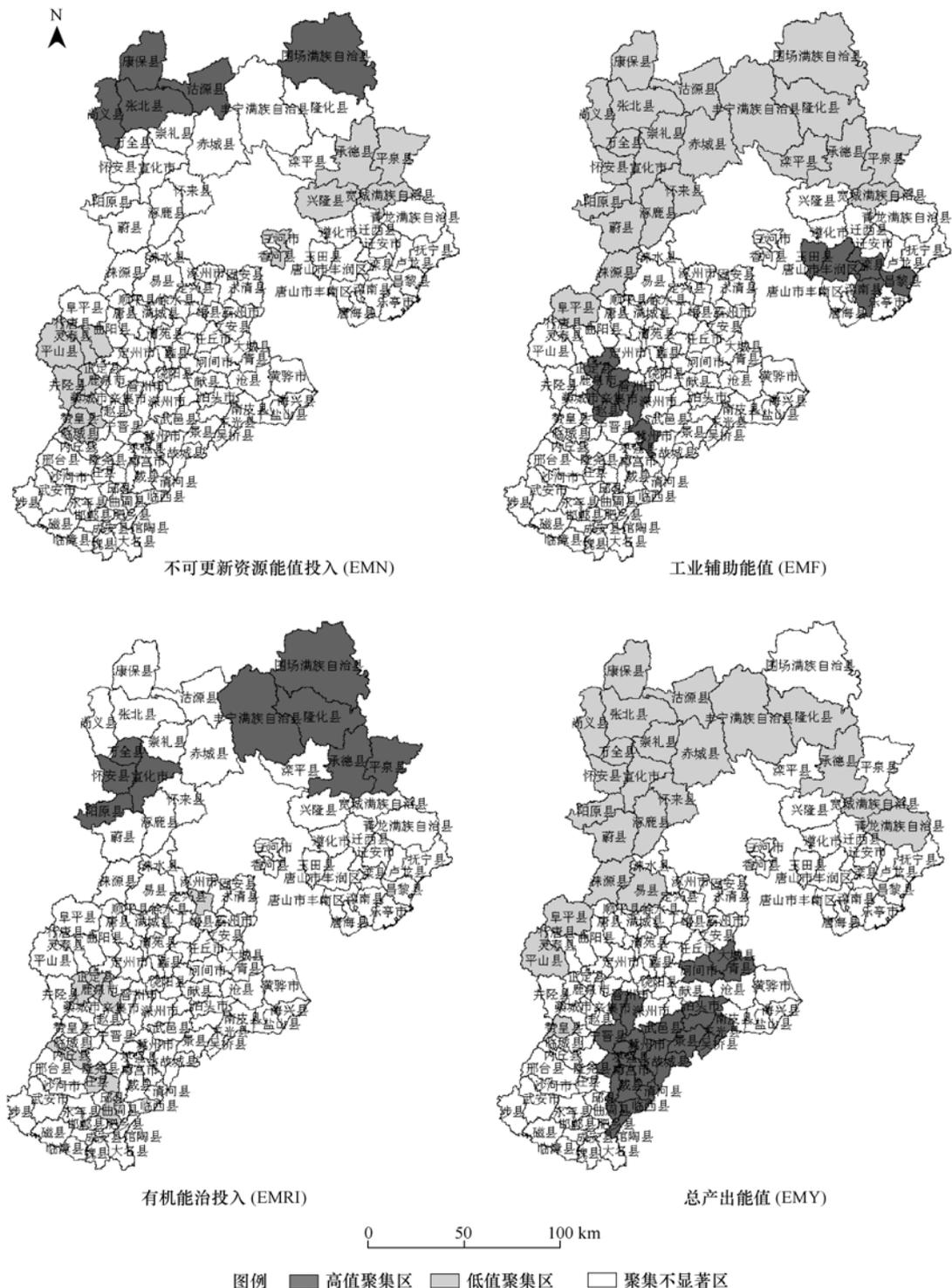


图2 河北省耕地生态经济系统能值单项指标 LISA 显著性图

Fig. 2 The LISA significant map of individual energy indices of cultivated land eco-economic system in Hebei

3.3 能值综合指数局部自相关空间格局差异分析

3.3.1 能值投入率空间格局差异分析

能值投入率(EIR)表征区域耕地生态经济系统对环境资源的利用程度。EIR 高值聚集区主要为石家庄地区,共 19 个县市,该地区属于太行山山前平原,降雨量 500—650mm,土层较厚,土壤以褐土和潮土为主,历来是河北省耕地集约利用的高值区,农业基础设施齐全,区域水热条件适宜,高速发展的经济为农业生产提供

了充足的投入要素,适宜的农业生产条件,提高了农业投入要素的利用效率;低值聚集区主要分布在张家口和承德北部的 21 个县市,该地区大部分位于冀西北山间盆地区,年平均降雨量仅为 400—500mm,土壤以栗钙土、棕壤和褐土为主,经济上仍处于经济落后地区,农业投入不足,基础设施较为薄弱。经济因素与恶劣的生态环境条件制约了能值投入率的提高。该区域耕地生态经济系统一方面对经济系统的需求越小,其产品可以较低的价格出售,具有较强的市场竞争能力强,另一方面区域农业发展更依赖于环境资源系统,受到自然生态环境条件的约束。

3.3.2 能值产出率空间格局差异分析

能值产出率(EYR)可以用来评价经济反馈能值的利用效率,能值产出率越高,表明系统产品能值越高。EYR 高值聚集区主要分布在邢台—邯郸的东南部地区,共 16 个县市,该区域属于冀县—大明平原,位于 12—13℃等温线之间,由于子牙河—南运河—卫河所围成的区域,年平均降雨量 500—600mm,地下水量充足,优良的自然条件,使得该区域耕地生态经济系统运转效率较高,作为传统集约化农区^[28],在同等的投入条件下,能值转化率与能值回报率均较高;EYR 低值聚集区主要分布在石家庄—保定的中西部地区和张家口的北部地区,分别为 16 个县市和 9 个县市。其中石家庄—保定地区属于“高投入率-高产出型”,主要分布在太行山山前平原区,年平均降雨量 <500mm,较高的能值产出依赖于高能值投入,该地区耕地利用主要依赖于对地下水开采和工业辅助能值的投入,给区域生态环境造成一定压力。在未来耕地利用中,要加强区域生态环境的监测,防治耕地生态经济系统生产功能退化或丧失,广泛推广农业节水、耕作保墒技术;张家口地区该区域属于“低投入率-低产出型”,主要位于冀西北山地—冀北高原区,年平均降雨量 350—400mm,介于 0—4℃等温线,生态环境因素和较低的耕地集约利用水平,影响了耕地能值产出,应加大农业投入,降低农业限制因子,通过退耕还林还草改善区域生态环境,增加粮食生产系统运转的生态资本,增强系统内各子系统、各要素间的协同程度,增强系统对自然资源与经济转化能力,提高系统能值产出能力,粮食生产供给能力。

3.3.3 环境负载率空间格局差异分析

环境负载率(ELR)是指系统中不可更新能源投入能值总量与可更新能源投入能值总量的比率,体现了系统对于环境的压力,值越大表明环境压力越大。河北省 ELR 高值聚集区主要是由石家庄—保定和邢台—邯郸的部分县市组成的区域,共 16 个县市。该地区位于太行山山前平原区,地势平坦降雨充分,土壤以褐土为主,农业耕种历史悠久,经济发达地区农业投入较高,区域环境负载较大,同时由于人口密度大,工业所带来的污染给耕地环境负载带来了较大的压力。该地区一方面要提高辅助能值的利用效率,另一方面要加强对耕地环境系统的监测,防治环境系统破坏。ELR 低值聚集区主要分布在张家口—承德地区,共 20 个县市,该地区自然条件十分优越,环境污染破坏较轻。区域耕地以粗放利用方式为主,由于地形、地貌原因,使得农业机械化水平较低,影响了耕地集约利用水平。在未来土地利用中要加大辅助能值的投入量,提高耕地集约利用水平,同时由于部分地区处于生态条件脆弱区,因此要增加有机能值投入,以达到保护生态环境与实现耕地可持续发展的目标。

3.3.4 持续发展水平空间格局差异分析

耕地持续发展是耕地生态经济系统追求的重要目标。利用 Brown. M. 和 S. Ulgiati 提出的可持续能值指标 $ESI = EYR/ELR$,即能值产出率/环境承载率^[29],反映研究区域的耕地生态经济系统的可持续发展水平。河北省耕地生态经济系统持续发展水平高值聚集区为张家口南部地区的 11 个县市,主要为冀西北山间盆地区,该地区生态环境负载率较小,地势较为平坦,受到微地形的影响易形成地形雨,同时桑干河与官厅水库为其提供了一定的农业用水保证,加之近年来第三产业的发展,提高了该地区的经济水平,为农业投入打下了良好基础。持续发展水平低值聚集区主要分布在太行山山前平原的中部地区的石家庄地区东部、保定市南部部分县市以及邢台的宁晋县、柏乡县等 14 个县市。该地区光热条件较好,年辐射量 $2.09 \times 10^8 \text{ J/km}^2$,平均温度 11.0—13.3℃,但该地区降雨量不足 500mm,由于缺少科学规划,农业过度开采地区地下水资源,以及工业用水的急剧增加,致使该地区农业用水得不到有效供给。同时由于大量农药化肥的使用与工业“三废”大量排



图3 河北省耕地生态经济系统能值综合指标 LISA 显著性图

Fig. 3 The LISA significant map of comprehensive energy indices of cultivated land eco-economic system in Hebei

放,区域农业面源和点源污染较为严重,减弱了耕地生态经济系统自我平衡能力,降低了耕地生态经济系统持续发展水平。在未来耕地利用中要加强农业节水灌溉技术的应用,发展绿色农业,提高农业生产投入要素的利用效率。

4 结论

(1)河北省耕地生态经济系统能值在省域范围内呈聚集分布格局。利用 Moran's I 指数表示空间聚集程度的强弱,研究发现,能值综合指标的聚集格局比单项指标的聚集显著,其综合指标的 Moran's I 指数 > 单项

指标的 Moran's I 指数, 单项指标 Moran's I 的大小顺序依次为, $EMY > EMF > EMR > EMN > EMRI$, 综合指标 Moran's I 的大小顺序为, $EIR > EYR > ELR > ESI$ 。

(2) 河北省耕地生态系统能值单项指标局部空间聚集格局显著。EMN 高值聚集区主要分布在冀北坝上高原区, 低值聚集区集中分布在石家庄的西部地区和承德中部的 15 个县市; EMF 高值聚集区为石家庄的东部和唐山地区中部地区, 低值聚集区主要分布在张家口—承德地区; EMRI 高值聚集区主要分布在冀西北山间盆地和承德北部地区, 共 9 个县市, 低值聚集区主要分布在平原地区的集约化农区; EMY 高值聚集区主要分布在冀中平原的东北部地区, 低值聚集区主要分布于河北省的北部山区。

(3) 河北省耕地生态系统能值综合指标存在显著的局部空间聚集格局。EIR 高值聚集区主要分布在石家庄地区的 19 个县市, 低值聚集区主要分布在张家口和承德北部的 21 个县市; EYR 高值聚集区主要分布在邢台—邯郸的东南部地区的 16 个县市, 低值聚集区主要分布在石家庄—保定的中西部地区和张家口的北部地区, 分别 16 个县市和 9 个县市; ELR 高值聚集区为主要有石家庄—保定和邢台—邯郸的部分县市组成的区域, 共 16 个县市, 低值聚集区主要分布在张家口—承德地区, 共 20 个县市; ESI 高值聚集区为张家口南部地区的 11 个县市, 低值聚集区主要分布在太行山山平原中部地区的石家庄地区的东部、保定市南部部分县市以及邢台的宁晋县、柏乡县等 14 个县市。

(4) 河北省耕地生态系统能值单项指标与综合指标存在显著地局部空间聚集格局, 尽管不同能值指标其空间分布格局存在差异, 但宏观上主要受到地形地貌、土壤类型、年平均降雨量, 农业投入要素、农机基础设施以及耕地集约利用水平等因素的影响。

References:

- [1] Yang H, Li X B. Cultivated land and food supply in China. *Land Use Policy*, 2000, 17(2): 73-88.
- [2] Mo X G, Lin Z H, Liu S X. Spatial-temporal evolution and driving forces of winter wheat productivity in the Huang-Huai-Hai region. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(5): 449-499.
- [3] Chen Y Q, Li X B. Structural change of agricultural land use intensity and its regional disparity in China. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(4): 470-478.
- [4] Wang J, Shao X M. Methodologies of intensive land use research: issues and trend. *Progress in Geography*, 2008, 27(3): 69-74.
- [5] Tiezzi E, Bastianoni S, Marchettini N. Environmental cost and steady state: the problem of city in the emergy value. *Ecological Modeling*, 1996, 90(1): 33-37.
- [6] Kamil K. Sustainable energy, environmental and agricultural policies in Turkey. *Energy Conversion and Management*, 2010, 51(5): 1075-1084.
- [7] Odum H T, Odum E C, Bisect M. Ecology and Economy: Emergy Analysis and Publicly in Texas. Texas: The office of Natural Recourse and Department of Agheulture, 1987, 23(5): 163-171.
- [8] Odium H T. Environmental Accounting: Emergy and Environment Decision Making. New York: John Wiley and Sons, 1996: 163-168.
- [9] Edward L, Torbj m R. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. *Ecological Modeling*, 2003, 161(3): 193-209.
- [10] Gao Q C, M M J, Chen B. Emergy analysis of Chinese agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006, 115(3): 161-173.
- [11] Zhang Y H, Lan S F, Chen F P. Emergy analysis of agriculture in Hainan province. *Rural Eco-environment*, 1999, 15(1): 5-9.
- [12] Su G L, LI M Z, Lan S F. Emergy analysis and the sustainable development of farming system in Sansui of Guangdong. *Research of Agricultural Modernization*, 1999, 20(6): 360-363.
- [13] Zhang J X, Hao J M, Duan R J, Yan M C. Emergy assessment on succession and sustainability of the agro-ecosystem in Huang-Huai-Hai plain, China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(6): 103-108.
- [14] Li M S, Tong L J. Eco-efficiency of pilin province based on emergy and material flow. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11): 6240-6347.
- [15] Chen F P, Li M C, Wang D P, Lan S F. Comprehensive evaluation of the cultivation system in Sansui city of the northwest Pearl River delta. *Journal of South China Agricultural University*, 2002, 23(2): 1-5.
- [16] Dong X B, Gao S W, Yan M C. Emergy analysis of agro ecosystem productivity of typical valley in loess hilly-gully region of the loess plateau. *Acta Geographica Sonica*, 2004, 59(2): 224-228.
- [17] Lan S F, Qing P, Lu H F. The Emergy Analysis of Ecological Economy System. China. Beijing: Chemical Industry Publishes, 2002: 207-231.
- [18] Odum H T. Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making. New York: Wiley, 1996.

- [19] Luo S M. Agricultural Ecology. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 36-40.
- [20] Editorial Board of Agricultural Technical and Economic Handbook. Agricultural Technical and Economic Handbook. Beijing: China Agriculture, 1981: 72-78.
- [21] Wei F Z, Yue M. Using energy to analysis agro-ecosystem sustainability in the edge-regions of Qinghai-Tibet Plateau. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(3): 580-587.
- [22] Liu X W, Chen B M, Yang H. Energy analysis of food producing system — A case study of Ansai County. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 24(2): 175-180.
- [23] Du B Y. Energy Analysis of Farmland System in Hebei Province. Hebei: Agricultural University of Hebei, 2008.
- [24] Anselin. Local indicators of spatial association — LISA. Geographical Analysis, 1995, 27(3): 93-115.
- [25] Wei S Q, Zhang J Q, Chen J F. Study on construction land distribution in Fujian and Taiwan provinces based on spatial autocorrelation analysis. Progress in Geography, 2007, 26(3): 12-17.
- [26] Meng B, Wang J F, Zhang W Z, Liu X H. Evaluation of regional disparity in china Based on spatial analysis. Scientia Geographica Sinica, 2005, 8(6): 88-97.
- [27] Hu X H, Huang M S, Zhang H, Ren C J. Spatial variation in agro-ecosystem based on county level energy analysis in Fujian Province. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(1): 155-162.
- [28] Cui L, Xu Y Q. Spatial-temporal variance of agricultural land use intensity in Hebei Province. Progress in Geography, 2007, 26(2): 117-125.
- [29] Ulgiati S, Brown M T, Bastianoni S, Marchettini N. Energy-based indices and ratios to evaluate the sustainable use of resources. Ecological Engineering, 1995, 6(5): 529-531.

参考文献:

- [2] 莫兴国, 林忠辉, 刘苏峡. 黄淮海地区冬小麦生产力时空变化及其驱动机制分析. 自然资源学报, 2006, 21(5): 449-499.
- [3] 陈瑜琦, 李秀彬. 1980年以来中国耕地利用集约度的结构特征. 地理学报, 2009, 64(4): 470-478.
- [4] 王静, 邵晓梅. 土地节约集约利用技术方法研究: 现状、问题与趋势. 地理科学进展, 2008, 27(3): 69-74.
- [11] 张耀辉, 蓝盛芳, 陈飞鹏. 海南省农业能值分析. 农村生态环境, 1999, 15(1): 5-9.
- [12] 苏国麟, 李谋召, 蓝盛芳. 广东三水市种植业系统的能值分析及其可持续发展. 农业现代化研究, 1999, 20(6): 360-363.
- [13] 张洁瑕, 郝晋民, 段瑞娟, 严茂超. 黄淮海平原农业生态系统演替及其可持续性的能值评估. 农业工程学报, 2008, 24(6): 103-108.
- [14] 李名升, 佟连军. 基于能值和物质流的吉林省生态效率研究. 生态学报, 2009, 29(11): 6240-6347.
- [15] 陈飞鹏, 李谋召, 汪殿蓓, 蓝盛芳. 珠江三角洲三水市种植业耕作模式的综合评价. 华南农业大学学报, 2002, 23(2): 1-5.
- [16] 董孝斌, 高旺盛, 严茂超. 黄土高原典型流域农业生态系统生产力的能值分析. 地理学报, 2004, 59(2): 224-228.
- [17] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析. 北京: 化学工业出版社, 2002: 207-231.
- [19] 骆世明. 农业生态学. 北京: 中国农业出版社, 2001: 36-40.
- [20] 农业技术经济手册编委会. 农业技术经济手册. 北京: 中国农业出版社, 1981: 72-78.
- [21] 魏奋子, 岳敏. 基于能值的青藏高原边缘区域农业生态系统可持续发展分析. 中国生态农业学报, 2009, 17(3): 580-587.
- [22] 刘新卫, 陈百明, 杨红. 粮食生产系统的能值分析——以安塞县为例. 干旱地区农业研究, 2004, 24(2): 175-180.
- [23] 杜博洋. 河北省耕地系统能值分析. 河北: 河北农业大学, 2008.
- [25] 韦素琼, 张金前, 陈健飞. 基于空间自相关的闽台城镇建设用地分布研究. 地理科学进展, 2007, 26(3): 12-17.
- [26] 孟斌, 王劲峰, 张文忠, 刘旭华. 基于空间分析方法的区域差异研究. 地理科学, 2005, 8(6): 88-97.
- [27] 胡晓辉, 黄民生, 张虹, 任婵娟. 福建省县域农业生态系统的能值空间差异分析. 中国农业生态学报, 2009, 17(1): 155-162.
- [28] 崔丽, 许月卿. 河北省农用地利用集约度时空变异分析. 地理科学进展, 2007, 26(2): 117-125.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 1 January, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

- Spatial pattern analysis of a *Rhododendron-Abies* virginal forest near timberline on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau, China MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (1)
- Changes of liana species diversity in different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest LI Shuaifeng, SU Jianrong, LIU Wandu, et al (10)
- Investigation on spatio-temporal pattern of cyanobacterial community structure by T-RFLP during overwinter and recruitment period in Taihu Lake GU Tingting, KONG Fanxiang, TAN Xiao, et al (21)
- Food sources of fish and macro-invertebrates in a tropical seagrass bed at Xincun Bay, Southern China FAN Minling, HUANG Xiaoping, ZHANG Dawen, et al (31)
- Spatial pattern of Scleractinian coral Population Structure in Weizhou Island, Beihai, Guangxi LIANG Wen, ZHANG Chunhua, YE Zuchao, et al (39)
- Property of root distribution of triploid *Populus tomentosa* and its relation to root water uptake under the wide-and-narrow row spacing scheme XI Benye, WANG Ye, JIA Liming, et al (47)
- Soil nutritional properties and moisture gradient of the ecotone between dry valley and montane forest of the Minjiang River LIU Bin, LUO Chengde, ZHANG Jian, et al (58)
- Signal chemical salicylic acid mitigates the negative effects of drought on photosynthesis and membrane lipid peroxidation of purple majesty YI Xiaolin, YANG Bingxian, ZONG Xuefeng, et al (67)
- Effects of supplementary UV-B radiation on life cycle forms and the accumulation of taxanes of *Taxus chinensis* var. *mairei* YU Jinghua, LI Dewen, PANG Haihe, et al (75)
- Effect of simulated nitrogen deposition on the soil respiration of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla* LI Kai, JIANG Hong, YOU Meina, et al (82)
- Changes of phenolic acids in the soil of replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf SUN Haibing, MAO Zhiqian, ZHU Shuhua (90)
- Growing dynamic root system of *Aquilaria malaccensis* and *Aquilaria sinensis* seedlings in response to different fertilizing methods WANG Ran, LI Jiyue, ZHANG Fangqiu, et al (98)
- Accumulation and tolerance of *Salix variegata* and *Pterocarya stenoptera* seedlings to cadmium JIA Zhongmin, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (107)
- Dynamics of vegetation structure and soil properties in the natural restoration process of degraded woodland on the northern slope of Qilian Mountains, northwestern China ZHAO Chengzhang, SHI Fuxi, DONG Xiaogang, et al (115)
- Relationship between temperature and $\delta^{13}\text{C}$ values of C3 herbaceous plants and its implications of WUE in farming-pastoral zone in North China LIU Xianzhao, WANG Guoan, LI Jiazhu, et al (123)
- Carbon dynamics of fine root (grass root) decomposition and active soil organic carbon in various models of land use conversion from agricultural lands into forest lands RONG Li, LI Shoujian, LI Xianwei, et al (137)
- Prey biomass of the Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) in the eastern Wanda Mountains of Heilongjiang Province, China ZHOU Shaochun, ZHANG Minghai, SUN Haiyi (145)
- The impact of conservation projects on giant Panda Habitat ZHANG Yubo, WANG Mengjun, LI Junqing (154)
- Fluctuation of soil fauna community during defoliation decomposition under lime and EM treatment GAO Meixiang, ZHANG Xueping (164)
- Comparative of feeding behaviors of *Sitobion avenae*, *Sitobion graminum* and *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) using electrical penetration graph (EPG) MIAO Jin, WU Yuqing, YU Zhenxing, et al (175)
- Toxic effects of *ent*-kaurane diterpenoids on soil ciliate communities NING Yingzhi, DU Haifeng, WANG Hongjun (183)
- Geostatistical analysis and sampling technique on spatial distribution pattern of *Dendroctonus valens* population PAN Jie, WANG Tao, ZONG Shixiang, et al (195)
- Variation analysis of protein subunits of soybean germplasms of different eco-types in Shanxi WANG Yanping, LI Guiquan, GUO Shujin, et al (203)
- Effects of fertilization and plastic film mulched ridge-furrow cultivation on yield and water and nitrogen utilization of winter wheat on dryland LI Tingliang, XIE Yinghe, REN Miaomiao, et al (212)
- The changing characteristics of potential climate productivity in Gansu Province during nearly 40 years LUO Yongzhong, CHENG Ziyong, GUO Xiaoqin (221)
- Spatial assessment and zoning regulations of ecological importance based on GIS for rural habitation in Changgang Town, Xinguo county XIE Hualin, LI Xiubin (230)
- Influences of rural households' income differences on living energy consumption and eco-environment: a case study of Jiangnan Plain, China YANG Zhen (239)
- Spatial differences and its driving factors of energy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang, et al (247)
- Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in karst rocky desertification area LUO Youjin, WEI Chaofu, LI Yu, et al (257)
- Review and Monograph**
- Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion LIU Yu, LÜ Yihe, FU Bojie (267)
- Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States ZHANG Chengliang, B. Larry Li (276)
- Managing farmland soil food web: principles and methods CHEN Yunfeng, HU Cheng, LI Shuanglai, et al (286)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 1 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 1 2011

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

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
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

订 购 全国各地邮局
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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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 70.00 元