

县级粮食生产效率空间聚集格局演变分析 ——以河北省为例

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, 江苏 南京 210093)

摘 要: 粮食安全是区域发展的长期战略问题, 在人口激增, 耕地面积减少趋势得不到有效抑制的客观背景下, 提高粮食生产效率成为提高粮食生产量的关键。基于 DEA Malmquist 模型和 ESDA 技术, 结合地理学研究中的空间格局分析方法, 测算了我国粮食重点区河北省 1990—2005 年 138 个县的粮食生产效率, 重点讨论了大尺度上县级层次近 15 a 来粮食生产效率空间聚集格局演化特征与规律。研究结果表明, 研究期内河北省县级粮食生产效率存在空间聚集分布格局, 粮食生产效率区际间的差异有所减小; 各项粮食生产效率指数局部空间聚集格局显著, 空间聚集格局演化规律明显。该项研究成果可从方法论上为定量测算粮食生产效率和空间格局特征提供借鉴, 同时丰富粮食生产与耕地保护研究内容, 为科学合理确定粮食生产功能分区, 制定区域粮食安全战略提供重要的参考依据。

关键词: 粮食生产; 空间格局; 河北省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)03-0234-05

中图分类号: F323.4

Spatially Aggregated Pattern Evolution of Grain Production Efficiency on County Level — A Case Study of Hebei Province

WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yin kang, Anyituerxun · Shamuxi

(Nanjing University, School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing, Jiangsu 210093, China)

Abstract: Food security is a strategic concern of long-term regional development. Given the rapid population growth and continuing reduction in arable lands, increasing food production efficiency becomes the key to increase food production. Using the ESDA techniques and DEA Malmquist model, in conjunction with the spatial pattern of geographical research methods, we estimated grain production efficiency of 138 counties in Hebei Province from 1990 to 2005, and discussed the evolution characteristics and patterns of spatial clustering of the grain production efficiency on the county-level in Hebei Province. Results showed that grain production efficiency of 138 counties were aggregated spatially in the provincial region; however, the inter-regional differences were reduced. The local spatial aggregation pattern of grain production efficiency indices were significant, and the evolution of spatial aggregation pattern were evident on county-level in Hebei Province from 1990—2005. This study provides methodology for estimating spatial patterns of production efficiency, scientific basis for properly regionalizing production, and regional strategy for food security.

Keywords: grain production; spatial pattern; Hebei Province

在人口剧增、耕地面积快速流失的客观背景下, 粮食问题在不同领域以多种形式对国家经济社会发展的制约作用已经开始显现, 引起了政府和学者广泛关注。当前粮食安全的研究主要集中于粮食生产影响因素分析^[1], 耕地资源与粮食生产关系^[2], 粮食空间格局研究和粮食产量测算与趋势分析^[3]等 4 个方面。现有研究工作丰富了粮食生产研究的内容, 对保证国家粮食安全具有重要的理论和现实意义。在短

期内耕地面积减少趋势得不到有效遏制^[4], 有利于粮食生产的自然条件难以迅速改善的客观背景下^[5], 使得通过提高粮食生产效率以增加粮食产量, 成为保障国家粮食安全的有效途径之一。

效率分析是生产运作管理系统研究的重要内容。粮食生产是典型的“投入—产出”过程, 需要投入各种生产要素, 用以保持和提高系统的产出能力, 因而“粮食生产效率”便相伴而生。当前我国粮食生产效率的

研究方法主要利用柯布道格拉斯(C-D)函数^[6]、生产前沿函数^[7]、粮食生产潜力实现率^[8]以及 Malmquist 指数法^[9]等测度粮食生产效率, 研究内容仅局限于对粮食生产全要素效率、技术效率、技术进步效率分析, 缺少对粮食生产纯技术效率和规模效率的进一步研究, 而后者对粮食规模化经营具有重要意义。研究尺度上主要集中在国家层次与省域层次, 且以静态分析为主, 而对省域范围内县级层次的粮食生产效率空动态格局差异特征研究鲜有研究。

数据包络分析(简称 DEA)模型是测算“相对效率评价”的重要模型之一^[10], 而探索性空间数据分析技术(简称 ESDA)是地理学研究中空间格局特征的重要技术手段。近年来, 已有学者利用 DEA 模型测算生产效率^[11], 也有学者运用 ESDA 技术进行空间格局变化探索性分析^[12], 然而将 DEA 与 ESDA 技术进行结合, 综合运用到县级层次粮食生产效率测算和空间格局演化分析方面较为鲜见。

本研究将 DEA 模型与 ESDA 空间分析技术相结合, 以 1990 年为基础, 试图通过测算 1990—2005 年河北省 138 个县粮食生产效率, 重点分析省域范围内县级粮食生产效率空间格局演化规律与特点, 为中小尺度上的粮食生产效率研究, 以及科学合理确定粮食生产功能分区和粮食安全战略提供重要的科学依据。

1 研究方法

1.1 DEA Malmquist 评价模型

DEA 作为非参数方法, 把被评价对象作为一个决策单元(DMU), 巧妙地构造了目标函数, 无需将指标的量纲统一与确定各指标权重, 将非线性规划问题转化为线性规划问题, 通过最优化过程来确定权重, 从而提高了评价结果的客观性。该方法根据评价单元(DMU)与有效生产前沿面的距离, 判定其是否有效率, 分为规模报酬不变(DEA-CRS)模型、规模报酬可变(DEA-VRS)模型和 Malmquist 指数模型。其中 Malmquist 指数方法广泛应用于各行各业生产效率的测算与评价。计算公式如下^[13]:

(1) 以 t 时期技术 T 为参照, 计算基于产出角度的 Malmquist 指数:

$$M_0^t(\text{TFP}) = (x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) \\ = d_0(x^{t+1}, y^{t+1}) / d_0(x^t, y^t) \quad (1)$$

(2) 以 t 时期技术 T_{t+1} 为参照, 基于产出角度的 Malmquist 指数:

$$M_0^{t+1}(\text{TFP}) = (x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) \\ = d_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}) / d_0^{t+1}(x^t, y^t) \quad (2)$$

(3) 取两者的几何均值作为衡量从 t 期到 $t+1$ 期生产率变化的 Malmquist 指数:

$$M_0^{t+1}(\text{TFP}) = M_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \\ \frac{d_0^t(y^t, x^t)}{d_0^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})} \left\{ \frac{d_0^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{d_0(y^{t+1}, x^{t+1})} \times \right. \\ \left. \frac{d_0^{t+1}(y^t, x^t)}{d_0(y^t, x^t)} \right\}^{1/2} = \text{TEC} \times \text{TCP} \quad (3)$$

式中: $(x^{t+1}, y^{t+1}), (x^t, y^t)$ —— $t+1$ 时期和 t 时期的投入和产出向量; d_0, d_0^{t+1} —— 以 t 时期技术为参照, t 时期和 $t+1$ 时期的距离函数; TEC —— 技术效率变化指数; TCP —— 技术进步指数。下同。

不同于传统的方法, 只计算技术效率变化指数(TEC)和技术进步指数(TCP), 为了进一步揭示河北省粮食生产投入要素的技术效率和规模效率的特点, 为农地流转和粮食生产规模化经营提供决策支持, 本研究在 TEC 的基础上, 将其进一步分解为纯技术效率指数(PECH)和规模效率指数(SECH)。计算公式为:

$$M_{v,c}^{t,t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{d_v^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{d_v^t(x^t, y^t)} \\ \left| \frac{d_c^t(x^t, y^t)}{d_c^t(x^t, y^t)} / \frac{d_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{d_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right| \\ \left[\left(\frac{d_c^t(x^t, y^t)}{d_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right) \left(\frac{d_c^t(x^t, y^t)}{d_c^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \right]^{1/2} \\ = \text{TEC} \times \text{TCP} = \text{PECH} \times \text{SECH} \times \text{TCP} \quad (4)$$

式中: $M_{v,c}^{t,t+1}$ —— t 时期到 $t+1$ 时期, 生产全要素生产率变化; $d_c^{t,t+1}$ —— 以 t 时期技术为参照, 规模不变情况下, t 时期到 $t+1$ 时期的距离函数; $d_v^{t,t+1}$ —— 以 t 时期技术为参照, 规模报酬可变情况下, t 时期到 $t+1$ 时期的距离函数; c —— 固定规模报酬。

Fare^[14]指出用于反映整体全要素生产率变化情况, 若 $\text{TFP} > 1$, 表示从 t 到 $t+1$ 期整体生产率提高, $\text{TFP} < 1$, 表示生产率下降, $\text{TFP} = 1$, 表示生产率没有变化。TEC 反映技术效率为在某时刻的技术条件下, 实际产出与最大可能产出的比值, 若 $\text{TEC} > 1$, 说明技术效率提高了, 若 $\text{TEC} < 1$, 则说明技术效率下降了。TCP 反映两个时期生产前沿面的移动, 被称为“前沿面移动效应”或“增长效应”, 以衡量决策单元后一期的生产是否有技术进步, 若 $\text{TCP} > 1$, 直观上表示技术进步, 生产前沿面“向上”移动。PECH 反映在技术和规模不变的情况下, 两个时期相对生产效率的变化, 以衡量决策单元的生产是否更靠近当期生产前沿面, 被称为“追赶效应”或“水平效应”, 若 $\text{PECH} > 1$, 表明在没有技术创新和规模变动的情况下, 决策单元后一期的生产更接近于生产前沿面, 相对效率有所提高。SECH 反映决策单元 2 个时期规模收益状

态的变化情况,被称为“规模效应”,若 $SECH > 1$, 表明规模收益递增。

1.2 空间自相关分析

空间自相关 (spatial autocorrelation) 是 ESDA 研究中的重要方法之一,反映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和局部空间自相关 2 大类^[15]。

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存在聚集特性。主要通过对 Moran's I , Global Geary's 和 Join Count 等全局空间自相关统计量的估计,分析区域总体的空间关联和空间差异程度,最常用的指标是 Moran's I , 其计算公式如下^[16]:

$$I(d) = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (5)$$

式中: n ——研究对象的数目; x_i ——观测值; \bar{x} —— x_i 的平均值; W_{ij} ——研究对象 i 与 j 之间的空间连接矩阵,空间连接矩阵表示的是空间单元间潜在的相互作用的力量。

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。Moran's I 值介于 -1 与 1 之间, $I > 0$ 表示空间自正相关,空间实体呈聚合分布; $I < 0$ 表示空间负相关,空间实体呈离散分布; $I = 0$ 则表示空间实体是随机分布的,且 I 值越大表示空间分布的相关性越大。为了区分空间集聚和非集聚区域,需要对计算结果进行 z 检验,显著性检验标准水平 $p = 0.05$ 。当 $p \leq 0.05$ 时为显著空间自相关,即变量存在空间集聚现象;当 $p > 0.05$ 时,变量的空间集聚现象不明显或空间离散分布。

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,能够推算出聚集地的空间位置和范围。用局域 Moran's I 统计量及 LISA 指标能够揭示各个区域单元空间自相关的程度。LISA 指数其实质是将 Global Moran's I 分解到各个区域单元,Local Moran's I 模型如下^[16]:

$$I_i = (x_i - \bar{x}) \left[(n-1) - \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2} \right] \quad (6)$$

Local Moran's I 的期望值为:

$$E(I_i) = - \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij}}{(n-1)} \quad (7)$$

当 $I_i \geq E(I_i)$ 时,表明第 i 个地理单元周围有一

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,表明第 i 个地理单元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。Local Moran's I 测算结果分为 4 种类型:第 1 种类型(“高一高”,HH)表示某一空间单元和周围单元的属性值都较高;第 2 种类型(“低一高”,LH)表示某一空间单元属性值较低而其周围单元较高第 3 种类型(“低一低”,LL)表示某一空间单元和周围单元的属性值都较低;第 4 种类型(“高一低”,HL)表示某一空间单元属性值较高而其周围单元较低。HH 和 LL 类型的观测值存在较强的空间正相关,即存在均质性;LH 和 HL 类型的观测值表示存在较强的空间负相关,空间单元具有异质性。

2 研究区与数据来源

2.1 研究区概况

河北省位于华北平原中部,地理坐标 $36^{\circ}03' - 42^{\circ}40'N$, $113^{\circ}27' - 119^{\circ}50'E$, 总面积 $1.88 \times 10^5 \text{ km}^2$, 是全国重要的粮食主产区之一,也是《全国新增 1 000 亿斤粮食生产能力规划(2009—2020 年)》中确定的重点区域之一。随环渤海经济圈的形成,京津冀都市圈已成为继珠三角、长三角之后我国第三个经济增长极。在京津冀的互动发展过程中,河北省既是京津产业梯度的承载者、产品的制造者,也是资源的提供者,河北省的粮食生产状况对保障京津冀都市圈的粮食供应与经济良性发展发挥着重要作用。

2.2 数据来源与指标选取

本研究中基础数据主要来源于 1990—2005 年《河北省农村统计年鉴》数据,河北省行政区划图,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,河北省生态环境建设规划以及河北省水资源公报等相关资料。

指标选区方面,遵循科学性、代表性、实用性和可获性原则,通过查阅大量文献与相关资料,收集与分析粮食生产主要影响因素,基于河北省地区社会发展特点和粮食生产的区域特征,根据指标频率(大于 2 次)进行指标的初选。在此基础上,邀请了相关研究领域的 30 位专家进行 3 轮筛选,最终遴选出降雨量、温度、单位劳动力投入、单位机械动力投入、化肥投入、农药投入、农业用电量投入以及有效灌溉面积共 8 个指标,作为粮食生产主要投入指标,粮食单产作为产出指标,其中劳动力投入取每公顷实际标准劳动日数,化肥投入为每 1 hm^2 化肥折纯量,粮食单产指根据河北省农用地分等定级规程确定的主要粮食作物小麦、玉米的平均值。

3 研究结果与分析

利用 DEA Malmquist 模型,以 1990 年为基期,分别计算 1995, 2000, 2005 年各县粮食生产效率,运用 ESDA 技术进行空间格局分析,得到研究期内各年份各项粮食生产效率指数的全局空间相关 Moran's I 系数(图 1)。

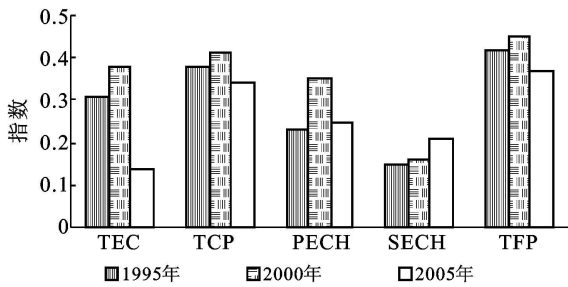


图 1 河北省粮食生产效率全局空间相关 Moran's I 系数

3.1 粮食生产效率全局空间自相关

粮食生产效率 Moran's I 值的大小,表示其空间聚集程度的高低。河北省县级粮食生产效率全局空间自相关 Moran's I 系数全部为正,并通过 $p < 0.05$ 显著性检验,表明粮食生产效率分布存在空间聚集现象,各年份粮食生产 TFP 指数空间相关程度高。1990—2005 年河北省粮食生产效率全局空间聚集格局变化特征如下。

1990—2000 年各效率指数全局空间相关程度都有所增加,表明在省域范围内粮食生产效率存在空间聚集分布格局且聚集度有所提高,主要原因是随着社会经济的发展,交通通达程度较好,经济水平较高的地区,农业投入要素越集中,耕地集约化水平远远高于其它地区,同时这些粮食生产效率较高区域分布于冀中平原区。

2000—2005 年粮食生产效率空间相关性在有所减弱,表现为空间聚集分布程度有所减弱,主要原因是经济的发展促使部分投入要素量区际间差异在减小,如化肥投入用量、农药投入量等,加之部分经济发达地区粮食生产投入要素达到或超过规模报酬最大阶段,而偏远的地区的要素投入规模效率正处于规模报酬上升阶段,使得粮食生产效率区际间的差异有所减小。

3.2 粮食生产 TFP 局部空间自相关格局变化

将 Moran 散点图与 LISA 显著性水平相结合,可以分析耕地生态安全局部空间自相关程度。河北省粮食生产效率 LISA 集聚,反映出 1990—2005 年该省 138 个县粮食生产效率空间聚集格局演化特征。

河北省县级粮食生产全要素效率(TFP)空间演

化特征为:(1) 1995 年粮食生产全要素效率高值聚集区主要分布在石家庄的东北部地区和廊坊市的东部地区,2000 年在 1995 年的基础上,高值聚集区向东扩展到廊坊市和沧州市部分地区,到 2005 年该区域发生了显著地变化,主要表现为该区域在省域内向南拓展到邢台的部分地区,同时形成了另一个由唐山大部分县组成的高值聚集区。(2) 1995 年粮食生产全要素效率低值聚集区分布在张家口和承德西北部地区的 16 个县,2000 年这一地区范围有所扩大,主要包括张家口和承德大部地区,2005 年粮食产量低效率区明显减少,其主要原因是该地区实行了退耕还林还草政策,虽然 2000 年左右粮食生产效率较低,但经过退耕还林还草不仅改善了土地利用环境,而且使得有限的农业生产资料集中投入,改善了该地区粮食生产投入不足的生产状况,提高了耕地集约利用水平,提升了区域粮食生产效率。

河北省县级粮食生产技术进步效率(TCP)空间格局演化特征为:(1) 1995 年粮食生产技术进步效率高值聚集区主要分布在衡水西南和东北部地区,2000 年在 1995 年的基础上,该区域主要向西扩展到石家庄地区,2005 年唐山的部分县也加入显著区域。(2) 1995 年局部低值聚集类型主要包括保定的北部山区和张家口与承德的部分县,2000 年局部低值聚集类型在 1995 年的基础上,减少了张家口西部的 4 个县,向省域内中北部和东部地区扩张,2005 年在 2000 年的基础上,减少了张家口中部地区部分县,整体上局部低值聚集类型区域在减小,表明该地区的粮食生产技术进步效率(TCP)有所提高。

河北省县级粮食生产技术效率(TEC)的空间演化特征为:(1) 粮食生产技术效率局部高值聚集区域主要分布在河北省的中部地区,1995 年主要由沧州市和邢台市的部分县组成,2000 年在 1995 年的基础上向中部地区扩展到了石家庄市东部地区的大部分县市,2005 年形成了以石家庄为核心的稳定区域。(2) 局部低值聚集类型区域主要分布变化不大,1995 年主要分布在坝上高原(张家口市)的南部地区和太行山(石家庄市)的山区县,2000 年局部低值聚集类型区主要分布于张家口市北部地区与承德市的西北部地区,2005 年局部低值聚集类型区主要分布于承德、张家口的部分地区组成,该区域整体上以张家口和承德西部的部分县为主体。

3.3 粮食生产效率异质点空间格局变化

各年份局部高值离群类型区(“高一低”关联,HL)与局部低值离群类型区(“低—高”关联,LH)的空间分布不相同且分布较为零散,局部高值离群点主要分布

在粮食生产效率局部低值聚集类型区周围,这类“凸”值点区域粮食生产效率相对于周围区域的粮食生产效率较高,而局部低值离群点主要分布在粮食生产效率局部高值聚集类型区周围,这类“凹”值点区域粮食生产效率相对于周围区域的粮食生产效率较低。

4 结论

粮食生产效率是区域粮食安全的重要保障,利用 DEA 模型与 ESDA 技术测算了 1990—2005 年河北省 138 个县粮食生产效率,重点探讨了其空间格局演化特征与规律。研究结果表明,基于 DEA 模型与 ESDA 空间分析技术能够客观、真实地计算粮食生产效率,能够对粮食生产效率的空间格局分布进行空间可视化表达;河北省粮食生产效率存在空间聚集格局,其局部空间聚集格局显著。TFP 局部高值聚集类型区主要由东部的廊坊市和沧州市向中部的石家庄和东北部唐山市等区域扩展;局部低值聚集类型,主要分布在张家口和承德西北部地区,随着相关政策有和经济的发展,该区域近 15 a 来粮食生产效率有所提高,表现为低效率区在缩减。TCP 的局部高值聚集类型区由衡水西南和东北部地区向西扩展到石家庄地和廊坊的部分县,局部低值聚集类型保定的北部山区和张家口与承德的部分县,研究时期内该区域范围在减小。TEC 局部高值聚集类型区域主要分布在河北省的中部地区,局部低值聚集类型区域主要分布变化较大,主要分布在坝上高原与太行山、燕山的山地丘陵区;各年份的局部高值离群点类型与局部低值聚集类型的空间分布不相同且分布较为零散。

[参 考 文 献]

- [1] 陈佑启. 我国耕地利用变化及其对粮食生产的影响[J]. 农业工程学报, 2000, 16(6): 30-32.
- [2] 谢红霞, 李锐, 任志远. 基于指数法的陕西省耕地和粮食时空变化分析[J]. 资源科学, 2007, 29(3): 171-176.
- [3] 殷培红, 方修琦, 马玉玲, 等. 21 世纪初中国粮食短缺地区的空间格局和区域差异[J]. 地理科学, 2007, 1(26): 466-472.
- [4] Chang C C. The potential impact of climate change on Taiwan' s agriculture [J]. Agricultural Economics, 2002, 27(2): 23-29.
- [5] 李景刚, 何春阳, 史培军, 等. 近 20 年中国北方 13 省的耕地变化与驱动力[J]. 地理研究, 2004, 29(2): 274-282.
- [6] 庞英, 李树超, 周蕾, 等. 中国粮食生产资源配置效率及其区域差异[J]. 经济地理, 2008, 28(1): 114-117.
- [7] 吴绍洪, 戴尔阜, 靳京. 山东省禹城市粮食生产资源利用效率评价[J]. 资源科学, 2007, 29(1): 45-56.
- [8] 亢霞, 刘秀梅. 我国粮食生产的技术效率分析: 基于随机前沿分析方法[J]. 中国农村观察, 2005, 5(4): 25-34.
- [9] 靳京, 吴绍洪, 戴尔阜. 农业资源利用效率评价方法及其比较[J]. 资源科学, 2005, 27(1): 21-25.
- [10] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(9): 429-444.
- [11] 颜鹏飞, 王兵. 技术效率、技术进步与生产率增长: 基于 DEA 的实证分析[J]. 经济研究, 2004, 2(9): 88-96.
- [12] 宣国富, 徐建刚, 赵静. 基于 ESDA 的城市社会空间研究[J]. 地理科学, 2010, 30(1): 23-29.
- [13] 满成福. 指数法的省际生产率拆分分析[D]. 太原: 山西财经大学, 2007.
- [14] Feder. Export growth and canadian economic development [J]. Journal of Development Economics, 1992, 38(2): 133-145.
- [15] 孟斌, 王劲峰, 张文忠, 等. 基于空间分析方法的中国区域差异研究[J]. 地理科学, 2005, 8(6): 88-97.
- [16] 张海峰, 白永平, 陈琼, 等. 基于 ESDA-GIS 的青海省区域经济差异研究[J]. 干旱区地理, 2009, 3(32): 455-461.
- [1] 章家恩, 徐琪. 生态退化研究的基本内容与框架[J]. 水土保持通报, 1997, 17(3): 46-53.
- [2] 方海东, 纪中华, 杨艳鲜, 等. 金沙江干热河谷新银合欢人工林枯落物层持水特性研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 52-55.
- [3] 张振明, 余新晓, 牛健植, 等. 不同林分枯落物层的水文生态功能[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 139-143.
- [4] 郭军庭, 张志强, 唐丽霞. 晋西黄土区小流域典型植被水文功能优化研究[J]. 水土保持通报, 2010, 30(3): 37-38.
- [5] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统—实验设计、统计分析及数据挖掘[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1093-1097.
- [6] 陈红跃, 刘钱, 康敏明, 等. 东江水源林不同混交组合林地枯落物和土壤持水能力研究[J]. 生态环境, 2006, 15(4): 796-801.
- [7] 吴钦孝, 韩冰, 李秧秧. 黄土丘陵区小流域土壤水分入渗特征研究[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(6): 1-5.
- [8] 黄进, 张金池, 陶宝先. 江宁小流域主要森林类型水源涵养功能研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1): 182-186.

(上接第 212 页)