

经济快速发展地区耕地生产能力空间格局

李子良, 王树涛*, 张利, 门明新, 许 峰

(河北农业大学国土资源学院, 保定 071001)

摘 要: 为准确把握区域经济快速发展地区耕地生产能力空间格局, 基于农用地分等成果, 通过抽样补充调查, 建立耕地生产能力核算模型, 在此基础上分析 3 个层次产能 (理论产能、可实现产能和实际产能) 的空间分布得到: 较高的理论单产和可实现单产主要分布在以唐山市为中心向四周延伸的各个乡镇; 而较高的实际单产主要分布在唐山市南部地区和东北部地区的乡镇; 处在北部山地丘陵区的迁西县和迁安市等地区的一些乡镇的 3 个层次的产能单产都比较低; 以唐山市为中心的西部和东部及东南部地区的一些乡镇的 3 个层次产能的总产都比较高, 北部的山地丘陵区的产能总产比较低。基于探索性空间数据分析 (ESDA) 的空间自相关分析产能结果表明, 3 个层次产能单产的空间聚集程度顺序是理论单产 > 可实现单产 > 实际单产; 3 个层次产能的局部空间自相关集中在 H-H 型 (高-高关联) 和 L-L 型 (低-低关联) 的乡镇占到了全部的 50% 以上。进行产能和经济发展的空间耦合性分析表明, 可实现单产和人均 GDP 及农村人均纯收入空间耦合关系较好, 实际产能和地均农产值空间耦合关系较好。认清区域耕地生产能力空间格局及其与经济发展关系, 可以为经济发展与耕地保护提供决策支持, 对于土地可持续利用具有指导意义。

关键词: 生产能力, 经济, 土地利用, 耕地, 空间格局, 唐山市

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.11.055

中图分类号: F301

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-11-0323-09

李子良, 王树涛, 张利, 等. 经济快速发展地区耕地生产能力空间格局[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 323—331.

Li Ziliang, Wang Shutao, Zhang Li, et al. Spatial pattern of cultivated land productivity in rapid economic development region[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 323—331. (in Chinese with English abstract)

0 引言

粮食安全是涉及人口、资源与环境、社会经济发展与农业生产技术水平的复杂问题, 一直是当今国际社会面临的主要问题之一, 尤其中国的粮食安全问题倍受国内外社会关注^[1-4], 曾思坚等认为关注中国粮食安全问题, 不能只重视粮食流通体制的改革, 应更多地重视粮食生产领域, 即粮食综合生产能力。而粮食综合生产能力又与耕地生产能力密切相关, 只有稳定提高耕地生产能力, 才能提高粮食综合生产能力, 保证粮食安全^[5]。封志明等认为实施“藏粮于土”计划, 提高中国土地资源的综合生产能力, 理应成为中国耕地与粮食安全战略的长期选择^[6]。

自 1999 年以来, 国土资源部在全国开展的农用地分等工作, 为农用地综合产能核算提供了新的思路。截止到目前, 很多学者对农用地产能核算模型等进行了深入地研究^[7-11], 在农用地产能应用方面也有一些研究, 如基于产能的耕地资源保护级别评定的研究^[12]; 基于产能的城镇扩展造成耕地质量的损失^[13]; 基于产能的耕地分区研究^[14]。总之, 目前缺乏对耕地生产能力在区域空间上

分异规律的研究, 研究经济快速增长地区的产能和经济之间的关系更是鲜见。因此, 从空间上分析经济与耕地生产能力的耦合关系就显得尤为必要。素有“冀东粮仓”之称的唐山市自改革开放以来, 随着城市化进程加速, 综合经济实力显著增强, 不可避免地给耕地保护带来了冲击, 从耕地生产能力的角度深入探讨经济发展与耕地产能相互关系, 可以为该区域经济和耕地协调发展, 实现区域社会可持续发展提供依据, 具有重要的理论和现实价值。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

唐山市地处环渤海湾中心地带, 属于华北与东北通道的咽喉要地, 区位优势优越。属于暖温带半湿润季风大陆性气候, 年平均气温由南向北、由西向东递减。年主导风向为夏季偏南风、冬季多西北风。唐山市地势北高南低, 自西、西北向东及东南缓缓下降, 以东起滦县, 经丰润至玉田一线为界, 大致可分北部山地和南部平原两大部分, 平原约占总面积的 2/3。

1.2 数据来源

本研究主要数据来源于唐山市农用地分等调查数据, 2007 年农用地综合产能核算研究时对基础数据进行了全面更新, 本研究中利用更新的数据进行耕地不同层次产能模型的建立。耕地核算的理论单产样本值来源于作物审计品种的区域试验产量; 现实单产样本值来自耕地分等抽样单元 3 a 正常年景下的最高单产; 实际单产样本值来源于各县统计年鉴中的分乡镇单产数据。区域经

收稿日期: 2010-01-18 修订日期: 2010-10-08

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目 (2005CB121107); 河北省农用地综合产能调查和评价

作者简介: 李子良 (1984—), 男, 河北肥乡人, 研究方向为土地信息与管理。保定 河北农业大学国土资源学院, 071001。

Email: liziliang1984@sina.com

*通信作者: 王树涛 (1978—), 男, 河北威县人, 博士, 研究方向为土地资源利用。保定 河北农业大学国土资源学院, 071001。

Email: wangst@hebau.edu.cn

济数据选择农村居民人均纯收入、人均 GDP 和单位耕地面积农业产值（地均农产值）3 项指标。其中人均 GDP 综合体现区域经济差异，反映公共投入能力；农村人均纯收入体现农村人口的收入差异，用于反映个人投入能力；地均农产值体现耕地的产出水平，反映个人的投入意愿。以上经济指标均来自于 2005—2006 唐山市统计年鉴。

2 研究方法

2.1 耕地生产能力核算

通过开展农用地分等工作，掌握了农用地资源的质量状况和相对差异，是核算农用地产能的重要数据基础^[4,7]。唐山市耕地产能核算以分等成果为基础。研究区属河北省农用地分等因素二级指标区的“燕山山前平原区”、“滨海平原区”和“燕山山前平原区”（见表 1）。唐山市农用地共划分为 907 个单元，收集整理每个分等单元的自然等数据、利用等数据，基于用户调查的 3 a 粮食单产数据以及对指定作物现实单产样本值补充调查，按照《农用地分等规程》中标准粮换算系数和标准耕作制度，将指定作物的实际单产换算为标准粮实际单产。计算每个单元近 3 a 平均粮食单产，作为单元粮食单产数据。

表 1 唐山市分等因素指标区划分

Table 1 Partition of factor index zones in Tangshan City		
国家一级区	省二级区及代号	控制区所辖县（市、区、场）
II 黄淮海区	II 1-1 燕山山前平原区	唐山市区、丰润区、丰南区、古冶区、玉田县、滦县、滦南县
	II 2-2 滨海平原区	乐亭县、唐海县、汉沽农场、芦台农场
	VI 内蒙古高原及长城沿线区	VII 1-2 燕山山地丘陵区
		遵化市、迁安市、迁西县

通过相关文献^[7-11]可知，核算理论产能和可实现产能时，实际标准量与自然等指数、利用等指数呈线性相关关系，所以本研究采用线性回归模型进行耕地理论产能和可实现产能的核算。理论产能核算模型为

$$y'_i = aR_i + b \quad (1)$$

式中， y'_i 为指定作物理论样本地块标准粮单产， kg/hm^2 ； R_i 为分等单元自然等指数（具体含义及计算方法详见《农用地分等规程》TD/T-1004—2003）； a 、 b 为回归系数值。

按式（1）求得各单元的年均理论单产，再乘以相应的耕地面积可以获得耕地分等单元理论总产。乡镇理论总产等于乡镇内各分等单元的理论总产值之和，乡镇理论总产除以乡镇面积得到乡镇理论单产。

可实现产能核算模型为

$$y''_i = cY_i + d \quad (2)$$

式中， y''_i 为指定作物标准粮现实单产样本值， kg/hm^2 ； Y_i 为分等单元利用等指数（具体含义及计算方法详见《农用地分等规程》TD/T-1004—2003）； c 、 d 为回归系数值。

按式（2）求得各单元的年均现实单产，再乘以相应的耕地面积可以获得耕地分等单元现实总产。乡镇现实总产等于乡镇内所有分等单元的现实总产之和，乡镇现

实总产除以乡镇面积得到乡镇现实单产。

依据农业统计数据，将核算区域内各乡镇的指定作物单位面积产量通过标准粮换算系数，换算为标准粮，作为各乡镇的实际单产，乡镇实际产能等于乡镇的实际单产乘以乡镇耕地面积。

本文从 3 个层次，即：理论产能（理论单产和理论总产）；可实现产能（可实现单产和可实现总产）；实际产能（实际单产和实际总产），来表示耕地生产能力。

2.2 空间自相关分析

空间自相关（spatial autocorrelation）分析是测试某空间单元与其周围单元间，就同种特征值，利用统计方法进行空间自相关性程度的计算，分析这些单元空间分布特性的方法。是反映一个区域单元上某种地理现象或某一属性值与邻近区域单元上同一现象或属性值相关程度的重要指标，已被广泛应用于环境、地质、农业及经济等领域^[15-18]。计算空间自相关的方法有许多种，如 Moran's I、Geary's C 和 Join count 等。本文选择较常用的 Moran's I 指数进行分析，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。本文利用 geoda0.95i 软件进行空间自相关分析，构造空间邻接矩阵（create contiguity weight），采用由 GIS 生成的拓扑信息提供的空间对象邻接关系，这里选择用空间邻接性来定义空间邻接矩阵，采用 Rook 方式、一阶邻接关系，生成空间权重系数矩阵文件。

2.2.1 全局空间自相关

全局空间自相关能够描述某种地理现象或某一属性值的整体分布，判断此现象或属性值在空间上是否有聚集特性存在。Moran's I 计算公式如下

$$I = \frac{\sum_i \sum_j W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{S^2 \sum_i \sum_j W_{ij}} \quad (3)$$

其中： $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ ， $\bar{X} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n X_i$

式中， n 为研究对象的数目； X_i 、 X_j 为观测值； \bar{X} 为所有观测值的平均值； W_{ij} 为研究对象 i 、 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。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，通常通过空间数据的拓扑属性或距离标准来度量。

根据空间数据的分布，可以计算正态分布 Global Moran's I 的期望值

$$E(I) = -1/(n-1) \quad (4)$$

随着样本数 n 的增大，期望值将逐渐趋于 0。 I 的值介于 $(-1, 1)$ 之间，当 $I > E(I)$ 时，表示空间正相关，表明相邻空间单元具有相似的属性值，即空间上有聚集分布的现象；当 $I < E(I)$ 时，表示空间负相关，表明相邻空间单元的属性值呈此长彼消状态，说明呈现空间分散格局； I 的值越接近 1 或者 -1，则表示空间自相关的程度越

强烈；当 I 接近 $E(I)$ 时，则表明不存在空间自相关现象，表示空间分布呈现随机分布。

2.2.2 局部空间自相关

局部空间自相关则是用于反映整个大区域中，一个局部小区域单元上的某种地理现象或某一属性值与相邻局部小区域单元上同一现象或属性值的相关程度。1994 年 Anselin 提出了空间联系的局部指标 LISA (local indicators of spatial association)，可以揭示局部直至每个空间单元的空间自相关性质。LISA 本质上是将 Global Moran's I 分解到各个区域单元，Local Moran's I 模型如下

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_j - \bar{X}) \quad (5)$$

$$\text{其中: } S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Local Moran's I 的期望值为

$$E(I_i) = -\sum_{j=1}^n W_{ij} / (n-1) \quad (6)$$

当 $I_i > E(I_i)$ 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。

局域空间自相关 (LISA) 可以结合 Moran 散点图等将空间格局可视化，研究地理现象的空间分布规律。Moran 散点图由 4 个象限组成，分别对应于区域单元与其邻居之间 4 种类型的局部空间联系形式。正的空间关联包括 1、3 象限，负的空间关联包括 2、4 象限。第 1 象限代表了高观测值的区域单元被同是高值的区域所包围的空间联系形式 (高-高关联，即 H-H)；第 2 象限代表了低观测值的区域单元被高值的区域所包围的空间联系形式 (低-高关联，即 L-H)；第 3 象限代表了低观测值的区域单元被同是低值的区域所包围的空间联系形式 (低-低关联，L-L)；第 4 象限代表了高观测值的区域单元被低值的区域所包围的空间联系形式 (高-低关联，即 H-L)。

本文综合考虑土壤、气候因素、地形地貌和地理位置集中连片，选取南部平原区 141 个乡镇为研究区获得相对一致的自然条件，对耕地产能和经济发展指标分别进行全局和局部空间自相关分析，探讨二者的空间耦合关系。

3 结果与分析

3.1 区域耕地生产能力空间分析

3.1.1 区域产能单产空间分异

根据产能核算方法分别对各乡镇进行不同层次产能的核算。在 ArcView 支持下，根据自然断点法将各乡镇产能单产分为 5 个等级，输出唐山市耕地产能单产分布图 (图 1)，总体特征是西部高于东部，南部高于北部。

理论单产分布规律主要和气候条件和耕地质量等农业自然资源分布相关。由图 1a 可知，主要分布在以唐山市区为中心的燕山山前平原区。这些区域年降水量 650~670 mm，年均气温 11~12℃，≥0℃积温 4 300~4 500℃，

属暖 and 较湿润气候，热量资源丰富，水分比较充足，主要分布潮褐土和潮土，地势平坦，更有利于发挥农业潜力。所以这些区域的理论单产比较高，介于 $1.06 \times 10^4 \sim 2.00 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$ ，其中玉田县中西部乡镇的理论单产最高。而北部的燕山山地丘陵区的迁西县等区域由于热量相对偏小、土层薄、坡度陡等不利因素，使得该区域的理论单产最低，不足 $8.49 \times 10^3 \text{ kg/hm}^2$ 。

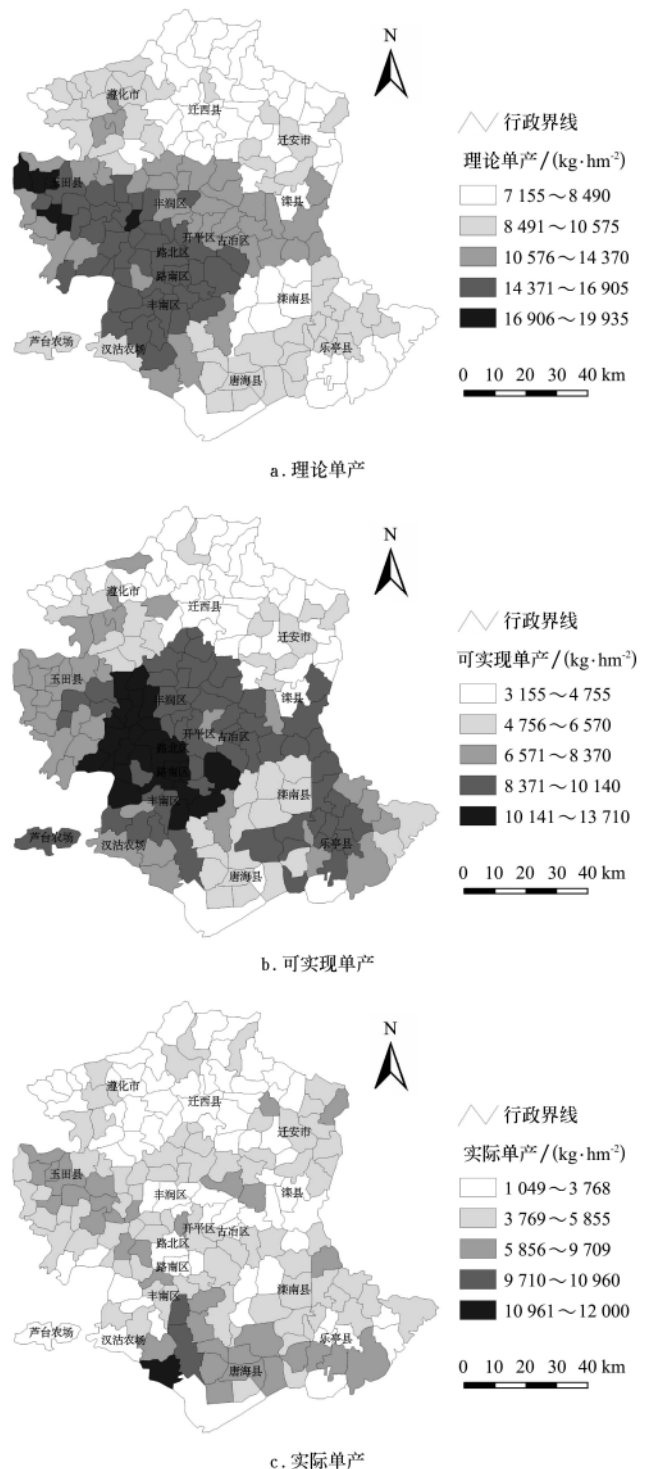


图 1 唐山市耕地产能单产分布图

Fig.1 Distribution of productivity per unit area of cultivated land in Tangshan City

可实现单产反映了当地的政策和投入情况，自然禀

赋越好,区域经济发展状况越高,越有利于土地可实现生产能力的发挥。由图 1b 可知,可实现单产的主要分布区域和理论单产近似,主要分布在中部燕山山前平原区的各乡镇,介于 $6.57 \times 10^3 \sim 1.37 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$,以丰润区和市区周围为最高。由于北部山地丘陵区土地自然条件相对不好,再加上当地的经济条件限制,在耕地上投入的较少,使得该区域的可实现单产最低。

实际单产反映了当地农作物的实际平均产量,由图 1c 可知其分布相对分散,最高分布在唐海县、玉田县和乐亭县等地。这些地区耕性良好,正常年景粮食可达 $1.08 \times 10^4 \sim 1.20 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$ 。其次,主要分布在玉田县南部、丰南区西部等地。这些地区大部分地势平坦,水源基本有保证,土壤质地偏沙或偏黏,物理性状稍差,低洼处受洪涝、盐碱危害,粮食产量介于 $6.57 \times 10^3 \sim 1.37 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$,增产潜力大,可逐步改造成高产农田。再差的集中分布在滦南县、滦县,遵化市、迁安市、迁西县有零星分布。主要受水源条件限制,基本上都是旱地,土壤质地差,耕层养分贫瘠,产量低而不稳定。

3.1.2 区域产能总产空间分异

在 ArcView 支持下,根据自然断点法将各乡镇产能总产分为 5 个等级,输出唐山市耕地产能分布图(图 2)。总体来看,中部平原区各县总产明显比北部山区高,产能总产最高的在滦县中东部、唐海县和滦南县交界以及玉田县中部一带。

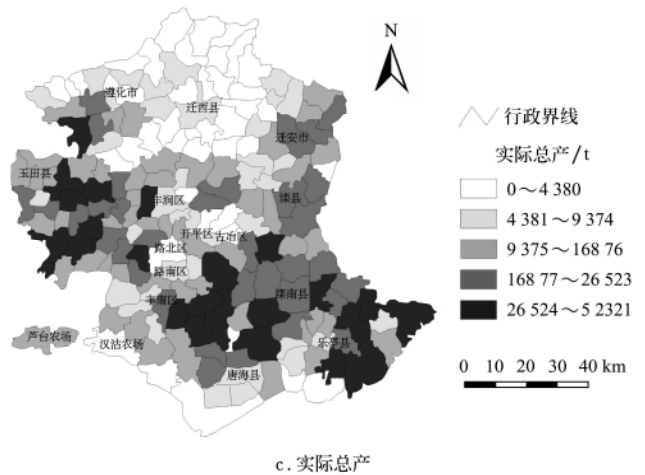


图 2 唐山市耕地生产能力总产分布图

Fig.2 Distribution of total productivity of cultivated land in Tangshan City

燕山山前平原区是唐山市粮棉油集中产区,各乡镇理论总产介于 $1.66 \times 10^4 \sim 1.06 \times 10^5 \text{ t}$,可实现总产介于 $1.16 \times 10^4 \sim 7.40 \times 10^4 \text{ t}$,实际总产介于 $4.38 \times 10^3 \sim 5.23 \times 10^4 \text{ t}$,该区域地势平坦,土层深厚,质地适中,适合大型机械化作业,是发展现代农业的理想之地。本区包括唐山市区,既有接受城市辐射的优势,具有交通区位优势,农民有更多的就业选择和非农收入,同时又受到城市发展土地需求的压力,大量农地转为建设用地。应严格执行土地利用规划,控制耕地非农化,在城市郊区逐步由生产粮食为主的传统农业转变成提供绿色生态的都市农业。

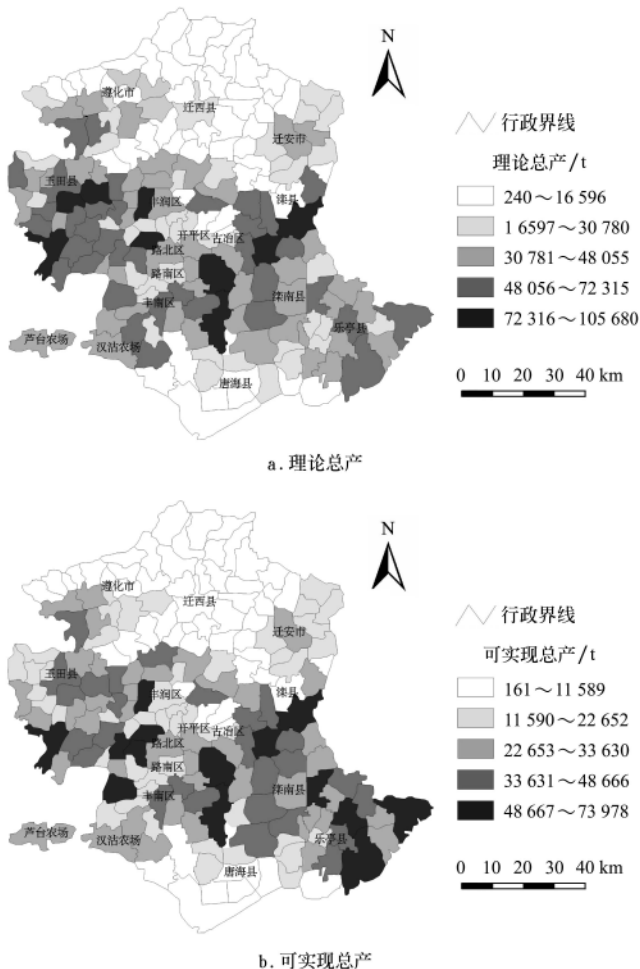
滨海平原区各乡镇理论总产介于 $0.24 \times 10^3 \sim 7.23 \times 10^4 \text{ t}$,可实现总产介于 $0.16 \times 10^3 \sim 7.40 \times 10^4 \text{ t}$,实际总产介于 $4.38 \times 10^3 \sim 5.23 \times 10^4 \text{ t}$,该区域土壤以潮土、水稻土和盐土为主,多属重壤质,耕层含盐量和地下水矿化度高,为水稻和盐生植物生长区域,农业气候资源良好,应因地制宜发展水稻生产,建成水稻发展基地。

山地丘陵区各乡镇理论总产介于 $0.24 \times 10^3 \sim 4.81 \times 10^4 \text{ t}$,可实现总产介于 $0.16 \times 10^3 \sim 3.36 \times 10^4 \text{ t}$,实际总产介于 $0.90 \times 10^3 \sim 1.69 \times 10^4 \text{ t}$,该区应围绕治理中低产田发展粮食生产,应与山水林田路综合治理,生物措施与工程措施相结合,保持水土。重点在遵化市、迁西县等地推广以造林植果、集雨水窖水资源开发为主的山区综合开发治理模式,改善生态脆弱和经济贫困面貌。

3.2 经济发展和耕地生产能力的空间耦合关系分析

3.2.1 全局自相关分析

经计算可知(表 2),理论单产、可实现单产和实际单产的 Global Moran's I 值分别为 0.6805、0.5802 和 0.1127。在 $\alpha=0.05$ 的显著性水平下,其正态检验统计量 Z 值在 0.05 的显著性水平(Z 的临界值为 1.96)下均通过显著性检验,表明唐山市产能空间分布并非表现出随机分布,而是表现出空间相似值之间的空间聚集。其空间联系的特征具有较明显的空间聚集特征,即具有较高产能的乡镇和较高产能产出的乡镇相靠近,较低产能产出



的乡镇和较低产出的乡镇相邻。各层次产能单产的 Moran's I 顺序是：理论单产>可实现单产>实际单产。说明由于受人为利用情况的影响，研究区 3 个产能层次的空间聚集性程度在减小。

同样对 3 个经济指标计算 Global Moran's I 值和 Z_i 值（表 2）。3 个经济指标在 $\alpha=0.05$ 的显著性水平下，其检验统计量 Z 大于检验值 1.96，通过检验。表明唐山市区域经济状况存在空间自相关，相同特性的乡镇在地域空间上有显著的聚集特征。

表 2 全局空间自相关分析表
Table 2 Analyses of globe spatial autocorrelations

指 标	Moran's I 指数 (I)	Moran's I 期望值 $E(I)$	检验统计量 Z_i
理论单产	0.6805	-0.007	13.509
可实现单产	0.5802	-0.007	11.404
实际单产	0.1127	-0.007	3.056
人均 GDP	0.2338	-0.007	4.789
人均纯收入	0.2148	-0.007	4.492
地均农产值	0.2031	-0.007	4.212

3.2.2 局部空间自相关分析

基于乡镇行政单元产能的局部空间自相关聚类同样采用 Geoda 软件计算各层次产能的 Local Moran's I_i 值，通过研究区的 Moran 散点图，可以揭示各乡镇产能和经济发展的局部空间自相关演变过程。统计各指标局部自相关类型见表 3。

表 3 局部空间自相关类型个数统计表
Table 3 Analyses of local spatial autocorrelations

类 型	理论 产能	可实 现产能	实际 产能	人均 GDP	人均纯 收入	地均 农产值
H-H 型	74	63	33	28	68	30
L-H 型	2	12	18	33	12	26
L-L 型	50	45	62	55	39	61
H-L 型	15	21	28	25	22	24
H-H/L-L 总计	124	108	95	83	107	91
比例/%	87.94	76.60	67.38	58.87	75.89	64.54

注：H-H 型为高-高关联；L-H 型为低-高关联；L-L 型为低-低关联；H-L 型为高-低关联。

1) 不同层次产能单产局部空间自相关分析

理论产能局部正相关类型 H-H 型 74 个，L-L 型 50 个，合计占总个数的 87.94%。强势 H-H 型主要分布在西部地区的丰润区、路南区、路北区以及玉田县。弱势 L-L 型则主要分布在东部地区的滦县、唐海县和乐亭县。 $I_i < 0$ 共 17 个乡镇，L-H 型分布在丰南区黑沿子镇和开平区双桥乡。H-L 型分布在强势 H-H 型和弱势 L-L 型的交界地带。

可实现产能局部正相关类型 H-H 型 63 个，L-L 型 45 个，合计占总个数的 76.60%。强势 H-H 型主要分布在两个区域。一是在唐山市区周围，包括丰润区、路南区、路北区以及丰南区北部和开平区西部，二是分布在滦南县和乐亭县交界一带。弱势 L-L 型则主要分布在滦县、滦南县、唐海县和玉田县。 $I_i < 0$ 共 33 个乡镇，L-H 型分布在玉田县南部，北部玉田镇以及汉沽农场和丰南区交界处柳树圈镇。H-L 型分布在滦县西部和滦南县南部。

实际产能局部正相关类型 H-H 型 33 个，L-L 型 62 个，合计占乡镇总个数的 67.38%。强势 H-H 型分布在玉田县至丰润区、丰南区南部和唐海县大部。弱势 L-L 型共 62 个，分布在唐山中部至东北部的滦县、古冶区、迁安市南部。 $I_i < 0$ 共 46 个乡镇。L-H 型分布在玉田县南部杨家板桥乡、陈家铺乡，北部郭家屯乡和林头屯乡，路北区以及汉沽农场和乐亭县中堡庄乡。H-L 型分布在靠近市区的丰润区老庄子镇和任各庄镇和滦县东部、乐亭县南部。

2) 经济指标局部空间自相关分析

人均 GDP 局部自相关类型 H-H 型 28 个，L-L 型 55 个，合计占乡镇总个数的 58.87%。强势 H-H 型分布在开平区、路南区、丰南区至唐海县一带，以及迁安市的赵店子镇和玉田县孤树镇。弱势 L-L 型共 55 个，分布在玉田县、丰润区、滦县和滦南县大部分乡镇。 $I_i < 0$ 共 58 个乡镇。说明这些区域和周边区域空间差异较大，主要是玉田镇、丰润镇、倭城镇和乐亭镇等分别是所在县的县城较周围的乡镇 GDP 水平要高，以及玉田县北部和丰润区南部一些乡镇较周围乡镇水平要低。L-H 型分布在乐亭县南部和丰南区和古冶区交界的大齐各庄乡和钱营镇等。H-L 型分布唐海县和乐亭县中部。

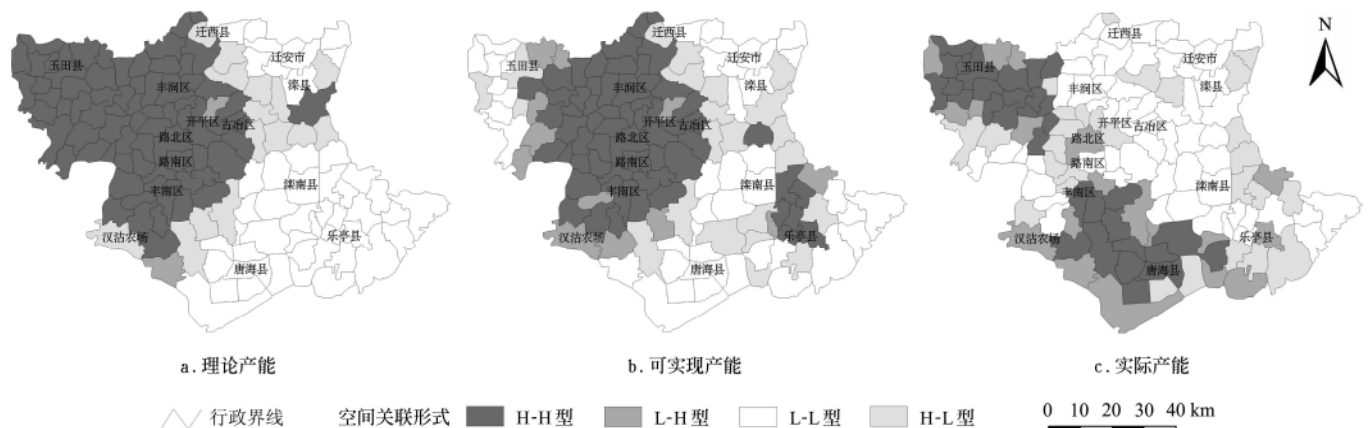


图 3 研究区耕地区域不同层次产能空间关联局部指标 (LISA) 聚集图
Fig.3 Significant local indicators of spatial association (LISA) cluster map of three levels productivity in study area

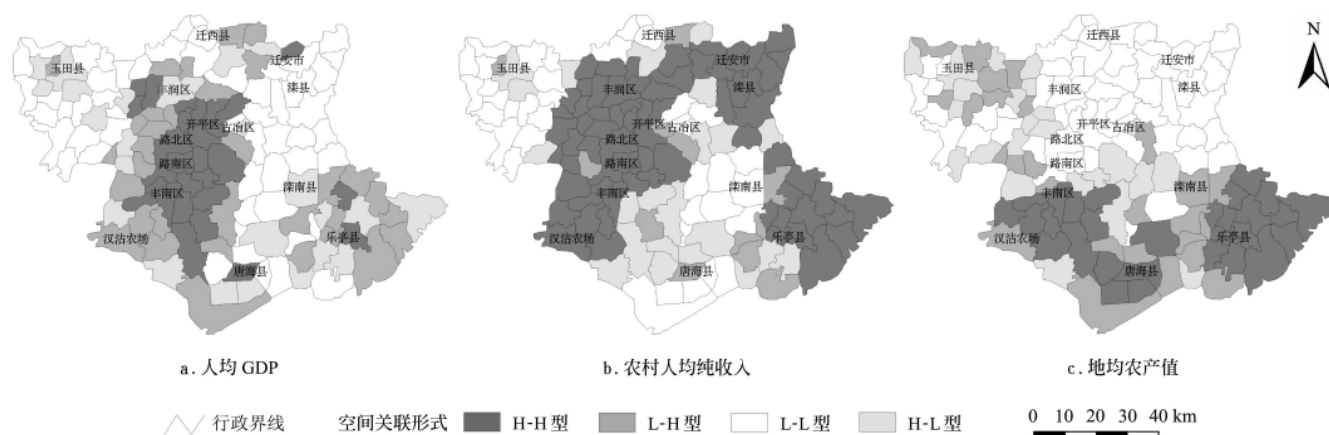


图 4 研究区区域经济指标空间关联局部指标 (LISA) 聚集图

Fig.4 Significant local indicators of spatial association (LISA) cluster map of economic indicators in study area

农村人均纯收入局部正相关类型 H-H 型 68 个, L-L 型 39 个, 合计占乡镇总个数的 75.89%。强势 H-H 型从研究区西南和东南延伸至东北部迁安市呈八字形分布。弱势 L-L 型则主要分布在玉田县、古冶区、滦南县和唐海县。 $I_i < 0$ 共 34 个乡镇, 主要分布在丰南区、乐亭县和唐海县交界一带, L-H 型分布在滦南县东部。H-L 型分布在唐海和滦南县交界处和玉田县北部。

地均农产值局部正相关类型 H-H 型 30 个, L-L 型 61 个, 合计占乡镇总个数的 64.54%。强势 H-H 型主要分布

在丰南区至唐海县一带和乐亭县大部分乡镇。弱势 L-L 型则主要分布在研究区东北部, 包括开平区、古冶区、滦县和迁安市。 $I_i < 0$ 共 50 个乡镇, L-H 型分布在玉田县北部郭家屯镇等。H-L 型分布在丰润区和市区交界处的老庄子镇、韩城镇和任各庄镇。

3. 2. 3 产能和经济发展的空间分布耦合性分析

根据各产能层次的含义, 选择可实现单产和实际单产局部自相关类型和 3 个经济发展指标的自相关类型进行对比 (表 4), 探讨产能与经济发展的空间耦合关系。

表 4 耕地可实现产能、实际产能同经济发展指标自相关类型对应乡镇数

Table 4 Numbers of correspondence nexus between types of spatial autocorrelations of comprehensive productivity and that of economic indexes

类 型		可实现产能经济指标耦合乡镇数			可实现产能 乡镇数	实际产能经济指标耦合乡镇数			实际产能 乡镇数
		人均 GDP	人均纯收入	地均农产值		人均 GDP	人均纯收入	地均农产值	
H-H 型	H-H 型	22	43	11	63	7	7	11	33
	L-H 型	16	4	9		4	4	10	
	L-L 型	15	10	29		12	11	6	
	H-L 型	10	6	14		10	11	6	
L-H 型	H-H 型	3	5	4	12	3	7	3	18
	L-H 型	3	2	4		6	2	5	
	L-L 型	6	5	2		8	7	4	
	H-L 型			2		1	2	6	
L-L 型	H-H 型	2	14	11	45	12	37	9	62
	L-H 型	12	5	10		15	4	7	
	L-L 型	22	20	20		25	16	37	
	H-L 型	9	6	4		10	5	9	
H-L 型	H-H 型	1	6	4	21	6	17	7	28
	L-H 型	2	1	3		8	2	4	
	L-L 型	12	4	10		10	5	14	
	H-L 型	6	10	4		4	4	3	
经济指标	H-H 型	28	68	30	141	28	68	30	141
	L-H 型	33	12	26		33	12	26	
	L-L 型	55	39	61		55	39	61	
	H-L 型	25	22	24		25	22	24	

可实现单产为强势 H-H 型的乡镇共 63 个, 人均 GDP 对应的 H-H 型有 22 个乡镇, 占其总 H-H 型的 79%; 人均纯收入对应的 H-H 型有 43 个乡镇, 占 63%; 地均农产

值对应的 H-H 型有 11 个乡镇, 占 37%。总之, 在可实现产能为强势 H-H 型的乡镇中, 人均 GDP 和人均纯收入分别有 79% 和 63% 的强势 H-H 型分布其中, 具有很大的空

间耦合性, 地均农产值则相对较差。

可实现单产为弱势 L-L 型的乡镇共 45 个, 人均 GDP 对应的 L-L 型有 22 个乡镇, 占其总 L-L 型的 49%; 人均纯收入对应的 L-L 型有 20 个乡镇, 占 51%; 地均农产值对应的 L-L 型有 20 个乡镇, 占 33%, 总之, 仍是人均 GDP 和人均纯收入两个指标空间耦合性较地均农产值为好。

可实现单产为过渡型的 LH 的乡镇共 12 个, 从人均 GDP 和人均纯收入对应的类型来看, 对应最高的却是 L-L 型, 分别为 6 个和 5 个。可实现单产为过渡型的 H-L 的乡镇共 21 个, 从人均 GDP 和地均农产值对应的类型来看, 对应最高的却是 L-L 型, 分别为 12 个和 10 个, 其中分布于人均 GDP 对应的 H-L 型有 6 个, 人均纯收入对应的类型 H-L 型有 10 个, 分布于地均农产值对应的 H-L 型有 4 个, 这说明受经济发展弱势区域的影响, 可实现单产能转为过渡型。

实际单产为强势 H-H 型的乡镇共 33 个, 人均 GDP 和人均纯收入对应的最高的却是 L-L 型和 H-L 型, 从地均农产值来看, 11 个乡镇为 H-H 型。实际单产为弱势 L-L 型的乡镇共 62 个, 人均 GDP 对应的 L-L 型有 25 个乡镇; 人均纯收入对应的 L-L 型有 16 个乡镇; 地均农产值对应的 L-L 型有 37 个乡镇。

实际单产为过渡型的 LH 的乡镇共 18 个, 其中有 8 个分布于人均 GDP 对应的 L-L 型, 人均纯收入对应的 H-H 型和 L-L 型分别有 7 个, 分布于地均农产值对应的 L-H 型有 5 个。实际单产为过渡型的 HL 的乡镇共 28 个, 其中有 10 个分布于人均 GDP 对应的 L-L 型, 人均纯收入对应的类型 H-H 型有 17 个, 分布于地均农产值对应的 L-H 型有 14 个。总之, 地均农产值空间耦合性较人均 GDP 和人均纯收入两个指标耦合性为好。

可以看出, 可实现单产和人均 GDP 及农村人均纯收入空间耦合关系较好。实际产能和地均农产值空间耦合关系较好。人均 GDP 则和实际产能分布空间耦合关系不佳, 这可能与农业产值在地区生产总值中不断下降, 对农业的支持力度不够, 支出结构不合理, 投入不足, 农业基础设施建设尚待完善有关。

4 结论与讨论

1) 唐山市各层次的单产总体分布特征是西部高于东部, 南部高于北部。理论单产主要分布在以唐山市区为中心的燕山山前平原区 (唐山市区和周围的玉田县、滦县), 该区域的理论单产介于 $1.06 \times 10^4 \sim 2.00 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$ 。可实现单产的主要分布区域和理论单产近似, 除在中部燕山山前平原区的各乡镇分布外, 在乐亭县部分乡镇也有分布, 这些区域的可实现单产介于 $6.57 \times 10^3 \sim 1.37 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$ 。实际单产的分布相对分散。

2) 唐山市各层次的产能总产总体分布特征是中部平原区各县明显高于北部山区, 最高的在滦县中东部、唐海县和滦南县交界以及玉田县中部一带。全市理论总产介于 $0.24 \times 10^3 \sim 1.06 \times 10^4 \text{ t}$; 可实现论总产介于 $0.16 \times 10^3 \sim 7.40 \times 10^4 \text{ t}$; 实际总产介于 $0 \sim 5.23 \times 10^4 \text{ t}$ 。

3) 唐山市各层次产能单产的 Moran's I 顺序是: 理论单产 > 可实现单产 > 实际单产。说明由于受人为利用情况的影响, 研究区 3 个产能层次的空间聚集性程度在减小。理论产能自相关分析表明局部正相关 H-H 型 74 个, L-L 型 50 个, 合计占总个数的 87.94%, 强势 H-H 型主要分布在西部地区, 弱势 L-L 型则主要分布在东部地区; 可实现产能自相关分析表明局部正相关 H-H 型 63 个, L-L 型 45 个, 合计占总个数的 76.60%。强势 H-H 型主要分布在唐山市区周围和滦南县、乐亭县交界一带, 弱势 L-L 型则主要分布在滦县、滦南县、唐海县和玉田县。实际产能自相关分析表明正相关 H-H 型 33 个, L-L 型 62 个, 合计占总个数的 67.38%。强势 H-H 型分布在玉田县至丰润区一带, 以及丰南区南部和至唐海县大部。弱势 L-L 型主要分布在唐山市中部至东北部。

4) 基于探索性空间数据分析 (ESDA) 能够科学准确地分析产能及经济发展状况的空间自相关关系, 分析得出产能与经济发展的空间耦合关系符合实际。可实现单产和人均 GDP 及农村人均纯收入空间耦合关系较好, 实际产能和地均农产值空间耦合关系较好。人均 GDP 则和实际产能分布空间耦合关系不佳。

正确认识耕地保护和经济发展之间的辩证关系, 把握经济快速发展区域的耕地生产能力空间分布格局以及与发展状况的空间耦合关系, 能够对协调当地耕地资源与经济发展之间矛盾提供科学依据。本文只是对唐山市的产能和经济发展状况进行了静态的空间关系分析, 若能进行动态分析来反映历年产能和经济发展状况之间的关系, 则更据实际意义。

[参 考 文 献]

- [1] IIASA. Can China Feed Itself. A System for Evaluation of Policy Options by Gerhard K. Heilig[EB/OL].http://www.iiasa.ac.at/Research/SRD/ChinaFood/index_m.htm. 1999-08-23.
- [2] Brown Lester R. Who will feed China? Wake Up Call For a Small Planet[M]. New York: New York Norton and Company Inc., 1995: 1—27.
- [3] 国土资源部信息中心, 中国耕地资源安全态势分析. 中国 2003-2004 国土资源安全状况分析报告[M]. 下篇. 北京: 中国大地出版社, 2005: 93—208.
- [4] 李天杰, 郇文聚, 赵焯, 等. 土地质量、生产能力与粮食安全相关研究的现状及展望[J]. 资源产业, 2006, (8): 19—23.
Li Tianjie, Yun Wenju, Zhao Ye, et al. Situation and prospects of researches on land quality, land productivity and food security[J]. Resources and Industries, 2006, 8(1): 19—23. (in Chinese with English abstract)
- [5] 曾思坚, 何小霞. 提高耕地综合生产能力保证粮食安全[J]. 生态环境, 2004, 13(2): 293, 296.
Zeng Sijian, He Xiaoxia. To enhance the productive capacity of cultivated land and secure grain safety[J]. Ecology and Environment, 2004, 13(2): 293, 296. (in Chinese with English abstract)
- [6] 封志明, 李香莲. 耕地与粮食安全战略: 藏粮于土, 提高中国土地资源的综合生产能力[J]. 地理学与国土研究, 2000, 16(3): 1—5.

- Feng Zhiming, Li Xianglian. The stratagem of cultivated land and food supplies security: Storing food in land raising the comprehensive productivity of land resource of China[J]. *Geography and Territorial Research*, 2000, 16(3): 1—5. (in Chinese with English abstract)
- [7] 高向军, 马仁会. 中国农用地等级评价研究进展[J]. *农业工程学报*, 2002, 18(1): 165—169.
- Gao Xiangjun, Ma Renhui. Research advances of gradation and evaluation of agricultural land in China[J]. *Transactions of the CSAE*, 2002, 18(1): 165—169. (in Chinese with English abstract)
- [8] 崔永清, 门明新, 许皞, 等. 河北省不同耕作区综合产能空间分异规律[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(7): 91—96.
- Cui Yongqing, Men Mingxin, Xu Hao, et al. Spatial variation and distribution of comprehensive productivity of cultivated land in different cultivation areas of Hebei Province[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24 (7): 91—96. (in Chinese with English abstract)
- [9] 郎文聚, 王洪波, 王国强, 等. 基于农用地分等与农业统计的产能核算研究[J]. *中国土地科学*, 2007, 21(4): 32—37.
- Yun Wenju, Wang Hongbo, Wang Guoqiang, et al. Research of throughput calculation based on agricultural land classification and agriculture statistics[J]. *China Land Science*, 2007, 21(4): 32—37. (in Chinese with English abstract)
- [10] 饶彩霞, 吴克宁, 许琳. 基于农用地分等成果的产能核算: 以湖南、河南、黑龙江为例[J]. *资源开发与市场*, 2008, 24(1): 16—17, 91.
- Rao Caixia, Wu Kening, Xu Lin. Calculating yield potentiality based on result of agricultural land classification: A case of Hunan, Henan, Heilongjiang Province[J]. *Resources and Industries*, 2008, 24(1): 16—17, 91. (in Chinese with English abstract)
- [11] 张蕾娜, 郎文聚, 苏强, 等. 基于农用地分等成果的产能核算研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(增刊 1): 133—136.
- Zhang Leina, Yun Wenju, Su Qiang, et al. Methods for productivity calculation based on agricultural land classification[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(Supp.1): 133—136. (in Chinese with English abstract)
- [12] 刘华宾, 张俊梅, 门明新, 等. 基于产能的耕地资源保护级别评定方法研究: 以河北省卢龙县为例[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(8): 1325—1333.
- Liu Huabin, Zhang Junmei. Men Mingxin, et al. Research on protection grade evaluation method of cultivated land resources based on production capacity[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(8): 1325—1333. (in Chinese with English abstract)
- [13] 门明新, 陈亚恒, 刘玉, 等. 基于 RS 与 GIS 唐山市城镇扩展对耕地产能影响的定量评估[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(9): 1—7.
- Men Mingxin, Chen Yaheng, Liu Yu, et al. Quantitative assessment of urban expansion impact on comprehensive productivity of cultivated land in Tangshan based on RS and GIS[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(9): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [14] 刘玉, 刘彦随, 薛剑, 等. 海河冲积平原区耕地综合产能核算及其分区利用[J]. *资源与科学*, 2009, 31(4): 598—603.
- Liu Yu, Liu Yansui, Xue Jian, et al. Calculation of the integrated productive capacity and subarea utilization of cultivated land in alluvial plain area of Haihe River[J]. *Resources Science*, 2009, 31(4): 598—603. (in Chinese with English abstract)
- [15] Zhang C S, McGrath D. Geostatistical and GIS analyses on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different periods[J]. *Geoderma*, 2004, 119: 261—75.
- [16] 杜国明, 张树文, 张有权. 城市人口分布的空间自相关分析: 以沈阳市为例[J]. *地理研究*, 2007, 26(2): 383—390.
- Du Guoming, Zhang Shuwen, Zhang Youquan. Analyzing spatial auto-correlation of population distribution: A case of Shenyang City[J]. *Geographical Research*, 2007, 26(2): 383—390. (in Chinese with English abstract)
- [17] 韩贵锋, 徐建华, 王维升, 等. 重庆市大气污染物的空间统计分析[J]. *环境科学研究*, 2006, 19(5): 30—35.
- Han Guifeng, Xu Jianhua, Wang Weisheng, et al. The spatial statistic analysis of air pollutants in Chongqing City[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2006, 19(5): 30—35. (in Chinese with English abstract)
- [18] 吴玉鸣. 县域经济增长集聚与差异: 空间计量经济实证分析[J]. *世界经济文汇*, 2007, (2): 37—57.
- Wu Yuming. The county territory economic growth gathers with the difference: Spatial measurement economical empirical analysis[J]. *World Economic Papers*, 2007, (2): 37—57. (in Chinese with English abstract)

Spatial pattern of cultivated land productivity in rapid economic development region

Li Ziliang, Wang Shutao^{*}, Zhang Li, Men Mingxin, Xu Hao

(Land and Resources College, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

Abstract: To understand the spatial pattern of cultivated land productivity in a certain region, a model for evaluating

such productivity was established by analyzing the relationship between the cultivated land quality ranks and the standard crop yield per hectare through sampling investigation data on the basis of agricultural land classification. With this model, spatial patterns of theoretical, accessible and actual productivities in Tangshan were assessed. The region with higher theoretical and accessible productivity was centered from Tangshan city, while the region with higher actual productivity was located at the south and northeast area of Tangshan. The hilly areas including Qian'xi and Qian'an were characterized with relatively low productivity for all three levels. The west, east and southeast areas in Tangshan were associated with relatively high total productivity but hilly area in north Tangshan with relatively low total productivity. The results based on the exploratory spatial data analysis (ESDA) spatial autocorrelation indicated: the accumulation order of three levels productivity was theoretical productivity per unit > accessible productivity per unit > current productivity per unit; in addition, the total area in H-H (high spatial autocorrelations) and L-L (low spatial autocorrelations) type accounted for over 50% of Tangshan city. It also indicated that there are good spatial correlations among accessible productivity, GDP per capita and net income of rural people as well as good spatial correlations between actual productivity and farming production. This is very useful for the sustainable use of cultivated land and development of local economy by understanding spatial pattern of regional cultivated land productivity and its relationships with the development of regional economy.

Key words: productivity, economic, land use, cultivated land, spatial pattern, Tangshan city