

# 基于改进灰色关联度法的宝泉岭垦区粮食综合生产能力影响因素研究

李国凤, 雷国平, 宋戈

(东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:** 提高粮食综合生产能力是确保我国粮食安全的重要途径。以黑龙江省宝泉岭垦区为研究区, 分阶段分析了宝泉岭垦区 1999—2008 年粮食综合生产能力动态变化情况, 从自然资源、农业生产要素投入、农业现代化水平三方面选取具有代表性的 14 个影响因子, 运用改进的灰色关联法对影响宝泉岭垦区粮食综合生产能力的因素进行了分析。结果表明: 不同阶段粮食综合生产能力的主要影响因素不同。1999—2002 年, 农膜使用量、粮食播种面积、化肥折纯量、复种指数是影响宝泉岭垦区粮食综合生产能力的最重要因子; 2003—2008 年, 有效灌溉面积、化肥折纯量、农业机械总动力、农膜使用量四因素对粮食综合生产能力提高影响较大。农业现代化水平对粮食综合生产能力的影晌强度增强趋势明显。提出提高科技支撑水平, 切实落实粮食生产保护政策建议, 为粮食生产决策部门有效提高垦区粮食产量提供一定的理论依据。

**关键词:** 粮食综合生产能力; 影响因素; 改进的灰色关联法; 宝泉岭垦区

中图分类号: F307.11; F326.11

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)02-0171-04

## Study on the Influencing Factors of Grain Production in Baoquanling Reclamation Based on Improved Grey Correlation Degree Method

LI Guo-feng, LEI Guo-ping, SONG Ge

(College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** Raise of the comprehensive grain production ability is an important way to make sure the food security in China. This paper selected Baoquanling reclamation area as the study area, which is located in Heilongjiang Province. The time is divided into two stages to analyze the change of the comprehensive grain production ability from 1999 to 2008 in this area. Fourteen typical impact factors were chosen from three aspects which are natural resources, agricultural production inputs and agricultural modernization level. An improved grey correlation method was used to analyze the impact factors which have affected the comprehensive grain production ability. Results showed that: the main impact factors working on the comprehensive grain production ability were different in different stages. In 1999—2002, agricultural films use, area of grain sowing, application of chemical fertilizer, multiple crop index were the most important factors, however, effective irrigation area, application of chemical fertilizer, total power of agricultural machinery, agricultural films use played a key role in raising the comprehensive grain production ability in 2003—2008. It is obvious that the impact strength of the agricultural modernization level is increasing. The paper proposed suggestions of strengthening scientific and technological support, implementing grain production policy. The study result provides theoretical basis for the departments responsible for food production decision-making to effectively improve the grain production in the agricultural reclamation area.

**Key words:** comprehensive grain production ability; influence factors; improved grey correlation method; Baoquanling reclamation area

收稿日期: 2011-08-25

修回日期: 2011-10-27

资助项目: 国家自然科学基金(41071346); 黑龙江省青年学术骨干项目(1154G45)

作者简介: 李国凤(1987—), 女, 内蒙古宁城人, 硕士研究生, 主要研究方向为土地利用。E-mail: cleverguoguo@126.com

通信作者: 雷国平(1963—), 男, 黑龙江省青冈人, 教授/博导, 博士, 主要研究方向为土地利用与规划。E-mail: guopinglei@126.com

提高粮食综合生产能力是确保我国粮食安全的主要途径之一,准确把握影响全国及主产区粮食综合生产能力的因素及其影响程度,对制定提高我国粮食综合生产能力的措施具有重要意义。黑龙江垦区是我国重要的商品粮基地,其粮食生产问题不容忽略。粮食综合生产能力由投入和产出两方面因素构成,受耕地、资本、劳动力、科学技术等生产要素的投入能力所决定,并由年度粮食总产量体现<sup>[1-4]</sup>。

已有的研究在研究尺度上,主要集中在国家和省域宏观尺度<sup>[5-7]</sup>,在研究方法上,主要体现在定性分析、主观性较强的主成分分析及传统的灰色关联分析方法<sup>[8-10]</sup>,在研究内容上,主要针对单因素和多因素进行研究<sup>[11-13]</sup>。基于全国或省域尺度的研究,虽然能够较好地反映我国粮食生产大格局的变化,但难以揭示区域内部粮食生产变化的异质性<sup>[14]</sup>。传统的灰色关联分析方法只能计算各影响因素对粮食产量的关联度和关联序,不能体现出各因素对粮食产量的影响度,改进的灰色关联分析方法综合主、客观方法的优点,能够准确、综合反映各影响因素对粮食产量的关联度和影响度。

鉴于此,本文以宝泉岭垦区为研究区,利用 1999—2008 年粮食总产水平数据,研究宝泉岭垦区粮食总产变化的阶段性特征,并应用改进的灰色关联分析方法,分阶段找到宝泉岭垦区近 10 a 来影响粮食综合生产能力的农业生产因素。这对有效提高研究区粮食综合生产能力具有重要的现实意义,同时对保证国家粮食安全具有重要的战略意义。

## 1 研究区概况

宝泉岭垦区位于黑龙江省东北部,黑龙江和松花江汇合的三角地带。东经 129°25′—130°26′,北纬 46°23′—47°54′,垦区土地面积 6 115 km<sup>2</sup>,辖宝泉岭、新华、二九〇、绥滨、江滨、军川、名山、延军、共青、普阳、汤原、依兰、梧桐河 13 个国营农场。宝泉岭垦区是黑龙江省农垦总局所属 9 个垦区中最大的垦区,耕地占全垦区总面积的 1/7。1989—2008 年宝泉岭垦区耕地总面积由 27.28 万 hm<sup>2</sup> 增长到 31.75 万 hm<sup>2</sup>,粮食单产由 2 214.07 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 7 247.85 kg/hm<sup>2</sup>。截至 2008 年末,宝泉岭垦区总人口 20.97 万人,耕地总面积 31.75 万 hm<sup>2</sup>,耕地复种指数达到 0.99。宝泉岭垦区粮食总产量于 2006 年突破 200 万 t,到 2009 年已经达到 252.70 万 t,为提高粮食综合生产能力,确保国家粮食安全做出突出贡献。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 数据来源

本研究数据来源于《黑龙江垦区统计年鉴》(2000—2009)、《黑龙江省国民经济和社会发展统计公报》(1999—2008)和黑龙江省垦区统计部门的相关统计资料等。

### 2.2 研究方法

本文采用改进的灰色关联分析方法<sup>[15]</sup>确定各影响因素对粮食综合生产能力的影晌程度。改进灰色关联分析是一种系统分析方法,在反映系统行为的特征数据序列和影响系统行为的有效因素数据序列中找出关联性,根据已有的部分信息,通过一定量的数据处理,计算其关联度,确定影响系统行为的主要因素以及各因素对系统行为影响的差异,并将各种影响因素的影响度进行定量化描述,得到每个因素的具体影响值。

设参考序列为:  $x_0(k) = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}$ , 比较序列为:  $x_i(k) = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\}$ 。式中,  $i$  表示某个因素,  $i = 1, 2, 3 \dots$ 。灰色关联分析的步骤如下:

(1) 数列初值化处理。初值化处理的目的是使数列无量纲,并得到公共交点。通过初值化得到参考数据列为  $y_0(k)$ , 比较数据列为  $y_j(k)$ , ( $j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n$ )。

(2) 求差序列。  $\Delta_i(k) = x_0(k) - x_i(k)$

(3) 计算关联系数。在系统内,以曲线几何形状间差值大小作为关联程度的衡量尺度,为关联性实质。

$$\xi(k) = \frac{\min_i \min_k \Delta_i(k) + 0.5 \max_i \max_k \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + 0.5 \max_i \max_k \Delta_i(k)}$$

(4) 求关联度。公式为:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$$

式中:  $r_i$ ——曲线  $(k)$  对参考曲线  $x_0(k)$  的关联度。

(5) 采用九标度法对各个因素按影响程度进行两两比较,并利用比较结果构建判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \dots & w_1/w_j \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_j/w_1 & \dots & w_j/w_j \end{bmatrix}$$

(6) 影响度排序。影响度排序可归结为计算判断矩阵的特征根和特征向量问题,即计算判断矩阵  $B$  的特征根与特征向量:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{W_i}$$

式中: $\lambda_{\max}$ —— $B$  的最大特征根; $W$ ——对应于  $\lambda_{\max}$  的正规化特征向量; $W_i$ ——相应因素排序的影响度。

(7)一致性检验。为了检验矩阵的一致性,需要计算它的一致性指标  $CI$ , 定义为:

$$CI=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1}$$

显然,当判断矩阵具有完全一致性时, $CI=0$ 。为了检验判断矩阵是否具有满意的一致性,需要将  $CI$  与平均随机一致性指标  $RI$  进行比较<sup>[15]</sup>。对于 1, 2 阶判断矩阵, $RI$  只是形式上的,因为 1 阶、2 阶判断矩阵总是完全一致的。当阶数大于 2 时,判断矩阵的一致性指标  $CI$ ,与同阶平均随机一致性的指标  $RI$  之比称为判断矩阵的随机一致性比例,记为  $CR$ ,当  $CR=CI/RI<0.1$  时,判断矩阵具有满意的一致性,否则就需要重新对判断矩阵进行调整。

3 垦区粮食综合生产能力动态变化

粮食总产年际波动较大,总体呈现出波动上升趋势(图 1)。自 1999 年以来宝泉岭垦区粮食总产量的变化在总体上呈现出上升趋势。总产量由 1999 年的 138.75 万 t 增长到 2008 年的 230.14 万 t,年均增长 9.14 万 t。粮食总产量变化大致分为 2 个不同的阶段。第一阶段是 1999—2002 年,这一阶段粮食产量缓慢波动下降,主要是由于农业结构内部调整,经济作物播种面积上调,粮食作物面积减少,从而导致粮食总产量减少,其中 2002 年粮食大幅减产主要是干旱少雨造成的;第二阶段是 2003—2008 年,这一阶段粮食产量明显上升,粮食产量增加了 112.33 万 t,特别是 2006 年粮食产量达到 200.93 万 t,成为 10 a 来的最高值。主要是因为一方面黑龙江垦区实行了“撤队建区和土地复垦”改革工作,促使宝泉岭垦区耕地面积增加,从而粮食产量得到增加;另一方面黑龙江省委出台的政策(黑发[2006]30 号)强调,“要把支持垦区加快发展列入黑龙江省委、省政府重要工作日程,切实加强对垦区工作领导。”农业基础设施的建设推动了宝泉岭垦区粮食产量的快速增加。

粮食单产的变化趋势与粮食总产的变化趋势基本相同。1999 年粮食单产为 5 084.84 kg/hm<sup>2</sup>,2008 年为 7 586.30 kg/hm<sup>2</sup>,年平均增长 250.15 kg/hm<sup>2</sup>。减幅较大的年份仍为 2000 年和 2002 年。

人均粮食占有量的变化与粮食总产和单产的变化趋势趋同。总体上,人口虽然在增长,但粮食总产量的增长幅度更大,因此人均粮食占有量总体呈上升趋势。宝泉岭垦区人均粮食占有量 1999 年为 6 609.46 kg/人,2008 年为 10 749.55 kg/人,年平均增长 414.01 kg/人,上升幅度较大。

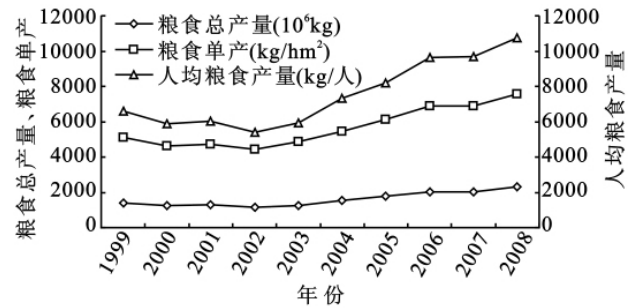


图 1 1999—2008 年宝泉岭垦区粮食总产及粮食单产

4 垦区粮食综合生产能力的影响因素

4.1 影响指标的选取

粮食生产是一个复杂的系统,导致粮食综合生产能力变化的影响因素错综复杂,每种因素对生产力的波动变化具有不同的影响。在借鉴他人研究成果<sup>[16-18]</sup>的基础上,结合研究区粮食生产的实际情况,本文从自然资源、农业生产要素投入和农业现代化水平 3 个方面,选取了 14 个影响粮食产量的主要因素: $X_1$  平均气温, $X_2$  降雨量, $X_3$  日照时数, $X_4$  成灾面积, $X_5$  农林牧渔业劳动力, $X_6$  粮食播种面积, $X_7$  复种指数, $X_8$  农药使用量, $X_9$  农膜使用量, $X_{10}$  农业固定资产投资, $X_{11}$  化肥施用量(折纯量), $X_{12}$  有效灌溉面积, $X_{13}$  农业用电量, $X_{14}$  农业机械总动力。

4.2 结果分析

4.2.1 因素关联度排序 经过计算,得到黑龙江省宝泉岭垦区 1999—2008 年粮食综合生产能力与其 14 个影响因素的关联分析结果(表 1)。

表 1 1999—2008 年宝泉岭垦区粮食综合生产能力与其影响因素的灰色关联度

影响因素	1999—2002 年		2003—2008 年	
	关联度	关联序	关联度	关联序
平均气温	0.4427	14	0.8389	10
降雨量	0.6557	11	0.8492	7
日照时数	0.6275	5	0.8288	11
成灾面积	0.7964	12	0.7240	13
农林牧渔业劳动力	0.7764	8	0.8849	5
粮食播种面积	0.8501	2	0.8713	6
复种指数	0.8289	4	0.8442	8
农药施用量	0.7684	9	0.8411	9
农膜使用量	0.8511	1	0.8991	4
农业固定资产投资	0.6076	13	0.7627	12
化肥折纯量	0.8467	3	0.9269	2
有效灌溉面积	0.7792	7	0.9351	1
农业用电量	0.7470	10	0.6619	14
农业机械总动力	0.7833	6	0.9160	3

由关联度排序结果(表 1)可知,1999—2002 年间各影响指标对宝泉岭垦区粮食产量波动的影响顺序

为:农膜使用量>粮食播种面积>化肥折纯量>复种指数>成灾面积>农业机械总动力>有效灌溉面积>农林牧渔业劳动力>农药施用量>农业用电量>降雨量>日照时数>支援农业生产费用>平均气温,2003—2008年间,有效灌溉面积对粮食综合生产能力的关联度为0.935 1,该因素对粮食综合生产能力的关联度最大,各因素的影响顺序为:有效灌溉面积>化肥折纯量>农业机械总动力>农膜使用量>农林牧渔业劳动力>粮食播种面积>降雨量>复种指数>农药施用量>平均气温>日照时数>支援农业生产费用>成灾面积>农业用电量。

4.2.2 因素影响度分析 在粮食综合生产能力影响因素灰色关联度分析结果的基础上,分阶段构建两两比较判断矩阵,利用矩阵计算得到各影响因素对宝泉岭垦区粮食综合生产能力的关联度(表2)。一致性检验得到1999—2002年 $CR=0.031\ 0<0.1$ ,2003—2008年 $CR=0.002\ 5<0.1$ ,说明判断结果具有满意的一致性,能够反映数据的真实规律。

表2 1999—2008年宝泉岭垦区粮食综合生产能力因素影响度

构成要素	分析指标	1999—2002年		2003—2008年	
		影响度/%	综合影响度/%	影响度/%	综合影响度/%
自然资源	平均气温	1.06		3.68	
	降雨量	2.38		4.13	
	日照时数	1.67	13.68	2.47	11.55
	成灾面积	8.57		1.27	
农业生产要素投入	农林牧渔业劳动力	4.18		7.99	
	粮食播种面积	17.39		5.41	
	复种指数	11.01	55.31	4.02	33.84
	农药施用量	4.13		3.94	
	农膜使用量	17.40		10.69	
	农业固定资产投资	1.20		1.79	
农业现代化水平	化肥折纯量	17.85		19.78	
	有效灌溉面积	4.13	31.01	20.39	54.61
	农业用电量	2.97		1.02	
	农业机械总动力	6.06		13.42	

通过对黑龙江省宝泉岭垦区1999—2008年各因素对粮食综合生产能力的关联度变化分析发现,在1999—2002年和2003—2008年两个阶段,各影响因素对粮食综合生产能力的关联程度不同。自然资源和农业生产投入要素对粮食综合生产能力的贡献作用减弱,影响度分别下降2.13%和21.47%;农业现代化水平对粮食综合生产能力的贡献度增大趋势凸显,影响度由31.01%上升到54.61%,成为影响宝泉岭垦区粮食综合生产能力的主导因素。建议依靠科技进步,增加物质和技术的投入,提高粮食单产,从而实现粮食综合生产能力的整体提高。

1999—2002年,农业生产投入要素的影响度最大,达到55.31%,其中农膜使用量和粮食播种面积的贡献率较大,二者贡献率之和达到62.90%;自然资源的影响度为13.68%,其中成灾面积的贡献率达到62.65%;农业现代化水平的影响度为31.01%,其中化肥折纯量的贡献率最大,为57.56%。从指标层看,1999—2002年农膜使用量、粮食播种面积、化肥折纯量、复种指数是影响宝泉岭垦区粮食综合生产能力的最重要因子,四者贡献率之和为63.65%。这一时期宝泉岭垦区本身经济发展比较落后,土地投入较少,2000年实施的退耕还林政策及农业结构内部调整减少了粮食作物播种面积,致使粮食作物大幅减产,2002年干旱少雨等自然灾害严重,成灾面积为114 876 hm<sup>2</sup>,致使粮食综合生产能力成为10 a来最低。

2003—2008年,三项构成要素对粮食综合生产能力的影响程度为:农业现代化水平>农业生产要素投入>自然资源。从指标层看,有效灌溉面积、化肥折纯量、农业机械总动力、农膜使用量四因素对粮食综合生产能力提高影响重大,四者影响度之和为64.28%。完善农田水利设施是宝泉岭垦区粮食综合生产能力提高的关键,10 a间宝泉岭垦区有效灌溉面积增加了35.12%,化肥折纯量及农业机械总动力分别增加46.14%和52.83%,2006年开始,黑龙江省政府出台政策积极争取国家有关部门支持垦区发展,国务院也对国有农场给予高度重视,加强农业基础设施建设,致使这一阶段粮食综合生产能力持续提高。

## 5 结论

本文在分阶段分析粮食综合生产能力变化情况的基础上,基于农业生产条件的角度,运用改进的灰色关联法对影响宝泉岭垦区粮食综合生产能力的因素进行了分析,得出14个影响因子与粮食综合生产能力呈显著相关,不同阶段粮食综合生产能力的主要影响因素不同。其中1999—2002年,农膜使用量、粮食播种面积、化肥折纯量、复种指数是影响宝泉岭垦区粮食综合生产能力的最重要因子;2003—2008年,有效灌溉面积、化肥折纯量、农业机械总动力、农膜使用量四因素对粮食综合生产能力提高影响重大;此外,农业现代化水平对粮食综合生产能力的影响强度突出,且有增强趋势。这为粮食生产决策部门有效提高垦区粮食产量提供一定的理论依据。但影响粮食综合生产能力的因素众多,政策、管理等指标还无法量化,同时本研究用粮食总产量代替粮食综合生产能力,具有一定的局限性,需要进一步深化研究。

(下转第179页)

影响程度,对于受影响较为严重的景区应该给以重视,应采取相应的措施减少旅游活动对环境的影响。首先,合理布局游道,定期维护检查;其次,严格控制旅游设施的建设,减少旅游设施运营对环境的影响;再次,通过工程和生物措施,如在步道两侧铺设植草砖来掩盖裸露土壤,增加景观美感,设置栏杆减少游客对外缘土壤的践踏;最后,加强宣传,提高游客环保意识,减少主动行为带来的负面影响。另外,本研究采取的“既成事实调查法”得出结果,只是一段时间内的数据采集,土壤采样的代表性不强,未来应加强长期的监测并建立模型才是更加合理和客观的方法。

#### 参考文献:

- [1] Van Der Duim R, Caalders J. Biodiversity and tourism impacts and interventions[J]. *Annals of Tourism Research*, 2002, 29(3): 743-761.
- [2] 程占红, 张金屯, 上官铁梁, 等. 芦芽山自然保护区旅游开发与植被环境的关系 II: 植被环境质量分析[J]. *生态学报*, 2002, 22(10): 1765-1773.
- [3] Boyle S A, Samson F B. Effects of nonconsumptive recreation on wild life: A review[J]. *Wild Life Society Bulletin*, 1985(13): 110-116.
- [4] Silsbee D G, Larson G L. Water quality of streams in

the Great Smoky Mountains National Park[J]. *Hydrobiologia*, 1982, 89(2): 97-115.

- [5] 晋秀龙. 旅游活动对九华山风景区土壤的冲击影响[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(11): 1881-1882.
- [6] Marion J L, Leung Y F. Trail resource impacts and an examination of alternative assessment techniques [J]. *Journal of Park and Recreation Administration*, 2001, 19(3): 17-37.
- [7] 钟林生, 柴江豪, 谢婷, 等. 旅游活动对黄石寨景区步道的的影响评估[J]. *地理研究*, 2008, 27(5): 1071-1077.
- [8] 石强. 森林公园环境影响评价[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2005.
- [9] 陆林, 巩劫, 晋秀龙. 旅游干扰对黄山风景区土壤的影响[J]. *地理研究*, 2011, 30(2): 209-223.
- [10] 巩劫, 陆林, 晋秀龙, 等. 黄山风景区旅游干扰对植物群落及其土壤性质的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(5): 2239-2251.
- [11] 石强, 雷相东, 谢红政. 旅游干扰对张家界国家森林公园土壤的影响研究[J]. *四川林业科技*, 2002, 23(3): 28-33.
- [12] Maning R E. Impacts of recreation on riparian soils and vegetation[J]. *Journal of the American water Resources Association*, 1979, 15(1): 30-43.
- [13] 刘鸿雁, 崔海亭. 旅游开发对东灵山高山草甸的影响[J]. *生态学杂志*, 1998, 17(3): 63-66.

(上接第 174 页)

#### 参考文献:

- [1] 马九杰, 崔卫杰. 农业自然灾害风险对粮食综合生产能力的影晌分析[J]. *农业经济问题*, 2005(4): 49-53.
- [2] 王秋香, 任向宁, 孙伟杰, 等. 广东省耕地粮食综合生产能力研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2008, 24(6): 68-71.
- [3] 黎莉莉, 胡晓群, 袁昌定, 等. 重庆市粮食综合生产能力及保护机制研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2010, 31(1): 27-32.
- [4] 张凤荣, 张晋科, 张迪, 等. 1996—2004 年中国耕地的粮食生产能力变化研究[J]. *中国土地科学*, 2006, 20(2): 8-14.
- [5] 郭淑敏, 马帅, 陈印军. 我国粮食主产区粮食生产影响因素研究[J]. *农业现代化研究*, 2007, 28(1): 83-87.
- [6] 熊伟, 林而达, 蒋金荷, 等. 中国粮食生产的综合影响因素分析[J]. *地理学报*, 2010, 65(4): 397-406.
- [7] 姜涛, 孔令聪, 王光宇, 等. 安徽省粮食生产能力研究与分析[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(6): 285-289.
- [8] 牛创民, 温学飞, 王峰. 基于因子分析法的盐池县粮食生产影响因素分析[J]. *水土保持研究*, 2010, 17(6): 278-282.
- [9] 许月卿, 李秀彬. 河北省粮食生产灰色关联动态分析[J]. *地理研究*, 2002, 21(3): 339-346.
- [10] 马岩, 郑海峰, 赵新峰, 等. 黑龙江海伦市粮食产量稳定

性影响因素分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(4): 215-223.

- [11] 石淑芹, 陈佑启, 姚艳敏, 等. 东北地区耕地变化对粮食生产能力的影晌评价[J]. *地理学报*, 2008, 63(6): 574-586.
- [12] 彭澧丽, 杨重玉, 龙方. 农业机械化对粮食生产能力影响的实证分析: 以湖南省为例[J]. *技术经济*, 2011, 30(1): 34-38.
- [13] 李裕瑞, 刘彦随, 龙花楼. 江苏省粮食生产时空变化的影响机制[J]. *地理科学进展*, 2009, 28(1): 125-131.
- [14] 程叶青, 张平宇. 东北商品粮基地粮食生产的区域分异[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(6): 925-931.
- [15] 王树涛, 李新旺, 门明新, 等. 基于改进灰色关联度法的河北省粮食波动影响因素研究[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(1): 176-184.
- [16] 李学梅, 李忠峰. 50 年来榆林地区粮食生产变化及影响因素分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(5): 123-126.
- [17] 张路路, 张悦国, 刘瑞卿, 等. 河北省粮食单产区域差异特征演变格局及动因分析[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(2): 192-197.
- [18] 仇方道, 钱进, 佟连军, 等. 江苏省粮食生产时空格局演变及影响因素[J]. *农业现代化研究*, 2009, 30(1): 11-15.