



集中连片贫困区耕地安全性评价及影响因素分析——以忻州市为例

高艳珍, 郑庆荣, 罗淑政, 李晓

引用本文:

高艳珍, 郑庆荣, 罗淑政, 等. 集中连片贫困区耕地安全性评价及影响因素分析——以忻州市为例[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(5): 919-927.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0535>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

新时代广州市耕地多功能评价及时空演变分析

唐春云, 臧俊梅

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 332-343 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0648>

基于资源环境承载力的国土空间管制分区研究

梁宇哲, 谢晓瑜, 郭泰圣, 吴茗华, 王璐

农业资源与环境学报. 2019, 36(4): 412-418 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0220>

基于模型的山东省土地生态安全评价

周迎雪, 李贻学, 孙仪阳, 李进涛, 高贵芳, 苏超

农业资源与环境学报. 2016, 33(4): 320-326 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0270>

耕地资源承载力关键影响因素识别与典型评价模型研究进展

孙燕君, 王璐, 刘振华, 文宁, 胡月明, 谢健文, 雷帆, 肖莉, 唐铁

农业资源与环境学报. 2020, 37(6): 829-844 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0467>

基于熵权-集对模型的耕地面源污染生态风险评价与防控——以新疆昌吉州为例

原伟鹏, 刘新平

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 630-639 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0076>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

高艳珍, 郑庆荣, 罗淑政, 等. 集中连片贫困区耕地安全性评价及影响因素分析——以忻州市为例[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(5): 919-927.

GAO Y Z, ZHENG Q R, LUO S Z, et al. Evaluation of cultivated land security and analysis of its influencing factors in concentrated contiguous poverty areas: A case study of Xinzhou City[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(5): 919-927.



开放科学 OSID

# 集中连片贫困区耕地安全性评价及影响因素分析 ——以忻州市为例

高艳珍<sup>1</sup>, 郑庆荣<sup>1,2\*</sup>, 罗淑政<sup>2</sup>, 李晓<sup>1</sup>

(1. 山西师范大学地理科学学院, 山西 临汾 041000; 2. 忻州师范学院, 山西 忻州 034000)

**摘要:**为评价集中连片贫困区——忻州市的耕地安全性,基于生态足迹模型,测算忻州市及14个县(市、区)的生态足迹和承载力,进而计算生态盈余/赤字、生态压力指数和生态可持续发展指数三个耕地安全性指数,采用权重赋值后的综合安全指数对忻州市及14个县(市、区)2009—2018年的耕地安全性进行分析,并选用多元线性回归模型定量分析其影响因素。结果表明:在时间尺度上,2009—2018年忻州市综合安全指数呈现出时间差异性,整体呈下降趋势;在空间尺度上,忻州市14个县(市、区)综合安全性表现为空间上的不平衡性和区域差异性,综合安全等级趋向于不安全,不安全县(市、区)增多,东、西部综合安全性低于中部,向不可持续方向发展;人口、经济、产业结构、农业投入与产出、资源禀赋对忻州市耕地安全均有影响,逐步多元线性回归分析结果显示,多种因素共同作用下影响忻州市耕地安全的因素是人均GDP(国内生产总值)和农业机械总动力。忻州市耕地安全性发展趋势需要引起重视。

**关键词:**集中连片贫困区;综合安全指数;耕地安全性;生态压力;可持续发展;忻州市

中图分类号:X826

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2021)05-0919-09

doi: 10.13254/j.jare.2020.0535

## Evaluation of cultivated land security and analysis of its influencing factors in concentrated contiguous poverty areas: A case study of Xinzhou City

GAO Yanzhen<sup>1</sup>, ZHENG Qingrong<sup>1,2\*</sup>, LUO Shuzheng<sup>2</sup>, LI Xiao<sup>1</sup>

(1. School of Geography Sciences, Shanxi Normal University, Linfen 041000, China; 2. Xinzhou Teachers University, Xinzhou 034000, China)

**Abstract:** In order to evaluate the safety of cultivated land in the concentrated contiguous poverty areas of Xinzhou City, based on the ecological footprint model, the ecological footprint and carrying capacity of Xinzhou City and 14 counties and districts were calculated. The ecological surplus/deficit, ecological pressure index, and ecological sustainable development index were calculated as three cultivated land safety indexes. Using the comprehensive safety index after weight assignment, an analysis of the cultivated land safety of Xinzhou in 14 counties and districts from 2009 to 2018 was conducted, and the multiple linear regression model was used to quantitatively analyze the influencing factors. The results showed that on a temporal scale, the comprehensive safety index of Xinzhou City from 2009 to 2018 changed, and the overall trend was downward. On a spatial scale, the comprehensive security of the 14 counties and districts in Xinzhou City showed a spatial imbalance and regional differences. The comprehensive security level tended to be unsafe, the number of unsafe counties and districts increased, and the comprehensive security of the east and the west was lower than that of the central area. Thus, it was developing in an unsustainable direction. The population, economy, industrial structure, agricultural input and output, and resource

收稿日期: 2020-09-22 录用日期: 2020-11-16

作者简介: 高艳珍(1994—), 女, 山西太原人, 硕士研究生, 主要从事资源开发与环境保护方面的研究。E-mail: gy3126807862@163.com

\*通信作者: 郑庆荣 E-mail: 13803441882@163.com

基金项目: 山西省人文社会科学重点研究基地项目(20190131)

Project supported: Shanxi Province Key Research Base Project of Humanities and Social Sciences(20190131)

endowment had an impact on the cultivated land security in Xinzhou City. The results of the stepwise multiple linear regression analysis showed that the factors affecting the cultivated land security in Xinzhou City were GDP per capita and the total power of agricultural machinery. Attention should be paid to the trend of development of cultivated land security in Xinzhou City.

**Keywords:** concentrated contiguous poverty areas; comprehensive safety index; cultivated land security; ecological pressure; sustainable development; Xinzhou City

土地资源是人类生存的基本条件之一,支撑人类的持续发展,耕地是重要的不可再生资源,人类在耕地上耕种,生产维持生存的生物资源。此外,耕地具有重要的承载功能和生态功能。耕地生态系统不仅要维持自身功能,还要作为社会经济发展的基本条件而存在。随着人口增加,人类社会对于土地的需求更为强烈,人地关系面临巨大的矛盾,贫困地区土地资源占有重要地位,土地问题表现得更为明显。耕地面积减少、耕地质量下降以及耕地生态环境恶化等一系列问题严重影响了耕地生态安全<sup>[1-2]</sup>。作为典型的集中连片贫困区,忻州市的耕地同样面临耕地数量减少和质量退化的问题,并且这样的问题未得到有效解决<sup>[3]</sup>。集中连片贫困区的耕地生态安全是地区发展的根本,及时预警对保护耕地安全意义重大。

生态足迹概念源于1992年<sup>[4]</sup>,张志强等<sup>[5]</sup>较早阐述了生态足迹的理论,并对方法和计算模型进行改进。赵鹏宇等<sup>[6-7]</sup>在原有生态足迹模型上增加了新的测算账户,重新确定各项生物账户全球平均产量,修正了均衡因子和产量因子,采用修正后的生态足迹模型对忻州市及14个县(市、区)的生态足迹及承载力进行测算,并对时空变化进行了分析。生态足迹模型可应用于耕地安全性测算,其以耕地生态足迹和生态承载力为基础,对区域耕地时空变化进行分析并利用各种评价模型对耕地安全性进行评价<sup>[8-9]</sup>。国内学者对耕地生态安全的研究主要采用PSR(压力-状态-响应)概念模型、生态足迹模型、DPSIR(驱动力-压力-状态-影响-响应)模型和可拓优度评价模型等<sup>[9]</sup>。学者们通常采用PSR模型构建起一个可以衡量耕地安全性的指标评价体系,采用层次分析法和熵权法确定指标权重,测算耕地生态安全值<sup>[10-12]</sup>,并利用多元线性回归模型对生态安全的影响因素进行定量分析<sup>[13-14]</sup>。赵先贵等<sup>[15]</sup>、赵文晖等<sup>[16]</sup>、白立佳等<sup>[17]</sup>对生态足迹模型进行改进,建立耕地生态安全评价指标,为耕地可持续发展提供了思路。也有学者采用DPSIR模型<sup>[18]</sup>和可拓优度评价模型<sup>[19]</sup>建立耕地生态安全评价体系。

本研究基于生态足迹模型,测算忻州市及14个

县(市、区)的生态足迹和生态承载力,计算生态盈余/赤字、生态压力指数和生态可持续发展指数,利用层次分析法对这三个安全性指标进行权重赋值,得到综合安全指数,将综合安全指数进行分级,进而分析忻州市及14个县(市、区)的耕地安全性时空变化。选取与耕地安全性相关的指标,对忻州市及14个县(市、区)耕地影响因素进行单因素相关性分析,利用逐步多元线性回归方程分析多种因素共同作用下忻州市耕地安全性的影响因素。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

忻州市位于山西省北中部,北纬38°09′~39°40′,东经110°56′~113°58′。全市南北长约170 km,东西宽约245 km,总面积 $2.52 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占山西省总面积的1/6,面积居山西省第一位<sup>[20]</sup>。忻州市有14个县(市、区),其中有11个是国家级贫困县(2014年12月国务院扶贫开发领导小组办公室认定,现已全部脱贫),占山西省贫困县的31%,是典型的集中连片贫困区<sup>[21]</sup>(图1)。从忻州市第一产业组成结构来看,1952年农业产值占比近90%,2000年占比54.4%,2018年占比48.8%,虽然农业占比逐渐下降,但仍占据较大的比例。忻州市的贫困县分布在东西部山地丘陵地区,非贫困县(市、区)集中在中部平原地区。南、西、北三面环山,耕地呈点状分布,大面积的耕地基本位于滹沱河流经的忻定盆地、汾河谷地以及西部的五寨盆地。忻州河流主要有源自管涔山的汾河、五台县境内的清水河以及发源于五台山的滹沱河等。

### 1.2 数据来源

耕地生态足迹生物账户核算项目包括稻谷、小麦、玉米、谷子、高粱、豆类、薯类、油料、蔬菜和瓜果,2009—2018年生物资源生产量数据来自《忻州统计年鉴》。常住人口、城镇人口、人均GDP(国内生产总值)、城镇化率、第一产业占GDP的比例、化肥施用量、农业机械总动力、人均粮食作物产量和粮食作物单产数据来自忻州市统计局1952—2018年的数据统计。鉴于本研究核算项目皆为农作物,文中耕地面积指农作

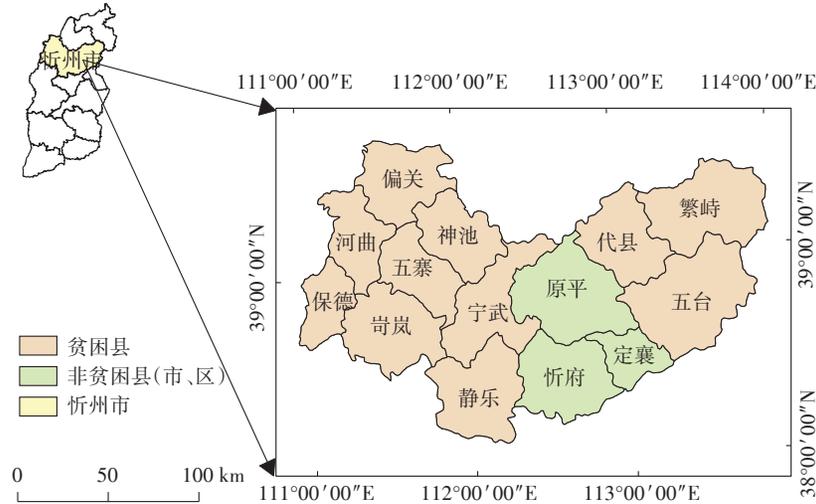


图1 研究区范围

Figure 1 Map of study area scope

物耕种面积。不同学者在研究特定区域时会根据实际情况对均衡因子进行修正,杨屹等<sup>[22]</sup>通过整理不同年份的均衡因子发现,6类均衡因子从1961年以来变动幅度小,因此将6类生产性土地的均衡因子作均值处理,耕地均衡因子采用2.34,产量因子采用1.66。为使计算结果更能反映社会生产力的发展,选用联合

国粮农组织(FAO)统计数据库2009—2018年不同生物资源的平均产量数据<sup>[23]</sup>,选取10年数据的平均值进行测算(表1)。

### 1.3 耕地安全性计算影响因素分析方法

#### 1.3.1 耕地安全性计算方法

为了客观反映忻州市耕地安全性,本研究计算了耕

表1 2009—2018年生物账户全球平均产量汇总(kg·hm<sup>-2</sup>)

Table 1 Summary of global average production of biological accounts from 2009 to 2018(kg·hm<sup>-2</sup>)

类别 Type	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	平均 Mean
稻谷	4 345.3	4 336.1	4 463.1	4 528.9	4 494.1	4 523.2	4 590.2	4 613.3	4 535.2	4 678.9	4 510.8
小麦	3 036.9	2 971.6	3 164.5	3 088.7	3 248.2	3 303.4	3 358.3	3 415.8	3 541.2	3 425.7	3 255.4
玉米	5 163.5	5 192.5	5 179.1	4 867.0	5 435.5	5 593.2	5 524.7	5 761.6	5 896.7	5 923.7	5 453.8
谷子	765.1	910.8	796.4	852.2	846.2	882.2	963.7	875.5	900.4	924.3	871.7
高粱	1 392.1	1 426.7	1 345.2	1 459.4	1 409.2	1 529.3	1 583.4	1 380.0	1 388.9	1 408.1	1 432.2
豆类	862.6	800.9	789.6	839.0	850.1	883.3	896.3	826.3	848.8	882.3	847.9
薯类	7 455.1	7 342.2	7 472.1	7 685.8	7 620.6	7 541.7	6 920.8	7 472.5	7 416.2	7 362.6	7 429.0
油料	1 816.9	1 754.0	2 017.5	2 137.3	2 159.2	2 340.5	2 430.6	2 360.4	2 717.3	3 041.5	2 277.5
蔬菜	13 981.1	14 115.5	14 194.3	14 286.3	14 062.2	14 280.7	14 245.6	14 207.1	14 153.6	14 081.8	14 160.8
瓜果	23 444.9	23 190.5	23 488.3	23 948.3	24 734.8	24 626.0	24 616.8	24 594.0	25 330.0	26 114.4	24 408.8

表2 耕地安全性计算方法

Table 2 Method of cultivated land ecological security

名称 Name	计算方法 Computing methods	意义 Significance	备注 Note
耕地生态足迹	$F_E = N \times f_c = N \times \sum_{i=1}^n (r_i \times c_i / p_i)$	衡量人类对生物资源的消耗	公式(1)
耕地生态承载力	$C_E = N \times c_c = N \times \sum_{i=1}^n (a_i \times r_i \times y_i)$	反映一个地区可利用的耕地资源能够承载的极限人口	公式(2)
生态盈余(赤字)	$s_e(d_e) = c_e - f_e$	反映区域人类对耕地资源的消耗程度	公式(3)
生态压力指数	$I_{EP} = f_e / c_e$	反映人类对耕地生态环境施加压力程度 <sup>[24]</sup>	公式(4)
生态可持续发展指数	$I_{ES} = \frac{c_e}{c_e + f_e}$	反映区域生态可持续发展情况 <sup>[25]</sup>	公式(5)

地生态足迹、耕地生态承载力、生态盈余/赤字、生态压力指数和生态可持续发展指数等指标,计算方法见表2。式(1)~式(5)中: $F_E$ 为总的生态足迹, $hm^2$ ;  $N$ 为研究区域的人口总数; $f_e$ 为人均生态足迹, $hm^2 \cdot 人^{-1}$ ;  $i$ 表示不同类型的消费项目; $r_i$ 为不同类型生物生产性土地的均衡因子; $c_i$ 为某类消费项目的人均消费量, $kg \cdot 人^{-1}$ ;  $p_i$ 为生物生产性土地生产第*i*种消费项目的全球平均产量, $kg \cdot hm^{-2}$ 。  $C_E$ 为区域总的生态承载力, $hm^2$ ;  $c_e$ 为人均生态承载力, $hm^2 \cdot 人^{-1}$ ;  $a_i$ 为人均占有的生物生产面积, $hm^2 \cdot 人^{-1}$ ;  $r_i$ 为不同类型生物生产性土地的均衡因子; $y_i$ 为产量因子。本研究只探讨耕地这一种生物生产性土地类型,根据学者的研究成果扣除3.5%的耕地面积作为生物多样性保护地<sup>[26]</sup>。  $s_e$ 、 $d_e$ 分别为生态盈余、生态赤字;  $I_{EP}$ 为生态压力指数;  $I_{ES}$ 为生态可持续发展指数。

为了更直观地反映忻州市耕地安全时空变化,本研究将生态盈余/赤字、生态压力指数和生态可持续发展指数进行不同的权重赋值,得到综合安全指数计算公式。由于涉及赋值要素较少,本研究采用主观赋权法,请专家对三个指标两两比较,逐层进行判断打分,构造矩阵,再通过软件利用层次分析法确定指标权重<sup>[27]</sup>。其中,生态压力指数对综合安全指数具有反向作用,生态盈余/赤字和生态可持续发展指数对综合安全指数具有正向作用。生态盈余/赤字权重为0.111,生态压力指数权重为-0.333,生态可持续发展指数权重为0.556。本研究选取指数和法计算综合安全指数值,每项指标都乘以相应权重后再相加求和。

$$S_{ij} = A_{ij} \times W_i \quad (6)$$

$$C_{ij} = \sum_{i=1}^n A_{ij} \times W_i \quad (7)$$

式中: $S_{ij}$ ( $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n$ )表示第*i*个指标在第*j*年中的单项安全值;  $A_{ij}$ 为指标*i*在第*j*年中的标准化值;  $W_i$ 为指标*i*的最终组合权重;  $C_{ij}$ 为第*j*年的耕地综合安全指数值。

由于本研究区域较小,区域差异不明显,综合安全指数跨度较小,所以其分级标准与大尺度区域研究不同。基于实际考虑,将耕地综合安全指数划分为6个等级(表3)。

### 1.3.2 影响因素分析模型

利用相关分析进行单因素分析,筛选与耕地安全有关的因素。因为选取要素之间存在相互影响、相互联系的情况,即多重共线性,因此还需要进行逐步多元线性回归分析,研究多种因素共同作用下忻州市耕

表3 综合安全指数等级划分标准

Table 3 Comprehensive safety index classification criteria

等级 Grade	综合安全指数 Comprehensive safety index( $C_{ij}$ )	表征状态 Implication
1	$C_{ij} > 0.40$	很安全
2	$0.20 < C_{ij} \leq 0.40$	较安全
3	$0 \leq C_{ij} \leq 0.20$	稍安全
4	$-0.20 \leq C_{ij} < 0$	稍不安全
5	$-0.40 \leq C_{ij} < -0.20$	较不安全
6	$C_{ij} < -0.40$	很不安全

地安全的影响因素<sup>[13-14]</sup>。

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

式中: $r_{xy}$ 为要素*x*和*y*之间的相关系数,表示两个要素之间相关程度,该值介于[-1, 1]之间, $r_{xy} > 0$ 表示正相关, $r_{xy} < 0$ 表示负相关。 $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 表示两个要素的平均值。

因变量*y*受到*p*个自变量 $x_1, x_2, \dots, x_p$ 的影响,若有*n*组观测值( $y_i, x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{pi}$ ),  $i=1, 2, \dots, n$ ,则多元线性回归模型为:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi} + \varepsilon_\alpha \quad (9)$$

式中: $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ ( $p=1, 2, \dots, n$ )为待定参数;  $\varepsilon_\alpha$ 是误差项。

如果 $b_0, b_1, b_2, \dots, b_p$ 为 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ 的拟合值,则回归方程为:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_p x_p \quad (10)$$

式中: $b_0$ 为常数;  $b_1, b_2, \dots, b_p$ 为偏回归系数。

## 2 结果与分析

根据公式(1)~公式(5)计算忻州市及14个县(市、区)的人均生态足迹、人均生态承载力、生态赤字、生态压力指数和可持续发展指数,根据公式(6)和公式(7)计算出忻州市及14个县(市、区)的综合安全指数,绘制时间变化折线图(图2),列出各县(市、区)逐年综合安全指数(表4),结合综合安全指数等级划分标准,利用ArcGIS空间分析技术,绘制出各年份安全等级空间分布图(图3),对其时空变化进行阐述,并选用多元线性回归模型定量分析其影响因素。

### 2.1 忻州市耕地安全性时间变化

由图2可知,在时间尺度上,忻州市综合安全指

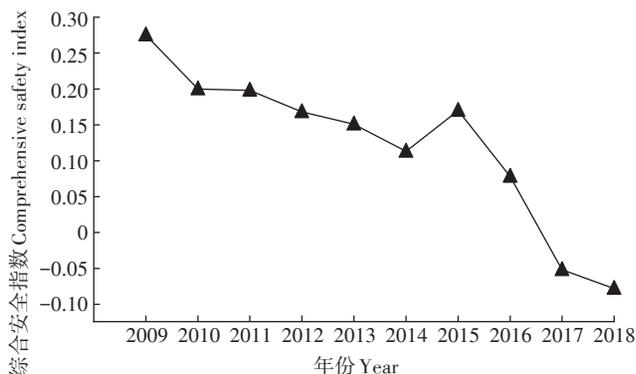


图2 2009—2018年忻州市综合安全指数变化

Figure 2 The change of comprehensive safety index of Xinzhou City from 2009 to 2018

数呈现出时间差异性,整体呈下降趋势。综合安全指数从2009年的0.275下降到2018年的-0.078,在2015年短暂回升,2016—2017年下降速度最快,从0.078下降到-0.052,下降了0.130,2009—2016年忻州市耕地整体处于安全状态,从2016年开始,综合安全指数下降,转为负值,综合安全等级由较安全转为稍不安全。从统计数据来看,忻州市人口逐年增加,从2009年的309.67万增加到2018年的317.20万,10年间增加了7.53万人。人均粮食消耗量逐年增加,农作物耕种面积有所下降,从2009年的46.63万 $\text{hm}^2$ 下降到2018年的44.60万 $\text{hm}^2$ ,减少了2.03万 $\text{hm}^2$ ,从而引起人均生态足迹的增加和人均生态承载力的下降,最终导致综合安全指数下降。

如表4所示,14个县(市、区)综合安全指数时间

变化情况不同。从整体看,14个县(市、区)2009—2018年综合安全指数均处于下降状态。2009—2018年代县、繁峙、宁武、静乐和河曲综合安全指数均大于0;忻府、原平、岢岚和偏关2009—2016年大于0,2017—2018年小于0;神池2009—2015年大于0,2016—2018年小于0;定襄2009—2018年除2013年外均小于0;五寨变化不稳定,2017—2018年综合安全指数绝对值较之前年份明显增大;五台和保德2009—2017年大于0,2018年小于0。2009年岢岚、繁峙和宁武安全指数较高,2018年五寨和原平综合安全指数最低,远小于其他县(市、区);五寨变化最大,从2009年的0.287减小到2018年的-0.571,减少了0.858,需引起足够的重视。

## 2.2 忻州市耕地安全性空间分布

如图3所示,忻州市14个县(市、区)耕地安全性表现为空间上的不平衡性和区域差异性,耕地安全等级趋向于不安全,不安全感(市、区)增多,东西部耕地安全性低于中部,向不可持续方向发展。2009—2013年,处于安全状态的县(市、区)多于不安全状态的县(市、区),定襄2013年暂时处于安全状态,2010年五寨出现不安全状态,忻州市整体处于比较安全的状态。2014—2017年耕地处于不安全状态的县(市、区)数量开始增多,由2个增加到7个,2018年耕地不安全的县(市、区)数量增加到9个,超过安全的县(市、区)数量。10年间,定襄除2013年外均处于稍不安全状态,较为稳定,五寨由较安全状态变为很不安全状态,而原平由稍安全状态变为很不安全状态,二

表4 2009—2018年忻州市14个县(市、区)综合安全指数

Table 4 Comprehensive safety index of 14 counties and districts in Xinzhou City from 2009 to 2018

区域 Region	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
忻府	0.127	0.104	0.096	0.053	0.053	0.044	0.042	0.028	-0.044	-0.039
定襄	-0.038	-0.014	-0.049	-0.027	0.019	-0.034	-0.034	-0.011	-0.074	-0.089
原平	0.165	0.133	0.072	0.038	0.015	0.006	0.096	0.027	-0.083	-0.429
五台	0.201	0.247	0.173	0.149	0.126	0.137	0.137	0.126	0.035	-0.015
代县	0.317	0.267	0.234	0.210	0.194	0.233	0.304	0.216	0.217	0.151
繁峙	0.429	0.374	0.331	0.309	0.371	0.304	0.326	0.297	0.264	0.133
宁武	0.399	0.416	0.413	0.386	0.345	0.293	0.343	0.314	0.179	0.180
静乐	0.289	0.280	0.258	0.304	0.276	0.245	0.201	0.205	0.054	0.042
神池	0.268	0.295	0.317	0.257	0.242	0.169	0.187	-0.034	-0.279	-0.283
五寨	0.287	-0.038	0.077	0.092	0.001	-0.127	-0.041	-0.274	-0.630	-0.571
岢岚	0.448	0.404	0.324	0.312	0.261	0.232	0.307	0.146	-0.038	-0.183
河曲	0.259	0.226	0.307	0.259	0.191	0.079	0.309	0.134	0.073	0.081
保德	0.266	0.266	0.428	0.214	0.171	0.198	0.338	0.153	0.014	-0.014
偏关	0.285	0.234	0.285	0.244	0.232	0.176	0.380	0.179	-0.090	-0.152

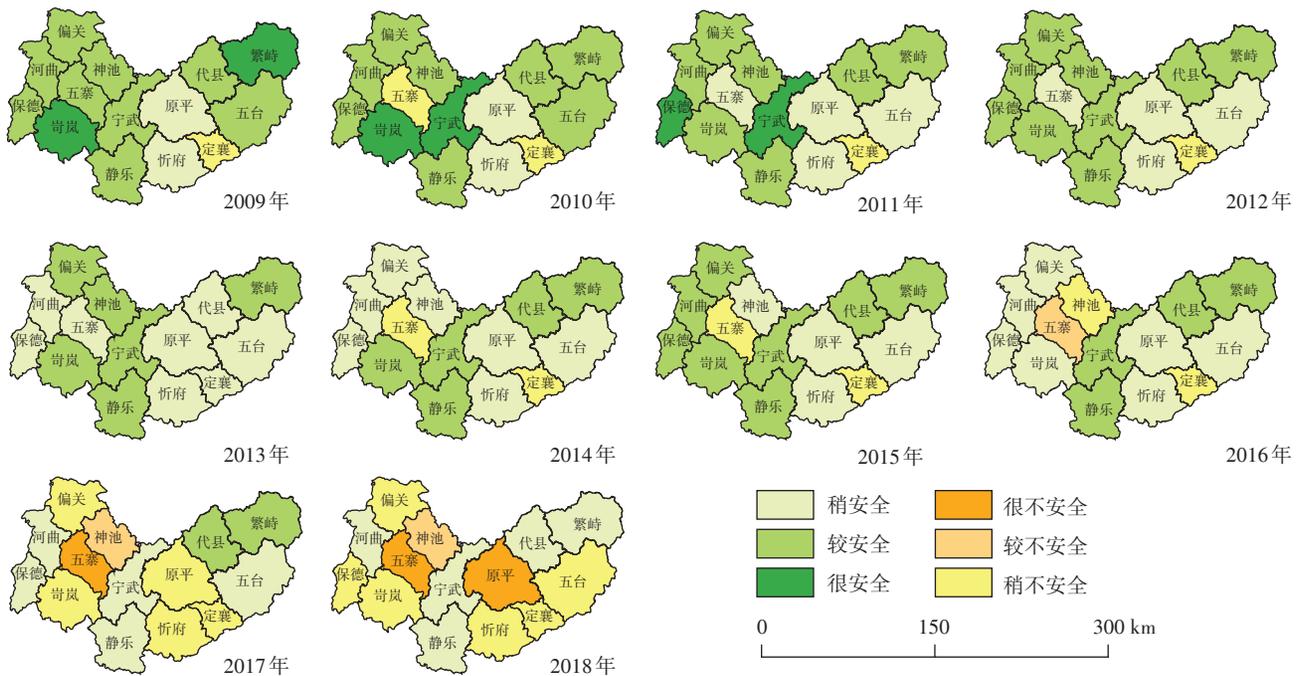


图3 2009—2018年忻州市综合安全指数空间分布

Figure 3 Spatial distribution of comprehensive safety index of Xinzhou City from 2009 to 2018

者变化均较大。

### 2.3 忻州市耕地安全性影响因素分析

耕地生态安全状态是不同影响因素共同作用的结果。本研究基于生态足迹模型进行测算,综合安全指数的大小与人均生态足迹和人均生态承载力直接相关,因此可以从影响人均生态足迹和人均生态承载力的角度寻找合适的变量进行回归分析。在较大时间尺度上,耕地生态足迹受到自然因素和社会因素的双重影响。小的时间尺度上,自然因素的作用较弱,本研究时间序列短,样本数量较少,因此暂不考虑自然因素<sup>[16]</sup>。本研究自变量的选取考虑了以下五个方面:第一,人口数量对耕地生物资源的消耗起直接作用,对生态需求量也具有决定性作用,而且农村人口和城镇人口对资源的消耗不同,故选择常住人口和城镇人口作为自变量;第二,生态环境是经济发展的基础,经济发展会对生态环境产生影响,因此选择人均GDP和城镇化率分别表示经济状况和经济发展水平;第三,第一产业占GDP的比例可以反映农业结构;第四,农业投入-产出结构中,以农用化肥施用量和农业机械总动力反映农业投入,以人均粮食作物产量和粮食作物单产反映农业产出;第五,以农作物耕种面积代表农业资源禀赋。利用SPSS对上述自变量作Pearson相关性分析,结果如表5所示。

根据表5各变量的显著性可知,选取的自变量均通过5%和1%的显著性水平检验,因此这些变量均对综合安全指数产生影响。根据相关系数可知,常住人口、城镇人口、人均GDP、城镇化率、人均粮食作物产量、粮食作物单产和农用化肥施用量与综合安全指数呈负相关关系。农作物耕种面积、第一产业占GDP比例和农业机械总动力与综合安全指数呈正相关关系。因此,人口、经济、产业结构、农业投入-产出和资源禀赋对耕地安全均有影响。

表5 Pearson相关性分析结果

Table 5 Results of Pearson correlation analysis

自变量 Variable	r	P
常住人口	-0.851	0.002**
城镇人口	-0.904	<0.001**
人均GDP	-0.941	<0.001**
城镇化率	-0.905	<0.001**
第一产业占GDP比例	0.912	<0.001**
农用化肥施用量	-0.885	0.001**
农业机械总动力	0.639	0.047*
人均粮食作物产量	-0.864	0.001**
粮食作物单产	-0.937	<0.001**
农作物耕种面积	0.763	0.010*

注:“\*”表示显著相关( $P<0.05$ ),“\*\*”表示极显著相关( $P<0.01$ )。

Notes: “\*” means significant correlation ( $P<0.05$ ), “\*\*” means extremely correlation ( $P<0.01$ ).

影响耕地安全性的因素之间是相互作用的,变量之间存在多重共线性,因此利用逐步多元线性回归分析对10个因素进行筛选,找出多种因素共同作用下影响忻州市耕地安全性的因素,结果见表6。逐步回归分析结果显示,调整 $R^2=0.956$ , $F=99.530$ ,显著性 $P<0.001$ ,通过 $F$ 检验,表明方程拟合度好。由表6可知,系数估计值均通过 $t$ 检验,在1%水平上极显著相关。

表6显示,2009—2018年忻州市耕地安全的主要影响因素为人均GDP和农业机械总动力,影响最大的因素是人均GDP,其次是农业机械总动力。人均GDP与耕地安全性呈负相关,偏回归系数为-2.737。人均GDP反映一个地区的经济发展水平,人均GDP增加,造成耕地生态环境破坏,耕地安全性降低,不利于耕地的长久健康发展。2009—2018年忻州市人均GDP增加,从1.13万元增加到3.12万元,10年间增加了1.99万元,随着经济发展和城镇发展,用地需求增加,耕地面积减少,耕地承载力降低,耕地生态安全性受到威胁。

农业机械总动力与耕地安全性呈正相关,偏回归系数为1.458。农业机械总动力反映一个地区农业投入情况,农业机械总动力增加,农业现代化水平提高,耕地产出和耕地质量得到提高,耕地可以得到更好的休养,人为破坏减少,耕地安全性增强,有利于耕地可持续发展。忻州市2009—2018年农业机械总动力从200万kW减少到160万kW,农业机械投入减少在一定程度上阻碍了农业现代化水平的提高,耕地产出和质量得不到保证,低效率的农业方式对于耕地是一种破坏,不利于耕地安全,高效率的农业方式对于耕地的可持续发展更为有利。

### 3 讨论

在同类型研究中,韦燕飞等<sup>[28]</sup>以广西的49个国家级和自治区级贫困县为研究区,选取2014、2015、2016年为节点,基于生态足迹模型,收集稻谷、糖料

和油料的总产量数据计算耕地生态足迹,通过遥感影像解译得到耕地面积并测算得到耕地生态承载力,供需平衡指数定义为人均生态足迹与人居生态承载力的比值,利用供需平衡指数来评价贫困县的耕地承载力供需平衡状态和耕地生态安全,并分析其驱动因素。结果表明,广西贫困地区耕地生态承载力供需在时间尺度上呈现出时间差异性,在空间尺度上呈现出区域差异性和空间不平衡性。影响广西贫困县耕地生态承载力供需平衡的驱动因素是自然地理因素、社会经济因素和政策因素三大类。本研究同样基于生态足迹模型,测算忻州市及14个县(市、区)的生态足迹及生态承载力。与之对比发现,本研究中忻州市耕地综合安全指数同样表现出时间上的差异性和空间上的不平衡性及区域差异性,东、西部高,中间低。对选取的社会经济因素进行逐步多元线性回归分析,结果显示人均GDP和农业机械总动力是主要影响因素。两项研究均表明,经济因素对贫困地区耕地生态安全的影响显著。

根据山西省主体功能区规划,国家级重点开发区包括忻府区,国家级重点生态功能区包括岢岚、保德、五寨、河曲、偏关和神池,省级重点生态功能区包括静乐、宁武、繁峙和五台,山西省限制开发区域(农产品主产区)包括定襄、原平和代县<sup>[29]</sup>。基于本研究结果,忻府区应做好忻州市的经济领军者,支撑全市的经济发展。岢岚、保德、五寨、河曲、偏关和神池6个县继续实行点状耕地模式,在农田生态环境得到保证的情况下,对低产的耕地进行改良,同时发展节水农业;可以适当发展林果业,条件满足的情况下建立农产品加工产业,促进农业增收。静乐和宁武河谷盆地主要生态功能是保护汾河源头的生态环境,为汾河中下游农业提供良好的灌溉水源。五台山位于繁峙和五台,是生态环境保护的重点区域,应注重保护好林地和草地,增强水源涵养和水土保持功能。定襄、原平和代县作为重要的农产品生产地,需要对耕地进行整理,改良低产耕地,提高耕地质量和产量。此外,改进农

表6 逐步多元线性回归分析结果

Table 6 Results of stepwise multiple linear regression analysis

变量 Variable	非标准化系数 Non-standardized coefficient		标准化系数 Standardized coefficient	$t$	$P$	共线性统计量 Collinearity statistics	
	回归系数 Regression coefficient ( $B$ )	标准误差 Standard error				容差 Tolerance	VIF
常量	2.279	0.518	—	4.439	0.003	—	—
人均GDP	-2.737	0.255	-0.815	-10.719	<0.001	0.839	1.193
农业机械总动力	1.458	0.356	0.311	4.094	0.005	0.839	1.193

产品耕种模式、发展优势农产品、建立农产品产业基地、提高农产品产业化水平也是优化耕地使用方式、降低耕地安全风险的重要途径。

#### 4 结论

(1)对忻州市及14个县(市、区)耕地安全性进行时间变化分析可知,2009—2018年忻州市综合安全指数呈现出时间差异性,整体呈下降趋势;不同县(市、区)下降程度不同,原平和五寨下降明显。

(2)利用ArcGIS空间分析技术对忻州市14个县(市、区)耕地安全性进行空间分析可知,综合安全性表现为空间上的不平衡性和区域差异性,综合安全等级趋向于不安全,不安全县(市、区)增多,东、西部综合安全性低于中部,向不可持续方向发展。

(3)相关性分析结果表明,人口、经济、产业结构、农业投入与产出和资源禀赋对忻州市耕地安全均有影响。逐步多元线性回归结果表明,对忻州市耕地安全性影响最大的因素是人均GDP,农业机械总动力的影响次之,人均GDP增加和农业机械总动力下降造成忻州市耕地安全性下降。

#### 参考文献:

- [1] 封志明. 中国未来人口发展的粮食安全与耕地保障[J]. 人口研究, 2007, 31(2): 15-29. FENG Z M. Future food security and arable land guarantee for population development in China[J]. *Population Research*, 2007, 31(2): 15-29.
- [2] 许国平. 中国土地资源安全评价研究进展及展望[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 276-279, 284. XU G P. New progress and its prospects of evaluation on research for land resources security in China[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2012, 19(2): 276-279, 284.
- [3] 张国瑞, 苏发强. 忻州市耕地保护问题研究[J]. 黑龙江农业科学, 2017(8): 98-100. ZHANG G R, SU F Q. Research on problem of cultivated land protection in Xinzhou City[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2017(8): 98-100.
- [4] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 121-130.
- [5] 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态足迹的概念及计算模型[J]. 生态经济, 2000(10): 8-10. ZHANG Z Q, XU Z M, CHENG G D. The concept of ecological footprints' and computer models[J]. *Ecological Economy*, 2000(10): 8-10.
- [6] 赵鹏宇, 步秀芹, 崔婧, 等. 2004—2013年忻州市生态足迹和承载力变化[J]. 水土保持研究, 2017, 24(4): 373-378. ZHAO P Y, BU X Q, CUI Q, et al. Change in the ecological footprint and carrying capacity in Xinzhou from 2004 to 2013[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2017, 24(4): 373-378.
- [7] 赵鹏宇, 郭劲松, 刘秀丽, 等. 基于生态足迹模型修正的忻州市生态承载力空间差异变化[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(1): 41-50. ZHAO P Y, GUO J S, LIU X L, et al. Spatial differences of ecological carrying capacity in Xinzhou City based on the ecological footprint method[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2019, 37(1): 41-50.
- [8] 宋林韩, 金鹏, 吴桐, 等. 陕北黄土高原耕地生态安全的时空格局[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(12): 249-257. SONG L H, JIN P, WU T, et al. Temporal and spatial patterns of ecological security of cultivated land in the loess plateau of northern Shaanxi[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(12): 249-257.
- [9] 黎怡姗, 吴大放, 刘艳艳. 耕地生态风险评价研究热点与趋势——基于CiteSpace可视化分析[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(4): 502-512. LI Y S, WU D F, LIU Y Y. Hot spots and trends of cultivated land ecological risk evaluation: Visualization analysis based on CiteSpace[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(4): 502-512.
- [10] 魏淇茏, 刘新平. 新疆耕地生态安全动态变化分析[J]. 农业与技术, 2020, 40(4): 5-7. WEI Q L, LIU X P. Analysis on the dynamic changes of Xinjiang farmland ecological security[J]. *Agriculture and Technology*, 2020, 40(4): 5-7.
- [11] 李莉鸿, 李中才. 基于PSR方法的山东省耕地生态安全评价[J]. 国土与自然资源研究, 2020(3): 23-24. LI L H, LI Z C. Ecological security assessment of cultivated land in Shandong Province based on PSR model[J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2020(3): 23-24.
- [12] 樊鹏飞, 孟悦, 梁流涛, 等. 耕地生态安全评价及时空格局分析——以传统农业区河南省周口市为例[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2017, 47(1): 16-23. FAN P F, MENG Y, LIANG L T, et al. Eco-security evaluation of cultivated land in traditional agriculture area and its spatial and temporal pattern analysis[J]. *Journal of Henan University(Natural Science)*, 2017, 47(1): 16-23.
- [13] 赵晓园, 李学坤. 云南省耕地生态安全时空格局及障碍因子分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(11): 19-24, 128. ZHAO X Y, LI X K. Temporal and spatial patterns and barrier factors fo cultivated ecological security in Yunnan Province[T]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(11): 19-24, 128.
- [14] 贾书楠, 孙睿, 夏显力, 等. 西安市耕地生态安全测度及影响因素分析[J]. 水土保持研究, 2016, 23(3): 164-169. JIA S N, SUN R, XIA X L, et al. Estimation on the cultivated land and ecological security of Xi'an and analysis on its influence factors[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(3): 164-169.
- [15] 赵先贵, 肖玲, 马彩虹, 等. 基于生态足迹的可持续评价指标体系的构建[J]. 中国农业科学, 2006, 39(6): 1202-1207. ZHAO X G, XIAO L, MA C H, et al. Design of sustainability indicators system based on ecological footprint[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(6): 1202-1207.
- [16] 赵文晖, 宁雅楠, 杨伟州, 等. 基于改进生态足迹模型的保定市耕地生态安全时空变异分析[J]. 土壤通报, 2015, 46(4): 796-802. ZHAO W H, NING Y N, YANG W Z, et al. Analysis on spatial-temporal variation of the ecological security levels of cultivated land in Baoding City based on improved ecological footprint model[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2015, 46(4): 796-802.
- [17] 白立佳, 李新旺, 门明新. 基于改进生态足迹模型的耕地可持续利

- 用研究——以怀来县为例[J]. 生态经济(学术版), 2012(1):6-11.
- BAI L J, LI X W, MEN M X. Study on sustainable utilization of cultivated land resources based on improved ecological footprint model: A case of Huailai County[J]. *Ecological Economy (Academic Edition)*, 2012(1):6-11.
- [18] 王连超, 赵鹏飞. 2001—2013年河南省耕地生态安全评价及障碍因子分析[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(21):192-195. WANG L C, ZHAO P F. DPSIR-based evaluation on ecological security of cultivated land in Henan Province[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2016, 44(21):192-195.
- [19] 赵文晖, 杨伟州, 王利香, 等. 基于可拓优度评价模型的耕地生态安全评价——以保定市为例[J]. 河南农业科学, 2015, 44(2):60-65. ZHAO W H, YANG W Z, WANG L X, et al. Assessment on cultivated land eco-security based on extension superiority evaluation model: A case study of Baoding City[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2015, 44(2):60-65.
- [20] 忻州市人民政府. 忻州概况[EB/OL]. (2017-02-03)[2020-09-22]. [https://www.sxxz.gov.cn/zjxz/szggk/201702/t20170203\\_97837.html](https://www.sxxz.gov.cn/zjxz/szggk/201702/t20170203_97837.html). Xinzhou City People's Government. Xinzhou overview[EB/OL]. (2017-02-03)[2020-09-22]. [https://www.sxxz.gov.cn/zjxz/szggk/201702/t20170203\\_97837.html](https://www.sxxz.gov.cn/zjxz/szggk/201702/t20170203_97837.html).
- [21] 国务院扶贫开发领导小组办公室. 全国832个贫困县名单[EB/OL]. (2014-12-23)[2020-09-22]. [http://www.cpad.gov.cn/art/2014/12/23/art\\_343\\_981.html](http://www.cpad.gov.cn/art/2014/12/23/art_343_981.html). Poverty Alleviation and Development Leading Group Office of the State Council. List of 832 poor counties in China[EB/OL]. (2014-12-23)[2020-09-22]. [http://www.cpad.gov.cn/art/2014/12/23/art\\_343\\_981.html](http://www.cpad.gov.cn/art/2014/12/23/art_343_981.html).
- [22] 杨屹, 加涛. 21世纪以来陕西生态足迹和承载力变化[J]. 生态学报, 2015, 35(24):7987-7997. YANG Y, JIA T. The 21st Century ecological carrying capacity and footprint in Shaanxi Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(24):7987-7997.
- [23] 联合国粮食及农业组织. 联合国粮农组织统计数据库[DB/OL]. [2020-09-22]. <http://www.fao.org/faostat/zh/#data/QL>. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO statistical data-base[DB/OL]. [2020-09-22]. <http://www.fao.org/faostat/zh/#data/QL>.
- [24] 任桂镇, 赵先贵, 巢世军, 等. 基于耕地生态压力指数的中国耕地压力时空差异分析[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(10):37-41. REN G Z, ZHAO X G, CHAO S J, et al. Temporal-spatial analysis of cultivated land pressure in China based on the ecological tension indexes of cultivated land[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(10):37-41.
- [25] 刘钦普, 林振山. 江苏省耕地利用可持续性动态分析及预测[J]. 自然资源学报, 2009, 24(4):594-601. LIU Q P, LIN Z S. Dynamic analysis and prediction on ecological footprint of Jiangsu's cropland[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(4):594-601.
- [26] 禹洋春, 刁承泰, 施开放, 等. 基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态压力变化研究[J]. 广东农业科学, 2014, 41(4):227-232, 236. YU Y C, DIAO C T, SHI K F, et al. Variation of cultivated land ecological pressure in Chongqing City based on cultivated land ecological footprint method[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(4):227-232, 236.
- [27] 杨秋, 谢保鹏, 蔡立群, 等. 甘肃省耕地资源生态安全评价[J]. 甘肃农业大学学报, 2012, 47(4):122-126. YANG Q, XIE B P, CAI L Q, et al. Ecological security appraisal of cultivated land resource of Gansu Province[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2012, 47(4):122-126.
- [28] 韦燕飞, 黄莹, 冯文靖. 广西贫困地区耕地生态承载力供需平衡空间特征分析[J]. 广东土地科学, 2018, 17(5):32-42. WEI Y F, HUANG Y, FENG W J. Spatial characteristics of supply and demand balance of cultivated land's ecological carrying capacity in poor areas of Guangxi[J]. *Guangdong Land Science*, 2018, 17(5):32-42.
- [29] 山西省人民政府. 山西省主体功能区规划[EB/OL]. (2014-04-10)[2020-09-22]. <http://www.doc88.com/p-6761179135407.html>. The People's Government of Shanxi Province. Shanxi Province major function zone planning[EB/OL]. (2014-04-10)[2020-09-22]. <http://www.doc88.com/p-6761179135407.html>.