

赵雪雁,高志玉,马艳艳,等.2005~2014年中国农村水贫困与农业现代化的时空耦合研究[J].地理科学,2018,38(5):717-726.[Zhao Xueyan, Gao Zhiyu, Ma Yanyan et al. Spatio-temporal Coupling Between Rural Water Poverty and Agricultural Modernization in China from 2005 to 2014. Scientia Geographica Sinica,2018,38(5): 717-726.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2018.05.009

## 2005~2014年中国农村水贫困与 农业现代化的时空耦合研究

赵雪雁<sup>1</sup>,高志玉<sup>1</sup>,马艳艳<sup>1</sup>,陈欢欢<sup>1</sup>,薛冰<sup>2</sup>

(1.西北师范大学地理与环境科学学院,甘肃 兰州 730070;2.中国科学院沈阳应用生态研究所,辽宁 沈阳 110016)

**摘要:**水贫困与农业现代化问题是影响国家安全与经济发展的两大重要问题,研究二者的耦合关系有助于促进中国资源环境与经济可持续发展。以中国30个省(市、自治区)为研究单元(不含西藏和港澳台),建立农村水贫困和农业现代化水平评价指标体系,采用耦合协调度模型,评估农村水贫困与农业现代化的耦合协调性,并利用空间自相关方法分析2005~2014年农村水贫困、农业现代化及二者耦合协调关系的时空变化。研究结果表明:①2005~2014年中国农村水贫困程度降低14.68%,西部降幅高于东、中部,且农村水贫困程度一直保持“中-西-东”递减态势;②农业现代化水平提高5.50%,西部地区增幅高达26.88%,但始终保持着“东-中-西”阶梯式递减态势;③农村水贫困与农业现代化水平协调度的区域差异趋于减小,基尼系数降低31.62%,但协调度一直保持着“东-中-西”阶梯式递减趋势;④农村水贫困与农业现代化水平协调度的冷点区呈收缩态势,热点区呈扩张态势。最后,提出了降低农村水贫困、提高农业现代化水平及二者协调性的建议。

**关键词:**农村水贫困;农业现代化;时空耦合;耦合协调度模型;中国

**中图分类号:**K901;F303.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2018)05-0717-10

水是人类生存和经济发展不可取代的重要资源,水资源问题已成为制约和影响世界许多国家社会经济可持续发展的战略性问题。随着人口增长与经济活动的扩大,用水需求将不断增加,但世界上大部分地区的地表水和地下水供应量却在急剧下降<sup>[1]</sup>。其中,淡水资源压力主要来源于灌溉和粮食生产,全球农业用水量占淡水使用量的比例高达70%,预计2050年农业对淡水资源的需求将增加19%<sup>[2]</sup>,农业生产的扩大将进一步加大淡水资源压力。中国作为一个农业大国,水资源供给不足与农业发展需求之间的矛盾使中国的生态安全、粮食安全面临严峻挑战,严重制约着中国的社会经济可持续发展。因此,当前急需厘清中国水贫困和农业现代化之间的耦合关系。

国内外学者就水贫困、农业现代化及两者之间

的关系的研究已有相当丰富的成果,在水贫困研究方面,国外研究主要集中在水贫困的评价及定义<sup>[3-5]</sup>、水贫困(WPI)模型应用<sup>[6-8]</sup>和水贫困模型改进<sup>[9]</sup>等方面。国内学者则在介绍水贫困评价方法<sup>[10]</sup>的基础上,通过建立指标体系研究不同尺度的水贫困程度<sup>[11,12]</sup>、水贫困与经济贫困<sup>[13]</sup>之间的耦合协调关系等。在农业现代化方面,目前国内学者对农业现代化的见解存在差异<sup>[14,15]</sup>,研究主要集中在农业现代化发展水平的测算<sup>[16]</sup>、农业现代化发展水平的空间格局变化<sup>[17]</sup>、农业现代化与工业化、信息化、城镇化同步发展的协调性<sup>[18-20]</sup>等方面。对于水贫困与农业现代化两者的关系研究,国内外则主要集中在农业水资源利用率与可持续发展<sup>[21-23]</sup>、农业水资源管理<sup>[24,25]</sup>、水-农业-贫困的关系研究<sup>[26,27]</sup>等方面。

总体来看,已有研究主要集中于水贫困评估

**收稿日期:**2017-05-10;**修订日期:**2018-01-15

**基金项目:**中国科学院A类战略性先导科技专项(XDA19040502)、国家自然科学基金项目(41661115)、中国科学院内陆河流域生态水文重点实验室开放基金(KLEIRB-2S-16-03)资助。[Foundation: Category of Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences (XDA19040502), National Natural Science Foundation of China (41661115), Key Laboratory of Ecohydrology of Inland River Basin, Chinese Academy of Sciences (KLEIRB-2S-16-03).]

**作者简介:**赵雪雁(1971-),女,甘肃武都人,教授,主要从事生态经济研究。E-mail: zhaoxy@nwnu.edu.cn

及减缓对策、农业现代化水平评估及相关政策制定、水资源利用与农业发展关系等方面,而对水贫困与农业现代化耦合关系及其时空变化缺乏深入研究。联合国第58届大会宣布2005~2015年为“生命之水国际行动十年”。因此,本文以2005~2014年作为研究时段,选择2005、2009、2014年3个时间节点,以中国30个省级行政单位作为基本空间单元(不含香港、澳门、台湾和西藏),构建农村水贫困和农业现代化水平评价指标体系,采用耦合协调度模型以及空间自相关分析等方法,分析中国农村水贫困与农业现代化水平的时空格局变化以及二者耦合协调关系的时空格局变化,旨在为中国制定水资源利用和农业发展政策提供依据和借鉴。

## 1 数据来源与方法

### 1.1 数据来源及处理

表征农村水贫困程度的人均水资源量、人均供水量、自来水受益人口比例、节水灌溉面积比重、农村人均纯收入、劳动力受教育年限、人均生活用水量、水的生产力、农药使用强度、化肥使用强度10个指标<sup>[7,13]</sup>以及表征农业现代化水平的农业劳均经济产出、农业劳均主要农产品产量、农业机械化程度、农业灌溉指数<sup>[28]</sup>4个指标的数据分别来自于2006~2015年的《中国统计年鉴》<sup>[29]</sup>《中国农村统计年鉴》<sup>[30]</sup>《中国环境统计年鉴》<sup>[31]</sup>《中国水利统计年鉴》<sup>[32]</sup>《中国卫生和计划生育统计年鉴》<sup>[33]</sup>。同时,利用相应年份的全国各省统计年鉴对部分省份的缺失值进行了插补,最终获得30个省、市、自治区(香港、澳门、台湾与西藏除外)的数据。为消除不同量纲数据对综合评价的影响,首先对数据进行标准化处理。本文采用极值法对上述指标进行标准化处理,具体方法如下:

$$\text{正向指标: } Z_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_{i,\max}} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } Z_{ij} = \frac{X_{i,\min}}{X_{ij}} \quad (2)$$

式中, $Z_{ij}$ 为j省*i*指标的标准化值; $X_{ij}$ 为j省*i*指标原始值; $X_{i,\max}$ 、 $X_{i,\min}$ 分别为*i*指标的最大值与最小值。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 水贫困测度

国际上常用水贫困指数(WPI)评价国家或地区的相对缺水程度,以反映区域水资源的本底状况和工程、管理、经济、人类福利与环境情况<sup>[7]</sup>,它

包括资源、设施、能力、使用和环境5个维度。本文用人均水资源量、人均供水量表征农村水资源禀赋条件,用自来水受益人口比例与节水灌溉面积比重表征农村用水设施情况,用农村人均纯收入与劳动力受教育年限表征农村居民的用水能力,用水的生产力与人均生活用水量表征农村使用水的现状,用农药使用强度与化肥使用强度表征农田水环境污染情况。计算公式如下:

$$WPI = \frac{w_r R + w_a A + w_c C + w_u U + w_e E}{w_r + w_a + w_c + w_u + w_e} \quad (3)$$

式中,WPI为水贫困指数, $R$ 、 $A$ 、 $C$ 、 $U$ 、 $E$ 分别代表资源、设施、能力、使用和环境5个维度; $w_i$ 表示5个维度的权重,各指标的权重用熵值法<sup>[34]</sup>计算,WPI值越大,表明水贫困程度越小。

### 1.2.2 农业现代化水平指数

采用农业劳均经济产出、农业劳均主要农产品产量、农业机械化程度、农业灌溉指数指标测度农业现代化水平。计算公式如下:

$$N(n) = \sum_{i=1}^m \delta_i n_i \quad (4)$$

式中, $N(n)$ 表示农业现代化水平指数; $n_i$ 表示第*i*个农业现代化水平指标的标准化值; $\delta_i$ 表示权重, $m$ 表示农业现代化水平指标数量的上界,各指标的权重用熵值法<sup>[34]</sup>计算, $N(n)$ 值越大,表明农业现代化水平越高。

### 1.2.3 水贫困与农业现代化耦合协调度测度

耦合度是指耦合系统中各子系统之间的相互作用、彼此影响的强度<sup>[35]</sup>,协调度是指系统演变过程中内部各要素相互和谐一致的属性<sup>[36]</sup>,本文使用的协调发展模型<sup>[37]</sup>,计算公式如下:

$$C = f(x)^k \times g(y)^k / [\alpha f(x) + \beta g(y)]^{2k} \quad (5)$$

$$T = \alpha f(x) + \beta g(y) \quad (6)$$

$$D = (C \times T)^{1/2} \quad (7)$$

式中, $f(x)$ 为农村水贫困指数, $g(y)$ 为农业现代化水平指数, $C$ 为耦合度, $T$ 为农村水贫困与农业现代化综合发展指数, $D$ 为协调度。一般情况下, $k$ 为调节系数, $k \in [2, 5]$ ,本文取 $k=2$ ;  $\alpha$ 和 $\beta$ 为待定系数,由于解决农村水贫困与促进农业现代化水平提升同等重要,故取 $\alpha=\beta=0.5$ 。耦合度 $C \in [0, 1]$ ,越趋近于1,耦合度越好,表明两者趋向新的有序结构,反之,向无序发展。根据 $f(x)$ 与 $g(y)$ 数值的规律,协调度值也在0~1之间<sup>[36]</sup>,且协调度数值越大,农村水贫困程度越低、农业现代化水平越高且两

者之间相互促进,反之亦然。

#### 1.2.4 基尼系数

借鉴相关研究<sup>[38]</sup>,本文利用协调度基尼系数分析农村水贫困与农业现代化协调度的区域差异。计算公式如下:

$$G_D = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |D_j - D_i|}{n(n-1)} \right] / 2u \quad (8)$$

式中, $G_D$ 表示协调度基尼系数, $D_j, D_i$ 代表每一年的协调度, $n$ 为省份的个数, $u$ 代表各省份当年的协调度平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 中国农村水贫困的时空格局变化

#### 2.1.1 农村水贫困的变化趋势

2005~2014年中国农村水贫困程度总体呈缓慢下降趋势,水贫困指数从0.336增加到0.386,水贫困程度降低14.68%(图1)。究其原因,主要在于“十五”时期以来,中央高度重视水利工作,把解决水资源问题放在重要位置,作出了一系列重大部署,水利投入始终保持较高水平。但期间因一些地区发生了历史罕见的降雨、台风、干旱等自然灾害,水贫困程度有所波动。其中,2005~2008年中国水贫困指数由0.336增加到0.350,水贫困程度降低4.22%,下降幅度较小;2009~2014年中国水贫困指数由0.339增加到0.385,水贫困程度降低13.69%。但此期间,由于2009年的降水量比常年值少8.0%,地表水资源量比常年值少13.4%,水资源总量比常年值少12.7%,故与2008年相比,2009年的水贫困程度增加了3.22%;因2011年冬麦区、长江中下游和西南地区接连出现3次大范围严重

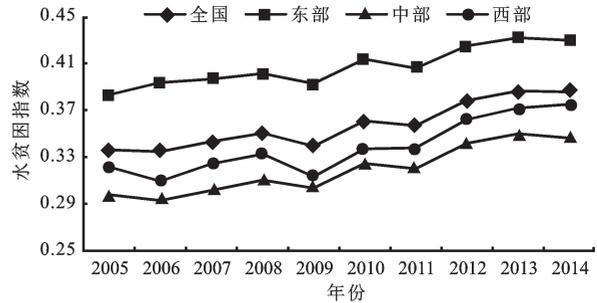


图1 2005~2014年中国农村水贫困指数变化趋势  
Fig.1 The change trend of rural water poverty index in China from 2005 to 2014

干旱,故与2010年相比,2011年的水贫困程度也增加了1.12%;此后,随着水资源管理制度和水利基础设施的不断完善,2014年水贫困指数增加为0.385,与2011年相比,水贫困程度降低8.03%。总体来看,2005~2014年间东、中、西部地区<sup>①</sup>水贫困程度均呈下降趋势,其中,西部降幅最大(16.7%),中、东部降幅次之,分别为16.21%、12.2%,水贫困程度一直保持着“中-西-东”递减的趋势。

#### 2.1.2 农村水贫困的空间分布变化

选取2005年、2009年、2014年的水贫困指数,利用ArcGIS软件,采用自然断点分级法将中国30个省(市、自治区)划分为水富裕地区、较富裕地区、中等贫困地区、较贫困地区、严重贫困地区5种类型(图2)。

2005~2014年中国农村水贫困程度空间分布变化较小,总体上东北地区 and 西北地区为水贫困区,而东部沿海地区为水富裕地区,有个别省份出现特殊情况。① 2005~2009年,有20%的省份水贫

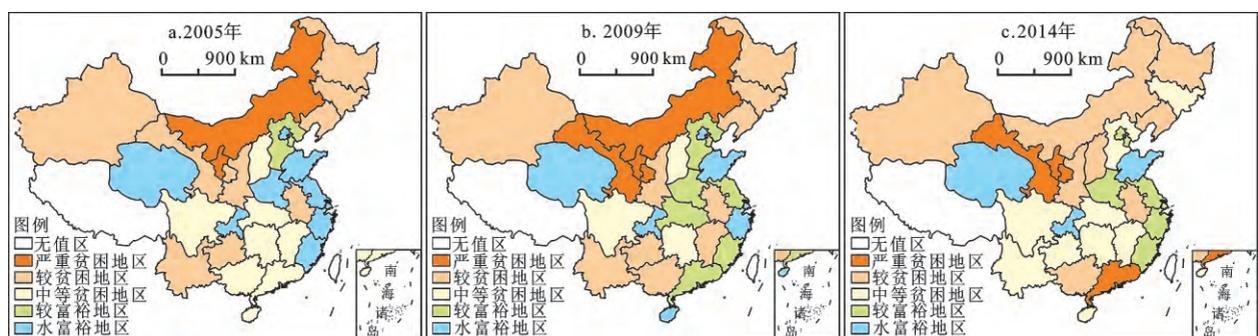


图2 中国农村水贫困的空间分布

Fig.2 The spatial distribution of rural water poverty in China

① 东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南;中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南;西部地区为内蒙古、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、广西。

困程度增加,10%的省份水贫困程度降低。其中,因青海省为长江、黄河、澜沧江的源头,人均水资源量高,一直处于水富裕地区;而内蒙古因地处干旱、半干旱区,随着经济的快速发展、人口的增长、城市规模的扩大,水资源紧缺程度日益严重,使其一直处于严重水贫困地区。② 2009~2014年,有16.67%的省份水贫困程度降低,23.33%的省份水贫困程度增加。期间,内蒙古虽农业用水比重较高(2011年农田灌溉用水量占用水总量的78.85%),但2007年以来,该区启动了农业灌溉水利用率测算工作,着力提高农业灌溉水效率,从而使该区水贫困程度呈下降趋势;而海南与广西因中小流域局部性洪涝灾害和台风暴雨灾害频繁发生,降雨量时空分布不均,个别地区的可利用水资源较为紧缺,从而使其水贫困程度呈加剧趋势。

### 2.1.3 农村水贫困的时空格局变化

基于2005年、2009年、2014年各省的农村水贫困指数,利用ArcGIS软件得到中国农村水贫困指数的Moran's  $I$ 值分别是0.101、0.019、0.002,且Moran's  $I$ 值的正态统计量 $Z$ 值的置信水平均大于0.01,说明2005~2014年间中国农村水贫困均呈正的空间自相关,即水贫困程度高的省区趋于集聚,水贫困程度低的省区也趋于集聚。从Moran's  $I$ 值的变化看,2005~2009年间水贫困的空间变化幅度较小,为0.082,2009~2014年间水贫困的空间变化幅度略有减小,为0.017,农村水贫困空间关系变化较小,说明该时期农村水贫困的空间关系趋于稳定。

为了体现局部空间信息,采用“冷点”“次冷点”“热点”“次热点”反映中国农村水贫困的局部空间关系(图3):① 2005~2009年,中国农村水贫困冷点区集中连片分布且未发生变化,其占省区总数的26.67%;热点区略有收缩,期间,黑-蒙-甘-青-陕-

川-渝形成稳定性冷点区,而苏-浙-赣-皖形成稳定性热点区。② 2009~2014年,中国农村水贫困的空间关系变化较大,冷点区扩大,其占省区总数的比重由26.67%上升到30.00%,呈现“T”型分布态势;热点区则由沿海地区向内陆延伸,次热区与次冷区大幅减少。期间,苏-浙-赣-皖-豫-鄂形成稳定性热点区,蒙-黑-川-青-甘-陕-渝形成稳定性冷点区。总体来看,2005~2014年中国农村水贫困的冷点区呈扩张态势,热点区基本不变。

## 2.2 农业现代化水平的时空格局变化

### 2.2.1 农业现代化水平的变化趋势

2005~2014年中国农业现代化水平总体呈缓慢增加趋势,增幅达5.50%(图4)。然而,东、中、西部地区的农业现代化水平变化趋势存在显著差异,其中,东部地区的农业现代化水平降幅达6.76%,而中、西部分别增加11.55%、26.88%。总体来看,2005~2014年东部各省的农业现代化水平均位于全国平均水平之上,而中、西部地区均位于全国平均水平之下,使得中国农业现代化水平始终保持着“东-中-西”阶梯式递减的趋势。

### 2.2.2 农业现代化水平的空间格局变化

选取2005年、2009年、2014年的农业现代化水平指数,利用ArcGIS软件,采用自然断点分级法将中国30个省(市、自治区)划分为高水平区、较高水平区、中等水平区、较低水平区、低水平区5种类型(图5)。

2005~2014年中国农业现代化水平整体变化较小,空间上呈“东-中-西”阶梯式递减的格局。其中,高水平与较高水平区集中在东部沿海和新疆,而甘肃、云南、贵州等省一直处于全国最低水平。具体来看,2005~2009年,有20%的省份向低等级省份转移,16.67%的省份向高等级省份转移。期间,因四川省加大了农业科技投资力度,从而使其农业

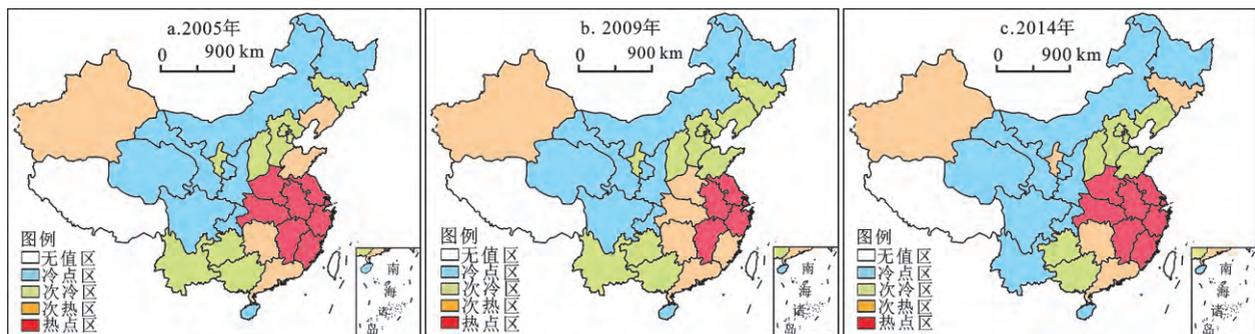


图3 中国农村水贫困的时空格局

Fig.3 The spatio-temporal dynamics of rural water poverty in China

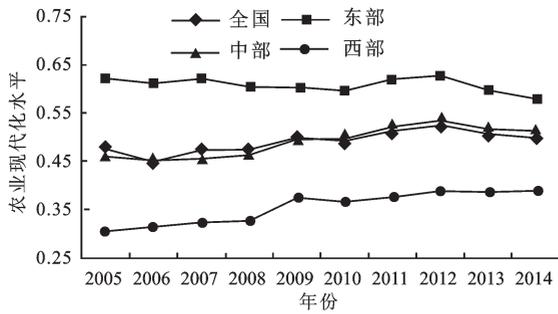


图4 2005~2014年中国农业现代化水平变化趋势

Fig.4 The change trend of agricultural modernization level in China from 2005 to 2014

现代化水平有所提高。2009~2014年,有6.67%的省份向高等级省份转移,使得高水平区、中等水平区扩张,43.33%的省份向低等级省份转移。期间,因黑龙江省全面推行现代农业综合配套改革试验,从而使其农业现代化水平有所提高。

### 2.2.3 农业现代化水平的时空格局变化

基于2005年、2009年、2014年各省的农业现代化水平指数,利用ArcGIS软件得到中国农业现代化指数的Moran's I值分别是0.281、0.232、0.153,且Moran's I值的正态统计量Z值的置信水平均大于0.01,说明2005~2014年间中国农业现代化均呈正的空间自相关,即农业现代化水平高的省区趋于集聚,农业现代化水平低的省区也趋于集聚。从Moran's I值的变化看,2005~2009年间农业现代化水平空间变化幅度较小,为0.049,2009~2014年间农业现代化水平空间变化幅度略有增大,为0.079,农业现代化水平的空间变化较大,说明该时期农业现代化水平的空间关系趋于不稳定。

进一步分析发现(图6):2005~2009年,中国农业现代化水平的空间关系变化较小,冷点区扩

张且向北移,热点区不变。其中,冷点区占省区总数的比重由20%增加到50%。期间,冷点区由内陆向南北方向大幅度延伸,冀-京-津-苏形成稳定性热点区。2009~2014年,中国农业现代化水平的空间关系变化较大,冷点区大幅度收缩,热点区扩张,次热区向东北地区扩张。其中,冷点区占省区总数的比重由50%降为10%。期间,吉-辽-沪-鲁-皖-苏-浙形成稳定性热点区,甘-川-渝形成稳定性冷点区。总体来看,2005~2014年中国农业现代化水平的冷点区呈收缩态势而热点区基本不变,在东部沿海地区形成稳定性热点区,而在西部形成稳定性冷点区,使中国农业现代化水平“东-中-西”阶梯式递减的分布格局更为显著。

## 2.3 农村水贫困与农业现代化水平的耦合协调度

### 2.3.1 农村水贫困与农业现代化水平的协调度时序变化

2005~2014年间中国农村水贫困与农业现代化水平的协调度在波动提高(图7),增幅为8.03%,且始终保持“东-中-西”阶梯式递减趋势。期间,东部地区的协调度增幅最小,为4.13%,但始终高于全国均值;中部地区的增幅居中,为7.54%,且始终低于全国均值;西部地区的增幅虽最大,为14.54%,但其协调度始终低于东、中部地区。

### 2.3.2 农村水贫困与农业现代化水平协调度的区域差异

从图8可以看出,2005~2014年间中国农村水贫困与农业现代化水平协调度的区域差异呈缩小趋势,其降幅达到31.62%,其中,东、中、西部地区的降幅分别为27.74%、5.84%、49.44%。具体来看,2005~2009年,水贫困与农业现代化水平协调度的基尼系数降幅为27.59%,但三大地带协调度的基尼系数变化趋势存在较大差异,其中,东、中部地

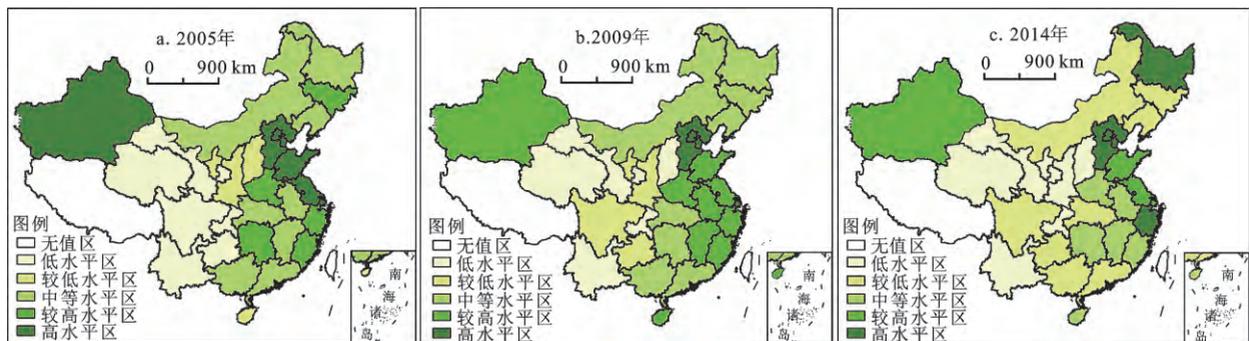


图5 中国农业现代化水平的空间分布

Fig.5 The spatial distribution of rural agricultural modernization level in China

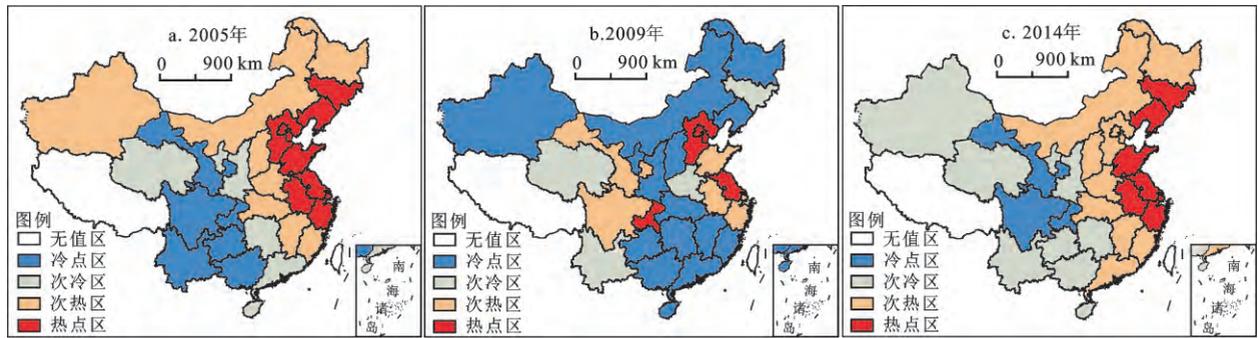


图6 中国农业现代化水平的时空格局

Fig.6 The spatial-temporal dynamics of rural agricultural modernization level in China

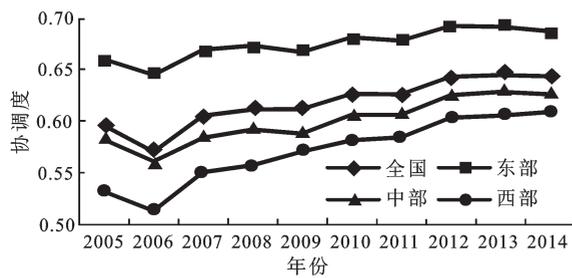


图7 水贫困与农业现代化水平协调度变化趋势

Fig.7 Change trend of water poverty and agricultural modernization level's coordination degree

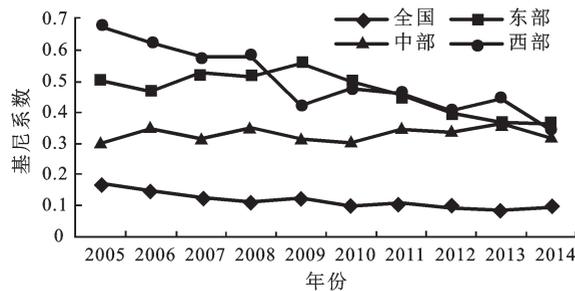


图8 水贫困与农业现代化水平协调度的区域差异

Fig.8 The regional difference of water poverty and agricultural modernization level's coordination degree

区的基尼系数趋于增加,增幅分别为11.00%、5.06%,而西部地区的基尼系数趋于减小,其降幅为37.70%。2010~2014年,中国农村水贫困与农业现代化水平协调度的基尼系数降幅为4.67%,东、中、西部地区协调度的区域差异演变情况仍存在较大差别,其中,东、西部地区协调度的基尼系数趋于下降,其降幅分别为27.31%、28.18%,而中部地区协调度的基尼系数趋于增加,其增幅为4.89%。究其原因,主要在于东、中、西部地区的农业发展水平及水资源状况存

在较大差异,且自“西部大开发”、“中部崛起”战略实施以来,中、西部地区的农业发展与水资源利用受到国家高度重视,故中、西部地区农业现代化水平与水贫困协调度的区域差异呈缩小趋势。

### 2.3.3 农村水贫困与农业现代化水平协调度的空间分布变化

选取2005年、2009年、2014年的协调度值,利用ArcGIS软件,采用自然断点分级法将中国30个省(市、自治区)分为高度协调区、较高协调区、中等协调区、较低协调区、低度协调区5种类型(图9)。

2005~2014年,农村水贫困与农业现代化水平的协调度一直维持着“东-中-西”阶梯式递减格局:2005~2009年,33.33%的省份的协调度向低等级转移,3.33%的省份向高等级转移。其中,有13.33%的省份由较低协调区转为中等协调区,中等协调区、较高协调区及高度协调区连为一片且呈倒“E”型,形成“北-中-南”对称式分布。期间,东部地区始终以较高协调区与高度协调区为主,二者占东部省份数的比例高达54.55%;中部地区以较低协调区为主,其占中部省份数的比重为50.00%;西部地区以较低协调区及低度协调区为主,二者占西部省份数的比例由63.64%升高为81.82%。2009~2014年,高度协调区、较高协调区及中等协调区的分布格局未发生根本性转变。期间,东部地区的协调度保持稳定;中部地区的协调度以较低协调区及中等协调区为主,二者占中部省份数的比重高达75.00%;西部地区则以低度协调区及较低协调区为主,其占西部省份数的比重为81.82%。

### 2.3.4 农村水贫困与农业现代化水平协调度的时空格局变化

基于各省2005年、2009年、2014年的协调度

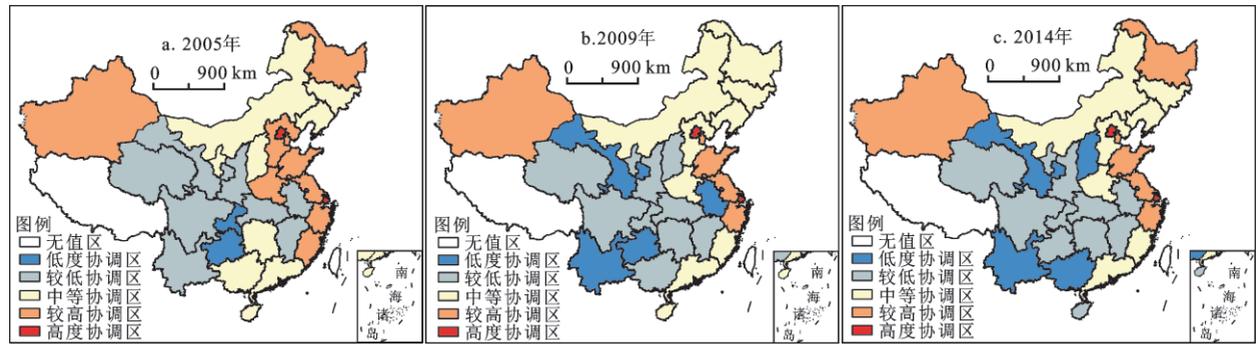


图9 农村水贫困与农业现代化水平协调度的空间分布

Fig.9 The spatial distribution of water poverty and agricultural modernization level's coordination degree in China

值,利用ArcGIS软件得到2005、2009、2014协调度的Moran's I值分别是0.237、0.125、0.131,且Moran's I值的正态统计量Z值的置信水平均大于0.01,说明2005~2014年间协调度均呈正的空间自相关,即协调度高的省区趋于集聚,协调度低的省区也趋于集聚。Moran's I值的变化中,2005~2009年间变幅为0.112,2009~2014年间变幅为0.006,协调度的空间关系变化较小,说明该时期农村水贫困与农业现代化水平的协调度趋于稳定。

进一步分析发现(图10):2005~2009年,农村水贫困与农业现代化协调度的空间关系变化较大,冷点区大幅度收缩,热点区扩张,次热区与次冷区略有扩张,冷点区占全国省份数的比重由23.33%降低到13.33%。期间,川-渝-贵-桂形成协调度的稳定性冷点区,吉-辽-冀-京-津-鲁-苏-沪-皖形成协调度的稳定性热点区。2009~2014年,农村水贫困与农业现代化水平协调度的空间关系变化较小,热点区由沿海地区向内陆小幅扩张且比重由30.00%升高为36.67%,冷点区向北移,比重由13.33%下降为10.00%,次热区与次冷区略有收

缩。期间,吉-辽-冀-京-津-鲁-豫-沪-苏-浙-皖形成协调度的稳定性热点区,甘-川-渝形成协调度的稳定性冷点区。总体来看,2005~2014年农村水贫困与农业现代化水平协调度的冷点区呈收缩态势,热点区呈扩张态势,且在西部形成了稳定性冷点,在东部沿海形成了稳定性热点,使协调度呈明显的“东-中-西”阶梯式递减的分布格局。

### 3 结论与建议

#### 3.1 结论

本文采用水贫困指数模型、农业现代化指数模型、耦合协调度模型以及空间自相关方法,分析了中国农村水贫困与农业现代化水平的时空耦合关系,得出以下结论:

1) 2005~2014年中国农村水贫困程度呈下降趋势,降幅为14.68%。其中,西部地区水贫困程度降幅达16.70%,高于东、中部,水贫困程度一直保持着“中-西-东”递减的趋势。期间,中国农村水贫困的冷点区呈扩张态势,热点区基本不变,且苏-浙-赣-皖-豫-鄂形成稳定性热点区,蒙-黑-

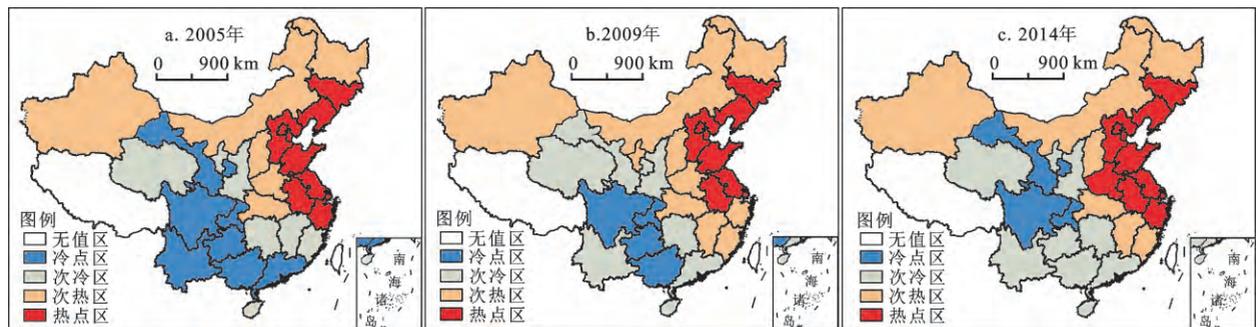


图10 中国农村水贫困与农业现代化水平协调度的时空格局

Fig.10 The spatial-temporal dynamics of water poverty and agricultural modernization level's coordination degree in China

川-青-甘-陕-渝形成稳定性冷点区。

2) 2005~2014年中国农业现代化水平总体呈缓慢增加的趋势,增幅达5.50%。其中,东部地区的农业现代化水平降低6.76%,而中部和西部分别提高11.55%、26.88%。期间,中国农业现代化水平始终保持着“东-中-西”阶梯式递减的分布格局。

3) 2005~2014年中国农村水贫困与农业现代化水平协调度的区域差异趋于缩小。期间,协调度的冷点区呈收缩态势,热点区呈扩张态势,且在西部形成了稳定性冷点,而在东部沿海地区形成了稳定性热点,协调度一直保持着“东-中-西”阶梯式递减的分布格局。

### 3.2 建议

基于上述结果,未来应科学合理地评估各地区的水资源拥有量,在提高农业现代化水平的同时减缓水贫困程度。在农村水贫困严重的地区,应制定科学合理的用水管理制度和水环境保护政策,加强农村水利设施建设及污水处理设施建设,控制农村生产、生活污水排放,提高农村水资源循环利用程度;与此同时,应积极推进农业结构调整、大力宣传与推广节水新技术,增强农民的节水意识,提高水资源的利用效率。在农业现代化水平低的地区,应积极创新农业经营制度,大力推广农业生产新技术,改变农民的生产经营理念;应加大农业科技投资力度、完善农村信贷机制,提高农业生产率,减轻农民的生计风险;同时,应大力发展节水农业、减少化肥农药的施用量,降低农业种植造成的面源污染。总体来看,中国在缓解水贫困、提升农业现代化水平的过程中,应重视地域差异性,针对不同地区的“水情”差别化发展现代化农业,努力实现水资源利用与农业现代化水平的协调发展。

### 参考文献(References):

- [1] Oki T, Kanae S. Global hydrological cycles and world water resources[J]. *Science*,2006,313(5790):1068-1072.
- [2] 葛晨.水资源管理不该碎片化联合国呼吁改善管理方式[N/OL].*解放日报*,2012-3-15. <http://news.cntv.cn/20120315/119287.shtml>. [Ge Chen. Water management should not defragment the United Nations to call for better management. <http://news.cntv.cn/20120315/119287.shtml>.2012-3-15.]
- [3] Heidecke C. Development and evaluation of a regional water poverty index for Benin[R]. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Environment and Production Technology Division,2006,34-35.
- [4] Fitch M, Price H. Water poverty in England and Wales[R]. Cen-

- tre for Utility Consumer Law and Chartered Institute of Environmental Health,2002,30(7),1195-1211.
- [5] Sullivan Caroline. The water poverty index: Development and application at the community scale[J]. *Natural Resources Forum*, 2003,27(3): 189-199.
- [6] Pan A, Bosch D, Ma H. Assessing water poverty in China using holistic and dynamic principal component analysis[J]. *Social Indicators Research*, 2015, 130:1-25.
- [7] Garriga R G, Foguet A P. Improved method to calculate a water poverty index at local scale[J]. *Journal of Environmental Engineering*, 2010,136(11):1287-1298.
- [8] Manandhar S, Pandey V P, Kazama F. Application of Water Poverty Index (WPI) in Nepalese Context: A case study of Kali Gandaki River Basin (KGRB) [J]. *Water Resources Management*, 2012,26(1):89-107.
- [9] Wilk J, Jonsson A C. From water poverty to water prosperity—A more participatory approach to studying local water resources management[J].*Water Resources Management*, 2013,27(3): 695-713.
- [10] 何栋材,徐中民,王广玉.水贫困测量及应用的国际研究进展[J].*干旱区地理*,2009,32(2):296-303.[He Dongcai, Xu Zhongmin, Wang Guangyu. Progresses in the international research on water poverty measure and application. *Arid Land Geography*,2009,32(2):296-303.]
- [11] 曹茜,刘锐.基于WPI模型的赣江流域水资源贫困评价[J].*资源科学*, 2012,34(7):1306-1311.[Cao Qian, Liu Rui. Assessment of water poverty in Ganjiang basin based on WPI model. *Resources Science*,2012, 34(7):1306-1311.]
- [12] 孙才志,王雪妮.基于WPI-ESDA模型的中国水贫困评价及空间关联格局分析[J].*资源科学*,2011,33(6):1072-1082.[Sun Caizhi, Wang Xueni. Research on the assessment and spatial correlation pattern of water poverty in China based on WPI-ESDA model. *Resource Science*,2011,33(6):1072-1082.]
- [13] 王雪妮,孙才志,邹玮.中国水贫困与经济贫困空间耦合关系研究[J].*中国软科学*,2011(12):180-192.[Wang Xueni, Sun Caizhi, Zou Wei. Coupling relation analysis between water poverty and economic poverty in China. *China Soft Science*, 2011(12): 180-192.]
- [14] 黄庆华,姜松,吴卫红,等.发达国家农业现代化模式选择对重庆的启示——来自美日法三国的经验比较[J].*农业经济问题*, 2013(4):102-109.[Huang Qinghua, Jiang Song, Wu Weihong et al. The enlightenment of the choice of agricultural modernization mode in developed countries to Chongqing: The comparison of experience from the United States, Japan and France. *Agricultural Economic Problem*,2013(4):102-109.]
- [15] 龙冬平,李同昇,苗园园,等.中国农业现代化发展水平空间分异及类型[J].*地理学报*,2014,69(2):213-226.[Long Dongping, Li Tongsheng, Miao Yuanyuan et al. The spatial distribution and types of the development level of Chinese agricultural modernization. *Acta Geographica Sinica*,2014,69(2):213-226.]
- [16] 辛岭,蒋和平.我国农业现代化发展水平评价指标体系的构

- 建和测算[J]. 农业现代化研究,2010,31(6):646-650.[Xin Ling, Jiang Heping. Setting up evaluation index system and calculation development level of China agricultural modernization. Research of Agricultural Modernization, 2010, 31(6): 646-650.]
- [17] 于正松,李同昇,龙冬平,等.陕、甘、宁三省(区)农业现代化水平格局演变及其动因分析[J].地理科学,2014,34(4):411-419.[Yu Zhengsong, Li Tongsheng, Long Dongping et al. The pattern evolution and its reasons about the agricultural modernization in Shaanxi-Gansu-Ningxia Region. Scientia Geographica Sinica, 2014,34(4):411-419.]
- [18] 丁志伟,张改素,王发曾.中原经济区“三化”协调的内在机理与定量分析[J].地理科学,2013,33(4):402-409.[Ding Zhiwei, Zhang Gaisu, Wang Fazeng. The internal mechanism and quantitative analysis of coordination development of industrialization, urbanization and agricultural modernization of Zhongyuan Economic Region. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(4):402-409.]
- [19] 尹鹏,刘继生,陈才.东北振兴以来吉林省四化发展的协调性研究[J].地理科学,2015,35(9):1101-1108.[Yin Peng, Liu Jisheng, Chen Cai. The coordination development of Four Modernizations in Jilin Province since the Revival of Northeast China. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(9):1101-1108.]
- [20] 姜会明,王振华.吉林省工业化、城镇化与农业现代化关系实证分析[J].地理科学,2012,32(5):591-595.[Jiang Huiming, Wang Zhenhua. Empirical analysis on the relationship among industrialization, urbanization and agricultural modernization in Jilin Province. Scientia Geographica Sinica,2012,32(5):591-595.]
- [21] Forouzani M, Karami E. Agricultural water poverty index and sustainability[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2011, 31(2):415-431.
- [22] Ward J. Water, agriculture and poverty in the Niger River basin [J]. Water International, 2010,35(5):594-622.
- [23] 黄初龙,邓伟.东北区农业水资源可持续利用地域分异的因子分析[J].地理科学,2006,26(3):284-291.[Huang Chulong, Deng Wei. Factor analysis on spatial variation of sustainable utilization of agricultural water resources. Scientia Geographica Sinica, 2006, 26(3):284-291.]
- [24] Chartzoulakis K, Bertaki M. Sustainable water management in agriculture under climate change [J]. Agriculture & Agricultural Science Procedia,2015,4:88-98.
- [25] Organization A. The state of the world's land and water resources for food and agriculture[J]. Summary Report, 2011,66(4):418-419.
- [26] Allen S L. Connections between poverty, water and agriculture: Evidence from 10 river basins [J]. Water International, 2011,36(1):125-140.
- [27] 潘丹,应瑞瑶.中国水资源与农业经济增长关系研究——基于面板VAR模型[J].中国人口资源与环境,2012,22(1):161-166.[Pan Dan, Ying Ruiyao. Relationship between water resource and agricultural economic growth in China: Research based on panel VAR. Chinese Journal of Population Resources and Environment,2012,22(1):161-166.]
- [28] 李裕瑞,王婧,刘彦随,等.中国“四化”协调发展的区域格局及其影响因素[J].地理学报,2014,69(2):199-212.[Li Yurui, Wang Jing, Liu Yansui et al. Spatial pattern and influencing factors of the coordination development of industrialization, informatization, urbanization and agricultural modernization in China: A prefecture level exploratory spatial data analysis. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(2):199-212.]
- [29] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2006-2015.[National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China statistical yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2006-2015.]
- [30] 中华人民共和国国家统计局.中国农村统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2006-2015.[National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China rural statistical yearbook. Beijing: China Statistics Press,2006-2015.]
- [31] 中华人民共和国国家统计局.中国环境统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2006-2015.[National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China statistical yearbook on environment. Beijing: China Statistics Press,2006-2015.]
- [32] 中华人民共和国国家统计局.中国水利统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2006-2015.[National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China water statistical yearbook. Beijing: China Statistics Press,2006-2015.]
- [33] 中华人民共和国国家统计局.中国卫生和计划生育统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2006-2015.[National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China statistical yearbook on health and family planning. Beijing: China Statistics Press, 2006-2015.]
- [34] 赵雪雁,王伟军,万文玉.中国居民健康水平的区域差异:2003-2013[J].地理学报,2017,72(4):685-698.[Zhao Xueyan, Wang Weijun, Wan Wenyu. Regional inequalities of residents' health level in China: 2003-2013. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(4):685-698.]
- [35] 张旺,周跃云,胡光伟.超大城市“新三化”的时空耦合协调性分析——以中国十大城市为例[J].地理科学,2013,33(5):562-569.[Zhang Wang, Zhou Yueyun, Hu Guangwei. Coupling mechanism and space-time coordination of new-approach urbanization, New-approach industrialization and service industry modernization in Megacity Behemoths: A case study of ten cities in China. Scientia Geographica Sinica,2013,33(5):562-569.]
- [36] 马丽,金凤君,刘毅.中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析[J].地理学报,2012,67(10):1299-1307.[Ma Li, Jin Fengjun, Liu Yi. Spatial pattern and industrial sector structure analysis on the coupling and coordinating degree of regional economic development and environmental pollution in China. Acta Geographica Sinica, 2012,67(10):1299-1307.]
- [37] 余菲菲,胡文海,荣慧芳.中小城市旅游经济与交通耦合协调发展研究——以池州市为例[J].地理科学,2015,35(9):1116-1122.[Yu Feifei, Hu Wenhai, Rong Huifang. Coordinated development about tourism economy and transportation in medium and small cities: Chizhou as example. Scientia Geographica Sinica,

2015,35(9):1116-1122.]

- [38] 盖美,王宇飞,马国栋,等.辽宁沿海地区用水效率与经济的耦合协调发展评价[J].自然资源学报,2013,28(12):2081-2094.  
[Gai Mei, Wang Yufei, Ma Guodong et al. Evaluation of the

coupling coordination development between water use efficiency and economy in Liaoning Coastal Economic Belt. Journal of Natural Resources, 2013,28(12):2081-2094.]

## Spatio-temporal Coupling Between Rural Water Poverty and Agricultural Modernization in China from 2005 to 2014

Zhao Xueyan<sup>1</sup>, Gao Zhiyu<sup>1</sup>, Ma Yanyan<sup>1</sup>, Chen Huanhuan<sup>1</sup>, Xue Bing<sup>2</sup>

(1.College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, Gansu, China;

2. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, Liaoning, China)

**Abstract:** Water Poverty and Agricultural Modernization are two important issues that affects Chinese security and economic development. Studying the coupling relationship between them contributes to promoting the sustainable development of resources environment and economy. The paper selected 30 provincial areas of China including autonomous regions as the research unit. Firstly, the water poverty and agricultural modernization's evaluation index system was set up, the poverty model and the agricultural modernization index were used to calculate the poverty value and agricultural modernization value of each province, and the time series map was established respectively. Then, the spatial distribution of the two was carried out by ArcGIS. Finally, using the coupling coordination model and the coupled coordination Gini coefficient analyze rural water poverty and agricultural modernization coupling coordination and regional differences, as well as using spatial autocorrelation to analyze the spatio-temporal relationship of rural water poverty, agricultural modernization and coupling coordination from 2005 to 2014. The results are obtained as follows: ① The degree of rural water poverty in China decreases by 14.68%. The reason for the decline is mainly the implementation of the 10<sup>th</sup> Five-year Plan. The central water conservancy work attached great importance to solving the water problem in an important position and made a series of major arrangements and water conservancy investments to maintain a high level. But the degree of water poverty fluctuated in that period due to natural disasters of some areas such as rare historical rainfall, typhoons and droughts. The decreasing amplitude in eastern and western China is smaller than that in central China, maintaining the decreasing tendency of "central-west-east". The degree of rural water poverty in China was positive spatial autocorrelation within a decade. ② Agricultural modernization level slowly increases by 5.5%. The eastern provinces of the agricultural modernization level are kept above the national average, while the central and western regions are kept below the national average. Although the western China increases by 26.88%, the degree of rural water poverty continues the decreasing trend of "east-central-west". ③ The coordination degree of rural water poverty and agricultural modernization are fluctuating, indicating that the corresponding spatial scale keeps the rising trend. In recent years, the increase of coordination degree is 8.03%. The regional differences of coordination degree between water poverty and agricultural modernization level tend to decline and the Gini index increases by 31.62%. The index in the western region is much higher than eastern region, but the coordination degree has maintained the increasing tendency of "east-central-west". ④ The "cold-spot" areas of the coordination degree between water poverty and agricultural modernization level shows the contraction tendency while "hot-spot" areas shows the expansion tendency. Finally, this paper makes suggestions how to reduce the rural water poverty, improve the level of agricultural modernization and coordinate them.

**Key words:** rural water poverty; agricultural modernization; spatio-temporal coupling; coupling coordination model; China