

引用格式: 张华, 王礼力. 中国农业水贫困评价及时空特征分析[J]. 资源科学, 2019, 41(1): 75-86. [Zhang H, Wang L L. Evaluation and spatio-temporal analysis for agricultural water poverty in China[J]. *Resources Science*, 2019, 41(1): 75-86.] DOI: 10.18402/resci.2019.01.08

中国农业水贫困评价及时空特征分析

张 华, 王礼力

(西北农林科技大学经济管理学院, 杨凌 712100)

摘 要: 本文以提高农业用水有效性为指导思想, 提出“农业水贫困”概念, 基于农业水贫困概念界定和评价指标体系构建的基础上, 利用POME-两级模糊模式识别模型测度2000—2016年中国30个省(市)农业水贫困指数, 借助探索性时空数据分析(ESTDA), 从时空耦合视角分析其空间格局动态性。研究发现: 中国虽然存在较严重的农业水贫困问题, 但是大部分省(市)的农业水贫困程度呈缓解趋势; 各省(市)大部分年份的农业水贫困具有显著的空间负相关性, 空间差异呈逐渐扩大趋势; 相对于西南地区, 华南地区和华东地区具有更加动态的局部空间结构; 东北地区 and 西北地区的时空依赖效应较弱; 农业水贫困空间格局具有较强的空间整合性, 协同高增长的省(市)主要分布在华东地区和华南地区, 协同低增长的省(市)主要分布在北部地区; 各省(市)农业水贫困的局部空间联动性较弱, 空间集聚性存在相对较高的路径锁定特征。此外, 提出了降低农业水贫困的对策建议, 为中国农业水资源管理和可持续发展提供借鉴。

关键词: 农业水贫困; POME-两级模糊模式识别模型; 时空动态性; 时空跃迁; 中国

DOI: 10.18402/resci.2019.01.08

1 引言

面对全球食品安全和水资源紧缺的尖锐矛盾, 如何保障农业用水, 提高农业用水效率, 维护粮食安全, 已成为全球必须认真处理的重大资源环境问题。中国以占全球6%的淡水资源、9%的耕地, 养活了全球21%的人口。农业用水不仅关系到国家粮食安全, 而且与生态安全、水安全及乡村振兴休戚相关^[1]。《国家农业节水纲要(2012—2020年)》指出, 近年来农业用水约占中国用水总量的62%, 部分地区高达90%以上, 而且农业用水效率不高, 远远低于一些发达国家。如何解决当前中国农业生产面临的水资源供需矛盾、水利设施粗放和农田水资源利用效率低等问题, 是目前面临的重要研究课题。水贫困理论将水资源的开发、利用、管理以及水资源利用主体的能力、权利和生计影响有机地结合起来, 为水资源短缺问题的研究提供了新视角。由

此, 尝试将水贫困理论引入到农业生产活动中, 提出“农业水贫困”概念, 探讨农业水贫困问题, 为中国农业水资源的高效利用和可持续发展提供借鉴。

水贫困的研究始于Sullivan Caroline^[2]提出的水贫困评价理论, 该理论综合考虑资源、设施、能力、使用、环境5个方面的影响, 构建水贫困指数(Water Poverty Index, WPI), 之后国外学者在WPI指数的基础上展开对水贫困的一系列研究: Phil Adkins等^[3]通过计算加拿大水资源可持续发展指数(Canadian Water Sustainability Index, CWSI), 得出其在社区尺度上的水资源可持续发展程度; Ricard Giné Garriga等^[4]运用WPI-PSR模型和贝叶斯网络方法, 对流域尺度的水贫困状况和产生原因进行系统地评价; Lawrence P等^[5]基于WPI指数, 结合多方面指标, 测度不同国家水贫困状况并进行评价; Nadeem A M^[6]等通过研究巴基斯坦农村家庭的水贫困和主观幸

收稿日期: 2018-08-16; 修订日期: 2018-11-06

基金项目: 国家社会科学重点项目(16AJY009)。

作者简介: 张华, 女, 内蒙古呼伦贝尔人, 博士生, 主要从事农业经济与水资源管理方面的研究。E-mail: huazhang0129@163.com

通讯作者: 王礼力, E-mail: wllxbl@163.com

福感问题,发现接近污染水源的村庄幸福感较低,而获得淡水的村庄幸福感相对较高;Jemmali H根据非洲国家的水资源特征,提出iWPI指数^[7],并将人类经济福利与实际水资源可用性联系起来,研究发现主要位于非洲北部和南部的较发达但缺乏水的国家和撒哈拉以南非洲水资源丰富但收入较低的国家之间在水贫困方面具有显著差异^[8]。曹建廷^[9]将水贫困概念引入中国,之后水贫困问题一度引起中国学者的广泛关注。其中:何栋材等^[10]将水贫困理论引入中国水资源评价体系中,为水贫困在中国的发展起到一定的作用;孙才志等^[11-15]从区域尺度对水贫困进行全面深入的研究,不仅从社会适应性角度提出水贫困评价指标体系并测度其发展水平、分析其空间特征,而且将水贫困与经济贫困、城市化、工业化相结合分析其耦合协调关系;杨玉蓉等^[16]对常德澧县梅家港村的水贫困状况进行评价,实现水贫困在村级尺度的研究;赵雪雁等^[17]分析了中国农村水贫困与农业现代化水平耦合协调关系的时空格局变化。

综上所述,已有水贫困的研究存在以下不足:

(1)农业作为国民经济的基础,是关系国计民生的重要产业,灌溉需水量大,随着中国城镇化和工业化的发展,水资源“农转非”现象日益凸显,对农业和农民的用水权利带来了潜在的负效应,加上农业生产过程中灌溉水资源利用管理不善、农药和化肥使用不合理,引起农业面源污染,最终导致农业水资源利用率低下、农业生态环境恶化,更是加重了这种负效应的程度。目前,国外学者已经针对性地关注了农业水贫困问题^[18],但国内有关农业水贫困的研究成果较少^[1];

(2)已有水贫困的测度方法大部分采用加权模型,主观性较强;

(3)已有水贫困的空间研究大部分采用ESDA方法,仅聚焦在截面数据,忽视了区域水贫困时间维度的变化。

针对以上不足,本文从水贫困视角构建农业水贫困评价指标体系,运用最大熵原理的两级模糊模式识别模型来测度农业水贫困得分并对其进行评价,借助ESTDA框架,从时空耦合视角研究农业水贫困空间格局的时空动态性,以期为中国农业水贫

困“减贫”政策的制定提供科学依据。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文以中国30个省(市)(不含港、澳、台和上海;数据缺失)为研究对象,数据来源于2001—2017年《中国统计年鉴》^[19]、《中国水利统计年鉴》^[20]、《中国环境统计年鉴》^[21]、《中国区域经济统计年鉴》^[22]以及2000—2016年《中国水资源公报》^[23],个别年份数据存在缺失,采用相邻年份插值法补齐。

2.2 研究方法

2.2.1 D-S证据合成理论

对于 $\forall A \subseteq \Theta$,识别框架 Θ 上的有限个mass函数 m_1, m_2, \dots, m_n 的Dempster合成规则为:

$$w_{ij} = (m_1 \oplus m_2 \oplus \dots \oplus m_n)(A) = \frac{1}{K} \sum_{A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n = A} m_1(A_1) \cdot m_2(A_2) \cdot \dots \cdot m_n(A_n) \quad (1)$$

式中, $K = \sum_{A_1 \cap \dots \cap A_n = \emptyset} m_1(A_1) \cdot m_2(A_2) \cdot \dots \cdot m_n(A_n) = 1 - \sum_{A_1 \cap \dots \cap A_n = \emptyset} m_1(A_1) \cdot m_2(A_2) \cdot \dots \cdot m_n(A_n)$ 。K称为归一化因子, $1-K$ 即 $\sum_{A_1 \cap \dots \cap A_n = \emptyset} m_1(A_1) \cdot m_2(A_2) \cdot \dots \cdot m_n(A_n)$ 反映了证据的冲突程度^[24]。本文中 m_1 为AHP得出的主观权重; m_2 为熵值法得出的客观权重; w_{ij} 为D-S证据理论合成的综合权重。

2.2.2 基于最大熵原理的两级模糊模式识别模型

最大熵原理是在1957年由E.T.Jaynes提出的^[25],其实质是:在部分信息已知的前提下,应选择符合这些信息但熵值最大的一个解。熵最大意味着对因为信息不足而作出的人为约束和假设最小,从而得到的解最合乎自然,偏差最小。

陈守煜等以模糊集理论为基础,结合模糊性相对隶属度理论,将方案对优和劣的广义权距离大小归一化构造出两级模糊式识别模型^[26],克服了经典模糊集合论不能限定客观事物差异的不足。本文借鉴其成果,构建测度农业水贫困的两级模糊模式识别模型,具体步骤如下:

设有需要对模糊概念或模糊子集A进行识别的n个样本(或评价对象),有m个指标(或因素)特征值表示样本的特征,则有样本集(或评价对象)的指标(或因素)特征值矩阵:

2019年1月

$$X = (x_{ij}); \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中, x_{ij} 为样本 j 指标 i 的特征值; X 为样本指标的特征值矩阵。

由于目标函数分为越大越优、越小越优两个基本类型, 应用相对隶属度定义可取方案集中目标 i 的最大特征值 ($\max x_{ij}$) 对优的目标相对隶属度为 1, 取方案集中目标 i 的最小特征值 ($\min x_{ij}$) 对劣的目标相对隶属度为 0, 构成参考系的两级, 则有越大越优的相对隶属度函数为:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_j x_{ij}}; \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

同理, 对越小越优目标相对隶属度函数为:

$$r'_{ij} = \frac{\min_j x_{ij}}{x_{ij}}; \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中, r_{ij} 和 r'_{ij} 分别为方案 j 目标 i 的相对优隶属度和相对劣隶属度。

根据相对隶属度理论及最大熵原理条件, 得出基于 POME 的两级模糊模式识别模型:

$$u_j = \frac{\left[\sum_{i=1}^m (w_{ij} r_{ij})^p \right]^{\frac{1}{p}}}{\left[\sum_{i=1}^m (w_{ij} r_{ij})^p \right]^{\frac{1}{p}} + \left[\sum_{i=1}^m (w_{ij} r'_{ij})^p \right]^{\frac{1}{p}}} \quad (5)$$

式中, w_{ij} 为样本 j 指标 i 的权重; u_j 为农业水贫困测度值, $u_j \in [0, 1]$, u_j 越大越不水贫困。

2.2.3 探索性空间数据分析

全局空间自相关 (Global Moran's I) 表征区域总体空间关联和差异程度, 局部空间自相关 (Local Moran's I) 度量区域与其相邻区域之间的局部空间异质性, 具体公式及解释详见参考文献[27]。

2.2.4 LISA 时间路径

LISA 时间路径是以 Moran's I 散点图中的时间变化特征为基础, 将传统静态的 LISA 动态化, 也是

LISA 马尔科夫转移矩阵的一种连续性表达^[28]。LISA 时间路径的几何特征分为相对长度 (\tilde{L}_i) 和弯曲度 (Δ_i)^[29,30]:

$$\tilde{L}_i = \frac{n \times \sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})} \quad (6)$$

$$\Delta_i = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})}{d(L_{i,t}, L_{i,T})} \quad (7)$$

式中, n 为研究单元个数; T 为时间间隔; $L_{i,t}$ 为空间单元 i 在时间 t 的 LISA 坐标; $d(L_{i,t}, L_{i,t+1})$ 为空间单元 i 从时间 t 到时间 $t+1$ 的移动距离。如果各省 (市) 在研究期间内移动长度超过其总体均值, 则该省 (市) 的 $\tilde{L}_i > 1$, 反之 $\tilde{L}_i < 1$, \tilde{L}_i 越大, 表明 i 省 (市) 农业水贫困具有更加动态的局部空间结构; Δ_i 越大, 表明 i 省 (市) 农业水贫困的 LISA 时间路径越弯曲, “减贫”过程波动越大。

2.2.5 LISA 时空跃迁

Rey 在 LISA 时间路径的基础上, 结合不同时期 Moran's I 散点图中各研究单元间的局部空间类型转移情况, 包括高高 (HH)、高低 (HL)、低低 (LL) 和低高 (LH), 提出了时空跃迁, 并将时空跃迁分为四种类型, 具体分类标准如下 (表 1)。

以 LISA 时空跃迁类型为依据, Moran's I 散点图的空间稳定性可以表示为^[31]:

$$S_t = \frac{F_{o,t}}{n} \quad (8)$$

式中, $F_{o,t}$ 为 t 时间内中国农业水贫困发生类型 IV 跃迁的省域数量; n 为所有省区可能发生跃迁的数量。 $S_t \in [0, 1]$, 值越大, 表示空间稳定性越强, 反之亦然。

表 1 LISA 时空跃迁类型

Table 1 LISA space-time transition type

类型	跃迁特征			
类型 I (仅区域自身发生跃迁)	HH _t →LH _{t+1}	HL _t →LL _{t+1}	LH _t →HH _{t+1}	LL _t →HL _{t+1}
类型 II (仅区域的相邻省份发生跃迁)	HH _t →HL _{t+1}	HL _t →HH _{t+1}	LH _t →LL _{t+1}	LL _t →LH _{t+1}
类型 III (区域自身及其相邻区域均发生跃迁)	HH _t →LL _{t+1}	HL _t →LH _{t+1}	LL _t →HH _{t+1}	LH _t →HL _{t+1}
类型 IV (区域自身与相邻区域均保持稳定)	HH _t →HH _{t+1}	HL _t →HL _{t+1}	LL _t →LL _{t+1}	LH _t →LH _{t+1}

3 农业水贫困概念及评价指标体系构建

3.1 农业水贫困的概念界定

农业水贫困的定义一直处于争论之中, Mehta、Noemdoe 认为农业水贫困是自然和人为原因共同造成的结果, 它在满足某些条件时发生: ① 没有一定数量和质量的农业水资源; ② 无法获得农业水资源; ③ 农业用水者无法有效利用水资源^[32,33]。Forouzan M 等将农业水贫困定义为可用农业水资源在数量或质量方面的耗竭^[18]。综合借鉴已有研究对农业水贫困的定义, 本文认为农业水贫困与农业、农村、农民问题休戚相关, 将农业水贫困定义为: 由于农村水资源禀赋不足、农业用水权利缺失、农民用水能力不足、以及农业水资源管理水平低下, 导致农业减产、农民减收, 影响农村稳定, 最终引发贫困。显然, 农业水贫困不仅仅是由于农业水资源短缺的缘故, 也不仅仅是农业用水者能力的不足, 它同时还涉及了农业水资源的管理, 是农业用水参与者对农村水资源禀赋适应性的一种结果。因此, 农业水贫困是一个多维度的综合问题。

3.2 农业水贫困评价指标体系构建

农业水贫困评价指标体系的构建以实现农业的可持续发展为目标, 揭示了水资源利用与农业发展的协调关系, 本文借鉴已有研究成果, 结合中国的实际情况, 分别从资源系统、设施系统、能力系统、使用系统和环境系统对农业水贫困程度进行评价(表2)。

(1)资源系统。习总书记提出“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思想, 强调农业生产要科学把握各地气候差异, 以水资源承载能力为前提, 以水定城, 以水定地, 以水定人, 以水定产, 合理确定农业发展目标 and 农业生产布局。资源系统重点关注区域的气候差异、农业水资源的保障度和可利用程度。选取年均降水量、农业供水模数和耕地亩均水资源占有量分别表征区域的气候差异、农业水资源的保障度和可利用程度。

(2)设施系统。2018年中央一号文件强调要从根本上改变农业生产的粗放灌溉模式, 加强农田水利建设, 大力推广高效节水灌溉机制, 建立农业用水规模与用水效率相协调、工程措施与非工程措施

表2 中国省域农业水贫困评价指标体系及指标权重

Table 2 Index system and weights for agricultural water poverty assessment in China

总体层A	系统层B	指标层C	熵值法权重	AHP权重	D-S综合权重	指标性质
农业水贫困评价指标体系A	资源B ₁	年均降水量C ₁	0.369	0.260	0.288	+
		农业供水模数C ₂	0.353	0.413	0.438	+
		耕地亩均水资源占有量C ₃	0.278	0.328	0.273	+
	设施B ₂	节水灌溉类机械拥有量C ₄	0.228	0.200	0.213	+
		地均水库库容水平C ₅	0.074	0.400	0.138	+
		机电排灌与提灌面积C ₆	0.373	0.200	0.347	+
		单位面积农机总动力C ₇	0.325	0.200	0.302	+
	能力B ₃	节水灌溉率C ₈	0.137	0.300	0.280	+
		旱涝保收率C ₉	0.309	0.150	0.317	+
		水利设施投资率C ₁₀	0.070	0.150	0.072	+
		农村居民人均纯收入C ₁₁	0.180	0.100	0.123	+
		农业劳动力女性占比C ₁₂	0.127	0.100	0.087	-
		农业劳动力老龄化率C ₁₃	0.126	0.100	0.086	-
		农业劳动力文盲率C ₁₄	0.051	0.100	0.035	-
	使用B ₄	耕地有效灌溉率C ₁₅	0.779	0.400	0.702	+
		万吨粮食产量均用水量C ₁₆	0.221	0.600	0.298	-
	环境B ₅	农药施用强度C ₁₇	0.512	0.500	0.512	-
		化肥施用强度C ₁₈	0.488	0.500	0.488	-

注: “+”代表正向指标, 即指标值越大, 越不水贫困; “-”代表逆向指标, 即指标值越大, 越水贫困。

2019年1月

相结合的农业节水体系。设施系统主要考虑与农业灌溉相关的水利设施水平。选取节水灌溉类机械拥有量、地均水库库容水平、机电排灌与提灌面积以及单位面积农机总动力表征与农业灌溉相关的水利设施水平。

(3)能力系统。能力系统主要涉及农业用水能力、政府支持能力及农业劳动力资源禀赋能力。其中,农业用水能力包括技术能力和用水综合能力,表征指标分别为节水灌溉率和旱涝保收率。政府支持能力表征指标为水利设施投资率。劳动力资源禀赋能力主要考虑农村居民经济状况、农业劳动力性别结构、农业劳动力老龄化程度和农业劳动力文化程度,表征指标分别为农村居民人均纯收入、劳动力女性占比、劳动力老龄化率和劳动力文盲率。由于缺乏农业劳动力相关数据,本文分别选取15岁以上女性文盲率、人口老龄化率、15岁以上文盲率作为劳动力女性占比、劳动力老龄化程度和劳动力文化程度的代理指标。

(4)使用系统。使用系统主要用于估计农业水资源的生产力水平。选取耕地有效灌溉率表征区域农田水利建设对水资源的适应情况,选取万吨粮食产量均用水量表征农业用水效率情况。

(5)环境系统。“十三五”规划强调要以“一控两减三基本”为目标,综合防治内源性污染以及城市和工业“三废”下乡造成的外源污染,持续推进农业绿色发展,使水资源、水生态、水环境承载能力切实成为农业经济发展的刚性约束。环境系统主要考虑农业生产对水资源生态环境的影响,代理指标选取农药施用强度和化肥施用强度。

4 农业水贫困发展水平测度结果

本文利用D-S证据理论整合AHP(主观权重)和熵值法(客观权重),得到综合权重(表2),运用最大熵原理的两级模糊模式识别模型对中国各省(市)农业水贫困各系统(表3)及其指数进行测度评分(表4,见第81页)。

(1)从资源系统来看(表3),2016年资源系统得分较高的省(市)大多分布在南方(新疆、西藏除外),得分较低的省(市)大多地处北方(重庆除外)。相较于2000年,中国50%的省(市)水资源禀赋趋于好转,资源系统评价结果与中国水资源南多

北少不均衡特点相符合。

(2)从设施系统来看(表3),2016年得分较高的省(市)有山东、河南、河北、安徽、江苏和湖南,得分较低的省(市)有宁夏、贵州、甘肃、重庆、云南和山西。相较于2000年,中国约占比70%的省(市)的农田水利设施都有不同程度的改进,但北京、天津、河北、山西、浙江、山东、河南、甘肃和宁夏9个省(市)农田水利设施滞后于社会经济的发展,并未得到重视。

(3)从能力系统来看(表3),2016年得分较高的省(市)有新疆、内蒙古、青海、宁夏、甘肃和浙江,得分较低的省(市)有广东、重庆、湖北、湖南、安徽和福建。相较于2000年,中国约73%的省(市)的综合能力水平呈上升趋势。其中,节水灌溉率、水利投资率、旱涝保收面积、农村居民人均纯收入呈现不同程度地提高趋势,但水利投资比例仍然占比很低,距离发达农业的要求还很远。随着国家教育的普及,虽然农村劳动力的文盲率有所下降,但农村劳动力结构并未摆脱“386199”部队特征,即农村劳动力仍以老人、妇女为主。

(4)从使用系统来看(表3),2016年得分较高的省(市)有江苏、安徽、湖南、福建、天津和河北,得分较低的省(市)有青海、甘肃、海南、贵州、宁夏和广西。相较于2000年,中国约53%的省(市)的使用能力有所提高。其中,耕地有效灌溉率除北京、天津和辽宁外均呈上升趋势,即大多数省(市)农业生产的水利化程度和耕地抗旱程度有所提升。万吨粮食亩均用水量下降幅度不大,可能的原因是粮食作物比较收益较低,土地细碎化程度高,导致农民无心无力投入现代节水灌溉技术,最终导致水资源效率低下。

(5)从环境系统来看(表3),2016年得分较高的省(市)有青海、西藏、黑龙江、贵州、内蒙古和宁夏,得分较低的省(市)有海南、广东、福建、河南、湖北和浙江。相较于2000年,中国约80%的省(市)在农业生产中并没有以牺牲环境为代价,但仍有20%的区域忽略了农业生产对环境的破坏,包括内蒙古、河南、广西、海南、云南和甘肃。

中国30个省(市)农业水贫困发展水平各不相同,各省(市)差异明显(表4,见第81页)。2000—

表3 2000年、2016年中国分省农业水贫困各系统得分

Table 3 The results of AWP evaluation in China's provinces in 2000 and 2016

	资源		设施		能力		使用		环境	
	2000年	2016年	2000年	2016年	2000年	2016年	2000年	2016年	2000年	2016年
北京	0.047	0.019	0.315	0.041	0.479	0.656	0.986	0.651	0.103	0.807
天津	0.020	0.018	0.243	0.091	0.221	0.426	0.926	0.891	0.603	0.906
河北	0.022	0.023	0.694	0.478	0.566	0.697	0.885	0.889	0.555	0.881
山西	0.010	0.014	0.032	0.018	0.657	0.658	0.270	0.325	0.927	0.968
内蒙古	0.035	0.079	0.048	0.064	0.682	0.836	0.243	0.257	0.991	0.982
辽宁	0.019	0.012	0.045	0.047	0.150	0.382	0.375	0.243	0.413	0.939
吉林	0.015	0.017	0.026	0.031	0.467	0.654	0.257	0.205	0.886	0.944
黑龙江	0.028	0.039	0.044	0.275	0.911	0.711	0.171	0.308	0.985	0.987
江苏	0.089	0.160	0.374	0.393	0.296	0.469	0.953	0.978	0.082	0.718
浙江	0.141	0.151	0.243	0.168	0.612	0.726	0.877	0.884	0.134	0.717
安徽	0.025	0.054	0.311	0.458	0.191	0.211	0.755	0.940	0.598	0.808
福建	0.403	0.386	0.046	0.077	0.418	0.288	0.848	0.916	0.007	0.158
江西	0.158	0.367	0.023	0.053	0.229	0.332	0.854	0.833	0.721	0.821
山东	0.021	0.015	0.908	0.887	0.386	0.462	0.873	0.888	0.094	0.745
河南	0.022	0.018	0.728	0.630	0.252	0.348	0.832	0.860	0.543	0.507
湖北	0.060	0.054	0.047	0.128	0.161	0.162	0.516	0.670	0.093	0.684
湖南	0.237	0.261	0.076	0.310	0.174	0.188	0.899	0.931	0.618	0.739
广东	0.359	0.636	0.054	0.111	0.196	0.112	0.498	0.736	0.055	0.118
广西	0.190	0.420	0.021	0.076	0.470	0.570	0.277	0.179	0.774	0.766
海南	0.060	0.059	0.018	0.034	0.352	0.314	0.146	0.136	0.204	0.046
重庆	0.012	0.010	0.011	0.016	0.385	0.130	0.351	0.239	0.927	0.953
四川	0.081	0.099	0.015	0.024	0.238	0.483	0.309	0.399	0.869	0.958
贵州	0.025	0.037	0.007	0.014	0.683	0.408	0.166	0.157	0.985	0.987
云南	0.119	0.207	0.010	0.022	0.365	0.505	0.207	0.193	0.948	0.946
西藏	0.772	0.934	0.014	0.195	0.239	0.380	0.504	0.271	0.989	0.991
陕西	0.015	0.015	0.019	0.024	0.697	0.628	0.279	0.230	0.869	0.887
甘肃	0.019	0.015	0.012	0.011	0.890	0.744	0.138	0.123	0.972	0.938
青海	0.055	0.055	0.088	0.123	0.327	0.783	0.129	0.083	0.984	0.991
宁夏	0.108	0.044	0.014	0.010	0.605	0.778	0.104	0.178	0.947	0.978
新疆	0.596	0.722	0.017	0.080	0.703	0.857	0.599	0.811	0.912	0.934

2016年,各省(市)农业水贫困程度呈缓解趋势的区域占比约77%,从缓解速度来看,湖北、江苏、辽宁、四川、安徽和福建缓解速度较快。同时,仍有约占比23%的省(市)农业水贫困程度表现为恶化趋势,分别为:甘肃、北京、海南、重庆、贵州、陕西和河南。这说明在社会适应能力的作用下,通过加大农业领域水利基础设施,加强管理,提高经济和社会能力,中国大部分省(市)在农业生产活动中利用水资源的能力越来越强,农业水贫困程度整体得到缓解。

以上测度结果同时也揭示了农业水贫困的内

涵:并不是水资源禀赋越富足的区域越不水贫困,水资源禀赋越贫瘠的区域越水贫困。显然,农业水贫困的发展以区域经济文化等为背景,以区域水资源禀赋为基础(但并不受限于区域自然禀赋),充分结合人的主观能动性,在农业领域形成了新的“水资源贫富格局”。

5 农业水贫困时空联动特征

借助 Rey 和 Janikas 提出的探索性时空数据分析 (Exploratory Time-space Data Analysis, ESTDA) 方法,从时空交互视角,对 2000—2016 年中国各省

表4 2000—2016年中国分省农业水贫困指数得分

Table 4 The agricultural water poverty index scores in China from 2000 to 2016

	2000年	2002年	2004年	2006年	2008年	2010年	2012年	2014年	2016年
北京	0.415	0.370	0.249	0.298	0.511	0.512	0.471	0.285	0.315
天津	0.335	0.350	0.354	0.322	0.340	0.344	0.327	0.329	0.390
河北	0.492	0.476	0.550	0.551	0.589	0.603	0.574	0.591	0.553
山西	0.270	0.260	0.258	0.241	0.272	0.278	0.254	0.289	0.295
内蒙古	0.399	0.421	0.379	0.371	0.442	0.406	0.413	0.392	0.444
辽宁	0.140	0.161	0.195	0.196	0.191	0.194	0.223	0.206	0.243
吉林	0.225	0.235	0.189	0.187	0.201	0.213	0.206	0.188	0.269
黑龙江	0.416	0.402	0.317	0.335	0.380	0.443	0.449	0.445	0.488
江苏	0.347	0.342	0.479	0.494	0.486	0.505	0.514	0.599	0.603
浙江	0.374	0.334	0.424	0.428	0.446	0.478	0.416	0.468	0.521
安徽	0.306	0.337	0.385	0.371	0.389	0.438	0.377	0.458	0.486
福建	0.220	0.197	0.263	0.269	0.274	0.336	0.257	0.391	0.342
江西	0.325	0.353	0.334	0.387	0.450	0.489	0.512	0.460	0.448
山东	0.422	0.406	0.495	0.515	0.535	0.586	0.562	0.590	0.557
河南	0.410	0.389	0.499	0.501	0.491	0.499	0.447	0.456	0.406
湖北	0.137	0.152	0.157	0.186	0.224	0.250	0.214	0.269	0.280
湖南	0.372	0.438	0.420	0.413	0.462	0.496	0.448	0.521	0.494
广东	0.187	0.164	0.236	0.252	0.259	0.298	0.260	0.295	0.283
广西	0.276	0.273	0.283	0.263	0.267	0.264	0.244	0.286	0.365
海南	0.114	0.090	0.093	0.065	0.102	0.091	0.079	0.083	0.090
重庆	0.219	0.176	0.173	0.160	0.178	0.185	0.180	0.204	0.182
四川	0.220	0.289	0.266	0.242	0.314	0.319	0.342	0.382	0.350
贵州	0.287	0.293	0.266	0.286	0.270	0.287	0.280	0.294	0.274
云南	0.260	0.259	0.257	0.267	0.261	0.262	0.258	0.278	0.323
西藏	0.511	0.534	0.527	0.529	0.688	0.656	0.651	0.637	0.659
陕西	0.255	0.268	0.228	0.237	0.242	0.228	0.180	0.221	0.250
甘肃	0.325	0.323	0.271	0.265	0.258	0.256	0.226	0.252	0.239
青海	0.321	0.324	0.313	0.303	0.434	0.400	0.421	0.445	0.429
宁夏	0.290	0.317	0.314	0.291	0.372	0.379	0.339	0.354	0.332
新疆	0.509	0.526	0.534	0.559	0.624	0.598	0.568	0.633	0.707

(市)农业水贫困的时间维度和空间数据分析进行有效整合,精准刻画中国农业水贫困空间格局的时空动态变化。

5.1 中国省域农业水贫困格局总体特征

为分析中国农业水贫困空间格局的总体特征,通过Open GeoDa软件计算了2000—2016年中国农业水贫困的Global Moran's I值(图1)。研究期内,Global Moran's I值在0.230~-0.209间波动(大部分年限通过10%以下的显著性水平假设检验),其中Global Moran's I值为负的年份占比70.6%,表明大部分年份农业水贫困空间分布存在较强的负相关

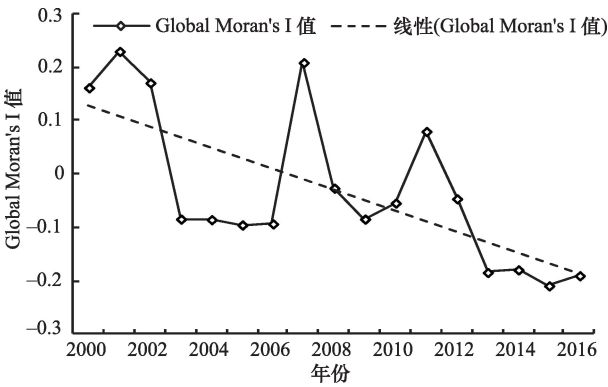


图1 中国省域农业水贫困Global Moran's I值
Figure 1 Global Moran's I of agricultural water poverty in China

性,即“农业水贫困程度较低的省(市)被农业水贫困程度较高的省(市)所环绕”或“农业水贫困程度较高的省(市)被农业水贫困程度较低的省(市)所环绕”的空间分布模式占据主导;Global Moran’s I 值整体呈下降趋势,这说明中国各省(市)农业水贫困的空间趋同性不断减弱,空间异质性程度不断增强。

5.2 LISA 时间路径几何特征

本文利用LISA时间路径的几何特征解释中国30个省(市)农业水贫困局部空间结构的动态性及其空间依赖方向上的波动性。采用自然断点法将2000—2016年中国农业水贫困LISA时间路径相对长度分成4类(表5):高相对长度(1.315~1.832)、较高相对长度(0.994~1.314)、中相对长度(0.779~0.993)和低相对长度(0.472~0.778)。LISA时间路径移动相对长度处于较高相对长度和高相对长度的省(市)单元有9个,占总数的30%,表明中国农业水贫困整体空间格局较为稳定。高相对长度区域的局部空间结构表现为强烈的农业水贫困局部空间结构动态性,占比20%,包括福建、海南、天津、北京、江苏和广西;广东、安徽和湖南为较高相对长度区域,占比10%,表现为较强的农业水贫困局部空间结构动态性;河南、四川、陕西、山西、河北、甘肃、云南、湖北和重庆为低相对长度区域,占比30%,说明其农业水贫困局部空间结构特征的稳定性最强;其他区域为中等相对长度,占比40%,表现为较稳

定的农业水贫困局部空间结构。这说明在农业水贫困“减贫”过程中,华南地区和华东地区具有更加动态的局部空间结构,而西南地区(除西藏外)具有更加稳定的局部空间依赖关系。

同样,采用自然断点法将2000—2016年农业水贫困LISA时间路径弯曲度分为4类(表6):高弯曲度(8.134~12.940)、较高弯曲度(5.771~8.133)、中弯曲度(4.252~5.770)和低弯曲度(2.043~4.251)。河南和云南为高弯曲度区域,具有最强波动性的农业水贫困增长和局部空间依赖变化过程;四川、广东、广西、山东、内蒙古和浙江为较高弯曲度区域,具有波动性较强的农业水贫困增长和局部空间依赖变化特征;青海、江苏、西藏、湖南、辽宁、贵州、黑龙江、安徽、吉林、宁夏、重庆、山西、湖北、陕西和甘肃为低弯曲度区域,其农业水贫困增长和局部空间依赖变化波动性较弱;其他区域属于中弯曲度。LISA时间路径弯曲度较大的省(市)主要零散分布在我国华东、华南和西南地区,弯曲度较小的省(市)多分布在中国的东北地区 and 西北地区。表明华东、华南和西南的局部省(市)的农业水贫困时空依赖效应较强,受外界影响较大,波动剧烈,表现出强烈的时间敏感性,而东北地区和西北地区农业水贫困时空依赖效应较弱。

5.3 LISA 时间路径移动方向分析

通过对比2000年和2016年Moran’s I散点图的位置,计算得出各省(市)单元农业水贫困LISA坐

表5 LISA时间路径相对长度的区域分布

Table 5 Regional distribution of relative length of the LISA time path

类型	地区
高相对长度(1.315~1.832)	福建、海南、天津、北京、江苏、广西
较高相对长度(0.994~1.314)	广东、安徽、湖南
中相对长度(0.779~0.993)	浙江、西藏、新疆、吉林、黑龙江、辽宁、宁夏、青海、内蒙古、江西、山东、贵州
低相对长度(0.472~0.778)	河南、四川、陕西、山西、河北、甘肃、云南、湖北、重庆

表6 LISA时间路径弯曲度的区域分布

Table 6 Regional distribution of tortuosity of the LISA time path

类型	地区
高弯曲度(8.134~12.940)	河南、云南
较高弯曲度(5.771~8.133)	四川、广东、广西、山东、内蒙古、浙江
中弯曲度(4.252~5.770)	新疆、天津、北京、河北、福建、江西、海南
低弯曲度(2.043~4.251)	青海、江苏、西藏、湖南、辽宁、贵州、黑龙江、安徽、吉林、宁夏、重庆、山西、湖北、陕西、甘肃

2019年1月

标点的移动方向。将移动方向分成4类(表7):0°~90°方向代表各省(市)单元及其相邻省(市)的农业水贫困同时呈现高速缓解态势;90°~180°方向代表各省(市)单元本身农业水贫困呈现低速缓解态势,而其相邻省(市)保持高速缓解态势;180°~270°方向代表各省(市)单元及其相邻省(市)的农业水贫困同时呈现低速缓解态势;270°~360°方向代表各省(市)单元本身农业水贫困呈现高速缓解态势,而其相邻省(市)呈现低速缓解态势。0°~90°方向和180°~270°方向分别代表正向协同运动和负向协同运动,表明各省(市)单元及其相邻省(市)的农业水贫困分布呈空间整合态势^[34]。

整体来看,协同运动的省(市)共有21个,占全部研究区域的70%,表明中国农业水贫困空间格局的演化具有较强的空间整合性。其中,呈正向协同高速“减贫”趋势的省(市)共8个,分别为四川、湖南、广西、海南、福建、广东、江苏和浙江,占协同运动省(市)的38.1%;呈负向协同高速“减贫”趋势的省(市)共13个,分别为重庆、云南、天津、辽宁、山东、河北、北京、宁夏、甘肃、河南、山西、内蒙古和黑龙江,占协同运动省(市)的61.9%。

5.4 LISA时空跃迁特征

采用时空跃迁分析法刻画中国各省(市)农业水贫困局部空间关联类型的转移特征(表8)。总体来看,中国各省(市)农业水贫困时空跃迁至HH、HL、LH、LL型的比重分别为22.5%、31.3%、29%和

17.3%。因此,2000—2016农业水贫困发生Ⅳ型跃迁的省(市)占全部省(市)的80.6%,即Moran’s I散点图的空间稳定性为0.806,表明中国大部分省(市)农业水贫困的局部空间联动性较弱,空间集聚性存在相对较高的路径锁定特征。从时空跃迁类型分析:Ⅰ型跃迁比例为7.5%,Ⅱ型跃迁比例为9.6%,Ⅲ型跃迁比例为2.3%,从跃迁类型比例可以看出中国大部分省(市)的农业水贫困受邻域单元溢出效应影响较小,自身因素对其农业水贫困空间结构的改变影响较大。

6 结论与讨论

6.1 结论

本文在对水贫困理论研究的基础上,提出“农业水贫困”概念,以“提高农业用水有效性”为目标,基于农业水贫困概念界定和评价指标体系基础上,以中国省级行政区为研究对象,对农业水贫困水平进行测度,分析其时空特征,得出以下结论与规律。

(1)中国虽存在较严重的农业水贫困问题,但大部分省(市)的农业水贫困“减贫”效果越来越明显。

(2)大部分年份农业水贫困空间分布存在较强的负相关性,空间差异程度逐渐变大;华东地区和华南地区农业水贫困的空间格局稳定性较弱;东北地区 and 西北地区农业水贫困的时空依赖效应较弱;空间集聚性存在相对较高的路径锁定特征,各省(市)农业水贫困受邻域单元溢出效应影响较小,自身因素对其空间结构的改变影响较大。

表7 LISA时间路径移动方向的区域分布

Table 7 Regional distribution of movement direction of the LISA time path

移动方向	地区
0°~90°	四川、湖南、广西、海南、福建、广东、江苏、浙江
90°~180°	贵州、陕西
180°~270°	重庆、云南、天津、辽宁、山东、河北、北京、宁夏、甘肃、河南、山西、内蒙古、黑龙江
270°~360°	西藏、江西、青海、湖北、安徽、吉林、新疆

表8 2000—2016年Local Moran’s I转移概率矩阵

Table 8 Local Moran’s I transition probability matrix from 2000 to 2016

t/t+1	数量(次)	HH	HL	LH	LL	比重	类型	比例
HH	108	0.833	0.093	0.065	0.009	0.225	类型Ⅰ	0.075
HL	150	0.093	0.807	0.027	0.073	0.313	类型Ⅱ	0.096
LH	139	0.072	0.022	0.827	0.079	0.290	类型Ⅲ	0.023
LL	83	0.036	0.096	0.133	0.735	0.173	类型Ⅳ	0.806

6.2 讨论

(1) 鉴于中国各省(市)农业水贫困难以在短期内改变各自的地位,且区域差异明显。因此,应继续加大政府对农田水利的扶持力度,鼓励农业水贫困程度较低的地区在稳固其地位的基础上,积极采用先进的节水灌溉技术、推广作物抗旱品种,引导其先进的农业用水管理、人才、技术和资金等要素向农业水贫困程度较高的地区流动,促进中国各省农业水贫困的协调发展。

(2) 鉴于中国各省(市)农业水贫困缓解过程中均不同程度地受到邻域间时空依赖效应的影响。因此,在制定农业水贫困减贫政策时,受空间依赖效应影响较强的区域(如:位于华东、华南和西南地区的部分省(市))应重点将时空依赖效应考虑在内,充分发挥各省(市)在资源禀赋中的比较优势,鼓励农作物间的虚拟水交易,促进农业生产要素自由流动,实施差异化省区农业水贫困减贫合作战略。受空间依赖效应影响较弱的东北地区和西北地区要加强农业水资源管理力度,提高节水灌溉率,加强农田水利建设,以降低干旱灾害等危机事件对其农业用水的冲击。

本文虽在中国农业水贫困问题的研究上进行了一些探讨,但由于数据的缺乏,在考虑农业劳动力资源禀赋时,借用人口老龄化率、15岁以上女性文盲率代替农业劳动力人口老龄化程度和受教育程度,以上不足之处,需要更加全面的微观数据支撑才能得以实现,未来应从微观视角对农业水贫困的发展机制进行深入探讨,这将是一个很有意义的研究视角。

参考文献(References):

- [1] 张华,王礼力. 灾害风险视角下的陕西省农业水贫困时空分异研究[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(5): 33-38. [Zhang H, Wang L L. Spatio-temporal differentiation of agricultural water poverty in Shaanxi province from the perspective of disaster risk [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2018, 32(5): 33-38.]
- [2] Sullivan Caroline. The water poverty index: development and application at the community scale[J]. *Natural Resources Forum*, 2003, 27(3): 189-199.
- [3] Adkins P, Dyck L. Canadian Water Sustainability Index[R]. Ottawa: Project Report, 2007.
- [4] Giné Garriga R, Pérez Foguet A, Molina J L, et al. Application of Bayesian networks to assess water poverty[C]//II International Conference on Sustainability Measurement and Modelling. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), 2009.
- [5] Lawrence P R, Meigh J, Sullivan C. The water poverty index: an international comparison[M]. Keele, Staffordshire, UK: Department of Economics, Keele University, 2002.
- [6] Nadeem A M, Cheo R, Huang S. Multidimensional analysis of water poverty and subjective well-being: a case study on local household variation in Faisalabad, Pakistan[J]. *Social Indicators Research*, 2018, 138(2): 1-18.
- [7] Jemmali H. Mapping water poverty in Africa using the improved multidimensional index of water poverty[J]. *International Journal of Water Resources Development*, 2017, 33(4): 1-18.
- [8] Jemmali H. Water poverty in Africa: a review and synthesis of issues, potentials, and policy implications[J]. *Social Indicators Research*, 2018, 136(1): 335-358.
- [9] 曹建廷. 水匮乏指数及其在水资源开发利用中的应用[J]. 中国水利, 2005, (9): 22-24. [Cao J T. Water poverty index: a concise tool to evaluate the progresses in water resource utilization[J]. *China Water Resources*, 2005, (9): 22-24.]
- [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 D C, Xu Z M, Wang G Y. Progresses in the international research on water poverty measure and application[J]. *Arid Land Geography*, 2009, 32(2): 296-303.]
- [11] 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 C Z, Wang X N. Research on the assessment and spatial correlation pattern of water poverty in China based on WPI-ESDA model[J]. *Resources Science*, 2011, 33(6): 1072-1082.]
- [12] 孙才志,王雪妮,邹玮. 基于WPI-LSE模型的中国水贫困测度及空间驱动类型分析[J]. 经济地理, 2012, 32(3): 9-15. [Sun C Z, Wang X N, Zou W. Measurement and spatial driving type analysis for water poverty in China based on WPI-LSE Model[J]. *Economic Geography*, 2012, 32(3): 9-15.]
- [13] Sun C Z, Wu Y J, Zou W, et al. A rural water poverty analysis in China using the DPSIR-PLS model[J]. *Water Resources Management an International Journal Published for the European Water Resources Association*, 2018, 32(6): 1933-1951.
- [14] 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 X N, Sun C Z, Zou W. Coupling relation analysis between water poverty and economic poverty in China[J]. *China Soft Science*, 2011, (12): 180-192.]
- [15] 孙才志,汤玮佳,邹玮. 中国水贫困与城市化、工业化进程的协

2019年1月

- 调关系研究[J]. 中国软科学, 2013, (7): 86–100. [Sun C Z, Tang W J, Zou W. Research on the coordinating relation among rural water poverty, urbanization and industrialization process in China [J]. *China soft Science*, 2013, (7): 86–100.]
- [16] 杨玉蓉, 谭勇, 皮灿, 等. 湖南农村水贫困时空分异及其驱动机制[J]. 地域研究与开发, 2014, 33(1): 23–27. [Yang Y R, Tan Y, Pi C, *et al.* Spatial-temporal pattern of rural water poverty and its driving factors in the Hilly Area of Hunan Province[J]. *Areal Research and Development*, 2014, 33(1): 23–27.]
- [17] 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 X Y, Gao Z Y, Ma Y Y, *et al.* Spatio-temporal coupling between rural water poverty and agricultural modernization in China from 2005 to 2014[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(5): 717–726.]
- [18] Forouzani M, Karami E. Agricultural water poverty index and sustainability[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2011, 31(2): 415–431.
- [19] 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, 2001–2017. [National Bureau of Statistics of China. *China Statistical Yearbook*[M]. Beijing: China Statistics Press, 2001–2017.]
- [20] 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, 2001–2017. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China water statistical yearbook*[M]. Beijing: China Statistics Press, 2001–2017.]
- [21] 国家环境保护总局. 中国环境统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001–2017. [State Environmental Protection Administration. *China Environment Year Book*[M]. Beijing: China Statistics Press, 2001–2017.]
- [22] 国家统计局. 中国区域经济统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001–2017. [National Bureau of Statistics. *China Statistical Yearbook for Regional Economy*[M]. Beijing: China Statistics Press, 2001–2017.]
- [23] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000–2016. [The Ministry of Water Resources. *China Water Resources Bulletin*[M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2000–2016.]
- [24] 杨羽翮, 孙才志. 环渤海地区陆海统筹度评价与时空差异分析[J]. 资源科学, 2014, 36(4): 691–701. [Yang Y D, Sun C Z. Assessment of land-sea coordination in the Bohai Sea Ring Area and spatial-temporal differences[J]. *Resources Science*, 2014, 36(4): 691–701.]
- [25] Jaynes E T. Information theory and statistical mechanics[J]. *Physical Review*, 1957, 106(4): 620–630.
- [26] 陈守煜, 于雪峰. 相对隶属度与两级模糊识别模型及其在水工评价中应用[J]. 大连理工大学学报, 2004(2): 288–291. [Chen S Y. Relative membership degree and new two-level fuzzy pattern recognition model and their application to hydraulic engineering [J]. *Journal of Dalian University of Technology*, 2004(2): 288–291.]
- [27] 关伟, 张华, 许淑婷. 基于 DEA-ESDA 模型的辽宁省能源效率测度及时空格局演化分析[J]. 资源科学, 2015, 37(4): 764–773. [Guan W, Zhang H, Xu S T. Spatial and temporal pattern evolution of energy efficiency in Liaoning Based on the DEA-ESDA Model[J]. *Resources Science*, 2015, 37(4): 764–773.]
- [28] Ye X Y, Rey S J. A framework for exploratory space-time analysis of economic data[J]. *The Annals of Regional Science*, 2013, 50(1): 315–339.
- [29] 高长春, 刘贤赵, 李朝奎, 等. 近 20 年来中国能源消费碳排放时空格局动态[J]. 地理科学进展, 2016, 35(6): 747–757. [Gao C C, Liu X Z, Li C K, *et al.* Spatiotemporal dynamics of emissions by energy consumption in China from 1995 to 2014[J]. *Progress in Geography*, 2016, 35(6): 747–757.]
- [30] Rey S J, Ye X Y. Comparative Spatial Dynamics of Regional Systems[A]. Páez A, Gallo J, Buliung R N, *et al.* *Progress in Spatial Analysis: Methods and Applications*[M]. Berlin: Springer, 2010.
- [31] Rey S J. Spatial empirics for economic growth and convergence[J]. *Geographical Analysis*, 2001, 33(3): 195–214.
- [32] Mehta L. The manufacture of popular perceptions of scarcity: dams and water-related narratives in Gujarat, India[J]. *World Development*, 2004, 29(12): 2025–2041.
- [33] Noemdoe S, Jonker L, Swatuk L A. Perceptions of water scarcity: the case of Genadendal and outstations[J]. *Physics & Chemistry of the Earth*, 2006, 31(15): 771–778.
- [34] Rey S J, Murray, A T, Anselin L. Visualizing regional income distribution dynamics[J]. *Letters in Spatial and Resource Sciences*, 2011, 4(1): 81–90.

Evaluation and spatio-temporal analysis for agricultural water poverty in China

ZHANG Hua, WANG Lili

(College of Economics and Management, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: In this paper, the concept of "agricultural water poverty" is put forward under the guided by the idea of improving the efficiency of water use in agriculture. Based on the conceptual definition and evaluation index system of agricultural water poverty, the POME-two-level fuzzy pattern recognition model was used to evaluate the agricultural water poverty index of 30 provinces (cities) in China from 2000 to 2016 under the common constraints of existing water resource endowment, water supply facilities, water resource use, ecological environment and social economy, education and people's life. Then calculated by Exploratory Time-space Data Analysis (ESTDA) to analysis its dynamic spatial and temporal pattern from the perspective of time and space coupling. The results show that: Although China has a serious problem of agricultural water poverty, the degree of agricultural water poverty in most provinces (cities) is alleviating. The agricultural water poverty of provinces (cities) in most years has a significant spatial negative correlation, and the spatial difference is gradually expanding. Compared with the southwest region, south China and east China have more dynamic local spatial structure. The spatial and temporal dependence is weak in northeast and northwest China. The spatial pattern of agricultural water poverty has strong spatial integration, the provinces (cities) that showed the same trend increased are mainly distributed in East China and South China, and the provinces (cities) that showed the same trend decreased are mainly distributed in the northern regions. The local spatial linkage of agricultural water poverty in provinces (cities) is relatively weak, and the spatial clustering has relatively high path-locking characteristics. In addition, the countermeasures and suggestions for reducing agricultural water poverty are put forward to provide reference for China's agricultural water resources management and sustainable development.

Key words: agricultural water poverty; POME-two-level fuzzy pattern recognition model; space-time dynamics; space-time transitions; China