



刘晓敏,任印国,洪帅. 山东省水贫困与农业现代化耦合协调关系研究[J]. 黑龙江农业科学, 2021(8):90-96,97.

# 山东省水贫困与农业现代化耦合协调关系研究

刘晓敏<sup>1,2</sup>,任印国<sup>3</sup>,洪 帅<sup>2</sup>

(1. 河北经贸大学 经济研究所,河北 石家庄 050061;2. 河北经贸大学 京津冀一体化发展协同创新中心,河北 石家庄 050061;3. 河北省水文勘测研究中心,河北 石家庄 050031)

**摘要:**山东省是中国粮食作物和经济作物的重点产区,为促进山东省农业现代化建设,本研究构建了山东省水贫困和农业现代化评价指标体系,通过耦合协调度模型对2018年山东省各地区的水贫困与农业现代化耦合协调关系进行了分析。结果显示:山东省大部分地区人均水资源量、地均水资源量、水资源利用效率较低,2018年山东省水贫困和农业现代化耦合协调度大部分地区处于濒临失调和勉强协调的状态,山东省大部分地区水贫困和农业现代化耦合协调度处于中等偏下水平,2018年山东省各地区水贫困指数和农业现代化指数都处于中等偏下水平,2018年山东省各地区水贫困和农业现代化耦合度明显低于协调度。提出山东省应继续提高水资源利用效率、农业生产效率及农业产值,促进水贫困与农业现代化耦合协调发展的建议。

**关键词:**农业现代化;水贫困;耦合协调;山东省

近年来,随着全球人口的增长、社会经济的发展,人们对水资源的需求量也逐渐增加。全球气候变暖,地下水位下降以及水体污染等背景下,水资源短缺问题逐渐成为当今世界普遍面临的主要资源问题。中国是一个农业大国,水资源供给不足与农业发展需求之间的矛盾使中国的粮食安全、生态安全等面临严峻挑战,严重制约着中国社会经济的可持续发展<sup>[1]</sup>。水贫困理论从贫困理论出发,将水资源的开发、利用、管理和人类利用水资源的能力、权利和对生计的影响结合起来,将水资源短缺问题的解决从水文工程领域扩展到社会经济领域<sup>[2-3]</sup>。水贫困理论开始于牛津大学 Sullivan 提出的 WPI 指数(Water Poverty Index),WPI 指数包括水资源状况、供水设施、利用能力、使用效率和水资源利用对环境的影响5个方面,能够定量评价不同尺度范围内的相对缺水状态<sup>[4]</sup>。其后,英国生态与水文研究中心提出了水资源财富指数(Water Wealth Index)<sup>[5]</sup>和气候脆弱性指数(Climate Vulnerability Index)<sup>[6]</sup>,从增加粮食、健康、生产力状况等角度扩充水贫困理论。国内外学者多是在 WPI 体系基础上构建水贫困评价指标体系,通过熵值法、AHP、主成分分

析等方法测度水贫困程度和分析其驱动因素<sup>[7]</sup>。

国内研究者从全国、流域、省、县(市)、村等范围对水贫困、农村水贫困、农业水贫困进行了测度。孙才志等<sup>[8-10]</sup>构建了中国农村水贫困风险评价指标体系,对中国农村的水贫困进行了测度;陈莉等<sup>[11]</sup>构建了石羊河流域水贫困评价指标体系,测度了流域内5个县(区)的水贫困水平,并进行了时空分异研究;刘理臣等<sup>[12]</sup>测度了甘肃省的水贫困程度,并分析了其驱动因素。杨玉蓉等<sup>[13]</sup>以湖南省县域为单元,测算了其农村水贫困程度,并分析了造成湖南省农村水贫困的驱动因素。张华等<sup>[14]</sup>以农业水贫困指数分析了陕西省宝鸡峡灌区的农业水贫困程度。杨玉蓉等<sup>[15-16]</sup>通过调研数据,评价了湖南省村级尺度的农村水贫困程度,并分析了其驱动因素。

农业现代化是国家现代化的重要内容和组成部分<sup>[17]</sup>。农业现代化水平既关系到国家粮食安全和农业可持续发展,又对实现乡村振兴战略和全面建成小康社会具有重要意义<sup>[18]</sup>。一般认为农业现代化即用机械来代替劳动力,人均和地均产量增长,用更少的化肥和保护性的农药带来更高的产量,更多资本的投入使得土地更加高效,主要体现在机械化、集约化、专业化、科学技术化、规模化以及产业结构的合理化<sup>[19]</sup>。一些研究者对农业现代化与交通、农业现代化和农业保险耦合协调关系进行了研究。陈政等<sup>[20]</sup>构建了交通与农业现代化评价指标体系,通过协调耦合模型,量化分析了2017年河北交通与农业现代化之间

收稿日期:2021-03-26

基金项目:河北省自然科学基金青年项目(G2020207002);河北经贸大学京津冀一体化发展协同创新中心经费资助(0112200360)。

第一作者:刘晓敏(1975—),女,博士,副研究员,从事农业经济、资源与环境经济研究。E-mail:252202967@qq.com。

的耦合协调度的关系。黄静等<sup>[21]</sup>构建了新疆农业现代化和农业保险综合发展水平评价指标体系,利用熵值法评价了新疆农业现代化和农业保险发展特征,利用耦合协调度模型,探新疆农业现代化和农业保险协调发展关系。

一些研究者对水贫困与城市化水平、水贫困与经济贫困、农村水贫困与城市化及工业化进程、农村水贫困与农业现代化之间的耦合协调关系进行了研究。李欢等<sup>[22]</sup>通过水贫困指数和城市化发展模型,对湖南省2007—2017年水贫困和城市化水平进行测度,采用耦合协调度模型定量评估湖南省水贫困与城市化耦合协调关系的时空变化。孙才志等<sup>[23]</sup>构建了中国农村的水贫困和经济贫困的评价体系,对1995—2011年间31省(自治区、直辖市)农村的水贫困与经济贫困水平进行评价,通过耦合度模型测算出中国农村的水贫困和经济贫困之间的历年耦合程度。孙才志等<sup>[24]</sup>构建了中国农村水贫困、城市化、工业化进程综合评价指标体系,运用水贫困指数模型(WPI)、城市化与工业化进程系数模型,对我国2000—2009年31个省份农村地区水贫困、城市化与工业化水平进行测算,通过协调度模型评估我国各省份农村水贫困与城市化、工业化的协调关系。赵雪雁等<sup>[1]</sup>以中国30个省(市、自治区)为研究单元,构建了农村水贫困和农业现代化水平的评价指标体系,通过耦合协调度模型,评估农村水贫困与农业现代化的耦合协调性。

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资源环境与经济可持续发展<sup>[1]</sup>。前人对农业现代化及水贫困水平的测定指标体系及评价方法,对农业现代化与交通、农业保险耦合协调关系的研究,对水贫困与城市化水平、经济贫困、城市化与工业化进程、农业现代化之间的耦合协调的研究为本研究提供了农业现代化与水贫困测度的指标体系与方法、水贫困与农业现代化协调关系的研究方法。本研究通过耦合协调度模型对2018年山东省地区的水贫困与农业现代化耦合协调关系进行了分析,构建了评价指标体系,以期为促进山东省农业现代化建设提供理论支撑。

## 1 研究区概况

山东省位于中国东部沿海、黄河下游,(34°22.9′N~38°24.01′N、114°47.5′E~122°42.3′E)。山东省

的气候属暖温带季风气候类型,光照资源丰富,年均光照时数2 290~2 890 h,热量条件可满足农作物一年两作的需要。山东省水资源主要来源于大气降水,多年平均降水量为676.5 mm,降雨量由东南向西北递减。夏季降水量占全年降水量的60%~70%,容易发生夏季洪涝,冬季、春季和秋季干旱的现象,对农业生产影响较大。山东省多年平均天然径流量为222.9亿m<sup>3</sup>,多年平均地下水资源量为152.6亿m<sup>3</sup>,扣除重复计算多年平均淡水资源总量为305.8亿m<sup>3</sup>。山东是中国的农业大省,是全国粮食作物和经济作物的重点产区,有“粮棉油之库,水果水产之乡”之称。山东省的粮食产量较高,粮食作物种植分夏、秋两季。夏粮作物主要是冬小麦,秋粮作物主要是玉米、红薯、大豆、水稻、谷子、高粱和小杂粮。小麦、玉米、红薯是山东的三大主要粮食作物。山东是中国经济最发达的省份之一,也是发展较快的省份之一。截至2019年末,山东省常住人口10 070.21万人。经国家统计局统一核算,2019年,山东省生产总值(GDP)71 067.5亿元,按可比价格计算,比上年增长5.5%。其中,第一产业增加值5 116.4亿元,增长1.1%;第二产业增加值28 310.9亿元,增长2.6%;第三产业增加值37 640.2亿元,增长8.7%。三次产业结构由上年的7.4:41.3:51.3调整为7.2:39.8:53.0。人均生产总值70 653元,增长5.2%,按年均汇率折算为10 242美元(2019年山东省国民经济和社会发展统计公报)。山东省水资源与农业现代化发展的协调关系研究对山东省、甚至全国的水资源可持续利用和农业现代化发展有指导意义。

## 2 研究方法

### 2.1 指标的选取

参考水贫困指数及研究者提出的水贫困指标体系<sup>[1,9,12,23]</sup>,结合山东省数据可获得性,提出了山东省水贫困评价指标体系,包括人均水资源量、人均地下水资源量、地均水资源量、地均地下水资源量、降雨量、农业有效灌溉率、农业用水比例、万元GDP用水量。根据农业现代化的涵义及研究者提出的农业现代化评价指标体系<sup>[1,25-27]</sup>,结合山东省数据可获得性,提出了山东省农业现代化评价指标体系,包括粮食单产、人均粮食产量、人均农业增加值、人均农业生产总值、地均农业生产

总值、地均农业增加值、单位耕地面积农机总动力、农村居民人均可支配收入。山东省水贫困与

农业现代化评价指标体系数据来源于《山东统计年鉴 2019》。

表 1 山东省水贫困与农业现代化水平评价指标体系

一级指标	二级指标	指标计算方法	指标作用方向
水贫困水平	人均水资源量/(m <sup>3</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	水资源总量/总人口	+
	人均地下水资源量/(m <sup>3</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	地下水资源总量/总人口	+
	地均水资源量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	水资源总量/土地面积	+
	地均地下水资源量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	地下水资源总量/土地面积	+
	降雨量/mm	统计数据	+
	农业有效灌溉率/%	有效灌溉面积/耕地面积	+
	农业用水比例/%	农业用水量/用水总量	-
	万元 GDP 用水量/(m <sup>3</sup> ·万元 <sup>-1</sup> )	用水总量/万元 GDP	-
农业现代化水平	粮食单产/(kg·hm <sup>-2</sup> )	粮食产量/耕地面积	+
	人均粮食产量/(kg·人 <sup>-1</sup> )	粮食产量/乡村人口	+
	人均农业增加值/(元·人 <sup>-1</sup> )	农业增加值/乡村人口	+
	人均农业生产总值/(元·人 <sup>-1</sup> )	农业生产总值/乡村人口	+
	地均农业生产总值/(元·hm <sup>-2</sup> )	农业生产总值/耕地面积	+
	地均农业增加值/(元·hm <sup>-2</sup> )	农业增加值/耕地面积	+
	单位耕地面积农机总动力/(kW·hm <sup>-2</sup> )	农机总动力/耕地面积	+
	农村居民人均可支配收入/(元·人 <sup>-1</sup> )	统计数据	+

2.2 水贫困与农业现代化耦合协调评价方法

“耦合”是物理中的概念,如果两个及以上子系统相互促进、协同发展,就形成积极的耦合关系;如果两个及以上子系统相互制约、失调发展,就形成消极的耦合关系。协调度可以衡量几个系统发展是否一致,如果系统之间各组间关系和谐、配合得当,协调度就高<sup>[28]</sup>,能够促进系统整体发展的状态;如果系统之间各组间关系不和谐、配合不得当,协调度就低。耦合协调模型可以全面地对几个系统之间的关联关系进行分析<sup>[20,29-31]</sup>。水资源是农业发展的必要条件,农业现代化通过高效节水灌溉、节水型品种等途径又可以提高水资源利用效率,减少水资源利用量,缓解水贫困程度。水贫困和农业现代化两个系统是否耦合协调对社会经济可持续发展有重要意义。

由于各评价指标的单位不统一,需要将各指标进行标准化处理,转化成无量纲只具有指示意义的可比较的指标。指标数据通过极差标准化法进行标准化处理。对于正向指标,采用(1)计算标准化值;对于负向指标,采用(2)计算标准化值。

$$S_{ij} = (x_{ij} - x_{imin}) / (x_{imax} - x_{imin})$$

(1)

$$S_{ij} = (x_{imax} - x_{ij}) / (x_{imax} - x_{imin})$$

(2)

(1)~(2)式中:  $x$  为指标值,  $i$  为不同市区,  $j$  为评价指标,  $S_{ij}$  为标准化值。

农业现代化指数计算方法:

$$A_i = \sum_{j=1}^8 S_{ij} / 8$$

(3)

水贫困指数的计算方法:

$$V_i = \sum_{j=1}^8 S_{ij} / 8$$

(4)

协调度的计算方法:

$$C = \left[ \frac{A \times V}{(0.5A + 0.5V)^2} \right]^2$$

(5)

两系统的综合调和指数计算方法:

$$D = \alpha A + \beta V$$

(6)

耦合协调度计算方法:

$$T = \sqrt{C \times D}$$

(7)

(3)~(7)式中:  $A$  代表农业现代化指数,  $V$  代表水贫困指数,  $C$  代表协调度,  $D$  代表水贫困和农业现代化两个系统程度调和指数,  $T$  代表耦合协调度。 $\alpha$  和  $\beta$  为待估参数,表示两个系统的重要程度,本文设水贫困和农业现代化两个系统同等重要,  $\alpha$  和  $\beta$  都为 0.5。

3 结果与分析

3.1 2018 年山东省水贫困和农业现代化评价指标

3.1.1 水贫困数据 由表 2 可知,2018 年山东省人均水资源量、人均地下水资源量、地均水资源量、地均地下水资源量、降雨量、农业有效灌溉率、农业用水比例和万元 GDP 用水量在 17 个地区间差异较大。人均水资源量东营市最高,日照市较高,青岛市最低;人均地下水资源量德州市最高,聊城市和菏泽市较高,青岛市最低,烟台市较低;地均水资源量日照市最高,潍坊市较高,青岛市最低,德州市、聊城市、烟台市、威海市和滨州市较低;地均地下水资源量聊城市最高,菏泽市、德州市、济宁市和济南市较高,烟台市最低,青岛市、东营市、莱芜市、临沂市、日照市较低;降雨量东营市最高,聊城市和威海市较高,潍坊市最低,莱芜市、

烟台市和青岛市较低;农业有效灌溉率聊城市最高,东营市、滨州市、济宁市和菏泽市较高,临沂市最低;农业用水比例青岛市最低,莱芜市、枣庄市、日照市和淄博市较低,德州市最高,菏泽市和聊城市较高;万元 GDP 用水量青岛市最低,威海市和烟台市较低,菏泽市最高,滨州市、德州市和聊城市较高。由上述数据可以发现青岛市人均水资源量、人均地下水资源量、地均水资源量、地均地下水资源量都较低,而水资源利用方面万元 GDP 用水量、农业有效灌溉率在山东省都处于最低的位置;聊城市人均地下水资源量、地均地下水资源量、降雨量、农业有效灌溉率、万元 GDP 用水量几个指标数据在山东省 2018 年都处于较高的位置;东营市人均水资源量、降雨量、农业有效灌溉率 3 个指标在山东省 2018 年都处于较高的位置。

表 2 2018 年山东省各市水贫困数据

地区	人均水资源量/ (m <sup>3</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	人均地下水资源量/ (m <sup>3</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	地均水资源量/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	地均地下水资源量/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	降雨量/ mm	农业有效灌溉率/%	农业用水比例/%	万元 GDP 用水量/ (m <sup>3</sup> ·万元 <sup>-1</sup> )
济南市	260.71	116.35	2431.73	1085.22	880.0	72.55	48.74	19.77
青岛市	162.32	35.55	1350.35	295.75	686.2	64.41	25.08	7.77
淄博市	366.24	121.02	2886.88	953.91	830.9	61.16	46.77	19.57
枣庄市	272.20	93.96	2342.49	808.58	792.6	70.12	44.10	22.94
东营市	853.55	123.84	2249.11	326.33	1112.1	82.85	53.88	25.17
烟台市	308.49	49.57	1584.62	254.61	685.8	55.56	58.49	11.50
潍坊市	531.85	104.88	3083.40	608.02	596.8	67.14	52.32	19.93
济宁市	308.65	145.58	2302.68	1086.08	705.3	79.07	73.62	43.67
泰安市	309.93	75.00	2252.17	545.00	752.3	68.01	55.57	31.74
威海市	363.96	83.39	1775.91	406.91	919.9	66.63	51.67	11.48
日照市	734.40	70.30	4006.50	383.52	793.3	48.69	46.68	25.29
莱芜市	359.68	58.74	2208.34	360.64	641.5	51.67	34.81	29.14
临沂市	404.84	60.15	2501.86	371.70	854.8	43.17	60.52	35.06
德州市	265.75	209.98	1490.68	1177.87	748.0	79.00	82.43	59.43
聊城市	214.50	195.74	1510.20	1378.07	1015.6	86.85	77.61	59.23
滨州市	436.20	169.02	1865.42	722.84	846.0	82.36	72.40	64.91
菏泽市	247.35	188.25	1783.59	1357.44	700.7	78.18	78.74	72.73

3.1.2 农业现代化数据 由表 3 可知,2018 年山东省 17 个地区间粮食单产差距较大,德州市最高,泰安市、济宁市、聊城市、青岛市和莱芜市较高,济南市最低,威海市、东营市和烟台市较低;人均粮食产量德州市最高,滨州市和东营市较高,莱芜市最低,日照市、烟台市、威海市和临沂市较低;

人均农业增加值济南市最高,烟台市、泰安市和济宁市较高,临沂市最低,菏泽市、日照市和威海市较低;人均农业生产总值烟台市最高,济南市、东营市、莱芜市和泰安市较高,菏泽市最低,临沂市、威海市和日照市较低;地均农业生产总值莱芜市最高,济南市、烟台市、泰安市、淄博市和济宁市较

高,菏泽市最低,东营市、滨州市、威海市、临沂市、德州市和日照市较低;地均农业增加值差距较大,莱芜市最高,济南市、泰安市、烟台市、济宁市和淄博市较高,东营市最低,菏泽市、滨州市、威海市、日照市、德州市和临沂市较低;单位耕地面积农机总动力威海市最高,德州市、聊城市和烟台市较高,临沂市最低,滨州市和东营市较低;农村居民可支配收入青岛市最高,威海市、烟台市、潍坊市和淄博市较高,菏泽市最低,聊城市、临沂市和德州市较低。由此可发现,2018 年山东省农业现代化评价指标粮食单产、人均粮食产量、人均农业增加值、人均农业生产总值、地均农业生产总值、地均农业增加值、农民人均可支配收入、单位耕地面

积农机总动力在 17 个地区间差异都较大。德州市粮食单产、人均粮食产量、单位耕地面积农机总动力 3 个指标在山东省 2018 年 17 个地区间都处于较高位置,但是地均农业生产总值和地均农业增加值在山东省 2018 年 17 个地区间都处于较低位置。济南市人均农业增加值、人均农业生产总值、地均农业生产总值和地均农业增加值 4 个指标在山东省 2018 年 17 个地区间处于较高位置。莱芜市粮食单产、人均农业生产总值、地均农业生产总值和地均农业增加值在山东省 2018 年 17 个地区间处于较高位置,但是人均粮食产量在山东省 2018 年 17 个地区间都处于最低位置。

表 3 2018 年山东省农业现代化数据

地区	粮食单产/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	人均粮食 产量/ (kg·人 <sup>-1</sup> )	人均农业 增加值/ (元·人 <sup>-1</sup> )	人均农业生 产总值/ (元·人 <sup>-1</sup> )	地均农业生 产总值/ (元·hm <sup>-2</sup> )	地均农业 增加值/ (元·hm <sup>-2</sup> )	单位耕地面积 农机总动力/ (kW·hm <sup>-2</sup> )	农村居民人均 可支配收入/ (元·人 <sup>-1</sup> )
济南市	5659	1208.11	9377.66	15306.61	90073.24	55183.77	12.86	17924
青岛市	6446	1253.78	7841.95	13304.70	63984.10	37712.99	14.35	20820
淄博市	6345	1038.91	7886.89	12980.70	84070.39	51079.99	11.62	18273
枣庄市	6126	1065.12	7287.62	11496.35	78813.61	49960.47	12.75	15345
东营市	5732	2179.44	8917.36	14592.42	42814.37	26163.66	10.90	17485
烟台市	5955	736.83	9366.16	15903.63	88984.54	52405.84	17.26	19425
潍坊市	6129	1194.61	8975.06	13991.91	63398.94	40667.01	12.68	18719
济宁市	6499	1370.06	9080.81	14336.44	81848.58	51843.50	15.35	16055
泰安市	6732	1147.63	9106.58	14560.76	85922.06	53737.29	14.30	16959
威海市	5722	774.20	6057.47	9900.03	46568.24	28493.42	26.66	20423
日照市	6320	732.61	6014.37	9986.38	48708.75	29335.17	11.79	15785
莱芜市	6434	510.08	8881.21	14572.78	100723.40	61384.70	12.22	17468
临沂市	6293	794.92	4799.58	7685.67	47455.12	29634.99	9.17	13638
德州市	6807	2922.81	7613.43	12370.17	48091.95	29599.01	18.67	14564
聊城市	6449	1777.93	7680.89	12269.07	63992.44	40061.64	17.53	13492
滨州市	6323	2315.05	7418.00	12025.80	43122.90	26599.97	9.96	16061
菏泽市	6263	1711.31	4999.63	7523.60	39670.62	26362.18	11.36	12848

3.2 山东省水贫困和农业现代化协调结果

参考文献[21]和[31-33]划分水贫困与农业现代化耦合协调标准详见表 4。

通过公式(1)、公式(2)将山东省各地区 2018 年水贫困和农业现代化评价指标进行标准处理,得到其标准化数据,山东省 2018 年水贫困与农业现代化评价标准化数据经过公式(3)、公式(4)、公式(5)、公式(6)和公式(7)计算,结果详见表 5。由表 5 可知,山东省 2018 年水贫困和农

业现代化协调度大部分地区较高。济南市、淄博市、枣庄市、潍坊市水贫困和农业现代化协调度达到最高,菏泽市、临沂市、烟台市水贫困和农业现代化协调度较低。济南市和淄博市农业现代化指数和水贫困指数都较高。2018 年山东省各地区水贫困指数处于中等偏下水平,东营市水贫困指数最高,但是农业现代化指数水平还有待提高。临沂市和菏泽市的农业现代化指数在山东省处于较低位置,两个地区的水贫困指数也较低。烟台

市和泰安市农业现代化指数较高,但是水贫困指数较低。

表 4 耦合协调度划分标准

耦合协调等级	耦合协调度	耦合协调类型
1	$0\leq T<0.1$	极度失调
2	$0.1\leq T<0.2$	严重失调
3	$0.2\leq T<0.3$	中度失调
4	$0.3\leq T<0.4$	轻度失调
5	$0.4\leq T<0.5$	濒临失调
6	$0.5\leq T<0.6$	勉强协调
7	$0.6\leq T<0.7$	初级协调
8	$0.7\leq T<0.8$	中级协调
9	$0.8\leq T<0.9$	良好协调
10	$0.9\leq T\leq 1.0$	优质协调

表 5 2018 年山东省水贫困和农业现代化耦合协调值

地区	水贫困指数	农业现代化指数	协调度	耦合协调度	耦合协调类型
济南市	0.55	0.59	1.00	0.57	勉强协调
青岛市	0.34	0.55	0.89	0.43	濒临失调
淄博市	0.54	0.55	1.00	0.54	勉强协调
枣庄市	0.47	0.44	1.00	0.45	濒临失调
东营市	0.63	0.40	0.91	0.50	勉强协调
烟台市	0.27	0.65	0.70	0.42	濒临失调
潍坊市	0.47	0.51	1.00	0.49	濒临失调
济宁市	0.45	0.63	0.94	0.53	勉强协调
泰安市	0.38	0.67	0.85	0.50	勉强协调
威海市	0.44	0.36	0.98	0.40	濒临失调
日照市	0.50	0.25	0.79	0.35	轻度失调
莱芜市	0.33	0.65	0.80	0.46	濒临失调
临沂市	0.31	0.13	0.68	0.20	中度失调
德州市	0.42	0.52	0.98	0.47	濒临失调
聊城市	0.52	0.47	0.99	0.49	濒临失调
滨州市	0.43	0.37	0.99	0.40	濒临失调
菏泽市	0.40	0.15	0.63	0.25	中度失调

2018 年山东省水贫困和农业现代化耦合协调度大部分地区处于濒临失调和勉强协调的状态,因此 2018 年山东省各地区水贫困和农业现代化耦合度不高,并且明显低于协调度。临沂市和菏泽市中度失调。农业现代化发展需要水资源作为支撑,水资源丰富与否和利用效率会影响到农业现代化的发展。农业现代化发展又会影响到经济发展,影响到农业基础设施的建设,影响到水资

源利用效率,二者相互促进,才能达到资源环境经济可持续发展。

4 结论与建议

山东省是中国粮食作物和经济作物的重点产区,考察其水贫困和农业现代化耦合协调关系,可以有针对性地提出促进二者协调发展的建议。参考研究者提出的水贫困和农业现代化评价指标体系,结合山东省各地区数据的可获得性,提出了山东省水贫困和农业现代化评价指标体系。本文通过耦合协调度模型对 2018 年山东省各地区的水贫困与农业现代化耦合协调关系进行了分析。得出以下结论并提出相应建议:

2018 年山东省人均水资源量、人均地下水资源量、地均水资源量、地均地下水资源量、降雨量、农业有效灌溉率、农业用水比例和万元 GDP 用水量在 17 个地区间差异较大。山东省大部分地区人均水资源量、地均水资源量、水资源利用效率较低,建议继续提高山东省工业、农业等方面的用水效率;2018 年山东省农业现代化评价指标粮食单产、人均粮食产量、人均农业增加值、人均农业生产总值、地均农业生产总值、地均农业增加值、农民人均可支配收入、单位耕地面积农机总动力在 17 个地区间差异都较大。山东省应该继续提高农业生产效率,促进大部分地区提高农业产值。

2018 年山东省水贫困和农业现代化耦合协调度大部分地区处于濒临失调和勉强协调的状态,山东省总体上水贫困和农业现代化耦合协调度处于中等偏下水平;2018 年山东省各地区水贫困指数和农业现代化指数都处于中等偏下水平;山东省 2018 年水贫困和农业现代化协调度大部分地区较高。2018 年山东省各地区水贫困和农业现代化耦合度明显低于协调度,山东省在继续推进农业现代化建设的同时,还需要提高水资源利用效率,促进水贫困与农业现代化建设协调发展。

参考文献:

[1] 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.

[2] 邵薇薇,杨大文. 水贫乏指数的概念及其在中国主要流域的初步应用[J]. 水利学报,2007(7):866-872.

[3] 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.

[4] SULLIVAN C A. The water poverty index: Development and application at the community scale[J]. Natural Re-

- source Forum, 2003, 27(3):189-199.
- [5] SULLIVAN C A, VÖRÖSMARTY C J, CRASWELLE, et al. Mapping the links between water poverty and food security[R]. Wallingford: The Water Indicators Workshop Held at the Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK, 2005: 23-24.
- [6] KRAGELUND C, NIELSEN J L, THOMSEN T R, et al. Ecophysiology of the filamentous *Alphaproteobacterium* *Meganema perideroedes* in activated sludge[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2005, (1): 111-122.
- [7] 孙才志, 吴永杰, 刘文新. 基于 DPSIR-PLS 模型的中国水贫困评价[J]. 干旱区地理, 2017, 40(5): 1079-1088.
- [8] 孙才志, 汤玮佳, 邹玮. 中国农村水贫困测度及空间格局机理[J]. 地理研究, 2012, 31(8): 1445-1455.
- [9] 孙才志, 董璐, 郑德凤. 中国农村水贫困风险评价、障碍因子及阻力类型分析[J]. 资源科学, 2014, 36(5): 895-905.
- [10] 孙才志, 董璐. 基于灾害学视角的中国农村水贫困测度[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(3): 83-92.
- [11] 陈莉, 石培基, 魏伟, 等. 干旱区内陆河流域水贫困时空分异研究——以石羊河为例[J]. 资源科学, 2013, 35(7): 1373-1379.
- [12] 刘理臣, 靳素芳, 付春燕, 等. 甘肃省水贫困时空分异及驱动因素研究[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2016, 52(2): 205-210.
- [13] 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.
- [14] 张华, 王礼力. 基于信息扩散技术的农业水贫困指数测度[J]. 统计与决策, 2020, 36(6): 84-86.
- [15] 杨玉蓉, 张青山, 邹君. 基于村级尺度的农村水贫困评价——以常德澧县梅家港村为例[J]. 生态经济, 2013(7): 24-28, 32.
- [16] 杨玉蓉, 张青山, 邹君. 基于村级尺度的湖南农村水贫困比较研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(7): 1027-1034.
- [17] 韩长赋. 加快推进农业现代化 努力实现“三化”同步发展[J]. 求是, 2011(19): 39-42.
- [18] 曾福生, 蔡保忠. 以产业兴旺促湖南乡村振兴战略的实现[J]. 农业现代化研究, 2018, 39(2): 179-184.
- [19] BROWN C, WALDRON S. Agrarian change, agricultural modernization and the modelling of agricultural households in Tibet[J]. Agricultural Systems, 2013, 115: 83-94.
- [20] 陈政, 崔若男, 周天予, 等. 河北省交通与农业现代化耦合协调性研究[J]. 经济地理, 2020, 40(3): 152-159.
- [21] 黄静, 余国新, 胡殿毅. 农业现代化与农业保险耦合协调发展研究——以新疆为例[J]. 农业现代化研究, 2019, 40(2): 197-205.
- [22] 李欢, 李景保, 王凯. 湖南省水贫困与城市化水平测度及其时空耦合协调研究[J]. 水资源与水工程学报, 2019, 30(4): 105-112.
- [23] 孙才志, 陈琳, 赵良仕, 等. 中国农村水贫困和经济贫困的时空耦合关系研究[J]. 资源科学, 2013, 35(10): 1991-2002.
- [24] 孙才志, 汤玮佳, 邹玮. 中国农村水贫困与城市化、工业化进程的协调关系研究[J]. 中国软科学, 2013(7): 86-100.
- [25] 夏四友, 文琦, 赵媛, 等. 榆林市农业现代化发展水平与效率的时空演变[J]. 经济地理, 2017, 37(10): 173-180.
- [26] 李滋婷, 柴洪. 甘肃省新型城镇化与农业现代化协调发展空间分布差异研究[J]. 数学的实践与认识, 2019, 49(8): 47-55.
- [27] 鲁春阳, 文枫, 张宏敏, 等. 基于改进 TOPSIS 法的河南省农业现代化发展水平评价[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(1): 92-97.
- [28] LEI D, WEITUO Z, YALIN H, et al. Research on the coupling coordination relationship between urbanization and the air environment: a case study of the area of Wuhan[J]. Atmosphere, 2015, 6(10): 1539-1558.
- [29] 邢霞, 修长百, 刘玉春. 黄河流域水资源利用效率与经济发展的耦合协调关系研究[J]. 软科学, 2020, 34(8): 44-50.
- [30] 唐志强, 秦娜. 张掖市新型城镇化与生态安全耦合协调发展研究[J]. 干旱区地理, 2020, 43(3): 786-795.
- [31] 张胜武, 石培基, 王祖静. 干旱区内陆河流域城镇化与水资源环境系统耦合分析——以石羊河流域为例[J]. 经济地理, 2012, 32(8): 142-148.
- [32] 李健, 李鹏飞, 苑清敏. 基于多层级耦合协调模型的京津冀工业产业协同发展分析[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(9): 1-7.
- [33] 曹兴华. 基于耦合模型民族地区农业生态旅游与农业经济协调发展研究——以四川省甘孜藏族自治州为例[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(8): 205-210.

## Research on the Coupling Coordination Relationship Between Water Poverty and Agricultural Modernization in Shandong Province

LIU Xiao-min<sup>1,2</sup>, REN Yin-guo<sup>3</sup>, HONG Shuai<sup>2</sup>

(1. Institute of Economics Study, Hebei University of Economics & Business, Shijiazhuang 050061, China; 2. Collaborative Innovation Center for Beijing-Tianjin-Hebei Integrated Development, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050061, China; 3. Hebei Hydrology Survey and Research Center, Shijiazhuang 050031, China)



郝小雨. 黑龙江省 30 年来农田生态系统碳源/汇强度及碳足迹变化[J]. 黑龙江农业科学, 2021(8):97-104.

# 黑龙江省 30 年来农田生态系统碳源/汇强度 及碳足迹变化

郝小雨

(黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**为明确黑龙江省农田生态系统碳源/汇强度及碳足迹变化,基于 1990—2019 年黑龙江省农作物播种面积、产量和农业投入等数据,利用农田生态系统碳足迹模型,对黑龙江省农田生态系统碳排放、碳吸收和碳足迹进行估算。结果表明:黑龙江省农田生态系统碳排放呈“阶梯状”增加趋势,年均增加 7.0%,其中化肥施用和灌溉是碳排放的主要贡献因子。黑龙江省农田生态系统单位面积碳排放量在 164.8~313.7 kg·hm<sup>-2</sup>,低于全国平均水平。黑龙江省农田系统具有较强的碳汇能力,碳吸收量明显高于碳排放量,两者比例为 19.4:1,其中玉米、水稻和豆类作物碳吸收量较高,占比分别为 39.4%、31.4%和 14.0%。黑龙江省农业生态系统的碳足迹呈现波动增加趋势,但碳足迹占同时期作物播种面积的比例较低(4.2%~6.6%)。可见,黑龙江省农田生态系统处于良好的碳生态盈余状态,具有较好的生态屏障作用。

**关键词:**农田生态系统;碳排放;碳吸收;碳足迹;黑龙江省

政府间气候变化专门委员会(IPCC)在第五次评估报告中指出,2011 年大气中 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 三种温室气体浓度远超冰芯记录的过去 80 万年以来最高浓度<sup>[1]</sup>,而农业生产活动贡献了全球范围内约 14% 的人为温室气体排放量和 58% 的非人为 CO<sub>2</sub> 排放<sup>[2]</sup>。据测算,我国农田土壤 N<sub>2</sub>O 总排放量约为 0.19~0.5 Tg·a<sup>-1</sup>,占我国

农业源温室气体总排放量的 19%~25%<sup>[3]</sup>;我国稻田 CH<sub>4</sub> 总排放量为 7.7 Tg·a<sup>-1</sup>,约占我国农业源温室气体总排放量的 20%<sup>[4]</sup>。另一方面,农田生态系统是温室气体特别是 CO<sub>2</sub> 重要的汇,植物通过光合作用将大气中 CO<sub>2</sub> 变为有机碳进入土壤,进而稳定和增加土壤碳库<sup>[5]</sup>。据郑聚锋等<sup>[6]</sup>估算,中国农田土壤的表土理论固碳容量在 2 pg 水平。可见,农田生态系统作为陆地生态系统的重要组成部分,兼具碳源和碳汇双重作用,是陆地生态系统碳循环的重要环节<sup>[7-9]</sup>,正确评价农田生态系统碳源和碳汇强度,对于农业生产中制订合理的减排策略具有积极意义。

收稿日期:2021-04-20

基金项目:黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX1310);国家重点研发计划项目(2017YFD0300503-02);黑龙江省农业科学院高效、绿色现代农业示范项目(TGY-2020-37)。

作者简介:郝小雨(1981—),男,博士,副研究员,从事农田养分循环研究。E-mail: xiaoyuhao1981@sina.com。

**Abstract:** Shandong province is the key production area of grain crops and cash crops in China. In order to promote the construction of agricultural modernization in Shandong Province, this study constructed the evaluation index system of water poverty and agricultural modernization in Shandong province, and used the coupling coordination degree model to analyze the coupling coordination relationship between water poverty and agricultural modernization in various regions of Shandong province in 2018. The result found that most of the area per capita water resources in Shandong Province, ground water quantity, and water resource utilization efficiency were low. The water poverty and coupling coordination degree in most of the agricultural modernization was in a state of near disorders and barely coordination, in most areas of shandong province water poverty and coupling coordination degree of agricultural modernization in a below average level, the regional poverty index and water index was below average level of agricultural modernization, and the regional water poverty and coupling obviously below the coordination degree of agricultural modernization. It is suggested that Shandong Province should continue to improve water resource utilization efficiency, and agricultural production efficiency, agricultural output value, and promote the coupled and coordinated development of water poverty and agricultural modernization.

**Keywords:** agricultural modernization; water poverty; coupling coordination; Shandong Province