

文章编号:1004-3918(2022)09-1510-07

河南省耕地利用效益与水资源压力耦合评价

焦士兴¹, 王安周², 李青云¹, 李中轩³,
赵荣钦⁴, 张曼¹, 林璐霜¹

(1. 安阳师范学院 资源环境与旅游学院, 河南安阳 455002; 2. 洛阳市第十九中学, 河南 洛阳 471000;
3. 许昌学院 城市与环境学院, 河南 许昌 461000; 4. 华北水利水电大学 测绘与地理信息学院, 郑州 450046)

摘要:为促进河南省水土资源优化配置和协调发展,构建了水资源压力与耕地利用效益评价体系,运用耦合协调度模型评价二者的耦合关系。结果表明:①河南省耕地利用效益发展态势较好但增速不同,水资源压力区域差异较大且整体呈现波动增长趋势。②河南省耕地利用效益增长导致水资源压力不断增长,二者具有正相关性,且水资源压力波动幅度相对较大。③河南省耕地利用效益与水资源压力耦合度从低水平耦合发展到磨合阶段,耦合协调度则从中度失调发展到低度耦合协调。④河南省18市耕地利用效益与水资源压力的耦合协调度均呈增长趋势,但增长幅度不同且区域差异较小。

关键词: 河南省; 耕地利用效益; 水资源压力; 耦合评价

中图分类号: F 301 **文献标识码:** A

Coupling Evaluation Between Cultivated Land Use Efficiency and Water Resource Pressure in Henan Province

JIAO Shixing¹, WANG Anzhou², LI Qingyun¹, LI Zhongxuan³,
ZHAO Rongqin⁴, ZHANG Man¹, LIN Lushuang¹

(1. School of Resources and Environment and Tourism, Anyang Normal University, Anyang 455002, Henan China;
2. Luoyang No.19 Middle School, Luoyang 471000, Henan China;
3. School of Urban and Environmental Science Planning and Architecture, Xuchang University, Xuchang 461000, Henan China;
4. College of Surveying and Geo-informatics, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: In order to promote the optimal allocation and coordinated development of water and soil resources in Henan Province, the evaluation system of water resource pressure and cultivated land use benefit was constructed, and the coupling relationship between them was evaluated by using the coupling coordination degree model. The results show that: ① The development trend of cultivated land use benefit in Henan Province is good, but the increase degree is different. The regional difference of water resource pressure is large, and the overall trend is fluctuating and increasing; ② The increase of cultivated land use efficiency in Henan Province leads to the continuous growth of water resource pressure, which has a positive correlation, and the fluctuation range of water resource pressure is relatively large; ③ The coupling degree between cultivated land use efficiency and water resource pressure in Henan Province has developed from low-level coupling to running-in stage, and the coupling coordination degree has developed from moderate imbalance to low-level coupling coordination; ④ The coupling coordination degree of cultivated land use efficiency and water resource pressure in 18 cities of Henan Province

收稿日期: 2022-03-16

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目(21A170001);安阳市2020年科技发展计划项目(101);安阳师范学院大学生创新基金项目(202210479071)

作者简介: 焦士兴(1970-),男,教授,博士,主要研究方向为水资源和水环境

shows an increasing trend, but the growth range is different and the regional difference is small.

Key words: Henan Province; cultivated land use efficiency; water resource pressure; coupling evaluation

水土资源是人类生产生活的基础资源,其协调发展有利于实现区域粮食安全和可持续发展^[1]. 伴随着社会经济的发展,工业化、城镇化进程加快,导致农业用地持续减少、水环境恶化等现象,并严重威胁农村耕地的可持续利用^[2-3]. 国外研究在水土资源生态占用、土地利用对水资源影响、粮食生产对水资源影响等方面较多,如AL-Mulali等采用生态足迹方法探讨了可再生能源生产对水土占用带来的影响^[4]; Yira等依据水文模拟模型研究了土地利用变化对水资源产生的影响^[5]; 孙世坤等采用虚拟水流模型分析了粮食进出口对区域水资源压力^[6]. 国内学者研究集中在构建模型、时空分异、耦合协调等方面,如杜捷构建了宁夏水土资源评价指标体系,研究其耦合关系^[7]; 姜秋香构建了水土资源优化配置体系,分析了三江平原水土资源空间分布及其特征^[8]; 马历等通过构建水资源与耕地利用效益指标体系,并以四川省为例探讨了二者的耦合关系^[9].

综上,有关水资源与耕地利用的相关研究主要集中于土地对水资源的影响^[5-6]、时空差异分析^[8]以及区域研究^[4,7,9]等,但对二者耦合协调、相互影响研究较少. 水资源系统改善与耕地利用效益增长存在双向作用,开展二者相互影响、相互作用关系的研究更具有现实意义. 河南省作为农业大省和粮食生产核心区,农业耗水量多且受到“非农业”用水挤压,农业水资源相对短缺. 本研究构建了河南省耕地利用效益与水资源压力的综合评价体系,采用耦合协调度等模型,研究其耦合协调状况及空间分异,提出了针对性的政策建议.

1 研究方法数据来源

1.1 耕地利用效益指标体系和评价模型

结合相关研究^[10-12],构建了河南省经济等3方面14项指标体系(表1). 具体公式如下:

$$f(t) = f(a) + f(b) + f(c) = \sum_{j=1}^5 W_j Y_{ij} + \sum_{j=6}^9 W_j Y_{ij} + \sum_{j=10}^{14} W_j Y_{ij}. \quad (1)$$

式中: $f(t)$ 为耕地利用效益指数; $f(a)$ 、 $f(b)$ 、 $f(c)$ 分别表示耕地利用社会效益、经济效益和生态效益; W_j 表示第 j 个指标权重; i 表示第 i 年; j 表示第 j 个指标; Y_{ij} 表示 i 年第 j 个指标的标准化值.

1.2 水资源综合压力评价模型

1.2.1 标准差法赋权重

为消除指标单位差异,采用标准化处理指标层^[13]. 根据各指标标准化值,计算指标权重^[14]. 具体公式如下:

$$E(X_j) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Z_{ij}; \quad (2)$$

$$\sigma(X_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_{ij} - E(X_j))^2}; \quad (3)$$

$$W_j = \sigma(X_i) / \sum_{i=1}^n \sigma(X_i). \quad (4)$$

式中: $E(X_j)$ 、 $\sigma(X_i)$ 、 W_j 分别表示 x_{ij} 标准化后的均值、标准差和指标权重; x_{ij} 为第 i 年第 j 个指标值; N 表示指标数量; Z_{ij} 为经过标准化处理的数值.

1.2.2 水资源综合压力评价模型

结合相关研究成果,构建了包括水资源人口等4个压力指标的综合压力评价模型^[9].

表1 河南省耕地利用效益指标

Tab.1 Indexes of cultivated land use benefit in Henan Province

准则层	指标层	单位	属性	权重
社会效益	农民人均可支配收入	元/人	+	0.075
	人均粮食产量	kg/人	+	0.058
	粮食安全系数*		+	0.057
	人均耕地面积	人/hm ²	+	0.076
	劳动力转移指数		+	0.072
经济效益	农业劳动生产率	元/人	+	0.076
	地均农业增加值	万元/hm ²	+	0.056
	农业机械化程度	kW/hm ²	+	0.062
	人均农业增加值	元/人	+	0.081
生态效益	土地垦殖指数	%	+	0.080
	单位面积化肥使用量	kg/hm ²	-	0.075
	单位面积农药使用量	kg/hm ²	-	0.065
	有效灌溉指数	%	+	0.081
	复种指数		+	0.086

注: 联合国粮食及农业组织提出, 人均粮食达到400 kg为粮食数量安全.

具体公式如下:

$$P = W_{\alpha}Z_i + W_{\beta}Z_e + W_{\gamma}Z_c + W_{\delta}Z_t \quad (5)$$

式中: P 为水资源综合压力指数, 该值越大, 压力越大; W_{α} 、 W_{β} 、 W_{γ} 、 W_{δ} 分别为水资源人口、经济、生态、技术压力指数权重; Z_i 、 Z_e 、 Z_c 、 Z_t 则分别为水资源的人口、经济、生态、技术压力指数标准化值^[13]。水资源人口等压力指数计算见参考文献[9]。

1.3 耦合协调度计算

根据耕地利用效益和水资源综合压力指数值, 计算耦合度及耦合协调度。具体公式如下:

$$O = \sqrt{Z_1 \times Z_2 / (Z_1 + Z_2)^2}; \quad (6)$$

$$I = aZ_1 + bZ_2; \quad (7)$$

$$X = \sqrt{O \times I} \quad (8)$$

式中: O 为耦合度; I 为协调指数; X 为两个系统的耦合协调度; Z_1 和 Z_2 分别是耕地利用效益和水资源综合压力评价价值; a 、 b 为待定系数, 假设耕地利用效益与水资源压力系统同等重要, 则 $a = b = 0.5$ ^[15]。耦合度反映了耕地利用效益与水资源综合压力相互作用程度, 耦合协调度则探讨了其动态演化过程。耦合度、耦合协调度类别标准见表2^[9,16]。

表2 耦合度与耦合协调类别标准

Tab.2 Standards for coupling degree and coupling coordination category

耦合协调		耦合失调		耦合度类别	
分类	X 值范围	分类	X 值范围	分类	O 值范围
优质耦合协调	0.901~1.0	弱度失调	0.401~0.5	高水平耦合	(0.8~1.0]
高度耦合协调	0.801~0.9	低度失调	0.301~0.4	磨合阶段	(0.5~0.8]
中度耦合协调	0.701~0.8	中度失调	0.201~0.3	拮抗阶段	(0.3~0.5]
低度耦合协调	0.601~0.7	严重失调	0.101~0.2	低水平耦合	(0.0~0.3]
弱度耦合协调	0.501~0.6	极度失调	0.000~0.1	无序发展	0

1.4 数据来源

数据包括有效灌溉面积、农民人均可支配收入等 18 个指标。其中人均水资源量、有效灌溉面积、水资源开发量、万元 GDP 用水量、水资源利用量 5 个数据来源于《河南省水资源公报》(2005—2018 年); 农民人均可支配收入、第一产业产值、人均 GDP、农业增加值、粮食总产量、耕地总面积、全年农作物播种总面积、总人口数、非农业人口数、第一产业从业人口、农业机械总动力、土地总面积化肥使用量、农药使用量 13 个数据来源于《河南省统计年鉴》(2006—2019 年)。个别缺失数据依据相关资料整理获得。

2 耕地利用效益与水资源综合压力指数时间演变特征

利用公式(1)~(5)计算河南省 18 市耕地利用效益指数和水资源综合压力指数, 具体如图 1、图 2 所示。

由图可知, 河南省耕地利用效益发展态势较好, 均呈现增长趋势, 但增长速度不同。依据耕地利用效益指数, 运用 SPSS 软件进行聚类分析, 将其分为快速增长和缓慢增长两类(图 1)。快速增长的城市为郑州、鹤壁、濮阳、南阳、信阳。其中郑州耕地利用效益指数由 2005 年的 0.21 增长到 2018 年的 0.769, 增速最快, 原因在于在经济与科技的推动下, 社会、经济和生态效益均呈现高速增长, 增速分别为 185.6%、758.6%、184.7%, 从而使耕地利用效益指数不断提高。缓慢增长的城市有商丘、开封、洛阳、平顶山、安阳、新乡、焦作、许昌、漯河、三门峡、周口、驻马店、济源。其中商丘市耕地利用效益指数由 2005 年的 0.478 增长到 2018 年的 0.629, 增速最慢, 原因在于近年来商丘市耕地大量被占用转变为商业用地^[17], 生态效益降低(降低 354.9%), 但社会效益和经济效益有所增加, 耕地利用效益指数小幅度增长, 但增速较慢。

河南省水资源压力区域差异较大, 但整体呈波动增长态势。依据水资源综合压力指数增长速度, 运用 SPSS 软件进行聚类分析, 将其分为快速增长和缓慢增长两类(图 2)。快速增长的城市有郑州、开封、洛阳、安

阳、新乡、平顶山、鹤壁等7市, 其中郑州水资源压力指数由2005年的0.04增长到2018年的1.10, 增长幅度较大, 原因是近年来经济高速发展, 水资源经济、人口和生态压力指数均不断增大, 导致综合压力指数波动增长, 水资源利用效益有待提高. 缓慢增长的城市有焦作、濮阳、许昌、漯河、三门峡、南阳、商丘、信阳、周口、驻马店、济源等11市, 其中济源市水资源压力指数从2005年的0.083增长到2018年的0.120, 增长幅度相对较小, 原因是济源市水资源技术、人口、生态压力均有小幅度的上升, 而经济压力指数则大幅下降, 水资源压力指数变化幅度较小.

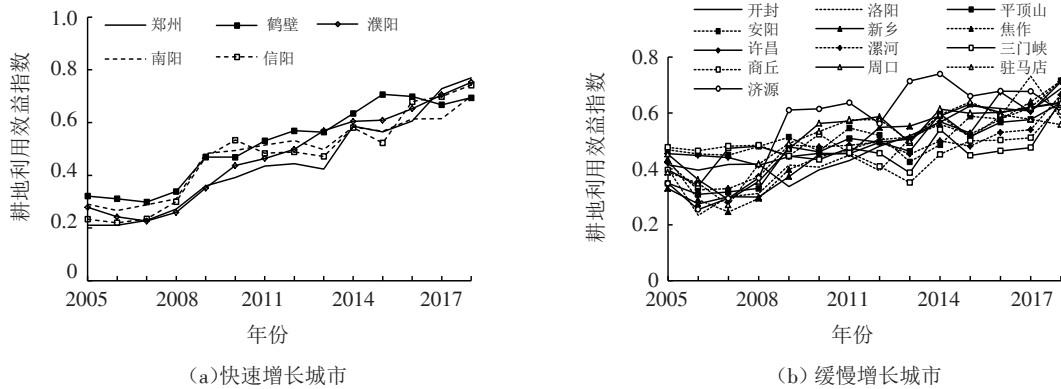


图1 2005—2018年河南省耕地利用效益态势

Fig.1 Cultivated land use benefit index of Henan Province from 2005 to 2018

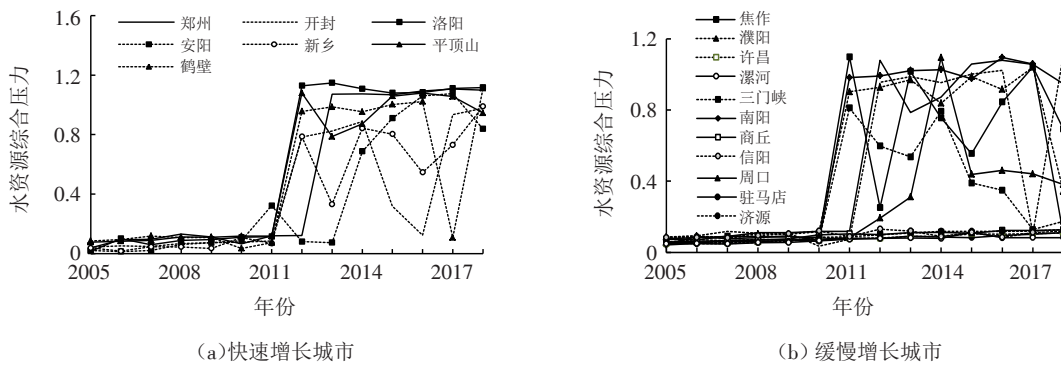


图2 2005—2018年河南省水资源综合压力态势

Fig.2 Comprehensive pressure index of water resources in Henan Province from 2005 to 2018

3 耕地利用效益与水资源压力的耦合分析

3.1 耕地利用效益与水资源压力综合评价指数动态分析

利用公式(1)~(5), 计算河南省耕地利用效益指数和水资源综合压力指数, 具体如图3、4所示.

由图3可知, 河南省耕地利用效益与水资源压力综合评价指数变化趋势相同, 相关系数为0.973, 表明二者具有较强的正向相关性, 说明耕地利用效益增长导致水资源压力不断增长, 且水资源压力指数波动幅度相对较大.

河南省耕地利用效益指数呈波动增加趋势, 但波动幅度较小. 耕地利用的社会、经济和生态效益权重依次为0.338、0.275、0.387, 表明生态效益对耕地利用效益的影响最大. 耕地利用效益指数由2005年的0.236波动增长至2018年的0.692, 年均增长0.035. 2006年后, 随着国家“十一五”计划的贯彻执行, 河南省加强了耕地资源的管理, 耕地利用水平不断提高, 利用方式不断优化, 复种指数、灌溉指数均有大幅增加^[18].

河南省水资源压力综合评价指数呈增加趋势, 但波动幅度较大. 水资源利用压力不断增加, 从2005年的0.338增至2018年的0.738, 年均增长0.031, 且水资源人口、经济、生态、技术压力的权重依次为0.244、

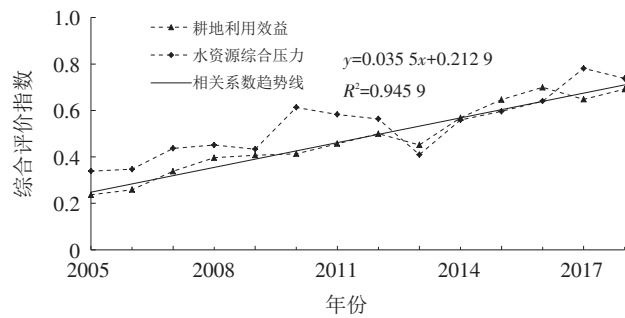


图3 2005—2018年河南省耕地利用效益与水资源综合压力评价指数

Fig.3 Evaluation index of cultivated land use efficiency and comprehensive pressure on water resources in Henan Province from 2005 to 2018

0.280、0.257、0.219,表明水资源受经济影响较大。随着用水结构优化和管理水平的提升,水资源综合利用的水平也不断提高,但持续增长的经济、生态、人口等用水导致水资源压力不断增大。2013年水资源综合压力指数达到低值(0.410),原因是2013年水资源生态、技术压力均达到2005—2018年中最高值,分别为0.751和0.591,且综合用水效率在2005—2017年最低^[19],因此水资源压力较高,其综合压力指数则相应较低。

3.2 耕地利用效益与水资源综合压力耦合度及耦合协调度动态分析

利用公式(6)~(8)计算河南省耕地利用效益与水资源综合压力耦合度及耦合协调度,具体如图4所示。

由图4可知,河南省耕地利用效益与水资源综合压力耦合度及耦合协调度均呈增长态势。作为农业大省和粮食生产核心区,伴随着耕地利用效益的提高,河南农业用水需求增大,二者耦合度从2005年低水平耦合(0.262)发展到2018年磨合时期(0.661),耦合协调度则从中度失调(0.274)发展到低度耦合协调(0.687)。2012—2013年,河南省的耕地利用效益与水资源综合压力耦合度及耦合协调度呈现下降趋势,原因是2012年是“十二五”规划的开局之年,伴随着经济新常态调整以及农业方面的供给侧改革,经济发展变动幅度较大,耕地利用效益略有下降。但随着水资源保护政策不断发展完善,水污染状况趋于减缓,且2012—2013年河南省水资源总量最大($256 \times 10^8 \text{ m}^3$),因此2012—2013年水资源压力有所下降。

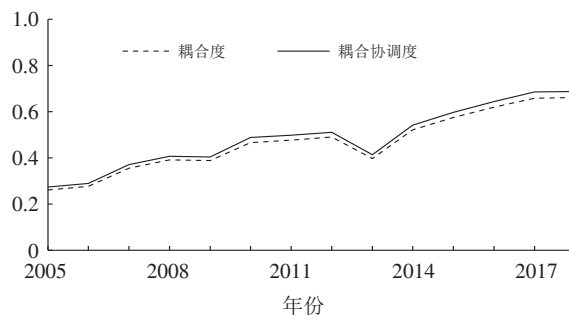


图4 2005—2017年河南省耕地利用效益与水资源综合压力耦合度及耦合协调度

Fig.4 Coupling degree and coupling coordination degree between cultivated land use efficiency and comprehensive pressure of water resources in Henan Province from 2005 to 2017

3.3 耕地利用效益与水资源综合压力耦合协调度的时空分异

利用公式(6)~(8)计算河南18市耕地效益与水资源综合压力耦合度及耦合协调度,具体如表3所示。

由表3可以看出,郑州、洛阳、鹤壁和南阳耕地利用效益与水资源综合压力耦合协调度由2005年的严重失调转为2018年的低度失调;开封、安阳、周口、驻马店、许昌、漯河、商丘、三门峡和济源由中度失调过渡到低度失调;新乡和濮阳由严重失调转为中度失调;平顶山、焦作则均处于中度失调;信阳由严重失调转为弱度失调。河南省18市耕地利用效益与水资源综合压力耦合协调度整体呈增长趋势,原因是伴随着经济新常态稳步发展,河南省注重保护和利用耕地,耕地利用效益不断增加,同时加大对水资源的经济、生态、技术等方面投资,水资源压力不断减小,促使二者耦合协调度不断提升。

由表3还可看出,河南省18市耕地利用效益与水资源综合压力耦合协调度差异较小。郑州、许昌、洛阳、三门峡、漯河、开封、鹤壁、商丘、周口、南阳、驻马店、信阳、平顶山、安阳、新乡、焦作、濮阳17市耦合协调度年均值为0.207~0.284,处于中度失调;济源市则为0.309,处于低度失调。中度失调,说明耕地利用效率提高对水资源压力的影响较小,但人口压力、生态压力较大,如郑州2018年人口压力、生态指数值分别为0.980和0.955。济源的原因是随着经济的发展,耕地利用社会和生态效益迅速增加^[20],耕地有效灌溉用水面积增加了69.4%,且水资源总量在河南18市中最少,水资源压力指数较大。

表3 河南省18市耕地利用效益与水资源综合压力的耦合协调度

Tab.3 Coupling coordination degree of cultivated land use benefit and comprehensive pressure of water resources in 18 cities of Henan Province

城市	各年份耦合协调度				年均值	城市	各年份耦合协调度				年均值
	2005	2009	2014	2018			2005	2009	2014	2018	
郑州	0.154	0.237	0.281	0.372	0.259	许昌	0.237	0.214	0.261	0.317	0.247
开封	0.220	0.202	0.285	0.341	0.258	漯河	0.261	0.287	0.262	0.327	0.268
洛阳	0.184	0.241	0.319	0.330	0.264	三门峡	0.206	0.239	0.297	0.325	0.250
平顶山	0.209	0.264	0.275	0.290	0.248	南阳	0.155	0.266	0.285	0.375	0.258
安阳	0.207	0.246	0.238	0.381	0.254	商丘	0.249	0.230	0.251	0.369	0.262
鹤壁	0.177	0.254	0.282	0.329	0.246	信阳	0.200	0.209	0.342	0.414	0.284
新乡	0.172	0.157	0.258	0.245	0.207	周口	0.260	0.225	0.332	0.358	0.277
焦作	0.245	0.207	0.279	0.274	0.236	驻马店	0.234	0.232	0.295	0.305	0.263
濮阳	0.187	0.210	0.271	0.300	0.239	济源	0.245	0.321	0.339	0.332	0.309

4 结论与政策建议

4.1 结论

1)河南省耕地利用效益发展态势较好但增速度不同,水资源压力区域差异较大且整体呈现波动增长趋势。

2)河南省耕地利用效益增长导致水资源压力不断增长,二者具有正向相关性,且水资源压力波动幅度相对较大。

3)河南省耕地利用效益与水资源压力均呈波动增长态势,耦合度从低水平耦合发展到磨合阶段,耦合协调度则从中度失调发展到低度耦合协调。

4)河南省18市耕地利用效益与水资源压力的耦合协调度均呈增长趋势,但增长幅度不同且区域差异较小。

4.2 政策建议

1)加大技术和资金投入,完善灌溉设施,发展节水、节地农业;适当压缩农业用水规模,优化水资源配置结构,保障区域用水安全;在提高耕地利用效率的同时,强化水资源的再生循环与重复利用,提高公民节约用水意识,减少水资源浪费,缓解水资源压力。

2)推进农业绿色转型和产业化发展,优化农业结构,建设高标准农田,提高农业发展水平,确保耕地利用效益持续向好。因地制宜,制定相应的水资源保护政策,促进水资源利用;多采用滴灌喷灌技术,提高农业用水效率,促进水土资源优化配置。

3)统筹耕地资源和水资源开发利用机制,加强耕地数量保护,提高科学耕作水平,依托科技支撑,高质量和集约化发展农业;不断优化水资源管理和利用,加强用水管理,提高水资源的综合利用,促进水资源系统进一步优化。

4)依据耦合协调类型,因地制宜制定区域政策,积极发展节水耐旱作物,培养蓄水聚肥技术,提高土壤自身的持水、蓄水能力,发挥“土壤水库”的功能,促进水资源的高效利用,多措并举,以实现耕地利用效益和水资源的高效利用二者的耦合协调发展。

参考文献:

- [1] 李鹤,张平宇,程叶青,等. 东北地区水土资源承载力区域差异及空间组合[J]. 农业系统科学与综合研究, 2008(1): 26-31, 35.
- [2] 王浩,王建华,秦大庸,等. 基于二元水循环模式的水资源评价理论方法[J]. 水利学报, 2006, 37(12): 1496-1502.
- [3] 龙花楼,刘永强,李婷婷,等. 生态用地分类初步研究[J]. 生态环境学报, 2015, 24(1): 1-7.
- [4] AL-MULALI A U, SOLARIN S A, SHEAU-TING T L, et al. Does moving towards renewable energy cause water and land inefficiency? An empirical investigation[J]. Energy Policy, 2016, 93: 303-314.
- [5] YIRA Y E, DIEKKRÜGER B, STEUP G, et al. Modeling land use change impacts on water resources in a tropical West African catchment(Dano, Burkina Faso)[J]. Journal of Hydrology, 2016, 537: 187-199.
- [6] SHIKUN S, YUBAO W, BERNIE A E, et al. Effects of virtual water flow on regional water resources stress: A case study of grain in China[J]. Science of the Total Environment, 2016, 550: 871-879.
- [7] 杜捷. 农业水土资源利用评价与均衡优化调控研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [8] 姜秋香. 三江平原水土资源承载力评价及其可持续利用动态仿真研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2011.
- [9] 马历,唐宏,冉瑞平,等. 四川水资源压力与耕地利用效益变化的格局及耦合关系[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(11): 9-19.
- [10] 李佳,雷国平,柳杨,等. 河南省耕地利用效益评价研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33(3): 318-324.
- [11] USTAOGU E, CASTILLO C P, JACOBS-CRISIONI C, et al. Economic evaluation of agricultural land to assess land use changes[J]. Land Use Policy, 2016, 56(11): 125-146.
- [12] 张文琦,姜博,罗冲,等. 基于GIS的三江平原耕地利用效益研究[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(23): 243-247.
- [13] 宋军卫,李智勇,樊宝敏. 中国省域森林公园和地区人口的时空耦合测度研究[J]. 林业经济, 2021, 43(3): 48-58.
- [14] 李珊珊,马海良,侯雅如. 北京市城镇化与水资源系统的动态耦合分析[J]. 人民长江, 2018, 49(1): 60-64, 74.
- [15] 梁红军,刘芳. 新疆兵团城镇化发展与水资源利用: 耦合协调测度与障碍分析[J]. 新疆财经, 2019(1): 46-53, 71.
- [16] 蒋元勇,章茹,丰锴斌. 南昌城市化与水资源环境交互耦合作用关系分析[J]. 人民长江, 2014, 45(14): 17-21.
- [17] 何翔宇. 耕地变化与粮食综合生产能力研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2015.
- [18] 邓军,马泉来,卫华鹏,等. 粮食安全视角下河南省淮河流域耕地资源时空演变[J]. 水土保持研究, 2021, 28(4): 390-396.
- [19] 焦士兴,武琳茜,王安周,等. 河南省水资源资产与负债研究[J]. 人民黄河, 2021, 43(4): 77-81, 88.
- [20] 史原轲,李玲. 基于GIS的济源市耕地质量等别更新评价[J]. 河南农业大学学报, 2017, 51(6): 860-866.

(编辑 孟兰琳)