



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

河北省浅层地下水超采区土地休耕适宜性评价

李晓婕, 丁蓓蓓, 张雪靓

引用本文:

李晓婕, 丁蓓蓓, 张雪靓. 河北省浅层地下水超采区土地休耕适宜性评价[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(5): 990–1000.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0579>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

河北省典型样带土壤类型空间格局特征

李瑾璞, 石垚, 袁大鹏, 陈奇乐, 王树涛

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 681–688 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0268>

平原农区空心村整治潜力测算模型构建及应用——以山东省禹城市为例

张英男, 屠爽爽, 龙花楼, 戈大专, 李裕瑞

农业资源与环境学报. 2017, 34(4): 335–342 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0067>

玛纳斯河流域耕地利用潜力评价

张丽, 盛建东, 蒋平安

农业资源与环境学报. 2015(4): 338–342 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0071>

基于移动窗口法的半干旱生态脆弱区景观破碎化及驱动力分析

胡荣明, 杜嵩, 李朋飞, 姚燕子, 王睿哲, 滕坤阳

农业资源与环境学报. 2021, 38(3): 502–511 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0490>

平原农区适宜性-集约性耦合协调的乡村空间重构

刘健, 郭璨, 刘亚秋, 侯雅娴, 王瑗玲

农业资源与环境学报. 2022, 39(2): 394–405 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0388>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李晓婕, 丁蓓蓓, 张雪靓. 河北省浅层地下水超采区土地休耕适宜性评价[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(5): 990–1000.

LI X J, DING B B, ZHANG X L. Suitability evaluation of land fallow in shallow groundwater overexploitation area of Hebei Province[J].

Journal of Agricultural Resources and Environment, 2022, 39(5): 990–1000.



开放科学 OSID

河北省浅层地下水超采区土地休耕适宜性评价

李晓婕, 丁蓓蓓, 张雪靓*

(中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193)

摘要:适当休耕是促进农业资源可持续利用的重要措施之一,在我国最典型的地下水超采区定量综合分析土地休耕适宜性的空间分布,可为合理有序推进耕地休养生息政策、促进区域水资源生态修复提供科学参考。本研究从地下水生态修复、粮食作物产量与社会经济稳定3个方面选取了8个指标因子,以河北省太行山山前平原区445个乡镇为评价单元,首先对各指标进行了单因子评价,然后利用变异系数法计算获得指标权重,进而得到土地休耕适宜性综合评价结果,并将其划分为四个等级进行分析。结果表明,河北省太行山山前平原土地休耕适宜性程度整体较高,仅有10.4%的耕地不适宜休耕,集中分布于研究区中北部的保定和石家庄的部分乡镇;有39.6%的耕地表现为休耕的一般适宜性,整体分布较为分散,但有一部分乡镇集中于石家庄东部;非常适宜和比较适宜休耕的耕地共占研究区总耕地面积的50.0%,在靠近太行山的研究区西侧沿京广线带状分布,特别是在邯郸、邢台的市区周边分布较多,综合考虑更好的地下水涵养效果以及尽可能减少休耕带来的粮食产能损失和劳动力闲置问题,建议优先在这些区域进行休耕制度的试点研究与推广工作。研究结果可为该区域亟需治理浅层地下水超采问题的井灌农区科学制定合理有序的休耕制度提供参考依据。

关键词:休耕;河北省;地下水超采区;适宜性评价;变异系数法;水文模拟

中图分类号:S274.1;P641.1 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-6819(2022)05-0990-11 **doi:**10.13254/j.jare.2021.0579

Suitability evaluation of land fallow in shallow groundwater overexploitation area of Hebei Province

LI Xiaojie, DING Beibei, ZHANG Xueliang*

(College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The cultivated land fallow scheme is an important measure for promoting the sustainable utilization of agricultural resources. Quantitative and comprehensive analysis of the spatial distribution of fallow suitability in the most typical groundwater overdraft area in China could provide scientific reference for water and land resource management. In this study, eight index factors were selected from three aspects of groundwater ecological restoration, grain crop yield, and socio-economic stability to conduct a suitability evaluation. The evaluation units were set at 445 townships in the study area. First, a single factor evaluation of each index was carried out, and then the coefficient of variation method was used to calculate the weight of the indices. Based on these, the comprehensive evaluation results of land fallow suitability were obtained and divided into four levels for further analysis. The results showed that the suitability of land fallow in the piedmont plain of Taihang Mountain in Hebei Province was comparatively high. Only 10.4% of the cultivated land area was unsuitable for land fallow, which concentrated in some towns of Baoding and Shijiazhuang in the north-central part of the study area. A total of 39.6% of the cultivated land area was suitable for the fallow scheme, mainly distributed dispersedly throughout the study area, but some towns were concentrated in the eastern part of the Shijiazhuang area. The most suitable and relatively suitable cultivated land areas of the fallow scheme accounted for 50.0% of the total cultivated land in the study area. It exhibited characteristics of zonal distribution along the

收稿日期:2021-08-31 录用日期:2021-11-23

作者简介:李晓婕(1999—),女,福建福州人,硕士研究生,从事资源与环境领域研究。E-mail:1763231674@qq.com

*通信作者:张雪靓 E-mail:zhangxueliang@cau.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金项目(41807183)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China(41807183)

<http://www.aed.org.cn>

Beijing-Guangzhou railway on the western side of the study area near the Taihang Mountain, especially in Handan and Xingtai cities. Based on the comprehensive consideration of improving groundwater conservation effects and minimizing the loss of grain production capacity and labor idleness caused by the fallow, it is recommended to prioritize the pilot research and promotion of the fallow system in these regions. The results can provide scientific reference for the formulation of a reasonable arable land fallow system in the piedmont plain of the Taihang Mountains in Hebei Province to solve the urgent issue of shallow groundwater overdraft.

Keywords: land fallow; Hebei Province; groundwater overexploitation area; suitability evaluation; variation coefficient method; hydrological simulation

河北省是我国北方典型的资源性缺水省份,因地表水资源匮乏,地下水成为主要的供水水源,其开采量位居全国各省市之首^[1-2]。由于长期持续的高强度开采,该省出现地下水位持续下降、含水层疏干、地面沉降等环境地质问题,地下水生态受到严重威胁。人类活动影响下的华北地区地下水超采治理不仅是水土资源、持续农业、生态环境等领域的热点问题,也是国家相关部门高度重视的实践管理工作。2020年发布的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》及2021年发布的《关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见》均反复强调华北地下水超采问题,并提出了一系列治理措施。“探索实行耕地轮作休耕制度”是各项治理措施中最为明确、最成体系、最受关注的农业种植结构调整方案之一。2016年,农业部等相关部委印发的《轮作休耕试点区域耕地质量监测方案》明确提出,在河北省深层承压水严重超采的黑龙港地区实施季节性休耕试点方案。近五年华北地下水超采治理取得了一定成效,加之受到水库储水、南水北调等影响,京津冀主要城区地下水位出现止跌回升,但对于广大农灌区来说,地下水位仍在下降(下降速率有所减缓),地下水储量呈整体亏损状态^[3]。因此休耕制度仍是浅层地下水超采严重的区域遏制水位下降、修复生态问题的潜在策略和重要路径。科学合理地开展耕地休耕可在一定程度上缓解区域地下水超采情况,实现“藏粮于地、藏粮于技”,有效改善生态环境。

关于休耕制度,特别是地下水超采区的休耕制度,已有研究多集中于政策实践、存在问题和农民意愿等方面^[4-8],针对土地休耕适宜性的定量评价尚不多见。近年来,部分学者从空间布局和规模范围的角度对休耕区划进行了初步探讨。石飞等^[9]基于多学科视角归纳了耕地休耕的时空配置模式,认为其内涵本质是实现“对休耕地”“定位、定量、定时”的宏观调控。围绕休耕地的分区布局 and 空间配置,国内已有针对江

苏省通州市^[10]、贵州省晴隆县^[11]、云南省砚山县^[12]和重庆市^[13]的相关案例,但上述研究区域多为西南或东南的某一个县(市)。任理等^[14]和ZHANG等^[15]针对河北省浅层地下水超采严重的太行山山前平原探讨了季节性休耕制度对地下水变化、作物产量和能源消耗的影响。但休耕制度作为河北省浅层地下水超采区综合治理的重要潜在策略,如何进行土地休耕适宜性分区,目前尚未有定量化研究,而这对于指导该区域合理推进休耕政策具有重要的科学意义与应用价值。

在地下水超采区对休耕方案的适宜性进行评价需考虑多种因素影响,其中,休耕实施后浅层地下水位能否回升及其回升效果是政策制定时首要考虑的因素,因此休耕适宜性评价需对其进行定量预估。河北省作为粮食增产任务和国家谷物基本自给战略的核心区,休耕政策不仅要考虑水资源涵养效果,还要兼顾对粮食生产的影响。同时,该项政策的复杂性还体现在对农民生计的影响方面,休耕实施后剩余劳动力的有序流动与经济稳定亦是政策方案适宜性区划中需要兼顾的要素。本研究充分考虑上述地下水生态修复、粮食安全与社会经济问题,构建了涵盖地下水变化、作物产量和劳动力消纳能力的指标体系,在较为精细的行政管理单元——乡镇尺度上对河北省浅层地下水超采区的土地休耕适宜性进行评价与区划,以期为该区域科学选择休耕制度实施试点、合理划定土地休耕范围、有效预估休耕政策影响提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与数据来源

本研究以河北省太行山山前平原为研究区(图1),区域总面积约2.3万km²,几乎全部是浅层地下水超采区,约占全省浅层地下水超采范围的90%以上。该区域包括保定市、石家庄市、邢台市和邯郸市4个市内的48个县(市),耕地占比78%左右^[16],多年平均降水量为450~550 mm,地势平坦,光照充足,十分适

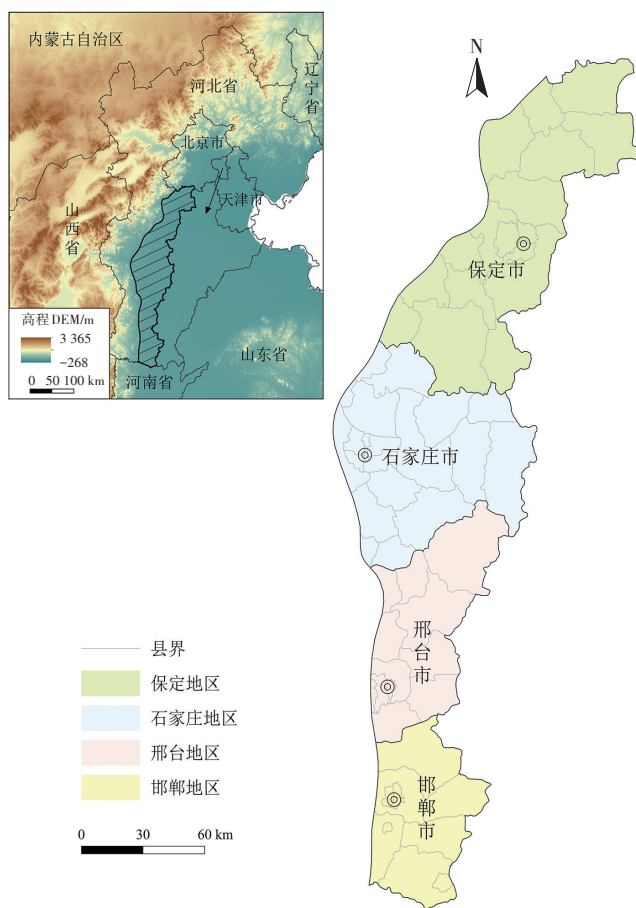


图1 研究区地理位置及行政区划

Figure 1 Geographical location and administrative division map of the study area

宜农业发展^[17-18]。作为我国粮食主产区,研究区以冬小麦-夏玉米一年两熟制为最主要的种植制度,小麦、玉米的播种面积占粮食总播种面积的90%以上^[16]。据统计,该区域农业产值占全省20%以上,人口规模约占全省的20%,其中乡村人口比例约为84%,明显高于全省平均水平(77.2%)^[16]。区域内浅层地下水水质良好,是农田灌溉最主要的水源,但由于长期超量开采,已经形成了包括保定漏斗、石家庄漏斗、宁柏隆漏斗、高蠡清漏斗、邯郸漏斗等浅层地下水漏斗群^[1-2],严重制约农业可持续发展。ZHANG等^[19]和任理等^[14]的模拟研究表明,保持现状种植制度与灌溉强度,未来80年内该区域浅层含水层将可能面临疏干风险。若在地下水埋深较深、超采严重的区域实施一段时间的休耕,接受降水补给,浅层地下水位有望转变为回升态势,环境地质问题可得以修复。

本研究所用河北省土地利用数据及乡镇行政边界来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn/>);浅层地下水超采程度根据河北省乡

镇行政边界对《河北省人民政府关于公布地下水超采区、禁止开采区和限制开采区范围的通知》(冀政字〔2017〕48号)中的插图矢量化获得;现状浅层地下水埋深数据是对“全国地下水资源及其环境问题调查评价成果”——《华北平原地下水可持续利用图集》中的浅层地下水等水位线及埋深图件矢量化获得;虚拟休耕情景下浅层地下水位及浅层含水层储量变化是由分布式水文模型(Soil and water assessment tool, SWAT)^[20]模拟输出获得;冬小麦和夏玉米产量数据来源于《河北农村统计年鉴》(1994—2020)^[16];第一产业占GDP比例等社会经济数据来源于《河北经济年鉴》(2014—2016)^[21]。需要说明的是,前期研究^[14, 19-20]在区域构建了能够仿真模拟“土壤水-地下水-作物生长”过程的SWAT模型,并利用近170口监测(调查)井数据、地下水资源评价资料、遥感解译的蒸散发及作物产量统计结果对模型进行了详细的率定与验证。本研究运用该模型中“完全休耕”情景模拟获得的22个子流域的浅层地下水位和含水层储水量的年均变化速率,作为虚拟休耕下浅层地下水涵养效果的评估数据。不同适宜程度分区内耕地面积是对土地利用遥感监测数据(来源于中国科学院资源环境科学数据中心,空间分辨率1 km×1 km)中耕地地类进行统计获得。

1.2 研究方法

研究按照“选取评价指标-单因子评价分析-确定各因子权重-综合评价分级”的思路开展,技术路线如图2所示。考虑到充分表征不同评价因子的空间异质性以及为政策制定提供尽可能精细的评估结果,将研究区除去市区外的44个县(市)内445个乡镇作为评价单元。

1.2.1 评价指标体系构建

以代表性、综合性、稳定性、主导性为指标选取原则,整合已有数据资料与前期研究成果^[14-15, 19-20],基于地下水生态修复、粮食作物产量、社会经济稳定3方面建立准则层构建指标体系。在地下水生态修复方面,选取地下水超采严重程度(无量纲)、现状浅层地下水埋深(m)这两个指标来表征地下水压采的紧迫程度,超采程度越严重、地下水埋深越深,越应优先实施休耕;选取休耕后浅层含水层储量水量年均变化($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)和休耕后浅层地下水位年均变化($\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$)这两个指标来反映休耕模式下地下水的涵养效果,评价单元休耕后地下水量与水位恢复速度越快,越适宜实施休耕。在粮食作物产量方面,考虑到研究区实行

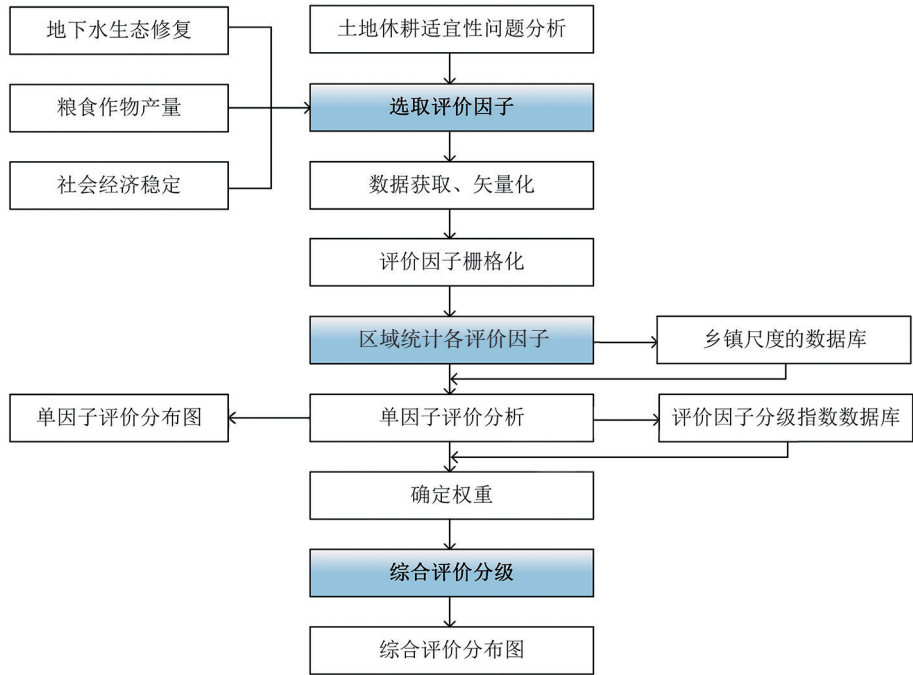


图2 研究技术路线图

Figure 2 Technical roadmap of the study

一年两熟轮作制度,选取冬小麦的单产水平($t \cdot hm^{-2}$)、夏玉米的单产水平($t \cdot hm^{-2}$)这两个指标来反映其粮食生产能力的高低,生产能力越低的耕地,越应优先实施休耕。在社会经济稳定方面,选取第一产业产值占GDP比例(%)和距离城市远近程度(无量纲)这两个指标分别表征休耕对当地经济水平的影响及周边城市对拟休耕地区劳动人口的消纳能力,当休耕对经济水平影响较低且农户有更多机会进城务工时,休耕在该评价单元的适宜性相对越高。综上,共选取8个指标作为评价土地休耕适宜性的主要影响因子(表1)。

1.2.2 单因子评价方法

上述评价因子的原始数据来源多样,因此空间分辨率不尽相同,首先利用ArcGIS将不同空间尺度(包括县市域尺度、子流域尺度等)的原始数据,采用面积加权平均法分别转化到445个乡镇评价单元上,获取每个指标相同空间尺度上的数据分值。标准化方法是对各评价单元进行单因子分级评价,划分为非常适宜、比较适宜、一般适宜和不适宜4个等级。其中,除地下水超采严重程度 C_1 、距离城市远近程度 C_8 这两个指标外,其他6个评价因子均是连续型变量,可直接根据数值划分等级,对不同等级进行赋分。 C_1 和 C_8 这两个原始数据为离散型变量因子,具体等级划分方法如下:

表1 土地休耕适宜性评价指标体系层次结构

Table 1 Hierarchical structure of the land fallow suitability evaluation index system

目标层 Target layer	准则层 Criterion layer	指标层 Index layer
休耕适宜性 A	地下水生态 修复 B_1	地下水超采严重程度 C_1
		现状浅层地下水埋深 C_2
		休耕后浅层含水层储水量年均变化 C_3
		休耕后浅层地下水位年均变化 C_4
	粮食作物产量 B_2	冬小麦单产水平 C_5
		夏玉米单产水平 C_6
	社会经济稳定 B_3	第一产业产值占GDP比例 C_7
		距离城市远近程度 C_8

(1)四象限法。四象限法又称二维象限法,基于目标导向对评价单元的2个属性进行不同程度的划分,在此基础上对4个象限进行排序^[22]。本研究根据河北省地下水超采区范围结果,将浅层地下水严重超采区与一般超采区、深层地下水严重超采区与一般超采区(包括非超采区)分别设定为横纵坐标,从这2个维度出发,利用四象限法划分土地休耕适宜等级。由于研究区几乎全部位于浅层地下水超采区,而超采就意味着水位的继续下降和地下水资源利用的不可持续,因此在划分等级时不考虑“不适宜区”的设定,将一象限划分为非常适宜区,将二、四象限划分为比较

适宜区,将三象限划分为一般适宜区(图3)。因原始数据的空间尺度即为乡镇尺度,故经上述分级可直接获得各单元的评价结果。

(2)缓冲区分析。缓冲区分析能够直观反映评价单元到各级城市距离的变化情况,而此距离可在一定程度上表征各级城市对评价单元土地休耕后剩余劳动力的消纳能力,即评价单元越接近城市,农民进城务工的可能性相对越高。考虑到不同规模城市对劳动力消纳能力的差异,本研究分别以研究区内及其毗邻地区涉及的1个特大型城市(北京市)、7个地级市以及37个县级市作为点状研究对象,参考文献[23-24]设置合理的缓冲区半径,进行空间分析。首先,以北京市驻地为中心,生成半径为50、70 km和100 km的缓冲区;其次,以保定市等7个地级市驻地为中心,生成半径为10、25 km和40 km的缓冲区;最后,以涞水县等37个县级市驻地为中心,生成半径为3、5 km和10 km的缓冲区。以距离城市远近程度为标准,缓冲区由内而外赋值3、2、1分,其余区域赋0分,重合区域分值相叠加,如图4所示,再将该区域统计结果转化到乡镇尺度上获得各单元的评价结果。各乡镇最终得分小于1分,设为与城市“不靠近”等级;得分为1~2分,设为与城市“一般靠近”等级;得分为2~3分,设为与城市“比较靠近”等级;得分大于3分,设为与城市“非常靠近”等级。

1.2.3 权重确定方法

在计算获得单因子评价结果后,运用变异系数法

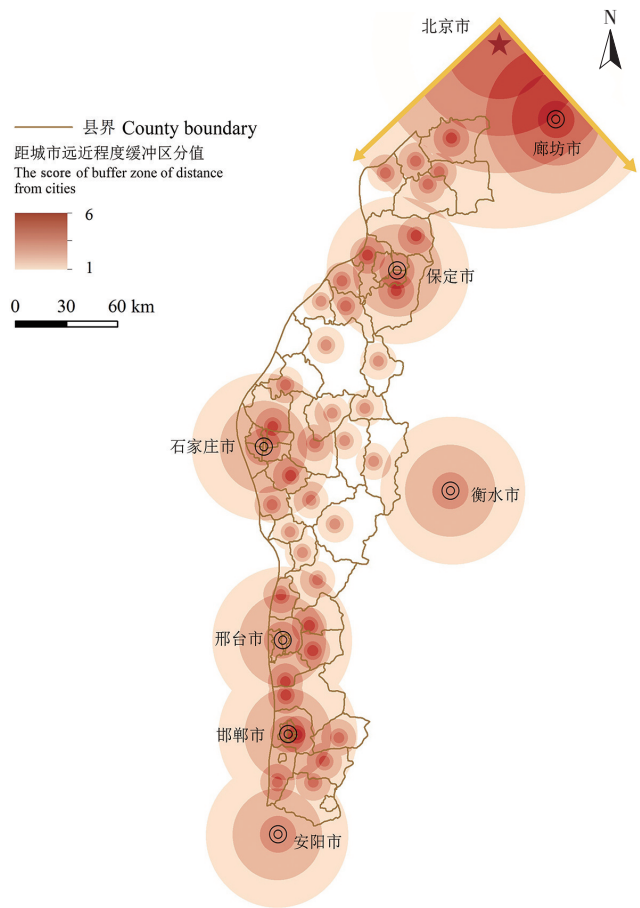


图4 基于缓冲区分析的距离城市远近程度赋值结果

Figure 4 Assignment results of distance from cities based on buffer zone analysis

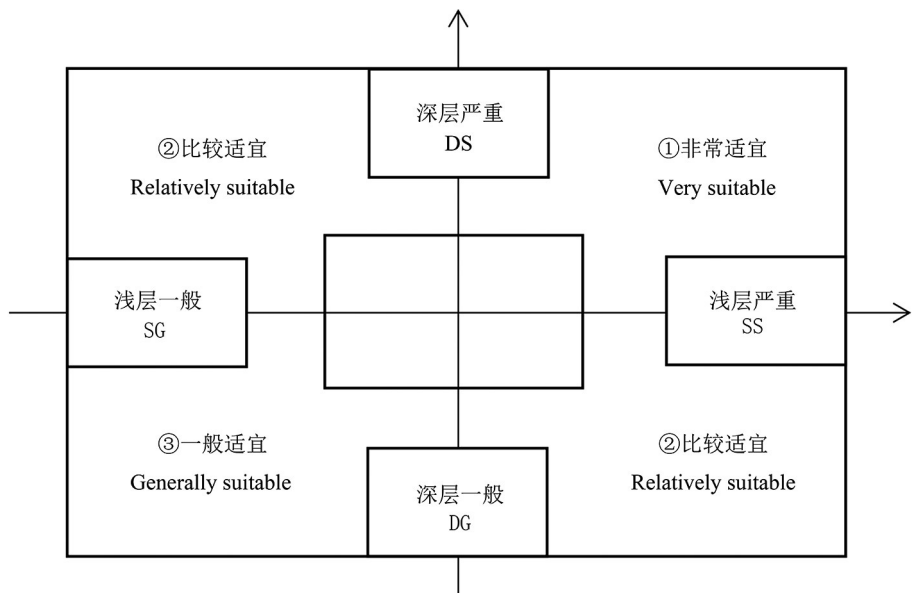


图3 基于四象限法的地下水超采严重程度划分

Figure 3 Classification of groundwater overexploitation severity based on four quadrant method

确定各因子在综合评价中的权重。变异系数是衡量数据差异的统计指标,国内外学者通常利用它分析地区间差异^[25]。变异系数法计算公式如下:

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} = \frac{S_i / \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n (S_i / \bar{x}_i)} \quad (1)$$

式中: w_i 为评价因子权重; v_i 为评价因子变异系数; S_i 为评价因子标准差; $\bar{x}_i$ 为评价因子均值; i 为评价因子数($i=1,2,\dots,8$)。

1.2.4 综合评价模型

综合考虑地下水超采区土地休耕对地下水生态修复、粮食作物产量和社会经济稳定的影响,根据1.2.3节确定的指标权重,将各评价单元8项评价因子加权求和,得到各评价单元的土地休耕综合适宜性评价指数,具体计算公式如下:

$$F = \sum_{i=1}^n w_i \times p_i \quad (2)$$

式中: F 为土地休耕综合适宜性评价指数; p_i 为评价因子指数($i=1,2,\dots,8$)。

2 结果与分析

2.1 单因子评价指标分析

2.1.1 单因子评价等级划分及指标权重

对本研究的8个评价指标按照土地休耕不适宜、一般适宜、比较适宜和非常适宜进行等级划分,对应的等级指数分别为1、3、5、7,结果如表2所示。应用变异系数法计算得到各指标的权重(表2),可以看出8个评价因子的权重在6.98%~15.89%之间,除地下水超采严重程度 C_1 外,其余7个指标的权重均高于10%,整体差异较小。这表明本研究选取的8个评价指标体现了土地休耕适宜性评估的综合性,其综合评价结

果能够兼顾并权衡生态、粮食与社会经济多元要素。

2.1.2 单因子评价结果的空间分布特征

(1)地下水生态修复。在地下水超采治理紧迫性方面,目前埋深较深、超采情势严峻的区域集中分布在石家庄与邢台交界处的高邑、赵县、宁晋、柏乡、临城等地,以及邯郸地区的肥乡、成安、临漳(图5a和图5b),这些区域的现状浅层地下水埋深已经超过35 m,亟需通过适度的休耕来遏制水位的继续下降。但是因受降水分布不均和水文地质条件等下垫面异质性的影响,上述区域若实施休耕制度,浅层地下水量和水位的恢复情况不尽相同。宁晋、赵县等地的地下水储量及水位埋深的恢复速度相对较低,高邑、柏乡、临城以及邯郸地区的地下水恢复能力相对较高,而研究区内休耕制度实施后地下水恢复效果最明显的区域位于北部石家庄的藁城、正定、鹿泉及保定的易县、涞水、定兴等地(图5c和图5d)。这表明休耕适宜区域的划定不仅应考虑当前地下水超采问题的严峻性,而且要考虑地下水涵养效果,综合确定优先采用休耕方案来恢复地下水生态环境的适宜区域。

(2)粮食作物产量。为保证更高的粮食产量,应优先考虑区域内的“相对低产田”休耕,即冬小麦和夏玉米单产水平相对较低的区域休耕。由图5e和图5f可知,研究区西部(靠近太行山的区域)粮食单产相对较低,中东部地区粮食单产相对较高,石家庄冬小麦和夏玉米的单产水平相对最高。因此,从尽可能降低休耕引起的粮食减产的角度考虑,应优先在西部靠近太行山的区域推行休耕方案。

(3)社会经济稳定。根据第一产业产值占GDP比例评价结果(图5g),其比值在10%以内的区域分布在保定涿州市,石家庄鹿泉、藁城等地,邢台沙河市,邯郸磁县、邯郸县等地,这在一定程度上说明这些

表2 单因子评价结果及指标权重

Table 2 Single factor evaluation results and the weight of indices

准则层指标 Criterion layer index	分级指标 Grading index	不适宜 Unsuitable	一般适宜 Generally suitable	比较适宜 Relatively suitable	非常适宜 Very suitable	权重 Weight
地下水生态修复 B_1	地下水超采严重程度 C_1		一般严重	比较严重	非常严重	6.98%
	现状浅层地下水埋深 C_2/m	<15	15~25	25~35	>35	14.73%
	休耕后浅层含水层储水量年均变化 $C_3/(mm \cdot a^{-1})$	<110	110~130	130~160	>160	11.51%
	休耕后浅层地下水位年均变化 $C_4/(m \cdot a^{-1})$	<0.8	0.8~1.2	1.2~1.6	>1.6	13.49%
粮食作物产量 B_2	冬小麦单产水平 $C_5/(t \cdot hm^{-2})$	>7	6~7	5~6	<5	10.35%
	夏玉米单产水平 $C_6/(t \cdot hm^{-2})$	>7.5	6.0~7.5	4.5~6.0	<4.5	15.89%
社会经济稳定 B_3	第一产业产值占GDP比例 C_7	>30%	20%~30%	10%~20%	<10%	11.68%
	距离城市远近程度 C_8	不靠近	一般靠近	比较靠近	非常靠近	15.37%

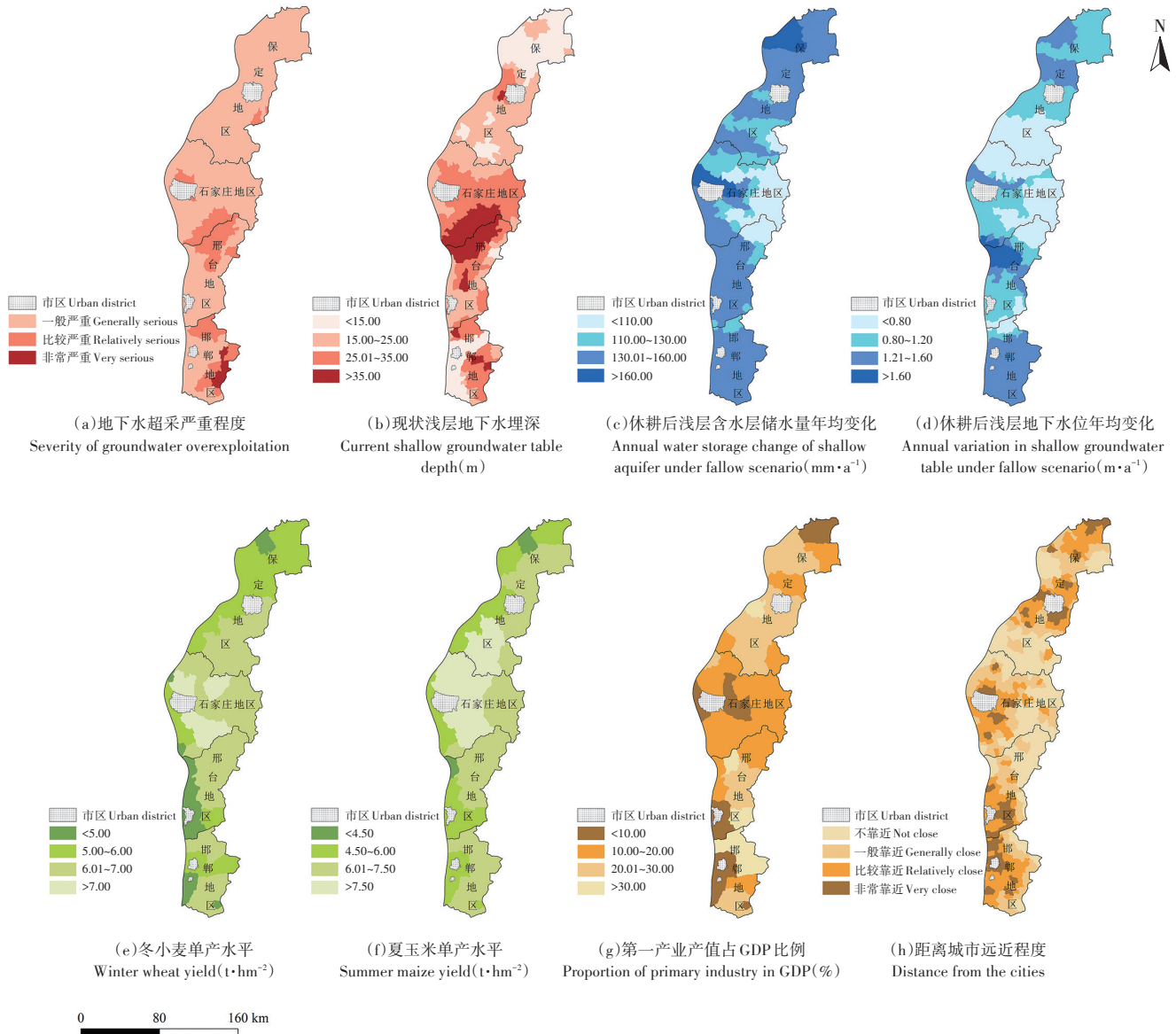


图5 土地休耕单因子评价结果空间分布

Figure 5 Spatial distribution of the single factor evaluation results

区域内农业活动对经济的影响较小,实施休耕后社会经济更易保持稳定。在周边城市对农村劳动力的消纳能力方面(图5h),由于研究区中部地区的县级城市驻地较为稀疏,距离地级城市驻地又相对较远,因此周边城市对劳动力的消纳能力偏低;而在地级城市驻地附近的县城对劳动力的消纳能力相对较高,且保定北部由于受到北京经济圈的影响,也对农村劳动力有较高的消纳能力,某种意义上更适合实施休耕。

2.2 土地休耕适宜性综合评价结果

2.2.1 总体分布特征

河北省太行山山前平原土地休耕适宜性综合评

价结果如表3所示。非常适宜区、比较适宜区、一般适宜区和不适宜区的耕地面积分别为26.6万、59.5万、68.2万、17.9万 hm^2 ,占研究区总面积的比例分别为15.5%、34.5%、39.6%和10.4%。各类型区呈现不同空间分布特点。

(1)非常适宜区:该类型区具有一定的空间集聚特征,主要集中于靠近太行山的研究区西侧,并沿京广线呈现出南北向带状分布。评价结果为非常适宜区的乡镇大多在保定、石家庄、邢台和邯郸市区周边(图6),同时具有休耕后地下水恢复能力较高、现状耕地粮食单产较低、距离城市较近的特点。

(2)比较适宜区:该类型区呈现出围绕非常适宜

表3 土地休耕适宜性评价整体分区结果

Table 3 The partition results of land fallow suitability evaluation

项目 Item	不适宜区 Unsuitable area	一般适宜区 Generally suitable area	比较适宜区 Relatively suitable area	非常适宜区 Very suitable area
综合评价指数	<2.50	2.51~3.50	3.51~4.50	>4.50
耕地面积/10 ⁴ hm ²	17.9	68.2	59.5	26.6
比例/%	10.4	39.6	34.5	15.5

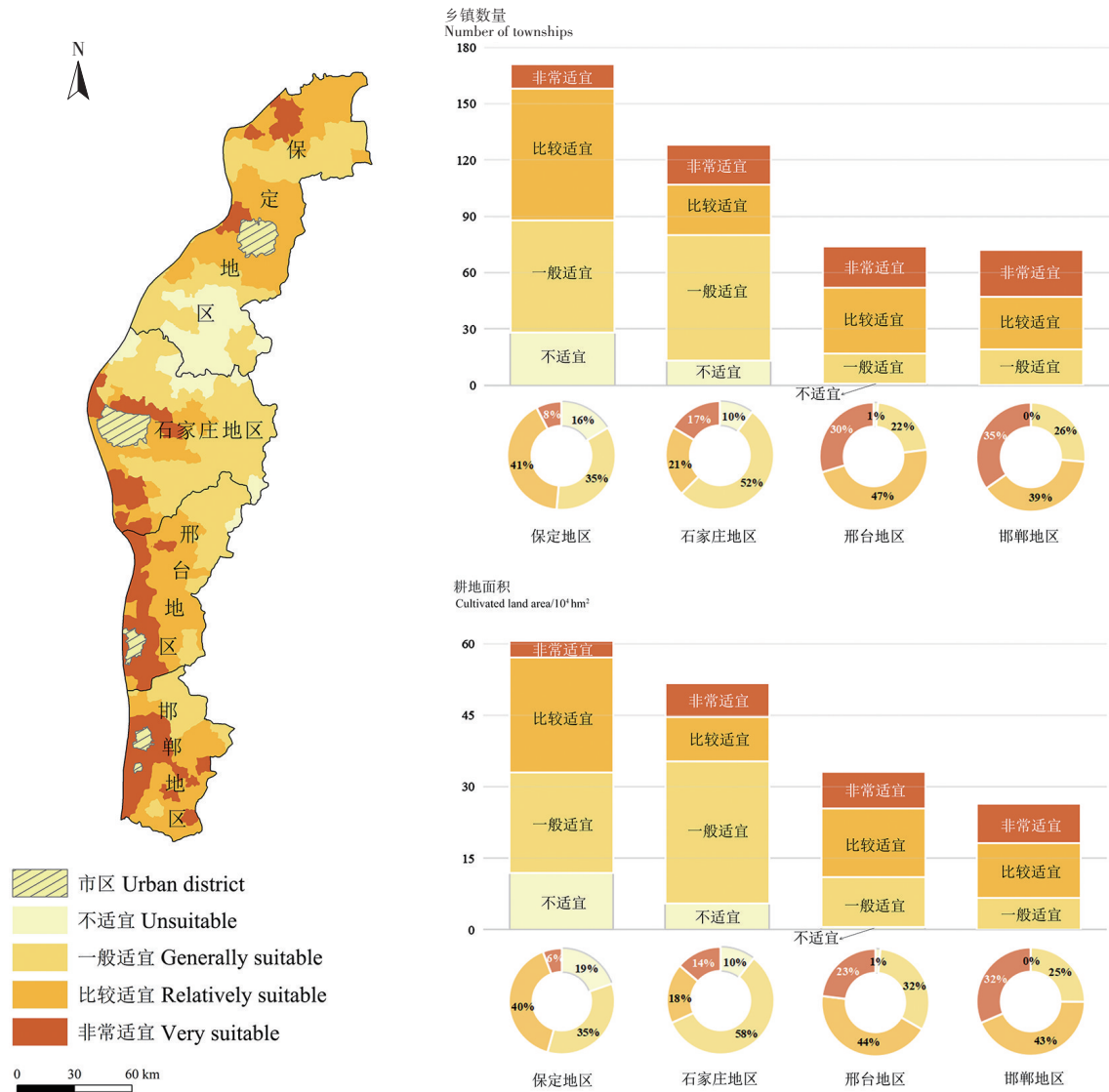


图6 土地休耕适宜性综合评价的空间分布及地区分布情况

Figure 6 Spatial distribution and regional statistics of the comprehensive evaluation of land fallow suitability

区域向四周扩散的空间分布特征(图6),多集中于保定中部与北部区域、石家庄中西部区域、邢台除非常适宜区以外的大部分区域以及邯郸东部区域,造成上述分布特征的原因基本与非常适宜区相同。

(3)一般适宜区:该类型区的空间分布较为分散,但大部分集中于研究区的中部及东部区域,特别是在

石家庄东部连片分布,另外在保定中部、邢台东北部、邯郸东北部也有部分乡镇零星分布(图6)。

(4)不适宜区:该类型区的分布较为集中,主要位于研究区中北部的保定定州、望都,石家庄无极、新乐、行唐等地(图6),这主要与耕地单产水平较高、休耕后地下水位恢复速度较慢、距离城镇相对较远有

关,因此在这些区域制定水土资源管理政策时应谨慎考虑是否通过实施休耕来治理地下水超采问题。

2.2.2 地区分布特征

在研究区所涉及的保定、石家庄、邢台和邯郸这4个市内,土地休耕适宜性分区的分布也呈现出一定的差异(图6)。

(1)保定地区:无论是从乡镇数量统计还是从面积统计,与其他3个市相比,保定市内均呈现出非常适宜区比例相对最低、不适宜区比例相对最高的特点,全市只有13个乡镇非常适宜实施休耕制度,而不适宜休耕的乡镇高达28个。

(2)石家庄地区:该市内一半以上乡镇(约占52%)及涉及的耕地面积(约占58%)为一般适宜区,非常适宜、比较适宜和不适宜区呈现平均分布的特点。

(3)邢台地区:该地级市内接近一半的乡镇(约占47%)及涉及的耕地面积(约占44%)为比较适宜区,零星的不适宜区约占1%,非常适宜区和一般适宜区各约占1/4的比例,与另外3个市相比,比较适宜区在该市所占比例相对最高。

(4)邯郸地区:该市内的非常适宜区所涉及乡镇数量及耕地面积比例是4个市中最高的,均在30%以上,且比较适宜区所占比例也在40%左右,这表明邯郸地区更为适宜优先推行休耕制度。

3 讨论

有序推进耕地休养生息制度是在地下水超采区进行生态修复的重要举措之一^[18,14]。本研究以我国浅层地下水超采最严重的区域——河北省太行山山前平原为研究区,综合考虑了休耕对地下水动态、粮食作物产量以及社会经济稳定的影响,从上述3方面选取了8个评价指标,融合多源多尺度数据,对该区域土地休耕适宜性进行了定量评价。本研究的特色之一在于指标体系构建中应用了基于分布式水文模型对虚拟休耕情景下地下水位(量)的定量模拟结果,这一情景预测结果为休耕实施后地下水位(量)的恢复提供了可靠的数据来源^[14,19-20]。特别是在该模型对上述指标的模拟过程中,本研究以降水等气象要素及土壤等下垫面条件作为输入条件,得到上述要素综合影响下的量化指标。换言之,基于水文模型虚拟休耕情景的模拟结果,不但为休耕后地下水恢复这一关键效果的衡量提供了定量数据,而且在某种程度上相当于考虑了降水、土壤等“隐形”指标,这为本研究结果能

够有效支撑管理实践工作提供了扎实基础。耕地休养生息制度还在全国其他区域试点推行^[4,6],相关研究工作中若缺少与上述类似的数值模型虚拟情景模拟结果,则在指标体系的构建中,还应考虑更全面的自然要素(如气象要素与下垫面条件等)。

本研究基于变异系数法对休耕适宜性进行了综合定量评价,进而对研究区内非常适宜区、比较适宜区、一般适宜区、不适宜区的乡镇空间分布特征进行了分析。研究结果显示,适合优先推行休耕制度的区域呈现出在靠近太行山的研究区西侧沿京广线带状分布的特征。从地理区位上看,研究区西侧沿京广线地区连结了4个地级城市,距离城市相对较近,具有发展非农经济的优势。与此同时,这些地区还具有休耕后地下水恢复能力较高且现状耕地粮食单产较低的特点,因此优先推行休耕制度是合理可行的。另外,本研究表明休耕的非常适宜区与比较适宜区在邯郸、邢台的市区周边分布较多,这也与2016—2018年河北省农业厅等部门发布的《河北省年度耕地季节性休耕制度试点实施方案》、2019年水利部等四部委联合印发的《华北地区地下水超采综合治理行动方案》等文件中提出的近年来地下水超采综合治理重点地区相一致。本研究相关结果能够在一定程度上反映适合推行耕地休养生息制度区域的先后顺序,进而为管理部门考虑将休耕作为治理地下水超采举措时制定相关政策提供定量的科学参考。在实际管理工作中,政策的制定往往随着社会的发展而发生方向性或倾向性的变化。因此,本研究给出的单因子评估结果,还可为未来该区域实施休耕制度时更多地考虑治理地下水超采、更多地考虑减少粮食产量损失或更多地考虑农村经济及城乡劳动力流动而制定不同的试点区提供更多可参考的方案。

事实上,在地下水超采区推行休耕制度是个复杂的问题,涉及农业、水利、财政等多部门。尽管本研究考虑了地下水生态修复、粮食作物产量与社会经济稳定等多方面因素,构建了综合性的指标体系对其适宜性进行了评估,但未来若应用本研究成果进行试点与推广工作,仍有诸多问题亟待解决。例如,在毗邻研究区的深层地下水超采区——黑龙港地区,季节性休耕政策相关试点已经推行了5年左右,但仍存在生态补偿体系不完善、监测监督体制不健全、政府和公众意识不强等问题^[26-27]。在本研究获得的河北省浅层地下水超采区土地休耕适宜性评价结果的基础上,上述议题也是未来研究的拓展方向,应在科学合理制定休耕方

案的基础上,使其能够在实际管理中有效推行,实现农业水土资源可持续利用与发展。

4 结论

(1)本研究以华北地区浅层地下水超采最严重的河北省太行山山前平原为研究区,从地下水生态修复、粮食作物产量和社会经济稳定3个维度出发,综合评价了土地休耕的适宜程度。根据土地休耕适宜性等级评价结果,研究区内实施休耕制度的非常适宜区、比较适宜区、一般适宜区和不适宜区的耕地面积比例分别为15.5%、34.5%、39.6%和10.4%。

(2)土地休耕非常适宜区的空间位置具有集聚性,并呈现出在靠近太行山的研究区西侧沿京广线带状分布的规律,比较适宜区围绕非常适宜区向四周扩散,这些区域具有休耕后地下水恢复能力较高、现状耕地粮食单产较低、距离城市较近的特点。土地休耕不适宜区集中分布在研究区中北部的部分乡镇,而一般适宜区的空间分布较为分散。

(3)对于研究区内的4个地级市,土地休耕非常适宜区、比较适宜区、一般适宜区和不适宜区涉及的乡镇数量及耕地面积占比分别在邯郸市、邢台市、石家庄市和保定市达到最高。未来若考虑在河北省太行山山前平原推行休耕制度来治理地下水超采问题,应优先在邯郸市和邢台市内选择位于研究区西侧的乡镇进行试点研究与实施推广。

参考文献:

- [1] 陈望和. 河北地下水[M]. 北京:地震出版社, 1999. CHEN W H. Groundwater in Hebei Province[M]. Beijing: Seismological Press, 1999.
- [2] 张宗祜, 李烈荣. 中国地下水资源(河北卷)[M]. 北京:中国地图出版社, 2005. ZHANG Z H, LI L R. Groundwater resources of China: Hebei volume[M]. Beijing: Sinomap Press, 2005.
- [3] 中国地质调查局. 全国地下水年度变化量首次查明[EB/OL](2021-01-30)[2021-08-31]. https://www.cgs.gov.cn/xwl/ddyw/202101/t20210130_662662.html. China Geological Survey. The annual variation in groundwater in China was identified for the first time[EB/OL](2021-01-31)[2021-08-31]. https://www.cgs.gov.cn/xwl/ddyw/202101/t20210130_662662.html.
- [4] 黄国勤, 赵其国. 中国典型地区轮作休耕模式与发展策略[J]. 土壤学报, 2018, 55(2): 283-292. HUANG G Q, ZHAO Q G. Mode of rotation/fallow management in typical areas of China and its development strategy[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2018, 55(2): 283-292.
- [5] 杨庆媛, 信桂新, 江娟丽, 等. 欧美及东亚地区耕地轮作休耕制度实践: 对比与启示[J]. 中国土地科学, 2017, 31(4): 71-79. YANG Q Y, XIN G X, JIANG J L, et al. Comparison and implications of crop rotation and fallow in western countries and East Asia[J]. *China Land Sci-*

- ence*, 2017, 31(4): 71-79.
- [6] 江娟丽, 杨庆媛, 阎建忠. 耕地休耕的研究进展与现实借鉴[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(1): 165-171. JIANG J L, YANG Q Y, YAN J Z. Research progress and realistic role for reference in farmland fallowing[J]. *Journal of Southwest University(Natural Science Edition)*, 2017, 39(1): 165-171.
- [7] 朱国锋, 李秀成, 石耀荣, 等. 国内外耕地轮作休耕的实践比较及政策启示[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(6): 35-41, 92. ZHU G F, LI X C, SHI Y R, et al. Comparison of crop rotation and land fallow between China and other countries and their policy implications[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(6): 35-41, 92.
- [8] 赵其国, 滕应, 黄国勤. 中国探索实行耕地轮作休耕制度试点问题的战略思考[J]. 生态环境学报, 2017, 26(1): 1-5. ZHAO Q G, TENG Y, HUANG G Q. Consideration about exploring pilot program of farmland rotation and fallow system in China[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2017, 26(1): 1-5.
- [9] 石飞, 杨庆媛, 王成, 等. 世界耕地休耕时空配置的实践及研究进展[J]. 农业工程学报, 2018, 34(14): 1-9. SHI F, YANG Q Y, WANG C, et al. Practice and research progress on spatio-temporal collocation of fallow of cultivated land in the world[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(14): 1-9.
- [10] 赵雲泰, 黄贤金, 钟太洋, 等. 区域虚拟休耕规模与空间布局研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(5): 103-107. ZHAO Y T, HUANG X J, ZHONG T Y, et al. Simulating fallow land on a regional scale: Size and spatial distribution[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2011, 31(5): 103-107.
- [11] 杨庆媛, 毕国华, 陈展图, 等. 喀斯特生态脆弱区休耕地的空间配置研究——以贵州省晴隆县为例[J]. 地理学报, 2018, 73(11): 2250-2266. YANG Q Y, BI G H, CHEN Z T, et al. Spatial allocation of fallow land in karst rocky desertification areas: A case study in Qinglong County, Guizhou Province[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(11): 2250-2266.
- [12] 陈展图. 生态安全和粮食保障双约束的休耕空间分区研究——以石漠化区砚山县为例[D]. 重庆: 西南大学, 2020. CHEN Z T. Exploring fallow zoning based on double constraints of ecological security and food security: A case of Yanshan County in the rocky desertification area[D]. Chongqing: Southwest University, 2020.
- [13] LI Y Q, SHI K F, WANG Y H, et al. Quantifying and evaluating the cultivated areas suitable for fallow in Chongqing of China using multi-source data[J]. *Land*, 2021, 10(1): 74.
- [14] 任理, 张雪靓. 海河流域井灌区在现状和限水灌溉及休耕模式下浅层地下水动态与粮食产量变化的模拟研究——以河北省太行山山前平原为例[M]. 北京: 科学出版社, 2020. REN L, ZHANG X L. Simulation of the variations in shallow groundwater and crop yield under the current situation, limited irrigation schemes, and fallow scheme patterns in the well-irrigated region of the Haihe River basin: A case study of the piedmont plain of Mount Taihang in Hebei Province [M]. Beijing: Science Press, 2020.
- [15] ZHANG X L, REN L. Simulating and assessing the effects of seasonal fallow schemes on the water-food-energy nexus in a shallow ground-

- water fed plain of the Haihe River basin of China[J]. *Journal of Hydrology*, 2021, 595(4): 125992.
- [16] 河北省人民政府办公厅, 河北省统计局. 河北农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1994—2020. General Office of the People's Government of Hebei Province, Hebei Provincial Bureau of Statistics. Hebei rural statistical yearbook[M] Beijing: China Statistics Press, 1994—2020.
- [17] 王慧军. 河北省粮食综合生产能力研究[M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2010. WANG H J. Comprehensive grain production capability in Hebei Province[M]. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Press, 2010.
- [18] 河北统计局. 河北统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1985—2019. Hebei Provincial Bureau of Statistics. Hebei statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 1985—2019.
- [19] ZHANG X L, REN L, KONG X B. Estimating spatiotemporal variability and sustainability of shallow groundwater in a well-irrigated plain of the Haihe River basin using the SWAT model[J]. *Journal of Hydrology*, 2016, 541: 1221—1240.
- [20] 张雪靓. 应用分布式水文模型评估耕地利用现状和限水灌溉及休耕对浅层地下水资源的影响——以河北省太行山山前平原为例[D]. 北京: 中国农业大学, 2017. ZHANG X L. Estimating the impacts of current arable land use, limited irrigation schedule, and fallow cropland on shallow groundwater resources using the distributed hydrological model: A case study in the piedmont plain of Taihang Mountains in Hebei Province[D]. Beijing: China Agricultural University, 2017.
- [21] 河北省人民政府办公厅, 河北省统计局. 河北经济年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1994—2016. General Office of the People's Government of Hebei Province, Hebei Provincial Bureau of Statistics. Hebei economic yearbook[M] Beijing: China Statistics Press, 1994—2016.
- [22] 唐秀美, 潘瑜春, 刘玉, 等. 基于四象限法的县域高标准基本农田建设布局与模式[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 238—246, 293. TANG X M, PAN Y C, LIU Y, et al. Layout and mode partition of high-standard basic farmland construction at county level based on four-quadrant method[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(13): 238—246, 293.
- [23] 黄金良, 李青生, 洪华生, 等. 九龙江流域土地利用/景观格局-水质的初步关联分析[J]. 环境科学, 2011, 32(1): 64—72. HUANG J L, LI Q S, HONG H S, et al. Preliminary study on linking land use & landscape pattern and water quality in the Jiulong River watershed[J]. *Environmental Science*, 2011, 32(1): 64—72.
- [24] 曾馨漫, 刘慧, 刘卫东. 京津冀城市群城市用地扩张的空间特征及俱乐部收敛分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(12): 2045—2056. ZENG X M, LIU H, LIU W D. Spatial pattern and club convergence analysis of urban expansion in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(12): 2045—2056.
- [25] 杨宇. 多指标综合评价中赋权方法评析[J]. 统计与决策, 2006(13): 17—19. YANG Y. Analysis of weighting methods in multi-index comprehensive evaluation[J]. *Statistics & Decision*, 2006(13): 17—19.
- [26] 赵其国, 沈仁芳, 滕应, 等. 中国重金属污染区耕地轮作休耕制度试点进展、问题及对策建议[J]. 生态环境学报, 2017, 26(12): 2003—2007. ZHAO Q G, SHEN R F, TENG Y, et al. Pilot progress, problems and countermeasures on farmland rotation and fallow system in the heavy metal polluted region of China[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2017, 26(12): 2003—2007.
- [27] 刘鑫, 孔祥斌, 吴芳芳, 等. 农户休耕意愿与不同模式的补偿标准——以太行山北麓平原、黑龙江地区为例[J]. 水土保持研究, 2019, 26(5): 328—333. LIU X, KONG X B, WU F F, et al. Farmers' fallow willingness and compensation standard of different modes: A case study in the northern foothills plain of Taihang Mountain and Heilonggang district[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2019, 26(5): 328—333.