

华北地下水超采区冬小麦退耕的生态补偿问题探讨

王 学^{1,2}, 李秀彬¹, 辛良杰¹, 谈明洪¹, 李升发^{1,2}, 王仁靖^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 压减冬小麦种植面积是有效减少华北平原地下水用量最为有效的方法。近期, 国家和地方政府均出台了土地休耕政策, 拟在华北地下水超采区退耕冬小麦, 实现“一季休耕、一季雨养”。然而, 华北平原已经出现农户主动退耕冬小麦的现象。在此背景下, 明确冬小麦退耕的瞄准目标、制订合理适度的补偿标准是土地休耕政策有效实施所面对的核心问题。本文利用农户问卷数据, 构建多层次logit模型分析农户种植制度决策的影响因素, 并计算冬小麦退耕的机会成本, 旨在确定华北平原地下水超采区土地休耕政策的瞄准目标, 并为农户补偿标准的制订提供建议。结果表明: ① 地块层次的土地质量和灌溉条件是解释农户种植制度差异的关键因素, 近70%的四等耕地和90%以上的旱地已退出冬小麦耕作, 土地休耕政策应瞄准一、二、三等土地质量的水浇地; ② 相似耕作条件的地块种植春、夏玉米的净收益大致相同, 土地休耕的机会成本等于种植冬小麦的净收益; ③ 仅考虑冬小麦对地下水资源的影响, 土地休耕政策初期以地下水回升和地下水环境恢复为主要目标时, 建议以350元/亩作为补偿标准参考值, 后期目标转为维持地下水资源采补平衡时, 可调整至280元/亩左右。

关键词: 土地休耕; 生态补偿; 多层次logit模型; 机会成本; 地下水超采区; 华北平原

DOI: 10.11821/dlxb201605011

1 引言

华北平原是中国的农业主产区之一, 同时也是中国乃至世界上水资源短缺最为严峻的地区之一^[1-2]。平原内部农业与水资源的矛盾非常尖锐。因地表水资源匮乏, 地下水一直是维系平原农业生产与发展的命脉。然而, 由于地下水的过度开采, 河北、北京等地近30年来浅层地下水位普遍下降了20~40 m^[3]; 20世纪70年代以来, 平原地下水降落漏斗不断扩大和加深, 形成了山前平原串珠状地下水降落漏斗和5×10⁴ km²的深层地下水复合漏斗^[3]。地下水过度开采也造成了严重的地面沉降和地裂现象: 在天津、沧州和北京东北部形成了3个地面沉降中心, 天津、塘沽的最大沉降量已超过3.1 m; 2006-2010年, 衡水市发生了10多起地裂现象, 其中, 武邑至阜城的地裂缝长达8 km^[4]。华北平原已成为全世界最大的“地下水漏斗”和水环境最为脆弱的地区^[5], 地下水超采治理迫在眉睫。

在华北平原的主要农作物中, 冬小麦生育期的降水量远远低于其实际需水量, 灌溉用水占平原总灌溉水量的70%左右, 被认为是地下水过度开采的主要原因^[6-7]。与之相比, 玉米因生育期在夏、秋两季, 降水较为集中, 对地下水资源的需求相对较小^[8]。有鉴

收稿日期: 2016-01-08; 修订日期: 2016-01-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571095, 41271119) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41571095, No.41271119]

作者简介: 王学(1989-), 女, 博士, 主要从事土地利用变化研究。E-mail: wangx.12b@igsrr.ac.cn

通讯作者: 李秀彬(1962-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 中国地理学会会员(S110000940M), 主要从事土地利用变化及其效应相关研究。E-mail: lixb@igsrr.ac.cn

于此,在华北平原推行季节性休耕、适当退耕冬小麦,成为减少平原水资源用量,改善区域地下水环境最为行之有效的方法^[9-10]。

近年来,中国也出台了相关政策法规,鼓励地下水超采区进行土地休耕。其中,2014年中央一号文件《关于全面深化农村改革加快推进农业现代化的若干意见》首次提出农业资源休养生息试点,并将地下水超采漏斗区作为试点之一;2015年11月《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》(简称《十三五规划建议》)中进一步明确实行耕地轮作休耕制度试点;随后,习近平在《关于《十三五规划建议》的说明》中,提出将地下水漏斗区作为耕地轮作休耕制度的三个试点地区之一(其余两个分别为重金属污染区和生态严重退化地区),要求安排一定面积的耕地用于休耕,并对休耕农民给予必要的粮食或现金补助。同时,北京、河北等地方政府也纷纷制订响应方案,进一步保障土地休耕制度的落实。2014年北京市委市政府和北京市农业局分别下发《关于调结构转方式发展高效节水农业的意见》和《北京市地下水超采区农业结构调整实施方案》,将加快推进地下水超采区农业结构调整和调减高耗水粮食生产面积作为重点任务执行。河北省也制订了《2014年度河北省地下水超采综合治理试点调整农业种植结构和农艺节水项目实施方案》,明确指出将在深层地下水严重超采区压减冬小麦种植面积,实现“一季休耕、一季雨养”,并按照亩均500元的补助标准对压减冬小麦的农户进行补贴。总体而言,华北地下水超采区耕地休耕政策已基本制订,冬小麦退耕决策在部分地区也已试点实施,但整体处于初始阶段,关于政策的瞄准目标和补偿标准的研究尚为空白,仍有诸多问题亟需解答。

与此同时,有关研究发现在上述政策提出前的十年间,华北平原存在农户主动退耕冬小麦的现象^[11]。统计资料也显示,20世纪90年代末以来,平原冬小麦种植面积呈收缩趋势,长期以来占主导地位的冬小麦—夏玉米一年两熟制在部分地区已演变为春玉米一年一熟制,春玉米的种植面积不断增加,并在空间上连成大片区域,形成“春玉米种植带”^[12]。在这一背景下,应避免将农户主动退耕耕地纳入政策范围。瞄准尚未退耕冬小麦的耕地成为土地休耕政策有效实施的前提。确定合理适度的生态补偿标准则是政策实施的重中之重^[13]:补偿标准过高一方面影响粮食直补等其他政策目标的实现,造成小麦产量下降,威胁粮食安全;另一方面造成公共财政经费的浪费,降低成本有效性;还会影响土地流转市场价格,严重时因租值耗散造成一系列社会问题^[14-15];补偿标准过低则达不到冬小麦退耕和减少地下水用量的目的。有鉴于此,识别华北地下水超采区冬小麦退耕的瞄准目标、制订合理适度的生态补偿标准,对于土地休耕政策意义重大。

本文以河北地下水超采综合治理试点之一的沧县为例,基于农户问卷数据,构建多层次logit模型分析农户种植制度的影响因素,并借助冬小麦退耕的机会成本计算,试图为华北平原地下水超采区土地休耕政策的瞄准目标确定和补偿标准制订提供建议。

2 材料与方法

2.1 案例区概况

案例区为河北沧县(图1),北靠京津,东临渤海,地理坐标为E116°27′~E117°09′,N38°3′~N38°5′。地处冲积平原向滨海平原过渡地带,地势低平,土壤类型以黄沙土为主,部分地区土壤盐碱化严重;属温带大陆性季风气候,年均气温13℃,年均降水量590 mm^[16]。冬小麦—夏玉米一年两熟制是主要种植制度。近年来,春玉米一熟制面积不断扩张。冬小麦、夏玉米和春玉米成为最主要的农作物种类,播种面积占农作物总播种

面积的90%以上^[17-18]。

沧县属沧州深层地下水漏斗区。该漏斗区面积约5551 km²,中心水位埋深约92 m,是河北省面积最大、漏斗中心水位最低的漏斗区。《2014年度河北省地下水超采综合治理试点调整农业种植结构和农艺节水项目实施方案》中,选取衡水、沧州、邢台、邯郸4个地区共43个县(市、区)进行冬小麦退耕试点,沧县也包括在内。

2.2 数据来源

所用数据来自于作者2015年3-5月在沧县进行的农户问卷调查。农户样本选取采用分层抽样和随机抽样相结合^[19]:选取县内6个乡镇,按照均匀布点原则,在每个乡镇选取以地下水为主要灌溉水源的村庄2~3个,每个村庄随机选取10户左右农户进行调查。问卷内容主要包括2013-2014年度农户家庭固定资产情况、家庭收入情况、劳动力特征以及农户所有地块的基本属性、种植作物及分地块分作物的成本—收益信息等。整个调研过程包括预调研和正式调研两个阶段,共收集14个村144份问卷,其中有效问卷134份,问卷有效率为93.1%。

2.3 研究方法

在农户主动退耕冬小麦的背景下,确定土地休耕政策的瞄准目标和休耕农户的生态补贴标准是政策执行初期应解决的核心问题。为解决这两个问题,本文构建解释农户不同种植制度决策的多层次logit模型,寻找影响冬小麦空间布局的关键因素。然后,通过成本收益分析,计算冬小麦退耕的机会成本,进而给出休耕农户补偿标准的建议。

2.3.1 多层次logit模型 理论上,农户土地利用行为受地块的自然和位置特征、农户的经济和劳动力特征、村庄的区位和地理环境等不同层级因素的影响^[20]。数据存在组内同质和组间异质的特征,不符合传统模型关于样本独立、正态分布和方差齐性的假设^[21]。多层次模型可将传统模型中的随机误差项分解到与数据层次结构相应的水平上,使得个体的随机误差满足上述假定,是处理多层次数据的有效方法^[22],被越来越多地应用于农户土地利用行为及其变化的解释^[23-25]。

本文即借助多层次logit模型分析农户种植制度的影响因素。沧县农户的种植制度主要有两种:冬小麦—夏玉米一年两熟制(简称两熟制)和春玉米—一年一熟制(简称一熟制)。将两熟制定义为1,一熟制定义为0。 p 为农户某一地块种植两熟制的概率, $1-p$ 为一熟制的概率。构建的多层次logit模型如下:

$$\log\left(\frac{p_{ijk}}{1-p_{ijk}}\right) = \gamma_{000} + \sum_{n=1}^N \alpha_{n00} X_{nijk} + \sum_{p=1}^P \beta_{p00} Y_{pjk} + \sum_{q=1}^Q \delta_{00q} Z_{qk} + r_0 + u_{00} \quad (1)$$

式中: i 、 j 和 k 分别表示地块、农户和村庄; γ_{000} 表示固定截距; r_0 和 u_{00} 分别表示农户和村庄尺度的随机截距,均符合随机分布和均值为0的假设; X 、 Y 、 Z 和 α 、 β 、 δ 分别表示地块、农户、村庄3个尺度的解释变量及其系数。

跨级相关系数用于评价不同层次对被解释变量总体变异的解释程度^[24]:

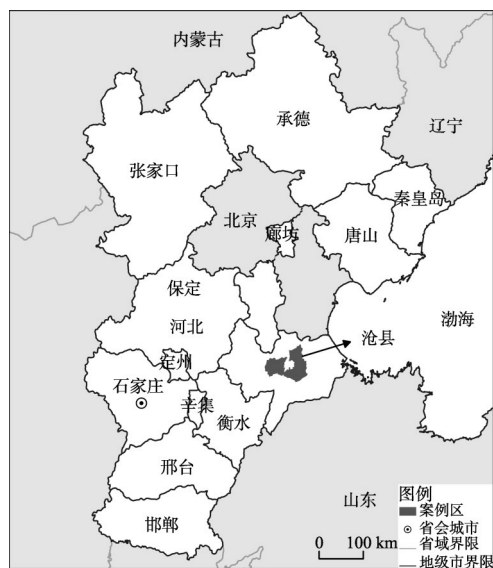


图1 案例区地理位置

Fig. 1 Location of the case study area

$$\rho_2 = \frac{VAR(r_0)}{VAR(r_0) + VAR(u_{00}) + \pi^2/3} \quad \rho_3 = \frac{VAR(u_{00})}{VAR(r_0) + VAR(u_{00}) + \pi^2/3}$$

(2)

式中： ρ_2 、 ρ_3 分别表示农户和村庄的跨级相关系数； $VAR(r_0)$ 、 $VAR(u_{00})$ 分别为农户层次和村庄层次随机截距的方差； $\pi^2/3$ 为地块层次的残差^[24]。

本文在选取农户种植制度的可能影响因素时，也从地块、农户和村庄3个尺度着手，兼顾数据可获取性，最终选取解释变量（表1）。

2.3.2 机会成本计算 从管理者的角度而言，生态补偿标准通常以保护导致的净收益损失（机会成本）作为最小补偿，而以原有土地利用方式导致的损失（即生态成本或保护的生态收益）作为最高补偿^[26]。补偿标准的确定主要有3种思路^[27]：计算生态保护的机会成本，确定经济补偿量；采用商品价格法，计算生态效益的经济价值，作为补偿标准；综合考虑成本补偿、生态价值补偿和利益相关者参与激励等多种因素确定补偿标准。其中，机会成本支付原则是世界范围内应用最为广泛的生态补偿标准确定依据^[13]。美国的耕地保护储备计划和中国的退耕还林两大生态补偿项目均以耕地休耕或退耕的机会成本作为补偿标准^[28]。

采用机会成本法确定农户退耕冬小麦的补偿标准：

$$OC = \pi_a - \pi_b = \begin{cases} \pi_{ww} \\ \pi_{ww} + \pi_{sm} - \pi_{cm} \end{cases}$$

(3)

式中： OC 为农户退耕冬小麦的机会成本； π_a 和 π_b 分别表示地块退耕前后的净收益（元/亩）。若案例区夏玉米和春玉米的净收益相等， OC 可近似等于地块种植冬小麦的净收益

表1 案例区农户种植制度决策解释变量的定义及描述性统计

Tab. 1 Definition and description of the independent variables for farmers' cropping systems in the study area

变量名称	定义	均值	方差	最小值	最大值
地块尺度(N=521)					
地块面积	地块面积(亩)	2.09	1.41	0.10	11.00
土地质量	一等地=1，二等地=2，三等地=3，四等地=4	1.96	0.96	1.00	4.00
耕作距离	地块到所属农户住宅的距离(km)	0.84	0.55	0.05	3.00
灌溉条件	虚拟变量(水浇地=1，旱地=0)	0.85	0.36	0.00	1.00
农户尺度(N=134)					
农机设备	虚拟变量(具备=1，不具备=0)	0.22	0.42	0.00	1.00
地块破碎度	农户种植地块总数与耕地总面积之比	0.51	0.21	0.17	1.35
人均非农收入	农户非农总收入与总人口之比(10 ³ 元/人)	12.19	8.79	0.00	45.00
亩均务农劳动力数量	农户务农劳动力总数与耕地面积之比(人/亩)	0.31	0.20	0.06	1.08
年龄	农户农业决策者的年龄(岁)	57.38	9.68	36.00	77.00
受教育程度	农户农业决策者的受教育程度(文盲=1，小学=2，初中=3，高中=4，大专及以上=5)	2.29	0.82	1.00	5.00
抚养比	农户劳动力数量与总人口数量之比	0.71	0.24	0.00	1.00
村庄尺度(N=14)					
距市中心距离	村庄与城市中心的最短距离(km)	12.17	2.90	7.91	16.28
土地流转率	村庄流转耕地面积与耕地总面积之比	0.06	0.11	0.00	0.42
灌溉用电单价	村庄灌溉用电单价(元/度)	0.59	0.40	0.00	1.00

注：土地质量主要依据各调查村庄在耕地包产到户时的土地质量等级划分结果，村庄之间借助冬小麦亩均产量进行订正。其中，一等地的冬小麦亩均产量> 450 kg/亩；二等地的冬小麦亩均产量介于400~450 kg/亩；三等地的冬小麦亩均产量介于350~400 kg/亩；四等地的冬小麦亩均产量≤ 350 kg/亩。灌溉条件中水浇地指临近机井，且机井灌溉设备已经配备，能够进行正常灌溉的耕地，旱地指远离机井、或虽临近机井但机井灌溉设备年久失修，无法灌溉的耕地。农机设备主要指农用拖拉机，用于农产品运输等。

(π_{ww} , 元/亩); 若不相等, 则 OC 等于地块种植冬小麦—夏玉米两熟制的净收益总和 ($\pi_{ww} + \pi_{sm}$, 元/亩) 与春玉米一熟制的净收益 (π_{cm} , 元/亩) 之差。其中, 作物的净收益 (π , 元/亩) 可通过地块的成本—收益分析获得:

$$\pi = p \times Y - I_{seed} - I_{pesticide} - I_{fertilizer} - I_{machinery} - I_{irrigation} - I_{labor} \quad (4)$$

式中: p 为农户出售农产品的价格 (元/斤); Y 为作物的单产 (斤/亩); I_{seed} 、 $I_{pesticide}$ 、 $I_{fertilizer}$ 、 $I_{machinery}$ 、 $I_{irrigation}$ 和 I_{labor} 分别表示单位面积的种子、农药、化肥、机械、灌溉和劳动力的投入成本 (元/亩)。其中, I_{labor} 采用务农劳动力的影子工资 (W_l , 元/工日) 乘以单位劳动投入 ($Labor$, 工日/亩) 计算得到。 W_l 通常等于边际农业收入, 即单位劳动投入带来的农业总收益的变化^[29-30]:

$$W_l = \partial G / \partial L = \gamma \times G / L \quad (5)$$

式中: G 为农业总收益 (元); L 为农业劳动总投入 (工日); γ 为劳动投入的弹性系数, 利用柯布—道格拉斯生产函数进行估计^[30], 模型如下:

$$\ln G = \alpha + \beta \times \ln A + \gamma \times \ln L + \theta \times \ln C + \sum (\delta \times Z) + \varepsilon \quad (6)$$

式中: α 为常数项; A 、 L 和 C 分别为土地、劳动力和资本投入; β 、 γ 和 θ 分别为对应的弹性系数; Z 为影响农业总收益的耕作条件、气候因素、劳动力特征等外部因素, δ 为对应的系数; ε 为残差项。

3 结果与分析

3.1 农户种植制度影响因素分析与退耕目标确定

在农户主动退耕冬小麦的背景下, 识别农户种植制度的影响因素, 有助于土地休耕政策瞄准尚未退耕的地块, 有效提高政策执行效率和成本有效性^[14]。表2给出了不包括任何解释变量 (模型1)、仅包括地块层次解释变量 (模型2)、包括地块和农户层次解释变量 (模型3) 和包括全部层次解释变量 (模型4) 的多层次 logit 模型的模拟结果。

模型1也被称为“空模型”, 主要用于检测高层次的变异是否显著, 还可用于分析各层次对于被解释变量的解释程度^[22]。结果显示, 村庄层次的方差 ($VAR(u_{00})$) 在0.01的水平显著, 说明村际间两熟制的概率均值存在明显差异; 而农户层次的方差 ($VAR(r_0)$) 并不显著。根据跨级相关系数 ρ_2 和 ρ_3 , 农户和村庄两个层次对被解释变量变异的解释程度分别为3.2%和40.5%; 地块层次的解释程度为其余的56.2%。由此, 地块特征和村庄特征是造成种植制度差异的关键, 而以地块层次的解释程度更大。

模型2的结果显示, 地块层次的土地质量和灌溉条件两个因素对种植制度有显著影响; 而地块面积和耕作距离的影响并不显著。模型3的结果显示, 地块层次上变量的作用方向和程度与模型2近似。农户层次上, 农机设备和亩均务农劳动力数量对两熟制的选择有显著的正效应; 地块破碎度和人均非农收入对两熟制的选择有显著的负效应。农业决策者的年龄和年龄的二次项均显著, 但影响方向不同: 前者为正, 后者为负, 说明家庭决策者年龄过大或过小都会降低两熟制的概率。此外, 农业决策者的受教育程度和抚养比这两个变量对种植制度的影响并不显著。模型4的结果显示, 地块和农户层次各变量的作用方向与模型2和模型3一致。村庄尺度上, 灌溉用电单价对两熟制的选择呈现显著的负效应; 土地流转率则呈正效应, 但考虑到村庄土地流转率的均值仅为6% (表1), 这一变量对种植制度变异的解释程度较为有限。村庄的地理位置 (距市中心距离) 并未呈现显著影响。

总体而言,多层次logit模型的结果分析表明,地块层次对种植制度变异的解释程度最高(56.2%),其次为村庄层次(40.5%),农户层次的解释程度仅为3.2%。ROC值^[22]也表明,仅包括地块层次的解释变量即可实现模型的最佳拟合效果(表2)。

具体考虑地块层次的土地质量和灌溉条件对种植制度的影响:土地质量越好,两熟制的概率越大,除四等地外,其余三等耕地两熟制的面积占比均在50%以上(图2);有灌溉条件的水浇地比旱地采用两熟制的可能性更大,后者的两熟制面积占比仅为9.2%,而前者的这一比例高达62.5%(图3)。据此,建议土地休耕政策瞄准一、二、三等土地质量的水浇地,着重促使上述属性的地块退耕冬小麦。

3.2 生态补偿标准确定

3.2.1 务农劳动力的影子工资 利用农户问卷数据估计柯布一道格拉斯生产函数。其中,被解释变量为农户2014年种植冬小麦、夏玉米和春玉米总收益的对数值。借助Stata 13.0进行OLS回归,结果如表3所示。

根据表3,调整 $R^2=0.914$,说明模型的拟合效果较好,结果可信度高。其中,总劳动投入的弹性系数为0.099,将该系数带入公式(5),求出沧县2014年务农劳动力的平均影子工资为46.8元/工日,可将其带入公式(4)计算不同地块作物的净收益。值得一提的是,沧县农户的资本投入与播种面积之间存在极强的共线性,相关系数达0.952,在进行OLS回归时将其剔除。

3.2.2 春、夏玉米净收益差异 因土地休耕政策尚未落实,无法获取同一地块种植夏玉米和春玉米的净收益,采用相似耕作条件地块种植春、夏玉米的净收益近似代替。具体地,分析相同土地质量或灌溉条件下地块种植

表2 案例区农户种植制度影响因素的多层次logit模型结果
Tab. 2 Results of multi-level logit models for factors influencing farmers' cropping systems in the study area

	模型1	模型2	模型3	模型4
固定效应				
截距项	-0.008	-0.050	-0.009	1.984
地块尺度($N=521$)				
地块面积		0.065	0.067	0.094
土地质量		-0.498***	-0.523***	-0.765***
耕作距离		-0.184	-0.175	-0.287
灌溉条件		3.314***	3.352***	4.630***
农户尺度($N=134$)				
农机设备			0.466**	0.833**
地块破碎度			-2.153**	-3.134**
人均非农收入			-0.025*	-0.033*
亩均务农劳动力数量			2.087***	3.146***
年龄			0.250***	0.344**
年龄的二次方			-0.002***	-0.003*
受教育程度			-0.001	-0.002
抚养比			0.366	0.619
村庄尺度($N=14$)				
距市中心距离				0.017
土地流转率				4.762*
灌溉用电单价				-4.016***
随机效应				
农户尺度				
$VAR(r_0)$	0.180	0.530	0.060	0.120
ρ_2	0.032	0.074	0.008	0.031
村庄尺度				
$VAR(u_{00})$	2.265***	3.444***	4.317***	0.659***
ρ_3	0.405	0.484	0.574	0.168
ROC	0.846	0.920	0.913	0.915

注: *: $p < 0.1$; **: $p < 0.05$; ***: $p < 0.01$ 。

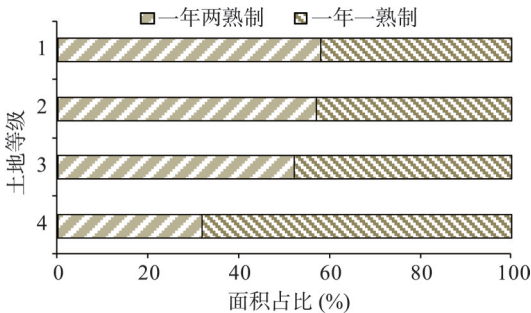


图2 案例区土地等级与两种种植制度面积占比
Fig. 2 Land qualities and the ratios of sown areas to two cropping systems in the study area

春、夏玉米净收益平均值的差异，借助SPSS中的独立样本T检验进行（表4，表5）。

独立样本T检验的结果显示：不同灌溉条件的地块种植春、夏玉米净收益的平均值均不存在显著差异，*P*值均大于0.1（表4）；同样，4种土地质量等级的地块种植春、夏玉米净收益平均值的差异也都未达到显著水平，*P*值最小为一等地，但仍大于0.1（表5）。因此，尽管春、夏玉米的生育周期不同，相近耕作条件的地块种植春玉米的净收益和种植夏玉米的净收益却差别不大。根据公式（3），农户退耕冬小麦的机会成本可近似等于种植冬小麦的净收益。

3.2.3 冬小麦机会成本与退耕补偿标准 如前所述，近70%的四等耕地和90%以上的旱地已出现农户主动退耕冬小麦现象，现有冬小麦主要布局在土地质量较好的一、二、三等水浇地上，因而上述类型地块将是未来土地休耕政策瞄准的重点。按照公式（3）计算冬

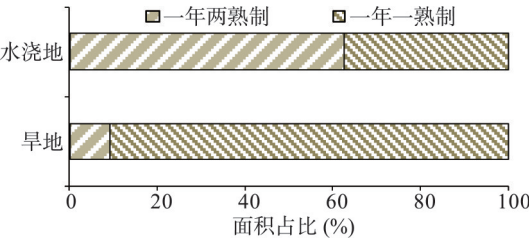


图3 案例区灌溉条件与两种种植制度面积占比
Fig. 3 Irrigation conditions and the ratios of sown areas to two cropping systems in the study area

表3 案例区柯布—道格拉斯生产函数估计结果

Tab. 3 Estimation results of Cobb-Douglas production function in the study area

变量	系数	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	变量	系数	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
常数项	7.000***	49.85	0.000	受灾面积占比	-0.517***	-10.78	0.000
ln(总播种面积)	0.901***	19.44	0.000	农业决策者年龄	-0.003*	-1.68	0.095
ln(总劳动投入)	0.099**	2.08	0.040	农业决策者受教育程度	-0.006	-0.29	0.770
优质耕地面积占比	0.150***	3.05	0.003	务农劳动力中男性占比	-0.008	-0.13	0.893
样本数	134						
调整 <i>R</i> ²	0.914						

注：*：*p* < 0.1；**：*p* < 0.05；***：*p* < 0.01；优质耕地占比为农户一、二等级耕地面积占总耕地面积比重；受灾面积占比为农户2014年遭受旱灾的耕地面积占总耕地面积比重。

表4 案例区不同灌溉条件地块的独立样本T检验结果

Tab. 4 Results of independent-samples *T* test for plots with different irrigation conditions in the study area

作物类别	水浇地				旱地			
	样本数	平均值	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	样本数	平均值	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
春玉米	30	593.82	1.233	0.220	63	619.13	-0.513	0.609
夏玉米	83	648.76			53	594.39		

注：不考虑受灾地块。

表5 案例区不同土地质量地块的独立样本T检验结果

Tab. 5 Results of independent-samples *T* test for plots with different land qualities in the study area

作物类别	一等地				二等地			
	样本数	平均值	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	样本数	平均值	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
春玉米	34	746.68	-1.064	0.290	22	654.00	-0.475	0.637
夏玉米	66	696.26			42	630.26		
作物类别	三等地				四等地			
	样本数	平均值	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	样本数	平均值	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
春玉米	25	550.75	-0.756	0.454	12	272.96	-0.459	0.653
夏玉米	23	510.41			5	237.31		

注：不考虑受灾地块。

小麦的净收益(图4)。

根据图4,不同亩均净收益时,不同质量水浇地的冬小麦种植面积累计百分比(简称累计百分比)不尽相同。其中,亩均净收益在100元/亩以内时,3种质量水浇地的累计百分比差异不大;250元/亩以内时,二、三等水浇地的累计百分比基本吻合,但与三等水浇地有较大差异;随着亩均净收益不断增加,3种质量水浇地的累计百分比各不相同,亩均净收益介于250~600元/亩时,累计百分比均表现为三等水浇地>二等水浇地>一等水浇地。一、二、三等水浇地中亩均净收益超过600元/亩的面积占比均较少,3条曲线渐趋重合。就水浇地而言,其累计百分比均介于一、三等水浇地之间,亩均净收益超过400元/亩时,与二等水浇地的累计百分比基本吻合。

生态补偿实践中,通常采用机会成本的平均值作为补偿标准确定的依据^[28]。一、二、三等水浇地种植冬小麦的亩均净收益均值分别为424元/亩、380元/亩和291元/亩;若考虑全部水浇地,冬小麦的亩均净收益均值则为367元/亩。假设农户种植冬小麦的亩均净收益低于补偿标准时将会执行冬小麦退耕决策,图4中与亩均净收益相对应的冬小麦种植面积累计百分比也可视为相应补贴标准时冬小麦退耕面积的累计百分比。就全部水浇地而言,若按照上述最低值291元/亩进行补贴,将有31.2%的水浇地退耕冬小麦;若按照平均值367元/亩进行补贴,将有46.0%的水浇地退耕冬小麦;若按照最高标准424元/亩进行补贴,退耕比例将提高至55%。可见,补偿标准不同,冬小麦退耕面积的累计百分比存在较大差异;具体补偿标准须依据政府部门制订的冬小麦退耕面积比例确定。

目前,土地休耕的相关政策法规中尚未对华北地下水超采区冬小麦退耕的面积或其比例做出明确规定。仅从地下水治理角度出发,地下水开采量减少29.2%时,地下水位将停止下降;而地下水开采量减少39.2%时,地下水位可能恢复到20世纪50年代的水平^[31]。仅考虑冬小麦对地下水资源的影响,因冬小麦面积减少比例与其节省的地下水资源量的比例基本一致^[32],尝试将上述两个临界值应用于冬小麦退耕面积比例的确定,对应的亩均净收益分别为273元/亩和341元/亩(图4)。据此,在土地休耕政策初期,为尽快回升地下水位并恢复地下水环境,可将350元/亩作为冬小麦退耕的补偿标准参考值,这与全部水浇地冬小麦退耕的平均机会成本较为一致;随着政策执行年份的增长,目标逐渐转向维持地下水资源采补平衡,补偿标准可适当压减,可将其调整至280元/亩左右,接近三等水浇地冬小麦退耕的平均机会成本。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1)从地块、农户和村庄3个层次进行的种植制度决策影响因素分析显示,地块特征对农户种植制度选择行为的解释程度最高(56.2%),其次为村庄特征(40.5%),而农

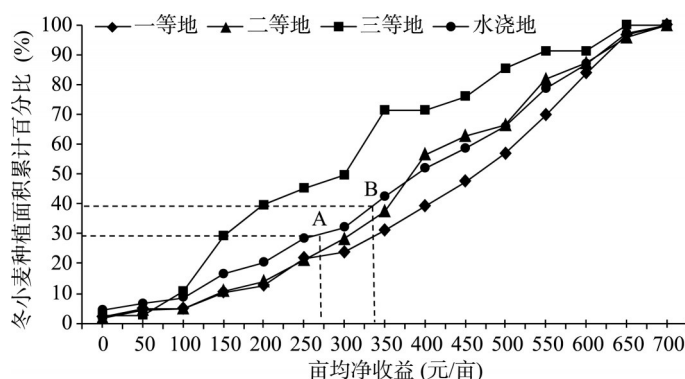


图4 案例区土地质量、亩均净收益与冬小麦种植面积累计百分比
Fig. 4 Land quality, net-profit per mu and cumulative percentage of area sown to winter wheat in the study area

户特征的解释程度最小 (3.2%); 仅包括地块层次解释变量的多层次 logit 模型拟合效果最优 ($ROC = 0.920$)。

(2) 近 70% 的四等耕地和 90% 以上的旱地已出现农户主动退耕冬小麦现象, 现有冬小麦主要布局在可灌溉的水浇地和土地质量较好的一、二、三等耕地上。土地休耕政策应瞄准一、二、三等土地质量的水浇地, 着重促使上述属性的地块退耕冬小麦。

(3) 相似耕作条件下, 春、夏玉米的净收益并不存在显著差异, 土地休耕的机会成本等于种植冬小麦的净收益。

(4) 仅考虑冬小麦对地下水资源的影响, 土地休耕政策初期以地下水位回升和地下水环境恢复为主要目标时, 建议补偿标准为 350 元/亩左右; 后期以维持地下水资源采补平衡为主要目标时, 建议补偿标准为 280 元/亩左右。

4.2 讨论

关于农户冬小麦退耕的生态补偿标准, 《2014 年度河北省地下水超采综合治理试点调整农业种植结构和农艺节水项目实施方案》中将其暂定为 500 元/亩, 但这一标准的制订依据并不充分, 且尚未付诸实施。本文借助农户问卷数据, 在分析农户种植制度影响因素的基础上, 通过冬小麦退耕的机会成本计算, 给出土地休耕政策重点瞄准地块冬小麦退耕的生态补偿标准建议。本文建议的补偿标准遵循既定的科学依据且显著低于 500 元/亩, 可有效降低政策的投入成本, 具有积极的政策含义。然而, 本文仅以沧县 2013-2014 年度种植冬小麦的净收益作为机会成本, 今后需扩展案例区范围, 跟踪进行农户问卷调研工作, 以期给出更为合理的华北地下水超采区冬小麦退耕的补偿标准。

此外, 华北平原种植冬小麦的生态负面作用主要是超采地下水资源, 还包括农药、化肥的过量使用等; 同时, 种植冬小麦也有积极的生态意义, 如净化空气、保持水土等。

参考文献(References)

- [1] Gleeson T, Wada Y, Bierkens M F P, et al. Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. *Nature*, 2012, 488(7410): 197-200.
- [2] Chen J Y, Tang C Y, Shen Y J, et al. Use of water balance calculation and tritium to examine the dropdown of groundwater table in the piedmont of the North China Plain (NCP). *Environmental Geology*, 2003, 44(5): 564-571.
- [3] Zhang Zhaoji, Fei Yuhong, Chen Zongyu, et al. Evaluation of the Groundwater Sustainable Utilization and Survey in the North China Plain. Beijing: Geological Publishing House, 2009: 1-9. [张兆吉, 费宇红, 陈宗宇, 等. 华北平原地下水可持续利用调查评价. 北京: 地质出版社, 2009: 1-9.]
- [4] Xu Yueqing. Impact analysis of land use on groundwater level drawdown. *Geographical Research*, 2005, 24(2): 222-228. [许月卿. 土地利用对地下水位下降的影响. *地理研究*, 2005, 24(2): 222-228.]
- [5] Pan Ying, Yu Zhenrong, Holst J, et al. Integrated assessment of cropping patterns under different policy scenarios in Quzhou County, North China Plain. *Land Use Policy*, 2014, 40: 131-139.
- [6] Li Jiamin, Inanaga S, Li Zhaohu, et al. Optimizing irrigation scheduling for winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 2005, 76(1): 8-23.
- [7] Sun Hongyong, Shen Yanjun, Yu Qiang, et al. Effect of precipitation change on water balance and WUE of the winter wheat-summer maize rotation in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(8): 1139-1145.
- [8] Sun Qiping, Kröbel R, Müller T, et al. Optimization of yield and water-use of different cropping systems for sustainable groundwater use in North China Plain. *Agricultural Water Management*, 2011, 98(5): 808-814.
- [9] Xu Yueqing, Mo Xingguo, Cai Yunlong, et al. Analysis on groundwater table drawdown by land use and the quest for sustainable water use in the Hebei Plain in China. *Agricultural Water Management*, 2005, 75(1): 38-53.
- [10] Shen Yanjun, Zhang Yucui, Scanlon B R, et al. Energy/water budgets and productivity of the typical croplands irrigated with groundwater and surface water in the North China Plain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2013, 181: 133-142.
- [11] Wang Xue, Li Xiubin, Xin Liangjie, et al. Impact of the shrinking winter wheat sowing area on agricultural water consumption in the Hebei Plain. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(5): 694-707. [王学, 李秀彬, 辛良杰. 河北平原冬小

- 麦播种面积收缩及由此节省的水资源量估算. 地理学报, 2013, 68(5): 694-707.]
- [12] Feng Zhiming, Liu Dengwei, Zhang Yuehong. Water requirements and irrigation scheduling of spring maize using GIS and CropWat model in Beijing-Tianjin-Hebei region. Chinese Geographical Science, 2007, 17: 56-63.
- [13] Han Hongyun, Yu Yonghong. Research on the payment for environmental services of the 'Grain for Green' program: cost basis, willingness to accept or environmental values. Issues in Agricultural Economy (IAE), 2014(4): 64-73. [韩洪云, 喻永红. 退耕还林生态补偿研究、成本基础、接受意愿抑或生态价值标准. 农业经济问题, 2014(4): 64-73.]
- [14] Xu Jintao, Tao Ran, Xu Zhigang. Sloping land conversion program: Cost-effectiveness, structural effect and economic sustainability. China Economic Quarterly, 2004, 4(1): 139-162. [徐晋涛, 陶然, 徐志刚. 退耕还林: 成本有效性、结构调整效应与经济可持续性: 基于西部三省农户调查的实证分析. 经济学(季刊), 2004, 4(1): 139-162.]
- [15] Li Xiubin. The 'Grain for Green' program: Good deeds turning to bad ones? http://lixubin.blog.hexun.com/91259788_d.html, 2014. [李秀彬. 退耕还林工程: 好事如何变成坏事? http://lixubin.blog.hexun.com/91259788_d.html, 2014.]
- [16] Wang Wei. Hebei Geography. Beijing: Beijing Normal University Press, 2012. [王卫. 河北地理. 北京: 北京师范大学出版社, 2012.]
- [17] General Office of Hebei Provincial Government, Statistical Bureau of Hebei Province. Hebei Rural Statistical Yearbook 2014. Beijing: China Statistics Press, 2014. [河北省人民政府办公厅, 河北省统计局. 河北农村统计年鉴 2014. 北京: 中国统计出版社, 2014.]
- [18] Wang Xue, Li Xiubin, Tan Minghong, et al. Remote sensing monitoring of changes in winter wheat area in North China Plain from 2001 to 2011. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(8): 190-199. [王学, 李秀彬, 谈明洪, 等. 华北平原 2001-2011 年冬小麦播种面积变化遥感监测. 农业工程学报, 2015, 31(8): 190-199.]
- [19] Zhang Bailin, Zhang Fengrong, Qu Baode, et al. Rural non-agricultural differences and their driving forces at the county level: A case study of 16 villages in Yishui, Shandong, East China. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(6): 1008-1021. [张佰林, 张凤荣, 曲宝德, 等. 山东省沂水县农村非农化程度差异及驱动力. 地理学报, 2015, 70(6): 1008-1021.]
- [20] Yang Weige, Chen Hai, Yang Mingnan, et al. Analysis of the factors of the land use decision-making of households' based on a multi-level model. Journal of Natural Resources, 2010, 25(4): 646-656. [杨维鸽, 陈海, 杨明楠, 等. 基于多层次模型的农户土地利用决策影响因素分析. 自然资源学报, 2010, 25(4): 646-656.]
- [21] Snijders T A B, Boksner R J. Multilevel Analysis. New York: Sage, 1999.
- [22] Overmars K P, Verburg P H. Multilevel modelling of land use from field to village level in the Philippines. Agricultural Systems, 2006, 89(2/3): 435-456.
- [23] Su Shiliang, Zhou Xiangcheng, Wan Chen, et al. Land use changes to cash crop plantations: crop types, multilevel determinants and policy implications. Land Use Policy, 2016, 50: 379-389.
- [24] Zhang Ying, Li Xiubin, Song Wei. Determinants of cropland abandonment at the parcel, household and village levels in mountain areas of China: A multi-level analysis. Land Use Policy, 2014, 41: 186-192.
- [25] Ma Jiliang, Chen Yongfu, Qian Xiaoping. Climate change, medial input and increment in yield of maize. Chinese Rural Economy, 2012: 11-20. [麻吉亮, 陈永福, 钱小平. 气候因素、中间投入与玉米单产增长. 中国农村经济, 2012: 11-20.]
- [26] Pagiola S., Platais G. Payments for Environmental Services: From Theory to Practice. Washington: World Bank, 2007.
- [27] Huang Fuxiang, Kang Muiyi, Zhang Xinshi. The economic compensation strategy in the process of turning cultivated land back into forests and grasslands (TCFG). Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(4): 471-478. [黄富祥, 康慕谊, 张新时. 退耕还林还草过程中的经济补偿问题探讨. 生态学报, 2002, 22(4): 471-478.]
- [28] Wan Bentai, Zou Shoumin. Practice of Payments for Environmental Services. Beijing: China Environmental Science Press, 2008. [万本太, 邹首民. 走向实践的生态补偿. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.]
- [29] Xin Liangjie, Li Xiubin., Zhu Huiyi, et al. Validation of the inverse farm size-productivity relationship and its explanations: A case study of Jilin province. Geographical Research, 2009, 28(5): 1276-1284. [辛良杰, 李秀彬, 朱会义, 等. 农户土地规模与生产率的关系及其解释的印证: 以吉林省为例. 地理研究, 2009, 28(5): 1276-1284.]
- [30] Du Yang. Effects of shadow wage rate on the labor supply of farmers household: An empirical study of household labor allocation in poor areas. China Rural Survey, 2000: 36-42. [都阳. 影子工资率对农户劳动供给水平的影响: 对贫困地区农户劳动力配置的经验研究. 中国农村观察, 2000: 36-42.]
- [31] Hu Yunkun, Moiwo J P, Yang Yonghui, et al. Agricultural water-saving and sustainable groundwater management in Shijiazhuang Irrigation District, North China Plain. Journal of Hydrology, 2010, 393 (3/4): 219-232.
- [32] Wang Xue, Li Xiubin, Fischer Günther, et al. Impact of the changing area sown to winter wheat on crop water footprint in the North China Plain. Ecological Indicators, 2015, 57: 100-109.

Ecological compensation for winter wheat abandonment in groundwater over-exploited areas in the North China Plain

WANG Xue^{1,2}, LI Xiubin¹, XIN Liangjie¹, TAN Minghong¹, LI Shengfa^{1,2}, WANG Renjing^{1,2}

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The North China Plain (NCP) is amongst the global "hotspots" in terms of groundwater over-exploitation, and irrigation for winter wheat is the primary cause. Shrinkage of area sown to winter wheat proves to be a practical strategy to reverse groundwater over-exploitation and to promote groundwater storage. Land retirement policy was introduced by the government to encourage the extension of spring maize single cropping system in groundwater over-exploited areas. In addition, since the 1990s, large areas in the NCP in which winter wheat and summer maize are being replaced by the single cropping system of spring maize, due to the active behaviors of farmers. Not all land parcels grow winter wheat at the moment. Therefore, it is crucial to reveal the targeted land parcels for winter wheat abandonment and to assess reasonable and proper standards for ecological compensation, prior to the implementation of land retirement policy. In this paper, a case study was carried out in Cangxian county of Hebei province. Multi-level logit models were constructed using household survey data, in order to detect the determinants across plot, household and village levels on farmers' cropping system decisions, and the opportunity costs for winter wheat abandonment were calculated using cost-benefit analysis. The aim of this study was to recognize land parcels with winter wheat and to give scientific support on standards for ecological compensation. Results showed that: (1) land quality and irrigation condition at the parcel level are two essential elements influencing farmers' cropping system decisions. Nearly 70% in total area of poor land and more than 90% in total area of unirrigated land has suffered winter wheat abandonment. The targeted land parcels for land retirement policy should be the irrigated ones with land qualities being good, relative good or relative bad. (2) There were no significant differences between the net-profits of spring maize and summer maize under similar farming conditions, and the opportunity cost for land retirement should be equal to the net-profit of winter wheat. (3) When only considering the influence of winter wheat on groundwater resources, the primary purpose of the land retirement policy is to reverse the groundwater table and to induce groundwater recovery and restoration at the preliminary stage, and a high level of 350 yuan/mu was recommended as the subsidies for ecological compensation; at a later stage, the primary purpose of the policy transited to the balance of exploitation and supplement of water resources, and a lower level of 280 yuan/mu was recommended.

Keywords: land retirement; ecological compensation; multi-level logit model; opportunity cost; groundwater over-exploited areas; North China Plain