

引用格式: 蒋玉, 段鹏飞, 孙天合, 等. 基于牧户视角的草原水资源价值评估与价值实现: 来自草地灌溉服务选择实验的证据[J]. 资源科学, 2024, 46(8): 1493-1507. [Jiang Y, Duan P F, Sun T H, et al. Valuation of grassland water resources and value realization from the herders' perspective: Evidence from a discrete choice experiment on grassland irrigation services[J]. Resources Science, 2024, 46(8): 1493-1507.] DOI: 10.18402/resci.2024.08.04

基于牧户视角的草原水资源价值评估与价值实现 ——来自草地灌溉服务选择实验的证据

蒋玉¹, 段鹏飞², 孙天合³, 蒲雁嫔¹, 刘敏²

(1. 西南财经大学中国西部经济研究院, 成都 611130; 2. 兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730020; 3. 河北经贸大学经济研究所, 石家庄 050061)

摘要:【目的】水资源短缺已成为制约草原地区发展的主要障碍, 从牧户视角探讨草原水资源价值并尝试构建可行的灌溉服务收费方案对于促进草原水资源价值实现具有重要意义。【方法】基于2021年内蒙古牧区调研数据, 通过选择实验法模拟灌溉服务, 运用随机参数逻辑回归等模型测算草原水资源价值并分析成本收益。【结果】①牧户视角的草原水资源平均价值约为0.603~0.654元/m³, 其中荒漠草原地区水资源价值仅为0.130元/m³, 典型草原地区水资源价值达到1.366元/m³, 草甸草原地区水资源价值为0.640元/m³; ②牧户愿意为改善草原水资源的稀缺状况而购买付费灌溉服务。同时, 牧户对不同服务提供方存在差异性偏好, 相较于村委会(基层村民自治组织), 更偏好于由政府和企业提供灌溉服务, 且灌溉频率的提高能显著增加牧户福利。此外, 异质性分析表明, 草原经营面积小的牧户更倾向于购买付费灌溉服务且更偏好高频率的灌溉服务。③草地灌溉服务收费方案和成本-收益分析结果表明, 草地灌溉服务的成本小于牧户获得的主观收益。④以提供人工增雨技术服务为例, 估算内蒙古牧区牧户通过购买该灌溉服务可获得约10.312亿元/年的消费者剩余。【结论】不同草原类型对水资源价值有显著影响。此外, 牧户对改善草原水资源稀缺状况的付费灌溉服务有实际需求, 提高灌溉频率可以增加牧户的效用, 政府和企业提供灌溉服务方面具有重要作用。最后, 提供灌溉服务具有经济可行性, 可以通过提供付费草地灌溉服务实现草原水资源价值。

关键词: 水资源价值; 灌溉; 选择实验法; 成本-效益分析; 收费方案; 内蒙古

DOI: 10.18402/resci.2024.08.04

1 引言

草原在中国国土面积中占比近33.0%^①, 是中国重要的生态屏障和战略资源。草场资源是牧民赖以生存的基本生产资料, 但随着干旱不断加剧, 水资源短缺成为制约草场生产力的主要因素^①。与此

同时, 气候变化导致全球大多数地区地下水和地表水储量持续减少, 进一步加剧了干旱的发生^②。2021年, 中国内蒙古牧区草场受旱面积达4.3亿亩, 占内蒙古草原总面积的52.7%, 近10万牧民和73万头牲畜受到影响^②。为了应对这些挑战, 自治区政

收稿日期: 2024-03-12; 修订日期: 2024-06-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(71903047); 2023年度中央农办 农业农村部乡村振兴专家咨询委员会软科学课题(202319); 西南财经大学2024年度教师“知行天下”社会实践调研项目(2024JSSHSJ23)。

作者简介: 蒋玉, 女, 四川绵阳人, 讲师, 主要研究方向为农业经济学。E-mail: jiangyucan@163.com

通讯作者: 刘敏, 女, 陕西汉中, 教授, 主要研究方向为资源环境经济与政策。E-mail: minliu@lzu.edu.cn

① 资料来源: 国家林业和草原局, 《第三次全国国土调查主要数据公报》, 网址为 <https://www.forestry.gov.cn/main/586/20210826/164805518138213.html>。

② 资料来源: 内蒙古自治区水利厅, 《2020—2021年内蒙古自治区水资源公报》, 网址为 http://slt.nmg.gov.cn/xxgk/bmxxgk/gbxx/szygb/202206/t20220629_2080416.html。

府在“十三五”期间投入了高达70.17亿元的财政支出用于水资源管理和规划^③,以确保水资源的安全。然而,现行政策多采用自上而下的方式,忽略了牧户这一草原生态系统核心参与者的具体水资源需求和偏好。

水资源价值评估通过运用经济分析方法对不同功能或用途的水资源效用进行货币化处理,是合理制定水资源管理政策的关键^[3]。牧户是草原水资源的直接使用者,从牧户视角切入探索水资源价值实现机制,有助于促进水资源管理政策的精准制定,确保政策措施能够更有效地满足牧户的实际需求以提升牧户福利水平;也有利于改善以政府为主导的水资源管理模式,为如何发挥市场机制在水资源管理中的作用提供新的思路。尽管已有文献尝试基于现有水价或作物产出对水资源进行估值^[4],但由于草原地区的水权交易市场尚未成熟,缺乏实际交易数据进行价值估算^[5],同时草原农牧业产出影响因素复杂,难以剥离出水资源单项因素对产值或生态系统价值的影响^[6],因而草原水资源价值评估研究较为有限,基于牧户角度的价值评估更是相对缺乏。

鉴于此,本文运用选择实验方法模拟草地灌溉服务,基于内蒙古地区4个典型牧业旗县386户牧户实验数据估计草原水资源价值,并在此基础上进行灌溉服务收费方案设计和相关成本收益分析。本文的边际贡献主要有:①通过实验设计揭示牧户对灌溉服务的需求,从牧户视角探讨草原水资源价值。②在价值评估的基础上设计了可行的服务收费方案,并进行成本效益分析,探索了草原水资源价值实现的可能路径,进一步加强了研究的政策实践意义。③搜集了牧户对于选择实验中各个属性的重要性评价,并将其纳入回归分析中以进行稳健性检验,增加了分析结果的可靠性。

2 文献综述

2.1 水资源价值评估方法比较

已有文献主要通过5类方法估算水资源价值。①基于市场机制的水权交易价格的价值测算。该方法将水资源视作普通商品,通过市场均衡条件下

的供求定价等模型来决定水资源价值^[7]。但由于信息不对称^[8]、社区人情庇护^[9]等问题,水权交易市场的价格形成机制尚不完善^[10],水权交易价格难以充分反映水资源的价值^[7,11]。②基于指标评价体系的综合价值测算。这类方法通过考虑社会、经济、自然等因素,运用模糊数学模型^[7,12]等工具,评估水资源的综合价值。但指标体系的建立可能受到研究者主观偏好的影响而存在偏差^[13]。③基于边际机会成本法或边际收益法的相对价值测算。其中,边际机会成本法通过比较某一水资源用途的机会成本和其他替代用途,揭示水资源在不同经济活动中的相对价值^[14];边际收益法通过投入产出估计水资源的边际价值,包括生产函数法^[15]以及剩余价值法^[16]等。然而,由于水资源用途和区域水资源的丰裕度差异,该类方法估计出的水资源价值往往差异较大,且多数超过其用水成本^[17]。④基于文献荟萃分析(Meta分析)的平均价值测算。该方法将每一个文献中的估计成果视为观测值评估水资源价值^[18]。但此类方法所计算的水资源平均价值及其区间依赖于文献中所提取的样本质量,无法在方法上改进有偏结果的估计。⑤基于陈述性偏好分析的主观价值测算。该方法基于陈述性偏好调查了解个体愿意为水资源支付的最大金额,测度人们对水资源的主观价值^[19]。

2.2 草原水资源价值评估方法比较

草原水资源的价值评估存在三大难点使其适用分析方法有限。首先,目前针对草地灌溉用水的水权交易实践尚未成熟,难以通过交易价格估算水资源价值。其次,相对于传统农灌区,绝大多数草原属于天然雨养牧区,缺乏灌区灌溉系统,无法准确计量水量,难以应用投入产出方法估算水资源价值。最后,草原具有独特的地质环境,气温升高、极端炎热天气频繁发生、辐射增强、土地覆盖和利用变化都会加剧水资源的蒸发,从而影响草地植被和牲畜生长^[20],且这些因素和水资源又共同影响着牲畜的生长发育,水资源价值难以单独剥离衡量^[10,21],导致边际机会成本与边际收益的计算相对困难^[22]。

陈述性偏好调查方法基于受访者在实验设定

③ 资料来源:内蒙古自治区水利厅,《2016—2020年水利厅部门决算公开》,网址为<https://slt.nmg.gov.cn/xxgk/zfxxgkzl/fdzdgknr/yjsqk/>。本结果通过加总一般公共财政预算财政拨款支出决算表中的水利一项金额得到。

2024年8月

情境下的选择揭示受访者对环境产品和服务的属性偏好,具有数据采集和实施的灵活性,因而在草原水资源价值评估中存在优势。该类方法常被用于估计生态系统服务以及资源的价值^[23],主要包括条件价值评估法(CVM)、联合分析法(CA)和选择实验法(CE)。其中,选择实验法建立在新消费理论以及随机效用理论的基础上,已经广泛应用于资源价值的评估中^[24,25]。它通过模拟真实交易场景,获取受访者对于产品或服务各属性偏好的信息,基于受访者在决策过程中对价格属性与其他属性的取舍来估计其对于某属性的支付意愿。与条件价值评估法相比,选择实验法能更全面地获取受访者偏好信息^[26],获得的信息具有更强的代表性,更能揭示各属性对受访者的真实价值^[24,25]。与联合分析法相比,选择实验法有坚实的微观经济学理论基础,更加适合帮助理解人们的选择行为,同时更便于评估多重属性及属性间的交叉影响^[27]。

2.3 选择实验法在水资源研究中的应用

选择实验法在水资源领域的应用主要集中在水资源服务属性偏好和农业节水技术采纳偏好分析,针对草原水资源价值的深入探索相对缺乏。①在水资源服务的属性偏好分析方面,有研究表明,水资源需求在不同时期存在差异。在旱季或当季降水较少的时期,人们的支付意愿会增强^[28],尤其是当季作物能够带来较高经济收入时,其支付意愿会进一步提高^[27,29];此外,不论是农户还是居民,只要对于水资源服务存在需求,都认为服务提供的频率越高越好^[30];而且,由于服务提供的水资源用途不仅限于灌溉,还可能包括家庭用水或牲畜饮用,因此对水质的要求也较高^[28]。②在农业节水技术采纳的偏好分析方面,一方面,由于其使用涉及设备和技术上的专业性,相关研究主要关注是否进行使用培训、技术的寿命周期以及不同的技术类型^[31-33]对采纳意愿的影响;另一方面,考虑到短期内采购设备和采纳新技术可能增加农户的经济负担,因此重点分析了农户设施采购的补贴力度以及技术或设备价格的影响^[34]。

3 实验设计、数据来源与模型设定

3.1 实验设计

草场灌溉是草原水资源最直接的价值体现,能

够促进草地植被的生长,为畜牧业发展提供稳定的饲草保障^[35],因而本文通过选择实验模拟灌溉服务从牧户视角探讨草原水资源价值。在实验中,通过观测牧户在设定的服务方案中的选择行为,获取他们对水资源利用的主观偏好和支付意愿,从而评估草原水资源价值。

本文结合已有文献和专家咨询结果初步确定属性和属性水平,并结合村委焦点小组访谈、牧户焦点小组访谈和牧户入户预调查结果进行调整,确定最终实验设计。研究开始阶段,参考史恒通等^[24]、侯扶江等^[36]、Buisson等^[37]、Chaudhuri等^[38]初步确定牧户灌溉服务的重要影响因素。之后,通过微信语音和电话的形式对4所高校的6位资源经济学及实验经济学专家开展第一次专家咨询,对选定属性进行进一步确认和优化。同时,依据文献及案例资料^[24,39]初步设定属性水平。接着,通过与内蒙古自治区农牧厅7位政府专家开展第二次专家咨询,并派遣课题组成员前往内蒙古进行两轮焦点小组访谈和预调研,进一步细化和确定属性及其水平,通过对实验设计的反复修改和讨论,最终确定了实验的属性和属性水平。这些过程确保了实验设计的科学性。

本文最终确定的灌溉服务方案属性包括服务价格、灌溉频率以及服务提供方(表1)。其中,服务价格是指草原牧草生长季(5—8月份)牧户为获得灌溉服务所需支付的价格,其属性水平设置为5个:2、4、6、8、10元/亩/生长季。灌溉频率表示提供草原灌溉服务的次数,包括3个属性水平:4、8、16次/生长季(即1月1次、2周1次和1周1次)。就服务提供方而言,由于灌溉服务的提供需要大型机器设备以及取水许可等条件,主要包括3个属性水平:政府、农业企业和村委会。其中,政府代表具有统筹资源能力,提供公共服务职能的权力机关,包括乡镇(苏

表1 草地灌溉服务选择实验的属性及属性水平

Table 1 Attributes of the pasture irrigation service choice experiment and their levels

| 属性 | 属性水平 |
|----------------|----------------|
| 服务价格/(元/亩/生长季) | 2、4、6、8、10 |
| 灌溉频率 | 1月1次、2周1次、1周1次 |
| 服务提供方 | 政府、农业企业、村委会 |

木)和县(旗)级政府农牧业主管单位;农业企业是指以经营农业为主或者为农业生产提供服务的独立核算的生产经营单位,其为牧业生产提供灌溉等服务,服务目的在于获取利润;村委会(嘎查)指能够实现自我管理和服务的基层村民自治组织。

在确定的灌溉服务属性及其水平下,利用 Ngene 软件进行 D-效率有效设计^[28],生成了 30 个选择集。为了降低牧户完成调查的难度,这些选择集被随机平分为 3 个版本。每位牧户被随机分配到任一版本中,需要完成该版本下的 10 次情景选择实验。在每个选择情景中,牧户将面临两个根据属性水平随机组合而成的灌溉服务方案,以及一个“两者都不选”的选项,即选择不购买任何灌溉服务(表 2)。这样的设计旨在模拟真实市场情境下牧户的决策过程,从而更准确地估计他们对灌溉服务的偏好和支付意愿。

在正式开始选择实验前,调查员会对实验属性及其水平进行详细讲解,并强调除实验属性有差异外,其他属性均无差异。同时,调查员通过一个示例题对牧户进行理解测试,询问其选择的原因以确保牧户充分理解选择实验。在完成选择实验后,除基本信息外,牧户还需回答属性重要性测度问题,从而避免不同属性的重要性差异造成的分析偏差^[40]。

3.2 数据来源与样本描述

3.2.1 区域选择

课题组选取内蒙古草原开展牧户调研,主要原因如下:①根据 2021 年公布的第三次国土调查数据,内蒙古草地面积为 81561.26 万亩,其中天然牧草地面积(71882.99 万亩)占比 88.13%。天然牧草地涵盖了荒漠、典型和草甸 3 种草原类型。这种多样性允许针对不同类型的草原进行水资源价值估

算,从而增强了研究结果的普适性和示范推广的有效性。②该地区的干旱和半干旱气候增强了牧户对草地灌溉服务的需求。③草地灌溉服务是内蒙古地区水资源管理的重要策略,《内蒙古自治区“十四五”水安全保障规划》强调每个旗县至少有一个抗旱服务组织,强化灌溉等公共服务。这使得当地牧户更容易理解相关服务。

3.2.2 调查实施

牧户调研于 2021 年 8—9 月正式实施^④,为了确保研究数据的代表性和准确性,本文采取了分层随机抽样方法以反映不同地区对灌溉服务的需求差异。首先,根据荒漠草原、典型草原和草甸草原 3 种植被类型,分别抽取苏尼特右旗(荒漠草原)、西乌珠穆沁旗(典型草原)、鄂温克旗和新巴尔虎左旗(草甸草原)作为代表性旗县。其次,根据各旗县内草原状况的优、良、差 3 个水平分别选取 3 个苏木。在每个苏木内,进一步根据草原状况选取 3 个嘎查。最后,在选取的每个嘎查内根据嘎查长提供的牧户名单随机抽取 12 户进行调查。在每个抽样阶段,对各抽样序列均使用随机数生成器保证抽样随机性。最终收集到的数据涵盖 4 个旗县 10 个苏木 30 个嘎查,共计 414 户,具体分布见表 3。在数据清理后,有效样本为 386 户,有效率为 93.24%。

3.2.3 变量设置与描述统计分析

本文被解释变量为某灌溉服务方案在选择情景中是否被牧户选中。特定常数项(ASC)在牧户选择方案 1 或方案 2 时为 0,两者都不选时为 1。分析中的核心解释变量为灌溉服务方案的属性,其中,服务价格和灌溉频率为连续变量,服务提供方(政府、农业企业)为 0-1 虚拟变量(以村委会为基组)。表 4 统计了样本牧户的个体与家庭特征变量。从个体特征来看,受访者以男性为主(66.9%),这是因为

表 2 选择集示例

Table 2 Example of a choice set

| | 方案 1 | 方案 2 | 方案 3 |
|----------------|---------|---------|--------|
| 服务价格/(元/亩/生长季) | 8 | 6 | 两者都不选, |
| 灌溉频率 | 1 周 1 次 | 1 月 1 次 | 即不购买灌 |
| 服务提供方 | 农业企业 | 村委会 | 溉服务 |
| 您偏好的选项为? | | | |

表 3 样本分布状况

Table 3 Sample distribution

| 旗县 | 苏尼特右旗 | 西乌珠穆沁旗 | 鄂温克旗 | 新巴尔虎左旗 |
|------|-------|--------|------|--------|
| 苏木数量 | 3 | 3 | 1 | 3 |
| 嘎查数量 | 9 | 9 | 3 | 9 |
| 牧户数量 | 99 | 147 | 34 | 106 |

④ 受到新冠疫情的影响,鄂温克旗实地调研被迫中止,只收集到 1 个苏木中 3 个嘎查的共 36 份问卷,后期重新调研了新巴尔虎左旗样本,本文将二者共同作为草甸草原样本。尽管调研在疫情期间进行,但牧户对灌溉服务的需求源于草原水资源的稀缺性,受人员流动影响较小,且具有长期且稳定的特征,故本文认为调查结果可代表日常情况。

表4 变量定义及其描述性统计

Table 4 Variable definitions and descriptive statistics

| 变量类型 | 变量名称 | 变量定义及赋值 | 均值 | 标准差 |
|--------|----------------|---------------------|--------|--------|
| 被解释变量 | 某服务方案是否被选中 | 被选中=1,未被选中=0 | 0.667 | 0.47 |
| ASC | 常数项 | 两者都不选=1,方案1或方案2=0 | 0.333 | 0.47 |
| 灌溉服务方案 | 服务价格/(元/亩/生长季) | 0(两者都不选)、2、4、6、8、10 | 4.000 | 3.652 |
| 属性变量 | 灌溉频率/(次/生长季) | 0(两者都不选)、4、8、16 | 5.867 | 5.818 |
| 个体特征 | 政府 | 服务提供方为政府=1,其他=0 | 0.200 | 0.400 |
| | 农业企业 | 服务提供方为农业企业=1,其他=0 | 0.200 | 0.400 |
| | 性别 | 男=1,女=0 | 0.668 | 0.470 |
| | 年龄/岁 | 2021年受访者实际年龄 | 45.181 | 10.829 |
| | 受教育年限 | 受访者受教育年限 | 8.222 | 3.820 |
| | 蒙古族 | 受访者为蒙古族=1,否=0 | 0.806 | 0.396 |
| | 汉族 | 受访者为汉族=1,否=0 | 0.132 | 0.339 |
| | 其他民族 | 受访者为其他民族=1,否=0 | 0.062 | 0.241 |
| 家庭特征 | 经营面积/亩 | 2021年受访者家庭经营草原面积 | 6614 | 5330 |
| | 农牧经营收入/(元/年) | 2021年受访者家庭农牧业净收入 | 316188 | 236265 |

在农牧业中,生产者经营决策往往由男性主导。在民族构成上以蒙古族为主(80.6%),汉族占比为13.2%。受访者的平均年龄为45岁,平均受教育年限为8年,该数据与内蒙古第七次全国人口普查数据一致^⑤,表明从事牧业生产经营活动的主要是接受过初中教育的蒙古族壮年男性。从家庭特征上看,每户平均经营的草原面积为6614亩,平均农牧经营年净收入约为32万元。

3.3 实证模型设定

基于随机效用理论,牧户的效用由可观测部分和随机部分组成。牧户 n 在情景 k 中选择灌溉服务方案 j 时,其获得的效用可表示为:

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad (1)$$

式中: U_{nj} 为牧户的效用水平; V_{nj} 为可观测的效用部分; ε_{nj} 为随机误差项,即不可观测的部分。

结合研究内容,牧户 n 在情景 k 中选择选项 j 而获得的效用可以改写为:

$$U_{nj} = \beta_0 Price_{nj} + \beta_1 Freq_{nj} + \beta_2 Gov_{nj} + \beta_3 Enterp_{nj} + \beta_4 ASC + \varepsilon_{nj} \quad (2)$$

式中: $Price$ 为灌溉服务价格; $Freq$ 为灌溉服务提供频率; Gov 和 $Enterp$ 分别为灌溉服务提供方为政府和农业企业; ASC 为特定常数项,当牧户选择此项时为1,反之为0,可揭示牧户对于“两者都不选”的偏

好; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ 为待估参数。

在随机效用理论假设下,理性的牧户会选择使得自己效用最大化的服务方案。那么,牧户 n 在情景 k 中的 J 个备选方案中选择备选项 j ,代表选项 j 给其带来的效用大于其他备选方案,即:

$$U_{nj} > U_{nm} \quad (3)$$

其中, $1 \leq m \leq J, \forall m \neq j$ 。基于效用最大化目标函数以及公式(1)和(3),可得出牧户 n 选择选项 j 的概率为:

$$P_{nj} = \text{prob}(V_{nj} + \varepsilon_{nj} > V_{nm} + \varepsilon_{nm}, \forall m \neq j) \quad (4)$$

由此,发展出了选择实验分析的多种计量模型,其中随机效用Logit模型(RPL)放松了多元Logit模型(MNL)中的独立不相关假设,允许参数在个体间随机变化来考虑偏好的异质性^[33]。在该模型中,牧户 n 在情景 k 中选择服务方案 j 的概率为:

$$P_{nj} = \int \frac{\exp(V_{nj})}{\sum_{m=1}^J \exp(V_{nm})} f(\beta) d\beta \quad (5)$$

式中: $f(\beta)$ 为所有随机系数概率密度函数的联合分布,而 β 表示牧户对每个属性水平的偏好程度。在随机效用Logit模型回归结果的基础上采用自助法可以计算出牧户对于服务方案中各属性的支付意愿^[41],即WTP值:

$$WTP = \beta_i / (-\beta_0), i = 1, 2, 3 \quad (6)$$

⑤ 资料来源:《内蒙古自治区第七次全国人口普查主要数据情况》,网址为http://tj.nmg.gov.cn/tjyw/tjgb/202105/t20210526_1596846.html。

式中: $i = 1, 2, 3$ 分别为灌溉频率、政府和农业企业。

4 结果与分析

4.1 灌溉服务属性偏好分析

4.1.1 基准回归结果

实证模型回归结果如表5所示。在RPL模型的回归中,考虑到偏好异质性,除服务价格外的其他属性及ASC均被设定为服从正态分布的随机参数。MNL模型与RPL模型的回归系数在显著性和方向上均保持一致,代表回归结果相对稳健。比较两个回归模型的结果可以发现,RPL模型的对数似然值(LR)大于MNL模型,且赤池信息量准则指标(AIC)小于MNL模型,说明RPL模型的整体拟合效果更优。此外,RPL模型中各属性系数的标准偏差显著,说明牧户对灌溉频率以及灌溉服务提供方的选择均存在偏好异质性,进一步验证了RPL模型在本文中的适用性。

RPL模型的回归结果显示,特定常数项(ASC)的系数显著为负,由于ASC在牧户选择方案1或方案2时为0,两者都不选时为1,因而该结果说明在草原生长季不购买灌溉服务会降低牧户的效用水平;反之,选择购买灌溉服务方案能够显著提升牧户效用。这表明牧户愿意为改善水资源短缺的状况

况而支付一定的灌溉服务费用,从而提高草场生产力^[42]。灌溉频率的系数显著为正,反映出牧户更偏好高频率的灌溉服务,这可能是因为他们认为灌溉次数越多,越能提升产量^[43]。政府和农业企业作为灌溉服务提供方的系数均显著为正,说明相对于村委会,牧户更倾向于选择由政府或市场组织提供的灌溉技术服务。灌溉技术服务对于牧户来说属于新型且专业化较强的技术服务,因而牧户更偏好有政府和农业企业这些有更专业的技术和更强大的组织能力的服务提供方;而村委会为基层村民自治组织,牧户对村委会工作人员的专业化服务能力的信任度相较更低^[34,43]。进一步地,政府变量的回归系数大于农业企业变量,这表明牧民对政府作为灌溉服务提供方的偏好更强,这与牧区政府长期作为公众服务主体,拥有整合与调动资源的能力以及保障牧民生产生活正常用水的责任相关^[44]。

4.1.2 稳健性检验

预调研中发现,并非所有牧户都对研究设定的属性赋予同等的重要性,这可能导致牧户在实际选择时忽略了他们认为不重要的属性,进而引起结果偏差。因此,借鉴陈述性ANA信息矫正方法^[45,46],在问卷中增加了辅助性问题,询问牧户各属性的重要程度,并根据该问题形成陈述性ANA指标。如果受访者 n 表示没有忽略属性 c , ANA_{nc} 的指标值为0;若忽略了属性 c ,则 ANA_{nc} 为1。在随机参数Logit模型中加入各属性与对应ANA指标的交互项,进行了信息矫正后的RPL模型估计作为稳健性检验。表6展

表5 MNL模型和RPL模型估计结果

Table 5 Estimation results of the MNL model and the RPL model

| 变量 | MNL模型 | RPL模型 | |
|------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | 均值 | 均值 | 标准差 |
| 灌溉频率 | 0.081*** (0.007) | 0.147*** (0.015) | 0.169*** (0.014) |
| 政府 | 0.677*** (0.054) | 0.952*** (0.899) | 0.362*** (0.117) |
| 农业企业 | 0.390*** (0.082) | 0.596*** (0.141) | 1.589*** (0.152) |
| ASC | -0.923*** (0.107) | -3.596*** (0.444) | 4.475*** (0.437) |
| 服务价格 | -0.070*** (0.091) | -0.123*** (0.013) | — |
| LR | -3135.568 | -2507.174 | |
| AIC | 6281.1 | 5044.3 | |
| 观察值 | | 3860 | |

注:选择将ASC设定为随机参数的又一原因是基于将ASC设定为随机参数和固定参数的RPL回归结果比较。LR值与AIC值均显示ASC设定为随机参数时模型拟合更优。同时,这种设定并不影响模型中其他属性系数的显著性和方向。*、**、***分别表示10%、5%、1%的水平上显著;括号内数字为标准误;下同。

表6 陈述性ANA信息矫正后的RPL模型回归结果

Table 6 RPL regression results after correction with stated ANA information

| 变量 | 被解释变量:牧户选择 | |
|------|-------------------|------------------|
| | 均值 | 标准差 |
| 灌溉频率 | 0.158*** (0.017) | 0.196*** (0.018) |
| 政府 | 1.050*** (0.107) | 0.983*** (0.138) |
| 农业企业 | 0.632*** (0.153) | 1.645*** (0.174) |
| ASC | -3.759*** (0.503) | 4.397*** (0.287) |
| 服务价格 | -0.142*** (0.015) | — |
| LR | -2470.937 | |
| AIC | 5015.9 | |
| 观察值 | 3860 | |

注:牧户对于每种方案属性的重要性排序采用5级李克特量表。受限于篇幅仅展示未被忽略组结果。

示了属性被认为重要(即未被忽略)时的回归结果,属性变量的系数方向及显著性与表5中的RPL结果保持一致。服务价格和ASC的系数为负,而灌溉频率、政府和农业企业属性水平的系数为正,验证了结果的稳健性。

4.1.3 偏好异质性分析

参照贾亚娟等^[47]的研究,本部分通过在表5的RPL模型中加入属性、ASC与个体特征的交互项探究牧民的个体特征对其偏好异质性的影响。各模

型中的交互项设定为固定参数(表7)。模型1的结果显示灌溉属性与经营面积的交互项在1%水平上显著为负,说明草原经营面积小的牧户更偏好于高频率的灌溉服务。结合模型3的结果,ASC与经营面积的交互项显著为正,表明经营较小草原面积的牧户更倾向于购买灌溉服务。这些结果表明,草原经营面积小的牧户更倾向于购买外部的付费灌溉服务^[48]。此外,模型2的回归结果显示,政府属性与农牧经营收入的交互项在1%显著性水平上显著为

表7 基于牧户个体特征的偏好异质性分析
Table 7 Analysis of preference heterogeneity based on individual characteristics of herders

| 变量 | 模型1 | | 模型2 | | 模型3 | |
|-------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | 均值 | 标准差 | 均值 | 标准差 | 均值 | 标准差 |
| 灌溉频率 | 0.192*** (0.021) | 0.188*** (0.016) | 0.153*** (0.018) | 0.169*** (0.014) | 0.160*** (0.017) | 0.201*** (0.017) |
| 政府 | 0.956*** (0.144) | 0.934*** (0.123) | 0.812*** (0.109) | 0.371*** (0.116) | 1.041*** (0.104) | 0.990*** (0.119) |
| 农业企业 | 0.955*** (0.220) | 1.693*** (0.162) | 0.553*** (0.176) | 1.597*** (0.152) | 0.692*** (0.153) | 1.689 (0.165) |
| ASC | -3.645*** (0.455) | 4.320*** (0.311) | -3.594*** (0.446) | 4.493*** (0.442) | -0.137 (1.866) | 6.400*** (1.393) |
| 服务价格 | -0.139*** (0.455) | — | -0.124*** (0.013) | — | -0.137*** (0.014) | — |
| 灌溉频率×经营面积 | -0.007*** (0.002) | — | | | | |
| 政府×经营面积 | 0.004 (0.015) | — | | | | |
| 农业企业×经营面积 | -0.036 (0.023) | — | | | | |
| 灌溉频率×农牧经营收入 | | | -0.0002 (0.0003) | — | | |
| 政府×农牧经营收入 | | | 0.004** (0.002) | — | | |
| 农业企业×农牧经营收入 | | | 0.001 (0.003) | — | | |
| ASC×性别 | | | | | -0.577 (0.435) | — |
| ASC×年龄 | | | | | -0.027 (0.023) | — |
| ASC×受教育年限 | | | | | -0.048 (0.066) | — |
| ASC×经营面积 | | | | | 0.075** (0.038) | — |
| ASC×收入 | | | | | -0.006 (0.005) | — |
| LR | -2483.719 | | -2503.709 | | -2497.255 | |
| AIC | 5003.4 | | 5043.4 | | 5034.5 | |

注:本文还分析了属性与其他个体特征的交互,结果在10%上不显著,因篇幅有限,此处不再展示。

正,说明农牧经营收入较高的牧户对政府作为草原灌溉服务提供方的偏好更强。

4.2 草原水资源价值估算

4.2.1 草原水资源平均价值估算

基于表5中RPL回归结果和公式(6),采用Krinsky-Robb自助法进行1000次重复抽样得到牧户对每个属性的支付意愿均值和95%置信区间(表8)。在其他条件相同的情况下,牧户愿意为每增加一次灌溉服务支付1.196元/亩,其95%的置信区间为1.168~1.226元/亩/次。此外,牧户对于不同的灌溉服务提供方的支付意愿存在显著差异。与村委会相比,牧户愿意为政府提供的灌溉服务多支付7.751元,其置信区间为7.525~8.003元。而当农业企业作为服务提供方时,牧户的意愿支付金额为4.850元,置信区间为4.594~5.094元。

进一步地,通过单次灌溉意愿支付价格估算出草原水资源价值(表9)。首先,通过收集调研地区的县域降雨量数据,分别计算调研地区近10年(2012—2021年)、近5年(2017—2021年)和最近1年(2021年)牧草生长季每次降雨的有效平均降水量^[49]。之后,将其换算成按方计量的有效降水量。最后,用表9中牧户对每次灌溉服务的意愿支付价格除以每次有效降雨量,计算出牧户愿意为每方草

原灌溉水资源支付的价格,以此作为草原水资源价值。最终估算出的草原水资源价值均值为0.603~0.654元/m³,高于传统农地的现行水价,如河北省农地灌溉水价为0.390元/m³^[50],新疆农地灌溉水价的平均值为0.410元/m³^[51]。这可能源于草原水资源的稀缺性。人工有效增雨量与平均有效降雨量计算相似,并在后文有较为详细的分析。

4.2.2 不同草原类型的水资源价值估算

对不同草原类型的牧户进行分样本回归分析,分别估计其灌溉服务偏好,结果见表10。大部分随机参数变量的标准差系数在1%的水平下显著,表明偏好异质性在分样本中普遍存在,因而适用于RPL模型的分析。在草甸草原中,政府作为灌溉服务提供方的标准差系数不显著,表明草甸草原的牧户对于该属性的偏好较为一致。此外,在荒漠草原、典型草原、草甸草原中,灌溉频率与政府作为服务提供方的均值系数均显著为正,反映了牧户的正向支付意愿。农业企业作为服务提供方的均值系数在典型草原和草甸草原中显著为正;但在荒漠草原中不显著,表明农业企业作为灌溉服务的提供方和村委会相比无显著差异。

根据表10计算不同草原类型的水资源价值,结果如图1所示。不同草原类型的牧户对每次灌溉的意愿支付价格存在显著差异。典型草原地区的牧户对于灌溉水资源的价值评估远远高于草甸草原和荒漠草原地区,达到1.366元/m³。相较之下,草甸草原地区的水资源价值略高于0.640元/m³,而荒漠地区的牧户对于水资源的支付意愿最低,仅在0.130元/m³左右。这种价值分布呈现出倒U型关系,但相

表8 各属性意愿支付价格估计

Table 8 Estimated willingness to pay for each attribute

| 属性意愿支付价格 | 均值 | [95%置信区间] |
|--------------|-------|----------------|
| 灌溉频率/(元/亩/次) | 1.196 | [1.168, 1.226] |
| 政府 | 7.751 | [7.525, 8.003] |
| 农业企业 | 4.850 | [4.594, 5.094] |

表9 草原水资源价值估算

Table 9 Estimation of the value of grassland water resources

| 计算标准 | 每次降雨平均有效 降水量/mm | 每次降雨平均有效 降水量(m ³ /亩) | 水资源价值均值/ (元/m ³) | 95%置信区间/ (元/m ³) |
|----------------|--------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 近10年生长季平均有效降雨量 | 2.867 | 1.912 | 0.626 | [0.611, 0.641] |
| 近5年生长季平均有效降雨量 | 2.881 | 1.921 | 0.623 | [0.608, 0.638] |
| 最近1年生长季平均有效降雨量 | 2.976 | 1.985 | 0.603 | [0.588, 0.618] |
| 人工有效增雨量 | 2.741 | 1.828 | 0.654 | [0.639, 0.671] |

注:降雨量数据为作者整理所得,其中近1年数据来源于《2021年内蒙古气候公报》,近5年原始数据来源于2017—2021年各县水资源公报,近10年数据来源于马克数据网<http://www.macrodas.cn/article/12644182>。人工增雨量数据是通过结合“十三五”期间人工影响下年均增加降水量得到,资料来源于《自治区政府新闻办召开2021年内蒙古气象灾害防御和近年来人工影响天气工作开展情况新闻发布会》,https://www.nmg.gov.cn/zwgk/xwfb/fbh/bmxwfbh/202105/t20210512_1463559.html。

表10 分样本RPL模型回归结果及其支付意愿
Table 10 Sub-sample RPL regression results and willingness to pay

| | 荒漠草原 | | | 典型草原 | | | 草甸草原 | | |
|------|----------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|
| | 均值 | 标准差 | 意愿支付价格 | 均值 | 标准差 | 意愿支付价格 | 均值 | 标准差 | 意愿支付价格 |
| 灌溉频率 | 0.045** (0.020) | 0.055** (0.024) | 0.238 [0.221, 0.258] | 0.223*** (0.031) | 0.233*** (0.028) | 2.659 [2.430, 2.908] | 0.148*** (0.026) | 0.170*** (0.024) | 1.233 [1.155, 1.326] |
| 政府 | 0.632*** (0.178) | 1.119*** (0.216) | 3.359 [2.934, 3.812] | 1.280*** (0.193) | 0.728*** (0.246) | 15.286 [13.620, 17.149] | 0.959*** (0.1406) | 0.175 (0.211) | 8.008 [7.360, 8.706] |
| 农业企业 | 0.438 (0.318) | 2.135*** (0.417) | 2.322 [1.317, 3.238] | 0.618*** (0.237) | 1.531*** (0.313) | 7.360 [6.352, 8.410] | 0.622*** (0.227) | 1.322*** (0.221) | 5.169 [4.462, 5.821] |
| ASC | -3.609*** (0.633) | 3.549*** (0.979) | — | -3.462*** (0.883) | 5.746*** (0.730) | — | -3.394*** (0.668) | 2.906*** (0.441) | — |
| 服务价格 | -0.188*** (0.028) | — | — | -0.085*** (0.022) | — | — | -0.120*** (0.022) | — | — |
| LR | -692.472 | | | -873.011 | | | -897.671 | | |
| AIC | 1415.0 | | | 1776.0 | | | 1825.3 | | |
| 观察值 | 990 | | | 1470 | | | 1400 | | |

注:[]内的数字为95%置信区间。

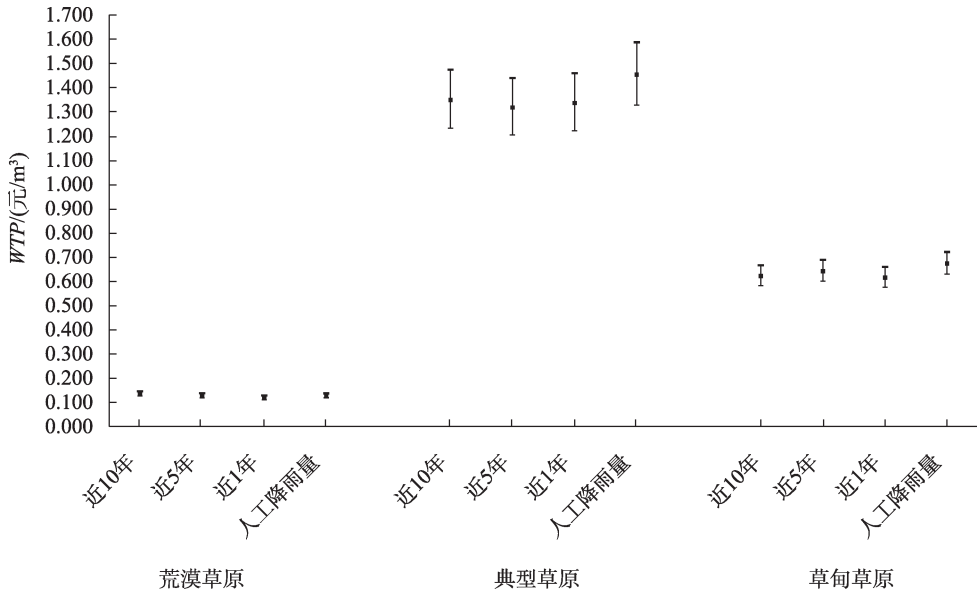


图1 不同类型草原的水资源价值估算

Figure 1 Estimation of water resources value for different types of grasslands

注:基于不同类型草原生长季有效水资源价值估算,上下两端为95%置信区间的上限和下限,中间为均值。
“近10年”“近5年”“近1年”表示自然降雨量。

对于典型草原,草甸草原与荒漠草原的降水量相对较低,其水资源价值也相对较低,这与常见的资源边际价值递减规律不符。进一步分析,这种倒U型关系主要是由于典型草原的牧户从灌溉水中获得的边际收益最大,该地区每公顷载畜量和畜牧业收入远高于其他两类草原,导致了其草原水资源价值的相对提升。

4.3 基于灌溉服务收费的草原水资源价值实现路径

本部分内容聚焦于草地灌溉服务的收费方案设计,旨在探索灌溉服务收费能否成为实现草原水资源价值的有效途径。通过模拟不同的收费标准,本文构建了一系列具体的收费方案。在此基础上,以人工增雨为例,进行灌溉服务的成本和潜在收益核算,深入探讨了灌溉服务收费

的经济可持续性。

4.3.1 草地灌溉服务的收费方案设计

根据表8和表10中的支付意愿结果分别计算了不同收费方案下的灌溉服务收费标准,并据此制定了具体的牧区草地灌溉服务收费方案(表11)。以政府提供的1月1次灌溉服务为例,若以总样本

计算的支付意愿为依据,平均每次灌溉服务收费为3.133元/次(通过 $(1.196 \times 4 + 7.751) / 4$ 计算得到)。以10年平均有效降雨值为基准可以得到该情景下每方水的收费标准为1.639元/ m^3 (通过 $[(1.196 \times 4 + 7.751) / 4] / 1.912$ 计算得到)。此收费标准为牧户意愿支付价格,即他们愿意为灌溉服务支付的上限。

表11 收费方案设计

Table 11 Design of the fee scheme

| | | 按次收费/(元/次) | | | 按灌溉水量收费/(元/ m^3) | | |
|------|------|------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|
| | | 1月1次 | 2周1次 | 1周1次 | 1月1次 | 2周1次 | 1周1次 |
| 总样本 | 政府 | 3.133 | 2.165 | 1.680 | 1.639 | 1.132 | 0.879 |
| | 农业企业 | 2.408 | 1.802 | 1.499 | 1.259 | 0.942 | 0.784 |
| | 村委会 | 1.196 | 1.196 | 1.196 | 0.625 | 0.525 | 0.525 |
| 荒漠草原 | 政府 | 1.078 | 0.658 | 0.448 | 0.564 | 0.344 | 0.234 |
| | 农业企业 | 0.819 | 0.529 | 0.384 | 0.428 | 0.276 | 0.201 |
| | 村委会 | 0.238 | 0.238 | 0.238 | 0.125 | 0.125 | 0.125 |
| 典型草原 | 政府 | 6.480 | 4.569 | 3.614 | 3.389 | 2.390 | 1.890 |
| | 农业企业 | 4.498 | 3.578 | 3.118 | 2.353 | 1.872 | 1.631 |
| | 村委会 | 2.659 | 2.659 | 2.659 | 1.390 | 1.390 | 1.390 |
| 草甸草原 | 政府 | 3.236 | 2.235 | 1.734 | 1.692 | 1.169 | 0.907 |
| | 农业企业 | 2.526 | 1.880 | 1.557 | 1.321 | 0.983 | 0.814 |
| | 村委会 | 1.234 | 1.234 | 1.234 | 0.645 | 0.645 | 0.645 |

4.3.2 草地灌溉服务的成本效益分析:以人工增雨为例

表12以人工增雨为例进行了草地灌溉服务的成本收益分析。人工增雨的成本基于“十三五”期间人工增雨作业所花费的资金与实现的有效增雨量进行核算^⑥。具体步骤如下:首先,结合“十三五”期间人工增雨对年均增加降水量的影响,得到人工有效增雨量。其次,结合同期政府报告和工作人员提供的2021年相关作业数据,计算了当年人工增雨作业使用的材料总量以及人工成本。再次,基于中国政府采购网^⑦上内蒙古自治区内各政府部门同期中标金额的均值估算材料总成本。最后,通过总成本除以有效增雨总量得到单位人工增雨成本为0.029元/ m^3 。

将牧户意愿支付价格作为潜在收益,则单位人

表12 草原人工增雨服务的成本效益分析

Table 12 Cost-benefit analysis of grassland artificial rainmaking services

| 成本-收益分类 | 2021年实际核算值 |
|-------------------------------|------------------------|
| 人工有效增雨成本总计/元 | 47.262×10^6 |
| 飞机 | 2.200×10^6 |
| 火箭弹 | 32.647×10^6 |
| 烟条 | 0.930×10^6 |
| 高炮 | 9.133×10^6 |
| 人工 | 2.353×10^6 |
| 人工有效增雨总量/ m^3 | 1.650×10^9 |
| 单位人工有效增雨成本/(元/ m^3) | 0.029 |
| 单位人工增雨收益/(元/ m^3) | 0.654 |
| 牧户福利增长总额/元 | 1031.250×10^6 |

工增雨收益为0.654元/ m^3 (表9)。因此,若按照人工有效增雨成本进行定价,牧户购买灌溉服务实际支付的成本将低于其支付意愿,这意味着牧户能够得

⑥ 资料来源:《自治区政府新闻办召开2021年内蒙古气象灾害防御和近年来人工影响天气工作开展情况新闻发布会》,网址为 https://www.nmg.gov.cn/zw/gk/xwfb/fbh/bmxwfbh/202105/t20210512_1463559.html。

⑦ 数据来源网址:<http://www.ccg.gov.cn/>。

2024年8月

到额外的消费者剩余,提升福利。若以内蒙古牧区每年 16.5亿 m^3 的有效降雨总量计算,牧户的年福利增长总额可达10.312亿元。此外,结合表11的收费方案可知,草地灌溉服务的单方水或单次成本均低于牧户收益,表明服务提供方可以在不损害牧户福利的前提下,制定一个经济上可持续的执行价格。

表13以草原人工增雨服务为例分析了不同收

费方案对应的最低成本,即收费方案的价格下限。假设不同服务提供方在各类型的草原实施人工增雨的成本相同,均为表12中估算的 0.029元/m^3 。那么若按灌溉水量收费,价格下限即为 0.029元/m^3 。若按灌溉次数收费,1月1次的灌溉成本为0.222元,即 $0.029\times 1.912\times 4$ 元,2周1次的灌溉成本为0.444元,1周1次的灌溉成本为0.888元。

表13 以草原人工增雨服务为例的收费方案价格下限分析

Table 13 Analysis of the price floor for the fee scheme, taking grassland artificial rainmaking services as an example

| | 按次收费/(元/次) | | | 按灌溉水量收费/(元/ m^3) | | |
|------|------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|
| | 1月1次 | 2周1次 | 1周1次 | 1月1次 | 2周1次 | 1周1次 |
| 价格下限 | 0.222 | 0.444 | 0.888 | 0.029 | 0.029 | 0.029 |

5 结论与政策建议

5.1 结论

全球天然草原正面临着气候变化和人为过度放牧等严峻挑战,水资源短缺已成为制约草原地区发展的主要障碍。在此背景下,本文通过选择实验模拟灌溉服务,深入分析牧户的水资源偏好,量化牧民的主观草原水资源价值,并识别了不同草原类型的水资源价值差异,构建了可行的水资源价值实现方案。尽管这些探索在短期内可能不会直接促进牧区草地灌溉服务的大规模推广,但是其重要的现实意义在于为草原水资源价值评估及其实现路径提供一种可行性参考,从而推动实际的草原水资源价值评估工作和灌溉服务政策的落地。本文主要结论如下:

(1)牧户愿意为改善草原水资源的稀缺状况而购买付费灌溉服务,表明该服务的需求在现实中实际存在。更进一步地,服务的灌溉频率与牧户福利改善呈正相关关系,意味着提高灌溉频率可以增加牧户的效用。相对于村委会(基层村民自治组织),牧户更偏好由有专业技术和强大组织能力的政府和农业企业提供灌溉服务,这表明牧户存在对不同服务提供方的偏好,突显了政府和农业企业在提供灌溉服务方面的重要性。此外,异质性分析表明,草原经营规模小的牧户更倾向于购买付费灌溉服务且更偏好高频率的灌溉服务。

(2)草原类型对水资源价值存在显著影响。具体而言,从牧户的角度出发,草原水资源的平均价

值约为 $0.603\sim 0.654\text{元/m}^3$ 。并且,这一价值在不同区域存在显著差异。典型草原地区的水资源价值约为 1.366元/m^3 ,而草甸草原地区的水资源价值约为 0.640元/m^3 ,荒漠草原地区仅为 0.130元/m^3 。该结果不仅突显了草原类型对水资源价值的显著影响,也强调了不同地区生态系统服务对牧户经济与生活的潜在贡献差异。

(3)草地灌溉服务收费方案和成本-收益分析结果表明,草地灌溉服务单方水或单次的成本远小于牧户获得的主观收益,这意味着灌溉服务提供方拥有制定经济可持续的执行价格的可能,草地灌溉服务收费能够成为实现草地水资源价值的可行路径。

5.2 政策建议

基于上述研究结果,本文提出以下政策建议:

(1)牧户对灌溉服务存在显著支付意愿,而当前牧区灌溉服务供给相对不足,因而政府应加大牧区水利设施建设,增强供给水平。更重要的是,可以引入市场机制,通过提供有偿供水服务作为补充机制,满足牧民灌溉需求,同时减轻财政负担。

(2)政府在初期应主导付费灌溉服务的建设和管理,而后逐渐引入农业企业和其他主体参与。同时,政府应该完善法律规章制度,建立严格的监管体系,保障不同灌溉服务提供方的服务质量和收费公平,完善灌溉服务体系。

(3)可持续的付费灌溉服务需要依靠合理的付费机制,需要测度牧户的支付意愿和灌溉服务的实

施成本。因而可以通过大规模市场调查准确估算牧户支付意愿,并对不同灌溉服务实施技术进行成本比较,从而建立合理的收费方案。

(4)付费灌溉服务的开展还需要考虑到区域和人群的异质性,建议在支付意愿较高的典型草原地区和经营面积较小的牧户群体中开展付费灌溉服务试点项目,并收集反馈对试点结果进行评估和调整,将验证的成功模式和经验逐步推广到其他地区和群体。此外,需要根据不同草原地区的水资源状况和农业生产需求,制定差异化的灌溉服务定价方案。例如,典型草原的灌溉服务价格可以高于草甸和荒漠地区,以更好地匹配地区价值和成本效益。

参考文献(References):

- [1] 马扶林, 刘小伟, 朵莹, 等. 日尺度下水热因子变化对青藏高原高寒草原生产力的影响特征[J]. 生态学报, 2023, 43(9): 3719–3728. [Ma F L, Liu X W, Duo Y, et al. Effects of daily variation of hydro-thermal factors on alpine grassland productivity on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(9): 3719–3728.]
- [2] Jasechko S, Seybold H, Perrone D, et al. Rapid groundwater decline and some cases of recovery in aquifers globally[J]. Nature, 2024, 625: 715–721.
- [3] Liu G F, Li F F, Qiu L, et al. Composite water value: A way forward to balance the development and protection of transboundary lakes[J]. Journal of Environmental Management, 2024, DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.121618.
- [4] 朱永彬, 史雅娟. 中国主要城市水资源价值评价与定价研究[J]. 资源科学, 2018, 40(5): 1040–1050. [Zhu Y B, Shi Y J. Value evaluation and pricing of water resources in major cities of China [J]. Resources Science, 2018, 40(5): 1040–1050.]
- [5] 沈大军, 阿丽古娜, 陈琛. 黄河流域水权制度的问题、挑战和对策[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 46–56. [Shen D J, Ali G N, Chen C. Water rights system in the Yellow River Basin: Problems, challenges, and suggestions[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 46–56.]
- [6] 李怀海, 李纯斌, 吴静, 等. 2000–2020年石羊河流域草地净初级生产力时空动态及其对气候的响应[J]. 草业科学, 2022, 39(10): 2048–2061. [Li H H, Li C B, Wu J, et al. Spatio-temporal dynamics and climate response of grassland net primary productivity in Shiyang River Basin from 2000 to 2020[J]. Pratacultural Science, 2022, 39(10): 2048–2061.]
- [7] 陈艳萍, 朱瑾. 基于水费承受能力的水权交易价格管制区间: 以灌溉用水户水权交易为例[J]. 资源科学, 2021, 43(8): 1638–1648. [Chen Y P, Zhu J. Regulation of water rights trading price based on affordability: Taking water rights trading between irrigation water users as an example[J]. Resources Science, 2021, 43(8): 1638–1648.]
- [8] 许长新, 杨李华. 中国水权交易市场中的信息不对称程度分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(9): 127–135. [Xu C X, Yang L H. An empirical study of information asymmetry in China's water market[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(9): 127–135.]
- [9] 石腾飞. “关系水权”与社区水资源治理: 内蒙古查村的个案研究[J]. 中国农村观察, 2018, (1): 40–52. [Shi T F. Relationship water rights and community water resources management: A case study of Cha Village[J]. China Rural Survey, 2018, (1): 40–52.]
- [10] 冯欣, 姜文来, 刘洋, 等. 中国农业水价综合改革历程、问题 and 对策[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(3): 117–127. [Feng X, Jiang W L, Liu Y, et al. History, problems and countermeasures of comprehensive reform of China's agricultural water price[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(3): 117–127.]
- [11] 李恒臣, 何理, 赵文仪, 等. 基于价格协商型动态博弈的水资源生态补偿模型[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(11): 209–218. [Li H C, He L, Zhao W Y, et al. Water resource ecological compensation model based on a dynamic game of price negotiation [J]. China Population, Resources and Environment, 2023, 33(11): 209–218.]
- [12] 冯欣, 姜文来, 刘洋, 等. 水资源价值模糊数学模型研究进展[J]. 资源科学, 2021, 43(9): 1834–1848. [Feng X, Jiang W L, Liu Y, et al. Progress of research on fuzzy mathematical model of water resources value[J]. Resources Science, 2021, 43(9): 1834–1848.]
- [13] 齐宇, 李慧明. 模糊数学在环境资源价值评估中的应用: 以海河流域天津段为例[J]. 生态经济, 2008, (2): 37–40. [Qi Y, Li H M. Research on river basin environmental resource value assessment model: A case study in Tianjin section of Haihe River Basin [J]. Ecological Economy, 2008, (2): 37–40.]
- [14] 夏天, 唐震, 吴震. 干旱区农作物灌溉水经济价值估算的改进模型[J]. 统计与决策, 2021, 37(16): 180–183. [Xia T, Tang Z, Wu Z. Improved model for estimating economic value of irrigation water for crops in arid regions[J]. Statistics and Decision, 2021, 37(16): 180–183.]
- [15] 马维兢, 张闻顺, 李程祎, 等. 黄河流域经济规模与水资源边际效益异速增长时空特征及驱动因素[J]. 自然资源学报, 2023, 38(12): 3116–3134. [Ma W J, Zhang W S, Li C Y, et al. Spatiotemporal characteristics and driving factors of allometric growth of economic scale and marginal benefits of water resources in the Yellow River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2023, 38

2024年8月

- (12): 3116–3134.]
- [16] 刘维哲, 唐漂, 王西琴, 等. 农业灌溉用水经济价值及其影响因素: 基于剩余价值法和陕西关中地区农户调研数据[J]. 自然资源学报, 2019, 34(3): 553–562. [Liu W Z, Tang L, Wang X Q, et al. Estimating economic value of irrigation water and analysis of influencing factors: A case study based on residual value method and farmers' data in Guanzhong area of Shaanxi[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(3): 553–562.]
- [17] Manning D T, Rad M R, Suter J F, et al. Non-market valuation in integrated assessment modeling: The benefits of water right retirement[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2020, DOI: 10.1016/j.jeem.2020.102341.
- [18] 徐晓晔, 黄贤金, 赵涵. 基于 Meta 分析的中国水资源价值移位研究[J]. 中国环境管理, 2019, 11(4): 46–51. [Xu X Y, Huang X J, Zhao H. Meta-regression on the benefit transfer of water resources in China[J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2019, 11(4): 46–51.]
- [19] 许罗丹, 黄安平. 水环境改善的非市场价值评估: 基于西江流域居民条件价值调查的实证分析[J]. 中国农村经济, 2014, (2): 69–81. [Xu L D, Huang A P. Non-market valuation of water environment improvement: An empirical analysis based on contingent valuation survey of residents in Xijiang River Basin[J]. Chinese Rural Economy, 2014, (2): 69–81.]
- [20] Jiao W Z, Wang L X, Smith W K, et al. Observed increasing water constraint on vegetation growth over the last three decades[J]. Nature Communications, 2021, DOI: 10.1038/s41467-021-24016-9.
- [21] Lowe B H, Oglethorpe D R, Choudhary S. Shifting from volume to economic value in virtual water allocation problems: A proposed new framework and methodology[J]. Journal of Environmental Management, 2020, DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110239.
- [22] 史雨星, 李超琼, 赵敏娟. 非市场价值认知、社会资本对农户耕地保护合作意愿的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(4): 94–103. [Shi Y X, Li C Q, Zhao M J. The impact of non-market value cognition and social capital on farmers' willingness in farmland protection cooperation[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(4): 94–103.]
- [23] Endalew B, Tassie K, Ayalew Z. Non-market measurement techniques of willingness to pay: The case of environmental resources: A review[J]. Journal of Agriculture and Environmental Sciences, 2018, 3(2): 2636–3713.
- [24] 史恒通, 赵敏娟. 基于选择试验模型的生态系统服务支付意愿差异及全价值评估: 以渭河流域为例[J]. 资源科学, 2015, 37(2): 351–359. [Shi H T, Zhao M J. Willingness to pay differences across ecosystem services and total economic valuation based on choice experiments approach[J]. Resources Science, 2015, 37(2): 351–359.]
- [25] Khan A, Khan S U, Ali M A S, et al. Prioritizing stakeholders' preferences for policy scenarios of vulnerable ecosystems with spatial heterogeneity in choice experiment: Coupling stated preferences with elevation[J]. Journal of Environmental Management, 2022, DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.114757.
- [26] 刘霁瑶, 倪琪, 姚柳杨, 等. 农药包装废弃物回收差别化补偿标准测算: 基于陕西省 1060 个果蔬种植户的分析[J]. 中国农村经济, 2021, (6): 94–110. [Liu J Y, Ni Q, Yao L Y, et al. The standard measurement of differential compensation for pesticide packaging waste recycling: An empirical analysis based on 1060 fruit and vegetable farmers in Shanxi Province[J]. Chinese Rural Economy, 2021, (6): 94–110.]
- [27] 喻永红, 张志坚, 刘耀森. 农业生态保护政策目标的农民偏好及其生态保护参与行为: 基于重庆十区县的农户选择实验分析[J]. 中国农村观察, 2021, (1): 85–105. [Yu Y H, Zhang Z J, Liu Y S. Farmers' preferences for agro-ecological protection policy goals and their participation behaviors: Evidence from choice experimental analysis of farmers from ten districts (counties) in Chongqing[J]. Observations on China's Rural Development, 2021, (1): 85–105.]
- [28] Anteneh Y, Zeleke G, Gebremariam E. Valuing the water supply: Ecosystem-based potable water supply management for the legedadi-dire catchments, Central Ethiopia[J]. Ecological Processes, 2019, DOI: 10.1186/s13717-019-0160-1.
- [29] Zewdie M C, Moretti M, Tenessa D B, et al. Farmers' preferences and willingness to pay for improved irrigation water supply program: A discrete choice experiment[J]. Environment, Development and Sustainability, 2023, DOI: 10.1007/s10668-023-03759-z.
- [30] Chipfupa U, Wale E. Smallholder willingness to pay and preferences in the way irrigation water should be managed: A choice experiment application in KwaZulu-Natal, South Africa[J]. Water SA, 2019, DOI: 10.17159/wsa/2019.v45.i3.6735.
- [31] 陈宏伟, 穆月英. 政策激励、价值感知与农户节水技术采纳行为: 基于冀鲁豫 1188 个粮食种植户的实证[J]. 资源科学, 2022, 44(6): 1196–1211. [Chen H W, Mu Y Y. Policy incentives, value perception and farmers' adoption of water-saving technologies: An empirical analysis based on 1188 farmers in Hebei, Shandong and Henan[J]. Resources Science, 2022, 44(6): 1196–1211.]
- [32] Thiam D R, Dinar A, Ntuli H. Promotion of residential water conservation measures in South Africa: The role of water-saving equipment[J]. Environmental Economics and Policy Studies, 2021, DOI: 10.1007/s10018-020-00286-3.
- [33] Demarchi G, Subervie J, Leite F P, et al. Farmers' preferences for water-saving strategies in Brazilian eucalypt plantations[J]. Forest Policy and Economics, 2021, DOI: 10.1016/j.forpol.2021.102459.
- [34] 史雨星, 姚柳杨, 赵敏娟. 社会资本对牧户参与草场社区治理意愿的影响: 基于 Triple-Hurdle 模型的分析[J]. 中国农村观察, 2018, (3): 35–50. [Shi Y X, Yao L Y, Zhao M J. The effect of so-

- cial capital on herdsman's participation willingness in grassland community governance: An analysis based on triple-hurdle model[J]. *China Rural Survey*, 2018, (3): 35–50.]
- [35] 王鹤琪, 范高华, 黄迎新, 等. 中国北方草地生产力研究进展[J]. *生态科学*, 2022, 41(5): 219–229. [Wang H Q, Fan G H, Huang Y X, et al. Advances in research on grassland productivity in Northern China[J]. *Ecological Science*, 2022, 41(5): 219–229.]
- [36] 侯扶江, 黄小娟, 常生华, 等. 草地培育的内涵和方法[J]. *生态学报*, 2024, 44(19): 1–18. [Hou F J, Huang X J, Chang S H, et al. The connotation and methods of grassland cultivation[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(19): 1–18.]
- [37] Buisson M C, Balasubramanya S. The effect of irrigation service delivery and training in agronomy on crop choice in Tajikistan[J]. *Land Use Policy*, 2019, 81(2): 175–184.
- [38] Chaudhuri S, Parakh D, Roy M, et al. Groundwater-sourced irrigation and agro-power subsidies: Boon or bane for small/marginal farmers in India? [J]. *Groundwater for Sustainable Development*, 2021, DOI: 10.1016/j.gsd.2021.100690.
- [39] Enyew T M. Determinants of farmers' willingness to pay for irrigation improvements in Northcentral Ethiopia[J]. *Agricultural Water Management*, 2024, DOI: 10.1016/j.agwat.2024.108841.
- [40] 高杨, 赵端阳, 于丽丽. 家庭农场绿色防控技术政策偏好与补偿意愿[J]. *资源科学*, 2019, 41(10): 1837–1848. [Gao Y, Zhao D Y, Yu L L. Family farms' policy preferences and willingness to accept compensation on green pest control techniques[J]. *Resources Science*, 2019, 41(10): 1837–1848.]
- [41] Ortega D L, Wang H H, Olynk Widmar N J, et al. Reprint of 'Chinese producer behavior: Aquaculture farmers in southern China' [J]. *China Economic Review*, 2014, 30: 540–547.
- [42] Akrofi N A, Sarpong D B, Somuah H A S, et al. Paying for privately installed irrigation services in Northern Ghana: The case of the smallholder Bhungroo irrigation technology[J]. *Agricultural Water Management*, 2019, 216: 284–293.
- [43] Jia Y Y, Yang B F, Han Y C, et al. Enhanced cotton yield and fiber quality by optimizing irrigation amount and frequency in arid areas of Northwest China[J]. *Agronomy*, 2024, DOI: 10.3390/agronomy14020266.
- [44] 崔晶. 中国情境下政策执行中的“松散关联式”协作: 基于S河流域治理政策的案例研究[J]. *管理世界*, 2022, 38(6): 85–101. [Cui J. “Loosely-coupled” collaboration of policy implementation in China: A case study on the governance policy of S River Basin [J]. *Journal of Management World*, 2022, 38(6): 85–101.]
- [45] Hess S, Hensher D A. Using conditioning on observed choices to retrieve individual-specific attribute processing strategies[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2010, 44(6): 781–790.
- [46] Wang H H, Jiang Y, Jin S S, et al. New online market connecting Chinese consumers and small farms to improve food safety and environment[J]. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 2022, 70(4): 305–324.
- [47] 贾亚娟, 赵敏娟. 生活垃圾分类治理: 基于选择实验法的阳光堆肥房农户合作偏好[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(4): 108–117. [Jia Y J, Zhao M J. Domestic waste classification and treatment: Farmers' cooperative preference in sunshine composting house based on choice experiment[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(4): 108–117.]
- [48] 周宏, 高灿. 基于环节差异的农业社会化服务与农业种植收入: 来自江苏省水稻种植户的实证研究[J]. *农林经济管理学报*, 2023, 22(2): 193–202. [Zhou H, Gao C. Agricultural socialized services and agricultural planting income based on link differences: An empirical study of rice farmers in Jiangsu Province[J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2023, 22(2): 193–202.]
- [49] Muratoglu A, Bilgen G K, Angin I, et al. Performance analyses of effective rainfall estimation methods for accurate quantification of agricultural water footprint[J]. *Water Research*, 2023, DOI: 10.1016/j.watres.2023.120011.
- [50] 王西琴, 张馨月, 周嫚, 等. 基于门限效应的灌溉水价与用水量关系: 以河北省地下水灌区为例[J]. *资源科学*, 2021, 43(12): 2538–2545. [Wang X Q, Zhang X Y, Zhou M, et al. Relationship between agricultural water price and water use based on threshold effect: A case study of groundwater irrigation area in Hebei[J]. *Resources Science*, 2021, 43(12): 2538–2545.]
- [51] 董小菁, 钟甫宁, 纪月清. 水价对农户灌溉用水投入的影响: 基于要素替代视角[J/OL]. *中国农业资源与区划*, (2023–12–05) [2024–03–02]. <https://kns-cnki-net.webvpn.hueb.edu.cn/kcms/detail/11.3513.S.20231205.1420.004.html>. [Dong X J, Zhong F N, Ji Y Q. The impact of water prices on farmers' irrigation water input: Based on the perspective of factor substitution[J/OL]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, (2023–12–05) [2024–03–02]. <https://kns-cnki-net.webvpn.hueb.edu.cn/kcms/detail/11.3513.S.20231205.1420.004.html>.]

Valuation of grassland water resources and value realization from the herders' perspective:

Evidence from a discrete choice experiment on grassland irrigation services

JIANG Yu¹, DUAN Pengfei², SUN Tianhe³, PU Yanpin¹, LIU Min²

(1. Institute of Western China Economic Research, Southwestern University of Finance and Economics, Chengdu 611130, China;

2. College of Pastoral Agricultural Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China; 3. Institute of Economics Study, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: [Objective] Water scarcity has become a major constraint to the development of grassland regions. From the perspective of herders, exploring the value of grassland water resources and attempting to establish a feasible pricing scheme for irrigation services is of great significance in promoting the realization of the value of grassland water resources. [Methods] Using survey data from pastoral areas of Inner Mongolia in 2021, this study employed the choice experiment method to simulate irrigation services, applied the random parameters logit regression model to analyze and estimate the value of grassland water resources, and conducted a cost-benefit analysis. [Results] (1) From the herders' perspective, the value of water resources reaches 0.130 Yuan/m³ in the desert grassland areas, 1.366 Yuan/m³ in the typical grassland areas, and around 0.640 Yuan/m³ in the meadow grassland areas; (2) Herders are willing to pay for grassland irrigation services to improve their water scarce situation. They have differential preferences for different service providers and demonstrate a stronger preference for irrigation services provided by the government and agricultural enterprises compared to village committees. The increase in irrigation frequency can significantly improve herders' well-being. Heterogeneity analysis indicated that herders with smaller land management area are more inclined to purchase paid irrigation services and prefer higher frequency irrigation services; (3) The fee scheme for grassland irrigation services and the results of cost-benefit analysis indicate that the cost of providing grassland irrigation services is much lower than the subjective benefits obtained by herders. (4) Taking the provision of artificial rainmaking technology as an example, herders in Inner Mongolia can obtain an annual consumer surplus of approximately 1.031 billion Yuan by purchasing irrigation services. [Conclusion] Different types of grasslands significantly influence the value of water resources. Furthermore, herders have a real demand for paid irrigation services to reduce the scarcity of grassland water resources, increasing the frequency of irrigation can enhance herders' utility, and the government and agricultural enterprises play an important role in providing irrigation services. Finally, providing irrigation services is economically viable, and the value of grassland water resources can be realized through the provision of paid grassland irrigation services.

Key words: water resources value; irrigation; choice experiment; cost-benefit analysis; fee scheme; Inner Mongolia