DOI:10.15928/j.1674-3075.2020.02.002

生态文明建设下退耕还湿必要性与成效分析——基于博弈和模糊评价视角

张路路[1],闫鹏飞[2]

(1.安康学院数学与统计学院,陕西 安康 725000;
2.黑龙江科技大学,黑龙江 哈尔滨 150000)

摘要:退耕还湿既是生态文明建设的要求,又是人们对美好环境向往的时代需求。以退耕还湿的必要性和成效为研究基点,通过主体利益博弈和模糊综合评判来阐明该工程的推行选择和效益发展。政府和农户利益博弈的结果是双方反复博弈后最终会以群体高比例达成最优均衡战略[服从,补偿],从主体层面表明退耕还湿具有必要性;运用AHP-Fuzzy模型对20个具有代表性的湿地因子从经济、社会、生态3方面效益对三江平原湿地进行综合评价,得出各效益最大隶属度分别是3、4、3,综合效益最大隶属度为3,处于潜力发展期,表明退耕还湿的实施有成效,具有较好的发展前景。最后,针对两种方法和结果,给出了相应结论及相关建议。

关键词:退耕还湿;必要性;成效;博弈;模糊评价

中图分类号:F326.24 **文献标志码**:A **文章编号**:1674-3075(2020)02-0008-08

湿地是自然界生物多样性较高、生态功能禀赋较大的生态系统,与人类社会的发展息息相关,湿地有“地球之肾”、“生命的摇篮”及“生物超市”的称号,与森林、海洋共同称为地球的三大生态系统。但是,不只我国湿地面积减少严重,作为世界上湿地保护很成功的英国和美国,湿地面积的快速流失问题同样棘手,极大影响了依赖湿地生存的动植物生活(JOHN & SONDS,1997;朱巧楠和李文国,2016;邵琛霞,2013)。根据国家统计局资料显示,在第一次全国湿地资源调查数据中,1978-2008年的30年间里,我国湿地面积减少了324 097 km^2,减少率约为33%。在该阶段减少的湿地面积中,东北地区湿地向非湿地的转变较为显著,其最主要的驱动因子为人类农业经济活动(牛振国和张海英,2012)。2008-2014年的第二次全国湿地资源调查得出,截至2014年底,我国现有湿地总面积536 026 km^2,仅占全国湿地面积的7%,湿地率(湿地面积/国土面积)只有5.58%。相比第一次调查,湿地面积减少率下降了约13%。虽然湿地面积减少的幅度逐渐缩小,但总面积减少及功能退化的现实仍不可避免。崔丽娟等学者(2017)统计得出,十年间,全国湿地面积在100 km^2以上的,总面积减少率达8.82%,合339.63×10^4 km^2。不仅如此,我国13.9%的湿地物种由于湿地面积减少显著、功能退化严重等问题而处于灭绝或濒临灭绝状态(唐小平和王志臣,2013;ANS & LIH,2017;ZENG & CHEN,2011)。可见,湿地保护不仅是生态建设的需求,更是自身功能恢复的急切保障。2008-2016年间,“湿地面积”、“湿地生态效益补偿”、“保护湿地生物多样性”等内容频繁出现在中央一号文件中,并推出力争到2020年全国湿地面积不低于8亿亩(53 333 333 km^2),湿地保护率提高到50%以上的目标。保护湿地、合理利用资源是生态文明建设的基本要求,具有十分重要的意义。

退耕还湿是时代要求下复杂系统的生态建设工程,归根结底是平衡参与者利益(冯琳和徐建英,2013),以生态补偿为机制,得出政府与农户在博弈中的合作与不合作利弊(齐力,2016)。佟光霁等(2019)综合多种博弈模型并实证分析了各个模型中主体的最优战略选择,探讨了退耕还湿主体均衡战略,为退耕还湿的推行提供依据。孙兆明等(2015)运用多层博弈模型,构建了沿海湿地损失补偿机制,实现沿海经济发展与湿地生态功能的整体动态平衡。因此,从博弈视角分析退耕还湿是内在调节矛盾的必要路径。尹炀等(2018)通过对4个时间洪湖湿地保护有效性分析,得出各个时间湿地保护的程度。王辉等(2019)基于人类活动对湿地的影响,深

收稿日期:2018-05-09

基金项目:陕西省科学技术协会项目(2019KX02)。

作者简介:张路路,1992年生,女,安康学院数学与统计学院教师,主要研究方向为湿地资源保护与利用。E-mail:chineselu@qq.com。

入探讨了三江平原湿地区域生态风险评价的研究。朱锦等(2019)运用层次分析法和特菲尔法对图们江流域湿地生态系统进行了健康评价，得出整体状况为轻度退化，为改善提供依据。因此，建立合理的评价体系，是检验退耕还湿效果的直接方式，为退耕提供外在的充分保障。本文从必要性和实施效果 2 方面对退耕还湿政策进行分析和评价，为该政策的推广和改进提供依据。

1　研究区概况

三江平原位于中国东北边陲，地处黑龙江、松花江和乌苏里江交汇处，面积约1.089 km^2，地理位置 47°26′00″～ 48°22′50″N，133°43′20″～ 134°46′40″E。年降水量 500～600 mm，年平均气温 1.5～4.0℃，属温带湿润、半湿润大陆性季风气候。水资源丰富，河流、湖泊分布广泛，是湿地发育和农业发展的重要条件。三江平原湿地面积变化较大，1954 - 2000 年间，湿地面积由 16.1 km^2 下降至 4.6 km^2，耕地面积由 0.2 km^2 上升至 3.7 km^2。自 2000 年湿地保护及退耕还湿实施以来，三江平原共建立国际重要湿地 5 个，国家级自然保护区 7 个，国家湿地公园 11 个。湿地面积减少得到有效控制，2000 - 2015 年减少 250 855 km^2，耕地面积仅增加 195 430 km^2，其中，相比 2000 - 2010 年间，2010 - 2015 年间湿地的损失速率减弱 2.33 倍，退耕还湿效果明显(何兴元和贾明明，2017)。为此，以黑龙江三江平原湿地为实例，为突出博弈下主体行为优化选择提供必要依据；也为论证退耕还湿实施成效提供有力参考。

2　博弈视角下退耕还湿必要性分析

2.1　博弈选取

退耕还湿主要利益主体是政府和农户。政府是政策实施者，是农户和湿地间调节的介质，农户是政策的执行者，是该工程的关键方。利益再分配使双方在退耕还湿上存在博弈倾向，因此用博弈论讨论是合理的。其次，双方的理性程度有限，在不断地较量中向最优战略改进，故选用进化博弈论可找出双方不断学习后的最优选择。最后，博弈的结果是多次进化的最优战略组合，为参与主体实际选择提供必要理论依据。

2.2　博弈机制

博弈方得益一方面取决于自己的类型，另一方面取决于对手的类型。进化博弈需要计算出博弈方两种策略下的期望得益，进而得到群体成员的平均得益(谢识予，2011)。博弈方策略类型比例的动态变化是该博弈的观察核心，其结果一是取决于群体数量的大小，二是取决于进化转变的速度。这个过程通常用动态微分方程 $dx/dt=x(u_y-\bar{u})$表示。x 是策略 1 的比例；u_y 是采用策略 1 的期望得益；是策略 1 下博弈方的群体平均得益，如果 x 表示博弈方选择某一策略的概率，则 表示该策略整体概率倾向；dx/dt 是该策略占比随时间变化的速度或该策略概率随时间变化的聚合程度。进化稳定策略(ESS)相当于最优点，当干扰低于均衡点时，向上调整，方可恢复；当干扰高于均衡点时，向下调整，方可恢复，均指某些博弈方得以进化。更简洁的来说，处于稳定状态的均衡点须满足 $F'(x)<0$，才是复制动态的进化稳定策略。

2.3　博弈进程

农户群体和政府整体的选择因有限理性而不一，但二者都具有学习能力，在重复博弈中不断改善。政府要用最小的成本实现退耕还湿，农户为获得较大的收益，补偿合适，服从退耕，反之不合作(如下表 1)。R 表示农户选择退耕时得到的补偿，C_1 是相应的机会成本，v_1、v_2 表示退耕有效和无效推行下的总效益，F_1、F_2 是双方违背合作时的损失。上述得益矩阵中由于参数的不确定性，很难找出不变的纳什均衡。对于有限理性的博弈双方，能否知道纳什均衡并不重要。不管是否有纳什均衡，任何策略都有可能被博弈方采用。

表 1　政府与农户的博弈得益矩阵

Tab.1　Gaming the benefit between government and farmer

农户	政府		期望得益
	不补偿(u_{21}/y)	补偿($u_{22}/1-y$)	
抵抗(u_{11}/x)	(v_2-F_1, v_2-F_2)	(V_2+R-F_1, v_2-R)	$y(v_2-F_1)+(1-y)(v_2+R-F_1)$
服从($u_{12}/1-x$)	(v_1-C_1, v_1-F_2)	(v_1+R-C_1, v_1-R)	$y(v_1-c_1)+(1-y)(v_1+R-c_1)$

2.4　博弈结果

农户是分散决策者，设 x 表示农户群体选择不退耕的比例。政府决策是整体行动，设 y 表示政府不补偿的概率。根据上表可得农户群体的平均得益 $\bar{u}_1=xu_{11}+(1-x)u_{12}$，进而计算农户不退耕策略随时间变化比例 $dx/df=F(x)=x(u_{11}-\bar{u}_1)=x(1-$

$x)[(c_1-F_1)-(v_1-v_2)+2R(1-y)]$)。同理得出政府不补偿概率随时间变化的趋势为 $dy/dt=F(y)=y(u_{21}-\overline{u}_2)=y(1-y)(-R)$。

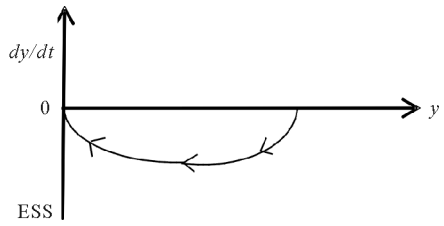


图1　政府不补偿策略整体概率变化相位

Fig.1　Probability change chart for no-compensation strategy by government

首先,根据政府政策的动态方程 $F(y)$ 可知,由于 $R>0$,在 $y_1^*=0/1$ 处满足 $F(y)=0$,根据相位图(上图1),只有 $y_1^*=0$ 时,才是进化稳定策略(ESS),表明政府在不断学习中最终会以0%的概率选择不补偿,即补偿是政府随时间变化中不断进化的最优选择。其次,对于农户,在未退耕前,湿地处于未保护状态,从整体看其产生的效益呈下降趋势,即 C_1 是递减的。F_1 是不合作时的惩罚,时间越长,背叛的机会越大,F_1 越大,即 $C_1-F_1<0$, $v_1-v_2>0$。政府选择中,y 趋于0是一定时间内必然的结果,$F_1>R+C_1$ 是保证机制约束有效性的前提。此外,为避免退耕过程中农户的投机心理,湿地在受到保护时的效益总和大于未受到保护和补偿价值之和,即 $v_1>R+v_2$。因此,$F(x)$ 在 $x_1^*=0/1$ 处符合要求,结合相位图,只有 $x_1^*=0$ 时满足ESS,表明农户群体在不断地学习中最终有0%的比例选择不退耕,也即退耕是农户群体的最优选择。

为了更清晰地找出群体组合的ESS,把政府和农户博弈结果整合到一个坐标系下(上图2),可以看出,该博弈的稳定策略只有 $x_1^*=0, y_1^*=0$ 一点,其他点都不是复制动态中收敛和具有抗扰动的稳定状态。这意味有限理性博弈方通过反复学习和调整,政府会采用温和方法实施退耕,而具有抵抗冲动的部分农户最终也会接受退耕,双方共赢,湿地恢复。这与完全理性条件下的子博弈完美纳什均衡完全一致,说明有限理性农户和政府可通过学习选择最优组合,达到与完全理性一样的结果。可见,[服从,补偿]是博弈的最优组合,也是退耕还湿的必然理性策略结果,博弈为退耕还湿推行提供必要依据。

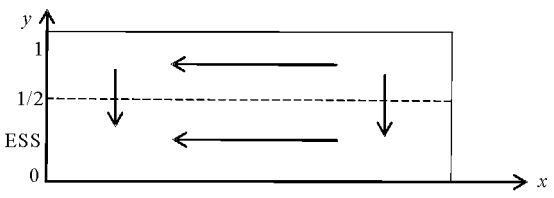


图2　农户群体比例、政府选择概率变化相位

Fig.2　Phase diagram of change in farmer group ratio and government choice probability

3　综合评价视角下退耕还湿成效分析

3.1　综合评价机制

本文结合层次分析法(AHP)和模糊综合评判(Fuzzy)构建退耕还湿效益综合评价模型,其中AHP可将各湿地因子的主观判断定量化,用数字实现比较和排序,确定权重。Fuzzy可有效地处理湿地因子间的模糊性,通过评语与每项指标权重计算隶属度,计算并确定该项指标的级别,进而比较并归纳改善方向。该评价体系一方面确定退耕还湿发展程度,另一方面具有一定的可行性,提供技术支撑。具体来说,首先,本文通过阅读大量文献(俞小明和石纯,2006;骆林川和杨德礼,2008;陈颖和张明祥,2012;徐慧娴和李锋民,2016),总结对比科研学者的成果,选取符合评价目的的指标。并结合该湿地具体环境和社会经济状况,以及为期半年的走访调查,进而确定最终指标,共分为4个层次20个指标(具体如下表2)。其中,4个层次分别为目标层(研究的出发点和目的)、准则层(整体概况,湿地保护和发展的主要方向)、指标层(对整体概况的细分,可体现上一层要素突出的关键和重点)、子指标层(最初评价源,也即直接评价内容,较为具体化和针对性)。另外,子指标层结果是在对应问题中通过剔除、分类、定量处理、计算而得,再结合对应的评语集,依据等级分值计算总分值。需要说明的是,文中部分少量指标涉及专业性和权威性,为统一评判标准,已根据相应指标层分值加权处理。此外,由于本文主要涉及效益的评价,综合退耕还湿影响因素,将20个评价指标从3大类进行具体化,即经济效益、社会效益和生态效益。具体效益划分机制如下。

(1)经济效益指标。反映退耕还湿后能够带来的直接经济经济收入的改变和间接经济投入的变化,可直观判断的因素,主要从产业产值、收入、投资3方面细分。

(2)社会效益指标。指退耕还湿后对湿地影响较为间接,主观不可控因素较多,受主体认识较大的因素,主要从管理和文化两方面延伸。

(3)生态效益指标。表现为对湿地变化有直观作用,影响效应可通过部分其他现象间接反映的因素,主要包括生物多样性和环境。

表 2　三江平原湿地评价体系及权重值

Tab.2　Evaluation system index weights for the Sanjiang Plain wetland

目标层	准则层	权重	指标层	权重	子指标层	权重
三江平原湿地总效益评价	经济效益	0.1667	产业产值	0.0496	C1 粮食产量	0.0099
					C2 人均地区生产总值	0.0396
			收入	0.0272	C3 农户居民人均收入	0.0204
					C4 旅游收入	0.0068
			投资	0.0899	C5 企业投资密度	0.0600
					C6 基础设施构建力度	0.0300
	社会效益	0.1667	管理	0.0278	C7 湿地从业者数量	0.0139
					C8 湿地工作种类大小	0.0139
			文化	0.1389	C9 居民自然保护社区意识	0.0668
					C10 科研科普教育走访率	0.0138
					C11 湿地文化认知情况	0.0338
					C12 湿地宣传接受密度	0.0179
					C13 湿地景点知名度	0.0066
	生态效益	0.6666	生物多样性	0.4444	C14 湿地斑块密度	0.1137
					C15 植物净初级生产力	0.0514
					C16 水禽栖息地支持能力	0.0676
					C17 植物覆盖率	0.2117
			环境	0.2222	C18 水体清洁度	0.0739
					C19 空气质量	0.1173
					C20 夏季舒适度	0.0310

3.2　确定评价样本

对研究区在实地考察和专家访问的结果上设计问卷，根据样本从事工作方向和性质的不同采用分层抽样选取与该湿地相关的农户代表（上访）、从业人员（集中问卷）及负责领导（或专家）（约访），共计发放 400 份问卷，并全部收回，有效问卷 380 份。样本特征如图 3。其中，男性较多，约占总体的 73%，与湿地工作性质较为匹配。此外，被访问者的年龄结构集中在 36～55 岁，略高于 19～35 岁，二者比例基本涵盖整个年龄群体。湿地工作者在中层年龄阶段的受众程度较高，与被访问者习惯湿地工作及积累一定经验有关。随着生态建设的投入，年轻群体

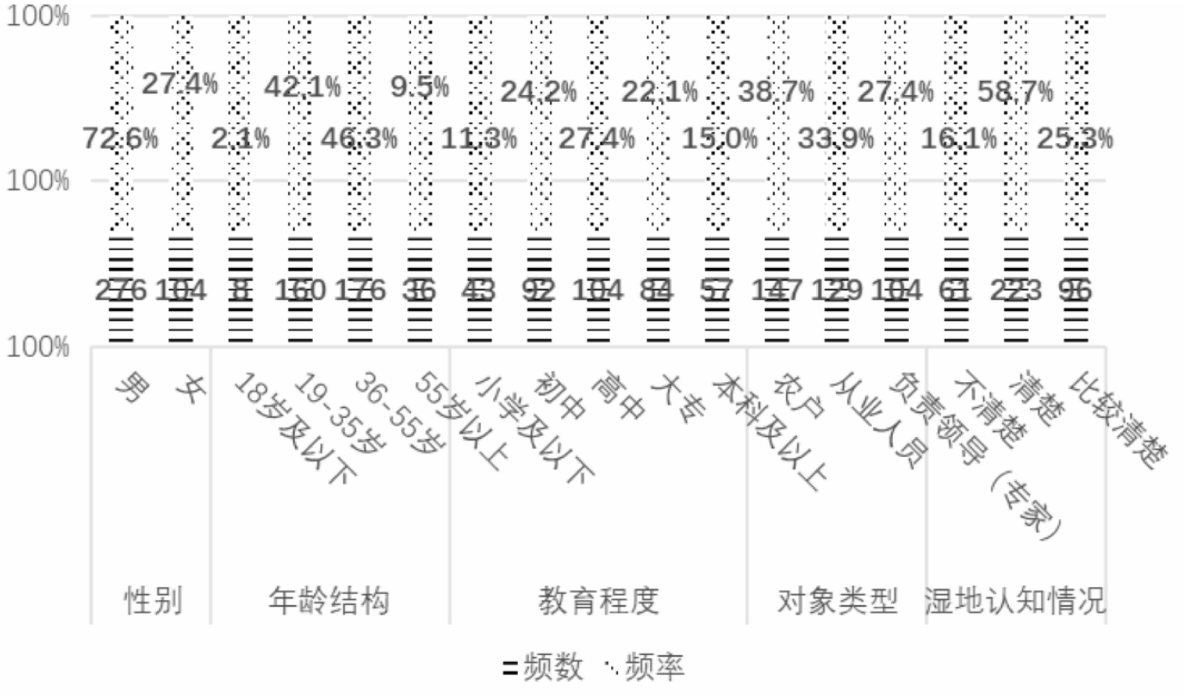


图 3　样本基本信息描述

Fig.3　Basic information on interviewees

的比例也在增大。就教育程度来说，层次波动较为稳定，以初中、高中、大专3者均等分布，与年龄结构表现一致。另外，本科及以上学历比例相对较高，退耕还湿对专业知识的要求逐渐增高，样本总体具有一定的知识素养。最后，从湿地功能的认知情况来看，主要分布在“清楚”选项，“较为清楚”也有一定比例，与被访问对象层次吻合，样本有效。

3.3　评价进程

首先，通过层次分析法确定指标权重。权重是层次分析法的主体，计算流程一般为：①构造层次分析结构，②构建判断矩阵，③层次单排序及一致性检验，④层次总排序，⑤作出相应决策，并常用1～9标度方法两两比较将判断定量化（杜栋和庞庆华，2005）。本文选取9份权重定量，对象为专家和领导，运用YAAHP0.6.0计算并通过一致性检验，进行权重平均，最终指标权重结果如上表2。

然后，结合层次分析法结果，再通过模糊综合评价体系运用三级模糊综合评价方法构建各效益隶属度。具体来说，评语集为{高，比较高，中等，比较低，低}，对应评价等级 $v=\{5\text{分},4\text{分},3\text{分},2\text{分},1\text{分}\}$。模糊计算指标的评价向量为 B_{iii}，该指标权重隶属度＝该指标权重×评判矩阵，公式表达为 $A_{iii}^{T}\times R_{iii}$。

其中 $A_{iii}=\begin{bmatrix} a_{111} \\ \cdots \\ a_{ijl} \end{bmatrix}$，$R_{iii}=\begin{bmatrix} r_{111} & \cdots & r_{1jl} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{ijl} & \cdots & r_{ijl} \end{bmatrix}$。

对上述问卷进行分类、整理，得到20个指标的原始模糊评价，再与评语集加权、归一化处理，并结合AHP得到的权重，得到三江平原湿地各效益及综合评价隶属度计算结果（表3）。

表3　各指标隶属度

Tab.3　Membership degree of each index

效益	指标	权重	高	比较高	中等	比较低	低
经济效益	C1	0.0099	0.0358	0.1267	0.5730	0.2125	0.0521
	C2	0.0396	0.1119	0.2023	0.3852	0.2646	0.0360
	C3	0.0204	0.0932	0.1452	0.5211	0.1923	0.0481
	C4	0.0068	0.2024	0.4248	0.3025	0.0550	0.0153
	C5	0.0600	0.1918	0.2616	0.3766	0.1360	0.0340
	C6	0.0300	0.1066	0.2274	0.2985	0.3188	0.0487
	二级评价隶属度		0.0456	0.0527	0.0488	0.0358	0.0256
	三级评价隶属度		0.0228	0.0376	0.0652	0.0346	0.0065
社会效益	C7	0.0139	0.3319	0.4294	0.1886	0.0367	0.0134
	C8	0.0139	0.2628	0.4847	0.1818	0.0555	0.0153
	C9	0.0668	0.3505	0.4275	0.1749	0.0375	0.0097
	C10	0.0138	0.4531	0.4461	0.0837	0.0127	0.0044
	C11	0.0338	0.1800	0.3975	0.3099	0.1080	0.0047
	C12	0.0179	0.1233	0.2960	0.3188	0.2125	0.0493
	C13	0.0066	0.1600	0.2084	0.4552	0.1298	0.0466
	二级评价隶属度		0.0564	0.0876	0.0425	0.0254	0.0085
	三级评价隶属度		0.0473	0.0675	0.0372	0.0123	0.0025
生态效益	C14	0.1137	0.1590	0.1887	0.3262	0.2482	0.0779
	C15	0.0514	0.1877	0.3303	0.3353	0.1234	0.0234
	C16	0.0676	0.2441	0.3448	0.3364	0.0641	0.0107
	C17	0.2117	0.1732	0.2698	0.3965	0.0966	0.0638
	C18	0.0739	0.1416	0.2500	0.2607	0.3086	0.0391
	C19	0.1173	0.1814	0.2938	0.3027	0.1929	0.0292
	C20	0.031	0.2761	0.3160	0.3267	0.0660	0.0153
	二级评价隶属度		0.5421	0.2546	0.4321	0.2145	0.0564
	三级评价隶属度		0.1212	0.1816	0.2259	0.1068	0.0311
模糊综合评价隶属度			0.0925	0.1386	0.1676	0.0790	0.0222

3.4　评价结果

从上表2可以得出，在20个湿地效益因子中，权重排名前五的因子均归属于生态效益，依次是C17、C19、C14、C18、C16，从侧面反映出确定指标重要性的调查对象更注重退耕还湿直接目的和固有价值，着力于湿地生态效益。权重居中的指标分布较为均匀，湿地的发展是涉及各个层面，带动各个效益共同输出的产业链。另外，排名较后的指标中，C13

属于社会效益，C4、C1 属于经济效益，且 3 者与权重较高的指标差值较大。一方面，湿地作为准公共物品，恢复、开发、保护均需要时间，以旅游输出为载体的形式尚不成熟，宣传、规划力度不足，产业整体未得到充分发展。另一方面，湿地变耕地直接影响粮食产出，即在退耕还湿实施中，旅游名片响声不足。

图 4 对比了各效益隶属度。纵向对比可得：以评价级为标准，各个分值类别中，5 个评价等级均属生态效益最高，综合隶属度次之，经济和生态效益表现不稳定。可见，生态效益整体表现活跃，凸显一定价值；以各效益整体趋势线为标准，生态效益明显高于经济和社会效益，且在综合隶属度曲线之上。生态效益是退耕还湿的第一要义，以生态发展为切入点和出发点，带动经济和社会效益的共同发展。横向比较可得，从各效益自身来看，经济效益中，3 分的隶属度高于其它，即退耕还湿推行后的经济价值得到一定体现，仍具有较大提升潜力，需继续重视其发展；社会效益中，4 分隶属度最高。一方面，退耕还湿的宣传、推行、科普收到了立竿见影的成效，另一方社会效益易于得到体现，可以此为着力点；生态学效益中，最高隶属度为 3 分，退耕还湿在生态建设上有一定成效，已经投入或正在投入的举措暂未收到期望效果。综合来看，三江平原退耕还湿综合隶属度已达到 3 分，略低于 4 分隶属度，表明该工程实施后，整体处于一般发展水平，具有一定的实施成效。经过后续的点面带动、宣传、普及、完善，有力达到显著效果，并实现各个效益的充分发展。

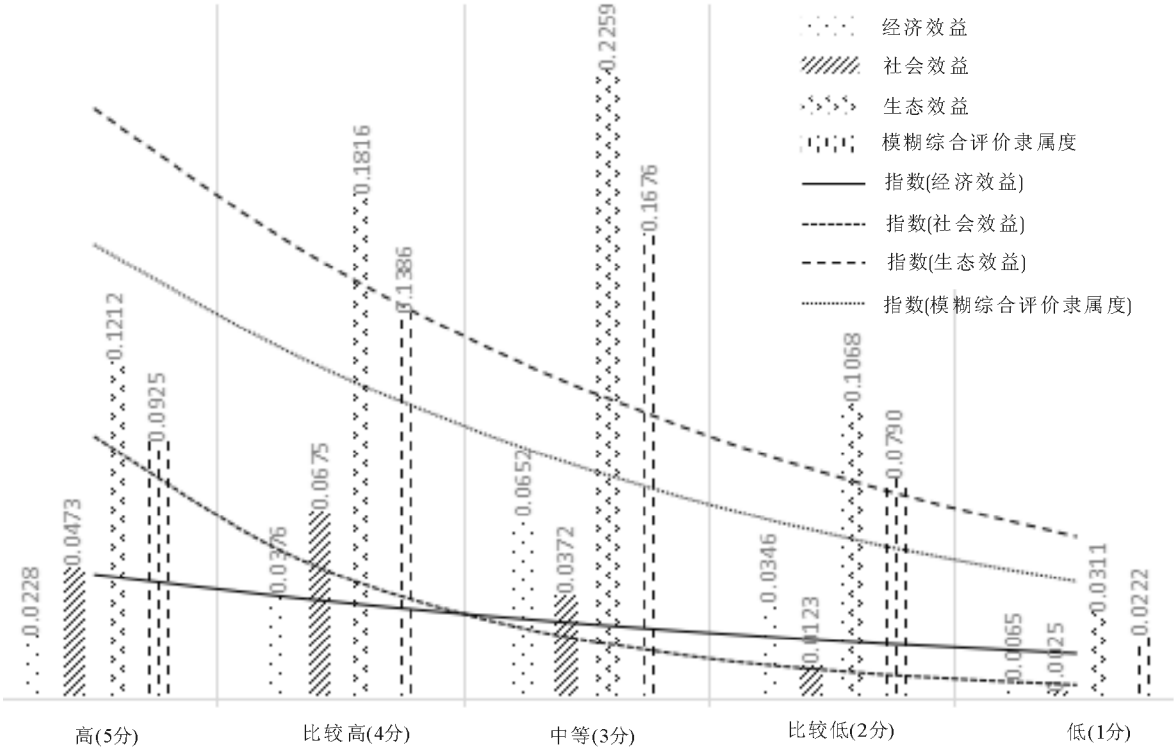


图 4　权重下各效益及总效益评价隶属度

Fig.4　Membership of each benefit and total benefit evaluation by weights

4　讨论与建议

(1)本文构建了博弈视角下退耕还湿主体行为模型和综合评价视角下退耕还湿实施效果评价模型，实现了对退耕主体行为的优化和退耕效果的评价，为退耕还湿的必然性和有效性提供充要性论据。但由于实际操作的限制及不确定性，2 种实证方法均未达到最优化论证。博弈模型根据湿地主体整体概况以参数形式讨论了退耕还湿主体战略的最优选择，但止步于参数，缺乏对该分析中 F_1、F_2、v_1、v_2、R 等结合三江平原湿地具体数值的转化(可继续研究转化实际数值的分析，具体化及针对化)。综合评判方法由于样地选取的差别、实地调研环境的不同、调查者与被调查者的行为因素等只能反映各效益呈现的整体概况，而效益之间复杂的关联系统使构建体系不尽完美。此外，本文的子指标是在定性判断上量化，受评判者主观因素影响较大，且指标界限略存交叉，需要更严密细化的评价体系。但两种方法

总体上综合考虑了退耕还湿影响因素，能够比较客观的论证退耕还湿政策的推行和成效，对主体行为的优化和子指标的改善规划有一定指导意义。

(2)针对三江平原退耕还湿实证研究结果显示，适当提高R可促进退耕推行力度，提高F_1、F_2并建立损害责任追究制有益于合作长久；退耕还湿在各效益已逐渐突显，收到一定成效，整体处于一般以上可观状态。但具体到各效益，出现参差不齐，部分方面并没收到预想效果，如C4、C13、C7、C8仍需要局部改善，提高本地着力点和民众参与率，加大湿地宣传及教育活动，以协调提升。

(3)实证分析表明，本文的博弈模型和综合评价体系一方面可以对退耕还湿直接参与者行为评判及提供参考，为优化政府和农户选择提供保障。另一方面又能从定性问题中量化指标，计算出经济、社会、生态及综合效益的定量化排名，可用于改善退耕还湿方向，进而促进湿地保护与修复的优化发展。因此，本文所建立的博弈和AHP-Fuzzy评价模型是可行的，可为湿地保护和发展提供技术参考。

参考文献

陈颖，张明祥，2012. 中国湿地退化状况评价指标体系研究[J].林业资源管理，(2)：116－120.

崔丽娟，张晓栋，张曼胤，2017. 中国湿地保护与管理的任务与展望-对《湿地保护修复制度方案》的解读[J].环境保护，2(28)：13－17.

杜栋，庞庆华，2005. 现代综合评价方法与案例精选[M].北京：清华大学出版社，9－33.

冯琳，徐建英，邸敬涵，2013. 三峡生态屏障区农户退耕受偿意愿的调查分析[J]. 中国环境科学，33(5)：938－944.

何兴元，贾明明，王宗明，任春颖，郑海峰，郭跃东，张新厚，辛晓平，2017. 基于遥感的三江平原湿地保护工程成效初步评估[J].中国科学院院刊，32(01)：3－10.

骆林川，杨德礼，马军，2008. 城市湿地公园评价体系研究[J].当代经济管理，(9)：49－54.

牛振国，张海英，王显威，等，2012. 1978－2008中国湿地类型变化[J].中国科学，57(16)：1400－1411.

齐力，2016. 政府与农户博弈视角下退耕还湿生态补偿研究——以黑龙江三江湿地自然保护区为例[J]. 求索，(08)：100－103.

邵琛霞，2013. 美国缓解湿地流失立法变迁及其启示——以损害补偿为中心[J].云南大学学报(法学版)，(1)：152－157.

孙兆明，胡绪千，2015. 蓝色经济区沿海湿地损失补偿的博弈分析[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版)，(01)：38－43.

唐小平，王志臣，张阳武，周天元，2013. 全国湿地资源调查技术体系设计及结果分析[J].林业资源管理，(06)：62－69.

佟光霁，张路路，闫鹏飞，郑德胜，2019. "绿水青山"建设时代退耕还湿问题博弈分析[J].林业经济问题，39(02)：128－134.

王辉，宋长春，2019. 三江平原湿地区域生态风险评价研究[J].地理科学进展，38(06)：872－882.

谢识予，2001. 经济博弈论[M].上海：复旦大学出版社.

徐慧娴，李锋民，卢伦，伍淼，2016. 人工湿地综合评价指标体系[J].中国海洋大学学报(自然科学版)，46(10)：106－115.

尹炀，李晟铭，郑恺俊，刘吉平，2018. 洪河国家级自然保护区湿地保护的有效性评价[J].湿地科学，16(06)：723－728.

俞小明，石纯，陈春来，魏文彪，2006. 河口滨海湿地评价指标体系研究[J].国土与自然资源研究，(2)：42－44.

朱锦，朱卫红，金日，张达，于瑶，2019. 中国图们江流域湿地生态系统健康评价研究[J].湿地科学，17(03)：344－351.

朱巧楠，李文国，2016. 论国外经验对我国湿地保护的启示[J].农业经济，(8)：113－114.

AN S，LI H，GUAN B，et al，2017. China′s natural Wetlands：past problem，current status，and future challenges[J]. Ambio A Journal of the Human Enviroment，36(4)：335－342.

JOHN W，SONDS L，1997. Development of a British wetland strategy[J].Marine and freshwater ecosystems，(7)：223－238.

L.Zeng，G.Q.Chen，2011. Ecological degradation and hydraulic dispersion of contaminant in wetland[J]. Ecological Modelling，222(2)：293－300.

(责任编辑 张俊友 郑金秀)

Necessity and Effect of Returning Farmland to Wetland: An Analysis Based on Game Theory and Fuzzy Evaluation

ZHANG Lu-lu[1], YAN Peng-fei[2]

(1.School of Mathematics and Statistics, Ankang University, Ankang 725000, P.R.China;
2.Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin 150000, P.R.China)

Abstract: Returning farmland to wetland is required, both to build an ecological civilization and to meet the demand of people for a beautiful environment. In recent years, implementing the "returning farmland to wetland" policy has buffered the reduction of wetland area and promoted recovery of wetland function. In order to better promote this policy, we analyzed the necessity and effectiveness of returning farmland to wetland based on game theory and fuzzy evaluation. A game using a replicator dynamic framework to model evolution and prestige-biased learning was developed with the government and farmers as players. Participant strategies evolved over repeated rounds of the game and an optimal strategy for the group was eventually selected. The Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) model used to evaluate outcomes was based on 20 wetland indices representing economic, social and ecological benefits. Sanjiang Plain wetland was selected as the research object, and the fuzzy AHP model was used to evaluate the benefits of policy implementation. The government and farmers were able to reach an Evolutionarily Stable Strategy (ESS) through learning and making adjustments as they played round after round of the game. Eventually the optimal equilibrium strategy, using a combination of compensation (carrots) and punishment (sticks), was attained by a high proportion of the participants. The results of the game indicated that returning farmland to wetland was necessary. The accrual of economic, social and ecological benefits, according to the fuzzy AHP model, showed that the maximum membership of each benefit was 3, 4, and 3, respectively, and the maximum membership of the comprehensive benefit was 3. The increase in social benefits after returning farmland to wetland was significant and began to accrue immediately. The economic and ecological benefits were moderate because these benefits accrue over extended periods of time. Overall, the prospect is good for returning farmland to wetland and the policy could be effective. To increase the chances for effective policy implementation, we offer three recommendations: (1) increase the level of compensation and the severity of punishment, (2) establish a profit-loss accounting system to promote long-term cooperation, and (3) promote the development of social benefits, such as recreation/education facilities at newly recovered wetlands. The methods developed in this study, the replicator dynamic game with fuzzy AHP evaluation of benefits, have excellent potential for objectively and effectively implementing the policy of returning farmland to wetland.

Key words: farmland-to-wetland conversion; necessity; effectiveness; game theory; fuzzy APH evaluation