

基于生态复杂性的湿地生态系统健康评价 ——以石家庄地区滹沱河岗黄段为例

赵旭阳¹ 高占国² 韩晨霞¹ 刘浩杰¹ 杨彬云³

(1. 石家庄学院资源与环境系, 石家庄 050035; 2. 宁波市环境监测中心, 宁波 315000;
3. 河北省气象局气象科学研究所生态环境开放实验室, 石家庄 050016)

摘 要 湿地生态系统是一个非常复杂的组织系统, 具有整体性、生态功能、服务功能、自我维持和调控功能。本研究在生态复杂性理论的基础上, 结合河北省石家庄地区的滹沱河岗黄段湿地的特点, 从系统结构、系统状态、系统结构功能和系统协调度四个方面建立湿地生态系统健康诊断的评价体系及健康分级标准, 并用模糊综合评判模型对滹沱河岗黄段湿地的健康状况进行了综合评价。评价结果显示, 该湿地系统健康指数为 0.619, 处于亚健康状态。

关 键 词 生态系统; 生态复杂性; 滹沱河; 湿地; 健康评价

生态系统健康研究是 20 世纪 80 年代国际学术界出现的新兴研究领域, 它涉及到自然系统、社会经济、人类活动等领域, 健康的生态系统对于维持人类健康, 促进社会经济的发展, 实现区域可持续发展具有重要意义。

1988 年, 加拿大学者 Schaeffer 和 Rapport 首次提出生态系统健康的概念, 论述了生态系统健康的内涵和定义; Kumar H L 的超级系统理论研究认为“湿地生态系统健康是指系统内的物质循环和能量流动未受到损害, 关键生态组分和有机组织被保存完整且缺乏疾病, 对长期或突发的自然或人为扰动能保持着弹性和稳定性, 整体功能表现出多样性、复杂性和活力”^[1,2]。国内外学者分别对森林、农田、河流、湖泊、沼泽、海岸和海洋等不同类型的生态系统进行了健康诊断研究。90 年代以来, 美国、欧洲、澳大利亚及我国开始对生态系统健康进行深入研究, 美国等很多国家展开了“河流健康监测计划”研究, 河流、湖泊等成为湿地生态系统健康评价的热点。对于生态系统健康评价, 首要的是评价标准问题, Schaeffer 等探讨了生态系统的健康度量问题, Costanza 等提出一个基于系统层次的生态健康指数(Health Index, HI) 活力、组织水平、系统恢复力^[7]。国内学者崔保山、杨志峰从生态特征指标、功能整

合性指标、社会政治环境三个一级指标, 28 个二级指标对三江平原挠力河流域湿地进行了研究^[10]。汪朝辉等认为, 湿地生态系统健康是指生态系统随着时间的进程有活力并且能维持其组织结构及自主性, 在外界胁迫下容易恢复; 评估湿地生态系统健康的标准选择活力、恢复力、组织、生态系统服务功能的维持、管理选择、外部输入减少、对邻近系统的影响及人类健康影响等 8 个方面^[11]。马世骏等提出“社会-经济-自然复合生态系统模型(SENCE)”。蒋卫国等以压力、状态、响应为模型对辽河三角洲湿地进行生态系统健康评价^[12]。

由于生态系统的复杂性、非线性, 目前生态系统健康尚无完整统一的概念; 不同景观类型、不同尺度的差异使得生态系统健康诊断研究无统一的指标体系, 研究尚处于起步阶段; 目前的研究大多集中在大尺度自然景观上, 研究较多的是森林、沼泽、湖泊、河流等, 而对于人类活动影响深刻的小尺度水库型湿地生态系统健康评价还不多。过去对湿地生态系统健康评价主要集中在化学和生物指标上, 近年来, 在指标体系构建上, 主要从生态系统、流域、景观生态的角度建立湿地生态系统健康评价指标^[3-6], 注重自然要素, 忽略社会经济与人文因素, 且忽略各要素之间的协调性研究。

收稿日期: 2008-02; 修订日期: 2008-05.

基金项目: 河北省自然科学基金重点项目(D200500537); 河北省生态环境实验室开放基金项目(M-0609)。

作者简介: 赵旭阳(1959-), 男, 河北人, 教授, 主要研究方向: 生态环境与区域可持续发展。E-mail: 1og2008@163.com

滹沱河岗黄段湿地是石家庄市重要的水源保护地,受社会经济活动强烈影响的复杂生态系统。本文以滹沱河岗黄段湿地为研究对象,借鉴相关学者的研究成果,通过调查、走访专家及从系统结构、系统状态、系统构功能和系统协调度四个方面构建了湿地生态系统健康诊断的评价体系以及健康分级标准,并用模糊综合评判模型对滹沱河岗黄段湿地的健康状况进行了综合评价,确定研究区湿地生态系统健康指数,以期维护该地区湿地生态系统功能、为湿地的保护、利用和管理提供科学依据。

1 滹沱河湿地生态系统概况

滹沱河岗黄段湿地位于太行山中段,石家庄西部平山县境内,由岗南、黄壁庄两座水库及其滹沱河干流及其支流冶河下游所构成,面积 19549.98 hm^2 ,地理位置为 $113^{\circ}45' \text{E} \sim 114^{\circ}15' \text{E}$, $38^{\circ}09' \text{N} \sim 38^{\circ}30' \text{N}$ (图 1)。研究区由岗南、黄壁庄两座大型水库以及滹沱河干流及其支流冶河下游所构成,面积 19549.98 hm^2 [17]。按照联合国有关湿地的划分类型,滹沱河岗黄段湿地等分别由永久性河流、湖泊以及

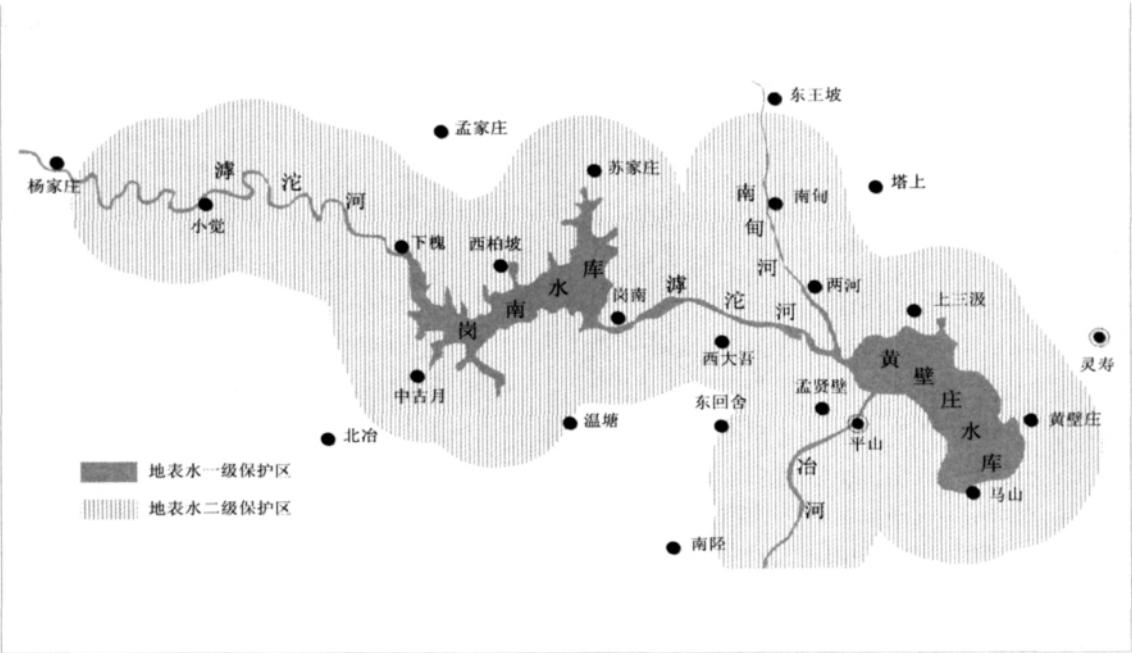


图 1 研究区范围示意图

Fig.1 location of the study area

人工蓄水区及池塘、农用泛洪湿地等内陆湿地所构成。这里有植物 126 科 552 种、鸟类 51 科 264 种、鱼类 30 种、浮游动物 4 科 26 种 [17]。

研究区包括平山县岗黄段 10 个乡镇、灵寿县牛城乡、鹿泉市马山乡和黄壁庄镇以及井陉县东北部孙庄乡冶河下游段,涉及人口近 30 万。研究区开发历史悠久,人口稠密,人均耕地面积 0.076 hm^2 ,人均国内生产总值 8179 元,农民人均纯收入 2800 元/年 [13,16]。研究区经济结构以农业为主,工业以采矿业、初级加工为主。近年来,生态旅游业和乡村旅游业发展比较快,处于粗放经营方式。该区域已经被列为一级、二级水源保护区,但由于这里土地资源、水资源矛盾十分突出,尤其是因岗南水库和黄壁庄水库修建移民导致该地区人地矛盾十分突出,人们

不得不通过依靠扩大耕地面积来增加收入,主要依靠种植业、渔业、副业及服务业等生存,为了发展经济,对湿地土地、水资源的过度开发,湿地面积在逐步缩小,湿地生态系统服务功能大大退化,生态系统健康受到严重威胁 [18]。

2 评价指标体系与模型的建立

2.1 评价指标体系

滹沱河湿地属于典型的水库型湿地,是自然与人工相结合的产物,在我国北方地区具有一定的普遍性,又是一种特殊的复杂生态系统,社会经济系统对自然生态系统强烈的胁迫与压力,而自然生态系统又表现出明显的响应与反馈机制,形成相互作

用、相互依存、错综复杂的复合关系，即社会压力——系统响应——复合状态；在水库型湿地这样的复合生态系统中，人对自然系统的依赖程度非常高，人对自然系统的干扰程度也十分强烈，人——自然生态系统——社会经济系统之间的关系错综复杂，是较自然生态系统更加复杂的复合生态系统(图2)^[5]。这种复合生态系统模型是构建溱沔河湿地生态系统健康评价指标体系的基本架构。

从生态系统复杂性观点出发，一个健康的生态系统不仅具有稳定和可持续的系统结构，具备维持其组织结构、自治及对胁迫的恢复力的良好状态，对于人类活动影响强烈的人——自然交互的复杂系统，除湿地的自然属性外，社会经济指标成为湿地健康状况的重要指标；从复杂系统的角度来看，必须考虑系统各要素之间的协调性，健康的生态系统具备维持其复杂性并满足人类需求的功能。溱沔河湿地作为水库型湿地除了对维护生态环境、保护生物多样性具有重要意义外，它作为石家庄市重要饮用和农业灌溉用水水源地的功能不可忽视。所以，我们根据溱沔河湿地的实际特点，在构建指标体系时突出了社会经济因素对湿地施加的影响。评价指标体系如下(表1)：

1- 系统结构：用于说明生态系统的复杂性、稳定性，根据系统组分间相互作用的多样性及数量来评价，包括景观结构、产业结构、农业结构、复种指数、群落结构。

(1) 景观结构：指景观组成单元的类型、多样性及其空间关系。采用景观多样性指数来反映景观结构的复杂程度。

(2) 产业结构：指各产业的构成及各产业之间的联系和比例关系合理与否。

(3) 农业结构：主要指农业(种植业)、林业、畜牧业、渔业等产业的构成比例。

(4) 复种指数：反映耕地利用程度的指标。

(5) 群落结构：从群落水平尺度来反映湿地系统的健康状态，并以群落结构的复杂性、自身稳定性来衡量，采用定性描述的方法。

2- 系统状态：说明系统的(恢复力)免疫力，反

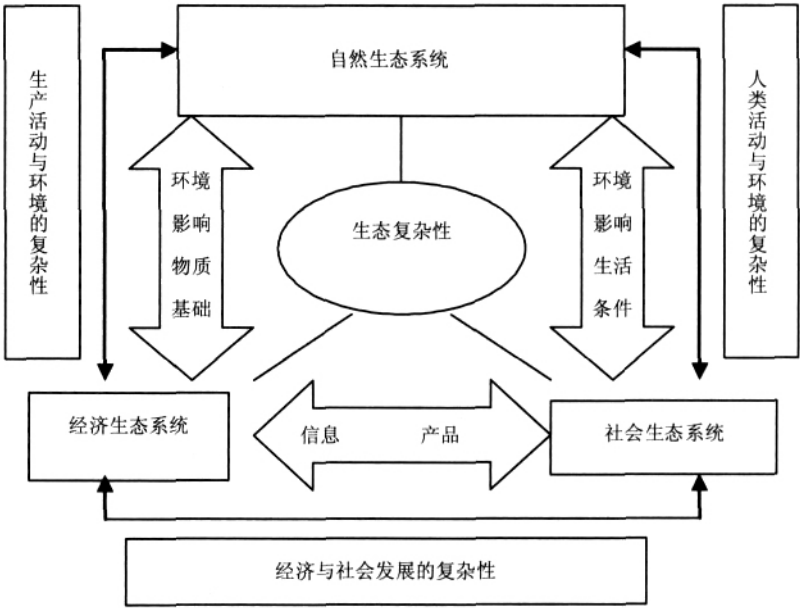


图2 溱沔河湿地复杂生态系统的构成及相互关系^[5]
Fig.2 Hutuohe wetlands utilization of the complexity form and relationship interrelation^[15]

映健康状况，是指系统在胁迫下维持其结构和功能的能力。包括自然灾害、水土流失、水质状况、栖息地状况、物种多样性、植被覆盖率等。

(1) 自然灾害：反映湿地生态系统的外部受胁迫状况，本研究通过旱涝灾害发生频次及湿地病虫害的发生频度、破坏力度来说明。

(2) 水土流失：以水土流失面积/土地总面积来表示。

(3) 水质状况：反映湿地水质状况，从河流水质、饮用水水质两方面来衡量湿地系统的水质，以《地表水环境质量标准》(GB3838-2002 Ⅲ类标准)进行水质评价。

(4) 栖息地状况：指野生动物栖息地和育雏地状况，以适宜度和所占总面积比例来表示。

(5) 物种多样性：用湿地生态系统的物种丰富程度以及物种数量及其分布的增减状况来衡量。

(6) 植被覆盖率：从植被覆盖的角度反映湿地生态健康，本研究以森林覆盖率来衡量，森林覆盖率(%)=森林面积/土地总面积×100%。

3- 系统功能：说明系统(活力)功能，包括水量稳定性、水质净化功能、土地生产力、水产品生产、观光旅游功能等；

(1) 水量稳定性：反映湿地生态系统维持自身水量稳定的水平，以湿地水量的年变化来表示。

②水质净化功能 :以湿地植被对污水净化率大小来衡量。

③洪水调控功能 :以防洪附加费的增加率来表示。

④土地生产力 :从农业生产年收获量增长情况来衡量。

⑤水产品生产 :从水产品年收获量增长情况来衡量。

⑥观光旅游功能 :以景观美学价值的高低及湿地旅游活动和娱乐日的增减情况来衡量 ,近期以来不断开发有价值的旅游景观 ,开展的湿地旅游活动和娱乐日有所增加。

4- 系统协调度 :主要是社会经济因子 ,说明系统行为的影响 ,包括人均 GDP、人口密度、人口健康状况、人口素质、环境意识、环境行为、环境制度、环保投资指数、废水处理指数。

(1)人均纯收入 :衡量研究区人民生活水平 ,以农民人均纯收入(元/ 年) 来统计。

②人口密度 :反映湿地系统所承受的压力。

③人口健康 :以死亡率来表示。

④人口素质 :以初中以上文化程度占总人口的百分比来表示。

⑤公众环境意识 :通过抽样调查来反映。

⑥环境行为 :指湿地周边人民对湿地保护或

破坏的具体行为情况。

(7)环境制度 :从相关法律法规的制定与贯彻情况来反映 ,主要采取定性描述。

⑧环保投资指数 :是一项湿地生态系统的社会恢复力指标 ,以环保投入占 GDP 比重(%)来表示。

⑨废水处理指数 :是一项湿地系统的社会恢复力指标 ,用城市生活污水处理率(%) 表示。

湿地健康诊断过程中 ,综合参考了湿地生态系统的管理目标、相关属性值的临界水平、国内其他区域相关研究的划分标准^[10]。最终把诊断指标分为很健康、健康、亚健康、疾病 4 个等级 ,分级标准详见表 2。

2.2 诊断模型

由于诊断指标体系分亚类指标和单项指标两个层次 ,宜采用二级模糊综合评判模型 ,模型如下 :

$$B=AoR=Ao\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix}=Ao\begin{bmatrix} A_1oR_1 \\ A_2oR_2 \\ A_3oR_3 \end{bmatrix}$$

$$W=Boc^T$$

式中 :A 与 $A_i(i=1, 2, 3)$ 是不同层次上指标的权重向量 ;R 与 R_i 是不同层次上指标的模糊隶属评判矩阵 ;B 与 B_i 是不同层次上的诊断结果 ;W 为湿地生态系统评价的综合分值 ;C 为等级评分行向量 ,

表 1 评价要素及权重

Tab.1 Assessment factor and weight for principal indices

目标层	一级评价指标集合	二级评价指标集合	权重	目标层	一级评价指标集合	二级评价指标集合	权重
系统健康度	U ₁ : 系统结构	U ₁₁ : 景观结构	3.0	系统健康度	U ₃ : 系统功能	U ₃₁ : 水量稳定性	6.0
		U ₁₂ : 产业结构	2.0			U ₃₂ : 水质净化功能	5.0
		U ₁₃ : 农业结构	2.5			U ₃₃ : 洪水调控功能	5.0
		U ₁₄ : 复种指数	1.5			U ₃₅ : 土地生产力	3.0
		U ₁₅ : 群落结构	3.0			U ₃₅ : 水产品生产	3.0
		U ₂₁ : 自然灾害	4.0			U ₃₆ : 观光旅游功能	4.0
		U ₂₂ : 水土流失	3.0			U ₄₁ : 人均纯收入	3.0
	U ₂ : 系统状态	U ₂₃ : 水质状况	9.0		U ₄ : 系统协调度	U ₄₂ : 人口密度	3.0
		U ₂₄ : 栖息面积	3.0			U ₄₃ : 人口健康状况	3.0
		地状况水量	3.0			U ₄₄ : 居民素质	3.0
		U ₂₅ : 物种多样性	7.0			U ₄₅ : 公众环境意识	3.0
						U ₄₆ : 环境行为	3.0
		U ₂₆ : 植被覆盖率	7.0			U ₄₇ : 环境制度	2.0
						U ₄₈ : 环保投资指数	3.0
						U ₄₉ : 废水处理指数	3.0

表 2 滹沱河湿地生态系统健康诊断评价指标及其分级标准

Table 2 Hutuohet wetlands ecosystem herlth factors of assessment and criterion of classification

亚类指标	单项指标	很健康	健康	亚健康	疾病	
U ₁ : 系统结构	U ₁₁ : 景观结构	景观类型丰富	景观类型较丰富	景观类型少	景观类型单一	
	U ₁₂ : 产业结构	第三产业所占比重>70%	第三产业所占比重 40~70%	第三产业所占比重 20~40%	第三产业所占比重 <20%	
	U ₁₃ : 农业结构	合理	较合理	不太合理	极不合理	
	U ₁₄ : 复种指数	<60%	60~100%	100~150%	>150%	
	U ₁₅ : 群落结构	复杂	较复杂	简单	极简单	
U ₂ : 系统状态	U ₂₁ : 自然灾害	系统抗胁迫能力强, 基本不受洪涝灾害、病虫害等灾害的影响	有一定的抗胁迫能力, 洪涝灾害、病虫害等不构成灾害性破坏	时常发生洪涝灾害、病虫害等灾害, 局部造成灾害性破坏	大范围灾害频繁发生, 对系统破坏严重	
	U ₂₂ : 水土流失	水土流失面积占总面积的 0~10%	水土流失面积占总面积的 10~20%	水土流失面积占总面积的 20~40%	水土流失占总面积的 40%以上	
	U ₂₃ : 水质状况	国家相应 I 类标准	国家 II~III 类相应类标准	国家相应 IV 类标准	V 类或劣 V 类	
	U ₂₄ : 栖息地状况	适宜度 80%以上, 面积 70%以上	适宜度 60~80%, 面积 50~70%	适宜度 30~60%, 面积 20~50%	适宜度 30%以下, 面积 20%以下	
	U ₂₅ : 物种多样性	物种种类丰富, 物种数量、分布相对稳定递增	物种种类较丰富, 物种数量、分布基本不变	物种种类较少, 数量、分布微呈递减趋势	物种种类贫乏, 数量不断减少甚至绝迹, 分布面积明显萎缩	
	U ₂₆ : 植被覆盖率	森林覆盖率>50%	森林覆盖率 30%~50 %	森林覆盖率为 15%~30 %	森林覆盖率 15 %	
	U ₃ : 系统功能	U ₃₁ : 水量稳定性	好	较好	一般	差
U ₃ : 系统功能	U ₃₂ : 水质净化功能	净化率>85 %	净化率在 70 %~85%	净化率一般在 50%~70 %	净化率<50 %	
	U ₃₃ : 洪水调控功能	调控能力强, 基本无附加工程费用	筑堤后, 有较强的调控能力	没有明显的调控能力, 工程附加费大	不能调控洪水	
	U ₃₄ : 土地生产力	年收获量增加, 年增长率>5 %	年收获量增加, 年增长率<5 %	年收获量保持稳定	年收获量下降	
	U ₃₅ : 水产品生产功能	年收获量增加, 年增长率>10 %	年收获量增加, 年增长率<10 %	年收获量保持稳定	年收获量下降	
	U ₃₆ : 观光旅游功能	景观美学价值高, 观光旅游日较多	美学价值一般, 在特定时段内有观光旅游日	美学价值不高, 观光旅游日较少	美学价值极小, 没有发展旅游活动	
	U ₄ : 系统协调度	U ₄₁ : 人均纯收入	>4000	3000~4000	2000~3000	<2000
	U ₄₂ : 人口密度	1 人/ km ²	1~25 人/ km ²	25~100 人/ km ²	>100 人/ km ²	
U ₄ : 系统协调度	U ₄₃ : 人口健康	死亡率<2‰	2~5‰	5~10‰	10‰	
	U ₄₄ : 居民素质	初中以上文化程度占 90%以上	初中以上文化程度占 60~90%	初中以上文化程度占 30~60%	初中以上文化程度占 30%以下	
	U ₄₅ : 环境意识	强	较强	一般	差	
	U ₄₆ : 环境行为	积极参与湿地的保护	保护积极性一般, 但无破坏	保护积极性一般, 有轻微破坏	对湿地时有破坏行为	
	U ₄₇ : 环境制度	政策法规健全, 并积极贯彻实施	政策法规较健全, 贯彻实施较认真	政策法规不太健全, 贯彻实施不认真, 简单应付	无相关政策法规, 无执法人员	
	U ₄₈ : 环保投资指数	>2.5%	1.5~2.5%	1.0~1.5%	<1.0%	
	U ₄₉ : 废水处理指数	>90%	70%~90%	50%~70%	<50%	

注:表中评价指标体系中部分指标与分级标准参考了杨志峰、崔宝山等专家以往的数据。

将 W 和 C 与评价标准值进行对照来衡量对象的健康状况。本文的等级评分标准定为:很健康为 1,健康为 0.75,亚健康为 0.5,疾病为 0.25。

在湿地健康诊断过程中,权重是至关重要的。通过征求相关专业专家的意见,利用上述模型计算得到如下归一权重向量:

$$A=(0.120,0.360,0.260,0.260)$$
$$A_1=(0.250, 0.167, 0.208, 0.125, 0.250)$$

2.3 诊断指标权重

$$\begin{aligned} A_2 &= (0.111, 0.084, 0.250, 0.167, 0.194, 0.194) \\ A_3 &= (0.231, 0.192, 0.192, 0.115, 0.115, 0.155) \\ A_4 &= (0.115, 0.115, 0.115, 0.115, 0.115, 0.115, \\ &\quad 0.077, 0.117, 0.116) \end{aligned}$$

式中：A 是亚类指标间的权重向量 A_i ($i=1, 2, 3$) 是第 i 亚类指标内部的权重向量。

3 结果与分析

3.1 评价结果

通过构建各子系统判断矩阵并采用经过改进的加权平均型评判模型 即

$$\begin{aligned} B_j &= \sum_{i=1}^n (A_i * r_{ij}) \quad (j=1, 2, \dots, m), \text{计算结果如下：} \\ B_1 &= A_1 * R_1 = (0.115, 0.333, 0.440, 0.113) \\ B_2 &= A_2 * R_2 = (0.049, 0.288, 0.505, 0.158) \\ B_3 &= A_3 * R_3 = (0.259, 0.365, 0.327, 0.048) \\ B_4 &= A_4 * R_4 = (0.110, 0.447, 0.250, 0.193) \\ B &= A * R = A * (B_1, B_2, B_3)^T \\ &= (0.127, 0.355, 0.385, 0.133) \end{aligned}$$

从诊断结果看，溇沱河湿地生态系统很健康、健康、亚健康 and 疾病的隶属度分别为 0.127、0.355、0.385、0.133，整个系统健康状态的隶属度为 0.619，整体处于亚健康状态 (图 3)。

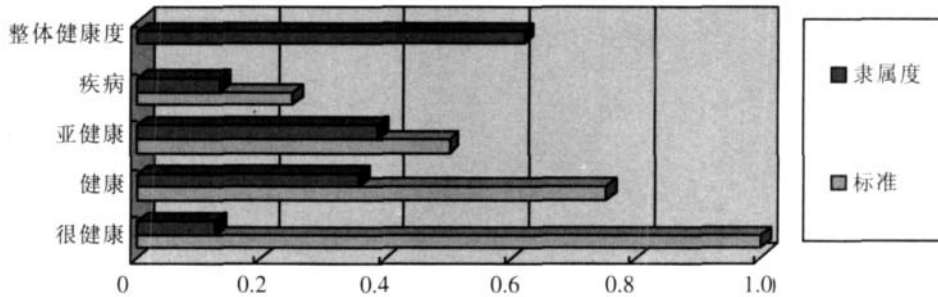


图 3 溇沱河湿地生态系统健康指数
Fig.3 Hutuohe wetlands ecosystem health index

3.2 结果分析

根据健康诊断标准衡量，研究区湿地健康状况属于亚健康状态。在评价系统各单项指标中，系统结构、系统状态不理想，偏亚健康；系统功能、系统和谐度偏健康，但部分指标为亚健康甚至疾病状况。系统协调度比较低，说明人类社会经济活动对湿地生态系统胁迫，对湿地资源造成很大的压力。

在生态系统结构中，产业结构、复种指数、群落结构三项为亚健康状态，影响湿地生态的整体功能及健康状况，其主要原因是由于湿地的过度开发造成的；在生态系统状态中，水土流失、自然灾害、水质状况、物种多样性、植被覆盖率为疾病状态，该地区生态系统功能整体较好，其中土地生产力、水产品生产功能为很健康状况，系统功能指数相对较高，说明系统在一种极其不稳定的状态下，超负荷运行。研究区在人们肆意的对资源环境进行索取的同时，人们生活质量并没有好转，人均纯收入 2850 元，并且人口密度达 780 人/km²，已经超过湿地系统所能承受的限度，这种状况持续下去，必然造成系

统健康状况的进一步恶化；生态系统和谐中，人均纯收入为亚健康、人口密度、人口健康为疾病状态。从指标的等级隶属情况判断，制约湿地健康的疾病因子主要表现为：湿地复种指数高、水土流失较严重、人口密度大，导致上述疾病因子存在的既有湿地系统自身的生态过程，也有人类自身的因素。

4 结论

对于一个健康的水库型人工湿地生态系统不仅要具有稳定的系统结构，具备维持其组织结构、自治及对胁迫的恢复力的良好状态，而且要可持续地满足人类需求的功能以及系统各要素的协调性。溇沱河岗黄段湿地生态系统健康状态整体处于亚健康状态，要维护该地区湿地生态功能的良性循环与协调健康发展。第一，协调人与环境的关系，处理好当地居民生存与经济发展的关系，引导当地农民调整产业结构，发展高效生态农业，增强湿地生态系统协调性。第二，植树造林，控制水土流失，提高

植被覆盖率;严格湿地开发,逐步退出在水库淹没区的耕作。近期内在水库淹没区要严格控制化肥、农药的使用,降低水体的富营养化程度。第三,彻底关闭当地污染企业,控制周边工厂和开矿所造成的水体污染,控制点源、面源污染。

总之,目前对于湿地生态系统健康评价以天然河流和湖泊较多,而水库型人工湿地的健康评价不多;对评价指标体系过去主要集中在化学和生物指标上,近年来,主要从生态系统、流域、景观生态的角度建立湿地生态系统健康评价指标,以自然要素为主,忽略社会经济要素以及各要素的评价,而且还缺少统一的评价指标体系;对于湿地景观生态系统健康评价以不同景观之间的健康状况排序较多,而就整个湿地景观进行健康评价的研究较少;另外,对于湿地生态系统健康评价的研究中,在系统各要素的协调度方面,人类活动的影响程度还难以给出具体的测度,这也是目前研究的难点。

参考文献

- [1] Allan J D, Johnson L B. Catchment scale analysis of aquatic ecosystems. *Fresh Bid*, 1997, 37:107~111.
- [2] Cai Q H, Wu G, Liu J K. Watershed ecology: A new approach for research and protection of aquatic biodiversity. *Sci Technol Rev*, 1997, (5): 24~26.
- [3] Administrative offices of the inshore monitoring(USEPA). Environmental Monitoring characteristic of estuary.Beijing: Ocean Press,1997, 112~143.
- [4] Zhang X P, Yang Q K, Li R. Diagnostic Indicators of Catchment Health – A New Method of Evaluation of Ecological Environment.Bulletin of Soiland Water Conservation, 1998, 18(4):57~62.
- [5] Rapport D J, et al. Evaluating landscape health:integrating societal goals and biophysical process. *Journal of Environmental Management*,1998, 53:1~15.
- [6] Rapport D J. Evolution of indicators Ecosystem Health.In: Daniel, H.eds. *Ecological Indicators*. Barking: Elsevier Science Publishers Ltd, 1992, 121~134.
- [7] Costanza R, Norton B G, Haskell BD. *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management*. Washington DC: Island Press, 1992.
- [8] 崔保山,杨志峰. 湿地生态系统健康研究进展. *生态学杂志*, 2001, 3 (20): 31~36.
- [9] Schofield N J, Davies PE. Measuring the health of our rivers. *Water*, 1996, 5/6:39~43.
- [10] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系——方法、案例. *生态学报*, 2002, 8 (22): 1231~1239.
- [11] 汪朝辉 等. 湿地生态系统健康评估指标体系研究. *国土与自然资源研究*, 2003 4 :63~64.
- [12] 蒋卫国 等. 辽河三角洲湿地生态系统健康评价. *生态学报* 2005 3 (25):408~414.
- [13] 平山县志. 平山县土地利用现状, 2000.
- [14] 赵奔,李月辉. 实用景观生态学. 科学出版社, 2001.
- [15] 赵旭阳, 韩晨霞. 滹沱河岗黄段湿地生态系统复杂性分析. *河北师范大学学报*, 2007, 5 :691~695.
- [16] 平山县统计年鉴, 2004.
- [17] 许伟,赵士舜.石家庄地区水利志. 河北人民出版社,2000.

Evaluation of Wetland Ecosystem Health Based on the Ecological Complexity ——A Case Study of the Wetland of Hutuo River from Gangnan Reservoir to Huangbizhuang Reservoir, Shijizhuang, China

ZHAO Xuyang¹, GAO Zhanguo², HAN Chenxia¹, LIU Haojie¹, YANG Binyun³

(1.Department of Resources & Environment ,Shijiazhuang College ,Shijiazhuang 050035, China ; 2. Center for Environment Protection of Ningbo,Ningbo 315012, China ; 3. Meteorology Institute of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract:The wetland ecosystem is very complex, which has many characteristics and functions, such as integration, ecology, service, self- maintenance and autoregulation. Based on the ecological complexity theory, the paper analyses the wetland characteristics of Hutuo river from Gangnan reservoir to Huangbizhuang reservoir, and constructs the evaluation system and the standards of the health ranks to diagnose and evaluate the wetland ecosystem health from four aspects: structure, state, function and coordination with the fuzzy comprehensive evaluation model. The result shows that the wetland is in sub- health.

Key words: ecosystem; ecological complexity; Hutuo river; wetland; health evaluation