

卤阳湖盐碱治理区农业生态系统健康评价

潘茸花¹, 李新平², 李素俭³, 韩 静², 刘敬美¹

(1. 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100

3. 西北农林科技大学生命科学学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 从生态系统活力、组织结构、恢复力三个方面构建农业生态系统健康评价指标体系, 通过层次分析法 (AHP) 确定指标权重, 采用综合指数法计算卤阳湖地区农业生态系统健康指数并结合评价标准进行分析。结果表明: 2012 年卤阳湖盐碱治理区农业生态系统健康综合评价值为 5.772, 介于 II 级和 III 级之间, 偏亚健康状态, 生态系统活力、组织结构和恢复力都存在不同程度的问题。经过分析发现制约卤阳湖盐碱治理区农业发展的因素主要有 人口密集且整体素质较低、土地资源紧张、水土流失严重、自然资源过度开发、农业产业单一、生产方式落后等。

关键词: 卤阳湖盐碱治理区; 农业生态系统; 指标体系; 生态系统健康评价

中图分类号: X171.4 **文献标志码:** A

Agroecosystem health assessment on the saline-alkali district in Luyang Lake

PAN Rong-hua¹, LI Xin-ping², LI Su-jian³, HAN Jing², LIU Jing-mei¹

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Natural Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: This research established an index system of agroecosystem health assessment by analyzing vigor, organic structure and resilience of the agroecosystem. The index weight was calculated through the analytic hierarchy process (AHP). Finally, comprehensive index method was used to calculate the ecosystem health index and analyze the health level by the evaluation standard. The results showed that in 2012, the agroecosystem health comprehensive evaluation value of Luyang lake saline-alkali district was 5.772, which was between grade II and III (means partial sub-healthy state). There were some problems for each index at different scales. The main factors that restricted the development of agriculture in Luyang lake district included large density and the low overall quality of the population, the lack of land resource, serious soil erosion, over exploitation of natural resources, single agricultural industry and backward production mode.

Keywords: luyang lake saline-alkali district; agroecosystem; ecosystem health assessment; index system

近年来, 由于自然环境变化及人类活动负面影响, 造成生态系统结构和功能上的紊乱, 直接影响农业生产和人类生活^[1]。因此, 生态环境健康状况受到人们的广泛关注, 相应的研究也成为了热点问题^[1-4]。农业生态系统健康 (Agroecosystem health) 是指农业生态系统免受发生“失调综合症”、处理胁迫的状态和满足持续生产农产品的能力^[3], 是农业生态系统的综合特征, 是实现生态农业建设目标的重要保障^[4]。国内外学者在不同尺度上, 选取不同的指标体系和方法对各级区域农业生态系统健康状况进行了评价^[1-8]。

卤阳湖盐碱治理区位于渭河北岸, 地形复杂, 地处暖温带, 区内以农业为主。明朝末年卤阳湖退湖成滩以来, 在当地特殊的地势、气候和水质以及人类活动长期影响下, 卤阳湖周边区域土壤盐碱化严重, 土壤肥力较低, 农作物产量不高, 自然灾害频繁; 近年来, 由于人们对土地掠夺式开采和资源的不合理利用, 导致该区农业生态系统状况更加恶化, 严重制

收稿日期: 2015-06-16
基金项目: 亚洲发展银行项目“渭南卤阳湖盐碱地综合治理项目”
作者简介: 潘茸花 (1990—), 女, 陕西渭南人, 硕士研究生, 研究方向为农业生态学评价。E-mail: 892351811@qq.com。
通信作者: 李新平 (1961—), 男, 陕西武功人, 硕士, 副教授, 主要从事土壤与生态研究。E-mail: xinpinglei79@sina.com。

约了当地农业的可持续发展。目前,不同学者在不同领域对卤阳湖地区生态环境进行了研究^[9-13],但都是从单一领域选取指标,并没有对当地生态系统从经济-社会-自然进行全面地评价研究。研究渭南卤阳湖盐碱地区的生态系统健康状态具有重要的理论和实践意义,有助于对当地生态系统现状进行监测和分析,以便发现当地农业发展中存在的问题,从而提出适合当地发展的相应策略,促使当地农业生态系统健康发展。

1 研究区概况

卤阳湖盐碱地综合治理区位于陕西省关中平原东部渭南市蒲城、富平两县境内。地理坐标 E109°07'~109°51',N34°41'~35°01',属关中平原到黄土高原的过渡地带,区内属暖温带大陆性半干旱季风气候,多年平均气温为 14.5℃,四季分明。多年平均降水量 523 mm,蒸发量 1 726.4 mm,4、5 月份蒸发最强烈,日照 2 243 h,无霜期 158~220 d,年平均相对湿度 64%,最大冻土深度 32 cm。本区域基本是农田生态系统,植被类型单一,天然植被很少,农田作物在评价区植被类型中所占比重最大。其中,农田栽培植被中又以小麦、玉米、大豆为主,油菜、花生和棉花等经济作物为辅。区内涉及蒲城、富平两县的 10 乡镇 144 个行政村,区内居住人口 25.19 万人,主要为农村人口。由于卤阳湖地区土壤盐碱化严重,雨、洪、旱、涝等自然灾害频繁侵扰,农业生产水平低下,农民人均收入较低,是国家级重点贫困地区。

2 研究方法

2.1 评价指标体系

2.1.1 评价指标体系建立原则 农业生态系统健康评价指标的选取直接关系到评价结果的科学性和实用性,因此指标体系的构建至关重要,除客观性、科学性、完整性、有效性的普遍原则外,还应该遵循以下原则^[10-12]:(1) 明确性和易操作性原则;(2) 系统性与层析性相统一原则;(3) 与国内外相关领域衔接原则;(4) 与研究区的尺度大小相适应原则;(5) 简明性与全面性相结合的原则。

2.1.2 指标体系 参考国内有关生态系统健康评价的各种方法^[12-14],结合当地生态环境现状,依据农业生态系统健康评价指标体系构建原则,选取适用指标,利用层次分析法 (Analytical hierarchy process, AHP) 的原理建立 4 个层次的农业生态系统健

康评价指标体系。第 1 层次是目标层,即农业生态系统健康综合指数;第 2 层次是项目层,分别为活力、组织结构、恢复力;第 3 层次是因素层,包括生态生产力、经济生产力、经济结构、稳定性等 7 项;第四层为指标层,由 17 个评价指标构成(图 1)。

2.2 指标权重的确定

由于生态系统健康评价中各个方面和各个指标的重要性和贡献率不一,因而需要确定各指标的权重,本研究采用层次分析法计算并参考专家的意见确定指标的权重,具体步骤如下^[15-17]:

(1) 构建递阶多层次结构模型

根据具体研究目标,依据一定的原则和实际情况选取因子,并确定各因子之间的从属关系,从而划分出含多个层级的结构模型,低层级的因子从属于或影响相邻高层级的某一个因素,同时又支配相邻下层级的部分因子。

(2) 构建判断比较矩阵

这一步的意义在于决策要反复回答问题,具体方法是将同一层级中的各因素和上一层级中某一因素的重要性进行两两成对比较,引用数字 1~9 及其倒数作为标度(包含的意义见表 1)对重要程度给出判断值,形成判断矩阵,记为:

$$A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)^T$$
$$A_i = (a_{ij})_{n \times n} \quad (a_{ij} = A_i/a_j)$$

判断矩阵应具有如下性质:① $a_{ij} = 1/a_{ji} (i \neq j)$;② $a_{ii} = 1$;③ $a_{ij} > 0$ 。

(3) 计算特征值和特征向量(即权重)

本文采用方根法计算各个指标的最大特征值和权重,具体计算方法如下:

① 将初始矩阵 A 的各行元素相乘得到 H_i ,然后将之开 n 次方得到矩阵 B ,记为:

$$B = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_n)^T$$
$$B_i = \sqrt[n]{H_i} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}, (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

② 对向量 B_i 进行归一化处理获得特征向量 W , W_i 即为第 i 个因素相对于某一层相应因素的权重值。

$$W = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$$
$$W_i = \frac{B_k}{\sum_{k=1}^n B_k}, (k = 1, 2, 3, \dots, n)$$

③ 最后计算最大特征值 $\lambda_{\max}$ 公式为:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$$

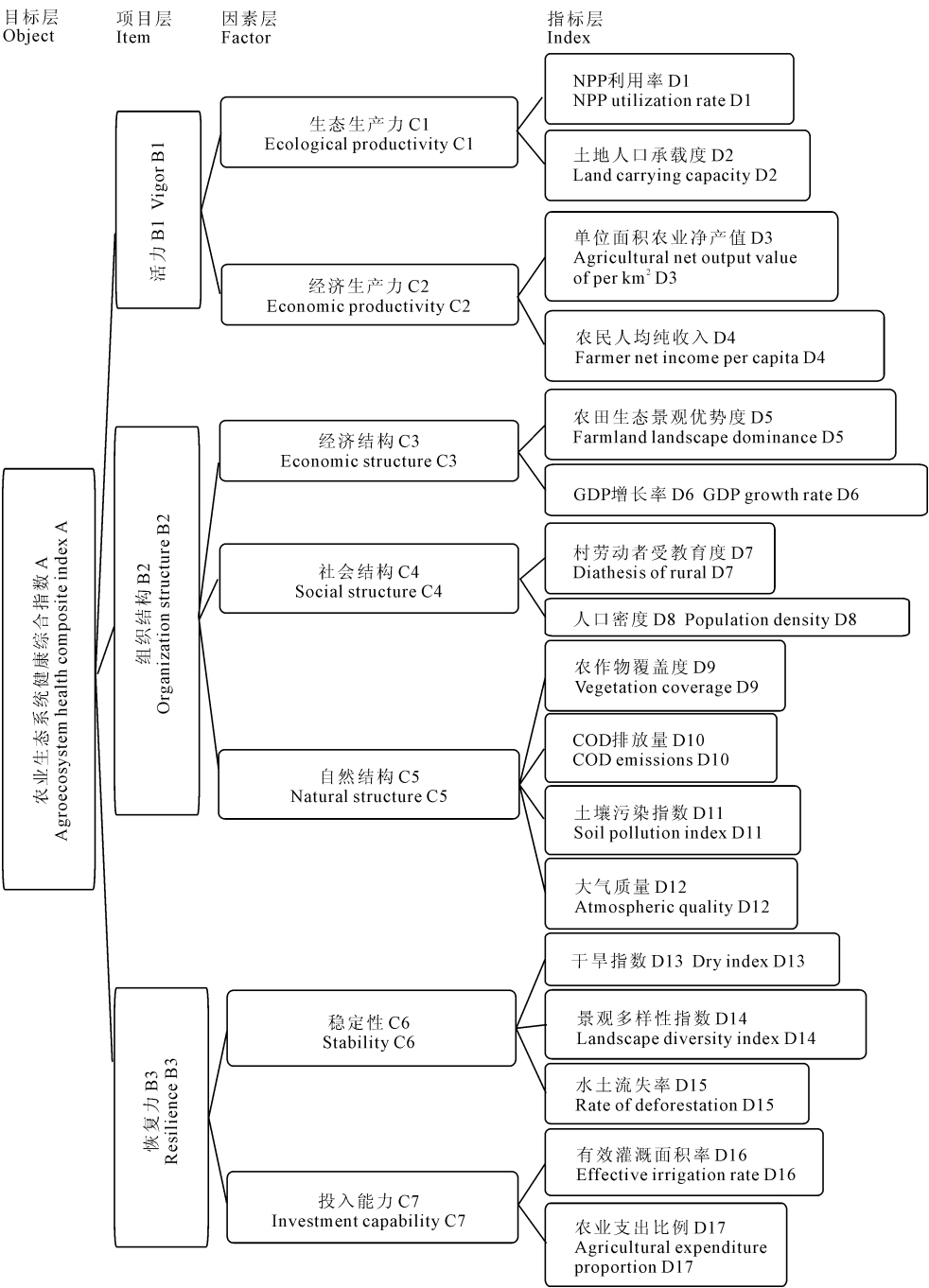


图 1 卤阳湖地区农业生态系统健康评价指标体系

Fig.1 Index system of the agroecosystem health assessment for Luyang Lake saline-alkali district

(4) 一致性检验

AHP 应用过程中, 由于判断矩阵是两两比较, 有可能出现整体判断的不一致。为了避免这种状况的发生, 必须通过 CR 作为检验指标进行一致性检验通过后, 才可以确定权重的正确性。具体方法如下:

① 计算一致性指标

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

式中, CI 为平均随机一致性指标, 此值与矩阵阶数有关。

② 在表 2 中查询一致性指标 RI 。

③ 计算一致性比例, 公式为(检验的标准是: $CR < 0.1$ 时可以认为判断矩阵是可以接受的, 即结果可靠):

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

根据以上层次分析法的步骤和公式计算出各因

子的权重并进行一致性检验,得到卤阳湖地区各因子权重,见表 3。

表 1 9 位标度法
Table 1 Saaty professor's nine scale method

标度 Scale	定义 Definition	说明 Explanation
1	同等重要 Equally important	两个因素比较同等重要 Two factors are equally important
3	稍微重要 Slightly important	两个元素相比,一个比另一个稍微重要 The one element is slightly important than the other.
5	明显重要 Obviously important	两个元素相比,一个比另一个明显重要 The two element is obviously important than the other.
7	强烈重要 Strongly important	两个元素相比,一个比另一个强烈重要 The two element is strongly important than the other.
9	极端重要 Extremely important	两个元素相比,一个比另一个极端重要 The two element is extremely important than the other.
2,4,6,8	中间值 The middle value	表示上述判断的中间值 Intermediate values of above judgments
倒数 Reciprocal	反比例 Inverse proportion	元素 a_i 对 a_j 的判断标度为 a_{ij} , 则 a_j 对 a_i 的判断为 $1/a_{ij}$ The judgment scale of element a_i to a_j is a_{ij} , then a_i to a_j is $1/a_{ij}$

表 2 判断矩阵平均随机一致性指标 RI 值
Table 2 RI values of judgment matrix average random consistency index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.24	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58

表 3 评价指标体系权重值
Table 3 Weight value of the assessment index system

目标层 Object	项目层 Item	权重 Weight	因素层 Factor	权重 Weight	指标层 Index	权重 Weight	总权重 Total weight
A	B1	0.331	C1	0.529	D1	0.462	0.081
					D2	0.538	0.094
			C2	0.471	D3	0.533	0.083
					D4	0.467	0.073
	B2	0.328	C3	0.334	D5	0.562	0.062
					D6	0.438	0.048
					D7	0.375	0.025
			C4	0.203	D8	0.625	0.042
					D9	0.381	0.058
					D10	0.229	0.035
			C5	0.463	D11	0.315	0.048
					D12	0.075	0.011
					D13	0.322	0.049
			C6	0.444	D14	0.211	0.032
					D15	0.467	0.071
					D16	0.538	0.102
	B3	0.341	C7	0.556	D17	0.462	0.088

2.3 评价标准界定

目前,国内外还没有统一的农业生态系统健康评价标准。因此,本文参考相关研究,根据陕西省、渭南市及蒲城富平两县对各指标的标准取值范围,结合当地实际情况,并采用通用方法和国家标准将农业生态系统健康状况分为五个等级,即Ⅰ级表示

很健康,Ⅱ级表示健康,Ⅲ级表示亚健康,Ⅳ级表示一般病态,Ⅴ级表示严重病态,见表 4,由此可以用来划分农业生态系统健康的程度;根据各指标总权重和相应分值计算出指标层、项目层和因素层各因子的分级健康取值范围,结果见表 5,根据表 5 可以结合最终评价结果判断出各层次因子的健康状态。

表 4 卤阳湖盐碱治理区农业生态系统健康评价分级标准

Table 4 Grading standards for the agroecosystem health assessment of Luyang Lake saline-alkali district

综合评价价值 Value of integrate assessment	I 级 Level I (9 分)	II 级 Level II (7 分)	III 级 Level III (5 分)	IV 级 Level IV (3 分)	V 级 Level V (1 分)
评判标准 Criterion of assessment	很健康 Very health	健康 Health	亚健康 Sub-health	一般病态 General ill	严重病态 Serious ill

表 5 各层级指标健康等级对应标志值

Table 5 Indicators of the health level corresponding flag value for each level

层次 Level	指标 Factor	总权重 Total weight	I 级 Level I	II 级 Level II	III 级 Level III	IV 级 Level IV	V 级 Level V
项目层 Item	B1	0.331	2.979	2.317	1.655	0.993	0.331
	B2	0.328	2.952	2.296	1.640	0.984	0.328
	B3	0.341	3.069	2.387	1.705	1.023	0.341
因素层 Factor	C1	0.175	1.575	1.225	0.875	0.525	0.175
	C2	0.156	1.404	1.092	0.780	0.468	0.156
	C3	0.110	0.990	0.770	0.550	0.330	0.110
	C4	0.067	0.603	0.469	0.335	0.201	0.067
	C5	0.152	1.368	1.064	0.760	0.456	0.152
	C6	0.151	1.359	1.057	0.755	0.453	0.151
	C7	0.189	1.701	1.323	0.945	0.567	0.189
指标层 Index	D1	0.081	0.729	0.567	0.405	0.243	0.081
	D2	0.094	0.846	0.658	0.470	0.282	0.094
	D3	0.083	0.747	0.581	0.415	0.249	0.083
	D4	0.073	0.657	0.511	0.365	0.219	0.073
	D5	0.062	0.558	0.434	0.310	0.186	0.062
	D6	0.048	0.432	0.336	0.240	0.144	0.048
	D7	0.025	0.225	0.175	0.125	0.075	0.025
	D8	0.042	0.378	0.294	0.210	0.126	0.042
	D9	0.058	0.522	0.406	0.290	0.174	0.058
	D10	0.035	0.315	0.245	0.175	0.105	0.035
	D11	0.048	0.432	0.336	0.240	0.144	0.048
	D12	0.011	0.099	0.077	0.055	0.033	0.011
	D13	0.049	0.441	0.343	0.245	0.147	0.049
	D14	0.032	0.288	0.224	0.160	0.096	0.032
	D15	0.071	0.639	0.497	0.355	0.213	0.071
	D16	0.102	0.918	0.714	0.510	0.306	0.102
	D17	0.088	0.792	0.616	0.440	0.264	0.088

2.4 评价模型

经过 AHP 求解出指标体系中各因素的权重后, 通过综合指数法^[18] 计算各年度农业生态系统健康综合评价价值, 计算项目层健康指数及综合健康指数的公式为:

$$H = \sum W_i \times X_i$$

式中, H 为农业生态系统健康综合评价价值, W_i 为第 i 个因素的总权重, X_i 为第 i 个因素根据确定好的农业生态系统健康评价分级标准的得分值。

2.5 数据来源

本研究所涉及指标值的获取途径主要基于以下 3 方面:① 统计年鉴^[19], 可以直接获得单位面积农业净产值、人口密度、农民人均纯收入、GDP 增长率等;② 科研报告和统计年报(如卤阳湖环评报告), 可查阅到农作物覆盖度、有效灌溉面积率、COD 排放量、土壤污染指数、大气质量等;③ 根据相关公式及数据计算, 可获得 NPP 利用率、土地人口承载度、农田景观优势度等指标。

3 结果与分析

3.1 指标得分

根据各指标实测数值,参考其他学者研究和各指标相应国内外标准,利用 9 位标度法对卤阳湖盐碱治理区的各项指标进行打分,结果见表 6。

表 6 卤阳湖盐碱治理区指标得分值

Table 6 The indicator score values of the Luyang Lake saline-alkali control area

指标层 Index	打分值 Score	指标层 Index	打分值 Score
NPP 利用率 NPP utilization rate	7	COD 排放量 COD emissions	7
土地人口承载度 Land carrying capacity	1	土壤污染指数 Soil pollution index	9
单位面积农业净产值 Agricultural net output value of per km ²	5	大气质量 Atmospheric quality	9
农民人均纯收入 Farmer net income per capita	8	干旱指数 Dry index	5
农田生态景观优势度 Farmland landscape dominance	7	景观多样性指数 D14 Landscape diversity index	3
GDP 增长率 GDP growth rate	9	水土流失率 Rate of deforestation	1
村劳动者受教育度 Diathesis of rural laborer	3	有效灌溉面积率 Effective irrigation rate	7
人口密度 Population density	3	农业支出比例 Agricultural expenditure proportion	9
农作物覆盖度 Vegetation coverage	6		

表 7 卤阳湖盐碱治理区农业生态系统健康评价值

Table 7 The values of the agroecosystem health assessment in Luyang Lake saline-alkali district

目标层 Object	评价值 Value	等级 Level	项目层 Item	评价值 Value	等级 Level	因素层 Factor	评价值 Value	等级 Level	指标层 Index	评价值 Value	等级 Level
A	5.772	(Ⅱ,Ⅲ)	B1	1.660	Ⅲ	C1	0.661	(Ⅲ,Ⅳ)	D1	0.567	Ⅱ
									D2	0.094	V
						C2	0.999	(Ⅱ,Ⅲ)	D3	0.415	Ⅲ
									D4	0.584	(Ⅰ,Ⅱ)
			B2	2.194	(Ⅱ,Ⅲ)	C3	0.866	(Ⅰ,Ⅱ)	D5	0.434	Ⅱ
									D6	0.432	Ⅰ
						C4	0.201	Ⅳ	D7	0.075	Ⅳ
									D8	0.126	Ⅳ
									D9	0.348	(Ⅱ,Ⅲ)
						C5	1.127	(Ⅰ,Ⅱ)	D10	0.245	Ⅱ
									D11	0.432	Ⅰ
									D12	0.099	Ⅰ
			B3	1.918	(Ⅱ,Ⅲ)				D13	0.245	Ⅲ
						C6	0.412	(Ⅳ,V)	D14	0.096	Ⅳ
									D15	0.071	V
									D16	0.714	Ⅱ
						C7	1.506	(Ⅰ,Ⅱ)	D17	0.792	Ⅰ

由表 7 可以看出,卤阳湖盐碱治理区 2012 年农业生态系统健康综合评价值为 5.772,处于Ⅱ级至Ⅲ级之间,偏亚健康状态。农业生态系统活力的健康评价值为 1.660,为Ⅲ级亚健康状态,主要制约因素为土地人口承载度和单位面积农业净产值,等级

3.2 农业生态系统健康评价

各指标打分值与各指标总权重之积即为指标层各指标评价值,采用综合指数法计算卤阳湖盐碱治理区农业生态系统健康状况 2012 年综合评价值,再结合表 4 和表 5 的各级指标分级标准和标志值可以分析出各指标评价值的等级,具体结果见表 7。

分别为 V 级和Ⅲ级,健康状况较差。当地人口密集,人均土地占有率极低,且单位土地面积农业净产值偏低,影响生态和经济生产力,进而导致系统活力降低。因此,该农业生态区要进行集约化生产,通过提高现实生产力、单位面积农业净产值和农民人

均纯收入等指标值,增加农业生态系统的生态生产力和经济生产力,从而增强农业生态系统的活力。

农业生态系统组织结构的健康评价值为2.194,介于Ⅱ级和Ⅲ级之间偏健康状态。虽然整体状况良好,经济结构和自然结构也是偏健康状态,但社会结构却处于一般病态。该地区的人口密度和劳动者受教育程度评价价值很低(分别为0.126、0.075),这是导致社会结构评价价值降低的直接原因,也是影响组织结构的主要原因。其次该评价区的COD排放量评价价值也不高,可以适度合理的处理,以改善农村生态环境,提高当地农民生活质量。

恢复力的健康评价值为1.918,介于Ⅱ级和Ⅲ级之间偏亚健康状态。结合表4和表6分析,该地区的农业投入较高(1.506,偏健康状态),但系统稳定性极差(仅0.412,介于Ⅳ级和Ⅴ级之间偏一般病态),因而造成当地自然恢复能力较差。因此,为了提高生态系统恢复力,应加强土地沙化、水土流失的治理,提高植被的多样性,促进农业产业化发展,合理农田灌溉,从而提高农业生态系统的稳定性。

4 结 论

本文通过层次分析法和综合指数法对卤阳湖农业生态系统健康状态进行科学评价,结果表明,卤阳湖盐碱治理区处于亚健康状态,生态系统活力、组织结构和恢复力都存在不同程度的问题。制约卤阳湖盐碱治理区农业发展的因素主要有人口密集且整体素质较低、土地资源紧张、水土流失严重、自然资源过度开发、农业产业单一且生产方式落后等。为了提高卤阳湖地区农业生态系统健康状况,提高当地经济发展水平,需要有针对性地解决相关问题,具体措施如下:

- 1) 合理高效地利用土地资源,提高农业产值。在仅有的土地资源基础上,必须提高土壤肥力,优化土壤结构,减轻当地土壤盐碱化程度,提高单位面积土地产值,同时优化种植业结构,合理利用土地,从而达到提高农业产值的目的。
- 2) 改变农业经营模式,促进农业产业化发展。因地制宜,根据当地实际情况,加大农业产业结构调整力度,在传统农业基础上发展特色农业,引进新技术,宣传新品种,促进科研与生产相互促进,有效提高农业产值,促进农民增收。
- 3) 推广生态农业发展,促进科技与农业结合。基层政府与科研机构联系,定期邀请相关学者到村

讲解新技术新产品,提高农民科学素养,培养出科技型新农民,促进生态农业推广,便于农业可持续发展的进行。

参 考 文 献:

[1] Yiridoe E K, Weersink A. A review and evaluation of agroecosystem health analysis: The role of economics[J]. Agricultural Systems, 1997,55(4):601-626.

[2] Spiegel J M, Bonet M, Yassi A, et al. Developing Ecosystem Health Indicators in Centro Habana: A Community based Approach[J]. Ecosystem Health, 2001,7(1):15-26.

[3] 梁文举,武志杰,闻大中.21 世纪初农业生态系统健康研究方向[J].应用生态学报,2002,(8):1022-1026.

[4] 谢花林,李 波,王传胜,等.西部地区农业生态系统健康评价[J].生态学报,2005,25(11):3028-3036.

[5] Spiegel J M, Bonet M, Yassi A, et al. Developing Ecosystem Health Indicators in Centro Habana: A Community based Approach[J]. Ecosystem Health, 2001,7(1):15-26.

[6] 王 静,尉元明.甘肃省农业生态系统健康评价[J].生态学杂志,2006,25(6):711-715.

[7] 谢花林,李 波,刘黎明.基于压力-状态-响应模型的农业生态系统健康评价方法[J].农业现代化研究,2005,26(5):366-369.

[8] Kong H M, Zhao J Z, Ji L Z, et al. Assessment method of ecosystem health[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002,13(4):486-490.

[9] 郗 敏,孔范龙,李 悦,等.陕西渭南卤阳湖湿地保护与恢复工程措施探析[J].湿地科学,2013,2:254-258.

[10] 慕小艳,李新平,李文斌,等.陕西渭南市卤阳湖土壤生产潜力分析[J].西北农业学报,2013,22(4):165-171.

[11] 刘敬美.陕西渭南卤阳湖盐碱区农业生态环境质量评价[D].杨凌:西北农林科技大学,2014.

[12] 慕小艳.陕西渭南卤阳湖开发区土壤生产潜力分析与土壤改良措施研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2013.

[13] 孔范龙,郗 敏,李 悦,等.卤阳湖湿地的保护规划及效益分析[J].青岛大学学报(工程技术版),2012,4:70-74,79.

[14] Veisi H, Khoshbakht K, Sabahi H. A participatory assessment of agroecosystem sustainability in Abelerd Iran[J]. International Journal of Agricultural Sustainability, 2012,11(1):52-68.

[15] 张吉军.模糊层次分析法(FAHP)[J].模糊系统与数学,2000,14(2):80-88.

[16] 金菊良,魏一鸣,丁 晶,等.基于改进层次分析法的模糊综合评价模型[J].水利学报,2004,35(3):65-70.

[17] 刘冀钊,伍玉容,杨成永.层次分析法在自然保护区生态评价中的应用初探[J].铁道劳动安全卫生与环保,2003,(1):17-20.

[18] 陆建红,丁立杰,徐建新,等.模糊综合评价模型在农村饮水安全评价中的应用[J].水电能源科学,2011,29(2):99-102,111.

[19] 渭南年鉴编委会.渭南统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2012.