

# 民勤绿洲生态系统适宜程度指标体系的构建

石媛媛<sup>1</sup>, 纪永福<sup>2</sup>, 张恒嘉<sup>1</sup>

(1.甘肃农业大学水利水电工程学院,甘肃 兰州 730070;2.甘肃省治沙研究所,甘肃 兰州 730070)

**摘要:**在探讨生态系统适宜性概念的基础上,以民勤荒漠绿洲为研究对象,采用层次分析法确定了5个准则层和19个指标的权重系数。综合相关文献及国内外现行标准,制定出各参评指标分级标准范围,运用综合指标法构建了民勤荒漠绿洲生态系统适宜程度识别指标体系,并对2010年到2015年的生态系统适宜性进行综合评价。结果表明,6年的适宜性综合得分值分别为32.73、37.84、50.73、58.22、75.23、80.79,适宜程度从2010年的低分值不适宜程度过渡到2013年的稳定程度再到2015年低分值较适宜程度,综合得分增长率高峰分别是2012年的25.41%和2014年的22.61%,2015年增速放缓,增长率下降为6.88%。通过对各指标层的分析,得出水文水资源对生态适宜程度的影响最大,生态建设次之。

**关键词:**生态系统;适宜程度;评价体系;层次分析;综合指标;荒漠绿洲

**中图分类号:**S181.6 **文献标志码:**A

## Construction of suitability indicator system of Minqin oasis ecosystem

SHI Yuan-yuan<sup>1</sup>, JI Yong-fu<sup>2</sup>, ZHANG, Heng-jia<sup>1</sup>

(1.School of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070;

2.Gansu desert control research institute, Lanzhou, Gansu 730070)

**Abstract:** On the basis of exploring the concept of ecosystem suitability, we took Minqin Desert Oasis as the research object and established 5 criteria layers and the weight coefficients of 19 indicators using analytic hierarchy process(AHP). By using other study results and current domestic and international standards, the evaluation index system of the suitability classification of Minqin desert oasis ecosystem was constructed, then, the ecosystem suitability for the period from 2010 to 2015 was comprehensively evaluated. The results showed that the comprehensive scores were 32.73, 37.84, 50.73, 58.22, 75.23, and 80.79 for the 6 years, respectively. The suitability increased from the low score/not suitable in 2010 to a relative stable score in 2013, then, to more suitable status in 2015. The highest growth rate in the score was 25.41% in 2012 and 22.61% in 2014, and the growth rate slowed down to 6.88% in 2015. Through the analysis of each indicator layer, it is concluded that local hydrology and water resources have the greatest impact on the suitability of ecosystem and the second factor is ecosystem construction.

**Keyword:** ecosystem suitability; evaluation system; hierarchical analysis; comprehensive index; desert oasis

生态系统适宜程度是指在生态系统中各影响因素的共同作用下,使得生态系统的结构稳定、功能效应发挥正常、资源形成良性循环、动植物种群和谐有序发展的状态。它是人类意识形态下划分的产物,是综合考虑社会、经济、人口等因素下的复杂指标,随生态系统改变、社会经济发展、科技水平提高的变化而变化。

由于人们无法直接观测或准确了解现有生态系统的变化过程和驱动机制,需要建立多种指标体系来描述生态系统存在的状态。如采用PSR模型,分析各类退化机制压力及人类干扰与红树林生长的响应关系,构建红树林退化机制的评估指标体系<sup>[1]</sup>;运用荒漠化模型的概念,提取自然因素、土地状况因子、社会因素和经济因子,建立了基于PSR

石漠化风险评估体系,以此揭示人类活动对石漠化的影响程度<sup>[2]</sup>。王少丽等<sup>[3]</sup>基于模糊模式识别模型,对农田排水再利用进行分析,并划分为 5 级适应性。为了准确衡量城市生态优劣程度,引入逆生态化、城区生境等概念,并应用模糊逻辑工具箱(fuzzy logic toolbox)对城市生态适宜性指标体系进行模糊评价;运用最小累积抵抗理论,构建生态适宜性的综合土地利用安全模型,并将土地划分为重点保护区、缓冲区保护区、中度发达区和优化开发区<sup>[4-5]</sup>。蒋桂芹等<sup>[6-7]</sup>基于“驱动力—压力—状态—响应”模式,选取了气象干旱指标、农业干旱指标、水文干旱指标、社会经济干旱指标等,研究干旱驱动机制与评估方法;采用径向基函数网络模型对喀斯特石漠化风险进行评估,并对风险的研究区进行分类。刘麟<sup>[8]</sup>从宏观和微观同时着手,系统全面地总结了黑河流域中、上游生态环境监测的各种单因素、多因素指标。高志海等<sup>[9-11]</sup>以民勤为例,利用 RS 和 GIS 技术,采用遥感影像处理与模拟相结合的方法,以尺度为线索,研究了植被覆盖变化过程,并将植被覆盖度划分为低盖度植被、中等盖度植被和高盖度植被 3 个等级,提出绿洲荒漠化的遥感评价方法;与此同时应用 GIS 的空间数据,并结合主成分分析和支持向量机模型,讨论了石漠化风险评估方法和实施过程,认为风险评估模型 PSO-SVM 在石漠化解释中更为准确。陈贺等<sup>[12]</sup>运用 Mann-Kendall 检验法,对白洋淀生态系统受干扰程度进行评价。孙兰东等<sup>[13-14]</sup>采用综合指标法选取了 4 类 13 项指标,定义敏感度及适应能力概念,构建了石羊河流域生态系统脆弱性评价指标体系。

而民勤荒漠绿洲生态系统在其独特的地理环境、降水形成条件、人类生存等干扰因素综合影响下呈现非良性循环,河道断流、水库干涸、绿洲面积减少、地下水位下降、沙尘暴危害加剧等已经严重危害到人类自身发展。鉴于民勤荒漠绿洲存在诸多不和谐因素,有必要构建一个适宜程度识别指标体系,通过对指标体系的评估结果分析,准确定位民勤荒漠绿洲生态系统所处的状态,明晰该生态系统演化方向,并通过改变指标来影响整个生态系统运行的趋势,对生态系统进行跟踪监测和反馈控制。

## 1 研究区概况

民勤县位于甘肃省西北部,河西走廊东北部,石羊河流域下游,是阻隔巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠合拢的生态屏障。处在东经  $101^{\circ}49'41''\sim 104^{\circ}12'10''$  和北纬  $38^{\circ}3'45''\sim 39^{\circ}27'37''$  之间,总面积约为  $1.6$

$\times 10^6 \text{ hm}^2$ 。民勤县属于大陆性干旱气候,多风沙、少降雨,全年平均日照时数  $3\ 100 \text{ h}$ ,年平均风速  $2.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,多年平均降雨量为  $116 \text{ mm}$ ,多年平均有效降雨为  $64.4 \text{ mm}$ ,蒸发量在  $2\ 300 \text{ mm}$  左右。据统计,民勤县人均水资源占有量为  $520 \text{ m}^3$ ,仅为世界水平的  $1/8$ <sup>[15]</sup>。民勤县上游来水量由 1956 年的  $5.14 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,逐年减少至 2002 的  $0.620 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,地下水开采成为支撑人类生存和经济发展的必要措施,经过半个世纪的无序开采,地下水水位平均下降  $10\sim 20 \text{ m}$ ,有些地方水位下降  $30 \text{ m}$ 。不合理的土地利用导致民勤盆地荒漠化严重、生态环境脆弱、植被种类及覆盖度变化,影响到整个生态系统的结构和功能以及区域水文循环、物种多样性等。民勤盆地天然沙生植被有 70% 以上退化,近年来该县一直致力于建设防风固沙林、农田林网等,人工造林保存面积达到  $15.324 \times 10^4 \text{ hm}^2$  以上,有效阻止了沙漠入侵并使部分沙化土地转为人工绿洲。

2010 年民勤县国内生产总值 32.85 亿元,比上年增长 13%,其中第一产业增加值 13.68 亿元,增长 5.9%;第二产业增加值 9.1 亿元,增长 24.9%;第三产业增加值 10.07 亿元,增长 14.8%。到 2015 年,民勤县国内生产总值 69.56 亿元,比上年增长 9%,其中第一产业增加值 23.71 亿元,增长 6.1%;第二产业增加值 21.95 亿元,增长 7.7%;第三产业增加值 23.91 亿元,增长 11.3%。民勤县人口呈稳步增长趋势,截止 2011 年年末,全县人口 27.47 万人。全县常住人口 24.11 万人,其中农村常住 17.94 万人,城镇常住 6.17 万人。

## 2 民勤荒漠绿洲生态系统适宜程度指标体系的构建

### 2.1 指标体系的构建过程及指标选择

生态系统一般具有多层性、相关性和环境适应性,而荒漠绿洲生态系统具有多样性、多变性、整体性、统计性、自组织性、临界性等特征,且各影响因子之间存在复杂的非线性耦合关系,因此不能完全采用定量计算的方法来评价生态系统的适宜程度<sup>[16]</sup>,必须要建立一个多层次、多要素的评价系统,采用定性与定量有机结合的方法,以科学合理的运算体系使得复杂的评价问题明朗化<sup>[17-18]</sup>。

本文从生态系统的目的性和层次性出发,运用层次分析法(AHP)建立荒漠绿洲生态系统的递阶层次结构,分别为目标层、准则层和指标层。对同一层次各元素关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较,构造两两比较判断矩阵,并进行

一致性检验。由判断矩阵计算被比较要素对于该准则的相对权重。计算各层要素对该荒漠绿洲生态系统适宜性的总权重,结合现有指标数据及评价尺度,对各要素进行定位和打分,最后对现状荒漠绿洲生态系统进行适宜程度评价<sup>[19-20]</sup>。对于指标的选择应具有代表性、可操控性、可获取性以及真实可靠性。在此基础上确定了 1 个目的层,5 个准则层,包含 19 个指标,见图 1。

2.2 指标权重计算

首先用 A 表示目标层,B1~B5 分别表示准则层的 5 个元素,C1~C19 分别表示指标层的 19 个影响因素,同时利用 1-9 标度法构造判断矩阵 A:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

两元素同时关于上一层次进行相对重要性对比,量化值选择在 1,2,⋯,9 中,其中,用 1、3、5、7、9 分别表示两指标具有同样的重要性、稍重要、明显重要、强烈重要、极端重要的相对程度;用 2、4、6、8 表示相邻判断的中间值;倒数代表后者比前者的重要性标度。 $0 < a_{ij} \leq 9, a_{ii} = 1, a_{ji} = 1/a_{ij}, 0 < x \leq 9, 0 < y \leq 9, 0 < z \leq 9$ ,如表 1 所示为三阶矩阵的各项系数。然后,依据公式求各指标相对于上一准则层的归一化相对重要度向量  $W^0 = W_i^0$ ,即求判断矩阵各行元素的几何平均值  $W_i$ 、权重系数  $W_i^0$ 和最大特征根  $\lambda_{\max}$ ,其计算公式分别为:

$$W_i = (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}} \tag{1}$$

$$W_i^0 = \frac{W_i}{\sum_i W_i} \tag{2}$$

$$\lambda_{\max} \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} W_j}{W_i} \tag{3}$$

为检验各层元素重要度之间的协调性,明确已构造判断矩阵是否符合要求,进而判断权重系数是否合理,需进行一致性检验。计算公式为:

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{4}$$

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} < 0.1 \tag{5}$$

C.I. 为一致性指标,R.I. 为平均随机一致性指标,C.R.为一致性比例。当 C.I. = 0 时,有完全的一致性;C.I.越接近于 0,有满意的一致性;C.I.越大,不一致越严重。R.I.为同阶随机判断矩阵的一致性指标的平均值,引入 R.I.可在一定程度上克服一致性判断指标随 n 的增大而明显增大的弊端。若一致性检验不通过或检验结果为负值,则需要重新构造

表 1 三阶矩阵系数

Table 1 Third order matrix coefficients

| A  | B1  | B2  | B3 |
|----|-----|-----|----|
| B1 | 1   | 1/x | y  |
| B2 | x   | 1   | z  |
| B3 | 1/y | 1/z | 1  |

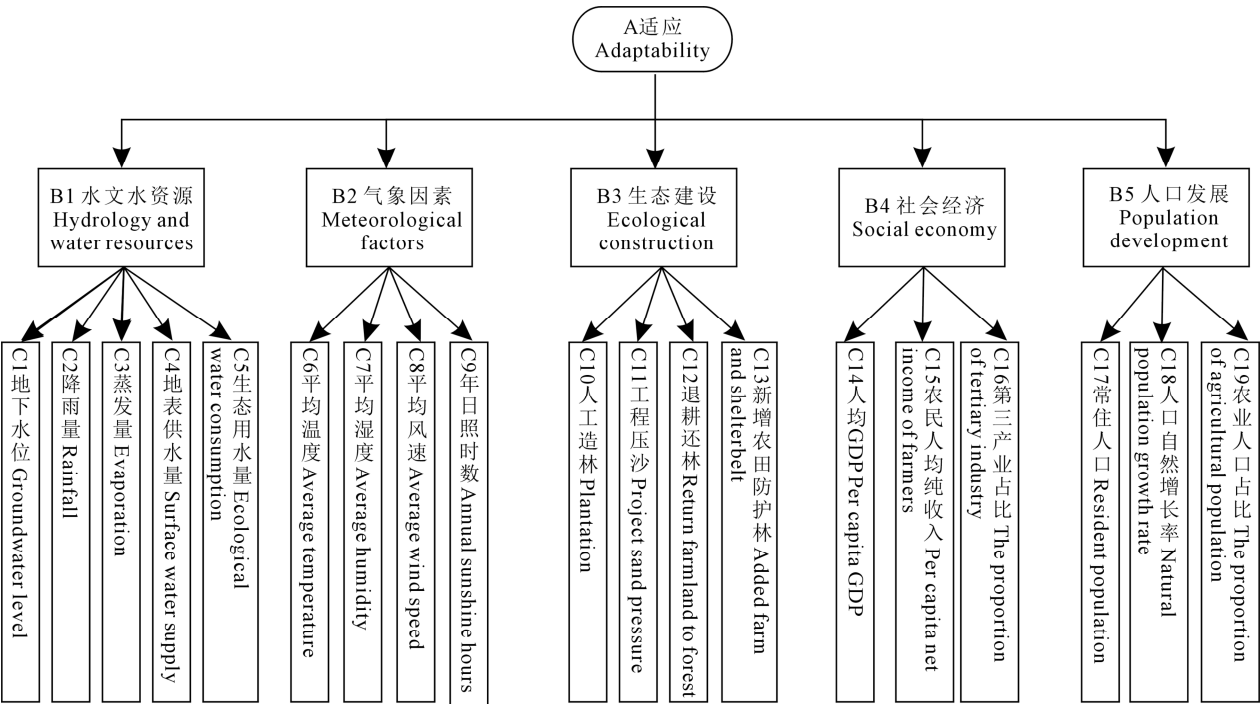


图 1 指标层次及分类

Fig.1 Index layers and classification

判断矩阵或调整矩阵中数值的两两关系,再进行一致性检验,数据处理用 Microsoft Office Excel 2007、MATLAB 2014。

2.3 荒漠绿洲生态系统适宜性评价尺度

生态系统处于适宜发展的状态,是各指标值都处在一个范围而非固定值。按照国际现行标准及国内外专家学者论述统计,建立绿洲荒漠生态系统适宜性评价尺度表,完善指标适宜度阈值区间,见表 2。根据民勤治沙综合试验站资料及民勤县统计局统计资料汇编对各参评指标进行汇总,计算了各指标权重,各指标层均通过一致性检验,*C.I.* 值均小

于 0.1,*C.R.* 均小于 0.1,见表 3。

将荒漠绿洲生态系统划分为适宜、较适宜、稳定、不适宜、严重不适宜 5 个等级,通过对专家评及科研人员的评分意见的统计,评分等级划分见表 4。

3 分析评价结果

民勤荒漠绿洲生态系统适宜综合得分见表 5。通过从水文水资源、气象、土地利用类型、社会经济、人口 5 个方面选取多个指标建立民勤荒漠绿洲生态适宜程度指标体系,对民勤 2010–2015 年的指标分析得出,准则层 B1~B5 的权重分别为 0.526、0.071、

表 2 荒漠绿洲生态系统适宜性评价参评指标尺度分级  
Table 2 Desert oasis ecosystem suitability evaluation index scale

| 指标<br>Index                                                              | 评价指标分级赋值 Evaluation index score assignment |               |               |               |          |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------|
|                                                                          | 100                                        | 75            | 50            | 30            | 10       |
| C1 地下水位 Groundwater level/m                                              | 1.5~2.5                                    | 2.5~3.5       | 3.5~5         | 5~10          | > 10     |
| C2 降雨量 Rainfall/mm                                                       | > 400                                      | 350~400       | 200~350       | 100~200       | < 100    |
| C3 蒸发量 Evaporation/mm                                                    | < 360                                      | 230~360       | 360~600       | 600~1000      | > 1000   |
| C4 地表供水 Surface water supply/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>              | > 27259                                    | 24818~27259   | 22767~24818   | 20716~22767   | < 20715  |
| C5 生态用水 Ecological water usage/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>            | > 9025                                     | 6184~9025     | 3804~6184     | 1424~3804     | < 1424   |
| C6 平均温度 Average temperature/℃                                            | > 8.8                                      | 8.4~8.7       | 7.9~8.4       | 7.6~7.9       | < 7.6    |
| C7 平均湿度 Average humidity/%                                               | > 55.3                                     | 53.6~55.2     | 52.9~53.6     | 52.3~52.9     | < 52.3   |
| C8 平均风速 Average wind speed/(m·s <sup>-1</sup> )                          | < 0.5                                      | 0.6~0.9       | 0.9~1.1       | 1.2~1.5       | > 1.5    |
| C9 年日照时数 Annual sunshine hours/h                                         | > 3237.8                                   | 3208.0~3237.8 | 3145.5~3238.0 | 3083.0~3145.5 | < 3083.0 |
| C10 人工造林 Artificial afforestation/(10 <sup>2</sup> hm <sup>2</sup> )     | > 111.3                                    | 95.3~111.3    | 72.7~95.3     | 50.0~72.7     | < 50.0   |
| C11 工程压沙 Engineering sand control/(10 <sup>2</sup> hm <sup>2</sup> )     | > 34.9                                     | 29.1~34.9     | 27.9~29.1     | 26.7~27.9     | < 26.7   |
| C12 退耕还林 Return farmland to forest/(10 <sup>2</sup> hm <sup>2</sup> )    | > 216.9                                    | 215.0~216.9   | 212.3~215.0   | 209.5~212.3   | < 209.5  |
| C13 新增农田防护网 New farmland shelter belt/(10 <sup>2</sup> hm <sup>2</sup> ) | > 7.7                                      | 7.3~7.7       | 7.0~7.3       | 6.7~7.0       | < 6.7    |
| C14 人均 GDP(元) GDP per capita                                             | > 26982                                    | 10793~26982   | 5396~10793    | 2698~5396     | < 2698   |
| C15 农民人均纯收 Net income per capita/元                                       | > 32415                                    | 24518~32415   | 18483~24518   | 11434~18483   | < 11434  |
| C16 第三产业占比 The proportion of tertiary industry/%                         | > 18.4                                     | 15.6~18.4     | 14.2~15.6     | 12.7~14.2     | < 12.7   |
| C17 常住人口数 Population/(万人)                                                | > 24.14                                    | 24.12~24.14   | 24.11~24.12   | 24.10~24.11   | < 24.10  |
| C18 人口自然增长率 Natural population growth rate/%                             | > 1.99                                     | 1.57~1.99     | 0.90~1.57     | 0.25~0.90     | < 0.25   |
| C19 农业人口占比 The proportion of agricultural population/%                   | < 69.6                                     | 69.7~71.54    | 71.54~73.38   | 73.38~74.64   | > 74.64  |

表 3 2010—2015 年各指标统计数据及权重  
Table 3 2010–2015 indicators of statistics and weight

| 指标统计值<br>Indicator statistics                                                     | 年份 Year |        |        |        |        |        | 指标权重<br>Indicator weight |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------|
|                                                                                   | 2010    | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   |                          |
| C <sub>1</sub> 地下水位 Groundwater level/m                                           | 22.39   | 22.99  | 22.59  | 22.95  | 22.95  | 23.14  | 0.099                    |
| C <sub>2</sub> 降雨量 Rainfall/mm                                                    | 105     | 138.7  | 128.3  | 89.1   | 127    | 136.2  | 0.056                    |
| C <sub>3</sub> 蒸发量 Evaporation/mm                                                 | 1902.4  | 1367.3 | 1495.9 | 1716.1 | 1559.7 | 1583.3 | 0.06                     |
| C <sub>4</sub> 地表供水 Surface water supply/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>           | 20716   | 22892  | 23400  | 22500  | 29700  | 29700  | 0.288                    |
| C <sub>5</sub> 生态用水 Ecological water usage/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>         | 2036    | 1424   | 5792   | 6790   | 9196   | 11867  | 0.498                    |
| C <sub>6</sub> 平均温度 Average temperature/℃                                         | 8.3     | 7.6    | 7.9    | 9.1    | 8.5    | 8.7    | 0.233                    |
| C <sub>7</sub> 平均湿度 Average humidity/%                                            | 52.5    | 52.6   | 53.2   | 52.3   | 54.4   | 56.8   | 0.138                    |
| C <sub>8</sub> 平均风速 Average wind speed/(m·s <sup>-1</sup> )                       | 1.8     | 1.3    | 1      | 1.1    | 1      | 0.6    | 0.084                    |
| C <sub>9</sub> 年日照时数 Annual sunshine hours/h                                      | 3083    | 3166.6 | 3260.7 | 3223.2 | 3247.1 | 3267.6 | 0.545                    |
| C <sub>10</sub> 人工造林 Artificial afforestation/10 <sup>2</sup> hm <sup>2</sup>     | 50.2    | 75.5   | 114.5  | 127.1  | 107.9  | 95.7   | 0.333                    |
| C <sub>11</sub> 工程压沙 Engineering sand control/10 <sup>2</sup> hm <sup>2</sup>     | 26.7    | 26.7   | 26.9   | 26.8   | 26.9   | 40.8   | 0.146                    |
| C <sub>12</sub> 退耕还林 Return farmland to forest/10 <sup>2</sup> hm <sup>2</sup>    | 209.5   | 212.2  | 214.2  | 217.5  | 217.5  | 218.9  | 0.419                    |
| C <sub>13</sub> 新增农田防护网 New farmland shelter belt/10 <sup>2</sup> hm <sup>2</sup> | 6.7     | 7.7    | 7.7    | 8.0    | 6.7    | —      | 0.101                    |
| C <sub>14</sub> 人均 GDP GDP per capita/元                                           | 11977   | 14299  | 21437  | 24483  | 26710  | 28840  | 0.614                    |
| C <sub>15</sub> 农民人均纯收入 Net income of farmers per capita/元                        | 5215    | 5908   | 7035   | 7893   | 7834   | 9101   | 0.268                    |
| C <sub>16</sub> 第三产业占 The proportion of tertiary industry/%                       | 13.2    | 13.2   | 12.7   | 15.6   | 17.9   | 21.2   | 0.117                    |
| C <sub>17</sub> 常住人口数 Population/万人                                               | 24.1    | 24.11  | 24.16  | 24.12  | 24.11  | 24.12  | 0.268                    |
| C <sub>18</sub> 人口自然增长率 Natural population growth rate/%                          | 1.97    | 1.66   | 1.68   | 1.42   | 2.42   | 0.24   | 0.117                    |
| C <sub>19</sub> 农业人口占比 The proportion of agricultural population/%                | —       | 74.5   | 75.9   | 74.3   | 72.5   | 69.7   | 0.614                    |

0.176、0.165、0.062,适宜性综合得分值分别为 32.73、37.84、50.73、58.22、75.23、80.79(见表 5)。适宜程度从 2010 年到 2015 年分别为不适宜、不适宜、稳定、稳定、较适宜和较适宜。虽然分值所处的适宜程度相同,根据分值的不同却有很大差异。由 2010 年的 32.73 分上升到 2015 年的 80.79 分,分值呈稳定增大趋势。由图 2 可知,B1 从 2010 年到 2013 年增速缓慢,2013 年之后呈现较大增长趋势,由于 B1 权重系数最大,它的增长对综合评分值影响也最大;B2 的年际变化波动较大,这与民勤气候有关,不容易改变,但由于 B2 的权重为 0.071,所以对整体的评分值影响较小;B3 从 2011 年到 2013 年呈现大幅增长,之后出现波动,增速放缓,B3 所占权重为 0.176,处于重要地位;B4 从 2010 年到 2014 年变化不大,人均 GDP 与第三产业占比虽然增长迅速,但农民纯收入却变化不大,2014 年到 2015 年的 B1 增长主要取决于人均 GDP 增长;B5 对综合得分的影响较小,但因其一直保持较稳定的增长趋势,在一定程度上保证了综合得分持续上升。由图 3 可知,从 2010 年到 2015 年的综合得分增长率分别是 13.50%、25.41%、12.86%、22.61%、6.88%。

4 结论与讨论

适宜程度就是在考量各种影响因素的前提下,对总体变化趋势进行把控。研究得出综合得分增长率变化较大,但总体分值呈增大趋势,即民勤荒漠绿洲的适宜性增强,已经从分值较小的不适宜状态慢慢过渡到分值较小的适宜性状态,这种状态变化是对人类活动及保护生态环境结果的响应。协调社会各职能部门发展,提高民勤荒漠绿洲生态安全性<sup>[21]</sup>,侧面反映了生态适宜程度的发展趋势。

综合得分增长率有两个高峰,分别是 2012 年相对于 2011 年增长 12.89 分,增长率为 25.41%,其中 B1 单项增长 9.96 分,对综合分值贡献 5.60 分。水文水资源改变是导致生态系统状态变化的最主要驱动因素<sup>[22]</sup>,提高分值的途径是增加生态用水、增加

地表供水量等。在水资源问题严峻的大环境下,水资源压力指数由 2000 年的 0.627 减小到 2009 年的 0.329,这与人类调控及预测是密不可分的<sup>[15]</sup>。B2 单项增长 40.08 分,对综合分值贡献 2.846 分,大气环流和下垫面变化是气象干旱的主要因素<sup>[6]</sup>。B3 单项增长 25.03 分,对综合分值贡献 4.41 分,B3 的波动主要来自于人工造林面积的变化而非天然植被

表 4 适宜程度评分区间

| Table 4 Suitability Appraisal score range |                     |
|-------------------------------------------|---------------------|
| 适宜程度 Suitability                          | 评分区间 Score interval |
| 适宜 Suitable                               | 90 以上               |
| 较适宜 Moderate suitable                     | 75~90               |
| 稳定 Stable                                 | 50~75               |
| 不适宜 Moderate unsuitable                   | 20~50               |
| 严重不适宜 Unsuitable                          | 20 以下               |

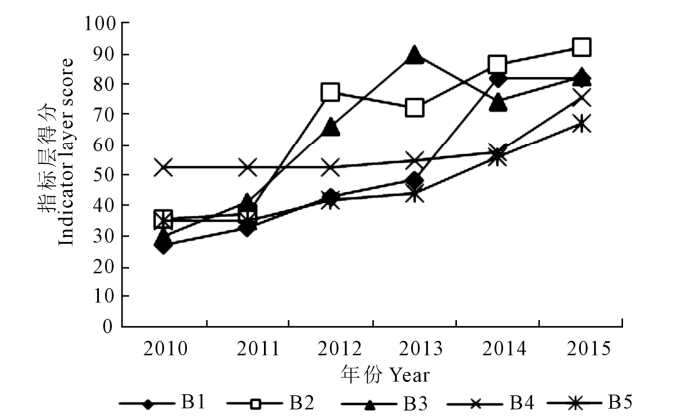


图 2 指标变化趋势图

Fig.2 Trend of indicator change

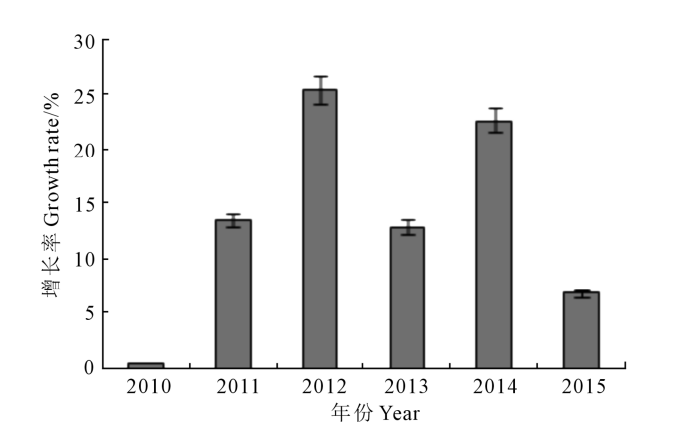


图 3 综合得分增长率

Fig.3 Growth rate of comprehensive score

表 5 各层次不同年份综合得分

Table 5 Comprehensive score of each layer in different years

| 年份<br>Year | 准则层(权重) Guideline layer(weight) |               |               |               |               | A 综合得分<br>Overall score |
|------------|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------|
|            | B1<br>(0.526)                   | B2<br>(0.071) | B3<br>(0.176) | B4<br>(0.165) | B5<br>(0.062) |                         |
| 2010       | 26.85                           | 35.74         | 29.97         | 52.24         | 35.24         | 32.73                   |
| 2011       | 32.61                           | 37.17         | 41.18         | 52.24         | 35.24         | 37.84                   |
| 2012       | 42.57                           | 77.25         | 66.21         | 52.24         | 41.72         | 50.73                   |
| 2013       | 48.14                           | 72.52         | 89.68         | 54.58         | 44.37         | 58.22                   |
| 2014       | 81.87                           | 86.53         | 74.29         | 57.51         | 55.80         | 75.23                   |
| 2015       | 81.87                           | 92.08         | 82.49         | 75.78         | 67.32         | 80.79                   |

面积。蒋友严等<sup>[24]</sup>建立了环境评价模型,研究得出民勤绿洲生态脆弱性的变化,极度脆弱、高度脆弱、中度和轻度脆弱分别为荒漠区、绿洲荒漠交错带和绿洲区域。从 2000 年到 2010 年内部中度脆弱区域明显增多,北部外围岛状绿洲区域增多,民勤荒漠与绿洲的交界区域部分转化为绿洲区,这是人工造林、工程压沙、退耕还林等影响因素共同作用的结果。文星等<sup>[23]</sup>研究指出 2000 年到 2010 年民勤绿洲面积增加了 327.87 km<sup>2</sup>,但林地和草地的范围在缩小,绿洲的破碎度增加而连通性降低,绿洲的稳定性和自我调节功能受到影响,使得生态建设单项分值出现波动。2014 年相对于 2013 年增长 17.01 分,增长率为 22.61%,其中 B1 单项增长 33.73 分,对综合分值贡献 17.74 分,由 B3 单项递减 15.39 分,使得综合分值减少 2.71 分从而抵消了一部分来自 B1 的增长分值。地表供水量及生态用水量的增多引起单项分值大幅增长,递减则是由人工造林面积缩小造成。从 2014 年到 2015 年增速放缓,增长率下降为 6.88%,其中 B2、B3、B4、B5 单项分值都在增大,但增长幅度不大,对综合分值贡献率都比较小。B4 的主要增加值来自于人均 GDP,农村经济发展水平在一定程度上能增强生态系统的适宜程度,但农民人均纯收入增长缓慢、第三产业占比小也成为发展的阻力<sup>[21]</sup>。随着国民素质的提高,人口数量并不是阻碍生态适宜程度改善的主要因素,但农业人口比重大是 B5 增长的短板。

按照当前趋势,增速放缓并不影响生态发展趋势,只要在阈值范围内对资源进行有效调控,就可以保持生态系统的适宜性,通过这几年人为的调控,稳定状态良性循环到一定程度就过渡到分值较低的较适宜状态,是生态系统中积极因素的累积并发挥效应的过程。民勤荒漠绿洲现处在低分值较适宜状态,说明现行的人为调控水资源分配比较合理,自 2001 年调水以来民勤绿洲面积从 8.93% 增加到 2010 的 11.98%,民勤绿洲植被生态恢复取得了较好的效果<sup>[24]</sup>。虽然在分级上属于较适宜状态,但因为荒漠绿洲系统本身的脆弱性,还存在生态系统退化的风险,若不重视保护和调控,生态系统抗逆性被消耗殆尽,超过临界值,就会发展成为具有新功能结构的系统取代原有生态系统,威胁人类生存。因此,在低分值较适宜状态下,只有按照既定调控机制对现有生态环境继续进行保护和调节,特别是需要注意在权重系数相对较大、对环境影响非常巨大时,要加大或继续保持现有的调节模式,才能使生态系统呈现稳定发展趋势,从而实现人类与其生存环境之间的交互循环过程。

## 参考文献:

- [1] 卢昌义, 吝涛, 叶勇, 等. 红树林生态退化机制评估指标体系构建与漳江河口案例研究[J]. 台湾海峡, 2011, 30(1): 97-102.
- [2] Kai S U, Zhang J, Weici S U, et al. Based on PSR model of karst rocky land desertification risk assessment indexes research[J]. Journal of Chongqing Normal University, 2011, 28(1): 71-75.
- [3] 王少丽, 刘大刚, 许迪, 等. 基于模糊模式识别的农田排水再利用适宜性评价[J]. 排灌机械工程学, 2015, 33(3): 239-245.
- [4] 马顺圣, 张沛琪, 朱利群, 等. 城市生态适宜度评价及实例分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2011, 35(4): 51-57.
- [5] Xiang Yunyun, Meng Jijun. Research into ecological suitability zoning and expansion patterns in agricultural oases based on the landscape process: a case study in the middle reaches of the Heihe River[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(20): 1-13.
- [6] 蒋桂芹. 干旱驱动机制与评估方法研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2013.
- [7] Zhang M, Wang K, Zhang C, et al. Using the radial basis function network model to assess rocky desertification in northwest Guangxi, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 62(1): 69-76.
- [8] 刘麟. 黑河流域中上游生态环境监测指标体系的确立[J]. 甘肃环境研究与监测, 2003, 16(2): 114-115, 117.
- [9] 高志海, 李增元, 魏怀东, 等. 基于遥感的民勤绿洲植被覆盖变化定量监测[J]. 地理研究, 2006, 25(4): 587-595.
- [10] Leng X F, Lai Z L. Risk assessment of rocky desertification in Wenshan prefecture based on GIS and PSO-SVM model[J]. Safety & Environmental Engineering, 2014, 21(4): 19-24.
- [11] Zhang F, Tiyyip T, Johnson V C, et al. Evaluation of land desertification from 1990 to 2010 and its causes in Ebinur Lake region, Xinjiang China[J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 73(9): 5731-5745.
- [12] 陈贺, 杨盈, 于世伟, 等. 基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究[J]. 生态学报, 2011, 31(23): 7218-7226.
- [13] 孙兰东, 岳立, 郭慧. 石羊河流域生态系统的气候变化脆弱性评估[J]. 干旱区研究, 2010, 27(2): 204-210.
- [14] 韦莉. 基于 RS 和 GIS 的石羊河流域生态脆弱性评价研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2010.
- [15] 张瑞君, 段争虎, 陈小红, 等. 民勤县 2000-2009 年来水资源生态环境压力分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 558-563.
- [16] 张洪波, 黄强, 彭少明, 等. 黄河生态水文评估指标体系构建及案例研究[J]. 水利学报, 2012, 43(6): 675-683.
- [17] 毛小琴, 田坤, 李静萍, 等. 城市生态需水量变化的驱动机制研究——以深圳市宝安区为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2009, 45(6): 1046-1054.
- [18] 李萍, 徐广. 石羊河流域荒漠化评价指标体系研究[J]. 中国水土保持, 2008, (2): 24-27.
- [19] 师彦武, 康绍忠. 石羊河流域水资源开发的水土环境效应评价[J]. 中国农村水利水电, 2003, (7): 68-71.
- [20] 孔江. 城市建设评价指标体系与方法研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2002.
- [21] 张艳丽. 民勤县生态安全综合评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [22] 陈敏建, 王浩, 王芳, 等. 内陆干旱区水分驱动的生态演变机理[J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2108-2114.
- [23] 文星, 王涛, 薛炯, 等. 1975-2010 年石羊河流域绿洲时空演变研究[J]. 中国沙漠, 2013, 33(2): 478-485.
- [24] 蒋友严, 韩涛, 王有恒, 等. 石羊河调水 10a 来民勤绿洲生态脆弱性变化[J]. 干旱区研究, 2014, 31(1): 157-162.