

内蒙古农业水土资源可持续利用潜力模糊评价研究^{*}

吴 全^{1,2}, 朝伦巴根¹, 赵国平³

(1. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010010; 2. 内蒙古自治区土地整理中心, 呼和浩特 010010; 3. 陕西省治沙研究所, 陕西 榆林 719000)

摘 要: 以耕地灌溉率等因素为参评因子, 在各因子等级指标划分的基础上, 利用模糊数学理论, 建立农业水土资源可持续利用潜力评价模型。通过该模型运算, 内蒙古 12 个盟市农业水土资源可持续利用潜力指数为 1.025~3.252, 潜力指数最大的呼伦贝尔市是最小的乌海市的 3.17 倍。按流域评价, 潜力指数波动范围为 2.060~3.182, 最大的松花江、嫩江流域是最小的黄河流域的 1.55 倍。模型运算结果符合实际, 说明以模糊数学理论为基础建立的农业水土资源可持续利用潜力评价模型可靠、可行, 可用于指导实践。

关键词: 内蒙古; 农业水土资源; 可持续利用; 模糊评价模型

中图分类号: F323.211; F323.213 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2008)03-0141-05

The Fuzzy Assessment of Sustainable Agriculture Development Potential of the Soil and Water Resource in Inner Mongolia

WU Quan^{1,2}, CHAO Lunbagen², ZHAO Guo-ping³

(1. Inner Mongolia Agriculture University, Huhhot 010019, China; 2. Inner Mongolia National Territory Resources Hall Trim Center of Land, Huhhot 010019, China; 3. Shaanxi Province Research Institute for Sand Control, Yulin, Shaanxi 710009, China)

Abstract: Based on the grading of indicators using fuzzy mathematics, taking the irrigation rate of cultivated land as the evaluation factor, sustainable agriculture soil and water development potential assessment model is established. The results showed that sustainable agricultural land and water resources potential index of 12 leagues and cities in Inner Mongolia is from 1.025 to 3.252, the greatest potential index for HulunBuir City is 3.17 times than that of the smallest Wuhai City. According to the watershed assessment, the potential fluctuates in the range of 2.060 to 3.182, and the biggest Songhua River and Nenjiang River is 1.55 times than that of the smallest the Yellow River valley. The assessment model is reliable and feasible, and can be used to guide practice.

Key words: Inner Mongolia; agriculture soil and water resources; sustainable development potential; Fuzzy Assessment Model

1 引 言

农业水土资源是民生之本、发展之基。随着人口数量的不断增加和社会经济的快速发展, 人类对水、土等自然资源的需求数量越来越大, 使其承受的压力与日俱增, 伴随出现农业水土资源挤占、短缺、区域性结构破坏和生产、生态、生活功能衰减等非持续性利用问题, 直接威胁国家或地区粮食生产安全。这些问题是农业现代化进程中长期的、根本性的制约因素^[1-2]。我国是农业大国, 随着工业化和城市化的快速发展, 农业水土资源被挤占的势头仍难以逆转, 必将影响到国家粮食可持续安全生产^[3-4]。内蒙古深居内陆, 地域辽阔, 东西跨度大, 地形复杂, 水资源地区分布不均, 时空变化错综复杂, 土地资源丰富, 农业生产潜力较大, 为全国粮食主产区之一。近年来区域经济得到快速发展, 产业结构不断向

多元化方向发展, 城市、交通、能源等基础设施建设力度不断加大, 以煤炭为主体的矿产资源开发和化工生产优势凸显, 成为拉动国民经济发展的巨大动力。产业结构调整对传统的农业水土资源可持续利用形成重大冲击, 提高农业综合生产能力, 保障粮食生产安全, 实现农业水土资源可持续利用成为内蒙古的一项重要任务。

模糊数学是研究和处理模糊现象的科学, 模糊综合评判模型是模糊数学众多模型中的一个, 它是对多因素难以精确量化的评判对象, 进行量化综合评价的有效工具。该方法在众多领域广泛应用, 但是在农业水土资源可持续利用评价及识别研究中, 目前尚无典型事例可供借鉴^[5-6]。因此, 本文结合内蒙古水土资源利用的实际情况, 开展农业水资源可持续利用的定量评价研究, 建立相应的理论模型, 通过对内蒙

^{*} 收稿日期: 2007-07-20
基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50139040)
作者简介: 吴全(1964-), 男, 内蒙古赤峰市人, 教授级高工, 博士, 主要从事土地整理与水土资源优化利用研究。E-mail: zgpt2005apple@126.com

古不同区域农业水土资源可持续利用潜力指数的分析计算,从定量的角度评价内蒙古农业水土资源可持续利用的潜力程度,对比分析区域间的差异,为产业结构调整 and 确定农业水土资源发展方向提供决策依据。

2 模糊评价模型的建立

2.1 参评因子的选取与指标计算

通过对内蒙古地区农业水土资源利用现状及影响因素的分析评价,根据区域人口、水资源量、耕地面积、农业水土资源开发利用情况和生态环境等指标,按照影响程度大小排序,选择耕地灌溉率等 7 个因素作为参评因子,建立模糊评价模型。各参评因子指标值计算如下:

- (1) 耕地灌溉率(IRR) X_1 : 有效灌溉面积/耕地面积(%);
- (2) 水资源利用率(UTR) X_2 : 75% 代表年利用率(%);
- (3) 水资源开发程度(EXR) X_3 : 75% 代表年的水资源开发程度(%);
- (4) 农业需水模数(NWR) X_4 : 农业需水量/耕地面积(m^3/km^2);
- (5) 农业供水模数(SUR) X_5 : 75% 代表年农业供水量/耕地面积(m^3/km^2);
- (6) 人均供水量(ASQ) X_6 : 75% 代表年水资源供给量/总人口($\text{m}^3/\text{人}$);
- (7) 生态环境用水量(ZEQ) X_7 : 生态环境用水量/总水资源量(%)。

2.2 参评因子指标区间划分

根据模糊决策理论和区域水资源可持续利用评价理论模型与方法^[5]等文献资料,结合内蒙古的实际情况,对参评因子指标区间按影响程度大小划分为极高水平、高水平、中水平和低水平 4 个级别,各级别指标值如表 1 所示。

表 1 内蒙古农业水土资源可持续利用潜力评价因子指标区间划分标准

参评因子	I (极高水平)	II (高水平)	III (中水平)	IV (低水平)
IRR X_1 /%	$X_1 \geq 60$	$40 \leq X_1 < 60$	$10 \leq X_1 < 40$	$X_1 < 10$
UTR X_2 /%	$X_2 \geq 80$	$60 \leq X_2 < 80$	$20 \leq X_2 < 60$	$X_2 < 20$
EXR X_3 /%	$X_3 \geq 70$	$50 \leq X_3 < 70$	$20 \leq X_3 < 50$	$X_3 < 20$
NWR X_4 / ($\text{m}^3 \cdot \text{km}^2$)	$X_4 \geq 80$	$50 \leq X_4 < 80$	$10 \leq X_4 < 50$	$X_4 < 10$
SUR X_5 / ($\text{m}^3 \cdot \text{km}^2$)	$X_5 \geq 80$	$50 \leq X_5 < 80$	$10 \leq X_5 < 50$	$X_5 < 10$
ASQ X_6 / ($\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	$X_6 \leq 5$	$5 < X_6 \leq 20$	$20 < X_6 \leq 40$	$X_6 > 40$
ZEQ X_7 /%	$X_7 \leq 0.5$	$0.5 < X_7 \leq 1$	$1 < X_7 \leq 2$	$X_7 > 2$

2.3 模糊综合评价模型的建立

根据模糊综合评价方法,建立内蒙古农业水土资源可持续利用潜力评价模型如下:

评判因素集:

$$WRU = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$$

(1)

决断集:

$$V = \{V_1, V_2, V_3, V_4\}$$

(2)

式中: x_1, x_2, \dots, x_n ——参评因子; V_1, V_2, V_3, V_4 ——农业水土资源可持续利用极高、高、中、低水平。设 R 是 WRU 到 V 的模糊变换,给定权重 W 使 $\sum W_i = 1$,综合评价为 $B = WR$ 。根据相对隶属函数的概念^[8],建立对农业水土资源可持续利用潜力 WRU 进行识别的参考连续统。确定参考连续统上关于 WRU 的 2 个极点,然后在参考连续统上定义对 WRU 的相对隶属函数^[7,10]。

$$R_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} \leq y_{ic} \text{ 或 } x_{ij} \geq y_{ic} \\ \frac{x_{ij} - y_{ic}}{y_{i1} - y_{ic}} & y_{i1} > x_{ij} > y_{ic} \text{ 或 } y_{i1} < x_{ij} < y_{ic} \\ 1 & x_{ij} \geq y_{i1} \text{ 或 } x_{ij} \leq y_{i1} \end{cases} \quad (3)$$

式中: R_{ij} ——样本 j 指标 i 的特征值对 WRU 的相对隶属度; y_{i1}, y_{ic} ——指标 i 的 1 级、C 级标准值。

同理可得级别 h 指标 i 标准值 y_{ih} 对农业水土资源可持续利用潜力 WRU 的相对隶属函数公式。

$$S_{ih} = \begin{cases} 0 & y_{ih} = y_{ic} \\ \frac{y_{ij} - y_{ic}}{y_{i1} - y_{ic}} & y_{i1} > x_{ij} > y_{ic} \text{ 或 } y_{i1} < x_{ij} < y_{ic} \\ 1 & y_{ih} = y_{i1} \end{cases} \quad (4)$$

式中: S_{ih} ——级别 h 指标 i 的标准值对 WRU 的相对隶属度。

式(3)、(4)称指标对水土资源可持续利用潜力 WRU 的相对隶属函数公式,简称指标相对隶属函数公式^[8-9]。公式是以模糊决策理论中的相对隶属度、相对隶属函数的概念与定义为基础,以参考连续统上的两极及中介的线性变化作为相对统一的参照系。

3 模糊评价运算及结果分析

3.1 数据分析计算

内蒙古多年平均水资源总量为 551.803 亿 m^3 ,可供农业利用的水资源总量为 290.63 亿 m^3 ,约占水资源总量的 50%。2005 年内蒙古总人口为 2 386.4 万人;农业水资源利用量为 285.04 亿 m^3 ,约占可供农业利用水资源总量的 98%,农业需水量为 228.04 亿 m^3 ,约占水资源总量的 46%;总耕地面积为 711.39 万 hm^2 。其中,灌溉面积 184.44 万 hm^2 ,占总耕地面积的 26%。

本文模糊评价运算所需的水土资源与社会经济空间数据,主要根据内蒙古近年来相关部门开展的水土资源调查评价工作成果和统计调查数据,经对比分析计算后确定的。其中,土地利用类型及面积为 2005 年末公布的内蒙古土地详查变更数;水资源数据来源于内蒙古国土资源厅 2005 年完成的《内蒙古地下水资源评价》和 2006 年内蒙古水利厅编制的《内蒙古水资源规划报告》;社会经济和人口数据来源于 2006 年统计年鉴。在具体数据的分析处理和计算过程中,为确保数据的现实性和可靠性,对重要数据进行了实地调查核实。根据上述资料计算出内蒙古各盟市、各流域农业水土资源可持续利用潜力评价因子特征值见表 2、3。

表 2 内蒙古各盟市农业水土资源可持续利用潜力评价因子特征值

盟 市	IRR X_1 / %	UTR X_2 / %	EXR X_3 / %	NWR X_4 / (亿 m ³ · km ⁻²)	SUR X_5 / (亿 m ³ · km ⁻²)	ASQ X_6 / 亿 m ³	ZEQ X_7 / %
呼和浩特市	30.10	61.67	66.10	10.78	14.43	3.18	0.11
包头市	34.55	80.37	80.50	11.60	14.54	2.53	0.14
乌海市	100.00	100.00	100.00	57.75	71.83	1.10	0.35
赤峰市	25.15	73.50	75.37	22.73	29.14	6.69	0.19
通辽市	32.41	78.46	86.28	22.88	31.45	10.45	0.11
呼伦贝尔市	1.83	38.46	38.48	81.26	101.64	45.03	0.01
兴安盟	12.63	74.61	75.27	40.47	51.04	23.29	0.03
锡林郭勒盟	4.11	59.27	61.16	63.57	82.01	20.21	0.12
乌兰察布市	7.49	73.66	75.29	8.40	10.73	4.51	0.74
鄂尔多斯市	49.55	45.66	45.63	27.82	34.75	9.28	0.28
巴彦淖尔市	90.55	97.02	97.26	11.23	14.05	4.71	0.07
阿拉善盟	98.35	66.82	69.57	128.57	167.03	14.34	0.04

表 3 内蒙古各流域农业水土资源可持续利用潜力评价因子特征值

流域及 水系名称	IRR X_1 / %	UTR X_2 / %	EXR X_3 / %	NWR X_4 / (亿 m ³ · km ⁻²)	SUR X_5 / (亿 m ³ · km ⁻²)	ASQ X_6 / 亿 m ³	ZEQ X_7 / %
松、嫩流域	5.63	43.29	43.39	70.89	88.82	36.14	0.15
辽河流域	29.09	76.22	78.71	22.70	28.37	7.53	0.14
海河流域	6.93	43.12	78.14	8.56	10.69	5.55	0.12
黄河流域	50.08	44.63	61.84	16.52	20.65	4.71	0.25
西北诸河	21.83	56.03	59.52	22.00	27.50	9.31	0.21

3.2 模糊综合评判 (6) 所示。

首先按 12 个盟市和各流域 4 级评价指标计算隶属度特征值; 然后按越大越优的原则得到转置矩阵函数, 由于上下界取各指标的最大值和最小值, 则优等方案行矩阵全部元素为 1, 次等方案行矩阵全部元素为 0; 最后采用等权公式计算其优属度函数。

根据表 1- 3 计算得内蒙古 12 个盟市现状农业水土资源可持续利用程度指标特征值与指标标准值矩阵, 见式(5),

$$Y = \begin{bmatrix} 60 & 40 & 20 & 10 \\ 80 & 60 & 30 & 20 \\ 70 & 50 & 30 & 20 \\ 80 & 50 & 20 & 10 \\ 80 & 50 & 20 & 10 \\ 5 & 20 & 30 & 40 \\ 0.5 & 1 & 1.5 & 2 \end{bmatrix} = Y_{jh} \quad (5)$$

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.402 & 0.695 & 0.922 & 0.011 & 0.063 & 1 & 1 \\ 0.491 & 1 & 1 & 0.023 & 0.065 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0.682 & 0.883 & 1 & 1 \\ 0.303 & 0.895 & 1 & 0.182 & 0.273 & 0.952 & 1 \\ 0.448 & 0.974 & 1 & 0.184 & 0.306 & 0.844 & 1 \\ 0 & 0.308 & 0.370 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0.053 & 0.910 & 1 & 0.435 & 0.586 & 0.477 & 1 \\ 0 & 0.655 & 0.823 & 0.765 & 1 & 0.565 & 1 \\ 0 & 0.893 & 1 & 0 & 0.010 & 1 & 0.840 \\ 0.791 & 0.428 & 0.516 & 0.255 & 0.353 & 0.878 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0.017 & 0.057 & 1 & 1 \\ 1 & 0.780 & 0.991 & 1 & 1 & 0.733 & 1 \end{bmatrix} = r_{1jh} \quad (6)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, 7$ ——参评因子指标序号; $j = 1, 2, \dots, 12$ ——内蒙古盟市序号号; $h = 1, 2, 3, 4$ ——等级序号。

应用式(3, 4)将 X, Y 变换为农业水土资源 1 级可持续利用的指标相对隶属度与指标值相对隶属矩阵, 见式(7)。

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0.389 & 0.468 & 0.870 & 1 & 0.110 & 1 \\ 0.382 & 0.937 & 1 & 0.181 & 0.262 & 0.928 & 1 \\ 0 & 0.385 & 1 & 0 & 0.010 & 0.984 & 1 \\ 0.802 & 0.411 & 0.837 & 0.093 & 0.152 & 1 & 1 \\ 0.237 & 0.601 & 0.790 & 0.171 & 0.25 & 0.877 & 1 \end{bmatrix} = r_{2jh} \quad (7)$$

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 0.600 & 0.2 & 0 \\ 1 & 0.667 & 0.167 & 0 \\ 1 & 0.600 & 0.200 & 0 \\ 1 & 0.667 & 0.167 & 0 \\ 1 & 0.667 & 0.167 & 0 \\ 1 & 0.571 & 0.286 & 0 \\ 1 & 0.667 & 0 & 0 \end{bmatrix} = S_{ih} \quad (8)$$

利用所建的隶属函数, 将表 2 中评价指标 Fuzzy 化, 并计算农业水土资源各评价指标类型要素指数, 得要素指数集, 如式(8)所示。

为确定各参评因素评价指标的权向量指数, 按一致性定理, 利用权重主导因素法确定指标重要性排序, 得到通过检验的 7 项指标重要性排序一致性标度矩阵, 利用矩阵关于重要性的排序, 并根据模糊评价经验, 评价指标的 Fuzzy 化权向量, 对内蒙古各盟市进行计算, 得出耕地灌溉率(X_1)、水资源利用率(X_2)、水资源开发程度(X_3)、需水模数(X_4)、供水模数(X_5)、人均供水量(X_6)和生态环境用水率(X_7)的权重, 分别为 0.450, 0.344, 0.109, 0.079, 0.018, 0.0002, 0.00001。即:

$$W = (0.450X_1, 0.344X_2, 0.109X_3, 0.079X_4, 0.018X_5, 0.0002X_6, 0.00001X_7) \quad (9)$$

应用模糊模式识别模型式求内蒙古各盟市对各个级别农业水土资源可持续利用程度的相对隶属度。则综合评判结果:

$$B = WS = (1, 0.629, 0.186, 0) \quad (10)$$

$$H_1 = (2.243, 2.046, 1.025, 2.302, 2.091, 3.252, 2.618, 2.886, 2.699, 2.066, 1.207, 1.226) \quad (13)$$

根据上述步骤, 同理可计算出内蒙古各流域农业水土资源可持续利用矩阵 U_2 和农业水土资源可持续利用潜力指数 H_2 , 见式(14)、式 15 所示。

$$U_2 = \begin{bmatrix} 0.035 & 0.106 & 0.499 & 0.359 \\ 0.156 & 0.599 & 0.155 & 0.009 \\ 0.041 & 0.119 & 0.484 & 0.356 \\ 0.206 & 0.594 & 0.130 & 0.070 \\ 0.074 & 0.357 & 0.398 & 0.172 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$H_2 = (3.182, 2.178, 3.156, 2.06, 2.667) \quad (15)$$

由此得到内蒙古 12 个盟市和 5 各流域农业水土资源可持续利用潜力的评价结果, 见表 4、5 所示。

表 4 内蒙古各盟市农业水土资源可持续利用潜力评价结果

盟市	呼和浩特市	包头市	乌海市	赤峰市
潜力指数	2.243	2.046	1.025	2.302

盟市	兴安盟	锡林郭勒盟	乌兰察布市	鄂尔多斯市
潜力指数	2.618	2.886	2.699	2.066

盟市	通辽市	呼伦贝尔市	巴彦淖尔市	阿拉善盟
潜力指数	2.091	3.252	1.207	1.226

式中: B ——内蒙古农业水土资源分类标准指数集; W ——权重; S ——单因素评价指标组成的矩阵。

3.3 潜力指数计算

将 R , W 及 S 矩阵中有关数据代入下式:

$$U = 1 / \left\{ \sum_{i=1}^7 \omega_i (r_{i7} - S_{ik})^2 \cdot \sum_{h=1}^4 1 / \sum_{i=1}^7 \omega_i (r_{i7} - S_{ik})^2 \right\} \quad (11)$$

得出内蒙古各盟市农业水土资源可持续利用矩阵 U_1 , 见式(12)所示。

$$U_1 = \begin{bmatrix} 0.089 & 0.660 & 0.170 & 0.807 \\ 0.206 & 0.610 & 0.115 & 0.686 \\ 0.982 & 0.013 & 0.003 & 0.002 \\ 0.140 & 0.535 & 0.206 & 0.118 \\ 0.179 & 0.624 & 0.124 & 0.073 \\ 0.029 & 0.085 & 0.493 & 0.394 \\ 0.129 & 0.342 & 0.312 & 0.217 \\ 0.080 & 0.235 & 0.405 & 0.281 \\ 0.121 & 0.304 & 0.331 & 0.244 \\ 0.181 & 0.635 & 0.121 & 0.064 \\ 0.851 & 0.108 & 0.025 & 0.016 \\ 0.831 & 0.128 & 0.025 & 0.016 \end{bmatrix} \quad (12)$$

将式(12)代入式(10), 得出内蒙古不同盟市农业水土资源可持续潜力指数 H_1 , 如式(13)所示。

表 5 内蒙古各流域农业水土资源可持续利用潜力评价结果

流域名称	松、嫩流域	辽河流域	海河流域	黄河流域	西北诸河
潜力指数	3.182	2.178	3.156	2.060	2.667

3.4 评价结果分析

根据表 4 对内蒙古各盟市农业水土资源可持续利用潜力的评价结果, 呼伦贝尔市潜力指数最大, 达到 3.252, 说明农业水土资源在未来开发利用、结构调整以及区域调配都具有较大的潜力, 特别是可进一步加大农业水土资源的开发力度, 实施土地整理, 发展灌溉农业, 提高粮食生产能力, 为国家粮食安全作出贡献。锡林郭勒盟、乌兰察布市和兴安盟潜力指数达到 2.6 以上, 处于中等偏上水平, 未来农业水资源具有一定的结构调整潜力, 应从可持续利用的角度合理开发。呼和浩特市、包头市、赤峰市、通辽市、鄂尔多斯市潜力指数分别为 2.243, 2.046, 2.302, 2.091, 2.066, 农业水土资源开发利用程度处于适中水平, 应从可持续利用的角度慎重开发。其中, 包头市、鄂尔多斯市、呼和浩特市因处于内蒙古“金三角”地区, 各业用水、争地矛盾突出, 应从区域间、部门间、代际间加强农业水土资源可持续利用的协调与平衡, 在水资源利用上优先利用黄河客水资源, 十分珍惜利用土地资

源, 保护好农用地, 尤其是保护好基本农田和城乡结合部的优质菜田; 通辽市、赤峰市是内蒙古重要粮食生产基地, 农业水土资源开发利用程度高, 必须高度重视和协调好农业水土资源可持续利用的发展能力。乌海市、巴彦淖尔市和阿拉善盟可持续利用潜力指数分别为 1.025, 1.207, 1.226, 水土资源可持续利用潜力指数很低, 农业进一步开发对水土资源可持续利用构成极大压力, 农业水土资源已不具备过多的“开源”潜力, 主要依靠“节流”来发展农业。其中, 乌海市属工矿区, 在全区 12 个盟市中农业水土资源可持续利用潜力指数最低, 水土资源开发利用已达到极限; 巴彦淖尔市属粮食主产区, 主要靠引黄河水客水灌溉, 自身水资源的再生能力低, 农业水土资源可持续利用能力不强; 阿拉善盟属荒漠化地区, 只能靠黄河客水在局部地区发展少量农业, 农业水土资源自身不具备可持续发展能力。

从表 5 对内蒙古各流域农业水土资源可持续利用潜力的评价结果看, 松花江、嫩江和海河流域潜力指数较大, 可进一步加大农业水土资源的开发力度, 增加耕地面积, 发展灌溉农业, 提高粮食生产能力。黄河、西北诸河、辽河流域水资源可持续利用潜力指数分别为 2.060, 2.667 和 2.178, 农业水土资源开发利用潜力有限, 应高度重视和协调好农业水土资源可持续利用的发展能力, 从区域间、部门间、代际间加强农业水土资源可持续利用的协调与平衡, 保护好农用地, 慎重开发利用水资源。

4 结 论

根据模糊数学理论, 建立了农业水土资源可持续利用潜力评价模型。利用该模型, 对内蒙古地区农业水土资源可持续利用潜力进行了计算, 结果表明:

(1) 内蒙古 12 个盟市农业水土资源可持续利用潜力指数变化范围在 1.025~ 3.252。其中, 呼伦贝尔市潜力指数最大, 达到 3.252; 乌海市潜力指数最小, 为 1.025。内蒙古 5 个流域农业水土资源可持续利用潜力指数变化范围在 2.060

~ 3.182。其中, 松花江、嫩江流域潜力指数最大, 为 3.182; 黄河流域潜力最小, 为 2.06。

(2) 模型计算结果与内蒙古农业水土资源开发利用实际情况相符, 说明以模糊数学理论为基础建立的农业水土资源可持续利用潜力评价模型可靠、可行, 可用于评价分析区域农业水土资源可持续利用状况, 协调解决区域农业水土资源利用中的问题, 从而为科学决策提供理论依据。

参考文献:

[1] 蒋业放, 梁季阳. 水资源可持续利用规划耦合模型与应用[J]. 地理研究, 2000, 19(1): 37-44.

[2] 薛小杰, 于长生, 黄强, 等. 水资源可持续利用模型及其应用研究[J]. 西安理工大学学报, 2000, 16(3): 301-305.

[3] 吴全, 朝伦巴根, 王桂华, 等. 内蒙古土地整理与水土资源可持续利用研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(7): 166-173.

[4] 吴全, 王东平. 内蒙古生态环境状况与可持续发展[J]. 内蒙古畜牧科学, 2002, 23(3): 10-11.

[5] 陈守煜. 区域水资源可持续利用评价理论模型与方法[J]. 中国工程科学, 2001, 3(2): 33-38.

[6] 吴正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 165-207.

[7] 吴正. 风沙地貌学[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 167-183.

[8] 陈守煜. 系统模糊决策理论与应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1994.

[9] 谢小良. 基于模糊综合评判下的决策模型[J]. 统计与决策, 2005(11): 57-58.

[10] 李毓唐, 刘为民, 林琳. 应用模糊集合理论与模型构造的决策支持系统[J]. 微机处理, 1995(3): 37-40.

(上接第 140 页)

[2] 陈云明, 刘国彬, 徐炳成, 等. 我国沙棘水土保持功能研究进展与展望. 中国水土保持科学, 2004, 2(2): 88-92.

[3] 焦菊英, 焦峰, 温仲明. 黄土丘陵沟壑区不同恢复方式下植物群落的土壤水分和养分特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 667-674.

[4] 魏宇昆, 梁宗锁, 王俊峰, 等. 黄土丘陵区不同立地条件沙棘水分特征与生物量研究[J]. 沙棘, 2001, 14(4): 5-8.

[5] 陈云明, 刘国彬, 侯喜录. 黄土丘陵半干旱区人工沙棘林水土保持和土壤水分生态效益分析[J]. 应用生态学报, 2002, 13(11): 1389-1393.

[6] 张玉斌, 吴发启, 曹宁, 等. 泥河沟流域不同土地利用土壤养分分析[J]. 水土保持通报, 2005, 25(2): 23-26.

[7] 姚月锋, 满秀玲. 毛乌素沙地不同林龄沙柳表层土壤水分空间异质性[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 112-114.

[8] 岳庆玲, 常庆瑞, 刘京. 黄土丘陵沟壑区不同人工林地土壤肥力变化研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 99-101.

[9] 马建军, 李青丰, 张树礼. 沙棘与不同类型植被配置下土壤微生物养分特征及相关性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(6): 163-165.

[10] 李代琼, 梁一民, 侯喜禄, 等. 沙棘改善环境的生态功能及效益试验研究[J]. 国际沙棘研究与开发, 2006, 2(2): 7-8.

[11] 刘增文, 王乃江. 森林生态系统稳定性的养分原理[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(12): 130-132.

[12] 张希彪, 上官周平, 赵爱萍. 黄土丘陵区沙棘群落天然化发育过程中植物物种多样性研究[J]. 山地学报, 2007, 25(3): 326-332.