

基于属性识别模型的退耕地土壤水分综合评价

焦 峰^{1,2}, 温仲明^{1,2}, 安韶山^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:运用基于熵权的属性识别模型,对延河流域不同退耕年限土壤水分进行综合评价。结果表明:从不同退耕年限土壤水分的变异趋势来看,受耕作和施肥影响,退耕初期,土壤水分含量相对较高,随着退耕年限的延长,土壤水分总体呈下降趋势,表层的土壤水分比深层的土壤水分更快地损失了,土壤水分变异系数随着土层深度的增加呈减小趋势;随着退耕年限的增加,各土层土壤水分指标权重变化程度有很大差别,变异程度相当的土层之间土壤水分权重大小会随着退耕年限的变化发生反转。不同退耕年限土壤水分属性测度值均未达到速效水平,大部分处于难效水平。说明研究区土壤水分贫乏,有必要提高该地区的土壤水分水平。属性识别模型评价方法在很大程度上减小了主观因素的影响,评价结果直观实用,能为土壤水分综合评价提供有力的技术支撑。

关键词:属性识别模型; 退耕地; 熵权; 土壤水分; 综合评价

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)04-0052-05

Comprehensive Evaluation of Soil Moisture of Abandoned Cropland Based on Attribute Recognition Model

JIAO Feng^{1,2}, WEN Zhong-Ming^{1,2}, AN Shao-shan^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Attribute recognition model based on entropy weight was used to evaluate the soil moisture of abandoned cropland of different years in Yanhe Watershed. The results showed that from trend of variation of soil moisture abandoned cropland of different years, by the farming and fertilizer effects in the early farmland, content of soil moisture was higher relatively. With prolonged, in overall, soil moisture was downward trend, and soil moisture in toplayer lost more quickly than that in deep layers. The coefficient variation of soil moisture was reduced trend with increase of soil depth. The powers of soil moisture in considerable degree of between soil layers could be reversed with the length of abandoned cropland. In general, the soil moisture of abandoned cropland is at lower level in Yanhe Watershed, it is necessary to improve soil moisture in this region. The method of attribute recognition model can reduce the impact of subjective factors to large extent. This method of results which are visual and practical can provide powerful technical support for comprehensive evaluation of soil moisture.

Key words: attribute recognition model; abandoned cropland; the entropy weight; soil fertility; comprehensive evaluation

在侵蚀严重的干旱半干旱黄土丘陵沟壑区,土壤水分不仅是土壤侵蚀过程^[1]、植物生长^[2-3]和植被恢复^[4]的主要影响因子,也是重要的农业水资源。在干旱半干旱地黄土区,深厚的黄土层(一般厚度达 50—200 m)蓄积大量的水分形成了“土壤水库”,“库”中

的水对区域第一性生产力的形成具有重要作用^[5],从而成为土地资源质量评价的主导因素之一。

土壤水对植被恢复具有制约作用,它不仅影响植物群落的发生、发育和演替的速度,而且决定着植物群落演替的方向^[6],因为土壤的水分是植被演替基本

的初始条件,也是植被恢复的主要制约因子^[7]。不同的土壤水条件,植物种的侵入、生长状况不同,群落具体的演替方向和速率具有明显差异^[8]。Patricia M. 认为,改良土壤水分条件可以改善植物的萌发生根条件,并启动生态系统的演替过程^[9]。土壤水分的有效性是评价植被对土壤水分可利用程度和水分胁迫对植被生长影响的主要指标,土壤蓄水数量则是植被恢复与重建中的重要土壤环境因素。这方面的研究在国外开展较早,研究内容已涉及到植物根系的吸水速率和土壤水分有效性动力学和植被对土壤蓄水性能的影响上^[10-11]。建立科学合理实用的水资源评价指标体系,既是水资源的评价基础工作,也是水资源研究向前发展的导向和推动力。刘昌明在《土壤水的评价》一书中,对土壤水的概念进行较全面的论证^[12];周凌云等从土壤水的特性及其对植物的有效性出发进行探讨,提出了土壤水资源的评价系数^[13];靳孟贵阐述了土壤水资源的定义及研究土壤水资源的重要意义,分析了土壤水资源的结构,重点研究了可更新的土壤水资源和可开发利用的土壤水资源,提出了土壤水资源评价方法^[14]。

在植被恢复与重建中,应该考虑退耕地的土壤水分特性,以保证选择理想而实用的植被恢复目标^[15]。现存不同退耕年限植物群落的土壤水分特征对有效干预和调控植被恢复有着非常重要的参考价值。因此,评价黄土高原退耕地的土壤水分现状有十分重要的现实意义。然而,现有的土壤水分评价方法存在着事物识别不清、受人为因素干扰及评价结果不直观等困难。为此,本文通过对不同土层土壤水分评价指标实测数据的分析,运用基于熵权的属性识别模型对黄土高原不同年限退耕地土壤水分进行了综合评价,为加快黄土高原退耕地植被恢复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区在延河流域(36°23′—37°17′N,108°45′—110°28′E),位于黄土高原腹地,流域全长 286.9 km,总面积 7 687 km²。研究区属半干旱气候区,年降雨量 500mm,年均气温 9℃;主要土壤为粉沙质黄绵土。土质疏松,抗冲性差,水土流失严重,属极强度侵蚀区。植被类型为森林草原植被——温性草原植被。根据黄土高原植被区划的主流观点,该区为森林草原带,代表性植被有白羊草(*Bothriochloa ischaemun* (L.))、长芒草(*Stipa bungeana*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、芨蒿(*A. giraldii* Pamp)和达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)等^[16]。土地利用类型主要

有坡耕地、梯田、果园、乔木林地、灌木林地、天然草地和荒坡地等类型^[17-19]。延河流域的地貌、土壤类型、成土母质以及土地利用方式在黄土高原具有很好的代表性。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集和测定 主要通过空间代时间的方法来测定不同年限退耕地土壤水分变化。为减少由此产生的误差,对每个时间序列进行多点重复调查以增加样本数。首先通过访谈、历史资料查证等确定退耕的时间。土壤水分采用土钻取样,烘干法(105℃)测定,测深 5 m,取样深度间隔 20 cm。采样时间为 2005 年 7—8 月。对获取资料进行分析时,剔除了由于特殊立地的影响而形成的异常值,用于分析评价的样点为 66 个。

1.2.2 评价指标和评价标准 根据所处研究区域的土壤条件和土壤水分有效性与土壤持水力、水分常数(主要是凋萎系数和田间持水量)的特征,划分出土壤有效水分区间^[20]。一般来说,有效水被植物的利用有难易区别,愈靠近凋萎系数的水愈难被植物吸收。在黄土高原,一般以田间持水量的 60%作为植被生长阻滞点,相应地,参考有关人员对土壤水分的研究结果^[21],将研究区土壤含水量划分为 5 个等级(表 1)。

表 1 土壤水分的评价标准

土壤水分分级	土壤水分含量/%	土壤水分状态	植被状态
1	14.72~18.4	速效水	植被生长正常,发育良好
2	11.04~14.72	迟效水	植被生长正常,发育较好
3	7.36~11.04	难效水	生长受到抑制,林草生长不良
4	4.50~7.36	极难效水	生长受到严重抑制,林木出现干梢
5	<4.50	无效水	生长受到严重抑制,林草开始死亡

1.2.3 评价方法 在大多数评价问题中,权重的确定都受到主观因素的影响,评价结果不统一,也没有可比性。属性识别模型是以属性集理论和属性测度为基本概念,在有序分割类和属性识别准则的基础上,能对事物进行有效的识别和比较分析^[22]。该模型在一定程度上减小主观因素的影响^[23-24],已经在环境质量评价、水质水资源评价等问题中得到了成功应用^[25-26]。

运用基于熵权的属性识别模型进行土壤水分综合评价的基本思路:首先分别计算样本各评价指标的属性测度及其权重系数,利用加乘法原则求出样本的属性测度,最后根据置信度准则和评分准则对样本进

行分类、比较和排序。本研究运用熵值法确定各评价指标的权重系数,对延河流域退耕地土壤水分进行综合评价。利用统计软件 SPSS 11.5 对土壤水分的实测数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 评价指标的描述性统计

从表 2 可以看出,不同退耕年限土壤水分均值都

未超过土壤水分 2 级标准,绝大部分处于中 3 级水平;不同退耕年限土壤水分均值最小值均出现在退耕 16~20 a 时,退耕初期最高,在退耕 15 a 土壤水分总体呈下降趋势,至退耕 16~20 a 时,比退耕初期平均下降了 32.58%,退耕 21~25 a 时才开始恢复,至退耕地 26~30 a 时,0—60,60—120,120—200,200—300,300—500 cm 土壤水分已恢复到退耕初期的 70.01%、76.62%、71.72%、76.76%和 72.18%。

表 2 土壤水分的描述性统计

退耕年限/a	样本数	0—60 cm	60—120 cm	120—200 cm	200—300 cm	300—500 cm	均值	变异系数
0	5	11.07	10.31	10.89	11.66	11.79	11.14	0.05
1~5	19	8.98	8.87	9.56	9.55	10.13	9.42	0.05
6~10	13	9.68	9.56	8.30	8.28	9.39	9.04	0.08
11~15	9	7.39	7.37	7.65	8.33	9.14	7.98	0.10
16~20	7	6.66	6.73	7.21	7.94	9.12	7.53	0.14
21~25	7	6.90	6.68	7.51	8.47	9.18	7.75	0.14
26~30	6	7.75	7.90	7.81	8.95	8.51	8.18	0.06
均值		8.35	8.20	8.42	9.03	9.61	—	—
变异系数	66	0.19	0.17	0.16	0.14	0.11	—	—

从变异系数看,各层土壤水分变异系数都处于 0.1~0.2 之间,中等变异程度;土壤水分变异系数随着土层深度的增加呈减小趋势,0—60,60—120,120—200,200—300,300—500 cm 土壤水分变异系数分别为:0.19,0.17,0.16,0.14,0.11,表明表层的土壤水分随着退耕年限的延长,比深层的土壤水分更快地损失了。表明在退耕和植被恢复一定年限内,表层土壤水分比深层土壤水分对植被恢复的影响更加显著。随着植被演替的进行,土壤水分可以得到一定的恢复。

2.2 土壤样本评价指标属性测度值

土壤水分评价指标的属性测度值是在土壤中的状态值,根据属性识别模型的理论和方法,首先利用表 1 中的土壤水分评价标准构造不同土层土壤水分标准矩阵,矩阵内第 j 个评价指标第 l 级的评价标准值用 δ_{jl} 表示:

$$\delta_{jl} = \begin{bmatrix} 0-60\text{cm}J_1 \\ 60-120\text{cm}J_2 \\ 120-200\text{cm}J_3 \\ 200-300\text{cm}J_4 \\ 300-500\text{cm}J_5 \end{bmatrix}$$

$C_1 \quad C_2 \quad C_3 \quad C_4 \quad C_5$

$$\begin{bmatrix} 18.40 & 14.72 & 11.04 & 7.36 & 4.50 \\ 18.40 & 14.72 & 11.04 & 7.36 & 4.50 \\ 18.40 & 14.72 & 11.04 & 7.36 & 4.50 \\ 18.40 & 14.72 & 11.04 & 7.36 & 4.50 \\ 18.40 & 14.72 & 11.04 & 7.36 & 4.50 \end{bmatrix}$$

计算每个土壤水分各评价指标的属性测度,对每

个样本 X 要测量 7 个指标 J_1, J_2, \dots, J_m ;第 i 个样本 X_i 的第 j 个指标 ij 的测量值为 X_{ij} ,因此,第 i 个样本 X_i 可以表示为一个向量 X_i ,第 i 个样本第 j 个指标值 X_{ij} 具有属性 C_k 的属性测度用 δ_{ijk} 表示,计算公式为:

当 $X_{ij} \geq a_{j1}$ 时,取 $\delta_{ij1} = 1, \delta_{ij1} = \dots = \delta_{ijk} = 0$;

当 $X_{ij} \leq a_{jk}$ 时,取 $\delta_{ijk} = 1, \delta_{ij1} = \dots = \delta_{ijk-1} = 0$;

当 $a_{jl} \geq X_{ij} \geq a_{j1}$ 时,取 $\delta_{ijl} = \frac{|X_{ij} - a_{jl+1}|}{|a_{jl} - a_{jl+1}|}$,

$$\delta_{ijl+1} = \frac{|X_{ij} - a_{jl}|}{|a_{jl} - a_{jl+1}|}, \delta_{ijk} = 0, k < l \text{ 或 } k > l + 1.$$

将土壤水分实测值代入以上公式,得到土壤样本各样本的属性测度值。

2.3 土壤水分评价指标权重值

评价指标权重是指不同土层土壤水分对整体土壤水分的影响程度或贡献率,表示不同土层土壤水分在土壤水分综合评价中的作用和地位的不同。在信息论中,熵值反映了信息的无序化程度,可以用来度量信息量的大小。某项指标携带的信息越多,表示该指标对决策的作用就越大。熵值越小,则系统的无序度越小,故可用信息熵评价所获系统信息的有序度及其效用^[13]。本文采用熵值法确定权重,即熵权,它是在客观条件下由评价指标值构成的判断矩阵来计算指标信息的效用值。其计算步骤如下:

(1)判断矩阵构建。构建 n 个样本 m 个评价指标的判断矩阵 $R = (X_{ij})_{nm} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$

(2)判断矩阵归一化。将判断矩阵归一化处理,得到归一化判断矩阵 B :

$$B_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

式中: B_{ij} ——矩阵 B 第 i 行第 j 列的元素; X_{\max} 、 X_{\min} ——同一指标下不同样本中的最大值和最小值。

(3)评价指标熵计算。根据熵的定义, n 个样本 m 个评价指标,可以确定评价指标的熵 H_j 为:

$$H_j = -\frac{1}{\ln n} [\sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}], i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$$

式中: $f_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij}}$, 为了使 $f_{ij} \ln f_{ij}$ 不与熵的含义相悖,

将 f_{ij} 修正为: $f_{ij} = \frac{1+b_{ij}}{\sum_{i=1}^n (1+b_{ij})}$

(4)评价指标熵权计算。

$$w_j = \frac{1-H_j}{m - \sum_{j=1}^m H_j}, w = (w_j)_{1 \times m}, \sum_{j=1}^m w_j = 1$$

式中: w_j ——第 j 个评价指标的权重。

根据以上步骤,利用 66 个土壤样本各评价指标的实测值,计算相应的信息熵,并得到各不同土层土壤水分评价指标的权重(图 1)。

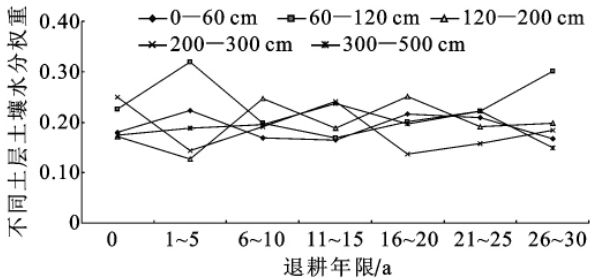


图 1 土壤水分指标权重图

从图 1 可以看出,退耕初期,不同土层土壤水分权重大小依此为:200—300 cm>60—120 cm>0—60 cm>300—500 cm>120—200 cm,其变化有两个特点:(1)随着退耕年限的增加,各土层土壤水分指标权重变化程度有很大差别,60—120 cm 和 200—300 cm 土层土壤水分权重变异系数达 0.24,其次是 120—200 cm 土层土壤水分权重变异系数为 0.22,300—500 cm 和 0—60 cm 土层土壤水分权重变异系数相对较小,分别为 0.15 和 0.13;(2)60—120 cm 和 200—300 cm 土层土壤水分权重变异程度相等,二者随着退耕年限的变化,其大小发生着反转,0—60 cm 和 300—500 cm 土层土壤水分权重变异系数大小相当,二者随着退耕年限的变化,其大小也在发生着反转。这种现象说明,随着退耕年限的增加,不同土层土壤水分指标权重在不断变化着,需要对植被群落的

演替行为与土壤水分的关系做进一步的分析和研究。

2.4 土壤水分评价

在计算出第 i 个土壤样本各评价指标的属性测度值 δ_{ijk} 和第 j 个评价指标的权重 w_j 后,可计算第 i 个样本 X_i 的属性测度 δ_{ik} ,计算公式如下,结果见表 3。

$$\delta_{ik} = \sum_{j=1}^m w_j \delta_{ijk}, 1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq K$$

从表 3 可以看出,若以田间持水量的 60% 作为植被生长阻滞点参考,不同退耕年限土壤水分属性测度值均未达到速效水平;退耕初期土壤水分属性测度值也仅有 15% 达到迟效水平,土壤水分属性测度值部分处于难效水平。随着退耕年限的延长,处于迟效水平的土壤水分属性测度值比例也在下降,处于难效水平的土壤水分属性测度值比例也在急剧降低;至退耕 21~25 a 时处于迟效水平的土壤水分属性测度值比例已不足 1%,处于难效水平的土壤水分属性测度值比例也已降到 22%,而处于极难效水平的土壤水分属性测度值比例达到 58%;至退耕 26—30 a 时迟效水平的土壤水分属性测度值比例为 7%,处于难效水平的土壤水分属性测度值比例为 28%,不足退耕初期的一半。说明单从属性测度的分布状况看,绝大部分采样点所代表区域的土壤水分都在中等以下的水平。即研究区土壤水分贫乏,有必要提高该地区的土壤水分水平。

表 3 不同退耕年限土壤水分属性测度值的描述性统计

退耕年限/a	项 目	速效 水 C_1	迟效 水 C_2	难效 水 C_3	极难 效水 C_4	无效 水 C_5
0	均值	0.00	0.15	0.68	0.17	0.00
	变异系数	0.00	1.30	0.15	0.67	0.00
1~5	均值	0.00	0.06	0.47	0.35	0.12
	变异系数	0.00	1.51	0.57	0.50	1.47
6~10	均值	0.00	0.04	0.42	0.42	0.11
	变异系数	0.00	2.19	0.56	0.53	1.25
11~15	均值	0.00	0.02	0.35	0.40	0.22
	变异系数	0.00	2.30	0.82	0.54	1.39
16~20	均值	0.00	0.02	0.25	0.47	0.25
	变异系数	0.00	2.65	1.04	0.54	1.03
21~25	均值	0.00	0.01	0.22	0.58	0.19
	变异系数	0.00	2.65	0.65	0.30	1.19
26~30	均值	0.00	0.07	0.28	0.39	0.26
	变异系数	0.00	1.55	1.02	0.60	1.06

3 讨论

运用基于熵权的属性识别模型黄土高原延河流域土壤水分进行综合评价。结果表明:从不同退耕年限土壤水分的变异趋势来看,受耕作和施肥影响,退

耕初期,土壤水分含量相对较高,随着退耕年限的延长,土壤水分总体呈下降趋势,表层的土壤水分比深层的土壤水分更快地损失了,土壤水分变异系数随着土层深度的增加呈减小趋势;随着退耕年限的增加,各土层土壤水分指标权重变化程度有很大差别,60—120 cm 和 200—300 cm 土层之间和 0—60 cm 和 300—500 cm 土层之间土壤水分权重变异程度相等,相互会随着退耕年限的变化,权重大小发生着反转。以田间持水量的 60% 作为植被生长阻滞点参考,不同退耕年限土壤水分属性测度值均未达到速效水平,退耕初期土壤水分属性测度值也仅有 15% 达到迟效水平,土壤水分属性测度值大部分处于难效水平。说明单从属性测度的分布状况看,绝大部分采样点所代表区域的土壤水分都在中等以下的水平。即研究区土壤水分贫乏,有必要提高该地区的土壤水分水平。

运用的属性识别模型,计算其属性测度值,针对不同评价问题建立相应的属性测度计算法则,评价方法能综合影响水分的评价因子,降低评价过程中的人为干扰,必将有益于提高评价结果的精度;评价结果更加直观形象且实用,便于分析和参考,能直接为退耕地土壤改良提供依据。但是,同时熵值法确定评价指标权重是从实测数据出发,受数据本身精度的影响较大,需要将其与专家经验相结合,使得权重的确定更加符合实际。

参考文献:

- [1] 贾志军,蔡强国, Luk S H. 晋西黄土高原土壤侵蚀管理与地理信息系统应用研究[M]. 北京:科学出版社, 1992:32-39.
- [2] 杨文治,余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京:科学出版社,1992:190-297.
- [3] 卢宗凡,梁一民,刘国彬. 中国黄土高原生态农业[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1997:56-67.
- [4] 朱志诚. 陕北黄土高原植被基本特征及其对土壤性质的影响[J]. 植物生态学与地植物学学报,1993,17(3):280-286.
- [5] 张雷明,上官周平. 黄土高原土壤水分与植被生产力的关系[J]. 干旱区研究,2002,19(4):59-63.
- [6] 杨小波,张桃林,吴庆书,等. 海南琼北地区不同物种多样性与土壤肥力的关系[J]. 生态学报,2002,22(2):190-196.
- [7] Sander M J, Wijdeven, Mirjam E Kuzee. Seed Availability as a Limiting Factor in Forest Recovery Process in Costa Rica[J]. Restoration Ecology, 2000,8(4):414-423.
- [8] 安树青,王峥嵘,朱学雷,等. 土壤因子对次生森林群落演替的影响[J]. 生态学报,1997,17(1):45-50.
- [9] Patricia M Holmes Shrubland Restoration Following Woody Alien Invasion and Mining: Effects of Topsoil Depth, Seed Source, and Fertilizer Addition[J]. Restoration Ecology, 2000,8(4):394-403.
- [10] 邵明安,陈志雄. SPAC 中的水分运动[J]. 西北水土保持研究所集刊,1991,13:3-12.
- [11] 周泽福,洪玲霞. 不同林地土壤水分入渗和入渗模拟的研究[J]. 林业科学,1997,33(1):9-17.
- [12] 刘昌明. 水量转换[M]. 北京:科学出版社,1988.
- [13] 周凌云,陈志雄,李卫民. 土壤水资源合理利用潜力评价[J]. 土壤通报,2003,34(1):15-18.
- [14] 靳孟贵,张人权,孙连发,等. 土壤水资源评价的研究[J]. 水利学报,1999,16(2):73-78.
- [15] 吴钦孝,杨文治. 黄土高原植被建设[M]. 北京:科学出版社,1998:42-68.
- [16] 梁一民. 黄土高原植被建设[M]. 郑州:黄河水利出版社,2003.
- [17] 杨文治,余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京:科学出版社,1992:45-69.
- [18] 安塞县地方志编纂委员会. 安塞县志[M]. 西安:陕西人民出版社,1993.
- [19] 吴旗县地方志编纂委员会. 吴旗县志[M]. 西安:三秦出版社,1991.
- [20] 宋桂琴. 黄土高原土地资源研究的理论与实践[M]. 北京:中国水利水电出版社,1996:64-65.
- [21] 段建军,王小利,张彩霞. 黄土高原土壤干层评定指标的改进及分级标准[J]. 水土保持学报,2007,21(6):151-154.
- [22] 程乾生. 属性识别理论模型及其应用[J]. 北京大学学报:自然科学版,1997,33(1):12-9,33
- [23] 邱苑华. 管理决策与应用熵学[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
- [24] 郑新奇,杨树佳,象伟宁. 基于农用地分等的基本农田保护空间规划方法研究[J]. 农业工程学报,2007,23(1):66-71.
- [25] 张礼兵,程吉林,金菊良. 改进属性识别模型及其在城市环境质量综合评价中的应用[J]. 环境工程,2006,24(3):74-76.
- [26] 张先起,梁川,刘慧卿. 基于熵权的属性识别模型在地下水水质综合评价中的应用[J]. 四川大学学报:工程科学版,2005.37(3):28-31.