

# 鄂尔多斯市水资源承载能力综合评价与分析

高瑞忠<sup>1</sup>, 李和平<sup>2</sup>, 佟长福<sup>2</sup>, 格日乐<sup>3</sup>

(1. 内蒙古农业大学 水利与土木工程学院, 呼和浩特 010018; 2. 中国水科院  
牧区水利科学研究所, 呼和浩特 010010; 3. 内蒙古工业大学 管理学院, 呼和浩特 010051)

**摘要:**水资源是一种战略性资源, 对于区域生态环境安全和区域可持续发展具有重要的意义, 水资源承载力是进行区域生态环境建设和确定社会经济发展方向的基础。鄂尔多斯市是内蒙古自治区经济发展速度最快的城市之一, 通过对鄂尔多斯市水资源承载能力的综合评价, 实现对于鄂尔多斯市水资源开发利用程度的总体把握, 为鄂尔多斯市的经济发展提供理论依据。采用相似评价模型对鄂尔多斯市水资源承载能力进行综合评价。结果表明: 鄂尔多斯市水资源开发利用程度已经具有相当的规模, 尽管水资源开发仍具有一定的潜力, 但应当开始重视水资源的综合管理, 以实现水资源的可持续利用。

**关键词:**鄂尔多斯市; 水资源; 承载能力; 综合评价

中图分类号: F323. 213

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)02-0139-04

## Comprehensive Evaluation and Analysis of Water Resources Capacity in Erdos Area

GAO Rui-zhong<sup>1</sup>, LI He-ping<sup>2</sup>, TONG Chang-fu<sup>2</sup>, GE Ri-le<sup>3</sup>

(1. *The College of Hydraulic and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China;* 2. *Institute of Water Resources for Pastoral Area, Huhhot 010010, China;*  
3. *College of Management, Inner Mongolia Technology University, Huhhot 010051, China*)

**Abstract:** Water resources is one of the strategic resources, which plays a very important role in ensuring regional ecological safety and implementing sustainable development. Therefore, evaluation of regional water resources capacity is the basis of improving eco-environmental construction and socio-economic development. Erdos' economy development is rapidest in Inner Mongolia. By comprehensively evaluating Erdos' water resources capacity, we can learn the status quo of Erdos' water resources and serve for the Erdos' economy development. The similarity model is adopted to evaluate Erdos' water resources capacity. The results show that the current water exploitation and use in Erdos area have reached a relative high degree. Although the water resources exploitation in Erdos area has certain potential, the water resources comprehensive management need to be paid attention to realizing the water resources' sustainable use.

**Key words:** Erdos; water resources; capacity; comprehensive evaluation

## 1 研究区概况及评价分区

鄂尔多斯市位于内蒙古自治区西南部, 与宁夏、陕西、山西三省区毗邻, 同呼和浩特市、包头市共同构成内蒙古自治区黄河“金腰带”上的“金三角”。鄂尔多斯市这几年经济发展速度快, 过去在内蒙古 12 个盟市中曾排列倒数第 2 位, 现在已位列内蒙古各地区之首。“鄂尔多斯发展模式”得到中央的充分肯定和高度重视, 已在全国宣传推广, 成为改革开放 30 年全国 18 个典型地区之一。

水资源是一种战略性资源, 对于区域生态环境安全和区域可持续发展具有重要意义, 水资源承载力是进行区域生态环境建设和确定社会经济发展方向的基础。鄂尔多斯市包括东胜区、达拉特旗、准格尔旗、鄂托克旗、鄂托克前旗、杭锦旗、乌审旗和伊金霍洛旗等 8 个行政旗(区), 本文通过对鄂尔多斯市及其各旗(区)水资源承载能力的综合评价, 实现对于鄂尔多斯市水资源的现状及开发利用程度的总体把握, 从而为鄂尔多斯市的经济发展提供理论依据。

## 2 评价方法

### 2.1 评价指标

水资源承载力评价指标体系的建立是水资源承载力研究中的一个关键问题,核心是用什么指标体系反映“社会—经济—自然复合生态系统”的发展规模与质量,影响区域水资源承载能力的因素很多,涉及到水资源系统的各个方面,其指标的选取也常因研究者而有不同<sup>[1-3]</sup>。在本次水资源承载力综合评价中,选取了水资源开发利用率、灌溉率、地表水控制率、工业用水重复利用率、人均水资源可利用量、人均供水量、排污率、供水量模数和生态用水率等 9 个主要因素作为评价因素,各因素的含义如下:①水资源开发利用率  $X_1(\%)$ ,现状水平年 75% 保证率的供水量与可利用的水资源总量之比;②灌溉率  $X_2(\%)$ ,灌溉面积与耕地面积之比;③地表水控制率  $X_3(\%)$ ,当地地表水蓄水工程入库水量与当地地表水资源量之比;④工业用水重复利用率  $X_4(\%)$ ,工业重复利用水量与总用水量之比;⑤人均水资源可利用量  $X_5(\text{m}^3/\text{人})$ ,可供水资源量与总人口数之比;⑥人均供水量  $X_6(\text{m}^3/\text{人})$ ,现状水平年 75% 保证率的供水量与总人口数之比;⑦排污率  $X_7(\%)$ ,污水排放量与总用水

量之比;⑧供水量模数  $X_8(\text{万 m}^3/\text{km}^2)$ ,供水量与土地面积之比;⑨生态用水率  $X_9(\%)$ ,生态用水总量与总需水量之比。

### 2.2 评价等级及模型建立样本和验证样本的产生

水资源系统是自然和社会交互的动态系统,其开发利用程度随着社会需求的增长和经济技术水平的提高而不断增加,根据评价因素对区域水资源承载力的影响程度,将水资源承载力划分为 3 个等级<sup>[1-3]</sup>:①等级 1,表示水资源有较大的承载能力,其开发利用程度和发展规模都较小,工农业及整个经济都处于用水低效型,水资源综合管理水平较低,因而区域国民经济发展对水资源的需求是有保障的;②等级 2,表示水资源开发已具有相当的规模,经济类型由用水低效型逐步向用水高效型过渡,并开始重视水资源综合管理,水资源开发仍具有一定的潜力,区域国民经济发展对水资源供给需求有一定的保证;③等级 3,表示水资源承载力处于饱和值,水资源开发利用程度接近极限,工农业及整个经济处于用水高效型,水资源综合管理达到相当水平,水资源的进一步开发潜力较小,水资源将制约国民经济发展,这时应采取相应的对策。综合评价指标对应的水资源承载力等级见表 1。

表 1 水资源承载力等级划分

等级	$X_1/\%$	$X_2/\%$	$X_3/\%$	$X_4/\%$	$X_5(\text{m}^3/\text{人})$	$X_6(\text{m}^3/\text{人})$	$X_7/\%$	$X_8/(\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	$X_9/\%$
1	<50	<15	<5	<50	>2000	>1500	<10	<10	>4
2	50~75	15~50	5~25	50~80	1500~2000	950~1500	10~15	10~15	4~2
3	>75	>50	>25	>80	<1500	<950	>15	>15	<2

水资源承载力评价模型建立和检验的样本依据评价等级随机产生,计算公式如式(1)。

$$x(i, j) = u[y_{\text{上}}(j) - y_{\text{下}}(j)] + y_{\text{下}}(j) \quad (1)$$

式中: $u$ —— $[0, 1]$ 之间的均匀随机数; $x(i, j)$ ——第  $i$  个评价指标产生的第  $j$  级的样本; $y_{\text{上}}(j)$ ——第  $i$  个评价指标属于第  $j$  级的上边界值; $y_{\text{下}}(j)$ ——第  $i$  个评价指标属于第  $j$  级的下边界值。

### 2.3 评价模型

采用 Shepard 相似模型进行水资源承载力评价,步骤如下:

(1)依据评价标准随机产生模型建立样本。样本由标准评价等级  $y(i)$  和其对应的评价指标  $x'(i, j)$  组成, $i$  为样本编号, $i=1, 2, \dots, n, j$  为指标数目, $j=1, 2, \dots, m$ 。为了消除各评价指标的量纲效应,对样本评价指标进行标准化处理。

$$x(i, j) = [x'(i, j) - \bar{x}(j)] / S_x(j) \quad (2)$$

式中: $\bar{x}(j), S_x(j)$ ——第  $j$  个评价指标  $\{x'(i, j) | i=1 \rightarrow n\}$  的均值和标准差。

(2)建立优化目标函数。当已知评价对象的评价指标  $x(n+1, j)$ , 则插值的评价类别  $y_c(n+1)$  见式(3)。

$$y_c(n+1) = \sum_{i=1}^n [\omega_i y(i)] / \sum_{i=1}^n \omega_i \quad (3)$$

其中

$$\begin{cases} \omega_i = d_i^{-b} \\ d_i = \left\{ \sum_{j=1}^m [x(i, j) - x(n+1, j)]^2 \right\}^{0.5} \end{cases}$$

式中: $d_i$ ——第  $i$  个样本评价指标与评价对象的评价指标之间的距离; $\omega_i$ ——权重,表示第  $i$  个样本对内插评价对象的评价类别  $y_c(n+1)$  的贡献大小; $b$ ——模型待定参数,一般为大于 1 的常数。

在样本序列中任取某样本,由其它  $n$  个样本进行 Shepard 插值,得到相应于评价类别的插值记为  $y_c$ ,建立如下目标函数优化估计参数

$$\min f(b) = \sum_{i=1}^n |y_c(i) - y(i)| \quad (4)$$

以上优化问题呈现非线性,传统的优化方法很难求解,因此可以采用人工智能优化方法进行计算,如

遗传算法、模拟退火算法、蚁群算法、禁忌算法、神经网络算法等。加速遗传算法<sup>[5-6]</sup>在水科学研究中得到广泛应用和认可,因此,本文采用加速遗传算法进行模型参数的优化计算。

(3)进行水资源承载能力评价。当参数 $b$ 确定以后,将评价对象的评价指标代入公式(3),得由 $n$ 个评价样本内插的评价对象的评价类别值 $y_c(n+1)$ 。

表2 水资源承载能力综合评价相似模型的建立与检验

样本 序号	评价指标									标准值	计算值	
	$X_1/\%$	$X_2/\%$	$X_3/\%$	$X_4/\%$	$X_5$ ( $\text{m}^3/\text{人}$ )	$X_6$ ( $\text{m}^3/\text{人}$ )	$X_7/\%$	$X_8/(\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	$X_9/\%$			
1	14.40	10.90	0.39	31.29	5983.86	2767.76	7.42	9.60	11.73	1	1.00	
2	33.43	9.10	0.80	23.42	4218.84	1854.75	3.18	1.70	4.15	1	1.15	
3	15.78	0.44	1.54	18.79	4386.93	2468.53	1.00	4.98	19.27	1	1.00	
4	49.27	3.97	3.60	42.81	5669.77	1553.69	8.86	2.72	16.44	1	1.00	
5	4.44	5.07	3.35	32.92	4741.18	3803.83	0.20	1.55	12.48	1	1.00	
6	48.98	11.84	1.80	42.07	3423.43	3868.60	8.69	3.38	10.31	1	1.00	
7	48.15	11.60	1.20	46.93	5218.48	3170.13	2.64	3.33	19.06	1	1.00	
8	32.35	9.45	2.10	17.07	3214.20	1641.28	5.44	4.74	15.71	1	1.00	
9	63.26	40.40	7.76	59.60	1950.59	1363.29	10.57	11.65	2.57	2	2.00	
10	55.12	46.48	7.51	54.59	1589.95	1343.03	12.76	12.36	2.54	2	2.00	
模 型 建 立	11	56.95	48.39	19.19	67.08	1904.05	1045.82	14.18	13.36	2.05	2	2.00
12	63.91	26.21	18.39	54.31	1972.24	1021.94	10.79	14.43	3.36	2	2.00	
13	68.40	23.08	14.43	68.40	1552.58	1214.71	13.09	10.41	3.41	2	2.00	
14	50.08	33.96	23.61	65.28	1695.11	1480.46	12.52	14.91	3.47	2	2.00	
15	52.60	37.61	6.86	69.05	1839.54	1334.99	11.56	10.90	3.82	2	2.00	
16	62.75	36.22	24.32	65.33	1709.73	1195.35	10.43	13.53	2.55	2	2.00	
17	143.04	60.93	38.33	81.32	822.13	427.82	48.49	17.23	0.02	3	2.96	
18	247.82	51.55	48.62	96.27	459.81	350.39	20.57	25.16	0.24	3	3.00	
19	217.68	88.73	86.58	96.22	315.57	717.68	48.69	25.93	0.30	3	3.00	
20	138.46	66.04	78.57	84.63	1031.74	583.89	18.92	28.79	0.65	3	2.99	
21	95.39	88.29	38.69	94.12	575.86	18.11	32.19	28.79	1.59	3	2.98	
22	307.61	90.66	67.03	80.41	299.23	586.84	40.30	19.10	0.63	3	3.00	
23	358.88	50.03	45.55	88.07	73.69	462.90	23.46	19.66	0.23	3	3.00	
24	327.43	94.74	53.55	90.70	1443.91	429.77	30.97	19.25	1.28	3	3.00	
模 型 检 验	1	32.91	9.77	1.87	1.88	4235.08	2914.39	1.53	7.32	5.69	1	1.00
2	18.83	12.53	2.16	48.92	4711.27	1851.85	4.83	6.46	13.01	1	1.00	
3	69.06	34.23	11.16	65.75	1733.21	1378.63	11.56	13.89	2.77	2	2.00	
4	51.94	30.90	6.65	57.31	1893.93	1062.29	12.67	11.27	3.51	2	2.00	
5	334.84	56.63	40.74	88.25	202.96	191.31	23.54	25.25	0.85	3	3.00	
6	362.74	76.30	57.16	82.58	417.42	261.15	32.24	18.37	1.95	3	3.00	

基于建模样本,以加速遗传算法求解公式(4),从而识别相似模型参数 $b=0.985$ ,优化目标函数值为0.21。以检验样本代入相似模型,从而检验模型的有效性,表3给出了水资源承载能力综合评价相似模型建立和检验阶段的误差分析,从表3可以看出,模型在建立阶段和检验阶段,取得了较好的评价效果,因此,模型可以用于实际的水资源承载能力的综合评价。

### 3 评价结果与分析

#### 3.1 评价模型的建立与检验

依据水资源承载能力等级标准,采用公式(1)随机产生评价模型建立和检验所需要的样本,如表2所示,其中模型建立样本每个等级产生8个,共24个,模型检验样本每个等级产生2个,共6个。

表3 水资源承载能力综合评价相似模型建立和检验阶段的误差分析

误差绝对值落在下列区间的百分比/%				平均绝对误差	平均相对误差/%
[0,0.05]	[0,0.1]	[0,0.2]	[0,0.3]		
70	77	87	93	0.01	0.51

#### 3.2 评价结果与分析

利用加速遗传算法识别计算而建立的水资源承载能力综合评价相似模型对鄂尔多斯市及其各旗(区)的水资源承载能力进行评价,评价结果见表4。

从表 4 可以看出,对于鄂尔多斯市,水资源承载能力评价结果为 2 级,水资源开发利用程度已经具有相当的规模,在现状开发条件下,水资源开发仍具有一定的潜力,对区域国民经济发展的水资源供给有一定的保证,但应当开始重视水资源的综合管理,以实现水资源的可持续利用;从鄂尔多斯市各旗(区)的评价结果来看,东胜区、达拉特旗、准格尔旗、鄂托克旗及伊金霍洛旗的水资源承载能力等级大于 2 级,水资

源开发利用程度已经具有相当的规模,具有有限的承载能力,鄂托克前旗、杭锦旗及乌审旗的水资源承载能力等级介于 1 级和 2 级之间,水资源开发利用程度较低,具有较大的承载能力。在旗(区)评价结果中,东胜区的水资源承载能力等级最高,承载能力最小,杭锦旗的水资源承载能力等级最低,承载能力最大。

为进一步验证模型评价的有效性,将计算结果与灰色关联分析<sup>[8]</sup>的结果进行对比分析,如表 5 所示。

表 4 鄂尔多斯市及其各旗(区)的水资源承载能力综合评价结果

评价分区	评价指标									评价结果
	$X_1/\%$	$X_2/\%$	$X_3/\%$	$X_4/\%$	$X_5$ ( $m^3/人$ )	$X_6$ ( $m^3/人$ )	$X_7/\%$	$X_8/(万 m^3 \cdot km^{-2})$	$X_9/\%$	
鄂尔多斯市	90.06	2.31	38.55	66.70	1239.44	1116.24	10.40	2.09	2.41	2.00
东胜区	242.94	2.87	17.02	61.50	136.26	331.02	28.57	5.21	8.37	2.07
鄂尔多斯市	127.59	8.23	7.15	77.50	1139.37	1453.76	6.98	6.18	0.05	2.00
达拉特旗	131.08	1.87	19.61	65.90	427.74	560.68	23.50	2.34	0.11	2.00
准格尔旗	89.62	1.37	35.90	53.20	1866.76	2378.83	3.17	1.42	1.85	1.88
鄂托克前旗	75.61	0.58	38.53	62.10	1774.33	1341.50	16.88	0.63	3.47	2.00
鄂托克旗	47.42	2.14	16.96	65.80	4301.45	2039.56	2.32	1.49	2.99	1.39
杭锦旗	48.55	2.22	53.21	57.50	4354.16	2113.79	5.89	1.83	3.60	1.63
乌审旗	220.55	3.07	68.81	53.90	585.52	1191.60	13.86	3.70	1.26	2.08
伊金霍洛旗										

表 5 相似模型与灰色关联法计算结果对比

评价分区	鄂尔多斯市	东胜区	达拉特旗	准格尔旗	鄂托克前旗	鄂托克旗	杭锦旗	乌审旗	伊金霍洛旗
灰色关联法	2	3	3	3	2	2	1	1	3
相似模型	2.00	2.07	2.00	2.00	1.88	2.00	1.39	1.63	2.08

从表 5 可以看出,两种方法对于鄂尔多斯市水资源承载能力的总体评价结果基本一致,均为 2 级,对于各旗(区)的评价结果略有差异,灰色关联法对于东胜区、达拉特旗、准格尔旗和伊金霍洛旗的评价等级要大于相似模型评价等级,其它旗(区)评价结果基本一致,究其原因,作者认为,方法上讲相似模型经过严格的模型建立和检验,进而内插出实际数据的评价结果,评价过程更加客观准确,从各地区的实际水资源开发利用调查情况来看,相似模型的评价结果更加符合实际。

## 4 结论

利用水资源承载能力等级标准随机产生了评价模型的建立样本和检验样本,以加速遗传算法识别相似评价模型的参数,进而将相似模型应用到鄂尔多斯市水资源承载能力的综合评价中,该评价过程计算简便,可操作性好,评价结果符合鄂尔多斯市的实际情况。

通过对鄂尔多斯市水资源承载能力的综合评价可以看出:鄂尔多斯市水资源开发利用程度已经具有相当的规模,尽管水资源开发仍具有一定的潜力,对区域国民经济发展的水资源供给具有一定的保证,但应当开始重视水资源的综合管理,以实现水资源的可

持续利用;对于鄂尔多斯市各旗(区)来说,水资源的开发利用程度不同,承载能力不同。

鄂尔多斯地区属资源型缺水,社会经济的快速发展需要水资源的保障,增强鄂尔多斯市水资源承载能力,应当从社会、经济的进一步发展和保护生态环境出发,全面加强节水战略的实施,合理利用本地水资源,另外,鄂尔多斯市水资源空间分布不均,开发利用程度不同,可以实施跨区域调水工程,解决区域水资源紧缺的问题,提高水资源利用率,保障鄂尔多斯市社会经济的可持续发展。

### 参考文献:

- [1] 闵庆文,余卫东,张建新.区域水资源承载力的模糊综合评价分析方法及应用[J].水土保持研究,2004,11(3):14-16.
- [2] 王志强,王义,赵润才,等.元宝山区水资源承载能力综合评价与分析[J].农业系统科学与综合研究,2006,22(4):279-282.
- [3] 谷红梅,郭文献,徐建新,等.区域水资源开发利用程度的灰色关联分析评价[J].人民黄河,2006,28(1):47-48.
- [4] 何俊仕,刘洋,韩宇舟,等.辽河流域水资源承载能力评价研究[J].水电能源科学,2010,28(4):24-27.

系。对所测定的液流与上述气象因素进行了多元逐步回归模型分析,结果表明:对柠条蒸腾耗水最重要的前3个因子是太阳辐射空气饱和差(VPD)和气温。实际应用中可根据需要选择合适的回归方程估算柠条枝条的蒸腾耗水量。

由于本研究观测柠条液流的时段较短,得到的回归模型的敏感性和精确性还有待在今后的工作中进一步修正和补充。

#### 参考文献:

- [1] 罗中岭. 热量法径流测定技术的发展与应用[J]. 中国农业气象, 1997, 18(3): 52-57.
- [2] 刘奉觉, Edwards W R N, 郑世锴, 等. 杨树树干液流时空动态研究[J]. 林业科学研究, 1993, 6(4): 368-372.
- [3] 李海涛, 陈灵芝. 应用热脉冲技术对棘皮桦和五角枫树干液流的研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(1): 1-6.
- [4] 熊伟, 王彦辉, 徐德应. 宁南山区华北落叶松人工林蒸腾耗水规律及其对环境因子的响应[J]. 林业科学, 2003, 39(2): 1-7.
- [5] 王华田, 马履一. 油松、侧柏深秋边材木质部液流变化规律的研究[J]. 林业科学, 2002, 38(5): 31-37.
- [6] 孙慧珍, 周晓峰, 赵惠勋. 白桦树干液流的动态研究[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1387-1391.
- [7] 严昌荣, Alec Downey, 韩兴国, 等. 北京山区落叶阔叶林中核桃楸在生长中期的树干液流研究[J]. 生态学报, 1999, 19(6): 793-797.
- [8] 夏永秋, 邵明安. 黄土高原半干旱区柠条树干液流动态及其影响因子[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1376-1382.
- [9] 夏桂敏, 康绍忠, 李王成, 等. 甘肃石羊河流域干旱荒漠区柠条树干液流的日季变化[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1186-1193.
- [10] 王华田, 马履一. 利用热扩式边材液流探针测定树木整株蒸腾耗水量的研究[J]. 植物生态学报, 2002, 26(6): 661-667.
- [11] 张小由, 康尔泗, 张智慧, 等. 黑河下游天然胡杨树干液流特征的试验研究[J]. 冰川冻土, 2005, 27(5): 742-746.
- [12] 赵奎, 丁国栋, 吴斌, 等. 宁夏盐池毛乌素沙地柠条锦鸡

儿茎流及蒸腾特征[J]. 干旱区研究, 2009, 26(3): 390-395.

- [13] 常学向, 赵文智, 张智慧. 荒漠区固沙植物梭梭(*Haloxylon ammodendron*)耗水特征[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1826-1837.
- [14] 许浩, 张希明, 阎海龙, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地多枝柽柳茎干液流及耗水量[J]. 应用生态学报, 2007, 18(4): 735-741.
- [15] 沈振西. 宁夏南部柠条、沙棘和华北落叶松的液流与蒸腾耗水特性[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2005.
- [16] 徐先英, 孙保平, 丁国栋, 等. 干旱荒漠区典型固沙灌木液流动态变化及其对环境因子的响应[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 895-905.
- [17] 程积民, 董建国. 上黄试区主要灌木树种蒸腾作用的试验研究[J]. 水土保持通报, 1995, 15(2): 22-25.
- [18] 王孟本, 李洪建, 柴宝峰, 等. 树种蒸腾作用、光合作用和蒸腾效率的比较研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(5): 401-410.
- [19] 董学军, 杨宝珍, 郭柯, 等. 几种沙生植物水分生理生态特征的研究[J]. 植物生态学报, 1994, 18(1): 86-94.
- [20] Meidner H, Mansfield T A. Stomatal responses to illumination[J]. Biological Reviews, 1965, 40: 483-509.
- [21] Ritchie J T. Atmospheric and soil water influences on the plant water balance[J]. Agricultural Meteorology, 1974, 14: 183-198.
- [22] Muchow R C, Ludlow M M, Fisher M J et al. Stomatal behaviour of kenaf and sorghum in a semiarid tropical environment: I. During the night[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1980, 7: 609-619.
- [23] Boyer, J S, Wong S C, Farquhar, et al. CO<sub>2</sub> and water vapor exchange across leaf cuticle (epidermis) at various water potentials[J]. Plant Physiology, 1997, 114: 185-191.
- [24] Hoad S P, Grace J, Jeffree C E. Humidity response of cuticular conductance of beech (*Fagus sylvatica* L.) leaf discs maintained at high relative water content[J]. Journal of Experimental Botany, 1997, 48: 1969-1975.
- [25] 李录章. 花棒、柠条蒸腾作用的研究[J]. 内蒙古林业, 1999(6): 33.

(上接第142页)

- [5] 金菊良, 魏一鸣. 复杂系统广义智能评价方法与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [6] 金菊良, 丁晶. 水资源系统工程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2002.
- [7] 徐建新, 郭文献, 卢双宝. 区域雨水资源开发利用潜力的

灰色关联分析与评价[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(3): 51-52.

- [8] 佟长福, 史海滨, 李和平, 等. 基于灰色关联分析的鄂尔多斯市水资源承载力评价[J]. 节水灌溉, 2009(11): 43-49.
- [9] 朱锁, 丛立明, 陈信民. 内蒙古鄂尔多斯地区水资源现状分析及可持续利用对策[J]. 地下水, 2009, 31(5): 51-53.