

“三条红线”控制下呼和浩特市水资源承载力综合评价

张国飞¹, 姜慧琴²

(1. 内蒙古自治区城镇供排水监测中心, 内蒙古呼和浩特 010010; 2 内蒙古自治区地质环境监测院, 内蒙古呼和浩特 010020)

摘要 在对区域现状用水量调查的基础上, 结合“三条红线”控制指标, 采用改进后的灰色关联法和负载指数法对呼和浩特市所辖行政区水资源承载力进行评价。结果表明: 在“三条红线”控制下, 改进的灰色关联法较负载指数法评价更具全面性、准确性, 6 个行政区水资源承载力均较小, 武川县相对最大。

关键词 水资源承载力; 三条红线; 灰色关联法; 呼和浩特市

中图分类号 S181; TV213.4 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)34-0061-05

Water Resources Carrying Capacity Evaluation in Hohhot under the Control of “Three Red Line”

ZHANG Guo-fei¹, JIANG Hui-qin² (1. Town Water Supply and Drainage Water Quality Monitoring Center in Inner Mongolia, Hohhot, Inner Mongolia 010010; 2. Institute of Geo-Environment Monitoring in Inner Mongolia, Hohhot, Inner Mongolia 010020)

Abstract Based on investigation of the present water consumption, combined with control index of “three red line”, the improved grey correlation method and load index synthetic method were applied to evaluate the water resources carrying capacity in Hohhot’ each county. The evaluation results showed that under the control of “three red line”, compared with load index synthetic method, improved grey correlation method was more comprehensive and accurate. Water resources carrying capacity were all small of six counties, Wuchuan County was relative maximum.

Key words Water resources carrying capacity; Three red line; Gray correlation method

水资源承载力是指在某一历史发展阶段下, 以可预见的技术、经济和社会发展水平为依据, 以可持续发展为原则, 以维护生态环境良性发展为条件, 经过合理优化配置水资源对该地区经济社会发展的最大支撑能力^[1]。呼和浩特市地处我国北方边疆地区, 年降水量 380 mm, 水资源开发利用程度高, 各行业需水量不断扩大, 水资源缺乏已成为当地经济社会发展的主要制约因素。中央水利工作会议明确要求实行最严格的水资源管理制度, 建立用水总量控制、用水效率控制和水功能区限制纳污“三项制度”, 把严格水资源管理作为加快转变经济发展方式的重要举措。因此, 在“三条红线”控制下, 如何合理开发利用水资源, 促进社会经济可持续发展是当前亟待解决的问题。另外, 评价一个区域水资源承载力不能片面地依靠“三条红线”的 3 项主要指标, 应结合其他指标进行综合评价。笔者采用改进的灰色关联法对水资源承载力进行综合评价, 并利用负载指数法进行对比分析, 通过对各行政区指标的分析计算, 定性评价水资源承载力状况, 以期水资源开发利用与社会经济发展提供科学依据。

1 研究区概况

1.1 基本概况 呼和浩特市位于内蒙古自治区中部, 是内蒙古自治区首府, 地处我国北部边疆, 是内蒙古政治、经济、文化、科教和金融中心。地理坐标为 110°46′~112°10′ E, 40°51′~41°08′ N, 辖土默特左旗、托克托县、和林格尔县、清水河县、武川县、市辖区, 市域面积 17 224 km²。2015 年全市总人口 303.06 万人, 其中城镇人口 202.81 万人, 农村人口 100.25 万人; 全市生产总值 2 894.05 亿元, 其中, 第一产业增加值 125.46 亿元, 第二产业增加值 848.19 亿元, 第三产业增

加值 1 920.40 亿元; 全市年末牲畜总头数 261.21 万头(只), 耕地面积 56.88 万 hm², 有效灌溉面积 19.60 万 hm², 粮食总产量 132.20 万 t。

1.2 水资源开发利用现状 根据《2015 年呼和浩特市水资源公报》, 全市总供水量 98 641 万 m³, 其中蓄水工程供水量 4 890 万 m³, 引水工程供水量 11 042 万 m³, 提水工程(沿黄泵站)供水量 21 286 万 m³, 地下水工程供水量 59 142 万 m³, 再生水工程供水量 2 281 万 m³。各行政区供水量统计见表 1。

2015 年全市总用水量 98 641 万 m³, 其中生活用水量 9 172 万 m³, 第一产业用水量 67 548 万 m³, 第二产业用水量 17 204 万 m³, 第三产业用水量 3 572 万 m³, 生态环境用水量 1 145 万 m³。各行政区不同产业用水量统计见表 2。

2 评价指标体系的建立

2.1 建立原则 “三条红线”涉及水资源条件、经济社会发展水平、水环境状况等不同层面, 是一个典型的多层次、多目标决策系统, 这些因素指标之间相互联系, 建立一个可行的评价指标体系并能够准确全面地反映水资源管理“三条红线”的控制状况尤为重要。因此, 建立评价指标体系必须遵循如下原则^[2-5]:

2.1.1 系统性。 水资源管理“三条红线”控制指标体系是一个错综复杂的系统, 各控制指标紧密相联, 评价指标的设计应从水资源管理“三条红线”整体角度出发, 既要有反映用水总量、用水效率、水功能区限制纳污的指标, 又要有反映三者之间相互协调的指标。

2.1.2 关键性。 影响水资源管理的因素多, 从实用、可操作的角度看, 指标不宜过多, 应选择有代表性、关键性的主要指标构建指标体系, 即能够反映水资源管理的关键领域。

2.1.3 可度量性。 水资源管理“三条红线”指标要能够进行数值计算, 指标体系要简单实用, 易量化, 易获取。

作者简介 张国飞(1986-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 工程师, 硕士, 从事水文与水资源、水文地质、工程地质、环境地质研究。

收稿日期 2017-05-20

表1 2015年呼和浩特市不同水源供水量统计

Table 1 Statistics of water supply of different water sources in Hohhot City in 2015

万 m³

序号 No.	行政区 Administrative region	地表水源 Surface water source			地下水源 Groundwater source			再生水 源污水回用 Reclaimed water source	总供水量 Total water supply	
		蓄水 Water storage	引水 Diversion	提水 Water lifting	小计 Total	浅层水 Shallow water	深层水 Deep water			小计 Total
1	土左旗	3 000	4 000	4 322	11 322	9 507	7 500	17 007	780	29 109
2	托克托县	200	3 453	10 640	14 293	1 358	2 191	3 549	0	1 842
3	和林格尔县	1 043	238	0	1 281	5 345	1 536	6 881	41	8 203
4	清水河县	645	264	0	909	2 163	0	2 163	0	3 072
5	武川县	2	11	0	13	6 040	0	6 040	0	6 053
6	市辖区	0	3 076	6 324	9 400	8970	14 532	23 502	1 460	34 362
	全市	4 890	11 042	21 286	37 218	33 383	25 759	59 142	2 281	98 641

表2 2015年呼和浩特市不同产业用水量统计

Table 2 Statistics of water consumption of different industries in Hohhot City in 2015

万 m³

序号 No.	行政区 Administrative Region	生活用水 Domestic water	生产用水 Production water			生态用水 Ecological water use	总用水量 Total water consumption
			第一产业 Primary industry	第二产业 The secondary industry	第三产业 Tertiary industry		
1	土左旗	856	26 821	1 272	57	103	29 109
2	托克托县	465	12 587	4 475	134	181	17 842
3	和林格尔县	478	6 720	825	100	80	8 203
4	清水河县	362	2 242	437	13	18	3 072
5	武川县	649	4 308	1 061	20	15	6 053
6	市辖区	6 362	14 870	9 134	3 248	748	34 362
	全市	9 172	67 548	17 204	3 572	1 145	98 641

2.1.4 可行性。水资源管理“三条红线”考核指标是否可行有赖于指标的数据来源、方法是否可信、简单有效。选取指标时,不能脱离指标相关资料信息来源的实际条件,在较长时间和较大范围内都能适用。

2.2 指标体系的建立 根据上述指标体系的建立原则,并参考大量相关文献^[2-5]的基础上,经过初步分析,确定水资源管理“三条红线”控制指标体系(图1)。指标体系分为目标层(A)、准则层(B)和指标层(C)。目标层(A)综合反映水资源管理“三条红线”控制指标体系;准则层(B)反映“三条红线”主控项目,即用水总量控制指标(B₁)、用水效率控制指标(B₂)和水功能区限制纳污(B₃)。指标层(C)主要是表征“三条红线”指标体系的各项指标。

2.3 评价指标的选取与分级 评价指标的选取与分级对一个区域承载力的评价至关重要。在实际应用过程中,并非指

标越多越好,关键在于指标所起作用的大小。因此,为了保证结果的可靠性,需对评价指标进行优选。为保证评价指标的全面性,该研究从指标层(C)中选取11个易于获取和量化的指标进行评价,包括用水总量、万元工业增加值用水量、农田灌溉水有效利用系数、水功能区达标率等“三条红线”主要控制指标及水资源开发利用率、万元GDP用水量、灌溉用水定额等辅助评价指标。

根据各行政区实际情况,参照2015年呼和浩特市“三条红线”控制指标、内蒙古行业用水定额(DB 15/T385—2015)和相关文献^[6]将11个指标划分为V₁、V₂、V₃、V₄、V₅级(表3)。其中,V₁表示水资源无承载力;V₂表示水资源承载力小;V₃表示水资源承载力较小;V₄表示水资源承载力中等;V₅表示水资源承载力大。

表3 评价指标分级

Table 3 Classification table of evaluation index

评价指标 Evaluating indicator	用水总量/控制总量 Total water use / control amount // %	地下水开采量/ 可开采量 Groundwater exploitation / exploitable amount // %	水资源开发利用率 Water resources development and utilization rate // %	人均综合用水量 Comprehensive water consumption per capita m ³ /人	万元GDP用水量 Water consumption of ten thousand yuan GDP 万 m ³ /万元	万元工业增 加值用水量 Water consumption of industrial added value of ten thousand yuan // m ³ /万元
V ₁	≥100	≥100	≥90	≤200	≥200	≥40
V ₂	85 ~ 100	85 ~ 100	70 ~ 90	200 ~ 400	150 ~ 200	30 ~ 40
V ₃	50 ~ 85	70 ~ 85	50 ~ 70	400 ~ 600	1 000 ~ 150	20 ~ 30
V ₄	30 ~ 50	50 ~ 70	30 ~ 50	600 ~ 800	50 ~ 100	10 ~ 20
V ₅	≤30	≤50	≤30	≥800	≤50	≤10

接下表

续表 3

评价指标 Evaluating indicator	农田灌溉水有 效利用系数 Effective utilization coefficient of farmland irrigation water	灌溉用水定额 Irrigation water quota m ³ /hm ²	城镇人均生活用水量 Urban per capita living water consumption L/(人·d)	农村人均生活用水量 Rural per capita living water consumption L/(人·d)	水功能区达标率 Standard rate of water function area // %
V ₁	≤0.50	≥6 000	≤70	≤30	≤50
V ₂	0.50 ~ 0.55	4 500 ~ 6 000	70 ~ 90	30 ~ 40	50 ~ 65
V ₃	0.55 ~ 0.60	3 000 ~ 4 500	90 ~ 110	40 ~ 50	65 ~ 80
V ₄	0.60 ~ 0.65	1 500 ~ 3 000	110 ~ 135	50 ~ 60	80 ~ 100
V ₅	≥0.65	≤1 500	≥135	≥60	≥100

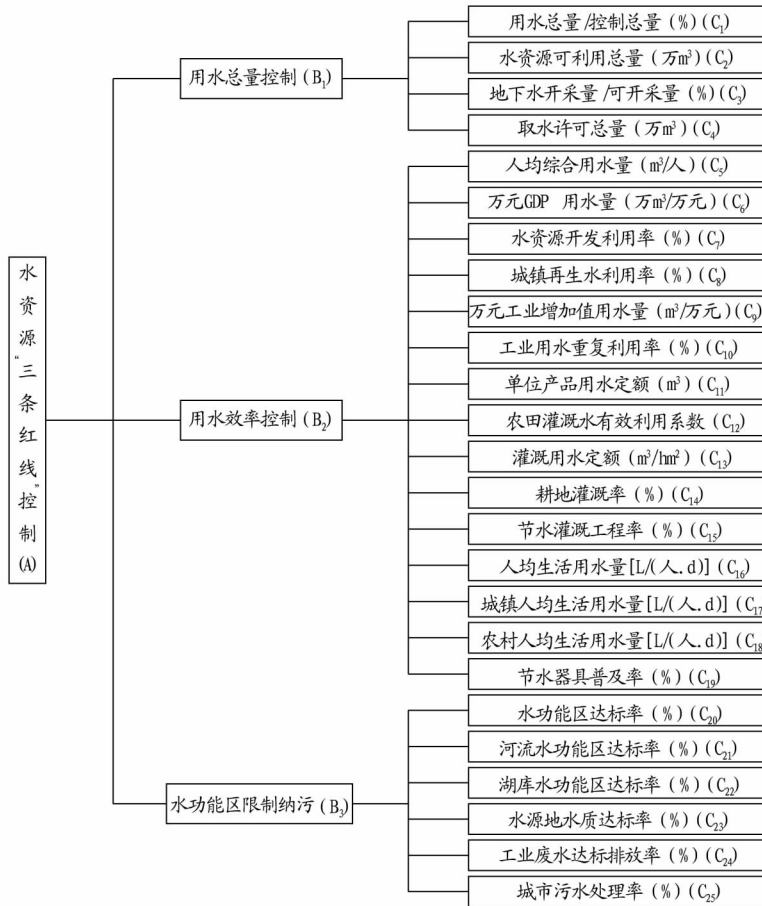


图 1 水资源管理“三条红线”控制指标体系

Fig. 1 "Three red lines" control index system of water resources management

3 水资源承载力评价

3.1 改进的灰色关联法^[7]

3.1.1 决策矩阵的构建。 设多指标评价集合 $A = (A_1, A_2, \dots, A_m)$, 其中 m 为行政区个数和评价等级个数之和; 指标集合 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$, 其中 n 为评价指标个数。令行政区 A_i 对评价指标 V_j 的属性值为 $X_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 。设 A_0 为相对最优区域, 当评价指标为 V_j 为效益型指标时, 属性值越大越好, 各项指标取集合 A 中的最优值, $X_{0j} = \max \{X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj}\}$; 当评价指标为 V_j 为成本型指标时, 属性值越小越好, 各项指标取集合 A 中的最差值, $X_{0j} = \min \{X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj}\}$ 。令

$$X'_{ij} = X_{ij}/X_{0j} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

通过上述计算, 可以得到含有最优区域组成的矩阵 $X = (X_{ij})_{(m+1) \times n} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 为行政区 A 对评价

指标 V 的决策矩阵。

3.1.2 关联系数的计算。 第 i 个行政区第 j 项评价指标的关联系数 ξ_{ij} 为

$$\xi_{ij} = \frac{\Delta(\min) + \rho \cdot (\max)}{\Delta_{ij} + \rho \cdot \Delta(\max)} \quad (2)$$

式中, Δ_{ij} 为绝对差, $\Delta_{ij} = |X'_{ij} - X'_{0j}|$; $\Delta(\min)$ 为两级最小差值, $\Delta(\min) = \min(\Delta_{ij})$; $\Delta(\max)$ 为两级最大差值, $\Delta(\max) = \max(\Delta_{ij})$; ρ 为分辨系数, 一般取 $\rho = 0.5$ 。

3.1.3 熵权法确定权重。

(1) 由行政区 A_i 对评价指标 V_j 的属性值 X_{ij} 组成判别矩阵进行归一化处理, 得到矩阵 $B = (b_{ij})_{m \times n}$ 。其中, 效益型指标:

$$b_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

成本型指标:

$$b_{ij} = \frac{X_{\max} - X_{ij}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (4)$$

(2) 计算评价指标 b_{ij} 的比重 R_{ij} , 公式为

$$R_{ij} = \frac{1 + b_{ij}}{\sum_{j=1}^n (1 + b_{ij})} \quad (5)$$

(3) 计算第 j 项评价指标的熵值 e_j , 公式为

$$e_j = - \left(\frac{1}{\ln m} \right) \sum_{i=1}^m R_{ij} \ln R_{ij} \quad e_j \in (0, 1) \quad (6)$$

(4) 计算第 j 项评价指标的差异性系数 g_j , 公式为

$$g_j = 1 - e_j \quad (7)$$

(5) 计算评价指标的权数 ω_j , 公式为

$$\omega_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j} = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (8)$$

其中, $j=1, 2, \dots, n$ 。

(6) 关联度 E_i 的计算。关联度 E_i 是指被评价行政区类别与标准类别两者互相接近的程度, 其值越大表示两者相隔较远, 越小表示两者接近。关联度 E_i 计算公式为

$$E_i = \sum_{j=1}^n \omega_j \xi_{ij}^T \quad (9)$$

3.1.4 水资源承载力评价。根据指标的物理意义及计算公式, 计算各行政区指标值, 结果见表4。其中, 用水总量/2015年控制总量、地下水开采量/可开采量、水资源开发利用率、万元GDP用水量、万元工业增加值用水量、灌溉用水定额为成本型指标, 其余为效益型指标。

将上述评价指标计算结果首先采用式(1)进行无量纲化处理得到判别矩阵 X , 其次采用式(2)计算各行政区评价指标的关联系数, 构建关联系数矩阵 ξ_{ij} ; 再次根据式(3)、(4)构建归一化矩阵 B 。利用式(5)、(6)、(8)计算评价指标的熵值 e_j 和权数 ω_j ; 最后利用式(9)计算关联度 E_i 。

表4 评价指标计算结果

Table 4 Calculation results of evaluation index

序号 No.	行政区 Administrative Region	用水总量/ 2015年控制总量 Total amount of water control/ Total control in 2015//%	地下水开采量/ 可开采量 Groundwater exploitation/ exploitable amount//%	水资源开发利用 率 Water resources development and utilization rate//%	人均综合用水量 Comprehensive water consumption per capita m ³ /人	万元GDP用水量 Water consumption of ten thousand yuan GDP 万m ³ /万元	万元工业增 加值用水量 Water consumption of industrial added value of ten thousand yuan//m ³ /万元
1	土左旗	97.03	85.46	90.60	786	131	17.68
2	托克托县	100.24	56.81	89.93	862	73	26.07
3	和林格尔县	96.51	114.37	43.29	401	54	12.99
4	清水河县	83.03	97.24	18.26	213	42	17.98
5	武川县	155.2	75.75	17.28	345	69	28.21
6	市辖区	101.96	132.59	93.83	178	13	23.23

序号 No.	行政区 Administrative Region	农田灌溉水有 效利用系数 Effective utilization coefficient of farmland irrigation water	灌溉用水定额 Irrigation water quota m ³ /hm ²	城镇人均生活用水量 Urban per capita living water consumption L/(人·d)	农村人均生活用水量 Rural per capita living water consumption L/(人·d)	水功能区达标率 Standard rate of water function area//%
1	土左旗	0.565	2 760	65	52	100
2	托县	0.568	5 040	73	57	66.7
3	和林县	0.570	3 480	66	57	75.0
4	清水河县	0.560	3 360	102	30	66.7
5	武川县	0.556	4 920	95	64	100
6	市辖区	0.570	3 270	97	67	100

$X =$

1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.33	1.71	5.24	0.91	10.08	1.77	0.87	1.84	0.48	0.78	1.00
3.34	1.14	5.20	1.00	5.62	2.61	0.87	3.36	0.54	0.85	0.67
3.22	2.29	2.51	0.47	4.15	1.30	0.88	2.32	0.49	0.85	0.75
2.77	1.94	1.06	0.25	3.23	1.80	0.86	2.24	0.76	0.45	0.67
5.17	1.52	1.00	0.40	5.31	2.82	0.86	3.28	0.70	0.96	1.00
3.40	2.65	5.43	0.21	1.00	2.32	0.88	2.18	0.72	1.00	1.00
3.33	2.00	5.21	0.23	15.38	4.00	0.77	4.00	0.52	0.45	0.50
2.83	1.70	4.05	0.46	11.54	3.00	0.85	3.00	0.67	0.60	0.65
1.67	1.40	2.89	0.70	7.69	2.00	0.92	2.00	0.81	0.75	0.80
1.00	1.00	1.74	0.93	3.85	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00
1.00	1.00	1.74	0.93	3.85	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00

$$\xi_{ij} = \begin{bmatrix} 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \\ 0.48 & 0.54 & 0.34 & 0.82 & 0.44 & 0.66 & 0.47 & 0.64 & 0.33 & 0.55 & 1.00 \\ 0.47 & 0.86 & 0.35 & 1.00 & 0.61 & 0.48 & 0.48 & 0.39 & 0.36 & 0.65 & 0.43 \\ 0.48 & 0.39 & 0.60 & 0.43 & 0.70 & 0.83 & 0.48 & 0.53 & 0.34 & 0.65 & 0.50 \\ 0.54 & 0.47 & 0.98 & 0.35 & 0.76 & 0.65 & 0.45 & 0.55 & 0.51 & 0.33 & 0.43 \\ 0.33 & 0.62 & 1.00 & 0.40 & 0.63 & 0.45 & 0.44 & 0.40 & 0.47 & 0.86 & 1.00 \\ 0.47 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 1.00 & 0.53 & 0.48 & 0.56 & 0.48 & 1.00 & 1.00 \\ 0.47 & 0.45 & 0.34 & 0.34 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0.35 & 0.33 & 0.33 \\ 0.53 & 0.54 & 0.42 & 0.43 & 0.41 & 0.43 & 0.43 & 0.43 & 0.44 & 0.41 & 0.42 \\ 0.76 & 0.67 & 0.54 & 0.57 & 0.52 & 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.58 & 0.52 & 0.56 \\ 1.00 & 1.00 & 0.75 & 0.85 & 0.72 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.73 & 1.00 \\ 1.00 & 1.00 & 0.75 & 0.85 & 0.72 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.73 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.81 & 0.62 & 0.04 & 0.89 & 0 & 0.69 & 0.64 & 1.00 & 0 & 0.59 & 1.00 \\ 0.76 & 1.00 & 0.05 & 1.00 & 0.49 & 0.14 & 0.86 & 0 & 0.22 & 0.73 & 0 \\ 0.81 & 0.24 & 0.66 & 0.33 & 0.65 & 1.00 & 1.00 & 0.68 & 0.03 & 0.73 & 0.25 \\ 1.00 & 0.47 & 0.99 & 0.05 & 0.75 & 0.67 & 0.29 & 0.74 & 1.00 & 0 & 0 \\ 0 & 0.75 & 1.00 & 0.24 & 0.53 & 0 & 0 & 0.05 & 0.81 & 0.92 & 1.00 \\ 0.74 & 0 & 0 & 0 & 1.00 & 0.33 & 1.00 & 0.78 & 0.86 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$e_j = [0.761 \quad 0.715 \quad 0.693 \quad 0.685 \quad 0.731 \quad 0.701 \quad 0.744 \quad 0.719 \quad 0.703 \quad 0.755 \quad 0.715]$$

$$\omega = [0.078 \quad 0.092 \quad 0.100 \quad 0.102 \quad 0.087 \quad 0.097 \quad 0.083 \quad 0.091 \quad 0.097 \quad 0.080 \quad 0.093]$$

$$E_i = \begin{bmatrix} \text{最优} & \text{土左旗} & \text{托克托县} & \text{和林格尔县} & \text{清水河县} & \text{武川县} & \text{市辖区} & V_1 & V_2 & V_3 & V_4 & V_5 \\ 1.00 & 0.57 & 0.55 & 0.54 & 0.55 & 0.60 & 0.58 & 0.36 & 0.44 & 0.59 & 0.91 & 0.91 \end{bmatrix}$$

将各行政区的关联度值与 $V_1 \sim V_5$ 级的关联度值进行比较,6 个行政区关联度值与 V_3 级的关联度值接近,因此,6 个行政区等级为 V_3 ,即水资源承载力为较小。

3.2 负载指数法 目前负载指数法大多应用于缺水城市或中小尺度干旱半干旱地区,多用降水量、人口和农业灌溉面积与水资源总量之间的关系反映水资源的利用程度,从而判断未来水资源开发利用的难易程度^[8]。水资源负载指数计算模型^[9]为

$$C = \frac{K \sqrt{PG}}{W} \quad (10)$$

式中, C 为水资源负载指数; P 为人口数量(万人); G 为国内生产总值(亿元); W 为水资源总量(亿 m^3); K 为与降水有关的系数。

不同降水量 K 取值计算公式为

$$K = \begin{cases} 1.0 & R \leq 200 \\ 1.0 - 0.1(R - 200)/200 & 200 < R \leq 400 \\ 0.9 - 0.2(R - 100)/400 & 400 < R \leq 800 \\ 0.7 - 0.2(R - 800)/800 & 800 < R \leq 1600 \\ 0.5 & R > 400 \end{cases} \quad (11)$$

式中, R 为年降水量(mm)。

根据水资源负载指数高低,可以将水资源开发利用潜力划分为 6 级,分级结果及其意义见表 5。根据式(10)、(11)计算行政区水资源负载指数,结果见表 6。由表可知,除武川县为 II 类外,其余行政区为 I 类。水资源承载力由高到低依次为武川县、清水河县、土左旗、和林格尔县、托克托县、市辖区。

表 5 水资源负载指数分级

Table 5 Classification of water resource load index

级别 Level	C 值	水资源开发利用程度 Water resources development and utilization degree	开发利用潜力 Potential for exploitation and utilization	水资源进一步开发评价 Evaluation of further development of water resources
I	>10	很高	潜力很小	艰巨、有条件时需要外流域调水
II	5~10	高	潜力小	开发条件困难
III	2~5	中等	潜力较大	开发条件中等
IV	1~2	较低	潜力大	开发条件较容易
V	<1	低	潜力很大	兴修中小工程,开发容易
VI	0		未开发区	开发很容易

3.3 结果分析

政区水资源承载力较小,其中水资源承载力由高到低依次为武

(1)改进的灰色关联法评价结果表明,呼和浩特市 6 个行

(下转第 98 页)

综合分析^[15],这都需要在今后的工作中继续研究和完善。

参考文献

- [1] DATTA S, SINGH J, SINGH S, et al. Earthworms, pesticides and sustainable agriculture: A review [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2016, 23 (9): 8227 - 8243.
- [2] 唐浩, 朱江, 黄沈发, 等. 蚯蚓在土壤重金属污染及其修复中的应用研究进展[J]. *土壤*, 2013, 45 (1): 17 - 25.
- [3] 高川. 咪唑啉酮类除草剂对土壤微生物和蚯蚓的毒性及其环境行为[D]. 南宁: 广西大学, 2013.
- [4] JOHNSTON A S A, HODSON M E, THORBEC P, et al. An energy budget agent-based model of earthworm populations and its application to study the effects of pesticides [J]. *Ecol Modell*, 2014, 280: 5 - 17.
- [5] SMÍDOVÁ K, HOFMAN J. Uptake kinetics of five hydrophobic organic pollutants in the earthworm *Eisenia fetida* in six different soils [J]. *J Hazard Mater*, 2014, 267: 175 - 182.
- [6] ZALLER J G, HEIGL F, RUESS L, et al. Glyphosate herbicide affects belowground interactions between earthworms and symbiotic mycorrhizal fungi in a model ecosystem [J]. *Sci Rep*, 2014, 4: 1 - 8.
- [7] WANG C X, ZHANG Q M, WANG F F, et al. Toxicological effects of dimethomorph on soil enzymatic activity and soil earthworm (*Eisenia fetida*) [J]. *Chemosphere*, 2017, 169: 316 - 323.
- [8] 徐冬梅, 王彦华, 王楠, 等. 铜、毒死蜱单一与复合暴露对蚯蚓的毒性作用[J]. *环境科学*, 2015, 36 (1): 280 - 285.
- [9] 朱江. PFOA 对赤子爱胜蚓的急性毒性效应[J]. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2015, 33 (5): 19 - 22.
- [10] 孙仕仙, 薛涛. 比较滤纸接触法和土壤法测定农药一乐果、杀虫双对蚯蚓的急性毒性试验[J]. *安徽农学通报*, 2010, 16 (13): 49 - 51.
- [11] 雷波, 刘定安, 黄树明, 等. 集成疗伤片对创伤患者血清急性期反应蛋白含量变化的影响[J]. *中医正骨*, 2005, 17 (1): 10 - 11.
- [12] 凌善锋. 农药敌敌畏对尼鳃肌肉中水溶性蛋白质的影响及分析[J]. *水产科学*, 2004, 23 (2): 20 - 21.
- [13] 孙仕仙, 傅本重, 李永梅, 等. 农药乐果和杀虫双污染对蚯蚓体内 SOD 和 AChE 活性的影响[J]. *中国农学通报*, 2012, 28 (24): 236 - 242.
- [14] 孙仕仙, 陶瑞, 张庆蛟, 等. 乐果和杀虫双污染对蚯蚓体内蛋白质含量的影响[J]. *江西农业大学学报*, 2012, 34 (2): 298 - 303.
- [15] 白桂芬, 曾小波. 敌百虫对蚯蚓体内 3 种抗氧化酶活性的影响[J]. *吉林农业科学*, 2013, 38 (1): 22 - 26.

(上接第 65 页)

川县、市辖区、土左旗、清水河县、托克托县、和林格尔县。

表 6 呼和浩特市各行政区水资源负载指数计算结果

Table 6 The calculation results of water resources load index in region of Hohhot City

序号 No.	行政区 Administrative Region	K	P//万人	G//亿元	W//亿 m ³	C	负载指数级别 Load index level
1	土左旗	0.903 1	37.03	214.80	3.213	25.07	I
2	托克托县	0.920 0	20.69	236.42	1.984	32.43	I
3	和林格尔县	0.897 5	20.48	140.99	1.895	25.45	I
4	清水河县	0.890 0	14.42	64.42	1.682	16.13	I
5	武川县	0.925 2	17.55	78.25	3.503	9.79	II
6	市辖区	0.893 5	192.89	2159.17	3.662	157.46	I

(2) 负载指数法评价结果表明,除武川县水资源开发利用程度高、开发利用潜力小、承载力小外,其余 5 个行政区均为水资源开发利用程度很高、开发利用潜力很小、承载力很小。水资源承载力由高到低依次为武川县、清水河县、土左旗、和林格尔县、托克托县、市辖区。

(3) 通过 2 种方法的评价指标体系对比,改进的灰色关联法从水资源、经济、社会、生态环境等角度建立评价指标体系,综合性强。从二者评价结果来看,武川县承载力灰色关联法为较小,负载指数法为小,6 个行政区排序第一。武川县用水量虽然超出控制指标,但水资源开发利用程度低,相比其他 5 个行政区承载力最大,水资源仍有条件开发利用;市辖区承载力灰色关联法为较小,负载指数法为很小,6 个行政区排序最后,市辖区引黄二期工程很大程度上提高了水资源承载力。因此,改进的灰色关联法更具全面性、准确性。

4 结语

该研究围绕 2015 年呼和浩特市用水量对其所辖的旗县区进行水资源承载力评价,在满足评价指标体系及“三条红线”控制下,选取 11 个评价指标运用改进的灰色关联法定性计算水资源承载力状况,并利用负载指数法进行对比评价。由于负载指数法仅采用 3 个参数评价,指标数量少,评价结

论不够准确、全面。因此,以改进的灰色关联法计算结果为准。评价结果表明:呼和浩特市 6 个行政区水资源承载力较小,武川县承载力相对最大。今后若通过提高水资源承载力来支撑区域经济社会发展,必须从外流域引调水、提高用水效率等方面进行研究。

参考文献

- [1] 钱正英, 张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [2] 陶洁, 左其亭, 薛会露, 等. 最严格水资源管理制度“三条红线”控制指标及确定方法[J]. *节水灌溉*, 2012 (4): 64 - 67.
- [3] 杨丹, 张昊, 管西柯, 等. 区域最严格水资源管理“三条红线”评价指标体系的构建[J]. *水电能源科学*, 2013, 31 (12): 182 - 185.
- [4] 吴书悦, 杨阳, 黄显峰. 水资源管理“三条红线”控制指标体系研究[J]. *水资源保护*, 2014, 30 (5): 81 - 85.
- [5] 刘晓, 刘虹利, 王红瑞, 等. 北京市水资源管理“三条红线”指标体系与评价方法[J]. *自然资源学报*, 2014, 29 (6): 1017 - 1028.
- [6] 延玮辰, 何俊仕, 董克宝, 等. 基于组合权重方法对蒲河流域水资源承载能力模糊综合评价[J]. *节水灌溉*, 2014 (7): 34 - 37, 41.
- [7] 李佳蕾, 刘国东, 李杰, 等. 改进的灰色关联模型在水质评价中的应用[J]. *水力发电*, 2011, 37 (12): 16 - 18.
- [8] 张薇, 韩宇舟. 负载指数法在辽河流域水资源承载力评价中的应用[J]. *水电能源科学*, 2010, 28 (11): 28 - 29, 139.
- [9] 李宁, 张文丽, 李经纬. “三条红线”约束下的鄂尔多斯市水资源承载力评价[J]. *中国农村水利水电*, 2016 (1): 8 - 11.