

# 基于模糊综合评判的西安市地下水资源承载能力评价

白 鹏,宋孝玉

(西安理工大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室,陕西 西安 710048)

**摘 要:**运用模糊综合评判模型对西安市地下水资源承载能力进行评价,综合评价结果表明:西安市绝大多数行政区的地下水资源承载能力综合评分值小于0.5,分值最高的周至县得分为0.5279,分数最低的高陵县得分仅为0.2573,地下水资源承载能力普遍较低,地下水资源的可持续利用已成为西安市可持续发展的制约因素。根据该区域水资源的现状,提出了跨流域调水、人工回灌、节水、加强管理监督等提高地下水资源承载能力的措施。

**关键词:**西安市;地下水;承载能力;模糊综合评判

**中图分类号:** P345 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)02-0141-05

水资源承载能力是指在某历史发展阶段,以可预见的社会经济发展水平和技术为依据,以可持续发展利用为原则,以维护生态环境良性循环为条件,经过合理的优化配置,水资源对该地区社会经济发展的最大支撑能力<sup>[1]</sup>。水资源承载能力评价的目的是为了揭示有限的水资源与人口、环境和经济发展之间的关系,合理充分的利用水资源,使经济建设与水资源保护同步进行,促进社会经济的可持续发展<sup>[2]</sup>。目前关于区域水资源承载能力方面的研究已取得了大量的研究成果<sup>[3~8]</sup>,但以地下水资源承载能力作为研究对象的文章却相对较少<sup>[9]</sup>。

西安市是陕西省的省会,位于关中平原腹地,多年平均降水量573 mm,属温带半干旱、半湿润气候。行政区包括城六区(含新城、碑林、莲湖、灞桥、未央和雁塔区)、阎良区、临潼区、长安区、蓝田县、周至县、户县和高陵县,土地面积9 983 km<sup>2</sup>,2005年全市总人口为806.81万人。西安市的用水以开采地下水为主,2005年地下水供水量占总供水量的60%以上,过量开采地下水导致地下水位持续下降、地面沉降、建筑物裂缝、河流水循环条件被破坏等一系列环境地质问题。因此,正确评价该地区地下水资源承载能力,以便根据其承载能力和水资源紧缺程度采取不同的应对措施,充分合理地利用地下水资源,实现该地区地下水资源的可持续利用已势在必行。

## 1 模糊综合评价方法

水资源承载能力是一个涉及到经济、社会、环境等多方面问题的复杂系统,是一个多指标评价问题,评价指标间可能存在着不相容问题,又由于区域水

资源可持续利用水平的高低、好坏是没有明显界限的,因此,区域水资源可持续利用概念是一个模糊概念<sup>[10]</sup>。

模糊综合评判方法是一种运用模糊变换原理分析和评价模糊系统的方法,它是一种以模糊推理为主的定性和定量相结合、精确与非精确相统一的分析评价方法<sup>[11]</sup>。模糊综合评判法是在对影响水资源的各个因素进行单因素评价的基础上,通过综合评判矩阵对其承载能力做出多因素综合评价,从而分析出水资源承载能力<sup>[12]</sup>。该方法在充分考虑变量与参考指标的关联性基础上,对承载能力进行研究,弥补了某些方面过多考虑单承载因子的不足,并且采用代表性好、针对性强、易于量化、便于相互比较的指标,解决了有些方法参变量难以掌握易导致不合理结论的缺陷。因此该方法得到广泛应用<sup>[13]</sup>。

## 2 模糊综合评判模型介绍

设给定两个有限论域

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$$

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$$

其中, $U$ 为所有的评判因素所组成的集合; $V$ 为所有的评语等级所组成的集合。如果着眼于第 $i$ ( $i = 1, 2, \dots, n$ )个评价因素 $u_i$ ,其单因素评价结果为 $R = [r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}]$ 则各个评价因素的评判决策矩阵

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

收稿日期:2009-08-10

基金项目:陕西省自然科学基金项目(2007E235);陕西省教育厅自然科学计划项目(08JK406);西安理工大学科技创新计划项目(106-210807)

作者简介:白 鹏(1983—),男,河北石家庄人,在读硕士,主要从事水文学及水资源方面研究。

就定义了  $U$  到  $V$  的一个模糊关系。

如果各评判因素的权数分配为:  $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$  (显然,  $\omega$  是论域  $U$  上的一个模糊子集, 且  $0 \leq \omega_i \leq 1, \sum_{i=1}^n \omega_i = 1$ ), 则可通过模糊变换, 可以得到论域  $V$  上的一个模糊子集, 即综合评判结果

$$\bar{B} = \omega_o R = [b_1, b_2, \dots, b_n]$$

3 评价指标的体系建立

3.1 评价指标的选取和分级

影响一个区域地下水承载能力的因素很多, 主要有自然地理和社会经济两个方面<sup>[14]</sup>, 本文根据西安市水资源开发利用现状、社会经济发展状况, 根据西安市 2005 年以前统计资料, 选取了地下水资源开发率、人均占有地下水资源量、地下水供水模数、地下水补给模数、地下水排泄模数、水资源重复利用率 (包括地表水和地下水)、单位 GDP 用水量几个指标作为地下水承载能力的评价因素, 各评价指标具体

数值见表 1。

根据上述评价因素对地下水资源承载能力, 影响程度分为 3 个等级  $V_1, V_2$  和  $V_3$ ,  $V_1$  表示水资源承载能力较大, 有较大的开发潜力, 情况较好;  $V_3$  表示水资源承载能力已接近饱和, 进一步开发利用的潜力较小, 将影响社会经济的发展, 情况较差;  $V_2$  是介于  $V_1$  和  $V_3$  之间的情况, 表示水资源开发利用已有相当规模, 但仍有进一步开发利用的潜力。为了定量的反映各级评价因素对地下水资源承载能力影响, 可利用各等级隶属度  $b_j$  的  $k$  次幂为权重加权平均推求, 即:

$$\alpha = \sum_{j=1}^3 b_j^k \cdot a_j / \sum_{j=1}^3 b_j^k$$

上式中,  $a_j$  为各等级的权重系数, 为了突出占优势等级的作用, 对  $a_j$  进行 0 ~ 1 之间赋值, 取  $a_1 = 0.95, a_2 = 0.5, a_3 = 0.05$ , 并根据西安的具体情况取  $k = 1$ 。评价分值越高, 表示开发潜力越大。各评价因素分级指标见表 2。

表 1 西安市各行政区评价因素值

Table 1 The value of assessment factors in each administrative region of Xi'an

| 评价指标<br>Assessment index                                                                   | 城六区<br>Urban area | 阎良<br>Yanliang | 临潼<br>Lintong | 长安<br>Chang'an | 蓝田<br>Lantian | 周至<br>Zhouzhi | 户县<br>Huxian | 高陵<br>Gaoling |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| 地下水开发率 (%)<br>Exploitation rate of groundwater                                             | 116.54            | 149.72         | 83.94         | 71.92          | 40.69         | 28.01         | 72.55        | 97.30         |
| 供水模数 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )<br>Module of groundwater supply    | 58.06             | 47.16          | 11.83         | 9.87           | 0.95          | 3.96          | 9.37         | 27.18         |
| 补给模数 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )<br>Module of groundwater recharge  | 35.40             | 24.40          | 15.33         | 13.94          | 9.95          | 10.82         | 16.31        | 26.02         |
| 排泄模数 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )<br>Module of groundwater discharge | 39.39             | 28.21          | 16.06         | 13.30          | 9.02          | 10.53         | 16.59        | 27.67         |
| 人均地下水占有量 (m <sup>3</sup> )<br>Groundwater possession of per capita                         | 66                | 212            | 210           | 284            | 391           | 851           | 393          | 266           |
| 单位 GDP 用水量 (m <sup>3</sup> )<br>Unit GDP water consumption                                 | 84                | 349            | 282           | 285            | 198           | 820           | 277          | 464           |
| 水资源重复利用率 (%)<br>Reusing rate of water                                                      | 58.3              | 49.2           | 38.2          | 48.6           | 40.5          | 35.4          | 52.7         | 37.1          |

3.2 评判指标权重的确定

为了避免人为因素的干扰, 指标权重的确定采用熵的方法<sup>[15]</sup>, 从实际数据指标入手, 充分利用数据自身信息, 客观地确定出熵权。根据评价指标不同属性, 可分为递增型和递减型, 权重的计算步骤如下:

对指标数据做归一化处理:

$$\begin{cases} x_{ij} = x_{ij}/\max x_{ij}, \text{递增型变量} \\ x_{ij} = \min x_{ij}/x_{ij}, \text{递减型变量} \end{cases} \quad (1)$$

得到新的评判矩阵:

$$x_{ij}' = \begin{bmatrix} x_{11}' & x_{12}' & \cdots & x_{1n}' \\ x_{21}' & x_{22}' & \cdots & x_{2n}' \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1}' & x_{m2}' & \cdots & x_{mn}' \end{bmatrix} \quad (2)$$

再设第  $j$  个评价指标第  $i$  个待评价点评价指标比重为:

$$P_{ij} = x_{ij}' / \sum_{i=1}^n x_{ij}' \quad (3)$$

计算第  $j$  个评价指标的熵为:

$$e_j = - \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \tag{4}$$

$$\omega_j = (1 - e_j) / \sum_{i=1}^n (1 - e_j) \tag{5}$$

表 2 各评价因素分级指标

Table 2 The gradation index of each assessment factor

| 评价指标<br>Assessment index                                                   | $V_1$      | $V_2$     | $V_3$      |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|------------|
| 地下水资源开发率 (%)<br>Exploitation rate of groundwater                           | $\leq 30$  | 30 ~ 70   | $\geq 70$  |
| 供水模数 ( $10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ )<br>Module of groundwater supply    | $\leq 10$  | 10 ~ 15   | $\geq 15$  |
| 补给模数 ( $10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ )<br>Module of groundwater recharge  | $\geq 15$  | 10 ~ 15   | $\leq 10$  |
| 排泄模数 ( $10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ )<br>Module of groundwater discharge | $\leq 10$  | 10 ~ 15   | $\geq 15$  |
| 人均地下水资源占有量 ( $\text{m}^3$ )<br>Groundwater possession of per capita        | $\geq 600$ | 300 ~ 600 | $\leq 300$ |
| 单位 GDP 耗水量 ( $\text{m}^3$ )<br>Unit GDP water consumption                  | $\leq 50$  | 50 ~ 290  | $\geq 290$ |
| 水资源重复利用率 (%)<br>Reusing rate of water                                      | $\geq 75$  | 50 ~ 75   | $\leq 50$  |

且满足:

$$\sum_{j=1}^n \omega_j = 1 \tag{6}$$

由此得到 7 个评价指标的权重,见表 3。

3.3 评价矩阵的计算

评价矩阵  $R$  中,  $r_{ij}$  表示某因素对应等级  $j$  的隶属函数,其值可根据各评判因素的实际数对照各因素的分级指标来推求。为了消除各个等级之间数值相差不大,而评价等级相差一级的现象,使隶属函数在各级之间平滑过渡,故将其进行模糊处理<sup>[12]</sup>。对  $V_2$  级即中间区域,令其落在区域中心的隶属度为 1,两侧边缘点的隶属度为 0.5。中间向两侧按线性递减处理。对  $V_1$  和  $V_3$  两侧区间,则令距临界值越远两侧隶属度越大,在临界值上则属两侧等级的隶属度各为 0.5,现令各评判因素的  $V_1$  和  $V_2$  等级的临界值为  $k_1$ ,  $V_2$  和  $V_3$  的临界值为  $k_3$ ,  $V_2$  等级区间中点值为  $k_2$ ,  $k_2 = (k_1 + k_3)/2$ 。各评价因素对于各等级的隶属度计算公式为:

则第  $j$  个评价指标的权重为:

表 3 各评价指标的权重

Table 3 The weight of each assessment index

| 评价指标<br>Assessment index | 地下水开发率<br>Exploitation rate of groundwater (%) | 供水模数<br>Module of groundwater supply ( $10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ) | 补给模数<br>Module of groundwater recharge ( $10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ) | 排泄模数<br>Module of groundwater discharge ( $10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ) | 人均地下水占有量<br>Groundwater possession per capita ( $\text{m}^3$ ) | 单位 GDP 用水量<br>Unit GDP water consumption ( $\text{m}^3$ ) | 水资源重复利用率<br>Reusing rate of water (%) |
|--------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 权重 Weight                | 0.1447                                         | 0.1251                                                                  | 0.1494                                                                    | 0.1463                                                                     | 0.1366                                                         | 0.1416                                                    | 0.1533                                |

$$\mu\omega_1 = \begin{cases} 0.5 \left[ 1 + \frac{u_i - k_1}{u_i - k_2} \right] & u_i \leq k_1 \\ 0.5 \left[ 1 - \frac{k_1 - u_i}{k_1 - k_2} \right] & k_1 < u_i \leq k_2 \\ 0 & u_i > k_2 \end{cases} \tag{7}$$

$$\mu\omega_2 = \begin{cases} 0.5 \left[ 1 - \frac{u_i - k_1}{u_i - k_2} \right] & u_i \leq k_1 \\ 0.5 \left[ 1 + \frac{k_1 - u_i}{k_1 - k_2} \right] & k_1 < u_i \leq k_2 \\ 0.5 \left[ 1 - \frac{k_1 - u_i}{k_1 - k_2} \right] & k_2 < u_i \leq k_3 \\ 0.5 \left[ 1 - \frac{k_1 - u_i}{k_1 - k_2} \right] & u_i > k_3 \end{cases} \tag{8}$$

$$\mu\omega_3 = \begin{cases} 0 & u_i \leq k_2 \\ 0.5 \left[ 1 - \frac{u_i - k_3}{k_2 - k_3} \right] & k_2 < u_i \leq k_3 \\ 0.5 \left[ 1 + \frac{k_3 - u_i}{k_2 - k_3} \right] & u_i > k_3 \end{cases} \tag{9}$$

对于指标数值越大,水资源承载力水平越低的评价因素(比如水资源开发率,单位 GDP 用水量),只需将上式(7) ~ (9)中  $u_i$  右端区间号“ $\leq$ ”改为“ $\geq$ ”,而将“ $<$ ”,改为“ $>$ ”,后采用同样的计算公式即可。

根据公式(7) ~ (9)即可得到西安市各个行政区内的评判矩阵  $R$ 。

4 评判结果及分析

由上述的  $\omega$  和  $R$ ,即可以得到各个分区不同等级的综合评判结果  $B$ ,同时可以得到各个分区承载能力的综合评分值  $\alpha$ ,评判结果  $B$  及综合评分值  $\alpha$  见表 4。

由表 4 可以看出,西安市地下水资源承载能力总体形势不容乐观。在各个行政区分区中,城六区、阎良、临潼、高陵水资源承载能力评判结果  $b_j$  对  $V_3$  的值最大,对  $V_1$  的值最小,综合评分均在 0.4 以下,

其中高陵的水资源承载能力评判结构  $b_j$  对  $V_3$  更是高达 0.6683, 综合评分值也最低, 其值为 0.2573。表明这些区域地下水资源承载能力已接近饱和值, 继续开发利用潜力小, 地下水已成为该地区社会经济持续发展的制约因素; 长安、蓝田、户县的的综合评判结果  $b_j$  对  $V_2$  的隶属度最大, 表明这些区域地下水开发已有一定规模, 但仍有一定潜力, 开发方式由初

始的广度开发逐渐向深度开发, 经济类型由耗水型向节水型过渡; 周至县的评判结果  $b_j$  对  $V_1$  的隶属度最大, 综合评分值也最高, 说明该区域地下水资源开发潜力巨大, 但  $b_j$  对  $V_3$  的隶属度值为 0.2967 主要是因为该区单位 GDP 用水量大, 水资源重复利用率低造成的。

表 4 西安市各行政分区地下水资源承载能力综合评判结果

Table 4 The comprehensive assessment results of groundwater resources carrying capacity in each administrative region of Xi'an

| 行政区<br>Administrative region | $V_1$  | $V_2$  | $V_3$  | 综合评分<br>Score | 评分排名<br>Ranking |
|------------------------------|--------|--------|--------|---------------|-----------------|
| 城六区 Urban area               | 0.1920 | 0.2857 | 0.5223 | 0.3513        | ④               |
| 阎良 Yanliang                  | 0.1331 | 0.2092 | 0.6571 | 0.2639        | ⑦               |
| 临潼 Lintong                   | 0.1002 | 0.4269 | 0.4730 | 0.3323        | ⑥               |
| 长安 Chang'an                  | 0.0997 | 0.4610 | 0.4303 | 0.3468        | ⑤               |
| 蓝田 Liantian                  | 0.2397 | 0.5310 | 0.2293 | 0.5047        | ②               |
| 周至 Zhouzhi                   | 0.3584 | 0.3449 | 0.2967 | 0.5279        | ①               |
| 户县 Huxian                    | 0.1756 | 0.4915 | 0.3329 | 0.4292        | ③               |
| 高陵 Gaoling                   | 0.1356 | 0.1900 | 0.6683 | 0.2573        | ⑧               |

## 5 建 议

由以上分析可知, 西安市整体水资源承载能力不高, 大多地区地下水资源很难满足经济社会进一步发展的需求, 应根据各个区域地下水资源的特点采取相应的措施提高地下水资源的承载能力。具体提出以下建议:

1) 跨流域调水, 减少地下水开采量。对于地下水严重超采的城六区、阎良区、临潼区、高陵县, 因这些地区地表水资源匮乏或地表水污染严重无法作为生活生产用水, 可以通过跨流域调水来减少本地区地下水的供水比例, 从而逐步减少地下水的开采。例如已经供水的黑河引水工程, 是以周至县黑河金盆水库和石头河水库为主要供水水源向市区供水, 现状供水量占到市区总供水量的 66%。

2) 地面沉降严重地区人工回灌补给地下水。在 2002 年黑河引水工程供水之前, 市区供水一直以大量开采地下水为主, 长期过量的开采地下水导致了地下水位大范围、大幅度的下降, 在城市规划区形成了 7 个较大的下降漏斗, 象征西安古代文明的大雁塔也因此发生了严重倾斜。根据外省经验, 回灌地下水是人工补充地下水、改善地质环境的有效方式。可考虑首先在一些地裂缝、地下水漏斗严重地区, 利用现有井孔回灌地下水, 以促使地下水位的上升。

3) 大力发展节水措施。由表 1 来看, 全市普遍

存在单位 GDP 用水量大、水资源重复利用率低的特点, 西安市的各个行政区中, 除城六区外 (84 m<sup>3</sup>/万元), 其余各地区的单位 GDP 用水量均高于全市的单位 GDP 用水量值 (139 m<sup>3</sup>/万元), 阎良、周至、高陵更是高于全国的单位 GDP 用水量值 (302 m<sup>3</sup>/万元), 在当前西安大力建设全国节水型社会示范区的环境下, 必须采取措施降低单位 GDP 用水量。2005 农业用水量和工业用水量分别占全市总用水量的 42% 和 31%, 农业和工业节水大有潜力。根据该地区农业灌溉特点, 农业节水应从制定灌溉定额、有条件的地区发展喷滴灌、渠道做防渗处理等方面入手。工业节水应从提高工业用水利用率和逐步减少高耗水行业入手。

4) 加强管理, 防治污染。地下水是西安市社会经济发展的命脉, 地下水水质的好坏直接影响几百万人民的生活安全, 根据西安环境监测总站对西安市地下水监测结果显示, 几个地下水源地水质均符合饮用水水质标准, 但在城区及近郊工业区、污灌区潜水水质较差。工业区地下水污染主要是由于大量的工业废水排放引起。工业污染的治理首先应从生产源头抓起, 采用先进技术工艺, 减少“工业三废”的排放, 其次, 实行严格的水污染排放许可制度, 环保部门应做好监督检查工作。对工业废弃物和生活垃圾要建立固定的废物消纳场所, 对垃圾进行无害处理, 禁止工业及生活污水就地排放。对污灌区的经过处理的灌溉污水进行检测, 达到国家农田水质

标准方可灌溉,既使经过处理达到灌溉标准的污水,最好配合清水实行清、污轮灌或混灌能更好的防治污染。

#### 参考文献:

- [1] 周维博.西北地区水资源开发方略与发展高效节水农业途径[J].西北水资源与水工程,1997,8(4):11—15.
- [2] 陈守煜,胡吉敏.可变模糊评价法及在水资源承载能力评价中的应用[J].水利学报,2006,37(3):264—272.
- [3] Daily G C, Ehrlich P R. Socio-economic equity and earth carrying capacity[J]. Ecological Application, 1996, 6(4): 991—1001.
- [4] 姚治君,王建华,江 东.区域水资源承载力的研究进展及其理论探析[J].水科学进展,2002,13(1):111—115.
- [5] 程国栋.承载力概念的演变及西北水资源承载力的应用框架[J].冰川冻土,2002,24(4):361—367.
- [6] 王 浩,秦大庸,王建华,等.西北内陆干旱区水资源承载能力研究[J].自然资源学报,2004,19(2):151—159.
- [7] 赵建世,王忠静,秦 韬,等.海河流域水资源承载能力演变分析[J].水利学报,2008,39(6):647—651.
- [8] 郭 瑜,陈文龙,陈守煜.考虑权重灵敏的的水资源承载能力评价方法[J].水资源与水工程学报,2008,19(2):27—30.
- [9] 傅 湘,纪昌明.区域水资源承载能力综合评价[J].长江流域资源与环境,1998,8(2):168—173.
- [10] 刘丹丹,宋松柏.陕北地区水资源可持续利用评价[J].干旱地区农业研究,2008,26(2):254—259.
- [11] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002,319.
- [12] 许有鹏.干旱区水资源承载能力综合评价研究[J].自然资源学报,1993,8(3):229—237.
- [13] 秦 奋,张喜旺,刘剑锋.基于模糊分析法的水资源承载能力综合评价[J].水资源与水工程学报,2006,17(1):1—6.
- [14] 张占江,李吉玖,石书兵.阿克苏河流域水资源承载能力模糊综合评价[J].干旱区资源与环境,2008,22(7):138—143.
- [15] 陈南祥,申 瑜.基于熵权属性识别模型的地下水资源承载能力评价[J].灌溉排水学报,2008,27(4):48—50.

## Analysis of groundwater resources carrying capacity in Xi'an based on fuzzy comprehensive assessment

BAI Peng, SONG Xiao-yu

(Northwest Key Laboratory of Water Resource and Environment Ecology, Ministry of Education,  
Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

**Abstract:** The groundwater resources carrying capacity was assessed through the fuzzy comprehensive assessment model. The results showed that the assessment value of most areas in Xi'an was less than 0.5. The top score was 0.5279 in Zhouzhi County, while Gaoling County scored the lowest and its value was only 0.2573. The groundwater resources carrying capacity was generally low, which had become an obstacle to the sustainable development of Xi'an. According to the current situation of water resources in this region, the carrying capacity of groundwater can be enhanced through the following aspects: inter-basin water transfer, artificial recharge of undergroundwater, water saving and the improvement of management and supervision.

**Keywords:** Xi'an city; groundwater; carrying capacity; fuzzy comprehensive assessment