

基于主成分分析的榆林市水资源承载力评价

肖迎迎, 宋孝玉, 张建龙

(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:采用主成分分析法选取人均水资源量、水资源开发利用程度、COD浓度、人均粮食占有量、人均用水量、人口自然增长率、人均GDP、用水效益、生态环境用水率等9个指标建立评价指标体系,得到影响榆林市水资源承载力的四大主成分,对榆林市各分区水资源承载力状况进行综合评价。结果表明:榆林市水资源承载力分布不均,综合评价值差异明显;横山、定边、府谷、榆阳区和神木的综合评价值介于1 365.12~10 447.86之间,水资源承载力属中等水平;靖边的综合评价值为10 468.962,略大于I级标准值10 447.86,可知其水资源承载力较弱;子洲、佳县、清涧、绥德、米脂、吴堡各区综合评价值均小于1 365.12的三级标准界限值,说明该六区水资源承载能力较强,其水资源还具有较大的开发潜力。最后提出提高榆林市水资源承载力的对策。

关键词:水资源承载力;主成分分析法;综合评价;榆林市

中图分类号: TV213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)04-0218-06

水资源承载力是一个国家或地区可持续发展过程中各种自然资源承载力的重要组成部分,且往往是缺水地区制约社会经济发展的“瓶颈”因素,它对一个地区经济社会发展有着至关重要的影响^[1]。

榆林市位于陕西省北部,总面积43 578 km²,下辖榆阳、神木、府谷、定边、靖边、横山、佳县、米脂、吴堡、绥德、清涧、子洲共一区11个县。榆林市水资源十分缺乏,且开发利用难度大,人均水资源量为946 m³,低于人均1 000 m³的国际水资源紧缺标准,属重度缺水地区。近年来随着榆林市经济的快速发展、人口的激增以及城市化进程的加快,水资源的需求量迅速增加,使得水资源成为制约榆林市经济发展的主要因素。因此,研究榆林市水资源承载能力,全面分析水资源承载力状况,对当地水资源的可持续利用及社会的可持续发展都有重要作用。

近年来许多学者^[2-9]在不同流域或地区展开了水资源承载力的评价研究,但尚存不足之处,一方面对量化水资源承载力模型指标体系中定性指标的研究不够充分,缺乏统一的、易于量化的评价指标体系^[10];另一方面水资源承载力的研究方法大多具有局限性,尚无统一和成熟的方法。而主成分分析法是在保证数据信息损失最小的前提下,对高维变量系统进行最佳综合与简化,采用代表性好、针对性强、易于量化、便于相互比较的指标,同时客观地确定各个指标的权重,避免了人为的主观随意性。这

种方法丢失信息少,弥补了过多考虑单承载因子的不足,解决了因参变量难以掌握导致不合理结论的缺陷。本文采用主成分分析法,根据榆林市2005年的统计资料,选取影响水资源承载力的主要因素建立评价指标体系,对榆林市水资源承载力进行综合评价。

1 水资源承载力评价指标体系的建立

1.1 指标的选取

影响水资源承载力的因素是多样的,例如水资源数量、质量及开发利用程度;消费水平与结构;社会经济技术条件;生产力水平和社会消费水平;人口与劳动力;其他资源潜力;政策市场等^[11]。因此,水资源承载力评价指标体系的建立^[12]主要应考虑:(1)选取本质性因素、剔除重复性因素。本文采用相对量指标取代绝对量指标的方法,如以人均、百分比、增长率、效益等综合性指标取代绝对数量指标,使选取的指标具有较强的综合性、代表性和可比性;(2)选取指标应能反映区域特性和区域之间的差异性。如人口密度是反映人口状况的一个重要指标,但在榆林市土地总量和人口密度不是制约社会经济和生态环境发展的主要因素,所以仅采用人口自然增长率指标反映人口对水资源系统及生态环境系统的压力状况;(3)指标的可得性。对于较难得到准确值的指标,尽量选取其他能够间接反映其特

收稿日期:2011-10-27

基金项目:国家自然科学基金“基于生态安全的城市化区域水土资源配置研究”(51079120);陕西省教育厅2010年省级重点实验室项目“城市河流脆弱性诊断及水源保护分区研究”(2010JS077);国家自然科学基金“渭北旱塬不同种植结构农田绿水的形成、转化机理及水文生态响应研究”(41171034)

作者简介:肖迎迎(1987—),女,河北石家庄人,硕士研究生,研究方向为干旱水文与雨洪侵蚀。E-mail: xiaoyingying198701@163.com。

征的综合性指标来替代,如用生态环境用水率和 COD 浓度代替表征生态环境质量状况(草场退化率、河湖面积、河道状况)的指标,用人均 GDP 反映社会发达程度等。

按照上述原则,从反映榆林市水资源数量、水资源质量、供水能力、用水水平与社会经济水平等因素中选取易于量化的指标,分别是人均水资源量、水资源开发利用程度、COD 浓度、人均粮食占有量、人均用水量、人口自然增长率、人均 GDP、用水效益、生态环境用水率,作为水资源承载能力综合评价的基本评价指标。各指标的含义如下:

人均水资源量(X_1):水资源总量与总人口数量之比(m^3);

水资源开发利用程度(X_2):不同水平年不同保证率供水量与水资源总量之比(%);

COD 浓度(X_3):消耗氧化剂的量与水量之比(mg/L);

人口自然增长率(X_4):人口自然增长数与平均人口数之比(‰);

人均用水量(X_5):总用水量与总人口数之比(m^3);

人均粮食占有量(X_6):粮食总量与总人口数量之比(kg);

人均 GDP(X_7):GDP 总值与总人口数量之比(元);

用水效益(X_8):总效益与总用水量之比(元/ m^3);

生态环境用水率(X_9):生态环境用水量与水资源总量之比(%).

1.2 分级标准

按照上述 9 个评价指标对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,用 I、II、III 表示,对应承载力弱、中、强 3 种情况。目前水资源承载力评价等级标准的研究成果比较缺乏,本文参考了全国水资源评价标准和朱一中等^[12-13]关于水资源承载力等级的分级标准值,各指标分级标准值见表 1。

表 1 各评价指标界限值

Table 1 Boundary value of each assessment index

因素 Factors	指标 Index	I 级 Grade I	II 级 Grade II	III 级 Grade III
水资源数量 Water quantity	人均水资源量(m^3) Water quantity per capita	< 1700	1700 ~ 4000	> 4000
供水能力 Water supply capacity	水资源开发利用程度(%) Water resources development and utilization level	> 40	20 ~ 40	< 20
水资源质量 Water quality	COD 浓度(mg/L) COD concentration	> 30	15 ~ 30	< 15
	生态环境用水率(%) Environmental water use rate	< 2	2 ~ 5	> 5
用水水平 Water level	人均用水量(m^3) Water consumption per capita	> 800	400 ~ 800	< 400
	用水效益(元/ m^3) Water-use efficiency	< 3.07	3.07 ~ 408.6	> 408.6
	人口自然增长率(‰) Natural growth rate of population	> 9.5	2.1 ~ 9.5	< 2.1
社会经济水平 Social economic level	人均 GDP(元) Per capita GDP(Yuan)	< 3280	3280 ~ 32800	> 32800
	人均粮食占有量(kg) Per capita grain possession	< 300	300 ~ 590	> 590

指标为正向指标,表示其值越大水资源承载力越强;指标为逆向指标,表示其值越大水资源承载力越弱。指标值在 I 级区间,说明水资源承载力弱;在 III 级区间,说明水资源承载力强;在 II 级区间,说明水资源承载力属于中等水平。

2 主成分分析法原理及步骤

2.1 主成分分析法原理

主成分分析法^[14]是一种把多个变量划分为少数几个综合指标的多元统计方法,其工作目标就是要在力保数据信息丢失最小的原则下,对高维变量

空间进行降维处理;即在保证数据信息损失最小的前提下,经线性变换和舍弃小部分信息,以少数的综合变量取代原始采用的多维变量。

设区域水资源承载力的评价系统原来需要 J 个变量,用 X_1, X_2, L, X_j 来描述,经主成分分析后得到 $m(m < J)$ 个新变量 Z_1, Z_2, L, Z_m ,且 Z_1, Z_2, L, Z_m 均是 X_1, X_2, L, X_j 的线性组合。变量 Z_1, Z_2, L, Z_m 构成的坐标系是在原坐标系经平移和正交旋转后得到的,称 Z_1, Z_2, L, Z_m 组成的空间为 m 维主超平面。用原样本群点 N_1 在主超平面上的投影近似地表达原样本群点。在主超平面上,第 1 主分量 Z_1 对应于

数据变异最大的方向,即原样本群点在第 1 主轴上投影的散差 $V(Z_1)$ 为最大;对于 $Z_2, \dots, Z_m$ 依次有 $V(Z_1) \geq V(Z_2) \geq \dots \geq V(Z_m)$, 因此, Z_1 是携带原始数据信息最多的一维变量, Z_2 是携带原始数据信息次多的变量,依次类推,而 m 维主超平面是保留原始数据信息量最大的 m 维子空间。

2.2 主成分分析法步骤

(1) 数据的标准化处理:

$$y_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S_j} \quad i = 1, 2, 3, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J \quad (1)$$

式中, X_{ij} 为第 i 个样本的第 j 个指标的原始数据; $\bar{X}_j$ 、 S_j 分别为第 j 个指标原始数值的平均值和样本标准差。

(2) 计算数据表 $(y_{ij}) I \times J$ 的相关矩阵 R 。

(3) 求 R 的 J 个特征值: $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_J$, 及对应的特征向量 $U_1 \geq U_2 \geq \dots \geq U_J$, 它们标准正交, $U_1, U_2, \dots, U_J$ 称为主轴。

(4) 计算主成分量: 主成分量个数可通过累计贡献率 E 来确定。

$$E = \sum_{k=1}^m \lambda_k / \sum_{j=1}^J \lambda_j \quad (2)$$

一般取当 $E > 85\%$ 时的最小 m , 则得主超平面维数 m , 从而可对 m 个主成分进行综合分析, 得到主

成分量 Z_k :

$$Z_k = \sum_{j=1}^J U_{kj} X_j \quad j = 1, 2, \dots, J; k = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

式中: U_{kj} 为特征向量 U_k 的第 J 个分量。

(5) 求主成分权重 e_k :

$$e_k = \lambda_k / \sum_{j=1}^J \lambda_j \quad k = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, J \quad (4)$$

(6) 综合评价指数 Z :

$$Z = \sum_{k=1}^m e_k Z_k \quad (5)$$

根据综合评价指数 Z 与标准综合评价指数 Z^* 的大小比较, 就可以对区域水资源承载力进行评价。综合评价指数越小, 说明水资源承载力越强, 水资源开发潜力越大, 反之, 评价指数越大, 水资源承载力越弱, 水资源开发潜力越小。

3 榆林市水资源承载力综合评价

3.1 数据来源

将榆林市划分为 12 个分区, 以便于客观全面地反映榆林市水资源承载力的实际情况。根据榆林市 2005 年的统计资料^[15-16], 分别计算榆林各分区所选评价指标 $X_1, X_2, \dots, X_9$ 对应的原始数值, 见表 2。

表 2 榆林市及其分区各评价指标的原始数值

Table 2 The value of assessment indexes in each subarea of Yulin

分区 Subarea	$X_1(\text{m}^3)$	$X_2(\%)$	$X_3(\text{mg/L})$	$X_4(\%)$	$X_5(\text{m}^3)$	$X_6(\text{kg})$	$X_7(\text{元})$	$X_8(\text{元}/\text{m}^3)$	$X_9(\%)$
榆阳区 Yuyang	1872	24.11	24.7	4.80	451.4	390.8	11337.0	25.1	0.24
神木县 Shenmu	2021	13.70	25.1	4.60	276.9	329.1	18001.8	65.0	0.28
府谷县 Fugu	783	16.14	24.2	4.10	126.3	243.7	10549.5	83.5	1.51
横山县 Hengshan	661	46.08	24.0	4.90	304.8	419.6	4790.7	15.7	3.24
靖边县 Jingbian	1136	20.86	25.6	5.30	237.0	545.6	34544.2	145.8	1.71
定边县 Dingbian	1355	11.77	24.9	4.60	159.4	594.7	9768.7	61.3	1.96
绥德县 Suide	244	23.59	23.1	4.50	57.5	135.6	2371.0	41.3	1.23
米脂县 Mizhi	260	32.59	23.5	1.90	84.8	149.6	2875.8	33.9	3.87
佳县 Jiaxian	493	9.44	23.0	4.20	46.5	203.9	1771.7	38.1	4.00
吴堡县 Wubu	205	19.57	23.2	5.50	40.2	71.8	3269.0	81.4	6.58
清涧县 Qingjian	382	8.62	23.4	5.50	33.0	88.9	2298.9	69.7	6.60
子洲县 Zizhou	247	18.40	23.3	4.70	45.5	220.8	1713.0	37.7	1.40

3.2 方法应用

按照主成分分析法原理和步骤对各分区水资源承载力进行计算和评价, 首先第一步对表 1 中数据进行标准化处理, 例如, 对第 1 分区榆阳区的第 1 个指标人均水资源量 X_1 的原始数据进行标准化处理, 根据公式(1)得

$$y_{11} = \frac{X_{11} - \bar{X}_1}{S_1} = \frac{1872 - 805}{647} = 1.65$$

式中: X_{11} 为第 1 个分区的第 1 个指标的原始数据; $\bar{X}_1$ 、 S_1 分别为第 1 个指标原始数值的平均值和样本标准差, 从而得到各分区的标准化指标 y_{ij} ($i = 1, 2, \dots, 12; j = 1, 2, \dots, 9$), 如表 3 所示。

第二步根据处理后的标准化数值计算各指标的 相关系数矩阵 R ,如表 4 所示。

表 3 标准化指标
Table 3 Standardized index

指标 Index	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9
1	1.65	0.35	0.79	0.26	2.20	0.62	0.28	-0.94	-1.14
2	1.88	-0.63	1.24	0.05	0.90	0.27	0.97	0.19	-1.12
3	-0.03	-0.40	0.23	-0.47	-0.22	-0.23	0.20	0.72	-0.55
4	-0.22	2.42	0.00	0.37	1.11	0.79	-0.40	-1.21	0.24
5	0.51	0.04	1.80	0.79	0.61	1.51	2.69	2.49	-0.46
6	0.85	-0.82	1.01	0.05	0.03	1.80	0.12	0.09	-0.35
7	-0.87	0.30	-1.01	-0.05	-0.73	-0.85	-0.65	-0.48	-0.68
8	-0.84	1.15	-0.56	-2.79	-0.52	-0.77	-0.59	-0.69	0.53
9	-0.48	-1.04	-1.13	-0.37	-0.81	-0.45	-0.71	-0.57	0.59
10	-0.93	-0.08	-0.90	1.00	-0.86	-1.21	-0.55	0.66	1.77
11	-0.65	-1.11	-0.68	1.00	-0.91	-1.12	-0.65	0.33	1.78
12	-0.86	-0.19	-0.79	0.16	-0.82	-0.36	-0.72	-0.58	-0.60

表 4 相关系数矩阵
Table 4 Correlation coefficient matrix

R	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9
y_1	1								
y_2	-0.143	1							
y_3	0.842	-0.015	1						
y_4	0.161	-0.267	0.180	1					
y_5	0.816	0.385	0.719	0.139	1				
y_6	0.674	0.126	0.841	0.166	0.658	1			
y_7	0.620	-0.071	0.886	0.241	0.515	0.668	1		
y_8	0.123	-0.389	0.491	0.364	-0.099	0.229	0.746	1	
y_9	-0.633	-0.076	-0.562	0.128	-0.574	-0.548	-0.446	0.065	1

第三步计算出相关矩阵 R 的特征值 λ 、累积方差贡献率 E 及成分矩阵,见表 5、表 6。由主成分分析法的步骤可知,主成分量的个数由累计贡献率 E 来确定。由表 5 得知,当 $E > 85\%$ 时的最小 m 为 4,因此本文取前 4 个主成分进行分析,对应的 4 个特征值分别为: $\lambda_1 = 4.516, \lambda_2 = 1.970, \lambda_3 = 0.887, \lambda_4 = 0.856$ 。由公式(4)可知,各个特征值的方差贡献率即为各主成分量的权重: $e_1 = 50.178\%, e_2 = 21.886\%, e_3 = 9.859\%, e_4 = 9.513\%$ 。

由表 6 可知,第一主成分在 COD 浓度、人均水资源量、人均用水量、人均 GDP、人均粮食占有量上具有较大的荷载,这些变量涉及了水资源数量、质量、用水水平、社会经济水平,综合性较强。第二主成分在水资源开发利用程度上具有较大的荷载,在一定程度上代表着供水能力。第三主成分在用水效益上具有较大的荷载,说明第三主成分在一定程度上

反映了社会经济水平。第四主成分与人口自然增长率呈负相关关系,即反映社会水平。

表 5 特征值及方差贡献率
Table 5 Eigenvalue and variance contribution

成份 Component	特征值 λ Eigenvalue	方差的 % % of variance	累积方差 贡献率 $E(\%)$ Cumulative	主成分权 重 e_i Weight of component
1	4.516	50.178	50.178	0.5018
2	1.970	21.886	72.064	0.2189
3	0.887	9.859	81.923	0.0986
4	0.856	9.513	91.436	0.0951
5	0.378	4.203	95.639	
6	0.324	3.596	99.235	
7	0.042	0.462	99.697	
8	0.020	0.221	99.918	
9	0.007	0.082	100.000	

表 6 成分矩阵

Table 6 Component matrix

指标 Index	主成份 Principal component			
	1	2	3	4
y_3	0.973	0.083	-0.012	0.118
y_1	0.881	-0.117	-0.193	-0.310
y_7	0.866	0.332	0.038	0.320
y_6	0.858	-0.107	0.094	0.052
y_5	0.801	-0.448	0.234	-0.186
y_9	-0.673	0.384	0.405	0.064
y_8	0.394	0.820	0.046	0.390
y_2	0.014	-0.710	0.574	0.383
y_4	0.237	0.550	0.537	-0.551

第四步计算主成分量。初始因子荷载矩阵中每一个荷载量表示主成分与对应变量的相关系数,用成分矩阵中第 k 列向量除以第 k 个特征值的开根后即得到第 k 个主成分量 Z_k 中每个指标所对应的系数^[17],即特征向量 U_1, U_2, U_3, U_4 ,见表 7。

于是四个主成分量 Z_k 的表达式如下,将各分区各指标的原始数据 X_{ij} 代入上述表达式,可得各分区四大主成分量。

表 7 相关系数矩阵特征向量

Table 7 Eigenvector of correlation coefficient matrix

特征向量 Eigenvector	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
U_1	0.415	0.007	0.458	0.111	0.377	0.404	0.407	0.186	-0.317
U_2	-0.083	-0.506	0.059	0.392	-0.319	-0.076	0.237	0.584	0.274
U_3	-0.205	0.610	-0.012	0.570	0.248	0.100	0.040	0.049	0.430
U_4	-0.335	0.414	0.128	-0.595	-0.201	0.056	0.346	0.421	0.070

表 8 各分区综合评判结果

Table 8 Comprehensive evaluation results of each subarea

分区 Subarea	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z	等级 Grade
榆阳区 Yuyang	5740.444	2360.009	239.884	3250.302	3729.808	Ⅱ级
神木县 Shenmu	8434.832	4014.390	422.572	5552.212	5680.874	Ⅱ级
府谷县 Fugu	4796.125	2417.552	334.634	3421.120	3294.156	Ⅱ级
横山县 Hengshan	2524.302	939.997	206.782	1425.562	1628.375	Ⅱ级
靖边县 Jingbian	14895.908	8045.319	1288.832	11632.498	10468.962	Ⅰ级
定边县 Dingbian	4865.506	2137.292	225.829	2961.036	3213.135	Ⅱ级
绥德县 Suide	1162.272	527.987	92.026	762.743	780.394	Ⅲ级
米脂县 Mizhi	1388.289	627.242	121.941	929.832	934.373	Ⅲ级
佳县 Jiaxian	1043.125	369.554	13.170	471.119	650.416	Ⅲ级
吴堡县 Wubu	1485.604	781.552	127.760	1101.618	1033.892	Ⅲ级
清涧县 Qingjian	1165.740	536.817	45.174	699.492	773.431	Ⅲ级
子洲县 Zizhou	924.646	369.958	67.387	537.382	602.704	Ⅲ级
Z^*	> 15494.66	> 7491.00	> 687.65	> 10150.87	> 10447.86	Ⅰ级
	2479.11 ~ 15494.66	344.27 ~ 7491.00	41.60 ~ 687.65	438.45 ~ 10150.87	1365.12 ~ 10447.86	Ⅱ级
	< 2479.11	< 344.27	< 41.60	< 438.45	< 1365.12	Ⅲ级

$$Z_1 = 0.415X_1 + 0.007X_2 + 0.458X_3 + 0.111X_4 + 0.377X_5 + 0.404X_6 + 0.407X_7 + 0.186X_8 - 0.317X_9$$

$$Z_2 = -0.083X_1 - 0.506X_2 + 0.059X_3 + 0.392X_4 - 0.319X_5 - 0.076X_6 + 0.237X_7 + 0.584X_8 + 0.274X_9$$

$$Z_3 = -0.205X_1 + 0.610X_2 - 0.012X_3 + 0.570X_4 + 0.248X_5 + 0.100X_6 + 0.040X_7 + 0.049X_8 + 0.430X_9$$

$$Z_4 = -0.335X_1 + 0.414X_2 + 0.128X_3 - 0.595X_4 - 0.201X_5 + 0.056X_6 + 0.346X_7 + 0.421X_8 + 0.070X_9$$

最后由公式(5) 计算各分区水资源承载力的综合评价指数 Z ,再将本文建立的评价指标分级标准值代入主成分表达式,得出相应的标准综合评价值 Z^* ,用此标准值 Z^* 与综合评价指数 Z 作对比,对各分区的水资源承载力状况进行综合评价,结果如表 8 所示。

根据上述评价结果可知各分区水资源承载力状况,靖边县水资源承载力等级为Ⅰ级,说明该区水资源承载力已超载,水资源开发利用已达到其开发容量,主要原因是该区社会经济发展水平比较高,工业发展迅速,水资源开发利用程度较高;横山、定边、府谷、榆阳区和神木的水资源承载力等级为Ⅱ级,表明这5个分区的水资源开发已有相当规模,但仍有一定的开发潜力;主要原因是榆林能源化工基地石油和煤炭工业发展迅速,高耗水产业多,水资源浪费、污染比较严重,子洲、佳县、清涧、绥德、米脂、吴堡的水资源承载力等级为Ⅲ级,表明水资源承载力状况比较乐观,尚有较大的开发利用潜力,主要是这几个地区社会经济发展水平较低,水资源开发利用程度较低而导致的。

本文的评价结果与张晓鹏^[6]采用模糊综合评判法得出的评价结果不尽相同,尤其对于靖边的水资源承载力评价结果差别较大。这主要是因为模糊综合评判法本身存在一定的缺陷,首先评判过程有信息的遗漏,评价因素越多时,遗失的有用信息就越多;其次对于评判指标的选择和指标权重赋值存在不同程度的偏差。而主成分分析法保证了数据信息的损失量,同时可以客观地确定各个指标的权重,避免了人为的主观随意性,从而提高了结果的精度。

4 建议与讨论

综上所述,榆林市水资源开发利用已初具规模,但尚有一定的开发潜力。就靖边、神木、府谷、横山、定边和榆阳区而言,提高水资源承载力的途径应集中在以下两个方面:(1)优化产业结构,由耗水型经济结构向节水型经济结构转变,适当限制高耗水产业,大力发展低耗水产业;(2)控制水污染,同时提高污水处理水平,实现污水资源化。就子洲、佳县、清涧、绥德、米脂、吴堡而言应从控制人口规模,提高人口素质入手,强化节水意识,提高水资源重复利用率;同时大力调整农业产业结构和技术改造,以农业带动工业及其它产业,提高社会经济发展水平。从长远角度来看,榆林市水资源已不能支撑榆林市人

口、社会经济、生态协调发展,针对榆林市水资源承载力的总体状况,实施调水工程,从外流域调水可缓解榆林市内的水资源供需矛盾。

本文的水资源承载力评价结果为今后榆林市水资源的合理配置及规划利用提供一定的参考依据,但是由于资料有限,未能对榆林市水资源承载力随时间的变化趋势进行研究,这将有待于进一步探讨。

参考文献:

- [1] 汤奇成,张捷斌.西北干旱地区水资源与生态环境保护[J].地理科学进展,2001,(3):227-233.
- [2] 徐中民.情景基础的水资源承载力多目标分析理论及应用[J].冰川冻土,1999,21(2):100-106.
- [3] 赵西宁,吴普特,王万忠,等.水资源承载力研究现状与发展趋势分析[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):173-177.
- [4] 傅湘,纪昌明.区域水资源承载力综合评价[J].长江流域资源与环境,1999,8(2):168-172.
- [5] 陈冰,李丽娟,郭怀成,等.柴达木盆地水资源承载力方案系统分析[J].环境科学,2000,21(3):16-21.
- [6] 任高珊,李援农,蒋耿民.基于模糊综合评判法的榆林水资源承载力评价[J].人民黄河,2010,32(5):56-57.
- [7] 张晓鹏,张鑫.基于模糊综合评判法的区域水资源承载力研究[J].中国农村水利水电,2009,(7):18-21.
- [8] 工美霞,任志远,王永明,等.基于GIS的关中-天水经济区水资源承载力评价[J].干旱地区农业研究,2010,28(6):222-227.
- [9] 王顺久,侯玉,张欣莉,等.流域水资源承载能力的综合评价方法[J].水利学报,2003,(1):85-92.
- [10] 张鑫,李援农,王纪科.水资源承载力研究现状及其发展趋势[J].干旱地区农业研究,2001,19(2):117-121.
- [11] 惠泱河,蒋晓辉,黄强,等.水资源承载力评价指标体系研究[J].水土保持通报,2000,21(1):30-34.
- [12] 朱一中,夏军,谈戈.西北地区水资源承载力分析预测与评价[J].资源科学,2003,(4):43-48.
- [13] 刘树锋,陈俊合.基于神经网络理论的水资源承载力研究[J].资源科学,2007,29(1):99-105.
- [14] 傅湘,纪昌明.区域水资源承载力综合评价-主成分分析法的应用[J].长江流域资源与环境,1999,8(2):168-172.
- [15] 榆林市统计局.榆林市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2006.
- [16] 西北农林科技大学水利与建筑工程学院.榆林市水资源综合规划报告[R].杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [17] 林海明,张文霖.主成分分析与因子分析详细的异同和SPSS软件[J].统计研究,2005,(3):65-68.

(英文摘要下转第235页)

Amount distribution and category characteristics of endogenous rhizobium in *Amorpha fruticosa* seeds

CHEN Li-yun¹, ZHOU Zhi-yu²

(1. School of Life-Science and Chemistry, Tianshui Normal University, Tianshui, Gansu 741000, China;

2. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: To determine the amount distribution and category characteristics in seed capsule, pericarp, cotyledon and embryo of rhizobium in *Amorpha fruticosa* seeds, amount and category of endogenous rhizobium in different parts seed of *Amorpha fruticosa* were analyzed. The result indicated that there was significant discrepancy in amount distribution and category characteristics in endogenous rhizobium. Most endogenous rhizobia were distributed in seed capsule (6.663×10^6 cfu/pod), which accounted for 50 percent of the total strains, and then pericarp (3.335×10^6 cfu/pod). Only small amount of endogenous rhizobium was present in cotyledon and embryo (2.087×10^6 cfu/pod, 1.250×10^6 cfu/pod). 32 strains of rhizobium, isolated from different parts seed of *Amorpha fruticosa*, were divided into 5 types based on the characteristic maps of RAPD-PCR groups (A, B, C, D and E). Most of the stains were B type, accounting for 40.62% of the total. 8 strains belonged to C type, and the number of stains belonging to D, A and E types were 6, 4 and 1. There were 5 groups in seed capsule of 16 strains, 3 groups in pericarp and only 3 species of cotyledon and embryo. These showed the partiality and diversity of endogenous rhizobium in different parts of seed of *Amorpha fruticosa* with amount distribution position and category characteristics.

Keywords: seed of *Amorpha fruticosa*; endogenous rhizobium; amount distribution; category characteristics

(上接第 223 页)

Assessment of water resources carrying capacity in Yulin based on principal component analysis

XIAO Ying-ying, SONG Xiao-yu, ZHANG Jian-long

(Key Laboratory for Northwest Water Resources and Ecological Environment of Ministry of Education,

Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: This paper established an evaluation index system with nine indicators, such as water quantity per capita, water resources development and utilization level, COD concentration, per capita grain possession, water consumption per capita, natural growth rate of population, per capita GDP, water-use efficiency and environmental water use rate. A comprehensive evaluation of water resources carrying capacity in Yulin was carried out by principal component analysis, through which four principal components were given. The results show that: water resources carrying capacity is in unbalanced distribution in Yulin and the comprehensive evaluation value is different. The comprehensive evaluation values of Hengshan, Dingbian, Fugu, Yuyang and Shenmu are between 1 365.12 and 10 447.86, which are in the middle level. Water resources carrying capacity is limited in Jingbian and its comprehensive evaluation value is 10 468.962 ($> 10 447.86$), which is slightly larger than Grade I standard. In other divisions, such as Zizhou, Jiaxian, Qingjian, Suide, Mizhi and Wubu, they have a great exploitation potentiality and their evaluating values are lower than 1 365.12, the Grade III standard. At last countermeasures are proposed to improve the water resources carrying capacity, which have important practical significance for optimizing water resources allocation and promoting sustainable development of the social economy in Yulin.

Keywords: water resources carrying capacity; principal component analysis; comprehensive assessment; Yulin