

# 基于熵值赋权的黑龙港地区水土资源综合质量评价

王滨<sup>1,3</sup>, 张发旺<sup>2,4</sup>, 陈立<sup>2</sup>, 程彦培<sup>2</sup>

(1. 石家庄经济学院 水资源与环境学院, 河北 石家庄 050031;

2. 中国地质科学院 水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061; 3. 河北省水资源可持续利用重点实验室, 河北 石家庄 050031; 4. 中国地质科学院 岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 区域水土资源综合质量评价是开展区域农业种植结构调整、资源优化配置和合理开发利用的基础。为促进黑龙港地区水土资源与区域经济协调发展, 基于熵值赋权法, 利用 ArcGIS 10 平台, 将区域水土资源与土地资源作为统一的系统, 开展了单位像元尺度的水土资源综合质量评价。评价结果显示, 黑龙港地区水土资源综合质量较低, 多数地区综合质量值处于 0.4~0.6 之间, 0.6 以上相对优良区面积仅占总面积的 2.5%, 黑龙港地区总体趋势呈现中间及南部区域水土资源综合质量值较高, 而东西两侧的边缘区域质量较低。研究结果还表明, 在土壤资源质量相对差的区域, 如果水资源质量较好, 则土壤资源将被改良, 区域水土资源综合质量也得以提升。

**关键词:** 熵值赋权; 质量评价模型; 水土资源; 黑龙港地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)06-0268-05

中图分类号: F124.5, F323.2

## Comprehensive Assessment on Quality of Soil and Water Resources of Heilonggang Area by Entropy Weights

WANG Bin<sup>1,3</sup>, ZHANG Fa-wang<sup>2,4</sup>, CHEN Li<sup>2</sup>, CHENG Yan-pei<sup>2</sup>

(1. *Water Resources and Environment College, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang, Hebei 050031, China*; 2. *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, GAGS, Shijiazhuang, Hebei 050061, China*; 3. *Key Lab of Water Recourses Sustainable Utilization and Exploitation of Hebei Province, Shijiazhuang, Hebei 050031, China*; 4. *Institute of Karst Geology, GAGS, Guilin, Guangxi 541004, China*)

**Abstract:** Comprehensive assessment on the quality of soil and water resources provides a base for structure adjustment of agricultural planting and optimal allocation of soil and water resources. In order to promote the wise-use of soil and water resources and economic development in Heilonggang area, the comprehensive assessment was carried out at pixel scale on the ArcGIS 10 platform. The evaluation results showed that the quality of the soil and water resources in Heilonggang area was low, with quality values varying between 0.4~0.6. Only 2.5% of the total area had a quality score higher than 0.6. Spatially, the middle and southern regions had high quality resources, and the resources of the eastern and western edges of the study area were of lower quality. The results also showed that the soil resources that had relatively poor quality at present could be improved if water quality became better and at the same time, regional integrated quality of soil and water resources could be raised.

**Keywords:** entropy right method; quality assessment model; soil and water resources; Heilonggang area

水土资源是区域自然资源的共同体、社会经济发展的基础和区域农业生产的主控因子。区域水资源对区域土地利用,特别是农业土地利用有着绝对的约束作用,两者之间存在着相互作用和耦合关系。因此,真实反映区域水资源与土地资源的状况,就需要

将二者作为一个整体进行综合质量评价。黑龙港地区是河北省东部低平原区,区内水资源短缺,土地资源贫瘠,区域水土资源质量差异性较大,但却是河北省重要的农业基地,过度的农业开发和水资源利用导致区域水土资源环境更加恶化。因此,将区域水土资

收稿日期:2011-12-21

修回日期:2012-01-31

资助项目:国土资源部公益性行业科研专项资助“华北平原典型地区水资源约束下的土地合理利用与管制技术研究”(200811072)

作者简介:王滨(1974—),男(汉族),山东省阳谷县人,博士,副教授,主要从事区域水土资源与环境地质研究。E-mail:2020wb@163.com。

通信作者:张发旺(1965—),男(汉族),河北省深州市人,博士,研究员,主要从事地下水资源与矿山地质环境研究。E-mail:fawangzhang@ sina.com。

源作为统一的资源环境系统进行黑龙港地区水土资源综合质量评价,对促进黑龙港地区经济环境可持续发展具有重要意义。

国内外在区域水资源质量和土地资源质量中,已经具有了比较成熟的理论、技术方法和评价模型。但在 20 世纪 90 年代之前,研究成果大多是对水资源或土地资源的单一评价,90 年代之后,人们开始重视区域水资源和土地资源作为自然资源的统一组合体进行评价<sup>[1]</sup>。进入 21 世纪后,尤其 2005 年以来,区域水土资源综合质量评价从定性评价进入半定量评价研究阶段,研究理论、方法和评价指标体系渐趋完善<sup>[2-6]</sup>,系统动力学理论<sup>[7]</sup>、神经网络理论<sup>[8]</sup>、投影寻踪聚类方法<sup>[9]</sup>等新理论和新方法都被开始应用在水土资源综合质量评价领域。但无论是传统的还是新的评价方法,在多指标综合赋权时,常用的方法<sup>[10]</sup>主要有专家评判法、层次分析法、复相关系数法<sup>[11]</sup>、变异系数法、主成分分析法等,而基于信息熵理论的熵值赋权法是 1948 年 Shannon<sup>[12]</sup>将熵的概念引入信息论中而产生的方法,其根据评价指标的变异信息量确定权数,相对传统的主客观赋权法而言,更真实地

反映系统内部各因子间携带的信息量,评价结果也更加科学合理。

本研究利用熵值赋权法,基于 ArcGIS 10 平台,将区域水资源与土地资源作为统一体开展了平方公里尺度的黑龙港地区水土资源综合质量评价,并进行了质量等级区划,评价结果能够为区域农业种植结构调整、资源合理利用和优化配置提供理论支持。

## 1 评价指标体系构建

遵循评价指标选取的系统性、完整性、有效性和可比性原则,并综合考虑数据的易获取性和可操作性,结合黑龙港地区水土资源的实际情况,构建区域水土资源综合质量评价指标体系。

指标系统层包括区域水资源、区域土地资源 2 个评价子系统;一级评价指标层包括地表水资源、地下水资源、降水资源、土壤理化性质和土壤肥力等 5 个一级评价指标;二级评价指标层包括地表水面积密度等 18 个二级评价指标,其中区域水资源子系统和区域土地资源子系统各包含 9 个二级评价指标(表 1)。

表 1 黑龙港地区水土资源综合质量评价指标体系

指标系统层	一级评价指标层	二级评价指标层
区域水资源子系统	地表水资源	地表水面积密度,地表水河网密度,地表水灌溉引水距
	地下水资源	浅层地下水天然资源模数,浅层地下水矿化度,浅层地下水富水性,深层地下水可利用模数,深层地下水埋深
	降水资源	降水资源量
区域土地资源子系统	土壤理化性质	土壤类型,土壤质地,土壤有效水含量,上部土壤 pH 值
	土壤肥力	上部土壤有机碳含量,上部土壤阳离子交换能力,上部土壤交换性盐基含量,深部土壤有机碳含量,深部土壤阳离子交换能力

## 2 数据标准化

构建原始指标数据矩阵,假设有  $m$  个待评区, $n$  项评价指标,形成原始指标数据矩阵为:

$$X = \{x_{ij}\}_{m \times n} \quad (0 < i \leq m, 0 < j \leq n) \quad (1)$$

式中: $x_{ij}$ ——第  $i$  个待评区的第  $j$  项评价指标值。

对与区域水土资源质量的影响呈线性变化的二级评价指标,采用线性归一化的方法,即公式(2)进行数据标准化处理,将值域变换到 $[0, 1]$ 上来。

$$x'_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} & \text{(正向指标)} \\ \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} & \text{(负向指标)} \end{cases} \quad (2)$$

对于土壤类型,按照不同的土壤类型对农作物种

植的适宜性的不同,利用先分级后打分的方法对不同的土壤类型进行评分<sup>[13]</sup>,评分结果为:

$$u_1(\xi) = \begin{cases} 0 & (\xi=9, 10) \\ 10 & (\xi=1) \\ 20 & (\xi=8) \\ 30 & (\xi=7) \\ 40 & (\xi=3) \\ 50 & (\xi=6) \\ 60 & (\xi=5) \\ 70 & (\xi=2) \\ 80 & (\xi=4) \end{cases} \quad (3)$$

式中: $u_1(\xi)$ ——不同土壤类型的得分值; $\xi$ ——土壤类型代码(表 2),用得分值对土壤类型重新赋值,然后按照公式(2)进行标准化处理。

表 2 土壤类型代码对照

代码	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
土壤类型	滨海盐土	潮土	风沙土	褐土	砂姜黑土	新积土	盐土	沼泽土	湖泊水库	滨海盐场

对于土壤质地,根据不同的土壤质地对农作物种植的适应性,利用等级法与评分法相结合的方法对不同的土壤质地类型进行区分,结果为:

$$u_2(\xi) = \begin{cases} 10 & (\xi=1) \\ 20 & (\xi=3,13) \\ 40 & (\xi=2,6,8) \\ 60 & (\xi=5,12) \\ 80 & (\xi=4,10,11) \\ 90 & (\xi=7) \\ 100 & (\xi=9) \end{cases} \quad (4)$$

式中: $u_2(\xi)$ ——不同土壤质地的得分值; $\xi$ ——土壤质地代码(表 3)。同样用得分值对土壤质地重新赋

值,然后利用公式(2)进行标准化处理。

对于土壤 pH 值,其在 7 左右的中性土壤可适宜绝大多数农作物的生长,因此 pH 值对作物的适宜性由中间值 7 向两侧递减,该地区 pH 值在 5.7~8.9 之间,运用模糊数学的理论,构建 pH 值对作物影响的标准化隶属函数为:

$$u_3(\xi) = \begin{cases} 1 & (\xi=7) \\ 1 - \frac{|\xi-7|}{8.9-7} & (5.7 \leq \xi \leq 8.9, \xi \neq 7) \end{cases} \quad (5)$$

式中: $u_3(\xi)$ ——不同土壤 pH 值标准化处理后的结果值; $\xi$ ——每个区域实际土壤的 pH 值。利用公式(5)对区内土壤 pH 值进行标准化处理。

表 3 土壤质地类别代码对照

代码	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
土壤质地	重黏土	粉质黏土	黏土	粉砂黏壤土	黏壤土	粉土	粉砂壤土	砂质黏土	壤土	砂质黏壤土	砂质壤土	壤质砂土	砂土

### 3 熵值法评价模型

在信息论中,熵是系统无序程度的度量,信息则是系统有序程度的度量。某项指标的指标值变异程度越大,熵值越小,该指标提供的信息量越大,该指标的权重也应越大;反之,某项指标的指标值变异程度越小,熵值越大,该指标提供的信息量越小,该指标的权重也越小<sup>[14-15]</sup>。因此,根据各项指标值的变异程度,利用熵值来确定区域水土资源评价指标权重,能够真实反映出指标信息熵值的效用价值。具体评价步骤为:

(1) 构建标准化矩阵。利用标准化处理之后的各指标数据,利用如下公式定义标准化矩阵:

$$Y = \{y_{ij}\}_{m \times n} \quad (y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum x_{ij}}) \quad (6)$$

(2) 计算评价指标的熵值:

$$e_j = \frac{-1}{\ln m} \sum y_{ij} \ln y_{ij} \quad (7)$$

为防止  $y_{ij} = 0$  时  $\ln y_{ij}$  无意义,需要进行平移修正,即令  $y_{ij}' = y_{ij} + 1$ ,则

$$e_j = \frac{-1}{\ln m} \sum y_{ij}' \ln y_{ij}' \quad (8)$$

(3) 计算评价指标的差异系数:

$$g_j = 1 - e_j \quad (9)$$

(4) 确定评价指标的权重:

$$\omega_j = \frac{g_j}{\sum g_j} \quad (10)$$

(5) 综合评价计算:

$$f_i = \sum \omega_j x_{ij}' \quad (11)$$

式中: $e_j, g_j, \omega_j$ ——第  $j$  项评价指标的熵值、差异系数和权重; $f_i$ ——第  $i$  个待评区的综合质量评价。

### 4 黑龙港区域水土资源综合质量评价

根据上述步骤和公式,利用 ArcGIS 10,以 1 km × 1 km 的像元尺度为评价单元,对黑龙港区域 34 337 个评价单元的 18 个水土资源综合质量评价指标进行标准化处理,建立标准化矩阵,计算各评价指标的熵值和差异系数。

为避免指标选取不当造成水资源子系统或土地资源子系统权重失真的情况,分别独立计算区域水资源和区域土地资源两个子系统权重(表 4),最后对两个子系统进行等权叠加完成综合质量评价。

由权重赋值表 4 可以看出,区域水土资源综合评价系统中,水资源子系统中浅层地下水天然资源模数和深层地下水可利用模数两个二级评价指标的权重最大,说明这两个指标区域差异性大,对区域水资源综合质量影响最为深刻,是区域水资源综合质量评价最为重要的因素,这也与区内水资源主要依赖于地下水的实际情况相符合。

因此,要保障区域水土资源质量不降低,就必须科学合理利用地下水资源,尤其是减少对地下水资源的开采量。

土壤资源子系统中,土壤质地权重最高,对区域

土壤资源综合质量起决定作用。深度 30 cm 以上的上部土壤 3 个指标权重均大于下部土壤的 2 个指标权重,说明上部土壤质量对区域土壤综合质量影响更为重要。

表 4 黑龙港地区水土资源综合质量评价指标赋权

指标系统层	一级评价指标层	二级评价指标层		
		评价指标	差异系数	权重
区域水资源 子系统	地表水资源	地表水面积密度 $W_1$	0.001 221 120	0.11 692 001
		地表水河网密度 $W_2$	0.001 115 563	0.10 681 316
		地表水灌溉引水距 $W_3$	0.000 490 297	0.04 694 501
	地下水资源	浅层地下水天然资源模数 $W_4$	0.001 916 050	0.18 345 825
		浅层地下水矿化度 $W_5$	0.001 013 470	0.09 703 789
		浅层地下水富水性 $W_6$	0.000 947 660	0.09 073 675
		深层地下水可利用模数 $W_7$	0.001 778 786	0.17 031 555
		深层地下水埋深 $W_8$	0.001 263 397	0.12 096 793
	降水资源	降水资源量 $W_9$	0.00 0697 720	0.06 680 545
区域土地资源 子系统	土壤资源	土壤类型 $S_1$	0.000 271 806	0.07 633 713
		土壤质地 $S_2$	0.000 840 416	0.23 603 227
		土壤有效水含量 $S_3$	0.000 137 143	0.03 851 692
		上部土壤盐碱度 $S_4$	0.000 228 917	0.06 429 180
		上部土壤有机碳含量 $S_5$	0.000 463 796	0.13 025 790
		上部土壤阳离子交换能力 $S_6$	0.000 527 363	0.14 811 085
		上部土壤交换性盐基含量 $S_7$	0.000 532 185	0.14 946 510
		深部土壤有机碳含量 $S_8$	0.000 270 081	0.07 585 276
		深部土壤阳离子交换能力 $S_9$	0.000 288 890	0.08 113 527

综合水土资源评价系统的 18 个二级指标,水资源子系统各指标的差异系数大于土壤资源子系统各指标的差异系数,说明水资源在区内分布差异性大,而土壤资源在区内分布相对均匀。由此也可以得知,水资源综合质量对区域水土资源综合质量评价将起主要作用。也可以说,即使在土地资源质量相对较差的地区,如果水资源质量较高,通过土壤改良也可以使区域水土资源综合质量大幅度提高。因此,区域土地资源规划和利用过程中,必须充分考虑水资源的约束作用。

根据计算所得各评价指标的权重,依据公式(11),利用 ArcGIS 10 计算得出每个评价像元,即每平方公里的水资源综合质量值(附图 9)和土壤资源综合质量值(附图 10)。

由附图 9 可以看出,黑龙港地区水资源综合质量差异很大,最小值为 0.156 6,最高值为 0.748 6,且普遍偏低,0.7 以上的相对优良区仅有 212 km<sup>2</sup>,而评价价值 0.5 以上的区域也只有 7 566 km<sup>2</sup>,占全区总面积的 22.03%,主要分布在黑龙港南区的临漳、魏县、成安、曲州、鸡泽、平乡、隆尧和北区的安平、泊头、武邑、冀州等县市。综合质量评价价值低于 0.3 的最差区域

面积有 6 777 km<sup>2</sup>,占全区总面积的 19.74%,主要分布在黑龙港北区的黄骅、沧县和景县,以及故城的部分地区。区域水资源质量总体呈现西南高东北低,中部高两侧低的态势。

从附图 10 可以看出,黑龙港地区土壤资源综合质量普遍偏低,且差异不大,尽管最小值为 0.106 0,最大值为 0.844 4,但多数地区土壤资源综合质量值在 0.4~0.6 之间,面积达 27 277 km<sup>2</sup>,占该区总面积的 79.44%。而 0.7 以上相对优良区域仅 15 km<sup>2</sup>,几乎没有分布。综合质量评价价值在 0.6 以上区域面积仅有 4 069 km<sup>2</sup>,占全区总面积的 11.85%,主要在黑龙港中部偏南的故城、枣强、南宫、巨鹿、广宗、威县、临西等县市零星分布。区域土壤资源质量总体呈现中南部高两侧低的态势。

对区域水资源综合质量评价图与区域土壤资源综合质量评价图等权叠加,得到区域水土资源综合质量评价价值(附图 11)。从附图 11 可以看出,黑龙港地区水土资源综合质量值在 0.170 2~0.719 4 之间,且多数地区在 0.4~0.6 之间。0.6 以上相对优良区仅在黑龙港南区的临漳、曲周和隆尧等县零星分布,面积仅为 860 km<sup>2</sup>,占全区总面积的 2.5%。0.5~0.6

水土资源综合质量中等区域主要位于研究区的中部和西南部,呈条带状分布,占全区总面积的 32.3%,而 0.4 以下综合质量最差的区域主要分布在黑龙港地区北部的黄骅、沧县、景县和饶阳等县市,面积达 4 536 km<sup>2</sup> 以上,占该区总面积的 13.2%。

水土资源综合质量评价还说明,在土壤资源质量相对差的区域,如果水资源质量较好,则土壤资源将被改良,区域水土资源综合质量也会提升,如成安和安平两县。

## 5 结论

(1) 利用熵值赋权法对黑龙港区域水资源和土地资源系统的各影响因子进行权重计算,计算结果显示水资源子系统中浅层地下水天然资源模数和深层地下水可利用模数权重最大,土壤资源子系统中土壤质地权重最高,这与黑龙港地区水资源和土地资源的实际情况相吻合。水资源子系统各指标的差异系数大于土壤资源子系统各指标的差异系数,说明水资源在区内分布差异性大,对区域水土资源综合质量评价将起主要作用,对区域土地资源开发利用起着重要的约束作用。

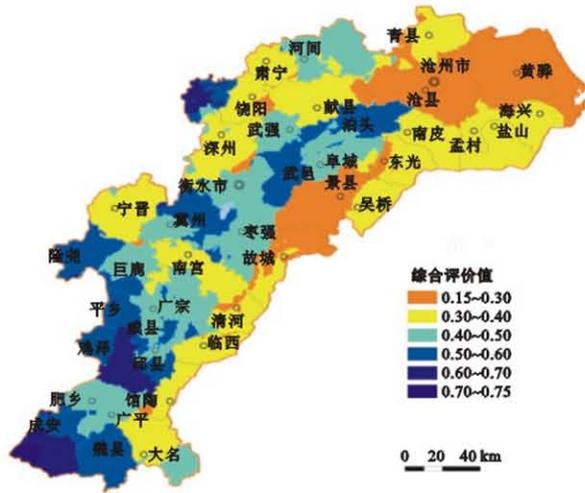
(2) 基于 ArcGIS 10 平台,以 1 km×1 km 的单位像元尺度为评价单元,对黑龙港区域水土资源综合质量进行评价,结果显示,黑龙港地区水资源质量普遍偏低,且差异很大,区域土地资源质量普遍偏低,但相对均匀,差异不大。全区水土资源综合质量值相对偏低,79.44% 的区域在 0.4~0.6 之间,水土资源综合质量相对较好的区域主要位于黑龙港中部和西南部,呈条带状分布,综合质量最差的区域主要分布在黑龙港地区北部的黄骅、沧县、景县和饶阳等县市。

(3) 为避免二级评价指标选取不当造成水资源土地资源两子系统权重失真的情况,分别独立计算水资源和土地资源两个子系统各指标权重,然后对两子系统进行等权叠加完成区域水土资源综合质量评价。这种等权叠加的质量评价难以区别水资源和土地资源的优劣对区域水土资源整体质量高低的贡献度,尤其不能突出区域水资源条件对区域水土资源综合质量的约束性。因此,如果区域水土资源综合质量评价

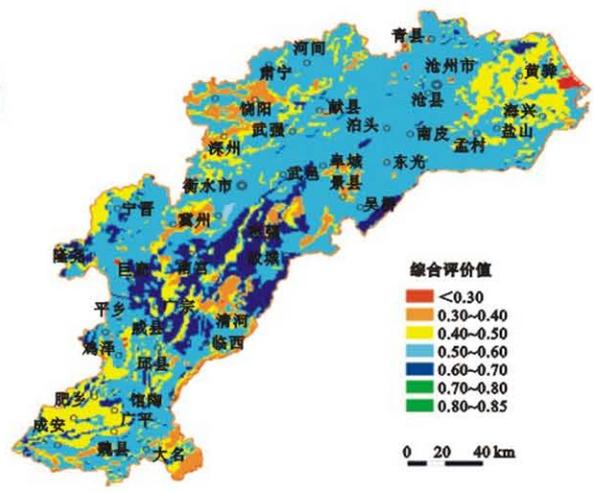
指标选取科学,采用不等权的加权评价更能够反映真实情况。

### [参 考 文 献]

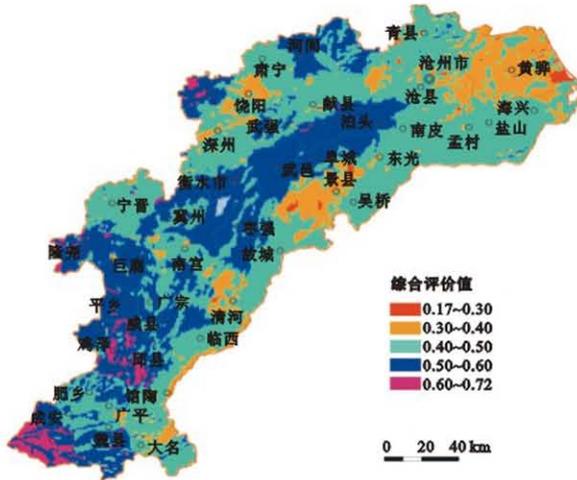
- [1] Abraham J M, Martin L C. A hierarchy of groundwater management, land-use, and social needs integrated for sustainable resource development[J]. Environment, Development and Sustainability, 2001, 3(1): 45-59.
- [2] 吴凯, 黄荣金. 黄淮海平原水土资源利用的可持续性评价、开发潜力及对策[J]. 地理科学, 2001, 21(5): 390-395.
- [3] 孙涛. 西北典型干旱区水土资源评价与预测模型的研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2005.
- [4] 董佩华. 甘肃省水土资源空间分布与组合评价[J]. 干旱区地理, 2009, 32(6): 834-840.
- [5] 付强, 姜秋香, 焦立国, 等. 黑龙江省半干旱区水土资源可持续利用研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [6] 任守德, 付强, 王凯. 区域水土资源承载力研究进展[J]. 农业系统科学与综合研究, 2010, 26(2): 222-226.
- [7] 陈兴鹏, 戴芹. 系统动力学在甘肃省河西地区水土资源承载力中的应用[J]. 干旱区地理, 2002, 25(4): 377-382.
- [8] 苏安玉, 濮励杰, 彭补拙, 等. 区域水土资源可持续利用评价的脉冲耦合神经网络(PCNN)模型模糊算法的构建与应用: 以中国三江平原为例[J]. 浙江大学学报: 理学版, 2009, 36(3): 335-339.
- [9] 任守德, 付强, 王凯. 基于 RAGA-PPPCA 模型的区域农业水土资源承载力综合评价[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 116-120.
- [10] 扬宇. 多指标综合评价中赋权方法评析[J]. 统计与决策, 2006(7): 17-19.
- [11] 刘春. 基于复相关赋权的安徽省旱灾风险模糊综合评价[J]. 中国防汛抗旱, 2010(4): 27-29.
- [12] 郭显光. 改进的熵值法及其在经济效益评价中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 1998(12): 98-102.
- [13] 李承绪. 河北土壤适宜性评价和利用展望[J]. 河北农业情报, 1989(4): 6-9.
- [14] 朱彬, 马晓冬. 基于熵值法的江苏省农村人居环境质量评价研究[J]. 云南地理环境研究, 2011, 23(2): 44-51.
- [15] 乔家君. 改进的熵值法在河南省可持续发展能力评估中的应用[J]. 资源科学, 2004, 26(1): 113-118.



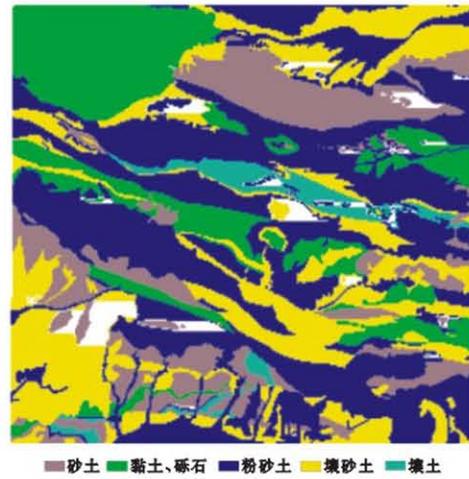
附图9 黑龙江地区水资源综合质量评价



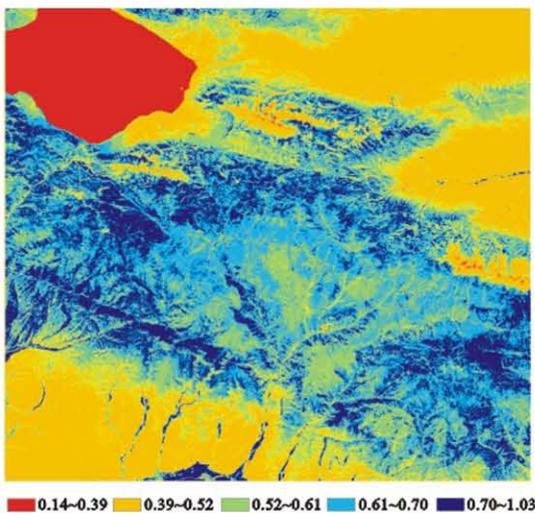
附图10 黑龙江地区土壤资源综合质量评价



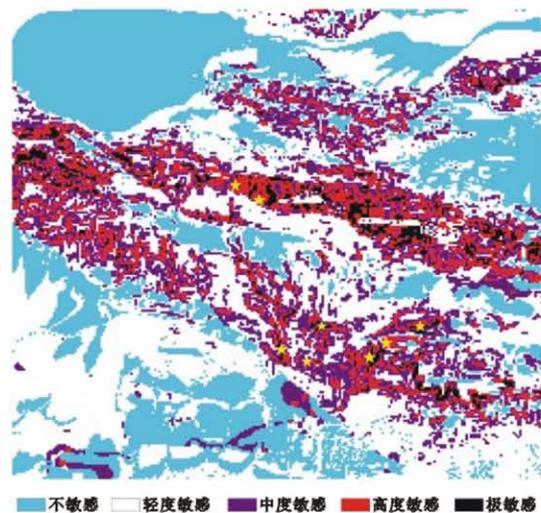
附图11 黑龙江地区水土资源综合质量评价



附图12 吐拉苏地区主要土壤质地类型分布



附图13 吐拉苏地区植被覆盖度分布



附图14 吐拉苏地区生态环境敏感性综合评价结果