

黑龙港地区水土资源经济系统耦合协调评价研究

王滨^{1,2,3}, 张发旺^{2,4}, 陈立², 程彦培²

(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与开发
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: 区域水土资源经济系统是一个具有复杂结构和功能的耗散系统, 各子系统间存在着能量流、物质流和信息流的密切交换, 各要素因子间相互依存, 彼此影响, 协同演化。从系统耦合与协同的角度, 建立了区域水资源、土地资源和农业经济系统耦合协调模型, 并利用熵值赋权法和 ArcGIS 10 平台, 对黑龙港地区水土资源经济系统开展了耦合协调分析。结果显示, 黑龙港全区水土资源经济系统耦合协调状况较差, 主要属于初级协调—中级协调发展类型, 部分地区属于勉强协调发展类型和濒临失调衰退类型。分析结果与黑龙港地区水土资源条件和农业经济发展状态相吻合, 能够为区域资源开发和经济发展提供支持和借鉴。

关键词: 水土资源经济系统; 耦合协调模型; 熵值赋权; 黑龙港地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0276-05

中图分类号: F124.5, F323.2

Evaluation of Coupling and Coordination Efficiency of Land-water Resource and Economic System in Heilonggang Area

WANG Bin^{1,2,3}, ZHANG Fa-wang^{2,4}, CHEN Li², CHENG Yan-pei²

(1. *Water Resource 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 Heibei Province, Shijiazhuang, Hebei 050031, China*; 4. *Institute of Karst Geology, GAGS, Guilin, Guangxi 541004, China*)

Abstract: Regional land-water resource and agricultural economic system is a dissipative system with complex structure and multiple coupling functions, in which energy, material and information exchange closely between the various subsystems. Meanwhile, the elements influence and revolute with each other. Based on the concepts of coupling and coordination, a coupling-coordination model is built and applied using entropy right method and ArcGIS 10 platform for the evaluation of the land-water resources and agricultural economic system in Heilonggang area. The results showed that the coupling coordination condition of the system was poor, mainly in the primary to intermediate coordination development classes. The development of some areas was strongly imbalanced in coordination. The evaluation results reflected precisely the status of regional land-water resources and agricultural economic development, and could support the decision making for regional resources and economic development.

Keywords: land-water resources and economic system; coupling-coordination evaluation model; entropy right method; Heilonggang area

黑龙港地区是河北省东部重要农业基地, 区内水资源短缺, 土地资源贫瘠, 农业耗水量大, 水资源供需矛盾突出, 经济发展迟缓。多年来农业对水资源的过度消耗已经导致区域水资源环境问题日益突出, 土地

开发和经济发展也受到严重阻碍。因此, 开展区域水土资源经济耦合协调分析, 阐明农业经济发展、土地资源利用模式与水资源条件的耦合程度和协调发展状态, 对于实现区域水土资源良性演化和资源经济可

收稿日期: 2012-04-13

修回日期: 2012-05-25

资助项目: 国土资源公益性行业科研专项“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, 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, 从事地下水资源与矿山地质环境研究。E-mail: fawangzhang@sina.com

持续发展具有重要意义。

近年来,系统耦合协调理论越来越多的应用于耗散系统内部要素关系和系统整体演进状态的分析,并被引入到区域经济与生态环境系统耦合评价、城镇化与资源环境互馈关系分析、区域水土资源优化配置等领域^[1-6],并积累了一定的研究成果。因此,本研究基于系统耦合协同理论,构建区域水土资源经济系统耦合协调模型,分析黑龙港地区水土资源经济系统演进类型,以期能为区域资源经济可持续发展提供必要的理论支持和借鉴。

1 水土资源经济系统耦合协调作用机理

1.1 耦合度与协调度

耦合是指两个或两个以上的系统通过各种作用而彼此影响的现象,其表征各子系统间相互依赖、相互协调、相互促进的动态关联关系^[3-4]。耦合度即是描述子系统或要素间彼此作用、相互影响的程度,是衡量各子系统之间相互依赖的度量。

系统协调是以实现系统总体演进为目标,两种或两种以上相互关联的子系统或要素间相互协作、配合得当、互为促进的一种良性循环态势和控制过程,其表征子系统或要素间的良性互动关系^[2]。协调度是度量子系统之间或要素因子间彼此和谐一致的程度,体现了系统由无序走向有序的趋势^[1]。

耦合度是指双方相互作用程度的强弱,不分利弊;协调度是指相互作用中良性耦合程度的大小,体现了协调状况好坏程度^[2]。

1.2 水土资源经济系统耦合协调作用

区域水资源、土地资源和农业经济 3 部分之间存在着物质流、能量流和信息流的传递,在一定的时空内,区域水资源、土地资源和农业经济共同耦合形成一个多层次、具有内在结构性和功能性的区域复合系统,该系统是一个高度复杂的耗散系统,各要素之间存在着多重的关联关系,即相互促进又相互制约、协同演化^[7]。

区域水资源和土地资源是区域农业经济赖以发展的物质基础、发展环境和条件支撑,水土资源综合质量高的区域,其农业经济发展的环境和条件就好,农业经济发展的速度就快。另一方面,区域农业经济发展过度开发资源时就构成了对水土资源的破坏,并进一步制约区域农业经济的持续发展,最终导致水资源—土地资源—区域农业经济整个系统的衰落。同时,经济发展又可以为水土资源的保护和科学开发提供必要的技术支撑,并能改变资源利用模式,减少对水土资源的损耗和压力,降低污染物的排放,从而促进区域水土资源环境的改善和可持续发展。

区域水资源和土地资源之间联系更为密切,水资源条件对土地资源的开发利用起着重要的约束作用,优良的水资源条件且能够促进土地资源的改良。土地资源的类型、利用模式和覆被变化对水资源的赋存、径流和演化有着不可忽视的制约作用。区域水土资源互相依存、彼此影响,共同保障区域生态环境和农业经济的发展。

因此,把区域水资源、土地资源和农业经济三者间相互作用、彼此影响、协调发展的程度定义为区域水土资源经济耦合协调度,利用系统耦合协同理论,构建耦合协调度指标体系和耦合协调模型,从而研究区域水土资源经济系统内部各要素的关联性和协同性。

2 区域水土资源经济系统耦合协调评价模型

2.1 系统影响因子的选取

将区域水土资源经济系统划分为区域水资源子系统、区域土地资源子系统和区域农业经济子系统,以水资源条件为约束、以农业经济发展为目的,遵循影响因子选取的系统性、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,每个子系统选择 8 个影响因子,共选择 24 个对区域水土资源经济系统影响明显的因子(表 1)。

表 1 区域水土资源经济系统耦合协调影响因子

子系统	影响因子
区域水资源	降水资源量,浅层地下水矿化度,浅层地下水富水性,浅层地下水天然模数,深层地下水可利用模数,深层地下水位埋深,地表水河网密度,地表水面积密度。
区域土地资源	土壤类型,土壤质地,上部土壤交换性盐基,上部土壤盐碱度,上部土壤阳离子交换能力,上部土壤有机碳含量,深部土壤阳离子交换能力,深部土壤有机碳含量。
区域农业经济	人口密度,人均 GDP,农民人均纯收入,人均耕地面积,人均农作物产量,人均农作物种植面积,单位种植面积农业需水量,单位国土面积农业需水量。

2.2 系统耦合协调评价模型

2.2.1 功效函数 首先构建系统的功效函数,其反映了各子系统的涨落和变化对整个系统演进的贡献程度。

设 $u_j (j=1, 2, 3)$ 是区域“水资源—土地资源—农业经济”系统的序参量,体现子系统 i 对总系统的贡献。

设 $x_{ij} (j=1, 2, \dots, n)$ 为第 i 个序参量的第 j 个指标或影响因子, x_{ij}' 为其标准化后的功效函数值,即为“水资源—土地资源—农业经济”系统的有序功效系数,表示 x_{ij} 对系统的功效贡献值,反映了影响因子达到目标的满意程度,取值范围为 $[0, 1]$, 1 表示最满意, 0 表示最不满意。利用下式计算:

$$x_{ij}' = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} & (x_{ij}' \text{ 具有正功效}) \\ \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} & (x_{ij}' \text{ 具有负功效}) \end{cases} \quad (1)$$

系统内各序参量(即各子系统)有序程度的总贡献计算公式^[4]:

$$U_i = \sum_{j=1}^3 \lambda_{ij} \cdot x_{ij}' \quad (2)$$

式中: U_i ——各子系统对总系统有序度的贡献值,即 U_1, U_2, U_3 ——为水资源子系统、土地资源子系统、农业经济子系统对总系统有序度的贡献值; λ_{ij} ——第 i 个序参量中第 j 个影响因子的权重。

2.2.2 耦合协调模型 基于物理学中的容量耦合概念及容量耦合系数模型^[3,8],推广得到多个系统相互作用的耦合度模型,即:

$$C = m \left\{ \frac{U_1 \cdot U_2 \cdots U_m}{\prod (U_i + U_j)} \right\}^{\frac{1}{m}} \quad (i=1, 2, 3, \dots, m) \quad (3)$$

式中: C ——系统耦合度, $C \in (0, 1)$; m ——子系统个数。

该耦合系统中包括区域水资源、区域土地资源和区域农业经济 3 个子系统,即 $m=3$,则系统耦合度计算公式为:

$$C = 3 \left\{ \frac{U_1 \cdot U_2 \cdot U_3}{(U_1 + U_2 + U_3)^3} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

由于耦合度只能说明系统中 3 个子系统相互作用的强弱,不能反映系统协调水平的高低,不分利弊。因此,引入协调度表示 3 个子系统相互作用过程中良性耦合、正向演进程度的大小,建立区域水土资源经济系统耦合协调度模型^[5]为:

$$D = (C \cdot T)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

式中: D ——系统耦合协调度; T ——区域水资源、土地资源和区域农业经济综合协调指数,反映区域水土资源经济系统的整体协同效应,用计算公式为:

$$T = \alpha \cdot U_1 + \beta \cdot U_2 + \gamma \cdot U_3 \quad (6)$$

式中: α, β, γ ——子系统贡献度待定系数,综合考虑区域农业经济发展以区域水资源和土地资源为基础,而区域水资源对土地资源的开发具有重要的约束作用,选择区域水资源、土地资源、农业经济 3 个子系统的贡献度待定系数分别为: $\alpha=0.4, \beta=0.35, \gamma=0.25$ 。

2.2.3 系统耦合协调类型 按耦合协调度对系统进行耦合协调类型划分^[2,4-5],将区域水土资源经济系统耦合协调类型划分为 4 个大类和 10 个亚类,具体类型划分详见表 2。

表 2 区域水土资源经济系统耦合协调程度分类

耦合协调大类	协调度	耦合协调亚类
高度协调	0.90~1.00	优质协调发展类型
	0.80~0.90	良好协调发展类型
	0.70~0.80	中级协调发展类型
基本协调	0.60~0.70	初级协调发展类型
	0.50~0.60	勉强协调发展类型
濒临失调	0.40~0.50	濒临失调衰退类型
	0.30~0.40	轻度失调衰退类型
	0.20~0.30	中度失调衰退类型
失调衰退	0.10~0.20	严重失调衰退类型
	0.00~0.10	极度失调衰退类型

3 黑龙港地区水土资源经济系统耦合协调评价

3.1 数据来源

(1) 区域水资源子系统。降水资源量以黑龙港地区各县市 2000—2009 年降雨量均值为计算值,地下水资源相关数据来源于《华北平原地下水可持续利用图集》,地表水河网密度和面积密度数据来源于 2009 年遥感解译成果。

(2) 区域土地资源子系统。所有数据均来源于联合国粮农组织(FAO)和维也纳国际应用系统研究所(IIASA)构建的世界和谐土壤数据库 HWSDB(harmonized world soil database)的栅格数据。

(3) 区域农业经济子系统。人口密度、人均 GDP、农民人均纯收入、人均耕地面积、人均农作物产量、人均农作物种植面积等源于《河北经济统计年鉴 2010》统计的各县市 2009 年相关数据,单位种植面积和国土面积农业需水量数据根据 2009 年遥感解译的农业种植结构和主要作物生长期需水量计算所得。

3.2 权重计算

考虑区域水土资源经济系统影响因子众多,每一个因子所携带的系统信息量差异性较大,且信息有所重叠,因此,采用熵值赋权法^[9-10]确定评价指标的权

重,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。具体计算步骤为:

(1) 构建标准化矩阵。

利用公式(1)标准化处理之后的各指标因子数据,根据公式定义标准化矩阵:

$$Y=\{y_{ij}\}m\times n, \text{ 其中 } y_{ij}=\frac{x_{ij}'}{\sum x_{ij}'} \tag{7}$$

(2) 计算评价指标因子的熵值。

$$e_{ij}=\frac{-1}{\ln m}\cdot \sum y_{ij}\ln y_{ij} \tag{8}$$

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

$$e_{ij}=\frac{-1}{\ln m}\cdot \sum y_{ij}'\ln y_{ij}' \tag{9}$$

(3) 计算评价指标因子的差异系数。

$$g_{ij}=1-e_{ij} \tag{10}$$

(4) 确定评价指标因子的权重。

$$\lambda_{ij}=\frac{g_{ij}}{\sum g_{ij}} \tag{11}$$

式中: $e_{ij}, g_{ij}, \lambda_{ij}$ ——第 i 个子系统第 j 项评价指标的熵值、差异系数和权重。

分别计算区域水资源子系统、区域土地资源子系统和区域农业经济子系统各影响因子的熵值,根据熵值计算 3 个子系统中各因子的权重详见表 3。

表 3 黑龙港地区水土资源经济系统耦合协调影响因子权重赋值

子系统	影响因子	熵 值	权 重
区域水资源子系统	降水资源量	0.99 930 228	0.0 700 961
	浅层地下水矿化度	0.99 898 653	0.1 018 177
	浅层地下水富水性	0.99 905 234	0.0 952 062
	浅层地下水天然模数	0.99 808 395	0.1 924 949
	深层地下水可利用模数	0.99 822 121	0.1 787 049
	深层地下水位埋深	0.99 873 660	0.1 269 265
	地表水河网密度	0.99 888 444	0.1 120 745
	地表水面积密度	0.99 877 888	0.1 226 792
区域土地资源子系统	土壤类型	0.99 972 819	0.0 793 952
	土壤质地	0.99 915 958	0.2 454 877
	上部土壤交换性盐基	0.99 946 782	0.1 554 526
	土部土壤盐碱度	0.99 977 108	0.0 668 673
	上层土壤阳离子交换能力	0.99 947 264	0.1 540 442
	上部土壤有机碳含量	0.99 953 620	0.1 354 760
	深部土壤阳离子交换能力	0.99 971 111	0.0 843 855
	深部土壤有机碳含量	0.99 972 992	0.0 788 914
区域农业经济子系统	人口密度	0.99 909 897	0.1 092 525
	人均 GDP	0.99 851 684	0.1 798 383
	农民人均纯收入	0.99 858 059	0.1 721 079
	人均耕地面积	0.99 898 607	0.1 229 425
	人均农作物产量	0.99 920 030	0.0 969 669
	人均农作物种植面积	0.99 904 529	0.1 157 619
	单位种植面积农业需水量	0.99 920 524	0.0 963 679
	单位国土面积农业需水量	0.99 911 951	0.1 067 622

3.3 区域水土资源经济系统耦合协调评价分析

基于 ArcGIS 10 平台,利用公式(2)——(4)计算区域水土资源经济系统耦合度,利用公式(5)——(6)计算区域水土资源经济系统耦合协调度(附图 8—9)。

从附图 8 可以看出,黑龙港全区水资源—土地资源—农业经济系统间耦合情况良好,除黄骅、沧县、景县、魏县和广宗外,其他地区耦合度都大于 0.95。说明研究区水资源条件、土地资源条件和农业经济发展

三者关系密切,内部要素之间关联性高,的确存在着密切的相互依赖、彼此影响的互馈作用。

由附图 9 系统耦合协调度和表 2 系统耦合协调类型可以明显看出,全区水资源—土地资源—农业经济系统协调度普遍较低,集中在 0.6~0.8 之间,主要属于初级协调发展类型和中级协调发展类型,耦合协调度大于 0.8 的区域几乎没有,在景县、饶阳、沧县和黄骅零星分布有耦合协调度低于 0.6 的勉强协调发

展类型和濒临失调衰退类型。这说明研究区水资源、土地资源和农业经济之间良性发展的程度差,互相制肘、彼此阻碍的程度高。

分析显示,尽管黑龙港地区水资源条件、土地资源条件和农业经济发展之间存在着密切的依赖关系,但彼此促进良性发展的态势却不好,系统内部各要素因子之间优化配置程度差,尤其是水资源保障条件难以承载土地资源开发和农业经济的发展,究其原因在于农业经济发展模式与区域水土资源条件不相适应。而该区的实际情况也充分表明,系统耦合协调度低的县市,水土资源条件都相对较差,表现为地表水资源短缺,地下水富水性差、矿化度高、水位埋深大、土壤盐碱度高、保蓄性和肥力低等特点,而其农业种植结构又以高耗水的冬小麦和水果蔬菜等作物为主,导致水资源负荷过重,水土供需矛盾突出,不仅导致了許多水环境问题和地质灾害现象,而且制约了农业经济的快速发展。

因此,需要进一步协调农业经济发展与水土资源条件的关系,在水土资源条件差的地区,适度调整农业种植结构,减小高耗水作物种植面积,在区域水资源承载范围内选择农业经济发展类型和发展速度,并大力推广农业水资源可持续利用技术;而在水土资源优良、农业经济发展相对滞缓的区域,适度增加冬小麦以保障粮食安全,并增加水果、蔬菜等耗水量大但经济效益高的农作物,推动区域经济快速发展。从而实现黑龙港区域水土资源经济系统的良性演进发展,达到优质协调发展类型。

4 结 论

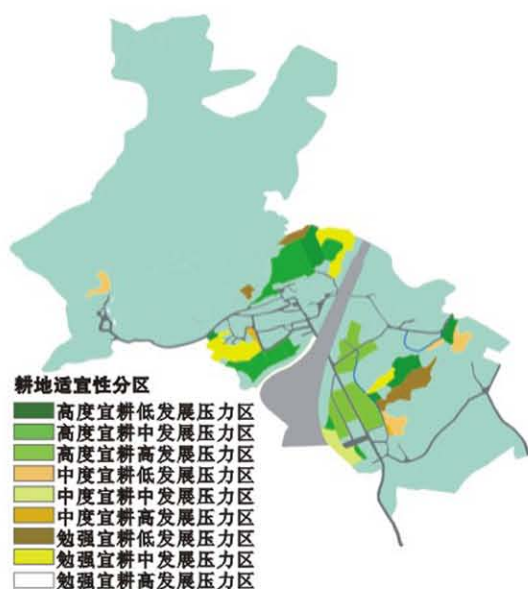
(1) 区域水资源—土地资源—农业经济系统是一个高度复杂的耗散系统,各子系统在一定的时空内耦合形成一个多层次的区域复合系统,系统各要素之间即相互促进又相互制约、协同演化。利用系统耦合协同理论,基于熵值赋权法建立黑龙港地区水土资源经济系统耦合协调模型,评价结果显示该耦合模型能够真实地反映区域水土资源经济系统的演进状态和内在关系。

(2) 黑龙港区域水土资源经济系统耦合度很高,说明区域水资源、土地资源和农业经济三者之间确实存在着密切的依赖关系。但系统耦合协调状况较差,耦合协调度主要集中在0.6~0.8,区域水土资源经济系统的演进类型为初级协调—中级协调发展类型,说明区域水土资源和农业经济之间相互促进的良性发展程度差,互相制肘和彼此阻碍的程度高。

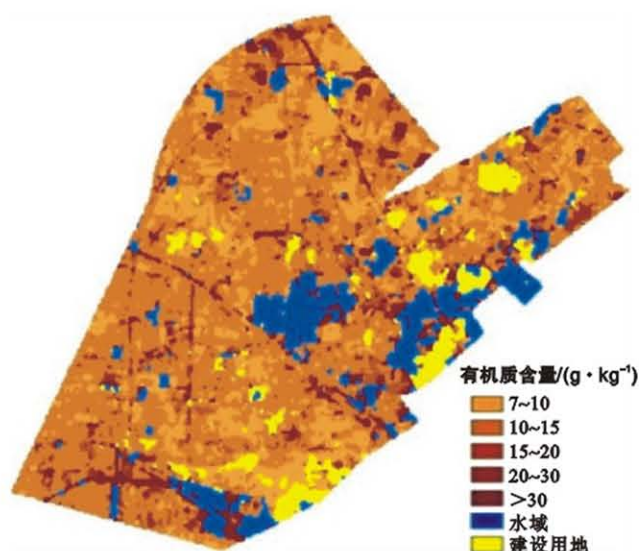
(3) 为促进黑龙港地区水土资源经济系统耦合协调发展,就需要在区域水土资源承载范围内选择农业经济发展类型和发展速度,调整农业种植结构、土地开发利用方式和农业经济发展模式,使其与区域水资源保障条件相协调一致。

[参 考 文 献]

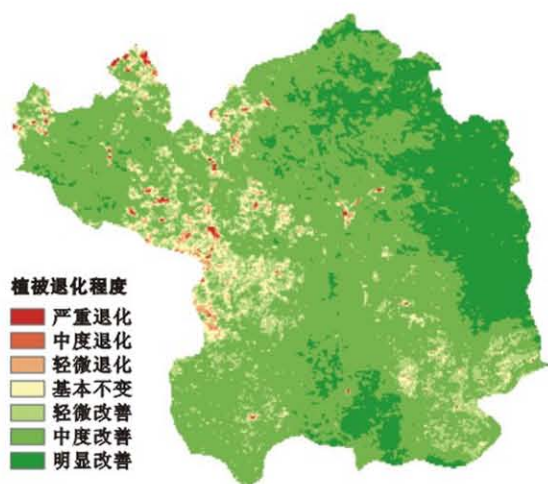
- [1] 吴跃明,郎东锋,张子珩,等. 环境—经济系统协调度模型及其指标体系[J]. 中国人口·资源与环境,1996,6(2):47-50.
- [2] 刘定惠,杨永春. 区域经济—旅游—生态环境耦合协调度研究:以安徽省为例[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(7):829-833.
- [3] 董会忠,薛惠锋,宋红丽. 基于耦合理论的经济—环境系统影响因子协调性分析[J]. 统计与决策,2008(2):8-10.
- [4] 刘耀斌,李仁东,宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析[J]. 自然资源学报,2005,20(1):105-112.
- [5] 任志远,徐茜,杨忍. 基于耦合模型的陕西省农业生态环境与经济协调发展研究[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(12):14-19.
- [6] 郑重,张凤荣. 系统耦合效应与水土资源优化配置的诠释[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2008,26(4):415-418.
- [7] 冯尚友,刘国权,梅亚东. 水资源生态经济复合系统及其持续发展[J]. 武汉水利电力大学学报,1995,28(6):624-629.
- [8] Valerie I. The Penguin Dictionary of Physics[M]. Beijing: Foreign Language Press,1996:92-93.
- [9] 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.
- [10] 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.



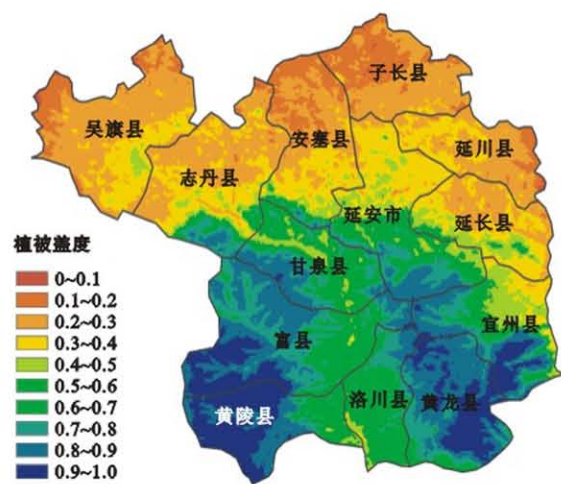
附图4 义乌市岩南村耕地适宜性评价



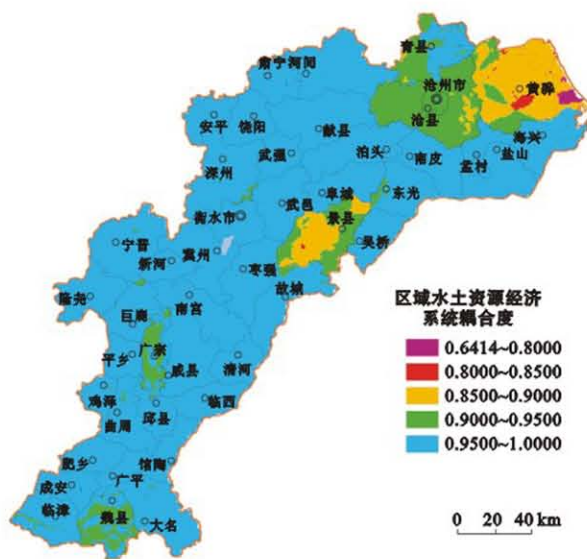
附图5 徐州市九里区采煤矿区表层土壤有机质含量分布



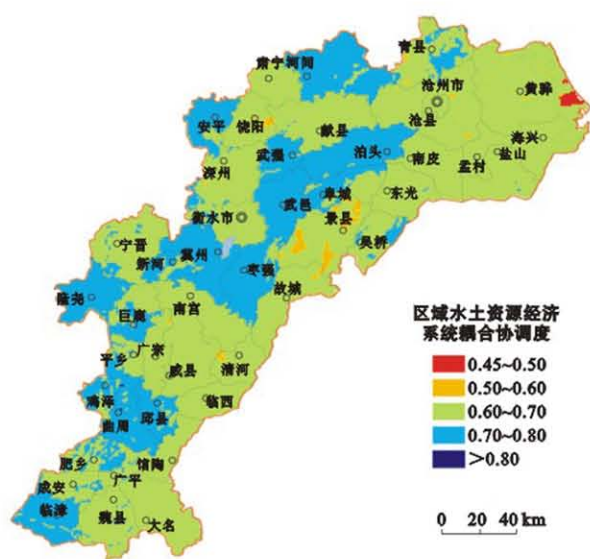
附图6 延安市1999—2008年植被退化空间分布



附图7 延安市植被盖度空间分布



附图8 黑龙港地区水土资源经济系统耦合度分布



附图9 黑龙港地区水土资源经济系统耦合协调度分布