

# 黄土高原生态与经济系统耦合协调发展状况\*

张青峰<sup>1\*\*</sup> 吴发启<sup>1</sup> 王力<sup>1,2</sup> 王健<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

**摘要** 在借助系统科学理论建立黄土高原生态与经济系统协调发展耦合模型基础上, 提出了黄土高原生态与经济系统耦合发展的评判标准和基本类型, 并对黄土高原各县域生态与经济系统协调发展状况进行了研究. 结果表明: 黄土高原生态经济系统之间的相互作用可分为严重失调发展、轻度失调发展、低水平协调发展、高水平良好协调发展4个阶段, 在不同的发展阶段又存在着损益-拮抗-磨合-主导-同步发展的循环往复过程; 黄土高原生态与经济系统耦合发展度整体上处于较低水平, 其中62.7%的县域处于严重失调发展阶段, 30.1%的县域处于轻度失调发展阶段, 7.1%的县域处于低水平协调发展阶段. 基于耦合模型所建立的协调耦合度, 能够较好地反映黄土高原经济社会与生态环境之间的交互胁迫耦合发展状况. 正确认识黄土高原生态与经济系统耦合规律, 采取适当的发展模式, 对于促进黄土高原县域生态与经济协调发展具有重大意义.

**关键词** 协调发展 生态环境 耦合发展度 黄土高原

**文章编号** 1001-9332(2011)06-1531-06 **中图分类号** F062.2; X24 **文献标识码** A

**Coupling coordinated development of ecological-economic system in Loess Plateau.** ZHANG Qing-feng<sup>1</sup>, WU Fa-qi<sup>1</sup>, WANG Li<sup>1,2</sup>, WANG Jian<sup>1</sup> (<sup>1</sup>College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; <sup>2</sup>Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(6): 1531-1536.

**Abstract:** Based on system theory, a coupling coordinated development model of ecological-economic system in Loess Plateau was established, and the evaluation criteria and basic types of the coordinated development of the ecological-economic system were proposed. The county-level coupling coordinated development of the ecological-economic system was also discussed, based on the local characteristics. The interactions between the ecological and economic systems in Loess Plateau could be divided into four stages, *i. e.*, seriously disordered development stage, mild-disordered development stage, low-level coordinated development stage, and high level well-coordinated development stage. At each stage, there existed a cyclic process of profit and loss-antagonist-running-dominant-synchronous development. The coupling development degree of the ecological-economic system in Loess Plateau was overall at a lower level, being about 62.7% of the counties at serious disorder, 30.1% of the counties at mild disorder, and 7.1% of the counties at low but coordinated level. The coupling development degree based on the model established in this study could better reflect the current social-economic and ecological environment situations, especially the status of coordination. To fully understand the coupling of ecological-economic system and to adopt appropriate development mode would be of significance to promote the county-level coordinated development in Loess Plateau.

**Key words:** coordinated development; ecological environment; coupling development degree; Loess Plateau.

\* 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09-07)和中央高校基本科研业务费项目(QN2009040)资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: zhqf@nwsuaf.edu.cn

2010-11-12 收稿, 2011-03-16 接受.

黄土高原地跨7个省(自治区)282个县(市旗),总面积 $63.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,是我国重要的能源重化工基地,也是我国人口-资源-环境集中、治理难度大、贫困人口最多的区域,从历史资料来看,其生态与经济系统先后经历了“繁荣-破坏-修复(重建)”的过程<sup>[1-2]</sup>.随着各种资源的开发利用,黄土高原在取得了巨大社会和经济效益的同时,也出现了一系列严重的生态破坏和退化问题.自然生态环境的恶化,除造成生产力下降等看得见的经济损失外,还影响到地区产品的市场竞争力和投资环境,降低了人类生存质量,进而威胁人类生存环境或条件,这种不合理的状况在局部地区甚至形成了恶性循环.如何协调生态环境保护与社会经济发展间的关系,成为人们关注的焦点.在过去的60年中,黄土高原综合治理被列为国家科技攻关项目,几代科学家分别对黄土高原进行了科学考察、长期野外定点试验监测、专题调查和研究,为不同时期黄土高原生态环境建设和国民经济发展提供了科技支撑,取得了一批重要科研成果.从各研究成果来看,生态系统与经济系统的耦合协调发展已成为提升区域可持续发展的途径,但其耦合关系如何、按照目前发展轨迹能否保证生态经济系统的可持续发展<sup>[3]</sup>等问题尚未有科学判定,直接或间接影响了黄土高原未来发展方案的制定及生态经济项目的有效布设.

耦合指两个或以上系统或运动形式通过相互作用而彼此影响的现象;耦合度是描述系统或要素相互彼此作用影响的程度<sup>[4]</sup>,它刻画了某一时点区域系统之间、系统内各要素之间交互胁迫、交互依存关系的演进态势或趋向<sup>[5]</sup>.通过耦合关系分析及系统多维对接耦合<sup>[6]</sup>,可以有效地解决系统间的失调发展问题,确保各系统的相互协调和共同发展.利用耦合关系模型,诸多学者<sup>[7-9]</sup>从定性角度探讨生态与经济系统的协调发展,取得了较令人满意的成果.这些耦合协调发展模式及评判标准仅在较小尺度上进行了探索,而有关较大尺度上特别是黄土高原的研究至今尚未见相关报道.为此,本研究运用系统科学理论,通过建立黄土高原生态与经济系统耦合发展的评判模型,探讨黄土高原各县域生态与经济系统的耦合关系,以期科学分析和评价黄土高原生态与经济系统的相互关系、提升区域整体发展力提供科学依据.

## 1 耦合发展模型的设计

### 1.1 耦合协调发展模型

耦合度是反映系统由无序走向有序时系统内部

序参量之间的度量<sup>[10]</sup>,其大小反映了区域各系统的协调程度<sup>[11]</sup>.由于受多种因素的复合影响,生态与经济系统都是随时间连续渐变的非线性系统,其变化过程也是一种非线性过程<sup>[12]</sup>,其演化方程<sup>[8]</sup>为:

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中: $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 为 $x_i$ 的非线性函数.由于非线性系统运动的稳定性取决于一次近似系统特征根的性质<sup>[13]</sup>,因此在保证运动稳定性的前提下,将 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 在原点附近( $x = 0$ )按泰勒级数展开:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(0) + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + \theta(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

式中: $f(0) = 0$ ;  $a_i$ 为 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 在 $x = 0$ 处的偏导数值; $\theta(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 为 $x_i$ 的不低于二次方的解析函数.

利用李雅普诺夫(Liapunov)第一近似定理<sup>[12]</sup>略去式(2)中的高次项 $\theta(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,从而保证系统的稳定性,得到上述非线性系统的近似表达:

$$\frac{dx(t)}{dt} = a_i x_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

根据这种思想,按上述方法分别建立生态环境函数 $f(x)$ 和经济社会发展函数 $g(y)$ :

$$f(x) = \sum_{i=1}^m a_i x_i \quad (4)$$

$$g(y) = \sum_{i=1}^n b_i y_i \quad (5)$$

式中: $x_i, y_i$ 分别为生态环境和经济系统各元素(指标)的标准化值; $a_i, b_i$ 为各元素(指标)的权重.

本研究采用生态环境演化过程和经济社会发展演化过程的离差系数( $C_v$ )来表述生态经济系统的协调度. $f(x)$ 与 $g(y)$ 的离差越小,说明协调程度越高;离差越大,说明协调程度越低.

$$C_v = \frac{2S}{f(x) + g(y)} = 2 \sqrt{1 - \frac{f(x) \cdot g(y)}{\left[\frac{f(x) + g(y)}{2}\right]^2}} \quad (6)$$

式中: $S$ 为 $f(x)$ 与 $g(y)$ 的标准差.使 $C_v$ 取极小值的充要条件是 $\frac{f(x) \cdot g(y)}{\left[\frac{f(x) + g(y)}{2}\right]^2}$ 取极大值.借助一般系

统论的系统演化思想,生态环境与社会经济系统的耦合度或协调度( $C$ )可表示为:

$$C = \left\{ \frac{f(x) \cdot g(y)}{\left[\frac{f(x) + g(y)}{2}\right]^2} \right\}^k \quad (7)$$

式中: $C$ 为耦合度; $k$ 为调节系数,一般 $k \in [2, 5]$ ,本研究取 $k = 2$ .式(7)反映了环境生态与社会经济系统在一定条件下[即 $f(x)$ 与 $g(y)$ 之和一定],为使生态与经济的综合发展水平[即 $f(x)$ 与 $g(y)$ 之积]最大,生态与经济发展水平进行组合协调的数量程度<sup>[13-14]</sup>.耦合度虽然可反映生态环境系统和社会经济系统发展的同步性,但却很难反映出生态与经济的总体发展水平,故本文在 $C$ 值的基础上加入表征总体发展水平的成分,进一步构造生态经济耦合发展度或协调发展度( $D$ ):

$$D = \sqrt{C \left[ \frac{f(x) + g(y)}{2} \right]} \quad (8)$$

$f(x)$ 、 $g(y)$ 、 $C$ 、 $D$ 值均在 $[0, 1]$ . $D$ 值越高,表明生态环境与经济社会发展的总体水平越高,生态与经济系统之间的耦合关系越和谐.

## 1.2 评判标准

评判标准是衡量区域自然生态环境与社会经济协调发展状况的相对尺度.经济社会活动必然会消耗自然资源并给生态环境带来一定压力.有研究表明,同样的经济活动在生态脆弱区所付出的生态环境代价较其他地区更大<sup>[15]</sup>.黄土高原生态环境脆弱、人民生活贫困,导致了对资源环境不合理的开发利用,使生态环境遭到更严重的破坏,陷入生态与经济系统相互阻碍的恶性循环.因此,在两大系统耦合发展评判标准的划分中,既要充分考虑经济发展水平,也要考虑生态环境的可持续发展.为了更准确地反映两大系统的耦合关系和发展水平,本研究以生

态环境综合指数( $F$ )、经济社会发展综合指数( $G$ )和耦合发展度( $D$ )为基础,提出黄土高原生态与经济系统耦合发展评判标准和基本类型(表1).

## 2 黄土高原生态与经济系统耦合态势分析

### 2.1 指标体系

评价指标体系是评价环境与经济协调发展状况的基础.本文选取森林覆盖率等10个指标来反映黄土高原生态环境状况;选取人均GDP等11个指标来反映该区经济发展状况(表2).应用因子分析法<sup>[16]</sup>,选取主因子的累计贡献率大于0.8,求得各指标的权重值.

### 2.2 耦合协调发展评价

通过对黄土高原各省2005—2006年统计年鉴、国土资源公报、环境质量公报、国土资源调查等相关研究资料和实地访问调查的数据进行分析,获得各指标对应的基础数据.运用正规化标准法对数据进行标准化处理,由式(1)、式(2)、式(4)、式(5)逐步计算,并运用SPSS 15.0软件,对 $F$ 、 $G$ 和 $D$ 、 $G/F$ 值进行聚类分析,可将黄土高原生态经济耦合发展类型划分为7类:严重失调发展经济损益型、轻度失调发展经济滞后型、轻度失调发展磨合型、轻度失调发展生态损益型、低水平协调发展经济滞后型、低水平协调发展同步型、低水平协调发展生态滞后型(图1).其中,昔阳、和顺、孟津、伊川、潼关、华县、甘谷、武山、静宁、隆德、清水河、定西、定边、循化、贵德等177个县域属于严重失调发展经济损益型,其生态

表1 黄土高原生态与经济系统耦合发展的评判标准和基本类型

Table 1 Coupling development evaluation criteria and basic types of eco-economic system in Loess Plateau

耦合发展度 Coupling development degree ( $D$ )	耦合水平分类 Coupling level classification	$g(y)/f(x)$	生态经济耦合发展类型与特征 Types and properties of ecological economic coupling development
$0 < D \leq 0.4$	严重失调发展 Seriously dis-coordinated development	$g(y)/f(x) < 0.8$	经济损益型:极度不协调,经济发展滞后,勉强保持在生态承载力阈值内,短期内可以接受
		$0.8 \leq g(y)/f(x) \leq 1.2$	拮抗性:不协调,经济发展与生态环境同步型,系统退化
		$g(y)/f(x) > 1.2$	生态损益型:勉强调和,经济发展超前,超出生态承载力范围,系统退化
$0.4 < D \leq 0.5$	轻度失调发展 Mildly dis-coordinated development	$g(y)/f(x) < 0.8$	经济滞后型:勉强调和,经济发展滞后,勉强维持在生态承载力阈值内,短期内可以接受
		$0.8 \leq g(y)/f(x) \leq 1.2$	磨合型:基本调和,经济发展与生态环境同步,勉强维持在生态承载力阈值内,短期内可以接受
		$g(y)/f(x) > 1.2$	生态损益型:不协调,经济发展超前,超出生态承载力范围,系统退化
$0.5 < D \leq 0.8$	低水平协调发展 Low level coordinated development	$g(y)/f(x) < 0.8$	经济滞后型:基本调和,经济发展滞后,保持在生态承载力阈值内,短期内可以接受
		$0.8 \leq g(y)/f(x) \leq 1.2$	同步型:调和,经济发展与生态环境同步
		$g(y)/f(x) > 1.2$	生态滞后型:不协调,经济发展超前,基本保持在生态承载力范围
$0.8 < D \leq 1$	高水平良好协调发展 High level coordinated good development	$g(y)/f(x) < 0.8$	生态主导型:协调,经济发展滞后,在生态承载力阈值内
		$0.8 \leq g(y)/f(x) \leq 1.2$	同步型:基本调和,经济发展与生态环境同步,较为理想
		$g(y)/f(x) > 1.2$	经济主导型:基本调和,经济发展超前,基本保持在生态承载力范围



表 2 黄土高原生态经济耦合协调发展指标体系

Table 2 Eco-economic coupling development indicator system of Loess Plateau

一级指标 The first class	权重 Weight	二级指标 The second class	指标类型 Indicator type	单位 Unit	权重 Weight
自然生态系统 Natural ecological system	0.50	森林覆盖率 Forest coverage rate	+	%	0.142
		年均降水量 Average annual precipitation	+	mm	0.218
		平均气温 Average annual temperature	-	°C	0.009
		≥10 °C 年积温 ≥10 °C accumulative temperature	+	°C	0.043
		干燥度 Aridity	-		0.250
		人均耕地面积 Cultivated land area per capita	+	hm <sup>2</sup>	0.127
		人均果园面积 Orchard land area per capita	+	hm <sup>2</sup>	0.002
		人均牧草地面积 Grassland area per capita	+	hm <sup>2</sup>	0.146
		人均地表水资源占有量 Surface water volume per capita	+	m <sup>3</sup>	0.040
		年均侵蚀模数 Average annual soil erosion modulus	-	t · km <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup>	0.025
社会经济系统 Socio-economic system	0.50	地区生产总值 Regional GDP	+	yuan	0.121
		人均 GDP GDP per capita	+	yuan	0.129
		人均财政收入 Fiscal revenue per capita	+	yuan	0.077
		人口密度 Population density	+	person · km <sup>-2</sup>	0.078
		城镇居民人均可支配收入 Disposable income per urban resident	-	yuan	0.123
		农村人均纯收入 Rural net income per capita	+	yuan	0.116
		城镇化指数 Proportion of non-agricultural population	+	%	0.135
		人口自然增长率 Natural population growth rate	+	%	0.001
		万人拥有科技人员数 Sci-tech personnel per 10000 persons	-	person	0.122
		万人拥有教师数量 Teachers per 10000 persons	+	person	0.086
万元产值能耗 Energy consumption per 10000 yuan output value	-	t	0.013		

+: 正指标 Positive index; -: 逆指标 Negative index.

环境十分脆弱,生态条件差,经济社会的发展超过了生态环境的承载力,生态压力较大,生态环境严重地制约了经济社会发展,经济发展呈现出对生态环境的胁迫作用;黎城、泽州、荥阳、灵宝、运城、铜川、韩城、忻州、介休、庆阳、土右旗、土左旗、乌审旗、同仁、

尖轧、石嘴山等 69 个县域属于轻度失调发展经济滞后型,这些县域 *F* 值较高,生态环境较好,生态压力较小,但目前 *G* 值较低,与 *F* 值较高的状况极不相称,生态环境条件在一定程度上影响了经济社会发展水平;偃师、巩义、天水、侯马、霍州、孝义、延安、临夏、平安、巴彦淖尔这 10 个县域属于轻度失调发展磨合型,这些县域的经济发展与生态环境的承载状况处于相互适应调整的阶段,经济系统与生态环境之间的矛盾较为缓和并呈现出轻度失调发展的态势;咸阳、大同、兰州、西宁、银川、白银这 6 个县域属于轻度失调发展生态损益型,这些县域人口聚集较多,经济发展强度已经超过当地生态环境的最大承载阈值;鄂托克属于低水平协调发展经济滞后型,其 *F* 值大于 *G* 值,经济发展对生态环境的影响不大,生态压力小,生态环境对经济发展的约束作用低,经济社会发展仍有较大空间;义马、三门峡、临汾、朔州、古交、晋中、吕梁、伊金霍洛旗、准格尔、乌海这 10 个县域为低水平协调发展同步型, *F* 值不高、*G* 值也不高,总体上这些县域生态压力较小,县域经济与生态环境之间的关系处于低水平平衡点上;晋城、洛阳、西安、长治、阳泉、太原、包头、鄂尔多斯、杨凌这 9 个县域属于低水平协调发展生态滞后型,这些县域的 *G* 值相对较高,经济活动强度大,但由于生态条件较

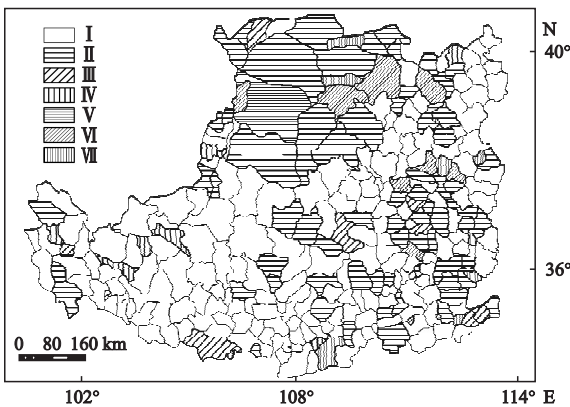


图 1 黄土高原生态经济耦合度分级图

Fig. 1 Coupling factor grade map of eco-economic systems of Loess Plateau.

I: 严重失调发展经济损益型 Seriously discoordinated economic profit-loss; II: 轻度失调发展经济滞后型 Mildly discoordinated economic backward; III: 轻度失调发展磨合型 Mildly discoordinated mutual accommodation; IV: 轻度失调发展生态损益型 Mildly discoordinated ecological profit-loss; V: 低水平协调发展经济滞后型 Low level coordinated economic backward; VI: 低水平协调发展同步型 Low level coordinated synchronous; VII: 低水平协调发展生态滞后型 Low level coordinated ecological backward.

差,承载人口多,使生态压力大, $F$ 值较低,经济与生态环境之间的关系十分紧张。

### 3 讨 论

正确认识黄土高原经济社会发展与生态环境交互作用的动态耦合发展规律,采取适当的发展模式,对于促进黄土高原县域生态与经济系统的协调发展具有重大意义。

本文借助系统科学理论与方法建立黄土高原经济社会发展与生态环境系统之间的耦合模型和指标体系,并通过模型计算对二者的耦合关系进行分析。总体来看,黄土高原生态与经济系统之间的相互作用可分为严重失调发展、轻度失调发展、低水平协调发展、高水平良好协调发展4个阶段,在不同的发展阶段又存在着损益-拮抗-磨合-主导-同步发展的循环往复过程。

黄土高原生态经济耦合发展度整体处于较弱水平。目前,黄土高原生态与经济系统耦合发展度整体上处于较低水平,其中62.7%的县域处于严重失调发展阶段,30.1%的县域处于轻度失调发展阶段,7.1%的县域处于低水平协调发展阶段。从不同发展过程来看,随着经济社会的发展,生态环境状况对经济系统的响应具有一定的滞后性;在经济社会发展初期,往往需要一定的生态环境破坏为代价,以适应经济活动的需要。通过二者之间的交互胁迫和不断磨合,经济增长与生态环境的关系向着协调发展的方向不断演进,并最终推动整个生态与经济复合系统从低水平协调发展向高水平良好协调耦合的形态演化。

黄土高原生态经济耦合发展度较弱的原因在于县域经济中三次产业结构与生态环境发展状况以及两者之间的不协调,这种发展的非均衡性既制约了经济的更快增长,又影响了生态环境的保护。因此,有必要进一步从产业结构的角度来深刻讨论生态环境对经济增长的吸纳力。可通过促进并改善生态环境,优化产业结构,增强生态环境对经济产业结构调整带动效应:1)探寻适合黄土高原各县域实际的经济社会进步路径,使三次产业结构及其内部的升级与改造符合当地生态环境资源禀赋特征。同时大力改善生态环境,针对各县域生态环境现状和经济基础,促进形成维持性的农业、保护性的林业、商品性集约畜牧业、扩张性的特色产业的发展战略。2)对于重要的能源化工基地如鄂尔多斯、榆神府矿区等,在一定时期内以资源开采和输出的方式使地方经济

得到飞速发展,但这种依赖资源开采的发展模式是不可持续的,急需通过产业结构调整 and 治理生态环境等措施提高其长远的可持续发展能力,在目前的阶段,大力推动循环经济和低碳经济对这些地区的发展具有重要意义;对于那些经济落后而生态环境质量较好的地区,可以在中国和世界生态经济大背景下,考虑区域间的差异与分异,更好地运用外部资源,通过与经济发达地区进行合作的模式实现多赢式发展,来缓解其县域内部的生态与经济压力,确保其生态系统的服务功能。

本研究制定的黄土高原生态与经济系统耦合发展基本模式的评判标准和指标体系,是基于当前黄土高原经济发展水平低、生态环境问题突出、地域分异规律的特点来考虑。从研究结果来看,该模型能够较好地评价黄土高原现时的生态与经济系统耦合协调发展的客观状况,可为在较大尺度区域范围开展耦合关系评价研究提供理论依据和技术支撑。随着技术进步和经济水平的提高,资源利用效率和生态环境保护水平将大幅提高,划分标准也应作相应调整。另外,是否需要设立第3级指标因子,将其纳入指标体系,也有待今后进一步研究。同时,这种以值域标准来进行刚性划分的方法,势必会带来一定误差。虽然本研究用聚类分析方法对标准值划分的结果进行了矫正,但为了使类型划分更准确、简便,是否建立动态的划分模型,还需要深入研究。

### 参考文献

- [1] Lu J-F (陆建飞), Wang J-G (王建革), Liu X-J (刘学军), et al. Studies on ecological limits to agricultural development on Loess Plateau: From the change of population capacity. *Ecological Economy* (生态经济), 1996(4): 44-47 (in Chinese)
- [2] Wang F (王飞), Li R (李锐), Xie Y-S (谢永生). Analysis on eco-environment construction in human period on Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 2001, 8(2): 138-142 (in Chinese)
- [3] Wang J-J (王继军), Jiang Z-D (姜志德), Lian P (连坡), et al. Coupling analysis of the agricultural ecological economic system over 70 years in the Zhifanggou watershed, Shaanxi Province. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2009, 29(9): 5130-5137 (in Chinese)
- [4] Liu Y-B (刘耀彬), Song X-F (宋学锋). Coupling degree model and its forecasting model of urbanization and ecological environment. *Journal of China University of Mining & Technology* (中国矿业大学学报), 2005,

- 34(1): 91–96** (in Chinese)
- [5] Wang M-Q (王明全), Wang J-D (王金达), Liu J-S (刘景双), *et al.* Dynamic coupling of ecological supporting capability and socioeconomic development of west Jilin Province. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20(1)**: 170–176 (in Chinese)
- [6] Fang C-L (方创琳), Bao C (鲍超). The coupling model of water-ecology-economy coordinated development and its application in Heihe River Basin. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2004, **59(5)**: 781–790 (in Chinese)
- [7] Liang H-M (梁红梅), Liu W-D (刘卫东), Liu H-P (刘会平), *et al.* Coupling relationship between social economic benefit and ecological benefit of land use: A case study of Shenzhen and Ningbo. *China Land Science* (中国土地科学), 2008, **22(2)**: 42–48 (in Chinese)
- [8] Qiao B (乔标), Fang C-L (方创琳). The dynamic coupling model of the harmonious development between urbanization and eco-environment and its application in arid area. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, **25(11)**: 3003–3009 (in Chinese)
- [9] Yuan L-Y (袁榴艳), Yang G-H (杨改河), Feng Y-Z (冯永忠). Study on coupling development mode and judgment criterion of ecosystem and economic system in arid area: A case of Xinjiang. *Journal of Northwest A & F University* (西北农林科技大学学报), 2007, **35(11)**: 41–47 (in Chinese)
- [10] Jiang H-L (江红莉), He J-M (何建敏). The dynamic coupling model of coordinated development between regional economic and ecological environment systems based on Jiangsu Province. *Soft Science* (软科学), 2010, **24(3)**: 63–68 (in Chinese)
- [11] Wu D-J (吴大进), Cao L (曹力), Chen L-H (陈立华). Synergetic Theory and Application. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1990 (in Chinese)
- [12] Li C-M (李崇明), Ding L-Y (丁烈云). Study of coordinated development model and its application between the economy and resources environment in small town. *Systems Engineering Theory & Practice* (系统工程理论与实践), 2004, **24(11)**: 134–139 (in Chinese)
- [13] Liao X-X (廖晓昕). Stability Theory, Methods and Applications. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1999 (in Chinese)
- [14] Liao C-B (廖重斌). Quantitative judgment and classification system or coordinated development of environment and economy: A case study of the city group in the Pearl River Delta. *Tropical Geography* (热带地理), 1999, **19(2)**: 171–177 (in Chinese)
- [15] Liu X-Y (刘兴元), Wang S-M (王锁民), Guo Z-G (郭正刚). The compound management model of agricultural resources and its eco-economic coupling effects in the semi-arid area of Northwest China. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 2004, **19(5)**: 624–631 (in Chinese)
- [16] Tang M-L (汤梦玲), Wang Z-L (王占龙), Li Z-J (李志建). Using model of factor analysis to calculate weight and to evaluate water quality. *Journal of Xingtai Vocational and Technical College* (邢台职业技术学院学报), 2005, **22(5)**: 14–16 (in Chinese)

---

**作者简介** 张青峰,男,1974年生,副教授.主要从事土地资源与空间信息技术研究,发表论文30篇. E-mail: zhqf@nwsuaf.edu.cn

**责任编辑** 杨弘

---