

田京京,赵红安,赵丽,等.耕地资源经济-社会-生态系统有序度测算及交互胁迫关系验证——以沧州市为例[J].江苏农业科学,2017,45(5):256-264.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.05.068

耕地资源经济-社会-生态系统有序度测算 及交互胁迫关系验证 ——以沧州市为例

田京京,赵红安,赵丽,朱永明

(河北农业大学国土资源学院,河北保定 071000)

摘要:立足于系统论和协同学理论,应用计量经济分析方法将耕地资源视作由经济、社会、生态环境3个子系统相互关联、相互影响、相互制约所构成的复合系统,从三维视角研究耕地资源系统在一定时空范围内,经济-社会-生态环境子系统的有序度、相互胁迫关系与变化规律。研究表明,耕地资源系统有序度是3个子系统的综合反映,20年间经济与生态环境子系统有序度变化幅度较大,各子系统之间存在交叉相对变化的趋势,相对来说,社会子系统有序度变化不明显。与此同时,沧州市耕地各子系统间确实存在一定的交互胁迫关系,在1994—2013年间,除泊头市外,经济-社会子系统表现出明显的协同发展关系,经济社会与生态环境子系统之间的胁迫关系较明显。本研究为不同学科间的交叉研究提供了新的理念,并为耕地资源可持续发展研究提出了新思路。

关键词:耕地资源系统;系统有序度;交互胁迫;沧州市;可持续发展

中图分类号: F301.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)05-0256-09

耕地作为宝贵资源,是由自然、经济、社会、生态、环境等各个子系统相互关联、相互制约所构成的复合系统的综合体。

收稿日期:2016-02-01

基金项目:河北省社会科学基金(编号:HB14GL040);河北省社会科学发

展研究课题(编号:2014030718)。

作者简介:田京京(1989—),女,河北沧州人,硕士,主要从事土地资源利用与规划研究。E-mail:bdltj0516@126.com。

通信作者:朱永明,硕士,副教授,主要从事土地资源利用与规划研究。E-mail:zhyming2005@126.com。

在某一耕地,经济、社会、生态环境子系统之间能够相互配合、相互促进、协调发展,耕地资源系统就会实现健康、有序、可持续发展的良性循环;反之,耕地资源系统就会陷入生态环境恶化、社会经济紊乱的恶性循环。当前,随着城镇化步伐的加快,建设用地不断占用耕地,尽管我国耕地保护制度较为严格,但耕地数量锐减、耕地质量下降的问题依然存在^[1];与此同时,面对人地关系紧张与粮食安全问题的严峻形势,为满足粮食需求和获得更大的产出效益,耕地利用集约化显著,大量的化肥、农药投入在一定程度上产生了一系列耕地生态安全

[4]高海,李国东,刘伟,等.农作物秸秆综合利用现状及技术[J].现代农业科技,2011(18):290-291.

[5]蒋连接,李庆录,苗恒亚,等.内填充农作物秸秆的粉煤灰砌块保温墙体热工性能研究[J].新型建筑材料,2010,37(7):51-53.

[6]范军,刘福胜,刘永,等.秸秆纤维混凝土砌块的强度和保温性能试验研究[J].建筑科学,2010(8):45-47.

[7]Malherbe S, Cloete T E. Lignocellulose biodegradation: fundamentals and applications[J]. Rev Environ Sci Biotech, 2002, 1(2): 105-114.

[8]Parka J, Riki S, Muhammad I A, et al. A novel lime pretreatment for subsequent bioethanol production from rice straw - calcium capturing by carbonation (CaCCO) process[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(17): 6805-6811.

[9]李敏,柴寿喜,魏丽.麦秸秆的力学性能及加筋滨海盐渍土的抗压强度研究[J].工程地质学报,2009,17(4):545-549.

[10]杨继位,柴寿喜,王晓燕,等.以抗压强度确定麦秸秆加筋盐渍土的加筋条件[J].岩土力学,2010,31(10):3260-3264.

[11]李敏,柴寿喜,杜红普,等.麦秸秆加筋土的合理布筋位置和抗剪强度模型[J].岩石力学与工程学报,2010,29(增刊2):3923-3929.

[12]Greeshma, P G. Rice straw reinforcement for improvement in Kuttanad clay[C]. Kochi; Proceedings of Indian Geotechnical Conference, 2011: 449-452.

[13]Hsu T C, Guo G L, Chen W H, et al. Effect of dilute acid pretreatment of rice straw on structural properties and enzymatic hydrolysis[J]. Bioresource technology, 2010, 101(13): 4907-4913.

[14]Cheng Z S. Recent developments in China pulp and paper research on wheat straw[C]. Straw a valuable raw material conference proceedings, Cirencester, 20-22 April, 1993: 1-23.

[15]曹旭辉,朱祥,钟春伟,等.稻草纤维/镁水泥复合材料的性能研究[J].混凝土,2010(5):61-63.

[16]Gram H. Durability of natural fibres in concrete[R]. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1983.

[17]刘志明,王逢瑚,苏润洲.麦秆表面形貌及表面元素分析[J].东北林业大学学报,2002,30(2):62-65.

[18]宋籽霖,孙雪文,杨改河,等.不同温度下氢氧化钠预处理对玉米秸秆甲烷产量的影响[J].化工学报,65(5):1876-1882.

[19]覃国栋,刘荣厚,孙辰.酸预处理对水稻秸秆沼气发酵的影响[J].上海交通大学学报(农业科学版),2011,29(1):58-61.

问题^[2-4]。

面对耕地生态保护与社会经济发展之间的博弈问题,将耕地资源作为经济-社会-生态环境的复合系统,探讨各子系统之间的相互胁迫关系与作用机制,探寻耕地资源系统经济-社会-生态环境的协调发展途径,对于实现研究区乃至其他地区耕地资源系统的可持续发展具有重要意义;同时,耕地资源系统的相关研究也将作为土地利用修编的重要命题之一,为政府部门制定和改进相关政策建议提供一定的理论依据。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

沧州市位于河北省东南部,环渤海湾经济区,地处 $116^{\circ}10' \sim 117^{\circ}44'E, 37^{\circ}53' \sim 38^{\circ}51'N$,水文地质条件较差,中低产田和盐碱地分布较广,是河北省粮、棉、油集中产区之一。截至 2013 年末,全市常住人口为 730.95 万人,耕地面积为 $78.69 \times 10^4 \text{ hm}^2$,沧州市耕地质量总体水平不高,且部分地区生态环境脆弱,土壤盐碱化问题突出。

1.2 基础数据来源

本研究数据资料包括耕地数据和社会经济数据 2 个方面,耕地数据主要来自 1994—2013 年《河北省土地调查统计年鉴》,社会经济数据来源于 1994—2013 年《河北农村统计年鉴》及沧州市各县(市)国民经济统计年鉴。

2 耕地资源系统有序度的内涵界定

关于耕地的定义有很多种,但立足于多学科理论,耕地资源同时隶属于多个系统的子系统——土地资源、社会经济、生态环境,而其本身又可视作由自然、社会、经济、生态环境等要素等构成,所有要素之间相互关联、相互影响而形成的复杂系统^[5-9]。因此本研究认为,耕地资源系统是指能够种植农作物,在一定时空范围内,以实现耕地资源保护为目标,伴随人类的开发利用与影响活动而不断进行物质、能量、信息的交流与交换过程,由自然、经济、社会、生态等要素所构成的复合系统的综合体。

将系统发展状态量化引入有序度的概念。有序度是度量系统各个要素之间的和谐与配合程度,是对系统发展状态的量化表征。系统的有序度高,说明系统各个要素之间协调、有序,系统的结构和功能得以维持;系统的有序度低,则表明系统自组织混乱、无序,系统的结构和功能遭到破坏,最终导致系统“代谢”的恶性循环。

3 耕地资源系统有序度评价模型构建及评价

3.1 耕地资源系统有序度评价模型构建

耕地资源系统是综合了自然、社会经济、生态环境等要素的复合系统,这些要素较多,难以一一描述。为此,引入序参量的概念。序参量是协同学理论中的重要概念,是指主导系统有序结构的几个变化缓慢的少数变量,同时又具有支配系统发展和演变的重要作用,也称为慢弛豫参量^[10]。因此,科学合理地选取耕地资源系统的关键序参量以及对参序量的建模分析,成为系统有序性测度的关键内容。

承接前面的分析,以及对大量文献的总结与归纳,本研究

借鉴孟庆松等的有序度模型^[11],对其部分公式进行适当修正,构建以下耕地资源系统有序性测度模型。

本研究将耕地资源系统 S 看成是社会子系统 S_1 、经济子系统 S_2 、生态环境子系统 S_3 的复合系统,可抽象表示为 $S = f(S_1, S_2, S_3)$,换句话说, S_1, S_2, S_3 也是耕地资源系统的序参量。其中,表示社会子系统的关键序参量 $S_1 = (S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1n})$,其值为 $\gamma_1 = (\gamma_{11}, \gamma_{12}, \dots, \gamma_{1n})$;表示经济子系统的关键序参量 $S_2 = (S_{21}, S_{22}, \dots, S_{2n})$,其值为 $\gamma_2 = (\gamma_{21}, \gamma_{22}, \dots, \gamma_{2n})$;表示生态环境子系统的关键序参量 $S_3 = (S_{31}, S_{32}, \dots, S_{3n})$,其值为 $\gamma_3 = (\gamma_{31}, \gamma_{32}, \dots, \gamma_{3n})$ 。其中, $n \geq 1, X_{in} \leq \gamma_{in} \leq Y_{in}, \gamma_{in} \in [X_{in}, Y_{in}] (i = 1, 2, 3)$ 。

定义 1 耕地资源子系统控制序参量 S_{in} 的有序度值 $\xi_{in}(\gamma_{in})$:

$$\xi_{in}(S_{in}) = \begin{cases} \frac{\gamma_{in} - X_{in}}{Y_{in} - X_{in}} & \text{正作用} \\ \frac{Y_{in} - \gamma_{in}}{Y_{in} - X_{in}} & \text{负作用} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $\xi_{in}(S_{in}) \in [0, 1]$,其大小表征了 S_{in} 对耕地资源子系统有序度的贡献值。 $\xi_{in}(S_{in})$ 越大,表示该序参量对子系统有序度的贡献越大,反之,则贡献越小。而耕地资源子系统的所有序参量 S_{in} 对于子系统总有序度贡献的集合就是子系统 S_i 对耕地资源系统有序度的总贡献。

因此,可将耕地资源子系统的有序度值 $\xi_i(S_i)$ 表示为:

$$\xi_i(S_i) = \sqrt[n]{\prod_{in=1}^n \xi_{in}(S_{in})}; \quad (2)$$

或 $\xi_i(S_i) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times \xi_{in}(S_{in})$,其中, $\alpha_i > 0, \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ 。 (3) 式中: α_i 即为系统序参量的权系数,其值大小说明了序参量 S_{in} 在维持子系统有序结构和功能中的重要性程度。于是可分别得到耕地资源社会-经济-生态环境子系统的有序度值。

定义 2 耕地资源系统控制序参量即 3 个子系统 S_i 的有序度值 $\xi(\gamma)$ 为:

$$\xi(S) = \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \xi_{in}(S_{in})}; \quad (4)$$

或 $\xi(S) = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \times \xi_i(S_i)$,其中, $\alpha_i > 0, \sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1$ 。 (5)

3.2 沧州市耕地资源系统有序度评价

3.2.1 耕地资源系统序参量的选取 为了评价耕地资源系统的有序度,选取和辨识系统的关键序参量成为有序度评价模型构建的重要内容。耕地资源是以人为核心,由社会-经济-生态环境子系统构成的复合系统,因此,耕地资源系统序参量的选取可分别从社会、经济、生态环境 3 个子系统来把握。遵循整体性、合理性、可操作性的基本原则,结合研究区实际情况,立足现有数据资料进行序参量的拟定。本研究从社会稳定、经济发展、生态环境安全的目标出发,构建了沧州市耕地资源系统有序度评价的序参量体系(表 1)。

针对表 1 选取的序参量,作几点说明:人口密度、农村人口文盲率是对社会子系统的有序度起负效应的序参量;农业在生产总值占 GDP 比重越大,经济发展越滞后,因此该指标对经济子系统起负效应;化肥负荷指数、农药负荷指数、农膜负荷指数、盐碱化率是对生态环境子系统起负效应的序参量,而年均降水量对耕地生态环境子系统的效应随其值的变化而

表 1 沧州市耕地资源系统有序度评价的序参量体系

| 子系统层有序度 | 选取目标 | 序参量层 | 具体描述 |
|---------|--------|-----------------------------|--------------------|
| 社会 | 社会稳定 | 人口密度(人/hm ²) | 总人口/人口总面积 |
| | | 农村人口文盲率 | 农村文盲、半文盲人口数/农村总人口数 |
| | | 非农指数 | 非农业人口数/人口总数 |
| | | 稳产指数 | 1 - 耕地成灾面积/耕地总面积 |
| | | 人均耕地面积(hm ² /人) | 耕地总面积/人口总数 |
| 经济 | 经济发展 | 人均 GDP(万元/人) | 地区生产总值/人口总数 |
| | | 农业总产值占 GDP 比重 | 农业总产值/地区生产总值 |
| | | 农民人均纯收入(元/人) | 总收入/农业总人口 |
| | | 农业科服人员投入指数 | 农业科服人员数/农业总人口 |
| | | 粮食单产(kg/hm ²) | 粮食总产量/耕地总面积 |
| 生态环境 | 生态环境安全 | 耕地垦殖率 | 耕地面积/土地总面积 |
| | | 森林覆盖率 | 林地面积/土地总面积 |
| | | 盐碱化率 | 盐碱地面积/土地总面积 |
| | | 化肥负荷指数(kg/hm ²) | 化肥施用量/耕地总面积 |
| | | 农药负荷指数(kg/hm ²) | 农药使用量/耕地总面积 |
| | | 农膜负荷指数(kg/hm ²) | 农膜使用量/耕地总面积 |
| | | 年均降水量(mm) | — |

不同,称为适度序参量,针对 20 年沧州市的降水量和洪涝灾害情况,以及征询多个专家学者的意见,本研究界定年均降水量 <700 mm,对生态环境子系统的有序度产生正效应,反之,则产生负效应。然后根据公式(1),就可以计算 3 个子系统的有序度值 $\xi_{in}(\gamma_{in})$ 。

3.2.2 耕地资源系统序参量权重的确定 本研究应用层次分析法计算各个序参量的权重系数(表 2)。

表 2 沧州市耕地资源系统有序度评价序参量权重系数

| 子系统层有序度 | 权重值 | 序参量层 | 权重值 |
|---------|---------|---------------|---------|
| 社会 | 0.333 3 | 人口密度 | 0.182 5 |
| | | 农村人口文盲率 | 0.240 7 |
| | | 非农指数 | 0.344 5 |
| | | 稳产指数 | 0.127 5 |
| | | 人均耕地面积 | 0.104 8 |
| 经济 | 0.333 3 | 人均 GDP | 0.363 6 |
| | | 农业总产值占 GDP 比重 | 0.208 8 |
| | | 农民人均纯收入 | 0.119 9 |
| | | 农业科服人员投入指数 | 0.110 6 |
| | | 粮食单产 | 0.197 1 |
| 生态环境 | 0.333 3 | 耕地垦殖率 | 0.067 2 |
| | | 森林覆盖率 | 0.046 7 |
| | | 盐碱化率 | 0.046 1 |
| | | 化肥负荷指数 | 0.395 0 |
| | | 农药负荷指数 | 0.246 8 |
| | | 农膜负荷指数 | 0.155 8 |
| | | 年均降水量 | 0.042 4 |

根据上述分析,可依次得到耕地资源系统及各个子系统的有序度值,取值范围[0,1],结合沧州市实际情况,可将耕地资源系统有序度划分为 4 个标准:有序度值 >0.75 为高度有序,>0.50 ~ 0.75 为较有序,0.25 ~ 0.50 为基本有序,<0.25 为无序。

3.2.3 沧州市耕地资源系统有序度评价分析 通过模型计算,可分别得到 1994—2013 年沧州市耕地资源系统及 3 大子系统的有序度值,现分别从各子系统及综合系统加以评述与

说明。

3.2.3.1 耕地资源系统有序度整体分析 如图 1 所示,耕地资源系统有序度与社会 - 经济 - 生态环境子系统有序度存在密切的联系。耕地资源系统有序度是 3 大子系统的综合反映,经济、生态环境子系统有序度变化幅度较大,各子系统之间存在交叉相对变化的趋势,相对来说社会子系统有序度变化不明显。在 1994—2013 年 20 年间,沧州市耕地资源系统有序度值由 0.38 上升至 0.65,年均上升 1.35%,耕地资源系统有序度等级由最初的基本有序发展到今天的较有序,发展趋势总体良好。大体可分为 2 个阶段,从 1994—2007 年,系统整体有序度变化不明显,系统有序度等级一直维持在基本有序状态,究其原因发现,虽然经济子系统有序度一直稳步上升,但由于耕地生态环境子系统有序度处于下降的趋势,生态环境恶化明显,拉低了系统有序度综合水平;从 2008—2013 年,系统整体发展状态呈现出较明显地上升趋势,有序度值从 0.47 增长到 0.65,5 年平均年增长 3.6%,系统等级由基本有序到较有序的转变,此期间耕地资源生态环境子系统的有序度也呈现上升趋势。

3.2.3.2 耕地资源社会子系统有序度分析 沧州市地处环渤海和京津冀都市圈重要区位,是国务院确定的经济开发区重点城市,近几年,社会发展水平显著提高,集中表现在城镇化发展水平明显改观,已由 1994 年的 13.23% 提高到 2013 年的 45.18%;生活质量显著提高,已基本实现小康水平;农村人口文化素质也基本实现了无文盲状态,社会科学技术水平显著进步,基础设施建设也在进一步加强。由图 1 可知,耕地资源社会子系统有序度值由 0.35 上升到 0.70,年均增长 1.75%,系统等级由基本有序上升到较有序状态,说明社会子系统有序度对维持耕地资源系统有序度作出了重要的贡献。

3.2.3.2 耕地资源经济子系统有序度分析 沧州市 20 年耕地资源经济子系统保持着平稳快速的生长趋势,总体发展态势良好,有序度值已由最初的 0.00 上升到 2013 年的 0.89,其有序度等级呈现由无序到基本有序再到较有序最后到高度

有序的变化历程,2012 年达到经济有序度的顶峰 0.95,2013 年表现出向下降的趋势,原因可能是 2013 年农业科服人员数量显著减少致使经济子系统有序度水平降低。由此说明,应该加大对农业科技的重视程度,增加科服技术人员的投入水平尤为重要。

3.2.3.3 耕地资源生态环境子系统有序度分析 随着近几年耕地集约化水平的不断提高,耕地投入水平与利用强度不断加大,但由于农业科技相对落后,农民耕地生态环保意识相对淡薄等,造成耕地资源出现土壤污染、盐碱化、水土流失等恶化现象。由图 1 可以看出,耕地资源生态环境子系统变化情况较为复杂,子系统有序度值呈现出上升—下降—上升—平缓不变—下降—上升的态势,其系统等级由高度有序—较有序—基本有序—无序—基本有序的趋势变化,说明了生态环境子系统在 20 年间发生了螺旋上升的“S”形发展态势。1994—2002 年,生态环境子系统有序度发生了曲折变化,但变化幅度较小;2003—2007 年,生态环境子系统有序度明显下降,究其原因发现,4 年间耕地集约利用水平显著提高,为了追求更高的产出水平,化肥、农药、农膜投入量越来越大,利用程度也越来越高,农民只知种地,而不注重养地,导致耕地生态环境明显恶化;2008 年之后,在生态文明的影响下,人们逐渐意识到耕地生态问题的严重性,从而增强了耕地生态保护意识,林地覆盖率进一步加大,进而增强了耕地资源生态环境系统的生物多样性和稳定性,加大了土地整理复垦工作,盐碱地治理水平进一步提高。

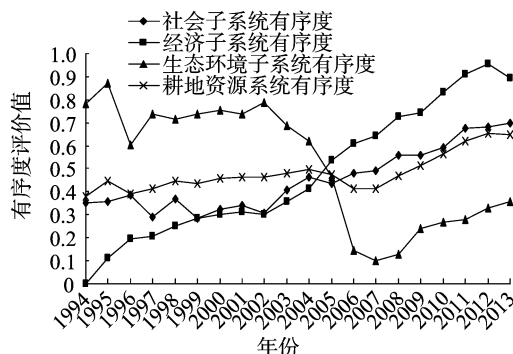


图1 1994—2013年沧州市耕地资源系统有序度及各子系统有序度评价

4 耕地资源系统交互胁迫关系分析与验证

4.1 耕地资源经济—社会—生态环境交互胁迫关系分析

耕地资源社会—经济—生态环境 3 个子系统之间存在复杂的交互胁迫关系^[12]。

4.1.1 社会子系统与生态环境子系统的交互胁迫关系 不同的社会发展阶段,2 个子系统呈现出不同的胁迫关系。在社会发展的早期,人口的快速增长导致就业和生活需求压力增大,刺激了经济子系统的工业化进程和农业科技的进步,但随着社会城镇化的推进和人口基数的增长,就业压力进一步增大,导致劳动力剩余,某种程度上造成了社会的不稳定并阻碍正常的经济活动;其次,过多的人口增加了国民经济的生活消费负担,进一步制约了经济产业结构的资金、技术密集型产业的高级化发展,严重影响了经济的发展水平^[13]。反过来,经济子系统的发展也促使了社会子系统的进步,具体表现在

人口素质的提高、生活质量的改善、科学技术的进步,但不可避免产生的社会老龄化问题将再次阻碍经济的发展。

4.1.2 社会子系统与生态环境子系统的交互胁迫关系 随着社会的发展和人口压力的增大,生活消费水平日益提高,社会子系统对资源环境的负担也越来越重。就耕地资源来说,在一定时期和一定区域内,耕地是不可再生资源,数量有限,与此同时,随着社会的发展,城镇化进程的加速,建设用地不断占用耕地,导致耕地数量锐减。在外部化利益的诱惑下,人们所实施的增减挂钩政策也总是以次充好补充耕地,导致耕地资源的生态环境质量退化。若没有及时保护与建设耕地,耕地资源生态子系统将不能维持自身结构和功能的稳定,从而导致耕地资源系统的无序和混乱状态;与此相反,若社会保护耕地资源的意识加大并予以落实,积极改进耕作生态科技水平及不断促进生态管理水平,则能够改善耕地生态环境,实现社会的生态文明与精神文明的高层次目标,从而达到社会进步与生态环境和谐发展的良性循环。

4.1.3 经济子系统与生态环境子系统的交互胁迫关系 随着经济水平的提高和科技水平的进步,为了追求更大的经济效益,耕地利用越来越集约化,化肥、农药等投入强度越来越大,造成了耕地资源土壤污染、土地板结、耕地生态环境进一步恶化,而弱化的耕地生态环境子系统将反过来制约经济子系统的发展,于是形成恶性循环。由此可见,耕地资源生态环境子系统是保证经济子系统良好发展的前提和基础,而经济子系统也可对耕地生态环境保护提供良好的物质保障,若进行合理的耕地生态保护与建设,将促进耕地资源系统的良性循环。

由此可见,在耕地资源复合系统中,各子系统之间既有恶性制约也有良性循环,并且处于动态变化的过程之中。在某一个发展阶段,系统之间胁迫作用强烈,整体表现出恶性循环;当某一个子系统得到积极的调控措施发挥作用时,2 个系统之间的胁迫作用得以减缓,新一轮的恶性、良性循环又将开始。系统在相互制约、相互作用下,表现出“S”形演变规律^[14]。

4.2 耕地资源系统相互胁迫关系验证

众多专家学者已经证实并得出社会发展水平—经济发展水平—生态环境水平两两之间存在的交互作用曲线关系^[15-18]。本研究在耕地资源社会—经济—生态环境子系统两两之间发生交互胁迫关系时,引入上述的 3 种关系模型进行 3 个子系统两两拟合分析,通过曲线拟合,不仅能够将一些离散分布的点找出一定的规律性,还能进行预测分析。但须要作如下定义:耕地资源生态环境子系统的无序度指的是耕地生态环境的恶化指数。为此,需要对耕地资源生态环境子系统有序度评价的序参量进行变向处理,即对生态环境子系统的有序性产生正效应的序参量对耕地资源子系统的无序性产生负效应,反之亦然。依次可计算耕地资源生态环境子系统的无序度值。具体的 3 个曲线模型公式如下。

耕地资源社会—经济子系统存在对数曲线关系,表示为:

$$y = a \lg x + b. \quad (6)$$

式中: y 为耕地资源社会子系统的有序度值; x 为耕地资源经济子系统的有序度值; a 、 b 为待定系数。

耕地资源经济—生态环境子系统存在倒“U”形曲线关

系,表示为:

$$z = m - n(x - p)^2. \quad (7)$$

式中: z 为耕地资源生态环境子系统的无序度值; x 为耕地资源经济子系统的有序度值; m 、 n 、 p 为待定系数。

耕地资源社会-生态环境子系统存在倒“U”形曲线关系,表示为:

$$z = m - n(10^{(y-b)/a} - p)^2. \quad (8)$$

式中: z 为耕地资源生态环境子系统的无序度值; y 为耕地资源经济子系统的有序度值; m 、 n 、 a 、 b 、 p 为待定系数。其中 m 表示耕地生态环境子系统的承载力阈值; n 表示耕地生态环境子系统有序度值,随耕地社会子系统发展变化的速率大小; b 表示双指数曲线出现最高点的早晚程度。

4.2.1 耕地资源社会子系统与经济子系统交互胁迫关系验证 根据公式(6),应用 SPSS 17.0 软件对 1994—2013 年沧州市及各县(市)经济-社会子系统有序度进行对数曲线拟合(表 3、图 2)。

表 3 沧州市及各县(市)耕地资源经济-社会子系统函数关系式

| 地区 | 方程式 |
|---------|-----------------------------|
| 沧州市 | $y = 0.083 \lg(x) + 0.539$ |
| 沧县 | $y = 0.033 \lg(x) + 0.392$ |
| 青县 | $y = 0.101 \lg(x) + 0.532$ |
| 东光县 | $y = 0.067 \lg(x) + 0.501$ |
| 海兴县 | $y = 0.071 \lg(x) + 0.448$ |
| 盐山县 | $y = 0.095 \lg(x) + 0.472$ |
| 肃宁县 | $y = 0.122 \lg(x) + 0.534$ |
| 南皮县 | $y = 0.081 \lg(x) + 0.506$ |
| 吴桥县 | $y = 0.017 \lg(x) + 0.445$ |
| 献县 | $y = 0.032 \lg(x) + 0.405$ |
| 孟村回族自治县 | $y = 0.061 \lg(x) + 0.389$ |
| 泊头市 | $y = -0.082 \lg(x) + 0.390$ |
| 任丘市 | $y = -0.082 \lg(x) + 0.390$ |
| 黄骅市 | $y = 0.145 \lg(x) + 0.622$ |
| 河间市 | $y = 0.076 \lg(x) + 0.429$ |

由表 3 可知,拟合优度可以反映曲线拟合的水平,由 SPSS 处理后,沧州市各县(市)经济-社会对数曲线拟合度处于中等水平,相比较而言,黄骅市、肃宁县拟合度水平较高,沧县、南皮县、任丘市等拟合水平较差,河间市、青县拟合水平处于中等水平。由图 2 可以看出,除泊头市外,沧州市各县(市)耕地资源经济-社会子系统表现出明显的协同发展的关系,由曲线的拟合形状来看,随着经济的发展,肃宁县、黄骅市社会子系统的变化趋势较快,而吴桥县、献县社会子系统发展水平较缓慢。

4.2.2 耕地资源社会子系统与生态环境子系统的交互胁迫关系验证 根据公式 $z = m - n[10^{(y-b)/a} - p]^2$ 倒“U”形曲线,应用 Matlab 7.0 软件对 1994—2013 年沧州市及各县(市)社会-生态子系统发展水平进行双指数曲线拟合,拟合函数关系见表 4、图 3。

由表 4、图 3 可看出,除青县、孟村回族自治县、泊头市、河间市外,其他各县市 20 年来耕地社会-生态环境子系统的双指数拟合水平较理想,其中,沧县、海兴县、肃宁县、东光县等表现出明显的倒“U”形的特征。

由表 4 双指数函数的几个参系数可知, m 值代表曲线达

到拐点时生态环境子系统的恶化程度。由图 3 可以看出,沧县、东光县、海兴县等生态环境子系统的恶化程度已达到拐点,生态环境发展态势已出现好转的迹象,然而,河间市的耕地生态环境子系统仍有继续恶化的趋势,所以须要对当地的耕地生态加以保护,防止耕地生态环境继续恶化下去。 n 值表示耕地生态环境子系统有序度发展变化的速率大小,值越大,说明耕地生态环境子系统有序度变化速率越快。由 n 值来看,南皮县 > 沧县 > 河间市 > …… > 青县 > 任丘市,表明随着社会子系统的变化,南皮县耕地生态环境的恶化速度较快。 b 值表示曲线出现最高点的位置,其值越大,表明出现最高点时社会子系统的有序度发展水平越高。由此可知,孟村回族自治县、任丘市生态环境恶化程度出现最高点比较晚,而相对应的耕地社会子系统发展也较快;而盐山县、黄骅市 b 值最小,表明其生态环境子系统恶化程度最高点出现比较早,生态环境从此得到了有效控制。

4.2.3 耕地资源经济子系统与生态环境子系统的交互胁迫关系验证 根据方程 $z = m - n(x - p)^2$ 倒“U”形曲线,应用 SPSS 17.0 软件对 1994—2013 年沧州市及各县(市)经济-生态子系统发展程度进行二项式曲线拟合(表 5、图 4)。

由表 5、图 4 可看出,除海兴县、沧县等外,沧州市其他各县市 1994—2013 年耕地资源经济-生态环境子系统的二项式曲线拟合水平较理想,其中,青县、盐山县、南皮县、任丘市等表现出明显的倒“U”形相互胁迫关系。 m 值反映了耕地生态环境子系统的承载力阈值,由 m 值来看,沧县 > 海兴县 > 献县 > 孟村县 > …… > 泊头市 > 河间市,由此可知,沧县的耕地生态环境子系统承载力水平较高,而河间市较差。另外,曲线存在一个最高点,由此被分为 2 个部分,在最高点以左,随着耕地资源经济子系统有序度值的提高,耕地生态环境恶化程度加重;在最高点以右,生态环境子系统无序度值随着经济子系统的发展而降低,即耕地生态环境出现好转的趋势。黄骅市经过 20 年的发展,耕地生态环境子系统刚达到拐点,因此预测今后几年黄骅市生态环境子系统有序度提高并且经济保持稳步增长水平。而从东光县、海兴县、肃宁县、河间市等几个县市的拟合曲线可以看出,从 1994—2013 年,随着经济子系统有序度水平的提高,生态环境子系统的有序度有进一步恶化的趋势,这就要求耕地利用应因地制宜,采取合理的耕地生态保护措施,遏制耕地生态环境继续恶化。

5 结论与讨论

5.1 结论

本研究对沧州市 1994—2013 年耕地资源系统有序度进行评价,研究表明,耕地资源系统有序度是 3 个子系统的综合反映,经济子系统与生态环境子系统有序度变化幅度较大,各子系统之间存在交叉相对变化的趋势,相对来说社会子系统有序度变化不明显。具体来说,在 1994—2013 年的 20 年间,沧州市耕地资源系统有序度值由 0.38 上升至 0.65,年均上升 1.35%,耕地资源系统有序度等级由最初的基本有序发展到至今的较有序,发展趋势总体良好。

通过对耕地经济-社会子系统间交互胁迫关系与模型验证分析,研究表明,在 1994—2013 年间,除泊头市外,沧州市各县(市)耕地资源经济-社会子系统表现出明显的协同发

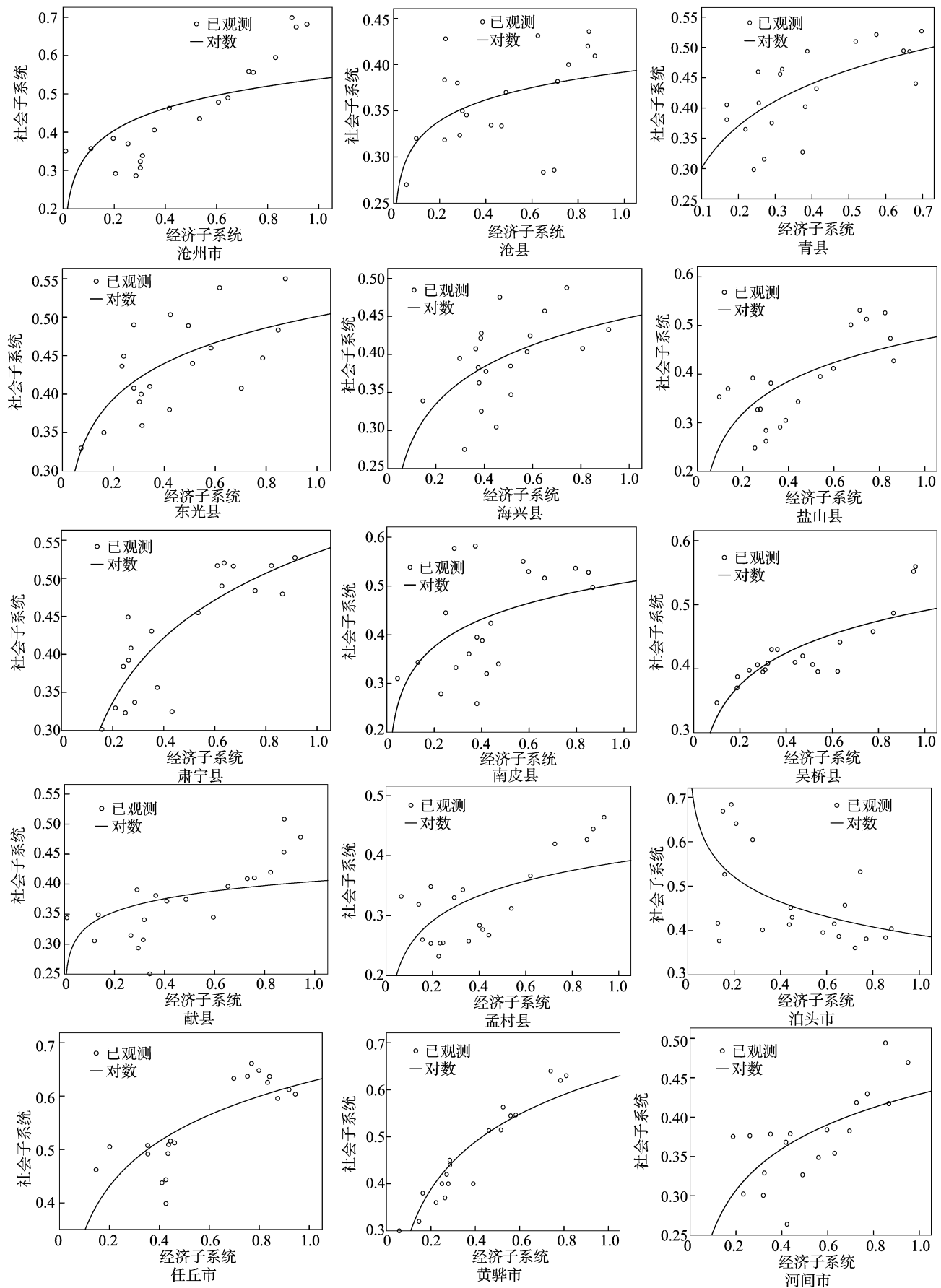


图2 沧州市及各县(市)耕地资源经济-社会子系统交互作用拟合曲线

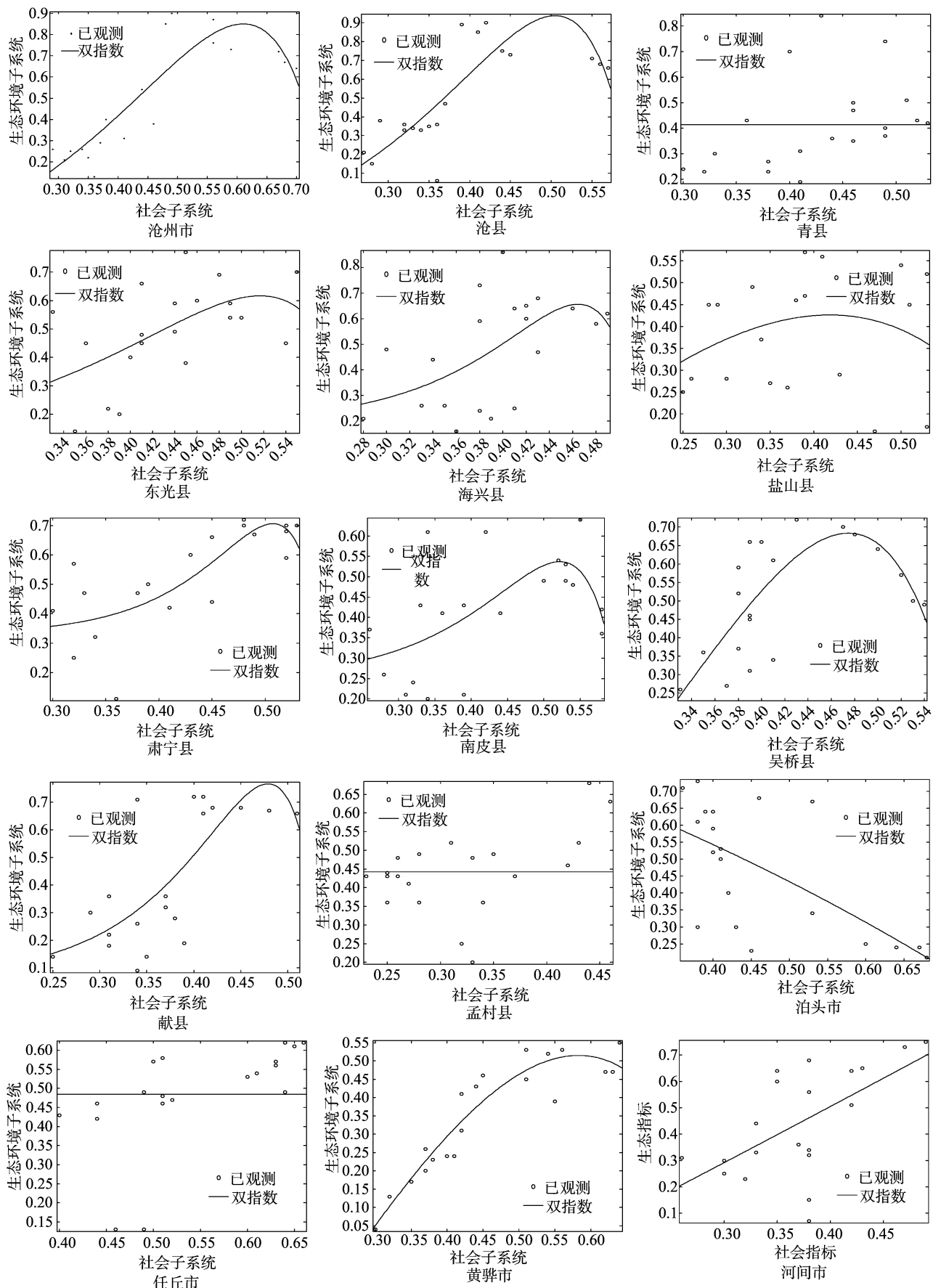


图3 沧州市及各县(市)耕地资源社会-生态环境子系统交互作用拟合曲线

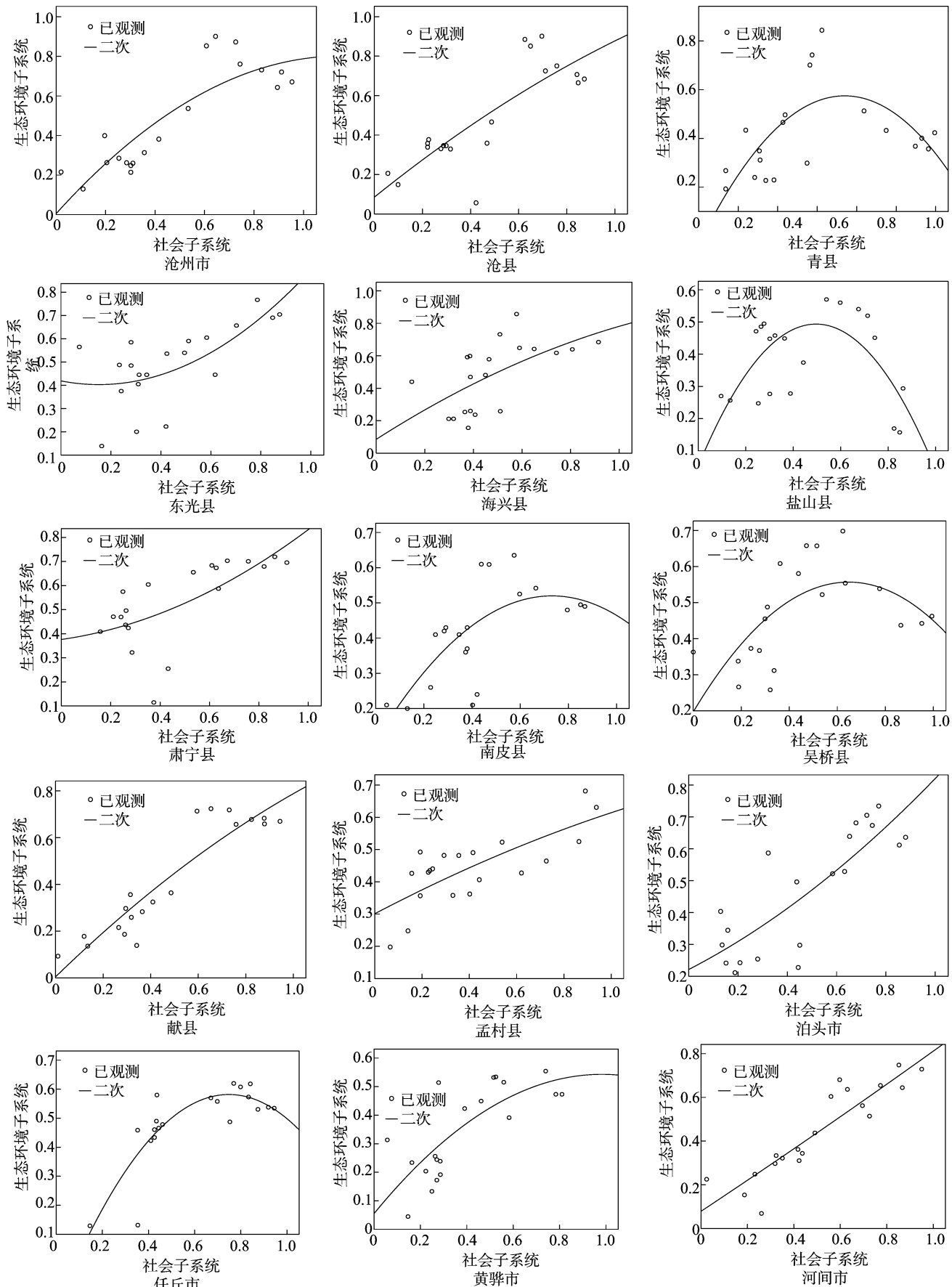


图4 沧州市及各县(市)耕地资源经济-生态环境子系统交互作用拟合曲线

表 4 沧州市及各县(市)耕地资源社会-生态环境子系统函数关系式

| 地区 | 方程式 | 地区 | 方程式 |
|-----|--|---------|---|
| 沧州市 | $z = 0.85 - 1.11 \times [10^{(y-0.5957)/0.5473} - 1.063]^2$ | 吴桥县 | $z = 0.6833 - 0.9412 \times [10^{(y-0.4163)/0.5093} - 1.425]^2$ |
| 沧县 | $z = 0.9373 - 2.272 \times [10^{(y-0.548)/0.362} - 0.7585]^2$ | 献县 | $z = 0.7666 - 0.925 \times [10^{(y-0.4905)/0.1959} - 0.8739]^2$ |
| 青县 | $z = 0.6061 - 0.1684 \times [10^{(y-0.7984)/0.0218} - 1.066]^2$ | 孟村回族自治县 | $z = 0.5286 - 0.2156 \times [10^{(y-7.868)/0.1809} - 0.3585]^2$ |
| 东光县 | $z = 0.6165 - 0.4233 \times [10^{(y-0.4987)/0.3199} - 1.139]^2$ | 泊头市 | $z = 1.694 - 1.184 \times [10^{(y-0.4311)/5.074} - 0.1555]^2$ |
| 海兴县 | $z = 0.6563 - 0.6239 \times [10^{(y-0.4756)/0.1739} - 0.8641]^2$ | 任丘市 | $z = 0.4847 - 0.02389 \times [10^{(y-2.796)/2.041} - 0.9374]^2$ |
| 盐山县 | $z = 0.4263 - 1.073 \times [10^{(y-0.00019)/1.871} - 1.673]^2$ | 黄骅市 | $z = 0.5151 - 1.368 \times [10^{(y-0.1514)/1.673} - 1.81]^2$ |
| 肃宁县 | $z = 0.7062 - 0.3174 \times [10^{(y-0.5017)/0.148} - 1.092]^2$ | 河间市 | $z = 3.683 - 1.961 \times [10^{(y-0.4665)/5.209} - 2.244]^2$ |
| 南皮县 | $z = 0.5368 - 4.329 \times [10^{(y-0.6732)/0.2583} - 0.2596]^2$ | | |

表 5 沧州市及各县(市)耕地资源经济-生态子系统函数关系式

| 地区 | 方程式 |
|---------|------------------------------------|
| 沧州市 | $z = 0.802 - 0.601(x - 1.151)^2$ |
| 沧县 | $z = 1.354 - 0.190(x - 2.584)^2$ |
| 青县 | $z = 0.574 - 4.475(x - 0.469)^2$ |
| 东光县 | $z = 0.403 + 0.685(x - 0.152)^2$ |
| 海兴县 | $z = 0.963 - 0.261(x - 1.833)^2$ |
| 盐山县 | $z = 0.493 - 1.791(x - 0.496)^2$ |
| 肃宁县 | $z = 0.359 + 0.310(x + 0.235)^2$ |
| 南皮县 | $z = 0.520 - 0.768(x - 0.732)^2$ |
| 吴桥县 | $z = 0.557 - 0.859(x - 0.647)^2$ |
| 献县 | $z = 0.934 - 0.772(x - 1.146)^2$ |
| 孟村回族自治县 | $z = 0.823 - 0.071(x - 2.711)^2$ |
| 泊头市 | $z = 0.022 + 0.200(x + 0.998)^2$ |
| 任丘市 | $z = 0.582 - 1.316(x - 0.748)^2$ |
| 黄骅市 | $z = 0.543 - 0.506(x - 0.982)^2$ |
| 河间市 | $z = -4.346 + 0.028(x + 12.571)^2$ |

展关系,随着经济的发展,肃宁县、黄骅市社会子系统的变化趋势较快,而吴桥县、献县社会子系统发展水平较缓慢。通过耕地社会-生态环境子系统的交互胁迫关系验证表明,社会的发展与生态环境子系统的胁迫关系较明显,其中南皮县耕地生态环境的恶化速度较快,孟村县、任丘市生态环境恶化程度出现最高点比较晚,而相对应的耕地社会子系统发展也较快;而盐山县、黄骅市的生态环境子系统恶化程度最高点出现比较早,生态环境从此得到了有效控制。通过耕地经济-生态环境子系统的交互胁迫关系验证表明,沧县的耕地生态环境子系统承载力水平较高,而河间市较差,而东光县、海兴县、肃宁县、河间市等耕地生态环境子系统有进一步恶化的趋势,这就要求耕地利用应因地制宜,采取合理的耕地生态保护措施,遏制耕地生态环境继续恶化。

5.2 讨论

本研究立足于系统论和协同学理论,应用计量经济分析方法将耕地资源看作由经济、社会、生态环境 3 大子系统相互关联、相互影响、相互制约所构成的复合系统,从三维视角研究耕地资源系统在一定时空范围内,经济-社会-生态环境子系统间的协调发展机制、相互胁迫关系与变化规律。由于数据资料获取比较困难,对于耕地资源系统有序度评价序参量的选择存在一定的局限性;但该研究涉及生态学、环境学、

经济学、社会学等多个学科,为自然和社会学科间的交叉研究提供了新理念,并为耕地资源可持续发展研究提出了新的思路。

参考文献:

[1]王培东,赵 丽,杨 皓,等. 基于 PSR 模型的沧州市农用地集约利用评价研究[J]. 中国农业资源与区划,2013,34(4):57-63.

[2]Alcamo J,Endqan M B,Kaspar F,et al. The glass model;a strategy for quantifying global environmental security [J]. Environmental Science and Policy,2001,4(1):1-12.

[3]杨京平. 生态安全的系统分析[M]. 北京:化学工业出版社,2002.

[4]陈印军,王晋臣,肖碧林,等. 我国耕地质量变化态势分析[J]. 中国农业资源与区划,2011,32(2):1-5.

[5]唐 建. 耕地价值评价实证研究[M]. 北京:中国农业出版社,2011.

[6]陈宏民. 系统工程导论[M]. 北京:高等教育出版社,2006.

[7]宇振荣. 土地利用系统分析方法及实践[M]. 北京:中国农业科技出版社,1998.

[8]朱晓华,蔡运龙,蒋为国,等. 自组织的土地利用系统[J]. 中国土地科学,2005,19(2):21-28.

[9]黄成毅. 成都平原耕地资源系统协同性分析与调控研究[D]. 雅安:四川农业大学,2011.

[10]龙 妍. 基于物质流、能量流与信息流协同的大系统研究[D]. 武汉:华中科技大学,2009.

[11]孟庆松,韩文秀. 复合系统整体协调度模型研究[J]. 河北师范大学学报(自然科学版),1999,23(2):177-179,187.

[12]高乐华. 我国海洋生态经济系统协调发展测度与优化机制研究[D]. 中国海洋大学,2012.

[13]左学金. 人口增长对经济发展的影响[J]. 国际经济评论,2010(6):127-135.

[14]方创琳. 河西走廊:绿洲支撑着城市化——与仲伟志先生商榷[J]. 中国沙漠,2003,23(3):128-130.

[15]周一星. 城市地理学[M]. 北京:商务印书馆,1995.

[16]许学强,周一星,宁越敏. 城市地理学[M]. 北京:高等教育出版社,1997.

[17]Grossman G M,Krueger A B. Economic growth and the environment [J]. Quarterly Journal of Economics,1995,110(2):353-377.

[18]乔 标,方创琳,黄金川. 干旱区城市化与生态环境交互耦合的规律性及其验证[J]. 生态学报,2006,26(7):2183-2190.