

福建省县域农业生态系统的能值空间差异分析*

胡晓辉 黄民生** 张虹 任婵娟

(福建师范大学地理科学学院 福州 350007)

摘要 采用能值分析方法,以福建省县域单位农业生态系统为研究对象,建立了反映农业生态经济系统 4 大层面的 13 项能值指标,并运用主成分分析法筛选出主要能值评价指标,结合 GIS 技术对该省 67 个县(市)样本的农业复合系统各方面进行了等级划分和空间差异表达。结果显示该空间差异存在着明显的地理与地势指向性,沿海低地县(市)在农业经济发展水平和农民生活水平上有绝对优势,但优势可持续力很弱;内陆山区县(市)在农业自然环境条件与可持续发展性能上有明显的区域比较优势。并据此将福建省农业生态系统在空间上划分为闽西北山区、闽东北沿海及近海地区、中部内陆地区和闽东南沿海地区 4 个农业生态特征区,为区域农业生态规划与决策管理提供较为科学的依据。

关键词 能值分析 农业生态系统 GIS 空间差异 县域 福建省

中图分类号: S181 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2009)01-0155-08

Spatial variation in agro-ecosystem based on county level emergy analysis in Fujian Province

HU Xiao-Hui, HUANG Min-Sheng, ZHANG Hong, REN Chan-Juan

(College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract This paper used emergy analysis method at unit county scale to study the spatial variation in agro-ecosystem in Fujian Province. The paper established 13 emergy indicators grouped into 4 levels of agro-ecological economic systems, and selected major emergy evaluation indices by component analysis. Indices and ranks were created for agro-ecosystem development at different aspects for the 67 counties using GIS platform. The result shows clear spatial variations in the agro-ecosystems. These variations are driven by geographical and hypsographical factors. Low-lying coastal counties / cities have absolute advantage in agro-economic development and farmers' living standards. These advantages are, however weak and can therefore be hardly sustainable. Some inland mountainous counties / cities have obvious regional comparative advantage in natural agro-environmental condition and sustainable development capacity. Based on the results, these are spatially classified into 4 groups. The study provides scientific bases for regional agro-ecological planning and management decisions at all ranks.

Key words Emergy analysis, Agro-ecosystem, GIS platform, Spatial variation, County level, Fujian Province

(Received Dec. 19, 2007; accepted March 18, 2008)

能值分析方法是由美国著名生态学家、系统能量分析先驱 H. T. Odum 于 20 世纪 80 年代综合系统生态学、能量分析理论和生态经济原理创立的。由于该方法不仅克服了传统经济统计方法和能量分析中不同资源类别能量难以在统一尺度上比较的缺陷,从定量角度衡量系统自然与人类社会经济的真实价值,正被广泛地应用于区域可持续发展评价研究

中。能值分析方法在中国的发展始于 20 世纪 90 年代,主要应用于农业生态系统和区域生态系统^[1]。近年来,对省域和县域单位的农业生态系统研究中取得了一定的成果^[2-6]。由于太阳能转化率的不统一性以及能值指标的阈值难以确定等问题^[7, 8],一些专家拓展了能值理论在空间分析方面的运用并取得了有益成果,如台湾学者黄书礼运用能值理论结合 GIS

* 国家社会科学项目(05BJY075)、福建省自然科学基金项目(D0610004)和 2008 年度福建师范大学地理科学学院研究生创新基金项目资助

** 通讯作者: 黄民生(1955~),男,教授,研究生导师,研究方向为区域环境与区域可持续发展。E-mail: mshuang@fjnu.edu.cn

胡晓辉(1983~),男,硕士研究生,研究方向为区域生态经济与可持续发展。E-mail: gutown@yahoo.com.cn

收稿日期: 2007-12-19 接受日期: 2008-03-18

技术揭示了台北大都市区存在着能量等级的空间分布差异并由此提出了城市功能分区的新定义^[9-11]; Pulselli 等对意大利 Cagliari 省 109 个自治县进行了能值分析并根据能值指标的差异对该省划分了 4 个特质区^[12], Agostinho 等建立 Emergy-GIS 模型对巴西 Duas Cachoeiras 农场 4 个作物产区进行了实证比较分析与空间规划^[13], 结果显示能值分析在区域内部不同单元的横向差异比较分析上有较强说服力。本文以福建省为例, 采用能值理论与分析方法, 对其 67 个县域农业生态系统的发展现状和可持续发展能力进行了定量分析与评价。通过主要能值指标, 对福建省农业生态系统进行了等级划分和空间差异分析, 揭示了区域内部不同单元的空间发展结构和机理, 为区域农业资源环境规划与可持续发展决策提供依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况与数据来源

福建省地处中国东南沿海, 年平均温度 17.0~21.3, 由北到南 10 积温多达 5 000~7 700, 年降水量为 1 100~2 000 mm, 水系发达, 流域面积大, 水热条件适合农业发展。但境内耕地比重小, 仅占总土地面积 10.64%, 同时平原地少, 梯田坡地多, 加上大部分土壤肥力低有机质含量少, 使得农业生产的发展受到一定限制, 又由于复杂的地理环境影响以及气象自然灾害等频繁发生, 使该区农业生产的稳定性较差。2005 年末, 全省耕地面积为 11 290.2 km², 人均耕地面积仅有 0.032 hm², 为中国人均耕地最少的省份之一。

原始数据与基础资料主要有 3 个来源: 一是社会经济数据, 取自 2006 年《福建省统计年鉴》、《福建经济与社会统计年鉴(农村篇)》和《福建农村调查年鉴》; 二是气象水文数据, 取自《中国县(市)社会经济统计年鉴》和气象台站数据; 三是地貌地势数据, 借助 GIS 空间分析模块对福建省 1:100 000 DEM 栅格数据进行统计计算所得。其中气象水文数据为历年平均值。

1.2 研究方法和步骤

对原始数据进行分类和归纳, 借助各种农产品和要素的能量折算系数^[14]以及能值转化率^[15, 16], 将福建省 67 个样本数据转化换算成统一的太阳能值。基本步骤为: 编制县域农业生态经济系统能值投入与产出基础分析表; 构建反映县域社会经济的各个层面的能值评价指标; 对各种不同资源类别的生态流进行归类; 基于能值指标对研究对象进行综合评价和空间差异比较分析。

2 县域农业生态系统能值分析

2.1 县域农业生态系统投入产出能值分析

选取可更新资源投入(R)、不可更新资源投入(N)、不可更新工业辅助投入(F)、有机能投入(T)、农产品产出(Y) 5 个主要部分构建农业生态系统能值投入分析表的主框架, 选取农林渔业的能值产出(Y) 为结构编制农业生态系统能值产出分析表, 从而了解农业生态系统各生态流的流动情况和网络结构。限于篇幅, 本研究仅列出厦门市农业能值投入产出分析表(表 1), 其他样本以此表为基准, 不作赘列。

2.2 能值评价指标体系构建

从生态系统自然-社会-经济角度出发, 将县域农业生态经济系统划分为 4 大表现层(表 2), 分别为农业自然环境基础水平、农业经济发展水平、农民生活水平和可持续发展性能。同时分别选择了资源能值密度、可更新能值比、环境贡献率和环境负载率来反映农业自然环境基础水平; 用能值投入率、净能值产出率、能值密度和 Y/I 比值来反映农业经济发展水平; 用农民人均能值利用量、人均能值产出量和人均电力燃料能值量来反映农民生活水平; 用可持续发展性能指标来衡量农业生态系统可持续力和潜力。

2.3 县域农业生态系统能值指标比较

对福建省 67 个县市农业生态系统中投入与产出的各种能值流进行计算和归类, 并按照文中建立能值评价指标计算公式为基准, 编制出反映区域不同县域单位(部分)的能值评价指标汇总表(表 3)。

2.4 代表性能值评价指标筛选

为避免人为选择指标的主观臆断性, 文章采用主成分分析法, 对能代表各个表现层综合发展水平的关键能值指标进行了筛选: 利用相关系数矩阵 R 进行成分提取, 并以累计方差贡献率大于 80% 为标准来确定主要成分数。将原始数据分别构造矩阵, 借助 SPSS13.0 统计分析软件计算出其特征根以及所对应的方差贡献率和累计方差贡献率, 并求出影响各个主成分的主要指标的权重系数, 系数绝对值越大说明其对主成分的影响越大。结果显示: 反映农业自然环境基础水平有 2 个主分量, 占总信息量的 94.49%, 代表指标分别为可更新能值比与环境负载率, 其权重为 0.526 和 0.761; 反映农业经济发展水平有 2 个主分量, 为总信息量的 85.20%, 代表指标分别为能值投入率和净能值产出率, 其权重为 0.592 和 0.727; 反映农民生活水平的主分量贡献率相对平均, 文章选择前 2 个主分量, 为信息量的 80.95%, 代表指标分别为人均能值产出率和人均燃料电力能值量, 其权重为 0.749 和 0.838。所筛选的主要能值指标能较大程度地反映农业生态系统各层面的发展水平。

表 1 2005 年厦门市农业生态系统能值投入与产出表
 Tab. 1 Emergy investment and yield analysis of the agro-ecosystem in Xiamen (2005)

能值投入 Emergy input				能值产出 Emergy output			
项目 Item	原始数据 Data (J or g)	能值转化率 Transformity (sej·J ⁻¹ or sej·g ⁻¹)	能值 Emergy (sej)	项目 Item	原始数据 Data (J or 元)	能值转化率 Transformity (sej·J ⁻¹ or sej·g ⁻¹)	能值 Emergy (sej)
可更新资源投入(R) Renewable resource input				种植业产出 (Y ₁) Crop production			
1 太阳能 Sunlight (J)	8.49×10 ¹⁸	1	8.49×10 ¹⁸	1 粮食 Rice (J)	1.53×10 ¹⁵	8.30×10 ⁴	1.27×10 ²⁰
2 风能 Wind (J)	1.21×10 ¹⁶	1.50×10 ³	1.82×10 ¹⁹	2 水果 Fruit (J)	1.26×10 ¹⁴	5.30×10 ⁵	6.66×10 ¹⁹
3 雨水势能 Rain geopotential energy (J)	1.30×10 ¹⁵	8.89×10 ³	1.16×10 ¹⁹	3 食用菌 Fungus (J)	3.57×10 ¹²	2.70×10 ⁴	9.62×10 ¹⁶
4 雨水化学能 Rain chemical energy (J)	1.05×10 ¹⁶	1.54×10 ⁴	1.61×10 ²⁰	4 油料 Oil plants (J)	6.86×10 ¹⁴	6.90×10 ⁵	4.73×10 ²⁰
5 地球旋转能 Earth cycle (J)	2.27×10 ¹⁵	2.90×10 ⁴	6.58×10 ¹⁹	5 甘蔗 Sugarcane (J)	8.08×10 ¹³	8.49×10 ⁴	6.86×10 ¹⁸
不可更新资源投入(N) Nonrenewable resource input				6 蔬菜 Vegetable (J)			
6 表土流失 Soil loss (J)	6.93×10 ¹⁴	6.35×10 ⁴	4.40×10 ¹⁹	7 茶叶 Tea (J)	1.85×10 ¹³	2.00×10 ⁵	3.70×10 ¹⁸
不可更新辅助投入(F) Nonrenewable purchases				8 烟叶 Tobacco (J)			
7 氮肥 N fertilizer (g)	3.85×10 ⁹	4.62×10 ⁹	1.78×10 ¹⁹	畜牧业产出(Y ₂) Livestock production			
8 磷肥 P fertilizer (g)	2.25×10 ¹⁰	1.78×10 ¹⁰	4.00×10 ²⁰	9 肉类 Meat (J)	7.20×10 ¹⁴	2.00×10 ⁶	1.44×10 ²¹
9 钾肥 K fertilizer (g)	1.44×10 ¹⁰	1.74×10 ⁹	2.50×10 ¹⁹	10 奶类 Milks (J)	5.78×10 ¹²	1.71×10 ⁶	9.89×10 ¹⁸
10 复合肥 Compound fertilizer (g)	2.33×10 ¹⁰	2.80×10 ⁹	6.51×10 ¹⁹	11 禽蛋类 Eggs (J)	3.09×10 ¹³	1.71×10 ⁶	5.28×10 ¹⁹
11 农药 Pesticides (g)	9.14×10 ⁸	1.62×10 ⁹	1.48×10 ¹⁸	林业产出(Y ₃) Forest production			
12 农膜 Plastic film (g)	7.92×10 ⁸	3.80×10 ⁸	3.01×10 ¹⁷	12 林产品 Forestry (元)	1.43×10 ⁷	1.20×10 ¹²	1.71×10 ¹⁹
13 农用机械 Equipment (J)	1.71×10 ¹²	7.50×10 ⁷	1.28×10 ²⁰	渔业产出(Y ₄) Fishery production			
14 电力 Electricity (J)	1.41×10 ¹⁵	1.59×10 ⁵	2.24×10 ²⁰	13 水产品 Fishes (J)	6.79×10 ¹⁴	1.96×10 ⁶	1.33×10 ²¹
15 农用燃料 Diesel (J)	4.86×10 ¹⁴	6.60×10 ⁴	3.21×10 ¹⁹				
有机能投入(T) Subsidiary resources input							
16 有机肥 Organic fertilizer (g)	1.00×10 ¹⁴	2.70×10 ⁴	2.70×10 ¹⁸				
17 种子 Seed (J)	3.02×10 ¹³	6.60×10 ⁴	1.99×10 ¹⁸				
18 劳力 Human labor (J)	6.63×10 ¹⁴	3.80×10 ⁵	2.52×10 ²⁰				
总能值投入(I) Total emergy input			1.46×10 ²¹	总能值产出(Y) Total emergy output			3.57×10 ²¹

粮食太阳能值转化率为多种农产品的平均值, 林产品太阳能转化率单位为 sej·元⁻¹, Y=Y₁+Y₂+Y₃+Y₄. The transformity of gain is the average of agricultural products, the transformity unit of forest product is sej·yuan⁻¹, Y is equal to Y₁+Y₂+Y₃+Y₄.

表 2 县域农业生态系统综合评价指标体系

Tab.2 Emergy indice of county agro-ecosystem

能值评估指标(英文缩写) Emergy indices (contraction)	计算公式 Formula	反映意义 Significance
农业自然环境基础水平 Agriculture resource status		
1 资源能值密度 Resource emergy density (<i>RED</i>)	$(R+N)/\text{Area}$	单位面积内自然环境资源投入大小 Natural resource emergy input density
2 可更新能值比 Fraction of renewable emergy used (<i>FRR</i> , %)	$R/(R+N+F+T)$	区域农业土壤水文条件 The condition of soil and rain
3 环境贡献率 Environment support ratio (<i>ESR</i> , %)	$(R+N)/(R+N+F+T)$	自然资源禀赋和对农业经济发展贡献程度 Resource status and grade of resource support to economy
4 环境负载率 Environment loading ratio (<i>ELR</i>)	$(F+N)/R$	地区资源利用效率和环境承受能力 Efficiency of resource using and environment capacity
农业经济发展水平 Economy development level		
5 能值投入率 Emergy investment ratio (<i>EIR</i>)	$(F+T)/(R+N)$	地区农业经济发展程度和资源环境压力 Degree of agriculture economy development and ecological pressure
6 净能值产出率 Emergy yield ratio (<i>EYR</i>)	$Y/(F+T)$	地区农业产品综合竞争力和系统运转效率 Competition ability of primary products and efficiency of system run
7 能值密度 Emergy density (<i>ED</i>)	$(R+N+F+T)/\text{Area}$	地区农业生态系统网络发达程度 Degree of agro-ecosystem network development
8 <i>Y</i> 与 <i>I</i> 的比值 Fraction of total emergy output and input (<i>Y/I</i>)	$Y/(R+N+F+T)$	地区农业综合生产效率和经济贸易地位 Efficiency of primary production and trade status
9 能值货币比值 Emergy-dollar ratio (<i>EDR</i>)	$(R+N+F+T)/\text{GDP}$	地区农业经济开发程度和经济现代化程度 Level of agriculture economy development and modernization
农民生活水平 Level of farmer living		
10 人均能值利用量 Per capita emergy uesd (<i>EUPP</i>)	$(R+N+F+T)/P$	地区农民生活质量和农业经济发展等级 Quality of farmer living and rank of agriculture development
11 人均能值产出量 Emergy yield of per capita(<i>EYP</i>)	Y/P	单位劳动力生产效率和真实财富创造能力 Efficiency of labor force and ability of true welfare gain
12 人均燃料电力用量 Fuel and electricity used per capita (<i>FEUP</i>)	$(\text{Fuel}+\text{Elec})/P$	地区农业现代化水平和农民生活水平 Modernization of agriculture and level of farmer living
可持续发展能力 Capacity of sustainable development		
13 可持续发展能值指标 Emergy index of sustainable development (<i>EISD</i>)	$(EYR \times EER)/ELR$	地区农业生态系统可持续发展能力 Ability of agro-ecosystem sustainable development

Area 表示地区种植业面积, *P* 表示从事农业人口。Area expresses the local crop production area, *P* expresses the agricultural population.

3 等级划分与空间差异分析

为了反映区域不同单元的农业系统发展现状以及内部空间差异情况,在 ARC/INFO 平台下,建立了福建省县域农业生态系统能值空间数据库,借助 ArcMap 的自然分类功能,对筛选出来的代表性指标数据进行分级处理,分别设定为 5 级以达到较高空间差异可视化效果。根据分级结果,对福建省县域农业生态系统各层面发展水平的内部空间差异性进行了客观分析与综合评价。

3.1 农业自然环境基础水平

依据能值理论,可更新能值比(*FRR*)越高,环境负载率(*ELR*)越低的县市农业自然环境水平相对越高;反之则相对越低。从图 1 可以看出这 2 个指标的地理表达上有很强相似性。农业自然环境水平高的地区主要集中在武夷山、光泽、邵武、寿宁、政和、柘荣等闽北山区,*FRR* 均在 50% 以上,*ELR* 大多小于 1,这些县市山区面积大,森林资源丰富,水系发达,年降雨量均在 2 000 mm 以上,且海拔高使雨水势能潜能积聚量大,是自然生态环境的优质区域,自然条件十分优越。农业自然条件适中的县市主要

集中在闽中部和与江西接壤的西南部,这些县市自然条件一般,生态环境压力相对不大。与内陆地区相比,沿海各县市可更新能值比较低,环境负载率高,以闽东南沿海县市如石狮、晋江、长乐、福清、厦门、东山为代表,反映了沿海地区由于工商业开发程度高、人口密集和自然灾害频繁等原因,农业发展的自然条件较差,生态环境脆弱度高。

3.2 农业经济发展水平

能值投入率(*EIR*)和净能值产出率(*EYR*)能较大程度上反映农业生态系统中经济层面的发展水平。从图 2 可知,能值投入率在地理上体现出一定的“南北差异和海陆差异”:闽东南沿海各县市为高能值投入区,以长乐、晋江、石狮、福清、平潭及漳州各沿海县市为代表,该地区农业贸易频繁,农业现代化程度高,对石化能源需求大,*EIR* 维持在较高的 6.58~19.50 之间,反映了该区在单位环境压力下农业经济发展程度较高。闽中内陆和闽北沿海为次能值投入区,以宁德各县市为代表。闽西北山区为低能值投入区,如寿宁、武夷山、泰宁、光泽、屏南、柘荣和漳平等地,*EIR* 普遍小于 1,说明不可更新工业辅助能投入占总投入的比重小,农业经济开发程度不高,农业经济综合效益较低。

表3 部分福建省县(市)农业生态系统能值指标汇总表 (2005)

Tab.3 Summary of major energy indic of county agroecosystem in Fujian (2005)

县(市) County (city)	资源能值 密度 <i>RED</i> (10^{12} sej·m ⁻²)	可更新能 值比 <i>FRR</i> (%)	环境贡 献率 <i>ESR</i> (%)	环境负 载率 <i>ELR</i>	能值投 入率 <i>EIR</i>	净能值 产出率 <i>EYR</i>	能值密度 <i>ED</i> (10^{12} sej·m ⁻²)	<i>Y</i> 与 <i>I</i> 比值 <i>YI</i>	能值货币 比率 <i>EDR</i> (10^{12} sej·\$ ⁻¹)	人均能值利用量 <i>EUPP</i> (10^{15} sej·人 ⁻¹)	人均能值产出 量 <i>EYP</i> (10^{15} sej·人 ⁻¹)	人均燃料 电力用量 <i>FEUP</i> (10^{14} sej·人 ⁻¹)	可持续 发展性 能指标 <i>EISD</i>
福州市辖区 Fuzhou	3.88	24.60	26.00	2.85	2.56	2.54	15.00	1.88	6.42	5.47	10.30	23.30	2.28
福清市 Fuqing	1.45	16.50	19.20	4.21	4.00	3.21	7.54	2.59	4.42	4.03	10.40	13.30	3.05
长乐市 Changle	1.20	8.14	9.79	9.21	10.10	1.54	12.30	1.39	6.67	7.02	9.77	45.20	1.69
罗源县 Luoyuan	2.56	41.70	45.20	1.21	1.17	3.82	5.66	2.09	4.96	7.40	15.50	16.60	3.70
平潭县 Pingtan	1.17	15.80	19.10	4.22	3.42	9.47	6.11	7.66	2.20	2.26	17.30	8.13	7.66
厦门市 Xiamen	1.42	16.40	19.10	4.23	4.13	2.73	7.45	2.21	6.32	4.33	9.56	10.30	2.67
莆田市辖区 Putian	1.49	22.10	25.50	2.92	2.35	5.79	5.84	4.31	4.46	2.65	11.40	4.46	4.67
三明市辖区 Sanming	5.96	64.80	67.10	0.49	0.48	4.16	8.89	1.37	7.23	16.20	22.30	6.62	4.04
永安市 Yong'an	6.19	54.90	56.70	0.76	0.74	2.19	10.90	0.95	11.50	15.90	15.10	24.40	2.13
明溪县 Mingxi	4.13	62.40	65.60	0.53	0.52	2.46	6.29	0.85	12.10	14.10	11.90	3.82	2.44
清流县 Qingliu	5.06	62.30	64.90	0.54	0.52	2.53	7.80	0.88	11.80	14.20	12.60	4.45	2.45
宁化县 Ninghua	2.23	50.50	55.60	0.80	0.84	2.27	4.02	1.01	11.00	10.20	10.30	2.74	2.39
尤溪县 Youxi	4.26	52.80	55.40	0.80	0.76	2.45	7.68	1.09	7.28	9.68	10.60	8.08	2.31
泰宁县 Taining	4.17	66.90	70.30	0.42	0.41	3.63	5.92	1.08	8.91	11.80	12.70	4.62	3.48
泉州市辖区 Quanzhou	1.75	17.10	19.30	4.19	3.46	3.51	9.09	2.83	4.92	2.85	8.07	8.66	2.89
石狮市 Shishi	0.96	5.90	7.47	12.40	12.60	1.74	12.90	1.61	3.58	3.50	5.63	16.50	1.77
晋江市 Jinjiang	0.85	4.36	5.71	16.50	19.50	0.90	15.00	0.86	21.90	6.36	5.37	48.90	1.06
安溪县 Anxi	3.39	32.80	34.90	1.86	1.65	0.88	9.72	0.58	13.50	5.28	3.04	2.73	0.78
漳州市辖区 Zhangzhou	1.47	15.50	18.00	4.56	4.24	4.00	8.20	3.28	5.78	3.69	12.10	4.27	3.72
龙海市 Longhai	1.70	14.50	16.50	5.06	4.96	2.69	10.30	2.24	5.94	5.12	11.50	15.30	2.63
平和县 Pinghe	3.01	21.50	23.10	3.34	3.36	1.10	13.00	0.85	11.50	10.90	9.24	2.23	1.11
华安县 Hua'an	5.23	32.20	33.50	1.98	1.95	1.28	15.60	0.85	10.60	14.30	12.10	14.40	1.26
南平市辖区 Nanping	2.59	39.20	42.50	1.35	1.29	4.15	6.09	2.39	5.88	6.85	16.30	9.78	3.96
武夷山市 Wuyishan	4.56	70.30	73.60	0.36	0.35	2.97	6.19	0.78	14.60	15.00	11.70	5.37	2.93
光泽县 Guangze	4.94	67.80	70.60	0.42	0.41	3.97	6.99	1.17	13.60	15.50	18.00	4.78	3.90
松溪县 Songxi	2.99	46.50	49.80	1.01	0.98	1.68	5.99	0.84	10.90	8.69	7.32	6.19	1.64
政和县 Zhenghe	4.08	58.30	61.30	0.63	0.59	1.60	6.66	0.62	16.10	9.60	5.93	3.05	1.50
龙岩市辖区 Longyan	5.32	52.10	54.10	0.85	0.81	4.07	9.83	1.87	9.09	12.11	22.70	29.10	3.87
漳平市 Zhangping	6.96	64.20	66.20	0.51	0.45	2.34	10.50	0.79	11.30	10.40	8.26	3.86	2.07
长汀县 Changting	4.11	49.30	51.80	0.93	0.82	2.42	7.92	1.17	11.50	6.77	7.90	2.11	2.14
永定县 Yongding	3.02	45.60	48.90	1.05	0.91	2.88	6.19	1.47	8.41	5.39	7.94	5.44	2.51
霞浦县 Xiapu	1.91	33.10	37.00	1.70	1.54	5.63	5.17	3.55	4.57	4.31	15.30	7.91	5.08
寿宁县 Shouning	5.01	68.40	71.30	0.40	0.34	1.59	7.03	0.46	12.50	8.59	3.92	3.90	1.36
周宁县 Zhouning	4.06	61.60	64.90	0.54	0.49	1.21	6.26	0.43	18.20	8.23	3.51	3.22	1.09
柘荣县 Zherong	3.90	62.60	66.00	0.51	0.43	2.62	5.90	0.89	8.30	6.64	5.92	3.30	2.20

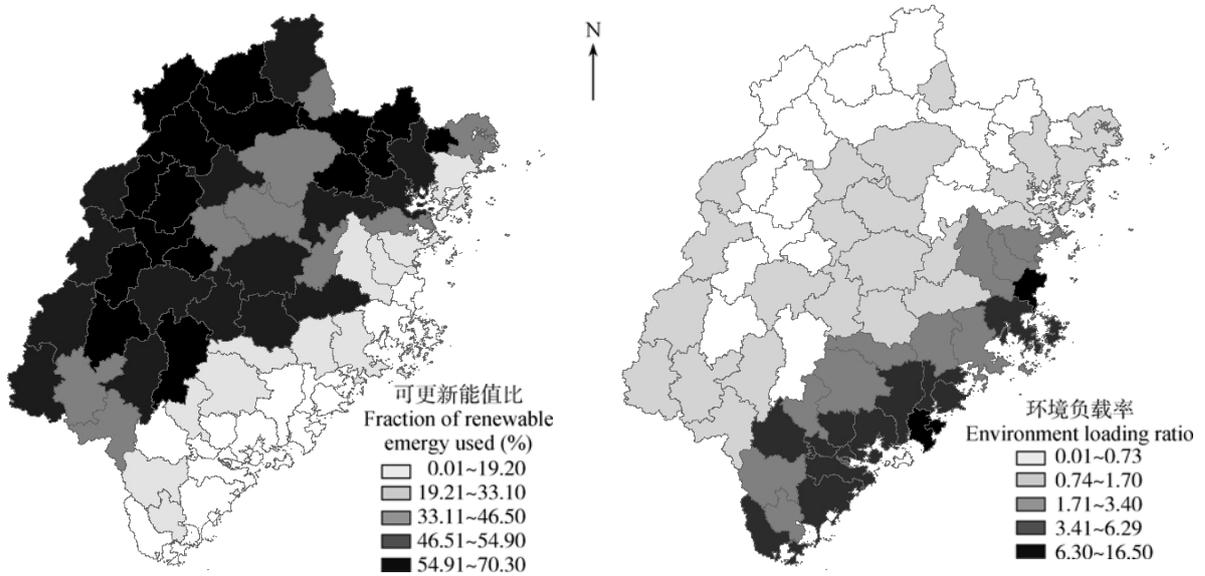


图 1 可更新能值比与环境负载率分级图

Fig. 1 Classification maps of fraction of renewable energy used and environment loading ratio

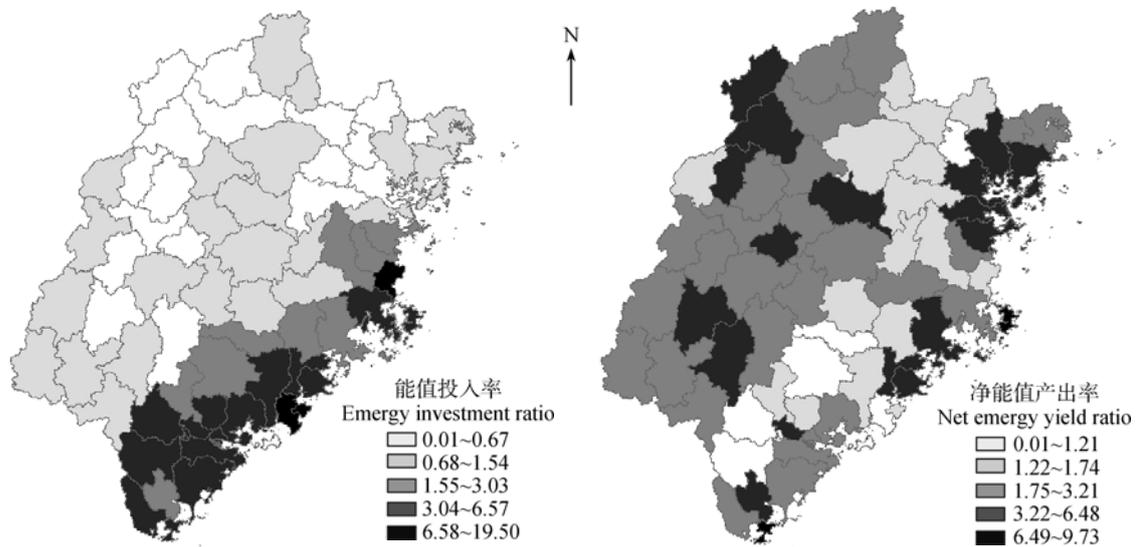


图 2 能值投入率与净产出率分级图

Fig. 2 Classification maps of energy investment ratio and net energy yield ratio

净产出能值率反映了农业产品的竞争力与系统运转效率。从图中看出,该指标在空间上存在着不规则性,在数量分布上存在着“两头小,中间大”的等级差异性。福建省沿海港湾地区的农业产品竞争力和效率较高,主要分布于三都澳、罗源湾、湄州湾以及东山湾附近, EYR 在 6.49~9.73 之间。同时,内陆市辖区也有一定的优势,如三明、龙岩和南平市辖区。福建省内陆地区有较多数量的县市差异不大,在农业经济效率和产品竞争力上优势不明显。处于最低等级($EYR < 1$)的县市分别为南靖、和平、安溪、晋江、永春和周宁,其中安溪、晋江和永春农业经济发展水平本身较高,但由于过多的工业辅助能值

投入,导致农业投入与产出比例失调,在表面农业经济繁荣的状态下,综合生产效益不高,产品竞争力处于不利地位。

3.3 农民生活水平

人均燃料和电力能值($FEUP$)大小在很大程度上决定了农业机械化程度高低和农民生活电器普及率,能客观反映农民生活水平。从人均电力燃料分级图(图 3)看出,晋江和长乐 $FEUP$ 值分别为 4.62×10^{15} $\text{sej} \cdot \text{人}^{-1}$ 和 4.89×10^{15} $\text{sej} \cdot \text{人}^{-1}$,比较优势明显,福建省各县市也有较高水平,内陆地区除了永安和龙岩等农业发展优良县市外,大多县市农民生活水平不高,且差异不明显。处于最低等级的宁德、周宁、柘荣、

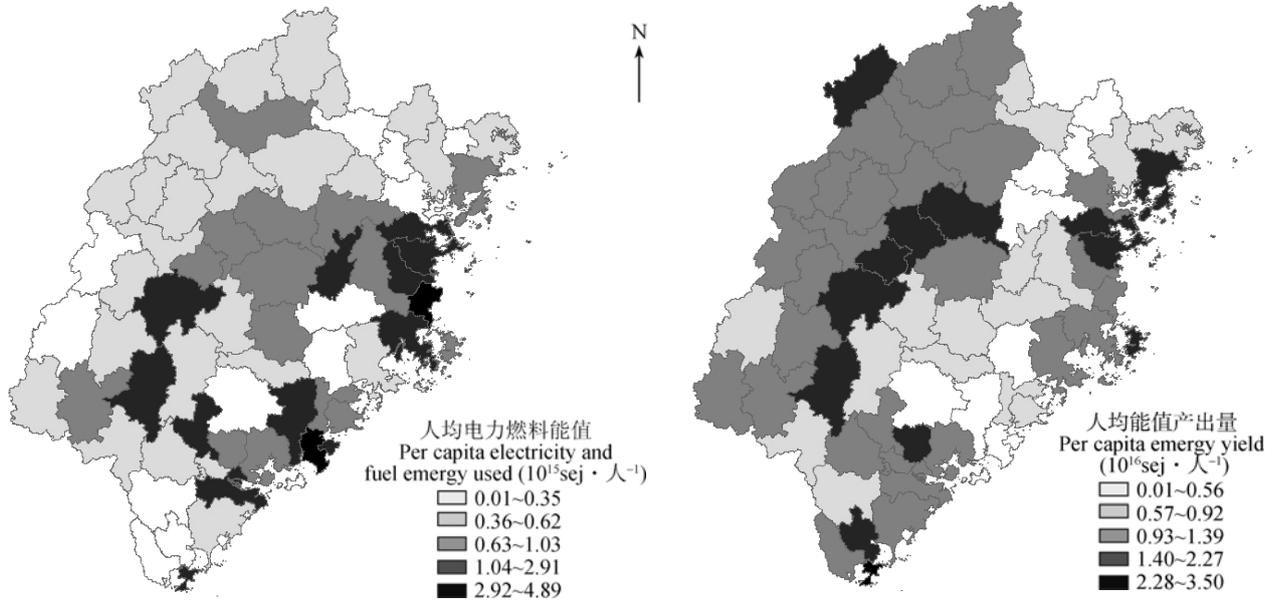


图 3 人均电力燃料能值量与人均产出能值量分级图

Fig. 3 Classification maps of per capita electricity, fuel used and emery yield

政和、宁化、长汀、平和等县 $FEUP$ 值仅在 $1 \times 10^{13} \sim 3.5 \times 10^{14} \text{ sej} \cdot \text{人}^{-1}$ 之间, 这些县市大多为国家级贫困县, 基础设施落后, 经济发展受政策及地理因素所限制, 农民生活水平普遍偏低。

人均产出能值量(EYP)越高, 说明农民创造真实财富的能力越强, 其增加自身收入水平和提高生活质量的潜力就越大, 一定程度上反映了发展的趋势和动力。东山作为福建省县域单元中人口最少的岛县, 其农村经济外向度高、高优农业发展占主导地位, 特别是含高能值的海洋渔业资源丰富, 农业总产出能值量较高, 农民真实财富创造和积累上有较大区域优势。与东山县发展模式相类似的平潭、连江、罗源、霞浦等闽东沿海地区也有较高水平, 在福建省中部内陆龙岩、永安、三明市辖区、沙县和南平 5 地也形成了连续的优势“高地”, 其余地区特别是闽西大部分地区差异较小。农民人均产出最低的县市主要集中在宁德内陆县市和泉州各县市, EYP 均小于 $5.6 \times 10^{15} \text{ sej} \cdot \text{人}^{-1}$, 说明经济落后或经济发达都能对农民改善生活质量产生一定的“瓶颈效应”。

3.4 农业可持续发展性能

可持续发展性能($EISD$)是综合了生态经济系统中社会-经济-环境 3 个子系统的复合评价指标。该指标越高说明系统可持续能力越强, 越低则说明系统可持续发展动力越不足, 障碍越多。从图 4 看出, 可持续发展性能在空间上具有明显海陆差异性。从福州到漳州由北向南呈带状分布, 其 $EISD < 1$, 特别是闽南三角洲地区, 除德化县以外, 几乎所有县市都处于较低的可持续性状态。松溪、建瓯、南平、

沙县、闽清 5 个县市及上杭、永定两县分别在内陆地区形成了两个明显的“塌陷地”, $EISD$ 在 0.95~1.98 之间, 可持续发展能力十分微弱。而可持续发展性能较好的县市主要集中在海拔较高的多山地带, 如武夷山脉一侧的光泽、武夷山、泰宁、将乐以及鹫峰山附近的寿宁、周宁、屏南等县市, $EISD$ 维持在 6.19~10.6 之间, 具有非常高的发展动力和潜力; 玳瑁山脉两侧的漳平、清流、连城及明溪、将乐等县市, $EISD$ 保持在较高的 4.11~6.19 之间, 为可持续发展性能更佳区。

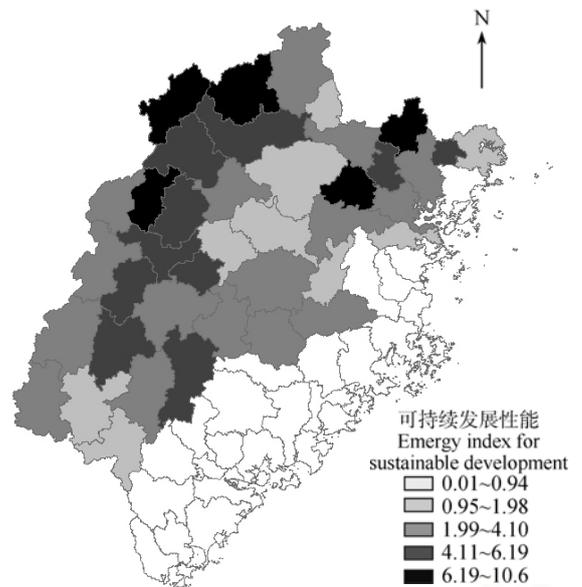


图 4 可持续发展性能分级图

Fig. 4 Classification map of emery index for sustainable development

4 结论与讨论

利用能值分析与 GIS 空间分析手段相结合的方法,从区域空间差异的角度评价了福建省 67 个县域行政单元农业生态经济系统发展水平与发展潜力的优劣,分析结果显示福建省农业生态系统发展空间差异特征显著,主要体现在以下几个方面:(1)在自然基础水平、环境生态压力和可持续发展力方面呈明显的“海陆差异”与“南北差异”。闽东南沿海地区人口密集、城市化发展快速使得农业用地紧张,人地关系矛盾突出,可持续性低。而闽西北内陆地区,自然环境优越,自然环境面临较少的人为破坏,生态稳定性和可持续力强。(2)各县市农业经济发展与农民生活水平高低在数量上呈“菱型”分布。大部分县市处于中游水平,且差异不明显,优势地区和劣势地区数量少,但关键指标差距达 4~5 倍之多,两极分化现象不容忽视。(3)根据结果综合分析,可将福建省农业生态系统大致划分为 4 个生态特质区,即以武夷山为代表的闽西北山区、以宁德为中心的闽东北沿海及其近海地区、以闽江口、厦、漳、泉为代表的闽东南沿海港湾地区以及除这些地区以外的福建中部内陆地区。这对指导福建省农业生态区划与开发具有重要的参考意义。

参考文献

- [1] 张耀辉. 农业生态系统能值分析方法[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12 (3): 181-183
- [2] 王明全, 王金达, 刘景双, 等. 东北地区农业生态系统的能值分析[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(6): 183-188
- [3] 王建源, 薛德强, 田晓萍, 等. 山东省农业生态系统能值分析[J]. 生态学杂志, 2007, 26(5): 718-722
- [4] 白瑜, 陆宏芳, 何江华. 基于能值方法的广东省农业系统分析[J]. 生态环境, 2006, 15(1): 103-108
- [5] 张洁瑕, 郝晋珉, 段瑞娟. 现代农业生态系统能值演替分析——以河北省曲周县为例[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 141-144
- [6] 董孝斌, 高旺盛, 严茂超. 黄土高原典型流域农业生态系统生产力的能值分析——以安塞县纸坊沟流域为例[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 223-229
- [7] 彭建, 刘松, 吕婧. 区域可持续发展生态评估的能值分析研究进展与展望[J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(5): 47-51
- [8] 沈善瑞, 陆宏芳, 赵新锋, 等. 能值研究的几个前沿命题[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(3): 268-272
- [9] Huang S. L., Lai H. Y., Lee C. L. Energy hierarchy and urban landscape system[J]. Landscape and Urban Planning, 2001 (3): 145-161
- [10] Huang S. L., Kao W. C., Lee C. L. Energetic mechanisms and development of an urban landscape system[J]. Ecological Modelling, 2007 (5): 495-506
- [11] Huang S. L., William W. B., Chan S. L., *et al.* Stream order, hierarchy and energy convergence of land use[J]. Ecological Modelling, 2007 (9): 255-264
- [12] Pulselli R. M., Rustici M., Marchettini N. An integrated framework for regional studies: Energy based spatial analysis of the province of Cagliari[J]. Environmental Monitoring Assessment, 2007, 133: 1-13
- [13] Agostinho F., Diniz G., Siche R., *et al.* The use of emergy assessment and the geographical information system in the diagnosis of small family farms in Brazil[J]. Ecological Modelling, 2008 (1): 37-57
- [14] 陈阜. 农业生态学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002
- [15] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002
- [16] Odum H. T. Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making[M]. New York: Johan, Wilay & Sons, 1996: 192-237