

基于PSR模型的耕地生态安全评价 ——以长江中下游粮食主产区为例

杨俊^{1,2}, 宋振江^{1,2}, 李争³

(1. 东华理工大学 测绘工程学院, 南昌 330013; 2. 流域生态与地理环境监测国家测绘地理信息局重点实验室, 南昌 330013; 3. 东华理工大学 经济与管理学院, 南昌 330013)

摘要:为探索长江中下游粮食主产区耕地生态安全现状及耕地生态安全影响因素的内在作用机理,基于PSR模型进行耕地生态安全测度,选取了单位面积COD负荷、单位面积SO₂负荷、耕地压力指数等36个变量,通过评价价值转化、综合评价价值计量、协调度测算等方法而剖析研究区域的耕地生态安全问题。结果表明:鄱阳湖平原—赣抚平原—吉泰盆地—赣西粮食高产片位为流域耕地生态安全之首。鄱阳湖平原—赣抚平原—吉泰盆地—赣西粮食高产片的耕地生态安全压力亦在其他区域之上,而除江淮平原(江苏地区以外)各个流域的耕地生态安全响应系统皆相对薄弱,且未来耕地生态安全堪忧。流域内多地呈现出综合评价得分与协调度评价值呈负相关的态势,表明地区隐藏的生态危机广泛存在。由此得出:(1)经济发展方式对耕地生态安全存在关联性影响;(2)地形地貌以及水热条件对耕地生态安全具有内在影响;(3)因地制宜的污染治理是耕地生态缓解与治理的必要环节。

关键词:长江中下游; 粮食主产区; PSR模型; 耕地生态安全

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)03-0301-07

Assessment of Cultivated Land Ecological Safety Based on PSR Method —The Case Study of Main Grain Production Area of the Lower Yangtze Region

YANG jun^{1,2}, SONG Zhenjiang^{1,2}, LI Zheng³

(1. Faculty of Geomatics, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 2. Key Laboratory of Watershed Ecology and Geographical Environment Monitoring, National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, Nanchang 330013, China; 3. College of Economics and Management, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

Abstract: The study of cultivated land ecological safety in the Lower Yangtze region aims to explore the present situation, and to explore the internal mechanism among the influencing factors on cultivated land ecological safety through the analysis. The values of cultivated land ecological safety was measured through the analysis of Pressure—State—Response. The variable system consists of 36 variables, such as COD load per unit area, SO₂ load per unit area, cropland pressure index and so on. Then, the progress of measurement consists of some parts, which are value transformation, calculating the comprehensive evaluation value and coordination degree. The results show that the comprehensive evaluation level of cultivated land ecological safety in Poyang Plain—Ganfu Plain—Jian—Taihe Basin—Main grain producing area of Western Jiangxi is the highest among 5 areas. The pressure of cultivated land ecological safety in Poyang Plain—Ganfu Plain—Jian—Taihe Basin—Main grain producing area is also higher than others. The response system of cultivated land ecological safety in the study area is weak except Jianghuai Plain(Jiangsu Province). With methods of analysis, the conclusion has three parts. (1) The economic development mode has a relevantly effect on cultivated land ecological safety. (2) Topography and hydrothermal conditions also have an inherent effect on cultivated land ecological safety. (3) Pollution management on local conditions is a necessary step in the progress of cultivated

收稿日期:2016-05-07

修回日期:2016-06-07

资助项目:教育部人文社会科学研究青年基金项目“矿粮复合区耕地利用生态缓解机制研究”(14YJC630077);国家自然科学基金青年基金项目“矿粮复合区土地利用冲突问题与缓解机制研究”(41501587);国家自然科学基金项目“农户家庭分工演进对农地利用效率的影响——基于不同类型农区的经验分析”(41201118);江西省社会科学研究“十二五”规划项目“江西省矿粮复合区耕地利用生态缓解途径及价值评估研究”(15GL40);东华理工大学地质资源经济与管理研究中心开放基金重点项目:江西省矿产资源利用生态效率、时空演化与提升路径研究(15JJ03);抚州市社会科学规划重点项目“抚州市农业面源污染的环境经济学分析及治理机制研究”(16k02);测绘地理信息江西省研究生创新教育基地资助

第一作者:杨俊(1984—),男,湖北荆门人,讲师,博士,主要从事土地利用与管理研究。E-mail:yjun@ecit.cn

通信作者:宋振江(1991—),男,辽宁鞍山人,硕士研究生,研究方向为土地利用与管理。E-mail:tgsongzhenjiang@126.com

land ecological mitigation and management.

Keywords: Lower Yangtze region; main grain production area; PSR Method; cultivated land ecological safety

耕地生态安全问题根植于生态文明建设之中,是新时期国家对土地资源可持续利用、耕地生态状况、粮食安全以及永续发展问题的战略性关切,事关国计民生与伟大复兴的“中国梦”的实现,故而其得到国土资源、种植业经济、工业及相关部门的广泛关注。生态文明下耕地生态安全的定义倾向于资源可持续利用视角,其将耕地生态安全定位为既能够使当代人有序利用耕地资源以汲取生活所需,又能够使子孙后代受益于耕地资源所给予的生计来源的一种可持续利用的状态^[1-4]。当前,耕地生态安全问题的探索更倾向于对粮食安全问题的思考,研究切入点主要集中于化肥农药对土壤的作用^[5-6]、种植结构与地理地貌等客观载体的契合性^[7]、农业动力对耕地安全的影响^[8-9]、可持续利用问题^[10-13]、地力与复种指数^[14-15]等问题。通过文献研究可知,当前学者更为关注对耕地资源利用、承载力等方面加以探索,研究方法更倾向于对面板数据、调查数据的分析与探讨,而从综合环境、经济、社会、地形地貌等方面的研究甚少,因此文章基于微观视角,通过对研究区域地形地貌的探究、融汇多方社会经济数据来构造“压力—状态—响应”(Pressure—State—Response,简称 PSR)模型,以剖析区域耕地生态安全问题,籍以为区域耕地资源生态问题缓解与治理提供借鉴,以期促成区域耕地利用生态系统安全,缓解人地矛盾,促进区域耕地资源的可持续利用。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

长江中下游地区是我国重要的粮食主产区,其中江苏、安徽、湖北、湖南、江西五省位为全国粮食主产省份之列,然而由于省域尺度易造成粮食主产地范围的模糊性,故而引入余粮区的概念从市域视角来划定重要余粮区(图 1)。余粮区的概念是既能够满足本地居民粮食消费需求,又能向外输出粮食产品的地区,其公式为:

$$Q_{\text{Grain}}^S = \frac{Q_{\text{total}}^S}{Q_{\text{population}}}$$
 (1)

式中: Q_{Grain}^S 为人均粮食产量; Q_{total}^S 为地区粮食总产量, $Q_{\text{population}}$ 为地区常住人口总量^[16-17]。通过余粮区测算可见,江淮平原(苏、皖)、江汉平原(鄂)、洞庭湖平原(湘)、鄱阳湖平原(赣)、赣抚平原(赣)、吉泰盆地(赣)、赣西粮食高产片(赣),五省人均粮食产量分别为 824.144 kg/人、849.140 kg/人、792.490 kg/人、666.500 kg/人、756.900 kg/人。

文章选取长江中下游粮食主产区作为研究对象,目的在于窥测长江经济带耕地资源的生态状况,以为进一步的深化耕地治理、提升地力、推进生态文明建设以及服务区域乃至全国发展服务。而在对长江中游经济带粮食主产区中,研究尺度为市域尺度则更加切合流域的范围,将社会经济数据与环境及地形地貌等因素相结合,将宏观生态安全问题寓于微观视角加以剖析,更能够深入刻画耕地生态安全问题的内在机理,以探寻生态缓解与治理对策机制,故而选取该研究区域与研究尺度具有典型性意义。

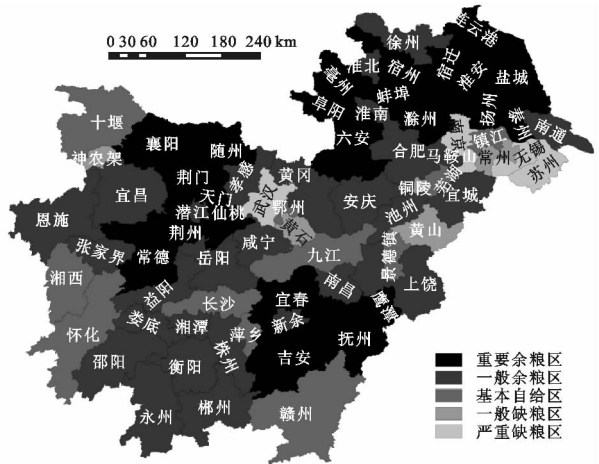


图 1 长江中下游余粮区

1.2 数据来源

长江中下游粮食主产区的余粮区环境、经济、社会层面影响数据来源于中国统计年鉴(2003—2014)、长江中下游粮食主产区各省统计年鉴(2003—2014)、中国农村统计年鉴(2003—2014)、中国环境统计年鉴(2003—2014)、各省各市历年统计年鉴、各省各市历年统计公报、各省各市历年各专项统计报告等。地形地貌数据来源于地理空间数据云提供的 DEM 影像、Landset7 ETM SLC-off 卫星数字产品(2003)以及地理国情监测云平台的公开数据。

2 研究方法

2.1 数据处理方法

2.1.1 数据标准化 数据标准化的目的在于统一各个指标的单位与量纲,即无量纲化,本文采用标准差方式进行标准化处理,其公式为:

$$M_{ij} = \frac{m_{ij} - \overline{m_j}}{\delta_j}$$
 (2)

式中: M_{ij} , m_{ij} , $\overline{m_j}$, δ_j 分别为第 i 个省第 j 个指标的标准值、原始值以及第 j 个指标的算术平均值、标准差。

2.1.2 指标权重计算 指标权重计算公式为:

$$V_{\text{Coefficient}} = \frac{\delta_j}{m_j} \quad (3)$$

$$W_j = \frac{V_{\text{Coefficient}}}{\sum_i^n V_{\text{Coefficient}}} \quad (4)$$

式中: $V_{\text{Coefficient}}$ 为每个指标的变异系数; W_j 为第 j 个指标的权重。

2.2 指标体系构建

PSR 模型即“压力(Pressure)—状态(State)—响应(Response)”模型,其源于 20 世纪 70 年代世界经济合作与发展组织(OECD)和联合国环境规划署(UNEP)所提出的生态评价模型(根植于“原因—效益—反应”原理)^[18-19]。PSR 主要调节 what、why、how 等三个问题^[20]。对于该模型,诸多学者对其做了有益的探索,冷疏影等^[21]基于 PSR 模型构建土地质量指标体系;殷克东等^[22]通过增添经济、环境、行为者变量以修正 PSR 模型;李争等^[23]基于 PSR 模型进行生态文明建设;宋振江等^[19]将 PSR 模型用于探求流域耕地生态安全问题;颜利等^[24]通过建立流域生态系统健康评价的指标体系和 PSR 框架评价模型对流域生态健康予以研究。文章在前人研究的基础上构造基于 PSR 的评价指标体系(表 1),以探索区域耕地生态安全问题,故而文章所构建的 PSR 模型框架存在 3 个子系统。

2.2.1 压力子系统

压力子系统是由农药与化肥的施用、COD 与 SO_2 负荷、耕地压力指数、复种指数、人口供养问题、工业污染所构成。农药与化肥的施用同粮食产出的经济含义服从边际报酬递减规律,即当农药与化肥科学合理施用范畴内,所获得的粮食生产总效用呈现递增态势,然而当粮食生产的边际效用为零时,则显现出农药与化肥的施用所带来的粮食生产正效用达到临界,此后再增加农药与化肥的投入将对粮食生产产生负效益,耕地系统安全遭到破坏。当前,由于农村地区农业生产活动缺乏科学的培训与指导,存在过量施用农药与化肥以及错误施用化学性质不适宜性农药与化肥的现象,以致造成土壤板结、地力下降、有机质流失等负面现象,以此威胁耕地生态安全^[6]。COD 与 SO_2 负荷问题主要反映在农业生产领域,从空间视觉探查耕地资源的生态性,以此来探求耕地资源的可持续利用^[25]。人口对耕地资源生态压力的问题更多反映在耕地压力指数、非农人口比例、人口供养量、复种指数等方面。耕地压力是综合对粮食自给率、人均粮食需求量、复种指数、粮食作物种植面积占农作物播种面积的比例、粮食播种单位面积产量、实际人均耕地面积的考察,其可展现出耕地资源对于人口问题的负荷程度。根据《国家粮食安全中

期规划纲要(2008—2020 年)》,到 2020 年人均粮食需求量不低于 395 kg,粮食自给率稳定在 95% 以上。国家食物与营养咨询委员会提出,基本小康社会、全面小康社会、向富裕阶段过渡时期的粮食安全目标分别为 391 kg/人、437 kg/人、472 kg/人^[10]。基于长江中下游流域城镇化程度以及社会经济发展现状,将人均粮食需求量设为 437 kg/人。非农人口比例与单位粮食播种面积人口供养量共同指向耕地可持续人口供养能力,其更侧重于耕地远期服务能力以及生态容量^[11]。复种指数问题同气候变化、宏观政策、农业生产机会成本密切相关,这其中存在两对矛盾,其一是当前伴随温室效应粮食作物熟制界限逐步北移与当前国家出台轮作休耕制度力图恢复地力之间的矛盾;其二是农户基于农业生产机会成本的考量更倾向于进城务工以获取更高收益而致使部分耕地复种指数下滑甚至撂荒现象。这两个矛盾集结点在于如何在保持耕地地力的前提下构造合理的耕作制度并增加农业生产收益且使之占据比较优势,同时能够通过农业生产来缓解当前的生态问题,因此对复种指数问题的探寻具有生态、政策、经济、社会等多方面的现势性意义^[11]。工业污水排放问题的提出是对耕地土壤污染情况与农业用水质量的考量。由于农地产权界限的不明晰,造成“公地的悲剧”,工业企业排污寻租致使土壤、水资源系统污染,耕地生态安全遭受威胁,因此置此以为探究耕地生态安全压力问题^[26-27]。

2.2.2 状态子系统

状态子系统是由海拔、坡度、年降水量、平均气温、水网密度、地表水环境质量、土壤有机质含量、土地垦殖率、主要耕作地类比重、灌溉问题、粮食产值与产量、森林覆盖率、除涝面积、农机动力等方面构成。其中海拔、坡度、年降水量、平均气温、水网密度、地表水环境质量、土壤有机质含量等变量侧重于从地理因素来考察研究区域地形地貌等特征对耕地生态安全的影响,以此实现从空间视域探查耕地资源优异程度、生态质量状态^[25,27]。土地垦殖率、主要耕作地类比重、粮食产值与产量等变量在于阐释经发展存在差异的流域耕地生态安全可从协同耕地粮食生产变量视觉基于整体性加以衡量^[17,27]。灌溉与除涝变量侧重于从水利保障与农田保护角度加以分析^[27-28],森林覆盖率则是对涵养水土、维系生态多样化、屏护耕地资源的测评^[27-29],农机动力变量用以考量研究区域现有生产力对耕地生态安全的影响,以及现有生产动力系统衍生的生态问题^[8-9,26]。

2.2.3 响应子系统

响应子系统侧重于动态响应变量的考察,其包括森林面积增长率、区域突发环境事件变化率、工业固体废物处置率、 SO_2 去除率、生活垃圾清

运量增长率、自然灾害救济变化率、水土流失治理面积变化率、生态治理投资占 GDP 比重、区域水库库容净增长率、农业固定资产投资增长率、区域 GDP 增长率等。森林面积增长率变量的选取归因于森林的生态效益与耕地经济效益的正向关系对生态和谐与经济发

展的共赢起到积极的推动作用^[27,29]。工业固体废物处置率、SO₂ 去除率、生活垃圾清运量增长率等变量从环境视觉来探寻外部污染治理对耕地生态状况的影响^[27-28],区域

表 1 粮食主产区耕地生态安全评价指标体系

准则	指标	符号	计算方法	单位	指标类型	权重
压力	单位耕地面积农药施用量	x_1	农药施用量/耕地面积	万 t/hm ²	逆向	0.037 2
	单位耕地面积化肥施用量	x_2	化肥施用量/耕地面积	万 t/hm ²	逆向	0.037 7
	单位面积 COD 负荷	x_3	COD 量/耕地面积	万 t/hm ²	逆向	0.039 7
	单位面积 SO ₂ 负荷	x_4	SO ₂ 量/耕地面积	万 t/hm ²	逆向	0.034 9
	耕地压力指数	x_5	(粮食自给率×人均粮食需求量)/[复种指数×(粮食作物播种面积/农作物播种面积)×粮食播种单位面积产量×实际人均耕地面积]	—	逆向	0.072 4
	非农人口比例	x_6	非农人口数量/常住人口数量	%	逆向	0.066 8
	单位粮食播种面积人口供养量	x_7	常住人口数量/粮食播种面积	人/hm ²	逆向	0.009 4
	复种指数	x_8	作物播种面积/耕地面积×100%	%	逆向	0.013 4
	单位工业产值污水排放量	x_9	工业污水排放量/工业总产值	m ³ /元	逆向	0.032 1
状态	海拔	x_{10}	DEM	km	正向	0.016 1
	坡度	x_{11}	DEM	度	正向	0.013 9
	年降水量	x_{12}	监测数据	mm	正向	0.011 7
	平均气温	x_{13}	监测数据	℃	正向	0.002 3
	水网密度	x_{14}	河流长度的归一化系数×河流长度/区域面积+湖库面积的归一化系数×湖库(近海)面积/区域面积+水资源量的归一化系数×水资源量/区域面积	—	正向	0.017 2
	地表水环境质量	x_{15}	GB3838—2002	—	正向	0.015 7
	土壤有机质含量	x_{16}	样本主要有机物质质量/样本质量	%	正向	0.024 6
	土地垦殖率	x_{17}	耕地总面积/土地总面积	%	正向	0.015 1
	主要耕作地类比重	x_{18}	主要耕作地类面积/耕地面积×100%	%	正向	0.023 0
	有效灌溉面积比重	x_{19}	有效灌溉面积/耕地面积×100%	%	正向	0.011 1
	单位耕地面积粮食产量	x_{20}	粮食产量/耕地面积	t/hm ²	正向	0.026 6
	单位耕地面积产值	x_{21}	第一产业产值/耕地面积	元/hm ²	正向	0.030 1
	森林覆盖率	x_{22}	森林面积/土地总面积×100%	%	正向	0.020 9
	除涝面积比重	x_{23}	除涝面积/洪涝面积×100%	%	正向	0.021 5
响应	农机动力保有率	x_{24}	农机动力量/区域农机动力总量×100%	%	正向	0.025 5
	森林面积增长率	x_{25}	(本年森林面积—上年森林面积)/上年森林面积×100%	%	正向	0.024 8
	区域突发环境事件变化率	x_{26}	(本年突发环境事件次数—上年突发环境事件次数)/上年突发环境事件次数	%	正向	0.028 3
	工业固体废物综合利用率	x_{27}	工业固体废物综合利用量/工业固体废物总量	%	正向	0.034 3
	工业固体废物处置率	x_{28}	工业固体废物处置量/工业固体废物总量	%	正向	0.035 8
	SO ₂ 去除率	x_{29}	SO ₂ 去除量/SO ₂ 总量	%	正向	0.028 9
	生活垃圾清运量增长率	x_{30}	(本年生活垃圾清运量—上年生活垃圾清运量)/上年生活垃圾清运量	%	正向	0.034 3
	自然灾害救济变化率	x_{31}	(本年救济金额—上年救济金额)/上年救济金额×100%	%	正向	0.034 9
	水土流失治理面积变化率	x_{32}	(本年治理面积—上年治理面积)/上年治理面积×100%	%	正向	0.021 3
	生态治理投资占 GDP 比重	x_{33}	生态治理投资/GDP	%	正向	0.020 5
	区域水库容量净增长率	x_{34}	(本年区域水库容量—上年区域水库容量)/上年区域水库容量	%	正向	0.050 9
	农业固定资产投资增长率	x_{35}	(本年农业固定资产投资—上年农业固定资产投资)/上年农业固定资产投资	%	正向	0.032 4
	区域 GDP 增长率	x_{36}	(本年区域 GDP—上年区域 GDP)/上年区域 GDP	%	正向	0.034 8

2.3 PSR 子系统的评价价值转化方法

PSR 子系统的评价价值,即通过对标准化后的各指标值进行加权平均所取得的值。为直观比较各评价单元的差异,将各个子系统的评价价值转化为百分制得分^[23,29-30],故存在转化公式:

$$E_i = \frac{Mk}{Mk_{\max} - Mk_{\min}} \times 40 + 60 \tag{5}$$

式中: E_i 为进行百分制转化后的评价价值; Mk 、 Mk_{\max} 、 Mk_{\min} 分别表示各系统的评价价值、最大评价价值及最小评价价值。

2.4 PSR 综合评价价值测算方法

PSR 模型的综合评价价值测算方法为:

$$CE_i = \sum_{j=1}^n W_j M_{ij} \quad (6)$$

式中: CE_i 表示综合评价值; W_j, M_{ij} 分别为第 j 个指标的权重, 第 i 省第 j 个指标的标准化值。

2.5 PSR 协调度测算方法

PSR 模型的压力、状态、响应 3 个系统相互关联, 故而引入协调度函数予以测算其关联性, 其公式为:

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^3 M_i^2}} \quad (7)$$

式中: CD 为协调系数; $M_i (i=1, 2, 3)$, $i=1$ 时为压力子系统的得分, $i=2$ 时为状态子系统的得分, $i=3$ 时为响应子系统的得分, 3 个子系统分值愈趋近, 则其协调度指数愈趋近 $\sqrt{3}$ 。

3 长江中下游粮食主产区耕地生态安全实证研究

3.1 长江中下游粮食主产区耕地生态安全综合评价

根据图 2 的耕地生态安全综合评价图可知, 江淮平原的扬州与淮安、鄱阳湖平原—赣抚平原—吉泰盆地—赣西粮食高产片的宜春、鹰潭、吉安的综合评价得分介于(70, 76)之间, 平均分为 72.459 4, 耕地生态安全综合状况位于长江中下游流域前列。江苏省在耕地生态安全上的占优更多得益于工商经济发展对于农业的反哺。鄱阳湖平原—赣抚平原—吉泰盆地—赣西粮食高产片地处江西, 该流域生态环境在整个研究区域处于占优地位, 此源于该流域鲜有重工业发展, 农业生产较为传统, 原生性耕地资源利用较好, 加之近年建设生态文明高地的政策促使鄱阳湖平原—赣抚平原—吉泰盆地—赣西粮食高产片加大生态环境治理力度, 更加推动耕地生态综合安全的有效提升。而综合评价值介于[60, 70)的江淮平原(蚌埠、宿迁、泰州、连云港、盐城)、江汉平原(荆州)、赣抚平原(抚州)平均得分为 65.276 5, 然而这一等级的区域集中在江淮平原, 表明区域经济发展的不平衡以及地形地貌与水热条件不均亦会造成耕地生态安全的差异。江汉平原与赣抚平原第二产业粗放经营, 不合理的工业污染物排放导致耕地生态环境的破坏。而湖北、湖南、江西多发育山地丘陵地貌, 耕地细碎化严重, 且多地交通闭塞, 造成耕地资源生态安全的先天不足。受副热带高压带控制, 研究区域内绝大多数地域水热分布不均, 农田水利建设、设施农业建设等缓解措施的落地又与地区经济发展水平密切相关。长江中下游粮食主产区耕地生态综合安全问题更显现

出两点矛盾, 其一是地形地貌、水热条件与经济发展之间的矛盾, 其二是耕地生态安全与产权制度及经济发展的矛盾。这两个矛盾根植于“既要金山银山, 也要绿水青山”的生态安全原则, 如何坚守耕地生态安全, 平衡其与发展之间的关系, 此为该区域当前以及远期需要面临的重大挑战。

3.2 长江中下游粮食主产区耕地生态安全子系统评价

根据表 1 以及图 3—5 可知, 文中选取 36 个指标对长江中下游粮食主产区耕地生态安全加以评价, 故而对各个子系统的评价如下。

3.2.1 压力子系统评价 从压力子系统的评价值与得分看, 江淮平原蚌埠的耕地生态安全压力明显高于其他区域, 其压力更多来于经济发展、人口压力、农业技术水平相对落后等方面, 致使该地区耕地生态安全问题显现。而鄱阳湖平原—赣抚平原—吉泰盆地—赣西粮食高产片的压力明显高于长江中下游粮食主产区其他流域, 其中鹰潭地区受社会经济发展问题、人口压力、承接高污染企业(已有江铜集团贵溪冶炼厂)制约耕地生态的良性发展, 致使流域耕地生态安全压力问题较为突出。而江淮平原(江苏地区)的耕地生态安全压力亦十分突出, 其主要受制于人口压力。江苏地区是中国重要的经济发展重镇, 大规模的外来人口涌入一方面为经济发展提供了充足的劳动力, 但另一方面也加重了耕地承载负担, 故而提升耕地利用效率与保护耕地生态安全成为该区域解决问题的重要方向。相对而言, 江汉平原地区的耕地生态安全压力较小。

3.2.2 状态子系统评价 从状态子系统的评价值与得分看, 当前一段时期江汉平原地区的耕地生态安全状态占优, 综合得分为 65.841 7, 洞庭湖平原、鄱阳湖平原—赣抚平原—吉泰盆地—赣西粮食高产片、江淮平原(江苏地区)次之, 然而江淮平原(江苏地区)各地得分方差较大, 显现出耕地生态安全状态的不均衡性。江汉平原地区得益于区位的优越性(地形平坦、坐拥长江黄金水道、水热分配相对均匀)、土地合理利用、农业经济发展迅速等优势, 致使其在海拔、坡度、年降水量、平均气温、水网密度、地表水环境质量、土壤有机质含量、土地垦殖率、水田比重、有效灌溉面积比重、森林覆盖、除涝面积比重、粮食产量、农机动力保有率、耕地产值等方面占优。江淮地区(江苏地区)存在耕地资源先破坏后整治的过程, 得益于其较高的经济发展水平对农业的反向投入, 然而其评价值方差较大反映出流域内发展的不平衡问题。洞庭湖平原、

鄱阳湖平原—赣抚平原—吉泰盆地—赣西粮食高产片是传统的农耕地,虽然当前的耕地生态状态占优,但在耕地屏障、耕地利用效率、农业现代化等方面仍存在现实性问题。

3.2.3 响应子系统评价 从响应子系统的评价值与得分看,江淮平原(江苏地区)的平均评价得分为 69.855 0,位列区域首位,其次为平均得分 66.174 6 的鄱阳湖平原—赣抚平原—吉泰盆地—赣西粮食高产片地区,江淮平原(安徽地区)、江汉平原地区的平均得分 51~57,而洞庭湖平原地区的评价得分仅为 46.178 5,排名最末。耕地生态安全响应取决于森林覆盖程度、突发环境事件的变化、工业污染物的处理、生活污染物的清理、自然灾害应急响应程度、生态环境治理、水利扩容、经济响应等方面。上述结果表明,地区的发展程度与耕地生态安全响应程度具有一定的正相关关系,生态禀赋对耕地生态安全响应亦存在相关性。因此,合理加大对耕地资源的生态缓解与治理投资建设、提升灾害应急响应能力、加大各方生态环境保护意识能够在当期及远期形成耕地生态安全保护屏障,促进区域土地资源可持续利用。

3.3 长江中下游粮食主产区耕地生态安全子系统的协调度评价

PSR 模型的协调度即为压力、状态、响应 3 个系统相互关联,该评价价值愈高则表明该省在耕地生态安全问题上 PSR 三个子系统间距与离散程度占优^[19,23]。经测算,长江中下游粮食主产区五个流域耕地生态安全子系统耦合协调度排序为鄱阳湖平原—赣抚平原—吉泰盆地—赣西粮食高产片(1.540 8)、江淮平原(江苏地区)(0.992 1)、江汉平原(-0.638 6)、江淮平原(安徽地区)(-0.827 5)、洞庭湖平原(-1.058 8)。鄱阳湖平原—赣抚平原—吉泰盆地—赣西粮食高产片、江淮平原(江苏地区)在综合评价得分与协调度评价价值同列前位,即说明该区域耕地生态安全状况较好,又表明其综合评价得分与子系统协调度呈现正相关关系。而江汉平原、江淮平原(安徽地区)、洞庭湖平原的耕地生态安全协调度却与综合评价得分呈现负相关关系,表明这三个流域潜伏耕地生态安全危机,着力推动这些地区的生态安全缓解与治理的同时亦应积极协调多方面影响因素,积极着力推进影响耕地生态安全的各个要素在治理中得到充分的考虑,以此进一步优化这些流域耕地生态安全评价子系统的协调度。

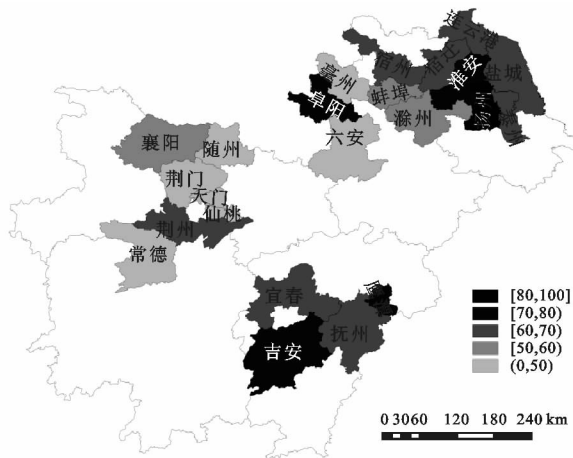


图2 耕地生态安全综合评价

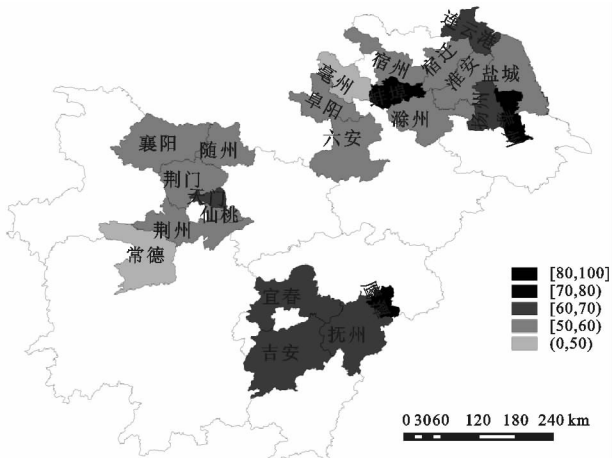


图3 耕地生态安全压力子系统评价

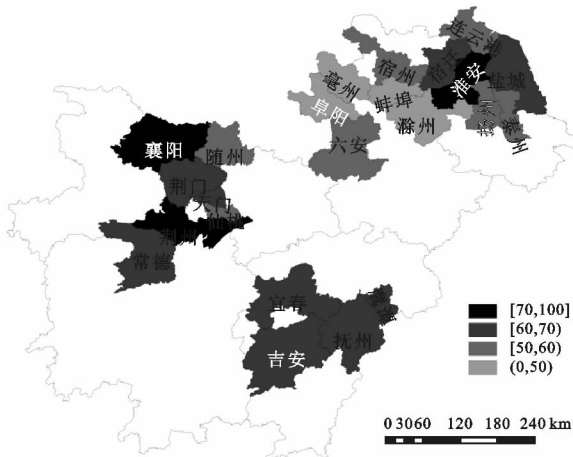


图4 耕地生态安全状态子系统评价

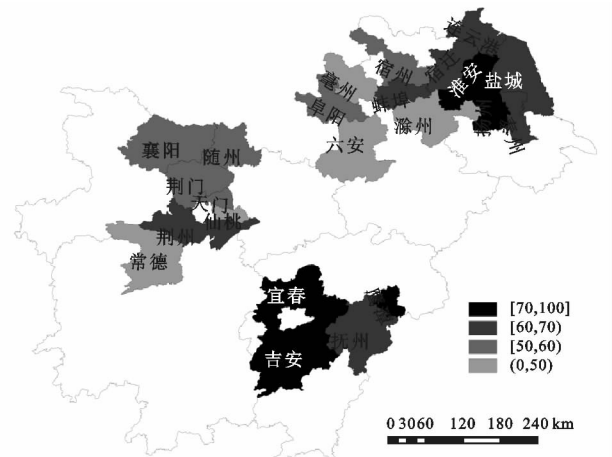


图5 耕地生态安全响应子系统评价

4 结论与建议

4.1 结论

从长江中下游粮食主产区耕地生态安全综合评价视角可见,鄱阳湖平原—赣抚平原—吉泰盆地—赣西粮食高产片位于流域耕地生态安全之首,江淮平原(江苏地区)次之,亦位居区域平均水平之上。从耕地生态安全子系统评价视角可见,鄱阳湖平原—赣抚平原—吉泰盆地—赣西粮食高产片的耕地生态安全压力亦在其他区域之上,但其现状亦处于占优势态,而除江淮平原(江苏地区以外)各个流域的耕地生态安全响应系统皆相对薄弱,且未来耕地生态安全堪忧。由耕地生态安全子系统的协调度评价可知,流域内多地呈现出综合评价得分与协调度评价值呈负相关的态势,表明地区隐藏的生态危机广泛存在。基于前述实证研究,文章可得出如下结论:

(1) 经济发展方式对耕地生态安全存在关联性影响。鄱阳湖平原—赣抚平原—吉泰盆地—赣西粮食高产片地区处于中部欠发达地区,工业化起步较晚,而在当前“去产能”的大背景之下,转变经济发展方式、促进清洁工业发展、加速生态文明建设能够兼顾经济发展与耕地生态健康问题。“既要金山银山,也要绿水青山”,只有实现自然—社会系统的有机共生才能够实现可持续性发展,因此融合绿色经济发展方式与生态环境健康是保障耕地生态安全的有效路径。

(2) 地形地貌以及水热条件对耕地生态安全具有内在影响。长江中下游流域大部分地区发育山地丘陵地貌、水热分布不均,致使耕地细碎化、交通闭塞,以致无法实现耕地规模化经营,对耕地生态安全、农业经济带来诸多负影响,因此因地制宜地探寻合理的规模经济运行模式以适应如此的地形地貌与水热条件是这一地区耕地生态缓解的出路,是实现耕地资源可持续利用的必由之路。

(3) 污染治理是耕地生态缓解与治理的必要环节。耕地生态污染的来源是多方面的,如何有效治理工业“三废”、农业面源污染、生活污染物对耕地资源的污染是维系耕地系统健康不可回避的问题,而其中的根源性问题又在于农地产权不明晰所造成的“公地的悲剧”,因此必须通过明确农地产权来从根源上遏制这种排污寻租,与此同时亦应严惩排污方的排污行为,通过立法等方式确保根源性遏制,以此实现耕地资源可持续利用。

4.2 建议

(1) 各省应基于本省市情(地形地貌、社会发展程度、人口状况等)来制定适宜本省及所处流域的耕地生态缓解与治理目标方案,诸如森林资源保有

情况,部分省区(如江西省,森林覆盖率位居全国前列)的林木指标已经处于饱和状态,倘若再加大毁田造林则会产生负效应,又如水库库容指标问题,应结合各省实际情况加以控制,顺从自然、和谐推进是生态文明建设的内在要求,倘若违背亦会产生负影响。与此同时,耕地生态安全所涉及的各个变量应同“多规合一”相契合,与国民经济和社会发展规划、土地利用规划、城市规划、生态环境保护规划相协调,以此实现协同、高效治理,促成耕地资源可持续利用。

(2) 提升耕地生态保护意识是耕地生态安全治理的关键环节,其根源在于提升各利益攸关方的参与性意识,通过利益主体为维护自身权益的主动缓解与治理行为来形成耕地保护的长效机制,是实现耕地资源有效利用的必要环节。

(3) 贯彻与落实“去产能”方针是实现耕地生态安全的又一有效方针,其可通过淘汰落后产能、促进产业结构升级来实现耕地生态污染的源头治理,实现耕地资源的可持续利用,保障耕地红线不缩水,坚持走绿色发展道路。

参考文献:

- [1] 宋振江,杨俊,李争.基于层次分析法的矿粮复合区生态环境影响评价:以相山铀矿为例[J].湖北民族学院学报:自然科学版,2015,33(3):355-360.
- [2] 崔明哲,杨凤海,李佳.基于组合赋权法的哈尔滨市耕地生态安全评价[J].水土保持研究,2012,19(6):184-187.
- [3] 蔡海生,张学玲,周丙娟.生态环境脆弱性动态评价的理论与方法[J].中国水土保持,2009(2):18-22.
- [4] 蔡海生,陈美球,赵小敏.脆弱生态环境脆弱度评价研究进展[J].江西农业大学学报,2003,25(2):270-275.
- [5] 周喜应.浅谈我国的农药与粮食安全[J].今日农药,2014(11):14-16.
- [6] 曾靖,常春华,王雅鹏.基于粮食安全的我国化肥投入研究[J].农业经济问题,2010(5):66-70.
- [7] 刘乃全,刘学华.劳动力流动,农业种植结构调整与粮食安全:基于“良田种树风”的一个分析[J].南方经济,2009(6):15-24.
- [8] 刘红,何蒲明.农业机械化对我国粮食安全的影响研究[J].农业经济,2014(5):3-5.
- [9] 张宗毅,刘小伟,张萌.劳动力转移背景下农业机械化对粮食生产贡献研究[J].农林经济管理学报,2014,13(6):595-603.
- [10] Xiaoqing S, Zhu O. 1999—2007年中国粮食安全的关键影响因素[J].地理学报,2012,67(6):793-803.
- [11] 谢平,文情,孙水娟,等.基于人粮关系的湖南省耕地资源人口承载力研究[J].水土保持研究,2012,19(4):274-277.
- [12] 王静,黄晓宇,郑振源,等.提高耕地质量对保障粮食安全更为重要[J].中国土地科学,2011,25(5):35-38.

主要障碍因素由耕地资源丰度(RI)和地形起伏度(RDLS)逐渐变为耕地聚集度(CI)和耕地资源丰度(RI)。表明在不同地形条件下,耕地资源丰度都是制约平山县耕地规模化整理的主要障碍因子;不同整理区的耕地规模化整理主要侧重点不同,可为今后区域土地整理提供科学依据。

参考文献:

[1] 罗明,张惠远. 土地整理及其生态环境影响综述[J]. 资源科学,2002,24(2):60-63.

[2] 曹可成. 论规模化经营在新农村建设中的地位[J]. 西安财经学院学报,2007,20(1):65-68.

[3] 钟祥浩,余大富,郑霖,等. 山地学概论与中国山地研究[J]. 成都:四川科学技术出版社,2000.

[4] 赵亚南,陈英,刘书安,等. 西北地区农地适度经营规模研究[J]. 中国农学通报,2014,30(26):53-57.

[5] 李文安,马文起. 河南农业土地规模经营模式及效益分析[J]. 南都学坛:南阳师范学院人文社会科学学报,2012,32(4):98-101.

[6] 金生霞,陈英,杨倩倩,等. 河西走廊农地适度经营规模计量研究:基于 578 农户调查的研究[J]. 干旱区资源与

环境,2012,26(11):6-11.

[7] 周厚智,杨钢桥. 基于农户调查的农地适度经营规模研究:以长沙市两个郊区县为例[J]. 湖北农业科学,2012,51(6):1274-1277.

[8] 袁小慧,华彦玲,王凯. 江苏省农户水稻适度规模经营模式创新研究[J]. 江苏农业学报,2014,30(3):645-653.

[9] 吴良林,罗建平,李漫. 基于景观格局原理的土地规模化整理潜力评价方法[J]. 农业工程学报,2010(2):300-306.

[10] 汤国安,宋佳. 基于 DEM 坡度图制图中坡度分级方法的比较研究[J]. 水土保持学报,2006,20(2):157-160,192.

[11] 陈珂,黄小羽,罗明良. 基于 ASTER GDEM 的县域尺度地形起伏度分析:以华蓥市为例[J]. 遥感信息,2014(5):69-72.

[12] 封志明,张丹,杨艳昭. 中国分县地形起伏度及其与人口分布和经济发展的相关性[J]. 吉林大学社会科学学报,2011,51(1):146-151.

[13] 吴良林,周永章,陈子,等. 基于 GIS 与景观生态原理的土地资源规模化潜力评价[J]. 资源科学,2007,29(6):146-153.

[14] 李春燕,南灵. 陕西省土地生态安全动态评价及障碍因子诊断[J]. 中国土地科学,2015(4):72-81.



(上接第 307 页)

[13] 余振国,胡小平. 我国粮食安全与耕地的数量和质量关系研究[J]. 地理与地理信息科学,2003,19(3):45-49.

[14] 金姝兰,侯立春,徐磊. 长江中下游地区耕地复种指数变化与国家粮食安全[J]. 中国农学通报,2011,27(17):208-212.

[15] HualinXIE,GuiyingLIU. 1998—2012 年中国耕地复种指数时空差异及动因[J]. 地理学报,2015,70(4):604-614.

[16] 翟荣新,刘彦随. 20 世纪 90 年代以来中国粮食生产的区域格局变动[J]. 中国农业资源与区划,2008,29(6):49-54.

[17] 金涛,陆建飞. 江苏省耕地变化与粮食生产地域分化[J]. 农业现代化研究,2011,32(4):405-408.

[18] 毕安平,朱鹤健. 基于 PSR 模型的水土流失区生态经济系统耦合研究:以朱溪河流域为例[J]. 中国生态农业学报,2013,21(8):1023-1030.

[19] 宋振江,杨俊,李争. 基于 PSR 模型的耕地生态安全评价研究:以长江中下游粮食主产区为例[C]//2016 中国新时期土地资源科学与新常态创新发展战略研讨会暨中国自然资源学会土地资源研究专业委员会 30 周年纪念会论文集,2016:641-649.

[20] 叶文虎,仝川. 联合国可持续发展指标体系述评[J]. 中国人口·资源与环境,1997,7(3):83-87.

[21] 冷疏影,李秀彬. 土地质量指标体系国际研究的新进展[J]. 地理学报,1999,54(2):177-185.

[22] 殷克东,赵昕,薛俊波. 基于 PSR 模型的可持续发展研究[J]. 软科学,2002,16(5):62-66.

[23] 李争,朱青,花明,等. 基于 PSR 模型的江西省生态文明建设评价[J]. 贵州农业科学,2014,42(12):249-252.

[24] 颜利,王金坑,黄浩. 基于 PSR 框架模型的东溪流域生态系统健康评价[J]. 资源科学,2008,30(1):107-113.

[25] 吕建树,吴泉源,张祖陆,等. 基于 RS 和 GIS 的济宁市土地利用变化及生态安全研究[J]. 地理科学,2012,32(8):928-935.

[26] 黄伟生,彭佩钦,苏以荣,等. 洞庭湖区耕地利用方式对土壤活性有机碳的影响[J]. 农业环境科学学报,2006,25(3):756-760.

[27] 赵宏波,马延吉. 东北粮食主产区耕地生态安全的时空格局及障碍因子:以吉林省为例[J]. 应用生态学报,2014,25(2):515-524.

[28] 王千,金晓斌,周寅康. 河北省耕地生态安全及空间聚集格局[J]. 农业工程学报,2011,27(8):338-344.

[29] 徐辉,雷国平,崔登攀,等. 耕地生态安全评价研究:以黑龙江省宁安市为例[J]. 水土保持研究,2011,18(6):180-184.

[30] 贾书楠,孙睿,夏显力,等. 西安市耕地生态安全测度及影响因素分析[J]. 水土保持研究,2016,23(3):164-169.

[31] 岳秋丽,刘传林. 基于 PSR 模型的江苏省城市土地集约利用评价[J]. 水土保持研究,2016,23(3):176-179.