

doi: 10.6046/zrzyg.2022249

引用格式: 汪左, 王萌, 王畅畅, 等. 安徽省 1980—2015 年生态系统健康时空演变[J]. 自然资源遥感, 2023, 35(4): 159–168.
(Wang Z, Wang M, Wang C C, et al. Spatio-temporal evolution of ecosystem health in Anhui Province from 1980 to 2015[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(4): 159–168.)

安徽省 1980—2015 年生态系统健康时空演变

汪左^{1,2}, 王萌^{1,2}, 王畅畅^{1,2}, 李虎^{1,2}, 张运^{1,2}

(1. 安徽师范大学地理与旅游学院, 芜湖 241002; 2. 安徽师范大学资源环境与地理
信息工程安徽省工程技术研究中心, 芜湖 241002)

摘要: 为探索现代城市化背景下安徽省生态系统健康状况, 基于时间序列土地利用类型数据, 利用“活力—组织力—弹力”(vigour-organization-resilience, VOR)模型构建安徽省生态系统健康评价体系, 采用熵权法确定系统指标权重, 在县级尺度对安徽省 1980—2015 年生态系统健康开展分级评估与时空演变分析。结果表明: ①安徽省不健康等级区县最多, 亚健康等级区县次之, 面积占比分别为 56.37% 和 16.83%; 安徽省生态系统多年平均健康综合指数与多年平均健康等级空间分布整体呈现南高北低格局, 且均与地貌类型有较强关联, 健康和很健康等级区域集中分布于皖南丘陵山地区和皖西丘陵山地区, 不健康等级区域连片分布于淮河平原区、江淮丘陵区以及沿江平原区, 其中生态系统健康综合指数最高的地区为黄山市祁门县, 约 0.92, 最低地区位于合肥市庐阳区, 约 0.17。②1980—2015 年安徽省整体生态系统健康水平趋向健康发展, 共 24 个区县健康等级上升, 无区县健康等级下降, 全省平均健康等级由不健康提升至亚健康; 仍有 13 个区县的健康综合指数下降, 生态系统健康水平不稳定, 健康等级有下降风险。研究结论对安徽省制定合理的土地利用政策、保护治理生态环境、优化生态系统服务功能等具有一定参考价值。

关键词: 时空演变; 生态系统; 健康评价; 安徽省

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2023)04-0159-10

0 引言

区域生态系统健康是指区域生态系统能够维持自身组织结构稳定, 具有长期稳定自我运作能力, 并且在满足自身良好发展的前提下, 对人类社会产生正向促进作用^[1]。近年来城市扩张、人口数量快速增长与经济持续高速发展使得人类活动对建设用地的需求不断增大^[2], 人类活动强度的增加导致区域景观格局发生变化, 生境质量退化, 生态系统健康受到影响。因此, 研究安徽省生态系统健康状况, 有利于把握安徽省经济社会发展现状, 对安徽省经济社会协调、可持续发展具有重要意义^[3]。

自生态系统健康概念提出以来^[4], 国内外学者对生态系统健康相关问题展开了一系列研究, 并取得显著成果。Schaeffer 等^[5]在 1988 年首次对生态

系统健康量化评估进行研究; Rapport 等^[6-7]首先提出生态系统健康具有活力(vigor)、组织结构(organization)和弹力(resilience), 而后又对生态系统健康的测量方法及公式进行探索。目前生态系统健康评价常用模型主要有活力—组织力—弹力(vigour-organization-resilience, VOR)模型、压力—状态—响应(pressure-state-response, PSR)模型, 在 PSR 模型的基础上也产生了驱动力—状态—响应(driving-force-state-response, DSR)模型以及驱动力—压力—状态—影响—响应(driving-pressure-state-impact-response, DPSIR)模型。其中 VOR 和 PSR 模型已被广泛运用于城市、区域、流域、荒漠草原、湿地等生态系统健康评估^[8-15], 取得了很好的应用效果, 但在省域范围开展县级尺度的生态系统健康评估研究较少。安徽省作为长三角地区的重要一员, 对其开展时间序列生态系统健康评估, 对于长三角

收稿日期: 2022-06-16; 修订日期: 2022-12-31

基金项目: 安徽省自然科学基金资助项目“联合 SAR 与光学遥感数据的冬小麦生长过程土壤湿度监测”(编号: 2008085QD166)、国家自然科学基金资助项目“高寒山区雪水当量 SAR 反演的关键技术研究”(编号: 41501379)、安徽省科技重大专项项目“现代农业遥感监测系统构建与产业化应用”(编号: 202003a06020002)、安徽省重点研究与开发计划项目“水稻稻瘟病全域感知与监测预警技术研究”(编号: 202104g01020004)及安徽省 2022 年高校优秀青年人才支持计划重点项目“耦合多源多尺度数据的冬小麦条锈病遥感智能监测关键技术研究”(编号: 13)共同资助。

第一作者: 汪左(1988-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为资源环境遥感和 GIS 应用。Email: wangzuo@ahnu.edu.cn.

生态绿色一体化高质量发展具有重要意义。

因此,本文拟基于安徽省 1980 年、1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年 7 期土地利用数据,根据 VOR 模型建立安徽省生态系统健康评价体系,采用熵权法确定系统指标权重,在县级尺度上计算生态系统健康综合指数和划分等级,并在此基础上探讨安徽省县级尺度的生态系统健康时空演变特征,为安徽省未来的生态规划提供理论支持。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

安徽省(图 1)地理位置处于中国华东地区,位于长江、淮河中下游,是长三角地区重要组成部分,其位置于 E114°54' ~ 119°37', N29°41' ~ 34°38' 之间,重要地理分界线秦岭—淮河线横贯全省。安徽

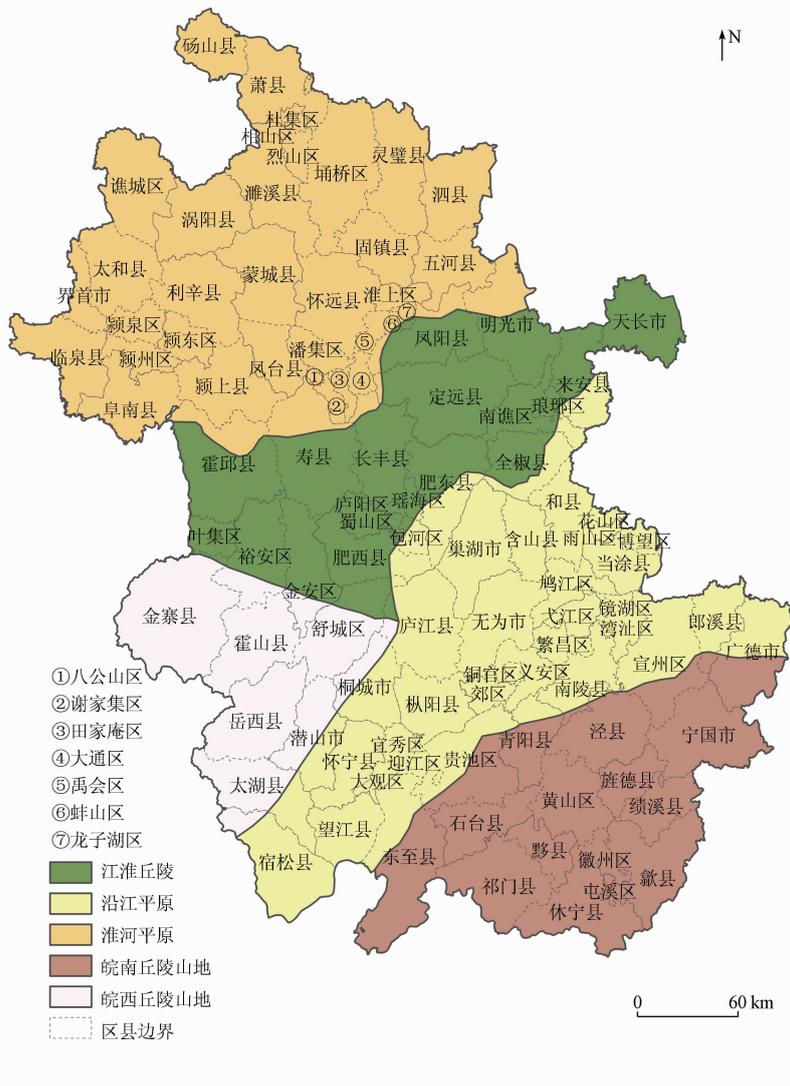


图 1 安徽省地貌分区图

Fig. 1 Geomorphological zoning map of Anhui Province

省地跨淮河、长江、新安江三大水系,由淮河平原区、江淮丘陵区、沿江平原区、皖西丘陵山地区、皖南丘陵山地区 5 个地貌区构成。安徽省气候分布差异明显,处于东亚季风区、亚热带与暖温带过渡区;季风明显,四季分明,降水周期变化大。

1.2 数据源及预处理

本文采用的 1980 年、1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年共 7 期安徽省土地利用类型栅格图的数据来源于国家地球系统科学数据

中心黄河中下游分中心(<http://henu.geodata.cn>),其空间分辨率为 100 m^[16]。根据《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017)和《中华人民共和国土地管理法》“三大类”的对照表将土地利用类型二级分类重新整合成一级分类,得到耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地 6 类土地利用类型。安徽省总体结构以耕地为主,南北方地类分布存在差异,耕地、林地、水域在南方处于优势地类,北方耕地多与建设用地相间分布。

2 研究方法

2.1 生态系统健康评价指标体系

生态系统活力揭示了生态系统功能;组织力根据景观格局的稳定性和连通性确定;弹力是指在受到胁迫下维持自身结构和功能稳定的能力^[17]。本文选择活力、组织力、弹力 3 个方面构成安徽省生态

系统健康评价体系子系统,子系统下选取林/草地覆盖率 C 、香浓多样性 (Shannon's diversity index, SHDI)、蔓延度 (contagion index, CONTAG)、平均斑块面积 (mean patch area, MPS)、人类干扰指数 I_H 、生境质量指数 Q_{sj} ^[17-21] 6 个指标构建安徽省生态系统健康评价体系^[15]。各指标描述和计算如表 1 所示,其中 (+/-) 代表该指标对生态系统具有正向/负向作用。

表 1 生态系统健康评价指标及其描述

Tab. 1 Ecosystem health evaluation system indicators and their description

评价子系统	评价指标	公式	描述
活力	林/草地覆盖率 C (+)	$C = \frac{A_f + A_g}{CA}$	评价单元内林地、草地面积之和所占比例。其中 A_f 为林地面积; A_g 为草地面积; CA 为评价单元总面积
	SHDI (-)	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (p_i \ln p_i)$	m 为景观类型数量; p_i 为评价单元内第 i 类景观类型所占面积的比例。SHDI 值越大,表明该区域景观多样性较高
	CONTAG (+)	$CONTAG = \left[\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[(p_i) \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right] \left[\ln(p_i) \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2lnm} \right]$	g_{ik} 为第 i 类景观类型与第 k 类景观类型毗邻的斑块数目。CONTAG 反映区域优势地类的影响力,其值越大表明景观格局中存在的优势地类间连接程度强,景观破碎化程度低;反之值越小表明景观格局中存在多种小斑块,景观的破碎化程度高
组织力	MPS (+)	$MPS = \frac{CA}{NP}$	NP 为评价单元中斑块总数。MPS 值越大为景观破碎度越低
	人类干扰指数 I_H (-)	$I_H = \frac{A_1 + A_2}{CA}$	A_1 为评价单元中耕地总面积; A_2 为评价单元中建设用地总面积。 I_H 值越大,人类活动对生态系统影响越大,对生态系统健康的破坏程度越大
	生境质量指数 Q_{sj} (+)	$Q_{sj} = H_j \left[1 - \left(\frac{D_{sj}^z}{D_{sj}^z + r^z} \right) \right]$	H_j 为生境类型 j 的栖息地适宜性,取值范围 0 ~ 1; r 为半饱和常数,取最大生境退化指数 D_{sj} 的一半; z 为归一化常量,一般情况下设为 2.5。其中 D_{sj} 为生境退化度 ^[22] 。当前景观上栖息地质量的相对水平,数字越大表明生境质量越好

为避免数据来源、类型等差异导致指标无法进行比较与计算,采用极差法^[1]将指标各数据进行标准化处理,正、负向作用指标的公式分别为:

$$Y = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (1)$$

$$Y = \frac{X_{\max} - X}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (2)$$

式中: Y 为指标标准化值; X 为指标实际值; X_{\max} 和 X_{\min} 分别为指标观测数据中最大值和最小值。

2.2 生态系统健康评价指标权重

本文对于生态系统健康评价体系的指标权重确定采用熵权法^[23],熵权法主要公式为:

$$P_{uv} = Y_{uv} / \sum_{v=1}^n Y_{uv}, \quad (3)$$

$$e_u = -t \sum_{v=1}^n p_{uv} \ln p_{uv}, \quad (4)$$

$$w_u = \frac{1 - e_u}{l - \sum_{u=1}^l e_u}, \quad (5)$$

式中: Y_{uv} 为第 u 个指标下第 v 个评价单元的指标标准化值; p_{uv} 为第 u 个指标下第 v 个评价单元的指标值比重; e_u 为第 u 个指标的信息熵; $t = 1/\ln(n)$, n 为评价单元的总数; l 为指标总个数; w_u 为第 u 个指标相对于子系统的权重。评价子系统的权重可用相同方法计算,不做赘述。

通过熵值的大小反映指标的差异,判断指标对于生态系统健康体系的影响程度进而确定权重。最终获取安徽省生态系统健康评价体系各指标权重 (表 2)。

表 2 安徽省生态系统健康评价体系及权重
 Tab.2 Ecosystem health evaluation system and weight in Anhui Province

评价模型	评价子系统	相对于子系统的权重值	相对于生态系统健康评价体系的权重值
生态系统健康评价	活力(0.279 1)	林/草地覆盖率 (1.000 0)	林/草地覆盖率 (0.279 1)
		SHDI(0.238 8)	SHDI(0.115 9)
		CONTAG (0.157 4)	CONTAG (0.076 4)
	组织力 (0.485 3)	MPS(0.171 0)	MPS(0.083 0)
		人类干扰指数 (0.432 8)	人类干扰指数 (0.210 1)
	弹力(0.235 6)	生境质量指数 (1.000 0)	生境质量指数 (0.235 6)

2.3 生态系统健康等级划分

生态系统健康评价是指在确定各指标权重基础上,对生态系统健康评价体系的各指标进行加权累加,计算安徽省生态系统健康综合指数^[1],公式为:

$$F_v = \sum_{u=1}^l W_u W'_u Y_{uv} \quad (6)$$

式中: F_v 为第 v 个评价单元的生态系统健康综合指数; W_u 为第 u 个评价指标相对于子系统的权重; W'_u 为第 u 个评价指标对应的评价子系统的权重。

根据计算出的健康综合指数,参考其他学者研究^[15,23-26],将研究区生态系统健康水平按照等间断算法划分为 5 个级别,如表 3 所示。值越接近于 1,表明生态系统健康水平越高,反之表明生态系统健康

水平较低、结构与功能受到破坏的可能性极大。

表 3 安徽省生态系统健康评价等级及相关描述
 Tab.3 Ecosystem health evaluation level and related description in Anhui Province

健康等级	综合指数范围	健康水平描述
很健康 (一级)	[0.8, 1.0]	生态系统结构和多样性稳定,功能完整,生态系统恢复力很强,系统维持正常的循环与平衡,极少受到外界干扰
健康 (二级)	[0.6, 0.8]	生态系统结构与功能较为稳定,生态系统恢复力较强,受到一部分外界干扰,但没有影响其整体稳定性
亚健康 (三级)	[0.4, 0.6]	生态系统结构受到一定程度影响而发生改变,部分功能可以实现,受到一定程度的外界干扰,产生了一定污染
不健康 (四级)	[0.2, 0.4]	生态系统结构受到大幅度冲击,大部分功能丧失,生态系统恢复力大幅度下降,部分外界干扰已经造成了严重侵害
病态 (五级)	[0.0, 0.2]	生态系统结构崩溃,功能退化,系统难以维持正常的生命活动,外界干扰已经超过自身承载能力,系统受到严重污染

3 结果与分析

3.1 生态系统健康评价指标计算

基于安徽省时间序列土地利用数据,计算出 1980—2015 年安徽省 SHDI,CONTAG 和生境质量指数及县级尺度林/草地覆盖率、平均斑块面积和人类干扰指数,并在对各指标标准化处理的基础上,计算得到安徽省 1980—2015 年生态系统活力、组织力与弹力(图 2—4)。

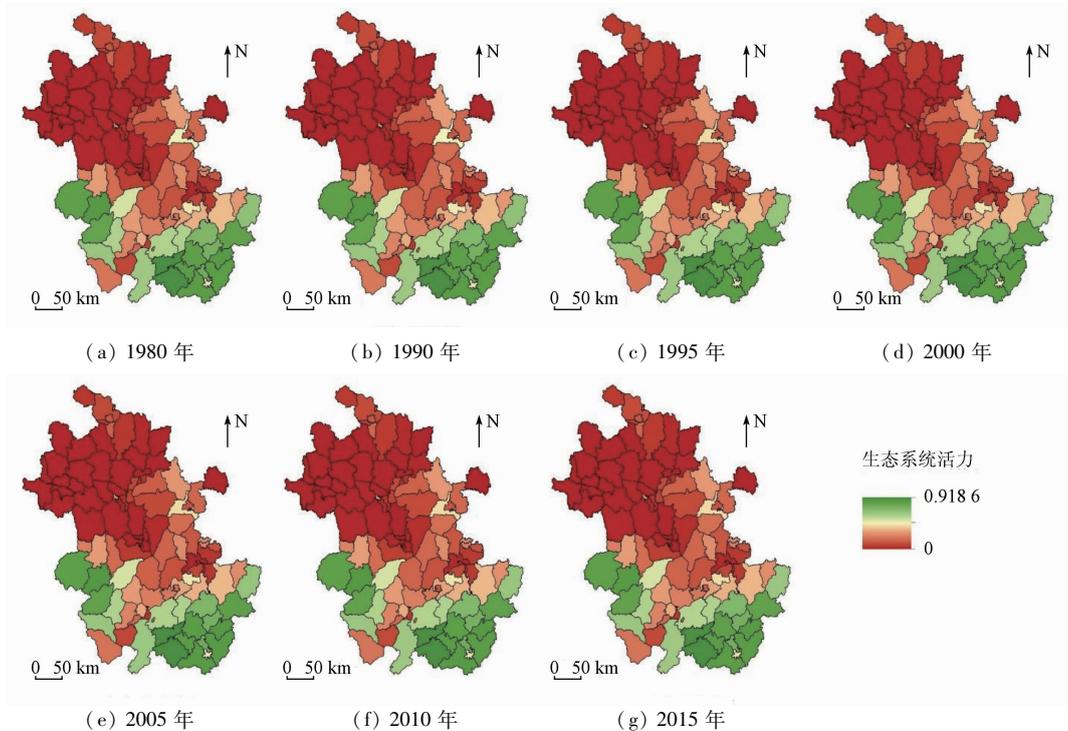


图 2 生态系统活力空间分布

Fig.2 Spatial distribution of ecosystem vitality

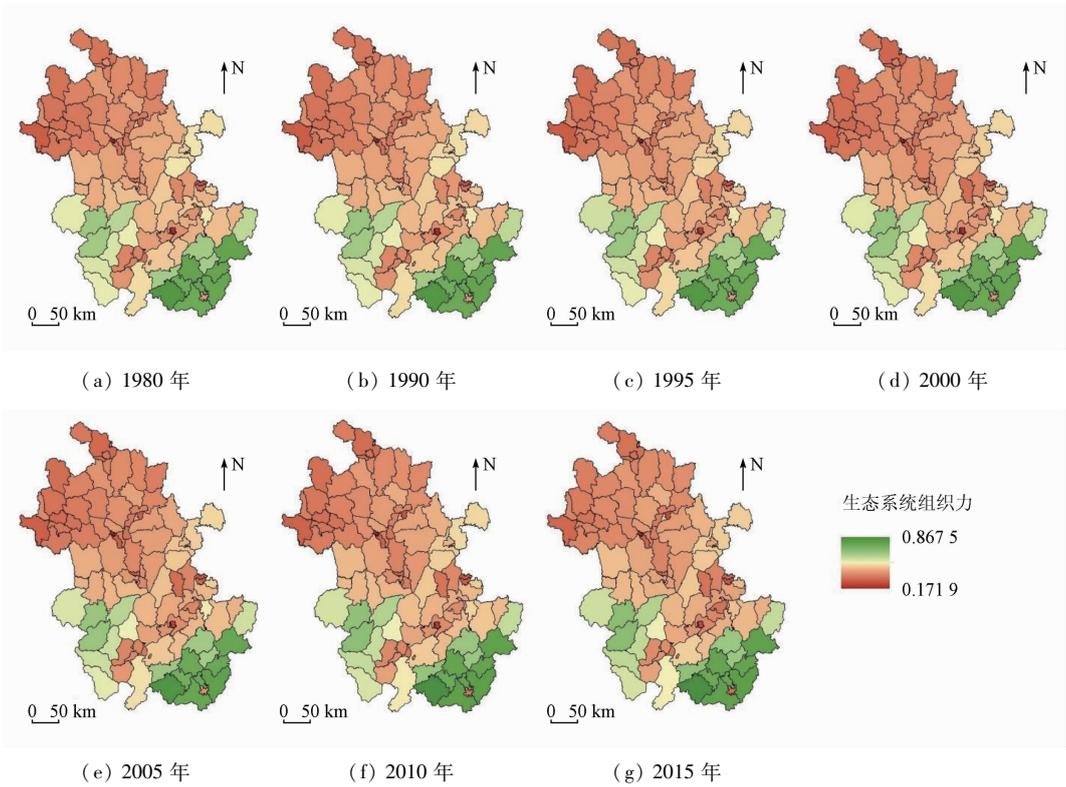


图3 生态系统组织力空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of ecosystem organization forces

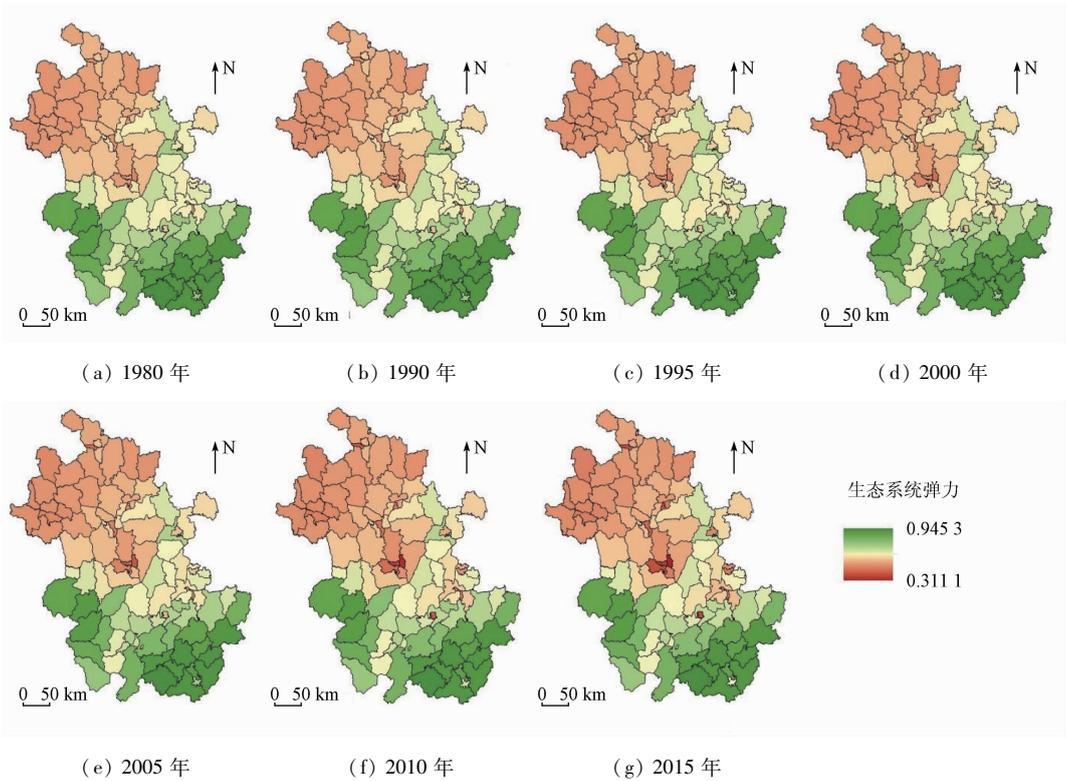


图4 生态系统弹性空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of ecosystem resilience

生态系统活力可以反映出系统循环与能量输入效率^[26]。由图2可以看出,1980—2015年黄山市整体生态系统活力水平最高,亳州市、阜阳市整体生态系统活力水平最低。从空间分布来看,安徽省生态

系统活力水平较高的区域集中在皖南丘陵山地区和皖西丘陵山地区,而淮河平原区和江淮丘陵区生态系统活力较低,沿江平原区活力居中,空间差异明显。这种差异主要是由于地貌类型差异造成的,生

态系统活力水平较高的区域对应山区,其林地和草地覆盖率高,这 2 种地类不易受人类活动干扰、有利于生态系统的物质循环,具有较高的生态活力;而生态系统活力水平较低的区域对应平原区,土地类型以耕地为主,其生物多样性较低、易受人类活动而造成生态系统不同程度的破坏,因此生态系统活力水平较低。

生态系统组织力可以反映出系统复杂程度,系统越复杂,其组织结构与功能越复杂,其生态系统健康水平越高。由图 3 可以看出,在空间分布方面,安徽省北部地区生态系统组织力水平整体低于安徽省南部地区。这种差异主要是由于安徽北部耕地和建设用地面积比例要远大于安徽南部,而在生态系统组织力的指标构成中,人类干扰指数权重最大,也即耕地和建设用地比例越大,人类干扰指数越大,生态系统组织力越弱。其中,淮南市八公山区生态系统组织力水平最低,其平均值约为 0.18;黄山市祁门县生态系统组织力水平最高,其平均值约为 0.84。

生态系统弹力可以反映出受到外界干扰的抵抗力和自我恢复能力。由图 4 可以看出,在空间分布方面,安徽省生态系统弹力变化存在较明显的南北差异。安徽省北部地区生态系统弹力整体处于较低水平,南部地区尤其是长江以南区域生态系统弹力水平较高,且状态较为稳定。主要原因是安徽省南方地区植被覆盖度高、生物多样性较高、抵抗人类活动干扰的能力较强,且生态系统稳定性强,很少发生大规模自然灾害,因此其生态系统弹力较强;而安徽省北部地区耕地分布广泛,且耕地流失严重,因此生态系统弹力健康水平较低。

3.2 生态系统健康时空特征分析

3.2.1 空间格局特征分析

基于生态系统活力、组织力、弹力指标,和熵权法确定的指标权重(表 2),计算 1980—2015 年生态系统健康综合指数与多年平均健康综合指数,并划分等级得到安徽省 1980—2015 年生态系统健康等级与多年平均健康等级(图 5)。

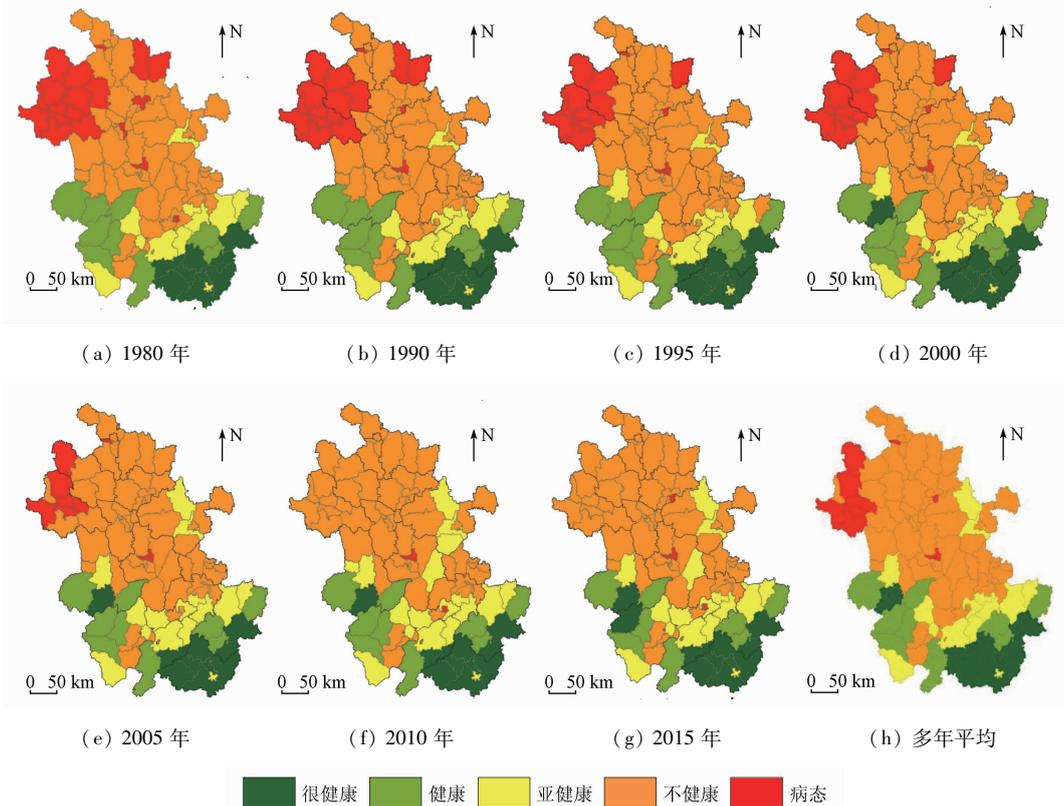


图 5 安徽省 1980—2015 年生态系统健康等级与多年平均健康等级空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution of ecosystem health grades and multi-year average health grades in Anhui Province from 1980 to 2015

由图 5 可见,安徽省生态系统多年平均健康综合指数与多年平均健康等级空间分布整体呈现南高北低格局,且均与地貌类型有较强关联。健康和很健康等级的区县全部集中分布于皖西丘陵山地区和皖南丘陵山地区 2 类区域,亚健康等级区县也主要

分布于这 2 类地貌类型区的边缘区县,且该 2 类地貌类型区无不健康和病态等级的区县分布。其他地貌类型区则以不健康等级和病态健康等级的区县为主。其中,不健康等级区县连片分布于淮河平原区、江淮丘陵区以及沿江平原区;病态等级区县则集中

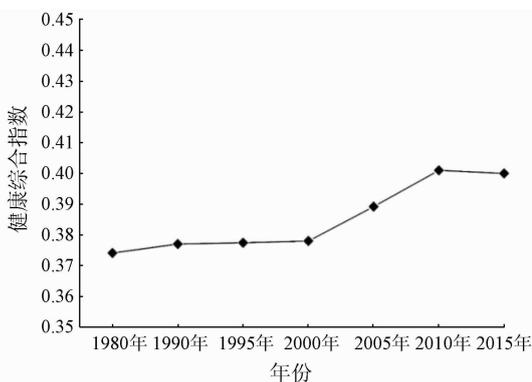
分布于地处淮河平原区的阜阳市大部分区县和亳州市谯城区、淮北市相山区、蚌埠市龙子湖区,以及江淮丘陵区的合肥市庐阳区和瑶海区。此外,六安市因地处淮河平原区、江淮丘陵区、皖西丘陵山地区等多种地貌区,其所辖区县同时存在很健康、健康、亚健康、不健康 4 种不同健康等级,其中霍邱县耕地分布广泛,人类干扰指数约 0.89、林/草地覆盖率约 0.73%,MPS 归一化值约 0.35,SHDI 值约 0.50,CONTAG 值约 63.98,表明霍邱县的植被覆盖度低,耕地聚集度较高、连通性较强,易受人类活动的影响,生态系统组织结构不稳定,进而导致其生态系统健康水平较低;而金寨县、霍山县海拔较高多山地丘陵,耕地分布较少,林/草地覆盖率 80% 以上,人类干扰指数均小于 0.2,高覆盖度的林地使得该地区生物种类丰富、生物多样性增大,故其生态系统结构稳定、生态系统健康水平高。

2015 年,在全省 104 个县级行政区中,很健康、健康、亚健康、不健康和病态各等级的区县数量分别为 11 个、8 个、16 个、65 个和 4 个,数量占比分别为 10.58%、7.69%、15.38%、62.50% 和 3.85%,面积占比分别为 13.46%、12.89%、16.83%、56.37% 和 0.46%。无论是区县数量还是面积,均以不健康等级为主,亚健康等级次之。其中,合肥市庐阳区生态系统健康综合指数最低,约 0.17,主要是由于庐阳区以人类活动为主,人类干扰指数约 0.87,SHDI 值约 0.67,CONTAG 值约 56.65,平均斑块面积归一化值约 0.18,表明该地区人类活动影响强度大,生物

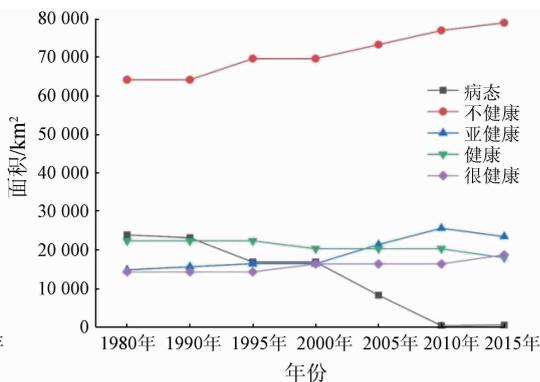
多样性较低,生态系统组织结构不稳定,景观破碎化程度深,进而生态系统健康水平较低。黄山市祁门县生态系统健康水平最高,达到 0.92,是由于其人类干扰指数小于 0.1,SHDI 平均值约 0.48,CONTAG 值约 69.11,林/草地覆盖率大于 90%,生境质量指数约 0.94,表明该地区植被覆盖度高,生境质量水平高,优势地类即林/草地的聚集度高,且不易受人类活动干扰,故生态系统健康水平较高。

3.2.2 时间演变特征分析

基于图 5 统计各时期安徽省不同健康等级的面积,得到安徽省 1980—2015 年生态系统健康各等级面积变化图(图 6)。由图 6(a)可以看出,1980—2015 年安徽省平均生态系统健康综合指数由 0.37 提升至 0.40,使得安徽省整体的平均健康等级由不健康提升至亚健康。其中,阜阳市临泉县、阜南县和亳州市利辛县的生态系统健康综合指数提升最大,均提升了 0.07,增幅分别为 47.94%、43.69% 和 41.57%。尽管整体平均的健康综合指数有所提升,但依然有蚌埠市龙子湖区,滁州市琅琊区、南谯区,合肥市包河区、庐阳区,黄山市徽州区、屯溪区,马鞍山市雨山区,铜陵市铜官区,芜湖市繁昌区、鸠江区、弋江区,以及宣城市广德市等 13 个区县的健康综合指数下降,表明这些区域的生态系统健康水平不稳定,健康等级有下降风险。其中,综合指数下降最多的区县分别为黄山市屯溪区下降 0.06,马鞍山市雨山区下降 0.04,芜湖市繁昌区下降 0.03。



(a) 安徽省平均健康综合指数变化



(b) 安徽省各健康等级面积变化

图 6 安徽省 1980—2015 年生态系统平均健康综合指数与健康等级面积变化图

Fig. 6 Changes in the average ecosystem health integrated index and the area of health grade in Anhui Province, 1980—2015

结合图 5 和图 6(b)可以看出,1980—2015 年安徽省生态系统各健康等级的面积发生了不同程度的变化,整体表现为安徽省生态系统健康等级逐渐提升。经统计,共 24 个区县健康等级上升,无区县健康等级下降。生态系统病态等级转化为不健康等级

的区县数为 17 个,转化面积高达 23 367.85 km²,安徽淮河平原区基本实现病态等级区县清零,仅剩蚌埠市龙子湖区尚为病态等级。其中,阜阳市、亳州市健康等级实现整体提升,由 1980 年的全域病态等级提升为 2015 年的全域不健康等级;淮北市相山区、

蚌埠市淮上区、淮南市田家庵区及宿州市灵璧县、泗县也由病态等级提升至不健康等级。不健康等级转化为亚健康等级的区县数为5个,分别为滁州市明光县、六安市裕安区、合肥市巢湖市及铜陵市枞阳县和义安区,转化面积达8 624.73 km²。无亚健康等级区县转为健康等级。健康等级转化为很健康等级的区县数为2个,分别为六安市霍山县和安庆市岳西县,转化面积为4 410.82 km²。

4 结论与讨论

本文基于安徽省1980—2015年时间序列土地利用类型数据,根据“活力—组织力—弹力”(VOR)模型构建安徽省生态系统健康评价体系,分析安徽省生态系统健康时空演变特征,结论如下:

1)在空间格局方面,安徽省不健康等级区县最多,亚健康等级区县次之,面积占比分别为56.37%和16.83%;安徽省生态系统多年平均健康综合指数与多年平均健康等级空间分布整体呈现南高北低格局,且均与地貌类型有较强关联。安徽省皖南丘陵山地区和皖西丘陵山地区2个地貌区整体健康水平始终优于其他地区,健康和很健康等级区域集中分布于这2个区域,亚健康等级区县也主要分布于这2个地貌区边缘。黄山市祁门县生态系统健康综合指数高达0.92,为县级最高生态系统健康水平。病态等级区县集中分布于淮河平原区的阜阳市大部分区县和亳州市谯城区、淮北市相山区、蚌埠市龙子湖区,以及江淮丘陵区的合肥市庐阳区和瑶海区,其中合肥市庐阳区生态系统健康综合指数约0.17,为县级最低生态系统健康水平。

2)在时间演化方面,1980—2015年安徽省整体的生态系统健康等级逐渐提升,共24个区县健康等级上升,无区县健康等级下降;全省平均生态系统健康综合指数由0.37提升至0.40,使得全省整体平均健康等级由不健康提升至亚健康。其中,阜阳市、亳州市实现了由全域病态等级到全域不健康等级的整体提升,阜阳市临泉县、阜南县和亳州市利辛县生态系统健康综合指数提升最大。但依然还有13个区县的健康综合指数下降,下降最多的区县分别为黄山市屯溪区、马鞍山市雨山区和芜湖市繁昌区,表明这些区域的生态系统健康水平不稳定,健康等级有下降风险。

本文在县级尺度开展了安徽省时间序列生态系统健康时空演变分析。结论认为安徽省生态系统健康综合逐渐提高,但部分地区依然存在健康等级下降风险,且目前安徽省整体以不健康等级的区县为主。

因此,应在重点关注部分区县健康综合指数下降的前提下,逐步提升不健康等级区域的生态系统活力、组织力和弹力,进而提升安徽省生态系统整体健康水平的。研究结论对安徽省制定合理的土地利用政策、保护治理生态环境、优化生态系统服务功能等具有一定参考价值。

参考文献(References):

- [1] 王同达,曹锦雪,赵永华,等.基于PSR模型的陕西省土地生态系统健康评价[J].应用生态学报,2021,32(5):1563-1572.
Wang T D, Cao J X, Zhao Y H, et al. Evaluation of land ecosystem health in Shaanxi Province, Northwest China based on PSR Model [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(5): 1563-1572.
- [2] 陈利顶,孙然好,刘海莲.城市景观格局演变的生态环境效应研究进展[J].生态学报,2013,33(4):1042-1050.
Chen L D, Sun R H, Liu H L. Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: Progresses, problems, and perspectives [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1042-1050.
- [3] 姚焱中,李诗婷,苏美蓉,等.区县生态系统健康评价方法——以东莞市各镇区为例[J].生态学报,2021,41(15):5998-6011.
Yao Y Z, Li S T, Su M R, et al. County ecosystem health assessment: A case study of 32 counties in Dongguan City, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(15): 5998-6011.
- [4] Leopole A. Wilderness as a land laboratory [J]. Living Wilderness, 1941, 6(2): 3.
- [5] Schaeffer D J, Herricks E E, Kerster H W. Ecosystem health: I. measuring ecosystem health [J]. Environmental Management, 1988, 12(4): 445-455.
- [6] Rapport D J. What constitutes ecosystem health? [J]. Perspectives in Biology and Medicine, 1989, 33(1): 120-132.
- [7] Rapport D J, Costanza R, McMichael A J. Assessing ecosystem health [J]. Trends in Ecology & Evolution, 1998, 13(10): 397-402.
- [8] Das M, Das A, Mandal A. Research note: Ecosystem Health (EH) assessment of a rapidly urbanizing metropolitan city region of eastern India: A study on Kolkata Metropolitan area [J]. Landscape and Urban Planning, 2020, 204: 103938.
- [9] Xu W, He M, Meng W, et al. Temporal-spatial change of China's coastal ecosystems health and driving factors analysis [J]. Science of the Total Environment, 2022, 845: 157319.
- [10] 俞鸿千,蒋齐,王占军,等.VOR、CVOR指数在宁夏干旱风沙区荒漠草原健康评价中的应用——以盐池县为例[J].草地学报,2018,26(3):584-590.
Yu H Q, Jiang Q, Wang Z J, et al. Application of VOR and CVOR index for health assessment of desert steppe in ningxia: Taking Yanchi County for example [J]. Acta Agrestia Sinica, 2018, 26(3): 584-590.
- [11] Boori M S, Choudhary K, Paringer R, et al. Ecosystem health assessment based on pressure state response framework using remote sensing and geographical information system [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 767(1): 012038.

- [12] Das S, Pradhan B, Shit P K, et al. Assessment of wetland ecosystem health using the pressure – state – response (PSR) model: A case study of mursidabad district of West Bengal (india) [J]. Sustainability, 2020, 12(15): 5932.
- [13] 徐 烨, 杨 帆, 颜昌宙. 基于景观格局分析的雄安城市湿地生态健康评价[J]. 生态学报, 2020, 40(20): 7132 – 7142.
Xu Y, Yang F, Yan C Z. Ecological health assessment of urban wetland in Xiong'an based on landscape pattern [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(20): 7132 – 7142.
- [14] Wu C, Chen W. Indicator system construction and health assessment of wetland ecosystem: Taking Hongze Lake Wetland, China as an example [J]. Ecological Indicators, 2020, 112: 106164.
- [15] 张 渊. 基于VOR模型的滇池流域生态系统健康多尺度评价研究[D]. 昆明: 云南财经大学, 2020.
Zhang Y. Multi-scale assessment of ecosystem health in Dianchi Lake basin based on VOR model [D]. Kunming: Yunnan University of Finance and Economics, 2020.
- [16] 秦 奋. 安徽省土地利用数据(1980、1990、1995、2000、2005、2010、2015年) [EB/OL]. 国家科技基础条件平台 – 国家地球系统科学数据中心 – 地理资源分中心, 2019. <http://gre.geodata.cn>.
Qin F. Land use data of Anhui Province (1980—2015), National Science and Technology Resources Sharing Service Platform – National Earth System Science Data Center – Middle and Lower Yellow River Sub – Center, 2019.
- [17] 刘智方, 唐立娜, 邱全毅, 等. 基于土地利用变化的福建省生境质量时空变化研究 [J]. 生态学报, 2017, 37(13): 4538 – 4548.
Liu Z F, Tang L N, Qiu Q Y, et al. Temporal and spatial changes in habitat quality based on land – use change in Fujian Province [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(13): 4538 – 4548.
- [18] 邓楚雄, 郭方圆, 黄栋良, 等. 基于INVEST模型的洞庭湖区土地利用景观格局对生境质量的影响研究 [J]. 生态科学, 2021, 40(2): 99 – 109.
Deng C X, Guo F Y, Huang D L, et al. Research on the impact of land use and landscape pattern on habitat quality in Dongting Lake area based on INVEST model [J]. Ecological Science, 2021, 40(2): 99 – 109.
- [19] 吴健生, 毛家颖, 林 倩, 等. 基于生境质量的城市增长边界研究——以长三角地区为例 [J]. 地理科学, 2017, 37(1): 28 – 36.
Wu J S, Mao J Y, Lin Q, et al. Urban growth boundary based on the evaluation of habitat quality: Taking the Yangtze River Delta as an example [J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(1): 28 – 36.
- [20] 戴云哲, 李江凤, 杨建新. 长沙都市区生境质量对城市扩张的时空响应 [J]. 地理科学进展, 2018, 37(10): 1340 – 1351.
Dai Y Z, Li J F, Yang J X. Spatiotemporal responses of habitat quality to urban sprawl in the Changsha metropolitan area [J]. Progress in Geography, 2018, 37(10): 1340 – 1351.
- [21] 吴 楠, 陈红枫, 冯朝阳, 等. 基于土地覆被变化的安徽省生境质量时空演变特征 [J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(5): 1119 – 1127.
Wu N, Chen H F, Feng C Y, et al. Spatio – temporal evolution characteristics of habitat quality based on land cover change in Anhui Province [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(5): 1119 – 1127.
- [22] Tallis H, Ricketts T, Guerry A, et al. InVEST 3.9.0 user's guide: Integrated valuation of environmental services and tradeoffs [EB/OL]. 2019.
- [23] 崔馨月, 方 雷, 王祥荣, 等. 基于DPSIR模型的长三角城市群生态安全评价研究 [J]. 生态学报, 2021, 41(1): 302 – 319.
Cui X Y, Fang L, Wang X R, et al. Urban eco – security assessment in the urban agglomerations based on DPSIR model: A case study of Yangtze River Delta, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(1): 302 – 319.
- [24] 陆丽珍, 詹远增, 叶艳妹, 等. 基于土地利用空间格局的区域生态系统健康评价——以舟山岛为例 [J]. 生态学报, 2010, 30(1): 245 – 252.
Lu L Z, Zhan Y Z, Ye Y M, et al. Regional ecosystem health assessment based on land use pattern: A case of study of Zhoushan Island [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(1): 245 – 252.
- [25] 彭 建, 王仰麟, 吴健生, 等. 区域生态系统健康评价——研究方法进展 [J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4877 – 4885.
Peng J, Wang Y L, Wu J S, et al. Evaluation for regional ecosystem health: Methodology and research progress [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4877 – 4885.
- [26] 李佳豪, 罗 洁, 徐 勇, 等. 基于VOR模型的广西2014与2019年生态健康时空变化特征研究 [J]. 无线电工程, 2021, 51(10): 1134 – 1141.
Li J H, Luo J, Xu Y, et al. Research on the spatiotemporal characteristics of ecological health in Guangxi in 2014 and 2019 based on VOR model [J]. Radio Engineering, 2021, 51(10): 1134 – 1141.

Spatio – temporal evolution of ecosystem health in Anhui Province from 1980 to 2015

WANG Zuo^{1,2}, WANG Meng^{1,2}, WANG Changchang^{1,2}, LI Hu^{1,2}, ZHANG Yun^{1,2}

(1. School of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241002, China; 2. Engineering Technology Research Center of Resources Environment and GIS, Anhui Normal University, Wuhu 241002, China)

Abstract: To explore the ecosystem health of Anhui Province in the context of modern urbanization, this study established an ecosystem health evaluation system for Anhui Province based on time – series land use type data using the vigour – organization – resilience (VOR) model. Then, this study defined the weights of indicators in the

evaluation system using the entropy weight method and evaluated the ecosystem health of Anhui Province and its spatio-temporal evolution over the period from 1980 to 2015 on the county scale. The results show that: ① Anhui Province was dominated by counties with an unhealthy ecosystem, followed by counties with a subhealthy ecosystem, both of which accounted for 56.37% and 16.83%, respectively. Spatially, the comprehensive average multiyear health index and average multiyear health grade of Anhui Province's ecosystem were higher in the south and lower in the north, strongly correlating with the landform type. Areas with Healthy and very healthy ecosystems were mostly distributed in the hilly and mountainous areas in the southern and western parts of the province. In contrast, areas with an unhealthy ecosystem were contiguously distributed in the Huai River Plain, the Jianghuai hilly area, and the plain area along the Yangtze River. Among, Qimen County, Huangshan City exhibited the highest comprehensive ecosystem health index of 0.92, and Luyang District of Hefei City displayed the lowest comprehensive ecosystem health index of about 0.17; ② The overall ecosystem of Anhui Province showed a healthy trend from 1980 to 2015. With 24 counties exhibiting increasing health grades and no counties displaying decreasing health grades, the average provincial health grade increased from unhealthy to subhealthy grades. Nevertheless, 13 counties exhibited decreasing comprehensive health index values, indicating unstable ecosystem health levels and risks of decreasing health grades. The findings of the study can, to some extent, provide a reference for Anhui Province to formulate reasonable land use policies, protect and manage the eco-environment, and optimize ecosystem service functions.

Keywords: temporal and spatial evolution; ecosystem; health assessment; Anhui Province

(责任编辑: 张仙)