

三峡库区秭归县农业生态系统退化综合评价^{*}

章家恩¹ 徐 琪²

(1 华南 农业 大学 热带 亚热带 生态 研究所, 广 州, 510642; 2 中国 科学 院南 京土 壤研 究所)

摘要 建立了农业生态系统退化评价指标体系, 包括单调性指数、非均衡指数、系统非稳定指数、非持续性指数、生产力阻滞指数、系统封闭性指数、土壤养分退化指数、系统钝化指数等 8 个指标. 运用这些指标对三峡库区秭归县 16 个乡镇农业生态系统进行了评价.

关键词 农业生态系统; 生态退化; 评价指标; 三峡库区
 中图分类号 Q147

三峡库区是一个典型的农业地区, 农业发展的好坏将直接影响到三峡库区的可持续发展
 和稳定. 由于自然、经济、文化和人类的强度利用, 本区的农业生态系统已出现了不同程度的退
 化. 作者选取秭归县为研究区域, 对农业生态系统进行综合评价, 为探索库区农业可持续发展的
 途径和道路提供依据和指导.

1 农业生态系统退化指标体系的建立

农业生态系统是一种在人类调控作用下的生态系统, 它和外界环境之间不断进行着物质
 流、能量流、信息流和价值流的传输和交换. 农业生态系统是一个由种植业子系统、牧业子系
 统、林业子系统和养殖业子系统、渔业子系统、副业子系统等几部分组成的复合生态系统.

所谓农业生态系统退化就是指农业内部结构不协调, 农业的功能水平低, 农业环境恶化而
 呈现的一种状态或结果. 农业生态系统退化的主要诊断特征为: 农业内部产业结构失调, 农业
 生产力下降, 系统稳定性和抗逆能力减弱等方面. 要评价一个农业生态系统的优劣, 首先必须
 建立其评价指标体系, 并对每一个指标进行数量化, 且确定其相应的评价标准. 为了评价的方
 便和易操作性, 这里选用的指标主要包括农业生态系统的结构指标、功能指标和效益指标三个
 方面(图 1). 这些指标基本上反映了农业生态系统的状态属性及其动态特征.

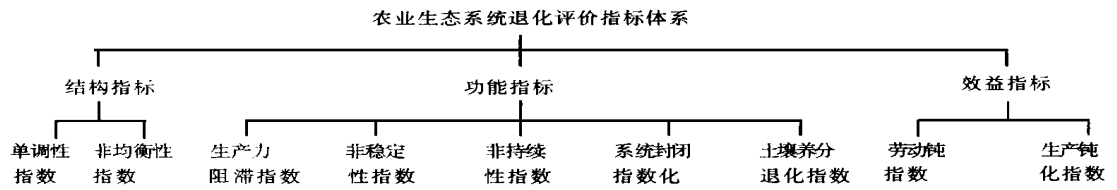


图 1 秭归县农业生态系统退化评价指标体系

1998-02-25 收稿 章家恩, 男, 30 岁, 博士 后

1.1 单调性指数

在讨论单调性指数之前, 首先谈谈多样性指数. 多样性是描述生态系统结构的一个度量指标. 农业生态系统多样性包括农业产业结构、功能多样性和种植业内部结构和功能的多样性, 同时还包括农作物类型和作物遗传种质资源的多样性. 这里主要谈谈农业生态系统的结构多样性. 农业生态系统多样性多采用香农-威纳多样性指数(骆世明, 1996), 即:

$$D = -P_i \log P_i.$$

式中 D 为多样性指数, P_i 为农林牧副渔各部门产值占农业总产值的比重或农作物种植面积、产量或产值在种植业内部的构成比例.

与多样性相反, 系统单调性指数则是用以刻划农业生态系统的单调程度. 系统单调性指数越大, 农业生态系统的结构就越单一, 部门比例失调, 功能也就越低效, 最终必然影响生态系统的稳定性. 它通常用下式计算而得: $S = D_{\max} - D$, $D_{\max} = \log N$.

上式中, S 为单调性指数, $D_{\max}$ 为最大多样性指数, N 为农业生态系统中被考察对象的类型数. D 为实际的多样性指数.

根据上式, 作者计算了秭归县不同乡镇的种植业作物面积多样性指数、产量多样性指数及产值多样性指数, 同时还计算了农林牧副渔产值多样性指数. 结果发现, 作物面积多样性指数、产量多样性及产值多样性指数三者大体上具有类似的变化规律, 但也有出现例外的情况. 这说明作物种植类型具有高的多样性, 并不能完全保证其产量和产值也同样保持较高的多样性, 这主要受不同作物生产力和价格因素的影响而致. 因此, 在讨论农业生态系统的总体多样性时, 可将上述各种多样性指数求和而获得多样性指数总值 D_i , 这样就可较为全面地反映农业生态系统的总体多样性特征; 同理, 在讨论系统单调性指数时, 可将上述各种单调性指数求和而获得系统单调性总值 S_i , 以表征系统总的单调性. 具体计算方法如下.

$$D_i = D_1 + D_2 + D_3 + D_4,$$

$$S_i = (\log N_1 - D_1) + (\log N_2 - D_2) + (\log N_3 - D_3) + (\log N_4 - D_4).$$

式中 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 分别为种植业面积多样性指数、产量多样性指数、产值多样性指数和农林牧副渔产值多样性指数; N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 分别为相应的被考察对象的类型数. 本文中 $N_1 = 5$, $N_2 = 6$, $N_3 = N_4 = 10$.

1.2 非均衡性指数

这里采用非均衡性指数来表征退化生态系统生产力空间分布的不均和紊乱状况. 非均衡性指数愈大, 生产力分布越不均匀. 非均衡性指数通常以变异系数来表示之, 如下式:

$$E = CV = SD/Y.$$

式中, E 为非均衡性指数, CV 为变异系数, Y 为生产方面的数据平均值, SD 为标准差.

由于本文评价的是乡镇级农业生态系统, 有关村级农业生产方面的数据资料很难取得. 因此暂没考虑这个指标.

1.3 系统非持续性指数

首先来谈谈生态系统持续性这个概念. 持续性是指在一段时间内生产率变动的总趋势, 它可以不变、上升或下降. 它反映的是生态系统的时间与动态特性. 持续性指数可采用多个年份生产率直线回归方程中的斜率 K 来表示持续性(袁从 等, 1994).

$$Y_t = Y_0 + K \cdot n,$$

式中, Y 为统计期间某一年的生产率, K 为持续性, n 为统计期间的第几年.

当 $K > 0$ 时, 表明生产率持续增长, 当 $K < 0$ 时, 生产率持续下降; $K = 0$ 时, 生产力无增长. K 值越大, 表明生产率在某一期间的增长趋势越明显. K 值实际上是统计期间的生产率平均年递增率与该期间生产率平均值的比值.

非持续性指数 U 则可根据持续性指数作如下的定义, 即: $U = (100 - K) / 100$.

1.4 非稳定性指数

系统稳定性是系统受到外界干扰或冲击时, 保持一定生产力水平的程度, 它说明了系统生产量的可靠性和恒定性, 也是系统自我调节、自我组织和自我适应等特性的集中反映. 稳定性包括农业生态系统的结构稳定性和生产力稳定性.

结构稳定性是指农业生态系统的产业结构及种植业内部在一定时间段内保持相对稳定的程度. 它可用农业生态系统的多样性指数的年变率来表示.

生产力稳定性是指在生产力持续变动总趋势下, 年际间受正常小范围的气候等环境因素及经济—技术条件变动的影响而保持相对稳定的程度. 生产力稳定性指数可用上述直线方程的相关系数 r 来表示(袁从 等, 1994). r 越大, 表明生产率的变化趋势与年份相关程度越高, 说明该期间生产率是稳步持续上升或持续下降的, 其年际波动较小.

与稳定性相反, 非稳定性指数 T 则作如下定义: $T = 1 / r$.

非稳定性指数是退化生态系统稳定性与不稳定性的一个度量指标. 非稳定性指数越大, 说明生态系统越不稳定.

1.5 生产力阻滞指数

生产力阻滞指数反映的是农业生态系统现实生产力与研究区域的理论生产力相比较的实现程度. 生产力阻滞指数越大, 生产力的实现程度越低, 同时说明现状生产力水平较低. 由于不同的地域具有不同的生态环境条件, 因而在理论上也就具有不同的生产潜势, 所以作者取各地的光温水生产力潜力作为理论上限标准, 这样就可消除地域差异性, 使评价具有可比性和客观性. 生产力阻滞指数可用下式求得:

生产力阻滞指数 = 作物生产潜力 / 现状综合生产力 $\times 100\%$.

式中, 作物生产潜力是指在品种适宜, 肥料供应充足等情况下, 当地气候资源(光、热、水)的生产潜力. 目前国内外计算作物潜力的模型很多, 且多数计算复杂, 资料不易取得, 这里, 采用修订的 H. 里思估算式来计算生产潜力(中国科学院黄土高原综合科学考察队, 1992):

$$y_1 = \{2000 \div [1 + \exp(1.315 - 0.119t)]\} \times 10.5,$$

$$y_2 = \{2000 \times [1 - \exp(-0.000664R)]\} \times 10.5.$$

式中, y_1 为温度生产潜势; y_2 为水分生产潜势, 单位为 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, t 为年平均温度($^{\circ}\text{C}$), R 为年平均降雨量(mm). 无灌溉条件采用 y_2 计算, 有灌溉条件者用 y_1 计算, 两者均有者, 按比例加权平均.

从上面的公式可以看出, 生产力阻滞指数与现状综合生产力呈反相关, 即综合生产力越大, 阻滞指数越小, 说明系统具有较高的生产力和实现程度.

在现状生产力的确立方面, 作者不是单用粮食作物产量, 而是采用综合生产力指标, 这样可以较全面地反映研究区作物生产力的实际及平均状况. 综合生产力是将研究区几种主要作物的生产力按其种植面积加权求和取得, 即可通过下列公式计算而得:

$$P = P_1 C_1 + P_2 C_2 + \dots + P_m C_m \quad (m = 1, 2, \dots, 5),$$

式中, P 为现状综合生产力, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 分别为粮食、油料、蔬菜、茶叶、水果的生产力, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 分别为它们的种植比例.

1.6 土壤养分退化综合指数

土壤退化是农业生态系统退化的一个重要标志.在讨论土壤养分退化综合指数之前,作者引入“退化距离”这个概念.所谓退化距离(DD_i)是指表征土壤退化的某一指针的数量值离其相应的正常值(或未退化值)的距离.它可用下式表示:

$$DD_i = D_o - D_i,$$

式中, D_i 为某一退化指针的数量值, D_o 为该指针的正常值.

当 $DD_i \leq 0$ 时,表明土壤在该退化指针方向无退化;当 $DD_i > 0$ 时,表明土壤在该方向上发生退化, DD_i 越大,说明该指针距离正常值越远,表明土壤在该方向上退化的越强烈.

上式中的 DD_i 为绝对退化距离,由于不同的指针存在量纲和数量级的不同,因此,为了便于比较和综合,引入“相对退化距离”的概念,表示如下:

$$DDR_i = |D_o - D_i| / D_o = 1 - D_i / D_o.$$

对生态效应呈正态分布的退化指针(如 pH 值、粉粘比等),其绝对退化距离和相对退化距离则采用下述公式计算:

$$DD_i = |D_o - D_i|,$$

$$DDR_i = |D_o - D_i| / D_o = |1 - D_i / D_o|.$$

所谓土壤退化综合指数(S_d)是指退化土壤在不同退化指针所在方向上的总体平均状况.可将每一个退化指针看成为一个退化向量,由于每一种土壤养分的具有不可替代性,即它们具有相对独立性,因此可利用乘法法则对退化指针进行综合.具体做法是对各退化指针的相对退化距离取几何平均数来获得土壤退化综合指数,表示如下.

$$S_d = \sqrt[n]{\prod (DDR_i)},$$

式中 $\prod$ 为连乘符号, n 为土壤退化指针个数, DDR_i 为相应退化指针的相对退化距离.

1.7 系统封闭性指数

系统封闭性指数是用以刻划区域农业生态系统与外界或其它系统之间的物质、能量、信息交流的程度.一般而言,系统封闭性指数越大,系统与外界的交流越少,系统开放程度越低,生态系统的更新能力差.通常在一些贫困山区,长期处于封闭半封闭的自给自足的状态,商品交换率很低,农业生态经济发展水平十分低下.

系统封闭性指数可用下式表示:系统封闭性指数=农业总收入/年出售商品收入 $\times 100\%$.

1.8 系统钝化指数

上述几个指标大多是用以刻划农业生态系统的状态属性和自然属性.这里,尚需从物质能量转化及效益的角度对农业生态系统加以描述,因为农业生态系统不仅是一个自然系统,而且也是一个受人类社会经济和技术影响较大的系统,因此,仅从系统生产力、稳定性、多样性等方面不能全面地反映农业生态系统的物质、能量和价值流动特征.例如,对于一个具有较高生产力和稳定性的农业生态系统,不能完全断定该系统是否是良性生态系统,因为其高的生产力和稳定性也可能是通过高投入来维持的,所以,这样的生态系统,显然就不能称之为良性生态系统.

用以测度退化农业生态系统效益转化的指标:包括劳动力钝化指数和农业生产钝化指数.其中,劳动钝化指数是指单位纯收入所耗费的劳动力数量,它一方面反映农业生态系统自身的生产力水平,同时也可反映农业劳动力的价值和人力资源的合理利用程度.农业生产钝化指数是指生产单位产值产品所耗费资金或成本,系统钝化指数越大,表明农业生态系统的物质、能

量和价值的转化效率低,系统显得较为“迟钝”;相反,系统钝化指数越小,系统越灵敏,转化效率越高.系统钝化指数的计算公式如下.

劳动力钝化指数=农业劳动力/农业生产纯收入×100%,

农业生产钝化指数=农业成本/农业产出总价值×100%.

2 农业生态系统退化的综合评价

按照上述各参评指标定义,根据秭归县国民经济和社会发展统计资料(1949~1994年)和秭归县土壤志及实验资料,分别计算了该县不同乡镇农业生态系统的单调性指数、生产力阻滞指数、非持续性指数、非稳定性指数、系统钝化指数、系统封闭指数和土壤退化指数,其结果列于表1.

表 1 不同农业生态系统退化参评指标值

乡镇名称	单调性指数	生产力阻滞指数	非持续性指数	非稳定指数	系统钝化指数	系统封闭性指数	土壤退化指数
归州	1.35	1.3	0.91	2.8	0.32	2.0	0.47
香溪	1.58	1.7	0.93	1.9	0.42	2.2	0.39
屈原	1.41	2.9	0.92	1.4	0.36	3.3	0.26
新滩	1.58	3.4	0.93	1.3	0.56	1.8	0.30
水田坝	1.21	2.9	0.92	2.4	0.39	3.1	0.26
泄滩	1.16	4.5	0.94	2.2	0.33	4.3	0.40
沙溪镇	1.29	3.9	0.95	2.9	0.41	2.8	0.39
两河口	1.26	3.2	0.91	1.4	0.39	3.1	0.30
梅家河	1.45	3.2	0.97	5.3	0.41	3.5	0.27
磨坪	1.38	3.6	0.90	1.2	0.51	2.1	0.29
郭家坝	1.31	2.9	0.91	2.0	0.34	2.4	0.38
文化	1.35	3.7	0.95	3.5	0.46	2.2	0.46
周坪	1.28	4.0	0.94	1.3	0.42	2.8	0.36
杨林	1.56	4.2	0.85	1.3	0.41	2.4	0.22
芝兰	1.52	4.1	1.02	2.8	0.43	2.8	0.27
茅坪	1.14	3.5	0.96	2.4	0.54	2.8	0.39

表1列出了秭归县16个乡镇农业生态系统退化评价的各个指标值,为了反映农业生态系统退化的总体状况,还需构建农业生态系统退化综合指数 R_i ,即: $R_i = \sum a_j A_{ij}$.

式中, R_i 是第*i*个乡镇农业生态系统退化综合指数, a_j 是第*j*个指标的权重, $0 < a_j \leq 1$. A_{ij} 是第*i*个乡镇的第*j*个指标数量值.

这里,作者采用主成分分析方法的因子载荷矩阵和公因子方差确定各指标权重,计算出了单调性指数、生产力阻滞指数、非持续性指数、非稳定指数、系统钝化指数、系统封闭性指数、土壤退化指数的权重分别为0.11、0.14、0.16、0.15、0.14、0.17、0.13.

根据当地实际调查情况,取农业生态系统退化综合指数 R_i 在1.30~1.40之间为无退化型(I型); R_i 在1.40~1.65之间为轻度退化类(II型); R_i 在1.65~1.90之间为中度退化类(III型); R_i 在1.90以上为强度退化类(IV型).

表 2 秭归县农业生态系统综合评价结果

乡 镇	归州	香溪	屈原	新滩	水田坝	泄滩	沙溪	两河口	梅家河	磨坪	郭家坝	文化	周坪	杨林	芝兰	茅坪
综合退化指数	1.35	1.32	1.56	1.41	1.65	2.06	1.85	1.56	1.94	1.44	1.50	1.84	1.62	1.58	1.89	1.73
退化类型	I	I	II	II	II	IV	III	II	IV	II	II	III	II	II	III	III

根据表 2 的综合评价和聚类分析结果, 可将秭归县农业生态系统分为 4 类, (1)无退化类: 包括归州和香溪两镇, 农业综合退化指数在 1.30~1.40 之间, 该类乡镇自然和社会经济条件优越, 农业结构较好, 投入也较高, 农业生产各项效益均较好. (2)轻度退化类, 其农业退化综合指数在 1.40~1.65 之间, 主要包括屈原、两河口、新滩、水田坝、磨坪、周坪、杨林、郭家坝 8 个乡镇, 这些乡镇土壤退化较轻, 但由于农业结构的不合理, 有的乡镇再加上自然条件(地貌与气候条件等)的限制, 农业生产效率相对较低, 今后的发展方向应是逐步改善农业结构, 加大农业投入, 提高农业生产力. (3)中度退化型, 农业综合退化指数在 1.65~1.90 之间, 主要包括沙溪、芝兰、茅坪、文化 4 个乡镇, 该类由于人口众多, 人类对自然的干扰强度大, 土壤退化较为严重, 而且农业生产受经济的影响和冲击大, 因此, 农业生态系统的持续性和稳定性较差. 该类今后的发展方向应是加强农业管理, 增加农业生产的稳定性和后劲. (4)强度退化型, 其农业综合退化指数在 1.90 以上, 主要包括泄滩和梅家河, 泄滩退化的原因在于人为活动导致的较为严重的土壤退化, 加上农业管理的不善, 生产力水平没能充分发挥出来. 梅家河则由多种条件的共同作用而致, 在 90 年代以来, 梅家河的农业生产力呈递减趋势.

参 考 文 献

中国科学院黄土高原综合科学考察队. 1992. 区域资源开发模型系统. 北京: 中国科学技术出版社, 18~268
骆世明, 彭少麟编著. 1996 农业生态系统分析. 广州: 广东科技出版社, 39~41
袁从 , 赵强基, 郑建初. 1994. 驸马庄复合农业生态系统功能的评价. 生态农业研究, 2(4): 57~65

Synthetic Evaluation of Agroecosystem Degradation in
Zigui County of the Three Gorges Reservoir Area

Zhang Jia'en¹ Xu Qi²

(1 Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agric. Univ., Guangzhou, 510642;
2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences)

Abstract This paper reports the setting up of a series of evaluation indices for degraded agroecosystem which include monotonous index, non-equilibrium index, non-stability index, non-sustainable index, production-resistance index, soil nutrient degradation index, dull index and self-contained index. The assessment of agroecosystem degradation was conducted by using these indices in Zigui County of the Three Gorges Reservoir Area.

Key words agroecosystem; eco-degradation; evaluation index system; the Three Gorges Reservoir Area

【责任编辑 张 砾】