

# 西部地区农业生态系统健康评价

谢花林<sup>1</sup>, 李波<sup>1\*</sup>, 王传胜<sup>2</sup>, 杨波<sup>1</sup>, 张新时<sup>1</sup>

(1. 北京师范大学资源学院, 环境演变与自然灾害重点实验室, 北京 100875; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 农业生态系统健康是农业生态系统的综合特征, 它具有活力、组织结构和恢复力, 是实现生态农业建设目标的重要保障。根据西部地区农业生态系统的特点和农业生态系统健康的内涵, 从活力、组织结构和恢复力 3 方面选取单位面积农业净产值、农民人均纯收入、NPP 利用率、土地人口承载力、系统生产优势度、人口密度、农村劳动者受教育程度、植被覆盖度、水资源供需比、系统稳定性指数、绿色覆盖度、抗灾度、有效灌溉面积率、单位面积耕地化肥农药农膜负荷和农业支出比例等 17 个指标, 构建了西部地区农业生态系统健康的评价指标体系。然后, 应用综合评价法、层次分析法和 GIS 等多种方法与手段, 在区域尺度上对西部地区的 6 个农业生态区进行农业生态系统健康评价。最终得到如下结果: 处在“亚健康”状态的是四川盆地区和广西盆地区; 处在“不健康”状态的是青藏高原区、云贵高原区和黄土高原区; 处在“恶化”状态的是蒙新区。西部地区农业生态系统健康综合评价结果的排名次序为: 广西盆地区 > 四川盆地区 > 云贵高原区 > 青藏高原区 > 黄土高原区 > 蒙新区。

**关键词:** 农业生态系统; 生态系统健康评价; 指标体系; 西部地区

文章编号: 1000-0933(2005)11-3028-09 中图分类号: X171.4 文献标识码: A

## Agroecosystem health assessment in western China

XIE Hua-Lin<sup>1</sup>, LI Bo<sup>1\*</sup>, WANG Chuan-Sheng<sup>2</sup>, YANG Bo<sup>1</sup>, ZHANG Xin-Shi<sup>1</sup> (1. School of Resource Science, Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of the Education Ministry of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 3028~ 3036

**Abstract** A agroecosystem with many comprehensive characteristics can be assessed through the measurement of its vigor, structure and resilience. A agroecosystem is very important to realize the healthy development of eco-agriculture.

Based on the meaning of ecosystem health and the characteristics of agroecosystem, an assessment index system for agroecosystem in western China was formed from the vigor, structure and resilience. The indexes included the NPP utilization rate, the land carrying capacity (ratio), the agricultural net output value of per km<sup>2</sup>, the farmer net income per capita, the predominance of system produce, the population density, the diathesis of rural labourer, the vegetation coverage (ratio), the soil and water erosion rate, the land desertification rate, the water resources supply and demand ratio, the index of system stability, the greenness coverage (ratio), the resist capacity, the effective irrigation rate, the fertilizer, pesticide and plastic film dispensation of per arable land km<sup>2</sup> and the agricultural expenditure proportion.

Then the paper used various methods and means such as comprehensive evaluation method, AHP (the analytic hierarchy process) and GIS (the geographic information system) to assess the healthy state of the six agricultural eco-zones in west China. At last we got the following results. A agroecosystem in Sichuan basin district and Guangxi basin district were “sub-

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目 (40435014, 30340048); 科学与技术部国际科技合作重点资助项目 (2001DFDF0004)

**收稿日期:** 2004-12-30; **修订日期:** 2005-09-07

**作者简介:** 谢花林 (1979~), 男, 江西莲花人, 博士生, 主要从事生态系统管理、景观生态学和可持续农业研究。E-mail: xieh1@ires.cn

\* 通讯作者 Author for correspondence

**致谢:** 感谢高琼教授对本文写作的帮助

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (No. 40435014, 30340048); Key Project of International Science & Technology Cooperation (No. 2001DFDF0004)

**Received date:** 2004-12-30; **Accepted date:** 2005-09-07

**Biography:** XIE Hua-Lin, Ph. D. candidate, mainly engaged in ecosystem management, sustainable agriculture and landscape ecology. E-mail: xieh1@ires.cn

healthy”, Qingzang plateau district, Yungui plateau district and Huangtu plateau were “not healthy”, Mengxin district was “worst”. The order from the best to the worst, among the six agricultural eco-zones in west China, was Guangxi basin district, Sichuan basin district, Qingzang Plateau district, Yungui Plateau district, Huangtu Plateau, and Mengxin district

**Key words:** agroecosystem; ecosystem health assessment; index system; western China

生态系统健康的概念自提出以来,引起了众多学者的关注<sup>[1-8]</sup>。他们的研究主要集中在对生态系统健康概念的探讨、生态系统健康问题评述及生态系统健康评价指标体系选取等方面<sup>[6-13]</sup>。这些研究多是针对一般生态系统而言,对各类型生态系统(如海洋生态系统、森林生态系统、农业生态系统、沙漠生态系统等)健康的专门研究不多<sup>[14-22]</sup>。农业生态系统健康是农业生态系统的综合特征,是实现生态农业建设目标的重要保障<sup>[23]</sup>。目前对农业生态系统健康评价的大部分相关研究主要侧重于指标体系和描述性的研究以及对一些中小尺度生态系统健康状况的定性评价研究,在区域尺度上针对农业生态系统健康状况进行定量评价研究还较少,没有提出一些较全面地衡量农业生态系统健康状况的定量指标<sup>[11,16,23-27]</sup>。

西部地区生态环境恶劣,农业生态系统所受外界压力较大,系统生产力较低。该地区第一产业比重较大,农民生活水平较低。因此,对西部地区农业生态系统健康进行评价,寻找其存在的问题,确定将来发展的方向,为西部地区农业可持续发展和西部大开发提供决策服务,具有重要的理论意义和实践意义。本研究拟在对西部地区农业生态系统特征分析的基础上,进行农业生态系统健康的定量评价,为西部地区农业生态系统管理提供科学基础。

## 1 农业生态系统健康及其评价

农业生态系统健康(agroecosystem health)是指农业生态系统免受发生“失调综合症”、处理胁迫的状态和满足持续生产农产品的能力<sup>[28]</sup>。一个健康的农业生态系统主要是指那种能够满足人类需要而又不破坏甚至能够改善自然资源的农业生态系统,其目标是高产出、低投入、合理的耕作方式、良好的稳定性、恢复力和持续性。Co stanza<sup>[29,30]</sup>从系统可持续性能力的角度,提出了描述系统状态的3个指标:活力、组织和恢复力及其综合评价。其中,活力指系统的活性、代谢及初级生产力,组织结构指生态系统组成及途径的多样性,恢复力指生态系统维持结构与格局的能力。这是目前被普遍接受的生态系统健康指标,同时也较为全面,并与生态系统健康的概念和原则较为相符<sup>[4-6,25]</sup>。因此,从活力、组织结构和恢复力3个方面构建农业生态系统健康评价指标体系,便于全面衡量农业生态系统的健康状况。

由于农业生态系统是一个开放性的人工系统,有着许多能量与物质的输入与输出,其不但受自然规律的控制,也受经济规律的制约。由于人的主导作用参与其中,可以理解这种系统的结构为人的栖息劳作(包括地理环境、生物环境和人工环境)、区域生态环境(包括物资供给的“源”、产品废物的“汇”、调节缓冲作用的“库”)及社会环境(包括文化、组织、技术等)的耦合。因此,对区域农业生态系统的健康评价必须在活力、组织结构、恢复力3方面的基础上,根据区域农业生态系统的特点,从自然、社会和人类的经济投入等多个角度选取指标进行评价。区域农业生态系统的健康状况是区域农业实施措施功能的一个重要反映,通过对不同地区不同的实施方案所产生的健康状况作一比较,可以判定不同实施措施的优与劣,从而为未来的决策提供科学依据。

## 2 研究区概况

根据中国自然地理条件、生态环境类型结构及其功能的地域分布规律,按土地适宜性、生产力特征,从农业生态区域结构的角度以及评价指标的可获取性将西部地区12个省份划分为6个农业生态区:蒙新区、黄土高原区、青藏高原区、四川盆地区、云贵高原区和广西盆地区(图1)。

蒙新区包括内蒙古自治区、新疆维吾尔自治区和宁夏回族自治区。本区深处内陆,海洋季风影响微弱,绝大部分属于干旱气候,是我国降水量最少的地方。全区由山地、高原和盆地组成,表现地带性特点的土壤有灰棕漠土、灰漠土和棕漠土,以及分布在大小绿洲中的灌淤土,是一个国境线长、气候干旱、地广人稀、依靠灌溉的绿洲农业和荒漠放牧业为主的地区。土地利用类型中耕地面积不大,但集中在山前绿洲狭小的地带;林地主要集中在山地垂直带;牧草地面积大,但大多数为荒漠草场,生产力低下。

黄土高原区包括陕西省和甘肃省。本区具有典型的大陆季风气候特征,年降雨量大部分约为400~600mm,降水具有年际和季节分布不均、变率大的特点。该区是一个旱杂粮生产为主,水土流失严重、产量不高不稳,亟待综合治理的地区。

青藏高原区包括青海省和西藏自治区。本区海拔大部分为2600~4500m,最高达8000多米,总体上为干旱和半干旱气候,年降雨量200~500mm,只有南部较为湿润。耕地比例低,主要分布在青海湟水谷地,西藏一江(雅鲁藏布)两河(拉萨河、年楚河)中部流域;牧草地多是高山、亚高山草甸和草原,产量低。人口构成主要是农业人口,交通不便,社会经济水平低下。

四川盆地区包括四川省和重庆市。全区属中亚热带湿润气候,年均温16~18℃,年降水量750~1400mm。全区水资源丰富,平均年径流深300~600mm。耕地比例虽然不少,但由于山地丘陵面积大,降水充沛,林地覆盖率高。

云贵高原区包括云南省和贵州省。本区地形复杂、气候多样,大致分为贵州高原和云南高原两个区域。贵州高原属多阴雨的中原式亚热带气候,年降雨量基本上都在1000mm以上,由西北往东南递减。云南高原年降水量1000~2000mm,西南部较多,

自此向东北递减。该区是一个山地多、平坝地少,土地过度垦殖、坡耕地面积大、水土流失严重、经济比较落后的地区。

广西盆地区包括广西壮族自治区。该区属于亚热带湿润气候季风区,年平均气温 17~ 23 ,年降雨量在 1000~ 2800mm 之间,多年平均值为 1533mm。全区现有耕地面积 265.52 万 hm<sup>2</sup>,山地丘陵面积大,形成“八山一水一分田”的格局。

### 3 研究方法

#### 3.1 指标体系的选取

3.1.1 评价指标体系的建立原则 作为衡量农业生态系统健康的指标体系,不仅应遵循客观性、科学性、完整性、有效性的普遍原则外,指标体系的建立还应遵循以下原则:(1)生态系统的健康性和可持续性原则;(2)生态系统的完整性与可识别性原则;(3)体现对生态系统健康要求的前瞻性与超前性原则;(4)指标的可比可量可行原则;(5)因子和标准选取的敏感性原则;(6)与研究区的尺度大小相适应的原则。

3.1.2 评价指标体系的建立 根据农业生态系统健康及其评价的内涵和目前国内外有关生态系统健康评价的各种方法<sup>[1-28]</sup>,运用层次分析法建立 4 个层次的农业生态系统健康评价指标体系。第 1 层次是目标层(Object),也既评价目标,既农业生态系统健康综合指数;第 2 层次是项目层(Item):活力、组织结构、恢复力;第 3 层次是评价因素层(Factor),即每一个评价准则具体有哪些因素决定;第 4 层次是指标层(Index),即每一个评价因素有哪些具体指标来表达。具体结果见表 1。

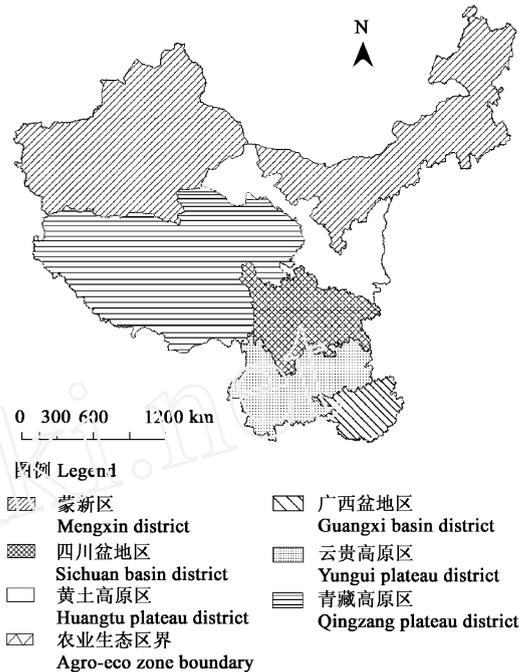


图 1 西部地区农业生态区划分示意图

Fig. 1 Sketch map of the regionalization for six agro-eco zones in west China

表 1 西部地区农业生态系统健康评价指标体系

Table 1 Index system of agroecosystem health assessment for western China

目标层 Object	项目层 Item	因素层 Factor	指标层 Index
农业生态系统健康综合指数 Agroecosystem health index	活力 Vigor	生态生产力 Eco-productivity	NPP 利用率(现实生产力/NPP) NPP utilization rate 土地人口承载力 L and carrying capacity (ratio)
		经济生产力 Economic productivity	单位面积农业净产值 A gricultural net output value of per km <sup>2</sup> 农民人均纯收入 Famer net income per capita
	组织结构 Organic structure	经济结构 Economic structure	系统生产优势度 P redomance of system produce
		社会结构 Social structure	人口密度 P opulation density 农村劳动者素质 D iathesis of rural labourer
	自然结构 Natural structure	自然结构 Natural structure	植被覆盖度 V egetation coverage (ratio)
			水土流失率 S oil and water erosion rate 土地沙化率 L and desertification rate 水资源供需比(可供水量/需水量)W ater resources supply and demand ratio
	恢复力 Resilience	稳定性 Stability	系统稳定性指数 I ndex of system stability 绿色覆盖度 G reeness coverage (ratio)
		投入能力 Input capability	抗灾度(1-成灾度)R esist capacity 有效灌溉面积率 E ffective irrigation rate 单位面积耕地化肥农药农膜负荷 F ertilizer, pesticide and plastic film dispensation of per arable land km <sup>2</sup> 农业支出比例 A gricultural expenditure proportion

#### 3.2 评价方法

3.2.1 确定指标的标志值 按照上述构建的西部地区农业生态系统健康评价指标体系框架,根据以下原则确定各单项指标的标志值:

(1) 用比值作为综合指标的, 一般以比值等于 1 作为判断生态系统健康与否的临界值, 然后根据比值大小并结合研究区的实际情况确定指标的标志值。如水资源供需比和土地承载力等以 1.2 作为指标的标志值, 就属于这类情况。

(2) 已有国家标准的或国际标准的指标, 尽量采用规定的标志值。如我国以人均纯收入作为确定小康水平的指标之一, 近期把农民人均纯收入人民币 6000 元/a 定为小康水平。本文确定此值作为农民人均纯收入的标志值。

(3) 其它情况, 可运用模糊聚类分析法, 并考虑研究区的现状值作趋势外推, 确定标志值; 进行指标标志值的确定。如植被覆盖度、土地沙化率、水土流失率、单位面积农业净产值、人口密度等。

(4) 对那些目前统计数据不十分完整, 但在指标体系中有十分重要的指标, 在缺乏有关指标统计数据前, 暂用类似指标代替。具体结果, 见表 2。

3.2.2 指标权重的确定 由于生态系统健康评价中各个方面和各个指标的重要性和贡献率是不一样的, 用层次分析法(AHP)并参考专家的意见确定了指标体系的权重。经构造判断矩阵、层次总排序和一致性检验后, 得到指标体系中的总排序权重值。再利用各指标的总排序权重值除以该指标所属层次下的各指标总排序权重之和, 得到各层次下各指标的最终权重值, 具体见表 2。

表 2 评价指标体系权重值及其标志值

Table 2 Weight value and mark value of the assessment index system

项目层 Item	权重值 Weight value	因素层 Factor	权重值 Weight value	指标层 Index	权重值 Weight value	标志值 Mark-value				
活力 Vigor	0.322	生态生产力 Eco-productivity	0.524	NPP 利用率 NPP utilization rate	0.414	50%				
				土地人口承载力 Land carrying capacity (ratio)	0.586	1.2				
		经济生产力 Economic productivity	0.476	单位面积农业净产值 Agricultural net output value of per km <sup>2</sup>	0.524	50 × 10 <sup>4</sup> /km <sup>2</sup>				
				农民人均纯收入 Famer net income per capita	0.476	6000 /cap				
		组织结构 Organic structure	0.334	经济结构 Economic structure	0.322	系统生产优势度 system produce Predomance	1	0.2		
						社会结构 Social structure	0.184	人口密度 Population density	0.424	100cap/km <sup>2</sup> or 40 cap/km <sup>2</sup>
				自然结构 Natural structure	0.494	农村劳动者受教育度 Diathesis of rural labourer	0.576	40		
						植被覆盖度 Vegetation coverage	0.276	85%		
				恢复力 Resilience	0.344	稳定性 Stability	0.438	水土流失率 Woodland and grassland rate	0.214	5%
								土地沙化率 Land desertification rate	0.208	3%
水资源供需比 Water resources supply and demand ratio	0.302							1.2		
投入能力 Input capability	0.562					系统稳定性指数 Index of system stability	0.462	1.5		
		绿色覆盖度 Greenness coverage (ratio)	0.322			85%				
		抗灾度 Resist capacity	0.216			100%				
				有效灌溉面积率 Effective irrigation rate	0.411	80%				
				单位面积耕地化肥农药农膜负荷 Fertilizer, pesticide and plastic film dispensation of per arable land km <sup>2</sup>	0.308	0.01t/hm <sup>2</sup>				
				农业支出比例 Agricultural expenditure proportion	0.281	10%				

### 3.2.4 综合评价模型

(1) 构造指标特征值矩阵 西部地区农业生态系统健康评价指标体系中的每一个单项指标, 都是从不同侧面来反映生态系统健康状况的, 要想反映全貌还需进行综合评价, 我们运用综合评价方法构建模型。设系统由  $m$  个待优选的对象组成备选对象集, 有  $n$  个评价因素组成系统的评价指标集, 每个指标对每一备选对象的评判用特征值表示, 则系统由  $n \times m$  阶指标特征值矩阵:

$$X = (x_{ij})_{n \times m}$$

式中,  $x_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ ) 为第  $j$  个备选对象在  $i$  个评价因素下的指标特征值。

(2) 规格化矩阵 一般情况下, 生态系统健康的所有指标可划分为正向指标和逆向指标等, 其规范化处理如下:

$$r_{ij} = \begin{cases} x_{ij}/z_i & x_{ij} < z_i \\ 1 & x_{ij} = z_i \\ 1 & x_{ij} > z_i \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & x_{ij} < z_i \\ 1 & x_{ij} = z_i \\ z_i/x_{ij} & x_{ij} > z_i \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

式中,  $x_{ij}$  表示第  $i$  个指标在第  $j$  个评价因素下的实际值,  $z_i$  表示第  $i$  个指标的标志值。于是得到评价因素层在指标层上的规范化矩阵:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

(3) 综合评价 由上述可知, 评价因素层在指标层上的规范化矩阵为  $R_{ij}$ , 则一级综合评价  $R_i$  为:

$$R_i = R_{ij} \times a_{ij}$$

式中,  $a_{ij}$  为第  $i$  个指标在第  $j$  个评价因素下的权重。

二级综合评价  $R$  为:

$$R = R_i \times A_i$$

式中,  $A_i$  为因素层权重。

三级综合评价  $Y$  为:

$$Y = \sum_{i=1}^m R \times W_i$$

式中,  $Y$  为综合评价指数;  $W_i$  为项目层的权重。

根据调查资料, 按上述模型即可计算出各层次的评价结果, 同时参考相关研究成果<sup>[17-20]</sup>和咨询专家的基础上, 设计了一个 5 级评价标准, 并给出了相应的评语(见表 3)。

表 3 西部地区农业生态系统健康评价标准

Table 3 Criterion of agroecosystem health assessment in western China

综合评价值 Value of integrate assessment	< 0.4	0.4~ 0.55	0.55~ 0.7	0.7~ 0.9	> 0.9
评判标准 Criterion of assessment	恶化 Worst	不健康 Not healthy	亚健康 Sub-healthy	较健康 Relative healthy	理想健康 Very healthy

## 4 数据来源和结果分析

### 4.1 数据来源

本研究所涉及指标值的获取途径主要基于以下 3 方面: 对于单位面积农业净产值、人口密度、农民人均纯收入、单位面积耕地化肥农药农膜负荷等指标直接来源于统计年鉴<sup>[31, 32]</sup>; 植被覆盖度、水资源供需比、土地沙化率、水土流失面积率、抗灾度来自于的 2000~ 2001 年间的科研报告和统计年报<sup>[33-35]</sup>; 对于 NPP 利用率、土地人口承载度、系统生产优势度、系统稳定性指数等指标根据相关公式计算后获取。

### 4.2 结果分析

根据上述构建的西部地区农业生态系统健康评价的指标体系和评价方法, 得到西部地区 6 个农业生态区的农业生态系统

健康评价结果(表 4、图 2 和图 3)。

表 4 西部地区 6 个农业生态区的农业生态系统健康评价结果

Table 4 Results of agroecosystem health assessment for six agro-eco zones in west China

层次 Layer		蒙新区 Mengxin district	黄土高原区 Huangtu plateau district	青藏高原区 Qingzang plateau district	四川盆地区 Sichuan basin district	云贵高原区 Yungui plateau district	广西盆地区 Guangxi basin district
因素层 Factor layer	生态生产力 Eco-productivity	0.684	0.848	0.655	0.966	0.705	0.835
	经济生产力 Economic productivity	0.183	0.206	0.116	0.424	0.252	0.386
	经济结构 Economic structure	0.392	0.356	0.428	0.440	0.425	0.522
	社会结构 Social structure	0.567	0.556	0.065	0.261	0.350	0.385
	自然结构 Natural structure	0.340	0.476	0.770	0.750	0.663	0.897
	稳定性 Stability	0.360	0.469	0.580	0.783	0.604	0.813
	投入能力 Input capability	0.273	0.213	0.318	0.380	0.219	0.304
	项目层 Item layer	活力 Vigor	0.445	0.543	0.399	0.708	0.489
组织结构 Organic structure		0.398	0.452	0.530	0.560	0.529	0.682
恢复力 Resilience		0.311	0.325	0.433	0.557	0.387	0.527
目标层 Object layer	综合评价 Value	0.384	0.437	0.454	0.607	0.467	0.609

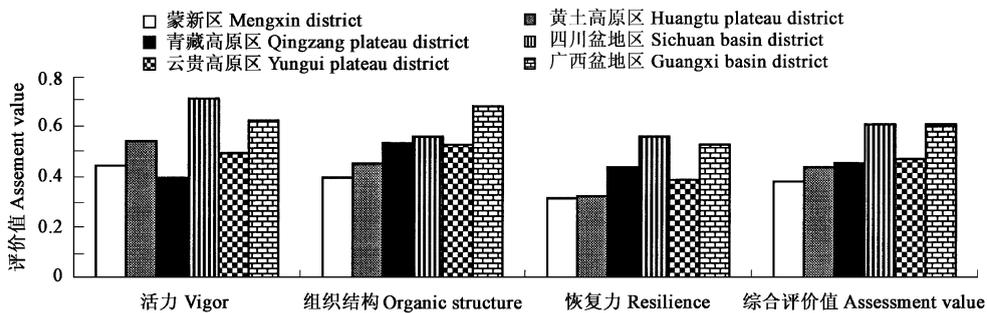


图 2 西部地区 6 个农业生态区农业生态系统健康评价结果比较

Fig. 2 Comparative chart of agroecosystem health assessment for six agro-eco zones in west China

从表 4 和图 2 可以看出,在农业生态系统的活力方面,各农业生态区排名次序为四川盆地区> 广西盆地区> 黄土高原区> 蒙新区> 云贵高原区> 青藏高原区。其中,四川盆地区最大,为 0.708,其次为广西盆地区为 0.621。四川盆地区之所以最大,是因为其土地人口承载力较高,为 2.056,同时单位面积农业净产值在西部地区 6 个农业生态区中是最高的,为 26.105 万元/km<sup>2</sup>。目前青藏高原区农业生态系统的活力方面评价价值仅为 0.399,在西部地区中是最低的,其原因主要是该区的农业生产还停留在传统的粗放式经营阶段,农产品结构不合理;单位面积农业总产值仅有 0.423 万元/km<sup>2</sup>,不及四川盆地总面积的 2.5%;且土地人口承载力也很低,仅为 0.739。黄土高原区、蒙新区、云贵高原区和青藏高原区等农业生态系统的活力处在“不健康”和“恶化”的状态,因此,这些农业生态区要进行集约化生产,通过提高现实生产力、单位面积农业净产值和农民人均纯收入等指标值,增加农业生态系统的生态生产力和经济生产力,从而增强农业生态系统的活力。

从表 4 和图 2 可以看出,在农业生态系统的组织结构方面,各农业生态区排名次序为广西盆地区> 四川盆地区> 青藏高原区> 云贵高原区> 黄土高原区> 蒙新区。其中,广西盆地区最大为 0.682,最小的为蒙新区为 0.398。黄土高原区和蒙新区等之所以落后,主要是因为它们生态环境恶劣,土地沙化面积较大,植被覆盖度很低,水资源不足等等,使得农业生态系统组织结构中的自然结构很低,例如蒙新区的土地沙化率为 22%,在西部地区中是最高的,同时水土流失也较高,为 15.54%。同时由于系统生产优势度等指标值很高,农业经济结构单一,农村劳动者受教育程度很低,使得农业生态系统组织结构中的经济结构和社会结构也较差。青藏高原区、云贵高原区和黄土高原区农业生态系统组织结构处在“不健康”的状态,其中,蒙新区农业生态系统组织结构处在“恶化”的状态。因此,它们要加强土地沙化、水土流失的治理,提高植被的覆盖度,从而提高农业生态系统的自然结构;同时注意提高农民的农业科技水平,提高农业生态系统的社会结构,注重农牧业协调发展,从而增强农业生态系统的组织结构水平。

从表 4 和图 2 可以看出,在农业生态系统的恢复力方面,各农业生态区排名次序为四川盆地区> 广西盆地区> 青藏高原区> 云贵高原区> 黄土高原区> 蒙新区。其中,四川盆地区,为 0.557,最小的是蒙新区,为 0.311。在西部地区的 6 个农业生态区中,只要四川盆地区的农业生态系统恢复力处在“亚健康”的状态,其余的 5 个农业生态区处于“不健康”,甚至“恶化”的状态。总体来看,他们的农业生态系统恢复力不强,其主要原因是它们的有效灌溉面积率、抗灾度和农业支出比例等指标很低,同时单位面积耕地化肥农药农膜负荷较高,系统受损严重,使得农业生态系统的稳定性和投入能力较低,从而农业生态系统的恢复力水平较差。

从图 3 可以看出,综合农业生态系统的活力、组织结构和恢复力三方面,西部地区 6 个农业生态区的农业生态系统健康综合评价的最后结果为:处在“亚健康”标准的是四川盆地区和广西盆地区;处在“不健康”标准的是青藏高原区、云贵高原区和黄土高原区;处在“恶化”标准的是蒙新区。从表 4 和图 2 可以看出,它们的排名次序为广西盆地区> 四川盆地区> 云贵高原区> 青藏高原区> 黄土高原区> 蒙新区。从排名次序来看,黄土高原区农业生态系统的活力水平虽然排在西部地区的第三位,但

由于系统的组织结构和恢复力较差,分别为 0.452 和 0.325,最终的综合评价指数较低,为 0.437。四川盆地区和广西盆地区的综合评价指数较好,分别为 0.609 和 0.607,其主要原因是四川盆地区和广西盆地区农业生态系统的活力、组织结构和恢复力 3 个方面都表现较好,特别是经济生产力和生态生产力较高,同时系统稳定性指数、有效灌溉面积率和抗灾度等指标值较高,使得系统的恢复力较好。蒙新区之所以处在“恶化”的标准,是因为它们的单位面积农业净产值、土地人口承载力、系统稳定性指数、抗灾度等指标值较低,同时由于土地沙化面积率、水土流失面积率等指标值较高,使得系统的活力、组织结构和恢复力三方面都较差,最终农业生态系统健康状况较差。

通过上面的分析可知,西部地区农业生态系统健康要想达到“理想健康”这一标准,还需要做大量的工作来全面提升农业生态系统的健康水平,如开展生态农业规划,针对现状农业生态系统健康评价中暴露的活力、组织结构和恢复力问题,加大投入,进行生态恢复和重建,功能组团设计等,试图以最具操作性的方案来提升西部地区农业生态系统的健康水平。

## 5 结论与讨论

(1) 根据西部地区农业生态系统的特点和农业生态系统健康的内涵,从活力、组织结构和恢复力 3 方面选取单位面积农业净产值、农民人均纯收入、NPP 利用率、土地人口承载力、系统生产优势度、人口密度、农村劳动者受教育程度、植被覆盖度、水资源供需比、系统稳定性指数、绿色覆盖度、抗灾度、有效灌溉面积率、单位面积耕地化肥农药农膜负荷和农业支出比例等 17 个指标,构建了西部地区农业生态系统健康的评价指标体系。如评价对象和尺度的不同,农业生态系统健康的评价指标体系应作相应的调整。

(2) 西部地区 6 个农业生态区的农业生态系统健康综合评价的最后结果为:处在“亚健康”状态的是四川盆地区和广西盆地区;处在“不健康”状态的是青藏高原区、云贵高原区和黄土高原区;处在“恶化”状态的是蒙新区。它们的排名次序为广西盆地区> 四川盆地区> 云贵高原区> 青藏高原区> 黄土高原区> 蒙新区。

(3) 农业生态系统健康应是活力、组织结构和恢复力等的综合体,单方面的评价虽然较好,但由于其复合性,最终的评价结果未必是健康的。以上几方面是相互关联的,其共同作用导致综合生态系统健康的结果。

(4) 本文仅在区域尺度上对西部地区农业生态系统的健康状况进行评价,受多方面因素的影响,所建指标体系还存在一定的局限性,有待进一步完善。作者将进一步研究探讨西部地区农业生态系统健康的动态变化,并继续农业生态系统建设出现的新问题。

(5) 在我国,对生态系统健康领域的认识和研究还处于起步阶段,应尽快开展对主要生态系统类型的健康评价及其基础研究。本文从生态系统健康的角度对西部农业生态系统进行了评价,希望此项研究有助于改善西部地区农业生态系统的管理水平。

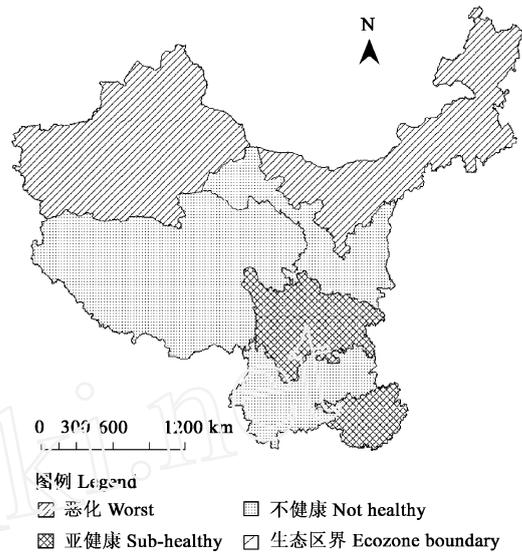


图 3 西部地区 6 个农业生态区农业生态系统健康综合评价结果  
Fig. 3 Map of agroecosystem health integrated assessment for six agricultural eco-zones in west China

## References

- [ 1 ] Kevan P G, Greco C F. Biodiversity and abundance in diagnosis and measuring of ecosystem health: pesticide stress on pollinators on blueberry health. *Journal of Applied Ecology*, 1997, **34**: 1122~ 1136
- [ 2 ] Rapport D J, Gandet C L, Calow P. *Evaluating and monitoring the health of large scale ecosystem*. Berlin: Springer verlag, 1994
- [ 3 ] Nordin M, Azrina L A. Training and research for measuring and monitoring ecosystem health of a large scale ecosystem: the langat basin selangor Malaysia. *Ecosystem Health*, 1998, **4**: 188~ 190
- [ 4 ] Pietro, Bertollo. Assessing ecosystem in governed landscape: a framework for developing core indicators. *Ecosystem Health*, 1998, **4**: 33~ 51.
- [ 5 ] Shear H. The development and use of indicators to assess the state of ecosystem health in the Great Lakes. *Ecosystem Health*, 1996, **2**: 241~ 258
- [ 6 ] Leopold J C. Getting a handle on ecosystem health. *Science*, 1997, **276**: 887.
- [ 7 ] Schaeffer D J, Henricks E E and Kerster H W. Ecosystem Health: Measuring ecosystem health. *Environ Man*, 1996, **12**: 445~ 455.
- [ 8 ] Rapport D J. What constitutes ecosystem health. *Perspectives in Biology and Medicine*, 1989, **33**: 120~ 132
- [ 9 ] Yuan X Z, Liu H, Lu J J. A assessment of ecosystem health——concept framework and indicator selection. *J. Appl*, 2001, **12**(4): 627~ 629.
- [ 10 ] Xiao J F, Ou Y H. Ecosystem health and its evolution indicator and method. *Journal of Natural Resources*, 2002, **17**(2): 203~ 209.
- [ 11 ] Liang W J, Wu Y J, Wen D Z. Research directions of agroecosystem health in the early 21<sup>st</sup> century. *J. Appl*, 2002, **13**(8): 1022~ 1026
- [ 12 ] Li J, An S Q, Chen X L, et al. Advances in assessment of ecosystem health. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, **25**(6): 641~ 647.
- [ 13 ] Xiao J F, Ou Y H, Niu H S. Logical interrelations between ecosystem health and its related notions. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, **22**(2): 56~ 59.
- [ 14 ] Chen G, Deng H B, Wang Q L, et al. Approaches for assessing forest ecosystem health. *J. Appl*, 2003, **14**(6): 995~ 999.
- [ 15 ] Cui B S, Yang Z F. Establishing and indicator system for ecosystem health evaluation on wetlands. I. A theoretical framework. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(7): 1005~ 1011.
- [ 16 ] Wu L F, Ou Y Z, Chen W X, et al. Research advancement of agroecosystem health and its management. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, **11**(3): 161~ 162.
- [ 17 ] Kong H M, Zhao J Z, Ji L Z, et al. Assessment method of ecosystem health. *J. Appl*, 2002, **13**(4): 486~ 490.
- [ 18 ] Liu H Q, Xu J W, Wu X Q. Health assessment of ecosystem in Ndong Country of Tibe. *Scientia Geographica Sinica*, 2003, **23**(3): 366~ 371.
- [ 19 ] Ma K M, Kong H M i, Guan W B, et al. Ecosystem assessment: methods and directions. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(12): 2106~ 2116.
- [ 20 ] Luo Y C, Zhou Z X, Sun Y, et al. Assessment methods of watershed ecosystem health. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(8): 1606~ 1614.
- [ 21 ] Tong C. Review on environmental indicator research. *Research On Environmental Science*, 2000, **13**(4): 53~ 55.
- [ 22 ] Allen H. *Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development*. Washington D C, USA: World Resource Institute, 1995.
- [ 23 ] Li Q, Chen L J. Research progress of agroecosystem health. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, **11**(2): 144~ 146.
- [ 24 ] Wang X Y, Shen Z R. progress of assessment methods of agroecosystem health. *Journal of China Agricultural University*, 2001, **6**(1): 84~ 90.
- [ 25 ] Xu W, Mage J A. A review of concepts and criteria for assessing agroecosystem health including a preliminary case study of southern Ontario. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 2001, **83**: 215~ 233.
- [ 26 ] Peng T, Gao W S, Sui P. Discussion on indicator system of farmland ecosystem health assessment. *Journal of China Agricultural University*, 2004, **9**(1): 21~ 25.
- [ 27 ] Sun Z G, Li B. The health assessment of Yantai (in Shandong Province) city, s agro-ecosystem. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural science)*, 2004, **35**(1): 95~ 101.
- [ 28 ] Smith B, Waltner-Toews D, Rapport D, et al. *Agroecosystem health: Analysis and assessment*. Guelph, Ontario: University of Guelph, 1998. 1~ 14.
- [ 29 ] Costanza R. Toward an operational definition of ecosystem health. In: Costanza, R., B. G. Norton & B. D. Haskell eds. *Ecosystem*

- health: new goals for environmental management* Washington D. C. : Island Press, 1992. 239~ 256
- [30] Costanza R. Predictors of ecosystem health. In: Rapport D. J., R. Costanza, P. R. Epstein, C. Gaudet & R. Levins eds *Ecosystem health*. Malden and Oxford: Blackwell Science, 1998. 240~ 250
- [31] National Bureau of statistics of China. *Chinese statistic yearbook in 2001*. Beijing: China Statistics Press, 2001.
- [32] National Bureau of statistics of China. *The county and city statistic yearbook of society and economic in China*. Beijing: China statistics press, 2002
- [33] Ministry of land and resources. *Report of Chinese land and resources*. Beijing: Geology Press, 2002
- [34] State environmental protection administration. *The RS investigation map of ecological environment for western China*. Beijing: Science Press, 2002
- [35] Qing Z Y, Zhang G D. *Integrated report and special reports of water resources stratagem research for Chinese sustainable development*. Beijing: China Hydraulic Press, 2001.

#### 参考文献:

- [9] 袁兴中, 刘红, 陆健健. 生态系统健康评价——概念框架与指标选择. *应用生态学报*, 2001, **12**(4): 627~ 629.
- [10] 肖风劲, 欧阳华. 生态系统健康及其评价指标与方法. *自然资源学报*, 2002, **17**(2): 203~ 209.
- [11] 梁文举, 武袁杰, 闻大中. 21 世纪初农业生态系统健康研究方法. *应用生态学报*, 2002, **13**(8): 1022~ 1026.
- [12] 李瑾, 安树青, 程小莉, 等. 生态系统健康评价的研究进展. *植物生态学报*, 2001, **25**(6): 641~ 647.
- [13] 肖风劲, 欧阳华, 牛海山. 生态系统健康与相关概念的逻辑关系. *生态学杂志*, 2003, **22**(2): 56~ 59.
- [14] 陈高, 邓红兵, 王庆礼, 等. 森林生态环境健康评估的一般途径探讨. *应用生态学报*, 2003, **14**(6): 995~ 999.
- [15] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 I. 理论. *生态学报*, 2002, **22**(7): 1005~ 1011.
- [16] 武兰芳, 欧阳竹, 程维新, 等. 农业生态系统健康及其管理研究进展. *中国生态农业学报*, 2003, **11**(3): 161~ 162.
- [17] 孔红梅, 赵景柱, 姬兰柱, 等. 生态系统健康评价方法初探. *应用生态学报*, 2002, **13**(4): 486~ 490.
- [18] 刘惠清, 许嘉巍, 吴秀芹. 西藏自治区乃东县生态系统的健康性评价. *地理科学*, 2003, **23**(3): 366~ 371.
- [19] 马克明, 孔红梅, 关文彬, 等. 生态系统健康评价: 方法与方向. *生态学报*, 2001, **21**(12): 2106~ 2116.
- [20] 罗跃初, 周忠轩, 孙轶, 等. 流域生态系统健康评价方法. *生态学报*, 2003, **23**(8): 1606~ 1614.
- [23] 李琪, 陈立杰. 农业生态系统健康研究进展. *中国生态农业学报*, 2003, **11**(2): 144~ 146.
- [24] 王小艺, 沈左锐. 农业生态系统健康评估方法研究概况. *中国农业大学学报*, 2001, **6**(1): 84~ 90.
- [26] 彭涛, 高旺盛, 隋鹏. 农田生态系统健康评价指标体系的探讨. *中国农业大学学报*, 2004, **9**(1): 21~ 25.
- [27] 孙志高, 李彬. 山东省烟台市农业生态系统健康评价. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2004, **35**(1): 95~ 101.
- [31] 国家统计局. *中国统计年鉴(2001)*. 北京: 中国统计出版社, 2001.
- [32] 国家统计局. *中国县(市)社会经济统计年鉴*. 北京: 中国统计出版社, 2002.
- [33] 国土资源部. *中国国土资源报告*. 北京: 地质出版社, 2002.
- [34] 国家环保总局. *中国西部地区生态环境现状遥感调查图集*. 北京: 科学出版社, 2002.
- [35] 钱正英, 张光斗. *中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告*. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.