

农田生态系统健康评价指标体系的探讨

彭涛 高旺盛 隋鹏

(中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100094)

摘要 生态系统健康是近十余年来新出现的极具潜力的研究领域,它是生态系统服务的基础,是环境管理的新目标和新手段。农田生态系统是典型人工生态系统,其健康状态要求达到管理科学、结构合理、环境有利、具有高生产力和强持续力,融入自然生态系统的物质、能量循环,为人类社会提供健康、安全、优质、多样的食物原料,恰当、有效地现实其服务功能。评价农田生态系统的健康,要求根据设定的管理目标进行微观与宏观相结合的综合评价。指标的选择需要全面考虑生态环境、社会经济和人类健康等因素。评价指标标准的划分应采用国际标准和通用方法。笔者在探讨了以上农田生态系统健康概念架构与基本属性的基础上,寻求对其进行整体性评价的适宜指标。利用层次分析法,将评价目的设定为实现可持续的健康高效农田生态系统,以结构指标、环境指标、生产力指标、持续力指标和管理指标建立起农田生态系统健康评价指标体系,并给出了评价指标标准。

关键词 生态系统健康;农田生态系统健康;评价指标体系;指标标准

中图分类号 S-0

文章编号 1007-4333(2004)01-0021-05

文献标识码 A

Discussion on indicator system of farmland ecosystem health assessment

Peng Tao, Gao Wangsheng, Sui Peng

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract Ecosystem health is a newly emerged field with great potential, and the basis for ecosystem service and the new aim and new method of ecosystem management. Farmland ecosystem is a typical man-made ecosystem, and a healthy farmland requires a scientific management, rational structure, environment-friendly, high productivity and high sustainability, as well as the integration of nature's material and energy cycling, supply of healthy, safe, high quality and various food source to human society, and correct and effective service functioning. The farmland ecosystem health assessment should be assessed with integrated measures, with macroscopic and microscopic studies based on the designed management objectives. The eco-environment factors, social economy factors and human health factors should be considered when we choose the parameter. At the same time, the international criteria and widely accepted methods should be applied in the standard classification of parameter. Based on the concept framework and basic property of farmland ecosystem that has been mentioned above, this paper try to find the suitable parameter which can synthetically assess farmland health. With Analytical Hierarchy Process, the present study regarded the assessment aim as the realization of sustainable, healthy and high efficient farmland ecosystem, and established a set of parameter for farmland ecosystem health assessment, including structural parameter, environmental parameter, productive parameter, sustained parameter and management parameter. Moreover, the standard classification of indicator system was given in this paper.

Key words ecosystem health; farmland ecosystem health; indicator system for assessment; indicator standard

生态系统健康(Ecosystem Health)是近十余年来国际学术界出现的一个新的研究领域^[1-3]。它最初是将医学上的“健康”引用到生态系统中来,比如, Schaeffe 等将生态系统健康定义为“没有疾

病”^[4], Rapport 认为可以根据人类健康的定义来推演出生态系统健康的定义^[1]。随着研究和探索实践的深入,生态系统健康逐步发展成为包含生态、人类健康和社会经济的综合性概念框架。相关领域主

收稿日期:2003-08-02

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018606)

作者简介:彭涛,硕士研究生;高旺盛,教授,通讯作者,主要从事区域农业发展研究。E-mail:wshgao@cau.edu.cn

要涵盖生态系统服务^[5]和环境管理^[6~7]。生态系统健康是生态系统服务的基础,是环境管理的新目标和新手段。

但是作为新兴的综合学科,生态系统健康研究正处于探索和争论的阶段。在定义上, Costanza 认为一个生态系统如果是稳定和可持续的,即踏实、活跃的而且能够随着时间的推移维持其自身状况和对外力胁迫具有抵抗力,那么该系统就是健康的^[5]。在评价方法上,有指示物种法^[8,9],指标体系法^[10]等。同时,一些科学家对生态系统健康持反对意见,认为生态系统健康只是一种价值判断,不具有明确的可操作的定义,将会阻碍详细的科学分析进程^[11]。总之,对于生态系统健康学者们从不同的学术角度进行着探索,目前仍没有确切而普遍认同的理论,但不可否认生态系统健康所涵盖的研究领域和问题是有价值的。

1999年8月,“国际生态系统健康大会——生态系统健康的管理”在美国加州召开,将“生态系统健康评估的科学与技术”列为主题之一,生态系统健康评价方法及指标体系成为21世纪生态系统健康研究的核心内容^[2,12]。迄今,全球的研究已经涉及几乎所有的生态系统类型。我国有关生态系统健康的研究正处于起步阶段,对于人们衣食之本的典型人工生态系统——农田生态系统健康的研究还比较少。运用生态系统健康这一新理念探讨农田生态系统的健康内涵,实施农田生态系统的新评价和基于此的新管理有着现实的实践意义。

1 农田生态系统健康的概念与内涵

农田生态系统是人类为满足生存需要,干预自然生态系统,依靠土地资源,利用农作物的生长繁殖来获得物质产品而形成的人工生态系统。该系统是由农作物及其周围环境构成的物质转化和能量流动系统,是在自然生态系统的基础之上,迭加了人类的经济活动而形成的更高层次上的自然与经济的统一体,具有自然和社会的双重属性。农田生态系统与自然生态系统的本质区别在于自然演替的进程被人为截断,人为干预的设定目标是获得更多的有益于人类自身的净产出。农田生态系统可以说是人类改造自然、利用自然最为杰出的作品。由此,本研究认为一个健康的农田生态系统可以定义为:农田有着合理的作物组分、有效的农作方式,能够高效持续地为人类提供健康有益的生活、生产来源,并和谐地融

为自然生态系统的一部分。

作为典型人工生态系统,农田生态系统的“健康状态”(Health Situation)应有以下基本属性:第一,具有良好的生物种群结构。这是决定一个人工生态系统能否健康的内在特性和要求。没有合理的生物结构,就不可能形成健康的生态系统。农田生态系统生物指标的生态合理性主要可以从其植物、动物、微生物的种群数量、种群结构以及群落水平结构、主体结构等层次进行分析。其二,具有良好的农田环境质量。健康的农田生态系统在其生物生产过程中,不仅应与土壤、水分等环境因子相配合,而且在其代谢过程中能够不破坏或者有利于人类健康要求,是一个“零”残留、“零”污染状态中的农田生产过程。其三,具有良好的系统生产力。农田生态系统是初级生产力和食物能形成的基础单元,这是一个健康的农田生态系统的基本功能。高的物质、能量流动速率和资源利用效率反映着农田生态系统的活力。主要体现于初级生产力及代谢。其四,具有强持续力。在胁迫的压力下,健康的农田生态系统应具有抵御胁迫的策略,以保证结构完整、功能正常。主要体现在生态适应性、稳定性和抗逆能力。其五,科学管理。离开人类的理性干预,健康农田生态系统是难以实现的。政策、技术、经济等管理因素从根本上决定着农田生态系统的现状和发展方向。管理的科学水平决定着系统的健康质量。总之,健康的农田生态系统应该是管理科学、结构合理、环境有利、具有高生产力和强持续力,融入自然生态系统的物质、能量循环,为人类社会提供健康、安全、优质、多样的食物原料,恰当、有效地现实其服务功能。健康农田生态系统基本属性间的相互关系见图1。

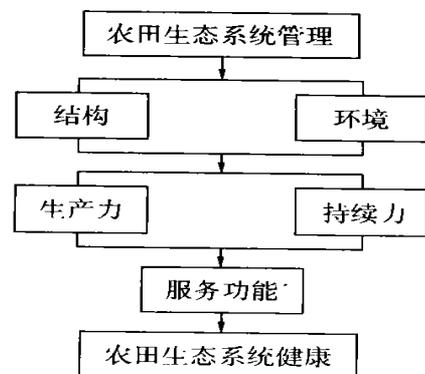


图1 健康农田生态系统基本属性间的相互关系
Fig. 1 The relationship between the basic properties of a healthy farmland system

2 农田生态系统健康评价指标体系的建立

一般来说,监测一个复杂的生态系统,需要一套综合评价指标体系,即由一系列相互联系、相互制约的指标组成的科学完整的评价指标总体。它具有目的性、理论性、科学性和系统性等特点。生态系统的复杂性决定了其不能用单一的观测指标来准确概括,需要相当数量不同类型的观测和评价指标。在指标选择时应具有整体性,注重系统的等级性、指标的可比性和可获得性。比较早的完整的生态系统健康评价指标体系是 U. N. Environmental Program (UNEP) 于 1992 年在日内瓦建立的海洋生态系统健康评价指标体系^[10]。

2.1 评价指标体系的构成

评价农田生态系统健康应紧紧围绕它是典型人工生态系统这一本质特性来进行。根据农田生态系统健康的内涵和指标筛选原则,选取相互独立且反映农田生态系统结构属性、环境要求、生产力、持续力和管理要求的典型敏感指标,组成农田生态健康评价指标体系。应用层次分析法设计了包括目标层、准则层和指标层 3 个层次的结构框架(表 1)。

表 1 农田生态系统健康评价指标体系

Table 1 The Indicator system for farmland ecosystem health assessment

目标层	准则层	指标层
可持续的健康高效农田生态系统	结构指标	作物多样性 品种结构 农田景观格局
	环境指标	土壤供肥能力 土壤供水能力 土地退化度 土壤重金属含量 水体质量 大气质量 农药残留量
	生产力指标	光热水效率 土地生产率 能量产出率 劳动生产率
	持续力指标	生态适应性 生产力稳定性 抗逆能力
	管理指标	政策效度 劳动力素质 科技进步贡献率 商品率

2.2 评价指标标准

评价生态系统健康就应该有一个健康的标准。对于生态系统自身来讲,不存在是否健康的问题,人们关注其健康,是因为只有健康的生态系统才能为人类提供足够的各种服务功能。实际上,生态系统健康是一个人类标准,是一个人为设定的管理目标^[13]。农田生态系统健康评价技术要结合物理、化学和生物的方法,借鉴一些常规的生理学、生态学和毒理学手段,同时,必须超越传统、发展创新。生态系统健康评价的最佳途径是微观与宏观相结合的综合评价。基于以上理由的标准划分,应是为管理者提供一个可操作的可持续发展途径。评价指标标准主要采用通用方法和国家标准来分级,分为很健康、健康、较健康、一般病态、疾病 5 级(表 2)。

2.2.1 结构指标

1) 作物多样性。一般来说,在作物异质性适当的情况下,种群结构多样性越高,对农田生态系统的发展越有利。以香农-威纳指数结合作物熟制表示。

2) 品种结构。以同一作物的品种数表示。

3) 农田景观格局。以湿地基塘体系景观模式、沙地田草林体系景观模式、平原区农田防护林网络体系景观模式、南方丘陵区多水塘体系景观模式、黄土高原农草林立体镶嵌景观模式为参照进行评价。

2.2.2 环境指标

1) 土壤供肥能力。依据全国土壤普查办公室编写的《中国土壤普查技术》评定。

2) 土壤供水能力。以降水满足率结合地下水埋深评定。

3) 土地退化度。包括土壤侵蚀、土地沙化、土地盐渍化、土壤污染以及耕地的非农占用,核心是土壤退化。采用国际通用的 GLASOD 法。

4) 土壤重金属含量。参考国家环境保护局颁布的《土壤环境质量标准》(GB 15618 - 1995) 中类土壤标准。

5) 水体质量。依据国家环境保护局颁布的《农田灌溉水质标准》(GB 5084 - 85)。

6) 大气质量。参考国家环境保护局颁布的《大气污染物综合排放标准》(GB 16297 - 1996)。

7) 农药残留。参考国家技术监督局颁布的《农药合理使用准则(四)》(GB 8321.4 - 93) 规定的农药最高残留限量评定。

表2 农田生态系统健康评价指标分级标准

Table 2 The standard classification of indicator system for farmland ecosystem health assessment

指 标	级 别				
	很健康	健 康	较健康	一般病态	疾 病
作物多样性	存在间、套、轮作, 多样性指数 > 1.585	存在间、套、轮作, 多样性指数 1.585	两作二熟, 多样性指数 1.00	一作一熟, 多样性指数为 0	一作多熟, 多样性指数为 0
品种结构	5	4	3	2	1
农田景观格局	优	好	比较好	差	很差
土壤供肥能力	一级	二级	三级	四级	五级
土壤供水能力	降水满足率 70%, 地下水埋深 5 m	降水满足率 60% ~ 70%, 地下水埋深 5 ~ 10 m	降水满足率 50% ~ 60%, 地下水埋深 10 ~ 20 m	降水满足率 40% ~ 50%, 地下水埋深 20 ~ 40 m	降水满足率 40% 地下水埋深 40m
土地退化度	各项指标好于一级的 10% 以上	各项指标好于一级的 5% ~ 10%	一级	二级	三级
土壤重金属含量	一级	二级	三级	四级	五级
水体质量等级					
大气质量	一级	二级	三级	四级	五级
农药残留量	几乎检测不到农药残留, 残留量低于最高残留限量的 10%	残留在最高残留限量的规定范围以内	残留较多, 为最高残留限量的 1 ~ 2 倍	残留明显, 为最高残留限量的 2 ~ 10 倍	残留显著, 为最高残留限量的 10 倍以上
光热水效率	为理论值的 50% 以上	为理论值的 40% ~ 50%	为理论值的 20% ~ 40%	为理论值的 10% ~ 20%	理论值的 10%
土地生产率	1 500	1 000 ~ 1 500	600 ~ 1 000	300 ~ 600	300
能量产出率	投能结构合理, 能量产出率 3	投能结构合理, 能量产出率 3 ~ 6	投能结构比较合理, 能量产出率 6 ~ 8	投能结构不合理, 能量产出率 8 ~ 10	投能结构不合理, 能量产出率 10
劳动生产率	2 000	1 200 ~ 2 000	800 ~ 1 200	500 ~ 800	500
生态适应性	强	比较强	中等	弱	不适应
生产力稳定性	生物量基本没有变化或略有减少, 减少率 5%	生物量减少, 减少率为 5% ~ 15%	生物量明显减少, 减少率为 15% ~ 30%	生物量显著减少, 减少率为 30% ~ 50%	生物量显著减少, 减少率 50%
抗逆能力	10%	10% ~ 20%	20% ~ 40%	40% ~ 60%	60%
政策效率	政策合理, 实施成本低, 产出满意	政策合理, 实施成本低, 产出比较满意	政策比较合理, 实施成本比较高, 产出比较满意	政策不合理, 实施成本高, 产出不满意	政策错误, 实施成本高, 产出很不满意
劳动力素质	15%	10% ~ 15%	5% ~ 10%	2% ~ 5%	2%
科技进步贡献率	60%	30% ~ 60%	15% ~ 30%	5% ~ 15%	5%
商品率	90%	60% ~ 90%	40% ~ 60%	20% ~ 40%	20%

注: 同种作物的品种数; 作物产量, kg · (666.7 m²)⁻¹; 年人均产量, kg; 成灾率; 高中以上文化水平人口比重。

2.2.3 生产力指标

1) 光热水效率。依据各种作物自身的生理特性划分评价标准。

2) 土地生产率。以 666.7 m^2 作物产量表示。

3) 能量产出率。基于能量效率的报酬递减规律和我国农田能量产出量处于减速上升阶段的现状,参考我国历史能量效率和国外同阶段水平来划分健康等级。

4) 劳动生产率。以实物劳动生产率表示。

2.2.4 持续力指标

1) 生态适应性。包括作物与环境的生态适应性和作物之间的生态适应性。前者的评价方法可采用生物节奏与季节节奏平行分析法,后者要求综合考查各种作物的生态适应性、形态特征、生育特性和分泌物等情况。定性定量相结合。

2) 生产力稳定性。以生物量变化率来表示。

3) 抗逆能力。以成灾率来表示。

2.2.5 管理指标

1) 政策法规。在考虑政策法规的合理性的基础上采用生产力标准来评定。

2) 劳动力素质。综合表现为劳动者具备的能力,以具有高中以上文化水平的人口比重来表示。

3) 科技进步贡献率。采用增长方程(索洛余值法)测算和评定。

4) 商品率。以商品量占总产量的比重来表示。

3 结 语

在不同区域和不同尺度的农田生态系统中,具体情况、主导因子是不同的,环境、政策、经济发展、人们的价值观念和对系统的认识都是不断变化的,这样,评价指标体系应是动态的、可调整的。而建立一套完整而且能够普遍适用的评价农田生态系统健康的指标体系是困难的。本文在农田生态系统的健康内涵和评价指标体系方面进行了探讨,所做的尝试在诸多方面有待讨论、争论和进一步深入的研究。

参 考 文 献

- [1] Rapport D J. What constitutes ecosystem health? [J]. *Perspectives in Biology and Medicine*, 1989 (33): 120 ~ 132
- [2] 曾德慧,姜凤歧,范志平等. 生态系统健康与人类可持续发展[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(6): 751 ~ 756
- [3] 傅伯杰,刘世梁,马克明. 生态系统综合评价的内容与方法[J]. *生态学报*, 2001, 21(11): 1885 ~ 1892
- [4] Schaeffer D J, Henricks E E, Kerster H W. Ecosystem health: 1. Measuring ecosystem health[J]. *Environmental Management*, 1988(12): 445 ~ 455
- [5] Rapport D J, Costanza R, McMichael A J. Assessing ecosystem health [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1998(13): 397 ~ 402
- [6] Costanza R, Norton B G, Haskell B D. Ecosystem Health: new goals for environmental management [M]. Washington D C: Island Press, 1992. 239 ~ 256
- [7] Gallopin G C. The potential of a agroecosystem health as a guiding concept for agricultural research [J]. *Ecosystem Health*, 1995(1): 129 ~ 141
- [8] Leppard G G, Munawar M. The ultrastructural indicators of aquatic ecosystem health [J]. *Journal of Aquatic Ecosystem Health*, 1992, 1(4): 295 ~ 308
- [9] Hilty J, Merenlender A. Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health [J]. *Biological Conservation*, 2000, 92(2): 185 ~ 197
- [10] 马克明,孔红梅,关文彬,等. 生态系统健康评价:方法与方向[J]. *生态学报*, 2001, 21(12): 2106 ~ 2116
- [11] Kristin S. Ecosystem health: a new paradigm for ecological assessment [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1994, 9: 456 ~ 457
- [12] 陈高,邓红兵,王庆礼,等. 森林生态系统健康评估的一般途径探讨[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(6): 995 ~ 999
- [13] Ryder R A. Ecosystem health, a human perception: Definition, detection, and the dichotomous key [J]. *Journal of Great Lakes Research*, 1990, 16(4): 619 ~ 624