

· 综述 ·

农业生态系统健康评估方法研究概况

王小艺 沈佐锐

(中国农业大学植物保护学院)

摘要 各种胁迫因子对农业生态系统可能造成极大危害,有时甚至会带来不可逆转的崩溃,因此保护农业生态系统的健康十分重要。本文从农业生态系统健康学说的形成与发展、危及农业生态系统健康的胁迫因子、农业生态系统健康的评价方法和指标等几个方面综述了农业生态系统健康学的研究概况。事实上,农业生态系统健康与可持续农业是相一致的。目前对农业生态系统健康的评估还没有一套可靠而统一的标准,常用的方法主要有生态系统失调综合症的诊断、生态系统缓冲力和持续性的评估以及生态风险评估等。最后讨论了尚待进一步研究的内容,并指出当前我国在发展可持续农业上需要注意的几个方面。

关键词 农业生态系统健康; 可持续农业; 评估

分类号 S 0

Progress of Assessment Methods of Agroecosystem Health

Wang Xiaoyi Shen Zuorui

(College of Plant Protection, CAU)

Abstract Agroecosystems can be hazarded seriously by many kinds of stresses, sometimes even caused irreversible collapse. So it is very important to protect their health. In this paper, the recent research achievements about agroecosystem health were introduced, including the emergence and development of the concept of agroecosystem health, the stresses endangering agroecosystem health, the methods and index assessing agroecosystem health, etc. In fact, agroecosystem health was consistent with sustainable agriculture basically. At present, there was no a series of integrated and uniform criterion to assess agroecosystem health, and those methods such as the diagnosis of ecosystem distress syndrome, assessment of resilience and sustainability of ecosystem, and risk assessment, etc, were often used. Finally, several aspects needed further investigating were discussed, and some problems should be paid attention to in the development of sustainable agriculture in our country at present were suggested.

Key words agroecosystem health; sustainable agriculture; assessment

生态系统健康与人类健康密切相关,是 20 世纪 90 年代国际上出现的一个新的研究领域^[1,2]。1994 年成立了国际生态系统健康学会,继而国内也开展了这方面的研究工作^[3,4]。现在

收稿日期: 2000-07-11

国家自然科学基金资助项目(39870493)

王小艺,北京圆明园西路 2 号中国农业大学(西校区),100094

我们已经知道, 迄今为止地球史上一共发生过 5 次物种大灭绝, 而每次物种大灭绝的直接导因都是一次地球生态系统的崩溃^[5]。也许这种崩溃并非人力所能阻止(在没有人类活动的远古, 地球生态系统的崩溃也曾经经常发生过), 但人类目前对生态系统破坏性的生存方式, 只会加速环境的恶化, 使生态灾难提前到来。当前全球自然灾害(地震、飓风、暴雨、洪水、干旱、沙尘暴、蝗虫等)的频繁发生就是生态系统局部失调的预警。因此, 时刻关注我们人类赖以生存的生态系统的健康发展是十分必要的。

1 生态系统健康的概念与发展状况

对于生态系统健康目前尚无一个确切而普遍认同的定义^[6], Karr 等^[7]认为, 如果一个生态系统的潜能能够得到实现, 条件稳定, 受干扰时具有自我修复能力, 这样的生态系统就是健康的。Schaeffer 等^[8]认为当生态系统的功能阈限没有超过时, 生态系统是健康的。这里的阈限定义为“当超过后可使危及生态系统持续发展的不利因素增加的任何条件, 包括内部的和外部的”。Costanza^[9]则认为如果一个生态系统稳定而且可持续, 系统具有活力, 能维持其组织且保持自我运作能力, 对外界压力有一定弹性, 那么该生态系统才可视作是健康的。Haworth 等^[10]认为生态系统健康可以从系统功能和系统目标 2 个方面来理解。系统功能是指生态系统的完整性、弹性、有效性以及使生境群落保持活力的必要性, 因为不存在一个适当的标准, 讨论什么是生态系统健康是一个困难的课题, 而且评判某个状态是否健康在很大程度上决定于社会利益。综合科学家们的观点, 关于生态系统健康一般包含了如下几个方面的含义: 一个健康的系统必须是稳定、有弹性、可持续的; 生态系统健康具有尺度限制; 应用生态系统健康概念的目标是管理资源; 一个生态系统健康的标准状态必须包括人类作为生态系统的一部分, 并认识到人口统计学的影响; 生态系统功能的保持, 生态系统的可持续性必须考虑到区域或空间分配等。

Rapport^[11]提出, 生态系统健康学将会发展成为一门完整的科学, 当然这得先给出一系列原则, 包括生物学的、社会学的和健康学等方面的科学原则。Calow^[12]认为应该给出一个假设的标准, 围绕该标准派生出各种健康状态。健康分类在某些方面是有用的, 但这不应该有严格的限定。农业生态系统健康和农业可持续发展的思想是分不开的, 一个有病或不健康的生态系统是不可持续的。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、有效的作物组合、农业与社会的相互适应、良好的环境保护、丰富的物种多样性等。这对人类的生存和发展都十分重要。要同时达到所有这些要求是很困难的, 甚至是不可能的, 我们只是要求尽可能地向这些目标看齐, 为人类的生存与发展创造一个良好的空间。农业的可持续发展一定程度上受到工业的影响, 并不能只从农业的角度出发去考虑, 因为破坏生态环境的污染物主要来源于工业, 特别是化学工业^[11]。另外, 社会和经济等方面的操作对自然资源的破坏作用也是不容忽视的。

2 影响农业生态系统健康的胁迫因子

生态系统在受到压力胁迫(stress)的情况下会产生健康风险, 广义的胁迫可概括为引起生态系统发生变化、产生反应或功能失调的作用因子。然而并非所有胁迫都影响生态系统的生存

力和可持续性,实际上许多生态系统依靠某种胁迫而维持^[13]。这些胁迫已成为自然生态系统的组成部分,可称为正向胁迫(eustress)。但在更一般的意义上,胁迫常指给生态系统造成负面效应的逆向胁迫(dysstress)。对于农业生态系统,主要的胁迫因子有以下一些。

2.1 农药等环境污染化合物

农业生产中大量使用杀虫剂、杀菌剂、除草剂,在有效防治病虫害的同时也存在着对非靶标生物的杀伤力^[14]、对害虫天敌种群结构的破坏、对农业生态系统生物多样性的不良影响^[15]。但是,与工业污染物特别是有毒化合物及重金属相比,农药的破坏作用还是较轻的。

2.2 生物技术

基因改良生物体释放于环境可能会产生潜在的不良效应。转基因植物的释放对环境影响的问题,现在越来越多地引起了人们的重视,因为转基因植物本身可能变为杂草或使其他野生近缘种变为杂草。如果转基因植物具有很高的适合度和竞争力,就可能引起种群爆发,破坏生物多样性,从而改变生物群落的结构,影响生态系统的能流和物质循环^[16]。

2.3 生态入侵

生态入侵是指外源生物引入本地区,种群迅速蔓延失控,造成其他土著种类濒临灭绝,并伴生其他严重危害的现象。生态入侵对生态系统的稳定性影响很大,有时甚至能使整个生态系统发生不可逆转的崩溃。

2.4 不当的农业生产活动

土地的过度开垦和耕作、作物的不当种植方式、过度放牧、化肥的不当使用等,也是影响农业生态系统健康的重要因素。

2.5 其他

一些偶发性的自然灾害如地震、火山爆发、洪水、干旱、龙卷风、森林火灾、战争、毒物暴露等对生态系统的破坏也较大。

3 农业生态系统健康的评估

评估生态系统健康的方法是非常复杂的,一般要选择一套指示物(indicator),共同将功能完好与病态的生态系统区分开来。然后进行系统的分析,从而诊断产生病态的原因并制定预防及恢复系统健康的方法。群体水平上的健康评估常常对相同的指示生物的早期病症进行监测,观察这些指示物在施加压力(包括经济、社会和环境压力)前后是如何反应的。

3.1 生态系统健康的评估基础

生态系统具有一种自发地趋向和保持稳定的机制。一般来说,生态系统的复杂程度决定其稳定性,多数生态学过程都有一个阈值,低于或超过这个阈值,生态过程就会变得不连续、混乱甚至终止。Vilchek^[17]提出根据系统稳定性、弹性和脆弱性综合评估生态系统健康。Bertolo^[18]认为,健康不应根据系统的自然化程度,而应根据其自我保持和更新能力来评判。评估生态系统健康关键是分析恰当的时间与空间尺度,选择不同尺度分析的结果差异很大。如果选择的尺度太细微,正常的扰动即可能使评估结果显示为严重灾难;如果选择尺度太粗放,又可能漏掉某些隐蔽的危险。

3.2 生态系统健康的评估方法

对于农业生态系统的健康评估方法很多,常用的有如下几类。

3.2.1 生态系统失调综合症的诊断 生态系统失调综合症(ecosystem distress syndrome)是指系统被破坏后导致其在正常生命期限前终结的不可逆过程,生态系统失调综合症的诊断就是选择一组关键指标来评估生态系统处于有害环境压力下的特征^[3,4,11]。如生物多样性的减少(包括生境、物种、基因水平上)、营养资源受损、初级生产者的减少、生物组成的变化、外来物种和 r 类对策物种在生态系统中的优势度增加、生态系统中某些种群振荡幅度加大、生物分布生境大小的降低、能流的变化、污染物在生物体和媒介体中的循环等。

3.2.2 生态系统的缓冲力和持续性评估 这是根据生态系统抵抗压力的能力大小来评价其健康程度的,即生态系统抵抗自然灾害或受自然灾害的干扰后恢复原来状态的能力。生态系统越健康,其抗干扰能力或从干扰中恢复过来的能力就越强。农业生态系统是地球生态系统的一部分,包含有许多复杂的亚系统及其相互间的作用,很多指示因子如土质、水质、作物产量等都可用于监测农业生态系统的健康状态^[19]。Wichert 等^[20]用鱼群结构评价农业排水区域河岸系统的退化(degradation)和恢复(rehabilitation)状况。他们提出农业生态系统中各组分的健康状况可通过测量农业排水区域的变化来实现,把该变化作为一个农业生态系统景观整体因子。有证据显示,设计维护健康环境的管理措施如通过在排水区域种植草木等可对鱼群完整性产生积极影响。

3.2.3 生态风险评估 生态系统健康风险评估就是评价危害生态系统健康的不良事件发生的概率以及在不同概率下不良事件所造成后果的严重性,并决定应该制订和采取的可行对策。因此评估的着眼点在于风险决策管理,目的是预防性地保护生态系统健康。这是一个多学科、多领域、多层次的综合管理问题,包括技术、经济、政策、法律、公众参与、伦理道德等多个方面。风险分析方法偏重于压力,而不是生态系统的反应。其重点放在已知来源的压力对受压系统可能产生的影响,进而可以估算出单一或多方面压力对受压系统可能产生损害的风险,如生产力降低、物种多样性或其他生态系统功能的损失。早期的生态风险评估多针对人类健康而言,主要评估化学污染物进入食物链后可能对人类造成的影响^[21]。但生态系统风险评估的最终受体不仅是人类自己,而且应包括生态系统的各个组建水平:个体、种群、群落、生态系统及环境,并且要考虑生物间以及不同组建水平的生态风险之间的相互作用。

3.3 关于评估的指标

指标是用来表达和交流持续发展状态和过程信息的工具,指标设计和使用的好坏,直接影响决策的正确性和有效性。目前对生态系统评估的指标很多也较混乱,生产力、稳定性、持续性、自组织力、多样性/复杂性、公平性、恢复力、有效性等是评估农业生态系统或农业生态系统状况的基础^[22]。其中持久性是农业生态系统重要评估指标之一^[23]。然而,对各个农业生态系统是否健康的状态进行评价,不可能建立一个完整的统一的指标体系,因为不同的农业生态系统所处的自然、社会、经济状态不同,同一系统发展的不同阶段所具有的特点也不同,需要由不同的指标来监测,因而不同系统、同一系统不同的时间段上要求使用的指标不一样,这就使得一致性的指标体系难以确定。

当前多数人所接受的做法是,选择一套对系统变化敏感的生物或理化性质作为指示器,监测指示器对生态环境变化的反应,并以此来判断生态系统是否健康。如土质、水质、作物产量、生物多样性等指示因子常被用于监测农业生态系统的健康状态^[19],某些鱼类可作为评估水生生态系统健康与否的指示器^[20]。关于化学农药对土壤生态系统安全性的评价,有人以土壤微生物受到的影响及影响程度作为重要指标^[24,25],而另一些研究认为以农药对蚯蚓的毒性作为

评估农药对农业生态系统健康程度的一个指标也是可行的^[26,27]。吸虫(trematode)因为具有复杂的生活周期可作为评估沼泽生态系统健康的一个好的指示器^[28]。根据时间序列获取的卫星数据监测植被对胁迫的物候反应可作为评估生态系统健康的指示器^[29]。多种外生菌根(ectomycorrhizas)由于受污染物影响时可显著降低其地上部分分子实体的产生而常被用作生物指示器^[30];螺贝类(snails)种群因与森林土壤的理化性质,包括土壤湿度、pH值和地面覆盖度等因子密切相关,可作为监测赤杨沼泽森林生态系统健康状况的敏感指示器^[31];水貂(mink)可作为监测有机氯农药和重金属污染的农业生态系统健康状况的有效生物指示器^[32]。

4 讨论

评估生态系统健康与生态、经济、人类健康等多方面有关,该领域正得到迅速的发展^[33]。广义上人类是生态系统的一部分,因此生态系统健康包括了人类健康^[34]。把农业放在可持续发展的大范围内考虑,从经济、社会和环境角度为农业发展定位,在讨论农业生态系统健康问题时,除了国家农业宏观政策层面上的评价外,主要集中在具体的农业生态系统健康状态评价。农业生态系统的稳定与健康发展的关系,首先表现在农业环境对农业活动的反应及其对破坏作用的承载能力,而农业活动类型及影响主要决定于人们采取的农业政策和技术措施。生态系统健康研究,其核心是要确立农业生态系统的整体观,从维护和增强农业生态系统健康着想,从恢复或增强农业生态系统中的自然控制作用着手。

因为目前还缺乏客观根据评价生态系统健康,谈到健康总是意味着主观因素,没有建立一套区别健康和病态生态系统的严格条件,今后还必须进行比较性研究以提供测量的标准及理解生态系统健康的准绳。在关键指示生物种类的鉴定、生物指示器(bioindicator)的开发、系统和化学循环的影响及地形和生态区域的影响等方面的评估问题上,也还需要进一步的研究。生态系统健康的整体性评价主要是一种定性的判断,如何将定性评价与定量分析有效结合,将是以后生态系统健康研究的一个重要课题。生态系统健康和生态系统功能间的关系也应该进一步研究并证实。此外,建立胁迫与生态系统产生病变行为(症状)的对应关系也是很重要的。农业活动究竟对自然环境有哪些正面和负面影响,不同农业政策又是怎样对环境产生影响的,这些都是农业生态系统健康评估所要考虑的。

建立一整套完整而普遍适用的反映农业生态系统健康状况的指标体系很难,但目前至少可以构建一套与政策相关的、能反映农业生态系统健康状态的评估指标分析框架,用来揭示农业领域内的主要自然环境、生态结构及经济发展问题。农业生态系统具有社会基础,一系列的社会管理决定了资源的配置、技术的采用,因而也决定着压力的种类和水平。所以政策制订者与科学研究者之间要加强交流,信息互通。科学家注重于长期利益,而政策制定者则注重于实际的、经济的、短期的效益。科学家应了解政治程序,减小与政策制定者的差距,参与政策的制定过程。另一方面政策制订者在制订政策时也应多方参考科学家的意见,权衡利弊,从全人类社会长期发展的角度来合理利用和配置资源,特别是不可再生利用的资源。此外,农民的科学素质对可持续农业生态系统的管理十分重要^[35]。通过宣传教育和传媒提高公众的参与意识也是十分重要的。通过立法来规范人类的生产和科研活动,减少人类对自然界的干扰,也是解决生态风险的有效方法之一,这方面国内外均已开始引起重视了,如我国关于农药化肥的生产和销售管理体制正在逐步得到完善。

参 考 文 献

- 1 吴刚, 韩青海, 蓝盛芳. 生态系统健康与生态系统健康评价. 土壤与环境, 1999, 8(1): 78~ 80
- 2 O le N N. Agroecosystem health. Ottawa: University of Guelph, 1994
- 3 沈佐锐. 生态系统健康和植物医学. 中国生态学会通讯, 1997, (3): 14~ 15
- 4 沈佐锐. 温室生态系统健康研究进展. 中国生态学会通讯(特刊), 2000: 39~ 41
- 5 郑笑梅编译. 物种大灭绝. 国外科技动态, 2000, (5): 6~ 8
- 6 Suter II G W. A critique of ecosystem health concepts and indexes (abstract). Environmental Toxicology and Chemistry, 1993, 112: 1533~ 1539
- 7 Karr J R, Fausch K D, Angemeier P L, et al. Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale. Champaign: Illinois Natural History Survey, Illinois, Special Publication 5, 1986
- 8 Schaeffer D J, Cox D K. Establishing ecosystem threshold criteria. In: Costanza R, Norton B, Haskell B. Ecosystem health—new goods for environmental management. Washington DC: Island Press, 1992
- 9 Costanza R. Toward an operational definition of health. In: Costanza R, Norton B, Haskell B. Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management. Washington DC: Island Press, 1992
- 10 Haworth L, Brunk C, Jennex D, et al. A dual-perspective model of agroecosystem health: system functions and system goals (abstract). Journal of Agroecosystem and Environmental Ethics, 1997, 10(2): 127~ 152
- 11 Rapport D J, Gaudet C L, Calow P. Evaluating and monitoring the health of large-scale ecosystems. Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, Germany, 1995
- 12 Calow P. Ecosystem health—unhealthy? Presentation at NATO advanced research workshop on evaluating and monitoring the health of large-scale ecosystems. Quebec: Chateau Montebello, Canada, 1993
- 13 孙刚, 周道玮. 胁迫生态学研究进展. 农村生态环境, 1999, 15(4): 42~ 46
- 14 蔡道基, 江希流, 蔡玉琪. 化学农药对生态环境安全评价研究. 农村生态环境, 1986, (2): 9~ 13
- 15 陈欣, 唐建军, 王兆骞. 农业活动对生物多样性的影响. 生物多样性, 1999, 7(3): 234~ 239
- 16 钱迎倩, 田彦, 魏伟. 转基因植物的生态风险评估. 植物生态学报, 1998, 22(4): 289~ 299
- 17 Vilchek G E. Ecosystem health, landscape vulnerability, and environmental risk assessment (abstract). Ecosystem Health, 1998, 4(1): 52~ 60
- 18 Bertollo P. Assessing ecosystem health in governed landscapes: a framework for developing core indicators (abstract). Ecosystem Health, 1998, 4(1): 33~ 51
- 19 Swanton C J, Murphy S D. Weed science beyond the weeds: the role of integrated weed management (WM) in agroecosystem health. Weed Science, 1996, 44(2): 437~ 445
- 20 Wichert G A, Rapport D J. Fish community structure as a measure of degradation and rehabilitation of riparian systems in an agricultural drainage basin. Environmental Management, 1998, 22(3): 425~ 443
- 21 李国旗, 安树青, 陈兴龙, 等. 生态风险研究评述. 生态学杂志, 1999, 18(4): 57~ 64
- 22 Okey B W. Systems approaches and properties, and agroecosystem health (abstract). Journal of Environmental Management, 1996, 48(2): 187~ 199
- 23 王兆骞. 农业生态系统管理. 北京: 中国农业出版社, 1997
- 24 van Straalen N M, Lokke H. Ecological risk assessment of contaminants in soil. London: Chapman &

Hall, 1997

- 25 朱南文, 胡茂林, 高廷耀 甲胺磷对土壤微生物活性的影响 农业环境保护, 1999, 18(1): 4~ 7
- 26 Paoletti M G, Sommaggio D, Favretto M R, et al Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs Applied Soil Ecology, 1998, 10(2): 137~ 150
- 27 钟远, 臧宇, 罗屿, 等 新型杀虫剂对蚯蚓的毒理学研究 农业环境保护, 1999, 18(3): 102~ 105
- 28 Lafferty K D, Beckage N E The ecology of parasites in a salt marsh ecosystem (abstract). Parasites and pathogens: effects on host hormones and behavior New York, U SA: Chapman & Hall, 1997, 316~ 332
- 29 Lancaster J, Mouat D, Kuehl R, et al Time series satellite data to identify vegetation response to stress as an indicator of ecosystem health (abstract). Proceedings: Shrubland ecosystem dynamics in a changing environment General Technical Report Intermountain Research Station, U SDA Forest Service, 1996, 255~ 261
- 30 Mohan M S, Subashini H D, Nair S, et al Mycorrhizas as bioindicators of ecosystem health (abstract). Bioindicators: identification and use in assessing environmental disturbances Madras: M S Swaminathan Research Foundation, India, 1995: 11~ 20
- 31 Hauschild C, Stockmann A, Pfadenhauer J, et al Ecological indicators of alder swamp forests (abstract). Verhandlungen Gesellschaft fur Okologie, 1998, 28: 515~ 521
- 32 Poole K G, Elkin B T, Bethke R W. Organochlorine and heavy metal contaminants in wild mink in western northwest territories, Canada (abstract). Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 1998, 34(4): 406~ 413
- 33 Rapport D J, Costanza R, Michael A J. Assessing ecosystem health (abstract). Trends in Ecology and Evolution, 1998, 13(10): 397~ 402
- 34 Gopalan H N. Ecosystem health and human well being: the mission of the international programme on plant bioassays (abstract). Mutation Research, 1999, 426(2): 99~ 102
- 35 Bellon M R. Farmers' knowledge and sustainable agroecosystem management: an operational definition and an example from Chiapas, Mexico (abstract). Human Organization, 1995, 54(3): 263~ 272