

人工生态系统稳定性概念及其指标

冯耀宗

(中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; 国际热区人工群落与生物多样性协会, 昆明 650223)

Concept and Criteria of Stability for Managed Ecosystem. Feng Yaozong (*International Society for Managed Community and Biodiversity, XTBG, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223*). *Chinese Journal of Ecology*, 2002, 21(5): 58~60.

Issue of stability of managed ecosystem is extremely important in ecological research and sustainable development. For a long period of time, however, there is still few report either on the comprehensive concept of stability or on the criteria for assessing the stability of managed ecosystem. Based on experiments conducted for more than four decades in a managed ecosystem in South Yunnan, China, with references to the recent progress in ecological research worldwide, the author put forward a proposal about the concept of stability managed ecosystem. That is "the integrated characteristics of the dynamic balance of the essential elements, such as the running efficiency, the resistance, the environmental changes, etc." This paper also deal with the three criteria of stability managed ecosystem, i. e. productivity, resistance and environmental dynamics, respectively. As well the practical methods for assessing these criteria are also described.

Key words: managed ecosystem, stability, sustainability.

关键词: 人工生态系统, 稳定性, 可持续性

中图分类号: Q147

文献标识码: A

文章编号: 1000-4890(2002)05-0058-03

稳定性是生态系统结构及功能中的一个决定系统兴亡的重要特性, 在生态学研究中被一直是关注的焦点。虽然稳定性在系统中有如此重要意义, 但稳定性在概念上的混乱, 造成了对研究系统稳定性的困难。Pimm^[10]总结出了生态系统稳定性的 45 种不同的含义。不同的研究者对稳定性给了各种不同的含义, 如“系统保持振荡的可能性”(可靠性 reliability)^[7]; “在一段时间内, 考察的振荡指标的变化幅度”(易变性 variability)^[10]; “系统能够耐受的干扰强度”(吸收范围 domain of attraction)^[6]; “受干扰后回归初始状态的趋势”(恢复力 resilience)^[10]等等。总之, 到目前为止, 生态系统稳定性的概念仍然是含混的。Hill^[3]认为“生态系统稳定性的概念不仅复杂, 而且经常被人们用一些含糊不清的术语所研讨”。

本文将作者 40 余年来对热带生态系统特别是热带人工生态系统进行的结构与功能研究所取得的有关数据, 以及近期国际上对该研究领域的进展结合起来, 对人工生态系统稳定性概念及指标进行探讨。

1 人工生态系统稳定性概念

人工生态系统占了陆地生态系统的 70% 以上(农用地 50%, 经济林木地 20%)^[11], 对生态系统稳定性的研究, 仍然主要集中在自然生态系统, 因此, 应首先对自然及人工系统稳定性之间的特性加以区别。在自然生态系统稳定性研究中, 人们主要集中

于系统的静态稳定, Hill^[3]认为“稳定性可以说成是从热力学(thermodynamics)中派生出来的概念; 它强调的是生态系统维持其近平衡点(near an equilibrium point), 或在历经干扰后, 回归至其平衡点的能力。”Dumber^[4]用“非振荡稳定性”(no-oscillation stability)来描述稳定性。多数生态学家常用的是“静态(constancy)”这一术语。而人工生态系统, 则是通过人工的播种、种植、栽培、管理直至收获这一连续不断的动态过程的反复进行来反应系统的稳定性, 不能用“静态”的概念保持在某一平衡点。因此“静态”与“动态”的区别是自然生态系统与人工生态系统稳定性研究中的第一个重要区别。第二, 自然生态系统稳定性研究, 主要针对系统结构的稳定, 正如 Hill^[3]所言, “稳定性通常主要用于描述系统中物种数量或单个物种种群密度的振荡”。而人工生态系统的结构, 如系统中种类的多少, 种群密度, 层次布局等, 主要受人的控制, 因此人工生态系统稳定性的研究, 主要针对的不是在系统的结构上, 而是在系统的功能上(如系统生产力, 系统的抗干扰能力及生物与环境的相互影响等)。

基于人工生态系统稳定性涵义的特殊性, 因而至今为止, 有关描述自然生态系统稳定性的概念如

作者简介: 冯耀宗, 男, 70 岁。1955-1958 年中国科学院昆明植物研究所工作, 1959-1985 年中国科学院云南热带植物研究所, 1985-1995 年中国科学院昆明生态研究所 所长, 1995 年迄今中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部研究员, 中国科协国际热区人工群落与生物多样性协会理事长, 云南省生态学会名誉理事长。

易变性、恢复力、脆弱性、可靠性等均不宜用来概括人工生态系统稳定性的概念。人工生态系统稳定性概念,应该体现:动态的、发展的、整体的、因子间相互联系的这些主要特点。即人工生态系统的稳定性是系统运动效率,抗性以及生物与非生物各要素间相互作用等系统动态平衡状况的综合特性。

2 人工生态系统稳定性指标

2.1 系统生产力动态

生产力动态,是指在一定时期内生产力的变动状况。稳定或继续增长的评为高,基本稳定,有时有下降情况的评为中,动荡不定并有明显下降的评为低。

人工生态系统的生产力与自然生态系统不完全一致,它不仅反应了生物量的积累,而且更为重要的是反映人类种植该种植物所要求的主要经济价值部分的产量高低,不同的种类要求不同的部分,如种子、果实、叶片、茎干,或某些内含物(脂肪、糖、胶乳、芬香油等),上述各部分,用经济价值来加以统一,称为经济生产力。而经济生产力才是人工生态系统真正有价值的生产力指标。

2.2 系统抗干扰能力

人工生态系统中的抗干扰能力,即是系统抵抗自然灾害的能力。在众多生态系统稳定性的研究中,几乎都涉及到抗干扰这一指标。在传统的干扰定义中,将干扰定义为“使生态系统的结构或功能特征产生突然变化,从而扰乱生态系统的平衡状态的非常规事件”^[3],一般涉及干扰的术语有抵抗力、恢复力、弹性等都是针对天然生态系统。从人工生态系统的特殊性出发,建议用下述指标作为系统抗干扰能力的度量。

2.2.1 生物量与生产力(包括经济生产力)在干扰前后的变幅 可分为大、中、小3个等级,变幅超过50%的抗干扰能力为小,20%~50%的为中,20%以下的为大。

2.2.2 种群数量 在干扰前后的种群数量变动,超过50%的抗干扰力为小,20%~50%的为中,20%以下的为大。

2.2.3 多样性指数在干扰前后的变化 多样性指数的高低,反映了生态系统环境的质量,如优良的土壤环境带来丰富的土壤动物和微生物,多样性丰富带来草食性昆虫与肉食性昆虫以及鸟类之间食物链的形成。因此多样性指数也是一个系统稳定性的重

要指标。我们对人工生态系统研究中发现,由于系统内的生物多样性增加,如胶茶群落中的蜘蛛种类增加(已鉴定出的即有89种),使得危害茶园最严重的小绿叶蝉(*Empoasca flavescens*)害虫,得到了彻底控制。40多年来,未进行过一次农药施用,而该害虫的种群量由于天敌蜘蛛的繁衍而始终被控制在经济防治指标之下。这是一个非常典型的实例。而一般在施用农药后(视为对系统的一种化学干扰)系统中的生物多样性降低,而某些物种的种群量增加(评定时分为高、中、低3级)。

2.3 系统环境动态

在大量的系统稳定性的研究工作中,很难找到系统内部的环境状况与系统稳定性之间相互关系的研究。然而,从动态的及长期的观念出发,系统本身对环境的反作用,应该是系统稳定性的一个重要方面。Paul^[9]指出“超过50年的试验,随着采用新品种和新技术,作物的生产力随着提高,但一般说来,特别在热带,土壤的质地变化很快,使系统的脆弱性增加”。

系统内部的环境可因系统结构的改变而改变,如果向良性方向转变,则说明系统稳定性高,如果向恶性方向转变,则说明系统稳定性差。

2.3.1 气候环境 气候环境中最为敏感的是水热条件,一般测定指标主要是:①空气相对湿度。其中又分为相对湿度的平均值及最高最低的差值。在一般情况下,特别在原有结构要求有一定空气湿度的一些物种组成的结构,如以热带雨林树种(如橡胶、可可、胡椒等)组成的人工生态系统,空气湿度的要求就比较高,一般空气湿度降到一定水准时,就会严重影响作物的生产力,如三叶橡胶在空气湿度降至50%以下时,几乎不能产胶,空气湿度成了胶乳产量的主要限制因子,空气相对湿度越高,产量愈高,因此在海南岛,为了提高产胶量,每天割胶时间提前到天亮以前,割胶工必须戴上头灯进行割胶操作。据观测,结构愈复杂的系统,空气相对湿度愈高且愈稳定。相对湿度的差值大小,也会明显影响系统的稳定性,一般差值愈大稳定性愈差(空气湿度评定时分为优、中、差3级);②空气温度。由于群落结构对太阳辐射的再分配作用,使得群落内部的温度状况随着结构而发生变化。曾用这一变化原理,避开了低温对橡胶及小粒种咖啡的寒害,大大降低了如橡胶及咖啡的寒害死亡率^[1,2]。

空气温度不能单纯考虑平均气温,有时不同的

生态系统气温的差值(如昼夜差值,最高最低差值),或绝对最高及绝对最低值,也有着不同的重要意义。一般而言,气温的变幅愈小,环境质量愈高(分为优、中、差3级)。

2.3.2 土壤环境 土壤环境在系统演替过程中的良化或恶化及其程度,也是系统稳定性的一个重要指标,我们进行了热带森林砍伐后连作旱稻4年的产量变化,由于严重的水土流失,连作4年后,旱稻产量从第1年的 $2032\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$,降低到第2年的 $998\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$,到了第4年,只有 $83\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$,几乎降低到零点^[1]。这是土壤环境恶化所造成的系统稳定性降低的很好实例。土壤环境的主要指标是:①土壤中大量元素及微量元素(分为高、中、低3级);②土壤有机质(分为高、中、低3级);③土壤物理性(分为高、中、低3级);④土壤水分(分为高、中、低3级)。上述土壤环境的高、中、低水平的评定,以保持原有水平或高于原有水平为高,基本保持原有水平或略有降低为中,明显降低为低。

2.3.3 环境污染程度 由于系统投入中化学元素的大量增加,使得系统环境(如土壤、地下水及产品等)不断受到污染,这不仅影响到系统本身,还将影响到与系统相连的整个生态景观质量,进一步造成了系统的不稳定,因此污染状况也是衡量稳定性的一个指标。在评定该指标时,分为污染严重、一般污染和无污染3个级别。

3 人工生态系统稳定性评定的方法

根据上述3个1级指标,分别评出各个1级指标的度量,而每一个1级指标又必须经过下属的2级及3级指标的平均值取得,每一指标均按3分制评定。现按各级评定指标内容及应得分数(表1),根据表1,将3级指标(如土壤有机质含量等)的平均值作为2级指标,再将2级指标(如土壤、气候等)的平均数作为一级指标(如抗干扰能力)的得分数,再将3个1级指标相加的数值总数作为系统稳定性指数。

按上述评定方法,可将人工生态系统稳定性指数分为7个级别,其中最高的为9,最差的为3,数字愈大的稳定性愈好。

人工生态系统稳定性概念及指标问题,是一个非常复杂而又非常重要的问题,但直至目前为止,尚未见有这方面的完整报道,作者将有关这方面的个人意见进行整理,起一点抛砖引玉的作用。

表1 人工生态系统稳定性评定指标

项目	内 容	得分
生产力动态	(1)稳定,有时有所升高	3
	(2)基本上稳定,有时有所降低,但不超过30%	2
	(3)不稳定,变化在50%以上	1
抗干扰能力	(1)生物量及生产力在干扰前后的变幅	①变幅在20%以下 3 ②变幅在20%~50% 2 ③变幅在50%以上 1
	(2)种群数量在干扰前后的变化	①变幅在20%以下 3 ②变幅在20%~50% 2 ③变幅在50%以上 1
	(3)多样性指数在干扰前后的变化	①基本不变 3 ②略有降低 2 ③大量降低 1
环境动态	(1)气候 ①空气相对湿度	高 3 中 2 低 1
	②空气温度	优 3 中 2 低 1
	(2)土壤 ①化学性	高 3 中 2 低 1
	②物理性	好 3 中 2 低 1
	③有机质含量	高 3 中 2 低 1
	④土壤水分	高 3 中 2 低 1
	(3)污染 轻	3
	中	2
	重	1

参考文献

- [1] 冯耀宗,等. 巴西橡胶-云南大叶茶人工植物群落的实验生态学研究[J]. 植物学报, 1982, 24(2): 164~171.
- [2] 冯耀宗,等. 热带人工多层多种植物群落与光、水、土的合理利用[A]. 热带植物研究论文报告集[C]. 昆明: 云南人民出版社, 1982.
- [3] Hill, A. R. Ecosystem stability: some recent perspectives[J]. *Prog. Physical Geography*, 1987, 11(3): 315~333.
- [4] Dunbar, M. J. Stability and fragility in arctic ecosystem[J]. *Arctic*, 1987, 26, 179~185.
- [5] Feng Yaozong. The ecological effect of windbreak and chilling injury resistance of rubber-tea artificial community[C]. *Chimatoical Notes*, No. 38. Tsukuba, Japan. 1998.
- [6] Holling, C. S. Resilience and stability of ecological systems[J]. *Ann. Rev. Ecol. and System.*, 1973, 4: 1~23.
- [7] Naeem, S. Species redundancy and ecosystem reliability[J]. *Conser. Biol.*, 1998, 12: 39~45.
- [8] Matson, P. A. *et al.* Integration of environmental, agronomic, and economic aspects fertilizer management[J]. *Agron. Sci.*, 1998, 280: 112~115.
- [9] Paul, E. R. Long-term agroecosystem experiments: assessing agricultural sustainability and global change[J]. *Science*, 1998, 282(30): 893~896.
- [10] Pimm, S. L. *The Balance of Nature*[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1991.
- [11] Gordon, H. O. *et al.* Biodiversity and Ecosystem Processes in Tropical Forests[M]. In: Rodolfo, H. O. (eds). New York: Springer, 1996.

(收稿:2001年10月11日,改回:2002年3月20日)