

张永生, 欧阳芳, 袁哲明. 虫鼠害对生态系统生物量危害损失的评估方法[J]. 生物灾害科学, 2018, 41(1): 34-37.

虫鼠害对生态系统生物量危害损失的评估方法

张永生¹, 欧阳芳², 袁哲明¹

(1. 湖南农业大学 植物保护学院/植物病虫害生物学与防控湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128; 2. 中国科学院 动物研究所/农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

摘要: 病虫害鼠等有害生物种群在变动的环境下较易突增而酿成生物灾害, 从而给生态系统造成危害和引起生态系统服务的退化。评估生物灾害对生态系统的影响有利于明确有害生物对生态系统造成的损失, 有利于揭示生态系统所面临的有害生物胁迫问题。目前有关有害生物对生态系统危害损失的评估方法主要是直接经济损失评估方法与生态服务功能价值评估方法。基于生态能学构建了虫鼠等有害生物对草地和森林生态系统生物量危害损失的定量评估方法。

关键词: 生物灾害; 有害生物; 生态系统; 生物量

中图分类号: S443; S43 文献标志码: A 文章编号: 2095-3704 (2018) 01-0034-04

Evaluation Methods of Ecosystem Biomass Loss From Insects and Rodents

ZHANG Yong-sheng¹, OUYANG Fang², YUAN Zhe-ming¹

(1. Hunan Provincial Key Laboratory for Biology and Control of Plant Diseases and Insect Pests/ College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology/Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Population of pests such as diseases, insects, weeds and rodents, are apt to outburst and lead to biological disasters in changing environment, which can cause damage of ecosystem and degradation of ecosystem services. The evaluation of biological disasters was helpful to find the loss of ecosystems caused by pests and to reveal the problem of pest stress on the ecosystem. At present, the evaluation methods of loss of ecosystem caused by pests often used the evaluation of direct economic loss and the evaluation of ecosystem service value loss. In this paper, the quantitative evaluation methods of biomass loss caused by insects and rodents on grassland and forest ecosystems were established on the basis of ecological energy.

Keywords: biological disaster; pest; ecosystem; biomass

生态系统产品与服务功能是人类生存与经济社会可持续发展的基础, 与人类福祉密切关联。近年来随着经济建设、资源开发利用等人类活动的不断加强, 生态系统受到的干扰不断增大, 自然灾害和全球气候变化对生态系统威胁不断增加, 生物灾害的发生与为害日趋加重。生物灾害严重危害农牧林业生产, 会导致农作物大面积减产甚至绝收、林木生长量减少甚至枯死、草地退化, 对生态系统服务功能造成严重破坏。

收稿日期: 2018-03-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31300347)

作者简介: 张永生(1980—), 男, 主要从事农田景观与害虫防治研究, yshzhang@hunau.edu.cn.

评估生物灾害对生态系统的影响有利于明确病虫草鼠等有害生物对生态系统造成的损失,有利于揭示生态系统所面临的有害生物胁迫问题,为减少有害生物发生和生态环境管理提供可靠的科学依据^[1]。

目前有关有害生物对生态系统危害损失的评估研究,主要基于生态系统服务功能的价值评估^[2-11],包括直接经济损失及生态服务价值损失估算,而从生态能学角度出发的生态系统损失评估研究还很少。能量是生态系统的动力,是一切生命活动的基础。生物量是某一特定观察时刻、某一空间范围现有的个体数量、重量(狭义的生物量)或者含能量,是一种现存量,在生态系统的研究中占有重要地位^[1,12]。本文基于生态能学构建了虫鼠等有害生物对草地和森林生态系统生物量危害损失的定量评估方法,以期为评估生物灾害对生态系统的影响提供一种新思路和方法。

1 植物生物量损失的评估方法

1.1 利用种群能量动态估算

戈峰等^[13-14]利用生态能学理论与方法,通过研究昆虫种群能量动态定量评价天敌对害虫的控制作用。一般认为植物生物量损失与害虫、害鼠的摄入量相关,因而可根据两者间的关系定量地估算虫害或鼠害对植物造成的生物量损失。害虫与害鼠种群的摄入量通常是在室内测定的基础上,结合野外种群数量进行估计。

$$I = \sum_{i=1}^k I_i \cdot T_i \cdot N_i \quad (1)$$

$$L = C \cdot I \quad (2)$$

以害虫为例,式中 I 为种群摄入量, i 为害虫的龄期, I_i 为各龄期害虫的平均摄入量, T_i 为各龄期害虫的平均取食时间, N_i 为各龄期取食的害虫种群数量, L 为植物生物量的损失量, C 为损害系数。

1.2 利用生态效率估算

生态效率指生态系统内生物个体、种群或群落之间能量转换的状况^[13]。根据植物生物量损失与虫鼠摄入量的关系、虫鼠摄入量与虫鼠生产量的关系,利用虫鼠害种群的发生数据与生态效率数据,先算得种群摄入量后,再估算虫鼠害对植物造成的生物量损失。

$$Pg = B \cdot D \cdot O \quad (3)$$

$$P = Pg + Pr \quad (4)$$

$$Ne = \frac{P}{A} \quad (5)$$

$$Ae = \frac{A}{I} \quad (6)$$

$$I = \frac{P}{Ne \cdot Ae} \quad (7)$$

$$L = C \cdot I \quad (8)$$

(3)~(8)式中, P 为种群生产量, Pg 为种群生长生产量, Pr 为种群生殖生产量, B 为个体生物量, D 为种群密度, O 为发生面积; I 为种群摄入量, Ne 为净生态学效率, Ae 为同化效率, A 为种群同化量; L 为植物生物量的损失量, C 为损害系数。

种群生产量 P 是生长生产量 Pg 和生殖生产量 Pr 之和。 Pg 主要是生长发育过程中的体质量(生物现存量)增加量,通过种群平均个体生物量 B 和种群密度 D 、发生面积 O 来估计。 Pr 对于害虫主要是雌成虫的产卵量,当 Pr 很小时可以忽略, P 就主要表现为体质量的增加,只要估算种群的 Pg 即可。净生态学效率 Ne 为生产量 P 与同化量 A 的比值,是指将同化量转为自身生产量的能力;同化效率 Ae 为同化量 A 与摄入量 I 的比值,是指同化和吸收摄入物质的能力。损害系数 C 会因有害生物为害的部位与方式不同而不同。为害叶片的有害生物,如食叶性咀嚼式害虫,其摄入量就估算为损害量,即 C 为 1;为害根部、茎干或花果等的有害生物,

除摄入量造成损失外还会对其他器官或部位造成损害，增加了为害程度，因此 C 会大于 1。

若忽略生殖生产量 Pr ，则植物生物量损失 L 的公式简化为：

$$L = k \cdot B \cdot D \cdot O \tag{9}$$

$$k = \frac{C}{Ne \cdot Ae} \tag{10}$$

(9)~(10)式中 k 为参数。个体生物量 B 用鲜质量来表示，可以从室内测定或文献资料中获得，种群密度 D 和发生面积 O 可以从野外调查或文献资料中获得；净生态学效率 Ne 与同化效率 Ae 可以通过公式估算或从文献资料中获得，损害系数 C 可通过相关文献资料估计。另外，同化量 A 可以从室内测定或文献资料中获得，种群摄入量 I 可以通过公式估算或从文献资料中获得。

同理，用防治面积替换发生面积，可估算通过防治有害生物挽回的植物生物量损失。不同区域有害生物的种群密度是不同的，有时评估的生物灾害区域范围很大，真实的种群密度是很难完整获得。如果使用防治指标代替，则评估的是有害生物达到防治密度阈值时所造成的损失，这反映的是最低损失量，因为生物灾害发生的种群密度是大于防治指标的。

2 损失估算的不确定性分析

灾害造成损失的不确定性因素包括不同类型虫害、鼠害为害方式的差异，为害对象如草地、森林等的差异，灾害发生面积和发生程度的估计值误差等。这些因素都会影响损失估算的准确性，为了确保估算值不会过高或过低，需要对损失估算值进行不确定性分析，分析方法参考 IPCC 的估算方法^[15]。植物生物量损失估算的不确定性是与个体生物量、种群密度、发生面积等指标变量相关，因此需要对每个估算指标变量进行不确定分析。明确不确定性需要给出估算值或指标变量估计值的置信区间，也就是一个不确定数值位于某个数值范围内的概率，通常建议采用 95%置信度，即估算结果的准确性有 95%的可靠性。不确定性分析的公式：

$$U (\%) = \frac{1/2(95\% \text{置信区间}) \times 100}{x} \tag{11}$$

(11)式中， U 是不确定性量（参数指标）的百分比不确定性， x 是不确定性量（参数指标）的平均值。不确定性分析是通过平均值及其标准偏差来确定置信区间，通常以 95%的置信区间为基础。每个参数指标的平均值及其标准偏差可以从调查样本数据集或者数值模拟数据集获得。

研究区域内可能有多种植物被为害，同种植物通常也被多种有害生物为害，总的植物损失量需要将各类损失量相加，这涉及到各类不确定性指标变量及各类植物损失量的加法合并。在计算植物生物量损失的公式中个体生物量、种群密度、发生面积等指标变量要相乘，这涉及到不确定性指标变量的乘法合并。不确定性的合并与估算有误差传播公式和蒙特卡罗模拟两种方法^[15-17]。

误差传播公式提供了两种方便的规则，可以根据乘法和加法来合并互不相关的不确定性。当不确定性量用加法合并时，总和的标准偏差为各不确定性量的标准偏差的平方之和的平方根（该规则严格适用于互不相关的变量），公式如下：

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot x_1)^2 + (U_2 \cdot x_2)^2 + \dots + (U_n \cdot x_n)^2}}{x_1 + x_2 + \dots + x_n} \tag{12}$$

(12)式中， U_{total} 为所有不确定性量的总和的百分比不确定性， x_i 和 U_i 分别表示不确定性量（平均值）及其相关的百分比不确定性。 x_i 与 U_i 的乘积就是其 i 不确定性量的标准偏差。

当不确定性量用乘法合并时应用同一规则，但标准偏差都必须表示为适当平均值的分数（该规则几乎适用于所有随机变量），公式如下：

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + K + U_n^2} \tag{13}$$

式中, U_{total} 为所有不确定性量的乘积的百分比不确定性, U_i 为与每个不确定性量相关的百分比不确定性。

蒙特卡罗模拟分析, 又称统计模拟方法或随机抽样方法。这种方法的原理是根据各变量(参数指标)的概率密度函数选择相应变量的随机值, 然后利用各参数变量构成的数学模型计算出其相应的计算值, 利用计算机多次重复这一过程每次计算的结果用来构建估算值的概率密度函数, 得到这个随机变量的某些数字特征, 并将其作为问题的解。当不确定性相对较低, 变量之间没有显著影响而相互独立时, 一般采用误差传播公式; 当不确定性相对较大, 缺乏调查样本数据集时, 采用蒙特卡罗模拟。

3 讨 论

本文基于生态能学的生物灾害为害损失评估方法适用于虫害和鼠害对草地与森林生态系统生物量危害损失估算, 对于病害和草害需进一步研究。虫鼠等有害生物发生范围广, 不同区域的主要有害生物种类可能会不同, 同一种有害生物在不同区域其估算方法的参数指标也可能不同, 如不同区域的种群密度会有所差异。因此, 不同的区域应该要使用不同区域的主要虫鼠害种类及其相应的参数指标来计算, 这样估算会更准确、更接近真实情况。这同时也增加了估算的难度, 尤其是大尺度区域范围, 可能要根据虫鼠害的生物特征进行合理地分区域估算, 不同区域需要不同的野外调查数据及室内研究数据来确定参数指标。另外, 用防治指标代替真实种群密度进行估算会低估有害生物造成的实际损失, 这是由于有害生物造成损失时的种群密度通常高于防治指标。使用防治指标估算反映的是最低损失量, 有时会比实际损失量低很多, 因此在估算时要尽可能使用实际调查到种群密度, 使估算的损失量更接近真实损失。

本方法为生物灾害评估提供了一种新思路, 但也存在一些不足之处, 如计算比较繁琐, 可能需要分区域确定有害生物种类及其参数指标进行估算; 田间有害生物种群的参数指标受多种因素影响, 参数指标的估计值差异可能会较大; 一些参数指标如生态效率、损害系数等的确定仍需要进一步的改进与深入研究。

参考文献:

- [1] 欧阳芳, 戈峰, 徐卫华, 等. 中国生物灾害评估[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [2] 傅伯杰, 于丹丹, 吕楠. 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 341-348.
- [3] 黄从红, 杨军, 张文娟. 生态系统服务功能评估模型研究进展[J]. 生态学杂志, 2013, 32(12): 3360-3367.
- [4] 韦惠兰, 祁应军. 森林生态系统服务功能价值评估与分析[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(2): 74-82.
- [5] 吴霜, 延晓冬, 张丽娟. 中国森林生态系统能值与服务功能价值的关系[J]. 地理学报, 2014, 69(3): 334-342.
- [6] 赵金龙, 王泮鑫, 韩海荣, 等. 森林生态系统服务功能价值评估研究进展与趋势[J]. 生态学杂志, 2013, 32(8): 2229-2237.
- [7] 池永宽, 熊康宁, 刘肇军, 等. 我国天然草地生态系统服务价值评估[J]. 生态经济, 2015, 31(10): 132-137.
- [8] 高雅, 林慧龙. 草地生态系统服务价值估算前瞻[J]. 草业学报, 2014, 23(3): 290-301.
- [9] 刘兴元, 牟月亭. 草地生态系统服务功能及其价值评估研究进展[J]. 草业学报, 2012, 21(6): 286-295.
- [10] Agbenyega O, Burgess P J, Cook M J, et al. Application of an ecosystem function framework to perceptions of community woodlands[J]. Land Use Policy, 2009, 26(3): 551-557.
- [11] Lin H L, Zhang Y J. Evaluation of six methods to predict grassland net primary productivity along an altitudinal gradient in the Alxa Rangeland, Western Inner Mongolia, China[J]. Grassland Science, 2013, 59(2): 100-110.
- [12] 李林懋, 欧阳芳, 戈峰, 等. 虫害对草地生态系统生物量危害损失评估[J]. 生物灾害科学, 2014(1): 13-19.
- [13] 戈峰, 丁岩钦. 昆虫生态能学理论及其在害虫管理中的应用[J]. 昆虫知识, 1998, 35(5): 296-300.
- [14] 戈峰, 欧阳芳. 定量评价天敌控害功能的生态能学方法[J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(1): 307-313.
- [15] IPCC. Quantifying uncertainties in practice, chapter 6. In: good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories[C]. Bracknell: IES, IPCC, OECD, 1997.
- [16] 曹国良, 张小曳, 龚山陵, 等. 中国区域主要颗粒物及污染气体的排放源清单[J]. 科学通报, 2011, 56(3): 261-268.
- [17] 张景文, 咸月, 陈报章. 南昌市移动源排放清单研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(7): 2449-2458.