

沙区人工植被健康损害度模型的计算与分析^{*}

陆 凡^{1,2}, 李自珍²

(1 兰州医学院 数理教研室, 甘肃 兰州 730000; 2 兰州大学 干旱农业生态国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

[摘 要] 以沙坡头人工固沙植物油蒿和柠条为例, 构建了基于水分因子的沙区人工植被系统健康损害度模型, 并对其进行了定量分析。结果表明: 单种油蒿的营林密度为 2 500 株/hm², 或油蒿、柠条混种情况下, 其营林密度为 6 660 株/hm² 时, 健康损害度最小, 且这两种种植模式下植被覆盖率高, 防风固沙效果均较好。

[关键词] 沙区; 人工植被; 生态系统; 健康损害度

[中图分类号] Q 142.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)06-0039-04

近年来, 由于人类赖以生存和发展的生态系统不断遭受损害和破坏, 其为人类提供全方位、综合性服务的能力大大减弱, 严重危害着人类自身的发展, 在这种情形下, 生态系统健康的概念应运而生, 并已成为生态研究的热点之一^[1]。在美国、加拿大、澳大利亚、芬兰、挪威和瑞典等国家, 生态系统健康研究已成为景观设计、环境管理的重要领域。在我国, 生态系统健康的研究也已展开, 例如中国农业大学进行了对温室生态系统健康的研究, 从害虫防治的角度出发, 通过测定杀虫剂对害虫及其天敌种群动态的影响, 初步设计、制定了一套监测温室生态系统健康状况的评估指标; Xu F L 等^[2,3]进行了有机污染的生态健康效应研究以及安徽巢湖生态健康指标体系与评价方法的研究。尽管已提出了许多生态系统健康评价的标准, 但由于生态系统本身的复杂性和生态系统健康的不确定性, 这些标准很难在实际中应用, 且可操作性较差。为了用定量的方法来进一步深化生态系统健康研究, 从而提高对生态系统健康的分析和评价, 本研究试图从相反的角度, 通过对沙区人工植被健康损害度模型的分析, 为沙区人工林的健康和可持续发展提供定量依据。

1 生态系统健康的概念及评价

生态系统健康的“定义”多种多样, 有许多学者给予过论述。Costanza^[4]认为, 一个生态系统是健康的, 首先应该是稳定的和可持续的, 即它具有活力, 能维持其组织自治, 对压力具有恢复力。Woodly^[5]

认为, 生态系统健康是生态系统发展的一种状态, 在此状态中, 地理位置、光照水平与可利用的水分、营养及再生资源量都处在适宜或十分乐观的水平, 处在可维持该生态系统生存的水平。Kerr^[6]等建议用生物区的分布大小来评价生态系统健康, 认为优势种数量的减少是生态系统受到干扰的一个标志。Rapport^[7]认为, 生态系统健康可通过测量活力、组织和恢复力来评价。一般来讲, 功能正常、能够自我维持, 并能提供一系列服务(如储存水分、生产生物资源), 受到干扰后经过一段时间能恢复的生态系统, 可称为健康的生态系统。通过总结一系列生态系统健康的定义, Costanza^[1]提出了一个生态系统健康指数模型: $HI = V \times O \times R$, 式中, HI 为系统健康指数, 它是生态健康可持续性的一种度量; V 为系统活力指数; O 为系统组织指数, 是系统相对组织程度的指数(0~1); R 为系统恢复力指数, 是系统弹性相对程度指数(0~1)。

由以上论述可以看出, 基于学者们所研究生态系统领域的不同, 由此而产生的对生态系统健康概念和思想认识的差异, 虽未对生态系统健康的概念达成共识, 但已引起公众对生态系统影响的更多关注。生态系统健康为大尺度生态系统的评价、诊断和重建提供了一个综合性的框架, 生态系统健康作为环境管理的最终目标和可持续发展的基础, 一般是在保障正常的生态服务功能、满足合理的人类需求的同时, 维持自身持续向前发展的能力和状态, 或者对目前绝大多数受到胁迫的生态系统来说, 是一种

* [收稿日期] 2002-11-18

[基金项目] 国家自然科学基金项目(39970135; 30070139)

[作者简介] 陆凡(1965-), 女, 浙江嘉兴人, 副教授, 博士, 主要从事数学生态学和生态健康研究。

需要恢复的理想化目标^[8]。健康的生态系统能维持高质量的生活,使环境退化对人类健康产生的威胁最小,并能以最小消耗来提供生态系统服务,这对社会满足其目标和期望是非常重要的。

2 试区概况及模型建立

2.1 试区自然概况

沙坡头位于宁夏中卫县境内,地处腾格里沙漠东南缘,北纬 37°32′,东经 105°,海拔 1 360 m 左右。该区年平均气温 9.6℃,年平均降水量为 186.6 mm,光照充足,全年日照时数为 3 264.7 h;土壤主要为沙粒,储水能力弱,养分含量很低,沙地田间持水量为 3.6%,植物凋萎含水率为 0.6%,可供植物利用的有效土壤含水率为 2.4%~3.1%。其自然降水一般均渗入沙体内,无地表径流发生,也无外来径流补给,格状沙丘的地下水埋在数十米以下,不能为

植物所利用。沙坡头地区人工植被建立后,降水是植物生长所能利用的唯一补给水源,在无灌溉条件下,该地区的人工植被已发生演替,如何根据沙区有限的自然降水,通过选择抗风沙、抗干旱、抗逆性强的树种,人工调控营林密度与植被覆盖率,达到水分供需平衡,实现人工植被的健康稳定发展,乃是沙区植被营建中的主要问题。

选取沙坡头站水分平衡场周围 8 块按不同配置密度栽植的样地,此样地为 1987 年秋平整的 10 000 m² 沙丘,平整后,为保证沙面稳定,曾扎 1 m×1 m 草方格。试验植物选取当地优良耐旱固沙植物油蒿(*Artemisia ordosica*)和柠条(*Caragana korshinskii*),按不同密度和方式共配置 8 个小区,每个小区面积为 834 m²。其中 1, 2, 7 样地为单种柠条; 3, 4, 8 样地为单种油蒿; 5, 6 样地为油蒿、柠条混种。有关试验观测结果见表 1。

表 1 试验观测结果

Table 1 Observation results of the experiment

样地 Sample	植物 Species	密度/(株·hm ⁻²) Density	新枝长/cm New branch length	冠幅/cm ² Crown scope	覆盖率/% Coverage
1	柠条 <i>Caragana korshinskii</i>	2 500	16.03	67.1×69.3	8.4
2	柠条 <i>Caragana korshinskii</i>	5 000	16.04	70.2×69.1	16.6
3	油蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	2 500	26.10	75.9×76.6	20.3
4	油蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	10 000	21.33	39.2×38.9	13.8
5	油蒿+柠条 <i>Artemisia ordosica</i> + <i>Caragana korshinskii</i>	2 500+2 500	33.77+17.65	54.3×58.6+77.1×72.2	19.8
6	油蒿+柠条 <i>Artemisia ordosica</i> + <i>Caragana korshinskii</i>	3 330+3 330	40.57+16.32	42.1×41.3+90.5×81.7	25.4
7	柠条 <i>Caragana korshinskii</i>	6 660	12.73	71.9×72.0	17.4
8	油蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	6 660	24.66	66.3×66.6	18.1

2.2 试区土壤含水量测定

试验区土壤含水量采用土钻取样,烘干(105℃)称重法测定,分别在各小区采用随机取样方法每月取样 1 次,每样重复 3 次,取样深度分别为 0~5,

5~10, 10~20, 20~40, 40~60, 60~80, 80~100, 100~125, 125~150, 150~175, 175~200 cm,测得的沙层年平均含水量见表 2。

表 2 沙层年平均含水量

Table 2 Annual average hydrous quantity of sand layer

土壤深度/cm Depth	样地 Sample								%
	1	2	3	4	5	6	7	8	
0~5	2.238	1.457	1.357	1.973	2.730	2.182	2.669	2.585	
5~10	1.789	1.988	1.946	1.473	1.837	1.995	1.936	1.843	
10~20	2.355	2.364	2.314	2.299	2.198	2.354	1.944	2.015	
20~40	2.431	2.285	2.708	2.630	2.418	2.222	2.023	2.534	
40~60	2.425	1.939	2.778	2.573	2.428	2.485	2.136	2.990	
60~80	2.323	1.771	2.464	2.290	2.292	2.351	2.114	2.380	
80~100	2.112	1.453	2.354	2.141	1.803	2.218	2.067	2.163	
100~125	2.003	1.631	2.400	2.291	1.548	1.933	1.845	2.103	
125~150	1.818	1.789	2.063	2.363	1.359	1.786	1.823	2.278	
150~175	1.866	1.547	1.678	2.221	1.205	1.904	1.748	2.341	
175~200	1.801	1.818	1.642	2.067	1.618	1.763	1.661	2.214	

2 3 模型与实例计算

将每一块样地作为一个小尺度的生态系统, 通过植物所遭受的最大胁迫——水分因子, 可以在一定程度上反映系统的健康受损状态。构造模型为

$$\alpha_i = \sqrt{(1 - \frac{m_i}{n_i})w_i} \quad (i = 1, 2)$$

式中, α_i 为 i 种植物由水分胁迫引起的健康损害度指数, 当水分条件完全充足时, $\alpha_i = 0$, 当水分条件完全不能满足植物生长需求时, $\alpha_i = 1$; m_i 为植物的实

测水分生态位适宜度, $m_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \min\{(\frac{x_{ij}}{x_{i0}})^2, 1\}}$, 其中, x_{ij} 为第 i 层土壤中水分生态因子实测值, x_{i0} 为第 i 层土壤中水分生态因子最适值; n_i 表示最适值(理想值), $n_i = 1$; w_i 为权重因子, 根据油蒿、柠条的根系分布, 取柠条的权重 $w_1 = 0.110$, 油蒿的权重 $w_2 = 0.086^{[9]}$ 。依据上述模型, 可以算出各样地的健康损害度指数(表 3)。

表 3 各样地的适宜度均值和健康损害度指数

Table 3 Fitness average and indexes of health damaged degree about each sample plant

样地 Sample	水分生态位适宜度 Moisture niche fitness	健康损害度指数 Health damaged degree	样地 Sample	水分生态位适宜度 Moisture niche fitness	健康损害度指数 Health damaged degree
1	0.601 8	0.209 2	5	0.651 6	0.183 2
2	0.494 9	0.235 7	6	0.673 0	0.178 9
3	0.667 6	0.169 1	7	0.548 9	0.222 7
4	0.642 8	0.175 3	8	0.634 3	0.177 3

由表 3 可见, 在不同种植方式下, 样地 3 和样地 6 的健康损害度指数最小, 这与实际相符。因为油蒿为浅根系植物, 一旦下雨, 根系能很快吸收利用水分, 而且本样地栽植密度比较小, 单株营养面积达到 4 m^2 , 水分的竞争不激烈。另外, 由于油蒿在生长发育过程中具有整株及构件(枝条)水平上的自疏能力, 所以可通过自我调节以适应供水条件的变化。单种栽植的 1, 2, 7 样地间及 3, 4, 8 样地之间差异不明显, 但与混播的 5, 6 样地相比, 单种柠条的损害度指数高于混播样地, 而单种油蒿的损害度指数略低于或与混播样地持平, 这可能是柠条根系较深, 其主根可深达 200 cm , 根幅达 330 cm , 所以其利用水分的范围较广, 在混播下有一定优势。实际观察发现, 混播地的油蒿死亡率均高于柠条, 但存活下来的油蒿长势都很好。

3 结论与讨论

1) 本研究以沙漠地区人工林生态系统为研究对象, 以有关试验的观测结果为依据, 提出了基于水分的生态系统健康损害度模型, 这对于丰富生态系统健康理论, 促进定量研究方法的发展, 具有一定的实

用性。

2) 在人工固沙植被营建过程中, 营林密度和种植方式对健康损害度具有明显的影响, 在健康损害度小的两种样地里, 其新枝长明显大于其他样地, 而覆盖率分别达到 20.3% 和 25.4% , 说明健康损害度小, 植物生长良好, 植被覆盖率大, 防风固沙效果好。因此, 这两块样地种植模式具有推广应用价值。

3) 降水对土壤水分含量的影响。沙区自然降水是土壤水分输入的主要来源, 由于沙坡头地区固沙植物不能直接利用地下水, 对沙地有效的水分补给主要取决于降水。在干旱的自然环境下, 土壤含水量支配、限制着多年生植物种的数量和群落的规模, 进而成为影响植物固沙措施成败的一个主导因素^[10]。固沙植被的土壤水分变化, 是微生物结皮在植被区的形成和发育、沙区较高的蒸散作用、植被对水分的利用和降水等诸要素共同作用的结果^[11]。固沙植被经过 40 余年的演变, 其组成、结构和功能已发生了复杂变化, 降水对较浅层含水量的影响较为显著, 对深沙层含水量的作用并不明显^[12]。这一特点可为进一步研究固沙植被演变的动力学机制提供依据。

[参考文献]

[1] Costanza R, M ageau M T. What is a healthy ecosystem? [J] A quatic Ecology, 1999, 33(1): 105- 115

[2] Xu F L. JΦgensen S E, Tao S. Ecological indicators for assessing freshwater ecosystem health[J]. Ecological Modelling, 1999, 116: 77- 106

[3] Xu F L. Exergy and structural exergy as ecological indicators for the development state of the Lake Chao ecosystem [J]. Ecological Mod- elling, 1997, 99: 41- 49

- [4] Costanza R. Toward an operational definition of health[A]. Costanza R, Norton B, Haskell B. Ecosystem Health-New goals for environmental management[C]. Washington D C: Island Press, 1992. 239- 256
- [5] 蔡小明. 生态系统生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [6] Kerr S R, Dickie I M. Measuring the health of aquatic ecosystem [A]. Levin S A, Pimm L A. Ecotoxicology: Problems and Approaches[C]. New York: Springer-Verlag, 1984. 22- 59
- [7] Rapport D J, Costanza R, Michael A J. Assessing ecosystem health[J]. Trends in Ecology and Evolution, 1998, 13(10): 397- 402
- [8] 陈 高, 代力民, 范竹华, 等. 森林生态系统健康及其评估监测[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 605- 610
- [9] 李自珍, 施维林, 唐海萍. 干旱区植物水分生态位适宜度的数学模型及其过程数值模拟试验研究[J]. 中国沙漠, 2001, 21(3): 281- 285
- [10] 赵兴梁. 沙坡头地区植物固沙问题的探讨[A]. 中国科学院沙坡头沙漠试验站编. 流沙治理研究(二)[C]. 银川: 宁夏人民出版社, 1991. 27- 57.
- [12] 李新荣, 张景光, 王新平, 等. 干旱沙漠区土壤微生物结皮及其对固沙植物的影响[J]. 植物学报, 2000, 42(9): 965- 970
- [13] 李新荣, 马凤云, 龙利群, 等. 沙坡头地区固沙植被土壤水分动态研究[J]. 中国沙漠, 2001, 21(3): 217- 221

Calculation and analysis of a model about health damaged degree of sandy plant

LU Fan^{1, 2}, LI Zi-zhen²

(1 Mathematics Department of Lanzhou Medical College, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2 State Key Laboratory of Arid Agroecology, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Two plants *Artemisia ordosica* and *Caragana korshinskii* are chosen as the study objects, we set up a health damaged degree model based on water factor and a quantitative analysis is presented. The results indicate: in monoculture, the health damaged index of sample 3 is the smallest, its density is 2 500 plants/hm²; in mixculture, the health damaged index of sample 6 is the smallest, its density is 6 660 plants/hm²; and their vegetation coverages are bigger with wind breaks and sand fixation effects.

Key words: sandy area; artificial vegetation; ecosystem; health damaged degree

· 简 讯 ·

“节水灌溉关键设备研制与开发”获陕西省科技进步一等奖

由西北农林科技大学国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心博士生导师吴普特研究员主持完成的——“节水灌溉关键设备研制与开发”于 2003 年 3 月获陕西省科技进步一等奖(01-02-1-020-R9)。

该项目主要研制开发了全圆旋转 GJY 系列喷头、IC 卡水量计费器、计算机网络控制灌溉系统和节水灌溉自控系列设备等 4 种节水灌溉关键技术产品。其主要目的在于提高我国国产节水设备的性能与管理水平, 促进节水产业升级。

“节水灌溉关键设备研制与开发”主要解决了全圆旋转摇臂式喷头水量分布不均的技术问题, 实现了精确量水并预收水费及灌溉系统运行的远程与近程智能控制等关键技术。与美国雨鸟喷头相比, GJY 系列金属喷头可使喷灌田间管网密度降低 15%~ 25%, 仅此一项每公顷可节省投资 2 250~ 3 750 元。IC 卡水量计费器的应用, 实现了按方收费, 改变了以往按面积或按时间收取水费的落后管理方式, 使水资源利用率和利用效率提高 30% 以上。计算机网络控制系统和自控系列设备的应用, 不仅提高了水资源利用效率, 而且使管理效率成倍提高。4 个关键设备都具有很强的先进性, 填补了我国节水灌溉设备产品的空白, 研究水平总体上达到了国际同类研究的先进水平, 具有广阔的产业化前景。

(温晓平 供稿)