

内蒙古典型草原生态系统健康评价

王立新¹, 刘钟龄¹, 刘华民^{1,*}, 王 炜¹, 梁存柱¹, 乔 江¹, 中越信和²

(1. 内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021; 2. 广岛大学国际协力研究科, 日本东广岛市 739-8529)

摘要:以草原生态系统中的植物-土壤-大气界面的关键生态过程为基础, 结合典型草原生态系统的群落特征及其退化演替模式, 并考虑水分因子的限制作用, 在确定生态系统健康评价模式(参照)系统和基况评价指标的同时, 建立了典型草原生态系统健康评价的 CVOR 综合指数的计算模型和方法。通过分析放牧压力和围封保育对内蒙古典型草原生态系统健康的影响, 检验了 CVOR 综合指数的可行性, 可为草原生态系统健康管理提供一个综合、简单、准确、可行的评价方法。

关键词:典型草原; 生态系统健康; 模型; 放牧

文章编号: 1000-0933(2008)02-0544-07 中图分类号: Q145, Q948, S812, X171.1 文献标识码: A

Assessment of typical steppe ecosystem health in Inner Mongolia

WANG Li-Xin¹, LIU Zhong-Ling¹, LIU Hua-Min^{1,*}, WANG Wei¹, LIANG Cun-Zhu¹, QIAO Jiang¹, Nobukazu NAKAGOSHI²

1 College of Life Sciences, Inner Mongolia University, Huihot 010021, China

2 Graduate School for International Development and Cooperation, Hiroshima University, 1-5-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8529, Japan

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 0544 ~ 0550.

Abstract: In this paper, we used *Leymus chinensis* steppe in 1981 as a reference ecosystem and established an index for assessing environmental conditions of steppe. Then, based on the key ecological process of plant-soil-atmosphere interface, the synthetical CVOR model is established to assess ecosystem health of typical steppe, with regarding of community characteristics, degradation succession and also the restriction function of the precipitation in the typical steppe ecosystem. The feasibility of CVOR model was tested by analyzing the influence of grazing pressure and fencing protection on the health of typical steppe ecosystem in Inner Mongolia. The CVOR model could be used as a synthetic, simple, accurate and suitable method for grassland ecosystem health assessment and management.

Key Words: typical steppe; ecosystem health; model; graze

在全球环境不断恶化和生态系统管理理论与方法的探索中, 使得生态系统健康(Ecosystem Health)评价成为当今生态学领域的研究热点之一。生态系统健康理论和方法的提出与发展大致可分为 3 个阶段: 从 18 世纪提出类似于生态系统健康概念的“超有机体(Superorganism)”到 1940 年明确提到真正有科学意义的生态

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划资助项目(90102011); 国家重点研究计划资助项目(30330120); 国家和地区联合资助项目(30360016); 内蒙古自然基金重点资助项目(2007110206037)

收稿日期:2007-04-11; **修订日期:**2007-11-21

作者简介:王立新(1975~), 男, 内蒙古赤峰人, 硕士, 副教授。主要从事草地和湿地生态学研究。E-mail: lx_wimu@yeah.net

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuhmimu@hotmail.com

Foundation item: This work was financially supported by Key Program of National Natural Science Foundation of China (No. 90102011); The National Natural Science Foundation of China (No. 30330120; 30360016); Key Program of Natural Science Foundation of Inner Mongolia (No. 2007110206037)

Received date: 2007-04-11; **Accepted date:** 2007-11-21

Biography: WANG Li-Xin, Master, Associate professor, mainly engaged in grassland ecology and wetland ecology. E-mail: lx_wimu@yeah.net

系统健康理念——土地健康^[1],为思想萌芽阶段;从 20 世纪 60 年代初到 80 年代末主要是讨论生态系统健康的概念与内涵,为基础建设阶段;而从 20 世纪 90 年代初至今为发展阶段,此阶段主要任务是建立具操作性、先进、完善的健康评价方法。生态系统健康的评价标准包括活力、恢复力、组织结构、维持生态系统服务、管理的选择、减少投入、对相邻系统的危害和人类健康影响等八个方面^[2~4]。基于此,VOR(V, Vigor(活力)、O, Organization(组织力)、R, Resilience(恢复力))综合指数作为反映生态系统完整性和健康的指标^[5],被国际生态系统健康大会接受为生态系统健康诊断指标,并在实践中得到了一定的应用^[6~8]。

大针茅+羊草(*Stipa grandis* + *Leymus chinensis*)草原是蒙古高原典型草原地带广泛分布的地带性植物群落,具有良好的生产性能。因此,近半个世纪以来,对它的利用强度不断加大,草原农垦亦在扩大规模,在严重的人为压力下,业已突破草原生态系统健康阈值,造成草原退化和沙化,使草原生态系统功能全面受损。包括草原植物群落的优势种更替,饲用品质恶化,植物个体小型化,光合效率显著下降,氮素、碳素等物质循环的平衡失调,群落生物生产力严重衰减等诸多方面^[9]。恢复草原生态系统健康已是当务之急。然而对于草原健康管理仍面临着评价方法尚不完善这一关键难题。本研究以草原生态系统中的植物-土壤-大气界面的关键生态过程为基础^[10,11],借鉴 CVOR(C, Condition(基况))模型中对基况指标的选取^[12],本文考虑水分分子的限制作用,建立典型草原生态系统健康评价的 CVOR 综合指数的计算模型和方法。通过分析放牧压力和围封保育对内蒙古典型草原生态系统健康的影响,检验 CVOR 综合指数的可行性,以期对草原生态系统健康管理提供一个综合、简单、准确、宜行的评价方法。

1 实验样地与数据获取

本研究在内蒙古锡林郭勒盟典型草原地带中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站设置的围栏样地及东乌珠穆沁旗西南部的锡林花牧场样地上进行。研究区位于乌珠穆沁盆地西至锡林河中下游,气候湿润度为 0.35~0.50^[13]。构成丘陵漫岗与丘间洼地多层镶嵌分布的典型草原类型。以适应半干旱气候的典型草原生态系统占优势,土壤为栗钙土,大针茅+羊草群落是主要的地带性植物群落^[14]。

实验样地分别是 1980 年设置的羊草+大针茅草原围栏样地(简称“羊草样地”),封育前处于较少扰动的原生羊草+大针茅草原群落状态^[15];1983 年设置的退化草原恢复演替实验样地(简称“退化样地”),实施围栏封育时已因过度放牧退化成冷蒿(*Artemisia frigida*)为主要优势种的群落变型,封育后停止放牧利用,这一样地围栏外的草原仍有牧户全年放牧利用,也进行取样测定(简称“退外样地”)。此外,锡林花牧场位于蒙古高原东部的中心地区,在大兴安岭西麓的巴龙马格隆低山以南的丘陵地带,形成羊草(*Leymus chinensis*)和克氏针茅(*Stipa Krylovii*)为优势种的典型草原群落组合。该处样地为 2001 年设定的典型草原及退化草原实验样地,样地分别设在低丘漫岗上部的克氏针茅+羊草群落(1#样地),丘间宽谷地的羊草群落(2#样地)和平缓台地的退化草原群落(3#、4#样地),实验样地基本情况见表 1。

羊草样地和退化样地从封育起每年生长季(5~9 月份)以 15 d 为周期分别进行每期 10 个和 20 个 1 m × 1 m 的样方测定,测量包括分种现存生物量、植株密度、高度、覆盖度等,并同时同步测定退化样地围栏外(退外样地)仍处于放牧利用状态的群落,测量项目与其一致。锡林花牧场各样地从 2002 年生长季以 15 d 为周期进行每期 5 个 1 m × 1 m 的样方测定,测量项目与上述一致。

2 生态系统健康指数的测算模型和方法

CVOR 指数模型最早由任继周提出并加以完善^[10,16]。本文运用羊草样地(1981 年)、退化样地(1984、1994、2004 年)、退外样地(2004 年)和锡林花牧场(2003 年)定期监测数据,结合典型草原生态系统的群落特征及其退化演替模式^[13],在确定生态系统健康评价模式(参照)系统和基况评价指标的基础上,建立 CVOR 指数的测算模型与方法。

2.1 模式生态系统选取

根据羊草样地的定期监测数据,按照典型草原退化群落的植物饲用性诊断^[13],考虑典型草原的退化模式,并结合草地退化指示植物在退化系列中的存在度,羊草样地在 1981 年是处于较少扰动的羊草、大针茅种

群占优势的典型草原群落。其中羊草为群落的建群种,大针茅、西伯利亚羽茅亦保持着优势地位,冷蒿、糙隐子草、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)以及寸苔草等则在群落中所占比例很小,百里香(*Thymus mongolicus*)与狼毒(*Stellera chamaejasme*)等具退化指示作用的物种在群落中没有出现,故可认为其处于健康状态。因此,本研究选取该年羊草样地的群落作为模式(参照)系统。

表 1 实验样地基本情况
Table 1 Basic condition of sample plots

样地名称 Plot name	时间 Year	群落优势种 Dominant species of community	利用方式 Use mode
羊草样地 <i>Leymus chinensis</i>	1981	羊草 <i>Leymus chinensis</i> , 大针茅 <i>Stipa grandis</i> , 西伯利亚羽茅 <i>Achnatherum sibiricum</i>	1980 年封育 Enclosure at 1980
退化 I Degradation I	1984	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i> , 糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i> 米氏冰草 <i>Agropyron michnoi</i>	1983 年封育 Enclosure at 1980
退化 II Degradation II	1994	羊草 <i>Leymus chinensis</i> , 米氏冰草 <i>Agropyron michnoi</i> , 大针茅 <i>Stipa grandis</i>	1983 年封育 Enclosure at 1983
退化 III Degradation III	2004	米氏冰草 <i>Agropyron michnoi</i> , 大针茅 <i>Stipa grandis</i>	1983 年封育 Enclosure at 1983
退化 IV Outside degradation IV	2004	寸草苔 <i>Carex durivscula</i> , 糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i> 冷蒿 <i>Artemisia frigida</i> , 米氏冰草 <i>Agropyron michnoi</i>	自由放牧 Free Grazing
锡林花牧场 1#样地 Plot 1	2003	克氏针茅 <i>Stipa Krylovii</i> , 羊草 <i>Leymus chinensis</i> , 糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	轻度放牧 Light grazing
Xiinhua Pasture 2#样地 Plot 2	2003	羊草 <i>Leymus chinensis</i> , 大针茅 <i>Stipa grandis</i> , 寸草苔 <i>Carex durivscula</i>	隔年打草 Mowing next year
3#样地 Plot 3	2003	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i> , 克氏针茅 <i>Stipa Krylovii</i> 糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	放牧 Grazing
4#样地 Plot 4	2003	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i> , 克氏针茅 <i>Stipa Krylovii</i> 糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	放牧 Grazing

2.2 基况评价指标的选取及计算

基况(Condition, C)主要反映植物-土壤-大气界面过程,可理解为影响草原生态系统结构与功能的大气、土壤与气候因子的综合,主要指水热因素与土壤营养库状况的综合。水分和 N、P、有机质等养分资源是制约草原群落生产力的限制性因子。根据土壤养分的测定研究表明,退化群落的土壤养分含量尚未明显减少^[17]。而处于半干旱气候条件下的典型草原群落,其年际生物量则受生长季降水量的严重制约,其生产力水平主要取决于大气降水^[9]。因此,在诸多环境因子中,水分是典型草原群落的主要限制因子。半干旱气候条件下的大气有效降水存在较大的年际变化,导致植物群落地上生物量以及主要优势种群生物量的年际波动(图 1),影响生态系统的相对稳定与健康,甚至出现低于草原生态系统自我维持阈值而减产。故本研究采用相应年份直接有效降水量作为群落的基况指标。

在 CVOR 指数计算中,基况指标的计算公式为: $C = C_x / C_m$ $C \in [0, 1]$,如 $C > 1$,则取 $C = 1$ 。式中 C_x 为评价系统当年直接有效降水量, C_m 为羊草样地 1981 年的直接有效降水量(x 指评价系统; m 指模式系统,即 1981 年羊草样地的生态系统状况,下同)。

2.3 VOR 分指数及 CVOR 综合指数的计算

2.3.1 活力指数(V)的计算

活力(Vigor, V)指草原生态系统的能量或活动性,用生态系统物质生产和能量固定的总量或效率度量,可选取光合效率或光合产物、地上生物量等指标进行评价。草原生态系统退化过程包含着两个方面,即群落总生物量的降低和可饲性草种的比例迅速降低。故本文利用植物群落总的地上生物产量来表征生态系统的活力状况。具体计算公式为: $V = P_x / P_m$,式中 P 为生态系统的生产力,即群落总地上生物量(g/m^2), $V \in [0, 1]$,如 $V > 1$,则取 $V = 1$ 。

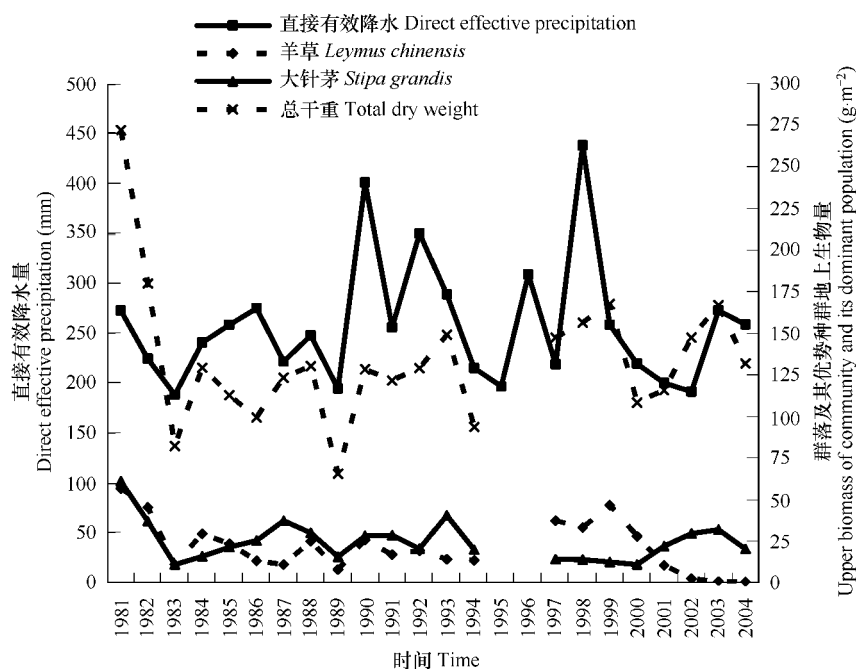


图1 直接有效降水、群落及其优势种群地上生物量年际动态

Fig. 1 The annual dynamic of direct effective precipitation and biomass of grass community and its dominant populations

2.3.2 组织力指数(O)的计算

组织力 (Organization, O) 指生态系统物种组成结构及其物种间的相互关系, 反映生态系统结构的复杂性, 用生态系统结构和功能的组合特征度量, 如物种分布频率、植株平均高度、相对生物量等。本文参照内蒙古草原生态系统健康评价的植物群落组织力测定方法^[18], 首先计算群落中主要物种 (包括: 大针茅、羊草、糙隐子草、冷蒿、米氏冰草、西伯利亚羽茅、苔草 (寸草苔和黄囊苔草 (*Carex korshinskii*))、治草和葱类等) 的累积频率、累积相对生物量、累积平均高度及相对株 (丛) 数, 其加和表征各群落的组织力水平, 具体计算公式如下:

$$O_{x,m} = \sum \left[\frac{1}{4} \left(\frac{N_i}{N_{\max}} + \frac{Z_i}{Z} + \frac{H_i}{H_{\max}} + \frac{\sum_j M_{ij}}{\sum_j M_j} \right) \right]$$

式中, N_i 为群落中第 i 个植物种在样方中的株 (丛) 数; $N_{\max}$ 为群落中第 i 个植物种在样方中的最大株 (丛) 数; Z_i 为生长季内出现第 i 个物种的样方数, Z 是引用的全部样方数, 该比值反映物种在生长季内水平分布的概率; H_i 为群落中第 i 个植物种在样方中的植株平均高度, $H_{\max}$ 为 H_i 中之最大值, 该比值可作为在群落中植物种接受光能的功能的一个标度, 反映高度空间分布的概率。 M_{ij} 是第 i 物种在第 j 个样方中的干重, $j = 1, 2, \dots, N$, M_j 是第 j 个样方的总干重。其比值反映该种在整个生长季中对能量固定作贡献的重要性。

最后, 将各生态系统群落组织力计算值与模式系统组织力计算值相比较用以衡量处于不同演替状态的生态系统组织力水平。即: $O = O_x / O_m$, $O \in [0, 1]$, 如 $O > 1$, 则取 $O = 1$ 。

2.3.3 恢复力指数(R)的计算

恢复力 (Resilience, R) 是草原生态系统对胁迫的抗御能力或反弹能力, 包括生产力和结构 (物种组成) 的恢复。本项研究以代表典型草原生态系统恢复程度的大针茅、羊草物种数量和地上生物量与表示一般退化程度的冷蒿、糙隐子草物种数量和地上生物量之间的比例来衡量处于不同演替阶段草原生态系统群落的恢复能力。即群落中羊草、大针茅物种数量 (株/丛数) 和地上生物量越大, 则表征群落恢复能力越大; 反之, 如果冷蒿、糙隐子草数量 (株/丛数) 和地上生物量越大, 则表征群落恢复能力越小。因各植物种的物种数量 (株/丛数) 和地上生物量之间存在明显的正相关关系 ($R^2 = 0.9858$), 故计算生态系统恢复力时只选取物种数量指标

进行计算。即：

$$R = \left[\left(\frac{N_{x(\text{羊草} + \text{大针茅})}}{N_{m(\text{羊草} + \text{大针茅})}} \right) \times \left(\frac{N_{x(\text{冷蒿} + \text{糙隐子草})}}{N_{m(\text{冷蒿} + \text{糙隐子草})}} \right)^{-1} \right]$$
$$R \in [0, 1], \text{如 } R > 1, \text{则取 } R = 1, \text{式中, } N \text{ 为物种数量 (株/丛数)}.$$

2.3.4 生态系统健康综合指数(CVOR)的计算

结合典型草原生态系统恢复演替过程中的影响因素和群落特征,生态系统健康主要决定于群落自身的状况,且与现存地上生物量密切相关。所以计算 CVOR 指数时,对 C、V、O 和 R 分别赋予不同的权重,然后予以计算,求算公式如下:

$$CVOR = w_v \times V + w_o \times O + w_r \times R + w_c \times C$$

式中, w 为权重 ($w_v + w_o + w_r + w_c = 1$), 根据各因子影响力的大小, 分别取 $w_v = 0.35, w_o = w_r = 0.25; w_c = 0.15$ 。

模型中 $C、V、O、R \in [0, 1]$, 如其值大于 1, 均取其等于 1, 即超健康状态属于健康^[12]。故 $CVOR \in [0, 1]$, 若 $CVOR = 1$, 系统处于最健康状态, 如羊草样地(1981); 若 $CVOR = 0$, 生态系统最不健康, 如崩溃系统。据此, 利用四分法将生态系统健康状态划分为 4 个不同等级(表 2)。

表 2 生态系统健康状态
Table 2 Condition of ecosystem health

CVOR 指数 CVOR index	生态系统健康状态 Condition of health	CVOR 指数 CVOR index	生态系统健康状态 Condition of health
[0, 0.25]	崩溃 Crash	[0.50, 0.75]	不健康 Unhealth
[0.25, 0.50]	警戒 Alarm	[0.75, 1]	健康 Health

3 结果与讨论

3.1 生态系统健康综合指数(CVOR)模型

本文计算内蒙古典型草原生态系统健康综合指数(CVOR)的同时亦计算了在取样背景清晰情况下的植被健康评价指数(VOR) ($VOR = w_v \times V + w_o \times O + w_r \times R, w_v = w_o = w_r = \frac{1}{3}$) (图 2)。通过相关分析显示, 各样地 CVOR 与 C、V、O、R 及 VOR 间的相关系数分别为 0.650 ($p < 0.05$)、0.710 ($p < 0.05$)、0.184 ($p < 0.05$) 和 0.876 ($p < 0.01$)。从中可看出, 除与群落组织力(O)相关性较小外, CVOR 与基况指数(C)、活力指数(V)、恢复力指数(R)等其它指标间均存在显著的相关关系。故 CVOR 可成为简单表征草地生态系统健康的综合指数。因群落组织力是由群落中种群组织力加和而成, 计算时只考虑了主要植物种群的组织力水平, 而忽略了在群落中伴生的小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、扁蓿豆(*Melilotoides ruthenica*)、变蒿(*Artemisia canmutata*)等种群对群落组织力的贡献, 此可能是导致 CVOR 与 O 间相关不显著的主要原因。

CVOR 值与植被健康评价指数(VOR)之间具有显著相关性, 相关系数达 0.995 ($p < 0.01$), 且 CVOR 均高于 VOR, 此可能是由于各样地在计算年份直接有效降水量差别不大, 从而可能突出了基况指标的贡献。

侯扶江等利用 CVOR 计算荒漠生态系统健康阈值时取得了良好效果^[12], 因荒漠环境的非生物过程比草原强烈, 因此反映非生物能量传输过程的基况指标显得十分重要。因降水的年际波动较大, 其对草原群落生产力的制约表现在大的时间尺度上, 所以利用个别年份的降水在草原生态系统健康的基况指标计算中表现出

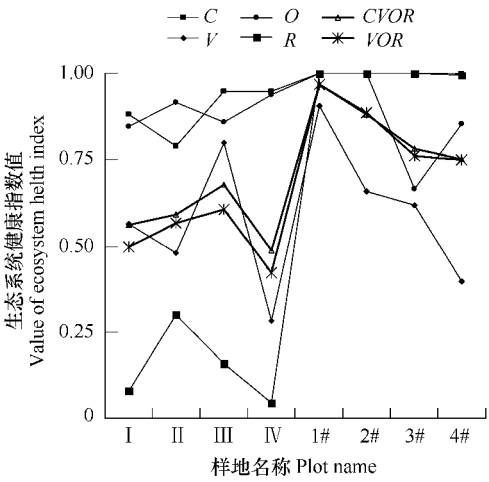


图 2 内蒙古典型草原生态系统健康指数及综合指数
Fig. 2 CVOR and VOR of the typical steppe ecosystems in Inner Mongolia

的水分制约作用较小。因此,评价个别年份草原生态系统健康状况也可直接用 *VOR* 综合指数,此亦可取得良好评价效果。

3.2 放牧对草地生态系统健康的影响

退化样地围栏外的退外样地,因持续放牧压力的影响,使得其群落活力、组织力和恢复力均低于处于围封状态的同期退化样地生态系统状况,且群落地上生物量、物种数、牲畜适口性牧草种类等亦大幅降低,从而导致生态系统健康指数最低,处于“不健康”状态(图 2)。该区域在 20 世纪的后 20a 牲畜头数一直处于上升趋势,尽管最近几年牲畜头数有所下降,但仍超出草地载畜量,因退外样地和对应的围封禁牧的退化样地处于相同的年际降水条件,所以正是超载放牧导致该地区业已退化的草原生态系统更加退化,且难以恢复。

持续、过大的放牧强度抑制并超出了一些草原植物的再生能力,使群落的生物量减少,植被稀疏矮化,牲畜适口性差的劣质植物种增加,从而使得群落活力、恢复力、组织力以及生态系统健康综合指数值均有所下降。如锡林花牧场中处于持续过度放牧的 3#和 4#样地的各项指数和 *CVOR* 综合指数远低于处于轻度放牧的 1#样地。

3.3 围封保育和刈割对草原生态系统健康的影响

在围封过程中,尽管群落活力、组织力和恢复力变化各异,但退化样地从 1984 年至 2004 年 21a 间生态系统健康指数 *CVOR*、*VOR* 均处于增加趋势。同时,从 2004 年同期退外样地和退化样地的比较中亦可说明,围封保育有利于退化草地生态系统的健康恢复。而围封保育中群落自身活力、组织力和恢复力的变化过程及原因尚有待于利用草原连续监测资料进一步分析说明。

锡林花牧场 2#样地为隔年打草的打草场,其各项指数值均介于轻度放牧的 1#样地和持续放牧的 3#、4#样地之间(图 2)。适度刈割或适度放牧可减轻地表枯落物对春季草种萌发的影响,增加草原群落活力和组织力,有利于草地的健康发展。

3.4 *CVOR* 模型的适用性

本文所建立的 *CVOR* 模型是基于典型草原生态系统的群落特征及其退化演替模式,所选取的参考模式生态系统亦为处于较少扰动的原生羊草 + 大针茅典型草原生态系统。在进行典型草原生态系统健康评价时可直接利用本文给出的计算模式计算 *CVOR* 或 *VOR* 模型中各项参数,应用 *CVOR* 或 *VOR* 综合指数进行评价。对于其他草原类型,如草甸草原和荒漠草原,因其群落特征及其退化演替模式与典型草原存在一定差异,而在进行 *CVOR* 或 *VOR* 模型中各项参数计算时,这种差异仅表现在不同生态系统优势种和退化指示种更替上。因此,针对不同草原生态系统的群落特征和退化演替中优势种的更替,选取适当的植物种群亦可利用本文模型进行生态系统健康评价。

References:

- [1] Rapport D J. What constitutes ecosystem health? *Perspect. Biol. Med.*, 1989, 33:120—132.
- [2] Rapport D J, Costanza R and McMichael A J. Assessing ecosystem health. *Trends Ecol. Evol.*, 1998, 13 (10): 397—402.
- [3] Mageau M T, Costanza R, Ulanowicz R E. The development and initial testing of a quantitative assessment of ecosystem health. *Ecosystem Health*, 1995, 1 (4): 201—213.
- [4] Rapport D J. Defining Ecosystem Health. In: Rapport D J, Costanza R, Espstein P R, *et al.* eds. *Ecosystem Health*. Blackwell Sciences, Malden, 1998. 75—106
- [5] Ulanowicz R E. Toward the measurement of ecological integrity. In: Pimentel D, Westra L, Noss R F eds. *Ecological integrity: Integrating environment, conservation, and health*. Island Press, Washington DC., 2000. 99—113.
- [6] Costanza R, Mageau M T. What is healthy ecosystem? *Aquatic Ecology*, 1999, 33: 105—115.
- [7] Lu F and Li Z Z. A model of ecosystem health and its application. *Ecological Modeling*, 2003, 170: 55—59.
- [8] Xiao F J, Ouyang H, Fu B J, *et al.* Forest Ecosystem Health Assessment Indicators and Application in China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58 (6): 803—809.
- [9] Wang W, Liu Z L, Hao D Y, *et al.* Research on the restoring succession of the degenerated grassland in inner Mongolia I. Basic characteristics

- and driving force for restoration of the degenerated grassland. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(5): 449—459.
- [10] Ren J Z, Nan Z B, Hao D Y. The three major interfaces within pratacultural system. *Acta Pratacultural Science*, 2000, 9(1): 1—8.
- [11] Lv D R, Chen Z Z, Chen J Y, *et al.* Composite study on inner mongolia semi-arid grassland soil-vegetation-atmosphere interaction (IMGRASS). *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(2): 295—306.
- [12] Hou F J, Yu Y W, Fu H, *et al.* CVOR index for health evaluation of Alashan grazing land. *Acta Pratacultural Science*, 2004, 13(4): 117—126.
- [13] Liu Z L, Wang W, Liang C Z, *et al.* The Regressive Succession Pattern and Its Diagnostic of Inner Mongolia Steppe in Sustained and Superstrong Grazing. *Acta Agrestia Sinica*, 1998, 6(4): 244—251.
- [14] Inner Mongolia and Ningxia Synthesis Investigating Team, Inner Mongolia Vegetation. Beijing: Science Press, 1985. 4—9; 432—436.
- [15] Jiang S. The field experimental plots and its vegetations in grassland ecosystem. In: Research on Grassland Ecosystem. No. 2. Beijing: Science Press, 1988. 1—12.
- [16] Ren J Z. The property construction and health assessment of grassland resources. In: Chinese Grassland Society. The Progress of Grassland Science in China. Beijing: China Agricultural University Press, 1998. 3—7.
- [17] He J P, Kang S A. Application of major component analysis to evaluate the study of grassland soil fertilities. *Journal of Neimenggu Forestry College*, 1994, 16(2): 52—57.
- [18] Hao D Y, Gao X, Liu Z L, *et al.* Determination of plant community organization on steppe ecosystem health evaluation in Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(8): 1672—1678.

参考文献:

- [8] 肖风劲, 欧阳华, 傅博杰, 等. 森林生态系统健康评价指标及其在中国的应用. *地理学报*, 2003, 58(6): 803—809.
- [9] 王伟, 刘钟龄, 郝敦元, 等. 内蒙古草原退化群落恢复演替的研究 I. 退化草原的基本特征与恢复演替的动力. *植物生态学报*, 1996, 20(5): 449—459.
- [10] 任继周, 南志标, 郝敦元. 草业系统中界面论. *草业学报*, 2000, 9(1): 1—8.
- [11] 吕达仁, 陈佐忠, 陈家宜. 内蒙古半干旱草原土壤植被大气相互作用 (IMGRASS) 综合研究. *地学前缘*, 2002, 9(2): 295—306.
- [12] 侯扶江, 于应文, 傅华, 等. 阿拉善草地健康评价的 CVOR 指数. *草业学报*, 2004, 13(4): 117—126.
- [13] 刘钟龄, 王伟, 梁存柱, 等. 内蒙古草原植被在持续牧压下退化演替的模式与诊断. *草地学报*, 1998, 6(4): 244—251.
- [14] 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古植被. 北京: 科学出版社, 1985. 4—9; 432—436.
- [15] 姜恕. 草原生态系统试验地的设置及其植被背景. 见: 草原生态系统研究. 第3集. 科学出版社, 1988. 1—12.
- [16] 任继周. 草地资源的属性结构与健康评价. 见: 中国草原学会. 中国草地科学进展. 北京: 中国农业大学出版社, 1998. 3—7.
- [17] 何婕平, 康师安, 关世英. 主成分分析在研究土壤养分评价中的应用. *内蒙古林学院学报*, 1994, 16(2): 52—57.
- [18] 郝敦元, 高霞, 刘钟龄, 等. 内蒙古草原生态系统健康评价的植物群落组织力测定. *生态学报*, 2004, 24(8): 1672—1678.