

DOI: 10.5846/stxb201801220175

尹燕亭, 运向军, 郭明英, 伟军, 侯向阳. 基于牧户感知和野外调查相结合的内蒙古东部草甸草原健康评价. 生态学报, 2019, 39(2): - .

Yin Y T, Yun X J, Guo M Y, Wei J, Hou X Y. Rangeland health assessment in the meadow steppe region of Inner Mongolia: Integrating herder perception and field sampling. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(2): - .

基于牧户感知和野外调查相结合的内蒙古东部草甸草原健康评价

尹燕亭¹, 运向军¹, 郭明英², 伟军², 侯向阳^{1,*}

1 中国农业科学院草原研究所, 呼和浩特 010010

2 呼伦贝尔市草原工作站, 海拉尔 021008

摘要:治理草原退化是我国草原管理的重点和难点。我国目前关于草原退化判断、退化程度、原因及治理等系列问题的确定几乎皆以科学研究结果为依据,而忽视了牧户作为草原直接使用者和管理者的重要性。牧户对草原有自己的判断和认知,其与科学方法研究之间的矛盾已经影响到草原生态保护政策的有效实施。本研究以内蒙古东部草甸草原牧户尺度草原为研究对象,借助牧户调研和野外调查相结合的方法,将牧户划分为高、中、低 3 个经济水平,并运用 Condition-Vigor-Organization-Resilience (CVOR) 指数评价法,分析评价草原生态系统健康状况。研究结果显示,牧户对草原健康状况的感知主要从植被、土壤、牲畜等方面,与科学方法评价指标选取具有相似性;牧户感知和 CVOR 指数法评价结果具有一致性,均判定草原生态系统呈现不同程度退化;统计检验显示牧户对植被、土壤、牲畜影响等指标变化感知方面均不存在显著差异($P>0.05$),CVOR 指数法下不同经济水平牧户草场健康指数之间亦无显著差异($P>0.05$),两种方法均显示不同经济水平牧户草场退化程度无显著差异($P>0.05$)。研究证实了牧户感知在指标选取、评价结果方面具备用于准确评价草原健康状况的可行性和可信度。两种方法相互补充,将有利于更加准确、实时动态监测和评价牧户尺度草原生态健康状况,为调整优化畜牧业生产实践提供指导和草原生态保护和建设政策的有效实施提供保障。

关键词:草原退化;牧户感知;CVOR;草地健康评价;内蒙古;草甸草原

Rangeland health assessment in the meadow steppe region of Inner Mongolia: Integrating herder perception and field sampling

YIN Yanting^{1,2}, YUN Xiangjun², GUO Mingying², WEI Jun², HOU Xiangyang^{1,*}

1 Grassland Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hohhot 010010, China

2 Hulun Buir Station of Grassland Management, Hailar 021008, China

Abstract: Controlling rangeland degradation has been the key issue of Chinese rangeland management. However, the research of rangeland degradation mainly be based on scientific methods, and neglects the importance of local herders, who have been directly responsible for rangelands. They have their own perceptions about the rangeland condition. This has resulted in conflicts between scientific methods and herder perception, and then adversely the affected effective implementation of conservation programs. In this paper, an explorative study was conducted to integrate herder perception and field sampling to assess rangeland condition at the household scale, in the meadow steppe region of Inner Mongolia. The households were divided into high, medium, and low economic levels based on survey data. A Condition-Vigor-Organization-Resilience (CVOR) model was used to calculate the health index of rangelands under different household

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71774162);国家重点基础研究发展计划项目(973 项目)(2014CB138806);中国农业科学院创新工程(CAAS-ASTIP-IGR2015-05)

收稿日期:2018-01-22; 网络出版日期:2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: houxy16@vip.126.com

economic levels. Results showed that both methods used many of the same indicators to assess rangeland condition. Results of both methods indicated that the rangelands were unhealthy and degraded. Among the rangelands, there were no significant differences between herder perception and CVOR assessment results ($P > 0.05$) under different household economic levels. Results demonstrated the feasibility and reliability of using herder perception to assess rangeland condition in terms of evaluation criteria and results. The integration of herder perception and scientific methods has potential to contribute to assessing and monitoring rangelands.

Key Words: rangeland degradation; erception; CVOR; rangeland health assessment; Inner Mongolia; meadow steppe

我国是草原资源大国,草原占全国土地面积的 41.7%,但受自然和人为因素影响,草原退化严重,因此遏制草原退化、保护草原生态环境已成为我国草原管理的重中之重。关于草原退化的一系列问题,如退化程度、退化原因识别以及相关治理政策的制定等,主要由科学方法确定^[1-3],如超载被认为是导致草原退化的首要原因^[4-6],因此制定了以减畜为主要手段、以实现草原保护为最终目标的生态政策。但科学方法一般从县域或地区等大尺度、采用遥感^[7-9]或试验方法^[10-12]进行研究,而忽略了牧户的重要性。在我国草原牧区,牧户是草原使用权的所有者和直接管理者,对草原状况有自己的一套认知和判断,这往往导致大尺度遥感或试验方法下的科学结果与牧户尺度下的自我感知结果相矛盾,进而引发草原生态治理政策和牧户实际畜牧业生产行为之间的矛盾,最终导致政策的失效^[13-14]。

国内外已经有大量研究表明,牧户感知能够用于有效评价草原状况^[15-18],从牧户视角出发开展退化草原治理研究有助于加深对草原退化的认识和制定合理有效的草原恢复政策^[19-20]。但由于牧户感知存在主观性^[21-22],其有效性遭到了诸多质疑,因此国外已经开始有将科学方法和牧户感知相结合的研究,对草原健康状况进行综合评价,并证实两种方法可以相互补充^[23-26],可提高草原生态系统健康评价的准确性。尽管国内学界已经意识到牧户感知的重要性^[16,27-28],但将两种方法相结合的研究却较为鲜见。

牧户作为草原资源的直接使用者和管理者,其对草原的第一手感知和认识对准确判断草原状况和治理草原退化具有不可忽视的重要价值。本研究试图将牧户感知与科学方法相结合,以内蒙古东部草甸草原地区牧户尺度下的草原为研究对象,通过牧户调研和野外调查,采用任继周院士提出的 Condition-Vigor-Organization-Resilience (CVOR)综合指数评价法,分析和探讨两种方法在牧户尺度草原健康评价方面的一致性,以期为我国的草原健康评价、优化草原管理和有效治理草原退化提供新的方法视角和参考。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域

研究区位于内蒙古东部的陈巴尔虎旗(118°22′—121°02′E,48°48′—50°12′N),属于典型的草甸草原。该地区属温带大陆性季风气候,年均气温-0.5—1.5℃,年降水量 290—400 mm,全年降水分布不均匀,集中在夏季。在内蒙古所有草原类型中,该类型区草地生产力最高。土壤类型主要为栗钙土,主要物种包括羊草(*Leymus chinensis*)、贝加尔针茅(*Stipa Baicalensis*)、日荫菅(*Carex pediformis*)等,其中羊草和贝加尔针茅占优势地位,冷蒿(*Artemisia frigida*)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)、寸草苔(*Carex duriuscula*)等占比较小。

自 20 世纪 80 年代牧区实施“双权一制”,草原、牲畜到户以来,牧户一直是草原的直接使用者和管理者,畜牧业是牧户的主要收入来源,在牧户生计中具有重要作用。放牧是草原利用的主要方式,多数牧户草场实施全年放牧,部分牧户将自己的部分草场分割出来当作打草场,此部分打草场通常离居住地较近但实施围封,除作为秋季打草场外,在冬季也通常当作放牧地。

1.2 数据来源

1.2.1 牧户调研

本次调研采用分层随机抽样方法,2013 年 7 月下旬—8 月上旬在研究区选择 3 个苏木(乡)、共抽取 5 个

嘎查(村),每个嘎查(村)随机选择 5—20 户牧户,共 60 户牧户。每个嘎查(村)调研前,皆先通过嘎查领导详细了解整个嘎查牧户的经济和牲畜情况;开始调研时,聘请一位熟悉嘎查情况的嘎查工作人员作为向导和翻译,以确保调研对象的代表性,以及牧户能充分理解被调研问题。因为调研内容涉及牧户对过去 30 年草地状况变化感知,所以在调研过程中只选择 50 岁及以上的牧户进行调查。

调研内容主要包括以下几个方面:(1)牧户社会背景及家庭经济情况(收入、牲畜等方面);(2)牧户对草原植被动态变化的感知,包括植被类型、高度、群落盖度和生产力等;(3)对草原土壤动态变化的感知,主要包括土壤湿度和营养变化等;(4)草原变化对畜牧业生产的影响;(5)对整个草原健康状况的感知,包括是否退化、退化程度等。

1.2.2 野外调查

野外调查选择在已经调研过的阿尔山嘎查进行。野外调查开始之前,首先通过调研数据计算得出牧户家庭收入及草原载畜率,由于牧户收入与载畜率之间的高度正向相关关系^[29-30],本研究将牧户分为高、中、低收入水平,对应载畜率分别为 3.00 羊单位/hm²、2.00 羊单位/hm²、1.50 羊单位/hm²,同时结合牧户遥感数据,了解牧户整体草场状况。在征得牧户同意的基础上,从高、中、低收入水平牧户中各选 5 户牧户草场作为野外调查样地,最终形成高、中、低 3 个经济处理,每个处理包括 5 个重复,即每个经济水平包括 5 户牧户草场作为处理区,共计 15 个。关于参照区的选择,由于在研究区很难找到完全不放牧的草原(即使政策上有,根据调研,通常都仍在放牧),但该地区许多牧户留有打草场,由于实施围封并且只在冬季放牧,因此植被生长状况较好,根据 Hobbs^[31]的生态系统健康评价参照系统的选择方法,最终选择长久固定用于打草、且打草前的 5 户牧户草场作为参照区。

2013 年 8 月中旬进行野外调查,采用样线法,以牧户居住点为起点,在样地所属牧户的协助下,选择植被较均匀、地形相似且能最大程度代表整个草原类型健康状况的地段进行试验,最终每个样地取 5 个 1 m×1 m 样方,分种记录各植物的高度、盖度和密度,并采用地面剪齐法剪草,分种类收集草样并进行烘干处理测其干重。参照区在打草前进行采样。

1.2.3 草原健康指数评价

关于生态系统健康评价,有模糊评价法、功能评价法、生态系统健康指数法等多种方法^[32-34],但其中普遍接受的则是 VOR 健康指数法^[35],并在实践中得到了一定的应用,但该方法本身存在局限性,仅考虑生态系统本身而忽略了影响系统的环境因素^[11],加之评价生态系统的各单项指标尺度不统一,造成了夸大或缩小某个指标作用的风险^[11,36],进而影响评价结果。

在 VOR 指数法的基础上,任继周院士于 2000 年提出了 CVOR 综合指数评价法^[37]。草原基况(condition, C)是草原生态系统的大气、土地与位点等因子的综合^[11],CVOR 综合指数法考虑了环境因素对生态系统健康的影响,评价更为客观、综合性较强,该方法已经用于诸多研究中并证明了其可行性^[10-12],本研究采用 CVOR 综合指数法对牧户尺度草原进行健康评价。具体公式及计算方法如下:

(1) 草原基况(C)的计算

草原基况反映了草原生态系统地境-牧草的状况^[11],是大气、土壤与气候因子的综合^[12,38],本研究以土壤有机质为指标,其计算公式为

$$C = \text{SOM}_i / \text{SOM}_{RA}$$

式中, SOM_i 为评价对象的土壤有机质含量, SOM_{RA} 为参照系统的土壤有机质含量, $C_i \in [0, 1]$,如果 $C > 1$,则取 $C = 1$ 。

(2) 活力指数(V)的计算

活力代表生态系统的能量和活动性^[10-12],可用光合效率^[39]、地上生物量^[10-12]等表示,本研究选用地上生物量为指标进行计算:

$$V_i = B_i / B_{RA}$$

式中, B_i 为评价对象的地上生物量, B_{RA} 为参照系统的地上生物量, $V_i \in [0, 1]$, 如果 $V > 1$, 则取 $V = 1$ 。

(3) 组织力指数(O)的计算

组织力反映生态系统的稳定性, 可用生物多样性^[40]、物种分布频率、相对生物量、相对高度^[10-12, 36, 41]、群落稳定性^[42]等计算, 参考内蒙古草原群落组织力评价方法^[43], 本研究采用各物种的相对频率、相对生物量和相对高度来计算, 具体公式如下:

$$O_i = \sum [(F_j + B_j + H_j)/3]$$

式中, $F_j = N_j/N$, 代表各物种的相对频率, 其中 N_j 为出现第 j 个物种的样方数, N 是全部样方数(本研究为每个样地 5 个样方, 即 $N=5$); $B_j = B_{jk}/B_k$, 为各物种的相对生物量, 其中 B_{jk} 为第 j 物种在第 k 个样方中干重 ($k=1, 2, \dots, 5$), B_k 是第 k 个样方的总干重; $H_j = P_j/P_{\max}$, 为各物种的相对高度, P_j 为群落中第 j 个植物种在样方中的植株平均高度, P_{\max} 是 P_j 中最大值。

最后, 将评价对象组织力计算值与参照系统组织力计算值相比较, 即: $O = O_i/O_{RA}$, 式中, O_i 为评价对象的组织力; O_{RA} 为参照系统的组织力。 $O \in [0, 1]$, 若 $O > 1$, 则取 $O = 1$ 。

(4) 恢复力指数(R)的计算

恢复力表示生态系统对外在胁迫的反弹能力和恢复能力^[10, 12, 42], 可用多样性指数^[36]、R 测度法^[11]等计算。与文献^[10, 12]相同, 本研究采用优势种的地上生物量与退化指示种地上生物量的比值进行计算

$$R_i = \frac{B_i(D_1+D_2)/B_{RA}(D_1+D_2)}{B_i(DI_1+DI_2)/B_{RA}(DI_1+DI_2)}$$

式中, $B_i(D_1+D_2)$ 、 $B_{RA}(D_1+D_2)$ 分别代表评价对象和参照系统的优势种羊草和贝加尔针茅地上生物量之和, $B_i(DI_1+DI_2)$ 、 $B_{RA}(DI_1+DI_2)$ 则分别代表评价对象和参照系统的退化指示种冷蒿和星毛萎陵菜的地上生物量, 其中 $R_i \in [0, 1]$, 如果 $R > 1$, 则 $R = 1$ 。

CVOR 综合指数计算公式为

$$HI = W_c \times C + W_v \times V + W_o \times O + W_r \times R \quad (1)$$

式中, W_c 、 W_v 、 W_o 、 W_r 分别是 C 、 V 、 O 、 R 的权重系数, 反映了 C 、 V 、 O 、 R 各因素的重要性, 同时可减轻甚至避免由数据背景引起的不确定性、自然空间不均匀性抑或时间波动性等导致的结果误差^[11-12], 其中 $W_c + W_v + W_o + W_r = 1$ 且 W_c 、 W_v 、 W_o 、 $W_r \geq 0$ 。因为本研究在野外调查开始之前已经对牧户进行了调研, 背景清晰, 因此取 $W_c = W_v = W_o = W_r = 1/4$, $HI \in [0, 1]$, 如果 $HI = 1$, 系统处于最健康状态; 若 $HI = 0$, 生态系统最不健康。

1.2.4 草原生态系统健康等级的划分

参考诸多文献^[10-12, 36, 42-43], 本研究利用四分法将草原生态系统健康状态划分为 4 个不同等级: 如果 $0.75 < HI < 1.00$, 则生态系统健康; 如果 $0.50 < HI < 0.75$, 则不健康; 如果 $0.25 < HI < 0.50$, 则处于警戒水平; 如果 $0 < HI < 0.25$, 系统崩溃。

1.2.5 数据处理

采用 Excel 2007 和 IBM SPSS 21 对数据进行处理。

2 结果与讨论

2.1 牧户对草原健康状况的感知

关于牧户对过去 30 年草原健康状况变化的感知, 由表 1 可知, 超过 80% 以上的牧户认为植被状况变差, 82% 的牧户认为植被种类减少, 其中部分牧户指出, 一年生和退化指示种(如冷蒿)呈增加趋势; 另有 85% 和 87% 的牧户分别指出植被的高度和盖度降低, 亦有高达 87% 的调研对象认为牧草产量减少, 生产力降低。关于土壤状况, 分别有 80% 和 78% 牧户认为土壤的湿度和肥力出现降低; 关于草原健康状况变化对畜牧业的影响, 80% 的牧户表示当前的草原健康状况已经影响到畜牧业生产。上述结果显示牧户从植被、土壤、牲畜等多个指标进行对草原健康状况的感知判断, 这与诸多采用科学方法的研究^[10-12, 40-43]是一致的, 表明牧户感知与

科学方法研究在评价草原健康状况指标选取方面具有相似性。由此可得出,在指标选取方面,牧户感知已经具备了用于准确评价草原健康状况的前提条件。

表 1 牧户对草原健康状况的感知 (%)

Table 1 Herder perception of rangeland health condition

感知类型 Category	植物种类 Species	植被高度 Height	群落盖度 Cover	草地生产力 Productivity	土壤湿度 Moisture	土壤肥力 Fertility
增加 Increased	2	0	0	0	0	0
降低 Decreased	82	85	87	87	80	78
不变 Unchanged	13	10	10	8	15	15
不确定 Not sure	3	5	3	5	5	7

2.2 牧户感知和 CVOR 指数法下的草原健康评价

从牧户感知而言,83%牧户认为草原已经发生退化,其中认为严重退化的牧户达 53%,这与常骏和娜日苏^[44-45]分别采用试验和遥感方法针对草甸草原的研究结果是相似的。根据 CVOR 综合指数法得到不同经济水平牧户草场的健康评价指数(表 2),可知中等经济水平牧户草场的健康指数最高(HI=0.54, SD=0.17),高经济水平次之(HI=0.51, SD=0.10),低经济水平牧户草场最低(HI=0.49, SD=0.09),参照草原生态系统健康等级评价方法,高、中经济水平牧户草场均被判定为不健康,低经济水平牧户草场处于警戒水平。上述结果表明,无论牧户感知或是 CVOR 综合指数法,牧户草场均被评价为不同程度的退化,这表示牧户感知不仅在评价指标选取方面与科学方法研究具有一致性,更重要的是,其评价结果也具有一致性,进一步证明牧户感知可用于准确评价草原健康状况的可行性和可信度。

表 2 不同经济水平牧户草场健康指数评价结果

Table 2 Health index and assessment results of the sampled households' rangelands

结果指标 Index	牧户分类 Household classification		
	高 High	中 Medium	低 Low
健康指数 Health index	0.51	0.54	0.49
评价结果 Assessment results	不健康	不健康	警戒

2.3 不同经济水平牧户草场健康状况

关于牧户感知结果,为便于进行非参数检验,首先对各指标进行赋值,植物种类、高度、盖度、草原生产力、土壤湿度和肥力的感知增加、降低、不变、不确定分别赋值为 1、2、3、4;对牲畜影响的感知严重影响、轻微影响、无影响、不确定分别赋值为 1、2、3、4;对退化程度的感知严重退化、轻度退化、无退化、轻微变好、明显变好分别赋值为 1、2、3、4、5。检验结果显示高、中、低不同经济水平牧户在对植被、土壤和牲畜状况等各指标变化以及退化程度的判断上均无显著差异(表 3)。结合 2.2 中高、中、低不同经济水平牧户草场的健康指数虽有不同(表 2),但不同经济处理之间亦无显著差异($P>0.05$),即不同经济牧户水平牧户草场虽呈现不同程度退化,但退化程度并无显著差异,再次证明牧户草场生态状况趋同现象的存在,这与之前研究结果相似^[21,46]。关于生态系健康状况趋同现象,早在 2004 年 Huxman 等^[47]研究就已经指出,受降水使用效率影响,生态系统状况呈现趋同。但与 Huxman 等研究中趋同原因不同,本研究中草原健康状况趋同与牧户畜牧业生产行为有关^[48]。高经济水平牧户通常拥有较多牲畜,因此他们经常选择租赁草原或进行走场到其他牧户草场,以减少自有草场的放牧压力。低经济水平则与之相反,牲畜较少而草场面积则较大,其草场常进行出租或被邻居付以较小代价作放牧使用,因此导致其草场压力不低甚至可能更高。中等经济水平牧户则通常拥有适当面积和数量的草场和牲畜,往往不会出租草场,或者有时会租赁草场,以维持适当牲畜规模进而防止草场放牧压力过大。不同经济水平牧户按照上述行为长期开展畜牧业生产实践,势必影响草原状况变化,最终导致高经济水平牧户草场实际载畜率不高,而低经济水平牧户草场实际载畜率不低,不同牧户草场健康状况趋同的现象。

表 3 不同经济水平牧户草场健康感知非参数检验结果

Table 3 Non-parametric test results of herder perception of households' rangelands condition

卡方检验 Chi-square test	植物种类 Species	植被高度 Height	群落盖度 Cover	生产力 Productivity	土壤湿度 Moisture	土壤肥力 Fertility	牲畜影响 Livestock	退化 Degradation
χ^2	2.86	1.08	1.08	2.33	1.08	0.03	0.37	1.63
<i>P</i>	0.24	0.58	0.58	0.31	0.58	0.98	0.83	0.44

2.4 综合运用多种评价方法为科学有效草原管理提供参考

草原生态系统健康评价的科学方法多样,但没有某一种方法完全比其他方法更有效,每种方法都有其优点和缺点,如运用遥感影像数据^[7-8],其优点是尺度大、覆盖面广,但由于分辨率低、指标种类不全面等问题,影响其评价结果的准确性;样地试验方法则仅反映了某个样地的生态健康状况,而牧户关心的是牧户尺度的草原生态系统健康状况,因此样地试验法的结果也往往不能被牧户接受,这势必影响到生态保护和建设政策的有效实施。牧户对草原和环境之间的相互作用有着自己的判断和认知^[49-50],并将其直接用于指导实际畜牧业生产管理进而影响草原健康状况。但由于牧户感知亦存在主观性,如牧户认为降水是导致草原退化的首要因素^[21],而对于超载和过度放牧,牧户虽然认为也会引起草原退化,但大多数并不认为其草场存在超载或过度放牧。鉴于上述问题,国外已经有很多研究将科学方法和牧户感知结合起来,并证明了其在草原健康评价中的有效性^[23-26],甚至有学者已经开始探索参与式评价法^[26,51],通过对牧户进行科学评价方法培训,结合其第一手感知和判断,以实现及时、准确地了解和掌握草原健康状况,科学指导畜牧业生产实践。

本研究证明了牧户感知在评价指标选取、评价结果方面与科学方法具有一致性,验证了其能够用于准确评价草原健康状况的可行性和可信度,但对于如何将牧户感知有效结合到科学草原评价和管理中,实施参与式评价,则值得进一步研究,对及时掌握草原状况,优化草原管理,制定牧户易于接受、自觉自愿执行的科学草原管理措施和生态保护建设政策具有重要意义和启示。

3 结论

基于牧户感知和野外调查相结合的内蒙东部陈巴尔虎旗草甸草原健康评价研究获得了下列结论。

关于过去 30 年的草原健康状况变化,超过 80%的牧户认为植物种类、植被高度、群落盖度、草原生产力等植被指标出现下降;分别有 80%和 78%的牧户认为土壤湿度和土壤肥力出现下降;80%牧户认为草原健康状况的变化已经影响到畜牧业生产。牧户草原健康状况的判断涉及植物种类、植被高度、群落盖度、草地生产力、土壤湿度、土壤肥力、对牲畜的影响等植被、土壤、牲畜方面,这与诸多采用科学方法的研究具有相似性。

无论牧户感知抑或 CVOR 综合指数法,均判定牧户草场出现不同程度的退化。超过 80%牧户认为草场已经发生退化,其中高达 53%牧户认为严重退化;CVOR 指数法评价不同经济水平牧户草场健康指数排序为:中经济水平(0.54)>高经济水平(0.51)>低经济水平(0.49),不同牧户草场均处于不健康状态,发生不同程度的退化。

根据牧户感知和 CVOR 综合指数法评价结果,表明高、中、低不同经济水平牧户草场发生不同程度退化,但退化程度均无显著差异($P>0.05$),证明两种方法对牧户草场健康状况评价具有趋同的结果。

参考文献 (References):

- [1] Wang X G, Han J G, Dong Y P. Recent grassland policies in China: an overview. *Outlook on Agriculture*, 2005, 34(2): 105-110.
- [2] Harris R B. Rangeland degradation on the Qinghai-Tibetan plateau: a review of the evidence of its magnitude and causes. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74(1): 1-12.
- [3] Li S Y, Verburg P H, Lv S H, Wu J L, Li X B. Spatial analysis of the driving factors of grassland degradation under conditions of climate change and intensive use in Inner Mongolia, China. *Regional Environmental Change*, 2012, 12(3): 461-474.
- [4] Kemp D, Brown C, Han G, Michalk D, Nan Z B, Wu J P, Xu Z. Chinese grasslands: problems, dilemmas and finding solutions// Kemp D R,

- MichalkD L, eds. Development of Sustainable Livestock Systems on Grasslands in North-western China; Proceedings of a workshop held at the combined International Grassland Congress and International Rangeland Conference. Canberra: ACIAR, 2008; 12-23.
- [5] Li X B, Li R H, Li G Q, Wang H, Li Z F, Li X, Hou X Y. Human-induced vegetation degradation and response of soil nitrogen storage in typical steppes in Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments*, 2016, 124: 80-90.
- [6] Li X L, Yuan Q H, Wan L Q, He F. Perspectives on livestock production systems in China. *The Rangeland Journal*, 2008, 30(2): 211-220.
- [7] Tong C, Wu J, Yong S, Yang J, Yong W. A landscape-scale assessment of steppe degradation in the Xilin River Basin, Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments*, 2004, 59(1): 133-149.
- [8] Rango A, Laliberte A, Herrick, J E, Winters C, Havstad K, Steele C, Browning D. Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2009, 3(1): 033542.
- [9] Akiyama T, Kawamura K. Grassland degradation in China: Methods of monitoring, management and restoration. *Grassland Science*, 2007, 53(1): 1-17.
- [10] 王立新, 刘钟龄, 刘华民, 王伟, 梁存柱, 乔江, 中越信和. 内蒙古典型草原生态系统健康评价. *生态学报*, 2008, 28(2): 544-550.
- [11] 侯扶江, 于应文, 傅华, 朱宗元, 刘钟龄. 阿拉善草地健康评价的 CVOR 指数. *草业学报*, 2004, 13(4): 117-126.
- [12] 单贵莲, 陈功, 刘钟龄, 闫志坚, 初晓辉. 典型草原健康评价的 VOR 和 CVOR 指数. *草地学报*, 2012, 20(3): 401-406.
- [13] 李艳波, 李文军. 草畜平衡制度为何难以实现“草畜平衡”. *中国农业大学学报: 社会科学版*, 2012, 29(1): 124-131.
- [14] 侯向阳, 尹燕亭, 王婷婷. 北方草原牧户心理载畜率与草畜平衡生态管理途径. *生态学报*, 2015, 35(24): 8036-8045.
- [15] Oba G, Kaitira L M. Herder knowledge of landscape assessments in arid rangelands in northern Tanzania. *Journal of Arid Environments*, 2006, 66(1): 168-186.
- [16] 赵雪雁. 牧民对高寒牧区生态环境的感知——以甘南牧区为例. *生态学报*, 2009, 29(5): 2427-2436.
- [17] Ho P, Azadi H. Rangeland degradation in North China: perceptions of pastoralists. *Environmental Research*, 2010, 110(3): 302-307.
- [18] 李惠梅, 张安录. 基于结构方程模型的三江源牧户草地生态环境退化认知研究. *草地学报*, 2015, 23(4): 679-688.
- [19] Angassa A, Oba G. Herder perceptions on impacts of range enclosures, crop farming, fire ban and bush encroachment on the rangelands of Borana, Southern Ethiopia. *Human Ecology*, 2008, 36(2): 201-215.
- [20] Hosseininia G, Azadi H, Zarafshani K, Samari D, Witlox F. Sustainable rangeland management: Pastoralists' attitudes toward integrated programs in Iran. *Journal of arid environments*, 2013, 92: 26-33.
- [21] 尹燕亭. 内蒙古草原牧户草畜平衡决策行为的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [22] 李西良. 北方草原牧户对气候变化及气象灾害的感知与适应研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [23] Stringer L C, Reed M S. Land degradation assessment in southern Africa: integrating local and scientific knowledge bases. *Land Degradation & Development*, 2007, 18(1): 99-116.
- [24] Raymond C M, Fazey I, Reed M S, Stringer L C, Robinson G M, Evely A C. Integrating local and scientific knowledge for environmental management. *Journal of Environmental Management*, 2010, 91(8): 1766-1777.
- [25] Kgosikoma O, Mojeremane W, Harvie B A. Pastoralists' perception and ecological knowledge on Savanna ecosystem dynamics in semi-arid Botswana. *Ecology and Society*, 2012, 17(4): 27.
- [26] Tarrasón D, Ravera F, Reed M S, Dougill A J, Gonzalez L. Land degradation assessment through an ecosystem services lens: Integrating knowledge and methods in pastoral semi-arid systems. *Journal of Arid Environments*, 2016, 124: 205-213.
- [27] 韩颖, 侯向阳. 内蒙古荒漠草原牧户对气候变化的感知和适应. *应用生态学报*, 2011, 22(4): 913-922.
- [28] 王海, 侯向阳, 秦艳, 那日苏. 阿拉善荒漠区牧民对气候变化的感知及应对措施初探——以阿拉善左旗和阿拉善右旗为例. *草业科学*, 2011, 28(9): 1718-1723.
- [29] 赵雪雁, 巴建军. 高寒牧区牧民生产经营行为研究——以甘南牧区为例. *地域研究与开发*, 2009, 28(2): 15-20.
- [30] 陈秋红. 草原生态敏感地区牧户畜牧业生产经营行为及影响因素分析. *农业技术经济*, 2010, (11): 65-75.
- [31] Hobbs R J, Norton D A. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology*, 1996, 4(2): 93-110.
- [32] 单贵莲. 内蒙古锡林郭勒典型草原恢复演替研究与健康评价[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
- [33] Tait J T P, Cresswell I D, Lawson R, Creighton C. Auditing the health of Australia's ecosystems. *Ecosystem Health*, 2000, 6(2): 149-163.
- [34] Niyogi D K, Simon K S, Townsend C R. Breakdown of tussock grass in streams along a gradient of agricultural development in New Zealand. *Freshwater Biology*, 2003, 48(9): 1698-1708.
- [35] Costanza R, Norton B G, Haskell B D. *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management*. Washington, DC: Island Press, 1992.
- [36] 王冠琪, 张克斌, 王志述. 不同封育条件下荒漠草原生态系统健康评价. *中国水土保持科学*, 2014, 12(2): 40-46.
- [37] 任继周, 南志标, 郝敦元. 草业系统中的界面论. *草业学报*, 2000, 9(1): 1-8.
- [38] 邵新庆, 石永红, 韩建国, 王赞文, 王堃. 典型草原自然演替过程中土壤理化性质动态变化. *草地学报*, 2008, 16(6): 566-571.

- [39] Boonen C, Samson R, Janssens K, Pien H, Lemeur R, Berckmans D. Scaling the spatial distribution of photosynthesis from leaf to canopy in a plant growth chamber. *Ecological Modelling*, 2002, 156(2/3): 201-212.
- [40] SymstadAJ, Jonas JL. Incorporating biodiversity into rangeland health; Plant species richness and diversity in Great Plains grasslands. *Rangeland Ecology & Management*, 2011, 64(6): 555-572.
- [41] Lu F, Li ZZ. A model of ecosystem health and its application. *Ecological modeling*, 2003, 170(1): 55-59.
- [42] 王明君. 不同放牧强度对羊草草甸草原生态系统健康的影响研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [43] 郝敦元, 高霞, 刘钟龄, 钱进, 莘智. 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): 1671-1677.
- [44] 娜日苏. 基于遥感技术的丘陵草甸草原健康评价研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [45] 常骏. 呼伦贝尔草地利用单元划分与生态系统健康评价[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
- [46] 尹燕亭, 侯向阳, 运向军, 丁勇, 李西良. 荒漠草原不同经济水平牧户草场植被和土壤养分特征比较. *中国农学通报*, 2013, 29(8): 6-12.
- [47] Huxman T E, Smith M D, Fay P A, Knapp A K, Shaw M R, Loik M E, Smith S D, Tissue D T, Zak J C, Weltzin J F, Pockman W T, Sala O E, Haddad B M, Harte J, Koch G W, Schwinning S, Small E E, Williams D G. Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. *Nature*, 2004, 429(6992): 651-654.
- [48] 尹燕亭, 侯向阳, 运向军, 丁勇, 李西良. 不同经济水平牧户草场植被特征比较. *中国沙漠*, 2013, 33(4): 1041-1047.
- [49] Dabasso B H, Oba G, Roba H G. Livestock-based knowledge of rangeland quality assessment and monitoring at landscape level among borana herders of northern Kenya. *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, 2012, 2(1):1-13.
- [50] Hopping K, Yangzong C, Klein J A. Local knowledge production, transmission, and the importance of village leaders in a network of Tibetan pastoralists coping with environmental change. *Ecology and Society*, 2016, doi: 10.5751/ES-08009-210125.
- [51] Reed M S, Dougill A J, Baker T R. Participatory indicator development; what can ecologists and local communities learn from each other. *Ecological Applications*, 2008, 18(5): 1253-1269.