

北方草地畜牧业生态系统健康综合评价与诊断

郝 璐^{1,2,3}, 王静爱^{1,3,4,*}, 张 化²

(1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 内蒙古生态与农业气象中心, 呼和浩特 010051;
3. 北京师范大学区域地理研究重点实验室, 北京 100875; 4. 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要: 鉴于畜牧业生态系统健康与人类、社会、经济、环境等具有密切的关系, 从活力、组织结构和恢复力三方面, 提出区域畜牧业生态系统健康评价指标体系及等级评价模型。其中, 适宜载畜量、人均养畜量、畜群结构、草地退化沙化率、良种畜比重、舍饲、半舍饲比例是我国北方牧区草地畜牧业生态系统健康状况的主要控制因子。选取内蒙古牧区、新疆牧区、青海牧区、甘肃牧区、西藏牧区五个区域, 对区域内畜牧业生态系统健康分别进行评价及诊断, 评价结果为: 健康状况处于“中”级的牧区是内蒙古(2.7730)、新疆(2.5641)以及青海牧区(2.4673); 健康状况处于“低”级的牧区是甘肃(2.2335)和西藏牧区(1.8884)。针对评价过程中暴露的活力、组织结构和恢复力问题, 对 5 个牧区草地畜牧业生态系统健康进行了诊断, 认为在中国北方牧区气候暖干化背景下, 只有调整草地畜牧业发展战略, 重视和确定草地资源在提供生态公共产品中的重要作用和地位, 从生态效益和经济效益的要求出发, 优化牧场整体生产结构, 增草增畜, 使草地资源得到恢复性演替, 才能实现生态畜牧业的建设目标。

关键词: 畜牧业生态系统健康; 指标体系; 投影寻踪评价模型; 诊断; 北方牧区

文章编号: 1000-0933(2008)04-1456-10 中图分类号: Q147, Q143 文献标识码: A

Comprehensive assessment and diagnosis of the health of animal husbandry ecosystems in north China pastures

HAO Lu^{1,2,3}, WANG Jing-Ai^{1,3,4,*}, ZHANG Hua²

1 School of Geography and Remote Sensing, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 Ecological and Agricultural Meteorology Centre of Inner Mongolia, Hohhot 010051, China

3 Key Laboratory of Regional Geography, Beijing Normal University, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

4 Key Laboratory of Environmental Change and National Disaster of Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1456 ~ 1465.

Abstract: Animal husbandry ecosystems that have many comprehensive characteristics can be assessed through observations of their vigor, structure and resilience. Animal husbandry ecosystems are very important to realize the healthy development of animal husbandry. Based on the significance of the health of animal husbandry ecosystems and their characteristics, an assessment system with indexes was constructed using vigor, structure and resilience. Among such indicators, livestock carrying capacity of grassland, number of livestock per capita, livestock population structure, land degradation and

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(2006CB400505); 中国气象局气候变化专项资助项目(CCSF2006-17)

收稿日期: 2006-12-30; **修订日期:** 2007-12-12

作者简介: 郝璐(1970~), 女, 内蒙古呼和浩特人, 博士生, 高级工程师, 主要从事草地畜牧业生态系统、环境演变、区域自然灾害研究. E-mail: hl_haolu@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Sq@bnu.edu.cn

致谢: 感谢高瑞忠对 PPE 模型软件开发的帮助, 同时感谢荷兰瓦赫宁根大学 Kees Stigter 教授对英文摘要的润色。

Foundation item: The project was financially supported by National Key Basic Research Project (No. 2006CB400505); China Meteorological Administration Climate Change Project (No. CCSF2006-17)

Received date: 2006-12-30; **Accepted date:** 2007-12-12

Biography: HAO Lu, Senior engineer, Ph. D. candidate, mainly engaged in animal husbandry ecosystem, environmental change and regional disaster. E-mail: hl_haolu@163.com

desertification rates, proportion of fine breed livestock, shed-bred or half shed-bred rate are the main manipulatable indicators of animal husbandry ecosystem health in north China pastures. In addition, a projection pursuit grade evaluation (PPE) model is presented for comprehensive evaluation of animal husbandry ecosystem health. Projection pursuit is a statistical technique which involves finding the most “interesting” possible projections in multidimensional data. Such projections can then be used for optimal visualization of the clustering structure of the data, and for such purposes as density estimation and regression. Diminishment of dimension is also an important objective, especially if the aim is visualization of the data.

Based on the assessment indexes system and assessment model of animal husbandry ecosystem health, grassland animal husbandry ecosystem health in north China pastures, including Inner Mongolia pastures, Xinjiang pastures, Gansu pastures, Qinghai pastures, and Tibet pastures are evaluated. The conclusions of the animal husbandry ecosystem health assessments of every region in North China pasture are as follows: the health of animal husbandry ecosystems in Inner Mongolia pastures, Xinjiang pastures and Qinghai pastures is rated “medium-healthy”, while Gansu pastures and Tibet pastures are rated to be of “low-health”. The ranking from the best to the worst, among the five pastures in north China, was Inner Mongolia pasture, Xinjiang pasture, Qinghai pasture, Gansu pasture and Tibet pasture. Health in the five main pastures is indeed not so good and it is influenced or limited by economic costs, infrastructures, economic scales, natural resources, water resources, soil erosion, ecological fragility, diathesis of agricultural laborers, population development and scientific and technological contributions, etc. It is suggested that related to capacity building for sustainable development of grassland animal husbandry, five main measures should be taken. First, strengthen the legal framework about grassland and administer protection and construction according to law. Second, strengthen infrastructure construction and raise the production level as a whole. Third, carry out a strategy of accelerating animal husbandry through science and technology and enhance the transformation of production means. Fourth, optimize the resource allocation, and develop intensive animal husbandry rapidly. Fifth, develop industrialization and promote added values by processing products. Finally, enhance the construction of marketing systems and increase the organization levels of farmers.

Key Words: animal husbandry ecosystem health; assessment index system; PPE assessment model; comprehensive assessment and diagnosis; north China pastures

农牧业生态系统健康是农牧业生态系统的综合特征,它具有活力、稳定和自调节能力,是实现生态农牧业建设目标的重要保障^[1]。一个健康的农牧业生态系统主要是指那种能够满足人类需要而又不破坏、甚至能够改善自然资源的农牧业生态系统,其目标是高产出、低投入、合理的生产方式、良好的稳定性、恢复力和持续性^[2]。目前在生态系统健康评价研究方面,许多学者做了大量工作^[3~11],主要集中在对生态系统健康概念的探讨、问题评述及评价指标体系选取等方面。总之,生态系统健康评价是当前生态系统研究的热点,但在草地畜牧业生态系统健康方面的研究不多见,较全面评价指标体系也处于空白状态,主要是由于涉及问题较多,包括草地生态系统,畜牧业系统以及社会经济系统,问题复杂,不好量化。

我国北方牧区大多自然条件恶劣,生态环境脆弱,经济水平落后,畜牧业所占比重较大,牧民总体生活水平较低,畜牧业生态系统受外界压力较大,生产力较低。因此,对北方草地畜牧业生态系统健康进行评价,为草原畜牧业可持续发展及生态环境保护提供决策服务,具有重要的理论意义和实践意义。鉴于以上,本文在对北方草地畜牧业生态系统特征分析的基础上^[12~15],从活力、组织结构和恢复力^[4~10]3个方面,构建畜牧业生态系统健康评价指标体系,并建立投影寻踪评价模型,全面评价和诊断畜牧业生态系统的健康状况,为实现生态农牧业建设目标提供科学依据。

1 畜牧业生态系统健康评价指标体系及其度量

1.1 评价指标体系

评价生态系统健康的标准最重要的是活力、恢复力、组织3个指标。活力即生态系统的能量输入和营养

循环容量,是测量系统活动、新陈代谢或初级生产力的一项重要指标;组织即系统的复杂性,随生态系统的次生演替而发生变化和作用,一般认为,生态系统的组织越复杂就越健康;恢复力指胁迫消失时系统克服压力及反弹回复的容量。据此,R. Costanza^[10]提出了整个生态系统健康指数评价方法:

$$HI = V \times O \times R \quad (1)$$

式中, HI 、 V 、 O 、 R 分别代表系统健康指数、系统活力、组织指数、恢复力,采用不同含义的活力、恢复力、组织指标值可以反映不同类型生态系统的健康水平。这是目前被普遍接受的生态系统健康指标,同时也较为全面,并与生态系统健康的概念和原则较为相符。

具体到区域草地畜牧业生态系统而言,活力是系统提供畜产品的能力和效率,主要是根据系统产出功能来评价系统对受益者目标要求的满足程度;组织结构是系统资源状况和生产结构组成;恢复力是系统应对各种自然灾害和社会经济风险的能力,是在各种灾害发生后如何把危害减少到最小程度的能力。根据畜牧业生态系统健康及其评价的内涵,和目前国内外有关生态系统健康评价的各种方法^[1~11],考虑北方牧区草地畜牧业生态系统的特征^[12~17],从自然、社会和人类的经济投入等多个角度^[18]选取指标,从活力、组织结构和恢复力 3 个方面构建北方草地畜牧业生态系统健康评价指标体系(表 1)。

表 1 草地畜牧业生态系统健康评价指标体系

Table 1 Index system of animal husbandry ecosystem health assessment

指标 Indicators	含义 Meaning		
系统活力指标 Index of vigor	草地生产力(kg /hm ²) Grassland productivity	$V_1 = \text{产草量} / \text{草地总面积}$ $V_1 = \text{Total biomass} / \text{total grassland area}$	
	单位草地适宜载畜量 (Sheep unit/ hm ²) Livestock carrying capacity per grassland	$V_2 = \text{年适宜载畜量羊单位} / \text{草地总面积}$ $V_2 = \text{Yearly livestock carrying capacity} / \text{grassland area}$	
	人均养畜量(Sheep unit) Livestock number per capita	$V_3 = \text{大小畜羊单位数} / \text{农牧业人口}$ $V_3 = \text{Total livestock number} / \text{population}$	
	人均畜牧业纯收入(Yuan) Herdsman net income per capita	$V_4 = \text{畜牧业纯收入} / \text{农牧民人口}$ $V_4 = \text{Animal husbandry net income} / \text{herdsman population}$	
	系统组织结构指标 Index of organic structure	畜群结构(%) Livestock population structure	$O_1 = \text{母畜数} / \text{大小畜头数} \times 100$ $O_1 = \text{Female livestock number} / \text{total livestock number} \times 100$
		牧民受教育比例(%) Diathesis proportion of herdsmen	$O_2 = \text{小学以上人数} / \text{农牧民人口} \times 100$ $O_2 = \text{Population above primary} / \text{population above 6 years old} \times 100$
		草地退化沙化率(%) Land degradation, desertification rate	$O_3 = \text{草地退化沙化面积} / \text{草地总面积} \times 100$ $O_3 = \text{Degradation, desertification area} / \text{grassland area} \times 100$
水资源利用率(%) Exploited rate of water resource		$O_4 = \text{水资源已开发量} / \text{占可利用量} \times 100$ $O_4 = \text{Exploited water resource amount} / \text{available amount} \times 100$	
系统前恢复力指标 Index of resilience			$R_1 = \text{Avg} (V_i - V_{i-1} / V_{i-1})$
		稳定性指数 Stability index	$R_1 : \text{年增长率 Increase rate of animal husbandry output value}$ $V_1 : \text{畜牧业产值} / \text{草地总面积 Total output value of animal husbandry per grassland area}$
		定居、半定居牧户(%) Settle or half settle down household rate	$R_2 = \text{定居半定居牧户} / \text{牧户总数} \times 100$ $R_2 = \text{Settle or half settle down} / \text{total household} \times 100$
	舍饲、半舍饲比例(%) Shed or half shed-breed rate	$R_3 = \text{舍饲半舍饲牲畜头羊单位数} / \text{大小畜头羊单位数} \times 100$ $R_3 = \text{Shed or half shed-breed number} / \text{livestock number} \times 100$	
	畜均补饲(kg/sheep unit) Supplementary food per livestock	$R_4 = \text{补饲量} / \text{大小畜头羊单位数}$ $R_4 = \text{Supplementary food} / \text{livestock number}$	
	畜牧业用水比例(%) Water utilization rate of animal husbandry	$R_5 = \text{畜牧业用水} / \text{用水总量} \times 100$ $R_5 = \text{Water utilization of animal husbandry} / \text{total water utilization} \times 100$	
	良种畜比重(%) Proportion of fine breed livestock	$R_6 = \text{良种畜羊单位} / \text{大小畜总头羊单位数} \times 100$ $R_6 = \text{Fine breed number} / \text{total livestock number} \times 100$	
	围栏与种草保留面积比例(%) Rate of sown and enclosure grassland areas	$R_7 = (\text{种草保留} + \text{围栏草场面积}) / \text{草地总面积} \times 100$ $R_7 = \text{Sown and enclosure grassland areas} / \text{total grassland area} \times 100$	

其中:适宜载畜量指单位草地(包括天然草原、人工草场和灌溉饲草料地)上所适宜承载的牲畜数量;人

均畜牧业纯收入反映了当地农牧民生活水平;牧民受教育程度反映了人口的群体素质;草地退化、沙化率是直接反映草地生态系统功能的综合性指标;畜群结构,是不同性别、年龄和生产功能家畜的构成,是畜牧业生产周转的载体,建立合理的畜群结构,是提高畜产品产出效率,取得良好经济效益的关键;草地畜牧业生态系统稳定性是指在系统以外的变量正常波动与循环所产生的微小干扰下系统所保持的恒定性,是畜牧业生态系统管理的一个重要目标,它描述了系统健康的动态性质,稳定性指数用单位面积草地畜牧业产量或畜牧业产值的年增长变化率来衡量;舍饲、半舍饲比例与定居、半定居牧户在一定程度上可以反映牲畜以及牧户对春季干旱以及冬季雪灾等灾害的防御抵抗能力;良种畜提高了牲畜个体的生产性能,使其对自然环境的适应性更强;围栏草场与人工种草可以缓解草畜矛盾,努力达到草畜平衡,促进草地畜牧业经济发展,是治理草地退化以及缓解草地压力的有力举措;畜均补饲可防止牲畜因饥饿而导致的掉膘甚至死亡。

1.2 评价标准

畜牧业生态系统健康评价指标确定后,还需要明确各项指标的健康标准,才能对生态系统健康状况进行诊断评价。可是,目前还没有统一认可的畜牧业生态系统健康标准,鉴于畜牧业生态系统的服务功能是实现经济效益、社会效益和生态效益的协调发展,根据我国畜牧业生产的实际水平与条件,确定各单项指标的标志值:从近 10a 来北方牧区草原区人口统计资料变化分析,综合考虑未来人口自然增长、国家人口政策、小城镇建设、生态移民以及牧区经济发展和结构调整等因素,确定北方草原区牧业人口的标志值;按照我国第二步发展战略设想,并参照农村小康社会标准和生态县建设标准,推算北方牧区草原区农牧民人均纯收入的标志值;根据北方牧区多年农牧民人均纯收入结构分析,结合未来草地畜牧业发展趋势,确定畜牧业纯收入占总纯收入的比重和农牧业人口人均养畜量的标志值;并以此确定北方牧区牲畜饲养总量、饲草料需求量、饲草料供应量及载畜能力的标志值;按照水利部农村水利司《全国牧区草原生态保护水资源保障规划》^①中各省(区)规划综合设计毛灌溉定额,确定北方牧区草原区水资源需求量的标志值。在此基础上,采用专家评判标准赋值法,提出我国北方草地畜牧业生态系统健康评价的参考标准,并将活力、组织结构、恢复力及综合健康标准分为弱、低、中、高和强五个等级(表 2)。

表 2 草地畜牧业生态系统健康评价标准

Table 2 The indicators criterion for assessing a regional animal husbandry ecosystem health

指标 Indicators		等级 Grade				
		I 弱 Weak	II 低 Low	III 中 Medium	IV 高 High	VI 强 Strong
系统活力 Vigor	V_1	< 200	200 ~ 400	400 ~ 600	600 ~ 800	> 800
	V_2	< 5	5 ~ 25	25 ~ 45	45 ~ 65	> 65
	V_3	< 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	> 40
	V_4	< 1000	1000 ~ 2000	2000 ~ 3000	3000 ~ 4000	> 4000
系统组织结构 Organic structure	O_1	< 25	25 ~ 35	35 ~ 45	45 ~ 55	55 ~ 80
	O_2	< 25	25 ~ 45	45 ~ 65	65 ~ 85	85 ~ 100
	O_3	> 50	40 ~ 50	25 ~ 40	10 ~ 25	0 ~ 10
	O_4	< 10	10 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 100
系统恢复力 Resilience	R_1	< 0.05	0.05 ~ 0.10	0.10 ~ 0.15	0.15 ~ 0.20	> 0.20
	R_2	< 65	65 ~ 75	75 ~ 85	85 ~ 95	95 ~ 100
	R_3	< 10	10 ~ 25	25 ~ 50	50 ~ 75	75 ~ 100
	R_4	< 10	10 ~ 45	45 ~ 80	80 ~ 120	> 120
	R_5	< 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 60
	R_6	< 25	25 ~ 45	45 ~ 65	65 ~ 85	85 ~ 100
	R_7	< 5	5 ~ 15	15 ~ 30	30 ~ 45	45 ~ 80

① 水利部农村水利司,等.全国牧区草原生态保护水资源保障规划.2003,1~72.

Department of Irrigation, Drainage and Rural Water Supply in Ministry of Water Resources. National pastureland grassland zoology protection water resource safeguard plan. 2003, 1 ~ 72.

2 畜牧业生态系统健康评价模型

投影寻踪(Projection Pursuit,简称 PP)方法是直接由样本数据驱动的探索性数据分析方法,它可以将高维数据空间上的点通过投影映射到低维子空间上。由于高维空间上的点映射到低维子空间上可以有不同的投影方向,其中使投影指标函数达到最大的投影方向即为我们所求的最佳投影方向。由于评价指标较多,因此就具有多个需要优化的参数。传统的优化方法同时优化这么多参数相当困难。近年来得到普遍发展的适于多维、全局收敛的优化方法——遗传算法(Genetic Algorithm 简称 GA)却能很好地解决这个问题。本文采用改进的 GA 方法——模拟生物优胜劣汰与群体内部染色体信息交换机制的基于实数编码的加速遗传算法(Real coding based Accelerating Genetic Algorithm,简称 RAGA)来解决其高维全局寻优问题,将 RAGA 与投影寻踪等级评价模型(Projection Pursuit Evaluation Model,简称 PPE 模型)有机地结合^[19~22],根据草地畜牧业生态系统健康评价指标标准(表 2),构建畜牧业生态系统健康评价的投影寻踪模型。这里以建立标准样本的活力 VPPE 模型为例进行说明:

首先,表 2 中样本等级标准为 5 个(5 个样本),每个样本有 5 个评价指标,即属于 5 维数据。RAGA 优化过程中选定父代初始种群规模为 $n = 300$,优秀个体数目选定为 20 个,得出最佳投影方向 $a^* = (0.455, 0.456, 0.474, 0.448)$ 。

根据 a^* 得各个活力标准的投影值 $Z^*(j)$,建立畜牧业生态系统活力评价的投影寻踪模型:

$$Y_V^*(i) = 2.625e^{0.266Z^*}, R^2 = 0.848 \quad (1)$$

类似地,组织结构最佳投影方向 $a^* = (0.422, 0.414, -0.418, 0.404)$,恢复力最佳投影方向 $a^* = (0.381, 0.342, 0.394, 0.359, 0.387, 0.396, 0.384)$ 。分别代入式(2)后即得其投影值 $Z^*(j)$,建立系统组织结构 OPPE 模型、恢复力 RPPE 模型如下:

$$Y_O^*(i) = 2.569e^{0.234Z^*}, R^2 = 0.915 \quad (2)$$

$$Y_R^*(i) = 2.503e^{0.229Z^*}, R^2 = 0.888 \quad (3)$$

式中, $Y_V^*(i)$ 、 $Y_O^*(i)$ 、 $Y_R^*(i)$ 为活力、组织结构以及恢复力等级, Z^* 为活力、组织结构以及恢复力的投影值。各样本投影值与评价等级关系见图 1。

生态系统活力、组织结构以及恢复力评价模型的计算结果见表 3,根据活力、组织结构以及恢复力评价值,以及式(1),即可确定生态系统健康等级综合评价值。从健康评价等级标准 RAGA-PPE 模型计算及误差可看出,生态系统活力、组织结构以及恢复力 PPE 等级标准 RAGA-PPE 模型的精度较高。

最优投影方向向量 a^* 相当于各指标的权重,可以看出,单位草地年载畜能力对系统活力分级影响最大,依次为人均养畜量、草地生产力,人均畜牧业纯收入影响最小。畜群结构对系统组织结构分级影响最大,依次为草地退化沙化率、牧民受教育比例,水资源利用率影响最小。良种畜比重对系统恢复力分级影响最大,依次为舍饲、半舍饲比例、畜牧业用水比例、围栏与种草保留面积比例、稳定性指数、畜均补饲、定居、半定居牧户影响最小。

利用 PPE 评价模型,计算各实际样本的投影值,然后将投影值代入 RAGA-PPE 模型,分别求得生态系统活力、组织结构、恢复力等级计算值,再判断样本与标准等级之间的距离,即可判定该样本的归属级。

3 研究区概况及数据来源

3.1 研究区概况

本文中北方牧区是指内蒙古、甘肃、青海、新疆、西藏五个主要牧区。地理位置东经 $73^{\circ}40'$ ~ $176^{\circ}04'$ 、北纬 $26^{\circ}52'$ ~ $53^{\circ}23'$ 之间。国土总面积 522.4 万 km^2 ,占全国国土总面积的 54.4% 。总人口 7673 万人,占全国总人口的 5.97% ,北方牧区国土面积幅员辽阔,地形地貌复杂多样,以高原、丘陵山地和沙漠为主^[14]。北方牧区位于欧亚大陆腹地,远离海洋,主要为温带、寒温带大陆季风性气候,但区域间差异较大。总体特征是:光热资源丰富,四季温差大、干旱少雨、蒸发量大、大风天气多,自然灾害频繁。北方牧区草地资源丰富,草地面积 26178.1 万 hm^2 ,占全国草地总面积的 67.1% ,人均草地面积 3.41hm^2 ,是全国人均草地面积的 11.4 倍。内蒙

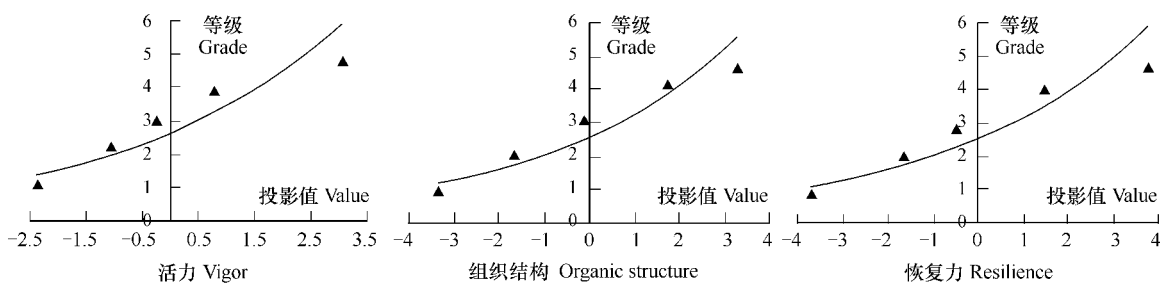


图1 各样本投影值与评价等级关系

Fig. 1 Scatter distribution of projection value of samples

古草原,是欧亚大陆草原的重要组成部分,从东到西分布有草甸草原、典型草原、荒漠草原、草原化荒漠和荒漠五大类,草地总面积占全国草地面积的22.6%。新疆草地资源质量较好,中等以上草地面积占草地总面积的65%,优良草地占可利用草地的38.4%,草地总面积占全国草地总面积的14.3%。甘肃草地资源主要分布在甘南草原、祁连山地、西秦岭、马衔山、哈思山、关山等地,草地总面积占全国草地面积的4.59%。青海草地资源主要有高寒干草原类、山地干草原类、高寒荒漠类、山地荒漠类、平原荒漠类、高寒草甸类等类型,草地总面积占全国草地面积的9.35%。西藏草地资源分为高寒草地和温性草地两大类型,以高寒草地类型为主体,主要是高寒草原和高寒草甸草原,温性草地以温性草原和山地草甸面积最大,草地总面积占全国草地总面积的20.4%^[12~17]。

3.2 数据来源

本研究所涉及指标值的获取途径主要基于以下三方面:人口、收入等数据来源于2002年科研报告和统计年鉴^[23~29],包括中国统计年鉴、中国农业年鉴、以及内蒙古、新疆、甘肃、青海、西藏统计年鉴。草地建设以及畜牧业方面的资料主要来自2002年中国畜牧业年鉴与五大牧区的畜牧业统计资料;另外有些指标如系统稳定性指数等根据相关公式计算后获取。

4 结果与分析

4.1 健康等级评价

根据北方牧区草地畜牧业生态系统健康评价指标及评价模型,计算畜牧业生态系统活力、组织结构、恢复力等级值,在此基础上求得健康综合指数值,得出系统健康评价结果(表4、图2)。

表4 评价结果及其等级划分
Table 4 Assessment results and grades

项目 Item	序号 No. 样本 Sample	1 内蒙古牧区 Inner Mongolia pasture	2 新疆牧区 Xinjiang pasture	3 甘肃牧区 Gansu pasture	4 青海牧区 Qinghai pasture	5 西藏牧区 Tibet pasture
活力 Vigor	投影值 Projection value	1.2752	1.1897	1.0960	0.1432	1.2471
	计算值 y^* Value y^*	1.8455	1.8859	1.9918	2.8867	1.8721
	归属级 Grade	II	II	II	III	II
组织结构 Organic structure	投影值 Projection value	0.3761	-0.1887	1.7582	1.1887	1.4943
	计算值 y^* Value y^*	2.9967	3.2023	1.8343	2.2088	1.9899
	归属级 Grade	III	III	II	II	II
恢复力 Resilience	投影值 Projection value	0.6169	-0.7137	-0.3220	-1.1414	-1.8901
	计算值 y^* Value y^*	3.4767	2.6041	2.8743	2.3064	1.8032
	归属级 Grades	IV	III	III	II	II
健康综合值 Health value	计算值 y^* Value y^*	2.7730	2.5641	2.2335	2.4673	1.8884
	归属级 Grade	III	III	II	III	II

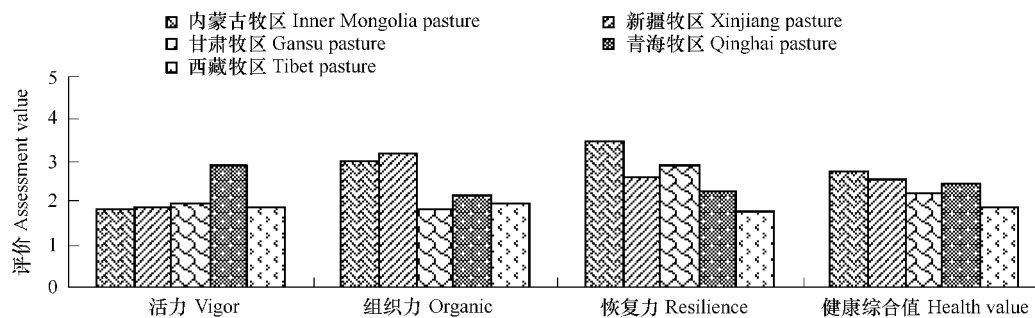


图2 中国北方牧区草地畜牧业生态系统健康等级评价

Fig. 2 Animal husbandry ecosystem health assessment in pasture of Northern China

4.1.1 草地畜牧业生态系统活力评价结果

从表2和图2可以看出,在活力方面,各牧区排名次序从大至小为:青海牧区、甘肃牧区、新疆牧区、西藏牧区、内蒙古牧区。青海牧区之所以最大,是因为其单位草地适宜载畜量、人均养畜量与草地生产力在5个牧区中都是最高的;而内蒙古牧区活力方面评价价值仅为1.8455,在5个牧区中是最低的,其原因主要是该区草地生产力最低,不及青海牧区的一半,单位草地适宜载畜量与人均养畜量也很低,目前,内蒙古牧区、甘肃牧区、新疆牧区、西藏牧区的活力处在“低”和“弱”之间的状态。

4.1.2 草地畜牧业生态系统组织结构评价结果

在草地畜牧业生态系统的组织结构方面,各畜牧业生态区排名次序从大至小为新疆牧区、内蒙古牧区、青海牧区、西藏牧区、甘肃牧区。新疆牧区之所以最大,是因为其母畜比例、水资源利用率、畜种结构在5个牧区中都是最高的,母畜比例高,则畜群周转速度快,畜种结构指的是乳牛的饲养比例高,顺应社会需求,可以带来更高的经济效益;而甘肃畜牧业生态系统的组织力方面评价价值仅为1.8343,在5个牧区中是最低的,其原因主要是该区的生态环境恶劣,草地退化、沙化最为严重、植被覆盖度很低,使得畜牧业生态系统组织结构中的自然结构很低,另外,母畜占大小畜头数比重最低,导致畜群周转速度最慢,水资源利用率也较低,使得畜牧业生态系统组织结构中的经济结构和社会结构也较差。

4.1.3 草地畜牧业生态系统恢复力评价结果

在畜牧业生态系统的恢复力方面,各畜牧业生态区排名次序从大至小为内蒙古牧区、甘肃牧区、新疆牧区、青海牧区、西藏牧区。内蒙古牧区恢复力之所以最大,是因为其良种畜比重、畜均补饲、围栏与种草保留面积比例、畜牧业用水比例以及稳定性指数在5个牧区中都是最高的;而青海牧区、西藏牧区处在恢复力“低”状态或边缘状态,畜牧业生态系统恢复力不强,其主要原因是它们的良种畜比重、定居、半定居牧户、舍饲、半舍饲比例、畜均补饲、围栏与种草保留面积比例都很低,畜牧业生态系统的稳定性和投入能力较低,导致畜牧业生态系统的恢复力水平较差。

4.1.4 草地畜牧业生态系统健康综合评价结果

综合畜牧业生态系统的活力、组织结构和恢复力三方面,北方5个牧业生态区的畜牧业生态系统健康综合评价的最后结果为:处在“中”标准的是内蒙古牧区、新疆牧区以及青海牧区;处在“低”标准的是甘肃牧区和西藏牧区,它们的排名次序从大至小为内蒙古牧区、新疆牧区、青海牧区、甘肃牧区、西藏牧区。从排名次序来看,甘肃牧区畜牧业生态系统的恢复力水平虽然在北方牧区排名第二,但由于其组织结构和活力较差,最终的综合评价指数也不高;内蒙古牧区、新疆牧区的综合评价指数较好,分别为2.7730和2.5641,其主要原因是其组织力和恢复力两方面都表现较好;西藏牧区之所以处在“低”的标准,是因为其组织力和恢复力都较低,最终畜牧业生态系统健康状况较差。

4.2 健康综合诊断

4.2.1 草地畜牧业生态系统活力诊断

要增强畜牧业生态系统的活力,首先要重视草地畜牧业第一性生产力与第二性生产力的异步性,解决牧

草生长“一岁一枯”的自然规律与家畜生长周期要求全年稳定供应牧草的矛盾,必须变季节畜牧业为四季出栏,实现增草增畜、草畜平衡的目标,增加草地畜牧业生态系统的生态生产力和经济生产力。其次,要大力发展人工半人工草地、高标准配套草库伦,增加割草场,使草地实现生态与生产功能双赢。

4.2.2 草地畜牧业生态系统组织结构诊断

组织结构的评价结果说明,一方面由于落后的生产及管理方式导致我国的草地大面积退化,而另一方面我国的草地资源却远未得到合理的、高效的开发利用,蕴藏着巨大的生产潜势。因此,从提高草地畜牧业生态系统的组织力方面,畜牧业生态区一方面要加强草地退化、沙化的治理,提高畜牧业生态系统的自然结构;另一方面要根据当地经济发展水平、市场条件、以及草地畜牧业长期发展所形成的产业基础等因素,在现有草地畜牧业生产区域布局的基础上,不断优化区域资源配置及其要素组合,大力发展集约化草原畜牧业,提高畜牧业生态系统的经济结构;另外,还要注意提高牧民的畜牧业科技水平,提高畜牧业生态系统的社会结构,注重农牧业协调发展,从而增强畜牧业生态系统的组织结构水平。

4.2.3 草地畜牧业生态系统恢复力诊断

在增强恢复力方面,近几十年虽然我国在牧区基本建设方面作了许多投入,但是,草地建设只是停留在建设围栏和少量的人工种草、草地改良水平上,绝大多数草原牧区仍然沿袭传统的靠天养畜的原始生产方式,草地畜牧业生产力水平低而不稳。通过草原建设解决草畜矛盾,以合理的利益机制,把牧区家畜品种资源丰富、农区饲草料充足的优势结合起来,优化资源配置,互利互补,加大畜棚圈建设,提高防灾抗灾能力,是增强畜牧业生态系统恢复力的根本途径。

4.2.4 草地畜牧业生态系统健康综合诊断

北方牧区草地畜牧业生态系统健康要想达到“理想健康”这一标准,还需要做大量的工作来全面提升畜牧业生态系统的质量,针对现状畜牧业生态系统健康评价中暴露的活力、组织结构和恢复力问题,以最具操作性的方案来提升西部地区农业生态系统的健康水平。

5 结论与讨论

(1) 鉴于畜牧业生态系统健康与人类、社会、经济、环境等具有密切的关系,从活力、组织结构和恢复力三方面,提出区域畜牧业生态系统健康评价指标体系及其相应度量方法,其中,适宜载畜量、人均养畜量、畜群结构、草地退化沙化率、良种畜比重、舍饲、半舍饲比例是我国北方牧区草地畜牧业生态系统健康状况的主要控制因子。

(2) 构建了草地畜牧业生态系统健康等级评价的投影寻踪模型,并分内蒙古牧区、新疆牧区、青海牧区、甘肃牧区、西藏牧区 5 个区域,对区域内畜牧业生态系统健康分别进行了评价。结果为:健康状况处于“中”级的牧区是内蒙古(2.7730)、新疆(2.5641)以及青海牧区(2.4673);健康状况处于“低”级的牧区是甘肃(2.2335)和西藏牧区(1.8884)。

(3) 针对畜牧业生态系统健康评价中暴露的活力、组织结构和恢复力问题,对五个牧区草地畜牧业生态系统健康进行了分析诊断,认为在中国北方牧区气候暖干化背景下,只有调整草地畜牧业发展战略,重视和确定草地资源在提供生态公共产品中的重要作用和地位,从生态效益和经济效益的要求出发,优化牧场整体生产结构,增草增畜,使草地资源得到恢复性演替,才能实现生态畜牧业的建设目标。

(4) 本文提出的指标体系、度量方法与标准量化,主要是从草地畜牧业生态系统的结构和功能演替过程,提供优良生产环境和畜牧业产品服务功能,强调人类社会目标导向与区域资源环境演变的关系角度出发,综合了区域尺度范围内便于操作的指标,用于分析评价草地畜牧业生态系统健康态势。畜牧业生态系统健康评价指标的确定是一个非常复杂的问题,在实践中,对于不同类型和不同层次的畜牧业生态系统,指标的选取、度量方法与度量标准上可能存在一定的差异,可根据具体情况进行适当调整,如何从不同时间尺度和空间尺度正确评价畜牧业生态系统的健康状态,仍然是畜牧业生态系统健康今后研究的主要内容和重要方向。

References:

- [1] Li Q , Chen L J. Research progress of agro-ecosystem health. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2003, 11 (2) : 144 — 146.
- [2] Xie H L, Li B, Wang C S. Agro-ecosystem health assessment in western China. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25 (11) : 3028 — 3036.
- [3] Wu L F, Ou Y Z, Chen W X, *et al.* Research advancement of agro-ecosystem health and its management. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2003, 11 (3) : 161 — 162.
- [4] Liang W J, Wu Z J, Wen D Z. Research directions of agroecosystem health in the early 21st century. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13 (8) : 1022 — 1026.
- [5] Altieri M A. The ecological impacts of transgenic crops on agro-ecosystem health. Ecosystem Health, 2000, 6 : 13 — 23.
- [6] Ma K M, Kong H M, Guan W B, *et al.* Eco system assessment: methods and directions. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21 (12) : 2106 — 2116.
- [7] Wang X Y, Shen Z R. progress of assessment methods of agro-ecosystem health. Journal of China Agricultural University, 2001, 6 (1) : 84 — 90.
- [8] Xu W, Mage J A. A review of concepts and criteria for assessing agro-ecosystem health including a preliminary case study of southern Ontario. Agriculture Ecosystems & Environment, 2001, 83 : 215 — 233.
- [9] Conway G R. The properties of agro-ecosystem. Agricultural Systems, 1987, 24 : 95 — 117.
- [10] Costanza R. Toward an operational definition of eco system health. Ecosystem health new goals for environmental management. Edited by Robert Constanza, Bryan G. Norton, and Benjam D. Haskell, Island press, Washington, D. C. , Covelo, California, 1992, 239 — 256.
- [11] Mukhebi A W. Views on agro-ecosystem health. In: Agro-ecosystem health, eds. N. O. Nielson. Proceedings of an international work shop. University of Guelph, Guelph, Canada, 1994.
- [12] Muhtae, Mekex, A Yding. Current situation and development prospect of grassland animal husbandry in Xinjiang Uygur autonomous region. Pratacultural Science, 1998, (5) : 70 — 72.
- [13] Ren J Z. Research methods of pratacultural science. Beijing: China Agriculture Press, 1998.
- [14] Zhang Z T. Grassland resource and its exploitation and utilization in key pasture of China. Beijing: Chinese Scientific & Technological Press, 1992.
- [15] Wei H, Wang F J. Study on the relations between water resource prataculture development in five main pastoral areas in China, Chinese Agriculture Science Bulletin, 2005, (4) : 300 — 305.
- [16] Hao L, Wang J A, Shi P J. Vulnerability assessment of regional snow disaster of animal husbandry — taking pasture of Inner Mongolia as an example. Journal of Natural Disasters, 2003, 12 (2) : 51 — 57.
- [17] Liu H M, Han C F. Evaluation of regional ecological sustainability. Journal of Natural Disasters, 2006, 15 (4) : 112 — 116.
- [18] Hao L, Wei Y R. Risk Assessment to Meteorological Disaster on Animal Husbandry of Inner Mongolia. In: Li S K ed. Study on Risk Analysis to Natural Disaster in China. Beijing: China, Meteorology Press, 1998. 252 — 259.
- [19] Wang S J, Li Y Q. Application of projection pursuit model in regional eco-environment quality assessment. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25 (7) : 869 — 872.
- [20] Zhang X L, Ding J, Li Z Y, Application of new projection pursuit algorithm in assessing water quality. China Environmental Science, 2000, 20 (2) : 187 — 189.
- [21] Fu Q, Jin J L, Men B H, Liang C, *et al.* Applying RAGA-based PPE Model to Classify and Evaluate Soil Grade. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2002, 22 (5) : 51 — 54.
- [22] Jin J L, Ding J. Genetic algorithm and Its Application in Water Science. Chengdu: Sichuan University Press, 2000. 42 — 47.
- [23] National Bureau of statistics of China. Chinese statistic yearbook in 2002. Beijing: China Statistics Press, 2002.
- [24] National Bureau of statistics of China. Chinese animal husbandry yearbook in 2002. Beijing: China Statistics Press, 2002.
- [25] Inner Mongolia Autonomous Bureau of statistics. Inner Mongolia statistic yearbook in 2002. Hohhot: Inner Mongolia Statistics Press, 2002.
- [26] Xinjiang Uygur Autonomous Bureau of statistics. Xinjiang statistic yearbook in 2002. Urumqi: China Statistics Press, 2002.
- [27] Gansu Bureau of statistics. Gansu statistic yearbook in 2002. Lanzhou: Gansu Statistics Press, 2002.
- [28] Qinghai Bureau of statistics. Qinghai statistic yearbook in 2002. Xining: Qinghai Statistics Press, 2002.
- [29] Tibet Autonomous Bureau of statistics. Tibet statistic yearbook in 2002. Lhasa: Tibet Statistics Press, 2002.

参考文献:

- [1] 李琪, 陈立杰. 农业生态系统健康研究进展. 中国生态农业学报, 2003, 11 (2) : 144 ~ 146.
- [2] 谢花林, 李波, 王传胜, 等. 西部地区农业生态系统健康评价. 生态学报, 2005, 25 (11) : 3028 ~ 3036.
- [3] 武兰芳, 欧阳竹, 程维新, 等. 农业生态系统健康及其管理研究进展. 中国生态农业学报, 2003, 11 (3) : 161 ~ 62.

- [4] 梁文举,武志杰,闻大中. 21 世纪初农业生态系统健康研究方向. 应用生态学报,2002,13(8):1022~1026.
- [6] 马克明,孔红梅,关文彬,等. 生态系统健康评价:方法与方向. 生态学报,2001,21(12):2106~2116.
- [7] 王小艺,沈左锐. 农业生态系统健康评估方法研究概况. 中国农业大学学报,2001,6(1):84~90.
- [12] 穆合塔尔. 新疆草原畜牧业特点及其发展对策. 草业科学,1998,(5):70~72.
- [13] 任继周. 草业科学研究方法. 北京:中国农业出版社,1998.
- [14] 章祖同. 中国重点牧区草地资源及其开发利用. 北京:中国科学技术出版社,1992.
- [15] 魏虹,汪飞杰. 五大牧区草业发展与水资源关系研究. 中国农学通报,2005,(4):300~305.
- [16] 郝璐,王静爱,史培军,等. 草地畜牧业雪灾脆弱性评价——以内蒙古牧区为例. 自然灾害学报,2003,12(2):51~57.
- [17] 郝璐,魏玉蓉. 内蒙古畜牧业气象灾害危险性评价及灾害预防. 见:李世奎主编. 中国自然灾害风险分析研究. 北京:气象出版社,1998. 252~259.
- [18] 刘惠敏,韩传峰. 区域生态可持续评价. 自然灾害学报. 2006,15(4):112~116.
- [19] 王顺久,李跃清. 投影寻踪模型在区域生态环境质量评价中的应用. 生态学杂志,2006,25(7):869~872.
- [20] 张欣莉,丁晶,李祚泳,等. 投影寻踪新算法在水质评价模型中的应用. 中国环境科学,2000,20(2):187~189.
- [21] 付强,金菊良,门宝辉,等. 基于 RAGA 的 PPE 模型在土壤质量等级评价中的应用研究. 水土保持通报,2002,22(5):51~54.
- [22] 金菊良,丁晶. 遗传算法及其在水科学中的应用. 成都:四川大学出版社,2000. 42~47.
- [23] 国家统计局. 中国统计年鉴(2002). 北京:中国统计出版社,2002.
- [24] 国家统计局. 中国畜牧业年鉴(2002). 北京:中国统计出版社,2002.
- [25] 内蒙古自治区统计局. 内蒙古统计年鉴(2002). 呼和浩特:内蒙古统计出版社,2002.
- [26] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴(2002). 乌鲁木齐:新疆统计出版社,2002.
- [27] 甘肃省统计局. 甘肃统计年鉴(2002). 兰州:甘肃省统计出版社,2002.
- [28] 青海省统计局. 青海统计年鉴(2002). 西宁:青海省统计出版社,2002.
- [29] 西藏自治区统计局. 西藏统计年鉴(2002). 拉萨:西藏统计出版社,2002.