

奈曼旗生态脆弱性及空间分异特征

荆玉平^{1,2}, 张树文¹, 李 颖¹

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 在遥感技术与 GIS 技术支持下, 以内蒙古自治区奈曼旗近 25 a 来的土地利用变化为例, 根据其景观结构及土地利用结构特征, 构造综合性生态脆弱性指数; 利用空间分析方法对生态脆弱性指数进行空间化, 对生态脆弱性指数进行空间插值和半变异函数分析, 绘制奈曼旗不同时期生态脆弱性分布图, 分析解释奈曼旗生态脆弱性分布特征及变化机理。结果表明, 1976~2000 年间, 奈曼旗处于较高的生态脆弱性状态, 平均脆弱性指数由 1976 年的 0.7445 增加至 2000 年的 0.7803, 奈曼旗南部及西北部区域较低, 大沁他拉镇至六号农场之间 111 国道及教来河两侧生态脆弱性较高。不同农业生产类型区的平均脆弱性顺序为半农半牧区>牧区>农区, 农区的脆弱性相对稳定, 半农半牧区的生态脆弱性变化较大, 半农半牧区的中度脆弱区比例降低, 而重度脆弱区的比例明显升高。要根据不同的土地利用覆被特点及农业生产类型制定不同的生态措施。

关键词: 奈曼旗; 土地利用变化; 景观格局; 生态脆弱性; 空间变异

中图分类号: S-0 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)02-0159-06

脆弱生态环境是指组成结构相对不稳定, 对于干扰因素反应敏感且易发生不利于人为利用变化的生态系统^[1]。环境的脆弱性特征受各种自然和人为因素的综合作用, 其发展变化也对环境组成结构和人类对资源环境的利用方式产生深刻的影响^[2]。对脆弱性的评价研究以模糊分析法^[3]、定量分析法^[4]、AHP 法^[5]、景观结构方法^[6]等为主, 评价区域涉及到干旱区、江河流域、山区、湖泊、湿地等生态环境。北方农牧交错区是我国荒漠化的主要分布区, 也是荒漠化发生发展最为严重的区域之一, 其生态环境极为脆弱, 自然环境敏感性强, 承载力相对较小, 退化趋势显著^[7~9]。奈曼旗是内蒙古地区开发较早的旗县, 不仅土地退化等环境问题严重, 同时也是国家级的经济贫困旗县。近百年来, 由于人口的增加和无节制的滥垦、滥牧, 植被遭到大量破坏, 生态环境恶化现象非常明显^[10]。本文在遥感技术与 GIS 技术支持下, 构建基于土地利用结构和景观结构的综合性生态脆弱性指数, 分析研究奈曼旗近 25 年来的生态脆弱性空间分布及变化情况, 定量评价区域生态环境状况及其演变方向, 提出降低生态脆弱性、改善生态环境的建议。

1 研究区概况

奈曼旗位于内蒙古通辽市, 地处我国北方半干旱农牧交错区东端科尔沁沙地的腹地, 位于北纬

42°14'~43°32', 东经 120°19'~121°35', 面积 8 107 km²。奈曼旗地貌构成为第四季松散沉积物经历风蚀、风积作用形成的风沙地貌, 主要特征为坨、沼、平缓沙地与丘间洼地相间分布。基本地形特征为西南高、东北低。南部属低山丘陵, 中部为风成沙地, 北部和东北是冲积平原, 海拔高度 250~570 m。该区属于北温带半干旱季风气候, 年均气温 6.4℃, 大于 10℃年积温 3 151.2℃, 无霜期 151 d。年均降水量 364.6 mm, 年均蒸发量 1972.8 mm, 年均风速 3.5 m/s。土壤类型以风沙土面积最大, 沙质草甸土也有较大面积分布, 植被是以灌木半灌木为主的沙生植被。从清朝后期光绪年间, 奈曼旗从部分放垦改为全面开垦, 到 1919 年, 全旗已开垦耕地 60 万 hm²。解放后, 实行了土地保护利用政策, 从 1949 年至 1957 年控制垦殖, 保护水土, 发展农牧林相结合的经济结构, 生态得到保护和恢复。20 世纪 70 年代强调以粮为纲, 单一追求粮食产量, 毁林开荒, 对草场、植被破坏严重, 生态恶性发展, 加速了土壤逆生育。1978 年被国家列为“三北”防护林体系, 1982 年开始土地整治区划, 在内蒙古科委的支持下 1986 年又开始实施沙漠化土地整治与农业高效开发利用项目。

2 研究方法

2.1 数据处理及采样方法

本文所用基本数据为奈曼旗 1976 年的 Landsat

MSS 影像和 2000 年的 Landsat TM 影像。数据处理过程如下:通过野外调查参考遥感影像所反映的内容,依照 IGBP 和国家通用的土地利用分类系统^[11],结合研究目的,在综合专家知识的基础上,确立了奈曼旗土地利用分类标准,根据土地的利用方式,将其分为耕地、林地、草地、水域、居民及城镇建设用地和未利用地 6 个一级类型,旱田等 14 个二级类型。将 2000 年的 TM 遥感影像利用 1:10 万地形图在 MGE 下进行精确配准,并形成以地形图为基础的分幅遥感影像,结合研究区的数据分类体系,建立研究区 TM 数据的解译标志,在 Arc/View GIS 3.3 环境下,进行人机交互式判读解译,获取 2000 年的土地利用信息;利用 TM 对 MSS 影像进行纠正,在 2000 年土地利用数据的基础上,绘制出 1976 土地利用的变化部分,形成 1976 年的土地利用数据。景观格局指数和半变异函数的计算通过 Fragstats 3.3 和 GS+7.0 完成。

O'neill 在关于景观格局指数研究中认为,景观样地的面积应当为斑块平均面积的 2~5 倍,才能够

综合反映采样地点周围景观的格局信息^[12]。根据研究区各景观单元的面积情况以及遥感影像的特点,将研究区域划分为 10 km×10 km 的单元网格,利用覆盖全部工作区的网格进行系统采样,将生态脆弱性指数进行空间化。

2.2 脆弱性指数的构建

生态系统脆弱性指数表示不同生态系统的易损性,脆弱生态区最重要的特征就是其内部结构的不稳定性和对外界干扰的敏感性。

2.2.1 生态环境指数 由于人类活动是生态系统的主要干扰因素之一,而土地利用程度不仅反映了土地利用中土地本身的自然属性,也反映了人类因素与自然环境因素的综合效应。不同的景观类型在维护生物多样性、保护物种、完善整体结构和功能、促进景观结构自然演替等方面的作用是有差别的,研究中把土地覆盖类型与景观脆弱性相关联,结合研究区的情况及景观分类,在专家知识的参与下,构建景观的生态环境指数 (Eco-environment Index, EI)(表 1)。

表 1 土地利用分类系统及生态环境指数赋值

Table 1 Land use classification system and Eco-environment Index

一级分类 Primary subdivision		二级分类 Second subdivision		生态环境 指数 EI	一级分类 Primary subdivision		二级分类 Second subdivision		生态环境 指数 EI
编号 Code	名称 Type	编号 Code	名称 Type		编号 Code	名称 Type	编号 Code	名称 Type	
1	耕地 Arable land	12	旱地 Dry land	0.25	4	水域 Water body	41	河流 River	0.55
2	林地 Wood land	21	有林地 Forest land	0.95			43	水库坑塘 Reservoir	0.55
		22	灌木林 Shrub land	0.65	5	居住及建设用地 Build-up areas	51	城镇建设用地 Town	0.2
		23	疏林地 Open forest land	0.45			52	农村居民点 Countryside	0.2
3	草地 Pasture	31	高覆盖度草地 High-cover pasture	0.75	6	未利用地 Unused land	61	沙地 Sand	0.01
		32	中覆盖度草地 Mid-cover pasture	0.45			63	盐碱地 Salina	0.05
		33	低覆盖度草地 Low-cover pasture	0.20			64	沼泽地 Wetland	0.65

2.2.2 景观结构综合指数 景观格局是自然的和人为的多种因素相互作用所产生的一定区域生态环境体系的综合反映。本文选择了景观破碎度 (FRAG)、多样性指数 (SHDI)、分形维数 (FRAC) 来反映景观格局对生态脆弱性的影响,通过景观格局指数反应区域受干扰的程度。景观结构综合指数 (Landscape Structure Composite Index, LSCI) 可以表示为: $LSCI = a SHDI + b FRAG + c FRAC$, 其

中 a 、 b 、 c 为各指数的权重值,分别赋予 0.3、0.5 和 0.2 的权重。

2.2.3 区域生态脆弱性综合指数 将每一单元网格内生态脆弱性综合指数 (Environmental Vulnerability Index, EVI) 用格网内各景观结构类型的生态环境指数和景观结构综合指数来表示,公式为: $EVI = \sum_{i=1}^n \frac{A_{ki}}{A_k} (0.6 \times LSCI_i + 0.4 \times (1 - EI)_i)$, 式中

EVI 为生态脆弱性指数; n 为景观类型的数量; A_{ki} 为第 k 个小区 i 类景观组分的面积, A_k 为第 k 个小区的总面积, EI 为生态环境指数, $LSCI$ 为景观结构综合指数。

3 研究结果与分析

3.1 土地利用变化及分布特征

奈曼旗 1976 年占优势地位的土地利用类型分别为耕地、草地、未利用地, 分别占土地利用总量的 37.73%、31.56%、20.65%; 2000 年占优势地位的

土地利用类型分别是草地、耕地和未利用地, 分别占土地利用总量的 37.73%、31.56%、20.65%, 表明耕地、草地、未利用地是该地区的主要土地利用类型。25 年来, 林地、草地、水域、未利用地、建设用地面积均有所增加, 其中林地的面积增幅最大, 年递增率达到了 1.91%, 面积增长 22 483.90 hm^2 , 其次为未利用地, 年递增率达到了 0.69%, 面积增长 28 688.00 hm^2 ; 耕地面积减少明显, 总面积减少约 54 867.90 hm^2 , 减少 21.86%, 年递减率为 0.72%; 草地面积、水域面积变化不明显(见表 2)。

表 2 土地利用类型面积变化及景观特征
Table 2 Changes of different land use types and landscape characteristics

年份 Year	项目 Type	林地 Woodland	草地 Pasture	水域 Water Body	未利用地 Unused land	建设用地 Buildup areas	耕地 Arable land
1976	面积 Area (hm^2)	47082.00	255858.58	17765.61	167439.10	16701.14	305879.55
	比例 Ratio (%)	5.81	31.56	2.19	20.65	2.06	37.73
	斑块密度 PD	0.0723	0.0764	0.0084	0.0464	0.0862	0.0458
	斑块数量 NP	586	619	68	376	699	371
	分形维数 FRAG	1.0822	1.0978	1.1074	1.0954	1.0523	1.0973
2000	面积 Area (hm^2)	69565.91	256899.21	18520.31	196127.20	18602.69	251011.65
	面积比 Ratio (%)	8.58	31.69	2.28	24.19	2.29	30.96
	斑块密度 PD	0.0984	0.0799	0.0091	0.05	0.086	0.049
	斑块数量 NP	798	648	74	405	697	397
	分形维数 FRAG	1.0947	1.0994	1.1175	1.0922	1.0626	1.0982

从景观格局上来看, 各种景观类型分形维数都呈现出增大的现象, 表明该地区各景观类型的斑块形状更加不规则, 斑块的边缘受到人为和自然因素的干扰程度加大。建设用地的面积有所增加, 但斑块密度未发生明显变化, 说明部分建设用地存在扩展消融现象。从景观的空间分布来看, 耕地主要分布在奈曼旗的南部、北部, 中部有少量分布; 林地主要分布在南部, 呈零散分布; 草地面积较大, 主要集中在中部地区; 未利用地主要分布在中部和北部, 主要以块状零星分布为主; 水域主要以孟家段水库和教来河水域为主。

3.2 生态脆弱性分布及变化特征

奈曼旗生态脆弱性的空间分布呈现了明显的区域差异性, 奈曼旗南部及西北部相对较低, 生态脆弱性高值区主要位于大沁他拉镇至六号农场之间 111 国道及教来河两侧。1976 年至 2000 年的分布特征基本一致, 但平均脆弱性指数有所提高, 由 1976 年的 0.7445 增加至 0.7803(见图 1, 图 2)。奈曼旗整体生态脆弱性较高, 与干旱少雨的恶劣气候环境有直接关系, 奈曼旗由南至北逐渐由半干旱区向干旱区过渡, 年降雨量由南向北逐渐降低, 南部乡镇年降

雨量达到 400 mm, 北部部分乡镇仅有 200 mm, 空间递减率较大。奈曼旗整体脆弱性也与该区土地沙化盐碱化等土地退化现象有关, 奈曼旗沙化、盐碱化现象主要表现在草地、耕地退化为沙地和盐碱地, 25 年来, 共约 36 495.22 hm^2 草地转化为了沙地和盐碱地, 17 033.36 hm^2 耕地转化为了沙地和盐碱地。土地沙化、盐碱化的形成与发展过程中, 其地表风蚀、风沙流、风沙沉积、沙丘前移与沙尘暴等造成植被退化, 危及当地居民的社会经济活动。沙地、盐碱地等未利用土地连片发展, 表明荒漠化程度并未受强烈干扰, 有逐步向草地、耕地发展的态势, 将会造成生态环境的进一步脆弱。

脆弱性增加明显的乡镇是固日班花苏木、义隆永镇, 平均脆弱性分别提高了 12.27% 和 11.46%。固日班花苏木是以牧业为主的蒙古族聚居的地区, 南部主要以沙丘和坨间甸子草地为主, 北部属教来河流域, 景观整体破碎程度及多样性指数增幅明显, 土地利用结构发生了比较显著的变化, 沙地面积由 1976 年的 14.75% 增加到了 31.36%, 草地面积由 1976 年的 51.65% 减少到 2000 年的 47.41%, 土地明显发生了退化, 生态环境恶化是导致固日班花苏

木生态脆弱性加剧的主要因素。生态脆弱性略有降低的地区是巴嘎波日和苏木,虽然苏木牧业发达,但是在发展牧业的同时,十分重视生态保护,25 年来,

沙地面积减少了 6%,而草地面积增加了 16%,林地面积也略有增加,有力地促进了该地区生态恢复,提高了土地的生态效应。

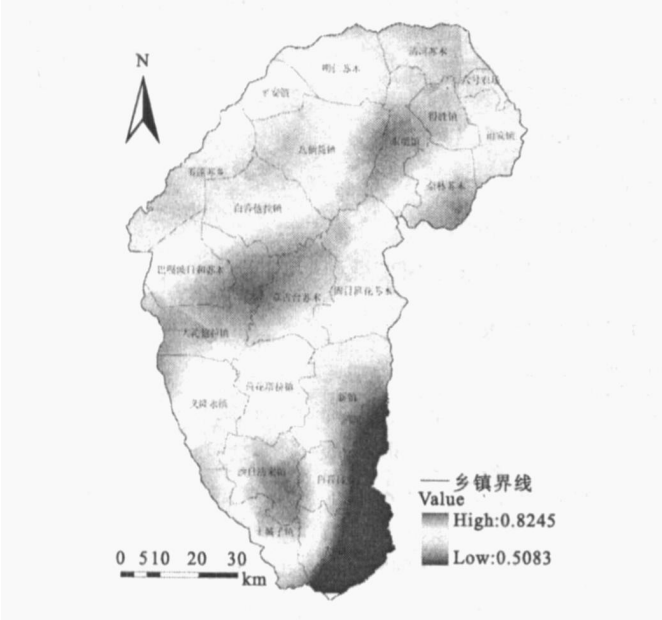


图 1 1976 年生态脆弱性分布图

Fig. 1 EVI distribution map in 1976

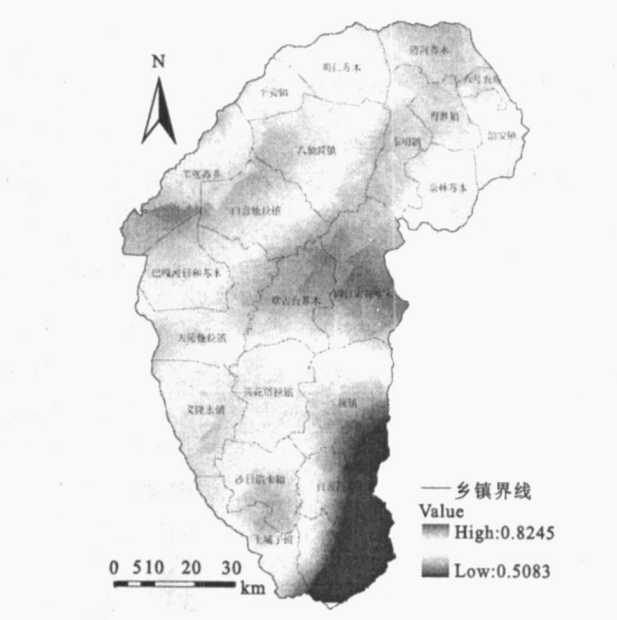


图 2 2000 年生态脆弱性分布图

Fig. 2 EVI distribution map in 2000

为了更好地研究奈曼旗脆弱性的区域分布特征,根据土地利用结构及人口结构,结合地理位置将奈曼旗分为农区、牧区、半农半牧区 3 个农业生产类型区。将耕地面积大于 50% 的新镇、黄花塔拉镇、义隆永镇、沙日浩来镇、白音昌乡、土城子镇、青龙山镇南部 7 镇划归为农区,将耕地面积低于 15% 且草地占明显优势地位的治安镇、苇莲苏乡、奈林苏木、白音他拉镇、固日班花苏木、巴嘎波日和苏木划分为牧区,将草地、耕地、未利用地占据相同优势地位的大沁他拉镇等 9 个乡镇划分为半农半牧区。不同生产类型区的平均脆弱性指数大小顺序为半农半牧区 > 牧区 > 农区,牧区的脆弱性增幅最大,增幅为 7.5%。将研究区的生态脆弱性指数分为 4 级: > 0.60 为轻度脆弱区; 0.60 ~ 0.70 为一般脆弱区,

0.70 ~ 0.80 为中度脆弱区; < 0.80 的区域为高度脆弱区。

生态脆弱性具有明显的分异特征,奈曼旗仅农区中有不足 10% 的轻度脆弱区,半农半牧区主要以中度和重度两种脆弱类型为主。1976 年农区的中度脆弱区为占农区的 63.56%,牧区和半农半牧区的中度脆弱区分别占 91.40% 和 82.31%。2000 年重度脆弱区所占的比例较 1976 年略有升高,2000 年农区、牧区、半农半牧区重度脆弱区的比例依次为 16.22%、42.89% 和 67.89%。从变化情况来看,农区各脆弱区的比例结构变化不大,相对稳定,但牧区和半农半牧区的脆弱性结构发生了较大变化,表现为中度脆弱区比例降低,重度脆弱区比例明显升高(见图 3,图 4)。

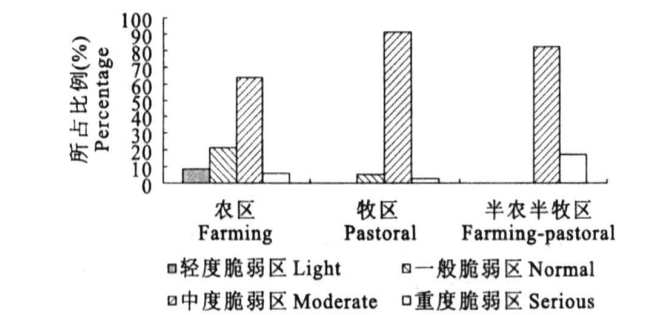


图 3 1976 年不同生产类型区脆弱性分布

Fig. 3 EVI of different agricultural production mode in 1976

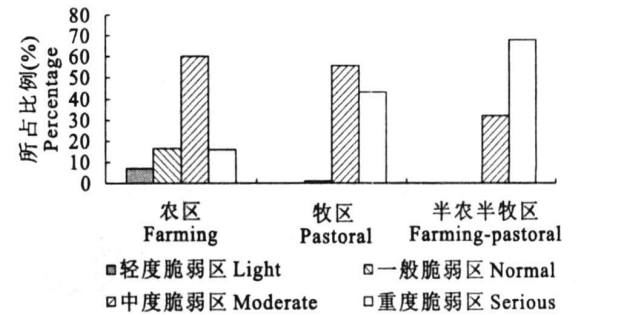


图 4 2000 年不同生产类型区脆弱性分布

Fig. 4 EVI of different agricultural production mode in 2000

土地利用变化反映了不同生产方式之间脆弱性的差异,农区发生变化的土地面积占农区总面积的 10.1%,相对稳定;而半农半牧区发生变化的土地面积占半农半牧区总面积的 27.8%。农区草地和耕地沙化、盐碱化的面积为 2 269 hm²,毁林开荒的面积为 2 288 hm²,土地退化面积超过了总转化面积的 56%。退耕还林草的面积为 8 016 hm²,沙地改良为草地耕地的面积 1 432 hm²,生态环境改善因子为 34%。半农半牧区草地和耕地沙化、盐碱化的面积为 20 530 hm²,毁林开荒的面积为 2 936 hm²,土地退化面积超过了总转化面积的 40%。退耕还林草的面积为 30 221 hm²,沙地改良为草地耕地的面积 2 357 hm²,生态环境改善因子为 39%。从人口密度上来看,半农半牧区的人口密度为 81.82 人/km²,

明显大于农区的 57.62 人/km² 和牧区的 30.62 人/km²,道路网密度也明显高于其他两种生产类型区,在人类生产活动的压力下,半农半牧区的生态环境存在进一步恶化、脆弱的态势。

3.3 生态脆弱性的空间变异特征

生态脆弱性的空间结构特征可以通过实验半变异函数计算和理论半变异函数拟合进行研究,函数本身的结构特征反映出奈曼旗生态脆弱性指数的空间分布形式与区域分异规律。本文应用球状模型分别对 1976 年和 2000 年的生态脆弱性进行了拟合,说明奈曼旗生态脆弱性指数有明显的结构特征,存在着显著的空间自相关关系。表 3 是奈曼旗生态脆弱性指数理论半变异函数的结构参数。

表 3 奈曼旗生态脆弱性理论模型及相应参数
Table 3 EVI theoretical model and corresponding parameters

年份 Year	理论模型 Theoretical model	块金值 Nugget	基台值 Sill	变程(m) Range	决定系数 Determination coefficient
1976	球状模型 Spherical model	0.0020	0.01152	22600	0.884
2000	球状模型 Spherical model	0.0011	0.01482	24700	0.839

基台值的大小反映了脆弱指数在空间的变化快慢。1976 年奈曼旗的基台值为 0.0115,说明当时的脆弱度指数在空间上的存在一定的变化,反映出不同生产类型区之间的生态脆弱性的差异。2000 年的基台值略有增加,说明脆弱性的空间分布差异性加大。变程反映了脆弱性指数在空间的相关性,由于经济的发展,人类的扰动和自然因素的影响,沙化和盐碱化现象,以及部分区域草地保护,使相同土地利用类型连接成片,生态脆弱性指数的空间相关距离有所增加。变程距离分别为 22.6 km 和 24.7 km,相当于奈曼旗乡镇及行政区划宽度,生态脆弱性显示出乡镇级行政单元的局部特征差异,变程有所增加,表明不同行政区域单元的土地利用差异性存在不断减小的趋势。

4 结果与讨论

区域生态脆弱性指数较准确地定量评价了区域生态环境状况及其演变方向。由于脆弱的自然环境背景,以及不同时期不同的土地利用政策,使奈曼旗整体的脆弱性处于较高的水平,且存在上升的趋势。奈曼旗生态脆弱性与自然环境有直接的关系,奈曼旗地表沙质土广布,沙源丰富,既有多风、干旱、土壤沙性大等自然特点,也存在自然条件时间和空间上

的显著易变性。反映出研究区生态环境脆弱,具有环境退化的潜在可能性,极易受各种自然和人为因素的扰动。对脆弱的生态环境若不加以及时的保护,将使脆弱的生态环境更加脆弱。奈曼旗主要以中度脆弱区和重度脆弱区为主,表现为景观破碎度大、多样性高、景观分形维数大的特点,要根据气候、土壤结构等自然条件因地制宜地制定相应的治理措施,降低其脆弱性风险,防止生态环境的恶化。南部的农区,要进一步提高林地的种植面积及林地的存活率,使林地真正起到防风固沙的作用,控制耕地面积,提高农田的单位面积产量,对风蚀较大的区域要实施退耕还林草政策。生态脆弱性较高的半农半牧区,农牧业生产的安排必须由降水来决定,制定相应的农牧业生产规划,确定适当的农业用地和放牧数量。在降水条件不允许时,必须做到该退耕的退耕,该减少牲畜量则必须削减,允许农牧业经济有合理的波动和徘徊,以便经济得以长期发展。对草地资源丰富的牧区,要限制超载过牧、滥垦滥牧。

总体来说,奈曼旗的生态环境形势仍然十分严峻,生态系统结构和功能已经发生了明显变化,这时完全依靠生态系统自身的能力已经很难恢复到原来的状态,要借助于各种人为有利措施,逐渐恢复生态系统的结构和功能。

参 考 文 献:

[1] 刘燕华. 中国脆弱环境类型划分与指标[M]. 北京: 科学技术出版社, 1995. 8—10.

[2] 张 明. 榆林地区脆弱生态环境的景观格局与演化研究[J]. 地理研究, 2000, 19(1): 30—36.

[3] 冉圣宏, 金建君, 薛纪渝. 脆弱生态区评价的理论与方法[J]. 自然资源学报, 2002, 17(1): 117—122.

[4] 杨育武, 汤洁, 麻素挺. 脆弱生态环境指标库的建立及其定量评价[J]. 环境科学研究, 2002, 15(4): 46—49.

[5] 刘振乾, 刘玉红, 吕宪国. 三江平原湿地生态脆弱性研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 241—244.

[6] 王介勇, 赵庚星, 杜春先. 基于景观空间结构信息的区域生态脆弱性分析—以黄河三角洲垦利县为例[J]. 2005, 22(3): 317—321.

[7] 罗承平, 薛纪渝. 中国北方农牧交错带生态环境脆弱性及其成因分析[J]. 干旱区资源与环境, 1995, 9(1): 1—7.

[8] 张兰生, 方修琦, 任国玉. 我国北方农牧交错带的环境演变[J]. 地学前缘, 1997, 4(1—2): 127—135.

[9] 章文波, 符素华, 刘宝元. 目估法测量植被覆盖度的精度分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2001, 37(3): 402—408.

[10] 赵 杰, 赵士洞. 基于 RS、GIS 的奈曼旗土地覆盖/ 利用变化研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(3): 414—419.

[11] 刘纪远. 国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[J]. 遥感学报, 1997, 31(1): 225—230.

[12] O'neill R V. Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale[J]. Landscape Ecology, 1996, 11(3): 169—180.

Environmental vulnerability and spatial difference characteristics in Naiman Banner

JING Yu-ping^{1,2}, ZHANG Shu-wen¹, LI Ying¹

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130012;
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Taking Naiman Banner in Inner Mongolia as an example, synthetical ecological vulnerability index was built with the theory of landscape structure and the feature of land-use/land-cover based on GIS and RS technology, semivariogram analysis and block Kriging interpolation method were conducted to gain the distribution map of ecological vulnerability, and spatial characteristics and change mechanism of ecological vulnerability was analyzed. The results show that the status of ecological vulnerability is very serious in Naiman Banner, the average of ecological vulnerability index increased from 0.7445 to 0.7803 between 1976~2000. EVI is lower in south and north-west Naiman Banner, while both sides of state road No. 111 and Jiaolai River between Daqintala town and No. 6 farm is higher. The average EVI sequence of different agricultural production mode is farming-pastoral>pastoral>farming. Change of farming EVI shows stability while the other two agricultural production modes change obviously, moderate vulnerability area of farming-pastoral region decrease while serious vulnerability area increase obviously. So different ecological preservation policies should be adopted according to different land use/cover type and different agricultural production modes.

Key words: Naiman Banner; LUCC; land pattern; ecological vulnerability; spatial variation