

# 内蒙古锡林浩特市生态安全评价与土地利用调整

卢金发<sup>1</sup>, 尤联元<sup>1</sup>, 陈 浩<sup>1</sup>, 周金星<sup>2</sup>, 陆中臣<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国林业科学研究院, 北京 100091;  
3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

**摘要:**近几十年来, 锡林浩特市土地沙化和草场退化严重, 是首都北京沙尘暴的主要沙源之一。该文从起沙角度出发, 借鉴风蚀理论, 建立了本区的生态安全评价指标, 包括土壤粒径组成, 有机质含量, 植被覆盖度及水分条件。在土地利用现状图编制的基础上, 按地块采集各指标数据, 建立了生态安全评价数据库, 并利用44个样地数据, 运用模糊关联法, 估算出各指标与生态安全的关联度, 进而计算了各地块生态安全系数。最后, 利用GIS技术, 参照已知样地, 运用模糊聚类法, 进行全部地块生态安全等级评定, 编制完成了研究区生态安全评价图。结果表明, 锡林浩特市生态不安全区面积约798.39km<sup>2</sup>, 占不安全区面积3 340.81km<sup>2</sup>, 分别占总土地面积的5.26%和22.01%, 主要分布于西部、北部及最南部浑善达克沙地北缘的退化草地和沙地, 以及锡林浩特市区周围的新开垦农地。生态安全区的面积约2 065.81km<sup>2</sup>, 占总土地面积的13.61%, 主要分布在东部白音锡勒草原生态自然保护区及部分丘陵、台地区。在此基础上, 依据土地利用宏观格局、生态安全以及现实性原则, 进行了研究区土地利用方式的调整。

**关键词:** 锡林浩特; 生态安全; 土地利用

**中图分类号:** F301; X 37.263 XIHT    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1007-7588(2004)02-0108-07

锡林浩特市位于内蒙古高原的中部, 总面积为15 178.6km<sup>2</sup>, 地貌上属于内蒙古高原范畴, 地势南高北低, 海拔在884.4m~1 699.6m之间, 地表起伏不大。主要地貌类型有4种: 高平原低缓丘陵、高平原低山丘陵、熔岩台地和风成沙丘沙地。全部沙区的面积为682km<sup>2</sup>, 占全市总面积的4.49%。区内分布南、中、北3个沙带, 以南部沙地的面积最大, 是浑善达克沙地的组成部分。

该市属典型的中温带半干旱大陆性季风气候。特点是: 冬季漫长而寒冷, 夏季短促而凉爽; 春季多大风, 并多发春旱。年平均气温为1.4℃, 无霜期90天~100天以上。降水分布不均, 由东南向西北方向, 逐渐由350mm以上降至仅250mm。年平均蒸发量为1 746mm, 相当降水量的5.8倍。境内水系不多, 多年平均地表径流量为1 763×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>。最大的河流为著名的锡林河, 长约120km, 从南到北穿越该市的中部。

全市的地带性土壤和植被主要有2种系列, 即黑钙土-草甸草原类型和栗钙土-干草原类型。前者的分布比较零星, 面积 $4.13 \times 10^4$ hm<sup>2</sup>占全市总面积的2.72%。后者面积约 $115.1 \times 10^4$ hm<sup>2</sup>, 占全市总面积的75.38%。非地带性土壤有风沙土、草甸土、沼泽土、盐土、碱土等, 其中风沙土面积约 $22.5 \times 10^4$ hm<sup>2</sup>, 占全市总面积的14.82%。

近几十年来, 由于过度放牧和不合理开垦, 该区土地沙化和草场退化十分严重, 不仅导致生态环境日趋恶化, 也成为北京市沙尘暴的主要风沙源区之一, 已被国家科技部列入防沙治沙应急项目典型区。本研究的目的, 即从是否起沙的角度出发, 以土地利用单元为研究对象, 运用风蚀理论, 通过生态安全评价, 探讨锡林浩特市生态安全状况, 并在此基础上, 评价和调整已有土地利用状况, 建立生态安全条件下的土地利用格局。

收稿日期: 2003-05-08; 修訂日期: 2003-10-22

基金项目: 国家科技部防沙治沙应急项目(编号: FS2000-007)。

作者简介: 卢金发(1944-), 男, 上海市人, 研究员, 长期从事流域侵蚀产沙及其所引起土地退化和荒漠化研究与制图。

## 1 资料的获取及研究方法

泥沙的起动与风力侵蚀是一个事物的两个方面。在风力的作用下,沙粒被搬离源地发生运移,从而出现风力侵蚀。因此,本研究是在编制土地利用现状图的基础上,借鉴风蚀评价方法,建立生态安全评价指标,以土地利用图斑为单元建立数据库,运用模糊关联法和模糊聚类法,完成全区生态安全评价,进行土地利用方式的调整。

本文所使用的1:25万土地利用现状图,是以锡林浩特市土地管理局1991年所编制的锡林浩特市土地利用图为基础<sup>1)</sup>,利用中国科学院地理科学与资源研究所依据1998年TM卫星影像解译而得的锡林浩特市1:10万土地利用图进行补充和修正<sup>2)</sup>,最后用1:50万的标准地形图进行各类地物和界线的纠正,并通过多次描绘和照相缩放而完成的。

本文土壤粒径组成,土壤有机质含量及降雨资料,由锡林浩特市政府提供,其中土壤粒径组成和土壤有机质含量资料主要来自土壤图和土壤普查数据,降雨资料来自市气象局。植被覆盖资料是来自<全国资源与环境数据库>。数据采集的基本单元是土地利用类型图斑。

## 2 生态安全评价

### 2.1 评价指标体系及其分级

风蚀是风蚀力因子与下垫面抗风蚀因子相互作用、相互均衡的结果。根据这一原理,遵循综合性、主导因子和实用性原则,选取了土壤粘沙比、土壤有机质含量和植被覆盖度作为影响风蚀的指标<sup>[1~5]</sup>。土壤水分是影响风蚀的重要因素之一。然而,土壤水分资料一般难以获取,因而本文用多年平均降雨量代替。考虑到本次生态安全评价是以土地利用图斑为基本单元,与风力因子不在同一尺度水平上,因而没有采用风力强度作为评价指标。各指标的得分级如表1所示。

旱耕地部分,由于其在冬春起风季节多处于裸露状态,故定为1级,即最差的覆盖状态。对于盐碱地,由于其地表土壤发生板结,一般情况下颗粒不易被风扬起,抗风蚀能力也高于旱耕地,故确定为较安全状态。同样,沼泽地由于水分条件好,不易起沙,也看作是安全状态。

### 2.2 生态安全评价方法

**2.2.1 各指标关系系数的计算** 采用随机取样,在锡林浩特地区7个乡镇和6个国有农牧场内选取了44个样本地块,依据TM卫星影像,结合野外实地调查和历史资料,确定出每个地块的生态安全现状即安全等级。共划分为4级:安全(生态环境好,无须治理),4级;次安全(存在潜在起沙条件,需要采取保护措施),3级;较不安全(有起沙现象,需要进行治理),2级;不安全(风沙现象严重,需要重点治理),1级。采用层次分析法与模糊关联度方法,计算土壤、植被、降雨、粘沙比

表1 锡林浩特地区生态安全评价指标分级

Table 1 Grades of indices for assessment of ecological security in Xilinhot City, Inner-Mongolia

评价指标	分级	影响级别
有机质含量(%)	> 4	4
	2~4	3
	0.6~2	2
	< 0.6	1
林地植被覆盖率(%)	> 40	4
	20~40	3
	5~20	2
	< 5	1
草地植被覆盖率(%)	> 50	4
	20~50	3
	5~20	2
	< 5	1
降雨量(mm)	> 350	4
	300~350	3
	250~300	2
	< 250	1
粘沙比	> 1.0	4
	0.40~1.0	3
	0.15~0.40	2
	< 0.15	1

1) 内蒙古锡林浩特市土地管理局编制,内蒙古自治区锡林浩特市土地利用现状调查报告,1991年。

2) 中国科学院地理科学与资源研究所编制,内蒙古自治区锡林浩特市TM图像土地利用图,1998年。

4类指标与生态安全的关联度。

首先利用式(1)计算关联系数:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

其中:  $\rho$  为分辨系数, 取  $\rho = 0.5$ 。然后, 综合各点的关联系数, 利用式(2)求出关联度  $r_i$ 。土壤、植被、降雨、粘沙比的关联度分别为: 0.7403、0.7844、0.6260、0.7121。

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (2)$$

考虑到生态安全评价实际工作的需要和目的, 采用归一化方法, 通过上述4类指标的关联度计算各个指标对生态安全等级的影响程度, 计算各类指标的影响系数, 得出土壤、植被、粘沙比、水分对生态安全的影响系数分别为: 0.2586、0.2740、0.2487、0.2187。

**2.2.2 各地块生态安全等级的计算和确定** 为了计算各地块的生态安全系数, 利用前述土地利用现状图, 将研究区划分为1 132个地块, 对于每一地块, 采集各评价指标数据, 建立生态安全评价数据库。利用数据库, 依据前节所得各指标的关联度, 以地块为单元, 按式(3)计算各地块的生态安全系数:

$$P_m = \sum_{i=1}^n k_i N_i \quad (3)$$

式中:  $k_i$  为所选指标的关联度;  $n$  为所选指标个数;  $N_i$  为所选指标的评分值; ( $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $n \leq 4$ );  $P_m$  为第  $m$  地块的生态安全系数。

利用已知典型样地生态安全系数值, 运用模糊聚类方法, 建立生态安全等级划分标准, 得到结果如下<sup>[6]</sup>: 当  $P < 1.97$  时, 评价单元为不安全区;  $1.98 \leq P < 2.48$  时, 评价单元为较不安全区;  $2.49 \leq P < 3.29$  时, 评价单元为次安全区;  $P \geq 3.30$  时, 评价单元为安全区。

**2.2.3 生态安全态势** 依据上述生态安全等级划分标准, 进行每一地块生态安全等级的评定, 并运用GIS方法, 编制完成了研究区生态安全评价图(图1)。由图1及其数据库, 锡林浩特市有  $798.39 \text{ km}^2$  的土地处于不安全区内, 约占锡林浩特总土地面积的 5.26%; 较不安全区面积约有  $3340.81 \text{ km}^2$ , 约占锡林浩特总土地面积的 22.01%; 有  $8371.0 \text{ km}^2$  的土地处于次安全区内, 约占锡林浩特总土地面积的 55.15%; 有  $2065.81 \text{ km}^2$  的土地处于安全区内, 约占锡林浩特总土地面积的 13.61%。

从分布空间上看, 生态不安全区和次不安全区主要分布于锡林浩特市的西、北部及最南部浑善达克沙地北缘的沙地以及退化的草地, 这些地区由于降水稀少, 植被覆盖状况较差, 风蚀强烈, 土壤质地较粗, 养分条件差, 因而生态安全状况较差; 位于锡林浩特市区周边的新开垦农地由于养分流失土地退化、土壤质地变粗、水分条件较差, 也成为生态不安全区和次不安全区。生态安全区主要分布于锡林浩特市的东部白音锡勒草原生态自然保护区, 草地保护较好, 土壤养分和植被盖度较好, 土壤粘粒含量高, 降水条件较好, 草地植被具有较好的自然恢复能力。东部地区少量的农耕地也由于较好的水分、养分和粘性土的条件, 处于生态次安全区。

### 3 土地利用调整

#### 3.1 土地利用现状

据锡林浩特市1997年土地利用调查<sup>[1,2]</sup>, 全市各种土地利用的状况如表2所示。由表2可知, 本市的牧草地占了全市土地的绝大多数, 然而实际上, 这些草地中改良草地和人工草地仅占全部牧草地

1) 锡林浩特市人民政府, 内蒙古自治区锡林浩特市土地利用总体规划, 1998年11月。

2) 锡林浩特市人民政府, 内蒙古自治区锡林浩特市土地利用总体规划补充文本。

面积的 0.06%, 草地质量不好, 有 20.7% 的牧草地面积已经退化, 半数以上的草场经常缺水而得不到充分利用。林地的面积很小, 以灌木林为主, 尚有 858.37 hm<sup>2</sup> 的宜林土地未被利用。受自然条件的限制, 本市绝大部分地区不适宜耕种, 现有耕地中有 96.55% 为中低产田, 水浇地仅有 140 hm<sup>2</sup>。未利用土地中主要是荒草地、盐碱地、沼泽地、滩涂和裸露岩石地(图 2)。

综上所述, 锡林浩特市的水热条件不算优越, 草地资源占绝对多数, 完全是一个以牧业为主的地区。

### 3.2 土地利用调整原则

从首都圈防沙治沙的总目标出发, 兼顾将来的可持续发展, 以及调整实现的可能性, 提出下列的 3 条调整原则:

**3.2.1 依照大的地貌类型或地貌区域的差异, 进行宏观尺度上土地利用格局配置的原则** 大的地貌类型或地貌区域的差异决定了土地利用的宏观格局。如林地主要分布在山地, 耕地主要分布在平原或丘陵, 草地则常在高原面上和山前或丘陵地带。锡林浩特市县的地貌划分成 4 种基本类型: ①高平原低缓丘陵; ②高平原低山丘陵; ③熔岩台地; ④风成沙丘和沙地。其中, 高平原和低山丘陵面积最广, 海拔和自然条件差别不大, 草地是最合适的土地利用方式。局部水分条件较好的地方可以配置林地或进行耕种。熔岩台地上的火山锥, 坡陡土薄, 一般难以利用。风成沙丘和砂地则主要是固沙和种草。

**3.2.2 不再沙化条件下生态安全的原则** 维持不再沙化条件下的生态安全是实现首都圈防沙治沙的重要目标。因此要在上述第一层次的基础上, 根据锡林浩特市生态安全评价结果, 对现状土地利用的每个地块进行校核, 符合安全性的予以保留, 不安全的则予以调整, 如耕地退耕还草还林、草场封育或种树、扩大林地面积等。

**3.2.3 充分考虑目前现实状况的原则** 目前的土地利用现状是当地人民群众为了生活和生存、与自然界长期共处的结果, 就风沙的防治来说, 既有不合理的一面, 也有其合理的一面。为了不使群众的生存环境遭受大的变动, 继续维持生活的稳定, 适当考虑目前现实状况是必要的。具体而言, 如某一块耕地正处在极不安全的范围内, 则坚决予以调整, 但若是位于次危险或次不安全的范围内, 则尽量予以保留, 当然, 要指出应该采取的治理措施。

### 3.3 土地利用调整方案

运用上述原则, 根据锡林浩特市荒漠化生态安全评价图上的地块分布, 并参考锡林浩特市的总体规划, 提出了土地利用方式的调整方案(图 3, 表 3)。

由图 3 和表 3 可见, 就防沙和治沙的角度而言, 锡林浩特市境内北部、西部和南部三大片是要进行治理和调整的重点, 特别是南部的浑善达克沙地, 是威胁首都北京的重要沙源之一。同时, 也必须指出, 全市境内的大片草地, 虽然尚处在生态次安全区内, 但草场质量正在不断降低或退化, 需引起重视, 否则将成为未来的沙源。所采取的措施与生态不安全区域大致相同。

表 2 锡林浩特市土地利用现状

Table 2 Types of land use in Xilinhot City (hm<sup>2</sup>, %)

类 型	面 积	占总面积	人 均
耕 地	23 936.11	1.6400	0.0216
园 地	3.69	0.0001	0.0003
林 地	2 224.87	0.1500	0.0163
草 地	1 421 256.43	97.4000	10.4630
居民和工矿用地	4 147.42	0.2840	0.0305
交通用地	3 547.85	0.2430	0.0260
水 域	4 059.37	0.2800	0.0299
未利用土地	15.42	0.0010	0.0001
合 计	1 459 191.14	100.0000	10.7400

表3 土地利用调整的地块和部位

Table 3 Adjustment of land use for different types of terrains

位 置	原土地利用方式	调整方式	理 由
市境内北部高平原和缓丘	牧草地,部分沙地	改良草地和人工草地,圈网围栏和轮牧	生态不安全和次不安全区(4,3级),地表组成物质偏粗(砂壤土为主),原草地的覆盖度中等至偏低,且水分状况不佳,草场质量低。
锡林郭勒河下游两侧平地	牧草地,部分沙地	改良草地和圈网围栏	生态次不安全区(草地)和不安全区(沙地)
西部与阿巴嘎旗相邻部分的熔岩台地	覆盖度中等至偏低的牧草地	改良草地和人工草地,圈网围栏和轮牧	生态不安全和次不安全区,地表组成物质偏粗(砂壤土为主),草地的覆盖度中等至偏低,且水分状况不佳,草场质量低。
市区东北部高平原	旱耕地	改良土壤,兴修水利,建高标准的基本农田	生态不安全区,农田的耕作和管理水平低,砂壤土地表,容易起沙。
市区西南部和东南部高平原	草地、局部旱耕地	改良草地和人工草地,圈网围栏和轮牧,耕地建基本农田	生态次不安全区,现状为覆盖度中等至偏低的草地,但已有改造成功的实例,应继续进行。
市境内中部平原和丘陵	旱耕地	改良土壤,兴修水利,高标准基本农田建设。	生态不安全和次不安全区,农田的耕作和管理水平低,砂壤土地表,容易起沙。
中部沙地带	草地和部分零星分布的沙地	草地改良和围封,沙地进一步造林和种草	生态次不安全区(草地)和不安全区(沙地),草地的覆盖程度较差,砂壤土和砂土地表,容易起沙
浑善达克沙地	北缘旱耕地 南部风成沙丘和沙地,部分草地	退耕还草 草地封育,种植适宜生长的牧草,结合营造防风固沙林	生态不安全和次不安全区,砂土地表,易起沙。 生态不安全区,容易起沙,是本次防沙治沙的重点。

## 4 结论

(1) 锡林浩特市生态不安全区主要分布于西部、北部及最南部浑善达克沙地北缘的退化草地和沙地,以及位于锡林浩特市区周围的新开垦农地,由于降水稀少,植被覆盖状况较差,风蚀强烈,土壤质地较粗,养分大量流失,以及过度放牧,土地沙化和草场退化严重,生态安全状况也较差。东部白音锡勒草原生态自然保护区,草地保护较好,降水条件较好,草地植被具有较好的自然恢复能力,生态状况较好。

(2) 锡林浩特市绝大部分地区现状均为草地,由于受自然条件的制约,草地的水分状况普遍不是很好,以中等覆盖程度为主,就防沙治沙的要求来看,需要通过改良草地和建人工草地,圈网围栏和轮牧等措施来进行调整和改造。为维持和提高群众的生活水平,对少量的耕地大都应予保留,但要通过改良土壤,兴修水利,以建成高标准的基本农田。另外,在一些宜林地应继续植树造林。

(3) 锡林浩特市境内需要调整的土地利用方式主要集中在北部边境、西部与阿巴嘎旗相邻的地区以及南部的浑善达克沙地。但对于境内的广大草地亦不能疏忽大意,因为它们有着潜在的沙化可能性。

### 参考文献 (References):

- [1] 朱震达,刘恕,邸醒民.中国的沙漠化及其治理[M].北京:科学出版社,1989.[ZHU Zhen-da, LIU Shu, DI Xing-min. Desertification and its management in China[M]. Beijing: Science Press, 1989.]
- [2] 孙保平主编.荒漠化防治工程学[M].北京:中国林业出版社,2000.[SUN Bao-ping. Engineering for Desertification Management[M]. Beijing: China Forest Press, 2000.]
- [3] 董玉祥,陈克龙.中国沙漠化程度判定与分区初步研究[J].中国沙漠,1995,15(2):170~174.[DONG Yu-xiang, CHEN Ke-long. Study on degree judgment and regionalization of sandy desertification in China[J]. Journal of Desert Research, 1995,15(2): 170~174.]

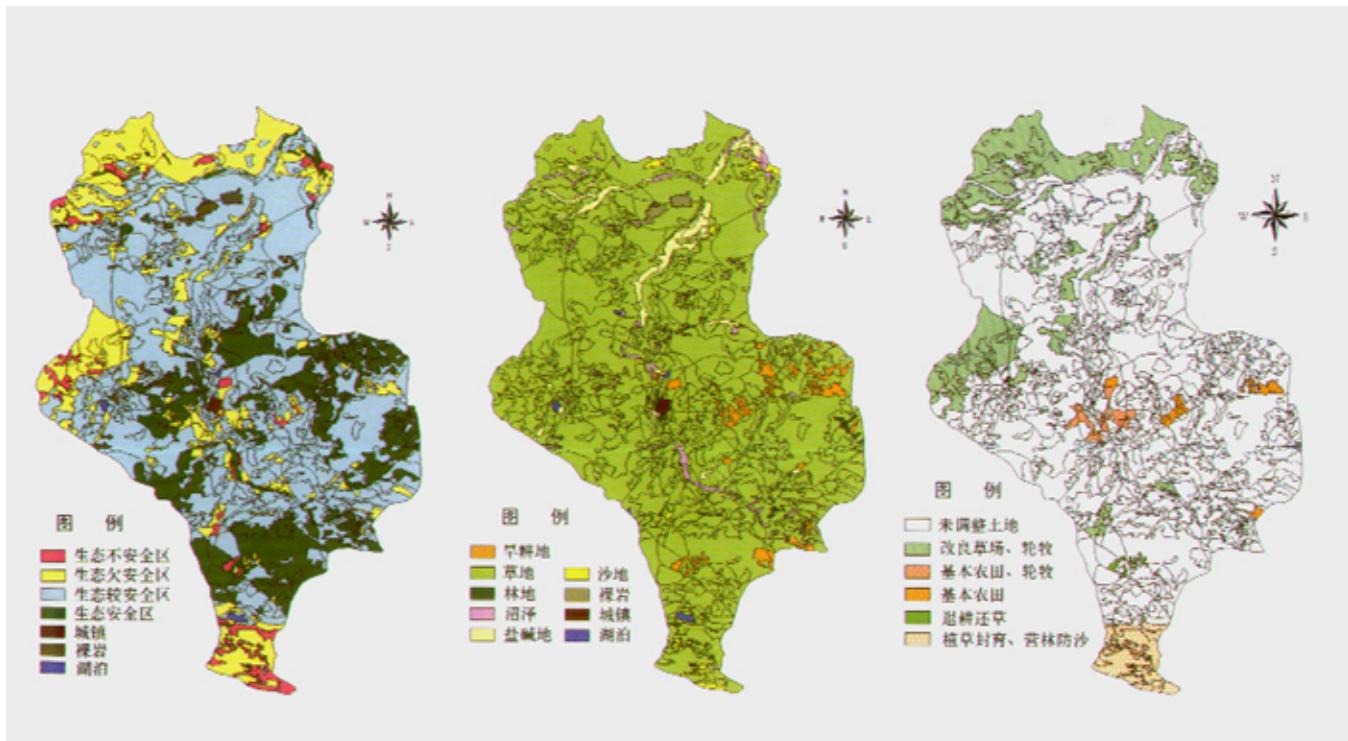


图1 锡林浩特市生态安全评价

Fig.1 Map for ecological security assessment in Xilinhot City

图2 锡林浩特市土地利用现状

Fig.2 Map of land use types in Xilinhot City

图3 锡林浩特市土地利用调整

Fig.3 Map of land use adjustment in Xilinhot City

- [4] 董玉祥.土地沙漠化监测指标与体系的探讨[J].干旱环境检测,1992,6(2):179~182.[DONG Yu-xiang, Indices and system for desertification monitoring[J]. *Chinese Journal of Arid Environment Monitoring*, 1992, 6(2): 179~182.]
- [5] 王君厚,孙司衡.荒漠化类型划分及其数量化评价指标体系[J].干旱环境监测,1996,10(3):129~138.[WANG Jun-hou, SUN Si-heng. Classification of desertification types and its quantification evaluation system[J]. *Chinese Journal for Arid Environment Monitoring*, 1996, 10(3): 129~138.]
- [6] 刘朝霞,李钢旺,李玉灵.用聚类分析法进行毛乌素风蚀荒漠化强度分级[J].内蒙古林学院学报,1996,(1):27~33.[LIU Zhao-xia, LI Gang-tie, LI Yu-ling. Intensity grading of blow desertification with cluster analysis in the Maowusu desert[J]. *Journal of Inner-Mongolia Forest College*, 1996, (1):27~33.]

## Assessment of Ecological Security and Adjustment of Land Use in Xilinhaote City of Inner-Mongolia

LU Jin-fa<sup>1</sup>, YOU Lian-yuan<sup>1</sup>, CHEN Hao<sup>1</sup>, ZHOU Jin-xing<sup>2</sup>, LU Zhong-chen<sup>3</sup>

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Institution for Forestry Research, Ministry of Forestry, Beijing 100091, China;

3. Research Center for Ecological Environment, CAS, Beijing 100085, China)

**Abstract:** Xilinhaote City has experienced rapid development of desertification in last decades and listed as one of major sources of sandstorm to Beijing, the capital of China. Therefore, the security of ecological environment is indicated as the possibility whether the fine sand and silt is set into motion and transported or not in this paper. Based on this assumption, four indices have been chosen for assessment of ecological security, including grain size, vegetation coverage, content of organic matter, and precipitation. The method of grey related degree analysis was introduced for assessment of ecological security. Firstly, the efficiency index of each factor affecting ecological security was determined based on 44 sample sites. After a map of land use was prepared a bulk of data on the above four indices were collected for each unit of land use types by using TM images and thematic maps, combined with field investigation and data inquiry. Using this database and GIS the coefficients of ecological security were computed for each map unit and categorized into four grades by Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique A (ISODATA): *secure*, *less secure*, *more dangerous*, and *dangerous* and a map of ecological security assessment was compiled on a scale of 1:250000. It is shown that totally most dangerous areas and more dangerous areas cover about 798.39km<sup>2</sup> and 3340.81km<sup>2</sup> respectively, accounting for 5.26% and 22.01% of the total area of the city. They are mostly located in degraded grassland in west and north Xilinhaote City and newly reclaimed arable land surrounding the city town. Some of dangerous areas can be recognized on north edge of Hunshandake Sand land in south part of Xilinhaote City. Afterwards, a scheme of land use adjustment was proposed by identifying three principles and different types of measurements were introduced for improvement of ecological environment, such as construction of intensive farmland, shifting of degraded farmland to grassland, improvement and closing of degraded grassland, shifting grazing and so on. The emphasis of land use adjustment is put on more dangerous and dangerous areas. Finally, the map of land use adjustment on same scale was finished.

**Key words:** Ecological security; Land use; Xilinhaote City of Inner-Mongolia