

文章编号: 1001-8166(2006)02-0131-07

生态安全条件下亚洲沙区土地利用结构研究*

岳耀杰^{1,3}, 周洪建³, 王静爱^{1*}, 史培军², 吕红峰³, 何春阳², 严平⁴

(1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院 北京 100875 2. 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室 北京 100875 3. 北京师范大学区域地理研究重点实验室 北京 100875 4. 北京师范大学中国沙漠研究中心 北京 100875)

摘要 基于数字地图与遥感影像资料, 通过分析土地利用格局与沙尘传输关系, 研究了生态安全条件下土地利用结构优化的模式、方法与技术。研究表明: ①亚洲生态安全条件下的土地利用/覆盖宏观三圈格局为: 内圈以自然保护为主的沙漠地带; 中圈以建设人工草地为主, 辅以大面积自然恢复的草原地带; 外圈以农、林、牧复合为主的交错地带。中国处在宏观三圈格局的中东部, 北方沙区是影响东亚沙尘暴的重要源区。②中国半干旱沙区土地利用呈现微观三圈模式, 基于 RS 数据, 依据“大面积搞生态, 小面积搞生产”的原则进行的土地利用结构优化, 提出了外圈沙丘地恢复天然草地生态用地——中圈草原地带大面积搞生态——小面积搞牧业生产——内圈甸子地高效农业生产用地的生态—生产范式。③典型区科尔沁沙地土地利用结构优化的成套技术, 可为类似地区政府土地利用决策与生态补偿机制提供支持。

关键词 亚洲沙区; 中国科尔沁沙地; 生态安全; 土地利用; 结构优化; 生态补偿

中图分类号: F301.24 文献标识码: A

构建区域生态安全条件下土地利用格局, 是 IGBP/ IHDP-LUCC 与 IGBP-GCTE 全球陆地系统计划(GLP)的重要内容, 亦是 IPCC/UNFCCC 全球环境政策(IGES)关注的热点^[1,2]。当前, 因不合理土地利用造成的土地沙漠化扩展与沙尘暴灾害加剧已经成为全球性环境问题, 严重威胁着全球生态安全与可持续发展^[3]。发生在亚洲中心的沙尘暴扬尘影响南亚、东北亚、东南亚, 甚至到达更远的西北太平洋海域, 给波及地区的人民生活和健康带来不利影响^[4,5]。因此, 沙漠化地区构建生态安全条件下的土地利用格局已刻不容缓^[6]。

土地利用优化是土地利用规划的重要内容, 其理论与方法在近 30 年发展较快。20 世纪 80 年代, 随着 FAO 农业生态分区计划(AEZ)实施与土地评估框架制定, 线性规划模型与 GIS 技术成为土地利用规划、决策的主要方法^[7,8]。其后, FAO 与 IIASA

(International Institute for Applied System Analysis)又推出多目标决策分析方法(MCDA)与软件包, 被广泛应用于土地利用决策与优化等方面^[9]。目前, 在利用系统动力学模型(SD)与元胞自动机模型(CA)进行土地利用的情景分析方面也取得了一定进展^[10]。上述方法均能较好地按照规划目标对区域土地利用的数量结构与地块的空间结构进行优化, 但至今没有形成实用且可自动运行的土地利用结构优化技术体系, 尤其是沙区基于生态安全条件的土地利用结构优化尚不多见。

土地利用结构优化实质是对生产与生态功能的重新配置, 在生产用地与生态用地的置换过程中, 应该考虑区域间与农户间生态补偿问题。目前生态补偿研究多关注流域之间或地区之间的实施问题^[11,12], 在宏观上国与国之间的补偿研究鲜见报道。

* 收稿日期 2005-12-20, 修回日期 2006-01-20。

* 基金项目 国家重点基础研究发展计划项目“北方干旱化与人类适应”(编号 2006CB400505)国家自然科学基金项目“区域农业旱灾灾情形成过程中的脆弱性诊断与分析”(编号 40271005)国家“985 工程”北京师范大学公共安全政策平台”项目资助。

作者简介: 岳耀杰(1975-), 男, 山东济宁人, 博士研究生, 主要从事土地利用与生态安全研究. E-mail : yaojie_yue@163.com

* 通讯作者: 王静爱(1955-), 女, 河北定州人, 教授, 主要从事土地利用与自然灾害研究. E-mail : sqq@bnu.edu.cn

鉴于以上问题,本文以亚洲沙区为研究区域,研究了构建生态安全条件下土地利用格局的模式、方法与技术。期待这一研究能为制定土地利用规划与生态补偿政策提供依据,对防治沙漠化与减少沙尘暴灾害,实现区域生态安全有所裨益。

1 亚洲土地利用/覆盖格局与沙尘传输

地处亚洲大陆中心的中国西北地区、蒙古国以

及中亚地区的沙漠是全球最大的温带沙漠,被称为“地球之疮”。

1.1 亚洲沙区土地利用/覆盖三圈模式

亚洲地形状况、人口与城市分布、土地利用/覆盖状况存在明显的圈层结构。基于这一事实,在 GIS 支持下,把人口密度、土地覆盖与地形矢量化并叠加在一起,通过定量分级与分区相结合,得到亚洲土地利用/覆盖的三圈格局(图 1)。

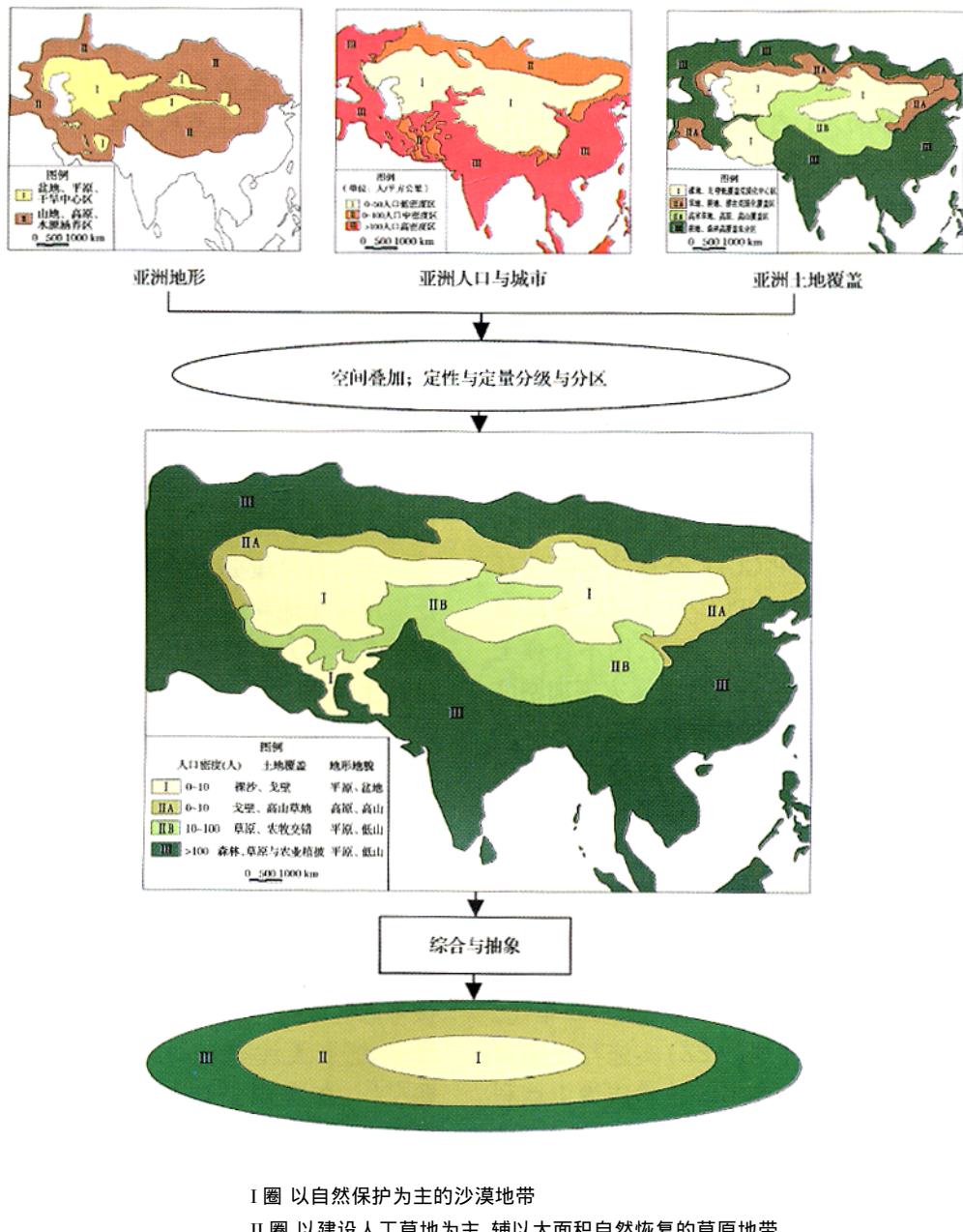


图 1 亚洲三圈土地利用/覆盖格局

Fig. 1 Three-circle pattern of asian land use/ cover

3个圈层具有鲜明特点,I圈由于深入亚洲大陆腹地,并受南部伊朗高原—青藏高原的阻隔,东亚季风和西南季风均无法到达,因此降水稀少,气候干旱。尤其是20世纪30年代以来不合理土地利用、水资源利用,破坏了这一地区原有水、土、植被格局,造成沙漠化蔓延加剧,沙尘暴灾害频发。II圈为半干旱气候,其北部为欧亚温带草原带,其南部为伊朗高原北部和青藏高原等,形成高寒草原与寒漠,其东南部为中国北方草原与农牧交错带。中国北方农牧交错带人口较多,农牧交错,人类活动对下垫面扰动剧烈,使之成为三圈中生态最脆弱、人地矛盾最突出、沙漠化问题最严重和沙尘暴灾害频发区。III圈为水分条件好,人口多,农业生产发达的区域,其东南部是受沙尘暴严重影响的区域。

1.2 亚洲三圈格局与沙尘传输

亚洲大陆冬季在蒙古高压的控制下,东亚和南亚盛行偏北气流,沙尘由三圈格局中的I圈经II圈吹向III圈,沙尘直接影响亚洲大陆,甚至波及太平洋与其他大陆。因此,从全球减少沙尘暴危害与生态安全角度构建亚洲生态安全条件下的土地利用/覆盖宏观三圈格局为:内圈以自然保护为主的沙漠地带;中圈以建设人工草地为主,辅以大面积自然恢复的草原地带;外圈以农、林、牧复合为主的交错地带。

中国处在宏观三圈的中东部,北方沙区是影响东亚沙尘暴的重要源区之一,沙尘天气直接对下风区的中国东部、韩国和日本等产生影响,因此,中国北方沙区土地利用结构优化直接关系到本地区和下风向地区的生态安全。

2 中国北方土地利用与沙尘传输格局

2.1 中国北方土地利用与沙漠化

中国北方13省土地利用从东到西依次为山地森林—灌溉农业区、草地—农牧交错区与山地森林草地—沙漠绿洲农业区,具有明显东西分异性,与亚洲宏观三圈模式相对应(图2)。I区和II区分布着大面积沙漠、戈壁、沙地与潜在沙漠化土地,这两个区域发生的沙尘暴通过东北、北、西、西北4条路径影响中国大陆东部和东亚地区。

本文研究表明,不同土地利用/覆盖的下垫面,在土壤水分、植被盖度、植被结构等方面差异,直接制约着土壤风蚀强度。其中,土壤水分与起沙风速呈线性关系,土壤含水率为2%~4%时,起沙风速为6~8 m/s,当土壤含水率为7%~8%,土壤起沙风速为^{万方数据} m/s。植被盖度与起沙风速呈正

相关关系,在风速为15 m/s时,70%的植被盖度与10%的植被盖度相比,风蚀量减少7倍以上。不同土地利用/覆盖类型的下垫面对土壤风蚀速度影响甚大,对沙尘暴的强度与浓度有显著影响(表1)。

表1 不同结构人工林地的风蚀速率

Table 1 Wind erosion rate in different structural combinations of artificial forest

群落结构	区系	风蚀速率 (mm/a)	样本数
乔木	白杨	~10	28
乔木+灌木	白杨+锦鸡儿灌丛	3~5	26
乔木+灌木	白杨+油蒿	2~3	22
乔木+灌木+草	白杨+油蒿+锦鸡儿灌丛 +针茅	<1	20

注 风蚀速率=树根平均出露深度/树龄(年平均风蚀深度)

中国北方草原与农牧交错带,处于东亚季风尾闾,降水波动大,农牧业不稳定,加之人口压力大,滥垦、滥牧、樵采使地表植被破坏,使之成为中国生态最脆弱、土地退化最严重的区域。因此,从宏观上构建符合生态—生产范式的土地利用格局,从微观上进行地块生产与生态的优化配置是防治沙化、减少沙尘暴灾害实现生态安全的重要措施。

2.2 中国北方土地利用结构优化

基于SD模型和CA模型发展了土地利用情景动力学LUSD(Land Use Scenarios Dynamics model)模型。利用该模型综合考虑生态效益、经济效益、国家人口政策限制,进行土地利用结构的调整,以1999年土地利用现状为基础,对中国北方13省未来20年土地利用变化情景进行了模拟。结果表明(表2),优化后的土地利用的特点是耕地比例下降,特别是沙化耕地和坡耕地比例减少,退耕(牧)还草。为了进一步实现沙区生态安全条件下的土地利用结构优化,实现“大面积搞生态,小面积搞生产”的生态—生产范式,选择科尔沁沙地为典型区进行研究(图2)。

3 科尔沁沙地生态安全条件下土地利用结构优化

科尔沁沙地地处内蒙古高原向东北平原的过渡地带,面积520万hm²,年均气温5.8~6.4℃,年均降水量300~450 mm,70%~80%的降水集中在7~9月,植被以疏林草原为主要特征,地貌类型以风蚀堆积沙地为主,特征为坨、沼、平缓沙地与丘间洼地

相间分布。

表 2 中国北方优化前后土地利用变化
Table 2 Land use change before and after
optimization in north China

土地 利用 类型	1999 年		2020 年	
	面积 (万 hm ²)	各类型占总面 积百分比(%)	面积 (万 hm ²)	各类型占总面 积百分比(%)
耕地	1 685.08	23.2	1 362.8	18.76
林地	926.49	12.8	926.89	12.76
草地	4 304.0	59.2	4 623.53	63.64
水域	7.9	0.1	7.9	0.11
城镇用地	7.21	0.1	9.55	0.13
难利用地	334.28	4.6	334.28	4.60

3.1 科尔沁沙地土地利用/覆盖三圈结构

根据科尔沁沙地坨、沼、平缓沙地与丘间洼地相间分布的地形特点,提出了科尔沁沙地土地利用微观三圈结构模式。即以水分条件较好的“沼”和“坨”为中心,把从丘间最低处甸子地至沙坨顶的土地利用分为3个圈层(图3)。由于地形原因产生的水热再分配使丘间甸子地成为自然条件最好、最适合生物生长的地区(I区),人类的生产生活也都聚集于此,甸子地到沙丘顶部的过渡地带(II区)条件稍差,有可能是旱耕地或撂荒地,也有可能是天然草地,人类介入的不确定性使得该区成为生态环境最不稳定的地带;沙丘顶部(III区)水分条件最差,多为流沙或半流沙,也有一些灌木和草。研究区在落后的生产方式下,人们通常进行大面积的耕种,完全靠天然降水收获,收成无法保证,自然植被也遭到很大破坏,不稳定的降水又很难使其自然恢复,导致土地迅速沙化。

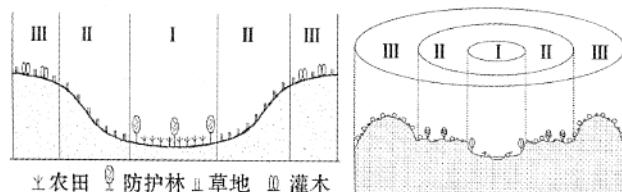


图 3 科尔沁沙地“三圈”土地利用模式

Fig. 3 Three-circle land use mode of Horqin sandy land

3.2 土地利用优化方法

以 TM 影像为数据源,通过监督分类获得研究区土地利用分类数据,利用人机交互解译方法获得研究区生态不安全因素并进行生态安全评价;最后依据生态评价结果和土地优化原则及模型对研究区

土地利用进行了优化。

影响中国北方沙区土地利用安全的自然因素主要是风蚀沙化、次生盐碱化、沼泽化、洪水等^[13]。每种生态不安全因素都有其强度评价标准,为便于计算,采用数量化评分标准对生态不安全因素强度进行简化和数量化,转化为该因素的生态不安全级别,规定把每一个生态不安全因素均分为3级:轻度不安全、中度不安全、重度不安全,分别用1、2、3表示。在确定生态不安全因素类型及其表示方法以后,就可以逐个提取并分别生成单因素矢量数据库,以备生态安全评价之用。

生态安全评价采用综合指数法,其评价模型为:

$$D = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n D_i \quad (1)$$

模型(1)中 D 表示生态不安全强度系数, i 表示图斑中生态不安全因素, D_i 表示第 i 种生态不安全因素的级别, n 为种类数。采用标准偏差法与地学分析相结合的划分方法,将 D 值划分为 4 个生态安全级别(S_i),生成生态安全评价数据库。此时的生态安全评价数据库还不具有土地利用的信息,将土地利用数据与之相叠加即生成土地利用生态安全评价数据库,通过构建土地利用生态安全系数来进一步表达土地利用生态安全状况,该系数的计算模型为:

$$LS = L * 10 + S_i \quad (2)$$

其中 LS 表示土地利用生态安全系数, L 表示土地利用类型编码, S_i 表示生态安全级别。 LS 既包含了土地利用类型信息,又包含了生态安全级别信息,从而为生态安全条件下的土地利用结构优化提供了依据。然后遵循“大面积搞生态,小面积搞生产”的原则,按照土地利用结构优化判定标准、用地功能标准、土地利用不安全程度标准、地形地貌标准、单因子不安全程度标准、自然地带标准、生态岛标准,逐步制定优化方案,在 GIS 支持下进行情景优化。

3.3 科尔沁沙地土地利用优化

沙地土地利用结构优化的关键是实施生态安全条件下土地利用微观三圈结构模式:外圈沙丘地恢复天然草地生态用地——中圈草原地带大面积搞生态——小面积搞牧业生产用地——内圈甸子地为高效农业生产用地。其近期土地利用调整目标为退掉 5%~10% 的旱耕地为草地、退掉 25%~30% 放牧草地为灌草地。

为了保证生态安全,对土地利用结构要进行调整:I 区为生产用地,发展集约化、高产出的细作农

业，并辅以农田护林网，Ⅱ区禁止种植业和放牧，围封进行天然草地恢复或作为人工草场，Ⅲ区完全作为生态用地，人工封育种草和种植灌木，使植被恢复，固定沙丘。从目前土地利用状况出发，生态用地和生产用地在“大面积”和“小面积”之间的转换需要一个客观的过程，要按规划期限分步制定方案，重点是退耕还林还草，调整种植结构，改变耕作方式。这样沙区居民就会从原先大面积粗放经营、广种薄收的困境中转向小面积高产稳产的科学致富之路，同时生态环境也得到良好的恢复，反过来促进农业生产，达到生态—生产双赢的战略目标。基于以上分析，制定科尔沁沙地生态安全条件下微观三圈土地利用结构优化的近(a)、中(b)、远(c)三期优化方案，方案情景如图4。

经过优化，裸沙地得到治理，草地面积将增加21.7%，并连片分布，林地、水浇地、居民地面积保持稳定或略有减少，分别占研究区总面积的12.8%、11.7%、3.5%。优化后土地利用类型以草地、林地、水浇地、居民地和湿地为主，其数量比例为66.7%、12.8%、11.7%、3.5%、4.4%，生态用地和生产用地比例约为5.6:1，实现了“大面积搞生态，小面积搞生产”的土地利用格局。

科尔沁沙地生态安全条件下土地利用结构优化的微观三圈模式，适合沙区地形与水分特点，可为类似地区土地利用结构优化提供借鉴，将有助于生态安全条件下亚洲沙区宏观三圈土地利用格局的构建。

4 结论与讨论

基于对亚洲地形、人口与城市、土地利用/覆盖的分析，亚洲土地利用/覆盖存在三圈格局。结合常年风向，构建了亚洲土地利用/覆盖宏观三圈模式。该模式立足于生态安全，着眼于沙尘暴灾害防治，其实施将有利于亚洲沙区及毗邻区的生态安全。

中国北方特别是农牧交错带科尔沁沙地典型案例研究表明微观三圈模式符合沙区“大面积搞生态，小面积搞生产”的生态—生产优化的原则，是保证生态安全、生产高效、生活幸福的有效途径。

提出基于RS数据，经土地利用分类，生态安全评价，至依据生态评价结果和土地优化原则进行土地利用优化的技术方法，科学易用，自动化程度高，可为类似地区的土地利用优化提供支持。

土地优化是土地生产功能与生态功能的置换，宏观上表现为生态功能区的再划分，微观上是对地

块功能的调整。亚洲生态安全条件下土地利用/覆盖宏观三圈模式，需要一些国家与地区退还大量生产用地为生态用地来减轻沙尘暴的危害。因此，为保障生态安全条件下亚洲沙区土地利用结构的构建，应该根据三圈在构建生态安全土地利用格局中的角色来制定国与国之间的生态补偿政策。

参考文献(References)：

- [1] GLP Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report No. 53/IHDP Report No. 19 [R]. IGBP Secretariat, Stockholm: 2005.
- [2] IPCC. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry [M]. Kanagawa Japan, Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC, 2003.
- [3] UNCED: Earth Summit Agenda 21: Programme of Action for Sustainable Development [M]. New York: UNEP, 1992.
- [4] Zhuang Guoshun, Guo Jinghua, Yuan Hui, et al. Composition, source, diameter and effects on global climate of chinese dust storm in 2000 [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(3): 191-197. [庄国顺, 郭敬华, 袁蕙, 等. 2000年我国沙尘暴的组成、来源、粒径分布及其对全球环境的影响[J]. 科学通报, 2001, 46(3): 191-197.]
- [5] Yu-Chen Lei, Chang-Chuan Chan, Peng-Yau Wang, et al. Effects of Asian dusts event particles on inflammation markers in peripheral blood and bronchoalveolar lavage in pulmonary hypertensive rats [J]. Environmental Research 2004, 95: 71-76.
- [6] Shi Peijun, Song Changqing, Jing Guifei. Strengthening the study of land use/cover change and its impact on eco-environmental security: The trend of the dynamics of human nature system based on “Global Change Open Science Conference 2001” in Amsterdam, Netherlands [J]. Advances in Earth Science 2002, 17(2): 161-168. [史培军, 宋长青, 景贵飞. 加强我国土地利用/覆盖变化及其对生态环境安全影响的研究——从荷兰“全球变化开放科学会议”看人地系统动力学研究的发展趋势[J]. 地球科学进展 2002, 17(2): 161-168.]
- [7] FAO. Report on the Agro-Ecological Zones Project (1978-1981), Vol. 1: Methodology and Results for Africa [R]. World Soil Resources Report 48/1. Rome, 1981.
- [8] FAO. A framework for land evaluation, Soils Bulletin 32 [M]. Rome, 1976.
- [9] Jacques Antoine, Gunther Fischer, Marek Makowski. Multiple Criteria Land Use Analysis [J]. Applied Mathematics and Computation, 1997, 83: 195-215.
- [10] He Chunyang, Shi Peijun, Chen Jin, et al. Land use scenarios model based on system dynamic model and cellular automata model [J]. Science in China (D), 2005, 35(5): 464-473. [何春阳, 史培军, 陈晋, 等. 基于系统动力学模型和元胞自动机模型的土地利用情景模型研究[J]. 中国科学 D辑 2005, 35(5): 464-473.]
- [11] Cuperus R, Bakermans M M, De Haes H A, et al. Ecological compensation in Dutch highway planning [J]. Environ Mental

Manage 2001 ,27(1):75-89.

- [12] Karin Johst ,Martin Drechsler ,Frank Watzold. An ecological-economic modeling procedure to design compensation payments for the efficient spatio-temporal allocation of species protection measures [J]. *Ecological Economics* ,2002 ,41 :37-49.
- [13] Zhao Halin Zhao Xueyong ,Zhang Tonghui ,et al. Boundary line

on agro-pasture Zigzag zone in north China and its problems on eco-environment[J]. *Advances in Earth Science* 2002 ,17(5):739-747. [赵哈林 赵学勇 ,张铜会 ,等. 北方农牧交错带的地理界定及其生态问题[J]. 地球科学进展 ,2002 ,17(5):739-747.]

Research on the Land Use Structure of Asian Desert Regions at Ecological Security Level

YUE Yao-jie^{1,3} ,ZHOU Hong-jian³ ,WANG Jing-ai¹ ,SHI Pei-jun² ,
LÜ Hong-feng³ ,HE Chun-yang² ,YAN Ping⁴

(1. College of Geography & Remote Sensing Science Beijing Normal University Beijing 100875 ,China ;
2. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education of China ,Beijing Normal University ,Beijing 100875 ,China ;3. Key Laboratory of Regional Geography ,Beijing Normal University ,Beijing 100875 ,China 4. Desert Research Center of China ,Beijing Normal University ,Beijing 100875 ,China)

Abstract : Based on the digital maps and remote sensing images ,through analyzing the relationship between land use and sand dust transmission ,this paper mainly talks about the mode ,method and techniques of the land use structure optimization at the ecological security level. The research shows that :①The land use/cover of Asia at the ecological security level takes on a macroscopical three-circle pattern. The inner zone is desert with natural conservation. The middle zone is artificial grassland with natural grassland restore. The outer zone is the compound of farmland ,forest ,and pastoral grassland. China lies in the east of the three-circle pattern. The northern sandy area is the main source of dust storm in East Asia. ②The sandy area in the semiarid area of China presents microscopical three-circle pattern. Based on RS data ,the land use structure was optimized according to “ large area ecological construction but small area production developing ”. The proposed eco-productive paradigm is that the outer ecological zone of sand dunes is for natural restore of natural grassland ,the middle zone of grassland is mainly for natural conservation ,and the inner zone is for high efficient agricultural production. ③The whole set of technique of land use optimization of Horqin Sandy Land of China can be provided for the local government in similar areas for land use decision-making and ecological compensation.

Key words : Asian desert region ;Horqin sandy land of China ;Ecological security ;Land use ;Structure Optimization ;Ecological compensation.

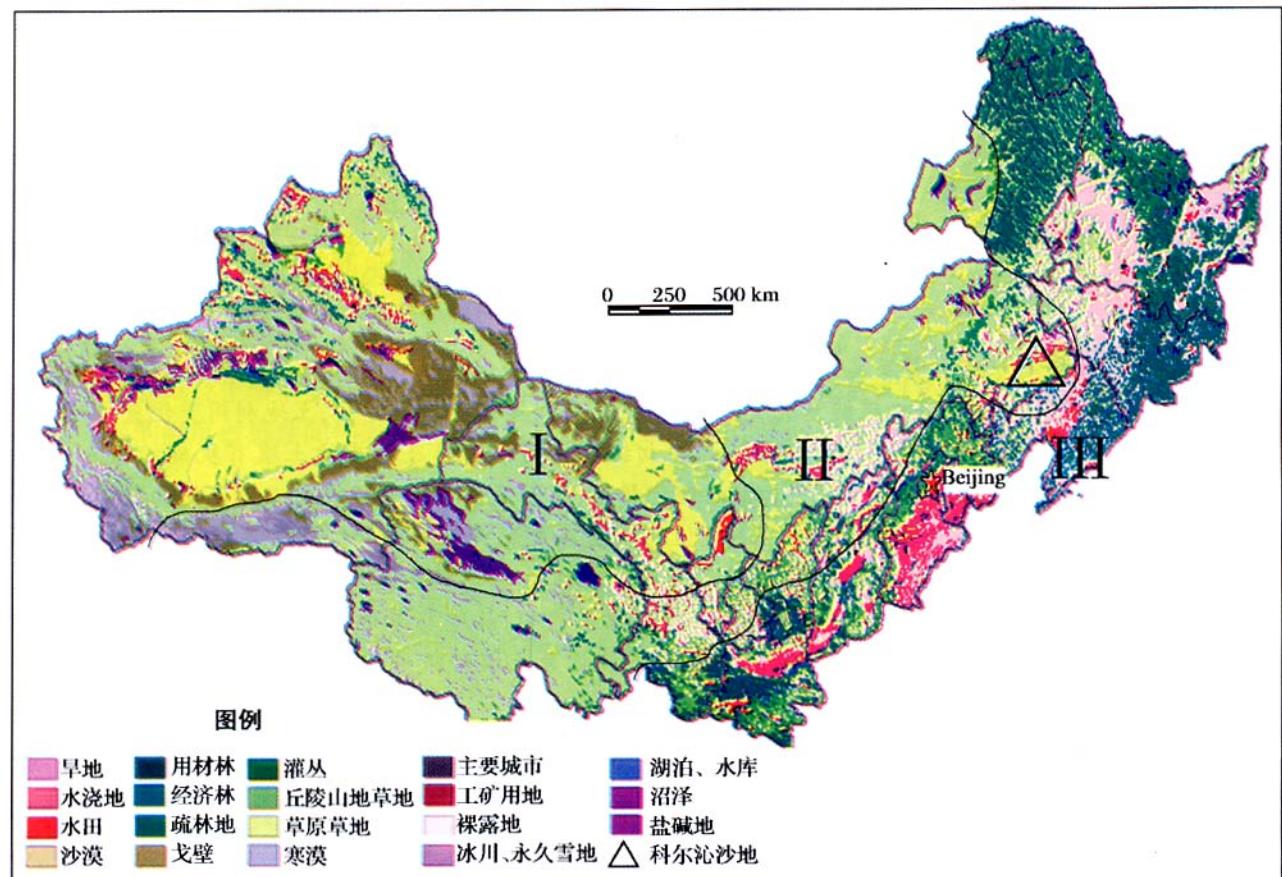


图2 中国北方土地利用(1999)

Fig. 2 Land use in north China(1999)

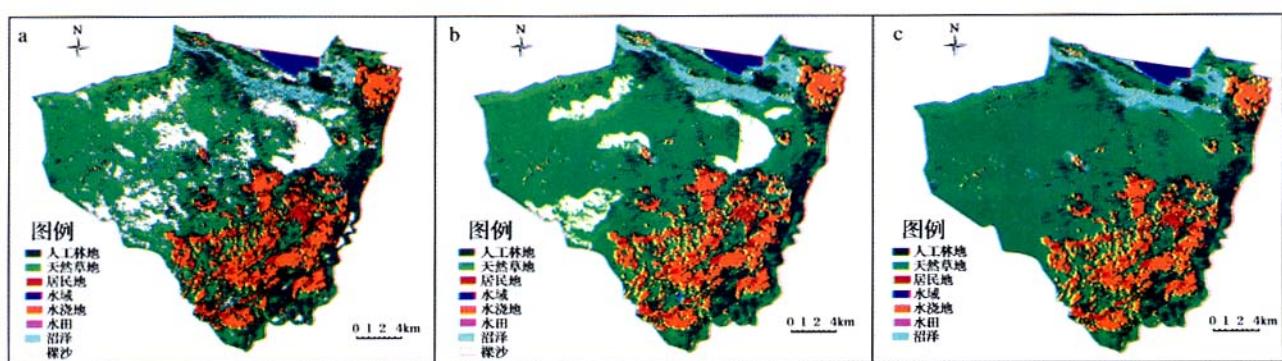


图4 科尔沁沙地近、中、远三期土地利用优化情景(八仙筒镇)

Fig. 4 Land use structure before and after optimization of Horqin sandy land (Baxiantong town)