

基于土地利用和气候变化的北方农牧交错带界线变迁

刘军会^{1,2},高吉喜^{3*} (1.中国科学院成都山地灾害与环境研究所,四川 成都 610041; 2.中国科学院研究生院,北京 100049; 3.中国环境科学研究院生态研究所,北京 100012)

摘要: 基于 1961~2005 年中国北方 9 省、自治区的 218 个气象站点的气象资料及 1986 年和 2000 年的土地利用数据,从全球气候变化和土地利用变化角度分别界定了北方农牧交错带的地理位置,并分析了其界线变迁特征.结果表明,北方农牧交错带的地理位置还存在一定争议.交错带整体上已向西北移动.西北界已向北深入到纯牧区,东南界附近也由农牧交错区转成纯农区.气候界线向东南变迁,土地利用界线向西北变迁,两者变迁方向相反.东北段和华北段的界线变迁幅度远大于西北段.

关键词: 土地利用变化; 气候变化; 气候界线; 土地利用界线; 界线变迁; 北方农牧交错带

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2008)03-0203-07

Spatial changes of boundary based on land use and climate change in the farming-pastoral ecotone of northern China. LIU Jun-hui^{1,2}, GAO Ji-xi^{3*} (1.Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China 2.Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China 3.Institute of Ecology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China).*China Environmental Science*, 2008,28(3): 203~209

Abstract: Based on meteorological data of 218 weather stations during 1961~2005 and land use data of 1986 and 2000 in nine provinces of northern China, the location of farming-pastoral ecotone of northern China from the perspective of global climate change and land use change were redefined, and the change characteristics of its boundary was analyzed. There was some disputes on the location of farming-pastoral ecotone of northern China. The whole farming-pastoral ecotone of northern China moved northwestwards. The northwest boundary had gone deep into the pure pasture zone in a northward direction, and farming-pastoral ecotone near southeast boundary had changed to pure farming zone. Climatic boundary changed southeastwards while land use boundary changed northwestwards, and their changing directions were reverse. The change ranges of boundary in northeast section and North China section were far greater than northwest section.

Key words: land use change; climate change; climatic boundary; land use boundary; change of boundary; the farming-pastoral ecotone of northern China

交错带是相邻生态系统的过渡地带,具有一定宽度且兼有 2 个相邻生态系统的特征^[1-2].在种植业向草原扩张的边缘地带,一般都会形成农牧交错带^[3].我国农牧交错带分布广泛,如北方农牧交错带、西南半干旱过渡带、西北干旱区绿洲荒漠过渡带等均有农牧交错带的特征.其中,北方农牧交错带面积最大、空间跨度最长、农牧交错特征最典型、生态破坏也较严重,因此吸引了众多学者的关注.当前,对北方农牧交错带的研究主要集中于区域环境演变、生态环境变化、土地利用变化、荒漠化和土壤侵蚀等方面,对其界线变迁则少有研究.为此,本研究从农业气候和土地利用

空间分布特征两方面重新界定了北方农牧交错带的地理位置,并分别分析其界线变迁特征.对于剖析气候变化和人类活动影响下的区域生态环境响应特征、驱动力及指导区域土地利用政策具有理论和现实意义.

1 界定背景

北方农牧交错带处于东部湿润区与西北干旱区之间的过渡地带,处于亚洲季风的尾间,决定了

收稿日期: 2007-06-25

基金项目: 国家环境保护总局项目“全国生态脆弱区保护规划”

* 责任作者, 研究员, gaojx@craes.org.cn

北方农牧交错带降水的年际变化较大,进而导致土地利用方式的转变,促使农牧界限多次进退^[4].

关于北方农牧交错带的界定,大量学者从不同领域、不同角度和不同研究目的对其地理位置进行了界定(表 1).由表 1 可见,目前对北方农牧交错带界定的地理位置存在较大分歧,原因在于界定指标的选取争论较大.界定指标大致分为 2 类,一类是以农业气候要素为界定指标^[5-7,9-12],存在年降水量 400mm 等值线为中心的浮动范围、年

湿润度指数、年降水量变化率、大风日数和干燥度指数的分歧,但大致与北方 400mm 降水等值线走向基本一致;另一类以土地利用空间分布特征为界定指标,存在旱作农业分布、农牧业比重等的分歧^[8,13],但以年降水量 400mm 等值线为中心,与用耕地、草地比例作为划分指标基本一致.前者界定的范围受气候变化影响较大,其界线可称为气候界线;后者界定的范围受人类活动影响较大,其界线可称为土地利用界线.

表 1 我国北方农牧交错带的界定
Table 1 Definition of farming-pastoral ecotone of northern China from different scholars

序号	名 称	范 围	界定指标	文献
1	农牧过渡地带	从外域到已有的集约农业地带向北递变为粗放农业区、定牧区、定牧游牧过渡区以至游牧区	年降水量约 400mm	[5]
2	内蒙古及长城沿线农林牧区	内蒙古南部、长城沿线、晋陕甘黄土丘陵、陇中青东丘陵	半湿润向半干旱过渡,农牧兼营	[6]
3	北方农牧交错沙漠化地区	东起松嫩下游,西至青海共和的农牧交错地区	年降水量 300~500mm,降水变率 25%~50%, 7~8 级大风日数	[7]
4	半农半牧和农牧交错区	内蒙古东南部、辽西、冀北、晋陕北部和宁夏中部	年降水量 250~600mm,耕:草:林面积比 1:0.5:1.5	[8]
5	农牧过渡带	大兴安岭东南—坝上—大同—榆林—环县北—兰州南的一条狭长地带	年降水量 300~400mm,年降水变率 15%~20%	[9]
6	北方农牧交错带	我国东北、华北农区与天然草地牧区分隔的生态过渡带	年平均降水 250~500mm 的半干旱地区	[10]
7	北方农牧交错带	北起内蒙古呼伦贝尔盟,向南至通辽市、赤峰市,沿长城经河北北部、山西北部 and 内蒙古中南部向西南延伸,直至陕西北部、甘肃东北部和宁夏南部的交界地带	降水量 300~450mm,降水年变率 15%~30%, 干燥度在 1.0~2.0 范围内	[11]
8	半干旱地区农牧过渡带	我国近代农牧史上半农半牧交错地带是沿着降水量 400mm 左右等值线走向的内蒙古高原东南缘和黄土高原北部	年降水量≥400mm,出现频率 50%为主导指标,日平均风速 5m/s 的平均日数为辅助指标	[12]
9	农牧交错地带	内蒙古东南部、吉辽西部、冀北、晋陕北	年降水量 400mm 左右,农业用地 15%~35%, 牧业用地 35%~75%	[13]

近几十年来,在气候变化影响下,北方农牧交错带降水减少、温度升高、蒸发量加大,气候日益干旱;在人类活动的影响下,交错带草地退化严重,耕地则不断北扩.这些界定指标的变化引起了北方农牧交错带界线的反复变迁.

2 数据及预处理

2.1 气象数据

气象数据涉及北方农牧交错带 9 省、自治区

(蒙、黑、吉、辽、冀、晋、陕、甘、宁)的 218 个气象站点,包括年平均降水量、年平均温度和年蒸发量资料,时间序列为 1961~2005 年,数据来源于国家气象信息中心气象资料室.降水、温度和蒸发资料采用克立格插值法进行空间插值,插值过程在 ArcGIS 的空间插值模块中进行.绘制成的气象要素等值线分 4 个 10 年际(1961~1970 年、1971~1980 年、1981~1990 年、1991~2000 年)、1 个 5 年际(2001~2005 年)和 1 个多年平均

(1961~2005 年)共 6 个时段进行比较.干燥度指数(A)是表征一个地区干湿程度的指标.目前国内外 A 有数十种,本研究选取的 A 是降水量与蒸发量的比值,反映了大气水分收支状况,体现了区域水量平衡的变化.公式为:

$$A=P/EPT \tag{1}$$

式中: P 为年降水量; EPT 为年蒸发量.联合国有关组织于 1977 年绘制的世界沙漠化图中将 $0.2<A<0.5$ 划定为半干旱区^[14],地理位置上接近于北方农牧交错带.

2.2 土地利用数据

9 省、自治区的土地利用数据来源于全国生态环境调查数据库,时间为 1986 年和 2000 年.利用遥感影像提取土地利用/覆盖变化信息主要通过目视解译.遥感影像的处理过程包括:数据合成、几何精校正、图像增强处理、图像镶嵌和 AOI 裁选.土地利用/覆盖分类体系根据遥感影像的可解译性以及研究区土地的自然属性,参考刘纪远^[15]提出的分类体系,将土地利用类型划分为 6 大类(林地、草地、耕地、城乡工矿和农村居民点用地、水域及未利用地);再依据土地经营特点、利用方式和覆盖特征将其再分为 20 个小类.目视解译在 Arc/INFO 环境下进行,以裁选的遥感影像作为判读底图,分层提取目标地类,并配合实地调查,将解译精度控制在 1 个像元内,数据以 Coverage 格式存储,最后绘制完成基于遥感影像的 2 期 1:10 万土地利用图.

生成的土地利用数据采用双标准纬线等面积圆锥投影,中央经线为东经 105°,双标准纬线为北纬 25°和北纬 47°.在 Arc/INFO 环境下,将 2 期土地利用数据统一栅格化成 1km×1km 的 Grid 数据.

3 气候界线变迁

3.1 基于农业气候的地理位置界定

从农业气候入手,参考赵哈林等^[11]的研究成果,重新界定了北方农牧交错带的地理位置.界定指标包括:以年降水量 400mm 等值线为中心;降水年变率 15%~30%;干燥度指数 0.2~0.5;用多年平均降水量 300,450mm 等值线修订赵哈林界定

的西北界和东南界,减弱行政区划带来的负面作用.重新界定的北方农牧交错带包括北方 9 个省、自治区的 154 个县(旗、市),南北纵跨 10 多个纬度,东西横跨 20 多个经度,面积约 62.1 万 km².采用同样的界定方法,依据各年代的气象要素情况(表 2),分别界定出不同年代北方农牧交错带的地理位置(图 1).为便于详细研究,依据自然地理条件,将交错带划分为东北、华北和西北 3 段.东北段包括黑、吉、辽的西部和内蒙古东北部,华北段包括冀、晋北部和内蒙古中部,西北段包括内蒙古西北部、陕北部和甘、宁的中南部.

表 2 1961~2005 年各年代气象要素状况
Table 2 The status of meteorological components in different years from 1961 to 2005

年份	年降水(mm)	年温度(°C)	年干燥度指数
1961~1970	286~643(426)	-1.5~9.6(5.6)	0.13~0.42(0.24)
1971~1980	238~649(399)	-1.5~9.8(5.7)	0.11~0.45(0.23)
1981~1990	253~659(412)	-0.9~9.8(6.0)	0.12~0.48(0.25)
1991~2000	237~643(399)	-0.2~10.6(6.7)	0.13~0.48(0.23)
2001~2005	253~594(376)	-0.4~10.8(6.8)	0.12~0.44(0.22)

注:()内为平均值

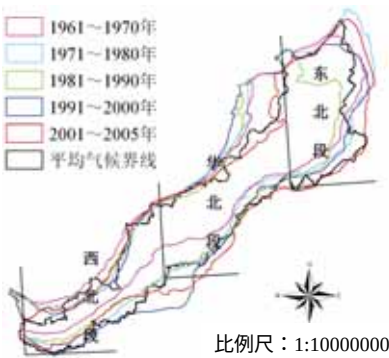


图 1 气候界线变迁特征

Fig.1 The change characteristics of climatic boundary

3.2 气候界线变迁特征

由图 1 可见,受降水、温度和蒸发等年代际变率大的影响,气候界线变迁来回波动,但其整体上是向东、南、东南方向变迁.气候界线变迁幅度的区域差异显著,变迁幅度大的区域集中于东北段、华北段和西北段东部,最大距离为 259.7km;

西北段中西部变化很小.

东北段:东北段的界线变化幅度在全区最大.由于 20 世纪 80 年代降水突然增加,导致东南界显著向西移,其他年代都向东移,并于 2001 年后达到最东位置.西北界从 20 世纪 60 年代后持续向西移,到 2001 年后突然转向东移.西北界偏移平均气候界线的最大距离为 220.5km,出现在 20 世纪 90 年代;东南界偏离平均气候界线的最大距离为 259.7km,出现在 20 世纪 80 年代.

华北段:华北段的界线变迁幅度小于东北段但大于西北段.东南界、西北界在 20 世纪 60 年代后均向西北方向移动,到 2001 年后均转向东南方向移动.西北界偏移平均气候界线的最大距离为 96.4km,出现在 20 世纪 90 年代;东南界偏离平均气候界线的最大距离为 126.5km,出现在 20 世纪 60 年代.

西北段:西北段的界线变迁幅度在全区最小.东南界、西北界均在 20 世纪 60 年代显著向西北方向移动,20 世纪 70 年代后转向东南方向移动.西北界偏移平均气候界线的最大距离为 98.1km,出现在 20 世纪 60 年代;东南界偏离平均气候界线的最大距离为 118.9km,出现在 20 世纪 90 年代.

4 土地利用界线变迁

4.1 土地利用变化特征

4.1.1 土地利用变化速率的区域差异 土地利用变化速率的区域差异可以用土地利用动态度模型来表述^[16],即

$$S = \left\{ \sum_{ij}^n \left(\Delta S_{i-j} / S_i \right) \right\} \times 100 \times (1/t) \times 100\% \quad (2)$$

式中: S_i 为监测开始时间第 i 类土地利用类型总面积; ΔS_{i-j} 为监测开始至结束时段内第 i 类土地利用类型转为其他类土地利用类型面积总和; t 为时间段; S 为与 t 时段对应的研究样区土地利用变化速率,为研究方便,将其扩大 100 倍.

由图 2 可见,北方农牧交错带土地利用变化速率存在明显区域差异.土地利用急速变化型主

要分布在黑、吉、辽与内蒙古交界地区,这是由于该区人口密度大,经济发展较快,土地利用程度高;快速变化型分布在东北段和华北段、西北段的西北界附近;慢速变化型在全区分布较广泛,但主要分布在西北界的附近地区;极慢速变化型主要分布在华北段和西北段的南部.可见,土地利用变化速率较大的地区主要位于东北段;在华北段和西北段,西北界附近区域的土地利用变化速度明显快于东南界,这反映出该区人类活动向北扩张的趋势明显.

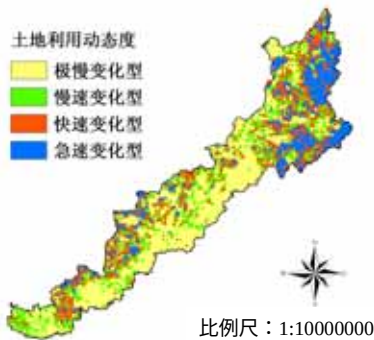


图 2 土地利用动态度分布

Fig.2 The distribution of land use dynamic degree

4.1.2 土地利用重心计算 土地利用的空间变化,可以用土地资源分布重心变化情况来反映^[17].用 Arc/INFO 的区域质心函数来计算土地利用的重心^[18].在 grid 模块下,用 Zonalcentroid 命令计算得到各类域重心所在的空间单元;再用 Gridpoint 和 Ungenerate 命令,得到各类域重心分布的地理坐标;土地利用类型重心迁移的距离和方向,根据重心坐标,采用欧式距离模型计算^[19].

由图 3 可见,耕地重心向东北偏移了 19105.0m;林地重心向东北偏移了 25455.8m;草地重心向东南偏移了 24186.8m;水域重心向东南偏移了 61131.0m;城乡、工矿用地向东南偏移了 25059.9m;未利用地向西北偏移了 49040.8m.耕地重心北移是由于当地农民不断开垦草地,耕地北扩所致;草地重心南移除交错带东南部的部分地区退耕、撂荒引起外,主要是由于交错带西北部草场退化、草地密度减小所致.

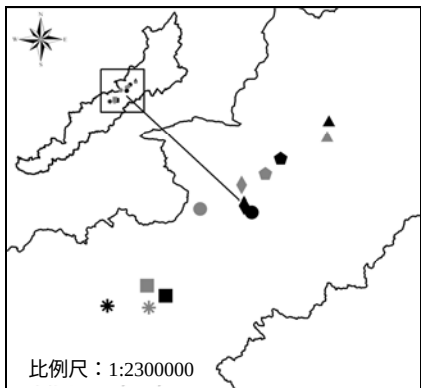


图 3 1986~2000 年土地利用类型重心变化分布
Fig.3 The distribution of land use gravity centers change from 1986 to 2000

1986 年地类重心 ▲ 耕地 ● 林地 ◆ 草地 ● 水域
■ 城乡、工矿 * 未利用土地
2000 年地类重心 ▲ 耕地 ● 林地 ◆ 草地 ● 水域
■ 城乡、工矿 * 未利用土地

人类活动强度向北扩张和土地利用类型重心的迁移引导了土地利用界线变迁的方向。

4.2 基于土地利用空间分布的地理位置界定

选取北方农牧交错带主要土地利用类型—耕地、草地的密度空间分布特征作为界定指标, 其等值线的绘制过程包括: 用 ArcGIS 空间分析中的 Raster Calculator 模块, 分别提取耕地、草地栅格数据; 用 Arc/INFO 环境下的 Gridpoint 命令, 分别将耕地、草地的栅格数据转换成点状矢量数据; 再在 ArcGIS 空间分析的 Density 模块下, 以 10km 为搜索半径, 对点状数据进行密度分析, 绘制不同年代的耕地、草地密度分布图(图 4)。由图 4 可见, 耕地和草地大多呈大面积连片分布, 界线是连续的; 小部分地区受沙漠、河流、或森林阻隔, 界线是间断的。为此, 本文对阻隔区域进行了空间差值分析。

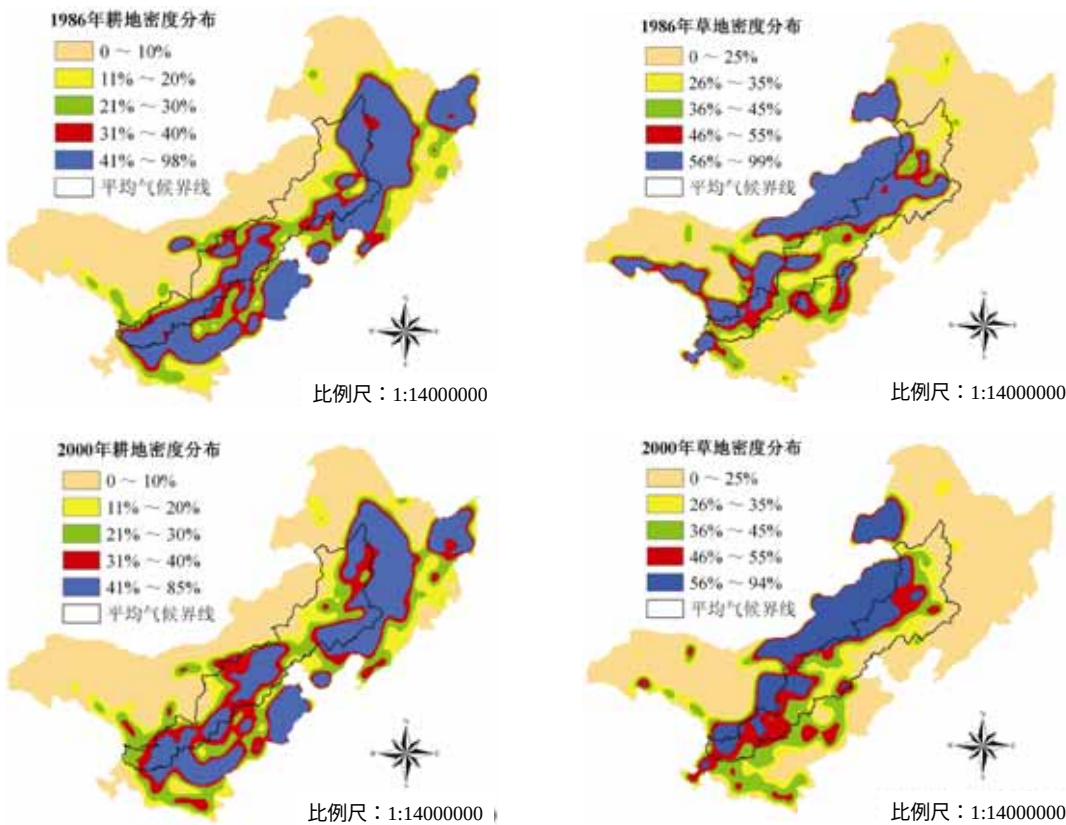


图 4 1986 年与 2000 年耕地与草地密度分布
Fig.4 The density distribution of farmland and grassland in 1986 and 2000

参考史培军等^[13]的研究,以耕地、草地密度空间分布为依据,界定了 1986 年和 2000 年北方农牧交错带的地理位置(图 5).界定的主要依据包括:以年降水量 400mm 等值线为中心;耕地密度 10%~40%;草地密度 25%~70%.重新界定的北方农牧交错带的面积在 1986 年和 2000 年分别为 63.2,65.6 万 km².为便于详细研究,交错带内部划分为东北、华北和西北 3 段,其划分范围等同于基于气候要素界定的北方农牧交错带.



图 5 土地利用界线变迁特征

Fig.5 The changing change characteristics of land use boundary

4.3 土地利用界线变迁特征

由图 5 可见,土地利用界线变迁也呈现出一定的波动性,但其总体上向西、北、西北方向变迁,这与气候界线变迁方向完全相反.西北界的中西部已扩张到平均气候界线的外部,且扩张幅度较大.这反映出西北界中西部的周围地区草地破坏严重,耕地已扩张到农业气候条件并不适宜种植业发展的牧草地区,农业生产不再遵守自然规律,这极易引起生态环境的破坏.西北界的中东部基本在平均气候界线内部,这反映出西北界东部周围地区的草地保护较好,草地质量高,农田开垦强度较弱.东南界向西北方向变迁,部分地区变迁幅度较大,交错带东南部的农牧交错区已转变成纯农区.可见,北方农牧交错带耕地已全面向北扩张.

东北段:东南界、西北界均向西变迁.西北界到 2000 年仍然位于平均气候界线以内.这说明该区附近农田开垦规模小,草地破坏较轻.在人类活

动影响下,东南界北部附近耕地向西扩张很快.在 1986 年和 2000 年,西北界偏离平均气候界线的最大距离分别为 118.4,46.7km,东南界偏离平均气候界线的最大距离分别为 81.1,125.6km.14 年间,西北界、东南界变迁的最大距离分别为 78.8,206.5km.

华北段:西北界东部位于平均气候界线内,西部已扩张到平均气候界线外,这反映出东部草地保护明显优于西部.西北界向北移动,其变迁幅度最大的区域位于草地质量较好的东部地区,耕地到 2000 年已扩张到平均气候界线的边缘.若不采取有力的草地保护措施,顺其发展,耕地将很快扩张到平均气候界线外部.东南界显著向西北方向移动,其中呼、包、鄂地区作为内蒙古经济发展的“金三角”,煤矿资源丰富,土地开垦规模较大,界线变迁幅度也最大.在 1986 年和 2000 年,西北界偏移平均气候界线的最大距离分别为 36.9,69.2km,东南界偏移平均气候界线的最大距离分别为 107.2,77.1km.14 年间,西北界、东南界变迁的最大距离分别为 93.7,144.3km.

西北段:东南界向东南方向变迁,反映出其周围地区草地密度增大.实地调查发现该区经长期耕作后,土壤质地下降,耕地闲置、撂荒转成草地,导致草地密度增大.西北界向西北方向变迁,西北界东部是偏离平均气候界线最远的地区,草地退化也最严重.在 1986 年和 2000 年,西北界偏移平均气候界线的最大距离分别为 232.8,205.6km;东南界偏移平均气候界线的最大距离分别为 121.3,88.2km.14 年间,西北界、东南界变迁的最大距离分别为 76.9,105.9km.

5 结论

5.1 气候界线与土地利用界线变迁方向相反.在区域干旱化影响下,气候界线向东南方向变迁,与其相适应的农业生产活动也应同向移动.但在 20 世纪末期的十几年,农业生产活动并未遵守气候规律,而是迫于人口增加压力、广种薄收的耕作方式和“以粮为纲”的政策鼓励下,促使耕地不断向西北扩张,这也使得土地利用界线随之向西北方向变迁.到 2000 年,土地利用界线已突破气

候界线范围,其西北界向北已进入纯牧区,东南界附近区域也由农牧交错区转变成纯农区.气候界线和土地利用界线的反向变迁必将对北方农牧交错带的生态环境产生深远影响.

5.2 界线变迁存在明显区域差异.东北段、华北段的界线变迁幅度明显大于西北段.这是由于东北、华北段内经济发展相对较快、人类活动集中、土地开发强度大,植被破坏严重所致;西北段位于草原带向荒漠带过渡区,缺乏从事农业生产的必要条件,受人类活动影响小,土地利用界线的西北界几乎没有变化.

参考文献：

[1] Di Castri F, Hansen, A J, Holland M M. A new look at ecotones: emerging international projects on landscape boundaries [J]. *Biology International*, 1988, 17(Special Issue):1-163.

[2] Thierry Dutoit, Elise Buisson, Eric Gerbaud, et al. The status of transitions between cultivated fields and their boundaries: ecotones, ecocline or edge effects? [J]. *Acta Oecologica*, 2007, 31(2):127-136.

[3] 陈建华,魏百刚,苏大学,等.农牧交错带可持续发展战略与对策[M].北京:化学工业出版社,2004:1-61.

[4] 苏志珠,马义娟,刘梅.中国北方农牧交错带形成之探讨[J].*山西大学学报(自然科学版)*, 2003,26(3):269-273.

[5] 赵松乔.察北、察盟及锡盟——一个农牧过渡地区经济地理调查[J].*地理学报*, 1953,19(1):43-60.

[6] 周立三,吴传钧,赵松乔,等.甘青农牧交错地区农业区划初步研究[M].北京:科学出版社,1958.

[7] 朱震达,刘恕,杨有林.试论中国北方农牧交错地区沙漠化土地整治的可能性和现实性[J].*中国科学*, 1984,4(3):197-205.

[8] 吴传钧,郭焕成.中国土地利用[M].北京:科学出版社,1994.

[9] 张丕远.中国历史气候变化[M].济南:山东科技出版社,1992.

[10] 王静爱,徐霞,刘培芳.中国北方农牧交错带土地利用与人口负荷研究[J].*资源科学*, 1999,21(5):19-24.

[11] 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.

[12] 李世奎,候光良,欧阳海,等.中国农业气候资源和农业气候区划[M].北京:科学出版社,1988.

[13] 王静爱,史培军.论内蒙古农牧交错地带土地资源利用及区域发展战略[J].*地域研究与开发*, 1988,7(1):24-28.

[14] 王延禄.中国建立、引用和验证气象干旱指标综述[J].*干旱区地理*, 1990,13(3):80-86.

[15] 刘纪远.中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M].北京:中国科学技术出版社,1996:1-40.

[16] 刘纪远,张增祥,庄大方,等.20世纪90年代中国土地利用变化的遥感时空信息研究[M].北京:科学出版社,2005:268-269.

[17] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J].*地理科学进展*, 1999,18(1):81-87.

[18] 叶庆华,刘高焕,严钧,等.黄河三角洲景观分异格局及其新生湿地土地覆被景观重心演替规律[J].*地球学报*, 2003,24(增刊):167-173.

[19] 高志强,刘纪远,庄大方.我国耕地面积重心及耕地生态背景质量的动态变化[J].*自然资源学报*, 1998,13(1):92-96.

作者简介：刘军会(1976-),男,河北顺平人,中国科学院成都山地灾害与环境研究所博士研究生,主要从事区域生态学、GIS等领域的研究.发表论文5篇.

《中国环境科学》荣获第五届中国科协期刊优秀学术论文奖

《中国环境科学》2006年第5期发表的孙丽等人的文章“沼泽湿地N₂O通量特征及N₂O与CO₂排放间的关系”荣获2007年中国科协颁发的“第五届中国科协期刊优秀学术论文奖”。

《中国环境科学》编辑部