

# 农牧交错带边界判定方法的研究进展

肖鲁湘<sup>1,2</sup>, 张增祥<sup>1</sup>

(1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要:** 农牧交错带是我国传统农业区域与牧业区域相交汇的地带, 是我国生态环境的一条过渡带和生态安全的重要屏障, 为此国内外学者对农牧交错带做了大量的研究, 但是迄今为止对于农牧交错带边界的认识尚未达成共识。不同学者划分方法不一, 划分标准和指标不一致, 导致划分的农牧交错带在空间上差异很大, 因此有必要对农牧交错带的边界做进一步的研究。农牧交错带的分布主要受降水等自然因素的限制, 但也与人类对土地利用的方式密切相关, 因此它更是作为一种土地利用/土地覆被现状存在的。本文在总结以前农牧交错带边界判定研究中主要用到的方法及存在不足的基础上, 建议从土地利用的角度考虑农牧交错带, 并就边界确定的研究方法做了探讨。

**关 键 词:** 农牧交错带; 边界确定; 土地利用; 进展; 空间分析方法

## 1 引 言

农牧交错带是我国传统农业区域与畜牧业区域相交汇和过渡的地带, 该带东南是我国主体农业区, 西北则是我国主体牧业区。在自然条件上, 该带东南是湿润、半湿润地区, 地势相对平坦, 海拔较低, 环境条件较优, 耕地主要分布在此区域; 而以西以北则是干旱、半干旱地区, 地势起伏, 海拔较高, 分布着我国主要的沙漠、高原和山地, 地形复杂而生态脆弱, 土地覆被以草地为主。因此农牧交错带也是我国生态环境的一条过渡带和生态安全的重要屏障带。关于农牧交错带的研究很多, 涉及农牧交错带的方方面面, 如农牧交错带形成原因<sup>[1,2]</sup>、边界确定<sup>[3-6]</sup>、区内自然要素的特点<sup>[7-15]</sup>、水土流失和沙漠化<sup>[16-25]</sup>等, 其中很多研究选取农牧交错带的典型区域进行研究, 对于中国农牧交错带整个范围进行研究的并不多, 尤其在边界确定方面<sup>[9]</sup>。不同学者划分方法的不一致, 导致划分的农牧交错带在空间上差异很大, 因此有必要对农牧交错带的边界做进一步的研究。

农牧交错带的分布主要受降水等自然因素的限制<sup>[3]</sup>, 但也与人类对土地利用的方式密切相关, 从景观上它更是作为一种土地利用/土地覆被现状存在的。遥感技术具有宏观性、客观性和可重复性的

特点, 可以对陆地表面从宏观上进行监测, 从直观上体现了农业和牧业的利用情况, 结合 GIS 强大的空间分析功能, 从空间格局上确定农牧交错带的地理分布, 为开展大区域土地利用分区提供依据。

## 2 目前农牧交错带边界研究采用的主要方法

农牧交错带最初是从经济地理专业提出的, 1953 年赵桥松<sup>[9]</sup>指出内蒙古察北、察盟及锡盟是一个典型的农牧过渡地带, 1958 年周立三、吴传钧等<sup>[4]</sup>又将农牧交错带的认定范围延伸到中国西南地区, 认为中国存在着东部农业区域向西部牧业区域过渡的农牧交错带。此后, 不断有各个研究领域的学者从自己学科角度对农牧交错带的界定指标和划分范围进行研究, 并产生不同的认识(表 1)。

从表 1 总结可以看出, 前人对于农牧交错带边界的确定, 主要采用了以下几种方法:

### (1) 基于农业调查统计的划分方法

国家统计局农业调查队从 1978 年开始划分半农半牧县, 主要根据畜牧业产值与种植业产值的比例划分牧业县、半农半牧县和农业县(图 1)。根据《中国畜牧统计 1949~1989》和《中国县(市)社会经

表 1 现有农牧交错带界定指标比较

Tale.1 Comparison between creteria currently used for difinition of agro-pastoral zone

名称	范围	界定指标	提出学者
内蒙古及长城沿线、农牧林区、黄土高原亚区	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	周立三等(1981) <sup>[26]</sup>
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 250~500mm，降水变率 25~50%，7~8 级大风日数 30~80 天	朱震达、刘恕等(1981) <sup>[27]</sup>
半干旱地区农牧过渡带	蒙古高原东缘和黄土高原北部	≥400mm/a 出现频率 50%为主导标志，日平均风速≥5m/s 的平均日数为次要指标	李世奎等(1988) <sup>[28]</sup>
农牧过渡带(气候敏感带)	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，降水变率 15~20%	张丕远等(1992) <sup>[29]</sup>
季风尾闾区	温带风沙草原与暖温带黄土草原区	西北界 250mm，东南界 450mm，集二线为东西分异的重要界线	张兰生、史培军等(1993) <sup>[30]</sup>
生态过渡带	贯通黑河-腾冲方向的狭长地带	胡焕庸人口分界的方向线	王铮、张丕远等(1995) <sup>[31]</sup>
长城地带(农牧交错带)	内蒙古高原边缘、河套、长城沿线区域	明长城与秦长城之间	田广金、史培军(1997) <sup>[32]</sup>
北方季风边缘半农半牧类型	内蒙古高原东缘、黄土高原北部	≥400mm 降水出现频率 5~20%。10 年中有 8 年以上不能满足旱作要求，降水量 200~450mm	张林源等(1994) <sup>[33]</sup>
长城沿线区、半农半牧和农牧交错亚区	蒙古东南部、辽西、冀北、陕西北部和宁夏中部	年降水量 300~600mm，耕：草：林面积比为 1：0.5：1.5	吴传钧、郭焕成等(1994) <sup>[34]</sup>
三北交界区与陕甘青黄土区	内蒙古东南部、辽西、冀北、(西北与东北)华北交界，晋陕甘宁黄土丘陵区	半湿润、半干旱，年降水量 400mm 左右，耕/草/林用地交错分布	国家土地局、北京大学
华北、黄土高原农牧交错带草地一耕地转换区	贯穿黑龙江西南部、吉林省西部、内蒙古东南部、陕西省北部和南部、宁夏和甘肃南部的典型农牧交错带	土地利用变化主体方向的一致性和区划单元空间位置的连续性	刘纪远等(2003) <sup>[35]</sup>
北方农牧交错带	东北、华北与天然草地牧区分隔的生态过渡带	年降水量 250~500mm 的半干旱地区	王静爱等(1999) <sup>[36]</sup>
北方农牧交错带	北起内蒙古呼伦贝尔市，向南至内蒙古通辽市和赤峰市，再沿长城经河北北部、山西北部 and 内蒙古中南部向西南延展，直至陕西北部、甘肃东部和宁夏南部的交接地带	降水量 300~450mm，降水年变率 15~30%，干燥度 1.0~2.0 范围内	赵哈林、赵学勇等(2002) <sup>[5]</sup>
中国农牧交错带	从大兴安岭南端经由内蒙古的锡林浩特，辽宁与内蒙古接壤处，进入河北大马群山，山西北部，陕西北部到甘肃东部，秦岭以北，六盘山以东。新疆、云南、四川、贵州有零星分布	年降水量 300~600mm，耕、草、林面积比为 1：0.5：1.5	邹亚荣、张增祥等(2003) <sup>[19]</sup>
中国农牧交错带	涉及黑龙江、吉林、内蒙古、辽宁、河北、山西、陕西、宁夏、甘肃、青海、四川、云南、西藏等 13 个省(区)的 234 个县(市、旗)，总面积 813459 km <sup>2</sup>	从牧草生长的适宜度出发，模拟农牧交错带的地理分布	陈全功、张剑等(2006) <sup>[6]</sup>

济统计年鉴——2006 年》，我国政府确定的半农半牧县如图 1 所示，将农区和牧区之间的半农半牧县(旗、市)连接起来形成一个包括大部分半农半牧县和少数农业县和牧业县的从东北向西南连续的农牧交错带(图 2)。

(2) 主要基于农业气候指标的划分方法

一定的气候状况是农业用地存在的基本条件，所以很多学者把气候指标作为农牧交错带划分的指标。一般来说，年降水量 250~400mm 为灌溉农业，400~600mm 为旱作农业，600~1000mm 为雨养

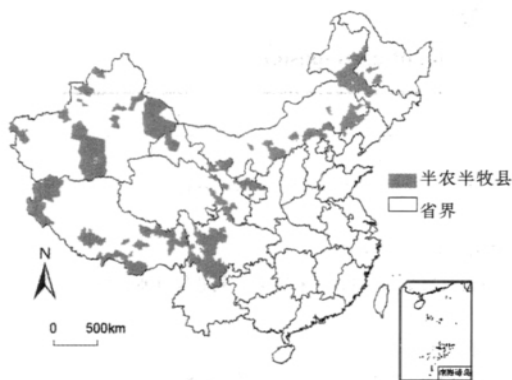


图 1 根据统计资料得到的半农半牧县

Fig.1 Semi-farm semi-pasturing counties according to social-economic statistical data

农业, 大于1000mm为湿作农业。在农业用地的北界, 降水量<400mm, 自然降水量已不能满足农作物正常生长和稳产的要求, 需要依靠灌溉来补充作物生长需要的水分, 在无灌溉条件下, 尚可种植一些旱作物, 但收成低而不稳, 易引起风沙和土壤侵蚀。因此在这些区域, 除了耕种, 牧业也是很重要的一种生产方式。气候限制了农业适宜耕作和牧草生长的空间范围, 因此对农牧交错带的界定, 气候指标是目前比较公认的指标, 应用较多<sup>[35,26-34,36]</sup>(图 2)。

对农牧交错带进行限定的气候指标主要集中在降水量和降水变率两个方面。周立三等<sup>[37]</sup>认为, 降水量大于 250mm, 且降水量 400mm 保证率在 20%~50%的地区为农牧交错带。而在青藏高原地区, 热量条件是决定青藏高寒区农牧分布的主要限制性因素, 其中最暖月温度 10℃ 平均气温是农牧交错带的界线, 为农作物分布的下限温度。赵哈林等<sup>[5]</sup>根据多年在牧区的实地考察和研究经验, 参考我国气候区划、种植业区划、沙漠化防治区划等, 将我国北方农牧交错带界定于降水量 300~450mm、降水年变率 15%~30%、干燥度 1.0~2.0 范围内, 总面积 65 万 km<sup>2</sup>。李世奎等<sup>[20]</sup>将半干旱地区农牧过渡带界定为, 年降水量大于 400mm 出现频率 50%为主导标志, 日平均风速 5m/s 的平均日数为次要指标。张丕远等<sup>[27]</sup>将其限定为年降水量 300~400mm 年降水变率 15~20%的区域(图 3)。

### (3) 基于牧草生长适宜度的划分方法

陈全功、张剑等<sup>[6]</sup>以牧草生长的适宜度模型为依据, 选取了 9 个生态因子(日照时数、>0 的年积温、年平均温度、年降水量、相对湿度、海拔高度、极

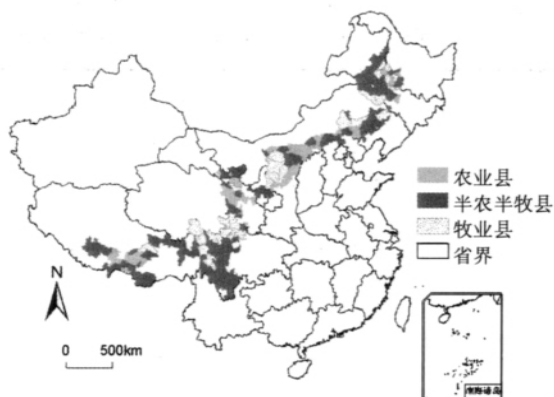


图 2 根据统计资料界定的农牧交错带

Fig.2 Agro-pastoral zone according to social-economic statistical data

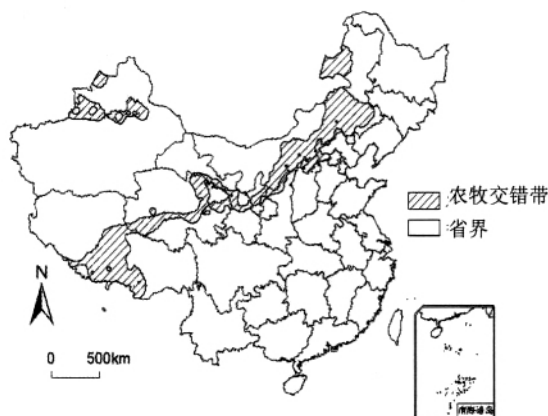


图 3 根据气候指标(年降水量 250~400mm)界定的农牧交错带

Fig.3 Agro-pastoral zone according to climate factors for farming activities (isohyetal line of 250~400 mm)

端最高温度、极端最低温度、无霜期), 通过层次分析法和模糊集合理论建立了农牧交错带生态因子评定模型, 并利用 GIS 技术对农牧交错带进行空间计算, 模拟出农牧交错带的地理分布(图 4)。

### (4) 基于土地利用空间分布数据的划分方法

气候资料获得的农牧交错带是理论上的农牧交错带, 而根据统计资料和土地利用资料获得的农牧交错带是农牧交错带实际分布范围。但由于土地利用数据更符合自然地理分布的规律, 不受行政界线的约束, 因此利用土地利用资料获取农牧交错带更能反映实际利用情况。吴传钧等提出在年降水量 300~600mm 范围内, 耕地、草地、林地的面积比例为 1:0.5:1.5 的区域为农牧交错带, 从而引入土地利用



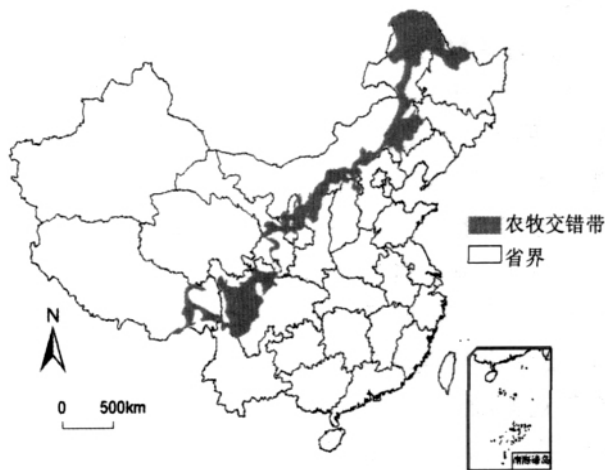


图 4 根据牧草适宜生长的生态因子界定的农牧交错带  
Fig.4 Agro-pastoral zone according to growing conditions  
of pasture plant

类型空间比例作为划分标准。根据吴传钧的研究, 邹亚荣等在 2000 年土地利用分类数据库的基础上, 提取了农牧交错带的范围(图 5)<sup>[19]</sup>。

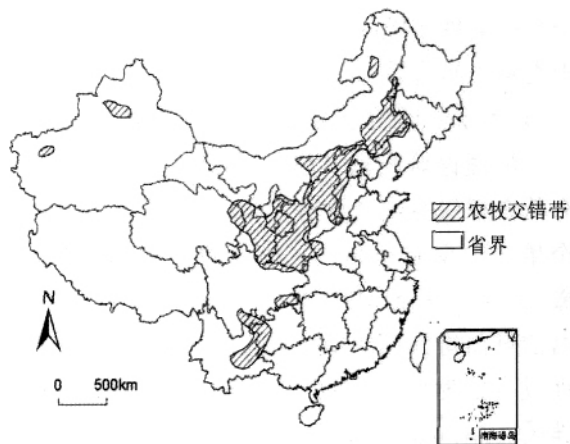


图 5 根据土地利用指标界定的农牧交错带  
Fig.5 Agro-pastoral zone according to land use

### 3 目前农牧交错带边界研究存在不足

尽管人们对农牧交错带分布的大概位置和范围认识比较一致, 但是在具体的空间上还是存在着很大的差异, 农牧交错带的划界问题一直是该研究领域争论的焦点。目前农牧交错带边界确定的研究中存在以下问题需要解决。

(1) 从气候角度来研究农牧交错带, 是从理论上研究适合农业生产和发展的温度, 这是一种理想

的状态, 实际中受政策导向等人为因素影响很大, 很难达到这种情况, 而且多数的研究中只强调了降水量, 忽视了南方农牧交错带的主导控制因子为高程和积温等。

(2) 农业调查和分析社会经济统计资料方法获得的农牧交错带, 其统计是以行政县为单元的。农牧交错带作为一个自然生态系统, 虽然受人类的扰动, 但是以县域为单元的划分方法缺乏科学性, 尤其是在西部干旱区, 有的县内大部分地区为沙漠化地区, 将其整体划分为农牧交错带显然是不合理的。因此, 应该将社会经济数据采用一定的方法转换到地理格网中, 结合其它指标来进行农牧交错带的划分。

(3) 以土地利用数据为基础资料进行农牧交错带范围的确定, 需要进行更进一步的探讨。首先是尺度问题, 不同尺度下景观格局不同, 进而导致分区结果不同<sup>[38]</sup>, 因此首先需要确定在什么样的尺度上研究全国的农牧交错带界限较为合适。第二, 方法的探讨, 土地利用面积比例中, 耕地、草地、林地的比例如何确定。第三, 农牧交错带内部差异问题, 不同地区农牧交错带的情况是不同的, 是否需要区别对待。比如在北方农牧交错带地区, 耕地和草地的比例基本符合 2:1, 而在西藏东南部地区, 根据社会经济数据的结果显示, 该范围内分布着很多半农半牧县, 但是从土地利用的角度考虑, 该区域内部耕地的比例相当小, 这样的区域是否属于农牧交错带, 需要进行单独探讨。

(4) 随着研究的深入, 不仅需要了解农牧交错带的范围, 也需要及时了解农牧交错带的迁移过程, 目前的研究中对农牧交错带的迁移研究较少。

因此为了解决上述的问题, 需要尝试新的方法对农牧交错带的边界进行分析。土地利用/土地覆被是农牧业活动的直观体现, 从大尺度来说, 土地利用数据相对于气象数据具有相对稳定性, 适合用其进行农牧交错带边界的研究。遥感数据的周期性为土地利用数据的获取和更新提供了可能, 进而可以用土地利用空间分布数据来研究农牧交错带的空间分布和时间动态。

### 4 空间分析方法的引入

农牧交错带属于典型的生态环境脆弱带(ECO-

ECOTONE, 也称为生态交错带)<sup>[39]</sup>, 因此对农牧交错带的研究可以借鉴国内外在生态环境脆弱带研究中采用的方法。ECOTONE 是指两个或多个相邻景观的交错地带, 它兼有相邻景观的特征, 如农牧交错带兼有农业用地和牧业用地的生物学和环境特征, 因此可以根据交错带的这一特点对其进行定性判定。但定性判定对于充分地理解边界是不够的, 因此, 还需采取一定的方法对景观边界进行定量判定。目前对于生态交错带的边界确定方法主要有以下几种可以用于农牧交错带边界判定的研究中: 空间聚类分析、判别分析、空间统计分析和格局相似性分析。这些方法基于不同的原理, 但是目的都是为了空间分区或边界确定。

#### (1) 空间聚类分析(Spatial clustering analysis)

聚类分析就是按照一定标准来鉴别地理区域或实体、现象之间的接近程度, 并将相接近的归为一类的数学统计方法。这种方法的关键是选择刻画对象间接近程度的指标体系和具体标定函数。与传统聚类分析方法相比, 空间聚类分析不仅仅考虑单元的属性数据, 而且要从单元的空间分布、空间相互作用关系等因素上来表达空间单元的区域分布特性<sup>[40-43]</sup>。空间聚类分析多用于遥感影像的自动分类中, 也应用于生态经济等的分区中。赵云龙等<sup>[44]</sup>根据河北怀来县的地貌、社会经济与农业生产现状, 将怀来县划分为 5 个农业生态经济区。

同样, 对农牧交错带的空间聚类分析, 可以把土地利用空间数据与不同大小网格叠加, 提取各网格中土地利用类型的面积百分比, 这样土地利用的非连续数据就被转换成面积百分比的连续数据, 然后采用空间聚类的方法来进行分区, 变量是网格单元内农、草等土地利用类型的面积百分比, 根据需要可以将其划分为农业区、牧业区和半农半牧区。

#### (2) 判别分析(Discriminate analysis)

判别分析是根据原有的分类信息, 构建一个或多个判别函数, 确定判别函数的系数和判别指标。分别从 A 类、B 类和 A-B 边界内取标准样地资料, 将样地与标准判别函数进行比较, 可以决定样地属于哪一类, 最后得出整个研究区内 A、B、A-B 的边界<sup>[45]</sup>。

赵勇等<sup>[46]</sup>在调查黄河小浪底山地植物物种多样性指数和海拔高度等环境因素的基础上, 采用聚类分析的方法对样地进行群落恢复进程的分类, 并利

用判别分析建立了各恢复阶段的判别公式。农牧交错带的边界判定也是一个分区问题, 可以根据网格单元内土地利用百分比数据, 或者在聚类分析的基础上, 构建农牧交错带的判别函数, 来判别待分析栅格是否属于农牧交错带。

#### (3) 空间统计分析(Spatial statistics analysis)

即对空间实体的分布和格局进行分析, 主要是基于空间自相关原理。空间自相关性是指在空间上越靠近的事物或现象就越相似, 即景观特征或变量在邻近范围内的变化往往表现出对空间位置的依赖关系。空间自相关系数是度量物理或生态学变量在空间上的分布特征及其对其邻域的影响程度。若某一空间变量的值随着测定距离的缩小而变得更相似, 则这一变量呈空间正相关; 若所测值随距离的缩小而更为不同, 则这一变量呈空间负相关; 若所测值不表现出任何空间依赖关系, 则这一变量表现出空间不相关性或空间随机性。

土地利用数据转换为百分比即为空间连续数据, 通过局部空间自相关分析, 可以得到每个点的局部 Moran's I 系数。自相关系数为正意味着该点属于某一类别区域内, 自相关系数为负意味着该点属于类别之间边界上。

#### (4) 多重分形理论(Multifractal analysis)

分形理论研究的对象是一类极其零碎而复杂但其有自相似性或自仿射性的格局, 多重分形是许多个单一分形在空间上的相互缠结(intertwined)、镶嵌, 因为多重分形能提供比单一分形维数更为细致的信息而得到广泛地应用<sup>[47,48]</sup>。当格局具有自相似性或自仿射性时, 其分布比较均匀, 反之分布则较异质。Parrinello<sup>[49,50]</sup>运用多重分形理论对影像数据的类型边界进行了探讨, 发现与常规分类方法相比, 多重分形对边界的探测能力更强。对农牧交错带而言, 可以基于相似理论, 分析不同尺度下格网内耕地和草地的多重分形谱, 根据多重分形谱的形状判断格网内土地利用格局相似性, 相似性越大, 格网内农地和草地分布越均匀; 相似性越小, 格网内农地和草地分布越异质, 而异质格网连线便可作为农牧交错带的边界。

从景观生态学的角度, 采用上述空间分析方法来研究农牧交错带的边界, 可以网格为分析单元, 充分利用土地利用数据, 不但能够突破行政边界的限制, 并且可以通过变换分析网格的大小来探讨农牧交错带的尺度问题。当分析尺度较大时, 农牧交

错地带会表现为线形;而当分析尺度较小时,农牧交错地带则会表现为带状。因此这些空间分析方法在农牧交错带边界的研究中均具有很好的应用潜力。它们适合不同的研究前提,空间聚类分析和判别分析进行分类相对简单一些,但通常需要先验知识确定聚类的标准和类别数,带有很大的主观性<sup>[42]</sup>,适用于分类标准比较明确的情况,通常可以应用于小范围内部土地利用特征比较单一的情况下。而空间自相关分析和多重分形理论都是基于景观异质程度的方法,计算相对复杂,但在分类标准不明确的情况下可以有效减少主观性,在全国农牧交错带的边界探测研究中可以发挥优势。

## 5 结论

农牧交错带是一条生态脆弱带,它的生态和发展问题关系着全国的生态环境和经济发展,因此有必要加强对农牧交错带的研究,其中首要的就是农牧交错带边界的研究。目前该问题主流的研究是从气候角度来进行的,辅以其它指标进行确定。但农牧交错带是气候条件为主导因素控制的、人类行为干预所形成的比较复杂的地理现象,因此,需要从气候、地貌、社会经济等方面进行全面、综合、系统的分析。

土地利用是气候、地貌、人类活动等综合作用的结果,可以从景观的角度来基于土地利用而确定农牧交错带的边界。土地利用数据所具有的空间属性,为农牧交错带的空间研究提供了基础,同时由于土地利用数据可以借助遥感数据获得,充分利用了遥感的多期重复观测的特点,进而可以分析农牧交错带的动态变化。

在研究中,要充分考虑到农牧交错带具有异质性、动态性、宏观性和尺度性等特点,确定在什么样的尺度上研究农牧交错带的边界较为合适。尺度过小,异质性过高,不容易得到景观的边界,而尺度过大,又忽略了细节,也无法达到确定边界的目的。因此根据实际的目的确定合适的尺度是一个最基本的问题。空间分析方法可以通过变换分析网格的大小来探讨农牧交错带的尺度问题,因此空间分析方法将是农牧交错带边界研究的有用方法,也是今后研究的重点。

## 参考文献

- [1] 韩茂莉. 中国北方农牧交错带的形成与气候变迁. 考古, 2005, 10: 57~67.
- [2] 苏志殊, 马义娟, 刘梅. 中国北方农牧交错带形成之探讨. 山西大学学报: 自然科学版, 2003, 26(3): 269~273.
- [3] 赵松乔. 察北、察盟及锡盟——一个农牧过渡地区经济地理调查. 地理学报, 1953, 19(1): 43~60.
- [4] 周立三, 吴传钧, 赵桥松. 甘青农牧交错地区农业区划初步研究. 北京: 科学出版社, 1958.
- [5] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 周瑞莲. 北方农牧交错带的地理界定及其生态问题. 地球科学进展, 2002, 17(5): 739~747.
- [6] 兰州大学草地农业科技学院. 中国草业开发与生态建设专家系统. 电子工业出版社, 2006.1
- [7] 周廷儒, 张兰生 等. 中国北方农牧交错带全新世环境演变及预测. 地质出版社, 1992.
- [8] 范锦龙, 张艳, 李贵才. 北方农牧交错带中部区域气候变化特征. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 91~94.
- [9] 董婷婷, 张增祥, 钱凤魁. 中国北方农牧交错带耕地动态变化的遥感监测. 农业工程学报, 2007, 23(6): 78~82.
- [10] 陈云浩, 苏伟, 武永峰, 余晓敏, 张锦水. 中国北方农牧交错带土地利用格局演变与模拟. 中国科学: E 辑, 2006, 36(B07): 124~132.
- [11] 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. 中国科学: D 辑, 2005, 35(5): 464~473.
- [12] 刘全友, 董依平. 北方农牧交错带土地利用类型对土壤养分分布的影响. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1849~1852.
- [13] 盛学斌, 刘云霞, 孙建中. 农牧交错带土壤及表生植被某些特性变异与荒漠化的相关性. 水土保持研究, 2002, 9(3): 24~26.
- [14] 朱桂林, 山 仑, 刘国彬. 黄土高原农牧交错带植被恢复途径. 中国水利, 2004, 8: 30~32.
- [15] 杨述河, 闫海利, 郭丽英. 北方农牧交错带土地利用变化及其生态环境效应——以陕北榆林市为例. 地理科学进展, 2004, 23(16): 49~55.
- [16] 赵焕勋. 农牧交错地带土壤侵蚀及防治对策. 内蒙古水利科技, 1991, 2: 40~43.
- [17] 周道纬, 卢文喜, 夏丽华 等. 北方农牧交错带东段草地退化与水土流失. 资源科学, 1999, 21(5): 57~61.
- [18] 赖彦斌, 王静爱, 赵金涛. 基于多源地图信息重组的土壤侵蚀背景值图编制. 地理研究, 2005, 24(3): 480~486.
- [19] 邹亚荣, 张增祥, 周全斌 等. 农牧交错带土地利用的土壤侵蚀状况分析. 水土保持通报, 2004, 24(5): 35~38.
- [20] 吴荣贵, HolmTiessen. 高寒地区农牧交错带土壤侵蚀研究. 水土保持学报, 2002, 16(4): 17~20.



- [21] 海春兴, 马礼等. 农牧交错带典型地段土地沙化主要因素分析—以河北坝上张北县为例. 地理研究, 2002, 21(5): 543~550.
- [22] 康相武, 吴绍洪, 尹云鹤, 杨勤业, 戴尔阜. 华北农牧交错带土地沙漠化成因与土地利用调整对策. 农业工程学报, 2005, 21(8): 45~51.
- [23] 薛 娴, 王 涛, 吴 薇 等. 中国北方农牧交错区沙漠化发展过程及其成因分析. 中国沙漠, 2005, 25(3): 320~328.
- [24] 刘志明, 晏明, 李铁强, 刘海风, 何艳芬. 遥感与 GIS 支持下的松嫩平原农牧交错区土地沙漠化调查研究, 第四纪研究, 2004, 24(3): 348~354, 1001~1002.
- [25] 赵哈林, 赵学勇等. 北方农牧交错区沙漠化的生物过程研究. 中国沙漠, 2002, 22(4): 309~315.
- [26] 周立三, 孙 颌, 沈煜青 等. 中国综合农业区划. 北京: 农业出版社, 1981.
- [27] 朱震达, 刘 恕. 中国北方地区沙漠化过程及其治理区划. 北京: 中国林业出版社, 1981.
- [28] 李世奎, 侯光良, 欧阳海 等. 中国农业气候资源和农业气候区划. 北京: 科学出版社, 1988.
- [29] 张丕远. 中国历史气候变化. 济南: 山东科学技术出版社, 1992.
- [30] 张兰生, 史培军, 候乐峰 等. 中国北方季风尾闾区全新世不同时期降水变化及其区域分异规律研究. 张兰生. 中国生存环境历史演变规律研究(一). 北京: 海洋出版社, 1993.
- [31] 王 铮, 张丕远, 刘啸雷 等. 中国生态环境过渡的一个重要地带. 生态学报, 1995, 15(3): 19~326.
- [32] 田广金, 史培军. 中国北方长城地带环境考古学的初步研究. 内蒙古文物考古, 1997, (2): 44~51.
- [33] 张林源, 苏桂武. 试论我国北方季风边缘区自然灾害的区域特征. 第四纪全国泥石流学术讨论会文集. 兰州, 甘肃文化出版社, 1994.
- [34] 吴传钧, 郭焕成. 中国土地利用. 北京: 科学出版社, 1994.
- [35] 刘纪远, 张增祥, 庄大方 等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. 地理研究, 2003, 22(1): 1~12.
- [36] 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. 资源科学, 1999, 21(5): 19~24.
- [37] 周立三 等. 中国农业地理, 科学出版社, 2000.
- [38] 李正国, 王仰麟, 张小飞, 吴健生. 景观生态区划的理论研究. 地理科学进展, 2006, 25(5): 10~20.
- [39] 牛文元. 生态环境脆弱带 ECOTONE 的基础判定. 生态学报, 1989, 9(2): 97~105.
- [40] Legendre P, Legendre V. Postglacial dispersal of freshwater fishes in the Quebec peninsula. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1984, 41(12): 1781~1802.
- [41] Fortin M J, Prapeau P. Delineation of ecological boundaries: comparisons of approaches and significance tests. Oikos, 1995, 72, 323~332.
- [42] Fortin M J, Dale M. Spatial Analysis: A Guide for Ecologists. Cambridge University Press, 2005.
- [43] 严会超, 杨海东, 肖 莉 等. 模糊 SOFM- GIS 空间聚类模型在农用地分等中的应用. 农业工程学报, 2006, 22(6): 82~87.
- [44] 赵云龙, 唐海萍, 孙 林 等. 河北怀来县农业生态经济分区研究. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2005, 41(5): 526~530.
- [45] 韦省民. 关中—陕北过渡带区域分异的判别分析. 地理新论, 1988, 7(1): 53~57.
- [46] 赵 勇, 王鹏飞, 樊 巍 等. 典型退化山地生态系统植被恢复阶段分类——以小浪底库区山地为例. 中国水土保持科学, 2007, 5(1): 77~83.
- [47] Borda - de - Agua L, Hubbell S P, McAllister M. Species-area curves, diversity indices, and species abundance distributions: a multifractal analysis. American Naturalist, 2002, 159, 138~155.
- [48] Hentschel HGE, Procaccia I. The infinite number of generalized dimensions of fractals and strange attractors. Physica. D, 1983, 435~444.
- [49] Parrinello T, Vaughan R A. Multifractal analysis and feature extraction in satellite imagery. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23: 1799~1825.
- [50] Parrinello T, Vaughan RA. On comparing multifractal and classical features in minimum distance classification of AVHRR imagery. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27: 3943~3959.

## Processes on the Boundary Definition of Agro- pastoral Zone in China

XIAO Luxing, ZHANG Zengxiang

(Institute of Remote Sensing Application, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The agro- pastoral zone in China is the ecotone between the traditional agricultural regions and pastoral regions in our country, which is also a fragile zone of eco- environment and a barrier for ecosecurity. Many studies have focused on the agro- pastoral zone and some achievements had been obtained. But there is still no agreement on the boundary definition. For different researchers, the criteria to the boundary definition are different, and then the spatial location and the area of the agro- pastoral zone in China were in difference. Therefore, further studies on boundary definition of eco- environment are needed. The spatial distribution of agro- pastoral zone is controlled by natural factors such as precipitation, but also influenced by human activities intensively. Land use pattern, reflecting the integrative results of natural factors and human activities, can be used for the definition of agro- pastoral zone. Interms of land- use pattern, the agro- pastoral zone is none other than the landscape boundary between farmlands and pastures. In this paper, the processes on the boundary definition of agro- pastoral zone in China were reviewed, and the shortcomings of current studies were summarized. To solve these questions, the spatial analysis methods used in ecotone studies were introduced to the definition of agro- pastoral zone since the agro- pastoral zone is one kind of the ecotones. The spatial analysis methods include spatial clustering analysis, discriminate analysis, spatial statistics analysis and multi- fractal analysis.

**Key words:** agro- pastoral zone; boundary definition; land use; research progress; spatial analysis