



基于 EVI 植被指数的大尺度草地 多源信息综合分类研究

王晓爽, 胡卓玮, 赵文吉, 刘洪岐

(首都师范大学资源环境与旅游学院 资源环境与地理信息系统北京市重点实验室
城市环境过程与数字模拟实验室 省部级共建国家重点实验室培育基地, 北京 100048)

摘要:在全国范围内采用 MODIS EVI 植被指数结合多源环境因子数据的方法实现对主要草地类型的划分。在借鉴第一次草地调查分类方案的基础上,提出了新的草地分类方案,将我国的天然草地划分为 9 类。根据气候带分布状况划分我国的四大草地资源分区,在分区内进行草地分类。在分类中通过量化分析各草地类型增强型植被指数和高程、降水、积温和湿润度等环境因子特征,建立草地类型提取规则,采用基于知识的方法进行分类,最后将各分区分类结果合并形成全国草地分类结果。采用混淆矩阵的方法对分类结果进行精度检验,总体精度达到 96.19%,分类效果比较好,体现了我国主要草地类型的基本分布状况。

关键词: EVI; 草地信息; 提取规则; 大尺度草地分类

中图分类号: S812 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0629(2011)01-0010-08

*¹ 草地是面积最大的陆地生态系统^[1],也是地球资源的重要组成部分,草地类型的划分是进行草地资源研究的基础^[2]。目前草地分类方法的研究主要面向省级以下尺度的研究区,体现的是中小范围研究区草地分布特征,例如赵冰茹和马龙^[1]利用增强型植被指数(EVI)数据与气温、降水、高程等非遥感数据结合的多源信息综合方式对内蒙古草地进行分类,能够明确地识别内蒙古的五大地带性草地类及部分草地亚类。王正兴等^[3]通过研究草地类型的 AVHRR NDVI 的动态过程,结合草地类型的 AVHRR 影像数据特征,对内蒙古锡林郭勒草原进行草地分类。通过分析草地类型的植被指数特征,采用相关方法,对中小范围研究区进行草地分类^[4-9],有效地体现了中小范围研究区内的草地类型分布状况,取得了较大的进展,为进一步基于遥感手段对更大尺度研究区域上草地类型划分提供了相关技术手段和研究思路。

但中小范围研究区的草地分类研究成果不足以体现我国草地资源的大体递变规律^[10]。为了进一步对全国尺度上的草地类型分布状况进行分析,为草地遥感研究提供更详尽地资料依据,本研究以全国的大尺度范围作为研究区域,通过气候带分区和分析草地类型 EVI 植被指数和分布区域环境特征,实现全国草地分类,形成全国草地分类图,体现了我

国草地类型总体分布状况和递变规律。

1 研究方法与数据处理

1.1 研究方法 为了实现全国范围的草地分类,体现主要草地类型的分布特征和递变规律,形成全国草地分类图。本研究首先采用气候带分区的方法对研究区进行分区,对不同的分区进行草地分类,并将分类的结果合并形成全国草地分类图。中国科学院自然区划工作委员会^[11]采用积温来划分温度带,反映不同地区的热量分布状况,在不同的温度带内耕作制度和作物种类也有明显差别,形成了不同的农业自然区划和气候带区划分布图。本研究参考气候带区划分布图,结合我国草地资源分布状况、热量和湿润度的递变规律形成 4 个草地资源分布区,基本覆盖全国草地资源的生长地带,主要为北部温带半湿润、半干旱草甸、草原和荒漠区、华北暖温带半湿润半干旱暖性灌草丛区、南部亚热带、热带湿润热性灌草丛区和青藏高原高寒草甸和高寒草原区(图 1)。由于气候因素和地形的不同,在不同的草地分

收稿日期:2010-04-21 接受日期:2010-06-25
基金项目:国家科技支撑计划重点项目课题——环北京区域地表环境遥感动态监测与评价技术研究(2007BAH15B02);国家生态恢复重建的综合监测评估关键技术研发(2006BAC08B02);巨灾应急救援信息系统集成与示范(2008BAK49B07)
作者简介:王晓爽(1985-),女,北京人,在读硕士生,主要从事资源环境遥感应用研究。
E-mail:wangxiaoshuang_057@163.com
通信作者:胡卓玮 E-mail:huzhuowei@mail.cnu.edu.cn

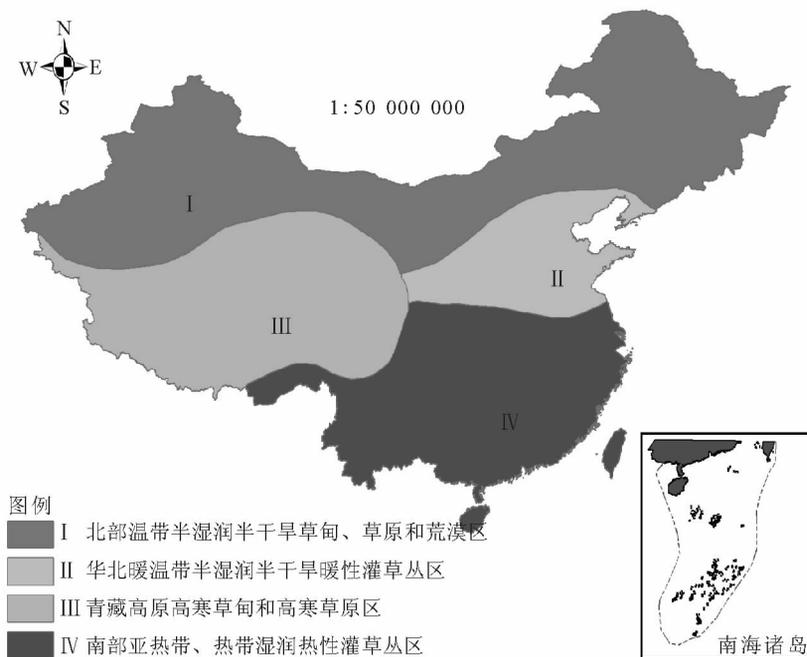


图1 基于气候带分布的草地遥感分区示意图

区内具有不同的优势草地类型,使得每个区域内所包含的草地类型较整体的减少,区域草地类型特点更加突出,分类更具针对性。本研究将草地类型的EVI特征作为分类的基础,并引入高程、积温、降水和湿润度等环境因子作为分类辅助数据,通过量化草地类型的植被指数特征差异和环境因子特征,建立各区域内草地类型的提取规则,对各区域内的草地类型进行划分,然后对各分类结果进行合并形成全国草地的整体分类图。

1.2 主要研究数据及其处理 本研究主要采用2005年全国MODIS 1-2波段250 m 8 d合成的全年地表反射率数据产品,根据1971-2005年全国约730个气象站点的温度和降水数据,计算每8 d的平均值,并通过空间插值得到年均积温、降水数据以及DEM数据,利用MODIS反射率数据计算所得的EVI数据,空间参考系统统一为GCS_WGS_1984。

1.2.1 MODIS EVI数据的计算 MODIS EVI植被指数可以客观反映草地的覆盖状况。利用MODIS反射率数据的近红外、红、蓝波段进行运算,获得MODIS EVI数据。根据公式:

$$EVI = \frac{2.5(\rho_{nir} - \rho_{red})}{\rho_{nir} + C_1 \cdot \rho_{red} - C_2 \cdot \rho_{blue} + L}$$

式中, ρ_{nir} 为近红外光波段反射率; ρ_{red} 为红光波段反射率; ρ_{blue} 为蓝光波段反射率; C_1 和 C_2 为大气调节

参数, L 为土壤调节参数,主要通过蓝波段来调节大气对红波段的影响。在分析中利用各月份内的EVI数据进行最大值合成法处理,形成月最大植被指数数据用于分类研究。

1.2.2 草地样区的选择 在借鉴第一次草地调查分类方案的基础上^[12],本研究将全国草地划分为9类,对第一次草地调查中面积较小和种群类型比较接近的草地类型进行了合并。例如,高寒草原、高寒草甸草原、高寒荒漠草原合并为高寒草原(表1)。

为获取不同草地类型的时相特征,根据相关草地分布资料和1:100万中国草地资源分布图^[12]中不同草地类型的分布规律,均匀设置不同草地类型的样本点,每类设置20~30个样本点。由于面向大尺度研究范围,为避免植被指数异常值的出现,对草地样本点进行缓冲区分析处理,通过设置不同范围缓冲区试验,发现10 km的缓冲区形成的草地样区更能够准确获取和体现大尺度区域上草地类型的EVI植被指数特征。因此,设定10 km的缓冲区形成草地样区并统计样区内EVI均值,形成不同草地类型的月度EVI植被指数变化曲线图,量化分析各草地类型的植被指数变化特征和差异特征。

1.2.3 数字高程模型数据的处理和应用 我国部分地区的草地类型分布具有一定的垂直地带性规律,可以采用高程特征作为草地分类的依据。

表 1 全国草地类型概况统计及与全国第一次调草地分类系统对比

草地类型	主要草地资源分布区	与全国第一次草地调查分类方案对应的草地类
温性草甸草原	北部温带半湿润、半干旱草甸、草原和荒漠区	温性草甸草原
温性草原	北部温带半湿润、半干旱草甸、草原和荒漠区	温性草原
温性荒漠草原	北部温带半湿润、半干旱草甸、草原和荒漠区	温性荒漠草原
山地草甸	全国各山地区域均有分布	山地草甸
高寒草甸草原	青藏高原高寒草甸和高寒草原区	高寒草甸
高寒草原	青藏高原高寒草甸和高寒草原区	高寒草原、高寒草甸草原、高寒荒漠草原
高寒荒漠草原	青藏高原高寒草甸和高寒草原区	高寒荒漠草原
暖性草丛和灌草丛	华北暖温带半湿润半干旱暖性灌草丛区	暖性草丛、暖性灌草丛
热性草丛和灌草丛	南部亚热带、热带湿润热性灌草丛区	热性草丛、热性灌草丛、干热稀树灌草丛

采用最邻近方法对全国数字高程模型数据进行重采样处理,获得 250 m 空间分辨率的数字高程模型数据。参考相关资料,分析不同草地类型分布区的海拔高度,将高程特征作为建立草地类型信息提取规则的主要依据之一。

1.2.4 积温和降水空间分布数据的处理和应用 随着水热环境的不同,占优势地位的草地类型不同,因此温度和降水是影响草地生长和分布的重要因素。当日平均温度在 10 °C 以上,寒带日平均温度在 0 °C 以上时,草地能够活跃生长。采用 1971—2005 年全国气象站点的温度和降水数据,通过计算每 8 d 的均值并进行空间插值得到大于 0 °C 和大于 10 °C 年均积温和降水数据,选择最邻近重采样方法进行处理,形成 250 m 空间分辨率数据。通过量化不同草地类型的积温和降水特征,用作提取草地类型信息的主要依据。

1.2.5 湿润度指标的计算和应用 湿润度指标在一定的限度内可以体现区域水热条件,是影响草地覆盖的重要条件。湿润度指标主要采用年均降水量和大于 0 °C 积温空间分布数据建立模型,作为划分草地类型的指标,模型可表述为:

$$K = \frac{r}{0.1 \sum \theta}$$

式中, r 为全年降水量; $\sum \theta$ 为全年大于 0 °C 的积温。

对湿润度空间分布数据进行最近邻重采样,结合我国草原分类的湿润度级及其相应的自然景观资料,量化不同草地类型湿润度特征,作为建立草地类型信息的提取规则和依据之一。

2 草地类型植被指数和环境因子量化特征分析

2.1 草地类型 EVI 植被指数特征分析 图 2 反映了不同草地类型的全年 EVI 变化特征,每条曲

线体现单个草地类型样区内全年 EVI 的均值变化状况。通过对各月份草地样区植被指数均值范围进行统计,得到各草地类型在不同月份 EVI 变化范围。图中用方框表示建立提取规则所用的各月份 EVI 主要范围。

分析草地类型的 EVI 特征是草地分类的基础依据。不同草地资源分布区具有不同优势草地类型,其中在北部温带半湿润、半干旱草甸、草原和荒漠区中主要分布的是山地草甸、温性草甸草原、温性草原和温性荒漠草原。在山地草甸月度 EVI 变化曲线图上,7 月 EVI 范围为 0.400~0.683(图 2a),而在温性草原和温性荒漠草原月度 EVI 变化曲线图上,7 月 EVI 范围分别为 0.121~0.399 和 0.079 8~0.339(图 2c 和图 2d)。温性草原和温性荒漠草原植被指数范围小于山地草甸,可以采用 7 月 EVI 明显区分。而温性草甸草原 7 月 EVI 主要范围为 0.291~0.657,同其他 3 类草地类型同月 EVI 范围略有重叠,可以结合环境因子的特征进行区分。

在华北暖温带半湿润半干旱暖性灌草丛区主要分布的是暖性草丛和灌草丛、山地草甸和部分温性草甸草原、温性草原。在暖性草丛和灌草丛月度 EVI 变化曲线图上分析,7 月 EVI 主要范围为 0.405~0.603,并且根据山地草甸和温性草原 7 月 EVI 范围分别为 0.400~0.683 和 0.121~0.399,可以采用 7 月 EVI 范围来区分温性草原同暖性草丛和灌草丛、山地草甸。温性草甸草原 7 月 EVI 范围为 0.291~0.657,也同区域内其他草地类型同月 EVI 范围略有重叠,结合环境因子进行区分。

在南部亚热带、热带湿润热性灌草丛区主要分布热性草丛、灌草丛和部分暖性草丛、灌草丛、山地草甸。在植被指数变化曲线图上分析,热性草丛和

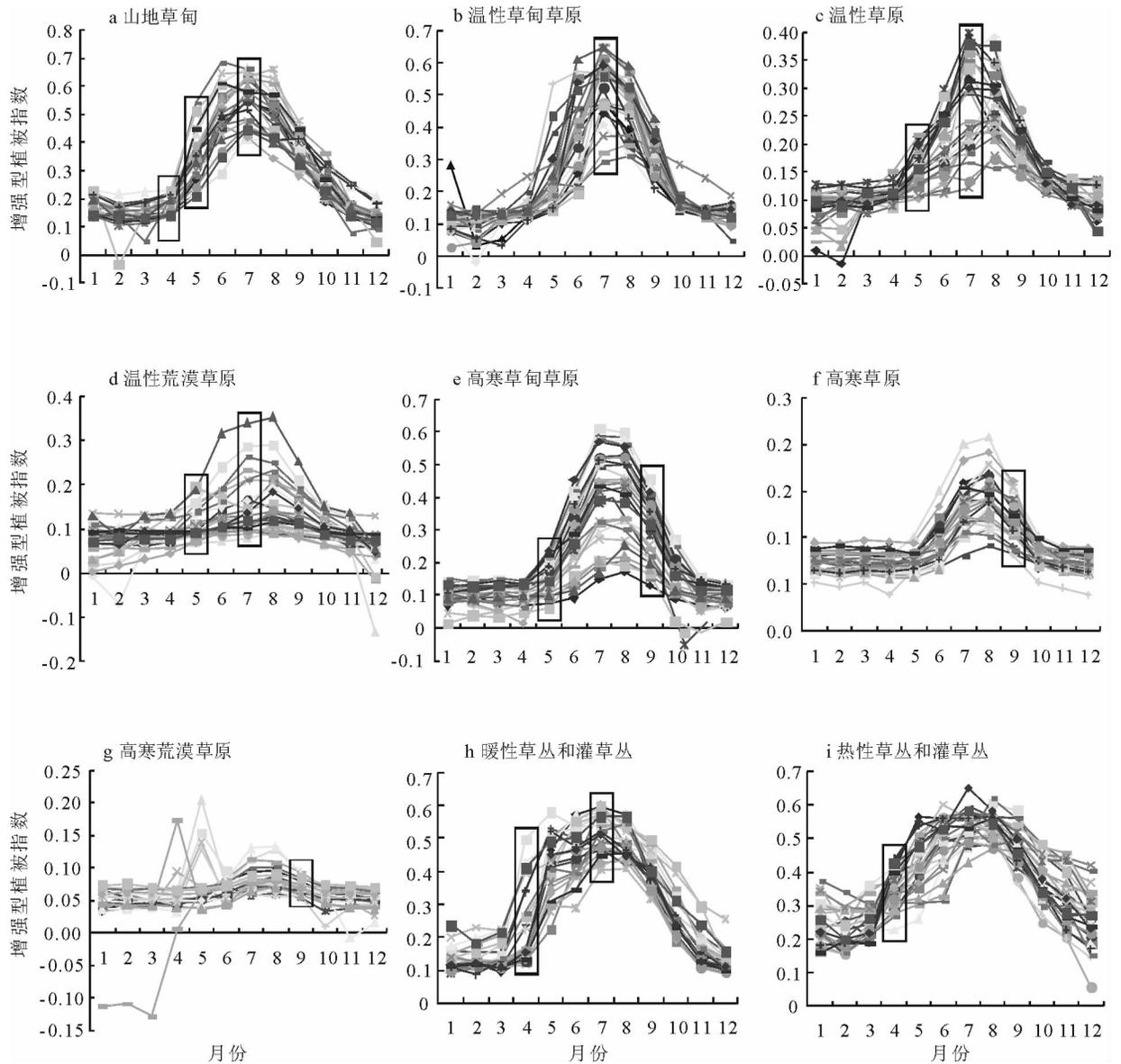


图2 不同草地类型月度增强型植被指数变化曲线图

灌草丛4月EVI范围为大于0.228,暖性草丛、灌草丛和山地草甸的4月EVI范围分别为0.117~0.497和小于0.227。3类草地类型4月EVI范围略有重叠,但具有一定的跨度特征,因此采用EVI和环境因子特征结合方式,建立草地提取规则。

青藏高原高寒草甸和高寒草原区主要分布的是高寒草甸草原、高寒草原和高寒荒漠草原以及部分山地草甸、温性荒漠草原和温性草原。在植被指数月度变化曲线图上反映,山地草甸5月EVI主要范围为0.210~0.675,高寒草甸草原为0.060~0.242,温性草原为0.102~0.216,其他草地类型5月EVI范围都在0.200以下。5月EVI特征可以

作为区分山地草甸和其他草地类型的依据之一。对于这个区域内其他草地类型来说,温性草原、温性荒漠草原的高程、积温同高寒草甸草原、高寒草原和高寒荒漠草原不同,可以利用环境因子特征来进行区分。在植被指数月度变化曲线图上分析,高寒草甸草原9月EVI范围为0.160~0.460,高寒草原为0.080~0.160,高寒荒漠草原为0.054~0.108,可以采用9月EVI特征来区分高寒草甸草原和高寒草原、高寒荒漠草原,高寒草原和高寒荒漠草原则采用环境因子特征来区分。

2.2 草地类型环境因子特征分析 不同草地类型的生长发育同其所在环境的地形、水热条件具有

密切联系。为有效地反映各草地类型生长过程的特征差异,参与分类研究,将与草地类型生长有关的环境因子定量化表现出来,作为建立草地类型信息提取规则的重要依据。

在自然条件因素中,地形是决定植被垂直分布的主导因子。根据地形不同可以了解草地类型分布的部分规律。我国的地形特征呈阶梯状递变规律,西部高东南低,形成了以青藏高原为平均海拔最高地区,向东部逐渐下降的阶梯状的斜面^[13]。其中青藏高原高寒草甸和高寒草原区是我国平均海拔最高的地区。在这部分区域内分布着高寒草甸草原、高寒草原、高寒荒漠草原和部分山地草甸等适宜生长在寒冷干燥地区的草地类型。草地主要分布区域高程范围基本在 2 300~5 300 m。其次为大兴安岭、太行山等一线以西^[13],覆盖其他 3 类草地资源分区的区域,平均海拔较高构成我国地势的第 2 阶梯。区域内包含着众多高原、山地,地貌比较复杂^[13]。草地分布的高程范围基本在 1 000~3 000 m^[13],主要有温性草甸草原、温性草原、温性荒漠草原、山地草甸和部分暖性草丛和灌草丛、热性草丛和灌草丛等草地类型。大兴安岭、太行山一线以东地区是地势最低的区域,平均海拔基本在 1 000 m 以下^[13],主要分布着山地草甸、温性草甸草原、暖性草丛和灌草丛和热性草丛和灌草丛等草地类型。

水热环境也是草地类型形成的关键因素,因此分析积温、降水和湿润度的变化也是进行草地分类研究的重点。我国降水分布具有明显的递变规律,在北部温带半湿润、半干旱草甸、草原和荒漠区内沿东北向西南一线具有数条年均等雨线,由东北向西南具有经度地带性的特征^[13],草地分布同等雨线的变化状况相符。不同的等雨线范围内分布着不同的草地类型,其中 350~500 mm 为温性草甸草原,250~400 mm 为温性草原,150~300 mm 为温性荒漠草原^[13]。在青藏高原高寒草甸和高寒草原区也由东南向西北水分递减,草地分布也随着降水变化呈现高寒草甸草原、高寒草原和高寒荒漠草原趋势递变,其中高寒草原和高寒荒漠草原的年均降水量分别为 200~450 mm^[11]和 100~200 mm^[13]。而暖性草丛、灌草丛和热性草丛、灌草丛是由森林在遭到人为和自然的破坏之后逐渐形成的草地类型^[13],主要生长在高温湿热的地区,年均降水量都比较高,其中暖性草丛和灌草丛的年均降水量通常为 540~

800 mm^[13],热性草丛和灌草丛的年均降水量则在 700 mm 以上^[13]。山地草甸在各大山脉的不同地带均有分布,年均降水量一般为 400~700 mm^[13]。

积温和降水变化规律相似,其中北部温带半湿润、半干旱草甸、草原和荒漠区沿东北向西南大于 10 °C 积温逐渐变大,草地类型的分布同积温的变化具有密切地影响,其中温性草甸草原大于 10 °C 积温范围主要为 1 800~2 000 °C^[13],温性草原为 1 700~3 500 °C^[13],而温性荒漠草原所处的荒漠区温度比较高,大于 10 °C 积温范围基本为 2 200~3 000 °C^[13]。在青藏高原高寒草甸和高寒草原区平均温度比较低,高寒草原大于 0 °C 积温范围基本为 800~1 000 °C^[13],高寒荒漠草原大于 0 °C 积温基本大于 1 000 °C^[13]。暖性草丛、灌草丛和热性草丛、灌草丛由于生长在暖温带和热带平均温度比较高,因此大于 10 °C 积温范围分别为 3 400~4 500 °C^[13]和大于 4 500 °C^[13]。在北部温带半湿润、半干旱草甸、草原和荒漠区随着水热状况的变化,湿润度递变规律同积温和降水相同,由东北向西南降低,草地分布与之有密切的关系,由此草地类型湿润度特征主要是山地草甸最高,主要范围大于 2.0;温性草甸草原为 1.2~2.0;温性草原 0.6~1.5;温性荒漠草原基本为 0.3~0.6。

2.3 建立各草地资源分区内草地类型的提取规则 综合上述分析,对不同草地分区的主要草地类型在 EVI 和高程、降水、积温和湿润度等环境因子的特征以及不同草地类型之间的相互差异进行量化分析,建立不同草地分区内草地类型的提取规则,见图 3。

3 草地分类结果

根据各草地资源分区内主要草地类型提取规则建立分类知识库,在 ERDAS 软件中采用专家分类器的方法进行草地分类方法的实现。通过研究不同草地类型的各月 EVI 特征与高程、积温、降水和湿润度等环境因子特征,建立各草地资源分区内草地类型的提取规则。采用基于知识的草地分类方法,对各草地资源分区进行草地分类,并形成全国草地分类图。

图 4 为本次草地分类的结果,体现我国草地的基本分布状况。其中北部的温带半湿润、半干旱草甸、草原和荒漠区草地类型是根据湿润度由东向西逐渐减小的递变规律而变化,主要是呈现山地草甸、温性草甸草原、温性草原和温性荒漠草原的递变规

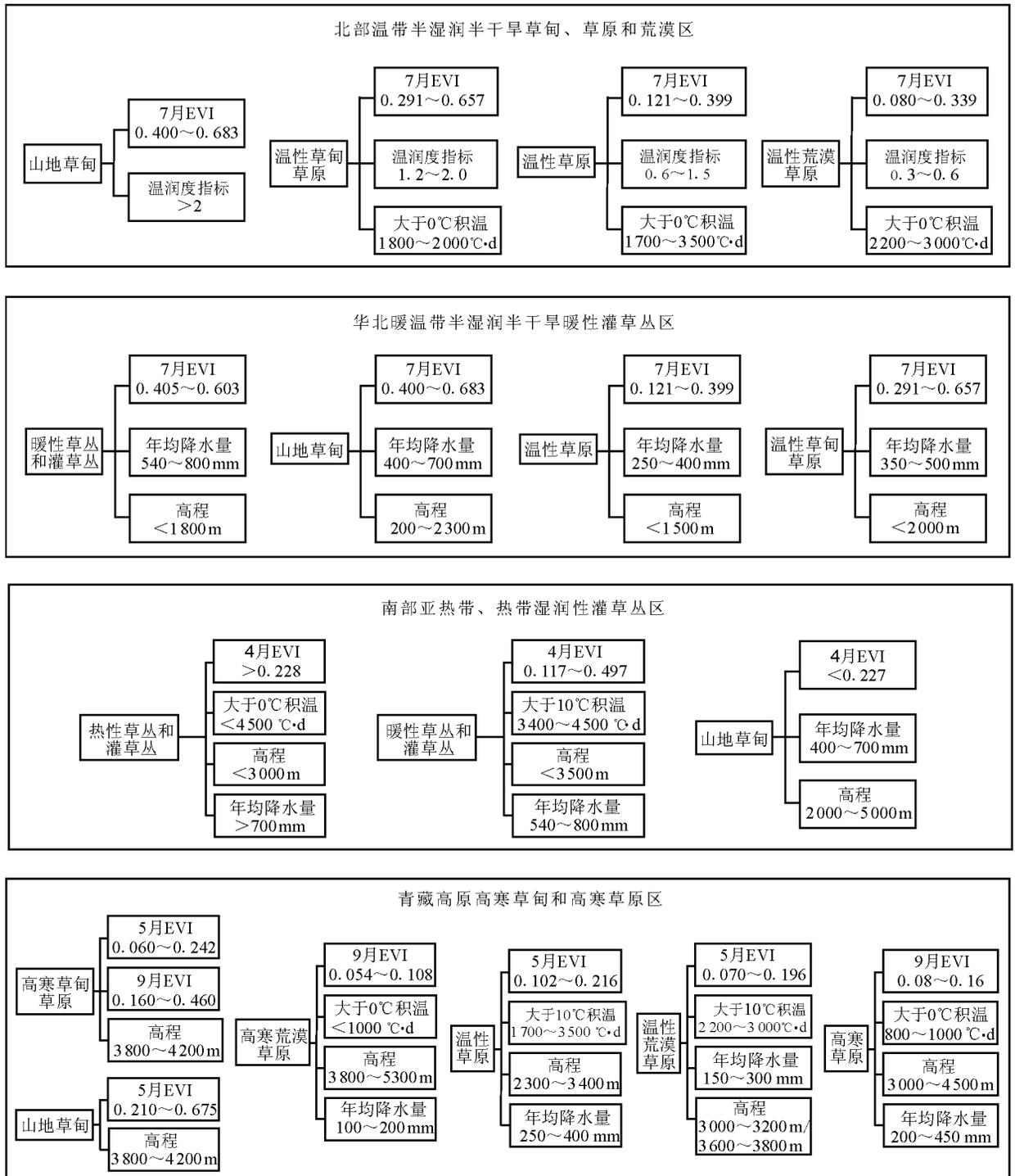


图3 不同草地资源分区内的草地类型信息提取规则

律。西南的青藏高原高寒草甸和高寒草原区也随着水热环境和积温的变化由东南向西北呈现山地草甸、高寒草甸草原、高寒草原和高寒荒漠草原的变化规律。而在华北地区是暖性草丛和灌草丛的主要分布区域,华南地区主要分布着热性草丛和灌草丛。

4 草地分类方法的精度验证

以1:100万中国草地资源类型图为相对真值,随机对不同草地类型选取采样点,采用分类混淆矩阵进行精度验证,结果表明,各草地类型分类的总精度为96.19%,Kappa系数为0.9294,分类效果较好。

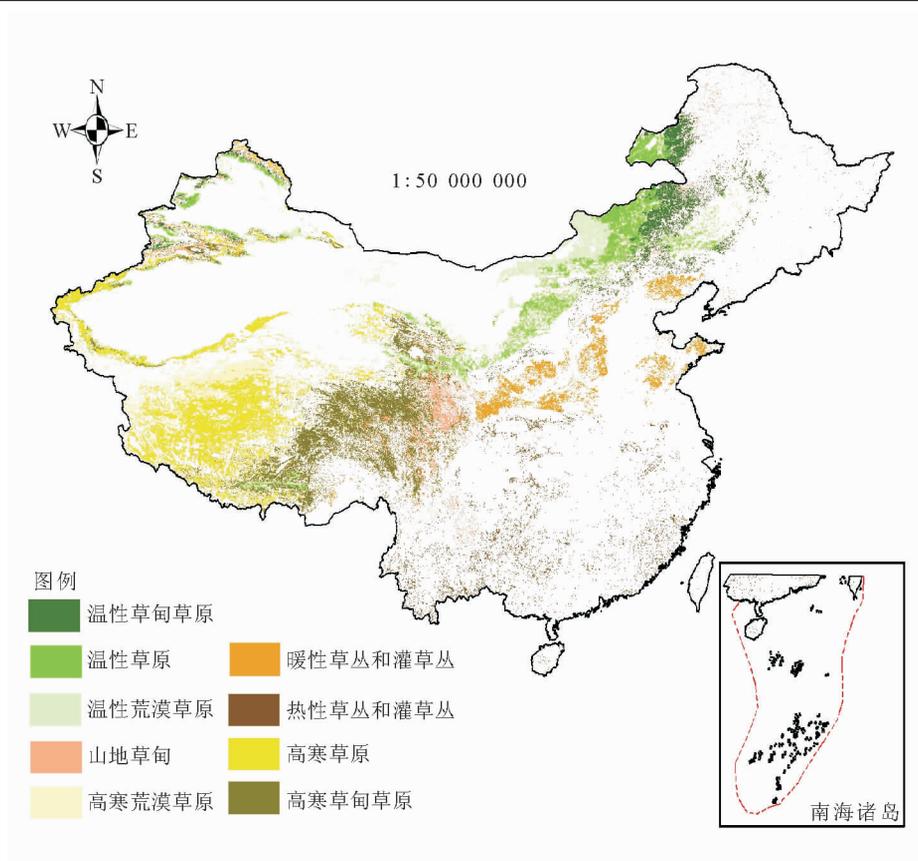


图4 全国草地分类图

表2 草地精度评价统计

草地类型	参考点数	分类点数	正确点数	生成精度(%)	用户精度(%)
山地草甸	61	58	53	86.88	91.38
温性草甸草原	59	70	55	93.22	78.57
温性草原	115	104	98	85.22	94.23
温性荒漠草原	59	55	54	91.53	98.18
高寒草甸草原	134	127	123	91.79	96.85
高寒草原	119	122	110	92.44	90.46
高寒荒漠草原	53	55	49	92.45	89.09
暖性草丛和灌草丛	265	268	258	97.36	96.27
热性草丛和灌草丛	159	165	158	99.37	95.76
总和	1 024	1 024	985		

注:总体精度为 96.19%; Kappa 系数 0.929 4。

5 小结

1)开展了面向大尺度区域的草地分类方法研究,初步获得了全国草地资源分类图(2005年),体现了我国草地的分布状况和基本特点,为应用遥感方法进行大尺度大范围的草地信息提取和动态监测提供了工作基础。

2)由于面向全国大尺度的研究区域,为了突出

分类重点,使其更具针对性,本研究利用我国的主要气候带分布规律,结合我国草地资源分布特点,划分4个草地资源分布区域,基本覆盖了全国草地资源的生长地带。在不同的分区内具有不同的优势草地类型,因此基于中低分辨率的MODIS遥感影像,采用遥感和非遥感资料结合的方式,分析各草地分区内草地类型的EVI植被指数特征和量化高程、积

温、降水和湿润度等环境因子的特征,建立不同草地类型的提取规则,利用基于知识的专家分类器进行草地分类,初步证明其精度可以得到保证。

开展分类精度的详细检验,可进一步提高草地分类精度,并对非地带性的隐性草地植被(如低地草甸)的提取开展研究。

致谢:感谢中国科学院地理科学与资源研究所为本研究提供遥感数据、气象数据、中国气候区划图和中国1:100万草地资源分布图,以及樊江文老师对本研究提供的相关指导和帮助。感谢审稿专家对本文提出了中肯而详细的意见和建议,为本文的进一步完善提供帮助。

参考文献

- [1] 赵冰茹,马龙.基于MODIS EVI的内蒙古草地多源信息综合分类研究[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2007,33(3):342-347.
- [2] 刘金祥.TM影像应用于草地资源类型调查与制图研究[J].四川草原,1995(1):4-10.
- [3] 王正兴,刘闯,赵冰茹.AVHRR草地分类的潜力和局限:以锡林郭勒草原为例[J].自然资源学报,2003,18(6):704-711.

- [4] 赵连春,刘荣堂,杨予海,等.基于地形因子的草地遥感分类方法的研究[J].草业科学,2006,23(12):26-30.
- [5] 师庆东,吕光辉,潘晓玲,等.遥感影像中分区分类法及在新疆北部植被分类中的应用[J].干旱区地理,2003,26(3):264-268.
- [6] 米兆荣,张耀生,赵新全,等.NDVI和EVI在高寒草地牧草鲜质量估算和植被动态监测中的比较[J].草业科学,2010,27(3):13-19.
- [7] 普宗朝,张山清.气候变化对新疆天山山区自然植被净第一性生产力的影响[J].草业科学,2009,26(2):11-18.
- [8] 刘艳,李杨,崔彩霞,等.MODIS MOD13Q1数据在北疆荒漠化监测中的应用评价[J].草业学报,2010,19(3):14-21.
- [9] 李红梅,马玉寿.改进的综合顺序分类法在青海草地分类中的应用[J].草业学报,2009,18(2):76-82.
- [10] 任美镔.中国自然地理纲要[M].修订第3版.北京:商务印书馆,1992.
- [11] 中国科学院自然区划工作委员会.中国综合自然区划(初稿)[M].北京:科学出版社,1959.
- [12] 中国草地资源图制编委会.中国1:100万草地资源分布图[M].北京:中国地图出版社,1992.
- [13] 廖国藩,贾幼陵.中国草地资源[M].北京:中国科学技术出版社,1996.

An integrated classification of grassland in large-scale based on MODIS EVI and multi-source data

WANG Xiao-shuang, HU Zhuo-wei, ZHAO Wen-ji, LIU Hong-qi

(Key Laboratory of Resources Environment and GIS of Beijing Municipal;

Urban Environmental Process and Digital Modeling Laboratory; College of

Resources Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: The main grassland types in China were classified by using the integrating method with MODIS EVI and multi-source data of environmental factors in this study. Based on the classification system of the first national grassland survey, this study established a new grassland classification system, in which the natural grassland types in China were classified into 9 types. The distribution areas of grassland in China were divided into four grassland regions by climatic distribution zones, and the grassland types were identified for each grassland region. The extracting rules of grassland types was proposed by quantified characteristics of each grassland via EVI, DEM, precipitation, accumulated temperature, and moisture index data. The grassland types in each grassland region were classified by the extracting rules, and then the grassland classification system for China was constructed by merging each grassland region. The precision of classification was tested by confusion matrix and was 96.19%. The grassland classification showed the actual distribution of the main grassland types in China.

Key words: EVI; grassland information; rule of information extraction; large-scale grassland classification