冯天计，张继权，马齐云. 基于 GIS 的北方草原干旱识别可视化系统研究[J]. 灾害学，2017，32(4)：202 - 207. [FENG Tianji，ZHANG Jiquan and MA Qiyun. GIS-based Visualization System for Grassland Drought Identification in Northern China[J]. Journal of Catastrophology，2017，32(4)：202 - 207. doi：10.3969/j.issn.1000 - 811X.2017.04.034.]

基于 GIS 的北方草原干旱识别可视化系统研究*

冯天计，张继权，马齐云

（东北师范大学 环境学院 东北师范大学自然灾害研究所，吉林 长春 130024）

摘 要：利用计算机技术及可视化技术构建草原干旱识别可视化系统，在草原地区抗旱减灾工作中具有重要的作用。应用标准化降水蒸散指数(SPEI)对草原干旱进行识别，采用 Visual Studio 2010 和 ArcGIS Engine 10.2 结合 C#语言和 GIS 技术，研发出草原干旱识别可视化系统。以松嫩草原为实证研究区，系统实现了 GIS 浏览与灾情管理、草原干旱识别空间化和干旱识别结果可视化等功能。该系统的构建可为草原地区干旱灾害监测提供技术支持，为区域干旱灾害管理提供科学参考。

关键词：草原干旱；干旱识别；SPEI 指数；可视化系统

中图分类号：X43；S540.1；S812.1；P334　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000 - 811X(2017)04 - 0202 - 06

doi：10.3969/j.issn.1000 - 811X.2017.04.034

干旱几乎遍布世界各地，频繁地发生于各个历史时期。全球每年因干旱造成的经济损失高达 60 ~ 80 亿美元，远远超过了其它气象灾害。草原干旱灾害是最严重的草原自然灾害之一，其频繁发生不仅造成草原地区牧草生产力的减少，也会对区域畜牧业经济的可持续发展造成严重的影响[1-2]。中国作为世界上草原资源最丰富的国家之一，草原总面积将近 4 亿 hm^2，占全国土地总面积的 40%，主要分布在内蒙古地区、东北西部、西北荒漠地区和青藏高原等干旱半干旱区域。近年来，全球气候变暖的影响与人类活动强度的增加，我国草原干旱灾害问题日趋严重，表现在干旱灾害影响范围逐步扩大、干旱强度逐渐增加、干旱持续时间呈现增长的趋势，因干旱造成的畜牧业等损失也呈现波动增长的趋势，直接威胁着我国的粮食安全和生态安全[3-4]。

草原干旱灾害成因复杂，受自然因素与人为因素的综合影响。目前，研究学者们通常采用干旱指标来表征区域干旱强度，常见的气候指标主要有降水距平百分率指数(Pa)、标准差指标、正负距平指标、BMDI 指标、PDSI 指数、Z 指数、标准化降雨指标(SPI)[5-6]。李春兰等[7]以锡林郭勒盟草原为研究区域，利用 SPI 和 Pa 两种干旱指数，对比分析了区域草原干旱灾害致灾因子危险性，并对干旱灾害危险性进行区划研究；张巧凤等[8]以锡林郭勒盟草原为研究区域利用 SPI 指数，对区域 1960 - 2013 年干旱时空演变特征进行分析；庄晓翠等[9]以新疆阿勒泰地区为研究区域，采用 R、Z、K 三种干旱指标对区域干旱情况进行监测，结果表明只有考虑了蒸散作用的 K 指标能较为客观的反应实际干旱情况，其他两种指标反应的干旱程度较轻。标准化降水蒸散指数(SPEI，standardize precipitation evapotranspiration index)是在标准化降水指数 SPI 的基础加入潜在蒸散构建的，具有多时空尺度的优点[10]。该指数在我国各地均有很好的适用性，如王林等[11]利用 *SPI*、*PDSI* 与 *SPEI* 三种干旱指标对历史干旱事件进行模拟并进行了拟合度检验，全面分析了 SPEI 指数在中国区域内的适用性；张耀宗等[12]利用 SPEI 指数表征区域干旱强度，对宁夏地区 1960 - 2012 年干旱时空演变格局及其影响因素进行了分析。

随着信息技术的发展，为实现干旱灾害的动态监测与及时预警，计算机技术及科学可视化技术在干旱灾害系统管理中的重要性日益凸显。但

* 收稿日期：2017 - 03 - 08　　修回日期：2017 - 05 - 08
基金项目："十二五"国家科技支撑计划课题(2013BAK05B02，2013BAK05B01)
第一作者简介：冯天计(1993 -)，男，汉族，吉林长春人，硕士研究生，主要从事生态安全评价与自然灾害预警等方面研究. E-mail：fengtj449@nenu.edu.cn
通讯作者：张继权(1965 -)，男，教授，博士生导师，主要从事区域灾害与生态环境风险评价、预警与应急管理研究. E-mail：zhangjq022@nenu.edu.cn

当前有关干旱系统的研究，较多针对传统种植业作为研究对象，如李卫宁等[13]以干旱监测和评估为核心开发了基于 GIS 的农业干旱监测与评估系统；王潇宇等[14]利用山东省潍坊市 1971 – 2009 年的气象资料和干旱历史灾情数据等建立了干旱灾害评估模型，并开发了基于 GIS 的干旱评估系统；杨恒喜等[15]针对云南干旱，基于 3S 技术从旱灾数据库简历、监测预测、损失评估与防灾救灾措施等方面搭建了平台框架。在草原干旱灾害系统研发方面，研究较多集中在草原干旱灾害监测和系统概念框架构建方面，如卓义[16]利用降水在时间序列上的 GAMMA 分布概率函数为模型，基于遥感和 GIS 技术利用 SPI 指数对内蒙古东部草原的干旱灾害进行了监测和评估；马齐云等[17]构建了草原干旱灾害灾情综合数据库及指标体系，在此基础上提出了草原干旱灾害损失快速评估系统的概念框架。但是，当前研究缺少草原干旱灾害监测预警系统研发的研究，且主要集中在系统概念框架的探讨方面。

松嫩草原分布于吉林与黑龙江两省西部，是东北平原的主要组成部分，地处大陆性天气与海洋季风的交错地带，属于半干旱半湿润地区。当前受气候变化与人类活动的影响，区域生态环境逐渐退化，尤其是频繁发生的草原干旱灾害，严重制约着区域农牧业经济的可持续发展[18]。基于此，本研究以 GIS 技术为基础，采用 ORACLE 11g 数据库技术，利用 Visual Studio 2010 和 ArcGIS Engine 10.2 平台，建立北方草原干旱识别可视化系统，并以松嫩草原为例进行实证研究，以期为区域草原实时的干旱监测与预警提供技术支持与科学的参考依据。

1　草原干旱识别指标简介

标准化降水蒸散指数(SPEI)是 Vicente-Serrano 等人[10]在 2010 年提出的，是在 SPI 指数基础上引入了潜在蒸散项，是对降水量与潜在蒸散量差值序列的累积概率值进行正态标准化后的指数。本研究选取 SPEI 指数对草原干旱进行识别，该指数不仅考虑了降水对干旱的影响，同时对环境在不同温度下的水分蒸散及其累积进行了计算，从而更精确的反映出气候对干旱的作用与制约关系[19]。综上，SPEI 指数适合对北方草原地区近年由于降水减少、温度升高导致的草原干旱进行分析和表征。

该指数主要计算过程有如下五个步骤：

(1)计算潜在蒸散发(PET)，即在供水充分的条件下地表蒸散发的能力，运用 Thornthwaite 模型求得。

(2)计算水分亏缺，即月降水量和月潜在蒸散量之差，公式为：

$$D_i = P_i - PET_i 。 \tag{1}$$

式中：D_i 为水分亏缺，P_i 为月降水量，PET_i 为月潜在蒸发量，单位均为 mm。

(3)建立不同时间尺度的水分盈亏累积序列：

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-1} - PET_{n-i}), n \geqslant \mathrm{k} 。 \tag{2}$$

式中：n 为计算次数，k 为时间尺度(月)。

(4)将(3)式中所建立的序列用三参数逻辑回归概率密度函数进行拟合：

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}\left[1+\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)\right]^{-2} 。 \tag{3}$$

式中：$f(x)$ 为概率密度函数，α，β 和 γ 分别为尺度参数、形状参数和 origin 参数，通过线性矩阵法估算累计概率函数，公式为：

$$F(x) = \left[1+\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-1} 。 \tag{4}$$

(5)对累积概率进行正态分布转换，得到 $SPEI$ 值：

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} 。 \tag{5}$$

式中：$W = \sqrt{-2\ln(P)}$；当 $P \leqslant 0.5$ 时，$P = 1 - F(x)$；当 $P \geqslant 0.5$ 时，$P = 1 - P$，$SPEI$ 符号取逆。常数 $C_0 = 2.515517$，$C_1 = 0.802853$，$C_2 = 0.010328$，$d_1 = 1.432788$，$d_2 = 0.189269$，$d_3 = 0.001308$。

根据前人研究对区域草原干旱程度进行划分[19]，划分标准如表 1 所示。

2　系统框架与数据库设计

2.1　系统总体框架结构

本系统面向草原地区防旱抗旱需求，基于 Windows 8.1 操作系统开发，采用 ORACLE 11g 数据库开发技术，开发环境为 Visual Studio 2010 和 ArcGIS Engine 10.2，利用 C#语言进行 GIS 二次开

表 1　SPEI 指数与干旱等级划分

干旱级别	无旱	轻旱	中旱	重旱	特旱
SPEI	−0.5 ~ 0.5	−1.0 ~ −0.5	−1.5 ~ −1.0	−2.0 ~ −1.5	≤ −2.0

发与集成，以松嫩草原为研究区域，以 *SPEI* 指数对区域草原干旱程度进行识别，遵循易用性、直观性、有效性和安全性等为基本原则，构建出草原干旱识别可视化系统，设计系统功能主要有：GIS 浏览与灾情管理子系统、草原干旱识别空间化子系统和干旱识别结果可视化子系统，各个子系统编写时相对独立，运行时相互联系。系统总体框架如图 1 所示，根据模型驱动决策支持系统概念，系统主要分为三个层次：最底端是基础数据层，中间是业务模型层，上端是用户交互界面层。

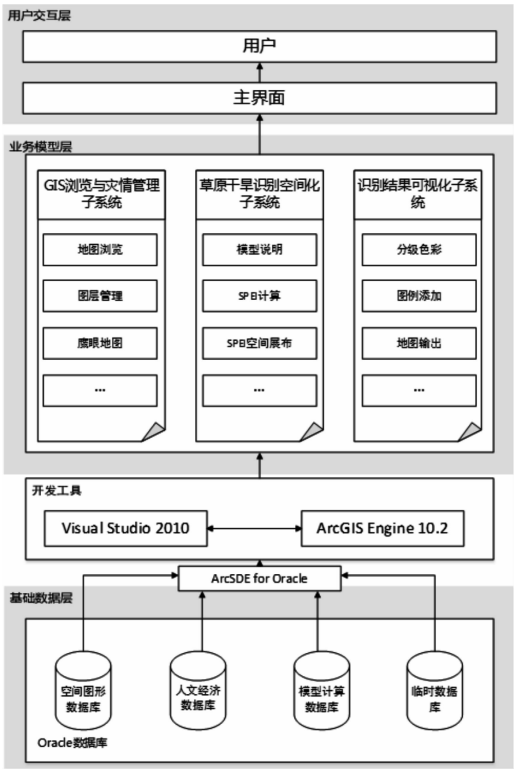


图 1 系统总体框架图

该系统的主要优点为：相关地理信息数据与模型计算所需数据均储存在相对应的数据库中，通过 ArcSDE for Oracle(Spatial Database Engine，空间数据库引擎)对所需的数据进行读取、写入和管理；采用 C/S 架构，即客户机/服务器架构，用户可以实现的数据添加、数据处理、模型计算、结果输出、系统维护等功能；MapObject 通过 ArcSDE 组件链接各数据库，可直接读取数据库中数据，并可将计算结果直接写入数据库；系统的结构相对简单稳定，使用维护方便易行。

2.2 数据库设计

草原干旱识别可视化系统基于历史灾情数据、历史气象数据、区域基础地理数据与实时监测气象数据，构建区域草原干旱灾害综合信息数据库，主要包括：空间图形数据库、人文经济数据库、模型计算数据库及临时数据库。考虑到系统运行时有大量数据要读取和写入，为了保障系统的稳定性和性能，运用 ArcSDE for Oracle 组件连接系统与数据库。ArcSDE 主要由 ArcSDE 服务器管理进程、专用服务器进程和 ArcSDE 客户端组成。其中，ArcSDE 服务器管理进程用于监听客户端的连接请求，专用服务器进程用于建立客户端与数据库的连接，而 ArcSDE 客户端用以实现客户端对数据库的各种操作[20]。

值得注意的是，ArcSDE 有应用服务器连接和直接连接两种方式，本系统采用直接连接方式连接数据库，运用 IPropertySet 接口加载 SDE 数据库。其优点在于该连接方式可以在客户端完成对数据的空间分析、编辑等操作，再把结果返回给数据库，减少了数据库的读取，提高了系统的性能与稳定性。

通过研究其他相似系统和基于实际使用的需求，本系统所建立的 4 个数据库主要功能介绍如下：

(1)空间图形数据库。主要用于储存研究区遥感图像和栅格图像等，不同时间尺度的草原降水图，处理后的草原干旱风险图等均储存在此数据库中。

(2)人文经济数据库。主要用于储存历史灾情信息、环境数据、研究区经济数据、抗灾物资数据、人文数据等等。

(3)干旱识别空间化数据库。用于储存 SPEI 指数计算中需要用到的数据，以及计算后的结果。

(4)临时数据库。用于储存在系统运行中的临时数据包括计算时的中间数据、专题图出图时临时数据等。

3 系统功能与实现

3.1 GIS 浏览与灾情管理子系统

GIS 浏览与灾情管理子系统的主要功能是方便整个研究区的地理信息与灾情信息的添加、查询、显示等。不仅可以图文互动的直观的显示研究区行政区划、相关基础地理属性、观测站站点位置等，还可方便用户查询历史灾情信息、对历史灾情进行可视化显示等功能，是构成草原干旱灾害识别系统可视化界面的主要部分。该子系统主要由文件操作模块、地图浏览模块和灾情管理模块组成。

文件操作模块分为两部分，一部分负责对系统所需要的地图文件进行打开(.lyr，.shp，及 .tif 文件)、修改、保存、另存、输出等操作；另一部分主要负责与图层相关的操作，用于管理图层文件与数据文件，由添加图层、移除图层、显示属性表、图层可选与不可选等功能组成。该模块实现了该子系统最基本的功能。

地图浏览模块主要完成地图显示、地图漫游、

地图缩放(包括拉框缩放、滚轮缩放和按键缩放等三种缩放方式)、鹰眼地图、全图显示、地图要素选择等功能，是系统可视化的核心，由主地图和鹰眼地图两部分组成。鹰眼地图和主地图联动并实时同步，鹰眼地图主要用于标示主地图当前显示的区域与整个研究区的位置关系，在鹰眼地图上进行拖动点选等操作，主地图也会同步更新显示区域，可在放大倍数较大时快速选择所需研究区域。界面如图 2 所示。此外，本系统的识别结果可视化子系统也借助该模块对干旱识别的结果进行显示。

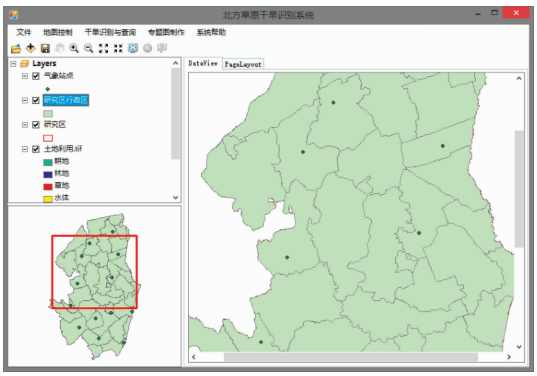


图 2　鹰眼地图模块与主地图界面

灾情管理模块主要用于显示研究区范围内的历史灾情，可按时间、地点等属性查询历史灾情。同时，该子系统与识别结果可视化系统数据库相联系，计算后生成的识别结果储存在该数据库中。该模块主要有区域历史干旱信息查询、各行政区干旱信息查询和模糊查询等功能组成。历史干旱数据查询用于查询整个研究区不同时期下的干旱数据；各行政区干旱信息查询用于查询确定区域的历年干旱数据；模糊查询运用 IQueryFliter 接口中的 WhereClause 方法定义属性查询条件，对有数据库操作基础的用户提供了方便快速的查询方法，不仅可以查询不同时空的干旱信息，还可以对特定的 SPEI 值对应的不同干旱程度区域直接进行搜索。根据属性信息查询模块如图 3 所示。



图 3　模糊查询模块

3.2　草原干旱识别空间化子系统

草原干旱识别空间化子系统是整个北方草原干旱识别系统的核心部分，用于实现 *SPEI* 指数计算及其空间展布功能。整体运行流程是运用各个观测站点的历年逐月降水数据与月平均温度数据计算得到各观测站所在点的 *SPEI* 指数，然后利用空间插值技术对其他像元干旱情况进行插值，实现干旱识别尺度从各个观测站到整个区域的转换。

3.2.1　*SPEI* 指数计算

本系统基于 *SPEI* 指数对草原干旱进行识别，系统采用动态链接库封装方法对 *SPEI* 计算器进行了封装调用，即使用 gcc 对 spei_ source 进行编译，将其封装成动态链接库(.dll)，在 C#语言下通过 P/Invoke 来实现对其 spei.c 文件中 main()函数的调用，主要代码为：

```
[DllImport ("spei.dll", EntryPoint = "main")]
private static extern int Main(int argc, char * argv);
```

通过对研究区内各观测站 1960 – 2014 年的 *SPEI* 指数进行计算，将计算结果存储入数据库中，并将其写入到纯文本文件内，文件前四行分别为研究站名称、研究站纬度、第一个数据的日期、季节尺度，第五行开始是研究站所观测的逐月降水量和平均温度，以分号为间隔。计算后将结果写入到模型计算数据库的 history_SPEI 表中，保存格式依次是研究站名称、纬度、*SPEI* 初始日期、设定的计算间隔(1、2、3…12，本系统的历史干旱数据所采用的计算间隔为 1，即按月计算)和所计算出的 *SPEI* 指数。

对于今后实时观测所需要添加的观测数据进行计算时，调用基于 SPEI_source 函数，在数据输入窗口选择研究站，输入观测数据的时间、逐月降水量及月平均温度，气候数据以“/”间隔，输入的数据会按格式储存在以研究站和第一个日期命名的纯文本文件中，计算时在弹出的 DOS 窗口中输入形如：*SPEI* 计算间隔、输入文件名称和输出文件名称的命令，如图 4 所示。计算后的 *SPEI* 值按格式储存在模型计算数据库的 added_SPEI 表中。

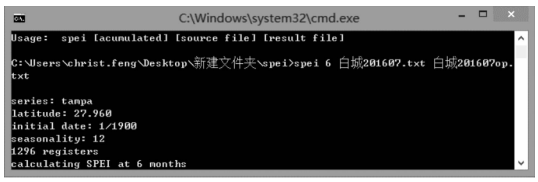


图 4　DOS 界面下 SPEI 计算窗口

3.2.2　*SPEI* 指数空间展布

系统利用空间插值技术，实现单点尺度计算的 *SPEI* 指数空间展布至整个区域的过程。空间插值技术通过假定空间分布现象具有的空间相关性，运用数学方法和统计方法等预测栅格数据中其他相邻单元的值，插值结果将分离的点计算生成连续的面，是一种常用的技术手段。主要的空间插值方法有：反距离权重法(IDW)、克里金法

(Krige)、样条函数法(Spline)、趋势面法(Trend)、自然邻域法(Nature Neighbor)、通过文件实现地形转栅格(Topo To Raster By File)和变异函数法(Variogram)等，在 ArcGIS Engine 中的 Raster Interpolation OpClass 就是用来实现空间插值的类，该类有两个主要接口：IRasterAnalysisEnvironment 接口和 IInterpolationOp2 接口，前者用于设置空间分析环境，后者实现了上述 7 种空间插值方法。

考虑到研究区地形特征与各个观测站点的空间分布，本系统采用反距离权重法进行空间插值，该方法用样本点与插值点之间的距离作为权重进行加权平均计算，距离越近权重越大[18,21]。调用 IRasterAnalysisEnvironment 接口，设置像元大小为 1km × 1km，处理范围是整个研究区，调用 IFeatureClassDescriptor 接口的 Create 方法将 *Z* 值设为 *SPEI* 指数，调用 IRasterRadius 接口设置搜索半径为固定值或变量，然后使用 IInterpolationOp2 接口的 IDW 方法返回 IDW 的插值结果，最后将各个栅格通过空间插值运算得到的 *SPEI* 指数写入数据库，完成整个研究区干旱识别的计算过程。插值结果以 2007 年 4 月为例(图 6)。

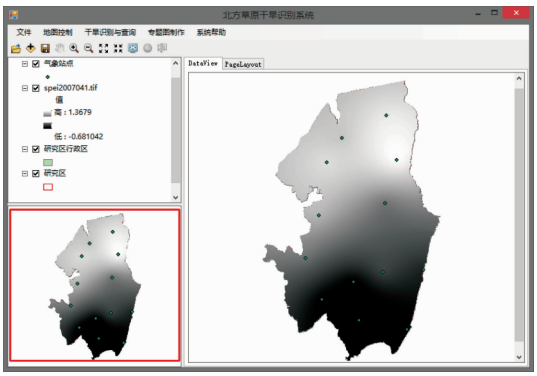


图 5 SPEI 指数空间插值结果(以 2007 年 4 月为例)

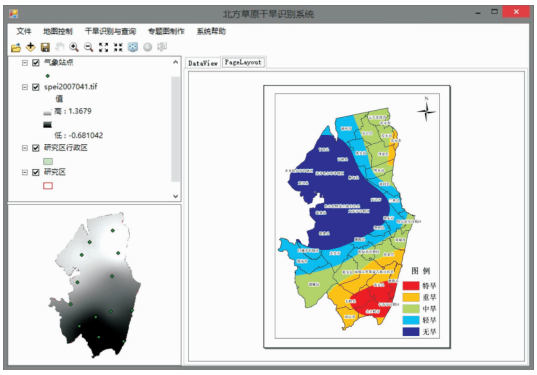


图 6 分级色彩符号化专题图

3.3 识别结果可视化子系统

该系统主要用于完成干旱识别结果的专题图出图和地图整饰与输出功能，主要包含专题图模块与地图模板输出模块。可实现查询不同行政区划逐年逐月份的干旱程度的查询，为抗旱减灾决策者提供更加直观与准确的结果。



图 7 专题图保存类型选择窗口

专题图模块主要通过 Class Breaks Renderer 类实现分级色彩符号化功能。该功能将要素属性分成若干级别再用不同的颜色表示出来，本系统中可选择按照 SPEI 指数或干旱等级进行划分，用 Field 属性设置划分标准按照干旱等级划分不同干旱标准，用 Break Count 属性设置需要分级的个数，然后叠加区域行政区划图。以 2007 年 6 月为例，SPEI 分级及区划结果参见图 6。

地图整饰输出模块主要用于修饰地图和以 JPG、PDF 等格式输出整饰后的地图，输出的地图不仅要有地理数据的符号化显示，还要包含图例、比例尺、指北针等要素，该模块就是用来在 PageLayout 中对地图进行修饰的。地图整饰用到的这些要素都包含在 MapSurround 对象当中，此类要素均与地图动态相关。图例由 LegendItem 类和 Legend 类实现，指北针由 MarkerNorthArrow 类实现，比例尺由 ScaleBar 类实现，地图格网使用 MapGrid 对象进行添加，和其他整饰要素不同的是，由于 AE 本身的限制，地图格网只能在 PageLayout 视图中使用。在实际地使用中，系统可根据实际需要，输出 JPG、PDF、TIF 等格式的专题图文件，如图 7 所示。

4 结语

利用计算机及可视化技术，面向草原牧区抗旱减灾的现实需求，以 Windows 8.1 为操作平台，采用 Visual Studio 2010 和 ArcGIS Engine 10.2 结合 C#语言和 GIS 技术，通过 *SPEI* 指数对区域草原干旱情况进行识别，研发出了北方草原干旱识别可视化系统。以松嫩草原为例进行实证研究，系统实现了 GIS 浏览与灾情管理、草原干旱识别空间化和干旱识别结果可视化等功能。不同用户可按照实际需求，基于实时观测的 *SPEI* 指数，实现草原地区干旱灾害的实时监测及预警，可为草原地区防灾减灾部门制定防灾减灾策略，进行生态恢复及水资源合理优化布局等工作提供更科学具体的帮助。

此外，本系统还存在一些不足，有待进一步完善。如草原干旱识别主要依靠区域降水及温度等观测数据，随着当前遥感技术的飞速发展及其产品的大规模应用，可考虑在以后利用实时气象数据耦合实时监测的遥感数据，在本系统内集成封装，可进一步为区域抗旱减灾提供科学的依据；在现有系统基础上，应用 Activex 等插件技术，也可实现干旱监测及预警信息实时网络发布，进一步提高区域居民的抗旱意识；在后续追加完善的功能中，也可以加入针对性的抗旱建议等信息，从而形成一个更加完善的辅助决策系统体系。

参考文献：

[1] 王宏，李晓兵，李霞，等．中国北方草原对气候干旱的响应[J]．生态学报，2008，28(1)：172－182.

[2] 马齐云，张继权，王永芳，等．内蒙古牧区牧草生长季干旱特征及预测研究[J]．干旱区资源与环境，2016，30(7)：157－163.

[3] 张巧凤．锡林郭勒草原干旱灾害监测与风险评估研究[D]．北京：中国农业科学院，2016.

[4] 郭中小，贾利民，李振刚，等．干旱草原水资源利用问题研究[M]．北京：中国水利水电出版社，2012.

[5] 李柏贞，周广胜．干旱指标研究进展[J]．生态学报，2014，34(5)：1043－1052.

[6] 赵丽，冯宝平，张书花．国内外干旱及干旱指标研究进展[J]．江苏农业科学，2012，40(8)：345－348.

[7] 李春兰，张继权，俞立中，等．锡林郭勒草原干旱灾害致灾因子危险性评价[C]// 风险分析和危机反应中的信息技术－中国灾害防御协会风险分析专业委员会年会，2014.

[8] 张巧凤，刘桂香，于红博，等．基于标准化降水指数的锡林郭勒盟干旱特征分析[J]．自然灾害学报，2015，24(5)：119－128.

[9] 庄晓翠，杨森，赵正波，等．干旱指标及其在新疆阿勒泰地区干旱监测分析中的应用[J]．灾害学，2010，25(3)：81－85.

[10] Vicenteserrano S M，Beguería S，López moreno J I. A multiscalar drought index sensitive to global warming：the standardized precipitation evapotranspiration index [J]. Journal of Climate，2010，23(7)：1696－1718.

[11] 王林，陈文．标准化降水蒸散指数在中国干旱监测的适用性分析[J]．高原气象，2014，33(2)：423－431.

[12] 张耀宗，张勃，刘艳艳，等．1960－2012 年宁夏强干旱时空格局及影响因素分析[J]．灾害学，2016，31(1)：120－127.

[13] 李卫宁，匡昭敏，卢远，等．基于 GIS 技术的农业干旱监测与评估系统[J]．安徽农业科学，2011，39(28)：17296－17298.

[14] 王潇宇，沙莎，何永健．基于 GIS 的气象干旱评估系统研究——以山东省潍坊市为例[J]．气象与减灾研究，2010，33(4)：43－47.

[15] 杨恒喜，史正涛，谷晓梅．3S 技术支持下的云南旱灾损失实时评价研究[J]．环境研究与监测，2010(2)：9－14.

[16] 卓义．基于遥感与 GIS 技术的内蒙古东部草原地区干旱灾害监测、评估研究[D]．北京：中国农业科学院，2011.

[17] 马齐云，张继权，王蕊，等．基于 3S 技术的草原牧区旱灾损失快速评估系统初探[C]// 大数据时代的风险分析和危机反应．2016.

[18] MA Qiyun，ZHANG Jiquan，SUN Caiyun，et al. Changes of reference evapotranspiration and its relationship to dry/wet conditions based on the aridity index in the Songnen Grassland，Northeast China[J]. Water，2017，9(5)，316－333.

[19] 高蓓，姜彤，苏布达，等．基于 SPEI 的 1961－2012 年东北地区干旱演变特征分析[J]．中国农业气象，2014，35(6)：656－662.

[20] 牟乃夏，王海银，李 丹，等．ArcGIS Engine 地理信息系统开发教程—基于 C#. NET[M]．北京：测绘出版社，2015：75－76.

[21] Ashraf M，Routray J K. Spatio-temporal characteristics of precipitation and drought in Balochistan Province，Pakistan[J]. Natural Hazards，2015，77，229 － 254.

GIS-based Visualization System for Grassland Drought Identification in Northern China

FENG Tianji，ZHANG Jiquan and MA Qiyun

(*School of Environment*，*Northeast Normal University*，*Institute of Natural Disaster Research*，*Northeast Normal University*，*Changchun* 130024，*China*)

Abstract：The visualization system of grassland drought identification was developed based on computer technology and visualization technology. The system plays an important role in drought resisting in grassland area. In this paper，the standardized precipitation－evapotranspiration index was used to identify grassland drought. By using of the Visual Studio 2010 and ArcGIS Engine 10. 2 software coupled with C# language programming and GIS technology，the visualization system of grassland drought identification was constructed. The Songnen Grassland in northern China was taken as study area，and the visualization system was utilized to GIS browse and disaster management，spatialization and visualization of the result of grassland drought identification. This system can be used as technology support for monitoring grassland drought and scientific reference for the management of grassland drought disaster.

Key words：grassland drought；drought identification；SPEI index；visualization system