

基于 WebGIS 的耕地质量预警系统^①

李小刚¹, 马友华¹, 王玉佳¹, 朱 诚², 王 强¹, 王 静¹, 经卓玮¹, 郭粹锦³

¹(安徽农业大学 资源环境与信息技术研究所, 合肥 230036)

²(安徽农业大学 信息与计算机学院, 合肥 230036)

³(合肥东县农业技术综合服务中心, 合肥 231600)

摘 要: 为防止耕地质量状况继续严重恶化, 提高粮食产量, 借鉴国内外已有耕地预警理论最新成果, 收集和处理相关图件和土壤养分数据, 确定技术流程、设计系统结构、构建指标体系、选取预警预测模型和设计系统功能, 最终基于 WebGIS 平台建立了耕地质量预警系统. 并以肥东县为例, 确定了预警单元耕地质量, 实现了对耕地肥力的实时警报和预测.

关键词: 耕地; 耕地质量; 预警系统; 模型; WebGIS

Country Cultivated Land Quality Early-Warning System Based on WebGIS

LI Xiao-Gang¹, MA You-Hua¹, WANG Yu-Jia¹, ZHU Cheng², WANG Qiang¹, WANG Jing¹, JING Zhuo-Wei¹, GUO Cui-Jin³

¹(Institute of Environment and Information Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

²(School of Information and Computer, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

³(Feidong agriculture Technology Popularizing Center, Hefei 231600, China)

Abstract: For preventing farmland degenerating and increasing food production, this research used some theories and practices of early-warning both in home and overseas for reference. This paper collects and processes datum, designs technical flow and system structure, builds index system, chooses the early-warning models, and implements system function. Finally, the cultivated land quality early-warning system was proposed based on WebGIS. Using Feidong as an example, cultivated land capability class was established and cultivated land fertility was predicted.

Key words: cultivated land; cultivated land quality; early-warning system; models; WebGIS

耕地质量是耕地各种性质的综合反映^[1], 其内涵应包括本底质量、经济质量和生态质量三部分, 其中本底质量是耕地质量的基础, 具体是指耕地质量的自然属性, 经济质量是指耕地的利用强度和生产能力, 具体是指耕地质量的经济属性, 而生态质量反映的是耕地利用过程所产生的环境影响, 具体是指耕地质量的环境属性^[2]. 耕地质量的高低将直接影响到粮食产量.

近年来, 随着经济社会的发展人口的不断增加, 耕地减少与人口增长矛盾日益突出^[3]中国的耕地资源不断的消耗^[4], 耕地资源流失现象非常严重^[5], 在数量、质量等方面呈严重下降趋势. 据全国土地利用变更调查结果报告显示, 截止到 2008 年底全国耕地面积为 12171.6 万公顷, 比上年度净减少 1.933 万公顷, 同

时人口已超过 13 亿, 人均耕地面积仅 0.0917 还不到世界平均水平的 40%^[6,7]. 全国很多省份的人均占用耕地面积已经低于 0.8 亩的境界线, 水土资源分布很不平衡, 理论上耕地后备资源总潜力约 2 亿亩, 但可开垦耕地的不足 8000 万亩^[8]. 全国耕地调查数据显示, 在 15 等耕地中全国耕地质量的平均等级还不到 10 等, 中国耕地质量总体偏低, 其中低于平均质量等级的 10~15 等地占全国耕地质量等级调查与评定总面积的 57%以上^[9].

防止耕地质量状况继续严重恶化, 需建立了耕地质量预警机制. 耕地质量预警是耕地动态监测体系的重要组成部分, 同时探讨耕地系统的演化机理, 提出治理方案, 对系统进行动态监控, 避免耕地资源状况的严重恶化, 为土地资源的持续利用管理和耕地总量动

①收稿时间:2013-12-05;收到修改稿时间:2014-01-08

态平衡战略的实施提供实时的数据及模型支持服务^[10,11].

1 耕地质量质量预警系统总体设计

1.1 系统规划

1.1.1 系统技术流程

系统预警原理是先通过一系列监测指标反映耕地开发利用中出现的异常情况,确定耕地资源已经出现的警情;找出导致出现某种警情的根源;辨别警情发生前所表现出来的各种征兆;根据警情指标的预测值确定警度;经过以上四个步骤,再提出相应方案防止警情进一步恶化.即可概括为五个方面:确定警情、寻找警源,分析警兆、预报警度和消除隐患^[12].技术流程见图 1.

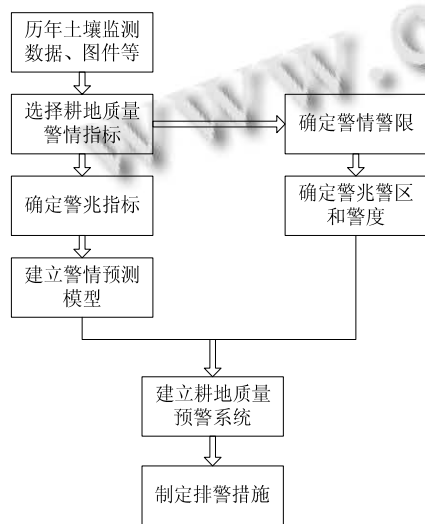


图 1 技术流程图

1.1.2 系统结构

耕地质量预警系统是整个技术流程的核心,系统的结构采用 B/S 架构,主要由客户机、GIS 应用服务、Web 服务与数据库服务器等组成. GIS 服务器提供地图发布、查询等各种基本的服务; Web 服务器向用户提供各种信息的查询和浏览;数据库服务主要用于管理预警系统各项监测数据.耕地质量预警系统结构见图 2.

1.2 系统开发平台与环境

系统以 VS2008、Adobe Flash Build4.6 和 Arc GIS Server9.3.1 为开发平台,以 Window Server 2003、SQL Server 2005 和 IIS6.0 为运行环境,基于 Flex 和 .NET 开发而成.

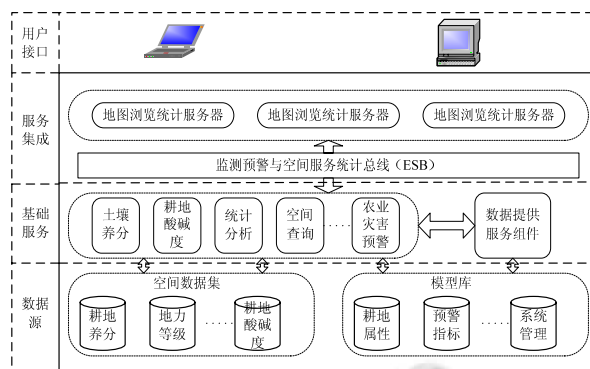


图 2 耕地质量预警系统结构图

1.3 系统数据库与功能模块

1.3.1 数据库设计

系统数据库包括空间数据库、属性数据库、预警模型库和知识库.空间数据库包括各种矢量数据和遥感数据;属性数据库包括各种养分数据、统计数据以及通过以及各种监测的数据;预警模型库包含各种预测耕地质量的模型;知识库包含不同警度对应的治理措施和建议等.

1.3.2 功能模块设计

根据耕地质量预警系统的总体设计目标,将系统总体上划分为 9 个功能模块,系统功能模块结构图见图 3.

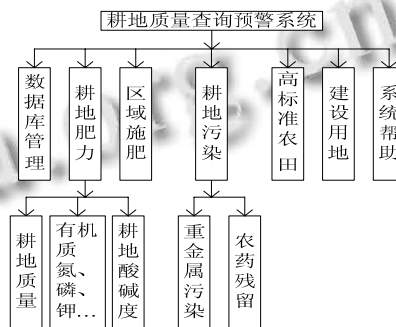


图 3 功能模块结构图

1.4 系统指标体系的建立

1.4.1 预警指标的选取

预警指标因子的选取主要考虑那些受人为与自然环境直接或间接影响后而容易发生退化的因子,具体需满足以下条件: 1)全面反映耕地质量各要素的整体情况; 2)根据影响耕地质量各要素差异,起主导性作用; 3)简洁易获取,量测标准一致且含义无重复; 4)具有动

态变化的特性,具有预警的必要性^[13-16].

通过对影响耕地质量的环境因素及其相互关系的分析,选择最能代表耕地质量的现状与变化的单项指标,最终选取耕地肥力指标、耕地酸碱度指标、耕地污染指标建立耕地质量预警的指标体系.

1.4.2 预警指标警度划分标准

表 1 耕地肥力预警指标警度划分

警度	无警	轻警	中警	重警		
级别	丰	较丰	中	稍缺	缺	极缺
有机质(g/kg)	≥40	30-40	20-30	10-20	6-10	<6
全氮(g/kg)	≥2	1.5-2	1.5-2	0.75-1	0.5-0.75	<0.5
有效磷(mg/kg)	≥40	20-40	20-40	5-10	3-5	<3
速效钾(mg/kg)	≥200	150-200	150-200	50-100	30-50	<30
有效硫(mg/kg)	≥50	30-50	30-50	12-16	6-12	<6
有效硼(mg/kg)	≥2	1-2	1-2	0.25-0.5	0.1-0.25	<0.1
有效锌(mg/kg)	≥5	2-5	2-5	0.5-1	0.25-0.5	<0.25
有效铁(mg/kg)	≥16	10-16	10-16	2-4.5	1-2	<1
有效铜(mg/kg)	≥1.8	1-1.8	1-1.8	0.1-0.2	0.05-0.1	<0.05
有效锰(mg/kg)	≥30	15-30	15-30	1-5	0.5-0.1	<0.5

耕地酸碱性是土壤重要的基本性质,以 pH 代表酸碱性的强度,警度划分根据全国第二次土壤普查^[17](1982)时使用的土壤酸碱度划分标准,见表 2.

表 2 耕地酸碱程度预警指标警度划分

警度	无警	轻警	中警	重警
土壤酸碱度	中性	弱酸性	酸性或碱性	强酸或强碱
(pH)				
指标	6.5-7.5	5.5-6.5	4.5-5.5 或 7.5-8.5	<4.5 或 >8.5

1.5 系统预警预测模型选取

耕地质量预警涉及到的因素多样,在时间、空间尺度上的变化具有随机性和不确定性的特点,需选一个好的预警预测模型,才能较好的反映耕地质量实际情况.一般好的预警模型具有以下基本性质:1)由与拟分析系统主要问题相联系的因素构成,这些因素代表着系统的全部;2)各因素间的联系得到了比较充分的反映;3)抽象后的模型能够进行正常运算;4)输入的数据能够获得通过;5)输入的结果能够被使用者正确理解.

1.5.1 耕地肥力预测模型

耕地肥力预测模型是利用趋势分析方法对监测指标进行预测分析的,是发展方向的一种预测思维方法,主要是通过对比两期或连续数期的监测数据,确

定其增减变动的方向、数额或幅度,以掌握有关监测数据的变动原因、变动趋势或发现异常的变动^[18].

1.5.3 耕地酸碱度预测模型

中国在改革以来工业化进程迅速加快,随之而来的大气污染造成成的酸沉降已经成为一个严重的环境问题,因此土壤酸碱化程度探究显得尤为重要.预测酸碱度的数学模型种类繁多,过去几十年中提出了从稳态带动态,从经验到理论各类模型来预测酸沉降对土壤和地表水酸化的影响.本文中采用动态 MAGIC 模型来预测土壤中酸碱度, MAGIC 模型考虑土壤酸化过程比较全面,模型需要的参数不太多,应用也较为广泛^[19,20].

2 耕地质量预警系统实例研究

2.1 研究区域概

肥东县位于安徽省中部,省会合肥市东侧.南临巢湖,北接定远县,东与全椒县、巢湖市接壤,西与长丰县、合肥市相连地理位置优越.肥东县土壤类型共划分五大类:即水稻土、黄棕壤、黄褐土、石灰岩土和紫色土^[21].其中水稻土分布广泛,面积最大,石灰岩土和紫色土面积最小,零星分布.肥东县属北北亚热带季风气候,雨量适中,但分配不均,蒸发量大,光照充足,

无霜期较长,年平均温度在 15℃,总的来说光、热水比较协调,适宜小麦、油菜、蚕豆等喜凉作物及水稻、棉花、花生等喜温作物的生长^[21]。

2.2 数据收集

肥东县耕地质量预警系统需要用的基础数据有肥东县基础图件资料、肥东县遥感影像数据和土壤监测的文本数据。

需要用的图件资料主要有肥东县的土地利用现状图、土壤图、行政区划图、高标准农田分布图等,见表 3。

表 3 肥东县图件列表

图件名称	比例尺	年份	备注
肥东县土地利用现状图	1:50000	2006	基于 2006 年肥东地力评价,后可更新
肥东县土壤图	1:50000	1982	第二次土壤普查
肥东县行政区划图	1:50000	2006	基于 2006 年肥东地力评价,后可更新
肥东县高标准农田建设分布图	1:50000	2013	

遥感影像资料为肥东县 2000 年、2006 年、2011 年的 3 期美国 Landsat-7TM 影像和 2011 年德国 RapidEye 影像,见表 4。

表 4 遥感影像列表

影像数据名称	时间段	分辨率
Landsat-7TM	2000 年 4 月 16 日	30M
Landsat-7TM	2006 年 5 月 19 日	30M
Landsat-7TM	2000 年 5 月 1 日	30M
RapidEye	2011 年 9 月 23 日	5M

文本数据为肥东县 2005-2012 年的测土配方施肥土壤采样点化验数据及 GPS 定位数据、土壤肥力监测点资料、土壤利用类型代码对照表、土地类型代码表、行政区划代码表等。土壤采样点数据和 GPS 定位数据需进行筛选,确保数据的真实可靠性,以便后期使用。

2.3 数据处理

2.3.1 耕地质量预警单元的确定

耕地质量预警单元是由对耕地质量具有关键影响的各耕地要素组成的具有专门特征的基本单元,同一预警单元的内部质量均一,不同的预警单元之间,既有差异性,又有可比性^[22,23],耕地质量预警就是要通过对每个评价单元的预警,确定警度,把预警结果落实到每个预警单元,编制出耕地质量预警警度划分图件^[24]。

本研究通过 MapGIS 对肥东县土壤图、土地利用现状图和行政区划图进行校正、矢量化并相应附上基本属性值。再利用 ArcGIS 软件将上述三个准备好的矢量图进行叠置分析,即“土地利用现状类型——土壤类型——行政区划单位”的格式,这就形成了基础预警单元。其中,土壤类型划分到土种,行政区划单位划分到行政村,土地利用类型划分到二级利用类型,因此肥东县的耕地共划分为 5119 个预警单元。利用 ArcGIS 中 Kring 插值将肥东县 2005-2012 年的测土配方施肥土壤采样点化验数据进行插值形成栅格数据,一一与预警单元图叠加再利用 ArcGIS 中区域统计分析给预警单元赋值,使不同年度土壤养分数据成为预警单元的属性值。

2.3.2 遥感分类

遥感分类主要是为了获取不同年度肥东县土地利用现状,对比不同年度的土地利用变化。将涵盖肥东县在内 2000 年、2006 年和 2011 年三期遥感影像数据进行预处理(大气校正、几何校正、剪裁)、选取样本以及样本检验等一系列的处理,一共将肥东县土地利用类型分为 6 类:耕地(含水田、旱地、菜地)、林地(含有林地、灌林地、疏林地、其他林地)、草地(含高、中、低覆盖度草地)、水域(含河流、湖泊、水库坑塘等)、建设用地(含城乡、工矿、居民用地、交通运输等)、未利用地(含沙地、盐碱地、沼泽地、裸地、裸岩石砾地等)。

经过上述步骤可得到肥东县三个不同年度土地利用现状,生成矢量图,作为预警系统数据,展示不同年度土地利用变化,对肥东县土地利用规划具有指导意义。

2.4 系统预警预测方法

2.4.1 单因子预警

单因子预警即对单个养分数据丰缺程度和 pH 酸碱度情况的预警预测。数据预警是依据当前预警单元属性数据结合第二次土壤普查警度划分标准确定当前耕质量情况,并分析产生此种警情的原因,进一步提出相应措施。预测是依据历史的耕地数据结合选取的模型对未来耕地质量的警情进行一个大致的判断,此次以耕地肥力预警预测方法为例,对预警系统的原理进行论述。土壤酸碱度的预测与此类似,就不再详述。

耕地肥力预警预测模型基本思路如下:1)首先根据多年的土壤监测养分数据,针对每个地块单元构建

对应的时间序列; 2)进行曲线拟合, 假定耕地肥力为 $y=f(x,t)$ (x 为同一地块养分数据,单位: g/kg 或 mg/kg ; t 为时间, 单位: a)的变化特征符合线性模型, 然后按最小二乘法^[25]原理求出变量的直线方程; 3)依据曲线拟合的结论来计算未来某个时间点的某一种耕地肥力的预测值. 由于预警养分较多, 这里仅以全氮为例.表 5

表 5 预警单元养分

养分	预警单元	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
N	1	1.52	1.22	1.23	1.15	1.12	1.11	1.08	1.09
	2	1.17	1.15	1.25	1.28	1.31	1.23	1.21	1.33
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	5118	0.98	0.89	1.05	1.08	0.92	1.03	0.96	3.53
	5119	1.34	0.62	1.01	0.98	0.91	1.05	0.89	0.81

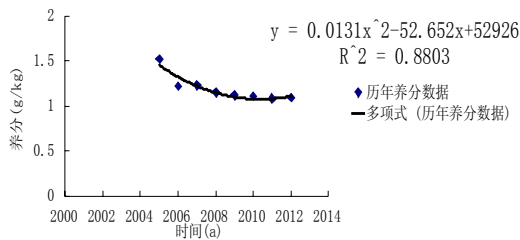


图 4 预警单元 1 预测函数

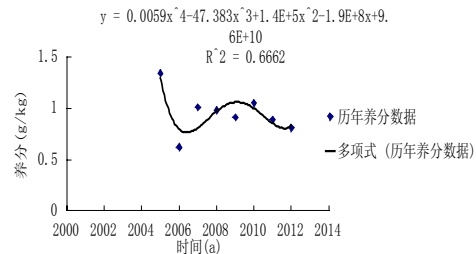


图 7 预警单元 4 预测函数

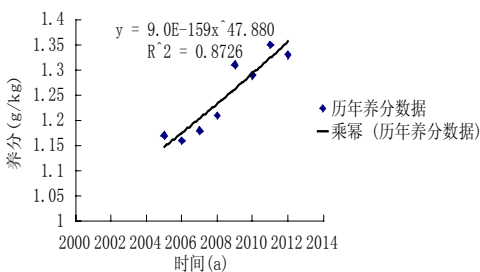


图 5 预警单元 2 预测函数

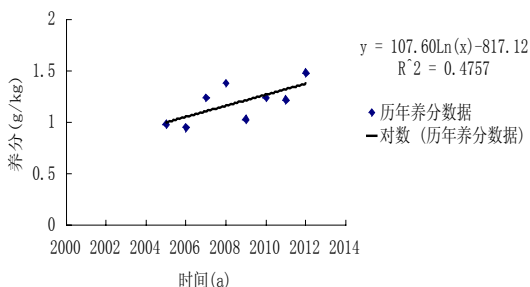


图 6 预警单元 3 预测函数

为部分耕地地块预警单元历年养分数据, 通过曲线拟合可以判断养分变化的大致趋势, 能近似预测出未来几年该地块的养分变化, 即为预测耕地警情. 图 4、5、6、7 为个预警单元的拟合函数. 其它养分预警预测原理同全氮相同.

图 8 为肥东耕地质量预警系统的初始界面, 图 9 为 2012 年肥东耕地全氮的养分分布情况, 从中可以看出肥东大部分耕地处于中等水平, 丰富水平分布于肥东的西南侧, 零星的分布于北部.图 10 为 2012 年肥东耕地全氮警情预报分布, 主要集中分布在肥东的北部, 因为肥东耕地主要集中分布在此, 对土壤的全氮需求较高.图 11 为根据模型预测的 2015 年肥东耕地全氮警度分布, 大体和 2012 年全氮警情分布类似.

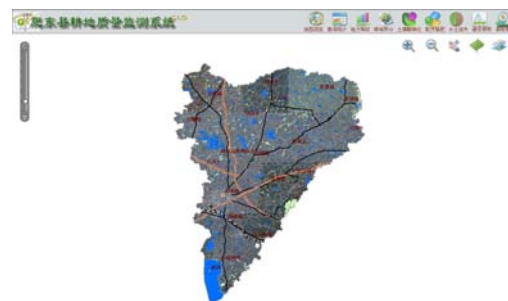


图 8 肥东预警系统界面

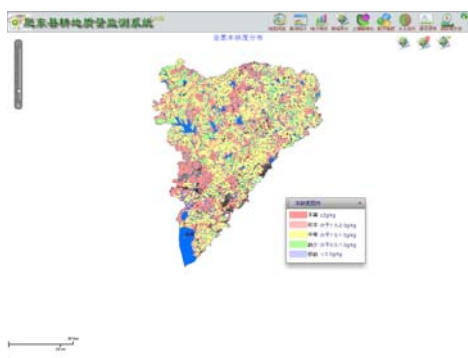


图 9 2012 年肥东耕地全氮养分分布



图 10 2012 年肥东耕地全氮警情预报分布



图 11 2015 年肥东耕地全氮警情预测分布

2.4.2 综合预警

综合预警即对耕地质量的警情进行综合评价,并分不同等级在系统中展示.影响耕地质量的因素较多,肥东县耕地质量综合评价结合肥东县农业生产实际情况,经专家组讨论确定选取对耕地质量影响较大的因子,如表 6.

表 6 肥东县耕地质量影响因子

准则层	指标层
立地条件及土壤管理	成土母质 地形地貌 地形部位 侵蚀程度 灌溉条件 排涝能力
理化性质	耕层容重 耕层质地 CEC pH
养分状况	有机质 有效磷 速效钾 有效硼 有效锌
剖面组成	剖面构型 耕层厚度 有效土体厚 砾石含量
障碍因素	障碍层位置 障碍层厚度

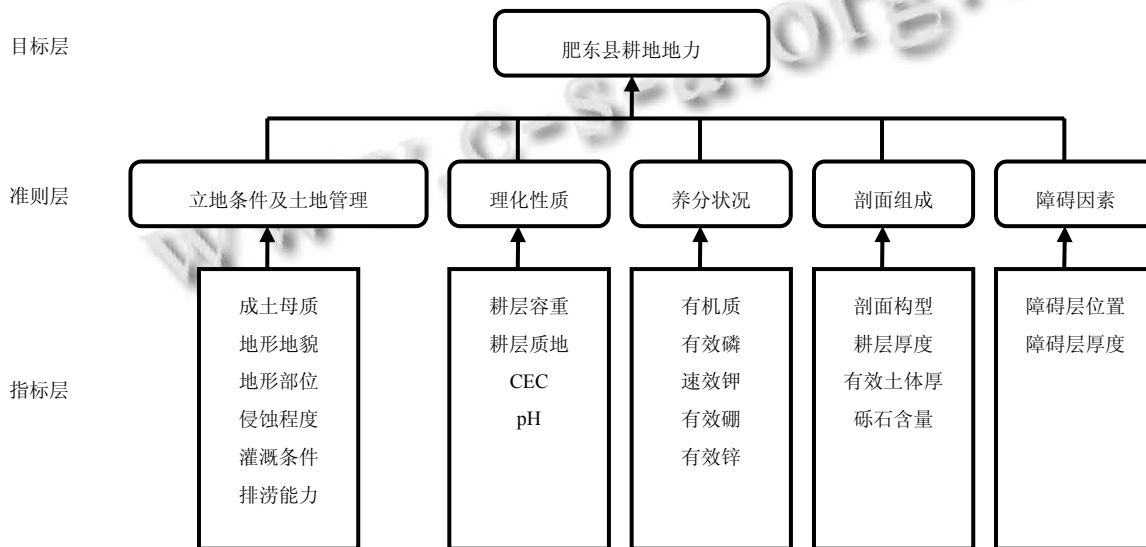


图 12 各影响因子层次结构

肥东县耕地质量综合评价采用层次分析(APH)^[26]确定各因子的权重, 耕地质量为目标层(A), 影响耕地质量的立地条件、理化性状、养分状况、土壤管理、剖面组成为准则层(B), 再把影响准则层中各要素作为指标层(C)^[27], 层次结构如图 12.

根据专家经验, 确定准则层对目标层以及指

标层对准则层的相对重要程度, 共构成 6 个判断矩阵, 计算各判断矩阵最大特征根对应的特征向量, 再计算出其权数值及一致性检验结果, 可知CR<0.1 具有良好的-致性. 最终算出指标层对目标层的组合权数值, 得到各因子的权重如表 7.

表 7 层次分析结果

层次 A	层次 C					组合权重 $\sum C_i A_i$
	立地条件及土壤管理	理化性状	养分状况	剖面组成	土壤管理	
	0.0451	0.1469	0.2289	0.4845	0.0946	
成土母质	0.0398					0.0185
地形地貌	0.2082					0.0966
地形部位	0.0783					0.0363
侵蚀程度	0.0783					0.0363
灌溉条件	0.3641					0.169
排涝能力	0.2314					0.1074
耕层容重		0.2854				0.0344
耕层质地		0.5382				0.0648
CEC		0.0882				0.0106
PH		0.0882				0.0106
有机质			0.472			0.0568
有效磷			0.2135			0.0257
速效钾			0.2135			0.0257
有效硼			0.0505			0.0061
有效锌			0.0505			0.0061
剖面构型				0.5194		0.131
耕层厚度				0.2009		0.0507
有效土体厚				0.2009		0.0507
砾石含量				0.0789		0.0199
障碍层位置					0.5	0.0215
障碍层厚度					0.5	0.0215

再确定各因子的隶属度. 对定性数据采用 DELPHI^[28]法直接给出相应的隶属度; 对定量数据采用 DELPHI 法与隶属函数法结合的方法确定各评价因子的隶属函数, (用 DELPHI 法根据一组分布均匀的实测值评估出对应的一组隶属度, 然后在计算机中绘制这两组数值的散点图, 再根据散点图进行曲线模拟, 寻求参评因素实际值与隶属度关系方程从而建立起隶属函数)^[27,29]. 最终建立起隶属函数模型.

耕地质量等级是基于各因子的权重和隶属度采用累加法, 并根据指数变化规律, 运用累积曲线法将肥东县耕地质量划分为 5 个等级, 具体结果如图 13 所示.

可以看出肥东县一、二、三地占据全县的大部分耕地, 四、五等地分布东部边缘, 此地大部分为山地. 由此可知肥东县耕地质量警绝大部分处于无警状态.

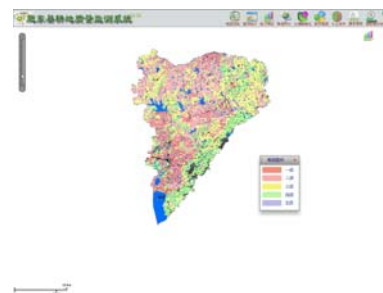


图 13 耕地质量等级

3 结语

本次研究借鉴国内外已有的相关预警、耕地预警以及其他预警的理论和实证研究的最新成果,对耕地质量预警的基本概念、理论和方法进行了研究,最终基于 WebGIS 平台建立了耕地质量预警系统,并通过以肥东县为例进行了实例研究,实现了对耕地肥力警情进行实时警报和未来的耕地肥力变化趋势预测,确定预警单元耕地质量,并通过系统直观展示出来。对耕地的合理利用和施肥具有一定的指导意义,为粮食增产打下基础。

由于各种因素此研究中也存在很多不足的地方:1)土地利用现状图和行政区划图较为陈旧,需对其更新;2)由于耕地养分历史数据较少、部分预警单元养分数据拟合曲线 R^2 较小且对耕地养分的预测未考虑其它因素,故不能很好的对其肥力变化趋势准确的预测;3)社会经济因素在今后的发展中会对耕地质量影响越来越大,但在影响耕地质量因子中并未涉及;4)系统涉及的耕地污染功能模块,由于数据缺乏并未实现。因此今后进一步研究中需要充分考虑上述问题,提高预警系统功能的全面性和预警准确性。

参考文献

- 农肖肖,何政伟,吴柏清.ARCGIS 空间分析建模在耕地质量评价中的应用.水土保持研究,2009,16(1):234-235.
- 陈朝,吕昌河.基于综合指数的湖北省耕地质量变化分析.自然资源学报,2010,25(12):2018-2019.
- 马中文,谢叶荷,谢欣云,等.徽州区耕地地力评价与种植业布局.中国农学通报,2012,28(35):134-138.
- 唐秀美,路庆斌.耕地资源安全预警系统研究—以重庆市为例.南阳理工学院学报,2010,2(3):95-98.
- 江冲,金建军,罗永剑.耕地资源非市场价值评估研究进展及展望.中国农业资源与区划,2010,31(5):51.
- 李国敏,卢珂.中国土地管理体制变革的路径选择.国家行政学院学报,2011(6):89-93.
- 窦含章.脆弱的农产品供应体系.农产品市场周刊,2010(44):18-19.
- 秦中春.城镇化过程中耕地资源保护面临的挑战与政策建议.重庆理工大学学报(社会科学),2013,27(3):1-3.
- 陈印军,王晋臣,肖碧林等.我国耕地质量变化态势分析.中国农业资源与区划,2011,32(2):1-3.
- 周惠珍,曹子荣,蒋晓.基本农田动态监测及预警研究.土壤学报,1999,36(5):245-252.
- 葛向东.耕地质量变化的临界警戒和评价指标体系研究.皖西学院学报,2001,17(2):50-53.
- 冯曙.山西省耕地资源可持续利用预警研究.太原:山西财经大学,2010.
- 刘友兆,马欣,徐茂.耕地质量预警.中国土地科学,2003,17(6):9-12.
- 于海鸿,孙吉贵,李泽海,等.基于 GIS 的粮食管理预警决策支持系统.吉林大学学报,2006,24(4):396-402.
- 谢戈力,郑巧凤.基于 WebGIS 技术的耕地质量动态监测信息系统.安徽农业科学,2011,39(31):19560-19563.
- 密长林,马爱功,张晓东.基于 WebGIS 技术的耕地质量动态监测信息系统研究.山东国土资源,2011,27(12):28-31.
- 安徽土壤普查办公室.安徽土壤.北京:科学出版社,1996:100-101.
- 黄巧妙,吕天阳,庞琦.趋势分析发在基本养老保险效益审计中的应用.审计研究,2009,(4):26-19.
- 赵艳萍.农田生态安全预警研究.合肥:安徽农业大学,2007.
- 刘阳,徐卓君,魏萍,等.小流域水土流失的数学模型及数值模型模拟.吉林大学学报(信息科学版),2004,22(5):509-513.
- 刘朝炎.肥东土壤.合肥:安徽省肥东县农业局,1986:56-58.
- 方灿华.基于 GIS 的江淮丘陵岗地地区耕地地力评价研究—以安徽省明光市为例.合肥:安徽农业大学,2010.
- 李英杰.安徽省农业环保数据系统建立—草莓生态适宜性评价研究.合肥:安徽农业大学,2010.
- 张鸿辉,刘友兆,曾永年等.耕地质量预警系统设计及实证.农业工程学报,2008,24(8):74-79.
- 贾小勇,徐传胜,白欣.最小二乘法的创立及其思想方法.西北大学学报(自然科学版),2006,36(3):255-257.
- 危向峰,段建南,胡振琪,等.层次分析法在耕地地力评价因子权重确定中的应用.湖南农业科学,2006(2):39-42.
- 阜南县耕地地力评价与中低产田改良.中国农学通报,2012,28(9):91-96.
- 韩永学.特尔菲法与“拿来主义”.哈尔滨师专学报,2000(2):67-68.
- 王建国.模糊数学在土壤质量评价中的应用研究.土壤学报,2001,38(1):176-185.