

以土地利用为基础的安徽省生态评价遥感信息模型

顾留碗^{1,2}, 潘立新^{1,2}, 王帅帅^{1,2}, 吴见^{1,2}

(1. 滁州学院 地理信息与旅游学院, 安徽 滁州 239000; 2. 安徽省地理信息集成应用协同创新中心, 安徽 滁州 239000)

摘要: [目的] 建立更科学合理的生态评价遥感信息模型, 为研究区的可持续发展提供参考依据。[方法] 利用 NDVI(归一化植被指数)和像元二分模型监测植被覆盖度作为地表植被覆盖信息的评价指标; 用热惯量法反演研究区的土壤含水量作为研究区地表植被覆盖信息与土壤肥力的评价指标; 采用目视解译获得土壤质地的编码分布图并进行影像化处理, 将土壤中物理性黏粒含量作为评价土壤板结情况指标; 利用线性光谱混合分解模型提取研究区的裸地比率作为土地荒漠化程度的评价指标。[结果] 从土地利用的角度构建了生态评价指标体系, 建立了以像元为单位的生态评价量化遥感信息模型。[结论] 植被覆盖度因子对研究区生态评价的影响程度相对较大; 在生态评价过程中本研究新建模型总体评价精度比传统方法提高了 15%。

关键词: 生态质量评价; 遥感信息模型; 土地利用; 安徽省

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2015)05-0340-05

中图分类号: TP79, Q149

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.063

Remote Sensing Information Model for Ecological Quality Assessment in Anhui Province Based on Land Use

GU Liuwan^{1,2}, PAN Lixin^{1,2}, WANG Shuaishuai^{1,2}, WU Jian^{1,2}

(1. *Geography Information and Tourism College, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China*; 2. *Anhui Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Integration and Application, Chuzhou 239000, China*)

Abstract: [Objective] We aimed to establish a more scientific and reasonable ecology evaluation model of remote sensing information in order to provide scientific basis for sustainable development of study area. [Methods] The NDVI(normalized difference vegetation index) and dimidiate pixel model were used to monitor vegetation coverage as the evaluation index of vegetation coverage information; Thermal inertia method was used to inverse soil moisture content in the study area, and it was taken as the index of vegetation coverage information and soil fertility; Soil texture coding image was obtained by visual interpreting, and the soil physical clay content was taken as the index to evaluate compaction situation; The bare land ratio was extracted by linear spectral mixture decomposition model. [Results] The ecological evaluation index system was built from the perspective of land use, and the ecological evaluation remote sensing information model which unit is pixel was established. [Conclusion] The vegetation coverage largely affects the vegetation coverage of study area; the overall evaluation accuracy of this study is improved by 15% more than the traditional methods.

Keywords: ecological quality assessment; remote sensing information model; land use; Anhui Province

安徽省位于中国的华东地区,21 世纪以来,国民经济迅速增长,2013 年安徽省生产总值达到 19 038.9 亿元,增幅居全国第 11 位。与此同时,经济的快速发展和庞大的人口数量给生态环境造成巨大压力。笔者根据国家环保总局下达的“全国生态环境质量评

价”项目,对安徽省生态环境质量进行了评价研究。其目的就在于监测和评估安徽省区域范围内生态环境在人类和自然因素共同作用下的变化状态和变化规律^[1],进而为当地土地利用和生态保护提供科学依据。

收稿日期:2014-03-16

修回日期:2014-04-17

资助项目:安徽省高校自然科学研究重点项目“精细城市数字高程模型关键技术研究”(KJ2015A261);安徽省高校自然科学研究重点项目(KJ2015A265);滁州学院科研项目(2014PY07);滁州学院优秀青年人才基金重点项目(2013RC009)

第一作者:顾留碗(1981—),男(汉族),江苏省南通市人,硕士,讲师,主要从事森林监测评价研究。E-mail:xiangfeidewujian@126.com。

通信作者:潘立新(1966—),男(汉族),安徽省滁州市人,硕士,副教授,主要从事旅游管理和城市发展研究。E-mail:czplx@sina.com。

生态评价即利用生态学、地理学及其他学科的原理和方法,对一个区域的生态系统,特别是起主要作用的生态因子的评价。近年来,国内有很多学者从不同的角度对生态评价进行研究,王玉梅等^[2]运用生态足迹分析法对吉林生态省建设作出评价,盛周君等采用层次分析法构建生态环境质量评价指标体系,王军等^[4]探讨了土地整理生态评价的技术方法,但还没有形成一套完整实用的评价指标体系。采用遥感的方法提取生态质量指标是一种快速评价研究区生态质量的有效方法,但从土地利用角度进行区域遥感生态环境质量评价的研究较少。本研究针对安徽省的地理特征,拟从土地利用的角度,建立安徽省生态评价量化遥感信息模型,为当地环境规划、综合治理、制定提高生态环境质量和环境保护的对策提供指导。

1 研究区概况及数据预处理

1.1 研究区概况

安徽省位于中国中东部,东经 $114^{\circ}54'$ — $119^{\circ}37'$ 和北纬 $29^{\circ}41'$ — $34^{\circ}38'$ 。地势西南高,东北低,长江、淮河横贯省境,淮河以北地势平坦,江淮之间丘陵起伏,皖南以山地丘陵为主。地形从北向南分为淮北平原、江淮丘陵、大别山区和皖南山区 4 个主要分区。地处温带和亚热带过渡地区,降水丰富,省内河流众多,气候温暖湿润,四季分明,冬季平均气温为 $-1\sim 4^{\circ}\text{C}$,夏季平均气温为 $27\sim 29^{\circ}\text{C}$,年均降水量 $750\sim 1\,700\text{ mm}$ 。土壤质地受成土母质、植被、气候、地形等因素影响,主要类型有黏土、壤土、沙壤土、沙土。

1.2 遥感数据预处理

选取安徽省 2009 年的 TM 遥感数据,研究区图像上无云,便于遥感影像的解译。用 ENVI 软件进行辐射定标、大气校正、影像裁剪处理,并结合 DEM 影像对 TM 影像进行配准和正射校正,其目的是纠正由于地形起伏引起的误差,然后在 ArcMap 软件中将校正后的 TM 影像、土地利用图转化到统一的坐标系统下。选择同比例尺的地形图,按地形图分幅将卫片镶嵌于地形图上,根据影像特性和地学相关分析方法建立解译标志,进行初步解译。根据野外实地样点调查和地物光谱测定资料进一步修正初步解译结果,将目视解译结果划分为草地、林地、裸地、居民地及工矿用地、耕地 5 种土地类型。

2 研究方法

2.1 选取指标

用已有的研究成果选取生态评价指标^[5]:

$$D=G+T+B \quad (1)$$

式中: D ——生态环境质量; G ——植被覆盖信息; T ——土壤信息; B ——地表信息。本研究选取植被覆盖度、土壤质地、裸地比率、土壤含水量作为林地、草地、居民地及工矿用地、裸地、耕地的评价指标。

2.2 确定生态质量评价“基准”

生态环境的变化是一个漫长的过程,因此生态环境质量的评价就涉及到一个“基准”问题。刘玉平^[6]认为基准是在一定气候条件下,生态系统所能达到的最大潜在状态,即没有人为干扰条件下当地天然植被演替所能达到的最终稳定状态。当地古地理环境和历史地理资料代表了人类干扰较少的自然状态,就是该地区的“基准”,但这样的材料实际上很难得到。丁国栋^[7]提出以各地现存最完好的单元作为基准。本研究即采用这一观点,以各土地利用类型中最完好的单元作为“基准”,在每一种土地利用类型中选取 10~20 个生态环境质量最差的单元作为最低等级生态环境质量的指标。

2.3 确定指标权重

通过大量的样地调查和室内分析发现,各指标的重要程度主要受 2 个因素的影响:(1)生态环境质量变差时,变化量越小的指标对生态环境质量的影响越大,反之越小。即各个指标的重要程度与各指标的变化量成反比。(2)总量越大的指标对生态环境质量的影响越大,反之越小,即各个指标的重要程度与各指标的总量成正比。因此,要确定各个指标的权重,必须先知道一些生态环境质量的区域单元。本研究选择代表基准和最低等级的生态环境质量的区域单元,通过实地测量获得其指标值,并以其作为确定各个类型指标权重的参考值。

为消除不同类型指标的变异程度不同,需要对数据进行标准化,其公式为^[8]:

$$Z_i=(X_i-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min}) \quad (2)$$

式中: Z_i ——某个指标的标准分数; X_i ——某指标的指标值; X_{\max} ——某指标的最大值; X_{\min} ——某指标的最小值。

对土壤质地起主导作用的指标是直径小于 0.01 mm 的物理性黏粒(表征土壤塑性、保水能力的指标)。因此,对不同土壤质地进行分析,确定其物理性黏粒的含量,以其作为确定土壤质地权重的参考指标。将不同类型指标标准化后,本研究根据影响指标重要程度的 2 个因子得出权重公式^[5]。

$$W_i=(X_{\max}-X_{\min})/(X_{1i}-X_{2i}) \quad (3)$$

式中： W_i ——权重； $X_{\max} - X_{\min}$ ——反应各个指标的总量， $X_{1i} - X_{2i}$ ——各个指标的变化量。 X_{1i} ——基准单元中某指标的数值； X_{2i} ——最低等级的生态环境质量单元中某指标的数值。

2.4 评价方法

生态质量指数(ecological quality index, EQI)反映被评价区域整体生态质量状况,其公式为^[3]：

$$EQI = \sum_{i=1}^n X_i Y_{ij} \quad (4)$$

式中： n ——评价指标因子数； X_i ——第 i 个评价因子的权重； Y_{ij} ——第 i 个评价因子在第 j 个等级标准时的等级值。参考前人研究成果^[5]，将植被覆盖度、土壤含水量、裸地比率划分为 7 个等级，对各因子等级范围有规律地赋以 1.0~4.5 的不同等级值，土壤质地分为 4 类(表 1)。利用式(2)求得生态质量指数，依据以往专家评判和试验结果(表 2)，划出生态质量总得分值范围，按生态环境质量指数将生态质量分为差、较差、一般、良、优 5 级^[9](表 3)。

2.5 评价指标量化

2.5.1 估算植被覆盖度

(1) 提取归一化植被指数。目前,已经发展很多利用遥感图像估测植被覆盖度的方法,较为实用的方法是利用植被指数近似估算植被覆盖度,常用的方法就是利用 NDVI(归一化植被指数)来估算植被指数^[10-11]。NDVI 是植被生长状态以及植被空间分布密度的指示因子,其与植被分布密度呈线性相关。当植被盖度较低时,NDVI 值也较低,反之亦然。其公式为：

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (5)$$

式中：NIR——近红外波段；RED——红光波段。

表 1 生态质量遥感评价指标体系

评价指标	等级标准	等级值
植被覆盖度/%	>60	1.0
	51~60	1.5
	41~50	2.0
	31~40	2.5
	21~30	3.0
	10~20	3.5
	<10	4.5
土壤含水率/%	>6.0	1.0
	5.0~6.0	1.5
	4.0~5.0	2.0
	3.0~4.0	2.5
	2.0~3.0	3.0
	1.0~2.0	3.5
	<1.0	4.5
裸地百分比/%	<10	1.0
	10~20	1.5
	21~30	2.0
	31~40	2.5
	41~50	3.0
	51~60	3.5
	>60	4.5
土壤质地	黏土	1.0
	壤土	2.0
	沙壤土	3.0
	沙土	4.0

表 2 生态质量各指标权重

土地类型	不同生态质量指标权重			
	植被覆盖度/%	土壤含水率/%	裸地比例/%	土壤质地
草地	2.2	2.0	3.4	2.4
林地	3.1	2.0	3.2	1.7
裸地	2.4	2.1	4.0	1.5
居民地及工矿用地	1.8	2.7	3.1	2.4
耕地	2.9	2.7	2.3	2.1

表 3 生态质量评价等级

生态质量评价等级	优	良	一般	较差	差
总得分范围	5.0~12.0	12.1~19.0	19.1~26.0	26.1~33.0	33.1~40.0

(2) 建立象元二分模型。象元二分模型是一种简单实用的遥感估算模型,它假设一个象元的地表由有植被覆盖部分地表与完全裸土或无植被覆盖部分地表组成,而遥感传感器观测到的光谱信息也由这 2 个因子线性加权合成,各因子的权重是各自的面积在象元中所占的比率,如其中植被覆盖度可以看作是植被的权重。即传感器所观测到的象元信息 S ,可表达为绿色植被成分所贡献的信息 S_v 与非植被成分所贡献的信息 S_s 。植被覆盖度 F_c 为^[10-11]：

$$F_c = (S - S_s) / (S_v - S_s) \quad (6)$$

式中： F_c ——该象元的植被覆盖度； S_v ——假设全部

由植被覆盖的信息量； S_s ——假设全部由完全裸土或无植被覆盖的信息量。

将 NDVI 代入式(6),得到基于 NDVI 的象元二分模型为：

$$F_c = (NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s) \quad (7)$$

式中： $NDVI_s$ ——完全裸土或无植被覆盖的裸地像元的 NDVI 值； $NDVI_v$ ——全植被覆盖的 NDVI 值,即纯植被像元的 NDVI 值。 $NDVI_s$ 值取评价区域影像中 NDVI 最小值； $NDVI_v$ 值取评价区域影像中 NDVI 最大值。于是,(7)式转换为：

$$F_c = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}) \quad (8)$$

这样就把混合像元的植被指数值转换为植被覆盖度值,即通过建立 NDVI 与植被覆盖度的转换关系,进而估算植被覆盖度。可根据计算得到的像元及其光谱特征按 0%~10%,10%~20%,20%~30%,30%~40%,40%~50%,50%~60%和 >60% 将植被覆盖度按等级划分(附图 6)。

2.5.2 土壤含水量测定 土壤水是植物吸收水分的主要来源,其含量间接体现该地区的植被覆盖信息。另外,水分对土壤具有重要意义,它能影响土壤的物理性质,制约土壤中养分的溶解、转移和微生物的活动,是影响土壤肥力的重要因素^[12]。因此本研究采用土壤含水量作为区域生态环境评价的一项指标。

土壤热惯量是土壤的一种热特性,它是引起土壤表层温度变化的内在因素,它与土壤含水量有密切的相关关系,同时又控制着土壤温度日较差的大小。而土壤温度日较差可以由卫星遥感信息获得,使热惯量法研究土壤湿度成为可能^[13]。其公式为^[14]:

$$W = a + bp \tag{9}$$

式中: W ——土壤含水率(%); P ——土壤热惯量($J/m^2Ks^{1/2}$); $P = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$, 式中: λ ——热传导率(J/mKs); ρ ——土壤密度(kg/m^3); c ——热容量(J/kgK)。由于 λ, ρ, c 很难从遥感信息中获得,因此,计算热惯量 P 较困难。从热传导方程出发,经理论

推导得到^[14]:

$$(1-A)/\Delta T = f(P) \tag{10}$$

式中: A ——反照度(%); ΔT ——地面昼夜温差($^{\circ}C$); 将 $(1-A)\Delta T$ 定义——表现热惯量, $(1-A)/\Delta T$ 的值随 P 的增大单调上升,其值的大小反映热惯量 P 的相对大小。

利用大气辐射传输模型,针对 LandsatTM 数据,高志海等^[15]通过模拟建立了不同传感器地表反照率估算的通用公式:

$$a = 0.356\rho_{TM1} + 0.130\rho_{TM3} + 0.373\rho_{TM4} + 0.085\rho_{TM5} + 0.072\rho_{TM7} - 0.0018 \tag{11}$$

式中: a ——地表反照率, $\rho_{TM1}, \rho_{TM3}, \rho_{TM4}, \rho_{TM5}$ 和 ρ_{TM7} ——TM(或 ETM) 波段 1, 3, 4, 5, 7 的反射率。求出 a 之后,代入(10)式计算研究区的热惯量。由于不同土地利用类型反射的地表信息不同,导致不同土地利用类型相同的土壤含水率其热惯量值不同。在野外实测样地中,热惯量均为 0.04 时,草地的土壤含水率为 0.82%,裸地的土壤含水率为 0.43%,耕地的土壤含水率为 1.83%。因此,用野外实测数据与计算的热惯量值进行拟合时,按不同土地利用类型分别建立拟合方程,其 R^2 值都大于 0.8,进而更为合理的反演土壤含水率(图 1),整体反演结果按等级划分(附图 7)。

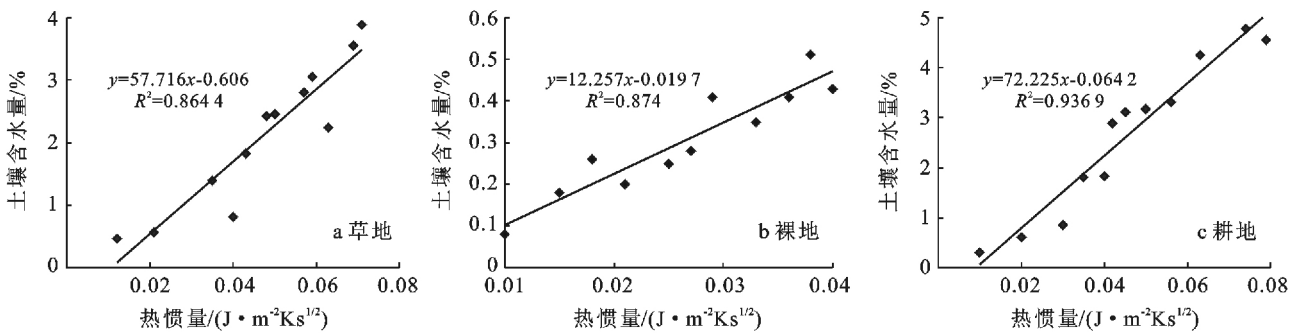


图 1 土壤热惯量与土壤含水率的关系

2.5.3 土壤质地分类 根据安徽省土壤质地分布图,利用 ArcMap 软件,把安徽省土壤质地分布情况矢量化,然后把提取的矢量文件导入到 ENVI 软件中对不同土壤质地类型进行编码,最后把编码图用式(12)进行影像化^[14]:

$$G = \frac{(I - I_{min})}{(I_{max} - I_{min})} \times 255 \tag{12}$$

式中: G ——每个编码因子的像元灰度值; I_{min} ——整幅影像中编码的最小值; I_{max} ——整幅影像中编码的最大值; I ——每一点的编码值,目的是使每个像元都有便于遥感信息模型计算的编码灰度值。由于不同的土壤质地其物理性黏粒含量也不同,将其进行分

类(图 2)。

2.5.4 裸地比率提取 裸地比率的提取方法多种多样,本研究采用线性光谱混合分解模型(LSMM, linear spectral mixture mode)提取裸地比率。线性光谱混合分解模型(LSMM)是一种发展比较完善、应用比较广泛的光谱混合分析方法,假设组成混合像元的不同地物类别的光谱以线性组合的方式组成混合像元的光谱,并且组成混合像元的不同地物类别光谱之间是独立的,其每种地物类型在该像元内所占的面积比例(丰度)作为权重系数。本研究采用全受限的 LSMM^[16]进行分析,其公式为:

$$\rho_{ijk} = \sum_{m=1,p} F_{ijm} \rho_{mk} + e_{ijk} \quad (13)$$

$$\sum_{m=1,p} F_{ijm} = 1 \quad (14)$$

式中： ρ_{ijk} —— i 行 j 列像元在 k 波段的反射率； F_{ijm} ——端元 m 在 i 行 j 列像元中所占分量值 ($0 \leq F_{ijm} \leq 1$)； ρ_{mk} ——端元 m 在 k 波段的反射率； e_{ijk} —— k 波段 i 行 j 列像元的误差值。由于该模型受误差的影响较大，因此在应用过程中应尽可能的减小每个像元的误差值，即使均方根误差 RMSE (root mean square error) 最小化，公式为 $REMS = (\sum e_{ijk}^2 / N)^{1/2}$ ，其中 N ——像元总数。本研究使用最小二乘法解该模型。最小二乘法公式为：

$$\hat{f} = (M^T M)^{-1} M^T X \quad (15)$$

式中： \hat{f} ——基本组分的分量矢量； M ——基本组分在不同波段的反射率矢量； X ——所有像元在相应波段的反射率。本研究采用式(13)对安徽省 2009 年 TM 影像进行线性光谱混合像元分解，得到裸地比率分量图，根据计算得到的像元及其光谱特征按 0%~10%，10%~20%，20%~30%，30%~40%，40%~50%，50%~60%，>60% 将裸地比率按等级划分，以其分量作为裸地比率的评价指标(附图 8)。

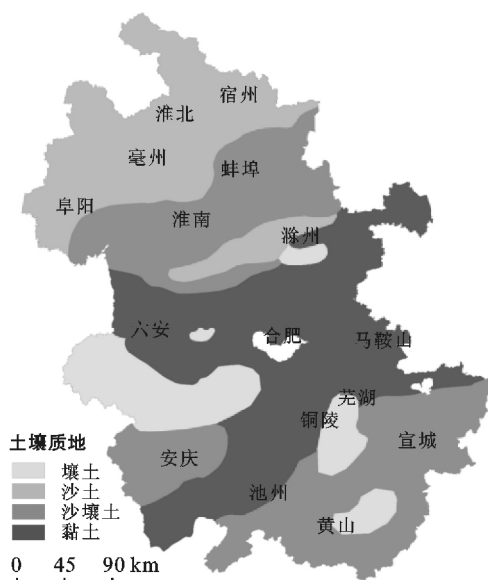


图 2 研究区土壤质地分类

2.6 建立生态评价遥感信息模型

不同的土地利用类型其评价指标的权重也不同，因此要按照不同的土地利用类型建立生态质量评价遥感信息模型。将各个评价因子代入(4)式进行计算，再将得到的生态质量评价等级值图进行复合，得到研究区生态质量评价结果(附图 9)。

2.7 验证评价结果

结果验证采用安徽省 2009 年 6 月野外 GPS 实

测数据，在实地不同土地利用类型上随机选取 100 个样点进行精度验证。为验证此模型的可行性，本研究采用周先传等提出的基于遥感的安徽省生态质量评价模型进行对比。结果显示本模型的评价精度除裸地为 78% 外，其他土地利用类型的评价精度都在 82% 以上，而周先传^[9]模型的评价精度都在 76% 以下，而且本模型的评价总体精度较周先传模型提高了 15% (表 4)。本模型和周先传模型都采用植被指数作为生态环境质量的评价指标，此外，本研究还从土壤理化特征入手，并取得良好的效果。

表 4 本文模型与周先传模型生态评价精度对比

土地类型	本模型结果		周先传模型结果	
	正确评价 点数	精度/ %	正确评价 点数	精度/ %
草地	85	85	70	70
林地	83	83	75	75
裸地	78	78	64	64
居民及工矿用地	88	88	67	67
耕地	90	90	73	73
总体精度	—	85	—	70

3 结论

(1) 在进行遥感生态评价时，要根据研究区的不同特点，采用针对研究区地理特征的评价方法，具体问题具体分析，以提高区域评价精度。

(2) 安徽省地理特征较为复杂，土地利用类型多种多样，植被覆盖度占研究区生态评价的比重仍然较大。

(3) 本研究从土地利用的角度建立遥感信息模型对生态质量进行评价，指标合理，权重客观。利用 NDVI 和像元二分模型提取的植被覆盖度作为地表植被覆盖信息的评价指标、利用土壤中含水量作为研究区地表植被覆盖信息与土壤肥力的评价指标、利用裸地比率评价土地荒漠化程度、利用土壤质地不同将土壤中物理性黏粒含量作为评价土壤板结情况指标，取得良好的效果，总体评价精度较传统指标体系评价精度高。

[参 考 文 献]

- [1] 朱晓华, 杨秀春, 谢志仁. 江苏省生态环境质量动态评价研究[J]. 2002, 22(1): 97-100.
- [2] 王玉梅, 尚金武, 徐凌. 吉林生态省建设规划背景评价的生态足迹分析[J]. 环境科学与管理, 2005, 30(5): 48-51.
- [3] 盛周君, 孙世群, 倪小东, 等. 安徽省生态环境质量评价[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(31): 9991-9992.
- [4] 王军, 罗明, 龙花楼. 土地整理生态评价的方法与案例[J]. 自然资源学报, 2003, 18(3): 363-367.

(下转第 350 页)

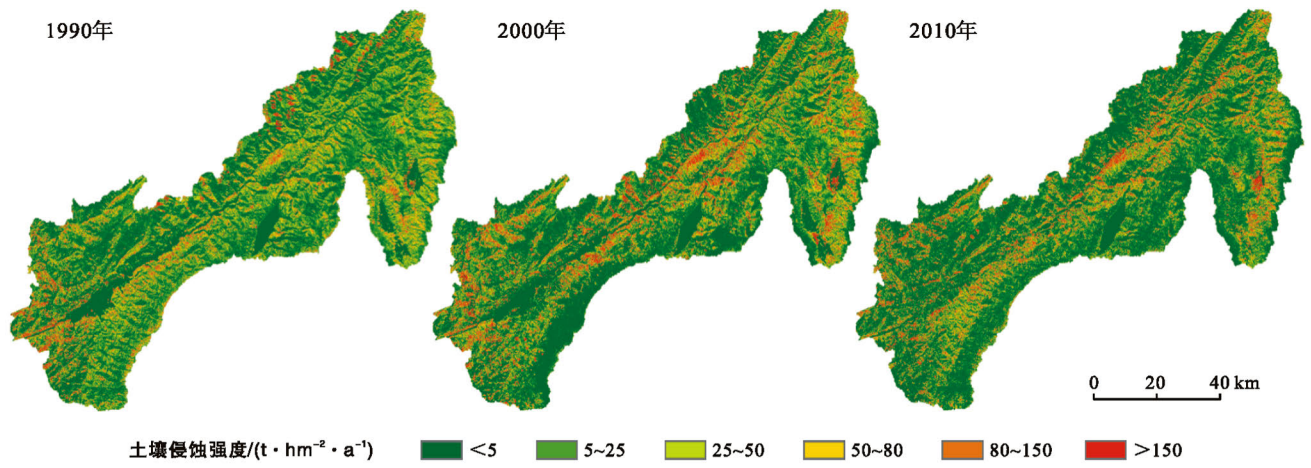
人口负荷型粮食短缺的东部武汉城市圈应切实保护基本耕地警戒线,提高粮食安全生产意识;粮食盈余的中部地区应加强推进高标准基本农田建设,切实保障湖北省农业稳定,并为国家粮食安全做出贡献。

(5) 需要指出的是:①由于数据获取受限,本文仅从人粮关系的角度对全省分县范围内的土地资源承载力进行了分析探讨,而对全省耕地利用状况和特征未作详细分析,这在一定程度上限制了对湖北省土地资源承载力的更深入了解;②本文讨论的理论承载人口是从人均粮食占有量的安全值进行考虑,仅属于生存型粮食需求,随着社会的发展和人类膳食结构的调整,还应考虑营养型粮食需求和享受型粮食需求下土地资源承载力状态,这在今后的研究中需要进一步加强。

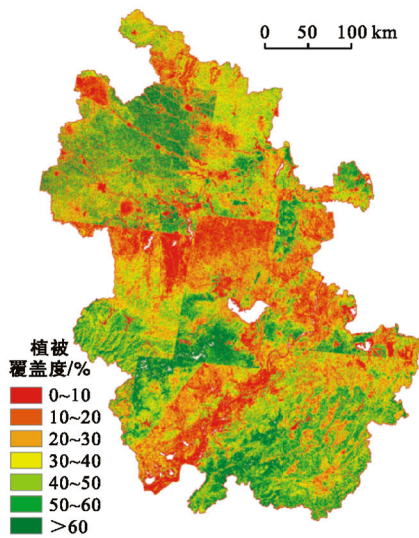
[参 考 文 献]

- [1] 张晶. 2020 年中国人粮关系情景分析[J]. 经济地理, 2010, 30(12): 1950-1954.
- [2] 郭玮. 粮食供求区域平衡政策研究[J]. 经济研究参考, 2005(11): 22-31.
- [3] 屈宝香, 张华, 李刚. 中国粮食生产布局与结构区域演变分析[J]. 中国农业资源与区划, 2011, 32(1): 1-6.
- [4] 汤进华. 湖北省耕地变化与粮食生产的特征分析[J]. 水土保持通报, 2010, 30(2): 79-82.
- [5] 王雨濛. 湖北省粮食生产灰色关联动态分析[J]. 农业技术经济, 2011(6): 81-86.
- [6] 陈昉源, 黄晦蕾, 戴新民. 湖北省粮食生产警情的测定及其意义分析[J]. 湖北农业科学, 2004(4): 10-13.
- [7] 闵锐. 粮食全要素生产率: 基于序列 DEA 与湖北主产区县域面板数据的实证分析[J]. 农业技术经济, 2012(1): 47-55.
- [8] 宋蕾, 闫金明. 水灾害对湖北省粮食安全的影响研究[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2012, 46(4): 498-501.
- [9] 张杰, 卢李朋, 姜朋辉, 等. 湖北省粮食生产的多尺度及关联动态分析[J]. 经济地理, 2013, 33(7): 140-147.
- [10] 闵锐, 李谷成. 湖北省粮食生产要素生产率变化和技术进步的替代效应及政策建议[J]. 农业现代化研究, 2012, 33(5): 593-597.
- [11] 喻翠玲, 冯中朝. 我国粮食生产的波动性及其影响因素分析[J]. 农业现代化研究, 2006, 27(1): 7-10.
- [12] 封志明, 杨艳昭, 张晶. 中国基于人粮关系的土地资源承载力研究: 从分县到全国[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 865-875.
- [13] 宗义湘, 赵邦宏, 石会娟, 等. 河北省小麦产量波动研究[J]. 农业经济问题, 2008(11): 32-37.
- [5] 吴见, 彭道黎. 以土地利用为基础的多伦县沙质荒漠化评价遥感信息模型[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(3): 114-121.
- [6] 刘玉平. 荒漠化评价的理论框架[J]. 干旱区资源与环境, 1998, 12(3): 74-82.
- [7] 丁国栋. 荒漠化评价指标体系的研究: 以毛乌素沙区为例[D]. 北京: 北京林业大学, 1998.
- [8] 齐立夫. 模糊等价关系的动态聚类法及在城市分类中的应用[J]. 工程科技, 2009(3): 146-147.
- [9] 周先传, 钱贞兵, 汪视, 等. 基于遥感的安徽省生态环境质量评价[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(14): 4381-4383.
- [10] 叶娇珑, 何政伟, 翁中银, 等. NDVI 像元二分模型在喀斯特地区提取石漠化中的应用[J]. 地理空间信息, 2012, 10(4): 134-137.
- [11] 郭芬芬, 范建容, 严冬, 等. 基于像元二分模型的昌都县植被盖度遥感估算[J]. 中国水土保持, 2010(5): 65-67.
- [12] 张晓虎, 李新平. 几种常用土壤含水量测定方法的研究进展[J]. 陕西农业科学, 2008(6): 114-117.
- [13] 张灿龙, 倪绍祥, 刘振波, 等. 遥感监测土壤含水量方法综述[J]. 农机化研究, 2006, 6(6): 58-61.
- [14] 范文义. 荒漠化程度评价高光谱遥感信息模型[J]. 林业科学, 2002, 38(2): 61-67.
- [15] 高志海, 魏怀东, 顶峰. TM 影像 NDVI 提取植被信息技术研究[J]. 干旱区资源与环境, 1998, 12(3): 98-103.
- [16] 吴见, 彭道黎. 改进线性光谱混合分解模型湿地信息提取[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(3): 140-144.

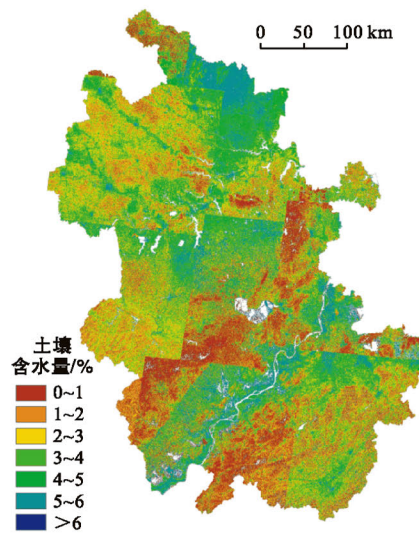
(上接第 344 页)



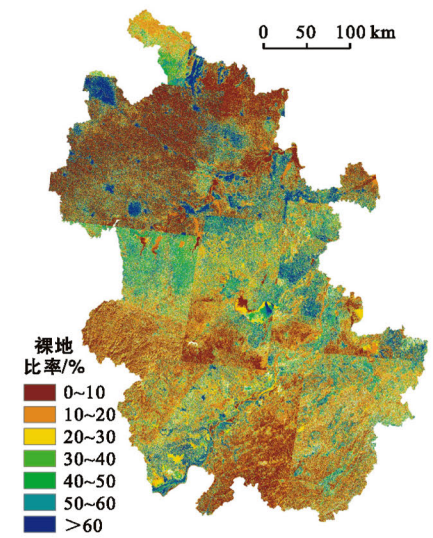
附图5 南汀河流域土壤侵蚀强度(337页)



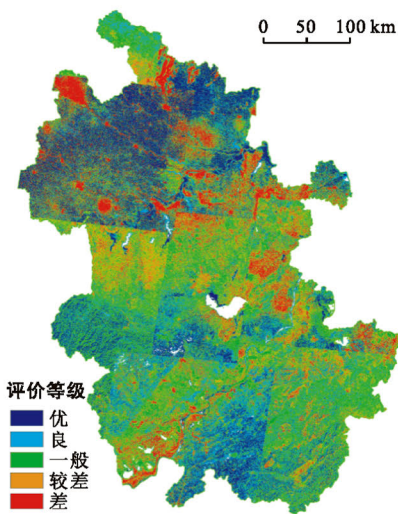
附图6 利用NDVI和像元二分模型提取的安徽省植被覆盖度(343页)



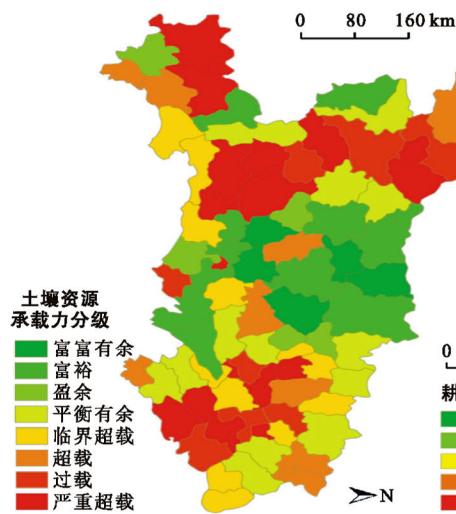
附图7 用热惯量法反演的安徽省土壤含水量(343页)



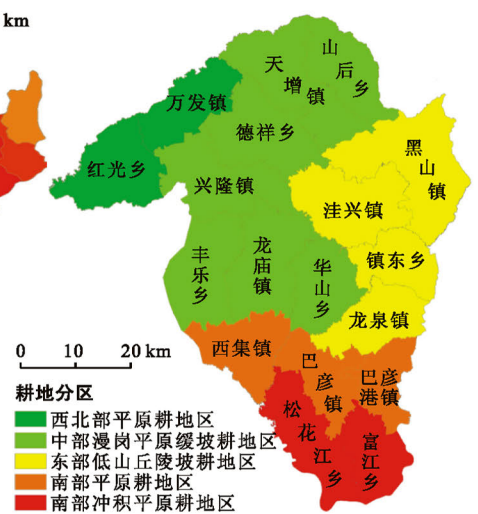
附图8 利用线性光谱混合像元分解提取的安徽省裸地比率(344页)



附图9 安徽省生态质量评价结果(344页)



附图10 2012年湖北省分县土地资源承载力空间格局(348页)



附图11 黑龙江省巴彦县耕地利用分区(353页)