

## 应用遥感技术评估土壤侵蚀影响因素

王莉雯<sup>1</sup>, 牛 铮<sup>1</sup>, 卫亚星<sup>2</sup>

(1. 中国科学院 遥感应用研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

2. 辽宁师范大学 城市与环境学院, 辽宁 大连 116029)

**摘 要:** 在全世界范围内土壤侵蚀对农业生产、地基和水质都具有负面影响。因此, 进行土壤侵蚀评价是非常重要的, 但其往往受到数据可用性和数据质量的限制。利用遥感技术有助于土壤侵蚀的评价, 可以为土壤侵蚀评价提供所需的空数据。在过去的 30 a 做了不同深度层次的研究工作。主要回顾了利用遥感技术评估土壤侵蚀影响因素的方法。土壤侵蚀影响因素的评估包括: 地貌、土壤特性、植被覆盖和管理措施。

**关键词:** 土壤侵蚀; 遥感; 土壤特性

**中图分类号:** TP79; S157

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2007)05-0189-04

## Assessing Erosion Controlling Factors by Remote Sensing

WANG Li-wen<sup>1</sup>, NIU Zheng<sup>1</sup>, WEI Ya-xing<sup>2</sup>

(1. The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Liaoning Normal University, Dalian, Liaoning 116029, China)

**Abstract:** Erosion has a negative effect on agriculture, infrastructure and water quality in the world. Then it is very important to assess erosion, which is limited by data availability and data quality. Remote sensing contributes to assess erosion, and it can provide the spatial data, which is required by assessing erosion. During the past 30 years, a great deal of research has been done in this field. The authors mainly review methodologies of assessing erosion controlling factors by remote sensing. Erosion controlling factors include topography, soil, vegetation, conservation practices and tillage.

**Key words:** erosion; remote sensing; soil behavior

土壤侵蚀是世界范围内最重要的土地退化问题。土壤侵蚀以它对农业生产、地基和水质质量的影响, 产生了恶劣的环境影响和高昂的经济代价。而且, 土壤侵蚀导致土壤中的有机碳以 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 的形式排放到大气中, 致使全球变暖。反过来, 全球变暖又提高了土壤侵蚀速度。土壤侵蚀问题的正确评估很大程度上依赖于它们的空间、经济、环境和文化背景。土壤侵蚀的发生发展主要受自然界和人类活动的影响和控制, 通常将土壤侵蚀因素分为自然因素和人为因素两大类, 自然因素包括地貌、土壤、植被等。

为了控制土壤侵蚀, 需要在耕地、山坡和流域实施生物物理措施。但是, 紧缺资源保护区的分配和政策法规的制定需要从区域角度进行土壤侵蚀评估。这项任务的主要瓶颈是数据可利用性和数据质量。遥感技术利用其定期重访能力可以提供大区域同类数据, 因此, 有助于区域土壤侵蚀评估。大多数利用遥感技术对土壤侵蚀进行的研究主要集中在评估土壤侵蚀影响因素上, 可以用遥感数据来确定土壤和植被的类型。

### 1 地貌因素

为了研究地貌因素对土壤侵蚀的影响, 需要根据目视解

译遥感图像(例如 Landsat 图像)的结果来辨别地貌<sup>[1]</sup>。但是, 目前的土壤侵蚀模型几乎总是要求输入 DEM 数据来估计坡度特性。一般来说, 诸如 DEM 之类的数据可以从地形图上的等高线获取, 在少数情况下也可从立体航片上获得。现今, 有多种方法可以从遥感数据中提取高质量的 DEM 数据(高程精度 < 20 m), 例如, 由 SPOT 和 ASTER 提供的立体图像、SAR 图像。SRTM 的 SAR 干涉测量方法提供了从北纬 60° 到南纬 57° 之间地区的 DEM 数据<sup>[2]</sup>。

很少有研究人员将从遥感数据中获取的 DEM 数据应用在土壤侵蚀研究中。Khawlie 等人根据 ERS SAR 干涉测量的 DEM 数据计算出坡度<sup>[3]</sup>。也有将 ERS SAR 干涉测量图(在建立 DEM 步骤之前就已得到的干涉测量产品)直接用于坡度计算。SPOT HRV 常用于辅助目视解译土壤侵蚀地貌和计算坡度、曲率<sup>[4]</sup>。也可以由 MOMS-2 立体数据建立 DEM 模型, 再据此计算出坡长和坡度。ASTER 和 SRTM 在土壤侵蚀方面的应用研究在文献中还未出现, 但是它可能在研究机构中已经实现。

### 2 土壤因素

土壤的抗侵蚀性是不相同的。土壤的抗侵蚀性是土壤

收稿日期: 2006-10-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40571117); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-313); 遥感科学国家重点实验室科研资助基金项目(KQ060006)

作者简介: 王莉雯(1971—), 女, 山东蓬莱人, 工程师, 博士生, 主要从事遥感应用研究。

特性(例如质地、结构、土壤湿度、不光滑程度和有机质含量等)的综合表现。土壤对土壤侵蚀的易感性一般称为土壤可蚀性。土壤分类经常用于说明土壤可蚀性的地区差异性。在土壤分类的基础上,土壤特性、气候、植被、地貌和岩石特性都是影响土壤侵蚀的重要因素,这些因素都可用遥感技术绘制成图<sup>[5]</sup>。特别是遥感图像常被用于绘制土壤类型图(主要通过土壤的目视解译)。为了更好地使用目视解译技术,地形特性和土壤颗粒之间的详细相关知识是必不可少的。这些知识可以以清晰的标准形式罗列出来,例如,建立土壤和地形数据库 SOTER<sup>[6]</sup>。通过遥感图像的目视解译来对土壤进行分类,常被用于评估土壤可蚀性的差异。用 Wischmeier 和 Smith 提出的公式,可以确定土壤类型与土壤可蚀性之间的关系。

Wang 等人用同样的公式确定了耕地土壤可蚀性数值<sup>[7]</sup>,并用得到的值来推断整个样本地区土壤可蚀性的值,推算过程中采用了两种地理统计方法(co-kriging 和 co-simulation)。在这两种方法中,用 Landsat TM 的第七波段区分土壤可蚀性空间差异性。这种制图方法成功必须归功于在研究区域的植被和土壤类型之间存在确定的关系。当这种关系清晰时,土壤可蚀性的空间差异性就会被更好地表现出来。

表层土壤的性质决定了它的颜色,进而会影响到土壤的光谱特性。蒙塞尔系统确定土壤颜色与遥感图像像元灰度值之间存在某种程度的联系<sup>[8]</sup>。不同的土壤特性会影响土壤的光谱反射率,例如:土壤质地、有机质含量、土壤湿度、氧化铁含量和土壤矿物质含量。这可能会成为研究某一特定性质的一种限制,但是当有一种或多种土壤表层特性影响它的光谱反射率时,或许可以将土壤表面状态进行分类。然后,使用野外测量的方法将这些土壤表面状态与地表径流和土壤侵蚀潜在危险程度联系起来。对土壤侵蚀研究较为重要的土壤表层状态是表层皴裂和深层土的裸露。皴裂的土壤与未皴裂的土壤相比,有时具有明显的光谱特性,这是因为表层土壤黏粒含量较多,不光滑性较低<sup>[9]</sup>,但是这种现象在很大程度上依赖于皴裂类型和土壤类型。Mathieu 等人在 1997 年使用多时相 SPOT HRV 图像分析了法国北部地区裸露土壤表层的皴裂动态。除了皴裂现象,由土壤侵蚀引起的深层土的逐步裸露也会导致明显的光谱变化。当这些变化为人所知时,就可应用遥感图像对土壤侵蚀状况进行空间和时间评估。

使用遥感图像测量表层土壤反射率的困难在于植被的干扰影响,这会极大地限制对温带和潮湿地区以遥感图像为基础的土壤研究,除非农业耕种周期性地使土地处于休闲状态。为了将土壤信号从植被信号中分离出来,对(半)干旱地区普遍采用的一项技术是线性光谱解混技术。这项技术是将光谱反射信号模型化,成为几个称为端元的原型光谱的线性组合。可以假设遥感图像中的光谱变化是由有限的几个表面物质产生的,这些物质有充足的光谱对比,即具有易分离性。只要端元的数目不超过光谱波段总数减一,这样就获得了一种惟一的解决方案,使每个像元的相关端元很丰富。

由此可以说明土壤评估时植被和阴影所造成的干扰影响。了解了区域的土壤类型,并结合它们的光谱特性掌握了它们各自的最优和退化形式,就可采用光谱解混技术进行土壤侵蚀评估。当表层土壤被侵蚀后,有机质和氧化铁的含量就会降低,岩石会逐渐地显露出来<sup>[10]</sup>。因此,光谱解混技术可以用于根据 Landsat TM 图像绘制土壤侵蚀图。用多时相遥感图像,分析希腊某地的土壤侵蚀变化状态,可以发现 1985~1990 年期间该地区的土壤侵蚀程度日趋严重。

能够用 SAR 系统评估的土壤特性有:土壤表层不光滑性、土壤湿度和土壤质地。尽管许多研究致力于用 SAR 评估土壤湿度,以遥感图像为基础的评估方法仍旧非常复杂。即使在土壤裸露地区,土壤表层的不光滑性和土壤湿度对雷达的后向散射仍存在一定的影响,这两种影响没有其它附加的信息是区分不开的。然而,几位研究人员声称,当可以获得准确的土地使用信息时,可以成功地将这两种影响的变化区分开<sup>[11]</sup>。在土壤侵蚀研究中,很少有人使用 SAR 来评估土壤的不光滑性和湿度。为了确认法国南部地区葡萄园中地表径流的潜在风险,Remond 等人用多时相 ERS-1 图像来辨别农业地区具有周期性和稳定性的土壤表层的不光滑性。Baghdadi 等人将表层土壤的不光滑性进行分类,用以确定法国北部地区裸露土壤地表径流的潜在危险程度。他们发现具有高入射角 47° 的 RADARSAT-1 图像比入射角为 39° 的 RADARSAT-1 图像和入射角为 23° 的 ERS-1 图像,能更好地对表层土壤的不光滑性进行分类。

### 3 植被因素

植被覆盖可以为土壤提供保护,抵御土壤侵蚀过程。为了说明土壤侵蚀评估中的植被因素,覆盖与管理因子(C 因子)经常被使用。C 因子被定义为已收割地表的土壤流失率,考虑了长期休闲地的特定情况。在世界许多地区,植被覆盖表现出很强的季节变化特征。长期的动态变化与一些因素有关系,例如土地利用模式的变化或资源的逐步枯竭。短期的动态变化是由降水、人类活动(例如:收割庄稼、烧荒等)等造成的。许多利用遥感图像研究土壤侵蚀的工作,将重点放在植被覆盖的评估上。这些研究需要以某种方式解释某一个时期的变化,因此选取适时的遥感图像是非常重要的,尽管不是总存在最适合的图像。基于这种研究的目的,有时对一个时期进行评估就足够了。但是,对于基于物理特性的模型,需要与雨季和庄稼生长时期的遥感图像仔细匹配,这就需要多时相遥感图像来解释说明季节的变化性。

土地利用类型分类常被用于绘制植被类型图,不同的植被类型保护土壤的能力是不同的。分类后,植被类型的性质次序也确定下来了,C 因子可以用文献中报道的值来指定。在大多数情况下,在分类范围内季节性农作物的生长动态可以得到说明,因为已指定了年均 C 因子的值。在土壤侵蚀研究中,可以通过目视解译遥感图像的地物类型,或者通过自动分类的方法,对土地利用类型进行分类<sup>[12]</sup>。最常用的方法是非监督分类和监督分类。非监督分类是将像元按照它们光谱值的相似性进行分组。监督分类是将像元分配给预先确定的类,而预先确定的类一般是根据地面的真实数据

建立的。也可以将上面提到的分类技术结合起来使用。Folly 等人用目视解译 Landsat TM 的方法对主要的覆盖类型进行了分类。随后,用监督分类对每个类别做细微的调整。有一些研究人员采用了监督分类和非监督分类混合的方法<sup>[13]</sup>。由于一些植被的季节性变化,使用多时相遥感图像进行分类可以提高分类的精确度。Foody 给出了土地利用类型分类精度评估的细节。尽管 SAR 可以用于土地利用类型分类和其它分类,例如神经网络,在文献中没有出现将这种方法用于土壤侵蚀评估的研究。

为了减少分类错误的影响,能控制在分类允许变动的误差范围内,可以在遥感图像的波段或比值之间建立线性回归方程式,并且 C 因子的值要以野外的调查结果来确定。对加拿大 New Brunswick 地区的农业用地,建立了 C 因子值和波段比值(近红外波段与红光波段的比值)之间的相关关系。在德克萨斯州草原与森林混合地区,Gertner 等人发现 Landsat TM 第三波段与第四波段的比值(即红光波段与近红外波段的比值)和植被属性之间存在紧密的相关关系。他们采用结合时间序列的 co-simulation 技术画出 C 值的变化图,在该技术中波段的比值可以说明植被属性(次要变量)的空间变化性,野外调查的数据提供了属性值(主要变量)。在同样的研究区域,Wang 等人使用的 Landsat 图像比值为(TM3+TM7/TM4),这个比值与直接计算出的 C 值之间有更紧密的联系。Wang 等人用 Landsat 的第七波段作为次要变量,因为他们绘制了土壤可蚀性与 C 值的相关图,第七波段表现了最佳的相关关系。对比该地区采用不同技术绘制的 C 因子图,可以发现对 Landsat TM 图像采用结合时间序列的 co-simulation 技术能做得更好,优于以下分类技术:C 值与遥感图像比值的回归技术、结合 co-Kriging 技术、不采用 Landsat TM 图像的 co-simulation 技术。

植被指数是光谱波段比值的一种特殊的分类。这些指数的范围很宽。它们的原理是绿色植被在光谱的近红外波段有高的反射率,而在红光波段反射率低。一个常用的指数是归一化植被指数(NDVI),NDVI 定义为((近红外波段-红光波段)/(近红外波段+红光波段))。NDVI 被直接用于受保护的植被覆盖的标志<sup>[14]</sup>,也可以用回归分析的方法建立 NDVI 与植被覆盖的关系<sup>[15]</sup>。De Jong 得出结论在法国地中海地区来源于 Landsat 的光谱指数与植被属性之间的联系是松散的,但是他仍旧在后来的工作中用 NDVI 去做 C 因子估算。在野外精确估算植被覆盖比例的过程中,该方法遇到了困难,可以部分地解释这种联系是松散的。由于季节性的变化,指明计算出的植被指数的时间很重要。对于大多数情况,需要仔细挑选多时相遥感图像,这对于准确评估植被对土壤的保护是必不可少的。

土壤的反射率对 NDVI 这样的指数是有影响的,这些指数能够敏感地反映出植被的生命力。为了说明土壤的反射率,已形成了几种排除土壤干扰的植被指数,例如:土壤矫正植被指数 TSAVI。Cyr 等人指出在评估低密度植被覆盖时 TSAVI 指数比 NDVI 指数反映的更准确。负 TSAVI 值所在像元的位置就是有可能退化的区域<sup>[16]</sup>。但是,土壤矫正

指数不能准确地说明土壤类型的空间变化。在早期的生长阶段,植被的生命力最旺盛,这个时期植被覆盖较稀疏,但植被指数的值比实际值偏高,这是由于叶绿素活动剧烈。在植被衰老时期,植被指数的值会下降,即使这一时期植被覆盖的面积与早期生长阶段植被覆盖的面积相同。在土壤侵蚀过程中,植被的生理状况是次要的,因为衰老的植被为土壤提供的保护与生命力旺盛的植被是相同的。为了提高对干旱区植被的探测,Bonn 等人建议在土壤矫正农作物残茬指数(SACRI)中,结合 SWIR 和 NIR 波段。使用分光辐射度计的研究证明,用 SWIR 波段可以将农作物残茬从土壤中区分出来<sup>[17]</sup>。French 等人指出将 TIR 与 NDVI 结合,可以将衰老的植被从裸露的土壤中区分出来,Terra 卫星上搭载的 ASTER 传感器使得这一方法在目前是可行的。Bhuyan 等人没有使用植被指数区分麦茬地区,他们采用非监督聚类分类法获得了与地面农作物残茬有关的类。

线性光谱解混技术是评估植被覆盖时另一种可供选择的方法,这项技术主要在(半)干旱地区使用,它具有从一景图像中区分出不同土壤特性的优点。光谱解混技术将绿色植被作为端元,可估算绿色覆盖的百分比。用这种方法,Zhang 等人使用航片、Landsat TM 图像和 AV HRR 图像,确定了不同空间范围内的绿色植被覆盖面积。Ma 等人用日志线性联系方法,将来源于已解混 Landsat 数据的植被覆盖与 C 因子联系起来。为了说明不同植被类型的光谱特性,Paringit 和 Nadaoka 假设每个像元的植被类型没有混合,在使用解混技术之前,根据野外实际测量的土地利用现状图,自动重新恢复植被端元。Hill 等人提出端元可能包括无光合作用的植被,象衰老的植被或落叶。Bonn 等人声称对于这种植被,需要使用 SWIR 光谱波段,这样 Landsat TM 比 SPOT(HRV)遥感图像更加适合。Asner 和 Heidebrecht 用光谱解混技术有效地估算了无光合作用的植被覆盖。为了评估农作物残茬的抗土壤侵蚀作用,Biard 和 Baret 提出 CRIM(农作物残茬指数多波段)算法,该算法的理论基础是土壤和残茬的波段范围无重合交叉。通过野外辐射测量,他们发现使用 CRIM 算法比使用植被指数 SACRI,能更准确地估算出残茬的覆盖范围。随着时间的推移,农作物残茬的波谱范围与土壤的波谱范围很接近,所以确定残茬覆盖范围的最好时间是刚刚收割后。利用 Landsat 遥感数据估算加拿大魁北克地区玉米和小麦残茬在黏土和淤泥地上的覆盖范围时,CRIM 算法比植被指数(例如 SACRI)更适合<sup>[18]</sup>。

#### 4 保护措施和耕种措施

特别是在农业地区,一些保护措施,例如等高耕作法、条田耕作法和梯田耕作法,可以减少土壤的流失。这些措施的有效性经常用 P 因子来分析,P 因子被定义为使用某种措施在坡上耕作时土壤的流失率。不同的土地利用类型指定有不同的 P 值,土地利用类型是通过遥感图像分类获得的,研究区的土地利用类型用文献数据<sup>[19]</sup>或专家经验来确定。解译航片可以辨认出许多保护措施,但是由于 Landsat MSS 数据的低分辨率,这方面出现了一些问题。但是,Pelletier 和 Griffin 尝试将 Landsat MSS 数据与 TM 数据结合起来使

用,他们成功地辨认出几处保护措施。尽管如此,但很少有研究致力于用遥感数据识别保护措施。

这种方法的一个例外是使用遥感图像识别耕种措施。每种耕种措施产生的地表粗糙程度和农作物残茬是不同的,这是它们能够被识别的基础。图像的成像时间是非常重要的,因为实施某种耕作措施是在一年中的特定时间。De Gloria 等人对长达 5 a 时间的 Landsat MSS 图像进行目视解译,监督加利福尼亚地区分别采用传统耕作法和实施保护耕作措施的用地。有些研究人员采用符合逻辑的回归技术从 Landsat 图像中辨别耕种措施<sup>[20]</sup>。尽管在许多研究中将几个波段结合使用,但是所有的研究人员都认为 TM 的第五个波段(SWIR)与农作物残茬有关。

在温带地区,云层对获取耕种时间的遥感图像有影响。因此,需要使用 SAR 数据识别耕种措施,这是因为雷达观测不受云层干扰。为了评估挪威秋天耕种对土壤侵蚀的影响,采用 ERS-1 SAR 图像可以准确识别谷物残茬和犁地,但如果采用 SPOT HRV 图像效果较差。McNain 使用 RADARSAT 图像,根据残茬和耕种方式对雷达回波信号的影响,将土壤侵蚀趋势进行分类。他们强调使用多时相或多极化 SAR 图像可以有效地分类。因为雷达回波信号主要受其它因素的影响,而不被耕种措施影响(例如,土壤湿度、植被密度),因此,不能直接从 SAR 图像识别出耕种措施。Moran 等人证明光学图像和 SAR 图像的结合,比两种数据源分别单独使用,能够提供更多有关耕种和地表特性的信息<sup>[21]</sup>。

## 5 结 语

由于土壤侵蚀过程的复杂性、区域的差异性和应用范围,不能期望在不久的将来出现应用遥感数据的标准化土壤侵蚀评估系统。而且,需要使用的土壤侵蚀评估类型在很大程度上取决于研究区域的特征和想要达到的研究目的。因此,在土壤侵蚀评估中不能仅使用某一单一的技术或一类方法。但是,对于任何一个想要使用遥感数据的土壤侵蚀研究来说,首先要全面评估从不同类型研究区域的遥感图像中,可观察到并能获取的内容有哪些。在大多数情况下,会形成一些经验联系,这样就需要经过野外调查获得不断变化的观测数据。值得特殊注意并需要验证的有前景的方法包括:(1)土壤侵蚀探测 SAR 非相干干涉测量法;(2)对土壤可蚀性或 C 因子制图的地理统计;(3)用于评估土壤和植被状况的光谱解混技术。

## 参考文献:

- [1] Khan M A, Gupta V P, Moharana P C. Watershed prioritization using remote sensing and geographical information system: a case study from Guhiya, India[J]. Journal of Arid Environments, 2001, 49(3): 465—475.
- [2] Rabus B, Eineder M A R, Bamler R. The shuttle radar topography mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2003, 57(4): 241—262.
- [3] Khawlie M, Awad M, Shaban A, et al. Remote sensing for environmental protection of the eastern Mediterranean rugged mountainous areas, Lebanon [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2002, 57(1—2): 13—23.
- [4] Haboudane D, Bonn F, Royer A, et al. Land degradation and erosion risk mapping by fusion of spectrally-based information and digital geomorphometric attributes [J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(18): 3795—3820.
- [5] McBratney A B, Santos M L M, Minasny B. On digital soil mapping [J]. Geoderma, 2003, 117(1—2): 3—52.
- [6] Van Lynden G W J, Mantel S. The role of GIS and remote sensing in land degradation assessment and conservation mapping: some user experiences and expectations [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2001, 3(1): 61—68.
- [7] Wang G, Gertner G, Fang S, et al. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2003, 69(8): 889—898.
- [8] Singh D, Herlin I, Berroir J P S, et al. An approach to correlate NDVI with soil colour for erosion process using NOAA/ AV HRR data [J]. Advances in Space Research, 2004, 33(3): 328—332.
- [9] Escel G, Levy G J, Singer M J. Spectral reflectance properties of crusted soils under solar illumination [J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(6): 1982—1991.
- [10] De Jong S M, Paracchini M L, Bertolo F, et al. Regional assessment of soil erosion using the distributed model SEMMED and remotely sensed data [J]. Catena, 1999, 37(3—4): 291—308.
- [11] Low A, Waske B, Ludwig R, et al. Derivation of hydrological parameters from ENVISAT ASAR wide swath data [A]. Proceedings of IGARSS' 04 [C]. IEEE, Anchorage, AK, 2004.
- [12] Mati B M, Morgan R P C, Gichuki F N, et al. Assessment of erosion hazard with the USLE and GIS: a case study of the Upper Ewaso Ng'iro North basin of Kenya [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2000, 2(2): 78—86.
- [13] Vaidyanathan N S, Sharma G, Sinha R, et al. Mapping of erosion intensity in the Garhwal Himalaya [J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(20): 4125—4129.

(下转第 198 页)

值与城镇用地面积变化呈负相关,表明城镇用地的扩张占用了部分农用地和林地,也间接地说明农业的发展要求限制城镇用地的扩张。综合以上5个主要驱动因子,总的作用是促使城镇用地在14 a时间里扩张1 800.84 hm<sup>2</sup>。

#### 4.4 耕地面积变化的驱动力分析

从自变量投影重要性分析(表5)可见,自变量对城镇用地变化有重要解释作用的排序为,年末总人口( $x_1$ )>农业产值( $x_3$ )>渔业产值( $x_6$ )>工业产值( $x_7$ )>基本建设投资( $x_{11}$ )。年末总人口和农业总产值与耕地面积的变化呈正相关,表明人口的增加必然有粮食需求,而粮食需求促进了耕地面积的增加。渔业产值与耕地面积变化呈负相关,表明这个阶段渔业的发展导致了大片耕地面积的减少,近些年该区域大力发展水产养殖,挖塘养鱼占用了部分耕地。工业产值、基本建设投资均与耕地面积变化呈负相关,表明工业的发展和基本建设导致耕地面积减少。综合以上5个主要驱动因子,总的作用是使得耕地面积在14 a时间里减少了798.04 hm<sup>2</sup>。

#### 5 结 语

(1)从1986~2000年,研究区的景观格局变化显著。整个研究区的景观趋于集中化分布,景观形状更趋复杂,连通性增强,景观异质化程度增大,整体景观有向多元化和均衡化方向发展的趋势。

(2)从景观类型看,园地、城镇用地和农村居民点及交通工矿用地类型面积显著增加,而林地、水域、耕地和未利用地的类型面积呈下降趋势。园地分布趋于集中,连通性增强;林地、水域耕地和未利用地的斑块更为琐碎和分散,斑块形状变得更复杂;城镇用地及农村和居民点及交通工矿用地面积增加,斑块形状趋于复杂,连通性增强。景观类型间的转移主要表现为耕地、林地和未利用地向园地、城镇用地及农村居民点和交通工矿用地转移。

(3)通过建立偏最小二乘回归模型对研究区的景观格局

变化的社会经济驱动力进行分析,找出了景观格局变化的主要驱动因子。景观格局变化主要受人为因素影响,其中人口增加、工矿业和果树产业迅速发展、基本建设投资的扩大是景观格局变化的主要驱动因子。随着城镇化进程的加快,人地矛盾逐渐突出,这就需要一方面要保护该区的耕地数量和提高耕地质量,大力开展植树造林与恢复植被活动,保护生态环境。另一方面要对建设用地进行合理规划,集约利用。该研究可为研究区合理利用与管理资源环境,实施区域可持续发展战略提供决策参考。

#### 参考文献:

- [1] 邹建国. 景观生态学—格局过程、尺度和等级[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [2] 欧维新,杨桂山,等. 苏北盐城海岸带景观格局时空变化及驱动力分析[J]. 地理科学,2004,24(5):610—612.
- [3] 烟台市统计局. 烟台统计年鉴[Z]. 1986~2000.
- [4] 张恒喜,郭基联,朱家元,等. 小样本多元数据分析方法及应用[M]. 西安:西北工业大学出版社,2002. 22—23.
- [5] 高群. 三峡库区景观格局变化及其影响因素[J]. 生态学报,2005,10(25):2500—2505.
- [6] 李忠武,曾光明,朱华,等. 湘中红壤丘陵区景观格局变化研究[J]. 生态学报,2006,25(4):359—363.
- [7] 邹亚荣,张增祥,周全斌,等. 中国农牧交错区土地利用变化空间格局与驱动力分析[J]. 自然资源学报,2003,18(2):222—227.
- [8] 孟平,贾保全,等. 太行山低山丘陵区景观变化特征分析[J]. 生态学报,2004,24(4):826—828.
- [9] 张秋菊,傅伯杰,陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题[J]. 地理科学,2003,23(3):264—268.
- [10] Thiam A K. The causes and spatial pattern of land degradation risk in southern Mauritania using multitemporal AVHRR—NDVI imagery and field data[J]. Land Degradation & Development,2003,14(1):133—142.
- [11] Bhuyan S J, Marzen L J, Koelliker J K, et al. Assessment of runoff and sediment yield using remote sensing, GIS and AGNPS[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2002,57(6):351—364.
- [12] Flugel W A, Marker M, Moretti S, et al. Integrating geographical information systems, remote sensing, ground truthing and modelling approaches for regional erosion classification of semi-arid catchments in South Africa[J]. Hydrological Processes,2003,17(5):929—942.
- [13] Daughtry C S T, Hunt Jr E R, McMurtry J E. Assessing crop residue cover using shortwave infrared reflectance[J]. Remote Sensing of Environment,2004,90(1):126—134.
- [14] Arsenault E, Bonn F. Evaluation of soil erosion protective cover by crop residues using vegetation indices and spectral mixture analysis of multispectral and hyperspectral data[J]. Catena,2005,62(2—3):157—172.
- [15] Lee S. Soil erosion assessment and its verification using the Universal Soil Loss Equation and Geographic Information System; a case study at Boun, Korea[J]. Environmental Geology,2004,45(4):457—465.
- [16] Bricklemeyer R S, Lawrence R L, Miller P R. Documenting no-till and conventional till practices using Landsat ETM+ imagery and logistic regression[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2002,57(5):267—271.
- [17] Anton Vrieling. Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review[J]. Catena,2006,65:2—18.

(上接第192页)