

土壤侵蚀危险度评价方法研究

黄鑫^{1,2}, 蔡强国¹, 陈浩¹, 方海燕^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地水循环与地表过程重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 土壤侵蚀是全球面临的严重问题, 对人类可持续发展构成了很大的威胁, 有关土壤侵蚀危险度评价的研究显得越来越重要, 而方法的应用是进行土壤侵蚀危险度评价研究的基础与关键。因此, 对目前土壤侵蚀危险度评价研究常用的一些方法, 包括土壤抗蚀年限法和侵蚀因子权重评分法(基于USLE的评价方法、模糊综合评价法、层次分析及改进的层次分析法、加权重叠排序方法以及灰色关联度分析法)进行了分析与探讨, 以为今后的土壤侵蚀危险度评价研究工作提供参考依据。

关键词: 土壤侵蚀; 危险度评价; 抗蚀年限; 侵蚀因子权重法

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)02-0143-05

The Method of Soil Erosion Danger Assessment and Research of Their Comparison

HUANG Xin^{1,2}, CAI Qiang-guo¹, CHEN Hao¹, FANG Hai-yan^{1,2}

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Key Laboratory of Water Cycle & Related Land Surface Processes, CAS, Beijing 100101, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Soil erosion is a serious global problem, it threatens the sustainable development of humankind, so the research of soil erosion danger assessment is becoming more and more important. Using of the method is key and base of the research of soil erosion danger assessment, but there are few papers related to research of the comparison and applicability of soil erosion danger assessment method. So the article has analyzed and discuss soil erosion danger assessment methods which are often used, including fixed number of year of soil-resistant method and marking method of the weight of erosion factor (the assessment method based on USLE, Fuzzy Integrated Evaluation, Analytical Hierarchy Process and improved Analytical Hierarchy Process, Weighting Overlapping Ordering method), providing the reference for further assessment of soil erosion danger.

Key words: soil erosion; danger assessment; fixed number of year of soil-resistant; method of the weight of erosion factor

土地是人类最宝贵的自然资源和生存基础, 随着人口增长和对资源开发强度的增大, 土壤侵蚀已成为区域可持续发展中不可忽视的问题。自20世纪60年代美国土壤流失通用方程的问世, 促进了土壤侵蚀量的量化研究, 修正的通用方程已得到较为广泛的应用。近十几年来, 随着3S技术的应用, 突破传统径流小区和无水沙观测资料的限制, 开始注重区域尺度土壤侵蚀潜在危险度即土壤侵蚀敏感度的研究。土壤侵蚀量反映了侵蚀区土壤侵蚀的强度, 但无法反映侵蚀区土壤侵蚀的潜在危险程度。从生态安全和粮食安全的视角, 在有些地区, 土壤侵蚀量虽然不大, 但土壤侵蚀造成的后果要比某些土壤侵蚀量大的地区严重得多^[1]。因此, 近年来, 土壤侵蚀危险度即敏感度的研究越来越受到关注, 且

取得了一些研究成果。对土壤侵蚀危险程度能够进行准确的评价, 不仅有利于水土保持与生态安全建设, 而且对我国的农业可持续发展及经济建设等都具有重大意义。

土壤侵蚀潜在的危险程度是指地面自然生态平衡失调后可能出现的土壤侵蚀危险程度^[2]。从狭义上来理解, 主要指有效土层厚度(mm)除以年侵蚀深度(mm/a), 得出抗侵蚀的年限, 值越大, 则危险度越低, 值越小, 则危险度越高。广义上的土壤侵蚀潜在危险度, 还包括研究者在土壤侵蚀的现象和规律认识的基础上, 通过对区域土壤侵蚀危险度与主要驱动因子的关联分析与评判, 揭示区域土壤侵蚀危险程度、级别和时空分异, 分析自然因素和人为因素的综合影响。由于土壤侵蚀危险度的评判存在着狭义和广义的理解, 目前土

收稿日期: 2007-06-18

基金项目: “973”国家重点基础研究发展计划项目(2007CB407207); 中国科学院地理科学与资源研究所创新三期领域前沿课题(066U0104SZ); 国家自然科学基金项目(30671721, 40471085)

作者简介: 黄鑫(1983—), 男, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀、水土保持和GIS应用等方面研究。E-mail: huangx.05s@igsnrr.ac.cn
通信作者: 蔡强国(1946—), 研究员, 博士生导师。E-mail: caiqg@igsnrr.ac.cn

壤侵蚀危险度的评价研究主要存在两种方法:一种是土壤抗蚀年限法;另一种是侵蚀因子权重评分法,其中侵蚀因子权重评分法常见的有基于通用土壤流失方程 USLE 的评价方法、模糊综合评判方法、层次分析及改进的层次分析方法、加权重叠排序方法及灰色关联分析方法等。本文阐释了这两种主要评价方法的评判思想和指标体系构成,并对其存在的优缺点、局限性进行评述,给不断深入的土壤侵蚀危险度及相关评价研究提供参考。

1 抗蚀年限法

抗蚀年限法是根据受蚀土壤扣除临界土层的有效土层厚度与年平均侵蚀深度的比值,计算出该土壤表层所能承受侵蚀的年限^[3],再根据水利部颁布的土壤侵蚀危险度分级标准,按土壤的抗蚀年限将土壤侵蚀危险度划分等级。抗蚀年限法主要包括土壤侵蚀量(侵蚀模数)的估算、土壤抗蚀年限的估算和土壤侵蚀危险度分级几个步骤。

土壤侵蚀量的确定方法较多,直接测量、利用水库及塘坝的淤积量进行量测推算和采用土壤侵蚀或产沙数学模型。如孙希华等在侵蚀危险度评价研究中用通用土壤侵蚀方程 USLE 估算土壤侵蚀量^[4],闵捷等采用区域土壤侵蚀遥感定量模型来计算土壤侵蚀量^[5]。

土壤抗蚀年限是受蚀土壤扣除临界土层的有效土层厚度与年均侵蚀深度的比值,即

$$Y_c = t_0^*(H - 10)D/A \quad (1)$$

式中: Y_c ——土壤抗蚀年限(a); H ——土层厚度(cm); D ——土壤容重(g/cm^3); A ——年土壤侵蚀模数($t/km^2 \cdot a$); t_0^* ——单位换算系数; 10——临界土层厚度(cm)^[6]。

土壤侵蚀危险度分级是按水利部制定标准(表 1),将土壤侵蚀潜在危险度根据土壤抗蚀年限分为 5 级,即无险型、轻险型、危险型、极险型和毁坏型^[1]。

表 1 土壤侵蚀危险度分级^[7]

级别	类型	抗蚀年限/a
I	无险型	>1000
II	轻险型	100~1000
III	危险型	20~100
IV	极险型	<20
V	毁坏型	裸岩、明沙、土层不足 10 cm

应用抗蚀年限法,其最大的优点是有助于广大无水沙观测资料地区土壤侵蚀强度的估算,定量确定区域空间土壤侵蚀危险的程度和空间等级差别,危险度的确定有助于人们采取必要的水土保持的治理措施。为此水利部已将抗蚀年限法颁布为评价侵蚀的潜在危险度的标准,该法从土壤可蚀性的角度,评价土壤侵蚀的危险程度,物理意义明确,已得到较大范围的应用。其次,由于涉及的因子相对较少,这使得计算过程比较简单,特别是在无观测资料的地区土壤侵蚀潜在危险度的应用。但是,该方法存在的主要问题,一是评价区域受到一定限制,主要适用于缓坡地及土壤表层分层清晰的面蚀区的危险度评价,而不适合发育在母质层上的侵蚀及沟蚀较发育的地区;二是由于侵蚀与成土过程同时存在,表层土壤侵蚀年限难以准确确定,因此,评价的结果存在一定误

差;三是评价土壤侵蚀危险度本身,不能体现土壤层侵蚀机理以及环境因子影响侵蚀危险度的驱动力机制;四是抗蚀年限法的评价过程是静态的,不能反映出下垫面因子动态变化引起的侵蚀状况的变化,如人类采取的水土保持措施对土壤抗蚀性的影响等。

2 侵蚀因子权重法

目前比较常用的侵蚀因子权重评分法主要包括基于通用土壤流失方程 USLE 的评价方法、模糊综合评判方法、层次分析以及改进的层次分析方法、加权重叠排序方法、灰色关联度法等。

2.1 基于通用土壤流失方程 USLE 的评价方法

基于 USLE 的土壤侵蚀危险度评价方法是目前常用的土壤侵蚀危险度评价方法之一。该方法是根据 W. H. Wischmeier 等提出的通用水土流失方程 $A = R \cdot K \cdot SL \cdot C \cdot P$, 式中: A ——土壤年流失量; R ——降雨侵蚀力因子; K ——土壤可蚀性因子; S ——坡度因子; L ——坡长因子; C ——植被覆盖或作物管理因子; P ——保土措施因子^[8], 将影响土壤侵蚀量的主要因子归结为降雨侵蚀力因子、土壤可蚀性因子、坡度坡长因子、植被覆盖因子和水土保持措施因子,先对这些因子进行单因子评价,即分别计算每个影响因子的值(包括根据专家经验以及地区的土壤侵蚀特点进行单因子的分级和赋值),再计算各个评价因子的权重,最后进行多因子的综合评价,得到地区的土壤侵蚀危险度分级。

在对影响土壤侵蚀危险度的单因子评价中,降雨侵蚀力的计算有两中方法:即经典法 EI_{30} 法和降雨动能 E 的简易法^[9];土壤可蚀性因子可以根据土壤质地和有机质含量从“USLE 中土壤可蚀性因子 K 值表”中查得;坡度坡长因子在绝大多数的研究中用地形起伏度来代替,也就是地面一定距离范围内的最大高程差,通常根据研究地区的 DEM 图,在 GIS 系统中分析提取获得;植被覆盖度因子通常用研究地区的遥感影像,在遥感图像处理软件中提取;水土保持措施因子在不同的研究中计算的方式不同。

土壤侵蚀评价因子权重的确定,可以根据具体的研究需要选择专家打分方法、层次分析方法等。多因子的综合评价,一般是在 GIS 系统中实现,根据单因子的评价结果,在 GIS 中通过叠合分析等得出综合评价结果,即土壤侵蚀危险度评价等级。

基于通用土壤流失方程的危险度评价方法,其危险程度是建立在侵蚀量定量确定的基础上,主要优点是评价因子选取相对较全面,综合了影响土壤侵蚀的主要驱动因子,而且经过学者对通用土壤侵蚀方程多年的研究和在各地的适应性修正,其评价结果准确性较高。但基于通用土壤流失方程的土壤侵蚀危险度评价也存在一定的局限性。一是 USLE 通用方程建立在坡面径流小区的基础上,在沟蚀较发育的地区及较大尺度区域的研究中存在一定的限制。二是 USLE 通用方程难以揭示影响因子之间的交互作用,也不能反映侵蚀作用机理,仅是一个面蚀过程的笼统表达式^[10],此外,土壤侵蚀危险度的等级及因子权重的确定不能从 USLE 通用方程直接确定,还需要进行必要的转换。

2.2 模糊综合评判法

将评价目标看成是由多种因素组成的模糊集合(称为因素集 U),再设定这些因素所能选取的评审等级,组成评语的模糊集合(称为评判集 V),分别求出各单一因素对各个评审等级的归属程度(称为模糊矩阵),然后根据各个因素在评价目标中的权重分配,通过计算(称为模糊矩阵合成),求出评价的定量解值。上述过程即为模糊综合评判。

土壤侵蚀危险度评价的模糊综合评判方法,是根据侵蚀等级的划分指标和判别标准,采用模糊评判的方法,对有关评价因素进行模糊化处理,然后通过模糊变换,得出综合评定结果,由综合评定结果的分值,判定土壤侵蚀危险度等级。模糊综合评判法主要包括进行模糊变换、评判矩阵推求与计算以及综合评分和危险度等级判定几个步骤。

设2个有限域 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$; $V=\{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, 式中: U ——综合评判指标所组成的集合, V ——对评判因素所作的评语所组成的集合。模糊综合评判则表示模糊变换

$$B = AR$$

式中: A —— U 上的模糊子集, $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$, $0 \leq a_i \leq 1$ 。 a_i —— u_i 对 A 的隶属度,表示单因素 u_i 在总评价因素中所起的作用大小的变量,在一定程度上也代表单因素 u_i 评定等级的能力; B —— V 上的模糊子集, $B=(b_1, b_2, \dots, b_m)$, b_j —— v_j 对综合评价所得模糊子集 B 的隶属度,表示综合评判的结果; R ——评判矩阵。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: r_{ij} ——因素 u_i 的评价等级对 v_j 的隶属度,矩阵 R 中第 i 行 $R_i=(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ 为对第 i 个因素 u_i 的单因素评判结果^[11]。

根据国家土壤侵蚀强度的等级划分标准,引起土壤侵蚀原因的不同,其评价因素也不同,不同地区各种评判因素在评判时分为不同的级别。一般来说各评价指标在综合评定时均取等权平均,即每个因素的评价能力基本相同,即 $a_i = 1/n$,其中 n 为评价指标的个数。

评判因素集 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_3\}$ 对应着评语集 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_3\}$,而评判矩阵 (R) 中 r_{ij} ,即为某因素 u_i 对应等级 v_j 的隶属度函数,其值的推求可根据评价因素的实际数值或状况,对照分级指标来推求。具体运作时,为了消除各等级间数值相差不大,或状况区别不明显,而评价等级可能相差一级的跳跃现象,使隶属函数在各级之间能平滑过渡,可对其进行模糊化处理:若用定量指标描述评价因子等级的,对于评价因素 u_i ,各评价等级隶属度函数可按公式推算,其它评价因素(v_i)的隶属度函数也可以类推;用定性指标描述的因素处理方法是,首先将定性指标赋予一个评语代码,然后再确定各个评语的隶属度。

为清楚地反映各个因素对土壤侵蚀强度等级的定量描述,可对各评价指标的评价结果用分值 F 表示,即 v_i 的评价等级对应分值 $F_1=0.01$,理论上应该为0,但考虑到方便模

糊变换中的具体计算,可选用这个相对值较小的数0.01; v_2 对应的 $F_2=1 \dots$,依次类推,分值越高,侵蚀强度越大,等级也越高,再根据各个地区的土壤侵蚀强度等级的分值范围表中的参考指标,由下式算出综合评判分值:

$$F = \sum_{i=1}^m b_i F_i / \sum_{j=1}^n b_j \quad (3)$$

由综合评判分值 F 同地区土壤侵蚀强度分级标准来判定土壤侵蚀强度等级^[12]。

用模糊综合评判法评价土壤侵蚀危险度,将影响土壤侵蚀因子评价的主观因素对评价结果的影响控制在较小的限度内,这使得评价结果具有一定的客观性;此外,模糊综合评判法可以适用于不同尺度的研究区域。但其自身也有一些缺点,首先在对隶属度的模糊化处理过程中,只是将其简单的考虑为线性关系,但是事实上,可能有些是线性关系,而有些远比线性关系要复杂;其次认为各评价因素对评判结果的贡献是基本上相同的,但事实上各评价因素对综合评判结果的影响程度是不可能相同的,而且即使是同一评价因素,在不同的侵蚀区,其影响程度也不会相同。因此,模糊综合评判法在这两方面的不足还有待完善。

2.3 层次分析方法及改进的层次分析方法

用层次分析法评价土壤侵蚀危险程度,首先筛选出影响土壤侵蚀危险度的主要因子,然后对因子进行分级、量化处理;其次依据专家经验再结合区域具体情况,确定各影响因子的权重;最后通过多因子综合分析,得到综合因子得分,据综合因子得分确定土壤侵蚀危险等级,其数学表达式为

$$p = \sum_{i=1}^m f_i w_i \quad (4)$$

式中: f_i ——第 i 各要素得分值; w_i ——第 i 个要素的权重; m ——影响因子的个数; p ——最终复合结果值^[13]。

层次分析法确定影响因子权重,是通过构造判断矩阵来实现的,就是有经验的专家对层次结构中的每一层次的元素的相对重要性做出判断,这些判断用一定的数量表示出来,写成矩阵形式,即所谓的判断矩阵。例如假定 A 层次中元素 A_i 与下一层次 C_1, C_2, \dots, C_n 有联系,构造的判断矩阵取下列形式

A_i	C_1	C_2	\dots	C_n
C_1	c_{11}	c_{12}	\dots	c_{1n}
C_2	c_{21}	c_{22}	\dots	c_{2n}
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
C_n	c_{n1}	c_{n2}	\dots	c_{nn}

(5)

这里的 C_1, C_2, \dots, C_n 即为土壤侵蚀的影响因子,其中 c_{ij} 表示对土壤侵蚀 A_i 而言,因子 C_i 对 C_j 相对重要性的数值表现形式,通常采用九点标度的形式,也就是可以取1,2, ..., 9以及他们的倒数,其含义为:1表示 C_i 同 C_j 一样重要;3表示 C_i 比 C_j 稍为重要;5表示 C_i 比 C_j 重要;7表示 C_i 比 C_j 重要得多;9表示 C_i 和 C_j 相比是极端重要,它们之间的数2,4,6,8以及其倒数有相应类似的意义,对于判断矩阵, $c_{ii}=1, c_{ji}=1/c_{ij}$ 。计算判断矩阵的最大特征根,据最大特征

根来对矩阵进行一致性检验,如具有满意一致性,则求出最大特征根对应的特征向量从而求得各个影响因子的权重^[14]。层次分析法的关键是构造判断矩阵,标度的定义本身是科学的,而在实际应用中,常会出现一些问题,难以给出一致性较好的矩阵。为解决该问题,改进层次分析法在进行两元素的重要程度比较时,将九标度矩阵变成容易给出的三标度矩阵,如孙希华等在青岛市土壤侵蚀危险度评价中用了改进的三标度层次分析法^[13]

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \cdots & C_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中: $C_{ij} = 1$ 第 i 个元素比第 j 个元素重要; $C_{ij} = 0$ 第 i 个元素与第 j 个元素同等重要; $C_{ij} = -1$ 第 i 个元素不如第 j 个元素重要。

层次分析法把复杂的决策问题层次化,把决策过程中定性和定量的因素有机的结合起来,通过判断矩阵的建立、排序计算和一致性检验得到最后结果具有说服力,同时,可将人的主观性依据用数量的形式表达出来,使之条理化、科学化,从而避免由于人的主观性导致权重预测与实际情况相矛盾的现象发生^[15]。用层次分析法评价土壤侵蚀危险度,将危险度评价通过土壤侵蚀影响因子之间的比较定量化,而且通过对比进行标度,增加了判断的客观性,尤其与模糊综合评价方法相比较,层次分析法具有较高的客观性。层次分析法评价土壤侵蚀危险度也有一定的缺点,标度的工作量较大,当选择土壤侵蚀评价因子较多时,容易引起标度专家的反感和判断混乱,因此,一些土壤侵蚀危险度研究采用了三标度的层次分析方法,使得工作量减少很多,对判断矩阵的一致性讨论的较多,而对判断矩阵的合理性考虑的不够,这是因为对标度专家的数量和质量重视不够;此外,没有充分利用定量信息,层次分析法都是研究专门的定性指标评价问题,对于既有定性指标也有定量指标的问题讨论的不够,事实上,为使评价客观,评价过程中尽量使用定量指标,实在没有定量指标才用定性判断。

2.4 加权重叠排序方法

加权重叠排序方法评价土壤侵蚀危险度的思想是,通过对决定各个研究单元的水土流失危险程度的综合因素进行动态排序,找出影响各样本区内水土流失程度的主要问题,根据单因素排序结果,通过数学方法进行多因素综合排序,进行土壤侵蚀危险度归类分析和评判。

加权重叠排序方法的主要步骤包括:首先根据地区的特点选定进行水土流失危险度评价的影响因子,如降雨侵蚀力、植被覆盖度、土壤可蚀性等,计算各个研究单元的每个影响因子的值,按单因子的值进行排序;其次按加权重叠法进

行综合排序,重叠排序指数按式(7)计算^[16]

$$A = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (7)$$

式中: A ——重叠排序指数; y_i ——参加动态排序的样本数,即研究单元的总数; x_i ——排序的分指数,即各个单因子排序的值; n ——重叠排序的项目数,即所选的评价因子的个数;最后根据研究区域的土壤侵蚀状况,将重叠排序指数按着一定的取值范围划分区间,并划分出危险度等级,根据各个研究单元的 A 值来进行土壤侵蚀危险度等级评价。

加权重叠排序方法对土壤侵蚀危险度进行评价,通过对土壤侵蚀影响因子的动态排序,容易直观的看出影响研究单元内的影响土壤侵蚀因子的相对重要性,且由于因子单排序主要依据因子之间的相对值大小,使得其计算过程相对简单,在侵蚀影响因子的选择上也具有较大的范围。加权重叠排序法也存在一定的缺陷,如其评价过程缺少各个侵蚀影响因子的权重分析,以及重叠排序指数等级划分没有标准的分级规范等,使得危险度评价的最终结果的精确性受到影响。

2.5 灰色关联度法

灰色关联度从属于灰色系统理论这一新学科,灰色系统理论是由邓聚龙在 1982 年首先提出的。在系统发展过程中,若两个因素变化的趋势具有一致性,即同步变化程度较高,即可谓二者关联程度较高;反之,则较低^[17]。因此,灰色关联分析方法,是根据因素之间发展趋势的相似或相异程度,亦即“灰色关联度”,作为衡量因素间关联程度的一种方法^[18]。目前,该方法已成为环境综合评价的重要方法,得到广泛应用。如陈浩等人在单因子与土壤侵蚀强度(风蚀起沙强度)的耦合机制分析基础上,利用灰色关联度分析法,开展了怀来县生态安全的灰色关联度分析和综合评价,揭示了影响研究区生态安全(风蚀起沙强度)等级与环境因子作用的对应关系^[19]。目前灰色关联度方法很少用于土壤侵蚀危险度评价,但作者认为该方法是一种较好的土壤侵蚀(水蚀)危险度评价方法。

用灰色关联度法评价土壤侵蚀危险度,是通过影响侵蚀危险度的因子进行量级划分,各量级取定量值,然后根据建立的样本库,用灰色关联度的方法计算各个侵蚀因子对土壤侵蚀危险度的关联度,再根据关联度来计算土壤侵蚀危险程度,最后确定因子的权重。

灰色关联度方法的主要步骤包括:首先,依据专家的经验以及研究区域的土壤侵蚀特点,选取土壤侵蚀危险度的影响因子并对其进行分级赋值。

其次,按研究区域划分的单元(通常按地块划分)进行样本点采样,根据实际情况对每个样本点的危险度赋等级值,与每个影响因子的等级值一起建立样本库,根据灰色关联度的方法,计算各个因子侵蚀危险度的关联系数如式(8)

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (8)$$

式中: k ——样本点数, $i = 1, 2, \dots, n$, (n 为影响因子的个数); ρ ——分辨系数(值越小,关联度分辨率越高,分辨效果明显,一般 $\rho \leq 0.5$); $\xi_i(k)$ ——第 i 类影响因子样本点 k 的关联系

数。综合各点的关联系数,求出关联度 r_i ,其计算公式为

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (9)$$

式中: n, k, i 值同上。

最后,采用归一化方法处理关联度得到各侵蚀因子的影响系数,即因子的权重,根据各个因子对土壤侵蚀危险度影响系数,求出土壤侵蚀危险系数,来划分危险等级

$$p_m = \sum_{i=1}^n k_i N_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

式中: k_i ——所选因子的影响系数; n ——影响因子个数; N_i ——各个因子等级值; p_m ——第 m 个地块的危险系数。

用灰色关联度法进行土壤侵蚀危险度的评价,其主要的优点首先是将土壤侵蚀量与驱动因子的耦合机制联系起来,可以充分考虑到驱动力影响下的土壤抗蚀性水平与土壤侵蚀危险度的对应关系。充分利用确知的影响土壤侵蚀潜在危险度的信息,分析因子综合作用的不确定信息,揭示其影响机理,确定因子的权重。其次,只要评价因子的作用机理确知,灰色关联度法较适用于不同尺度的研究区域。灰色关联度方法也有不足之处,例如不能够体现出各个影响因子

间的交互作用等。

3 结 论

土壤侵蚀已经成为全球性的环境和灾害问题,对人类的生存与发展构成了很大的威胁,因此,有关土壤侵蚀量预测以及危险度评价的研究越来越重要。近些年经过许多专家学者的研究,已经形成了一系列的土壤侵蚀危险度评价方法,其中包括土壤抗蚀年限法和侵蚀因子权重评分法,抗蚀年限法相对侵蚀因子权重评分法而言,虽然具有评价过程相对较简单,而且评价结果直观等优点,但其评价过程本身没有体现出侵蚀危险度形成的机理以及评价因子对侵蚀危险度影响的驱动力机制,其相对静态的评价过程也很难反映人类通过水土保持措施来改善的土壤侵蚀速率;基于通用土壤流失方程 USLE 的评价方法、模糊综合评判等侵蚀因子权重评分方法与抗蚀年限法相比较,每种方法也有其自身的优点和局限性(表 2)。

表 2 土壤侵蚀危险度评价方法及比较

评价方法	主要原理	优缺点
土壤抗蚀年限法	$Y_c = k(H-10)D/A$	优点:简单、直观、可信度高 缺点:静态的、缺少危险度形成机理、人为因素考虑不足
基于 USLE 的评价方法	$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$	优点:综合了主要因子、因子获取及计算较成熟 缺点:缺少因子之间交互作用、研究区域的限制
侵蚀因子权重评分法	模糊综合评判方法 $F = \sum_{j=1}^n b_j \cdot F_j / \sum_{j=1}^n b_j$	优点:实用性广、评价结果具有一定的客观性 缺点:模糊化处理中的不足、等权平均误差
	层次分析及改进的层次分析法 $p = \sum_{i=1}^m f_i w_i$	优点:增加了评判的客观性、科学性 缺点:工作量较大、定量信息没有充分利用
	加权重量排序方法 $A = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_j - x_i)^2}$	优点:直观、因子选择范围较大 缺点:缺少因子权重分析及重叠排序指数分级
灰色关联度方法	$p_m = \sum_{i=1}^n k_i N_i$	优点:危险度与因子驱动力联系较好;适用于不同尺度区域 缺点:没有体现因子间交互作用

通过以上这些方法优缺点的比较研究,作者认为,在目前土壤侵蚀危险度评价研究中,灰色关联度分析方法是一种较为实用的评价方法。首先,灰色关联度方法将土壤侵蚀量与驱动因子的耦合机制联系起来,根据确定环境因子驱动力的大小与土壤侵蚀强度相结合的分析结果,可以充分考虑到驱动力影响下的土壤抗蚀性水平与土壤侵蚀危险度的对应关系,开展影响土壤侵蚀危险度的多因子灰色关联评价,进而确定影响土壤侵蚀危险度的因子权重。其次,只要评价因子的作用机理明确,那么灰色关联度方法可以用于不同尺度的研究区域,从径流小区、小流域到较大的流域都有较好的适用性;再次,评判过程能够较好的将驱动因子与侵蚀危险度联系起来,体现出影响侵蚀危险度的驱动机制。

土壤侵蚀危险度评价本身是一种比较复杂的研究,并且受地带性因素的影响,不同的地区有不同的自然规律,因此,研究者在进行土壤侵蚀危险度评价研究时,要根据不同研究区域的土壤侵蚀特点及资料的可获取性,综合考虑自然因素、社会因素等选择较为适合的评价方法,这样得出的危险度评价等级准确性较高,才能为地区的水土流失治理和生态

环境建设提供可靠的科学依据。

参考文献:

[1] 倪九派,傅涛,何丙辉,等. 基于 GIS 的丰都三合水土保持生态园区土壤侵蚀危险性评价[J]. 水土保持学报, 2002,16(1):62-66.

[2] 唐克丽,等. 中国水土保持[M]. 北京:科学出版社, 2004.

[3] 郭志民,陈志伟,陈永宝. 应用 GIS 方法对土壤侵蚀潜在危险性进行评价及其时空分布特征研究[J]. 福建水土保持,1999,11(4):40-45.

[4] 孙希华,闫业超. 济南市土壤侵蚀潜在危险度分级及侵蚀背景的空间分析[J]. 水土保持研究,2003,10(4): 80-83.

[5] 闵捷,杨华,赵纯勇. GIS 支持下的土壤侵蚀潜在危险度分级方法研究及应用[J]. 水土保持通报,2005,25 (4):61-64.

(下转第 150 页)

农业的持续发展造成危害,甚至产生不可逆的生态问题。而此时再采取措施进行治理或恢复,则可能要付出时间和费用的双重代价。实际上,目前新疆一些地下水超采的井灌区,如新疆天山北坡的部分竖井灌排区已经出现了地下水水质污染的现象^[6]。

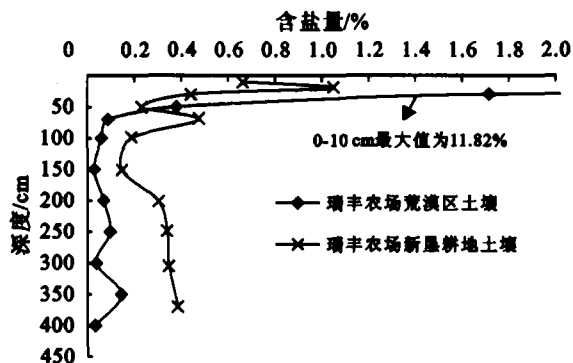


图 2 哈密盆地土壤剖面含盐量对比

如何扬长避短,以发挥竖井灌排的优势呢?一是在灌区开发的初期可采用水平排水系统,使高矿化盐水排至下游或固定的集盐池,以避免下渗;二是要控制地下水的开采量,过度超采不仅使地下水位持续下降、生态劣变,而且使径流减缓、降低了地下水的自净功能,一旦形成漏斗后,将引发周围高矿化水的入侵,造成大范围的污染,引发诸多环境问题;三是已改良好的土壤可结合高新节水设施,通过降低灌溉定额的方式稳步发展。

5 结 语

内陆干旱盆地内地下水流运动具有水平分带性和垂

直分带性。地下水质随流动过程而不断变化着,从上游到下游、从深部到表层矿化度逐渐增大,呈现出地下水化学成分时空演变的有序图景。盆地内表层的原生盐化土壤则是自然地质历史演变的结果,采用竖井灌排后,改变了土壤在自然状态下盐分迁移与积聚的过程。由此带来的结果是表层盐分降低、土壤得到改良,同时地下水位下降、水质变差等双重效应,荒漠植被与人工植被呈现出此消彼长的转换关系。因此竖井灌排区应加强对地下水可开采量的研究,避免过度超采,使人为的生产活动控制在一个自然可承受的范围之内^[7],如此才能保持人与环境的和谐共处。

参考文献:

- [1] 任加国,许模.土壤盐渍化与竖井排灌关系研究[J].中国地质灾害与防治学报,2003,14(3):55-57.
- [2] 李鸿杰,杜历.灌区积盐规律及竖井排灌模式[J].中国农村水利水电,1991(3):17-19.
- [3] 高长远.明沟排水与竖井排灌[J].地下水,2001,23(4):196-197.
- [4] 张东起,高长远.竖井排灌是新疆细土平原区改良盐渍地的有效措施[J].勘察科学与技术,2002(5):45-47.
- [5] 王大纯,张人权,史毅虹,等.水文地质学基础[M].北京:地震出版社,1994:85-93.
- [6] 邓铭江,王世江,董新光,等.新疆水资源及可持续利用[M].北京:中国水利水电出版社,2005:216-225.
- [7] 李文鹏,周宏春,周仰效,等.中国西北典型干旱区地下水流系统[M].北京:地震出版社,1995:150-159.
- [8] 韩富伟,张伯,宋开山,等.长春市土壤侵蚀潜在危险度分级及侵蚀背景的空间分析[J].水土保持学报,2007,21(1):39-43.
- [9] 中华人民共和国水利部.土壤侵蚀分类分级标准(SL190-96)[S].北京:水利电力出版社,1997.
- [10] Rania Bou Kheir, Olivier Cerdan, Chadi Abdallah. Regional soil erosion risk mapping in Lebanon[J]. Geomorphology, 2005(4):347-359.
- [11] 魏兴萍,赵纯勇,杨华.基于GIS的小流域土壤侵蚀评价研究[J].重庆师范大学学报,2005,22(4):62-65.
- [12] 黄河泥沙研究工作协调小组.土壤侵蚀与产沙[M].郑州:黄河水利出版社,1981.
- [13] 姚水萍,任估.浙江省土壤侵蚀等级划分模糊综合评判模型的初步探讨[J].水土保持通报,2006,26(6):32-34.
- [14] 王志明.关于城市化土壤侵蚀等级划分综合评判模型的探讨[J].水土保持研究,1998,5(2):131-135.
- [15] 孙希华,闫福江,王新华.青岛市土壤侵蚀潜在危险度评价研究[J].中国水土保持,2004(3):9-12.
- [16] 卢远,华瑞,周兴.基于GIS的广西土壤侵蚀敏感性评价[J].水土保持研究,2007,14(1):98-100.
- [17] Vrieling A, Sterk G, Vigiak O. Partial evaluation of soil erosion risk in the west USAMBARA mountains Tanzania[J]. 2004,8(6):1210-1216.
- [18] 刘康,康艳,曹明明,等.基于GIS的陕西省水土流失敏感性评价[J].水土保持学报,2004,18(5):168-170.
- [19] 邓聚龙.灰色论基础[M].武汉:华中理工大学出版社,2003.
- [20] 刘思峰,党耀国,方国耕.灰色系统理论及其应用(第三版)[M].北京:科学出版社,2004.
- [21] 陈浩,周金星,陆中臣,等.荒漠化地区生态安全评价:以首都圈怀柔县为例[J].水土保持学报,2003,17(1):58-62.