

文章编号: 1673-9868(2012)05-0068-09

# 水蚀风蚀交错区六道沟流域土壤肥力评价<sup>①</sup>

王梅<sup>1</sup>, 王力<sup>1,2</sup>, 易小波<sup>1</sup>, 王丽<sup>1</sup>

1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100

**摘要:** 本研究在六道沟流域采集土壤样品 74 个, 通过测试分析各指标值, 建立评价指标体系, 采用模糊综合评价法(Fuzzy)与层次分析法(AHP)相结合的手段, 计算出土壤肥力综合性指标值(IFI), 对六道沟流域土壤肥力进行评价。结果表明: 从土地利用类型来看, 农用地 IFI 最高(0.68), 表明农用地土壤肥力较好, 荒草地和林地次之(IFI 分别为 0.53 和 0.40), 灌木地土壤肥力最差(IFI 为 0.35)。空间分布格局上, IFI 以六道沟流域主沟线为中心向周围递减。总体来看, 六道沟流域土壤肥力质量处于中下等水平, 其中第 3 级土壤所占面积最大, 占流域总面积的 46.9%。处于 1 和 2 级的土壤仅占到流域面积的 23.8%, 而处于 3—5 级的土壤占到 76.2%, 是前者的 3 倍多。

**关键词:** 土壤肥力评价; 模糊综合评价法; 层次分析法; 土壤肥力综合指数值

**中图分类号:** X825; S158.2

**文献标志码:** A

土壤质量的核心之一是土壤生产力, 基础是土壤肥力<sup>[1]</sup>。土壤肥力是一个综合的概念, 它是土壤支持生物生产能力的集中体现, 是土壤净化环境能力及促进动植物和人类健康能力的基本保证<sup>[2]</sup>。受气候、地形、海拔、水文地质、管理水平、劳动投入、耕作时间等多方面因素的影响, 土壤肥力表现出极强的空间差异性。将土壤看作生态系统的一部分来检验时, 土壤肥力评价提供了一种人类管理决策对环境直接和间接影响的有效评价方法<sup>[3]</sup>, 主要是通过选择评价指标对土壤肥力水平评定等级的过程。土壤肥力的高低直接影响着作物生长以及农业生产的结构、布局和效益等。对土壤肥力的正确认识和科学客观地评价是准确了解土壤本质及更好利用土壤资源的保障<sup>[4-7]</sup>。

近年来, 国内对省级及县级地域的土壤肥力评价研究已有报道<sup>[8-10]</sup>。我国北方水蚀风蚀交错区气候变化剧烈, 降水稀少而且相对集中, 植被退化严重, 大风、干旱、洪涝等自然灾害频繁发生, 生态环境极其脆弱, 土壤肥力质量受到多方面因素的影响, 是影响该区农林牧业及植被建设的关键因素。因此, 针对该区典型流域开展土壤肥力评价研究, 对区域农业生产和生态修复具有重要指导意义。

## 1 研究区概况

选择六道沟小流域(110°21′—110°23′E, 38°46′—38°51′N)为研究范围, 位于陕北神木县以西 14 km

① 收稿日期: 2011-08-26

基金项目: 中国科学院“西部行动”计划资助项目(第 3 期); 西北农林科技大学基本科研业务费资助项目(QN2009084)。

作者简介: 王梅(1986-), 女, 甘肃武威人, 在读硕士, 主要从事矿区生态修复研究。

通信作者: 王力, 博士, 副研究员。

处, 面积 6.89 km<sup>2</sup>. 流域北倚长城, 地处毛乌素沙漠的边缘, 地貌类型为片沙覆盖的黄土丘陵, 地面起伏较平缓, 但切割破碎, 沟谷密度 6.45 km/km<sup>2</sup>. 海拔 1 081.0~1 273.9 m, 相对高差 68~107 m, 地质上处于流水作用的黄土丘陵区向干燥剥蚀作用的鄂尔多斯高原的过渡区, 气候为中温带半干旱草原季风气候, 它决定了六道沟流域以及所在地区的风沙地貌与流水侵蚀地貌交错分布. 该流域平均干燥度为 1.8, 年降水量为 250~450 mm, 其中 6—9 月降水占全年降水量的 77.4%, 年平均蒸发量 785.4 mm, 年平均大风日 13.5 d, 最多可达 44 d, 主要发生在春季. 年平均气温 8.4 °C,  $\geq 10$  °C 积温 3 200 °C, 无霜期 135 d, 属于典型的温带半干旱区. 土壤类型主要有新黄土、红胶土和淤土等<sup>[11]</sup>. 该区垦殖指数较高, 主要的土地利用类型有坡耕地、农地、荒草地、灌木地、农果间作地和林地等.

## 2 研究方法

### 2.1 采样点的布设及样品测定

土壤样品采集以 300 m×300 m 网格为评价单元, 在评价单元内布设采样点, 运用梅花状多点混合采样, 共采集了 74 个农用地(坡耕地和坝地农田均属于此类)、林地、灌木地及荒草地表层(0~20 cm)土壤样品. 每个采样点设 5 个分点, 每个分点取土样 1 kg 左右, 然后用塑料袋将各分点的土样混合均匀, 再用四分法取混合土样约 1 kg, 装入采样袋, 贴好标签. 将采集的土壤样品自然风干, 并剔除异物(植物根、石砾等), 用玛瑙研钵研磨, 一部分研磨过 0.25 mm 筛, 用于测定土壤有机质、全氮等; 另一部分过 1.00 mm 筛, 测定速效磷、速效钾等. 对每一指标的每个样品做 3 次重复, 共测试分析 1 998 次. 采样点基本涵盖流域面积, 采用 GPS 进行样点实地定位, 并详细记录样点附近土地利用等相关信息. 对所选指标按照土壤农业化学常规分析方法进行含量分析<sup>[12]</sup>, 如表 1 所示.

表 1 土壤肥力指标测定方法

检测项目	测定方法	检测项目	测定方法
有机质	0.8 mol·L <sup>-1</sup> (1/6)K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 法	pH 值	2.5:1 水土比, 酸度计法
速效磷	0.5 mol·L <sup>-1</sup> NaHCO <sub>3</sub> 钼锑抗比色法	全磷	NaOH 熔融—钼锑抗比色法
速效钾	1.0 mol·L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> OAc 火焰光度计法	全钾	NaOH 碱熔—火焰光度计测定
全氮	开氏法消解, 开氏定氮仪测定	铵态氮、硝态氮	1 mol·L <sup>-1</sup> KCl 浸提, AA3 连续流动分析仪测定

### 2.2 数据处理

文中数据采用 Excel、Yaahp 软件和 SPSS16.0 统计软件包进行统计分析, 用 ArcGIS 软件绘制等级分布图.

### 2.3 评价方法

选择合适的土壤肥力综合评价方法是评价的关键, 为了减少主观性因素的影响, 近几年来越来越多的学者把一些数学方法应用于土壤肥力综合评价中, 通过对大量信息的处理得出反映土壤肥力高低的综合性指标, 使得土壤肥力的综合评价趋于标准化和定量化<sup>[13]</sup>. 运用的数值化综合评价的方法很多, 如聚类分析、因子分析、主成分分析和模糊综合评判等<sup>[14-16]</sup>. 本文将模糊综合评价法(Fuzzy)与层次分析法(AHP)相结合进行六道沟流域土壤肥力评价.

#### 2.3.1 评价指标的选取

合理地选择参评指标, 直接影响土壤肥力综合评价的准确程度. 评价指标体系的确定应尽量符合综合性、主导性、稳定性、精确性和实用性的原则<sup>[17]</sup>. 由于多方面原因, 国内还没有统一、规范的评价指标体系, 但是单一的土壤性质指标又无法定量地反应土壤肥力状况, 对其进行客观的评价显得非常困难. 本文依据研究目的并结合前人的研究经验, 筛选出评价土壤肥力的 2 类评价指标体系: (1) 土壤养分指标: 有机质、全氮、全磷、全钾、铵态氮、硝态氮、速效磷、速效钾; (2) 土壤理化性状指标: pH 值.

2.3.2 隶属度值的确定

在运用 Fuzzy 综合评价中,常以隶属度来刻画客观事物中的模糊界线,而隶属度又以隶属度函数来表达.因此,对土壤各参评指标需建立相应的隶属度函数,计算其隶属度值,以此表示各肥力质量指标的状态值.根据土壤肥力指标对作物产量的效应曲线将隶属度函数分为两种类型:抛物线型(见图 1)、S 型(见图 2),并将曲线函数转化为相应的折线函数,以便于计算<sup>[18]</sup>.

1) 抛物线型隶属度函数:土壤的一些性质对土壤功能的影响有一个最佳取值范围,若超出此范围时,随评价指标偏离程度增大的越大,越不利于土壤各方面功能的发展,从而导致土壤退化.属于这种类型的土壤评价指标有 pH 值,其相应的隶属度函数为:

$$f(\chi) = \begin{cases} 0.9(\chi - \chi_3)/(\chi_4 - \chi_3) + 0.1 & \chi_3 < \chi \leq \chi_4 \\ 1.0 & \chi_2 < \chi \leq \chi_3 \\ 0.9(\chi - \chi_1)/(\chi_2 - \chi_1) + 0.1 & \chi_1 \leq \chi < \chi_2 \\ 0.1 & \chi < \chi_1 \text{ 或 } \chi > \chi_4 \end{cases} \quad (1)$$

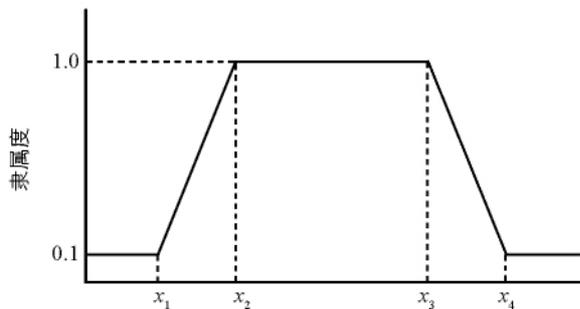


图 1 抛物线型隶属度函数曲线

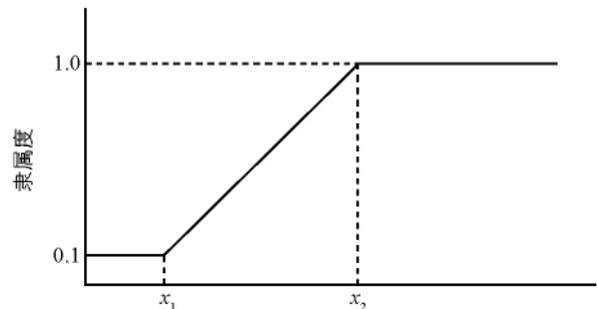


图 2 S 型隶属度函数曲线

2) S 型隶属度函数:在一定范围内,一些土壤评价指标与土壤质量的好坏呈正相关关系,而低于某些转折点对土壤功能的影响较小.属于这种类型的土壤评价指标包括有机质、全氮、全磷、全钾、铵态氮、硝态氮、速效磷、速效钾,其相应的隶属度函数为:

$$f(\chi) = \begin{cases} 1.0 & \chi \geq \chi_2 \\ 0.9(\chi - \chi_1)/(\chi_2 - \chi_1) + 0.1 & \chi_1 \leq \chi < \chi_2 \\ 0.1 & \chi < \chi_1 \end{cases} \quad (2)$$

参考中华人民共和国农业行业标准(NY/T391-2000)以及前人研究结果<sup>[13, 15-19]</sup>,根据已有的以及本区土壤的肥力特征,确定了土壤养分指标及 pH 值隶属度函数曲线转折点的相应取值(见表 2).

表 2 各指标隶属度函数曲线中转折点的取值

转折点	有机质 /(g · kg <sup>-1</sup> )	全氮 /(g · kg <sup>-1</sup> )	全磷 /(g · kg <sup>-1</sup> )	全钾 /(g · kg <sup>-1</sup> )	铵态氮 /(mg · kg <sup>-1</sup> )	硝态氮 /(mg · kg <sup>-1</sup> )	速效磷 /(mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾 /(mg · kg <sup>-1</sup> )	pH 值
χ <sub>1</sub>	3.00	0.06	0.40	6.00	2.00	1.00	2.00	50.00	6.00
χ <sub>2</sub>	15.00	0.22	1.50	25.00	8.00	6.00	15.00	200.00	7.50
χ <sub>3</sub>									8.50
χ <sub>4</sub>									9.00

运用公式(1)、(2),将各项肥力指标的实测值换算为隶属度值,这些值在 0.1—1.0 范围.最高值取 1.0,表示在此界限以上的土壤养分含量和 pH 值较适宜植物生长;最低值取 0.1,并非反映土壤完全没有肥力,而是在计算时可避免出现过多零值.

2.3.3 权重的确定

不同参评指标对土壤肥力质量的影响程度不同, 确定它们的权重是为了突出主要项目, 压缩次要项目, 避免均衡评判产生误差, 使之更加与实际情况相吻合. 以往的评价大多凭经验人为确定权重或将其视为同等重要, 评价结果的主观性较强. 目前, 确定权重系数的方法主要有经验打分法、多元统计中的相关系数法、偏相关系数法、主因子分析法、AHP 法或多元线性回归分析法<sup>[19]</sup>.

其中 AHP 法是一种被广泛应用的、公认确定因子权重的较好的方法<sup>[20-21]</sup>. 它是从定性分析到定量分析综合集成的一种系统工程方法, 将人的主观判断为主的定性分析进行定量化, 将各种判断要素之间的差异数值化, 适用于复杂的模糊综合评价系统. 因此, 在本研究中采用 AHP 法, 建立流域土壤肥力评价的 3 个层次结构(见图 3). 由于运用 AHP 法在构建判断矩阵时, 对指标之间相对重要程度的判断因专家不同而有差异, 具有一定的主观性<sup>[22]</sup>, 所以在专家进行赋值时, 尽量做到客观地给各指标赋值, 使评价结果更具客观性、准确性.

土壤肥力评价采用的数据是图 3 中 C 层因素的值, 故必须得到 C 层因素对土壤肥力质量(即 A 层)的权重值, 称之为 C-A 权重值. 首先计算 C 层对 B 层的权重值(C-B 权重)和 B 层对 A 层的权重值(B-A 权重), 然后由这两类权重求算 C-A 权重. 具体计算步骤如下:

- 1) 经 15 位同行专家进行判断比较、赋值, 得到各判断矩阵;
- 2) 采用和积法求算最大特征根与特征向量(权重值);
- ① 将判断矩阵的每一列元素作归一化处理, 其元素的一般项为:

$$b_{ij} = b_{ij} / \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

其中  $b_{ij}$  为  $b$  的第  $i$  行第  $j$  列的元素.

- ② 将每一列经归一化处理后的判断矩阵按行相加, 表示为:

$$w_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

- ③ 对向量  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$  进行归一化处理:

$$w'_i = w'_i / \sum_{i=1}^n w'_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$W = (W_1, W_2 \dots W_n)$ ,  $W$  权重集满足  $\sum_{i=1}^n W_i = 1$ , 而

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n (RW)_i / nW_i$$

其中  $(RW)_i$  表示  $RW$  的第  $i$  个分量.

- 3) 进行一致性检验

计算一致性比例  $CR$ :

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1); CR = CI / RI$$

式中:  $CI$  为一致性指标,  $RI$  为平均随机一致性指标,  $RI$  的值可从表 3 中查得.

表 3 1-10 阶矩阵的平均随机一致性指标值

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$RI$ 值	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

若  $CR < 0.1$ , 则说明判断矩阵满足一致性, 也说明权数分配是合理的, 否则就需要调整判断矩阵, 重新运算, 直至得到满意的一致性.

按照上述方法, 求出 C-B 权重和 B-A 权重. 将 C-B 权重乘以相应的 B-A 权重即可计算出 C-A 权重. 权

数分配及计算结果如表 4 和 5 所示.

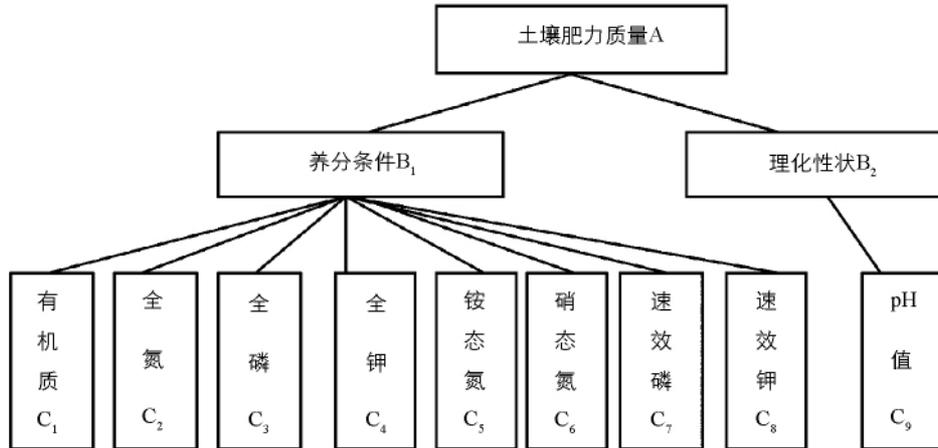


图 3 土壤肥力评价指标层次结构

表 4 C-B<sub>1</sub> 权重结果

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	W <sub>i</sub>
C <sub>1</sub>	1	0.33	0.33	2	7	7	5	5	0.22
C <sub>2</sub>	3	1	2	3	5	5	4	4	0.28
C <sub>3</sub>	3	0.5	1	2	3	3	1	1	0.15
C <sub>4</sub>	0.5	0.33	0.5	1	3	3	0.5	1	0.08
C <sub>5</sub>	0.14	0.2	0.33	0.33	1	1	0.33	0.33	0.04
C <sub>6</sub>	0.14	0.2	0.33	0.33	1	1	0.33	0.33	0.04
C <sub>7</sub>	0.2	0.25	1	2	3	3	1	1	0.10
C <sub>8</sub>	0.2	0.25	1	1	3	3	1	1	0.09

$\lambda_{max} = 8.79, CI = 0.11, RI = 1.41, CR = 0.08.$

C-B<sub>2</sub> 与 B<sub>2</sub>-A 的权重相同, 为 0.167. 经检验层次单排序和总排序, 均通过一致性检验.

表 5 层次分析权重值

B-A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>									
	0.833	0.167									
			C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>
C-B			0.217	0.280	0.154	0.084	0.036	0.036	0.101	0.091	0.167
C-A			0.181	0.233	0.129	0.070	0.030	0.030	0.085	0.076	0.167

### 2.3.4 土壤肥力评价模型的建立

评价土壤肥力的好坏是一个模糊概念, 没有统一的标准. 因此, 模糊数学方法越来越多地应用到了土壤肥力的综合评价中, 根据模糊数学中的加乘法则, 在相互交叉的同类指标间采用加法合成, 用下列模型计算六道沟流域土壤肥力的综合性指标值 (IFI).

$$IFI = \sum W_i \times N_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中:  $N_i, W_i$  分别表示第  $i$  种养分指标的隶属度值和权重系数. IFI 取值为 0—1 之间, 其值越高, 表明土壤肥力质量越好.

## 3 结果与分析

在本次评价中, 采用绘制 IFI 分布图来确定最佳的土壤肥力等级数目以及划分等级界限. 原理是将评价单元的 IFI 从低到高进行排序, 对样点重新编号, 然后绘制新样点编号与 IFI 的散点图, 根据点的集聚状况和曲线斜率的突变点来确定等级的数目和划分 IFI 的临界点, 最后确定研究区域各样点的土壤肥

力等级. 这种方法根据评价样点 IFI 的分布规律, 将等级级数与等级界限同步确定, 避免了等距法确定等级的机械性<sup>[23-24]</sup>. 将计算所得的六道沟流域土壤 IFI 划分为优( $\geq 0.75$ )、良( $0.65 \sim 0.74$ )、中等( $0.50 \sim 0.64$ )、较差( $0.35 \sim 0.49$ )、差( $\leq 0.34$ )5 个等级, 如表 6 所示. 同时, 绘制了流域土壤等级分布图(见图 4).

表 6 六道沟流域土壤 IFI 等级划分

等级	1(优)	2(良)	3(中等)	4(较差)	5(差)
IFI	$\geq 0.75$	$0.65 \sim 0.74$	$0.50 \sim 0.64$	$0.35 \sim 0.49$	$\leq 0.34$

### 3.1 土壤肥力等级数量统计

从土地利用类型来看, 平均 IFI 大小顺序为: 农用地, 荒草地, 林地和灌木地, 分别为 0.68, 0.53, 0.40 和 0.35, IFI 范围分别在  $0.36 \sim 0.81$ ,  $0.31 \sim 0.73$ ,  $0.22 \sim 0.75$  和  $0.18 \sim 0.52$  范围之间; 从等级分布状况来看, 农用地所属等级主要为 1、2 级, 灌木地所属等级主要为 4、5 级, 林地所属等级主要为 3—5 级, 荒草地所属等级主要为 3、4 级, 评价单元个数分别占到所属土地利用类型总评价单元的 72.7%, 92.9%, 90.9% 和 74.1% (见表 7). 农用地之所以土壤肥力质量较高, 是因为土地受到翻耕、施肥等措施的影响, 土壤肥力状况的好坏很大程度上受到当地农民的管护经营; 荒草地和林地土壤类型为硬黄土, 具有一定的肥效, 但是不及农地肥效高; 灌木地土壤类型多为沙土, 土壤的保水保肥性能较差, 养分含量贫瘠, 土壤肥力较差.

表 7 六道沟流域不同土地利用类型的土壤肥力等级数量统计

	各等级内评价单元的分布状况					总计	IFI 范围	平均 IFI
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级			
农用地	6	10	5	1		22	$0.36 \sim 0.81$	0.68
灌木地			1	6	7	14	$0.18 \sim 0.52$	0.35
林地	1		2	2	6	11	$0.22 \sim 0.75$	0.40
荒草地		4	12	8	3	27	$0.31 \sim 0.73$	0.53

### 3.2 IFI 与各肥力指标的相关性分析

调查区内土壤中全氮与有机质之间相关性系数为 0.862, 说明调查区中土壤的氮素以有机质为主. 全氮与有机质呈极显著相关同时又成为影响土壤肥力质量的因素, IFI 与全氮和有机质的相关系数分别为 0.826 和 0.598 ( $p < 0.01$ ) (见表 8), 表明土壤含氮量的高低直接影响到当地土壤质量的好坏, 全氮的测定可以作为土地改良的参考依据. IFI 与有机质、全氮、全磷、铵态氮、硝态氮、速效磷、速效钾均呈正相关且达到显著水平, 与全钾和 pH 值呈负相关. 试验测得 pH 值的范围在  $8.56 \sim 9.23$  之间, 偏碱性, 它是植物生长的限制性因素, 与全磷随呈正相关但相关性不明显 ( $r = 0.288$ ), 说明全磷含量对土壤肥力综合指数的贡献较小. 总的来说, IFI 与土壤各肥力指标实测值的相关性较好.

表 8 IFI 与各肥力指标之间的相关性分析结果

指标	有机质	全氮	全磷	全钾	铵态氮	硝态氮	速效磷	速效钾	pH 值
相关系数	0.598	0.826	0.288	-0.415	0.456	0.605	0.597	0.612	-0.483

注: 均为  $p = 0.01$  水平上相关性显著.

### 3.3 土壤肥力分析评价

1、2 级土壤: 平均 IFI 分别为 0.78 和 0.70 (见表 9), 该级土地主要沿流域主沟线分布, 由于坝地地区海拔相对低, 可以适当满足作物的需水量, 多被作为农用地. 第 1 级所占面积最少 ( $2.2 \times 10^5 \text{ m}^2$ ), 仅占流域总面积的 3.2%, 第 2 级所占面积为  $14.2 \times 10^5 \text{ m}^2$ , 占流域总面积的 20.6%. 1 级土壤养分含量均较高, pH 值最低 ( $\text{pH} = 8.76$ ), 第 2 级土壤的全钾含量值为最低 16.12 g/kg, 全磷含量也低于 3、4 级的 (见表

10), 说明该级土壤全钾、全磷含量缺乏.

3、4 级土壤: 平均 IFI 分别为 0.58 和 0.43, 土壤各养分含量均不高, 但第 4 级土壤全钾含量(17.47 g/kg)略高于第 1 级的(17.35 g/kg). 第 3 级土地主要分布在主沟线以东, 第 4 级土地主要分布在主沟线以西, 流域东部和南部零星分布, 两个等级所占面积分别为  $32.3 \times 10^5$ ,  $13.7 \times 10^5$  m<sup>2</sup>, 各占流域总面积的 46.9%, 19.9%. 该区域地面较破碎, 植被类型以荒草地为主, 土壤为硬黄土且土层较薄, 土壤肥力总体偏低.

5 级土壤: 平均 IFI 为 0.28, 土壤各养分含量除全钾、铵态氮均处于最低值, pH 值处于最高值(pH=8.91), 全钾含量达到了最高值(19.67 g/kg), 高出第 1 级土壤全钾含量的 13.37 个百分点. 该区域海拔相对较高, 主要分布在流域西北方向, 与该研究区盛行西北风的情况相符, 易造成土壤风蚀现象. 土壤颗粒组成以砂粒为主, 适宜小叶杨(*Populus simonii* Carr)、柠条(*Caragana korshinski* Kom)、沙蒿(*Artemisa arenaria* DC)等植被生长, 该级所占面积为  $6.5 \times 10^5$  m<sup>2</sup>, 占流域总面积的 9.4%. 目前仍在开采的西沟乡蛇圪塔煤矿也位于该等级区域, 周围植被受到一定程度的影响, 相应地土壤肥力质量也较低.

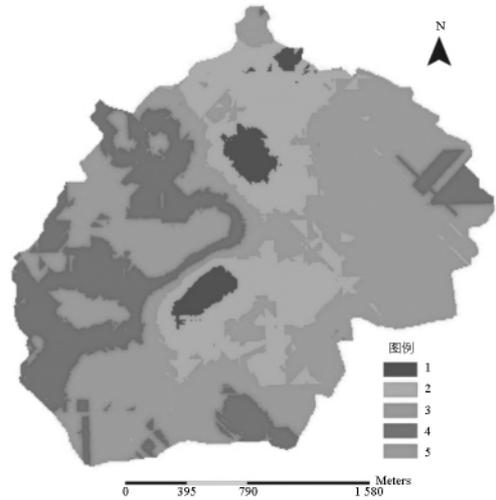


图 4 六道沟流域土壤肥力评价等级分布图

表 9 六道沟流域各等级土壤肥力综合指数值

	1	2	3	4	5
平均 IFI	0.78	0.70	0.58	0.43	0.28
IFI 范围	0.75~0.81	0.65~0.74	0.52~0.64	0.35~0.49	0.18~0.32
面积/m <sup>2</sup>	$2.2 \times 10^5$	$14.2 \times 10^5$	$32.3 \times 10^5$	$13.7 \times 10^5$	$6.5 \times 10^5$
比例/%	3.2	20.6	46.9	19.9	9.4

表 10 流域各等级土壤养分含量统计表

	有机质	全氮	全磷	全钾	铵态氮	硝态氮	速效磷	速效钾	pH 值
1 平均值	19.43	0.40	0.76	17.35	5.10	6.76	18.56	268.71	8.76
范围	11.66~50.06	0.22~0.65	0.52~1.16	14.47~19.80	3.90~8.56	1.68~14.70	4.81~30.03	174.80~582.16	8.61~8.97
2 平均值	17.67	0.31	0.49	16.12	4.44	3.95	11.18	265.43	8.79
范围	6.58~50.69	0.18~0.55	0.20~0.89	7.44~20.20	2.47~10.30	1.93~7.04	4.18~28.51	124.56~630.63	8.56~8.89
3 平均值	7.37	0.20	0.56	17.16	3.17	2.26	5.31	259.06	8.80
范围	5.69~10.10	0.14~0.25	0.18~0.73	15.21~21.42	1.57~6.14	1.06~4.59	1.93~10.71	194.02~498.38	8.62~8.97
4 平均值	5.44	0.12	0.50	17.47	3.29	1.49	3.75	170.79	8.86
范围	3.69~9.58	0.06~0.17	0.25~0.71	14.26~21.86	1.91~6.42	0.76~2.27	1.04~6.44	98.40~262.87	8.75~9.07
5 平均值	3.63	0.07	0.47	19.67	2.82	1.49	3.87	109.70	8.91
范围	1.39~6.54	0.05~0.09	0.35~0.70	17.38~22.18	1.59~5.21	0.70~4.27	2.61~6.86	59.81~149.17	8.65~9.23

注: 全氮、全磷、全钾、有机质单位为 g · kg<sup>-1</sup>, 铵态氮、硝态氮、速效磷、速效钾单位为 mg · kg<sup>-1</sup>.

## 4 结 论

本文通过野外实地考察、选点取样、评价指标测定、土壤肥力评价指标体系建立、综合评价方法筛选及土壤肥力综合指数计算等一系列的相关研究和探索, 对六道沟流域进行了肥力评价. 得出以下结论: (1)

该流域土壤肥力质量处于较低水平, 以 3—5 级为主, 处于第 3 级的土地所占流域面积的百分比最大 (46.9%), 其中 3—5 级的土地面积占到流域总面积的 76.2%。(2) 农用地土壤肥力质量相对较好 (IFI 最高, 为 0.68), 灌木地相对较差 (IFI 最低, 为 0.35), 荒草地和林地土壤肥力质量处于中等水平 (IFI 分别为 0.53 和 0.40), 即大小顺序为农用地, 荒草地, 林地, 灌木地。(3) 土壤肥力质量受到海拔的影响, 沿流域主沟线附近的地域土壤肥力较好 (海拔相对较低), 流域土壤的 IFI 大致以主沟线为中心向周围递减。

本研究得出的土壤肥力质量评价结果, 既能定量反映六道沟流域土壤的肥力质量状况, 又可指出制约土壤肥力质量的主要影响因素。评价等级分布图直观再现了六道沟流域土壤肥力质量的地域特点和空间分布格局, 对区域土壤资源开发利用和农业生产规划布局有重要的指导意义。

#### 参考文献:

- [1] 杨炎生, 信有诠. 中国红黄壤地区农业综合发展与对策 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995: 1—62.
- [2] 张 华, 张甘霖. 热带低丘地区农场尺度土壤质量指标的空间变异 [J]. 土壤通报, 2003, 34(4): 241—245.
- [3] KARLEN D L, MAUSBACH M J, DORAN J W, et al. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation [J]. Soil Science Society of American Journal, 1997, 61: 4—10.
- [4] ANDREWS S S, KARLEN D L, CAMBARDELLA C A. The Soil Management Assessment Framework: A Quantitative Soil Quality Evaluation Method [J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68: 1945—1962.
- [5] CAMBARDELLA C A, MOORMANA T B, ANDREWS S S, et al. Watershed Scale Assessment of Soil Quality in the Loess Hills of Southwest Iowa [J]. Soil and Tillage Research, 2004, 78: 237—247.
- [6] WIENHOLD B J, ANDREWS S S, KARLEN D L. Soil Quality: A Review of the Science and Experiences in the USA [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2004, 26: 89—95.
- [7] IDOWU O J, VAN ES H M, ABAWI G S, et al. Farm Reoriented Assessment of Soil Quality Using Field, Laboratory, and VNIR Spectroscopy Methods [J]. Plant and Soil, 2008, 307: 243—253.
- [8] 王德彩, 常庆瑞, 刘 京, 等. 土壤空间数据库支持的陕西土壤肥力评价 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(11): 105—110.
- [9] 苏荣瑞, 金卫斌, 艾天成. 县域农田土壤速效养分肥力综合评价 [J]. 湖北农业科学, 2009, 48(1): 74—77.
- [10] 包 兵, 吴 丹, 胡艳燕, 等. 重庆主城区市街绿地土壤肥力质量评价及管理对策 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2007, 29(11): 100—105.
- [11] 唐克丽, 侯庆春, 王斌科, 等. 黄土高原水蚀风蚀交错带和神木试区的环境背景及整治方向 [J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1993, 18(12): 2—15.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [13] 骆伯胜, 钟继洪, 陈俊坚. 土壤肥力数值化综合评价研究 [J]. 土壤, 2004, 36(1): 104—106.
- [14] 吕晓男, 陆允甫, 王人潮. 土壤肥力综合评价初步研究 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 1999, 25(4): 378—382.
- [15] 朱海燕, 刘忠德, 周 勇, 等. 江汉平原后湖农场农用地土壤环境质量评价 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2005, 30(2): 341—345.
- [16] 武 伟, 唐明华, 刘洪斌. 土壤养分的模糊综合评价 [J]. 西南农业大学学报, 2000, 22(3): 270—272.
- [17] 刘洪鹤, 赵玉明, 王秀颖, 等. 土壤肥力评价方法探讨 [J]. 长江科学院院报, 2008, 25(3): 62—66.
- [18] 沈恩源. 土壤资源评价指标的研究 [M] // 中国自然资源研究会青年协会. 自然资源的评价与决策研究. 北京: 科学出版社, 1990, 128—133.
- [19] 王云强, 张兴昌, 韩凤朋. 黄土高原淤地坝土壤性质剖面变化规律及其功能探讨 [J]. 环境科学, 2008, 29(4): 1020—1026.
- [20] 张述林, 田万顷. 基于 AHP 的旅游资源评价与发展对策研究——以重庆环城游憩带为例 [J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2011, 28(2): 70—74.

- [21] 许国志, 顾基发, 车宏安. 系统科学 [M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2000.
- [22] 吴殿廷, 李东方. 层次分析法的不足及其改进的途径 [J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2004, 40(2): 264-268.
- [23] 王瑞燕, 赵庚星, 李 涛, 等. GIS 支持下的耕地地力等级评价 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 307-310.
- [24] 孙艳玲, 郭 鹏, 刘洪斌, 等. 基于 GIS 的土壤肥力综合评价 [J]. 西南农业大学学报, 2003, 25(2): 176-179.

## Evaluation of Soil Fertility in Liudaogou Watershed Located in a Water-Wind Erosion Area

WANG Mei<sup>1</sup>, WANG Li<sup>1,2</sup>, YI Xiao-bo<sup>1</sup>, WANG Li<sup>1</sup>

1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yang ling Shaanxi 712100, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and

Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yang ling Shaanxi 712100, China

**Abstract:** Seventy-four soil samples were collected in Liudaogou watershed located in a water-wind erosion area in Shaanxi. An evaluation system for soil fertility was established by determining the related indexes of the samples. An integrated soil fertility index (IFI) was calculated based on fuzzy comprehensive evaluation (Fuzzy) used in combination with analytic hierarchy process (AHP), to evaluate soil fertility of the watershed. Of the 4 types of land use investigated, farmland had the highest IFI (0.68), followed in sequence by grassland (0.53), woodland (0.40) and shrubland (0.35). Based on its spatial distribution pattern, IFI of Liudaogou watershed was found to diminish steadily from the main trench line outward to the adjacent locations. Overall, the quality of soil fertility in Liudaogou watershed is at a medium-low level, which can be classified into five grade levels. The third grade covers the largest area, accounting for 46.9% of the total. The first and second grades only account for 23.8% of the total, while the third, fourth and fifth grades account for 76.2% of the total.

**Key words:** evaluation of soil fertility; fuzzy comprehensive evaluation method(Fuzzy); analytic hierarchy process (AHP); integrated soil fertility Index(IFI)

责任编辑 陈绍兰