

# 基于 GIS 的黄土丘陵沟壑区土壤质量评价研究 ——以陕西省长武县为例

岳西杰, 葛玺祖, 王旭东\*

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 以地处黄土丘陵沟壑区的陕西省长武县土壤为研究对象, 筛选出包括土壤养分、环境因子、微量元素和生物酶活性等在内的 14 个因素作为评价指标, 建立了黄土丘陵沟壑区土壤质量评价指标体系。采用层次分析法确定各指标的权重系数, 运用模糊数学理论中的综合指数法进行综合评价。以 GIS 为平台, 划分并绘制了长武县土壤质量等级分布图, 实现了县域土壤质量的可视化表达, 对整个县域的果园和农田土壤质量状况有了清楚的认识。结果显示: 在同一地形部位上, 果园的土壤质量总体上优于农田; 在同一种植方式上, 不同地形部位土壤质量的依次循序为塬地> 河滩地> 坡地。从整个县域尺度上来看, 土壤质量综合指数分布在 0.195~0.710 之间, 处于 III、IV、V 等级的土壤仅占 27%, 而处于 II 等级的土壤却占到总面积的 59.7%。该地区的土壤质量状况整体上处于中等水平, 受地形部位影响比较大, 果园土壤质量优于农田土壤质量。对长武县土壤物理化学性质和县域土壤质量状况做了分析与评价。

**关键词:** 土壤质量评价; GIS; 黄土丘陵沟壑区

中图分类号: S158.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-7601(2011)03-0144-06

土壤是人类赖以生存和发展的物质条件, 是地球生物圈的重要组成部分。土壤质量作为土壤肥力质量、环境质量和健康质量的综合量度, 是土壤维持生产力、环境净化能力以及保障动植物健康能力的集中体现<sup>[1]</sup>。地理信息系统 (geographic information system, GIS) 具有管理空间资源分布不均匀的功能, 目前已用于涉及地理 (空间) 信息的几乎所有领域<sup>[2]</sup>。近年来, GIS 作为一种技术手段常常与其它数学模型相结合, 例如主成分分析法、人工神经网络模型、层次分析法、灰色关联法等, 应用日趋广泛, 极大地丰富了土壤质量评价的内涵。国内外应用 GIS 进行国家或省区级的土壤质量评价已有报道<sup>[3-5]</sup>。

20 世纪 80 年代以来, 随着土地利用方式的变化, 果树种植面积逐年增加, 农田种植面积逐年减少。陕西长武县也由传统的粮食生产基地转化为目前以水果 (苹果) 为主、粮食为副的果粮生产基地。杨雨林<sup>[6]</sup>等分析了果园的不同种植年限下长武县土壤碳、氮、磷的变化特征, 研究了土壤养分含量及其影响因素。王军<sup>[7]</sup>等采用 Kriging 空间内插法, 分析了黄土高原大南沟流域土壤有机质等 4 种养分含量的空间分布格局。黄婷<sup>[8]</sup>等利用主成分分析法对长武县北部地区土壤肥力质量进行了评价, 初步掌握该地区的土壤肥力状况。但在县域尺度上还没有形

成对土壤质量状况的整体感知。

在以粮食生产基地转变为果粮生产基地的过程中, 土壤质量状况如何演变尚不清楚, 亟需对该地区的县域土壤质量状况重新进行评估, 这关系到该地区的农业持续发展和生态环境变化。本文就以陕西省长武县为例, 在 GIS 平台支持下, 应用层次分析法, 确定评价指标的权重, 建立土壤质量等级, 构建长武县土壤质量分布图, 全面掌握长武县土壤质量状况, 为指导当地农业生产提供理论依据, 以便于土壤生态系统朝着良性循环方向发展。

## 1 研究区概况及土壤样品的采集、分析

### 1.1 研究区概况

长武县位于陕西省西北部黄土丘陵沟壑区, 介于东经 107°38' ~ 107°58', 北纬 34°59' ~ 35°18', 处于渭北与陇东高原结合部的过渡地带, 海拔高达 1 200 m, 年均降雨量 578.5 mm, 年均气温 9.1℃, 无霜期 171 d, 属暖温带半湿润大陆型季风气候, 是典型的雨养农业区。水土流失严重, 生态环境脆弱。地形主要以塬地和坡地为主, 河滩地次之, 境内有泾河、黑河、南河经过。土壤类型为黄盖粘黑垆土, 土壤养分含量、地貌特征在黄土丘陵沟壑区具有很好的代表性。

收稿日期: 2010-12-02

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目 (KSCX1-YW-09-07)

作者简介: 岳西杰 (1985—), 男, 山东曲阜人, 在读硕士, 主要从事土壤质量评价等研究。E-mail: yuexijie\_2006@126.com。

\* 通讯作者: 王旭东 (1965—), 男, 河南唐河人, 教授, 博士, 主要从事土壤有机碳和土壤化学研究。E-mail: wangxudong01@126.com。

## 1.2 土壤样品的采集

根据长武县不同地形部位、不同植被覆盖类型、不同施肥类型和果园的不同种植年限等确定的土壤样点布设方法为标准确定 245 个采样点, 采集 320 个左右样品。采样时在自然田块农田和果园按照“S”布点采集土壤样品, 采样深度为 0~40 cm(果园分层采集, 即 0~20 cm, 20~40 cm)。其中地形部位有塬地、坡地、河滩地, 施肥处理有化肥、有机肥+化肥。施肥类型有高、中、低产田, 果园树龄有 5、10、15 a 等。在采样过程中采用 GPS 进行野外定位, 记录经纬度及海拔高度。并且每个样点远离道路、村庄等。样品采集于 2009 年 7 月份, 每个采样点在 GPS 定位处取六钻混合而成。然后采用 Arcgis 软件的克里格空间插值法生成绘制了 1:5000 的采样点分布图。

## 1.3 土壤样品的分析

采集的样品带回实验室并经过风干剔除杂质后, 一部分研磨过 0.25 mm 筛, 用于测定土壤有机质、易氧化有机质、全氮、全磷、全钾、阳离子交换量; 另一部分过 1.00 mm 筛测定碱解氮、速效磷、速效钾、微量元素、微生物酶活性等, 过 2.00 mm 筛测定土壤粘粒含量。土壤有机质采用重铬酸钾-外加热氧化法, 易氧化有机质采用袁可能改进法, 全氮采用半微量凯氏蒸馏法, 碱解氮采用碱解扩散法, 全磷采用酸溶-钼锑抗比色法; 速效磷采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法, 全钾采用碳酸氢钠熔融-火焰光度计法, 速效钾采用醋酸铵浸提-原子吸收法, 阳离子交换量采用乙酸铵法, 微量元素采用 DTPA 浸提法, 其它指标可根据《土壤农化分析》进行测定, 测定结果以风干基表示<sup>[9]</sup>。

# 2 结果与分析

## 2.1 土壤基本肥力性状特征

土壤有机质(SOM)是土壤中非常活跃且普遍存在的组分, 它几乎对土壤本质的所有方面都产生强烈的影响。有研究者认为土壤有机质能强烈影响土壤持水力、养分循环、水渗透速率、侵蚀性等。由于土壤有机质可以对土壤质量/健康和作物生产力产生有益的影响, 多数人认为 SOM 是土壤质量衡量指标中惟一最重要的指标。长武县土壤有机质含量变化范围为 5.16~18.25 g/kg, 平均为 12.57 g/kg, 处于中等水平<sup>[10]</sup>。土壤全氮与土壤有机质有较强的相关性, 达到 0.538<sup>\*\*</sup>。近年来, 随着长武县果园种植面积大幅增加, 种植年限有长有短。0~20 cm 的表层土壤碱解氮随着果园种植年限的增加土壤碱解

氮的含量在逐年减少。土壤中的磷素直接影响作物的品质和产量, 而土壤速效磷直接影响作物对磷素的吸收和利用程度。土壤中钾素受黄土本身特性的影响, 主要来自含钾矿物岩石的剥蚀和分解, 与土地的利用方式关系不大。其含量较高, 满足作物生长的需要。长武地区速效钾主要受土壤质地的影响, 平均 199.36 mg/kg, 比高肥力水平(150 mg/kg)还要高, 总体看来, 速效钾含量属于高肥力水平。不同地形部位和土地利用方式都影响着微量元素的含量。而近年来, 长武地区苹果产业发展迅速, 逐渐代替小麦等传统种植方式。随着果园年限的增加, 微量元素有累积的现象。根据陕西省微量元素在土壤中的有效含量的分级标准可知, Fe 含量处于极缺状态, Cu、Zn 含量处于适中状态, Mn 含量达到 19.20 mg/kg, 处于丰富水平。就土壤性状的变异程度来说, 速效磷、速效钾、全磷的变异系数分别为 0.73、0.47 和 0.44, 受人为施肥影响比较大。另外, 微量元素也有很强的变异性。全钾、有机质、粘粒、pH 的变异系数分别为 0.09、0.18、0.16 和 0.03, 这主要是由于这些指标具有相对的稳定性, 研究区域属于富钾地区, 土壤为碱性的石灰性土壤。

## 2.2 土壤质量评价指标的筛选

评价指标体系的确定已经成为近年来土壤科学的研究热点。往往受到评价区域气候、地形条件、管理方式等各方面的影响。到目前为止, 国内外还没有较为统一规范的评价指标体系<sup>[13]</sup>。在所采集的土样中, 经过室内化学分析的有: 土壤有机质, 易氧化有机质, 全氮, 全磷, 全钾, 速效磷, 速效钾, 碱解氮, 微量元素(Fe、Mn、Cu、Zn), 土壤微生物酶(过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶、转化酶), CEC, pH, 粘粒含量等 19 个指标。但由于评价指标过多, 为避免评价因子权重均等化的情况出现, 并结合主导性、稳定性、差异性、定量性的原则, 通过因子分析可以把 19 项有一定相关性的指标转化为 5 项相对独立的指标, 这 5 项独立指标包含土壤有机质, 全氮, 全磷, 速效磷, 速效钾, 碱解氮, Fe、Cu、Zn, 过氧化氢酶、磷酸酶、转化酶、CEC, pH, 粘粒含量。对各指标进行相关性分析可知, 有机质和易氧化有机质有很高的相关性(0.799<sup>\*\*</sup>), 所以有机质和易氧化有机质不能同时作为土壤质量的参评指标。pH 和全钾的变异系数为 3% 和 9%, 低于 10% 的不敏感界限, 处于弱变异, 而且研究区域属于富钾土壤, 各样点区分度不明显, 因此 pH 和全钾被剔除。最终确定以有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾等因素作为养分状况参评指标, 以粘粒、CEC 作为环境因子, 以 Fe、Cu、Zn

作为微量元素状况,以过氧化氢酶、磷酸酶、转化酶  
作为土壤微生物状况,这 14 个指标作为本次土壤质

量评价的最小数据集(MDS)。

表 1 土壤质量各指标的描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of soil quality evaluation indicators

土壤属性 Soil property	平均值 Average	最大值 Max	最小值 Min	标准 SD	变异系数 CV	偏度系数 CS	峰度系数 CK
碱解氮 Alkaline N( mg/ kg)	59.68	105.00	19.25	15.72	0.26	0.02	- 0.04
速效磷 Available P( mg/ kg)	17.55	115.56	2.54	12.79	0.73	3.10	15.86
速效钾 Available K( mg/kg)	199.36	513.13	63.13	94.22	0.47	0.80	- 0.09
CEC Cation exchange capacity( cmol/ kg)	13.91	23.52	6.68	3.29	0.24	0.73	- 0.12
全氮 Total N( g/kg)	0.89	1.37	0.28	0.19	0.22	- 0.44	0.80
全磷 Total P( g/ kg)	0.67	2.89	0.17	0.30	0.44	2.42	13.19
全钾 Total K( g/kg)	22.23	28.10	16.68	1.95	0.09	0.19	0.09
有机质 Organic matter(g/ kg)	12.57	18.25	5.16	2.22	0.18	- 0.52	1.38
活性有机碳 Active organic carbon( g/kg)	4.81	9.78	1.83	0.98	0.20	0.09	3.15
粘粒 Cosmld( % )	33.20	55.00	17.41	5.21	0.16	0.63	2.76
pH	8.59	9.09	7.89	0.23	0.03	- 0.64	0.14
Fe ( mg/ kg)	2.73	11.35	0.50	2.48	0.91	1.62	1.94
Mn ( mg/ kg)	19.20	36.34	7.16	6.57	0.34	0.64	- 0.35
Cu ( mg/ kg)	0.76	2.37	0.39	0.27	0.36	2.50	8.21
Zn ( mg/ kg)	0.68	3.37	0.19	0.38	0.56	2.74	12.05
磷酸酶 Phosphatase	34.88	71.67	15.12	8.83	0.25	0.57	1.24
蔗糖酶 Invertase	371.08	707.18	100.85	108.39	0.29	0.36	0.06
脲酶 U rease	37.86	107.86	3.16	20.07	0.53	0.77	0.30
过氧化氢酶 Catalase	15.54	21.60	9.15	2.45	0.16	- 0.25	0.01

2.3 土壤质量综合指数的计算

2.3.1 土壤质量评价指标的标准化处理 由于土壤质量的各个评价指标从不同角度反映土壤质量状况,并且各指标实测值之间的量纲有很大区别,所以不能对这些指标等同对待,而需要进行标准化处理,也就是无量纲化处理。无量纲化有很多种,根据当地土壤质量状况和转化公式本身的特点,选取隶属度函数来进行标准化处理。隶属度函数是根据一定范围内评价指标与作物产量的关系确定的,可分为S型、抛物线型、反S型三种曲线型关系<sup>[11]</sup>。

根据前人研究成果并结合长武县土壤中各种属性的实际含量和专家的经验,土壤质量评价指标中有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾、CEC、微量元素以及微生物酶等 13 个评价指标,其隶属度函数采用 S 型隶属度函数。属于这种类型的评价因子,其指标含量越高,表明评价对象质量越好,但达到一定临界值后,其效用也趋于恒定。其隶属度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq x_1; \\ 0.9(x - x_1)/(x_2 - x_1) + 0.1, & x_1 < x < x_2; \\ 0.1, & x \geq x_2; \end{cases}$$

式中,  $x_1$ 、 $x_2$  为这种类型质量评价指标在曲线中的临界点。各指标临界值如表 2 所示。

表 2 各土壤质量评价指标隶属函数的拐点值

Table 2 Turning points of the evaluation factors

隶属函数对应的拐点值 Value of the turning point of their membership function					
评价指标 Evaluation factor	转折点 Turning point		评价指标 Evaluation factor	转折点 Turning point	
	$x_1$	$x_2$		$x_1$	$x_2$
有机质 Organic matter	6	30	CEC	5	20
全氮 Total N	0.5	2	Fe	2	10
全磷 Total P	0.5	2	Cu	0.4	2
碱解氮 Alkaline N	15	100	Zn	0.15	3
速效磷 Available P	3	25	蔗糖酶 Invertase	130	650
速效钾 Available K	50	400	磷酸酶 Phosphatase	7	50
			过氧化氢酶 Catalase	10	20

属于抛物线型(梯形)的评价因子有粘粒,其指

标含量在一定范围内, 评价对象质量最好, 高于或低于这个范围则变差。其隶属度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} 0.9(x_4 - x)/(x_4 - x_3) + 0.1, & x_3 \leq x < x_4; \\ 1.0, & x_2 < x < x_3; \\ 0.9(x - x_1)/(x_2 - x_1) + 0.1, & x_1 < x \leq x_2; \\ 0.1, & x \leq x_1 \text{ 或 } x \geq x_2; \end{cases}$$

根据黄土丘陵沟壑区的特点以及长武县土壤生产力状况, 参照全国农业地力等级划分标准及相关研究资料<sup>[10]</sup>, 可以分别确定式中  $x_1, x_2, x_3, x_4$  的粘粒含量取值为 15%, 30%, 40%, 50%。

经过上述步骤的数据处理, 消除了各个评价指标之间的量纲差异。由隶属函数计算出各养分的隶属度值, 其值大小反应了土壤养分所处的优劣状态。为更符合生产实际, 隶属度值最小取 0.1, 最大值取 1.0, 表示土壤中该项质量指标处于最好的状态; 隶属度取值由 0.1 至 1 升高, 表示该项土壤因子所处状态越来越好。

表 3 运用层次分析法求得的各评价指标的权重系数

Table 3 Weight values of evaluation factors applied to AHP

目标层 Object hierarchy	准则层 Rule hierarchy	权重 Value	方案层 Project hierarchy	权重 Value	综合权重 Comprehensive value
土壤质量 Soil quality	养分状况 Nutrient situation	0.587	有机质 Organic matter	0.223	0.131
			全氮 Total N	0.164	0.096
			碱解氮 Alkaline N	0.125	0.073
			全磷 Total P	0.143	0.084
			速效磷 Available P	0.218	0.128
			速效钾 Available K	0.127	0.074
	环境因子 Environmental factor	0.171	粘粒 Cosmid	0.568	0.097
			CEC	0.432	0.074
	微量元素 Trace element	0.122	Fe	0.349	0.042
			Cu	0.339	0.041
			Zn	0.312	0.038
	土壤酶活性 Soil enzyme activity	0.121	蔗糖酶 Invertase	0.380	0.046
			磷酸酶 Phosphatase	0.337	0.041
			过氧化氢酶 Catalase	0.283	0.034

2.3.3 土壤质量综合指数的计算 根据计算出的各指标的隶属度和权重, 计算出各土壤样品的综合评价指数值(Integrated Quality Index, IQI) 采用下列公式计算:

$$IQI = \sum W_i \times N_i$$

式中,  $W_i, N_i$  分别为第  $i$  种评价指标的权重和隶属度值。综合指标值是每个土壤采样点的土壤质量水平的得分, 是土壤质量状况的综合反映。该指数值的大小反映了土壤质量的高低,  $IQI$  取值在 0 和 1 之间。

2.3.2 确定评价因子的权重系数 由于受地形、地貌、海拔、气候等因素的影响, 各评价因素对于土壤质量的影响程度各不相同。因此, 需要结合实际情况确定评价指标的权重<sup>[1, 12]</sup>。目前土壤质量评价指标权重确定的方法主要有主成分分析法、因子分析法、灰色关联分析法、层次分析法等<sup>[13]</sup>。其中层次分析法把定性和定量分析结合起来, 更符合客观实际, 应用较为普遍<sup>[12]</sup>。本文就采用层次分析法确定各评价指标的权重。按照层次分析法的要求本研究将评价指标划分为三个层次: 第一层为目标层即土壤质量的综合指标; 第二层为准则层, 包含相互独立的三类因素分别为土壤养分状况、环境因子, 土壤的微量元素, 土壤酶活性; 第三层为方案层即互相交叉的各单项指标。按照层次分析法的计算要求得出各评价指标的权重系数如表 3。得出的判断矩阵经一致性检验后 CR 值均为 0, 说明采用层次分析法确定的权重是合理的、可行的。

该值越高, 表明土壤质量越好,  $IQI$  值越低表明土壤质量越差<sup>[14, 15]</sup>。

2.4 土壤质量综合评价

2.4.1 研究区土壤质量的分布特征

由 GIS 统计分析得到, 长武县土壤质量综合指数( $IQI$ ) 区间在 0.195~ 0.710。其中综合指数在 0.4 到 0.5 之间的占到 80%。根据采样点综合指数分布散点图, 可以将整个研究区域划分为 5 个等级: I 级(0.3578~ 0.4106)、II 级(0.4106~ 0.4489)、III 级

(0.4489~ 0.4786)、Ⅳ级(0.4786~ 0.5061)、Ⅴ级(0.5061~ 0.5423)。应用 Arcgis 绘制了土壤质量评价等级图,如图 1 所示,利用 GIS 进行空间分析可以得到各等级的分布面积。从图中可以看出,Ⅰ级土壤面积为 2 208.8 hm<sup>2</sup>,占整个县域总面积的13.3%,Ⅱ级土壤面积为 9 907 hm<sup>2</sup>,占整个县域总面积的 59.7%,Ⅲ级土壤面积为 1 781.1 hm<sup>2</sup>,占整个县域总面积的 10.7%,Ⅳ级土壤面积为 1 553.1 hm<sup>2</sup>,占整个县域总面积的 9.4%,Ⅴ级土壤面积为 1 137.7 hm<sup>2</sup>,占整个县域总面积的 6.9%。从整体来看,研究区域主要以Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ等土壤为主,其次是Ⅴ等土壤,Ⅰ等土壤所占比重最小。从方位上来看,长武北部土壤质量指数处于最高等级,说明此区域土壤质量状况较好。中部偏北和西南部土壤质量状况处于一般水平。东南大部 and 东北小部分土壤质量状况最差。这是因为塬地主要分布在中部和西南一带,土壤肥力较好,东南大部 and 东北小部分地区主要以坡地为主,受水分冲刷影响,土壤养分流失严重。

利用 GIS 的空间分析功能进一步分析可以得到各土壤质量等级的各指标平均值。如表 4 所示。从表中可以看出,处在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级土壤的有机质水平为 10~ 12.9 lg/kg,比全国中等水平(12.0~ 15.0 g/kg)还要低,土壤有机质作为能够强烈影响土壤持水力、养分循环、水渗透速率、侵蚀性等土壤功能的

重要因子,已成为限制长武县土壤质量状况整体提高的重要障碍因素,这也与长武的主要地形分布有很大关系,该地区塬地、坡地、河滩地并存的地理现状也是导致有机质含量比较低的原因。

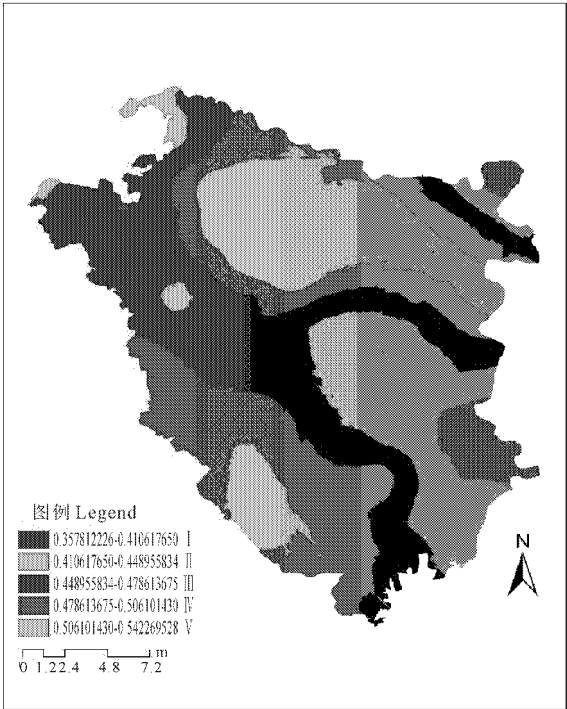


图 1 长武县土壤质量综合等级分布图

Fig. 1 Distribution map of soil quality grades in Changwu County

表 4 研究区各土壤质量指标等级的均值

Table 4 Average values of indexes of soil quality grades in Changwu County

土壤质量等级 Grade of soil quality	I	II	III	IV	V
碱解氮 Alkaline N(mg/ kg)	44.0781	58.6486	64.4848	60.8945	55.5545
速效磷 Available P(mg/ kg)	9.8102	1.0917	18.6703	18.5738	20.6342
速效钾 Available K(mg/ kg)	152.3146	158.9967	202.9935	211.8313	222.5152
CEC Cation exchange capacity( cmol/ kg)	12.3512	11.7708	12.2947	14.5704	17.2592
全氮 Total N(g/kg)	0.7568	0.763	0.8361	0.9322	1.0348
全磷 Total P(g/ kg)	0.6338	0.5348	0.6382	0.6514	0.8093
有机质 Organic matter( g/ kg)	10	11.9	12.41	12.91	13.57
粘粒 Cosmil( % )	26.5459	31.5319	33.494	33.042	36.4414
Fe ( mg/ kg)	2.1422	1.2127	1.6836	2.7618	5.2553
Cu ( mg/ kg)	0.6015	0.6282	0.6962	0.7995	0.9147
Zn (mg/ kg)	0.6235	0.5548	0.6005	0.702	0.8486
磷酸酶 Phosphatase	26.8201	35.3743	35.9778	34.4214	36.2851
蔗糖酶 Invertase	318.107	342.546	326.021	405.064	412.666
过氧化酶 Catalase	9.903	7.473	8.409	10.87	13.63

2.4.2 果园和农田在不同地形部位下的土壤质量差异 研究区三种地形部位下果园和农田的土壤质量综合指数如图 2 所示。从图中可以清楚地看出,

果园和农田的土壤质量受土地地形影响比较大,果园和农田的土壤质量综合指数在各个不同地形部位上处于降低趋势,即塬地> 河滩地> 坡地。而处于

河滩地的果园和农田的土壤质量都要好于坡地, 比塬地偏低。坡地上有很多梯田和部分果园, 化肥投入量比较少, 而且坡度有大有小, 严重的雨水会导致土壤养分随地表径流流失, 土壤养分含量空间分布很不均匀<sup>[16, 17]</sup>。

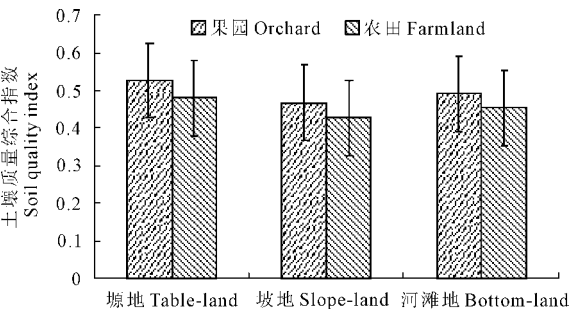


图 2 果园和农田在不同地形部位下的土壤质量指数频率  
Fig. 2 Orchard and farmland soil quality index frequency under different topographic positions

3 结论与讨论

本文通过 GIS 平台中的 Kriging 插值获取长武县土壤质量整体状况, 从县域的评价结果来看, 长武县土壤质量水平大多处于中等水平, 其中 II、III、IV 级的面积占总面积的 79.8%。利用模糊数学法建立各土壤质量指标的隶属度函数。结果显示, 全氮、有机质是该地区的主要限制性因素。考虑到土壤物理性粘粒对作物生长的影响, 在计算隶属度时采用抛物线型函数, 比以往利用 S 型曲线更符合客观实际。

利用层次分析法对评价指标分为土壤养分状况、环境因子、土壤微量元素、土壤酶活性等四个层次, 避免了由于评价指标过多导致的权重趋于平均化的影响。GIS 具有很强的空间数据处理和分析功能, 应用于土壤质量评价中, 使评价结果更为直观, 评价方向由点到面、由平面到空间延伸, 能够根据实际情况划分出土壤质量等级, 消除了人为划分的主观性。但如何科学地与其它评价方法有效结合起来, 仍是今后人们需要研究的问题。

通过对长武县整个县域的土壤质量评价, 得出了不同地形部位下果园和农田的土壤质量差异状

况。但由于近年来, 长武县土壤已由农田占主要多数的利用方式逐渐转变为以果园为主, 农田为辅的利用方式, 果园面积大量增加, 新老果树同时并存, 因此还需要对果园不同种植年限下土壤质量进行进一步分析, 以更好地服务于当地果农。

参 考 文 献:

[1] 黄 勇, 宗庆芳. 土壤质量评价国外研究进展[J]. 地质通报, 2009, (1): 130—136.

[2] 石常蕴, 周慧珍. GIS 技术在土地质量评价中的应用—以苏州市水田为例[J]. 土壤学报, 2001, 38(3): 248—255.

[3] 周 旭, 安裕伦, 许武成, 等. 基于 GIS 和改进层次分析法的耕地土壤肥力模糊评价[J]. 土壤通报, 2009, 40(1): 51—55.

[4] 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): 177—179.

[5] 侯文广, 江世聪, 熊庆文, 等. 基于 GIS 的土壤质量评价研究[J]. 武汉大学学报, 2003, 28(1): 60—64.

[6] 杨雨林, 郭胜利, 马玉红, 等. 黄土高原沟壑区不同种植年限苹果园土壤碳、氮、磷变化特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 685—691.

[7] 王 军, 傅伯杰, 邱 杨, 等. 黄土高原小流域养分的空间分布格局—Kriging 插值分析[J]. 地理研究, 2003, 22(3): 373—379.

[8] 黄 婷, 岳西杰, 葛星祖, 等. 基于主成分分析的黄土沟壑区土壤肥力质量评价[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(3): 141—147.

[9] 鲍士旦. 土壤农化分析(三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[10] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业行业标准 NY/T3092—1996 全国耕地类型区耕地地力等级划分[S]. 北京: 中国农业出版社, 1996.

[11] 王建国, 杨林章, 单艳红. 模糊数学在土壤质量评价中的应用研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(2): 176—183.

[12] 王博文, 陈立新. 土壤质量评价方法述评[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(2): 120—126.

[13] 刘 洋, 吴 洁. 层次分析法在应用中的几个问题[J]. 温州大学学报, 2002, 12(4): 67—72.

[14] 黄 婷, 王旭东, 王彩霞, 等. 黄土高原沟壑区果园土壤质量现状评价[J]. 现代农业科技, 2009, 21: 213—216.

[15] 吕苏丹, 汪光宇, 郭亚浪, 等. 东阳万亩园区土壤养分综合评价研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2002, 28(3): 272—276.

[16] 王旭刚, 郝明德, 张春霞, 等. 王东沟小流域土壤养分变化研究[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 81—84.

[17] 贾横义, 彭 琳, 彭祥林, 等. 黄土高原地区土壤养分资源分区及其评价[J]. 水土保持学报, 1994, 8(3): 22—28.

(英文摘要下转第 160 页)

# Effects of fertilizer N and P on winter wheat yield and water balance in different years of precipitation

LI Ting<sup>1</sup>, LIU Wenzhao<sup>1,2\*</sup>, ZHANG Yirong<sup>3</sup>, HU Yan<sup>4</sup>

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. School of Highway, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710064, China; 4. Library, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China)

**Abstract:** Field experiments were conducted to investigate the effects of combined application of fertilizer N and P on wheat yield and water use efficiency in different years of precipitation. Purpose of the study was to provide a theoretical basis of the combined fertilizer application model suitable to soil water conditions for the improvement of soil water in wheat yield. Results showed that (1) under the experimental conditions, both yield and water use efficiency with high N and P treatments were the highest in contrast to control treatment (CK). Wheat yield was increased by 68.37% and 62.95% in drought year and normal year and water use efficiency, 36.72% and 31.21%, respectively. (2) In different years of precipitation, the treatments had the order of high N > low N > CK for all of leaf weight, corn straw weight, grain weight and 1000 grain weight. The five different treatments, for grain yield and water use efficiency, were in the order of high N and high P > high N and low P > low N and low P > low N and high P > CK. In different years of precipitation, rational fertilization can significantly increase wheat dry matter accumulation and yield and effectively improve water use efficiency as well. In high N treatment, the result was especially prominent.

**Keywords:** winter wheat; fertilizer N and P; precipitation year; dry matter accumulation; yield; water use efficiency

(上接第 149 页)

# GIS-based research on soil quality evaluation in the loess hilly gully region ——A case study of Changwu County

YUE Xijie, GE Xizu, WANG Xudong\*

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The loess hilly region of Changwu County in Shaanxi Province was taken as the research object. Index system of soil quality evaluation was established by screening 14 factors as the evaluating indicators, including soil nutrients, environmental factors, trace elements and soil enzyme activity. AHP was applied to work out the weight values of each factor, and comprehensive index method of fuzzy mathematics was adopted to conduct evaluation of soil quality. Based on the platform of GIS, we divided and mapped the grade distribution of soil quality of Changwu County, achieved the visualization of county-scale soil quality and had a clear understanding on the whole county-scale soil quality. The results indicated that soil quality of orchard is better than farmland on the same topography site and soil quality in different topography positions are in the order of table land > bottom land > slope land. Throughout the county scale, the distribution of soil quality indexes between 0.195~0.710 and grades III, IV and V are only 27% of the entire area, however, grade II is accounted for 59.7% of the entire area. On the whole, the soil quality of the research region is at medium level and affected by topography site largely, however, the soil quality of orchard is better than farmland. Analyzing and evaluating the condition of county-scale soil quality and physical or chemical properties of soils in Changwu County provide practical and theoretical basis for land utilization and nutrient management of orchards and farmland.

**Keywords:** soil quality evaluation; GIS; AHP