

基于重金属污染的西部生态脆弱区
耕地质量评价
——以兰州市榆中县为例

王 雯^{1,2,3}, 伍永秋¹, 吴建东⁴

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;
2. 甘肃省国土资源规划研究院, 甘肃 兰州 730000;
3. 国土资源部土地利用重点实验室甘肃榆中野外科研基地, 甘肃 兰州 730000;
4. 甘肃省水利科学研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 为准确把握西部生态脆弱区耕地质量现状, 了解重金属污染对西部地区耕地质量的影响程度, 采用第二次全国土地调查、多目标区域地球化学及农用地基础地力调查等数据, 运用 GIS 技术及统计方法, 以兰州市榆中县为例, 在考虑重金属污染的条件下, 对西部生态脆弱区耕地自然质量进行综合评价研究。结果显示: ① 研究区耕地立地条件、土壤物理性状相对较好, 质量较好的 4 级耕地最多; 而土壤肥力较差, 质量较差 2、3 级耕地占耕地总面积的 99.63%; ② 研究区 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb、Zn 等重金属元素的平均含量均高于地区背景值, 其中 Cd 和 As 最大值超过土壤环境质量污染评价标准值; ③ 土壤重金属污染综合评价结果显示北部青城镇、中部和平镇和马坡乡的东北部为污染高值区; ④ 耕地质量综合评估结果显示研究区耕地自然质量南部和中部川区较好, 北部山区较差, 除部分区域出现异常点值外, 基本呈现由南向北逐渐变差的规律。以上研究结果表明, 西部生态脆弱区耕地自然质量虽然主要受降雨量、坡度等自然条件的影响, 但重金属造成的土壤污染已成为该区域不可忽视的耕地质量问题。

关键词: 土地利用; 土地评价; 耕地质量; 重金属污染
中图分类号: Q181; S151.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)04-0194-08

Evaluation of farmland quality based on heavy metal pollution in northwest China
——a case study of Yuzhong County in Lanzhou

WANG Wen^{1,2,3}, WU Yong-qiu¹, WU Jian-dong⁴

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Process and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
2. Land Resource Planning and Research Institute of Gansu Province, Lanzhou 730000, China;
3. Gansu Scientific Research Base, Key Lab of Land Use of Ministry of Land and Resources, Lanzhou 730000, China;
4. Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In order to accurately understand the status of farmland quality and the impact of heavy metal pollution in ecologically fragile zone in western China, based on the data of second national land survey, multi-objective regional geochemical survey and soil fertility survey of agricultural land, using GIS technology and statistical methods, the comprehensive evaluation of farmland natural quality considering heavy metal pollution was conducted in Yuzhong County, Lanzhou City, Gansu Province. The results showed: ① The site conditions and soil physical properties of farmlands were relatively good in the study area, in which the class-4 farmlands whose quality was relatively good took the highest proportion. However, the fertility of farmlands was relatively poor, in which the class-2 and class-3 farmlands whose quality was relatively poor took 99.63% of the total area. ② The average contents of As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb and Zn were higher than the regional background values, in which those of Cd and As exceeded the assessment standard of soil envi-

收稿日期: 2013-09-21
基金项目: 国土资源部公益项目(201211050-4)
作者简介: 王 雯(1983—), 女, 甘肃靖远人, 博士研究生, 工程师, 主要从事土地生态及土地利用方面的研究。E-mail: wenyusihe@gmail.com。
通信作者: 伍永秋(1963—), 男, 四川江安人, 博士生导师, 主要从事环境演变方面的研究。E-mail: yqwu@bnu.edu.cn。

ronment quality. ③ According to the comprehensive evaluation of soil heavy metal pollution, Qingcheng Town, Heping Town and northeastern part of Mapo Town were highly polluted areas. ④ The farmland natural quality in the southern and central area was better than that in the northern mountainous area, and it showed an overall trend of gradual deterioration from south to north except for some abnormal sites. In conclusion, soil pollution caused by heavy metals has become a serious problem in the ecologically fragile zone of western China, although the natural quality of farmlands is mainly affected by rainfall, slope and other natural conditions.

Keywords: land use; land evaluation; farmland quality; heavy metal pollution

随着工业化城镇化高速发展、人口持续增长,我国人均耕地占有量不断减少^[1],且总体水平趋于退化^[2],部分区域土壤污染、土地退化等耕地质量问题逐年加重^[3],实现耕地保护由数量管控向质量管理和生态管护转变是耕地保护思路的创新和发展,对保障国家粮食安全和生态建设具有重要意义^[4]。由于各国经济发展状况及耕地保护压力不同,国内外关于耕地质量研究的侧重点各有不同,国外研究者主要进行农用地生态功能保护方面的研究,如农用地生物多样性保护^[5]、耕地生态保护的措施^[6]、保护措施对农业经营活动的影响^[7]及农户对生态保护的态度^[8]等;而国内在耕地质量保护和经济发展的双重压力下,主要进行耕地保护、耕地质量评价及农用地的集约利用等,并逐步涉及耕地生态功能的研究,如蔡运龙等^[9]从耕地的经济产出功能、生态服务功能及社会保障功能等方面研究了中国耕地价值的重建方法;陈百明等^[10]提出了耕地质量建设的生态与环境理念等。

综合国内研究现状,目前耕地质量研究逐步向综合质量方向发展,即综合考虑耕地的自然属性和社会属性两方面的因素,主要进行了评价方法^[11-13]、评价指标体系^[14]、评价区域尺度^[15-17]的探究及评价结果的应用^[18-19]等方面的研究。这些研究中,耕地自然属性方面较多考虑立地条件、土壤肥力条件等,忽略土壤污染方面的因素,对评价结果造成一定影响。因此本文试图在考虑土壤污染因素的基础上,以兰州市榆中县为例对西部生态脆弱区耕地质量进行评价,探讨具有区域特点的耕地质量评价的标准方案,以期为西部生态脆弱区农用地质量管理、分等定级及基本农田划定提供科学依据。

1 研究区概况

榆中县地处黄土高原西部,位于 103°49′15″~104°34′40″E,35°34′20″~36°26′30″N,属兰州市辖县。地势南高北低,中部平坦,呈马鞍状,由石质山地、丘陵、河谷川地三大地貌类型组成,海拔在 1 480 ~ 3 670 m 之间。属温带大陆性气候,年均降雨量 350

mm,蒸发量 1 450 mm,年平均气温 6.7℃。境内地表水多发源于马啣山、兴隆山,有黄河及黄河二级支流宛川河流经。土壤类型为灰漠土、黄绵土、高山草甸土、亚高山草甸土等。榆中县辖 8 镇 12 乡 268 个行政村,据二次调查结果,2008 年底全县总面积 329 470 hm²。耕地面积 126 746.54 hm²,占全县土地总面积的 34.28%;其中旱地 100 381.9 hm²,水浇地 26 231.3 hm²,水田 133.3 hm²。

榆中位于黄土高原丘陵区与河西走廊过渡地带,属温带草原气候区向温带荒漠气候区的过渡区,气候由南向北变化较大。据榆中县气象局 2000—2012 年 13 年气象资料显示,榆中县南部山区年降雨量 450 mm,年平均气温 4℃,属黄土高原气候区边缘地带;中部川塬地区,年降雨量 350 mm,年平均气温 6.3℃;北山地区年降雨量 240 mm 左右,年平均气温 6.3℃,属河西走廊边缘地带。因此,将榆中县作为西部生态脆弱区典型区域研究具有很强的代表性。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 评价因子及权重确定

耕地质量由土地自然条件和社会经济条件共同决定,反映了土地自然属性和社会经济属性的综合效应^[20],土地作为自然资源的一种,它的自然属性对耕地质量起决定性作用。因此以综合性、主导性、评价因子相对独立性及资料可获取性为原则,结合榆中县实际情况,考虑土壤污染、立地条件及肥力条件等因素,选取重金属、年均降雨量、地形坡度、有效土层厚度、剖面构型、土壤质地、pH 值、有机质、全氮、有效磷、速效钾、碱解氮等 12 个因子构建评价指标体系(表 1),对榆中县耕地自然质量进行评价。采用德尔菲法^[21]获得各个评价指标因子权重,通过加权平均的方法获得每个层级的质量评价分值,以准确反映耕地自然质量。

2.2 评价方法

2.2.1 评价因子量化 年降雨量、地形坡度、有效土层厚度及 pH 值、有机质、全氮、有效磷、速效钾、碱解氮等采用原始测量值,剖面构型和土壤质地采

用不同类型打分的方式进行量化,其中剖面构型分(分)、轻壤(80 分)、重壤(75 分);土壤重金属污染采用内梅罗指数法^[22]计算。

通体壤(100 分)、壤粘壤(80 分)、壤粘粘(75 分)、壤砂砂(70 分)、通体粘(60 分),土壤质地分中壤(100

表 1 耕地自然质量综合评价指标体系及权重

Table 1 The indicators and their weights for comprehensive evaluation of farmland natural quality

准则层 Criterion layer	权重 Weight	评价指标 Evaluation indicator	测量值范围 Range of measured value	指标标准化 Indicator standardization	权重 Weight
立地条件 Site conditions	0.25	年均降雨量 Annual precipitation/mm	237.6 ~ 453.3	正 Positive	0.61
		地形坡度 Topographic slope/(°)	0 ~ 48	负 Negative	0.39
土壤物理性状 Soil physical properties	0.18	耕作层厚度 Tillage layer thickness/cm	15 ~ 28	正 Positive	0.28
		剖面构型 Profile configuration	—	正 Positive	0.32
		土壤质地 Soil texture	—	正 Positive	0.40
土壤肥力 Soil fertility	0.22	pH 值 pH value	7.5 ~ 8.8	负 Negative	0.09
		有机质 Organic matter/(g·kg ⁻¹)	3.6 ~ 33.91	正 Positive	0.42
		全氮 Total N/(g·kg ⁻¹)	0.06 ~ 1.86	正 Positive	0.15
		有效磷 Available P/(mg·kg ⁻¹)	0.5 ~ 269.1	正 Positive	0.08
		速效钾 Available K/(mg·kg ⁻¹)	36 ~ 782	正 Positive	0.11
		碱解氮 Available N/(mg·kg ⁻¹)	0.5 ~ 362	正 Positive	0.15
重金属污染 Heavy metal pollution	0.35	As/(mg·kg ⁻¹)	8.2 ~ 26.4	负 Negative	1.00
		Cd/(mg·kg ⁻¹)	0.15 ~ 1.02		
		Cr/(mg·kg ⁻¹)	54.7 ~ 174.4		
		Cu/(mg·kg ⁻¹)	21.1 ~ 52.8		
		Hg/(mg·kg ⁻¹)	0.012 ~ 1.011		
		Pb/(mg·kg ⁻¹)	16.8 ~ 46.5		
		Zn/(mg·kg ⁻¹)	58.6 ~ 119.2		

2.2.2 指标标准化及评价方法

$$Y_i = (X_{ij} - \min x_j) / (\max x_j - \min x_j) \quad (1)$$

$$Y_i = (\max x_j - X_{ij}) / (\max x_j - \min x_j) \quad (2)$$

为消除各个指标间不同量纲的影响,采用上式对各指标进行标准化处理,获取标准化值。各个指标因子可分为正向指标和负向指标。其中正向指标为指标数值越大越好的指标,选用公式(1);负向指标为指标值越小越好的指标,选用公式(2)。式中, Y_i 为指标标准化后值, X_{ij} 为评价指标原始值, $\min x_j$ 为最小值, $\max x_j$ 为最大值。对评价指标标准化后,采用下式计算耕地自然质量综合评价分值。

$$S = \sum_{k=1}^n \left(w_k \times \left\{ \left[\sum_{i=1}^m (w_i \times Y_i) \right] \right\} \right)$$

其中, S 为耕地质量综合分值; n 为准则层数量; w_k 为准则层指标权重; m 为评价指标数量; w_i 为评价指标的权重; Y_i 为评价指标标准化值。

2.3 数据来源及处理

2.3.1 数据来源 本研究基础数据为 2008 年榆中县二次全国土地调查数据、农用地分等定级^①、基础地力调查^②、多目标地球化学^③、降雨量及 10 m × 10

m 分辨率 DEM 等数据。其中耕地信息从二次调查数据获取,有效土层厚度、土壤 pH 值、有机质、全氮、有效磷、速效钾、碱解氮等由基础地力调查数据获取;耕地土壤重金属含量由多目标地球化学数据获取;坡面构型、土壤质地等由农用地分等定级数据获取。

2.3.2 数据处理 首先使用 Arcgis 获取研究区 2008 年耕地分布图,然后综合运用 Erdas、Spss 等软件,形成研究区耕地质量各个因子数据库,并将所有空间因子栅格化,栅格大小为 50 m × 50 m。后使用 Arcgis 空间叠加分析功能,进行耕地自然质量综合评价。

3 结果与分析

3.1 耕地立地条件、土壤物理性状及土壤肥力分析 榆中县地处青藏高原、黄土高原与河西走廊交错带,植被分类上属于林草过渡带,南部山区为针阔

① 榆中县国土资源局. 榆中县农用地分等定级. 2008.
② 榆中县农技中心土肥站. 榆中县耕地基础地力调查. 2009.
③ 甘肃省地质调查院. 甘肃省多目标区域地球化学调查. 2008.

混交林,中部为粮食主产区,北部为干旱草原。降雨量自南向北逐渐降低,2000—2012 年 13 年来监测结果显示,研究区年平均降雨量自南向北依次为453.3 mm(南部山区),356.1 mm(中部川区),237.6 mm(北部干旱山区);降雨量为该区域植被状况限制性因素,而坡度为耕地质量评价的主要因素之一,因此选取年均降雨量和坡度作为耕地立地条件评价因子;土壤物理性状考虑土层厚度、坡面构型及土壤质地三方面的因素,该区除南部石质山区外,土壤类型与黄土高原接近,土层厚度较大,在 30~180 cm 之间,而耕作层厚度为 15~28 cm,说明土层厚度不是影响耕地质量的主要原因,而由于耕作手段、深度及有机

质等其他因素造成的耕作层深度可反映耕地质量,因此选取耕作层厚度作为土层质量的评价因子;土壤肥力评价选取 pH 值、有机质、全氮、有效磷、速效钾、碱解氮等 6 个因素作为评价因子。将各指标测量值标准化后,采用加权平均法进行分值评价,立地条件、土壤物理性状、土壤肥力评价分值分别介于 0.06~0.99、0.05~0.99、0.19~0.71 之间,其中分值较高的区域评价结果好,分值低的区域评价结果较差。将各个准则层评价结果由高到低划分为 5 级,小于 0.2 为 1 级,0.2~0.4 为 2 级,0.4~0.6 为 3 级,0.6~0.8 为 4 级,大于 0.8 为 5 级,具体评价结果见表 2。

表 2 耕地立地条件、土壤物理性状及土壤肥力评价结果
Table 2 Assessment values of site conditions, soil physical properties and soil fertility

准则层 Criterion layer	评价分值范围 Range of assessment value	分级 Classification	耕地面积/hm ² Farmland area	所占比例/% Proportion
立地条件 Site conditions	0.06~0.99	<0.2	837.04	0.66
		0.2~0.4	21101.16	16.65
		0.4~0.6	28702.38	22.65
		0.6~0.8	53296.44	42.05
		>0.8	22809.53	18.00
合计 Total		—	126746.54	100.00
土壤物理性状 Soil physical properties	0.05~0.99	<0.2	214.04	0.17
		0.2~0.4	1493.23	1.18
		0.4~0.6	38188.44	30.13
		0.6~0.8	79711.62	62.89
		>0.8	7139.21	5.63
合计 Total		—	126746.54	100.00
土壤肥力 Soil fertility	0.19~0.71	<0.2	9.03	0.01
		0.2~0.4	78642.26	62.05
		0.4~0.6	47636.81	37.58
		0.6~0.8	458.43	0.36
合计 Total		—	126746.54	100.00

评价结果显示,研究区耕地立地条件评价结果相对比较分散,各个等级耕地面积比例分别为 0.66%,16.65%,22.65%,42.5%和 18.0%。其中立地条件较好的 4 级耕地最多,占耕地总面积的 42.05%;立地条件较差的 1 级耕地最少,仅占总面积的 0.66%。说明研究区内的耕地主要分布在降雨量较多、坡度较小的区域,整体立地条件较好。耕地土壤物理性状评价结果相对比较集中,评分结果在 0.6~0.8 之间的 4 级耕地最多,占耕地总面积的 62.89%,其次是评分结果在 0.4~0.6 之间的 3 级耕地,占耕地总面积的 30.13%,3、4 级耕地总和高达 93.02%,说明研究区耕地土壤的物理性状相对均

一,区域差别不大。土壤肥力因素评价结果显示,研究区耕地土壤肥力相对较差,最高评价分值为 0.71,还达不到 5 级的最低水平,主要集中在 0.2~0.6 之间的 2、3 级水平,2、3 级耕地占耕地总面积的 99.63%,其中 2 级耕地高达 62.05%。
从空间分布来看(图 1),立地条件自南向北逐渐变差,西南山区及中部川区的部分地区最好;其次是东南部及川地附近坡度相对较大,降雨较多的区域;北部干旱山区立地条件最差,最北部黄河谷地的立地条件较北部干旱山区相对较好。土壤物理性状评价的低值区域主要集中在中部川区水浇地和最北部黄河谷地水浇地和水田区域,说明开发利用度高,

土地集约度高的区域土壤物理性状相对较差。土壤肥力则呈现明显的规律性特点,南部山区的旱地及中部川区的水浇地肥力明显好于北部干旱山区的旱地,其中南部山区的旱地土壤肥力较好,是因为南部山区降雨量较多,土壤自然肥力较好,而中部川区一方面是由于自然原因,更重要是由于化肥、农药造成的。

3.2 耕地重金属污染分析

3.2.1 研究区耕地重金属含量情况 土壤重金属研究采用 2008 年多目标地球化学数据。该数据采用网格法均匀布点,采样密度为 4 km²,榆中县共采集样本 494 个。主要测定 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb、Zn 等 7 个重金属元素,测定统计结果见表 3。

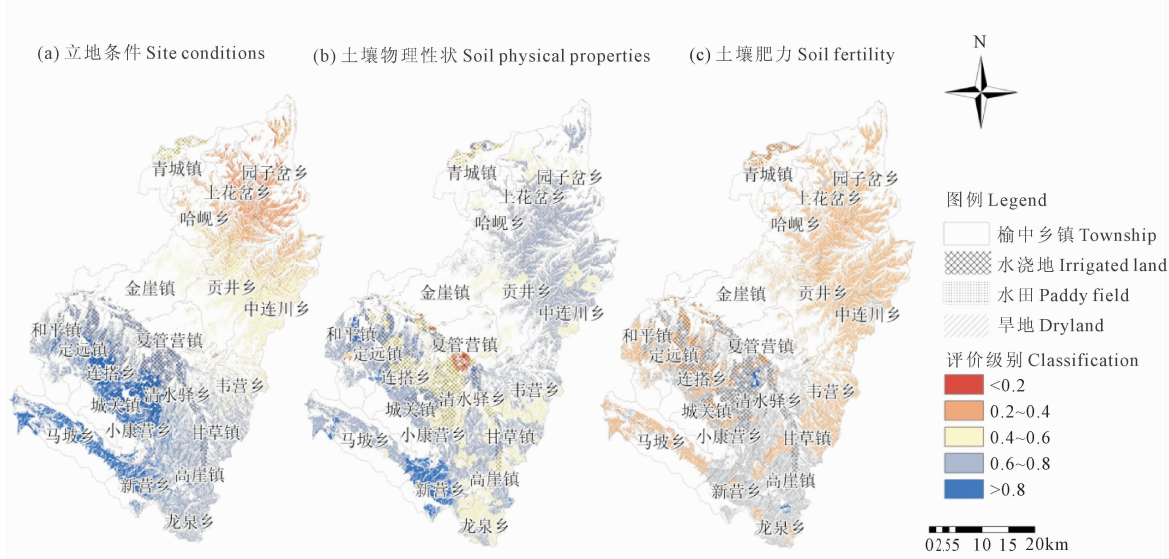


图 1 研究区耕地立地条件(a)、土壤物理性状(b)及土壤肥力(c)评价结果

Fig.1 The assessment map of site conditions, soil physical properties and soil fertility

表 3 耕地土壤重金属统计特征分析

Table 3 The statistical characters of heavy metals in farmland soil

重金属元素 Heavy metal	平均值 Mean /(mg·kg ⁻¹)	最大值 Max. /(mg·kg ⁻¹)	最小值 Min. /(mg·kg ⁻¹)	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	标准差 Standard deviation /(mg·kg ⁻¹)	变异系数 Coefficient of variation
As	12.75	26.4	8.2	2.22	14.96	1.49	0.12
Cd	0.25	1.02	0.15	3.24	21.5	0.08	0.31
Cr	73.12	174.4	54.7	4.2	29.98	10.41	0.14
Cu	26.77	52.8	21.1	1.73	4.01	4.36	0.16
Hg	0.04	0.24	0.01	4.1	23.43	0.02	0.65
Pb	24.21	46.5	16.8	1.22	4.34	3.34	0.14
Zn	76.43	119.2	58.6	1.14	2.02	8.98	0.12

调查结果显示,研究区 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb、Zn 元素的平均含量分别为 12.75,0.25,73.12,26.77,0.04,24.2,76.43 mg·kg⁻¹,均高于地区土壤微量元素背景值^[23](表 4)。差值由高到低依次为 Cd>Hg>Pb>Zn>Cu>Cr>As,其中 As 和 Cr 的平均值与背景值相差不大,分别为背景值的 1.01 倍和 1.04 倍,而 Cd 和 Hg 的平均值分别达到地区背景值的 2.16 倍和 2 倍;分析各个重金属元素的最大值可进一步了解点污染情况,分析结果显示,最大值与背景值差值由高到低依次为 Hg>Cd>Cr>Pb>Cu>As>Zn,相差最大的为 Hg,最大值与背景值相差 12

倍,其次为 Cd,相差 8 倍;而 Cd 的最小值也超过了背景值,是背景值的 1.29 倍。

对研究区各个重金属元素的变异系数进行分析发现,土壤中不同金属元素变异系数差异较大。其中,Hg 和 Cd 变异系数较大,分别为 0.65 和 0.31,说明研究区各个调查点 Hg 和 Cd 含量变化较大,Hg 含量最大值为 0.24 mg·kg⁻¹,最小值为 0.01 mg·kg⁻¹,相差 24 倍;Cd 含量最大值为 1.02 mg·kg⁻¹,最小值为 0.15 mg·kg⁻¹,相差 6.38 倍,说明研究区 Hg 和 Cd 受外界人为干扰因素影响,土壤含量变化较大。

3.2.2 重金属空间分布及综合污染分析 采用

Krging 插值法对研究区 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb、Zn 等 7 个重金属进行空间插值,采用研究区地区土壤微量金属元素背景值和土壤环境质量评价标准值^[24](表 4),将插值结果分为 3 级,研究各个重金属元素空间分布情况(图 2)。

表 4 空间插值结果分级标准

Table 4 The grading standard of spatial interpolation		
重金属元素 Heavy metal	地区土壤微量金属元素背景值 Regional background value/(mg·kg ⁻¹)	土壤环境质量评价标准值 (pH>7.5) Assessment standard of soil environment quality (pH>7.5) /(mg·kg ⁻¹)
As	12.6	25 (旱地 Dryland) 20 (水田 Paddy field)
Cd	0.116	0.6
Cr	70	250 (旱地 Dryland) 350 (水田 Paddy field)
Cu	24.1	100
Hg	0.02	1
Pb	18.8	80
Zn	68.5	300

插值结果显示(图 2),研究区内 Cd、Pb 含量高于地区背景值,其中 Pb 含量在地区背景值与土壤环境质量评价标准值之间,而 Cd 在北部黄河谷地青城镇约 70.18 hm² 的区域已超过土壤环境质量评价标准值 0.6 mg·kg⁻¹,超标区域大约占耕地总面积的 0.05%;Hg 除中部夏管营镇极小部分的区域低于背景值外,其他区域均高于背景值。其他超出背景值的元素排序为 Cu>Zn>Cr>As,超标面积分别占耕地总面积的 70.18%、67.63%、54.92%和 34.51%,其中 As 元素区域分布变化较大,南部山区、中部川区及北部黄河谷地等人类活动发达的地区含量较高,高于土壤背景值,在中部地区约有 8.5 hm²,超过土壤环境质量评价标准值,达到污染级别。

研究区水田 133.3 hm²,占耕地总面积的 0.11%,位于榆中县北部青城镇黄河岸边;水浇地 26 231.3 hm²,占耕地总面积的 20.70%,大部分水浇地位于中部川区,北部青城镇有部分。由图 3 可知,研究区水田和水浇地的各个重金属元素均处于高值区,尤其是水田,Cd 的超标区域就全部位于面积仅为 133.3 hm² 的水田,超标面积高达 52.65%。其他元素除 Hg 和 Pb 全部超过背景值外,水田和水浇地的 Cu 和 Zn 含量全部超出背景值区域。对研究区水田和水浇地调查发现,由于这两类耕地开发利用价值高,同时投入的化肥农药相对较多,受人类活动影响相比旱地要高,易形成污染。

采用内梅罗综合污染指数法对研究区重金属元素污染进行综合评价(图 3)。内梅罗综合污染指数法是美国叙拉古大学的内梅罗(Nemerow N L)教授提出的一种水污染指数,现逐渐用于土壤污染评价^[25]。本次评价分值在 0.3~0.8 之间,分值越高,污染程度越高。评价结果显示,研究区土壤整体状况较好,分值介于 0.3~0.5 之间的污染低值区占耕地总面积的 97.3%。但由图 3 可知,整体而言,中部川区的水浇地和南部山区的部分耕地分值相对较高,处于 0.4~0.5 的分值区;评价分值介于 0.5~0.6 的中值区位于中部川区的边缘地带;在中部川区的和平镇和马坡乡的东北角出现 0.6~0.7 的高值区,而青城镇为研究区污染最高点,出现由中心向四周辐射扩散的特点。由此可见,高值区域主要分布在榆中县中部和北部黄河河岸灌溉农业区等农业开发较早,土地利用较为成熟,现代农业较为发达的区域,而低值区域处于旱作农业区等开发利用程度较低、粗放式经营的农作区。

3.3 耕地自然质量综合评价

从立地条件、土壤特性、土壤肥力及土壤重金属污染四方面出发,对榆中县耕地进行综合评价,最终得到榆中县耕地质量综合评价分值。最终评价结果分值介于 0.22~0.81 之间,分值越高说明耕地质量越好。榆中县大部分地区耕地自然质量分值在 0.4~0.6 之间,占耕地总面积的 84.2%。为分析研究区耕地质量差别,将综合评价结果分为 8 级,得到综合评估图(图 4)。

由图 4 可知,榆中县耕地质量自南向北逐渐变差,部分区域出现异常点,如和平镇和夏管营镇出现异常低值点。其中南部石质山区旱地,耕地质量相对较好,评价分值在 0.6~0.7 之间;北部干旱山区全部为旱地,耕地质量较差,评价分值在 0.4~0.6 之间,无比较明显的异常区域;而中部川区耕地以水浇地为主,有少部分旱地,耕地质量介于南部山区与北部山区之间,分值在 0.5~0.6 之间。和平镇、连搭乡、夏管营镇等水浇地区域出现 0.3~0.4 之间的低值区域;最北部黄河谷地的水浇地和水田评价分值最低,在 0.2~0.3 之间。对研究区耕地自然质量综合评价图进一步分析发现,中部川区夏管营镇的低值区域与土壤物理性状的低值区域相吻合,说明夏管营镇的土壤质量限制因子为土壤物理性状;和平镇的低值区域与重金属综合污染分布图的高值区相吻合,说明和平镇耕地质量限制因子为重金属污染;而最北部黄河谷地的水浇地和水田的低值区与重金属污染图高度吻合,说明重金属污染是黄河谷地耕地自然质量的决定性因素。

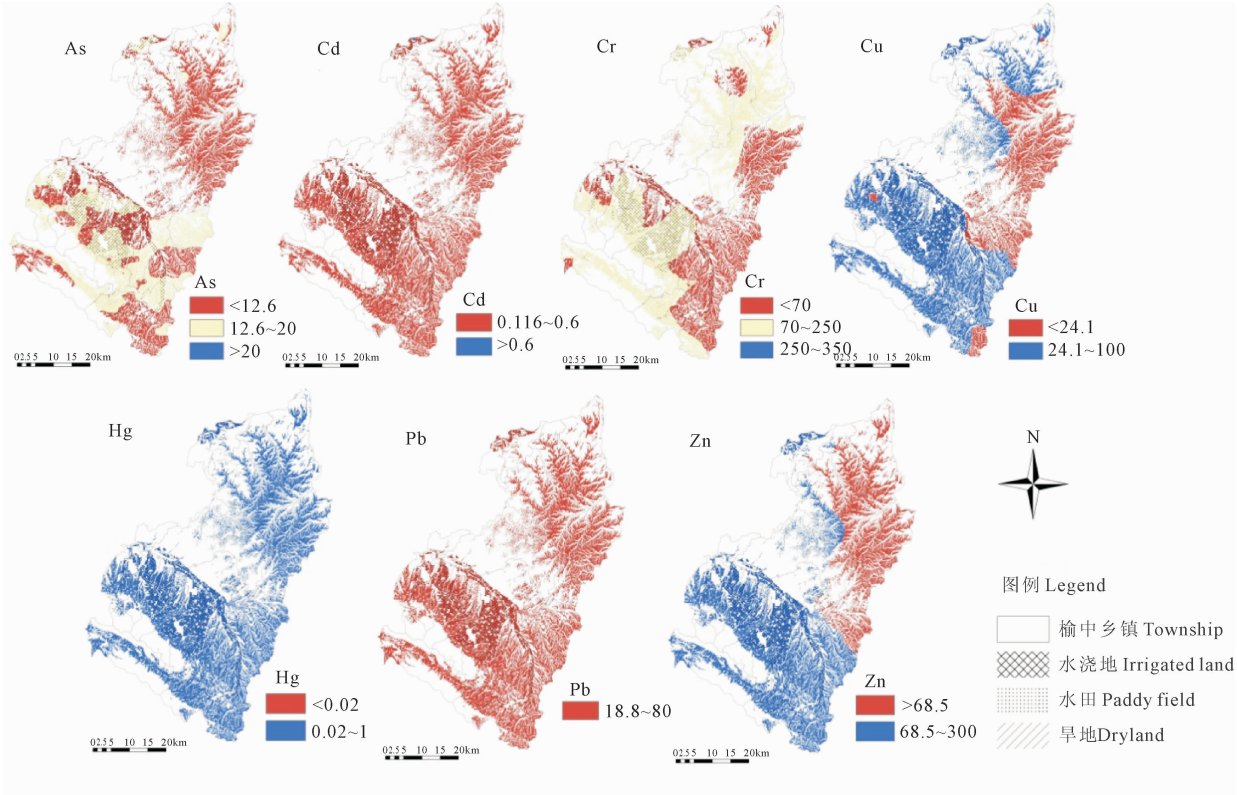


图 2 各个重金属元素空间分布/(mg·kg⁻¹)
Fig.2 The distribution of all kinds of heavy metals

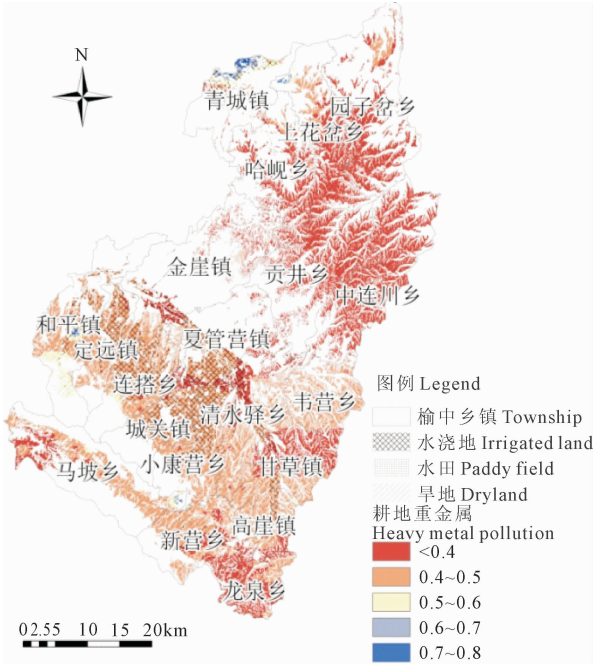


图 3 内罗梅综合污染分布
Fig.3 Distribution of Nemerow Pollution Index

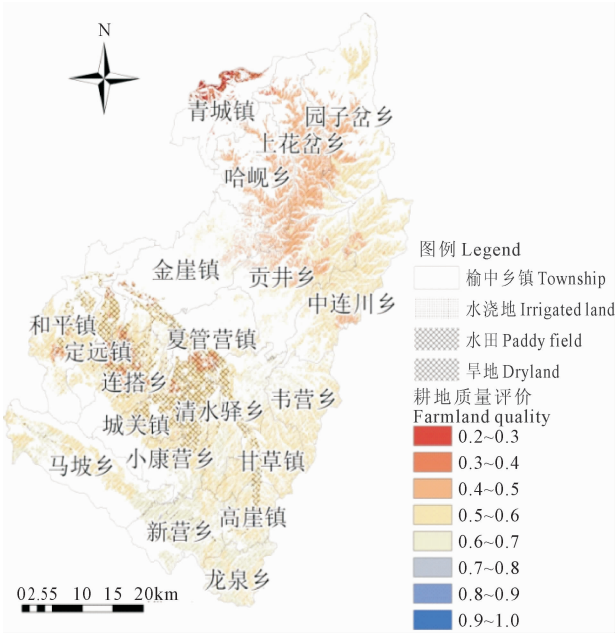


图 4 耕地自然质量综合评估
Fig.4 Assessment of farmland natural quality

4 结 论

研究区地处青藏高原、黄土高原与河西走廊的交错带,生态系统脆弱,生态安全问题尤为突出,耕

地保护困难。本文从耕地质量安全的角度出发,在调查研究耕地立地条件、土壤物理性状、土壤肥力等耕地质量评价常规条件的基础上,着重考虑重金属污染对研究区耕地质量的影响,对研究区耕地质量

进行综合评估。主要研究结果如下:

1) 对研究区耕地立地条件、土壤物理性状、土壤肥力等自然条件调查发现,研究区耕地立地条件、土壤物理性状相对较好,质量较好的 4 级耕地最多,分别占耕地总面积的 42.05% 和 62.89%;而土壤肥力较差,2、3 级耕地占耕地总面积的 99.63%,其中 2 级耕地高达 62.05%。

2) 研究区单个重金属元素含量分析结果显示,研究区 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb、Zn 等重金属元素的平均含量均高于地区土壤微量金属元素背景值,平均值与背景值的差值由高到低依次为 Cd>Hg>Pb>Zn>Cu>Cr>As,其中 Cd 和 Hg 的平均值分别达到地区背景值的 2.16 倍和 2 倍;最大值与背景值差值由高到低依次为 Hg>Cd>Cr>Pb>Cu>As>Zn,相差最大的为 Hg,最大值与背景值相差 12 倍。

3) 研究区耕地土壤重金属污染综合评价结果显示,从重金属污染的角度来看,研究区耕地质量整体较好,介于 0.3~0.5 之间的污染低值区占耕地总面积的 97.3%,但仍然有部分地区耕地重金属污染严重,北部黄河谷地的青城镇为重金属污染的最高值区,污染最为严重。

4) 研究区耕地质量综合评估结果显示,榆中县耕地质量自南向北逐渐变差,部分区域出现异常点。其中南部石质山区评价分值在 0.6~0.7 之间;北部干旱山区耕地质量较差,评价分值在 0.4~0.6 之间;而中部川区耕地质量介于南部山区与北部山区之间,分值为 0.5~0.6 之间,最北部黄河谷地的水浇地和水田评价分值最低,在 0.2~0.3 之间。

西部生态脆弱区耕地质量受水资源制约,水田和水浇地土地利用集约度较高,产量远高于旱地,但在研究区我们发现由于重金属污染导致水田、水浇地耕地质量相对同区域的旱地质量较差。由此可见,虽然耕地自然质量主要受降雨量、坡度等自然因素的影响,但重金属造成的土壤污染已成为该区域不可忽视的耕地质量问题。

致谢:感谢榆中县国土资源局史学军及甘肃省地质调查院、榆中县农技中心土肥站的工作人员对本研究的大力支持。

参 考 文 献:

[1] Cai Yunlong. Land use and management in P R China[J]. Land Use Policy, 1990,7(4):337-350.
[2] 蔡运龙,蒙古军.退化土地的生态重建:社会工程途径[J].地理科学,1999,19(3):198-204.

[3] 陈印军,肖碧林,方琳娜,等.中国耕地质量状况分析[J].中国农业科学,2011,44(17):3557-3564.
[4] 张衍毓,王 静,陈美景.河南省粮食生产核心区建设的战略思考[J].中国土地科学,2012,2(63):18-22.
[5] Moon K, Marshall N, Cocklin C. Personal circumstances and social characteristics as determinants of landholder participation inBiodiversity conservation programs [J]. Journal of Environmental Management, 2012,113:292-300.
[6] Nitsch H, Osterburg B, Roggendorf W, et al. Cross compliance and the protection of grassland—illustrative analyses of land use transitions between permanent grassland and arable land in german regions[J]. Land Use Policy, 2012,2(92):440-448.
[7] Schmitz M F, Matos D G G, et al. De aranzaball. effects of a protected area on land-use dynamics and socioeconomic development of local populations[J]. Biological Conservation, 2012,14(91):122-135.
[8] Poppenborg P, Koellner T. Do attitudes toward ecosystem services determine agricultural land use practices? an analysis of farmers’ decision-making in a south korean watershed[J]. Land Use Policy, 2013, 31:422-429.
[9] 蔡运龙,霍雅勤.中国耕地价值重建方法与案例研究[J].地理学报,2006,61(10):1084-1092.
[10] 陈百明.耕地质量建设的生态与环境理念[J].中国农业资源与区划,2013,34(1):1-4.
[11] 袁天凤.基于 GIS 的重庆市丘陵山地耕地质量评价与比较[J].农业工程学报,2007,(11):101-107.
[12] 石淑芹.基于 3S 技术的区域性耕地资源变化影响评价模式研究[J].农业工程学报,2008,(7):91-96.
[13] 杨建锋,马军成,王令超.基于多光谱遥感的耕地等别识别评价因素研究[J].农业工程学报,2012,(17):230-236.
[14] 袁秀杰,赵庚星,朱雪欣.平原和丘陵区耕地地力评价及其指标体系衔接研究[J].农业工程学报,2008,(7):65-71.
[15] 高明秀,李占军,赵庚星.面向土地整理的项目尺度耕地质量评价[J].农业工程学报,2008,(S1):128-132.
[16] 吴豪翔.县级农田地力分等定级评价与施肥综合管理[J].农业工程学报,2011,(12):307-312.
[17] 钱凤魁.凌源市耕地质量评价与立地条件分析[J].农业工程学报,2011,(11):325-329.
[18] 伍育鹏,郑文聚,邹 如.基于耕地质量评价的耕地产能核算方法及分布[J].农业工程学报,2008,(S1):85-89.
[19] 蔡海生,林建平,朱德海.基于耕地质量评价的鄱阳湖区耕地整理规划[J].农业工程学报,2007,(5):75-80.
[20] 姜广辉,赵婷婷,段增强,等.北京山区耕地质量变化及未来趋势模拟[J].农业工程学报,2010,(26):304-310.
[21] 刘学毅.德尔菲法在交叉学科研究评价中的应用[J].西南交通大学学报(社会科学版),2007,(8)2:21-25.
[22] 关伯仁.评内梅罗的污染指数[J].环境科学,1979,29(8):67-71.
[23] 国家环境保护局.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
[24] 国家环境保护局科技标准司.GB/T 15618—1995.土壤环境质量标准[S].北京:中国标准出版社,1995.
[25] 刘衍君,唐庆新,白振华,等.基于地质积累与内梅罗指数的耕地重金属污染研究[J].中国农学通报,2009,25(20):174-178.