

海河流域平原区土地质量地球化学评估

张素荣, 赵更新, 贺福清, 滕 菲, 高学生

(中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170)

摘 要: 以海河流域平原区多目标区域地球化学调查数据为基础, 研究了该区土壤肥力、土壤环境的地球化学特征, 对土地质量进行了地球化学评估。评价结果充分反映流域平原区土地质量整体很好, 优良级的土壤占52.49%; 土壤肥力受pH值及含盐量影响在沿海滩涂地区和永定河流域相对较低; 差等级土壤在区内分布极少, 仅占总面积的1.62%, 零星分布在油田和石油勘探活动的地区。笔者同时提出了本区土地质量存在的主要生态地球化学问题。

关键词: 海河流域平原区; 土地质量; 地球化学评估; 土壤肥力; 土壤环境; 分等

中图分类号: P596

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2013)03-0182-07

土地是“生命之基, 万物之母”, 由于长期过量使用化学肥料、农药、农膜以及污水灌溉, 土壤理化性质恶化, 直接导致土壤生态系统的结构和功能发生改变, 土壤生产力下降, 从而造成土地质量下降、生态环境恶化^[1]。这不仅直接影响到国民经济发展和国土资源环境安全, 而且直接关系到农产品安全和人体健康。自2008年初以来, 已有很多学者在不同地区开展了土地评估工作: 刘军保和黄春雷等^[2]在慈溪市开展了土地质量地球化学评估方法研究; 王加恩和胡艳华等^[3]在浙江省嘉善县开展了土地质量地球化学评估与农用地分等成果整合方法研究; 简中华和王世纪等^[4]在浙江省龙游县对不同采样密度的土地质量地球化学评估结果进行了对比; 王立胜和汪媛媛等^[5]在吉林大安市开展了土地质量地球化学评估与绿色产能评价研究; 孙淑梅和张连志^[6]等在吉林省德惠-农安地区, 姚振等^[7]在西宁-乐都地区, 于成广^[8]等在盘锦市都开展了土地评估工作。然而, 这些研究多集中于县、市级别的区域, 尚没有学者在海河流域平原区做过系统的土地评估研究。笔者在“全国土壤现状调查及污染防治专项: 海河流域土地质量地球化学评估”课题中, 以海河流域平原区为对象, 对该区土壤肥力、土壤环境的地球化学特征进行了综合研究, 编制出土地质量地球化学综合分等图, 填补了该区土地质量地球化学评估的空白, 同时发

现了该区存在的一些生态地球化学问题, 并从土地科学利用角度提出了宏观的指导性建议。

1 研究区概况

海河流域平原区北倚燕山, 西靠太行, 东临渤海, 包括北京市、天津市、河北省的平原地区, 以及河南省和山东省黄河以北的平原地区。地势由北西向南东倾斜, 西北部为山区、丘陵和高原, 中部和东南部为广阔的平原, 东部为海洋, 多个水系在天津汇聚为海河东流入海, 古有“九河下梢”之说。平原区按成因分为冲积洪积倾斜平原、洪积冲积平原、冲积平原、海积冲积低平原和海积低平原、冲积湖积平原、洪积平原等类型, 其中以冲积平原为主体部分。渤海湾属淤泥质海岸, 自陆地向海水可分潮间浅滩、河口浅滩和水下岸坡等, 具有明显的分带性。

土壤类型包括11个土纲, 18种土类, 44种土壤亚类, 以潮土为主, 面积98 857 km², 占70.85%; 其次为褐土, 面积8352 km², 占5.99%。区域上土壤呈“以面为主, 条带相间”的分布格局。潮土呈面状分布于流域泛滥平原区, 邯郸-鹤壁一带的冲洪积扇地区石灰性褐土和褐土呈带状分布, 脱潮土呈带状分布于山东与河北省省界处, 北部冲洪积扇区以褐土和潮褐土为主。

土地利用以耕地为主, 占75.61%, 居民及工矿用

收稿日期: 2013-04-03

资助项目: 全国土壤现状调查及污染防治专项: 海河流域土地质量地球化学评估(GZTR20070303)

作者简介: 张素荣(1981-), 女, 工程师, 吉林大学硕士, 现从事地球化学研究, Email: zhangsurong@126.com。

地占12.04%,未利用土地占3.35%,水域占3.82%,林地占2.05%,园地占1.69%,交通用地和牧草地极少。

区域内的农业资源丰富。粮食、水果、蔬菜、肉类等多种农产品居全国前列,也是重要的海产品产区。

2 数据来源

土地评估数据全部来自北京、天津、河北、山东、河南1:25万多目标区域地球化学调查获得的土壤测量结果。表层土壤采样密度为1个点/ km^2 ,采样深度0~20 cm,4 km^2 组合一个分析样。平原区表层土壤样采样点选择在农田中采集,每个土壤样品由采样点位及周围一定范围3~5个采集点分别采样组合而成^[9]。

3 研究方法

3.1 评估单元

土地评估单元是评价对象的最小单位,是由影响土地质量诸多因素构成的一个空间实体^[10],是开展土地质量地球化学评估工作的基础。按照《土地质量地球化学评估技术要求》^[11]规定,流域级土地质量地球化学评估单元同采样单元,即2 km×2 km网格为一个单元。

3.2 评估指标筛选

以表征土壤肥力、土壤环境、土壤健康的地球化学指标作为评估指标,在系统研究评估区土壤地球化学特征基础上进行评估指标的筛选。

土壤肥力指标:肥力指标重点选择相对低异常(缺乏)的必需大量元素、微量元素和指标。研究区土壤中K、Ca、Mg、S、Na含量均较丰富,C1、B含量适中,按照营养元素全量分级评估,适宜区和丰富区均占总评估区面积80%以上,故不作为评估指标;研究区N、P、TOC、Mo、Cu、Mn、Zn、Si均较缺乏,且P与C、N与TOC的相关性均不显著,P与TOC的空间自相关性均较弱,而Fe与Mn呈现很好的相关性,且Fe的空间变异性较强,块金系数51.7%,具有中等的空间自相关性,根据主导性和独立性原则^[12-13]选取C、N、P、TOC、Fe、Mo、Cu、Zn、Si作为评估指标。

土壤环境指标:环境指标重点选择相对高异常(超标)元素。在评估区土壤中,重金属元素Pb、Cr、Hg、Ni、As含量较低,低于1级(自然背景值)的面积分别占98.21%、97.81%、97.49%、97.02%、96.90%。Cd

含量相对较高,2级以上面积占8.83%。研究区的污染元素主要是Cd,因此选取Cd作为评估指标。

土壤健康指标主要选择土壤中Se、I和F含量异常(过高或过低)程度较大的元素。与全国A层土壤中的元素含量相比,研究区土壤中缺乏I,小于全国A层土壤50%顺序统计量的土壤面积所占比例为62.2%,且空间分布不均匀,变程小,块金系数相对较大,空间自相关程度较弱,变异性较强;研究区土壤中Se的含量适中,空间变异性较强,考虑到Se能提高机体的抑癌、抗癌能力,确定I和Se元素为研究区健康元素评估指标。

pH是土壤中一项重要的理化性质,pH值的高低不仅反映了土壤本身的酸化或碱化程度,而且与很多元素的形态分布有着紧密的关系,会直接影响到作物对元素的吸收和利用,因此评估时pH作为必选的参评指标。

3.3 评估指标隶属度函数模型建立

隶属度函数模型主要包括线性模型和非线性模型,考虑评估工作的实用性和简洁性,本研究以线性模型为基础,采用峰值型、戒上型、戒下型模型(图1)。研究区L、U、 O_1 、 O_2 阈值确定采用背景值法^[11]。对于各评价指标统计检验是否服从正态分布,不服从正态分布或对数正态分布的数据,进行平均值±3倍离差剔除异常数据,直至服从正态分布或对数正态分布,以累积频率值20%、40%、60%、80%的样本值即为L、U、 O_1 、 O_2 值(表1)。

各类地球化学评估指标采用隶属度函数模型的原则为:

(1)土壤pH和土壤健康指标I、Se采用峰值型隶属度函数模型。

(2)土壤TOC、P、N、C、Fe、Mo、Cu、Zn、Si等有益元素采用戒上型隶属度函数模型。

(3)土壤Cd等有害元素采用戒下型隶属度函数模型。

3.4 评估指标权重确定

为相对客观地确定各指标的权重,避免人为主观影响太大,运用层次分析法确定各指标的权重。层次分析法(AHP)^[11]是将系统因素按支配关系分组以形成有序的递阶层次结构,通过两两比较判断的方式确定每一层次中因素的相对重要性,然后在递阶层次结构内进行合成以得到决策因素相对于目标的重要性的总顺序,从而为决策提供确定性的判

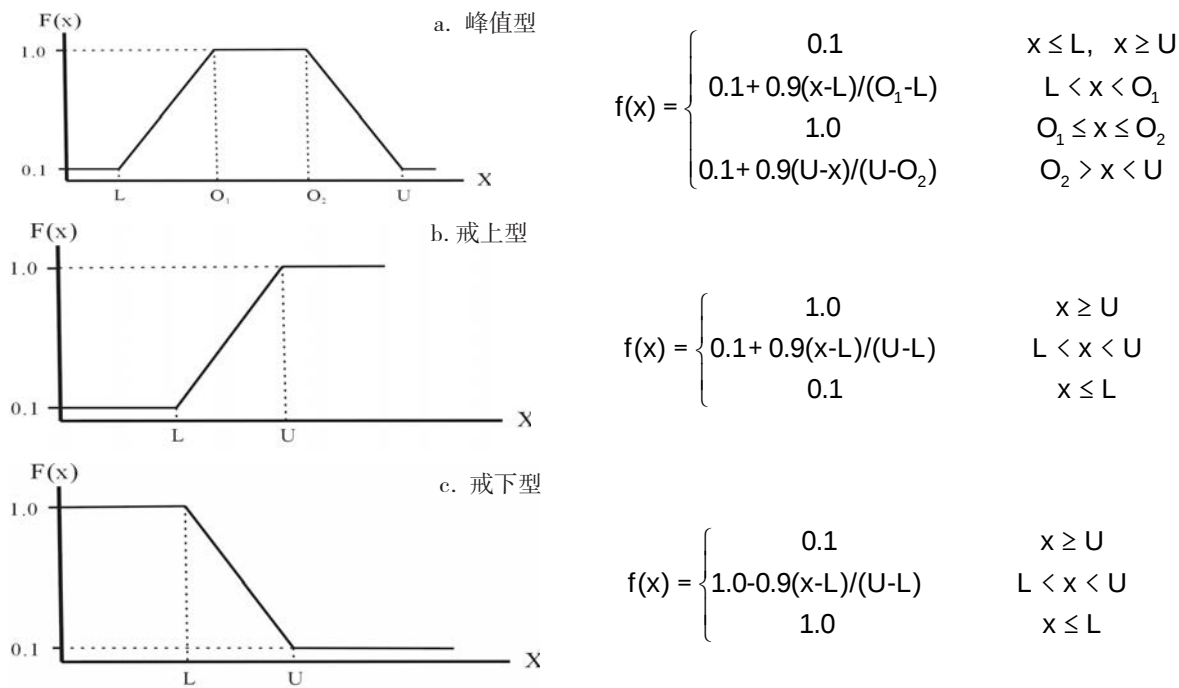


图1 各型隶属度函数模型曲线及隶属值计算公式

Fig. 1 Membership function model curve and value calculation formula

U为评估指标的上限值;L为评估指标的下限值;O₁和O₂为评估指标的最优值,x为评估指标的测定值

表1 各评估指标的隶属度函数模型及界限值

Table 1 Membership function model of the evaluation indexes and threshold value

指标 界限值	P	N	TOC	C	Mo	Fe	Cu
类型	戒上型	戒上型	戒上型	戒上型	戒上型	戒上型	戒上型
L (20%)	768	710	0.64	1.36	0.48	2.72	19.3
O ¹ (40%)	——	——	——	——	——	——	——
O ² (60%)	——	——	——	——	——	——	——
U (80%)	1176	1017	0.99	1.91	0.67	3.46	26.9
指标 界限值	Zn	Si	Cd	pH	I	Se	
类型	戒上型	戒上型	戒下型	峰值型	峰值型	峰值型	
L (20%)	59.7	27.11	0.12	8.01	1.41	0.15	
O ₁ (40%)	——	——	——	8.14	1.74	0.18	
O ₂ (60%)	——	——	——	8.24	2.09	0.20	
U (80%)	78	29.65	0.17	8.36	2.61	0.22	

注:TOC、C、Fe、Si单位为%;pH无量纲;其他为μg/g.

据。此方法是一种定性与定量分析相结合的多因素决策分析方法,其步骤为:建立问题的递阶层次结构—构造两两比较判断矩阵—由判断矩阵计算被比较元素单层次权重—计算各层次元素的组合权重。

在层次比较和组合权重中主要根据参评指标在评估区的含量分布状况及空间变异度,结合不同元素对农作物的重要性程度^[2],再结合有关专家意见,

按照层次分析法的定义,对同层次的指标建立两两比较矩阵及求得相对权重(表2、3)。

运用Yaahp5.2软件对各判断矩阵的特征根进行求解,获得各层次指标间的权重(表4),同一层次各指标的权重加和为1。

3.5 评估综合指数的确定

采用加法模型,利用以下公式对各评估指标的

表2 肥力指标各层次指标判断矩阵

Table 2 Index judgment matrix of the fertility index at all levels

大量元素	C	N	P	Corg	微量元素	Fe	Mo	Cu	Zn		大量元素	微量元素	有益元素
C		1/	1/3	1/7	Fe		1/	1	1	大量元素		5	7
N			1	1/3	Mo			3	7	微量元素			2
P				1/3	Cu				3	有益元素			
Corg					Zn								

表3 环境健康指标各层次指标判断矩阵

Table 3 Index judgment matrix of the environmental health indicators at all levels

健康元素	I	Se		有害元素	健康元素	pH
I		3	有害元素		5	3
Se			健康元素			1/3
			pH			

表4 土地地球化学评估不同层次指标权重

Table 4 Soil geochemical evaluation index right of different levels

指标层		指标权重				
肥力 指标	必需大量元素	N	P	C	有机质	0.740
		0.193	0.193	0.069	0.545	
	必需微量元素	Fe	Mo	Cu	Zn	0.167
		0.086	0.596	0.234	0.083	
		有益元素	Si			
环境健康 指标	pH	pH				0.316
	有害元素	Cd				0.472
	健康元素	I		Se		0.212
		0.599		0.401		

实测值进行权重和隶属度计算,获得土壤肥力和土壤环境地球化学综合指数。

$$P=\sum f_i \times C_i \ (i = 1,2,3,4\cdots n)$$

式中: P 为综合指数; f_i 为第 i 个评估指标的隶属度函数值; C_i 为第 i 个评估指标的权重,评估指标为表征土地肥力和土地环境健康的各类指标。

按照综合参数计算结果,将各评估单元分为三等,各等对应的综合参数值见表5。

3.6 土地质量地球化学等级划分

依据土壤肥力质量等级和土壤环境质量等级划分结果,采用表6所示的分等方案,对评估区进行土地质量地球化学分等。

根据分等方案对海河流域平原区土地质量进行了地球化学评估综合分等(图2),由图可知,评估区土壤分为优质、优良、良好、中等、差等五个等级。土地质量整体很好,良好以上等级的土壤占全区69.28%,其中优质级占1.72%,零散分布在评估区,以河北省三河市、沙河市及山东省商河县周边地区

分布相对较多。优良级的土壤占52.49%,在全区广泛分布。良好级的占15.07%,反映土壤肥力相对较低,受PH值及含盐量影响,主要分布于沿海滩涂地区和永定河流域。中等级别土壤占总面积29.11%,反映土壤环境质量较低,主要集中在工业发达和人口密集区。差等级土壤在区内分布极少,仅占总面积的1.62%,零星分布在研究区南部及大港油田、黄河三角洲和南堡油田等开展石油勘探活动的地区。

综上所述,评价结果能充分反映出研究区的实际情况,体现出人类活动和工业污染对土地质量的影响。评估结果可为研究区基本农田质量评价提供基础评价依据,为农业种植结构调整等方面提供基础资料。

4 土地质量地球化学问题的讨论

通过对研究区的土地质量地球化学评估,发现以下几个值得注意的问题。

表5 评估单元分等与综合参数对应表

Table 5 Assessment unit classification and corresponding integrated parameters

综合参数(P _{肥综} 或P _{环综})	1~0.7	0.7~0.3	<0.3
土地肥力分等	丰富(一等)	适量(二等)	缺乏(三等)
土地环境健康分等	清洁(一等)	正常(二等)	污染(三等)

表6 土地质量地球化学评估分等表

Table 6 Land quality geochemical assessment grading

综合等级 肥力等级 环境质量	丰富	适量	缺乏
清洁	优质	优良	良好
正常	优良	优良	良好
污染	中等	中等	差等

(1)流域内地方病与土壤、地下水部分元素的缺乏和富集有关。流域内表层土壤碘含量范围0.04~23.8 mg/kg,中值1.96 mg/kg,均值2.28 mg/kg,变异系数61%。全国土壤碘含量中值2.2 mg/kg,与之相比,流域内土壤碘含量处于中等偏低的水平;土壤中的F含量范围通常为20~500 mg/kg (Kabata P, et al.,1984),而研究区表层土壤中F元素含量范围为88~4006 mg/kg,平均值为546.1 mg/kg,远高于全国平均值478 mg/kg。在这样一个低碘、高氟的元素地球化学背景条件下,加上传统的生活方式、特殊的自然地理条件(干旱缺水)等因素的影响,流域内多发甲状腺肿和地方性克汀病、氟中毒症、砷中毒、大骨节病等地方性疾病。对流域来说,加强对有益元素、营养元素的研究,特别是在偏碱性环境中元素性态及其生态地球化学效应的研究,查明高氟砷地球化学背景和砷元素迁移转化规律对于防治氟砷中毒具有重大的意义。

(2)利用污水进行灌溉和使用劣质化肥引起土壤和农产品质量问题。由于灌溉水缺乏,直接或间接利用污水进行灌溉在区域内是比较普遍的,应注意出现农产品质量问题。高浓度有毒废水灌溉农田可能直接造成作物死苗或作物中毒的事故。有的地区长期施用劣质化肥,使土壤重金属富集,应引起高度重视,防止其发展,避免一些优良农用土地质量逐渐降低。

(3)一些潜在的优良土壤资源或优势农业资源尚未被认识和保护利用。海河流域平原区是我国最重要的农业经济区,是我国最大的粮食作物的主要产区,也是我国出口农产品的主要产区。对土壤地球化学特征和有益微量元素分布规律的研究将有助

于发现和合理利用潜在的优良土壤资源,从而为科学规划农业经济发展提供依据。根据土壤地球化学评估的研究结果,太行山前地区存在多处面积可观的富硒土壤,可能构成优良土壤资源,值得进一步研究。

(4)土壤环境保护形势和任务愈来愈严峻。经济的高速发展和排放迅速增长对环境的影响,已引起人们的高度关注,对优质农业土地资源的保护也十分紧迫。

5 结论

(1)海河流域平原区土壤肥力指标选取了C、N、P、Fe、Mo、Cu、Zn、Si、有机质,环境健康指标选取Cd、I、Se与pH。从评估结果来看,指标选取科学、合理,充分地反映出研究区土地质量的实际情况。

(2)流域平原区土地质量整体很好,优良级的土壤占52.49%,在全区广泛分布。土壤肥力受PH值及含盐量影响,在沿海滩涂地区和永定河流域相对较低。差等级土壤在区内分布极少,仅占总面积的1.62%,零星分布在油田和石油勘探活动的地区。评价结果体现出人类活动和工业污染对土地质量的影响,评估结果为研究区基本农田质量评价提供基础评价依据,为农业种植结构调整等方面提供基础资料。

(3)应加强对流域内地方病、土壤和农产品污染等问题的研究,重视土壤、地下水中元素的缺乏和富集问题,深化对有益元素、营养元素的研究,有效防治农田污染,提高农产品质量,同时,挖掘流域内潜在的优良土壤资源或优势农业资源,加强对优质农业土地资源及土壤环境的保护力度。

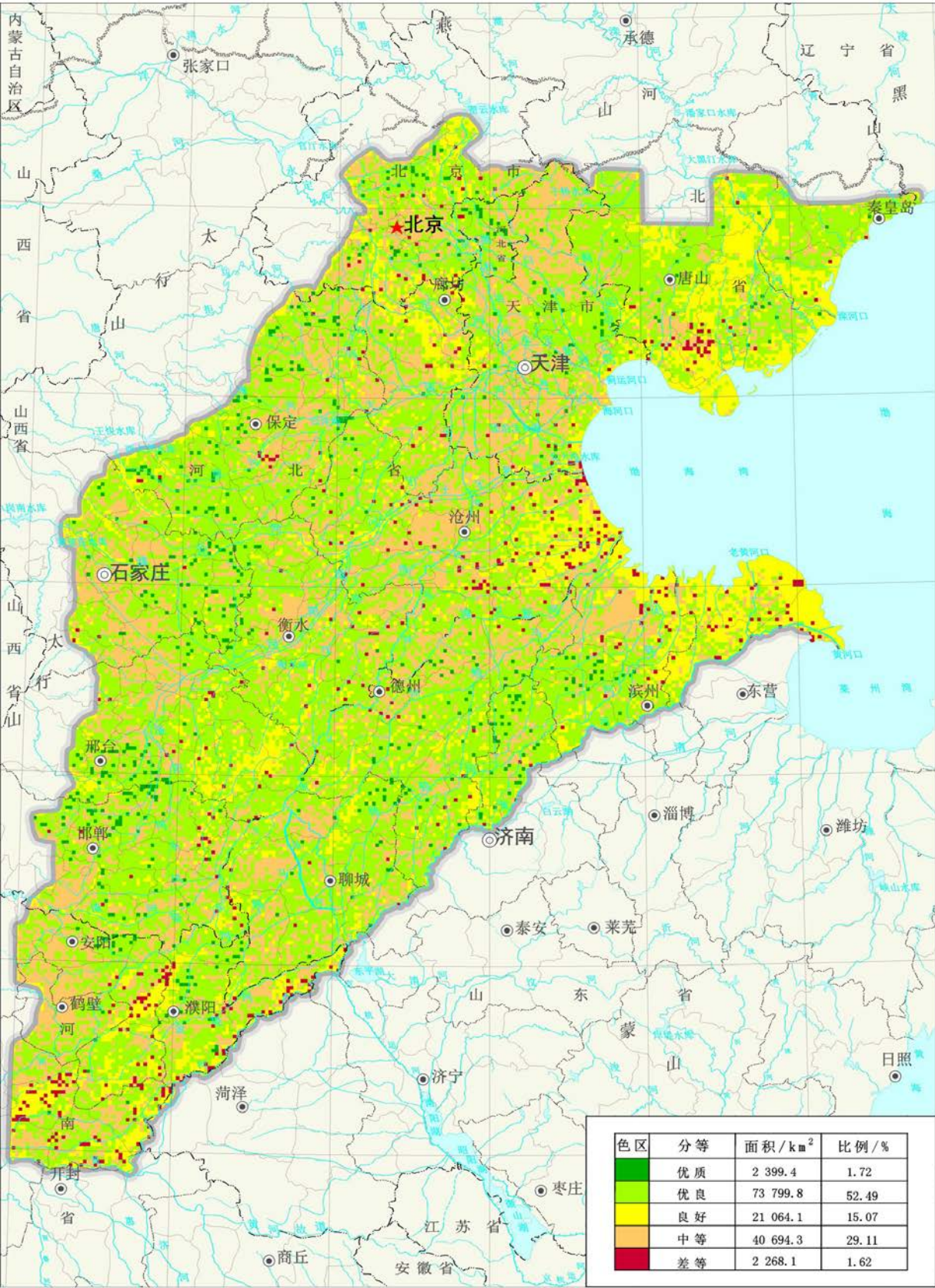


图2 海河流域平原区土地质量地球化学评估分等图

Fig.2 Geochemical classification of land quality in the Haihe River Basin

参考文献:

- [1]杨忠芳.现代环境地球化学[M].北京:地质出版社,1999.
- [2]刘军保,黄春雷,岑静等.土地质量地球化学评估方法研究—以慈溪市为例[J].资源调查与环境.2010,31(1):50-59.
- [3]王加恩,胡艳华,宋明义.土地质量地球化学评估与农用地分等成果整合方法—以浙江省嘉善县为例[J].广东土地科学.2012,11(2):25-31.
- [4]简中华,王世纪,黄春雷等.不同采样密度的土地质量地球化学评估结果对比—以浙江省龙游县为例[J].现代地质.2011,25(1):176-181.
- [5]王立胜,汪媛媛,余涛等.土地质量地球化学评估与绿色产能评价研究:以吉林大安市为例[J].现代地质.2012,26(5):879-885.
- [6]孙淑梅,张连志,闰冬.吉林省德惠—农安地区土地质量地球化学评估[J].现代地质.2008,22(6):998-1002.
- [7]姚振,田兴元,姬丙艳等.西宁—乐都地区土地质量地球化学评估[J].西北地质.2012,45(1):317-323.
- [8]于成广,杨忠芳,杨晓波等.土地质量地球化学评估方法研究与应用:以盘锦市为例[J].现代地质.2012,26(5):873-878.
- [9]中国地质调查局.DD2005-01,多目标区域地球化学调查规范(1:250000)[S].2005.
- [10]周生路,石晓日,徐彬彬.桂林市土地质量评价[J].山地研究.1997,15(4):269-272.
- [11]中国地质调查局.DD2008-06,土地质量地球化学评估技术要求(试行)[S].2008.
- [12]周勇,田有国,任意等.量化土地评价指标体系及评价方法探讨[J].生态环境.2003,12(1):37-41.
- [13]尹君.土地资源可持续利用评价指标体系研究[J].中国土地科学.2001,15(2):6-9.

Geochemical Evaluation of Land Quality in the Haihe River Basin

ZHANG Su-rong, ZHAO Geng-xin, HE Fu-qing, TENG Fei, GAO Xue-sheng

(Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China)

Abstract: On the basis of the data obtained from multi-purpose regional geochemical survey in the plain area of the Haihe River Basin, the geochemical characteristics of soil fertility and soil environment was analyzed, and the geochemical evaluation of the land quality was done. The evaluation results show that the overall quality of the drainage plain area is satisfactory, and the high quality soil accounting for 52.49%; the impact of pH values and salinity on the fertility of the soil in the coastal shallow seas, tidelands region and the Yongding River Basin is relatively low. The distribution of poor quality soils in the region is very low, accounting for only 1.62% of the total area, and scattered in the oil fields and oil exploration areas in the region. The authors also put forward the main ecological and geochemical problems concerning the land quality in the region.

Key words: plain area of Haihe River Basin; land quality; geochemical evaluation; soil fertility; soil environment; grading