

# 基于 GIS 的黑土区土壤相对环境容量空间分异特征研究\*

于磊 张柏

(中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

**摘要** 主要利用黑龙江省 1:20 万区域地球化学勘探资料, 在 GIS 支持下分析了黑龙江省黑土区相对环境容量的空间分异特征。研究表明: 黑龙江省黑土区单元素的相对环境容量是比较高的, 绝大部分地区的相对环境容量( $R_c$ )都大于 0.45, 很多地区还大于 0.75。本区的综合相对环境容量也比较高, 一般大于 0.45, 很多地方大于 0.75。高容量区( $R_c > 0.75$ )面积为 19 132.48 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 26.84%; 中容量区( $0.45 \leq R_c \leq 0.75$ )面积为 49 605.00 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 69.74%; 低容量区( $0 \leq R_c < 0.45$ )面积为 2 112.09 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 2.97%; 超载区( $R_c < 0$ )面积为 316.62 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 0.45%。这显示出本区的环境地球化学质量比较优越, 是本区可持续发展以及发展绿色农业的优势条件。

**关键词** 黑土区; GIS; 环境容量; 空间分异  
中图分类号 P208 文献标识码 A

随着人口增长、环境污染和资源损耗等问题的发展, 人类面临着自身环境的容量问题。如何科学地认识环境的容量和合理地利用有限的环境容量, 也成为人们越来越关注的问题。土壤环境容量是在一定区域与一定时限内, 遵循环境质量标准, 既保证农产品生物学质量, 也不使环境遭致污染时, 土壤所能容纳污染物的最大负荷量<sup>[1]</sup>。东北黑土区土壤肥力较高, 理化性能好, 向来是我国重要的商品粮生产基地, 对于我国的粮食安全和国民经济的稳定都有着举足轻重的作用。但是大范围的关于黑土环境容量的研究却比较少见。GIS 是 20 世纪 60 年代发展起来的, GIS 是一种采集、存储、管理、分析、显示与应用地理信息的计算机系统, 是分析和处理海量地理数据的通用技术<sup>[2]</sup>。近年来, 国内外众多学者利用 GIS 技术在环境地球化学领域进行了大量的研究<sup>[3-5]</sup>。本文主要利用黑龙江省 1:20 万区域地球化学勘探资料, 在 GIS 支持下对黑龙江省黑土区相对环境容量的空间分异特征进行了研究。这对于我国黑土区的粮食安全、区域农业可持续发展和本地区的生态安全都有着重要的意义。同时应用 GIS 技术来研究本区土壤相对环境容量, 在数据处理方法上也算是一种新的探索。

## 1 研究区概况

与乌克兰和美国密西西比河流域的黑土区一起并称世界著名的三大黑土带, 我国黑土区主要分布在我国东北松嫩平原及其四周台地低丘区。在黑龙江

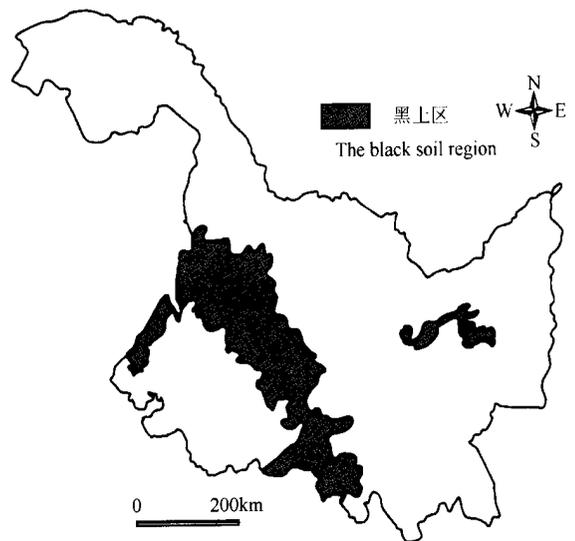


图 1 黑龙江省黑土分布区

Fig 1 Black soil distribution map of Heilongjiang Province

\* 中国科学院知识创新工程重大项目“东北地区农业水土资源优化调控机制与技术体系研究”(KZCX1-SW-19)资助  
作者简介: 于磊(1976-), 男, 在读博士生, 主要从事环境遥感和地理信息系统应用研究。E-mail: yuleicust@sina.com  
收稿日期: 2003-06-20; 收到修改稿日期: 2003-12-17

省,黑土主要分布在滨北及滨长铁路线两侧,北至黑龙江右岸,南界由双城、五常一带延伸到吉林省(图1),总面积大约有4 824 727 hm<sup>2</sup>。黑龙江省黑土只占黑龙江省总面积的10.87%,却占黑龙江省总耕地面积的31.24%<sup>[6]</sup>。黑土区的干燥度 $\leq 1$ ,气候比较湿润。年降雨量一般是500~650 mm左右,绝大部分集中于暖季,年平均气温为0~6.7℃。黑土地区的地形大都是在现代新构造运动中间歇上升并受不同程度切割的高平原、台地和阶地地貌,地势平缓辽阔。目前黑土区多开垦为农田,地表覆盖物多为农作物植株。经过多年的发展,黑龙江省黑土区已成为我国著名的商品粮基地和黑龙江省经济发达区,对于我国的粮食安全和国民经济的稳定有着重要的作用。

## 2 研究方法

本研究挑选资料比较齐全同时对环境和人类有

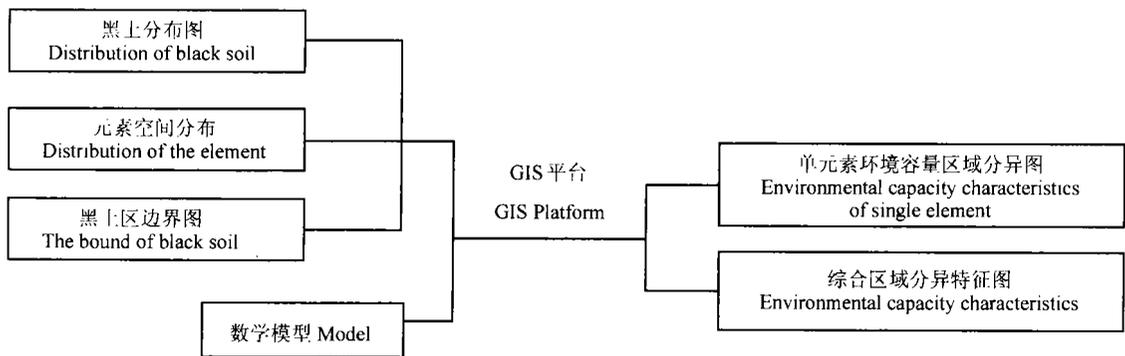


图2 黑土区环境容量区域特征研究流程图

Fig 2 Flow of the study on spatial characteristics of the environmental capacity of the black soil region

定,毒性小,容量高,中碱性土壤中容量低。同时,由于环境容量的研究涉及的学科众多,土壤环境容量的区域差异很大,因此,本文在对黑土区相对环境容量的区域分异特征进行研究时,参考夏增禄等人的推荐标准<sup>[1]</sup>,结合黑土区的实际情况,确定了本次研究的标准( $C_s$ )(表1)。根据选定的容量标准 $C_s$ 和元素分布值 $C_i$ ,可以计算出该元素的相对容量 $Rci(\%)$ :

$$Rci = \frac{C_s - C_i}{C_s} \times 100\%$$

再以各元素的相对环境容量值,算出综合相对环境容量值:

$$Rc = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Rci。$$

重要影响的As、Pb、Cu、Zn、Cr和Co共六种元素来对黑龙江省黑土区土壤相对环境容量进行研究。数据来自国土资源部黑龙江省1:20万区域地球化学勘探资料,对于中尺度的土壤相对环境容量研究比较适合。所采用的GIS平台为美国ESRI公司的ARCGIS8.1和ARCVIEW3.3,属性数据用Foxpro6.0和Access软件辅助编辑和处理。具体做法为先将单元素等直线图在ARC模块下转为线文件,利用ARCVIEW3.3属性表中的统计计算功能得到单元素的相对环境容量的线文件,然后转成grid进行面积统计。综合相对环境容量是利用了GIS的叠加分析功能得到了包含各个元素信息的图层,再进行计算和统计面积。本次研究的流程如图2所示。

土壤环境容量值与土壤类型、pH值等多种因素有关,Pb元素在黑土中容量高,在棕壤等其它土壤中比较低。As元素则相反,在酸性环境中比较稳

表1 黑土区土壤环境容量推荐值

Table 1 Recommended soil environmental capacity of the black soil region(mg kg<sup>-1</sup>)

元素 Element	Pb	As	Zn	Cu	Cr	Co
黑土区环境容量 Environmental capacity	250	30	200	100	150	55

## 3 黑土区相对环境容量空间分异特征

图3为As元素相对环境容量空间分异特征,从元素As的相对容量分异特征来看黑龙江省黑土区As元素的环境容量是比较高的,大部分地区在中等

环境容量以上, 相对环境容量一般大于 0.45; 在黑土区西北部的五大连池、德都、克山、克东等地以及宾县附近一些地区 As 元素的环境容量比较低, 一般小于 0.45; 需要引起注意的是在阿城和宾县交接处附近的小片地区, As 元素分布已经超载, 其相对环境容量小于 0, 说明这个地区处于 As 污染是比较严重的。本区 As 元素高容量区 ( $Rci > 0.75$ ) 面积为 1 689.87  $\text{km}^2$ , 占黑龙江省黑土区总面积的 2.36%; 中容量区 ( $0.45 \leq Rci \leq 0.75$ ) 面积为 67 177.50  $\text{km}^2$ , 占黑龙江省黑土区总面积的 94.45%; 低容量区 ( $0 \leq Rci < 0.45$ ) 面积为 1 935.29  $\text{km}^2$ , 占黑龙江省黑土区总面积的 2.72%; 超载区 ( $Rci < 0$ ) 面积为 323.35  $\text{km}^2$ , 占黑龙江省黑土区总面积的 0.45% (表 2)。导致本区 As 元素环境容量分异的主要原因还是元素的自然背景分异。尤其是在阿城和宾县交接处的超载区, 不但 As 元素的含量相当高, 而且其它元素的含量也是比较

高的。由于 As 元素对人体健康影响比较大, 因此在黑龙江发展绿色农业的过程中, 应该重视这个情况。

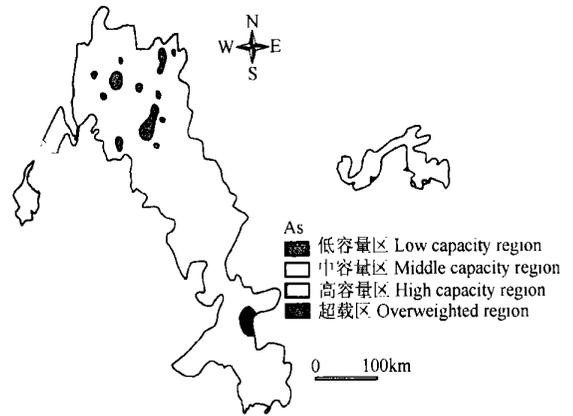


图 3 As 元素相对环境容量空间分异特征图  
Fig 3 The relative environmental capacity of As

表 2 黑土区土壤相对环境容量空间分异特征

Table 2 Spatial differentiation characteristics of the soil environmental capacity of the black soil region

项目 Item	Pb	As	Zn	Cu	Cr	Co	综合容量 Capacity
超载区 ( $Rc < 0$ ) 面积 ( $\text{km}^2$ ) Overweighed area	0	323.35	0	0	0	0	316.62
低容量区 ( $0 \leq Rc < 0.45$ ) 面积 ( $\text{km}^2$ ) Low capacity area	355.05	1 935.29	932.59	301.66	705	301.66	2 112.09
中容量区 ( $0.45 \leq Rc \leq 0.75$ ) 面积 ( $\text{km}^2$ ) Middle capacity area	1 563.89	67 177.50	69 936.86	33 126.32	66 773.69	33 126.32	49 605.00
高容量区 ( $Rc > 0.75$ ) 面积 ( $\text{km}^2$ ) High capacity area	6 207.02	1 689.87	256.51	37 697.88	3 647.26	37 697.88	19 132.48
超载区面积百分比 Area percentage (%)	0	0.45	0	0	0	0	0.45
低容量区面积百分比 Area percentage (%)	0.50	2.72	1.31	0.68	0.99	0.42	2.97
中容量区面积百分比 Area percentage (%)	2.20	94.45	98.33	24.25	93.88	46.57	69.74
高容量区面积百分比 Area percentage (%)	97.30	2.36	0.36	75.07	5.13	53.01	26.84

黑龙江省黑土区 Cr 元素相对环境容量是比较高, 绝大部分地区的相对环境容量在中等容量以上, 只是在海伦、绥化、巴彦以及阿城和宾县附近几小片低容量区 (图 4)。本区 Cr 元素高容量区 ( $Rci > 0.75$ ) 面积为 3 647.26  $\text{km}^2$ , 占黑龙江省黑土区总面积的 5.13%; 中容量区 ( $0.45 \leq Rci \leq 0.75$ ) 面积为 66 773.69  $\text{km}^2$ , 占黑龙江省黑土区总面积的

93.88%; 低容量区 ( $0 \leq Rci < 0.45$ ) 面积为 705  $\text{km}^2$ , 占黑龙江省黑土区总面积的 0.99% (表 2)。

从 Pb 元素的相对环境容量空间分异特征来看 (图 5), 本区绝大部分地区 Pb 的相对环境容量都大于 0.75, 为高容量区。仅零星分布着几个小片地区为中容量区。在克东和拜泉附近以及海伦出现几小片地区为低容量区。本区 Pb 元素高容量区 ( $Rci >$

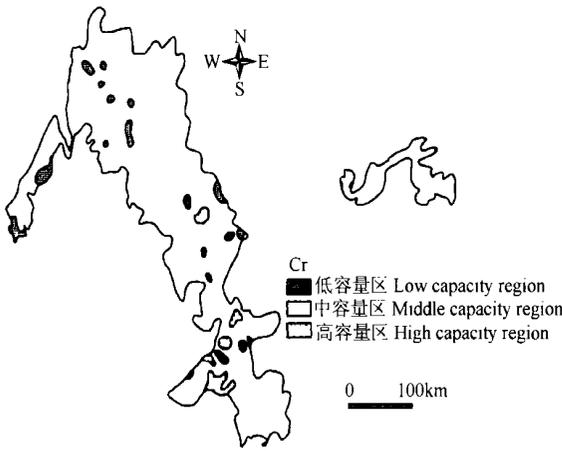


图4 Cr元素相对环境容量空间分异特征  
Fig.4 The relative environmental capacity of Cr

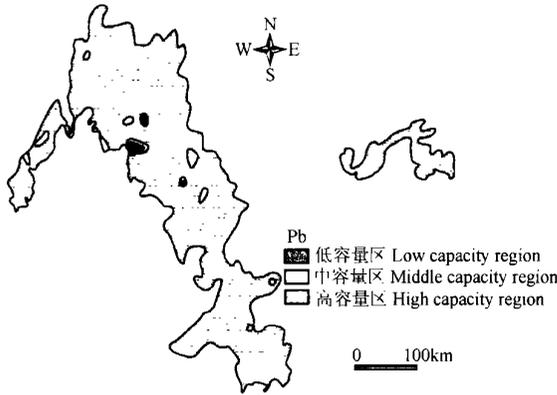


图5 Pb元素相对环境容量空间分异特征  
Fig.5 The relative environmental capacity of Pb

0.75) 面积为 69 207.02 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 97.30%; 中容量区 (0.45 ≤ R<sub>ci</sub> ≤ 0.75) 面积为 1 563.89 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 2.20%; 低容量区 (0 ≤ R<sub>ci</sub> < 0.45) 面积为 355.05 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 0.50% (表 2)。造成 Pb 元素相对环境容量空间分异的原因尽管也主要是元素的背景分异, 因为本区 Pb 环境容量低的地方基本上也是 Pb 元素自然背景值比较高的地方。但是人类活动影响也是不可忽视的。由于本区工农业的发展和机动车辆的大量增加, 导致向大气中排放的含 Pb 废气大量增加, 这对本区 Pb 元素的相对环境容量的影响尽管还是次要的, 但也越来越成为一个重要的因素。

黑土区 Zn 元素的相对环境容量一般在 0.45 以上, 但一般小于 0.75。在庆安和绥化附近以及宾县附近为低容量区, 在三江平原的黑土区也出现一小

片地区为低容量区, 其相对环境容量一般小于 0.45 (图 6)。本区 Zn 元素高容量区 (R<sub>ci</sub> > 0.75) 面积为 256.51 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 0.36%; 中容量区 (0.45 ≤ R<sub>ci</sub> ≤ 0.75) 面积为 69 936.86 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 98.33%; 低容量区 (0 ≤ R<sub>ci</sub> < 0.45) 面积为 932.59 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 1.31% (表 2)。

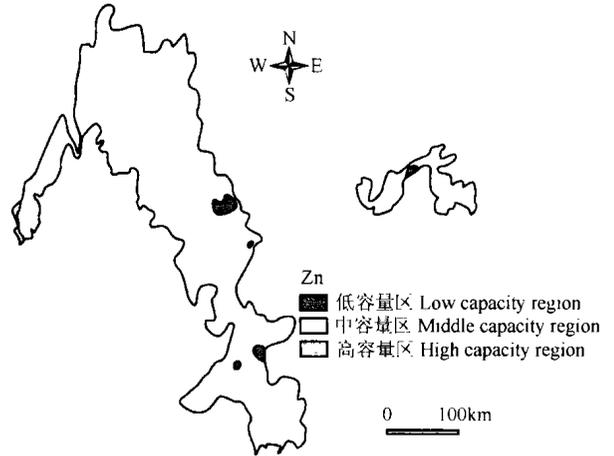


图6 Zn元素相对环境容量空间分异特征  
Fig.6 The relative environmental capacity of Zn

图 7 为黑龙江省黑土区 Cu 元素相对环境容量空间分异特征。黑土区 Cu 元素的相对环境容量也是比较高的, 大部分地区大于 0.75, 只是在拜泉和海伦附近、宾县地区以及三江平原黑土区的集贤地区出现了几片低容量区。本区 Cu 元素高容量区 (R<sub>ci</sub> > 0.75) 面积为 37 697.88 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 75.07%; 中容量区 (0.45 ≤ R<sub>ci</sub> ≤ 0.75)

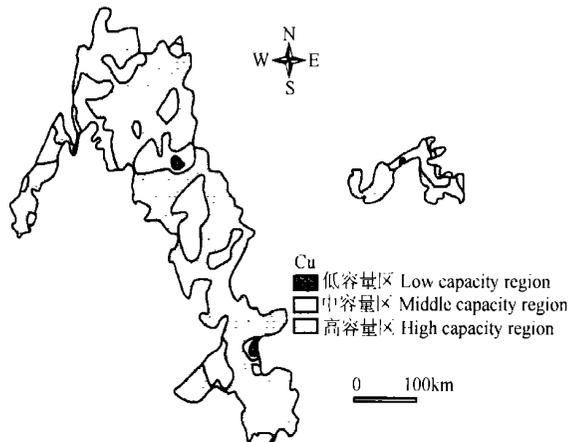


图7 Cu元素相对环境容量空间分异特征  
Fig.7 The relative environmental capacity of Cu

面积为 33 126.32 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 24.25%; 低容量区 ( $0 \leq Rci < 0.45$ ) 面积为 301.66 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 0.68% (表 2)。

黑土区 Co 元素的相对容量也是比较高的, 尤其是中部地区一般大于 0.75, 只是在甘南和齐齐哈尔有两片为低容量区 (图 8)。本区 Cu 元素高容量区 ( $Rci > 0.75$ ) 面积为 37 697.88 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 53.01%; 中容量区 ( $0.45 \leq Rci \leq 0.75$ ) 面积为 33 126.32 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 46.57%; 低容量区 ( $0 \leq Rci < 0.45$ ) 面积为 301.66 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 0.42% (表 2)。

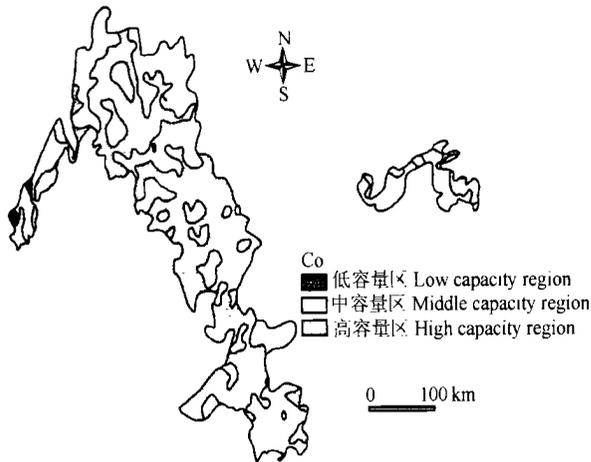


图 8 Co 元素相对环境容量空间分异特征  
Fig. 8 The relative environmental capacity of Co

从单元素相对环境容量来看, 黑土区的相对环境容量是比较高的, 这充分说明了本区的环境地球化学质量是比较优越的。但也应看到, 本区 Zn、Co、Cu 等一些植物必需微量元素的相对环境容量都非常高, 一般大于 0.75, 说明本区经过多年掠夺式经营, 本区微量元素的含量水平已难以跟上本区农业的可持续发展, 需采取措施注重微肥的施用。

图 9 为黑龙江省黑土区综合相对环境容量空间分异特征, 可以看出本区的综合相对环境容量一般大于 0.45, 在甘南、齐齐哈尔、三江平原黑土区大部分地区以及巴彦、双城一带的综合相对环境容量还大于 0.75; 在西北部以及宾县附近零星分散着几片地方为低容量区。在宾县和阿城交接处附近的综合相对环境容量小于 0。本区高容量区 ( $Rc > 0.75$ ) 面积为 19 132.48 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 26.84%; 中容量区 ( $0.45 \leq Rc \leq 0.75$ ) 面积为 49 605.00 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 69.74%; 低容量区 ( $0 \leq Rc < 0.45$ ) 面积为 2 112.09 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总

面积的 2.97%; 超载区 ( $Rc < 0$ ) 面积为 316.62 km<sup>2</sup>, 占黑龙江省黑土区总面积的 0.45% (表 2)。

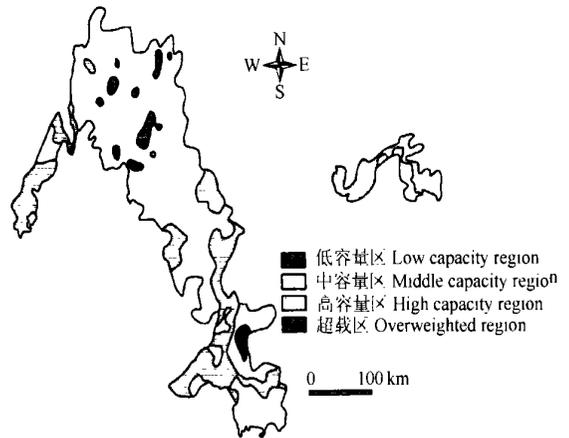


图 9 黑土区综合相对环境容量空间分异特征  
Fig. 9 The comprehensive environmental capacity

## 4 结 论

本文应用 GIS 直观的再现了黑龙江省黑土区土壤相对环境容量的空间分异特征, 这对于本区的环境管理、农业的可持续发展和生态安全提供了科学的基础资料。从分析结果来看, 黑龙江省黑土区土壤单元素的相对环境容量是比较高的, 绝大部分地区的相对环境容量都大于 0.45, 很多地区还大于 0.75, 处于高容量区, 造成元素相对环境容量空间分异的主要原因是元素的自然背景分异; 但同时也应看到, 本区 Zn、Co、Cu 等一些植物必需微量元素的相对环境容量都非常高, 一般大于 0.75, 说明本区由于多年的粗放经营和掠夺式开发, 这些微量元素开始处于亏损状态, 这将难以跟上本区农业的可持续发展, 需采取措施注重微肥的施用; 本区在宾县附近出现一小片地区 As 的相对环境容量小于 0, 已超过了其环境容量值, 需要引起足够的重视; 本区的综合相对环境容量比较高, 显示出本区的环境地球化学质量比较优越, 这对本区发展绿色农业是个优势。

## 参 考 文 献

- [1] 夏增禄. 中国土壤环境容量. 北京: 地震出版社, 1992. 1~3. Xia Z L. The Environmental Capacity of Soil in China (In Chinese). Beijing: Earthquake Press, 1992. 1~3
- [2] 陈述彭, 鲁学军, 周成虎. 地理信息系统导论. 北京: 科学出版社, 2000. 1~8. Chen S P, Lu X J, Zhou C H. The Guide to GIS (In Chinese). Beijing: Science Press, 2000. 1~8

- [ 3 ] 王宁, 朱颜明, 徐崇刚. GIS 用于流域径流污染物的量化研究. 东北师范大学学报(自然科学版), 2002, 34(2): 92~ 98. Wang N, Zhu Y M, Xu C G. Applying GIS to the quantity study of runoff pollutants in watershed (In Chinese). Journal of Northeast Normal University, 2002, 34(2): 92~ 98
- [ 4 ] 郭旭东, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征. 地理学报, 2000, 55(5): 555~ 566. Guo X D, Fu B J, Chen L D, *et al.* The spatio-temporal variability of soil Nutrients in Zunhua Plain of Hebei Province (In Chinese). Acta Geographica Sinica, 2000, 55(5): 555~ 566
- [ 5 ] Hamlett J M, Miller D A, Day R L, *et al.* Statewide GIS-based ranking of watersheds for agricultural pollution prevention. Soil and Water Cons., 1992, 47(5): 399~ 404
- [ 6 ] 黑龙江省土地管理局, 黑龙江省土壤普查办公室编. 黑龙江土壤. 北京: 农业出版社, 1992. 149~ 152. The Land Bureau of Heilongjiang Province, the Soil Survey Office of Heilongjiang Province. Soils of Heilongjiang Province (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1992. 149~ 152

## SPATIAL CHARACTERISTICS OF ENVIRONMENTAL CAPACITY IN BLACK SOIL AREA BASED ON GIS

Yu Lei Zhang Bai

(Northeast Institute of Geography and Agriculture Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China)

**Abstract** The black soil region is an important food base of China. It plays a crucial role in food safety and national economy. But few studies on spatial characteristics of environmental capacity of black soil were reported. In this article spatial characteristics of the environment capacity of the black soil region in Heilongjiang Province are studied based on GIS. The results show that the relative environment capacity of a single element and the comprehensive environment capacity of the region are both quite high, generally above 0.45 and even over 0.75 in quite a number of areas. In terms of the comprehensive environment capacity, the area high in capacity ( $Rc > 0.75$ ) amounts to 19 132.48 km<sup>2</sup> or 26.84% of the total region, the area moderate in capacity ( $0.45 \leq Rc \leq 0.75$ ) to 49 605.00 km<sup>2</sup> or 69.74% of the total, the area low in capacity ( $0 \leq Rc < 0.45$ ) to 2 112.09 km<sup>2</sup> or 2.97% of the total and the area overloaded in capacity ( $Rc < 0$ ) to 316.62 km<sup>2</sup> or 0.45% of the total. These are indicators revealing that the geochemistry environment of the black soil region is quite advantageous to sustainable development of the agriculture and the development of green food in the region.

**Key words** Black soil region; GIS; Environmental capacity; Spatial characteristic