

河南黄淮平原土壤中Cu的生态安全评价

王强恒¹, 李瑞敏², 王支农², 曹 峰², 胡永华³, 付巧玲³

WANG Qiang-heng¹, Li Rui-min², WANG Zhi-nong²,
CAO Feng², HU Yong-hua³, FU Qiao-ling³

1. 中国地质大学环境学院, 湖北 武汉 430074;

2. 中国地质环境监测院, 北京 100081;

3. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450008

1. School of Environment, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. China Institute of Geo-environment Monitoring, Beijing 100081, China;

3. Henan Institute of Geology Survey, Zhengzhou 450008, Henan, China

摘要:在分析河南黄淮平原土壤和小麦籽实中Cu含量分布特征的基础上,利用单项污染指数法对研究区小麦籽实中Cu的污染状况进行评价。其结果为:研究区小麦籽实中Cu的单项污染指数 P_i 的平均值为0.473,说明研究区小麦籽实未受Cu的污染,Cu的状况良好。进一步讨论了土壤中Cu的含量与小麦籽实中Cu含量间的关系,认为小麦籽实中Cu的积累与土壤中的总Cu无明显的相关关系,而与土壤中的有效态Cu含量具有明显的相关性。据此,将土壤有效态Cu作为土壤Cu生态安全评价的指标,并建立了小麦籽实Cu与土壤有效Cu的响应关系模型,确定了土壤中有效Cu的安全界限值。

关键词:河南;土壤;小麦籽实;Cu;安全界限值

中图分类号:S151.9⁺3

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2008)02-0271-06

Wang Q H, Li R M, Wang Z N, Cao F, Hu Y H, Fu Q L. Ecological security evaluation of Cu in soils in the Huanghuai plain, Henan, China. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(2):271-276

Abstract: On the basis of an analysis of the distribution characteristics of the Cu content in soils and wheat seeds in the Huanghuai plain, Henan, the Cu pollution in wheat seeds in the study area is evaluated by using the monomial pollution index. The results show that the average monomial Cu pollution index P_i of wheat seeds in this area is 0.473, suggesting that the wheat seeds in this area have not been polluted by Cu. The authors also analyze the relation between the Cu content in soils and that in wheat seeds and think that the cumulative Cu content in wheat seeds has no significant correlation with the total Cu content in soils but shows a significant correlation with the effective Cu content in soils. So the authors use effective Cu in soils as the index of ecological security evaluation of Cu in soils to construct a model of response relationships between Cu in wheat seeds and effective Cu in soils and determine the security limit of effective Cu in soils.

Key words: Henan; soil; wheat seed; copper; security limit

农产品的质量安全与人的身体健康息息相关。随着生活水平的提高,人们对农产品的质量要求越来越高,其中农产品受污染的程度是人们最关心的问题之一。一般情况下,土壤受到污染,农作物的产

量和质量也会受到影响,对人类的健康可能也会造成一定的威胁。研究发现,土壤中的重金属元素对农作物的品质有一定的影响,并通过农产品进入食物链从而对人类的健康构成威胁。小麦中的重金属元

收稿日期:2007-09-19;修订日期:2007-11-16

地调项目:中国地质调查局《河南黄淮平原农业地质环境调查》项目(编号:1212010511211)资助。

作者简介:王强恒(1985-),男,在读硕士,从事水文地质、环境地质的调查和研究工作。E-mail:wqh_395@163.com

素在各部分的分布规律为根>茎叶>籽实。植物在生长的过程中会通过根系吸收土壤中的重金属元素,作物根系在向上输送营养时对重金属元素具有明显的截留作用,并将其大部分截留在根部;同样,作物茎叶也对重金属元素具有截留作用。各种重金属元素被小麦籽实吸收的难易程度为As<Hg<Cd<Pb<Mn<<Cu<Zn^[1]。

小麦植株各部分累积Cu的顺序是:根、籽实和叶片,所以如果在受Cu污染的土壤上种植小麦,其籽实中Cu的积累可能较多,甚至可能造成Cu含量超标^[2]。本文试图通过对土壤中的Cu含量与小麦籽实中Cu含量的关系的研究,确定土壤Cu的安全界限值,为土地生态安全评价提供科学依据。

1 区域概况和研究方法

1.1 区域概况

研究区涉及洛阳、焦作、新乡、开封、郑州、平顶山、许昌和漯河等市。地理坐标为东经112~116°、北纬32~36°。主要土壤类型为褐土、潮土、砂姜黑土、水稻土和沼泽土。研究区人口密集、经济发达,是中国重要的农业产区,盛产小麦。

1.2 研究方法

(1)样品布点原则:根据区域土壤地球化学元素等值线,从高值区到低值区系统地采取小麦籽实—根系土的样品。在河南黄淮平原布置纵、横2个方向的剖面线3条,并适量地增加散点采样,以兼顾不同地貌单元、土壤类型及其展布面积。

(2)采样数量:3条剖面线共设采样区24个,每个采样区布置5~10个样点,共采集土壤和小麦籽实样品234组。剖面线及采样点的分布见图1。

(3)样品采集:在选定的区域内采集小麦籽实,同时在农作物的对应点位上采集根系土。具体方法是:首先了解整个田块的面积、地形和小麦生长状况,目测麦株的密度、高矮、麦穗大小、成熟度等,选择具有代表性的采样地块。通常在0.33 hm²以上、长势整齐的小麦田中,采用对角线的方法选取3~4个样方(要求样方距地边1 m以上),每个样方取50cm×(播幅+幅距)cm采集小麦籽实。与小麦籽实采集相配套,同时采集相应的根系土。

(4)样品分析:依据中国地质调查局《地质调查技术标准》(DD2005-03),把小麦籽实在无污染的

表1 分析项目、分析方法及其对样品的要求

Table 1 Analysis project and method and requirements for samples				
分析项目	分析方法标准号	一次测试需要样品量	样品粒度及状态	检出限
有效 Cu	LY/T 1260-1999	10.0~20.5g	2mm,风干土	0.02mg/kg

表2 河南黄淮平原土壤中Cu全量和小麦籽实中Cu的含量

Table 2 Total content of Cu in soils and Cu content in wheat seeds in the Huanghuai plain in Henan					
采样区	样点数	土壤 Cu 含量 范围/mg · kg ⁻¹	标准差	小麦籽实 Cu 含量 范围/mg · kg ⁻¹	标准差
1	10	16.8~37.2	4.89	3.67~5.32	0.52
2	10	23.2~36.4	3.88	3.93~6.14	0.63
3	10	23.4~40.5	4.72	3.90~5.43	0.54
4	10	23.3~35.7	3.12	3.33~4.44	0.32
5	10	22~39.2	4.85	4.39~6.45	0.69
6	10	23.9~92.5	19.56	4.21~5.83	0.46
7	10	23.6~31.3	2.23	4.42~5.71	0.45
8	10	19.2~31.2	3.70	4.38~6.04	0.51
9	10	18.2~25.8	4.06	3.71~6.14	0.67
10	10	9.1~27.6	5.15	3.00~5.32	0.73
11	10	9.9~14.8	1.41	2.44~5.16	0.81
12	10	19.1~25.6	1.87	4.08~5.20	0.37
13	10	19.5~31.2	3.82	3.07~4.45	0.46
14	10	24.3~31.8	1.94	3.45~5.98	0.74
15	10	15.6~33.5	6.01	4.09~5.91	0.54
16	10	14~21.2	1.88	4.55~5.42	0.30
17	10	15.1~22.8	2.26	4.08~5.98	0.56
18	10	16.1~21.6	1.49	3.26~5.73	0.67
19	10	18.2~21.8	0.92	3.95~7.44	1.12
20	9	16.5~25.8	0.63	5.68~8.38	0.85
21	5	18.5~22.5	3.75	5.33~6.35	0.35
22	10	16~30.4	3.69	3.89~5.24	0.40
23	10	14.8~26.2	3.84	3.11~4.33	0.34
24	10	17.3~27.6	2.86	3.75~4.99	0.38
全部	234	9.1~92.5	7.34	2.44~8.38	0.90

条件下去壳,分析Cu元素的全量,根系土样品晾干,过20目尼龙筛(<0.84 mm),分析Cu元素全量及有效态含量。土壤中有有效态Cu的分析方法等效采用 LY/T 1210-1275系列《森林土壤分析方法》,见表1。

2 土壤和小麦籽实中Cu的含量特征

土壤及小麦籽实中Cu的含量特征见表2。

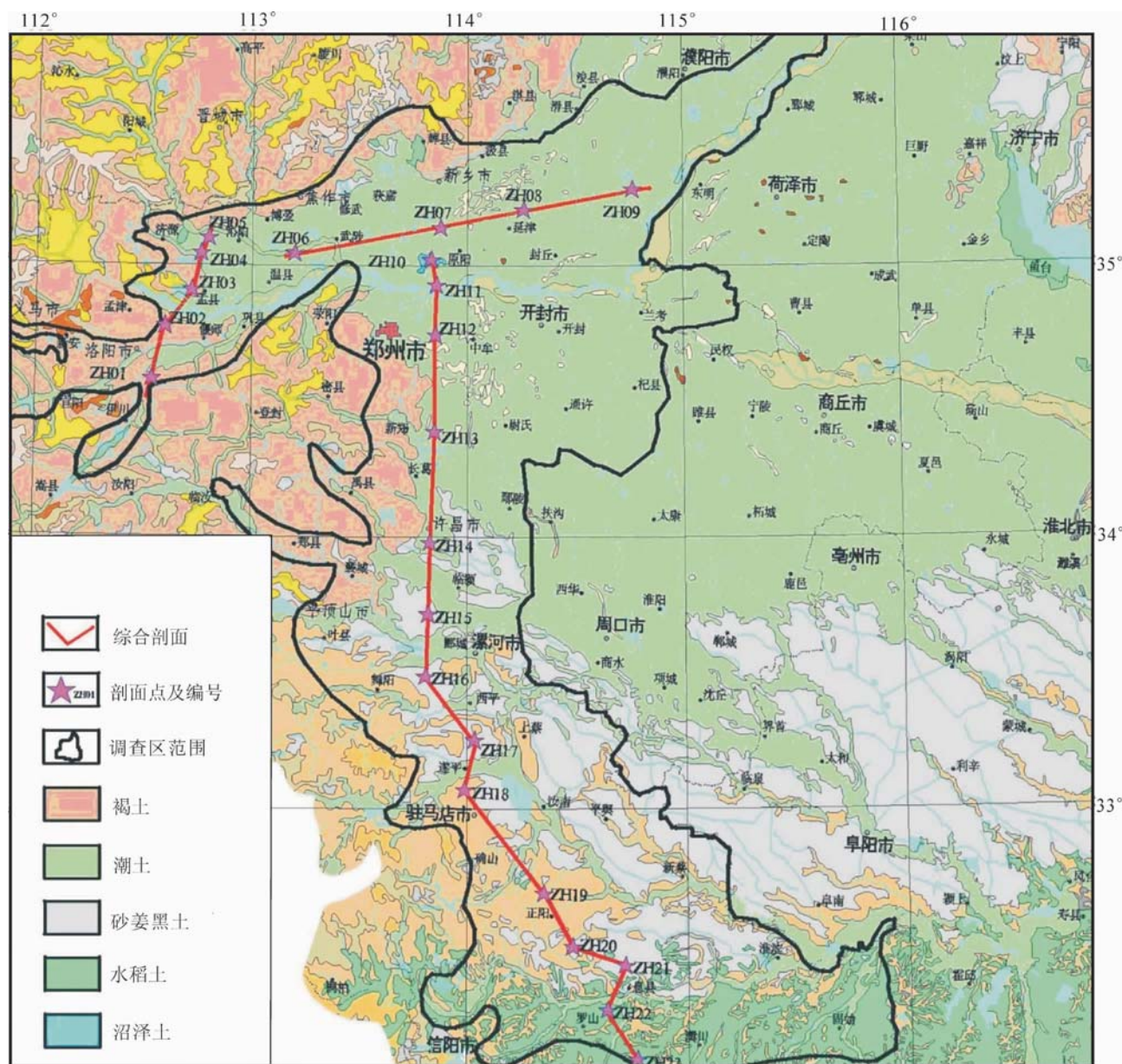


图1 综合地质、地球化学剖面测制工作部署图

Fig. 1 Layout of measurements of the composite geological and geochemical section

研究区土壤中Cu的含量变化范围在9.1~92.5 mg/kg之间,平均值为23.46 mg/kg,标准差为7.341,符合国家土壤一级标准的含Cu量 (GB15618-1995),低于中国主要类型土壤的平均含量(24.0 mg/kg)^[3]。从表2可以看出,24个采样区的平均Cu含量变化范围在12.72~37.07 mg/kg之间。采样区平均Cu含量最高的是6号区域,最低的是11号区域,两者相差2.91倍。总体而言各采样区Cu的含量比较稳定,变化不甚明显。

世界上正常土壤的Cu平均含量为20.0 mg/kg^[3]。

根据陈焕伟等^[4]的调查,黄河下游潮土的背景值为21.4 mg/kg。本次的调查数据表明,研究区Cu的含量略高于背景值。

3 小麦籽实污染分析

3.1 评价方法

农产品的质量评价可采用单项污染指数法进行。

$$\text{单项污染指数 } P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中: P_i 为农产品中污染物 i 的单项污染指数; C_i 为农产品中污染物 i 的实测数据; S_i 为污染物 i 的评价标准。 Cu 的评价标准采用卫生部颁布的《食品中铜限量卫生标准(GB15199-94)》,规定粮食中 Cu 的限量标准为 10 mg/kg 。若 $P_i<1$,表示农产品未受污染物 i 的污染;若 $P_i>1$,表示农产品受污染,且 P_i 越大表示受污染的程度越重。

3.2 评价结果

研究区小麦籽实质量评价结果见表3。

从表3可以看出,该地区生产的小麦中 Cu 的含量全部都低于评价标准,其中研究区小麦籽实的平均单项污染指数 P_i 为0.473。

4 小麦籽实 Cu 含量与土壤 Cu 含量的关系

为了阐明土壤中 Cu 污染对农产品安全的影响,本文进一步讨论了土壤中 Cu 含量与小麦籽粒中 Cu 含量之间的关系。

4.1 土壤中 Cu 全量和小麦籽实中 Cu 含量的相关性

小麦籽实中 Cu 含量与土壤中 Cu 全量之间的相关性见图2。由图2可以看出,土壤 Cu 含量范围为 $9.10\sim41.3\text{ mg/kg}$,相应的小麦籽实 Cu 含量范围为 $2.44\sim8.38\text{ mg/kg}$ 。其中96.15%的数据(225组)集中分布在土壤 Cu 含量 $9.10\sim92.5\text{ mg/kg}$ 、籽实 Cu 含量 $0.05\sim5.74\text{ mg/kg}$ 的范围内。集中分布的225组小麦 Cu -土壤 Cu 的数据具有以下特点:①小麦籽实 Cu 含量不随土壤 Cu 含量的变化而变化;②小麦籽实 Cu 全部未超过国家食品中 Cu 的限量卫生标准 10 mg/kg 。

图2还表明,小麦籽实中的 Cu 含量并不随土壤中 Cu 含量的升高而增加,而是维持在一个相对稳定

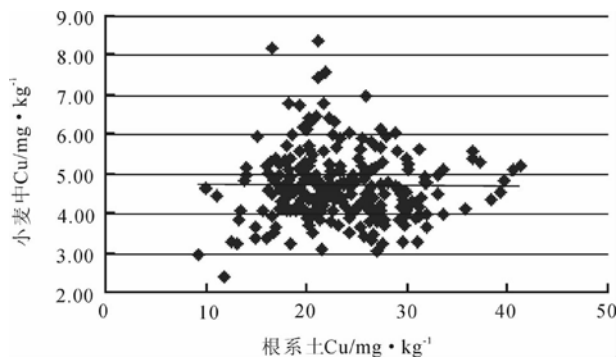


图2 研究区小麦中 Cu 含量与根系土 Cu 含量的相关关系
Fig. 2 Correlation between the Cu content in wheat seeds and that in rhizosphere soils in the study area

的含量值,用统计方法得出小麦籽实中的 Cu 含量与土壤中 Cu 含量的相关系数仅为 -0.0027 。这说明小麦对 Cu 的吸收规律是“主动有效式”吸收,即小麦中 Cu 的含量主要是根据小麦本身的生长发育和生理代谢的需要而确定的。有关研究也曾报道^[6],作物中 Cu 的积累与土壤中的总 Cu 无明显的相关关系。

4.2 土壤中有效态 Cu 含量与小麦籽实中 Cu 含量的相关性分析

小麦籽实中 Cu 含量与土壤中有效态 Cu 含量之间的关系见图3。

图3是本研究区231组小麦籽实 Cu -根系土 Cu 的分布及回归分析图(剔除了3组异常值)。从图3可以看出,回归方程及其构造的95%的置信区间,可以

表3 河南小麦籽实中 Cu 单项污染指数
Table 3 Pollution index of Cu in wheat seeds of Henan

采样区	污染指数 P_i	采样区	污染指数 P_i	采样区	污染指数 P_i
1	0.441	9	0.465	17	0.468
2	0.483	10	0.443	18	0.477
3	0.457	11	0.396	19	0.56
4	0.398	12	0.46	20	0.693
5	0.51	13	0.378	21	0.53
6	0.48	14	0.425	22	0.456
7	0.511	15	0.484	23	0.376
8	0.539	16	0.506	24	0.433

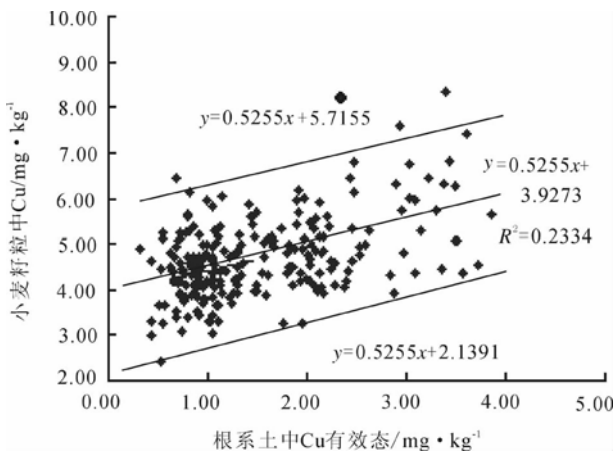


图3 小麦籽粒中 Cu 含量与根系土有效态 Cu 含量的响应关系模型

Fig. 3 Model of response relationships between the Cu content in wheat seeds and the effective Cu content in rhizosphere soils

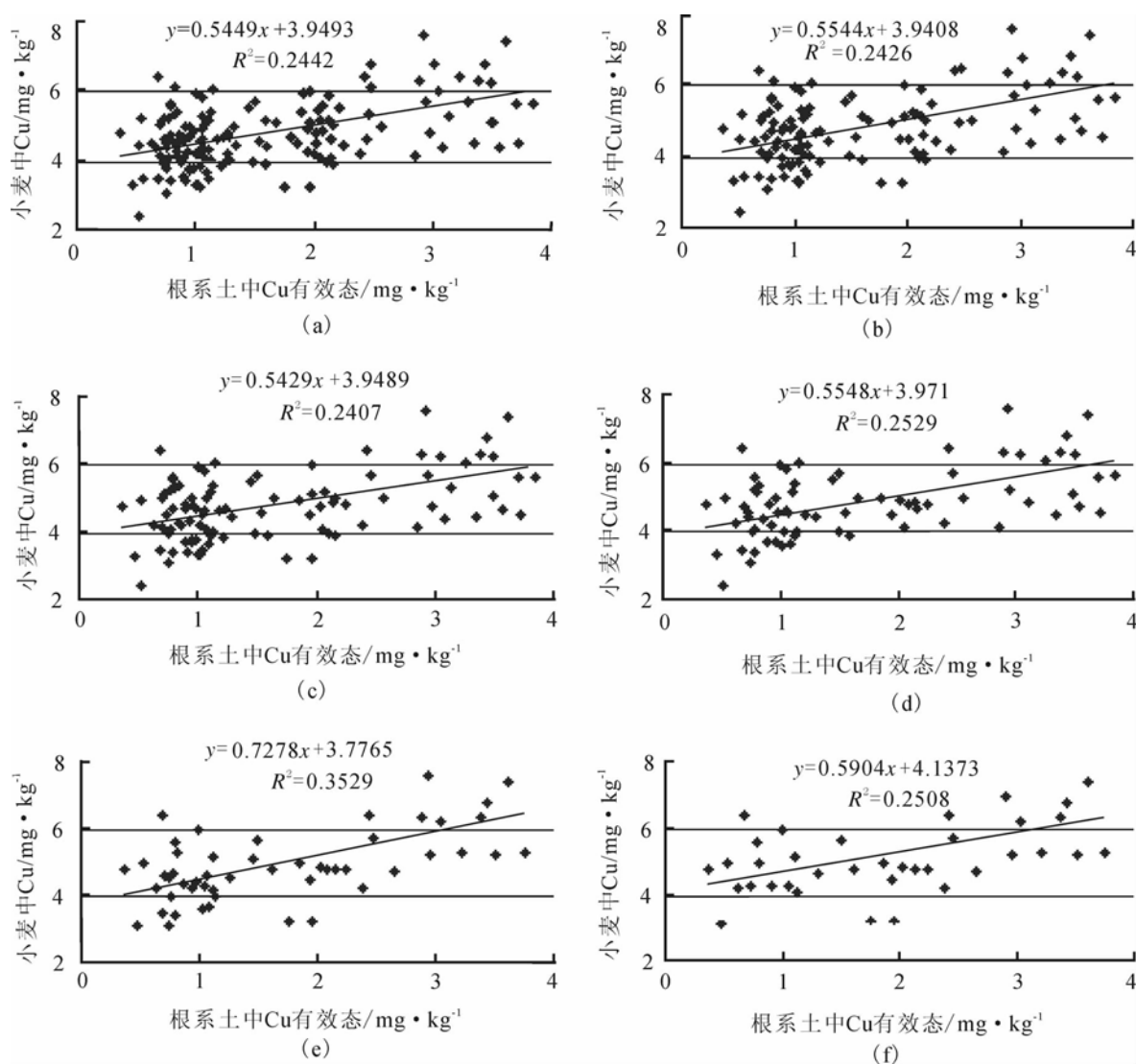


图4 小麦籽粒中Cu含量与根系土有效态Cu含量(依次为150、118、102、79、53、38组构造数据)的分布

Fig. 4 Distribution of the Cu content in wheat seeds and the effective Cu content in rhizosphere soils (150, 118, 102, 79, 53 and 38 groups of data)

很好地反映这组数据的统计关系特征。但为了降低研究成本,笔者还进一步探索了减少样本量的方法。即采用聚类分析的理念,将密集数据按聚类分组并构造出一组能代表原始数据特征的新数据组。构造数据组的代表性比较试验,是将原始数据按数据的相近程度构造一系列新的数据组,并分别进行回归分析,观察回归方程对数据特征的逼近程度^[7]。图4-a~f分别为150组、118组、102组、79组、53组和38组构造数据的分布及相关关系图。

图5是研究区53组土壤有效态Cu含量与小麦籽实中Cu含量的分布及回归分析图。用SPSS软件进行

分析计算,小麦籽实与土壤有效态Cu含量呈明显的正相关,建立的回归方程为: $Y=3.776+0.728X$,相关系数 $R=0.594$,拟合优度为0.353,说明小麦籽实Cu含量对土壤有效态Cu含量值有很好的响应。

通过对6组构造数据与原始数据(231组)的数据特征、回归方程、置信区间的比较,认为53组构造数据可以较好地代表231组原始数据组的数据特征,可以用其确定评价标准值。由Cu食品卫生标准计算的回归值或推测的回归值分别为5.20mg/kg、8.55mg/kg和11.90mg/kg。建议把土壤有效Cu作为土壤生态安全评价的指标,并取5.0 g/kg作为本区土壤有效态

安全界限值, 取8.5 mg/kg和12 mg/kg分别作为基本安全界限值和危险界限值。

5 结 论

(1)利用土壤重金属评价方法——单项污染指数法,对河南省土壤Cu的污染状况进行了评价,研究区小麦籽实中平均单项污染指数 P_i 为0.473,说明研究区的土壤未受污染。

(2)通过研究河南省土壤中Cu的含量对小麦的影响可知,小麦籽实中Cu的积累与土壤中的总Cu无明显的相关关系,相关系数为-0.0027,说明小麦对Cu的吸收规律是“主动有效式”吸收,即小麦中Cu的含量主要是根据小麦本身的生长发育和生理代谢的需要而确定的。

(3)研究区小麦籽实中的Cu与土壤中的有效态Cu的含量具有明显的相关性,从而确定土壤中有效态Cu的安全界限值:取5.0g/kg作为本区土壤有效态安全界限值,取8.5mg/kg和12mg/kg分别作为基本安全界限值和危险界限值。

致谢:本文得到刘昀、王军同志的帮助,在此表示感谢。

参考文献:

[1]武淑华,朱伊君,顾亚中.小麦重金属含量与土壤质量之间关系研究[J].黑龙江环境通报,2002,26(3):97-100.

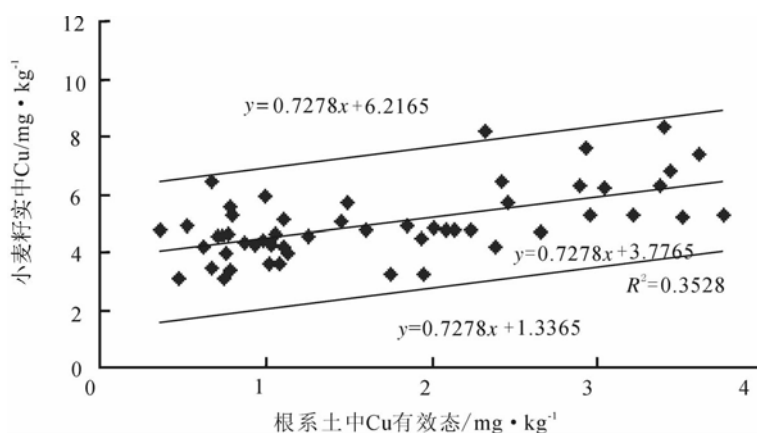


图5 小麦籽实中Cu含量与根系土有效态Cu含量(53组数据)的响应关系模型

Fig. 5 Model of response relationships between the Cu content in wheat seeds and the effective Cu content in rhizosphere soils (53 groups of data)

[2]邵云,姜丽娜,李春喜.Cu在小麦不同部位的分布特征[J].西北农业学报,2005,4(3):82-86.

[3]廖自基.微量元素的环境化学及生物效应(第二版)[M].北京:中国环境科学出版社,1992.

[4]陈焕伟,张凤荣,吴肖菊,等.土壤资源调查[M].北京:中国农业大学出版社,1997.

[5]邢光喜,朱建国.土壤微量元素和稀土元素化学[M].北京:科学出版社,2003.

[6]王晓蓉.环境化学(第二版)[M].南京:南京大学出版社,2000.

[7]李瑞敏,刘永生,陈有鑑,等.农业地质地球化学评价方法研究——土地生态安全之地学探索[M].北京:地质出版社,2007.