

# 安徽宁国地区岩—土系统元素迁移及其 农业地质环境效应

徐小磊<sup>1,2</sup>, 戴圣潜<sup>2</sup>, 刘家云<sup>2</sup>, 陆晓三<sup>2</sup>, 储东如<sup>2</sup>, 路玉林<sup>2</sup>, 周存亭<sup>2</sup>

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 安徽省地质调查院, 安徽合肥 230001

**摘要:** 通过多条基岩—土壤剖面 and 区域性土壤地球化学样品的微量元素丰度测试, 分析了宁国地区不同基岩类型地球化学元素在岩石和土壤中分布的基本特点, 表明同一地层的岩—土系统在不同地点有基本相同的元素迁移规律, 导致土壤中的微量元素分布特征受控于其下地质单位的空间分布, 植物生长必需的微量营养元素 Fe、Mn、Cu、Mo、Zn、B 6 种元素表现出在南华纪—寒武纪地层中向土壤强烈富集的趋势. 岩—土系统元素迁移特点对宁国市天目山区重要名优特产品—山核桃的生长环境产生重要影响, 该区主导性名特优产品——山核桃, 应该选择南沱组、兰田组、杨柳岗组、华严寺组、西阳山组等地层出露的地段种植才能产生好的经济效益.

**关键词:** 岩—土系统; 元素迁移; 地球化学; 地质环境; 农业地质.

中图分类号: P59

文章编号: 1000-2383(2005)02-0168-09

收稿日期: 2004-07-16

## Movement of Elements in a Rock-Soil System and the Effects of a Geological Environment on Agriculture in the Ningguo Region, Anhui Province

XU Xiao-lei<sup>1,2</sup>, DAI Sheng-qian<sup>2</sup>, LIU Jia-yun<sup>2</sup>, LU Xiao-san<sup>2</sup>, CHU Dong-ru<sup>2</sup>, LU Yu-lin<sup>2</sup>, ZHOU Cun-ting<sup>2</sup>

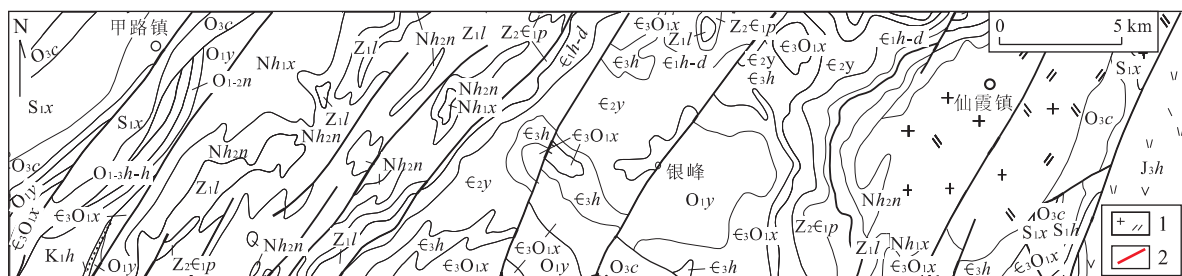
1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Anhui Geological Survey Institute, Hefei 230001, China

**Abstract:** How the movement of elements in a rock-soil system affects agriculture in a given geological environment is an entirely new study subject in petrology and geochemistry. This paper generalizes the fundamental features of the geochemical distribution of elements in various soil and rock types in the Ningguo region, Anhui Province, by means of the measurement of trace element abundance in bedrock-soil sections. The results show the regular movement patterns of elements in a rock-soil system in this region. Six trace elements Fe, Mn, Cu, Mo, Zn and B, indispensable to plant growth, are abundant in soil. It shows that, in Nanhuan system - Cambrian system, Fe, Mn and Cu are abundant in soil. This clearly suggests that the movement of elements in a rock-soil system significantly affects the growth environment of well-known agricultural, and forest products in Tianmu Mountains of Ningguo region. Walnuts, the leading product in Tianmu Mountains, are suited to the soil in the area of the Nantuo, Lantian, Yangliugang, Huayansi and Xiyangshan formations.

**Key words:** rock-soil system; movement of element; geochemistry; geological environment; agricultural geology.

岩石圈绝大多数的组成物质是在地史时期形成, 但仍然对现在的生态环境特别是农业地质环境施加影响, 这在适生区域狭窄的名特优农林产品上表现尤为突出, 最主要的影响途径就是岩石—土壤



宁国地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Ningguo region

1. 燕山期花岗岩; 2. 断层;  $Nh_{1x}$ . 休宁组;  $Nh_{2n}$ . 南沱组;  $Z_{1l}$ . 蓝田组;  $Z_{2\epsilon 1p}$ . 皮园村组;  $\epsilon_{1h-d}$ . 荷塘组、大陈岭组并层;  $\epsilon_{2y}$ . 杨柳岗组;  $\epsilon_{3h}$ . 华严寺组;  $\epsilon_{3O1x}$ . 西阳山组;  $O_{1y}$ . 印诸埠组;  $O_{1-2n}$ . 宁国组;  $O_{1-3h-h}$ . 胡乐组、砚瓦山组、黄泥岗组并层;  $O_{3c}$ . 长坞组;  $S_{1x}$ . 霞乡组;  $S_{1h}$ . 河沥溪组;  $K_{1h}$ . 徽州组

系统的元素迁移。土壤是人类周围环境中变化最复杂、最频繁,各种信息最丰富、最敏感的部分(李学垣,2001),处于大气圈、岩石圈、水圈和生物圈的交接地带,各种界面反应、物资迁移、能量转换等过程长期而持久,其下的基岩为上述反应提供了物质基础和地球化学背景。

## 1 地质地理概况

宁国市地处皖南东部,属天目山区。位于扬子地块东部,江南造山带北东端。元古代末期由活动大陆边缘经过褶皱变质转化为稳定地块,自南华纪起经历了长期的被动大陆边缘发展阶段,以海洋环境占据绝对主导地位,印支运动后进入大陆板块内部演化阶段。南华纪—志留纪地层发育(图1),为一套比较稳定的海相盖层沉积,主要岩性为灰岩、泥灰岩、钙质页岩、泥岩、粉砂岩、砂岩等。燕山期内在东部皖浙两省交界地带带有岩浆侵入和少量喷发活动,岩浆活动产物有花岗闪长岩、二长花岗岩、流纹岩、粗安岩等。构造线方向为NE—SW向,山体和主要谷地基本和构造线方向一致。地形总体南高北低,地貌类型主要为剥蚀—构造中山、剥蚀—构造低山、侵蚀剥蚀丘陵。宁国地处亚热带北缘属于亚热带季风型气候。据近24年气象资料统计,每年平均气温 $15.4^{\circ}$ ,最高为 $16.4^{\circ}$ ,最低 $14.8^{\circ}$ ,年际变化较稳定。一月均温 $2.6^{\circ}$ ,其月均温 $28^{\circ}$ 。年平均降水为1367.9mm。

宁国地区的植被可以分为4个垂直带谱:(1)常绿阔叶林:分布于海拔约230m至700m之间的地带,土壤为红壤和黄红壤。主要有青冈、楮类、石楠、木荷、紫楠、小叶青冈栎、麻栎、枫香、山核桃、栲木、

针叶林中的柳杉和马尾松等。(2)常绿落叶阔叶混交林:以落叶阔叶林为主,海拔700~1100m,土壤主要为黄壤。主要有白栎、刺栗、小叶青冈栎、五裂槭、青钱柳,针叶林中的柳杉、黄山松、银杏等。(3)落叶阔叶林:分布于海拔1100~1300m之间,土壤为黄壤(1100~1200m)和黄棕壤(1200~1300m)。主要植被类型有刺栗、茅栗、短柄袍、天目槭、椴等以及针叶林黄山松。(4)山地落叶矮林:分布于1300m以上的地带,土壤为黄棕壤,偶有山地沼泽土分布。该带主要植被类型有山核、黟唐栗、野海棠、假茅、佛子茅、箬竹、野珠兰、四照花、华东野胡桃等,针叶林有黄山松。

## 2 研究方法

通过地质和名特优农林产品分布调查,选定地层出露较全、各类岩石类型均有分布,重要名特优产品(山核桃)主要产区的宁国东南部天目山区的甲路—仙霞一带作为土壤化探地区,约750km<sup>2</sup>。样品密度1个点/km<sup>2</sup>,每4km<sup>2</sup>组合成一个样品测试。选择典型地段布设土壤剖面,按基岩(R)、成土母质(C)、心土层(B)、表土层(A)分别取样,由于山区土层较薄,有时B+A层合并取一个样品。共采集土壤样本875个、岩石样本26个、成土母质样本26个。基岩样一般在采样剖面点的下部,出露差时在剖面附近采集。样品经风干、制备后送国土资源部安徽省中心实验室分析,测试元素着重选取和农作物生长环境和生命科学密切相关的25种元素(李家熙等,2000)。

### 3 元素的地质背景值

要了解岩—地系统的元素迁移特征,必须查明地质背景值(表 1)。地质背景值反映的是剖面所在地点化学元素的平均含量,与其下的基岩密切相关,基本代表自然情况下随沉积物堆积下来的并在后来的环境变迁(成土过程)中被保留起来的元素量。对研究化学元素的变化过程、不同地区对比都是有用的数值。以地质背景值为基础,可以探索研究区中元素的富集和迁移程度。其统计公式如下(王景华和饶莉丽,1990):

$$G_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i$$

式中  $G_i$  为地质背景值,  $N$  为各剖面样品总量;  $n_i$  为元素  $i$  在剖面样品中的含量。

从表 2 可以看出,除 K、Na、C、Sr 等元素外,其他元素均比中国土壤背景值和上地壳背景值高。与作物生长密切相关的微量元素 B、Mn、Cu、Zn、Mo 等(邢光熹和朱建国,2003),宁国地区均富集。宁国地区绝大多数元素背景值和上地壳对应元素丰度成较好的对应关系,反映地质因素对表生土壤地球化学环境的控制作用。

### 4 元素的衬度系数

地质背景值为研究元素在岩石—土壤系统中迁移建立了一个对比标准。以地质背景值为基础,将各个沉积层次的元素分析结果分别与其比较,便得到元素的衬度系数(朱诚,2000):

$$W_i = \frac{n_{ix}}{G_i}$$

上式中,  $W_i$  为元素的衬度系数,  $n_{ix}$  为在  $x$  层元素  $i$  的丰度值( $x=1,2,3,\dots,n$ ),  $G_i$  为地质背景值。元素衬度系数值在剖面中可出现 3 种情况,即大于 1,等于 1,小于 1。当  $W_i > 1$ ,元素在层中积累,  $W_i < 1$ ,表明某元素该层有移出。衬度系数是元素沉积地球化学的特征,反映了元素在沉积过程中的变化。从表 3 可以看出衬度系数变化有下述特点:

(1) 氧化物  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{TFe}$  在仙霞岩体(花岗闪长岩、二长花岗岩等酸性岩体)中,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{TFe}$  在成土母质和土壤层中的衬度系数多大于 1,表示在它们在向地表环境的演变中发生迁移富集;而  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$  相对

发生淋滤流失。在火山岩占据绝对优势的黄尖组中,衬度系数情况和仙霞岩体相似,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{TFe}$  在土壤层中发生富集而  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$  流失贫化,特别是  $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{CaO}$ ,  $W_i$  仅有 0.24, 0.27, 表明这 2 个氧化物在火山岩分布区发生了很大的迁移。氧化物衬度系数在仙霞岩体和黄尖组中表现的高度一致可能表明,在中酸性岩浆活动产物中,岩—土系统的微量元素迁移特征有很大的相似性。

奥陶纪地层为海相碎屑岩系,主要岩性为砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩夹有少量钙质泥岩。氧化物衬度系数在剖面上均表现出向土壤降低的特征,基岩的衬度系数多大于 1 而成土母质和土壤层中小于 1,它们在成土过程中较少向土壤迁移。

寒武系杨柳岗组、华严寺组、西阳山组岩性以碳酸盐岩为主,主要为灰岩、泥灰岩夹钙质泥岩等,氧化物衬度系数的变化表现出较好的一致性。  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{TFe}$  均表现出向土壤的迁移富集现象,衬度系数绝大多数大于 1,部分剖面的  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  在表土层中表现出特别富集,而  $\text{MgO}$  却在土壤中以流失为主,衬度系数小于 1。

在南华纪—震旦纪地层中,岩性以海相碎屑岩、碳酸盐岩为主,  $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  表现出从基岩到土壤的衬度系数逐渐降低的特点,说明这些元素在这一层位的成土过程中或者较少发生迁移或者发生较多淋失。  $\text{Na}_2\text{O}$  在休宁组和兰田组的剖面上,衬度系数小于 1 且逐渐降低,表现在岩—土系统的转变中以元素的移出为主;但在南沱组冰碛层中则以富集为主。  $\text{CaO}$  在剖面中的衬度系数降低,表明在岩—土系统中较少迁移或者土壤中淋失很快。  $\text{TFe}$  的衬度系数在剖面中的变化不明显,可能说明其在岩—土系统中的迁移不明显。

(2) Mo、Mn、Cu、Zn、B、Se: 为维持植物营养必需元素(邢光熹和朱建国,2003),也是影响农作物生长的重要微量元素。

在仙霞岩体和黄尖组中, Cu、Zn、B、Se 的衬度系数在基岩中大多数远小于 1,在表土层和成土母质中大于 1,表明这 4 种元素有向土壤中强烈迁移的过程发生; Mn 在仙霞岩体的岩—土系统中迁移较强,在黄尖组中则相对较弱。 Mo 的衬度系数则以向上变小为主,反映岩—土之间可能较少发生 Mo 的迁移。这些元素在奥陶系地层中较为复杂,趋势不明显。 Cu 和 Mn 在印诸铺组之上的土壤中以富集为主,从岩石向土壤中迁移较多;在黄泥岗组和长坞组









中的基岩衬度系数多大于 1 而土壤多小于 1,表明从岩石向土壤中迁移较少或从土壤中迁出较多. Zn 在剖面中的衬度系数由大于 1 到小于 1,但数值较为靠近,应说明岩—土系统中的迁移不明显. Mo、B、Se 3 种元素在长坞组基岩中富集,反映迁移量较少;在印诸铺组中衬度系数的变化不明显.

寒武系分布区剖面的衬度系数中,基岩绝大多数小于 1,和土壤的衬度系数之比可以达到 10 以上,表明这些元素在杨柳岗组、华严寺组、西阳山组之上的土壤层中强烈富集,岩石—土壤系统应是以相应元素的迁移为主. 特别是华严寺组基岩的 Mn、Cu、Zn、B 迁移最为强烈,使得在土壤中大量富集.

在南华纪、震旦纪地层分布区内的岩—土剖面上,Mo、Mn、Cu、Zn、B、Se 元素仍然表现出向土壤强烈富集,衬度系数之比在 2~10 之间,出现了较为强烈的迁移富集趋势. 表明在岩—土系统中,这些微量元素的迁移十分可观.

(3)其他元素 Cr、Pb、As、Hg、Sb:除 Sb 外,其他元素又被称为“污染元素”或者“有害元素”(朱诚, 2000),它们在所测剖面中的衬度系数表明在 B、A 层中有不同程度的富集,是否有含汞、含砷等的杀虫剂的泛使用还有待进一步工作.

在仙霞岩体和黄尖组分布区, Cr 在土壤中以淋失为主,从岩石到土壤的迁移较少,其余衬度系数的变化反映富集. 奥陶纪地层分布区,除 Cr 衬度系数从基岩到表土层逐渐变小,反映其岩—土之间较少发生迁移、土壤中淋失较多外,其余奥陶系分布区的岩—土剖面上衬度系数的变化趋势不明显. 寒武纪地层分布区,除 Cr 在西阳山组的基岩中较少出现迁移外,其他元素主要表现出在土壤或者成土母质中富集. 南华纪—震旦纪地层分布区:与上述地层区相同,岩—土系统中向上主要表现出富集.

## 5 岩—土系统元素迁移对农业地质环境的影响

不同作物对微量元素的需求各不相同(中国地质科学院生物环境地球化学中心,2001),因此,不同岩—土系统元素迁移的差别对农业生产有着重大影响,特别在地域性特征很强的名特优农产品方面表现得尤为明显. 研究区岩—土系统垂向上的地球化学元素迁移特征表明,相同地质单元有着几乎相同

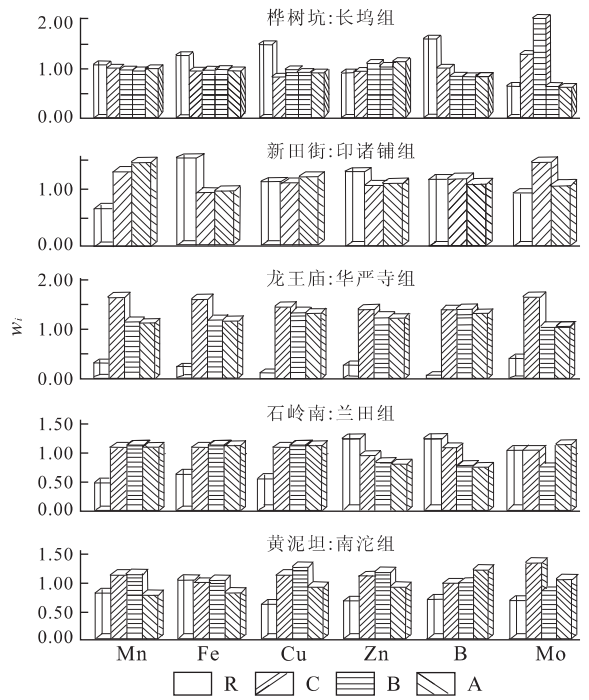


图 2 部分元素衬度系数对比

Fig. 2 Columnar comparison graph of foil coefficients in rock-soil system

R. 基岩; C. 成土母质; B. 心土层; A. 表土层

的岩—土系统迁移规律(表 3, 图 2),这导致宁国一带山区土壤的元素分布和其下的基岩有密切关系并且有着比较一致的地球化学特征. 同时也表明,基岩中元素值高不一定土壤中就高,还要看岩—土系统的迁移情况. 例如铜,在华严寺组和杨柳岗组岩层中含量仅有  $(2\sim3)\times 10^{-6}$ ,但在其上分布的土壤中可以达到  $50\times 10^{-6}$  以上. 这种分布必然对农作物的生长带来很大影响.

区内 23 条不同地质单元岩—土剖面中,植物生长必需的微量营养元素 Fe、Mn、Cu、Mo、Zn、B 的衬度系数典型图谱见图 1,可以归为 4 种主要形式. 华严寺组和南沱组 6 种元素均在土壤富集;兰田组表现为 Fe、Mn、Cu 在土壤中富集,Zn、B 缺失,Mo 基本相当;印诸铺组表现出 Mn 在土壤中富集,铁在土壤中缺失,其余元素在岩、土中基本相当;在长坞组中,Fe、Mn、Cu、Mo、Zn、B 均有缺失,Mo、Zn 在岩石和土壤中相当.

面积性土壤地球化学调查成果揭示出岩—土系统在水平迁移方面的特点,由于宁国地区植被繁茂,水土流失程度小,成土母质形成的土壤本身较少远距离搬运,使得区域上微量元素的迁移并不很大,与



垂向上岩—土迁移规律有较好的相关性,仍然与岩(地)层分布存在对应关系,其中以 Mn、Cu、Mo、Zn、Se、V 相关性好,Ca、Na、K 等较差。

由于植物需要的营养元素主要来自土壤(黄昌勇,2000),因此,如果再考虑到微量元素的绝对含量,上述地质单元之上的土壤将会适宜不同植物生长,从而形成不同的农业地质环境。这一点在宁国最为著名的名特优农产品——山核桃上表现得非常明显。山核桃是著名干果,经济价值很大。宁国是国家命名的“中国山核桃之乡”,种植山核桃是宁国山区农民脱贫致富的主要手段。核桃类坚果富含有益微量元素锌、铜、锰、硒(董凤祥和王贵禧,2003)。野外调查表明,山核桃的生长分布和其下的地(岩)层有较强的相关性,在南华系、震旦系、寒武系的南沱组、兰田组、杨柳岗组、华严寺组、西阳山组中产量和质量较好,而在奥陶系、志留系中或者较难生长,或者产量很低,仅有上述地层以上产量的 1/10 到 1/20。野外实地调查发现,在连续的路线上,这种差异是客观存在的。因此,可以认为在本区相同的气候条件下,地质背景即地(岩)层单位对农业环境的控制作用是较为明显的。山核桃分布规律和衬度系数反映的岩—土系统元素迁移特点有较好的联系,即 Fe、Mn、Cu、Mo、Zn、B 微量元素在土壤中富集的地层之上生长的山核桃较好。

实地生态调查表明区域上山核桃的生长和 Cu、Zn、Se 在土壤中的分布联系紧密(图 3):自然分布的山核桃地区 3 种元素在土壤中的含量均高,和一定的地层分布一致,其中以 Cu 吻合最好。

由于山核桃的经济效益好,当地政府和农民种植的积极性很高,但种植地点的选择有一定的盲目性。山核桃的生长期较长,一般要 12~14 a 才能结果。如果种植地点一旦选择不对,将使农民多年的辛勤劳动付诸东流。

## 6 结论

(1)同一岩(地)层单位在不同地点有着相同的岩—土系统迁移规律,基岩控制了土壤中微量元素区域分布特点;(2)基岩中微量元素的含量和其上土壤的微量元素的含量之间并不一定成正相关关系,决定于岩—土系统元素的迁移程度;(3)岩—土系统元素迁移的差别可以导致农业地质环境的不同,从而使得不同地层或地质体之上的土壤适合不同的名

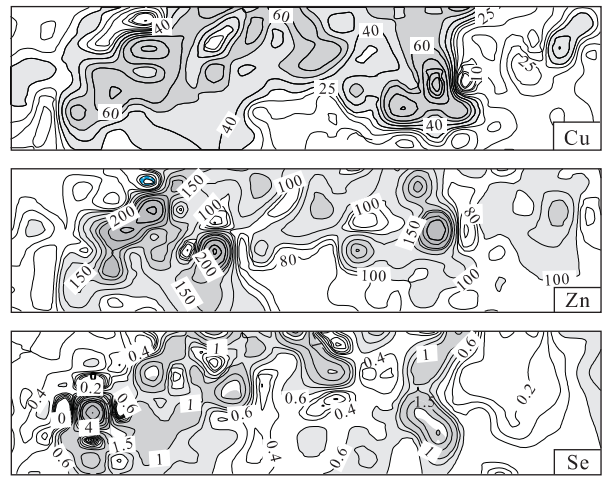


图 3 宁国地区土壤 Cu、Zn、Se 地球化学图(比例尺同图 1)  
Fig. 3 Geochemistry graph of Cu, Zn, Se in soil in Ningguo region

特优农产品生长,地质背景的调查结果可以指导农业生产结构的调整。宁国天目山区主导性名特优产品——山核桃,应该选择南沱组、兰田组、杨柳岗组、华严寺组、西阳山组等地层出露的地段种植才能产生好的经济效益。仙霞岩体、休宁组分布范围应该施用 Cu 微肥提高产量。

## References

- Centre of Biotic Environment and Geochemistry, CAGS, 2001. Geochemical environment—Agriculture, health. Geological Publishing House, Beijing, 8—9 (in Chinese).
- Dong, F. X., Wang, G. X., 2003. The import and cultivation techniques of *Carya illinoensis*. Jindun Publishing House, Beijing, 5:22—23 (in Chinese).
- Huang, C. Y., 2000. Soil Science. China Agriculture Press, Beijing, 1—2 (in Chinese).
- Li, J. X., Wu, G. J., Huang, H. C., et al., 2000. Regional geochemistry & agriculture and health. People's Medical Publishing House, Beijing, 32—33 (in Chinese).
- Li, X. Y., 2001. Soil chemistry. Higher Education Press, Beijing, 1—3 (in Chinese).
- Taylor, S. R., McLennan, S., 1985. The continental crust, composition and evolution. *Blackwell Scientific Publications*, 54:209—230, 372.
- Wang, J. H., Rao, L. L., 1990. Supergene movement of chemical elements in eastern plains of China. Science Press, Beijing, 3—10 (in Chinese).
- Wei, F. S., Chen, J. S., Wu, Y. Y., et al., 1991. Study of soil