

# 以银川平原大米为例探讨农业地球化学研究方法

李新虎<sup>1,2</sup>, 岑况<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083 2. 宁夏地球物理地球化学勘查院, 宁夏 银川 750004)

**摘要:**农作物生长中,对其品质影响因素较多,我们主要关注的因素为土壤及其地球化学环境对大米品质的影响。从分析大米营养成分出发,推导出影响大米品质的一组特征元素,从而将农业问题转化为地球化学问题。从分析土壤中特征元素的分布特征,推断出大米品质的产区分布,为农业规划及不同深加工目的服务,达到地球化学为农业服务的目的。

**关键词:**银川平原,农业地球化学,大米

中图分类号:P632

文献标识码:A

文章编号:1000-8918(2006)03-0270-06

农作物生长中,影响因子较多(如气候、阳光、种子、土壤及立地条件等),我们主要关注的为地质因子,即农业地质研究。农作物在长期的生长过程中,由于受地质地貌环境、水文地球化学、土壤类型等诸多因素的影响,而形成在某一地区的特色作物,这些作物与其长期生长的地质环境共同构成了适合于本地区生长的独特生态环境,并以其不同的特征元素循环组成在作物中的特殊营养成分(或称为“道地性”)。如何找出这组特征元素并建立其影响作物的关联性,这是目前农业地质乃至农业地球化学研究中共同面对的问题。笔者从分析作物的性状(主要为外观品质)及国家评定标准出发,推导出作物主要的内在品质,进而确定其特征元素,将纯农业问题转为对土壤地球化学元素的研究上。

## 1 农业地球化学的定位与研究思想

农业地球化学乃至农业地质研究中,农业与地球科学的学科分界本身并不太好把握,稍过之,则进入农业科学、或土壤学范畴,如土壤学本身即从地质学中分离出来,如仅为元素或区域地质背景的对比,则是将地质或地球化学知识用于农业中而已。一般说,农业地球化学应是对农业生产中受地质(地球化学)因素控制的客观规律的探索和认识,所以,农业地球化学的思想方法或研究方法正确与否,对它的结果有直接的影响。

### 1.1 农业地球化学研究中的生态观

地质环境为作物的产生与发展提供了包括岩石、土壤、水、大气和矿质元素等多种资源;另一方

面,作物对环境的生态适应过程,促进了物种的进化<sup>[1]</sup>。每种生物对一种生态因子都有一定的适应范围,当某种生态因子超过或不足而不能保持作物的适应性时,作物在品质方面将出现某种适应其自身生长的变化。具体到农业地球化学方面,某种个体作物的生长,其较高质量的作物成长必有与之相适应的特征元素组合。我们能够发现其中的特征元素组合,并通过调节其周围的生态环境而达到规划与服务的目的。

### 1.2 农业地球化学的研究思想

地球化学环境是生态环境的重要组成部分,因为物质的循环可归结为元素的循环,元素在生物圈中的循环,将影响到作物生长、人体健康、生态系统的稳定等。同时改变着空气、土壤、水体、植被和食物链的化学组成及质量。

理论与实际均表明:生物体中的元素含量与元素的地球化学背景含量正相关;一定的生物群落、优质的生物个体(如农产品)是在一定的地质地球化学条件下形成的<sup>[2]</sup>。从生态系统的整体性和相互依存性的观点出发,将农产品与地球化学环境联系起来,以元素(及化合物)在农业生态系统中的循环为基础,通过对元素在作物体及不同岩石、土壤、水中的分布特征进行调查,分析研究元素在农业生态系统中的迁移转化规律,可以从本质上揭示地质环境对农产品的影响,为合理利用、农业结构调整提供科学依据。

在农产品与地质体之间的关系研究中,简单的地质体类比归纳,只能得出不同作物的地质体的类

型及组合特点,而不能解释这些联系的原因,也不能对这些现象进行去伪存真的甄别。只有弄清了由于不同的生态地球化学环境、不同作物的生理与生化反应机制、造成不同作物的元素组合与品质特征这样一条因果联系的脉络之后,才能揭示作物品质与地质环境之间的内在联系。近几年来,笔者借助地球化学的优势,将农产品内在品质问题转化为农业地球化学性质的课题,将地球化学的理论、方法和技术应用于宁夏农业地质研究中,在“岩石—土壤—作物”体系中,以元素的迁移和分配为红线,系统采样,尽可能对样品进行全面的分析测试,采用计算机处理数据,利用聚类分析、因子分析、相关分析等综合提取有用的信息,系统讨论元素在土壤与岩石、水系沉积物、土壤元素全量与有效量、土壤与作物等的依存关系,探讨元素地球化学条件对宁夏枸杞、大米等作物品质的影响,得出了一些有重要参考价值的结论。

所谓“易地而竭,隔界不长”,这种地域性的选择性,很大程度上是元素地球化学背景所制约。如宁夏枸杞中外驰名,但其公认的道地性产地为宁夏中宁,是因为其地处黄土高原边缘和黄河冲积平原交互地带,形成土壤中钾元素极高而其他营养元素也较高的独特景观环境,造就了这一区域中生长的枸杞“味甜而后微苦”的独特吃味<sup>[3]</sup>。再如湖南江永香米,仅限于两丘田中,而该田正好有浸提了下泥盆统含砾砂岩及深部的寒武系黑色岩系的某些化学元素的地下水涌出,这些特有的元素组合与特定的土壤、气候一道,造就了该处稻米特有的芳香<sup>[4]</sup>。

因此,以元素在农业地质体系的循环运动为记录,将影响农业的其他各种自然因素与地球化学元素相互转化,用地球化学观点思考农业地质问题,可发现最优种植区、土壤有害元素超标区、营养元素及有益元素的丰缺区,并据此对农业种植进行重新调整和布局,科学施肥、改良土壤,可实现作物的优质高产。

综上所述,实际对农业地球化学的研究转化为如何找到影响作物优质高产的最起作用的一组特征营养元素,也就相应地发现了农业与地质的有机结合点。

## 2 农业地球化学研究的一个实例

### 2.1 大米的产地背景、性状分析及优质大米的意义

#### 2.1.1 产地地质背景

银川平原位于黄河上游中部,总体面积约 7 200 km<sup>2</sup>,北北东走向,东为鄂尔多斯台地,西为贺兰山。

由于贺兰山阻挡了西部的腾格里沙漠的东侵,加之黄河泥沙淤积,在平原中部形成最大厚度可达千米的巨厚第四系 2 000 多年的人为耕作改造,形成较为肥沃的平原区灌淤土壤,是宁夏乃至西北地区的重要粮仓;其间由于地下水较丰及排水不畅,造成大面积的盐碱化,部分地带更形成白僵土,近几十年来的工业发展,造成部分地区的土壤和水质的污染。由于上述及其他原因,银川平原所产大米从原来的贡米(珍珠米)品质不断下降,价格较低,因此自治区政府提出了重振宁夏大米的目标,本研究项目就是在此基础上进行的。

#### 2.1.2 大米性状特征

大米品质性状包括有粒长、粒宽、长宽比、垩白率、垩白大小、垩白度、糙米率、精米率、整精米率、碱消值、胶稠度、直链淀粉含量、蛋白质含量等<sup>[5]</sup>。

从大米性状聚类分析图解看(图 1),其主要性状分为以垩白及糙米等为主的外观品质和以淀粉、蛋白质为主的蒸煮及营养成分的内在品质,二者之间为显著的负相关,说明大米的内在品质与外观品质不可能同时达到最好,而只能达到在某种条件下的最佳平衡。

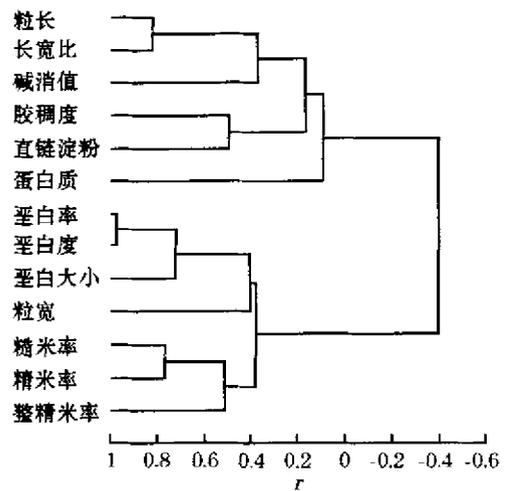


图 1 大米性状聚类分析谱系

对大米性状进行主成分因子分析,保留原信息的 80%,所有性状组合为 4 个新变量(表 1)

因子 1 以垩白为代表;因子 2 反映了出米率情况;因子 3 反映了内在营养成分(或蒸煮品质),而且淀粉与蛋白质之间呈反消长关系;因子 4 反映了籽粒性状特征。

因子分析表明,评价大米品质应从垩白、出米率、蒸煮和营养品质及粒度大小 4 个方面来进行评定,这与国家评定标准是相一致的。但与农业地球化学有关的主要是因子 3(内在品质),即蒸煮、营养

表 1 大米各性状正交因子载荷

变量	F1	F2	F3	F4
粒长				0.891
粒宽	-0.416	0.419	-0.572	
长宽比				0.888
垩白率	-0.926			
垩白大小	-0.693			-0.525
垩白度	-0.93			
糙米率		0.863		
精米率		0.907		
整精米率		0.765		
碱消值	0.575			
胶稠度			0.839	
直链淀粉	-0.4		0.595	
蛋白质			0.735	

品质性状。

### 2.1.3 大米营养成分特征

对大米营养成分进行 R-型聚类分析(图 2)可以看出,在  $|r| > 0.35$  (临界值)时,明显分为 2 组物质:一组以粗蛋白为代表,它和粗脂肪表现为正相关;另一组以淀粉为代表,表现为与上组物质为明显的负相关。

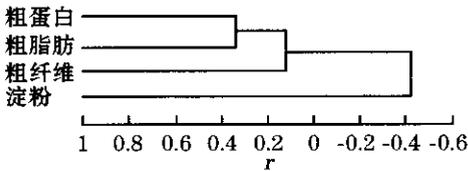


图 2 大米营养成分聚类分析谱系

蛋白质,作为机体的组成成分是必需的,同时它也是机体的能量来源。作为能量源使用时,如果蛋白质的供给量不足,将引起机体合成时氮的平衡被破坏,出现氮不足的情形。淀粉可以提供蛋白质所产生的这部分能量,从而减少蛋白质的使用量,起到一种节约的作用。这对于机体的合成反应是有意义的<sup>[6]</sup>。

### 2.1.4 营养组分和大米内在品质的关系

内在品质中主要为蒸煮食味品质和营养品质。

与蒸煮食味有关的因素为淀粉(直链淀粉)含量、胶稠度和糊化温度等,我区大米中淀粉平均含量为 81.37%,直链淀粉平均含量为 17.86%,属于低含量类型,为北方消费者所偏好<sup>[7]</sup>;胶稠度为糊化后的米胶软硬程度,较软的低淀粉的胶稠度受消费者欢迎,糊化指淀粉在适当温度下形成糊状溶液的过程,当然以糊化温度低或中等为最好<sup>[8]</sup>。因此,食品中淀粉含量较低为好,但淀粉作为碳水化合物,应当成为主要的能量构成成分,并且营养专家强调食品原料不要过于精细,从而达到在既获得能

量的同时,又能在营养素的其他方面得到有益的补充来源。

大米营养成分包括淀粉、蛋白质、脂肪、维生素和矿物质等,但主要以大米蛋白质含量与蛋白质质量作为大米营养品质的指标。蛋白质含量越高,其营养价值越高。

### 2.1.5 优质大米的意义

对大米品质的要求上,应为大米中含有较高的蛋白质和较低的淀粉,由于人体能量及机体其他方面的补充,要保持自身的平衡也为一个主要的因素,故优质大米品质除淀粉与蛋白质总量的要求外,它们之间的二元平衡也是另一个主要的因素。

综上所述,本研究重点转为找到一种能有效地调节大米中蛋白质和淀粉总量的方法,使蛋白质含量提高并使淀粉含量降低,并达到一定的二元平衡,也就相应地保持了作物的内在品质,达到规划利用的目的。

## 2.2 影响大米内在品质的地球化学元素

矿质元素进入植物体内,有些是主动吸收进来的,必然会与植物中有机物存在某种内在联系,有些是被迫积累的,一般说关系不大,但长期积累,积累过多,也会对品质产生一定影响。故特征元素的确定主要反映在 3 个方面:①作物(包括果、叶)中矿质元素丰度(含量大小);②植物从土壤中吸收元素的强度(吸收系数);③元素和营养成分的相关性<sup>[9]</sup>。

### 2.2.1 稻谷中元素丰度

按元素在大米、叶、糠中的含量大小排序。元素在不同器官中含量是不同的,但各品种在不同地区相同器官中元素出现的元素个数、种类、含量顺序基本一致,仅个别相邻元素顺序不一致,说明品种对元素丰度排序无重要影响,这些可以用各器官平均值来代表(表 2)。大米是主要的可食部分,糠与大米不可分割,叶是光合作用的重要场所。通过综合考虑,根据各器官平均值,以果实为主,取含量最高的 N、P、Si、K、S、Mg、Ca、Na、Fe、Al、Mn、Zn、B 元素作为首选特征元素。这些元素也都为土壤和地壳表层中

表 2 元素在水稻中含量排序  $10^{-6}$

植物部位	>1000	>100	>10
大米	N、P、Si、K、S、Mg	Ca、Na	Fe、Al、Mn、Zn
叶	Si、N、K、Ca、Mg、S、P	Na、Mn、Fe、Al	B、Zn
糠	Si、K、N、P、Ca、Mg	S、Fe、Al、Na、Mn	Zn、B

丰度最高元素,可间接证明土壤地质背景和大米生长有密切关系。

植物中的元素大部分来自土壤,它们在植物体中的含量大小虽不能完全反映作物对其需要的程度,但可说明它们能影响植株的生长,以及对有机质的合成起到较大作用。

2.2.2 植物对元素的选择吸收

吸收系数( $K$ )表示植物从土壤中摄取元素强烈程度的概念( $K = X_{\text{植物}}/X_{\text{土壤}}$ )。按吸收系数的大小,分为 4 个等级:Ⅰ级——强烈摄取( $K > 1$ );Ⅱ级——中等摄取( $K < 0.1$ );Ⅲ级——微弱摄取( $K > 0.01$ );Ⅳ级——极弱摄取( $K < 0.01$ )。

吸收系数表示了植物对元素的必需程度,一般说,中等吸收以上的元素,是植物从土壤中主动选择吸收进来的,应该是其生理所必须的元素。

大米各器官对元素的吸收变化较大,即使同一器官在不同产地,其吸收系数也有较大差异,但总体吸收系数的排序不变,这与各地土壤中元素含量大小有关,为消除这一因素影响,我们取各器官平均值来确定特征元素(表 3),取吸收系数较大者并按出现次数多少排序,共有 N、P、S、Se、Mo 及 Cu、Zn、Hg 元素作为特征候选目标。

表 3 水稻对元素的富集系数(由大至小)排序

植物部位	强摄取( $k > 1$ )	中等摄取( $k > 0.1$ )
大米	N、P、S	Se、Zn、Hg、Cu
糠	N、P、S	Zn、B、Se、K、Hg、Mn、Mo、Si、Cu、Cd、Pb
叶	N、S、P、Mo	Mn、K、Hg、As、B、Se、Cu、Zn、Si、Cd

2.2.3 元素与营养成分的相关性

在株体中,虽然有些元素是大米生长或形成优质的营养过程中必需的,却因其需要量甚微,只在植物中少量存在,但是,可通过吸收系数与相关性来筛选<sup>[10]</sup>。

取相关系数 $|r| > 0.3$ (显著相关,表 4),以 N、Zn、S 为代表的绝大多数元素表现为与蛋白质和脂肪为正相关,而与淀粉表现为反相关;Yb 元素则表现为相反的性质;Se 表现为只与粗纤维和脂肪有关,部分元素如 Al 等则与所有的有机物表现为不明显的关联性。

将各元素与有机物的相关性绝对值相加,其总和表现出该元素与有机物相关性方面的重要性(表 4 最后一列)。取相关系数总和大于等于 1 的 N、Zn、Yb、S、Mg、Nb 元素作为候选特征元素。

表 4 元素与大米有机物相关系数

元素	粗蛋白	淀粉	粗脂肪	粗纤维	相关和
N	0.894	-0.4343	0.3873		1.7156
Zn	0.5694	-0.362		0.4887	1.4201
Yb	-0.5222	0.4792		-0.3187	1.3201
S	0.8554		0.4131		1.2685
Mg	0.6002	-0.3277	0.3296		1.2575
Nb	0.606		0.308		0.914
Si	0.5455			0.3203	0.8658
P	0.466		0.3086		0.7746
Mn	0.6774				0.6774
Se			0.2939	0.323	0.6169
Li	-0.2927	0.3041			0.5968
Cu	0.5663				0.5663
Pb	0.5016				0.5016
La	0.4978				0.4978
Mo	0.4813				0.4813
K	0.4673				0.4673
Hg	0.4517				0.4517
Fe	0.4395				0.4395
Y	0.4183				0.4183
Na		0.3987			0.3987
Ca		0.324			0.324
Al					
As					
B					
Cd					

注:取 $|r| > 0.3$ 时的相关系数(显著相关)

2.2.4 特征元素的确定

将上述候选特征元素按 100 分向下给出顺序分,并给出相关系数的权数为 0.5,吸收系数的权数为 0.3,丰度权数为 0.2,将各元素加权分之之和排序,结果如表 5 所示。

表 5 大米特征元素确定

确定因子	特征元素
相关性	N(50)、Zn(48)、Yb(45)、S(43)、Mg(40)、Ni(38)
吸收系数	N(30)、P(27)、S(24)、Se(21)、Mo(18)、Cu(15)、Zn(14)、Hg(12)
丰度	N(20)、P(18)、Si(16)、K(14)、S(12)、Mg(10)、Ca(8)、Na(6)、Fe(5)、Al(4)、Mn(3)、Zn(2)、B(1)
特征元素	N、S、Zn、Mg、Yb、P、Nb、Se、Mo

注:括号内数据为各因子得分值

最后,确定 N、S、Zn、Mg、Yb、P、Nb、Se、Mo 作为大米特征组合元素。

土壤中所有元素相关性聚类分析结果见图 3,结合上述各元素在大米中特征和元素聚类分析结果,对特征元素进行了分类。特征元素按其本身地球化学性质和对大米性状的影响,可分为以下 5 组。

(1)S、Se:表现为与蛋白质明显正相关,而与淀粉为不明显负相关。本区盐碱化较普遍,在土壤中

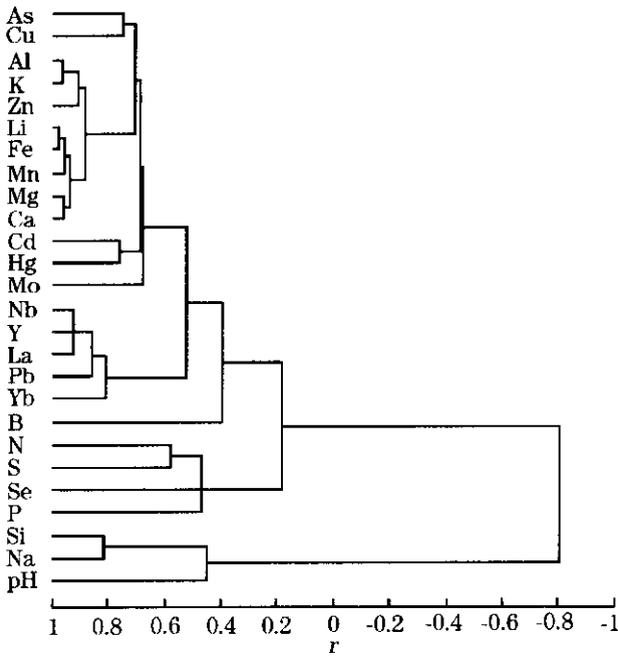


图3 土壤中元素聚类分析谱系

含量也极高,它们是盐碱化土壤的指示元素,更可能表现为被动吸收和起普遍作用的元素,属土壤指示元素,也说明了大米的耐盐碱性。

(2)P、N:属作物结构性营养元素,与蛋白质正相关,促进蛋白质的合成。本区N、P在土壤中含量不高,对植物的供给主要为人为施肥,在区域土壤中表现为严重缺乏,并且其本身为植物结构性营养元素,需要量极大,其在植物体内含量约为土壤中的20倍之多,同时在大米中的营养平衡中起极大的作用,应给予重视,同时在施肥时应考虑其协调性。

(3)Mg、Zn、Mo:与蛋白质呈正相关而与淀粉呈负相关,是较重要的微量特征元素。资料表明Mg与胶稠度明显为负相关,在食物蒸煮中起重要作用<sup>[4]</sup>。Zn在相关性、吸收系数及丰度上都有较高的表现,应予以重视。

(4)稀土元素Yb:表现为与其他元素相反的特性,即与蛋白质呈负相关而与淀粉呈正相关,对大米的生长及内在品质的二元酸碱平衡起重要的调节作用。Yb与大米淀粉呈明显正相关,推断Yb对于营养成分的合成起积极作用。

(5)稀有元素Nb:其在作物中表现不明。

N、P、S、Mg属于作物结构性营养元素,一般作物需要量较大。属微量元素的有Zn、Nb、Se、Mo和Yb,表现较为重要的为Zn、Mo和Yb,其中Yb表现为相反的调节关系。

### 2.2.5 优质大米产区的划分

根据本区大米中的蛋白质和淀粉的含量、大米

中特征元素及其在土壤中的含量、土壤中元素全量与有效量的相关性,以及元素全量对土壤和作物的有效供给、金属元素的污染及营养和有益元素的丰缺等指标,划分了本区的大米质量分区(图4),以指导本区的种植布局及规划。

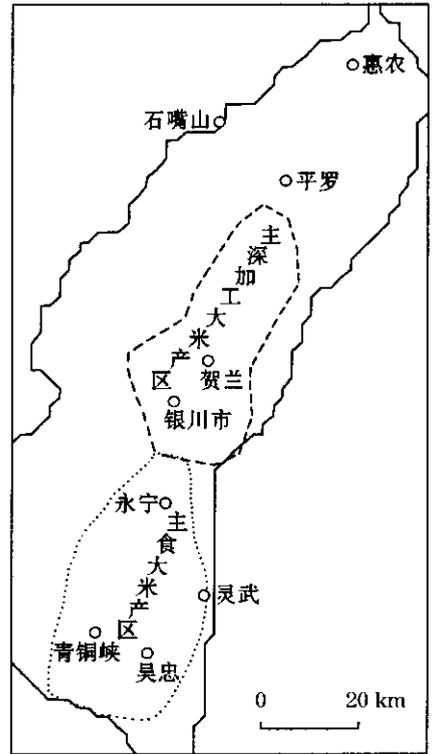


图4 宁夏大米质量分区

### 3 结语

“农业-地质”系统是一个复杂系统,常用的地球化学对比方法不一定有效,并且不能得出令人信服的结论。必须从对农作物本身的特性研究出发,用元素地球化学迁移转化的观点进行解剖,方可抓住研究的实质。

作物生长的过程,与土壤环境的相互依存形成了一个长期稳定的整体生态环境的平衡,而土壤性质又受地质构造、岩石背景、水文条件、生物作用、人为污染及气候等诸多因素的影响。因而必须建立有相当可信程度的作物与土壤的相关性,这种关系必须以元素地球化学的迁移为基础。影响作物生长的元素较多,但是不同作物对部分元素较敏感,即特征元素,通过对特征元素的研究,将研究问题的实质从农业转化为地球化学问题。

笔者根据水稻对元素富集系数的排序和元素对反映大米品质的蛋白质、淀粉、粗脂肪和粗纤维的相关性指示,确定了大米的特征元素为N、S、Zn、Mg、Yb、P、Nb、Se、Mo。

## 参考文献:

- [ 1 ] 张建新. 柑桔品质与地球化学背景关系的初步研究 [ J ]. 湖南地质, 1996 ( 1 ).
- [ 2 ] 邵时雄, 候春堂. 果林农业生态地质研究 [ M ]. 石家庄: 科学出版社, 1995.
- [ 3 ] 高业新, 李新虎. 宁夏枸杞的道地性研究 [ J ]. 地球学报, 2003, 24( 2 ): 193.
- [ 4 ] 徐庆国. 香稻优质高产栽培 [ M ]. 北京: 金盾出版社, 2003.
- [ 5 ] 姜文洙, 刘宪虎, 许明子, 等. 延边地区稻米品质的评价与分析 [ J ]. 延边大学农学学报, 2001, 23( 2 ): 115.
- [ 6 ] 张国珍. 食品生物化学 [ M ]. 北京: 中国农业出版社, 1992.
- [ 7 ] 殷延勃, 马洪文, 王昕. 宁夏稻米品质评价、现状及发展 [ J ]. 中国稻米, 2004 ( 1 ): 44.
- [ 8 ] 金龙飞. 食品与营养学 [ M ]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.
- [ 9 ] 曾群望, 杨双兰. 云烟生产的土壤地质背景 [ M ]. 昆明: 云南科学出版社, 1993.
- [ 10 ] 曾群望, 杨双兰, 高宏光, 等. 云南生物地质环境研究 [ M ]. 昆明: 云南科技出版社, 2001.

## THE METHODS FOR AGRICULTURAL GEOCHEMICAL STUDY : A CASE STUDY OF RICE IN YINCHUAN PLAIN

LI Xin-hu<sup>1 2</sup>, CEN Kuang<sup>1</sup>

( 1. China University of Geosciences Beijing 100083 China 2. Ningxia Institute of Geophysical and Geochemical Exploration Yinchuan 750004 China )

**Abstract** Many factors affect the quality of crops during their growing, and the chief factor the authors are concerned about is the soil and its influence on the rice quality. Based on an analysis of the nutrition composition of rice, the authors infer that there exist a set of characteristic elements that affect the rice quality, thus converting the agriculture problem to a geochemical problem. At the same time, according to the distribution features of the characteristic elements in soil, the authors deduce the distribution of rice quality, which can serve agricultural planning and further processing.

**Key words** Yinchuan plain, agricultural geochemistry, rice

**作者简介** 李新虎( 1965 - ) 男, 宁夏中卫人, 高级工程师。中国地质大学( 北京 ) 在读博士, 主要从事农业及环境地球化学研究和物、化探综合性勘查研究。

上接 269 页

**Abstract** : There is a strong single frequency interference wave around 50 Hz in seismic records when a high-tension line crosses over a seismic line in the process of field seismic data acquisition. The authors studied the interference wave using sine wave in time domain and subtracted it from seismic records for the purpose of suppressing the interference wave. Theoretical and real data results prove the feasibility of the method in suppression of strong single frequency which is unlikely to be suppressed by conventional filtering methods. The most major advantage of the method lies in the fact that only the interference wave with single frequency can be suppressed, and the loss of useful signal is very limited.

**Key words** : seismic exploration, single frequency, time domain, filtering methods

**作者简介** : 段云卿( 1958 - ) 女, 副教授, 1982 年毕业于石油大学物探系, 现在中国地质大学( 北京 ) 从事教学和地震资料处理及解释方法研究, 公开发表学术论文数篇。