

福建省寿宁县1:25万土地质量地球化学评估

王文俊

(福建省地质调查研究院, 福建 福州 350013)

摘要:基于多目标区域地球化学调查所获得大量高精度表层土壤重金属元素和养分元素数据,参照土壤环境质量标准(GB15618—1995)和相关行业标准,采用单因子指数法和综合因子评价法对福建省寿宁县土壤环境质量和土壤养分质量进行评价,并在此基础上,将两者叠加分析,对研究区进行土地质量地球化学分等。结果表明:福建寿宁县土地总体质量较好,以三等、四等土地为主,土壤较清洁,两者面积之和占全区的80.80%,且三等、四等土地覆盖区内有占全区10.46%的富硒土壤分布,适宜于发展一般性农业和富硒特色农业;一等、二等土地次之,土壤清洁,是发展绿色、无公害农产品的最佳区域,应加强保护并合理利用;五等、六等土地分布很少,仅占全区的6.07%。

关键词:土地质量;地球化学;评估;福建寿宁

中图分类号:P632^{+.1};p934 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)02-0665-10

土壤是母岩、气候与生物共同作用下的产物,其形成和演化与自然地理环境的条件和历史密切相关,同时亦受人为活动的深刻影响^[1-5]。随着工矿业和农业现代化发展过程中所带来重金属元素不断的向土壤中输入,并积累甚至超过土壤的负荷量,以致土壤重金属污染。重金属以其在土壤中难降解、毒性强、具有积累效应等特征受到科学家们的广泛关注,欧盟甚至将土壤质量评价作为可持续发展一个重要指标^[6-9]。土壤重金属元素污染地球化学特征是生态地球化学评价、预测和预警的重要内容^[10-12]。近年来,随着中国多目标地球化学的调查及其后续研究的不断推进,在所获得大量高精度数据基础上,评价土壤污染程度与养分丰缺状况,并划分土地质量等级在中国中东部相继开展^[13-14]。福建省寿宁县地处闽东北部,茶叶、花菇、地瓜扣、太子参等名特优农产品以及旅游资源较为丰富,农业、旅游业发展势头良好,为适应当前发展需要,促进生态文明建设,对该地区进行土地质量地球化学评估具有重要的现实意义,评价结果可以了解该地

区土壤环境质量和土壤养分丰缺状况,从而为当地政府和相关部门有效改善土壤环境质量,合理利用土地资源,调整农业种植结构,发展生态特色农产品产业,建设美丽寿宁提供科学依据。

1 研究区概况

寿宁县位于福建省宁德市北部,与浙江省交界,地理坐标:东经119°14′~119°44′,北纬27°11′~27°41′。其地貌类型以中山、中低山和丘陵为主,地势从西北向东南倾斜。有林地面积880 km²,森林覆盖率达74.8%;水田215.605 km²,占全区面积的15.14%;茶园132.614 km²,占全区面积的9.3%。寿宁县粮食作物主要为水稻,经济作物主要为茶叶,是中国十大重点产茶县之一。地质构造上位于闽东火山断拗带,中生代以来,岩浆活动频繁、强烈,尤以火山活动更为突出,形成了分布广泛、厚度巨大的一套陆相沉积-火山岩系,区内晚侏罗世南园组中性、中酸性、酸性火山碎屑岩、火山碎屑熔岩夹火山碎屑沉积岩分布广泛,约占三分之二面积,其

收稿日期:2013-06-07;改回日期:2013-09-17

基金项目:中国地质调查局项目(基[2012]01-010-011)资助。

作者简介:王文俊,男,1982年生,硕士,工程师,主要从事多目标区域地球化学调查工作;E-mail:junww2006@sina.com。

次为白垩世陆相杂色、红色沉积-火山岩系。矿产资源储量丰富,已发现银、金、铜、铅、锌、钨、钼、铁、锰等金属矿产9种,主要分布大安、南阳一带。分布于大安东北方向的银矿在明清时期已有开采记录,其他矿种均为矿(化)点。全区土壤类型以红壤为主,其次为黄壤和水稻土。

2 样品采集与分析

2.1 样品采集方法

表层土壤样品采集按照《多目标地球化学调查规范(1:250 000),DD2005-01》要求,采样点布设以代表性为主要原则,山地丘陵布置在土壤易于汇集的平缓坡地、山间平坝等部位,使其最大限度控制调查面积,并兼顾均匀性与合理性,各采样点间距离一般应大于500 m。按照采集1个点/km²,采集为0~0.2 m深度的土柱,按1个点/4 km²组合分析,总计采集样品1652件,分析测试413件。

2.2 分析测试方法

土壤样品风干后,按20目过筛加工处理后,均送往福建省地质测试研究中心分析测试,严格执行中国地质调查局地质调查技术标准《多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)》(DD2005-01)中“土壤地球化学分析测试质量要求及质量控制”的有关规定。采用密码插入法,按照分析样品数插入一定数量的准确度和精密度一级标准控制物监控测试质量,以保证样品分析测试的准确度和精密度,土壤环境质量标准(GB15618—1995)中8种重金属元素、各养分元素及pH值的具体分析方案见表1。

3 评价标准与方法

3.1 土壤环境质量评价标准与方法

3.1.1 评价标准

本文采用《中华人民共和国土壤环境质量标准GB15618—1995》和土壤环境分类、分级标准及适用范围(表2)为评价依据^[15],其所列出的农业生态环境中应重点监控的8种有害重金属元素(汞、镉、砷、铅、铜、锌、铬、镍)为评价对象,结合研究区表层土壤实测数据,将本区土壤划分为^[16-19]: I类土壤:清洁区,重金属元素含量小于一级标准临界值; II类土壤:尚清洁区,重金属元素含量介于一级标准和二级标准标准临界值之间; III类土壤:污染区,重金

属元素含量介于二级标准和三级标准标准临界值之间;超III类土壤:重度污染区,重金属元素含量大于三级土壤环境质量标准临界值,土壤pH>6.5。I类、II类、III类土壤适用范围见表2,超III类土壤属于重度污染土壤区,对动植物和环境可能造成危害和污染。

3.1.2 评价方法

自20世纪70年代初,环境保护问题逐渐为人们所重视,土壤污染评价方法目前尚不统一,有对照比较法、污染指数法、地质累积指数法、污染程度法、富集因子法、潜在生态危害指数法、内梅罗综合指数法(N. L. Nemerow)等^[20-24],根据评价的侧重点不同可选择不同的评价方法。本文采用的单因子指数法和“一票否决”的综合评价方法,具体计算方法如下:

(1)单因子评价方法

单因子评价计算公式如下:

$$Z_i = X_i / C_{I_1} \quad (C_{I_1} < X_i \leq C_{I_1})$$

$$Z_i = 1 + (X_i - C_{I_1}) / (C_{II_a} - C_{I_1}) \quad (C_{I_1} < X_i \leq C_{II_a}, \text{pH} < 6.5)$$

$$Z_i = 1 + (X_i - C_{I_1}) / (C_{II_b} - C_{I_1}) \quad (C_{I_1} < X_i \leq C_{II_b}, 6.5 \leq \text{pH} \leq 7.5)$$

$$Z_i = 1 + (X_i - C_{I_1}) / (C_{II_c} - C_{I_1}) \quad (C_{I_1} < X_i \leq C_{II_c}, \text{pH} > 7.5)$$

$$Z_i = 2 + (X_i - C_{II_a}) / (C_{III} - C_{II_a}) \quad (C_{II_a} < X_i \leq C_{III}, \text{pH} < 6.5)$$

表1 样品分析方法

Table 1 Testing methods of samples

元素	分析方法	方法检出限	元素	分析方法	方法检出限
As	AFS	0.5	CaO	XRF	0.05
Cd	ICP-MS	0.01	MgO	XRF	0.05
Cr	XRF	5	Na ₂ O	XRF	0.10
Cu	XRF	1	S	XRF	15
Hg	AFS	0.0005	TFe ₂ O ₃	XRF	0.05
Ni	XRF	2	Mn	XRF	10
Pb	XRF	2	B	ES	1
Zn	XRF	4	Mo	ES	0.3
N	凯氏瓶vol	20	F	ISE	100
P	XRF	10	I	ICP-MS	0.5
K ₂ O	XRF	0.05	Se	AFS	0.01
Org.C	vol	0.1	pH	ISE	0.1

注:氧化物及Org.C单位为10⁻²,pH为无量纲单位,其余元素的单位均为10⁻⁶。

表2 土壤环境质量分类、分级标准及适用范围

Table 2 Classification and gradation standard as well as application scope of soil environmental quality

类别	土壤环境质量分类		标准分级		各级土壤环境质量执行的级别
	适用范围	级别	含义		
I类	主要适用于国家规定的自然保护区(原有背景重金属含量高的除外),集中生活饮用水源地、茶园、牧场和其他保护地区的土壤,土壤质量基本保持自然背景水平	一级	为保护区域自然生态,维持自然背景的土壤质量的限制值		I类土壤环境质量执行一级标准
II类	主要适用于一般农田、蔬菜地、菜园、果园、牧场等土壤,土壤质量基本上对植物和环境不造成危害和污染	二级	为保障农业生产,维护人体健康的土壤限制值		II类土壤环境质量执行二级标准
III类	主要适用于林地土壤即污染物容量较大的高背景值土壤和矿产附近等地的农田土壤(蔬菜地除外)。土壤质量基本上对植物和环境不造成危害和污染	三级	保障农林生产和植物正常生长的土壤临界值		III类土壤环境质量执行三级标准

$$Z_i = 2 + (X_i - C_{IIb}) / (C_{III} - C_{IIb}) \quad (C_{IIb} < X_i \leq C_{III}, 6.5 \leq pH \leq 7.5)$$

$$Z_i = 2 + (X_i - C_{IIc}) / (C_{III} - C_{IIc}) \quad (C_{IIc} < X_i \leq C_{III}, pH > 7.5)$$

$$Z_i = 3 + (X_i - C_{III}) / C_{III} \quad (\text{当 } X_i > C_{III} \text{ 时})$$

式中, Z_i 为土壤环境质量指数; X_i 为实测数据; C_I 为土壤一级标准临界值上限; C_{IIa} 为土壤 $pH < 6.5$ 时二级标准临界值上限; C_{IIb} 为土壤 $6.5 \leq pH \leq 7.5$ 时二级标准临界值上限; C_{IIc} 为土壤 $pH > 7.5$ 时二级标准临界值上限; C_{III} 为土壤三级标准临界值上限。 $Z_i \leq 1$ 则表明土壤未受某一元素污染, 土壤清洁; $1 < Z_i \leq 2$ 则表明土壤中某一元素为高背景值, 土壤尚清洁; $2 < Z_i \leq 3$ 则表明土壤受某一元素污染; $Z_i > 3$ 则表明土壤受某一元素重度污染。

(2) 综合因子评价方法

由于土壤中任何一项重金属元素指标超标都有可能造成土壤污染, 对人、动植物和环境造成危害和污染, 因此在以上单因子指标评价基础上, 综合因子评价采用“一票否决”的方法进行, 也就是单因子指标均为清洁, 则综合评价认定为清洁; 单因子指标有一个为尚清洁, 而其他单因子指标即使均为清洁, 则综合评价认定为尚清洁; 单因子指标有一个为污染或重度污染, 而其他单因子指标即使为清洁或尚清洁, 则综合评价认定为污染, 因此, 某一点的综合污染指标可取此点的8个重金属单因子指标中的最大值, 即:

$$Z_{\text{综}} = Z_{i_{\text{max}}}$$

$Z_{\text{综}}$ 为综合评价因子, $Z_{i_{\text{max}}}$ 为8个重金属单因子指标中的最大值, $Z_{\text{综}} \leq 1$, 综合评价为清洁区, $1 < Z_{\text{综}} \leq 2$,

综合评价为尚清洁区, $Z_{\text{综}} > 2$, 综合评价为污染区。

3.2 土壤养分分级标准与方法

3.2.1 分级标准

本文土壤养分选择了18个养分元素指标, 分别是大量养分元素(氮、磷、钾、有机质)、中量养分元素(钙、镁、钠、硫)、微量养分元素(必须微量元素: 铁、锰、铜、锌、硼、钼、钴; 健康指标元素: 硒、氟、碘)。并将研究区土壤中养分元素含量划分为五级, 具体养分分级标准见表3。

3.2.2 分级方法

(1) 单因子分级方法

单因子养分分级方法与重金属污染单因子评价方法相似, 单因子养分分级指标是依据表3所列出土壤养分分级标准, 采用以下计算公式计算。

$$F_i = X_i / S_5 \quad (\text{当 } X_i \leq S_5 \text{ 时})$$

$$F_i = 1 + (X_i - S_5) / (S_4 - S_5) \quad (S_5 < X_i \leq S_4)$$

$$F_i = 2 + (X_i - S_4) / (S_3 - S_4) \quad (S_4 < X_i \leq S_3)$$

$$F_i = 3 + (X_i - S_3) / (S_2 - S_3) \quad (S_3 < X_i \leq S_2)$$

$$F_i = 4 + (X_i - S_2) / S_2 \quad (\text{当 } X_i > S_2 \text{ 时})$$

式中: F_i 为单因子养分分级指标; X_i 为分级指标的实测数据; S_5 为评价指标五级标准上限值, S_4 为评价指标四级标准上限值, 以此类推。当 $F_i \leq 1$ 时, 表明土壤中某一养分元素很缺乏; $1 < F_i \leq 2$ 表明土壤中某一养分元素缺乏; $2 < F_i \leq 3$ 表明土壤中某一养分元素适量; $3 < F_i \leq 4$ 表明土壤中某一养分元素丰富; $F_i > 4$ 表明土壤中某一养分元素很丰富。

(2) 综合因子分级方法

单因子分级方法仅对某一单一养分元素对土壤丰缺程度进行分级评价, 而在实际情况中, 单因

表3 土壤养分分级标准

Table 3 Classification standard of soil nutrients

指标	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
	很丰富	丰富	适量	缺乏	很缺乏
有机质/%	>4	3~4	2~3	1~2	≤1
N/%	>0.2000	0.1500~0.2000	0.1000~0.1500	0.0750~0.1000	≤0.0750
P/(mg/kg)	>2000	1500~2000	1000~1500	700~1000	4≤700
K ₂ O/%	>3.6	2.4~3.6	1.8~2.4	1.2~1.8	≤1.2
CaO/%	>7.32	4.23~7.32	1.30~4.23	0.50~1.30	≤0.50
MgO/%	>2.45	1.87~2.45	1.23~1.87	0.75~1.23	≤0.75
Na ₂ O/%	>2.37	1.99~2.37	1.50~1.99	0.66~1.50	≤0.66
S/(mg/kg)	>502	385.87~502	287.93~385.87	219.96~287.93	≤219.96
TFe ₂ O ₃ /%	>6.23	5.04~6.23	4.24~5.04	3.46~4.24	≤3.46
Mn/(mg/kg)	>967	711~967	540~711	342~540	≤342
Zn/(mg/kg)	>116	89.2~116	68~89.2	51~68	≤51
Cu/(mg/kg)	>36.6	27.3~36.6	20.7~27.3	14.9~20.7	≤14.9
B/(mg/kg)	>82.3	58.6~82.3	41~58.6	25.9~41	≤25.9
Mo/(mg/kg)	>5	2.3~5	1.1~2.3	0.7~1.1	≤0.7
Co/(mg/kg)	>20	15.4~20	11.6~15.4	8~11.6	≤8
F/(mg/kg)	>721	582~721	453~582	336~453	≤336
I/(mg/kg)	>9.02	4.01~9.02	2.2~4.01	1.22~2.2	≤1.22
Se/(mg/kg)	>3	0.45~3	0.175~0.45	0.125~0.175	≤0.125

注:N、P、K、有机质按照第二次土壤普查养分分级标准进行分级^[1];Se按照谭见安等对我国硒元素生态景观的界限值进行分级^[25];其他元素根据全国土壤背景值(A层)顺序统计量的25%、50%、75%和90%作为分级标准^[26]。

子分级评价难以表现土壤的整体养分丰缺水平,因此,为确定土壤养分丰缺的总体水平,需考虑多个因子分级评价方法,本文采用内梅罗综合指数法结合对大量养分、中量养分、微量养分赋权重的方式对研究区土壤养分丰缺总体水平进行评价。

内梅罗综合养分指数法是以单因子土壤养分指数(F_i)为基本值,求取综合养分质量指数(P_z)。计算方法如下:

$$P_z = \sqrt{\frac{F_{i_{\text{均值}}}^2 + F_{i_{\text{最大}}}^2}{2}}$$

式中: P_z 为综合养分指数; $F_{i_{\text{均值}}}$ 为某一点的各养分指标的平均值; $F_{i_{\text{最大}}}$ 为某一点的各养分指标中的最大值。

运用层次分析法,获得大量养分综合指数、中量养分综合指数、微量养分综合指数的权重分别为0.5、0.3、0.2。土壤综合养分分级指数(Z_z)计算公式如下:

$$Z_z = 0.5P_{\text{全}} + 0.3P_{\text{中}} + 0.2P_{\text{微}}$$

式中: Z_z 为土壤养分综合分级指数; $P_{\text{全}}$ 为大量养分综合指数; $P_{\text{中}}$ 为中量养分综合指数; $P_{\text{微}}$ 为微量养分综合指数。土壤养分综合分级:低养分区, $Z_z \leq 2$;

中等养分区, $2 < Z_z \leq 3$;高养分区, $Z_z > 3$ 。

3.3 土壤质量地球化学分等方案

基于MAPGIS空间分析模块平台,在土壤环境质量评价和土壤养分分级的基础上,将土壤环境质量综合评价因子和土壤养分综合分级指数叠加分析,即将土壤环境质量为清洁区、尚清洁区、污染区与土壤养分为足量养分(中等养分,高养分)区、不足量养分(低养分)区叠加,获得土地质量地球化学分等,并将研究区内的土地质量划分为六个等级(表4)。

表4 土地质量地球化学分等方案
Table 4 Geochemical gradation scheme of land quality

土壤环境	土壤养分	
	足量养分 (高、中等养分)区	不足量养分 (低养分)区
清洁区	一等(I)	二等(II)
尚清洁(高背景值)区	三等(III)	四等(IV)
污染区	五等(V)	六等(VI)

注:土壤环境划分:按照土壤环境质量评价结果,即清洁区、尚清洁区、污染区;土壤养分划分:因中等养分区和高养分区能满足作物生长需求,可将两者认定为足量养分区;低养分区不能满足作物生长需求,认定为不足量养分区。

4 评价结果分析

4.1 土壤重金属污染评价及结果评述

以土壤环境质量标准(GB15618—1995)为评价依据,按照以上单因子和“一票否决”的综合因子评价方法,结合表层土壤汞、镉、砷、铅、铜、锌、铬、镍8个重金属元素实测数据,并参考土壤pH值,计算出单因子和综合因子分级指标,在此基础上,对研究区内表层土壤进行评价,统计出表层土壤环境质量分级特征(表5)。

由单一元素评价结果(表5)可知,福建省寿宁县表层土壤8个重金属元素中,As、Cd、Pb三种指标有污染以上土壤分布,但所占比例很小,As元素污染和重度污染区分别仅占全区0.24%和0.01%,Cd元素污染区仅占全区4.76%,无重度污染土壤分布。Pb元素仅有0.10%的污染土壤分布,三种元素清洁和尚清洁均在95%以上。其他指标元素均为清洁和尚清洁,其中Cr、Ni元素清洁土壤达100%。由综合指数(表5)可知,清洁土壤占全区13.31%;尚清洁土壤占全区80.79%;污染和重度污染土壤分别仅占全区5.90%和0.01%,主要分布于大安乡东北、竹管垄乡以南和武曲乡以北,其他地区零星分布。以上分析表明福建省寿宁县绝大部分表层土壤基本未受到重金属污染,对植物和环境不会造成危害和污染,土壤环境总体质量水平良好,这与研究区主要以农业、旅游业为主的经济结构,基本无工业生产的实际情况相吻合。

4.2 土壤养分地球化学分级及结果评述

在本文中,土壤养分地球化学分级是将综合养分I~II级很丰富和丰富区划为高养分区,III级适量区划为中等养分区,高养分区和中等养分区基本能满足作物的正常生长需要。IV~V级缺乏和很缺乏区划为低养分区,低养分区土壤中的养分含量低,不能满足作物正常生长需要,需要人工治理,合理施肥,才能满足作物正常生长需要或提高作物产量。福建省寿宁县表层土壤养分地球化学分级参数统计结果见表6,其中大量养分各单因子指标及综合因子指标显示:缺乏和很缺乏区仅占全区的0.5%,表明其大量养分较为丰富;大量养分中,N、K含量较为丰富,有机质次之,P较缺乏,土壤P含量为缺乏和很缺乏区总面积超过全区的99%,推测这种普遍P缺乏的现象可能与地质背景有关;中量养分各单因子指标及综合指标显示:中量养分普遍较缺乏,CaO、MgO、Na₂O均在IV~V级缺乏之列,但由于它们均为宏量元素,在土壤中的绝对含量较高,加上植物对其利用量小,因此对植物的生长影响不大;微量养分各单项指标显示:Zn、Mo、F、I、Se相对丰富,Mn次之,TFe₂O₃、Cu、B、Co相对缺乏。其中富Se和富Zn区分别是全区的10.46%和28.26%,且主要分布于农田和茶园区,为本区发展富Se和富Zn特色农产品提供了得天独厚的自然资源。从微量元素的综合指标来分析(表6),丰富和很丰富区占全区的23.35%,适量区占全区的68.52%,缺乏区占全区的8.26%,表现出微量元素总

表5 福建省寿宁县表层土壤重金属元素指标污染分级参数
Table 5 Classification parameters of heavy metal element index pollutions at topsoil in Shouning County, Fujian Province

元素	I类土壤(清洁)		II类土壤(尚清洁)		III类土壤(污染)		超III类土壤(重度污染)	
	面积/km ²	占全区比例/%	面积/km ²	占全区比例/%	面积/km ²	占全区比例/%	面积/km ²	占全区比例/%
As	1390.61	96.97	39.75	2.77	3.49	0.24	0.15	0.01
Cd	1030.66	71.87	335.11	23.37	68.23	4.76	0.00	0.00
Cr	1434.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu	1430.42	99.75	3.50	0.24	0.08	0.01	0.00	0.00
Hg	1423.57	99.27	10.43	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	1434.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	226.64	15.80	1205.96	84.10	1.40	0.10	0.00	0.00
Zn	1181.56	82.40	252.45	17.60	0.00	0.00	0.00	0.00
综合指数	190.80	13.31	1158.48	80.79	84.58	5.90	0.15	0.01

表6 福建省寿宁县表层土壤养分分级参数

类别	指标	I级 (很丰富)		II级 (丰富)		III级 (适量)		IV级 (缺乏)		V级 (很缺乏)	
		面积 /km ²	占全区比例/%	面积 /km ²	占全区比例/%	面积 /km ²	占全区比例/%	面积 /km ²	占全区比例/%	面积 /km ²	占全区比例/%
大量	N/%	111.13	7.76	141.55	9.88	818.58	57.16	261.06	18.23	101.67	7.10
	P/(mg/kg)	0.00	0.00	0.00	0.00	10.90	0.76	170.36	11.90	1252.73	87.48
	K ₂ O/%	88.93	6.21	1107.81	77.36	231.52	16.17	5.74	0.40	0.00	0.00
	有机质/%	161.44	11.27	322.35	22.51	638.12	44.56	308.51	21.54	3.41	0.24
P _全 (大量养分综合)		13.22	0.92	630.50	44.03	787.97	55.03	2.19	0.15	0.00	0.00
中量	CaO/%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	0.26	1430.29	99.88
	MgO/%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.04	1433.40	100.10
	Na ₂ O/%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.54	2.62	1396.45	97.52
	S/(mg/kg)	0.04	0.00	39.08	2.73	216.90	15.15	579.77	40.49	598.22	41.78
P _中 (中量养分综合)		0.00	0.00	0.23	0.02	98.28	6.86	506.69	35.38	828.80	57.88
微量	TFe ₂ O ₃ %	0.00	0.00	2.00	0.14	14.41	1.01	178.12	12.44	1239.48	86.56
	Mn/(mg/kg)	12.43	0.87	91.44	6.39	289.49	20.22	758.83	52.99	281.81	19.68
	Zn/(mg/kg)	65.58	4.58	339.42	23.70	576.56	40.26	416.74	29.10	35.72	2.49
	Cu/(mg/kg)	1.51	0.11	2.02	0.14	8.50	0.59	68.77	4.80	1353.19	94.50
	B/(mg/kg)	0.00	0.00	0.48	0.03	2.33	0.16	5.70	0.40	1425.48	99.54
	Mo/(mg/kg)	33.13	2.31	241.76	16.88	630.55	44.03	367.81	25.69	160.74	11.23
	Co/(mg/kg)	0.00	0.00	0.00	0.00	7.87	0.55	48.24	3.37	1377.88	96.22
	F/(mg/kg)	7.80	0.54	211.84	14.79	375.23	26.20	561.23	39.19	277.90	19.41
	I/(mg/kg)	52.94	3.70	448.30	31.31	531.88	37.14	374.14	26.13	26.74	1.87
	Se/(mg/kg)	0.00	0.00	149.74	10.46	1235.25	86.26	49.01	3.42	0.00	0.00
P _微 (微量养分综合)		4.93	0.34	329.53	23.01	981.26	68.52	118.29	8.26	0.00	0.00
Z _综 (综合养分分级)		0.00	0.00	132.80	9.27	1047.30	73.14	253.90	17.73	0.00	0.00

注:由于多目标地球化学调查测试指标限值,缺乏K₂O、P有效态指标,两者为全量指标,在此计算结果仅作参考。

体水平较为丰富。综合养分分级指标显示,丰富区占全区的6.82%,适量区占全区的69.31%,缺乏区占全区的24.01%,表现出福建省寿宁县表层土壤养分总体水平较好,基本满足植物的正常生长需要,但由于植物对大量元素的需求量很大,P的缺乏,成为当地农业发展的限制因素,因此,需对本区农作物合理施肥,诸如磷肥、有机复合肥、种植绿肥等措施,才能保证农作物增产增收。

4.3 土地质量地球化学分等及结果评述

以土壤重金属污染评价和土壤养分地球化学分级为基础,将两者叠加分析,按照土地质量地球化学分等方案,统计出研究区内六级土地质量分等参数(表7)。一等、二等、三等、四等土地重金属含量较低,前两者基本保持自然背景水平,土壤环境质量水平良好。后两者土壤重金属含量较低,对植物和环境不会造成危害和污染,土壤环境质量水平较好。一等、三等土壤区养分含量高,基本能满足

植物正常生长需要,二等、四等土壤区虽然养分含量较低,但只要合理的施肥,给予养分补充,就能满足植物的正常生长需要甚至增收。因此,一等、二等土地适宜于发展无公害农产品,应加强保护,合理利用。三等、四等土地可满足发展一般性的农业

表7 福建省寿宁县土地质量地球化学分等参数
Table 7 Parameters of land quality geochemical gradation in Shouning County, Fujian Province

土壤等级	面积/km ²	比例/%	重金属含量	养分含量
一等 (I)	117.61	8.20	低	足量
二等 (II)	70.72	4.93	低	不足量
三等 (III)	887.93	61.92	较低	足量
四等 (IV)	270.72	18.88	较低	不足量
五等 (V)	84.60	5.90	高	足量
六等 (VI)	2.41	0.17	高	不足量
合计	1434.00	100.00		

生产。五等、六等土地重金属含量较高,不同的是五等土地养分含量较高,六等土地养分含量较低,但由于两者重金含量较高的缘故,均可能会对人类、动植物和环境造成危害和污染,因此均不宜发展可食性的农业生产。

分析表7和图1可以看出,福建省寿宁县以三等、四等土地为主,其中三等土地面积为887.93 km²,占全区的61.92%,分布均匀,范围较广,覆盖研究区大部分面积,表现出其很大一部分土地质量较好。其中三等、四等土地覆盖区内出现大面积的富

硒土壤,诸如寿宁县的以北、东和东南、清源乡东南等,为本区发展富硒特色农产品业提供了绝佳的自然条件。一等、二等土地两者面积之和达188.33 km²,占全区的13.13%,主要分布于斜滩镇西南、芹洋乡周边、寿宁县西北,其他有零星分布,所覆盖区主要为茶园,水田、果园次之。为本区发展无公害农产品提供了结净的土地资源。五等、六等土地面积较小,两者仅占全区的6.07%,主要分布于大安乡东北方向的林场,其次为竹管垄乡以南和武曲镇以北。虽然其主要分布于森林覆盖区,但其海拔较

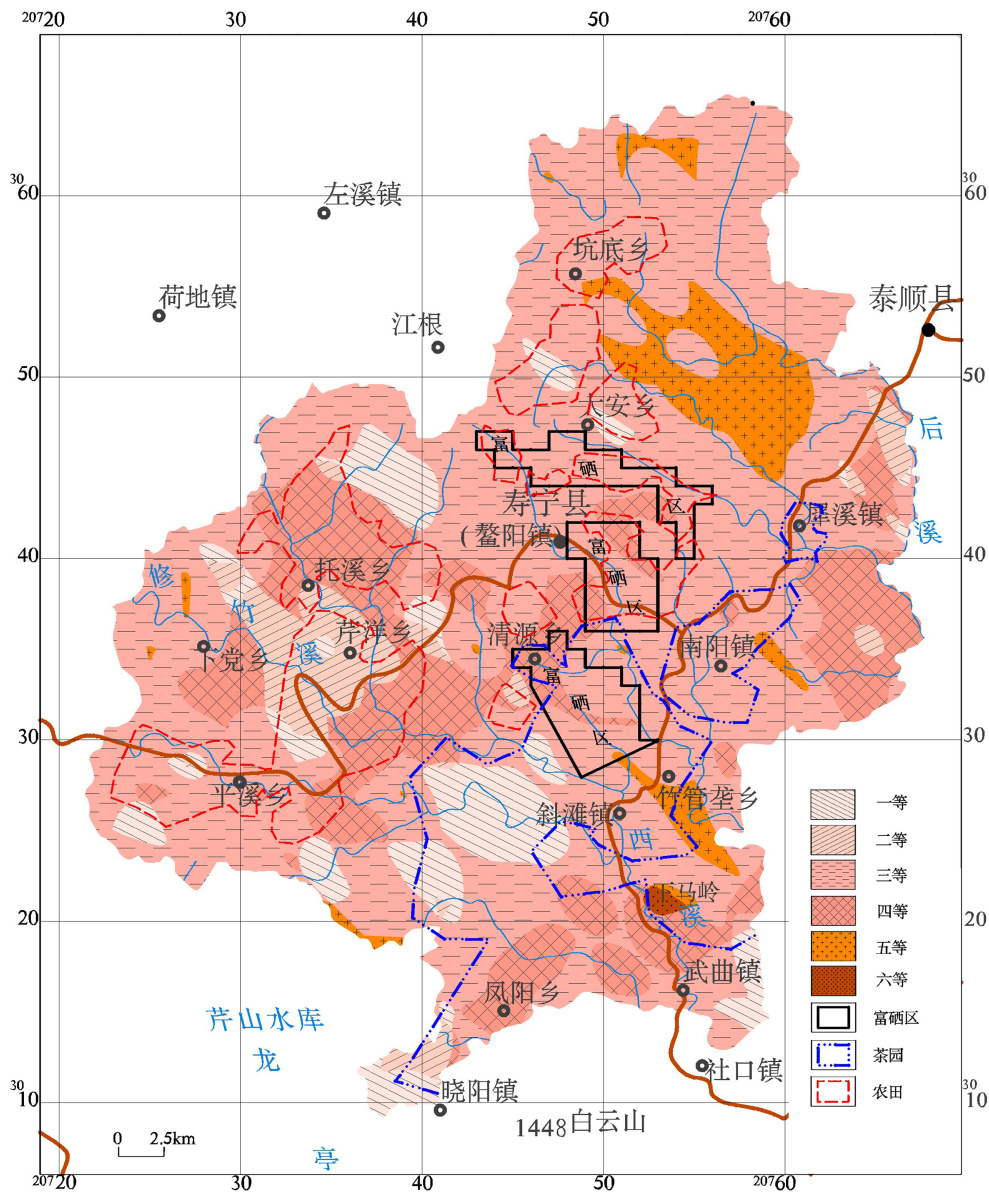


图1 福建省寿宁县土地质量等级分布图

Fig.1 Distribution of quality levels of land in Shouning County, Fujian Province

高,为防止其可能随水系迁移转化,影响其下游的农业生产,应加强土地管理及防护林工程建设,切断污染元素向下游迁移途径,保护耕地资源。

5 结 论

(1)重金属元素单一指标结果显示,仅有As、Cd、Pb三种指标有很小面积的污染和重度污染土壤分布,三者均小于全区面积的5%,其他重金属元素无污染和重度污染土壤分布,均为清洁或尚清洁。综合指标结果显示,有1349.28 km²的土壤为清洁或尚清洁,占全区的94.1%,有84.73 km²污染和重度污染土壤,仅占全区的5.9%。以上分析表明福建寿宁地区表层土壤具较好的土壤环境质量水平。

(2)土壤养分地球化学分级结果显示,研究区内,大量养分具有较为丰富的N、K含量,有机质次之,P较缺乏。中量元素普遍较为缺乏。微量元素Zn、Mo、F、I、Se相对丰富,Mn次之,TFe₂O₃、Cu、B、Co相对缺乏。综合养分分级指标显示,丰富区占全区的6.82%,适量区占全区的69.31%,缺乏区占全区的24.01%,表明其总体土壤养分水平适量。另外,富硒土壤是本区发展特色农业的优势资源,缺P是本区农业生产发展的一个障碍因素。因此,合理施肥,加强农业种植管理,充分利用富硒特色资源,有利于当地农民增产增收和特色农业的发展。

(3)土地质量地球化学分等结果显示,福建省寿宁县以三等、四等土地为主,两者总面积为1158.65 km²,占全区的80.80%,一等、二等土地两者面积之和达188.33 km²,占全区的13.13%,一等、二等、三等、四等土地总面积占全区的94.1%,表现出优良的土地质量水平。一等、二等土地重金属含量保持在背景值含量水平,适宜于发展绿色、无公害农产品。三等、四等土地地区内分布着占全区10.46%富硒土壤资源,且主要分布于茶园、农田区域,为发展富硒特色农产品业提供了天然资源。五等、六等土地面积较小,虽主要分布于森林覆盖区,但仍需加强管理,应设法阻断迁移途径,防止重金属元素随水系迁移下游,造成其下游农耕地污染,保证农业生产安全。

(4)在评估土壤环境质量总体水平上,提出了采用8个重金属元素指标的最大值作为综合指标,采取“一票否决”的方法评估土壤环境质量总体水平,更

能真切地反映土壤环境质量状况,方法切实有效。

(5)参照相关标准,综合分析土壤重金属元素和养分元素的单一指标和综合指标,并将两者评价结果叠加分析,对福建省寿宁县土地质量进行综合评估,显示当地土地质量总体优良,这一评估结果与当地以农业、旅游业为主的实际情况吻合,从另一侧面证实本评估方法实用可靠。

致谢: 论文撰写过程中,承蒙林才浩高工(教授级)精心指导,得到了陈伯扬高工、杨军华高工、陈华英高工、魏为兴高工的热情帮助,文章在审阅过程中,审阅专家及编辑部李亚萍老师提出了诸多的宝贵意见,在此一并表示感谢!

参考文献(References):

- [1] 福建省土壤普查办公室编著. 福建土壤[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1991: 3-10, 217-252.
Fujian Soil Reconnaissance Office. Fujian Soil[M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 1991: 3-10, 217-252(in Chinese).
- [2] Deborah P D, Martin J, William E, et al. Soil quality standards and guidelines for forest sustainability in northwestern North America[J]. Forest Ecology and Management. 2000, 138: 445-462.
- [3] Schloter M, Dilly O, Munch J C. Indicators for evaluating soil quality[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003, 98: 255-262.
- [4] Laura Poggio, Borut Vrscaj, Erwin Hepperle, et al. Introducing a method of human health risk evaluation for planning and soil quality management of heavy metal-polluted soils—An example from Grugliasco(Italy) [J]. Landscape and Urban Planning, 2008, 88: 64-72.
- [5] 朱立新, 马生明, 王之峰, 等. 平原区多目标地球化学调查异常查证及生态效应评价方法[J]. 中国地质, 2004, 31(4): 431-435.
Zhu Lixin, Ma Shengming, Wang Zhifeng, et al. The method for anomaly inspection and ecological appraisal in multi-purpose geochemical survey in plain areas[J]. Geology in China, 2004, 31 (4): 431-435(in Chinese with English abstract).
- [6] 高太忠, 李景印. 土壤重金属污染研究与治理现状[J]. 土壤与环境, 1999, 8(2): 137-140.
Gao Taizhong, Li Jingyin. Study on the heavy metal—Contaminated soil and status of the treatment[J]. Soil and Environmental Science, 1999, 8(2): 137-140(in Chinese with English abstract).
- [7] 黄勇, 杨忠芳. 土壤质量评价国外研究进展[J]. 地质通报, 2009, 28(1): 130-136.
Huang Yong, Yang Zhongfang. Recent research progress of overseas soil quality evaluation[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(1): 130-136(in Chinese with English abstract).

- [8] Karlen D L, Ditzler C A, Andrews S S. Soil quality: Why and how? [J]. *Geoderma*, 2003, 114: 145-156.
- [9] Sojka R E, Upchurch D R. Reservations regarding the soil quality concept[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63(5): 1039-1054.
- [10] 奚小环. 生态地球化学与生态地球化学评价[J]. *物探与化探*, 2004, 28(1): 10-15.
Xi Xiaohuan. Eco-geochemical research and Eco-geochemical evaluation[J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2004, 28(1): 10-15(in Chinese with English abstract).
- [11] 周国华, 田黔宁, 孙彬彬, 等. 生态地球化学预测预警若干问题探讨[J]. *地质通报*, 2009, 28(1): 118-123.
Zhou Guohua, Tian Qianning, Sun Binbin, et al. Discussion on ecologic geochemical early-warning and forecasting[J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(1): 118-123(in Chinese with English abstract).
- [12] 奚小环, 李敏. 中国区域化探若干基本问题研究: 1999—2009[J]. *中国地质*, 2012, 39(2): 267-282.
Xi Xiaohuan, Li min. Regional geochemical exploration in China: from 1999 to 2009[J]. *Geology in China*, 2012, 39(2): 267-282(in Chinese with English abstract).
- [13] 陈国光, 梁晓红, 周国华, 等. 土壤元素污染等级划分方法及其应用[J]. *中国地质*, 2011, 38(6): 1631-1639.
Chen Guoguang, Liang Xiaohong, Zhou Guohua, et al. Grade division method for soil geochemical contamination and its application[J]. *Geology in China*, 2011, 38(6): 1631-1639(in Chinese with English abstract).
- [14] 杨军华. 福建沿海地区农业土壤全量养分丰缺评价[J]. *第四纪研究*, 2005, 25(3): 340-346.
Yang Junhua. Assessment of nutritive elements in agricultural soils along coastal regions in Fujian Province[J]. *Quaternary Sciences*, 2005, 25(3): 340-346(in Chinese with English abstract).
- [15] 国家环境保护局. GB 15618—1995 中国土壤环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
China National Environmental Protection Agent. GB 15618-1995 Environmental Quality Standard for Soil[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 1995(in Chinese).
- [16] 林才浩, 许美辉, 杨军华. 福建沿海经济带生态地球化学调查与评价[J]. *地质通报*, 2007, 26(5): 605-612.
Lin Caihao, Xu Meihui, Yang Junhua. Eco-geochemical investigations and assessments of the coastal zone of Fujian Province, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(5): 605-612(in Chinese with English abstract).
- [17] 刘应平, 陈文德, 许伟, 等. 成都经济区土壤质量地球化学评估[J]. *现代地质*, 2012, 26(5): 865-872.
Liu Yingping, Chen Wende, Xu Wei, et al. Soil quality geochemical evaluation of Chengdu economic area[J]. *Geoscience*, 2012, 26(5): 865-872(in Chinese with English abstract).
- [18] 奚小环. 土壤污染地球化学标准及等级划分问题讨论[J]. *物探与化探*, 2006, 30(6): 471-474.
Xi Xiaohuan. A discussion on the geochemical standard and grade division of soil pollution[J]. *Geophysical & Geochemical exploration*, 2006, 30(6): 471-474(in Chinese with English abstract).
- [19] 黄敬军, 甘义群, 缪世贤, 等. 江苏省地质环境区划评价指标体系初步研究[J]. *中国地质*, 2011, 38(6): 1599-1606.
Huang Jingjun, Gan Yiqun, Miao Shixian, et al. A preliminary study of the evaluation index system for geo-environment regionalization in Jiangsu[J]. *Geology in China*, 2011, 38(6): 1599-1606(in Chinese with English abstract).
- [20] 夏家洪, 骆永明. 我国土壤环境质量研究几个值得探讨的问题[J]. *生态与农村环境学报*, 2007, 23(1): 1-6.
Xia Jiaqi, Luo Yongming. Several key issues in research of soil environmental quality in China[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2007, 23(1): 1-6(in Chinese with English abstract).
- [21] 李随民, 栾文楼, 魏明辉, 等. 河北省唐—秦地区表层土壤地球化学质量评价[J]. *中国地质*, 2009, 36(4): 932-939.
Li Suimin, Luan Wenlou, Wei Minghui, et al. The evaluation of the present situation of the heavy metal pollution in the top soil of Qinghangdao—Tangshan area, Hebei Province[J]. *Geology in China*, 2009, 36(4): 932-939(in Chinese with English abstract).
- [22] 张从. 环境评价教程[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 137-149.
Zhang Cong. Environmental Assessment Tutorial[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 137-149(in Chinese).
- [23] 崔邢涛, 栾文楼, 牛彦斌, 等. 唐山城市土壤重金属污染及潜在生态危害评价[J]. *中国地质*, 2011, 38(5): 1379-1386.
Cui Xingtiao, Luan Wenlou, Niu Yanbin, et al. An assessment of the heavy metal pollution and potential ecological hazards in urban soil of Tangshan City[J]. *Geology in China*, 2011, 38(5): 1379-1386(in Chinese with English abstract).
- [24] 郭海全, 杨志宏, 李宏亮, 等. 河北平原表层土壤重金属环境质量及污染评价[J]. *中国地质*, 2011, 38(1): 218-225.
Guo Haiquan, Yang Zhihong, Li Hongliang, et al. Environmental quality and anthropogenic pollution assessment of heavy metals in topsoil of Hebei plain[J]. *Geology in China*, 2011, 38(1): 218-225(in Chinese with English abstract).
- [25] 谭见安. 环境生命元素与克山病—生态化学地理研究[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1996: 1-265.
Tan Jianan. Environmental Life Elements and Keshan Disease—A Study on Ecological Chemicogeography[M]. Beijing: China Medical Science Press, 1996: 1-265(in Chinese).
- [26] 国家环境保护局. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 87-90.
China National Environmental Protection Agent. Chinese Soil Element Background Value[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990: 87-90(in Chinese).

1 : 250000 land quality geochemical assessment of Shouning County, Fujian Province

WANG Wen-jun

(Fujian Institute of Geological Survey and Research, Fuzhou 350013, Fujian, China)

Abstract: In this paper, the topsoil environmental quality and nutrient quality were evaluated by the calculation techniques of single factor index and integrated factors on the basis of topsoil heavy metal elements and nutrient elements data with high accuracy provided by the multi-purpose geochemistry survey in Shouning County of Fujian Province in the light of the environmental quality standard for soils (GB15618—1995) and relative industrial standard. On such a basis, the lands were graded according to the geochemical quality. Some conclusions have been reached: the land quality is comparatively good on the whole, i.e., the land mainly belongs to the third and fourth grade, which accounts for 80.80% of the whole area, with the soil being comparatively clean; Se-enriched soil is distributed in the soil of the third and fourth grade, accounting for 10.46% of the survey area, and it is suitable for the development of general agriculture and selenium-enriched agriculture. The next is land of the first and second grade quality, accounting for 13.13% of the survey area, and such land is suitable for development of green or pollution-free agricultural products, and should be protected and utilized reasonably. The area of land of fifth and sixth grade quality is rather insignificant, only accounting for 6.07% of the survey area.

Key words: land quality; geochemistry; assessment; Shouning County of Fujian Province

About the author: WANG Wen-jun, male, born in 1982, master, engineer, mainly engages in multi-purpose regional geochemical survey; E-mail: junww2006@sina.com.