

中国农田重金属污染趋势性预测和预报系统

侯彦林

(农业部环境保护科研监测所, 天津 300191)

摘要:中国农田重金属污染趋势性预测和预报系统建立的理论:预测是建立在不同时段的、农田重金属污染数据基础之上的、对未来时段农田重金属的估计,预报是针对突发事件对农田重金属短时间影响的推测。系统建立的方法是:根据重金属在土壤中持续积累的特点,将持续积累模型转化为时间模型,避开根据重金属来源进行预测和预报的困难;以土壤背景值为重要参数,分别建立只有1个时段、2个时段和3个时段监测数据的预测方法,每次可取不同时间段的监测数据之差或求算与背景值之差作为污染速率;在有4个时段以上监测数据的情况下,采用时间步长为3~5 a的简单移动平均数法再建立回归模型;具体预测和预报时,在区域内按需要可以建立点污染和污染等级预测和预报模型;在建立预测和预报模型前,首先需要建立农田重金属污染历史数据集。应用结果表明:所提出的理论和方法是通用的,经过验证是可行的。

关键词:预测;预报;农田重金属污染;趋势性;系统;中国

中图分类号:X53 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)08-1498-07

The Tendency Prediction and Forecast System for Farmland Heavy Metal Pollution in China

HOU Yan-lin

(Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China)

Abstract: The system of tendency prediction and forecast for farmland heavy metal pollution: Prediction is the estimation of farmland heavy metal in a period of time in future and it is based on different period, mass of farmland pollution datas while forecast is prediction of effect on farmland soil by emergency events in a short time. The system established method: Translate constantly accumulate model into time model according to the character of heavy metal constantly accumulate in soil and it avoids the difficulty of prediction and forecast according to the source of pollutants; establish prediction method of monitoring data in only one time section, two time sections and three time sections separately under the condition that soil background value is the main index. Each time the difference of monitoring data in different time sections or the difference between monitoring data with background data could be selected as pollution rate; for more than four time sections monitoring datas, moving average method by taking three to five years as step length could be used to establish regression model; prediction and forecast model of point pollution and pollution level could be established in area when concrete prediction and forecast be made; before making prediction and forecast models, farmland pollution history dataset must be established first. The application consequence shows: The theory and method are universal and viable.

Keywords: prediction; forecast; farmland heavy metal pollution; tendency; system; China

1 农田重金属污染预测和预报系统建立的必要性

前文对中国农田重金属污染预警系统进行了系统研究^[1],本文在此基础上,提出了建立农田重金属污

染趋势性预测和预报系统的理论和方法。因为只停留在对农田重金属污染预警阶段,并不能达到对具体污染区域防治的指导作用,所以预测是预警的高级阶段,而预报是预测的应急方法。预测一般以年为步长,预报一般以天为步长。

农田重金属污染预测和预报的定义是:预测是建立在不同时段的、农田重金属污染数据基础之上的、对未来时段农田重金属的估计,预报是针对突发事件对农田重金属短时间影响的推测^[1-3]。两者均不包括根

收稿日期:2011-09-30

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2012-ZL-006、2011-WN-8)

作者简介:侯彦林(1959—),男,吉林公主岭人,博士,研究员,主要研究方向为生态平衡施肥、粮食产量预测、面源污染预测、数据挖掘和农业信息技术研究。E-mail: ylhoul@263.net

据GIS技术、数学分析方法和遥感技术等对同一时段土壤污染数据进行空间分析和预测的内容;如果仅根据单时段数据进行的预测和预报,也不在农田重金属污染预测和预报定义的范畴内^[4-6]。农田重金属污染预测和预报系统建立在农田重金属点污染和不同污染等级的预测和预报模型基础上,并以污染样本占总样本百分数作为农田重金属污染评价的主要指标。

2 农田重金属污染预测和预报流程

在前文预警研究基础上^[1],参照众多文献研究结果^[7-17],制定具体区域预测和预报流程如下:(1)确定要预测和预报区域的预测对象,一般从8种重金属中确定;(2)对该区域当前农田重金属含量进行抽样测定或收集数据,并研究其空间格局特征及其与地貌、土壤属性之关系,按不同地貌单元或土壤类型或污染等级分别统计;(3)把该区域该重金属的来源和去向列出清单和可能的数量,分析之趋势;(4)确定背景值或参考值;(5)建立预测和预报模型,求解参数;(6)参考污染趋势,进行预测和预报;(7)用实际数据验证预测和预报的精度,不断完善模型;(8)编制相应的软件或GIS支撑下的软件。

3 农田重金属污染预测和预报系统建立的理论模型^[18-20]

现设 W_i 为先前某时段土壤某重金属含量; W_{in} 为一段时间内该重金属的输入量; W_j 为之后某时段土壤该重金属的含量; W_{out} 为一段时间内该重金属的输出量(包括作物吸收并带走的量)。根据质量守恒定律获得式(1)和(2):

$$W_i + W_{in} = W_j + W_{out} \quad (1)$$

$$W_j - W_i = W_{in} - W_{out} \quad (2)$$

一般地,受重金属污染的土壤只要污染源还在,则 $W_{in} > W_{out}$,重金属一旦进入土壤,总是积累的,所以 $W_j > W_i$ 。变换式(2),得到农田重金属点污染平衡式(3):

$$W_j = W_i + (W_{in} - W_{out}) \quad (3)$$

式(3)中, $W_i + (W_{in} - W_{out})$ 难以获得大量点的重金属来源与去向的定量数据,因此实际上无法求解模型参数。一般地, W_i 可以取以前的土壤背景值或上次监测的结果,对于一个确定的区域或土壤类型, W_i 是一个确定的数值或范围,而在受到重金属污染的土壤上一般总是有 $W_{in} > W_{out}$, $(W_{in} - W_{out})$ 是时间的函数。因此, W_j 是一个随时间而逐渐增加的变量。据此,将式(3)农田重金属污染物质积累模型转化为式(4),它是农

田重金属含量随时间的递增函数,即:

$$Y = f(t) = a + bT + cT^2 \approx a + bT \quad (4)$$

式(4)中, Y 是 W_j , a 是 W_i (可以是背景值或上次监测的结果), T 为从 a 时段开始的时间,单位是年或天。现在的问题是如何求解 $Y = a + bT + cT^2$ 中的 a 、 b 和 c 。 $Y = a + bT + cT^2$ 是描述重金属随时间而积累的典型函数表达式,而 $Y = a + bT$ 是其简化式。一般地,我们使用直线模型作为主要预测模型之一,另外一个预测模型为简单移动平均数法的回归方程,将在后文介绍。

4 农田重金属污染预测和预报系统建立的方法

4.1 在只有1个时段数据情况下

4.1.1 农田重金属点污染模型

以农田某一个点为例,可以采样测定 Y , a 可取该点以前的监测值或区域背景值(在没有背景值的情况下可取现在深层土壤的测定数据作为参考背景值), T 按实际年限计算,如假设1980年时农田土壤几乎不存在重金属污染,样本再次测定是2010年,则 $T_1 = 30$ 年。由 $Y_1 = a + 30 \times b_1$ 得,

$$b_1 = (Y_1 - a) / T_1 = (Y_1 - a) / 30 \quad (5)$$

则,农田重金属点污染模型为:

$$Y = a + [(Y_1 - a) / T_1] \times T \quad (6)$$

根据表1中的数据,取1994年和2001年Pb的监测数据,则:

$$b_1 = (262.00 - 167.50) / 7 = 13.50 (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{a}^{-1})$$

预测的2002年Pb的含量为:

$$Y = 167.50 + 13.50 \times 8 = 275.50 (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$$

2002年Pb的实际含量为295.00($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),预测误差为-6.61%。

4.1.2 农田重金属污染等级模型

农田重金属监测时一般是多点监测,根据式(6),可以建立不同农田重金属污染等级的预测和预报模型,并求解出相应的污染速率参数 b 。

$$Y = a + [(Y_1 - a) / T_1] \times T = a + [(\Sigma Y_i / n - a) / T_1] \times T \quad (7)$$

式(7)中, $\Sigma Y_i / n$ 是某重金属的某污染等级的 n 个样本的平均重金属含量。

同理按式(7),也可以按不同土壤类型分别建立不同重金属污染等级的预测和预报模型;也可以按地貌单元、土壤质地和其他任何有意义的指标进行分类后再建立模型。

4.2 有2个或3个时段数据情况下

4.2.1 农田重金属点污染模型

按式(6)可以分别获得污染速率 b ,每次预测时

可取不同时段的数据计算污染速率。由表 1 可知,Pb 的含量:1994 年、1995 年、1996 年、1997 年分别为 167.50、220.00、234.90、224.80 mg·kg⁻¹。计算得:

$$b(2-1)=(220.00-167.50)/1=52.50(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}),$$

预测 1996 年 Pb 的含量为:

$$Y=167.50+52.50\times 2=272.50(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$$

1996 年 Pb 的实际含量为 234.90(mg·kg⁻¹),预测误差为 16.00%。

$$b(3-1)=(234.90-167.50)/2=33.70(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}),$$

预测 1997 年 Pb 的含量为:

$$Y=167.50+33.70\times 3=268.60(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$$

1997 年 Pb 的实际含量为 224.80(mg·kg⁻¹),预测误差为 19.48%。

$$b(3-2)=(234.90-220.00)/1=14.90(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}),$$

预测 1997 年 Pb 的含量为:

$$Y=220.00+14.90\times 2=249.80(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$$

1997 年 Pb 的实际含量为 224.80(mg·kg⁻¹),预测误差为 11.12%。

虽然预测误差不稳定,但总趋势是正确的,如果监测时段数据足够多,采用后文利用移动平均值回归的方法预测,预测的误差将会减小。

4.2.2 农田重金属污染等级模型

农田重金属监测时一般是多点监测,根据式(6),可以建立不同农田重金属污染等级的预测和预报模型,并求解出相应的污染速率参数 *b*。

参照 4.1.2 可以得到有 2 个或 3 个时段数据的不同农田重金属污染等级的预测和预报模型为:

$$Y=a+[(Y_q-a)/T_q]\times T=a+[(\sum Y_q/n-a)T_q]\times T \quad (8)$$

式(8)中,Σ*Y_q*/*n* 是在 *q* 时段某重金属的某污染等级的 *n* 个样本的平均含量,*q* 为最近的时段。

同理按式(8),也可以按不同土壤类型分别建立不同重金属污染等级的预测和预报模型;也可以按地貌单元、土壤质地和其他任何有意义的指标进行分类后再建立模型。

4.3 在有 4 个以上时段数据情况下

4.3.1 农田重金属点污染模型(简单移动平均数法)

现假设农田某一个点有 4 个时段以上的某重金属含量的监测数据或平均监测数据,设为 *Y*₁、*Y*₂、*Y*₃、*Y*₄、*Y*₅、*Y*₆……,相应的测定时间按顺序为 *T*₁、*T*₂、*T*₃、*T*₄、*T*₅、*T*₆……,土壤背景值为 *a*,测定时间为 *T*₀。将数据列入表 2。如果每次测定的时间间隔不同,则可通过两次间隔时间的简单线性插值方法换算得到同样间隔时间段的重金属的含量,为建模准备好原始数据。分别计算步长为 3、4、5 时的移动平均值,列入表 2。

当步长为 3 时,将表中的 5 个移动平均值作为 *Y*,其对应的是 *T*₂~*T*₆,做直线或曲线回归,选择相关系数大的方程作为预测模型;如果把 *T*₆ 留下使用其余 4 个点建立回归,*T*₆ 的点可以进行预测的检验。当时段多时,同理可以建立步长为 4、5……的模型。当步长增大时,预测的趋势稳定,但是留做回归的样本少了,所以步长要适当;更为重要的是步长过大时,由于模型所预测的数值是平均移动值,用其作为农田重金属的真实含量的误差会增大。只有当步长合适时,才能用预测的平均移动值作为农田重金属含量的估算值。

4.3.2 农田点污染模型举例

引用农田重金属监测数据作为实例,见表 1,说明利用移动平均值建立回归模型的过程。

(1)Pb

按步长为 5 计算移动平均值,得到 5 组数据,即:1998、222.08;1999、247.94;2000、257.62;2001、263.04;

表 1 农田重金属监测数据实例(mg·kg⁻¹)^[2]
Table 1 Example of farmland heavy metal monitoring data(mg·kg⁻¹)^[2]

时间 Time	相对年 Relative year	Pb	步长=5 时 Pb 移动平均值 Step length=5 Pb moving average	Zn	步长=5 时 Zn 移动平均值 Step length=5 Zn moving average	Cd	步长=5 时 Cd 移动平均值 Step length=5 Cd moving average	As	步长=5 时 As 移动平均值 Step length=5 As moving average
1994	1	167.50		368.90		8.00		66.54	
1995	2	220.00		888.00		5.25		47.96	
1996	3	234.90		2 339.00		12.75		86.63	
1997	4	224.80		1 521.00		19.50		80.47	
1998	5	263.20	222.08	2 704.00	1 564.18	19.50	13.00	89.76	74.27
1999	6	296.80	247.94	1 267.00	1 743.80	13.25	14.05	207.40	102.44
2000	7	268.40	257.62	1 152.00	1 796.60	18.65	16.73	283.30	149.51
2001	8	262.00	263.04	1 936.00	1 716.00	21.43	18.47	276.90	187.57
2002	9	295.00	277.08	1 863.00	1 784.40	22.04	18.97	289.20	229.31

表 2 农田重金属监测数据

Table 2 Monitoring data of farmland heavy metal pollutant

监测时间 Monitoring time	监测含量 Monitoring content	步长=3 时移动平均值 Step length=3 moving average value	步长=4 时移动平均值 Step length=4 moving average value	步长=5 时移动平均值 Step length=5 moving average value
T_0	a			
T_1	Y_1			
T_2	Y_2	$(a+Y_1+Y_2)/3$		
T_3	Y_3	$(Y_1+Y_2+Y_3)/3$	$(a+Y_1+Y_2+Y_3)/4$	
T_4	Y_4	$(Y_2+Y_3+Y_4)/3$	$(Y_1+Y_2+Y_3+Y_4)/4$	$(a+Y_1+Y_2+Y_3+Y_4)/5$
T_5	Y_5	$(Y_3+Y_4+Y_5)/3$	$(Y_2+Y_3+Y_4+Y_5)/4$	$(Y_1+Y_2+Y_3+Y_4+Y_5)/5$
T_6	Y_6	$(Y_4+Y_5+Y_6)/3$	$(Y_3+Y_4+Y_5+Y_6)/4$	$(Y_2+Y_3+Y_4+Y_5+Y_6)/5$
.....				

2002、277.08。为简化计算方法,将 1994 到 2002 年分别定义为 1~9 年,下同。

取前 3 组数据作直线回归得: $Y=17.77T+135.9$ ($R^2=0.935, n=3$), 据此预测 2001 年($T=8$)的 Pb 含量为 $278.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2001 年 Pb 实际含量为 $262.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 预测误差为 6.13%。按多项式回归得: $Y=-8.09T^2+114.8T-149.9$ ($R^2=1, n=3$), 预测误差为 -4.30%。

取前 4 组数据作直线回归得: $Y=13.25T+161.50$ ($R^2=0.887, n=4$), 据此预测 2002 年($T=9$)的 Pb 含量为 $280.75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2002 年 Pb 实际含量为 $295.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 预测误差为 -4.83%。按多项式回归得: $Y=-5.11T^2+79.68T-48.00$ ($R^2=0.992, n=4$), 预测误差为 -13.49%。

取前 5 组 Pb 的数据的预测模型为: $Y=12.51T+165.90$ ($R^2=0.930, n=5$)。

(2)Zn

按步长为 5 计算移动平均值,得到 5 组数据,即:1998、1 564.18;1999、1 743.80;2000、1 796.60;2001、1 716.00;2002、1 784.40。

取前 3 组数据作直线回归得: $Y=116.20T+1 004.00$ ($R^2=0.909, n=3$), 据此预测 2001 年($T=8$)的 Zn 含量为 $1 933.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2001 年 Zn 实际含量为 $1 936.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 预测误差为 -0.12%。按多项式回归得: $Y=-63.41T^2+877.10T-1 236.00$ ($R^2=1, n=3$), 预测误差为 -11.02%。

取前 4 组数据做直线回归得: $Y=50.82T+1 374$ ($R^2=0.432, n=4$), 据此预测 2002 年($T=9$)的 Zn 含量为 $1 831.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2002 年 Zn 实际含量为 $1 863.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 预测误差为 -1.70%。按多项式回归得: $Y=-65.05T^2+896.5T-1292$ ($R^2=0.999, n=4$), 预测误差为 -19.08%。

取前 5 组 Zn 的数据的预测模型为: $Y=41.26T+1 432.00$ ($R^2=0.488, n=5$)。

(3)Cd

按步长为 5 计算移动平均值,得到 5 组数据,即:1998、13.00;1999、14.05;2000、16.73;2001、18.47;2002、18.97。

取前 3 组数据作直线回归得: $Y=1.865 0T+3.403 0$ ($R^2=0.940, n=3$), 据此预测 2001 年($T=8$)的 Cd 含量为 $18.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2001 年 Cd 实际含量为 $21.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 预测误差为 -14.50%。按多项式回归得: $Y=0.815T^2-7.915T+32.20$ ($R^2=1, n=3$), 预测误差为 -1.82%。

取前 4 组数据作直线回归得: $Y=1.907T+3.160$ ($R^2=0.975, n=4$), 据此预测 2002 年($T=9$)的 Cd 含量为 $20.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2002 年 Cd 实际含量为 $22.04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 预测误差为 -7.80%。按多项式回归得: $Y=0.171T^2-0.321T+10.19$ ($R^2=0.982, n=3$), 预测误差为 -4.03%。

取前 5 组 Cd 的数据的预测模型为: $Y=-0.144T^2+3.664T-2.019$ ($R^2=0.968, n=5$)。

(4)As

按步长为 5 计算移动平均值,得到 5 组数据,即:1998、74.27;1999、102.44;2000、149.51;2001、187.57;2002、229.31。

取前 3 组数据作直线回归得: $Y=37.62T-116.90$ ($R^2=0.979, n=3$), 据此预测 2001 年($T=8$)的 As 含量为 $184.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2001 年 As 实际含量为 $276.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 预测误差为 -33.53%。按多项式回归得: $Y=9.448T^2-75.75T+216.8$ ($R^2=1, n=3$), 预测误差为 -22.18%。

取前 4 组数据作直线回归得: $Y=38.69T-123.00$ ($R^2=0.991, n=4$), 据此预测 2002 年($T=9$)的 As 含量为 $225.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2002 年 As 实际含量为 $289.20 \text{ mg} \cdot$

kg^{-1} , 预测误差为-22.13%。按多项式回归得: $Y=2.470T^2+6.578T-21.77$ ($R^2=0.994, n=4$), 预测误差为-17.88%。

取前5组As的数据的预测模型为: $Y=1.295T^2+21.38T-67.14$ ($R^2=0.997, n=5$)。

4.3.3 模型的优选

虽然有时模型的相关系数不高,这是因为用于回归的样本少,当回归的样本多时,相关系数会明显增加,预测精度会有很大的提高;之所以选用直线或多项式回归,是因为重金属在土壤中的积累是逐渐增加的,虽然短时间内含量会有所波动,但是只要污染源存在,总趋势就是增加的。选用直线还是多项式回归要取决于前一次回归误差的比较,选择前一次误差小的作为下一次的预测模型,例如Zn、Cd、As;当两种模型预测误差相近时,尽量选择直线模型,例如Pb。当有4个以上时段数据时不再使用4.1和4.2的简单预测方法。

4.3.4 农田重金属污染等级模型

按4.3.1方法,可以建立不同农田重金属污染等级的预测和预报模型,并求解出相应的参数,也可以按不同土壤类型分别建立不同重金属污染等级的预测和预报模型;也可以按地貌单元、土壤质地和其他任何有意义的指标进行分类后再建立模型。

5 农田重金属污染历史数据集的建立方法

对于任何来源的历史数据,只要符合以下条件均可作为历史数据使用。

首先确定要收集数据的要素(设element从1到8分别代表8种重金属;为简化讨论,现只讨论重金属全量),现假设为 E_1 ,对 E_1 具有以下监测数据:

$S_1(\text{space}_1: \text{经度、纬度、高度或具体地点}): T_1$ 时间(年、月、日)观测值 $Y_1, \dots, T_m$ 时间(年、月、日)观测值 Y_m 。依此类推,得:

$$S_1: [T_{1,1}, Y_{1,1}; \dots; T_{1,m}, Y_{1,m}] \quad (9)$$

$$S_2: [T_{2,1}, Y_{2,1}; \dots; T_{2,m}, Y_{2,m}] \quad (10)$$

.....

$$S_n: [T_{n,1}, Y_{n,1}; \dots; T_{n,m}, Y_{n,m}] \quad (11)$$

式(11)中 $T_{n,m}$ 和 $Y_{n,m}$ 分别代表第 n 个地点 T_m 时间观测的 Y_m 值。

5.1 农田重金属点污染预测模型

由式(9)、(10)、(11)可以求出:

$$S_1: [\text{污染现状}; \text{污染方向}; \text{污染速率}; \text{污染等级}] \quad (12)$$

其中:

污染现状: $T_{1,m}, Y_{1,m}$;

污染方向: $(Y_{1,m} - Y_{1,m-1})$, 之差大于0为积累,等于0为平衡,小于0为自净;

污染速率: $(Y_{1,m} - Y_{1,m-1}) / (T_{1,m} - T_{1,m-1})$, 比值大于0为积累,等于0为平衡,小于0为自净;

预警等级: $Y_{1,m} / Y_{1,0}$ ($Y_{1,0}$ 为背景值), 根据比值可以判断污染等级。

S_n 的污染现状、污染方向、污染速率、污染等级求算方法同上。

5.2 农田重金属污染等级预测模型

按最近的重金属污染速率分类建立模型: 根据 $(Y_{1,m} - Y_{1,m-1}) / (T_{1,m} - T_{1,m-1})$ 将预测区的被重金属污染的农田土壤按最近不同污染速率进行分类,把同类的速率相近的样本集合在一起求出平均污染速率,来预测同类污染之趋势。

6 讨论

农田重金属污染预测属趋势预测,一是要预测污染方向,二是要预测污染速率。在重金属污染源存在的情况下,污染的方向总是积累的;污染速率是按监测数据求算的。预测和预报精度首先取决于监测数据的真实性和规律性,在数学方法上取决于监测数据的时段,监测数据时段越多,用于建模的样本就越多,预测和预报的规律性就越强。本文建立了两类预测预报方法:(1)以土壤背景值为重要参数,分别建立只有1个时段、2个时段和3个时段监测数据的预测方法,每次可取不同时间段的监测数据之差或求算与背景值之差作为污染速率;(2)对于有4个时段以上监测数据的情况下,采用3~5年时间步长的简单移动平均数法再建立回归模型预测预报。当步长不大时,可以用预测和预报的平均移动值作为实际观测值的估算值,当步长较大时,预测和预报上升趋势是稳定的,但预测和预报的平均移动值作为实际观测值的估算值误差较大,故合适的步长的预测误差较小。具体预测和预报时,在区域内按需要可以建立点污染和污染等级两类预测和预报方法。如果是使用模型进行预测,则要选择前一次误差小的模型类型作为下一阶段的预测模型类型,当模型预测误差相近时,尽量选择直线模型。本文例中的样本时段不多,故只能说是一种估算,真正的农田重金属污染预测应该建立在多时段、多点农田动态监测数据的基础上。

我们在简单预测时不使用加速期求算污染速率^[21],

因为不同地区的加速期和等速期的时段很难确定,同一时段不同地域的经济发展阶段不同,所以尽量不使用推测的方法求算参数,我们在简单预测时只使用公认的两点平均速率。同理,建立全国统一预测的方法必须简单,计算过程必须明了和通用,算法要基于真实数据,因为农田重金属污染预测是事关大局,不容许有丝毫的理论、方法和参数错误。

7 结论

通过本文的系统研究,可以得出以下基本结论:针对农田重金属污染趋势性预测和预报所建立的理论是科学的;方法通用、简单、易行,既可以处理监测时段少的数据情况,也可以处理监测时段多的数据情况,但所采用的模型方法是不同的,前者使用简单的平均速率方法预测,后者使用简单移动平均数法再建立模型预测。针对不同数据源采用不同的处理方法,因而可以对现在分散的时段较少的大量监测数据进行统一规范,逐步建立不同重金属、不同区域和不同时段的数据集,以此作为今后农田重金属污染预测的前期数据基础,挖掘出历史数据资源的宝贵价值。

总之,通过本文的研究可以得出:农田重金属污染趋势性预测和预报是可能的和可行的。结合上文预警研究结果^[1],可为我国建立实用的农田重金属污染预警、预测和预报系统奠定理论和方法基础。

参考文献:

- [1] 侯彦林. 中国农田重金属污染预警系统研究[J]. 农业环境科学学报, 2012, 32(4): 697-705.
HOU Yan-lin. The warning system of farmland heavy metal pollution in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 32(4): 697-705.
- [2] 廖国礼, 周音达, 吴超. 尾矿区重金属污染浓度预测模型及其应用[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2004, 35(6): 1009-1013.
LIAO Guo-li, ZHOU Yin-da, WU Chao. Forecast models of heavy metal contamination near Tailing Dam and their application[J]. *J Cent South Univ(Science and Technology)*, 2004, 35(6): 1009-1013.
- [3] 王加恩, 康占军, 潘卫丰, 等. 浙北嘉善县 1990—2008 年土壤重金属元素及酸碱度变化和趋势预测[J]. 地质科技情报, 2010, 29(1): 92-96.
WANG Jia-en, KANG Zhan-jun, PAN Wei-feng, et al. Content change and forecast of heavy metal and pH value in soil for Jiashan area, north-eastern Zhejiang Province from 1990 to 2008[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2010, 29(1): 92-96.
- [4] 严加永, 吕庆田, 葛晓立. GIS 支持下的土壤重金属污染预测预警研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(3): 592-596.
YAN Jia-yong, LÜ Qing-tian, GE Xiao-li. The research about soil heavy metal pollution forecast and early warning support by GIS[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2007, 37(3): 592-596.
- [5] 何绘宇, 夏斌, 陈琴俐, 等. 珠江三角洲土壤重金属预警与决策支持信息系统设计[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 13-16.
HE Hui-yu, XIA Bin, CHEN Qin-li, et al. Early-warning and decision-making system for heavy metals in soils of Pearl River Delta [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(Suppl): 13-16.
- [6] 凌辉, 武伟, 王润, 等. 小尺度下土壤重金属铬含量的空间插值方法比较研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2007, 29(11): 93-99.
LING Hui, WU Wei, WANG Run, et al. A comparative analysis of various spatial interpolation methods for soil chrome content on a small scale[J]. *Journal of Southwest University(Natural Science Edition)*, 2007, 29(11): 93-99.
- [7] 杨景辉. 土壤污染与防治[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [8] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [9] 颜卫忠. 环境预警指标体系研究[J]. 长沙电力学院学报, 2002, 17(3): 87-90.
YAN Wei-zhong. Study of the environment alarming index system[J]. *Journal of Changsha University of Electric Power*, 2002, 17(3): 87-90.
- [10] 陈国阶. 对环境预警的探讨[J]. 重庆环境科学, 1996, 18(5): 1-4.
CHEN Guo-jie. An approach on environmental warning [J]. *Chongqing Environment Science*, 1996, 18(5): 1-4.
- [11] 李国刚. 中国土壤环境监测的现状、问题与对策[J]. 环境监测管理与技术, 2005, 17(1): 8-10.
LI Guo-gang. The status and development needs of soil environmental monitoring in China[J]. *Environmental Monitoring Technology*, 2005, 17(1): 8-10.
- [12] 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 Guo-hua, TIAN Qian-ning, SUN Bin-bin, et al. Discussion on ecologic geochemical early-warning and forecasting[J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(1): 118-123.
- [13] 周脚根, 宋爱兰, 尤冬梅. 土壤重金属污染风险预测研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(22): 10617-10619, 10622.
ZHOU Jiao-gen, SONG Bian-lan, YOU Dong-mei. Research progress on prediction of soil heavy metal contamination risk[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2009, 37(22): 10617-10619, 10622.
- [14] 杨忠平, 卢文喜, 龙玉桥, 等. 长春市城区土壤重金属污染趋势预测预警[J]. 城市环境与城市生态, 2010, 23(3): 1-4.
YANG Zhong-ping, LU Wen-xi, LONG Yu-qiao, et al. Prediction and precaution of heavy metal pollution trend in urban soils of Changchun City[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2010, 23(3): 1-4.
- [15] 肖莉, 温贤有, 张国权, 等. 广东省土壤重金属污染监测预警系统的设计[J]. 广东农业科学, 2010(4): 243-245.
XIAO Li, WEN Xian-you, ZHANG Guo-quan, et al. Design of the monitoring and warning system for soil heavy metal pollution in Guangdong[J]. *Guangdong Agri-Science*, 2010(4): 243-245.
- [16] 易秀, 郭婷婷, 谷晓静. 陕西省泾惠渠灌区土壤重金属污染累积趋势预测[J]. 生态环境学报, 2010, 19(9): 2209-2213.
YI Xiu, GUO Ting-ting, GU Xiao-jing. The prediction of accumulation

- trend for soil pollution of heavy metals in Jinghuiqu irrigation district of Shaanxi[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010,19(9):2209–2213.
- [17] 李 勇,周永章,窦 磊,等.珠江三角洲平原广东省佛山市顺德区土壤-蔬菜系统中 Pb 的健康安全预测预警 [J]. 地质通报, 2010,29(11): 1662–1676.
- LI Yong,ZHOU Yong-zhang,DOU Lei, et al. Prediction and early-warning for health safety of lead in soil and vegetable system,the Pearl River Delta Plain, southern China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(11):1662–1676.
- [18] 侯彦林. 肥效评价的生态平衡施肥指标体系的应用[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(8):1477–1481.
- HOU Yan-lin. Application of index system of ecological balanced fertilization for fertilizer efficiency evaluation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(8):1477–1481.
- [19] 侯彦林.肥效评价的生态平衡施肥理论体系、指标体系及其实证[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(7):1257–1266.
- HOU Yan-lin. Theory system, index system of ecological balanced fertilization and demonstration for fertilizer efficiency evaluation[J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2011, 30(7):1257–1266.
- [20] 侯彦林. 通用施肥模型及其应用[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(10):1917–1924.
- HOU Yan-lin. Universal fertilization model and its application[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(10):1917–1924.
- [21] 范迪福,翁志华. 江苏省溧水县土壤环境污染预警预测方法探讨[J]. 江苏地质, 2005, 29(2):88–93.
- FAN Di-fu, WENG Zhi-hua. Discussions on prediction and precaution methods for soil environment pollution in Lishui County, Jiangsu Province[J]. *Jiangsu Geology*, 2005, 29(2):88–93.