

# 城郊农田生态环境质量预警体系研究及应用<sup>\*</sup>

## ——以郑州市为例

王瑞玲<sup>1</sup> 陈印军<sup>2</sup>

(1 黄河水资源保护科学研究所, 郑州 450004)

(2 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

**摘要** 在深刻剖析土壤污染物来源、深入理解土壤污染复杂性的基础上, 根据研究地区的特殊性(城市郊区), 构建了包括评价模型、预测模型、预警模型的农田生态环境质量预警体系, 通过社会环境系统对土壤污染胁迫强度的变化间接反映土壤环境质量变化趋势, 并运用此预警体系对郑州市郊区农田进行了动态预警实证研究, 获得重要结果: (1) 郑州市郊区农田生态环境质量经历了“迅速恶化—达到相对最差—趋于好转”的发展过程, 这说明了社会环境系统对土壤环境胁迫强度经历了“增大—最大—趋缓”的变化过程; (2) 郑州市郊区农田生态环境总体上不容乐观, 必须全面掌握和控制土壤污染的影响因素, 减少外部环境对农田土壤环境的胁迫作用, 做好土壤污染的预警与防治工作。

**关键词** 预警指标体系; 预警体系; 农田生态环境; 农田土壤环境  
**中图分类号** X171.1; X820.2 **文献标识码** A

随着经济发展和人口增加, 我国土壤特别是城市郊区农田土壤污染日趋严重, 农产品质量面临严峻挑战。为此, 许多专家、学者开始致力于土壤污染问题的研究, 并取得了很多成果, 为我国土壤环境问题的解决奠定了坚实的基础。但这并没有从根本上解决我国日趋严重的土壤污染问题, 因为目前人们关注的焦点是土壤污染后的末端治理, 忽视了土壤污染前的预防、预测、预警工作, 未能针对土壤污染的复杂性、隐蔽性、滞后性和难治理等特点提出切实可行的解决办法, 因此运用预警技术研究日趋严重的土壤环境质量被土壤学专家提上日程<sup>[1]</sup>。而目前对环境预警的研究主要集中于水、大气等方面, 在土壤预警方面开展的工作还很有限。为此, 迫切需要建立行之有效的农田土壤环境预警体系, 以便在农田土壤环境质量发生退化前及早提出预警。但由于土壤污染具有区别于大气和水污染的不同特点, 即极强隐蔽性和滞后性, 决定了土壤环境预警有区别于其他环境预警的不同之处, 不能单纯依赖土壤监测数据, 其滞后性和难获取性不能及时反映土壤污染状况, 据此进行土壤预警有时会达不到应有

的警示效果<sup>[2]</sup>; 且土壤环境的多介质、多界面、多组分以及非均一性和复杂多变的特点, 造成了土壤的微观研究存在一定困难。鉴于以上原因, 土壤的宏观研究提上了日程, 赵其国院士在《21世纪土壤科学展望》中指出“今后对土壤与社会环境系统的研究应予重视<sup>[3]</sup>”。因此, 本文考虑从周围环境对土壤污染胁迫强度的变化间接反映农田土壤污染状况, 构建能在一定程度上反映农田土壤污染变化趋势的农田生态环境质量预警体系, 通过宏观预警指标间接反映微观土壤环境的变化, 以便在土壤环境质量可能发生退化、恶化之前及早提出预警, 及时采取措施, 加强对农田土壤的调控力度, 提高粮食安全的保障能力。

## 1 农田生态环境质量预警体系

本文的农田生态环境是指与农田土壤环境有密切相关关系、在一定程度上能反映农田土壤污染变化趋势、由生态系统、环境系统、社会系统中的各个“元素”共同组成的一个复杂系统。农田生态环境质量

<sup>\*</sup> 国家社会公益研究专项资金资助项目(2002DIA50028)

作者简介: 王瑞玲(1974~), 女, 硕士, 主要从事生态环境预警、水资源保护研究。

收稿日期: 2006-02-27; 收到修改稿日期: 2006-08-01

指农田生态环境各个“元素”的优劣程度,它反映了农田生态环境对人类生存及社会经济持续发展的适宜程度,同时反映了社会环境系统对农田土壤环境的胁迫强度。

### 1.1 农田生态环境质量预警思路

土壤环境的多介质、多界面、多组分以及非均一性和复杂多变的特点,决定了土壤环境污染具有区别于大气环境和水环境污染的不同特点:隐蔽性与滞后性、累积性与地域性、不可逆性、难治理性。这造成了土壤的微观研究存在相当的困难,也在一定程度上削弱了土壤污染预警的现实意义和可操作性。鉴于以上原因,考虑从周围环境和人类活动对土壤胁迫强度变化间接反映农田土壤污染的可能状况和发展趋势,选择由因到果的间接预警方法,从土壤污染源头上分析问题,通过构建一系列相互联系的、与土壤污染有密切关系的、能在一定程度上反映土壤污染变化的预警体系,间接对农田土壤污染趋势给予评价和预警。此方法的优势在于:(1)宏观数据可获取性强,而大范围土壤污染监测是一项艰巨的工作;(2)从土壤外部环境变化的角度进行预警分析,有利于及时发现警情、采取措施,在一定程度上避免了因土壤污染的隐蔽性和滞后性给土壤污染防治和治理工作带来的困难;(3)有利于决策部门协调地区经济发展与土壤环境质量之间的关系,更好地体现预警目的和意义。

### 1.2 农田生态环境质量预警指标体系

**1.2.1 选择农田生态环境质量预警指标的依据(城郊土壤污染的根源分析)** 由于土壤污染具有区别于大气和水污染的不同特点,为了构建能敏感反映城郊农田土壤污染状况的预警指标体系,有必要对城郊农田土壤特点及其污染源加以剖析。土壤是环境要素的重要组成部分,它处于自然环境的中心位置,承担着环境中大约90%的来自各方面的污染物<sup>[4]</sup>;城市郊区(城市边缘区、城乡结合部)是一类比较特殊的自然地域,是城市化进程中最敏感、变化最大、最迅速的地带<sup>[5]</sup>;是现代农业土地利用最密集地带,也是土壤质量演替强度最大的发生区,有别于一般农业区<sup>[6]</sup>;具有很强的开放性<sup>[7]</sup>,不断接受城区

传递的物质、信息流<sup>[8]</sup>;城郊土壤具有明显的人为搅动特征<sup>[9]</sup>。在一定程度上,城市郊区土壤已成为城市污染物和农业化学物质的天然纳污库。

从以上分析可知,郊区农田土壤污染的根源是人类社会经济活动,其状况应该跟研究地区的工农业产值、人口、“三废”排放等社会、经济、环境等有密切关系,故可建立与城郊农田土壤污染密切相关的经济、社会、环境等宏观指标,根据评价、预测这些指标状况而间接反映农田土壤污染可能变化趋势。

**1.2.2 构建农田生态环境质量预警指标体系** 依据农田生态环境质量预警思路,通过对城市郊区农田土壤污染来源的深刻剖析,借鉴土壤质量指标体系<sup>[10~12]</sup>和环境预警指标体系<sup>[13~15]</sup>的研究成果,构建了包括环境污染、环境治理、环境保护、社会经济在内的农田生态环境质量预警指标体系(见表2)。其中环境污染是逆向指标,起加重警情的作用;环境治理与环境保护是正向指标,起缓解警情作用;社会经济指标,表示人类活动对农田土壤环境的影响。这些指标的变动,能间接反映农田土壤污染的可能变化趋势,并及时发出信号,起到预警的作用。

### 1.3 农田生态环境质量预警体系

农田生态环境质量预警体系包括评价、预测、预警,三者是农田生态环境预警体系中的基本结构,共同构成间接反映和认识土壤环境质量演化的整体和系列。

**1.3.1 农田生态环境质量评价** 通过构建农田生态环境质量预警评价模型,计算预警指数和预警总指数,为农田生态环境质量预警做准备。

(1)预警指标无量纲化(计算预警指数)。农田生态环境预警指标确定以后,直接用它们进行评价是困难的,因为各预警指标之间的量纲不统一,没有可比性,即使对于同一个参数,尽管可以根据实测数值的大小来判断它们对农田生态环境的影响,但也因缺少一个可作比较的标准而无法较确切地反映其影响程度,因此需要对预警指标因子进行规范化处理。农田生态环境质量预警指标体系中有正、逆两类指标,故在比较时要将正指标和逆指标区别对待。其计算公式如下:

$$\text{当预警指标为正指标时:} \begin{cases} I_{ijk} = \left( \frac{X_{ijk} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \right) \cdot 10 & \text{当指标值小于参考值时} \\ I_{ijk} = 10 & \text{当指标值大于等于参考值时} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{当预警指标为逆指标时: } \begin{cases} I_{ijk} = \left( \frac{X_{\max} - X_{ijk}}{X_{\max} - X_{\min}} \right) \cdot 10 & \text{当指标值大于参考值时} \\ I_{ijk} = 10 & \text{当指标值小于参考值时} \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $I_{ijk}$  表示预警指数,  $X_{ijk}$  表示预警指标实测值或统计值;  $X_{\max}$  表示历史最高值 (或者是预警指标标准值),  $X_{\min}$  表示历史最低值 (或者是预警指标标准值); 10 是系数。

(2) 确定预警指标评价标准。农田生态环境质量预警指标的评价标准可根据以下原则来确定:

国际、国家标准; 国家或研究地区的发展规划和环境保护规划; 国际或社会公认的标准; 参考专家、学者的研究成果; 虽然目前环境质量标准体系正在逐步完善, 但缺乏对污染总量等指标标准的界定, 当对这些指标进行评价时, 大多数学者<sup>[13,16,17]</sup> 往往采用历史数据作为依据进行比较分析。具体说明如下: 正向预警指标, 取研究年限中的最大值作为标准值; 逆向指标, 取研究年限中的最小值作为标准值。

(3) 确定预警指标权重。农田生态环境质量预警指标体系是一个有若干层次组成的庞大复杂的社会-经济-生态复合体, 对于这样一个多因素、多层次的系统, 本文选择运用定性与定量综合方法来确定权重 (层次分析法)。

(4) 计算预警总指数。在预警指数计算的基础上, 根据层次分析法确定的各预警指标的权重, 将预警指数进行加权平均, 求得农田生态环境质量预警总指数  $I$ 。  $I$  值越小, 表明农田生态环境问题越严重。

$$I = \sum I_{ijk} \times W_{ijk} / \sum W_{ijk} \quad (3)$$

式中,  $W_{ijk}$  为预警指标  $X_{ijk}$  的权重。

1.3.2 农田生态环境质量预测 由于本研究需预测的预警指标较多, 涵盖了社会、经济、生态环境等各方面, 而且每一种指标的走势均不完全一致, 再加上预测本身存在的难度和不确定性, 故本研究的预测工作存在一定的难度。鉴于以上原因, 对每一

种指标都首先需要通过做散点图、计算差分或其他方法选择较合适的模型, 然后进行拟合, 通过检验之后进行预测, 以尽可能选择拟合较好、较合适的模型进行预测。对很难找到合适预测模型、甚至无法建立合适预测模型的预警指标采用定性预测方法。

1.3.3 农田生态环境质量预警 (1) 预警模型。当在给定参数  $I_P$  和  $I_P$  的条件下, 预警模型可表示如下:

不良状态预警

$$I_t > I_P \quad (4)$$

$I_P$  在 (2, 4] 区间时为较差状态预警;  $I_P$  在 [0, 2] 区间时为极差状态预警。

负向演化预警

$$I_{t2} > I_P, I_{t2} < I_{t1}, \frac{|I_{t2} - I_{t1}|}{t_2 - t_1} > I_P \quad (5)$$

迅速恶化预警

$$I_{t2} > I_P, I_{t2} < I_{t1}, \frac{|I_{t2} - I_{t1}|}{t_2 - t_1} > I_P \quad (6)$$

模型中,  $I_P$  表示不良状态预警时预警总指数的临界值 (表 1);  $I_P$  为预警总指数变化速率临界值, 当  $I_P < 0.2$  表示负向演化趋势, 当  $I_P > 0.2$  表示迅速恶化趋势<sup>[18]</sup>。

(2) 预警区间。借鉴生态环境预警<sup>[14]</sup> 研究经验, 本文确定如下预警区间 (表 1)。当预警总指数  $I$  为 2 分及以下时, 说明农田生态环境系统处于极差状态, 土壤环境问题严重, 承受外部压力较大; 当预警总指数  $I$  为 2~4 分时, 说明农田生态环境系统处于较差状态, 土壤环境问题已出现; 当预警总指数  $I$  为 4~5 分时, 说明农田生态环境系统处于警戒状态, 如果不采取必要的措施, 土壤环境将有可能向负方向演化; 当预警总指数  $I$  大于 5 分时, 说明农田生态环境系统运行正常。

表 1 农田生态环境质量预警区间

Table 1 Warning classification of farmland eco-environment quality

分级 Classification	理想状态 Best state	良好状态 Good state	一般状态 General state		较差状态 Worse state	极差状态 Worst state
			正常状态 Normal state	警戒状况 Alert state		
区间值 Value	[10, 8)	[8, 6)	[6, 5)	[5, 4)	[4, 2)	[2, 0]

(3) 预警。将已知(或预测)预警指标值  $X_{ijk}$  以及相应的预警指标标准值  $X_0$  代入无量纲公式(式(1)、式(2)),得到各预警指标的预警指数  $I_{ijk}$ ;将各预警指标的预警指数进行加权平均(公式 3),求得农田生态环境质量预警总指数  $I$ ;根据确定的预警区间、预警速率临界值、预警时段(5 年),将预警总指数代入预警数学模型(式(4)~式(6)),得到预警类型:用  $A_0$  表示警戒状态,用  $A_1$  表示较差状态, $A_2$  表示极差状态, $B$  表示负向演化趋势, $C$  表示迅速恶化趋势。

## 2 实证研究——以郑州市郊区为例

### 2.1 构建指标体系

按照前文构建农田生态环境质量预警指标体系的基本思路,在深刻剖析郑州市郊区农田土壤污染来源的基础上,根据研究地区的实际情况,考虑数据的可获取性,构建了农田生态环境质量预警指标体系(表 2)。

表 2 农田生态环境质量预警指标体系框架

Table 2 The index system of the farmland eco-environment quality warning system

预警总指数 Warning general index	警源、警兆指标 Warning source and omen index	预警指标 Warning index	预警指标 Warning index
农田生态环境质量预警指数 A Warning index of farmland eco-environment quality	警源指标 B <sub>1</sub> Warning source index	环境污染 C <sub>1</sub> Environment pollution	城市污水排放量 (×10 <sup>4</sup> t) D <sub>1</sub>
			工业废水排放量 (×10 <sup>4</sup> t) D <sub>2</sub>
			重金属排放量 (t) D <sub>3</sub>
			工业废气排放量 (×10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> ) D <sub>4</sub>
			工业 SO <sub>2</sub> 排放量 (×10 <sup>4</sup> t) D <sub>5</sub>
			工业固废产生量 (×10 <sup>4</sup> t) D <sub>6</sub>
	环境治理 C <sub>2</sub> Environment management	城市污水处理率 (%) D <sub>7</sub>	
		工业废水排放达标率 (%) D <sub>8</sub>	
		工业废气处理率 (%) D <sub>9</sub>	
		工业固废综合利用率 (%) D <sub>10</sub>	
		汽车尾气达标率 <sup>⑪</sup> (%) D <sub>11</sub>	
	警兆指标 B <sub>2</sub> Warning omen index	环境保护 C <sub>3</sub> Environment protection	环保投资占 GDP 的比重 <sup>⑫</sup> D <sub>12</sub>
			社会经济 C <sub>4</sub> Socio-economic
			GDP 增长率 <sup>⑬</sup> (%) D <sub>13</sub>
			城市化率 <sup>⑭</sup> (%) D <sub>14</sub>
			车流量 <sup>⑮</sup> (辆) D <sub>15</sub>
			化肥施用量 <sup>⑯</sup> (kg hm <sup>-2</sup> ) D <sub>16</sub>
		污灌时间 <sup>⑰</sup> (a) D <sub>17</sub>	

Urban Sewage Discharge; Industrial Wastewaters Discharge; Heavy Metal Discharge; Industrial Waste Gas Emission; Industrial Sulfur Dioxide Emission; Output of Industrial Solid Wastes; Urban Sewage Treatment Rate; Industrial Wastewater Up-to-Standard Discharge Rate; Industrial Waste Gas Treatment Rate; Industrial Solid Wastes Recycling Rate; <sup>⑪</sup>Automobile Tail-gas Up-to-Standard Emission Rate; <sup>⑫</sup>Proportion of Environmental Investment to GDP; <sup>⑬</sup>GDP Growth Rate; <sup>⑭</sup>Urbanization Rate; <sup>⑮</sup>Traffic Flow; <sup>⑯</sup>Fertilize Application Rate; <sup>⑰</sup>Sewage Irrigation Time

### 2.2 预警指标预测

根据前文对预警指标预测方法的论述,依据预警指标的历史数据(1991~2003 年,见表 3),运用定量、定性两种方法对预警指标进行预测。具体预测结果见表 3。

### 2.3 预警指标评价

2.3.1 确定预警指标的标准值 按照上述预警指标标准值的选择原则,通过咨询专家意见,最终确定了各指标的标准值(表 4)。

表 3 农田生态环境质量预警指标预测

Table 3 Index prediction for the farmland soil eco-environment quality warning system

年份 Year	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	D <sub>8</sub>	D <sub>9</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>11</sub>	D <sub>12</sub>	D <sub>13</sub>	D <sub>14</sub>	D <sub>15</sub>	D <sub>16</sub>	D <sub>17</sub>
1991	6422	10194	0.58	640	5.95	302	6.00	49.7	79.7	31	63.5	1.4	11.2	68.1	1736	250	38
1992	7101	11285	0.73	761	6.00	242	5.34	47.6	74.2	42	52.2	1.4	11.4	68.2	2052	421	39
1993	7466	9456	0.62	775	4.48	248	5.04	53.0	80.9	46	70.0	1.4	11.8	68.6	4229	423	40
1994	10109	10091	0.82	899	5.06	293	5.10	56.7	86.1	30	74.9	2.2	11.4	70.4	7891	430	41
1995	11477	10897	4.12	1016	6.65	327	5.55	61.8	79.5	40	64.0	2.5	11.5	70.8	7632	476	42
1996	12134	10548	0.98	912	4.73	346	5.29	61.2	85.1	40	66.0	1.4	11.8	71.1	10800	509	43
1997	13162	14165	2.78	1244	6.51	533	6.56	53.7	74.6	46	74.9	2.6	11.2	71.2	11315	558	43.5
1998	13753	9848	5.33	937	7.54	377	6.69	84.5	84.1	58	77.2	2.5	11.1	71.2	11769	616	43.5
1999	13299	8818	1.823	1103	8.97	500	6.74	84.0	87.0	60	80.2	2.9	10.9	72.3	11841	656	43.5
2000	12896	9790	1.286	1138	8.83	506	6.70	79.7	90.0	58	82.6	2.2	11.1	72.8	12002	837	44
2001	12555	10958	0.105	1526	7.81	449	44.2	94.8	90.7*	76	82.9	2.1	11.1	73.9	12424	715	44
2002	11152	10463	0.139	1587	7.36	418	54.7	95.0	93.3*	63	83.1	2.1	11.1	67.1	12784	701	44
2003	11152	9449	0.029	1877	7.07	438	54.3	95.6	96.2*	64	83.1	2.2	11.5	65.8	13183	701	44
2004*	9675	10072	0.011	1796	6.89	445	54.5	96.0	99.4	68	83.1	2.3	11.3	61.5	13908	665	44
2005*	8210	10027	0.004	1936	6.67	433	6.00	100	100	70	90.0	2.4	11.3	60.0	14267	597	44

注:表中标有\*的年份和数据为预测数据。数据来源:《郑州统计年鉴》(1999~2004)、《郑州市统计年鉴》(1991~1997)、《中国城市统计年鉴》(1991~2003)、《中国环境年鉴》(1991~2004)、《郑州环境保护志》。1991~1993 环保投资数据由郑州市环保局工作人员提供

Note: Data marked with "\*" were predicted. Data resources: Zhengzhou Statistical Yearbook (1999~2004), Zhengzhou Statistical Yearbook (1991~1997), China City Statistical Yearbook (1991~2003), China Environment Yearbook (1991~2004), Zhengzhou Environmental Protection Annals. The data about investment in environment protection in the period of 1991~1993 were provided by the Zhengzhou Environment Protection Bureau

表 4 农田生态环境质量预警指标标准值

Table 4 Criteria of the indexes of the farmland eco-environment quality warning system

预警指标 Warning index	标准值 Criterion	依据 Reference
城市污水排放量 (×10 <sup>4</sup> t)		根据历史数据 Historical data
工业废水排放量 (×10 <sup>4</sup> t)		根据历史数据 Historical data
重金属排放量 (t)		根据历史数据 Historical data
工业废气排放量 (×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )		根据历史数据 Historical data
工业 SO <sub>2</sub> 排放量 (×10 <sup>4</sup> t)		根据历史数据 Historical data
工业固废产生量 (×10 <sup>4</sup> t)		根据历史数据 Historical data
城市污水处理率 (%)	100	国际标准 International standard
工业废水排放达标率 (%)	100	国家标准 National standard
工业废气处理率 (%)	100	国家标准 National standard
工业固废综合利用率 (%)	80	生态市考核标准 Standard for Ecological City
机动车尾气达标率 <sup>⑪</sup> (%)	90	《郑州市“十五”环境保护计划》 10th Five-year Plan Environment Protection Plan of Zhengzhou
环保投资占 GDP 的比重 <sup>⑫</sup>	3.1	世界银行 World Bank
GDP 增长率 <sup>⑬</sup> (%)	10	研究成果 <sup>[19]</sup> Research results
城市化率 <sup>⑭</sup> (%)	70	研究成果 <sup>[20]</sup> Research results
交通车流量 <sup>⑮</sup>		根据历史数据 Historical data
化肥施用量 <sup>⑯</sup> (kg hm <sup>-2</sup> )	250	《城市环境综合整治定量考核实施方法(暂行)》 (Provisional) Approaches to Quantitative Evaluation of Comprehensive Management of Urban Environment
污灌时间 <sup>⑰</sup> (a)		作者自定 Set by the author

Urban Sewage Discharge; Industrial Wastewaters Discharge; Heavy Metal Discharge; Industrial Waste Gas Emission; Industrial Sulfur Dioxide Emission; Output of Industrial Solid Wastes; Urban Sewage Treatment Rate; Industrial Wastewater Up-to-Standard Discharge Rate; Industrial Waste Gas Treatment Rate; Industrial Solid Waste Recycling Rate; ⑪Automobile Tail Gas Up-to-standard Rate; ⑫Proportion of Environmental Investment to GDP; ⑬GDP Growth Rate; ⑭Urbanization Rate; ⑮Traffic Flow; ⑯Fertilize Application Rate; ⑰Sewage Irrigation Time

2.3.2 计算预警指数(预警指标无量纲化) 将预警指标的历史值、现在值、预测值代入式(1)、式(2),计算预警指数,计算结果见表6。

2.3.3 计算预警总指数 (1)运用层次分析法确定各预警指标权重。本文根据研究地区农田生态环境质量演变规律,结合实地调查研究,依据土壤污染

来源,参考专家的知识 and 经验,运用层次分析法确定各预警指标权重(表5)。

(2)计算预警总指数。在预警指数计算的基础上,根据上述层次分析法确定的各预警指标权重(表5),将各预警指标的预警指数进行加权平均,求得农田生态环境质量各年份的预警总指数  $I$ (见表6)。

表5 农田生态环境质量预警指标权重

Table 5 Weighed indexes of the farmland eco-environment quality warning system

预警指标 Warning index	B <sub>1</sub> 0.500 0		B <sub>2</sub> 0.500 0		权重 Weight W <sub>(i)</sub> = B <sub>i</sub> C <sub>ij</sub> D <sub>ij</sub>
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	
D <sub>1</sub>	0.833 3	0.166 7	0.250 0	0.750 0	0.018 1
D <sub>2</sub>	0.043 5				0.108 6
D <sub>3</sub>	0.260 7				0.207 8
D <sub>4</sub>	0.498 8				0.036 2
D <sub>5</sub>	0.086 8				0.036 2
D <sub>6</sub>	0.086 8				0.009 7
D <sub>7</sub>	0.023 4	0.101 0			0.008 4
D <sub>8</sub>		0.540 0			0.045 0
D <sub>9</sub>		0.216 2			0.018 0
D <sub>10</sub>		0.041 9			0.003 5
D <sub>11</sub>		0.101 0			0.008 4
D <sub>12</sub>			1.000 0		0.125 0
D <sub>13</sub>				0.032 0	0.012 0
D <sub>14</sub>				0.061 8	0.023 2
D <sub>15</sub>				0.125 9	0.047 2
D <sub>16</sub>				0.231 4	0.086 8
D <sub>17</sub>				0.548 9	0.205 8

表6 农田生态环境质量预警指数

Table 6 Warning indexes for farmland eco-environment quality

指标 Index	权重 Weight	农田生态环境质量预警指数 Warning index of farmland eco-environment quality														
		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
D1	0.018 1	10.00	9.07	8.58	4.97	3.10	2.21	0.81	0.00	0.62	1.17	1.63	3.55	3.55	5.56	7.56
D2	0.108 6	7.43	5.39	8.81	7.62	6.11	6.76	0.00	8.07	10.00	8.18	6.00	6.92	8.82	7.65	7.74
D3	0.207 8	8.91	8.63	8.84	8.46	2.27	8.16	4.78	0.00	6.58	7.59	9.80	9.74	9.95	9.83	9.84
D4	0.036 2	10.00	9.07	8.96	8.00	7.10	7.90	5.34	7.71	6.43	6.16	3.16	2.69	0.46	1.08	0.00
D5	0.036 2	6.73	6.61	1.00	8.71	5.17	9.44	5.48	3.18	0.00	0.31	2.58	3.59	4.23	4.63	5.12
D6	0.009 7	7.94	10.00	9.79	8.25	7.08	6.43	0.00	5.36	1.13	0.93	2.89	3.95	3.26	3.02	3.44
D7	0.008 4	0.17	0.05	0.00	0.01	0.09	0.05	0.28	0.30	0.31	0.30	7.13	9.04	8.96	9.00	10.00
D8	0.045 0	0.41	0.00	1.03	1.74	2.71	2.59	1.17	7.04	6.94	6.14	9.01	9.05	9.16	9.24	10.00
D9	0.018 0	2.14	0.00	2.58	4.62	2.04	4.24	0.15	3.82	4.96	6.12	6.39	7.40	8.52	9.75	10.00
D10	0.003 5	0.20	2.40	3.20	0.00	2.00	2.00	3.20	5.60	6.00	5.60	9.20	6.52	6.88	7.53	8.00
D11	0.008 4	2.99	0.00	4.71	6.00	3.12	3.65	6.01	6.61	7.42	8.04	8.12	8.16	8.17	8.17	10.00
D12	0.125 0	0.00	0.00	0.00	4.73	6.59	0.00	6.95	6.59	8.98	4.31	3.77	4.13	4.55	5.09	5.81
D13	0.012 0	3.33	2.22	0.00	2.22	1.67	0.00	3.33	3.89	5.00	3.89	3.89	3.89	1.67	2.78	2.78
D14	0.023 2	10.00	10.00	10.00	8.97	7.95	7.18	6.92	6.92	4.10	2.82	0.00	10.00	10.00	10.00	10.00
D15	0.047 2	10.00	9.75	8.01	5.09	5.29	2.77	2.36	1.99	1.94	1.81	1.47	1.18	0.87	0.29	0.00
D16	0.086 8	9.99	7.09	7.05	6.93	6.16	5.59	4.76	3.77	3.09	0.00	2.07	2.32	2.31	2.93	4.10
D17	0.205 8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00
预警总指数 Warning index		5.22	4.55	5.10	5.24	3.71	4.28	3.22	3.34	4.94	4.05	4.50	5.07	5.29	5.35	5.62

## 2.4 农田生态环境质量预警

将已知(或预测)的农田生态环境质量预警总指

数  $I$  代入预警数学模型(4)~模型(6),依据确定的预警区间(见表1),得到预警结果见表7。

表7 农田生态环境质量预警结果

Table 7 Results of the early warning of farmland eco-environmental quality

年份 Year	预警总指数 Warning index	状况预警 State warning	趋势预警 Trend warning
1991	5.22		“八五”期间 In the period of the 8th five-year
1992	4.55	A <sub>0</sub>	$I_{1995} < I_{1991}, \frac{ I_2 - I_1 }{t_2 - t_1} = 0.302 \quad 0.2$
1993	5.10		C 迅速恶化趋势预警 Rapid deterioration trend
1994	5.24		
1995	3.71	A <sub>1</sub>	“九五”期间 In the period of the 9th five-year
1996	4.28	A <sub>0</sub>	
1997	3.22	A <sub>1</sub>	$I_{2000} < I_{1996}, \frac{ I_2 - I_1 }{t_2 - t_1} = 0.046 \quad 0.2$
1998	3.34	A <sub>1</sub>	B 负向演化趋势预警 Degradation trend
1999	4.94	A <sub>0</sub>	
2000	4.05	A <sub>0</sub>	
2001	4.50	A <sub>0</sub>	“十五”期间 In the period of the 10th five-year
2002	5.07		$I_{2005} > I_{2001}, \frac{ I_2 - I_1 }{t_2 - t_1} = 0.222 \quad 0$
2003	5.29		好转趋势 Good trend
2004	5.35		
2005	5.62		

## 3 郑州郊区农田生态环境质量预警结果简析

郑州郊区农田生态环境质量变化呈明显的阶段性。农田生态环境质量在“八五”期间迅速恶化,到“九五”期间达到状态相对最差,“十五”期间趋于好转。这表明“八五”期间农田土壤环境承受压力较大,到“九五”间达最大,“十五”期间趋于减缓。以上变化与郑州市的经济发展状况、污染排放状况、环境污染治理状况关系密切。“八五”期间,对土壤环境影响较大的因素大多处于较差状况,如:重金属排放量处于最高时期,城市污水排放量增长率、工业废气排放量增长率达最大,污水灌溉持续进行。而环境治理则处于历史上的较低水平;“九五”期间,与土壤环境密切相关的各项污染物的排放量大多处于历史最高水平,如:工业废水排放量、城市污水排放量、二氧化硫排放量、工业固废产生量等均在这一时期达

到历史最高。在此时期,环境治理力度相对加强,如“三废”治理率、达标率等有了大幅度的提高,污水灌溉状况有所改善,但相对于大量污染物的排放来说,治理措施还远远不够;到“十五”期间,随着环境治理力度的进一步加强,与土壤环境有密切相关关系的各项污染物排放量大多处于历史相对较低水平,而各污染物的处理率均处于历史最高值,故这一时期农田土壤环境所受压力趋于减缓。相关部门可根据不同阶段农田土壤环境承受压力的变化情况和影响因素,采取相应的对策、措施,加以有效控制、整治,以提高农田利用的科学决策水平,使农田土壤环境步入良性循环。

郑州郊区农田生态环境质量虽有好转趋势,但总体状况不容乐观。预警结果表明,最近几年郑州郊区农田生态环境质量有好转趋势,但总体状况不容乐观。在研究年份(15年)中有1/2以上的年份处于警戒状态、较差状态,而且最好年份农田生态环境质量指数(预警总指数)仅为5.62,虽属于正常

状况,但与良好状况(6~8)相比,还有一定差距。这表明郑州郊区农田土壤环境所受外部压力较大,仍需进一步加强对郑州市郊区农田的调控力度,减少污灌面积、加强“三废”治理、增加环保投资,减轻外部社会环境系统对农田土壤环境的胁迫作用,做好土壤污染的预警与防治工作,提高粮食安全保障能力。

## 参考文献

- [1] 张桃林,潘剑君,赵其国. 土壤质量研究与方向. 土壤, 1999, 31(1):1~7. Zhang T L, Pan J J, Zhao Q G. Soil quality research and approach (In Chinese). Soils, 1999, 31(1):1~7
- [2] Azar C, Holmberg J, Lindgren K. Socio-ecological indicators for sustainability. Ecological Economics, 1996(18):89~112
- [3] 赵其国. 21世纪土壤科学展望. 地球科学进展, 2001(5):704~709. Zhao Q G. Prospects of soil science in the 21st century (In Chinese). Advances in Earth Science, 2001(5):704~709
- [4] 王慎强,陈怀满. 我国土壤环境保护研究的回顾与展望. 土壤, 1999, 31(5):255~260. Wang S Q, Chen H M. The review and new progress of soil environment protection in China (In Chinese). Soils, 1999, 31(5):255~260
- [5] 陈晶中,陈杰,谢学俭. 城市边缘区土地利用类型及其面临的环境压力. 城市环境与城市生态, 2003, 16(增刊):12~14. Chen J Z, Chen J, Xie X J. Land utilization in peri-urban and its environmental pressure (In Chinese). Journal of Urban Environment and Urban Ecology, 2003, 16(Suppl.):12~14
- [6] 秦明周,赵杰. 城乡结合部土壤质量变化特点与可持续性利用对策——以开封市为例. 地理学报, 2000, 55(5):544~554. Qin M Z, Zhao J. Strategies for sustainable use and characteristics of soil quality changes in urban-rural marginal area—A case study of Kaifeng (In Chinese). Acta Geographica Sinica, 2000, 55(5):544~554
- [7] 阎伍玖,吕成文,陈飞星. 芜湖城市郊区土壤重金属污染危害及其对策研究. 土壤学报, 2002, 37(1):136~141. Yan W J, Lu C W, Chen F X. A preliminary study on soil pollution of heavy metals and strategy against its harm in the suburbs of Wuhu City (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 37(1):136~141
- [8] 刘平辉,郝晋珉,李博文,等. 城市边缘区土地资源开发利用的影响因素研究. 河北农业大学学报, 2003, 26(2):101~105. Liu P H, Hao J M, Li B W, et al. The study of influencing factors on land resources development and use in urban fringe—A case study of the Haidian district, Beijing (In Chinese). Journal of Agricultural University of Hebei, 2003, 26(2):101~105
- [9] 王美青,章明奎. 杭州市城郊土壤重金属含量和形态的研究. 环境科学学报, 2002, 22(5):603~608. Wang M Q, Zhang M K. Concentrations and chemical associations of heavy metals in urban and suburban soils of Hangzhou City in Zhejiang Province (In Chinese). Acta Scientiae Circumstantiae, 2002, 22(5):603~608
- [10] 蔡为民,唐华俊,陈佑启,等. 土地利用系统健康评价的框架与指标选择. 中国人口·资源与环境, 2004, 14(1):31~35. Cai W M, Tang H J, Chen Y Q, et al. Framework of conception and option of health assessment index in land use system (In Chinese). China Population Resources and Environment, 2004, 14(1):31~35
- [11] 傅伯杰,陈利顶. 土地可持续利用评价的指标体系与方法. 自然资源学报, 1997, 12(2):112~118. Fu B J, Chen L D. The index system and method of land sustainable use evaluation (In Chinese). Journal of Natural Resources, 1997, 12(2):112~118
- [12] 郑昭佩,刘作新. 土壤质量及其评价. 应用生态学报, 2003, 14(1):131~134. Zheng Z P, Liu Z X. Soil quality and its evaluation (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(1):131~134
- [13] 颜卫忠. 环境预警指标体系研究. 长沙电力学院学报(自然科学版), 2002, 17(3):87~90. Yan W Z. Study of the environment alarming index system (In Chinese). Journal of Changsha University of Electric Power (Natural Science Edition), 2002, 17(3):87~90
- [14] 李俊红,李树枫,袁海林. 浅谈环境预警指标体系的建立. 西安建筑科技大学学报, 2000, 32(1):78~81. Li J H, Li S F, Yuan H L. Opinion on building the index of the environmental warning system (In Chinese). J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2000, 32(1):78~81
- [15] 傅伯杰. 区域生态环境预警的原理与方法. 资源开发与保护, 1991, 7(3):138~141. Fu B J. The principles and processing on regional ecological environment (In Chinese). Journal of Resource Exploitation and Conservation, 1991, 7(3):138~141
- [16] 海热提,王文兴. 生态环境评价、规划与管理. 北京:中国环境科学出版社, 2004. 97~106. Hai R T, Wang W X. Eco-environment Evaluating and Planning and Managing (In Chinese). Beijing: China Environmental Science Press, 2004. 97~106
- [17] 叶正波. 可持续发展预警系统理论与实践. 北京:经济科学出版社, 2002. 76~127. Ye Z B. The sustainable development warning system: Theory and practice (In Chinese). Beijing: Economic Science Press, 2002. 76~127
- [18] 陈国阶,何锦峰. 生态环境预警的理论和方法探讨. 重庆环境科学, 1999, 21(4):8~11. Chen G J, He J F. Ecological and environmental warning (In Chinese). Environmental Science of Chongqing, 1999, 21(4):8~11
- [19] 谢花林,李波. 城市生态安全评价指标体系与评价方法研究. 北京师范大学学报(自然科学版), 2004, 40(5):705~710. Xie H L, Li B. A study of indices system and assessment criterion of ecological security for city (In Chinese). Journal of Beijing Normal University (Natural Science Edition), 2004, 40(5):705~710
- [20] 叶伦文. 区域环境预警研究——以四川省邛崃市为例. 成都:四川大学出版社, 2003. Ye L W. A study on regional environmental warning—A case study of Qionglai, Sichuan (In Chinese). Chengdu: Sichuan University Press, 2003



## AN EARLY WARNING SYSTEM FOR FARMLAND ECO-ENVIRONMENT QUALITY

### —A CASE OF ZHENGZHOU CITY

Wang Ruiling<sup>1</sup> Chen Yinjun<sup>2</sup>

(1 *Yellow River Water Resources Protection Institute, Zhengzhou 450004, China*)

(2 *Institution of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China*)

**Abstract** Based on elaborate analysis of pollution sources of the soil and a better understanding of the complexity of the soil pollution, an early warning system for eco-environment quality of farmland was established in light of the particularity of the research site (suburb). This system consists of three models, namely, evaluating model, forecasting model, and early warning model. The system monitors variation of soil pollution intensity as is influenced by the socio-environmental system and predicts trends of the variation of soil environment quality. Based on this understanding, the warning system was applied as test-run to the farmland in the suburbs of Zhengzhou city. The following findings were obtained. (1) The eco-environment quality of the farmland in the suburbs of Zhengzhou has experienced a process of variation from rapid deterioration to relatively the worst and now to getting better, which implies that intensity of the stress of the socio-environment on soil environment has also followed a similar process, i. e. rising - the strongest - declining. (2) In general, the eco-environment quality of the farmland in the suburbs of Zhengzhou is not optimistic. It is, therefore, essential to exert overall control of all the factors that affect soil pollution, reduce external environment's stress on farmland soil environment, implement the work of early warning and prevention of soil pollution, and finally realize sustainable use of farmland soil.

**Key words** Warning index system; Warning system; Farmland eco-environment; Farmland soil environment