

# 无公害农产品产地土壤环境质量综合评价<sup>①</sup>

## ——以江苏省溧水县为例

许端阳<sup>1</sup>, 姜小三<sup>1</sup>, 潘剑君<sup>1\*</sup>, 廖启林<sup>2</sup>, 邹松梅<sup>2</sup>, 吴新民<sup>2</sup>

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 江苏省地质调查研究院, 南京 210018)

**摘要:** 在 GIS 技术的支持下, 在常规考虑土壤重金属污染的情况下, 综合考虑土壤肥力、立地条件和土地利用方式, 以及对不同评价因子采用不同评价方法, 如内梅罗指数法、模糊评价法、层次分析法, 对各个评价因子采用加权指数和法进行综合指数的计算, 科学评价了溧水县发展无公害农产品产地的土壤环境质量。结果表明: 溧水县土壤环境质量为一级、二级的土壤分别占总面积的 26% 和 58%, 三级、四级和五级的土壤加起来约占总面积的 16%。GIS 强大功能支持下的综合评价方法, 较常规评价方法更能反映实际情况。

**关键词:** 无公害农产品; 土壤环境质量; 评价

**中图分类号:** X825

近年来, 我国农产品因农药残留、重金属污染和其他有毒有害物质超标造成的“餐桌污染”和引发的中毒事件时有发生。发展无公害农产品生产, 是解决“餐桌污染”问题, 保证人民身体健康的根本途径。所谓无公害农产品, 就是指产地环境、生产过程和产品质量符合国家有关标准和规范的要求, 经认证合格获得无公害农产品认证证书并允许使用无公害农产品标志的未经加工或初加工的食用农产品<sup>[1]</sup>。土壤环境质量与植物、人类身体健康之间的关系不断受到人们的重视。产地的土壤环境质量是影响无公害农产品质量的最基础因素之一, 因此科学评价土壤环境质量是无公害农产品生产中的一个重要环节<sup>[2-4]</sup>。

目前, 国内对无公害农产品产地土壤环境评价大多采用的是 GB15618-1995 中的二级标准, 如黄国锋等<sup>[5]</sup>对广州江高镇无公害基地进行的土壤环境质量评价等。然而, 土壤的复杂性和区域差异性使得国家标准不能满足各个地区的评价要求, 在各个地方使用时产生不一样的效果<sup>[6]</sup>; 同时, 土壤环境的复杂性要求我们综合评价时不仅要考虑到土壤中 8 种重金属元素 (As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn) 的污染状况 (虽然农药残留等有机污染物对评价很重要, 但由于土壤样品没有该类项目测试, 所

以在这里暂未评价), 更应该考虑土壤肥力、立地条件和土地利用方式对土壤环境的综合影响, 对于无公害农产品产地这一特殊对象更应如此。但国内目前的一些相关研究对此考虑甚少。本文以江苏省溧水县为例, 利用 GIS 软件 Arc/Info 的强大数据处理及空间分析能力<sup>[7]</sup>, 以江苏省发展无公害农业产地土壤环境标准 DB32/T343.1-1999 为基础, 并增加 Ni、Zn 的含量标准 (参照 GB15618-1995 二级标准), 同时考虑土壤肥力、立地条件和土地利用方式这 3 个因子, 并根据各个因子的不同要求采用不同的评价方法, 避免将同种方法用在不同评价因子上而造成不适合性, 最后运用指数和法对无公害农产品产地土壤环境质量进行综合评价。

### 1 研究区概况

溧水县位于江苏省西南部, 秦淮河上游, 属于宁镇丘陵区, 境内丘陵起伏, 地形地貌复杂。全县土地资源较丰富, 资源类型有山丘、冲、圩区、平原等。土地总面积 1029.85 km<sup>2</sup>。主要土壤类型有黄棕壤 (栗色土、黄沙土、黄刚土、埋藏老红土、粗骨黄沙土), 石灰岩土 (棕色石灰土), 紫色土 (石灰性紫色土), 水稻土 (潜育型水稻土、渗育型水稻土, 潜育型水稻土)。

①基金项目: “江苏省国土生态地球化学调查”项目资助。

\* 通讯作者 (jpan@njau.edu.cn)

作者简介: 许端阳 (1983—), 男, 河南洛阳人, 硕士研究生, 主要从事土壤资源与信息技术方面的研究。E-mail: xdy1983@sohu.com

## 2 评价系统结构

本研究采用以GIS技术为基础的土壤环境质量综合评价，评价系统结构如图1所示。

## 3 评价过程

### 3.1 评价因子的确定

根据评价因子选择的主导因素原则、差异性原则和稳定性原则，同时考虑到评价对象的特殊性、土壤环境系统的复杂性和综合性，选定土壤重金属污染、土壤肥力、立地条件和土地利用方式作为评

价因子。

土壤重金属污染这一因子除根据江苏省地方标准DB32/T343.1-1999中规定的As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb 6种重金属元素外<sup>[8]</sup>，还参照GB15618-1995二级标准增加Ni、Zn两种元素。土壤肥力这一因子根据土壤全N、全P、全K、速效P、速效K、pH值、质地和有机质这8个子因素来确定。立地条件综合考虑坡度和坡向两个子因素；土地利用方式单独作为一个因素来考虑。各评价因子统计分析结果见表1。

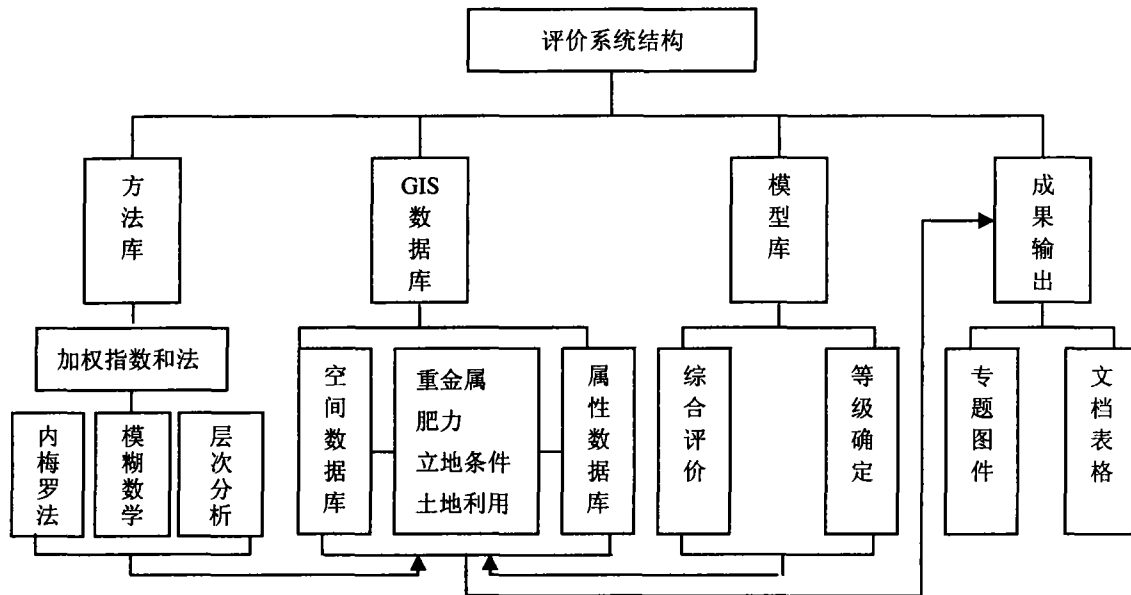


图1 土壤环境质量综合评价系统结构图

Fig. 1 The framework of the soil environment quality evaluation system

表1 评价因子数据统计

Table 1 Statistics of evaluated factors' data

统计项目	最小值	最大值	平均值	标准差
As (mg/kg)	5.000	50.00	10.96	4.210
Cd (mg/kg)	0.04000	0.3300	0.1000	0.03000
Cr (mg/kg)	36.00	107.0	71.57	8.090
Cu (mg/kg)	14.00	96.00	26.25	8.020
Hg (mg/kg)	0.02000	0.4500	0.07000	0.05000
Ni (mg/kg)	10.00	44.00	26.01	4.070
Pb (mg/kg)	18.00	236.0	30.40	15.23
Zn (mg/kg)	35.00	329.0	58.65	20.09
全N (g/kg)	0.6100	1.550	1.060	0.1900
全P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , g/kg)	0.6000	2.730	1.190	0.3200
全K (K <sub>2</sub> O, g/kg)	12.50	41.40	18.26	4.020
速效P (mg/kg)	1.000	59.50	7.150	6.700
速效K (mg/kg)	35.40	195.6	86.89	23.75
有机质 (g/kg)	8.790	26.38	16.66	3.150
pH	4.800	7.700	5.850	0.5300
CEC (cmol/kg)	6.500	20.90	12.50	3.500

### 3.2 因子权重的确定

根据每个参评因子对无公害农产品产地土壤环境质量的贡献程度, 赋予其不同的权重值, 本文采用的是层次分析法来确定参评因子的权重<sup>[9]</sup>。由于土壤重金属污染评价采用内梅罗指数法, 此方法不用考虑权重; 而土地利用只有土地利用方式这个单一因子, 实际上权重的计算只涉及到第一层即土壤环境质量层 (A) 和第二层的土壤肥力层 (B2) 和立地条件层 (B3)。构造判断矩阵, 并进行一致性检验, 其结果如表 2 所示。

表 2 判断矩阵的最大特征值及一致性检验结果

Table 2 The Maximal eigenvalues and the result of consistency test

矩阵	最大特征值	CI	CR
矩阵 A	4.000	0	0
矩阵 B2	8.254	0.03634	0.02577
矩阵 B3	2.000	0	0

注: CI 为一致性指标, CR 为一一致性比率。

从表 2 中可看到, 一致性检验的结果 CR 都 < 0.1, 具有很好的一致性。所以, 评价因子权重可以得到如表 3 所示的结果。

表 3 评价因子权重

Table 3 The weights of evaluation factors

评价因子	权重值
土壤重金属污染	0.546
土壤肥力	
全 N	0.0200
全 P	0.0130
全 K	0.0110
速效 P	0.0170
速效 K	0.0160
pH	0.0290
质地	0.0380
有机质	0.0380
立地条件	
坡度	0.0680
坡向	0.0680
土地利用方式	0.136

### 3.3 评价方法

3.3.1 土壤重金属污染评价 土壤重金属污染评价采用内梅罗综合指数法进行评价, 综合指数  $P_{\text{综}}$  的大小代表了土壤重金属污染程度的轻重。

$$P_{\text{综}} = \{ [(C_i/S_i)_{\text{max}}^2 + (C_i/S_i)_{\text{ave}}^2] / 2 \}^{1/2}$$

式中  $C_i$  为土壤污染物  $i$  的实测浓度;  $S_i$  为土壤污染物  $i$  的评价标准;  $(C_i/S_i)_{\text{max}}$  为土壤污染物中污染指数的最大值;  $(C_i/S_i)_{\text{ave}}$  为土壤各污染指数的平均值。当  $P_{\text{综}} < 0.7$  时, 代表土壤处于安全水平; 当  $0.7 \leq P_{\text{综}} < 1$  时, 代表土壤处于警戒水平; 当  $1 \leq P_{\text{综}} < 2$  时, 代表土壤处于轻污染水平; 当  $2 \leq P_{\text{综}} < 3$  时, 代表土壤处于中污染水平; 当  $P_{\text{综}} > 3$  时, 代表土壤处于重污染水平<sup>[10]</sup>。

3.3.2 土壤肥力评价 土壤肥力评价利用模糊数学原理, 通过确定各个因子隶属度函数以及分级标准, 采用评价分值表示肥力等级的方法来进行评价。不同的肥力参评因子采用不同类型的隶属度函数<sup>[9]</sup>, 其中 pH 采用抛物线型隶属度函数; 有机质, 全 N、P、K, 速效 P、K 采用 S 型隶属度函数; 质等概念型因素由于其性状是定性或综合性的, 难以定量表示, 故采用特尔菲法直接确定其隶属度<sup>[11]</sup>。

利用加权平均模型得到评价结果, 即  $b_j = \sum w_i \cdot r_{ij}$ 。  $b_j$  为最终评价结果对应于第  $j$  个等级的隶属度,  $w_i$  为对应的权重,  $r_{ij}$  为模糊关系矩阵中的对应元素。同时通过确定各等级对应的分值, 对各等级的分值进行加权平均, 可以得到综合评价分值<sup>[12]</sup>。当综合得分 > 90 时, 代表土壤养分状况较好; 当综合得分位于 80 ~ 90 之间时, 代表土壤养分状况一般; 当综合得分位于 70 ~ 80 时, 代表土壤养分状况较差; 当综合得分 < 70 时, 代表土壤养分状况极差。

3.3.3 立地条件与土地利用评价 通过 GIS 软件 Arc/Info 的栅格分析功能来制作立地条件 (坡度、坡向) 和土地利用方式的栅格图象, 并确定立地条件 (坡度、坡向) 和土地利用的分级标准, 赋予不同标准以不同的分值来确定。

### 3.4 评价单元的确定及评价等级的划分

本文采用确定评价单元的方法是将研究区划分为一定数量的栅格, 以单个栅格做为评价单元, 利用 Arc/Info 强大的栅格数据叠加分析处理功能, 将各个评价因子的栅格图叠加起来进行运算<sup>[13]</sup>, 为了提高精度, 栅格的大小采用 30 m × 30 m。各个评价因子的等级划分及不同等级赋予的不同分值见表 4。

表4 因子分级评价表

Table 4 The class assessment of factors

项目	I	II	III	IV
土壤重金属污染 (内梅罗指数)	<0.70	0.70 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	>2.0
土壤肥力得分	>90	80 ~ 90	70 ~ 80	<70
坡度 (°)	<6.0	6.0 ~ 15	15 ~ 25	>25
坡向	向南	向东	向西	向北
土地利用	水田、菜地、旱地	园地、林地	牧草地	建设用地/未利用地
等级分值	4	3	2	1

### 3.5 用加权指数求和法进行无公害产地土壤环境质量综合评价

利用 Arc/Info 的 Arcmap 中的 3D 分析模块和空间分析模块对 5 个同样象元大小的评价指标图进行叠加, 对生成的属性表用“加权指数求和法”分析每个象元的值, 然后计算各等地的面积, 评价结果见表 5。

表5 溧水无公害农产品产地土壤环境质量综合评价结果

Table 5 The result of the evaluation of soil environment quality in LiShui un-polluted agricultural product base

质量等级	指数范围	面积 (hm <sup>2</sup> )	占总面积比重 (%)
1	3.50 ~ 4.00	27000	26.0
2	3.10 ~ 3.50	60900	58.0
3	2.70 ~ 3.10	16800	16.0
4	2.20 ~ 2.70	510	0.490
5	<2.20	97	0.0920

从表 5 可以看出来, 溧水的无公害农产品产地土壤环境质量总体较好。根据此种评价方法, 对最后的指数和结果用等间距划分法划分为 5 个等级, 其中, 溧水的无公害农产品产地土壤环境质量为一等的面积占到总面积的 26%; 二等的占到 58%; 三等为警戒水平, 占到 16%, 四等和五等表明土壤环境质量较差和很差, 加起来占的比例还不到 1%。

土壤环境质量最好的一等地土壤主要分布在溧水县北部的柘塘、东部的石湫, 这一带属于秦淮河农业区, 主要以种植水稻为主。此类地区土壤重金属污染处于安全水平, 土壤肥力较好, 可以直接发展无公害农业生产; 但必须结合当地实际条件因地制宜, 在丘陵地区可以搞好麻、茶、果为主的经济园林开发, 在海拔较底的传统农业区可以大力发展无公害稻米的种植。土壤环境质量为二等的土壤主要分布在石湫湖一带。此地区土壤重金属污染虽然处于安全水平, 但土壤肥力一般, 土壤物理性差,

土性粘重的青泥黏土较多, 因此, 该类地区应该在着力发展无公害农业前应先改善土壤条件。应增施有机肥并结合轮作换茬, 合理施肥, 控制 N 肥施用数量, 适当增施 P、K 肥。土壤环境质量为三等的土壤主要分布于溧水县中东部的低山丘陵区。此地区重金属污染处于警戒与轻污染水平, 土壤肥力一般, 该类地区应先治理, 并结合培肥地力, 改善土壤环境质量。土壤环境质量为四等和五等的土壤主要分布在溧水县东南部低山丘陵地区的云鹤、洪蓝和东芦等乡镇。该地区重金属污染严重, 土壤肥力较低, 又处于丘陵山区, 所以该地区应加快治理污染, 结合山区优势发展林业。

同时, 与常规只考虑土壤重金属污染的土壤环境质量评价方法相比, 本文的评价结果中四等和五等地的土壤面积, 也就是不适宜发展无公害农业的土壤总面积要比常规方法中的大, 这是因为本文的评价方法在考虑重金属污染的情况下同时考虑了肥力、立地条件和土地利用方式, 增加了评价因子, 相应就增加了限制程度, 信息表达更全面, 所以不适宜的面积有所增加。另外, 土壤环境质量为一等的面积在常规方法中占的比重为最大, 而在本文的方法中, 土壤环境质量为二等的面积占了最大的比重, 通过进行实地调查, 证明这种评价结果更为可靠。

## 4 结语

江苏省溧水县无公害农产品产地的土壤环境质量整体较好, 其中第二等级土壤所占的面积最大, 第一等级土壤次之。但位于警戒水平的第三等级土壤也达到了 16%, 由于其所占面积较大, 存在一定潜在的危险, 所以应加以重视, 并采取相应措施。

相对于常规方法只考虑重金属污染一个因子, 本文又同时考虑了土壤肥力状况、立地条件和土地利用方式这 3 个因子, 并且对于不同因子采用了不

同的评价方法,更加详细地评价了土壤环境质量,使得评价结果更加可信。同时,所有的操作在 GIS 软件 Arcmap 下完成,栅格图象元大小都统一采用 30 m 的大小,保证了评价精度。但是,由于影响土壤环境质量的因素很多,评价方法与评价标准还很难达到统一。因此,在全面考虑影响因子和评价标准的基础上,还要进一步对评价方法进行改进和完善。

#### 参考文献:

- [1] 刘冠生,王学真. 农业标准化推广研究. 北京: 中国财政经济出版社, 2004
- [2] 司立英,孟凡珍,张复君,贾庆虎,李东莹. 无公害农业的发展对策. 中国种业, 2004 (3): 22
- [3] Doran JW, Parkin TB, Bezdicsek DF, et al. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Special Publication. NO. 35, 1994: 3-21
- [4] Swaran H, Kimbele J. Land quality assessment monitoring: The next challenge for soil science. *Pedosphere*, 2003, 13 (1): 1-10
- [5] 黄国峰,吴启堂,容天雨,游植粼,蒋成爱. 无公害蔬菜生产基地环境质量评价. 环境科学研究, 1999, 12 (4): 53-56
- [6] Doran JW, Jones AJ. Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication. NO. 47, 1996
- [7] 于磊,张柏. 基于 GIS 的黑土区土壤相对环境容量空间分异特征研究. 土壤学报, 2004, 41 (4): 511-514
- [8] 江苏省农林厅. 无公害农产品(食品)江苏省地方标准. 1999
- [9] 石常蕴,周慧珍. GIS 技术在土地质量评价中的应用——以苏州市水田为例. 土壤学报, 2001, 38 (3): 249-255
- [10] 巫建华,许学宏,陈斌,纪从亮,邹凤珠,季应明,王红慧,高芹,周健,邵劲松. 江苏中部典型农区耕地环境质量评价及应用研究. 土壤, 2003, 35 (5): 387-391
- [11] 孙波,张桃林,赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价. 土壤学报, 1995, 32 (4): 362-369
- [12] 朱青,周生路,孙兆金,王国梁. 两种模糊数学模型在土壤重金属综合污染评价中的应用与比较. 环境保护科学, 2004, 30 (123): 53-57
- [13] 王京文,历仁安,陆宏,成国良. GIS 支持下的大比例尺蔬菜地环境质量评价及其分等研究. 浙江大学学报, 2004, 30 (2): 173-178

## Evaluation of Environmental Quality of Soils in Farms

### Producing Hazard-Free Agricultural Products

—A Case Study of Lishui County, Jiangsu Province, China

XU Duan-yang<sup>1</sup>, JIANG Xiao-shan<sup>1</sup>, PAN Jian-jun<sup>1</sup>, LIAO Qi-lin<sup>2</sup>, ZOU Song-mei<sup>2</sup>, WU Xin-min<sup>2</sup>

(1 College of Resource and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2 Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China)

**Abstract:** Attempts were made to evaluate soil environment quality of farms producing hazard-free agriculture products in Lishui county with consideration of soil heavy metal pollution, soil fertility, terrain and land use patterns. With the aid of the GIS technology, different evaluation factors were evaluated with different methods such as Neimieluo index method, fuzzy mathematic method, and AHP method, respectively, and the composite index with the weighted index summation method. Results showed that the acreage of soils of Grade I and II in quality accounted for 26% and 58%, respectively, however the acreages of soils of Grade III, IV and V in quality amounted to 16% aggregatedly. The results also showed that this method was better than the ordinary method in reflecting the practical situation.

**Key words:** Hazard-free agriculture products, Soil environment quality, Evaluation