

# 徐州农田土壤养分和重金属含量与分布研究\*

王玉军<sup>1, 2</sup> 欧名豪<sup>1†</sup>

(1 南京农业大学公共管理学院, 南京 210095)

(2 江苏省地质调查研究院, 国土资源部地裂缝地质灾害重点实验室, 南京 210018)

**摘要** 测定分析了江苏省徐州市9 232个农田土壤耕层样品的养分含量和重金属含量, 并综合运用GIS空间分析与统计方法研究了土壤大量养分(全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)、碱解氮(AN)、有效磷(AP)和速效钾(AK))、微量养分全量(硼(B)、锰(Mn)、钼(Mo))和重金属全量(砷(As)、镉(Cd)、铬(Cr)、铜(Cu)、汞(Hg)、镍(Ni)、铅(Pb)、锌(Zn))的统计特征、空间分布特征及其在不同土壤类型和农田类型中的分布差异。结果表明, 徐州农田耕层土壤中的养分和重金属元素含量总体高于江苏和全国平均值, 养分含量达中等水平以上的面积比例超过80%, 99%以上的农田土壤重金属元素含量为清洁或尚清洁。养分含量偏高与徐州农田耕作程度较高有关, 重金属元素含量超标与工矿业生产有关。养分和重金属元素含量在空间分布上有较大差异, 不同成因的土壤类型和不同农田类型的养分和重金属元素含量差异明显。

**关键词** 土壤养分; 重金属元素; 耕层土壤; 空间分布; 土壤类型; 农田类型

**中图分类号** P632; P596 **文献标识码** A

土壤是农作物生长的载体和最基本的农业生产资料<sup>[1]</sup>。作为土壤的物质基础, 土壤元素的构成及含量决定了土壤肥力质量和环境质量, 对农作物的产量和品质有显著影响<sup>[2]</sup>。随着多目标区域地球化学调查工作的全面展开和不断深入, 地球化学作为研究地表沉积物物质组成、来源、成因等的重要手段<sup>[3]</sup>, 与土壤学的结合日趋紧密, 针对地表土壤的地球化学研究也相当丰富<sup>[4-6]</sup>。国内外土壤地球化学研究的应用领域已覆盖矿产勘查预测、土壤环境评价、土壤肥力评估、农业区划与规划等方面<sup>[7-10]</sup>。

江苏省是全国率先开展多目标区域地球化学调查的地区, 2000年即开展了小范围试点, 至2009年完成了全部陆域地球化学调查工作, 获取了丰富的土壤元素数据, 并已应用在研究人为活动和

区域地质作用对土壤环境的影响、进行土壤生态环境预警以及开发利用富硒(Se)土壤资源等方面<sup>[11]</sup>。根据已有调查研究, 对于农田土壤元素而言, 从地球化学特征来看, 包括有益元素和有害元素, 其中有益元素是指农作物生长发育所必需的养分元素, 包括农作物干物质的主要成分氮(N)、磷(P)、钾(K), 以及农作物生长所必需的微量元素硼(B)、钼(Mo)、锰(Mn)等<sup>[12-13]</sup>; 有害元素以重金属元素为代表, 包括生物毒性显著的砷(As)、镉(Cd)、汞(Hg)、铅(Pb)和毒性一般的铬(Cr)、铜(Cu)、镍(Ni)和锌(Zn)等, 其不易被微生物降解且不易移动, 不断在土壤中积累, 并通过食物链进入农产品中, 影响农产品质量安全, 进而危害人类健康<sup>[14-16]</sup>。

江苏徐州是华东地区传统农业区、国家粮棉

\* 国家自然科学基金项目(40873081)和江苏省地质勘查基金项目“徐州城市地质调查”资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40873081) and the Geological Exploration Foundation Project (Urban Geological Survey of Xuzhou) of Jiangsu Province in China

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: mhoul@njau.edu.cn

作者简介: 王玉军(1972—), 男, 安徽滁州人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事地质环境与国土资源规划研究。

E-mail: jszdzdt@126.com

收稿日期: 2017-07-28; 收到修改稿日期: 2017-08-18; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2017-09-01

生产基地和全国五大蔬菜产区之一，粮食作物主要为小麦、水稻、玉米，棉花、油菜、蔬菜等经济作物也有较大种植面积，长期重化肥轻有机肥或未按测土配方施肥，导致各类农田土壤元素之间比例失调，土壤养分失衡。同时，徐州也是传统煤炭基地，铁、铜等金属矿亦有开发利用，矿产资源开发利用过程中对矿区周边农田造成重金属污染。因此，无论是土壤的有益元素还是有害元素，徐州地区均具备典型意义。但迄今为止，有关徐州农田土壤养分和重金属含量方面的报道较少，仅强承魁等<sup>[17]</sup>分析了徐州地区麦田土壤和小麦籽实重金属污染特征以及刘红侠等<sup>[18]</sup>评价了徐州北郊农业土壤重金属污染情况。为此，本文基于统计学和地统计方法，借助GIS技术，分析徐州地区农田土壤养分和重金属元素含量、空间分布及其与土壤类型和农田类型的关系，旨在掌握区域农田土壤肥力和环境质量的差异，为区域土壤施肥与污染防治及农业布局提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区包括江苏省徐州市鼓楼区、云龙区、泉山区、铜山区、贾汪区和睢宁县双沟镇，面积3 157.90 km<sup>2</sup>，介于116°48′~117°43′E和33°58′~34°36′N之间。地貌以平原为主，丘陵为辅，兼有废黄河垄状高地贯穿中部，第四纪覆盖面积占70%以上。气候属湿润至半湿润季风气候区，年均温14℃，年平均降水量845.1 mm。主要土壤类型有潮土（潮湿锥形土）、水稻土（水耕人为土）、砂姜黑土（潮湿变性土和变性潮湿新成土）、褐土（干润淋溶土）、棕壤（湿润淋溶土）、粗骨土（正常新成土）等6个土类15个土属，成土母质为河流冲积物、河湖相沉积物及丘陵岗地残坡积物。农田类型主要为旱地、水田和园地，耕作制度为小麦/水稻、小麦/玉米、油菜/水稻、油菜/玉米轮作。

### 1.2 样品采集与分析

结合研究区的农田分布和类型、耕作制度及地形地貌，兼顾样点控制范围内主要自然属性的一致性，按照每平方千米4~5个样点为一个组合采集耕层（0~20 cm）土样。根据地形地貌选择采样方法，平原区采用梅花形多点组合采集土壤样品；

丘陵区 and 废黄河垄状高地采用蛇形多点组合采集土壤样品。采集不同农田地块中的土壤作为组合样点，组合点间距不低于50 m。每个采样点采集土壤不少于1 kg，使用统一工具和程序，采样中严防污染，采样时去除植物残体、碎石等其他杂物。每个采样点使用GPS进行定位，并观察采样点的土地利用情况和所采土样的物理特征填写采样记录表并拍照留存。共采集9 232个样点的土壤样品（图1）。

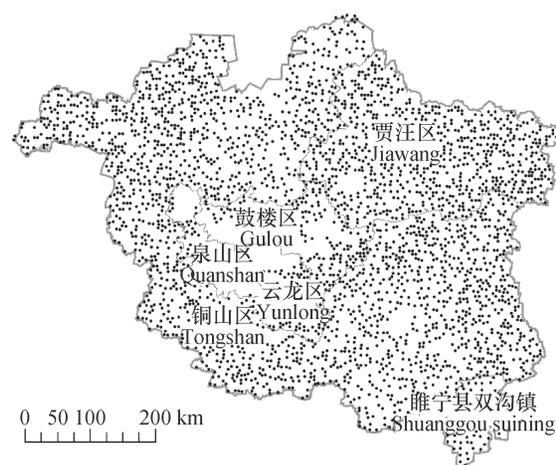


图1 江苏徐州农田采样点分布

Fig. 1 Distribution of soil sampling sites in Xuzhou, Jiangsu

对所有土壤样品统一分析测试17项指标，包括6项大量养分指标：全氮（TN）、全磷（TP）、全钾（TK）、碱解氮（AN）、有效磷（AP）和速效钾（AK），3项微量养分指标：全量B、Mo、Mn，8项重金属指标：全量As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn。土样经室内自然风干后，统一过20目（0.84 mm）筛后进行混匀缩分，取约200 g样品采用无污染球磨方法加工至200目（0.074 mm），取5 g样品用塑料袋封装作Hg分析用，其余样品用纸袋分装作TN、TP等项目测试使用。

不同土壤元素的分析测试方法为：（1）TP、TK、Mn、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn采用X射线荧光光谱法测定<sup>[19]</sup>；（2）Mo、Cd采用等离子体质谱法（酸溶）测定<sup>[20]</sup>；（3）As、Hg采用原子荧光法测定<sup>[21]</sup>；（4）B采用发射光谱法测定<sup>[22]</sup>；（5）TN采用容量法测定<sup>[23]</sup>；（6）AN采用氢氧化钠溶液扩散—容量法测定；（7）酸（中）性土壤AP采用氟化氢铵—盐酸浸取—电感耦合等离子体光谱法测定，碱性土壤AP采用碳酸氢钠溶液浸取—分光光度法测定；（8）AK采用乙酸铵溶液浸

取一原子吸收光谱法测定法测定。

### 1.3 数据处理

使用IBM Statistics SPSS 20.0软件对土壤元素含量特征进行描述性统计和正态分布检验, 检验土壤样品各元素含量是否服从正态分布; 对不服从正态分布的数据, 进行平均3倍离差, 剔除异常值数据, 直至服从正态分布。

使用ESRI ArcGIS 9.3软件的ArcMap平台进行绘图, 使用Spatial Analysis工具模块进行Kriging (克里格)空间插值和地统计分析。

土壤养分含量的分级参照全国第二次土壤普查养分等级划分标准<sup>[24]</sup>和《土地质量地球化学评价规范(DZ/T 0295-2016)》<sup>[25]</sup>, 划分为丰富、较丰富、中等、较缺乏、缺乏五个等级。土壤重金属含量的评价分级采用Nemerow (内梅罗)综合污染指数( $P$ )<sup>[26]</sup>, 划分为清洁、尚清洁、轻度污染、中度污染、重度污染五个等级。

## 2 结果

### 2.1 徐州农田土壤指标描述性统计

徐州市农田土壤统计分析结果(表1)显示, 全部9个土壤养分指标的中位数均低于其均值, 偏度和丰度均大于0, 分布属于右偏态, 表明土壤养分元素含量高于均值的采样点相对较多。TK含量的变异系数小于0.25, 呈低变异性, 表明在区域内变化较小; TN、TP、AN、B、Mn含量的变异系数介于0.25~0.5之间, 呈中变异性, 表明在区域上有一定差异, 但变化不显著; AP、AK、Mo含量的变异系数大于0.5, 呈高变异性, 表明在区域上分异显著, 可能受人类活动影响较大。TN、TP、TK、Mn含量的均值分别为1.65 g kg<sup>-1</sup>、1.21 g kg<sup>-1</sup>、19.05 g kg<sup>-1</sup>和714.8 mg kg<sup>-1</sup>, 分别高于江苏表层土壤平均值的157.8%、132.7%、2.42%、22.61%, 高于全国表层土壤平均值的33.06%、55.13%、5.25%、13.64%; B含量的均值为54.03 mg kg<sup>-1</sup>, 高于全国表层土壤平均值13.03%, 但低于江苏表层土壤平均值2.65%; Mo含量的均值为0.71 mg kg<sup>-1</sup>, 高于江苏表层土壤平均值36.54%, 但低于全国表层土壤平均值64.50%。

全部8个土壤重金属元素含量的中位数均低于其均值, 偏度和丰度均大于0, 分布属于右偏态, 表明土壤重金属元素含量高于均值的采样点

相对较多。Cr含量的变异系数小于0.25, 呈低变异性, 表明在区域内变化不大, 基本未受人类活动的影响; As、Cd、Cu、Ni、Pb、Zn含量的变异系数介于0.25~0.5之间, 呈中变异性, 表明在区域上有一定分异, 其原因既包括继承成土母质的地球化学特征, 又在一定程度上受人类活动影响<sup>[27]</sup>; Hg含量的变异系数大于0.5, 呈高变异性, 表明在区域上分异显著, 主要是人类活动所致。Hg含量的均值为0.045 mg kg<sup>-1</sup>, 分别低于江苏和全国表层土壤平均值10.00%和35.71%; Cr含量的均值为72.0 mg kg<sup>-1</sup>, 高于全国表层土壤平均值18.03%, 但低于江苏表层土壤平均值3.74%; Zn含量的均值为73.7 mg kg<sup>-1</sup>, 高于江苏表层土壤平均值6.81%, 但低于全国表层土壤平均值0.67%; As、Cd、Cu、Ni、Pb含量的均值分别为11.99 mg kg<sup>-1</sup>、0.21 mg kg<sup>-1</sup>、27.2 mg kg<sup>-1</sup>、32.5 mg kg<sup>-1</sup>和26.6 mg kg<sup>-1</sup>, 分别高于江苏表层土壤平均值的32.19%、50.00%、8.80%、3.50%、4.31%, 高于全国表层土壤平均值的7.05%、110.0%、20.35%、20.82%、2.31%。50%以上采样点土壤的As、Cu、Pb含量高于江苏和全国平均值, 90%以上采样点土壤的Cd含量高于江苏和全国平均值。研究区所有土壤重金属元素含量的均值均高于徐州地区的背景值。

### 2.2 徐州农田土壤指标的分级比例

农田土壤9个养分指标(表2)中, TN、AN含量较高, 较丰富以上(TN > 1.5 g kg<sup>-1</sup>; AN > 120 mg kg<sup>-1</sup>)的样点比例均超60%; TP、AP含量非常高, 较丰富以上(TP > 0.8 g kg<sup>-1</sup>; AP > 20 mg kg<sup>-1</sup>)的样点比例均超80%; TK含量一般, 中等水平(15~20 g kg<sup>-1</sup>)的样点比例约占75%, 相比而言, AK含量较高, 较丰富以上(> 150 mg kg<sup>-1</sup>)的样点比例约75%; B含量总体较高, 中等水平以上(> 0.5 mg kg<sup>-1</sup>)的样点比例近90%, 较丰富以上(> 1 mg kg<sup>-1</sup>)的样点比例约35%; Mo含量相对较低, 缺乏和较缺乏(< 0.15 mg kg<sup>-1</sup>)的样点比例超35%; Mn含量总体较高, 中等水平以上(> 5 mg kg<sup>-1</sup>)的样点比例超85%, 较丰富以上(> 15 mg kg<sup>-1</sup>)的样点比例约55%。

农田土壤8个重金属元素(表3)中, Cr和Zn样点超标率最低, 几乎无样点超标; 其次是Hg和Pb, 超标率分别仅为0.01%和0.04%; Cu、Cd和As超标率也非常低, 分别仅为0.14%、0.17%和0.19%; 相比之下, Ni超标率最高, 其含量达污染

表1 江苏徐州农田土壤养分和重金属元素含量统计

Table 1 Descriptive statistics of contents of soil nutrients and heavy metal elements in farmlands of Xuzhou, Jiangsu

统计参数 Statistical parameter	养分Nutrients								
	TN <sup>1)</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	TP <sup>2)</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	TK <sup>3)</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	AN <sup>4)</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	AP <sup>5)</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	AK <sup>6)</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	B (mg kg <sup>-1</sup> )	Mo (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )
样品数Samples	9 120	9 016	9 138	9 119	8 791	9 011	8 924	8 731	8 666
最小值Min	0.14	0.18	4.7	4.44	0.29	18.64	0.62	0.25	140.9
中位数Mid	1.59	1.18	18.67	132	31	180	51.6	0.61	629
最大值Max	5.98	7.66	37.34	702.7	532	1 729	262	19.8	6 500
均值Mean	1.65	1.21	19.05	137.7	40.72	206.7	54.03	0.71	714.8
标准差SD	0.5	0.44	2.39	52.15	36.02	111.3	14.02	0.48	326.4
变异系数CV	0.3	0.36	0.13	0.38	0.88	0.54	0.26	0.68	0.46
偏度Skewness	0.05	1.53	0.81	2.81	0.17	2.25	0.95	3.04	1.84
峰度Kurtosis	3.48	4.08	3.57	2.73	3.55	4.39	3.55	2.97	5.18
全国土壤平均值 <sup>[28]</sup> Mean of China	0.64	0.52	18.6	—	—	—	47.8	2	583
江苏土壤平均值 Mean of Jiangsu	1.24	0.78	18.1	—	—	—	55.5	0.52	629
统计参数 Statistical parameter	重金属元素Heavy metal elements								
	As (mg kg <sup>-1</sup> )	Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Hg (mg kg <sup>-1</sup> )	Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	
样品数Samples	8 985	9 134	9 169	9 041	8 783	9 178	9 010	9 118	
最小值Min	2.52	0.06	9.5	8.2	0.008	7.7	7.2	7	
中位数Mid	11	0.2	69.8	25.4	0.039	30.7	25.8	70.4	
最大值Max	173	1.48	391	686	0.87	380.7	256.4	1 098	
均值Mean	11.99	0.21	72	27.2	0.045	32.5	26.6	73.7	
标准差SD	4.46	0.07	12.04	12.96	0.03	8.82	6.82	21.35	
变异系数CV	0.37	0.35	0.17	0.48	0.66	0.27	0.26	0.29	
偏度Skewness	0.52	4.51	3.23	2.11	1.39	0.73	0.95	3.59	
峰度Kurtosis	3.34	2.69	3.48	4.05	3.12	1.57	4.01	2.22	
全国土壤平均值 <sup>[28]</sup> Mean of China	11.2	0.1	61	22.6	0.07	26.9	26	74.2	
江苏土壤平均值 Mean of Jiangsu	9.07	0.14	74.8	25	0.05	31.4	25.5	69	
徐州土壤背景值 Background value of Xuzhou	10.4	0.14	70.4	25	0.036	30.5	23.8	64.7	

注：1) 全氮，2) 全磷，3) 全钾，4) 碱解氮，5) 有效磷，6) 速效钾。江苏土壤平均值、徐州土壤背景值数据来源为中国地质调查局与江苏省人民政府合作项目“江苏省国土生态地球化学调查”。“—”表示缺数据。下同Note: 1) Total nitrogen, 2) Total phosphorus, 3) Total potassium, 4) Alkaline nitrogen, 5) Available phosphorus, 6) Available potassium. Data about means of the soils in Jiangsu and soil background value of Xuzhou are cited from the cooperation project between China Geological Survey Bureau and Government of Jiangsu Province “Ecological and Geochemical Survey of Jiangsu Province”. “—” means no data. The same below

表2 江苏徐州农田土壤养分含量分级与比例统计

Table 2 Grading and area statistics of soil nutrient contents in farmlands of Xuzhou, Jiangsu

	丰富		较丰富		中等		较缺乏		缺乏	
	Rich		Less rich		Moderate		Less deficient		Deficient	
	含量 Content	比例 Ratio (%)	含量 Content	比例 Ratio (%)	含量 Content	比例 Ratio (%)	含量 Content	比例 Ratio (%)	含量 Content	比例 Ratio (%)
TN	> 2	12.72	> 1.5 ~ 2	47.99	> 1 ~ 1.5	36.71	> 0.75 ~ 1	1.4	≤ 0.75	1.19
TP	> 1	70.37	> 0.8 ~ 1	18.62	> 0.6 ~ 0.8	9.16	> 0.4 ~ 0.6	1.03	≤ 0.4	0.84
TK	> 25	0.38	> 20 ~ 25	23.8	> 15 ~ 20	74.06	> 10 ~ 15	1.01	≤ 10	0.75
AN	> 150	30.37	> 120 ~ 150	33.88	> 90 ~ 120	27.68	> 60 ~ 90	6.3	≤ 60	1.77
AP	> 40	40.05	> 20 ~ 40	44.33	> 10 ~ 20	11.97	> 5 ~ 10	1.73	≤ 5	1.92
AK	> 200	43.63	> 150 ~ 200	30.86	> 100 ~ 150	18.79	> 50 ~ 100	5.17	≤ 50	1.55
B	> 65	13.57	> 55 ~ 65	20.7	> 45 ~ 55	54	> 30 ~ 45	10.79	≤ 30	0.94
Mo	> 0.85	14.66	> 0.65 ~ 0.85	21.1	> 0.55 ~ 0.65	28.14	> 0.45 ~ 0.55	30.21	≤ 0.45	5.89
Mn	> 700	35.63	> 600 ~ 700	20.3	> 500 ~ 600	30.92	> 375 ~ 500	9.53	≤ 375	3.62

注: TN、TP、TK含量单位为 $\text{g kg}^{-1}$ , 其他元素含量单位为 $\text{mg kg}^{-1}$ 。下同 Note: The unit for TN, TP and TK is  $\text{g kg}^{-1}$ , and for all the others  $\text{mg kg}^{-1}$ . The same below

表3 江苏徐州农田土壤重金属元素含量分级与比例统计

Table 3 Grading and area statistics of soil heavy metal elements contents in farmlands of Xuzhou, Jiangsu

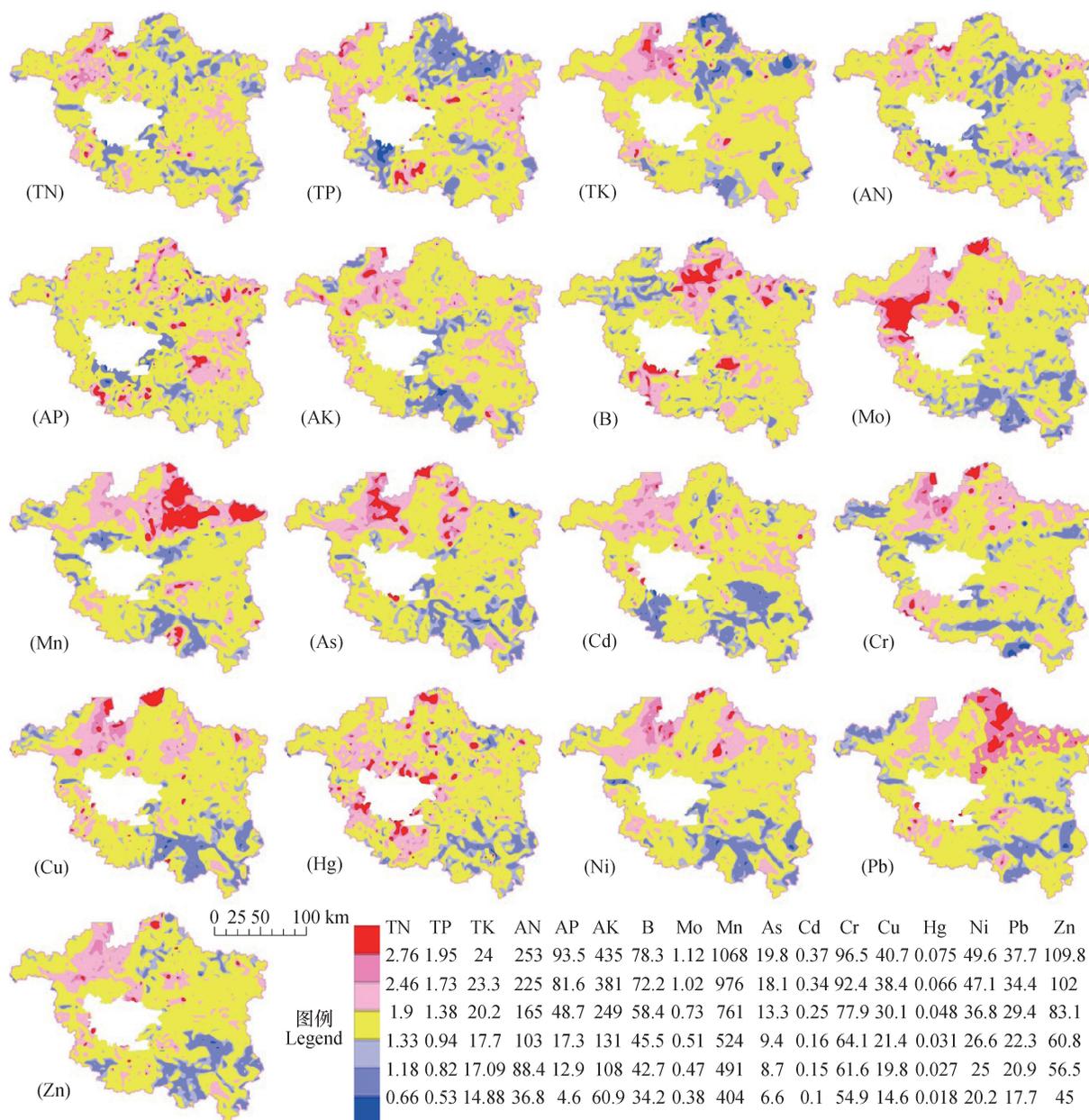
	清洁		尚清洁		轻度污染		中度污染		严重污染	
	Clean		Less clean		Light polluted		Moderate polluted		Heavy polluted	
	内梅罗指数 Nemerow index	比例 Ratio (%)	内梅罗指数 Nemerow index	比例 Ratio (%)	内梅罗指数 Nemerow index	比例 Ratio (%)	内梅罗指数 Nemerow index	比例 Ratio (%)	内梅罗指数 Nemerow index	比例 Ratio (%)
As		94.66		5.16		0.16		0.02		0.01
Cd		97.44		2.39		0.16		0.01		0
Cr		99.96		0.03		0		0		0
Cu	$P \leq 0.7$	99.34	$0.7 < P \leq 1.0$	0.52	$1.0 < P \leq 2.0$	0.13	$2.0 < P \leq 4.0$	0.01	$P > 4.0$	0
Hg		99.99		0.01		0.01		0		0
Ni		77.32		21.58		1.11		0.01		0
Pb		99.80		0.15		0.04		0		0
Zn		99.97		0.037		0		0		0

标准 ( $P > 1.0$ ) 的农田面积超2 000  $\text{km}^2$ , 远高于其他重金属元素, 但超标率也仅为1.12%。

### 2.3 徐州农田土壤各指标的空间分布

对所有有效样品中各土壤元素含量进行累计频数统计, 按统计结果的1.5%、15%、25%、75%、95%、98.5%作为分级设色标准, 各土壤元素含量的空间分布如图1所示。

农田土壤9个养分指标中, TN、TP、TK、AN、AP、AK含量的空间分布大体近似, 含量较高的区域分布在研究区西北、西南和东中部, 含量较低的区域分布在东北和南部; TN、TP、TK含量的空间分异更明显, 而AN、AP、AK含量的空间分布相对更均衡; B含量较高的区域分布在研究区东北和西南部, 含量较低的区域分布在西北部; Mo含



注：各小图中部空白区域为建成区 Note: The blank area in each figure represents the built-up area of Xuzhou

图2 江苏徐州农田土壤养分和重金属元素含量空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of soil nutrient contents and heavy metal element contents in farmlands of Xuzhou, Jiangsu

量较高的区域分布在研究区西北部，含量较低的区域分布在东南部；Mn含量较高的区域分布在研究区东北部，含量较低的区域较少，分布在西部和中南部。

农田土壤8个重金属元素中，As、Cr、Cu、Ni含量的空间分布近似，含量较高的区域分布在研究区北部，含量较低的区域分布在东南部；Cd、Zn含量的空间分布近似，含量较高的区域分布在研究区西北部，含量较低的区域分布在南部；Hg含量较高的区域分布在研究区中部城市建成区周边，含量较低的区域分布在东南部；Pb含量较高的区域

分布在研究区东北部，含量较低的区域分布在西北和东南部。总体而言，农田土壤重金属元素含量空间分布呈现北高南低的格局。

#### 2.4 不同土壤类型间元素含量差异

由于不同地形地貌形成的土壤特性不同，故可根据地貌类型判断成土母质的来源和类型，进而推断土壤发生类型<sup>[29]</sup>。因此，根据地形地貌类型将研究区土壤分为三大类，I类土壤发育于河流冲积物母质，有飞沙土、沙土、两合土、淤土、碱性土、盐性土、棕潮土；II类土壤发育于河湖相沉积

表4 江苏徐州不同农田土壤类型养分和重金属元素含量统计

Table 4 Statistics of soil nutrient contents and heavy metal element contents in soils of Xuzhou, Jiangsu relative to soil type

土壤类型	样本数	TN	TP	TK	AN	AP	AK	B	Mo	Mn
Soil type	Samples	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )
飞沙土Blow sandy soil	201	1.19	1.34	18.52	96.17	25.75	138.5	47.63	0.6	483
沙土Sandy soil	1 132	1.53	1.39	18.62	119.2	34.07	167.8	51.22	0.61	541
两合土Mixed soil	1 980	1.71	1.39	19.33	139.4	38.18	206.2	50.82	0.72	593
淤土Silt soil	1 553	1.99	1.24	21.62	154.3	39.25	301.3	47.68	0.95	769
碱性土Alkaline soil	238	1.5	1.27	17.87	121.1	29.83	120	51.96	0.47	499
盐性土Saline soil	1 178	1.58	1.33	18.39	132.9	33.41	155.1	51.01	0.64	530
棕潮土	44	1.87	1.79	18.58	176.4	63.33	177.5	51.25	0.51	555
Brown alluvial soil										
湖黄土	99	2.22	1.16	23.41	184	37.86	369.1	44.72	1.04	846
Lacustrine yellow soil										
岗黑土Mound black soil	248	1.62	1.08	16.34	146.2	62.45	225.6	52.87	0.7	1 264
山淤土Hill silt soil	985	1.55	0.96	17.57	141.2	55.47	197.6	62.99	0.65	905
山黄土Hill yellow soil	612	1.42	0.89	18.06	133.2	50.03	188.1	67.24	0.67	1004
山红土Hill red soil	269	1.4	0.87	18.62	125.7	43.09	198.5	63.83	0.59	831
金黄土Golden soil	140	1.42	0.84	17.45	160.3	64.44	211.5	62.09	0.57	828
白淌土Albic Brown soil	97	1.42	0.79	15.98	157.2	49.68	174.1	58.15	0.64	952
砾石土Gravelly soil	349	1.55	0.89	19.8	131.3	34.79	209.6	66.92	0.71	843
土壤类型	样本数	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
Soil type	Samples	(mg kg <sup>-1</sup> )								
飞沙土Blow sandy soil	201	8.1	0.17	63.4	20.8	0.036	23.3	21.8	61.2	
沙土Sandy soil	1 132	9.85	0.2	65	23.7	0.043	27.6	23.1	70.5	
两合土Mixed soil	1 980	11.42	0.23	68.3	26.3	0.048	31.3	24.9	76.7	
淤土Silt soil	1 553	15.96	0.29	80.9	33.3	0.046	40.8	28.6	91.2	
碱性土Alkaline soil	238	9.26	0.17	61.3	19.3	0.035	24.9	20.8	60	
盐性土Saline soil	1 178	9.89	0.2	64.3	22.2	0.043	27.6	22.6	66.9	
棕潮土	44	9.99	0.19	67.3	25.5	0.055	28.1	24.9	79.9	
Brown alluvial soil										
湖黄土	99	18.74	0.32	89.7	37.7	0.047	46.8	30.6	99.8	
Lacustrine yellow soil										
岗黑土Mound black soil	248	12.85	0.21	80.2	36	0.05	38.2	33.6	80.1	
山淤土Hill silt soil	985	11.97	0.18	75	28.1	0.045	33.1	30.3	67.2	
山黄土Hill yellow soil	612	12.49	0.17	77.8	27.9	0.042	33.4	31.8	65.5	
山红土Hill red soil	269	11.32	0.17	75.1	24.8	0.037	31.4	28.1	63.7	
金黄土Golden soil	140	11.02	0.15	74.4	25	0.036	30.8	28.1	60.6	
白淌土Albic Brown soil	97	11.41	0.13	73.9	28.8	0.038	31	29.7	52.3	
砾石土Gravelly soil	349	12.64	0.2	80.3	31.1	0.046	34.9	29.4	72	

注：表中元素含量统计值为样本均值。下同Note: The statistical values in the table above are means of the samples. The same below

物母质，有湖黄土、岗黑土；Ⅲ类土壤发育于丘陵岗地的残坡积物母质，有山淤土、山黄土、山红土、金黄土、白淌土、砾石土。

I类土壤中，由于飞沙土、沙土、两合土、淤土的颗粒愈来愈细，无论是养分的平均含量，还是重金属元素的平均含量，均显示出飞沙土 < 沙土 < 两合土 < 淤土；碱性土、盐性土、棕潮土的平均含量总体上也呈现出逐渐升高的趋势。II类土壤中，湖黄土与岗黑土相比较，养分指标中除了AP、B、Mn，重金属元素中除了Hg、Pb，其他元素的平均含量均为岗黑土 < 湖黄土，可能与岗黑土所处地势较湖黄土高有关。III类土壤中，不同土壤中各元素含量的无显著差别，说明成土母质可能无较大区别，在后期搬运过程中均质化。

不同地貌类型成因的土壤，土壤中各养分和重金属元素的平均含量有明显区别。总体而言，发育于河湖相沉积物的II类土壤含量最高，其次是发育于丘陵岗地残坡积物的III类土壤，发育于黄泛平原区河流冲积物的I类土壤含量最低。

## 2.5 不同农田类型间元素含量差异

人类的长期耕作及其耕作方式对农田土壤

的理化特征会产生显著影响<sup>[30]</sup>。根据研究区土地利用现状数据，农田主要包括水田、旱地和园地。经空间分析统计，养分元素方面，水田土壤中的TN、TP、TK、AN和AK平均含量分别为1.87 g kg<sup>-1</sup>、1.26 g kg<sup>-1</sup>、19.74 g kg<sup>-1</sup>、146.51 mg kg<sup>-1</sup>和213.85 mg kg<sup>-1</sup>，分别高于旱地25.50%、8.62%、6.76%、10.67%、6.00%，高于园地35.51%、4.13%、1.91%、23.50%、15.36%；旱地土壤中的AP、B、Mo和Mn平均含量分别为41.74 mg kg<sup>-1</sup>、57.00 mg kg<sup>-1</sup>、0.72 mg kg<sup>-1</sup>和793 mg kg<sup>-1</sup>，分别高于水田8.30%、14.00%、2.86%、27.70%，高于园地24.23%、4.97%、16.13%、23.14%。重金属元素方面，三种农田类土壤中的As、Cr、Hg元素平均含量相近，无显著差异；旱地土壤中的Pb平均含量为27.4 mg kg<sup>-1</sup>，分别高于水田和园地7.03%和10.48%；水田土壤中的Cd、Ni、Zn平均含量分别为0.24 mg kg<sup>-1</sup>、33.3 mg kg<sup>-1</sup>和77.2 mg kg<sup>-1</sup>，分别高于旱地20.00%、4.39%、9.19%，高于园地33.33%、10.26%、10.60%；园地土壤中的Cu平均含量为28.9 mg kg<sup>-1</sup>，分别高于旱地与水田7.43%和7.04%。

表5 江苏徐州不同农田类型土壤养分和重金属元素含量统计

Table 5 Statistics of soil nutrient contents and heavy metal element contents in the soils of Xuzhou, Jiangsu relative to type of farmland

地类	样本数	TN	TP	TK	AN	AP	AK	B	Mo	Mn
Type of farmlands	Samples	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )
园地Garden	451	1.38	1.21	19.37	118.6	33.6	185.4	54.3	0.62	644
旱地Dryland	4 789	1.49	1.16	18.49	132.3	41.74	201.8	57	0.72	793
水田Paddy	3 667	1.87	1.26	19.74	146.5	38.54	213.9	50	0.7	621
地类	样本数	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
Type of farmlands	Samples	(mg kg <sup>-1</sup> )								
园地Garden	451	11.28	0.18	70.1	28.9	0.043	30.2	24.8	69.8	
旱地Dryland	4 789	11.95	0.2	72	26.9	0.043	31.9	27.4	70.7	
水田Paddy	3 667	12.09	0.24	71.9	27	0.046	33.3	25.6	77.2	

## 3 讨 论

研究区农田土壤养分丰富，高于江苏、全国平均水平，原因是徐州地貌以平原为主，第四系分布广泛且覆盖较厚，耕作历史悠久，耕作程度高、投入大，有利于土壤养分的富集。尤其是近十多年来，随着农业科技的发展和普及，农民养地意识和

措施不断加强，施肥投入量持续增加，加之农业机械应用范围广泛，造成农作物根叶等残留于土壤中，有利于土壤有机质含量的提高，促使农田土壤中养分含量进一步增加。徐州地区主要种植的小麦、水稻、玉米、油菜、蔬菜等作物对钾的吸收量相对较大，农田土壤中钾的消耗量相对较大，故钾含量较氮、磷相对偏低。同时，研究区农田土壤重

金属元素含量普遍高于江苏、全国平均水平和徐州地区背景值,原因是徐州作为传统资源型城市和老工业基地,其煤炭和铁、铜等金属矿产的开发利用以及冶炼、煤电等工矿业生产必然产生一定的重金属污染。个别污染程度显著区域,如As、Cd、Cu含量超标农田分布于铜山区利国镇、贾汪区青山泉镇和江庄镇等煤、铁、铜矿集中开发利用区域,Hg含量超标农田则分布在主城区周边工业集中布局区域。

不同类型土壤养分和重金属含量的差异受其成土母质所处地貌特征的影响。黄泛平原是黄河冲积形成的河流沉积物,I类土壤经旱耕熟化形成,遭受洪水泛滥沉积的影响,部分土壤元素易被泥沙吸附带走,故含量相对II、III类土壤较低。I类土壤中,从飞沙土、沙土、两合土、淤土至碱性土、盐性土、棕潮土,其土壤颗粒愈来愈细,可见养分和重金属含量的差异与土壤颗粒粗细具有相关性,土壤颗粒越细,养分和重金属更易富集。II类土壤属河湖相沉积物,多为封闭静水沉积环境,是区域内农业、工业和生活废物的汇集地,故养分元素和重金属元素含量相对最高。II类土壤中,养分和重金属含量差异与地势相关性较大,岗黑土所处高程普遍较湖黄土高。III类土壤属丘陵岗地残坡积物,受农业耕作、工矿业生产的影响相对较低,故养分和重金属含量相对较低。III类土壤中,养分和重金属含量差异不明显,说明其成土母质可能无较大区别,且在后期搬运过程中均质化。

水田土壤中大量养分含量高于旱地和园地,原因在于水田土壤空隙小、密实度大、深层渗漏小,故保肥能力相对较好;而旱地、园地土壤空隙大,大量养分元素易渗漏至深层土壤。水田土壤中微量养分含量低于旱地和园地,应是水田产出较高且微量元素在水田土壤中更易被作物根系吸收所致。旱地土壤中的养分含量总体高于园地,主要原因应是旱地耕作程度更高、施肥量更大。水田土壤中重金属含量相对最高,原因是水田土壤含水量高,质地相对黏重,对重金属元素的吸附固定能力强,不易迁移或被作物吸收。园地土壤中重金属含量相对最低,原因在于园地施肥量相对最少,且多数园地位于丘陵岗地,离城镇和工矿相对较远,受人类活动的影响比较小。

从空间分布上看,研究区不同区域农田土壤养分含量的高低,一是与土壤类型密切相关,发育

于河湖相沉积物的土壤含量最高;二是受施肥情况、农业耕作方式的影响,旱地、水田的土壤养分含量普遍高于园地;三是与地形地貌有关,地势较低处的农田土壤养分含量总体高于地势较高处的农田,而丘陵地区因易发生水土流失而导致土壤养分降低。局部农田土壤重金属含量偏高,主要源自工矿“三废”的排放、化肥农药的使用,以及燃煤之后的大气沉降等人类活动,个别元素与土壤类型有关。针对农田土壤养分和重金属含量的空间差异,应采取相应的肥料施用、耕作管理或污染修复措施。在农业部门测土配方施肥技术的基础上,根据不同作物需肥规律增施有机肥,改变重基肥轻追肥、重大量元素轻微量元素的习惯,重点在研究区东北、西南部对B、Mn进行补肥,在西北部对Mo进行补肥。以钝化修复及高生物量植物修复为基本手段,重点对西北局部区域As、Cd、Cu、Ni含量较高的农田土壤实施修复。

## 4 结 论

徐州农田土壤中的养分含量和重金属元素含量总体均高于江苏、全国平均水平,重金属元素含量高于徐州地区背景值。养分丰富,中等水平以上的面积比例超过80%,与长期农业耕作有关;基本无重金属污染,99%以上的农田土壤重金属元素含量为清洁或尚清洁,极少量超标农田与工矿业生产有关。养分和重金属元素含量在空间上均有较大的分异,与土壤类型和土地利用类型有关,总体表现为河湖相沉积物母质发育的土壤>丘陵残坡积物母质发育的土壤>河流冲积物母质发育的土壤,水田高于旱地和园地。

## 参 考 文 献

- [1] 龚子同,黄标,欧阳洮.我国土壤地球化学及其在农业生产中的意义.地理科学,1998,18(1):1—9  
Gong Z T, Huang B, Ouyang T. Pedogeochemistry of China and its significance in agriculture (In Chinese). Scientia Geographica Sinica, 1998, 18(1): 1—9
- [2] 孙彦铭,刘克桐,贾良良,等.河北省冀中南平原区典型农田土壤肥力演变特征.中国农学通报,2016,32(9):164—169  
Sun Y M, Liu K T, Jia L L, et al. Soil fertility change of typical farmland in the middle and south plain area of Hebei Province (In Chinese). Chinese Agricultural

- Science Bulletin, 2016, 32 (9): 164—169
- [ 3 ] Li M, Xi X H, Xiao G Y, et al. National multi-purpose regional geochemical survey in China. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, 139: 21—30
- [ 4 ] 李新艳, 黄春长, 庞奖励, 等. 淮河上游全新世黄土-古土壤序列元素地球化学特性研究. *土壤学报*, 2007, 44 (2): 189—196
- Li X Y, Huang C C, Pang J L, et al. Geochemical characteristics of elements in Holocene loess-paleosol profile in the upper-reaches of the Huaihe River basin (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44 (2): 189—196
- [ 5 ] 廖启林, 刘聪, 金洋, 等. 江苏土壤地球化学分区. *地质学刊*, 2011, 35 (3): 225—235
- Liao Q L, Liu C, Jin Y, et al. On geochemical regionalization of soils in Jiangsu (In Chinese). *Journal of Geology*, 2011, 35 (3): 225—235
- [ 6 ] 张云霞, 李玲, 付巧玲, 等. 开封市土壤地球化学元素分布特征研究. *土壤通报*, 2014, 45 (2): 272—280
- Zhang Y X, Li L, Fu Q L, et al. Geochemical distribution characteristics of soil elements in Kaifeng City (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2014, 45 (2): 272—280
- [ 7 ] Igwe C A, Zarei M, Stahr K. Mineralogy and geochemical properties of some upland soils from different sedimentary formations in southeastern Nigeria. *Australian Journal of Soil Research*, 2009, 47 (4): 423—432
- [ 8 ] 兰延, 黄国勤, 杨滨娟, 等. 稻田绿肥轮作提高土壤养分增加有机碳库. *农业工程学报*, 2014, 30 (13): 146—152
- Lan Y, Huang G Q, Yang B J, et al. Effect of green manure rotation on soil fertility and organic carbon pool (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30 (13): 146—152
- [ 9 ] 陈松, 桂和荣, 孙林华. 安徽宿州地区石灰岩土壤地球化学特征. *地球与环境*, 2012, 40 (4): 529—535
- Chen S, Gui H R, Sun L H. Geochemical characteristics of limestone soil from Suzhou Area, Anhui Province (In Chinese). *Earth and Environment*, 2012, 40 (4): 529—535
- [ 10 ] 廖蕾, 刘还林, 苏美霞, 等. 内蒙古自治区包头市土壤地球化学特征与环境评价. *地质与勘探*, 2012, 48 (4): 799—806
- Liao L, Liu H L, Su M X, et al. Geochemical characteristics of the soil from Baotou City, Inner Mongolia and its environmental assessment (In Chinese). *Geology and Exploration*, 2012, 48 (4): 799—806
- [ 11 ] 廖启林, 任静华, 许伟伟, 等. 江苏宜溧富硒稻米产区地质地球化学背景. *中国地质*, 2016, 43 (5): 1791—1802
- Liao Q L, Ren J H, Xu W W, et al. Geological and geochemical background of Se-rich rice production in Yili area, Jiangsu Province (In Chinese). *Geology in China*, 2016, 43 (5): 1791—1802
- [ 12 ] Sager M. Trace and nutrient elements in manure, dung and compost samples in Austria. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39 (6): 1383—1390
- [ 13 ] 王茜, 张光辉, 田言亮, 等. 皖江经济区基本农田地球化学特征及成因. *地质学报*, 2016, 90 (8): 1988—1997
- Wang Q, Zhang G H, Tian Y L, et al. The character and influencing factors of geochemical distribution in basic farmland of economic zone along Yangzte River in Anhui (In Chinese). *Acta Geologica Sinica*, 2016, 90 (8): 1988—1997
- [ 14 ] 任家强, 于成广, 汪景宽. 辽河流域水稻主产区土壤重金属元素地球化学特征及空间变异研究——以盘锦市为例. *土壤通报*, 2012, 43 (5): 1094—1097
- Ren J Q, Yu C G, Wang J K. Geochemical characteristics and spatial variation of heavy metals in soils from main rice growing regions of Liao River——In the case of Panjin (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2012, 43 (5): 1094—1097
- [ 15 ] 李良忠, 杨彦, 蔡慧敏, 等. 太湖流域某农业活动区农田土壤重金属污染的风险评价. *中国环境科学*, 2013, 33 (S1): 60—65
- Li L Z, Yang Y, Cai H M, et al. Health risk assessment of heavy metal pollution in farmland soils in Taihu Lake basin agricultural area (In Chinese). *China Environmental Science*, 2013, 33 (S1): 60—65
- [ 16 ] 陈玉东, 周健民, 邢璐, 等. 黑龙江海伦市农田土壤重金属与磷素含量的特征研究. *土壤*, 2015, 47 (5): 965—972
- Chen Y D, Zhou J M, Xing L, et al. Characteristics of heavy metals and phosphorus in farmland of Hailun City, Heilongjiang Province (In Chinese). *Soils*, 2015, 47 (5): 965—972
- [ 17 ] 强承魁, 秦越华, 丁永辉, 等. 徐州地区麦田土壤和小麦籽实重金属污染特征分析. *生态环境学报*, 2016, 25 (6): 1032—1038
- Qiang C K, Qin Y H, Ding Y H, et al. Pollution characteristics of heavy metals in soils and wheat grains in Xuzhou area (In Chinese). *Ecology and Environmental Sciences*, 2016, 25 (6): 1032—1038
- [ 18 ] 刘红侠, 韩宝平, 郝达平. 徐州市北郊农业土壤重金属污染评价. *中国生态农业学报*, 2006, 14 (1):

- 159—161
- Liu H X, Han B P, Hao D P. Evaluation to heavy metals pollution in agricultural soil in northern suburb of Xuzhou City (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14 (1): 159—161
- [19] 邝荣禧, 胡文友, 何跃, 等. 便携式X射线荧光光谱法(PXRF)在矿区农田土壤重金属快速检测中的应用研究. *土壤*, 2015, 47 (3): 589—595
- Kuang R X, Hu W Y, He Y, et al. Application of portable X-ray fluorescence (PXRF) for rapid analysis of heavy metals in agricultural soils around mining area (In Chinese). *Soils*, 2015, 47 (3): 589—595
- [20] 钱玉平, 向兆, 汪岸, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定多金属矿石中的稀土元素. *资源环境与工程*, 2013, 27 (5): 708—710
- Qian Y P, Xiang Z, Wang A, et al. Inductively coupled plasma-mass spectrometric determination of rare earth elements in metal ore (In Chinese). *Resources Environment & Engineering*, 2013, 27 (5): 708—710
- [21] 任占军, 郝贵奇, 尹长田, 等. 微波消解-氢化物发生原子荧光光谱法测定污泥中汞和砷. *冶金分析*, 2014, 34 (3): 52—56
- Ren Z J, Hao G Q, Yin C T, et al. Determination of mercury and arsenics in sludge by microwave digestion-hydride generation atomic fluorescence spectrometry (In Chinese). *Metallurgical Analysis*, 2014, 34 (3): 52—56
- [22] 赵庆令, 李清彩, 蒲军, 等. 电感耦合等离子体发射光谱法同时测定土壤样品中砷硼铈碘铌硫钨铈钽铪等31种元素. *岩矿测试*, 2010, 29 (4): 455—457
- Zhao Q L, Li Q C, Pu J, et al. Simultaneous determination of 31 elements in soil samples by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (In Chinese). *Rock and Mineral Analysis*, 2010, 29 (4): 455—457
- [23] 季天委. 重铬酸钾容量法中不同加热方式测定土壤有机质的比较研究. *浙江农业学报*, 2005, 17 (5): 311—313
- Ji T W. Comparison on determining the organic matter contents in the soils by different heating methods in the potassium dichromate-volumetric method (In Chinese). *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2005, 17 (5): 311—313
- [24] 中国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术. 北京: 农业出版社, 1992: 87—88
- Office of National Soil Universal Investigation. Soil universal investigation technique of China (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1992: 87—88
- [25] 中华人民共和国国土资源部. 土地质量地球化学评价规范: DZ/T 0295-2016. 北京: 中国标准出版社, 2016: 42—43
- Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Determination of land quality geochemical evaluation: DZ/T 0295-2016 (In Chinese). Beijing: China Standards Press, 2016: 42—43
- [26] 庞妍, 同延安, 梁连友, 等. 污灌农田土壤-作物体系重金属污染评价. *农业机械学报*, 2015, 46 (1): 148—154
- Pang Y, Tong Y A, Liang L Y, et al. Assessment of heavy metal pollution in soil crop system on sewage irrigated farmland (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46 (1): 148—154
- [27] 郭登巍, 张甘霖. 母质与土地利用类型对土壤光谱反演模型的影响. *土壤*, 2016, 48 (1): 173—179
- Wu D W, Zhang G L. Effects of parent materials and land use types on inversion models by using soil spectral data (In Chinese). *Soils*, 2016, 48 (1): 173—179
- [28] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 93—493
- Inspective Station of Environment of China. The background value of soil elements in China (In Chinese). Beijing: China Environmental Science Press, 1990: 93—493
- [29] 顾也萍, 胡德春, 刘付程, 等. 安徽宣郎广岗丘区土壤发生分类类型在系统分类中的归属. *土壤学报*, 2006, 43 (1): 8—16
- Gu Y P, Hu D C, Liu F C, et al. Correlation of soil taxa of hilly region of Xuan Lang Guang of Anhui Province between Chinese soil genetic classification and Chinese soil taxonomy (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43 (1): 8—16
- [30] 赵彦锋, 程道全, 陈杰, 等. 耕地地力评价指标体系构建中的问题与分析逻辑. *土壤学报*, 2015, 52 (6): 1197—1208
- Zhao Y F, Cheng D Q, Chen J, et al. Problems and analytical logic in building cultivated land productivity evaluation index system (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52 (6): 1197—1208

## Contents and Distribution of Soil Nutrients and Heavy Metal Elements in Farmlands of Xuzhou

WANG Yujun<sup>1, 2</sup> OU Minghao<sup>1†</sup>

(1 College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 Geological Survey of Jiangsu Province, Key Laboratory of Earth Fissures Geological Disaster, Ministry of Land and Resources, Nanjing 210018, China)

**Abstract** 【Objective】 Xuzhou is a city with economy based mainly on traditional agriculture and mining. In order to get to know soil fertility and pollution of the farmland soil of the city and provide references for fertilization, pollution control and agricultural layout in the region, a total of 9 232 soil samples were collected from plough layers of the farmlands in Xuzhou for analysis of 17 indices, including total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total potassium (TK), alkalyzable nitrogen (AN), available phosphorus (AP), readily available potassium (AK), B, Mo, Mn and heavy metal elements, such as As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn. 【Method】 TN was measured with the volumetric method; TP, TK, Mn, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn, with the x-ray fluorescent spectroscopy; Mo and Cd, with the inductively coupled plasma mass spectrometry; As and Hg, with the atomic fluorescence spectrometry; B, with the emission spectrometry; AN, with the sodium hydroxide solution diffusion-volumetric method; AK, with the ammonium acetate solution leaching-atomic absorption spectrometry; and AP, with the ammonium bifluoride and hydrochloride leaching-inductively coupled plasma atomic emission spectrometry in acid soils and with the sodium bicarbonate solution leaching-spectrophotometry in alkaline soils. Descriptive statistics was performed with the help of the IBM Statistics SPSS 20.0 software and Kriging interpolation, spatial analysis and geo-statistics with the aid of the ESRI ArcGIS 9.3. Soil nutrient contents were graded according to DZ/T 0295-2016 and soil heavy metal contents, using the Nemerow index. 【Result】 The descriptive statistics showed that the average contents of soil nutrients in Xuzhou were higher than those in Jiangsu and China, while the average contents of heavy metal elements were higher than those in Jiangsu and China, and than the background values of Xuzhou, too. The variation coefficients of AP, AK, Mo and Hg were higher than those of the other elements, which indicated high variability between soil samples. Over 80% of the farmlands were rated as moderate or higher in soil nutrient content, while over 99% of the farmlands were sorted into the category of clean or safe soils. Farmlands lightly polluted by As, Cd, Cu or Ni were very limited in area. The higher soil nutrient contents may be attributed to long-term farming cultivation and application of organic manure, meanwhile, the higher heavy metal contents may come from mining and smelting of coal, iron and copper and relevant industries, as well, like thermal power. All the soil indices exhibited significant characteristics in spatial distribution and their spatial correlations with soil types and farmland types. Spatial distributions of TN, TP, TK, AN, AP and AK contents were apparently quite similar, but those of AN, AP and AK varied sharply, while those of B, Mo and Mn did even more. The distribution of heavy metal elements in farmland soils exhibited a declining trend from north to south. The sharp spatial variation of soils in composition was mainly related to soil type and farmland type. Soils derived from lacustrine sediments were higher than those from hill slope sediments and from river alluvium in nutrient content and heavy metals content, and paddy soils higher than dryland soils and garden soils, too. Besides,

landform was also an important influencing factor. 【Conclusion】 The average contents of soil nutrients and heavy metal elements in the farmlands of Xuzhou are generally higher than those of Jiangsu and China and than the background values, too. Over 80% of the farmland soils in Xuzhou can be rated moderate or higher in nutrient content level while merely less than 1% is polluted by heavy metal elements. The main factors influencing contents and distribution of soil nutrients and heavy metal elements include soil type, soil parent material, landform tillage, fertilization, as well as mining and industries.

**Key words** Soil nutrients; Heavy metal elements; Plough layer soil; Spatial distribution; Soil type; Farmland type

(责任编辑: 陈荣府)