

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第6期 Vol.34 No.6 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 6 期 2014 年 3 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 全球气候变暖对凋落物分解的影响..... 宋 飘,张乃莉,马克平,等 (1327)
- 从系统到景观:区域物质流分析的景观取向 张晓刚,曾 辉 (1340)
- 论湿地生态系统服务的多维度价值评估方法..... 宋豫秦,张晓蕾 (1352)
- 保幼激素在昆虫中的分子作用机理..... 金敏娜,林欣大 (1361)
- 岩画和壁画类文物微生物病害研究进展..... 李 强,葛琴雅,潘晓轩,等 (1371)
- 基于 3S 技术的图们江流域湿地生态安全评价与预警研究 朱卫红,苗承玉,郑小军,等 (1379)
- 跨界保护区网络构建研究进展..... 王 伟,田 瑜,常 明,等 (1391)

个体与基础生态

- 速生树种尾巨桉和竹柳幼苗耗水特性和水分利用效率..... 邱 权,潘 昕,李吉跃,等 (1401)
- 三种增温情景对入侵植物空心莲子草形态可塑性的影响..... 褚延梅,杨 健,李景吉,等 (1411)
- 气象要素及土壤理化性质对不同土地利用方式下冬夏岩溶作用的影响 刘 文,张 强,贾亚男 (1418)
- 施用纳米碳对烤烟氮素吸收和利用的影响..... 梁太波,尹启生,张艳玲,等 (1429)
- 基于 Voronoi 图的林分空间模型及分布格局研究 刘 帅,吴舒辞,王 红,等 (1436)
- 近自然毛竹林空间结构动态变化..... 仇建习,汤孟平,沈利芬,等 (1444)
- 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究..... 刁松峰,邵文豪,姜景民,等 (1451)
- 不同林分起源的相容性生物量模型构建..... 符利勇,雷渊才,孙 伟,等 (1461)

种群、群落和生态系统

- 毛竹材用林林下植被群落结构对多花黄精生长的影响..... 樊艳荣,陈双林,杨清平,等 (1471)
- 温度和 CO₂ 浓度升高下转 *Bt* 水稻种植对土壤活性碳氮和线虫群落的短期影响
..... 陈 婧,陈法军,刘满强,等 (1481)
- 中国东北地区近 50 年净生态系统生产力的时空动态 李 洁,张远东,顾峰雪,等 (1490)
- 遥感与 GIS 支持下的盘锦湿地水禽栖息地适宜性评价..... 董张玉,刘殿伟,王宗明,等 (1503)
- 秦岭火地塘林区土壤大孔隙分布特征及对导水性能的影响..... 陆 斌,张胜利,李 侃,等 (1512)
- 磷浓度对铜绿微囊藻、大型溞和金鱼藻三者相互作用的影响..... 马剑敏靳 萍,郭 萌,等 (1520)
- 普生轮藻浸提液对两种淡水藻类的化感抑制作用及其数学模型..... 何宗祥,刘 璐,李 诚,等 (1527)
- 北京永定河-海河干流河岸带植物的区系分析 修 晨,欧阳志云,郑 华 (1535)
- 基于河流生境调查的东河河流生境评价..... 王 强,袁兴中,刘 红,等 (1548)

景观、区域和全球生态

- 应用 SWAT 模型研究潮河流域土地利用和气候变化对径流的影响 郭军庭,张志强,王盛萍,等 (1559)
- 长白山不同海拔树木生长对气候变化的响应差异..... 陈 力,尹云鹤,赵东升,等 (1568)
- 石家庄市空气花粉散布规律及与气候因子的关系..... 李 英,李月丛,吕素青,等 (1575)
- 不同放牧梯度下呼伦贝尔草甸草原土壤碳氮变化及固碳效应..... 闫瑞瑞,辛晓平,王 旭,等 (1587)
- 南四湖区农田土壤有机质和微量元素空间分布特征及影响因素..... 武 婕,李玉环,李增兵,等 (1596)

资源与产业生态

- 跨国土地利用及其生态影响 陆小璇 (1606)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2014-03



封面图说: 图们江河流中段——图们江位于吉林省东南边境,发源于长白山东南部的石乙水,河流的绝大部分是中国与朝鲜的界河,下游很小一段为俄罗斯与朝鲜的界河,并由这里流入日本海,我国珲春距离日本海最近的地方仅有 15km。图们江是我国重要的国际性河流之一,随着我国经济的迅速崛起,图们江地区进入到多国合作联合开发阶段,湿地生态系统处于中度预警状态,并有向重度预警发展的趋势,生态安全面临的威胁越来越严重。对该区域进行湿地生态安全评价与预警研究,可为图们江流域生态环境的可持续发展提供依据。图中河道的远方为朝鲜、河道近方为中国。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201307181906

武婕,李玉环,李增兵,方正,钟豫.南四湖区农田土壤有机质和微量元素空间分布特征及影响因素.生态学报,2014,34(6):1596-1605.

Wu J, Li Y H, Li Z B, Fang Z, Zhong Y. Spatial distribution and influencing factors of farmland soil organic matter and trace elements in the nansihu region. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(6): 1596-1605.

南四湖区农田土壤有机质和微量元素空间 分布特征及影响因素

武 婕¹, 李玉环^{1,*}, 李增兵¹, 方 正², 钟 豫³

(1. 土肥资源高效利用国家工程实验室, 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271018;

2. 平邑经济开发区管理委员会, 平邑 273300; 3. 诸城国土局, 诸城 262200)

摘要:基于地统计学和 GIS 技术相结合的方法,研究了南四湖区农田土壤有机质和微量元素的空间分布特征及其影响因素。结果表明,土壤有机质和微量元素均属中等变异程度,除硼符合正态分布外,其余土壤属性均符合对数正态分布。结构分析表明,除硼为纯块金效应外,土壤有机质和其它微量元素空间自相关性较强,其中结构性因素起主导作用。克里格插值结果表明,土壤有机质分布总体趋势为由北向南逐渐降低,锰、铜、锌分布总体趋势为中部高,南北两端低。影响因素分析表明,土壤类型、耕层质地、坡度、土地利用类型和地貌类型对土壤有机质均有显著影响。土壤类型主要是由于成土母质的差异影响土壤有机质的高低与分布,随质地由砂变粘、坡度由低变高,土壤有机质含量逐步升高,田间管理水平的差异是造成不同土地利用类型下土壤有机质含量差异的主要原因。微量元素中,除硼不受影响外,铁、锰、铜和锌与土壤类型、耕层质地、坡度、土地利用类型和地貌类型密切相关。

关键词:土壤有机质;微量元素;空间变异;克里格插值;影响因素

Spatial distribution and influencing factors of farmland soil organic matter and trace elements in the nansihu region

WU Jie¹, LI Yuhuan^{1,*}, LI Zengbing¹, FANG Zheng², ZHONG Yu³

1 National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, College of Resources and Environment Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

2 Administration Commission of Pingyi Economic Development Area, Pingyi 273300, China

3 Zhucheng Land and Resources Bureau, Zhucheng 262200, China

Abstract: Soil organic matter (SOM) and trace elements are important indicators of soil quality for sustainable agriculture. The study of spatial distribution and influencing factors of soil organic matter and trace elements provided references for understanding regional soil characteristics, soil fertility and quality optimization and farmland ecological environment protection. A total of 1021 soils samples were taken in the Nansihu region, China, for SOM and trace elements analysis. The spatial distribution of SOM and these trace elements was determined using geostatistics and GIS technology such as semivariogram, ordinary Kriging interpolation, and spatial analysis methods. Factorings related with the spatial variations including soil types, soils texture, slope, land uses, and land forms were examined. Descriptive statistics showed that SOM averaged 14.66 g/kg with a coefficient of variation (CV) of 13.2%. Among the five trace elements, the average content was highest for Mn (10.66 mg/kg) and lowest for B (0.57 mg/kg). The CV was smallest for Fe (35.1%) and largest for B (96.5%). The normal distribution test showed that B was accorded with normal distribution while SOM, Fe, Mn, Cu and

基金项目:山东省自然科学基金项目(Y2008H03);山东省科技攻关项目支持(2009GG10006006)

收稿日期:2013-07-18; **修订日期:**2013-11-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yuhuan@sda.edu.cn

Zn conformed to logarithmic normal distribution. Semivariogram analyses indicated that B was of the pure nugget effect, with constant variation in the study scale. SOM, Fe, Mn, Cu and Zn displayed strong spatial autocorrelation and the structural factors played a leading role. The spatial correlation distance was 84 m for SOM, and ranged from 162 m (Fe) to 2572 m (Mn) for trace elements. The ordinary kriging interpolation results showed that the overall trend of SOM distribution was gradually decreased from north to south. The higher soil organic matter values were mainly distributed in the flat area. The values of Fe were highest in the northern mountainous area and hilly land (> 14 mg/kg) and lowest in the South (3—9 mg/kg). A spatial pattern with higher concentrations in the central area than in the north and south area was observed for Mn, Cu and Zn. This was especially so for Mn ranging from <5 mg/kg on the north and south sides to >13 mg/kg in the central area. No significant spatial variation was observed with B (mostly >0.55 mg/kg). Soil type and topsoil texture were the predominant factors influencing spatial variations of SOM and trace elements except for B. SOM content was highest in the paddy soil. Fe, Mn contents were highest in the cinnamonic soil. Cu and Zn contents were highest in the mortar black soil. SOM increased with increasing clay content. Fe and Mn were highest in heavy loam. Cu was highest in slight loam and Zn was highest in sandy loam. Slope had a certain influence on some indicators, but the effect was small. The organic matter content increased with increasing slope. Land use types had significant influence on SOM, Fe and Cu, but had no effect on Mn, Zn and B. Contents of SOM, Fe and Cu was higher in paddy field. Topographic types had a greater influence on SOM, Fe, Mn and Zn, but had no impact on Cu and B, and the contents of trace elements were higher in depression.

Key Words: soil organic matter; trace elements; spatial variability; Kriging; influencing factor

土壤有机质(SOM)是表征土壤肥力和质量的重要因子,也是陆地生态系统中碳循环的重要源与汇^[1-2]。土壤微量元素是作物营养物质的重要组成部分,其丰缺状况直接影响作物的生长发育,同时,一些微量元素如铜、锌等含量过高易造成重金属污染,破坏生态环境甚至危害人类健康^[3-4]。

国内外学者从 20 世纪 70 年代末开始将地统计学应用于土壤属性的空间变异研究,取得丰富成果。如 Fachinelli 等^[5]利用地统计学与 GIS 技术相结合的方法研究了土壤微量元素的空间分布特征及变异规律。Rodriguez 等^[6]基于多尺度分析了西班牙埃布罗河流域农田耕层土壤中镉、铜、锌等重金属元素的空间变异规律。Cordora 等^[7]以英国洛桑实验区土壤氮为研究对象,对其空间变异性进行了分析。国内关于土壤有机质和微量元素的空间变异性分析,主要从不同尺度、针对不同研究区域进行研究^[8-17],揭示了气候、土壤类型、地形、地貌、土地利用等因素对其空间变异的影响。

综上所述,近年来,针对土壤有机质和微量元素空间变异的研究中,学者倾向于对不同地貌类型区的研究,如丘陵区、黄土高原区和小流域等,认为在景观和流域尺度上,由于气候条件较为一致,土壤类型、地形和土地利用是影响土壤养分空间变异的主要因素^[18-19]。湖泊景观周围地貌类型较为特别,为

湖滩、洼地和倾斜平地等,目前针对湖泊景观周围农田土壤有机质和微量元素空间变异性研究鲜有报道,且大多数研究偏重于描述土壤属性的空间变异,对引起变异的各因素的内在影响机理研究并不十分透彻。

本文以南四湖区农田土壤为研究对象,结合实地调查采样数据,利用 GS+9.0 和 Arcgis9.3 中的地统计分析模块,分析该区特殊地貌类型下土壤有机质和微量元素的空间变异规律,绘制土壤有机质和微量元素含量空间分布图,并着重分析土壤类型、耕层质地、坡度、土地利用类型和地貌类型对其空间变异的影响,为更好的了解该区土壤的特性,采取具有针对性的措施进一步提升南四湖区土壤的肥力和质量等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

微山县地处东经 $116^{\circ}34'$ — $117^{\circ}24'$,北纬 $34^{\circ}27'$ — $35^{\circ}20'$,总面积 1780 km^2 ,地势东、北高,西、南低,海拔 30—290 m,中间为微山、昭阳、独山、南阳四湖,是南四湖区典型县域(图 1)。研究区属暖温带半湿润季风气候区,年均气温 14.7°C ,年均降水量 760 mm。地貌类型主要有山前倾斜平地、洼地、低山丘陵区地、湖滩、缓平地等(图 2)。土壤类型依据第

二次土壤普查共分为 5 个土类(图 2)。其中棕壤 639.27 hm², 占 1.3%, 主要分布于两城乡、韩庄镇的低山丘陵区; 褐土 1.15×10⁴ hm², 占 23.42%, 分布于两城、微山岛、欢城等乡镇; 潮土 2.78×10⁴ hm², 占 56.53%, 各乡镇均有分布; 砂姜黑土 5466.7 hm², 占 11.24%, 分布在欢城、塘湖、付村等乡镇; 水稻土 3733 hm², 占 7.58%, 分布于张楼、侯楼等乡镇^[20]。研究区土地利用方式以灌溉水田、水浇地、旱地和菜地为主(图 2), 主要种植小麦、玉米、稻谷、大豆等作物。土壤质地主要以轻壤和中壤为主, 粘土和重壤分布较少(图 2)。

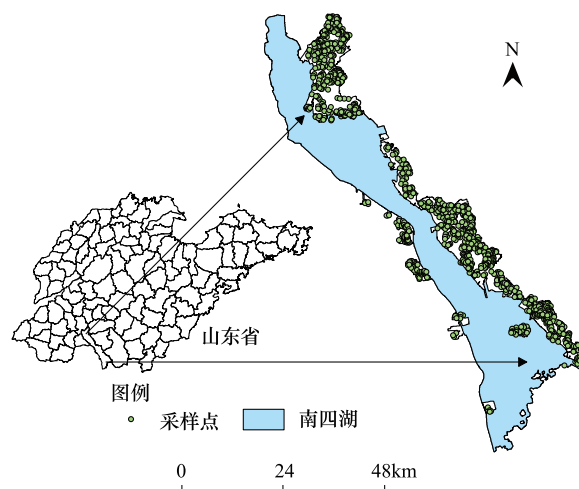


图 1 采样点分布

Fig.1 Distribution map of sampling sites

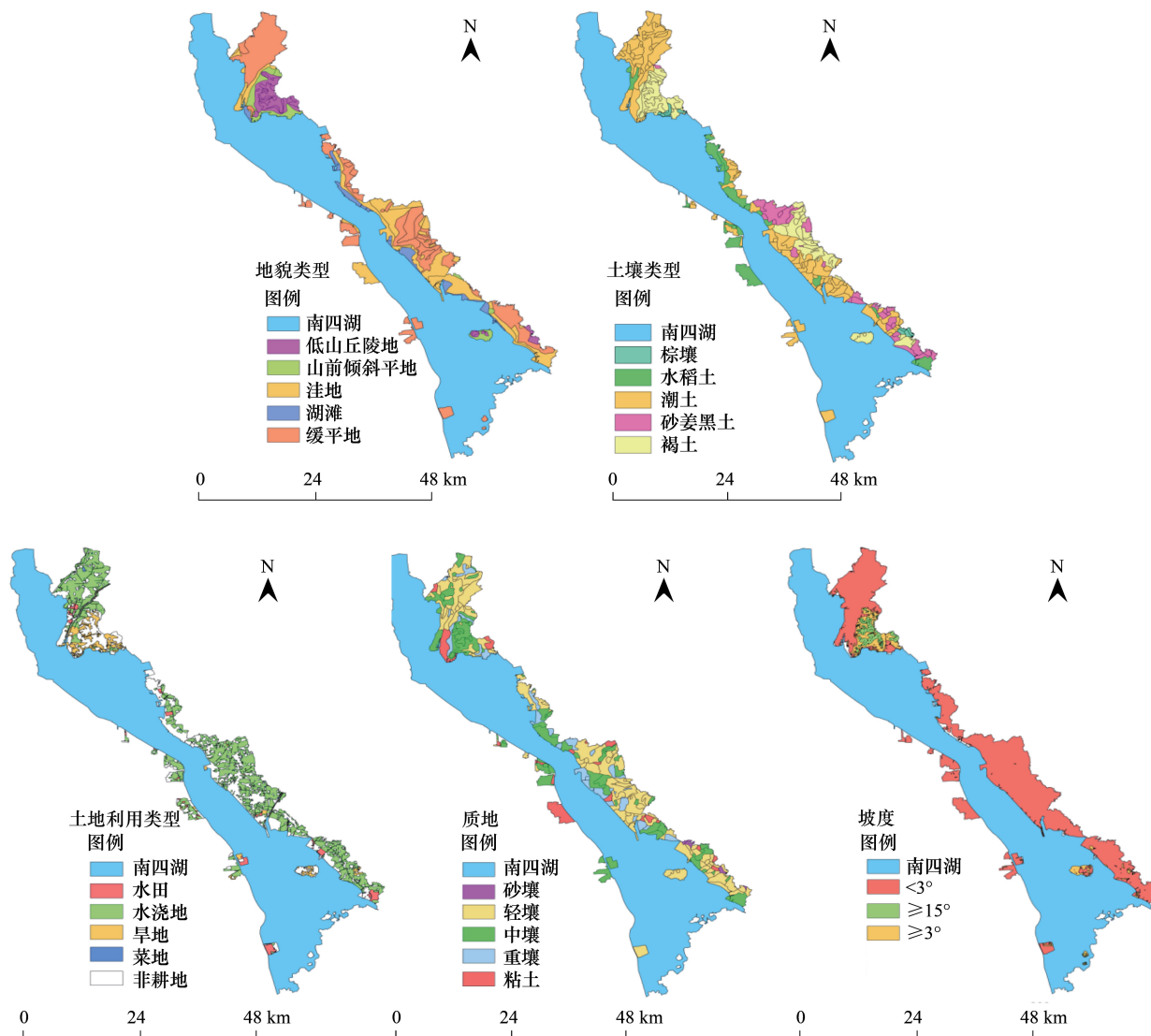


图 2 南四湖区地貌类型、土壤类型、土地利用类型、质地和坡度图

Fig.2 Maps of topography type, soil type, land use type, soil texture and slope in Nansihu region

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集与分析

2009年9月,以微山土地利用现状图、地形图、第二次土壤普查土壤图以及数字高程(DEM)等为基础图件,结合研究区实际情况,共布设1021个土壤采样点(图1),采用S型取样路线,采取多点混合和四分法采集0—20 cm耕作层土壤,利用手持GPS仪记录采样点经纬度。实验室内样品测定方法严格按照国家规定的土壤农化分析方法进行,SOM采用重铬酸钾容量法测定,铁(Fe)、锰(Mn)、铜(Cu)和锌(Zn)采用火焰原子吸收分光光度法,硼(B)采用姜黄色法。

1.2.2 数据处理与统计分析

利用SPSS 17.0对数据进行一般描述性统计和K-S检验,如不符合正态分布,需进行数据转换(通常进行对数转换)或剔除原始数据中的异常值。以探索南四湖区土壤有机质和微量元素的空间异质性为研究重点,利用GS+9.0软件对经对数转换后符合正态分布数据(B不需转换)进行半方差分析和拟合,依据变异函数理论模型参数,在Arcgis9.3的地统计模块中进行普通克里格空间局部插值,生成空间分布图。为定量分析影响土壤有机质和微量元素空间分布的主要因素,采用方差分析和多重比较

(Games.Howell法),分别分析了土壤类型、耕层质地、坡度、土地利用类型和地貌类型对有机质和微量元素的影响。

2 结果与分析

2.1 描述性统计分析

表1为各观测指标的描述统计结果。按照全国第二次土壤普查养分分级标准,SOM平均值处于中等水平(10.0—20.0 g/kg)。微量元素差异较大,Mn的平均含量最高(10.66 mg/kg);B的平均含量最低(0.57 mg/kg)。按照山东省土壤有效微量元素分级标准,从平均含量来看,Fe处于中等水平(4.5—10 mg/kg),Mn处于中等水平(5—15 mg/kg),Cu处于高水平(1.0—1.8 mg/kg),Zn、B处于中等水平(0.5—1.0 mg/kg)。由土壤环境质量标准^[21]可知,Cu、Zn、Mn均没有超过国家规定的标准。按照反映离散程度的变异系数大小粗略的分级,SOM和微量元素均属中等变异程度(10%—100%)。

正态分布检验表明,B符合正态分布,SOM、Fe、Mn、Cu和Zn的原始数据均表现为尖峰、正偏性,经对数转换后,符合正态分布,满足地统计学分析的要求。

表1 土壤有机质和微量元素的描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of soil organic matter(SOM) and trace elements

土壤属性 Soil property	样本数 Samples	最小值 Minimum	最大值 Maximum	均值 Mean	标准差 Standard deviation (SD)	变异系数 Variable coefficient /%	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	分布类型 Distribution
SOM/(g/kg)	1021	9.1	24.7	14.66	1.94	13.2	0.89	1.55	对数正态
Fe/(mg/kg)	1021	3.2	32.7	9.81	3.44	35.1	1.40	4.52	对数正态
Mn/(mg/kg)	1021	3.5	35.9	10.66	4.92	46.2	1.28	2.08	对数正态
Cu/(mg/kg)	1021	0.2	2.6	1.13	0.44	38.9	1.39	1.41	对数正态
Zn/(mg/kg)	1021	0.2	2.7	0.92	0.34	37.4	1.17	2.84	对数正态
B/(mg/kg)	1021	0.1	0.7	0.57	0.55	96.5	-0.73	1.29	正态

2.2 空间变异结构分析

由表2可知土壤有机质和微量元素(除B是纯块金效应外)的半方差函数拟合较好, R^2 均大于0.6,能较好的反映其空间结构特征。SOM、Fe、Mn和Zn用指数模型拟合较好,Cu用球状模型拟合较好。

块金值表示随机部分的空间变异性,较大的块

金值表明较小尺度上的某种过程不可忽略^[3]。引起块金值变化的主要因素有实验误差和小于实验取样尺度上施肥、作物、管理水平等随机因素^[22]。有机质的块金值为0.0016,微量元素中,Mn的块金值最大(0.0635),Fe的最小(0.0120)。总体来看,土壤有机质和微量元素的块金值均较小,说明在最小间距内的变异分析过程中引起的误差较小。

块金值与基台之比表示随机部分空间变异性占总空间变异性的程度,比值较大说明随机部分起主要作用,比值较小说明非人为结构因素起主要作用^[23]。根据 Cambardella 等^[24]提出的区域化变量空间相关程度的分级标准,B 的块金值与基台值的比为 1,为纯块金效应,在整个尺度上具有恒定变异。SOM 和其余四种微量元素的块金值与基台值的比均小于 0.25,空间相关程度强,说明在该研究区域内,受人为因素(施肥、耕作、种植制度等)的影响较小,

影响 SOM 和微量元素空间变异的主要因素有成土母质、土壤类型、气候条件等。

变程是空间变异自相关范围的度量,SOM 的变程为 84 m,说明有机质在此范围内具有空间自相关。微量元素中 Fe 的空间自相关距离最小(162 m),Mn 的空间自相关距离最大(2571 m),这主要与湖区的影响有关,此外农作物对微量元素的吸收偏好也可能影响变程的大小^[9]。

表 2 土壤有机质和微量元素半方差函数理论模型与参数

Table 2 Best-fitted semivariogram models and parameters of SOM and trace elements

土壤属性 Soil property	理论模型 Theoretical model	块金值 Nugget	基台值 Sill	块金值/基台值 Nugget/sill	变程/m Range	决定系数 R^2	残差 RSS
SOM	指数	0.0016	0.0160	0.10	84	0.600	7.173×10^{-6}
Fe	指数	0.0120	0.1110	0.11	162	0.684	7.841×10^{-4}
Mn	指数	0.0635	0.3270	0.19	2571	0.892	4.943×10^{-3}
Cu	球状	0.0195	0.1390	0.14	218	0.677	3.676×10^{-3}
Zn	指数	0.0323	0.1646	0.20	420	0.692	5.088×10^{-3}
B	纯块金效应	0.0030	—	1.0	978	0.017	0.0018

2.3 空间局部插值

为便于全面、直观的揭示土壤有机质和微量元素的空间分布格局,在 Arcgis9.3 中,对 SOM、Fe、Mn、Cu 和 Zn 采用普通克里格插值(图 3)。由于 B 在该取样间距下不具有空间相关性,采用反距离权重插值法(IDW)(图 3)。可知,SOM 大致呈现由北向南逐渐降低的趋势,缓平地区有机质含量较高,这些区域地势平坦,土地利用类型多为水浇地,农作物生长旺盛,施肥较多,故有机质含量较高,而其他区域多为丘陵或洼地,土壤较为贫瘠,管理较为粗放,有机质积累少。北部低山丘陵区 Fe 含量较高,在 14 mg/kg 以上,南部 Fe 含量最低(3—9 mg/kg)。Mn、Cu、Zn 分布总体趋势均为中部高,南北两端低,其中 Mn 最明显,中部多大于 13 mg/kg,两端最低在 5 mg/kg 以下。B 地域差异不明显,大部分在 0.55 mg/kg 以上。微量元素空间分布较为复杂,产生这种现象的原因主要与研究区的成土母质有关,微山县成土母质主要为黄泛冲积物、代河流冲积物以及湖冲积物,成土母质是影响微量元素含量和空间分布的首要因素^[25]。

2.4 土壤属性空间分布影响因素分析

土壤有机质和微量元素的空间变异通常是由土

壤类型、地形、母质以及土地利用方式等各种因素在不同方向、不同尺度共同作用的结果^[26]。前文已初步揭示出区域因素对土壤有机质和微量元素的空间变异起主导作用。为进一步探讨引起空间变异的各因素的内在机理,选取研究区空间差异较为明显的土壤类型、耕层质地、坡度、土地利用类型、地貌类型 5 个因素参与分析。

2.4.1 土壤类型

表 3 为不同土壤类型下有机质和微量元素含量。可知,除 B 外,5 种土壤类型下 SOM 和微量元素含量存在明显不同。SOM 平均含量高低依次排列为:砂姜黑土<褐土<潮土<棕壤<水稻土。研究区水稻土的成土母质为黄泛冲积物和湖积物,该土类是 1964 年改造涝洼、旱田改水田以来的人工产物,土质粘重,水耕熟化过程积累了丰富的有机质,故有机质含量最高(15.77 g/kg)。褐土成土母质为洪冲积物,表层质地以轻、中壤为主,通气良好,土体中的好气微生物活动旺盛,腐殖质积累较少,因此,有机质含量较低(14.37 g/kg);潮土成土母质为黄泛冲积物和代河流冲积物,表层质地以重壤、中壤为主,土层深厚,土壤肥力中等(14.65 g/kg)。砂姜黑土成土母质为湖河相冲积沉积物,表层质地以粘土、重壤为主,

宜耕性差,存有粘、湿、板、砂姜障碍,有机质含量最低(14.22 g/kg)。成土母质也是影响微量元素含量高低的主要因素,其中褐土中 Fe、Mn 的平均含量最高,砂姜黑土中 Cu、Zn 的平均含量最高。

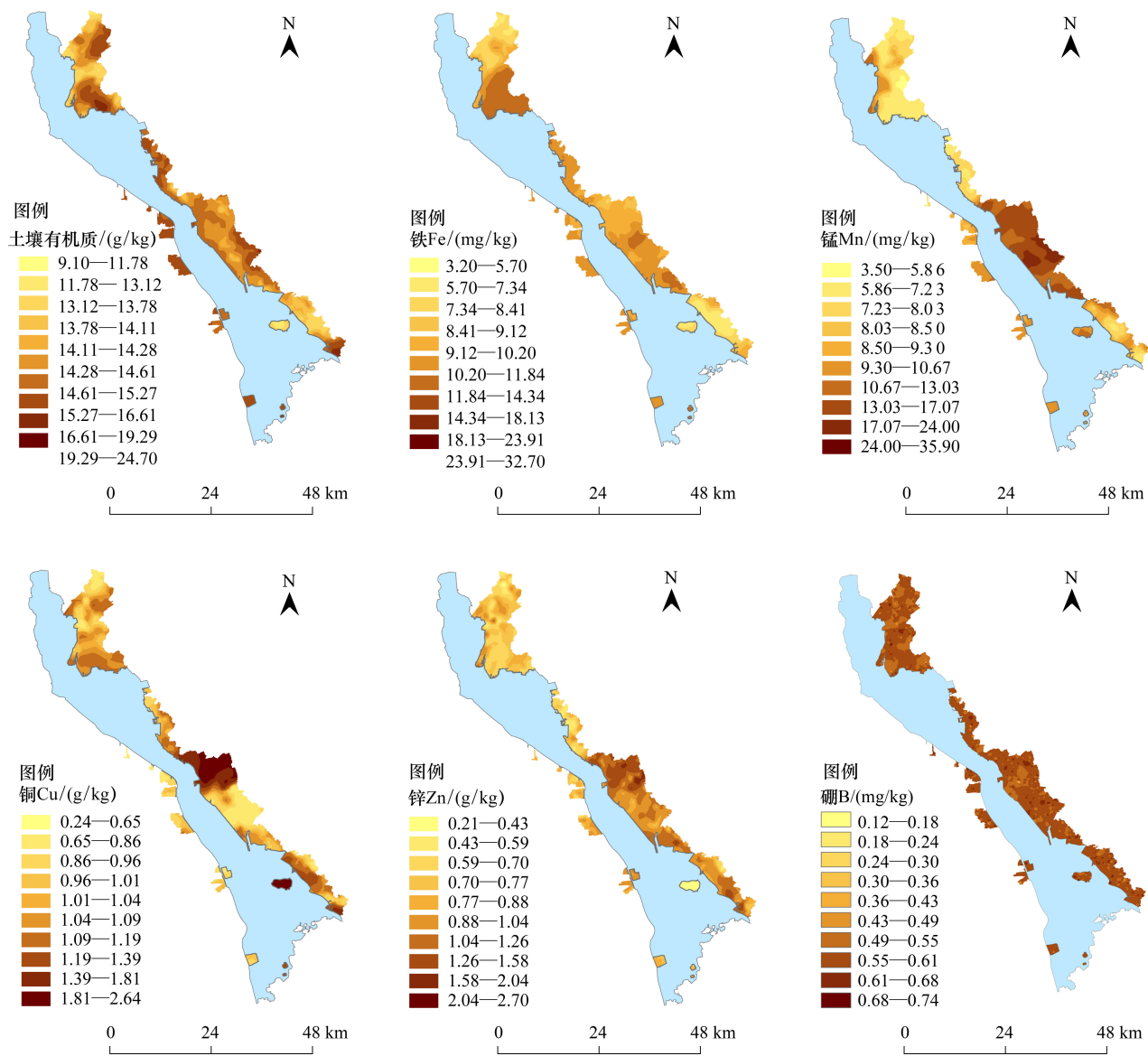


图 3 土壤有机质和微量元素空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of soil organic matter and trace elements

表 3 不同土壤类型下土壤有机质和微量元素含量

Table 3 The contents of SOM and trace elements under different soil types

土壤类型 Soil type	样本数 Samples	土壤有机质 SOM	铁 Fe	锰 Mn	铜 Cu	锌 Zn	硼 B
		均值±标准差 Mean± SD	均值±标准差 Mean± SD	均值±标准差 Mean± SD	均值±标准差 Mean± SD	均值±标准差 Mean± SD	均值±标准差 Mean± SD
褐土 Cinnamon soil	277	14.37±2.11b	10.43±3.51a	12.15±5.83c	1.25±0.54b	0.94±0.41b	0.57±0.06a
棕壤 Brown soil	30	15.37±2.94ab	9.40±4.21ab	7.59±2.42a	1.07±0.15a	0.90±0.2ab	0.57±0.05a
潮土 Fluvo-attic soil	443	14.65±1.77b	9.72±3.74a	9.84±4.66b	0.98±0.25a	0.84±0.25a	0.57±0.06a
砂姜黑土 Mortar black soil	158	14.22±1.47b	8.79±2.54b	11.92±4.17c	1.47±0.57c	1.17±0.39c	0.58±0.05a
水稻土 Paddy soil	113	15.77±1.83a	9.97±2.71a	8.79±2.13a	1.04±0.27a	0.81±0.25a	0.58±0.05a

同一列数据后小写字母不同者表示差异显著($P<0.05$)

2.4.2 耕层质地

从表 4 可知,质地对 SOM、Fe、Mn、Cu、Zn 含量有较大影响,对 B 无影响。不同质地 SOM 平均含量高低排列依次为:砂壤<重壤<轻壤<中壤<粘土。从总的趋势来看,随质地由砂变粘 SOM 升高。一方面是由于粘性高的土壤,水分充足,透气性差,原有机残体在水分作用下易于腐烂降解,因而 SOM 含量高。另一方面,不同土壤质地下,土壤微生物含量和酶活

性也不同,砂性土壤下,有机物质更容易被微生物分解,因而有机质含量较低^[27-28]。而重壤有机质平均含量小于轻壤的原因可能是由于当地土壤施肥不均造成的。一般情况下微量元素含量高低遵循粘土>壤土>砂土^[29],但由于施肥等会严重影响微量元素的空间分布,这也是导致本研究中微量元素随质地粘重变化无明显趋势的主要原因。

表 4 不同耕层质地土壤有机质和微量元素含量

Table 4 The contents of SOM and trace elements under different topsoil textures

耕层质地 Topsoil texture	样本数 Samples	SOM 均值±标准差 Mean±SD	Fe 均值±标准差 Mean±SD	Mn 均值±标准差 Mean±SD	Cu 均值±标准差 Mean±SD	Zn 均值±标准差 Mean±SD	B 均值±标准差 Mean±SD
砂壤 Sany loam	12	13.36±0.88b	7.22±3.41d	9.01±3.74b	1.03±0.15c	0.97±0.15b	0.58±0.06a
轻壤 Slight loam	551	14.59±1.98a	9.16±3.34bd	11.16±5.19b	1.19±0.50b	0.94±0.37b	0.57±0.53a
中壤 Medium loam	268	14.72±1.91a	10.27±3.30acd	9.65±3.97a	1.06±0.36ac	0.90±0.34ab	0.57±0.06a
重壤 Heavy loam	106	14.50±1.60a	11.11±3.89c	11.20±5.94b	1.12±0.43bc	0.89±0.32b	0.57±0.05a
粘土 Clay	84	15.23±1.97a	11.07±3.06ac	9.51±3.04a	1.06±0.29ac	0.83±0.24a	0.56±0.67a

同一列数据后小写字母不同者表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.4.3 坡度

利用微山 DEM 数据提取坡度信息(图 2),并按坡度将采样点分为 3 组: $< 3^\circ$ 、 $3^\circ-15^\circ$ 、 $\geq 15^\circ$ (表 5)。可知, $\geq 15^\circ$ 组的 SOM 平均含量最高 (15.07 g/kg), $< 3^\circ$ 组的最低 (14.70 g/kg)。总趋势为随坡度升高 SOM 升高,原因在于微山并无坡度极高的区

域,坡度较低区域为南四湖周围区域,湖滩植被较少,不利于有机质的积累,相对于湖滩区坡度较高的区域,植被较多,有机质丰富。此外已有研究表明,具有一定倾斜程度的平地有利于 SOM 的积累^[30]。不同坡度组下微量元素含量差异不大,说明坡度不是影响微量元素的主要因素。

表 5 不同坡度等级下土壤有机质和微量元素含量

Table 5 The contents of SOM and trace elements under different grade level

坡度/(°) Slope	样本数 Samples	SOM 均值±标准差 Mean±SD	Fe 均值±标准差 Mean±SD	Mn 均值±标准差 Mean±SD	Cu 均值±标准差 Mean±SD	Zn 均值±标准差 Mean±SD	B 均值±标准差 Mean±SD
< 3	942	14.70±1.90b	9.69±3.39b	10.83±4.95b	1.13±0.45b	0.93±0.35b	0.57±0.06a
$3-15$	71	14.97±2.13a	10.55±4.04b	8.03±2.69a	1.22±0.37b	0.78±0.28a	0.57±0.06a
≥ 15	8	15.07±1.95a	14.14±2.22a	6.79±1.09a	1.03±0.07a	0.71±0.11a	0.60±0.07a

同一列数据后小写字母不同者表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.4.4 土地利用类型

从表 6 可知,灌溉水田 SOM 平均含量最高 (15.33 g/kg),旱地最低 (13.85 g/kg)。由于不同土地利用类型之间收益存在较大差异,农户的投入与管理水平会有所不同,水田和水浇地收益高,农户投入的施肥量和管理水平较旱地高。此外当地秸秆还田现象较普遍,有机物质归还量较高,大部分被微生物稍经分解即转化为腐殖质储存于土壤中,水田地

势低,土壤长期处于滞水状态,SOM 的分解速率明显低于其他利用方式,有利于有机质的积累。菜地土壤由于高度熟化,人类对于菜地的管理加强,应该含有较高的 SOM,但研究区内,菜地分布较为分散,并未形成规模化种植,人们的投入较低,因而菜地 SOM 含量较低。土地利用类型对微量元素 Fe、Cu 含量影响较大,对 Mn、Zn、B 影响不显著,发生变化的原因主要与水田和旱地氧化还原环境不同有关。

表 6 不同土地利用类型下土壤有机质和微量元素含量

Table 6 The contents of SOM and trace elements under different land using types

土地利用类型 Land using type	样本数 Samples	SOM	Fe	Mn	Cu	Zn	B
		均值±标准差 Mean±SD	均值±标准差 Mean±SD	均值±标准差 Mean±SD	均值±标准差 Mean±SD	均值±标准差 Mean±SD	均值±标准差 Mean±SD
灌溉水田 Paddy fields	28	15.33±2.14 a	10.10±3.53a	10.89±5.67a	1.20±0.52a	0.96±0.39a	0.58±0.06a
水浇地 Irrigable land	903	14.70±1.93 a	9.94±3.51a	10.59±4.93a	1.10±0.41a	0.91±0.33a	0.57±0.06a
旱地 Dry land	82	13.85±1.64 b	8.04±2.26b	10.86±3.95a	1.54±0.57b	0.98±0.48a	0.57±0.05a
菜地 Vegetable plots	8	14.40±1.42 ab	9.83±3.33ab	9.08±5.19a	1.21±0.52ab	0.90±0.37a	0.53±0.08a

同一列数据后小写字母不同者表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.4.5 地貌类型

由表 7 可知,地貌类型对 SOM、Fe、Mn、Zn 含量有较大影响,对 Cu 和 B 影响不显著。SOM 平均含量高低依次为:低山丘陵区<湖滩<山前倾斜平地<缓平地<洼地。总体看来,土地越平缓,有机质积累越高,原因是地貌类型主要通过影响侵蚀和水土流失影响 SOM 的含量状况^[15],另一方面通过影响水热资源的分配,进而影响植被的生长情况,从而影响

SOM 的积累。湖滩 SOM 较少的原因主要是由于湖泊周围植物较少,有机质积累不多。洼地区土壤水分较多,有机残体在水分作用下易于腐烂降解,SOM 含量高。地貌对微量元素的影响主要是通过影响地表物质循环的方式和方向影响土地利用类型,而土地利用类型和农田管理措施又是影响微量元素变化的重要因素。

表 7 不同地貌类型下土壤有机质和微量元素含量

Table 7 The contents of SOM and trace elements under different topography types

地貌类型 Topography type	样本数 Samples	SOM	Fe	Mn	Cu	Zn	B
		均值±标准差 Mean±SD	均值±标准差 Mean±SD	均值±标准差 Mean±SD	均值±标准差 Mean±SD	均值±标准差 Mean±SD	均值±标准差 Mean±SD
低山丘陵地 Low mountains and hills	81	13.88±2.20c	10.38±3.79c	7.47±2.19c	1.18±0.32a	0.78±0.25c	0.57±0.54a
山前倾斜平地 Tilt piedmont plain	82	14.44±1.98bc	11.38±3.78c	7.94±2.81c	1.12±0.35a	0.71±0.24c	0.57±0.57a
洼地 Depression	254	15.07±1.91a	10.22±3.18ac	12.39±4.94a	1.19±0.53a	1.02±0.39a	0.58±0.06a
湖滩 Beach	17	14.36±1.60bc	11.88±3.01c	11.44±5.74c	1.05±0.26a	0.92±0.27c	0.58±0.05a
缓平地 Slow flat	587	14.62±1.79b	22.90±9.42b	10.61±4.95b	1.11±0.43a	0.92±0.33b	0.57±0.05a

同一列数据后小写字母不同者表示差异显著 ($P < 0.05$)

3 结论

本文利用地统计与 GIS 技术相结合的方法对南四湖区农田 SOM 和微量元素空间变异特征及影响因素进行分析,主要结论如下:

(1) 描述性统计分析表明,B 符合正态分布,SOM、Fe、Mn、Cu 和 Zn 符合对数正态分布,均属中等变异程度。SOM 平均值为 14.66 g/kg,微量元素中 Mn 的平均含量最高(10.66 mg/kg);B 的平均含量最低(0.57 mg/kg)。

(2) 半方差分析表明,SOM、Fe、Mn 和 Zn 用指数模型拟合较好,Cu 用球状模型拟合较好。B 为纯块金效应,在整个尺度上具有恒定变异,SOM 和其余 4 种微量元素具有强烈空间变异,其中区域因素占主

导作用。

(3) 普通克里格插值结果表明,SOM 分布总体趋势为由北向南逐渐降低,Mn、Cu、Zn 分布总体趋势为中部高,南北两端低,B 地域差异不明显。除 B 外,土壤类型、耕层质地、坡度、土地利用类型、地貌类型与 SOM 和微量元素的含量高低以及分布状况密切相关。

References:

- [1] Batjes N H. Total carbon and nitrogen in the soil of the world. *European Journal of Soil Science*, 1996, 47(2): 151-163.
- [2] Wright A L, Hons F M. Soil carbon and nitrogen storage in aggregates from different tillage and crop regimes. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69(1): 141-147.
- [3] Wang B, Mao R Z, Cao J W, Yuan Z, Gao Y F, Li D M. Spatial

- variability of the heavy metal contents in cropland of the low Hai River Plain—A case study in Feixiang county of Hebei Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 4082-4090.
- [4] Zhang X X, Li Z B, Li P. Study on distribution characteristics soil trace elements of grass land in the loess plateau. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(5): 45-48, 67-67.
- [5] Fachinelli A, Sacchi E, Mallen L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soil. *Environmental Pollution*, 2001, 114(3): 313-324.
- [6] Rodríguez J A, Nanos N, Grau J M, Gil L, López-Arias M. Multiscale analysis of heavy metal contents in Spanish agricultural topsoils. *Chemosphere*, 2008, 70(6): 1085-1096.
- [7] Cordova C, Sohi S P, Lark R M, Goulding K W T, Robinson J S. Resolving the spatial variability of soil N using fractions of soil organic matter. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2012, 147: 66-72.
- [8] Yang Q Y, Yang J S. Spatial variability of soil organic matter and total nitrogen at different scales. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(3): 100-104.
- [9] Wang S Y, Lu P, Wang J P, Yang L, Yang K, Yu T Q. Spatial variability and distribution of soil organic matter and total nitrogen at different scales: a case study in Pinggu County, Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4957-4964.
- [10] Song M, Peng W X, Zou D S, Zeng F P, Du H, Lu S Y. The causes of spatial variability of surface soil organic matter in different forests in depressions between karst hills. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(19): 6259-6269.
- [11] Zhang Q J, Yu X B, Qian J X, Xiong T. Distribution characteristics of plant communities and soil organic matter and main nutrients in the Poyang Lake Nanji Wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(12): 3656-3669.
- [12] Wang H L, Zhang H G, Qin L, Ma H Y, Lü G H. The characteristics of the spatial distribution of soil organic matter and factors influencing it in Ebinur Lake Basin of Xinjiang Autonomous Region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(16): 4969-4980.
- [13] Zhao M S, Zhang G L, Wang D C, Li D C, Pan X Z, Zhao Y G. Spatial variability of soil organic matter and its dominating factors in Xu-Huai alluvial plain. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(1): 1-11.
- [14] Huang Y F, Zhou Z Y, Yuan X Y, Zhang H Y. Spatial variability of soil organic matter content in an arid desert area. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2776-2781.
- [15] Song F J, Chang Q R, Zhong D Y, Fang R H. Spatial variability and controlling factors of soil trace elements in hilly and gully area of the Loess Plateau. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2013, 30(1): 36-42.
- [16] Zhong X L, Zhou S L, Li J T, Zhao Q G. Spatial variability of soil heavy metals contamination in the Yangtze river delta — a case study of Taicang city in Jiangsu Province. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(1): 33-40.
- [17] Liu W, Peng P Q, Qiu Y Q, Hou H B, Li X C. Spatial variability analysis of typical farmland trace elements in the Dongting Lake Area. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(35): 215-220.
- [18] Lian G, Guo X D, Fu B J, Hu C X. Prediction of the spatial distribution of soil properties based on environmental correlation and geostatistics. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(7): 237-242.
- [19] McBratney A B, Odeh I O A, Bishop T F A, Dunbar M S, Shatar T M. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. *Geoderma*, 2000, 97(3): 293-327.
- [20] Office of Soil Survey in Weishan County. The soils of Weishan county, Jinan: Office of Soil Survey in Weishan County, 1987: 50-53.
- [21] State Environment Protection Administration of China. GB 15618—1995 Environmental quality standard for soils. Beijing: China Standards Publishing House, 1995.
- [22] Li H B, Wang Z Q, Wang Q C. Theory and methodology of spatial heterogeneity quantification. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(6): 651-657.
- [23] Lei Z D, Yang S X, Xu Z R, Vachaud G. Preliminary investigation on the spatial variability of soil properties. *Shuili Xuebao*, 1985, (9): 10-21.
- [24] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, Karlen D L, Novak J M, Turco R F, Konopka A E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, 1994, 58(5): 1501-1511.
- [25] Tao S, Cao J, Li B G, Xu F L, Chen W Y. Distribution pattern of trace elements in soil from Shenzhen area. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(2): 248-255.
- [26] Fang H J, Yang X M, Zhang X P, Liang A Z. Spatial heterogeneity and pattern of black soil organic carbon of sloping field. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2005, 25(3): 20-24, 28-28.
- [27] Gao M, Zhao B T, Wei C F, Xie D T, Zhang L. Effect of tillage system on soil animal, microorganism and enzyme activity in paddy field. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(7): 1177-1181.
- [28] Yin Y F, Cai Z C, Qin S W. Dynamics of fluvo-aquic soil organic matter fractions under long-term fertilization. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(5): 875-878.
- [29] Zhu J, Huang B, Sun W X, Ding F, Zou Z, Su J P. Temporal spatial variability and its influencing factors of available trace metals in soils. *Journal of Nanjing University: Natural Science*, 2007, 43(1): 1-12.
- [30] Huang P, Li T X, Zhang J B, Liao G T. Effects of slopes gradient and Aspect on spatial heterogeneity of soil organic matter in low

mountainous region. *Soils*, 2009, 41(2): 264-268.

参考文献:

- [3] 王波, 毛任钊, 曹健王, 元仲, 高云凤, 李冬梅. 海河低平原区农田重金属含量的空间变异性——以河北省肥乡县为例. *生态学报*, 2006, 26(12): 4082-4090.
- [4] 张晓霞, 李占斌, 李鹏. 黄土高原草地土壤微量元素分布特征研究. *水土保持学报*, 2010, 24(5): 45-48, 67-67.
- [8] 杨奇勇, 杨劲松. 不同尺度下耕地土壤有机质和全氮的空间变异特征. *水土保持学报*, 2010, 24(3): 100-104.
- [9] 王淑英, 路苹, 王建平, 杨柳, 杨凯, 于同泉. 不同研究尺度下土壤有机质和全氮的空间变异特征——以北京市平谷区为例. *生态学报*, 2008, 28(10): 4957-4964.
- [10] 宋敏, 彭晚霞, 邹冬生, 曾馥平, 杜虎, 鹿士杨. 喀斯特峰丛洼地不同森林表层土壤有机质的空间变异及成因. *生态学报*, 2012, 32(19): 6259-6269.
- [11] 张全军, 于秀波, 钱建鑫, 熊挺. 鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征. *生态学报*, 2012, 32(12): 3656-3669.
- [12] 王合玲, 张辉国, 秦璐, 马辉英, 吕光辉. 新疆艾比湖流域土壤有机质的空间分布特征及其影响因素. *生态学报*, 2012, 32(16): 4969-4980.
- [13] 赵明松, 张甘霖, 王德彩, 李德成, 潘贤章, 赵玉国. 徐淮黄泛平原土壤有机质空间变异特征及主控因素分析. *土壤学报*, 2013, 50(1): 1-11.
- [14] 黄元仿, 周志宇, 苑小勇, 张红艳. 干旱荒漠区土壤有机质空间变异特征. *生态学报*, 2004, 24(12): 2776-2781.
- [15] 宋丰骥, 常庆瑞, 钟德燕, 方睿红. 黄土丘陵沟壑区土壤微量元素空间变异特征及其影响因素. *干旱地区农业研究*, 2013, 30(1): 36-42.
- [16] 钟晓兰, 周生路, 李江涛, 赵其国. 长江三角洲地区土壤重金属污染的空间变异特征——以江苏省太仓市为例. *土壤学报*, 2007, 44(1): 33-40.
- [17] 刘伟, 彭佩钦, 邱亚群, 侯红波, 李学初. 洞庭湖区典型农田微量元素的空间变异分析. *中国农学通报*, 2012, 28(35): 215-220.
- [18] 连纲, 郭旭东, 傅伯杰, 虎陈霞. 基于环境相关法和地统计学的土壤属性空间分布预测. *农业工程学报*, 2009, 25(7): 237-242.
- [20] 微山县土壤普查办公室. 微山县土壤志. 济宁: 微山县土壤普查办公室, 1987: 50-53.
- [21] 国家环境保护局. GB 15618-1995 土壤环境质量标准. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [22] 李哈滨, 王政权, 王庆成. 空间异质性定量研究理论与方法. *应用生态学报*, 1998, 9(6): 651-657.
- [23] 雷志栋, 杨诗秀, 许志荣, 瓦肖尔 G. 土壤特性空间变异性初步研究. *水利学报*, 1985, (9): 10-21.
- [25] 陶澍, 曹军, 李本纲, 徐福留, 陈伟元. 深圳市土壤微量元素含量成因分析. *土壤学报*, 2001, 38(2): 248-255.
- [26] 方华军, 杨学明, 张晓平, 梁爱珍. 坡耕地黑土有机碳空间异质性及其格局. *水土保持通报*, 2005, 25(3): 20-24, 28-28.
- [27] 高明, 周保同, 魏朝富, 谢德体, 张磊. 不同耕作方式对稻田土壤动物、微生物及酶活性的影响研究. *应用生态学报*, 2004, 15(7): 1177-1181.
- [28] 尹云锋, 蔡祖聪, 钦绳武. 长期施肥条件下潮土不同组分有机质的动态研究. *应用生态学报*, 2005, 16(5): 875-878.
- [29] 朱静, 黄标, 孙维侠, 丁峰, 邹忠, 苏建平. 农田土壤有效态微量元素的时空变化及其影响因素研究. *南京大学学报: 自然科学版*, 2007, 43(1): 1-12.
- [30] 黄平, 李廷轩, 张佳宝, 廖桂堂. 坡度和坡向对低山茶园土壤有机质空间变异的影响. *土壤*, 2009, 41(2): 264-268.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.6 Mar., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Impacts of global warming on litter decomposition SONG Piao, ZHANG Naili, MA Keping, et al (1327)
- From system to landscape: the other orientation of regional material flow analysis ZHANG Xiaogang, ZENG Hui (1340)
- A multi-dimensional approach for wetland ecosystem service valuation SONG Yuqin, ZHANG Xiaolei (1352)
- Molecular mechanisms of the insect juvenile hormone JIN Minna, LIN Xinda (1361)
- Microbial deterioration in ancient cave and wall paintings LI Qiang, GE Qinya, PAN Xiaoxuan, et al (1371)
- Study on ecological safety evaluation and warning of wetlands in Tumen River watershed based on 3S technology
..... ZHU Weihong, MIAO Chengyu, ZHENG Xiaojun, et al (1379)
- A review of transboundary protected areas network establishment WANG Wei, TIAN Yu, CHANG Ming, et al (1391)

Autecology & Fundamentals

- Water consumption characteristics and water use efficiency of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* and bamboo-willow
seedlings QIU Quan, PAN Xin, LI Jiyue, et al (1401)
- Three warming scenarios differentially affect the morphological plasticity of an invasive herb *Alternanthera philoxeroides*
..... CHU Yanmei, YANG Jian, LI Jingji, et al (1411)
- The influence of meteorological factors and soil physicochemical properties on karst processes in six land-use patterns in summer
and winter in a typical karst valley LIU Wen, ZHANG Qiang, JIA Yanan (1418)
- Effects of nanocarbon application on nitrogen absorption and utilization of flue-cured tobacco
..... LIANG Taibo, YIN Qisheng, ZHANG Yanling, et al (1429)
- The stand spatial model and pattern based on voronoi diagram LIU Shuai, WU Shuci, WANG Hong, et al (1436)
- Dynamic analysis of spatial structure in a close-to-nature *Phyllostachys edulis* stands
..... QIU Jianxi, TANG Mengping, SHEN Lifen, et al (1444)
- Phenotypic diversity in natural populations of *Sapindus mukorossi* based on fruit and seed traits
..... DIAO Songfeng, SHAO Wenhao, JIANG Jingmin, et al (1451)
- Development of compatible biomass models for trees from different stand origin ... FU Liyong, LEI Yuancai, SUN Wei, et al (1461)

Population, Community and Ecosystem

- The impact of understory vegetation structure on growth of *Polygonatum cyrtoneura* in extensively managed *Phyllostachys edulis*
plantation FAN Yanrong, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (1471)
- Short-term effects of CO₂ concentration elevation, warming and transgenic *Bt* rice cropping on soil labile organic carbon and
nitrogen, and nematode communities CHEN Jing, CHEN Fajun, LIU Manqiang, et al (1481)
- Temporospatial variations in net ecosystem productivity in Northeast China since 1961
..... LI Jie, ZHANG Yuandong, GU Fengxue, et al (1490)
- Assessment of the habitat suitability for waterfowls in the Panjin, Liaoning with GIS and remote sensing
..... DONG Zhangyu, LIU Dianwei, WANG Zongming, et al (1503)
- Distribution of soil macropores and their influence on saturated hydraulic conductivity in the Huoditang forest region of the
Qinling Mountains LU Bin, ZHANG Shengli, LI Kan, et al (1512)

- Influences of phosphorus concentration on interactions among *Microcystis aeruginosa*, *Daphnia magna* and *Ceratophyllum demersum* ...
 MA Jianmin, JIN Ping, GUO Meng, et al (1520)
- Allelopathic inhibition and mathematical models of *Chara vulgaris* extracts on two freshwater algae species
 HE Zongxiang, LIU Lu, LI Cheng, et al (1527)
- Flora analysis of riparian vegetation in Yongding-Haihe river system, China XIU Chen, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua (1535)
- Stream habitat assessment of Dong River, China, using *River Habitat Survey* method
 WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong, et al (1548)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Applying SWAT model to explore the impact of changes in land use and climate on the streamflow in a Watershed of Northern
 China GUO Juntong, ZHANG Zhiqiang, WANG Shengping, et al (1559)
- Climate response of tree growth along an altitudinal gradient in the Changbai Mountains, Northeast China
 CHEN Li, YIN Yunhe, ZHAO Dongsheng, et al (1568)
- The dispersion of airborne pollen and its relationship with major climatic parameters in Shijiazhuang
 LI Ying, LI Yuecong, LÜ Suqing, et al (1575)
- The change of soil carbon and nitrogen under different grazing gradients in Hulunber meadow steppe
 YAN Ruirui, XIN Xiaoping, WANG Xu, et al (1587)
- Spatial distribution and influencing factors of farmland soil organic matter and trace elements in the nansihu region
 WU Jie, LI Yuhuan, LI Zengbing, et al (1596)

Resource and Industrial Ecology

- Transnational land use and its potential environmental consequence LU Xiaoxuan (1606)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 薛建辉

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 6 期 (2014 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 6 (March, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元