

梁子湖湿地土壤养分的空间异质性

熊汉锋, 王运华

(华中农业大学资源与环境学院, 湖北武汉 430070)

摘要: 2003年10月利用地统计学方法对梁子湖湿地保护区内一块63.9km²区域的土壤养分的空间变异进行了研究。以400m×400m的网格采集了101个表层(0—15cm)土壤样品。分析结果表明,土壤养分有较大的空间变异,土壤有机质、全氮、全磷、速效氮变异系数分别是36.0%、30.6%、13.7%和29.3%;速效磷的变异系数最高为50.4%。土壤有机质、全氮、全磷、速效氮和速效磷的理论模型均为球状模型。土壤有机质、全氮、全磷、速效氮具有中等空间自相关性,随机变异分别是68.5%、68.3%、75%和71.5%;速效磷的自空间相关性较弱,变异为82.4%。5种养分的空间自相关距离比较接近,变程在2853m~2963m之间。通过克里格插值进行土壤养分空间插值制图显示,土壤养分表现出空间分布的相似性。

关键词: 湿地; 土壤养分; 空间异质性; 地统计学

中图分类号: S153.6

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2005)05-0584-06

Spatial variability of soil nutrients in wetland of Liangzi Lake

XIONG Han-feng, WANG Yun-hua

(College of Resource and Environment, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Understanding distribution of soil nutrients at the wetland is important for studying the ecological processes in wetland and wetland ecosystem function. However, soil nutrients are heterogeneous no matter in large scale or small scale wetland. With the wide application of GIS in the soil science, the soil nutrient spatial heterogeneity has aroused more and more attention in recent year. In order to study the spatial variability of soil nutrients in wetland of Liangzi Lake, an experimental site with area of 63.9 km² was selected to conduct the soil investigation. 101 soil surface (0—15cm) samples were collected at October in 2003, on a 400 - by 400 - m grid. Those soil samples were used for the measurement of organic matter, total N, total P, available N and available P. Based on spatial analysis function of GIS, spatial variability of soil nutrients in wetland of Liangzi Lake was studied using geostatistics. Theoretical semivariogram models of soil organic matter, total N, total P, available N and available P were spherical model with a sill. Soil properties varied sharply, among which CV of available P was highest, while CV of soil total P was the lowest with the values being 50.4% and 13.7%, respectively. Soil organic matter, total N, total P and available N were of spatial autocorrelation. The ratio of random variance (nugget) to total variance (sill) was 68.5% for soil organic matter, 68.3% for total N, 75% for total P, 71.5% for available N, respectively. The spatial autocorrelation of available P was lowest being 82.4%, no significant differences were found in the distance of spatial autocorrelation of these five soil nutrients, among which the distance of soil organic matter total N, total P, available N and available P was 2906.1 m, 2896.3 m, 2853 m, 2963.3 m and 2890.7 m, respectively. The map of Kriging interpolation indicated that the spatial distribution of those five soil nutrients were similar.

Key words: wetland; soil nutrient; spatial variability; geostatistics

收稿日期: 2004-08-31 修改稿收到日期: 2004-12-06

基金项目: 国家林业部湖北梁子湖湿地保护项目资助。

作者简介: 熊汉锋(1963—),男,湖北人,博士研究生,主要从事生态环境管理和生态建设及资源利用研究。

土壤是时空连续的变异体,具有高度的空间变异性,不论在大尺度上还是在小尺度上,土壤的空间异质性均存在。自60年代国外学者提出研究空间变异性以来,经过近30年的努力,已经取得了长足的进展。研究的方法从Fisher的经典统计分析过渡到Matheron提出的地统计分析,并已将理论研究成果应用于实际之中^[1-2]。90年代以后,国内学者也逐步认识到在地质、土壤、水科学等领域中研究空间变异性的实用性,在土壤空间变异性方面进行了诸多研究^[3-7]。王建红^[8]等用地统计方法研究了海涂土壤空间变异产生的原因及规律;张朝生^[9]等采用地统计、空间自相关和分形3种方法,研究长江水系沉积物中11种金属元素,发现其均有较显著的空间分布特征;Husson等^[10]研究越南湄公河三角洲芦苇平原上酸性硫酸盐土的空间变异时,将土壤物理化学性质与自然植被、地下水位、微地形等联系起来分析;白军红^[11]采用定量方法对向海湿地土壤养分的空间异质性进行了初步探讨。但是,不同湿地类型,土壤肥力差异较大,即使在同一湿地内,土壤肥力也不均一,具有高度的空间异质性。本研究的目的是为了揭示梁子湖湿地土壤养分的空间变异特征,为湿地保护和开发提供某些科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

梁子湖湿地保护区位于长江中游,湖北省东南部,东经 $110^{\circ}20'$ ~ $114^{\circ}23'$,北纬 $30^{\circ}11'$ ~ $30^{\circ}23'$,湿

地面积 37946 hm^2 。该区域气候温和,雨量充沛,年平均气温 17.4°C ,年均降雨量 1663 mm ,年平均日照时数 2061 h ,无霜期 270 d 。成土母质为第四纪沉积物和近代湖泊沉积物。取样区域为平原地貌,海拔高度介于 $16.8\sim 38.9\text{ m}$ 间,东、西、北三面临水,地势向湖面倾斜。土壤主要是沼泽土、水稻土,部分土壤呈中偏碱性,部分呈酸性。主要植被有水稻、菰群落、苔草、狗牙根、狗尾草、茭白等。

1.2 样品采集与分析方法

2003年10月,采用GPS定位对梁子湖湿地保护区的一块 63.9 km^2 区域内,以 $400\text{ m}\times 400\text{ m}$ 网格法进行定点采取 $0\sim 15\text{ cm}$ 土壤样品,样品总数101个,见图1。采集方法是利用土钻在以定点为圆心的半径 30 m 范围内采集5个样品的混合样,然后风干、过筛后备用。

土壤有机质用重铬酸钾容量法;全氮采用半微量凯氏法;全磷用硫酸-高氯酸消煮,钼锑抗比色法;速效氮用碱解扩散法;速效磷用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定。

1.3 统计学分析

土壤养分的平均值、方差和变异系数等描述性统计分析采用统计软件STATISTICA计算。地统计学涉及的半方差函数和半方差函数模型参照文献^[12]。地统计学参数采用软件S-PLUS2000计算,插值图件采用ARCGIS软件绘制。半方差函数模型是通过散点图确定曲线的初步类型,然后根据理论推断及经验确定的。

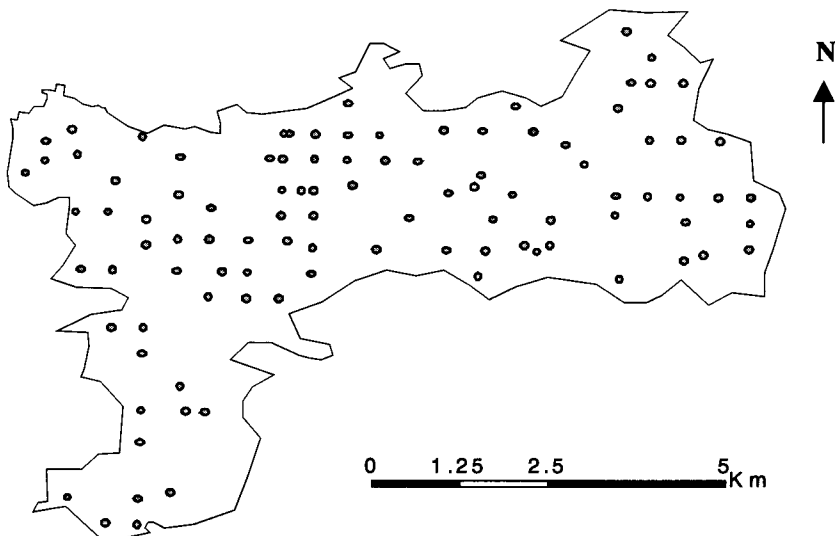


图1 采样点分布图

Fig. 1 Distribution map of sampling sites

2 结果与讨论

2.1 湿地土壤养分变异情况

中数和算术平均值是表示样品中心趋向分布的一种测度,而标准差和变异系数则表示抽样样本的变异程度。梁子湖湿地土壤表层中有机质、全氮、全磷、速效氮及速效磷的平均值都略大于中数,但相差不大(表 1)。说明养分的中心趋向分布可能未受异常值所影响。土壤中全磷的变异系数最小为 13.7%,其次是有效氮为 29.3%;有机质和全氮的

变异系数分别为 36.0%和 30.6%;而有效磷的变异最大,达到 50.4%,其含量的最大值与最小值相差 46 倍。有报道^[13]认为,土壤速效磷的变异系数较高;Chien 等^[14]的研究发现,在 2.5 km × 4.0 km 区域内,土壤速效磷的变异系数高达 199%。土壤有效磷的变异较大,其原因可能主要与其利用方式、施肥等有关。如部分湿地农田大量使用磷肥,而湖滩、沼泽地根本不施肥,使得土壤磷分布不均匀。另外,不同地形部位的土壤,其地下水位的的高低对磷的有效性也有一定的影响。

表 1 土壤养分的描述性统计值

Table 1 Descriptive statistical results of tested soil nutrients (n = 101)

| 土壤养分 Soil nutrients | 平均值 Mean | 中值 Median | 标准差 SD | 变异系数 CV (%) | 最小值 Min. | 最大值 Max. | 分布类型 Dispersion Pattern |
|------------------------|-------------|--------------|-----------|----------------|-------------|-------------|----------------------------|
| 有机质 OM (g/kg) | 30 | 27.8 | 10.8 | 36 | 18.3 | 64.7 | 正态 Normal |
| 全氮 TN (g/kg) | 1.721 | 1.612 | 0.526 | 30.6 | 1.149 | 3.411 | 正态 Normal |
| 全磷 TP (g/kg) | 0.408 | 0.395 | 0.056 | 13.7 | 0.313 | 0.581 | 正态 Normal |
| 速效 N Avail. N (mg/kg) | 109.5 | 103.9 | 32.1 | 29.3 | 55.2 | 199.7 | 对数正态 Lognormal |
| 速效 P Avail. P (mg/kg) | 17.1 | 15.5 | 8.6 | 50.4 | 0.9 | 41.6 | 正态 Normal |

2.2 湿地养分的空间结构特征

5 种养分的理论变异函数与实验变异函数拟合较好,它们的决定系数在 0.597~0.829 之间,F 检验达极显著水平,说明理论模型较好地反映了这 5 种养分的空间结构特征。

土壤养分的空间相关性可通过块金值(Nugget)和基台值衡量。块金值是变异函数在原点处数值,它表示由实验误差和小于最小取样尺度引起的随机变异;基台值表示系统内的总变异。块金值/基台值小于 25%时,空间相关性强,在 25%~75%之间,空间相关性中等,大于 75%时空间相关性弱^[15]。表 2 中土壤有机质、全氮、全磷、速效氮的随机变异分别是 68.5%、68.3%、75%和 71.5%,结构变异为 31.5%、31.7%、25%和 28.5%,表明这 4 种养分具有中等强度的空间相关性,它的空间变异是由施肥、取样误差等随机因素和土壤母质、地形、气候等非人为因素共同引起的。土壤速效磷的随机变异为 82.4%,结构变异为 17.6%,表明其空间相关性较弱,其空间变异主要是由施肥、取样误差等随机因素引起的。可能是湿地部分农田施用磷肥,导致土壤中磷分布不均。

表 2 中的变程是属性因子空间自相关性范围的大小,当某土壤养分观察值之间距离大于该值时,说

明它们之间是相互独立的;若小于该值时,则说明它们之间存在一定的空间相关性。梁子湖湿地土壤养分的空间自相关范围比较接近,有效氮最大,为 2963.3 m;其次是有机质和全氮,分别为 2906.1 m 和 2896.3 m;土壤全磷和速效磷的距离为 2853m 和 2890 m。表明这 5 种养分在本研究区域内的生态过程在相同尺度上起作用。这可能是由于湿地土壤主要受水环境控制,在渍水条件下有机残体归还土壤中形成大量的有机质,含有丰富的氮、磷,使有机质作为主要影响因子起作用。土壤中有有机质及全氮的含量变化决定于有机物质及氮素的输入和输出量的相对大小。天然土壤有机物质的输入量主要依赖于有机残体归还量的多少及有机残体的腐殖化系数;而氮素的输入量则主要依赖于植物残体的归还量及生物固氮。土壤中有有机物质与氮素有良好的相关性。统计分析表明,本区域土壤有机质与全氮的相关系数为 0.9571,说明有机质和全氮在变程上基本一致。这与有关报道^[16]认为土壤有机质与全氮有相似空间分布特征相似。磷在湿地中的含量主要受有机质和土壤母质的控制。统计分析表明,本区域土壤有机质与全 P 的相关系数为 0.909,同样说明有机质和全 P 在变程上基本一致。

表2 土壤养分的变异函数理论模型的相关参数和F检验

Table 2 Parameters of theoretical variogram models for soil nutrient and their F-test

| 土壤养分 Soil nutrients | 模型 Model | 变程(m) Range | 块金值 Nugget | 基台值 Sill | 块金值/基台值(%) Nugget/Sill | 决定系数 R ² | F检验 F test |
|------------------------|-------------|----------------|---------------|-------------|---------------------------|------------------------|---------------|
| 有机质 OM | Spherical | 2906.1 | 0.734 | 1.071 | 68.5 | 0.829 | 25.49** |
| 全氮 TN | Spherical | 2896.3 | 0.0017 | 0.0025 | 68.3 | 0.813 | 32.76** |
| 全磷 TP | Spherical | 2853.0 | 0.013 | 0.017 | 75.0 | 0.732 | 16.45** |
| 速效氮 Avail. N | Spherical | 2963.3 | 812.47 | 1136.77 | 71.5 | 0.779 | 23.87** |
| 速效磷 Avail. P | Spherical | 2890.7 | 57.914 | 70.629 | 82.4 | 0.597 | 19.97** |

** : 极显著相关 Very significance correlation.

2.3 土壤养分空间变异的克里格插值

通过对研究区域未采样点土壤养分变化值进行克里格插值来分析和预测土壤养分的空间变异,其结果(图2)表明,土壤有机质、全氮、全磷及有效氮分布很相似。湿地的表层土壤中沉积有大量的有机质,有机质中含有丰富的氮、磷,其空间分布影响了氮、磷的分布。土壤中的氮素95%以上以有机氮的形态分布于土壤表层。土壤全氮含量主要受有机质的控制,不同地形部位的土壤具有不同的水分状况,土壤有机氮的矿化是受水分条件影响的。磷通常以正磷酸盐的形态存在于土壤中,相当大一部分是有机质结合态存在,有机磷含量与土壤有机质含量之间有良好的相关性。统计分析表明,本区域土壤有机质与全磷的相关系数为0.909。

本研究区域土壤养分的分布与地形、土壤类型及土壤母质密切相关。东、西和中部有一区域的有机质、全氮、速效氮含量较高。这一区域地势较低,主要是湖滩和沼泽,土壤是由湖泊沉积物形成的沼泽土。沼泽地植物覆盖度大,生长旺盛,每年冬季植物枯死后全部归还到土壤中,在渍水的嫌气条件下形成腐殖质。在研究区域的中西部和中东部土壤有机质、全氮、全磷、有效氮及有效磷都较低。因为这一区域地势较高,其成土母质为第四纪沉积物,土壤主要是淹育型和潜育型水稻土,由于人为耕种,干湿交替频繁,有机质的积累较少。

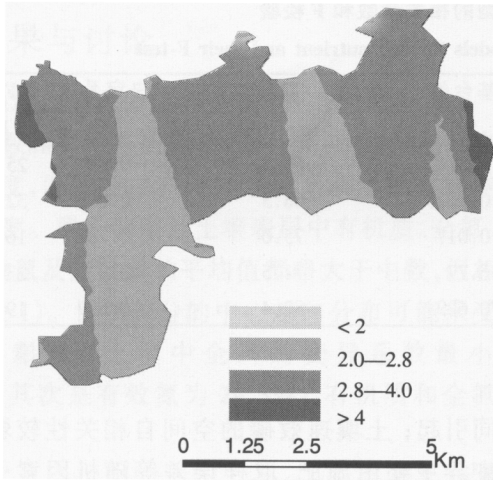
3 结论

梁子湖湿地5种土壤养分中,有效磷的空间变异系数最大,全磷最小。5种养分的理论模型均为球状模型,而且理论变异函数与实验变异函数拟合较好。土壤养分均表现出空间相关结构。块金值/基台值比值的大小表明土壤有机质、全氮、全磷、速效氮空间自相关性中等,其空间变异由施肥、取样误差等随机因素和土壤母质、地形、气候等非人为因素

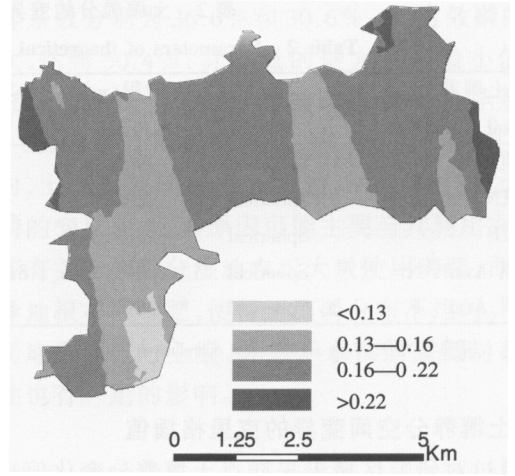
共同引起;土壤速效磷的空间自相关性较弱,其空间变异主要由施肥、取样误差等随机因素引起。5种土壤养分的生态过程在相同尺度上起作用,其空间相关变化范围接近,在2853 m~2963.3 m之间。土壤有机质、全氮、全磷、速效氮的克里格插值反映其空间分布很相似,而且土壤养分的分布与地形、土壤类型及土壤母质相关。

参考文献:

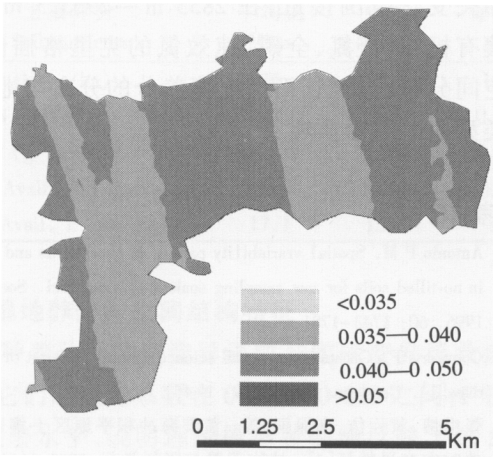
- [1] Antonio P M. Spatial variability pattern of phosphorus and potassium in no-tilled soils for tow sampling scales[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1996, 60: 1743-1781.
- [2] Goovaerts P. Geostatistics in soil science: State of the art or Perspectives[J]. Geoderma, 1999, 89: 1-45.
- [3] 张世熔,黄元仿,李保国,等. 黄淮海冲积平原区土壤速效P、K的时空变异特征[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(1): 3-8.
Zhang S R, Huang Y F, Li B G *et al.* Temporal spatial variability of soil available phosphorus and potassium in the alluvial region of the Huang Huai Hai Plain[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(1): 3-8.
- [4] 周慧珍,龚子同, Lamp J. 土壤空间变异性研究[J]. 土壤学报,1996,33(3): 233-241.
Zhou H Z, Gong Z T, Lamp J. Study on soil spatial variability [J]. Acta Pedologica Sinica, 1996, 33(3): 233-241.
- [5] 徐尚平,陶澍,曹军. 内蒙古土壤pH值、粘粒和有机质含量的空间结构特征[J]. 土壤通报,2001,4: 145-148.
Xu S P, Tao S, Cao J. Spatial structure pattern of soil pH, clay and organic matter contents in the inner mongolia area [J]. Chinese Journal of Soil science, 2001, 4: 145-148.
- [6] 曹慧,杨浩,孙波,等. 太湖流域丘陵地区土壤养分的空间变异[J]. 土壤,2002(4): 201-205.
Cao H, Yang H, Sun B *et al.* Spatio-temporal variability of soil nutrient in low hill region in Tei lake catchment [J]. Soil, 2002, 4: 201-205.
- [7] 孙波,赵其国,闫国年. 低丘红壤肥力的时空变异[J]. 土壤学报,2002,39(2): 190-197.
Sun B, Zhao Q G, Lu G N. Spatio-temporal variability of red soil fertility in low hill region [J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(2): 190-197.



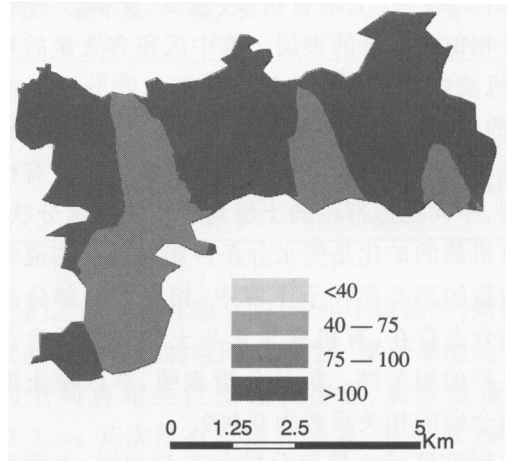
(1)



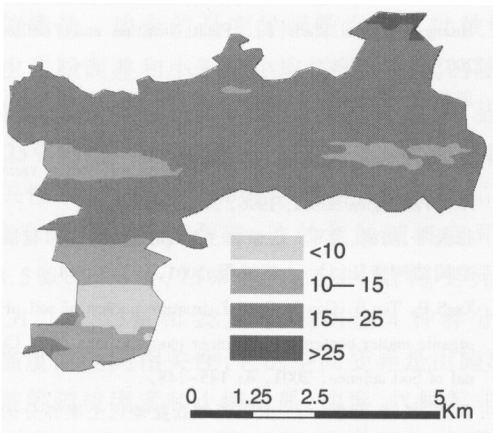
(2)



(3)



(4)



(5)

图 2 土壤养分分布等值线图

Fig. 2 Spatial distribution of soil nutrients

(1)有机质 Organic matter (2)全氮 Total N (3)全磷 Total P (4)速效氮 Available N (5)速效磷 Available P

- [8] 王建红,傅庆林.土壤空间变异理论在海涂土壤研究中的初步应用[J].浙江农业学报,1998,10(5):230-234.
Wang J H, Fu Q L. Application of soil spatial heterogeneity in the study of seabeach soil[J]. Journal of Zhejiang Agriculture University, 1998,10(5):230-234.
- [9] 张朝生,章申,何建邦.长江水系沉积物重金属含量空间分布特征研究[J].地理学报,1998,53(1):87-95.
Zhang C S, Zhang S, He J B. Spatial distribution characteristics of heavy metals in the sediments of changjiang river system[J]. Acta Geographica Sinica, 1998, 53(1): 87-95.
- [10] Husson O, Verburg P H. Spatial variability of soil sulphate soils in the Plain of Reeds, Mekong delta, Vietnam[J]. Geoderma, 2000, 97: 1-19.
- [11] 白军红,余国营,王国平.地统计学在湿地土壤养分空间异质性研究中的应用[J].农业环境保护 2001,20(5):311-314.
Bei J H, Yu G Y, Wang G P. Application of geo-statistics in spatial heterogeneity of soil nutrients in wetlands [J]. Agro-environmental Protection, 2001, 20(5): 311-314.
- [12] 王政权.地统计学及在生态学中的应用[M].北京:科学出版社,1999.
Wang Z Q. Application of geo-statistics in ecology[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [13] 王军,傅伯杰,邱扬,等.黄土高原小流域土壤养分的空间异质[J].生态学报,2002,22(8):1173-1177.
Wang J, Fu B J, Qiu Y *et al.* Spatial heterogeneity of soil nutrient in a small catchment of the Loess Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(8): 1173-1177.
- [14] Chien Y J, Lee D Y, Guo H Y Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soil [J]. Soil Sci., 1997, 162: 291-298.
- [15] Robertson G P. Soil resources, microbial activity, and primary production across an agricultural ecosystem[J]. Ecological Application, 1997, 7: 158-170.
- [16] Stenger R, Priesack E, Beese F. Spatial variation of nitrate-N and related soil properties at the plot-scale [J]. Geoderma, 2002, 105: 259-275.