

太湖流域典型蔬菜地土壤养分及 pH 空间变异特征研究^{*}

王彩绒^{1,2}, 吕家珑¹, 胡正义², 高义明¹, 杨林章²

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2 中国科学院 南京土壤研究所, 土壤与持续农业国家重点实验室, 江苏 南京 210008)

[摘 要] 采用传统统计与地统计学相结合的方法, 对太湖典型地区宜兴市大浦镇湖滨公路以东 50 hm² 蔬菜地耕层土壤养分及 pH 空间变异特征进行了研究。结果表明, 研究区域 8 种不同土壤因子的空间变异结构存在较大差异, 全 P、全 N、NH₄⁺-N、速效 P 和速效 K 有明显的空间变异结构, 其中, 速效 P 经对数转化后符合线性有基台模型, NH₄⁺-N 经对数转化后符合线性无基台模型, 其他均符合指数模型; 全 P、NH₄⁺-N、速效 P 和速效 K 具有中等的空间相关性, 土壤 pH 和全 N 有强烈的空间相关性; 8 种土壤因子的空间自相关范围具有明显差异, 土壤 NH₄⁺-N 的变程最大, 为 1 226 m, 速效 P 和速效 K 的变程分别是 587 和 498 m, 其他土壤因子变程为 84~201 m。

[关键词] 太湖流域; 蔬菜地; 土壤养分; pH; 空间变异

[中图分类号] S151.9

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)07-0121-04

太湖流域是我国工农业最发达的地区之一, 该地区在发展经济的同时, 也给流域生态环境带来了巨大的压力, 特别是与氮、磷等农业非点源污染有关的水环境污染问题更为突出^[1~3]。近年来, 在太湖流域典型地区开展的有关研究表明, 在各种土地利用方式中, 蔬菜种植面积逐年扩大。由于蔬菜地土壤肥料的投入量大, 加之蔬菜复种指数高, 以及频繁浇灌等原因, 不仅使大量的氮磷随水流失进入太湖水体, 造成水体富营养化, 而且导致蔬菜体内的硝酸盐大量累积, 潜在地威胁着人畜健康^[4,5]。因此, 对该地区蔬菜地耕层土壤养分状况进行分析研究十分必要。

本研究采用传统统计与地统计学相结合的方法, 研究了太湖流域典型蔬菜地土壤养分和 pH 的空间变异性, 研究结果可为土壤养分因子的空间内插制图提供理论基础, 为蔬菜地土壤养分管理和合理施肥提供科学依据, 并且对控制蔬菜地土壤氮磷向水体迁移和太湖水体富营养化治理有指导作用。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于宜兴市大浦镇“863”基地核心示范

区内, 选择湖滨公路以东沿太湖的蔬菜基地为研究对象(图 1)。该地属亚热带季风气候, 年平均降水量 1 100~1 200 mm, 降水主要集中在 5~9 月, 占全年降水的 60% 左右。土壤为潮土, 质地以砂壤为主。研究地以露地蔬菜为主, 温室蔬菜有零星分布, 主要种植萝卜、青菜、雪里蕻、豆角、瓜类、韭菜、西红柿、青豆、苦麦菜等。该地区蔬菜复种指数高, 每年种 3~4 茬。每户管理面积较小, 为 100~250 m² 不等, 每户肥料用量差异大, 但总体肥料用量大。在过去 10 年中, 基肥以 15-15-15 复合肥料为主, 追肥主要为尿素。农户种植蔬菜一般为 10~30 年, 经营粗放, 干旱季节常取附近河水浇灌。靠公路一边地势稍高, 临太湖一边地势稍低。

1.2 土壤样品采集

采样地介于东经 119°54'33"~119°55'02", 北纬 31°17'13"~31°18'02", 采样面积大约 50 hm²。2003 年 7 月中旬, 以 50 m × 50 m 网格法采样。在每个节点半径 1 m 内采集 10 个 0~20 cm 表层土壤, 将其混合为 1 个土样, 用 GPS 确定精确经纬度, 共采集 156 个样品, 其详细样点分布见图 2。

* [收稿日期] 2004-08-10

[基金项目] 国家重点基础研究发展规划项目(2002AA 601012)

[作者简介] 王彩绒(1970-), 女, 陕西扶风人, 助理研究员, 在读博士, 主要从事土壤环境化学研究。

[通讯作者] 胡正义(1963-), 男, 安徽贵池人, 研究员, 博士生导师, 主要从事大气氮硫沉降与土壤质量演变研究。



图 1 研究地点

Fig 1 Investigating location

1.3 土壤样品分析

土壤样品风干后,过 2 mm 筛用于土壤速效养分和 pH 测定。速效 P 用 0.025 mol/L H_2SO_4 -0.05 mol/L HCl 浸提后,钼锑抗比色法测定;碱解 N 采用扩散法测定;速效 K 采用 NH_4OAc 浸提,火焰光度法测定; $NO_3^- - N$ 和 $NH_4^+ - N$ 用新鲜土样,2 mol/L KCl 浸提(液土体积比为 5:1),流动注射仪测定。土样过 0.147 mm 筛用于土壤全 N、全 P 分析。土壤经 $H_2SO_4-HClO_4$ 消化,钼锑抗比色法测定全 P;全 N 测定采用半微量开氏法;pH 用复合电极法测定。

1.4 数据处理方法

以 GIS 平台 ESRI 公司的 Arc/Info 8.1 和 Arcview 3.2 绘制采样点分布图。原始数据经 GS+ 3.1 软件(Gamma Design Software)检验,其中符合正态分布的数据可直接进行地统计学分析,不符合正态分布的数据经对数转换后再进行地统计学分析。

数据处理主要采用 Fisher 统计学和地统计学方法。研究表明^[6],地统计学方法不但可以充分利用各种信息(包括空间位置信息),对土壤特性进行空间预测,而且还可用于研究引起土壤变异的各种过程。

1.5 半方差函数及模型

半方差分析用 GS+ 3.1 软件,主要涉及地统计学中的半方差函数及半方差函数模型。半方差函数是描述土壤性质空间变异的一个函数,反映了不同距离观测值之间的变化,有关其原理和方法,很多文献^[7,8]都有详细介绍,本文只作简要说明。

所谓半方差函数就是两点间差值的方差的一半,即:

$$r(h) = (1/2) \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)]$$

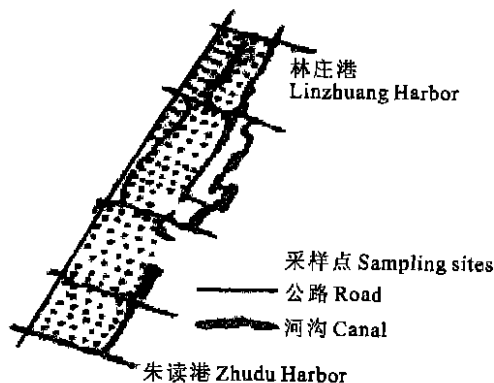


图 2 采样点分布

Fig 2 Distribution of sampling sites

式中, $r(h)$ 为间距为 h 的半方差, $Z(x+h)$ 和 $Z(x)$ 分别为在位置 $x+h$ 和 x 处的实测值。

半方差函数模型有球状模型(Spherical)、高斯模型(Gaussian)、指数模型(Exponential)、线性无基台模型(L linear)和有基台值(L linear to sill)模型等。

2 结果与分析

2.1 土壤养分要素的统计特征值

中数和算术平均值是表示样品中心趋向的一种测度,而标准差和变异系数则表示抽样样本的变异程度。由表 1 可见,研究区域内,土壤表层中 pH、全 P、全 N 和碱解 N 的平均值与中数相差不大,而速效 P、速效 K、 $NO_3^- - N$ 和 $NH_4^+ - N$ 的平均值与中数相差较大。不同土壤养分的变异情况各不相同,其中, $NH_4^+ - N$ 的变异最大,达 241.5%; $NO_3^- - N$ 和速效 K 次之,变异系数分别为 111.0% 和 86.67%;土壤 pH 测试值变异较小,变异系数为 9.04%。研究区域蔬菜地土壤 $NO_3^- - N$ 和 $NH_4^+ - N$ 含量变异较大,主要与施氮量、施肥方法、肥料种类等田间管理措施有关;而土壤速效 P 含量变异较大,与 P 在土壤中的化学行为及目前磷肥施用状况有关。施入土壤中的磷,因其移动性小,当季利用率低,因而土壤中磷残留较多,导致土壤中 P 分布不均。

2.2 土壤养分空间变异结构分析

2.2.1 半方差函数模型的选择 对同一土壤养分,在不同半方差函数模型中的决定系数均较大且差异不太大时,选用线性有基台模型;在不同半方差函数模型中的决定系数均较小时,也选用线性有基台模型;而在不同半方差函数模型中的决定系数差异较大,且线性有基台模型的决定系数又较小时,选用决定系数较大的模型^[9]。

表 1 太湖流域蔬菜地土壤养分的描述性统计分析结果

Table 1 Descriptive statistics result for soil nutrient for in vegetable field of Tai Lake water shed								
养分项目 Item	pH	全 P/ (g · kg ⁻¹) Total P	全 N/ (g · kg ⁻¹) Total N	速效 P/ (mg · kg ⁻¹) A vailable P	NO ₃ ⁻ - N/ (mg · kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺ - N/ (mg · kg ⁻¹)	碱解 N/ (mg · kg ⁻¹) A vailable N	速效 K/ (mg · kg ⁻¹) A vailable K
最大值 M ax	6 30	1 23	1 68	207. 00	85 30	174 45	172 31	617 33
最小值 M in	2 35	0 32	0 19	7 20	0 15	0 01	40 61	20 45
中数 M edian	3 66	0 59	0 93	39 96	6 66	2 94	103 70	75 51
平均值 M ean	3 76	0 62	0 89	49 85	10 07	6 62	105 5	105 1
标准差 Standard deviation	0 34	0 14	0 23	34 79	11 08	15 99	20 11	91 09
变异 系数/% CV	9 04	22 6	25 8	69 80	110 0	241 50	19 06	86 67
极差 Range	3 95	0 91	1 49	199 80	85 15	174 45	131 7	596 88
众数 Mode	3 65	0 51	0 71	31 11	-	0 00	87 0	53 06

2.2.2 土壤养分空间变异结构分析 从表 2 各养分因子的理论模型看,速效 P 经对数转化后符合线性有基台模型,NH₄⁺ - N 经对数转化后符合线性无基台模型,其他均符合指数模型。而土壤 NO₃⁻ - N 和碱解 N 的半方差函数模型的决定系数较小,模型的拟合度低,说明在本研究条件下,各点之间土壤 NO₃⁻ - N 和碱解 N 含量均不存在空间相关性,渐变

性分布规律差,在小范围内忽高忽低。这主要是两方面原因造成的:一方面,NO₃⁻ - N 是植物直接吸收利用的重要营养元素,由于 NO₃⁻ - N 在土壤中的易移动特性,使其易流失或淋溶损失;另一方面,种植制度导致土地利用方式不同,如种植作物种类和氮肥使用量的差异,均会造成土壤 NO₃⁻ - N 和碱解 N 的空间自相关减弱,致使其空间相关尺度减小。

表 2 土壤养分变异函数的理论模型和参数

Table 2 Experimental and model-fitted sem ivariogram s of soil nutrients and corresponding parameters						
养分项目 Item	理论模型 Model	块金值 Nugget	基台值 Sill	变程/m Range	块金值/基台值/% Nugget/Sill	决定系数 R ²
pH	指数 Exponential	0 083	0 344	174	24 1	0 570
全 P Total P	指数 Exponential	0 333	1 041	177	32 0	0 575
全 N Total N	指数 Exponential	0 263	1 079	201	24 4	0 648
速效 P [#] A vailable P [#]	线性有基台 L inear to sill	0 181	0 495	587	36 6	0 757
NH ₄ ⁺ - N [#]	线性无基台 L inear	0 821	1 145	1 226	71 7	0 684
NO ₃ ⁻ - N [#]	指数 Exponential	0 183	1 020	144	25 8	0 044
碱解 N A vailable N	指数 Exponential	0 294	1 006	84	29 2	0 021
速效 K [#] A vailable K [#]	指数 Exponential	0 546	1 093	498	50 0	0 718

注: # 表示数据进行了对数转化。
Note: # represents the result of log conversion
土壤养分异质性是结构性因素和随机性因素共同作用的结果。在半方差函数模型中,C₀表示块金方差(间距为 0 时的半方差),是由试验误差和小于取样尺度上的施肥、作物种植制度、管理水平等随机因素共同引起的变异,较大的块金方差表明较小尺度上的某种过程不容忽视;C 为结构方差,是由土壤母质、地形、气候等非人为的结构性因素引起的变异;(C+ C₀)为基台值(半方差函数随间距递增到一定程度后出现的平稳值),表示系统内总的变异;块

金方差/基台值之比(C₀/(C+ C₀))表示空间变异性程度(由随机性因素引起的空间变异性占系统总变异的比例),该比值高,说明由随机部分引起的空间变异性程度较大,相反则由结构性因素引起的空间变异性程度较大,如果该比值接近 1,则说明该变量在整个尺度上具有恒定的变异^[10];当 C₀/(C+ C₀)< 25% 时,变量具有强烈的空间相关性;当 C₀/(C+ C₀)为 25%~ 75% 时,变量具有中等的空间相关性;当 C₀/(C+ C₀)> 75% 时,变量空间相关性很弱。

在表 2 中,全 P 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的 $C_0/(C + C_0)$ 分别为 32% 和 71.7%, 具有中等的空间相关性; 速效 P 和速效 K 的 $C_0/(C + C_0)$ 分别为 36.6% 和 50.0%, 也具有中等的空间相关性, 说明这些养分因子受施肥、作物、管理水平等随机因素引起的空间变异性占较大比重。而 pH 和全 N 的 $C_0/(C + C_0)$ 分别为 24.1% 和 24.4%, 空间相关性很强, 说明这二者的空间变异主要是由母质、地形、土壤类型等结构性因素引起的。

变程反映了变量空间自相关范围的大小, 其与观测尺度以及在取样尺度上影响土壤养分的各种生态过程的相互作用有关^[11]。在变程之内, 变量具有空间自相关特性, 反之则不存在。

从表 2 可以看出, 在研究区域内, 8 种土壤因子的空间自相关范围具有明显的差异, 变程在 84~1 226 m 变化, 相差十多倍。研究区域土壤表层中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 变程最大, 为 1 226 m, 说明在研究区域内, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 呈大块状分布, 在较大范围内有渐变性。速效 P 和速效 K 的变程分别是 587 和 498 m, pH、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、全氮、全 P 和碱解 N 的变程为 84~201 m。可见以家庭为主的种植制度而导致的土地利用方式的镶嵌分布, 会引起种植作物以及土壤肥料使用量的差异, 最终造成土壤养分的空间自相关减弱, 致使土壤 pH、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、全氮、全 P 和碱解 N 的空间相关尺度减小, 因此, 对这些因子应采取分区小范围管理。

3 结论与讨论

对太湖流域典型地区蔬菜地土壤养分因子和

pH 空间变异特征的研究结果表明, 耕层土壤全 P、全 N、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、pH、速效 P 和速效 K 有明显的空间变异结构, 速效 P 经对数转化后符合线性有基台模型, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 经对数转化后符合线性无基台模型, 其他均符合指数模型; 全 P、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、速效 P 和速效 K 具有中等的空间相关性, 受施肥、作物、管理水平等随机因素引起的空间变异性较大, 土壤 pH 和全 N 有强烈的空间相关性, 主要受母质、地形、土壤类型因素的影响。因此, 如果忽视各土壤因子空间变异性的存在, 仍然按土壤养分的平均值给出推荐施肥量, 不仅影响作物生产效益和肥料的利用率, 还有可能造成环境的更大污染。所以, 在上述研究基础上, 根据给出的变异函数模型, 利用地统计学软件进行 Kriging 空间内插制图, 特别是对土壤全 P、全 N 和速效 P 的空间内插成图, 有助于识别氮磷养分高含量区的识别和土壤养分分区管理的实施, 最终对减少氮磷养分的损失及太湖水体富营养化的治理有重要意义。

研究还发现, 该地区土壤 pH 普遍偏低, 严重影响蔬菜的产量和品质。有研究^[12]表明, 过量的施用氮肥是导致土壤质量变化(土壤 pH 降低)的主要原因, 因此, 有必要对该区域蔬菜地土壤酸化的原因进行深入研究, 一方面对碱解 N 与 pH、土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 与 pH 之间的相关性进行研究, 另一方面对土壤母质和土壤类型对 pH 的影响进行研究, 最终为改善太湖地区土壤质量提供依据。

[参考文献]

- [1] 金相灿, 叶春, 颜昌宙, 等. 太湖重点污染控制区综合治理方案研究[J]. 环境科学研究, 1999, 12(5): 1-5
- [2] 邢光熹, 施书莲, 杜丽娟, 等. 苏州地区水体氮污染状况[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 540-545
- [3] 熊正琴, 邢光熹. 太湖地区湖、河和井水中氮污染状况的研究[J]. 农村生态环境, 2002, 18(2): 29-33
- [4] 任祖淦, 丘孝煊, 蔡元呈, 等. 氮肥施用与蔬菜硝酸盐积累的相关研究[J]. 生态学报, 1998, 18(5): 523-528
- [5] Shapley A N, Chapra S C, Wedepohl R, et al. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issues and options[J]. J Environ Qual, 1994, 23: 437-451
- [6] 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): 232-241
- [7] 曹惠, 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
- [8] 刘付程, 史学正, 于东升, 等. 基于地统计学和 GIS 的太湖典型地区土壤属性制图研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(1): 20-26
- [9] 黄绍文, 金继运, 杨俐苹, 等. 县级区域粮田土壤养分空间变异与分区管理技术研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(1): 79-88
- [10] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Sci Soc Am J, 1994, 58: 1501-1511
- [11] Tranter B B, Yost R S, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties[J]. Advances in Agronomy, 1985, 38: 45-94
- [12] 黄锦法, 曹志洪, 李艾芬, 等. 稻麦轮作田改为保护地菜田土壤肥力质量的演变[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 19-25

(下转第 130 页)

Study on combination of controlled release fertilizer by use of mixture experiment design

L I Fang-m in^{1,2}, FAN Xiao-l in¹, WANG Hao¹

(1 Laboratory of Fertilizer and Balanced Fertilization, South China Agriculture University, Guangzhou, Guangdong 510642, China;

2 College of Chemistry and Environmental Engineering, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China)

Abstract: The nutrient release rates of single longevity controlled release fertilizer (CRF) and multi-longevity CRF were tested in comparison with each of the CRF respectively by use of mixture experiment design. Results showed that the release rate of the single longevity CRF (FP₂, FP₅ and FP₉) was stable and the order of release rate was in order of FP₂ > FP₅ > FP₉ during the rapid release period. However, the release rate of the 3-longevity CRF, formed by three single longevity CRFs, fluctuated during the same period. Frequency statistics was conducted among the optimum simulative combination of the single longevity CRFs, whose nutrient release rate was above 30.0% by use of soil-column leaching trials. The results indicated that the proportions of FP₂, FP₅ and FP₉ were from 37.61% to 45.02%, 32.68% to 40.83% and 21.85% to 23.94% respectively. The multiple-correlation coefficients of Richards equation, which simulated the nutrient accumulative release rates of the multi-longevity CRF, reaching a significant level. Therefore, the nutrient accumulative release rates could be described and forecasted by Richards equation.

Key words: mixture experiment design; single longevity controlled release fertilizer; multi-longevity controlled release fertilizer; nutrient release rate; Richards equation

(上接第 124 页)

Abstract ID: 1671-9387(2005)07-0121-EA

Spatial variability of soil nutrients and pH in vegetable field in typical area of Taihu Lake watershed

WANG Cai-rong¹, LU Jia-long¹, HU Zheng-yi², GAO Yi-ming¹, YANG Lin-zhang²

(1 College of Resources Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

Abstract: In the present investigation, 156 top layer soil samples (0-20 cm) were taken in a regular grid of 50 m by 50 m at 50 hm² area of vegetable plot located at the east part of Taihu road in Dapu town, Yixing city. Characteristics of spatial variability of soil nutrients and pH were studied by using traditional statistics and geo-statistics. The results showed: there were obvious differences between eight soil nutrients in spatial variation-structure. Semivariograms for available soil P fitted linear model, NH₄⁺-N fitted linear model, others fitted exponential model. Spatial correlation in total nitrogen and pH lay in intensity. Total P, available P, NH₄⁺-N, available K, available N were moderate. There were obvious differences between eight soil nutrients in correlated distance. NH₄⁺-N had largest correlated distance of all, about 1226 m. NH₄⁺-N spatial correlation was violent in relative large scale. While available P and available K had middle correlated distance, about 587 m and 498 m. The correlated distance of others was in the range of 84-201 m.

Key words: Tai lake watershed; vegetable field; soil nutrients; pH; spatial variability