

中亚热带两种水稻土土壤养分空间变异的 对比研究*

陈 防¹ 刘冬碧² 熊桂云² 姜丽娜³ 郭晓敏⁴ 郭 熙⁴

(1 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074)

(2 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 武汉 430064)

(3 浙江省农业科学院土壤肥料研究所, 杭州 310021)

(4 江西农业大学, 南昌 330045)

A COMPARISON ON SOIL NUTRIENT CHARACTERISTICS AND ITS SPATIAL VARIABILITY OF TWO PADDY SOILS IN MIDDLE SUB-TROPICAL

Chen Fang¹ Liu Dongbi² Xiong Guiyun² Jiang Lina³ Guo Xiaomin⁴ Guo Xi⁴

(1 Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China)

(2 Plant Protection, Soil and Fertilizer Institute, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

(3 Soil and Fertilizer Institute, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

(4 Institute of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

关键词 中亚热带; 水稻土; 土壤养分; 空间变异性

中图分类号 S143.7 **文献标识码** A

20 世纪 90 年代中后期以来,随着“3S”技术和地统计学方法越来越多地应用于我国土壤学领域^[1],以及“精准农业”(Precision agriculture)在我国的引进和部分地区的初步应用^[2~4],对土壤特性尤其是土壤养分空间变异性的研究日益引起学者的关注^[1~3,5~7],其中以北方土壤及管理种植模式为研究对象的较多^[1~6],南方相关方面的研究报道较少^[7,8]。从理论上讲,在田块面积相对较小、田块间土壤养分变化较大的中国南方地区,比发达国家土壤养分相对一致的大农场和我国北方地区更需要应用养分精准管理技术。但在实际操作中,为了获取较精确的土壤养分数据,高额的采样及分析成本,又使养分精准管理难以实施,而成为其在中国南方推广的主要限制因子。要成功引入精准养分管理技术,必须对不同区域、不同种植制度下土壤养分特征及其变异规律进行研究,根据土壤养分的空间变异

特性确定可行的土壤养分管理对策。

水稻土是我国南方的主要土壤,红壤性水稻土和潮土性水稻土是其中最为重要的 2 种水稻土类型,加之近年来我国相关方面的研究又主要集中在旱地土壤上,所以本研究选择我国南方 2 个具有代表性的水稻土壤——红壤性水稻土和潮土性水稻土作为研究对象,探讨在一定尺度(2 个自然村)下水稻土的养分特征及其空间变异性,旨在阐明水田土壤养分空间变异特征,为提高肥料利用率、减小由于肥料施用不当可能引起的环境污染,以及逐步在我国南方实现农田养分的精确管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

选择我国东南地区代表江西水稻产区的泰和县

* 中国-加拿大政府间合作项目“农业持续发展中的养分管理”(NMS)资助

作者简介:陈 防,男,博士,博士生导师。E-mail:fchen@ppi.caas.ac.cn,fchenppi@public.wh.hb.cn

收稿日期:2004-12-01;收到修改稿日期:2006-01-12

苏溪镇苏溪村,以及代表浙江甬绍杭嘉湖水网平原地区的绍兴市越城区东湖镇独树村作为研究区域,2个村均处于中亚热带。苏溪村位于北纬 26°42',东经 114°42',海拔高程为 80 m,土壤类型为第四纪红粘土发育的红壤性水稻土(在中国土壤系统分类中为普通筒育水耕人为土),土壤质地为砂壤土和壤土,主要种植制度为油—稻—稻和油—稻—稻,另有少量西瓜和甘蔗。独树村位于北纬 30°00',东经 129°39',海拔高程为 4 m,为典型的水网平原地区,村中及周围均有河流穿越,地势低洼,土壤类型为浅海相沉积物发育的潮土性水稻土,土种为青紫泥田(在中国土壤系统分类中为底潜铁渗水耕人为土),主要种植制为麦—稻—稻和早晚稻,采样前种植麦子等冬作物或为休闲田。

1.2 样品采集与分析

利用 GPS 定位技术,采用“网格法”取土壤样品,取样间隔 50 m。方法是在以网格点为圆心、5 m 为半径的范围内采集 10 钻 0~20 cm 的耕层土壤组成代表该点的混合样本,同时调查记录样点处的土地利用方式和施肥情况。在苏溪村取样 424 个,在独树村取样 205 个,取样时间为 2000 年 10~12 月。

土壤属性及有效养分的分析采用国际农化服务中心推荐的 ASI 法^[9]。土壤以体积量取,有效磷、有效钾和有效锌的联合浸提剂为 ASI 溶液(0.25 mol L⁻¹ NaHCO₃-0.01 mol L⁻¹ EDTA-0.01 mol L⁻¹ NH₄F),P 用钼锑抗比色法测定,K 和 Zn 用原子吸收分光光度计测定;有效钙和有效镁用 1 mol L⁻¹ KCl 溶液浸提,原子吸收分光光度计测定;有机质(速测值)用 0.2 mol L⁻¹ NaOH-0.01 mol L⁻¹ EDTA-2% 甲醇溶液浸提,比色法测定;pH 值:水土比为 2.5:1,复合电极测定。

1.3 数据处理

采用常规的统计分析和地统计学中的半方差分析方法^[10,11]。地统计学软件为 GS+ for windows, GIS 平台为 ESRI 公司的 Arcview3.2。

2 结果与讨论

2.1 土壤属性及有效养分特征

根据《土壤养分状况系统研究法》^[9]对土壤属性及养分特征进行评价。表 1 统计表明,苏溪村红壤性水稻土 pH 值平均为 4.57,独树村潮土性水稻土 pH 值平均为 5.18;潮土性水稻土的有机质含量相对较高。

表 1 土壤属性及有效养分含量的统计值

项目	土壤	pH (H ₂ O)	有机质 (g kg ⁻¹)	有效磷 (mg L ⁻¹)	有效钾 (mg L ⁻¹)	有效钙 (mg L ⁻¹)	有效镁 (mg L ⁻¹)	有效锌 (mg L ⁻¹)
平均值	红壤性水稻土	4.57	1.04	26.8	44.2	295	59.4	2.63
	潮土性水稻土	5.18	1.53	9.60	45.7	1998	254	22.8
变异系数	红壤性水稻土	11.0	15.9	102	71.9	53.3	38.7	122
(%)	潮土性水稻土	4.09	31.1	45.5	23.3	15.0	10.5	27.7
偏移量	红壤性水稻土	3.72	1.92	26.1	20.4	11.8	10.0	12.5
(%)	潮土性水稻土	-0.39	9.80	12.5	5.91	2.71	-1.51	1.94
缺乏比例	红壤性水稻土	—	—	29.7	90.3	79.0	97.4	31.6
(%)	潮土性水稻土	—	—	78.0	98.5	0	0	0

注:根据《土壤养分状况系统研究法》^[9],土壤养分缺乏临界值(mg L⁻¹)分别取:有效钙 400,有效镁 120,有效钾 80,有效磷 12,有效锌 2。缺乏比例指低于临界值的样本数占土壤样本总数的比例

从有效磷(以下简称 P,其他元素同)和 K 两种大量元素来看,红壤性水稻土 P 的含量相对较高,变异也较大,K 的平均含量两种水稻土比较接近,变异仍以红壤性水稻土的大,P 和 K 低于临界值的样本数所占的比例,红壤性水稻土分别为 29.7%和 90.3%,潮土性水稻土分别为 78.0%和 98.5%。Ca、Mg 和 Zn 的统计结果表明,红壤性水稻土 Ca、Mg 和 Zn 的平均含量都较低,变异较大,绝大部分土壤缺 Ca,几乎全部土壤缺 Mg,约 1/3 的土壤缺 Zn;潮土性水稻土所有样本 Ca、Mg 和 Zn 的检测值都在临界值以上。由此可见,潮土性水稻土

的基础肥力高于红壤性水稻土。

2.2 一般变异性分析

由表 1 结果可见,除有机质外,其他土壤属性和有效养分的变异系数,红壤性水稻土均高于潮土性水稻土。红壤性水稻土 pH 值和有机质的变异系数在 16%以下,Ca 和 Mg 的变异系数较高,在 38%~54%之间,K 的变异系数更高,为 72%,P 和 Zn 的变异系数则在 100%以上。潮土性水稻土的变异系数比红壤性水稻土低得多,在 4%~46%之间,其中 pH 值的变异系数最小,养分元素变异系数的大小顺序

与红壤性水稻土基本一致,即 Ca 和 Mg 较小, K 和 Zn 的稍高, P 的变异系数最高(46%)。

偏移量(P)指中值偏离平均值的百分数,当土壤养分服从正态分布时,中值等于平均值, $P=0$ 。自由路等^[3]研究山东省青州市一个村级农田土壤养分变异时提出,以 $P=5\%$ 为分界线,大于 5% 为偏斜元素,小于 5% 为不偏斜元素。根据此标准,红壤性水稻土所有养分元素都为偏斜元素,潮土性水稻土的 P 和 K 为偏斜养分元素,其他的为不偏斜元素。偏移量与变异系数的相关分析表明,2 种类型的水稻土其变异系数与偏移量呈显著或极显著正相关($r=0.748^*$ 和 $r=0.885^{**}$, $n=7$),表明土壤养分间的变异是平均数发生偏移的主要原因,两者在表达土壤养分的变异上是一致的。

总的来看,在 2 种类型的水稻土上, P、K 和 Zn 等需要以施肥方式补充的元素其变异性都相对较高, P 和 Zn 的变异在红壤性水稻土上尤其明显。在潮土性水稻土上,由于土壤中 Ca 和 Mg 的基础含量较高,由施肥等因素引起其含量变化较小,所以其变

异也较小。

2.3 半方差分析

半方差函数是描述土壤性质空间变异的一个函数,反映了不同距离的观测值之间的变化,所谓半方差就是两点差值的方差的一半,即: $r(h) = (1/2) \text{Var} [Z(x+h) - Z(x)]$,式中 $r(h)$ 是间距为 h 的半方差,在一定范围内随 h 的增大而增大,当测定间距大于最大相关距离时,该值趋于稳定^[11]。半方差函数模型有球状(Spherical)、高斯(Gaussian)、指数(Exponential)和线性(Linear, Linear to sill)等模型。本文在半方差函数模型的确定过程中,首先计算出 $r(h) \sim h$ 的散点图,然后分别用不同类型的模型来拟合,根据决定系数、离差平方和等选取最适宜的模型,并对其进行检验。

表 2 结果表明,红壤性水稻土的 Zn,潮土性水稻土的有机质、K 和 Ca 的模型拟合度低,说明在研究条件下这些养分各点之间不存在空间相关性。虽然潮土性水稻土 Ca 的变异较小,但其渐变性分布规律差,在小范围内忽高忽低。

表 2 土壤有效养分半方差分析的特征参数

项目	土壤	模型	块金方差 (C_0)	基台值 ($C + C_0$)	块金方差 / 基台值 $C_0 / (C + C_0)$	最大相 关距离 (m)	模型的检验	
							R^2	F
有机质	红壤性水稻土	指数	0.020	0.040	0.500	4.287	0.916	294 **
	潮土性水稻土	指数	0.041	0.23	0.177	3	0	0
P	红壤性水稻土	指数	561	1.635	0.343	9.330	0.720	69.4 **
	潮土性水稻土	指数	4.0	18.9	0.211	198	0.316	7.85 *
K	红壤性水稻土	球状	632	1.265	0.500	1.291	0.722	70.1 **
	潮土性水稻土	球状	9.1	108.5	0.084	129	0.160	3.24
Ca	红壤性水稻土	线性无基台	40	18.750	0.002	450	0.885	208 **
	潮土性水稻土	球状	2.500	90.100	0.028	72	0.006	0.10
Mg	红壤性水稻土	线性无基台	1.0	416	0.002	450	0.843	145 **
	潮土性水稻土	球状	86	820	0.105	549	0.675	35.3 **
Zn	红壤性水稻土	球状	1.07	10.0	0.107	65	0	0
	潮土性水稻土	指数	0.10	41.4	0.002	273	0.426	12.6 **

红壤性水稻土的有机质、P、K、Ca 和 Mg 的半方差函数可分别用不同的理论模型去拟合,其中有机质、P 和 K 的最大相关距离都在 1 200 m 以上,虽然 P 和 K 的变异较大,但它们在较大的范围内存在着

一定的渐变性分布规律。潮土性水稻土 P、Mg 和 Zn 的半方差函数可分别用指数、球状和指数模型去拟合, P 和 Zn 的最大相关距离较小,在研究范围内表现出斑块状分布结构。

块金方差与基台值之比 $[C_0/(C+C_0)]$ 表示空间变异性程度,如果该比值较高,说明由随机部分引起的空间变异性程度较大;相反,则由空间自相关部分引起的空间变异性程度较大^[5,10,11]。由表 2 可见,不同土壤养分的空间变异程度不同,红壤性水稻土上有机质、P 和 K 的 $C_0/(C+C_0)$ 之比较大,在 0.34~0.50 之间,表明其在研究区域里由施肥、作物品种、管理方式等随机因素引起的空间变异性占较大的比重。根据区域化变量空间相关性程度的分级标准^[11], $C_0/(C+C_0) < 25\%$ 时,变量具有密切的空间相关性,在 25%~75% 之间,变量具有中等的空间相关性,>75% 时,变量的空间相关性很弱。因此,在红壤性水稻土上,有机质、P 和 K 具有中等的

空间相关性,Ca 和 Mg 具有密切的空间相关性;在潮土性水稻土上,P、Mg 和 Zn 具有密切的空间相关性。

2.4 空间分布特征

在 GIS 支持下得到 2 种类型土壤的有效养分空间分布图(图 1)。由图可见:(1)在红壤性水稻土上,P 和 K 的含量在 4 个级别都有分布,Ca 的含量分布于 3 个低值级别,Zn 的含量在 5 个级别都有分布;在整个研究区域内,P 和 Zn 没有明显的区域性分布特点,K 和 Ca 的含量则以西南部相对较高。(2)在潮土性水稻土上,P 和 K 的含量主要分布在 2~3 个低值级别上,Ca 的含量分布于 2 个高值级别,Zn 的含量则全部处于最高值级别。因此,红壤性水稻土的养分含量变幅较宽、空间变异较大,而潮土性水稻土的则较小。

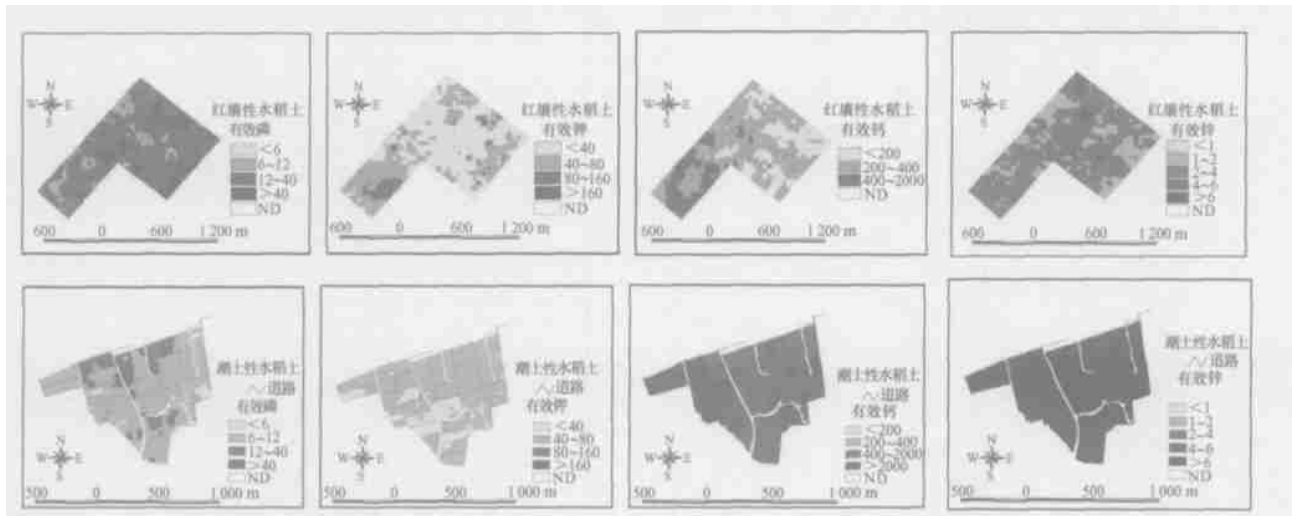


图 1 几种土壤有效养分的空间分布图

调查结果表明:苏溪村为家庭联产承包责任制经济形式,相当多的农户长期以尿素和复合肥(15-15-15)作为主要肥源,另一部分农户施用磷、钾肥很少甚至不施用,水稻上也不施用锌肥;此外,在苏溪村还有部分西瓜和甘蔗地,其上投入的化肥和有机肥数量都较高。因此,在苏溪村红壤性水稻土上,一方面作物布局和农户间施肥差异都较大,使得 P 和 K 的变异较高。另一方面,由于母质的影响,红壤性水稻土 Ca 和 Zn 的基础含量较低,缓冲性较弱,受丘陵区地形因素或施肥因素等的影响较大,因此 Ca 和 Zn 的空间变异也较大。独树村是浙江省的 1 个现代化农业园区,农田承包大户较多,相对来讲地块间施肥变异较小,同时,潮土性水稻土 Ca 和 Zn 的基础含量较高,由施肥等因素引起其含量变化较小,所以土壤养分的空间变异也较小。

参考文献

- [1] 郭旭东,傅伯杰,马克明,等. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究——以河北省遵化市为例. 应用生态学报, 2000, 11(4): 557~563
- [2] 金继运,白由路主编. 精准农业与土壤养分管理. 北京: 中国大地出版社, 2001
- [3] 白由路,金继运,杨俐苹,等. 农田土壤养分变异与施肥推荐. 见: 精准农业与土壤养分管理. 北京: 中国大地出版社, 2001. 69~75
- [4] Zhou L Q, Shi Z, Wang R C, et al. A GIS-based database management package for fertilizer recommendations in paddy fields. Pedosphere, 2004, 14(3): 347~353
- [5] 黄绍文,金继运,杨俐苹. 县级区域粮田土壤养分空间变异与分区管理技术研究. 土壤学报, 2003, 40(1): 79~88
- [6] 王新民,王卫华,侯彦林. 豫北蔬菜保护地土壤磷素形态及其空间分布特性研究. 土壤, 2004, 36(2): 173~176

- [7] 周慧珍, 龚子同, Lamp J. 土壤空间变异性研究. 土壤学报, 1996, 33(3): 232 ~ 241
- [8] 周勇, 李学垣, 贺纪正, 等. ARC/INFO 信息系统在农地分等定级中的应用——以武汉市狮子山地区的土系为例. 土壤学报, 1998, 35(4): 450 ~ 460
- [9] 加拿大钾磷肥研究所北京办事处主编. 土壤养分状况系统研究法. 北京: 中国农业科技出版社, 1992
- [10] 王政权编著. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999
- [11] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, *et al.* Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1994, 58: 1 501 ~ 1 511