

黄海波,张进忠,高扬,等. 2011. 都市农业区域村级果园土壤氮素的空间分布特征——以上海南汇新场镇果园村为例[J]. 环境科学学报, 31(4): 832-838

Huang H B, Zhang J Z, Gao Y, et al. 2011. Spatial distribution characteristics of soil nitrogen in an orchard in the urban agricultural region of Shanghai [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 31(4): 832-838

## 都市农业区域村级果园土壤氮素的空间分布特征 ——以上海南汇新场镇果园村为例

黄海波<sup>1,2</sup>, 张进忠<sup>2</sup>, 高扬<sup>1,3</sup>, 曹杰君<sup>1,2</sup>, 毛亮<sup>1,2</sup>, 张旭<sup>1,2</sup>, 周培<sup>1,3,\*</sup>

1. 上海交通大学农业与生物学院, 农业部都市农业(南方)重点实验室, 上海 200240

2. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716

3. 上海交通大学环境与工程学院, 上海 200240

收稿日期: 2010-07-12 修回日期: 2010-09-15 录用日期: 2010-09-17

**摘要:** 以上海都市农业区域南汇新场镇果园村为例, 运用传统统计学和地统计学方法研究了该村主要土地利用类型——桃园耕作层土壤氮素的空间变异特征. 结果表明, 桃园土壤中总氮(TN)和铵态氮( $\text{NH}_4^+$ -N)的变异程度较大, 属强变异性; 硝态氮( $\text{NO}_3^-$ -N)的变异程度较小, 属中等变异性. TN、 $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 的变异函数的最佳拟合模型均为线性模型, 都具有中等空间相关性, 它们的空间相关距离分别为 740、741 和 739 m.  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 含量的空间分布呈斑块状, 离村庄较近的地块中含量相对较高; TN 含量的空间分布呈斑点状, 总体上是桃园东部土壤中 TN 含量高于其它区域.

**关键词:** 上海; 都市农业区域; 果园; 土壤氮素; 地统计学; 空间变异性; 空间分布

文章编号: 0253-2468(2011)04-832-07 中图分类号: X53, X171 文献标识码: A

## Spatial distribution characteristics of soil nitrogen in an orchard in the urban agricultural region of Shanghai

HUANG Haibo<sup>1,2</sup>, ZHANG Jinzhong<sup>2</sup>, GAO Yang<sup>1,3</sup>, CAO Jiejun<sup>1,2</sup>, MAO Liang<sup>1,2</sup>, ZHANG Xu<sup>1,2</sup>, ZHOU Pei<sup>1,3,\*</sup>

1. Key Laboratory of Urban Agriculture (South) of Ministry of Agriculture, School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240

2. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716

3. School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240

Received 12 July 2010; received in revised form 15 September 2010; accepted 17 September 2010

**Abstract:** In order to better understand the spatial distribution characteristics of soil nitrogen in villages of an urban agricultural region, surface soil samples were collected and analyzed from a peach orchard in Orchard Village, Nanhui, Shanghai. Traditional statistics and the ordinary Kriging method of geo-statistics were applied to study the spatial distribution of soil nitrogen (TN,  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N) within a depth of 0~20 cm. The results showed that the content of  $\text{NH}_4^+$ -N in the soil varies more than that of  $\text{NO}_3^-$ -N and TN, and the variations of TN and  $\text{NH}_4^+$ -N are higher than that of  $\text{NO}_3^-$ -N. Linear variogram models can be used to describe the variation of TN,  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N contents, and their spatial correlation is moderately interdependent up to about 740 m, 741 m and 739 m, respectively. The spatial distribution of  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N is patchy, and their contents in the soil close to the village are high; while that of TN shows distinct areas of high concentration, and the content in the soil of the east is generally higher than that in other parts.

**Keywords:** Shanghai; urban agricultural region; orchard; soil nitrogen; geostatistics; spatial variability; spatial distribution

基金项目: 上海市科委项目(No. 07DZ12055); 公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(No. 200903056)

Supported by the Shanghai Science and Technology Commission (No. 07DZ12055) and the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest(No. 200903056)

作者简介: 黄海波(1982—), 男, E-mail: happy.sunboy@yahoo.com.cn; \* 通讯作者(责任作者), E-mail: zhoupei@sjtu.edu.cn

Biography: HUANG Haibo (1982—), male, E-mail: happy.sunboy@yahoo.com.cn; \* Corresponding author, E-mail: zhoupei@sjtu.edu.cn

## 1 引言( Introduction)

氮素是植物生长必需的营养元素,但农业生产中氮肥的不合理施用,不仅使氮素利用率低,而且进入水体后会增加富营养化的风险( Driscoll *et al.*, 2003),还会使地下水受到污染(张维理等,1995).充分了解土壤养分空间变异特征,可为制定科学合理的施肥方案 and 环境保护措施提供重要依据.与传统统计学方法相比,地统计学方法能准确定量研究区域土壤的空间变异程度,并已成为研究土壤养分空间变异性的的重要工具(姜娜等,2005).目前,国内已有学者运用地统计学原理,研究传统农业区域不同尺度农田土壤养分空间变异性(张建杰等,2009;高美荣等,2007;胡克林等,1999),但还未见地统计学方法在都市农业区域村级土壤养分研究中的报道.

都市农业是在大城市周边与间隙地带或大中型城市群之间形成的,以城市生态环境保护、市民观光休闲为特色,以农业高科技支撑的园艺化、设施化、工厂化生产为主要手段,集生产、服务、观光、休闲、消费于一体的经济和生态等功能并存和可持续发展相结合的现代农业模式(吴雨,2010).它具有城乡融合、功能多样、现代集约、高度开放等显著特征,目前主要有3种发展模式,即偏重生产和经济功能的模式、偏重生态和社会功能的模式、两种功能兼顾的模式(丁圣彦等,2003).我国都市农业在长江三角洲、珠江三角洲、环渤海湾等发达地区发展较早,形成了比较典型的“上海模式”和“北京模式”,正在成为我国大、中型城市郊区农业发展的重要方向.都市农业在发展过程中,生产者为了提高农产品产量,盲目地施用大量化肥,不仅会造成资源浪费、土壤氮素利用率低和大量流失、地下水受到严重污染等生态环境问题,还会导致土壤次生盐渍化.据报道,佛山市南海区露天蔬菜地12.5%的土壤样本全盐质量分数已超过轻度盐渍化标准,而不合理的灌溉和施肥方式是引起土壤次生盐渍化的重要原因(柳勇,2006).

目前,我国农业生产管理大多以村为基本单位,许多管理措施(如种植结构、施肥和灌溉等)都是以村为单位组织实施.因此,研究村级管理单元土壤养分空间变异特征,对于实施养分分区管理,进行精确合理施肥,保护生态环境都具有重要的理论与现实意义.为此,本文以典型的都市农业

区域村庄——上海南汇新场镇果园村为研究对象,运用GPS技术和地统计学方法,研究该村主要土地利用类型——桃园土壤氮素的空间分布特征,以期合理施肥和有效控制土壤氮素对水环境的影响提供科学依据.

## 2 材料与方法( Materials and methods)

### 2.1 研究区域概况

上海南汇新场镇果园村桃园形成于1962年,总面积约34km<sup>2</sup>,地势平坦,桃树品种均为新凤蜜桃.桃园由多个农户承包经营,每年9月中下旬,果农对表土进行深翻.园内设有约3m宽的引水渠,与村内河道相通.桃园主要土壤类型为黄泥土,耕作层深度约为15~25cm,呈棕黄色、小块状结构,采样点如图1所示.该区降水量表现为夏季多、冬季少的特征,年均降雨量为1000mm,平均降雨日约为130d,雨量年际变化较大,多雨年份可达1300mm,少雨年份只有600mm.初夏季节,北上的南方暖气流和南下的大陆冷气流在长江中下游地区相对峙形成“梅雨”,持续约20d,雨量大增;7~8月为台风季节,台风雨、干旱与暴雨交替出现.

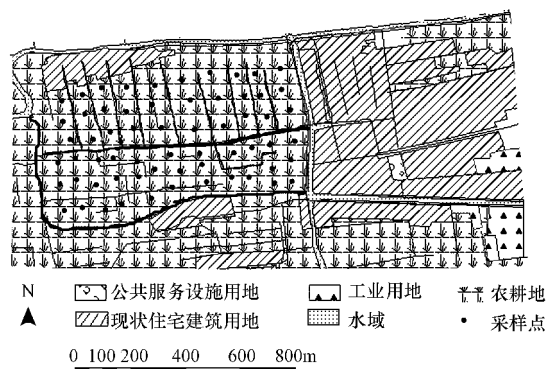


图1 研究区域土壤采样点

Fig.1 Sampling sites in the research area

### 2.2 土样的采集与分析

桃园施肥时间开始于9月下旬至10月初(即施基肥),结束于来年的8月初.为反映在一个施肥周期之后土壤氮素的最终含量水平和空间分布特征,为下一轮施肥提供参考,本研究将采样时间确定为9月下旬(即下一轮施基肥之前).在实地踏勘的基础上,按“均匀布点,局部加密”的原则,在研究区域内设置64个采样点,用土钻采集表层土样(0~20cm).土样经充分混合后分成两部分,一部分用密封袋封装后放入冰箱冷冻保存,测定土壤中的铵态氮

( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) 和硝态氮 ( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ) 含量;另一部分自然风干、磨细,过 0.2 mm 筛,测定土壤中的总氮 (TN) 含量.

用浓  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$  消解土样,AA3 流动注射仪 (德国) 测定 TN 含量;用 KCl 溶液浸提土样,AA3 流动注射仪分别测定  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的含量. 表层土样中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量分别按式 (1) 和 (2) 计算, 表层土样中 TN 含量按式 (3) 计算.

$$[\text{NH}_4^+\text{-N}] = [\text{NH}_4^+\text{-N}]_a / (1 - r) \quad (1)$$

$$[\text{NO}_3^-\text{-N}] = [\text{NO}_3^-\text{-N}]_a / (1 - r) \quad (2)$$

$$[\text{TN}] = [\text{NH}_4^+\text{-N}] + [\text{NO}_3^-\text{-N}] + [\text{ON}] \quad (3)$$

式中,  $[\text{NH}_4^+\text{-N}]$ 、 $[\text{NO}_3^-\text{-N}]$ 、 $[\text{TN}]$  分别表示土壤中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和 TN 含量 ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ );  $[\text{ON}]$  为风干土中有机氮的含量 ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ );  $[\text{NH}_4^+\text{-N}]_a$  和  $[\text{NO}_3^-\text{-N}]_a$  分别表示鲜土中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的含量 ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ );  $r$  表示鲜土中的含水率.

### 2.3 地统计学方法

地统计学方法采用变异函数描述变量的空间变异性,具体原理和方法见文献 (王政权,1999; 周慧珍等,1996). 本研究采用 GS + 3.1 软件计算变异函数并进行数据拟合. 为保证有足够的点对 ( $\geq 25$  对) 计算变异函数,以 100 m 为步长. 变异函数的表达式为:

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (4)$$

式中:  $r(h)$  为变异函数;  $h$  为样点步长 (m);  $N(h)$  为步长  $h$  时的所有观测样点的成对数;  $Z(X_i)$  和  $Z(X_i + h)$  分别为区域化变量  $Z(X)$  在空间位置  $X_i$  和  $X_i + h$  的实测值.

变异函数的计算要求数据符合正态分布规律,否则可能产生比例效应 (王政权,1999; 郭旭东等,2000). 经单样本 K-S 检验发现,表层土壤中氮素含量均不呈现正态分布,转换为自然对数后基本符合正态分布,可用于变异函数分析.

## 3 结果 (Results)

### 3.1 桃园土壤氮素的变化特征

用 SPSS 15.0 软件对土壤氮素含量进行常规统计分析,结果如表 1 和图 2 所示. 从表 1 可以看出, TN 和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的变异系数均大于 1 (分别为 1.26 和 1.79), 根据变异的分级范围均属强变异性 (雷志栋等,1985);  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的变异系数最小 (0.87), 属中等变异性. 说明在表层土壤中 TN 和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量的变异程度较大, 其中,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  变异最为剧烈,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  变异程度最小. 另外, TN、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  在表层土壤中的几何平均含量差异显著.

表 1 土壤氮素含量的描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of the contents of soil nitrogen

氮形态	平均值/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	最小值/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	最大值/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	变异系数	分布类型
TN	464.03	98.98	3429.83	1.26	自然对数呈正态分布
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	33.56	4.76	132.18	0.87	自然对数呈正态分布
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	47.99	2.79	397.21	1.79	自然对数呈正态分布

图 2 为表层土壤氮素频率分布直方图,可以看出,表层土壤中 TN、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量分布存

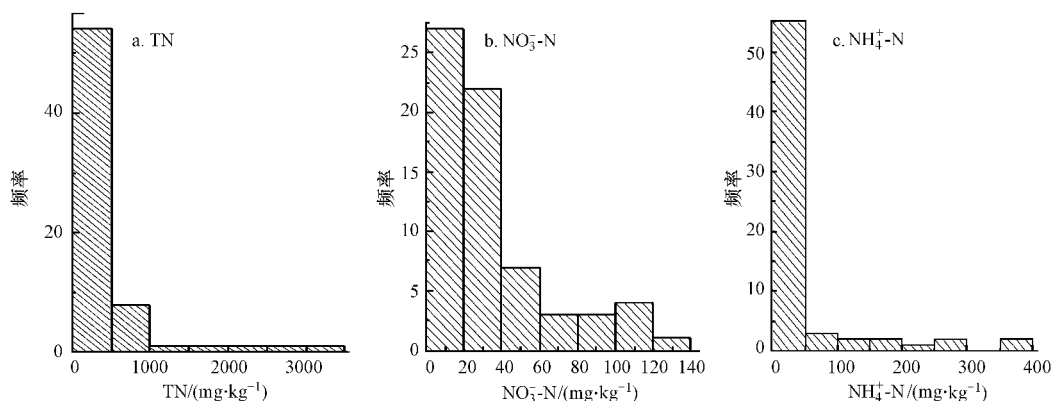


图 2 土壤氮素频率分布直方图

Fig. 2 Frequency distribution histogram of soil nitrogen

在一定的相似性, 主要分布于含量相对较低的区间. 总体上看, TN 含量在表土中的变化较大, 变化范围为  $98.98 \sim 3429.83 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  含量在表土中的变化相对较小, 分别为  $4.76 \sim 132.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $2.79 \sim 397.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

传统统计分析只能在一定程度上反映样本的总体变化情况, 不能定量描述土壤氮素的随机性、结构性、独立性和相关性. 为此, 本研究采用地统计学方法进一步探讨土壤氮素的空间变异特征.

### 3.2 土壤氮素的空间变异特征

通过计算得到实际的变异函数值, 经理论模型拟合, 获得如表 2 和图 3 所示的结果. 从表 2 和图 3 可以看出, 表层土壤中  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和 TN 的变异函数的最佳拟合模型均为线性模型. 残差平方和分别为 0.133、0.136 和 0.033, 说明理论模型较好

地反映了土壤氮素的空间结构特征. 块金值 ( $C_0$ ) 均大于 0, 表明在采样间距内可能存在更小尺度的空间变异.  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和 TN 的块金值与基台值 ( $C_0 + C$ ) 之比较大, 分别为 0.351、0.651 和 0.666. 根据区域化变量相关性程度的分级标准 (Cambardella *et al.*, 1994), 块金值与基台值之比小于 25%, 表示变量具有强烈的空间相关性; 在 25% ~ 75% 之间, 表示变量具有中等程度的空间相关性; 大于 75%, 表示变量空间相关性很弱. 在研究区域表土中,  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和 TN 含量显然具有中等程度的空间相关性, 其空间变异由施肥、田间管理等随机性因素和母质、土壤类型、气候和地形等结构性因素共同作用, 其中, 以随机性因素引起的空间变异程度较大.

表 2 土壤氮素半方差函数模型的相关参数

Table 2 Model parameters of soil nitrogen

氮形态	理论模型	块金值	基台值	$C_0 / (C_0 + C)$	变程/m	残差平方和	$R^2$
$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	线性模型	0.803	2.285	0.351	739	0.133	0.992
$\text{NO}_3^- \text{-N}$	线性模型	0.791	1.215	0.651	741	0.136	0.473
TN	线性模型	0.433	0.665	0.666	740	0.033	0.504

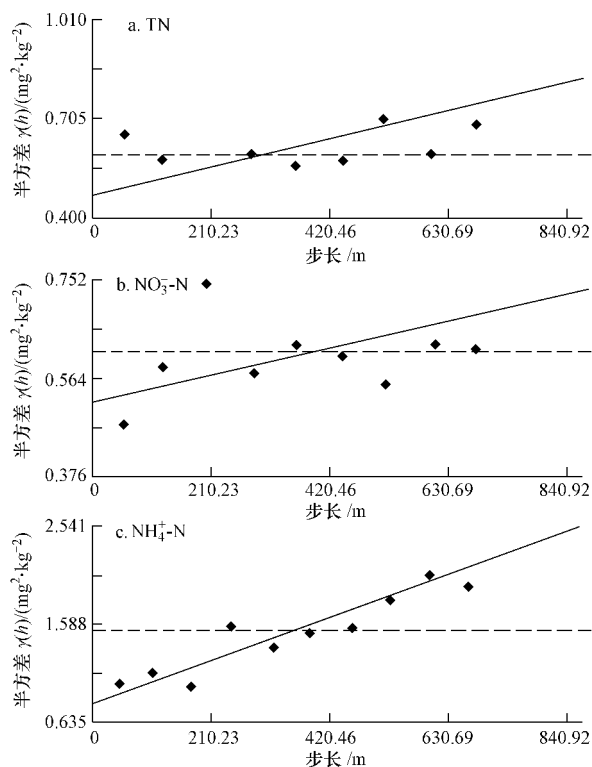


图 3 土壤氮素的变异函数值与空间距离间的拟合曲线

Fig. 3 Fitted curves of variogram value of soil nitrogen to the spatial distance

变程反映属性因子空间自相关范围大小, 在变程内属性因子具有空间自相关性, 反之则不存在 (郝芳华等, 2008). 表 2 中  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和 TN 的变程几乎相等, 分别为 739、741 和 740 m, 均未超过研究范围, 表明在研究区域一定范围内 TN、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  具有空间相关性.

### 3.3 土壤氮素的空间分布格局

为了直观和准确地描述研究区域表层土壤氮素的空间分布特征, 根据最佳半方差拟合模型, 利用克里格最优内插法, 获得了土壤氮素的空间分布图 (图 4). 从图 4 可以看出,  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  在空间分布上具有一定的相似性. 它们在桃园内的空间分布呈斑块状, 总体表现为桃园东部土壤中的  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  含量很不均衡, 高于其它区域. 从  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  的分布面积来看, 含量相对较低 ( $12 \sim 36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 的土壤分布范围最广, 约占桃园面积 1/2, 主要位于桃园中部和西部; 含量较高 ( $115 \sim 142 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 的土壤呈点状和块状分布于桃园东南方向和东北一角, 面积很小.  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  含量相对较低 ( $18 \sim 31.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 的土壤分布范围和面积与  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  含量较低的区域一致, 而含量较高的区域

( $44.5 \sim 51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 位于东部, 面积较小. TN 含量的分布特征与  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  差异显著, 呈斑点状, 总体上看桃园东部变化较大, 高于其它区域. 从土壤 TN 含量的分布面积来看, 含量为  $35 \sim 325 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  的面积与含量为  $325 \sim 572 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  的面积

差异不大, 二者之和约占研究区面积的  $3/4$ , 主要位于桃园中部和西部. TN 含量相对较高的土壤 ( $2291 \sim 2537 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 所占面积较小, 呈点状散布于桃园东南方向和东北一角.

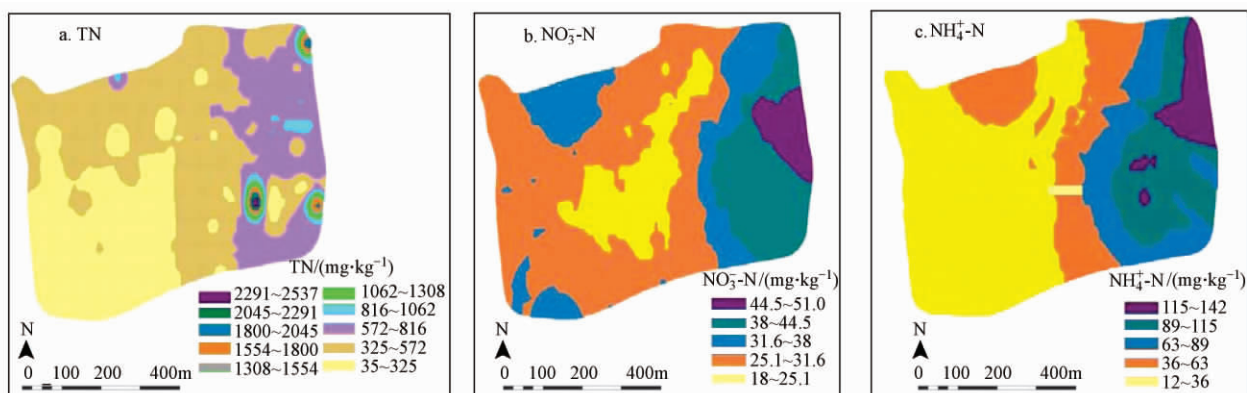


图4 土壤氮素含量空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution of the amounts of soil nitrogen

#### 4 讨论 (Discussion)

土壤养分的空间变异是随机性因素和结构性因素共同作用的结果, 它们对空间总异质性的相对贡献呈负相关关系(郝芳华等, 2008). 随机性因素如施肥、作物种类和田间管理等人类活动, 往往对变量空间变异的结构性相关性具有减弱作用, 使土壤属性的空间分布朝均一化方向发展, 尤其在较小尺度上表现更为强烈. 结构性因素如母质、土壤类型、气候和地形等是土壤属性空间变异的内在驱动力, 有利于提高土壤属性空间变异的结构性相关性, 尤其在较大尺度水平上表现更为明显(刘付程等, 2004; 黄绍文等, 2002). 由于研究区域地势平坦, 土壤类型和母质等相对均一, 使得结构性因素对土壤氮素的空间变异性影响较小, 主要受随机性因素的影响, 其中, 施肥可能是引起土壤氮素空间变异的重要原因.

调查研究发现, 秋季果农深施基肥, 以有机肥为主; 春季化冻后, 穴施花前肥, 以尿素为主, 同时在桃树根部堆积有机肥; 在蜜桃发育阶段在地表施入催果肥, 以二铵肥为主; 采果后施采后肥, 以二铵肥为主, 辅施少量尿素. 由于施肥次数多、量大, 且以有机肥和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  含量较高的氮肥为主, 使得表层氮素含量受施肥的影响较大, 在一定程度上减弱了土壤氮素的空间相关性. 本研究发现,  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  平均含量高于  $\text{NO}_3^- \text{-N}$ , 可能与施肥种类、桃树根系的

分布及其对土壤环境的影响有关. 由于氮肥中的氮素主要以  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  形式进入土壤, 有机肥中的有机氮通过氨化作用转化为氨, 导致大量的  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  进入土壤并产生积累. 另外, 桃树根系发达, 侧根和须根较多, 分布较浅, 吸收能力强, 需氧量高, 大量消耗土壤中的氧; 果农经常向桃园灌溉, 使得表层土湿润, 进而影响土壤的通气状况, 减弱硝化菌对  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  的作用(钟玲玲, 2002), 最终导致土壤中  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  的平均含量低于  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ .

土壤 TN、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  含量的变异系数和空间分布表明, 研究区域不同位置的表土氮素含量存在差异性, 其主要原因可能是桃园由多名果农承包经营, 果农的施肥种类、施肥量、施肥习惯和果园管理都存在差异, 导致果园表土氮素含量不均. 例如, 离村庄较近的区域, 如桃园东北角 TN 和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  含量、偏东方向  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  含量均较高, 可能与果农的施肥习惯有关, 即将有机肥, 特别是农家肥施入离村庄较近的田块. 土壤 TN、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  的空间分布存在差异性可能还与土壤氮素的转化、桃树根系的吸收利用和径流冲刷及淋失等因素有关. 果农施用的肥料主要是有机肥和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  含量较高的氮肥, 其中, 有机肥中的有机氮经矿化转化为  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  和少量的  $\text{NO}_3^- \text{-N}$ , 土壤中的  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  经硝化作用转化为  $\text{NO}_3^- \text{-N}$ (王根林等, 2009). 因此, 有机肥和氮肥是桃园耕作层  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  和  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  的主要来源. 由

于桃树需氮较多, 桃园表土中的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  能被桃树根系大量吸收利用, 但降雨和灌溉形成的径流对表土的冲刷和垂直淋洗会使表土中的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  流失. 上述作用均会影响耕作层土壤  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的含量, 进而影响 TN 含量, 最终导致三种氮素的空间分布存在差异.

氮素是作物蛋白质、叶绿素和某些酶的重要组成部分, 如果氮素供应不足, 作物会出现缺素症而影响其生长, 施用量过大又会对其造成危害. 在我国农业生产中, 由于氮肥的施用方式不合理、施用量偏高, 使得氮肥利用率较低(平均利用率仅为 35%), 只相当于发达国家的 1/2, 剩余部分除以氨和氮氧化物的形式进入大气外, 还随降雨和灌溉等方式进入水体, 导致许多生产区的地表水和地下水受到硝酸盐和亚硝酸盐的污染, 进而威胁居民的饮水安全(崔键等, 2006). 不仅如此, 还使得蔬菜、水果中的硝酸盐等有害物质残留超标, 直接危害人体健康. 因此, 根据土壤的含氮水平和供氮能力、作物对氮素的需求特点, 合理施用氮肥, 无疑对提高氮肥的利用率、作物的生长和保护生态环境都具有重要意义, 而了解土壤氮素含量的空间变异特征是合理施肥的基础.

从 TN 的空间分布来看, 桃园土壤氮素含量很不均衡, 根据全国第二次土壤普查推荐的肥力分级标准, 面积很小地块的含氮量处于 I 级水平, 大部分地块含氮量处于 V 级或 VI 级水平. 地块含氮量不均衡, 单一的施肥方式和施肥量使得一些区域供氮不足, 影响作物生长, 一些区域氮肥又大量浪费. 因此, 必须根据研究区域土壤 TN 的分布格局, 将桃园划分为 TN 含量不同的多个地块, 摸清每个地块的供氮能力, 再结合桃树品种、树势、树龄、产量、生长期、肥料性质和气候条件等因素综合分析, 确定其在不同生长期的需氮量和施入氮素的吸收利用率, 进行合理和精确施肥.

## 5 结论(Conclusions)

1) 研究区域表层土壤中氮素含量的变异程度不同, 其中, TN 和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量属强变异性,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  属中等变异性.

2) TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量具有中等空间相关性, 其空间变异受随机性因素和结构性因素的共同作用, 其中, 以随机性因素引起的空间变异程度较大.

3) 研究区域氮素含量的空间分布格局明显,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量在桃园内呈斑块状分布, 离村庄较近的地块含量相对较高; TN 含量呈斑点状分布, 总体上是桃园东部土壤 TN 含量变化较大, 且高于其它区域.

**责任作者简介:** 周培, 教授, 博士生导师, 从事环境毒理学、环境生物技术、食品安全检测和农业环境生态技术等方面研究. E-mail: zhoupei@sjtu.edu.cn.

## 参考文献(References):

- Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, *et al.* 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 58: 1501-1511
- 崔键, 马友华, 赵艳萍. 2006. 农业面源污染的特性及防治对策 [J]. *中国农学通报*, 22(1): 335-340
- Cui J, Ma Y H, Zhao Y P. 2006. Characteristic and countermeasures for control and prevention of multiple area-pollution in agriculture [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 22(1): 335-340 (in Chinese)
- Driscoll C, Whitall D, John A, *et al.* 2003. Nitrogen pollution: Sources and consequences in the US northeast [J]. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 45(7): 8-22
- 丁圣彦, 尚富德. 2003. 都市农业研究进展 [J]. *生态经济*, (10): 159-163
- Ding S Y, Shang F D. 2003. Advance in the research on urban agriculture [J]. *Ecological Economy*, (10): 159-163 (in Chinese)
- 高美荣, 朱波, 黄菊英, 等. 2007. 紫色土坡地尺度土壤养分的空间变异特性 [J]. *西南农业学报*, 20(6): 1241-1245
- Gao M R, Zhu B, Huang J Y, *et al.* 2007. Characteristics of spatial variability of nutrients in slopland of purple soil at plot-scale [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 20(6): 1241-1245 (in Chinese)
- 郭旭东, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 2000. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征——变异函数与 Kriging 插值 [J]. *地理学报*, 55(5): 555-565
- Guo X D, Fu B J, Chen L D, *et al.* 2000. The spatio-temporal variability of soil nutrients in Zunhua plain of Hebei province: semivariogram and Kriging analysis [J]. *Acta Geographica Sinica*, 55(5): 555-565 (in Chinese)
- 胡克林, 李保国, 林启美, 等. 1999. 农田土壤养分的空间变异性特征 [J]. *农业工程学报*, 15(3): 33-38
- Hu K L, Li B G, Lin Q M, *et al.* 1999. Spatial variability of soil nutrient in wheat field [J]. *Transactions of the CSAE*, 15(3): 33-38 (in Chinese)
- 黄绍文, 金继运, 杨莉苹, 等. 2002. 县级区域粮田土壤养分的空间变异性 [J]. *土壤通报*, 33(3): 188-193
- Huang S W, Jin J Y, Yang L P, *et al.* 2002. Spatial variability of soil nutrients in grain crop region of Yuian county [J]. *Chinese Journal*

- of Soil Science, 33(3): 188-193 (in Chinese)
- 郝芳华, 欧阳威, 李鹏, 等. 2008. 河套灌区不同灌季土壤氮素时空分布特征分析[J]. 环境科学学报, 28(5): 845-852
- Hao F H, Ouyang W, Li P, *et al.* 2008. Temporal and spatial variability of nitrogen in soil in the Wulate irrigation district of the Hetao irrigation area in Inner Mongolia [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 28(5): 845-852 (in Chinese)
- 姜娜, 邵明安, 雷廷武, 等. 2005. 黄土高原六道沟小流域坡面土壤入渗特性的空间变异研究[J]. 水土保持学报, 19(1): 14-17
- Jiang N, Shao M A, Lei T W, *et al.* 2005. Spatial variability of soil infiltration properties on natural slope in Liudaogou catchment on Loess Plateau [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 19(1): 14-17 (in Chinese)
- 雷志栋, 杨诗秀, 许志荣, 等. 1985. 土壤特性空间变异性初步研究[J]. 水利学报, (9): 10-21
- Lei Z D, Yang S X, Xu Z R, *et al.* 1985. Preliminary investigation of the spatial variability of soil properties [J]. Journal of Hydraulic Engineering, (9): 10-21 (in Chinese)
- 刘付程, 史学正, 于东升, 等. 2004. 太湖流域典型地区土壤全氮的空间变异特征[J]. 地理研究, 23(1): 63-69
- Liu F C, Shi X Z, Yu D S, *et al.* 2004. Characteristics of spatial variability of total soil nitrogen in the typical area of Taihu Lake basin [J]. Geographical Research, 23(1): 63-69 (in Chinese)
- 柳勇, 徐润生, 孔国添, 等. 2006. 高强度连作下露天土壤次生盐渍化及其影响因素研究[J]. 生态环境, 15(3): 620-624
- Liu Y, Xu R S, Kong G T, *et al.* 2006. Soil secondary salinization in open vegetable fields and its influencing factors under continuous cropping of vegetables with high intensity [J]. Ecology and Environment, 15(3): 620-624 (in Chinese)
- 王根林, 姬景红, 李玉梅. 2009. 土壤有机氮矿化的研究进展[J]. 黑龙江农业科学, (6): 164-165
- Wang G L, Ji J H, Li Y M. 2009. Development and advance of soil organic nitrogen mineralization [J]. Heilongjiang Agricultural Science, (6): 164-165 (in Chinese)
- 王政权. 1999. 地统计学及其在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社. 35-149
- Wang Z Q. 1999. Geostatistics and Its Application to Ecology [M]. Beijing: Science Press. 35-149 (in Chinese)
- 吴雨. 2010. 我国都市农业发展现状及问题研究[J]. 社会发展, (6): 71
- Wu Y. 2010. Development situation and research of urban agriculture in China [J]. Social Development, (6): 71 (in Chinese)
- 张建杰, 李富忠, 胡克林, 等. 2009. 太原市农业土壤全氮和有机质的空间分布特征及其影响因素[J]. 生态学报, 26(6): 3163-3172
- Zhang J J, Li F Z, Hu K L, *et al.* 2009. Spatial characteristics and impact factors of soil total nitrogen and soil organic matter in Taiyuan [J]. Acta Ecologica Sinica, 26(6): 3163-3172 (in Chinese)
- 张维理, 田哲旭, 张宁, 等. 1995. 我国北方农用地氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]. 植物营养与肥料学报, 1(2): 80-87
- Zhang W L, Tian Z X, Zhang N, *et al.* 1995. Investigation of nitrate pollution in ground water due to nitrogen fertilization in agriculture in north China [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Sciences, 1(2): 80-87 (in Chinese)
- 钟玲玲. 2002. 关于土壤中氮素转化规律的研究[J]. 北方环境, (3): 50-53
- Zhong L L. 2002. Study on the principle of transformation of soil nitrogen [J]. North Environment, (3): 50-53 (in Chinese)
- 周慧珍, 龚子同. 1996. 土壤空间变异性研究[J]. 土壤学报, 33(3): 233-241
- Zhou H Z, Gong Z T. 1996. Study on soil spatial variability [J]. Acta Pedologica Sinica, 33(3): 233-241 (in Chinese)