

# 冲积平原上区域土壤质地层次的 某些分布特征\*

李保国<sup>1</sup> 李卫东<sup>2</sup> 石元春<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国农业大学土壤和水科学系, 北京 100094)

(<sup>2</sup>中国科学院地理研究所, 北京 100101)

**摘要** 本文根据冲积平原区(华北平原)上一个15平方公里区域内格网化布点的大量土壤剖面质地层次的观测数据,采用地统计学方法研究了区域粘土层一些指标值的空间变异结构,通过概率统计研究了区域内几种质地类型层次厚度的概率分布特征。研究表明,第一粘土层厚度、第一粘土层出现深度、1米内粘土层总厚度和2米内粘土层总厚度的最大相关距离均在1500米—2000米之间,各种类型质地层次厚度的概率分布均具有对数正态分布的特点。

**关键词** 冲积平原, 区域土壤, 质地层次, 空间变异, 概率分布

**中图分类号** S151.21

冲积土所具有的沉积层理,因当时沉积环境的不同而具有不同的质地,这样就形成了冲积土交叠的质地层次组合。在一定的区域内,不同地点的土壤剖面构型往往是不同的,这不仅表现在剖面之间质地层次类型排列顺序和一定深度内所具有的层次总数的不同上,还表现在剖面间同一种质地层次厚度的差异上。由于冲积土剖面质地层次在空间上的变化十分复杂,确定性和随机性并存,因此区域冲积土质地层次分布规律的研究就成为土壤学研究上的一个难点。已有的研究一直停留在对一些典型剖面的具体描述上,而达不到系统化和定量化,更谈不上模拟和预测。土壤剖面的层次组合特点对土壤水分转化和溶质运移具有重要影响,尤其是在沙、粘层相连或相夹和出现障碍性层次的情况下<sup>[1,2]</sup>。对单个或几个剖面情况的研究,很难代表区域特点。广大的冲积平原区,大都是些重要的农业区,同时也多是旱涝盐碱突出的地区。因此,开展区域冲积土壤质地层次分布特征的研究,摸清其规律,对于区域农田土壤水分转化和溶质运移规律的研究,具有重要的促进作用。

近些年来,对土壤物理特性空间变异性的研究已成为土壤学和水文学研究上的一个热点<sup>[3,4]</sup>,但对土壤质地层次空间变异性的研究尚未见有报道。本文采用地统计学方法研究了区域冲积土壤粘土层的空间变异结构特点,并通过一般概率统计研究了区域内几种质地层次厚度和第一粘土层出现深度的概率分布特征。这些研究可为区域水土资源管理

\* 国家自然科学基金重大项目(批准号49391601)部分工作,系李卫东博士论文部分内容

提供有益的参考,并为进一步模拟土壤剖面提供了部分依据。

## 1 研究区概况和实验设计

### 1.1 研究区概况

研究区设在河北省曲周县农大试验站一带,北纬  $36^{\circ}51'$  东经  $115^{\circ}3'$ ,为一总面积约 15 平方公里东西较长的矩形区。区内大部分面积为漳河冲积扇河间壤质低地。自西向东可依次划分为河间洼地、漳河故道、决口扇形地、河间洼地、河间微倾平原、河间洼地、河间微倾平原,大体上呈南北带状分布。整个地势较为平坦,西边较高。土壤类型主要为褐土化潮土和盐化潮土,中间尚有少许斑点状分布的盐渍土。表层质地以沙壤为主,夹有少量轻壤土,在漳河故道以西有一部分粘土。

研究区属暖温带、半湿润、大陆性季风气候区。年均气温  $13.1^{\circ}\text{C}$ ,平均每年降水量为 556.2 毫米,年均蒸发量是年均降水量的 3.3 倍。地下水埋深一般在 2 米以下。

### 1.2 试验设计

实验采用平行四边形格网化布点,四边形边长 360 米,共设 142 点。因村庄影响,实际观测 139 点。开挖剖面 and 钻孔剖面相结合,观测深度 2 米,记录质地层次及厚度变化。质地类型划分为六级,即沙土、沙壤、轻壤、中壤、重壤和粘土(大致按卡庆斯基制),参考背景资料以手摸法确定。

## 2 结果和讨论

### 2.1 区域粘土层的空间变异结构特点

考虑到粘土层在冲积土壤剖面质地层次中的重要性,本研究中仅对粘土层一些指标(包括第一粘土层厚度和出现深度,1 米内和 2 米内粘土层总厚度)的空间变异特性进行分析。由此可以看出区域内土壤剖面构型的空间变异特点和分布状况。

半方差  $\gamma(h)$  反映了土壤特性指标的空间分布的相关属性<sup>[5]</sup>。由半方差图可以判断出该指标空间分布的最大相关距离  $a$ , 方差  $\sigma^2$  以及初始方差  $C_0$ 。对于观测资料系列  $Y(x_i)$ , 间距为  $h$  的半方差  $\gamma(h)$  为

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [y(x_i) - y(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

半方差  $\gamma(h)$  与自相关系数  $r(h)$  在理论上有下列关系:

$$\gamma(h) = \sigma^2[1 - r(h)] \quad (2)$$

式中  $\sigma^2$  为  $Y(x_i)$  的方差。随着  $h$  增大,  $r(h)$  减小, 而  $\gamma(h)$  增大。当  $h = a$  时 ( $a$  是自相关系数等于零时对应的距离),  $\gamma(h) = \sigma^2$ 。

对研究区内 139 个剖面第一粘土层厚度 ( $Tfc$ )、第一粘土层出现深度(2 米内)( $Dfc$ )、1 米内粘土层总厚度 ( $Tc1$ ) 和 2 米内粘土层总厚度值 ( $Tc2$ ) 进行了半方差分析(见图 1), 半方差函数可用经验式表达为

$$\begin{cases} \gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] & h < a \\ \gamma(h) = C_0 + C_1 & h \geq a \end{cases} \quad (3)$$

有关系数可从半方差图中判断出,判断结果见表 1。从中可见,研究区内粘土层的最大相关距离约在 1500—2000米之间。

依据表 1 的半方差分析结果,采用 Kriging 内插法,可以作出区域内粘土层这些指标值的空间分布等值线图。图 2 给出了第一粘土层厚度的空间分布等值线图。从中可以看出研究区内第一粘土层厚度的空间分布状况。

表1 由半方差图作出的有关参数判断结果

Table 1 Some related parameters judged from the semivariograms

粘土层指标 Index of clay layer	a (m)	C <sub>0</sub>	σ <sup>2</sup> (≈C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )
Tf c	1500	400	500
Df c	1500	1900	3400
Tc1	2000	200	370
Tc2	1500	650	950

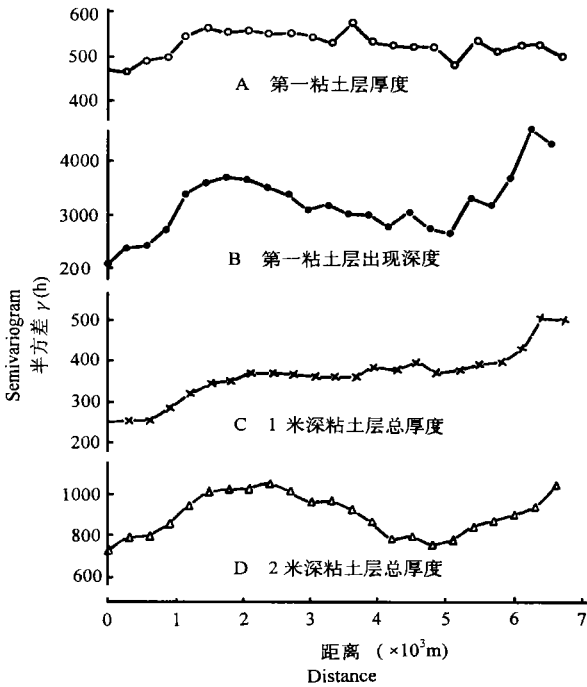


图 1 研究区粘土层几个观测指标的半方差图

Fig.1 The semivariogram of several observational indexes of clay layers in the researched region.

## 2.2 不同类型质地层次厚度的概率分布特征

对 139 个剖面不同类型质地层次厚度值的统计表明,各种类型质地层次厚度的概率

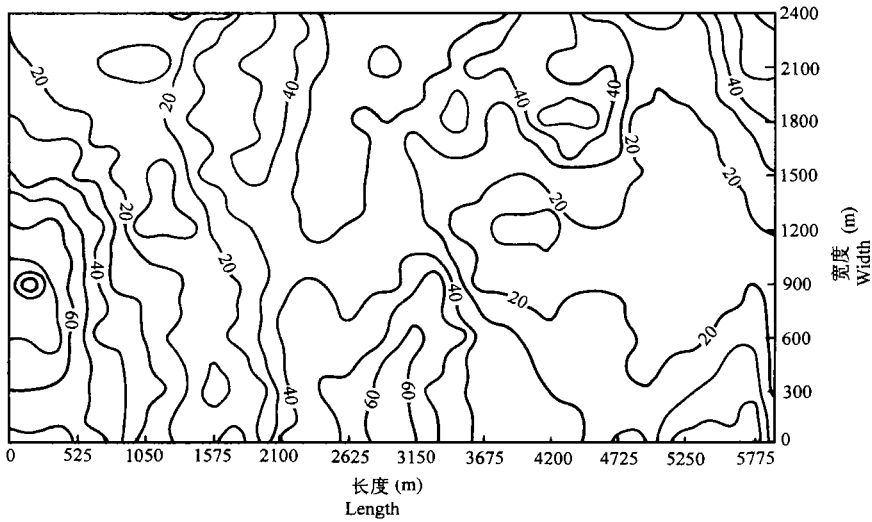


图2 第一粘土层厚度(cm)的空间分布等值线图

Fig.2 Spatial distribution of thickness (cm) of the first clay layers.

分布近似为对数正态分布(见图3),用理论分布拟合,经偏峰态检验和 $\chi^2$ 检验通过(见表2)。表2中  $u_1 = G_1 / \sqrt{\frac{6}{n}}$ ,  $u_2 = G_2 / \sqrt{\frac{24}{n}}$ , 这里  $G_1$ 和  $G_2$ 分别是偏斜系数和峰突系数用矩

表2 拟合理论分布的检验(置信度 $\alpha=0.05$ )

Table 2 Tests of fitted theoretical distributions ( $\alpha=0.05$ )

观测量 <sup>1)</sup>	检验变量	偏峰态检验 Skew and peak state test				$\chi^2$ 检验		判定 Judging
		$u_1$	$u_2$	$u_1 - \alpha/4$	$\chi^2$	$\chi^2_{(k-3)1-\alpha}$		
Observation	Tested variable				判定 Judging	$\chi^2$	$\chi^2_{(k-3)1-\alpha}$	判定 Judging
$Tu$	$Y=\ln(Tu)$	3.39	0.27	2.24	No	5.95	14.1	Yes
$Tb$	$Y=\ln(Tb)$	2.20	0.16	2.24	Yes	6.28	7.81	Yes
$Tc$	$Y=\ln(Tc)$	0.69	0.49	2.24	Yes	2.00	3.84	Yes
$Td$	$Y=\ln(Td)$	0.41	1.42	2.24	Yes	0.86	3.84	Yes
$Te$	$Y=\ln(Te)$	0.26	0.70	2.24	Yes	1.13	3.84	Yes
$Tf$	$Y=\ln(Tf)$	1.23	1.78	2.24	Yes	-	-	-
$Tf'c$	$Y=\ln(FT)$	2.20	1.07	2.24	Yes	2.10	5.99	Yes
$Df'c$	$Y=FD$	1.42	0.13	2.24	Yes	11.6	14.1	Yes

1)  $Tu$ ——沙土层厚度;  $Tb$ ——沙壤层厚度;  $Tc$ ——轻壤层厚度;  $Td$ ——中壤层厚度;  $Te$ ——重地层厚度;  $Tf$ ——粘土层厚度

法得出的估计子,  $n$  是样本数。

假设  $X$  为某种质地层次的厚度值(cm),  $Y = \ln(X)$ , 那么, 有概率密度函数

$$p(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^*}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^{*2}}(y - \mu^*)^2\right], \quad -\infty < y < +\infty \quad (4)$$

或

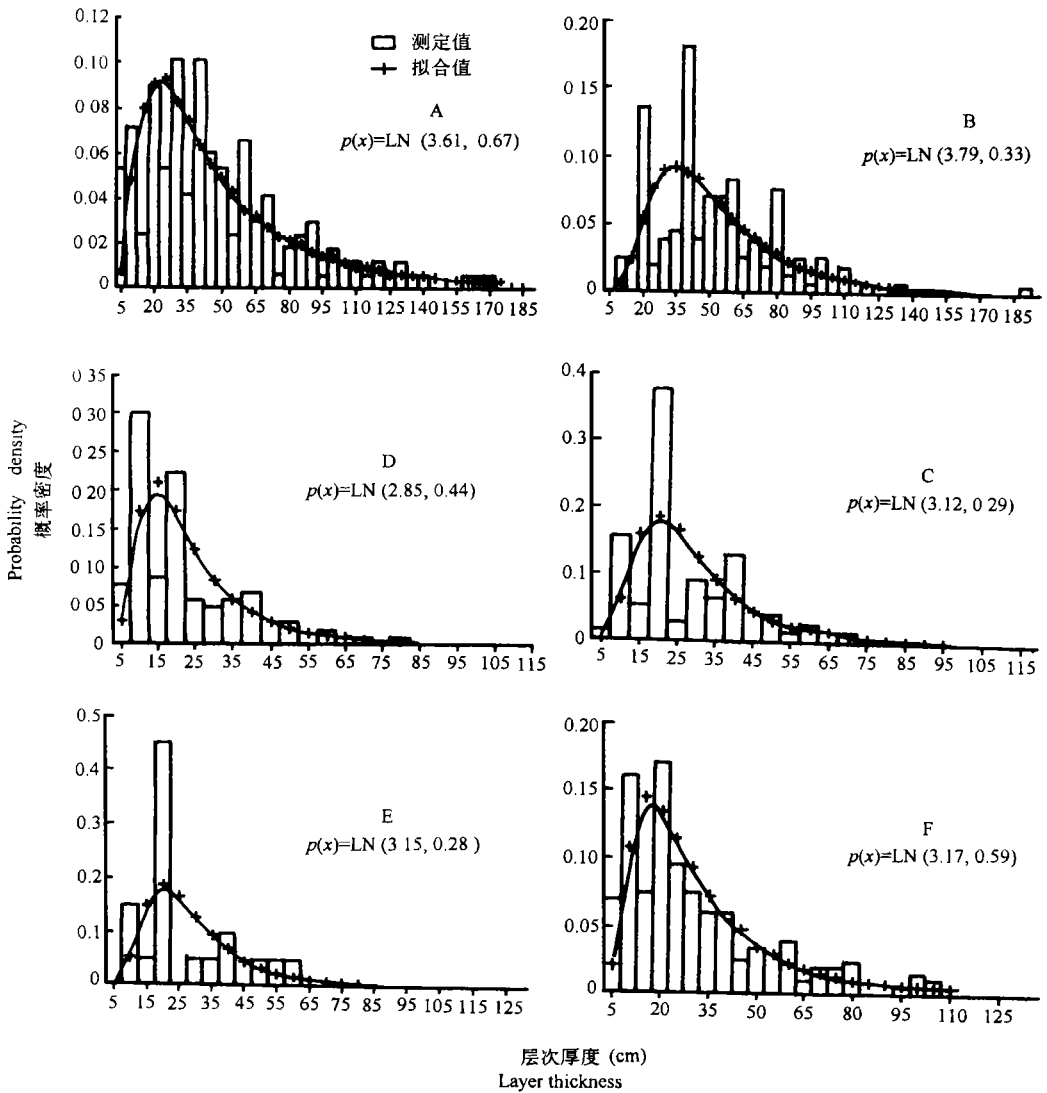


图 3 不同类型质地层次厚度的概率分布

Fig.3 Probability distribution of thickness of different types of textural layers

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^*x} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^{*2}}(\ln x - \mu^*)^2\right], \quad x > 0 \tag{5}$$

这里  $x$  和  $y$  分别为随机变量  $X$  和  $Y$  的可能取值,  $\sigma^*$  和  $\mu^*$  则为  $Y$  的标准差和均值。各种质地类型层次厚度的拟合分布参数和统计特征值见表 3。

从表 3 可以看出, 不同类型质地层次厚度的均值  $\mu$  不同, 沙土、沙壤层的平均厚度较大, 而轻、中、重壤层的厚度均值则较小, 粘土层居中。变差系数  $CV$  反映了随机变量的离散程度, 在这里可表示某一种质地层次厚度的空间变异程度。一般认为  $CV \leq 0.1$  为弱变异性,  $0.1 < CV < 1$  为中等变异性,  $CV \geq 1$  为强变异性。由此, 表 3 中各观测量的空间变异均

表3 观测量的统计特征值和拟合分布参数

Table 3 Statistical characteristic values and fitted distribution parameters of observational variables

观测量	观测数目	概率分布 <sup>1)</sup>	$\mu^*$	$\sigma^{*2}$	均值 $\mu$ (cm)	方差 $\sigma^2$	CV
Observation	Number of observations	Probability distribution			Mean	Variance	
Ta	168	LN	3.61	0.67	51.6	2550.00	0.98
Tb	156	LN	3.79	0.33	52.2	1065.15	0.62
Tc	77	LN	3.12	0.29	26.0	224.85	0.58
Td	103	LN	2.85	0.44	21.6	254.87	0.74
Te	20	LN	3.15	0.28	26.7	229.94	0.57
Tf	200	LN	3.17	0.59	32.0	822.07	0.90
Tfc	124	LN	3.31	0.54	35.8	910.47	0.84
Dfc	122	N	80.90	2127.88	80.9	2127.88	0.57

1) LN: 对数正态分布; N: 正态分布

为中等强度,其中沙土和粘土层厚度的空间变程度相对较大。

耕作显然破坏了上部土体 20 到30 厘米的层次性,这对表层次的划分和鉴定无疑有一定影响,但由于观测深度较大(2 米),这并未掩盖原有的规律性。表层的沙壤层,可能会有一些是沙土层因长期耕作施用农家肥而转变,这对于这两种相近的质地类型的判定上将会有一定影响。

据地质学上对地层不同岩性层次厚度的统计研究,地层剖面中不同岩性层次厚度的分布倾向于对数正态分布,为简便起见,在应用中人们也常拟合为指数分布<sup>[6]</sup>。冲积土层次沉积同样也是地质沉积过程的一部分,类比于地层层次,可见冲积土质地层次厚度具有这种分布规律是符合实际并具有普遍意义的。

2.3 第一粘土层厚度和出现深度的概率分布特征

考虑到土壤剖面第一个粘土层的重要性,在研究中,专门对第一粘土层的厚度和出现深度进行了统计。统计结果表明,各剖面点第一出现粘土层(2 米内)的厚度值在概

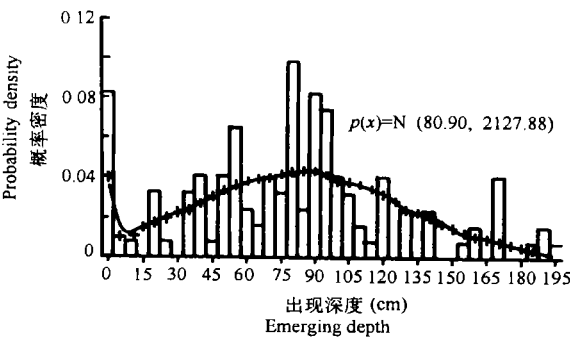
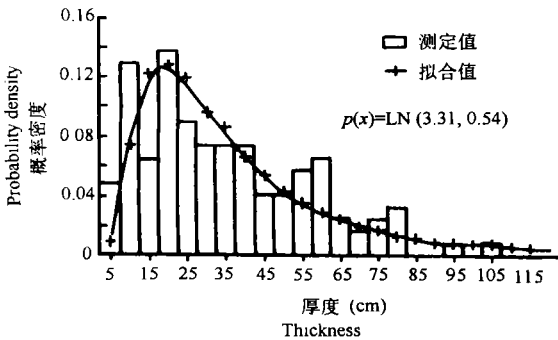


图4 第一粘土层厚度和出现深度的概率分布

Fig.4 Probability distribution of thickness and emerging depth of the first clay layers

率上仍符合对数正态分布, 而其出现深度则近似为正态分布(见图 4, 表 3), 检验见表 2。出现深度的概率密度函数为

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(z-\mu)^2\right], \quad z \geq 0 \quad (6)$$

这里  $z$  为出现深度  $Z$  的具体取值,  $\sigma$  和  $\mu$  为正态分布的两个特征常数, 分别为  $Z$  的标准差和均值。

第一粘土层厚度和出现深度的均值分别约为 36 厘米和 81 厘米, 变差系数也在 0.1 到 1.0 之间。出现深度概率分布的拟合曲线的左右端值较高, 为小于和大于该处深度值时的累积概率。

笔者认为, 第一粘土层厚度具有对数正态分布规律, 也一样具有普遍意义, 因为在大多 2 米剖面内, 仅有一个粘土层, 而不管有几个粘土层, 各个粘土层在厚度的概率分布上也应是一致的。但第一粘土层出现深度具有近似正态分布的特点, 则明显是一区域性特点, 因为在一个区域内, 2 米剖面内可以出现粘土层, 也可以不出现, 或都出现在上位或下位。在研究区内, 沙壤层就主要出现在表层, 显然在出现深度的分布上, 并无此特点。

### 3 结 论

1. 研究区内粘土层的空间分布具有结构性, 第一粘土层厚度、第一粘土层出现深度、1 米内粘土层总厚度和 2 米内粘土层总厚度的最大相关距离在 1500 米—2000 米之间。
2. 各种类型质地层次厚度在概率上均可拟合为对数正态分布, 它们的空间变异均为中等强度。
3. 第一粘土层厚度亦有对数正态分布的特点。第一粘土层出现深度近似为正态分布, 这仅是一区域性特点。

### 参 考 文 献

1. Willis W O. Evaporation from layered soils in the presence of a water table. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1960, 24(4):239—242
2. 朱耀鑫, 陆锦文, 石元春. 黄淮海平原雨季的土壤水盐运动和粘土夹层的影响. 见: 石元春等著. 盐渍土的水盐运动. 北京农业大学出版社, 1986. 175—200
3. 吕 军, 俞劲炎. 水稻土物理性质空间变异性研究. *土壤学报*, 1990, 27(1): 8—16
4. 王学锋. 土壤特性时空变异性研究方法的评述与展望. *土壤学进展*, 1993, 21(4): 42—49
5. Nielsen D R, Tillotson P M, Vieira S R. Analyzing field-measured soil-water properties. *Agri. Water Management*, 1983, 6:93—109
6. [美] J. W. 哈博, G. 博纳姆-卡特著, 罗人彦等译. 地质过程的计算机模拟 地质出版社, 1986

## SOME DISTRIBUTION FEATURES OF TEXTURAL LAYERS OF REGIONAL SOILS IN A FLUVIOGENIC PLAIN

Li Bao-guo<sup>1</sup> Li Wei-dong<sup>2</sup> Shi Yuan-chun<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>*Dept. of Soil and Water Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094*)

(<sup>2</sup>*Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*)

### Summary

Based on observed data of textural layers from a lot of soil profiles in a 15km<sup>2</sup> area in a fluvio-genic plain (North China Plain), this paper deals with spatial variations of some indexes of clay layers and probability distribution characteristics of different types of textural layers in the area by geostatistical method and general probability statistics. The results show that the maximum relative distances of the thickness and emerging depth of first clay layers, and the total thickness of clay layers in 1m depth and 2m depth are all in the range of 1500—2000m, and that the thickness of each type of textural layers is distributed lognormally.

**Key words** Fluvio-genic plain, Regional soils, Textural layer, Spatial variability, Probability distribution