

区域农田土壤质地剖面的随机模拟模型^{*}

李 卫 东

(中国科学院地理研究所水中心, 北京 100101)

李保国 石元春

(中国农业大学土壤和水科学系, 北京 100094)

摘 要 冲积土壤剖面的质地层次分异是该类土壤的重要特性, 对农田水分转化和溶质运移具有重要影响。要准确地定量农田水转化和溶质运移, 定量模拟区域冲积土壤质地剖面是十分必要的。本文依据已取得的研究结果, 采用 Markov 链理论提出了区域冲积土壤质地层次的随机模拟模型——MC 模型和 MC-LN 模型, 采用蒙特卡罗方法模拟了研究区的土壤质地剖面, 并与实测结果进行了对比。结果表明, 两模型模拟结果均很好地反映出了区域土壤剖面质地层次的垂向变化规律, 但在质地层次厚度的分布上, MC 模型结果偏差较大, 而 MC-LN 模型模拟结果与实测结果颇为一致。

关键词 区域农田, 冲积土壤, 质地剖面, 随机模拟

中图分类号 S152.23

土壤剖面的层次特征是土壤的基本特征。对土壤剖面的层次划分也是描述土壤的基本手段。对于冲积形成的土壤来说, 剖面的质地层次分异是它的最基本也最重要的特性。关于冲积土壤质地层次对农田水转化、溶质运移以及作物生长等方面的影响国内外均已作了大量的研究^[1~6], 但对于冲积土壤质地层次本身的定量化研究则很少见^[7, 8]。冲积土壤的质地层次分异对农田水转化和溶质运移等具有重要影响, 因此对其进行定量化的模拟和预测是进一步准确定量区域农田水转化和溶质运移的基础。

关于土壤层次厚度和垂向变化规律的研究文献目前较为少见。Armson 和 Fessenden^[9]曾对一沙壤质森林土的 O 层和 E 层厚度的变异性进行了研究, 发现 O 层厚度呈正态分布, 而 E 层厚度则是明显的偏斜分布; 两者的分布均独立于取样方法(随机和网络), 且几乎不受微地形的影响。他们认为如果在一个一致的母质上进行的自然风化过程不受较强干扰的话, 上部层次的厚度可能应该是正态分布的。李卫东等^[8]对一冲积土壤区域质地层次的研究表明, 每一种质地层次的厚度都是对数正态分布的, 质地层次的垂向变化可以用 Markov 链来描述。在地质学上, 地质学家对岩层的厚度和垂向变化进行了大量的研究^[10~13]。他们发现岩层厚度通常情况下是倾向于对数正态分布的, 但为简单起见, 可以用指数分布来粗

^{*} 国家自然科学基金项目(批准号49771045)研究内容

收稿日期: 1997-09-19; 收到修改稿日期: 1998-08-19

略地描述;岩层的垂向变化可以用 Markov 链来描述^[10,11]。Harbaugh 等人^[11]据此建立了随机模拟岩层剖面的马氏链模型。

本文正是依据我们已取得的研究结果,将冲积土壤质地层次的垂向变化视为 Markov 链,以对数正态分布拟合质地层次厚度,从而建立了模拟冲积土壤质地剖面的随机模拟模型,并进行了验证。这对定量和预测区域土壤层次空间变化并进而更准确地定量模拟区域农田水转化和溶质运移具有重要理论意义和应用价值。

1 模拟模型

土壤剖面显然是连续空间离散状态的马氏链。对于连续时间(空间)离散状态的马氏链,在具体研究中既可按等时间(空间)间隔状态变化、也可以按不同性质状态变化来计算转移概率矩阵 TPM(Transition probability matrix)。对于前者,同一性质状态的持续时间便有指数分布的特点,这是马氏链的固有特性,用于某些具体问题的研究并不适宜。对于后者,同一性质状态的持续时间(在此为质地层次厚度)在 TPM 中不包含,可依具体情况采用适当的分布函数来描述,将这些分布函数和 TPM 联合起来,来描述该马氏链,此即作为一种嵌入马氏链方法^[10]。已有研究表明:一定区域内冲积土壤各种类型质地层次的厚度均具有对数正态分布的特点;土壤质地层次的垂向变化具有明显的马氏性,可近似地视为一齐次马氏链,采用马尔可夫转移概率矩阵可描述其变化特点^[8]。依据这两点,即可建立起区域冲积土壤质地剖面的模拟模型,采用蒙特卡罗方法来模拟出土壤剖面^[11,14]。在此采用两种方法来模拟土壤剖面,即一般马氏链方法——MC 模型,和嵌入马氏链方法——MC-LN 模型。

1.1 MC 模型

MC (Markov chain) 模型即采用等厚度(如 5cm)质地层次的转移概率矩阵。一定深度的土壤剖面划分为 N 个 a cm 层次。由于各质地类型层次的厚度已隐含在连续的等厚度层次之中,因而在模型中就不必再考虑它们的厚度问题。

马尔可夫转移概率矩阵决定了马氏链状态转移过程的概率法则,加上初始概率分布,就能完整地描述马氏链的统计特性。对于初始概率分布,理论上讲应为区域内表层不同质地类型面积之比。

初始概率分布和 a cm 厚度层次的转移概率矩阵可分别表达为:

$$A = \{A_i\} = (A_1, A_2, \dots, A_m) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$P_{acm} = [P_{ij}] \quad i, j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

这里 m 为质地类型数, A_i 为表层第 i 种质地类型出现的概率, P_{ij} 为在第 i 种质地层次 (a cm) 下出现第 j 种质地层次 (a cm) 的概率, P_{ii} 一般不为零。

依据蒙特卡罗随机抽样方法,在模拟中概率分布要转换为累积概率分布^[13]。

1.2 MC-LN 模型

在此模型中采用不同质地类型层次的转移概率矩阵,而各种质地类型层次的厚度则采用对数正态分布来描述,因而该模型可称为 MC-LN (Markov chain——Lognormal distribution) 模型。同样,在此也需要初始概率分布。

初始概率分布见式(1)。不同类型质地层次(不考虑厚度)的转移概率矩阵为

$$P_{\text{tex}} = [P_{ij}] \quad i, j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

这里 P_{ij} 为在第 i 种质地层次之下出现第 j 种质地层次的概率, $P_{ii}=0, m$ 为质地类型数。

各种质地类型层次厚度的对数正态分布的特征参数为

$$\mu = \{\mu_i\} = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m) \quad (4)$$

$$\sigma = \{\sigma_i\} = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m) \quad (5)$$

式中, μ_i 和 σ_i 为对数正态分布的一对特征参数。依据这两个参数, 采用蒙特卡罗抽样方法, 便可取得具有对数正态分布的变数。

2 模拟方法

2.1 质地层次转移概率矩阵(TPM)的构建

在冲积土壤上选择一定面积的区域范围作为研究区。在研究区内按格网化或纯随机方式(否则缺乏代表性)布设一定密度的观测剖面点。按研究区内的土壤层次质地状况和研究需要划分质地层次类型(或其它层次类型), 如, 可划分出沙土层(1)、沙壤层(2)、...、粘土层(m)等不同的质地层次类型。对各观测剖面(确定深度, 如 2m)自上而下依质地类型变化分层, 记录各层的顺序、质地和厚度。也可按等厚度(如 5cm)分层, 记录各层的顺序和质地类型, 若某一确定厚度的层次包含两个质地类型不同的层次, 则以较厚层次的质地类型为准。将所有剖面的层次自上而下的变化记录统计, 把相同的层次变化(转移)类型归总, 如, 把沙土层(1)向沙壤层(2)的变化归总为 n_{12} 。可按如下方式建立层次转移的频数矩阵:

$$N = \begin{array}{c} \text{层次类型} \\ \text{上} \\ \text{层} \\ \vdots \\ \text{(i)} \end{array} \begin{array}{c} \text{下 层 (j)} \\ 1 \quad 2 \quad \cdots \quad m \\ \left[\begin{array}{cccc} n_{11} & n_{12} & \cdots & n_{1m} \\ n_{21} & n_{22} & \cdots & n_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n_{m1} & n_{m2} & \cdots & n_{mm} \end{array} \right] \end{array} \begin{array}{c} n_i \\ n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_m \end{array} \quad (6)$$

这里, m 为层次的质地类型数, n_{ij} ($i, j=1, 2, \dots, m$) 为第 i 种质地层次向第 j 种质地层次转移的总频数, n_i ($i=1, 2, \dots, m$) 为第 i 种质地层次向其它种类质地层次的转出总频数, 即 $\sum_{j=1}^m n_{ij}$ 。若层次仅按质地类型划分, 则对角线元素 $n_{ii}=0$; 若层次按等厚度划分, 则 n_{ii} 一般不为零, 即存在同种质地类型层次的自转。

将转移频数矩阵中的每一行数据(元素)都除以该行元素的总和 n_i , 即可得质地层次垂向(自上而下)转移的概率矩阵(TPM)如下:

$$\begin{array}{c}
 \text{下 层 (j)} \\
 \text{层次类型} \quad 1 \quad 2 \quad \cdots \quad m \\
 \begin{array}{c}
 \text{上} \quad 1 \\
 \quad \quad 2 \\
 \text{层} \quad \vdots \\
 \text{(i)} \quad m
 \end{array}
 \end{array}
 \left[\begin{array}{cccc}
 p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1m} \\
 p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2m} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 p_{m1} & p_{2m} & \cdots & p_{mm}
 \end{array} \right] \quad (7)$$

这里, $P_{ij} (i, j=1, 2, \dots, m)$ 为该研究区内第 i 种质地层次向第 j 种质地层次转移的概率 (即第 i 种质地层次之下出现第 j 种质地层次的概率)。同样, 若层次仅按质地类型划分, 则对角线元素 $P_{ii}=0$, 若层次按等厚度划分, 则 P_{ii} 一般不为零, 且在确定的层次厚度较小时, P_{ii} 一般较大。

由 TPMP 进而得到累积的转移概率矩阵 CP 如下:

$$CP = [CP_{ij}] = \left[\begin{array}{cccc}
 cp_{11} & cp_{12} & \cdots & cp_{1m} \\
 cp_{21} & cp_{22} & \cdots & cp_{2m} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 cp_{m1} & cp_{2m} & \cdots & cp_{mm}
 \end{array} \right] \quad (8)$$

这里 $CP_{ij}=P_{i1}+P_{i2}+\dots+P_{ij} (i, j=1, 2, \dots, m)$ 。

2.2 蒙特卡罗方法

2.2.1 随机数发生器 蒙特卡罗方法属于试验数学的一个分支, 它利用随机数进行统计试验, 以求得的统计特征值 (如均值, 概率等) 作待解问题的数值解。在随机模拟中, 所用的随机数是由数字化方法产生的。这种随机数是可重复的, 即初值唯一地决定了该随机数序列。这样的随机数即为伪随机数。产生随机数的方法很多, 目前应用较多的方法是同余式法^[14]。本文即采用此法。

2.2.2 随机抽样方法 通过随机数发生器产生的均匀分布的随机数从已知的频率分布中随机抽样, 便可得到符合已知分布的变数。

对具有对数正态分布的变数的随机抽样公式^[11]如下:

$$x = \exp \left\{ \mu_y + \sigma_y \left[\frac{\sum_{i=1}^k r_i - \left(\frac{k}{2} \right)}{\sqrt{\frac{k}{12}}} \right] \right\} \quad (9)$$

其中 $y=1nx$, x 为具有对数正态分布的变数, r_i 为从在 0.0~1.0 内变化的均匀分布中抽取的第 i 个随机数, k 为被采用的 r_i 的总数, μ_y 为 y 的均值, σ_y 为 y 的标准差。

一般地, k 取 12 即可达到要求了。如果 $k=12$, 公式可简化为

$$x = \exp \left[\mu_y + \sigma_y \left(\sum_{i=1}^{12} r_i - 6 \right) \right] \quad (10)$$

对具有某一转移概率矩阵的一系列变量 (状态) 的随机取样方式见图 1。首先确定初始状态 (变量), 然后将在此状态之后出现其它状态的概率分布的各量依次累加, 求出积概率分布。由随机数发生器产生 0.0 到 1.0 之间均匀分布的一随机数, 与累积概率分布的各量 (元素) 进

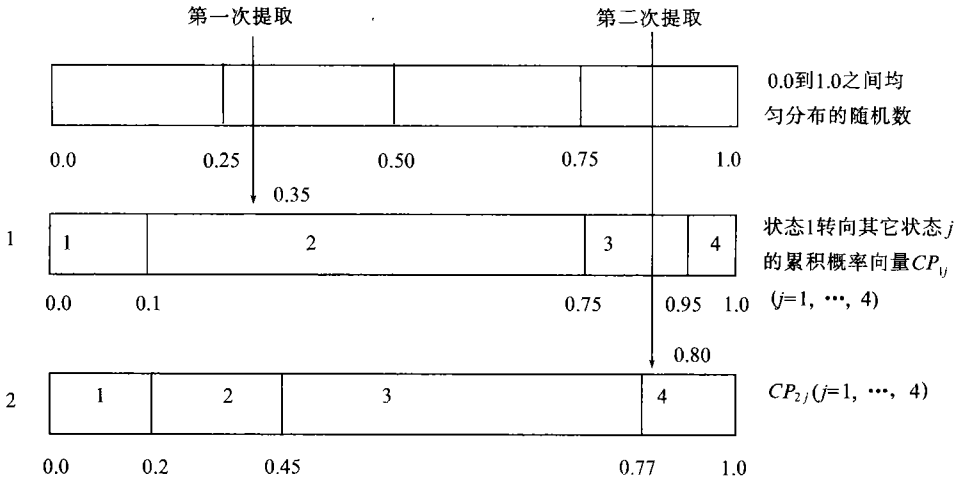


图1 用均匀分布随机数从累加概率向量中取样的说明图

Fig.1 Illustration of sampling from accumulative probability vectors using uniformly-distributed random numbers

行对比,若小于或等于某个量且大于前面的量,则下一状态取定为该量(元素)对应的状态。

2.3 技术处理和模拟流程

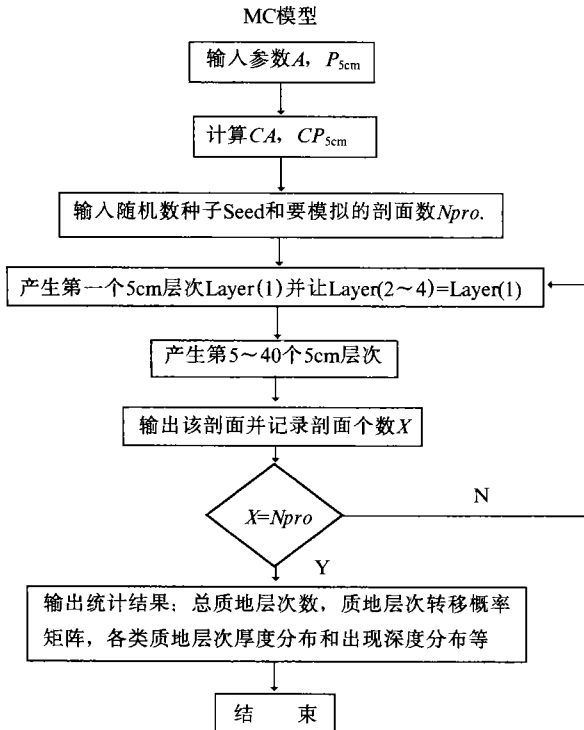


图2 MC模型模拟流程图

Fig.2 Flow diagram of MC model

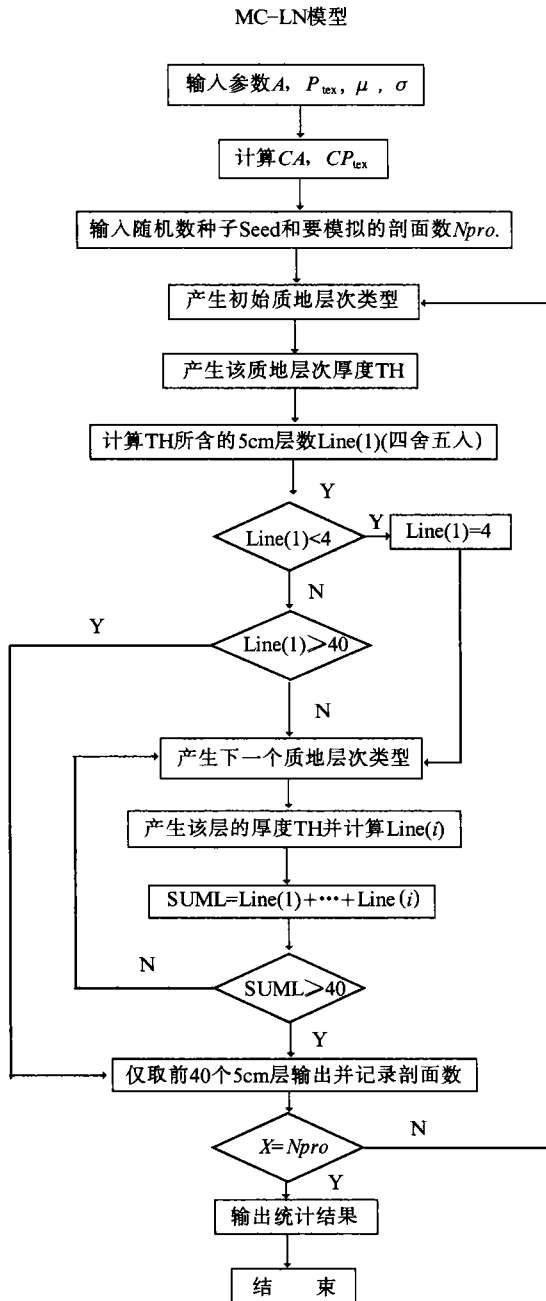


图3 MC-LN模型模拟流程图

Fig.3 Flow diagram of MC-LN model

2.3.1 技术处理 由于模拟的土壤为农田土壤，而耕作又在一定的深度(耕层)内破坏了土壤层理。因而，在耕层的范围内，不会有质地层次分异。考虑到耕层的底部一般在20~30cm，本研究取定为20cm，如果随机选取的初始层厚度小于20cm，则在模拟中作为20cm处理。

由于要求模拟的土壤剖面为确定深度(在此为 2m),而在 MC-LN 模型中随机取得的最后一层则往往是使所有层次加起来超过这一深度。这就需要对最后一层截去一部分,即以满足全剖面到确定深度为准,而不顾最后一质地层次是否输出完整。

对于模拟出的土壤剖面,分别以 a、b、c、d、e、f 等表征沙土、沙壤、轻壤、中壤、重壤、粘土等质地类型的一个 5cm 层次,以 40 个连续字符表征一个 2m 土壤剖面。比如 bbbbbbccccffffddaaaa 就代表一个具有 5 个质地层次,分别为 30cm 沙壤层,15cm 轻壤层,25cm 粘土层,10cm 中壤层和 20cm 沙土层的 1m 深土壤剖面。

2.3.2 模拟流程 两种模型的模拟流程见图 2 和图 3。

3 模型验证

3.1 研究区概况和试验设计

研究区设在河北省曲周县四町乡中国农业大学试验站一带,处于北纬 $36^{\circ}51'$,东经 $115^{\circ}3'$,为一总面积约 15 平方公里东西较长的矩形区。支漳河大致从中间南向北穿过。研究区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。整个地势较为平坦,海拔 34.5~35.0 米。土壤类型主要为潮湿锥形土,中间尚有少许斑点状分布的盐成土^[1]。

观测剖面点布置采用平行四边形格网化布点,四边形边长 360m。共设 142 个点,因村庄影响实测 139 点。开挖剖面与钻孔剖面相结合,观测深度 2m。对每一剖面记录质地层次变化及厚度。质地类型划分为六级,即沙土(1)、沙壤(2)、轻壤(3)、中壤(4)、重壤(5)和粘土(6)(大致按卡庆斯基制),参考以前有关资料及部分实测资料主要以手摸法确定。质地层次厚度观测精度为 1cm,为计算方便,统计精度为 5cm(如小于 7.5cm,视为 5cm,7.5~12.5cm 视为 10cm,依次上推)。

3.2 参数获得

依据研究区内土壤剖面质地层次分布特点的调查统计,可得到区域内质地层次的初始概率分布和转移概率矩阵。

初始概率分布在此近似地以研究区内观测剖面表层不同质地类型层次数之比来表征,为

$$A=(0.000, 0.779, 0.100, 0.042, 0.000, 0.079) \quad (11)$$

将每一 2m 剖面划分成 40 个 5cm 厚度的层次,则 5cm 层次的转移概率矩阵为

$$P_{5\text{cm}} = \begin{bmatrix} 0.936 & 0.002 & 0.006 & 0.014 & 0.001 & 0.040 \\ 0.022 & 0.904 & 0.020 & 0.021 & 0.004 & 0.029 \\ 0.040 & 0.031 & 0.828 & 0.028 & 0.012 & 0.061 \\ 0.061 & 0.022 & 0.007 & 0.788 & 0.004 & 0.118 \\ 0.040 & 0.010 & 0.010 & 0.020 & 0.840 & 0.080 \\ 0.076 & 0.017 & 0.017 & 0.025 & 0.006 & 0.859 \end{bmatrix} \quad (12)$$

不同类型质地层次的转移概率矩阵为

$$P_{\text{tex}} = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.02 & 0.11 & 0.20 & 0.01 & 0.66 \\ 0.24 & 0.00 & 0.21 & 0.21 & 0.03 & 0.32 \\ 0.21 & 0.18 & 0.00 & 0.17 & 0.04 & 0.40 \\ 0.26 & 0.12 & 0.03 & 0.00 & 0.02 & 0.57 \\ 0.27 & 0.09 & 0.00 & 0.09 & 0.00 & 0.55 \\ 0.53 & 0.14 & 0.12 & 0.16 & 0.04 & 0.00 \end{bmatrix} \quad (13)$$

依据(8)式进而可以计算出累积的初始概率分布 CA 和累积的转移概率矩阵 $CP_{5\text{cm}}$ 和 CP_{tex} 。

对六种类型质地层次厚度的概率分布进行统计,并采用对数正态分布拟合^[8],拟合分布的特征参数为

$$\mu = (3.61, 3.79, 3.12, 2.85, 3.15, 3.17) \quad (14)$$

$$\sigma = (0.82, 0.57, 0.53, 0.66, 0.53, 0.77) \quad (15)$$

3.3 模拟结果与实测结果的对比

图 4 为某一随机数序列下 MC-LN 模型模拟的部分土壤质地剖面。

表 1 为模拟结果统计出的不同类型质地层次的转移概率矩阵,可以看出,两种模型模拟结果与实测结果(式 13)均十分接近,尤以 MC-LN 模型模拟结果较好。这里有关重壤层的数据偏差较大,原因在于研究区内重壤层层次数太少,仅仅出于方法学上的考虑才将其划出^[8]。表 2 为模拟剖面的各种类型质地层次厚度均值与实测结果的对比。可以看出,MC 模型模拟结果与实测非常接近,相对偏差(绝对偏差占实测值的%)均在 7.1% 以下,而 MC-LN 模型模拟结果与实测值相比偏差较大一些,表现为沙土层偏薄而沙壤层偏厚,相对偏差最高达 21.1%。

```

001  bbbbbbbbbbbbbbbbf ffff ffff bbbbbbbbf
002  bbbbbbbbaaaaaaaaaa ffff aaaaaaaaaa ffff
003  bbbbbbbbaaaaaaaaaa ffffffff fbbbbb
004  ccccc dddd bbbbbbbbbb aaaaaaaaaa ff
005  fffff fbbbbbfff ffff faaaaaaaaf fff faa
  :
101  dddd fffff fbbbbb bbbbbb dddd ffff
102  bbbbbbbbbb bbbbf fffff ffff ffeeee
103  bbbbbbbbbb bbbbf ffffffff aaaaaaaaaa
104  bbbbbbbbbb bbbbf ffffffff aaaaaaaaaa
105  bbbbbbbbbb bbbbbb dddd dddd cccccccc
  :

```

a-沙土, b-沙壤, c-轻壤, d-中壤, e-重壤, f-粘土。
每个字符表示 5cm 厚度。

图 4 某一随机数序列下 MC-LN 模型模拟出的部分土壤质地剖面
(随机数种子为任一 9 位奇数 768364577)

Fig. 4 A part of soil textural profiles simulated by the MC-LN model under a certain sequence of random numbers (the seed of random numbers is anyone nine-figure odd number 768364577)

所决定的。

由此可知,MC-LN 模型可以更好地体现出土壤剖面质地层次分布规律,是一个较理想的模型。

图 5 为模拟出的不同类型质地层次厚度的概率分布与实测值及理论拟合值的对比。可以明显地看出,MC-LN 模型模拟结果较好地表现出了对数正态分布的特点,与对实测值的理论拟合曲线较为一致。而 MC 模型模拟结果则近似为指数分布,与实测结果相比呈现出较多的厚层和薄层而中等厚度的层次偏少,这是一般马尔可夫链的固有特性

表1 两种模型模拟出的研究区土壤质地层次转移概率矩阵

Table 1 Transition probability matrices of soil textural layers of the research region simulated by the two models

		MC						MC-LN					
		下 层						下 层					
质地类型		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
上 层	0.00	0.03	0.09	0.24	0.03	0.61	0.00	0.01	0.14	0.20	0.00	0.65	
	0.21	0.00	0.23	0.24	0.04	0.29	0.20	0.00	0.20	0.23	0.03	0.34	
	0.20	0.15	0.00	0.18	0.07	0.39	0.22	0.18	0.00	0.14	0.04	0.41	
	0.29	0.12	0.04	0.00	0.03	0.53	0.24	0.13	0.03	0.00	0.02	0.58	
	0.37	0.07	0.06	0.11	0.00	0.39	0.35	0.06	0.00	0.08	0.00	0.51	
	0.52	0.12	0.14	0.18	0.04	0.00	0.53	0.15	0.11	0.17	0.05	0.00	

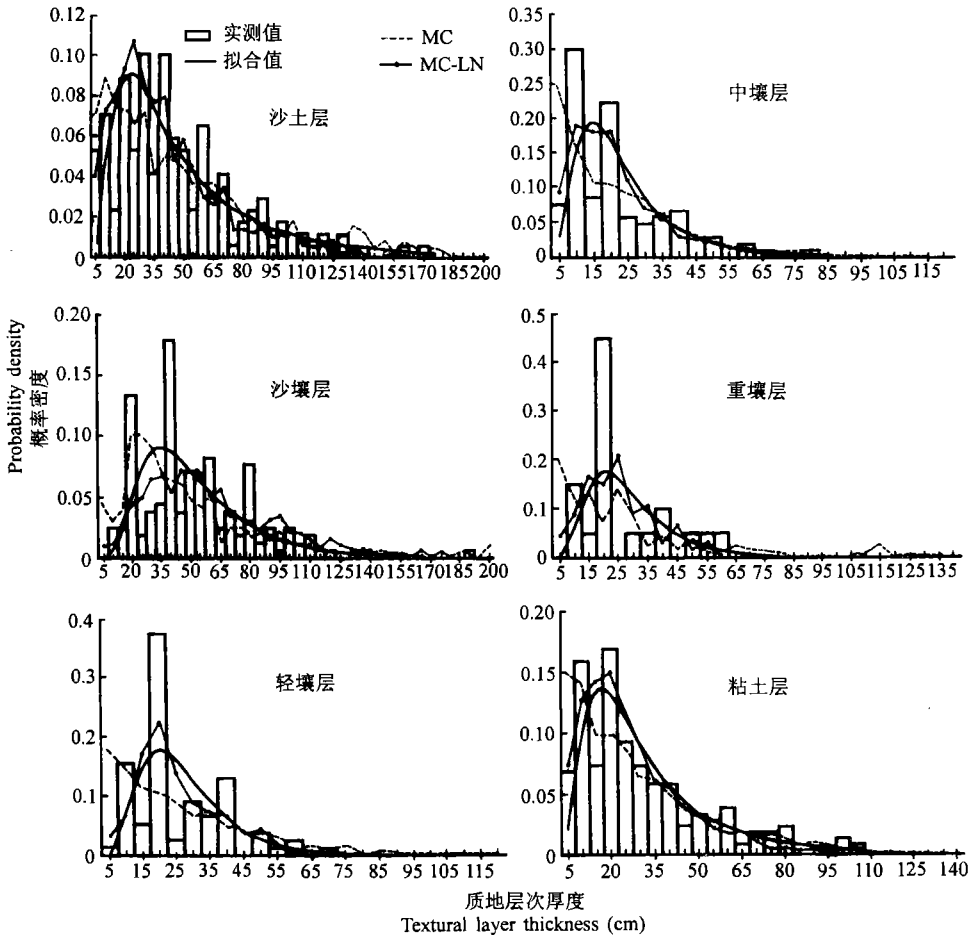


图5 模拟出的各种类型质地层次厚度概率分布与实测结果的对比

Fig.5 Comparison between simulated thickness probability distributions of different types of textural layers and measured data

表2 模拟出的各种类型质地层次厚度均值与实测结果的对比

Table 2 Comparison between simulated thickness mean values of different types of textural layers and measured data

	质地层次厚度均值(cm)						相对偏差(绝对偏差占实测值的%)					
	Mean values of textural layer thickness						Relative deviations(%)					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
实测	(51.6)	52.2	26.0	21.6	26.7	32.0)						
MC	(49.9)	50.9	26.0	21.4	28.6	30.9)	(3.3	2.5	0.0	1.0	7.1	3.4)
MC-LN	(40.7)	63.1	26.4	21.3	25.3	27.7)	(21.1	21.0	1.5	1.4	5.2	13.4)

4 讨论

研究结果表明,本文提出的区域土壤质地剖面的随机模拟模型——MC-LN模型在该研究地区是合适的,它的模拟结果能较好地体现出区域土壤剖面质地层次的分布规律。但模拟结果与实测相比,仍有一定偏差。主要有以下几方面:

(1) 随机数问题。随机数引起偏差的原因有二:一是伪随机数并非纯随机的。二是一个种子唯一地产生一条随机数序列,在序列较短时,不同种子产生的随机数序列之间在分布上就可能有一定偏差。这方面引起的偏差是难以避免的。

(2) 底层截断问题。在模拟当中,当剖面最后一层厚度与前面各层相加超过确定深度时,多余部分就要被截去。相应地,如果某种类型质地层次在底层出现机率较多的话,模拟出的该类型质地层次厚度的均值就会比实测偏小。而受截断影响较小的质地类型的层次厚度均值则会比实测偏大。

(3) 转移概率矩阵的平稳性问题。本研究采用了齐次马氏链模型,即将土壤剖面质地层次的垂向变化视作平稳的。已有的研究表明,不同类型质地层次的转移概率矩阵仅是近似垂向平稳的,在土壤剖面上下段间有一定的差异^[8],因此,采用齐次马氏链方法,无疑会给模拟结果带来一定偏差,即在各种类型质地层次出现深度的分布上与实测不完全一致。但对于土壤质地剖面的模拟来说,采用齐次链方法在一般情况下是可以接受的。这因为,所研究的土壤剖面厚度有限(一般在2m以内),因而层次数也有限,同种质地层次在同一剖面中多次出现的机会并不多。再者采用齐次马氏链方法也简单明了。

另外,产生偏差的原因还有多方面,诸如质地层次厚度分布的垂向平稳性问题、耕层问题、人为观测误差问题等等。在此要说明的一点是:对于一个土壤质地剖面来说,它所具有的质地层次数和质地类型及其垂向排序是关键,是质的问题。而各个质地层次厚度及出现深度上的一点点偏差是较次要的,是量的问题。因为对于一个1m或2m土壤剖面来说,这方面的百分之几甚至十几的偏差,在对水分和溶质的运移特性的影响上,差异将是十分微小的^[1]。因此,可以说,只要模拟剖面在质地层次数、质地类型及排序上与实测结果一致,层次厚度和出现深度上偏差不太大,这种模型在应用上应该是可以被接受的。

对于MC模型来说,其模拟偏差除来自随机数问题之外,更主要的在于马氏链的固有

特性,即各种类型质地层次的厚度趋于指数分布,而非实际测定的对数正态分布。因此,如果不太注重质地层次的厚度并考虑到简单起见,如同地质学上对地层序列的随机模拟一样,MC模型也是可以应用的。

参 考 文 献

1. 石元春,李韵珠,陆锦文等著.盐渍土的水盐运动.北京农业大学出版社,1986.22~40,85~108,161~224
2. 袁剑舫.粘土夹层对地下水上升运行的影响.土壤学报,1980,17(1):94~100
3. 叶文华.华北平原农田土体构型与作物生长关系的研究.地理学报,1985,40(1):37~49
4. 李进法,王希恩,高广瑞等.河北平原不同土体构型水分分布和运行规律及排水模式.干旱地区农业研究,1996,14(1):3~9
5. Willis W O. Evaporation from layered soils in the presence of a water table. Soil. Sci. Soc. Am. Proc., 1960, 25: 239~242
6. Brusseau M L, Rao P S C. Modeling solute transport in structured soils:A review. Geoderma, 1990, 46: 169~192
7. 李卫东,李保国,石元春.农田空间变异性特征与土壤水转化模型的研究.见:石元春等主编.节水农业应用基础研究进展.中国农业出版社,1995.64~71
8. Li W D, Li B G, Shi Y C, Tang D Y. Application of Markov chain theory to describe the spatial distribution of textural. layers. Soil Science, 1997, 162(9):672~683
9. Armson K A, Fessenden R J. Forest windthrows and their influence on soil morphology. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1973, 37: 781~783
10. 施仁杰著.马尔可夫链基础及其应用.西安电子科技大学出版社,1992
11. Harbaugh J W, Bonham-Carter G F. Computer Simulation in Geology. New York: Wiley-Interscience, 1980. 55~97
12. Potter P E, Blakely R F. Random processes and lithologic transitions. Journ. Geol., 1968, 76: 104~110
13. Krumbein W C. Statistical models in sedimentology. Sedimentology, 1968, 10: 7~23
14. 方再根编著.计算机模拟和蒙特卡罗方法.北京工业学院出版社,1988

STOCHASTIC SIMULATING MODELS FOR SOIL TEXTURAL PROFILES OF REGIONAL FIELD

Li Wei-dong

(Water Subcenter of CERN, Institute of Geography, CAS, Beijing 100101)

Li Bao-guo Shi Yuan-chun

(Dept. of Soil and Water Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094)

Summary

The spatial change of textural layers is one of the important features of alluvial soils. It affects soil water transport and solute movement in field intensely. But the quantitative studies on it are limited. Based on the results obtained in our research, this paper presented two stochastic models—MC (Markov chain) model and MC-LN (Markov chain—Lognormal distribution) model for simulating textural profiles of regional alluvial soils using Markov chain theory, and simulated soil textural profiles by Monte Carlo method. Results showed that the vertical changes of textural layers along soil profiles in the research region could be reflected by this two models. But in the probability distribution of textural layer thickness, MC model often brought on more error, and MC-LN model was in accord with the measured data. Considering the far more intensive effects of number and sequence of textural layers in profiles than the error of textural layer thickness on field water and solute movement, two models would be accepted simultaneously.

Key words Regional field, Alluvial soil, Soil textural profiles, Stochastic simulating model