

陈志明. 基于多元回归分析的草坪土壤湿度模型研究[J]. 江苏农业科学, 2010(6): 279-281

基于多元回归分析的草坪土壤湿度模型研究

陈志明

(江苏农林职业技术学院, 江苏句容 212400)

摘要: 通过对影响草坪土壤湿度的因素分析, 获得了各因素与草坪土壤湿度的关系, 在对土壤、地形等因素分析时, 引入了土壤地形综合参数来描述土壤和地形对草坪土壤湿度的影响。利用多元回归的方法对草坪土壤水分平衡方程中的参数进行校正, 获得草坪中特征点的水分平衡方程, 利用 MATLAB 建立草坪土壤等湿度面模型并进行了验证, 效果良好。该模型可为草坪的建植及养护的水分管理提供参数。

关键词: 草坪; 土壤湿度; 多元回归; MATLAB 模拟

中图分类号: S688.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2010)06-0279-03

现代社会中, 草坪在改善人居环境与提高人们生活质量方面发挥了重要作用。人们广泛关注影响草坪生长的各种因素, 而对于草坪生长的条件特别是不规则地形上的土壤湿度条件研究较少。在地形、土壤、植被及前期天气气候综合作用下, 草坪土壤湿度变化很大。对于某一特定地区, 地形与土壤相对不变, 植被自然变化相对稳定, 而天气变化随机、复杂, 因此气象因素变化对草坪土壤湿度波动起着决定性作用^[1]。同时草坪土壤湿度的改变又影响土壤本身的热力性质和水文特性, 地表的各参数亦相应发生改变, 从而进一步影响草坪小气候变化^[2-3]。因此研究草坪土壤湿度的时空变化规律, 对于草坪草种的选择、栽培方法、养护等均具有重要意义。

目前草坪土壤湿度的获取方法有实测法、遥感法和土壤水分模型法 3 类。实测法可以准确估测土壤剖面的含水量, 但只能得到单点的数据, 这种方法需要大量的人力物力, 不仅费时, 而且成本高, 很难高效率地获取大范围的土壤湿度^[4]。遥感法是用遥感结合地面模型对地表土壤湿度的特征进行反演的办法, 遥感数据主要应用于宏观的气象研究。土壤水分模型法根据土壤水量平衡原理, 寻找影响湿度的驱动因子, 建立水分平衡方程求解土壤湿度, 如农田蒸散双层模型、植被缺水指数法等, 这种方法需要大量气象数据的支持, 但是模型建立后可持续利用。近年来, 一些土壤湿度模型得到了发展并应用于土壤湿度估计, 如 Entekhab 等利用扩展 Kalman 滤波将近微波遥感图同化到土壤水热传输模型中来获得地表土壤湿度^[5], Moqaddam 等使用共轭梯度法同时反演出了土壤介电常数及湿度^[6]。House 等利用最优插值法等方法将土壤湿度的微波图象资料同化到三层分布模型中, 以获得土壤湿度^[7]。本研究利用土壤的水分平衡原理, 结合实测数据通过双回归分析, 获得不规则地形下的草坪土壤水分平衡方程, 并建立该地形模式下的草坪土壤湿度的等湿度面, 为草坪综合管理方案的设计提供数据基础。

1 草坪土壤湿度的影响因素及关系

在给定的时段内, 某区域的总收入水量 (O) 应与总支出

水量 (G) 间存在以下关系 $\Delta W = O - G$ 式中, ΔW 为土壤水分含量的变化。实际上, 某一时刻草坪土壤含水量的主要水分来自前期到达地面的降水及对草坪的灌溉, 这些水分部分通过地表径流、地下渗透以及蒸腾蒸发等形式流失, 剩余部分滞留在土壤中, 成为土壤含水的最主要来源, 该部分的水为土壤的有效水获得量。此时土壤中水分平衡方程可简写为: $\Delta W = \sum_{i=0}^k (R_i + S_i) - G$ 式中 k 表示距观测日天数 (本研究是隔天取值, 故 $k=2$), R_i 为降雨量, S_i 为草坪喷灌量。

草坪土壤的储水量除了和降水量、喷灌量有关外, 还和地形、径流、土壤类型有关。由于草坪地表高度往往不一致, 地形、径流对草坪土壤湿度的影响归结为与监测点的相对高度的函数关系 $G_i = K_i \cdot D_i \cdot H_i + b$ 式中 G_i 为由于地形原因所引起的失水量; D_i 为土壤地形综合参数, 受草坪地表形状及温度影响。当观测点处于凹坑时, 水分集中, D_i 小于 1, 甚至为负数; 平地时为 1; 凸地时水分损失快, D_i 大于 1; 当日平均温度低于 0℃ 时 (无地表径流) D_i 为 0 H_i 为该点的相对高度, K_i 、 b 为系数, 由数据拟合获得。

草坪土壤的湿度还和土壤表层的草坪覆盖、蒸腾作用相关, 植物蒸腾作用的描述可以用土壤冠层温度 (T_s) 及植被指数 (TVDI) 来描述。由于土壤冠层温度的时空变化受大气、环境状况的影响较大, 单一使用温度建立植物缺水指标并不太理想, 而植被指数对植物水分变化的反映又具有一定的滞后性^[8]。冠层温度和植被指数的合理融合, 可以衍生出更丰富、清晰的地表信息。Sandhol 等在研究土壤湿度时发现, $T_s - NDVI$ (温度-植被干旱指数) 的特征空间中有很多等值线, 于是将其进行三角化后提出植被缺水指标并将 $T_{s\ min}$ (最小地表温度) 处理成与 $NDVI$ 轴平行的直线, 而 $T_{s\ max}$ (最高地表温度) 与 $NDVI$ 成线性关系, 由植被指数和地表温度计算得到:

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s\ min}}{T_{s\ max} - T_{s\ min}} \quad [9]$$

式中, T_s 是某点的地表温度, 此处用日平均温度; $T_{s\ min}$ 对应的是湿边; $T_{s\ max}$ 对应的是干边; 在干边上 $TVDI=1$, 在湿边上 $TVDI=0$ 。TVDI 越大, 土壤湿度越低, 反之, 土壤湿度越高。

2 利用多元回归法分析土壤湿度的原理

回归分析是确定 2 种或 2 种以上变数间相互依赖的定量

收稿日期: 2010-08-09

作者简介: 陈志明 (1957—), 男, 江苏宜兴人, 副教授, 从事草坪栽培

与养护研究。Tel: (0511) 87292301; E-mail: czm130@163.com

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

关系的一种统计分析方法。利用多元回归法对不同层土壤的湿度数据进行回归分析,获取土壤湿度模型,可以有效地模拟同一湿度域在不规则区域内的分布情况。由于土壤湿度在不规则区域的分布是非线性关系,因此,选择的多项式回归模型为 $\eta = b_0 + b_1 x + b_2 \bar{x} + b_3 \bar{x}^2 + \dots + b_k \bar{x}^k + \varepsilon$, $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ 。为了提高回归方程的可靠性和回归曲线的精度,选用 MATLAB 软件来对回归曲线进行拟合。在确定拟合的多项式次数后,将实测数据代入得到的多项式,即获得建立土壤等湿度面方程所需的参数,最终公式为 $H = H_0 + K_s \times \sum_{i=0}^k (R + S) - K_s \times D_s \times H + b - k \times TMDI$ 式中 H 为土壤某等湿度面的含水量, H_0 为土壤原始含水量, k 为植被指数的影响系数。

3 草坪土壤湿度模型的建立与分析

3.1 数据获取与数据处理

本研究所取的区域为江苏农林职业技术学院的农博园,研究地点为农博园中的生态大道。该区域处江苏省镇江市,属北亚热带过渡带,气候特点是冬季干寒、夏季多雨、四季分明、雨量充沛、雨热同期。常年降水量 1 000 mm 左右。生态大道的地表覆盖草坪,草坪品种为天堂 328。大道总长 350 m 落差 6 m (图 1) 并具有沟壑、土坡等不规则地形 (图 2)。

在试验区域中分为 7 个区域分别采集数据 (图 3) 此 7 个区域分布在生态大道入口处 150 m 范围内,其中 1 号区域位于试验区域的最高点,2 号和 3 号区域分别位于其凹坑的 2 个不同的起伏面,4 号和 5 号区域位于凸坡的 2 个起伏面,6 号区域位于土坡上,7 号区域位于最低点。数据采集时间为 2010 年 5 月 10 日、12 日、14 日、16 日,所得的数据见表 1。

3.2 模型建立

通过多次拟合发现,利用三次多项式拟合获得的全区域的均方差最小,将拟合结果代入最终公式,获得的研究区域的参数见表 2。由表 2 可见,采用三次多项式拟合,拟合方差最小的是 1 号区域,仅为 45.54 最大的是 6 号区域,为 77.12。

表 1 地表温度 (T_s) 与地表下 15 cm 处土壤相对湿度 (H_t)

区域	高度 (m)	5月10日			5月12日			5月14日			5月16日		
		$T_{s \min}$	$T_{s \max}$	H_t	$T_{s \min}$	$T_{s \max}$	H_t	$T_{s \min}$	$T_{s \max}$	H_t	$T_{s \min}$	$T_{s \max}$	H_t
1	6	17.2	24.7	65%	16.3	24.4	74%	17.6	26	65%	19.3	29.3	56%
2	5	17	24.5	73%	15.9	24.2	75%	17.2	25.2	72%	18.9	29	63%
3	4.7	17.4	24.5	70%	16	24.2	72%	17.4	25.2	71%	18.9	29.2	62%
4	3.5	17.1	24.8	65%	16	24.5	75%	17.5	25.6	65%	19.3	29	57%
5	3.5	17.2	24.5	65%	16.2	24.3	75%	17.6	25.7	63%	19.3	28.9	58%
6	1.7	17.2	24.6	68%	16.1	24.4	75%	17.6	25.9	64%	19.3	28.9	57%
7	0.4	17.4	24.5	70%	16	24.2	72%	17.2	25.2	71%	18.8	28.5	60%

从拟合结果来看,1、5、7号区域的拟合曲线最能代表此类区域的特性曲线。本研究在数据采集点的相对高度选择上覆盖了生态大道入口 150 m 范围内的所有区域,所以,所有未检测点的相对高度和地形特点都可以和已有的点进行比对后获得相近数据。

3.3 模型分析

通过 MATLAB 插值获得该段草坪土壤相对湿度为 71% 的等湿度面 (图 4)。2 号、3 号区域由于是凹坑,等湿度面离

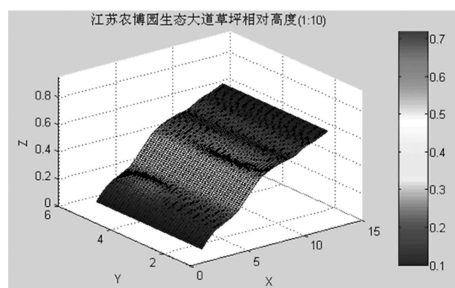


图1 农博园生态大道入口至150 m处相对高度



图2 农博园生态大道入口处地形



图3 农博园生态大道草坪及地形

地表较近;6号区域为土坡,受空气流动影响较大,等湿度面离地表较远。

为了验证通过回归法及 MATLAB 模拟出的等湿度面,在获取草坪土壤的等湿度面模型后,本课题研究人员于 2010 年 5 月 20 日对草坪土壤进行了集中采样。本次采样数据主要为草坪土壤湿度为 71% 的土壤深度,共采集有效数据 150 组,通过 MATLAB 模拟出实测等湿度面见图 5。

表 2 不同区域中的参数拟合值

编号	K_L	D_L	b	k_s	方差
1	12.7	1.58	0.72	7.81	45.54
2	11.83	-0.32	0.88	9.42	74.81
3	11.92	-0.19	0.95	8.18	75.74
4	10.87	1.03	0.94	8.92	60.44
5	10.64	0.98	1.03	9.12	58.04
6	9.98	4.32	1.24	11.3	77.12
7	11.64	0.73	1.38	7.72	52.86

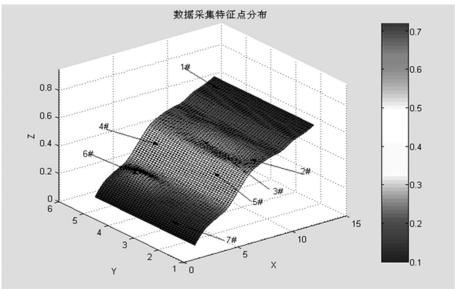


图4 试验数据采集区域分布

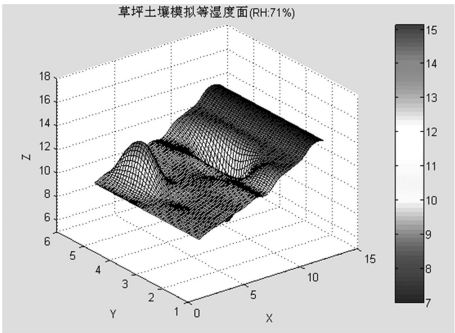


图5 等湿度面模型

通过分析图 4 与图 5 对于 3、4、5 号观测点周围土壤湿度的模拟较为准确,误差(模拟等湿度面与实测等湿度面)在 1 mm 以内;对于较为平坦的 1 号区域的纵向区域和 7 号区域的纵向区域的误差在 2 mm 以内;6 号区域为土坡顶部,误差为 5.2 mm;2 号区域为小凹坑,内有积水,平均误差为 4.2 mm。由于 1、4、5、7 号区域所代表的地形类型占草坪面积的 95% 以上,所以该模型具有较高的置信度。

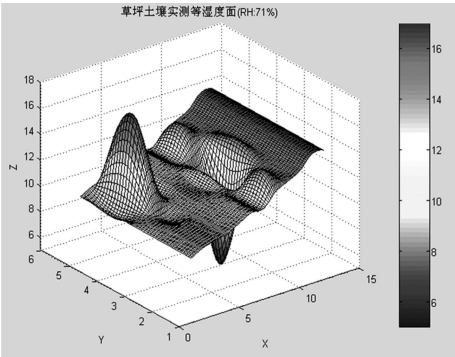


图6 实测等湿度面模型

4 结语

本研究对不规则地形的草坪土壤湿度的主要影响因素进行了分析,引入土壤地形综合参数,通过多元回归法对草坪的特殊点进行分析,获得土壤湿度平衡方程的参数,并利用 MATLAB 软件建立草坪土壤等湿度模型。

土壤等湿度模型为草坪养护提供了必要的数据。模型建立后,测量草坪中任一点的垂直湿度,可以推算出草坪中其他点的湿度,了解草坪土壤湿度的分布状况,可以进行有选择性的喷灌,湿度大的地方不喷或少喷,湿度小的地方喷灌时间延长,以达到节能的目的,并提高喷灌效率和草坪养护的工作效率,为草坪的适时灌溉、节水灌溉提供依据。

本湿度模型对于草坪土壤的湿度模拟仍然有一定的误差,这也是本研究下一步工作的重点。

参考文献

[1] 薛晓萍,王 新,张丽娟,等. 基于支持向量机方法建立土壤湿度预测模型的探讨[J]. 土壤通报, 2007, 38(3): 427—433

[2] 马柱国,魏和林,符凉斌. 土壤湿度与气候变化关系的研究进展与展望[J]. 地球科学进展, 1999, 14(3): 299—305

[3] 林朝晖,杨小松,郭裕福. 陆面过程模式对土壤含水量初值的敏感性研究[J]. 气候与环境研究, 2001, 6(2): 240—248

[4] 肖继东,姚 坤,师庆东,等. 利用温度植被干旱指数反演伊犁博州地区土壤湿度[J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(3): 12—16

[5] Entekhabi D, Nakamura H, Njoku E G. Solving the inverse problem for soil moisture and temperature profiles by sequential assimilation of multi-frequency remotely sensed observations[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1994, 32: 438—448

[6] 路晓荣,周 凯,张晓娟,等. 直接搜索算法在反演土壤湿度中的应用[J]. 微计算机信息, 2008, 24(18): 200—202

[7] Houser P R, Shuttleworth W J, Famiglietti J S et al. Integration of soil moisture remote sensing and hydrologic modeling using data assimilation[J]. Water Resources Research, 1998, 34(12): 3405—3420

[8] 王纯枝,毛留喜,何延波,等. 温度植被干旱指数法(TVDI)在黄淮海土壤湿度反演中的应用研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 998—999

[9] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature-vegetation index space for assessment of surface moisture status[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 79: 213—224