

## 基于主成分分析红壤有效含水量估算模型

李世华<sup>1,2</sup>, 牛 铮<sup>1</sup>, 路 鹏<sup>1</sup>, 王长耀<sup>1</sup>, 冯小燕<sup>3</sup>

(1. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;  
3. 广东省国土资源信息中心, 广州 510075)

**摘 要:** 季节性干旱是南方红壤地区农业可持续发展面临的关键科学问题, 土壤有效含水量是评价土壤对植物给水能力的重要因子之一。该文以红壤为研究对象, 在江西省采集了 34 个红壤样品, 测定了土壤田间持水量、永久萎蔫系数、有机质含量、土壤容重、土粒密度和土壤质地组成(砂粒、粉砂粒和黏粒)的百分含量等土壤物理参数, 并对这些因子进行主成分分析, 建立经验回归模型, 相关系数为 0.87。结果表明: 区域红壤有效含水量可以通过土壤物理参数估算, 通过主成分分析等统计方法对于大面积估算土壤有效含水量是可行的。

**关键词:** 红壤; 有效含水量; 主成分分析

**中图分类号:** S152.7; O212.4

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-6819(2007)5-0092-03

李世华, 牛 铮, 路 鹏, 等. 基于主成分分析红壤有效含水量估算模型[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 92-94.

Li Shihua, Niu Zheng, Lu Peng, et al. Red soil available water capacity statistical model based on principal component analysis[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(5): 92-94. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

土壤有效含水量(available water capacity, 简称 AWC), 一般是指土壤在一定深度内能够贮藏并能被植物利用的那部分水的数量, 是土壤的一种固有的特性, 它说明排水良好的土壤对植物的给水能力<sup>[1,2]</sup>。土壤有效含水量被广泛应用于研究区域农业潜力和环境风险、土壤湿度和灌溉制度、农业生态区划以及评价作物生长潜力、陆地植被净初级生产力估算等方面<sup>[2-4]</sup>。土壤有效含水量通常被认为是介于田间持水量(Field Capacity, 简称 FC)与永久萎蔫系数(Permanent wilting point, 简称 PWP)之间的土壤湿度, 即是田间持水量与永久萎蔫系数这两个土壤水分常数的差值<sup>[5]</sup>。对于大区域直接测量田间持水量、永久萎蔫系数很困难, 因此许多学者采用土壤 AWC 与其他容易测定的土壤特征因子间的相互联系, 结合理论半理论或经验方法来估算, 对土壤有效含水量做出定量评价。诸多学者的研究表明, 土壤有效含水量与土壤中的砂粒、粉砂、黏粒含量及土壤有机质含量、土壤容重呈密切相关<sup>[2]</sup>。

国外对估算区域土壤有效含水量的研究较早, 主要方法是考虑土壤的个别或几个特征因子统计回归来进行模拟估算, 这些模型可以分为表格式估算模型和方程式估算模型两种<sup>[2]</sup>。中国对区域土壤有效含水量估算鲜有报道, 仅周文佐等利用相关性分析和多元回归分析方法分析了东北黑土 9 个剖面 33 组土壤物理和水分数据, 结果表明东北黑土的土壤 AWC 主要影响因子有土壤质地和有机质含量, 尤其是土壤质地组成的影响作用较大<sup>[2]</sup>。土壤条件在空间上存在高度变异性, 中国地域辽阔, 南

北差异很大, 南方丘陵地区存在季节性干旱, 通过比较容易测定的土壤参数建立合适的 AWC 估算模型将有助于合理分配和安排灌溉用水、研究南方红壤区域植被蒸散和生产模拟等。本文在江西红壤区采集了 34 个土样, 在实验室按照土壤分析实验标准进行土壤物理和水分参数的测定, 分析各因子的相关性, 对这些因子做主成分分析, 建立 AWC 估算经验回归模型, 为中国南方红壤 AWC 定量评价提供科学依据。

## 1 研究区域概况

研究区分别位于中国科学院千烟洲红壤丘陵农业综合开发实验站(115°03'E, 26°44'N)和中国科学院红壤生态实验站(116°55'E, 28°15'N)。千烟洲试验站属典型的红壤丘陵地貌, 年均气温 17.8℃, 多年平均降水量 1360 mm, 具有典型的亚热带季风气候特征。该区主要的土壤类型有红壤、水稻土、潮土、草甸土、沼泽土等, 成土母质多为红色砂岩、砂砾岩、泥岩及河流冲积物。植被属中亚热带常绿阔叶林带, 但原生植被已破坏殆尽, 现主要为人工林、草、灌丛组成的农林复合生态系统<sup>[6,7]</sup>。

中国科学院红壤生态实验站温热多雨, 年平均温度 17.6℃, 年降雨量 1794.7 mm, 年蒸发量 1318 mm, 4~6 月降水量占全年的 50%, 干湿季节明显。该区主要的土壤类型为红色粉质重壤土和砂质轻质黏土, 黏粒含量在 350~400 g/kg, 持水能力大, 但是孔隙率不到 50%, 土壤板结, 有效含水量不高<sup>[8,9]</sup>。土壤的物理和水分参数在空间上存在差异性, 一个站点的数据具有局限性, 两个实验站所在的位置均属南方红壤丘陵区, 相距数百公里, 将两地的土壤数据在一起分析可以提高结果的可靠性。

## 2 材料与方法

2005 年 10 月在 2 个试验区采集土壤样品 34 个, 土壤类型为红壤, 采样深度 0~60 cm, 这些样品分别采集于裸地、水稻田、林下、果园等。每种土地利用类型各选大约 8 个样区, 建立 30 m × 30 m 小区, 然后用土钻在 0~60 cm 深度随机采 5 个样品(4

收稿日期: 2006-10-08 修订日期: 2007-03-01

基金项目: 国家自然科学基金(40571117); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-338)

作者简介: 李世华(1977-), 男, 博士生, 主要从事全球变化遥感研究。北京 中国科学院遥感应用研究所, 100101。

Email: lsh\_sx@163.com

个角点和中心位置)进行混合作为一个点的土样。所有样品在中国科学院红壤生态实验站实验室由专业实验员参照土壤分析国家标准和行业标准在室内分析其理化性状,主要包括田间持水量(FC,以质量百分比表示)、永久萎蔫系数(PWP,以质量百分比表示)、土壤有机质含量(SOM, g/kg)、土壤容重(BD, g/cm<sup>3</sup>)、土粒密度( $\rho_s$ , g/cm<sup>3</sup>)和土壤质地,土壤质地分为砂粒(sand, > 50  $\mu$ m),粉砂粒(silt, 2~ 50  $\mu$ m)和黏粒(clay, < 2  $\mu$ m)以百分比含量表示。

主成分分析方法是一种以量测数据表征的多因素多变量问题的统计分析方法,是研究相关变量共同关系的技术。根据样品和变量在主成分上的得分或权系数,提供有关数据结构的基本特征,诸如样品或变量的聚类模式、样品间、变量间或两者之间的相互关系及相关程度等。得分相近的样品视为同类,权系数相近的变量视为相关,对主成分贡献大的变量其影响程度也大。主成分分析可以把原来多个指标化为少数几个指标,这些新指标既能尽量多地反映原来较多指标的信息,彼此之间又相互独立。

表1 土壤有效含水量与土壤因子相关矩阵

Table 1 Correlation matrix of soil available water capacity and soil factors

	AWC	SOM	BD	$\rho_s$	Sand	Silt	Clay
AWC	1						
SOM	0.644* *	1					
BD	- 0.820* *	- 0.531*	1				
$\rho_s$	0.285	- 0.004	- 0.198	1			
Sand	0.067	0.011	0.119	0.187	1		
Silt	0.206	0.474*	- 0.055	0.146	- 0.565* *	1	
Clay	- 0.261	- 0.433*	- 0.092	- 0.351*	- 0.681* *	- 0.220	1

注: \* \*  $p < 0.01$ , \*  $p < 0.05$ 。

由表1可以看出,土壤有效含水量与土壤有机质含量极显著正相关;与土壤容重极显著负相关;与土粒密度、土壤粉砂粒相关,但不显著;与黏粒负相关,但不显著。为了进一步了解土壤有效含水量与土壤物理性质之间的关系,对其做主成分分析。

### 3.2 主成分分析

主成分分析虽然可以保证各主成分之间的正交性,但如果不进行旋转变换将很难对主成分命名,因此本研究对初始因子负荷矩阵进行次最大正交旋转变换,使每个变量中需要解释的因子数最少。由表2可以看出,土壤砂粒、黏粒百分含量、土粒密

表2 前3个主成分的负荷量

Table 2 Matrix of factor loadings on three principal components

	主成分		
	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
$\rho_s$	0.513	5.176E- 02	- 0.109
Sand	0.720	- 0.669	9.706E- 02
Silt	0.140	0.981	- 6.674E- 02
Clay	- 0.975	- 8.047E- 02	- 5.550E- 02
BD	3.283E- 02	2.877E- 02	0.973
SOM	0.412	0.417	- 0.672
贡献率/%	33.38	31.04	17.94
累计贡献率/%	33.38	64.42	82.36

主成分分析的主要步骤包括原始数据的提取和处理、计算相关系数矩阵、计算特征值和主成分累积贡献率、计算主成分载荷等。全部统计分析采用 SPSS 统计软件进行<sup>[10-14]</sup>。

### 3 结果与分析

通过田间持水量与永久萎蔫系数的差值得到红壤丘陵区主要土地利用状况下红壤的有效含水量,平均值为 15.9%,说明该区域土壤的保水性较差,贮存和调节植物水分的能力弱,这也是引起南方季节性干旱的主要原因之一。在野外或实验室直接测定田间持水量与永久萎蔫系数比较复杂和困难,因此有必要对红壤有效含水量与其他容易测得的土壤物理、水分因子做统计分析,建立估算模型,为大区域估算土壤有效含水量提供基础。

#### 3.1 相关分析

首先将土壤有效含水量(AWC)、土壤有机质含量(SOM)、土壤容重(BD)、土粒密度( $\rho_s$ )和土壤质地(砂粒 Sand, 粉砂粒 Silt 和黏粒 Clay)的百分含量等数据进行相关性分析(表1)。

度在第一主成分起主要作用,第一主成分对于总方差的贡献率是 33.38%。土壤砂粒、粉砂粒百分含量、有机质对第二主成分贡献显著,第二主成分对于总方差的贡献率是 31.04%。土壤容重、土壤有机质含量决定第三主成分,第三主成分对于总方差的贡献率是 17.94%,三者之和达到 82.36%,即前 3 个主成分能把全部土壤指标提供信息的 82.36% 反映出来。因此,该问题利用主成分分析是科学的、可靠的。

#### 3.3 回归分析

以土壤有效含水量为因变量,第一主成分( $Z_1$ )、第二主成分( $Z_2$ )、第三主成分( $Z_3$ )为自变量,进行线性逐步回归分析,得到线性回归方程为:

$$AWC = 15.892 + 2.759Z_1 + 0.844Z_2 - 0.7581Z_3 \quad (1)$$

式中 AWC——土壤有效含水量;  $Z_1$ ——第一主成分;  $Z_2$ ——第二主成分;  $Z_3$ ——第三主成分。

该回归方程回归系数  $r = 0.873$ ,说明该方程是可靠的,因此,可以用土壤有机质含量、土壤容重、土粒密度和土壤质地(砂粒,粉砂粒和黏粒的百分含量)等数据的第一、第二、第三主成分的得分对土壤有效含水量进行估测。

### 4 结论与讨论

南方红壤丘陵区土壤有效含水量低,土壤蓄水能力弱,贮存

和调节植物水分的能力低,加之该区域降雨量分配不均,蒸发量与降雨量变化不同步,导致季节性干旱,成为南方红壤地区农业可持续发展面临的关键科学问题。通过对江西省 34 个红壤样品物理、水分参数作相关性分析,结果表明:

1) 影响红壤有效含水量主要的因子为土壤有机质含量、土壤容重。土粒密度、土壤质地(砂粒,粉砂粒和黏粒)也与红壤有效含水量有一定的相关性。

2) 对影响红壤有效含水量的影响因子进行主成分分析并建立回归方程,在一定程度上可以进行红壤有效含水量的大面积估算,从而为当地合理安排灌溉用水等作参考。

统计模型是对各影响因子通过数理统计方法所得的函数,不具备明确的理论解释,且可能出现部分参数回归估算的精度偏低,但对于在大区域范围内难直接获得数据来说,该方法简单可行。不同土壤类型间的物理特性间的差异较大,所以研究中得出的红壤有效含水量估算模型对于其他类型就不一定能适用,但这种基于主成分分析方法可以为研究其他地区区域土壤有效含水量估算具有一定的参考意义。

#### [参 考 文 献]

- [1] H. 詹尼(美)著. 土壤资源起源与性状[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 52- 55.
- [2] 周文佐, 刘高焕, 潘剑君. 土壤有效含水量的经验估算研究- 以东北黑土为例[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(4): 88- 95.
- [3] 冯险峰. 基于过程的中国陆地生态系统生产力和蒸散遥感研究[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2004.
- [4] Hazarika M K, Yasuoka Y, Ito A, et al. Estimation of net primary productivity by integrating remote sensing data with an ecosystem model[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 94: 298- 310.
- [5] Soil Survey Staff. Soil Survey Manual[M]. USDA, 1993.
- [6] 李家永, 袁小华. 红壤丘陵区不同土地资源利用方式下有机碳储量的比较研究[J]. 资源科学, 2001, 23(5): 73- 76.
- [7] 张宏志, 邹敬东, 刘琪臻, 等. 红壤丘陵区生态系统恢复土壤理化特征[J]. 江西科学, 2003, 21(3): 193- 200.
- [8] 陈本华. 外来水源对鹰潭站地下水位分布和储水量的影响[J]. 水土保持科技情报, 2005, 3: 29- 30.
- [9] 李忠佩. 低丘红壤有机碳库的密度及变异[J]. 土壤, 2004, 36(3): 292- 297.
- [10] 黄 宁. 关于主成分分析的应用与思考[J]. 数理统计与管理, 1999, 18(5): 44- 52.
- [11] 郭笃发, 王秋兵. 主成分分析法对土壤养分与小麦产量关系的研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 524- 527.
- [12] 吴景社, 康绍忠, 王景雷, 等. 基于主成分分析和模糊聚类方法的全局节水灌溉分区研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 64- 68.
- [13] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析(第2版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 311- 337.
- [14] 赵永华, 何兴元, 胡远满, 等. 岷江上游汶川县耕地变化及驱动力研究[J]. 农业工程学报, 2006, 26(2): 94- 97.

## Red soil available water capacity statistical model based on principal component analysis

Li Shihua<sup>1,2</sup>, Niu Zheng<sup>1</sup>, Lu Peng<sup>1</sup>, Wang Changyao<sup>1</sup>, Feng Xiaoyan<sup>3</sup>

(1. The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Land Resources Information Center of Guangdong Province, Guangzhou 510075, China)

**Abstract:** Seasonal drought is the key scientific problem which faced by agricultural sustainable development in the red soil hilly region of South China. Soil available water capacity is one of the key factors which evaluate the water supply capability of soil to plant. Thirty-four red soil samples were collected in Jiangxi Province. Soil field capacity, permanent wilting point, soil organic matter, soil bulk density, soil grain density, and soil texture(sand, silt and clay) percentage component were measured in the laboratory according to experimental criterion. These soil physical parameters were analyzed with principal component analysis. The statistical model between soil available water capacity and principal components was constructed, and the correlation coefficient is 0.87. Results show that regional red soil available water capacity can be calculated from soil physical. And it is feasible that large areas soil available water capacity can be estimated using principal component analysis and other statistical methods.

**Key words:** red soil; available water capacity; principal component analysis