

# 低丘红壤深层水分的 CASCADE 模型应用与管理

景元书<sup>1</sup>, 张斌<sup>1</sup>, 赵其国<sup>1</sup>, Zepp H.<sup>2</sup>, and Thimm A.<sup>2</sup>

(1 中国科学院土壤研究所, 江苏 南京 210008; 2 德国波鸿大学, 44780 德国)

**摘 要:** 低丘红壤深层水分对建立合理的耕作制度和旱季作物水分调控有重要意义。花生地定位试验实测数据表明: 旱地土壤水分垂直梯度变化趋势基本表现为增长型, 土壤含水量受降雨影响在 40 cm 土层旱季明显大于雨季。采用 CASCADE 模型模拟了不同年型低丘红壤地区花生地土壤含水量的动态过程, 各层次模拟值与实测值的平均绝对偏差 < 4.7%, 模型可用于分析红壤水分的季节性变化规律和采取抗旱措施。还针对水分利用存在的问题, 从工程措施、生物措施和生产措施三方面进行红壤旱地水分资源的有效管理, 提高红壤地区降水资源与深层水分的利用率。

**关键词:** 红壤; 深层水分; 模型; 降雨年型

**中图分类号:** S157. 2; S273. 29

**文献标识码:** A

低丘红壤的综合开发, 对于多样化立体土地利用和当地的生态环境管理, 具有很大的现实意义。江西省鹰潭地区地处武夷山向鄱阳湖平原的过渡地带, 是我国红壤集中分布区之一, 该区自然资源丰富, 是江西省重要的粮油果茶生产基地。但由于降雨时空分布不均, 4~ 6 月多年平均降雨量占全年降雨量的 50%, 而径流系数已接近 50%。这不仅减少了降雨的有效利用率, 且导致季节性干旱频繁发生, 特别是伏秋旱发生率较高<sup>[1]</sup>, 季节性土壤水分湿度差异较大。另一方面, 红壤地区发生干旱时, 深层水分充足而且稳定<sup>[2,3]</sup>, 深层水分的变化规律有待进一步探讨。在土壤一定深度以下, 通过慢中子探测器测到的计数率与土壤水分含量有较好的线性关系, 可用来测定土壤湿度<sup>[4]</sup>。我们将依据不同年型内观测所得数据, 结合同步的作物、气象资料, 分析与模拟典型红壤丘陵区的土壤水分变化规律, 以对采用合理的农业抗旱技术措施、发展节水农业提供参考。

## 1 研究区概况

试验地位于 116°55' E, 28°35' N, 属江西省余江县范围。土壤类型为第四纪红粘土, 海拔在 35~ 60 m 之间, 起伏缓和, 相对高差 15~ 20 m。本区为亚热带湿润气候, 光热资源充足。多年平均降水量 1 794.7 mm, 降水量明显大于蒸发量, 降水量主要集中在 4~ 6 月, 约占全年的 50%。年平均气温 17.7℃, 年日照时间为 1 809.5 h。

试验地开垦前植被为稀疏马尾松林。开垦方式为翻耕 30 cm, 使用新鲜猪粪 67.5 t/hm<sup>2</sup>。观测时为花生耕地。土壤为第四纪红粘土发育的普通红壤。土壤水分用江苏农科院原子能利用研究所研制的 LN W- 50 C 型中子水分测定仪测定。试验小区面积 100 m<sup>2</sup>, 有三个重复。测量深度为 30~ 70 cm 层每 10 cm 作为一个观测层, 90~ 150 cm 层每 20 cm 作为一个观测层。每 5d 测定一次。土壤重量含水量通过中子计数率和标定曲线方程得到。

气象资料为余江县温度、降水等地面气象要素。为分析不同年型下土壤深层水分的规律性, 计算了 1991~ 2002 年间花生生长季(4~ 10 月份)内的降雨量, 生长季内多年平均降雨量为 1 003.4 mm, 选取 1992 年(生长季降雨量 539.5 mm)作为干旱年,

收稿日期(Received date): 2003- 05- 26。

基金项目(Foundation item): 中德合作项目与国家自然科学基金项目资助(编号: 40071044)。[The research was supported by the Cooperative Project Between China and Germany, National Science Foundation of China (No. 40071044)]

作者简介(Biography): 景元书(1969- ), 男(汉), 江苏人, 副教授, 从事低丘地区自然环境、土壤生态研究, 发表论文 16 篇。E-mail: 301soil@sina.com [JING Yuan-shu was born in 1968 and comes from Jiangsu Province. He is an associate professor, devoting to the area of natural environment and soil ecology in low hilly region.]

1995 年( 生长季降雨量 1 559. 5 mm) 作为丰水年, 2001 年( 生长季降雨量 891. 8 mm) 作为平水年。

2 红壤旱地水分动态

试验区降水量与蒸散量有明显的季节变化, 当土壤水分收入大于消耗, 土壤水分含量增加, 反之则减少。图 1 为平水年红壤花生地生长季深层土壤水分动态图。通过分析, 土壤水分动态有以下特征: (1) 从季节变化看, 雨季中各层土壤水分较多, 生长季内土壤含水量在 6 月份 150 cm 土层达到最高值 45. 0%。当 7 月份旱季开始时, 土壤蒸发与花生作物蒸腾量继续增加, 各层土壤水分逐渐减少, 含水量 8 月份在 40 cm 土层为最小 14. 7 %; 雨季中各土层无论最大值、最小值及平均值, 水分含量均大于旱季相应各层; (2) 从层次变化看, 土壤水分垂直梯度变化趋势基本表现为增长型, 即土壤含水量随土壤深度的增加而增加。这主要是降雨入渗分布与土壤水分向上蒸发合作用的结果。每场降雨过后, 不同层次的土壤含水量逐渐上升。随着土壤表面蒸发和作物蒸腾失去水分, 土壤含水量逐渐下降, 依此往复循环。各层含量统计特征见表 1, 可见花生生长季内 40 cm 土层一般在 19. 7% ~ 24. 5% 之间波动, 80 cm

表 1 红壤水分含量( %) 旱季雨季统计比较

Table 1 Comparison of soil moisture statistics of red soil

土层	雨季			旱季		
	Max	Min	平均	Max	Min	平均
40 cm	27. 6	22. 9	24. 5	27. 0	14. 7	19. 7
80 cm	43. 0	36. 4	40. 1	38. 4	35. 5	36. 7
150 cm	45. 0	41. 4	42. 7	40. 1	36. 9	38. 0

土层一般在 36. 7% ~ 40. 1 % 之间波动, 而 150 cm 土层含水量维持在 38. 0% ~ 42. 7%; 土壤含水量受降雨、蒸发影响使极差( 最大与最小值差) 在 150 cm 土层变化最小, 在 40 cm 土层旱季明显大于雨季。

3 水分动态模拟

3.1 CASCADE 模型介绍

CASCADE 软件是一个一维土壤水分条件分析与模拟、水平平衡计算的水分管理程序, 它同时考虑 Haude 方法、Peman 方法、Peman-Monteith 方法及 Thom & Oliver 方法计算潜在蒸散, 提供用户灵活地选择叶面积指数、植物高度等子菜单, 用线性和非线性叠加方式来近似简化不饱和条件下描述水分运动的 Darcy' s 方程<sup>[5,6]</sup>。这个模型只需田间测量的数据及有关的参考文献资料, 即能够较好地模拟不同土壤深度下的水分含量。本文中我们尝试用 Haude 方法进行所测土壤水分含量的模拟。Haude 公式表达蒸散量 E 如下

$$E = f ( E - e ) a$$

式中  $f$  为每月变化的经验系数( 见表 3),  $E$  为最大水气压( mbar),  $e$  为实际水气压( mbar),  $a$  为单位转换系数( 0. 75)。

3.2 模型参数

根据文献[ 3] 及田间花生地生长季的实际情况, 确定土壤水分运移参数( 见表 2)、花生叶面积指数 LAI 与生长高度  $H$  ( cm) 动态( 见表 3)。

表 2 土壤水分运移参数

Table 2 Parameters of soil moisture movement

土壤层次	深度 cm	导水率 cm/ d	PF0 %	PF1 %	PF2 %	PF3 %
A	40	276	43. 5	36. 0	24. 0	11. 0
B	80	252	42. 5	36. 2	24. 5	11. 3
C	150	230	41. 5	36. 0	25. 0	12. 0

注: PF0、PF1、PF2、PF3 分别指 PF 数值为 0、1、8、3 0、4、2 时的含水量

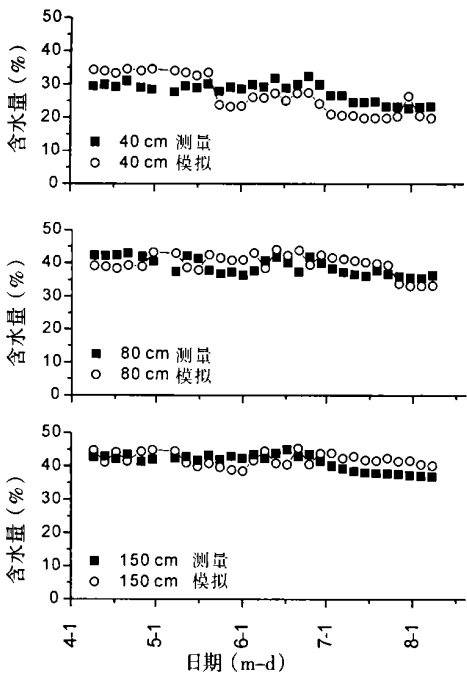


图 1 花生生长季土壤水分动态及模拟比较  
Fig. 1 Dynamics and modeling comparison of soil moisture during peanut growing period

表 3 Haude 公式每月订正系数  $f$  及花生生长参数

Table 3 Coefficient of monthly $f$ for Haude formula and parameters of grass growth					
	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月
$f$	0.39	0.39	0.37	0.36	0.33
$LAI$	0.8	3.0	3.2	2.9	2.8
$H$	1.7	14.2	28.5	31.0	30.5

3.3 模型结果

采用 Haude 方法, 模拟计算了不同年型试验区花生地红壤分层土壤含水量的变化过程。无论在干旱枯水年、丰水年(见图 2), 还是平水年(见图 1), 结果基本显示了该地区土壤水分季节性的变化趋势。由于平水年试验地点不同于干旱年、丰水年, 局地地形及种植范围发生改变, 土壤各层次观测数值出现高于丰水年, 但对模型验证并无影响。

模型结果说明, 花生地红壤 40~150 cm 土层含水量模拟值与实测值基本吻合, 并以 150 cm 土层拟合最好。在模拟的三个层次中, 平均绝对偏差 < 4.7%, 相关系数在 0.84~0.93 之间。由此可见, 由 Haude 方法建立的 CASCADE 模型可用于分析丘陵区红壤水分不同层次的季节性运移规律和决定田间灌溉需要。

4 红壤水分资源的管理

如前言中所提, 低丘红壤所在的鹰潭地区水分资源利用中的主要问题是, 最大降雨量时期(4~6 月)超前于最大潜在蒸发量时期(7~9 月)、降雨量年际间变化大等原因而造成伏秋干旱。如何促进土壤-植物-大气间的水分交换, 是开发利用该区土壤水分资源的重要问题。为有效地提高农业生产, 根据农业生态工程的原理, 可从工程措施、生物措施和生产

措施三方面进行红壤坡地水分资源的管理。

4.1 工程措施

加强农田水利基础设施建设, 提高雨水的积蓄和调配能力, 是减轻季节性干旱危害的最有效与最根本措施<sup>[7]</sup>。如采用坡地沟坑相连的水利措施, 或在低丘坡地修建水平梯田, 提

高土壤的蓄水保水能力。同时建立大、中、小型水库, 平原谷地保留较多的池塘, 汇集地表径流, 使大、中、小河流保持一定的水位。当土壤季节性水分亏缺时, 及时放水或抽水灌溉。这不仅解决红壤旱坡地作物在关键时期的需要, 也对秋季水田后季稻的需水起到保证作用。还可根据土质和作物种类, 选用合适的节水灌溉技术, 提高农业生产效率。

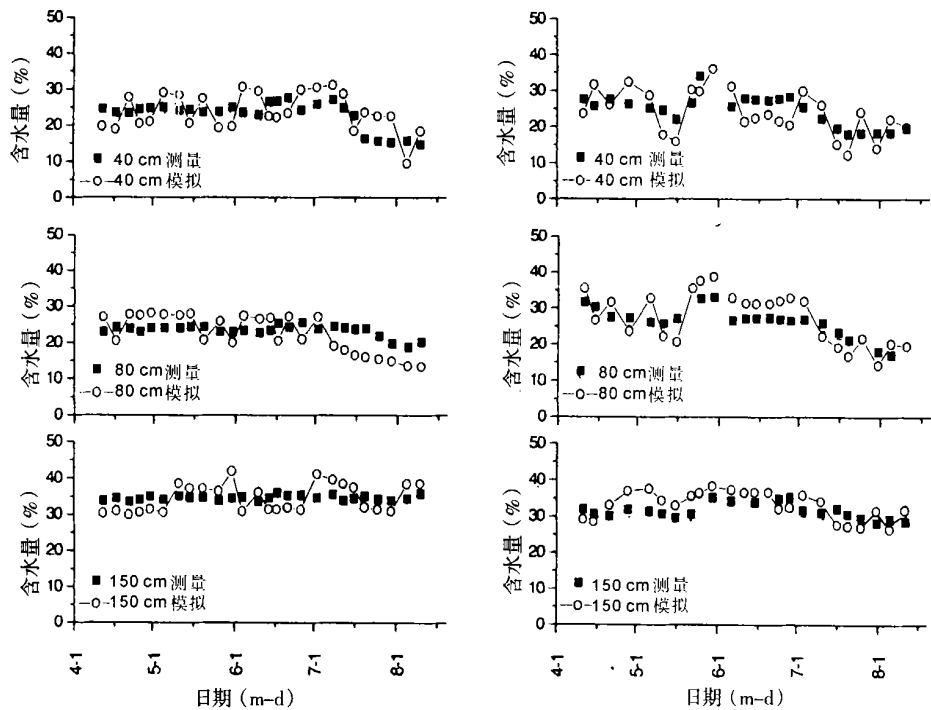


图 2 干旱年(左)与丰水年(右)花生生长季土壤水分动态模拟

## 4.2 生物措施

实行红壤优化合理的农林草复合经营, 不断扩大人造林的面积, 也是减少低丘地区水土流失和调节水分的有效措施。一般伏秋干旱主要出现在土壤表层。实行农林草复合经营, 有利于红壤深层水分的利用。如桔树根系可伸入 80~90 cm 土层, 从 1 m 土体中吸取的水量(以田间持水量为 100)由一年生作物的 28.0% 提高到间作的 36.3%, 能多利用有效水 33.7 mm 相当于  $337 \text{ cm}^3/\text{hm}^2$ 。复合树林蒸散主要吸收深层水分, 与利用土壤表层水分的旱作物竞争较小, 时间空间配置合理可提高红壤地区水分资源利用率。这是开发当地小流域生态系统, 实现立体大农业布局的重要组成部分。采用合适的土地利用结构及何种土地利用类型, 才能实现开发利用与治理保护的统一, 是当地红壤水分资源管理和生产潜力进一步发挥所面临的问题与研究方向。

## 4.3 生产措施

主要通过覆盖保墒和耕作保墒等方法来实现。在地表覆盖地膜、稻草、秸秆或草肥等材料可以抑制水分蒸发, 减少地表径流。另外, 还有利于提高地温, 降低雨滴对土壤表面的直接冲力, 防止板结, 改善土壤物理性状, 提高作物产量。耕作保墒或吸水剂保墒, 分别通过“阻碍毛管水在土壤表层的上升”与“吸收相当于高分子材料自身重量数百倍的水分”的途径来提高土壤保墒能力, 减少作物蒸腾损失。旱季降雨后或灌溉后浅层锄地 2~3 cm, 一般能使 1 m 土体内减少 18.5~25.0 cm 的土壤水分损失。

## 5 结语

1. 低丘地区定位试验实测数据表明, 红壤花生地土壤水分垂直梯度变化趋势基本表现为增长型, 土壤含水量受降雨和蒸散影响, 影响程度在 40 cm 土层旱季明显大于雨季。

2. 采用 CASCADE 模型计算了低丘红壤花生地土壤含水量的变化过程, 模拟值与实测值的平均

绝对偏差小于 4.7%, 模型可用于分析计算丘陵区红壤水分不同层次的水分运动变化规律和决定田间灌溉需要。

3. 从工程措施、生物措施和生产措施三方面进行红壤旱地水分资源的有效管理, 促进土壤-植物-大气系统间的水分交换, 是提高红壤地区降水资源与深层水分的利用率的有效途径。

## 参考文献(References):

- [1] Zhang Bin and Zhang Taolin. Study on soil moisture and runoff and soil erosion in different farming system on gentle slope upland of red soil. In: Wang Mingzhu, Zhang Taolin and He Yuanqiu, Research on red soil ecosystem, Beijing: Agriculture science and technology press, 1995. 121~129 [张斌, 张桃林. 不同耕作制度下红壤缓坡地水土流失及土壤水分研究[A]. 见: 王明珠, 张桃林, 何圆球编. 红壤生态系统研究[C]. 北京: 农业科技出版社, 1995, 121~129]
- [2] Wang Ming-zhu, Yao Xian-liang and Zhang Jia-bao. Study on the reason and characteristic of Summer and Autumn drought in low hilly area of red soil. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(3): 250~255 [王明珠, 姚贤良, 张佳宝. 低丘红壤区伏秋旱的成因及特征研究. 自然资源学报[J], 1997, 12(3): 250~255]
- [3] Zhao Qi-guo. Materials cycling and countermeasure of red soil. Beijing: Science Press, 2002, 219~220. [赵其国. 红壤物质循环及其调控[M]. 北京: 科学出版社, 2002, 219~220]
- [4] Jian Wei-ming, Zhou You-fen, Du Xiao-lin. Study on the measuring precision of neutron gauge in soil surface *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*. 1997, 20(1): 80~84 [简慰民, 周有芬, 杜筱玲. 改善土壤浅层中子测湿精度的研究[J]. 南京气象学院学报, 1997, 20(1): 80~84]
- [5] Achim H. and Zepp H., Simulation of vertical soil water dynamics using linear and non-linear cascade. *Deutsche Gewasserkundliche Mitteilungen*, 1992, 36(3): 108~114.
- [6] Feddes, R. A., P. Kabat, P. J. T. van Bakel et al. Modelling soil water dynamics in the unsaturated zone. *Journal of hydrology*, 1988(100): 69~111
- [7] Xie xiaoli, Wang Kairong, Zhou Weijun. Water resources regime and management in the slope land of hilly area of red soil. *Journal of Mountain Science*. 2000, 18(4): 336~340 [谢小立, 王凯荣, 周卫军. 红壤丘岗坡地水资源状况与管理[J]. 山地学报, 2000, 18(4): 336~340]

# Application of CASCADE Model and Management of Deep Subsoil Water in Red Soil in Low Hilly Areas

JING Yuan-shu , ZHANG Bin , ZHAO Qi-guo , Zepp H. , and Thimm A.

( 1. *Institute of soil science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008;*

2. *Bochum University, 44780 Germany* )

**Abstract:** Deep subsoil water in red soil is important to establishing reasonable tillage and managing crop in dry season in low hilly areas. The data from fixed location showed that the soil moisture at upland fields rises with the depth increased in vertical direction, and was significantly affected by rainfall at 40 cm in dry season more than rainy season. Based on the model CASCADE, the deep subsoil water in different levels was simulated in the peanut field in low hilly area. The comparison of simulated and measured values showed that the absolute error is less than 4.7% on the average. The model could be used to know the seasonal variation of soil moisture and could provide the prediction of seasonal droughts. The paper suggested constructing the irrigation works, using biological methods and agriculture technical measures for promoting the rainfall and deep subsoil water use efficiency. The other methods are also mentioned, such as the combination of ecological and water-saving irrigation technology, and the complex management of cropping-forestry-herbage.

**Key word:** Red soil; model; subsoil water; different rainfall year