低丘红壤坡耕地的水分状况变化及其调控

高国治 景元书 张 斌 王明珠 2

(1 江苏省农业科学院原子能研究所 南京 210014; 2 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 红壤坡耕地水分状况随年降水周期、利用类型和坡位高低而变化。0~150 cm 土壤贮水量大致分为盈余期、消耗期和恢复期3个阶段。土壤水势变化与贮水量3阶段相对应,总体由大变小再回升,只是土壤剖面从上而下,水势值增大,变幅减小,100 cm 土层以下近乎常年稳定;在不同利用方式之间,土壤水势也有较大时空差异,花生地年际变化大,坡位上下差异小;板粟园恰好相反。在4个水势段出现频率中,水势高的水势段出现频率越高,顺序为饱和>湿润>亏缺>干旱;且饱和、湿润段出现频率比例总体上是板栗园>花生地,底土>心土>表土,坡下>坡上、坡中;低水势干旱段主要出现在坡上、土壤上层和伏秋干旱季节,出现频率比例依然是板粟园>花生地,尤其是中、下坡40~85 cm 心土层。由此,红壤坡耕地水分状况应因地制宜从工程、生物和农艺3方面予以调控。

关键词 红壤;坡耕地;水分状况;变化;调控中图分类号 S152.7

低丘红壤广布于赣、湘、浙等省的江南丘陵区,总面积 27.2 万 km²,约占我国红壤面积的 28 %。由于受东南季风之惠,降水丰沛,干燥指数<1,只是时空分布不均,水热不完全同季。7~9 月月均温29~30°C,降水不足全年的 20 %,蒸发量却是同期降水的 1.6 倍,伏秋旱发生频率 2.3 年 1 次^[1],加之红壤有效水少、供水力弱,作物、果树生长旺季需水矛盾突出。为此,研究红壤坡耕地的水分动态变化,在其调控水资源、抗旱防旱对策中有重要意义。

1 试区概况

试区地处武夷山区向鄱阳湖平原过渡的地段,低丘岗地地形,海拔 37~56 m,坡度 3°~8°,面积 46 hm²,为一完整的小流域。气候温暖湿润,年均温 17.7℃,年降水量 1794.7 mm,年蒸发量 1229.1 mm。土壤多为红砂岩或红黏土发育的普通红壤(系统分类属湿润富铁土)。自然植被为马尾松疏林草地。1956 年垦为茶园,1982 年弃茶种花生、板栗和柑桔。其中 2/3 为花生坡耕地,顺坡垄作,垄沟径流大、水土流失重;果园郁闭度 90 %,地表无翻动,径流与其水土流失量均较小。

2 监测设施及方法

在小流域代表性花生地段,选择上坡、下坡建

造 20 m×5 m (100 m²) 的试验小区;在板粟园上、中、下坡段设置监测点。小区与点内埋设深度为 10、20、40、60、85 与 150 cm 的负压计和测量深度为 20、40、60、85、150 与 200 cm 的中子管。花生小区由水泥板围成。水泥板高出地面 30 cm,以阻挡小区外径流流入。小区下端连接装有磁感应计数器的翻斗径流仪,自动记录小区径流汇集于翻斗所产生的翻动次数。小区旁安装 20 cm 直径的雨量计。

负压计用于测量土壤水势,部分装有压力传感器,与数据采集器连接,每10 min 自动记录1次。在自记不能正常工作时,隔天用手记作为替代数据;土壤水势由其水分特征曲线转化为土壤含水量;土壤含水量用 LNW-50C 中子仪测定,每5 天监测1次,在花生播前与花生收获前各加测1次。中子仪数值由标定曲线转化为土壤体积含水量。田间持水量和凋萎含水量是通过测定田间土样的水分特征曲线获得;小区径流量是通过翻斗径流仪标定的翻斗水量,乘以每次产生径流的翻斗读数差值所得。

3 结果分析

2001 ~ 2003 年水分监测数据整理后,通过 Surfer 6.0 中 Kriging 网格法,得出坡耕地花生与板 栗园土壤的贮水量、水势动态、水分状况频率分布, 综合分析其水分状况的变化特征。

3.1 坡耕地贮水量动态

坡耕地贮水量与坡位、利用类型、降水年际、季节变化密切相关。监测期年雨量为:2001年1614.5 mm; 2002年1697.8 mm; 2003年1531.3 mm, 低于多年平均值,属2个平水年,1个干旱年。雨季

降水占全年比例分别为 52.1 %、47.6 % 与 67.9 %, >50 mm 降水量分别为 7 次、2 次与 8 次。旱季 2003 年比 2001、2002 年长 1 个月左右。但贮水量的年周 期动态变化相似,可分为水分盈余期、水分消耗期、水分补充期 3 个阶段^[2](图 1、2)。

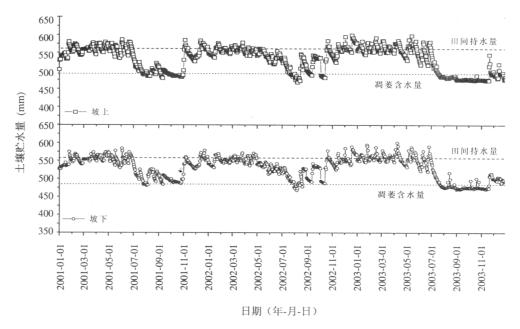


图 1 花生地 0~150 cm 土壤贮水量动态(负压计超出范围时用中子仪测量值,下同) Fig. 1 Soil water storage in the 150 cm profile of peanut field

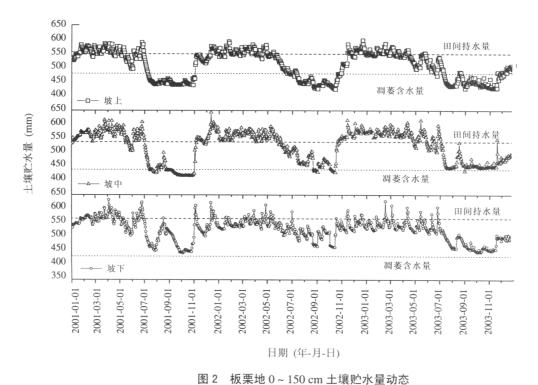


Fig. 2 Soil water storage in the 150 cm profile of chestnut field

3.1.1 水分盈余期 3~6月为降水频而多的雨季,前期温度上升又慢,花生处于播种出苗期,板栗处于展叶期,蒸散较少。土壤水不断得到补充而盈余。不论坡上、坡中还是坡下,土壤贮水均超过田间持水量(542~568 mm)而产生地表径流。土壤贮水量变幅板栗园>花生地;田间持水量减去凋萎含水量的有效贮水量坡下>坡中>坡上。

3.1.2 水分消耗期 7~10 月为高温少雨的旱季(2003 年延至11 月中旬),由于降水补给少、蒸散作用强,耗水快而多,期末常为全年贮水量最低点。只是不同利用方式表现出明显的时空差异。花生地年际差异大,2002 年干旱不明显,贮水量多在凋萎含水量线之上;2003 年遭百年一遇干旱,上、下坡均处凋萎含水量以下;2001 年介于两者之间,上坡徘徊于凋萎含水量线。板粟园与花生地相反,贮水量年际差异小,多>450 mm,但坡位上下差值大,2001~2003 年间坡下均大于凋萎含水量,坡上大部小于凋萎含水量,坡中介于两者之间。有效贮水量差异明显,为坡下>坡中>坡上。

3.1.3 水分恢复期 一般是 11 月初至翌年 2 月底。这期间气温低,花生地裸露,板栗落叶,田间蒸发耗水少。土壤贮水量随降水补充而回升,后期降水渐增,逐步恢复到旱季初期的水平。并在不同

坡位和花生、板粟园之间, 贮水量差异也逐渐缩小, 变幅不大。

3.2 坡耕地土壤水势动态

坡耕地土壤水势与其贮水量一样,受到相关诸因素的影响。尤其是季节性干旱对花生地水势影响明显。几乎从旱季一开始,整个剖面水势就从上而下降低。图 3 可见,花生地耕层(0~15 cm)土壤水势变化普遍仅滞后雨季终结 3~5 天。年际间干旱发生的早晚、轻重,直接关系到当年花生是否受干旱胁迫。2003 年干旱来得早,7 月初土壤水势就达-50 kPa,伏旱比2001、2002 年分别早7 天和3天,长35 天与28 天,花生相应减产6.5%和2.4%。其下的心底土,水势相对上层降速慢而小,100 cm以下土层近乎常年稳定,150 cm多出现最大值;不同坡位间的水势差异也较小,仅重旱的2003 年心底土层水势差异较大。

板栗园土壤水势变化与花生地相反(图 4)。图 4 可见,由于板粟树自身调蓄,年际间变化小而年内季节变化和坡位上下差异较大。在雨季,>-3 kPa 近饱和水势段比坡下有更多的范围,说明雨季坡上(坡中)深层能贮存更多的水分;旱季坡上、坡中<-50 kPa 的范围比坡下更大,又说明旱季中、上坡要耗损更多的水分。

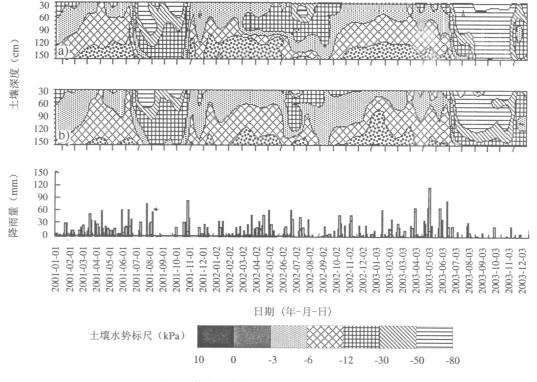


图 3 花生地水势动态图 (a-坡上, b-坡下)

Fig. 3 Dynamics of soil water potential in peanut field

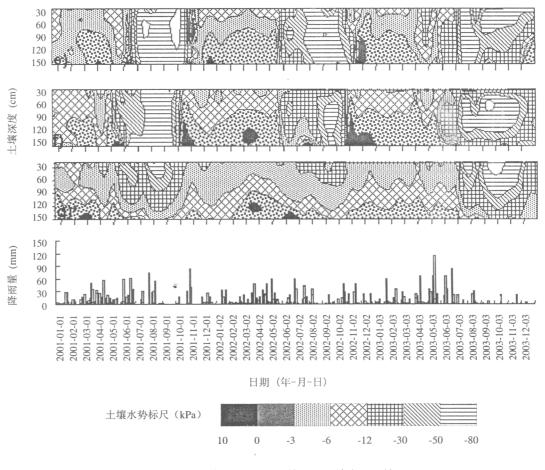


图 4 板栗地水势动态图 (e-坡上, f-坡中, g-坡下)

Fig. 4 Dynamics of soil water potential in chestnut field

3.3 坡耕地水分状况频率分布

根据土壤水势划分的土壤水分状况是: >-3 kPa, 饱和状态; -3~-6 kPa, 近饱和; -6~-12 kPa, 湿润: -12~-32 kPa 中等湿润: -32~-50 kPa, 水分 亏缺; -50~-80 kPa 中等水分亏缺; <-80 kPa 为干 润(-6~-32 kPa)、亏缺(-32~-80 kPa)和干旱(< -80 kPa) 4个水势段,统计其出现频率,则发现与 该区气候湿润相对应,越是高水势段出现频率越高, 顺序为饱和>湿润>亏缺>干旱。且高水势段比例 总体上是板栗园>花生地,底土>心土>表土(耕 层 $0 \sim 20$ cm), 坡下>坡上、坡中, 在坡下 150 cm 深处,无论花生地、板粟园均无干旱段出现。而低 水势的干旱段主要出现在坡上、上层土和伏秋干旱 季节。其出现频率总体上依然是板粟园>花生地, 尤其是中、下坡 40~85 cm 心土层,可能是旱期板 粟根系强烈吸水、蒸散之故。

红壤 -3~-32 kPa 吸力段为有效水释放量大、

易利用的高水势段^[4]。从图 5 可见: 板粟园和花生地的易释放有效水频率分布在土层 60 cm 以上无明显差异,土层 85 cm 以下是花生地>板栗地,说明花生根浅,难利用深层水; 板粟主根深,深层吸水减少了有效水中高水势的出现频率,尤其在 1m 左右深处。

4 调控对策

根据上述旱坡地贮水量、水势的时空变化及其板栗园、花生地之间的差异,对策要因地制宜,特别是花生地水分盈余期产生的水土流失和消耗期早旱对结荚饱果期花生的胁迫应采取工程、生物和农艺等多种措施予以调控^[5,6]。

4.1 工程措施

据小区监测, $2001 \sim 2003$ 年花生地年径流量 111.2 mm,水土流失量上坡为 4.09 t/hm^2 ,下坡 1.13 t/hm^2 ,且集中发生于 4 月中旬至 6 月中旬的花生起垄播种和中耕阶段。由此,深耕(18 cm)提高土壤

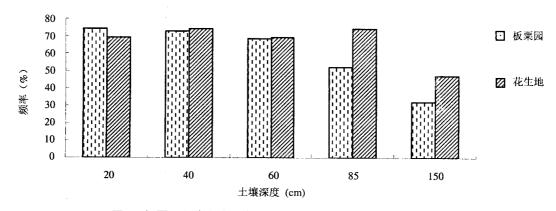


图 5 板粟园和花生地土壤水势(-3~-32 kPa)频率分布比较

Fig. 5 Comparison between chestnut garden and peanut field in frequency distribution of soil water potential

蓄水饱和能力、改顺坡为横坡起垄耕作、缩短汇水坡面长、开等高截流沟(种草)是减轻水土流失的有效办法。有条件坡改梯,建山塘水库更是拦蓄地表径流的根本措施^[7]。

4.2 生物措施

比较旱坡地不同利用方式的贮水量、水势时空变化,板栗自控调蓄水能力明显大于花生。因此,退耕还林或农林复合,扩大林、果比例,是保持水土和抗御干旱的有效措施。据监测,板栗 80~100 cm 吸力最大值达 -100 kPa,吸力差 20~25 kPa/10 cm。而农林复合可吸收不同土层水分,提高有效水利用率 1.3 倍^[8]。

4.3 农艺措施

主要通过覆盖、耕作等方法实现。2003年7月初发生干旱,花生垄沟覆盖稻草抑制水分蒸发,减少地表径流,增产33.8%~56.9%。旱季降雨后或灌溉后浅锄2~3 cm,能使1m 土体减少18.5~25.0 mm 的土壤水分损失。

5 小结

(1) 红壤坡耕地土壤贮水量、水势与水分状况 频率分布与坡位、利用类型、年降水周期变化相关: 0~150 cm 土壤贮水量大致可分为水分盈余期、水 分消耗期和水分补充期 3 个阶段; 土壤水势变化与 贮水量 3 阶段相对应,总体由大变小再回升,只是 土壤剖面从上而下,水势值增大,变幅缩小,100 cm 土层下近乎常年稳定;在不同利用方式之间,土壤 水势也有较大时空差异,花生地年际变化大,坡位 上下差异小; 板栗园恰好相反。在 4 个水势段出现频率中, 水势段高的出现频率越高, 顺序为饱和>湿润>亏缺>干旱。且饱和、湿润段出现频率比例总体上板栗园>花生地, 底土>心土>表土, 坡下>坡上、坡中; 低水势干旱段主要出现在坡上、土体上层和伏秋干旱季节。其出现频率比例依然是板粟园>花生地, 尤其是中、下坡 40~85 cm 心土层。

(2) 红壤坡耕地水分状况应因地制宜从工程、 生物和农艺 3 方面措施予以调控。

参考文献

- 1 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, 1997, 12 (3): 250~255
- 2 赵其国等. 红壤物质循环及其调控. 北京: 科学出版社,2002, 198~200
- 3 Zepp HA. Quantitative and geoecologically-based classifycation of soil moisture regimes ntral Europe. Erdkunde $1991, 45: 1 \sim 8$
- 4 姚贤良. 华中丘陵红壤的水分问题. 土壤学报, 1998, 35 (1): 1~9
- 5 张斌,张桃林.南方东部丘陵区季节性干旱成因及其对 策研究.生态学报,1995,15(4):413~419
- 6 李成亮,何园球,熊又升,杨芳.四种不同母质发育的 红壤水分状况研究.土壤,2004,36(3):310~317
- 7 谢小立, 王凯荣, 周卫军. 红壤丘岗坡地水资源状况与管理. 山地学报, 2000, 18 (4): 336~340
- 8 于东升, 史学正. 红壤区不同生态模式的"土壤水库"特征及其防洪减灾效能. 土壤学报, 2003, 40 (5): 656~664

WATER REGIME OF DRYLAND ON SLOPE OF RED SOIL LOW HILL AND ITS MANAGEMENT

GAO Guo-zhi¹ JING Yuan-shu² ZHANG Bin² WANG Ming-zhu²

(1 Institute of Application of Atomic Energy Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210014; 2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract Water regime in the $0 \sim 150$ cm soil profile of farmland on slopes of red soil low hills changes along with cycle of precipitation of the year, type of landuse and position on the slope, forming into three stages, i.e. surplus period, depletion period and recovery period. The change in soil water potential coincides with that in soil water storage, showing the curve of a valley. Within the soil profile, soil water potential increases with depth, but decreases in variation amplitude. It remains almost unchanged throughout the year in the soil layer below 100 cm. Difference in landuse leads to sharp temporal and spatial difference in soil water potential. In peanut field, it varies greatly from year to year, but not much with position on the slope, while in chestnut garden it goes just the other way round. Of the four phases of soil water potential, i.e. saturation, wetness, deficiency and dryness, saturation is the highest in occurring frequency and they are often in the order of saturation > wetness > deficiency > dryness. On the whole, decreasing orders, like chestnut garden > peanut field, bottom soil > subsoil > surface soil, down-slope > upper slope and mid-slope, are observed in occurring frequency of the phases of saturation and wetness. The phase of dryness appears mainly in the upper slope, surface layer, summer and fall, but still shows a decreasing order of chestnut garden > peanut field, especially in subsoil, $(40 \sim 85 \text{ cm deep})$ in the profile in the mid- and lower-slopes. Therefore, site-specific measures from the engineering, biological and agronomic aspects should be taken to manage soil moisture regime of the farmland on slopes of red soil hills.

Key word Red soil, Slope farmland, Soil water regime, Change, Management