

文章编号: 1008-2786(2000)04-0336-05

# 红壤丘岗缓坡地水资源状况与管理

谢小立, 王凯荣, 周卫军

(中国科学院 长沙农业现代化研究所桃源农业生态实验站, 湖南 长沙 410125)

**摘 要:** 红壤丘岗缓坡地是我国重要的后备耕地资源。就整个区域而言, 降雨总量能基本满足坡地农业开发的需求。然而, 由于红壤区降雨的时空分配不均, 土壤结构性差、保水能力弱, 季节性干旱缺水将阻碍坡地农业的开发利用。以蓄水引水工程建设为基础, 生态节水技术与科学的农艺栽培措施相结合, 改善土壤结构, 增强土壤持蓄水能力, 实施农林草复合经营, 提高坡地径流水的积蓄循环再利用率, 是降低红壤丘岗区季节性干旱危害, 促进坡地农业健康稳步发展的必要前提。

**关键词:** 红壤; 缓坡地; 水资源; 管理

**中图分类号:** S157.2; S273.29

**文献标识码:** A

丘岗缓坡地是指在平原与丘陵的交错带, 海拔 $<200\text{ m}$ , 相对高差 $10\text{ m}\sim 30\text{ m}$ , 坡度 $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 的低丘岗地, 我国红壤丘岗区现有非农用缓坡地面积 $21\ 000\text{万 hm}^{2[1], 1), 2)}$ 。随着区域人口密度不断增加, 食物消费需求压力增大, 红壤丘岗缓坡地的农业开发势在必行。虽然我国亚热带地区降雨总量丰沛, 但由于降雨的时空变化大, 雨量分配不均, 加之土壤持蓄水能力弱等特点, 水资源的合理调蓄与水土协调问题是红壤丘岗缓坡地开发利用时必须认真考虑的问题<sup>[2, 3]</sup>。作者依托中国科学院 CERN 计划, 自 1988 年开始, 就红壤丘岗区水资源状况与坡地农业水分利用问题进行了定位监测和试验研究, 试图探明红壤丘岗缓坡地水资源的农业利用潜力及其管理方略。

## 1 研究内容与方法

### 1.1 区域调查和定位监测

跟踪调查长江中游红壤丘岗农业区(1988~1997 年)水资源特征, 缓坡地土壤水分含量变化动态及其利用状况<sup>[4]</sup>。定位监测区设在中国科学院桃源农业生态试验站综合观测试验场。试验场位于武陵山区向洞庭湖平原过渡的丘岗地带( $111^{\circ}30'\text{ E}$ ,  $28^{\circ}55'\text{ N}$ ), 海拔 $92.2\text{ m}\sim 125.3\text{ m}$ , 土壤类型以第四纪红土发育的红壤为主, 是一个完整的自然集雨区, 具有典型的丘岗区地貌。该场有土地 $11.8\text{ hm}^2$ , 其中水田 $1.2\text{ hm}^2$ , 旱地 $3.9\text{ hm}^2$ , 坡地 $6.06\text{ hm}^2$ , 水面 $0.75\text{ hm}^2$ ; 其他用地 $0.97\text{ hm}^2$ 。1988 年以来, 我们采用测流堰和中子水分探测仪分别对定位区的水分径流和土壤水分变化动态进行了系统监测, 结合当地气象局观测获得的气温、日照、降水、地面蒸发等气象数据, 分析了红壤丘岗缓坡地的水资源态势和水量平衡状况。

### 1.2 试验研究

为研究坡地不同利用情况下的水文变化特征, 1995 年在综合观测试验场南坡( $8^{\circ}\sim 11^{\circ}$ )建成面积为 $1\text{ hm}^2$ 的径流观测场。径流场内设 4 个不同的土地利用处理区, 每个处理区的投影面积为 $1\ 000\text{ m}^2$ ( $20\text{ m}\times 50\text{ m}$ ), 处理内容见表 1。各处理区设有独立的径流测量系统, 测定区内地表水径流和泥沙、有机

收稿日期: 1999-05-16; 改回日期: 1999-07-20。

基金项目: 中国科学院“九五”重大项目(KZ951-A1-301)和特别支持项目(KZ95-04-01)。

作者简介: 谢小立(1958-), 男(汉族), 湖南长沙人, 副研究员。学科: 农田生态学 主攻区域农业水资源管理, 发表论文 40 余篇。

1) 全国农业资源区划办公室. 亚热带东部五省坡地资源调查与开发利用研究综合报告, 1993, 12。

2) 湖南省国土管理局. 湖南省待开发土地资源调查数据集, 1991, 12。

物流失量。同时采用时域反射测试仪(TDR)测量各区土壤 0 cm ~ 20 cm、20 cm ~ 40 cm、40 cm ~ 60 cm 和 60 cm 以下各层土壤水分含量的周年变化。用中子仪(国产 I H-3 型)、张力计(U 型水银张力计)测量土壤水势,用压力膜法测定土表下 20 cm 和 80 cm 处原状土土壤物理参数。降雨和蒸发量参数来源于试验场内的自动气象与小气候观测系统。根据水电部《水利水电工程水利动能设计规范》标准(1977),计算水资源利用潜力。

表 1 坡地不同利用模式水行动态长期定位试验设计

Table 1 Experimental design of the long-term locating study on soil water dynamics of hilly-sloppy lands under different use models

编 号	处理区 <sup>1)</sup>	处理内容设计
1	恢复区	在试验开始前清除地表植被, 之后停止干预, 植被自然恢复
2	退化区	于每年 5 月和 11 月将地表植被砍光并移出试验区
3	农作区	梯土不撩壕, 每年栽种 2 茬旱作物, 灌溉施肥
4	茶园区	梯土撩壕, 条植茶树, 灌溉施肥

1)红壤丘岗区地形地貌植被群落复杂, 坡地利用方式多样, 试验处理间互为参照, 1 号处理区为主参照区

2 研究结果与讨论

2.1 水资源态势

降雨、蒸发和地表径流 红壤丘岗区农业水资源几乎完全依靠 天然降雨。据统计,天然降雨的大部分(约 60%)通过蒸散进入大气水分循环, 30 % ~ 40 %形成地表径流、坡面侧渗、渗漏或被土壤持蓄, 植物对雨水的直接利用率不到 10 %。作者对我国红壤丘岗区近 10 年降雨、蒸发和地面径流(含坡面侧渗)数据进行了系统的整理分析, 结果见图 1。不难看出, 我国红壤丘岗区的降雨是较丰沛的, 降雨量变化与温光和农作物生长季节基本同步, 而且雨量较集中, 地表径流量大, 有利于工程截蓄。同时, 由于降水的时空分布不均, 不利于土壤持蓄。加之强蒸发与作物高耗水同期, 易发生季节性干旱。而且, 降水量年际变异大(CV= 41. 2), 而蒸发量年际变异水(CV= 3. 2), 更提高了干旱发生的频率与强度, 增大了旱灾对作物生产危害影响。因此, 在进行丘岗农业开发中, 对区域水资源的这种时空上分配严重不均、多雨湿害伴生、干旱高耗水矛盾的特点, 应有清楚的认识并给予高度关注。

土壤水分特性和动态 据对红壤丘岗缓坡地土壤表层(地表下 20 cm)和底层(地表下 80 cm)水分含量进行定位测定结果(图 2), 在土壤吸力为 30 KPa 时, 表层土壤含水量为 0. 397 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, 底层土壤含水量为

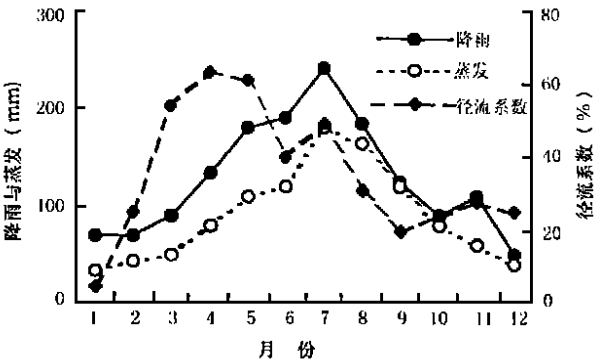


图 1 红壤丘岗区(1988~1997 年)降雨、蒸发和径流系数年变化趋势

Fig. 1 Annual variation of precipitation, evaporation and runoff index in red soil-hilly-sloppy lands(1988~1997)

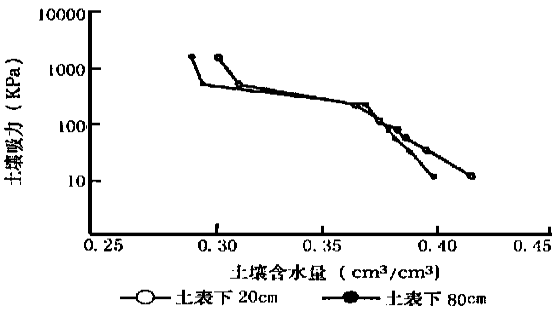


图 2 地表以下 20cm 与 80cm 的水分特征曲线

Fig. 2 The specific curve of soil moisture in red soil layers of 20cm and 80cm depth

0.389 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>;在土壤吸力为 1.5 MPa 时,表层和底层的含水量分别为 0.307 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> 和 0.296 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>。如果以土壤吸力 30 KPa~1.5 MPa 间的土壤持水量为有效含水量,则红壤丘岗坡地土壤的有效含水量不足 10%,反映了红壤有效贮水量少的特点<sup>[2,5,9]</sup>。

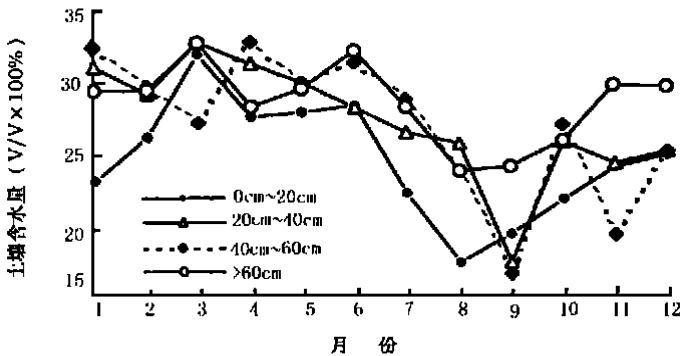


图 3 红壤丘岗坡地不同深度土壤含水量年变化(1995~1998 年)  
Fig. 3 Annual variation of soil water content in different layers of red soil hilly-sloppy land

土壤水分的周年变化对作物吸水、合理灌溉具有重要意义。从对土壤水分的周年动态定位监测 4 年的结果(图 3)来看,本地区土壤水分周年变化情况可划分为 3 个时期:一是土壤水分饱和期,出现在 3~6 月。该期除土壤表层(0 cm~20 cm)的含水量有一定变化外,整个土体基本处于水分饱和或近饱和状态。二是土壤水分亏缺期,一般出现在夏秋季。进入水分亏缺期后,由于强烈的大气蒸发作用,土体上层迅速失水,而此时土壤的非饱和导水率低,下层土壤水分不能迅速补充到上层,造成上层土壤水分亏缺而下层仍有较高的含水量。间歇性降雨可补充土壤失水,使土壤上层经常处于水分饱和与亏缺的变动之间。三是土壤水分补充恢复期出现在冬季。该期气温下降,蒸发减少,只要有小的降雨,土壤含水量就能明显回升。当进入春季时,整个土体除表层外含水量基本达到饱和。

2.2 不同利用模式下的土壤水分特征

坡地水土运动受土壤垦复的影响十分明显。观测结果表明,在植被得到较好保护的天然坡地,径流量最高为 3 956 m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>),年径流系数 0.2678,泥沙流失量为 26.5 kg/(hm<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>);坡地开垦虽对地表水径流影响不大,但泥沙流失量显著增加。在坡地修梯植被恢复的初期(修梯后 2~4 年)泥沙流失量可达 2 417 kg/(hm<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>);开梯撩壕植被恢复初期的泥沙流失量为 1 675 kg/(hm<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>)<sup>[3]</sup>。这是因为修梯和撩壕之后破坏了土壤原有的稳定结构,增加了表层土壤的孔隙度,使水分入渗量增加,大量降雨渗入疏松土层之后,推动土粒向坡下运动,使土壤侵蚀加剧。从表 2 也可以看出,坡地不同利用方式对地表水径流和泥沙、有机物的流失影响都十分明显。因此,在开发利用红壤坡地、发展坡地农业时,一定要注意水土保持工作。

表 2 坡地不同利用模式的年地表径流、泥沙和有机物质流失量(1996~1998 年)  
Table 2 Run-off soil and organic matter from sloppy lands under different use models(1996~1998)

利用方式 (处理)	地表水径流		泥沙(干重)流失		有机物(干重)流失	
	m <sup>3</sup> /(hm <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	同处理 1 比	kg/(hm <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	同处理 1 比	kg/(hm <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	同处理 1 比
1	208.8	1	12.5	1	8.8	1
2	480.3	2.3	26.4	2.1	12.9	1.5
3	1501.4	7.2	1417.3	113.4	10.4	1.2
4	828.5	4.0	324.3	25.9	7.2	0.8

土壤水分变化不仅与气温、降雨、蒸发等气象因子的变化密切相关, 农业生产活动对土壤水分含量的影响也非常明显。表 3 为坡地不同利用状况下土壤水分的年变化情况, 可以清楚地看出, 在监测的各处理中, 农作区土壤水发的变化最大, 含水量较低; 恢复区土壤含水量的变化较小, 其他处理则介于二者之间。在同一处理内, 一般是土层越深含水量的季节波动越小。

表 3 坡地不同利用方式(第 4 年)土层水分变化( $V/V \times 100\%$ , 1998 年)

Table 3 Changes of soil moisture in the different layers of sloppy lands under different land use models (in the forth year)( $V/V \times 100\%$ )

处理方式	时期	土层深度(cm)			
		0~20	20~40	40~60	> 60
1	补充期	22.3~26.2	22.7~30.7	30.5~38.5	28.6~32.5
2		23.2~26.5	24.1~31.6	24.5~31.2	28.8~32.6
3		10.3~25.1	20.7~28.3	22.7~30.0	23.1~29.8
4		14.1~26.5	21.0~30.5	28.5~30.6	23.8~31.5
1	饱和期	25.2~34.8	26.5~35.6	27.7~31.9	27.0~30.7
2		22.2~31.9	26.4~32.7	28.6~31.2	28.1~32.7
3		18.5~24.6	24.1~30.6	23.1~25.7	24.2~25.9
4		21.5~30.6	24.6~33.5	25.4~30.1	25.8~27.3
1	亏缺期	18.9~28.3	21.5~27.8	21.6~28.8	21.4~27.8
2		19.3~27.8	25.5~31.2	23.6~32.7	24.0~28.3
3		11.1~22.2	12.5~31.2	22.7~34.2	14.4~23.3
4		14.2~20.3	14.5~23.3	17.1~23.9	12.7~24.1

2 3 水资源农业利用潜力

我们取 1991 年为代表年(其相应率为 86.7%), 计算出试验区所在地丘岗坡地不同农业利用的年需水量为: 旱作物  $2.037 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1})$ ; 经济果林  $1.222 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1})$ 。

代表年(1991 年)的降雨量为  $1375.7 \text{ mm}$ , 坡地径流量为  $3824.4 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 径流系数 0.278。根据桃源县水文监测资料, 丘岗区降雨径流的 20%~40% 为不可集蓄径流, 若按可集蓄径流 60%、蓄水损耗 10% 计, 则丘岗坡地的可蓄调水量(代表年)为  $1917.2 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。因此, 如果解决好雨水的蓄调问题, 红壤地区的雨水资源基本上能满足丘岗坡地农业生产的需要。

2 4 坡地农业利用的水资源管理

水土流失的有效控制 从上述分析不难看出, 红壤丘岗缓坡地农业水资源管理的核心是水土保持问题。在开垦利用坡地的初始期(2~5 年)内, 坡土泥沙的流失量会显著增加。此时, 如果水土流失得不到有效控制, 不仅会降低土地生产力, 还将带来一系列的生态环境问题<sup>[7]</sup>。

雨水的合理调蓄 在广大红壤地区, 从理论上讲雨水资源总量已能基本满足丘岗缓坡地的农业利用。通过加强农田水利基础设施建设, 提高对雨水的积蓄和调配能力, 是减轻季节性干旱危害, 保障坡地农业生产需要的最根本措施。治水抗旱, 工程措施始终是第一位的, 这一点无论在经济发达的美国, 还是在经济欠发达的埃及, 都得到了充分的证实<sup>[8]</sup>。完善的塘堰和沟渠还可有效拦截地表泥沙径流, 起到保护土壤、净化水质、防止水库、江河与湖泊的淤塞等作用<sup>[9]</sup>。除水利工程措施之外, 还应采取适宜的生态措施, 提高土壤的保水蓄水能力; 此外, 优化种植制度, 趋利避害提高植物对雨水的利用效率, 也是丘岗坡地农业持续发展的重要保障。

覆被免耕和农林草复合经营 因地制宜实施免耕和农林草复合经营, 应贯穿于丘岗缓坡地农业利用的全过程。覆盖、覆被既可减轻地表蒸发和水土流失, 又能培肥地力, 提高土壤持水蓄水能力; 实行坡地农林草复合经营, 优化结构、合理配置, 应作为提高红壤丘岗地区水土资源利用效率的长期生态建设任务来抓。

参考文献:

[1] 湖北省农业区划委员会办公室. 湖北省利用后备资源调查与评价[M]. 武汉: 湖北科技出版社, 1993.

- [2] 张斌, 张桃林. 南方东部丘陵区季节性干旱成因及其对策[J]. 生态学报, 1995, 15(4): 413 ~ 419.
- [3] Zhang Bin, Zhang TaoLin and Zhao Qiguo. Soil Erosion of Varming Systems in Subtropical China[J]. *Pedosphere*, 1996, 6(3): 225 ~ 233.
- [4] 谢小立, 熊泽海. 长江中游全国农业水资源态势与管理方略[J]. 农村生态环境, 1999, (2): 14 ~ 16.
- [5] 谢小立, 王凯荣, 周卫军. 亚热带丘岗区水分动态与水量平衡[J]. 地理科学进展, 1998, 17(增刊): 90 ~ 97.
- [6] 郭焱, 熊泽海, 胡荣桂. 亚热带红壤丘岗区水分动态的定位研究[J]. 土壤, 1996, (1): 42 ~ 45.
- [7] 卜兆宏, 唐万龙, 席成藩. 强化治理山丘水土流失才是平原水患治本之策[A]. 见: 许厚泽, 赵其国. 长江流域洪涝灾害与科技对策[C]. 北京: 科学出版社, 1999, 118 ~ 123.
- [8] 刘永懋. 国外水资源管理信息与经验撷选[J]. 环境科学动态, 1996, (2): 28 ~ 29.
- [9] 黄璜. 湖南境内隐形水库与水库的集雨功能[J]. 湖南农业大学学报, 1997, 23(6): 499 ~ 503.

## STATUS AND MANAGEMENT OF WATER RESOURCES IN RED SOIL REGIONS AND HILLY-SLOPPY LANDS

XIE Xiao-li, WANG Kai-rong, ZHOU Wei-jun

(*Taoyuan Agro-ecology Research Station, Changsha Institute of Agricultural Modernization,  
Chinese Academy of Sciences, Changsha, 410125, PRC*)

**Abstract:** Hilly-sloppy is an important potential resource of farming land in subtropical red soil regions in China. But for the dramatical changes and spatial unbalances of rainfall in these regions, the agricultural exploitation of this land is usually obstructed, although the total amount of precipitation should basically meet with the farming requirements. Still other disadvantages for the exploitation of the hilly-sloppy land are conditions of soil structure, water capacity, and seasonal drought. It suggested in this paper that it should be the important prerequisite to construct the irrigation works for the purpose of decreasing the damage of seasonal drought and promoting the sustainable development of the sloppy land agriculture. The other methods are also mentioned, such as the combination of ecological and water-saving irrigation technology with suitable agronomic measures, the complex management of cropping-forestry-herbage, and the improvement of soil structure, the way to increase soil water capacity and the amount of runoff water storage and its recycling use ratio.

**Key words:** Red soil; hilly-sloppy lands; water resource; management