

文章编号: 1000-0585(2002)04-0459-10

# 红壤丘陵区土地可持续利用中的 干旱约束与调控研究

周炳中<sup>1</sup>, 杨 浩<sup>1</sup>, 赵其国<sup>1</sup>, 包浩生<sup>2</sup>, 周生路<sup>2</sup>, 高 人<sup>1</sup>

(1. 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2. 南京大学城市与资源学系, 南京 210093)

**摘要:** 本文选择红壤丘陵区江西余江县作为研究样点, 运用  $Z$  指数等定量方法衡量区域干旱问题, 辨识区域存在的干旱及其类别等级; 运用“制约强度指数”衡量干旱对土地农业利用的约束程度。研究表明, 红壤丘陵区一定频度的干旱, 制约着土地利用的过程、形式与效果及其时空变异性, 其制约强度与土地利用的方式及其结构、作物种类等密切相关。旱地的盲目扩展等不适当人为活动, 在水利效用受局限之后对干旱成灾的影响作用日渐突出。科学的调控不仅需要完善水利工程网络建设, 对水源利用采取蓄、引、节、保措施, 也需要改进土地利用模式与技术, 重视修订总体规划并进行土地利用的结构性调整。

**关 键 词:** 干旱; 土地可持续利用; 红壤丘陵区

**中图分类号:** S423; F301.24 **文献标识码:** A

干旱与洪涝, 是东亚季风区影响农业资源开发及其它经济活动的两种灾害性气候。处于热带和亚热带、高温多雨的我国红壤丘陵地区, 洪涝灾害及水土流失问题, 历来是众多学者研究的主要课题; 但对于干旱研究未得到足够重视<sup>[1]</sup>。在人口增加与生态恶化、坚持土地可持续利用与地区可持续发展背景下, 开展该地区的干旱及其形成机制与土地利用、农业发展的关系及对策研究, 对于丰富可持续发展理论, 实现土地可持续利用, 促进地区环境与社会经济永续发展具有重要意义。本项目在国家 973 计划支持下, 选择红壤丘陵区典型地域——江西省余江县作为样点开展研究。

## 1 红壤丘陵区的干旱及其特征

红壤区位于青藏高原以东、大巴山 - 巫山 - 长江一线以南, 总面积 218 万  $\text{km}^2$  (其中丘陵面积 45 万  $\text{km}^2$ ), 南北纵跨热带、亚热带两大温度带。年降水量 1000 ~ 2000mm, 干燥度  $k < 1$ ; 气候上虽然属于湿润多雨地区, 但区域性干旱频发, 不仅使工农业生产受到严重影响, 土地利用结构及其布局也深受干旱因素制约。

余江县处于红壤区的江西省东北部, 北纬  $28^{\circ}04' \sim 28^{\circ}37'$ 、东经  $116^{\circ}41' \sim 117^{\circ}09'$  之间, 总面积 927  $\text{km}^2$ 。南北为低丘岗地、中部为平原; 地貌以丘陵为主, 丘陵面积占 78.2%, 其余为平原区。信江及其主要支流白塔河流经境内, 流域上属信江中游地区。本

收稿日期: 2002-01-04; 修订日期: 2002-05-30

基金项目: 国家 973 项目 (G1999011801); 中国科学院红壤生态站开放研究基金项目 (Bb9917)

作者简介: 周炳中 (1959-), 男, 湖南邵阳人, 博士后, 副教授。主要从事资源学、环境学研究, 已发表论文 20 余篇。

文采用国家气象部门常用的、适于中小尺度区域的  $Z$  指数，即  $Z_i = \frac{6}{C_s} \left\{ \frac{C_s}{2} i + 1 \right\}^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6}$ （式中  $C_s$  为偏态系数， $i$  为降水标准变量）作为分析的数学手段<sup>[2]</sup>，并以降水距平百分率以及降水标准化变量等指标作参照，对研究区 1955~1999 年共 44 年的气候资料进行干旱状况分析研究，并按照长江流域及南方区域旱涝标准（ $Z < 4$  为涝年，4 为正常，5、6、7 依次为偏旱、大旱、重旱）划分干旱等级<sup>[2,3]</sup>。研究表明：三种指标的等级评估结果相互兼容，分析结论大体一致；44 年之中，干旱年达 21 年，干旱发生频率为 47.7%；其中重旱 5 年，大旱 7 年，轻旱 9 年，发生频率分别为 11%、16%、20.45%（见图 1）。这一定量评估结果与余江县志的历史记录、农业局统计资料以及农业气候实际基本吻合。

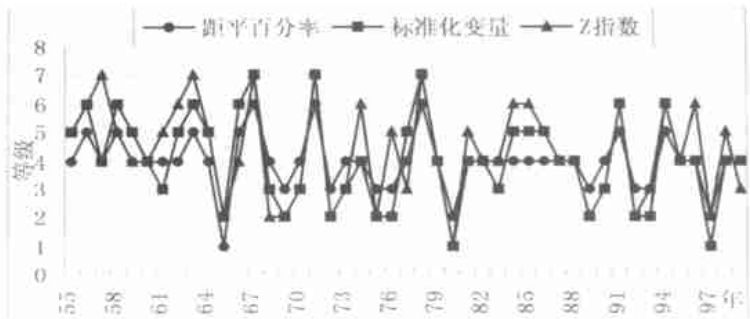


图 1 三种旱涝指标的历年等级值

Fig. 1 Class value over the years in three kinds of drought and flood indices in Yujiang

余江县干旱的基本特点是：干旱主要发生在夏季与秋季，形成伏旱、秋旱或伏秋连旱。多数年份中，7~10 月  $Z$  指数在 5 以上，降水距平百分率  $< -25\%$ ；主要为发生在一年之内的单独旱年，跨年份的持续旱期少。1955~1999 时间序列中，1978 年旱期最长，延续 94 天，始于 8 月初，止于当年 11 月中；基本无春旱或春旱甚轻。春季降水较多，与我国北方存在严重春旱的情况不同；蓄水多，旱情易得到缓解。

2 干旱对红壤丘陵区土地可持续利用的约束及其生态经济耗损

2.1 制约土地利用的三维空间布局

在对余江农业生产及其生态环境全面调查基础上，依据干旱期各地农作物单产与正常年单产平均值的比率，绘制区域性旱年产量及生产稳定性曲线图，再将土地利用现状图、水利图、地貌图以及旱年作物产量分布图叠加，综合分析干旱因素对农业用地的影响与制约。研究表明，以水库、引河灌溉渠道的高度为第一界限，各类提水站所及高度为第二界限，形成耕地立体利用上的三个层次：旱涝保收的水田；生产稳定性较低的水浇地；生产波动性较大的望天田及旱地。水平方向上，除了存在灌区旱涝保收的耕地及非灌区生产稳定性较差的旱地差异之外，还呈现出与水源距离成正比关系的约束性用地：由近及远，干旱约束依次增强，分别为生产稳定性较强的良田、稳定性较差的水田或水浇地、波动性最

大的旱地等。

2.2 干旱对土地的生态占用

指有助于消除或缓解干旱的天然或人工林和各类水利设施等所占用的土地。前类占用对减少地表径流、保持水土、提高陆地生态系统第一性生产力及优化环境等具有重要作用，属于环境优化性占用；后类对易于排洪防涝的低山丘陵区来说，水利设施的重要功能是防治干旱，对土地的占用纯属于资源消耗性占用，如永久性的水库、池塘、主要灌溉渠道等用地。研究表明，干旱对研究区土地的消耗性占用高达 6597.14ha，相当于全区总耕地面积的 30%，表明研究区内水利建设达到相当高的水平，农地利用中的抗旱能力是较强的；但干旱对土地资源的消耗性占用量很高，而其单位占用面积可承担的灌溉耕地，即抗旱的有效利用系数过低（见表 1）。此外，这种消耗性占用除部分渠道和低洼蓄水池塘之外，基本上是历史上的优良耕地。

表 1 研究区干旱对土地的耗用性占有及其效率

Tab. 1 Land quantity taken up by drought and its efficiency in investigation area

		资源性占用量 (ha)		单位农用地分摊量 (%)	
水库用地	池塘用地	沟渠及水工建筑物用地	总占用量	耕地	水田
1696.02	2093.61	2807.51	6597.14	0.30	0.34
有效利用系数 (%)				3.34	2.90

2.3 干旱对丘陵区农地利用效率的制约及其时空变异规律

2.3.1 干旱制约强度的量度指标 理论上可以认为，干旱年作物平均单位面积产量 ( $\bar{D}_{旱}$ ) 与正常年产量 ( $\bar{D}_{正}$ ) 的差值  $D = \bar{D}_{正} - \bar{D}_{旱}$ ，是干旱因素损害土地正常产出的直接结果；因此可以采用差值的多年平均数与同期正常年产量平均数的百分比来作为衡量“干旱制约程度”的指标，称为制约强度指数 ( $K$ )，即： $K = D / \bar{D}_{正}$  (1)

2.3.2 数据来源、研究方法及其结果 历史数据来自研究区历年统计资料、地方志的分析研究以及大量实地调查结果；90 年代以来的土地利用变化资料来自中国科学院利用 RS 和 GIS 技术对研究区域土地利用/覆盖变化进行的动态监测结果。基本分析方法为：首先建立数据库。选取水稻、花生和大豆三种传统大宗作物为统计对象，以行政村为基本单元，分别计算其多年来各等级旱年平均单位面积产量与正常产量的差值及其百分率。在土地利用图、行政区划图、地貌图、水利图等叠加而成的工作底图上，绘制出各旱年三类作物产量多年单位面积平均产出值与正常值的比值分布图，即百分率分布图。由此可分析出各等级旱年中干旱对农地利用效率的制约程度及其空间差异性（图 2）。

轻度等级旱年发生频率虽高但影响不大；重旱年在灌溉系统完善后的 70 年代末至今并未出现，不具代表性。限于篇幅，仅以大旱年为例作深入探讨。由式（1）推得：

$$K = D / \bar{D}_{正} \times 100 \% = (1 - \bar{D}_{大旱} / \bar{D}_{正}) \times 100 \% = (1 - Q_j) \times 100 \% \quad (2)$$

式（2）中， $Q_j$  为研究区第  $j$  种作物在大旱年平均产出百分率。

以相当于正常年的 100%、85%、70%、55%、40% 及 20% 为界，将研究区内大旱年作物产出率在空间上的分布差异划分为 7 个产出等级。设  $P_{ji}$  为第  $j$  种作物  $i$  等级产出率； $S_{ji}$  为  $i$  等级中  $j$  种作物种植面积， $S_j$  为研究区内第  $j$  种作物总种植面积； $W_{ji}$  为  $i$  等级中  $j$  种

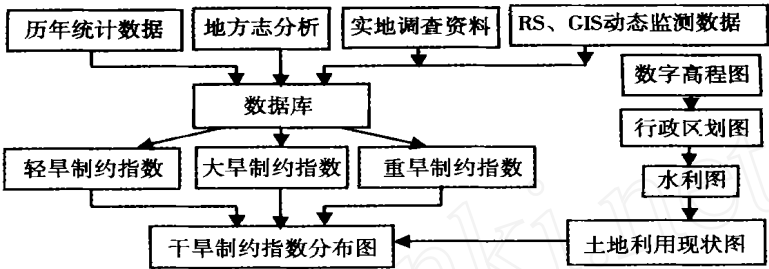


图 2 估算干旱对土地利用限制程度的技术路线

Fig. 2 The technological chart of apraising restrictive degree of drought to land use

作物面积占其总种植面积百分比。研究区  $j$  种作物在大旱年的产出率  $Q_j$  应是各产出等级中的加权总和：

$$Q_j = \sum_{i=1}^7 P_{ji} \times S_{ji} / S_j = \sum_{i=1}^7 P_{ji} \times W_{ji} \quad (i = 1, 2 \dots 7; j = 1, 2, 3) \tag{3}$$

综合 (1) (2) (3) 式，可得研究区  $j$  种作物受制约程度：

$$K_j = (1 - \sum_{i=1}^7 P_{ji} \times W_{ji}) \times 100 \% \tag{4}$$

采用上述方法，以当前各类农作物种植面积及分布状况为例，可以估算出大旱年（平均状态下）可能遭受的制约或损失（见表 2）。

表 2 研究区大旱等级年干旱对三种主要农作物的制约程度估算表

Tab. 2 Restrictive degree estimated of drought to three kinds of crops during worse drought year in the region

	$p_i$	100	85 ~ 99	70 ~ 84	55 ~ 69	40 ~ 54	20 ~ 39	< 20	$Q_j$	$K_j$
中晚稻	$S_{1i}$ (ha)	10500	5047	3072	600					
	$W_{1i}$	54. 63	26. 26	15. 98	3. 12					
	$P_{1i}W_{1i}$	54. 63	22. 32	11. 09	1. 21				89. 2 %	10. 8 %
花生	$S_{2i}$ (ha)		300	1120	653	500	160	47		
	$W_{2i}$		10. 79	40. 29	23. 48	17. 99	5. 76	1. 69		
	$P_{2i}W_{2i}$		9. 17	28. 20	12. 91	7. 19	1. 15	0. 17	58. 8 %	41. 2 %
大豆	$S_{3i}$ (ha)		60	104	210	85	55	50		
	$W_{3i}$		10. 64	18. 44	37. 23	15. 07	9. 75	8. 87		
	$P_{3i}W_{3i}$		9. 04	12. 91	20. 48	6. 03	1. 95	0. 88	51. 29 %	48. 71 %

2. 3. 3 对农地利用效率的制约及其时空变异规律 大旱年的分析研究表明：中、晚稻产量是正常年的 89 %，如果将基本不受干旱影响的早稻一并计算，则水田产出效率是正常年的 92 %。干旱对水田利用效率的制约强度指数  $K$  为 0. 08 ~ 0. 11，约束强度低。花生和大豆用地的平均产出率分别为正常年的 59 %、51 %，制约强度指数  $K$  为 0. 41、0. 49；依据余江这两类作物的种植面积及其传统历史，两类用地可代表旱地类，取二者均值，则

大旱年指 1958、1963、1971、1978、1986、1991、1999 年。

干旱对旱地利用的制约强度指数  $K$  为 0.45, 表明干旱约束使旱耕地应有的产出量损失了近 1/2, 属于高强度约束。依据研究区水田与旱地面积比率给定各自权重, 综合估算全区域农用地受干旱制约状况, 结果得其  $K$  值为 0.21, 属中度制约。

水稻受制约强度指数  $K$  的空间差异, 最高值 0.45, 其空间分布与少水区对应; 最低  $K=0.01$ , 主要分布在水源有保障的旱涝保收区; 介于其间的  $K$  指数由低至高, 依次分布在距水源从近至远、灌溉保障条件由优至劣的地方。但这一分布规律因破碎的、存在一定高度差而使发展灌溉受到限制的丘陵地貌所打破, 出现灌区内立体上的干旱区及干旱区中有限的灌区, 土地产出率由此呈现出复杂的空间分布格局。旱地作物产出百分率、 $K$  指数分布与干旱地段密切相关, 同样较为复杂。

### 3 红壤丘陵区干旱成因及其变化

#### 3.1 自然成因

包括气候、地貌、水文、土壤与植被等多种因素, 本研究主要分析区内气候及土壤条件因素。

干旱首先源于由大气环流引起的降水偏少。夏秋季节, 红壤丘陵区低层大气环流形势是: 受太平洋副热带高压控制, 盛行下沉气流, 气温高而炎热。南来暖气团与北方冷气团交汇形成的极锋雨带, 位于副高脊线之北的黄淮流域; 红壤区则为单一的暖气团势力范围, 干燥少雨。此一形势一直持续到副高脊线有规律地北跳完毕之后南撤、雨带再一次进入本区为止。这种环流形势及其干燥少雨期, 在正常年份大约始于 7 月上旬, 终于 9 月中旬; 倘若始期提早而终期来晚, 则必然加重干旱的程度, 出现大旱或重旱。

土壤水分含量及其持水特性是影响干旱的又一重要因素。对典型红壤的有关研究表明: 0~1m 土体内, 红壤水分储存能力较强, 土体总储水量 282.0mm, 与华北潮土差距不大; 但无效水库容占总库容量的 70%, 有效库容仅 85.4mm, 只相当于华北潮土有效水库容量的 60%<sup>[4,5]</sup>。造成这种状况的原因是由于红壤固体颗粒较细, 比表面积很大, 对水分有较强的吸持力。有效库容小意味着对降水的接纳能力小, 贮存和调节植物水分的能力弱。一遇天气干旱, 植物需水增多, 土壤中有效水分便很快耗尽, 导致干旱。这一结论也由红壤生态站土壤水动态监测研究得到证实: 在多雨的 6 月中旬以前, 土壤始终保持着较充足的有效水; 少雨的 6 月中旬至 8 月底, 有效水含量消耗很大, 0~1m 土体内有效水保持量 <40mm。而一般作物在其量达到 40mm 界线时, 就已表现出明显旱象<sup>[6]</sup>。

#### 3.2 人为因素

主要包括两方面: 一是不适当的土地利用活动, 二是可用于抗旱以缓解灾情的社会经济支持能力。前者指毁林开荒, 扩大不宜于耕种的旱地面积。研究区内不少低丘缓岗顶部及坡地被开垦为旱地, 先前的大片天然植被毁损殆尽。红壤丘陵区可用于抗旱的社会经济能力并不强, 虽然大面积水田灌溉已在 80 年代初由国家出资兴修水利而得到保障, 但其丘陵岗地区的旱地、望天田因布局分散及土地家庭承包制的个体经营方式、相对落后的农业经济等缘故, 抗旱能力不足, 缺乏必要的引灌水工程设施, 出现因工程性缺水而引起的干旱。

#### 3.3 干旱成因中可控因素动态及旱灾变化趋势

致旱因素可据人类调控能力分为可控与非可控两大类。非可控因素如大气环流及其影

响下的气候等,就区域而言,人类惟有适应;而诸如社会经济活动等人为因素以及植树种草等则是人类能力范围内的可控因素,其消长变化直接影响到干旱是否成灾及成灾程度。

社会经济因素首先是水利工程的建设。研究区内这一因素的动态在从 1955~1999 年的 45 年之中,出现三个变化阶段:1958 年以前工程少而落后阶段;1958~1985 大规模建设并完善阶段;1985 年以后维修管理阶段。这一因素变动与区域灾害的对应关系是:80 %耕地受干旱威胁并在遭遇大旱以上等级时酿成重大灾害;灌溉面积从不足 10 %逐步扩大,受灾程度不断减小;灌溉系统初步完善,区域性轻旱成灾甚小、大旱期仅成轻中度灾害。总之,在灌溉系统初步完善以前,水利工程建设与农田旱灾有最大的相关性,具有抑制或减轻旱灾不可替代的重大作用。

土地利用活动对干旱的影响主要体现在土地利用方式,包括旱地或水田利用方式,尤其是将林地改变为耕地<sup>[7]</sup>。1955~1999 年时间序列中,水田从初期的 24000ha 减少到 1979 年的 19000ha,减少 21 %,其主要原因是为水利工程占用;这一数值此后基本上保持不变。旱地从初期 1920ha 增加到当前的 2900ha,平均每年以 0.944 的速率递增。研究区历次旱年中旱地成灾面积占区域耕地成灾面积百分比呈现出动态变化,其总趋势是旱地所占比例不断上升(图 3)。50 年代,轻旱、大旱和重旱年份旱地所占比例分别为 < 9.7 %、5.6 %、3.1 %,其值较小;60 年代初开始,这一比例不断增加,至 80 年代初,轻旱、大旱、重旱年中比例分别从 21.5 %增加到 79 %、23.1 %到 41.3 %、27.3 %到 41.5 %;80 年代迄今,除重旱年未出现外,轻旱与大旱年比例均达到 80 %以上。旱地所占比率的变化,并非旱地在同等干旱气候下受灾的程度加剧,而是灌溉条件改善之后,水田遭受干旱危害的风险下降,成灾范围大幅度减少,旱地在区域性成灾中的比重相对突出。

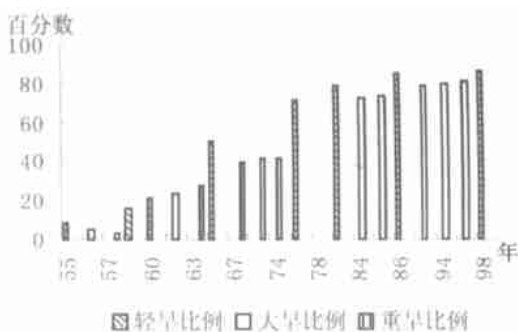


图 3 受灾旱地占区域受灾耕地面积比率变化图

Fig. 3 Change in the proportion of dry land hit by calamity in the field as a whole

## 4 调控对策

### 4.1 完善灌渠系统,扩大引水灌溉范围

灌溉主渠及主要支渠系统已在区内布局成网,构成较有效的灌溉系统。问题在于渠系质量低,防渗能力差;次级渠网建设力度不够,丰富的水源未能得到充分利用。完善引水渠网建设的主要工作应包括:渠系防渗。区内白塔东渠、西渠、新渠等 7 条主要引水渠,总长 210km,具有防渗能力的渠床长度仅约 20km,其余渠段与大量支渠及次级引水渠一样,为自然土石构造,渗漏严重。应加强渠道防漏建设,使用混凝土或条石浆砌渠床,提高渠系质量。渠网细化。主要指次要支渠的兴建或延伸,以满足偏远、小面积农田灌溉需求。丘陵岗地区的画桥、张公寨、洪湖、马荃、坞桥等乡镇,离水源较远较偏,分布有 5000ha 的望天田(约占区内总农田面积的 20 %),其中约 50 %可以通过修建绕岗渠道或架设渡槽引水解决灌溉问题。发展小型机电提灌。区内南部与北部偏远、高差大的丘岗农田,渠系引水困难,应发展机电提灌;且因此类望天田多属小面积农田,以小型机电为

宜。上述措施作为补充, 连同已有水利工程, 可解决区内约 90 % 农田的灌溉问题。但在当前土地家庭承包制的分散经营状况下, 家庭或个人无力解决, 上述措施必须由政府来组织实施。

#### 4.2 小型蓄水工程建设

研究区内有中、小型水库 475 座, 总有效蓄水量达 15179 万  $\text{m}^3$ ; 此外尚有三条主要截江引流渠道以及 127 座提(江)水电站, 水源相对丰富; 但只能解决渠系所及的平原与谷地区农田。区内破碎的丘岗地貌造就了众多孤立、高差较大、远离水源且面积不大的岗田、冲田与垌田等, 需要依据这些农田所处地貌条件, 选择集水洼地开挖山塘。这类小型蓄水工程投资少, 技术简单, 灌溉方便易行, 应主要在南部与北部丘岗区开展建设。

#### 4.3 运用节水农业技术, 降低干旱风险

科学合理的耕作制度与节水技术有助于缓解干旱对农业的威胁。主要包括: 间作。在余江进行的林木-花生间作试验结果表明, 间作能使土壤水分含量比单一种植增加近 10 %<sup>[8]</sup>。洪湖、马荃、邓埠等镇及刘家站垦殖场等花生基地, 坡岗区均可实施林木-花生间作, 有利于抗旱, 又可减少水土流失。覆盖技术。覆盖技术对红壤丘陵区土壤理化性状影响的试验也表明, 土壤表层覆盖技术可使每亩耕地每年节水 200 ~ 400 吨, 提高土壤的抗旱能力<sup>[9]</sup>; 尤其是免耕覆盖技术, 能有效增强红壤水分的自我调节与缓冲能力。余江丘岗区可用作覆盖物的物质较多, 每年废弃的大量稻草、丘岗区林木的枯枝落叶以及其它作物秸秆, 均可方便取得。如能充分利用, 估计可解决当前 1/3 旱地作物的覆盖问题。工程措施。主要指有利于增加土壤水分蓄积的梯田化或挖鱼鳞坑等小型农业工程, 可以结合间作及覆盖措施在远离水源的坡旱地综合开展建设。

#### 4.4 调整土地利用结构, 强化土地的生态利用

从区域土地可持续利用考虑, 调整土地利用结构, 注重生态效益与经济效益的统一<sup>[10]</sup>, 是减轻干旱威胁的重要对策。

**4.4.1 有利于减轻干旱的土地立体利用优化模式** 红壤生态实验站 10 余年来对红壤丘陵区优化农业生态模式的探索研究, 总结出一套行之有效的丘陵区层状立体布局的土地利用配置模式: 顶林-腰果-谷农-塘鱼<sup>[11]</sup>。这是由红壤丘陵区立体空间的资源与环境条件所决定的: 从丘顶至坡麓, 土壤类型组合为准红壤-普通红壤-潮红壤, 土层厚度从 < 1m 至 2m<sup>[12]</sup>, 有机质含量从 < 2g/kg 至 4g/kg, 土壤水势降低 5.2 ~ 12.6 千帕, 风力从大至小, 土壤蒸发逐步减弱, 季节性土温下降 1 ~ 4 °C, 水土流失的状况可分为流失段、过渡段和积累段<sup>[13, 14]</sup>。因此, 余江丘岗区土地利用立体配置模式的基本格局应为: 丘陵顶部因土壤薄、旱、瘦, 以种植抗逆性强、保水土的林草为主, 包括用材林、薪炭林和水保林、灌草; 凡已耕垦的丘顶旱地, 均应退耕还林、还草。坡地在坡度不大且土层较厚状况下, 可发展经果、经作; 但应通过示范工程, 引导、鼓励农民采用间作、覆盖及工程等综合农业技术展开经营活动。坡麓与谷地发展传统农业, 用于稻、麦、蔬菜等作物种植; 谷地积水池塘, 发展养鱼。通过运用这一优化农业生态模式, 实现余江丘岗农业既防治干旱、又获取良好经济效益的双重目标。

**4.4.2 旱地控制与土地的有效利用** 在红壤丘陵区, 花生、大豆等已是旱作物中耗水量小、抗旱能力强的作物品种, 但其  $K$  值仍然较高, 对干旱等环境灾害的抗逆能力低于水稻; 其根本原因在于不少旱地作物播种于盲目扩大的新垦荒地, 得不到有效的水源保障。

因此旱地利用应当有所控制，仅局限于土层较厚、坡度小于 25°、海拔较低的坡地或坡麓等自然条件适宜的地方，以确保其优质利用。但据调查统计，区内不适宜利用的旱地约达 1600ha，占当前旱地面积的 55 %。对这些旱地退耕还林还草，或依据丘陵优化利用模式改作经济林地、果农间作或林农间作，是减轻干旱、合理用地并确保土地生态经济综合效益的有力措施之一。

4.4.3 制订科学的土地利用总体规划，优化土地利用结构 干旱是一个涉及自然与社会经济等因素的复杂、综合性问题。社会经济发展水平具有扩大或降低干旱影响的作用。研究区内那种超越适宜界限扩大旱地的活动并非为了生产粮食以维持生存，而是为了增加经济收益寻找致富门路而种植可用于市场交易的其它农产品。这种不惜冒扩大干旱风险而由此引起水土流失等生态问题的自行其是的行为背后，是落后的社会经济现实。同样，对局部区域干旱无所作为仍是缘于经济支持力低下。从土地利用角度考虑，应制订利于加快区域经济发展的科学的土地利用总体规划，优化区域土地利用结构<sup>[15]</sup>。除了需要扭转当前丘陵区土地立体利用不合理的单一旱地结构、采用“顶林 - 腰果 - 谷农 - 塘鱼”的生态经济优化模式，对丘陵用地结构进行调整之外，还需要依据区域生态经济发展趋势，对农业用地、生态用地、非农用地等用地结构进行调整。

用地结构调整可按不适宜旱地全面还林还草，或部分还林草、部分改经济林的综合方案实施<sup>[16]</sup>。如按前一方案，我们可依当前各类用地效率估算出调整后效果值，仍不失为兼顾经济发展与生态优化的较佳用地调整方案（表 3）。更何况，建设用地还可通过城镇化及加速交通现代化，发展农村第二、三产业等现代经济手段，使土地利用潜力得到充分发挥。

表 3 研究区用地结构调整  
Tab. 3 Adjustment on the structure of the land-use in Yujiang

当前用地 结构（%）		调整方式	调整后用地 结构（%）	调整量 （%）	调整效果估算
农业用地	38.31	不适宜旱地退耕还林还草	34.2	- 4.11	不影响粮食生产，但减少经济收益约 6 %
生态用地	36	增加	40	+ 4	旱灾减轻，水土流失减少，生态优化
建设用地	6.08	适度增加以提高城镇化水平	7	+ 0.92	GDP 增加约 10 ~ 30 %
其它用地	19.61	开发利用部分未利用地	18.8	- 0.81	生态与经济影响均不大

5 结论

（1）“制约强度指数”可用于衡量干旱对区域土地可持续利用的制约强度，揭示不同作物受灾的时空差异性。在应用 Z 指数辨识特定时间序列中各等级旱年基础上，“制约强度指数”可定量评估干旱对农用地的制约强度，揭示不同等级旱年中各类作物灾害损失的时空差异性，为水利工程建设与作物选择提供理论依据。

（2）干旱对红壤丘陵区土地可持续利用的约束是多方面的，包括对土地利用的过程、形式与效果约束。干旱制约土地利用的时空配置，造成土地利用过程、形式与效果的空间



层次性分异; 对大量土地的耗用性生态占有, 利用效率低; 制约农业用地的强度与用地类型及其结构、作物种类密切相关, 旱地制约强度大, 水田类型较低, 并呈现出随水源距离远近及海拔高度不同的空间差异。从区域整体评价, 由于以水田为主的用地结构及较优的水源保障, 干旱制约强度与干旱等级虽然相关但其程度较轻, 大约要降低一个数量级。

(3) 人为因素在干旱形成中的地位与作用有所变化, 干旱趋势复杂化。虽然气候、土壤、地理位置等是干旱形成的主要因素, 但丘陵区人为活动尤其是在水利建设等方面的成就削弱了干旱向灾害转化的可能性, 而滥垦滥伐扩大旱地的行为则助长了这一有害转化。区域水利的有效性受局限之后, 人为活动对干旱成灾可能性的影响作用日渐突出。干旱随不稳定的人为因素动态趋于复杂化。

(4) 对干旱的调控不仅应注意水利工程建设、土地利用中的节水技术环节, 还应重视主动战略上的总体规划及土地利用结构性调整。除了继续完善灌溉系统、改进土地利用的立体模式、改进耕作技术等之外, 更应从主动战略上修订科学的土地利用总体规划, 实现土地利用结构性调整。

#### 参考文献:

- [1] 许厚泽, 赵其国. 长江流域洪涝灾害与科技对策. 北京: 科学出版社, 1999. 1~49.
- [2] 鞠笑生, 杨贤为, 陈丽娟, 等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究. 应用气象学报, 1997 8(1): 26~32.
- [3] 肖嗣荣. 关于农业旱涝指标的研究. 地理研究, 1985, 4(2): 56~64.
- [4] 姚贤良, 许秀云, 于德芬. 红壤的库容及其对抗旱性能的影响. 见: 王明珠. 红壤生态系统研究(第二集). 南昌: 江西科学技术出版社, 1993. 262~268.
- [5] 洪宝鑫. 旱作物利用地下水的实验研究. 地理研究, 1993, 12(3): 107~113.
- [6] 于德芬, 姚贤良. 关于红壤有效水范围的探讨. 见: 王明珠. 红壤生态系统研究(第二集). 南昌: 江西科学技术出版社, 1993. 269~274.
- [7] 郭旭东, 付伯杰, 陈利顶, 等. 低山丘陵区土地利用方式对土壤质量的影响. 地理学报, 2001 56(4): 447~455.
- [8] 何园球. 红壤丘陵区水分、养分循环特点与资源的合理利用. 见: 何园球, 杨艳生. 红壤生态系统研究(第五集). 北京: 中国农业科技出版社, 1998. 1~27.
- [9] 张斌, 张桃林. 新垦红壤旱坡地耕作制度的比较研究. 见: 王明珠. 红壤生态系统研究(第二集). 南昌: 江西科学技术出版社, 1993. 118~124.
- [10] 蔡运龙. 土地利用/土地覆盖变化研究: 寻找新的综合途径. 地理研究, 2001 20(6): 645~652.
- [11] 赵其国, 何园球, 张桃林, 等. 红壤低丘岗地的优化农业生态模式. 见: 王明珠. 红壤生态系统研究(第二集). 南昌: 江西科学技术出版社, 1993. 88~91.
- [12] 王绍强. 中国土壤土层厚度的空间变异性特征. 地理研究, 2001 20(2): 161~169.
- [13] 张光辉. 土壤侵蚀预报模型研究进展. 地理研究, 2001 20(3): 274~281.
- [14] 张科利, 蔡永明, 刘宝元, 等. 土壤可蚀性动态变化规律研究. 地理学报, 2001 56(6): 673~681.
- [15] Dumanski J. Workshop summary and concluding remarks, Proceedings of the international workshop on sustainable land management for the 21<sup>st</sup> century. University of lethbridge, Canada, June 1993. 102~124.
- [16] 刘彦随. 山地土地类型的结构分析与优化利用——以陕西秦岭山地为例. 地理学报, 2001 56(4): 426~436.

## Drought restriction and its management in sustainable land use in earth hilly area

ZHOU Bing-zhong<sup>1</sup>, YANG Hao<sup>1</sup>, ZHAO Qi-guo<sup>1</sup>,

BAO Hao-sheng<sup>2</sup>, Zhou Sheng-lu<sup>2</sup>, Gao Ren<sup>1</sup>

(1. Institute of Soil Science, CAS, Nanjing 210008, China;

2. Department of Resource & Urban Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** In view of sustainable land use, the frequencies, characteristics and reasons of drought are studied in red earth hilly area of southern China. The intensity of drought restricting to land use and its temporal and spatial variations, relation between the pattern of land use and the degree of drought as well as measures taken to control drought are dealt with in this paper. Yujiang County of Jiangxi Province was chosen for a case study, the regional drought was assessed by using quantitative methods such as Zi index, coefficient of variation and departure value of precipitation. High frequency and types of drought in the hilly area are distinguished during the period 1951 to 2000. Compared to the case of northern China, the degree of drought was more tiny and alleviated. Drought restricts the three dimensional distribution of landuse and consumably occupies cultivated land resource. Restricting strength index (K) was used to quantify the effect of drought on the restricting degree of agricultural land. Taking a very drought year, the results indicated the K value of the effect of drought on paddy rice is 0.08 ~ 0.11, belonging to low restricting strength; that on the dryland is 0.46, high restricting strength; and on farmland for comprehensive evaluation is 0.21, moderate restricting strength. The reasons of drought in red earth hilly area are because of the seasonal change of atmosphere circumfluence in eastern China, lower availability in soil moisture, inappropriate human activities and lack of socio-economic ability in combating drought. The regional drought has a high tendency as the human-controlling factors change their condition. Such measures to alleviate the drought should be taken as follows: (1) including seepage control of dykes several hundred kilometers long in the area, intensification of canalized irrigation networks and development of mini electromechanical irrigation project in hummocks; to perfect irrigation canal system and expand irrigated area by diverting other water resources; (2) to construct small scale water storage ponds in remote and high hummocks; (3) to popularize water-saving agricultural techniques such as intercropping forest and grain plant straw mulching technique, drought-resistant crop (e. g. peanuts) selecting, terracing and scale pitting; (4) to control strictly dryland development in the area and return part of cultivated land to forest on north-south hummocks; and (5) to increase appropriately the ratio of land used for construction and optimize the structure of landuse.

**Key words:** drought; sustainable land use; red earth hilly area