

红壤农业生态系统水分循环、平衡及其调控研究

何 园 球

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 用详实的资料论述了低丘红壤区农业生态系统水分循环、平衡特点,讨论了水分平衡的评价原则,灌溉水数量及作物需水的初步预测,并提出了调控水分循环和平衡的一些具体措施。

关键词 红壤农业生态系统;水循环和平衡;调控措施

低丘红壤区包括长江以南、南岭以北、武夷山以西、雪峰山以东的广大江南红壤丘陵区,总面积 27.2 万 km²。该区水热资源丰富,但时空分布不均,春天降雨集中,伏秋则稀少,因而洪涝与干旱灾害频繁发生。统计表明,余江县 36 年来,平均每 2.3 年有一次伏旱或秋旱,6 年 1 次伏秋连旱,2-3 年出现一次洪灾^[1],严重影响红壤资源潜力的发挥。因此,探讨该区水资源特点,作物需水规律与红壤供水能力,提出调控水分循环的措施和途径,可为作物布局、农业措施选择和灌溉定额提供依据。

1 水分循环特征

1.1 水分来源

包括降雨、灌溉水和亚系统间截留的水分三部分。天然降雨是林草亚系统水分的唯一来源;以天然降雨为主,辅以部分灌溉水和少量截留的雨水是果作亚系统水分的全部来源;在农业亚系统中,天然降雨、截留水和灌溉水二者并重。但是,低丘岗地的地形条件严格限制灌溉工程的实施。因此,降水对农业生态系统的正常运作至关重要。

1.2 土壤外部的水分循环

(1) 降雨量 本区年降雨量为 1500-1800mm,相对集中在 3-6 月(占全年降雨量的 67%),在此期间常发生涝、渍害;每年 7 月以后降雨量很少,而蒸发、蒸散作用特别强,作物强烈需要水分,因而常发生伏旱、秋旱或伏秋连旱。

(2) 林冠截留 林冠截留的水分占年降雨量的 3-8%。一般来说,覆盖度大的成林截留量为降雨量的 12-15%,5 年以下的人工幼林占 2-5%,果作间作占 4-6%,农作占 3%左右。

(3) 蒸发蒸腾量 测定结果表明,花生生育期蒸发蒸腾总量为 331mm,早稻为 217mm,荞麦为 427mm,油菜为 398mm。不同土壤、不同品种以及不同栽培方式和管理水平,作物的蒸发蒸腾总量均有差异。

(4) 枯叶保蓄 热带雨林凋落叶层厚,保蓄的总水分占年降雨量的16.5%。在红壤低丘岗地区,覆盖度大的成林(阔叶林)枯叶层保蓄量占年降雨量的11.5%,5年以下的人工幼林占1.4-3.0%,而一般草被为1.0%左右,作物没有枯叶层,只能保留很少的水分^[2]。

(5) 地表径流 动态观测表明,径流量以4-7月最大,占全年的70%以上;日降雨量为10-15mm时,才会发生径流^[3];径流量顺序为:自然草被>马尾松林>针阔混交林>阔叶林>农地>果树>荒地;径流携带的泥沙主要集中在5-7月,占全年80%左右。减少径流的主要措施是增加地面覆盖以及适宜的栽培和耕作措施。

1.3 土壤内部的水分循环

(1) 土壤水动态 实验表明,土壤水的动态与降雨动态基本吻合,旱季上部土层吸力值较大,反映水分上移消耗特征,雨季相反,反映水分下移和吸附特征;不同植被以自然荒地吸力值变化最大,林地居中,农果地变化最小^[4]。

(2) 土壤渗漏水动态 测定结果表明,垂直渗漏具有以下特征:a. 渗漏量以混交林>阔叶林>马尾松>自然荒地;b. 渗漏水季节特征明显,主要集中在4-7月,占总渗漏量的60%;c. 土壤各层渗漏量和渗漏速率随土层加深而降低;d. 渗漏量受植被覆盖度、降雨量和降雨强度的影响:覆盖度大,降雨强度小且时间长,渗漏量多,反之相反;降雨量<10mm时,很少发生渗漏,降雨量为10-15mm时,一般只有表层发生渗漏,当降雨量>20mm时,40cm土层均有渗漏发生^[4]。

1.4 亚系统间的水分循环

(1) 截留水分 就农业生态系统而言,林草亚系统的径流和侧渗水流入果作亚系统后,部分被土壤吸收,部分以径流和侧渗形式流入农田亚系统,农田亚系统很少发生侧渗,在容纳不下的情况下流入农田进入池塘、水库或河流。实验表明,果作亚系统能接纳林草亚系统径流和侧渗水分的20%左右,农田亚系统可接纳果作亚系统径流和侧渗水的20-25%,大约占年降雨量30%的水分流入农田进入池塘、水库或河流。

(2) 灌溉水 在部分果作亚系统中,每年灌溉补充的水分占降雨量的15%左右;农田亚系统中,每年约补充占降雨量75%的水分。

综上所述,红壤低丘岗地区水分状况具有以下基本特征:

(1) 水分流失量大 降雨到达地面及进入土壤过程中,除蒸发以外,主要是地表径流和深层渗漏损失,二者占降雨量的39-63%,而实际保留在土壤的水分只占20-40%。

(2) 水分供需不平衡 降雨时空分布不均造成春天涝渍害,秋天伏旱、秋旱或伏秋连旱,使土壤表面形成坚硬结壳,易发生土壤流失。

(3) 水分有效性低 红壤田间持水量(-10kPa)一般在30%左右,但其有效水含量却在5%-10%之间,出现土壤持水量高而又显干旱的不协调现象^[5]。然而研究表明^[6],红壤干旱主要发生在表层,30cm以下土层水分较丰富,这种水分特征对浅根性作物造成严重影响,而对林木和农林间作影响较小,因为林草吸收深层土壤水并与农作分层利用土壤水分;农田可适时灌溉,以满足其生理需水。

2 水分平衡特征

2.1 水分平衡

农业生态系统水分平衡具有以下特征,按亚系统而言,在自然状况下均出现水分亏损,其大小以农田亚系统>林草亚系统>果作亚系统;如果要达到水分收支平衡,果作亚系统每年需灌水 148-1573t/ha,农田亚系统需 8983-9183t/ha,而林草亚系统则主要靠吸收深层土壤水以满足其需求(表1)。

表1 农业生态模式的水平衡^① (t/ha)

项目	收 入				开 支				平衡
	降雨	灌溉水	截留水	小计	蒸发蒸腾	地表径流	深层渗漏	小计	
优化模式*									
阔叶林	18000			18000	14640	5119	1534	21293	-3293
混交林	18000			18000	14640	4784	1647	21071	-3071
1**	18000	148	1494	19642	14436	880	4326	19642	0
5	18000	644	1494	20138	14100	1415	4623	20138	0
水田	18000	8983	887	27870	14170	4200	9500	27870	0
传统模式									
针叶林	18000			18000	14640	5737	1442	21819	-3819
荒坡	18000			18000	10180	8447	1183	19810	-1810
3	18000	738	747	19485	13754	419	5312	19485	0
2	18000	1573	1494	21067	15436	1183	4448	21067	0
4	18000	946	1494	20440	15500	999	3941	20440	0
水田	18000	9183	887	28070	14170	5400	8500	28070	0

* 与传统模式(当地长期使用的模式)相比较的较好模式

** 1. 奈李+花生-绿肥-花生; 2. 柑桔+花生-绿肥-花生; 3. 对照; 4. 花生-绿肥-花生-绿肥; 5. 玉米-荞麦-大麦-玉米。

按立体模式而言,自然状态下,各优化模式也表现水分亏损,以3式>4式>1式>2式,如果要达到水分收支平衡,每年需灌水 3500t/ha 左右(表2)。

表2 立体农业生态模式的水平衡^① (t/ha)

模式	收 入				开 支				平衡
	降雨	灌溉水	截留水	小计	蒸发蒸腾	地表径流	深层渗漏	小计	
1*	18000	3392	969	22361	14686	3100	4575	22361	0
2	18000	3340	969	22309	14814	3050	4445	22309	0
3	18000	3618	969	22587	14586	3196	4805	22587	0
4	18000	3566	969	22535	14714	3146	4675	22535	0
CK	18000	3526	969	22495	12065	7093	3337	22495	0

* 1 阔叶林-[柑桔(+花生-荞麦)]-[玉米-荞麦-大麦]-[稻-稻-肥(麦)]-[鱼-猪-草]

2 阔叶林-[奈李(+花生-绿肥)]-[早稻-荞麦-小麦]-[稻-稻-油(麦)]-[猪-鱼-草]

3 混交林-[柑桔(+花生-绿肥)]-[玉米-荞麦-大麦]-[稻-稻-肥(麦)]-[鱼-猪-草]

4 混交林-[奈李(+花生-荞麦)]-[早稻-荞麦-小麦]-[稻-稻-油(麦)]-[猪-鱼-草]

CK 稀疏马尾松(荒坡)-柑桔(荒地)-花生(荒地)-[稻-稻-闲]-鱼

① 何园球,红壤低丘岗地农业生态系统结构,功能和提高生产力途径研究。资料,1995。

从传统模式与优化模式比较可以得出以下结论:a. 优化模式流失量较小,因而水分利用率较高;b. 优化模式基本上能适应作物需水和天然降水这种供需不平衡的水分特征,达到持续稳产的目的;c. 优化模式能充分利用深层土壤水分和分层利用土壤水分,从而延缓干旱时期,减少干旱程度。

2.2 平衡评价

2.2.1 作物需水规律^①

(1) 花生 在120天的生育期中共腾发337mm水,各生育期需水量占总需水量的比例分别为:播种一出苗期为3.2-6.5%,出苗一开花期为16.3-19.5%,开花一结荚期为52.1-61.4%。与同期降雨量相比,花生耗水量只占降雨量的33.6%,但前期水分过多(烂果),后期出现干旱(秕果),伏、秋旱是影响花生产量最重要因素。

(2) 水稻 生育期为78天的早稻共需耗水217mm用于腾发,各生育期耗水量占总耗水量的比例分别为:苗期占8-10%,分蘖拔节期占13-16%,孕穗抽穗期占50%,成熟期占23-25%。在水稻生育期内,早稻腾发总量是同期降雨量的26.6%。尽管降雨总量有余,但降雨不均时仍需适时灌溉。

(3) 荞麦 生育期为103天的荞麦共消耗427mm水分用于腾发作用,荞麦花期可持续40天左右,因而有较高耗水需求。荞麦耗水量是同期降雨量的175.8%,应适时适量灌溉。

(4) 油菜 一个生育期为200天的油菜共消耗398.4mm水分用于腾发作用,其中裸间地面蒸发量为116.3mm,蒸腾量为282.1mm。耗水总量以苗期最多,苔期最少,花期和荚果成熟期居中。其中苔花期对水分要求最为敏感,以田间持水量的70-85%最为适宜,过多过少则影响产量。油菜耗水量是同期降雨量的71.4%,春夏雨多是限制油菜产量的关键因素。

此外,果作需水要求得到满足后,将获得最好的产量和品质,但若仅得到部分满足,其产量和品质差异很大。实验表明:7月下旬-8月上旬和9月中下旬-10月上旬是柑桔果实膨大的两个高峰期,如此期间水分供应不足,将直接影响柑桔的产量和品质^[6]。

2.2.2 供水保证率

(1) 天然降雨 降雨的季节性差异形成渍害或干旱,使天然降雨对作物需求的保证率尚不足50%。

(2) 土壤供水 红壤无效水库容较高,在0-20cm,0-50cm,0-100cm土层内无效水库容分别达38.4、111.1和230.3mm,有效水库容则分别为21.5、48.1和104.2mm,约占贮水库容的1/3。不同植被对不同深度土壤水分利用有明显的差异,在1m土层有效水利用中,以深根性林木最高,桔、茶、杉树居中,达31.9-36.3%,旱地则低于28%^[7]。

2.2.3 稻田水分平衡评价

综上所述,作物水分平衡不只是降雨与作物需水间的简单平衡,必须考虑降雨性质、作物需水特性和各生育期对水分的敏感性和忍耐性以及不同土壤、土层的供水能力等综合因子,以得出符合实际的水分补给量。田间水量平衡方程为^[8]:

$$h_1 + p + m - E - c = h_2$$

式中 h_1 : 时段初田间水面深度; h_2 : 时段末田间水面深度; p : 时段内降雨量; c : 时段内排水量; m : 时段内灌水量; E : 时段内田间耗水量。现引用其计算余江县典型年份(1974年)^[8],

① 张佳宝、于德芬、何园球,红壤丘陵区作物耗水需水研究,资料,1995。

双季稻田水量平衡(表3)。

表3 余江县典型年(1974年)早稻、晚稻水量平衡分析计算表 (mm)

生育期(月/日)	渗漏量	耗水量	降雨量	灌水量	排水量
早 稻					
泡田期(4.10-24)	-	-	-	120	-
返青期(4.25-5.7)	39	97	123	-	-
分蘖前期(5.8-5.29)	76	162	91	73	-
孕穗抽穗期(5.30-6.19)	63	168	127	129	47
成熟期(6.20-7.17)	84	190	427	36	358
全生育期(4.10-7.17)	262	616	768	359	404
晚 稻					
泡田期(7.18-7.25)	-	-	-	120	-
返青分蘖期(7.26-9.3)	120	373	57	316	-
孕穗抽穗期(9.4-9.30)	81	203	15	219	-
成熟期(10.1-10.29)	87	190	53	141	18
全生育期(7.18-10.29)	288	767	125	795	18

结果表明:早稻生育期内利用降水768mm,占年降雨量的50.3%,排水量占26.4%;晚稻生育期内利用降水125mm,占全年降雨量的8.2%,排水量占1.2%;稻田总耗水量1383mm,其中早稻耗水616mm,晚稻耗水767mm;保证水稻正常生长的条件下,在不同生育期共需灌水1154mm,其中早稻灌水358mm,晚稻795mm。

2.2.4 土壤供水与作物需水平衡的预测

土壤水分平衡方程可写为:

$$R + I - P - F - C - Et - \Delta W = 0$$

式中:R为降雨量,I为灌溉量,P为下界面渗漏量,F为径流量,Et为农田实际蒸散量, ΔW 为土体内储水量变化量,C为植被截留量。

在土壤水量平衡模型中,一般而言,C仅占降雨量3-5%;可忽略不计。南方丘陵地下水位较深,如果选择一个较厚的土体,就可以假定土体下边界的水分交换为0,如果计算土壤水量平衡时段内灌溉量为0,那么土壤水量平衡模型可以简化为:

$$IF - Et = \Delta W$$

式中IF为入渗量,即R-F。

红壤地区的降水入渗和再分配较复杂,具有较强的时间变异性。入渗系数除4-6月份为1/3外,其余均为2/3。

有了上述假设,我们可以建立利用气象资料模拟土壤水分动态模型:

$$\Delta W = R \times a - E$$

式中R为降雨量,a为入渗系数,E为蒸发量模拟结果如图1,从图1可以看出,花生生育期内土壤水分基本可以满足花生生长发育的需要;而在花生的生育后期,降雨量不断减少,潜在蒸散量持续增加,7月1日以后,土壤储水量均低于凋萎系数,如不及时灌溉,土壤水分亏缺将成为花生生长发育和产量形成的重要胁迫因子。

南方低丘红壤区的花生生育期一般为120天,若4月10日播种,8月10日收获,这期间最小灌溉量为239mm,如果采用地膜覆盖,3月20日播种,7月20日收获,最小灌溉量仅为141mm。另一方面,在雨季末期,在花生行间中耕,促进水分入渗,增加底墒,也是缓解旱情的

有效措施。

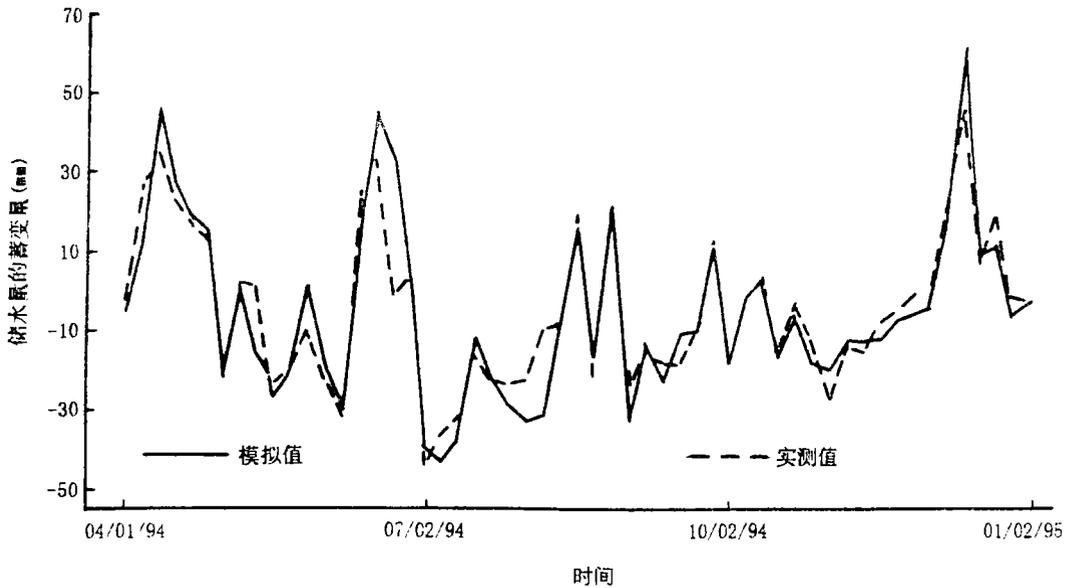


图1 不同时间0-2m土体内储水量的模拟值与实测值^①

3 调控水循环和水平衡的措施

综上所述,红壤区水分利用过程中存在的主要问题是:由于降雨不均和农业利用不合理,引起水分损失,供需不均和利用率低。调控的主要途径包括灌水、节水和调控措施。

3.1 灌水措施

研究表明:当稻田表层土壤含水量为最大持水量的80%时,水稻的光合作用并不低于水层灌溉处理,这可作为两次间歇水分控制指标的下限,因此可根据土壤含水量用间歇灌溉法进行灌溉^[6]。

对于旱地来说,可采用三种方法解决干旱问题:玉米、早稻之类,应尽量早播,并用早熟品种,力争7月上旬成熟;花生之类,在其生长后期受干旱的威胁较大,应采用移动式喷灌措施,不定期灌水1-2次;果树、茶叶之类,每年夏秋季节几乎都要遇到干旱,应采用固定式滴灌,既能及时灌溉,又经济用水。

3.2 节水措施

(1) 拦截地表径流 生物工程拦截,蓄丰补欠,缓解伏秋干旱。坡地修梯田、挖鱼鳞坑和水平沟是分段阻截径流、就地贮水的有效办法;在轻、中度侵蚀地周边种植草带,严重侵蚀地封山育林,可使径流量减少53%,泥砂冲刷量减少19倍^[4]。

(2) 覆盖保墒 覆盖可有效地减少地表径流和地面蒸发,增加土壤渗漏而增加土壤贮藏水。主要有残茬覆盖,秸秆覆盖、活物覆盖以及地膜覆盖等。结果表明,在雨养条件下,覆盖比对照增产玉米16-20%,大豆29.3%,花生38.2%,柑桔增产6.0-14.5kg/株,不同覆盖物以死物覆盖保墒效果最佳,每年可节水6000t/ha,活物覆盖可节省3000t/ha,薄膜覆盖则节水3750t/ha^[9]。其作用机理是增加土壤渗漏,提高土壤深层贮水容量并提高土壤有效水含量。

① 赵春生,红壤兵陵区土壤水分动态的随机分析与模拟。硕士研究生论文,1995。

(3) 节水灌溉 改淹、漫灌为沟灌、浇灌,逐步推行喷灌、微灌与滴灌。实验表明:采取上述措施可节水 50%,并可提高果作产量和品质^[1]。

3.3 调控措施

(1) 林农间作 在农业生态系统的各个亚系统中实行林作、林草、果作的间套混作,多层配置,使高矮、生育期、营养需求不同的植物形成适生互补的共生群落。实验表明,林中间套花生,比纯林、纯花生增加田间持水量 48 - 59g/kg,增加有效水 11 - 15g/kg^[7],并缓冲地面水热状况,促进水肥效应,主要原因是林作根系深扎,增加土壤深层贮水库容,并分层利用土壤不同时空水分之故。

(2) 合理耕作 通过中耕破坏表层毛细管,减少地表蒸发,提高水分利用率。实验表明:中耕与不中耕相比,花生地 30cm 土层含水量提高 5%,产量增加 15% 左右^[6]。

4 小 结

(1) 红壤农业生态系统水分循环包括外循环,内循环和亚系统间的循环三部分,其水分状况的基本特征是水分流失量大、供需不平衡和有效性低,造成作物灾害频繁,伏、秋旱严重限制作物和林果生长,是低产和产量波动的关键因素。

(2) 根据作物需水规律和供水保证率,对作物水分平衡进行估算,确定了双季稻水分补充量为 1154mm,其中早稻 358mm,晚稻 795mm,而林木根系深而发达,能吸收深层土壤水,受害程度轻微,果树主要在花期和果实膨大期需要水分,可视条件灌溉 1 - 3 次。此外,还试图用当地气象资料进行土体储水量的模拟预测,模拟结果基本上反映了田间土壤水分动态,相关系数达 0.928。

(3) 调控水循环和水平衡主要有灌水、节水和调水等措施。其中实行立体种植模式、间套作等耕作措施,可减少水分流失量,提高水分利用率,协调天然降水和作物需水的矛盾,并能充分利用土壤深层水分并分层利用土壤水分,从而延缓干旱时期,减少干旱程度。

参 考 文 献

- 1 王明珠. 低丘红壤生态环境的退化现状机制及其防治. 江西农业学报, 1995, 7(增刊): 1 - 20
- 2 赵其国等. 我国热带亚热带森林凋落物及其对土壤的影响. 土壤, 1993, 25(2): 1 - 7
- 3 何园球等. 低丘红壤水动态和元素浓度特征. 红壤生态系统研究第一集. 科学出版社, 1993, 170 - 178
- 4 石华等. 红壤与环境间的物质交换及其与植物生长的关系. 红壤生态系统研究第二集. 江西科技出版社, 1994, 183 - 190
- 5 姚贤良等. 红壤的库容及其对抗旱性能的影响. 红壤生态系统研究第二集. 江西科技出版社, 1993, 264 - 268
- 6 朱红霞, 姚贤良. 红壤丘陵区桔园土壤的水份特点及其管理. 红壤生态系统研究第二集. 江西科技出版社, 1993, 277 - 282
- 7 谭清美, 王明珠等. 低丘红壤区水资源的时空变异及综合开发利用. 红壤生态系统研究第三集. 农业科技出版社, 1995, 260 - 270
- 8 谭清美等. 余江县降水量分布特性及典型年稻田水量平衡分析. 江西农业学报, 1995, 7(增刊): 32 - 35
- 9 何园球等. 红壤丘陵区水分、养分循环特点与资源合理利用. 红壤生态系统研究第二集. 江西科技出版社, 1994, 217 - 220