

滇中高原红壤旱地水分平衡定位研究

马渭俊*

(中国科学院昆明生态研究所)

文化一

(云南省农业科学院土壤肥料研究所)

摘 要

本研究利用自制的蒸渗仪,在滇中高原通过三年(1983—1985)实地观测表明各项水分参数规律性较强,并经相关分析与附近流域水文站同期的多年资料比较,结果较接近。证明这套仪器设计合理,结构简单,操作方便,精度较高,观测项目多,投资少,具有一定的创新与先进性。

本研究应用农业覆盖技术,较合理利用了降水资源,调节了水分循环。

本研究所取得的大量土壤水分平衡参数及其动态变化规律为本地区红壤改良、农业区划和农业生产提供了科学依据。

滇中高原是云南省的主要农作区,总耕地面积为 1134.3 万亩,其中旱地面积为 680.6 万亩。但因受气候因素的限制,年年发生春旱,严重地影响了本区农业生产的发展,其关键问题是如何充分合理利用降水资源,尽量提高水分利用率,在有限水资源条件下获得更多的产品和更高的经济效益。其中调节土壤水分的循环,包括降水与蒸发,径流与入渗,亏缺与补给等是具有重要的作用。本文根据三年定位实测资料,对滇中高原红壤旱地各项水分参数^[2]作了较系统分析,为提高本区农业生产与水分利用率提供了科学资料。

一、水分平衡定位站的概况

本项试验设置在陆良县大莫古区太平哨乡(北纬 25°02', 东经 108°40' 海拔为 1850 米),属滇中高原丘陵缓坡区(坡降为 5°C 左右)。土壤为典型的山原红壤,土壤冲刷严重,铁锰结核多,土壤剖面特征及理化性质列于表 1。

本区属北亚热带高原季风型冬干夏湿的气候区,其特点是气候终年温和,冬无严寒,夏无酷暑,春暖干旱,秋凉湿润,干湿季明显。一年中 11—4 月为干季和 5 月—10 月为雨季,年均降水量 991.1 毫米,约有 80% 左右集中在雨季。年均温为 14.7°C。蒸发器蒸发量全年为 1927.9 毫米是降水量的 1.95 倍,年日照为 2239 小时,年均相对湿度为 73%。本区以西南季风为主,年均风速为 2.8 米/秒,大风集中在 1—5 月,风速为 3—4 米/秒。

* 马渭俊同志原在云南热植所工作,现已调至昆明生态所,而本项研究是他曾在云南省农科院土肥所的工作内容。

表 1 土壤剖面特

Table 1 Characteristics of soil profile and

土层及深度 (cm) Horizon and depth	剖面特征 Characteristic of profile	容重 (g/cm ³) density	总孔隙度 (容积%) Total porosity % of volume	最小持水量 (%) Minmum waterholding capacity
A 0—20	红褐色、中壤、小团粒结构松散、Fe、Me 结核较多	1.23	52.69	21.2
B 20—80	深红褐色、重壤—轻粘微团聚体结构，土体较松	1.29	51.32	30.5
C 80—	深红褐色、粘土、棱块状结构土体坚实、湿润、土壤表面有胶膜	1.50	44.14	34.9

二、试验仪器及方法

(一) 试验仪器

我们从美国液压称重法中得到启示，改称重法为容量法而自行设计并组装了一套小而精，观测简单，数据准确，精度较高，测定项目完整的蒸渗仪(图 1)。

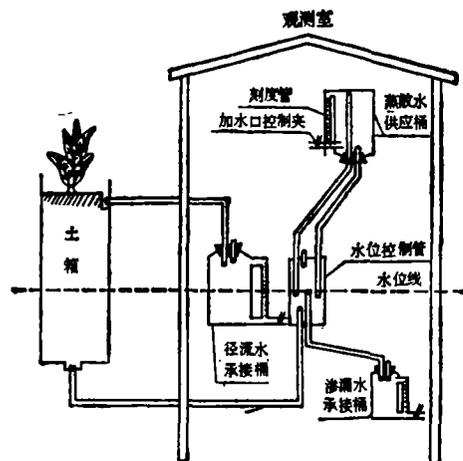


图 1 水量平衡定位观察蒸渗仪示意图

Fig. 1 The evapotranspiration-permeameter schematic diagram for water balance fixing-position observation

1. 仪器原理：运用液体力学连通原理及蒸散桶内的液体重量加上桶内的气体负压力等于一个大气压的气体力学原理，再通过水位控制管，组成了一套自动供水排水的蒸渗仪。如果再配上自记装置，就可以成为完全自记的蒸渗仪。

2. 仪器测定项目：本组仪器一次能同时观测到：土壤地表径流量，土壤渗漏量，土壤蒸发量，植物蒸腾量，植物截流量等水分参数。结合气象要素就可以进行水分平衡计算。

征及理化性质

its chemical and physicl properties

土壤透水性 (mm/min) Soil water perme ability			pH	有机质 (%) Orgnic matter	全 量 (%) Total		
max	min	Average			N	P	K
2.21	0.67	1.01	5.76	1.25	0.070	0.135	0.53
			5.50	0.35	0.033	0.115	0.59
			5.03	0.23	0.025	0.105	0.53

(二) 试验方法

1. 小区试验地共 11 个处理(表 2), 直接布置在大田中, 其种植方法、施肥和田间管理等措施都与大田一致。

表 2 试验小区安排

Table 2 Arrangement of experimental plots

项目 Item	处理 Treatment										净水面 Water
	薄膜覆盖* Plastic film cover	死覆盖* Plant trash cover	对照 CK	对照 CK	死覆盖 Plant trast cover	活覆盖* Plant cover	薄膜覆盖 Plastic film cover	裸地对照 Bare soil CK			
小区编号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十一	十
作物	烤烟	蚕豆	小麦	玉米	大麦	蚕豆		无作物			
水位控制 高度	表土以下 70cm							表土以下 200 cm	表土	水深 70cm	

* 死覆盖: 松毛 杂草干。 活覆盖: 绿肥。 薄膜覆盖: 无色农用地膜。

2. 为使水分数据正确, 一律采用面积为 1 米² 的原状土柱, 其土体深度: 1—8 小区为 1.7 米, 9 小区为 2.2 米, 11 小区为 0.7 米, 10 小区无土(净水)。

3. 本试验以最优供水条件下作物产量及土壤毛管水上升高度和速度为依据^[1], 把水位控制在表土以下 0.7 米处。

4. 除观测前述五个水分参数外, 同时观测水分平衡定位站附近的各项气象要素。

5. 1—7 小区测定作物产量及秸秆产量。

三、试验结果的分析与讨论

(一) 水分平衡动态变化的一般规律

为清楚地说明水分季节性动态变化规律与各水分参数之间的相关性, 我们将 1983—

表3 水分参数的季节性变化(3年总量)
Table 3 Seasonal change of moisture parameters (total of 3 years)

项目 Item	雨 季 The raining season												干 季 The dry season				总计 Total
	前期(11月--1月) Preceding stage												后期(2--4月) Late stage				
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	合计	2月	3月	4月	合计			
降雨量	毫米	407.3	450.0	467.3	517.5	438.2	183.1	2463.4	138.5	82.3	36.1	256.9	47.6	62.5	142.9	253.0	2973.3
	占总量%	13.70	15.14	15.73	17.43	14.76	6.16	82.92	4.66	2.77	1.21	8.64	1.60	2.10	4.74	8.44	100.00
蒸发器蒸发量	毫米	688.0	516.5	509.3	430.6	387.4	304.2	2786.0	307.9	290.1	392.7	990.7	538.1	689.1	779.8	2007.0	5783.7
	占总量%	11.03	8.93	8.81	7.45	6.70	5.26	48.18	5.32	5.02	6.79	17.13	9.30	11.91	13.48	34.69	100.00
径流量	毫米	186.9	215.7	252.5	253.9	248.4	79.1	1236.5	57.7	34.8	15.3	107.8	21.8	32.6	41.4	95.8	1440.1
	占总降雨量%	6.29	7.26	8.5	8.55	8.36	2.66	11.62	1.94	1.17	0.51	3.62	0.73	1.10	1.39	3.22	48.46
渗漏量	毫米	120.1	149.9	146.8	179.5	126.9	51.6	774.8	46.0	10.1	9.3	65.4	16.3	15.1	27.7	59.1	899.3
	占总降雨量%	4.04	5.05	4.94	6.04	4.27	1.74	26.08	1.55	0.34	0.31	2.20	0.55	0.51	0.93	1.99	30.27
蒸发总量	毫米	127.3	248.2	256.8	228.9	189.1	158.3	1208.6	123.8	131.8	157.5	413.1	226.6	252.6	539.2	1018.4	2640.1
	占总降雨量%	4.29	8.35	8.64	7.70	6.36	5.33	40.67	4.17	4.43	5.30	13.90	7.62	8.50	18.15	34.27	88.84
降雨提供量	毫米	76.1	84.4	68.0	84.1	62.9	52.4	427.9	34.8	37.4	11.6	83.8	9.5	14.8	96.0	120.3	632.0
	占总降雨量%	2.56	2.84	2.29	2.83	2.12	1.76	14.40	1.17	1.26	0.39	2.82	0.32	0.50	3.23	4.05	21.27
仪器补给量	毫米	51.2	163.8	188.8	144.7	126.2	105.9	780.6	89.1	94.4	145.9	329.4	217.0	237.8	426.0	880.8	1990.8
	占总蒸发量%	1.94	6.21	7.15	5.48	4.78	4.01	29.57	3.37	3.57	5.53	12.47	8.22	9.01	16.14	33.27	75.41

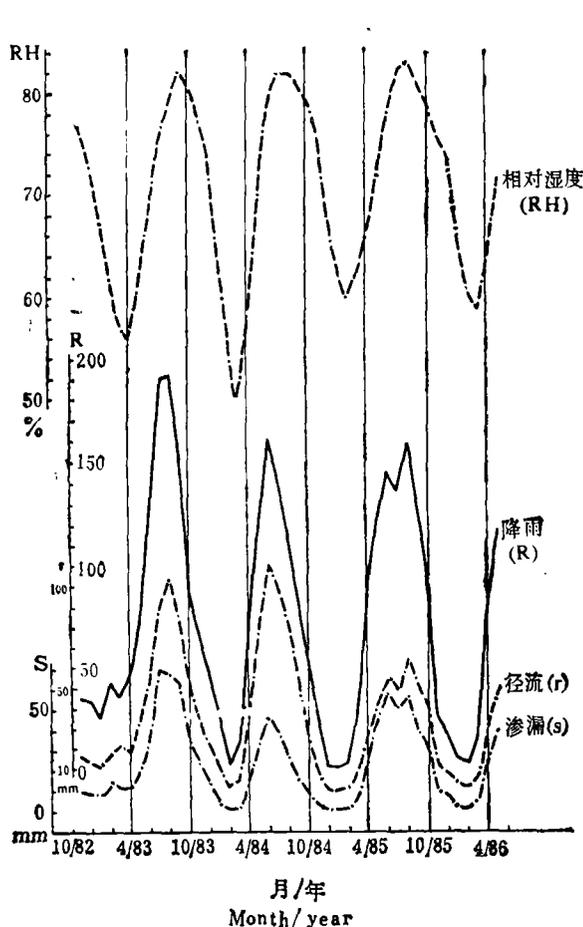


图 2(a) 降雨、径流、渗漏及相对湿度曲线

Fig. 2 (a) Curves for rainfall, runoff, percolation and relative humidity

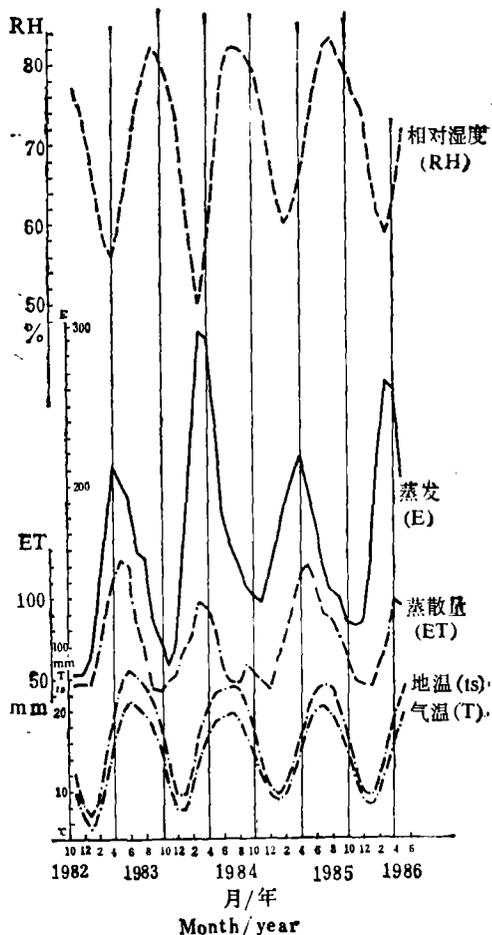


图 2(b) 蒸发、蒸散、地温、气温及相对湿度

Fig 2 (b) Curves for evaporation, evapotranspiration, soil temperature, air temperature and relative humidity

1985 年的 4 号¹⁾小区的观测数据(表 3)整理绘成相关曲线图 2a. 及 2b。

由此,可明显看出: 降雨量、径流量、渗漏量和蒸散量都有周期性的变化, 根据降雨、径流、渗漏及蒸散量特征可将本区分为季节性变化的三个不同阶段^[3]。

1. 雨季严重水土流失期与中强蒸散期 每年的 5—10 月为雨季, 降雨频繁, 强度大且集中, 占年雨量的 82.9%, 故流失特多, 径流占全年的 85.7%, 渗漏量占全年的 86.2%。由于雨季湿度大, 蒸散量相对减少, 虽然土壤潮湿但气温较高, 作物生长旺盛, 故土壤蒸发、作物蒸腾还是相当大的, 占年蒸散量的 45.8%

2. 干季前期轻微流失与轻微蒸散期 每年 11—1 月为干季前期, 降雨只占全年的 8.6%, 降雨强度小, 土壤经翻耕比较疏松, 刚播种小春作物, 降雨时不易产生径流, 故流失

1) 4 号小区为玉米-大麦农作区, 不加覆盖, 代表性强。

量较少,径流量占全年的 7.6%,占年降雨量的 6.6%,渗漏量占全年的 7.7%,占降雨量的 25.4% 本期气温较低(平均约 8℃),而空气相对湿度为 70% 左右,且逢小春作物的幼苗期,蒸腾量较少,蒸散量只占全年的 15.7%。

3. 干季后期轻微流失与强烈蒸散期 每年 2—4 月为干季后期,正值干暖季节,降雨量只占全年的 8% 左右,此时土壤含水量较低,渗透性好,故流失量小。径流量和渗漏量只有全年的 6.6%,占全年降雨量的 2% 左右。此期气温回升快,风大及相对湿度小,土壤蒸发和植物蒸腾特别强烈,三个月的蒸腾量占全年的 38.6%,为强烈蒸散期。

据上所述,滇中一带如能在冬末大田中进行薄膜或稿秆覆盖,可抑制土壤强烈蒸发,约能减少年降雨量的 20% 左右的水分支出。所以如在 5 月前做好农田中防止水土流失的农业技术措施和水土保持工程措施就能大大减少水土流失。

(二) 水分平衡中各水分参数之间的关系

三年总降水量为 2973.3 毫米,径流量为 1440.1 毫米,占总降水量的 48.5%,渗漏量为 899.2 毫米,占降水量的 30.3%,蒸散量中降水提供的只有 632.0 毫米,占降水量的 21.3%。三年的总蒸散量为 2639.9 毫米,仪器补给量为 1990.8 毫米,占总蒸散量的 75.4%。

如上所述,本地降水量约一半为地表径流所损失,降水量只有 30.3% 能被土壤保住。由此可见,其水土流失的严重性可想而知了。另外,供土壤蒸发和植物蒸腾耗水只有 21.3% 由降水提供,其余的需要外面提供,这说明了当地缺水的严重性。必须采取切实可行的保水措施,才能改善农业生产的落后面貌。

(三) 水分参数与气象要素之间的相关规律

由图 2 明显看出:蒸散量随着空气相对湿度增大而减少,即蒸散量的峰谷区正对相对湿度的谷峰区。另外,径流量与渗漏量曲线完全随降雨量曲线而同步升降,只是数值差异。通过这几组曲线的相关分析,降雨量与径流量和渗漏量的相关系数 r 值为 0.9196 和 0.9502,蒸散量与相对湿度的 r 值为 -0.4829 ,说明是负相关。蒸散量与蒸发器蒸发量和地温的相关系数分别为 0.6896 和 0.5261,检验表明都达到了 0.01 显著性水准(表 4)。

(四) 不同覆盖处理对水分参数的影响

任何作物与覆盖物都能减少雨滴对土壤表面的冲击力,起到截留雨水,减缓径流速度,延长水分入渗时间,达到保持水土的目的,同时覆盖物也能起荫蔽土壤、减缓地表风

表 4 相关分析表

Table 4 Analysis table of correlation

关 系 Relationship	相关系数 (r) Coefficient of correlation	n	显著性检验 Significance 0.05	Test 0.01
蒸散量与相对湿度	-0.4829	30	>0.361	>0.463
蒸散量与蒸发器蒸发量	0.6896	36	>0.325	>0.418
蒸散量与地温	0.5261	36	>0.325	>0.418
径流量与降雨量	0.9196	36	>0.325	>0.418
渗漏量与降雨量	0.9502	36	>0.325	>0.418

表 5 不同覆盖对土壤径流量、渗透量、蒸散量的影响(三年平均降雨量 991.1 毫米)
 Table 5 Effect of different covers on runoff, seepage, evapotranspiration of soil
 (The mean rain capacity of 3 year 991.1mm)

项 目 Item	处 理						Treatment	
	死 覆 盖 Plant trash cover (A)	活 覆 盖 Plant cover (B)	薄 膜 覆 盖 Plastic film cover (C)	对 照 CK (D)	D - A	D - B		D - C
径 流 量 (毫米)	前期(11-1月)	23.1	30.6	51.8	35.9	+12.8	+5.3	-15.9
	后期(2-4月)	17.2	25.5	55.9	31.9	+14.7	+6.4	-24.0
	雨季(5-10月)	257.8	337.2	579.0	412.2	+154.8	+75.0	-160.8
	合 计	278.1	391.2	686.6	480.0	+181.9	+88.8	-206.6
渗 透 量 (毫米)	占年降雨量%	30.1	39.5	69.3	48.4	18.4	8.9	-20.9
	前期(11-1月)	37.5	24.2	8.0	21.8	-15.7	-2.4	+13.8
	后期(2-4月)	28.8	26.6	6.0	19.7	-9.1	-8.9	+13.7
	雨季(5-10月)	420.3	314.1	104.9	258.3	-162.0	-55.8	+153.4
蒸 散 量 (毫米)	合 计	486.6	364.9	119.0	299.7	-186.9	-65.2	+180.7
	占年降雨量%	49.1	36.8	12.0	30.2	18.9	6.6	18.2
	前期(11-1月)	96.9	110.3	66.9	137.7	+40.8	+27.4	+70.9
	后期(2-4月)	239.2	283.4	171.4	339.5	+100.3	+56.1	+168.1
蒸 散 量 (毫米)	雨季(5-10月)	309.8	342.1	253.8	402.8	+93.0	+60.7	+149.0
	合 计	645.9	735.8	492.1	880.0	+234.1	+144.2	+387.9
	占年降雨量	65.2	74.2	49.7	88.8	23.6	14.6	39.1

速,从而起减少土壤水分蒸发的作用。三种覆盖物试验,结果如表 5。由表可看出:

1. 死覆盖能减少径流 181.9 毫米,占年降雨量的 18.4%;渗漏量增多 186.9 毫米,占年降雨量的 18.9%;蒸散量减少 234.1 毫米,占年降雨量的 23.6%;三项合计为 602.9 毫米,占年雨量的 60.8%;则相当于每年每亩能保住 400 吨左右的水量,而这么多水量完全能保证小春作物达到丰收的用水量。可见死覆盖值得在农业上大力推广。

2. 活覆盖其径流量减少 88.8 毫米,占年降雨量的 8.9%;渗漏量增加 65.2 毫米,占年降雨量的 6.6%;蒸散量减少 144.2 毫米,占年降雨量的 14.6%;三项合计为 298.2 毫米,占年降雨量的 30.1%,即相当于每亩保水量达 200 吨左右。

3. 薄膜覆盖径流量比对照大,这主要因薄膜不透水,因此使用薄膜覆盖必须要开好截流沟,以减少径流损失。渗漏量比对照多 180.7 毫米,如种玉米其截流沟可截流水量再在根部培土,即能起到良好的保水作用。所以,薄膜覆盖的保水作用最好,可减少蒸散量 387.9 毫米,占年降雨量的 39.1%,相当于每年每亩能保水量为 250 吨左右。

由上述可知,覆盖对减少径流,增加渗漏,减少蒸发量有着明显的作用。这对干旱地区或雨量分布不均匀的地区,是一项获得农业高产的关键措施。只要因地制宜合理使用农业覆盖技术,就能充分合理地利用有限的降水资源,进而达到获得更多的产品和更高的经济效益的目的。

(五) 不同覆盖物对作物产量的影响

作物产量除与水分、肥料、农业管理等有关,还与土壤温度、土壤空气湿度及土壤微生物等因子有密切关系,覆盖物对这些因子有着直接影响,进而对产量有明显的差异(表 6)。

表 6 不同覆盖对玉米、大麦、烤烟产量的影响(三年平均值公斤/亩)

Table 6 Effect of different covers on corn barley and tobacco yield
(unit: kg/mu The mean of 3 years)

项目 Item	处 理 Treatment										
	死覆盖 Plant trash cover (A)	活覆盖 Plant cover (B)	薄膜覆盖 Plastic film cover (C)	对照 CK (D)	A - D	B - D	C - D	$\frac{A - D}{D}$ %	$\frac{B - D}{D}$ %	$\frac{C - D}{D}$ %	
玉米	籽实产量	308.3	283.2	241.9	217.8	90.5	65.4	24.1	41.55	30.03	11.07
	秸秆产量	558.4	509.9	535.1	451.1	107.3	58.8	84.0	69.63	38.16	54.51
	合计	866.7	793.1	777.0	688.9	197.8	124.2	108.1	29.57	18.57	16.16
大麦	籽实产量	153.6	130.1	119.8	115.6	38.0	14.5	4.2	32.87	12.54	3.63
	秸秆产量	160.7	142.2	131.2	112.9	47.8	29.3	18.9	42.34	25.95	16.79
	合计	314.3	272.2	251.2	228.4	85.8	43.8	23.1	37.57	19.18	10.11
烤烟产量	246.0	—	310.7	197.3	48.7	—	113.4	24.68	—	57.48	

由表 6 可知: 1. 死覆盖与对照相比,能使玉米籽实和秸秆分别增产为 90.1 公斤/亩(即增 41.55%)和 107.3 公斤/亩(即增 69.63%);大麦的籽实和秸秆分别增产为 38.0 公

斤/亩(即增 32.87%)和 47.8 公斤/亩(即增 42.34%); 烤烟增产为 48.7 公斤/亩(即增 24.68%)。

2. 活覆盖(玉米地套种绿肥)玉米籽实和稿秆比对照分别增产 65.4 公斤/亩(30.03%)和 58.8 公斤/亩(38.16%); 大麦的籽实与稿秆分别增产 14.5 公斤/亩(12.54%)和 29.3 公斤/亩(25.95%)。

3. 薄膜覆盖的玉米籽实和稿秆比对照分别增产 24.1 公斤/亩(11.07%)和 84.0 公斤/亩(54.51%); 薄膜覆盖的三种作物之间, 种植烤烟效果特别明显, 每亩可增产 113.4 公斤/亩(57.84%)。

由上所述, 三种覆盖对作物都有一定的增产作用: 死覆盖对作物有明显的增产效果, 主要因为它能减少水分蒸发, 保证了作物生长用水; 同时覆盖物通过雨季腐烂后增加了土壤有机质, 能改善土壤结构, 提高土壤肥力, 逐渐变水分恶性循环为良性循环。活覆盖的玉米地种绿肥增产效果也较理想, 而且其籽实与稿秆增产比例适当, 所以宜大力推广套种绿肥。薄膜覆盖后土壤温度能提高 2—5℃, 土壤湿度能保持均匀一致, 有利于土壤微生物活动和加速土壤养分的转化, 能随时供应作物营养生长的需要, 因而使烤烟不仅产量高而且质量也较好, 一般上中等烟占总产量的 69.11%。所以, 薄膜覆盖技术应在烤烟的种植中大力推广。

(六) 试验数据的验证

本仪器设计是封闭式的容量法, 加上试验方案是以最优供水条件下提高作物产量为依据的, 为此, 我们设计方案中设置了五个对照小区, 利用其裸地小区与试验小区比较, 同时应用南盘江流域水文站作比较^[4], 并求得比值来验证我们观测数据的正确性, 其详细数据列于表 7。当地下水位提高到离地面 0.7 米时, 四号小区的径流量与径流系数、渗漏量、蒸散量分别比裸地九号小区增加了 1.31、1.91、1.81 倍。如用 1—7 号小区的观测所得各项水分参数除以上述各相应系数, 即可得到接近自然状况下的各项水分参数。

表 7 空白对照小区土壤水分参数比较(三年平均降雨量 991.1 毫米)

Table 7 Comparison for moisture parameters in blank control plot (the mean capacity of 3 years 991.1mm)

项 目 Item	小区*号 Plot					A/C	B/C	D/C	E/C
	四 (A)	八 (B)	九 (C)	十 (D)	十一 (E)				
径流量(毫米)	480.0	488.1	365.8	826.8	780.2	1.31	1.33	2.26	2.13
径流系数(%)	48.44	48.85	37.22	83.42	78.72	1.31	1.33	2.26	2.13
渗漏量(毫米)	299.8	291.8	156.9	—	—	1.91	1.86	—	—
蒸散量(毫米)	879.9	697.6	487.2	1039.8	1304.7	1.81	1.43	2.13	2.68

* 各小区处理见表 2。

九小区的水分参数是否与当地自然状况相符呢? 我们用南盘江流域的水文资料(水文站测)加以验证(表 8), 由表可知: 径流量、蒸散量和水文站的数据都很接近, 说明观测数据是比较可靠和正确的。

表 8 南盘江流域水文站与试验地蒸散量、径流量的比较
Table 8 Comparison for runoff and evapotranspiration between hydrological station in Lan Pan river valley and test plot

地 点 Locality	蒸散量 Evapotranspiration (mm)	降雨量 Rainfall (mm)	径流量 Runoff (kg)	径流面积 Area of runoff (m ²)	径流量 Runoff (mm)	径流系数 Coefficient of runoff (%)	备 注 Note
试验地九号小区 Siteg	669.1	991.1	365.29	1	365.3	36.85	1983—85 年
西桥* Xiqiao	673.5	1038.2	11.86 × 10 ¹¹	3253 × 10 ⁶	364.7	35.12	1983—85 年
				3253 × 10 ⁶	351.9		1960—80 年
沾益* Zhangyi	611.9	1057.9	2.16 × 10 ¹¹	619 × 10 ⁶	348.9	32.94	1960—80 年
陆良* Lulian	633.1	1010.6	应用布迪科公式计算陆面蒸发量				1980—85 年
	620.0						1960—80 年

* 资料取自《中国地理丛书》的《云南地理》。

参 考 文 献

- [1] A. A 罗戴著,巴逢辰等译,1964: 土壤水。第六章,第四、五节,科学出版社。
[2] 云南省气象局编,1984: 云南省农业气象资料集,云南人民出版社。
[3] 马润俊、汪汇海,1981: 滇南热区开发与水土流失关系的研究。土壤通报,第 4 期,10—12 页。
[4] 赫维人等,1981: 云南农业地理。第三章第 1 节,云南人民出版社。

WATER BALANCE STUDY AT A FIXED POSITION ON UPLAND RED EARTH OF CENTRAL YUNNAN PLATEAU

Ma Weijun

(Kunming Institute of Ecology, Academia Sinica)

Wen Huayi

(Institute of Soil and Fertilizer, Yunnan Academy of Agricultural Sciences)

Summary

Filed observation for water balance in upland red earth of Central Yunnan Plateau was made using self-made evapotranspiration-permeameter in 1983—1985. Data obtained showed that (1) the results obtained by the evapotranspiration-permeameter were quite consistent with the data of the Hydrological station in the same period, which proved that the self-made evapotranspiration-permeameter is highly precise, convenient for operation, (2) soil mulching study gave very good results for both increase soil water retention and crop yield