

# 宁南黄土丘陵区不同轮作方式 农田水分平衡研究

刘 忠 民

(中国科学院西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)  
水利部

## 提 要

通过定位试验,对宁南黄土丘陵区几种轮作方式的农田水分平衡进行了研究。结果表明:粮豆轮作方式(春豌豆—→春小麦—→春小麦—→糜子)能较好地调节土壤水分,使其轮作周期内的农田水分基本保持平衡状态;苜蓿参与草田轮作是可行的。当苜蓿生长到5至6年时,1m以上土层含水量基本适于耐旱作物种植(如谷子),经过2至3年种植作物后,2m以上土层含水量可得到恢复;春小麦长期连作水分亏缺矛盾不太突出,但会导致土壤肥力减退,病虫害蔓延,杂草滋生,降低生产力。

关键词:黄土丘陵区 不同轮作方式 水分平衡

## Research on Soil Moisture Balance of Farmland under Different Rotation Systems in Loess Hilly Areas of South Ningxia

Liu Zhongmin

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica  
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

### Abstract

The location experiments have been carried out to study soil moisture balance of farmland under different rotation systems in loess hilly areas of South Ningxia. The results show that the rotation between grain and bean (i. e. , spring pea —spring wheat—spring wheat—broom corn millet) could adjust soil moisture and maintain the soil moisture in basic balance within the rotation 's period ;alfalfa can be taken as a part in the rotation of grass—crop . The soil moisture in layer of 1 m is adaptative to plant drought—resistance crops, such as millet, after the alfalfa grows 5—6 years; the soil moisture in layer of 2 m can be replenished after the drought—resistance crops were planted for 2—3 years . The long—term continuous cropping of spring wheat can lead to the decreasing of soil fertility ,the extending of pest and diseases ,the breeding of weeds and the reducing of productivity ,but can not cause heavy problem for soil moisture.

**Key words** loess hilly areas different rotation systems soil moisture.

水分是植物赖以生存的必要条件,黄土丘陵区半干旱地区自然降雨量偏少,且分配不均,农作

物常受到干旱胁迫而影响正常生长发育,并降低生产力。因此,半干旱地区种植的头等重要的问题,就是如何合理利用有限降雨资源,提高水分利用效率。根据作物和牧草利用水分的特点和效能,结合当地气候条件进行合理轮作,以调节土壤水分,提高其利用率,保持相对稳定的生产力。为此,我们在黄土高原西部,宁夏南部丘陵区进行了专题研究。

## 一. 试验基地的自然概况

试验布设在宁夏固原县河川乡上黄村,属典型的半干旱丘陵区,海拔 1 765m。年平均降雨量 478.2mm,集中在 7、8、9 三个月,这期间降雨量占当年降雨量的 59.6%,干燥度 1.55,4~5 月干燥度达 2.49。试验期间(1985~1980 年)年平均降雨量 394.6mm,相当于历年(1958—1980)平均降雨量的 82.5%。春旱频繁,常有春夏连旱。年平均气温 6.5℃,≥10℃积温 2 573.0℃,无霜期 152 天。常有大风,4~5 月更甚,冰雹、虫害时有发生。

试验地平坦,试验小区四周筑埂设防,无径流。土壤为黄绵土。肥力偏低,0~20cm 土层内养分含量:全氮 0.664g/kg,速效磷 4.86mg/kg,有机质 9.445g/kg。产量水平 35~60kg/亩。

## 二. 研究方法

试验设处理:

(1)粮豆轮作(春豌豆→春小麦→春小麦→糜子);(2)粮草轮作(一年生草木樨→春小麦→春小麦→糜子);(3)草粮轮作(苜蓿(6年)→谷子→春小麦);(4)春小麦连作(6年);以后依次简称轮(1)、轮(2)……。

小区面积 100m<sup>2</sup>(6.4m×15.8m),重复 4 次。

在轮作期间,每年给禾谷类作物施入氮(N)3.0kg/亩,磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)2.5kg/亩,第 5 年补施土粪 2 000kg/亩,给豆科作物和一年生草木樨,每年施入氮(N)1.0kg/亩,磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)2.5kg/亩,第 5 年补施土粪 2 000kg/亩;苜蓿第 1 年施氮(N)1.0kg/亩,磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)2.5kg/亩,第 5 年补施磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)2.5kg/亩,土粪 2 000kg/亩。

试验各处理中的作物或牧草,每年均出现一次。

土壤水分测定,采用土钻取土,烘干称重法,每年在作物播种或牧草返青,收获时测定 0~200cm 土壤含水量。苜蓿随生长年限增加,测定深度加深,第 1 年和第 2 年为 0~200cm,第 3 年为 0~400cm,第 4 年 0~600cm,第 5 年和第 6 年 0~800cm。

## 三、结果分析

试验结果见表 1、表 2。

表 1 不同轮作方式的产量结果

轮作方式	春豌豆	春小麦	春小麦	糜子	草木樨	春小麦	春小麦	糜子	苜蓿(6年)	谷子	春小麦	春小麦连作
生物产量	170	261	242	358	336	150	240	341	373	318	181	239
籽粒产量	74	92	83	98	52	51	81	94	16.6	89	74	83

注:产量 kg/亩

从表 1 看出,该试验作物和牧草产量水平较低,主要因为试验期间降雨量偏少,干旱频繁,施肥水平不高,因此,所得结果属于较干旱情况下,较低生产水平条件下的农田水分平衡。不过可以肯定作物和牧草对土壤水分利用的规律性是不会改变的。

## (一) 粮豆轮作

从表 2 看出, 轮(1)中豌豆生长期仅 80 天, 耗水量 195.5mm, 是这几种作物中耗水量最少的。生育期间土壤贮水由 342mm 降低到 299mm, 收获后空闲期较长, 达 254 天左右, 此期降雨量平均为 231.8mm, 土壤水分得到补偿, 由 299mm 恢复并提高到 364mm, 补偿 65.0mm, 从而为后作春小麦创造了较好的土壤水分条件。由于春小麦产量较高, 消耗水分较多, 达 112mm, 因此, 土壤贮水量下降到 252mm。春小麦收获后空闲期亦较长, 为 235 天左右, 且为雨季, 故土壤水又得到补偿, 约为 97mm, 使土壤贮水上升到 349mm。不过可以看出, 其绝对值已被春小麦播种时减少。当继续种植第二茬春小麦, 土壤贮水又降低到 270mm, 生产力也相应降低。春小麦收获后空闲期降雨, 使土壤水分又得到一定补偿, 土壤贮水量提高到 338mm, 但比前茬春小麦播种时又有所减少。第 4 年种植糜子, 因为糜子生长期中耗水量主要来自当年降雨, 因此, 土壤贮水量仅由 338mm 降到 333mm, 几乎没有减少。糜子收获后空闲期较短, 约 193 天, 此期降雨量很少, 仅 76.5mm, 因此土壤贮水补偿很少, 仅 9.0mm 左右。由于糜子生长期中消耗土壤贮水很少, 空闲期且有少量降雨补偿, 土壤贮水量基本恢复平衡, 达到豌豆播种时的土壤贮水量。

表 2 不同轮作方式土壤水分平衡状况

项 目	春豌豆—春小麦—春小麦—糜子 (1985~1990 年)				草木樨—春小麦—春小麦—糜子 (1988~1990 年)			
	年平均降雨量(mm)	394.6	394.6	394.6	394.6	422.7	422.7	422.7
生育期降雨量(mm)	152.4	172.3	172.3	281.8	353.5	169.8	169.8	257.0
作物耗水量(mm)	195.5	285.0	246.1	286.3	409.0	228.0	258.0	278.0
播种—收获土壤贮水量(mm)	342~299	364~252	349~270	338~333	296~240	260~208	304~216	320~299
土壤贮水量增减(mm)	-43	-112	-79	-5	-46	-52	-88	-21
空闲期降雨量(mm)	231.8	202.3	202.3	76.5	49.3	230.6	230.6	92.0
土壤水分补偿量(mm)	65	97	68	9.0	20	96	104	-3
补偿量占年降雨量%	16.4	24.6	17.2	2.3	4.7	22.7	24.6	0
补偿量占空闲期降雨量%	28.0	47.9	33.6	11.8	40.6	41.6	45.1	0

项 目	苜蓿 6 年—谷子—春小麦 (1985~1990 年)			春 小 麦 连 作						
	1985 年	1986 年	1987 年	1985 年	1986 年	1987 年	1988 年	1989 年	1990 年	平 均
年平均降雨量(mm)	394.6	384.6	394.6	490.1	284.8	324.6	438.6	354.5	475.1	394.6
生育期降雨量(mm)	316.8	325.9	180.6	222.1	179.2	138.3	198.5	168.4	177.2	180.6
作物耗水量	327.3*	314.2	246.1	320.1	272.0	170.3	270.5	293.4	259.2	264.3
播种—收获土壤贮水量(mm)	285~280	300~312	335~268	408~310	382~289	316~284	331~259	334~209	290~208	344~260
土壤贮水量增减(mm)	-5	+12	-67	-98	-93	-32	-72	-125	-80	-84
空闲期降雨量(mm)	70.8	58.8	213.1	267.3	97.2	222.7	235.7	186.5	269.7	213.1
土壤水分补偿量	20	23	54	72	27	47	75	81	128	71.5
补偿量占年降雨量%	12.9	5.8	13.7	14.7	9.5	14.5	17.1	22.9	26.9	18.1
补偿量占空闲期降雨量%	28.2	39.1	25.3	26.9	27.8	21.1	31.8	43.4	47.5	33.6

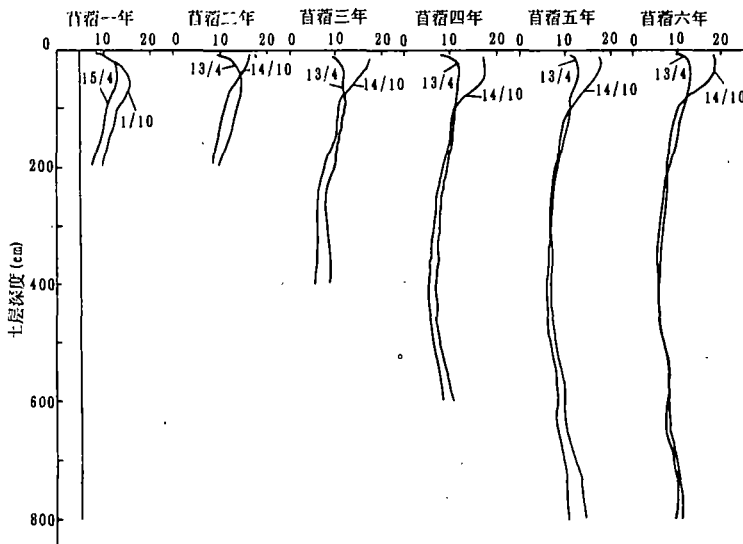
\* 为便于比较, 苜蓿耗水量采用 0~200cm 土层含水量计算, 实际苜蓿的耗水量为 379mm, 其中 52mm 取自 2m 以下土层。

## (二) 粮草轮作

轮(2)中的一年生草木樨, 既是一种快速生长的高产优良饲草, 也可培肥土壤, 因此, 选作轮(2)中的前作。

从表 2 和看出,一年生草木樨播种时土壤贮水量就不很充足(因为多在糜茬地播种),为 296mm。由于生长期中耗水量较大,平均 409mm,除利用当年降雨外,消耗土壤贮水仍很多。收获后空闲期较短,为 167 天左右,此期降雨量较少,平均为 49.0mm,因此,土壤水分难以补偿。土壤贮水量比播种时降低 36mm。后茬种植春小麦,由于生育期耗水量也较多,土壤贮水继续降低到 208mm。春小麦收获后空闲期降雨,才使土壤贮水量有较大量补偿,土壤贮水量开始得到上升,由 208mm 上升到 304mm。第二茬再种春小麦,使土壤水分继续得到补偿回升到 320mm。第 4 年种糜子,由于糜子生长期中消耗土壤贮水较少,糜子收获后空闲期还可得到少量降雨补偿,因此,土壤贮水才得到较大程度恢复。

### (三)草粮轮作



附图 不同年限苜蓿的土壤含水量

从附图看出,轮(3)中的苜蓿随生长年限增加,根系愈深,利用深层土壤水分比例愈大,而上层土壤水分含量则随年限增加而逐渐恢复。当苜蓿生长到 5~6 年时,0~100cm 土层收获较返青时土壤含水量增加 36mm,平均达到 14%~15%(干土重)。耕层 0~20cm 则更高些,达到 16%~17%。完全适宜耐旱作物种植。

从表 2 还看出,苜蓿生长到 5~6 年时,0~200cm 土层水分贮量仅 280mm,说明苜蓿生长过程确实消耗了较多的土壤水分。但苜蓿从返青到收割时 0~200cm 土层土壤水贮量几乎没有变化,苜蓿生长期

中所消耗水分主要来自当年降雨和土壤深层贮水。在苜蓿刈割翻耕后的空闲期降雨仍可有少量补偿,约 20mm 左右,因此,土壤贮水量有所提高,由 280mm 上升到 300mm,尤其 0~100cm 及耕层含水量较高,适于谷子种植。谷子生长期中耗水量平均 314mm,但土壤贮水非但没有减少还略有增加,由 300mm 增加到 312mm。谷子收获后空闲期降雨补偿 23mm,使土壤贮水量进一步提高到 335mm,为春小麦创造了较好的土壤水分条件。春小麦生育期中消耗土壤贮水 67mm,但收获后空闲期降雨又可补偿 54mm,土壤贮水接近恢复到春小麦播种时的贮量(323mm),比谷子播种时多 23mm。可见苜蓿参与草田轮作是可行的。0~200cm 土层含水量在种植作物后 2~3 年即可恢复到正常状态。但苜蓿不能在同一块地上连续种植二次。

### (四)春小麦连作

春小麦连作,在半干旱农业区尚有广泛种植,尤其在我国的农药及化肥工业日益发展的情况下更为广泛。春小麦连作的土壤水分状况经计算,土壤水的补偿量和当年空闲期降雨量呈正相关关系,其相关系数为 0.72。

从表 2 看出,1985 年春播时土壤贮水量较高,达 408mm,经生长期消耗,土壤贮水降低到 310mm。春小麦收获后空闲期降雨较多,达 267.3mm,土壤水补偿量也较大,为 72mm,土壤贮水量大幅度提高,由 310mm 上升到 382mm;1986 年继续连作春小麦,土壤贮水量又减少到 289mm,空

闲期降雨量较少,仅 97.2mm,土壤水补偿仅 27mm,土壤贮水量不能恢复到播种时水量,仅 316mm;1987 年春小麦生长期耗水量较少(严重干旱、生长不良),空闲期降雨较多,土壤贮水量提高到 331mm;1988 年,春小麦生长期消耗土壤贮水 72mm,空闲期降雨补偿 75mm,基本恢复到播种时含水量;1989 年,春季多雨,春小麦生长旺盛,消耗土壤贮水较多达 125mm,又使土壤贮水大量减少到 209mm,经过空闲期降雨补偿 81mm,仍未恢复到原来水平,仅 290mm,比播种时少 44mm;1990 年春小麦生育期消耗土壤贮水 82mm,土壤贮水又降到 208mm,由于空闲其降雨多达 269.7mm,是 6 年中空闲期降雨最多的一年,土壤水补偿量也最大,达 128mm,由此土壤贮水量才恢复到 336mm。由此可见,春小麦连作的土壤水分状况,主要受春小麦收获后空闲期降雨量多少的影响。丰水年土壤贮水才能得到恢复,不像其它轮作方式,各类作物有相互调节土壤水分的作用。因此,春小麦连作必须根据春小麦收获后空闲期降雨量的多少来决定,秋旱年不宜重茬连作,否则将不会获得高产。

#### 四. 讨论与结论

(一)上述试验结果表明:轮作体系中的各类作物年均生物量与生育期的耗水量,以及生育期的长短,有着密切的关系,相关系数  $r$  值分别为 0.766 和 0.79。因此,在半干旱地区轮作组合应遵循以下原则:养地作物与耗地作物相配合;生育期长的作物与生育期短的作物相配合;深根作物与浅根作物相配合,这样将起到相互协调和互补作用。

(二)粮豆轮作完全符合上述原则,比较合理地将作物的生物学特性、水分利用特点和气候条件结合起来。经过一个周期轮作,在作物蒸腾、地面蒸发和降雨补偿的过程中,土壤贮水量虽有下降的趋势,但基本保持平衡状态。尽管是低生产水平下的平衡(用水效率还不高仅为 0.32~0.34kg/mm.亩)。有效水利用率仅达 52%~68.1%,说明还有相当大的生产潜力可挖,是当地较好的轮作方式。

(三)轮(2)中的四种作物平均生育期长达 136 天,大于轮(1)和轮(4),年平均耗水量为 300mm,仅次于轮(4)316mm,耗水量是相当大的。经过一个轮作周期,土壤水分虽有一定程度的恢复,但在一年生草木樨收割翻压后,2m 土层内的土壤水分有一个严重亏缺阶段,势必影响到后茬作物的产量,属于比较低生产水平下的水分平衡。(用水效率极低,仅 0.22~0.34kg/mm.亩),而有效水利用率却达 61%~77%,接近极限值,故这种轮作方式在半干旱区是不恰当的。但一年生草木樨可与轮歇制结合或在灌溉条件下与作物轮作,还是很好的前茬作物。

(四)轮(3)中的苜蓿,耗水量是惊人的,实验表明:2~3 年生苜蓿地在 4m 以上土层内;4 年生苜蓿在 6m 以上土层内;5 年生苜蓿在 8~10m 以上土层内,其土壤含水量已接近或达到凋萎度,而苜蓿地的上层土壤含水量则随年限增长而逐渐得到恢复,当苜蓿生长到 5~6 年时,0~100cm 土层含水量收获期较返青期非但没有减少,却增加了 36mm,平均达到 14%~15%(占干土重),耕层内则更高,达到 16%~17%。完全适于耐旱作物种植。这样就为苜蓿和其它作物轮作提供了水分条件。不过这种轮作方式不宜固定一个小范围内,周而复始地进行,而应在较广泛的范围内实行草粮轮作与粮豆轮作交替进行,其轮作方式为:苜蓿 5~6 年→谷子(糜子)→春小麦→春小麦→粮豆轮作。

(五)春小麦连作是在作物布局不合理的地区常采用的一种种植方式。由于土壤水分受空闲期降雨量的影响,不顾土壤水分条件的连作,势必造成春小麦减产,同时也会导致土壤肥力减退,病虫害蔓延,杂草滋生的恶果。所以这种种植方式不宜提倡。