

坡地土壤水分动态及耗水规律研究

张兴昌 卢宗凡

(中国科学院水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

摘 要 8年长期坡耕地土壤水分研究表明:裸地2m 土层水分季节性变化呈倒S型;40~100cm 内土层水分对作物供水极为重要;在降水量为500mm 左右的黄土丘陵沟壑区,降水能完全满足坡耕地作物生长发育;在降雨因素不成为限制作物生长发育主要因素时,水平沟耕作可以有效地控制地表蒸发,降低作物耗水量;人工草地耗水强度趋势为:沙打旺>草木樨>紫花苜蓿>红豆草>柠条(二年生);3年生人工草地主要利用50~200cm 土层水分,8年生人工草地利用150~400cm 土层水分,且8年生人工草地土壤水分恢复维艰。

关键词 作物 人工牧草 耕作措施 土壤水分动态 耗水规律

Study on Soil Moisture Dynamic and Water-Consuming Law in Slop—Land

Zhang Xingchang Lu Zongfan

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract The moisture research with 8 years long-term experiments in slop-land shows: the moisture seasonal dynamic change of 0~200cm layer appears the S type; the 40~100cm layer moisture is very important to supplying water for crops; in loess hilly and gully region with about 500mm rainfall, rainfall meets the demands of crops completely; while rainfall is not a factor-limited for crop growth, the contour-level tillage controls soil water evaporation and decreases crop consuming water; the water-consuming tendency sequence of artificial grassland is as follows: *Astragalus adsurgens*, *Melilotus albus*, *Medicago sativa*, *Caragana korshinskii* *Onobrychis viciifolia*; 3-year growth artificial grass mainly uses 50~200cm layer water, 8-year growth artificial grassland mainly uses 150~400cm layer water and its recovers is extremely difficult.

Key words crop artificial pasture tillage measure dynamic of soil water water-consuming law

在半干旱的黄土丘陵沟壑区,黄土层深厚,降水是坡耕地土壤水分的重要来源。在降雨侵蚀

较为严重的坡耕地上,根据水土保持耕作技术原理,提出一套适合坡度不同的坡耕地作物耕作配置措施,即在25°以下坡耕地水平沟种植;在25~30°实行草粮带状间轮作,30°以上草灌带状间作。该水土保持耕作措施的实施,可以有效地防止水土流失,提高作物(牧草)产量,以及防止土壤退化,达到水土流失区生态经济良性循环。水土保持耕作措施的增产机理及水土保持效益“七五”期间已探讨过,然而其对土壤水分影响并未涉及,而众多研究黄土区土壤水分也针对某一作物,某一地形,某一时段,并未涉及众多因子。为此,我们在不同作物,耕作措施,不同牧草及坡度上进行土壤水分动态及耗水规律研究,为提高坡耕地土壤水分生产力提供科学依据,也为实行水土保持耕作寻找其理论根据。

1 试验研究方法

1.1 试验设计

试验布设在中国科学院安塞水土保持综合试验区山坡耕地上,该地区多年平均降水量549.1mm,且年内分布不均,春伏旱常发生,且60%以上集中在6~9月份。试验设计详见表1。

表1 试验设计

| 试验编号 | | 供试材料及处理 | 小区面积 | 坡度及坡向 |
|---------------------|--|--|------------|--------------|
| 试验1 (1983~1984年) | 谷子 | 1. 平播 2. 水平沟 | 29.0m×3.0m | 29°51' WS |
| 试验2 (1984~1986年) | 小麦 | 1. 水平沟 2. 水平沟+覆盖 3. 平播 4. 平播+覆盖 | 9.0m×3.0m | 25°15' W |
| 试验3 (1987~1991年) | 谷子、糜子、黄豆、黑豆、春播荞麦 夏播荞麦、黄豆+黄芥、马铃薯及 对照裸地水平沟 | | 23.2m×5.0m | 23°00' N |
| 试验4 (1983~1990) | 草木樨、紫花苜蓿、沙打旺、 红豆草、柠条 | | 40.0m×5.0m | 32°00' E |

1.2 试验研究方法

以上所列作物(牧草)在播种期、收获期及不同生育阶段采取2~4m 土层土壤水分,在105℃烘箱下烘烤11h.且各处理小区均收集径流及泥沙且作必要的考种。试验地施肥及管理均同一般大田。

2 坡耕地土壤水分动态

黄土丘陵区降水是坡地土壤水分的唯一来源,深厚且质地均匀的黄土母质层因其水分渗透性能较好,具有调节土层水分变化的特性,称之为土壤“水库”之功能。2m 土层内土壤贮水量及土壤含水分布主要受大气降水、气候及地上植被生理特性、耗水等因素决定。而土层水分的动态变化受降水的季节性入渗,再分布及大气蒸发力限制。在植物根系活动范围内,对不同土层水分的吸收,反映了植物在其生理过程中耗水规律,因其植物生育阶段对水分需求的复杂性,严重影响和限制了土壤水分层次分布性,又为土壤土层含水量变化增添一个重要因素。为此,在研究不同降雨年份、季节性降雨、不同植被及耕作因子等对土壤含水量变化影响,为合理有效地利用土壤“水库”调节功能,提高土壤水分生产力提供科学依据。

2.1 裸坡耕地土壤水分的季节性变化规律

在没有植被蒸腾耗水的情况下,研究2m 土层水量的季节性变化,为研究黄土丘陵沟壑区大

气降水及气候因子对土壤水分影响,提供了一个行之有效的办法。黄土丘陵沟壑区裸坡地2m土层贮水量的变化曲线呈倒S型(图1),根据曲线年内季节性变化,可将裸坡地土壤水分季节性变化划分为三个阶段:冬春季缓慢蒸发阶段(1~5月);夏季蓄水增墒阶段(6~9月);秋季强烈蒸发阶段(9月~12月)。

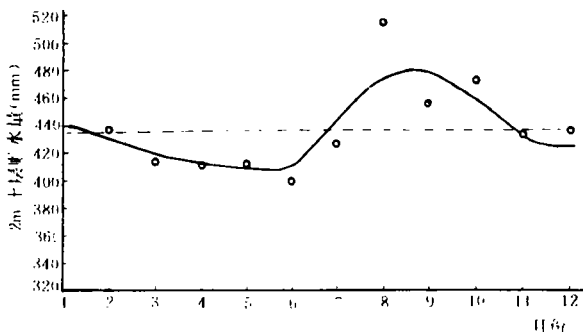


图1 裸坡耕地土壤水分季节性变化
(1984年)

2.2 坡耕地不同植被条件下的土壤水分季节性变化

作物(牧草)在整个生育期内,为了满足生理需要,需从土壤吸收一定量水分,因而其整个生育期内,2m土层贮水量变化曲线与裸地截然不同(图2),主要表现在1~4月,水分变化曲线基本吻合,此阶段谷子还没有播种,水分变化曲线与裸地基本一致,草木樨为两年生,该年度为第二年草木樨,其土壤水分含量均小于作物(裸地),相差近20mm水;在作物(牧草)生育期内,由于牧草生育期与作物相差甚远,其对土壤水分利用

程度不一。草木樨在整个生育期内,土壤水分有两个下降阶段,一个较大的回升阶段,在4~6月,降水量很少,草木樨此时生长较为旺盛,草木樨对水分的需求主要依靠土壤供水,2m土层贮水量由408mm下降到最低点360mm,净失墒48mm;在7~9月雨季,降水补给量远远大于草木樨需水和地面蒸发,土壤水分处于回升阶段,2m土层贮水量由360mm增加到生育期内最高点412mm,净增墒52mm;9月以后,降水量较少,草木樨已衰败刈割,土壤失墒量较为缓慢。谷子与草木樨所不同的是,在生育前期,植株较小,对水分需求量不大,4~5月中旬土壤失墒较为缓慢,仅失墒20mm;在雨季土壤贮水量均小于裸地,谷子在生育期4~9月土壤水分变化均提前于草木樨,在9月以后仍至后茬地土壤失墒比草木樨要大,反映了谷子生育期与草木樨截然不同。

2.3 人工草地土壤水分的动态变化

水土保持耕作增产体系是黄土丘陵沟壑区提高坡耕地水分生产力及水土保持效益行之有效措施之一,>25°的坡耕地种植人工草地为其主要内容。人工草地一方面可以有效地提高植被覆盖度,另一方面可以有效地防止25°以上坡地的水土流失,提高土壤肥力,防止土壤退化。多数研究也表明,土壤水分含量尤其表层水分贮存量与土壤侵蚀有关,且认为人工草地土壤水分在一定时期内可以恢复,然而在水分恢复方面存在较大争议。为此,进行人工草地土壤水分动态方面的研究,为人工草场合理建设提供科学依据。

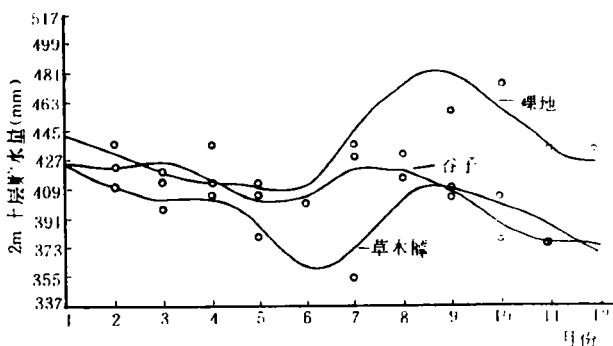


图2 坡耕地不同植被条件下的土壤水分季节性变化
(1984年)

2.3.1 不同人工草地土壤水分季节性变化规律 不同的人工草地由于所处的生育期和耗水强度不一,土壤水分的季节性变化有所差异。同一地点,在土壤、耕作和气象条件相同的情况下,

从图3可以明显看出:春季由于降水量较少,牧草生长也较为缓慢,对水分的需求相对较少,因而,不同人工牧草地2m土层贮水量变化趋势一致,处于较为平稳下滑阶段;夏秋季,降水量相对增加,一般占全年降水量的60%以上,且多暴雨,径流损失也较多,牧草在此阶段生长加快,对土壤水分需求增加,但由于不同牧草耗水强度不同,表现对土壤水分的需求有所差异。沙打旺生长能力较强,且处于生长的第二年,比一般牧草耗水量要大,获得较高的第一性生产量,使水资源得到充分利用,土壤水

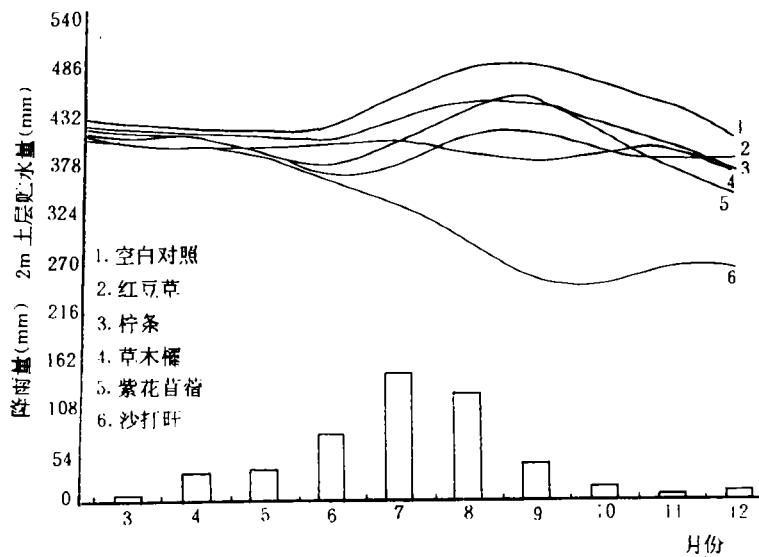


图3 不同人工草地2m土层水分的季节性变化

分曲线处于较大的下滑阶段(表2),至刈割期,2m土层水分贮存量仅为223.9mm,剩余有效水量仅为110.8mm。灌木柠条由于处在生长的第二年,生育未在高峰期,因而在夏秋耗水强度较少,与裸地较为接近。比较不同人工草地2m土层贮水量季节性动态变化规律,可以明显看出,从返青期至刈割期,人工草地耗水强度趋势为:沙打旺>草木樨>紫花苜蓿>红豆草>柠条。

表2 不同人工草地(二年生)季节性土壤水分变化(1984年)

单位(mm)

| 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 草木樨 | 424.3 | 409.9 | 396.3 | 404.4 | 405.2 | 336.9 | 354.1 | 430.6 | 410.1 | 377.6 | 375.7 | 374.5 |
| 紫花苜蓿 | 432.5 | 411.5 | 422.7 | 391.4 | 405.2 | 348.3 | 363.5 | 483.0 | 421.5 | 433.9 | 337.1 | 346.7 |
| 沙打旺 | 415.0 | 401.4 | 399.9 | 381.1 | 398.5 | 352.8 | 309.8 | 323.4 | 209.5 | 223.9 | 297.7 | 238.9 |
| 红豆草 | 421.2 | 429.2 | 375.9 | 389.7 | 407.5 | 374.4 | 408.7 | 398.0 | 334.7 | 409.7 | 393.2 | 352.4 |
| 柠条 | 428.7 | 424.1 | 396.7 | 409.7 | 409.3 | 391.4 | 400.3 | 481.3 | 417.2 | 427.4 | 391.0 | 361.6 |
| 裸地 | 438.4 | 436.7 | 413.4 | 411.9 | 412.6 | 400.5 | 428.2 | 516.4 | 457.7 | 473.8 | 434.0 | 435.0 |

表3 不同年份人工草地10月份土壤水分含量

单位(mm)

| 年份 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 草木樨 | 447.4 | 377.6 | 464.8 | 305.2 | 209.5 | 369.4 | 294.2 | 302.4 | 258.9 |
| 紫花苜蓿 | 396.9 | 434.0 | 462.2 | 286.0 | 212.8 | 400.6 | 217.3 | 223.2 | 198.9 |
| 沙打旺 | 428.3 | 223.9 | 379.2 | 180.9 | 174.7 | 310.8 | 181.2 | 222.3 | 210.9 |
| 红豆草 | 494.4 | 409.7 | 461.1 | 205.5 | 206.0 | 372.1 | 284.3 | 296.4 | 240.9 |
| 柠条 | 504.7 | 427.4 | 439.9 | 321.4 | 172.6 | 390.9 | 212.3 | 195.7 | 190.9 |

2.3.2 不同降水年份人工草地土壤水分动态 在不同的气候年型下(图4),由于不同人工牧草的生长年度和降水量不相同,人工草地土壤水分的周年变化也有明显的差异。

在生长年限9年内,人工草地土壤水分得到2次较大的恢复。1985年,草木樨、紫花苜蓿、沙打旺、红豆草、柠条在雨季后2m土层贮水量分别达到464.8mm,464.2mm,379.2mm,461.1mm和465.1mm,分别比雨季前339.8mm,276.2mm,201.8mm,306.6和205.7mm 依此增加了

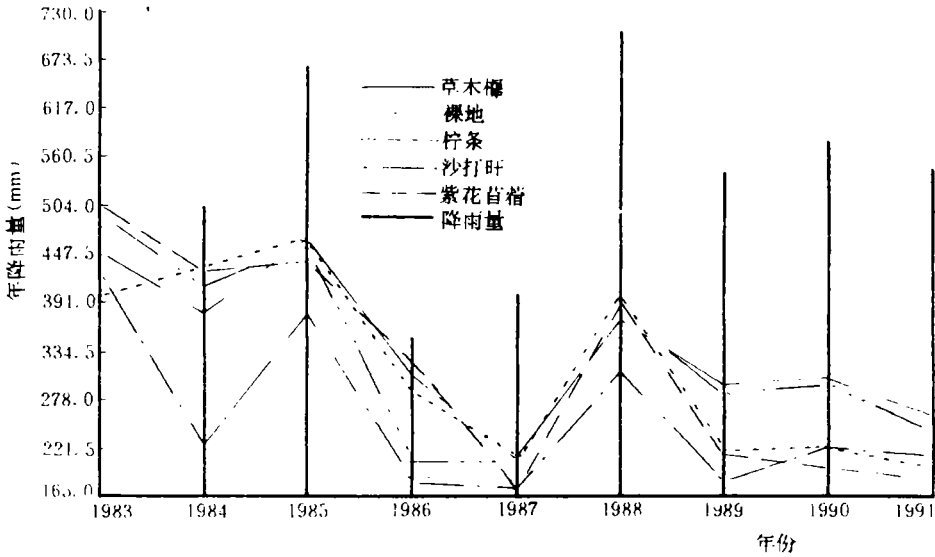


图4 不同降水年份人工草地土壤水分动态

125.0mm, 188mm, 177.4mm, 155.0mm和259.4mm, 增加率依次为36.8%, 68.1%, 87.9%, 50.6%和126.1%, 其中以柠条增加幅度最大, 草木樨最小; 而1988年降雨量高达729.6mm, 比

表4 人工草地底层水分对表层的补偿作用

| 土层深度(cm) | 草木樨 | | | 紫花苜蓿 | | | 沙打旺 | | | 红豆草 | | |
|------------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| | 1985年 | | 土壤 | 1985年 | | 土壤 | 1985年 | | 土壤 | 1985年 | | 土壤 |
| | 4月 | 7月 | 水分 | 4月 | 7月 | 水分 | 4月 | 7月 | 水分 | 4月 | 7月 | 水分 |
| | 1日 | 16日 | 增减 | 1日 | 16日 | 增减 | 1日 | 16日 | 增减 | 1日 | 16日 | 增减 |
| 0~50cm | 77.2 | 71.5 | 5.7 | 72.5 | 57.1 | 15.4 | 60.5 | 56.3 | 4.2 | 82.9 | 74.2 | 8.7 |
| 50cm~100cm | 91.9 | 85.7 | 6.1 | 85.0 | 70.1 | 11.9 | 64.7 | 44.5 | 20.0 | 90.9 | 66.1 | 16.7 |
| 100~150cm | 92.6 | 91.3 | 0.3 | 90.6 | 68.3 | 22.6 | 67.1 | 49.6 | 17.5 | 97.3 | 80.9 | 16.4 |
| 150~200cm | 94.9 | 91.2 | 3.7 | 92.5 | 81.1 | 11.4 | 68.0 | 51.4 | 16.6 | 101.7 | 85.4 | 16.3 |
| 200~300cm | 202.6 | 191.6 | 11.0 | 207.6 | 184.0 | 23.6 | 154.8 | 116.2 | 38.6 | 217.6 | 183.4 | 34.2 |
| 300~400cm | 173.6 | 172.4 | 1.2 | 172.4 | 171.0 | 1.4 | 158.4 | 93.4 | 65.0 | 194.8 | 163.8 | 31.0 |
| | 1990年 | | 土壤 | 1990年 | | 土壤 | 1990年 | | 土壤 | 1990年 | | 土壤 |
| | 4月 | 7月 | 水分 | 4月 | 7月 | 水分 | 4月 | 7月 | 水分 | 4月 | 7月 | 水分 |
| | 1日 | 16日 | 增减 | 1日 | 16日 | 增减 | 1日 | 16日 | 增减 | 1日 | 16日 | 增减 |
| 0~50cm | 92.0 | 75.0 | 17.0 | 77.7 | 75.7 | 2.0 | 78.0 | 68.4 | 9.6 | 76.0 | 72.6 | 3.4 |
| 50cm~100cm | 87.6 | 77.2 | 10.4 | 55.7 | 43.4 | 12.3 | 50.8 | 44.2 | 6.4 | 68.9 | 49.8 | 19.1 |
| 100~150cm | 88.1 | 84.1 | 4.0 | 52.0 | 43.4 | 8.6 | 50.5 | 48.3 | 2.2 | 65.3 | 52.3 | 13.0 |
| 150~200cm | 95.0 | 87.2 | 7.8 | 52.4 | 44.0 | 8.4 | 48.8 | 47.9 | 0.9 | 68.4 | 58.7 | 9.7 |
| 200~300cm | 177.7 | 171.1 | 0.6 | 120.5 | 100.9 | 19.6 | 100.4 | 100.0 | 0.4 | 138.7 | 125.9 | 12.8 |
| 300~400cm | 158.0 | 141.9 | 16.1 | 105.2 | 90.1 | 15.1 | 98.2 | 93.1 | 5.1 | 150.4 | 133.0 | 17.0 |

1985年666.9mm多了9.4%, 而草木樨、紫花苜蓿、沙打旺、红豆草及柠条在雨季后贮水量依此为369.4mm, 400.6mm, 310.8mm, 372.1mm和390.9mm, 比雨季前2m土层贮水量329.7mm, 294.3mm, 268.8mm; 294.5mm和255.2mm分别增加了12.0%, 36.1%, 15.6%, 26.3%和53.2%, 其增加趋势与1985年略同, 无论从雨季前后2m土层贮水量大小及雨季后增加幅度来看, 均远小于1985年。人工牧草生长的9年内也有3次较大失墒阶段即1984、1987年和1989年, 其中以1987年失墒最大, 不同人工牧草2m土层贮水量达到9年生育期最低点。但从整个生育期来看, 人工草地土壤水分一直处于下滑阶段, 9年内, 虽然有一年较大的降水, 但雨季恢复的程度相对降

低,以沙打旺和柠条耗水强度较大,如沙打旺2m土层贮水量在1987年仅为174.7mm而柠条仅为172.6mm,土壤有效水贮量仅分别为61.4mm和59.3mm。

2.3.3 不同降水年份人工草地底层水分对表层的补偿作用 从分析和研究人工草地土壤水分年内动态变化规律看出,春季和秋末冬季草地土壤水分均处于失墒期。草地蒸散失墒主要是靠底层水分对表层的输送补给作用。不同人工草地由于蒸腾和根系在深层分布不同,其不同层次失墒量截然不同(表4)。表现在3年生人工草地主要利用50~200cm以内土层水分;8年生人工草地主要利用150~400cm土层水分。从利用深层水分能力趋势来看,沙打旺优于其它人工草地,以红豆草为最弱。这基本上反映了不同人工草地地上部生长状况和地下部根系分布特征。

2.3.4 夏秋降水对人工草地水分的补偿作用 陕北黄土高原地区的草地,自然降水是草地土壤水分的唯一来源。由于雨季降水的补偿作用,从而使草地土壤水分得以恢复和补充。但由于人工草地降雨入渗能力不同;其降水补给量不相同。

利用直线回归 $W = a + bR$ 分析计算夏秋降水对人工草地土壤水分的补偿作用得以下方程:

草木樨地:
$$W = 150.4 + 0.635R$$
$$r = 0.818 * \qquad n = 9$$

紫花苜蓿地:
$$W = 120.2 + 0.714R$$
$$r = 0.812 * \qquad n = 9$$

沙打旺地:
$$W = 69.4 + 0.652R$$
$$r = 0.771 * \qquad n = 9$$

红豆草地:
$$W = 145.5 + 0.670R$$
$$r = 0.735 * \qquad n = 9$$

裸地:
$$W = 226.7 + 0.545R$$
$$r = 0.743 * \qquad n = 9$$

上式中 W 为牧草停止生长时2m土层贮水量(mm), R 为夏秋降水量(mm)。方程经检验 $r_{0.05} = 0.664$,均达到显著水平。

表5 不同降水年份人工草地土壤水分利用率

| 年份 | 人工草地 | 生长季节 降水量 (mm) | 径流深 (mm) | 径流 系数 (%) | 有效降 水 量 (mm) | 生长季节初 0~20贮 水量(mm) | 生长季节末 0~20cm 贮 水量(mm) | 土壤供 水 量 (mm) | 人工牧草 耗水量 (mm) | 净地上初 级生产量 (kg/hm ²) | 水分利 用 率 (kg/mm) |
|------|------|---------------------|-------------|-----------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| 1984 | 草木樨 | 457.8 | 9.4 | 2.1 | 448.4 | 404.4 | 377.6 | 26.8 | 431.2 | 2243.5 | 0.378 |
| | 苜 蓿 | 457.8 | 27.6 | 6.0 | 430.2 | 391.4 | 433.9 | -42.1 | 388.1 | 1575.0 | 0.271 |
| | 沙打旺 | 457.8 | 38.4 | 8.4 | 419.4 | 381.1 | 223.9 | 157.2 | 576.6 | 9598.5 | 1.109 |
| | 红豆草 | 457.8 | 19.4 | 4.2 | 438.4 | 389.7 | 409.7 | -20.0 | 418.4 | 1350.0 | 0.215 |
| 1985 | 草木樨 | 658.0 | 28.4 | 4.3 | 629.6 | 355.6 | 464.8 | -109.2 | 520.4 | 1971.0 | 0.252 |
| | 苜 蓿 | 658.0 | 34.2 | 5.2 | 623.8 | 340.6 | 464.2 | 123.6 | 500.2 | 2488.5 | 0.332 |
| | 沙打旺 | 658.0 | 18.8 | 2.9 | 639.2 | 360.2 | 379.2 | -19.0 | 620.2 | 12214.5 | 1.313 |
| | 红豆草 | 658.2 | 36.2 | 5.5 | 621.8 | 372.9 | 461.1 | -88.2 | 533.6 | 2017.5 | 0.252 |

上述方程表明:夏秋降水对人工牧草停止生长时2m土层水分的补偿是很显著的,2m土层贮水量随着夏秋降水量的增加而增加。回归系数 a 代表了不同人工草地对降水蓄积能力及牧草本身的耗水强度,回归系数 b 的物理意义系指降水补给2m土层贮水量强度。从回归系数取值大小来看,夏秋降水对草木樨和红豆草2m土层的补偿量明显高于紫花苜蓿和沙打旺,以沙打旺补

偿能力最低。但如和裸地进行对比,夏秋降水对不同人工草地2m 土层补给量都显著低于裸地。

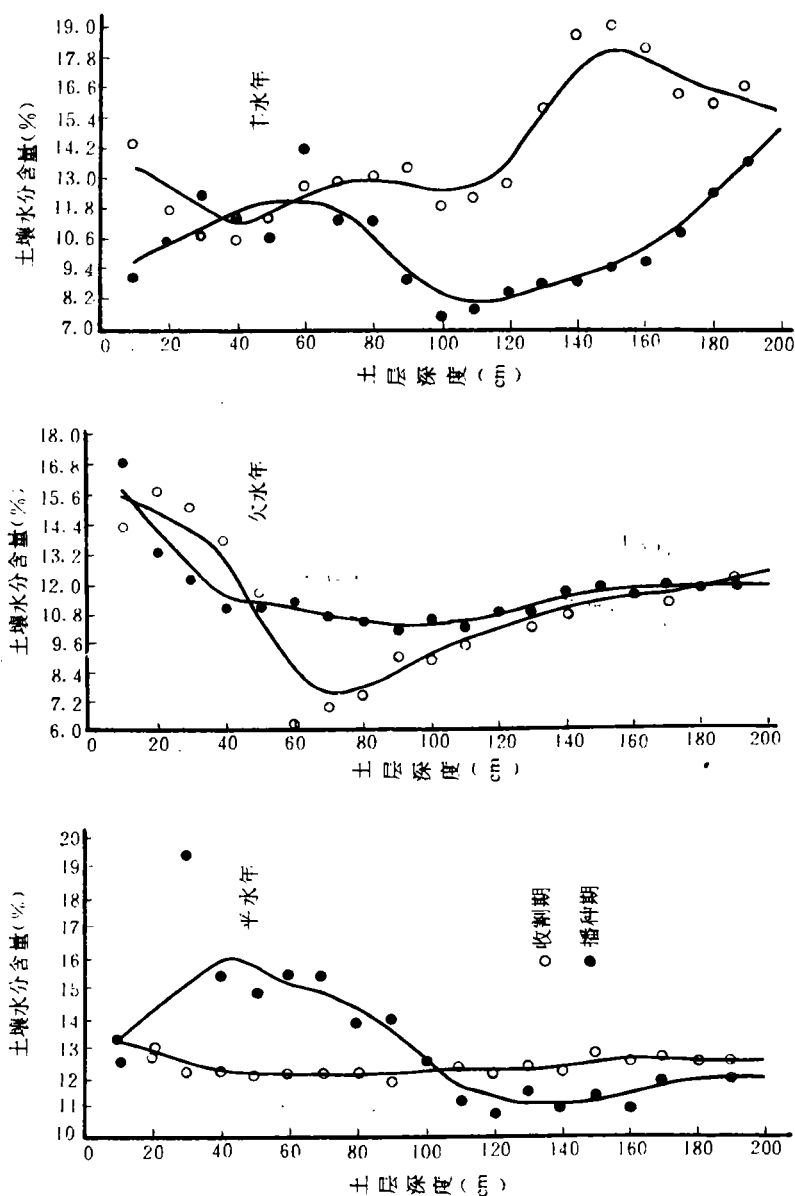


图5 坡耕地土壤水分的垂直变化

2.3.5 不同降水年份对人工草地生产力影响 土壤水分是影响和限制草地生产力的重要因子,不同降水年份,土壤水分利用率高低可以直观反映草地水分生产力。只有了解和分析不同降水年度有效降水量,土壤供水量及土壤耗水量,才有可能全面掌握多年生人工牧草对土壤水分的需求,从而才能有效地提高人工草地土壤水分生产力。

有效降水系指生长季节内降水量与径流深之差,而径流系数反映了坡地不同人工草地对降水拦蓄、截留作用的大小。不同人工草地生育年限不同,其径流系数变化较大(表3),2年生沙打

旺,在降水量仅为457.8mm的情况下,径流系数高达8.4%,较其它人工牧草均大;而3年生沙打旺,在降水量高达658.0mm时,径流系数仅为2.9%,较其它人工牧草均小。比较2年生和3年生不同人工草地径流系数大小,可以看出,沙打旺拦蓄截流作用强,红豆草和紫花苜蓿弱。

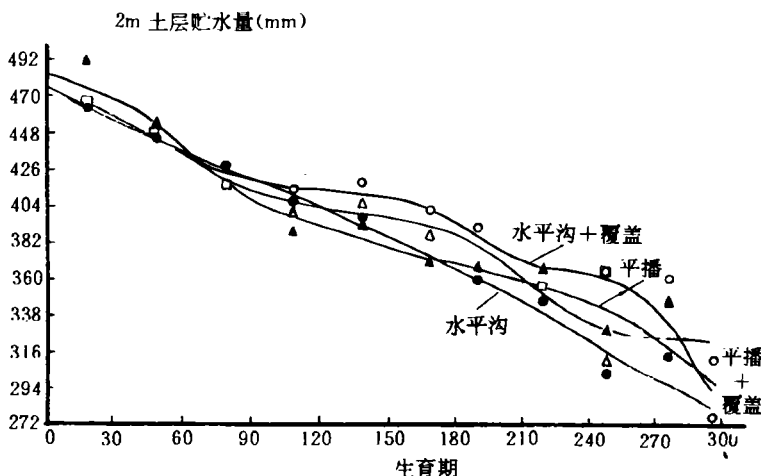


图6 坡耕地不同耕作措施下的土壤水分变化

用率反而有所降低。这可能是因为草木樨为两年生豆科牧草,一般第1年生长状况远不如第2年良好。该试验9年内,2年生草木樨连茬种植5次,1984年为草木樨生长的第2年,而1985年为草木樨第2茬生长的第1年,因而生物量低于1984年。反映了人工牧草不同生育年份对土壤水分利用情况不同。比较不同人工牧草对土壤水分利用率的影响,沙打旺明显高于其它牧草,以红豆草对土壤水分利用率最低。

2.4 坡耕地土壤水分垂直变化规律

土壤水分的垂直变化主要受向下的入渗再分布和向上的蒸发移动两个过程所控制,而这两个过程又受土壤物理性质、作物、耕作措施和气候特征所影响,研究地区土壤水分的垂直变化规律主要有以下特征(图3)。

(1)在干旱季节,0~200cm 土层水分上下差异不明显,土壤湿度剖面比较均一,几乎无水分梯度变化,上下层水分含量在10.00%~12.00%之间(0~20cm 除外)。(图5欠水年4月份水分曲线),这与前人研究结果一致;在丰水年雨季后,土壤湿度变化一致,上下层水分含量在11.86%~13.33%之间,这可能是由于谷子根系下扎较深,一般在2m 以内,7~9月份降水分布较均匀(7月137.4mm,8月103.8mm,9月90.2mm),土壤水分整体移动较强之缘故。黄豆、糜子、马铃薯、黑豆、荞麦也呈现类似规律。

(2)在平水年,谷子收割期,土壤土层1m 以内处于失墒状态,1~2m 土层土壤水分处于恢复状态,在谷子生育期前后整个2m 土层贮水量相差不大(播种期为373.4mm,收割期为355.8mm,相差17.6mm);在欠水年,在作物收割期土壤50cm 以下,处于失墒状态,以60cm~100cm 失墒最大,此时土壤水分含量在6.1%~8.9%之间,接近凋萎湿度,为一干土层;在丰水年,在作物收割期,60cm 土层以下土壤水分得到极大恢复。

(3)在干旱黄土坡耕地,不管降水量大小,土壤水分变化均在2m 以内,作物的收割期与播种期2m 土层水分变化转折交点在40~100cm 以内,表明,40~100cm 以内土壤水分含量对作物尤

在有效降水量为419.4~448.4mm 的1984年,紫花苜蓿和红豆草2m 土层水分得到恢复;在有效降水量为627.8mm 的1985年,不同人工牧草在不同程度上有所恢复。表明,在年平均降水量为500mm 左右黄土丘陵沟壑区,自然降水可基本上满足多年生人工牧草3年水分需求。

从表5可明显看出,生育期有效降水量较高的1986年,人工草地水分利用率明显高于1985年,所不同的是,草木樨水分利

为重要。

2.5 小麦地不同耕作措施条件下的土壤水分变化规律

小麦为夏粮作物,生育期较长,又不在雨季,整个生育期内2m 土层贮水量曲线处于下滑阶段,土壤供水就显得十分重要,与秋粮作物谷子土壤水分的变化截然不同,反映了小麦本身的耗水特征(图6)。

根据冬小麦生育期内2m 土层土壤水分变化趋势可将冬小麦生育阶段划分为三个阶段:越冬前缓慢失墒阶段(土壤水分变化幅度在72~80mm 之间),冬季相对稳定阶段(土壤水分变幅在16~40mm 之间)及小麦拔节后强烈失墒阶段(土壤水分变幅在88~122mm 之间)。由于耕作措施不同,改变了土壤水分入渗和蒸发移动,其土壤水分含量必存在差异。在越冬前,土壤水分差异不明显,越冬期,以水平沟+覆盖水分含量最高,平播耕作最低;拔节后,以水平沟小麦土壤水分含量最低。其水平沟耕作及覆盖耕作对土壤水分影响较大,这与以前研究观点一致。

3 坡耕地作物耗水规律

3.1 不同农作物对土壤水分的需求及作物生育期耗水规律

表6表明了,黑豆与小麦耗水量较高,可以达到514.2mm 和572.6mm,比一般大田作物耗水量410mm 左右增加25%和40%。其原因为,在生育期有效降水相当的情况下,黑豆能够有效地利用土壤贮水,使土壤2m 贮水降至280.6mm,比一般大田作物低53.8mm~120.5mm,与此同时,土壤供水量高达118.4mm,占耗水22.0%均比其它秋粮作物要高;小麦生育期较其它秋粮作物要长,且降水量相对较大,因而小麦在整个生育期土壤供水及作物耗水相对较高。夏播荞麦的播种期一般在雨季前,收获期在雨季后,且生育期仅为3~4个月,作物对水分需求量相对降低,因而土壤贮水量增加了53.7mm,整个生育期内作物耗水仅为178.0mm,比春播荞麦耗水量416.9mm 低了57.3%,因此,在坡耕地作物轮作制不为小麦一夏播荞麦的情况下,不应该提倡种

表6 不同农作物生育期土壤供水及耗水(1990年)

| 作物 | 降雨量 (mm) | 径流量 (mm) | 土壤前 期贮水 量(mm) | 土壤后 期贮水 量(mm) | 径流 系数 (%) | 耗水量组成 | | | | |
|------|-------------|-------------|---------------------|---------------------|-----------------|--------------|------------|--------------|------------|-------------|
| | | | | | | 有效降 水(mm) | 占耗水 (%) | 土壤供 水(mm) | 占耕水 (%) | 耗水量 (mm) |
| 黑 豆 | 462.8 | 67 | 399.0 | 280.6 | 14.5 | 395.8 | 78.0 | 118.4 | 22.0 | 514.2 |
| 黄 豆 | 462.8 | 64 | 356.7 | 334.4 | 13.8 | 398.8 | 94.7 | 22.3 | 5.3 | 421.1 |
| 谷 子 | 462.8 | 76 | 373.4 | 355.8 | 16.4 | 386.8 | 95.6 | 17.6 | 4.4 | 404.4 |
| 马铃薯 | 462.8 | 68 | 418.3 | 401.1 | 14.7 | 394.8 | 95.8 | 17.2 | 4.2 | 412.0 |
| 夏播荞麦 | 309.7 | 78 | 324.3 | 378.0 | 25.2 | 231.7 | | -53.7 | | 178.0 |
| 春播荞麦 | 462.8 | 67 | 411.4 | 390.3 | 14.5 | 395.8 | 94.9 | 21.1 | 5.1 | 416.9 |
| 糜 子 | 462.8 | 55 | 390.5 | 372.1 | 11.9 | 407.8 | 95.7 | 18.4 | 4.3 | 426.2 |
| 小 麦 | 564.6 | 17 | 410.5 | 385.5 | 3.0 | 547.6 | 95.6 | 25.0 | 4.4 | 572.6 |
| CK | 462.8 | 92 | 398.6 | 392.5 | 19.9 | 370.8 | 98.4 | 6.1 | 1.6 | 376.9 |

植夏播荞麦。坡耕地种植秋粮作物,径流深一般达到70~80mm,径流系数达到11.9%~25.2%,因此,在旱作农区,如何提高有效降水,以免径流损失,就成为关键。尽管如此,在无作物蒸腾耗水状况下,空白裸露地土壤水分在雨季后,也没有较大的恢复,2m 土层贮水量为392.5mm,与一般秋粮作物相当,且径流深及径流系数最大,通过地表蒸发量也高达376.9mm,所以在旱作农业区坡耕地上,不应该撂荒,恢复植被,提高植被覆盖度,有效地控制水土流失,提高土壤水分生产力。

表7 不同降水年型作物耗水及土壤供水

| 年 份 | 作 物 | 生育期 降水量 (mm) | 径流深 (mm) | 径流系数 (mm) | 作物耗水量组成 | | |
|--------|--------|--------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| | | | | | 耗水量 (mm) | 有效降水 (mm) | 土壤供水 (mm) |
| 1987 | 谷子 | 294.5 | 39.6 | 13.4 | 270.5 | 254.9 | 15.6 |
| 1988 | | 620.7 | 48.3 | 7.8 | 491.9 | 572.4 | -82.3 |
| 1989 | | 457.2 | 46.7 | 10.2 | 406.9 | 410.5 | -3.1 |
| 1990 | | 462.8 | 76.0 | 16.4 | 404.4 | 386.8 | 17.6 |
| 1991 | | 434.7 | 27.2 | 6.3 | 455.5 | 407.5 | 48.0 |
| 1987 | 黄豆 | 294.5 | 39.0 | 13.2 | 284.8 | 255.5 | 29.3 |
| 1988 | | 620.7 | 72.3 | 11.6 | 528.7 | 548.4 | -19.7 |
| 1989 | | 457.2 | 46.2 | 10.1 | 410.6 | 411.0 | -0.4 |
| 1990 | | 462.8 | 63.8 | 13.2 | 421.3 | 399.0 | 22.3 |
| 1991 | | 434.7 | 27.7 | 6.4 | 417.4 | 407.0 | 10.4 |
| 1987 | 春播荞麦 | 294.5 | 41.1 | 14.0 | 314.6 | 253.4 | 61.2 |
| 1988 | | 620.7 | 48.5 | 7.8 | 542.6 | 572.2 | -29.6 |
| 1989 | | 457.2 | 45.5 | 10.0 | 411.5 | 411.7 | -0.2 |
| 1990 | | 462.8 | 67.0 | 13.9 | 416.9 | 395.8 | 21.1 |
| 1991 | | 434.7 | 16.6 | 3.8 | 422.4 | 418.1 | 4.3 |

在降水量为500mm左右的黄土丘陵沟壑区,降水能完全满足坡耕地作物生长发育,土壤供水一般占到作物耗水的10%以下,因此,在土壤水分还未达到较大利用情况下,应该积极采取有效措施,发挥土壤“水库”之功能。

3.2 不同降水年型作物耗水及土壤供水

表7表明了,在生育期降水量较少的1987年,降水量仅为294.5mm,三种秋粮作物耗水量介于270.5~314.6mm,而在降雨量较大的1988年,降水量高达620.7mm,是1987年2.1倍,而秋粮作物耗水量介于491.9mm~542.6mm,仅是1987年作物耗水量的1.8倍左右。生育期降水量与秋粮作物耗水量的相关系数为0.766 8** ($n=15, r_{0.01}=0.5139$),且达到极显著水准,表明,生育期降水量与作物耗水量有良好的正相关关系。

3.3 坡耕地不同耕作措施与作物耗水关系

水平沟耕作改良变了土壤水分条件,在降雨相同的情况下,较平播可多接纳降雨,减少了土壤水分的无效损耗。由于坡度的不同,径流深也大不相同,因而土壤水分环境及作物耗水状况有所差异。

表8 水平沟耕作与土壤供水及作物耗水关系

| 年份 | 供水作物 | 处理 | 生育期降 水量(mm) | 径流深 (mm) | 作物耗水量组成(mm) | | |
|------|------|-------|----------------|-------------|-------------|-------|-------|
| | | | | | 耗水量 | 有效降水 | 土壤供水 |
| 1983 | 谷子 | 1 水平沟 | 29°51' | 611.3 | 25.3 | 506.3 | 576.0 |
| | | 2 平播 | 29°51' | 611.3 | 45.9 | 518.5 | 565.4 |
| 1984 | 谷子 | 1 水平沟 | 29°51' | 448.9 | 9.6 | 434.6 | 439.3 |
| | | 2 平播 | 29°51' | 448.9 | 15.8 | 465.1 | 433.1 |
| 1985 | 小麦 | 1 水平沟 | 25°15' | 233.7 | | 353.5 | 233.7 |
| | | 2 平播 | 25°15' | 233.7 | | 320.5 | 233.7 |
| 1986 | 小麦 | 1 水平沟 | 25°15' | 278.3 | 11.0 | 493.4 | 267.3 |
| | | 2 平播 | 25°15' | 278.3 | 18.6 | 523.2 | 259.7 |

表8表明了,秋粮作物谷子与夏粮作物土壤供水量截然不同,主要表现在,谷子生育期在雨季,其生育期降水量较大,而生育期较短的生理特性决定了作物耗水特征,在高温的环境下,土壤蒸发相对增加,给耗水量组成增加比重,因而在降水量为611.3mm的1983年,作物耗水量也仅与降水量仅为278.3mm的小麦耗水相当,从表中还可以看出,耕作因素是影响作物耗水的重要因素,在同一坡度,同一降水量,同一作物的耗水量,平播均大于水平沟,也只当降水量最少的1985年小麦水平耕作耕水略有反差。这似乎表明了,在降雨因素不成为限制作物生长发育主要因素时,水平沟耕作可以有效地控制地表蒸发,降低作物耗水量。

参考文献

- 1 卢宗凡,绦兴昌.黄土高原原人工草地的土壤水分动态及水土保持效益.干旱区资源与环境,1995(1)
- 2 卢宗凡,张文军等.干旱坡地草灌带状间作土壤水分变化的数学模型.水土保持学报,1988,(1)
- 3 张兴昌,卢宗凡等.农作物水土保持效益的数值化综合评价.水土保持学报,1993,(2)
- 4 张兴昌,卢宗凡.陕北黄土丘陵区川旱地不同耕作法的土壤水分效应.水土保持通报,1994(1)
- 5 张兴昌,卢宗凡.坡耕地水平沟耕作的土壤水分动态及增产机理研究.水土保持学报,1993(3)
- 6 卢宗凡,苏敏等.地膜玉米对土壤水分利用的试验研究.水土保持通报,1990(6)
- 7 卢宗凡.水土保持农业增产体系.见:黄土丘陵沟壑区水土保持型生态农业研究(上册).杨陵:天则出版社,1990