

黄土高原南部水平梯田的土壤水分特征分析

张玉斌^{1,2}, 曹宁³, 武敏^{1,4}, 吴发启³

(¹中科院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室 陕西杨凌 712100;

²中国科学院研究生院 北京 100039; ³西北农林科技大学资源环境学院 陕西杨凌 712100;

⁴沈阳农业大学水利学院 辽宁沈阳 110161)

摘要:以淳化试区的水平梯田为系统研究对象,休闲坡地为对照,对其剖面土壤水分变化进行动态监测。发现由于作物对梯田土壤水分的吸收利用,以及蒸发散的原因,导致水平梯田的土壤贮水量比休闲坡地小。梯田土壤水分季节变化分为蓄墒期、快速失墒期、补充期和缓慢消耗失墒期4个时期,其剖面分为剧变、活跃、相对稳定4个层次。降水、地形地貌部位、土地利用方式以及梯田宽度与种植年限均对土壤含水量有着不同程度的影响。观测期间,除在梯田表层土壤含水量出现低于有效水的现象外,其它层次都在有效水范围内,无论在丰水、枯水年,梯田土壤中的有效水或中效、易效水都可以满足作物的生长和非生长耗水的需求。

关键词:水平梯田;土壤水分;黄土高原

Analysis on Soil Moisture Character of Level Terrace on the South Loess Plateau

Zhang Yubin^{1,2}, Cao Ning³, Wu Min⁴, Wu Faqi³

(¹State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation,

CAS & MWR, Yangling 712100; ²Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039;

³College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture & Forestry,

Yangling 712100; ⁴College of Water Resource, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110161)

Abstract: Level terrace in Chunhua was the system studied object, fallow sloping field was the check, and their soil moisture variety was dynamic monitored. This research discovered that soil pondage of level terrace were less than fallow sloping filed because of crops' absorbing and using, and evaporation. There were four seasonal period, they were storing moisture period, rapidly missing moisture period, recruiting moisture period and slowly missing moisture period, respectively, and there were 3 layers, fast changing layer, activity layer and relatively stabilization layer, on terrace soil profile. Rainfall, topography and physiognomy position where terrace located, land utilized mode, terrace width, and planting life affected terrace soil moisture in different degree. In monitoring time, except terrace surface layer had a phenomenon of soil moisture under available water, others were in the range of available water, whenever it was abundance year or year of low water, available, medium available or readily available water of terrace soil can satisfy crop demanding for growth and non-growth cost.

Key words: Level terrace, Soil moisture, The Loess Plateau

土壤水分是土壤的重要组成物质之一,是决定土地生产力的一个重要因素。在旱作农业区,粮食产量与降雨的多少和生产关键时期的干旱程度呈正相关关系。梯田可以有效的拦蓄降水,增加雨水资源的就

地入渗,为提高作物水分利用率提供了保障^[1-3]。

目前对于黄土高原土壤水分的动态研究尽管已经比较深入^[4-17]。但以梯田为对象的系统研究,仍然很少。故笔者对水平梯田的土壤水分的变化特征的研

究成果作一介绍。

1 测试区概况与研究方法

1.1 测试区概况 测试区位于黄土高原南部、淳化县境内的泥河沟流域,总土地面积 9.48km²。区内气候属暖温带半湿润气候。年平均气温 9.8℃,一月均温为 -4.3℃,七月均温 23.1℃,无霜期 183 天,初霜 10 月中旬,终霜 4 月中旬,最晚 5 月 22 日。≥0℃积温 3899.2℃,历时 269 天,≥10℃积温 3281℃,历时 173 天,太阳年辐射总量 50.3×10⁸J/cm²,全年日照 2372.1h,日照百分率 54%,4—8 月日照时数都在 190h 以上。多年平均降水量 600.6mm,7、8、9 三个月集中率达 50%以上,多形成暴雨。干燥度 K 值介于 1.10~1.38 之间。地貌为黄土残塬沟壑类型。流域塬面

面积占 59.2%,沟壑面积占 39.8%,海拔高度 712~1193m,沟壑密度 4.71km/km²。土壤以黄壤土为主,呈灰黄色,肥力低,有机质留极少,天然植被多分布在沟谷之中,以草本和灌木为主,属森林草原植被类型。

流域隶属三个乡,有 7 个行政村和 1 个国营林场。有 3361 人,劳力 1501 人,人均耕地 0.21hm²,劳均 0.47hm²。农村经济以种植业和林果业为主,2000 年粮食亩产达 262.5kg,人均纯收入 3100 元(1999 年),水土流失治理累计面积为 8.2km²,治理度达 86.5%,土壤侵蚀模数由 4000t/km²·a 下降到 317t/(km²·a)。

流域内的农田无灌溉条件,降水是土壤水分的唯一来源。由观测期间的降水情况(表 1)可知,2001 和

表 1 观测期间及其它年份的降水状况 (mm)

年份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	Σ
2001	16.9	10.5	0.5	34.2	13.5	52.4	60.6	76.5	124	39.4	2.9	9.3	440.7
2002	6.4	6.7	9.7	16.1	74.1	87.7	43.7	64.8	92.3	34.5	9.2	15.5	460.7
1988	1.8	17.0	48.0	41.9	79.0	39.8	204.2	255.4	49.8	82.6	0.1	3.3	822.9

2002 年均均为干旱年,1988 年为丰水年。

1.2 研究方法 流域内梯田面积占总土地利用面积的 42.93%,其宽度在 3m 到 20m 之间不等。根据试验目的,按土地利用类型,以果园梯田(6、15 龄)、农作梯田(冬小麦田)为研究对象,休闲坡地为对照,分别在阴坡、阳坡的宽式梯田(≥20m)内、中、外侧,窄式梯田(≤3m)内、外侧和 3°、8°、12°、15° 与 25° 坡地的坡上、中、下部布置中子仪水分测定管(长 2.15m)。定期分层观测 0~200cm 土层土壤含水量(0~20、20~40、40~60、60~100、100~150、150~200,单位:cm)通过观测土壤垂直方向水分分布情况,掌握各部位土壤水分动态变化。其中,表层 0~20cm 土壤

采用烘干法测定,其它层次用中子水分仪测定,每次测定时均作 3 次重复,最后取其平均值作为分析数据。实验从 2000 年 11 月起开始,每隔 15d 测定一次。

2 结果与分析

2.1 梯田土壤的水分特征分析

2.1.1 梯田土壤的蓄水特征 经对观测数据进行整理,并按公式 $\theta=(c \times h)/10$ 式中: θ ,土壤贮水量,mm; c ,土壤含水量,%; h ,土层深度,cm)计算得知,观测期间梯田 0~200cm 土层的平均贮水量为 417.13mm(表 2)。

由表 2 可知,观测期间梯田的土壤贮水量小于

表 2 梯田、坡地土壤蓄水特征

地类		样本数(个)	平均贮水量(mm)	变幅(mm)	变异系数(%)
梯田	农田	222	414.67	288.52~576.68	15.42
	果园	174	420.18	280.08~564.45	14.28
坡地		327	433.17	264.49~601.08	17.24

休闲坡地。这一结果主要是农作物和果树对土壤水分的吸收利用及蒸散所致。因为,经对次降雨后的 168 个数据统计结果得知,梯田的平均贮水量为 433.85mm,比雨后坡地平均贮水量高出 13.22%。

2.1.2 梯田土壤剖面水分分布特征 根据观测结果(图 1,2),干旱年与丰水年梯田 0~200cm 土层内土壤剖面水分含量变化具有大致相同的规律性,按深度土壤水分含量可划分为 3 个层次:

①土壤水分剧变层(0~40cm),该层土壤水分受降水、蒸发及作物利用等条件的影响而变化剧烈,是水分变化最不稳定的层次;②土壤水分活跃层

(40~100cm),该层是作物与植被根系的主要分布层和吸水层,是作物与植被生长发育旺盛的主要供水源和贮水库,由于受作物根系的影响,土壤水分变化紊乱,且变化梯度较大,具有较明显的季节性干湿变化特征;③土壤水分相对稳定层(100cm 以下),该层是作物与植被深层根系分布层,土壤含水量变化很小,其含水量一般高于上层,在正常条件下受上层水分变化的影响很小。该层土壤水分除被根系直接吸收外,主要是调节上下层土壤水分的供给与积蓄,成为土壤水分消耗和补充的源与汇,也就是通常所说的“土壤水库”。

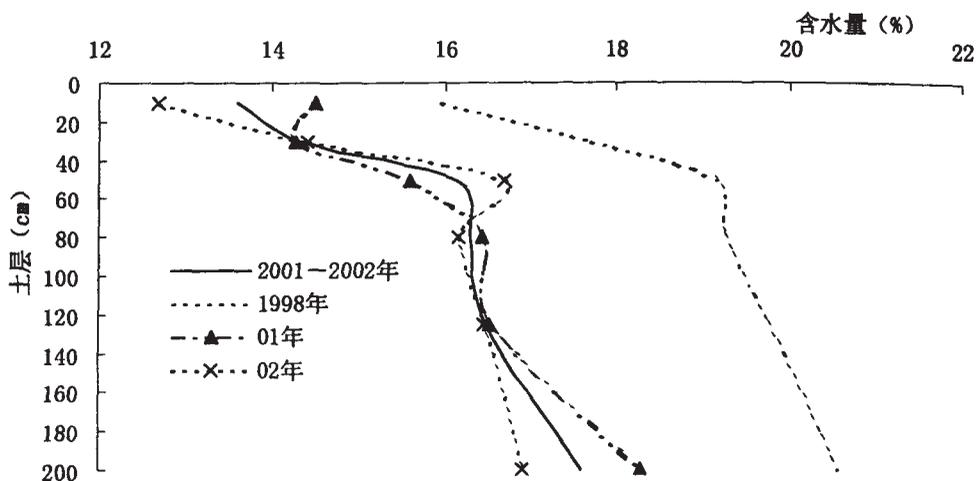


图1 梯田土壤水分剖面变化图

2.1.3 梯田土壤水分年变化特征 由表1和图1可以看出 梯田土壤含水量变化总体趋势基本一致。但由于降水量的差异,导致了梯田土壤水分在不同时期的剖面水分分布特征的差异,即:1998年(丰水年)的各层土壤含水量均大于2001-2002年(干旱年)的含量。

梯田剖面土壤水分因年降水量的变化而表现出的不同变化特征说明,在干旱(降水量较低)年份,"土壤水库"起着替代降水的作用,成为补充作物所需土壤水分的主要来源,而在降水量较大年份,降水则成为土壤水分的主要来源。

2.1.4 梯田土壤水分季节性动态变化特征 在以往黄土高原土壤水分不同地类(农田、草地、林地等)的研究中^[18-24],虽然研究的内容与方法各有不同,但对于梯田的土壤水分的季节性变化规律,结论基本一致。一般情况下可大致分为以下5个时期(见图2、3):

(1)蓄墒期(冬季土壤水分缓慢累积阶段)。本阶段从上年11月到翌年3月上旬。该期气温低,蒸散量较小,土壤水分损失少,土壤各层的含水量变幅小。2001年11月-2002年3月土壤水分剧变层、土

壤水分活跃层和土壤水分相对稳定层的含水量分别为18.84%、22.71%、21.73%,0-200cm土层的储水量为428.95mm。

(2)快速失墒期(春末夏初土壤水分强烈消耗阶段)。本时期为3月中旬到6月下旬。此阶段降水较少,气温迅速回升,相对湿度低,导致土壤蒸发加剧,同时植物开始生长,致使土壤水分损耗严重。到这一时期末,土壤含水量下降到全年的最低水平。土壤水分剧变层、土壤水分活跃层和土壤水分相对稳定层的含水量在这一阶段分别为16.74%、21.09%、25.56%,0-200cm土层的储水量为449.17mm。

(3)水分补充稳定期(土壤水分恢复阶段)。此期间是土壤水分的主要蓄墒期,为7月-9月上中旬。尽管此期气温最高、植物生长最为旺盛而且土壤蒸发与植物蒸腾都很强烈,但降水量足以满足水分消耗,并能补给土壤水分,土壤水分以恢复占主导地位。这一时期的土壤水分剧变层、土壤水分活跃层和土壤水分相对稳定层的含水量分别为16.74%、24.66%、22.52%,0-200cm土层的储水量为440.16mm。

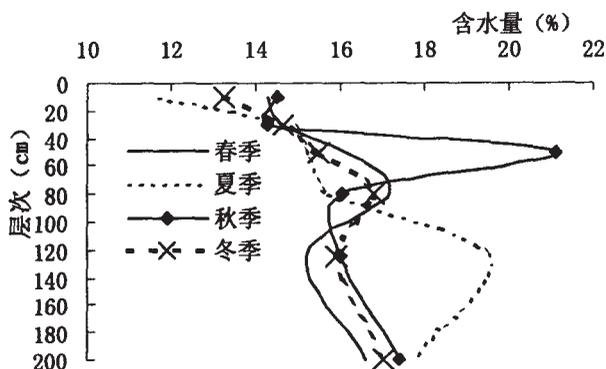


图2 梯田剖面土壤水分季节动态

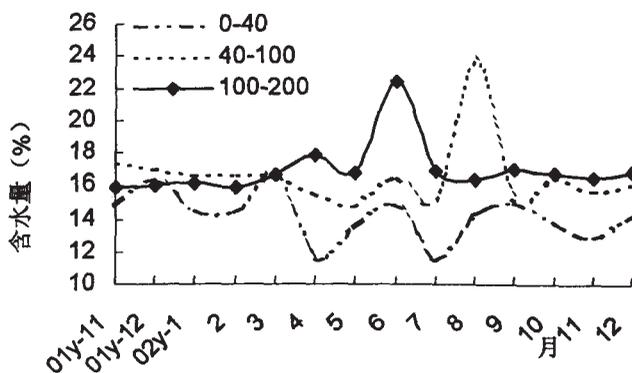


图3 梯田土壤水分季节性动态变化

(4)失墒期 土壤水分缓慢消耗阶段)。为9月中下旬至11月。此时气温降低,降水明显减少,但土壤水分仍然非常活跃,一般以土壤表层表现最为剧烈。这一时期的土壤水分剧变层、土壤水分活跃层和土壤水分相对稳定层的含水量分别为16.86%、21.81%、22.42%,0~200cm土层的储水量为422.47mm。

由图2可以看出,夏、秋季土壤剖面上的水分含量变化较为剧烈,而春、冬季的水分含量变化幅度较小。同时,由于土壤接纳大气降水有一个下渗累积过程和作物不同发育时期蒸散量差异以及受深度的影响,各土层的含水量变化时间并不一致。

2.2 梯田土壤水分影响因素分析

2.2.1 降水 土壤中水分含量的高低与降水量的大小密切相关,土壤水分含量同时受前期降水和同期降水的影响,其含量变化或同步或稍滞后于降水。2月至3月初期和7月初至9月初土壤水分含量处于上升阶段,为土壤蓄墒期,2-3月的土壤水分含量增加,是由于从2月下旬到3月初,因气温回升,土壤解

冻,加上本期降水的影响,从而使土壤水分含量急剧上升。由于4、5月份正处于作物的生长成熟阶段,水分消耗量较大,再加上这一阶段天气比较干旱,外源水分补充相对不足,土壤含水量下降的幅度较大,失水快,为快速失墒期。6、7月份之间因为天气比较炎热,表层土壤水分因蒸发、蒸腾作用而快速失水。8月到9月中下旬和来年的1月底、2月初土壤水分含量变化相对较小,可以看作为水分稳定期。11月底到12月份土壤水分有所增大,天气变冷,进入到土壤水分的凝聚期。

2.2.2 地形

(1)地貌 由图4可知,在流域中不同的地貌上,梯田土壤水分的含量不同。在土壤剖面上的同一层次,不同地貌土壤含水量差异极大,其顺序是:在0~40cm之间,塬坡<塬面<沟底;在40~200cm之间,它们的剖面水分变化趋势基本上一致,呈由小到大递增的变化趋势,在150~200cm之间其含量达到最大,且塬面<塬坡<沟底。

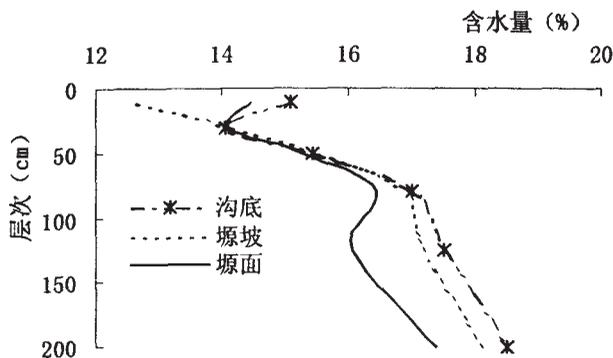


图4 不同地貌梯田剖面水分特征变化

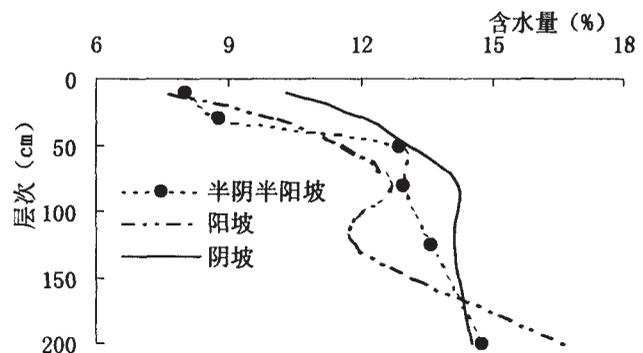


图5 不同地形部位梯田剖面水分特征变化

(2)地形部位 对不同地形部位梯田的土壤含水量进行绘制散点图(图5),从中可以看出不同坡向梯田剖面上的水分含量差异比较明显,在整个剖面上是:阴坡(13.04%,均值)>半阴半阳坡(11.82%,均值)>阳坡(11.75%,均值),阳坡的变化幅度最大。在0~40cm土层之间,三者的变化趋势是一样的,随深度增加而增长,其水分含量阴坡>阳坡>半阴半阳坡。40~160cm之间,土壤水分的分布状况是,阴坡>半阴半阳坡>阳坡。160~200cm之间水分分布状况为,阳坡>半阴半阳坡>阴坡。在40cm以下,阴坡的水分含量变化不大,相对比较稳定,阳坡则呈由低到高再升高的变化趋势,在最底层达到最大(16.71%)。半阴半阳坡的40~80cm土层是土壤水分过渡层,80cm以下含水量随深度的加深而增加。这主要是由于阴坡所接受的太阳辐射热量低于阳坡,阴坡的蒸发蒸腾强度也低于阳坡,从而阴坡的土壤

水分含量高于阳坡。

同时,笔者认为造成土壤水分沿不同坡向分异的原因如下:①降水再分配和光热条件的不同,导致了不同坡位的土壤含水量在不同坡向上的差异;②地表土壤物质组成、植被类型以及植被覆盖度的不同。这就要求在发展水土保持林地的同时,应充分考虑坡向对土壤水分分布的影响,选择适宜的树种,保持合理的植被密度。

2.2.3 土地利用

(1)梯田果园与农田土壤水分状况分析 如图6所示,梯田果园的表层土壤水分含量低于剖面上同一层次的农田土壤水分含量,在40~80cm之间,果园与农田的土壤含水量基本一致,为土壤水分主要供给层,80cm以下,果园的土壤水分含量略高于剖面上同一层次的农田土壤水分含量。果园与农田剖面上水分的变化趋势一致,表现为自上而下含水量由

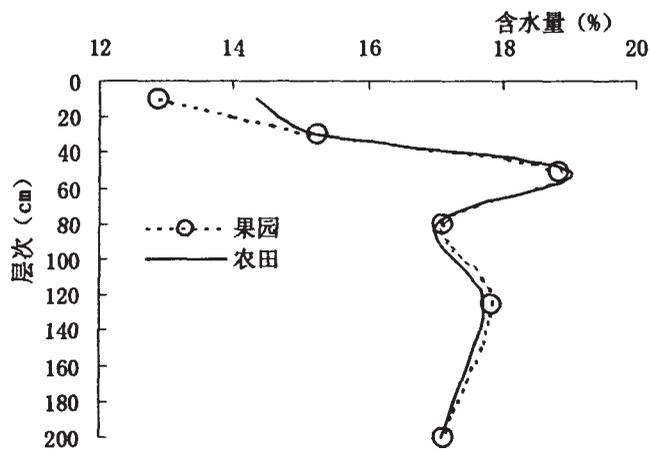


图6 梯田果园、农田土壤水分剖面动态

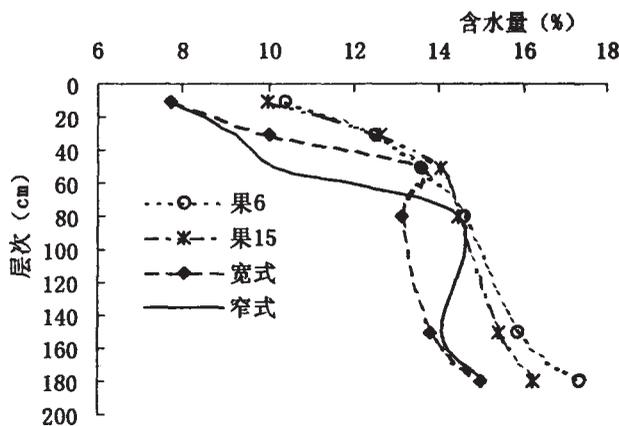


图7 不同年限、宽度梯田剖面水分分布特征

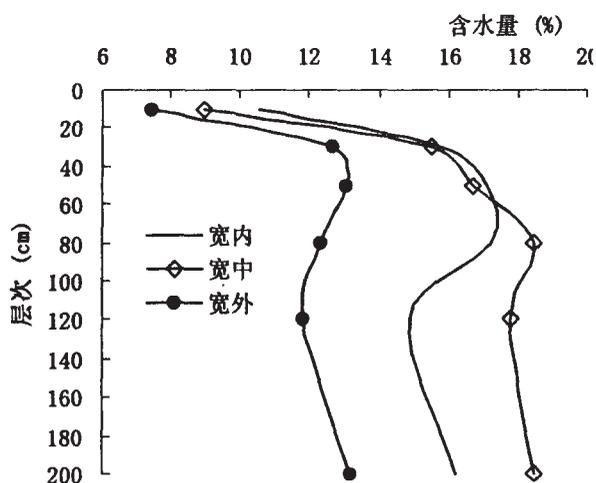


图8 宽式果园土壤水分剖面分布

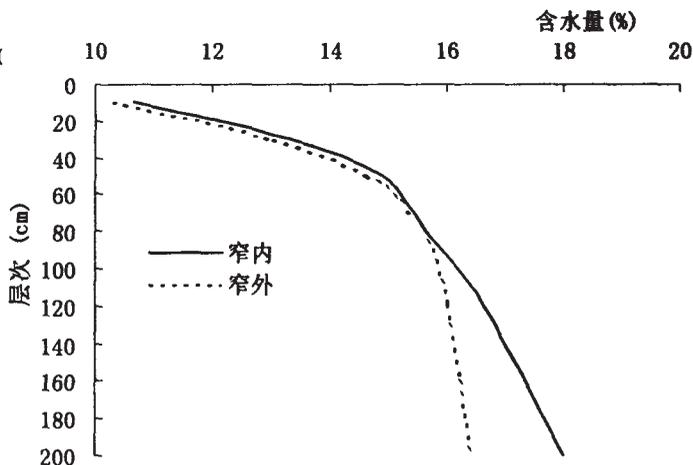


图9 窄式果园土壤水分剖面分布

低到高又到低的趋势。

(2)梯田宽度及年限对土壤水分变化的影响 在淳化泥沟流域,水平梯田的宽度从最窄的3m到最宽的20m不等,其耕作年限从3年到30年不等。由于不同宽度、不同耕作年限梯田的土壤微地形小气候的不同,其土壤含水量也将有所差异。

不同耕作年限、不同宽度梯田土壤水分分布变化规律如图7、图8、图9所示。

在0~80cm之间,宽式梯田的土壤水分含量高于窄式梯田,在80cm以下土层则相反,宽式梯田水分含量小于窄式梯田,在近200cm处趋于一致。宽式梯田与窄式梯田剖面上土壤水分的变化趋势相似。

6龄和15龄果园土壤水分在剖面上变化趋势一致,水分含量变化自上而下呈现出由小到大的增长趋势,40cm和80cm两处为水分变化的转折点,0~40cm之间两者的水分含量基本相同,40~80cm之间土壤水分含量15龄>6龄,80cm以下土层土壤水分含量则为6龄>15龄。

在同一宽度梯田内,同一层次土壤含水分特征为:窄式梯田为窄内>窄外,在剖面上窄式梯田土壤水分含量变化表现为自上而下呈递增趋势;在宽式梯田中,剖面0~60cm土层水分含量中部>内部>外部,其余层次的水分含量则是内部>中部>外部,宽式梯田的内侧部位土壤水分含量在剖面上的变化呈自上而下呈由小到大再减小的变化趋势,其中中部的变化幅度最大。梯田的外侧水分含量小于内侧,说明了梯田水分侧向蒸发^[25]的严重程度。

3 梯田土壤水分评价

根据土壤水分对植物生长的有效性原理^[26],土壤水分有3个转折点,即凋萎湿度、生长阻滞持水量、田间持水量。研究表明土壤水分对植物的有效性是随着土壤湿度的降低而减少的,当土壤含水量降到田间持水量的60%~70%以下,对作物的生长就产生不利的影响。据测定淳化黄土的田间持水量为21.4%,林木的凋萎湿度为6.7%。

为了准确评价梯田土壤水分,根据文献^[27]对淳

表3 梯田土壤水分有效性分级

土壤水分有效性分级	土壤持水量范围	土壤湿度(%)
无效水	低于凋萎湿度	<6.7
难效水	低于凋萎湿度至生长阻滞持水量(相当于田间持水量的60%)	6.7~12.8
中效水	田间持水量的60%~80%	12.8~17.1
易效水	田间持水量的80%~100%	17.1~21.4
富余水	大于田间持水量	>21.4

化黄土土壤水分有效性划分为5个等级(见表3)。

在观测期间,除在表层0~20cm之间土壤水分含量出现低于有效水的现象,其它层次都在有效水范围内。同时,结合文献[27]的观测结果可知,20cm以下土层的土壤水分,无论在丰水、枯水年,梯田土壤中的有效水或中效、易效水可以满足作物的生长和非生长耗水的需求。

因此,梯田土壤水分状况对作物生长比较有利。

4 结论与建议

综上所述,黄土高原南部(残塬沟壑区)梯田的土壤水分条件主要受气候和立地条件的影响。

(1)由于作物对梯田土壤水分的吸收利用,以及蒸发散的原因,导致水平梯田的土壤贮水量比休闲坡地小;

(2)梯田剖面水分变化可分为0~40cm水分剧变层,40~100cm活跃层,是梯田主要根系吸收层次;100~200cm相对稳定层,起到“土壤水库”的作用。梯田土壤水分季节变化分为冬春蓄墒期,春末夏初的快速失墒期,雨季补充期和秋冬水分缓慢消耗失墒期。

(3)降水对梯田土壤水分变化有着显著的影响。不同的地形地貌部位,梯田的土壤含水量差异较大。不同的土地利用方式以及梯田本身宽度与种植年限也对土壤含水量有着不同程度的影响。

(4)除在表层0~20cm之间土壤水分含量出现低于有效水的现象。其它层次都在有效水范围内,无论在丰水、枯水年,梯田土壤中的有效水或中效、易效水可以满足作物的生长和非生长耗水的需求。

参考文献

- 1 蒋定生.黄土高原水土流失与治理模式[M].北京:中国水利水电出版社,1997.202-207
- 2 吴发启,张玉斌,余雕,等.黄土高原南部梯田土壤水分环境效应研究[J].水土保持研究,2003,10(4):128-130
- 3 吴发启,张玉斌,王健.黄土高原水平梯田的蓄水保土效益分析[J].中国水土保持,2004,2(1):34-37
- 4 李开元.黄土高原南部农田水分条件及其产量效应[J].水土保持学报,1995,15(6):6-10
- 5 吴钦孝,杨文治.黄土高原植被建设与持续发展[M].北京:科学出版社,1998.37-69
- 6 穆兴民.黄土高原土壤水分与水土保持措施相互作用[J].农业工程学报,2000,16(2):41-45
- 7 赵合理,蒋定生,范兴科.不同水土保持措施对坡面降水再分布的影响.水土保持研究[J],1996,3(2):75-83
- 8 蒋定生,刘梅梅,等.降水在凸-凹形坡上再分配规律初探[J].水土保持通报,1987,(1):45-49
- 9 杨文治,邵明安,彭新德,等.黄土高原环境的旱化与黄土中水分关系[J].中国科学(D辑),1998,28(4):357-365
- 10 孙阁.森林植被对河流泥沙和水质的影响的综述[J].水土保持学报,1988,2(3):54-57
- 11 中国科学院黄土高原综合科学考察队.黄土高原地区土壤资源及其合理利用[M].北京:中国科学技术出版社,1991.205-241
- 12 伊传逊.隔坡梯田效益研究[J].中国水土保持,1984,(6):16-17
- 13 王斌瑞,王百田.黄土高原径流林业[M].北京:中国林业出版社,1996.71-83
- 14 孙立达,朱金兆,等.水土保持林体系综合效益研究与分析[M].北京:中国科学技术出版社,1995.21,45,119,262-401
- 15 韩仕峰,等.黄土高原综合治理评价[M].北京:科学出版社,1992.51-59
- 16 王克勤,王斌瑞.集水造林防止人工林植被土壤干化的初步研究[J].林业科学,1998,34(4):14-21
- 17 王百田,等.集水技术与林木生长的土壤水环境研究[J].水土保持通报,1997,(6):7-14
- 18 王夏晖,王益权,刘军,等.孔源及常规施肥方式下土壤水分的利用研究[J].干旱地区农业研究,2001,19(2):36-41
- 19 白连海,李永军.水平梯田土壤水分动态研究[J].内蒙古水利科技,1997,(8):52-56
- 20 赵聚宝,李克煌.干旱与农业[M].北京:农业出版社,1995.88-127
- 21 任勇,王佑民.农桐间作系统水分关系及土壤水分特征[A].见:王佑民.黄土高原沟壑区综合治理及其效益研究[C].北京:中国林业出版社,1990.75-88
- 22 赵国杰,等.黄土丘陵半干旱区梯田土壤水分动态变化及防旱对策[J].甘肃农业科技,1999,(3):21-23
- 23 贾志清,等.宁南山区典型流域土壤水分动态变化规律研究[J].北京林业大学学报,1997,19(3):15-20
- 24 李世荣,张卫强,贺康宁.黄土半干旱区不同密度刺槐林地的土壤水分动态[J].中国水土保持科学,2003,1(2):28-32
- 25 陶士珩,宁南山区水平梯田的水分供应订正函数[J].干旱地区农业研究,1995,13(4):33-39
- 26 沈阳农学院.农业土壤学[M].北京:农业出版社,1961.59-81
- 27 李凯荣,王佑民.黄土原区刺槐人工林地土壤水分特征[A].见:王佑民.黄土高原沟壑区综合治理及其效益研究[C].北京:中国林业出版社,1990.56-64