

西峰黄土高原作物生长期土壤水分损耗速率分析

黄 斌^{1,2}, 张洪芬², 强玉柱³

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,
中国气象局干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;
2. 庆阳市气象局, 甘肃 西峰 745000; 3. 天水市气象局, 甘肃 天水 741000)

摘 要: 利用 1989~2005 年 3~11 月每月 8 日的 0~200cm 土壤总含水量资料及降水资料, 分析冬小麦生长期土壤水分年际变化特征、特殊年型各层水分分布特点、土壤水分损耗速率以及水分损耗速率的影响因子。结果表明, 土壤总含水量年际变化明显, 20 世纪 90 年代中后期为相对缺水期; 丰水年、缺水年和平水年相同土层土壤含水量始终遵循丰水年≥平水年>缺水年。多年作物生长期 0~200cm 土壤平均耗水速率为 1.98 mm/d, 最低为 1.40 mm/d, 最高为 2.54 mm/d, 最高耗水速率是最低的 1.81 倍; 月水分损耗 3~5 月逐渐增大, 5 月为年度最大, 其后开始持续减小; 气候因子中年降水量对年土壤水分损耗速率的影响最为显著, 通过 0.001 信度检验, 达到极显著相关水平, 冬小麦生长发育对土壤月耗水速率影响较大。

关键词: 西峰; 冬小麦; 土壤; 水分损耗; 速率

中图分类号: S 152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008) 01-0241-05

西峰黄土高原(也称“董志塬”)地处甘肃省东部, 为甘肃省冬小麦主产区, 素有“陇东粮仓”之称^[1], 该地区属典型的雨养农业区^[2,3], 土壤水分的贮存量对发展区域农业具有十分重要的意义, 大气降水是土壤水分唯一的补给源。然而土壤水分消耗却通过多种途径进行, 如地表蒸发、径流与下渗、作物吸收利用及蒸腾作用等。有研究表明黄土高原旱地冬小麦根系下扎深度为 220~240 cm, 吸收利用土壤水分能力范围在 180~210 cm^[4]。故本文对 0~200 cm 土层平均水分损耗速率进行分析, 分析其时间变化规律, 找出影响其变化的主要气象因子, 以及冬小麦发育期对其变化的影响。研究结果对指导当地农业耕作具有非常重要的意义。

1 研究区概况与研究方法

“董志塬”是黄土高原保存最为完整的一个塬面, 也是黄土高原最大的塬面^[5], 塬面面积 910 km², 黄土层平均厚度超过 100 m^[6]。试验地位于 107°38'E, 35°44'N, 海拔 1 421 m, 为固定观测地段, 种植作物均为冬小麦, 土壤质地为壤土, 呈碱性, 0~200 cm 土层深度平均田间持水量 23.2%, 容重 1.22 g/cm³, 凋萎湿度 5.6%, 地下水位深度大于 2 m, 旱地, 无灌溉条件。试验地对西峰黄土高原土壤的质地、水文特征、耕作制度等均具有典型的代表性。

地表蒸发、径流与下渗、作物吸收利用及蒸腾等统称为土壤水分损耗(SMC), 其与降水(R)及土壤含水量(SWC)的关系为: $SMC = SWC_1 + R - SWC_2$, SWC_1 、 SWC_2 分别表示前后两次测得的土壤含水量; 土壤水分消耗速率(MCV) = SMC / T , T 为两次测定土壤水分含量之间的间隔天数。

0~200 cm 土壤含水量的测定方法: 将固定地段分成 4 个小区, 每个小区一个重复, 0~200 cm 分成 0~10 cm、10~20 cm……190~200 cm 共 20 层, 钻土取样, 称重、烘干, 计算每层的重量含水率 w(%)。每层的土壤含水量由公式: $v = p \times h \times w \times 10$ 计算求得, 其中 v 为每层土壤含水量(mm), p 为计算层土壤容重(g/cm³), h 为土层厚度(cm), 0~200 cm 土壤含水量为 20 层各层土壤含水量之和^[7]。

2 结果与分析

2.1 土壤水分基本特征

本文土壤含水量资料取每年开春后 3 月至冻土前 11 月测定的 9 次土壤含水量的平均作为含水量的年度平均值, 时间序列为 1989~2005 年, 共 17 年。

2.1.1 土壤水分的年际变化 1989~2005 年 0~

收稿日期: 2006-12-16
基金项目: 庆阳市气象局科研专项(2005)
作者简介: 黄 斌(1979-), 男, 陕西咸阳人, 助理工程师, 从事农业气象业务与研究工作。E-mail: huanglin_xnbb@126.com。

200 cm 平均土壤含水量 352 mm, 年际变化明显(图 1), 土壤水分含量最高年份出现在 1991 年, 为 427 mm, 最低年份出现在 1995 年, 为 294 mm, 最高年份较最低年份土壤含水量多 133 mm。1989~1991 年土壤水分开始增加, 到 1991 年成为 17 年间最大值, 随后至 1995 年持续减少, 1995 年减小到 17 年最低值, 为 294 mm。1996 年迅速增加, 较 1995 年增加了 56 mm, 1997 年又迅速减小, 1997~2001 年持续增加, 但年际间增加的幅度很小, 年平均含水量均在平均值以下, 2002、2003 年均较前一年增加的幅度较大, 2004、2005 年又呈减小趋势。

总体而言, 80 年代后期土壤水分含量开始增加, 到 90 年代初期达到最高值, 此后开始减少, 到 90 年代中后期达到最低值, 土壤水分匮乏主要出现在这个时期, 进入 2001 年以后, 土壤水分含量又呈现出回升趋势。

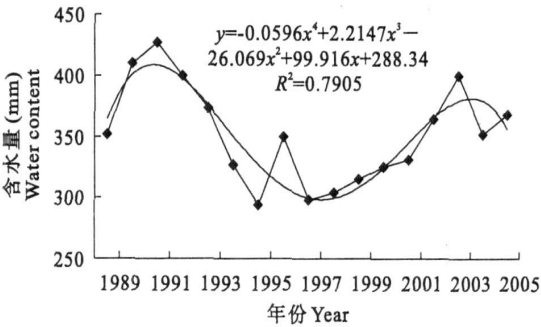


图 1 平均土壤含水量年际变化曲线

Fig. 1 The curve of change of annual average soil water content

2.1.2 不同年型各层土壤含水量变化特征分析
土壤总含水量年际变化明显, 不同水分年型各层次含水量又有怎样的变化特征? 为此, 建立特殊年型各层土壤水分变化曲线图(图 2)。由图 2 可知, 各种土壤水分年型均有一个共同的特点, 即 10 cm 土壤含水量相对较低, 到 20 cm 则有一个突然增加的跳跃, 平均变化范围 2~6 mm。平水年(1989 年)各层土壤水分含量变化与平均年份变化基本一致, 20~30 cm 土壤含水量较高, 40 cm 以下土壤含水量降低, 且层与层之间水分含量相近, 变化幅度不大。缺水年(1995 年) 10~20 cm 含水量变化较大, 达 6 mm, 20~70 cm 变化相对稳定, 80 cm 略有减小, 但幅度不大, 其下各层含水量基本相近。相对而言, 丰水年(1991 年) 土壤水分变化比较复杂, 总的变化趋势是 20~200 cm 每层以 0.3 mm 的速率递减, 且相关系数 $R^2=0.8892$, 通过 0.001 信度检验, 达到极显著相关水平。丰水年、缺水年和平水年相同层之

间土壤含水量始终遵循丰水年 $\geq$ 平水年 $>$ 缺水年。

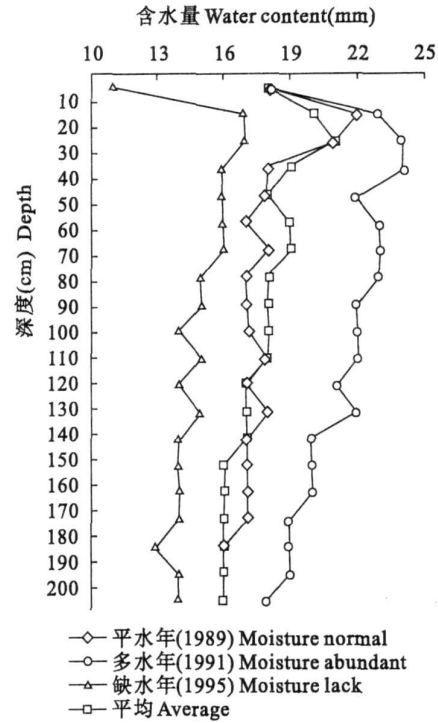


图 2 不同年型各层土壤水分含量比较

Fig. 2 The content of moisture of per layer of soil of different year types is compared

2.2 耗水速率分析

以本月 8 日测定的 0~200 cm 土壤含水量与降水量(本月 8 日至下月 8 日)之和减去下月 0~200 cm 土壤含水量, 作为本月 8 日至下月 8 日期间 0~200 cm 土层总耗水量, 总耗水量与间隔天数之比为月平均耗水速率, 年内各月耗水速率的平均为耗水速率年平均。时间序列与土壤含水量的测定相同。
2.2.1 耗水速率的年际变化 建立 0~200 cm 土壤耗水速率年际变化曲线(图 3)。多年 0~200 cm 土壤平均耗水速率为 1.98 mm/d, 耗水速率最低出现在 1995 年, 为 1.40 mm/d, 最高出现在 1990 和 2003 年, 均为 2.54 mm/d, 最高耗水速率是最低的 1.81 倍。年际间变化明显, 从其年际变化四阶趋势线可以看出, 80 年代后期速率开始增加, 90 年代初为最高点, 此后开始减小, 90 年代中后期为最低点, 90 年代末, 耗水速率开始上升。土壤水分损耗速率四阶趋势线变化规律与土壤含水量四阶趋势线具有很强的相似性。

2.2.2 耗水速率月变化 西峰黄土高原冬小麦生长期为 3 月至 11 月, 所以土壤耗水速率月变化主要指 3 月至 11 月的速率分布(图 4)。以 3 月 8 日~4 月 8 日平均值作为 3 月份平均值, 其余依此类推。由图 4 可以看出, 耗水速率最大出现在 5 月, 为 3.12

mm/d, 3 月和 10 月基本相近。总体变化趋势是 3~5 月份耗水速率上升, 4 月份相对 3 月份上升的幅度最大, 平均耗水速率比 3 月份上升了 1.58 mm/d, 5 月份较 4 月份有所上升, 但幅度不是很大, 至此 5 月份成为冬小麦生长期耗水速率最大的时期, 此后开始持续减少, 8 月份有一个跳跃, 但幅度不大。

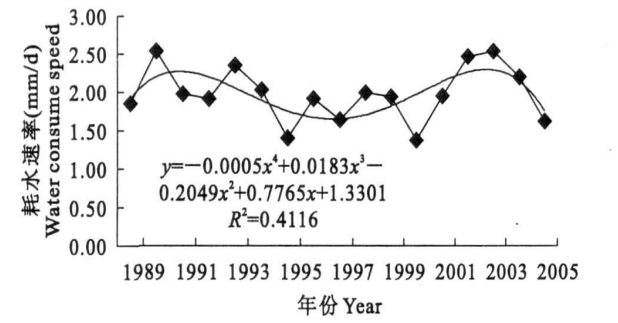


图 3 土壤水分消耗速率年际变化曲线
Fig. 3 The curve of change of annual soil moisture consumption speed

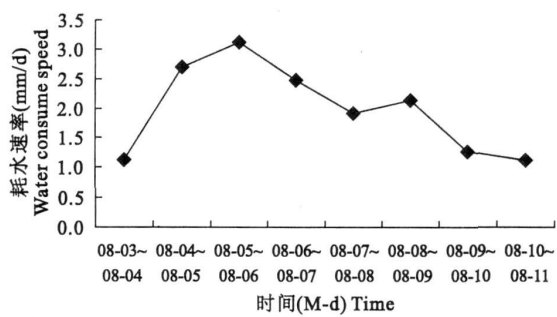


图 4 月土壤水分消耗速率变化曲线
Fig. 4 The curve of change of monthly soil moisture consumption speed

2.3 耗水速率的影响因子

2.3.1 气象因子对土壤水分损耗速率的影响 光照、温度、降水是影响西峰黄土高原冬小麦生长的基本气象要素^[9], 那么它们与土壤水分消耗速率有着怎样的关系。建立光、温、水与土壤水分消耗速率相关关系表(表 1)。

表 1 光、温、水气象因子与土壤水分消耗速率相关系数
Table 1 Coefficient correlation between meteorological factors of light , temperature and water and soil moisture consumption speed

项目 Items	时间 Time(M -d)									
	03-08~ 04-08	04-08~ 05-08	05-08~ 06-08	06-08~ 07-08	07-08~ 08-08	08-08~ 09-08	09-08~ 10-08	10-08~ 11-08	03-8~ 11-08	
相关系数 Correlation coefficient	降水 Precipitation	0.3848	0.1285	0.3030	0.4055	0.3083	0.2814	0.5164	0.2524	0.7169 *
	气温 Air temperature	0.3710	-0.1697	-0.4785	-0.5681	-0.0908	-0.3206	0.0687	-0.3107	-0.3613
	日照 Sunlight	0.2089	-0.1876	-0.0802	-0.3407	-0.0231	-0.0044	-0.1071	-0.1877	0.0223

注: * 表示通过 $\alpha=0.01$ 信度检验。 Note : * means having passed $\alpha=0.01$ believing degree test .

由表 1 可以看出, 降水对 0~200cm 土壤耗水速率的影响均为正相关关系, 但与各个月份中降水量相关性不显著, 唯有 3~10 月作物生长期内的耗水速率与降水量呈显著的正相关关系, 通过 0.001 信度检验; 气温和日照与耗水速率大多为负相关关系, 且均未达到显著相关水平。所以降水是西峰黄土高原土壤水分损耗速率的主要影响因子。

究其原因, 西峰黄土高原为典型的雨养农业区, 降水是土壤水分的唯一补给源, 有降水则土壤水分得到补充。土壤水分消耗的前提是土壤中含有水分, 水分含量高, 则可消耗的水分多, 土壤水分含量低, 则可消耗的水分少。但短期内降水对土壤水分的补充不能完全用于土壤水分损耗, 故土壤水分消耗速率与降水在各个月份内的相关性不强, 但在冬小麦整个生育期内的相关性达到极显著相关水平。

西峰黄土高原日照、气温充足, 能够满足作物生长。但日照时间长、气温高影响降水的形成, 对降水不利。所以气温、日照与土壤水分消耗速率呈负相关关系或相关性不显著。

2.3.2 冬小麦生育期对土壤水分损耗速率的影响

为了分析各月内冬小麦主要发育期对土壤水分消耗速率的影响, 建立西峰黄土高原土壤水分测定各阶段内冬小麦主要生育期表(表 2)。

冬小麦的发育期对月土壤水分的消耗速率产生极大的影响。初春土壤由上向下开始解冻, 地表呈现昼消夜冻, 此时冬小麦恢复生长, 3 月冬小麦进入返青、起身生长期, 主要消耗耕作层和地表水来满足作物生长需求, 对 0~200cm 土层的土壤水分的消耗小, 所以土壤水分消耗速率较小; 4 月冬小麦进入拔节期, 生长速率明显加快, 作物蒸腾和地表蒸发加

大,加之根系下扎深度大,对深层土壤水分消耗大,从而使耗水速率急剧上升;5月冬小麦进入抽穗、开花期,此阶段是冬小麦从营养生长向生殖生长的过渡阶段,是冬小麦群体生长速率最大的时期,且植株个体、叶面积达到最大,蒸腾作用加强,从而使耗水速率达最大值;6月份冬小麦处于乳熟至成熟期,需要大量的光照来保证光合作用的进行,以促进产量的形成,此时冬小麦茎、叶等器官开始衰老,对水

分需求下降,所以6月份耗水速率开始下降;7~8月冬小麦已经收割,耗水主要靠地表蒸发和下渗;9~10月份,冬小麦处于播种~出苗~三叶~分蘖期,对水分的需求量小,且此时根系主要在地表,深层土壤水分消耗量小,分蘖期前后,冬小麦叶面积增大,使地表覆盖度增加,蒸发量减少,从而减少土壤水分消耗,土壤水分消耗速率持续下降。

表 2 西峰冬小麦主要发育期
Table 2 Main growth date of winter wheat in Xifeng

项目 Items	时间 Time (M-d)							
	03-08~ 04-08	04-08~ 05-08	05-08~ 06-08	06-08~ 07-08	07-08~ 08-08	08-08~ 09-08	09-08~ 10-08	10-08~ 11-08
发育期 Growth stage	起身 Rising	拔节 Jointing	抽穗 Earing	成熟 Maturing	裸地 Bare land	裸地 Bare land	出苗 Seedling	分蘖 Tillering
平均日期 Mean date (M-d)	03-21	04-23	05-14	06-29	—	—	09-28	10-23

3 结论与讨论

1) 土壤水分年际变化明显,最高年份出现在1991年,为427 mm,最低年份出现在1995年,为294 mm,最高年份较最低年份土壤含水量多133 mm。层次之间变化最大的是10~20 cm,平均变化范围2~6 mm,20 cm以下变化平缓;丰水年、缺水年和平水年相同层之间土壤含水量始终遵循丰水年≥平水年>缺水年。

2) 多年0~200 cm土壤平均耗水速率为1.98 mm/d,耗水速率最低出现在1995年,为1.40 mm/d,最高出现在1990和2003年,均为2.54 mm/d,最高耗水速率是最低的1.81倍。变化趋势是3~5月份耗水速率上升,4月份上升的幅度最大,平均耗水速率比3月份上升了1.58 mm/d,5月份较4月份有所上升,但幅度不是很大,至此5月份成为冬小麦生长期耗水速率最大的时期,此后开始持续减少。

3) 土壤水分消耗速率在作物生长期内主要靠降水的影响,但短期内降水与土壤水分损耗速率相关性不显著;冬小麦生育期对月土壤水分消耗速率的影响较大。

4) 由于降水过程中对0~200 cm土壤各层的雨水渗入量的测量存在一定的难度,所以各层土壤水分损耗速率难以计算,有待于在以后的工作中得以解决。

参 考 文 献:

[1] 郭海英,李宗葵,杨兴国,等.陇东黄土高原冬小麦生长量与气象要素相关分析[J].干旱地区农业研究,2005,23(3):141—145.

[2] 郭海英,杨兴国,黄 斌,等.陇东黄土高原主要农作物生长状况评定指标体系的建立[J].干旱地区农业研究,2005,23(6):12—16.

[3] 黄 斌,郭江勇,张洪芬,等.陇东玉米拔节至抽雄期降水与产量及生物量的相关性分析[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):172—175.

[4] 孙志强,王宗胜,鲍国军,等.施肥对黄土高原旱地冬小麦根系生长的影响[J].水土保持研究,2003,10(01):141—143.

[5] 张洪芬,王劲松,黄 斌.西峰黄土高原麦田土壤水分的垂直分布[J].土壤通报,2006,37(6):1081—1085.

[6] 郭海英,马鹏里,杨兴国,等.陇东黄土高原塬区冬小麦越冬期土壤水分损耗规律浅析[J].土壤通报,2005,36(2):165—168.

[7] 中国气象局.农业气象观测规范(上卷)[M].北京:气象出版社,1993.

[8] 郭海英.陇东黄土高原冬小麦生产农业气象要素分析[J].干旱地区农业研究,2004,22(2):123—126.

Analysis of the speed of soil moisture loss in the growth
period of crops in the Loess Plateau of Xifeng

HUANG Bin^{1,2}, ZHANG Hong fen², QIANG Yu zhu³

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA; Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province,
Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster, CMA, Lanzhou, Gansu 730020, China;
2. Qingyang Municipal Meteorology Bureau, Xifeng, Gansu 745000, China;
3. Tianshui Municipal Meteorology Bureau, Tianshui, Gansu 741000, China)

Abstract : Data of precipitation and total water content in 0~200cm soil layer on the 8th day each month from March to November during 1989~2005 is used to analyze the characteristics of the change of annual average soil moisture content ,the moisture distribution in every layer in special years ,speed of soil moisture loss and its influencing factors in the growth period of winter wheat . The results show : The annual total soil water content changes obviously ,and the middle and late 1990s is a period of water deficiency ; The amount of annual soil water content in the same layer in the period of crop growth always presents an order of the year with abundant precipitation ≥ the year with normal precipitation > the year with deficient precipitation . For many years the average speed of soil moisture consumption in 0~200cm soil layer is 1.98 mm/d , with a minimum of 1.40 mm/d and a maximum of 2.54 mm/d , and a difference of 1.81 times between the two ; The monthly moisture loss increases gradually from March to May , with a maximum in May , thereafter it begins to reduce ; The annual precipitation is the most prominent climate factor influencing the speed of annual soil moisture consumption , passing 0.001 reliable degree examination and reaching extremely prominent relevant levels , while the growth of winter wheat also has a great influence on monthly speed of soil water consumption .

Key words : Xifeng ; winter wheat ; soil ; moisture loss ; speed

(上接第 240 页)

Study on the rule of nitric nitrogen movement and distribution
under film hole irrigation with fertilizer

CHENG Dongjuan^{1,2}, FEI Liangjun¹, LEI Yantian³, YIN Juan¹

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;
2. Hebei Engineering University, Handan, Hebei 056021, China;
3. Project Office of Shaanxi Provincial Department of Water Resources, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract : Through experiment with self-made device for film hole infiltration ,the rule of NO₃⁻N movement and distribution under film hole irrigation with fertilizer is studied . The results show : the NO₃⁻N concentration front movement consists with the water wet front movement in the course of water infiltration . The NO₃⁻N content decreases with the increasing of distance from film hole center . The NO₃⁻N content decreases abruptly to background value at the wet front ; water moves slowly in the course of redistribution and water content distributes uniformly in the whole wet soil body . The NO₃⁻N content decreases in the early 1~7 days of redistribution . Denitrification is more strongly in vertical indirection than in horizontal indirection and the NO₃⁻N content decreases distinctly . The research results has laid a foundation for further study of film hole irrigation .

Key words : film hole irrigation ; irrigation with fertilizer ; nitric nitrogen movement ; nitric nitrogen distribution