

天水旱作区土壤水分变化规律及其与冬小麦产量关系研究

刘卫民^{1,2}, 蒲金涌³, 姚晓红³, 袁伯顺²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 天水市气象局, 甘肃 天水 741000; 3. 甘肃省天水农业气象试验站, 甘肃 天水 741020)

摘 要: 运用天水农业气象基本观测站试验田土壤湿度资料(1980~2005 年)及冬小麦产量资料, 分析了该地 0~100 cm 土壤水分运行、变化规律及土壤水分变化对冬小麦产量的影响, 分时段对其影响程度进行了定量评述。结果显示: 土壤贮水量的年变化呈二次曲线, 贮水量最低值出现在 6 月中旬; 累计耗水量的年际变化呈 logister 曲线; 贮水量与冬小麦产量相关最显著的时段在起身到孕穗阶段, 4~5 月 0~100 cm 土壤含水量每增加 10 mm, 产量增加 180 kg/hm²。

关键词: 土壤水分; 变化; 冬小麦; 产量; 天水

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)03-0029-04

天水市位于甘肃陇西黄土高原的的最南部与长江流域的陇南山地相接, 处于半湿润半干旱气候带过渡区域, 境内沟壑纵横, 地貌地形比较复杂。绝大部分地方为雨养旱作区, 水资源供求矛盾十分突出。土壤水在作物关键生育时段的分布, 是制约当地农作物生长的主要因素^[1~5]。研究土壤水分的动态变化, 揭示其运动变化规律及土壤水对产量的影响, 对充分利用该地土壤水资源, 实现植被的恢复与重建、生态系统的良性循环及现代农业的持续发展极有必要。

1 资料来源及土壤特性

1.1 研究资料来源

土壤湿度资料取自天水农业气象试验站试验地多年测量值(1980~2005 年), 作物观测地段的土壤为壤土, 代表所在地域土壤水运行状况。土壤水分测定时段为土壤解冻的 3 月上旬至土壤冻结的 11 月下旬。采用土钻法进行土壤含水量的测定。每旬逢 8 测定(8 日、18 日、28 日), 每月测定 3 次, 测定深度为 100 cm; 每间隔 10 cm 取一次样土, 各测定 4 个重复, 计算土壤含水量(%)[(湿土重-干土重)/干土重]及土壤贮水量(mm)(重量含水率×土壤容重×土层厚度)平均值。冬小麦的物候观测值及其产量因素的测量资料取自天水农业气象试验站, 播期、品种、耕作制度、施肥量等与当地大田生产

基本一致, 年际间非气候因素造成的误差较小, 且试验地邻近气象站气象观测场, 符合农业气象平行观测要求。物候期观测采用人工目测和百分比统计方法, 标准参照《农业气象观测规范》^[6]。气象资料来源于甘肃省天水气象基本观测站的人工实时观测资料。

1.2 土壤水分物理特性

天水市地区土质疏松, 比较肥沃, 土层深厚, 蓄水性较好, 多为中壤土(表 1), 为甘肃田间贮水量的最大地区之一。100 cm 深土层可容纳 311 mm 水分, 比陇东偏多 6%, 比陇西黄土高原的中部偏少 10%, 200 cm 深土层可容纳 595 mm 水分, 比陇东偏多 9%。比陇西黄土高原的北部偏少 7%^[7]。作物生长季节可通过作物利用、蒸散及下渗向大气及下层土壤输送水分; 非作物生长季节, 可接纳、吸收、储存大气降水, 具有较好的“土壤水库”调节效应。

2 结果分析

2.1 土壤贮水量动态变化

土壤水分贮量的变化, 是土壤内部水分向上蒸散、向下渗透及外部降水共同作用、动态平衡的结果。因试验地段常年多旱, 土壤含水很难达到或接近饱和状态, 100 cm 土层以下水分下渗量极少, 贮水量主要受大气降水及蒸散量制约。3~9 月麦田 0~100 cm 土层的土壤贮水量变化呈抛物线(图 1)。

收稿日期: 2007-07-10
基金项目: 科技部科研院所社会公益研究项目“中国干旱气象灾害监测预警方法研究”(2004DIB5J192); “西北农作物对气候变化的响应及其评价方法”(2005DIB3J100)
作者简介: 刘卫民(1963—), 男, 甘肃省天水市人, 高级工程师, 主要从事气候变化研究及管理工作。
通讯作者: 蒲金涌, E-mail: pujinyong6@163.com.
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 天水土壤水文物理特性

Table 1 The physical characters of soil at Tianshui				
深度 Depth (cm)	土壤容重 Soil density (g/cm ³)	凋萎含水量 Wilting water content (%)	最大田间持水量 Maximum field water-holding capacity (%)	最大田间贮水量 Maximum soil water content (mm)
0~50	1.30	6.5	23.1	150
50~100	1.34	6.5	24.0	161
0~100	1.32	6.5	23.6	311
100~150	1.18		23.7	140
150~200	1.27		22.7	144
100~200	1.23		23.2	284
0~200	1.28		23.4	595

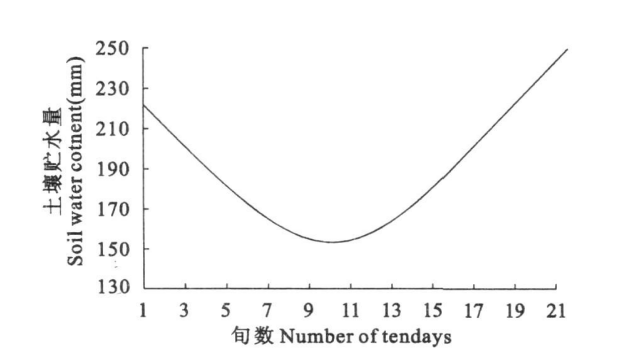


图 1 0~100 cm 土壤贮水量的变化(1980~2005 年)
Fig.1 The variation of soil water(0~100 cm)(1980~2005)

0~100 cm 土层的土壤贮水总量的变化幅度均小于田间最大贮水量。说明一年之中,土壤因持水过多而引起的重力下渗量是有限的,贮水变化主要受地表植被利用、植被引起的蒸腾及田间蒸发制约,在地表植被生长旺盛期(3~9 月),土壤贮水变化比较剧烈。运用统计学方法^[3]进行拟合,得到 0~100 cm 土层土壤贮水总量随时间变化方程:

$$W(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 \tag{1}$$

式中, $W(t)$ 表示 0~100 cm 土层的贮水量; t 为 3 月上旬到 9 月下旬的旬序数,3 月上旬 $t = 1$,9 月下旬 $t = 21$; a_0, a_1, a_2 为常数($a_0 = 238.12, a_1 = -16.5, a_2 = 0.8088; F = 75.86 > F_{0.05} = 4.35$ 达极显著水平)。对(1) 式求一阶导数,得出贮水量随时间的变化率:

$$W(t)' = a_1 + 2a_2t \tag{2}$$

从(2) 式可以看出,贮水量的变化率是时间的线性函数。令 $W(t)' = 0$,得 $t_{\min} = -a_1/2a_2$,为贮水量呈极小值的时间。天水农业气象试验站所在地区 $t_{\min} = 10.2$ (6 月上旬),这与实际情况是完全一致的。

2.2 土壤水累积耗散量变化

土壤水分的耗散,包括向外的蒸发散、下渗及植

被的吸收利用,由于下渗量极微,可以省略,在实际测算时土壤水分耗散量则主要由蒸散及植被的吸收利用两部分构成。据研究^[8],同样环境条件下,天水旱作区 0~50 cm 土层在不同的土壤含水量状况下,水分蒸散的速度是不一样的。土壤含水量占田间持水量 80% 以上时,土壤水分失散最快;60%~80% 时,土壤水分失散较快;当占田间持水量值 < 40% 时,水分失散最慢。散失同样量的水分,占田间持水量 40% 时,比占田间持水量为 60%~80% 时所需时间多 10~20 倍。

据天水农业气象试验站 0~100 cm 土壤含水量资料,用简化的土壤水分平衡方程^[9] $CW(t) = \sum [W(t) - W(t+1) + P(t \cdots t+1)] (t = 1 \cdots n; n = 1 \cdots 27)$ 计算得到不同时段内的 $CW(t)$ 值。式中 $CW(t)$ 为土壤累积耗散量, W 为每旬测定的 100 cm 土层内含水量, t 为 3 月上旬到 11 月下旬的旬序数,3 月上旬 $t = 1$,11 月下旬 $t = 27, P(t \cdots t+1)$ 为两旬测定时段内的降水量。据分析,从解冻的 3 月上旬到冻结的 11 月下旬,天水旱作区年逐旬累积耗散是时间的函数(图 2),可用 logister 曲线来描述。

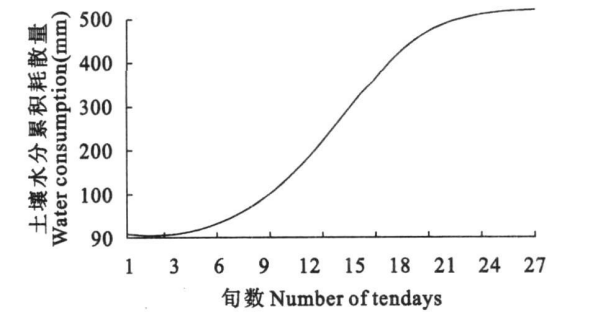


图 2 土壤(0~100 cm)水分累积耗散量的变化(1980~2005)
Fig.2 The variation of water consumption(0~100 cm)

$$CW(t) = D / (1 + e^{a+bt}) \tag{3}$$

a, b, D 为系数($a = 4.72128, b = -0.324078, D =$

521.44; $F = 726.3 > F_{0.05} = 4.21$, 拟合效果显著)。由式(3)得出 100 cm 土层内 3~11 月间的土壤水耗散量为 512 mm, 这与该地年平均降水量基本持平。

3~5 月份气温回升快, 随着植被生长发育对土壤水分需求的增加, 土壤水分的累积耗散量上升较快, 但由于春季大气降水相对较少, 补充不足, 尤其是上层土壤水蒸散速度较快, 加之春季气温不高, 蒸散所需的热能还嫌不足, 在当时气温等物理环境条件下, 土壤处于“无水可蒸散”或只有少量水可供蒸散的状态, 总体累积耗散量增速相对较缓; 6~9 月是一年之中降水相对较多的月份, 上层土壤水补充比较及时充足, 气温较高, 能量较大, 一方面较多的

降水保证了蒸散的相对较丰供给, 另一方面充足的能量又使得蒸散能力加强, 累积耗散量增加速度最快; 9~11 月大气降水虽然较多, 但气温降低, 能量较小, 蒸散能力减弱, 累积耗散量的增加速度也迅速减小。这同多年的实际测定情况是完全吻合的。

2.3 土壤贮水量与冬小麦产量的关系

不同时期的土壤含水量对产量的贡献是不同的^[10]。相关分析显示(表 2), 各个生育期的贮水量均与产量呈正相关, 其中产量与贮水量相关关系最显著的时段为起身到孕穗期, 在冬小麦生长前期的播种到返青阶段及生长后期的抽穗到乳熟阶段的贮水量与冬小麦产量的相关关系不甚显著。

表 2 小麦不同发育期间贮水量与产量的相关系数

Table 2 The correlation coefficient between soil water content and yield of wheat in different growth periods

发育期 Growth period	播种 Sowing	出苗 Seedling	三叶 Three leaves	分蘖 Tillering	停止生长 Growth stopping	返青 Turning green	起身 Rising	拔节 Jointing	孕穗 Booting	抽穗 Heading	开花 Flowering	乳熟 Milky
相关系数 Correlation coefficient	0.3077	0.1834	0.2912	0.4020*	0.4601*	0.5031*	0.6887**	0.7325**	0.8016**	0.1102	0.3804	0.3102

注: **, * 分别表示通过 $\alpha=0.001$ 及 $\alpha=0.05$ 的信度检验。Note: ** and * mean passing $\alpha=0.001$ and $\alpha=0.05$ reliability testing.

用积分回归方法定量分析了不同时段土壤贮水对冬小麦产量的影响 $[a(t)$ 值]^[11], 发现土壤贮水量对冬小麦的影响有二个明显时段(图 3), 3~4 月产生明显的正效应, 6 月产生负效应。

壤贮水量与冬小麦产量的单相关在各生育期都存在着正相关。对于天水旱作区无论何时增加土壤贮水都会对产量产生正效应, 此时段土壤含水量在积分回归中的负效应, 是因为在陇东南地区试验年份常出现较为频繁的连阴雨天气^[12], 温度偏低, 光照不足, 影响冬小麦的灌浆过程, 导致千粒重下降, 产量减少。

3 结 论

1) 天水麦田土壤贮水量的年变化呈一正抛物线型, 最小值出现在 6 月中旬左右。最大值出现在 9 月上旬, 两者相差 90 mm。

2) 土壤贮水量与冬小麦产量相关关系最显著的时段为起身到孕穗生长发育期, 在此之前的前期生长阶段及之后的后期生长阶段土壤贮水量与产量的相关关系都不明显。4~5 月土壤贮水量每增加 10 mm, 产量可增加 180 kg/hm²。

参 考 文 献:

[1] 张北赢, 徐学选, 白晓华. 黄土丘陵不同土地利用方式下的土壤水分分析[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 96-99.
[2] 张 超, 王会肖. 土壤水分研究进展及简要评述[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 117-125.
[3] 邓振镛, 董安祥, 郝志毅, 等. 干旱与可持续发展及抗旱减灾技

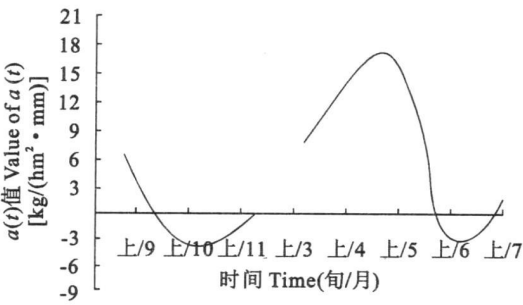


图 3 土壤贮水量与冬小麦产量的积分回归
Fig. 3 The integral regression curve of soil water content and yield of wheat

3~4 月是冬小麦的拔节生长期, 此期间小麦生长迅速, 需水量大增, 加之春季升温快, 风速大, 加剧了土壤水的消耗, 该地在春季又是一个大气降水普遍偏少的时段, 干旱容易发生, 形成了冬小麦土壤水分供需矛盾十分突出的时期。

6 月份是冬小麦的灌浆~乳熟生长发育阶段, 也是冬小麦需水较多的时期, 相关分析结果表明, 土

术研究[J]. 气象科技, 2003, 32(3): 187—190.

[4] 买 苗, 邱新法, 曾 艳. 西部部分地区农田实际蒸散量分布特征[J]. 中国农业气象, 2004, (4): 28—32.

[5] 晋小军, 黄高宝. 陇中半干旱地区不同耕作措施对土壤水分及利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 109—112.

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

[7] 蒲金涌, 姚小英, 邓振镛, 等. 气候变化对甘肃黄土高原土壤水量的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(6): 1243—1246.

[8] 姚晓英. 陇东南旱作区土壤失墒规律初探[J]. 甘肃气象, 1999, (3): 37—40.

[9] 蒲金涌. 陇东旱作麦田累积耗水量、贮水量的变化及其与产量的关系[J]. 甘肃气象, 1992, (4): 22—23.

[10] 邓振镛. 干旱地区农业气象研究[M]. 北京: 气象出版社, 1999. 56—57.

[11] 魏淑秋. 农业气象统计[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1985. 129—157.

[12] 蒲金涌, 邓振镛, 姚小英, 等. 甘肃省冬小麦生态气候分析及适生种植区划[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 179—185.

A studying on variation law of soil moisture and relationship between soil moisture and output of wheat at Tianshui, Gansu in arid region

LIU Wei-min^{1,2}, PU Jing-yong³, YAO Xiao-hong³, YUAN Bai-shun²

(1. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, Key and Open Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster, China Meteorological Administration, Key Laboratory of Arid climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730020, China; 2. Tianshui Meteorology Bureau, Tianshui, Gansu 741000, China; 3. Agrometeorological Experiment Station of Tianshui, Tianshui, Gansu 741020, China)

Abstract: Based on the data of wheat yield and soil moisture which were measured in the test field of the Agrometeorological Experiment Station of Tianshui (1980~2005), the laws of soil water movement and it's variation and the effects on the output of wheat were analyzed and the quantity commentary of impact of soil water on the yield of wheat was made in different periods. The results showed that soil water content appeared to be parabole and it's minimum value appeared in the middle ten days of June, accumulated consumption water turned to be Logsite curve, the yield of wheat was seriously influenced by soil water content during the growth periods from the beginning of growing stage to spike formation stage. It also showed that soil water (0~100 cm) increased by 10 mm with the yield of wheat increasing by 180 kg/hm² in April to May.

Keywords: soil moisture; variation; wheat; yield; Tianshui