

气候变化背景下陇东塬区麦田土壤水分变化及生产特征研究

郭海英^{1,2}, 万信¹, 黄斌³

(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, 甘肃兰州 730020;
2. 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃兰州 730020; 3. 甘肃省西峰农业气象试验站, 甘肃庆阳 745000)

摘 要: 董志塬 20 世纪 90 年代以来增温最为显著, 年增温线性趋势 $0.0995\text{ }^{\circ}\text{C/a}$, 其中春季、冬季、夏季、秋季增温幅度和显著性依次减弱。年降水量以 V 抛物线形式变化, 90 年代中后期为明显的枯水期, 以春季和秋季降水减少最为显著, 1998 年以来春季降水量以准 2 a 为周期, 丰水年和枯水年交替出现。由于增温和降水量减少的共同影响, 冬小麦春季重要生长阶段麦田土壤水分含量呈现出逐年减少, 春旱逐年加重的趋势。早春耕作层土壤水分逐年减少的一致性比较好, 春末夏初 2 m 土层含水量逐年减少的一致性比较好, 其余时段土壤水分年际变化和降水量年际变化基本一致。尽管麦田不同时段土壤水分年际变化不同, 但不同年型麦田土壤水分年内变化形式则基本一致, 即以 V 抛物线形式显著变化, 冬小麦成熟期的 6 月份土壤含水量降至最低, 伏秋收墒期含水量又逐步回升, 其中 1998 和 1999 年为特殊年型, 土壤水分年内变化线性趋势明显。气候变化特征影响土壤水分盈亏, 土壤水分盈亏又决定农业生产年景。分析显示, 土壤水分盈亏基本与产量水平一致, 水分年型基本与农业生产年景一致。

关键词: 气候变化; 土壤水分; 生产特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)03-0077-04

中图分类号: S152.7

Ecological Response of Soil Moisture in Wheat Fields to Climate Change in Eastern Gansu Province

GUO Hai-ying^{1,2}, WAN Xin¹, HUANG Bin²

(1. Institute of Arid meteorology, CMA, Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster, CMA; Lanzhou Gansu 730020, China; 2. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Gansu Lanzhou 730020, China; 3. Xifeng Agricultural Meteorological Experimentation Station, Qingyang, Gansu 745000, China)

Abstract: Temperature in the Dongzhiyuan region has increased remarkably since 1990s, with the linear trend being $0.0995\text{ }^{\circ}\text{C/a}$. In terms of warming amplitudes and significance decreased, spring, winter, summer, and autumn were ranked in descending order. Annual precipitation varied like a V-type parabola. The middle and late 1990s was a dry period, especially in spring and autumn. The wet year and dry year changed with a cycle of about two years from 1998. Due to the increase in temperature and decrease in precipitation, soil moisture in winter wheat fields was reduced year by year during the growing season in spring. Soil moisture in tillage layer was reduced consistently year by year in early spring and soil moisture within 30 cm soil layer, in the period of late spring and early summer. Besides, soil moisture changed with precipitation amount in other periods. Although the inter-annual variation of soil moisture was different in different time, soil moisture in winter wheat fields varied like V-type parabola in each year. Soil water content was decreased to the lowest in June, which is the mature period of winter wheat, and then it was gradually increased in autumn. However, soil moisture changed as a linear trend in 1998 and 1999. Agricultural production is affected by soil water conditions (surplus or deficit) which are affected by climate change again. Results from the study also show that agricultural production changes with soil moisture conditions.

Keywords: climate change; soil moisture; production character

收稿日期: 2007-06-13

修回日期: 2007-11-09

资助项目: 西北地区干旱监测系统研究(CMA7J2005M22); 国家自然科学基金项目(40205005)

作者简介: 郭海英(1966—), 男(汉族), 甘肃省正宁县人, 大学, 高级工程师, 主要从事生态与农业气象科研工作。E-mail: qysghy@163.com。

1 前言

IPCC 第四次气候变化评估报告指出,在过去的 100 多年里,大气 CO₂ 浓度呈指数增长趋势,由此导致的全球气候变化已成为当前国内外研究的热点问题^[1]。它涉及到人类生存环境的各个方面,包括气候、冰雪资源、海洋、生物、人类活动及影响等^[2],其中全球气候变化对农业的影响是科学研究的热点之一^[3]。陇东位于我国北方半湿润气候与半干旱气候的过渡地带,是全球气候变化较为敏感的区域之一^[4]。探讨该区域土壤水分及其变化特征,是应对全球气候变化对区域农业生态的影响,为种植结构调整和水资源安全提供理论依据。

2 资料来源

本文土壤水分资料为甘肃省西峰农业气象试验站冬小麦试验地土壤水分常规监测资料,资料序列为 1989—2005 年,共 17 a。按照中国气象局《农业气象观测规范》^[5],每年 3—11 月逐月上旬 8 日测定 0—200 cm 土层土壤水分。方法为在试验地均匀选取 4 个测点,采用土钻法测定,每个测点从地面 0 cm 开始,每隔 10 cm 深度取一个土样,4 个测点某深度水分含量平均值代表试验地段该深度水分含量。试验地冬小麦 9 月中、下旬播种,11 月中、下旬停长,第二年 3 月上、中旬返青,6 月下旬成熟,7—9 月上旬为休闲收墒期,不安排小秋作物复种。气象资料来源于甘肃省西峰国家基准气候站的人工实时观测资料(35°44′N, 107°38′E,海拔高度 1 421 m,年平均气温 8.7℃,年平均降水量 530 mm)。试验田毗邻西峰国家基准气候站气象观测场,符合农业气象平行观测要求。西峰农业气象试验站和西峰基准气候站均为中国气象局设置在董志塬的农业生态站和气候站。

3 结果分析

3.1 气候变化特征

3.1.1 气温变化 研究结果显示,20 世纪 70 年代以来董志塬是陇东黄土高原气候变暖中心地带,且四季增温均比较显著,增温表现出夏季、秋季、春季、冬季依次增强的趋势^[6]。本文通过对 1989—2005 年气温变化分析显示,20 世纪 90 年代以来董志塬季节增温趋势有所不同,依次为春季线性趋势 0.174 8℃/a ($R^2=0.553\ 8$, **),冬季线性趋势 0.089 2℃/a ($R^2=0.270\ 6$, **),夏季线性趋势 0.076 5℃/a ($R^2=0.266\ 4$, **),而秋季增温不显著,年平均气温增幅达 0.099 5℃/a ($R^2=0.568\ 3$, ***)。

3.1.2 降水变化 1989—2005 年降水量呈抛物线变化,20 世纪 90 年代为减少趋势,2000 年以来为增加趋势。其中冬季降水量变化趋势和年降水量变化趋势基本一致,秋季降水与谯芸等研究的我国 90 年代秋季以干旱为主的结论相同^[7]。1992—1997 年春季降水量持续偏少,1998 年以来春季降水量以准 2 a 为周期,丰水年和枯水年交替出现。夏季降水量变化特征不明显,近年降水变率减小,2003 年夏季出现了 438 mm 降水极高值,1998 年以来夏季降水量均在 220~280 mm 间波动,1997 年以来以负距平为主。

3.2 土壤水分年际变化

1989—2005 年各月 2 m 土层和 0.5 m 土层含水量变化趋势各不相同,其中 2 m 土层含水量在 5—6 月麦田耗水量最大时期以线性趋势逐年减少,其余时段 2 m 土层含水量与年降水量变化趋势基本一致。由于春季增温显著,土壤上层 0.5 m 土层含水量春季以线性趋势逐年减少,夏季变化不明显,秋季变化形式基本与秋季降水量变化趋势一致,回归分析呈抛物线形(表 1)。

表 1 1989—2005 年各月不同深度土壤含水量变化

日期	2 m 土层含水量变化			0.5 m 土层含水量变化		
	拟合曲线	R^2	显著性	拟合曲线	R^2	显著性
--0308	抛物线	0.285 0	***	线性	0.238 7	**
--0408	抛物线	0.190 8	*	线性	0.212 8	**
--0508	线性	0.243 3	**	线性	0.203 3	**
--0608	线性	0.212 7	**	线性	0.068 6	NS
--0708	抛物线	0.139 0	NS	线性	0.004 1	NS
--0808	抛物线	0.232 4	**	线性	0.001 4	NS
--0908	抛物线	0.262 8	**	抛物线	0.154 3	*
--1008	抛物线	0.276 7	***	抛物线	0.174 8	*
--1108	抛物线	0.231 6	**	抛物线	0.250 6	**

注:***: $P<0.02$; **: $P<0.05$; *: $P<0.1$; NS: $P>0.1$ 。

3.3 不同年型土壤水分变化

对 1989—2005 年每年 3—11 月 2 m 土层水分含量的分析显示,由于 3—6 月为冬小麦返青后主要生长阶段,耗水量较大,是麦田主要失墒期,土壤水分持续减少,干旱持续发展。6 月上中旬是陇东麦田最干旱的时期。小麦收获后,7 月份土壤水分开始回升,7—9 月为土壤水分恢复平衡阶段,10 月为土壤水分恢复平衡后相对稳定阶段。收墒期降水可以使 2 m 土层土壤水分基本恢复到适宜状态,土壤储水主要分布在 2 m 土层,即 2 m 为土壤水库下限深度。8 月开始,麦田中下层土壤水分运动方向发生逆转,由前期的向上运动转变为向下运动。本文所研究的年型基本都符合抛物线变化形式,有些年份在符合抛物线变化形式的基础上,还包含线性趋势。如 1998 年春季到秋季麦田土壤水分以线性趋势逐月增加,1999 年春季到秋季麦田土壤水分以线性趋势逐月减少,而 2001 年春季到秋季麦田土壤水分则以抛物线形式变化(图 1)。

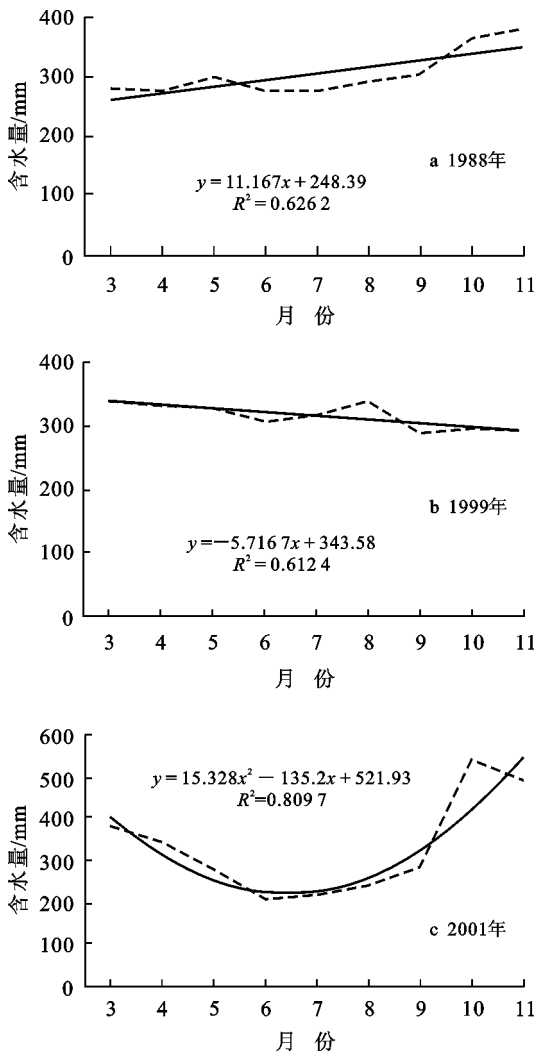


图 1 不同年型麦田土壤水分变化趋势

回归分析显示(表 2),所有年型麦田土壤水分变化趋势均可拟合为抛物线,只有 1998 年和 1999 年可以拟合为线性曲线。其中 1998 年早春到晚秋,麦田土壤水分以每月 11.17 mm 的线性趋势增加。因此,虽然 1997 年秋季麦田收墒不足,越冬前和 1998 年开春后 2 m 土层含水量均是 90 年代以来最低的,但由于开春后降水较多,且降水时间分布较好,耕作层水分多数时间处于适宜状态,土壤水分利用率高,夏粮和秋粮均取得了偏丰年景。而 1999 年早春到晚秋,麦田土壤水分以每月 5.72 mm 的线性趋势减少,1999 年秋季收墒不足,越冬前和 2000 年开春后 2 m 土层含水量均是 90 年代以来次低值,加之开春后降水量持续偏少,是造成 2000 年特大春旱的主要原因。

表 2 历年麦田土壤水分变化

年份	抛物线		线性	
	R ²	显著性	R ²	显著性
1989	0.792 8	* * * *	0.000 5	NS
1990	0.847 5	* * * * *	0.554 0	*
1991	0.701 1	* * *	0.574 0	*
1992	0.828 5	* * * *	0.393 8	NS
1993	0.613 0	* *	0.101 3	NS
1994	0.815 3	* * * *	0.526 2	*
1995	0.880 6	* * * * *	0.114 4	NS
1996	0.728 8	* * * *	0.467 3	NS
1997	0.811 9	* * * *	0.300 4	NS
1998	0.876 0	* * * * *	0.626 2	* *
1999	0.617 5	* *	0.612 4	* *
2000	0.802 6	* * * *	0.529 1	*
2001	0.809 7	* * * *	0.172 7	NS
2002	0.746 5	* * * *	0.194 9	NS
2003	0.693 9	* * *	0.429 7	NS
2004	0.683 2	* * *	0.049 0	NS
2005	0.615 9	* *	0.501 7	*

注: * * * * *: P<0.001; * * * *: P<0.01; * * *: P<0.02; * *: P<0.05; *: P<0.10; NS: P>0.10。

3.4 水分年型与农业年景

从表 3 历年各月土壤含水量距平值可以看出,距平负值大部分出现在 1994—2001 年,表明该时段为土壤相对干旱时段;正值多出现在 1989—1993 年和 2002 年以后,表明该时段为土壤水分相对较好时段,这与前文分析的 90 年代以来降水变化特征基本一致,即 90 年代中后期为枯水期,90 年代初期和 2000 年以来为丰水期。

1990—1993 年及 2003 年各月土壤含水量距平基本为正值,为丰水年型。产量分析显示,除了 1992 年由于早春土壤储水盈余较少,冬小麦产量处于中等

水平,其余年份冬小麦均为丰产年景。而 1995 年和 2000 年上半年各月土壤水分均处于亏空状态,且水分亏损较大,因此,夏粮(以冬小麦为主)出现大减产。

由于受 1997 年干旱影响,1998 年早春土壤墒情极差,但春季降水比较适时,水分利用率较高,虽然基本苗较差,但冬小麦产量仍然为中等偏上水平。

表 3 历年各月土壤含水量距平 mm

时间	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
--0308	52	32	106	14	101	24	- 34	- 22	23	- 88	- 30	- 61	13	63	14	81	- 10
--0408	29	24	113	36	123	29	- 56	- 19	27	- 84	- 27	- 53	- 17	88	14	52	- 25
--0508	34	34	97	52	41	55	- 42	- 18	- 15	- 18	10	- 12	- 39	58	5	44	- 88
--0608	6	31	143	41	- 5	16	- 56	26	- 41	- 5	28	- 7	- 72	26	- 39	5	- 26
--0708	- 41	104	130	26	- 19	23	- 67	15	- 49	- 3	36	5	- 66	58	3	- 53	119
--0808	- 1	70	114	4	43	- 26	- 97	59	- 62	- 36	12	30	- 87	- 5	22	- 11	83
--0908	3	127	49	112	32	- 76	- 29	23	- 74	- 44	- 57	- 25	- 57	- 58	210	0	46
--1008	25	106	27	140	7	- 86	11	29	- 68	- 9	- 78	- 15	167	1	201	38	112
--1108	35	134	35	152	7	- 43	- 9	32	- 88	- 1	- 85	35	114	16	148	- 11	79

4 小 结

董志塬是陇东黄土高原气候变暖的中心地带,20 世纪 70 年代以来冬季和春季增温最为显著,其中 90 年代以来年平均气温增幅达 0.099 5 /a,春季增温线性趋势高达 0.174 8 /a。由于 90 年代中、后期干旱少雨特征明显,尤其春季降水持续偏少,气温显著增高,导致麦田春季营养生长关键期的 5 月上旬至 6 月上旬土壤水分呈现出连年下降的趋势,其余时段土壤水分年际变化趋势则和降水量年际变化趋势基本一致。

麦田土壤水分年内变化趋势为开春后随着冬小麦需水量的增加和田间蒸散的加剧,土壤含水量持续下降,6—7 月降至最低^[8],收墒期随着降水量的增加和作物需水量的陡减,水分亏空逐步得到补充,多数年份秋季土壤水分能达到或超过早春土壤含水量水平,使土壤水分于秋季恢复平衡。

气候变化引起的增温和降水量的变化决定土壤水分的盈亏和水分利用率的高下,水分盈亏年型和农业年景又息息相关。暖冬和春季气温显著增高导致的越冬期土壤水分损耗增大^[9],春季田间蒸散加剧,春季降水量偏少等因素促使董志塬春旱呈现出逐年加重的趋势,春旱不但影响冬小麦等夏粮中、后期生长,对玉米等秋田作物播种和苗期生长构成威胁,对

陇东老区粮食生产和粮食安全十分不利。因此,要结合气候变化以及由此引起的区域水资源格局的变化,适时调整农业结构,趋利避害,保护和发展农业。

[参 考 文 献]

[1] 张志强,孙成权. 全球变化研究十年新进展[J]. 科学通报,1999,44(5):464—477.

[2] 汤懋苍,柳艳香,冯松. 一个新的千年暖期可能已经来临[J]. 高原气象,2002,21(2):128—131.

[3] 徐斌,辛晓平,唐华俊,等. 气候变化对我国农业地理分布的影响及对策[J]. 地理科学进展,1999,18(4):316—321.

[4] 谢金南. 中国西北地区干旱气候变化与预测研究[M]. 北京:气象出版社,2000:1—8.

[5] 国家统计局. 农业气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,1993:27—31.

[6] 郭海英,王润元,万信,等. 陇东黄土高原冬小麦对气候变化的生态响应特征[J]. 地球科学进展,2007,22(特刊):41—47.

[7] 谌芸,施能. 我国秋季降水、温度的时空分布特征及气候变化[J]. 南京气象学院学报,2003,26(5):622—630.

[8] 郭海英,赵建萍,万信,等. 黄土高原塬区麦田土壤干旱特征[J]. 水土保持通报,2006,26(6):107—110.

[9] 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.