

陇东地区冬小麦水分亏缺特征研究

杨小利^{1,2}, 王丽娜²

(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开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省平凉市气象局, 甘肃 平凉 744000)

摘 要: 利用陇东地区 15 个县(区)气象资料, 计算各县(区)1967~2008 年冬小麦生长期逐旬参考作物蒸散量(ET_0)、需水量(ET_c)和作物水分亏缺指数($CWDI$), 确定农业干旱等级, 研究陇东地区冬小麦生育期间水分亏缺时空分布特征。结果表明, 陇东冬小麦生长期各类干旱尤其是重旱发生频繁。冬小麦营养生长阶段干旱频率低, 生殖生长阶段干旱频率高; 从空间分布看, 陇东北部干旱频率最高, 其次是西部及中部偏北地区, 陇东南部及东部干旱频率相对较低; 从年际变化看, 冬小麦近 40 a 来水分临界期 $CWDI$ 总体多波动变化略有增加, 2005 年后的最近几年 $CWDI$ 增大, 干旱加重明显。

关键词: 冬小麦; 水分亏缺; 干旱频率; 陇东地区

中图分类号: S423:S512.1⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0255-07

陇东地区包括甘肃省东部平凉市、庆阳市的 15 个县, 地处黄土高原残塬沟壑区, 是我国西北典型旱作农业地区。由于降水年际变率大, 季节分布不均等原因, 干旱频繁发生。近年来随着全球气候变暖, 作物生长期, 尤其是关键生育时期干旱发生频次及强度呈现出增加的趋势, 给农作物生长造成很大威胁^[1,2]。选取合理的农业干旱指标, 系统地分析农业干旱的时空特征、分布规律及对农业生产的影响, 可为陇东农作物合理布局和农业可持续发展提供科学依据。目前用于农业干旱的指标较多, 比较常用的有降水量指标、土壤含水量指标, 作物旱情指标、综合性旱情指标等, 其中综合类指标因其概念明确, 考虑因素多, 具有广泛的理论和实用价值。作物水分亏缺指数($CWDI$)^[3,4]是常见的综合类指标之一, 作物水分亏缺为作物需水量与实际供水量之差, 以百分率表示, 能较好地反映出土壤、植物和气象三方面因素的综合影响, 比较真实地反映出作物水分亏缺状况。以蒸散作为参数的水分亏缺指标的基本度量也得到广泛认可, 联合国粮农组织(FAO)推荐用来表征作物的需水状况^[5,6], 何瑞华^[7]等结合甘肃省农作物生长期的降水量、蒸发量年内变化规律, 分析了农作物生长期水分盈亏状况, 刘宏谊等^[8]对甘肃省主要农作物需水量的时空变化特征也做了分析, 马鹏里^[9]研究了甘肃农作物需水量对气候变化的响应特征。前人曾对陇东干旱指标及干旱特征进行过一系列研究^[10~13], 但围绕该区农作物

干旱特征的研究很少, 利用该区作物水分亏缺指数所做的相关研究也未见报道。本文选取作物水分亏缺指数作为干旱指标, 对冬小麦生育期间逐旬干旱时空分布特征和规律进行分析, 为陇东地区农业生产中掌握干旱规律合理布局, 趋利避害提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

气象资料来源于甘肃省气象局气象档案馆, 包括陇东 15 个县(区)逐旬平均气温、最高气温、最低气温、日照时数、降水量、水汽压、风速等资料, 冬小麦生育期资料来源于西峰、崆峒、泾川农业气象试验站的观测资料。

1.2 作物水分亏缺指数计算方法

根据作物水分亏缺指数($CWDI$)的定义和计算方法^[3,4], 作物累计水分亏缺指数的表达式为:

$$CWDI = a \times CWDI_i + b \times CWDI_{i-1} + c \times CWDI_{i-2} + d \times CWDI_{i-3} + e \times CWDI_{i-4} \quad (1)$$

式中, $CWDI$ 为按旬计算的当旬累计水分亏缺指数; $CWDI_i$ 、 $CWDI_{i-1}$ 、 $CWDI_{i-2}$ 、 $CWDI_{i-3}$ 、 $CWDI_{i-4}$ 分别为计算旬及其前一、二、三、四旬的水分亏缺指数; a 、 b 、 c 、 d 、 e 分别为各对应旬水分亏缺指数对累计水分亏缺指数的影响权重系数, 其值一般分别为 0.3、0.25、0.2、0.15 和 0.1。

作物水分亏缺指数的基本表达式为:

收稿日期: 2011-04-06

基金项目: 国家科技部公益行业(气象)科研专项“多时间尺度干旱监测与预警、评估技术研究”(GYHY201006023)

作者简介: 杨小利(1967—), 女, 陕西凤翔人, 高级工程师, 硕士, 主要从事应用气象及干旱气候变化与干旱监测研究。

$$CWDI_i = \begin{cases} (ET_c - P_i) / ET_c \times 100\% & ET_c \geq P_i \\ 0 & ET_c < P_i \end{cases} \quad (2)$$

式中, $CWDI_i$ 为第 i 旬的水分亏缺指数, ET_c 为旬作物需水量(mm); P_i 为第 i 旬的降水量(mm)。当作物需水量大于降水量时, 发生水分亏缺; 当需水量小于降水量时, 可看作水分不亏缺, 即 $CWDI_i = 0$ 。

式(2) 中 ET_c 由参考作物蒸散量 ET_0 与不同作物的作物系数 K_c 相乘后得到, 即

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad (3)$$

其中参考作物蒸散量 ET_0 通过统计各县逐旬风速、气温、日照、相对湿度等要素, 利用 1998 年 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式计算^[5]:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (4)$$

式中, ET_0 为参考作物蒸散量(mm/d); R_n 为作物表面净辐射[MJ/(m²·d)]; G 为土壤热通量[MJ/(m²·d)]; U_2 为 2 m 高度处 24 h 平均风速(m/s); e_s 为饱和水汽压(kPa); e_a 为实际水汽压(kPa); Δ 为饱和水汽压斜率(kPa/℃); γ 为干湿球常数(kPa/℃)。

作物系数 K_c 随所处地区、作物种类、生育时段、栽培技术等变化较大。FAO^[14] 根据世界不同地区的

大量试验确定了不同作物不同生长阶段的 K_c 值, 在取值时将作物全生育期分为四个阶段(图略)。根据已有生育期观测结果, 确定了本区冬小麦平均生育期, 将冬小麦需水规律划分为苗期 ~ 返青、返青 ~ 抽穗、抽穗 ~ 乳熟、乳熟 ~ 成熟等 4 个相应的发育阶段, 通过插值法得到各旬的 K_c 值。

1.3 冬小麦水分亏缺指数农业干旱等级

根据农业干旱等级分级^[3]及陇东水分亏缺指数的分布情况, 确定适合该区的冬小麦干旱分级标准为, 冬小麦孕穗~抽穗期 $15 < CWDI \leq 30$ 为轻旱, $30 < CWDI \leq 45$ 为中旱, $45 < CWDI \leq 65$ 为重旱, $CWDI > 65$ 为特旱; 其他生育时段分级标准为, $20 < CWDI \leq 35$ 为轻旱, $35 < CWDI \leq 50$ 为中旱, $50 < CWDI \leq 70$ 为重旱, $CWDI > 70$ 为特旱。

2 结果与分析

2.1 陇东冬小麦生育期间干旱变化特征

2.1.1 冬小麦生育期间水分供需基本特征 利用陇东地区 15 个县(区)的气象资料, 计算各县(区) 1967~2008 年冬小麦生长期逐旬参考作物蒸散量 ET_0 、需水量 (ET_c) 和作物水分亏缺指数 $CWDI$, 求得冬小麦生长期陇东各旬的多年平均值(图 1), 对其干旱变化特征进行分析。

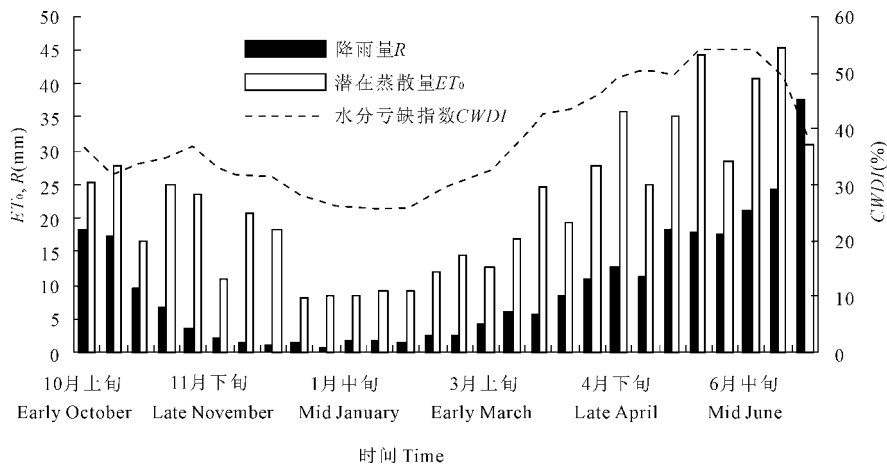


图 1 陇东冬小麦生长期间潜在蒸散量 (ET_0)、降水量 (R) 及水分亏缺指数 ($CWDI$) 变化图

Fig. 1 Changes of reference crop evapotranspiration (ET_0), precipitation (R) and crop water deficit index ($CWDI$) of winter wheat in Longdong

陇东冬小麦生育期间旬降水量、参考作物蒸散量及水分亏缺指数变化均大致呈现出大一小的变化特点, 即由越冬前的较大值逐渐转到冬季的低值, 越冬后逐渐增大, 生长旺盛期达到较大值。冬小麦生育期间多数旬降水量都少于 20 mm, 7 月上旬最

多为 37 mm, 元月上旬最少不足 1 mm; 多数旬参考作物蒸散量大于 20 mm, 6 月下旬最多为 45 mm, 12 月下旬最少为 8 mm; 冬小麦生育期间各旬 $CWDI$ 值均大于 25%, 其中 4 月中旬至 6 月下旬均大于 45%。从平均状况看, 陇东冬小麦生育期间多数时

间降水量与水分需求之间有较大差距,尤其在春末初夏水分亏缺更为严重。

2.1.2 冬小麦不同生育阶段干旱指数时间变化特征 根据各旬 *CWDI* 及陇东干旱等级标准,计算陇东各地冬小麦生育期不同等级干旱频率,结果见表 1。

陇东各地冬小麦全生育期轻旱以上干旱频率在 40%~100%。10 月份开始,随着降水逐渐稀少,冬小麦苗期生长需水量加大,干旱频率逐渐增大,冬前达到 70%以上;越冬期间干旱频率明显减小,元月

份为全生育期最小,干旱频率多在 40%~60%左右;返青后随着冬小麦生长转向旺盛,干旱频率再次增大,尤其在拔节后增加明显,拔节至乳熟干旱频率多在 90%以上,几乎年年都有干旱发生。乳熟期以后干旱频率有所下降。冬小麦生育期间重旱以上的干旱频率所占比例较大,重旱主要发生在拔节前后至乳熟前后,各地干旱频率均在 40%以上,抽穗~乳熟期(下/5~中/6)重旱频率最大,越冬期间最小。陇东重旱以上干旱频率最大值出现在环县,最小在合水、宁县。

表 1 陇东冬小麦生育期不同等级干旱频率变化(%)
Table 1 Variations of drought frequency at different growth stages of winter wheat in 15 stations of Longdong

干旱等级 Drought degree	站点 Station	10 月 Oct.			11 月 Nov.			12 月 Dec.			1 月 Jan.			2 月 Feb.	
		上 Early	中 Mid.	下 Late	上 Early	中 Mid.	下 Late	上 Early	中 Mid.	下 Late	上 Early	中 Mid.	下 Late	上 Early	中 Mid.
		出苗 Seedling					越冬 Winter								
轻旱 以上 Severer than light drought	环县 Huanxian	57.9	64.1	69.2	87.2	89.7	74.4	71.8	51.3	43.6	47.5	47.5	45.0	50.0	65.0
	庆城 Qingcheng	57.9	51.3	51.3	74.4	71.8	61.5	59.0	69.2	66.7	50.0	47.5	45.0	47.5	62.5
	静宁 Jingning	50.0	48.7	64.1	87.2	94.9	89.7	84.6	82.1	76.9	55.0	57.5	55.0	80.0	90.0
	崆峒 Kongtong	55.3	48.7	56.4	79.5	89.7	84.6	71.8	69.2	82.1	57.5	62.5	62.5	67.5	77.5
	庄浪 Zhuanglang	44.7	56.4	53.8	82.1	89.7	89.7	82.1	82.1	74.4	57.5	57.5	60.0	70.0	90.0
	西峰 Xifeng	57.9	51.3	51.3	76.9	79.5	71.8	66.7	69.2	71.8	62.5	62.5	50.0	55.0	70.0
	灵台 Lingtai	50.0	43.6	35.9	64.1	76.9	59.0	61.5	69.2	64.1	42.5	45.0	40.0	55.0	62.5
	镇原 Zhenyuan	60.5	51.3	61.5	79.5	82.1	82.1	71.8	69.2	66.7	47.5	40.0	42.5	52.5	60.0
	泾川 Jingchuan	55.3	46.2	46.2	79.5	79.5	69.2	69.2	74.4	69.2	42.5	52.5	47.5	40.0	55.0
	华亭 Huating	52.6	41.0	46.2	69.2	82.1	76.9	61.5	64.1	66.7	50.0	55.0	52.5	62.5	70.0
	崇信 Chongxin	50.0	51.3	41.0	69.2	84.6	74.4	64.1	69.2	64.1	42.5	50.0	40.0	47.5	65.0
	华池 Huachi	63.2	59.0	56.4	79.5	84.6	66.7	74.4	71.8	59.0	52.5	47.5	35.0	52.5	67.5
	合水 Heshui	57.9	43.6	53.8	66.7	74.4	64.1	64.1	71.8	59.0	60.0	52.5	47.5	47.5	57.5
重旱 以上 Severer than heavy drought	正宁 Zhengning	47.4	51.3	46.2	71.8	84.6	69.2	64.1	74.4	69.2	50.0	37.5	40.0	57.5	60.0
	宁县 Ningxian	47.4	51.3	46.2	61.5	79.5	74.4	64.1	66.7	59.0	47.5	40.0	42.5	42.5	57.5
	环县 Huanxian	42.1	41.0	53.8	25.6	35.9	12.8	7.7	12.8	2.6	2.5	5.0	10.0	17.5	12.5
	庆城 Qingcheng	47.4	38.5	35.9	23.1	28.2	20.5	23.1	17.9	15.4	5.0	10.0	15.0	10.0	12.5
	静宁 Jingning	36.8	33.3	43.6	25.6	43.6	35.9	28.2	38.5	23.1	17.5	10.0	12.5	22.5	45.0
	崆峒 Kongtong	42.1	30.8	41.0	35.9	41.0	30.8	30.8	23.1	15.4	15.0	5.0	12.5	12.5	20.0
	庄浪 Zhuanglang	28.9	28.2	30.8	25.6	35.9	23.1	30.8	25.6	15.4	17.5	25.0	20.0	27.5	20.0
	西峰 Xifeng	47.4	30.8	33.3	15.4	20.5	15.4	20.5	23.1	7.7	7.5	5.0	12.5	5.0	12.5
	灵台 Lingtai	34.2	30.8	15.4	12.8	12.8	2.6	12.8	10.3	12.8	5.0	7.5	5.0	10.0	12.5
	镇原 Zhenyuan	47.4	30.8	33.3	30.8	35.9	25.6	20.5	28.2	12.8	10.0	10.0	7.5	5.0	5.0
	泾川 Jingchuan	42.1	30.8	25.6	17.9	17.9	7.7	12.8	20.5	7.7	7.5	7.5	2.5	2.5	10.0
	华亭 Huating	23.7	25.6	28.2	23.1	25.6	12.8	10.3	17.9	7.7	10.0	15.0	10.0	5.0	2.5
	崇信 Chongxin	39.5	25.6	17.9	20.5	23.1	15.4	17.9	17.9	10.3	2.5	0.0	7.5	7.5	12.5
	华池 Huachi	42.1	38.5	43.6	28.2	28.2	23.1	20.5	23.1	20.5	5.0	7.5	15.0	7.5	15.0
	合水 Heshui	44.7	25.6	38.5	23.1	25.6	20.5	23.1	20.5	12.8	10.0	2.5	7.5	5.0	10.0
	正宁 Zhengning	42.1	33.3	33.3	15.4	20.5	15.4	20.5	12.8	7.7	5.0	2.5	5.0	7.5	7.5
	宁县 Ningxian	39.5	25.6	28.2	15.4	12.8	5.1	17.9	7.7	5.1	5.0	5.0	5.0	7.5	7.5

续表 1

		2 月 Feb.		3 月 Mar.		4 月 Apr.			5 月 May			6 月 June			7 月 July
干旱等级 Drought degree	站点 Station	下 Late	上 Early	中 Mid.	下 Late	上 Early	中 Mid.	下 Late	上 Early	中 Mid.	下 Late	上 Early	中 Mid.	下 Late	上 Early
		返青 Turning green			起身 Winter rose			拔节 Jointing	孕穗 Booting		抽穗 Ear	开花 Flowering	乳熟 Milky		成熟 Mature
轻旱 以上 Severer than light drought	环县 Huanxian	72.5	70.0	85.0	92.5	95.0	92.5	95.0	97.5	92.5	95.0	92.5	95.0	82.5	77.5
	庆城 Qingcheng	72.5	62.5	72.5	82.5	85.0	87.5	95.0	95.0	97.5	100.0	97.5	77.5	82.5	80.0
	静宁 Jingning	87.5	90.0	95.0	95.0	100.0	97.5	100.0	100.0	97.5	95.0	97.5	82.5	72.5	67.5
	崆峒 Kongtong	85.0	80.0	95.0	92.5	92.5	95.0	97.5	95.0	92.5	97.5	100.0	72.5	70.0	60.0
	庄浪 Zhuanglang	90.0	82.5	92.5	92.5	95.0	87.5	97.5	92.5	92.5	97.5	95.0	80.0	75.0	57.5
	西峰 Xifeng	65.0	65.0	87.5	90.0	87.5	92.5	95.0	97.5	95.0	95.0	95.0	70.0	75.0	62.5
	灵台 Lingtai	65.0	70.0	77.5	82.5	77.5	90.0	95.0	90.0	87.5	92.5	92.5	62.5	65.0	57.5
	镇原 Zhenyuan	72.5	70.0	90.0	87.5	90.0	90.0	95.0	97.5	92.5	97.5	95.0	75.0	75.0	65.0
	泾川 Jingchuan	65.0	72.5	87.5	87.5	90.0	92.5	100.0	97.5	92.5	95.0	95.0	77.5	87.5	77.5
	华亭 Huating	57.5	60.0	82.5	80.0	85.0	85.0	90.0	85.0	87.5	95.0	92.5	57.5	65.0	60.0
	崇信 Chongxin	65.0	72.5	90.0	92.5	92.5	92.5	97.5	87.5	92.5	95.0	100.0	100.0	82.5	70.0
	华池 Huachi	77.5	62.5	72.5	85.0	90.0	90.0	92.5	95.0	90.0	95.0	97.5	90.0	80.0	80.0
	合水 Heshui	55.0	57.5	72.5	87.5	80.0	80.0	87.5	95.0	97.5	100.0	100.0	67.5	72.5	62.5
重旱 以上 Severer than heavy drought	正宁 Zhengning	65.0	72.5	85.0	92.5	87.5	92.5	95.0	95.0	95.0	97.5	97.5	82.5	77.5	60.0
	宁县 Ningxian	50.0	57.5	75.0	85.0	85.0	87.5	92.5	90.0	97.5	95.0	97.5	72.5	75.0	70.0
	环县 Huanxian	20.0	22.5	22.5	30.0	35.0	42.5	60.0	60.0	50.0	67.5	67.5	75.0	70.0	37.5
	庆城 Qingcheng	17.5	10.0	17.5	35.0	42.5	42.5	62.5	60.0	67.5	75.0	70.0	65.0	70.0	25.0
	静宁 Jingning	45.0	47.5	52.5	60.0	52.5	60.0	67.5	60.0	55.0	67.5	60.0	55.0	60.0	7.5
	崆峒 Kongtong	20.0	22.5	40.0	52.5	57.5	45.0	57.5	60.0	45.0	60.0	50.0	50.0	52.5	12.5
	庄浪 Zhuanglang	25.0	27.5	37.5	42.5	52.5	35.0	45.0	47.5	42.5	60.0	50.0	55.0	42.5	7.5
	西峰 Xifeng	12.5	17.5	15.0	35.0	45.0	40.0	52.5	52.5	52.5	67.5	62.5	57.5	60.0	22.5
	灵台 Lingtai	12.5	17.5	17.5	32.5	25.0	22.5	30.0	37.5	37.5	47.5	50.0	40.0	47.5	7.5
	镇原 Zhenyuan	7.5	15.0	22.5	47.5	45.0	45.0	52.5	60.0	50.0	57.5	55.0	55.0	62.5	30.0
	泾川 Jingchuan	15.0	10.0	22.5	30.0	37.5	27.5	42.5	45.0	47.5	55.0	57.5	62.5	72.5	15.0
	华亭 Huating	5.0	10.0	10.0	27.5	27.5	30.0	32.5	42.5	40.0	52.5	47.5	37.5	50.0	5.0
	崇信 Chongxin	17.5	22.5	25.0	45.0	37.5	35.0	45.0	50.0	42.5	55.0	50.0	67.5	67.5	17.5
	华池 Huachi	12.5	12.5	15.0	32.5	35.0	42.5	55.0	60.0	65.0	67.5	67.5	70.0	65.0	25.0
	合水 Heshui	5.0	2.5	10.0	20.0	42.5	42.5	52.5	52.5	50.0	60.0	62.5	50.0	57.5	15.0
	正宁 Zhengning	7.5	10.0	20.0	22.5	35.0	40.0	47.5	47.5	47.5	55.0	57.5	60.0	52.5	7.5
	宁县 Ningxian	7.5	2.5	12.5	17.5	17.5	35.0	42.5	42.5	47.5	60.0	62.5	52.5	60.0	12.5

2.1.3 冬小麦不同生育阶段干旱指数空间分布特征 分析陇东冬小麦几个主要生育时段干旱频率空间分布情况,揭示不同阶段干旱指数空间分布特征。从陇东冬小麦不同生育阶段重旱以上平均干旱频率空间分布图(图 2)可以看出,各地之间干旱频率分布差别较大,总体上呈现出西北高东南低的特点。

返青至拔节期(下/2~下/4),轻旱以上干旱频率平均为 72%~90%,重旱以上干旱频率在 15.3%~52.9%。静宁、庄浪西北部,环县西部、崆峒北部部分地方重旱以上干旱频率在 40%以上,平均 2 a 左右就有一次重旱发生,庄浪、镇原中西部,崆峒、环

县大部在 30%~40%,平均 2~3 a 发生一次重旱,宁县中西部、正宁西部及华亭中南部的部分地方则不足 10%,很少发生重旱以上干旱,陇东其余地方重旱以上干旱频率在 10%~20%。

拔节以后冬小麦生长旺盛,需水量加大,发生干旱的频率也增加,拔节~抽穗期陇东发生轻旱以上的干旱频率为 87.5%~99.2%,几乎每年都有不同程度的干旱发生,发生重旱以上的频率为 35.0%~63.3%。除华亭、灵台中东部、泾川东南部等一小部分发生频率在 30%~40%外,大多数地方冬小麦拔节~抽穗期发生重旱以上的干旱频率都在 40%以

上,庆城、静宁、华池等地达到 60%以上。

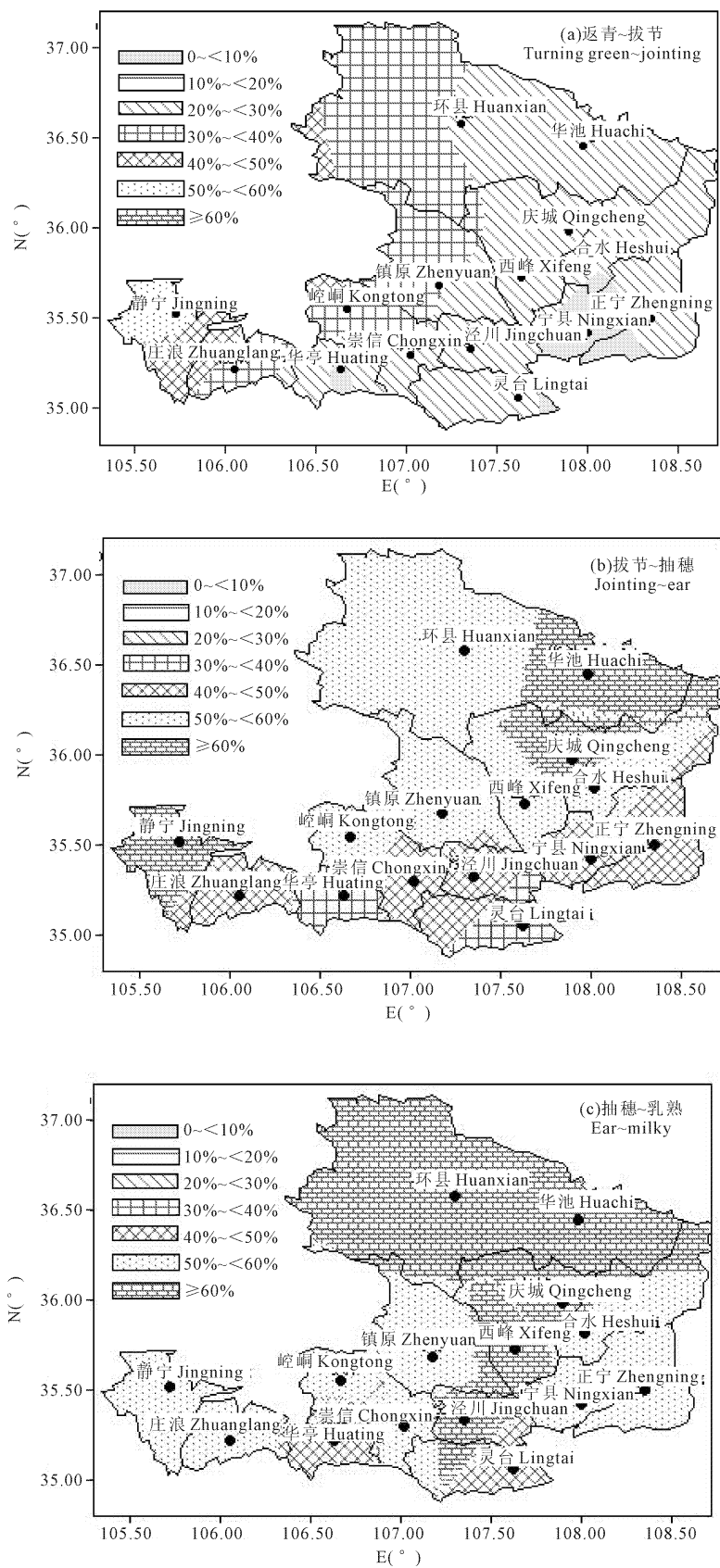


图 2 冬小麦主要生育阶段重旱以上平均干旱频率空间分布

Fig.2 Spatial distribution of average frequency of drought which is serious than severe drought during the main growth stages of winter wheat in Longdong

冬小麦孕穗后进入生殖生长阶段,需水量为全生育期最大,其中抽穗~乳熟的干旱频率为全生育期最高,轻旱以上各类干旱的发生频率为 85%~100%,重旱以上发生频率为 45%~71%。环县、华池、庆城、西峰、泾川及灵台中部重旱以上干旱频率超过 60%,环县最大为 71%,华亭、崆峒南部、灵台、泾川的东南部为 40%~50%,其余县则在 50%~60%。

总体看来,冬小麦生育期间,营养生长阶段干旱频率低,生殖生长阶段干旱频率高,乳熟后干旱频率

又降低。从空间分布看,陇东北部干旱频率最高,其次是西部及中部偏北地区,陇东南部及东部干旱频率相对较低。

2.2 陇东冬小麦干旱的年际变化特征

选取陇东不同气候区域的静宁、西峰、华亭三县分别代表陇东西北部温凉干旱、半干旱气候区、中南部温和半湿润区和中部温凉湿润、半湿润气候区等三种气候类型区,分析冬小麦水分临界期^[15]即孕穗~抽穗期 *CWDI* 值年际变化及其距平百分率三年滑动变化情况如图 3、4。

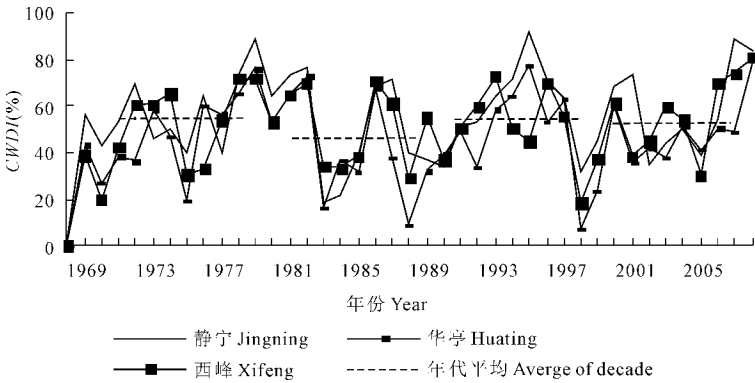


图 3 陇东不同气候区代表站冬小麦水分亏缺指数 (*CWDI*) 年际变化

Fig. 3 The annual changes of *CWDI* of winterwheat in representative stations of different climatic areas in Longdong

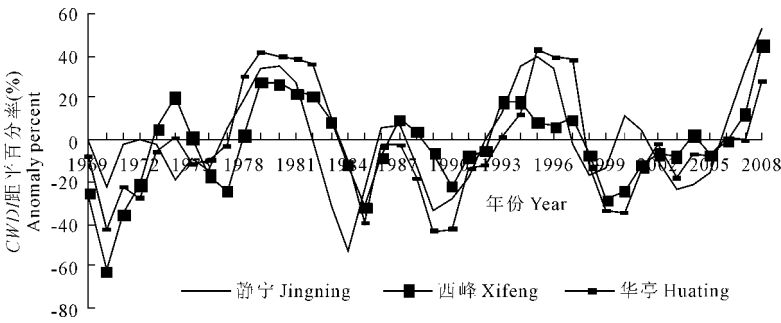


图 4 陇东不同气候区代表站冬小麦水分亏缺指数 (*CWDI*) 距平值三年滑动曲线

Fig. 4 The three-year sliding curve of *CWDI* anomalies of winterwheat in representative stations of different climatic areas in Longdong

从图 3、4 可以看出,1968~2008 年三个气候区冬小麦孕穗~抽穗期 *CWDI* 值及其距平值三年滑动曲线的变化趋势基本一致,大致经历了三高三低的变化,20 世纪 60 年代末至 20 世纪 70 年代初 *CWDI* 值相对较低,距平值为负,之后以正距平上升,20 世纪 70 年代末至 80 年代初达到较高值,20 世纪 80 年代中前期及末期 *CWDI* 降到较低值,20 世纪 90 年代初开始上升,90 年代中期正距平明显,出现第二个高峰,90 年代末又一次以负距平降到最低值,21 世纪初开始缓慢回升,21 世纪中期后明显增大。从年代

看,几个年代中,20 世纪 70 年代和 90 年代 *CWDI* 最大,其次是 21 世纪初,20 世纪 80 年代 *CWDI* 最小。近 40 年来 *CWDI* 总体呈现出多波动变化,略有增加的特点,但 2005 年后的最近几年 *CWDI* 增大,干旱加重明显。

3 结论与讨论

1) 陇东冬小麦生育期间各类干旱发生较频繁,其中重旱占到相当大的比例,作物营养生长阶段干旱频率低,生殖生长阶段干旱频率高。从空间分布

看,陇东北部干旱频率最高,其次是西部及中部偏北地区,陇东南部及东部干旱频率相对较低。

2) 近 40 a 来冬小麦水分临界期水分亏缺指数变化经历了三高三低的变化,总体多波动变化略有增加,2005 年后的最近几年干旱加重明显。

3) 作物累计水分亏缺指数以累计的作物供水偏差来衡量作物水分状况,既考虑到当前水分亏缺影响,又不同程度地考虑到前期水分亏缺影响,符合干旱的持续性、累积性的特点,该方法计算简便且较为准确,所需气象要素易于获取,能较客观地反映出作物水分亏缺程度,可以为农业干旱监测提供一种便于应用的方法,但作物水分供需是一个较为复杂的过程,要更为精细地进行作物水分亏缺评估,除降水外,还要考虑土壤水分、径流等因素,有待今后做更进一步的研究。

参 考 文 献:

[1] 刘德祥,董安祥,陆登荣.中国西北地区近 43 年气候变化及其对农业生产的影响[J].干旱地区农业研究,2005,20(2):195—201.

[2] 韩永翔,董安祥,王卫东.气候变暖对中国西北主要农作物的影响[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):39—43.

[3] 刘丙军,邵东国,沈新平.作物需水时空尺度特征研究进展[J].

农业工程学报,2007,23(5):258—264.

[4] 张艳红,吕厚荃,李 森.作物水分亏缺指数在农业干旱监测中的适用性[J].气象科技,2008,36(5):596—600.

[5] Allen R G, Perira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration[R]. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper 24, 1998.

[6] Richard G A, Martin Smith. Crop evapotranspiration — Guidelines for computing crop water requirements[R]. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper 56, 1998.

[7] 何瑞华.甘肃省主要农作物生长期水分盈亏状况分析[J].农业灌溉,2001,(9):39—40.

[8] 刘宏谊,马鹏里,杨兴国.甘肃省主要农作物需水量时空变化特征分析[J].干旱地区农业研究,2003,21(1):39—44.

[9] 马鹏里,杨兴国,陈瑞生,等.农作物需水量随气候变化的响应研究[J].西北植物学报,2006,26(2):348—353.

[10] 郭海英,赵建萍,韩 涛,等.陇东黄土高原土壤干旱特征分析[J].土壤通报,2007,38(5):873—877.

[11] 郭江勇,李耀辉,王 文,等.甘肃黄土高原春旱的气候特征及预测方法[J].中国沙漠,1997,24(2):211—217.

[12] 郭江勇,叶燕华.甘肃东部春播期干旱指数的变化特征及预测[J].中国农业气象,2004,25(1):35—37.

[13] 杨小利,吴颖娟,王丽娜,等.陇东地区主要农作物干旱灾损风险分析及区划[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(2):83—90.

[14] Doorenbos J, Praitt W O. Crop water requirements[R]. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, 1977.

[15] 龚绍先.粮食作物与气象[M].北京:北京农业大学出版社,1988.

Study on characteristics of winter wheat water deficit in Longdong of Gansu Province

YANG Xiao-li^{1,2}, WANG Li-na²

(1. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Change and Disaster Reduction of CMA, Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou, Gansu 730020, China; 2. Pingliang Meteorological Bureau, Pingliang, Gansu 744000, China)

Abstract: Using the meteorological data of 15 stations in Longdong area, the reference crop evapotranspiration (ET_0), crop water requirement of main crops (ET_c), and crop water deficit index ($CWDI$) of each station were calculated. The temporal and spatial distribution characteristics of winterwheat water deficit at different growth stages in Longdong area were studied to provide science gist for mastering law of drought and making rational distribution to avoid disadvantages in agricultural production. The results indicated that the drought especially severe drought occurred frequently in the growth period of winter wheat in Longdong area. The drought frequency was higher in vegetative growth stage while lower in reproductive growth stage. In space, drought occurred with the highest frequency in north Longdong, followed by west and north middle parts, and the lowest area located in south and east parts. In annual changes, the $CWDI$ of winter wheat in critical period of water fluctuated with a slight increase in recent 40 years generally, and increased obviously in the years after 2005.

Keywords: winter wheat; water deficit; drought frequency; Longdong