维普资讯 http://www.cqvip.com

② 5-10

第 28 卷 第 4 期
2000 年 8 月

西北农业大学学报
Acta Univ. Agric. Boreali-occidentalis

Vol. 28 No. 4
Aug. 2000

[文章编号]1000-2782(2000)04-0005-06

陕北渭北冬小麦降水产量关系与补灌时期研究

S512.110.7
S512.110.1

马孝义[1]，康绍忠[1]，赵延凤[1]，李 坤[2]，王凤翔[2]

(1 西北农林科技大学 农业水土工程研究所，陕西 杨陵 712100；
2 陕西省水利厅，陕西 西安 710006)

[摘 要] 在分析陕北、渭北地区旱地冬小麦生育期水分盈亏量和不同月份降水自给率地区分异的基础上，研究了不同分区典型县旱地降水产量积分回归函数和降水对产量的影响规律，确定了陕西丘陵沟壑区和渭北台塬东部冬小麦最佳补充灌溉时期为：冬前分蘖期和返青、拔节期；洛川塬区：返青、拔节期；渭北台塬西部：越冬期。

[关键词] 冬小麦；补充灌溉；降水—产量关系；陕北；渭北 补灌时期. 陕西

[中图分类号] S512.1+10.71 [文献标识码] A

陕西省的陕北、渭北地区，包括榆林、延安、铜川、宝鸡、咸阳、渭南 6 地(市)，49 个县(市，区)。耕地面积约占全省的 1/2，人口占全省的 1/3，是全省仅次于关中平原渭河阶地之外的冬小麦主产区，也是省政府规划的第二粮仓区。这一地区光热资源充足，人均土地面积较大，土层深厚，具有发展粮食规模化生产的有利条件，但降水量少，旱地面积占总耕地的 4/5，干旱缺水是农业生产的"瓶颈"，且这一地区的大部分地方，由于受地形、地貌、财力和水资源条件的限制，目前乃至今后相当长的时间内，不可能大规模发展骨干灌溉工程。因此，大力发展小型水利工程和雨水集蓄利用工程，进行补充灌溉，是这一地区农业发展的重要措施之一。

利用小型水利工程和集蓄雨水灌溉，可供水量均很少，要使有限的灌水得到高效利用，就需要分析冬小麦生育期的水分供需特点，确定最佳的补充灌溉时期。过去对该区域充分供水下的灌溉制度进行了大量的研究[1,2]，但对补充灌溉的最佳灌水时期的研究还较少，且大多是在室内或小范围的田块试验基础上进行的[3~8]，对大区域内的冬小麦最佳补充灌溉时期的定量研究则很少。本研究在分析陕北、渭北地区冬小麦生育期水分供需地区分异的基础上，探讨不同分区冬小麦降水产量关系，试图确定其最佳补充灌溉时期。

1 陕北、渭北冬小麦水分供需状况地区分异

陕北、渭北地区各地自然条件变化较大，不同地区冬小麦不同生育期的农田水分供需状况差异也较大。为此，以各县冬小麦生育期的多年平均降水量 P 与小麦需水量 ET_c 的

[收稿日期] 2000-03-01
[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(49871040)；陕西省科技攻关项目(98K03-G4)
[作者简介] 马孝义(1965—)，男，副教授，博士。

维普资讯 http://www.cqvip.com

差值，即水分盈亏总量 $D=P-ET'_c$ 和不同月份降水量 P_i 与其小麦需水量 ET'_a 的比值，即降水自给率 $S_i=\frac{P_i}{ET'_a}\times100\%$，作为反映不同时期水分供需状况的主要指标，并考虑其地区地形、地貌、前期降水量及土壤蓄保水特征，对陕北、渭北旱地冬小麦生育期农田水分盈亏状况进行分析，将其划分为5个分区（图1），其分区水分盈亏量、降水自给率和播种前（7～9月）降水量的均值见表1。各分区特点为：陕北长城沿线风沙滩地区（Ⅰ），处在毛乌素沙区东南部长城以北，窟野河以西，包括榆林北6县，该区降水量少，干旱多风，蒸发量大，水分亏缺极为严重；冬季寒冷，不利于冬小麦的越冬和返青，不适宜于冬小麦种植。陕北丘陵沟壑区（Ⅱ），北连风沙高原区，南至富县北界，是黄土梁峁丘陵沟壑发达的典型地区，地形支离破碎，冬小麦播种前降水量较少且流失严重，生育期降水量少，蒸发量大，全生育期降水自给率低，水分亏缺严重。洛川黄土残塬区（Ⅲ），位于富县、宜川以南，以黄土高原沟壑为主，原面较为平坦，塬周侵蚀深切，土层深厚，冬小麦播种前降水量较大，土壤蓄墒较多，生育期降水量相对较大，高于陕北风沙区、丘陵沟壑区及渭北台塬东部地区，全生育期降水自给率相对较高，但春季降水自给率较低，影响冬小麦生长。

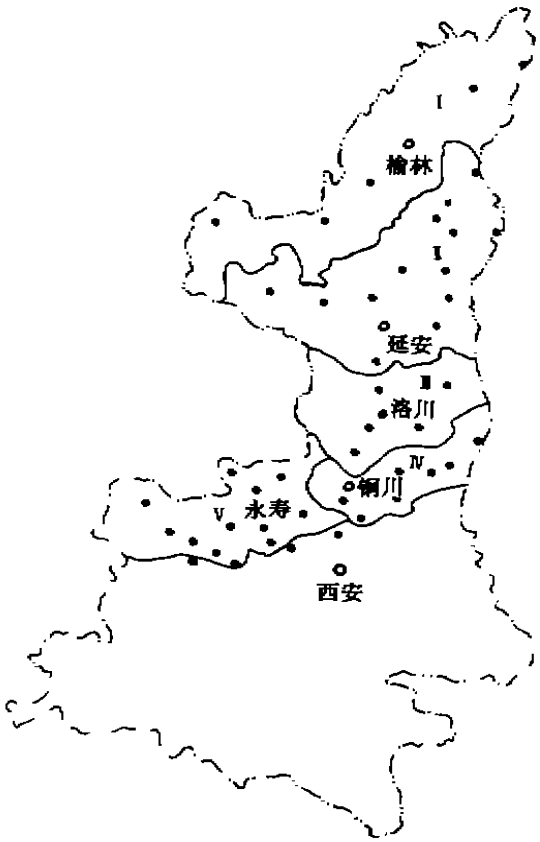

图1 陕北、渭北冬小麦生育期水分供需分区图

表1 陕北、渭北冬小麦水分供需分区特征

分区	7～9月降水量/mm	不同月份降水自给率均值/%										需水量/mm	降水量/mm	水分亏缺量/mm	降水自给率/%
		9/下	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月				
Ⅰ	293.4	78.8	49.3	53.0	40.7	36.4	39.3	17.8	21.1	16.7	19.9	547.4	99.6	447.8	18.2
Ⅱ	313.8	112.4	68.8	68.7	90.3	32.8	40.4	30.3	31.4	20.4	49.4	485.8	187.4	298.4	38.6
Ⅲ	396.2	149.0	80.6	81.5	41.9	26.2	52.7	46.0	51.4	34.9	63.1	481.5	229.1	202.4	58.0
Ⅳ	327.8		92.5	62.7	25.0	10.9	30.9	25.2	42.1	39.5		480.1	216.1	264.0	45.0
Ⅴ	344.1		141.0	92.9	24.5	25.1	41.7	38.7	55.0	63.7	93.9	402.4	256.8	145.6	63.8

注：Ⅰ区为陕北长城沿线风沙区，包括定边、靖边、横山、榆林、神木、府谷；Ⅱ区为陕北中部丘陵沟壑区，包括延安、安塞、吴旗、志丹、甘泉、延川、延长、绥德、米脂、佳县、清涧、吴堡、子洲、子长；Ⅲ区为洛川黄土残塬区，包括洛川、富县、黄龙、黄陵、宜川、宜君；Ⅳ区为渭北台塬东部地区，包括铜川、耀县、富平、蒲城、白水、澄城、合阳、韩城全部、三原部分地区；Ⅴ区为渭北旱塬西部地区，包括长武、彬县、旬邑、永寿、淳化、陇县、千阳、麟游全部、凤翔、岐山、扶风、乾县、礼泉、宝鸡县大部分地区。

渭北台塬地区主要分布在渭河及其支流中下游两岸的二级阶地上，塬区宽坦，土质深

维普资讯 http://www.cqvip.com

厚,是全省仅次于关中平原的主要小麦产区。其中渭北台塬东部地区(Ⅳ)蒸发量大而降水量小、干旱严重,整个小麦生育期水分亏缺严重,降水自给率低;渭北台塬西部地区(Ⅴ)小麦播前和生育期降水量相对较多,但冬季干旱少雨。长武、彬县塬区的小麦生育期水分盈亏特征及渭北旱塬西部地区类似,故也划入渭北黄土台塬西部地区。

2　分区小麦降水产量关系与最佳补灌时期

2.1　降水产量积分回归函数的确定方法

由于采用传统的确定最佳补充灌溉时期方法需要进行大量长时期的试验,而且由于试验面积有限,很难全面反映大面积不同时期灌溉对作物产量的影响,为此本研究尝试采用分析典型县区降水产量积分回归曲线,探讨不同时期"附加"降水对产量的影响,将其近似视作补充灌溉,确定其分区的最佳补灌时期。降水积分回归方法的原理为[10,11]:把冬小麦生长期划分为若干个无穷小的时段,则生长期中各时段的降水量与冬小麦气象产量的关系可用下列回归积分表示:

$$\hat{Y} = C + \int_0^T a(t)r(t)\mathrm{d}t \tag{1}$$

式中:$\hat{Y}$ 是冬小麦气象产量的估计值;C 为常数;T 为全生育期的天数;$r(t)\mathrm{d}t$ 是 t 到 $t+\mathrm{d}t$ 时段内的降水量;$a(t)=\frac{\Delta Y}{\Delta r}(t)$ 表示 t 时间的降水量与最后产量之间的生理关系的一个时间函数(其中 ΔY 为产量增量,Δr 为降水增量),即生长期不同时段内每单位"附加"降水对产量的效果,可为冬小麦的补充灌溉提供依据。由于 $a(t)$ 通常是一个变化缓慢的连续函数,因此可以相当精确地接近于一个用时间表示的多项式的少数几项,通常可用正交非标准函数 $\varphi_i(t)$ 表达,如下:

$$a(t) = \alpha_0\varphi_0(t) + \alpha_1\varphi_1(t) + \cdots\cdots \tag{2}$$

式中,α_i 是偏回归系数,将式(2)代入(1)得到:

$$\hat{Y} = C + \int_0^T(\alpha_0\varphi_0(t) + \alpha_1\varphi_1(t) + \cdots\cdots)r(t)\mathrm{d}t =$$

$$C + \alpha_0\int_0^T\varphi_0(t)r(t)\mathrm{d}t + \alpha_1\int_0^T\varphi_1(t)r(t)\mathrm{d}t + \cdots\cdots \tag{3}$$

令

$$\rho_i = \int_0^T\varphi_i(t)r(t)\mathrm{d}t \tag{4}$$

其中,ρ_i 为降水分配系数。

把(4)代入(3),根据正交标准函数的定义,得到:

$$\hat{Y} = C + \alpha_0 i\rho_0 + \alpha_1\rho_1 + \cdots\cdots \tag{5}$$

由式(5)可见,问题最后归结于确定 α_i,根据该地区历年的降水分配系数和气象产量,采用多元线性回归法,即可推求出其 α_0,α_1……,然后由式(2)可合成求出不同时期的"附加"降水对产量的影响值 $a(t)$,其计算过程为:

①采用多项式拟合方法,计算地区冬小麦的趋势产量,然后利用实际产量减去趋势产量,分解求得由于气象因素决定的该地区历年的气象产量。

②据离散化正交函数 $\varphi_i(t)$ 与不同时段降水量,由式(4)推求历年的降水分配系数 ρ_i。

维普资讯 http://www.cqvip.com

③据历年的气象产量和降水分配系数计算该地区的 α_i 值。

④据计算的 α_i 值，用式(2)合成不同时段降水产量影响系数 $\alpha(t)$。

为减少数据处理工作量，在不同分区中选择旱地面积占绝大多数，位置适中，具有代表性的县(区)，选用其历年农村经济统计资料和气象资料，计算其降水产量积分回归函数，用来表征该分区的冬小麦降水产量关系，见图2。陕北长城沿线风沙区由于不宜种植冬小麦，在此不作分析。

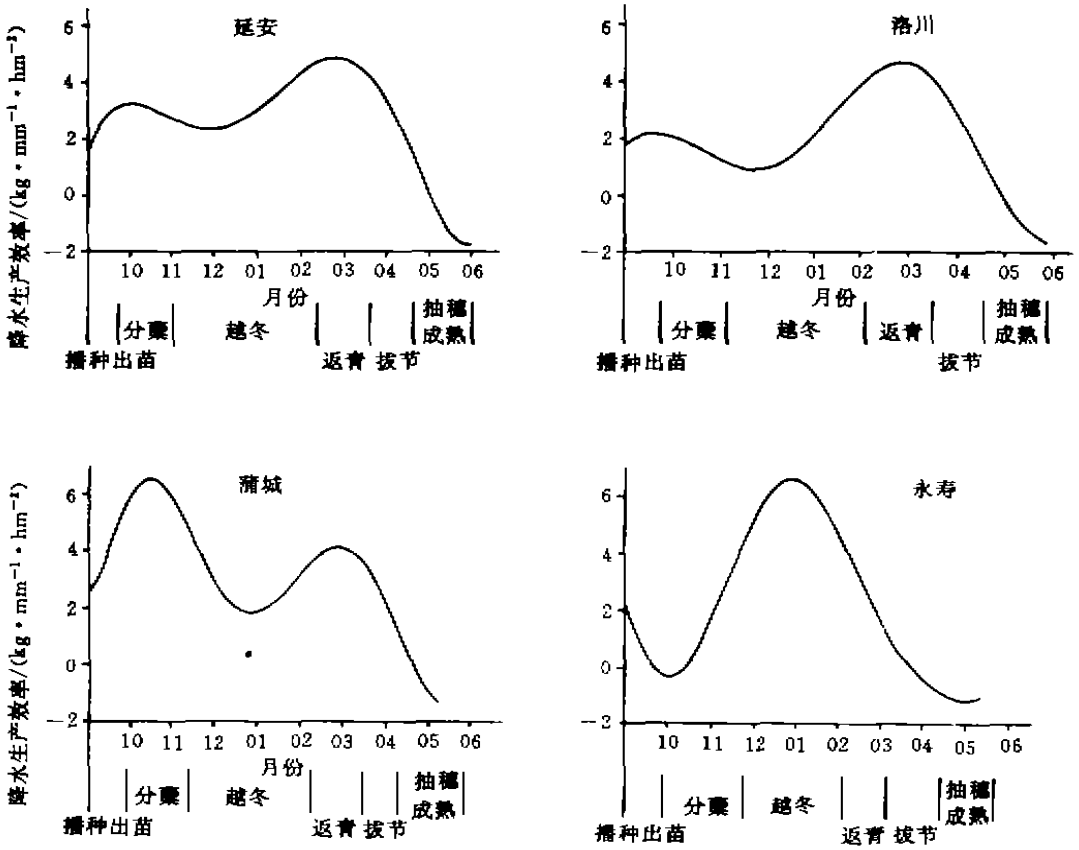

图2 不同分区典型县冬小麦降水产量影响系数 α_i 随生育期的变化

月份均为每月下旬

2.2 冬小麦降水产量关系的分区特征与最佳补灌时期

由图2可以看出：陕北丘陵沟壑区属半干旱气候区，小麦生育期又处于少雨时段，加上播种在山地，水土流失严重。因此，自然降水的多少对小麦生长发育影响很大，水分不足是小麦稳定、高产的限制因素。在冬小麦的全生育期中积分回归函数为正值，表明在该区冬小麦生育过程中降水不能满足作物需水要求，增加降水就能提高产量。该分区的冬小麦产量函数为双峰型，降水产量积分回归函数的最大影响值出现在3月上旬～4月中下旬，此期为小麦返青、拔节初期，旬降水量增加，增产作用显著提高。10月下旬～11月上中旬的冬前降水对产量的影响虽次于春季，但影响也相当大。5月下旬以后出现负效应，这是

维普资讯 http://www.cqvip.com

由于自然降水过多,造成淋花,影响授粉,且易造成晚熟。因此,应在冬前和翌年3月进行补充灌溉。

洛川塬区降水量相对较多,水分亏缺少于陕北丘陵沟壑区和渭北台塬东部地区,其积分回归函数同陕北丘陵沟壑区类似,为双峰型,在10月和次年3月出现峰值,分别为小麦的分蘖、返青、拔节期,应抓好此期的补充灌溉。同时洛川塬区前期水分条件较好,积分回归函数在春季的峰值明显高于在冬前的峰值。因此,在水量十分有限时,应首先抓好春季的补充灌溉。

渭北台塬东部地区,降水量少,蒸发量大,是仅次于陕北丘陵沟壑区之外的又一严重干旱地区,降水对产量影响大,该区前期降水较少,加上种植夏玉米,耗水较上述两区多,而土壤蓄水保水特性又较渭北台塬西部差,小麦越冬前水分条件较差,降水产量积分回归函数是双峰型。全生育期中10月下旬～11月下旬为水分关键期,此期为小麦分蘖期,降水增加,增产作用十分显著。其次是2月下旬～次年4月上中旬小麦返青、拔节期也较为关键,增加降水,增产作用显著,从5月上旬小麦抽穗以后,降水产量积分回归函数逐步变为负效应,降水不能太多,降水多了反而会减产。因此,冬小麦分蘖期、返青期和拔节期的补充灌溉是小麦增产的关键,特别是抓好冬前小麦分蘖期补充灌溉。

渭北台塬西部地区,冬小麦生育期降水量相对较多,但越冬期降水自给率较低,降水积分回归函数为单峰型,在11月上旬～次年4月上中旬的分蘖期—拔节期降水积分函数为正值,其中最大值出现在12月上旬～次年2月下旬,此期小麦处在越冬期,降水增加有利于小麦盘根出蘖和安全越冬。因此,冬季补灌是冬小麦增产的关键,但冬灌时要注意气温条件,在大冻之前结束,防止出现"玻璃田"。4月下旬～6月中旬,降水增加,影响光照和温度,产量将降低。

3　结　语

1) 分析大区域的作物最佳补充灌溉时期,是一个十分复杂的问题。本研究通过分析陕北、渭北地区冬小麦的生育期降水自给率的地区分异,研究其降水产量积分回归函数的地区变异,探讨不同时期附加降水对冬小麦产量的影响,确定其最佳补充灌溉时期,与以往小面积的试验研究相比,具有工作量小,耗时少,代表性高的优点,可供今后定量分析作物补充灌溉关键期参考。

2) 通过以上分析可以看出,陕北、渭北地区冬小麦生育期水分均不足,其中以陕北丘陵沟壑区和渭北台塬东部地区最为严重。冬小麦的最佳补充灌溉时期为:①陕北丘陵沟壑区、洛川塬区和渭北台塬东部地区,应在冬前分蘖期及返青、拔节期进行补充灌溉。其中,陕北丘陵沟壑区缺水严重,应在上述两个时期均进行补充灌溉,在水量十分有限,只能补灌1次时,洛川塬区应首先抓好春季返青、拔节期补充灌溉,渭北旱塬东部地区应首先抓好冬前分蘖期的补充灌溉。②渭北台塬西部地区,冬季水分亏缺最为严重,应在小麦越冬期进行补充灌溉。

3) 降水在补充土壤水分方面的作用与灌溉相同,但由于降水天气对光照有一定影响,对气温的影响也比灌溉要大一些,因此它对作物产量的影响与灌溉有一定的差异,同时确定灌溉时期还应视不同时期作物生长状况和当年具体的降水分布。因此,利用上述方

维普资讯 http://www.cqvip.com

法寻求最佳补灌时期还应注意与其他方法结合，以克服其不足，今后对此仍待进一步研究。

[参考文献]

[1] 康绍忠，贺正中，张 学，等. 陕西省作物需水量与分区灌溉模式[M]. 北京：水利电力出版社，1992.
[2] 蒋定生，贺正中，董文基. 陕西省灌溉节水区划[M]. 西安：西安地图出版社，1992.
[3] 李玉山，韩仕峰，史竹叶. 渭北塬区农田水分供需特征和低定额灌溉研究[J]. 中国农业科学，1985，(4)：42－47.
[4] 梁银丽，康绍忠. 节水灌溉对冬小麦光合速率和产量的影响[J]. 西北农业大学学报，1998，(4)：16－19.
[5] 徐福利，王渭玲，张翼涛. 渭北旱塬西部主要作物水肥效应指数的研究[J]. 西北农业大学学报，1996，(5)：85－89.
[6] 刘存寿，谷 洁，方 晓. 灌溉对渭北塬区冬小麦水分利用效率与增产潜力的影响[J]. 干旱地区农业研究，1998，(1)：90－93.
[7] 邓西平，山 仑. 旱地春小麦对有限灌水高效利用的研究[J]. 干旱地区农业研究，1995，(3)：42－45.
[8] 洪晓强. 渭北东塬旱地小麦耗水及其调控[J]. 水土保持通报，1996，(3)：49－52.
[9] 石亿邵. 陕西省干旱类型区划分的研究[J]. 干旱地区农业研究. 1993，(6)：89－95.
[10] 卢其尧. 华北平原降水量与冬小麦产量的影响[J]. 气象学报. 1963，(3)：392－398.
[11] 习耀国，武卷丽，李兆元，等. 陕西省气候波动对冬小麦产量的影响[J]. 中国农业气象. 1991，(11)：12－15.

Relationship between winter wheat production with rainfall and compensation irrigation period in North Shaanxi and Weibei Areas

MA Xiao-yi[1], KANG Shao-zhong[1], ZHAO Yan-feng[1], LI Kun[2], WANG Feng-xiang[2]

(1 *Institute of Agricultural Soil and Water Engineering, Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;*
2 *Water Resources Department of Shaanxi Province, Xi'an 710006, China*)

Abstract: Based on the analysis of regional features of soil moisture deficit and rainfall distribution with different months of winter wheat growing season in North Shaanxi and Weibei areas, the winter wheat rainfall production integration-correction function of typical counties and the effect of rainfall on winter wheat production in different districts are studied. It is concluded that the optimal compensation irrigation period is tillering before winter and reviving-jointing stage in the north of Shaanxi hilly area and the east part of Weibei loess tableland, reviving and jointing stage in Luochuan highland, and over-wintering stage in the west part of Weibei loess tableland.

Key words: winter wheat; compensation irrigation; relationship of production with rainfall; North Shaanxi; Weibei