

干旱年份播期对旱地冬小麦产量
及水分利用效率的影响

党建友,王姣爱,张 晶,曹 勇,张建华,卫云宗,张定一

(山西农科院小麦研究所,山西 临汾 041000)

摘 要:通过田间大区试验研究了干旱年份播期对旱地小麦生长发育、籽粒产量和水分利用效率的影响。结果表明,9月30日播种,分蘖成穗率高,群体合理,灌浆前中期旗叶叶绿素 SPAD 相对值最高,上三叶总干物质转移量和总转移率居中,快、缓增期籽粒灌浆持续时间 T_2 和 T_3 最长,灌浆平均速率最高,成穗数最多,千粒重最高,籽粒产量最高,达 2 623.3 kg/hm²,分别较 9 月 20 日和 10 月 5 日播种增产 84.48% 和 10.11%;9 月 30 日播种,生育期耗水量居中,籽粒水分生产率最高,达 0.979 kg/mm。因此,临汾市尧都区旱地小麦播期适当推迟到 9 月 30 日左右,可提高自然降水生产效率,实现高产高效。

关键词:干旱年份;播期;旱地小麦;产量;水分利用效率

中图分类号: S512.101 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0172-05

干旱缺水是困扰旱地农业生产的一大难题,而发展旱地农业,保证旱地农业的可持续性在全世界农业发展的共同课题,也是我国农业进一步发展的出路^[1,2]。山西省属暖温带、温带大陆性气候,典型的半干旱旱养农业区,降雨时间上分布不均衡,十年九春旱,冬春少雨雪、多风,旱季漫长,耕层土壤蒸发量大,干旱严重^[3,4]。2009 年度小麦生育期间,山西省发生了 50 年不遇的伏、秋、冬、春连旱。据统计,2008 年 7~9 月临汾市尧都区降雨量为 164.3 mm,比常年的 249.4 mm 减少 85.1 mm;9 月份降雨量

70.0 mm;2008 年 10 月~2009 年 1 月降雨量仅为 13.4 mm,比常年同期的 60.9 mm 减少 47.5 mm,造成部分旱地小麦分蘖死亡,甚至主茎死亡;2009 年 2 月~4 月底降雨量为 44.3 mm,比常年同期的 47.9 mm 减少 4.6 mm,且降雨较为分散,多为无效降雨,干旱严重影响了冬小麦生长发育,造成旱地小麦大幅减产。本试验研究了 3 个播期对旱地小麦籽粒产量、生理特性和水分利用效率的影响,旨在为山西省旱地小麦适期晚播和提高自然降水利用率提供理论依据。

表 1 2009 年度尧都区降雨量
Table 1 Rainfall of Yaodu District in 2009

项目 Item	2008						2009					
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
降雨量(mm) Rainfall	33.3	61.0	70.0	9.1	4.3	0	0	21.4	13.5	9.4	100.0	25.5

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验设在山西省临汾市尧都区大阳镇内鼻村,壤质石灰性褐土。试验地理化性状为:有机质 9.05 g/kg、碱解氮 48.69 mg/kg、速效磷 13.45 mg/kg、速效钾 132 mg/kg。试验设 3 个处理,分别为:9 月 20 日播种,播量 112.5 kg/hm²;9 月 30 日播种,播量 165.0

kg/hm²;10 月 5 日播种,播量 187.5 kg/hm²。大区设计,面积为 47 m×9.5 m=446.5 m²,不设重复。播前基施纯氮 150 kg/hm²,P₂O₅ 120 kg/hm²,K₂O 60 kg/hm²,供试品种:临抗 11 号,6 月 2 日收获。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 生育期总茎数和单株分蘖 于苗后蘖前,每个处理选取 3 个 1.0 m² 调查样方,分别调查基本苗和越冬前(12 月 15 日)、拔节期(3 月 20 日)和孕穗

收稿日期:2009-12-20
基金项目:现代农业产业体系建设专项(nycytx-03);公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903010-07);山西省农科院重点项目(YZD0915)
作者简介:党建友(1972—),男,山西芮城人,助理研究员,主要从事优质小麦高产。E-mail: dangjiyou8605@sina.com。
通讯作者:张定一(1963—),男,博士,研究员,主要从事小麦品质生理栽培研究。E-mail: zdyi888@163.com。

期(4月20日)总茎数,并计算单株分蘖。

单株分蘖 = 总茎数 / 基本苗

1.2.2 上三叶干重及干物质转移率 灌浆初期和收获前在调查样方外,随机选取 30 个单株,完整摘取旗叶、倒二叶和倒三叶并装入密封袋中,带回室内在 105℃烘箱内杀青 30 min 后,在 80℃烘 24 h 至恒重,称干重,并计算上三叶干物质转移率。

上三叶干物质转移率(%) = [灌浆初期上三叶干重(g) - 收获期上三叶干重(g)] / 灌浆初期上三叶干重(g) × 100%

1.2.3 旗叶叶绿素 SPAD 相对值 从扬花后第 5 天开始,每隔 4 d 各处理选朝向长势基本一致的旗叶 10 片,用日本产 SPAD-502 型叶绿素测定仪测定旗叶叶绿素 SPAD 相对值。

1.2.4 籽粒灌浆速率 于扬花后第 5 天开始,每隔 4 d 各处理取 20 穗,带回室内在 105℃下杀青 30 min 后,在 80℃烘 24 h 至恒重,剥取全部籽粒,称重并折合成千粒重。以扬花后天数(t)为自变量,千粒重(y)为依变量,对籽粒灌浆进行 Logistic 方程 $Y = K / (1 + e^{a+bt})$ 拟合, K 为最大千粒重(g), a 、 b 均为回归参数,与灌浆速率和灌浆持续时间有关。对 Logistic 方程求一阶导数可得灌浆速率方程: $Y' = V_t = Ke^{A+Bt} / (1 + e^{A+Bt})^2$; 求二阶导数得 R 随时间 t 改变的速率方程: $Y'' = B^2 Ke^{A+Bt} (e^{A+Bt} - 1) / (1 + e^{A+Bt})^3$; 让 Logistic 方程的 $t \rightarrow 0$, 得 $Y = Y_0 / (1 + e^A) = C_0$; 令 $Y'' = 0$, 可得 2 个拐点的坐标 t_1 、 t_2 ; 假定 Y 达到 Y_0 的 99% 时为实际灌浆期 t_3 , $t_3 = -(4.59512 + A) / B$, 根据 2 个拐点和 t_3 将灌浆期划分三个阶

段,即渐增期 $t_0 \sim t_1$,快增期 $t_1 \sim t_2$,缓增期 $t_2 \sim t_3$, T_1 、 T_2 、 T_3 为对应持续天数(d), R_1 、 R_2 、 R_3 对应渐、快和缓增期平均灌浆速率(g/d), R 为灌浆期平均灌浆速率(g/d), R_{max} 为最大灌浆速率(g/d), T 为灌浆持续时间(d), C_0 为籽粒初始生长势,即受精子房的生长潜势。

1.2.5 产量构成因素与籽粒产量 调查样方内随机取行长 20 cm 单行全部植株,去除穗粒数小于 6 粒单株后,其余成穗茎数计数为有效成穗数,数取所有籽粒数,求平均值为穗粒数;每个处理收获 2 个未取样的定点样方和 4 个随机 1.0 m² 样方,脱粒,风干后称重;数取 500 粒称重,换算成千粒重,2 次重复(重复间相差 ≤ 0.5 g)。

1.2.6 土壤水分测定 分别于 9 月 20 日(播期)、11 月 15 日(越冬期)、2 月 5 日(返青期)、4 月 20 日(孕穗期)和 6 月 2 日(收获期)用铝盒烘干法测定 0 ~ 20、20 ~ 50、50 ~ 100 cm 和 100 ~ 200 cm 土层含水量。并按 $W = w \times \rho_s \times h \times 0.1$ 计算各土层贮水量,其中 W 为土层贮水量(mm), w 为土壤含水量(%); ρ_s 为土壤容重(g/cm³); h 为土层厚度(cm);0.1 为单位换算系数。田间总耗水量(mm) = 播种时土壤贮水量 + 有效降水量 - 收获期土壤贮水量,按照籽粒水分生产率(WUE) = 籽粒产量(kg)/田间总耗水量(mm)

2 结果与分析

2.1 播期对生育期土壤含水量的影响

由表 2 知:播期对 0 ~ 100 cm 土壤含水量影响较大,对 100 ~ 200 cm 土壤含水量影响较小。

表 2 生育期内不同播期土壤含水量
Table 2 Soil moisture during growth period in different sowing date

播期(M-d) Sowing date	土层 Soil layer (cm)	土壤含水量 Soil moisture(%)				
		播种期 Before sowing	越冬前 Before winter	返青期 Reviving stage	孕穗期 Booting stage	收获期 Harvest stage
09-20	0~20	10.07	8.35	7.58	5.60	14.73
	20~50	11.30	10.15	9.67	7.59	10.50
	50~100	7.45	7.52	7.32	7.23	6.79
	100~200	7.11	7.15	7.10	7.05	9.32
09-30	0~20	10.10	8.49	8.25	7.08	14.42
	20~50	11.31	10.43	9.98	8.86	11.48
	50~100	7.39	7.53	7.35	7.29	7.85
	100~200	7.14	7.16	7.11	7.07	9.31
10-05	0~20	10.05	8.42	8.07	7.87	14.55
	20~50	11.29	10.37	9.76	10.31	11.88
	50~100	7.50	7.54	7.36	7.34	8.73
	100~200	7.10	7.16	7.12	7.08	9.62

越冬前和返青期,0~20 cm 和 20~50 cm 土壤含水量以 9 月 30 日播种最高,10 月 5 日次之。播期早,越冬前分蘖多,群体过大,耗水量大,土壤含水量低,10 月 5 日播种单株分蘖少,群体小,地面裸露,冬春季多风无雨,失墒严重。返青期到孕穗期的降雨多为小于 5 mm 的无效降雨,仅补充了表墒,土壤含水量呈下降状态,但 10 月 5 日播种土壤含水量下降较小,0~50 m 含水量最高,较 9 月 20 日、9 月 30 日播种 0~20 cm 和 20~50 cm 土壤含水量高 2.27%、2.72% 和 0.79%、1.27%;收获期土壤含水量(5 月 16~19 日降雨量 103 mm)以 9 月 20 日播种最高,其次是 10 月 5 日,9 月 30 日最低。这与 9 月

30 日播种群体大,后期耗水量多有关。

2.2 播期对总茎数和单株分蘖的影响

由表 3 知,冬前总茎数和单株分蘖均随播期推迟而减少;拔节期总茎数以 9 月 30 日播种最高,处理间差异未达显著水平,单株分蘖随播期推迟而降低,但单株分蘖较越冬前增加数随播期推迟而增加,以 10 月 5 日增加最多;成熟期单株分蘖 9 月 20 日和 9 月 30 日播种均为 1.36 个,10 月 5 日播种仅 1.02 个,靠主茎成穗。这与播期过早、单株分蘖多,土壤水分消耗多,遇到后期干旱,土壤含水量较低,导致分蘖成穗率低有关。

表 3 不同播期的总茎数和单株分蘖

Table 3 Total stems and single tillering of wheat with different sowing date

播期(M-d) Sowing date	基本苗 Basial seedling (10 ⁴ /hm ²)	越冬前 before winter		拔节期 Jointing stage		单株成穗数 Single panicles (个)
		总茎数 Total stems (10 ⁴ /hm ²)	单株分蘖 Single tillering (个)	总茎数 Total stems (10 ⁴ /hm ²)	单株分蘖 Single tillering (个)	
09-20	178.0±20.5	936.5±105.5aA	5.26±0.07aA	1180.0±55.5aA	6.64±0.15aA	1.36±0.14aA
09-30	213.0±31.0	810.0±3.0aAB	3.86±0.58bB	1271.5±94.0aA	6.06±0.62aAB	1.36±0.18aA
10-05	244.5±18.0	606.5±36.5bB	2.48±0.06cC	1164.0±86.0aA	4.76±0.05bB	1.02±0.11bB

2.3 播期对产量构成因素及籽粒产量的影响

由表 4 知,成穗数以 9 月 30 日播种最高,9 月 20 日最低,处理间差异不显著;穗粒数随播期推迟而增

加,处理间差异达极显著;千粒重和籽粒产量均以 9 月 30 日播种最高,其次是 10 月 5 日。9 月 30 日播种确保了较高的成穗数和千粒重,是高产的关键因素。

表 4 播期的产量构成因素及籽粒产量

Table 4 Grain yield component and grain yield of wheat with different sowing date

播期(M-d) Sowing date	成穗数(10 ⁴ /hm ²) Panicle stems	穗粒数 Kernels per panicle	千粒重(g) 1000-kernel weight	产量(kg/hm ²) Yield
09-20	244.5±49.5aA	19.08±1.02cC	31.86±0.16 bB	1422.0±129.0bB
09-30	286.0±5.0aA	20.21±0.98bB	38.31±0.58 aA	2623.3±86.2 aA
10-05	246.5±5.5aA	21.43±1.25aA	38.19±0.50 aA	2382.4±394.3 aA

2.4 播期对上三叶干重和转移率的影响

由表 5 知,灌浆初期(4 月 27 日)旗叶和倒二叶的干重随播期推迟而提高,倒三叶以 9 月 30 日播种最高,9 月 20 日最低;收获期(6 月 2 日)上三叶干重

随播期推迟而降低;旗叶、倒二叶干物质转移率、干物质总转移量、总转移率均随播期推迟而升高。返青期到孕穗期较高的土壤含水量促进了上三叶的生长和干物质转移,对提高粒重增产十分有利。

表 5 旱地小麦不同播期上三叶的干重和转移率

Table 5 Dry matter weight and transfer rate of top three leaves in dryland wheat with different sowing date

播期 (M-d) Sowing date	灌浆初期干重(g)(04-27) Early filling time			收获期干重(g)(06-02) Harvesting time			转移率(%) Transfer rate			干物质 总转移量 Total transfer amount (g)	总转移率 Total transfer rate(%)
	旗叶 Flag leaf	倒二叶 2nd leaf	倒三叶 3rd leaf	旗叶 Flag leaf	倒二叶 2nd leaf	倒三叶 3rd leaf	旗叶 Flag leaf	倒二叶 2nd leaf	倒三叶 3rd leaf		
09-20	0.60	0.63	0.60	0.37	0.39	0.39	38.33	38.10	35.00	0.68	0.372
09-30	0.61	0.69	0.78	0.36	0.38	0.37	40.98	44.93	52.56	0.97	0.466
10-05	0.64	0.83	0.73	0.35	0.38	0.36	45.31	54.22	50.68	1.11	0.505

2.5 播期对旗叶绿素 SPAD 相对值的影响

由表 6 知,旗叶绿素 SPAD 相对值从灌浆初期(5 月 2 日)到灌浆期中期(5 月 17 日),均以 9 月 30 日播种最高,其次是 10 月 5 日,9 月 20 日最低;

从 5 月 22 日开始以 10 月 5 日播种值最高,9 月 20 日最低。9 月 30 日播种叶绿素 SPAD 相对值较高,有利于光合作用,使旗叶干重提高,这与其上三叶干重高一致。

表 6 不同播期的旗叶绿素 SPAD 相对值

Table 6 SPAD value of flag leaf of wheat with different sowing date

播期(M-d) Sowing date	05-02	05-07	05-12	05-17	05-22	05-27
09-20	48.82±2.10aA	47.10±4.28aA	47.82±1.65bA	43.18±3.11bB	13.30±2.46bB	2.24±2.13 aA
09-30	49.92±3.99aA	49.02±3.51aA	50.76±2.30aA	49.46±1.72aA	14.36±3.76aA	4.68±2.05 aA
10-05	49.76±2.03aA	48.56±1.10aA	48.78±2.58abA	47.80±2.38aA	15.96±3.53aA	5.46±1.48 aA

2.6 播期对籽粒灌浆参数的影响

由表 7 知,播期对最大理论千粒重(K)的影响与实际千粒重一致(表 4);籽粒初始生长势(C₀)以 9 月 30 日播种最高,9 月 20 日最低;灌浆持续期 T 和渐增期持续时间(T₁)均以 10 月 5 日播种最长,9 月

20 日最短,快增期持续时间(T₂)和缓增期持续时间(T₃)以 9 月 30 日播种最长,9 月 20 日最短;平均灌浆速率 R,渐、快、缓增期平均灌浆速率(R₁、R₂、R₃)均以 9 月 30 日播种最高,9 月 20 日最低。9 月 30 日播种 C₀、T₂、T₃ 和 R 最高,使千粒重最高。

表 7 旱地小麦不同播期的籽粒灌浆参数

Table 7 Grain filling parameters of dryland wheat with different sowing date

播期(M-d) Sowing date	K	A	B	C ₀	T	T ₁	T ₂	T ₃	R	R ₁	R ₂	R ₃
09-20	32.538	4.672	-0.254	0.558	36.530	13.225	10.382	12.923	0.874	0.497	1.809	0.507
09-30	40.874	4.462	-0.217	1.013	41.713	14.484	12.130	15.099	0.959	0.564	1.945	0.545
10-05	40.485	4.666	-0.219	1.001	42.338	15.310	12.040	14.987	0.938	0.534	1.941	0.544

2.7 播期对旱地小麦籽粒产量水分生产率的影响

由表 8 知:收获期土壤贮水量随播期推迟而增加,田间总耗水量随播期推迟而减少,籽粒产量水分生产率(WUE_{籽粒})以 9 月 30 日播种最高,达 0.979

kg/mm,其次是 10 月 5 日,9 月 20 日最低,仅为 0.500 kg/mm。适期晚播可避免冬前分蘖多、群体大旺长造成的生育期耗水量多,提高了自然降水籽粒产量生产率。

表 8 旱地小麦不同播期的籽粒产量水分生产率

Table 8 WUE of grain yield of dryland wheat with different sowing date

播期(M-d) Sowing date	播前土壤贮水量 Water before sowing (mm)	生育期灌水量 Irrigation during growth (mm)	有效降雨量 Efficiency rainfall (mm)	收获期土壤贮水量 Water in harvesting stage (mm)	田间总耗水量 Total consumption in field(mm)	WUE _{籽粒} (kg/mm)
09-20	240.34	0.00	227.70	278.40	189.63	0.500
09-30	240.47	0.00	227.70	289.53	178.64	0.979
10-05	240.46	0.00	227.70	302.79	165.36	0.960

3 结 论

于振文、江芝涛等研究表明^[5,6],播期造成小麦生长发育期积温、耗水和光照等生态条件存在差异,使生长发育过程中光合作用及营养物质的运转分配也相应发生变化,对作物籽粒产量产生影响。程玉民、裴雪霞等认为^[7,8],暖冬条件下,播期过早,气温

偏高,导致旺长,水肥大量消耗,遇到不利气候极易发生冻害。本研究表明,暖冬干旱条件下,临汾市尧都区 9 月 20 日播种冬前单株分蘖多,群体大旺长,生育期总耗水量最高,返青后土壤含水量低又得不到有效补充,使得旗叶绿素 SPAD 相对值低,干物质转移量少,产量构成因素、籽粒产量和 WUE_{籽粒}最低;9 月 30 日播种,单株分蘖成穗高,成穗数最多,

籽粒灌浆持续时间长, 灌浆平均速率、千粒重、籽粒产量和 $WUE_{\text{籽粒}}$ 最高; 播种过晚冬前分蘖少, 地面裸露, 蒸发量大, 虽生育期总耗水量最低, 仅靠主茎成穗数, 籽粒产量和籽粒水分生产率较低。因此, 在山西省十年九春旱和暖冬频发的现状下, 将播期由传统的 9 月 10~20 日, 适当推迟到 9 月 25~30 日, 可避免冬前旺长和水肥消耗过多的弊端, 提高自然降水生产效率, 实现高产高效。

参 考 文 献:

- [1] 张喜文, 王桂兰, 黄明镜, 等. 高寒区旱地玉米不同覆盖方式的生态效应[J]. 山西农业科学, 2000, 28(4): 21—24.
- [2] 李生秀. 西北地区农业持续发展面临的问题和对策[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 1—10.
- [3] 牛西午, 李永山, 冯永平. 晋南半干旱地区果树渗灌补水效应研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 72—75.
- [4] 廖允成, 温晓霞, 韩思明, 等. 黄土台原旱地小麦覆盖保水技术效果研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(5): 548—552.
- [5] 于振文. 作物栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [6] 汪芝寿, 孔令聪, 汪建来, 等. 播期与密度对皖麦 44 生长发育的影响[J]. 安徽农业科学, 2003, 31(6): 950—951.
- [7] 裴雪霞, 王姣爱, 党建友, 张定一. 基因型和播期对优质小麦生长发育及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 1109—1115.
- [8] 程玉民, 董 昀, 范永胜. 暖冬气候对小麦生长发育的影响及对策[J]. 中国种业, 2006, (8): 34—35.

Effect of sowing date on yield and water use efficiency of winter wheat on dry land in arid year

DANG Jian-you, WANG Jiao-ai, ZHANG Jing, CAO Yong, ZHANG Ding-yi

(Wheat Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Linfen, Shanxi 041000, China)

Abstract: Effect of sowing date on growth, grain yield, water use efficiency(WUE) of winter wheat on dry land in arid years was investigated through field experiment. The results showed that wheat sowing on September 30 could get high tillering and high panicle rate and rational groups. Furthermore, it had high SPAD value of flag leaves, big leaf areas of upper three leaves, and total transfer amount and total transfer rate during early and middle filling stage were between other sowing dates. It could also keep the longest filling period of fast and slowly increasing stages(T_2 , T_3), and the highest average filling rate(R). All of these led to the most panicles, the highest 1000-kernel weight, and the highest grain yield of 2 623.3 kg/hm², which was 84.48% and 10.11% higher than the wheat sowing at September 20 and October 5, respectively. When sowing on September 30, the water consumption of wheat during growth stage was between those with other sowing dates, and WUE of grain was 0.979 kg/mm, which was the highest.

Keywords: arid year; sowing date; wheat on dryland; yield; water use efficiency