高海拔地区春小麦干物质积累与水热条件的关系

马兴祥[1,2],陈 雷[3],王鹤林[1],丁文魁[2],阳伏林[1]

(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开放实验室,甘肃 兰州 730020;2.甘肃省武威农业气象试验站,甘肃 武威 733000)

摘 要:为了探索气候变化情景下农作物种植应对措施,采用分期播种法,研究了高海拔旱作区不同气候情景对春小麦干物质积累过程中降水、热量的影响。结果表明,春小麦干物质积累量与积温、降水均呈极显著正相关,干物质积累期间的积温每增加50 ℃·d,累积生长量增加0.2 g·株$^{-1}$·d^{-1};降水量增加10 mm,累积生长量增加0.11 g·株$^{-1}$·d^{-1}。计算两年不同播期水、热耦合指数,具有指数大干物质积累多,反之则有减少的趋势。在水、热要素中,降水在旱地春小麦干物质积累过程中的贡献更突出。最终干物质积累量与产量呈极显著正相关,干物质积累量增加,产量增加。根据干物质积累特点和不同气候条件提出了种植应对措施。

关键词:高海拔地区;旱地春小麦;干物质积累;水热耦合

中图分类号:S512.1+2 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-7601(2013)01-0052-05

Relationship between dry matter accumulation of spring wheat and the water and thermal condition in high altitude area

MA Xing-xiang[1,2], CHEN Lei[3], WANG He-lin[1], DING Wen-kui[2], YANG Fu-lin[1]

(1. *Institute of Arid Meteorology, CMA/Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province/Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou, Gansu* 730020, *China*;
2. *Wuwei Agricultural Meteorology Experimentation Station of Gansu Province, Wuwei, Gansu* 733000, *China*)

Abstract: In order to explore the response measures of crop planting under the background of climate changes, the staging seeding test was conducted to evaluate the influence of water and thermal condition on dry matter accumulation of spring wheat in high altitude area. The result showed that the dry matter accumulation of spring wheat was positively related with both accumulated temperature and precipitation at very significant level. If the accumulated temperature increased 50℃·d, the accumulated growth quantity increased 0.2 g·plant^{-1}·d^{-1}; and if the precipitation increased 10 mm, the accumulated growth quantity increased 0.11 g·plant^{-1}·d^{-1} during the dry matter accumulation period. The coupling index of water and temperature under different seeding stages in two test years was calculated, and it was found that when the index was high the dry matter accumulation tended to increase, otherwise it tended to reduce. In the factors of water and temperature, the contribution of precipitation was more prominent to the dry matter accumulation of spring wheat in dryland. There was a very significant positive correlation between the final dry matter accumulation and the yield. The planting countermeasures were proposed according to the features of dry matter accumulation and different climate conditions.

Keywords: high altitude area; dryland spring wheat; dry matter accumulation; water and temperature coupling

干旱缺水是限制作物增产的关键因素,降水稀少,使得旱地农作物种植风险和产量不确定性越来越大,直接影响粮食生产安全[1-2]。干物质是作物产量形成的基础,不同栽培条件和地理气候环境使

收稿日期:2012-04-13
基金项目:国家重大科学研究计划"全球典型干旱半干旱地区气候变化及其影响"(2012CB955304);973计划"全球变化影响下我国主要陆地生态系统的脆弱性与适应性研究"(2010CB951302);科技部公益研究项目"西北地区旱作农业对气候变暖的响应特征及其预警和应对技术研究"(GYHY200806021-01);科技部行业(气象)专项"农田土壤水分利用效率对气候变化的响应及适应技术"(GYHY201106029);甘肃省气象局气象科研项目(2012-15);兰州干旱气象研究所科研项目(KYS2012BSKY01)
作者简介:马兴祥(1955—),甘肃古浪人,高级工程师,主要从事应用气象与生态试验研究。E-mail:wwqxjmxx@163.com。

万方数据

小麦光合作用和干物质生产所需要的水、热等条件有差异,导致它的积累和分配不同[3-7]。近年来,对旱作条件下小麦增产技术的研究已引起重视,有关产量构成过程中干物质积累的影响和气候变化对产量影响的研究较多[1,8],但对气候变暖的大气候背景下干物质积累的影响研究较少,尤其是针对高原旱作区的研究更不多见。不断加剧的气候变化将对小麦产生重大影响,直接威胁到人类社会的可持续发展。为了更多了解和掌握高原旱作春小麦生长过程中环境变化带来的影响,用分期播种模拟春小麦在不同气候变化情景下干物质生长变化及环境条件改变后生长量、表现特征、产量等影响,以便掌握不同气候条件下生长优劣势,为研究应对气候变化策略,保证生产安全提供参考。

1　试验区概况及试验方法

1.1　试验区概况

试验在甘肃武威市天祝县安远镇柳树沟村进行,地处 102°51′E、37°14′N,乌鞘岭北坡,海拔 2 747 m。年平均气温为 0.2℃,降水量在 410 mm 左右,光照充足,无灌溉条件,是典型的雨养农业区。

1.2　试验设计

从 2009—2010 年进行旱地春小麦应对气候变暖分期播种模拟试验。供试品种:春小麦陇春 8 号,播种量 560 kg·hm^{-2}。施肥量:播种时施尿素 270 kg·hm^{-2},磷二氨 795 kg·hm^{-2}底肥,小麦拔节期,每公顷追施尿素 12.5 kg。2009 年 3 月 29 日开始播种第 1 期,每 7 d 播一次,分 4 期播完,每播期 3 重复,小区随机排列,小区面积 120 m^2。2010 年第 1 期播期比 2009 年提前 3 天,播期间隔、品种、播种量、施肥均与 2009 年相同。

据武威市农技中心近年测土配方施肥调查,试验区土壤养分概况:有机质 22.5 g·kg^{-1},全氮 1.4 g·kg^{-1},速效磷 19 mg·kg^{-1},速效钾 203 mg·kg^{-1}。

1.3　测定项目

按中国气象局《农业气象观测规范》[9]要求标准,从春小麦播种开始分别观测不同播期发育期进程;从春小麦进入 3 叶后 20 d 开始每小区 10 株,每 10 d 分茎、叶、鞘、果实烘干法测定一次生长量,到乳熟期结束。收获期每小区取样 200 株测定穗长、小穗数、不孕小穗数、穗粒数、穗粒重、茎秆重、千粒重等产量构成要素;各小区单打单收记录产量;在试验地段安装 6 要素自动气象站(温度、湿度、降水、20 cm 地温、风向、风速)测定气象资料。

1.4　研究方法

为研究水、热条件对高海拔地区小麦干物质累积过程影响,根据多年气候资料和试验数据用模糊子集[10]构建耦合指数(M):

设某气象要素 X 从春小麦出苗到成熟过程中气候属性特征的数量空间为该要素的定义区域$[a,b]$时,耦合指数就在$[a,b]$上取值$[0,1]$的模糊子集,记作:

$$M_X \subset [a,b] \tag{1}$$

$$M_X \xrightarrow{\triangle} \mu_{\underset{\sim}{M}_r}(X) \longrightarrow [0,1] \tag{2}$$

$$M_{X_i} = \mu_{\underset{\sim}{M}_X}(X_i) \tag{3}$$

(3) 式中耦合度的隶属函数由下式确定:

$$M_X = \mu_{M_{\underset{\sim}{X_j}}}(X) = \sum_{i=1}^{n} a_i \mu_{\underset{\sim}{S}_{X_i}}(X_i) \tag{4}$$

(4) 式中 $0 < a_i < 1 (i = 1,2,\cdots n)$ 为各生态气候因子所占的权重值,它满足 $\sum_{i=1}^{n} a_i = 1$。

其它试验数据用 Execl Spss 统计软件进行处理分析。

2　结果与分析

2.1　不同播期春小麦干物质积累和产量的差异

春小麦单株干物质累积量基本呈“S”变化(图 1),分析 2009 年不同播期株干物质生长量,4 个播期生长最快的时间出现在乳熟期前后,生长量在 1.16 ~ 2.33 g·株$^{-1}$·d^{-1}之间,其中第 3 播期生长最快。2010 年 4 个播期株干物质生长最快的时间出现在乳熟中后期,生长量在 0.93 ~ 1.38 g·株$^{-1}$·d^{-1}之间,其中第 4 播期生长最快。两年生长量最快出现在不同播期可能是干物质积累期间水热条件不同所致。

比较两年生长量,2009 年 4 个播期平均生长量为 1.73 g·株$^{-1}$·d^{-1},2010 年 4 个播期平均生长量为 1.26 g·株$^{-1}$·d^{-1},2009 年比 2010 年平均多 0.47 g·株$^{-1}$·d^{-1}。从两年播期间干物质累积量差异看,2009 年 $F = 9.856$, $F > F_{0.05}$,2010 年 $F = 39.905$, $F > F_{0.01}$,差异均显著。求算两年 8 个播期最终干物质积累量与产量相关系数为 0.887,呈极显著正相关。

2.2　春小麦干物质积累生长量与水热条件的相关性

统计 2009、2010 年不同播期春小麦三叶后到收获期各次干物质测定期间日平均气温、积温、累计降水(表 1),比较两年 4 个播期干物质积累日数 2009 年在 93 ~ 102 d 之间,2010 年在 102 ~ 111 d 之间,

万方数据

2009年4个播期平均比2010年少5 d。比较两年4个播期干物质积累期间平均气温、积温、降水、干物质积累量,2010年4个播期日平均气温比2009年高0.5℃,积温多111.5℃·d,降水少40.6 mm,干物质积累少1.41 g·株$^{-1}$。说明日平均气温、热量、降水对干物累积生长量影响明显。经统计,2010年播期间总积温 $F=67.335$, $F>F_{0.01}$,2009年 $F=33.229$, $F>F_{0.01}$,差异显著。2010年降水 $F=15.697$, $F>F_{0.01}$,2009年 $F=27.856$, $F>F_{0.01}$,差异显著。2010年产量 $F=23.824$, $F>F_{0.01}$,2009年 $F=8.74$, $F>F_{0.05}$,差异显著。其它要素差异不明显。

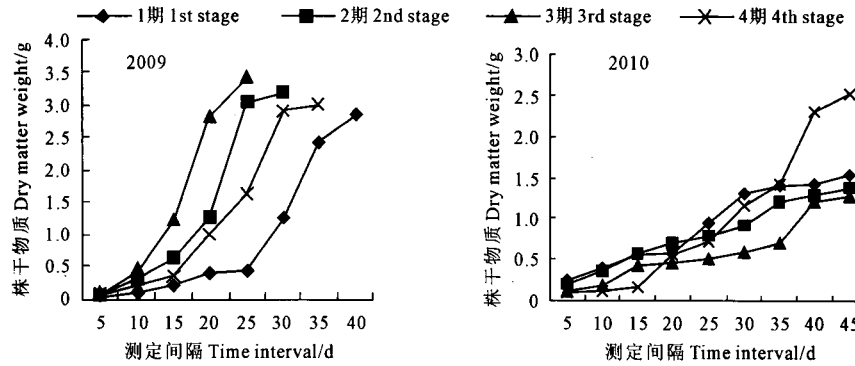

图1 2009、2010年不同播期春小麦株生长量变化

Fig.1 Variation of dry matter weight of single plant of spring wheat under different seeding stages in 2009 and 2010

表1 2009、2010年不同播期干物质测定期间日平均气温、积温、累计降水量

Table 1 Daily average temperature, accumulated temperature, accumulated precipitation during the measurement period of spring wheat under different seeding stages in 2009 and 2010

年份 Year	播期 Seeding stage	最后干重 /(g·株$^{-1}$) Final dry weight /(g·plant^{-1})	累积日数 Accumulated days/d	日均温 Daily average temperature /(℃)	总积温 Accumulated temperature /(℃·d^{-1})	降水 Accumulated precipitation /mm	降水干物质生产效率 /(mg·株$^{-1}$·mm^{-1}) Dry matter production efficiency of precipitation /(mg·plant^{-1}·mm^{-1})	产量 Yield /(kg·hm^{-2})	降水产量生产效率 Yield efficiency of precipitation /(kg·hm^{-2}·mm^{-1})
2010	1	1.31	102	14.3	1549.0	171.4	0.08	1626.5	9.49
	2	1.50	102	14.0	1438.0	171.3	0.09	1779.2	10.39
	3	1.70	105	14.1	1622.9	206.6	0.08	1784.2	8.64
	4	1.70	111	14.1	1622.9	206.6	0.08	2354.2	11.40
2009	1	2.66	102	13.4	1495.0	250.9	0.11	3421.5	13.64
	2	3.34	109	13.4	1459.8	218.2	0.11	3211.2	14.72
	3	3.38	96	13.7	1392.0	227.6	0.15	3290.7	14.46
	4	3.43	93	13.9	1440.0	221.4	0.16	3283.0	14.83

为分析这些要素的定量影响,求算干物质积累测定期间积温、降水量与模拟干物质积累生长量之间相关系数(表2),结果表明两年不同播期间段积温、降水与积累生长量相关性均达极显著水平。

依据相关系数(表2),用8个播期干物质累积生长量(W)与同期积温(ΣT)、降水量(R)计算单因素回归:

$$W=-0.192+0.004\Sigma T \quad F=36.643 \quad F>F_{0.01} \tag{5}$$

$$W=-0.342+0.011R \quad F=110.882 \quad F>F_{0.01} \tag{6}$$

由(1)、(2)式得到在干物质积累期间,积温每增加50 ℃·d,累积生长量增加0.2 g·株$^{-1}$·d^{-1},降水量增加10 mm,累积生长量增加0.11 g·株$^{-1}$·d^{-1}。

计算干物质累积生长量(W)与同期积温(ΣT)、降水量(R)回归:

$$W=-0.464+0.002\Sigma T+0.009R \tag{7}$$

$$F=71.333 \quad F>F_{0.01}$$

为比较积温、降水量对干物质积累的贡献求算标准回归系数:

积温标准回归系数为0.279,降水标准回归系数为0.659,降水标准回归系数比积温大2倍多,说明降水在干物质积累中贡献大。

万方数据

表 2　不同播期干物质测定期间水、热条件与干物质生长量之间的相关性

Table 2　Correlation between water and thermal condition and dry matter production during the measurement period of spring wheat under different seeding stages

年份 Year	播期 Seeding stage	积温/(℃·d^{-1}) Accumulated temperature	累计降水/mm Accumulated precipitation
2009	1	0.774**	0.951***
	2	0.991***	0.993***
	3	0.578*	0.997***
	4	0.627**	0.993***
2010	1	0.575**	0.917***
	2	0.576**	0.835***
	3	0.441*	0.814***
	4	0.490*	0.825**

注:*通过 0.10 信度检验,**通过 0.05 信度检验,***通过 0.01 信度检验。

Note: *, ** and *** denote significance at 0.10, 0.05 and 0.01 respectively.

2.3　春小麦干物质积累与水热条件的耦合分析

用两年春小麦发育和干物质积累试验资料与多年气候资料及试验期间气象因子,建立春小麦生育期主要气候因子偶合度隶属函数:

生育期日平均气温(T)

$$M_T = \mu_{\underset{\sim}{M}_T}(T) = \begin{cases} 0 & T \leqslant 0℃ \\ 1/5 + 1/\sqrt{30 - T} & 0 \leqslant T \leqslant 30℃ \\ 0 & T > 30℃ \end{cases} \tag{8}$$

生育期降水量(R)

$$M_R = \mu_{\underset{\sim}{M}_R}(R) = \begin{cases} 1 & R > 20\ \text{mm} \\ (R - 5)/15 & 5\ \text{mm} \leqslant R \leqslant 20\ \text{mm} \\ 0 & R < 5\ \text{mm} \end{cases} \tag{9}$$

生育期积温(ΣT)

$$M_{\Sigma T} = \mu_{\underset{\sim}{M}_{\Sigma T}}(\Sigma T) = \begin{cases} 0 & \Sigma T < 50\ ℃ \\ (\Sigma T - 50)/600 & 50 \leqslant \Sigma T < 600\ ℃ \end{cases} \tag{10}$$

通过上述各要素的偶合度分析,依据该地区不同气候类型拟订旱作农业区春小麦综合偶合度(Y_M)。根据气候条件和试验数据对春小麦的影响程度和多年生产经验,确定综合适宜度权重系数,用下式计算:

$$y_{M_i} = \mu_{\underset{\sim}{s}_{X_i}}(T, R, \Sigma T) \tag{11}$$

$$y_M = 0.10\mu_{M_{\sim T_i}}(T) + 0.4\mu_{M_{\sim R_i}}(R) + 0.1\mu_{M_{\sim \Sigma T_i}}(\Sigma T) \tag{12}$$

表 3　春小麦发育期水、热平均耦合指数(M)

Table 3　The coupling index (M) of water and thermal condition during different stages of spring wheat

播期 Seeding stages		降水 Precipitation	积温 Accumulated temperature	日均温 Daily average temperature	累积 Y_M Accumulation	最终干重/(g·株$^{-1}$) Final dry weight /(g·plant^{-1})
2009	1 期 1st stage	0.28	0.05	0.04	0.37	2.66
	2 期 2nd stage	0.31	0.05	0.04	0.40	3.34
	3 期 3rd stage	0.32	0.05	0.04	0.41	3.38
	4 期 4th stage	0.33	0.06	0.04	0.43	3.43
2010	1 期 1st stage	0.20	0.05	0.04	0.29	1.31
	2 期 2nd stage	0.22	0.05	0.04	0.31	1.50
	3 期 3rd stage	0.23	0.05	0.04	0.32	1.70
	4 期 4th stage	0.24	0.05	0.04	0.33	1.70

计算结果见表 3,2009 年水、热耦合指数在 0.37 ~ 0.43 之间,干物质可达 2.66 ~ 3.43 g·株$^{-1}$,2010 年水、热耦合指数在 0.29 ~ 0.33 之间,干物质 1.31 ~ 1.70 g·株$^{-1}$。两年水、热耦合指数随播期推后均有增大趋势,且与干物质积累有较好的对应关系。在计算中可以看到降水指数变化较大,在耦合指数中作用比热量更突出。水、热耦合指数大干物质积累多,反之则少。

3　干物质生长量对产量的贡献

3.1　最终干物质积累量对产量的贡献

依据相关计算,用产量(Y)与最终干物质积累量(W)求算回归:

$$Y = 0.073 + 0.083W \tag{13}$$

由(13)式得到最终干物质积累量每增加 1 g·株$^{-1}$,产量增加 0.083 kg·m^{-2}。可见干物质积累量对产量影响非常明显,一般情况下干物质积累量

万方数据

增加产量也增加。

3.2 降水对产量的贡献

由表1可见,2009年每1 mm降水可获得13.64~14.83 kg·hm^{-2}产量,2010年每1 mm降水只获得8.64~11.40 kg·hm^{-2}产量,4个播期平均比2010年少4.43 kg·hm^{-2},降水多产量高,反之产量低。

4 讨 论

1) 本研究从高海拔旱地小麦籽粒生理对环境条件的响应出发,按发育阶段用统计学原理和模糊数学定量分析水、热条件影响,揭示了水分和热量的影响程度,从试验结果看,旱地春小麦不同播期经历气候条件不同,干物质积累也有差异。在气候条件中降水是主导因素,积温是限制因素,干物质积累期间,降水和热量中降水贡献比热量大。

2) 干物质累积最终大部分都体现在籽粒产量上[3],两年8个播期最终干物质积累量与产量呈极显著正相关,与阎世理等[11]、张娟等[12]、王荣栋等[6]的研究结果基本一致。从表1看2010年4个播期干物质累积期日平均气温为14.1℃,降水在189 mm的情景下,每1 mm降水产量生产效率为9.98 kg·hm^{-2},2009年干物质累积期日平均气温为13.6℃,降水在300 mm的情景下,每1 mm降水产量生产效率达14.41 kg·hm^{-2},降水多的年份比降水少的年份产量生产效率多4.43 kg·hm^{-2}·mm^{-1}。可见在产量形成期水热综合影响中需要一定的积温保证生长,但日平均气温升高,降水减少不利于产量形成。

3) 高海拔地区春小麦株干物质生长量遵从"S"型变化规律,最大生长量出现在乳熟期前后,比陈跃武等[4]、王荣栋等[6]的研究有所推后。这种现象可能是高海拔地区气温较低造成的。

4) 在气候干旱情景下高海拔旱作农业区种植春小麦首先要合理选择适宜本地区的抗旱品种,提高自身的抗旱能力,减轻干旱危害。其次要合理安排播种时间,在播种前了解和掌握当年气候变化和降水预测概况,根据气象部门的年度气候预测,在春夏出现干旱的情况下要尽量早播种,大致掌握在常规播种前7~10 d开始,在地表解冻15 cm左右时顶凌播种可获得较高的产量。在伏旱出现的情景下,可适当推迟播种时间,应比常规习惯播种期推后10 d左右可获得较高的产量。另外还要把握好播种量,在春季干旱、底墒较差条件下要适当加大播量,弥补出苗率低造成的缺苗,保证有足够的基本苗数。在春季不旱、底墒较好的情景下要适量减小播量,密度过大不利抗旱。通过这些方法能在一定程度上克制气候干旱带来的不利影响。

5) 本研究在应对气候变化,调整播期、更新种植方式和栽培措施、躲避干旱、充分利用气候资源及精准管理等方面有一定的参考和应用价值。干物质生长量在不同播期存在时间和累积量差异,这种差异不仅仅是播种时间不同造成的,可能与前期所处的气象条件、土壤水分条件、生理等因素有关,亦或有更多的其它因素共同影响所致,有待进一步深入研究。

参 考 文 献:

[1] 居 辉,熊 伟,许吟隆,等.气候变化对我国小麦产量的影响[J].作物学报,2005,31(4):670-675.

[2] 赵 鸿,肖国举,王润元,等.气候变化对半干旱雨养区春小麦生长的影响[J].地球科学进展,2007,23(3):322-327.

[3] 常 磊,柴守玺,杨德龙,等.我国春小麦产量及主要农艺指标的变异分析[J].应用生态学报,2010,21(11):2821-2829.

[4] 陈跃武.高产小麦干物质积累与运转规律研究[J].江苏农业科学,1999,(4):30-33.

[5] 王鹤林,王润元,牛俊义,等.黄土高原地膜春小麦地上干物质累积与运转规律[J].生态学杂志,2008,(1):28-32.

[6] 王荣栋,陶光琏,唐慧江,等.新疆春大麦干物质积累分配和产量形成的研究[J].大麦科学,1994,(4):21-23.

[7] 陈乐梅,马 林,刘建喜,等.免耕覆盖对春小麦灌浆期干物质积累特性及最终产量的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(6):21-24.

[8] 郝立生,闵锦忠,张文宗,等.气候变暖对河北省冬小麦产量的影响[J].中国农业气象,2009,30(2):204-207.

[9] 国家气象局.农业气象观测规范(上卷)[M].北京:气象出版社,1993:3-30.

[10] 李伯年.模糊数学及其应用[M].合肥:合肥工业大学出版社,2007.

[11] 阎世理.陕西关中春小麦生长发育规律的研究[J].西北农业大学学报,1987,15(1):17-24.

[12] 张 娟,崔党群,范 平,等.小麦冠层结构与产量及其构成因素的典范相关分析[J].华北农学报,2000,15(3):28-32.

万方数据