

# 气候变化对商洛旱地冬小麦农艺性状的影响

敬 樊<sup>1</sup>, 李勇刚<sup>1</sup>, 王静之<sup>1</sup>, 张 军<sup>2</sup>, 吴秀宁<sup>2</sup>, 雷 蕾<sup>3</sup>, 李晓静<sup>3</sup>

(1. 商洛市农业科学研究所, 陕西 商洛 726000; 2. 商洛学院, 陕西 商洛 726000; 3. 商洛市气象局, 陕西 商洛 726000)

**摘要:** 研究近年来气候变化对商洛旱地冬小麦农艺性状的影响, 旨在为商洛旱地冬小麦适应气候变化新品种选育提供理论指导。利用2010—2023年陕南丘陵地区商洛亚区小麦区域试验商州点记录的小麦品种小偃15农艺性状数据和商洛气象资料, 统计分析小麦农艺性状和气候变化的趋势, 并进行相关性、多元回归和通径分析。结果表明, 近年来商洛年降水量、年平均气温以及小麦生育期降水量、气温均呈上升趋势; 小麦不同生育阶段中, 播种至越冬前、越冬期间、返青至孕穗期的降水量均呈上升趋势, 而抽穗至成熟期降水量呈下降趋势; 小麦各生育阶段的气温均呈上升趋势; 小麦农艺性状穗长、穗粒数、千粒质量、有效穗数、产量均呈上升趋势, 而生育期和株高呈下降趋势。相关性分析结果发现, 全生育期平均气温与穗长呈极显著正相关, 与穗粒数和产量均呈显著正相关, 而与生育期呈极显著负相关; 返青至孕穗期气温与生育期呈显著负相关; 越冬期间降水量与穗长呈显著正相关; 产量与穗长和穗粒数均呈极显著正相关。多元回归和通径分析结果发现, 穗长、千粒质量、穗粒数、全生育期平均气温是决定产量的4个主要因子, 它们共同决定了产量90.80%的变异。综合以上分析, 为适应商洛地区气候变化, 旱地小麦新品种选育过程中要重点关注穗长、穗粒数和生育期等性状。

**关键词:** 冬小麦; 降水量; 气温; 农艺性状; 商洛旱地

**中图分类号:** S512.1+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2481(2024)04-0084-08

## The Impact of Climate Change on The Agronomic Traits of Winter Wheat in The Dryland of Shangluo

JING Fan<sup>1</sup>, LI Yonggang<sup>1</sup>, Wang Jingzhi<sup>1</sup>, ZHANG Jun<sup>2</sup>, WU Xiuning<sup>2</sup>, Lei Lei<sup>3</sup>, Li Xiaojing<sup>3</sup>

(1. Shangluo Agricultural Science Institute, Shangluo 726000, China; 2. Shangluo University, Shangluo 726000, China; 3. Shangluo Meteorological Bureau, Shangluo 726000, China)

**Abstract:** In this study, the impact of climate change on the agronomic traits of winter wheat in Shangluo dryland in recent years was researched, aiming to provide theoretical guidance for the breeding for new varieties of Shangluo dryland winter wheat that adapts to climate change. Using the agronomic traits data of wheat variety Xiaoyan15 at the Shangzhou site of the wheat regional trial in the Shangluo sub-region of the hilly areas of southern Shaanxi from 2010 to 2023 and meteorological data of Shangluo, the trend of wheat agronomic traits and climate change were statistically analyzed, and correlation, multiple regression, and path analysis were conducted. The results showed that the annual precipitation and average temperature of Shangluo, as well as the precipitation and temperature during the wheat growth period in Shangluo, had all shown an upward trend in recent years. At different growth stages of wheat, the precipitation from sowing to overwintering, overwintering, and from turning green to booting all showed an upward trend, while the precipitation from heading to maturity showed a downward trend. The temperature at each growth stage of wheat showed an upward trend. The agronomic traits of wheat, such as spike length, grains per spike, thousand grain weight, effective spike number, and yield, all showed an upward trend, while the growth period and plant height showed a downward trend. Correlation analysis found that the average temperature during the whole growth period had extremely significantly positive correlation with spike length, significantly positive correlation with grains per spike and yield, and extremely significantly negative correlation with growth period. The temperature from turning green to booting had significantly negative correlation with the growth period. The precipitation during overwintering had significantly positive correlation with spike length. And there was an extremely significantly positive correlation between yield and spike length and grains per spike. Multiple regression and path analysis revealed that spike length, thousand grain weight, grains per spike, and average temperature during the whole growth period were the four main factors determining yield, collectively determining 90.80% of the variation in yield. Based on the above analysis, in order to adapt to climate change in the Shangluo region, the breeding process of new varieties of dryland wheat should focus on the traits such as spike length, grains per spike, and growth period.

**Key words:** winter wheat; precipitation; air temperature; agronomic traits; Shangluo dryland

收稿日期: 2023-10-19

基金项目: 陕西省农业协同创新与推广联盟科技项目(LM20160011)

作者简介: 敬 樊(1990-), 男, 陕西商洛人, 农艺师, 硕士, 主要从事小麦新品种选育与栽培技术研究工作。

商洛位于陕西东南部、秦岭南麓,素有“八山一水一分田”之说,属于暖温带半湿润季风性气候,冬春多旱,夏秋多雨,四季分明<sup>[1]</sup>。其境内跨长江、黄河两大流域,气候温和、雨量充沛、光照充足,为小麦的正常生长发育提供了较好的自然条件<sup>[2]</sup>。冬小麦是商洛山区主要粮食作物之一,2022年播种面积3.56万hm<sup>2</sup>,总产量9.96万t,平均产量为2805kg/hm<sup>2</sup><sup>[3]</sup>。近年来,小麦播种面积逐年下降和平均单产水平不高,严重制约着商洛小麦的生产发展,进而不利于粮食安全<sup>[4-5]</sup>。

小麦的农艺性状不仅受遗传因子和栽培措施的控制,也受气候因子的影响<sup>[6]</sup>。在小麦生长发育的关键时期,降水对小麦农艺性状的变化起决定性作用。在商洛山区,小麦的生长发育几乎完全依赖于自然降水,降水的多寡也直接影响着小麦籽粒的灌浆以及千粒质量的高低,也是造成旱地小麦产量低而不稳的主要原因之一<sup>[7]</sup>。光合作用是产量形成的基础,而光合作用受温度的强烈影响,适宜的温度能够提高光合效率,降低呼吸消耗,进而影响小麦的千粒质量。温度还能够影响小麦穗分化进程,高温条件下能加速穗分化,缩短分化时间,从而造成小花和小穗数目减少<sup>[8]</sup>。因此,降水和气温是影响小麦生长发育和农艺性状的重要环境要素,其影响程度在无灌溉条件的旱地更加明显,且旱地小麦受气候变化的响应也更加敏感和突出。因此,科学分析商洛旱地冬小麦农艺性状适应气候变化的规律,适时调整小麦生产品种和育种方向,对于保障商洛小麦安全生产具有重要的意义。

有关气候变化对小麦生长发育和农艺性状的影响,前人已经开展了一些研究。逯玉兰等<sup>[9]</sup>对近47年来陇中地区气候变化及其与春小麦产量的相关性进行了分析,发现旱地春小麦全生育期降水量和日均最高温与产量分别呈极显著和显著相关。刘新月等<sup>[10]</sup>分析了1986—2014年临汾降水变化对旱地小麦农艺性状的影响,发现千粒质量、穗粒数、株高和降水量是影响产量的4个主要因子,共同决定了产量72%的变异。柳芳等<sup>[11]</sup>分析了降水量和积温变化对天津冬小麦产量的影响,发现全生育期、拔节至灌浆期、播种前的降水量和越冬前的正积温是影响冬小麦产量的两种主要气象因子。党廷辉等<sup>[12]</sup>对渭北旱塬影响小麦产量的关键降水因子进行了分析,发现播前休闲期7、8、9等3个月的降水量在决定来年冬小麦产量方面起关键作用。任新庄等<sup>[7]</sup>分析了陇中旱地春小麦产量对降水与温

度变化的响应模拟,发现温度和降水之间存在负互作效应,但降水增加对春小麦产量的增产效应远大于温度升高所造成的减产效应。张云霞等<sup>[13]</sup>对商丘市近60年冬季气温变化及其对冬小麦生长发育的影响进行了分析,发现2月平均最高气温对冬小麦产量影响较明显。目前,针对商洛山区气候变化对旱地冬小麦农艺性状的影响研究还未见报道。

近年来,中国气候整体呈暖湿化<sup>[14]</sup>,同时干旱、连阴雨、暴雨、冰雹、霜冻、干热风等极端灾害性天气时有发生。小麦生育期内气候变化如何影响其生长发育和农艺性状有待进一步深入研究。本研究利用陕南丘陵地区商洛亚区小麦区域试验商州点记录的小麦品种小偃15的农艺性状数据和气象资料,研究小麦不同生育阶段气候变化对农艺性状的影响,以为商洛旱地小麦生产应对气候变化提供参考,为推动商洛小麦产业健康可持续发展提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验资料来源

本研究以2010—2023年设在商洛市农业科学研究所张村试验站的陕南丘陵商洛亚区小麦区域试验小麦品种小偃15的农艺性状等调查数据为资料。小偃15早熟、高产、稳产、耐旱、耐瘠薄、抗病性和适应性强,为商洛近20年来主栽骨干品种。2010—2023年的气象数据由商洛市气象局提供。

### 1.2 试验区概况

2010—2023年,陕南丘陵地区商洛亚区小麦区域试验商州点均设在商洛市农科所张村试验站。试验站位于商州区沙河子镇张村村,属于低热一类区,年均降雨量700mm,日照2000h,无霜期200d,平均气温12.8℃。地势平坦,土质为黄壤土,保水排水性好,肥力均匀一致,周围无障碍物遮阴。土壤有机质含量为22.5g/kg、全氮含量为1.46g/kg、碱解氮含量为130.1mg/kg、有效磷含量为25.1mg/kg、速效钾含量为106.0mg/kg。前茬作物主要为玉米或大豆等作物。一般2~3a深耕一次。播前结合整地,施尿素225kg/hm<sup>2</sup>、磷酸二铵225kg/hm<sup>2</sup>、硫酸钾150kg/hm<sup>2</sup>,后期不再追肥。小麦的整个生育期均依靠自然降水,无人工灌溉。

### 1.3 试验设计

试验采用随机区组设计,设置3次重复,小区面积12.5m<sup>2</sup>(5.0m×2.5m)。每小区播10行,行距0.25m,播种量为270万粒/hm<sup>2</sup>,周围设有保护区,

田间管理同大田。

田间调查小麦生育期天数和有效穗数。收获期田间随机取样 30 株,进行室内考种,测量株高、穗长、穗粒数、千粒质量,以平均值作为其农艺性状的测定值。分小区收获测产,以小区平均产量折合为每公顷产量为最终产量结果。

#### 1.4 数据分析

1.4.1 气象要素倾向率  $X_i$ 表示样本量为  $n$  的某一气候变量,  $t_i$ 表示对应的时间,建立  $X_i$ 和  $t_i$ 之间的一元线性回归方程。

$$X_i = a + bt_i (i=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中,  $X_i$ 为气候要素变量,  $a$ 为回归常数,  $b$ 为回归系数。

$$b = dx(t)/dt \quad (2)$$

$b \times 10$  即某要素气候倾向率(mm/10 a 或  $^{\circ}\text{C}/10$  a)。 $b > 0$  时,表明随时间  $t$  的增加  $X$  呈上升趋势;反之  $b < 0$  时,  $X$  呈下降趋势。

1.4.2 统计分析 以产量( $Y$ )为因变量,小麦全生育期平均气温( $X_1$ )、全生育期降水量( $X_2$ )、播种至越冬前气温( $X_3$ )、越冬期间气温( $X_4$ )、返青至孕穗

期气温( $X_5$ )、抽穗至成熟期气温( $X_6$ )、播种至越冬前降水量( $X_7$ )、越冬期降水量( $X_8$ )、返青至孕穗期降水量( $X_9$ )、抽穗至成熟期降水量( $X_{10}$ )、株高( $X_{11}$ )、穗长( $X_{12}$ )、穗粒数( $X_{13}$ )、有效穗数( $X_{14}$ )、千粒质量( $X_{15}$ )、生育期( $X_{16}$ )为自变量,采用 Excel 2003 进行数据整理并作散点趋势图和线性拟合,采用 SPSS 25.0 软件对数据进行描述性统计、回归分析、相关分析和通径分析<sup>[15-16]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 年降水量和年均气温变化趋势

2010—2023 年,商洛年降水量和年均气温变化趋势如图 1。近 13 年来,商洛年降水量呈明显上升趋势,气候倾向率为 17.53 mm/10 a,年平均降水量为 764.33 mm,在年际间波动较大,其中 2023 年降水量最高,为 1 195.60 mm,2012 年降水量最低,仅 528.07 mm。商洛年平均气温也呈上升趋势,气候倾向率为 0.074  $^{\circ}\text{C}/10$  a,年平均气温为 13.46  $^{\circ}\text{C}$ ,气温在年际间波动较大,其中 2013 年平均气温最高,为 14.13  $^{\circ}\text{C}$ ,2011 年平均气温最低为 12.63  $^{\circ}\text{C}$ 。

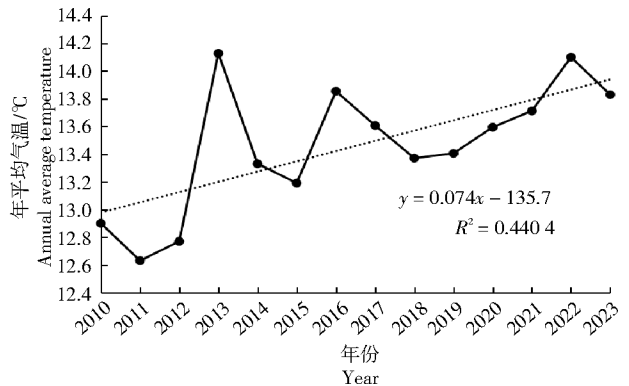
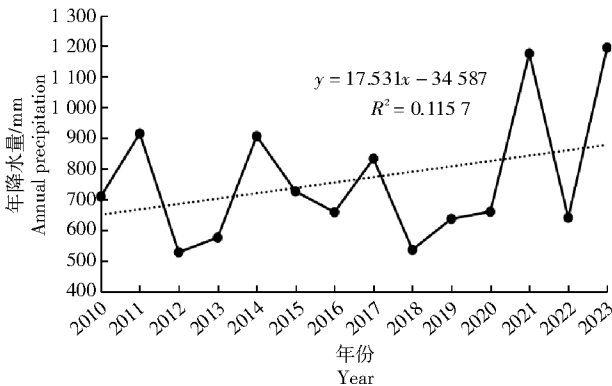
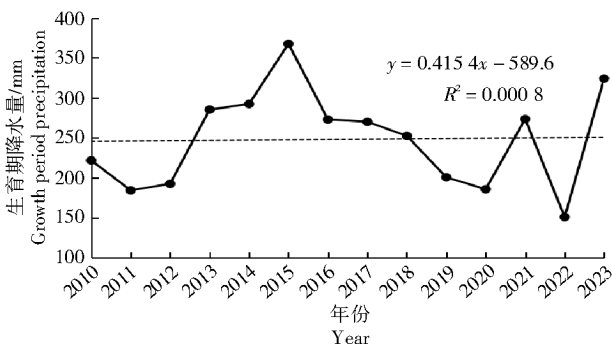


图 1 2010—2023 年商洛年降水量与年均气温的变化  
Fig.1 Changes in annual precipitation and annual average temperature in Shangluo from 2010 to 2023

### 2.2 小麦生育期降水量和气温变化特征

#### 2.2.1 降水量变化趋势 小麦全生育期降水量变



化情况如图 2 所示。

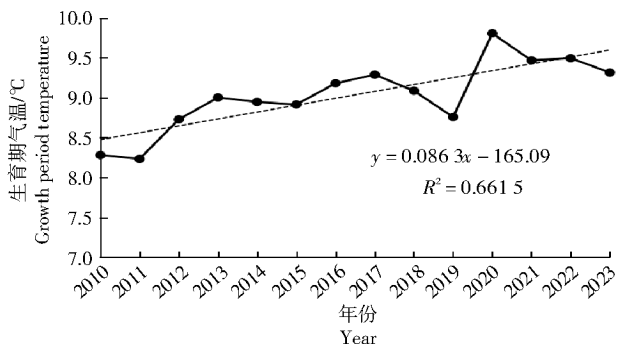
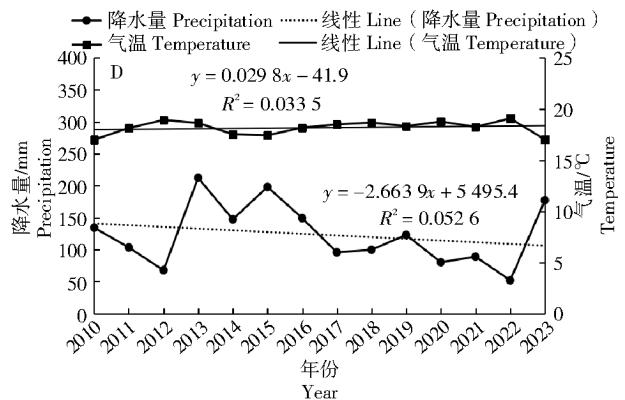
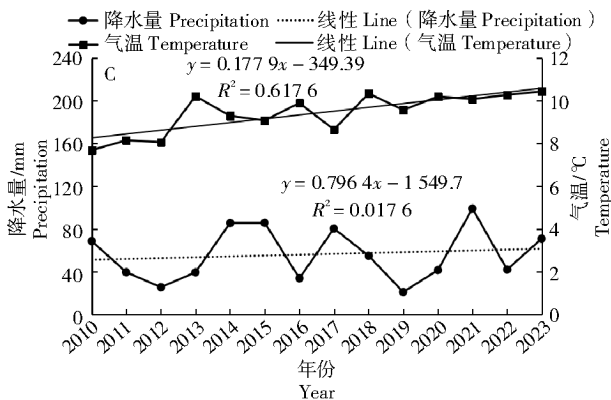
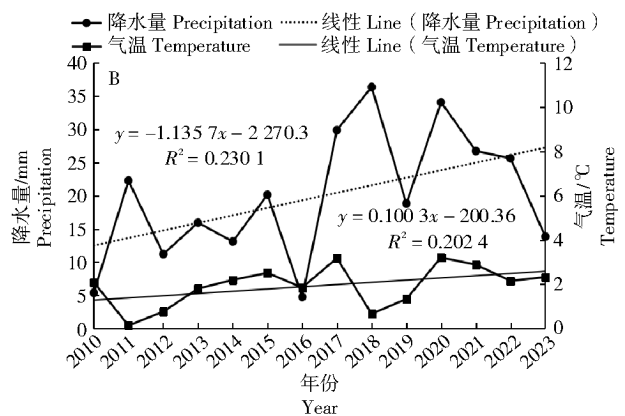
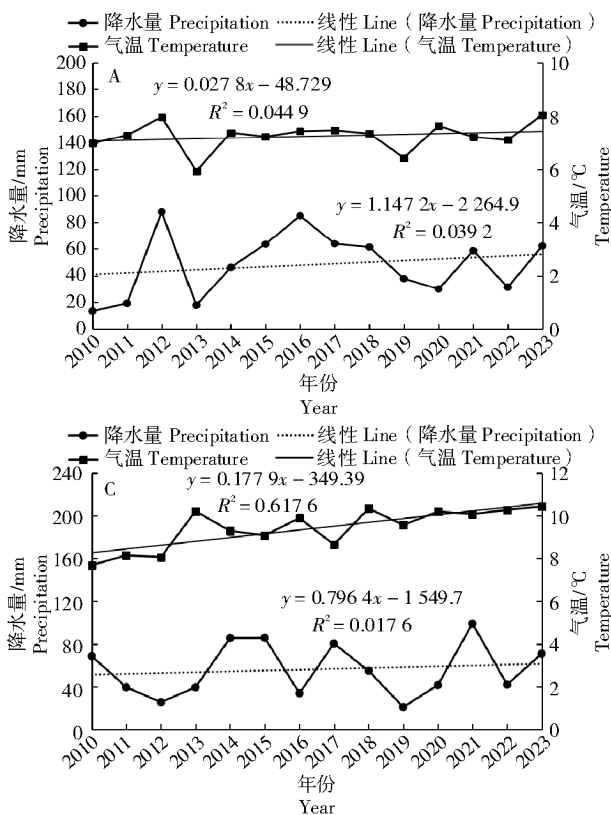


图 2 2010—2023 年小麦全生育期降水量与气温的变化  
Fig.2 Changes in precipitation and temperature during the whole growth period of wheat from 2010 to 2023

由图2可知,2010—2023年,小麦全生育期降水量呈略微上升趋势,气候倾向率为0.42 mm/10 a,全生育期平均降水量为248.13 mm。降水量最高年份在2015年(367.57 mm),最低年份在2022年(150.89 mm)。从2011—2015年小麦全生育期降水量呈较大幅度稳步上升趋势,但从2015—2020年小麦全生育期降水量呈大幅度下降趋势。从2021—2023年全生育期降水量年际间波动较大,说明这一阶段小麦生育期气候变化复杂且不稳定。



A. 播种至越冬前;B. 越冬期;C. 返青至孕穗期;D. 抽穗至成熟期

A. Sowing to overwintering; B. During overwintering; C. Turning green to booting; D. Heading to maturity

图3 小麦不同生育阶段降水量和气温的变化趋势

Fig.3 Change trends in precipitation and temperature at different growth stages of wheat

2.2.2 气温变化趋势 小麦全生育期气温变化情况如图2。2010—2023年,小麦全生育期平均气温呈缓慢上升趋势,气候倾向率为0.086 °C/10 a,上升幅度较小。全生育期平均气温为9.04 °C。其中最高年份在2020年,达到9.81 °C,最低年份在2011年,为8.23 °C。2010年和2011年全生育期平均气温较低,2012—2018年平均气温变化幅度不大,2020—2023年平均气温呈下降趋势。

2010—2023年,小麦不同生育阶段平均气温变化趋势见图3。由图3可知,播种至越冬前、越冬期间、返青至孕穗期、抽穗至成熟期平均气温均呈上升趋势,其中返青至孕穗期上升幅度最大,气候倾

2010—2023年,小麦不同生育阶段降水量变化趋势见图3。由图3可知,播种至越冬前、越冬期间、返青至孕穗期降水量均呈不同程度上升趋势,其中播种至越冬前降水量上升幅度最大,气候倾向率为1.15 mm/10 a,其次为越冬期间、返青至孕穗期降水量,气候倾向率分别为1.14、0.80 mm/10 a。而抽穗至成熟期降水量呈缓慢下降趋势,气候倾向率为-2.66 mm/10 a。

向率为0.18 °C/10 a,其次为越冬期间平均气温,气候倾向率为0.10 °C/10 a,而播种至越冬前和抽穗至成熟期平均气温上升幅度均较小,气候倾向率分别为0.028、0.030 °C/10 a。

### 2.3 小偃15农艺性状变化趋势分析

2.3.1 小偃15农艺性状变异分析 2010—2023年,小偃15农艺性状表现见表1。株高变幅65.00~97.00 cm,平均81.00 cm;穗长变幅8.15~11.67 cm,平均9.91 cm;穗粒数变幅27.31~52.93粒,平均38.89粒;千粒质量变幅32.70~47.57 g,平均40.45 g;有效穗数变幅376.05~738.00万穗/hm<sup>2</sup>,平均536.86万穗/hm<sup>2</sup>;生育期变幅208~237 d,平均

222.71 d;产量变幅为 4 196.70~7 898.70 kg/hm<sup>2</sup>,平均 5 712.30 kg/hm<sup>2</sup>,产量水平相对较低。小麦农艺性状变异范围为 4.38%~18.90%,其中穗粒数和产量的变异系数最大,分别为 18.90%、18.14%,有效穗

数、千粒质量、株高、穗长次之;而生育期的变异系数最小,仅为 4.38%,说明穗粒数和产量受遗传和环境双重因素的影响较大,而生育期受环境因素影响较小,遗传力最大,相对最稳定。

表 1 小偃 15 农艺性状的统计分析  
Tab.1 Statistical analysis of agronomic traits of Xiaoyan 15

项目 Item	株高/cm Plant height	穗长/cm Spike length	穗粒数 Grains per spike	千粒质量/g Thousand grain weight	有效穗/ (万穗/hm <sup>2</sup> ) Effective spikes	生育期/d Growth period	产量/ (kg/hm <sup>2</sup> ) Yield
最大值 Maximum value	97.00	11.67	52.93	47.57	738.00	237.00	7 898.70
最小值 Minimum value	65.00	8.15	27.31	32.70	376.05	208.00	4 196.70
均值 Mean value	81.00	9.91	38.89	40.45	536.86	222.71	5 712.32
标准差 Standard deviation	9.11	0.94	7.35	4.88	90.77	9.76	1 035.95
变异系数/% Coefficient of variation	11.25	9.49	18.90	12.06	16.91	4.38	18.14

2.3.2 小偃 15 农艺性状变化趋势 由图 4 可知,2010—2023 年小麦穗长、穗粒数、千粒质量、有效穗数和产量均呈上升趋势,其中千粒质量、有效穗数、产量在年际间波动幅度较大。产量上升幅度最大,

年平均增加 107.24 kg/hm<sup>2</sup>,其次为有效穗数、穗粒数和千粒质量,年平均分别增加 7.16 万穗/hm<sup>2</sup>、0.80 粒、0.65 g。生育期和株高呈缓慢下降趋势,年平均分别减少 1.34 d 和 0.39 cm。

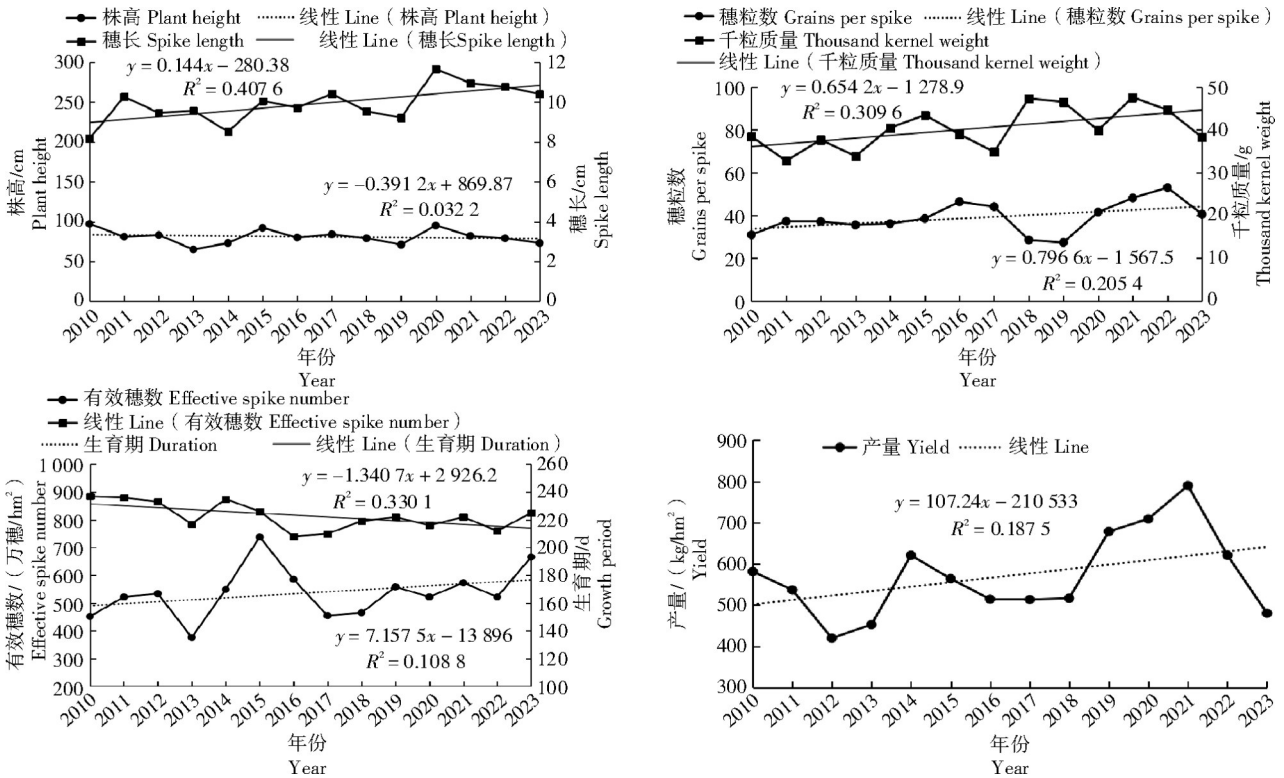


图 4 2010—2023 年小偃 15 农艺性状的变化趋势  
Fig.4 Change trends in agronomic traits of Xiaoyan 15 from 2010 to 2023

2.4 气候因子与小偃 15 农艺性状的相关性分析

气候因子与小偃 15 农艺性状的相关性分析见表 2。从表 2 可以看出,全生育期平均气温与穗长 (0.716\*\*)呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ),与生育期 (-0.726\*\*)呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ ),与穗粒数

(0.618\*)和产量 (0.560\*)呈显著正相关 ( $P < 0.01$ );返青至孕穗期气温与生育期 (-0.631\*)呈显著负相关 ( $P < 0.05$ ),越冬期间降水量与穗长 (0.641\*)呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ),说明气候变化尤其是气温变化明显影响小麦农艺性状的变化。小偃 15 各农艺

性状间相关分析表明,产量与穗长(0.771\*\*)和穗粒数(0.725\*\*)均呈极显著正相关( $P<0.01$ ),穗长和穗粒数(0.657\*)呈显著正相关( $P<0.05$ )。因此在

商洛旱地小麦适应气候变化中,应选择株高、有效穗数和生育期适中,且穗长长、穗粒数多、千粒质量高的抗旱品种,这样才更容易获得高产。

表2 气候因子与小偃15农艺性状的相关性分析  
Tab.2 Correlation analysis between climate factors and agronomic traits of Xiaoyan15

因子 Factor	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$
$X_{11}$	-0.026	-0.127	0.383	0.310	-0.448	-0.168	-0.014	0.116	0.233	-0.297						
$X_{12}$	0.716**	-0.133	0.291	0.396	0.465	0.426	0.076	0.641*	0.033	-0.353	0.166					
$X_{13}$	0.618*	-0.043	0.303	0.505	0.288	0.252	0.229	0.117	0.211	-0.301	0.103	0.657*				
$X_{14}$	0.360	0.056	0.007	0.121	0.494	0.038	0.216	0.316	0.201	-0.205	0.001	0.093	-0.005			
$X_{15}$	0.131	0.459	0.456	0.174	0.114	-0.449	0.465	-0.151	0.285	0.230	0.165	0.213	0.216	0.385		
$X_{16}$	-0.726**	-0.011	0.123	-0.406	-0.631*	-0.520	-0.237	-0.371	0.157	0.099	0.154	-0.519	-0.503	-0.152	0.122	
Y	0.560*	-0.256	0.344	0.316	0.360	0.229	0.069	0.385	0.088	-0.480	0.301	0.771**	0.725**	0.427	0.446	-0.298

注: \*和\*\*分别表示相关性达0.05显著水平和0.01极显著水平。

Note: \* and \*\* indicated the significant correlation the significant level at 0.05 and the extremely significant correlation level at 0.01.

## 2.5 小偃15产量与气候因子和农艺性状的多元逐步回归分析

以生育期各个阶段气候因子和各农艺性状为自变量,以产量为因变量,进行逐步回归分析,得出回归方程  $Y=581.08+758.08 \times X_{12}+114.46 \times X_{14}+80.74 \times X_{13}-1123.12 \times X_1$  ( $R^2=90.80\%$ ,  $F=22.08$ ,  $P<0.05$ )。

回归分析结果显示,穗长( $X_{12}$ )、千粒质量( $X_{14}$ )、穗粒数( $X_{13}$ )和全生育期平均气温( $X_1$ )是决定产量的4个主要因子,它们共同决定了产量的90.80%的变异。其中,穗长决定产量59.40%的变异,千粒质量决定产量12.70%的变异,穗粒数决定产量10.50%的变异,全生育期平均气温决定产量8.20%的变异。根据逐步回归方程,每增加一

个单位的穗长、千粒质量、穗粒数、全生育期平均气温,产量则分别提高758.80、114.46、80.74、-1123.12 kg/hm<sup>2</sup>。表明穗长、千粒质量、穗粒数对产量表现出显著的正效应,而全生育期平均气温对产量表现出显著的负效应( $P<0.05$ )。

## 2.6 小偃15产量与气候因子和农艺性状的通径分析

利用SPSS 25.0软件对小偃15产量与气候因子及其农艺性状作通径分析(表3),结果表明,4个主要因子对产量的直接贡献大小依次为穗长(0.690)>穗粒数(0.573)>千粒质量(0.539)>全生育期平均气温(-0.483),表明对产量贡献较大且为正效应的是穗长、穗粒数和千粒质量,负效应的是全生育期平均气温。

表3 气候因子和农艺性状与产量的通径分析  
Tab.3 Path analysis of climate factors and agronomic traits on yield

作用因子 Interaction factor	相关系数 Correlation coefficient	直接系数 Direct coefficient	$X_{12}$	$X_{14}$	$X_{13}$	$X_1$
$X_{12}$	0.771**	0.690		0.050 1	0.376 0	-0.346
$X_{14}$	0.427	0.539	0.064 2		-0.002 9	-0.174
$X_{13}$	0.725**	0.573	0.453 0	-0.002 7		0.298
$X_1$	0.560*	-0.483	0.494 0	0.194 0	0.354 0	

在各因子的相互作用中,全生育期平均气温通过穗长(0.494)对产量的正向间接作用最大,而穗长通过全生育期平均气温(-0.346)对产量的负向间接作用最大,说明全生育期平均气温和穗长相互影响、相互制约,共同作用于小麦产量的形成。小麦生育期平均气温通过穗长对产量的正向作用抵消了生育期平均气温对产量的直接负向作

用,从而表现出对产量的正向效应,这也是小偃15产量在生育期平均气温上升的情况下反而增加的原因。

## 3 结论与讨论

近年来全球气候呈现变暖趋势,我国气候变化情况与全球基本一致,且极端性天气发生的频率越

来越高<sup>[17]</sup>。气候变化使农业生产不稳定性、不确定性增加,特别是对无灌溉条件、完全依赖自然降水的旱地农业影响更为突出,小麦等农作物的生长发育和农艺性状受气候影响也越来越大。商洛地处秦岭南麓,属于季风气候区,南部属北亚热带气候,北部属暖温带气候,气候复杂多变,小气候类型较多。本研究结果显示,2010—2023年,商洛年降雨量为764.33 mm,年均气温为13.64℃,呈缓慢上升趋势。齐建锋等<sup>[18]</sup>分析了1970—2018年商洛地区气候变化特征,发现近49年来商洛气温总体呈上升趋势,降水量总体呈增加趋势,且年际降水量波动较大,这与本研究结果基本一致。

2010—2023年,小麦全生育期内降水量和气温也均呈上升趋势,说明在小麦生育期内,气候呈现明显的暖湿化现象。在不同生育阶段,播种至越冬前、越冬期间、返青至孕穗期,降水量均呈不同程度上升趋势,而抽穗至成熟期降水量呈下降趋势;播种至越冬前、越冬期间、返青至孕穗期、抽穗至成熟期气温均呈上升趋势,这与刘新月等<sup>[10]</sup>关于近30 a临汾降水变化对旱地小麦农艺性状的分析结果不一致,这可能与不同的地理环境差异和采用数据时期的长短差异引起的降水量和气温不同有关。同时也要注意小麦灌浆期若降水量减少、气温升高,小麦较容易发生干旱,也不利于小麦籽粒的形成。

气候是旱地小麦生产的主要限制因子,其变化势必会对小麦的生长发育和农艺性状产生影响。在气候变暖的背景下,小麦的农艺性状会发生相应的变化以适应气候的变化趋势。本研究结果显示,2010—2023年小麦的穗长、穗粒数、千粒质量、有效穗数和产量均呈上升趋势,而生育期和株高呈缓慢下降趋势。温度升高可能是引起小麦生育期缩短和株高降低的主要原因。生育期气温上升将加速小麦的生长发育,缩短其生育期,造成小麦营养生长不足,进而导致小麦的株高降低。虽然小麦株高过低不易倒伏,但容易受到干旱和土壤贫瘠的影响。因此,旱地小麦需要中高秆品种而不是矮秆品种,这样才能保持抗旱、生物学产量和籽粒产量的协同增加<sup>[10]</sup>。

气候因子与小麦农艺性状的相关性及通径分析表明,穗长、穗粒数、千粒质量和全生育期平均气温对产量的直接作用较大,其中穗长、穗粒数、千粒质量对产量呈正效应,全生育期平均气温对产量呈负效应,以上结果与毛婧杰等<sup>[19]</sup>、逯玉兰等<sup>[9]</sup>对陇中地区气候变化对小麦产量的影响不完全吻合,这可

能与当地的地理环境、数据分析时期差异以及品种特性有关。一般来讲,小麦生育期温度升高会造成小麦早熟,缩短灌浆时间,从而导致产量下降,而本研究在小麦生育期平均气温略微上升的前提下,小麦的产量却表现增加的趋势,这是因为小麦生育期平均气温通过穗长对产量的间接正向作用抵消了生育期平均温度对产量的直接负向作用。同时穗长通过生育期平均气温对产量的间接负向效应削弱了穗长对产量的直接正向效应,表明各农艺性状与气候因子间紧密联系,相互影响。

水分对旱地小麦产量起至关重要的作用,尤其是抽穗后水分增加,对产量的提高有积极的作用。但若抽穗至成熟期降水量增加太多,特别是南方麦区常见的连阴雨天气,会影响小麦的通风情况,不利于小麦授粉和光合作用,导致小麦的穗粒数减少、千粒质量下降。同时长期阴雨还可能造成倒伏,并诱发小麦赤霉病等病虫害,从而导致产量降低<sup>[20]</sup>。因此,抽穗至成熟期适宜的降水量可以促进小麦生殖生长,但如果降水过多或过少,都会对产量造成影响<sup>[21]</sup>。因此,气候变化不仅为商洛旱地小麦获得高产提供了新的自然条件,也为当地小麦新品种选育和栽培提供了新的方向<sup>[22]</sup>。

气候变化不仅在一定程度上影响着小麦产量的高低、小麦品种的品质和增产潜力,而且影响着当地小麦栽培品种更新换代<sup>[23]</sup>。因此,严格按照气候变化规律以及小麦生长发育不同阶段对水分和温度的需求规律,选择适宜品种,加强水肥管理和病虫害防控,科学应对极端天气,是商洛旱地冬小麦丰产丰收保证。

本研究以陕南丘陵地区商洛亚区小麦区域试验商州点记录的小偃15农艺性状数据为依据,分析了商洛气候变化及其对旱地冬小麦农艺性状的影响,研究结论可为商洛旱地小麦育种和田间管理提供指导和理论参考。

#### 参考文献:

- [1] 郭莉,董淑珍,郑梦桃,等.近60年商洛市气温变化特征分析[J].陕西气象,2022(3):29-35.  
GUO L, DONG S Z, ZHENG M T, et al. Variation of temperature in Shangluo city in latest 60 years[J]. Journal of Shaanxi Meteorology, 2022(3):29-35.
- [2] 李存玲,李拴曹.商洛市小麦生产现状与发展对策[J].安徽农学通报,2020,26(11):48-49.  
LI C L, LI S C. Present situation and development countermeasures of wheat production in Shangluo city[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2020, 26(11):48-49.

- [3] 熊晖. 陕西年鉴[M]. 西安:陕西年鉴编辑部, 2022(5):155-168.  
XIONG H. Shaanxi yearbook[M]. Xi'an: Shaanxi Yearbook Editing Department, 2022(5):155-168.
- [4] 李存玲, 李拴曹. 商洛市发展小麦生产现状及建议[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(20):34, 73.  
LI C L, LI S C. Present situation and suggestions on developing wheat production in Shangluo city[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2017, 23(20):34, 73.
- [5] 李勇刚. 商洛市小麦生产历史、现状及发展对策[J]. 陕西农业科学, 2012, 58(6):162-163, 174.  
LI Y G. History, present situation and development countermeasures of wheat production in Shangluo city[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2012, 58(6):162-163, 174.
- [6] 芦艳珍, 马乐, 杨三维. 山西南部旱地区试小麦产量构成因素变异分析[J]. 山西农业科学, 2020, 48(12):1876-1880.  
LU Y Z, MA L, YANG S W. Variation analysis of wheat yield components in regional trial of southern Shanxi[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2020, 48(12):1876-1880.
- [7] 任新庄, 闫丽娟, 李广, 等. 陇中旱地春小麦产量对降水与温度变化的响应模拟[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(3):125-129, 155.  
REN X Z, YAN L J, LI G, et al. Simulation of the effects of precipitation and temperature change on spring wheat yield in dryland of Central Gansu[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018, 36(3):125-129, 155.
- [8] 王钧, 李广, 闫丽娟, 等. 旱地春小麦产量对不同生育阶段温度变化的响应模拟[J]. 中国农业科学, 2020, 53(5):904-916.  
WANG J, LI G, YAN L J, et al. Simulation of spring wheat yield response to temperature changes of different growth stages in drylands[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(5):904-916.
- [9] 逯玉兰, 李广, 韩俊英, 等. 降水量和气温变化对定西地区旱地春小麦产量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(3):268-273.  
LU Y L, LI G, HAN J Y, et al. Effect of precipitation and temperature changes on dryland spring wheat yield in Dingxi area[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2021, 47(3):268-273.
- [10] 刘新月, 裴磊, 卫云宗, 等. 1986—2014年临汾降水变化及对旱地小麦农艺性状的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(7):933-938.  
LIU X Y, PEI L, WEI Y Z, et al. Precipitation change and its influence on wheat agronomic traits in Linfen from 1986-2014[J]. Journal of Triticeae Crops, 2016, 36(7):933-938.
- [11] 柳芳, 黎贞发. 降水量和积温变化对天津冬小麦产量的影响[J]. 中国农业气象, 2010, 31(3):431-435.  
LIU F, LI Z F. Impacts of precipitation and accumulated temperature on winter wheat yield in Tianjin[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31(3):431-435.
- [12] 党廷辉, 高长青. 渭北旱塬影响小麦产量的关键降水因子分析[J]. 水土保持研究, 2003(1):9-11, 36.  
DANG T H, GAO C Q. Study on key water factors of affecting wheat yield in Weibei dry highland[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2003(1):9-11, 36.
- [13] 张云霞, 史桂芬, 檀艳静, 等. 商丘市近60 a冬季气温变化及其对冬小麦生长发育的影响[J]. 陕西农业科学, 2021, 67(6):66-71.  
ZHANG Y X, SHI G F, TAN Y J, et al. Winter temperature change in past 60 years and its effect on winter wheat growth and development in Shangqiu[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2021, 67(6):66-71.
- [14] 张红丽, 韩富强, 张良, 等. 西北地区气候暖湿化空间与季节差异分析[J]. 干旱区研究, 2023, 40(4):517-531.  
ZHANG H L, HAN F Q, ZHANG L, et al. Analysis of spatial and seasonal variations in climate warming and humidification in northwest China[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(4):517-531.
- [15] 杜鹃. 通径分析在Excel和SPSS中的实现[J]. 陕西气象, 2012(1):15-18.  
DU J. Realization of path analysis in Excel and SPSS[J]. Journal of Shaanxi Meteorology, 2012(1):15-18.
- [16] 杜家菊, 陈志伟. 使用SPSS线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报, 2010, 45(2):4-6.  
DU J J, CHEN Z W. Method of path analysis with SPSS linear regression[J]. Bulletin of Biology, 2010, 45(2):4-6.
- [17] 张玉翠, 袁良, 王培, 等. 气候变暖背景下湖北省油菜生长季气候适宜性分析[J]. 河南农业科学, 2024, 53(5):80-91.  
ZHANG Y C, YUAN L, WANG P, et al. Analysis on the climate suitability of rape growing season in Hubei province under climate warming[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2024, 53(5):80-91.
- [18] 齐建锋, 王长燕, 郁耀闯, 等. 1970—2018年商洛地区气候变化特征分析[J]. 安徽农学通报, 2020, 26(22):154-159.  
QI J F, WANG C Y, YU Y C, et al. Analysis of climate change characteristics in Shangluo from 1970 to 2018[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2020, 26(22):154-159.
- [19] 毛婧杰, 李广. 陇中地区降水量对小麦产量的影响[J]. 草业科学, 2014, 31(2):290-295.  
MAO J J, LI G. Impacts of precipitation on wheat yield during growth period[J]. Pratacultural Science, 2014, 31(2):290-295.
- [20] 樊有义, 高玉振, 陈刚, 等. 小麦生育期内的降水对产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2001(6):742-743.  
FAN Y Y, GAO Y Z, CHEN G, et al. Effect of the rainfall in the wheat growth period on its yield[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2001(6):742-743.
- [21] 裴磊, 刘莉, 刘新月, 等. 气象因素对旱地小麦品种灌浆特性影响的研究[J]. 北方农业学报, 2016, 44(6):67-72.  
PEI L, LIU L, LIU X Y, et al. Research on effect meteorological factors on grain filling characteristic of the dry land wheat[J]. Journal of Northern Agriculture, 2016, 44(6):67-72.
- [22] IPCC. Climate change 2007: the physical science basic contribution of working group I to the fourth assessment report of intergovernmental panel on climate change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007:1-989.
- [23] 肖国举, 张强, 王静. 全球气候变化对农业生态系统的影响研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8):1877-1885.  
XIAO G J, ZHANG Q, WANG J. Impact of global climate change on agro-ecosystem: a review[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(8):1877-1885.